

令和 5 年度原子力規制庁委託成果報告書

耐津波設計・フラジリティ評価手法の整備に
係る防潮堤水理試験（黒津波影響）
（令和 5 年度分）

大成建設株式会社

令和 6 年 3 月

本報告書は、原子力規制委員会原子力規制庁からの委託により実施した業務の成果をとりまとめたものです。

本報告書に関する問い合わせは、原子力規制庁までお願いします。

目 次

1. 事業概要	1-1
2. 知見調査	2-1
2.1. 有識者へのヒアリング	2-1
2.2. 文献調査	2-3
2.3. 技術検討会	2-10
3. 現地調査	3-1
3.1. 調査概要	3-1
3.2. 調査方法	3-2
3.2.1. 調査箇所の選定	3-2
3.2.2. サンプルング方法	3-3
3.2.3. 分析方法	3-6
3.2. 調査結果	3-7
3.2.1. サンプルング結果	3-7
3.2.2. 分析結果	3-11
3.2.3. 粘性評価	3-15
4. 水理試験	4-1
4.1. 巻き上げ試験	4-1
4.1.1. 試験体製作	4-1
4.1.2. 試験方法	4-5
4.1.3. 試験結果	4-12
4.2. 波圧試験	4-70
4.2.1. 試験方法	4-70
4.2.2. 試験結果	4-77
4.3. 粘性評価	4-190
4.3.1. 試験方法	4-190
4.3.1. 底質模型の粘性	4-191
4.3.2. 現地採取試料との比較	4-219
5. 結果の整理	5-1
巻末資料	1
現地調査補足資料	1
(1) 作業写真集（気仙沼湾奥・川崎港京浜運河）	2
(2) 試験分析報告書	20

1. 事業概要

本事業は、防潮堤等の津波防護施設の耐津波設計評価に関連する内容として、ヘドロ等の泥・シルト性堆積物を含む津波（以下「黒津波」という）に関する文献等を調査・整理する。実際の海域におけるヘドロ等をサンプリングし、ヘドロ性状を分析・整理する。ヘドロ等の巻き上がりの発生条件に関する水理試験を実施する。ヘドロ等の巻き上がりや波圧への影響に関するデータを取得し整理・分析することで、実海域における黒津波の発生条件やその特性等に係る知見の拡充を図る。

(1) 知見調査

黒津波に関わる文献等を調査し、取得した知見を整理する。

知見調査にあたっては、下記に留意する。

①有識者ヒアリング

- ・ 黒津波に関わる知見及び本事業で実施する試験内容・方法について、2名程度の有識者へヒアリングを実施し、その妥当性や課題等についてヒアリングする。
- ・ ヒアリングの結果については、(2)以降の計画や取りまとめに適宜反映する。

②文献調査

- ・ 東日本大震災後の陸域におけるヘドロ等の堆積物調査に関わる知見についても調査する。
- ・ 成果報告書とは別に、図表等も含めて各文献を1,2ページ程度で、文献調査の結果を取りまとめる。

③技術検討会

- ・ 1名以上の有識者を招聘して、規制庁職員の同席のもと、実施方針等を討議するため技術検討会（オンライン開催も可能）を実施する。
- ・ 技術検討会の結果については、(2)以降の計画や取りまとめに適宜反映する。

(2) 現地調査

①サンプリング

河口付近の海域において、海底に堆積したヘドロ等を採取する。

- ・ サンプリング海域は、令和3,4年度実施の過去事業で調査した海域から2箇所選定する。詳細は原子力規制庁担当者と協議して決定することとする。
- ・ 海域1箇所当たり2地点程度でサンプリングを実施する。

②分析

得られたサンプリング結果をもとに、ヘドロ等の粒度分布、比重、含水比、密度、組成等について調査・分析・整理する。

- ・ ヘドロが巻き上がった状態を想定し、ヘドロを含む水密度と粘性を表すパラメータとの関係を分析・整理する。

(3) 水理試験

①巻き上げ試験

流速の大きい領域におけるヘドロ等の巻き上げを模擬できる試験体を製作する。試験体製作に当たっては、せん断応力が限界せん断応力を大きく上回る条件を模擬可能なものとする。詳細は原子力規制庁担当者と協議して決定する。

- ・ 巻き上がった底質の鉛直濃度分布および底質の巻き上げ速度の時刻歴をそれぞれ計測可能な試験体とする。

巻き上げ試験では、あらかじめヘドロ等が堆積した地形を模擬した試験体に対し、津波を模した流れを入力し、ヘドロ等の巻き上がりを再現する。同一条件での試験回数は3回程度、最少でも合計21ケース実施する。詳細は原子力規制庁担当者と協議して決定する。実施に当たっては、下記に留意する。

- ・ 底質ごとに限界せん断応力等を取得し、流速の大きい領域におけるヘドロ等の巻き上げを模擬するために必要なパラメータを取得する。

②波圧試験

波圧試験では、ヘドロ等を模した底質を含む水を堤体に衝突させることで、水密度と堤体作用波圧の関係を計測・整理する。最少でも合計216ケース実施する。実施に当たっては、下記に留意する。

- ・ 底質は、粒径1 μ m程度のものを含めることとする。
- ・ 堤体を取り除いた通過波検定も行う。
- ・ 底質を含む水の密度・粘性が、波圧・波力に与える影響を確認する。
- ・ 底質を含む水の密度・粘性が、波形（最大波高等）に与える影響を確認する。
- ・ 流速時刻歴について、可能な限り計測する。
- ・ 撮影した高速度カメラの映像は、堤体近傍の浸水深時刻歴及び堤体に作用する波力時刻歴と時間を同期したうえで、一体の動画データとして提出する。

③粘性評価

底質を含む水密度と粘性を表すパラメータの関係をそれぞれ整理する。

- ・ (3)①で用いた底質模型等を用いる。
- ・ (3)②で用いた底質と密度の組合せにおいても実施し、密度と粘性との関係を整理する。

(4) 結果の整理

(2)、(3)で得た結果を整理・考察する。結果の整理に当たっては、相似則の影響についても考察する。

2. 知見調査

2.1. 有識者へのヒアリング

知見調査のうち有識者へのヒアリングについては、以下3名（A～C）の方に、既往の試験結果及び今年度の現地調査・水理試験の計画などを説明し、意見を頂いた。

(1) 有識者 A

- ・既往の試験結果から考えられる課題を、本業務の試験計画にどのように反映したのかを整理するとよい。
- ・巻き上げ試験では、底質の濃度分布を連続的に計測する方法として EL シートを用いているが、壁面との離隔についてよく検討する。
- ・波圧試験で得られる波形・流速・波力の計測結果を数値解析の検証用データとする。
- ・黒津波の数値シミュレーションによる検討例として、以下の方法が考えられる。
 - ①対象となる複数のエリアを比較・検証し、複雑な地形を図-2.1のようにモデル化する。
 - ②平面2次元の津波解析を実施し、護岸付近の水位や流速、浮遊砂濃度の結果を鉛直2次元の津波解析に引き継ぎ、得られた波力結果から海水の津波荷重に対する比率を整理する。

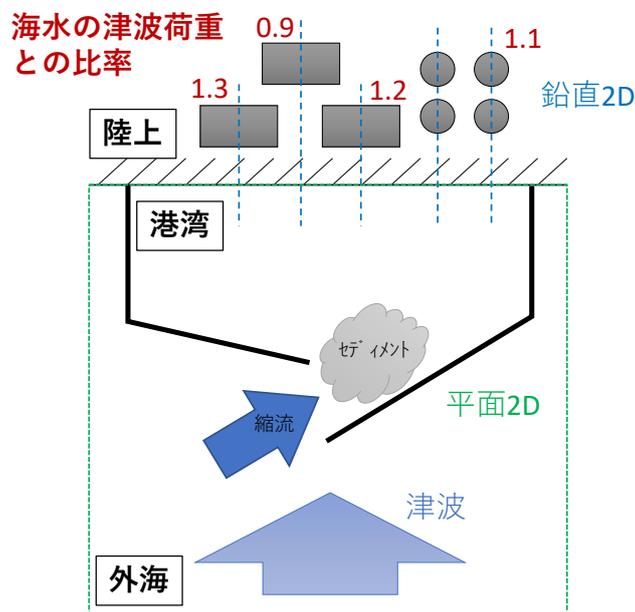


図-2.1 黒津波の数値シミュレーションによる検討例

(2) 有識者 B

- ・濁水および塩水に対する通過波の流速をプロペラ流速計で計測することは困難と考えられる。
- ・津波の圧力勾配と底質の破壊限界との関係を定量的に評価できるとよい。
- ・微細粒子を含む流体の特性は、非ニュートン流体（ビンガム流体や擬塑性流体等）のどれにも分類されない特徴を有している。
- ・巻き上げ試験にて、地盤内の圧力変化を計測することは有効と考える。
- ・粘性試験の結果を数値解析のパラメタ等に反映できるように定式化を検討してほしい。
- ・密度や粘性の変化により砕波点が変化して波力への影響が大きいと、沖側の波形変化などに着目するとよいと考える。昨年度の結果より、壁面位置では濁水密度により波形が異なっているので、沖側からどのように変化しているか捉えることは重要と言える。

(3) 有識者 C

- ・現地調査について、気仙沼湾における既往調査と比較し、分析結果の妥当性を確認することが望ましい。
- ・現地調査について、柱状採泥器（透明アクリル製）内にある試料の色の違いを目視で判断して底泥厚さを推定している。採取された底質試料の含水比を深度方向に分析することにより、ヘドロ層または粘土層の違いを評価できる可能性がある。計測方法案として、厚さ 20cm に対する含水比では粗いため、例えば厚さ 5cm の試料を 10cm ピッチで深度方向の変化を確認することが望ましい。
- ・巻き上げ試験について、一般に流体密度 1.2 g/cm^3 の流れは密度流として扱われ、サンドベッドの底質濃度そのままに流れる状況は、Fluid Mud（高濃度のサスペンション粒子 [$> 10 \text{ g/L}$] を含む泥質流体）の特徴である。
- ・サンドベッドの底質濃度そのままに流れる状況を「流動化」としているが、表層から徐々に巻き上がる状況と対比して、「破壊形態の異なる流れ（大規模な破壊による流れ）」が発生したと考えられる。
- ・巻き上げ試験について、サンドベッド位置にも圧力計を設置すれば、水と底質における圧力伝播過程を確認でき、有用なデータになると考えられる。
- ・波圧試験について、流体密度による津波の伝播特性の違いに注目する。特に護岸や防潮壁の直前における波高減衰を確認する。
- ・流体密度による波力の違いは、津波衝突時の継続時間も影響があると考えられる。
- ・巻き上げ試験と波圧試験の繋がりも考察することが必要である。

2.2. 既往文献調査

海底に堆積した底質（土砂やヘドロ等）を含有した黒津波が与える影響について、過去の文献等を調査した。本調査では、以下の内容に主眼を置き、現地調査・水理試験・数値解析の項目に分類して文献を整理した。なお現地調査については、東日本大震災後の陸域におけるヘドロ等の堆積物調査に関わる知見についても調査した。

- ・現地調査；ヘドロ等の分析結果（物性、有機物量等）について
- ・水理試験；ヘドロ等の巻き上げ条件（粘性との関係等）について
- ・数値解析；ヘドロ等の粒径の細かい底質を対象とした移動モデルについて

以降では、項目ごとに文献調査結果を示す。なお、水理試験や数値解析については、既往文献の多くが土砂に関するものであり、現状では非常に細かい粒径（数 μm 程度）のシルトやヘドロなどを対象とする研究は少ないため、土砂に関する内容も含めて整理した。

(1) 現地調査

中川ら(2004)¹⁾は、底面付近に形成される浮泥の挙動特性が粒子濃度や湿潤密度に依存するため、海底面付近における浮遊泥から堆積泥にいたる底泥密度の鉛直分布構造の把握手法の確立を目的として、現地式密度計を導入した現地観測を熊本港沖合の4地点で実施した。その結果、密度計により浮遊泥から堆積泥にいたる連続的な底泥密度分布が取得可能であり、また採泥試料の分析結果との比較を通じて、堆積物組成の違いに応じて Fluid mud などの流動性の高い浮泥層の形成を示唆する密度分布の取得も可能であることを示した。

岡田ら(2009)²⁾は、底泥輸送の推測に寄与する新しい底泥指標として、底泥の化学組成および有機物を除去した底泥の粒度分布を提案した。粒度に関するデータに対し、情報理論分野で確立された Entropy Analysis を粒度分布に適用する手法を用いている。調査内容としては、2007年12月に京浜運河周辺水域の164地点を対象にエクマン・バージ型採泥器を用いて船上から採泥し、採取された底泥の表層5cm分を試料とした。化学組成は波長分散型蛍光X線装置、粒度分布はレーザー回折・散乱式粒子径分布測定装置をそれぞれ用いて分析した。その結果、化学組成分析ではクラスター分析(ウォード法)によりシルトは5つのグループに、砂分は4つのグループに分割し、粒度分布ではエントロピー法を用いて未処理底泥と有機物除去底泥をそれぞれ4つのグループに分割している。これらのことから、化学組成分析の結果は、異なる由来の底泥の影響範囲を推定するのに十分明瞭な空間分布を示し、底泥の粒度分布は、底泥輸送と粒度分布を結びつける上で有用な手法であることを示唆している。

世良ら(2011)³⁾は、東日本大震災後に青森・岩手・宮城の各県沿岸地域において72の堆積物試料を採取・分析し、これらの結果を岩手県内陸で採取された土壌57試料の結果と比較した。陸地に堆積したヘドロ試料の採取は、5回(2012年7月20日、8月14日、8月31日、9月3日、9月17日)にわたって行われ、重元素を分析した。その結果、大きな港の海底は他の沿岸域と比べ、船舶からの排水などの影響により汚染が進んでいることを示した。さらに世良ら(2012)⁴⁾では、陸地に堆積したヘドロを2011年11月～2012年3月にかけて計8回(2011年7月20日、8月14日、8月31日、9月3日、9月17日、11月10日、2012年3月3日、10月10日)にわたり宮城・福島両県で採取し、世良ら(2011)³⁾の重元素分析結果と比較した。その結果、津波によって陸地・干潟・汽水域にもたらされたヘドロ中の重金属は、風雨や海水に洗われ大幅に濃度が減少したことを確認している。

今村ら(2012)⁵⁾は、宮城県名取市と石巻市で現地採取した津波堆積物(土砂)の物理化学性状等について分析調査を行っている。現地調査は、地震が発生してから2.5カ月後の2011年5月下旬に行い、名取市では①北釜地区(仙台空港東側の沿岸)、②小塚原地区田園(海岸から約2km)、③一次仮置場の3箇所において調査した。①北釜地区は海岸からの距離に関係なく砂分のみが広く分布し、堆積物の厚さは10～15cm程度であった。②小塚原地区の田園の表面は厚さ約4cmの粘土質の板状の津波堆積物が堆積し、調査時には乾いてひび割れた状態にあった。津波堆積物の断面は黒色を呈し、有機物等を含む水底泥土と推察している。③一次仮置場の分別土には細かい木屑などが多少混入している状況であったことを報告している。

原(2013)⁶⁾は、気仙沼湾において底質の柱状採取と物性分析を実施した。本研究の対象地域は、宮城県気仙沼湾の大島瀬戸(水深31m)であり、2012年11月23日に直径10cmのパイプにより柱状試料を採取した。試料は1cm毎に切り分け、粒度分析、含水比、強熱減量、鉍物油、クロ

ロフィル濃度 (Chl) 等を分析し、柱状試料を A～E の 5 層に分類した。A 層(0～5cm)では、含水比・強熱減量・Chl 濃度が最大を示した。B 層(5～13cm)は、鉍物油の濃度が高く、気仙沼湾での燃油流出の影響を受けており、D 層(18～23cm)は砂利や貝殻が混じっていたことから、津波直後に堆積したと推定している。E 層(23～33cm)はシルト・粘土が締め固まっており、津波の攪乱を受けずに保存されている堆積層と推察している。

参考文献

- 1) 中川康之, 渡邊和重, 谷川晴一, 黒田祐一: 海底面近傍における底泥密度の鉛直分布特性の把握, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.986-990, 2004.
- 2) 岡田知也, グエンティーマンチン, 古川恵太: 底泥の化学組成および粒度分布を用いた底泥輸送の推定—京浜運河への適用事例—, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.976-980, 2009.
- 3) 世良耕一郎, 馬場史孝, 後藤祥子, 高橋千衣子, 齋藤義弘: 3.11 巨大津波が陸地にもたらした重元素汚染された汚泥試料の分析, NMCC 共同利用研究成果報文集, 18, pp.84-92, 2011.
- 4) 世良耕一郎, 後藤祥子, 高橋千衣子, 齋藤義弘: 3.11 巨大津波により陸地・汽水域にもたらされた汚泥試料及び植物試料中の重元素の分析, NMCC 共同利用研究成果報文集, 19, pp.60-66, 2012.
- 5) 今村眞一郎, 西田秀紀, 佐藤靖彦: 東日本大震災における津波堆積物の調査報告, 西松建設技報, Vol.35, pp.1-6, 2012.
- 6) 原良輔: 津波により攪乱を受けた海底泥の堆積構造, 首都大学東京都市環境科学研究科都市基盤環境学域修士論文, 2013.

(2) 水理試験

一般に底泥の巻き上げは、底泥表面に作用する外力とこれに対する底泥の抵抗力の力学的関係により決定される。ここで外力は、潮流の場合は流れによるせん断応力、波の場合は波動運動によるせん断応力と圧力である。一方、巻き上げに対する抵抗力は、粘着性を持つ底泥では底泥粒子間に作用する物理・化学的結合力が支配的である。結合力は底泥の成分、含水比、温度など様々な要因の影響を受けるため、個々の底泥粒子に着目した結合力の微視的な評価は非常に難しい。これは、重力や摩擦力が支配的な砂質土とは大きく異なっている点であり、浮泥や粘土等によるシルテーションが複雑な現象であると言われる原因である。そこで鶴谷ら(1990)¹⁾は、底泥に作用する外力の違いを考慮し、統一された限界せん断応力を定義することを目的に、流れと波による3種類の開水路実験を実施した。流れは水路下部の廻流装置、波はピストン型造波装置によって起こしており、底泥は含水比150~450%のカオリナイトとし、含水比の調整は淡水で行っている。実験結果より、底面せん断応力 τ_b が巻き上げ限界 τ_c を越えると、底泥は急激に巻き上がることが示された。また、底泥の強度が底泥のレオロジー一定数である降伏値と結び付けられることから、降伏値 τ_y と限界せん断応力 τ_c の比較を行った。その結果、 τ_y と τ_c の関係にばらつきはあるが、両者はほぼ等しいことが示された。

志方ら(2023)²⁾は、波力が増大する事象の有無および発生条件を把握する目的で、シルト・粘土を含む津波を模擬した水理模型実験を行った。本実験では、水路(全長13.3m、水路幅0.2m)の上流側に設けた貯水槽の水深、急開ゲートの開口高を調整して3タイプの津波流れを水路内に模擬し、真水・シルトを含む泥水・粘土を含む泥水の3種類で泥水の流体密度(比重1.1および1.2)を設定し、ゲート下流部に設置する作用壁は全幅壁と柱状壁の2種類としている。また作用壁で計測された圧力は、鉛直積分して単位幅当たりの水平波力を算定している。実験結果より、最大波力の発生時間は、波先端が全幅壁に衝突し、上方へ跳ね上がった水塊が水面に落水して主流を混合する時間と一致することが確認された。また最大波力は、粘土泥水(比重1.2)のばらつきが真水の約2倍となっているが、そのほかの条件のばらつきは真水と概ね同程度の結果が得られている。泥水の先端流速は、真水に比べやや大きいケースが多かったが、泥水の最大波力に顕著な増大は確認されず、いずれの条件においても流体密度の増加に伴う静水圧の増分程度に収まったことを報告している。

中村ら(2023)³⁾は、底質の有無以外の点では同一条件となるように、底質を入れていない清水と予め底質を混合させて濁水をゲート急開で開放して段波状の津波を発生させる水理実験を実施し、底質の有無が津波の遡上・打ち上げと鉛直壁への作用波圧・波力に与える影響を検討した。実験は電動ゲート付きアクリル製水平開水路(内寸長さ5,574mm、内寸幅300mm)を用いて行い、底質として中央粒径 $8\mu\text{m}$ のカオリンを用いている。底質の体積濃度は、基準となる清水の0%、 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ に近い10%、その間の3%の3パターンとしている。実験手順は、清水またはカオリンを混合させた濁水をゲート閉の状態の貯水部に静水深100mmに貯め、貯水部内に設置した3台の小型ミキサーでかき混ぜ、90s以上静置して水面が十分に安定したことを確認した後、ゲートを急開させた。鉛直壁に作用する波圧は、水路幅方向の中央かつ水路底面から12mm(PG1)と40mm(PG2)の位置に波圧計を埋め込んで計測された。その結果、PG1、PG2ともに、津波作用開始直後にサージフロント波圧により極大値(極大サージフロント波圧と呼ぶ)を取り、その後持続波圧により最大値(最大持続波圧と呼ぶ)を取る時系列を示した。極大サージフロント波圧

の平均値は, PG1, PG2 ともに清水よりもカオリン混合の方が小さくなっていることが示された. これは遡上波の進行速度がカオリンの混合によって遅くなり, 鉛直壁への衝突直後に生じる衝撃的な圧力の増加が小さくなった影響と推測している. ただし, カオリン 3%と 10%を比較すると, 極大サージフロント波圧の平均値はカオリン 10%の方が若干大きくなっている. これはカオリン 3%に比べて 10%の方が流体の見かけの密度が 1.11 倍大きい影響を受けたためと推測している. 最大持続波圧の平均値は, PG1, PG2 ともに, カオリンの濃度増加とともに大きくなっていることが示された. これは, 流体の見かけの密度による影響と推測している.

参考文献

- 1) 鶴谷広一, 江口秀二, 佐々木豊喜: 流れおよび波による底泥の巻き上げ限界値の検討, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp.235-239, 1990.
- 2) 志方建仁, 新井田靖郎, 木原直人, 加藤勝秀: シルト・粘土を含む津波による波力に関する水理模型実験, 土木学会論文集, Vol.79, No.17, 23-17112, 2023.
- 3) 中村友昭, 八木亮多, 趙容桓, 水谷法美: 底質の混合が津波の遡上・打ち上げと波圧・波力に与える影響に関する実験的研究, 土木学会論文集, Vol.79, No.18, 23-18092, 2023.

(3) 数値解析

中川ら(2011)¹⁾は、海底泥の輸送モデルの構築に向けて、表層に Fluid mud 層が存在する底泥堆積環境を考慮した泥の巻き上げフラックスの評価式の検証を観測結果との比較を通じて行い、また Fluid mud 層に外力が作用する際の泥の水平輸送量を評価するため、現地泥の堆積特性を考慮した泥層内流速の解析を試みた。本研究で対象とする表層付近が非圧密泥の巻き上げ現象は、海水中の乱れによる海水-高含水比泥（高濁度水）の密度成層間における混合現象と考えて、鉛直輸送量のうち上方への輸送量を拡散フラックス F_z として表現している。拡散係数 K_s は、中立時の拡散係数 K_0 とリチャードソン数 Ri の関数として表されている。 Ri は観測で得られた計測諸量から評価し、台風来襲時における観測データを用い、巻き上げフラックスの計算結果と観測値を比較した。中立時拡散係数値の普遍性に関する検討などいくつかの課題は残されるものの、現地での巻き上げフラックスの時系列変動の特徴が、良好に表現できることが示された。また泥層内の流動現象については、採泥試料の分析から得られている底泥の鉛直構造を反映させて、作用外力に対する底泥表層部の流動について解析的検討を行い、水平流速の鉛直分布が求められることが示された。

後藤ら(2000)²⁾は、砂粒子による流体排除効果を考慮して従来の固液二相流モデルを拡張し、個別要素法による粒子群の流動モデルと融合して、高濃度領域における平均流速分布の変化やそれに伴う流れの内部構造の変化、さらに砂粒子自体の運動特性の変化を計算力学的に検討した。本シミュレーションモデルは、砂粒子を含む鉛直 2 次元流れの支配方程式を用い、砂の体積濃度については掃流砂量に比例した平均掃流粒子数密度と関連付けて与えている。また個別要素法では、計算ステップの更新の度に個々の砂粒子の接触状況が検査され、接触状態にある粒子間については、弾性スプリングと粘性ダッシュポットが導入されて粒子間の相互作用が計算される。砂粒子の並進および回転の運動方程式が逐次数値積分され、砂粒子群の運動が追跡される。なお粒子間の噛み合わせ効果（計算面を横切る方向への砂粒子のずれ動き）を表現するために、ばねによる抗力に上限値を設け、法線方向には引っ張りに抵抗しないジョイント、接線方向には一定の限界を越える力が作用すると滑動するジョイントをそれぞれ配置した。

松富ら(2023)³⁾は、津波氾濫流による波力評価の高度化を目的として、単純な津波氾濫流モデルに基づく移動床斜面における津波氾濫流先端部水面形の一評価理論を、質量保存則のみ、運動量保存則のみ、両保存則を用いる場合をそれぞれ提示した。これにより、水面形は相補誤差関数で表現され、氾濫水比重が大きくなるにつれて水面勾配と波力が増加することを示した。そのほか、同じ津波氾濫流モデルに基づく津波氾濫流先端部における土砂移動量と底面平均洗掘深の一評価理論も提示し、土砂移動量と底面平均洗掘深は時間的に単調増加することを示した。ここでは、砂からなる水平移動床条件下の氾濫流先端部における水面形と底面平均洗掘深に関する既存実験値との比較を通し、氾濫過程の初期と最終の段階を除いて、提示理論の有用性も確認している。

参考文献

- 1) 中川康之, 灘岡和夫, 八木宏, 有路隆一, 米山治男, 白井一洋 : Fluid mud 層の存在を考慮した底泥の巻き上げと水平移流のモデル化に関する基礎的検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp.I_461-I_465, 2011.
- 2) 後藤仁志, Abbas YEGANEH-BAKHTIARY, 酒井哲郎 : 混相流モデルと個別要素法の融合による高濃度掃流層の数値解析, 土木学会論文集, No.649/II-51, pp.17-26, 2000.
- 3) 松富英夫, 有川太郎 : 移動床斜面における津波氾濫流先端部の水面形と土砂移動に関する一理論, 土木学会論文集, Vol.79, No.17, 23-17027, 2023.

2.3. 技術検討会

技術検討会については、2.1 に示す有識者のうち 1 名（有識者 C）を招聘し、試験方法・内容などについて討議した。主な内容を以下に示す。

(1) 現地調査

- ・今回の含水比の鉛直分布の結果から層区分を判断することは困難である。泥や粘性土等には定義があり、粒径や強熱減量などを計測すれば層区分が可能となる。

(2) 巻き上げ試験

- ・吸引孔からの採水による濃度計測について、サンドベッド下流の結果を破壊（流動化）判定に用いている。しかし、採水のタイミングを「定常流がサンドベッド上を通過して吸引孔の位置に到達する時間」として流速条件ごとに設定しているため、破壊の判定が困難である。具体的には、サンドベッド下流の計測濃度からは破壊は発生していない（サンドベッドの底質濃度より小さい）結果であったが、撮影された動画からは破壊が確認されたケースがいくつか見られた。
- ・水路内の光源（EL シート）を用いた濃度分布の連続計測について、キャリブレーションの結果から密度 1.03g/cm^3 以上の評価が困難となる。また、一般的に SS 濃度が 50g/L は濁度が高い状態と言える。
- ・一般的に密度 1.3 , 1.4g/cm^3 の底質は締まった状態であり、そのまま流れるとは考えにくい。実際の密度流（Fluid Mud）は、目安として 1.2g/cm^3 （体積濃度 15%）程度と考えられる。今回の試験では、破壊により流動した底質の密度が 1.4g/cm^3 （サンドベッドにある底質の密度）も計測されているが、これは実際の海域にある底質の材料・状態ではない。
- ・サンドベッド内の圧力計測について、通水後に残った底質の厚さと流れによる外力を整理することにより、破壊（流動）厚さを検証できる可能性がある。
- ・巻き上げ試験の模型縮尺は実機を想定しているため、設定した圧力勾配は実機相当と考えられる。

(3) 波圧試験

- ・最大波力は、防潮壁に衝突して打ち上がった水塊が落下した瞬間であり、水位最大時より後に発生している。この落水時の波力に対して、底質の含有に伴う粘性増加が影響している可能性も考えられる。
- ・段波波圧と持続波圧のそれぞれの最大値を確認するため、水位最大時前後における最大波力を整理する。
- ・防潮壁前面における護岸上を遡上する津波の水面勾配について整理し、密度による影響を確認する。
- ・本試験の場合、津波の入射エネルギーが同じであれば、密度が大きいほど波高が小さくなることは必然である。一方で、護岸付近に到達した津波の高さを密度によらず同じにした場合に、波力や波形等の変化を確認する必要がある。

- ・入射津波の波高などを用いて無次元化することにより，結果の汎用性が向上するため検討を行う。
- ・砕波を伴わない津波 W3 の通過波結果から，汀線位置に防潮壁がある場合に砕波による段波波圧が作用する可能性がある。

(4) 粘性評価

- ・現地採取試料の密度調整は， 1.2g/cm^3 以下が限界である。

3. 現地調査

3.1. 調査概要

現地調査は、海底に堆積したヘドロ等を採取し、その性状を確認することを目的に実施した。調査対象としては、令和3,4年度に実施されている過去事業で調査した海域から2箇所を選定し、潜水作業により柱状採泥器を用いて底質を採取した。得られたサンプルの粒度分布・比重・含水比・密度・組成等を分析して結果を整理した。

以降に詳細を示す。

3.2. 調査方法

3.2.1. 調査箇所を選定

調査箇所として、以下の2箇所を選定し、ヘドロ等のサンプリングを実施した。

(1) 気仙沼湾奥

令和4年度の過去調査でヘドロ等が厚く堆積していた場所として、宮城県気仙沼市気仙沼湾の奥（以降、気仙沼湾奥という）を選定した。調査区域を図-3.1に示す。

出典：地理院地図（電子国土 Web）を加工して作成



図-3.1 気仙沼湾奥の調査区域

(2) 川崎港京浜運河

令和3,4年度の過去調査でヘドロ等が厚く堆積していた場所として、神奈川県川崎市川崎港京浜運河（以降、川崎港京浜運河という）を選定した。調査区域を図-3.2に示す。

出典：地理院地図（電子国土 Web）を加工して作成



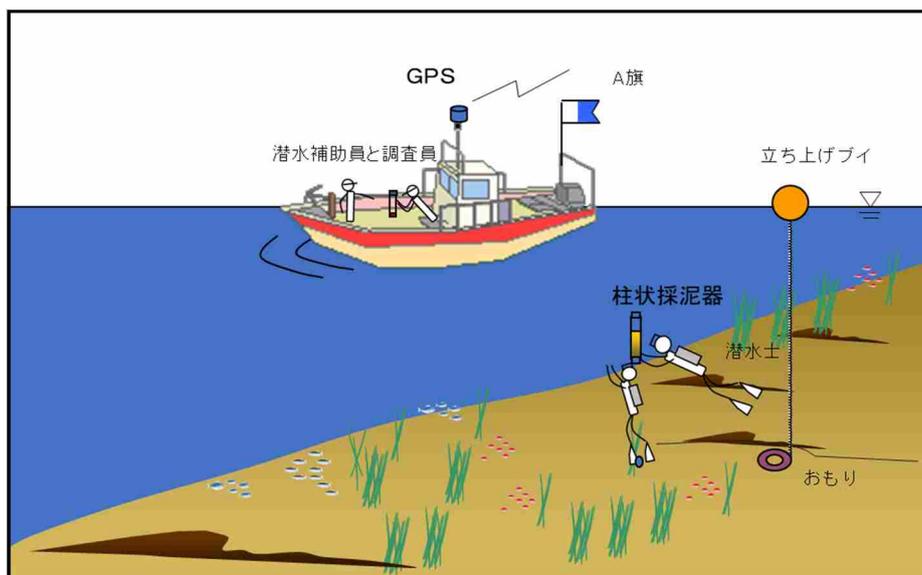
図-3.2 川崎港京浜運河の調査区域

3.2.2. サンプルング方法

本調査における底質のサンプルング方法（図-3.3）を以下に示す。

- ① 調査船でサンプルング予定地点に向かい、立ち上げブイ（入水ポイント）を投入し、その位置座標をGPSにより記録した。
- ② 潜水士2名が入水し、調査船が離れたことを確認してから、立ち上げブイのロープに沿って海底まで潜行した。調査船は、潜水士が入水した後にゆっくりと離れ、ダイバーとの安全距離を確保し、周辺の安全監視を行った。
- ③ 潜水士は、海底の状況を水中カメラで撮影し、柱状採泥器（内径 $\Phi 8\text{cm}$ ）を用いて底質のコアサンプルを4本もしくは8本採取した。
- ④ 潜水士2名は、立ち上げブイのロープに沿ってゆっくり浮上した。
- ⑤ 潜水士は、浮上完了後に手合図を送り調査船を呼び寄せ、船上へ揚収されることで作業を完了した。その後、立ち上げブイを回収した。
- ⑥ 次の地点に移動し、上記①～⑥を繰り返した。

なお、川崎港京浜運河での作業では、横浜海上保安部の指導により警戒船を1隻配置した。



(a) 底質サンプルングの作業イメージ



(b) 柱状採泥器



(c) 底質サンプルの揚収状況

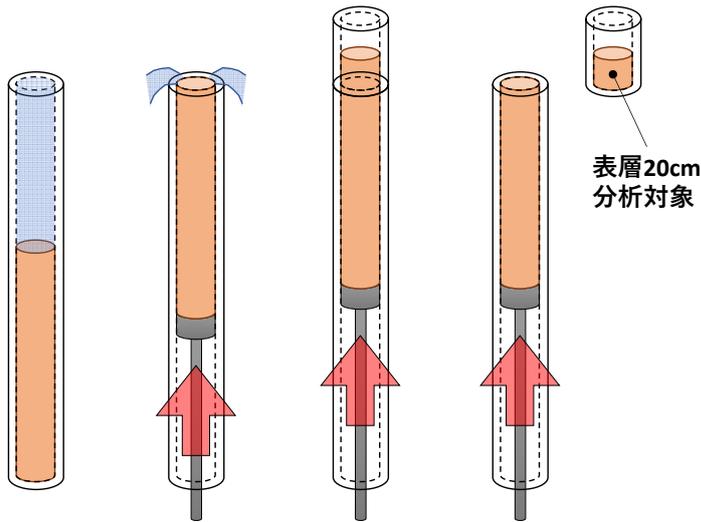


(d) 採取した底質サンプル

図-3.3 潜水作業による底質のサンプルング方法

分析対象となる底質のサンプルは、図- 3.4 に示すように柱状採泥器から表層 20cm を押し出して採取し、柱状試料 2 本分を攪拌して混ぜ合わせ、サンプルビンへ封入した。また、含水比の鉛直分布計測用として柱状試料 1 本を使用し、図- 3.5 に示すように 10cm ピッチで 100cm まで柱状採泥器の下側から同内径の棒で上方に押し出し、10cm ピッチの上部の 5cm 分を含水比用分析用のサンプル、下部の 5cm は廃棄した。また、底質の密度計測用として柱状試料 1 本を使用した。さらに、各調査箇所 1 地点において柱状試料 4 本を追加採取し、粘性試験を実施した。

柱状試料 上層水除去 コアの押出 表層試料の採取



(a) 作業ステップ



(b) 表層試料の採取



(c) 表層試料の攪拌



(d) サンプルビンへの封入

図- 3.4 分析対象となる底質サンプルの表層部採取

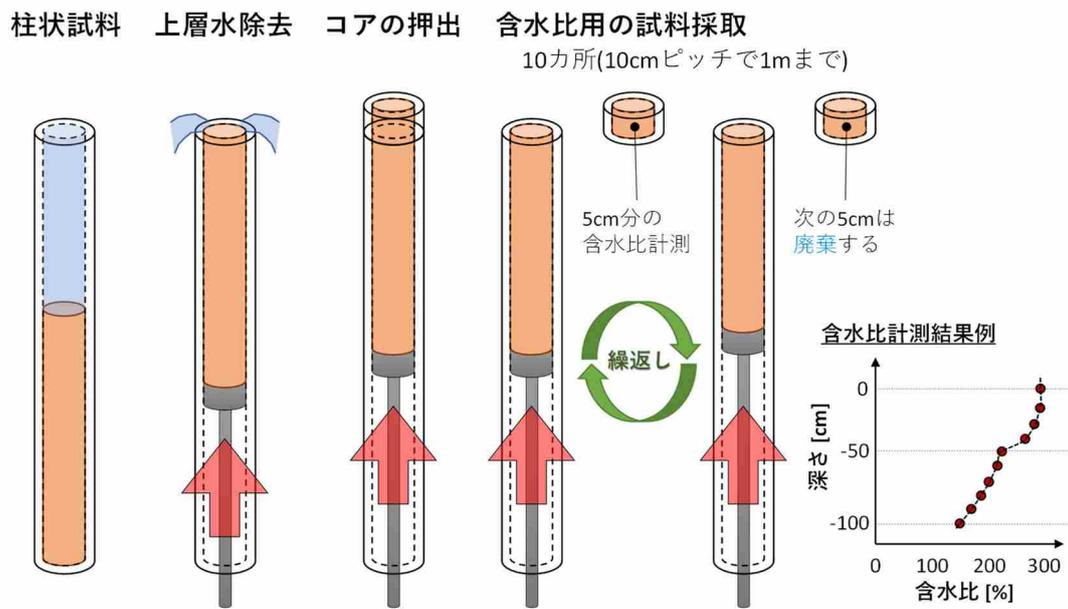


図- 3.5 含水比の鉛直分布計測用の試料採取方法

3.2.3. 分析方法

採取した底質の分析項目は、粒度分布、比重、含水比、密度、組成など表-3.1の通りとした。

表-3.1 底質の分析項目一覧

No	項目名称		分析方法
1	粒度分布	D_{50}	JIS A 1204 レーザ回折・散乱式粒度分布測定
2	比重	ρ_s	ピクノメーター法
3	含水比	w	JIS A 1203
4	密度	ρ	重量法
5	粘度, せん断応力	η, τ	レオメーター(二重円筒形, ベーン形)
6	沈降速度	V_S	光透過式遠心沈降法
7	強熱減量	IL	JIS A 1226
8	塑性限界・液性限界	W_P, W_L	JIS A 1205
9	水素イオン濃度	pH	底質調査方法(H24) II4.4
10	化学的酸素要求量	COD	底質調査方法(H24) II4.7
11	有機体炭素	TOC	底質調査方法(H24) II4.10 燃焼酸化法
12	金属	Fe, Mn, Cu, Zn	底質調査方法(H24) II5.5, 5.6, 5.3, 5.4 ICP 発光分析法
13	イオン	$\text{SO}_4^{2-}, \text{PO}_4^{3-}, \text{Cl}^-$	底質調査方法(H24) II4.6 よう素滴定法, 4.9 モリブデン青吸光度法, JIS K 0102 イオンクロマトグラフ法

粘性評価においては、採取したヘドロ等から小石や貝等の不純物を取り除いた調整試料を用い、室温 20°C の定温環境下において、以下の通り、粘性試験を実施した。

- ①透明の円筒内に調整試料を入れて水道水と攪拌・混合し、静置して再沈降させた。所定期間(1, 2, 4, 8 週間)後に表層 8cm の試料を採取し、ベーン形粘度計で降伏せん断応力を求めた。
- ②ヘドロ等が巻き上がった状態を想定し、調整試料を塩水(比重 1.025)と攪拌・混合して密度(1.05, 1.07, 1.10, 1.12, 1.15, 1.17 1.20 g/cm³)を変化させ、二重円筒形粘度計により粘度 η との関係进行分析した。

3.3. 調査結果

3.3.1. サンプル結果

サンプリング結果として、各調査地点の位置、水深、柱状採泥器のサンプルおよび海底の状況写真、備考には採取した表層部の底質の状態を記載して整理した。

(1) 気仙沼湾奥

表-3.2、図-3.6 に示す調査地点で採取された底質のサンプリング結果を表-3.3 に示す。

表-3.2 気仙沼湾奥でのサンプリング位置の座標

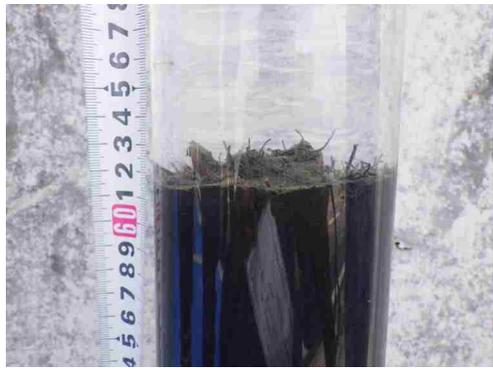
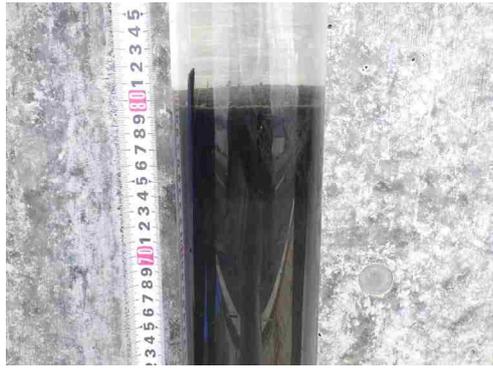
測点名	緯度	経度
地点A	38° 54′ 34.3″	141° 34′ 56.6″
地点B	38° 54′ 21.8″	141° 34′ 35.2″

出典：地理院地図（電子国土 Web）を加工して作成



図-3.6 気仙沼湾奥におけるサンプリング位置図

表- 3.3 気仙沼湾奥での底質サンプリング結果

地点 A	水深	
	4.8m	
	コアサンプル	海底の状況
		
備考	<p>採取した底質は腐卵臭(硫化水素)あり。 海底の表面は柔らかく、貝殻や布やロープなどが沈降していた。</p>	
地点 B	水深	
	6.4m	
	コアサンプル	海底の状況
		
備考	<p>採取した底質は腐卵臭(硫化水素)あり。 海底表面は平らで全体的に柔らかく、人工物は見られなかった。</p>	

(2) 川崎港京浜運河

表-3.4, 図-3.7 に示す調査地点で採取された底質のサンプリング結果を表-3.5 に示す。

表-3.4 川崎港京浜運河でのサンプリング位置の座標

測点名	緯度	経度
地点A1	35° 30' 28.0"	139° 43' 20.7"
地点C	35° 30' 30.4"	139° 44' 59.5"

出典：地理院地図（電子国土 Web）を加工して作成

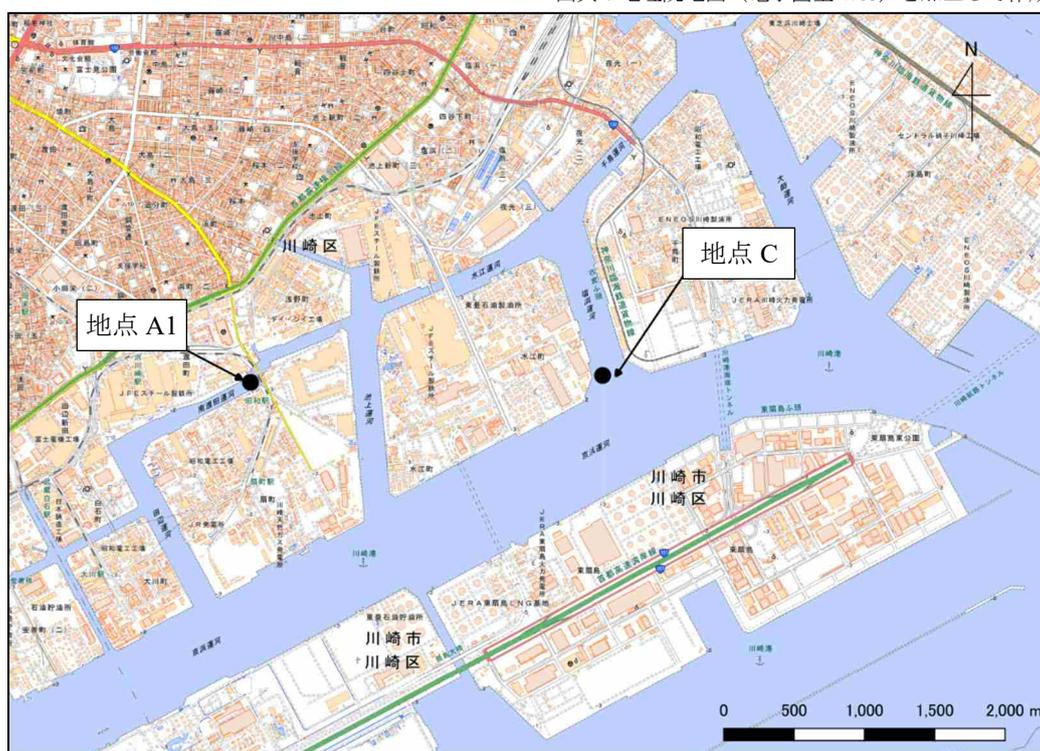
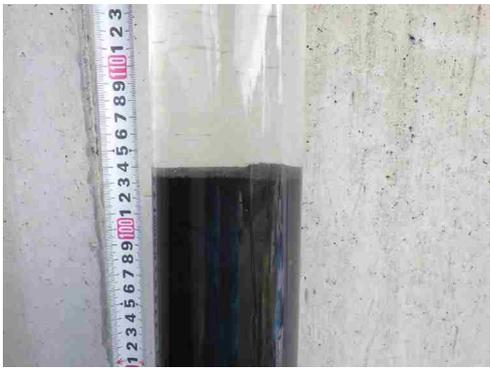
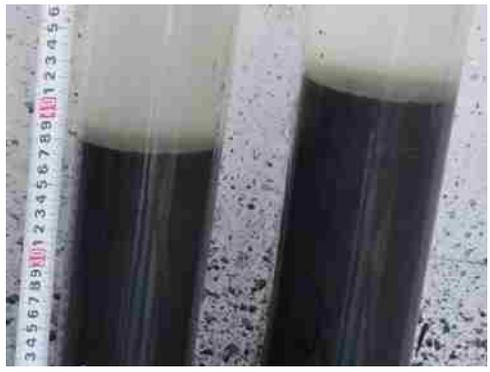


図-3.7 川崎港京浜運河におけるサンプリング位置図

表- 3.5 川崎港京浜運河における底質のサンプリング結果

地点 A1	水深	
	4.4m	
	コアサンプル	海底の状況
		
備考	<p>採取した底質は油臭あり。 海底表層には貝殻等があり, 部分的に白い膜のようなものが沈降していた.</p>	
地点 C	水深	
	12m	
	コアサンプル	海底の状況
		
備考	<p>採取した底質は腐卵臭(硫化水素)あり。 海底表層には, 部分的に白い膜のようなものが沈降していた.</p>	

3.3.2. 分析結果

(1) 気仙沼湾奥

気仙沼湾奥における分析結果一覧を表- 3.6 に示す。また、各調査地点での粒度分布を図- 3.8, 含水比の鉛直分布を図- 3.9 に示す。

表- 3.6 気仙沼湾奥における分析結果一覧

気仙沼湾奥						
項目	単位	地点A		地点B		備考
		R5	R4	R5	R4	
中央粒径(D ₅₀):有機物除去なし	μm	20.800	17.131	21.285	21.478	
中央粒径(D ₅₀):有機物除去あり	μm	26.036	—	22.965	—	
比重(D)	—	2.651	2.691	2.644	2.698	
含水比(w)	%	76.96	123.60	100.96	118.79	表層20cm
密度(ρ)	kg/m ³	1418	—	1468	1433	
沈降速度(V)	cm/s	0.0441	0.0243	0.0434	0.0384	中央粒径(D50)有機物除去なしでの沈降速度
	cm/s	0.0691	—	0.0505	—	中央粒径(D50)有機物除去ありでの沈降速度
強熱減量(IL)	%	10.17	12.11	11.25	11.81	
塑性限界(W _P)	%	42.7	42.1	40.9	40.1	
液性限界(W _L)	%	74.4	82.6	75.8	70.0	
水素イオン濃度(pH)	pH	7.8	7.3	7.8	7.5	
科学的酸素要求量(COD)	mg/g	48	63	42	47	
有機体炭素(TOC)	mg/g	21	22	26	20	
各種金属						
Fe	mg/kg	29000	40000	34000	34000	
Mn	mg/kg	290	310	290	290	
Cu	mg/kg	140	240	150	130	
Zn	mg/kg	220	300	240	220	
各種イオン						
SO ₄ ²⁻	mg/g	1.9	2.4	1.9	1.8	
PO ₄ ³⁻	mg/g	0.95	0.89	0.9	1.2	
Cl ⁻	mg/g	<4	<4	<4	<4	

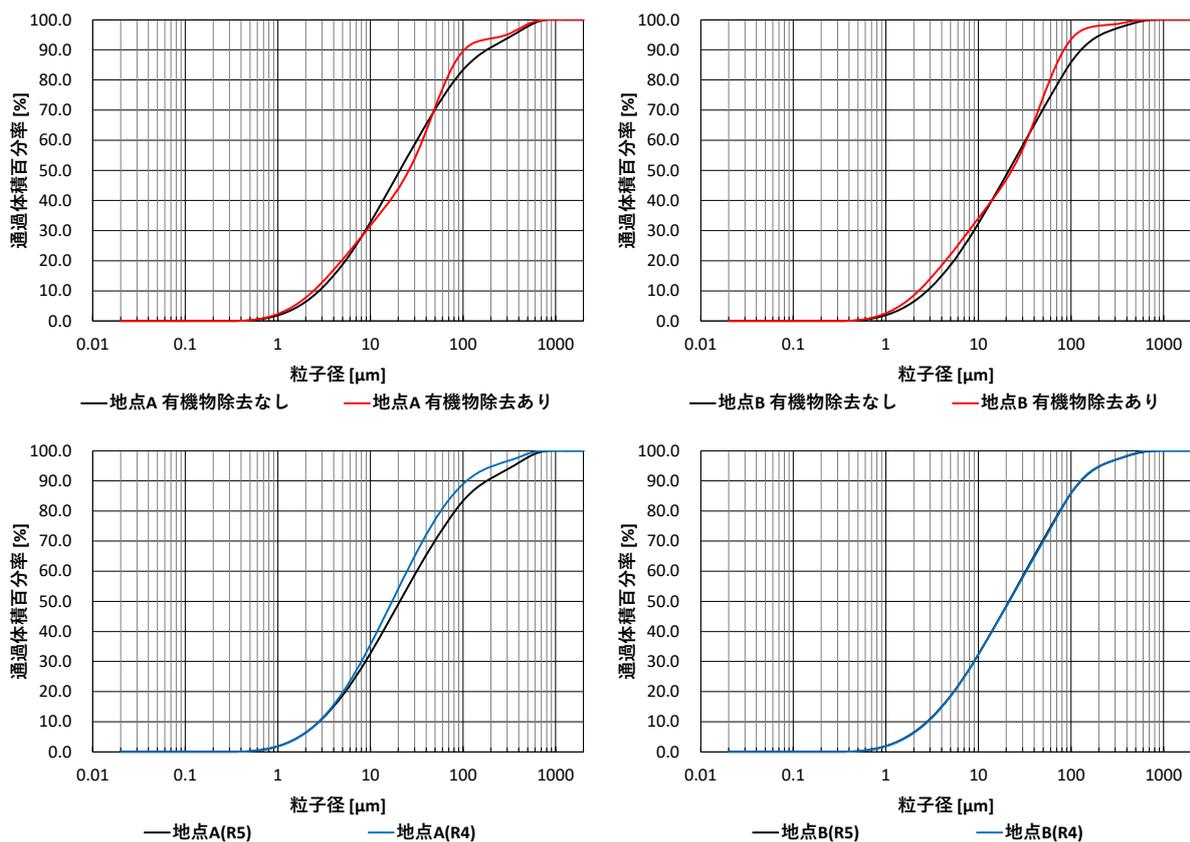


図- 3.8 気仙沼湾奥における各調査地点での粒度分布

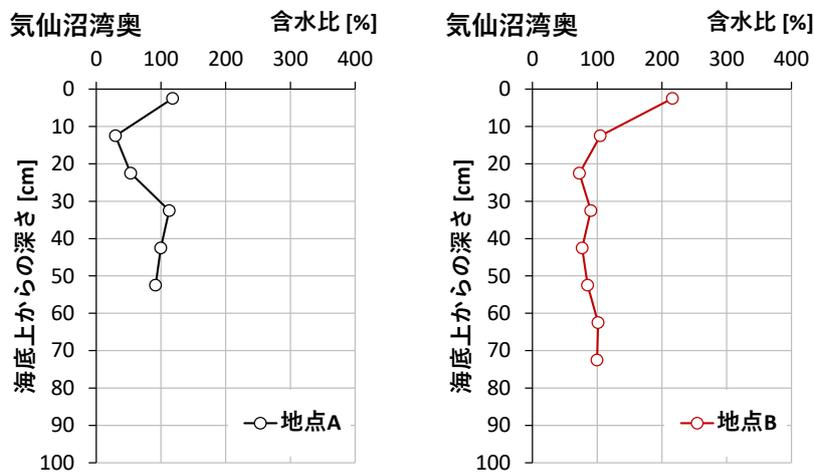


図- 3.9 気仙沼湾奥における各調査地点での含水比の鉛直分布

(2) 川崎港京浜運河

川崎港京浜運河における分析結果一覧を表-3.7に示す。また、調査地点での粒度分布を図-3.10、含水比の鉛直分布を図-3.11に示す。

表-3.7 川崎港京浜運河における分析結果一覧

川崎港京浜運河							
項目	単位	地点A1			地点C		備考
		R5	R4	R3	R5	R3	
中央粒径(D ₅₀):有機物除去なし	μm	15.928	14.845	13.577	13.300	12.577	
中央粒径(D ₅₀):有機物除去あり	μm	9.134	—	—	10.388	—	
比重(D)	—	2.467	2.637	2.542	2.552	2.562	
含水比(w)	%	409.93	359.31	304.40	197.49	247.25	表層20cm
密度(ρ)	kg/m ³	1185	1167	—	1264	—	
沈降速度(V)	cm/s	0.0207	0.0177	0.0139	0.015	0.012	中央粒径(D50)有機物除去なしでの沈降速度
	cm/s	0.0068	—	—	0.009	—	中央粒径(D50)有機物除去ありでの沈降速度
強熱減量(IL)	%	19.58	18.67	20.19	11.58	13.00	
塑性限界(W _p)	%	75.4	70.6	79.1	51.0	54.3	
液性限界(W _L)	%	172.6	146.4	157.8	110.9	122.8	
水素イオン濃度(pH)	pH	8.1	7.4	8.7	7.9	8.2	
科学的酸素要求量(COD)	mg/g	80	71	65	40	44	
有機体炭素(TOC)	mg/g	81	59	80	31.0	31.0	
各種金属							
Fe	mg/kg	69000	74000	80000	27000	32000	
Mn	mg/kg	800	870	880	390	520	
Cu	mg/kg	440	450	530	99	120	
Zn	mg/kg	2400	2200	2800	400	480	
各種イオン							
SO ₄ ²⁻	mg/g	5.1	5.8	2.4	2.2	2.3	
PO ₄ ³⁻	mg/g	1.5	1.8	1.1	0.6	0.6	
Cl ⁻	mg/g	<4	<4	<4	<4	<4	

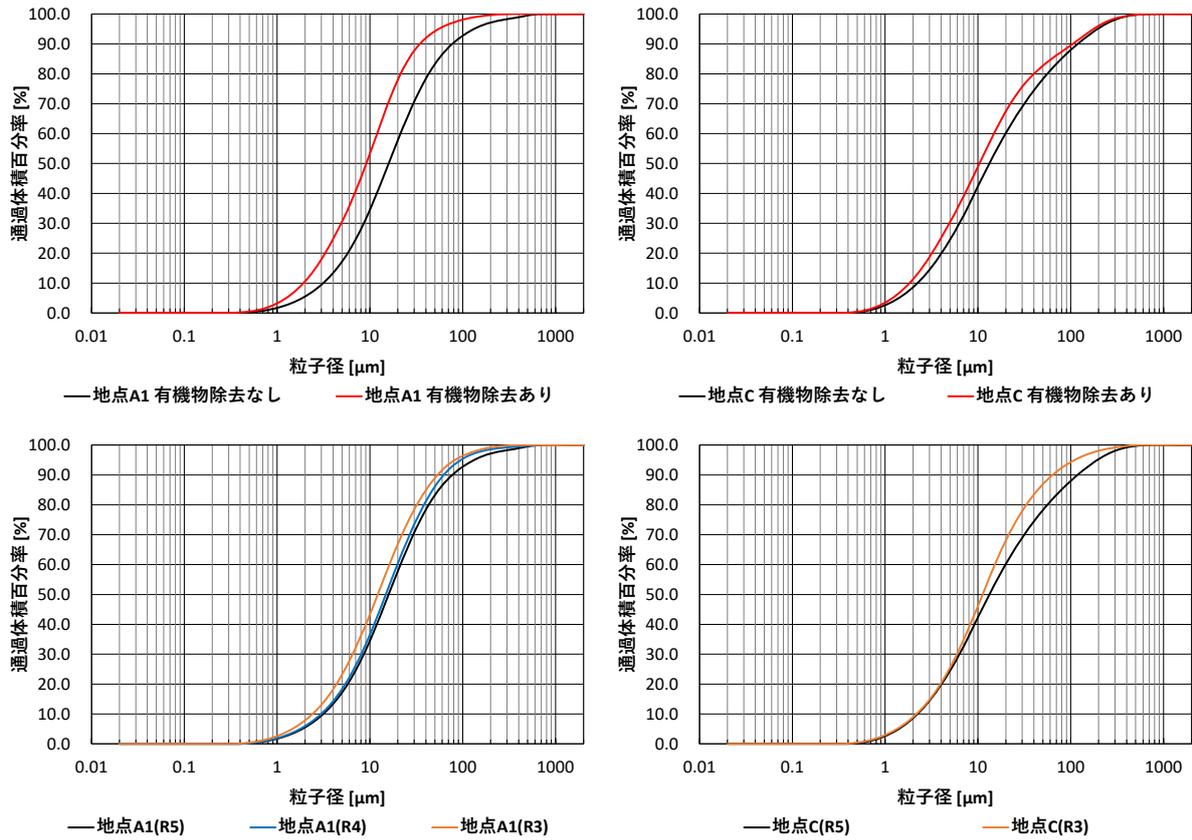


図- 3.10 川崎港京浜運河における調査地点での粒度分布

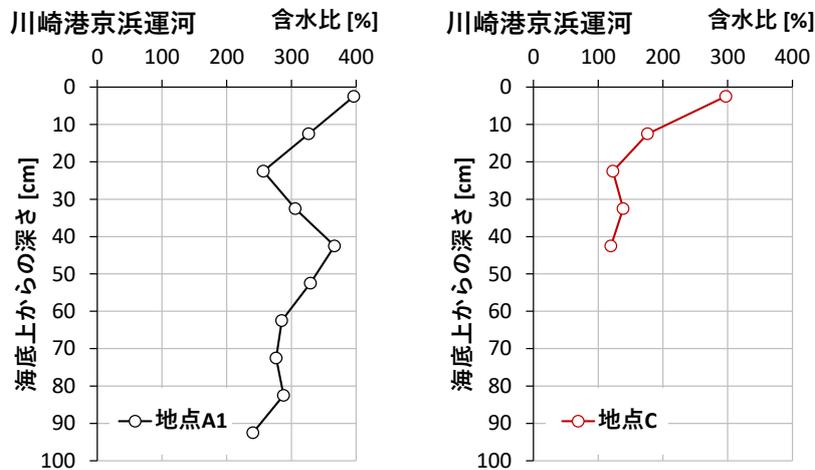


図- 3.11 川崎港京浜運河における調査地点での含水比の鉛直分布

3.3.3. 粘性評価

粘性評価においては、採取したヘドロ等から小石や貝等の不純物を取り除いた調整試料を用い、室温 20°C の定温環境下において粘性試験を実施した。試験方法については、4.3.1. に後述する。

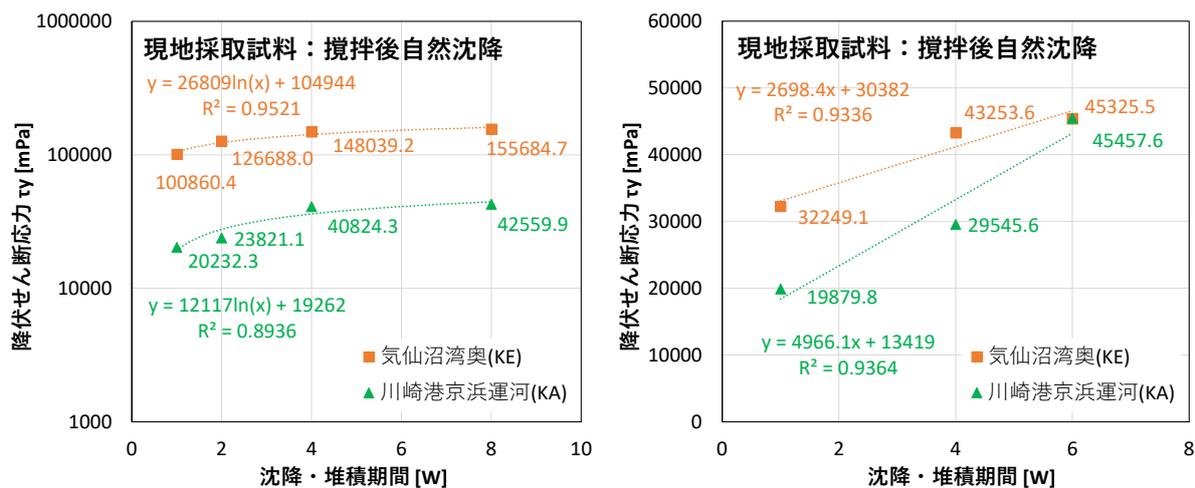
(1) 降伏せん断応力

透明の円筒内に調整試料を入れて水道水と攪拌・混合し、静置して再沈降させた。所定の期間（1, 2, 4, 8 週間）後に表層 8cm 分の試料を採取し、粘性試験（ペーン形）により降伏せん断応力を求めた（写真- 3.1）。気仙沼湾奥および川崎港京浜運河の結果を図- 3.12 示す。



(a) 調整試料の再沈降 (b) 静置後の試料採取 (c) 粘性試験用サンプル (d) 粘性試験状況

写真- 3.1 現地採取試料の調整後における降伏せん断応力



(a) 令和5年度

(b) 令和4年度

図- 3.12 現地採取試料の調整後における降伏せん断応力

(2) 濁水密度と粘度の関係

ヘドロ等が巻き上がった状態を想定し、調整試料を塩水(比重 1.025)と攪拌・混合して密度(1.05, 1.07, 1.10, 1.12, 1.15, 1.17, 1.20 g/cm³)を変化させ、粘性試験(二重円筒形)により粘度 η との関係を分析した。なお、各密度については標準密度浮ひょう(JIS B 7525-1)を用いて確認した。

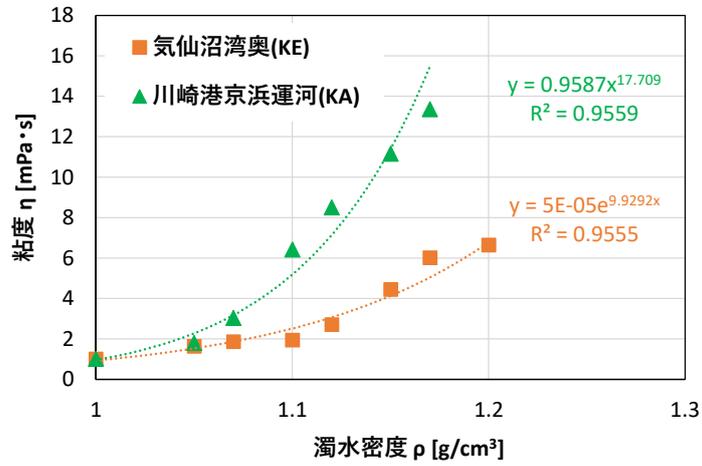


図- 3.13 現地採取試料の調整後における濁水密度と粘度との関係

4. 水理試験

4.1. 巻き上げ試験

4.1.1. 試験体製作

(1) 試験装置

試験体のうち試験装置は、幅 0.2m×高さ 0.2m の矩形断面で延長 9.0m の管路区間と、幅 0.5m×高さ 1.0m の矩形断面で延長 2.75m（擦付部 1.0m 含む）の開水路区間を有するアクリル製の二次元水路を用いて実施した（図-4.1）。水路の上流端部には容量 3m³のタンクを 2 台設置し、タンクに水を溜めて、ポンプ 2 台と水位差により流れを発生させた。なお、流速および加速度はポンプの回転数により調整した。流量は、水路上流の円管路部に設置した超音波流量計で計測した。

管路区間の途中には、水路延長方向の両端部を 1:5 勾配にしたサンドベッド（幅 0.2m, 延長 4.0m, 深さ 0.15m）を設け、底質模型を敷き詰めた。また、水路側面から設置した吸引孔（φ4mm）は、サンドベッド下流端から 0.75m 上流の位置に鉛直方向 8 箇所（水路床から上方に 20mm ピッチ）、サンドベッド下流端から 0.02m 下流の位置に 1 箇所（水路床から上方に 20mm）で設置し、底質を含む濁水を各吸引孔から同時に採取できるようにした。通水時における流れ方向の圧力勾配やサンドベッド内における底質の圧力変化を計測するため、水路側面に圧力計を 18 箇所（設置箇所は後述）取り付けた。また濁水の濃度分布については、水路内に光源として EL シートを貼り付けたステンレス板（厚さ 2mm）を設置し、水路外の側面からカメラで撮影された巻き上げ状況の映像を、画像解析することにより連続的に計測した。

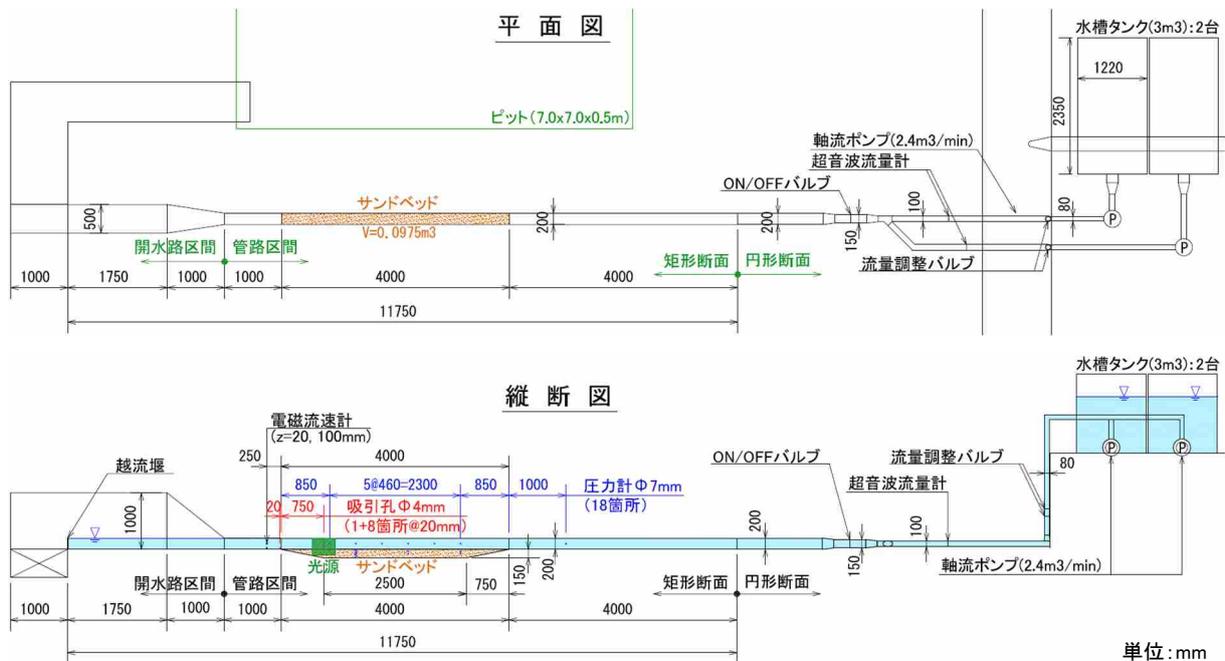


図-4.1 巻き上げ試験装置 概要図

(2) 底質模型

試験体のうち底質模型は、表- 4.1 に示す粒子径・粒子密度・含水比等が異なる 3 ケースを設定した。各底質模型の設定理由は以下の通りとした。

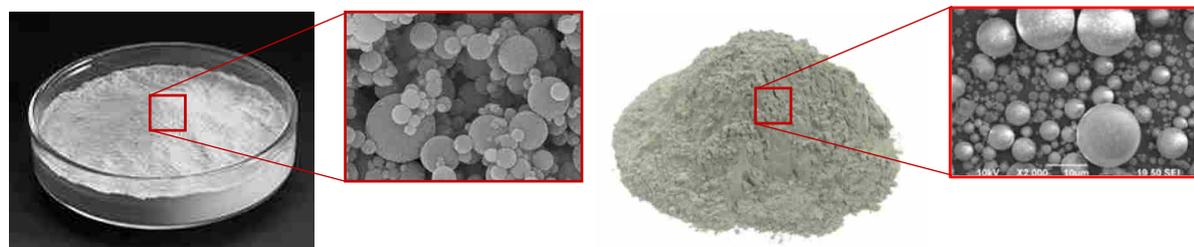
- ・シリカフェーム（写真- 4.1 (a)）：粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の底質により、流れによるせん断応力が底質の限界せん断応力を大きく上回る条件を模擬した。さらに含水比を 2 ケース設定して粘性の影響を評価した。
- ・フライアッシュ（写真- 4.1 (b)）：ヘドロ粒径相当の底質により、実際の黒津波を模擬した。

ここで、シリカフェームとは、電気炉によるフェロシリコンや金属シリコンの精錬過程で発生する副産物であり、二酸化ケイ素の超微粒子である。フライアッシュとは、ボイラ内で燃焼により生じた熔融状態の微細な灰粒子が高温の燃焼ガス中を浮遊した後、ボイラ出口における温度低下に伴い球形微細粒子となったもので、主な含有元素はシリカとアルミナである。

表- 4.1 底質模型

No.	材料名		中央粒径 d_{50} [μm]	粒子密度 ρ_s [g/cm^3]	かさ密度 ρ_b [g/cm^3]	含水比 w [%]
1	シリカフェーム	SF1	0.54	2.24	0.29	150.0
2		SF2				100.0
3	フライアッシュ	FA	2.36	2.36	0.77	62.3*

※材料を静水中に自然沈降させた時の含水比（≒飽和含水比）とする。



(a) シリカフェーム¹⁾

(b) フライアッシュ²⁾

写真- 4.1 フライアッシュおよびシリカフェームの顕微鏡写真

【出典】

- 1) ユニオン化成株式会社：シリカフェーム，<https://unionkasei.co.jp/silicafume/>，参照 2022.1.31.
- 2) 一般財団法人石炭フロンティア機構：フライアッシュ，<http://www.jcoal.or.jp/ashdb/ashqa/whatash/ashtype/flyash/>，参照 2022.1.31.

底質材料の飽和含水比は、図-4.2 に示す通り、各材料をメスシリンダー内で水と攪拌・混合し、自然沈降させて上澄水を除去した質量比から算定した。なお、移動床の条件で試験を実施する際には、水路外の別容器において、あらかじめ設定した含水比になるように底質材料と水を計量して攪拌し、これをサンドベッドに敷き均した後、静かに水を流入させて管路内を満管状態にした。

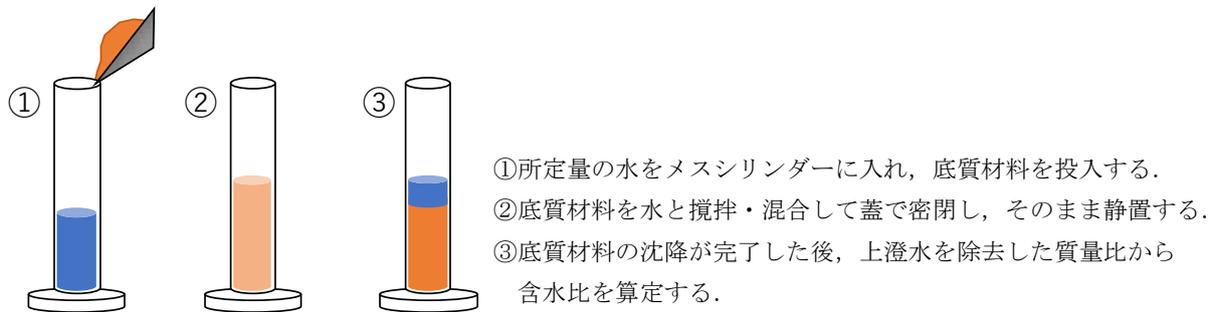


図- 4.2 飽和含水比の設定方法

① 粒度分布

本試験に使用した底質材料および現地調査で採取した底質の粒度分布を図-4.3、中央粒径 d_{50} を表- 4.2 に示す。なお、現地調査で採取された底質は、海底表層 20cm 分のサンプルを対象としたため、ヘドロだけでなく粘土や砂などを含む粒度分布と考えられる。

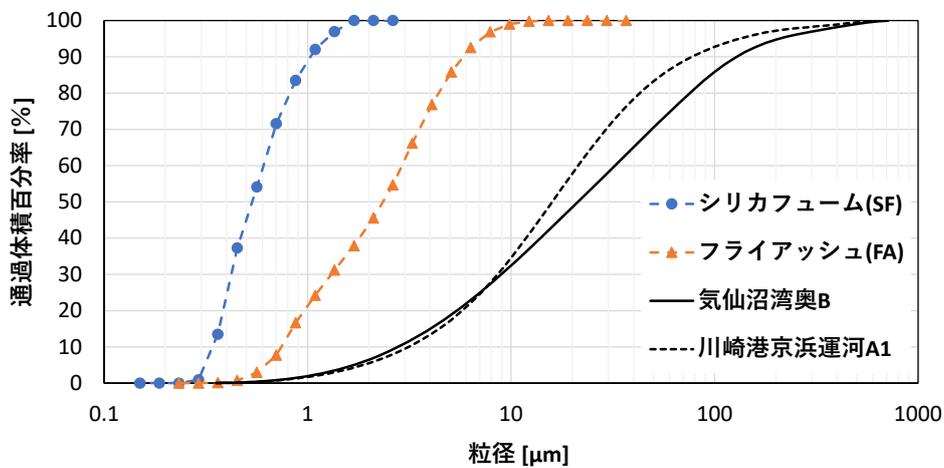


図- 4.3 底質模型の粒径加積曲線

表- 4.2 底質模型の中央粒径と現地調査結果との比較

底質種類	中央粒径 d_{50} [μm]
シリカフェーム	0.536
フライアッシュ	2.359
気仙沼湾奥 B	21.3
川崎港京浜運河 A1	15.9

② 比重

本試験に使用した底質材料および現地調査で採取した底質の比重を表-4.3に示す。

表-4.3 底質模型の比重と現地調査結果との比較

底質種類	比重 [-]
シリカフェーム	2.24
フライアッシュ	2.36
気仙沼湾奥 B	2.64
川崎港京浜運河 A1	2.47

③ 含水比

本試験に使用した底質材料の含水比および現地調査で採取した底質の含水比を表-4.4に示す。

表-4.4 底質模型の含水比と現地調査結果との比較

底質種類	含水比 [%]
シリカフェーム	202.4
フライアッシュ	62.3
気仙沼湾奥 B	101.0
川崎港京浜運河 A1	409.9

4.1.2. 試験方法

(1) 試験概要

巻き上げ試験は、海底に堆積した底質（底泥やヘドロなど）の性状と巻き上がり条件の関係を整理することを目的に実施した。本試験では、管路区間（幅 0.2×高さ 0.2m）と開水路区間（幅 0.5×高さ 1.0m）を有する 2 次元水路を用い、管路区間には底質模型をセットするサンドベッドを設置した。津波を模した流れは、水路上流に設置した水槽タンクからの流れをポンプの回転数で調整し、流速 3 ケース（V1, V2, V3）と加速度 4 ケース（A1, A1.5, A2, A3）を設定した。底質模型は、粒径・比重・含水比の異なる 3 種類とした。本試験は、以下の手順で実施した。

- ①予備試験：サンドベッドに底質模型を敷き均した移動床条件で、ポンプにより流速を徐々に上げ、底質が動き始める流速から限界摩擦速度および限界シールズ数を推定した。
- ②移動床試験：予備試験同様に移動床条件で、設定した流速および加速度により巻き上がった底質の濃度分布を計測した。試験ケースとしては、底質模型と流速および加速度の異なる 13 ケースを設定し、同条件で各 3 回繰返し、全 39 回を実施した。以降に詳細を示す。

(2) 計測項目

① 底質の限界せん断応力

移動床のセットアップとしてサンドベッド内に底質模型を敷き均し，ポンプの回転数を徐々に上げ，流速を連続的に増加させた．水路側面から撮影した動画から，底質模型が動き出し始める断面平均流速 \bar{u}_s をそれぞれ求めた．管路内の流速分布は対数則で表されると仮定し，藤井ら(1998)¹⁾より限界摩擦速度 u_{*s} を式 4-1，限界シールズ数 τ_{*s} を式 4-2 で推定した．

$$\frac{u_{*s}}{\bar{u}_s} = \frac{\kappa}{\ln(h/z_0) - 1} \quad (4-1)$$

$$\tau_{*s} = \frac{u_{*s}^2}{sgd} \quad (4-2)$$

ここで， κ は Karman 定数 (=0.4)， h は水深 (=0.10 m；水路高の半分)， z_0 は粗度高さ ($z_0=k_s/30$)， k_s は相当粗度 ($k_s=d$)， d は底質の粒子径 ($d=d_{50}$)， s は底質の水中比重 ($s=(\rho_s-\rho_w)/\rho_w$)， ρ_w は水の密度， g は重力加速度とした．

② 流れの圧力勾配およびサンドベッド内の圧力変化

通水時における流れ方向の圧力勾配は，水路側面から流れ方向に 7 箇所 (図- 4.1；P1～P7) で設置した圧力計 (SSK 社製，P208-02) の結果より，同時刻における P2～P7 の計測値の傾きを，圧力勾配 $\Delta p/\Delta x$ として算定した．

サンドベッド内における底質内圧力の変化は 11 箇所 (図- 4.1；P8～P18) の圧力計の結果から整理した．

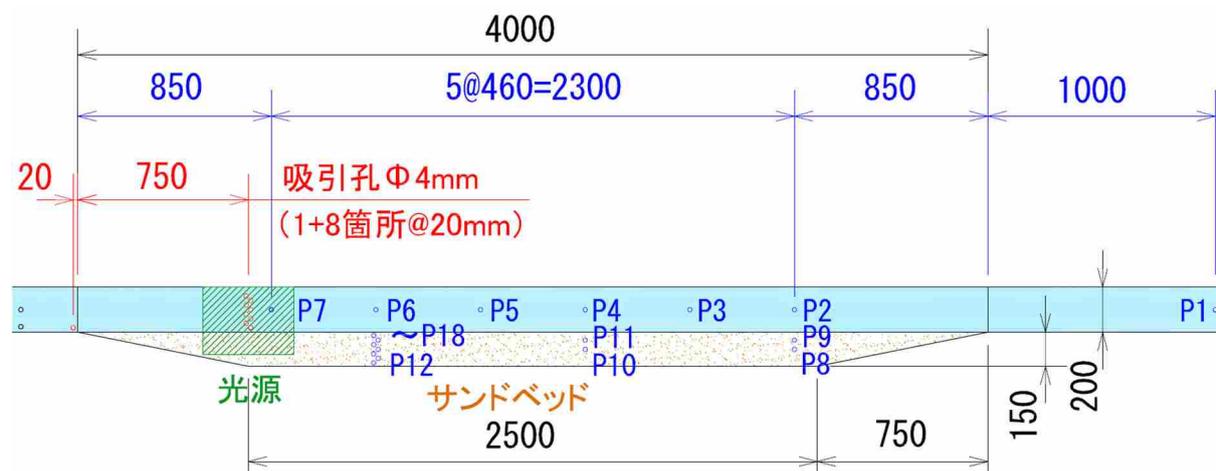


図- 4.4 圧力計の設置位置

【参考文献】

- 1) 藤井直樹，大森政則，高尾誠，金山進，大谷英夫：津波による海底地形変化に関する研究，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.376-380，1998.

③ 濁水の鉛直濃度分布

流れにより巻き上がった底質を含む濁水を採取するため、サンドベッド下流端から 750mm 上流の位置において水路床から鉛直上方向に 20mm 間隔で 8 箇所 ($Z=20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160\text{mm}$) と、サンドベッド下流端から 20mm 下流の位置において水路床から 20mm 上方に 1 箇所 ($Z=20\text{mm}$) に、水路側壁から内径 $\phi 4\text{mm}$ の吸引孔を設けた (図-4.5 (a)). ここでは、内径 $\phi 4\text{mm} \times$ 長さ 200mm のパイプを水路断面中央位置まで延ばし、外側の端部にチューブとシリンジを取り付け、各シリンジを同時に引っ張ることにより濁水を採取する機構とした (図-4.5 (b)). 濁水を採取するタイミングについては、「サンドベッド上を通過した定常流が吸引孔の位置に到達した後の時間」を流れの加速度 ($A1 \sim A3$) に関わらず流速 ($V1 \sim V3$) ごとに設定した.

移動床のセットアップとしてサンドベッドに底質模型を敷き均し、所定の流速および加速度で流れを発生させて底質を巻き上げた. 底質を含む濁水の採取では、上述した時間において各吸引孔から吸い込み、チューブ内にある濁水をサンプル瓶に約 10mL 採取した. その後、サンプル瓶内の濁水を攪拌し、マイクロピペット (写真-4.2 (a)) で定格体積 $V (=8\text{cm}^3)$ を測り採り、定温乾燥機 (写真-4.2 (b)) で水分を蒸発させ、乾燥後の底質材料の質量 M_s を電子天びん (写真-4.2 (c)) により計測した. その結果から、濁水密度 $\rho [\text{g}/\text{cm}^3]$, 体積濃度 $C_v [\%]$, SS 濃度 $SS [\text{mg}/\text{L}]$ を、式 4-3, 式 4-4, 式 4-5 により求めた. なお、 ρ_s は底質材料の密度、 ρ_w は水の密度とした.

$$\rho = \frac{M_s + (V - M_s/\rho_s) \cdot \rho_w}{V} \quad (4-3)$$

$$C_v = \frac{M_s/\rho_s}{V} \times 100 \quad (4-4)$$

$$SS = \frac{M_s}{V} \quad (4-5)$$

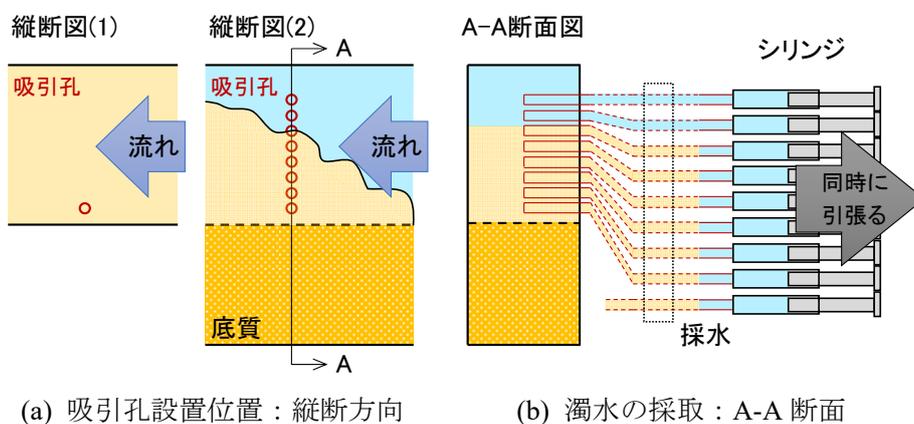


図-4.5 濁水の採取方法



写真-4.2 底質濃度の計測機器

④ 濁水の濃度分布の時間変化（鉛直濃度分布・巻き上げ速度の時刻歴）

水路内のサンドベッド下流部（図-4.1；吸引孔8箇所設置付近）に光源（ELシート）を側壁内側から1cmの位置に設置し、水路外の側面からカメラにより底質の巻き上げ状況を撮影し、取得した映像の画像解析により連続的に濃度分布を把握した（図-4.6）。なお、事前に別途キャリブレーションを行い、濃度と輝度との関係性を求めた。キャリブレーションは、写真-4.3に示す通り、試験水路と同じ厚さ(2cm)の亚克力板で作製したキャリブレーション用枠内に所定濃度の濁水を溜め、ELシートを枠内壁から所定距離を確保して差し入れて点灯し、計測用暗室ボックス内にカメラを取り付けて撮影した。本試験では、キャリブレーション用枠を除いた計測用暗室ボックスを試験水路に設置し、底質の巻き上げ状況を撮影した。

取得した濁水の濃度分布の連続データから、巻き上がった底質の鉛直濃度分布及び底質の巻き上げ速度の時刻歴を求めた。

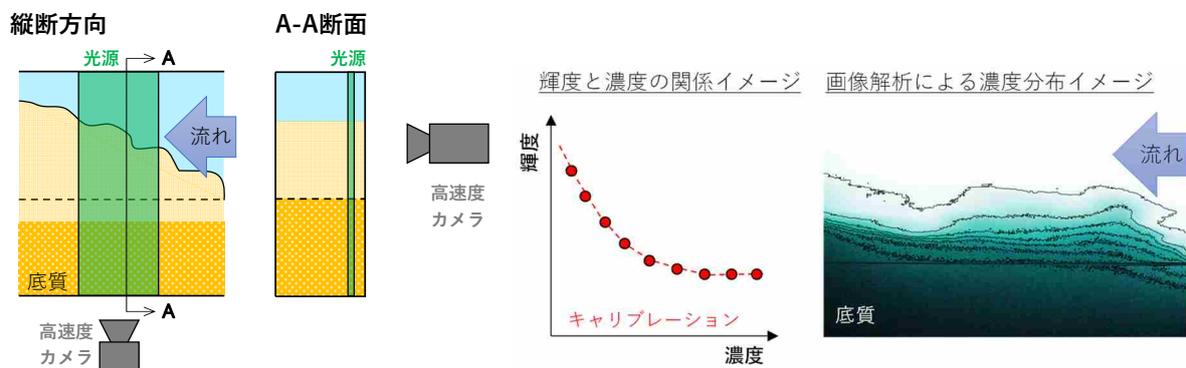


図-4.6 濃度分布の連続計測方法

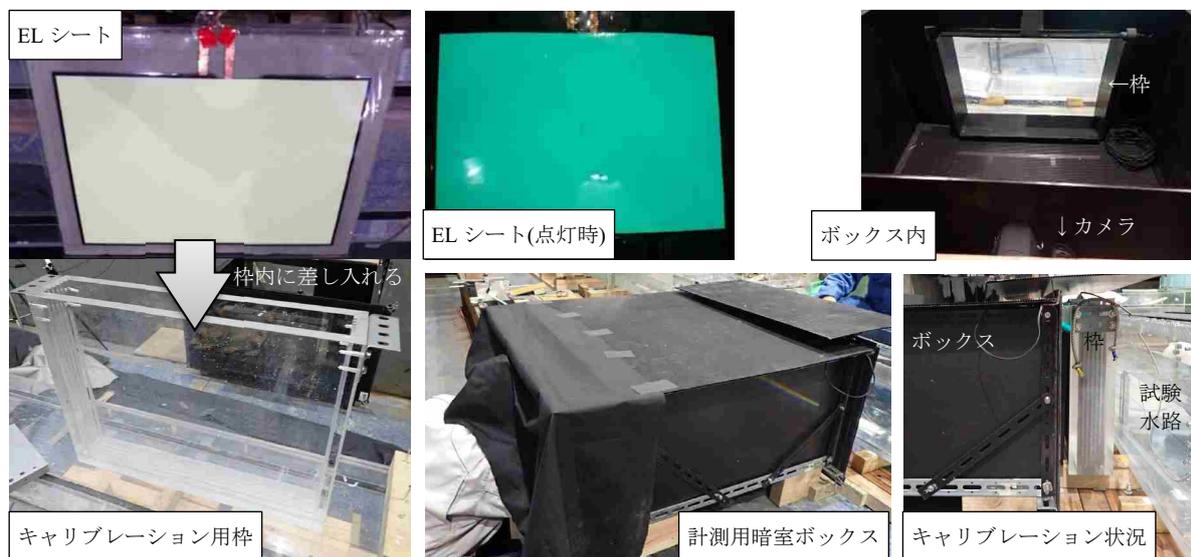


写真-4.3 濃度のキャリブレーション

(3) 試験手順

① 予備試験：流れの条件（流速・加速度）の設定，限界せん断応力の確認

ポンプの回転数を調整して流速・加速度を変化させ，得られた結果から流れの条件（流速 3 ケース，加速度 4 ケース）を設定した。

サンドベッドに底質模型を敷き均し，流速を連続的に徐々に上げ，底質模型が動き出し始めるタイミングの断面平均流速を求めた。その結果から限界摩擦速度と限界シールズ数を推定した。

② 移動床試験：濃度分布および圧力勾配の計測

水路側面からカメラで巻き上げ状況を撮影し，任意のタイミングで吸引孔から濁水を採取した。撮影された映像から画像解析により濃度分布を連続的に取得した。各吸引孔の位置から採取した試料はサンプル瓶に入れ，乾燥質量を測り，濁水密度・体積濃度・SS 濃度の鉛直分布を求めた。また，流れ方向に設置した圧力計から通水時の圧力勾配を求め，鉛直方向に設置した圧力計からサンドベッド内の圧力変化を計測した。

(4) 試験ケース

巻き上げ試験のケースとして、底質模型・流速・加速度の異なる 13 ケースを設定した(表-4.5).
 なお、同一条件での試験回数は 3 回とし、合計 39 回を実施した。ここで、流速は断面平均流速を 3 ケース(目標値: V1=1.0m/s, V2=1.5m/s, V3=2.0m/s), 加速度は上記断面平均流速に達するまでの時間を調整して 4 ケース(目標値: A1: 0.06m/s², A1.5: 0.6m/s², A2: 0.7m/s², A3: 1.1m/s²)を設定した。

巻き上げ試験のケース一覧を表-4.6 に示す。

表-4.5 巻き上げ試験ケースの設定

底質模型			流速・加速度							
			V1			V2				V3
材料	記号	含水比[%]	A1	A2	A3	A1	A1.5	A2	A3	A3
シリカフォーム	SF1	150.0	○	○	○	—	—	—	—	—
	SF2	100.0	○	○	○	○	○	○	○	○
フライッシュ	FA	62.3	○	—	○	—	—	—	—	—

※○: 13 ケース×繰返し 3 回=全 39 回

表-4.6 巻き上げ試験ケース一覧

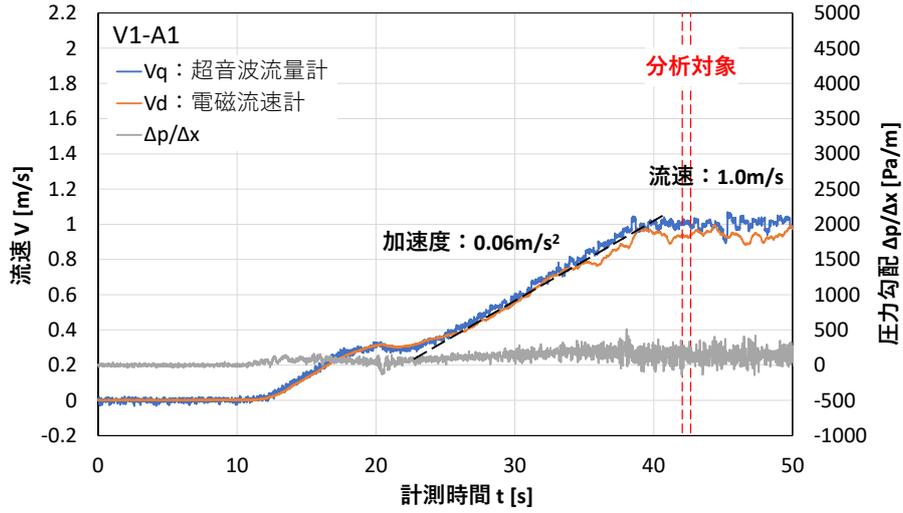
No.	ケース名	材料	含水比[%]	流速 (V1,V2,V3)	加速度 (A1,A2,A3)	試験 回数
1	SF1-V1-A1-1	シリカフェーム	150.0	V1	A1	1
2	SF1-V1-A1-2					2
3	SF1-V1-A1-3					3
4	SF1-V1-A2-1				A2	1
5	SF1-V1-A2-2					2
6	SF1-V1-A2-3					3
7	SF1-V1-A3-1				A3	1
8	SF1-V1-A3-2					2
9	SF1-V1-A3-3					3
10	SF2-V1-A1-1		100.0	V1	A1	1
11	SF2-V1-A1-2					2
12	SF2-V1-A1-3					3
13	SF2-V1-A2-1				A2	1
14	SF2-V1-A2-2					2
15	SF2-V1-A2-3					3
16	SF2-V1-A3-1				A3	1
17	SF2-V1-A3-2					2
18	SF2-V1-A3-3					3
19	SF2-V2-A1-1			V2	A1	1
20	SF2-V2-A1-2					2
21	SF2-V2-A1-3					3
22	SF2-V2-A1.5-1				A1.5	1
23	SF2-V2-A1.5-2					2
24	SF2-V2-A1.5-3					3
25	SF2-V2-A2-1				A2	1
26	SF2-V2-A2-2					2
27	SF2-V2-A2-3					3
28	SF2-V2-A3-1		A3		1	
29	SF2-V2-A3-2				2	
30	SF2-V2-A3-3				3	
31	SF2-V3-A3-1		V3	A3	1	
32	SF2-V3-A3-2				2	
33	SF2-V3-A3-3				3	
34	FA-V1-A1-1	フライアッシュ	62.3	V1	A1	1
35	FA-V1-A1-2					2
36	FA-V1-A1-3					3
37	FA-V1-A3-1				A3	1
38	FA-V1-A3-2					2
39	FA-V1-A3-3					3

4.1.3. 試験結果

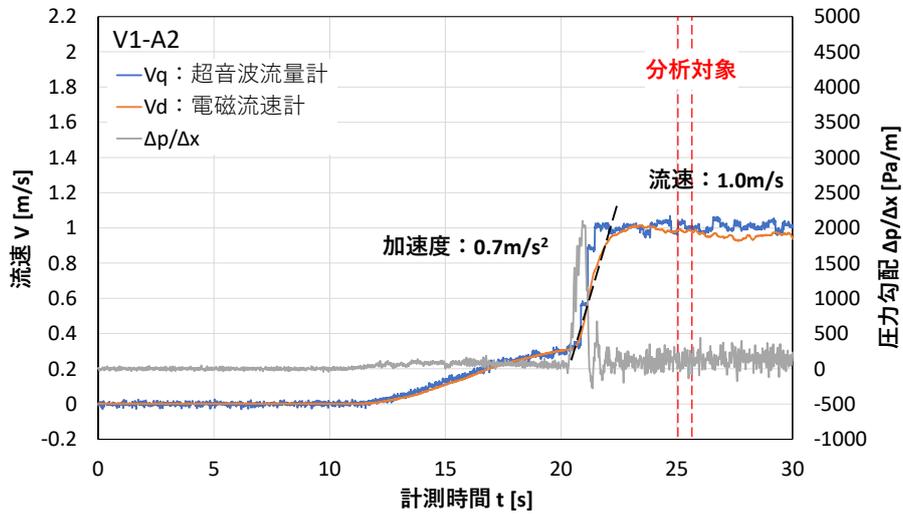
(1) 予備試験

① 流れの条件（流速・加速度）の設定

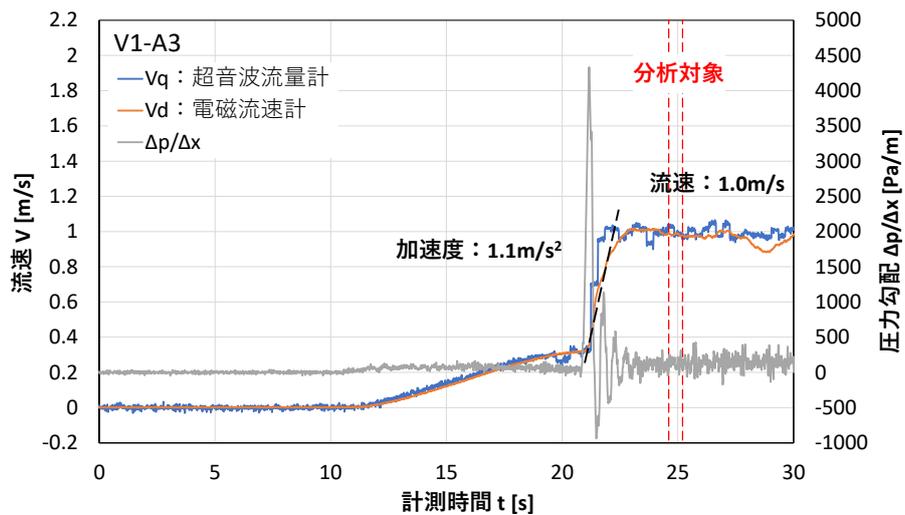
表- 4.5 に示す流れの条件（流速・加速度）は、図- 4.7～図- 4.9 に示す通りとした。ここで流速の時系列は、超音波流量計の計測値を断面平均流速に換算した V_q と電磁流速計（設置位置 $Z=20\text{mm}$ ）の計測値 V_d を示す。なお V_q については、超音波流量計の仕様で流速の立ち上がりに遅れが発生している。また圧力勾配については、サンドベッドに蓋をした状態の固定床で計測された結果であり、本試験における移動床での結果とは異なる。濁水の採取時間については、「サンドベッド上を通過した定常流が吸引孔に到達した後の時間」を設定し、図中に濃度分析の対象となる区間を赤破線で示した。



(a) 流速 $V1:1.0\text{m/s}$, 加速度 $A1:0.06\text{m/s}^2$

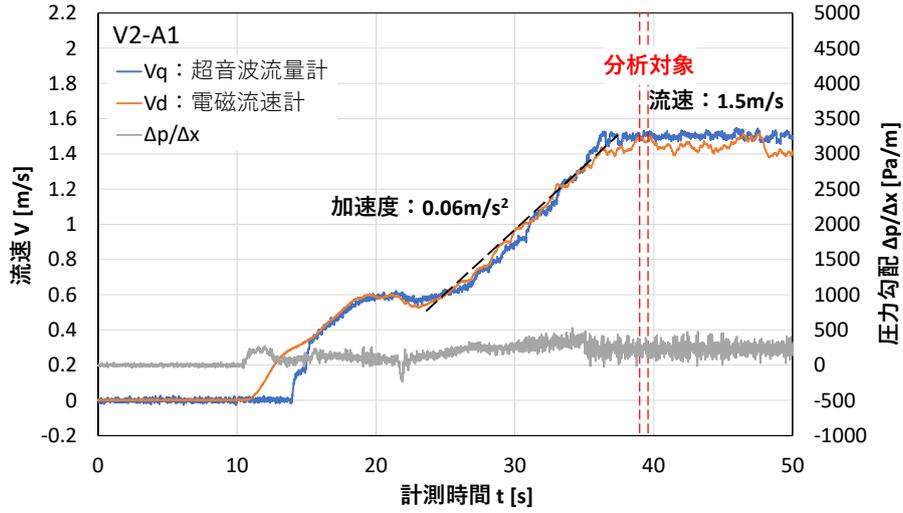


(b) 流速 $V1:1.0\text{m/s}$, 加速度 $A2:0.7\text{m/s}^2$

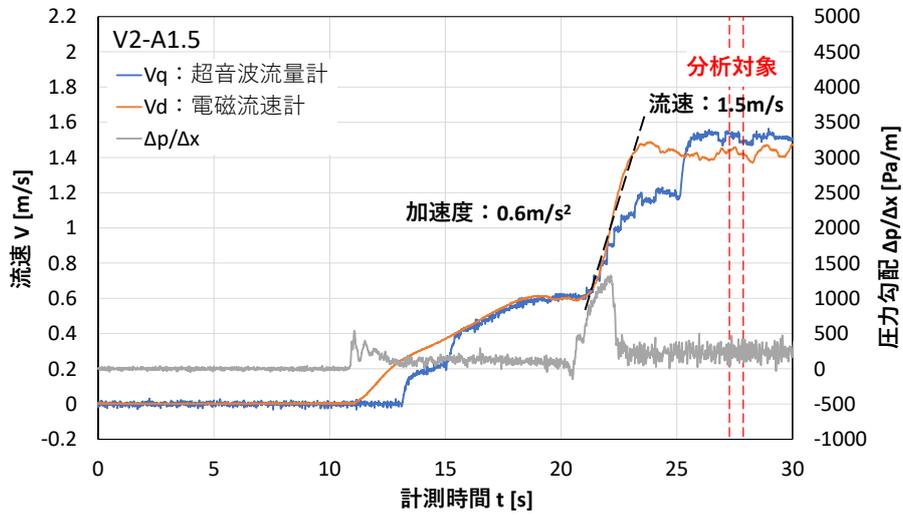


(c) 流速 $V1:1.0\text{m/s}$, 加速度 $A3:1.1\text{m/s}^2$

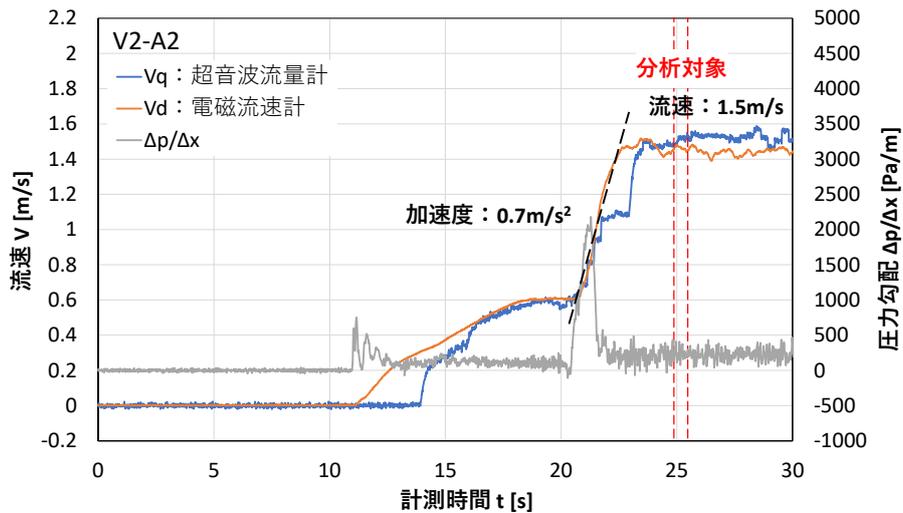
図- 4.7 流速および圧力勾配の時系列 (1)



(a) 流速 V2:1.5m/s, 加速度 A1:0.06m/s²

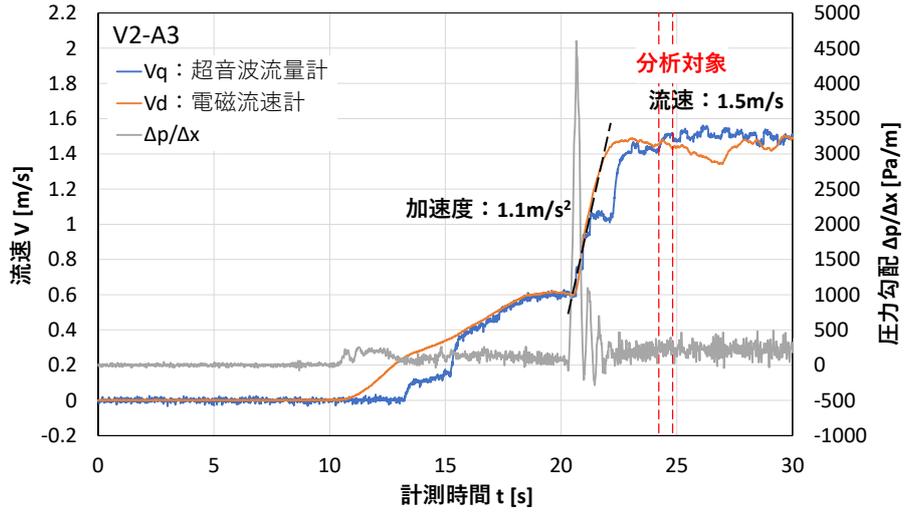


(b) 流速 V2:1.5m/s, 加速度 A1.5:0.6m/s²

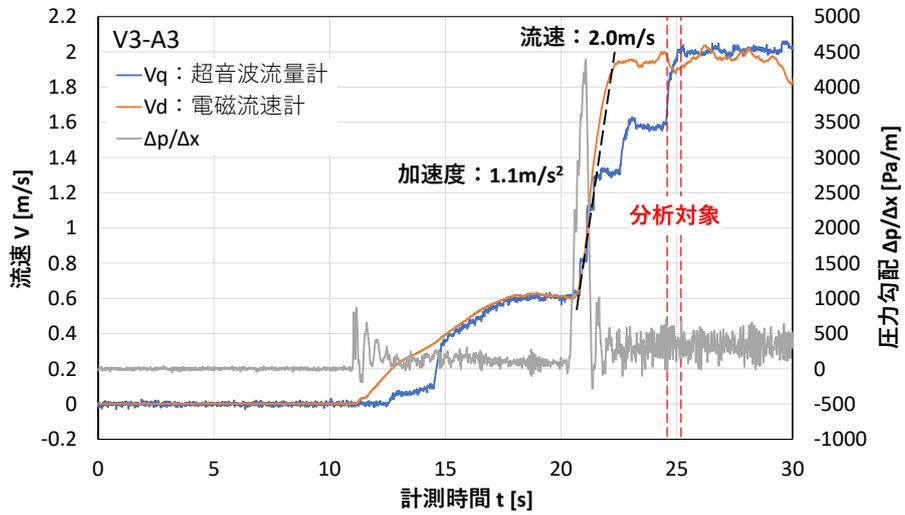


(c) 流速 V2:1.5m/s, 加速度 A2:0.7m/s²

図- 4.8 流速および圧力勾配の時系列 (2)



(a) 流速 V2:1.5m/s, 加速度 A3:1.1m/s²



(b) 流速 V3:2.0m/s, 加速度 A3:1.1m/s²

図-4.9 流速および圧力勾配の時系列 (3)

② 限界せん断応力の確認

本試験では、底質模型が動き出し始めるタイミングを「流送限界 (s)」と定義し、水路側面から撮影した動画よりタイミングを判定して超音波流量計の結果から断面平均流速 \bar{u}_s を求めた。管路内の流速分布は対数則で表されると仮定し、上記の断面平均流速を用いて移動限界の摩擦速度 u_s^* およびシールズ数 τ_s^* を式 4-1 および式 4-2 で推定した。得られた結果を表- 4.7 に示す。

表- 4.7 限界摩擦速度および限界シールズ数の推定

底質模型		材料	シリカフェーム		フライアッシュ
		含水比 [%]	150.0	100.0	62.3
		記号	SF1	SF2	FA
移動	断面平均流速 \bar{u}_s [m/s]	0.274	0.278	0.306	
限界	限界摩擦速度 u_s^* [m/s]	0.008	0.008	0.009	
(s)	限界シールズ数 τ_s^* [-]	8.70	8.94	2.81	

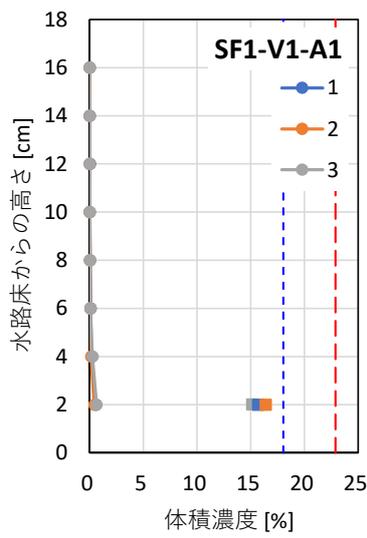
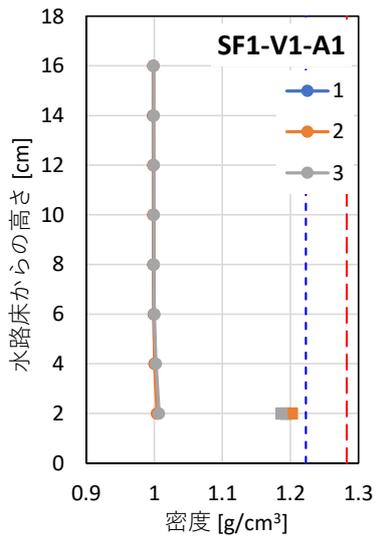
(2) 移動床試験

① 濁水の鉛直濃度分布

濁水密度・体積濃度・SS 濃度の鉛直分布について、各ケースの結果を図-4.10～図-4.22 に示す。図中の青破線は飽和含水比における底質模型の濁水密度・体積濃度、赤破線はサンドベッド内における初期状態での底質模型の濁水密度・体積濃度を示している。なお、(c)に示した巻き上がり状況は、計測回で撮影側面が異なっているが、同じ位置の状況を示している。

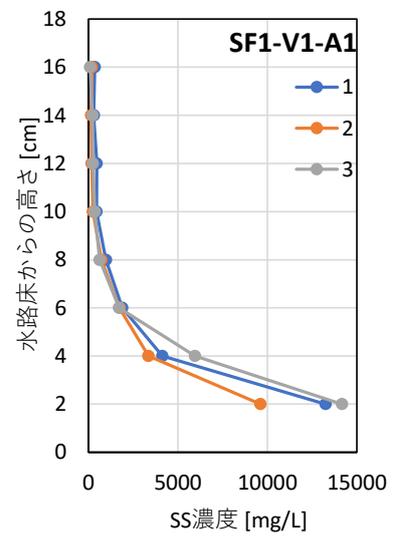
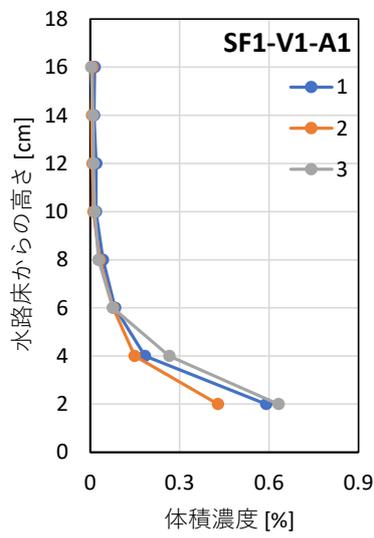
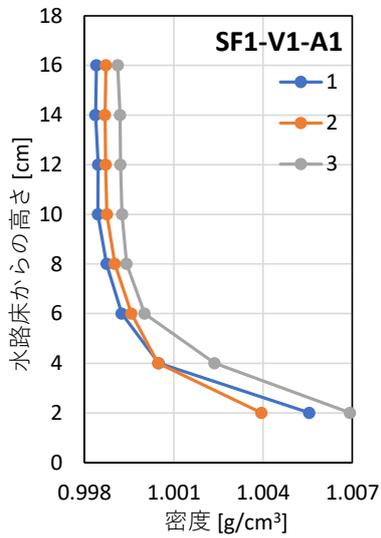
サンドベッドより下流の吸引孔で計測された SS 濃度を、飽和含水比における底質模型の SS 濃度で正規化し、圧力勾配の最大値との関係を整理した (図-4.23)。図中のプロットについて、色は底質模型の種類、形状は流速、塗潰もしくは白抜は目視判断による流動化の有無を表している。ここで、正規化濃度が 1 に近い (計測された SS 濃度が飽和含水比における底質模型の SS 濃度に近い) ということは、巻き上げよりも底質破壊による流下が支配的であることを意味する。なお圧力勾配は、主に加速度により決まるが、底質移動および巻き上げに伴う断面変化や摩擦損失等がケース毎に異なるため、同じ加速度でも異なった値となる。また、各ケースにおける圧力勾配の最大値と流動化有無の関係を図-4.24 に示す。図中のプロットは図-4.23 と同じように表示した。

流れによる圧力勾配の影響を確認するため、底質模型の降伏せん断応力と圧力勾配の最大値との関係を図-4.25 に示す。図中のプロットについて、色は底質模型の種類、○の大きさはサンドベッド下流位置での正規化濃度、塗潰もしくは白抜は目視判断による流動化の有無を表している。また図中には、流動化有無の閾値範囲 (概略) を、1 次関数により示した。

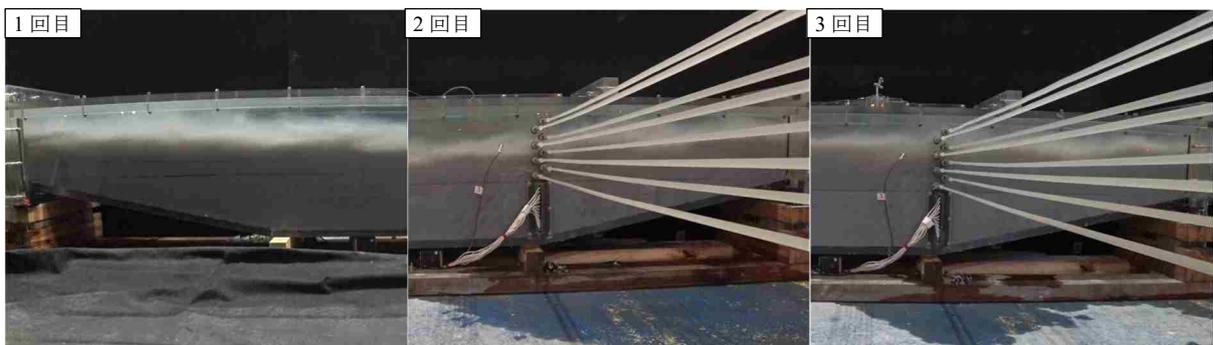


※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

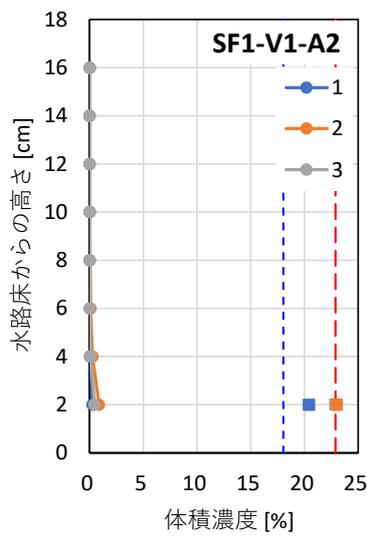
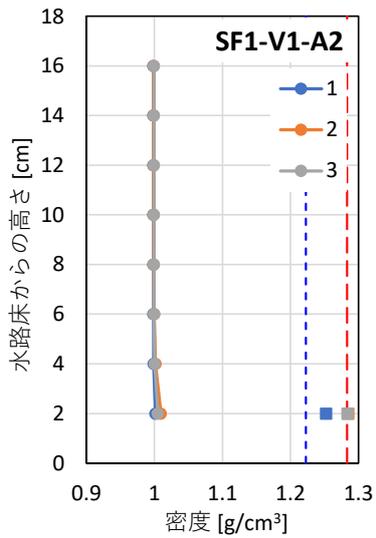


(b) 拡大表示



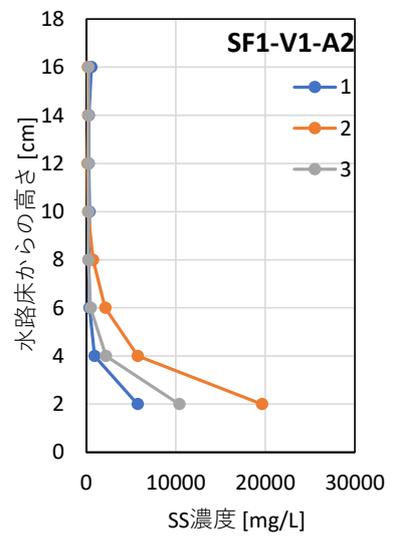
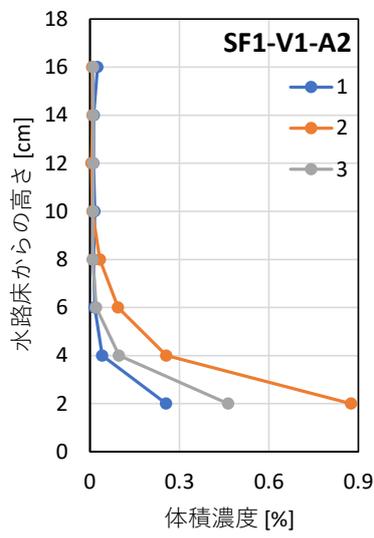
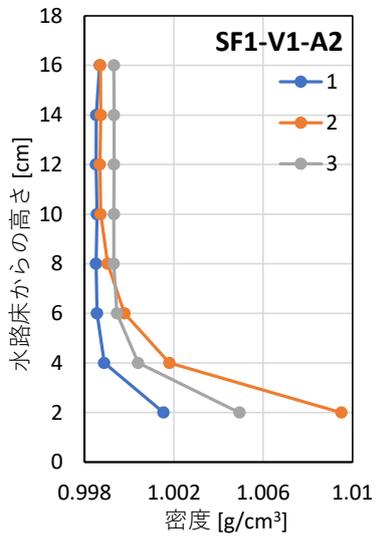
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.10 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF1-V1-A1 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2$)



※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

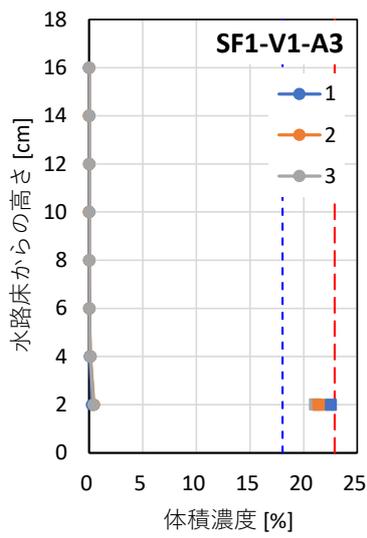
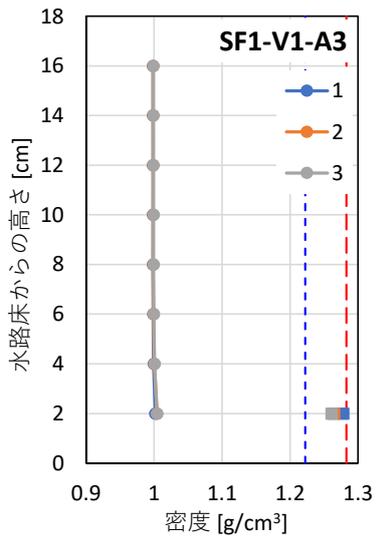


(b) 拡大表示



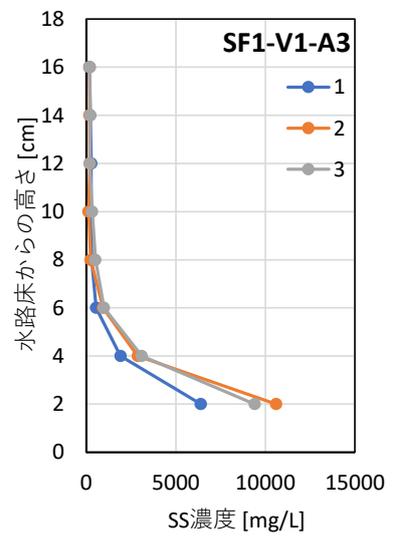
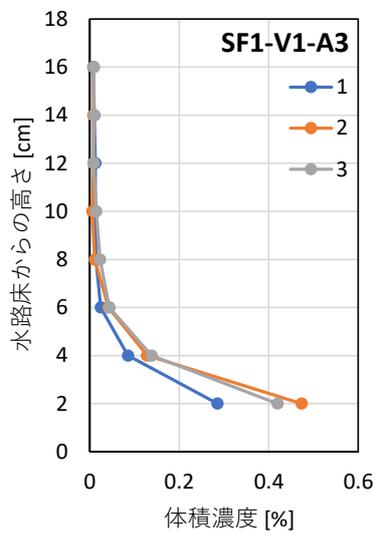
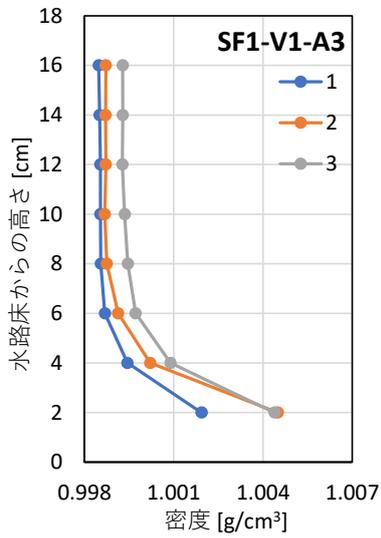
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.11 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF1-V1-A2：シリカフェーム， $w=150.0\%$ ， $V1:1.0\text{m/s}$ ， $A2:0.7\text{m}^2$)



※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

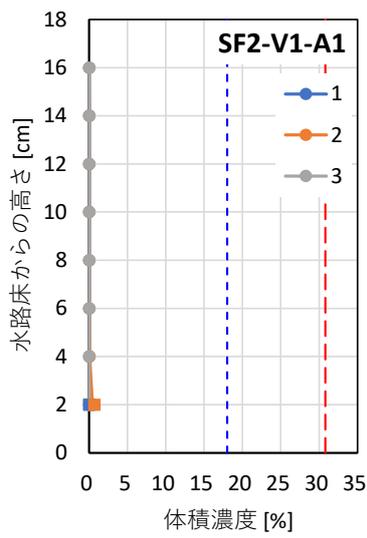
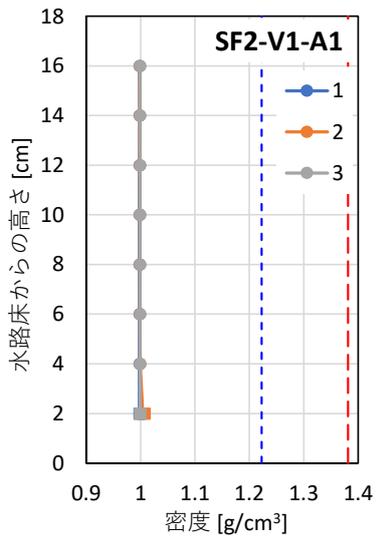


(b) 拡大表示



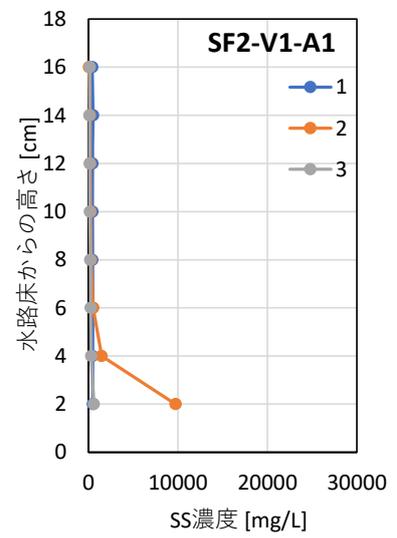
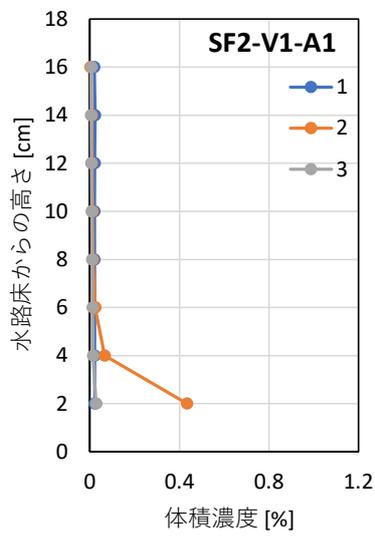
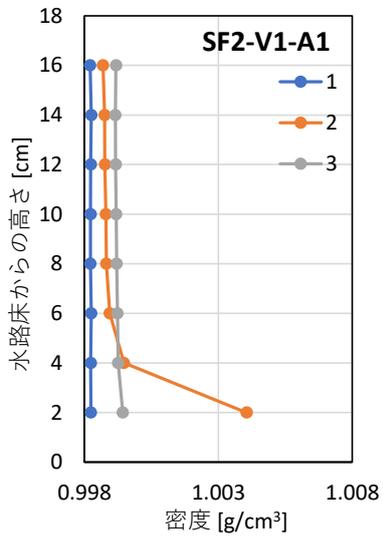
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.12 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF1-V1-A3 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0m/s$, $A3:1.1m/s^2$)



※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

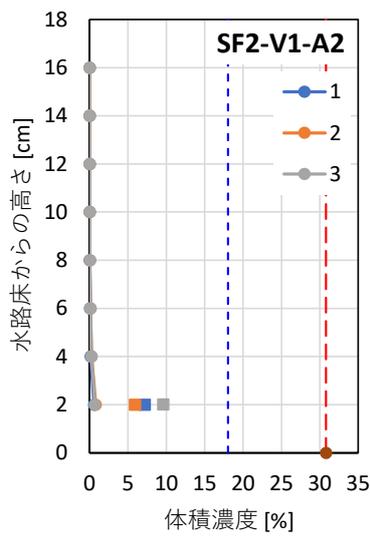
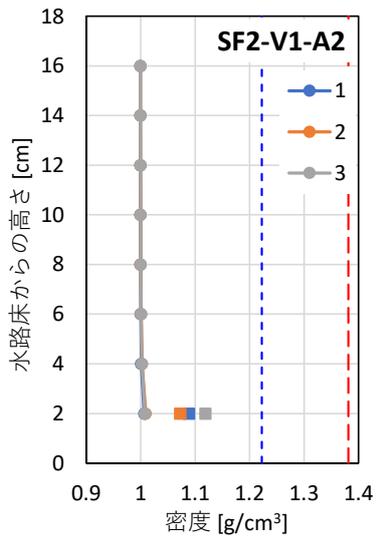


(b) 拡大表示



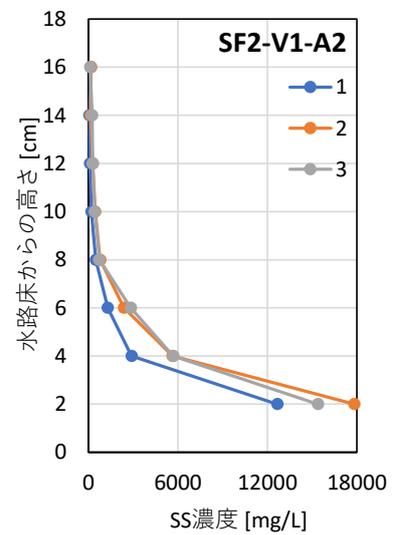
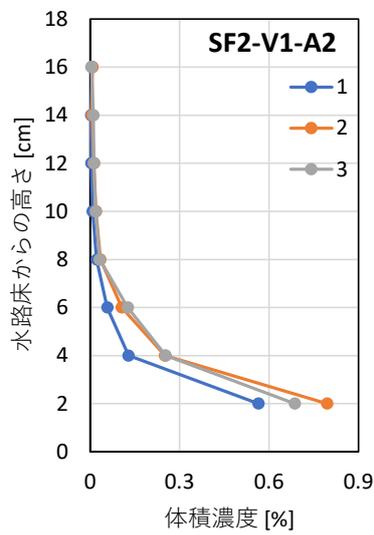
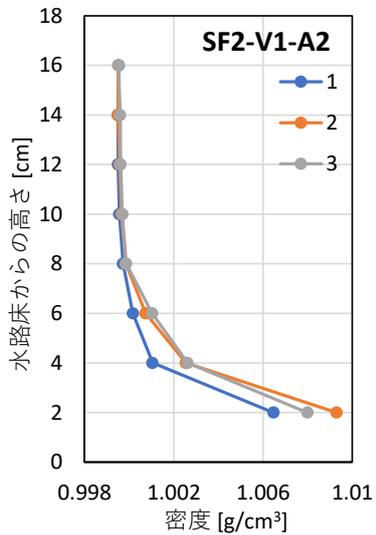
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.13 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF2-V1-A1 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0m/s$, $A1:0.06m/s^2$)

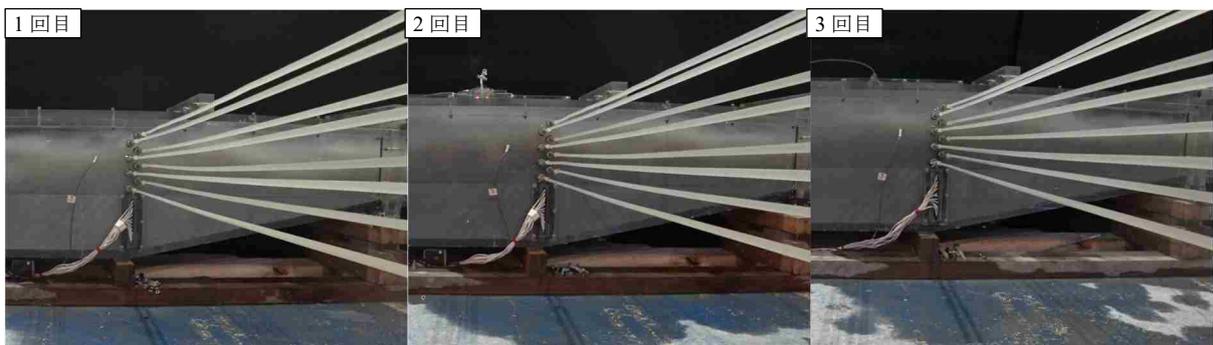


※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

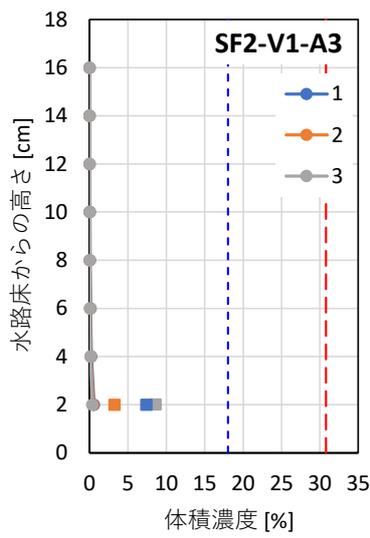
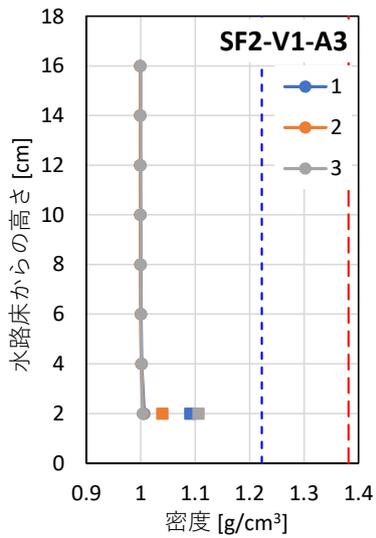


(b) 拡大表示



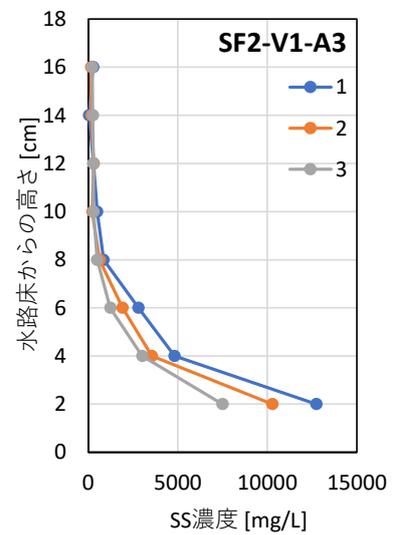
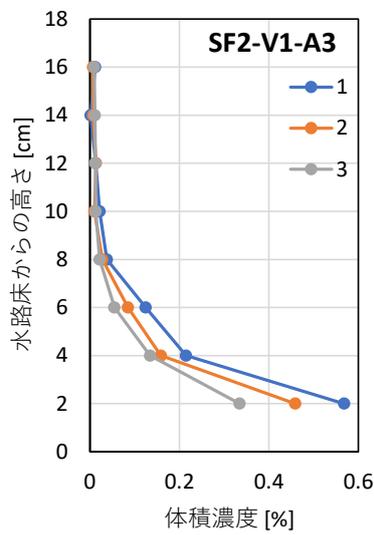
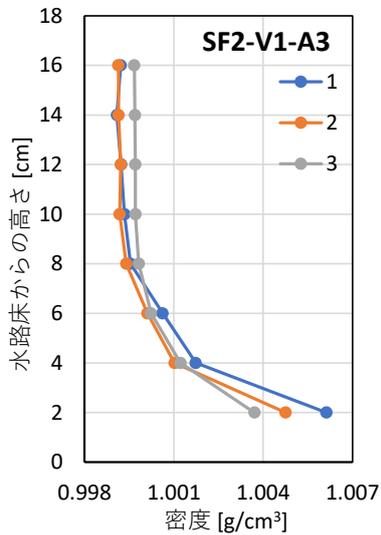
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図-4.14 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF2-V1-A2：シリカフェーム， $w=100.0\%$ ， $V1:1.0\text{m/s}$ ， $A2:0.7\text{m/s}^2$)

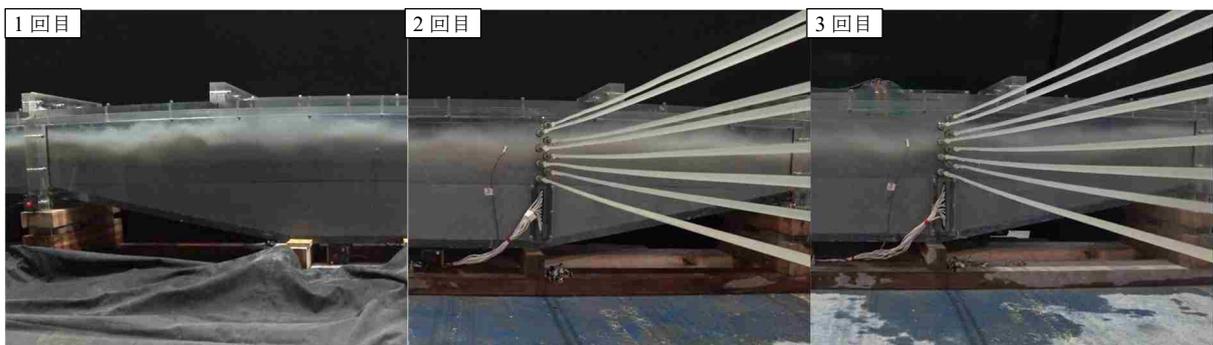


※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

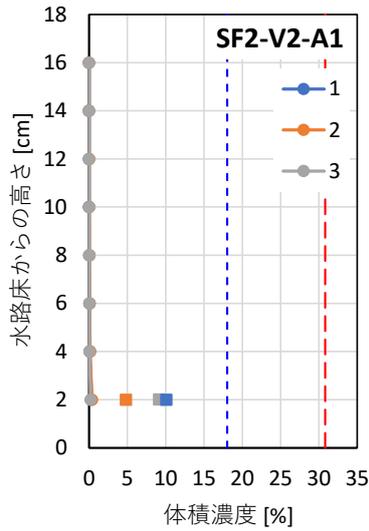
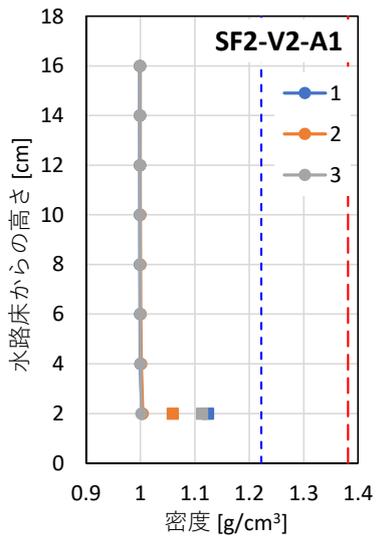


(b) 拡大表示



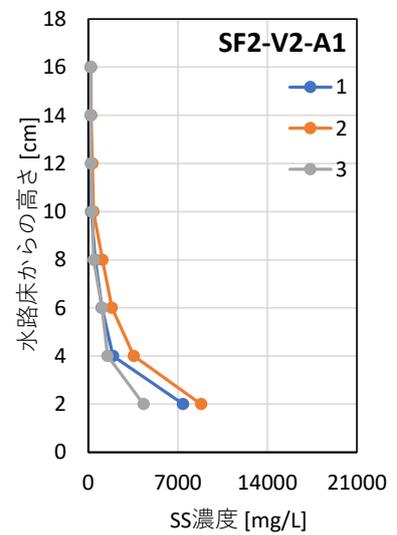
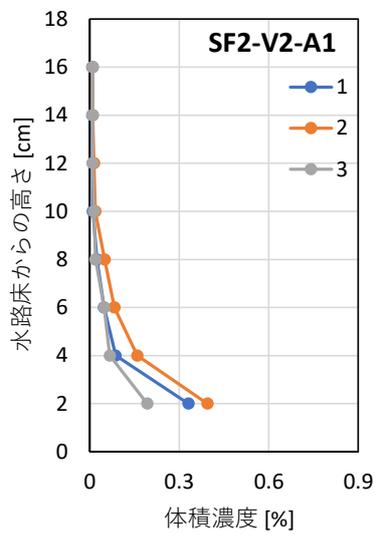
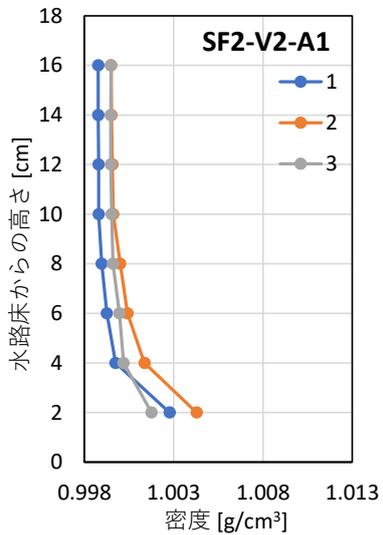
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.15 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF2-V1-A3：シリカフェーム， $w=100.0\%$ ， $V1:1.0m/s$ ， $A3:1.1m/s^2$)



※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

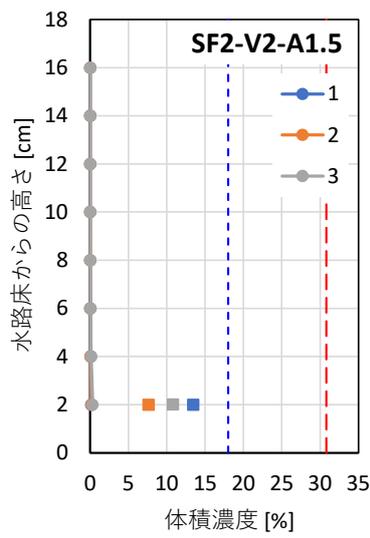
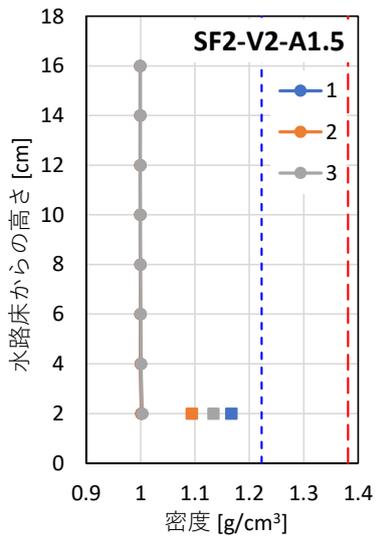


(b) 拡大表示



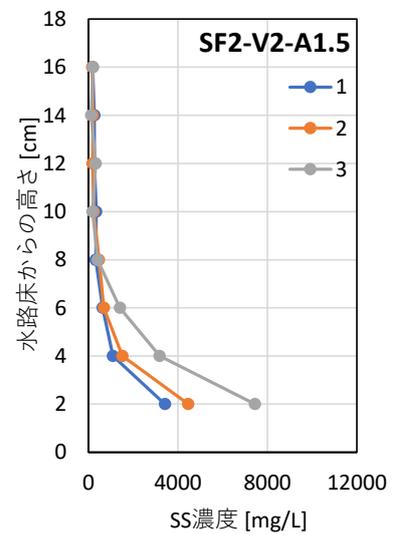
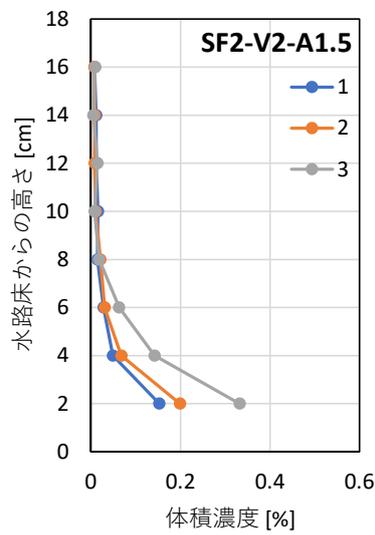
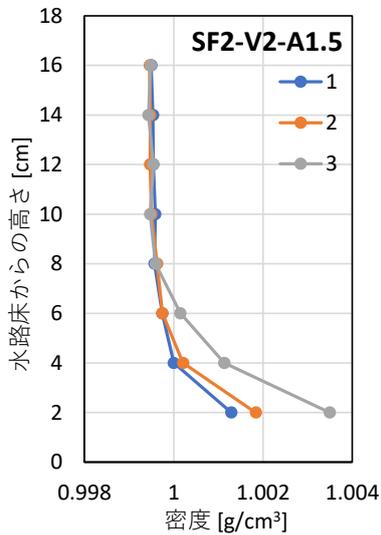
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.16 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF2-V2-A1 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m/s}^2$)



※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

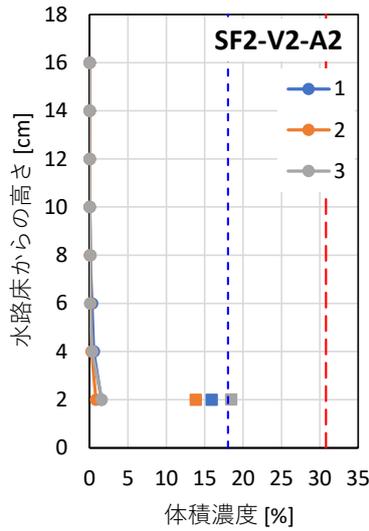
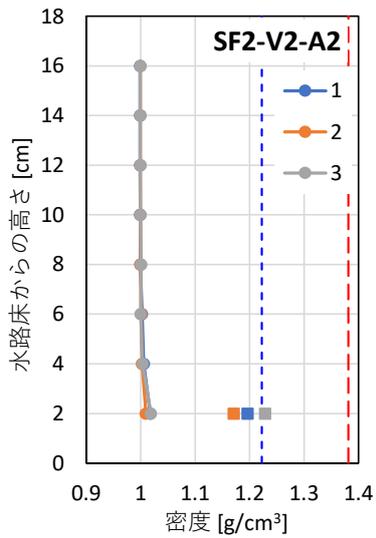


(b) 拡大表示



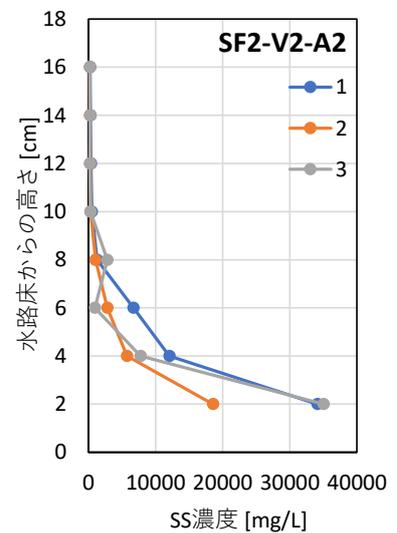
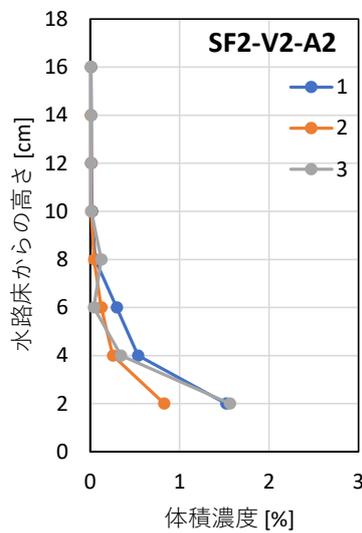
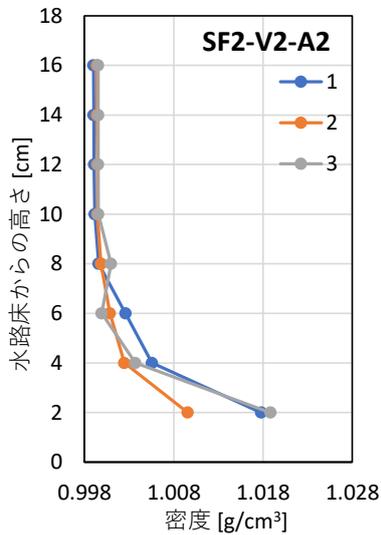
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.17 濁水密度・体積濃度・SS 濃度の鉛直分布
(SF2-V2-A1.5 : シリカフューム, $w=100.0\%$, $V2:1.5m/s$, $A1.5:0.6m/s^2$)

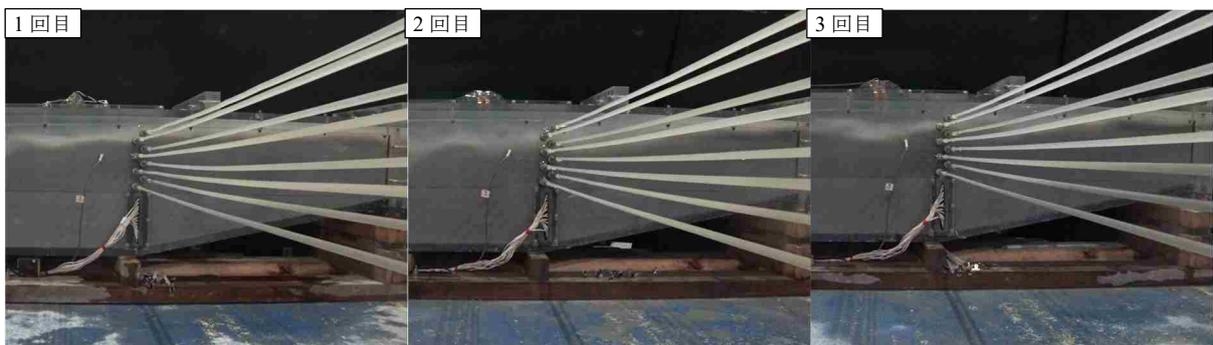


※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

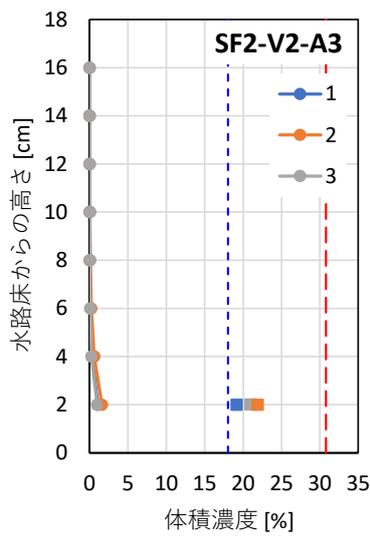
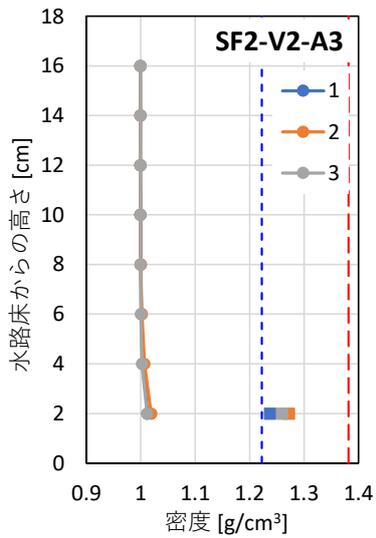


(b) 拡大表示



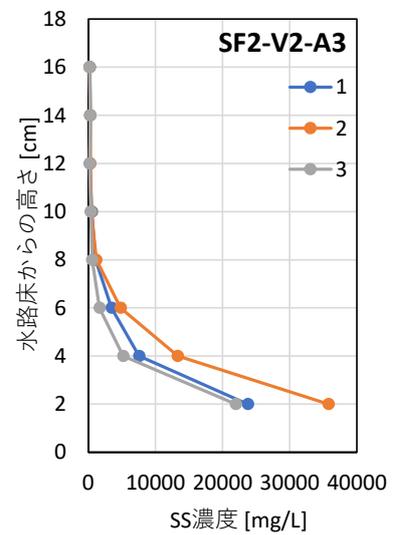
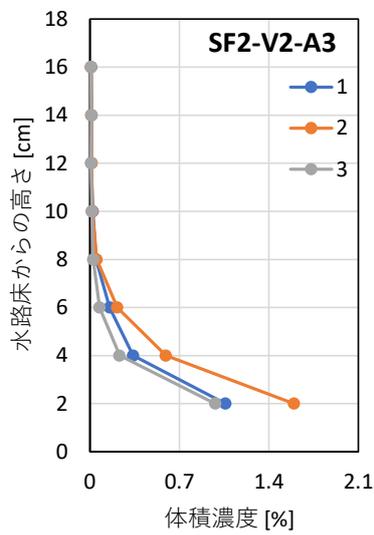
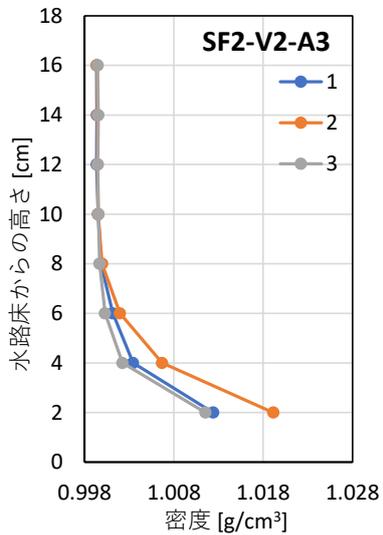
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図-4.18 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF2-V2-A2：シリカフェーム， $w=100.0\%$ ， $V2:1.5\text{m/s}$ ， $A2:0.7\text{m}^2$)



※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

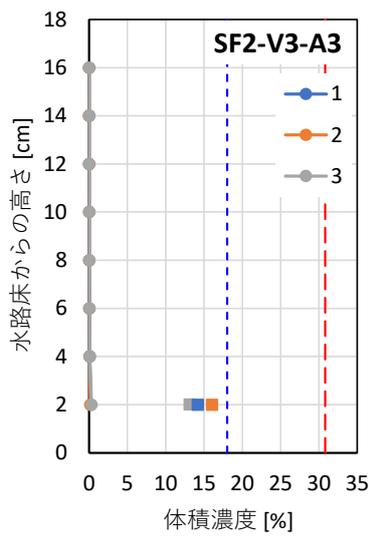
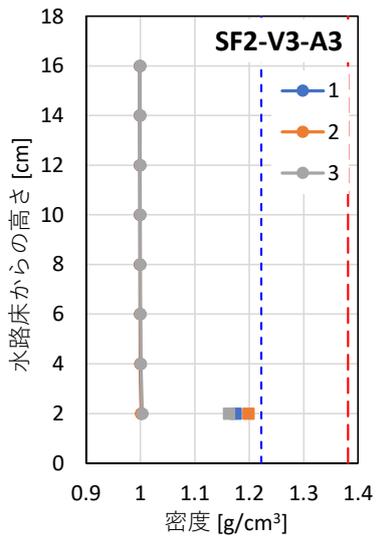


(b) 拡大表示



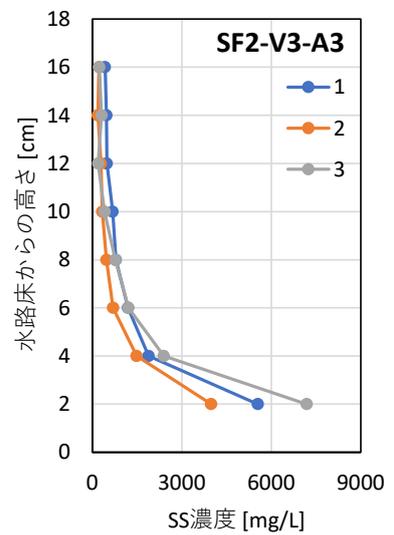
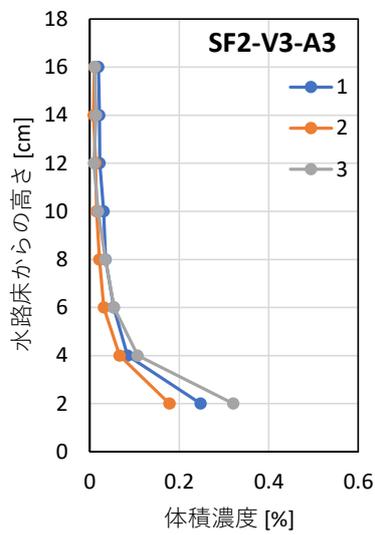
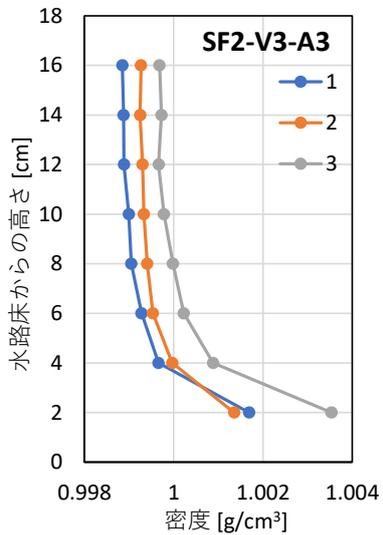
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.19 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF2-V2-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5m/s$, $A3:1.1m/s^2$)



※青破線：飽和含水比での値
赤破線：サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

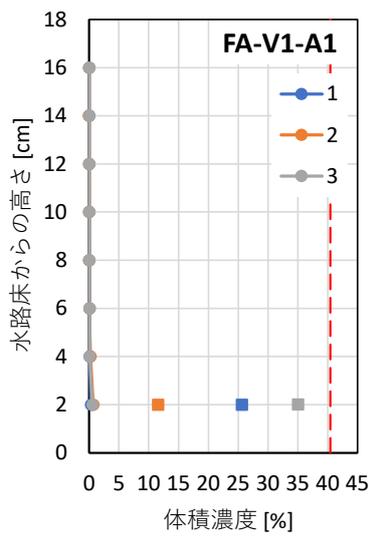
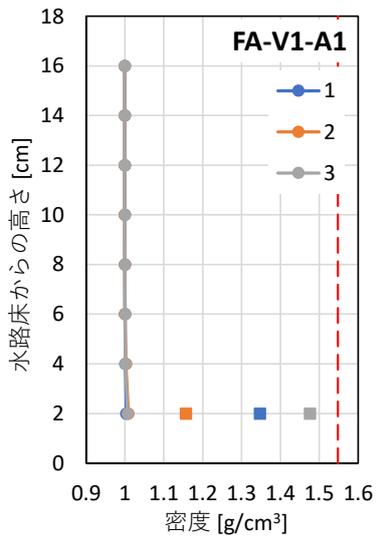


(b) 拡大表示



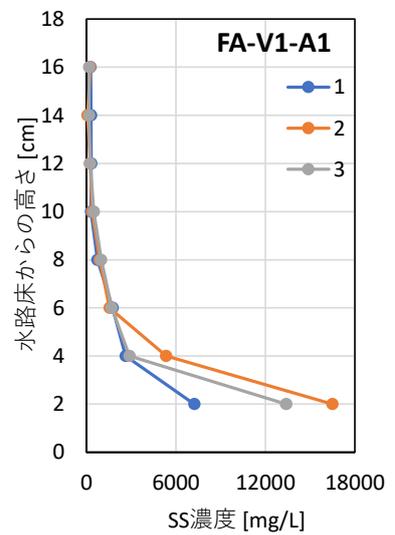
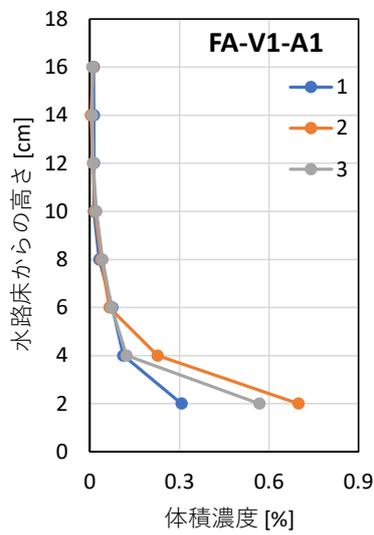
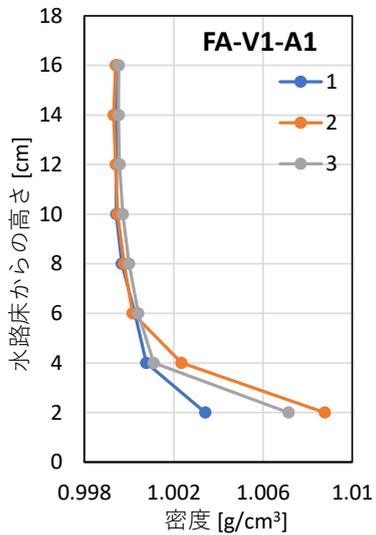
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図- 4.20 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(SF2-V3-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V3:2.0m/s$, $A3:1.1m^2$)



※赤破線：飽和含水比での値
サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

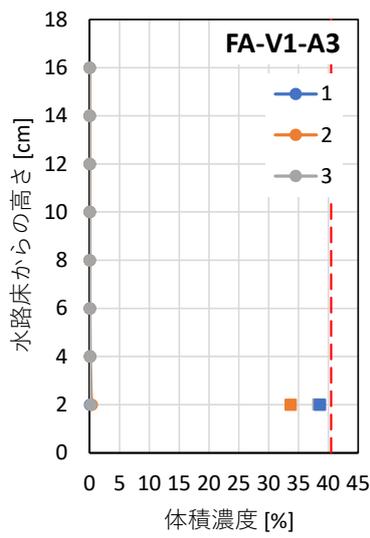
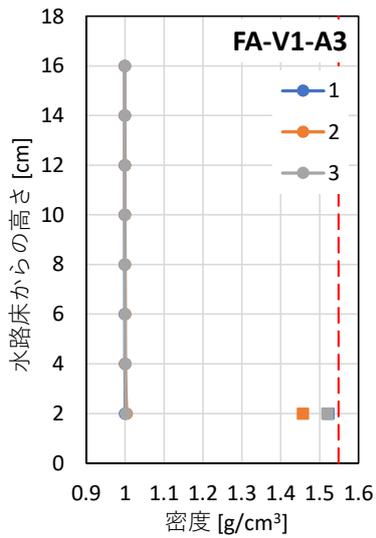


(b) 拡大表示



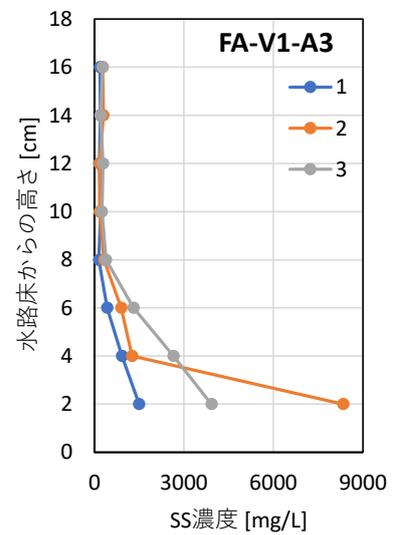
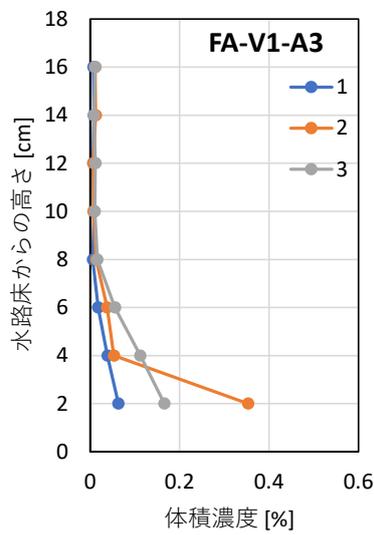
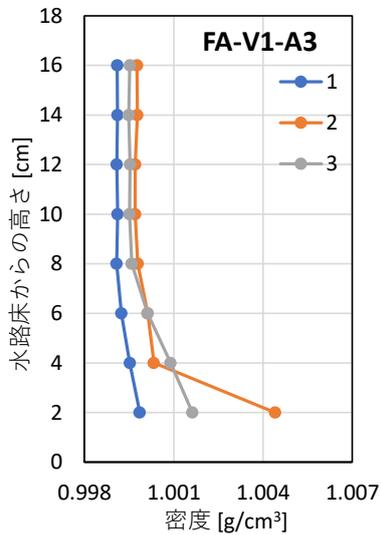
(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図-4.21 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(FA-V1-A1：フライアッシュ， $w=62.3\%$ ， $V1:1.0\text{m/s}$ ， $A1:0.06\text{m}^2$)



※赤破線：飽和含水比での値
サンドベッド内の初期値

(a) 全体表示

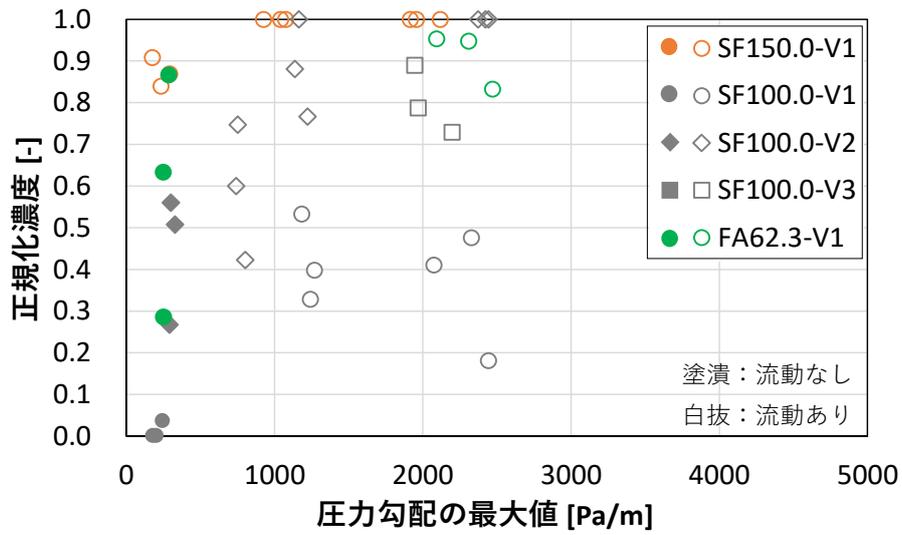


(b) 拡大表示

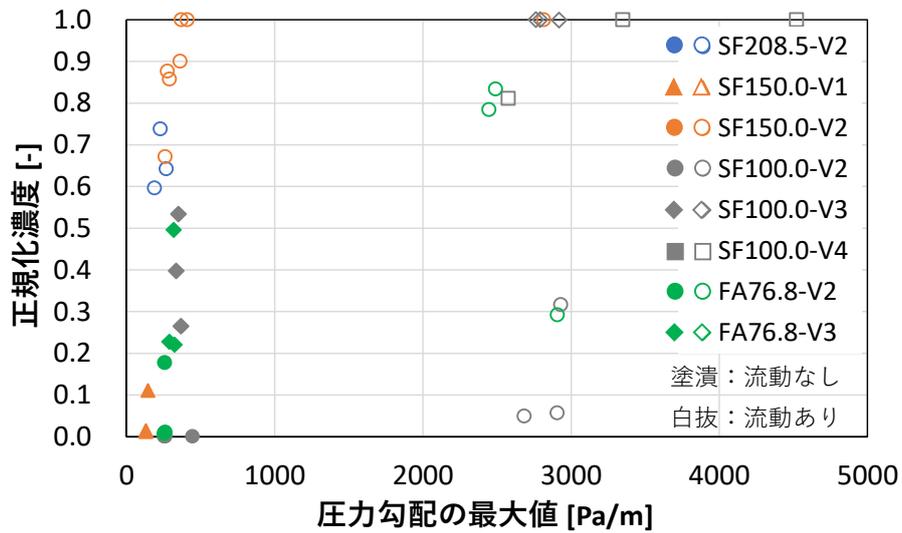


(c) 鉛直分布に対応した巻き上がり状況

図-4.22 濁水密度・体積濃度・SS濃度の鉛直分布
(FA-V1-A3：フライアッシュ、 $w=62.3\%$ 、 $V1:1.0\text{m/s}$ 、 $A3:1.1\text{m/s}^2$)



(a) 令和 5 年度



(b) 令和 4 年度

図- 4.23 圧力勾配の最大値と正規化濃度の関係

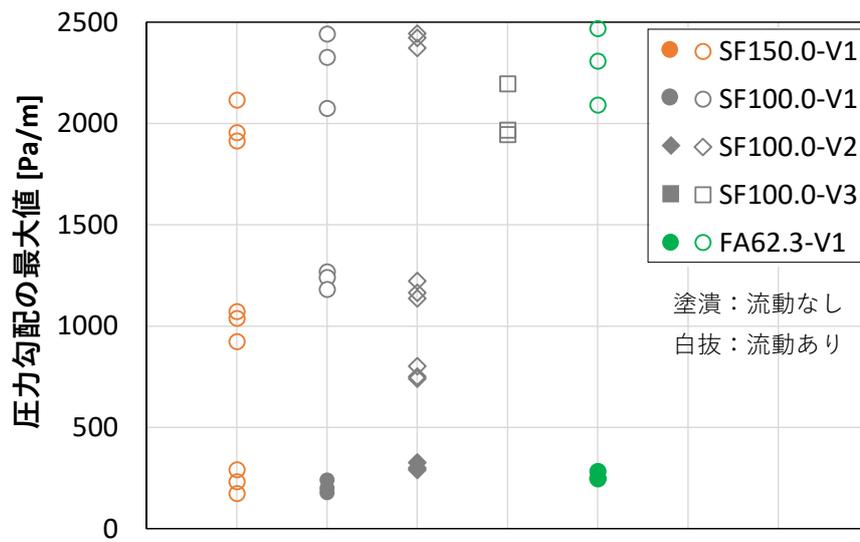
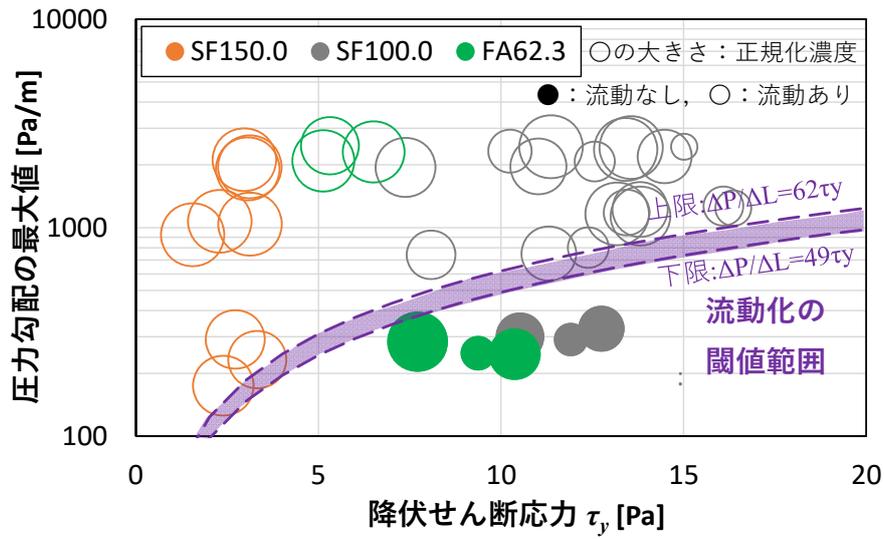
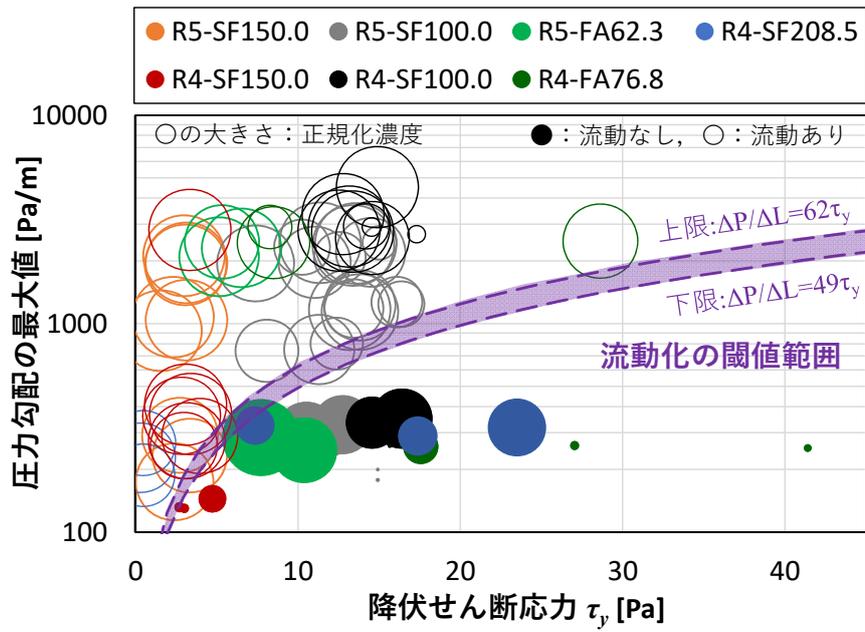


図- 4.24 各ケースにおける圧力勾配の最大値と流動化有無の関係



(a) 令和5年度のみ



(b) 令和4,5年度

図-4.25 降伏せん断応力と圧力勾配の最大値との関係

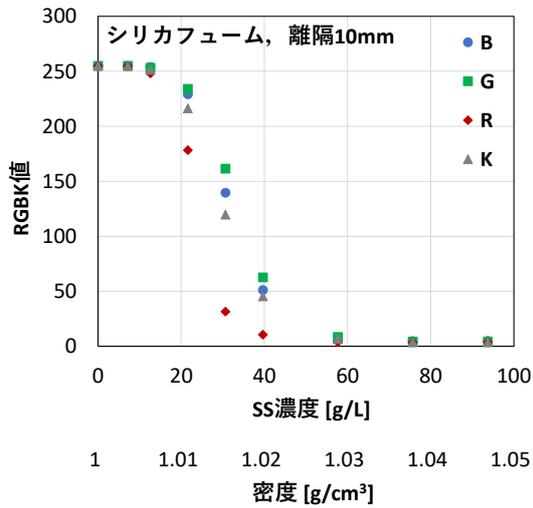
② 濁水の濃度分布の時間変化

濁水の SS 濃度とピクセル画素の輝度の関係を定式化するため、事前にキャリブレーションを実施した。本水路側壁と同じ厚さ 20mm のアクリル板で作製した枠内に、所定の濃度に調整した濁水を入れて良く攪拌した後、壁面内側から 10mm または 20mm の離隔を確保して EL シートを設置し、枠側面からカメラで撮影した。SS 濃度と輝度 K および RGB それぞれの色要素の値の関係を図-4.26 に示す。枠内において、底面と水面付近ではピクセル画素の輝度のばらつきが大きかったため、比較的安定した中間領域を対象に輝度の平均値を採用した。今回の結果から、SS 濃度の測定範囲が広い離隔 10mm の G を用いることとした。

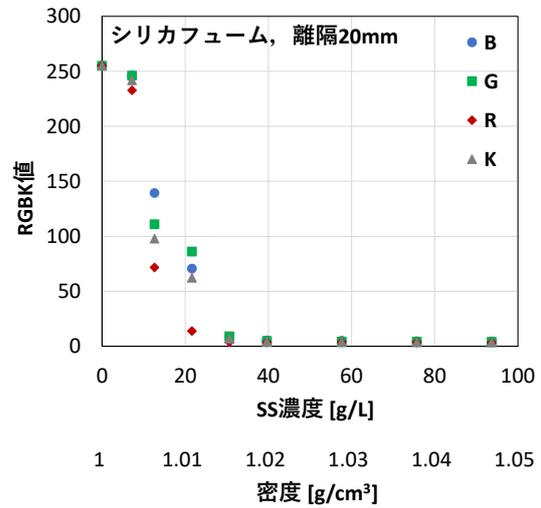
EL シートによる入射光の G の値 I_0 と計測された G の値 I より、減光輝度 $I_0 - I$ として SS 濃度との関係をプロットし、式 4-6 よりフィッティングした結果を図-4.27 に示す。なお、係数 a, b, c は最小二乗法により推定した。

$$I_0 - I = \frac{K}{1 + ae^{-(bx+c)}} \quad (4-6)$$

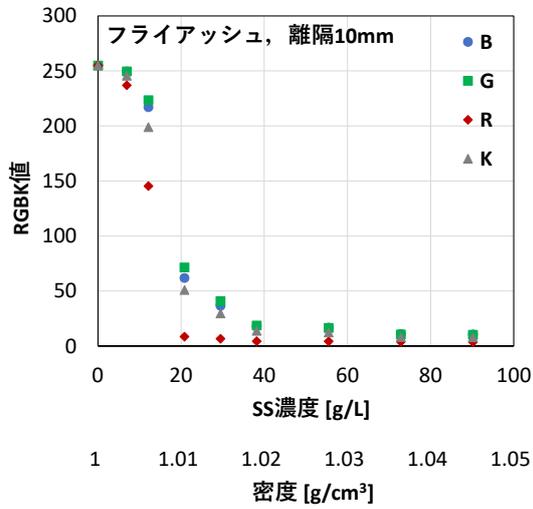
図-4.27 の SS 濃度の推定式を用いて画像解析を行った結果を図-4.28～図-4.40 に示す。図中の SS 濃度は等値線で示しており、10g/L から 5g/L ピッチで 60g/L まで色を変えて表示した。なお、吸引孔位置における SS 濃度の鉛直分布を出力し、吸引孔から直接採取した濁水の鉛直濃度分布と比較した結果も併せて示す。



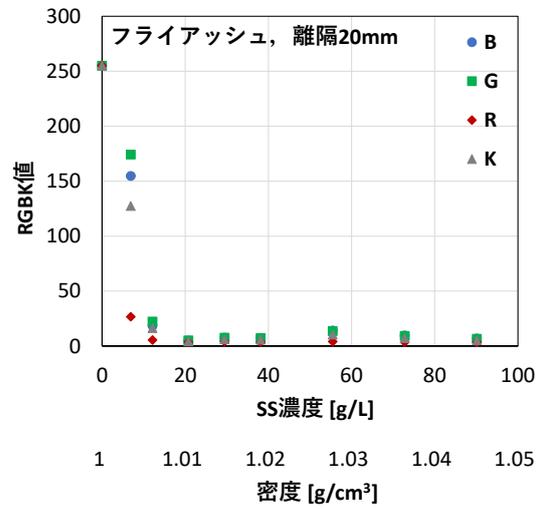
(a) シリカフェーム, 離隔 10mm



(b) シリカフェーム, 離隔 20mm

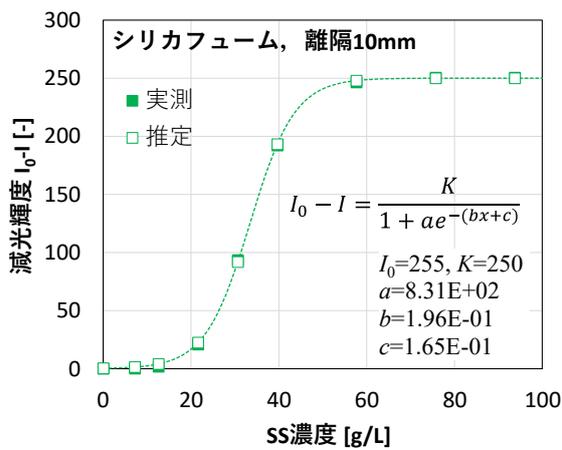


(c) フライアッシュ, 離隔 10mm

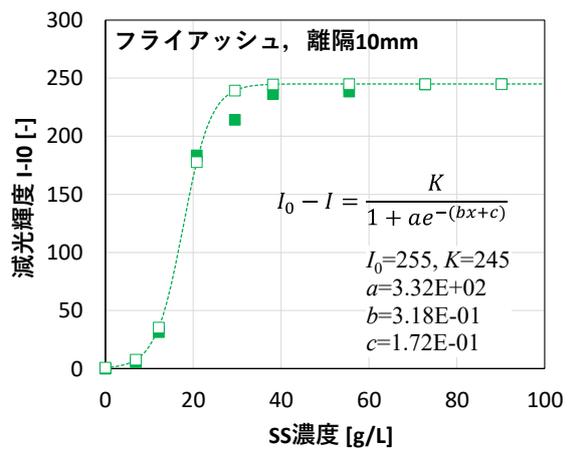


(d) フライアッシュ, 離隔 20mm

図- 4.26 SS 濃度と輝度の関係

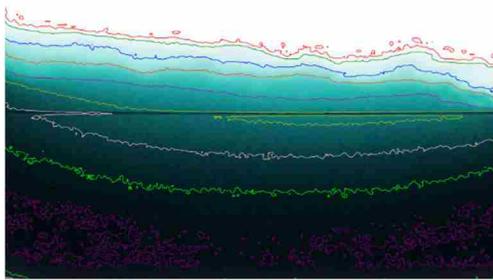


(a) シリカフェーム, 離隔 10mm

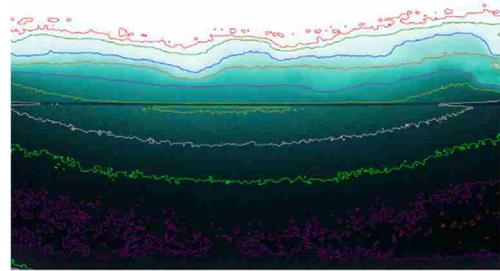


(b) フライアッシュ, 離隔 10mm

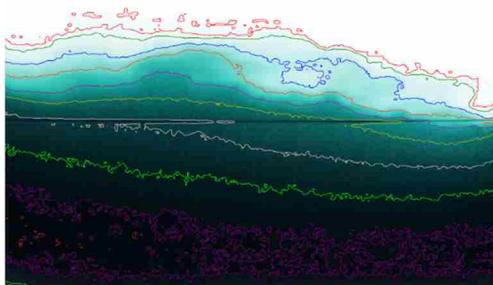
図- 4.27 濃度のキャリブレーション結果



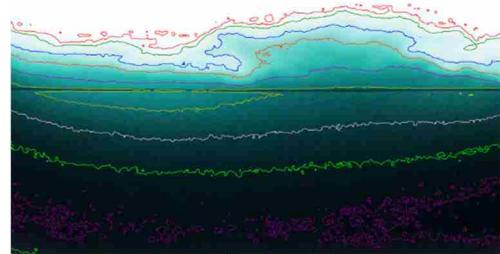
(a) 流れ開始 40.0 秒後



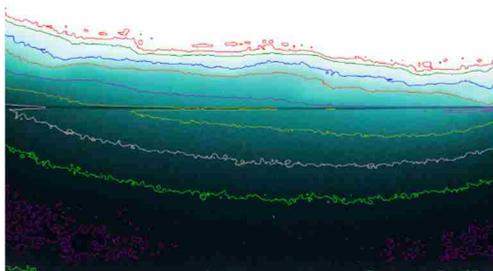
(b) 流れ開始 40.5 秒後



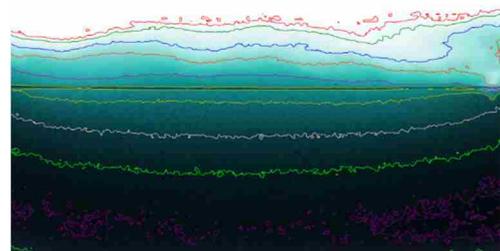
(c) 流れ開始 41.0 秒後



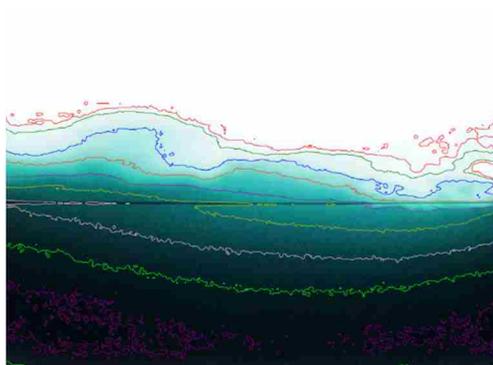
(d) 流れ開始 41.5 秒後



(e) 流れ開始 42.0 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 42.5 秒後



(g) 流れ開始 43.0 秒後

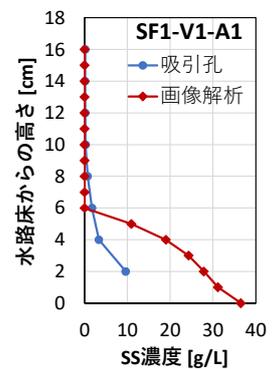
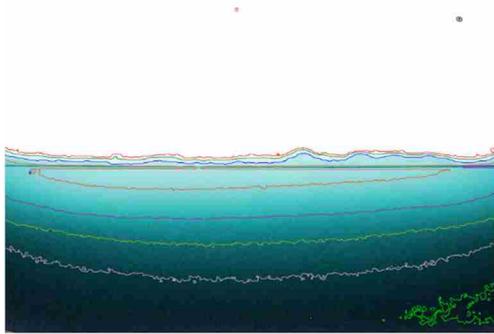
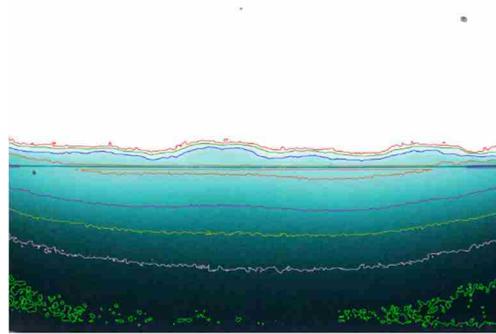


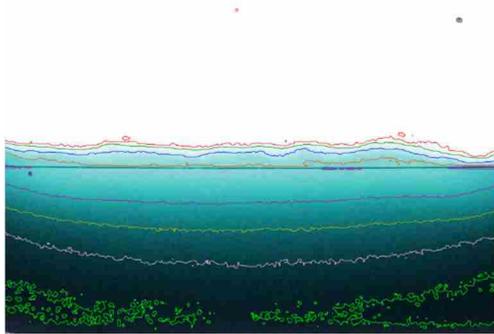
図- 4.28 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF1-V1-A1 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m/s}^2$)



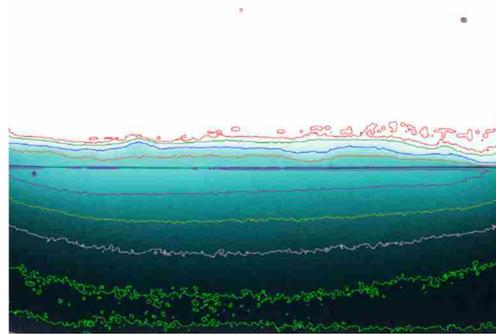
(a) 流れ開始 22.0 秒後



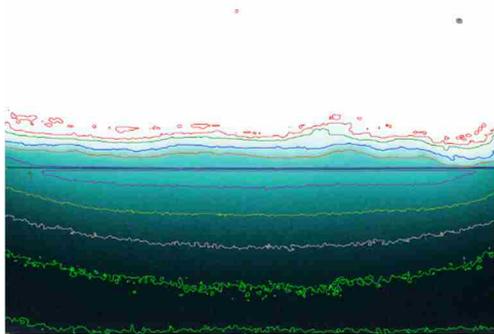
(b) 流れ開始 22.5 秒後



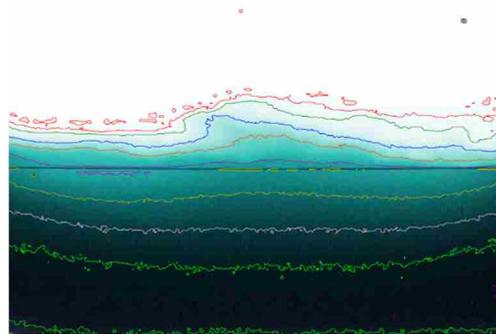
(c) 流れ開始 23.0 秒後



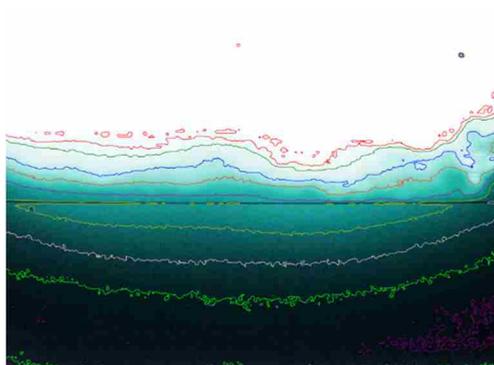
(d) 流れ開始 23.5 秒後



(e) 流れ開始 24.0 秒後



(f) 流れ開始 24.5 秒後 [採水]



(g) 流れ開始 25.0 秒後

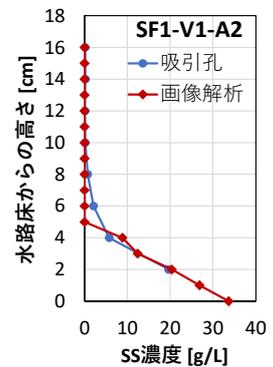
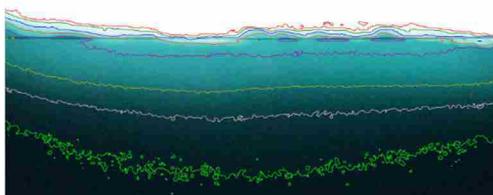
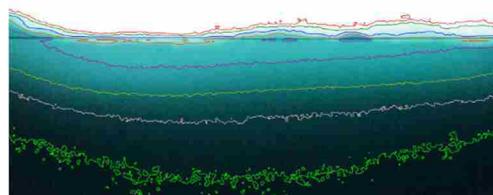


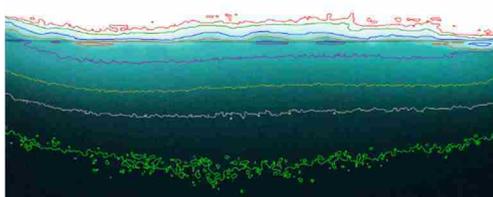
図- 4.29 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF1-V1-A2 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m/s}^2$)



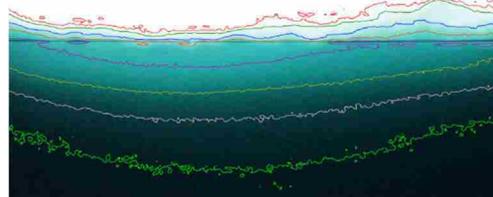
(a) 流れ開始 22.5 秒後



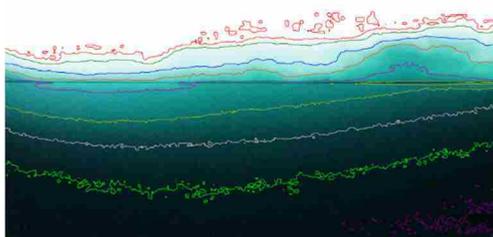
(b) 流れ開始 23.0 秒後



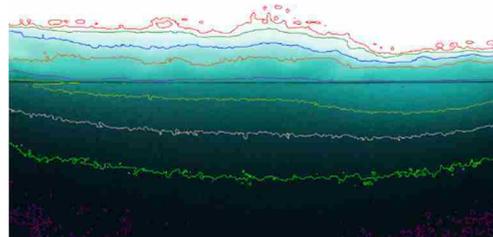
(c) 流れ開始 23.5 秒後



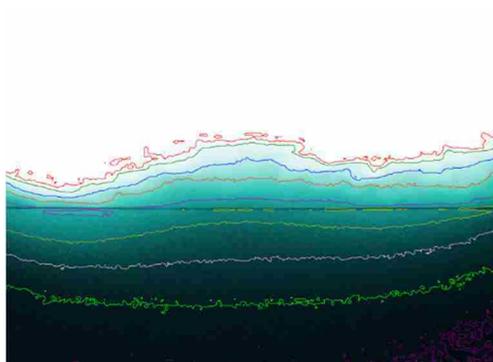
(d) 流れ開始 24.0 秒後



(e) 流れ開始 24.5 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 25.0 秒後



(g) 流れ開始 25.5 秒後

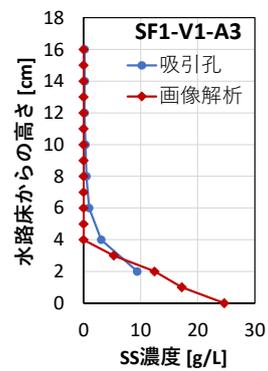
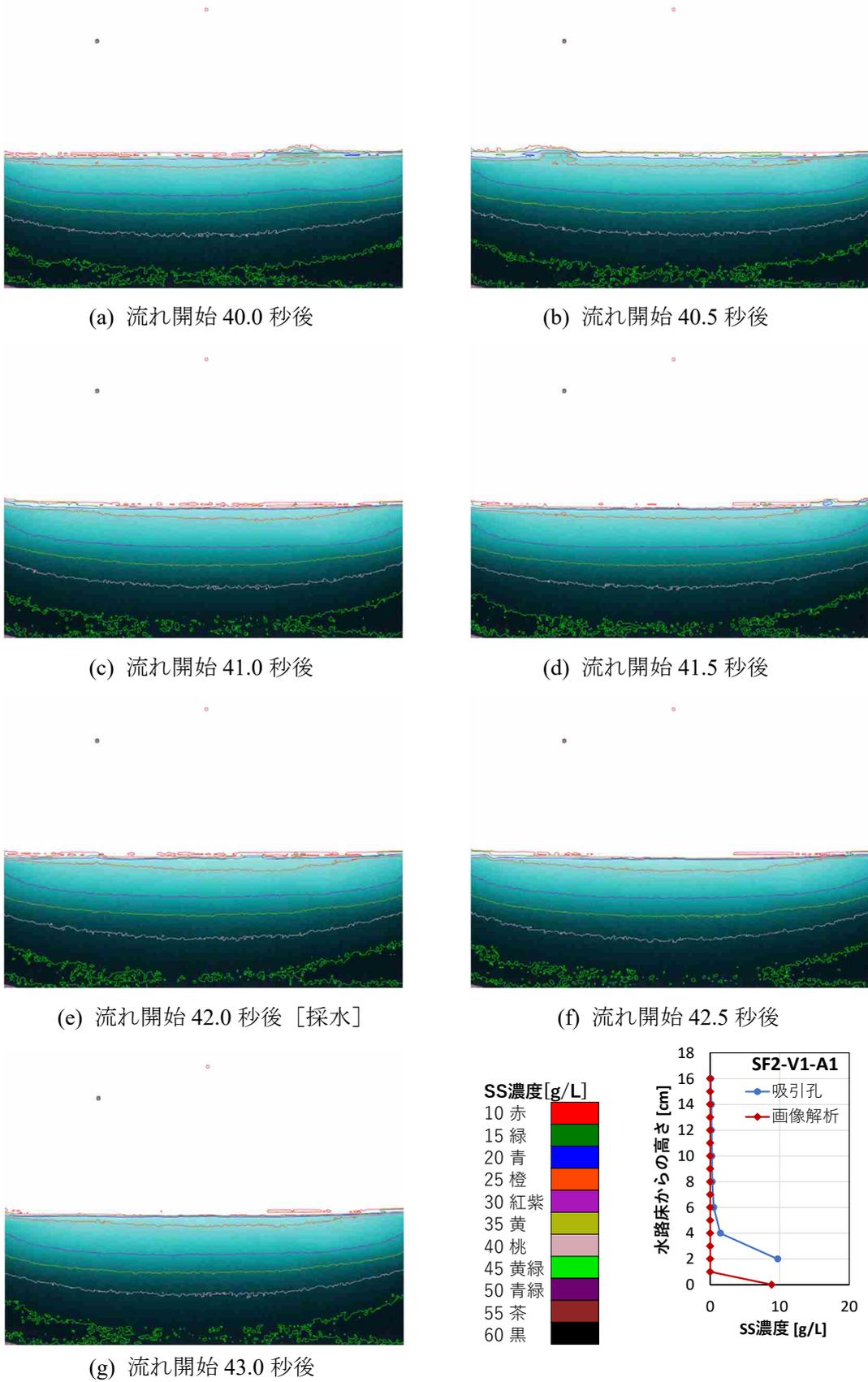
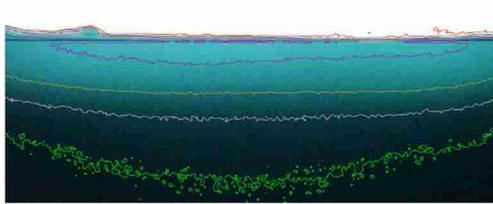
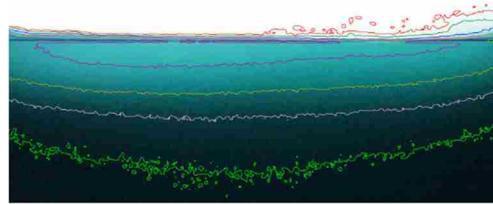


図- 4.30 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF1-V1-A3 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2$)

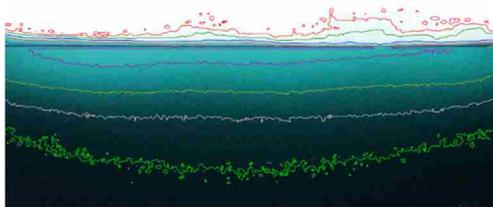




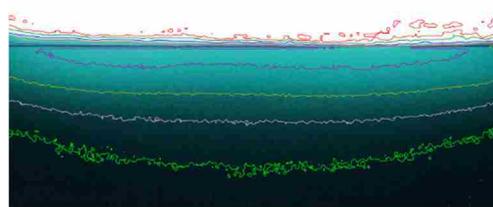
(a) 流れ開始 22.5 秒後



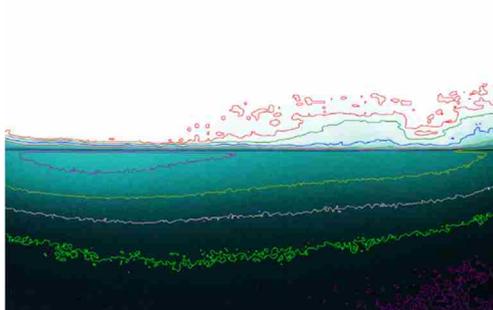
(b) 流れ開始 23.0 秒後



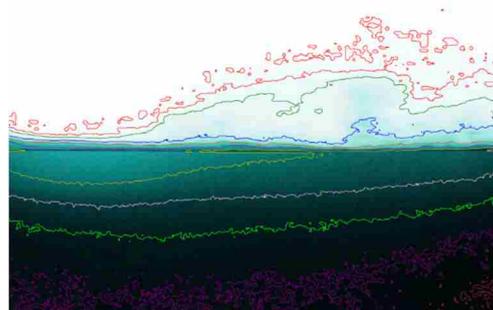
(c) 流れ開始 23.5 秒後



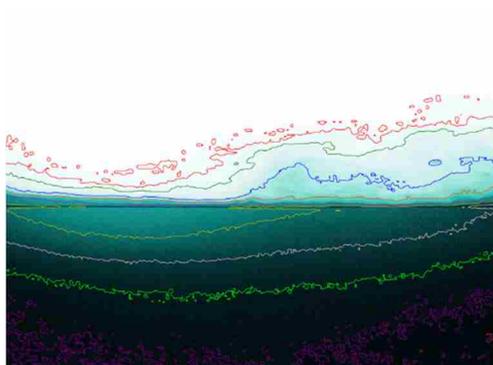
(d) 流れ開始 24.0 秒後



(e) 流れ開始 24.5 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 25.0 秒後



(g) 流れ開始 25.5 秒後

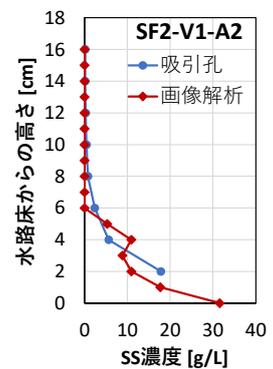
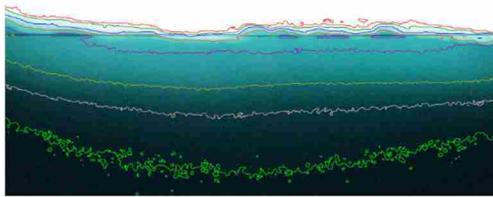
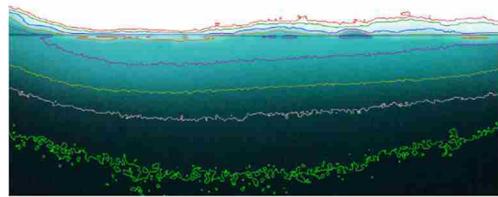


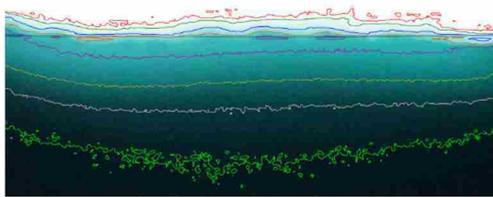
図- 4.32 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF2-V1-A2 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m}^2$)



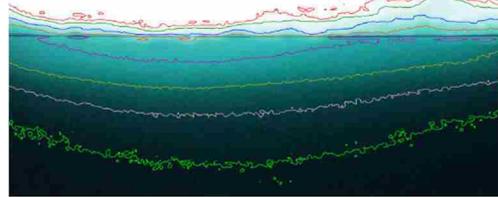
(a) 流れ開始 22.5 秒後



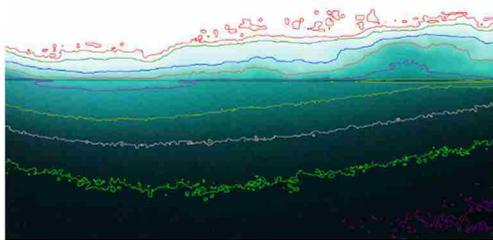
(b) 流れ開始 23.0 秒後



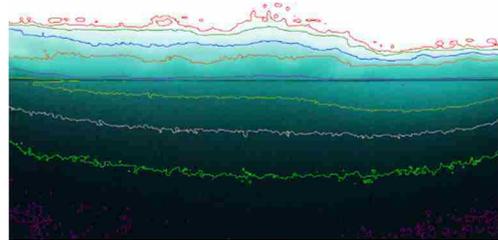
(c) 流れ開始 23.5 秒後



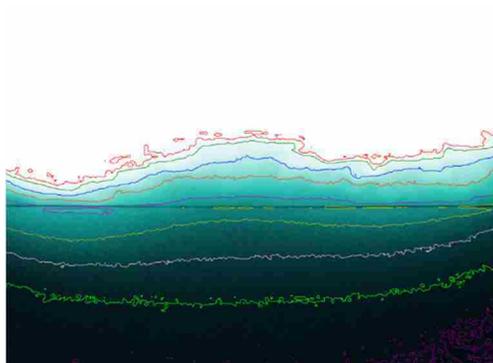
(d) 流れ開始 24.0 秒後



(e) 流れ開始 24.5 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 25.0 秒後



(g) 流れ開始 25.5 秒後

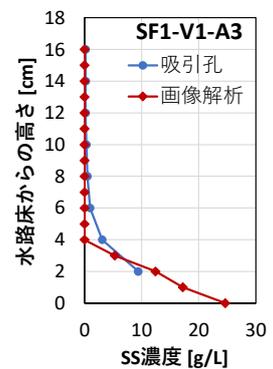
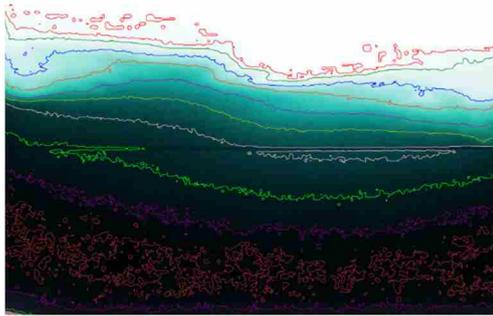
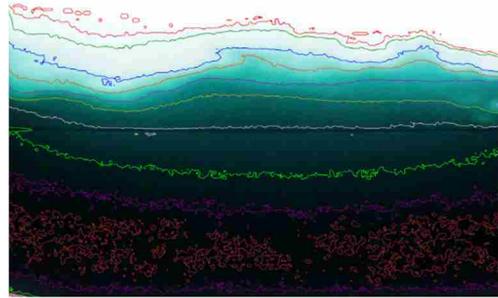


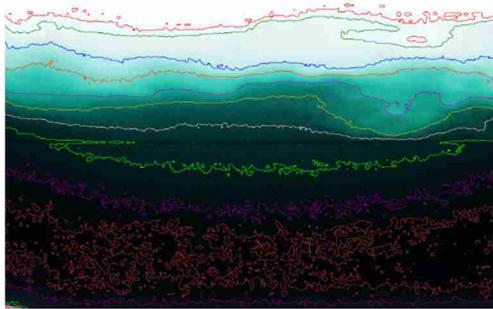
図- 4.33 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF2-V1-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m/s}^2$)



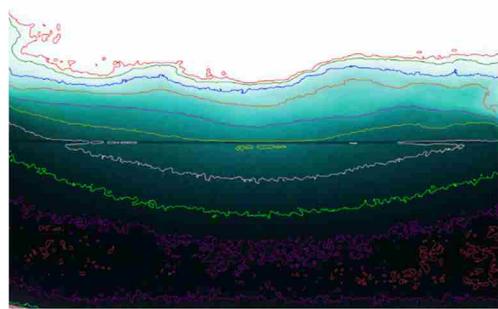
(a) 流れ開始 36.5 秒後



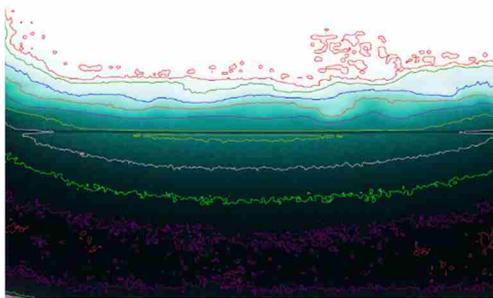
(b) 流れ開始 37.0 秒後



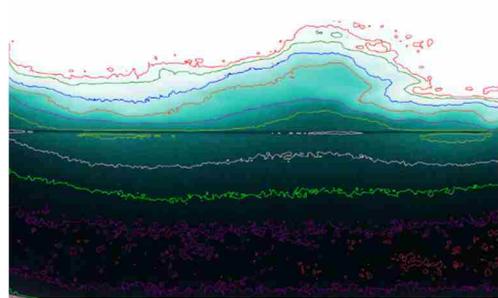
(c) 流れ開始 37.5 秒後



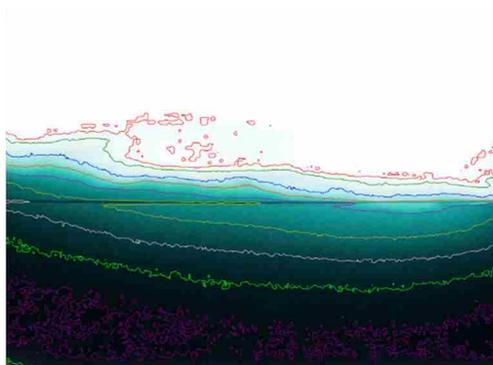
(d) 流れ開始 38.0 秒後



(e) 流れ開始 38.5 秒後



(f) 流れ開始 39.0 秒後 [採水]



(g) 流れ開始 39.5 秒後

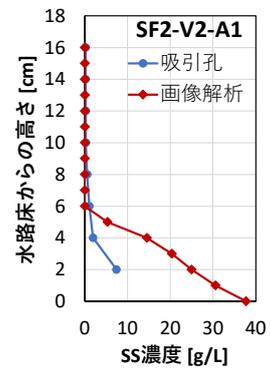
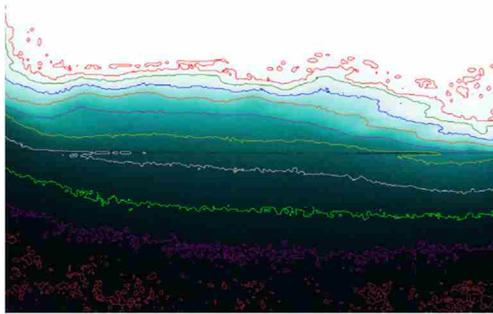
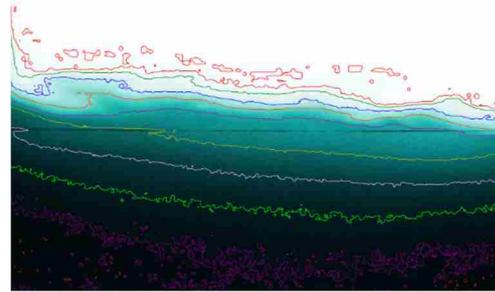


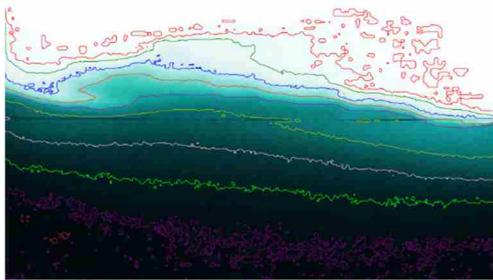
図- 4.34 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF2-V2-A1 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m/s}^2$)



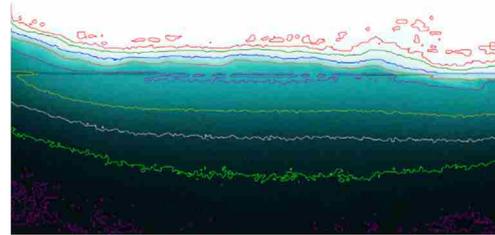
(a) 流れ開始 26.5 秒後



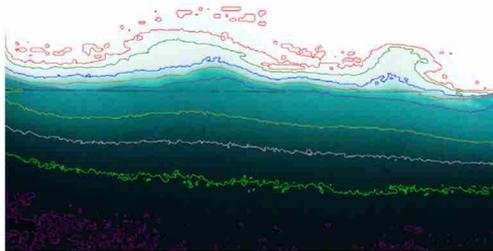
(b) 流れ開始 27.0 秒後



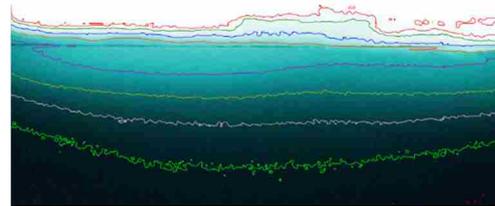
(c) 流れ開始 27.5 秒後



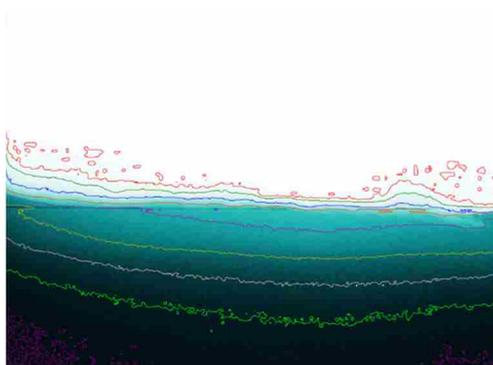
(d) 流れ開始 28.0 秒後



(e) 流れ開始 28.5 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 29.0 秒後



(g) 流れ開始 29.5 秒後

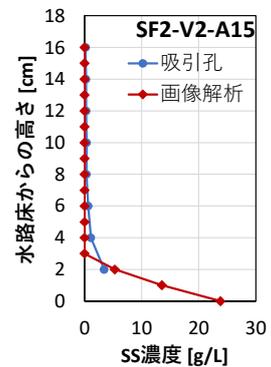
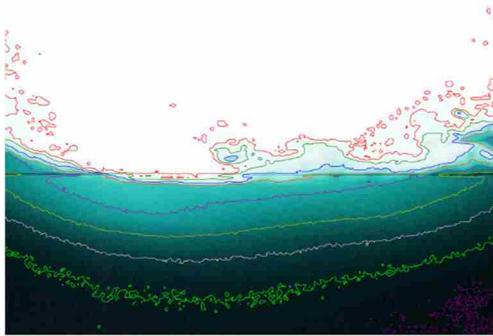
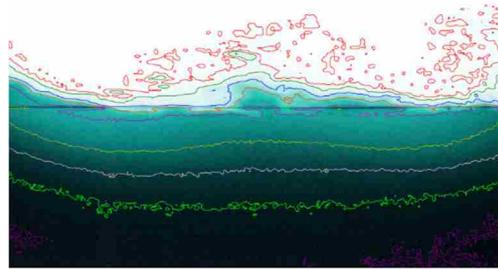


図- 4.35 底質模型の濃度分布の時間変化

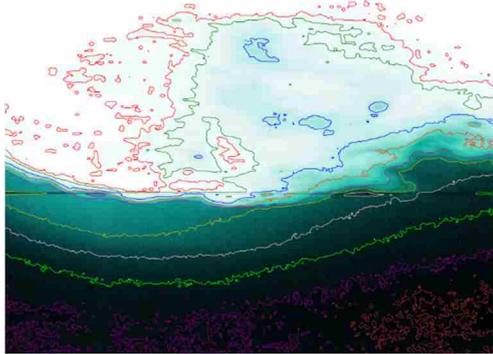
(SF2-V2-A1.5 : シリカフェーム, w=100.0%, V2:1.5m/s, A1.5:0.6m/s²)



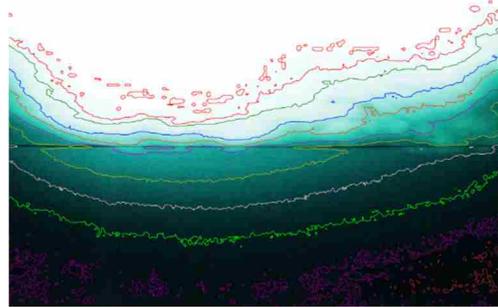
(a) 流れ開始 23.0 秒後



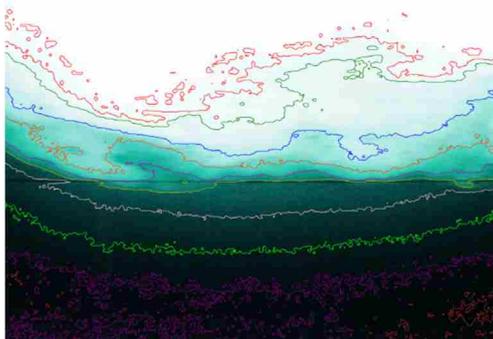
(b) 流れ開始 23.5 秒後



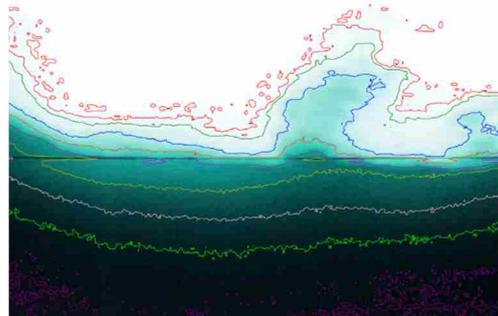
(c) 流れ開始 24.0 秒後



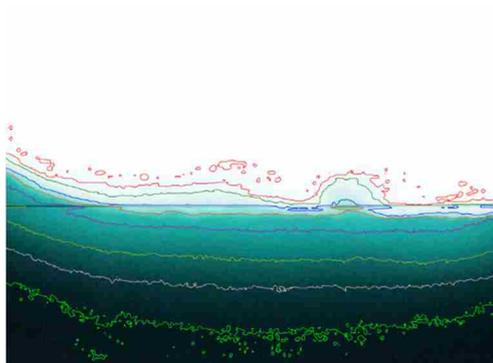
(d) 流れ開始 24.5 秒後



(e) 流れ開始 25.0 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 25.5 秒後



(g) 流れ開始 26.0 秒後

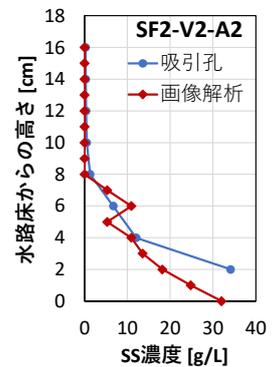
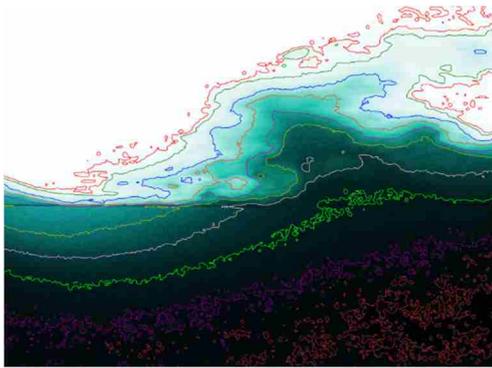
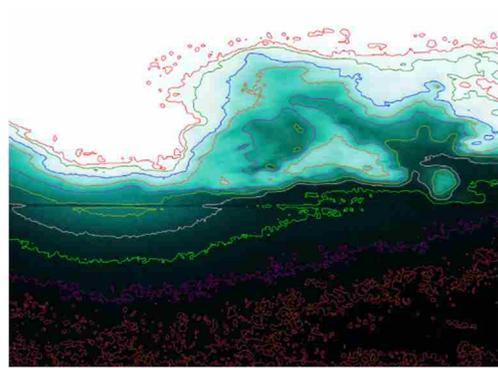


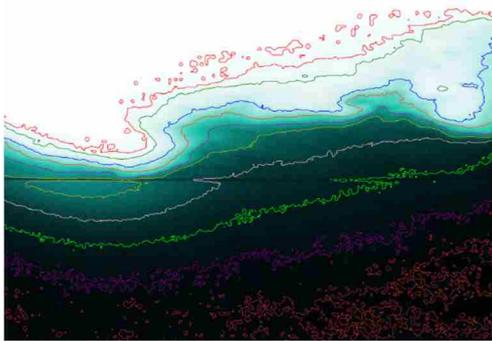
図- 4.36 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF2-V2-A2 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m}^2$)



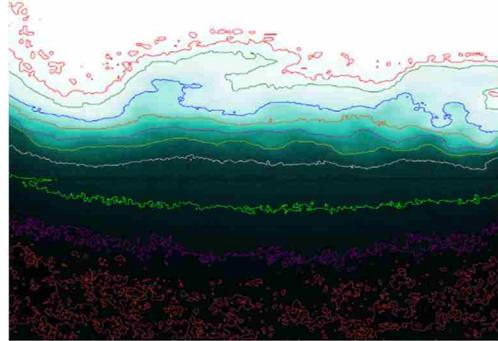
(a) 流れ開始 22.5 秒後



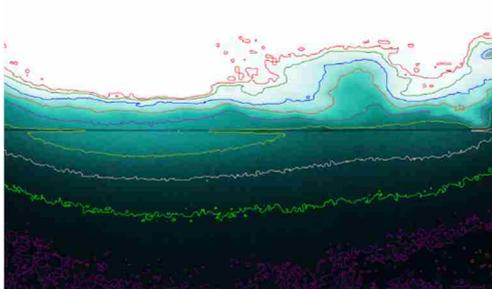
(b) 流れ開始 23.0 秒後



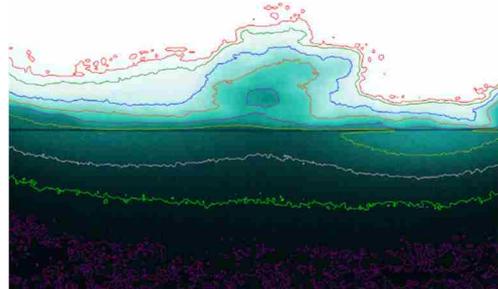
(c) 流れ開始 23.5 秒後



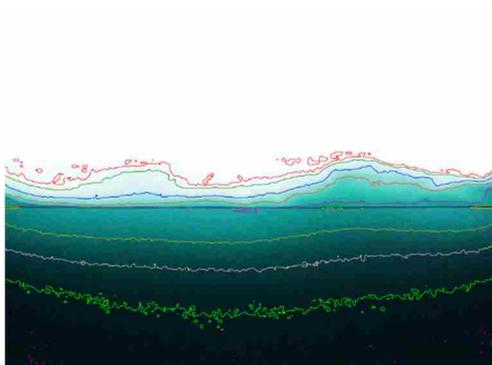
(d) 流れ開始 24.0 秒後



(e) 流れ開始 24.5 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 25.0 秒後



(g) 流れ開始 25.5 秒後

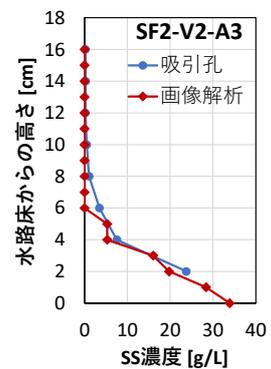
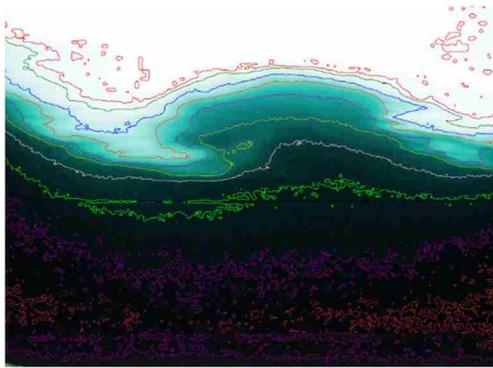
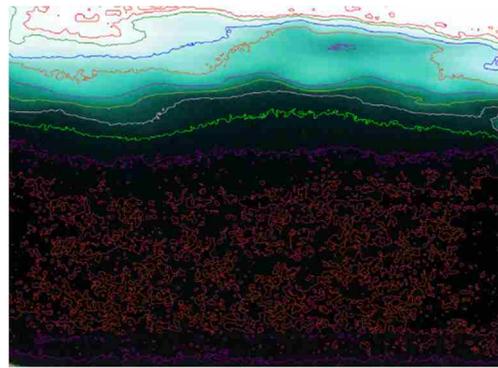


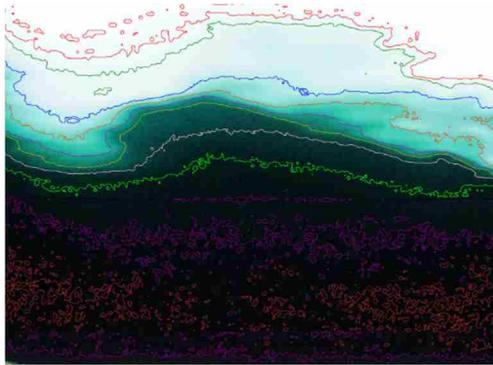
図- 4.37 底質模型の濃度分布の時間変化
(SF2-V2-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2/\text{s}^2$)



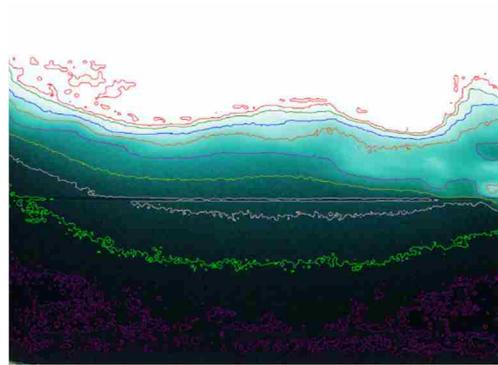
(a) 流れ開始 23.0 秒後



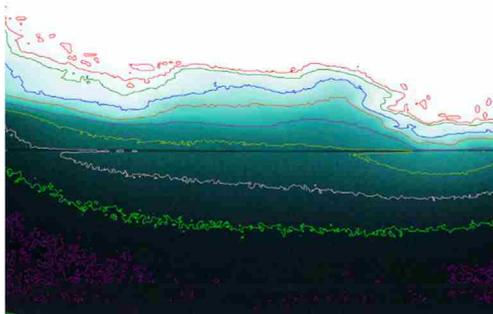
(b) 流れ開始 23.5 秒後



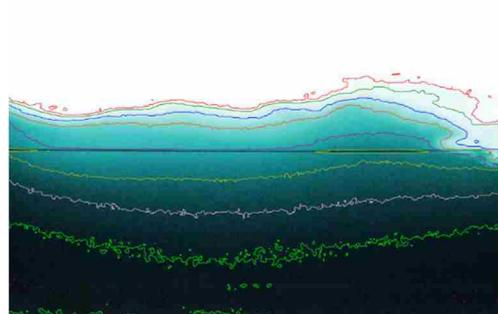
(c) 流れ開始 24.0 秒後



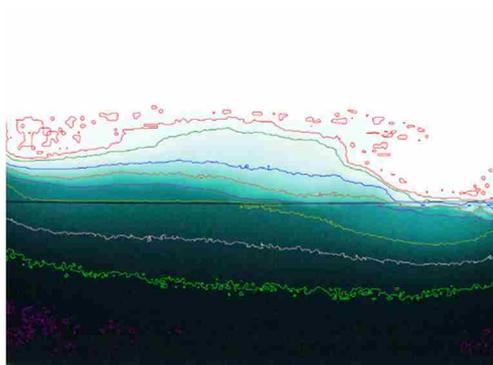
(d) 流れ開始 24.5 秒後



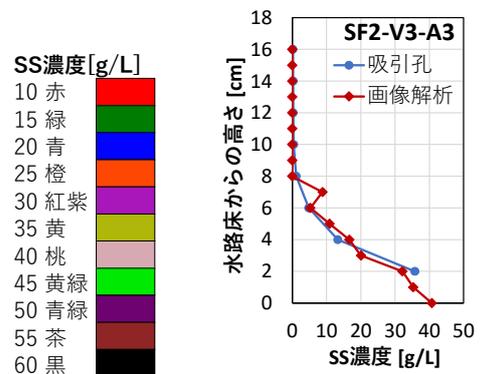
(e) 流れ開始 25.0 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 25.5 秒後



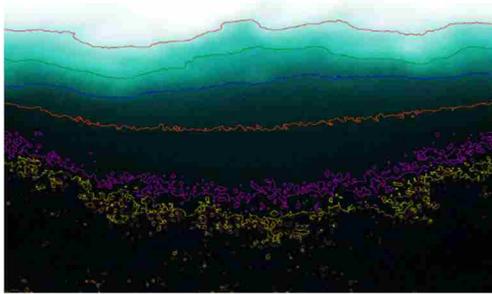
(g) 流れ開始 26.0 秒後



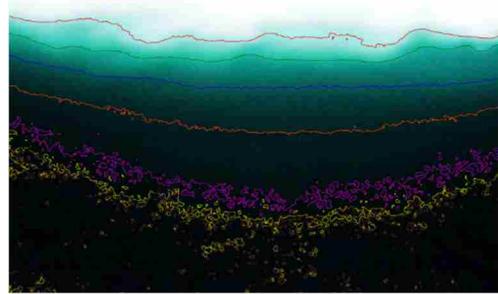
(h) 採水時の濃度分布の比較

図- 4.38 底質模型の濃度分布の時間変化

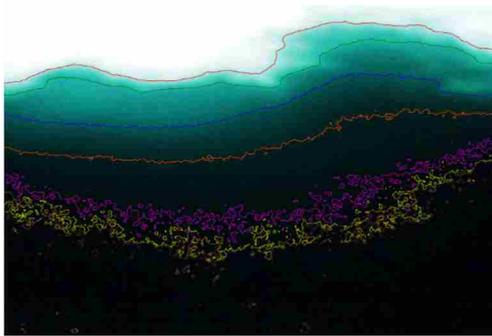
(SF2-V3-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V3:2.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2/\text{s}^2$)



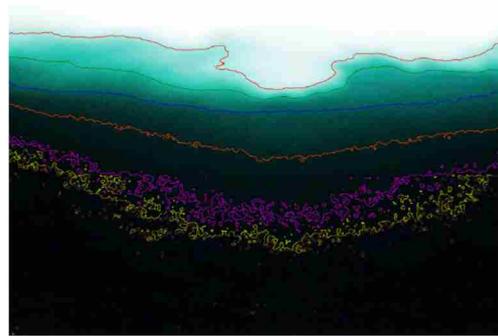
(a) 流れ開始 39.5 秒後



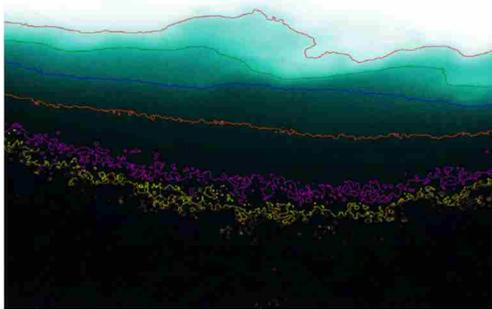
(b) 流れ開始 40.0 秒後



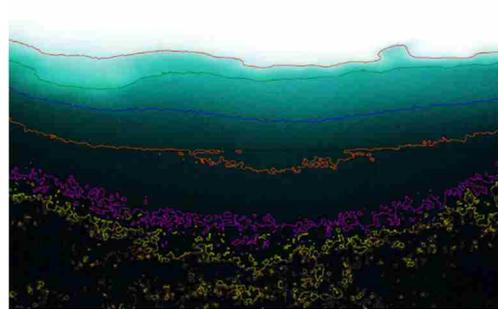
(c) 流れ開始 40.5 秒後



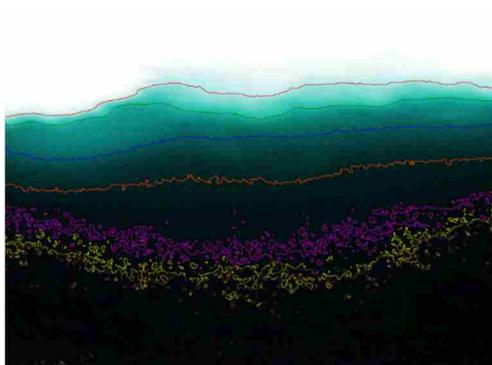
(d) 流れ開始 41.0 秒後



(e) 流れ開始 41.5 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 42.0 秒後



(g) 流れ開始 42.5 秒後

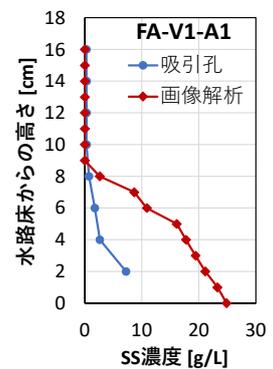
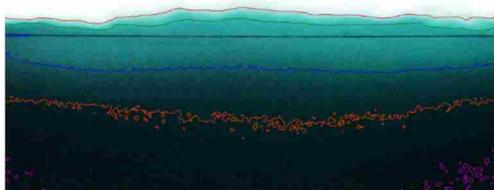
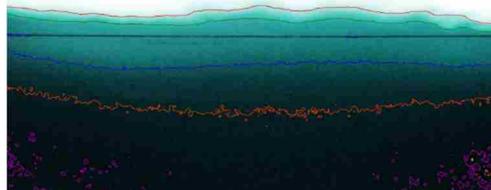


図- 4.39 底質模型の濃度分布の時間変化

(FA-V1-A1 : フライアッシュ, $w=62.3\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2$)



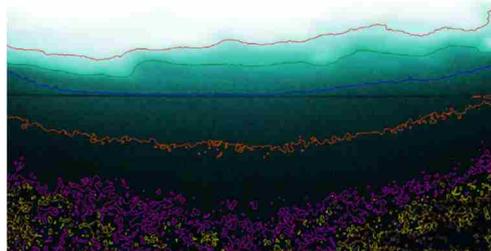
(a) 流れ開始 22.5 秒後



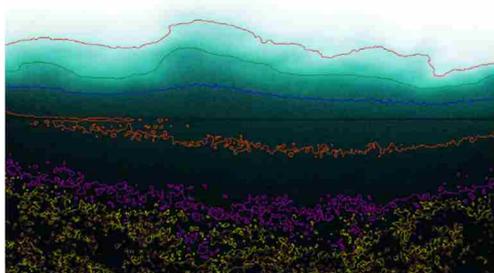
(b) 流れ開始 23.0 秒後



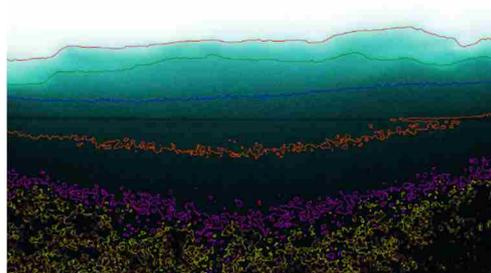
(c) 流れ開始 23.5 秒後



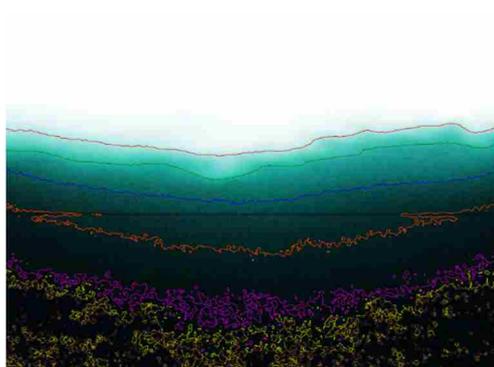
(d) 流れ開始 24.0 秒後



(e) 流れ開始 24.5 秒後 [採水]



(f) 流れ開始 25.0 秒後



(g) 流れ開始 25.5 秒後

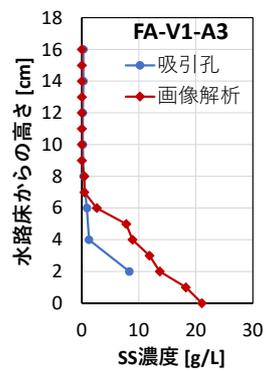


図- 4.40 底質模型の濃度分布の時間変化

(FA-V1-A3 : フライアッシュ, $w=62.3\%$, $V1:1.0m/s$, $A3:1.1m/s^2$)

③ 底質の巻き上げ速度

単位時間・単位面積当たりの巻き上げ量を巻き上げ速度 E [$\text{mg}/\text{cm}^3/\text{s}$]と定義し、式 4-7 から推定した。

$$E = \frac{Q}{h} \int_0^h SS(z) dz \cdot \frac{1}{BL} \quad (4-7)$$

ここで、 h : 水路高さ(=20) [cm], SS : 画像解析から得られた水路床からの高さ z における SS 濃度 [mg/L], Q : 流量 [cm^3/s], B : 水路幅 (=20) [cm], A : サンドベッド上流端から吸引孔までの距離 [cm]とした (図- 4.41)。

本試験により得られた巻き上げ速度 E の時系列を図- 4.42～図- 4.54 に示す。

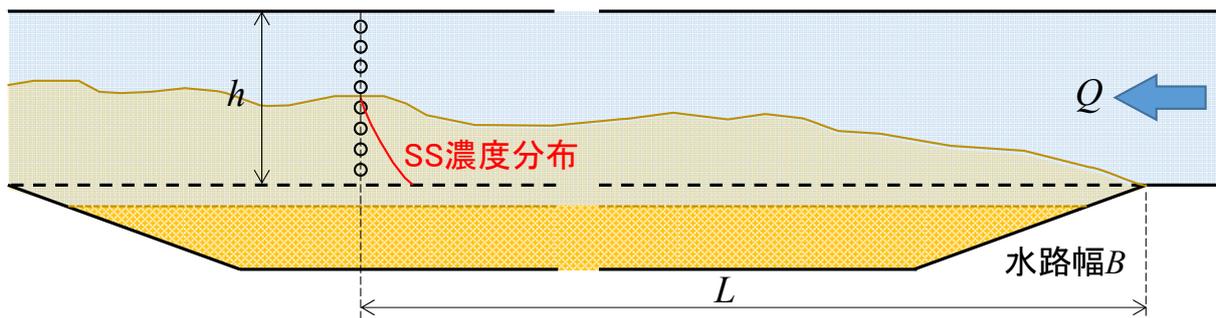


図- 4.41 巻き上げ速度の推定方法

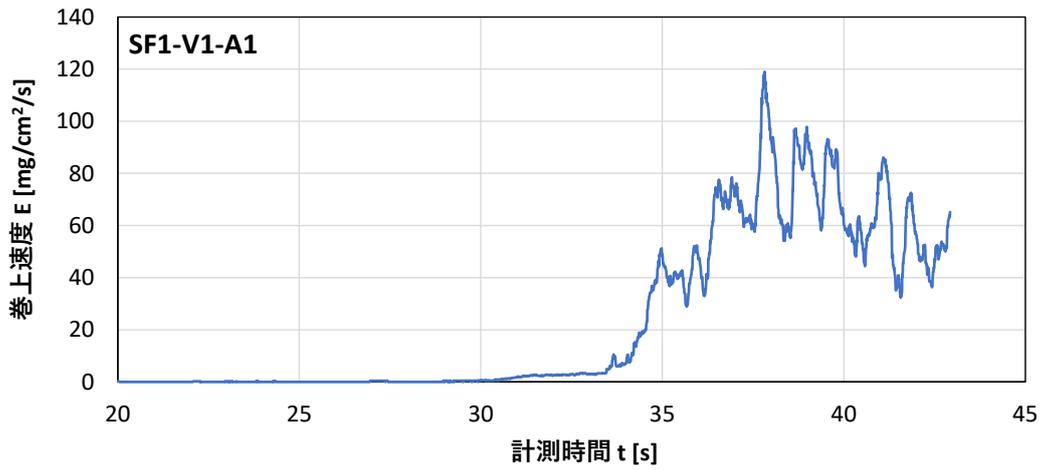


図- 4.42 巻き上げ速度の推定結果

(SF1-V1-A1 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2$)

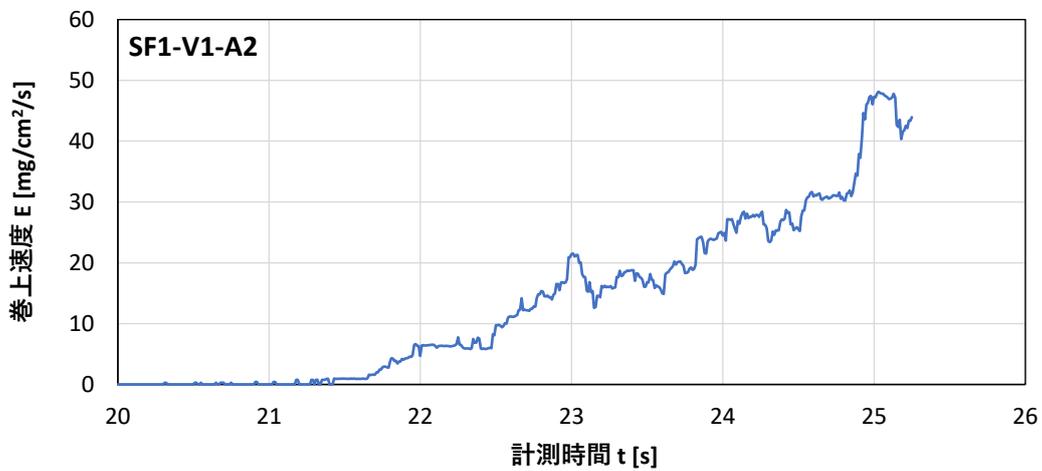


図- 4.43 巻き上げ速度の推定結果

(SF1-V1-A2 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m}^2$)

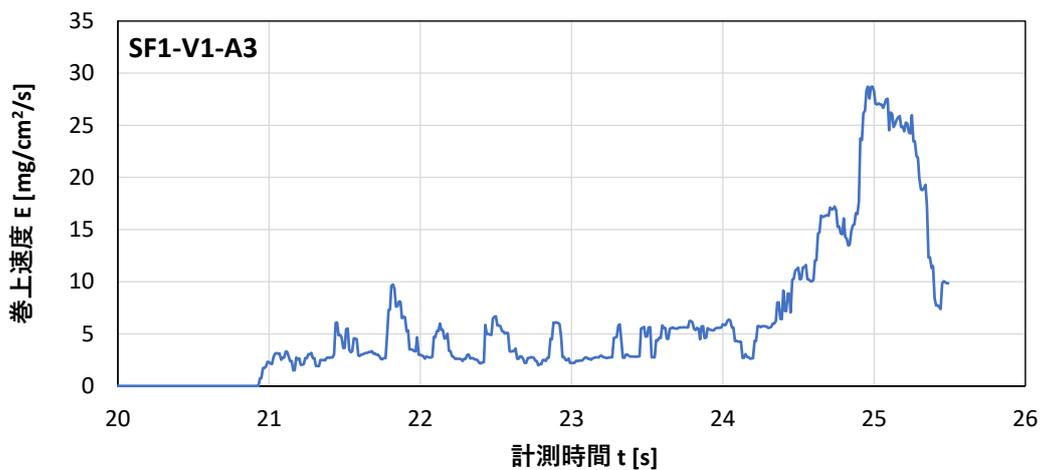


図- 4.44 巻き上げ速度の推定結果

(SF1-V1-A3 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2$)

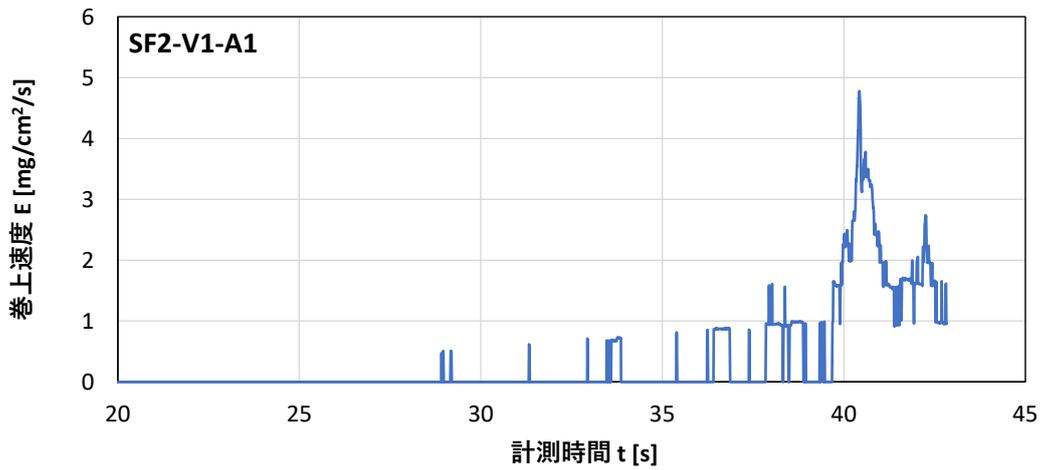


図- 4.45 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V1-A1 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m/s}^2$)

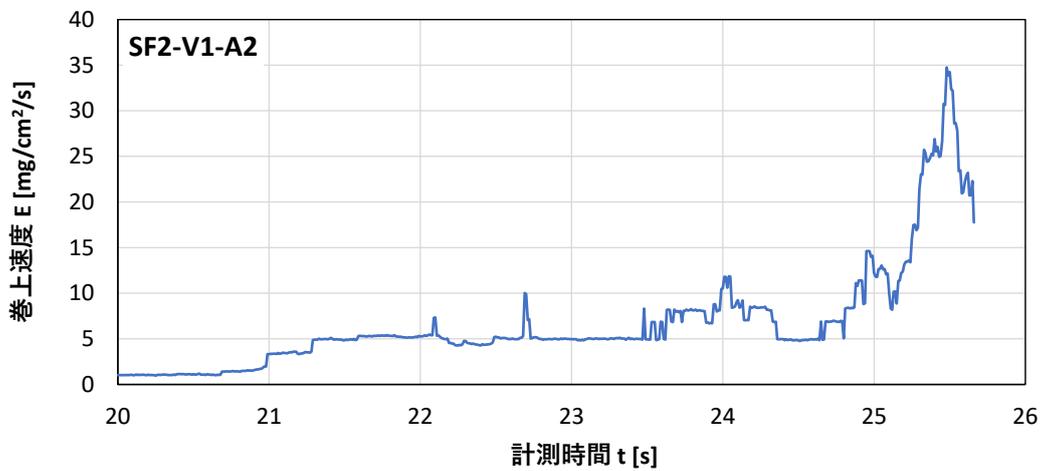


図- 4.46 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V1-A2 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m/s}^2$)

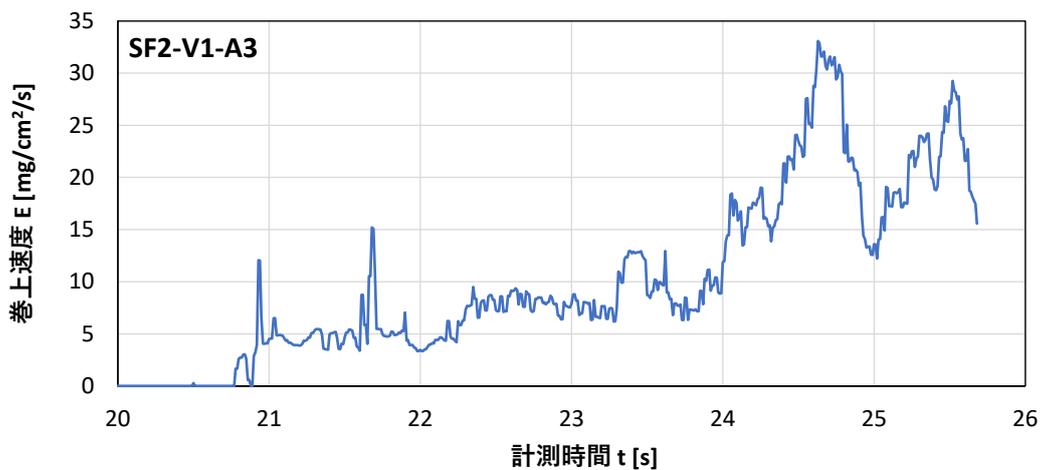


図- 4.47 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V1-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m/s}^2$)

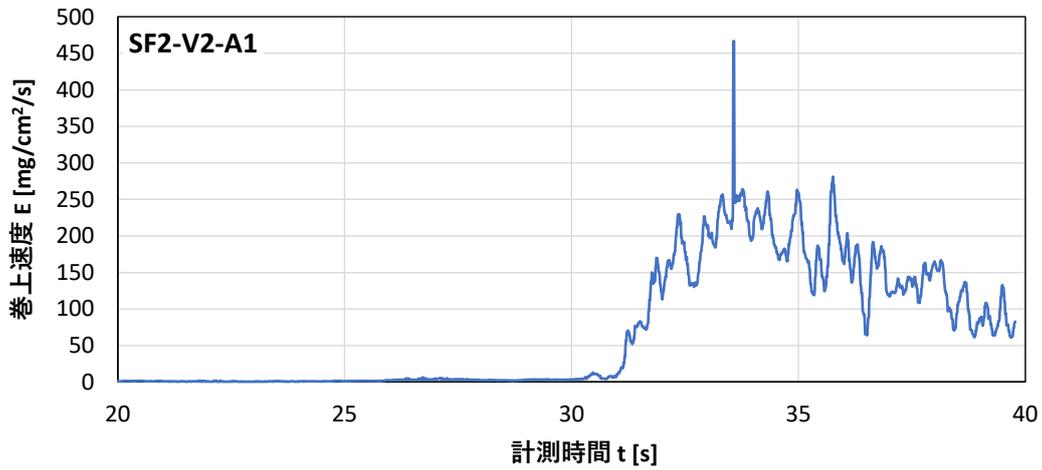


図-4.48 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V2-A1 : シリカフューム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2/\text{s}^2$)

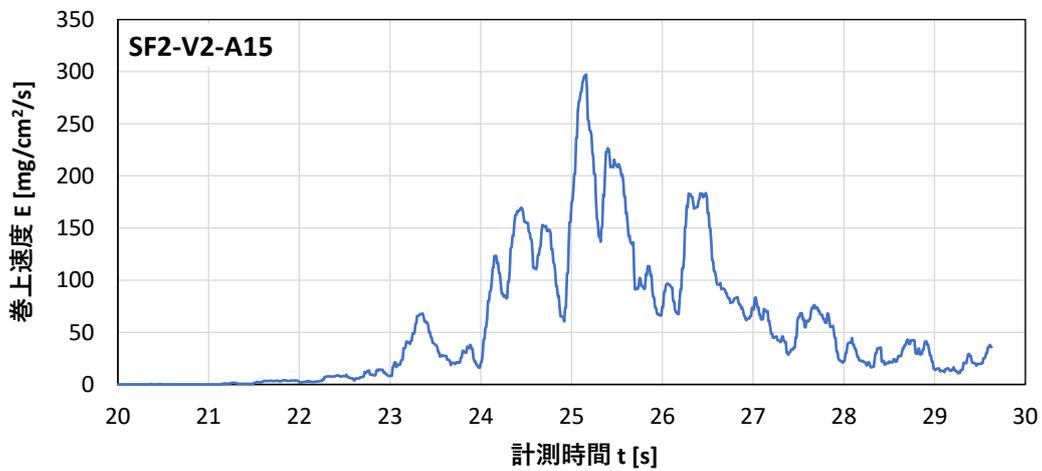


図-4.49 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V2-A1.5 : シリカフューム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A1.5:0.6\text{m}^2/\text{s}^2$)

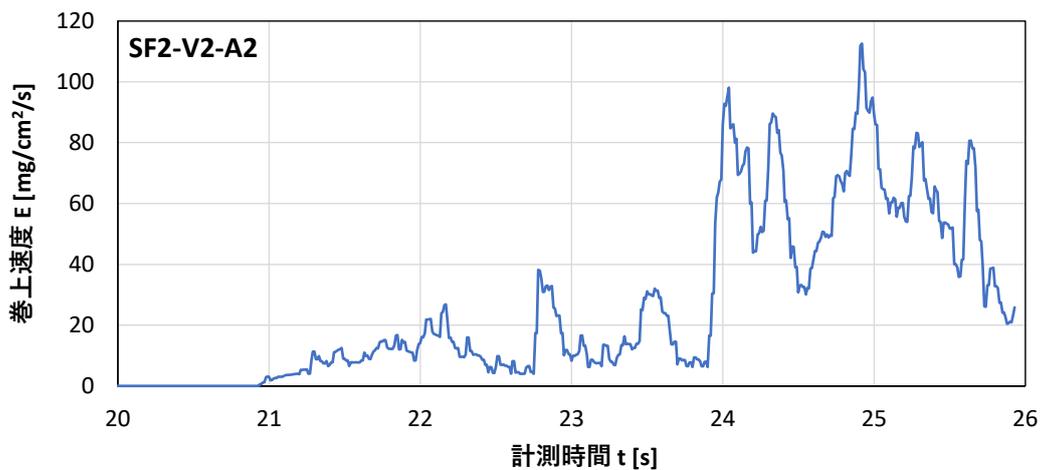


図-4.50 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V2-A2 : シリカフューム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m}^2/\text{s}^2$)

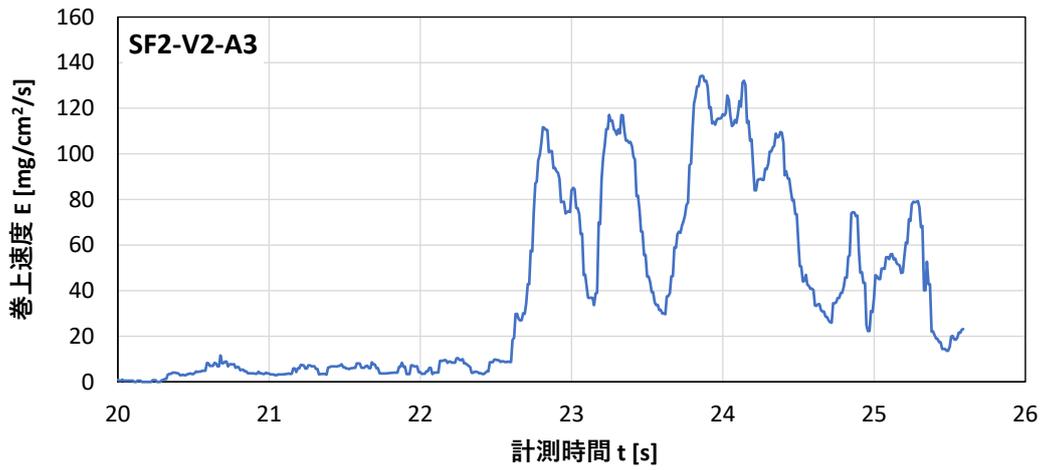


図-4.51 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V2-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m/s}^2$)

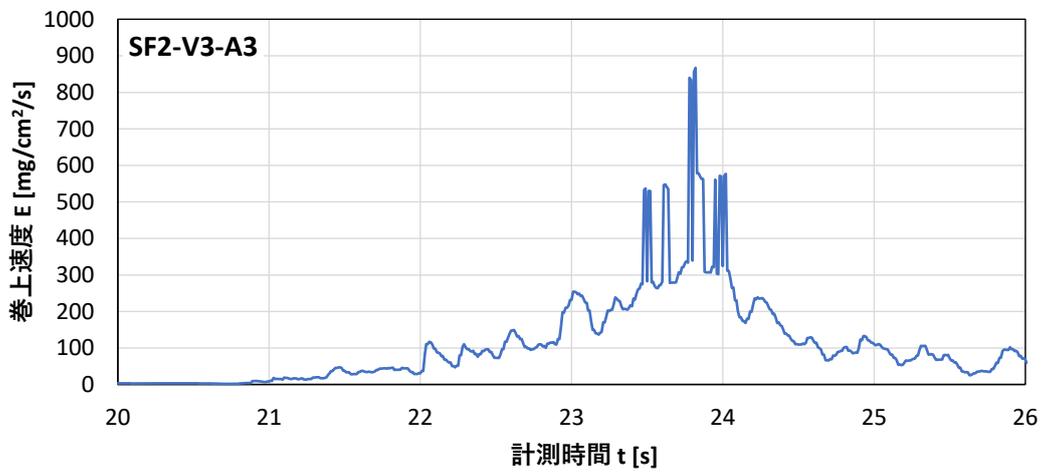


図-4.52 巻き上げ速度の推定結果

(SF2-V3-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V3:2.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m/s}^2$)

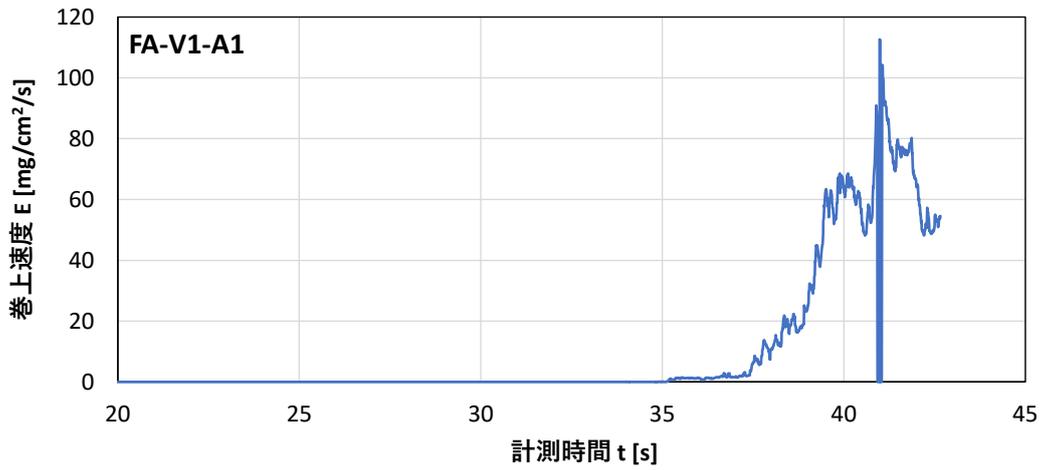


図- 4.53 巻き上げ速度の推定結果

(FA-V1-A1 : フライアッシュ, $w=62.3\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2$)

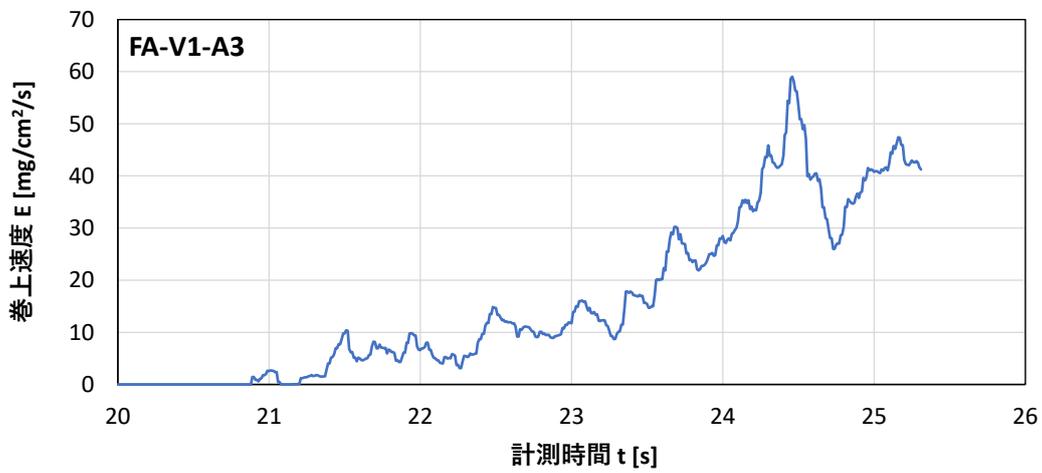


図- 4.54 巻き上げ速度の推定結果

(FA-V1-A3 : フライアッシュ, $w=62.3\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2$)

④ 底質内圧力の時間変化

試験水路のサンドベッド部において側面に圧力計を設置し，通水時における底質内圧力の時間変化を確認した．得られた結果のうち，流れの圧力勾配が大きくなる時間帯の底質内圧力の変化を図- 4.55～図- 4.67 に示す．各図中の青線（P6, P12-P18 における底質内圧力の鉛直分布）の変化より，圧力勾配が大きくなると P12-P18 における底質内圧力の鉛直分布に折れ点が表れる．この折れ点より上側は，流れの圧力勾配により破壊されて流下した可能性が考えられる．これらの結果と水路側面から撮影した映像と合わせて流動化推定層厚を仮定し，流れの圧力勾配との関係を図- 4.68 のように整理した．

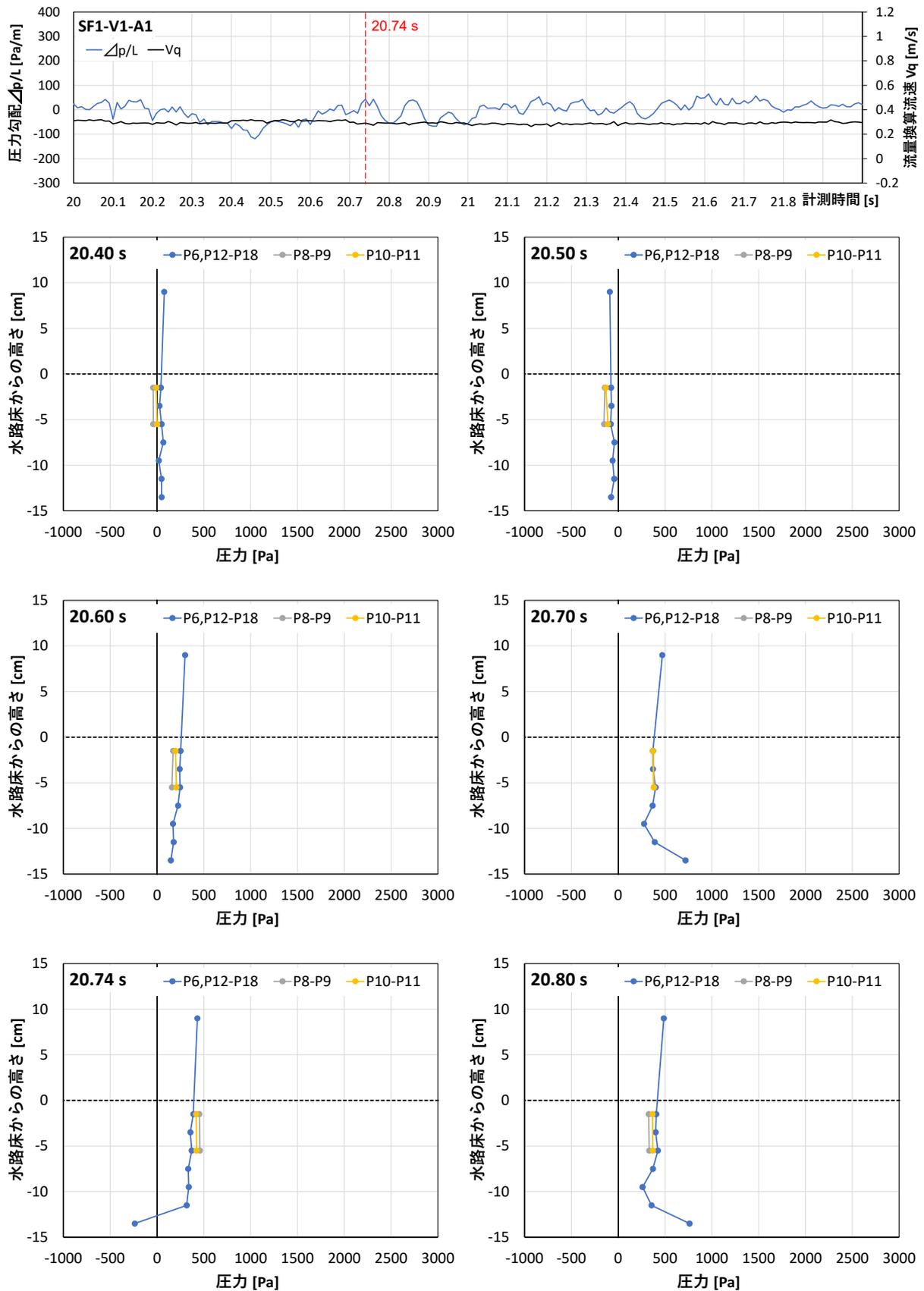


図- 4.55 通水時の圧力変化
 (SF1-V1-A1 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2$)

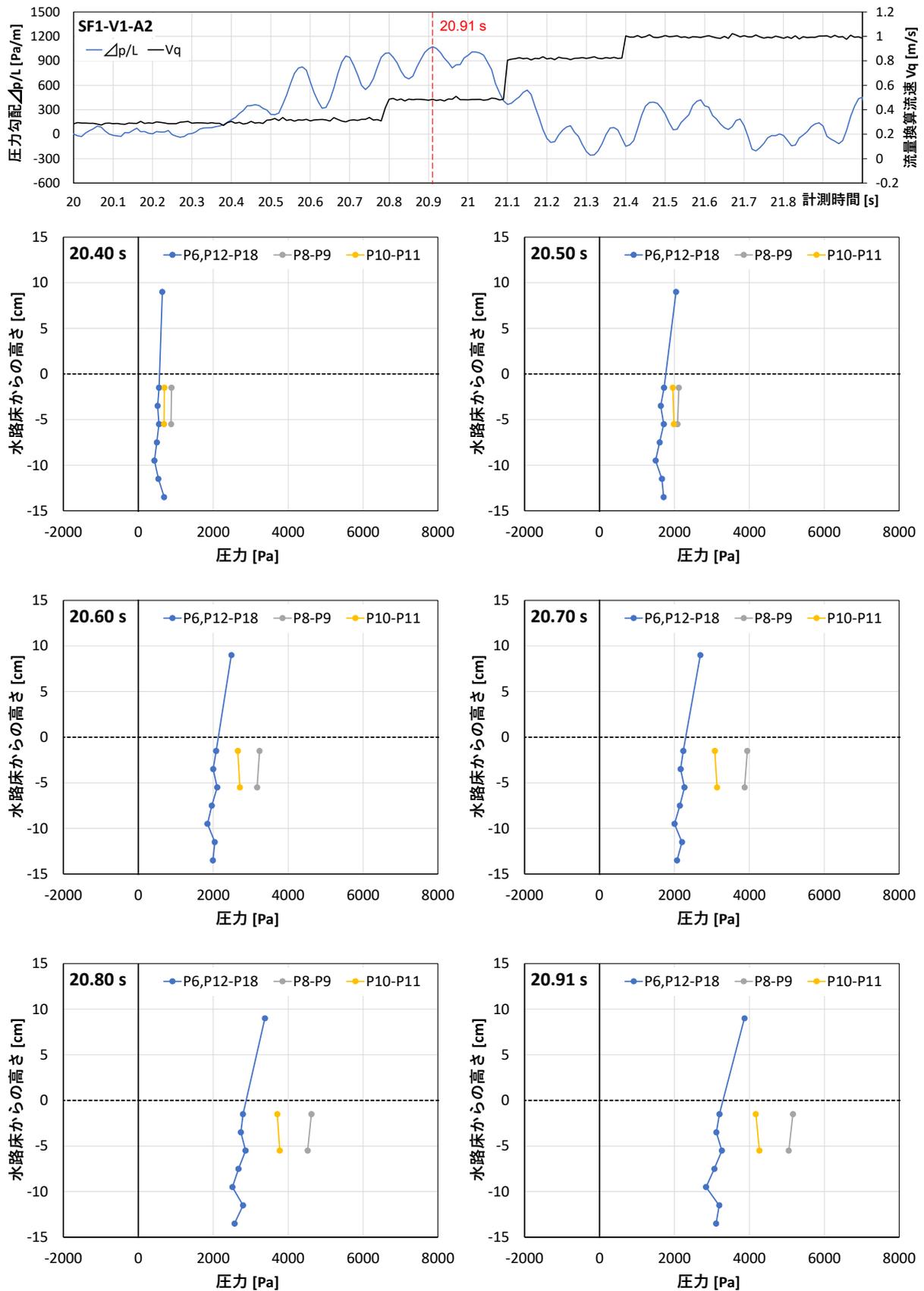


図- 4.56 通水時の圧力変化

(SF1-V1-A2 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m}^2$)

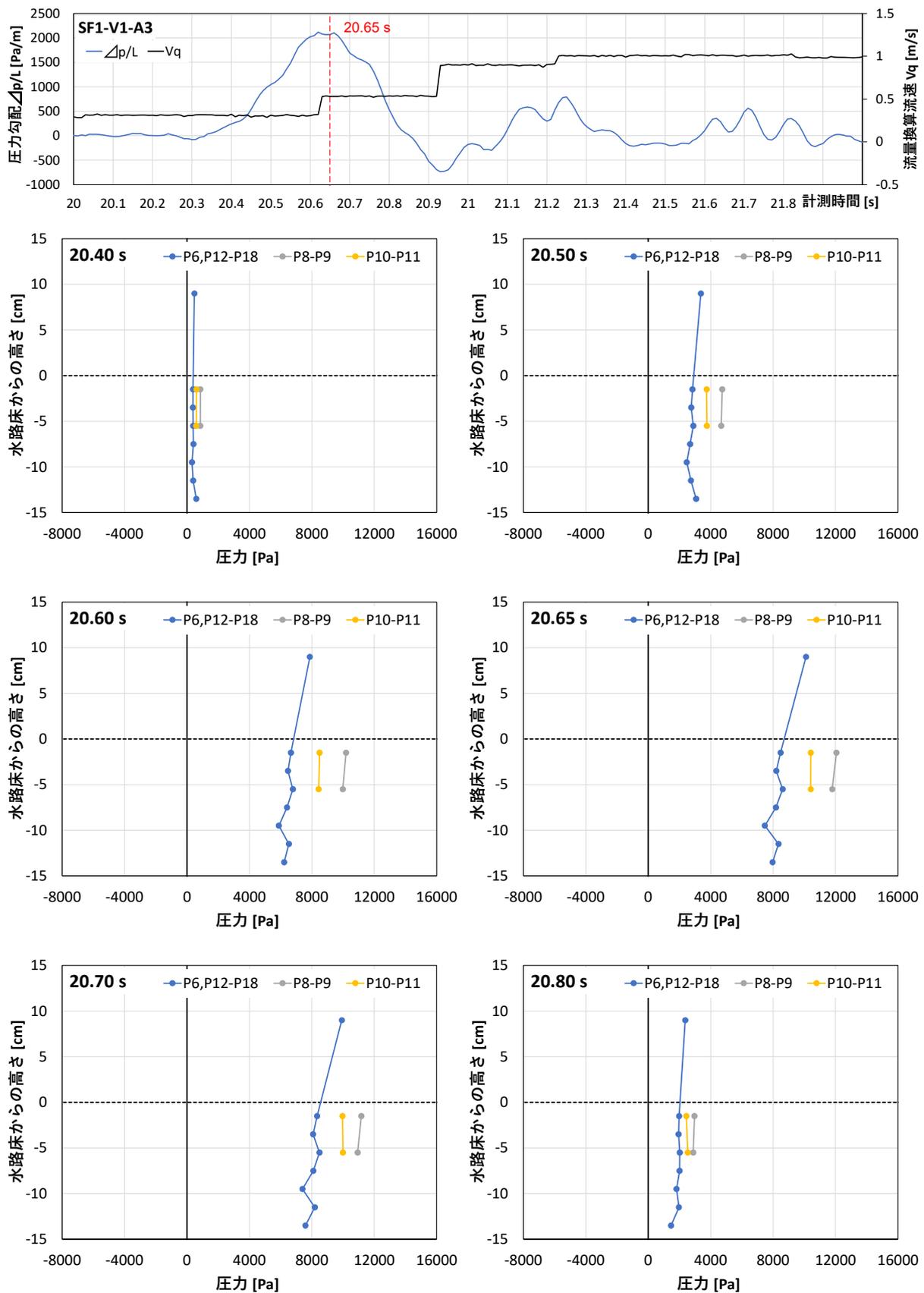


図- 4.57 通水時の圧力変化

(SF1-V1-A3 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2$)

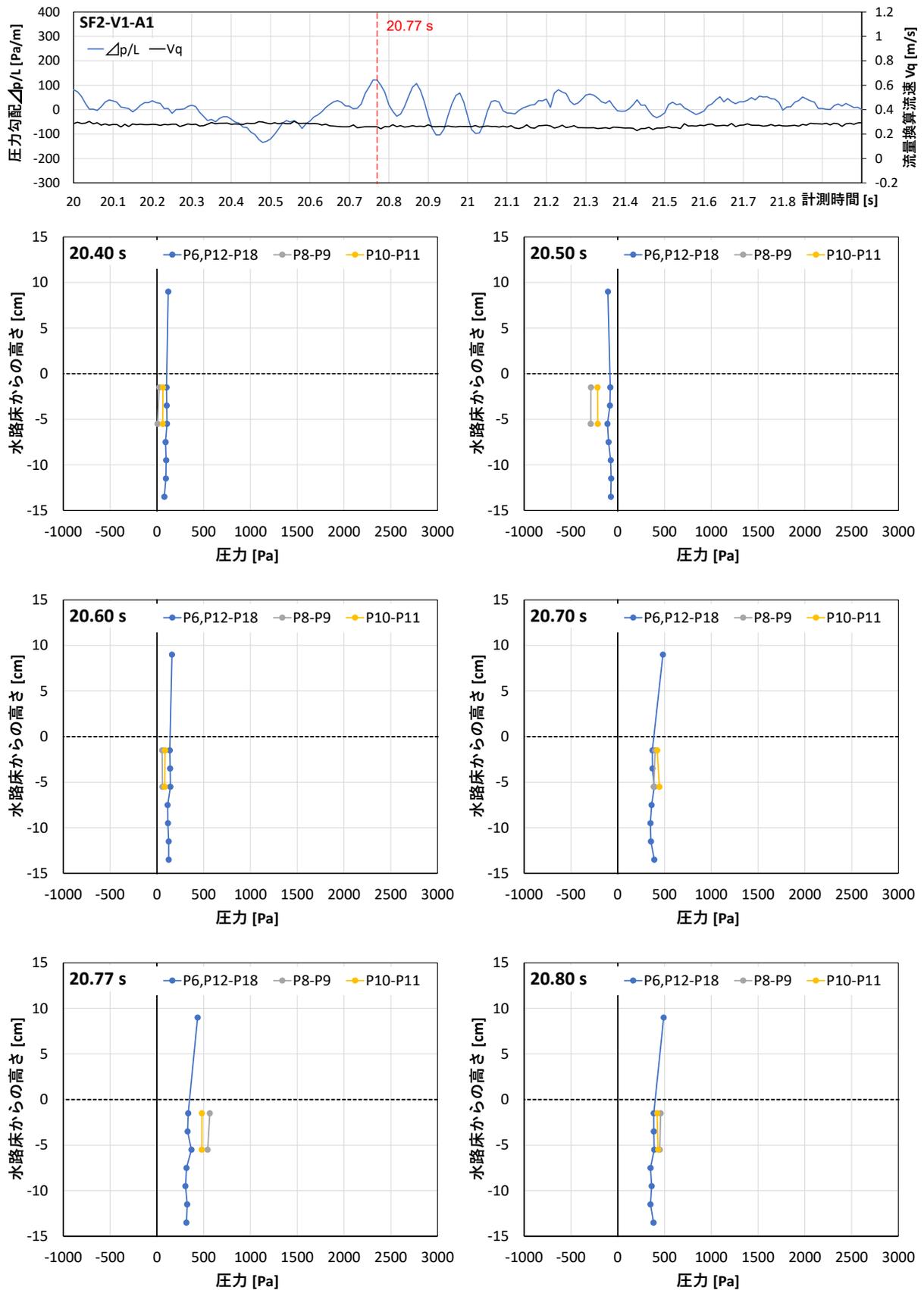


図- 4.58 通水時の圧力変化

(SF2-V1-A1 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2$)

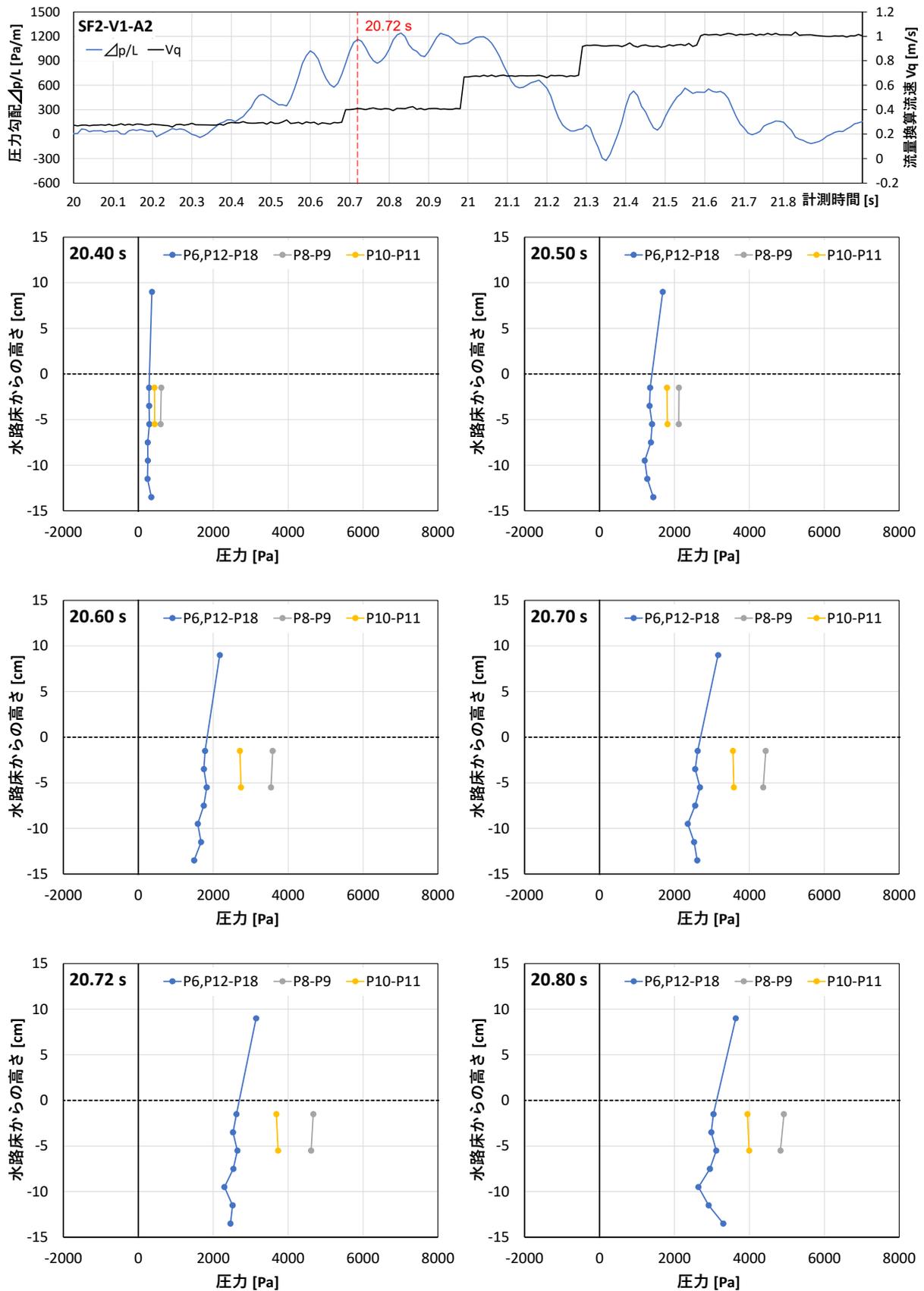


図- 4.59 通水時の圧力変化

(SF2-V1-A2 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m}^2$)

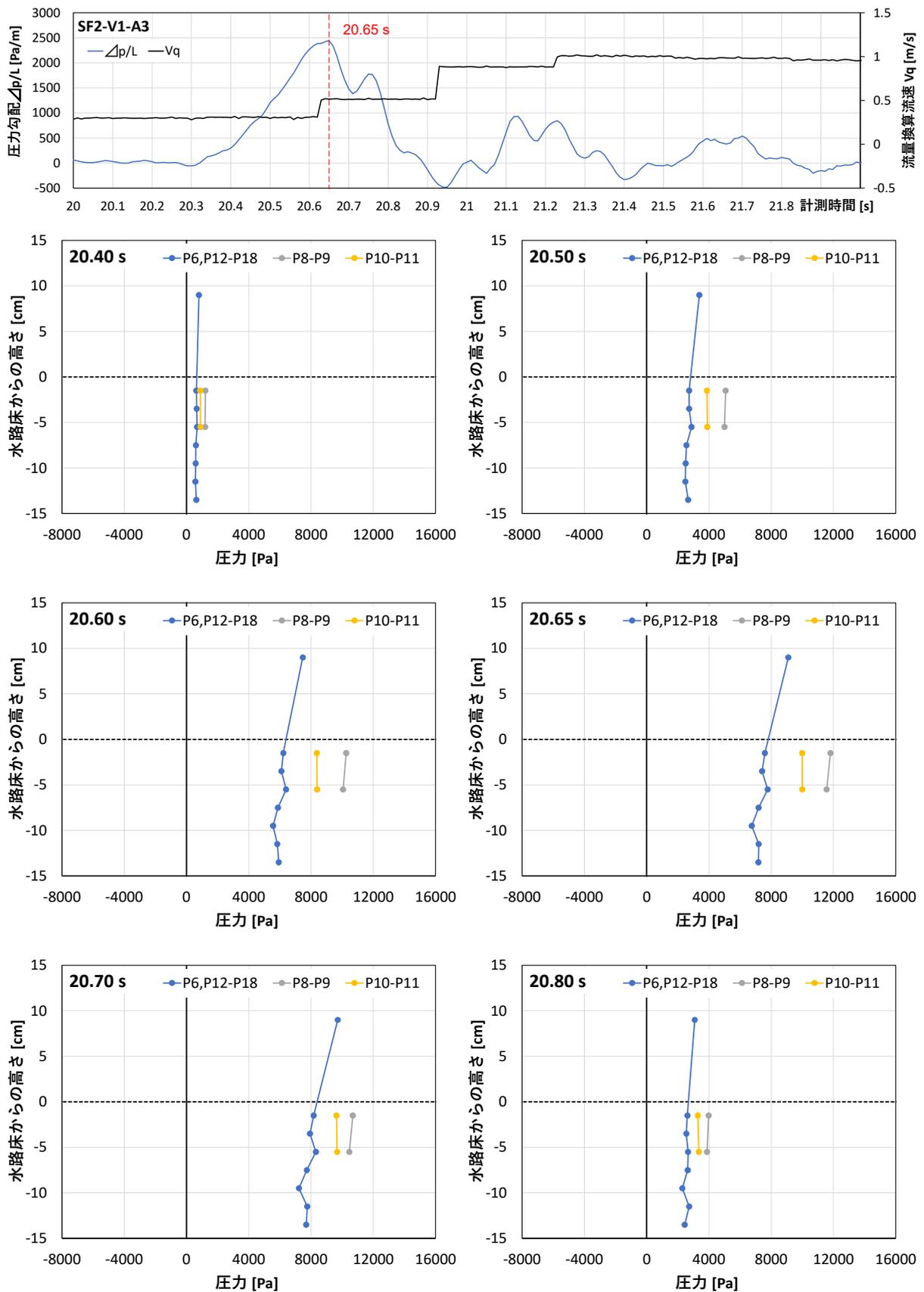


図- 4.60 通水時の圧力変化

(SF2-V1-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2$)

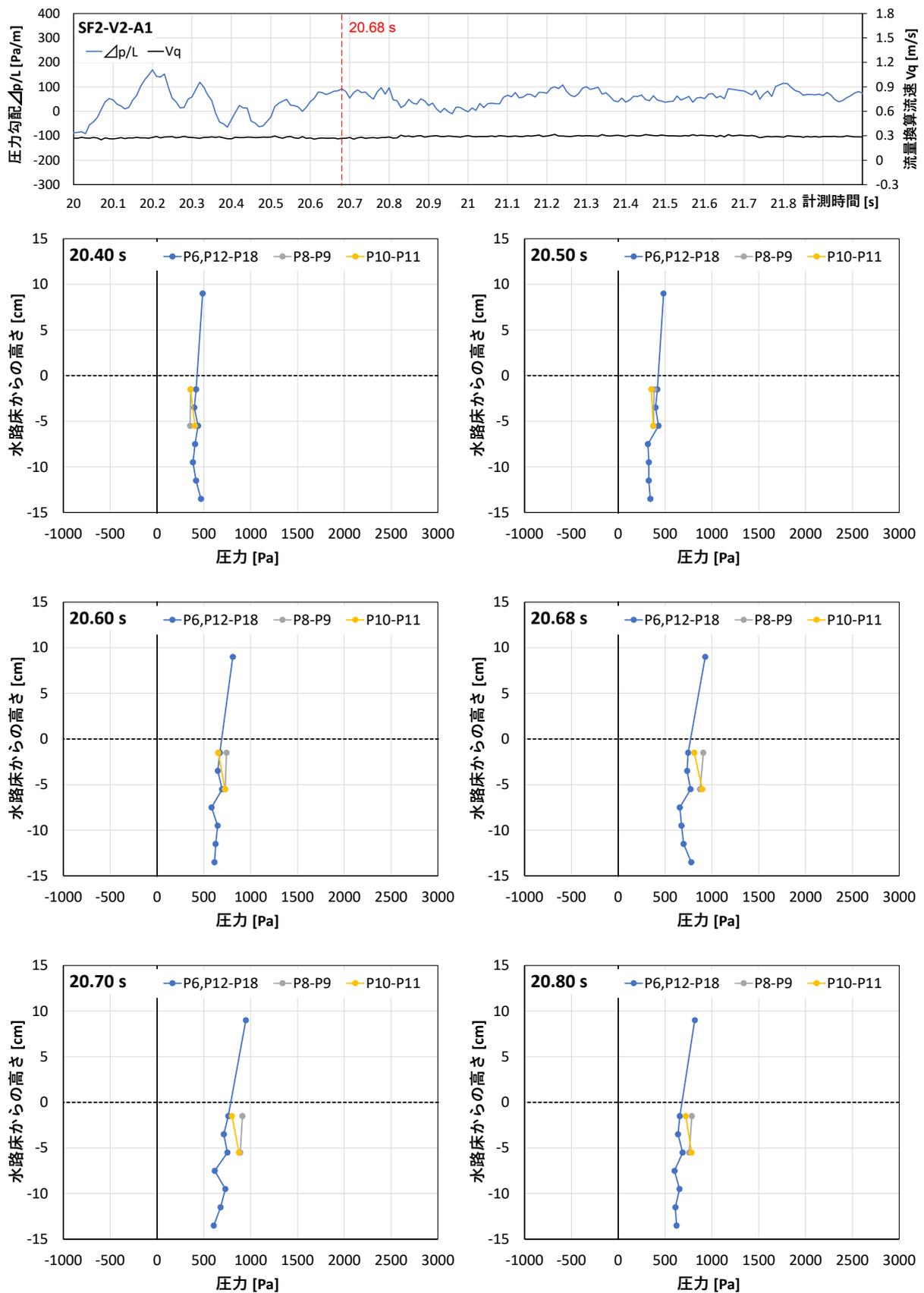


図- 4.61 通水時の圧力変化

(SF2-V2-A1 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2/\text{s}^2$)

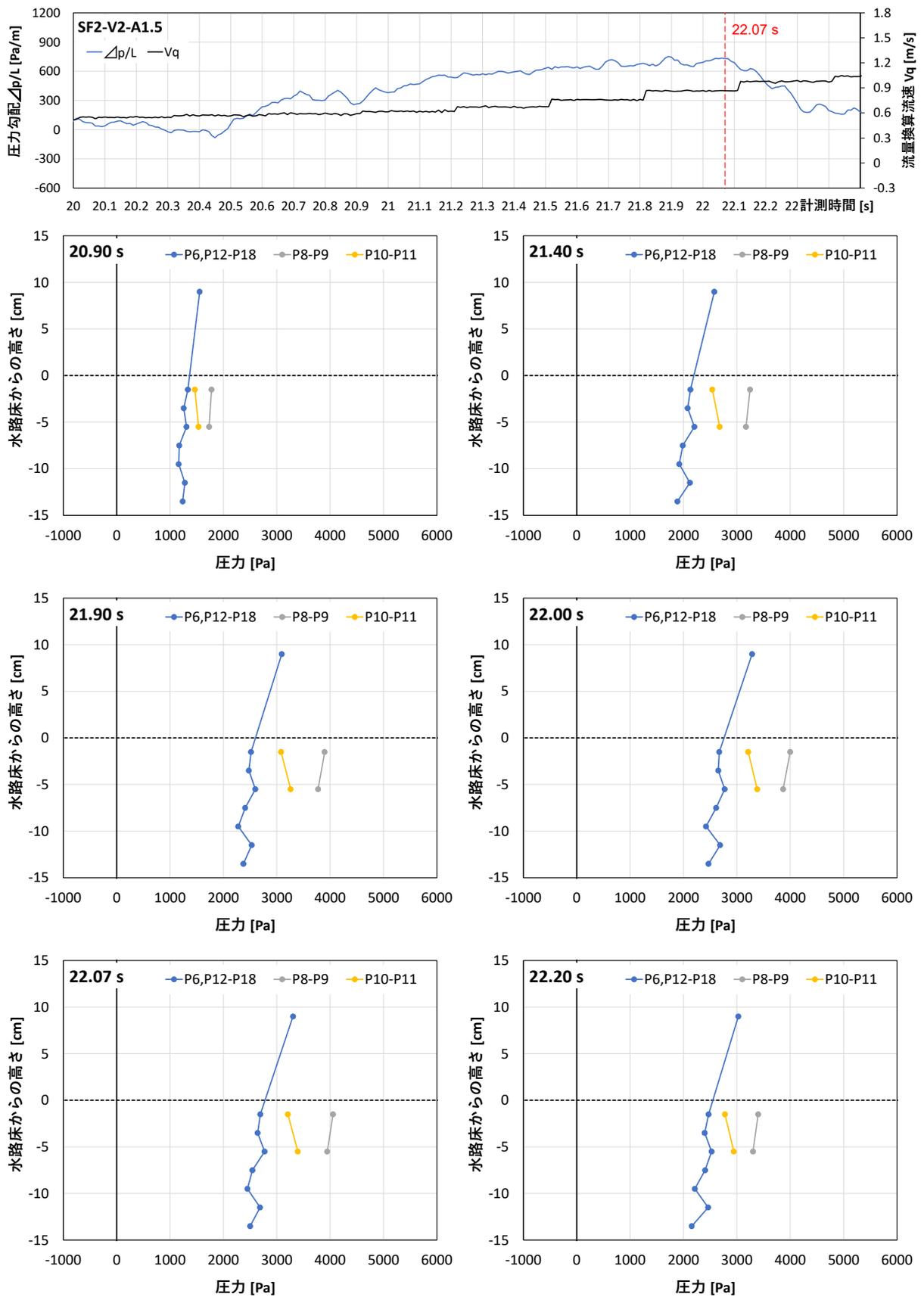


図- 4.62 通水時の圧力変化

(SF2-V2-A1.5 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A1.5:0.6\text{m}^2$)

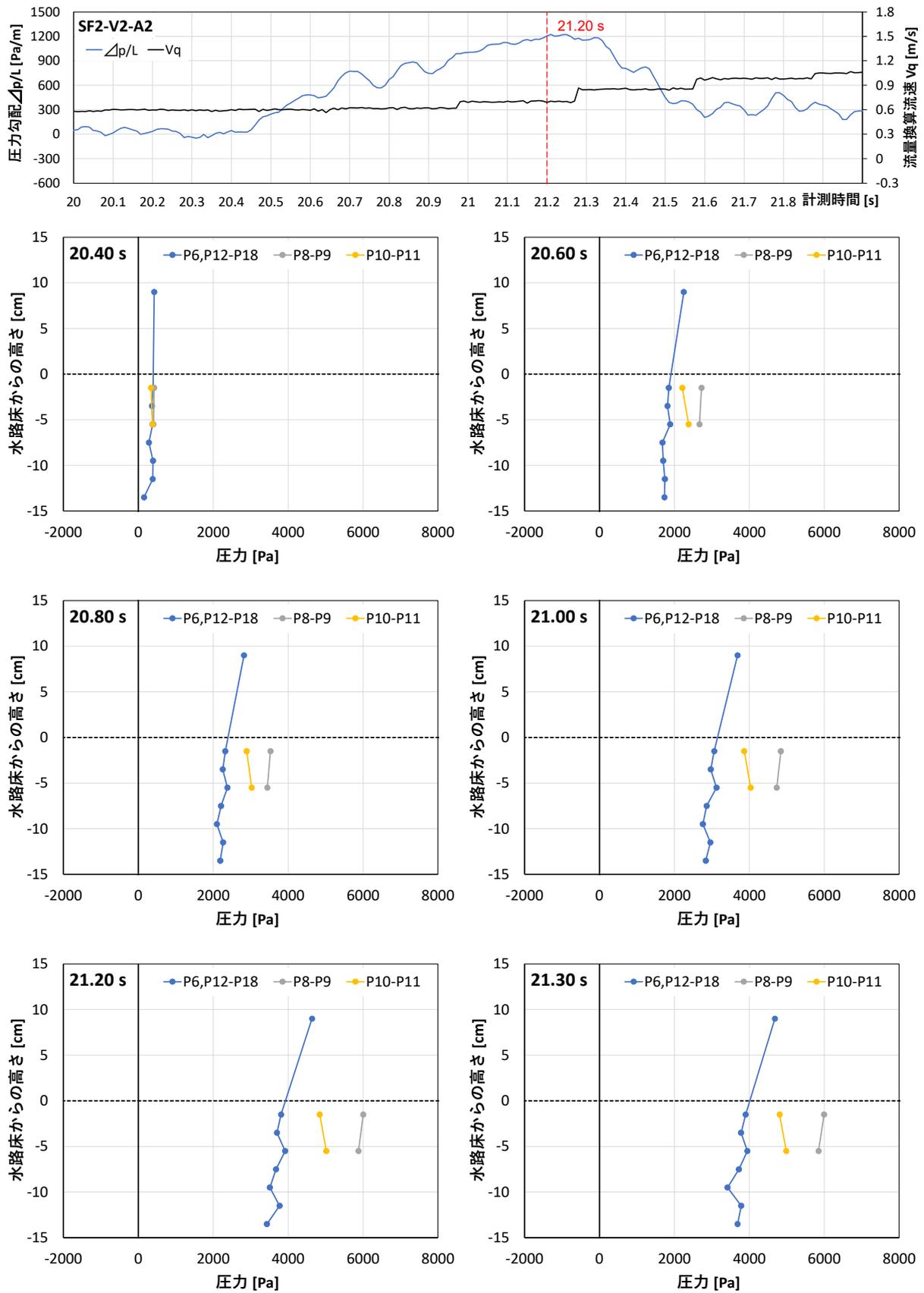


図- 4.63 通水時の圧力変化

(SF2-V2-A2 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V2:1.5\text{m/s}$, $A2:0.7\text{m}^2$)

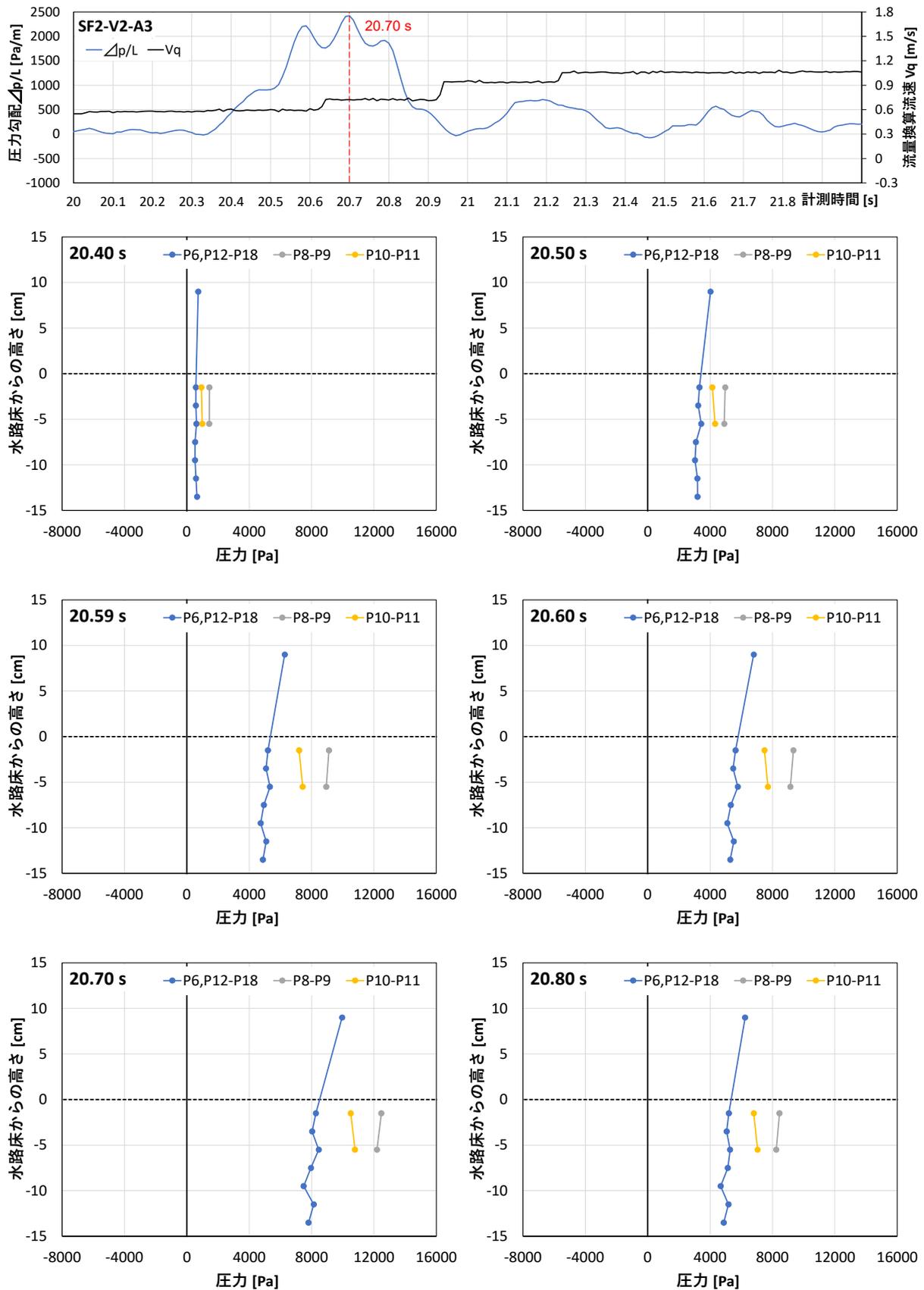


図- 4.64 通水時の圧力変化
 (SF2-V2-A3 : シリカフェーム, $w=150.0\%$, $V_2:1.5\text{m/s}$, $A_3:1.1\text{m}^2$)

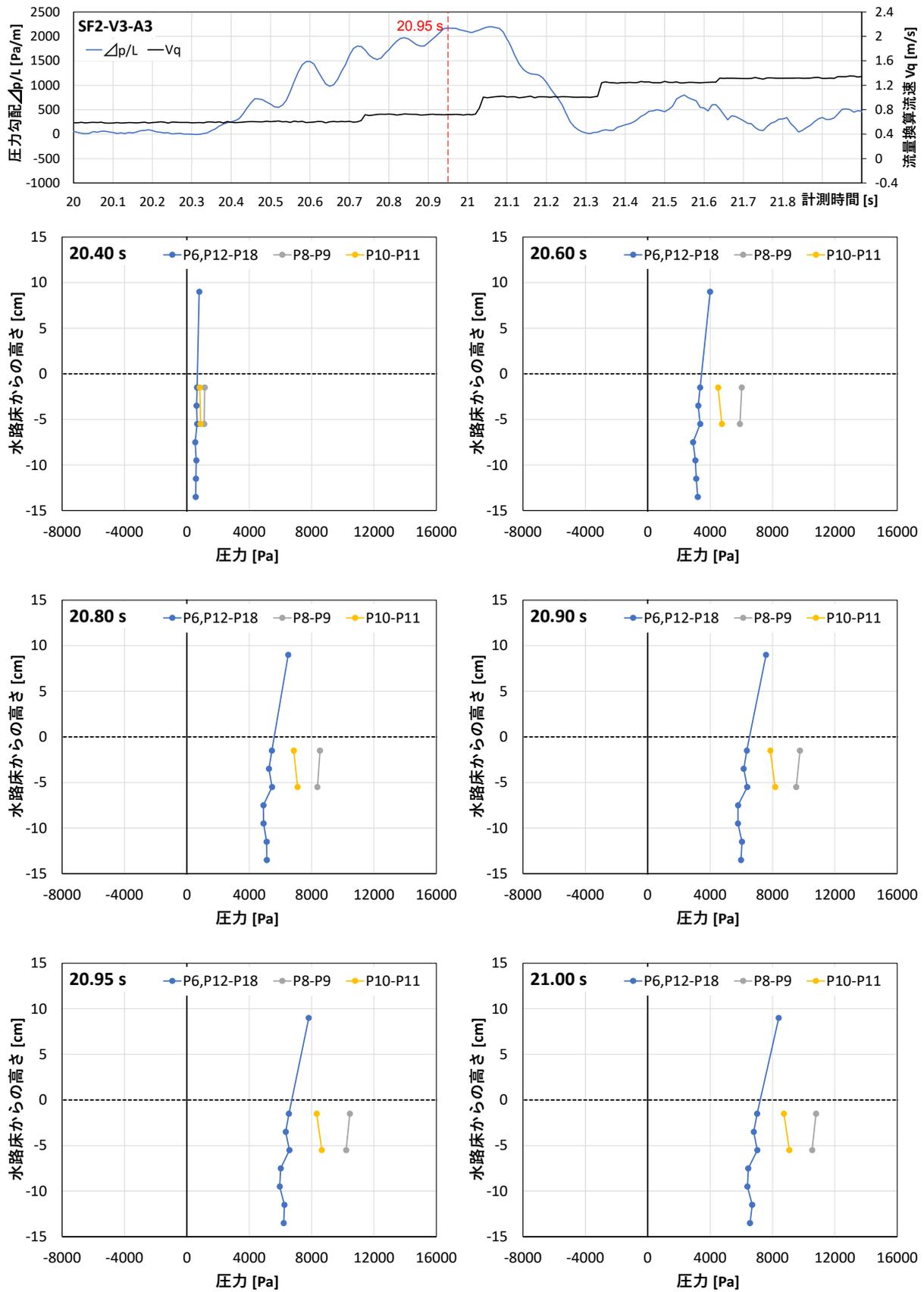


図- 4.65 通水時の圧力変化

(SF2-V3-A3 : シリカフェーム, $w=100.0\%$, $V3:2.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2$)

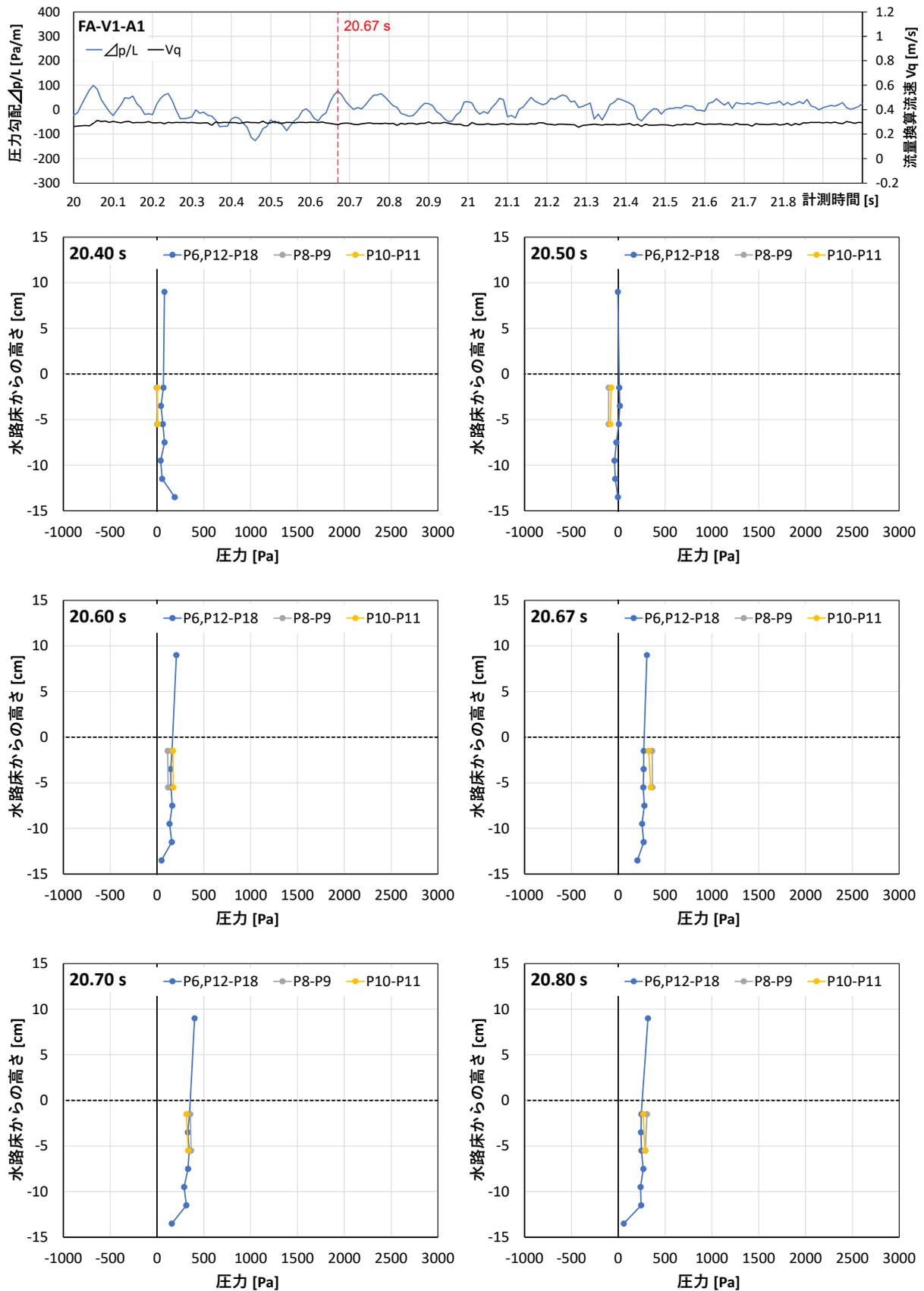


図- 4.66 通水時の圧力変化
 (FA-V1-A1 : フライアッシュ, $w=62.3\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A1:0.06\text{m}^2$)

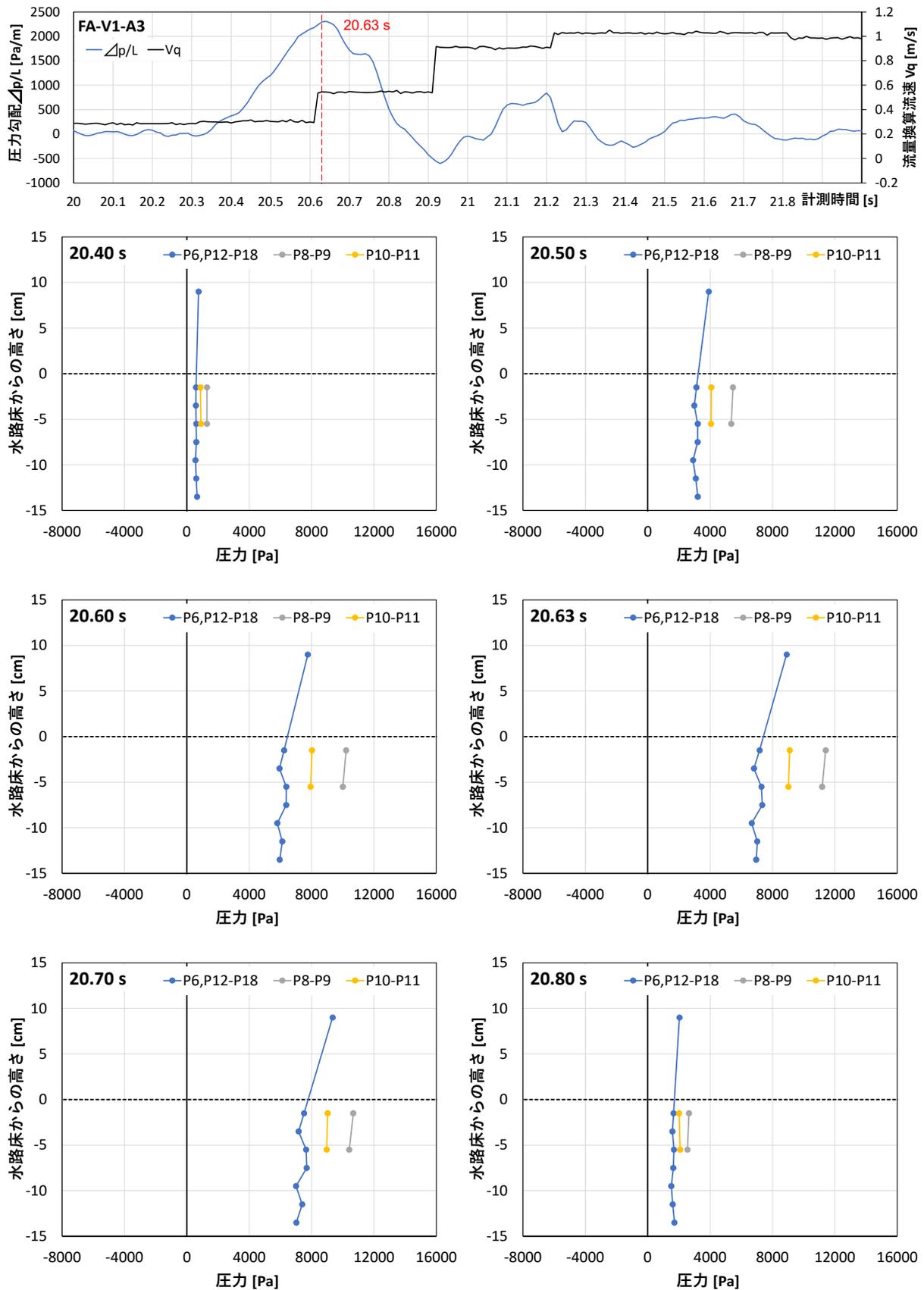


図- 4.67 通水時の圧力変化
 (FA-V1-A3 : フライアッシュ, $w=62.3\%$, $V1:1.0\text{m/s}$, $A3:1.1\text{m}^2$)

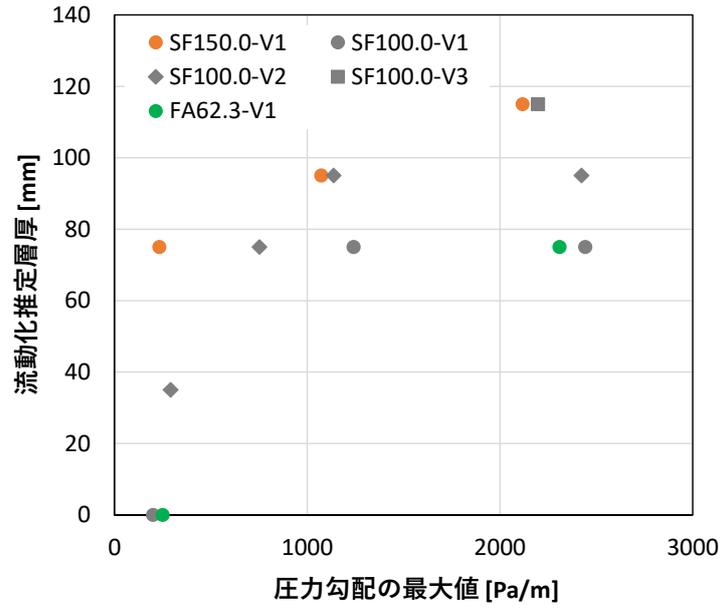


図- 4.68 流れの圧力勾配と流動化推定層厚の関係

4.2. 波圧試験

4.2.1. 試験方法

(1) 試験概要

波圧試験は、巻き上がった底質の含有に伴う流体の密度および粘性等の変化が、防潮堤に作用する波力に与える影響を検討することを目的に実施した。

本試験では、2次元開水路内に仕切板を設けて沖側に淡水、陸側に濁水を溜め、津波の造波時に仕切板を引き抜くことで淡水の津波が濁水に伝播し、防潮堤に衝突する機構とした。津波の種類は波形の異なる3ケースを、流体密度は3ケース(1.00, 1.05, 1.10g/cm³)を設定し、淡水・濁水(シリカフュームの含有)・塩水を用いた。なお、仕切板の引上げ有無による通過波試験を実施し、仕切板の引上げによる影響がないことを事前に確認している。

本試験は、以下の手順で実施した。

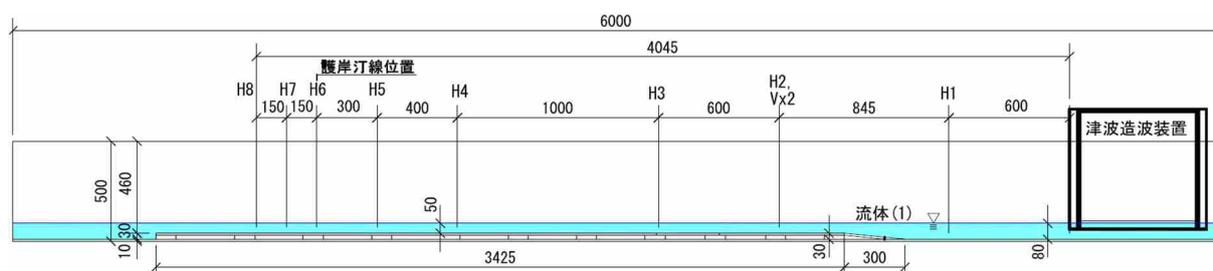
- ①波検定：造波装置の各バルブを開放するタイミングを変えて波形を調整し、津波3ケースを決定した。
- ②通過波試験：防潮堤模型が無い状態で、防潮堤位置における流速をプロペラ式流速計および映像による判読から測定した。
- ③衝突試験：津波波形・濁水密度・海底地形・防潮堤位置を変化させ、防潮堤に作用する波力および波形変化等を計測した。

以降に詳細を示す。

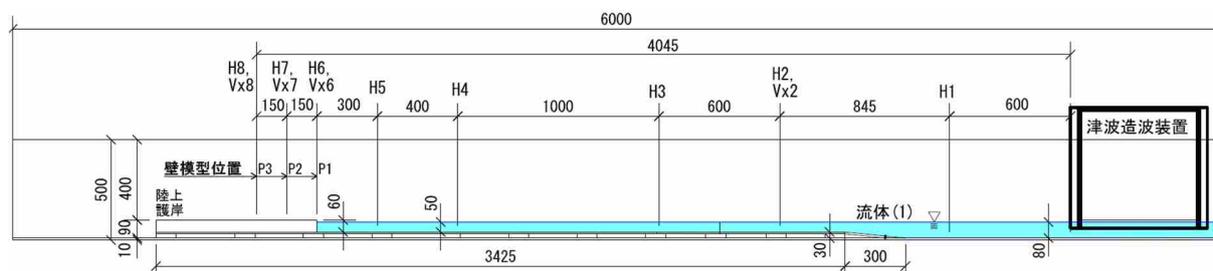
(2) 試験装置

波圧試験では、アクリル製の小型二次元水路（幅 0.20m×高さ 0.5m×延長 6.0m）を用い、水路内に高さ 0.03m、擦付け勾配 1:10 の地形を設置し、途中には仕切板を取り付けた。本水路の沖側端部には津波造波装置を設置し、装置内に水を溜め、上面のバルブ開放により津波を発生させた。本水路の陸側端部には壁模型を設置し、水深を 0.05m として仕切板より沖側に流体(1)として淡水、陸側に流体(2)として淡水・濁水（シリカフェームの含有）・塩水を溜めた。津波波形は、造波装置内の初期水位と、各バルブの開放のタイミングを調整することで変化させた。衝突試験時には、流体(1)の津波造波後、所定の時間経過後に仕切板を瞬時に引き上げ、流体(2)に津波を伝播させ、陸上の壁模型に衝突させた。

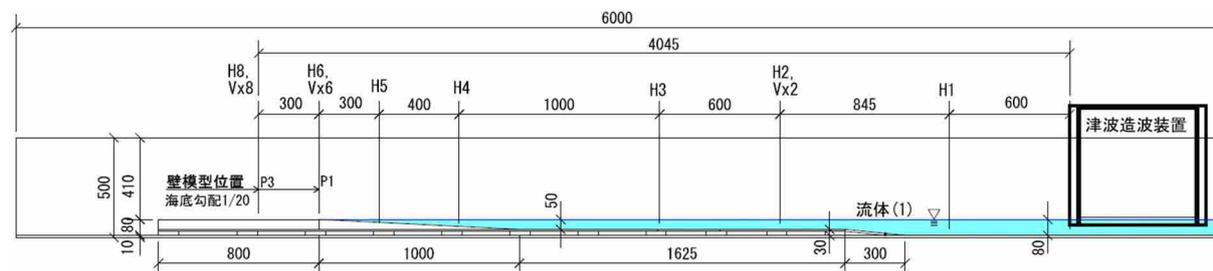
壁模型の位置は 3 ケース（護岸汀線から陸側に 0, 0.15, 0.30m ; P1~P3）、海底地形は 2 ケース（水平床 ; F, 単純勾配(1/20) ; S）とした。波検定および通過波試験のセットアップを図-4.69 に、衝突試験のセットアップを図-4.70 に示す。



(a) 波検定



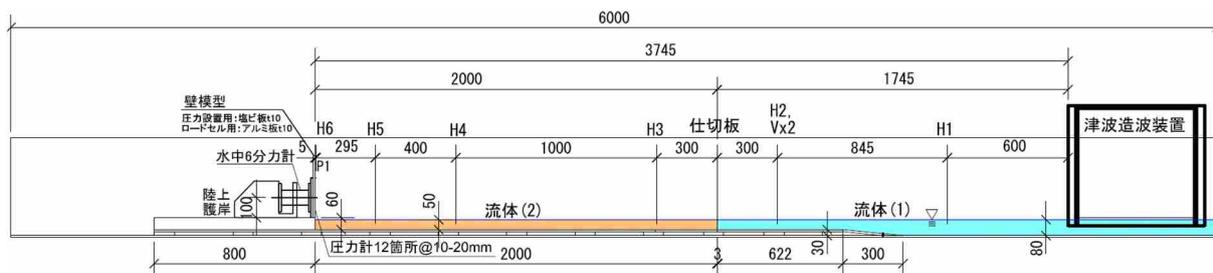
(b) 通過波試験 ; 水平床 F



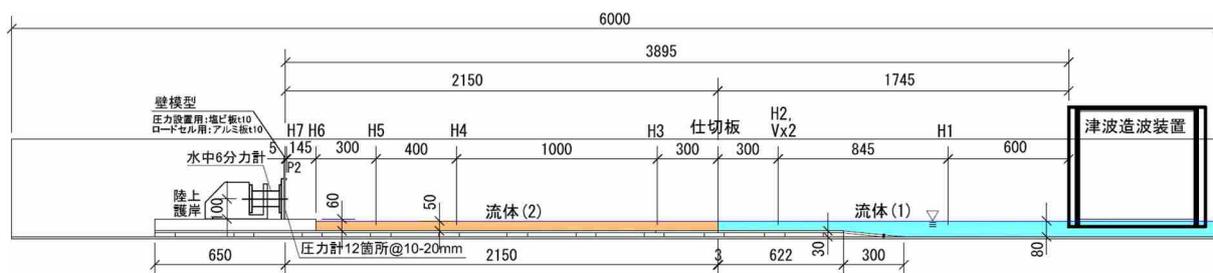
(c) 通過波試験 ; 単純勾配(1/20) S

単位 : mm

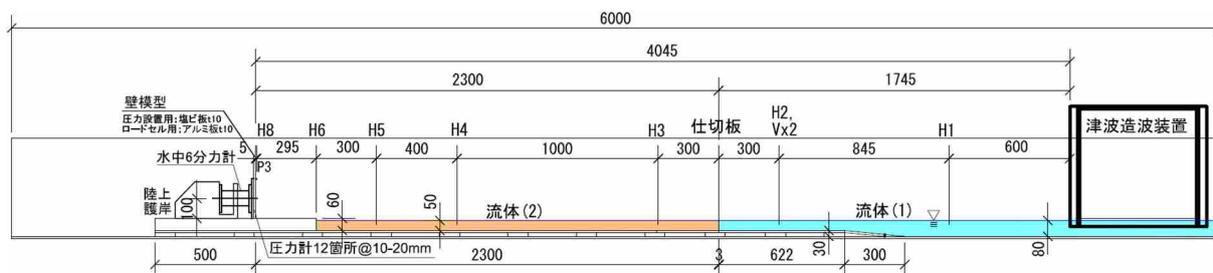
図-4.69 波圧試験のセットアップ ; 波検定・通過波試験



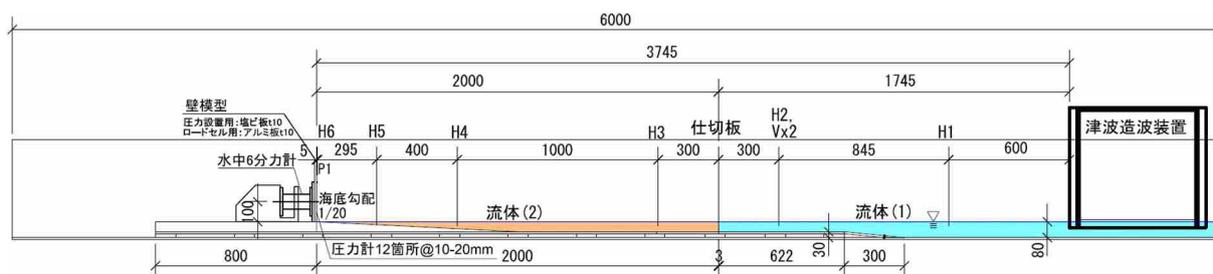
(a) 衝突試験；水平床 F・堤体位置 P1



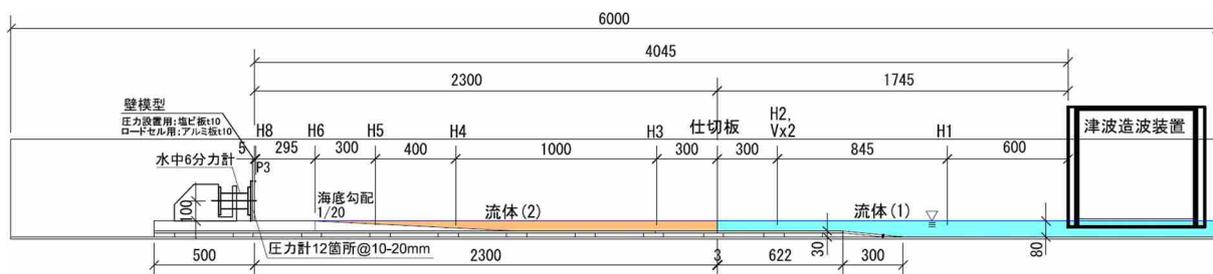
(b) 衝突試験；水平床 F・堤体位置 P2



(c) 衝突試験；水平床 F・堤体位置 P3



(d) 衝突試験；単純勾配(1/20) S・堤体位置 P1



(e) 衝突試験；単純勾配(1/20) S・堤体位置 P3

単位:mm

図-4.70 波圧試験のセットアップ；衝突試験

(3) 流体密度

流体密度 ρ の異なる 3 ケース ($\rho=1.00, 1.05, 1.10\text{g/cm}^3$) を設定し、淡水・濁水（シリカフェームの含有）・塩水を用いた。なお、試験前に別途バケツ等で所定の流体密度に調整した濁水および塩水を作製し、津波造波直前に再攪拌して水路内に溜めて、衝突試験を実施した。

表-4.8 流体密度の条件

種類	流体密度 ρ [g/cm ³]
淡水	1.00
濁水 (シリカフェーム含有)	1.05
	1.10
塩水	1.05
	1.10

(4) 計測項目

① 水位

図-4.69, 図-4.70 に示す位置において, 容量式波高計 (H1~H8) により水位を計測した.

② 流速

図-4.69, 図-4.70 に示す位置において, 電磁流速計 (Vx2) とプロペラ流速計 (Vx6, Vx7, Vx8) により流速を計測した.

③ 波圧・波力

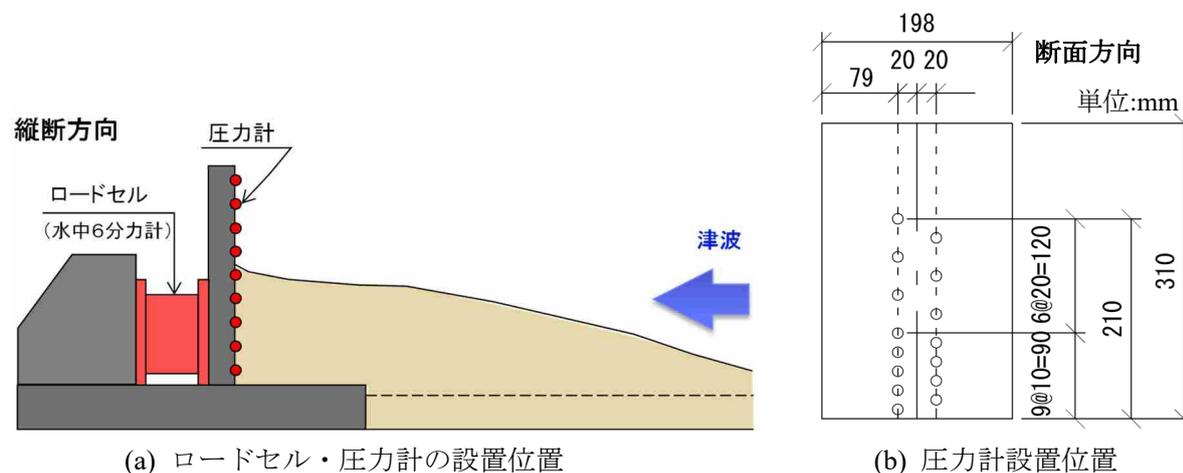
図-4.71 (a)の通り, 波圧は壁模型の前面に設置した圧力計により計測し, 鉛直方向に圧力を積分することで波力を算定した. 圧力計は, 図-4.71 (b)に示す通り鉛直方向 10~20mm 間隔で 15 箇所 にエス・エス・ケイ社製の超小型圧力計 (図-4.71 (c); P310-02, 計測限界 0.2kgf/cm²) を設置した. また, 壁模型背面に設置したロードセルにより波力を計測した. ロードセルは, ケネック社製の 水中 6 分力計 (図-4.71 (d); LB-120; 完全防水型, 計測限界 50kg) を使用し, ノイズ除去のため 30Hz のローパスフィルタを設定した.

④ 濁水濃度

水路側面から吸引孔により任意のタイミングで濁水試料を採取した.

⑤ 波形変化

水路側面から高速度カメラにより, 陸上護岸~壁模型の範囲を撮影した.



(a) ロードセル・圧力計の設置位置

(b) 圧力計設置位置



(c) 超小型圧力計



(d) 水中6分力計

図-4.71 波力・波圧分布の計測装置

(5) 試験手順

① 波検定

図-4.69 (a)に示す通り、仕切板を除いた水路内に淡水のみを溜め、津波造波装置内の初期水位を一定にしてバルブ開放のタイミングを調整し、津波3ケース (W1~W3) を設定した。

② 通過波試験

図-4.69 (b), (c)に示す通り、水路内に水平床もしくは単純勾配 1/20 の海底地形を設置し、水路内の仕切板より沖側に流体(1) (淡水)、陸側に流体(2) (淡水・濁水・塩水) をそれぞれ溜め、壁模型位置 (P1~P3) における通過波の水位と流速を計測した。

③ 衝突試験

図-4.70 に示す通り、水路内の仕切板より沖側に流体(1) (淡水)、陸側に流体(2) (淡水・濁水・塩水) をそれぞれ溜め、流体(2)の津波を壁模型に衝突させた。その際の波形変化、波圧分布及び波力を計測し、壁模型との衝突状況を撮影した。

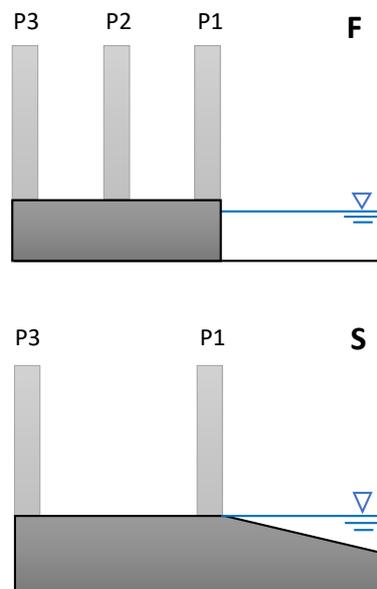
(6) 試験ケース

波圧試験の実施ケースは、以下の方針に基づき、表-4.9 に示す通り合計 238 ケースを設定した。なお同一条件での試験回数は3回もしくは5回とした。

- ・通過波試験のケースについては、試験回数を3回とした。
- ・衝突試験のケースについては、試験回数5回とした。
- ・堤体位置 (P1~P3)については、P3を基本ケースとした。
- ・濁水 (MW)および塩水 (SW)のケースは、濁水密度の大きいケースを多く設定した。
- ・単純勾配 (S; 1/20)のケースは、海底勾配による影響を確認するためケースを限定した。

表-4.9 波圧試験ケースの設定

海底地形 (Flat, Slope)	材料	濁水密度 [g/cm ³]	津波 種類	堤体位置 (壁模型)	繰返 回数	ケース 累積数	備考		
F 水平床	FW 淡水	1.00	W1	通過波	3	3	R4実施済		
				P1	5	8			
				P2	5	13			
				P3	5	18	R4実施済		
			W2	通過波	3	21	R4実施済		
				P1	5	26			
				P2	5	31			
				P3	5	36	R4実施済		
			W3	通過波	3	39			
				P3	5	44			
			MW 濁水 (シリカフェーム 含有)	1.05	W1	通過波	3	47	
						P3	5	52	R4実施済
	W2	通過波			3	55			
		P3			5	60			
	W3	通過波			3	63			
		P3			5	68			
	1.10	W1		通過波	3	71			
				P1	5	76			
				P2	5	81			
		W2		通過波	3	86	R4実施済		
				P1	5	89			
				P2	5	94			
	W3	通過波	3	99					
		P3	5	104	R4実施済				
	SW 塩水	採水結果 より設定	W1	通過波	3	107			
				P3	5	112			
			W2	通過波	3	115			
				P3	5	120			
			W3	通過波	3	123			
				P3	5	128			
		採水結果 より設定	W1	通過波	3	131			
				P1	5	136			
				P2	5	139			
			W2	通過波	3	144			
				P1	5	149			
				P2	5	154			
W3	通過波	3	157						
	P3	5	162						
S 単純勾配	FW 淡水	1.00	W1	通過波	3	167			
				P1	5	172			
			W2	通過波	3	175			
				P3	5	180			
			W3	通過波	3	183			
				P1	5	188			
	MW 濁水 (シリカフェーム 含有)	1.10	W1	通過波	3	191			
				P1	5	196			
			W2	通過波	3	201			
				P1	5	204			
			W3	通過波	3	209			
				P1	5	212			
S 単純勾配	MW 濁水 (シリカフェーム 含有)	W1	通過波	3	217				
			P1	5	220				
		W2	通過波	3	225				
			P1	5	230				
		W3	通過波	3	233				
			P1	5	238				



4.2.2. 試験結果

(1) 波検定結果

波検定として、津波造波装置のバルブを開放するタイミングを調整し、津波波形を3種類 (W1, W2, W3) に設定した (図- 4.72)。ここで、W1 は全バルブを一斉に開放して段波状の波、W2 は各バルブを連続的に開放して徐々に水位が高くなる波、W3 は W2 の津波高を小さくした波とした。

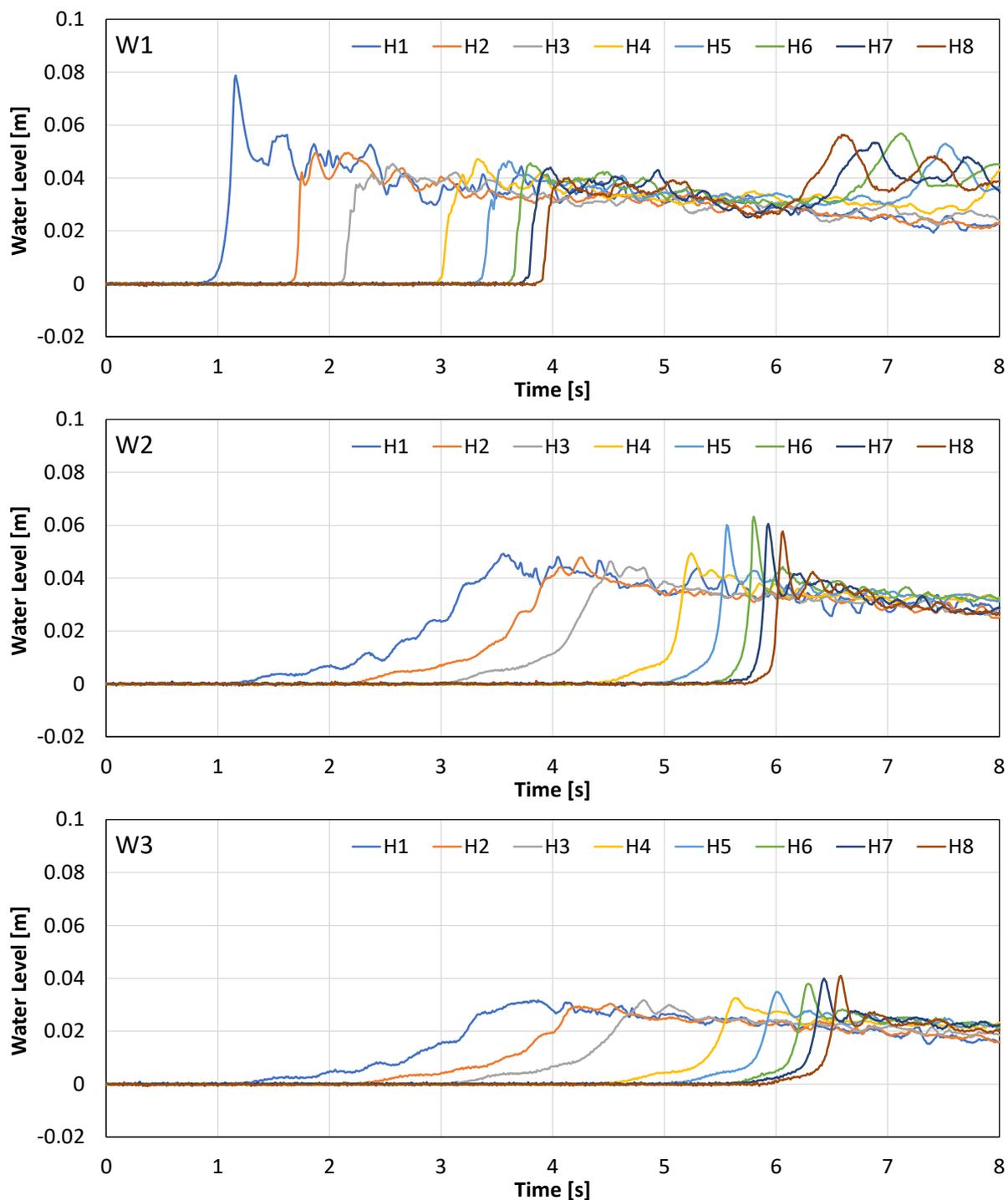


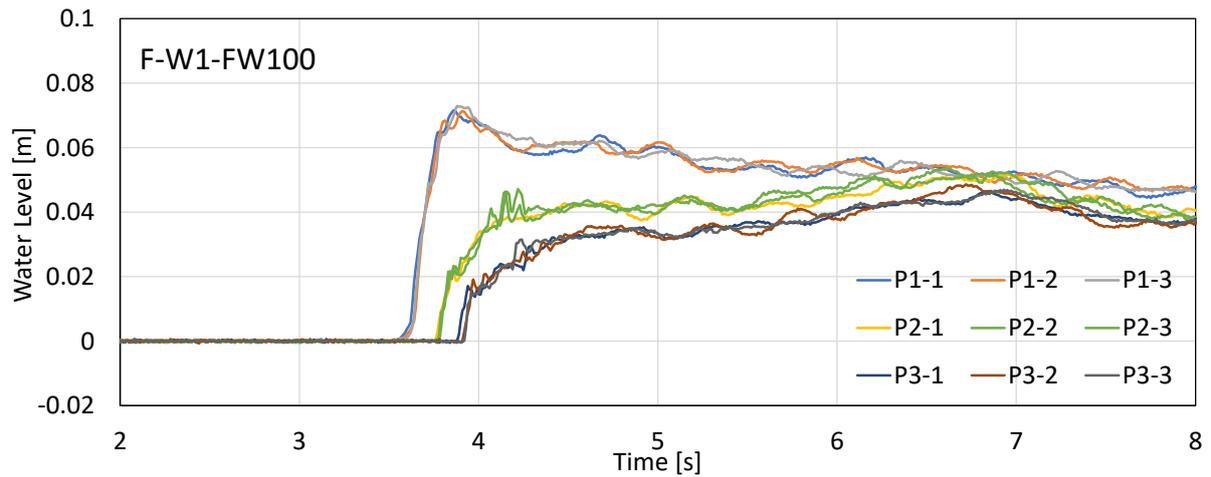
図- 4.72 波検定結果：津波波形の設定

(2) 通過波試験結果

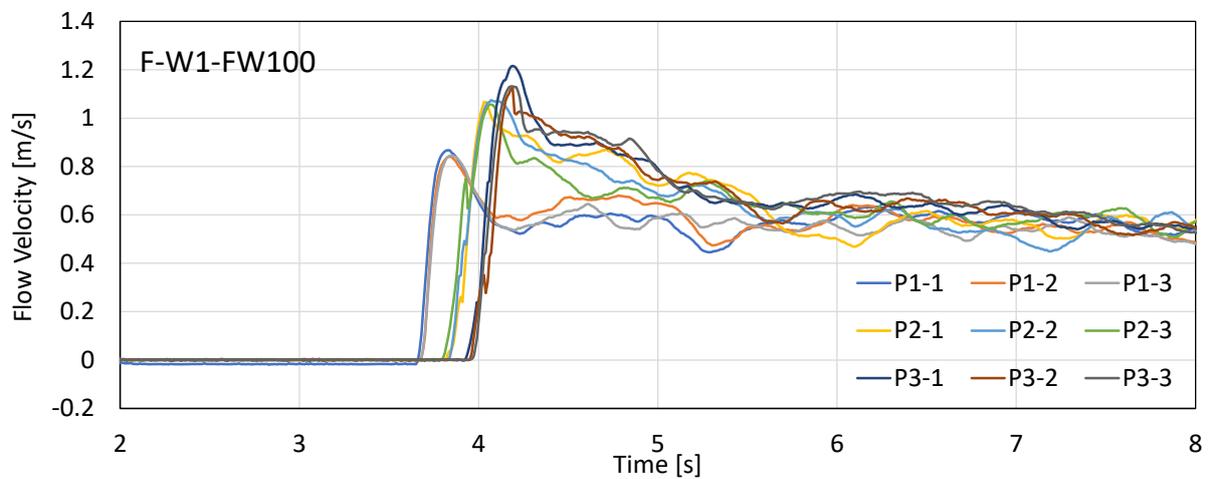
通過波試験は各ケースについて繰り返し 3 回実施し、壁模型位置 (P1~P3)における水位 H6, H7, H8, 流速 V_{x6} , V_{x7} , V_{x8} , フルード数の各時系列を、図-4.73~図-4.81 に示す。なおフルード数の時系列については、水位が 0.001m 以下もしくは流速が負の値の際にはフルード数 $F_r = 0$ とした。

通過波の、最大浸水深とその時の流速・フルード数、最大流速、最大フルード数を、表-4.10~表-4.15 に示す。なお濁水 (MW)のケースについては、プロペラ流速計による流速の計測が困難であったため、高速度カメラによる映像から判読した波先端の速度を用いて算出したフルード数を表-4.16 に示した。

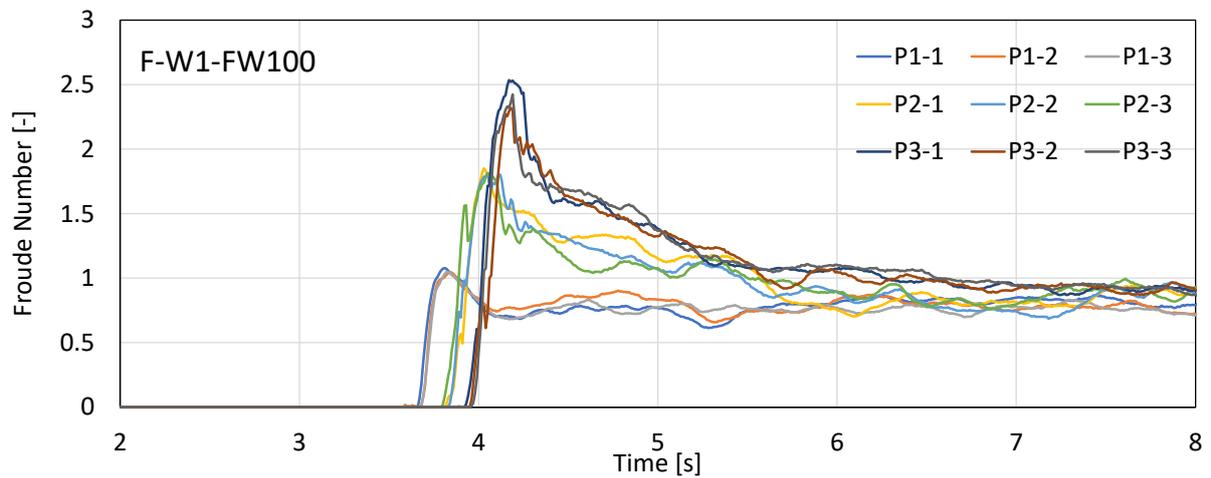
密度による最大津波高の変化を図-4.91 および図-4.92 に示す。図中に各ケースの砕波点を★で示した。



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

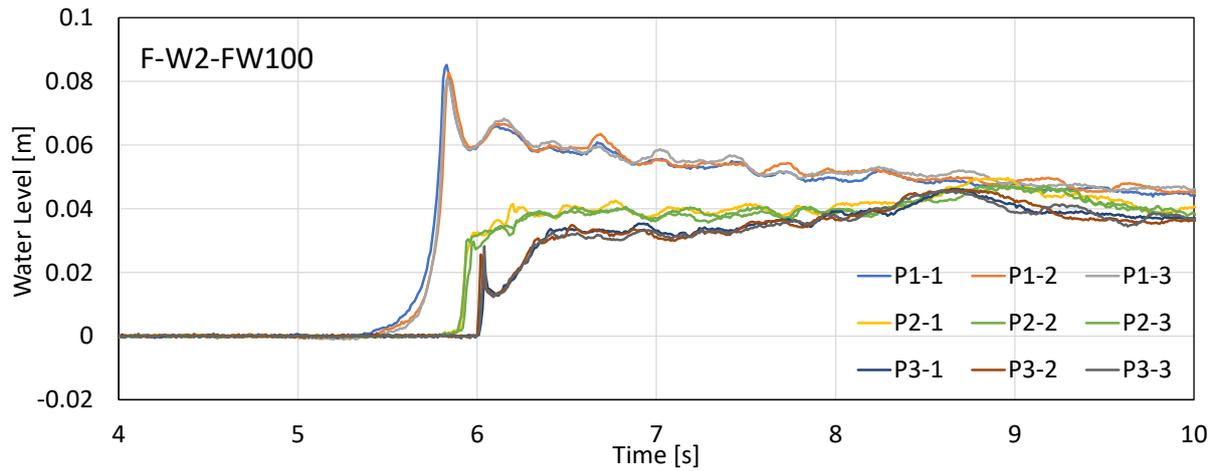


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

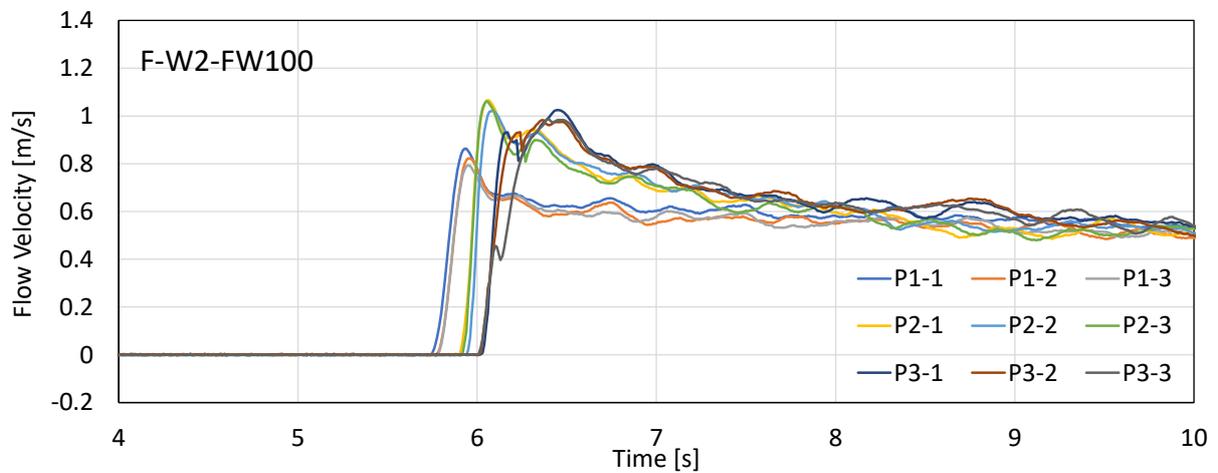


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

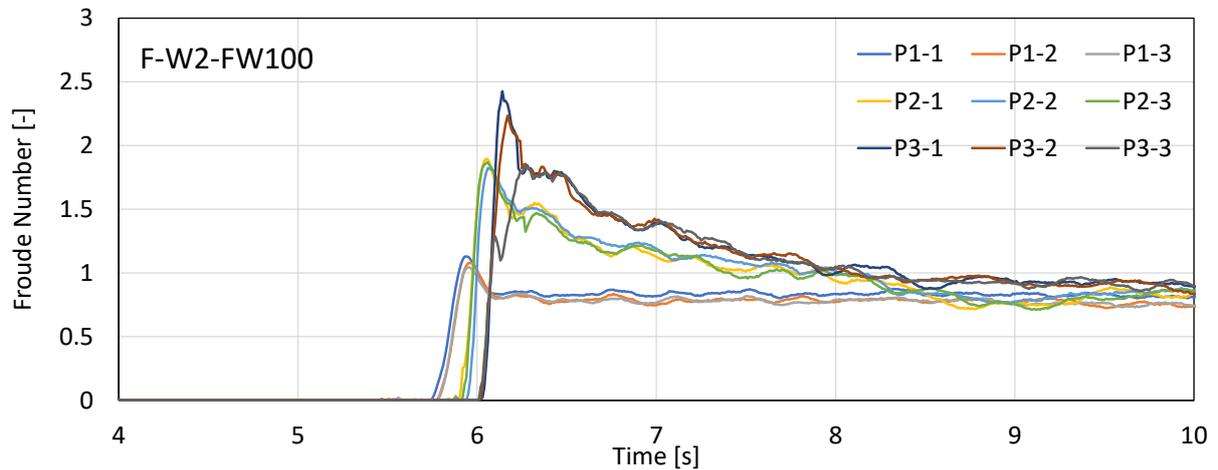
図-4.73 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W1, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

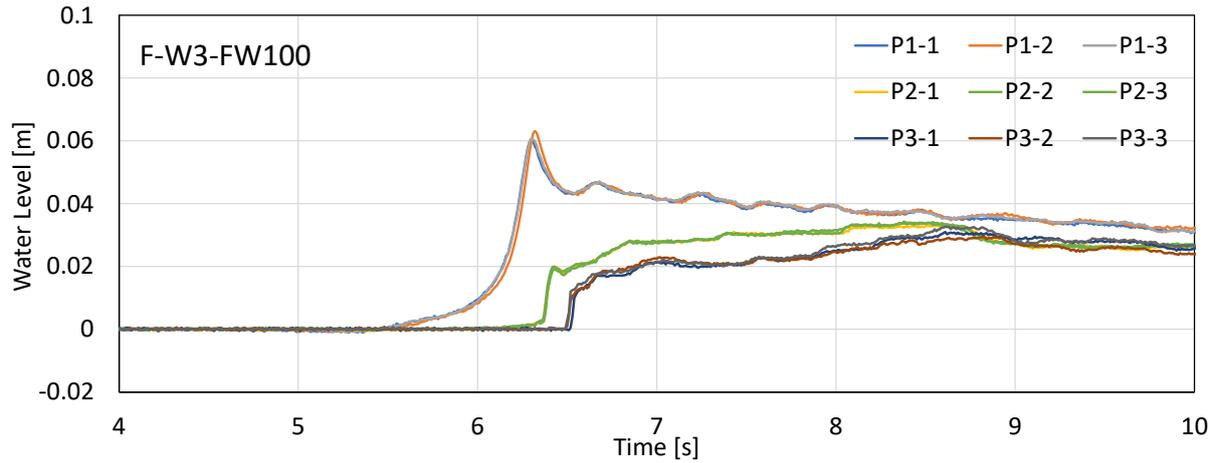


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

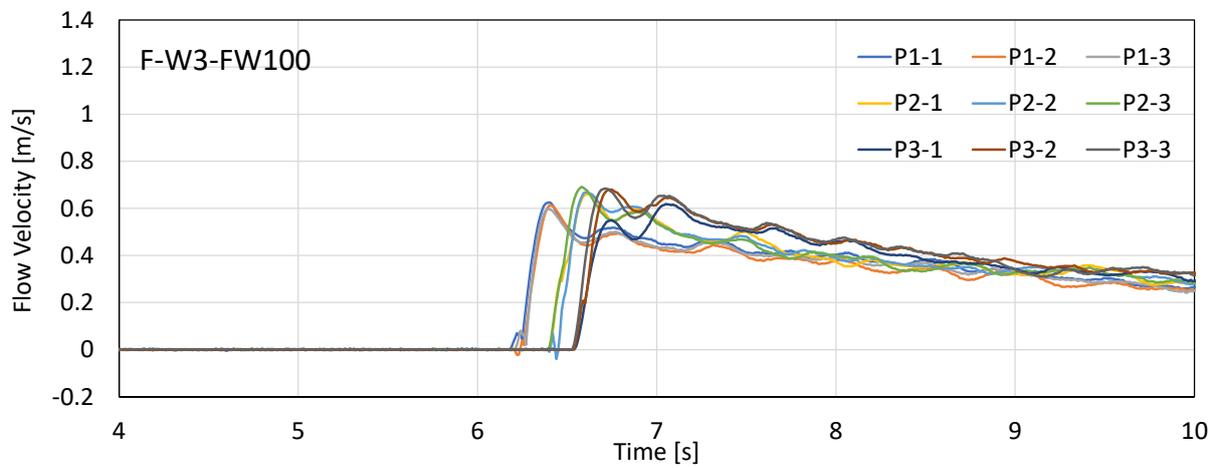


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

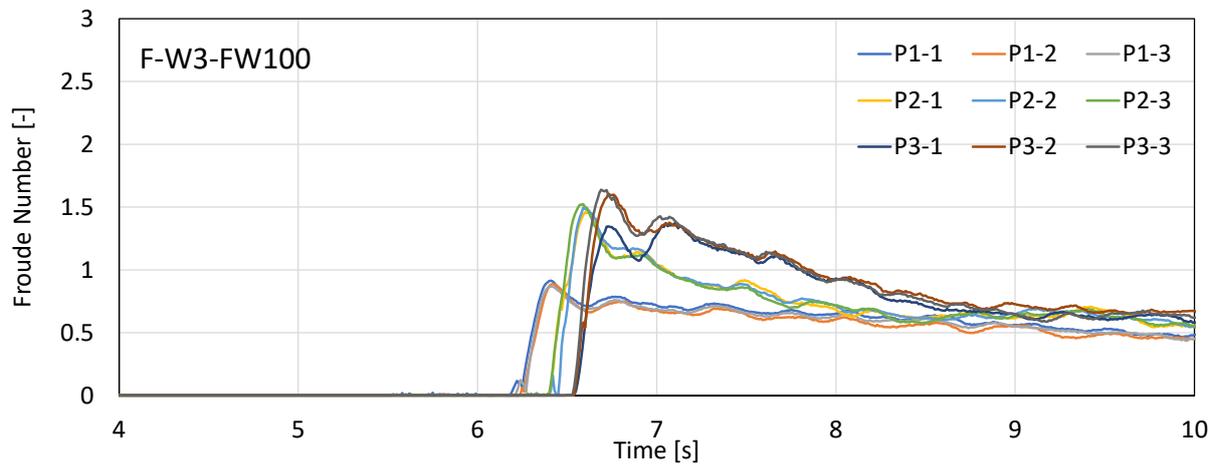
図- 4.74 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W2, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

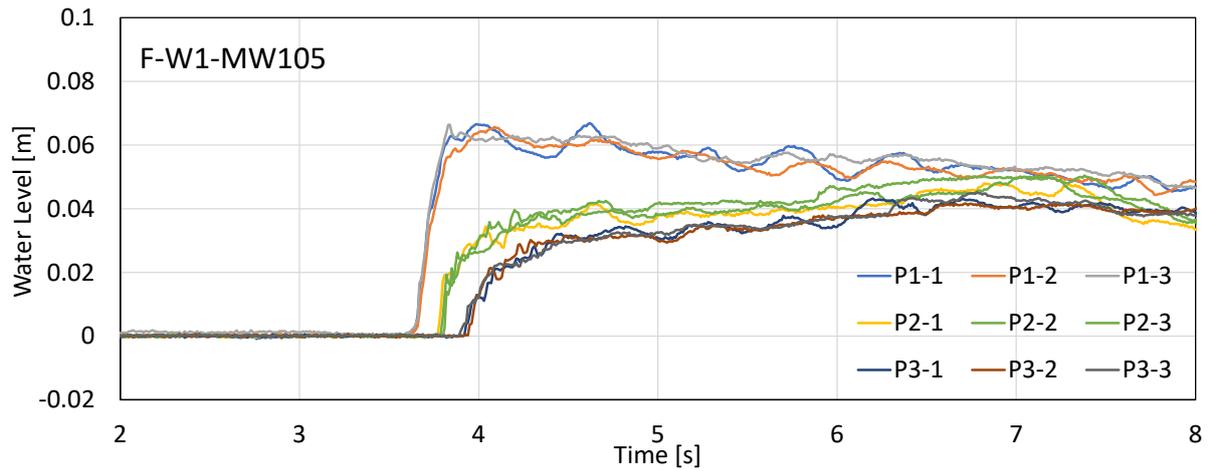


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

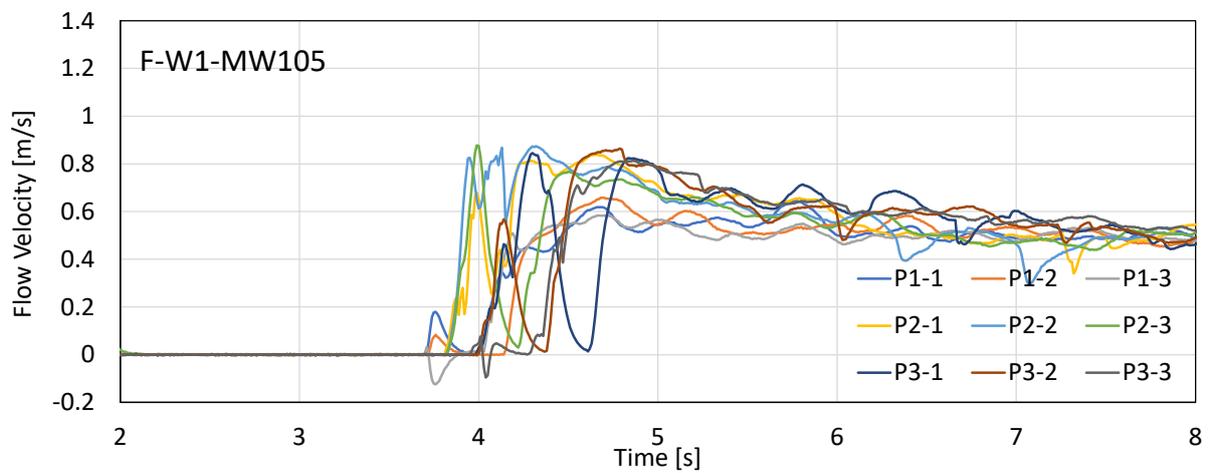


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

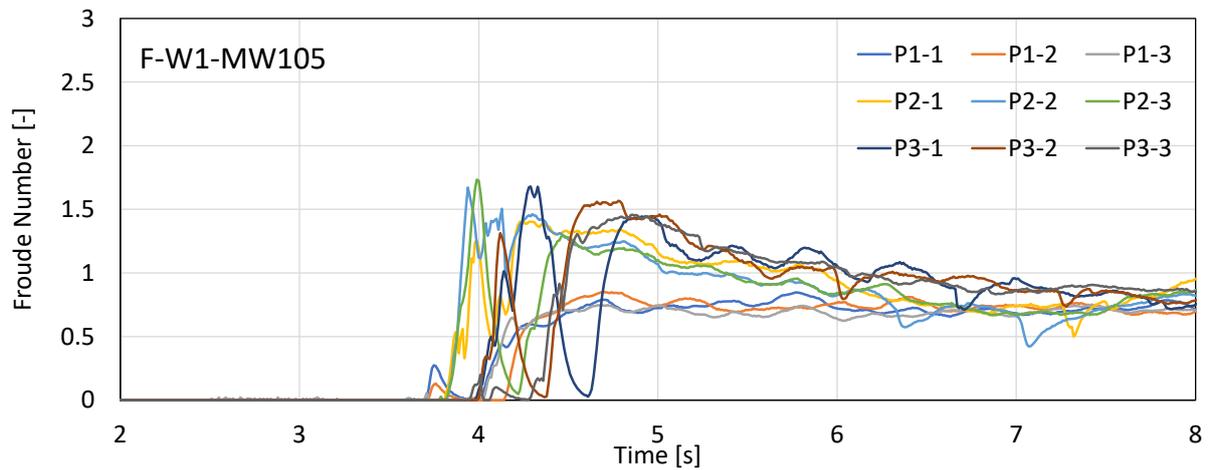
図- 4.75 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W3, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

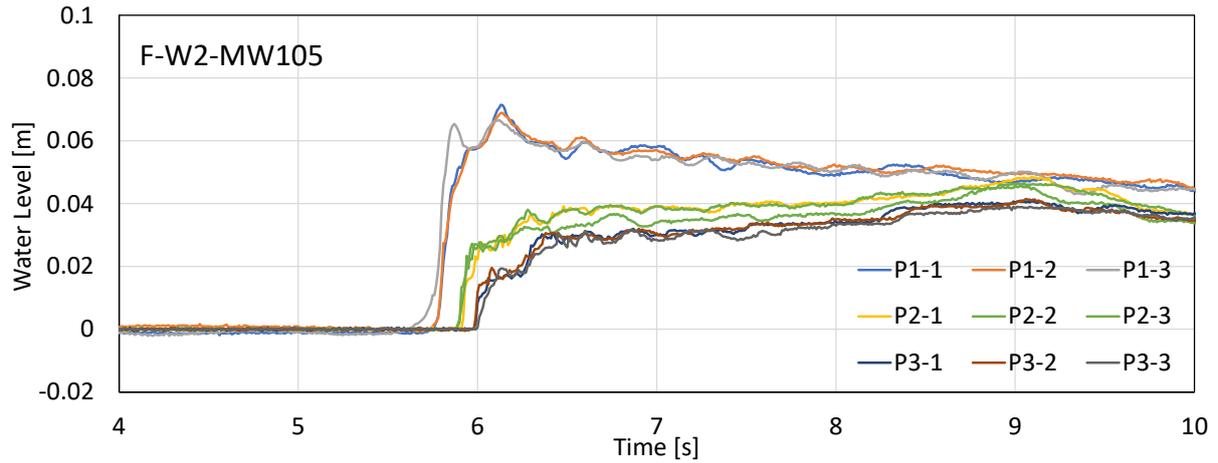


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

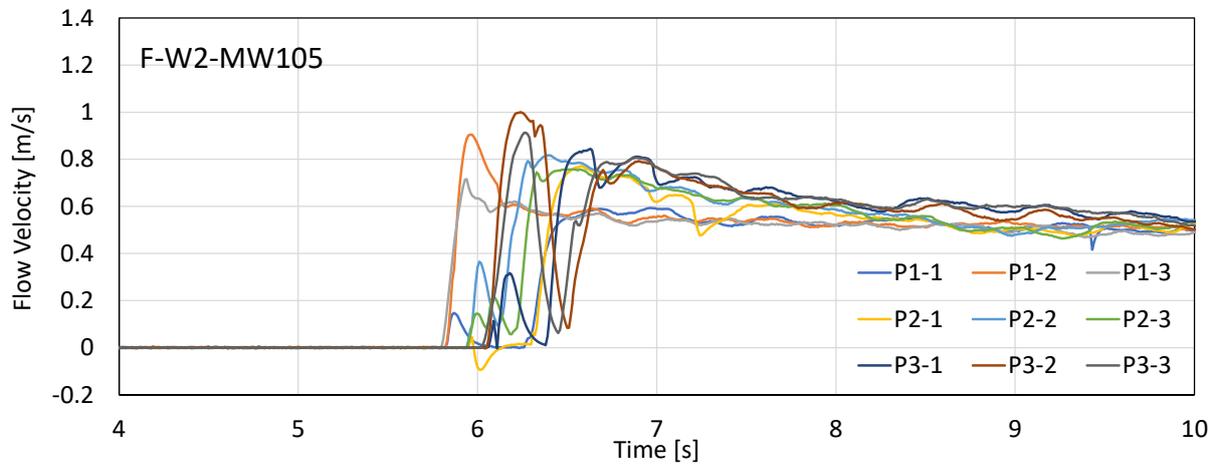


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

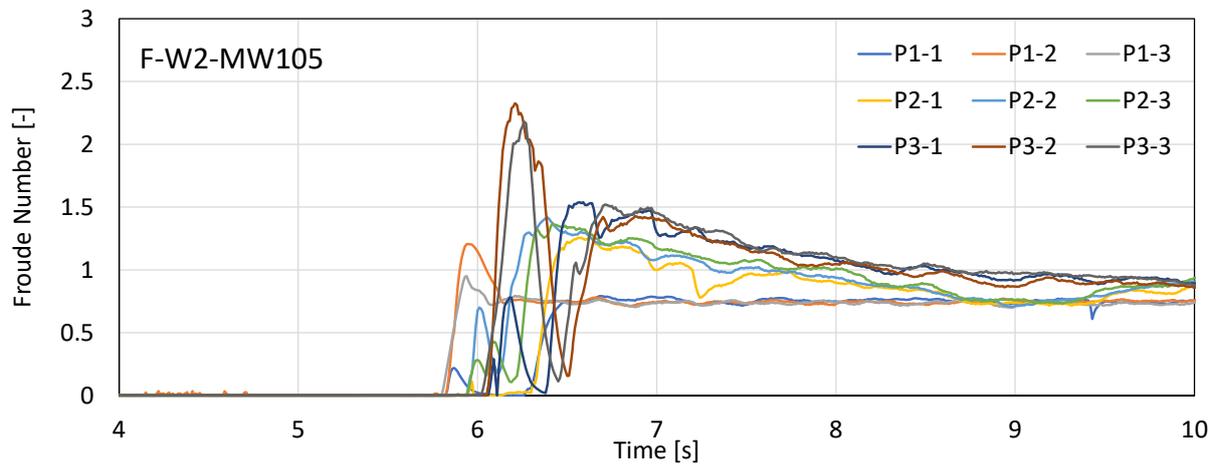
図-4.76 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W1, 濁水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

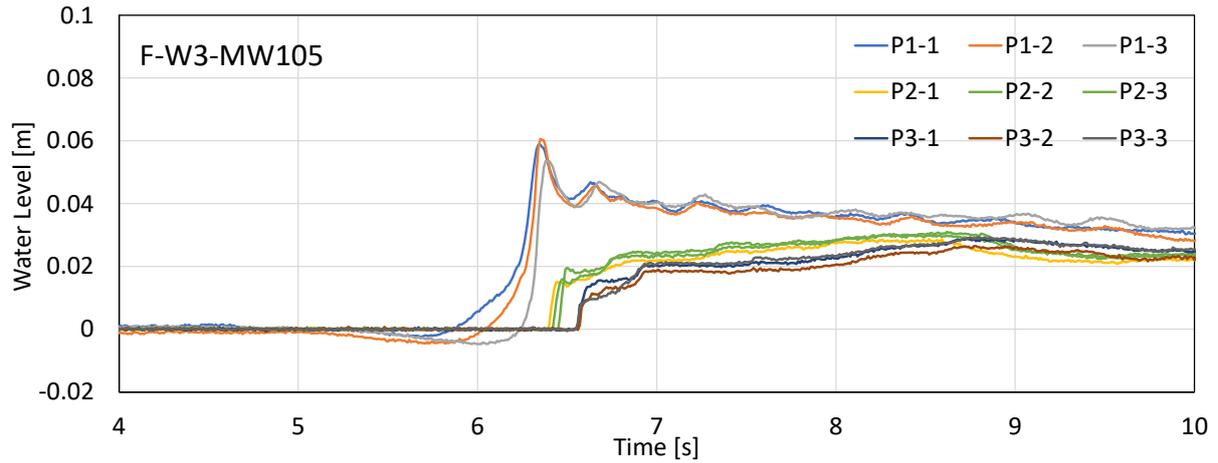


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

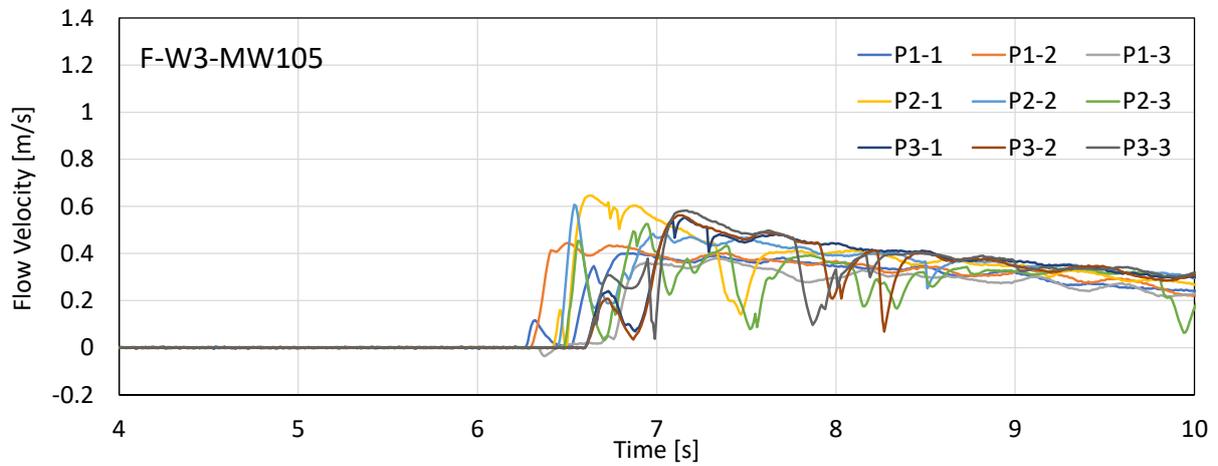


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

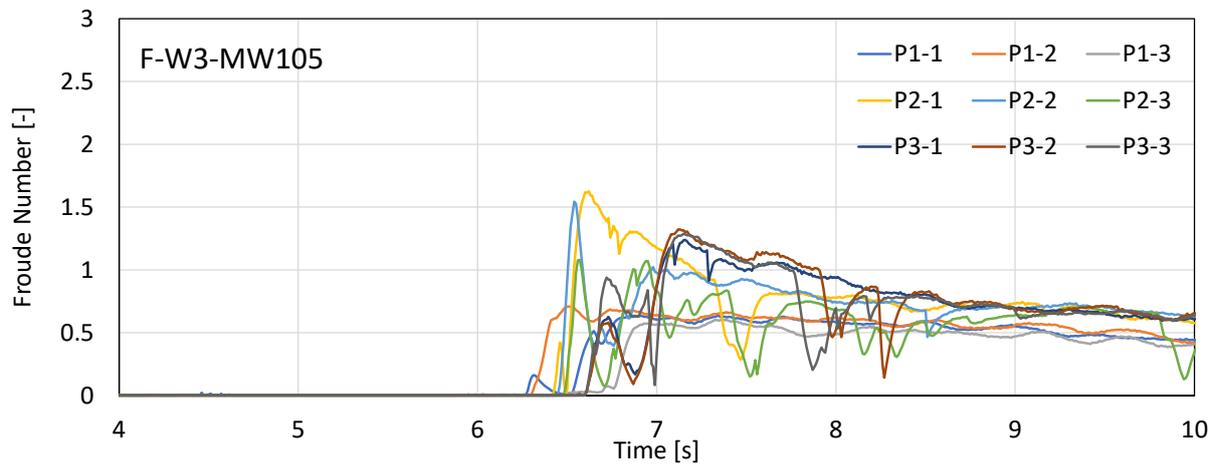
図- 4.77 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W2, 濁水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

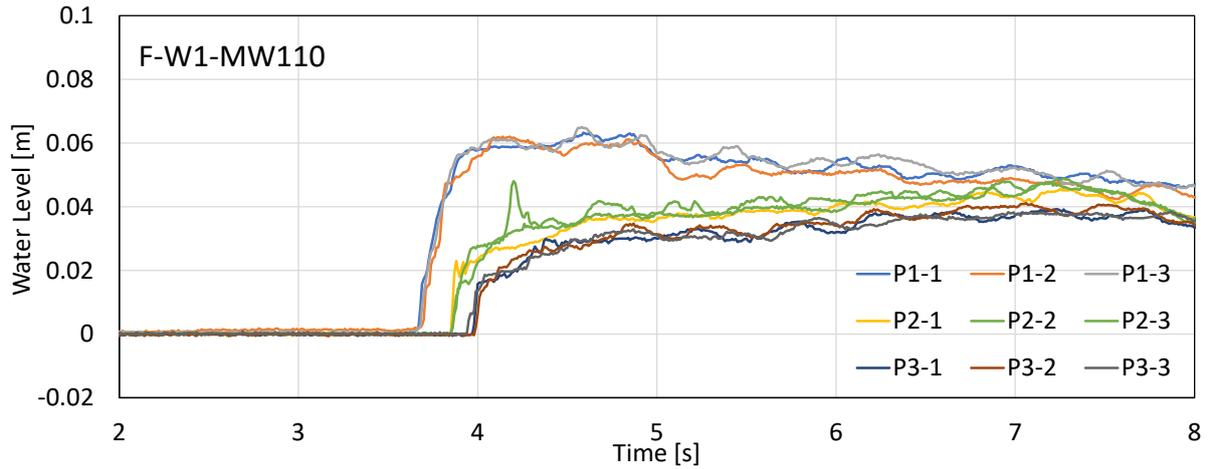


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

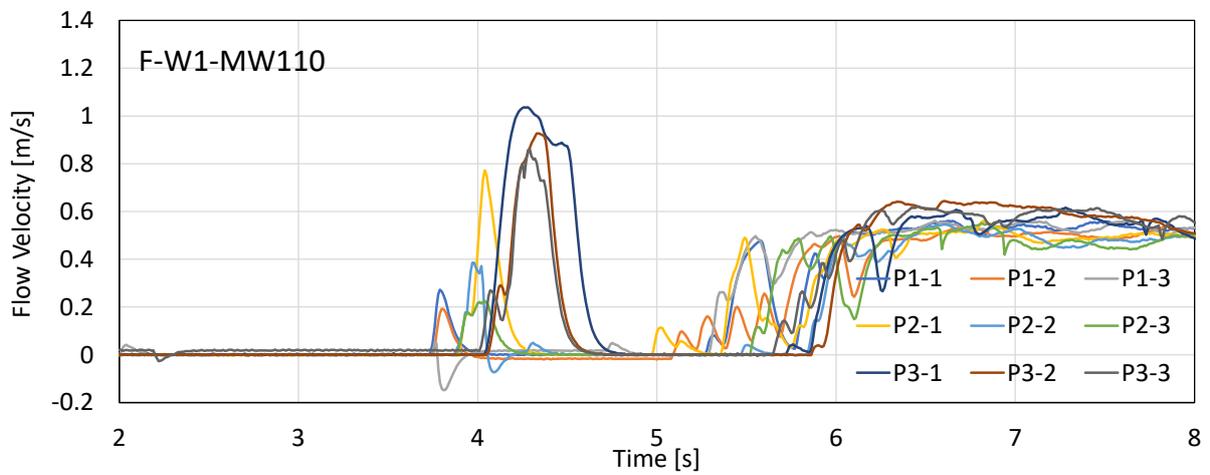


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

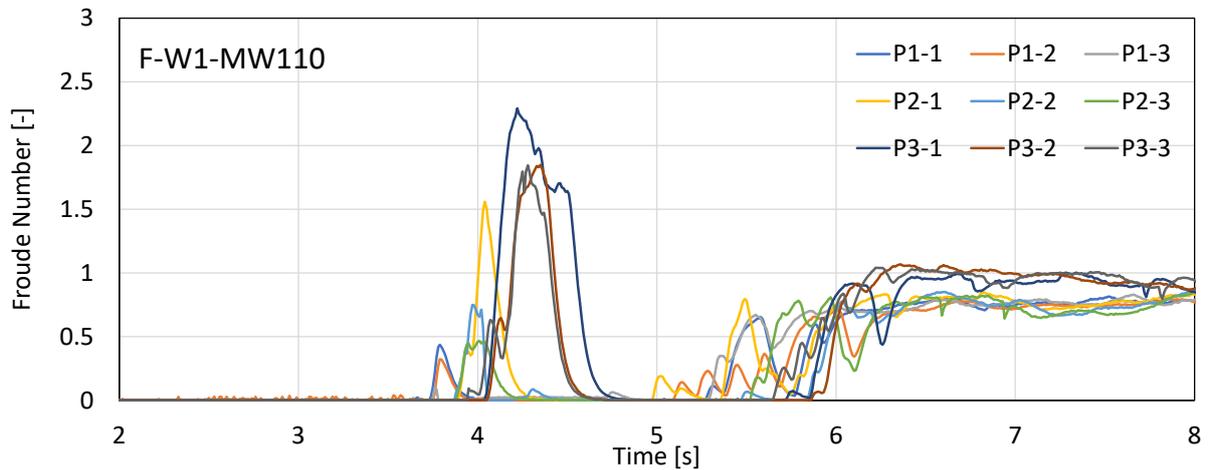
図-4.78 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W3, 濁水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

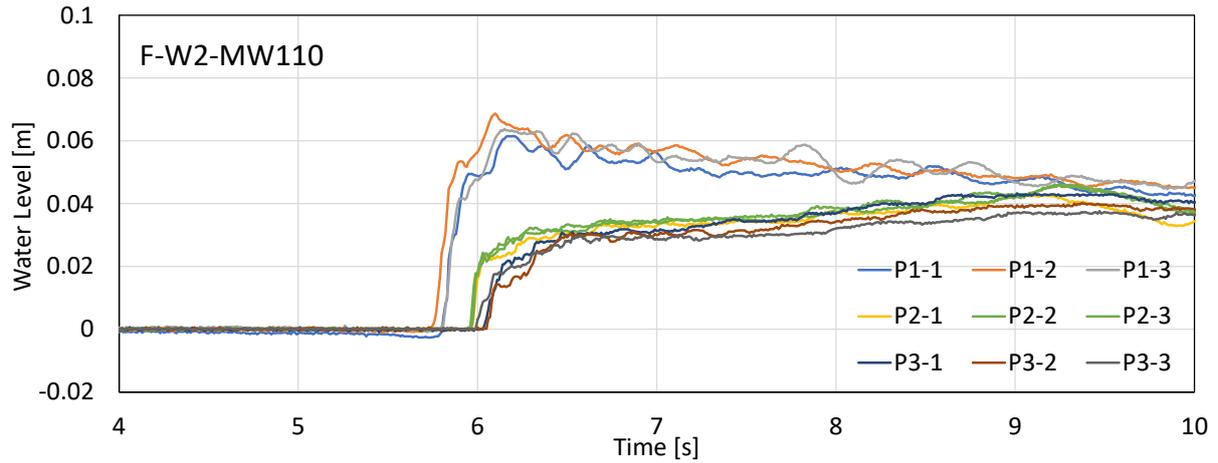


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

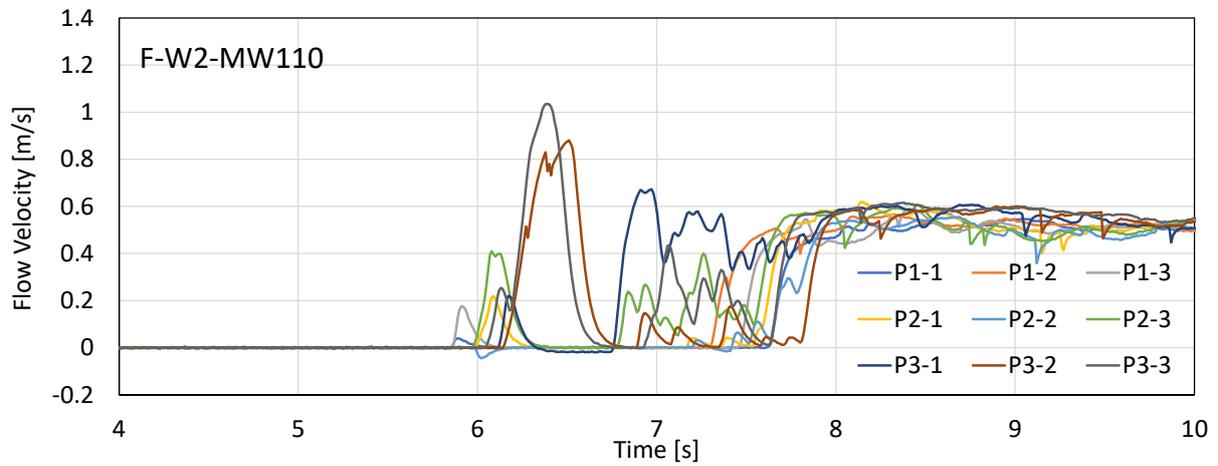


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

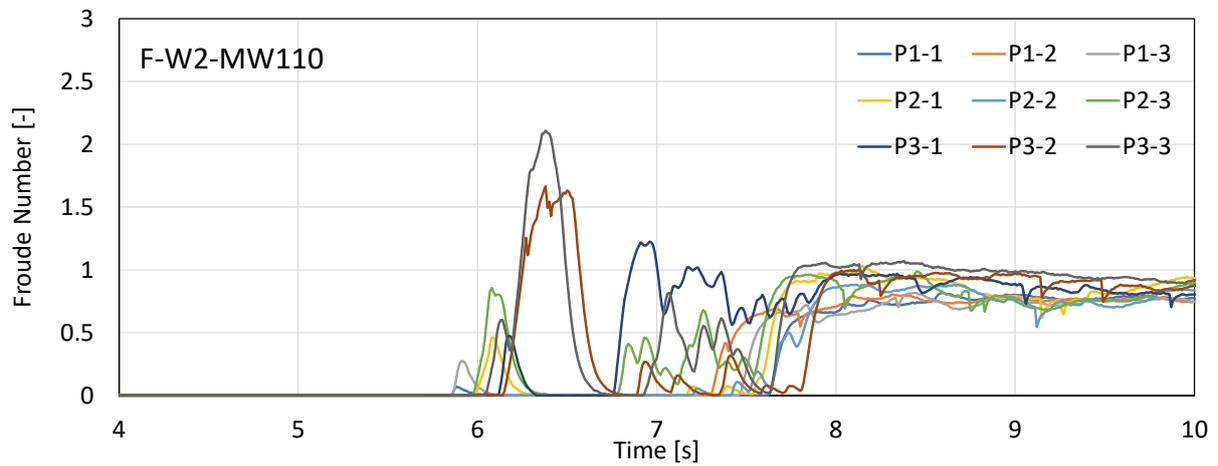
図-4.79 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W1, 濁水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

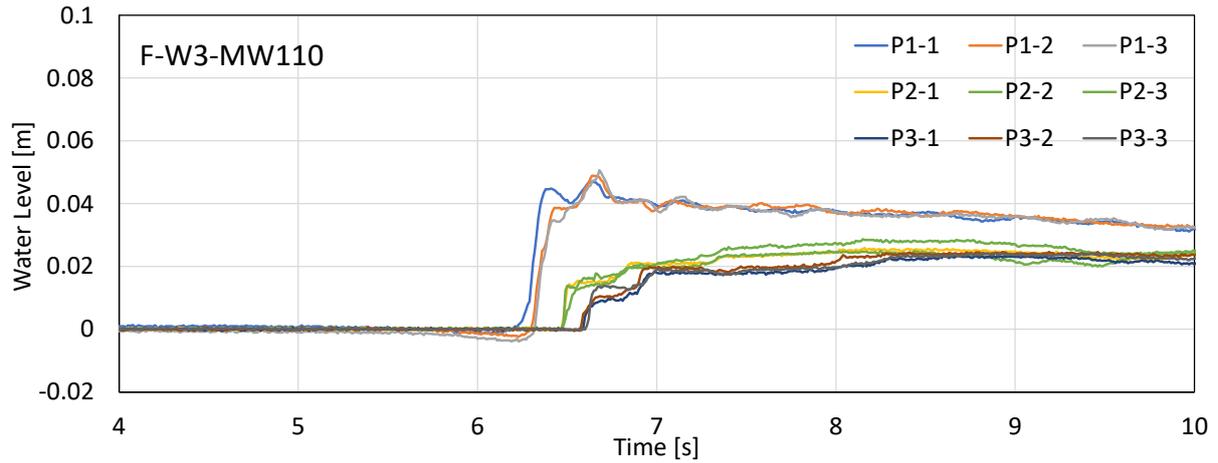


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

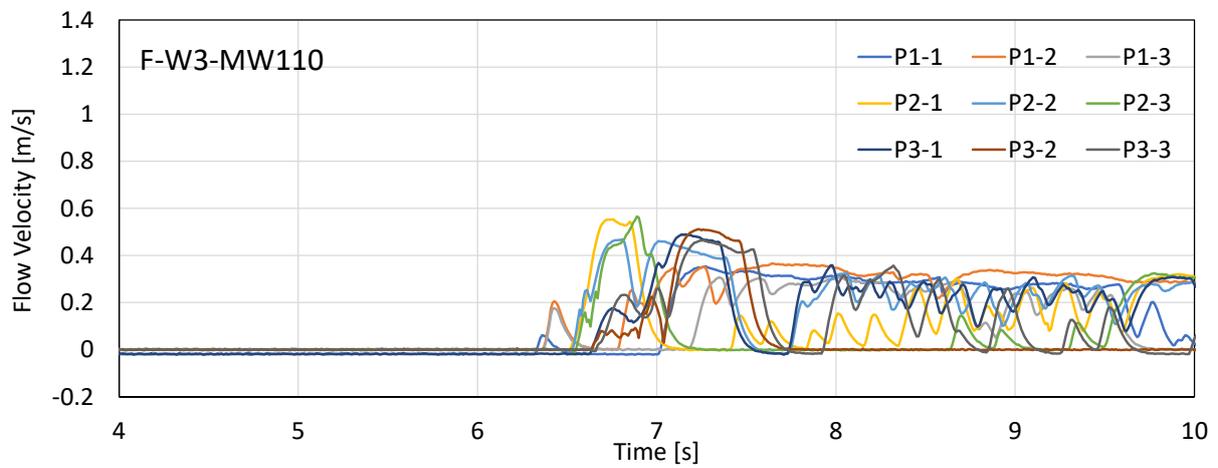


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

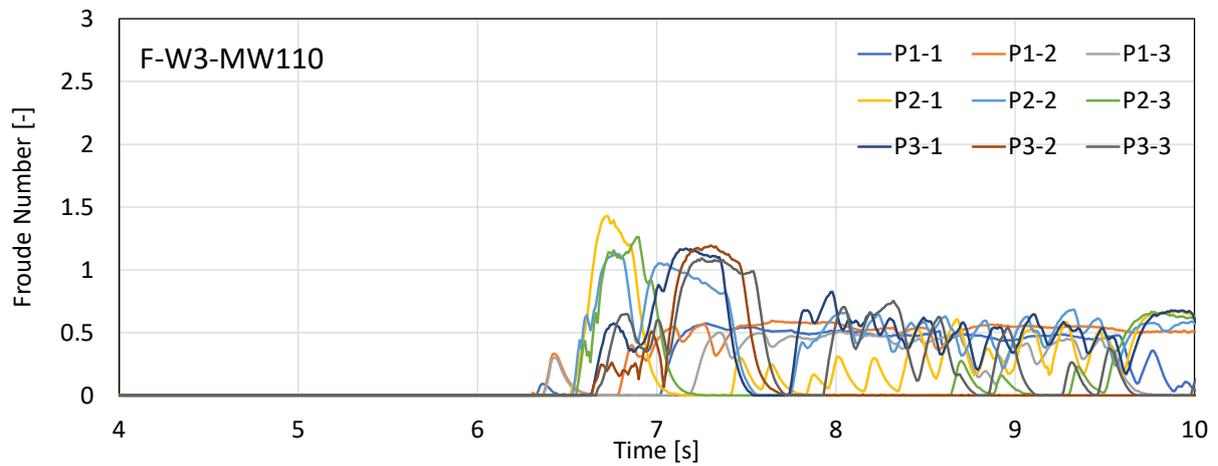
図- 4.80 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W2, 濁水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

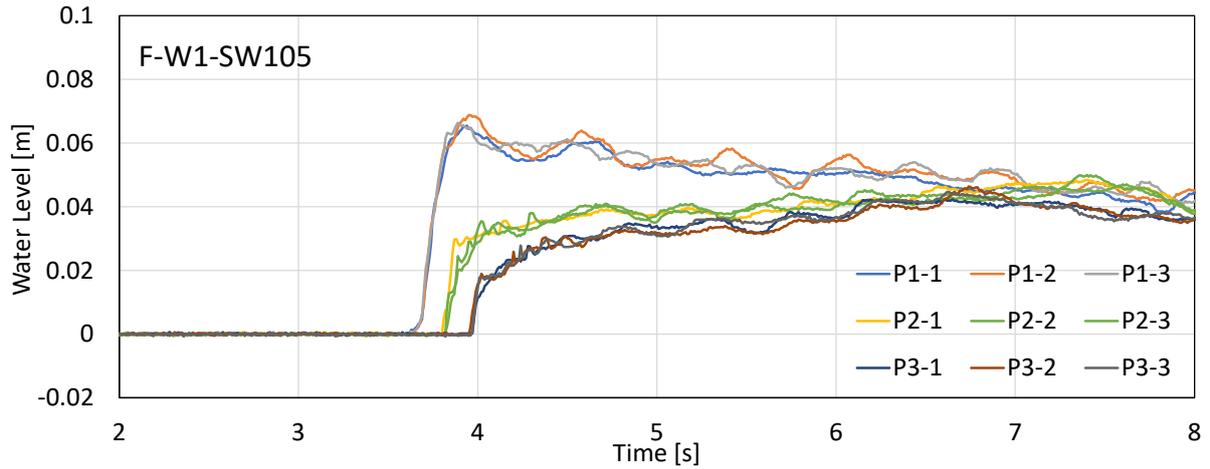


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

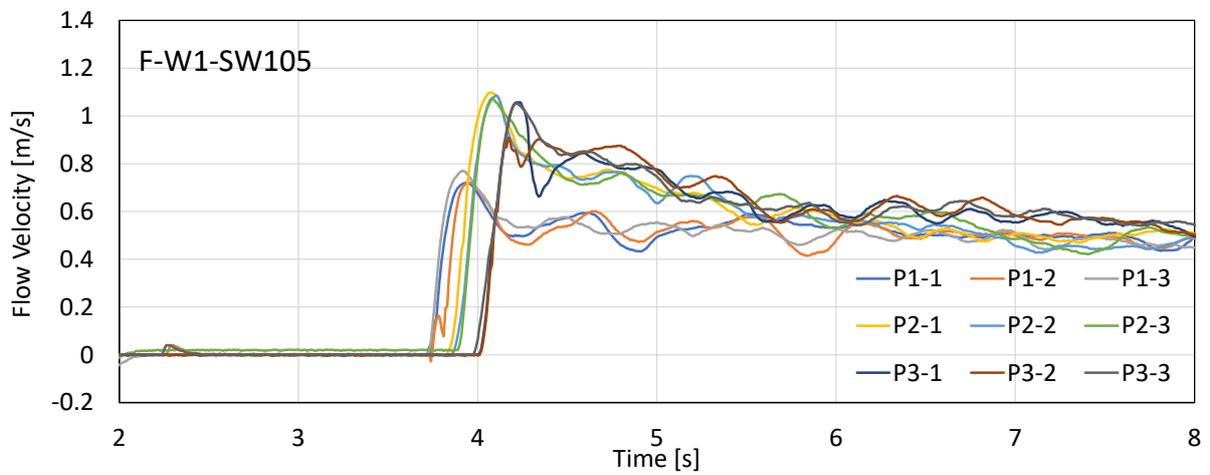


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

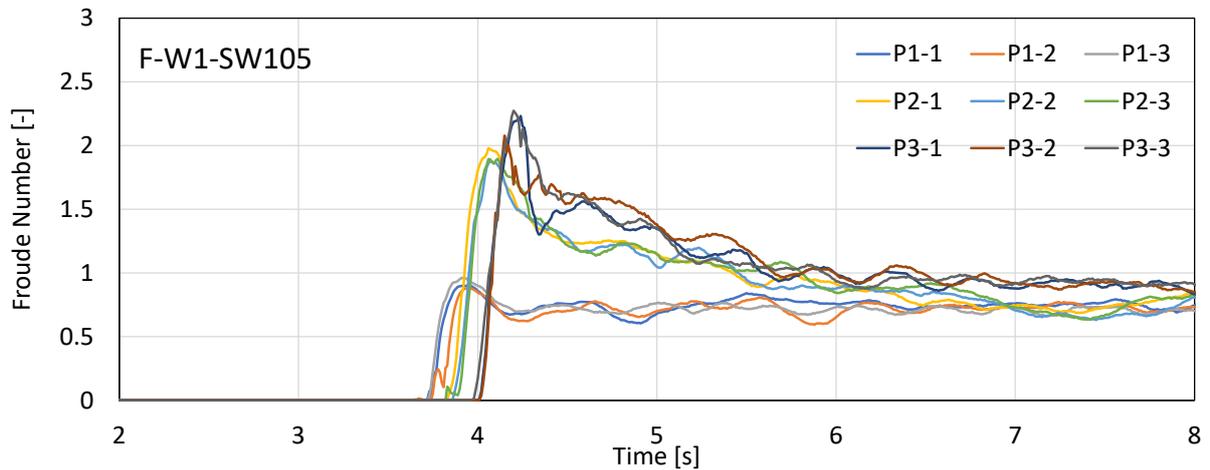
図- 4.81 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W3, 濁水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

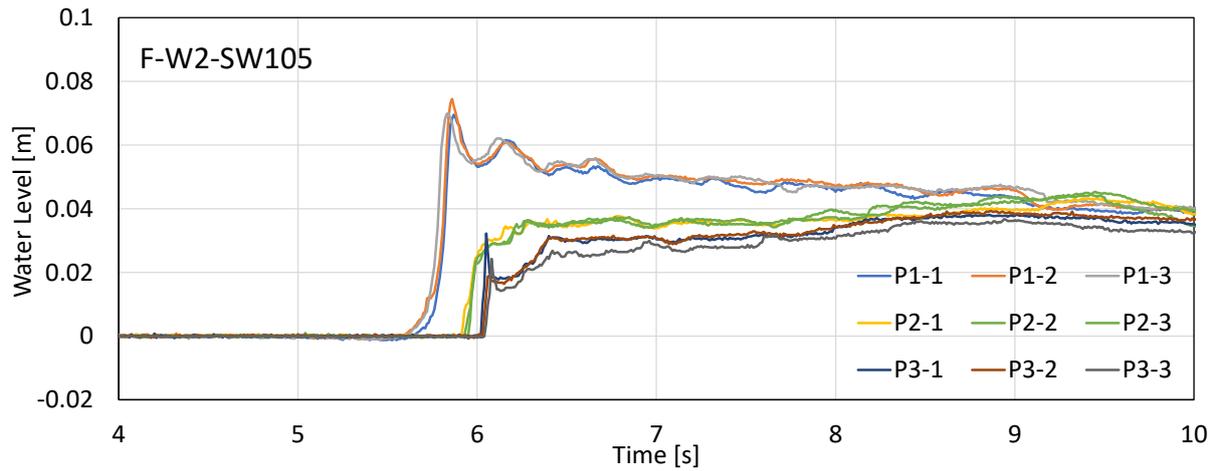


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

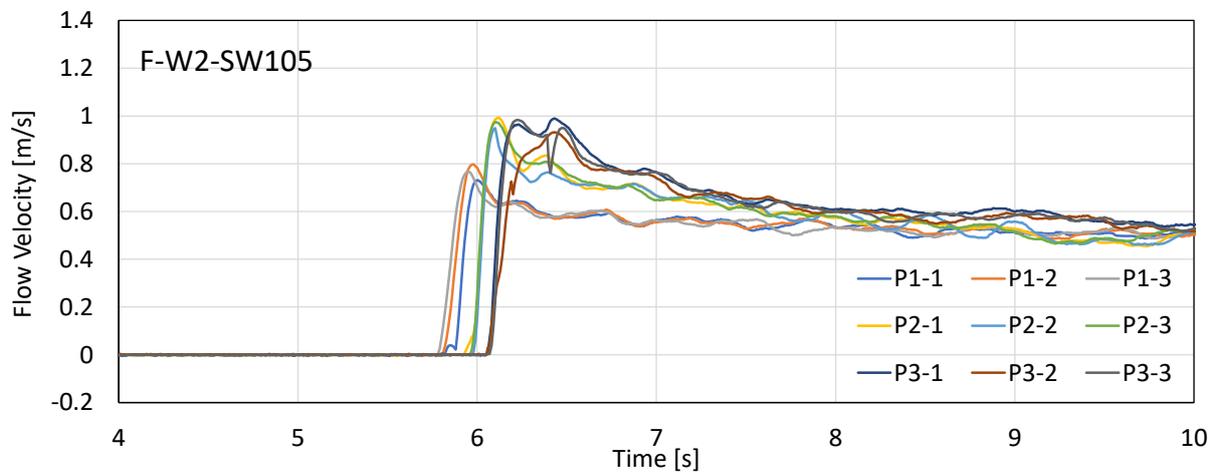


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

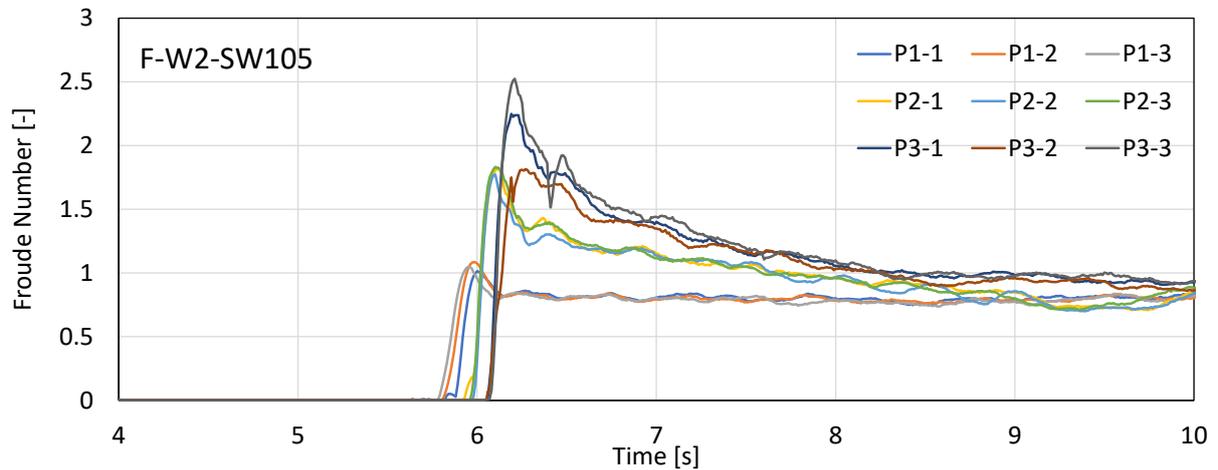
図- 4.82 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W1, 塩水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

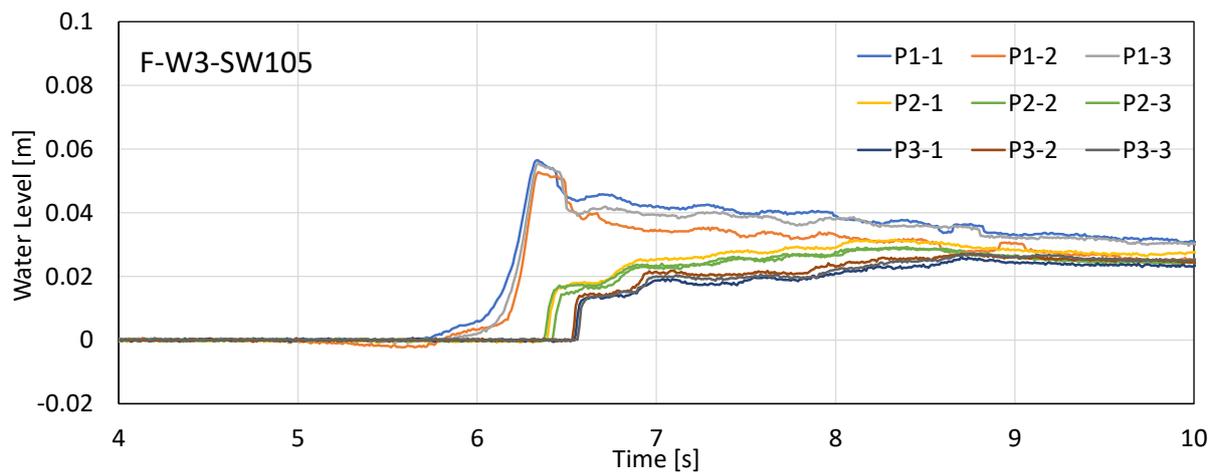


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

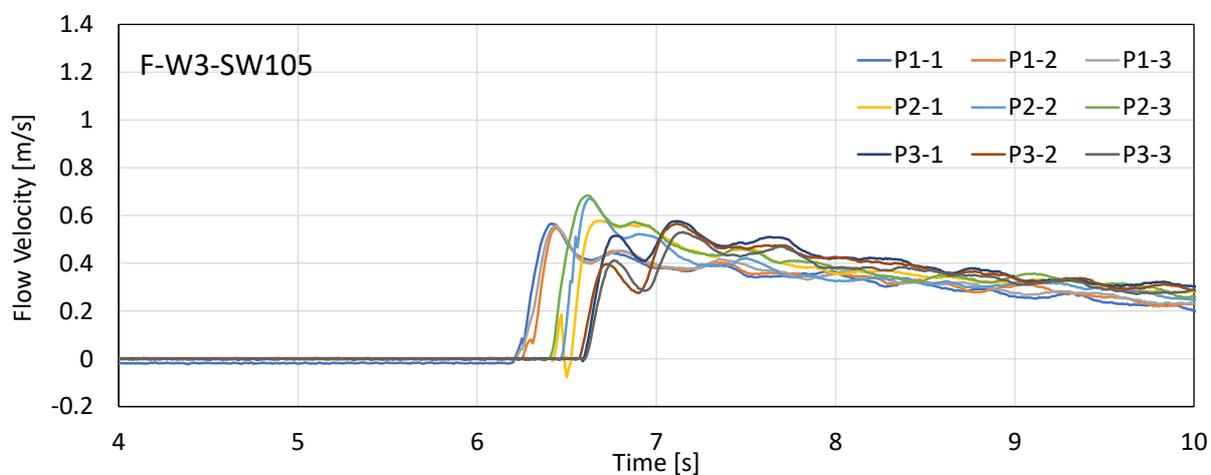


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

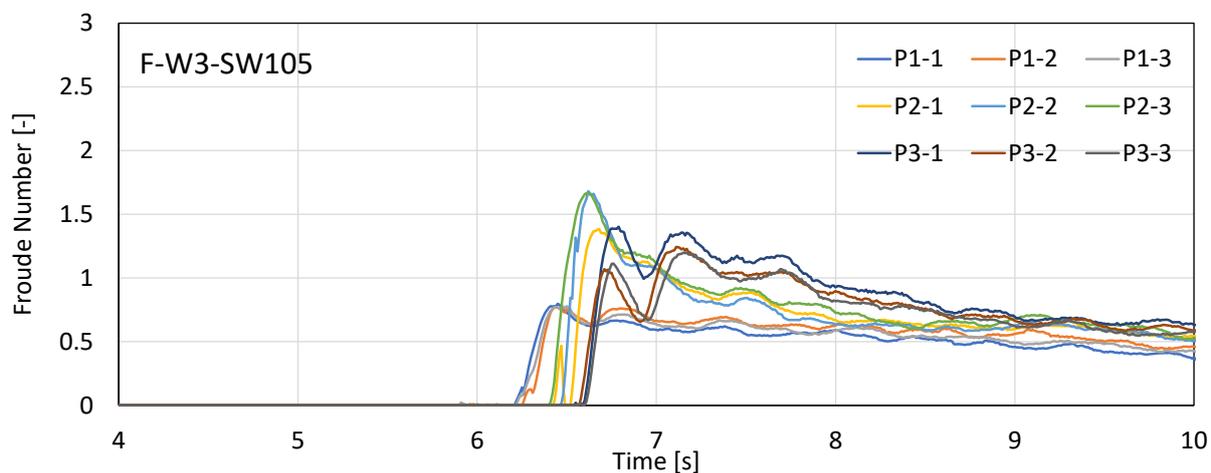
図- 4.83 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W2, 塩水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

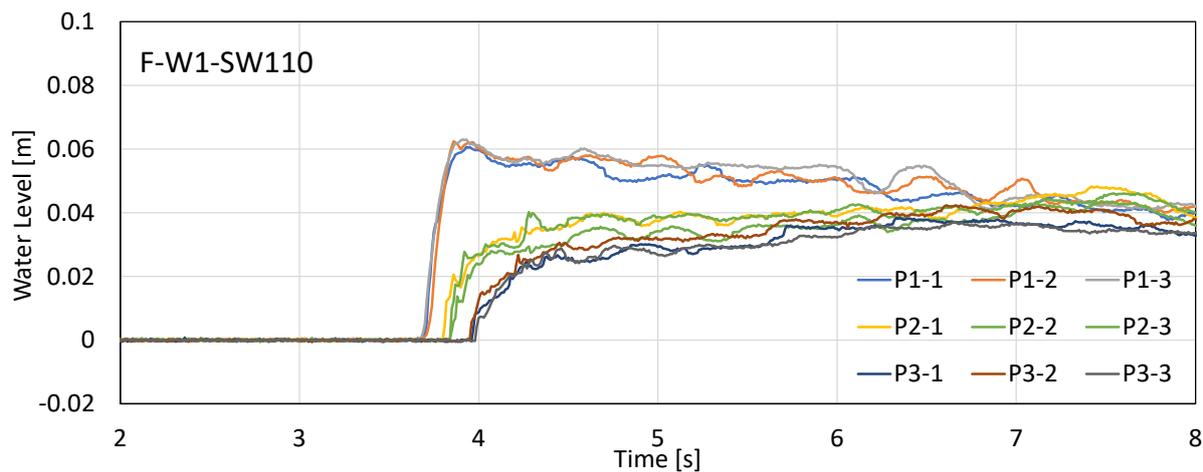


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

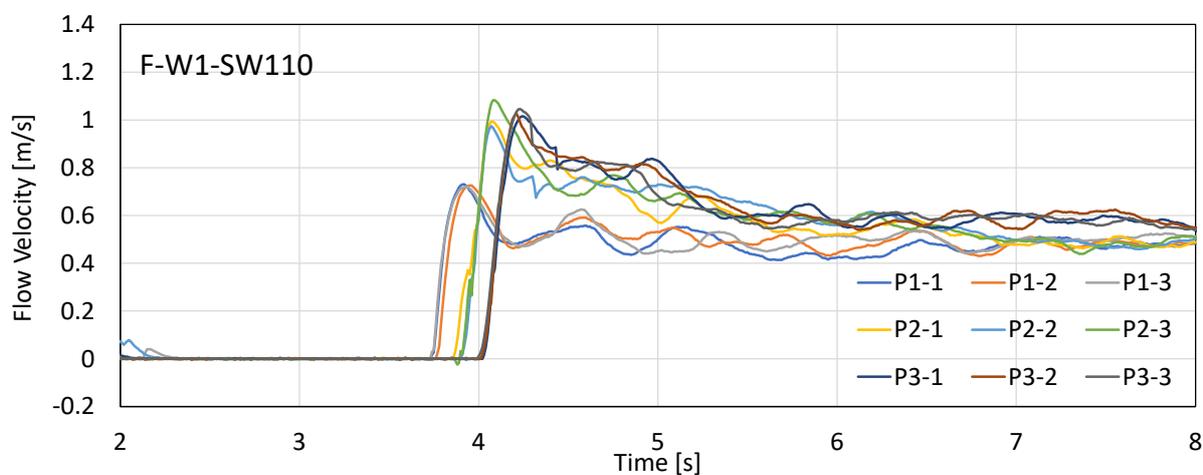


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

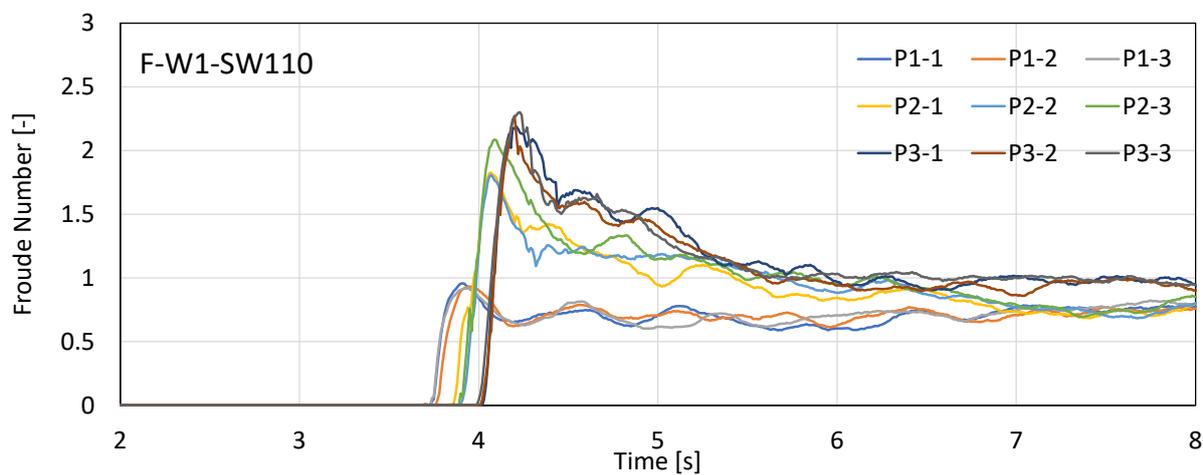
図- 4.84 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W3, 塩水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

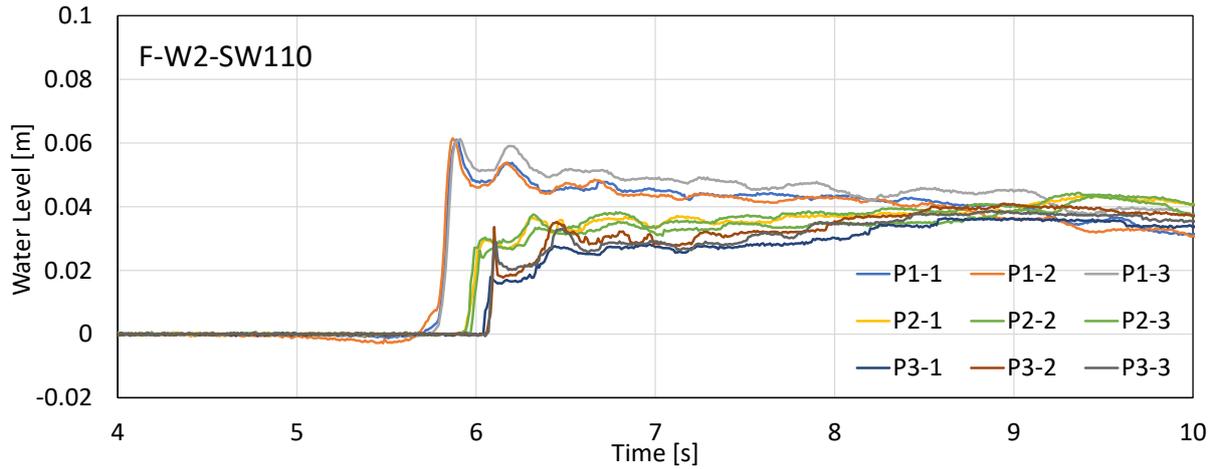


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

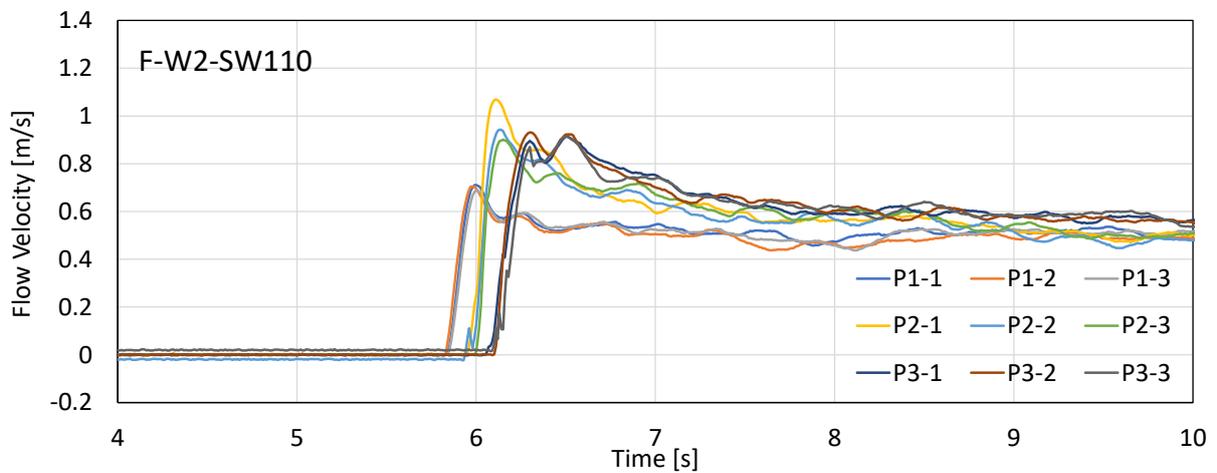


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

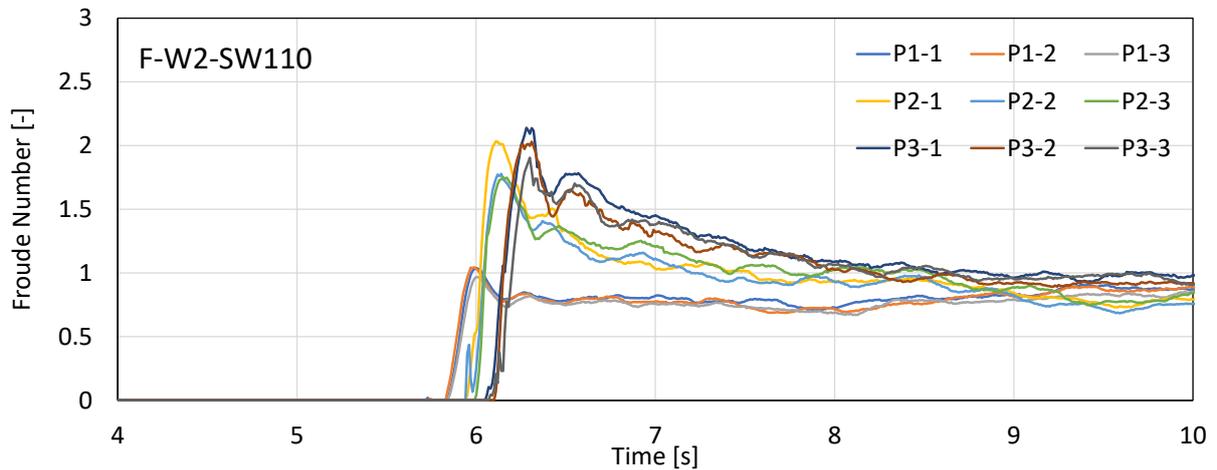
図-4.85 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W1, 塩水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

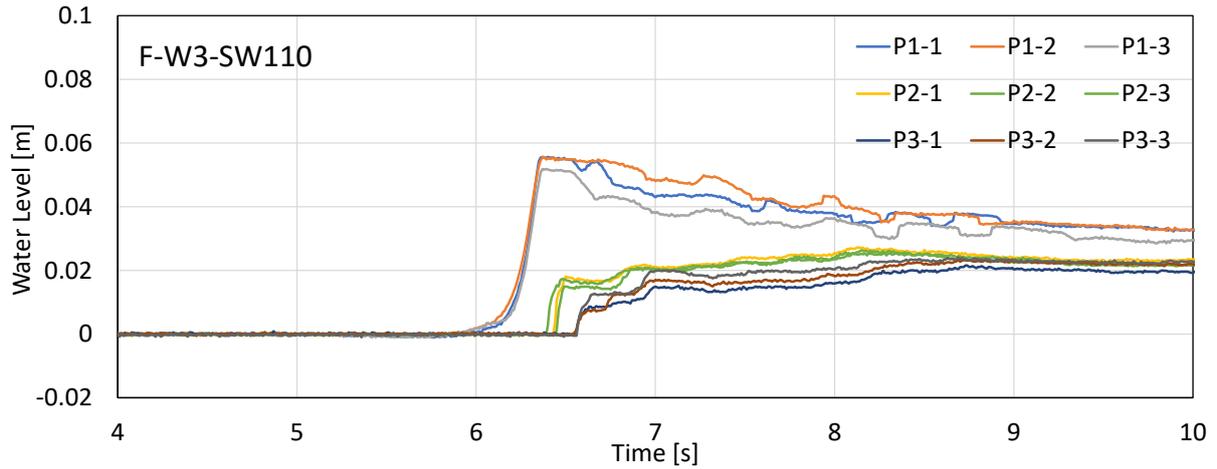


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

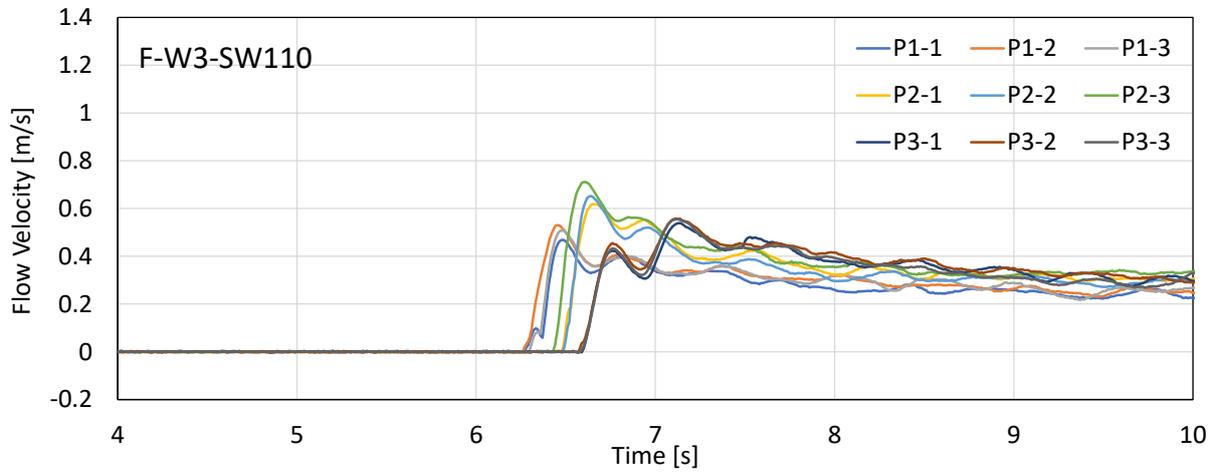


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

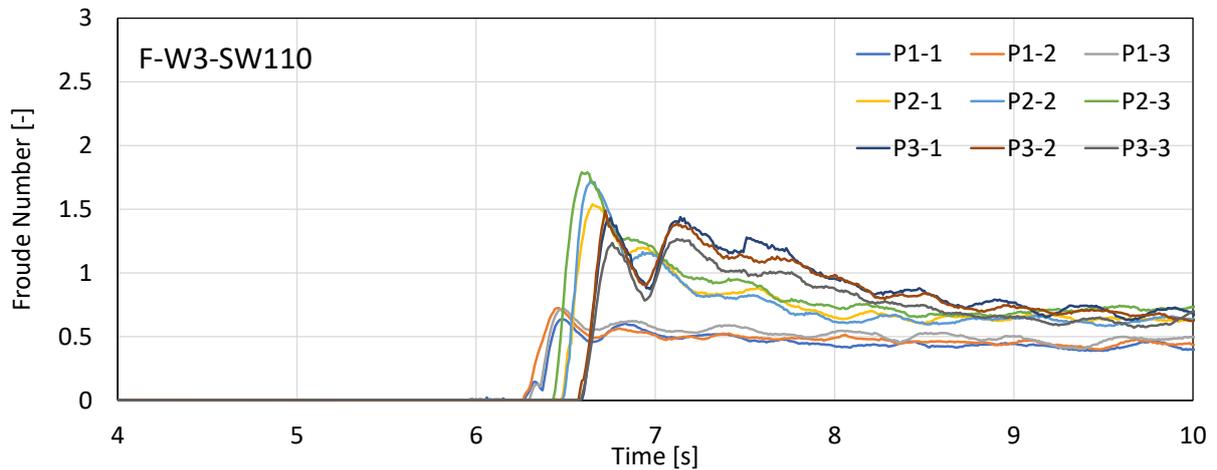
図- 4.86 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W2, 塩水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

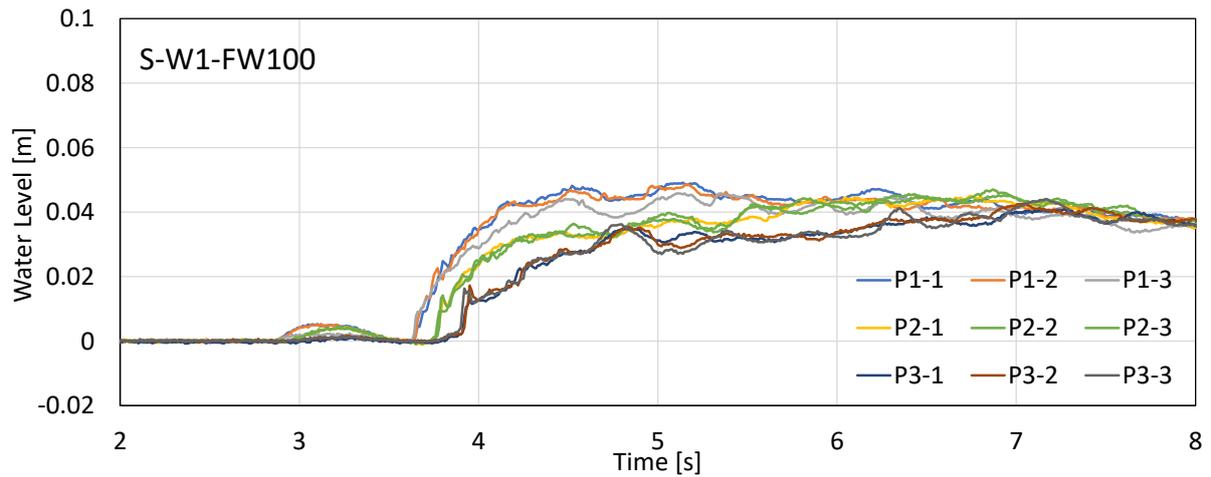


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

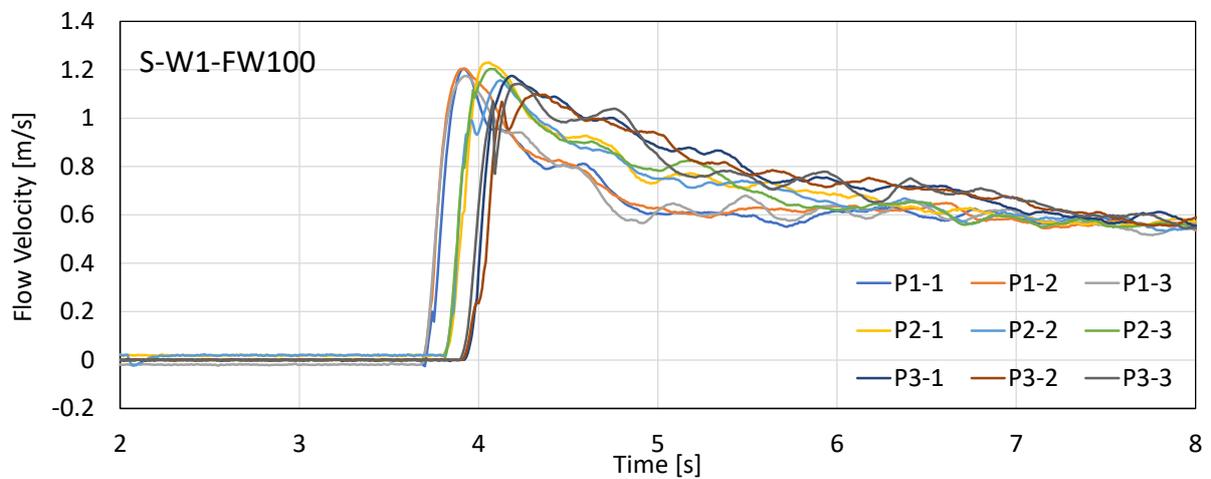


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

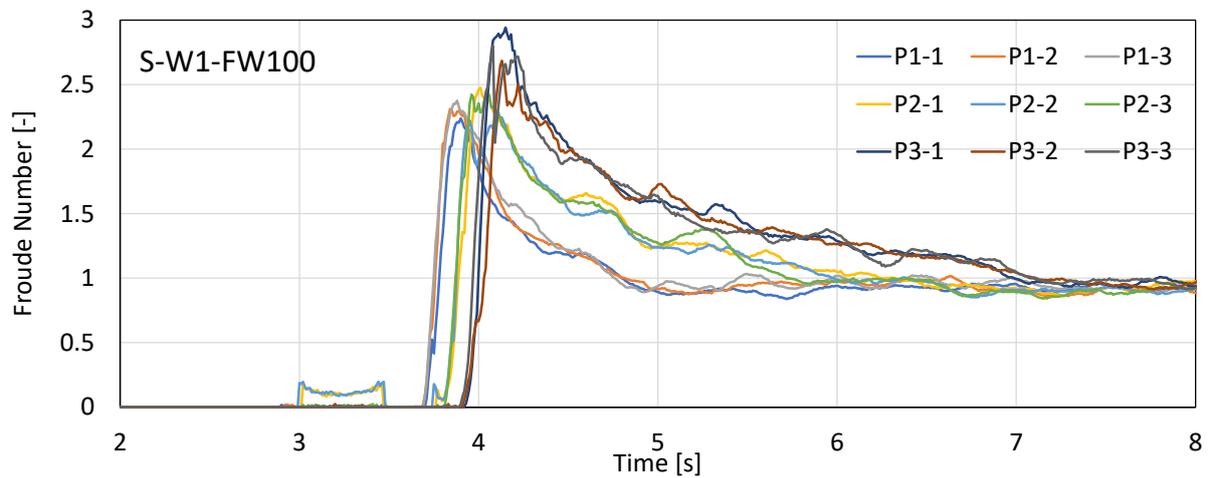
図- 4.87 通過波試験の結果 (水平床 F, 津波 W3, 塩水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

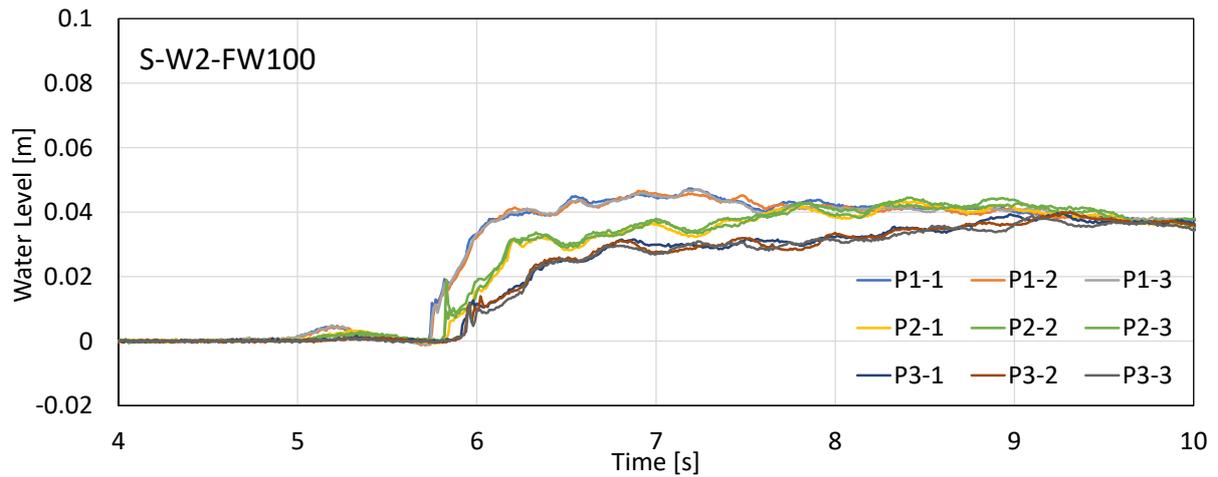


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

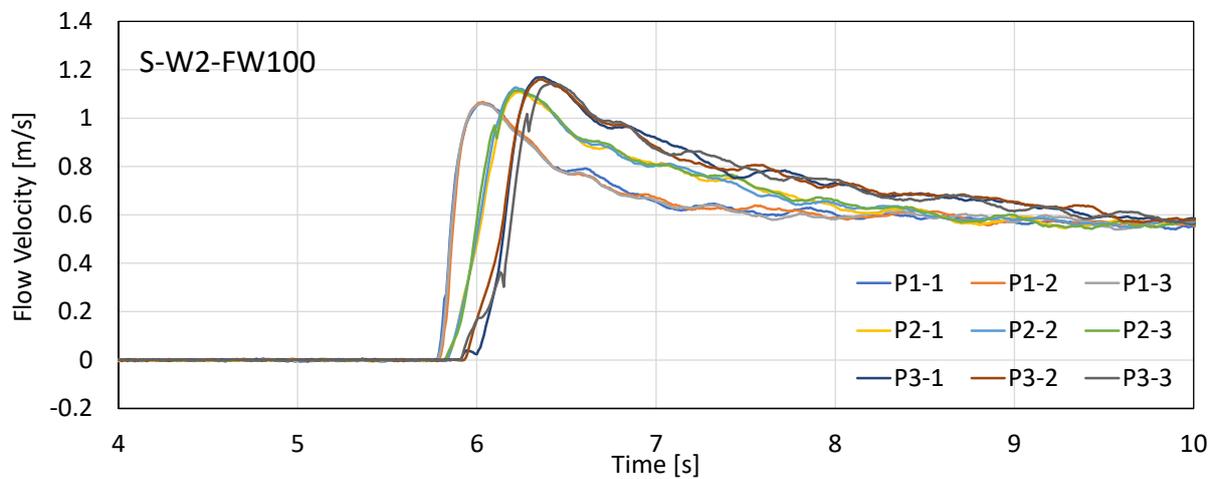


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

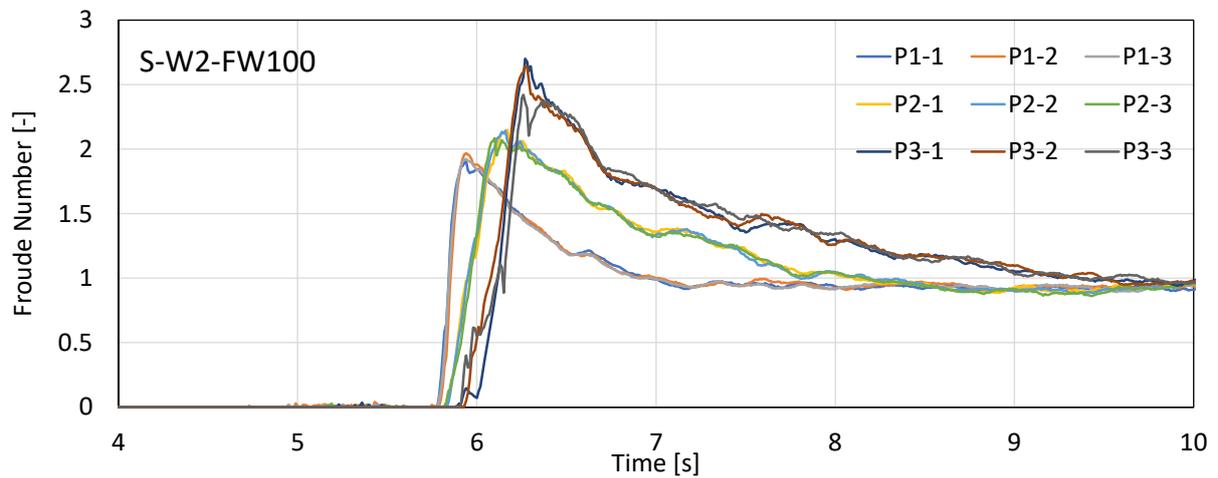
図- 4.88 通過波試験の結果 (単純勾配 S, 津波 W1, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列

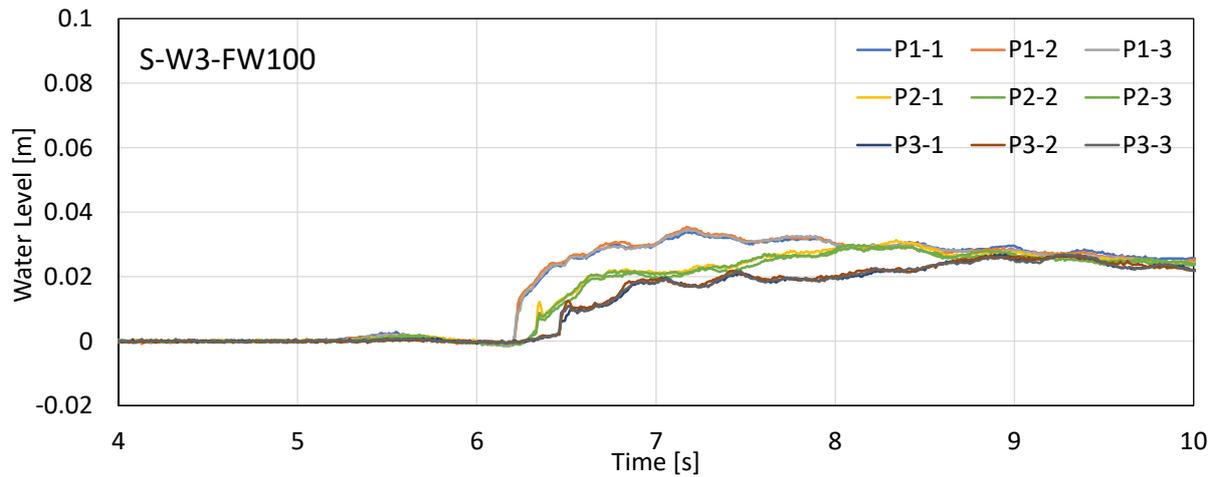


(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列

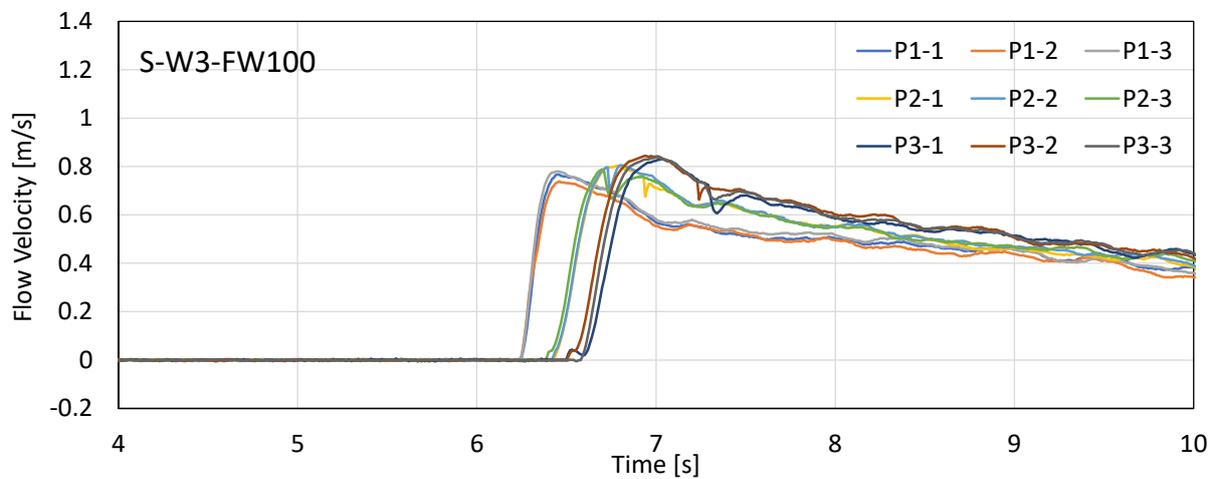


(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

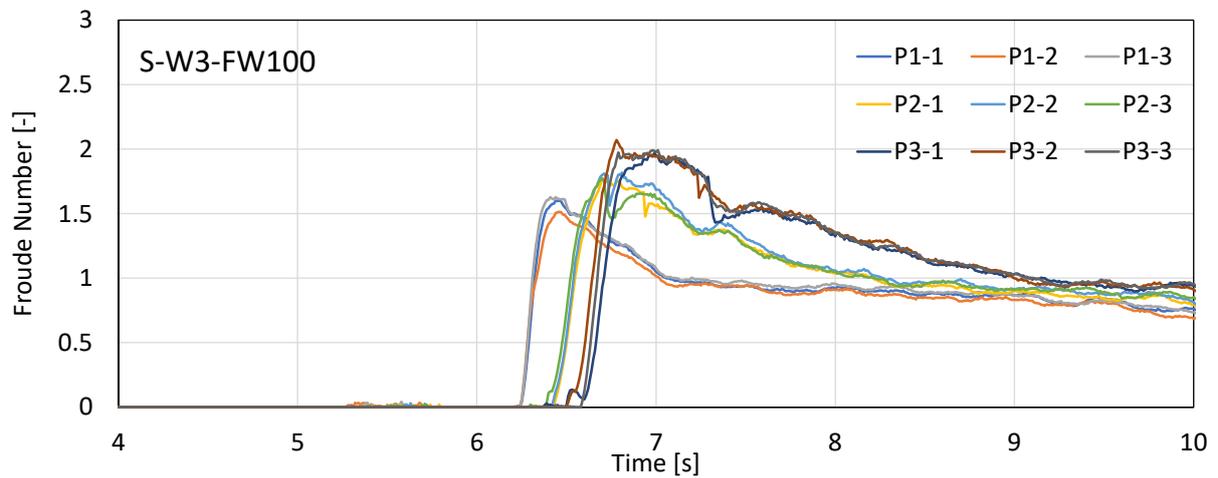
図-4.89 通過波試験の結果 (単純勾配 S, 津波 W2, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)



(a) 壁模型位置 (P1~P3) における水位の時系列



(b) 壁模型位置 (P1~P3) のプロペラ流速計による流速の時系列



(c) 壁模型位置 (P1~P3) におけるフルード数の時系列

図-4.90 通過波試験の結果 (単純勾配 S, 津波 W3, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)

表- 4.10 通過波の最大浸水深とその時の流速・フルード数, 最大流速, 最大フルード数
(水平床 F, 津波 W1~W3, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)

海底 地形	材料	密度 [g/cm ³]	津波 ケース	堤体 位置	No.	最大浸水深		最大浸水時		最大流速		最大フルード数				
						[s]	[m]	流速		[s]	[m/s]	フルード数				
								[m/s]	[-]			[s]	[-]			
F	FW	1.00	W1	P1	1	3.86	0.072	0.851	1.02	0.98	3.83	0.867	3.81	1.08	1.06	
					2	3.91	0.071	0.779	0.93		3.84	0.841	3.84	1.05		
					3	3.88	0.073	0.835	0.99		3.84	0.845	3.82	1.05		
				P2	1	6.96	0.052	0.578	0.81	0.79	4.03	1.067	4.03	1.85		1.82
					2	6.78	0.052	0.531	0.74		4.07	1.075	4.11	1.80		
					3	6.61	0.054	0.591	0.82		4.06	1.056	4.05	1.81		
				P3	1	6.85	0.046	0.631	0.93	0.94	4.19	1.216	4.17	2.53		2.43
					2	6.72	0.049	0.644	0.93		4.19	1.125	4.18	2.32		
					3	6.93	0.047	0.653	0.96		4.18	1.132	4.19	2.42		
			W2	P1	1	5.83	0.085	0.386	0.42	0.32	5.93	0.863	5.94	1.13	1.08	
					2	5.84	0.083	0.270	0.30		5.95	0.823	5.96	1.08		
					3	5.83	0.080	0.200	0.23		5.95	0.794	5.95	1.05		
				P2	1	8.96	0.050	0.530	0.76	0.76	6.06	1.067	6.05	1.90	1.86	
					2	8.92	0.047	0.519	0.77		6.09	1.023	6.06	1.82		
					3	8.98	0.047	0.515	0.76		6.05	1.061	6.06	1.87		
				P3	1	8.65	0.046	0.620	0.92	0.94	6.45	1.025	6.14	2.43	2.17	
					2	8.62	0.046	0.641	0.95		6.36	0.982	6.17	2.23		
					3	8.59	0.046	0.629	0.94		6.40	0.988	6.27	1.84		
			W3	P1	1	6.30	0.060	0.361	0.47	0.42	6.40	0.625	6.41	0.91	0.89	
					2	6.32	0.063	0.355	0.45		6.40	0.612	6.42	0.89		
					3	6.30	0.061	0.269	0.35		6.39	0.597	6.41	0.87		
				P2	1	8.51	0.033	0.352	0.62	0.64	6.62	0.662	6.62	1.46	1.49	
					2	8.38	0.034	0.363	0.63		6.61	0.670	6.59	1.50		
					3	8.24	0.034	0.383	0.66		6.58	0.691	6.59	1.52		
				P3	1	8.61	0.031	0.372	0.68	0.69	7.05	0.618	7.05	1.37	1.54	
					2	8.82	0.029	0.371	0.69		6.73	0.680	6.73	1.61		
					3	8.61	0.033	0.401	0.71		6.71	0.684	6.69	1.64		

表- 4.11 通過波の最大浸水深とその時の流速・フルード数, 最大流速, 最大フルード数
(水平床 F, 津波 W1~W3, 濁水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)

海底 地形	材料	密度 [g/cm ³]	津波 ケース	堤体 位置	No.	最大浸水深		最大浸水時		最大流速		最大フルード数				
						[s]	[m]	流速		[s]	[m/s]	フルード数				
								[m/s]	[-]			[s]	[-]			
F	MW	1.05	W1	P1	1	4.62	0.067	0.605	0.75	0.25	5.76	0.644	5.77	0.85	1.11	
					2	4.09	0.066	-0.001	0.00		4.68	0.658	4.69	0.85		
					3	3.83	0.066	-0.040	0.00		4.72	0.585	1.93	1.64		
				P2	1	6.82	0.048	0.467	0.68	0.63	4.65	0.838	4.25	1.41		1.60
					2	7.14	0.050	0.369	0.52		4.32	0.874	3.94	1.67		
					3	7.02	0.050	0.470	0.67		3.99	0.877	3.99	1.73		
				P3	1	6.20	0.043	0.642	0.99	0.93	4.30	0.845	4.29	1.68		1.57
					2	6.71	0.042	0.618	0.97		4.79	0.864	4.78	1.57		
					3	6.78	0.045	0.567	0.85		4.86	0.813	4.86	1.46		
			W2	P1	1	6.13	0.071	0.002	0.00	0.50	6.96	0.593	6.69	0.79	0.98	
					2	6.13	0.069	0.628	0.76		5.96	0.905	5.95	1.21		
					3	6.12	0.067	0.598	0.74		5.94	0.716	5.94	0.95		
				P2	1	9.09	0.048	0.502	0.73	0.73	6.58	0.771	6.63	1.26	1.35	
					2	9.05	0.046	0.484	0.72		6.39	0.817	6.39	1.42		
					3	9.03	0.046	0.510	0.76		6.53	0.758	6.42	1.37		
				P3	1	9.03	0.041	0.583	0.92	0.92	6.63	0.844	6.59	1.54	2.02	
					2	9.06	0.041	0.561	0.88		6.24	1.000	6.21	2.33		
					3	8.99	0.039	0.597	0.97		6.26	0.913	6.26	2.18		
			W3	P1	1	6.34	0.059	0.098	0.13	0.11	6.87	0.401	7.34	0.64	0.65	
					2	6.35	0.061	0.154	0.20		6.50	0.444	6.51	0.71		
					3	6.38	0.054	-0.034	0.00		7.33	0.380	7.37	0.60		
				P2	1	8.52	0.029	0.360	0.68	0.66	6.62	0.645	6.62	1.63	1.42	
					2	8.27	0.030	0.402	0.74		6.54	0.607	6.54	1.54		
					3	8.62	0.031	0.317	0.58		6.94	0.525	6.57	1.08		
				P3	1	8.74	0.029	0.369	0.69	0.72	7.16	0.553	7.16	1.24	1.28	
					2	8.77	0.027	0.377	0.74		7.12	0.563	7.13	1.32		
					3	8.79	0.029	0.385	0.72		7.15	0.581	7.15	1.29		

表- 4.12 通過波の最大浸水深とその時の流速・フルード数, 最大流速, 最大フルード数
(水平床 F, 津波 W1~W3, 濁水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)

海底 地形	材料	密度 [g/cm ³]	津波 ケース	堤体 位置	No.	最大浸水深		最大浸水時		最大流速		最大フルード数				
						[s]	[m]	流速	フルード数	[s]	[m/s]	[s]	[-]			
								[m/s]	[-]							
F	MW	1.10	W1	P1	1	4.59	0.063	0.001	0.00	0.01	6.63	0.560	7.52	0.81	0.81	
					2	4.14	0.062	-0.018	0.00		7.85	0.539	7.85	0.80		
					3	4.58	0.065	0.019	0.02		7.64	0.564	7.66	0.83		
				P2	1	7.25	0.046	0.479	0.72	0.72	4.04	0.773	4.04	1.56		1.18
					2	6.93	0.048	0.512	0.75		8.48	0.570	8.60	0.98		
					3	7.27	0.049	0.476	0.69		8.75	0.573	8.85	0.99		
				P3	1	7.22	0.039	0.579	0.93	0.94	4.26	1.036	4.22	2.29		2.00
					2	7.06	0.041	0.619	0.97		4.33	0.928	4.35	1.85		
					3	7.87	0.039	0.563	0.92		4.29	0.864	4.28	1.84		
			W2	P1	1	6.17	0.062	0.000	0.00	0.00	8.59	0.579	8.60	0.82	0.81	
					2	6.10	0.069	-0.001	0.00		8.31	0.566	8.31	0.80		
					3	6.15	0.064	0.000	0.00		8.43	0.589	8.44	0.82		
				P2	1	9.07	0.043	0.498	0.77	0.73	8.14	0.618	8.15	1.03	0.97	
					2	9.22	0.046	0.491	0.73		8.66	0.554	8.11	0.88		
					3	9.25	0.046	0.473	0.70		8.45	0.607	8.45	0.99		
				P3	1	9.01	0.043	0.572	0.88	0.91	6.97	0.673	6.96	1.23	1.67	
					2	9.37	0.040	0.574	0.91		6.51	0.881	6.38	1.67		
					3	9.47	0.038	0.562	0.92		6.38	1.035	6.38	2.11		
			W3	P1	1	6.64	0.047	-0.018	0.00	0.01	7.27	0.354	7.27	0.57	0.56	
					2	6.64	0.049	0.007	0.01		7.64	0.366	7.64	0.59		
					3	6.68	0.051	0.004	0.01		7.35	0.306	8.02	0.51		
				P2	1	8.16	0.026	0.019	0.04	0.21	6.75	0.553	6.72	1.43	1.27	
					2	7.96	0.025	0.289	0.58		6.81	0.468	6.77	1.13		
					3	8.15	0.029	-0.001	0.00		6.89	0.566	6.89	1.26		
P3	1	8.60		0.023	0.165	0.34	0.11	7.14	0.489	7.16	1.17	1.15				
	2	8.93		0.025	-0.001	0.00		7.23	0.511	7.30	1.19					
	3	8.82		0.024	-0.010	0.00		7.26	0.464	7.25	1.09					

表- 4.13 通過波の最大浸水深とその時の流速・フルード数, 最大流速, 最大フルード数
(水平床 F, 津波 W1~W3, 塩水 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)

海底 地形	材料	密度 [g/cm ³]	津波 ケース	堤体 位置	No.	最大浸水深		最大浸水時		最大流速		最大フルード数				
						[s]	[m]	流速	フルード数	[s]	[m/s]	[s]	[-]			
								[m/s]	[-]							
F	SW	1.05	W1	P1	1	3.94	0.066	0.721	0.90	0.90	3.94	0.721	3.95	0.90	0.92	
					2	3.95	0.069	0.720	0.88		3.96	0.721	3.94	0.88		
					3	3.89	0.066	0.756	0.94		3.91	0.770	3.91	0.96		
				P2	1	7.40	0.048	0.481	0.70	0.69	4.07	1.098	4.06	1.98		1.92
					2	7.40	0.050	0.451	0.64		4.10	1.085	4.07	1.88		
					3	7.60	0.047	0.495	0.73		4.08	1.076	4.11	1.90		
				P3	1	6.65	0.042	0.582	0.90	0.94	4.22	1.058	4.24	2.23		2.19
					2	6.74	0.046	0.640	0.95		4.17	0.910	4.15	2.08		
					3	6.66	0.045	0.641	0.97		4.22	1.054	4.20	2.27		
			W2	P1	1	5.87	0.070	0.032	0.04	0.23	6.00	0.732	6.00	1.01	1.05	
					2	5.86	0.074	0.247	0.29		5.98	0.797	5.98	1.09		
					3	5.84	0.070	0.304	0.37		5.95	0.768	5.95	1.05		
				P2	1	9.38	0.043	0.477	0.73	0.73	6.12	0.993	6.11	1.82	1.81	
					2	9.45	0.045	0.481	0.72		6.10	0.950	6.10	1.77		
					3	9.42	0.044	0.484	0.73		6.10	0.975	6.10	1.83		
				P3	1	9.01	0.038	0.603	0.99	0.96	6.43	0.990	6.19	2.25	2.20	
					2	8.86	0.039	0.580	0.93		6.43	0.933	6.27	1.82		
					3	8.94	0.037	0.575	0.96		6.22	0.984	6.21	2.52		
			W3	P1	1	6.33	0.056	0.392	0.53	0.41	6.41	0.566	6.45	0.80	0.78	
					2	6.34	0.053	0.195	0.27		6.44	0.549	6.44	0.77		
					3	6.34	0.056	0.311	0.42		6.44	0.556	6.50	0.78		
				P2	1	8.33	0.032	0.364	0.65	0.64	6.68	0.579	6.68	1.38	1.58	
					2	8.40	0.029	0.337	0.63		6.63	0.671	6.62	1.68		
					3	8.33	0.029	0.340	0.64		6.61	0.684	6.61	1.67		
P3	1	8.70		0.026	0.368	0.73	0.70	7.11	0.577	6.79	1.40	1.28				
	2	8.70		0.027	0.361	0.70		7.11	0.566	7.11	1.24					
	3	8.75		0.027	0.350	0.68		7.15	0.531	7.17	1.20					

表- 4.14 通過波の最大浸水深とその時の流速・フルード数, 最大流速, 最大フルード数
(水平床 F, 津波 W1~W3, 塩水 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)

海底 地形	材料	密度 [g/cm ³]	津波 ケース	堤体 位置	No.	最大浸水深		最大浸水時		最大流速		最大フルード数			
						[s]	[m]	流速	フルード数	[s]	[m/s]	[s]	[-]		
								[m/s]	[-]						
F	SW	1.10	W1	P1	1	3.93	0.061	0.723	0.94	0.87	3.91	0.731	3.91	0.96	0.94
					2	3.86	0.062	0.587	0.75		3.95	0.726	3.95	0.93	
					3	3.91	0.063	0.716	0.91		3.93	0.721	3.94	0.92	
				P2	1	7.42	0.048	0.473	0.69	0.70	4.07	0.993	4.07	1.83	
					2	7.54	0.046	0.465	0.69		4.07	0.975	4.07	1.81	
					3	7.47	0.044	0.473	0.72		4.08	1.083	4.09	2.09	
				P3	1	6.33	0.038	0.602	0.98	0.97	4.24	1.015	4.21	2.19	
					2	6.61	0.042	0.603	0.94		4.21	1.028	4.20	2.27	
					3	6.66	0.037	0.596	0.99		4.23	1.046	4.23	2.30	
			W2	P1	1	5.89	0.061	0.258	0.33	0.36	6.00	0.711	6.00	1.04	
					2	5.87	0.062	0.227	0.29		5.97	0.705	5.99	1.04	
					3	5.91	0.061	0.343	0.44		6.00	0.689	6.01	0.97	
				P2	1	9.35	0.043	0.518	0.80	0.77	6.11	1.069	6.11	2.03	
					2	9.36	0.044	0.498	0.76		6.13	0.942	6.14	1.78	
					3	9.46	0.044	0.492	0.75		6.15	0.901	6.15	1.75	
				P3	1	8.62	0.036	0.598	1.00	0.96	6.50	0.915	6.28	2.14	
					2	8.94	0.041	0.580	0.91		6.30	0.931	6.31	2.03	
					3	8.87	0.039	0.588	0.95		6.51	0.915	6.30	1.91	
			W3	P1	1	6.37	0.056	0.058	0.08	0.25	6.48	0.468	6.48	0.64	
					2	6.37	0.056	0.346	0.47		6.45	0.531	6.46	0.72	
					3	6.37	0.052	0.138	0.19		6.48	0.509	6.49	0.72	
				P2	1	8.13	0.027	0.346	0.67	0.67	6.65	0.619	6.65	1.54	
					2	8.15	0.026	0.311	0.61		6.64	0.652	6.64	1.73	
					3	8.06	0.026	0.360	0.72		6.61	0.712	6.59	1.79	
				P3	1	8.73	0.022	0.334	0.73	0.71	7.13	0.539	7.14	1.44	
					2	8.69	0.023	0.347	0.73		7.11	0.558	6.72	1.49	
					3	8.69	0.024	0.332	0.68		7.12	0.556	7.12	1.27	

表- 4.15 通過波の最大浸水深とその時の流速・フルード数, 最大流速, 最大フルード数
(単純勾配 S, 津波 W1~W3, 淡水 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)

海底 地形	材料	密度 [g/cm ³]	津波 ケース	堤体 位置	No.	最大浸水深		最大浸水時		最大流速		最大フルード数			
						[s]	[m]	流速	フルード数	[s]	[m/s]	[s]	[-]		
								[m/s]	[-]						
S	FW	1.00	W1	P1	1	5.14	0.049	0.607	0.87	0.90	3.92	1.205	3.90	2.24	2.31
					2	5.15	0.049	0.608	0.88		3.90	1.203	3.84	2.31	
					3	5.11	0.046	0.641	0.96		3.92	1.175	3.88	2.38	
				P2	1	6.74	0.045	0.630	0.95	0.91	4.06	1.231	4.01	2.48	
					2	6.87	0.047	0.595	0.88		4.12	1.157	4.10	2.29	
					3	6.90	0.045	0.597	0.90		4.07	1.203	4.05	2.44	
				P3	1	7.27	0.041	0.594	0.94	0.97	4.18	1.175	4.15	2.94	
					2	7.05	0.043	0.656	1.01		4.31	1.099	4.13	2.68	
					3	7.16	0.044	0.639	0.97		4.22	1.142	4.08	2.80	
			W2	P1	1	7.18	0.047	0.624	0.92	0.95	6.03	1.063	5.94	1.91	
					2	6.90	0.047	0.680	1.01		6.03	1.067	5.94	1.97	
					3	7.22	0.047	0.630	0.93		6.03	1.060	5.94	1.92	
				P2	1	8.37	0.044	0.625	0.96	0.97	6.23	1.107	6.17	2.15	
					2	7.83	0.043	0.646	1.00		6.22	1.127	6.16	2.14	
					3	8.40	0.045	0.632	0.96		6.21	1.113	6.10	2.08	
				P3	1	9.24	0.040	0.624	1.00	1.01	6.37	1.170	6.27	2.70	
					2	9.31	0.040	0.635	1.01		6.35	1.160	6.27	2.64	
					3	9.10	0.039	0.630	1.02		6.42	1.143	6.26	2.42	
			W3	P1	1	7.17	0.034	0.560	0.97	0.97	6.45	0.768	6.46	1.60	
					2	7.17	0.035	0.555	0.94		6.46	0.738	6.46	1.51	
					3	7.18	0.035	0.575	0.98		6.45	0.780	6.41	1.63	
				P2	1	8.34	0.031	0.515	0.93	0.97	6.78	0.803	6.70	1.77	
					2	8.35	0.029	0.514	0.96		6.80	0.805	6.81	1.82	
					3	8.10	0.030	0.547	1.01		6.70	0.788	6.70	1.78	
				P3	1	8.89	0.027	0.529	1.03	0.97	7.03	0.832	6.99	1.97	
					2	9.28	0.027	0.475	0.93		6.94	0.844	6.78	2.07	
					3	9.27	0.027	0.481	0.94		7.00	0.839	7.01	1.99	

表- 4.16 通過波の最大浸水深，映像判読による波先端速度，フルード数

海底 地形	材料	密度 [g/cm ³]	津波 ケース	堤体 位置	No.	最大浸水深		波先端 速度	フルード数	
						[s]	[m]	[m/s]	[-]	
F	MW	1.05	W1	P2	1	6.82	0.048	1.546	2.25	2.22
					2	7.14	0.050	1.577	2.24	
					3	7.02	0.050	1.515	2.16	
				P3	1	6.20	0.043	1.377	2.12	2.13
					2	6.71	0.042	1.416	2.22	
					3	6.78	0.045	1.364	2.05	
			W2	P2	1	9.09	0.048	1.515	2.20	2.32
					2	9.05	0.046	1.613	2.39	
					3	9.03	0.046	1.595	2.38	
				P3	1	9.03	0.041	1.443	2.28	2.43
					2	9.06	0.041	1.786	2.80	
					3	8.99	0.039	1.362	2.20	
		W3	P2	1	8.52	0.029	1.271	2.40	2.25	
				2	8.27	0.030	1.145	2.10		
				3	8.62	0.031	1.239	2.25		
			P3	1	8.74	0.029	1.486	2.78	2.85	
				2	8.77	0.027	1.577	3.09		
				3	8.79	0.029	1.429	2.66		
		1.10	W1	P2	1	7.25	0.046	1.389	2.08	2.03
					2	6.93	0.048	1.305	1.90	
					3	7.27	0.049	1.471	2.12	
				P3	1	7.22	0.039	1.351	2.18	2.36
					2	7.06	0.041	1.441	2.27	
					3	7.87	0.039	1.613	2.62	
W2	P2		1	9.07	0.043	1.364	2.11	2.10		
			2	9.22	0.046	1.416	2.11			
			3	9.25	0.046	1.414	2.10			
	P3		1	9.01	0.043	1.597	2.45	2.64		
			2	9.37	0.040	1.647	2.63			
			3	9.47	0.038	1.724	2.84			
W3	P2	1	8.16	0.026	1.292	2.56	2.48			
		2	7.96	0.025	1.351	2.73				
		3	8.15	0.029	1.145	2.16				
	P3	1	8.60	0.023	1.389	2.90	2.79			
		2	8.93	0.025	1.613	3.28				
		3	8.82	0.024	1.072	2.19				
S	MW	1.10	W1	P1	1	5.61	0.04	1.155	1.78	1.90
					2	4.45	0.05	1.389	2.02	
					3	5.40	0.05	1.294	1.90	
				P2	1	8.08	0.03	1.250	2.14	2.47
					2	7.42	0.04	1.667	2.63	
					3	9.83	0.04	1.724	2.63	
			P3	1	7.17	0.04	1.563	2.54	2.53	
				2	7.15	0.04	1.563	2.53		
				3	9.13	0.05	1.704	2.54		
			W2	P1	1	7.70	0.04	1.056	1.63	1.85
					2	7.40	0.04	1.239	2.05	
					3	7.69	0.04	1.172	1.87	
		P2		1	9.88	0.04	1.250	2.06	2.23	
				2	10.03	0.03	1.294	2.22		
				3	10.01	0.03	1.401	2.42		
		P3	1	11.62	0.04	1.230	1.98	2.23		
			2	11.74	0.04	1.429	2.34			
			3	11.79	0.04	1.416	2.36			
		1.86	W3	P1	1	8.45	0.03	0.962	1.89	1.86
					2	7.78	0.03	1.056	2.09	
					3	7.80	0.03	0.847	1.61	
				P2	1	8.60	0.03	0.994	1.96	2.03
					2	8.67	0.03	1.035	2.06	
					3	8.71	0.03	1.042	2.06	
P3	1		9.27	0.02	1.292	2.64	2.58			
	2		9.89	0.02	1.136	2.35				
	3		10.11	0.02	1.339	2.75				

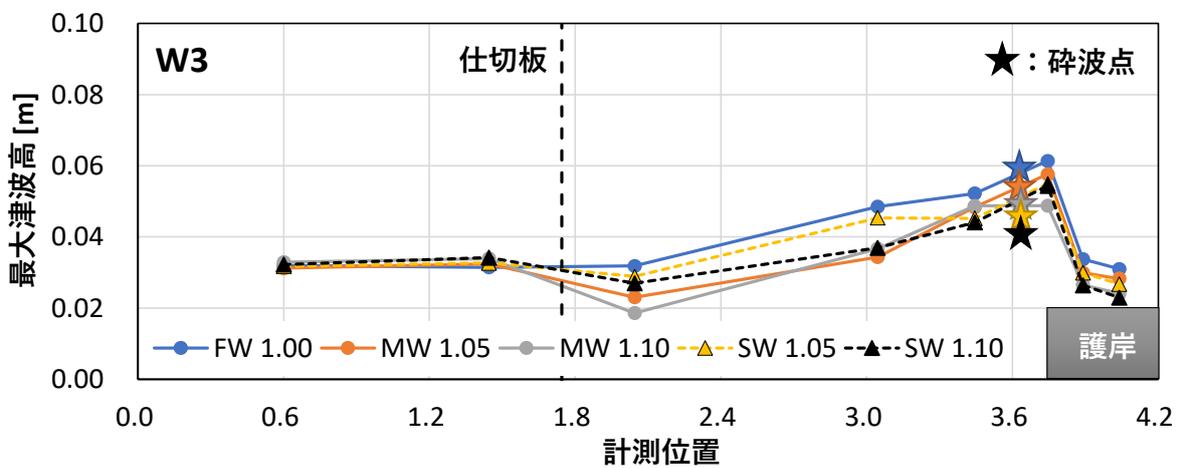
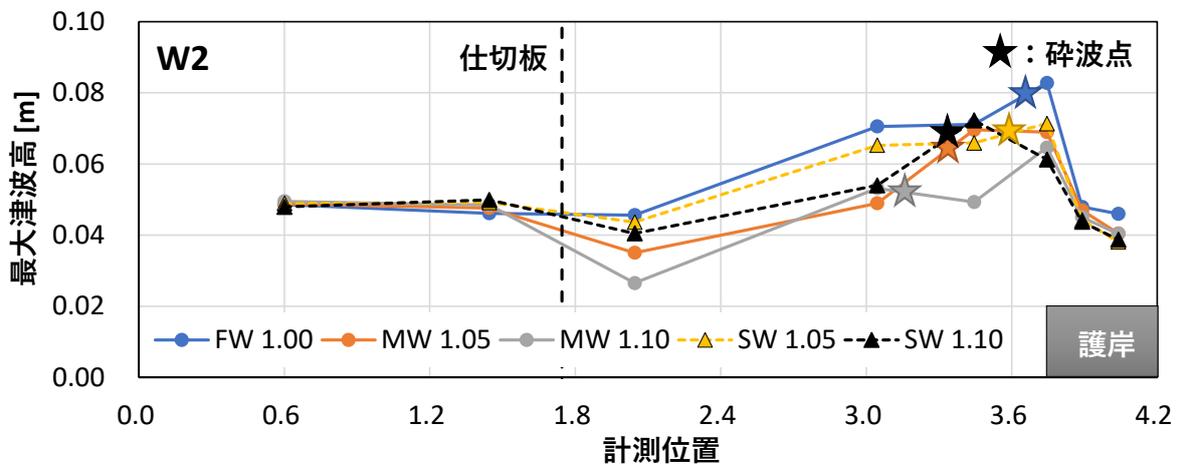
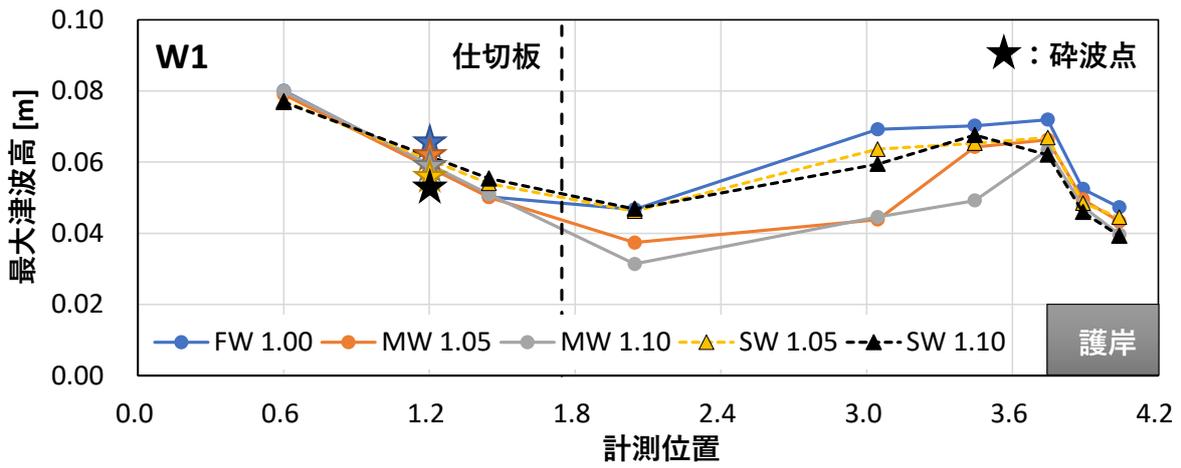


図-4.91 密度による最大津波高の変化 (水平床 F)

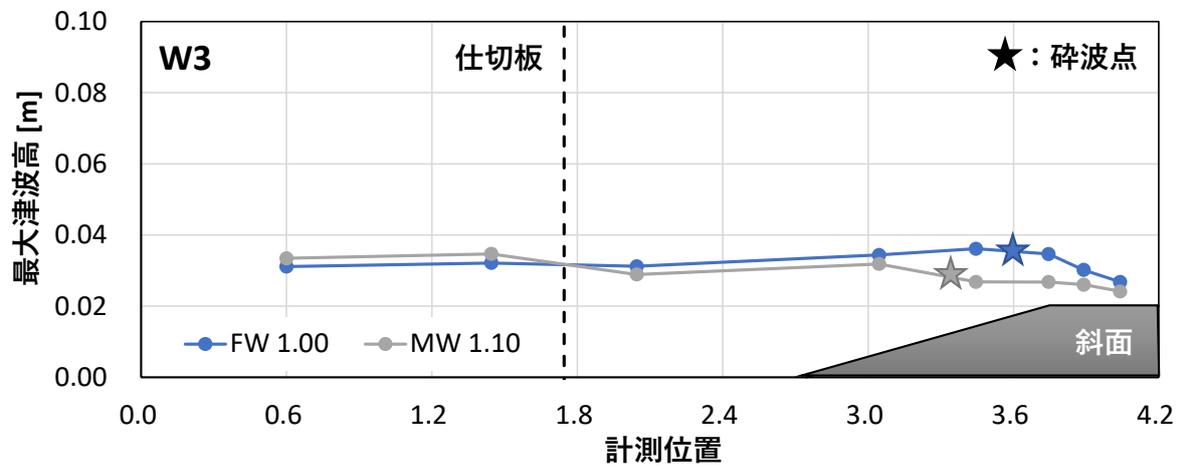
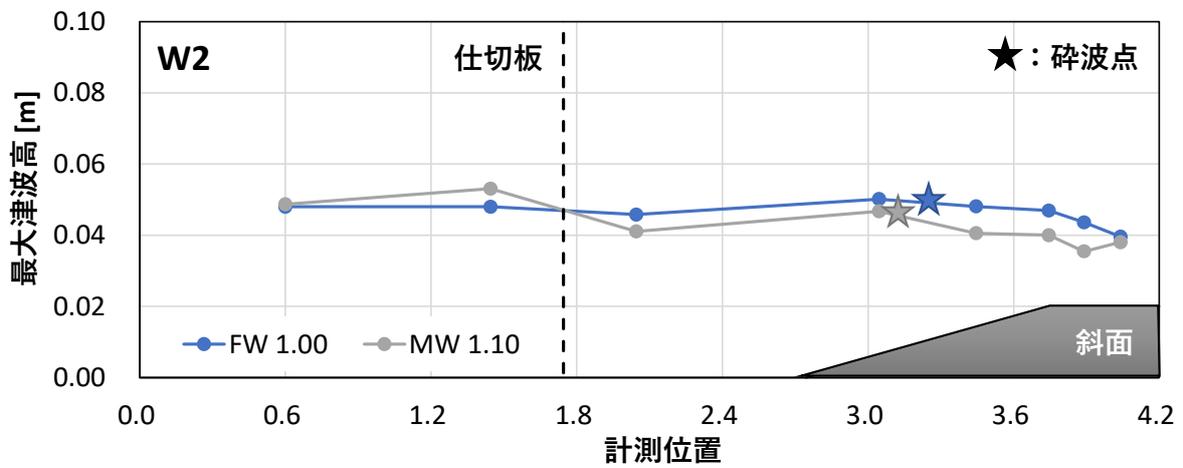
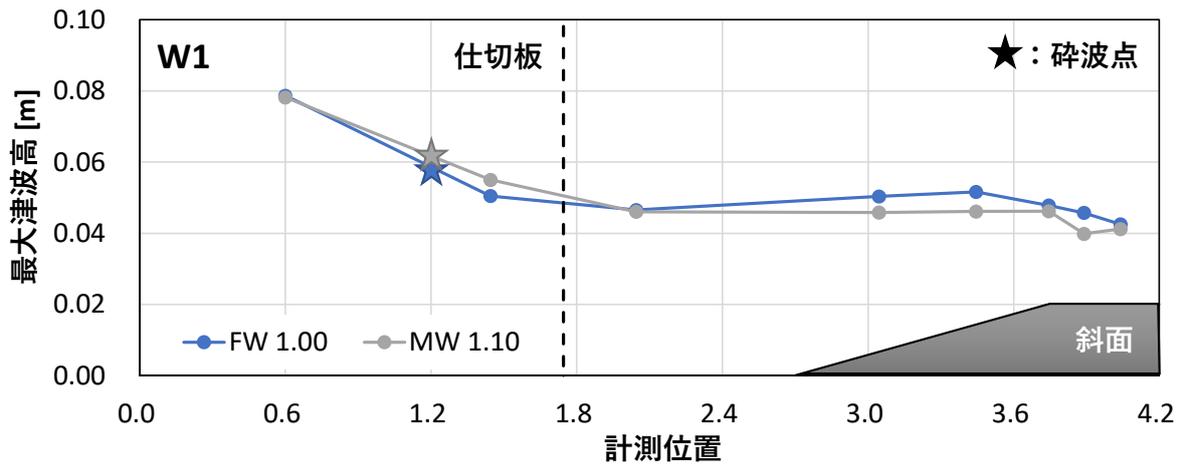


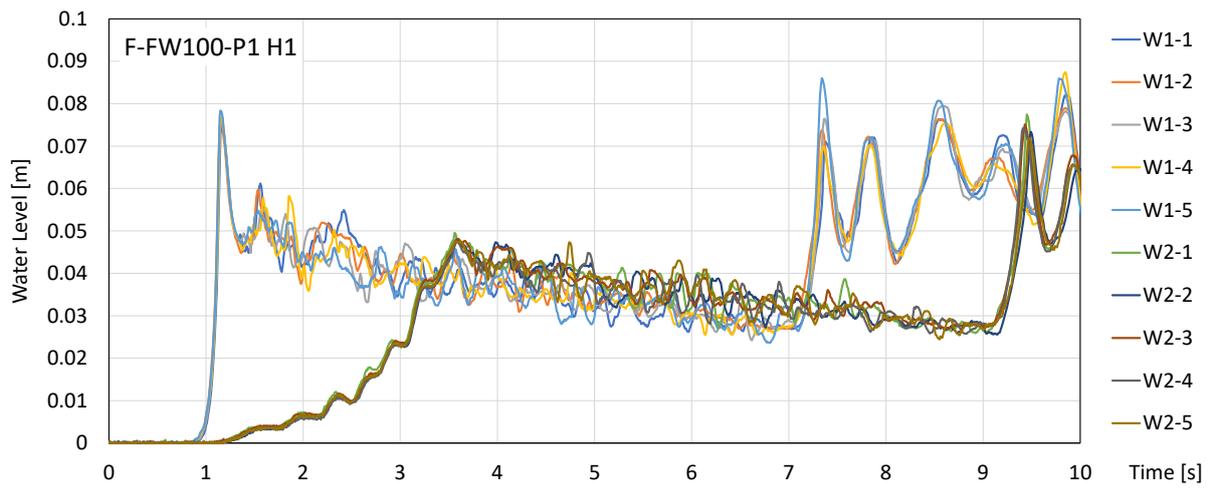
図-4.92 密度による最大津波高の変化（単純勾配 S）

(3) 衝突試験結果

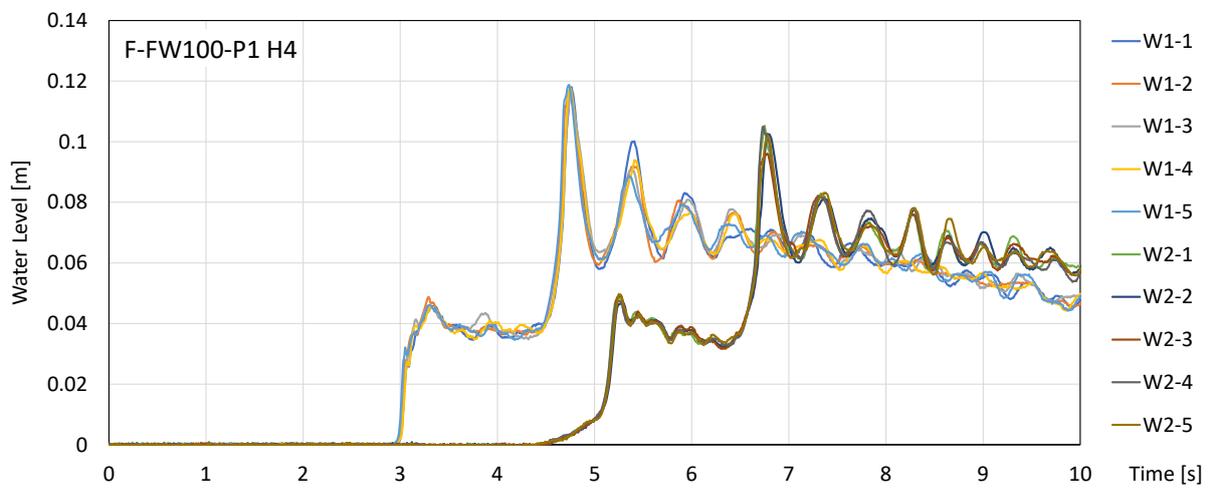
衝突試験は各ケースを繰り返し 5 回実施し、沖側水位 H1、仕切板通過後水位 H4、護岸汀線水位 H6、壁模型前面水位 H7 もしくは H8、壁模型に作用する波力 (ΣpA ; 圧力計, F_x ; 水中 6 分力計) を図-4.105～図-4.114 に示す。また、各ケースにおける H4 の最大水位、H6, H7, H8 における津波の到達時間、水中 6 分力計および圧力計による最大波力の結果を表-4.17～表-4.22 に示す。

ここで、壁模型前面 H6, H7, H8 における最大水位の時刻前後でそれぞれ生じる波力を衝撃波力と持続波力と定義し、それぞれの最大値も合わせて示した。なお、表中の最大波力 ΣpA および F_x におけるハッチングの色は、最大衝撃波力が全時刻で最大の場合に赤、最大持続波力が全時刻で最大の場合に青とした。

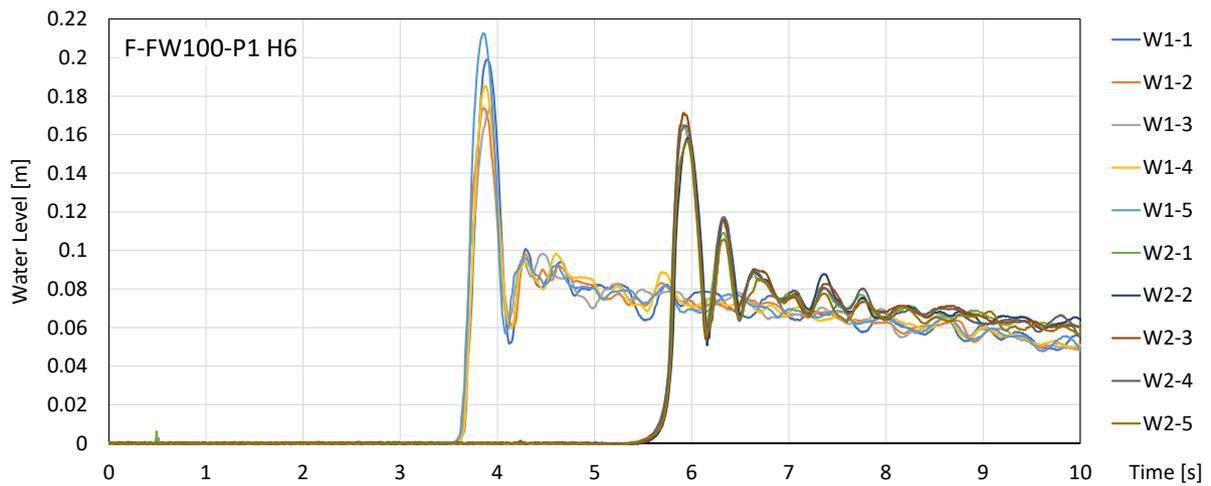
濁水（シリカフェームの含有）については、壁模型衝突時の流体密度を確認するため、水路側方から設置した吸引孔により、壁模型前面および護岸前面にて水路断面中央の濁水を採取した。なお採取のタイミングは、最大波力が発生する時間の直後とし、各ケースで 2 回実施した。得られた結果を表-4.23～表-4.26 に示す。



(a) 沖側水位 H1

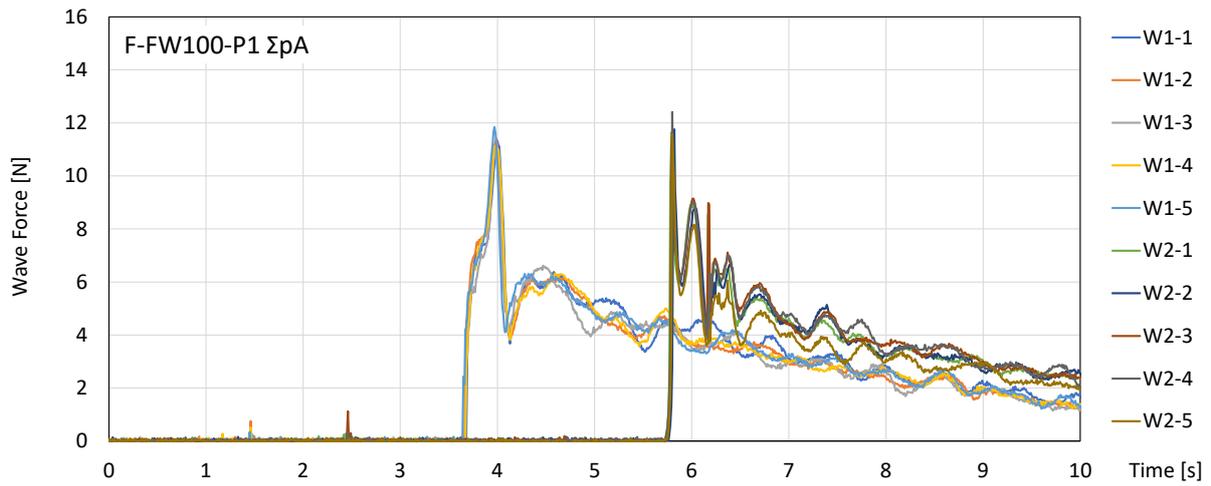


(b) 仕切板通過後水位 H4

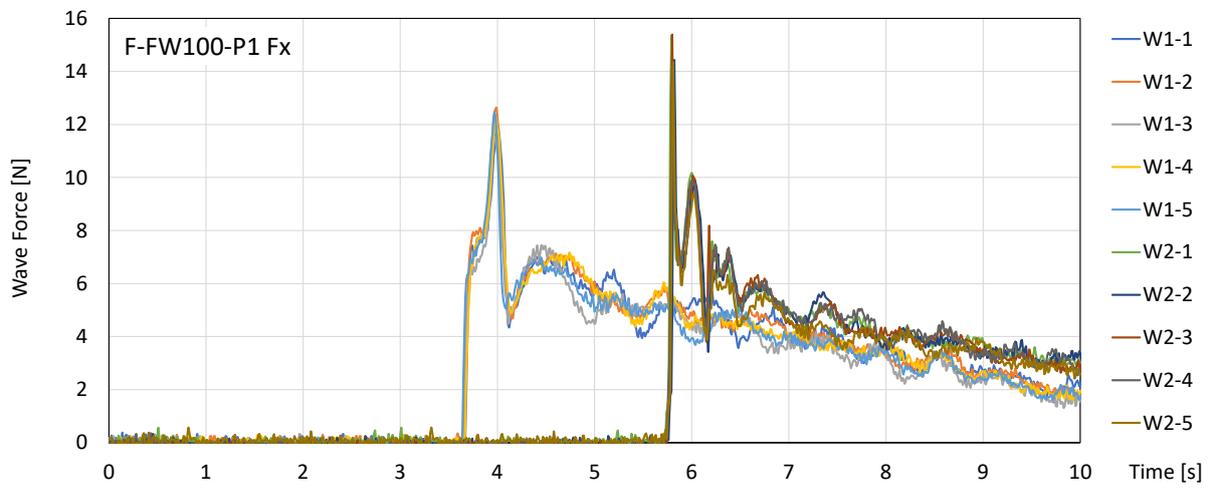


(c) 護岸汀線水位 H6

図- 4.93 衝突試験結果ばらつき確認(F-FW100-P1 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm³, 壁位置 P1) [1]

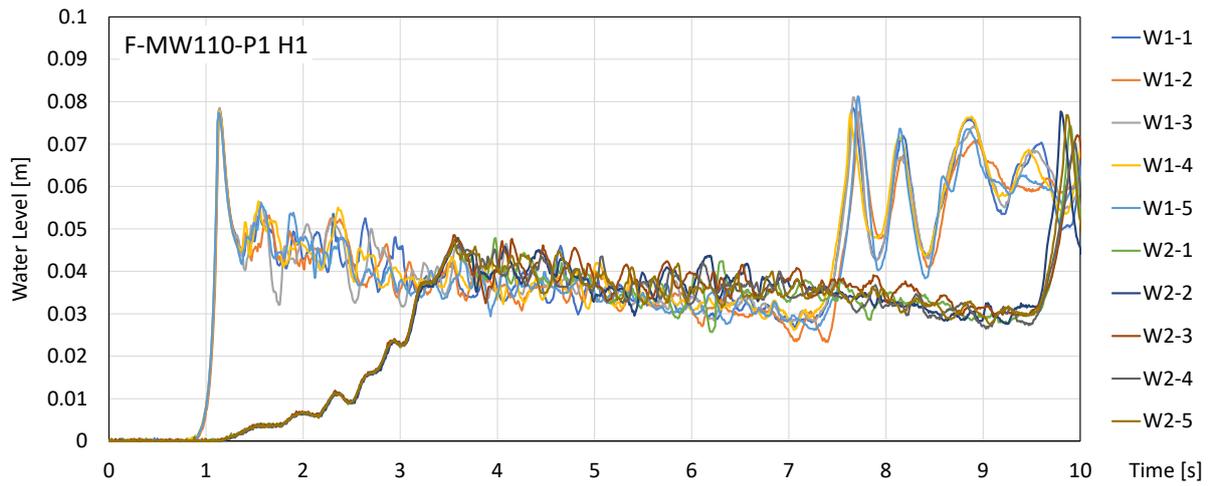


(a) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

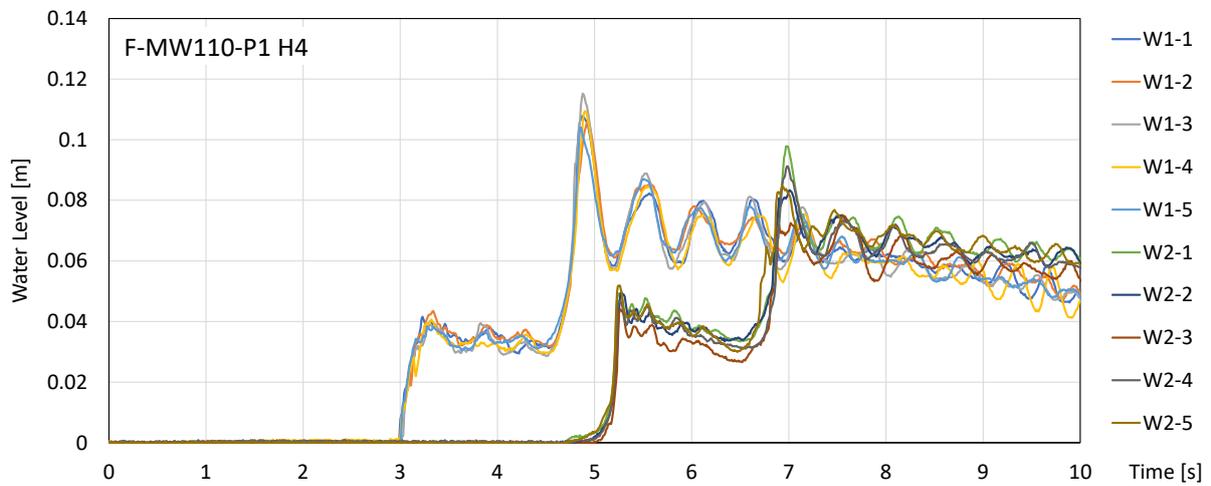


(b) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

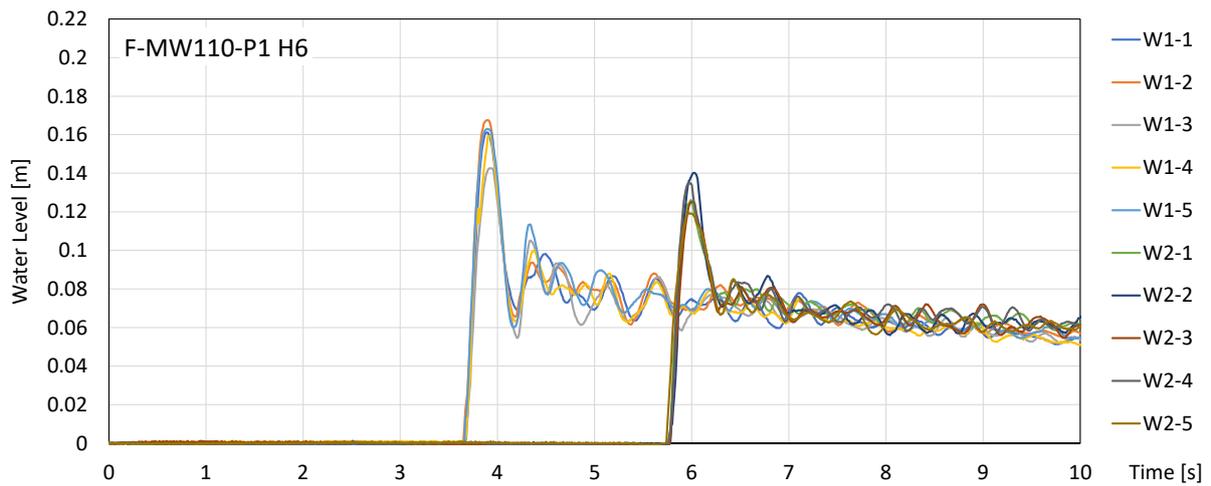
図-4.94 衝突試験結果ばらつき確認(F-FW100-P1 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

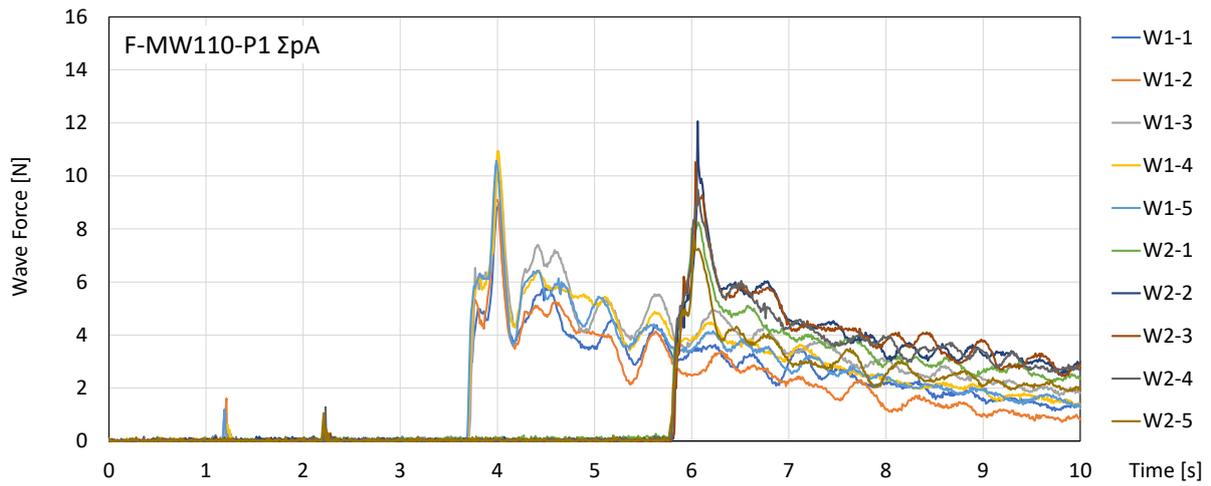


(b) 仕切板通過後水位 H4

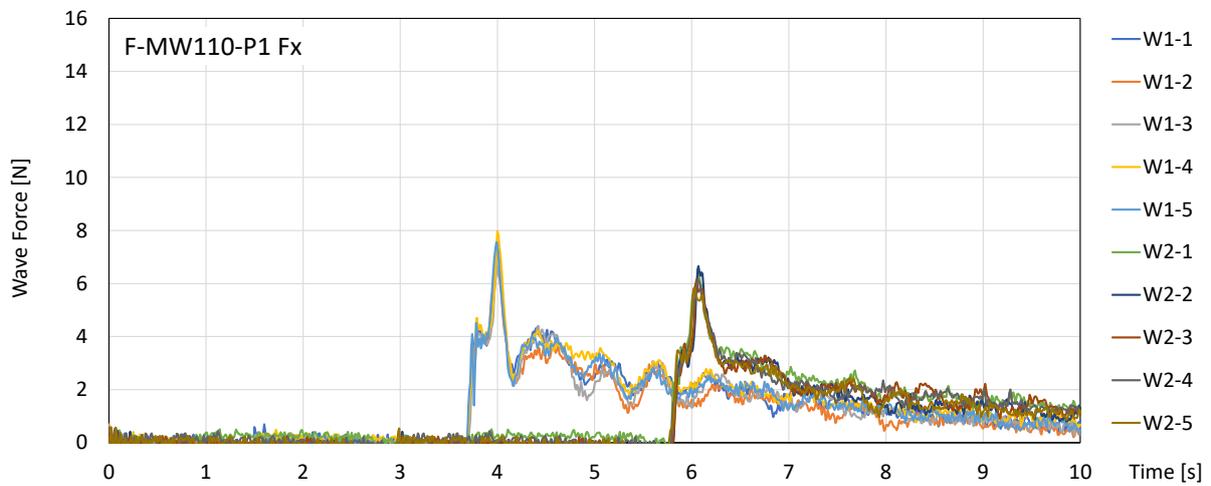


(c) 護岸汀線水位 H6

図- 4.95 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW110-P1 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P1) [1]

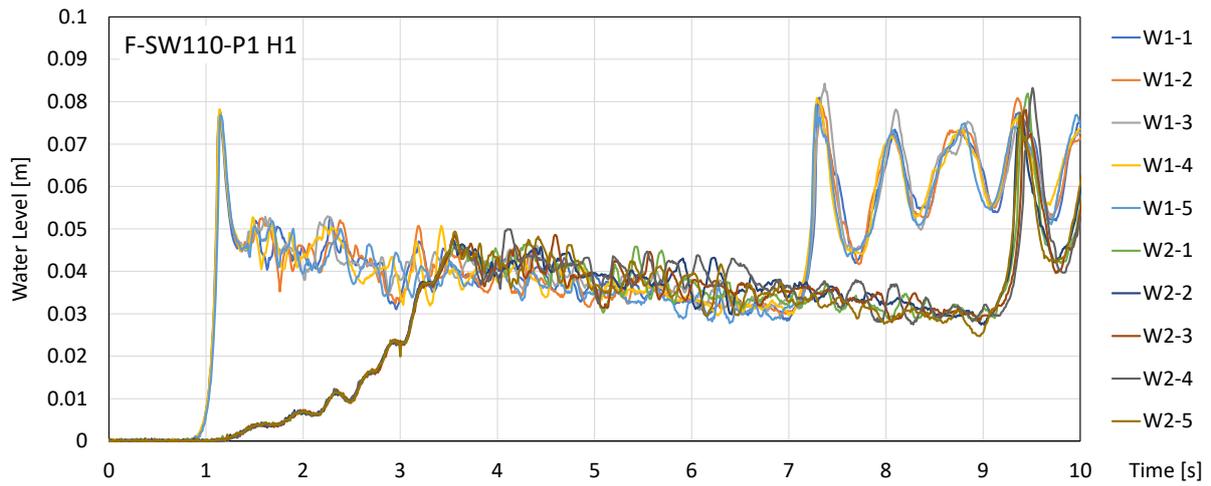


(a) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

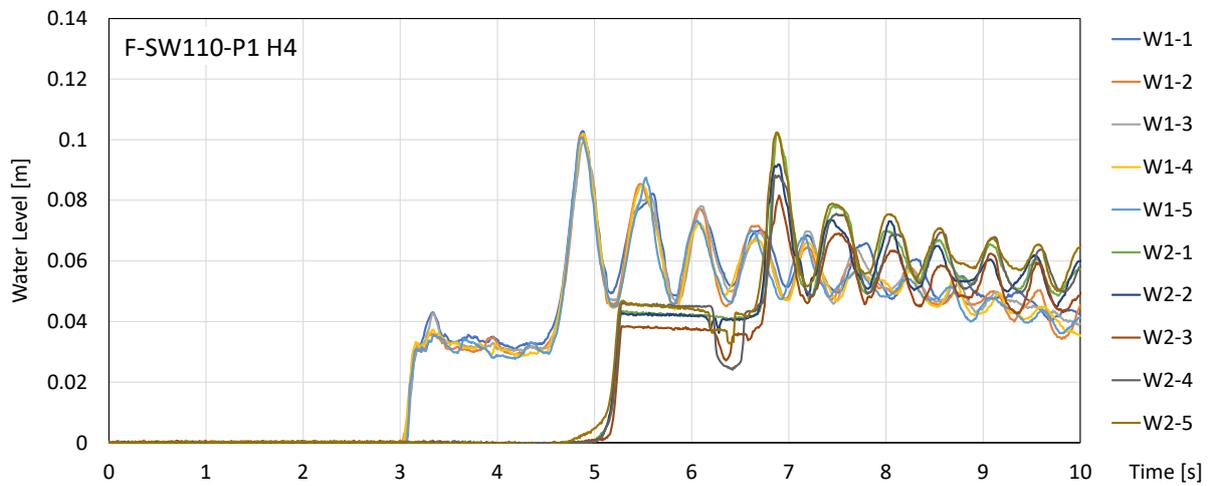


(b) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

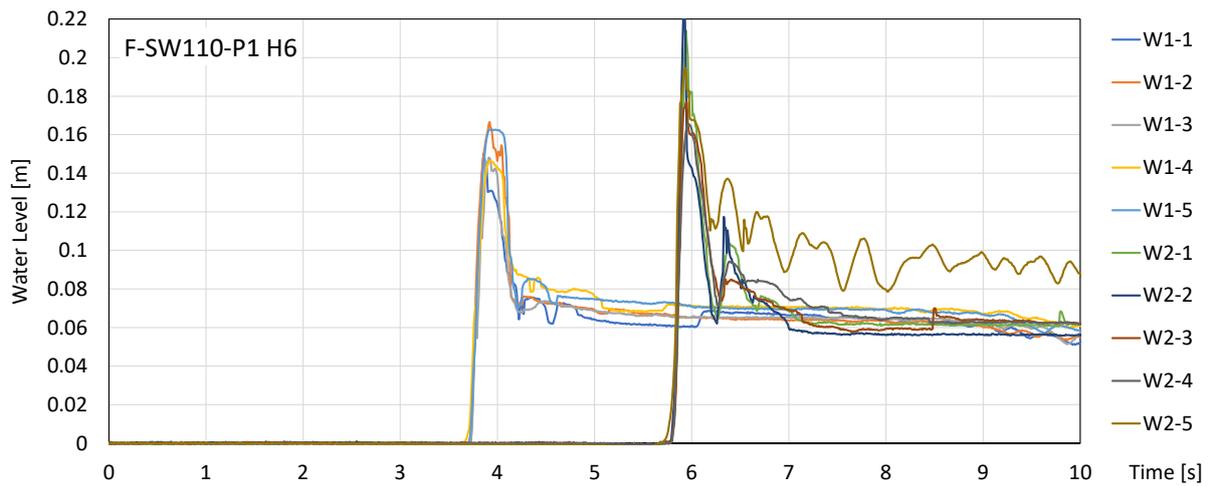
図-4.96 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW110-P1 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

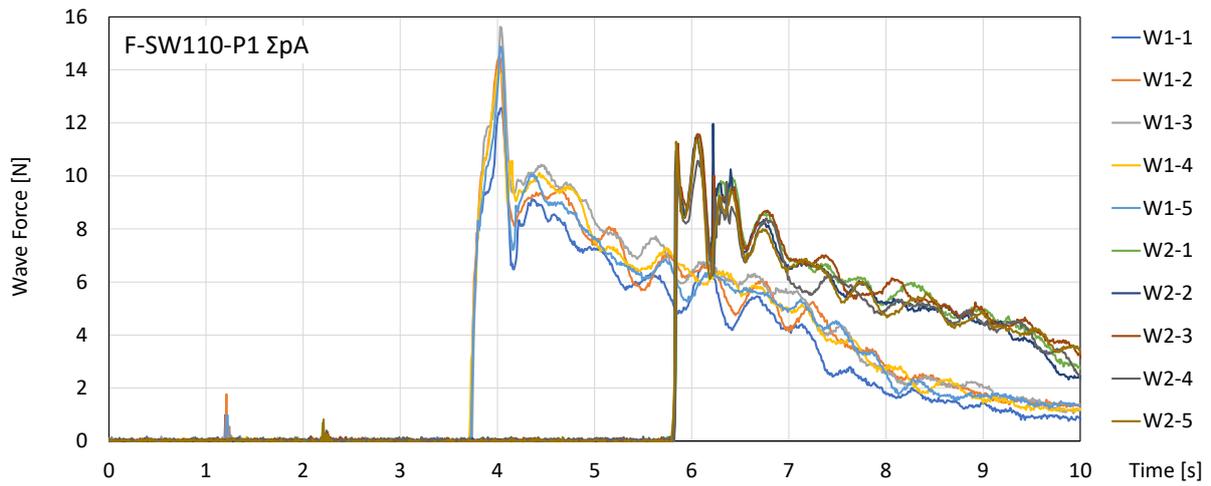


(b) 仕切板通過後水位 H4

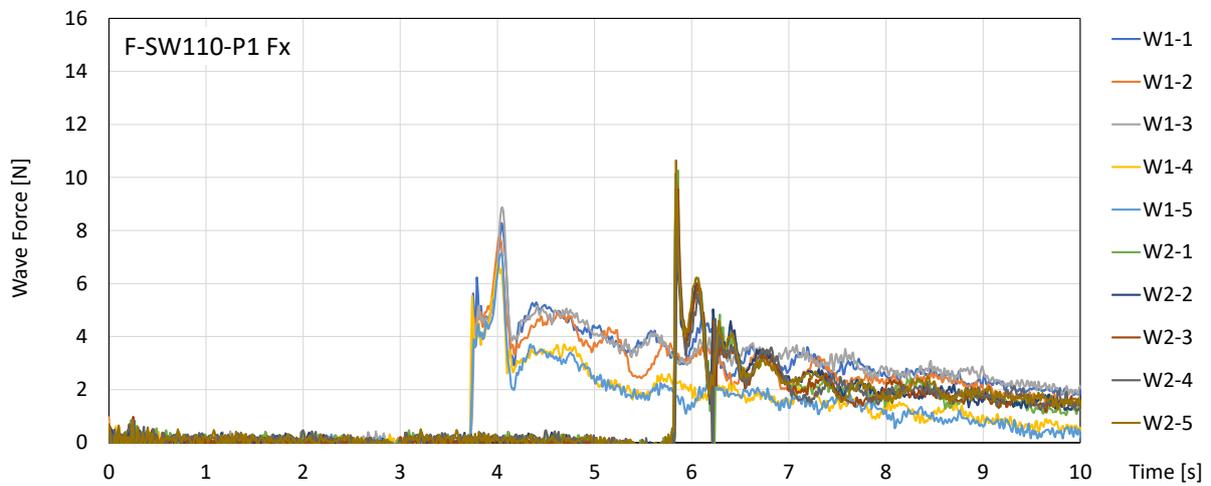


(c) 護岸汀線水位 H6

図-4.97 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW110-P1 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P1) [1]

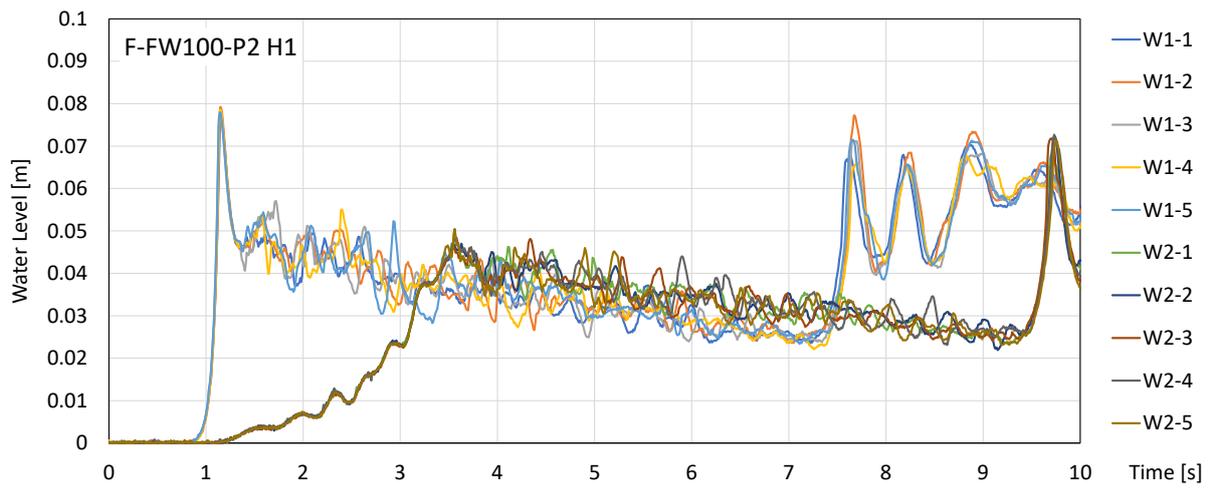


(a) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

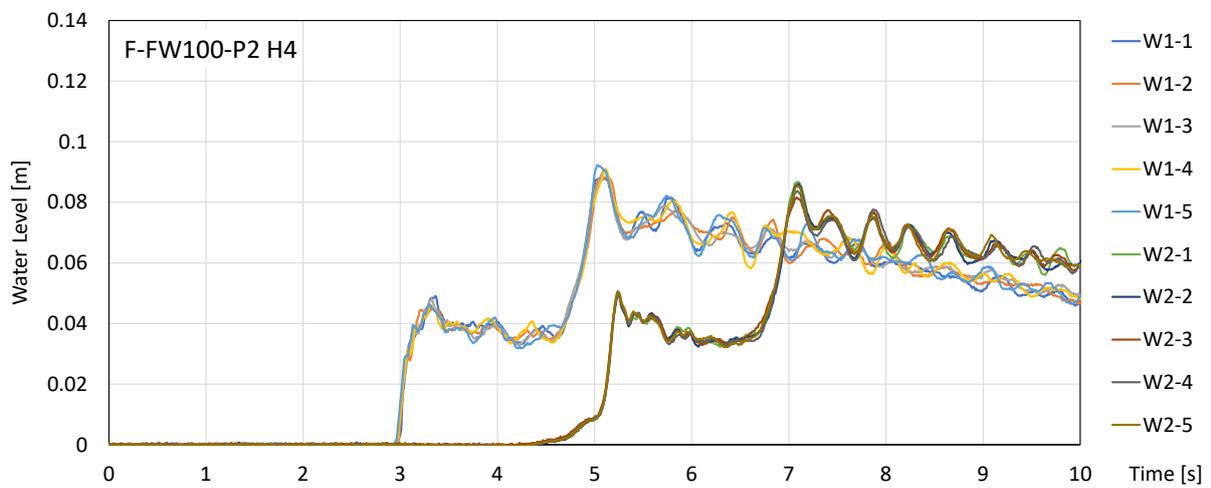


(b) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

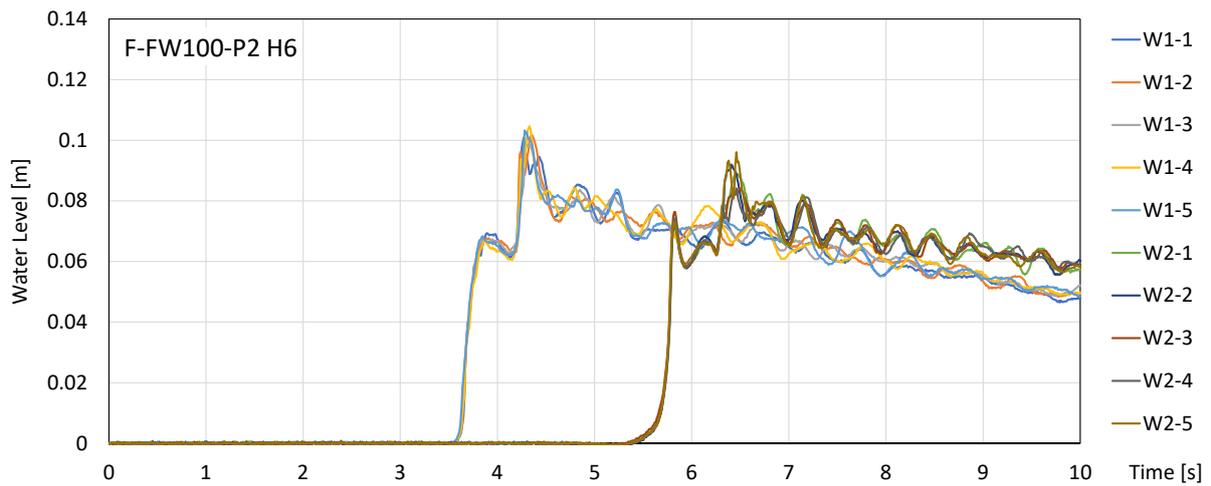
図-4.98 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW110-P1 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

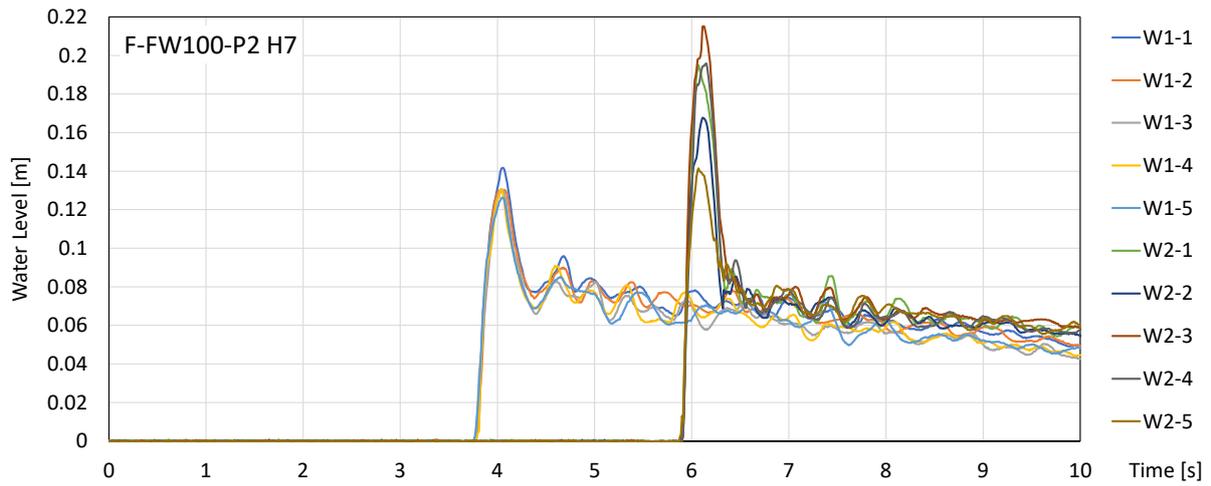


(b) 仕切板通過後水位 H4

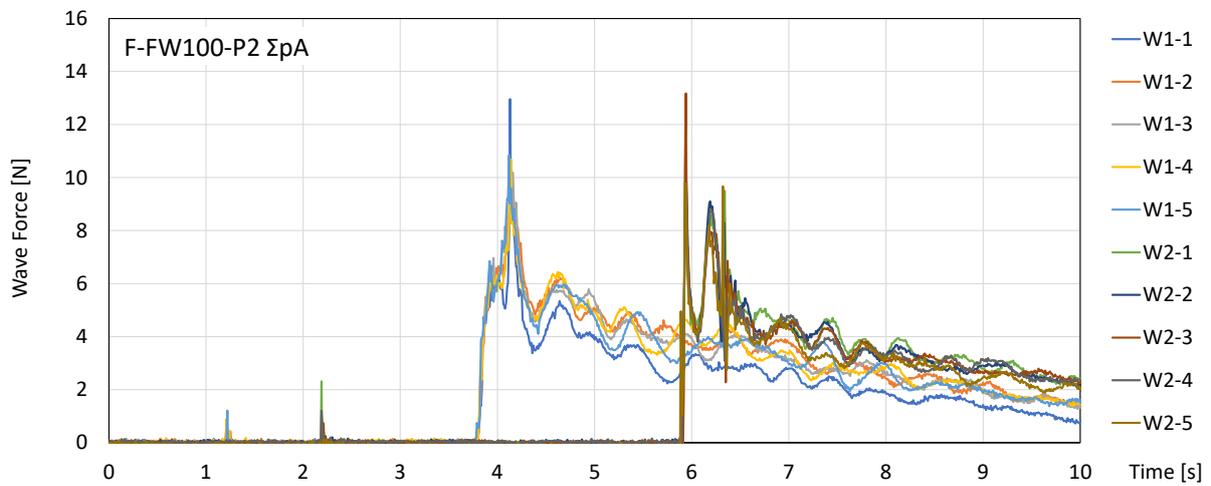


(c) 護岸汀線水位 H6

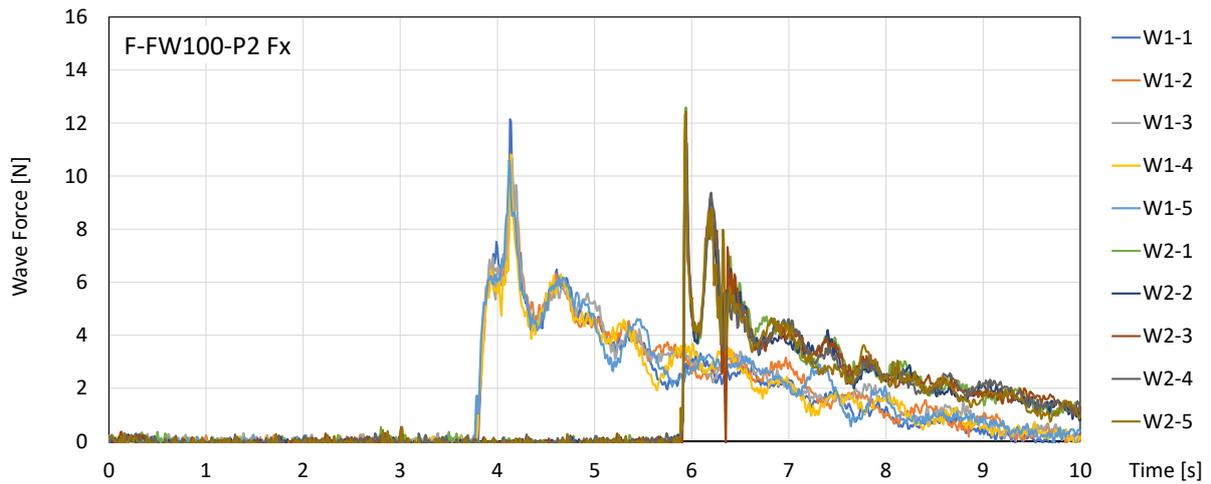
図-4.99 衝突試験結果ばらつき確認(F-FW100-P2 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm³, 壁位置 P2) [1]



(a) 壁模型前面水位 H7

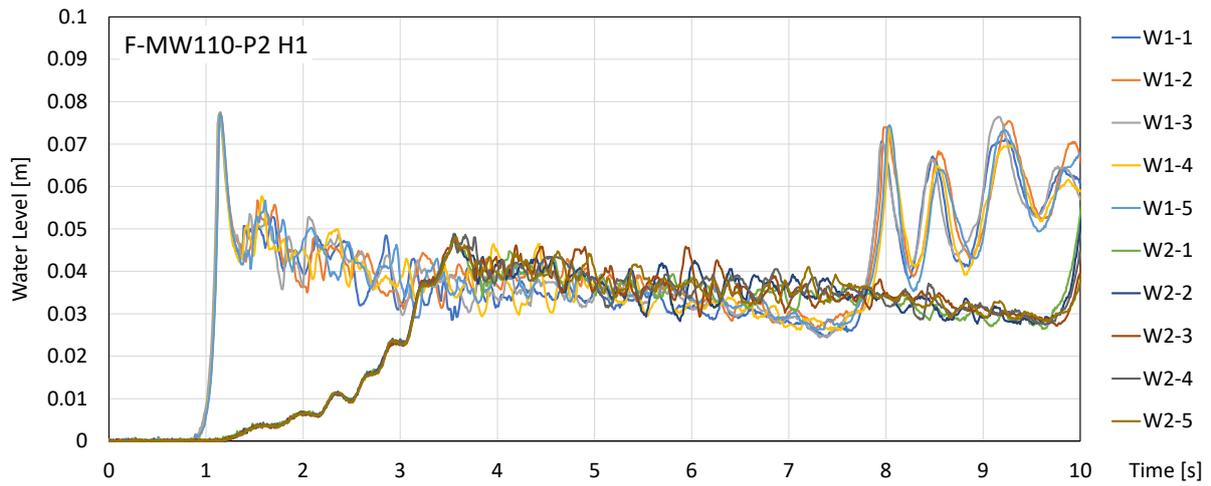


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

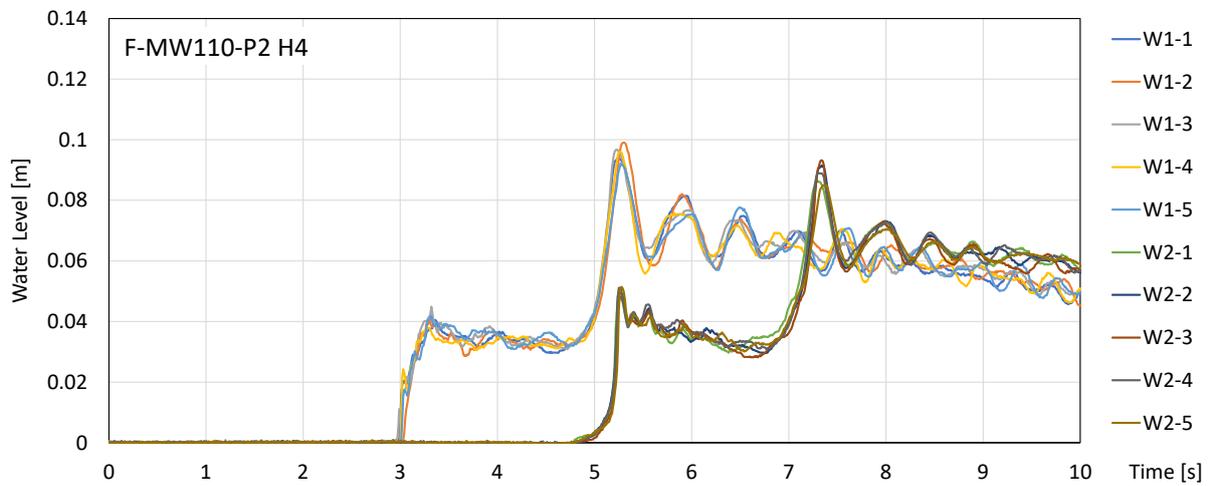


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

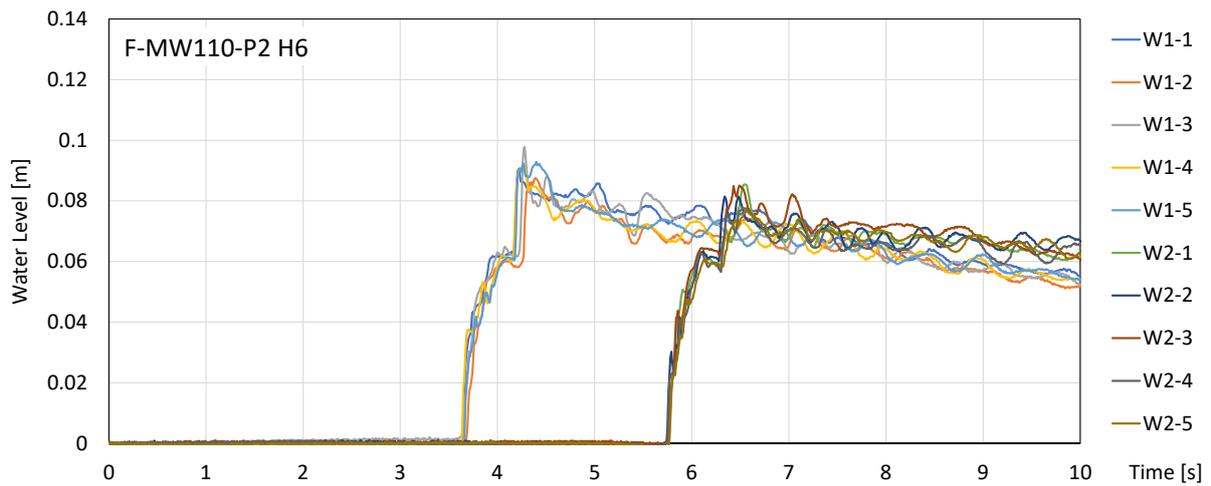
図- 4.100 衝突試験結果ばらつき確認(F-FW100-P2 ; 水平床 F, 淡水 $1.00g/cm^3$, 壁位置 P2) [2]



(a) 沖側水位 H1

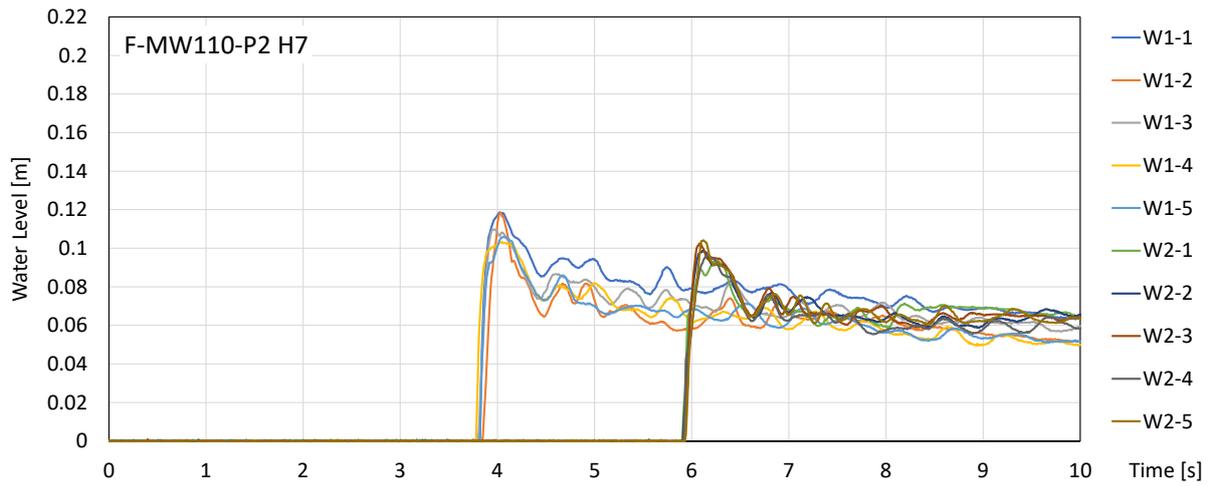


(b) 仕切板通過後水位 H4

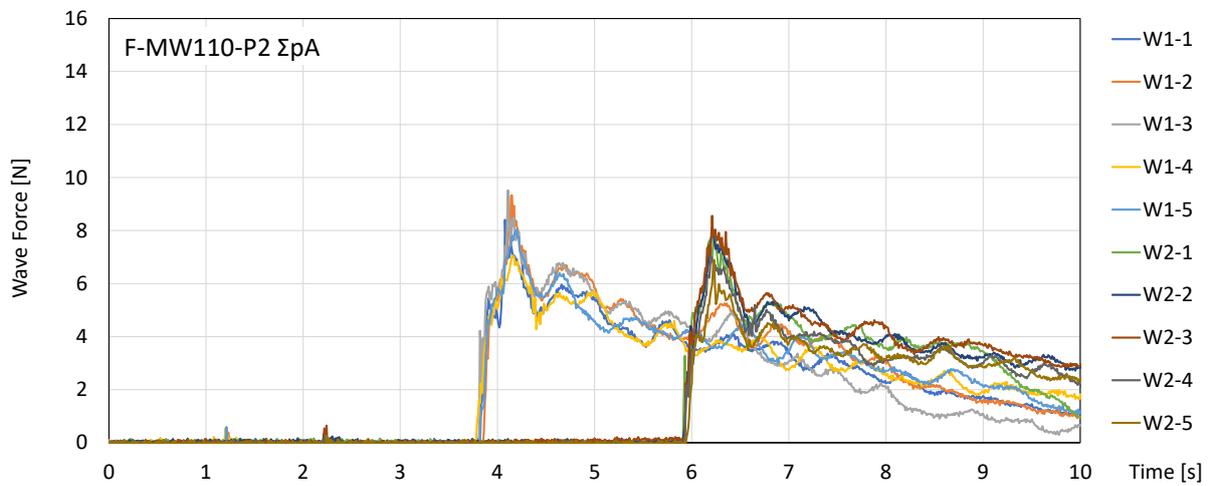


(c) 護岸汀線水位 H6

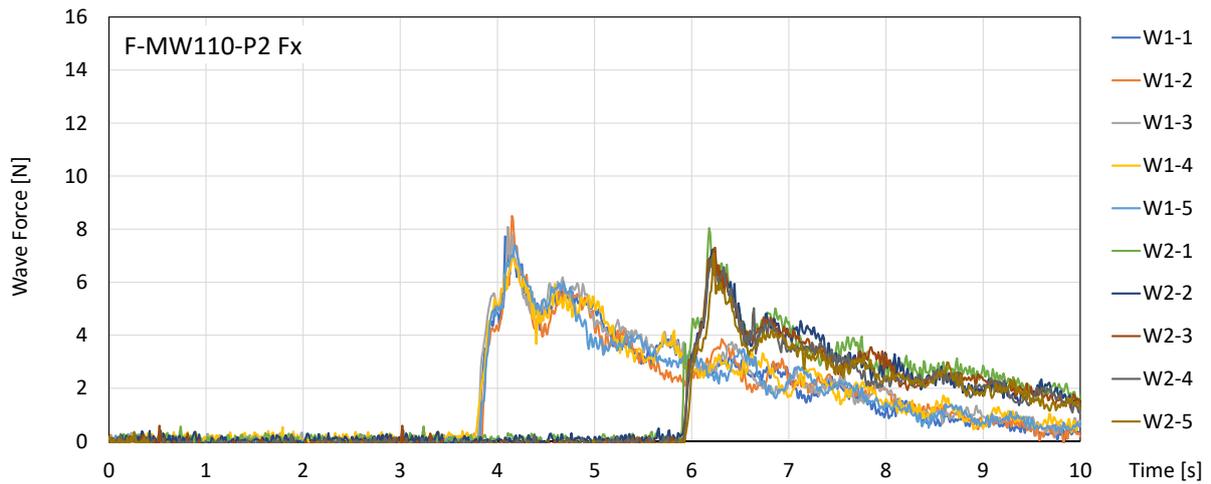
図- 4.101 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW110-P2 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm³, 壁位置 P2) [1]



(a) 壁模型前面水位 H7

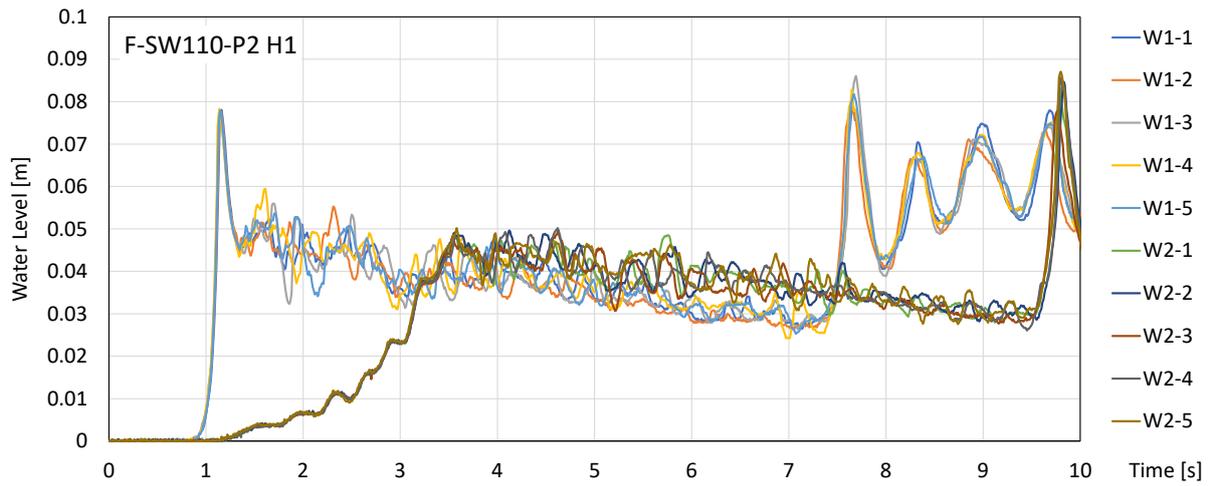


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

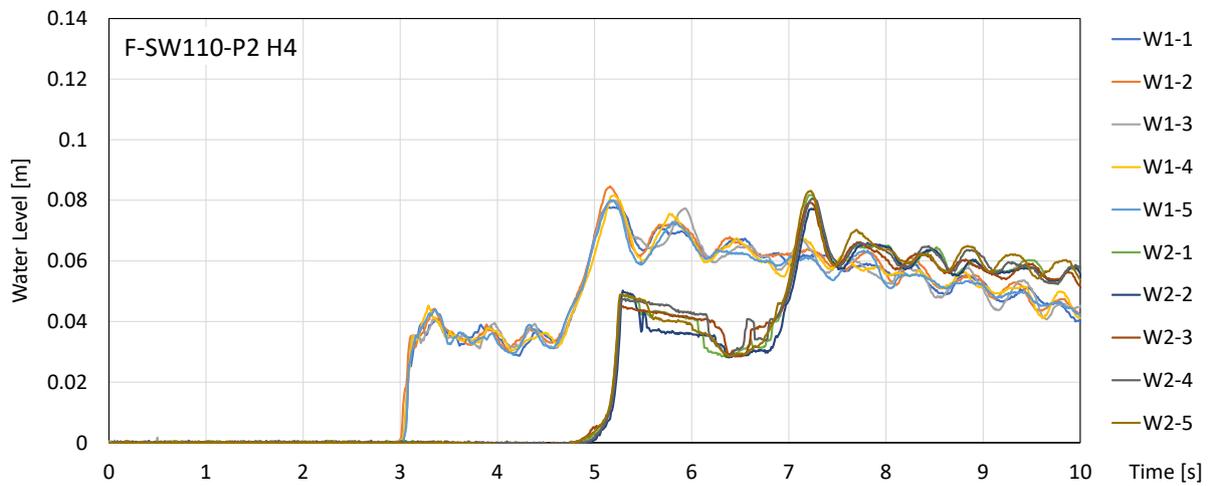


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中 6 分力計

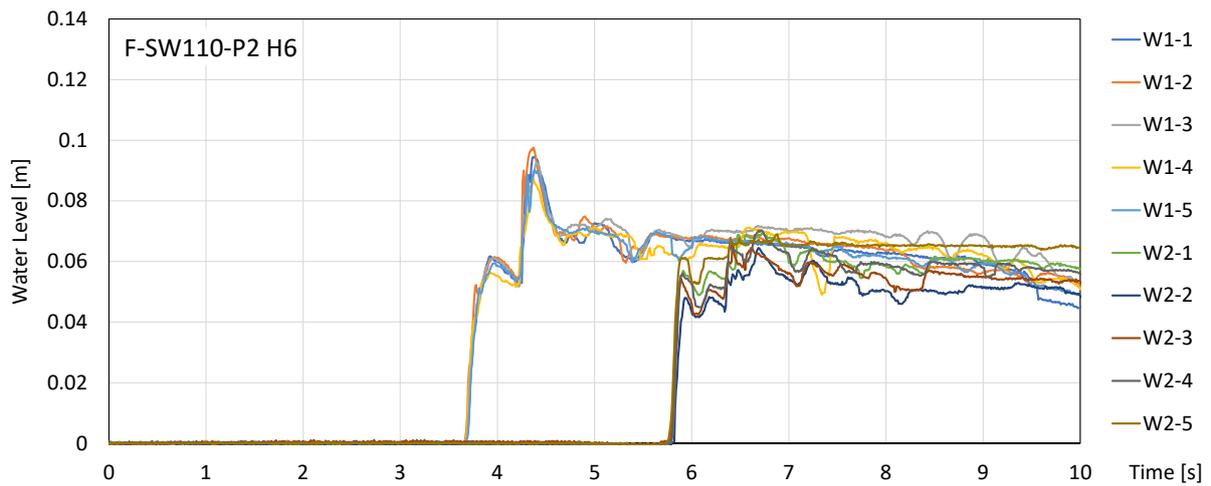
図- 4.102 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW110-P2 ; 水平床 F, 濁水 $1.10g/cm^3$, 壁位置 P2) [2]



(a) 沖側水位 H1

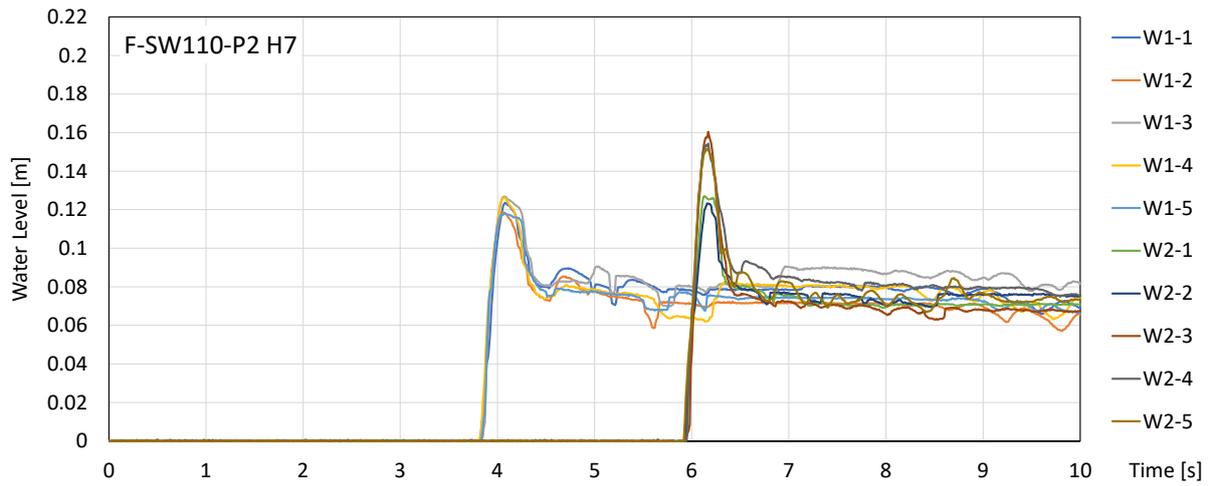


(b) 仕切板通過後水位 H4

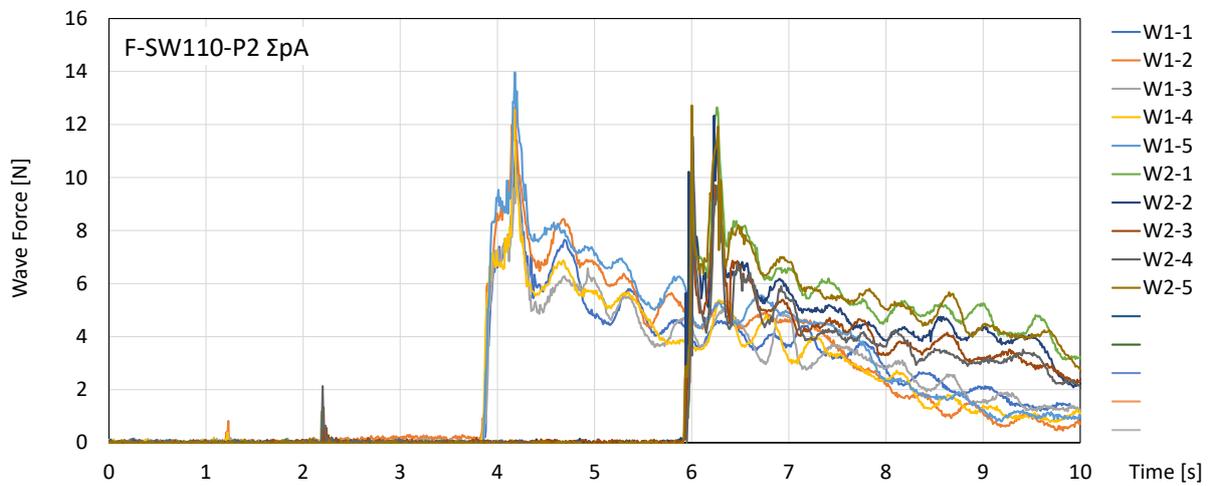


(c) 護岸汀線水位 H6

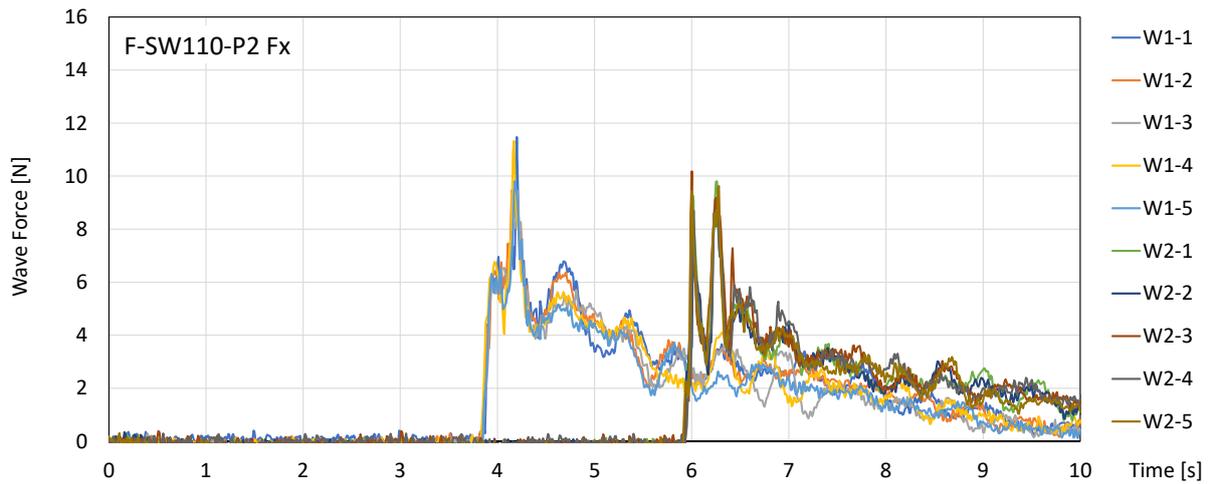
図- 4.103 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW110-P2 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P2) [1]



(a) 壁模型前面水位 H7

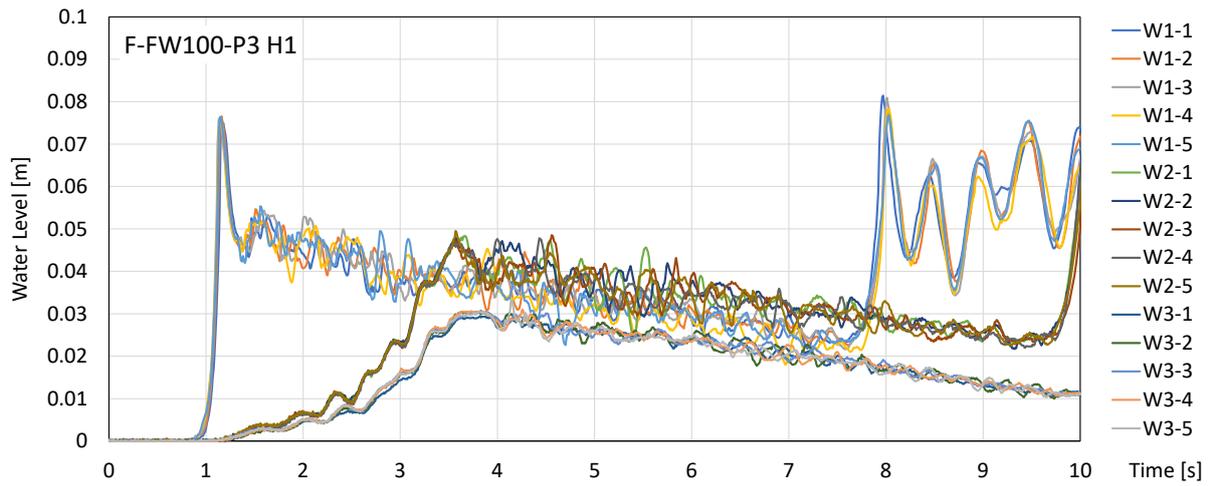


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

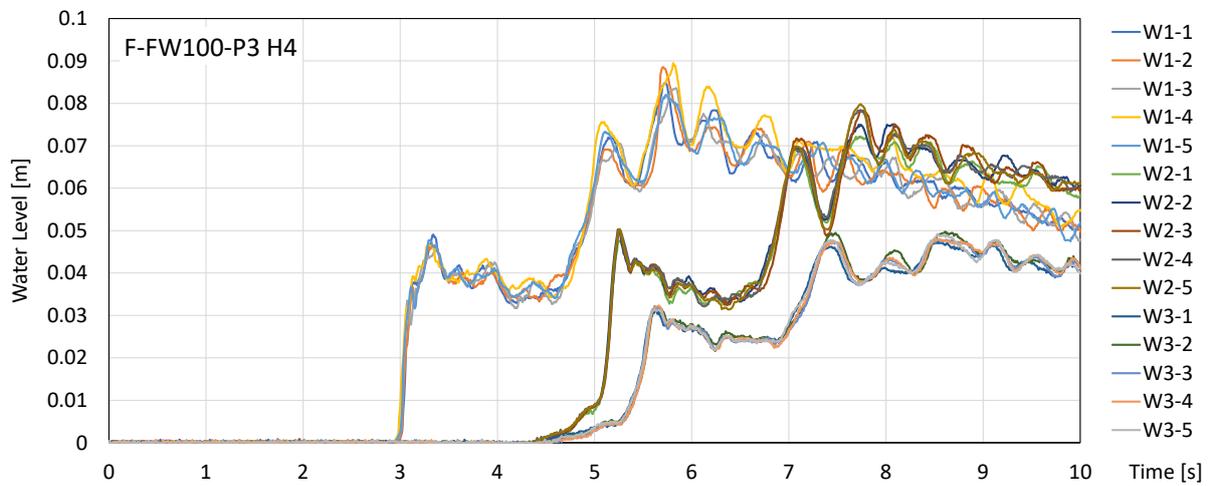


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

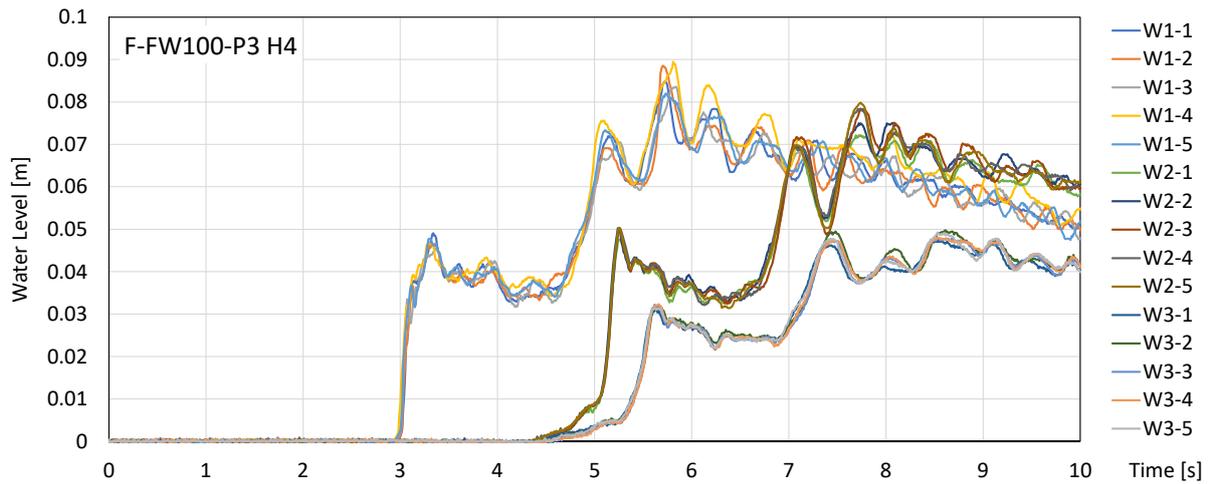
図- 4.104 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW110-P2 ; 水平床 F, 塩水 $1.10g/cm^3$, 壁位置 P2) [2]



(a) 沖側水位 H1

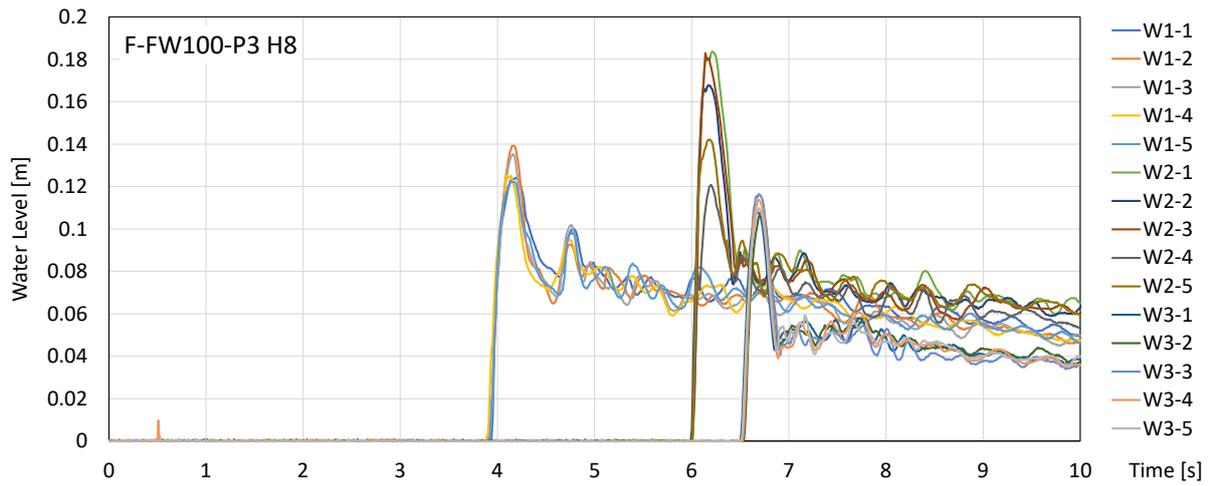


(b) 仕切板通過後水位 H4

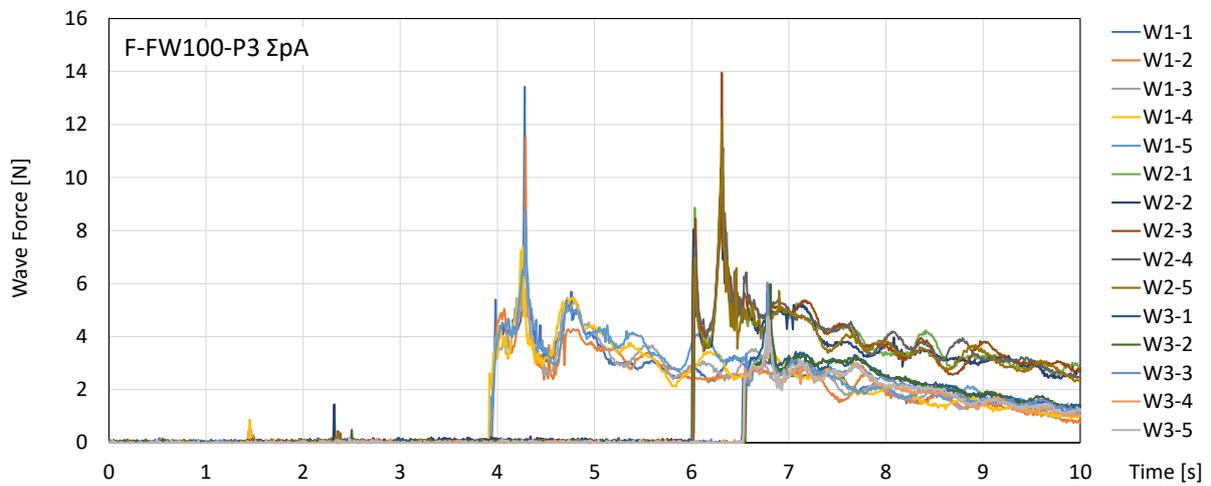


(c) 護岸汀線水位 H6

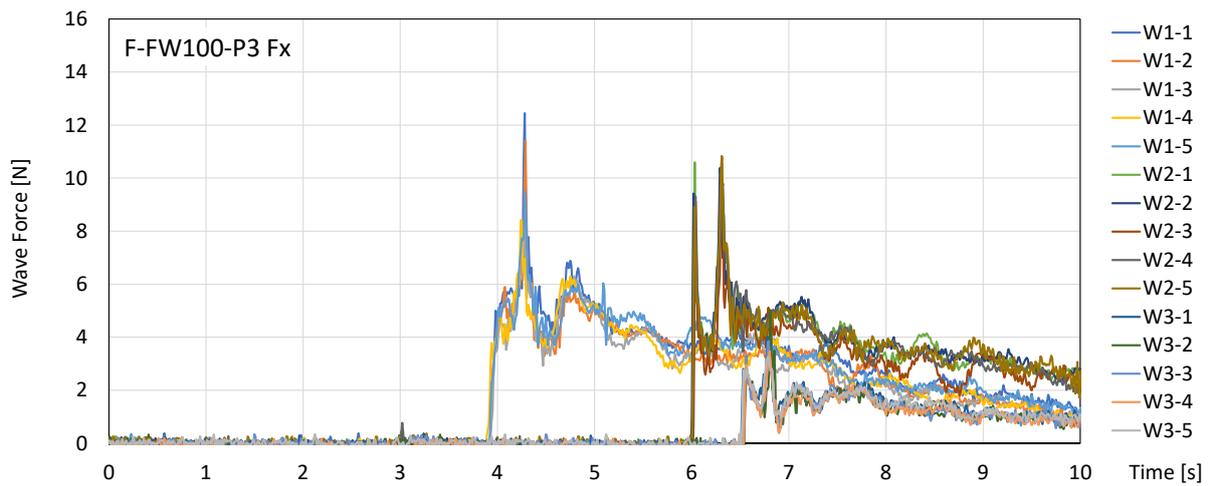
図- 4.105 衝突試験結果ばらつき確認(F-FW100-P3 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm³, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

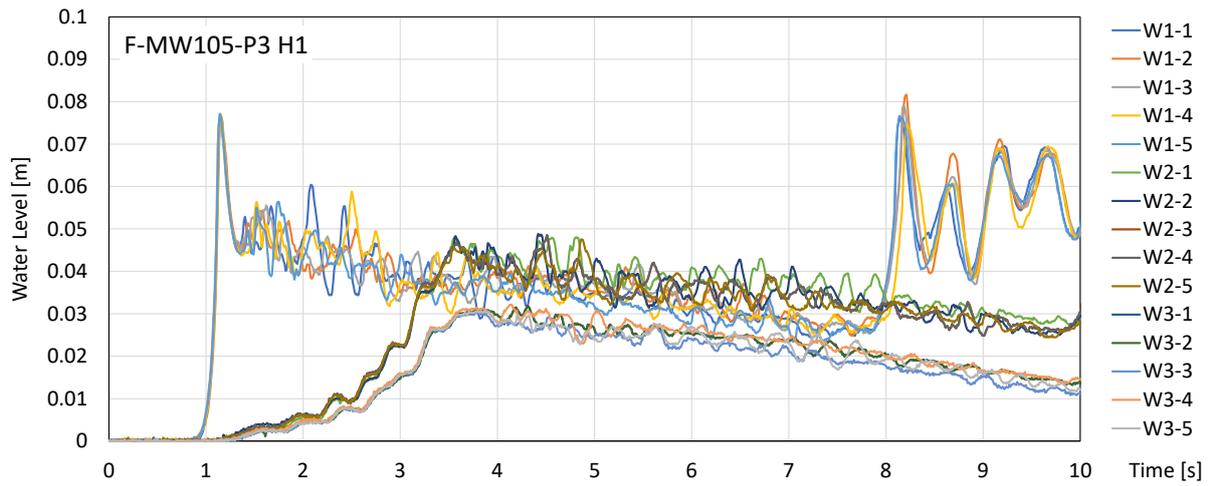


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

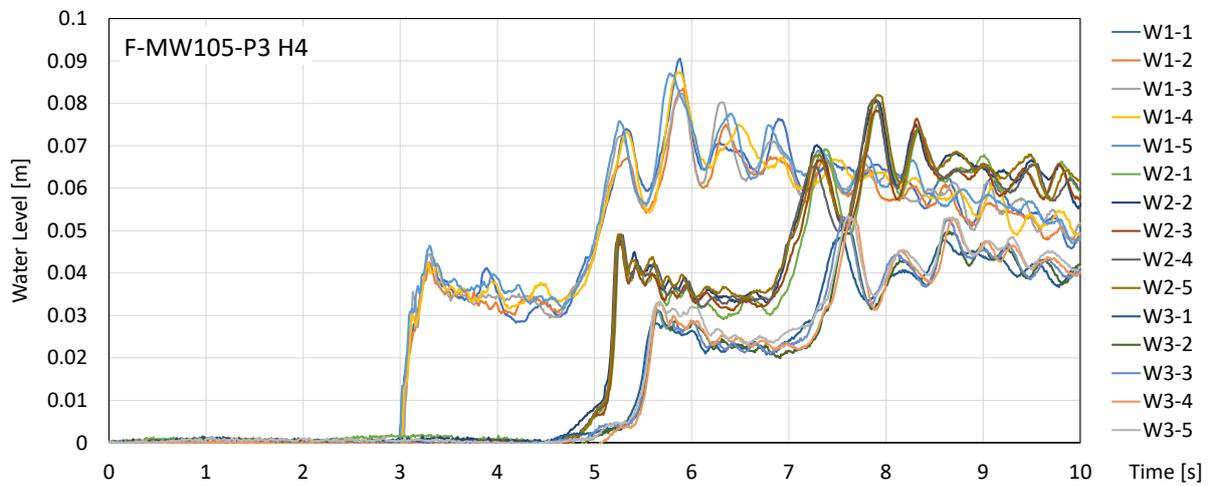


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

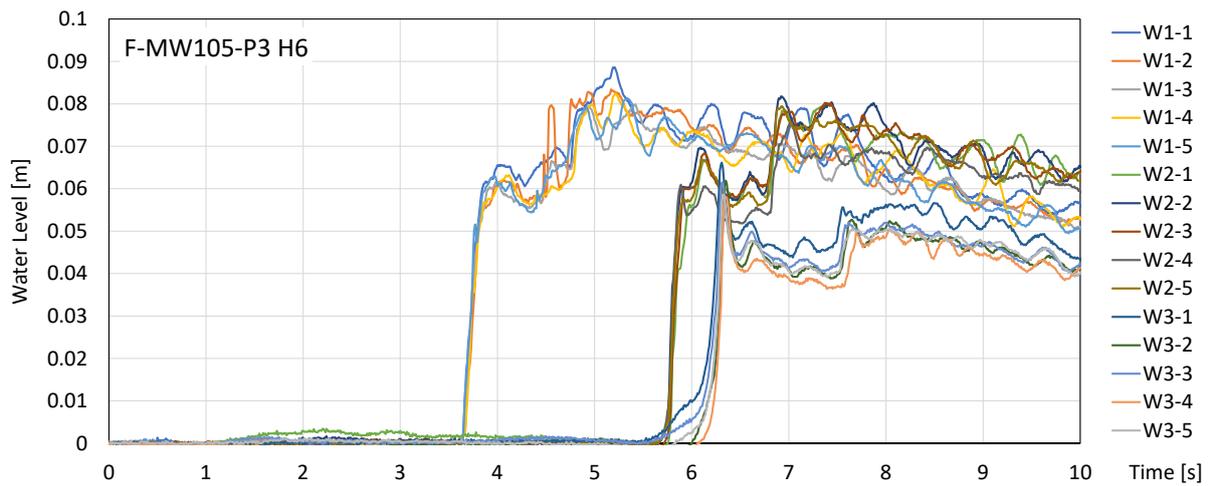
図-4.106 衝突試験結果ばらつき確認(F-FW100-P3 ; 水平床 F, 淡水 $1.00g/cm^3$, 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

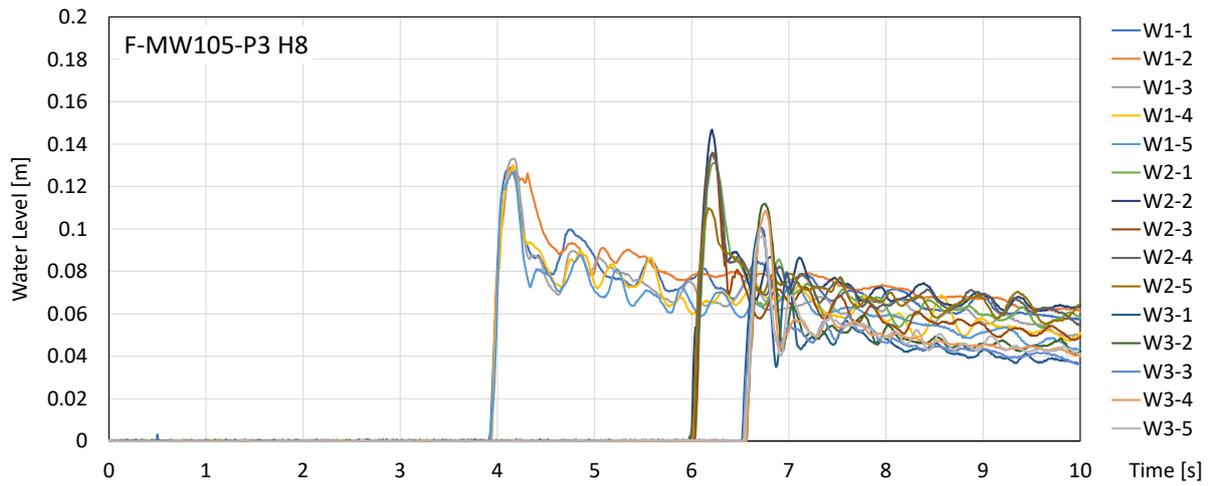


(b) 仕切板通過後水位 H4

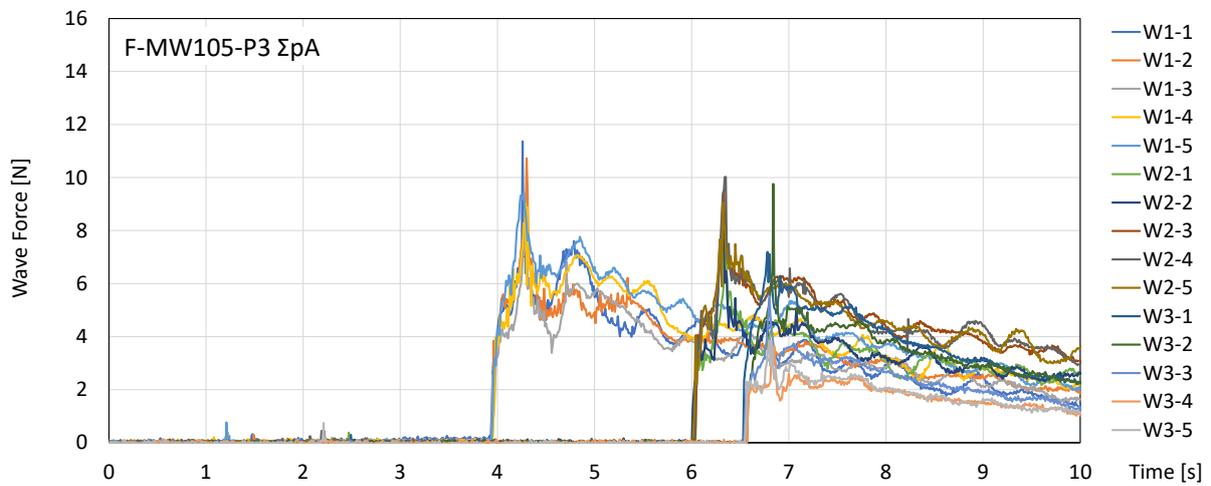


(c) 護岸汀線水位 H6

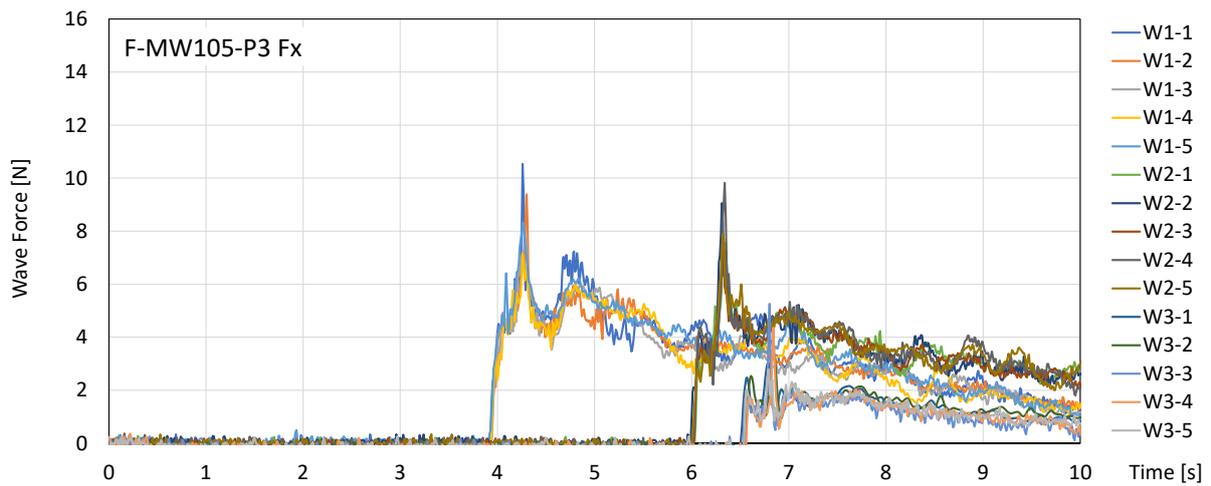
図- 4.107 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW105-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.05g/cm³, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

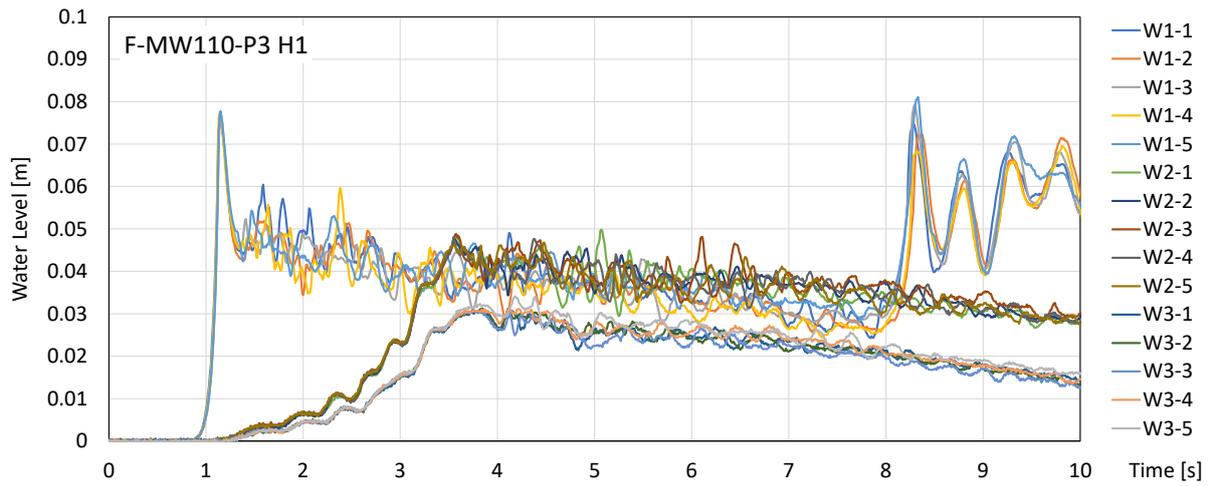


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

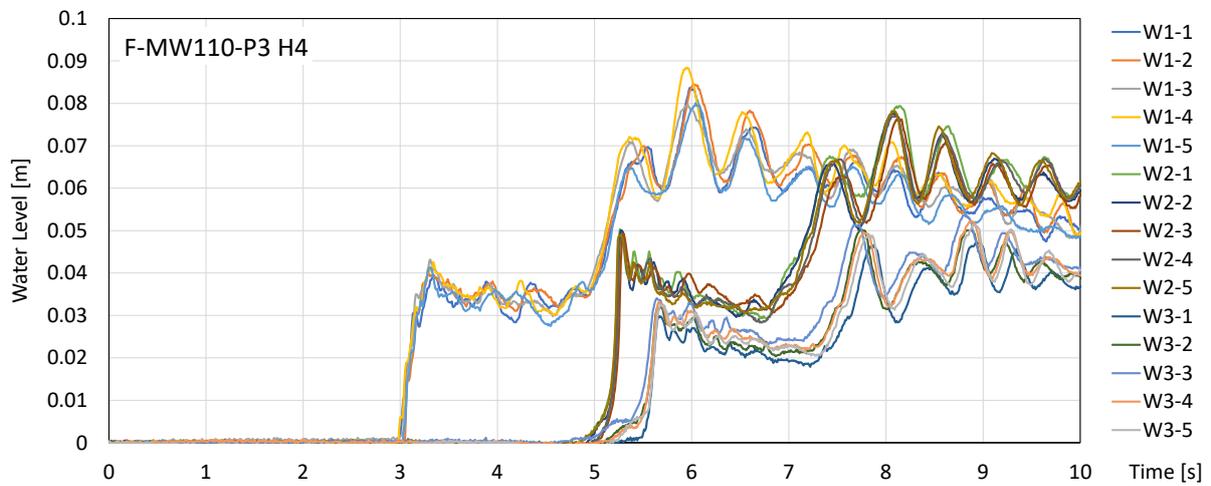


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

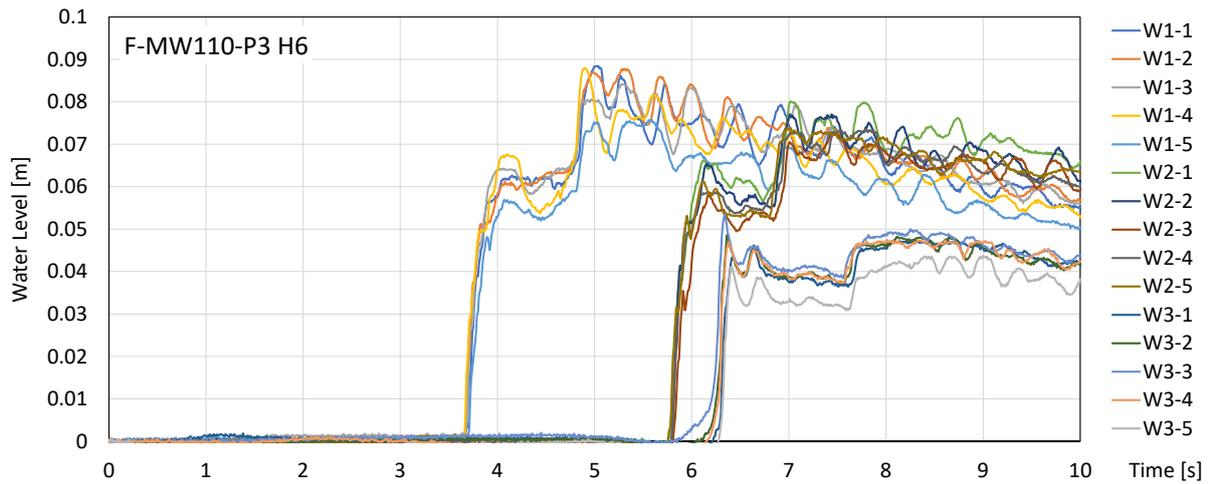
図- 4.108 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW105-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.05g/cm³, 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

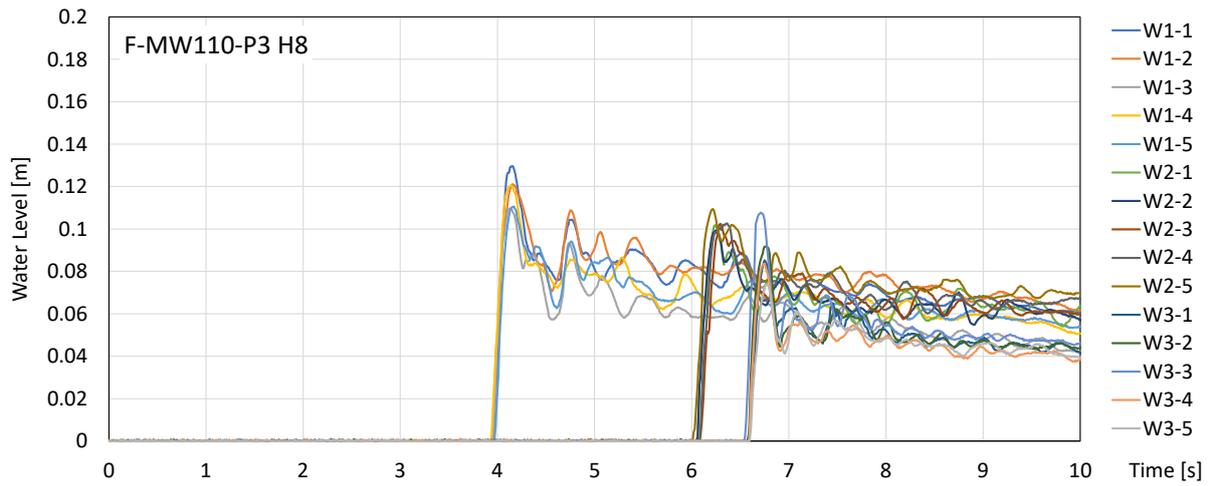


(b) 仕切板通過後水位 H4

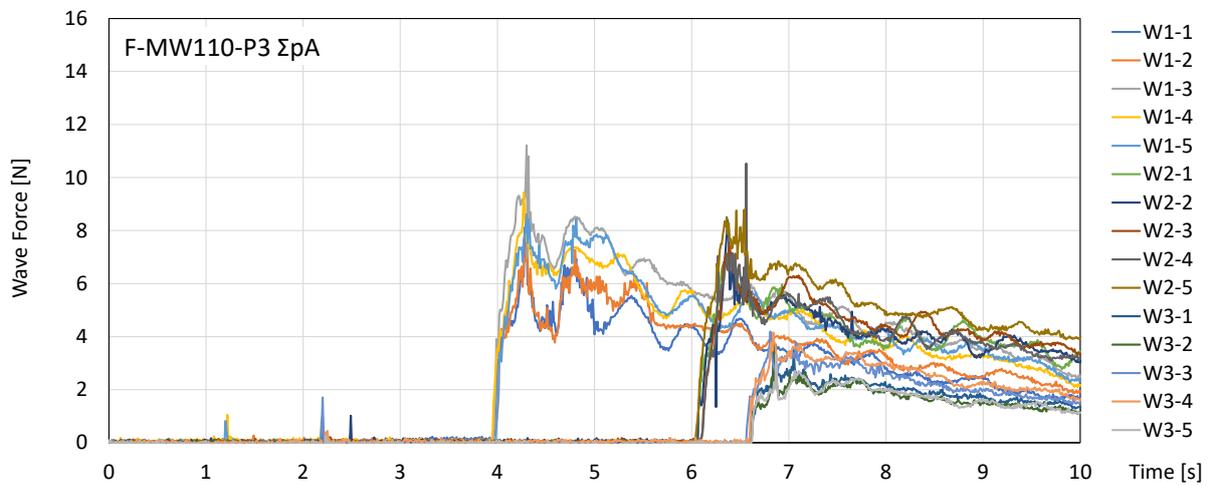


(c) 護岸汀線水位 H6

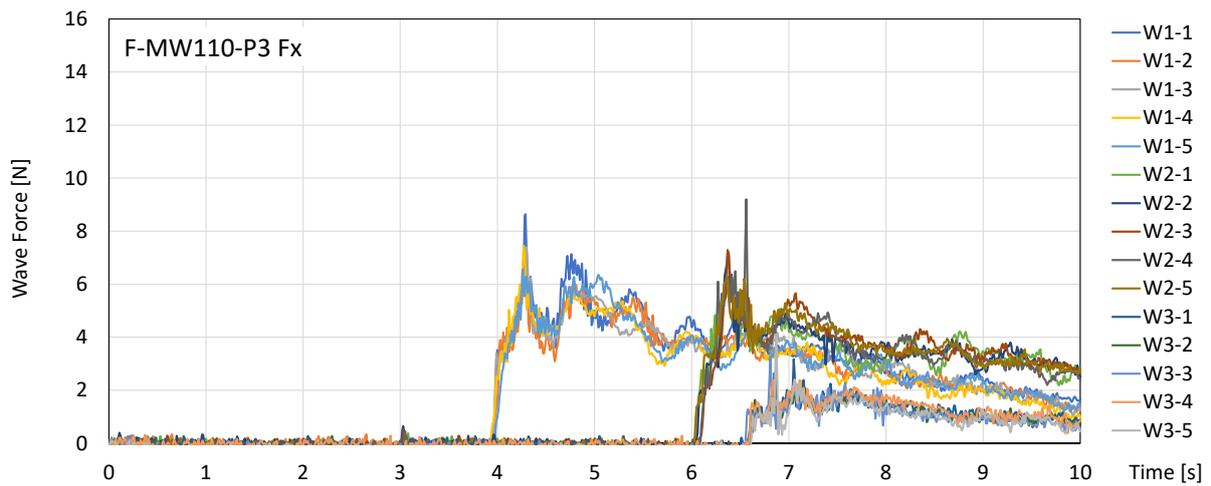
図- 4.109 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW110-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm³, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

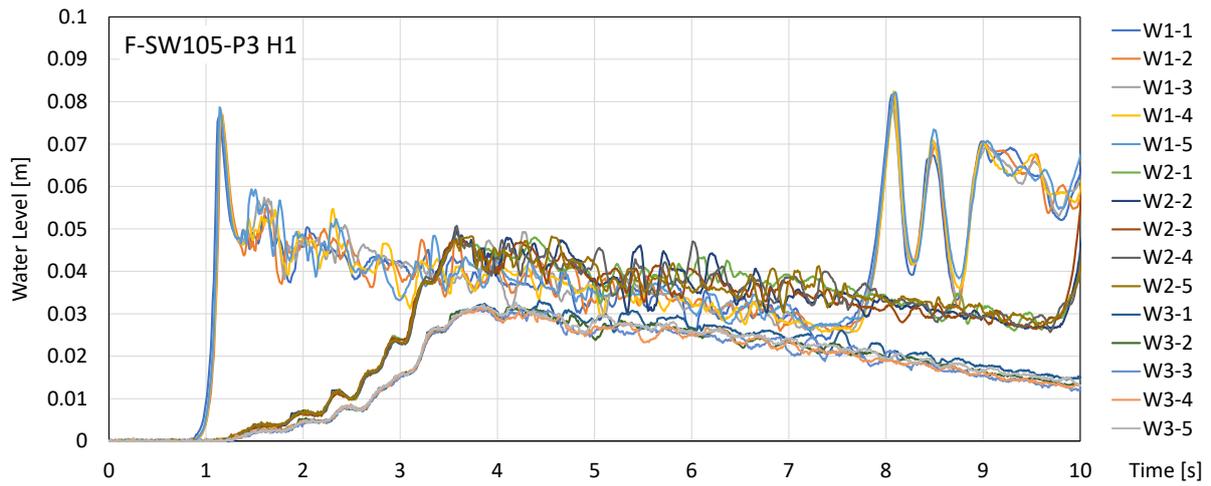


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

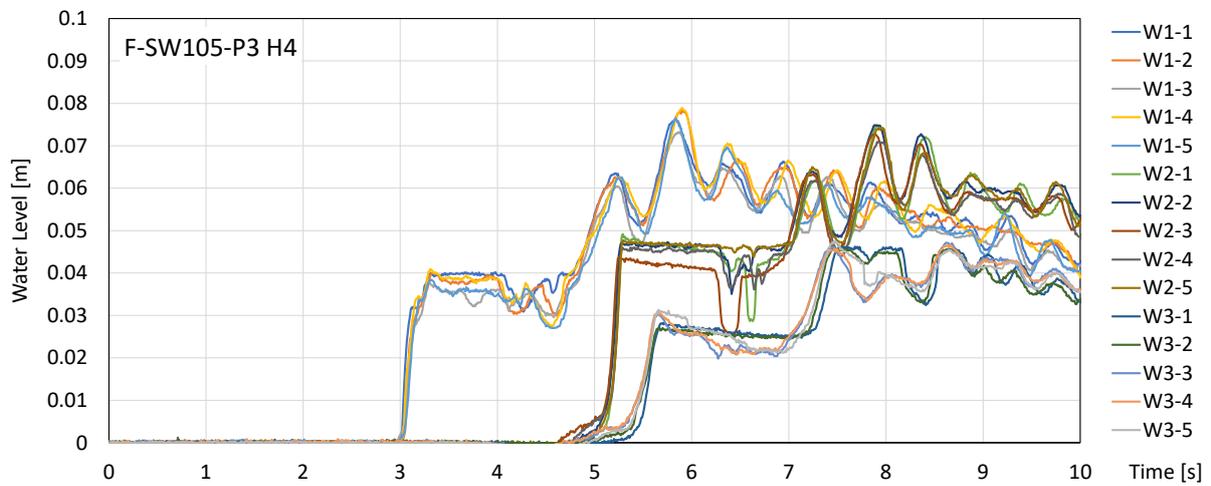


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

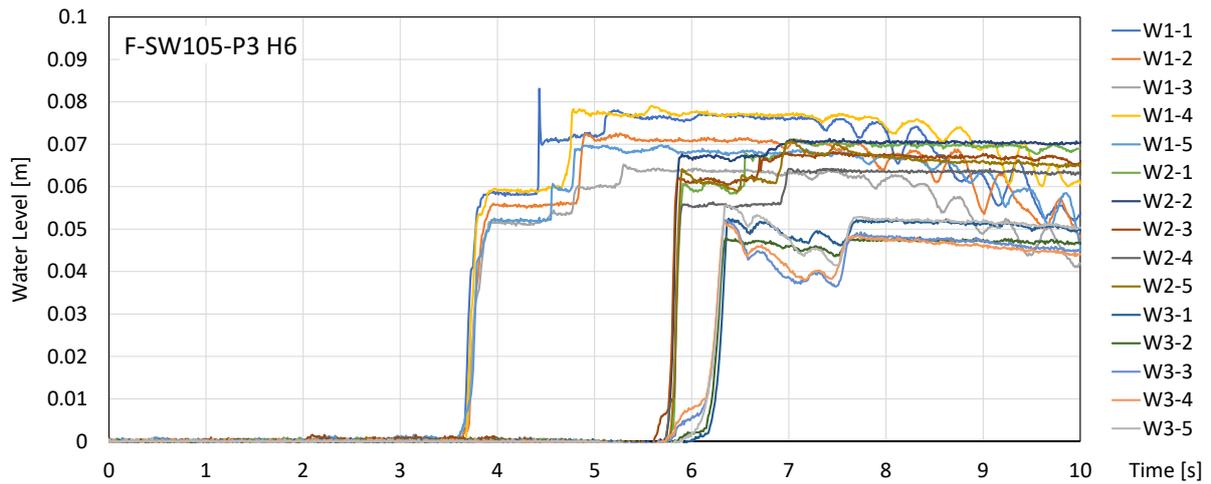
図-4.110 衝突試験結果ばらつき確認(F-MW110-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

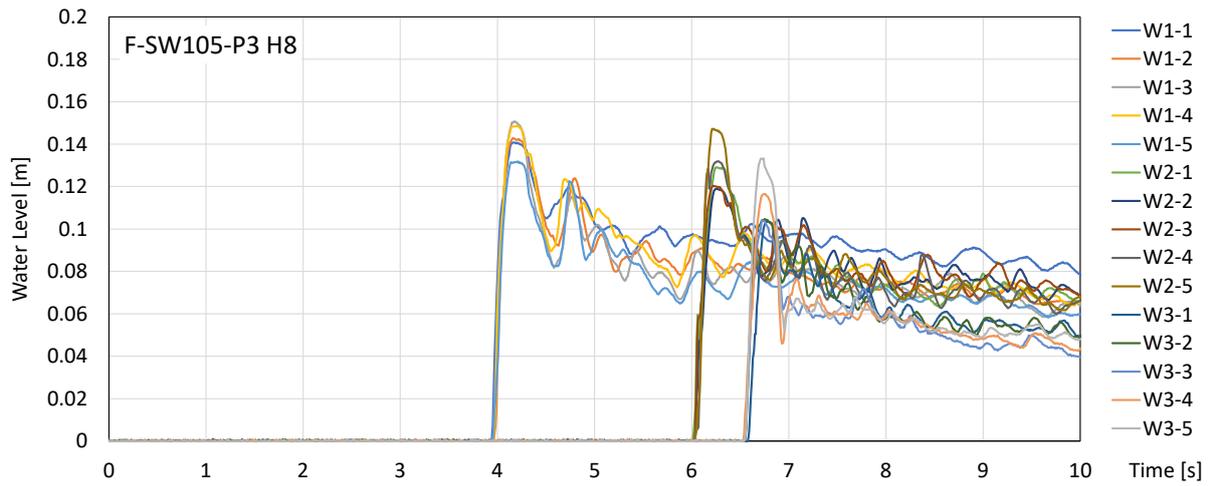


(b) 仕切板通過後水位 H4

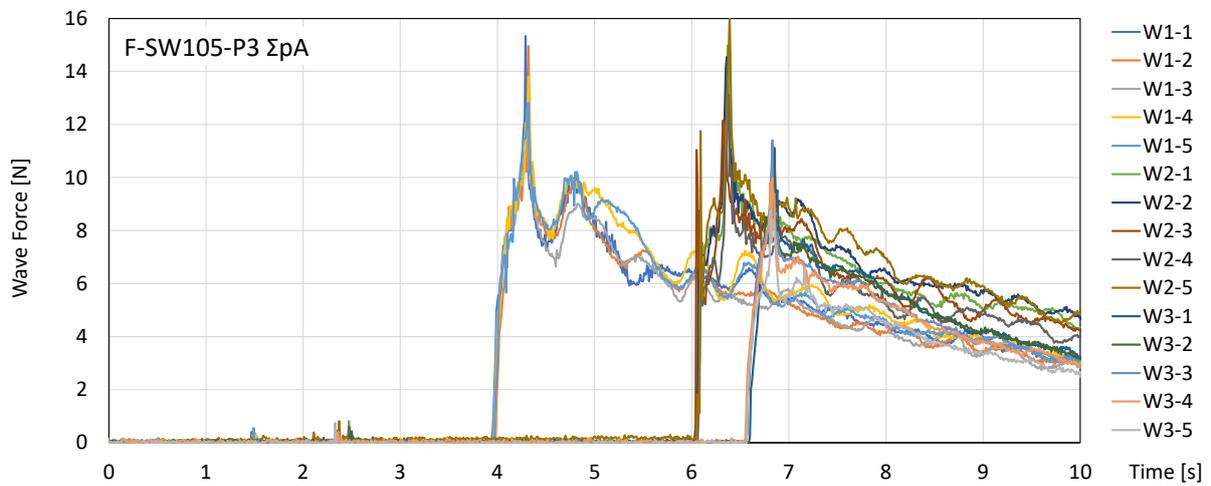


(c) 護岸汀線水位 H6

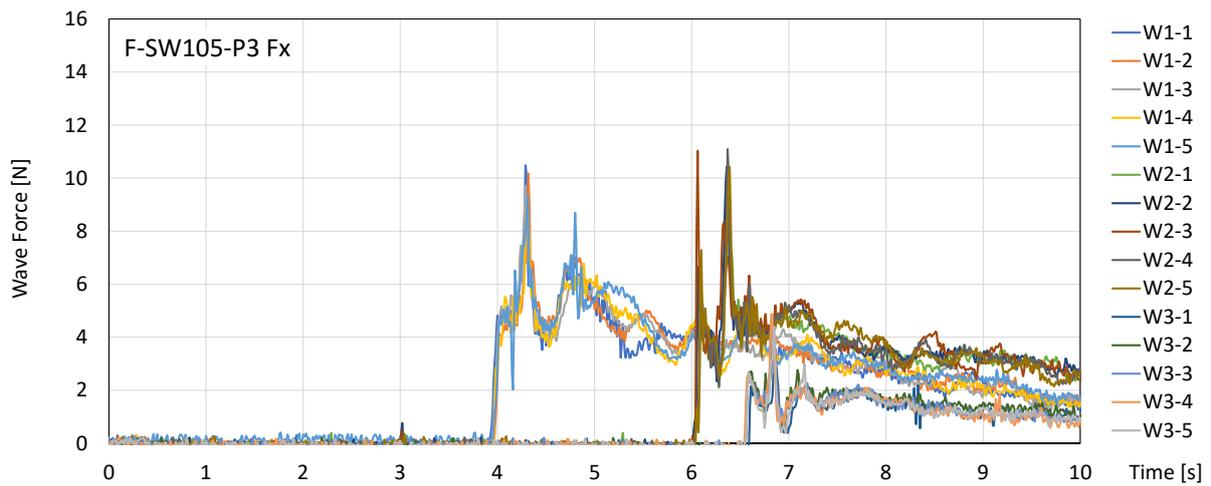
図- 4.111 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW105-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.05g/cm³, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

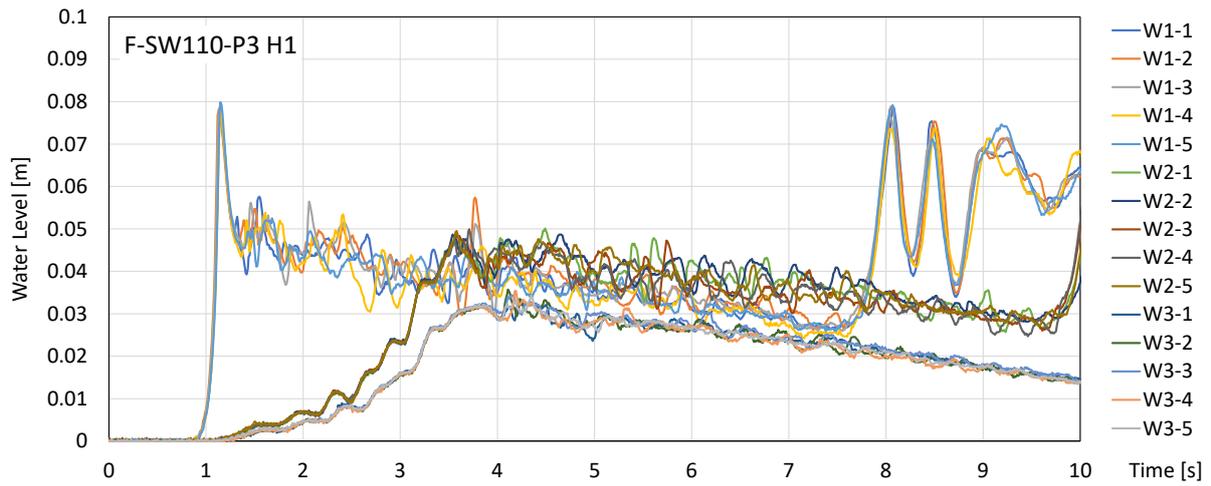


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

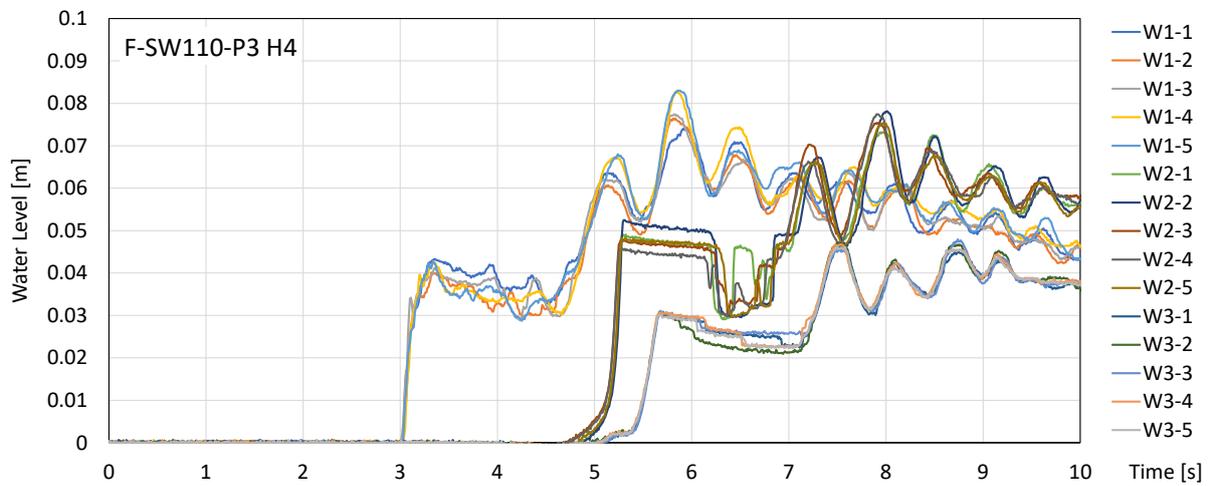


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

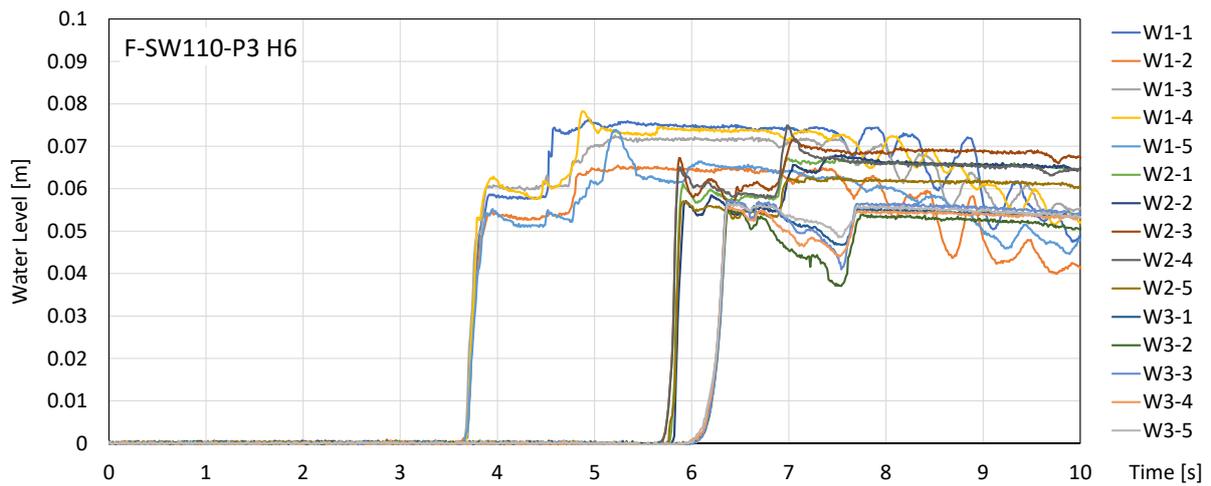
図- 4.112 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW105-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.05g/cm^3 , 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

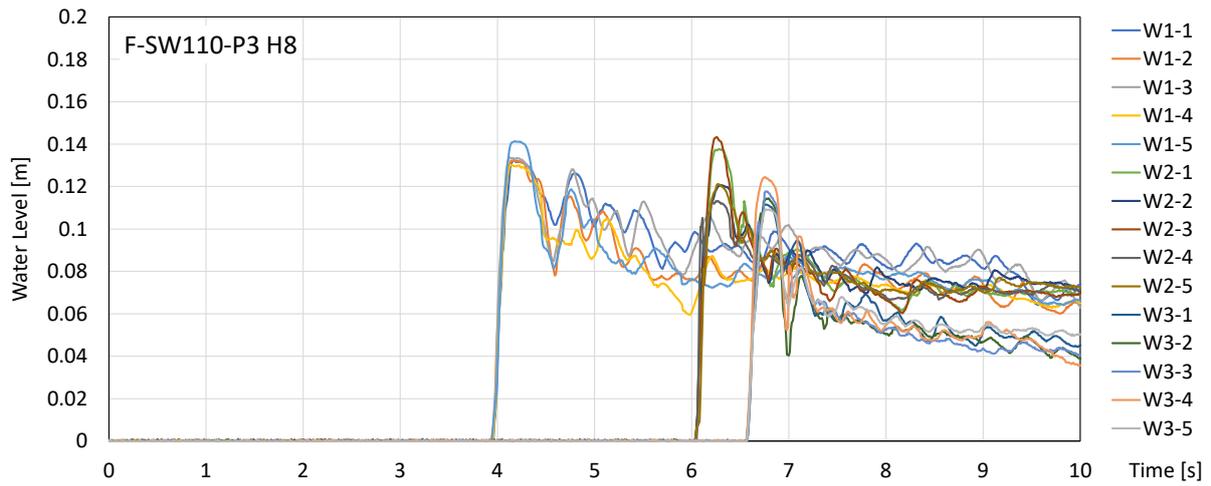


(b) 仕切板通過後水位 H4

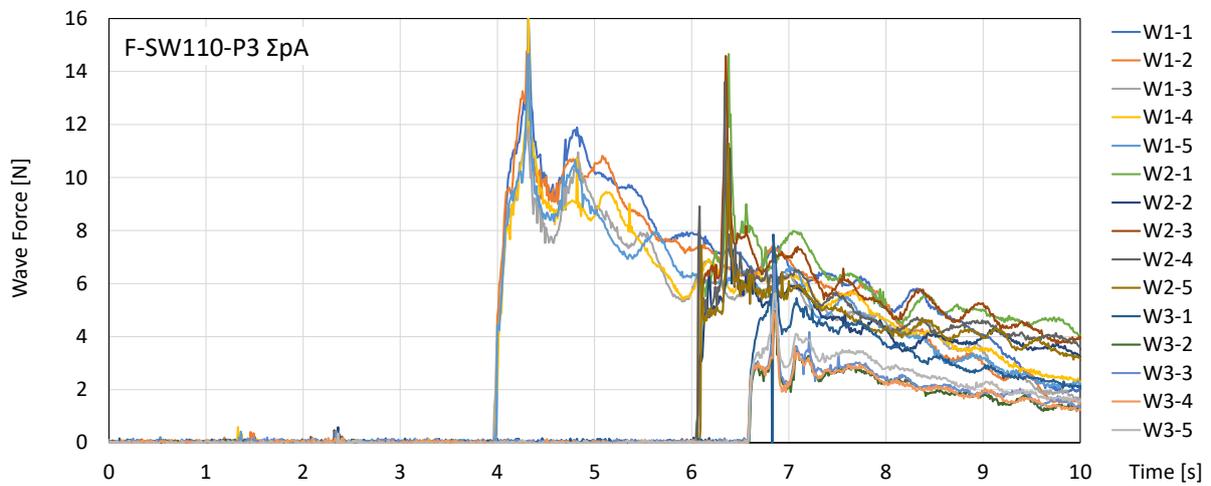


(c) 護岸汀線水位 H6

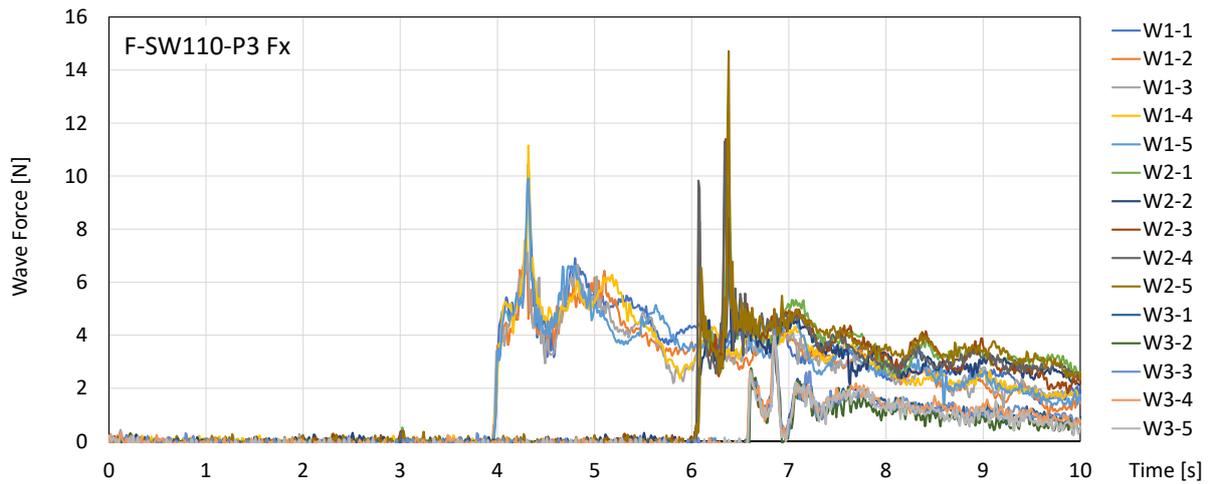
図- 4.113 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW110-P3 ; 水平床 F, 塩水 $1.10\text{g}/\text{cm}^3$, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

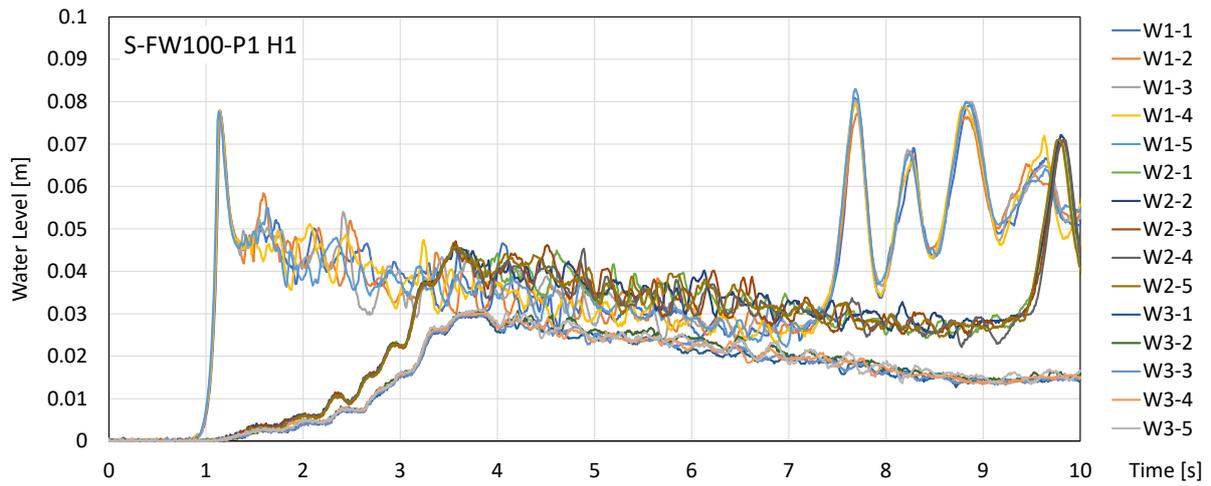


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

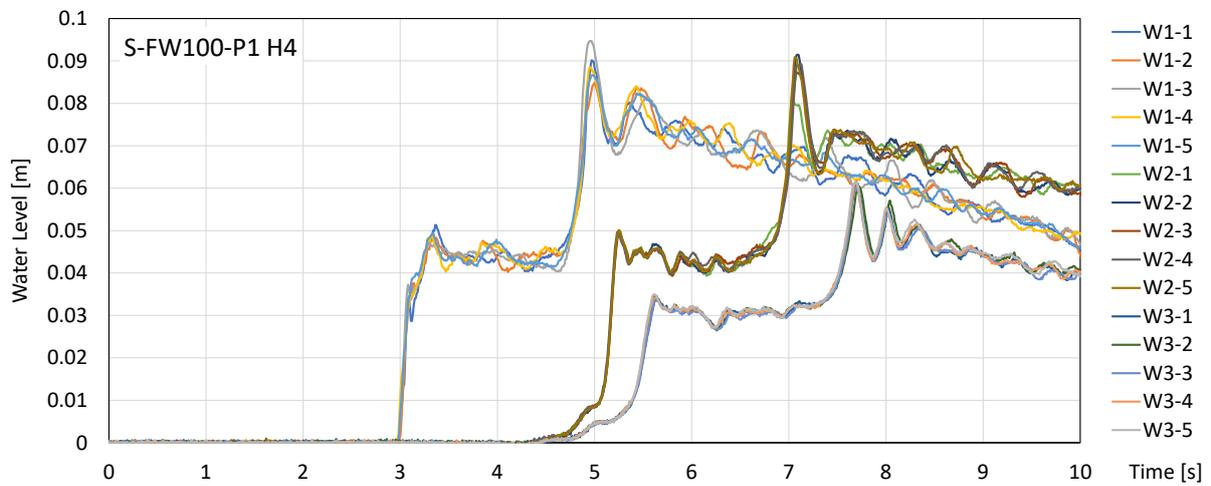


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

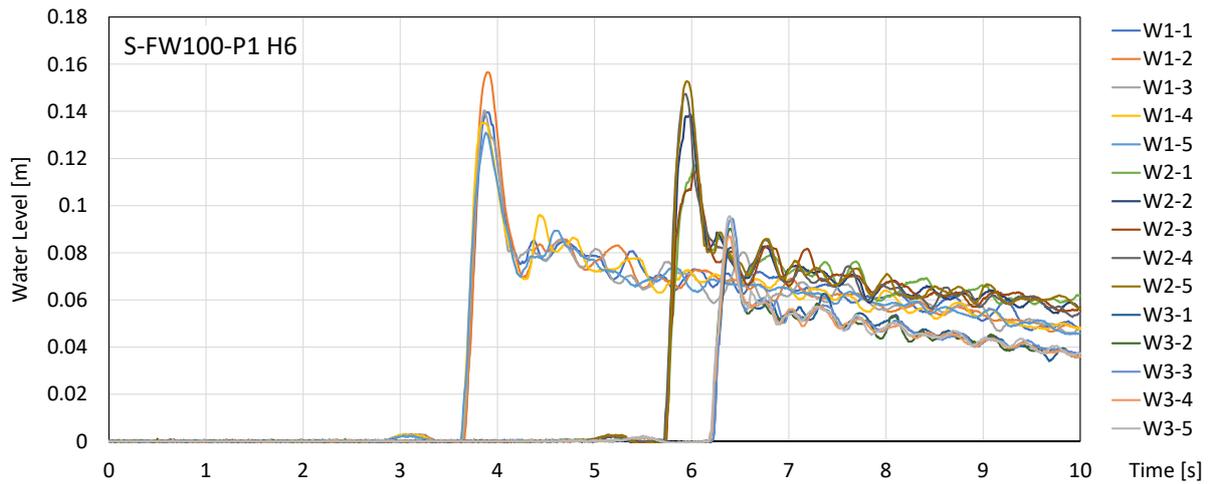
図- 4.114 衝突試験結果ばらつき確認(F-SW110-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

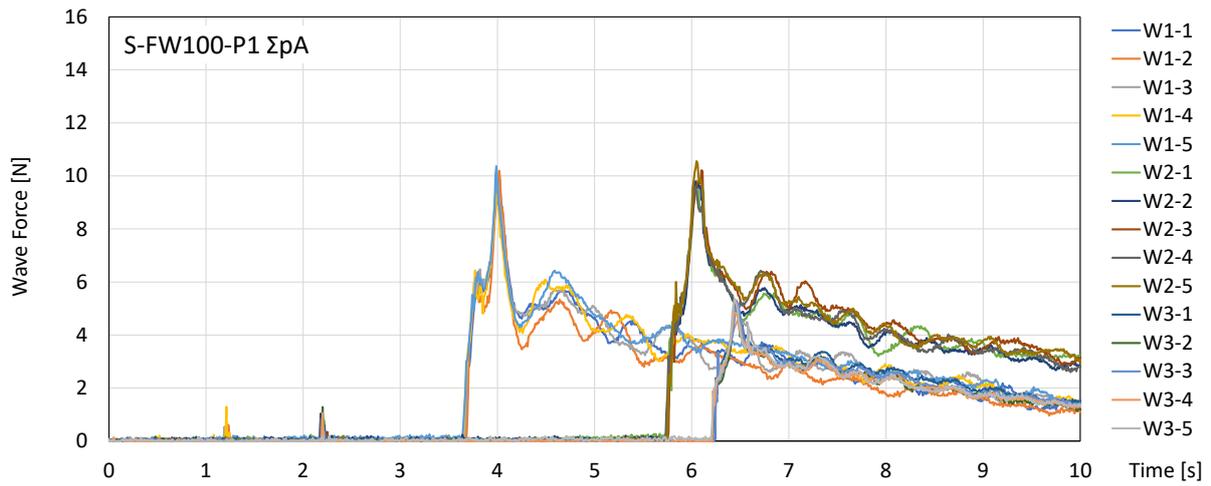


(b) 仕切板通過後水位 H4

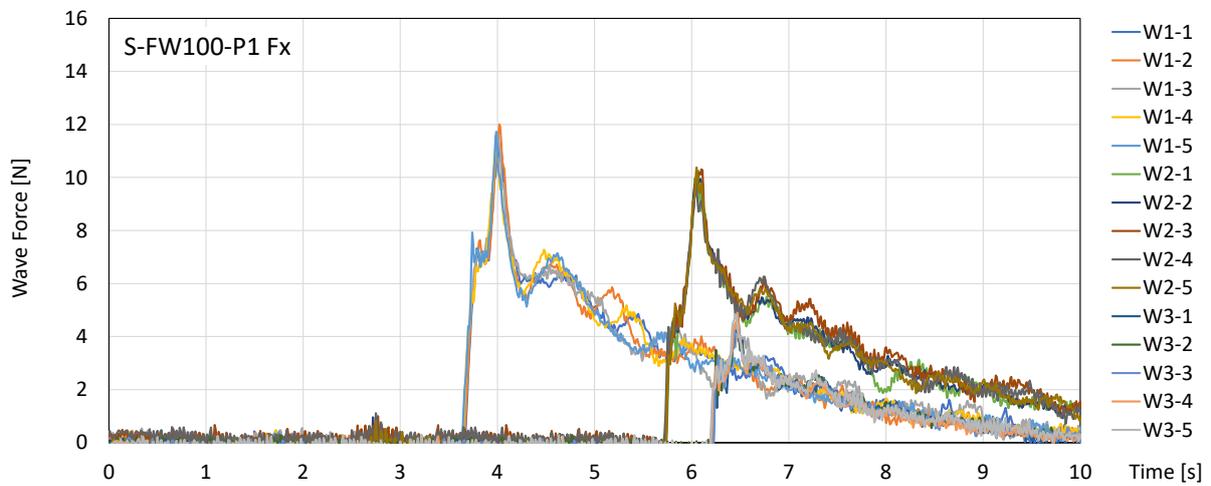


(c) 護岸汀線水位 H6

図- 4.115 衝突試験結果ばらつき確認(S-FW100-P1 ; 単純勾配 S, 淡水 1.00g/cm³, 壁位置 P1) [1]

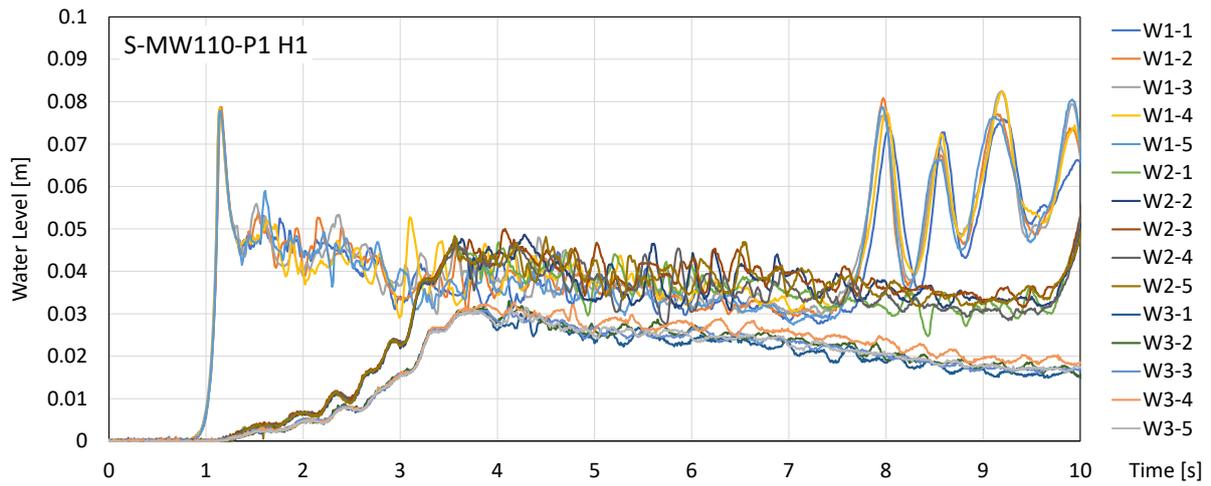


(a) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

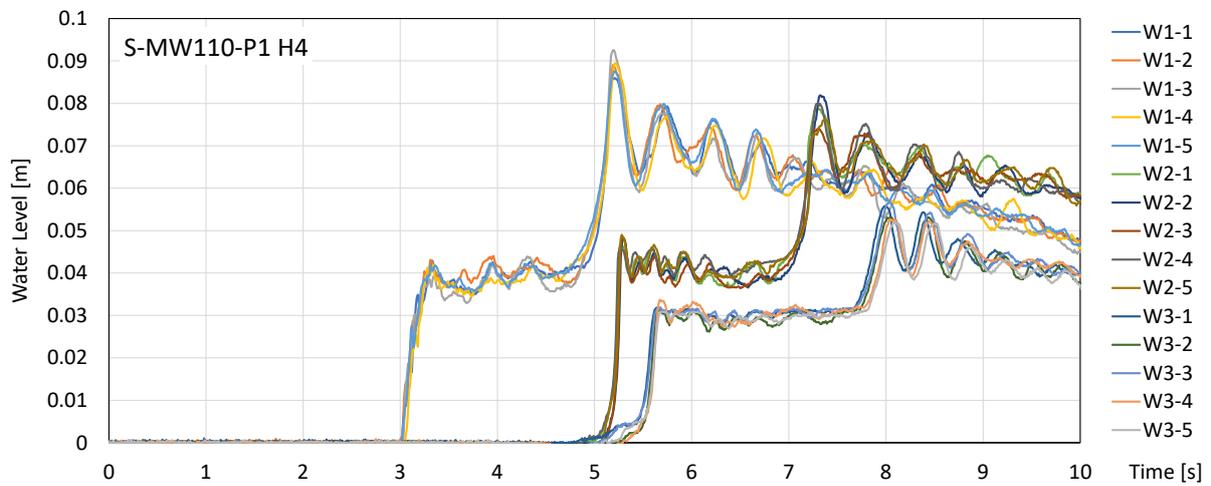


(b) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

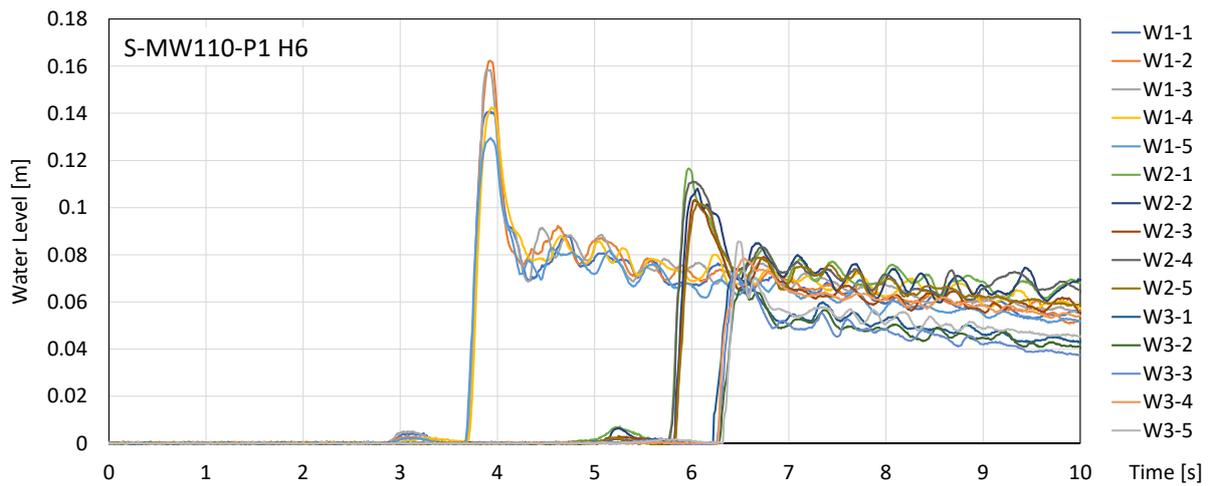
図- 4.116 衝突試験結果ばらつき確認(S-FW100-P1 ; 単純勾配 S, 淡水 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$, 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

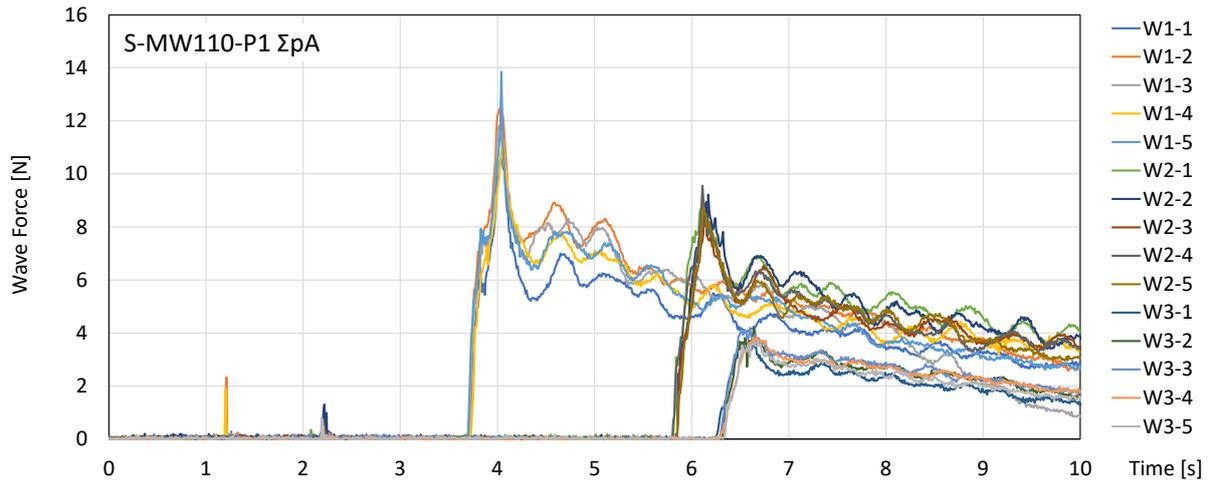


(b) 仕切板通過後水位 H4

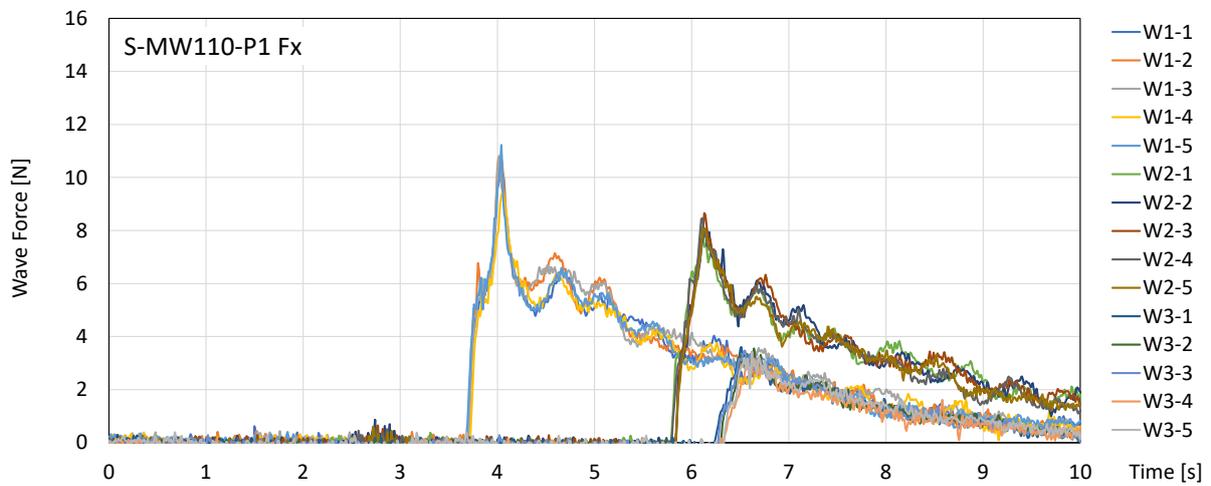


(c) 護岸汀線水位 H6

図-4.117 衝突試験結果ばらつき確認(S-MW110-P1 ; 単純勾配 S, 濁水 1.10g/cm³, 壁位置 P1) [1]

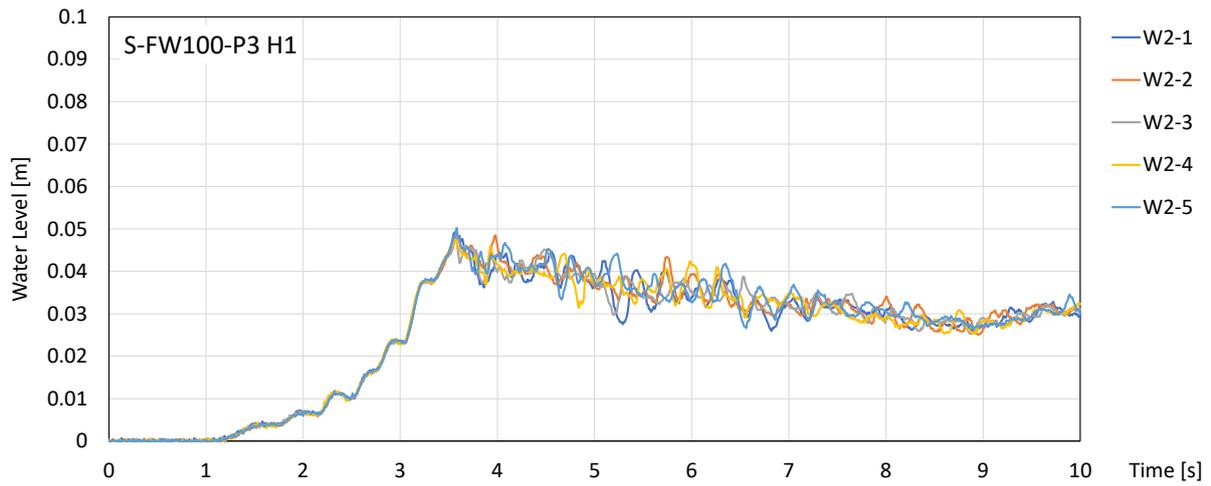


(a) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

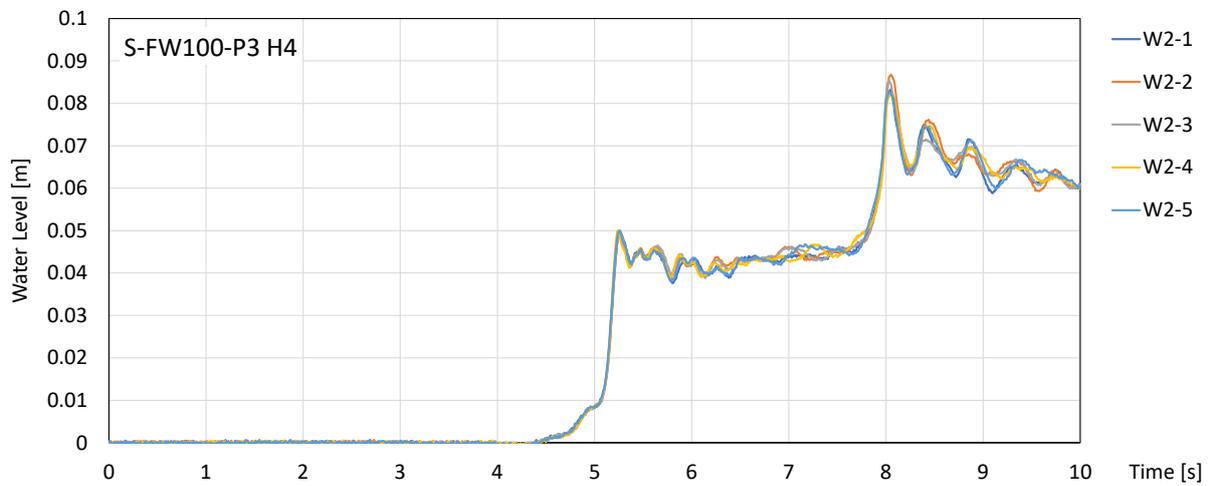


(b) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

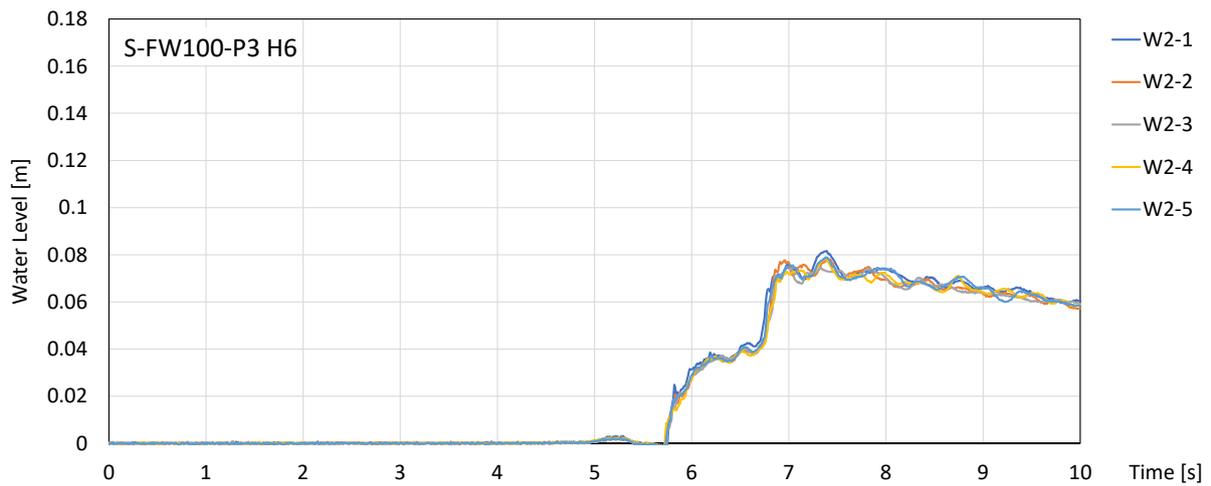
図-4.118 衝突試験結果ばらつき確認(S-MW110-P1 ; 単純勾配 S, 濁水 1.10g/cm^3 , 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

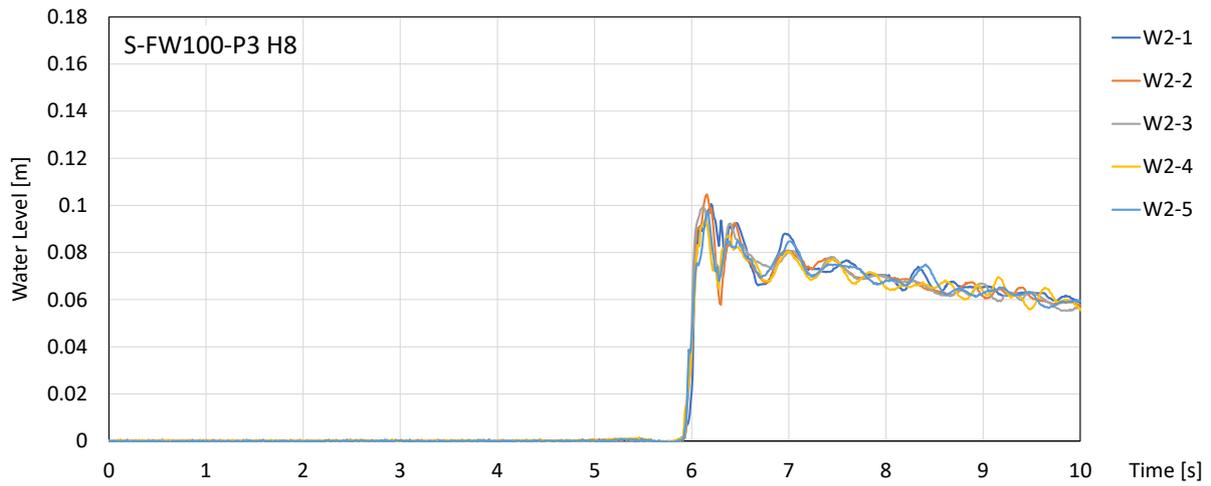


(b) 仕切板通過後水位 H4

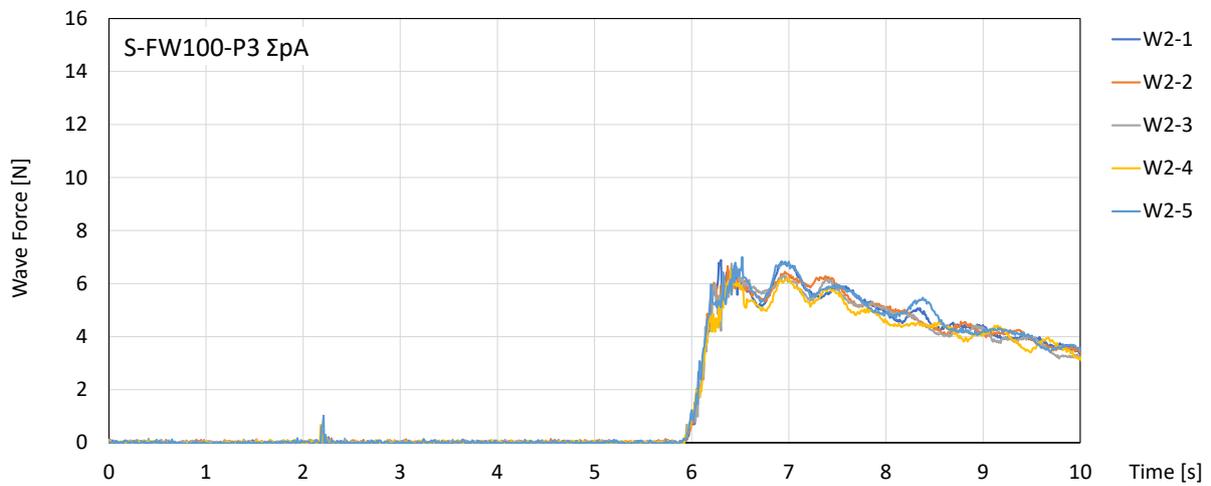


(c) 護岸汀線水位 H6

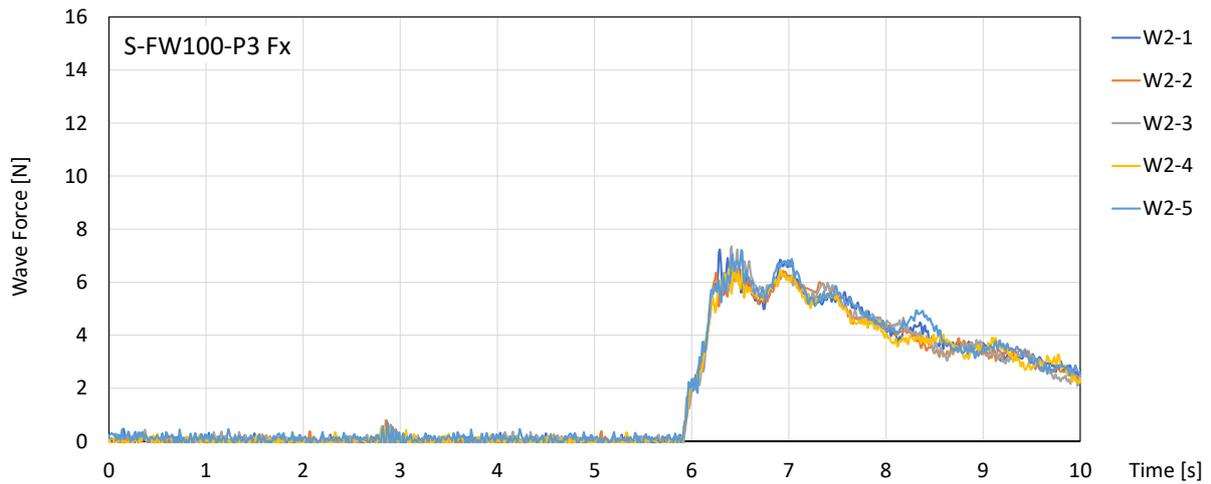
図- 4.119 衝突試験結果ばらつき確認(S-FW100-P3 ; 単純勾配 S, 淡水 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

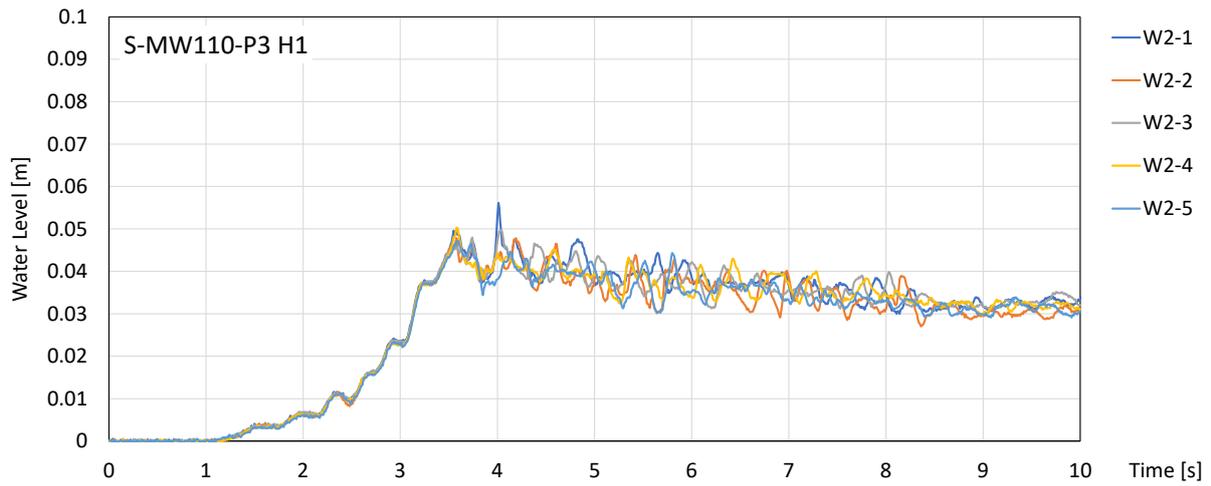


(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計

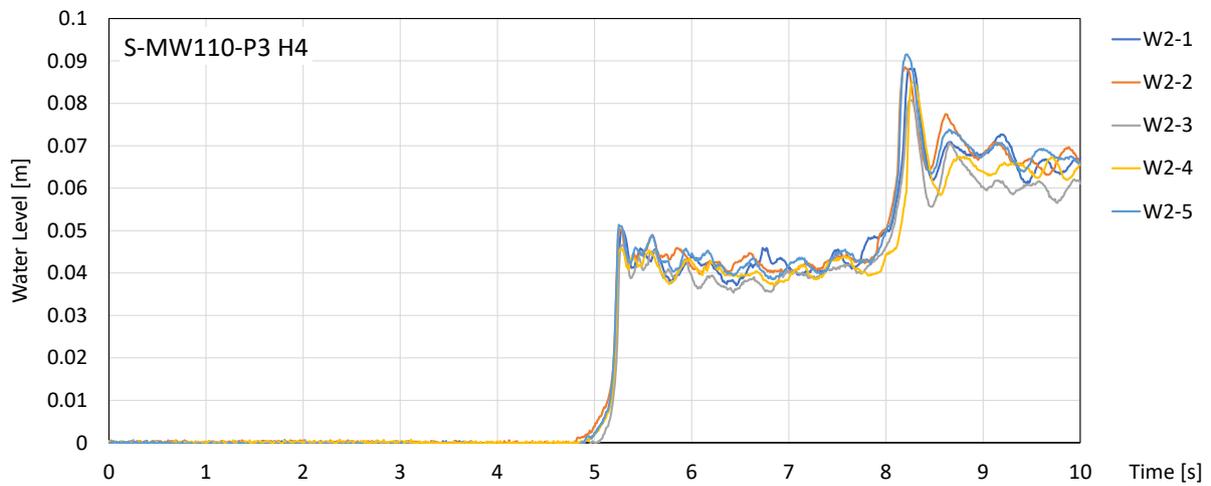


(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

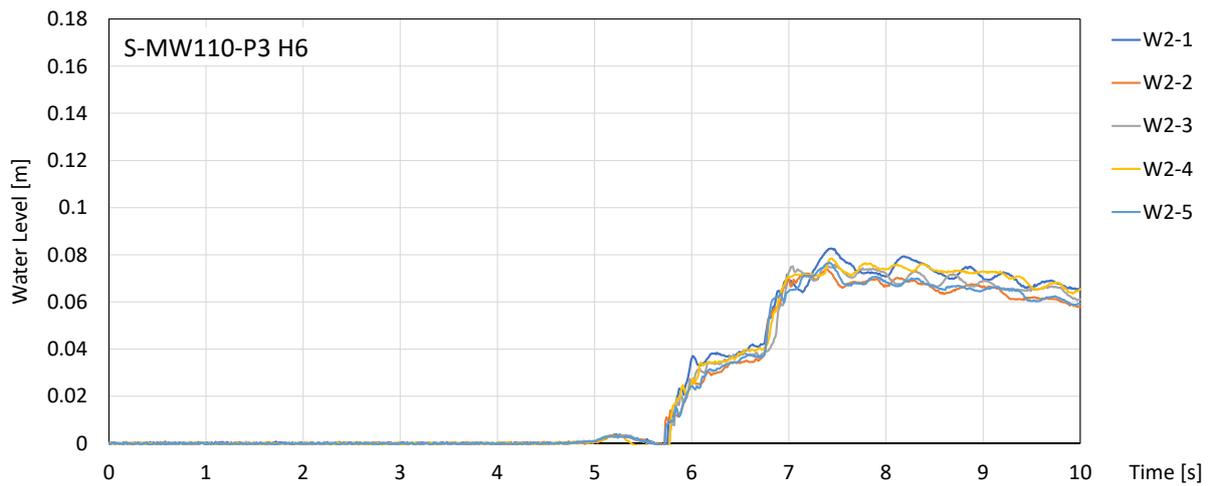
図- 4.120 衝突試験結果ばらつき確認(S-FW100-P3 ; 単純勾配 S, 淡水 $1.00g/cm^3$, 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

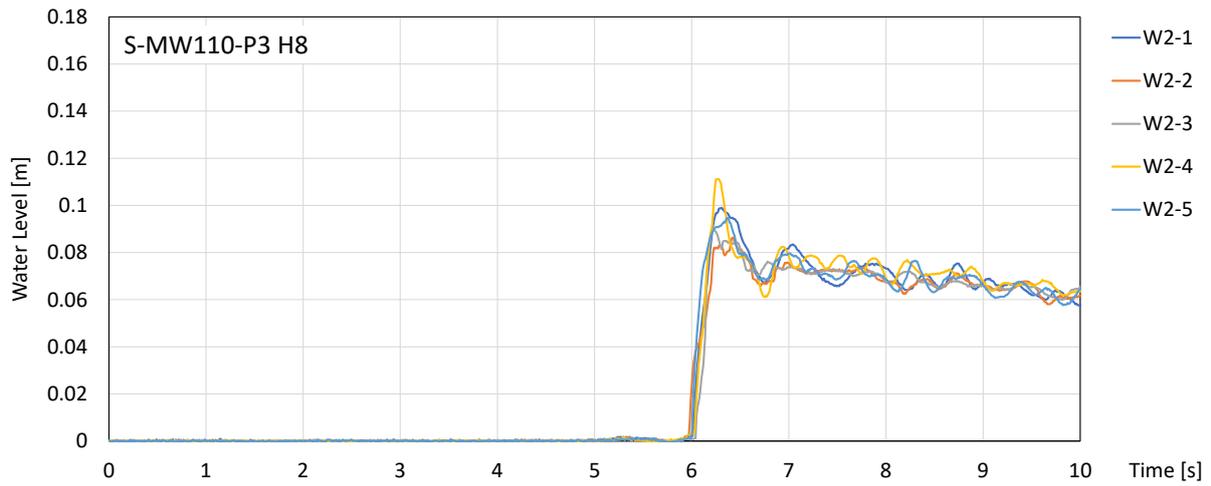


(b) 仕切板通過後水位 H4

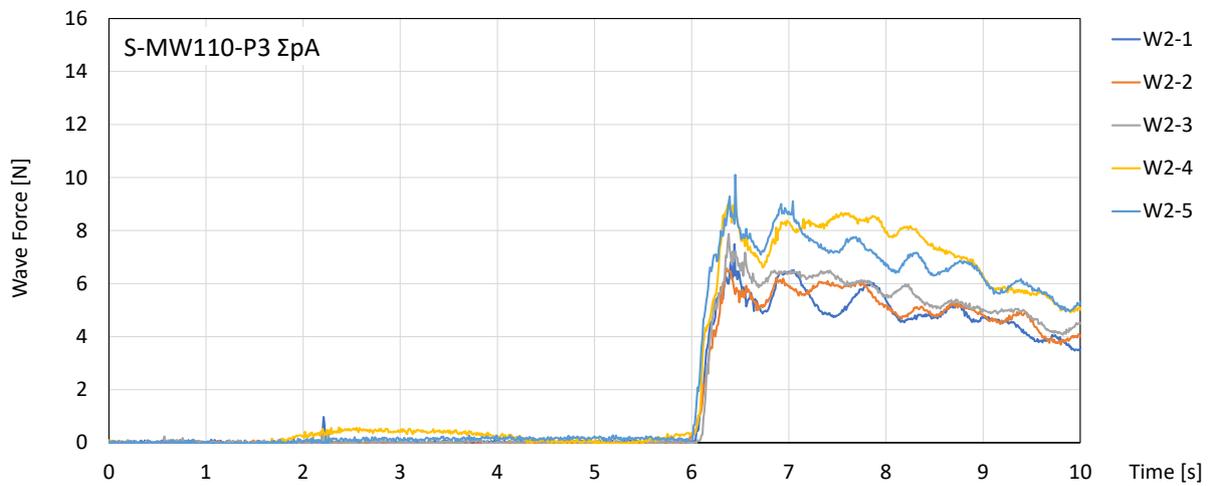


(c) 護岸汀線水位 H6

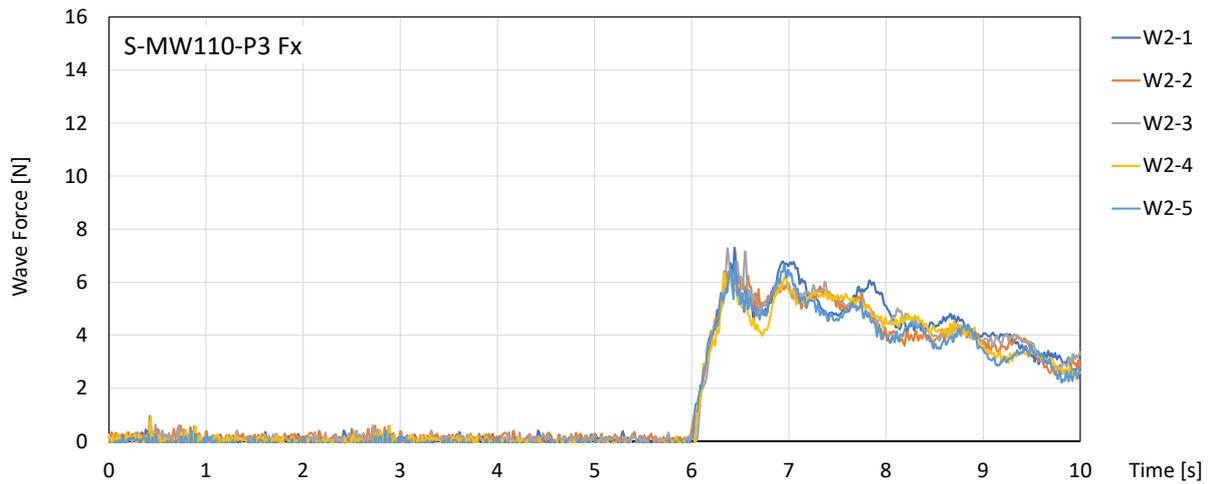
図- 4.121 衝突試験結果ばらつき確認(S-MW110-P3 ; 単純勾配 S, 濁水 1.10g/cm³, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8



(b) 壁模型に作用する波力 ΣpA ; 圧力計



(c) 壁模型に作用する波力 F_x ; 水中6分力計

図- 4.122 衝突試験結果ばらつき確認(S-MW110-P3 ; 単純勾配 S, 濁水 $1.10\text{g}/\text{cm}^3$, 壁位置 P3) [2]

表- 4.17 衝突試験結果一覧 (水平床 F, 壁位置 P1)

津波	種類	密度 [g/cm ³]	試験 回数	最大水位 [m]		最大波力 [N]					
				H4	H6	ΣpA	ΣpA (衝撃)	ΣpA (持続)	Fx	Fx(衝撃)	Fx(持続)
W1	FW	1.00	1	0.046	3.68	11.324	7.466	11.324	12.085	8.070	12.085
			2	0.049	3.67	11.406	7.707	11.406	12.646	8.101	12.646
			3	0.046	3.68	10.934	8.331	10.934	11.537	8.904	11.537
			4	0.046	3.68	11.135	7.801	11.135	12.346	7.885	12.346
			5	0.046	3.65	11.841	7.628	11.841	12.470	8.086	12.470
	MW	1.10	1	0.042	3.70	8.966	4.990	8.966	7.562	4.291	7.562
			2	0.043	3.68	9.308	5.335	9.308	6.843	3.966	6.843
			3	0.039	3.71	10.183	6.527	10.183	6.991	4.110	6.991
			4	0.041	3.70	10.939	6.253	10.939	7.975	4.703	7.975
			5	0.038	3.69	10.566	6.327	10.566	7.559	4.514	7.559
	SW	1.10	1	0.043	3.75	12.563	9.376	12.563	8.283	6.231	8.283
			2	0.036	3.75	14.508	11.624	14.508	7.758	5.147	7.758
			3	0.043	3.75	15.623	11.879	15.623	8.877	5.154	8.877
			4	0.037	3.73	14.065	11.470	14.065	6.811	5.524	6.811
			5	0.035	3.74	14.874	10.618	14.874	7.134	4.564	7.134
W2	FW	1.00	1	0.049	5.73	11.639	11.639	8.986	15.352	15.352	10.174
			2	0.047	5.75	11.760	11.760	8.815	14.434	14.434	9.910
			3	0.049	5.74	11.512	11.512	9.147	15.388	15.388	10.068
			4	0.047	5.72	12.410	12.410	9.010	14.080	14.080	9.889
			5	0.050	5.75	11.577	11.577	8.158	14.342	14.342	9.389
	MW	1.10	1	0.049	5.80	8.252	6.928	8.252	6.339	4.689	6.339
			2	0.049	5.82	12.060	6.735	12.060	6.656	3.848	6.656
			3	0.044	5.80	10.523	6.829	10.523	6.151	3.942	6.151
			4	0.047	5.80	9.486	6.253	9.486	6.124	3.676	6.124
			5	0.052	5.77	7.630	4.971	7.630	5.849	3.545	5.849
	SW	1.10	1	0.044	5.83	11.548	10.821	11.548	10.261	10.261	6.210
			2	0.043	5.82	11.965	10.931	11.965	10.162	10.162	6.026
			3	0.038	5.84	11.584	11.216	11.584	9.554	9.554	6.009
			4	0.046	5.83	10.573	10.154	10.573	9.092	9.092	5.610
			5	0.047	5.80	11.350	11.290	11.350	10.640	10.640	6.232

※最大波力 ΣpA , Fx のハッチングの色 : [赤] 最大衝撃波力が全時刻最大

[青] 最大持続波力が全時刻最大

表- 4.18 衝突試験結果一覧 (水平床 F, 壁位置 P2)

津波	種類	密度 [g/cm ³]	試験 回数	最大水位 [m]			最大波力 [N]					
				H4	H6	H7	Σ pA	Σ pA(衝撃)	Σ pA(持続)	Fx	Fx(衝撃)	Fx(持続)
W1	FW	1.00	1	0.049	3.67	3.82	12.951	6.380	12.951	12.147	7.521	12.147
			2	0.045	3.67	3.82	10.304	6.657	10.304	10.474	6.571	10.474
			3	0.048	3.66	3.8	10.177	7.302	10.177	10.661	6.935	10.661
			4	0.046	3.67	3.82	10.684	6.353	10.684	10.814	6.449	10.814
			5	0.046	3.65	3.81	10.848	7.619	10.848	10.609	6.898	10.609
	MW	1.10	1	0.041	3.67	3.83	8.401	5.442	8.401	7.727	5.107	7.727
			2	0.041	3.74	3.87	9.330	6.001	9.330	8.499	4.549	8.499
			3	0.045	3.69	3.83	9.522	6.000	9.522	8.087	5.585	8.087
			4	0.038	3.66	3.80	7.063	6.210	7.063	6.924	5.766	6.924
			5	0.042	3.69	3.83	8.045	6.031	8.045	7.401	5.536	7.401
	SW	1.10	1	0.041	3.73	3.87	11.412	7.696	11.412	11.472	6.960	11.472
			2	0.044	3.71	3.87	12.664	8.911	12.664	9.501	6.751	9.501
			3	0.041	3.72	3.88	10.079	7.555	10.079	9.462	6.543	9.462
			4	0.045	3.72	3.85	12.575	7.248	12.575	11.324	6.762	11.324
			5	0.044	3.73	3.88	13.965	9.537	13.965	9.813	6.526	9.813
W2	FW	1.00	1	0.049	5.73	5.93	10.196	10.196	9.503	12.591	12.591	8.425
			2	0.050	5.73	5.93	10.492	10.492	9.102	11.975	11.975	9.150
			3	0.049	5.72	5.93	13.169	13.169	7.963	12.366	12.366	8.427
			4	0.050	5.74	5.93	8.892	8.892	8.795	11.274	11.274	9.375
			5	0.051	5.73	5.92	9.798	9.798	9.665	12.435	12.435	8.803
	MW	1.10	1	0.048	5.80	5.93	7.987	7.987	7.372	8.043	8.043	6.797
			2	0.050	5.77	5.94	8.015	5.420	8.015	7.224	4.513	7.224
			3	0.048	5.80	5.95	8.558	5.491	8.558	7.307	4.092	7.307
			4	0.051	5.77	5.94	7.002	6.201	7.002	6.814	6.029	6.814
			5	0.051	5.80	5.96	6.892	4.088	6.892	7.093	3.844	7.093
	SW	1.10	1	0.049	5.83	5.96	12.653	9.422	12.653	9.808	9.290	9.808
			2	0.050	5.85	5.96	12.339	10.221	12.339	8.653	7.525	8.653
			3	0.045	5.83	5.99	9.711	9.316	9.711	10.180	10.180	9.175
			4	0.048	5.84	5.97	11.555	11.555	9.687	8.699	8.699	8.640
			5	0.049	5.81	5.94	12.719	12.719	11.930	9.630	9.448	9.630

※最大波力 Σ pA, Fx のハッチングの色 : [赤] 最大衝撃波力が全時刻最大

[青] 最大持続波力が全時刻最大

表- 4.19 衝突試験結果一覧 (水平床 F, 壁位置 P3) [1]

津波	種類	密度 [g/cm ³]	試験 回数	最大水位 [m]	到達時間 [s]			最大波力 [N]					
					H4	H6	H8	Σ pA	Σ pA(衝撃)	Σ pA(持続)	Fx	Fx(衝撃)	Fx(持続)
W1	FW	1.00	1	0.049	3.69	3.96	13.424	5.395	13.424	12.453	5.854	12.453	
			2	0.047	3.68	3.95	11.524	5.049	11.524	11.395	5.891	11.395	
			3	0.046	3.68	3.95	8.648	4.327	8.648	8.088	4.691	8.088	
			4	0.047	3.66	3.92	7.398	4.421	7.398	8.412	4.872	8.412	
			5	0.048	3.67	3.95	8.748	4.679	8.748	9.501	5.469	9.501	
	MW	1.05	1	0.042	3.70	3.95	11.362	5.329	11.362	10.531	4.500	10.531	
			2	0.042	3.73	3.96	10.720	5.598	10.720	9.380	4.545	9.380	
			3	0.044	3.71	3.96	8.118	4.448	8.118	7.746	4.956	7.746	
			4	0.043	3.72	3.96	9.029	6.557	9.029	7.160	5.776	7.160	
			5	0.046	3.70	3.97	9.422	6.317	9.422	8.322	6.415	8.322	
	MW	1.10	1	0.040	3.74	3.99	8.111	4.665	8.111	8.636	4.283	8.636	
			2	0.040	3.72	3.97	7.516	5.134	7.516	7.212	4.368	7.212	
			3	0.043	3.71	3.98	11.207	7.150	11.207	7.392	3.996	7.392	
			4	0.043	3.70	3.96	9.438	6.111	9.438	7.437	5.034	7.437	
			5	0.041	3.76	4.00	8.611	6.213	8.611	6.549	4.249	6.549	
	SW	1.05	1	0.040	3.69	3.96	15.337	8.486	15.337	10.489	5.048	10.489	
			2	0.040	3.74	4.00	14.958	8.898	14.958	10.167	4.907	10.167	
			3	0.038	3.74	3.98	12.143	8.827	12.143	9.719	5.579	9.719	
			4	0.041	3.72	3.99	13.810	9.375	13.810	8.976	5.556	8.976	
			5	0.038	3.76	3.99	12.816	9.948	12.816	9.344	6.519	9.344	
SW	1.10	1	0.043	3.74	3.99	16.070	11.047	16.070	10.446	5.430	10.446		
		2	0.040	3.73	3.98	14.765	11.040	14.765	7.367	4.770	7.367		
		3	0.041	3.71	3.98	12.759	8.982	12.759	7.131	4.416	7.131		
		4	0.043	3.73	3.99	16.722	8.655	16.722	11.152	5.267	11.152		
		5	0.043	3.74	3.99	14.666	9.597	14.666	9.907	5.091	9.907		
W2	FW	1.00	1	0.048	5.72	6.03	10.095	8.860	10.095	10.596	10.596	9.487	
			2	0.050	5.72	6.02	10.364	8.043	10.364	10.382	9.423	10.382	
			3	0.050	5.74	6.03	13.954	8.452	13.954	10.825	9.148	10.825	
			4	0.050	5.74	6.03	11.130	7.387	11.130	9.791	9.303	9.791	
			5	0.050	5.73	6.02	12.212	6.986	12.212	10.805	8.913	10.805	
	MW	1.05	1	0.049	5.81	6.06	7.391	4.822	7.391	7.552	5.168	7.552	
			2	0.048	5.78	6.02	8.964	3.890	8.964	9.058	4.193	9.058	
			3	0.047	5.80	6.06	9.504	5.053	9.504	7.847	3.654	7.847	
			4	0.049	5.79	6.04	10.024	4.974	10.024	9.822	4.392	9.822	
			5	0.049	5.79	6.04	9.060	5.178	9.060	7.904	3.514	7.904	
	MW	1.10	1	0.050	5.81	6.08	7.105	4.847	7.105	5.894	4.836	5.894	
			2	0.050	5.84	6.08	8.399	4.453	8.399	7.164	3.860	7.164	
			3	0.049	5.88	6.12	7.440	4.960	7.440	7.292	3.491	7.292	
			4	0.048	5.84	6.11	10.525	7.042	10.525	9.204	6.191	9.204	
			5	0.049	5.81	6.06	8.779	5.472	8.779	6.313	3.417	6.313	
	SW	1.05	1	0.049	5.84	6.05	14.979	8.136	14.979	9.513	5.768	9.513	
			2	0.047	5.81	6.06	14.544	8.758	14.544	10.428	6.656	10.428	
			3	0.044	5.80	6.05	12.149	11.039	12.149	11.026	11.026	8.328	
			4	0.046	5.84	6.08	13.124	6.984	13.124	11.096	5.624	11.096	
			5	0.048	5.83	6.08	16.191	11.762	16.191	10.426	7.290	10.426	
SW	1.10	1	0.049	5.83	6.07	14.659	7.226	14.659	9.646	5.436	9.646		
		2	0.052	5.85	6.07	11.099	6.487	11.099	8.416	4.576	8.416		
		3	0.048	5.80	6.07	14.588	7.212	14.588	11.397	8.275	11.397		
		4	0.046	5.80	6.07	13.585	8.911	13.585	11.309	9.831	11.309		
		5	0.048	5.84	6.09	11.279	7.426	11.279	14.710	6.539	14.710		

※最大波力 ΣpA, Fx のハッチングの色 : [赤] 最大衝撃波力が全時刻最大

[青] 最大持続波力が全時刻最大

表- 4.20 衝突試験結果一覧 (水平床 F, 壁位置 P3) [2]

津波	種類	密度 [g/cm ³]	試験 回数	最大水位 [m]	到達時間 [s]			最大波力 [N]				
					H4	H6	H8	Σ pA	Σ pA(衝撃)	Σ pA(持続)	Fx	Fx(衝撃)
W3	FW	1.00	1	0.031	6.13	6.53	5.692	3.246	5.692	4.022	2.805	4.022
			2	0.032	6.17	6.57	5.978	3.127	5.978	5.028	2.630	5.028
			3	0.032	6.16	6.55	6.039	3.359	6.039	3.857	3.314	3.857
			4	0.032	6.16	6.55	4.759	2.893	4.759	3.472	2.959	3.472
			5	0.031	6.15	6.54	4.748	2.981	4.748	3.255	2.776	3.255
	MW	1.05	1	0.029	6.17	6.54	7.195	5.100	7.195	3.014	2.476	3.014
			2	0.031	6.26	6.59	9.754	4.660	9.754	3.512	2.543	3.512
			3	0.032	6.2	6.55	5.514	2.917	5.514	5.264	1.704	5.264
			4	0.033	6.27	6.59	3.626	2.217	3.626	4.366	1.714	4.366
			5	0.033	6.24	6.57	3.869	2.338	3.869	2.791	2.012	2.791
	MW	1.10	1	0.030	6.33	6.62	3.708	2.057	3.708	3.169	1.386	3.169
			2	0.032	6.3	6.61	3.679	1.546	3.679	2.249	1.640	2.249
			3	0.034	6.26	6.58	4.195	2.610	4.195	3.267	1.287	3.267
			4	0.033	6.3	6.61	4.155	2.780	4.155	2.382	1.539	2.382
			5	0.032	6.34	6.63	3.333	1.901	3.333	4.100	1.230	4.100
	SW	1.05	1	0.028	6.29	6.61	11.121	7.754	11.121	3.551	2.169	3.551
			2	0.027	6.25	6.58	10.808	7.758	10.808	4.178	2.714	4.178
			3	0.030	6.22	6.58	11.402	7.262	11.402	4.525	2.491	4.525
			4	0.031	6.22	6.57	9.983	7.225	9.983	4.877	2.571	4.877
			5	0.031	6.23	6.58	8.756	5.869	8.756	4.403	2.643	4.403
SW	1.10	1	0.031	6.25	6.6	7.851	4.811	7.851	4.011	2.589	4.011	
		2	0.031	6.27	6.61	4.973	2.995	4.973	3.554	2.755	3.554	
		3	0.031	6.26	6.61	6.749	3.071	6.749	4.234	2.685	4.234	
		4	0.031	6.25	6.6	4.926	2.997	4.926	3.778	2.663	3.778	
		5	0.030	6.25	6.6	5.629	3.558	5.629	3.982	2.585	3.982	

※最大波力 ΣpA, Fx のハッチングの色 : [赤] 最大衝撃波力が全時刻最大

[青] 最大持続波力が全時刻最大

表- 4.21 衝突試験結果一覧 (単純勾配 S, 壁位置 P1)

津波	種類	密度 [g/cm ³]	試験 回数	最大水位 [m]		最大波力 [N]					
				H4	H6	Σ pA	Σ pA(衝撃)	Σ pA(持続)	Fx	Fx(衝撃)	Fx(持続)
W1	FW	1.00	1	0.051	3.69	9.879	6.075	9.879	11.551	7.322	11.551
			2	0.048	3.7	10.190	6.320	10.190	11.999	7.641	11.999
			3	0.047	3.68	10.083	6.480	10.083	11.629	7.264	11.629
			4	0.049	3.67	9.287	6.434	9.287	11.216	7.071	11.216
			5	0.049	3.66	10.367	6.388	10.367	11.724	7.926	11.724
	MW	1.10	1	0.043	3.73	10.569	7.221	10.569	10.657	6.428	10.657
			2	0.044	3.72	12.781	8.630	12.781	10.742	6.771	10.742
			3	0.042	3.73	11.835	7.426	11.835	10.811	6.199	10.811
			4	0.042	3.75	11.308	7.573	11.308	9.468	6.193	9.468
			5	0.042	3.71	13.851	7.936	13.851	11.225	6.727	11.225
W2	FW	1.00	1	0.050	5.77	9.843	9.144	9.843	10.254	9.964	10.254
			2	0.049	5.76	9.781	7.871	9.781	9.943	7.853	9.943
			3	0.049	5.76	10.214	9.499	10.214	10.310	9.904	10.310
			4	0.050	5.75	9.575	5.683	9.575	9.865	5.683	9.865
			5	0.050	5.77	10.553	6.197	10.553	10.379	6.029	10.379
	MW	1.10	1	0.047	5.82	8.977	6.717	8.977	8.156	5.636	8.156
			2	0.049	5.85	9.215	7.218	9.215	8.058	6.317	8.058
			3	0.048	5.86	8.625	6.071	8.625	8.657	5.840	8.657
			4	0.046	5.82	9.551	6.513	9.551	8.463	6.172	8.463
			5	0.049	5.86	8.776	6.545	8.776	8.084	6.606	8.084
W3	FW	1.00	1	0.034	6.26	5.069	4.013	5.069	4.302	3.276	4.302
			2	0.035	6.24	5.110	3.349	5.110	4.687	3.502	4.687
			3	0.034	6.25	5.184	4.028	5.184	4.605	3.460	4.605
			4	0.034	6.23	4.858	3.584	4.858	4.896	3.070	4.896
			5	0.035	6.23	5.354	3.649	5.354	4.840	3.152	4.840
	MW	1.10	1	0.032	6.26	3.660	2.843	3.660	3.608	2.507	3.608
			2	0.031	6.33	4.179	3.689	4.179	3.550	3.299	3.550
			3	0.032	6.31	4.192	2.940	4.192	3.466	2.134	3.466
			4	0.034	6.30	3.842	3.227	3.842	3.152	2.244	3.152
			5	0.031	6.37	3.702	2.561	3.702	3.431	2.438	3.431

※最大波力 ΣpA, Fx のハッチングの色 : [赤] 最大衝撃波力が全時刻最大

[青] 最大持続波力が全時刻最大

表- 4.22 衝突試験結果一覧 (単純勾配 S, 壁位置 P3)

津波	種類	密度 [g/cm ³]	試験 回数	最大水位 [m]			最大波力 [N]					
				H4	H6	H8	Σ pA	Σ pA(衝撃)	Σ pA(持続)	Fx	Fx(衝撃)	Fx(持続)
W2	FW	1.00	1	0.050	5.82	6	6.888	5.188	6.888	7.231	5.519	7.231
			2	0.049	5.83	5.96	6.655	4.862	6.655	6.629	3.834	6.629
			3	0.050	5.87	5.97	6.756	2.615	6.756	7.349	2.788	7.349
			4	0.050	5.94	5.96	6.501	3.677	6.501	6.649	3.645	6.649
			5	0.050	5.85	5.96	7.006	4.707	7.006	7.214	4.349	7.214
	MW	1.10	1	0.050	5.86	6.04	7.483	5.569	7.483	7.304	5.486	7.304
			2	0.050	5.95	6.00	6.572	6.572	6.221	6.401	6.401	6.239
			3	0.047	5.89	6.09	7.878	4.811	7.878	7.290	4.141	7.290
			4	0.046	5.89	6.06	9.035	5.878	9.035	6.355	4.237	6.355
			5	0.051	5.95	6.02	10.102	8.449	10.102	6.774	5.602	6.774

※最大波力 ΣpA, Fx のハッチングの色 : [赤] 最大衝撃波力が全時刻最大

[青] 最大持続波力が全時刻最大

表- 4.23 最大波力直後における濁水濃度 (水平床 F, 密度 1.05g/cm³, 壁位置 P3)

海底地形 (Flat, Slope)	流体密度 [g/cm ³]	堤体位置 (P1,P2,P3)	津波種類 (W1,W2,W3)	回数	採取 位置	濁水密度 ρ [g/cm ³]
F	1.05	P3	W1	1	1	1.015
					2	1.019
					3	1.015
					4	1.017
					5	1.014
				2	1	1.014
					2	1.015
					3	1.017
					4	1.015
					5	1.015
			W2	1	1	1.024
					2	1.023
					3	1.027
					4	1.023
					5	1.022
				2	1	1.023
					2	1.015
					3	1.018
					4	1.024
					5	1.020
			W3	1	1	1.024
					2	1.019
					3	1.024
					4	1.029
					5	1.020
2	1	1.026				
	2	1.019				
	3	1.021				
	4	1.029				
	5	1.020				

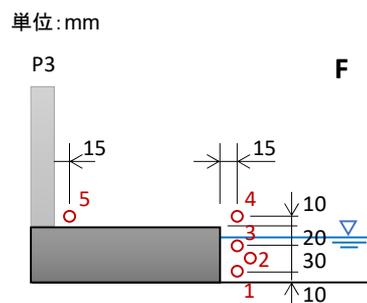


表- 4.24 最大波力直後における濁水濃度 (水平床 F, 密度 1.10g/cm³, 壁位置 P1,P2)

海底地形 (Flat, Slope)	流体密度 [g/cm ³]	堤体位置 (P1,P2,P3)	津波種類 (W1,W2,W3)	回数	採取 位置	濁水密度 ρ [g/cm ³]
F	1.10	P1	W1	1	1	1.062
					2	1.066
					3	1.056
					4	1.057
				2	1	1.038
					2	1.059
					3	1.029
					4	1.036
			W2	1	1	1.050
					2	1.053
					3	1.046
					4	1.045
				2	1	1.066
					2	1.057
					3	1.065
					4	1.073
		P2	W1	1	1	1.054
					2	1.039
					3	1.044
					4	1.045
					5	1.047
				2	1	1.057
					2	1.039
					3	1.046
					4	1.056
					5	1.046
			W2	1	1	1.056
					2	1.057
					3	1.063
				2	4	1.068
					5	1.054
					1	1.073
2	2	1.055				
	3	1.071				
	4	1.075				
	5	1.057				

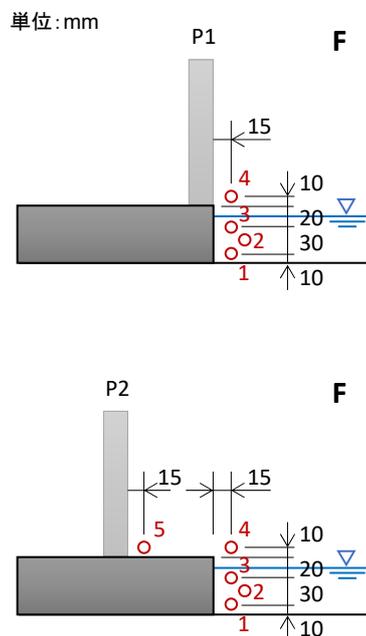


表- 4.25 最大波力直後における濁水濃度 (水平床 F, 密度 1.10g/cm³, 壁位置 P3)

海底地形 (Flat, Slope)	流体密度 [g/cm ³]	堤体位置 (P1,P2,P3)	津波種類 (W1,W2,W3)	回数	採取 位置	濁水密度 ρ [g/cm ³]
F	1.10	P3	W1	1	1	1.056
					2	1.035
					3	1.049
					4	1.062
					5	1.044
				2	1	1.072
					2	1.060
					3	1.072
					4	1.083
					5	1.065
			W2	1	1	1.074
					2	1.060
					3	1.076
					4	1.082
					5	1.072
				2	1	1.075
					2	1.058
					3	1.064
					4	1.085
					5	1.055
			W3	1	1	1.089
					2	1.043
					3	1.089
					4	1.095
					5	1.075
2	1	1.056				
	2	1.057				
	3	1.063				
	4	1.068				
	5	1.054				

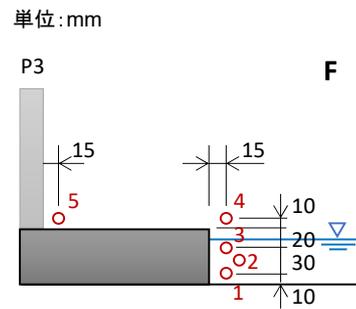
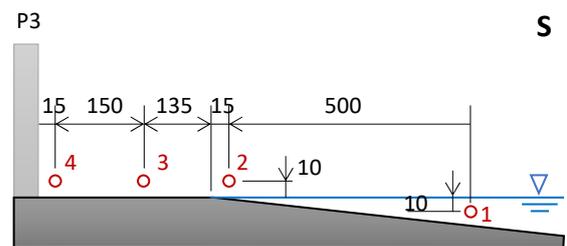
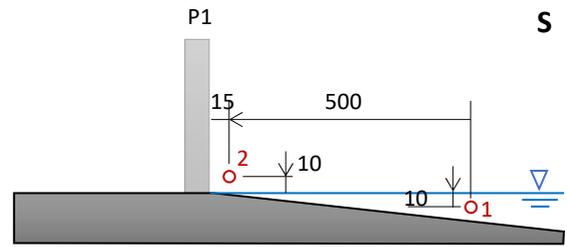


表- 4.26 最大波力直後における濁水濃度 (単純勾配 S, 密度 1.10g/cm³, 壁位置 P1,P3)

海底地形 (Flat, Slope)	流体密度 [g/cm ³]	堤体位置 (P1,P2,P3)	津波種類 (W1,W2,W3)	回数	採取 位置	濁水密度 ρ [g/cm ³]
S	1.10	P1	W1	1	1	1.082
					2	1.058
				2	1	1.069
					2	1.047
			W2	1	1	1.085
					2	1.060
				2	1	1.074
					2	1.054
			W3	1	1	1.067
					2	1.047
				2	1	1.085
					2	1.055
		P3	W2	1	1	1.038
					2	1.059
					3	1.029
					4	1.036
				2	1	1.074
					2	1.056
					3	1.034
					4	1.053

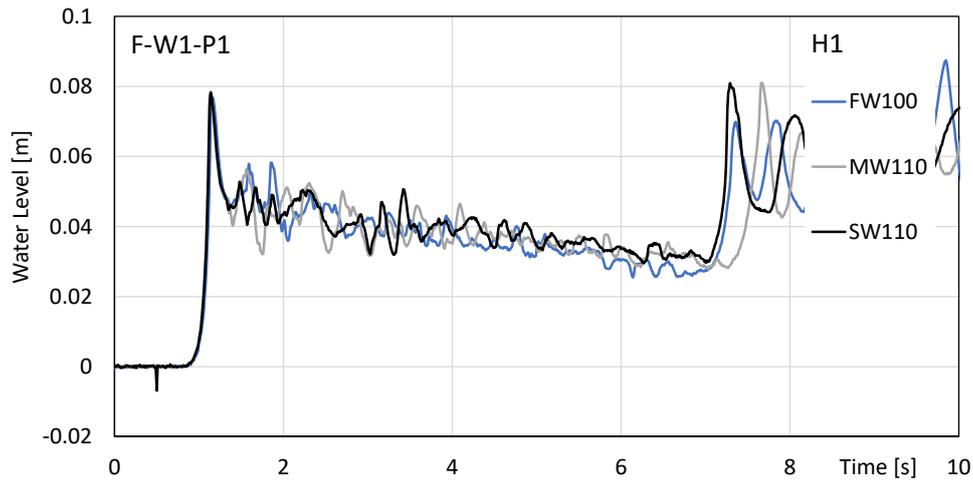
単位: mm



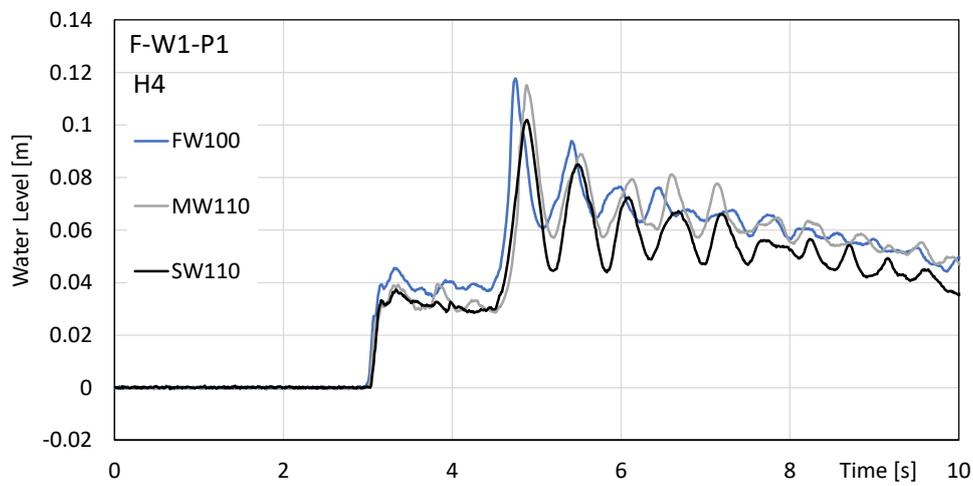
(4) 流体密度による比較

流体密度による比較として、H4における最大水位、護岸汀線 H6 と壁前面 H7, H8 における津波の到達時間、圧力計および水中 6 分力計による最大波力 ΣpA および F_x について、代表ケースの時系列を図- 4.123～図- 4.144 に示す。また、各ケースにおける各平均値を図- 4.145～図- 4.149 の通り整理した。最大波力については、最大衝撃波力と最大持続波力の平均値を図- 4.150～図- 4.154 に示す。

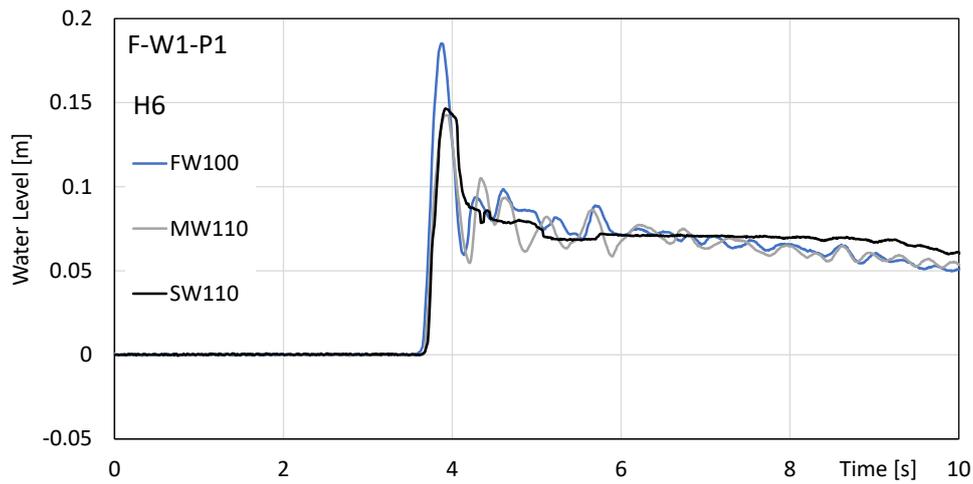
写真- 4.4～写真- 4.38 には、各ケースにおける護岸上を遡上する津波のスナップショットを示す。



(a) 沖側水位 H1

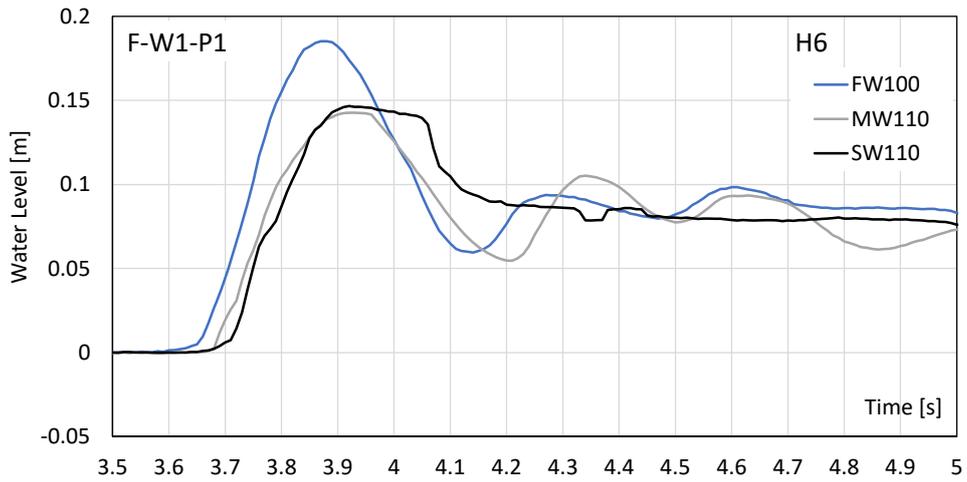


(b) 仕切板通過後水位 H4

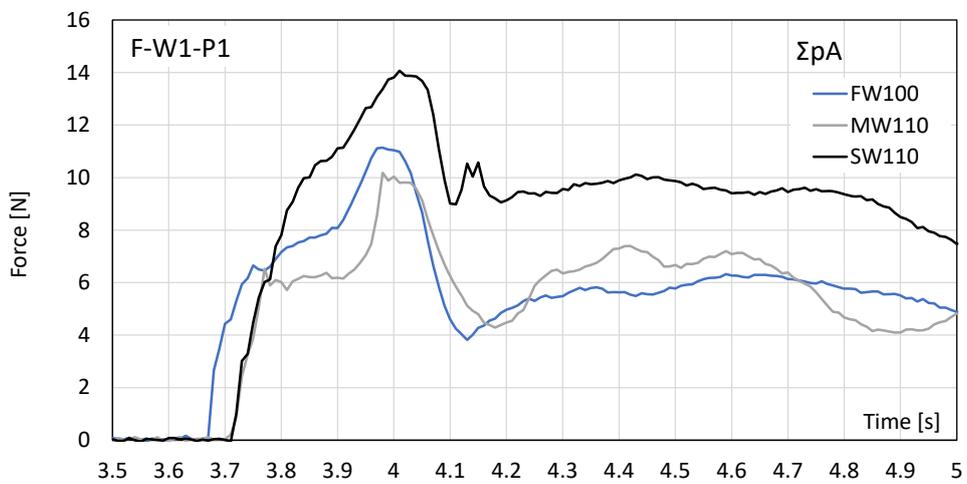


(c) 護岸汀線水位 H6

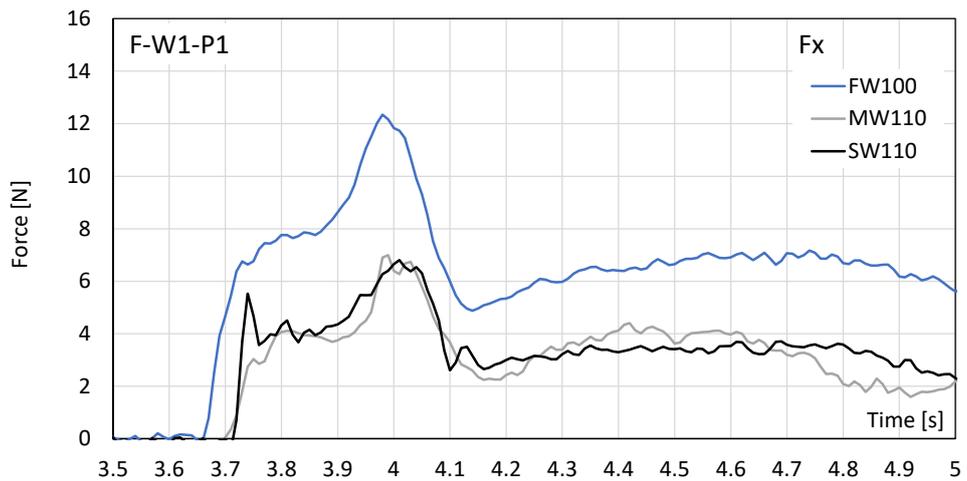
図- 4.123 流体密度による比較 (F-W1-P1 ; 水平床 F, 津波 W1, 壁位置 P1) [1]



(a) 壁模型前面水位 H6

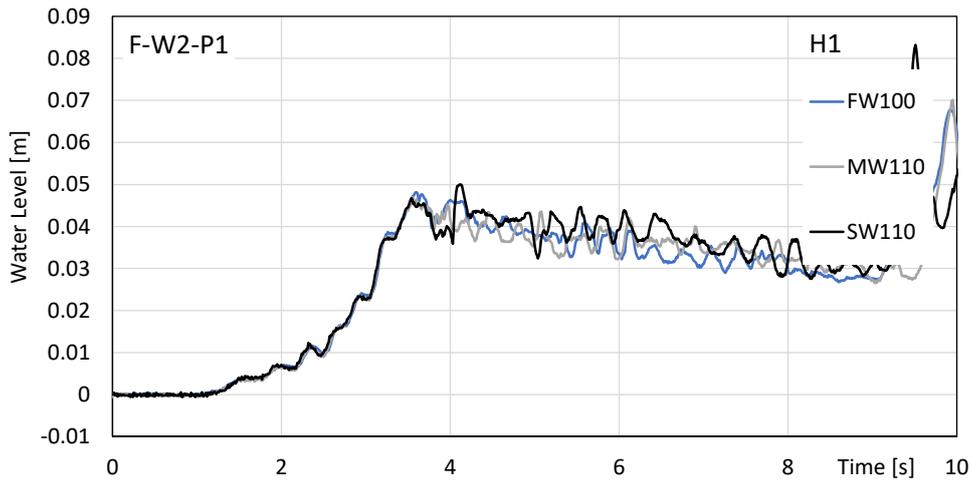


(b) 圧力計による波力 ΣpA

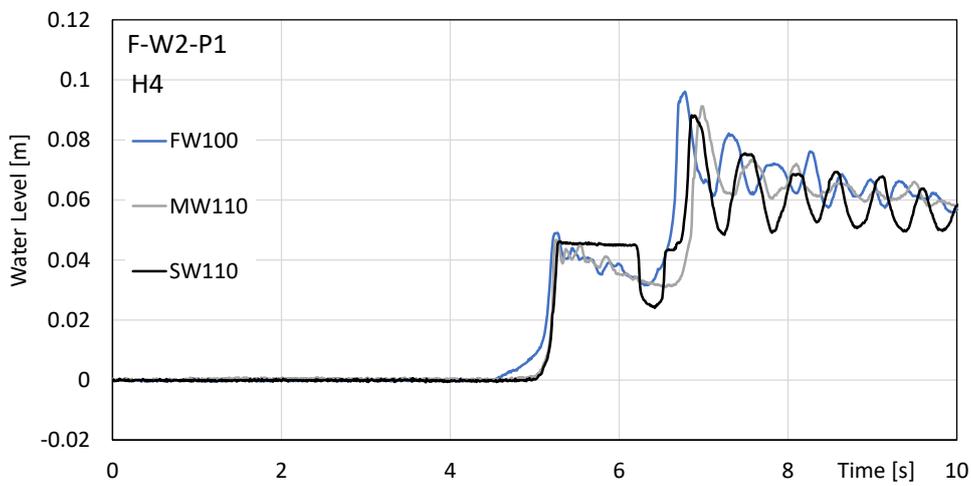


(c) 水中6分力計による波力 F_x

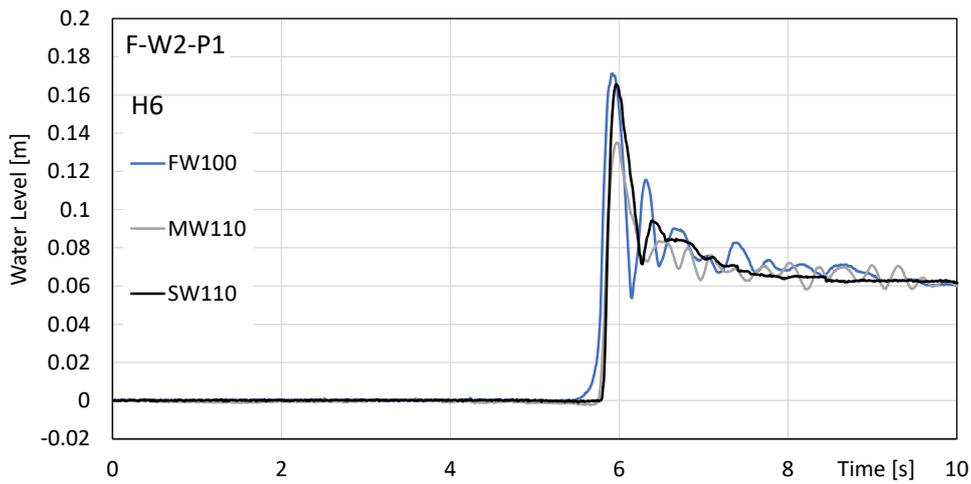
図-4.124 流体密度による比較 (F-W1-P1 ; 水平床 F, 津波 W1, 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

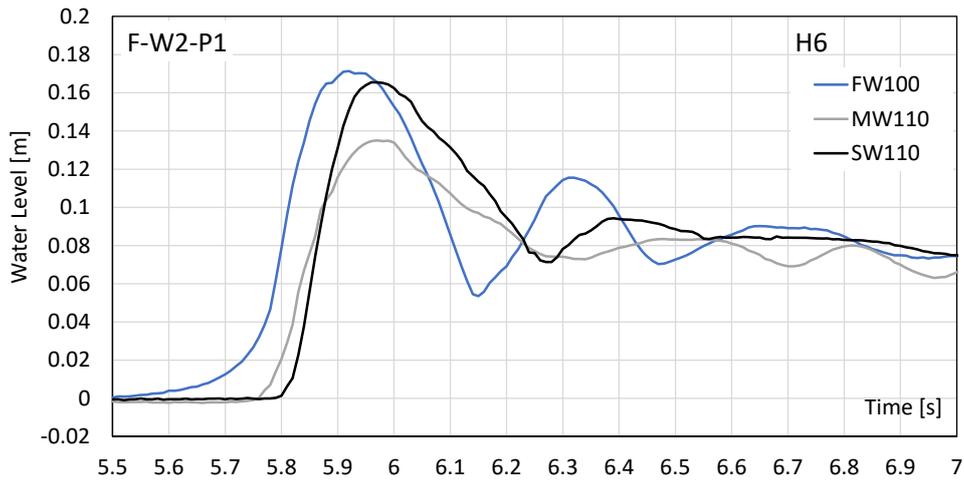


(b) 仕切板通過後水位 H4

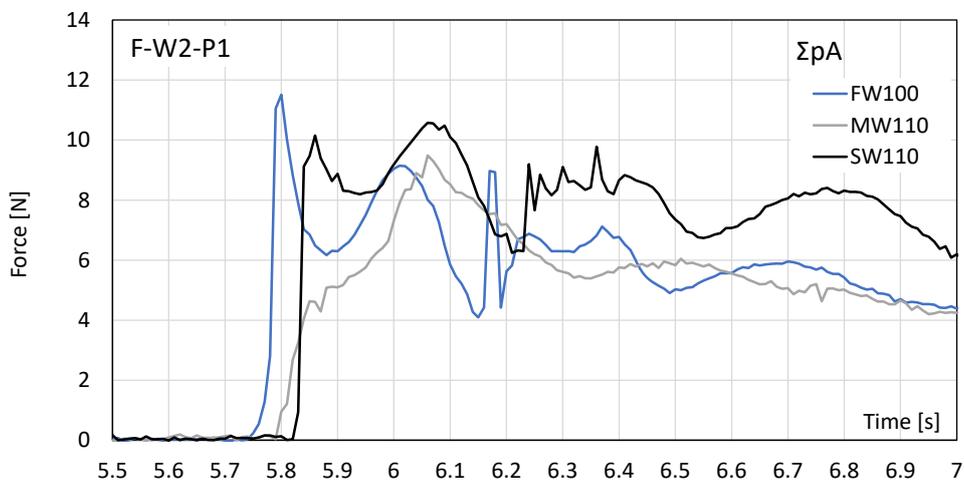


(c) 護岸汀線水位 H6

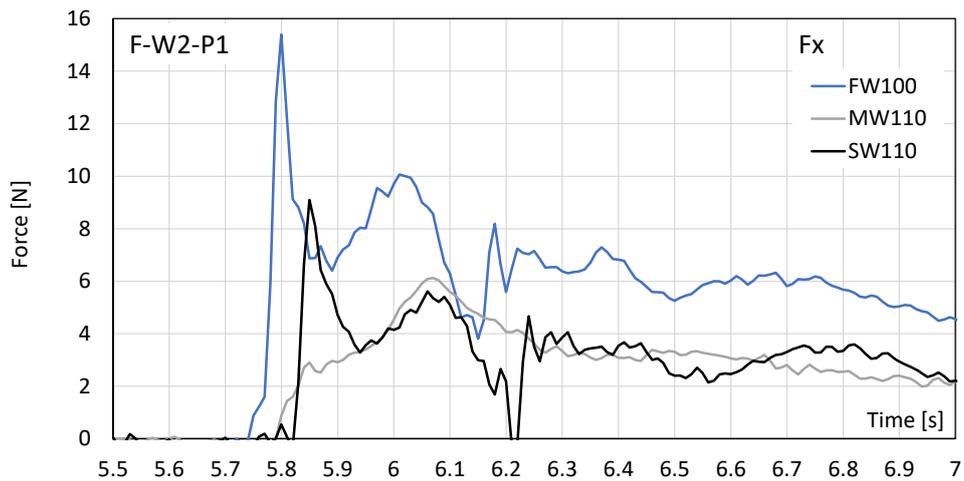
図- 4.125 流体密度による比較 (F-W2-P1 ; 水平床 F, 津波 W2, 壁位置 P1) [1]



(a) 壁模型前面水位 H6

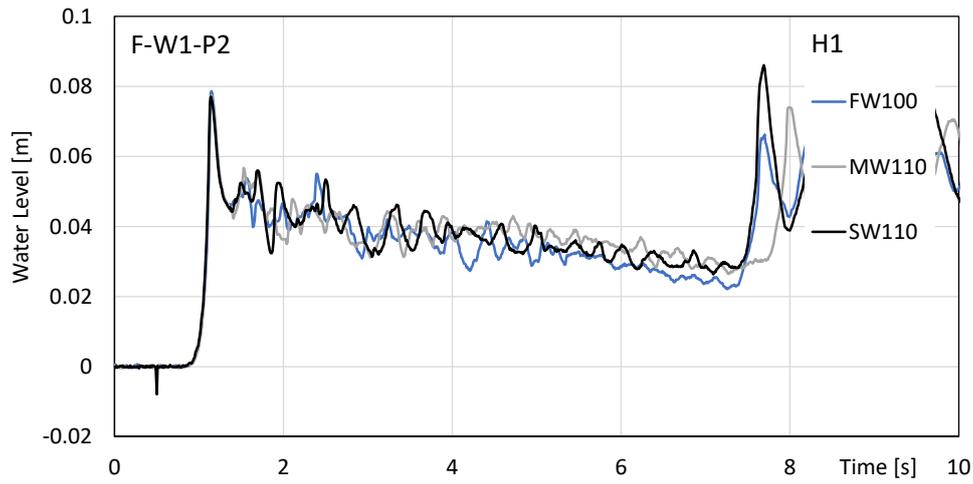


(b) 圧力計による波力 ΣpA

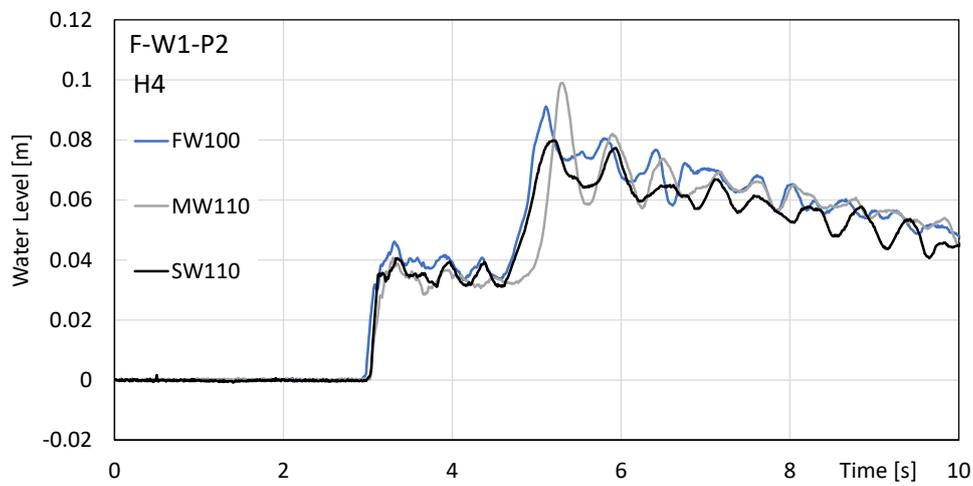


(c) 水中6分力計による波力 F_x

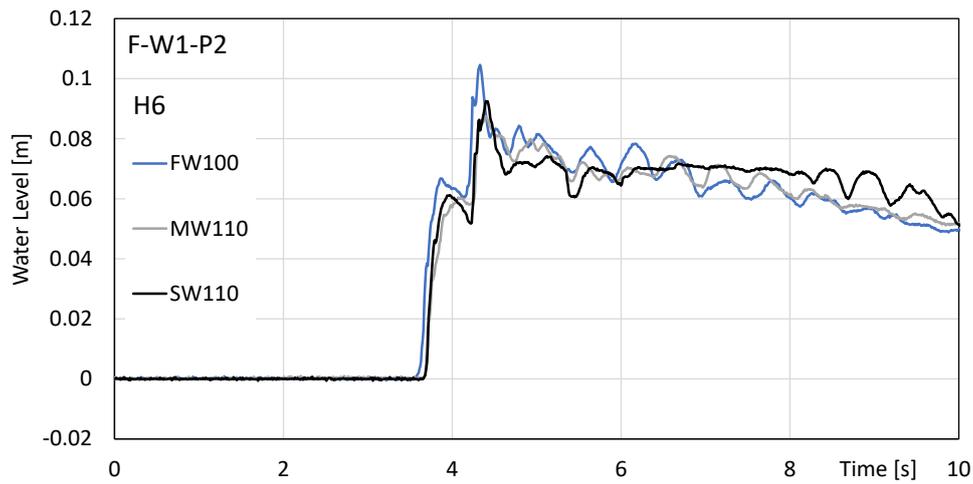
図-4.126 流体密度による比較 (F-W2-P1 ; 水平床 F, 津波 W2, 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

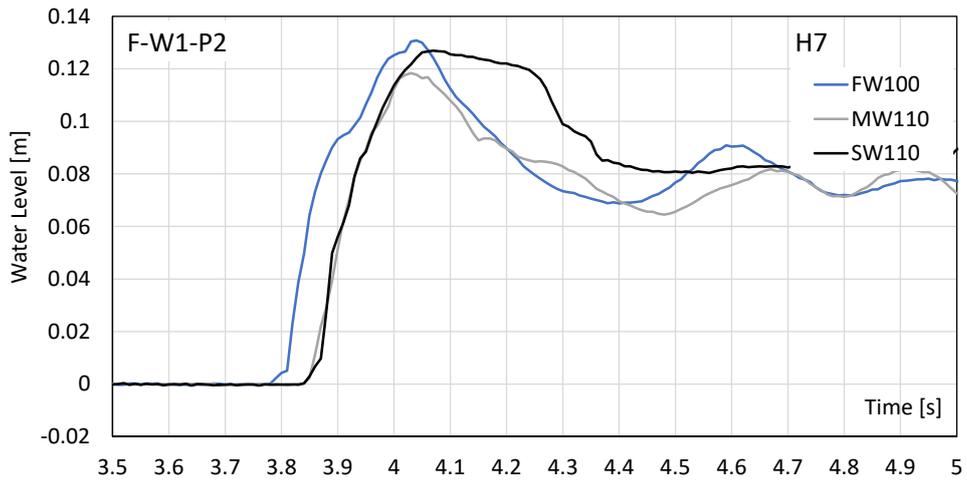


(b) 仕切板通過後水位 H4

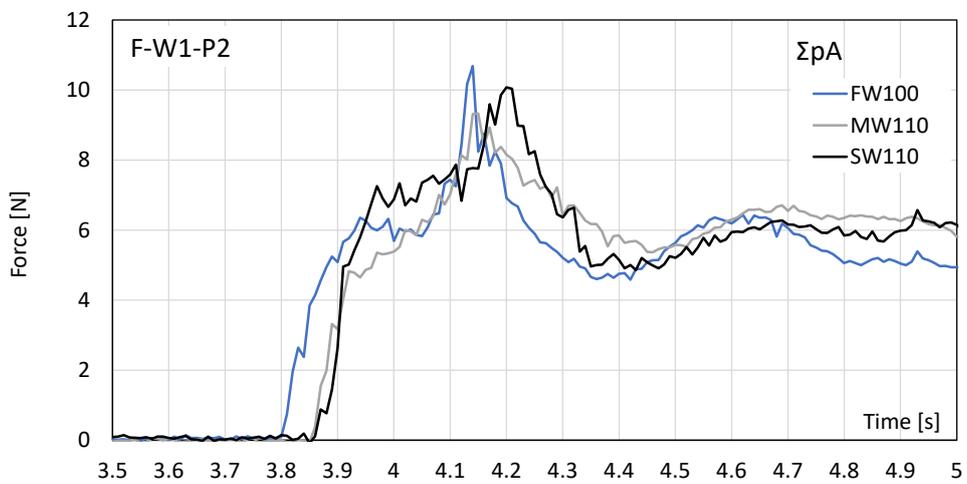


(c) 護岸汀線水位 H6

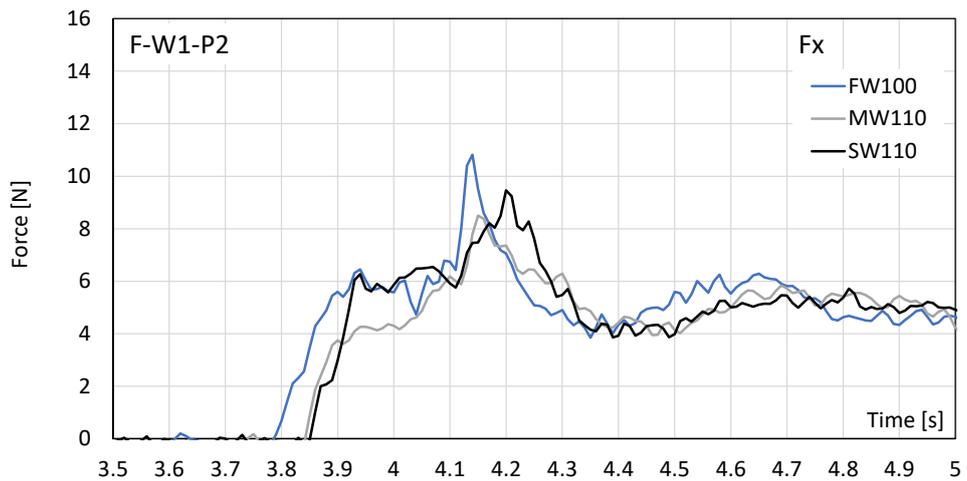
図-4.127 流体密度による比較 (F-W1-P2 ; 水平床 F, 津波 W1, 壁位置 P2) [1]



(a) 壁模型前面水位 H7

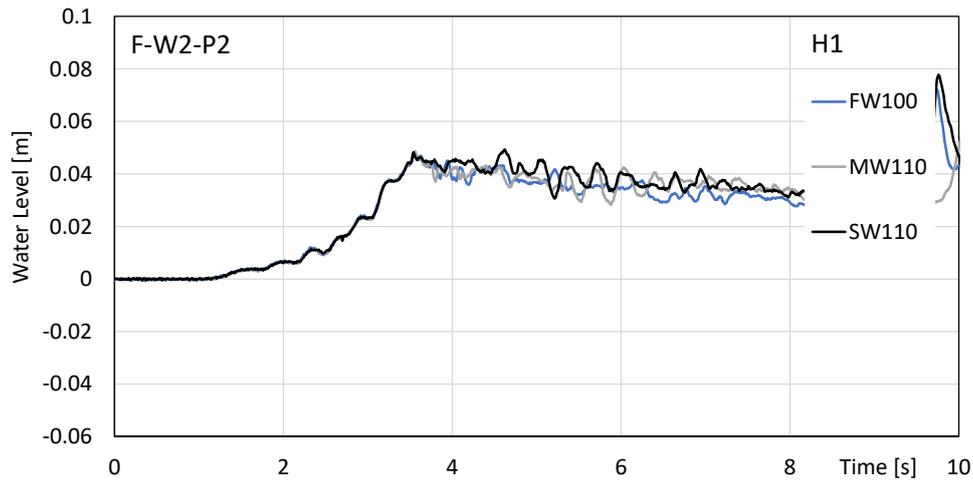


(b) 圧力計による波力 ΣpA

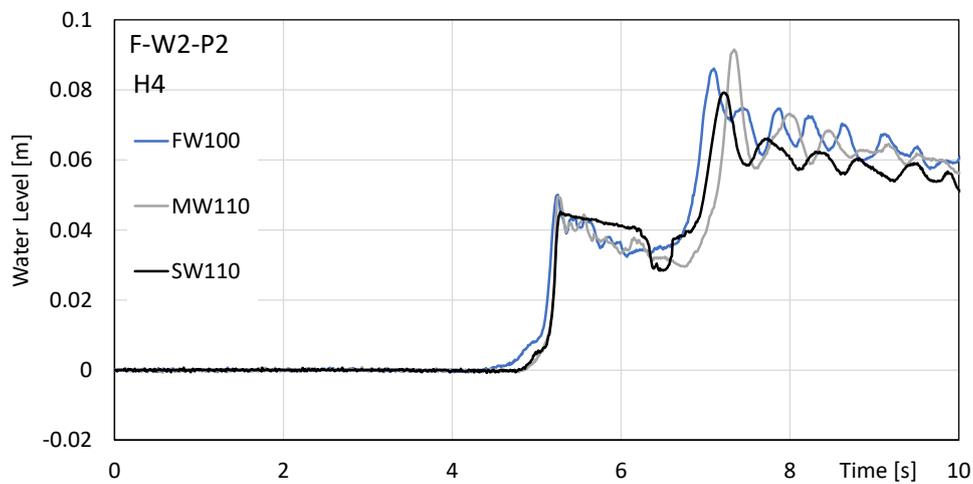


(c) 水中6分力計による波力 F_x

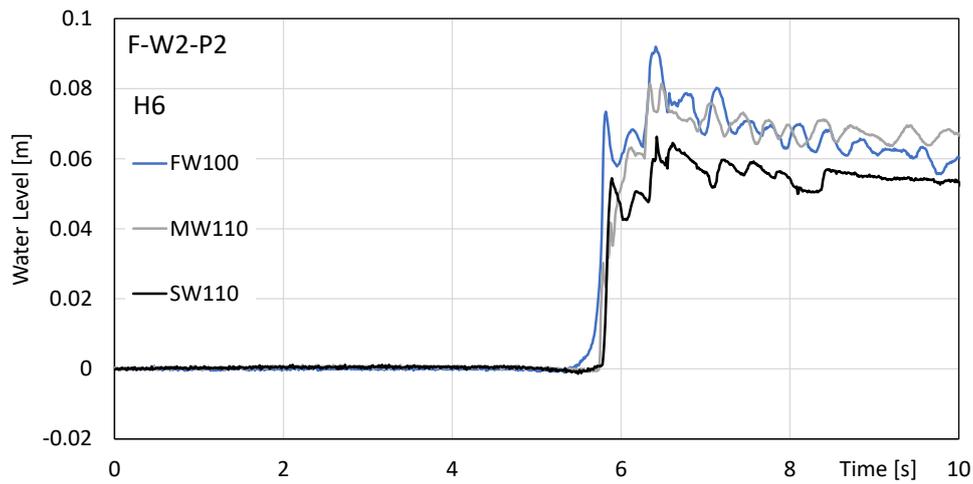
図-4.128 流体密度による比較 (F-W1-P2 ; 水平床 F, 津波 W1, 壁位置 P2) [2]



(a) 沖側水位 H1

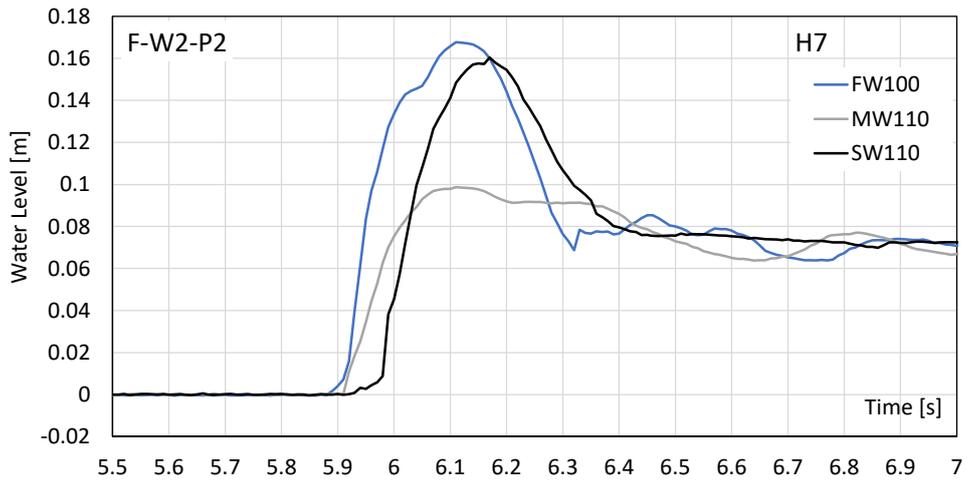


(b) 仕切板通過後水位 H4

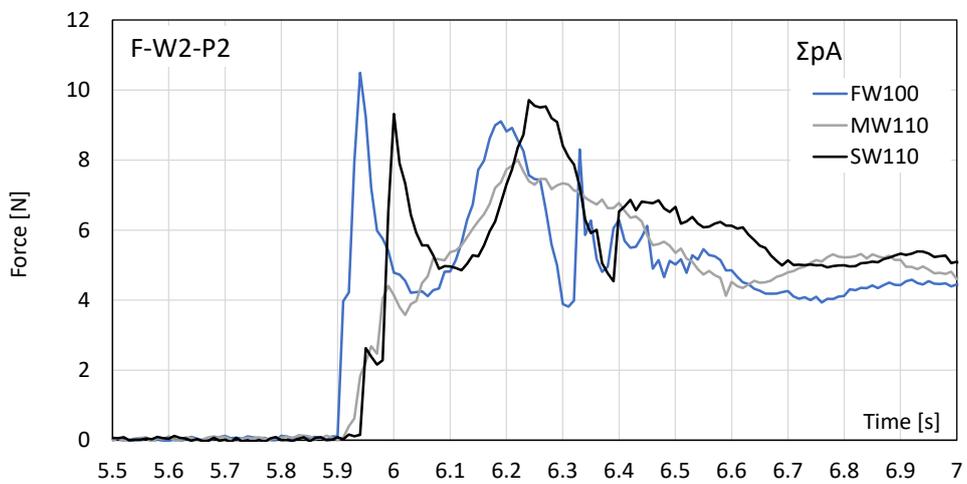


(c) 護岸汀線水位 H6

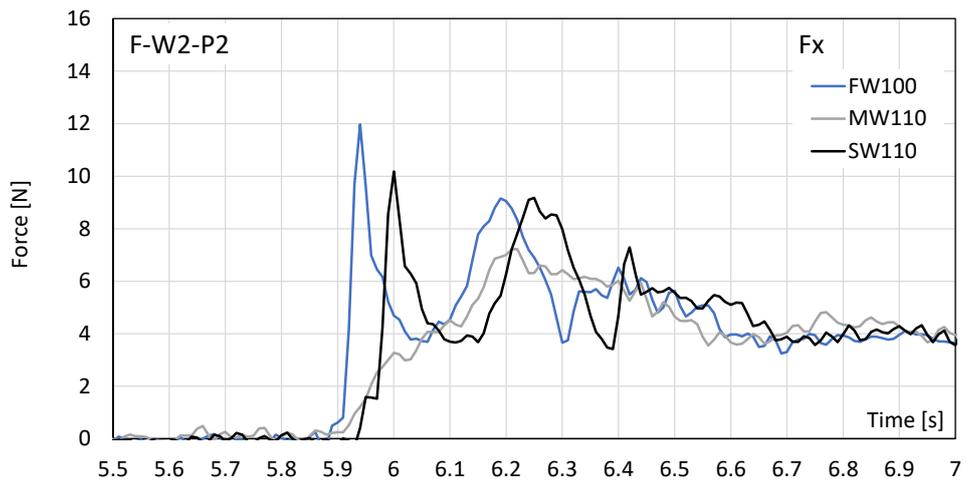
図-4.129 流体密度による比較 (F-W2-P2 ; 水平床 F, 津波 W2, 壁位置 P2) [1]



(a) 壁模型前面水位 H7

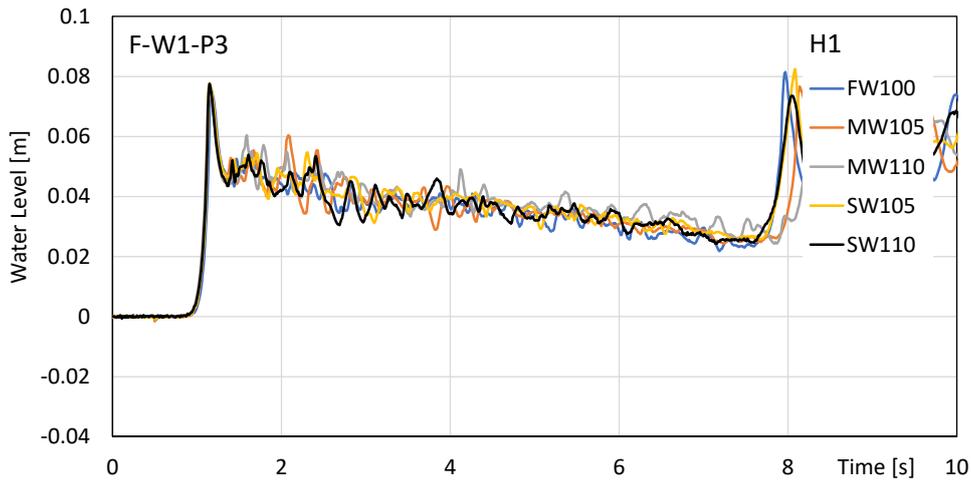


(b) 圧力計による波力 ΣpA

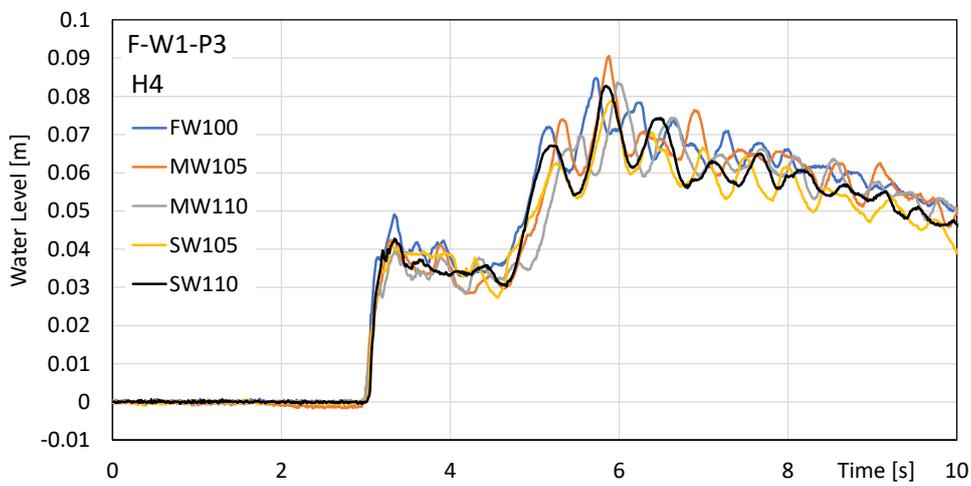


(c) 水中6分力計による波力 F_x

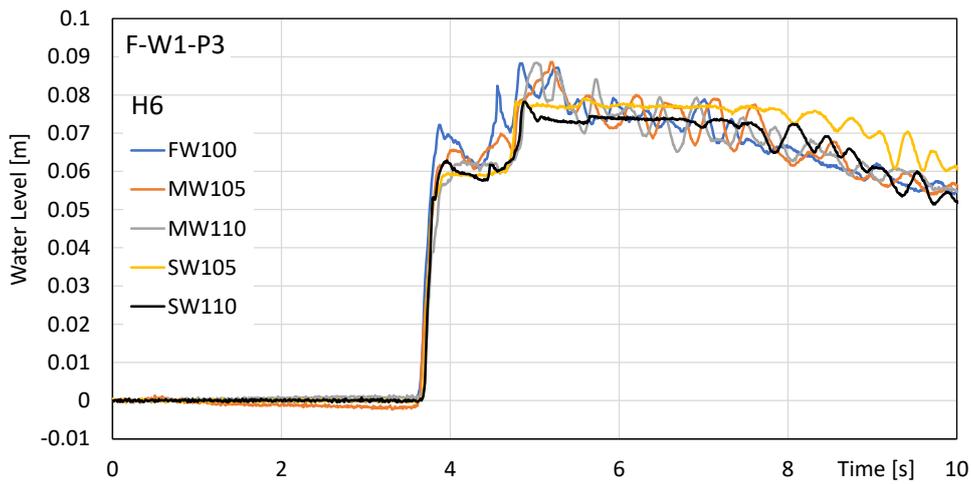
図- 4.130 流体密度による比較 (F-W2-P2 ; 水平床 F, 津波 W2, 壁位置 P2) [2]



(a) 沖側水位 H1

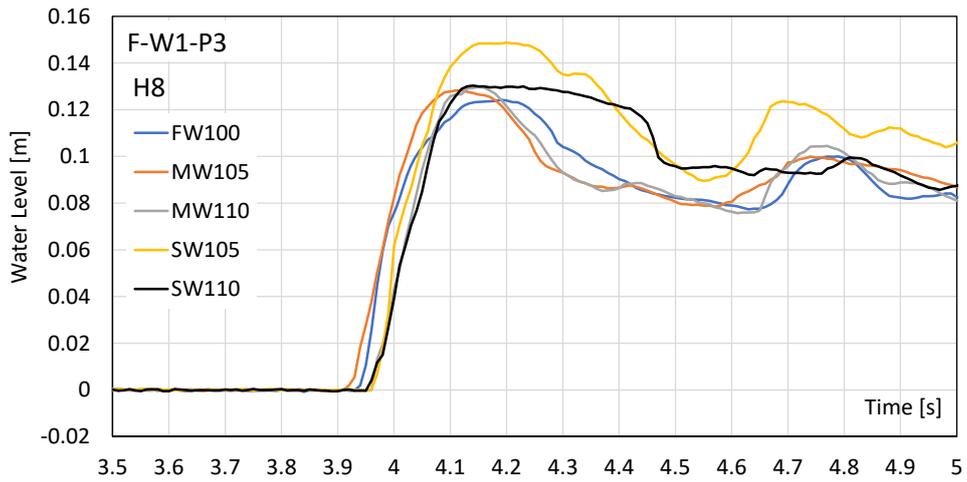


(b) 仕切板通過後水位 H4

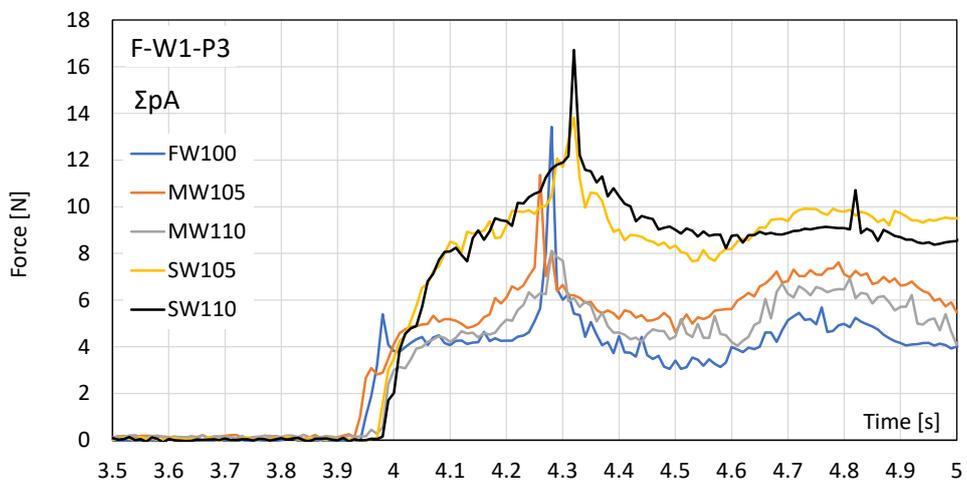


(c) 護岸汀線水位 H6

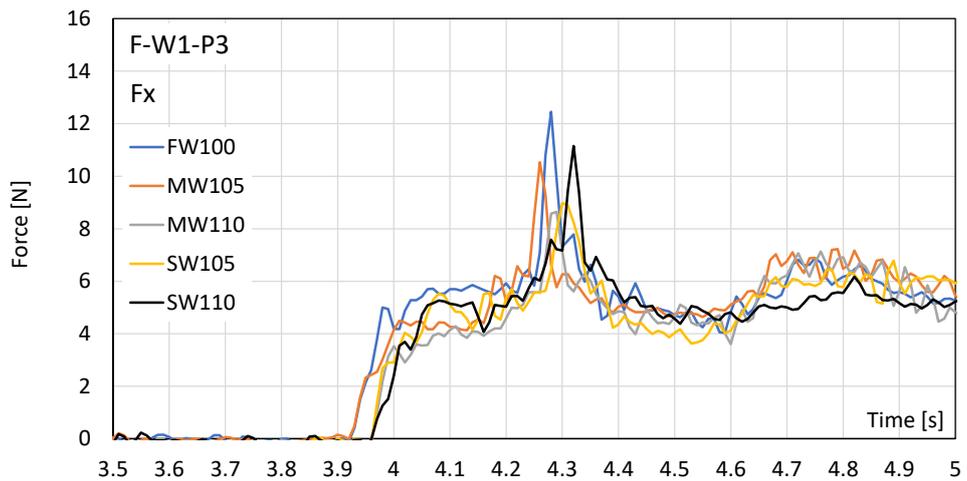
図-4.131 流体密度による比較 (F-W1-P3 ; 水平床 F, 津波 W1, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

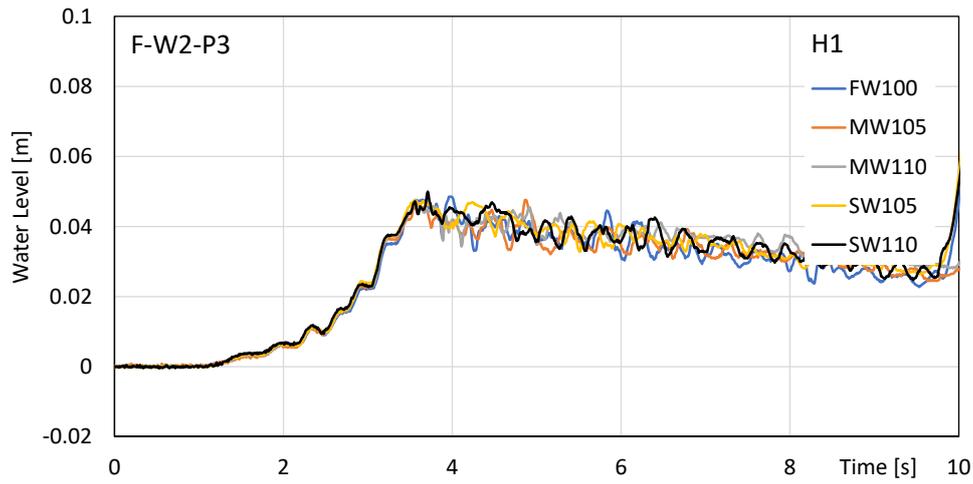


(b) 圧力計による波力 ΣpA

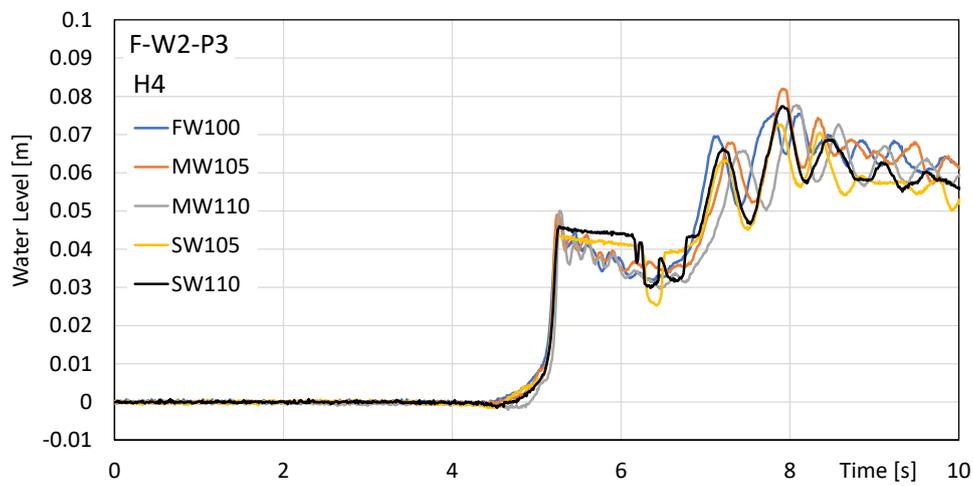


(c) 水中6分力計による波力 F_x

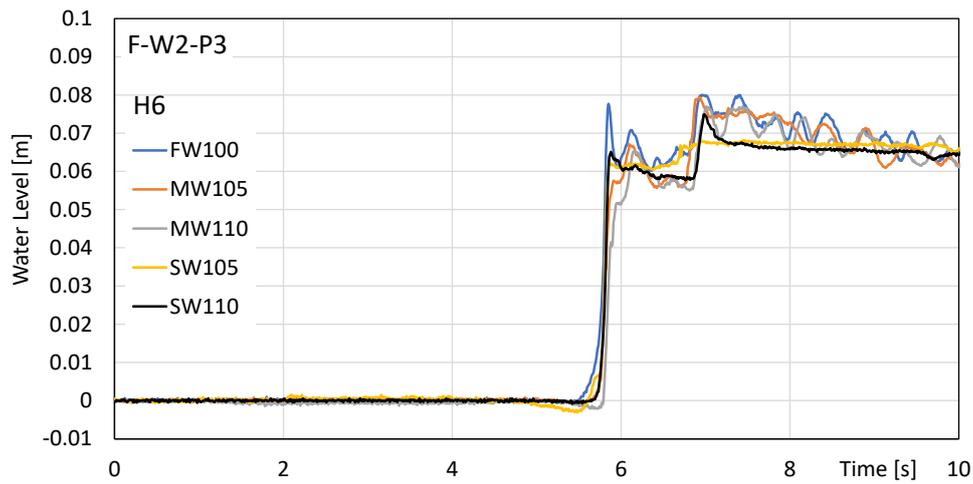
図- 4.132 流体密度による比較 (F-W1-P3 ; 水平床 F, 津波 W1, 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

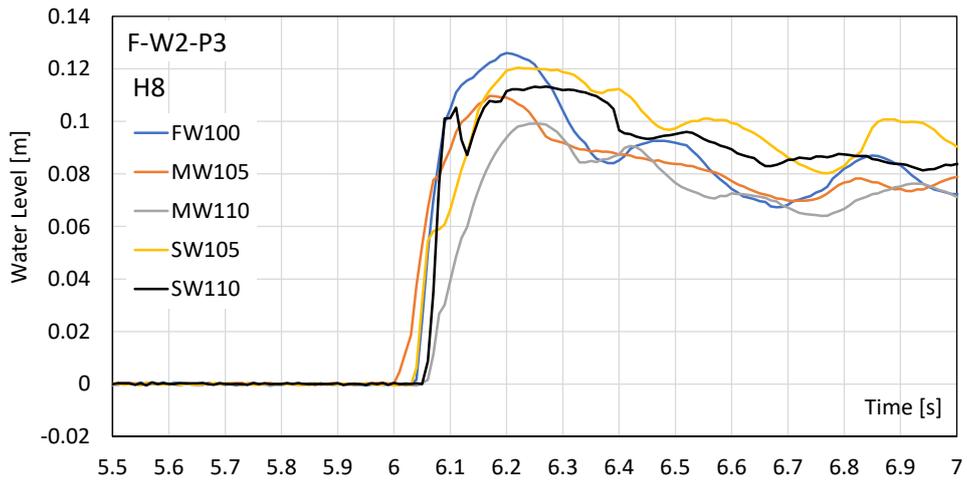


(b) 仕切板通過後水位 H4

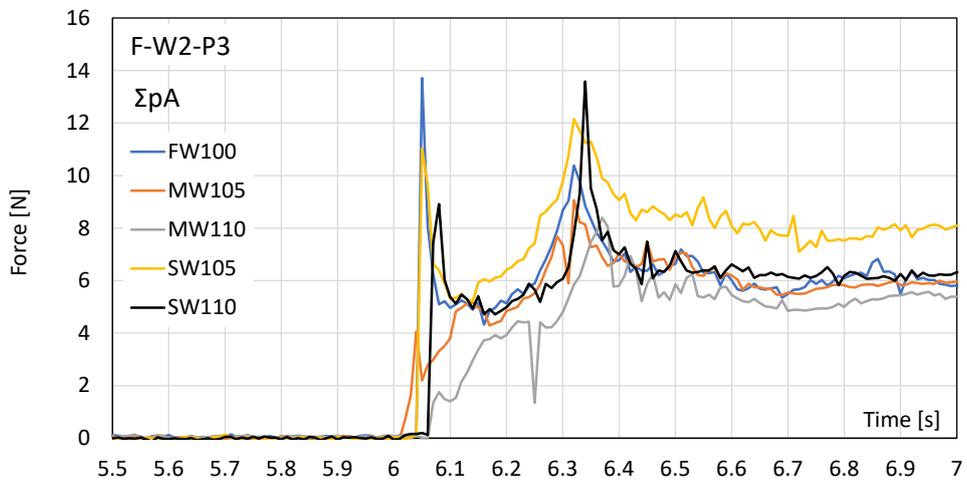


(c) 護岸汀線水位 H6

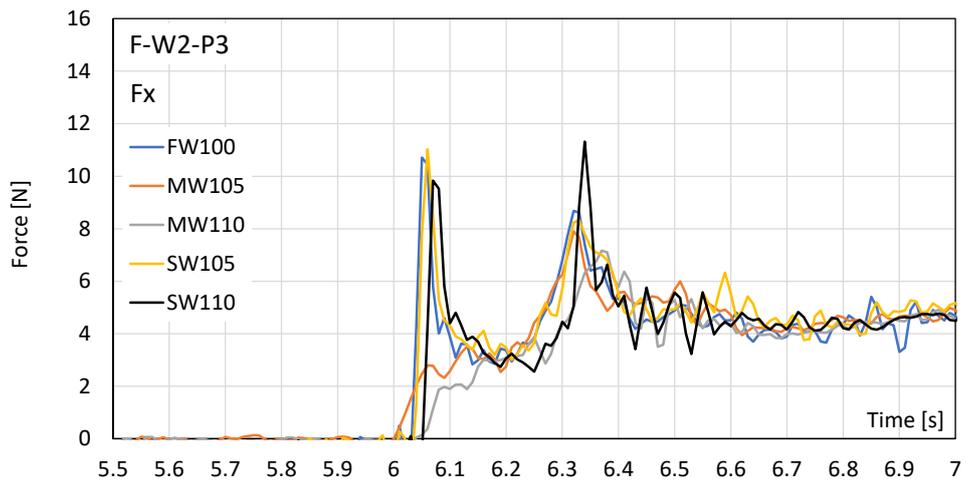
図- 4.133 流体密度による比較 (F-W2-P3 ; 水平床 F, 津波 W2, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

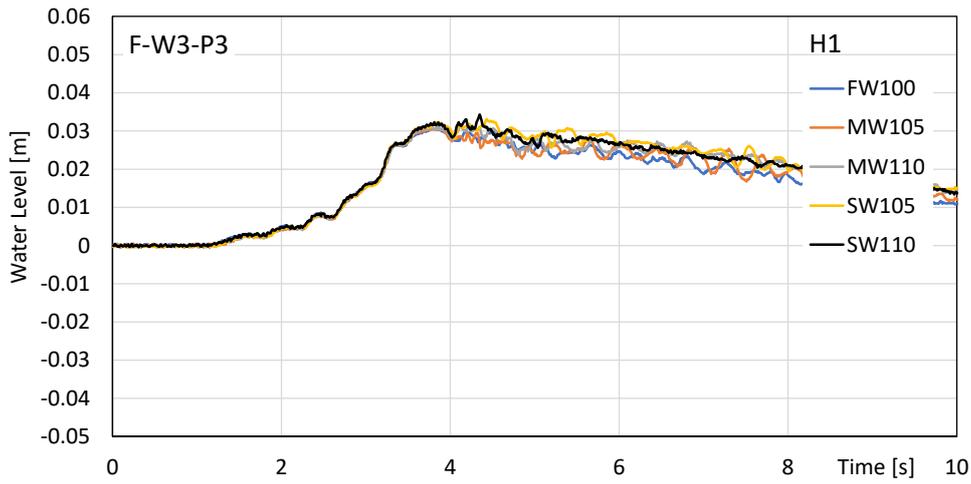


(b) 圧力計による波力 ΣpA

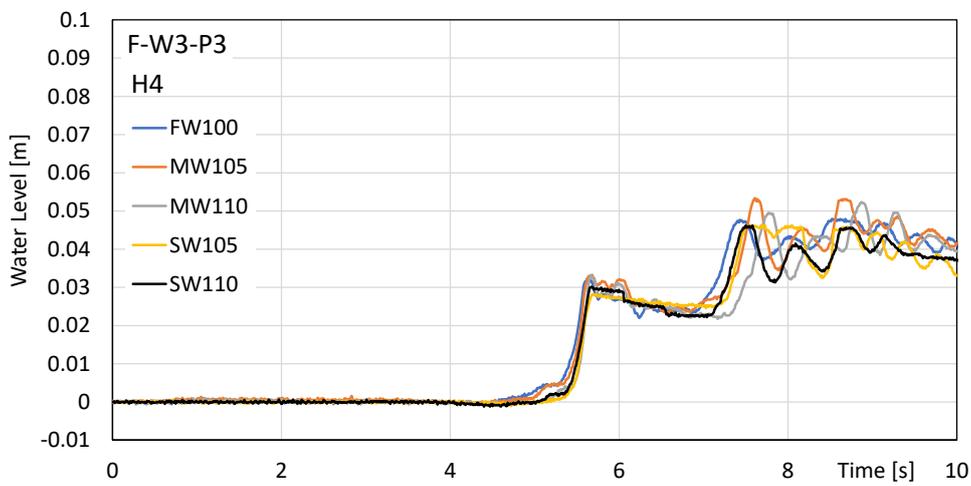


(c) 水中6分力計による波力 F_x

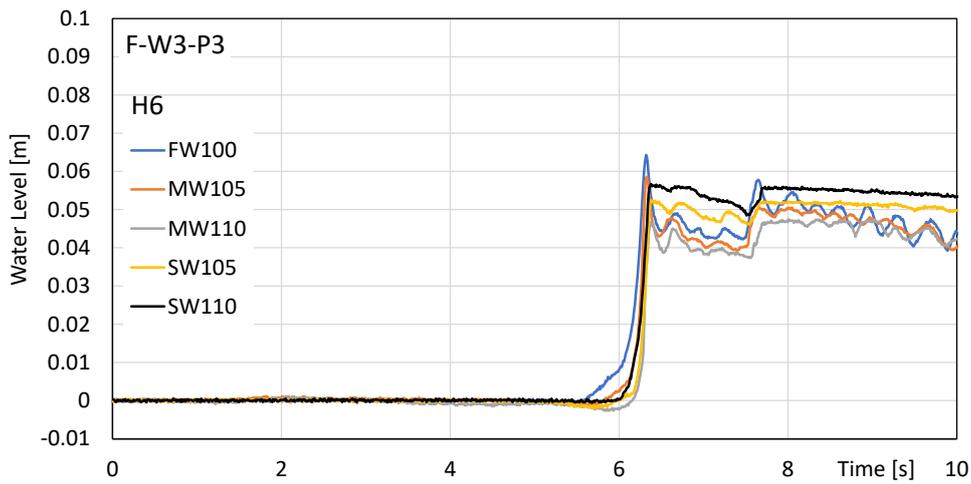
図-4.134 流体密度による比較 (F-W2-P3 ; 水平床 F, 津波 W2, 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

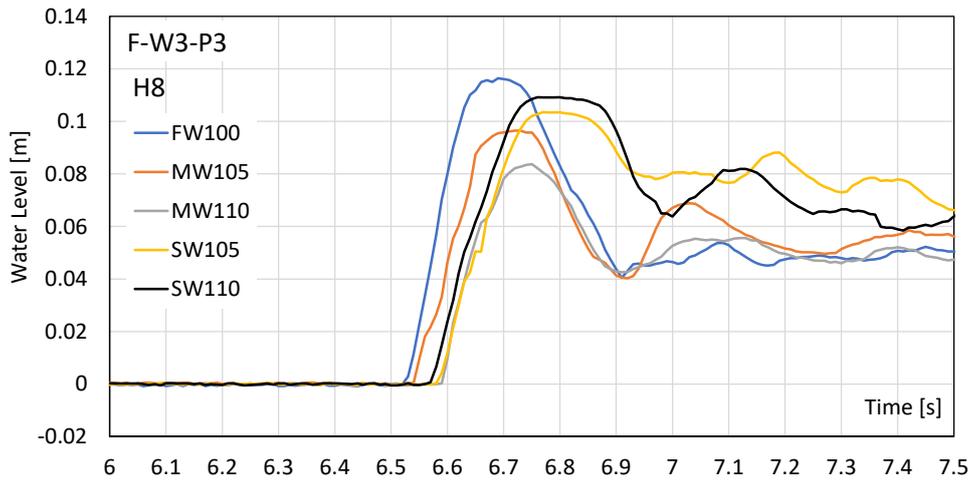


(b) 仕切板通過後水位 H4

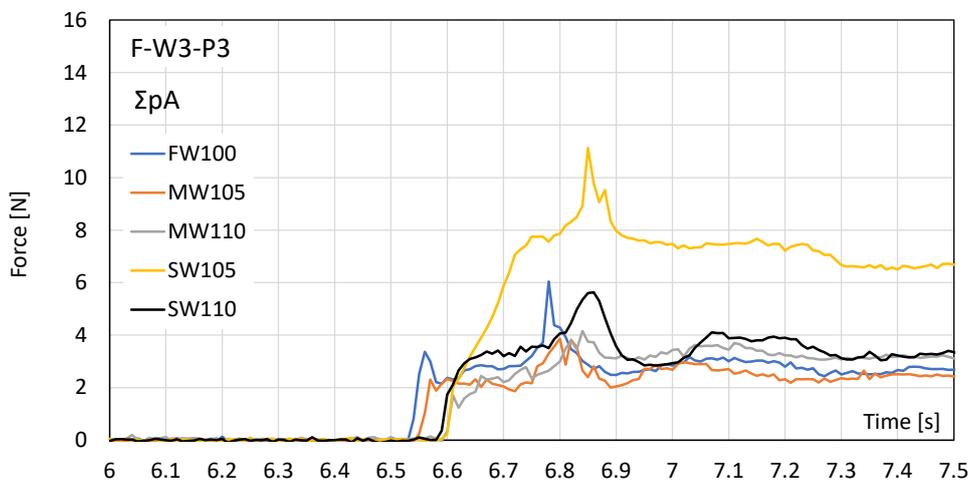


(c) 護岸汀線水位 H6

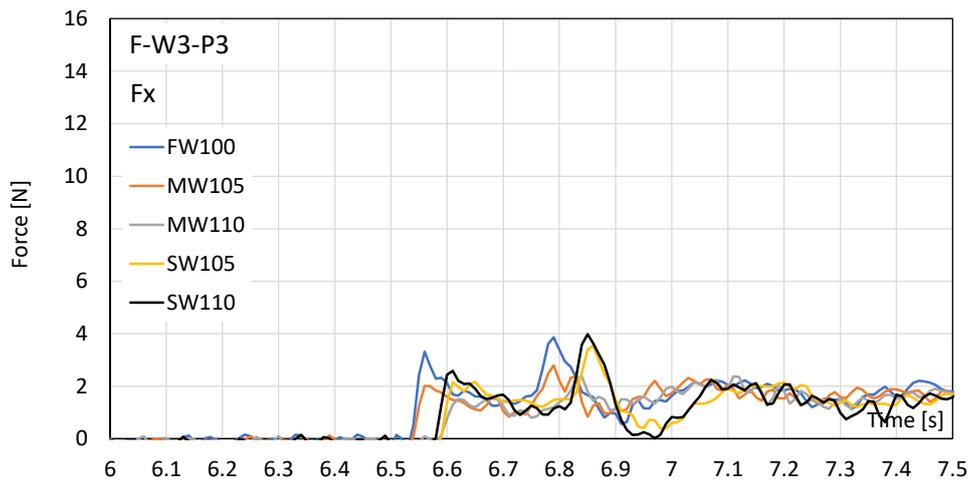
図-4.135 流体密度による比較 (F-W3-P3 ; 水平床 F, 津波 W3, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

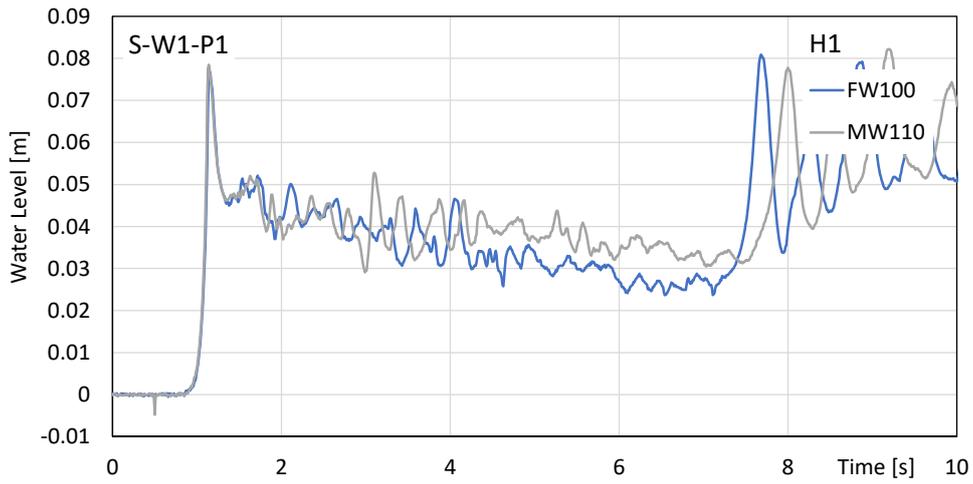


(b) 圧力計による波力 ΣpA

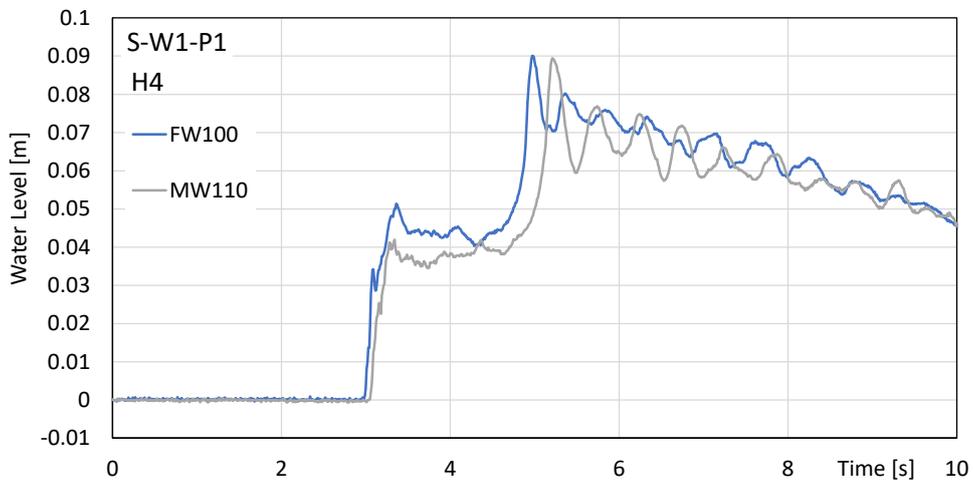


(c) 水中6分力計による波力 F_x

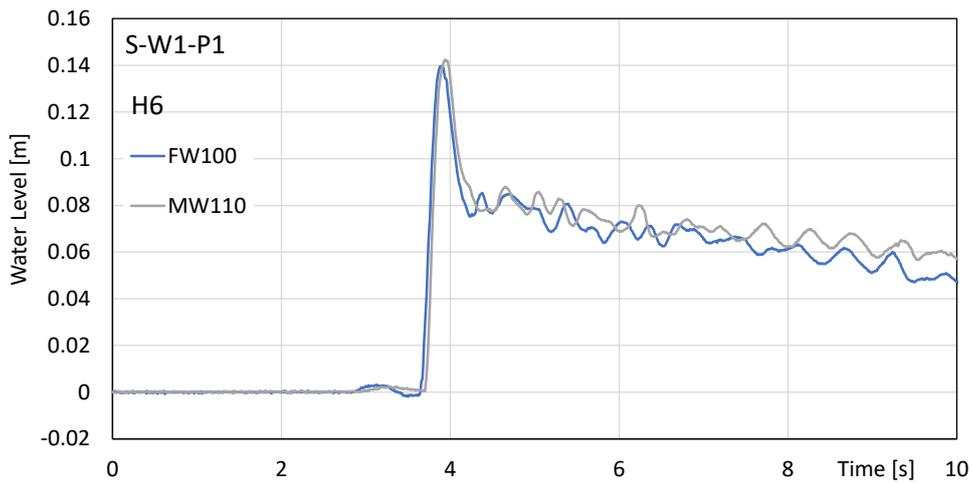
図-4.136 流体密度による比較 (F-W3-P3 ; 水平床 F, 津波 W3, 壁位置 P3) [2]



(a) 沖側水位 H1

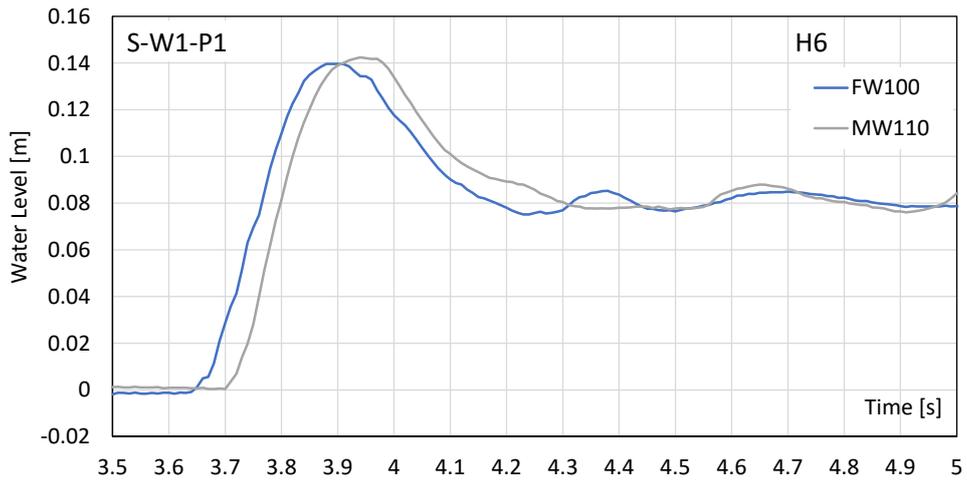


(b) 仕切板通過後水位 H4

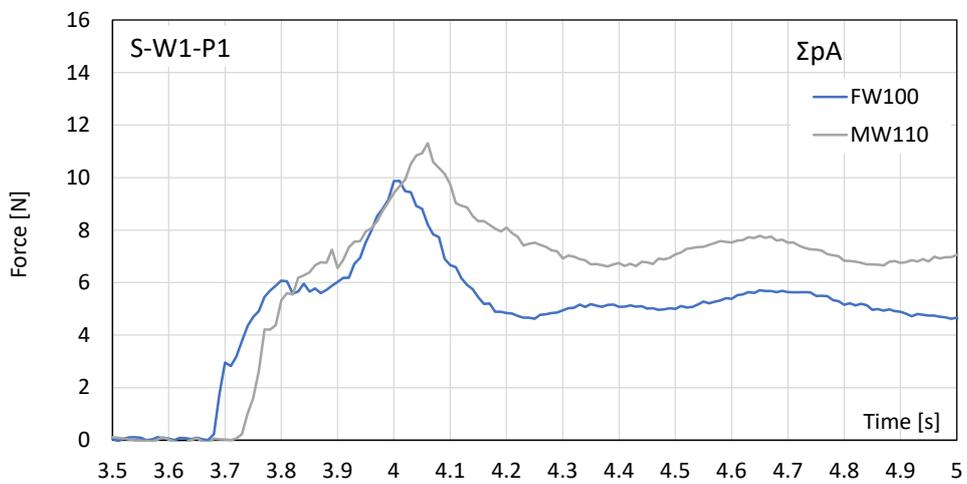


(c) 護岸汀線水位 H6

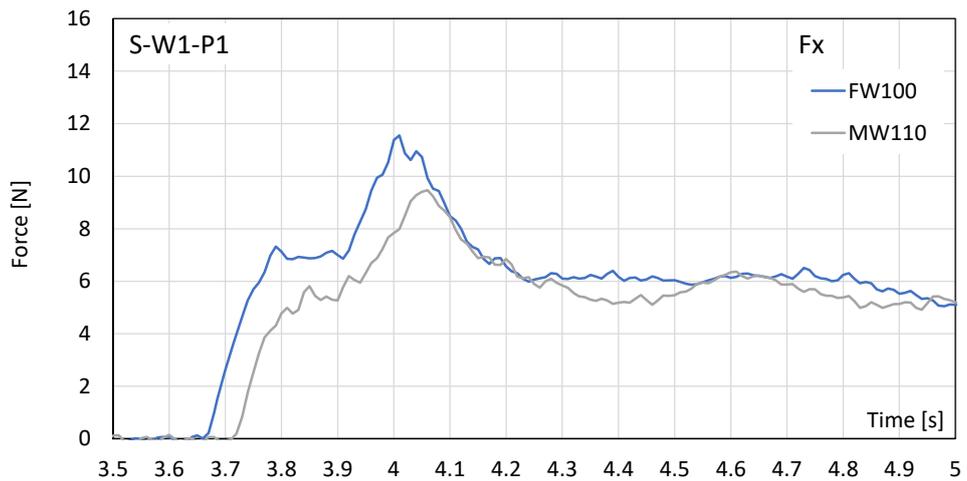
図-4.137 流体密度による比較 (S-W1-P1 ; 単純勾配 S, 津波 W1, 壁位置 P1) [1]



(a) 壁模型前面水位 H6

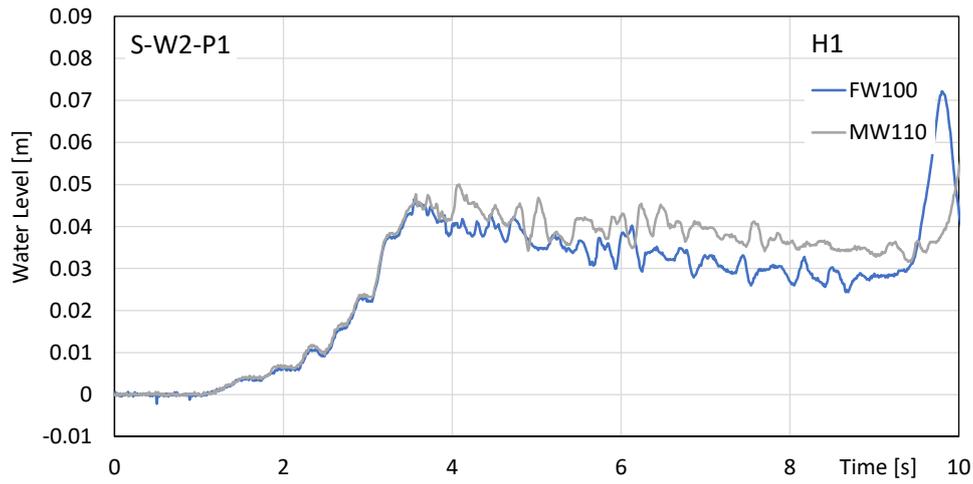


(b) 圧力計による波力 ΣpA

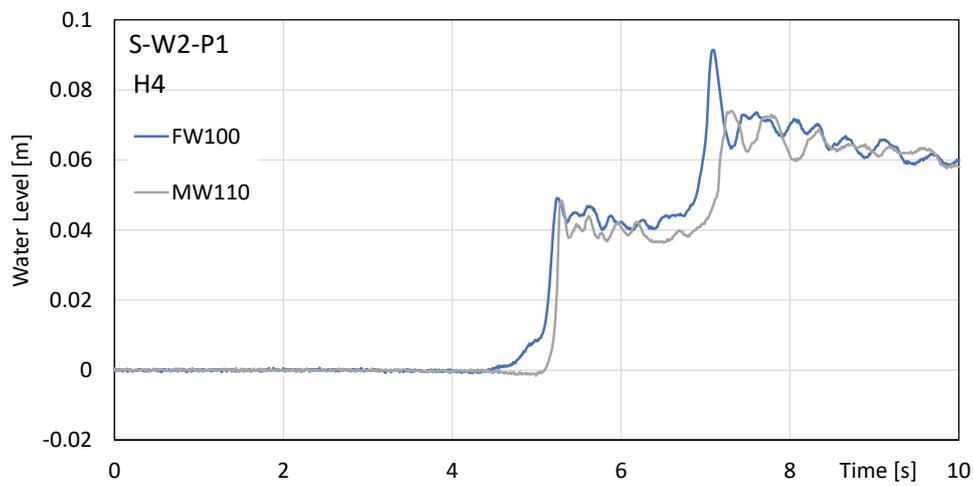


(c) 水中6分力計による波力 F_x

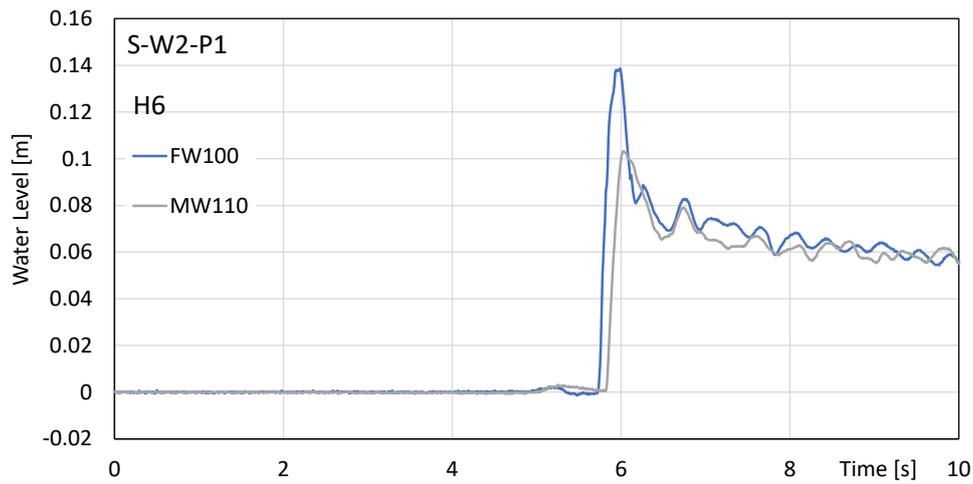
図-4.138 流体密度による比較 (S-W1-P1 ; 単純勾配 S, 津波 W1, 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

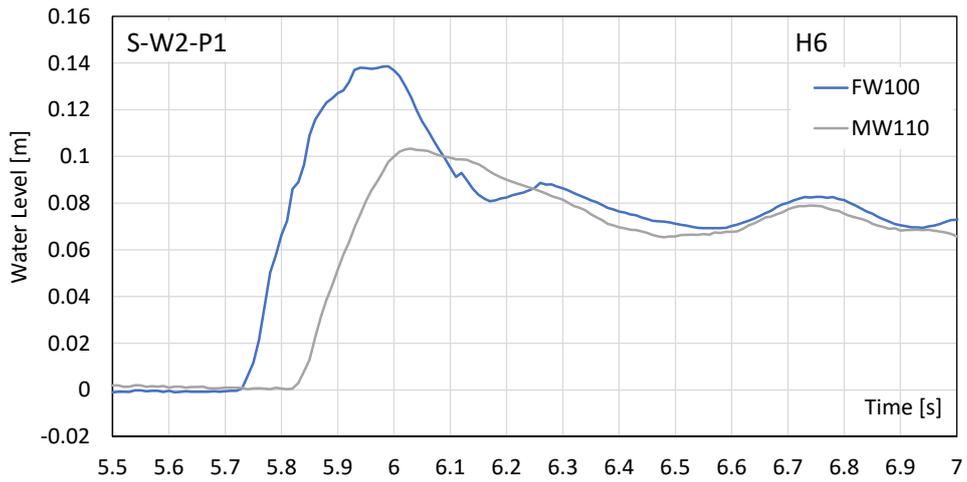


(b) 仕切板通過後水位 H4

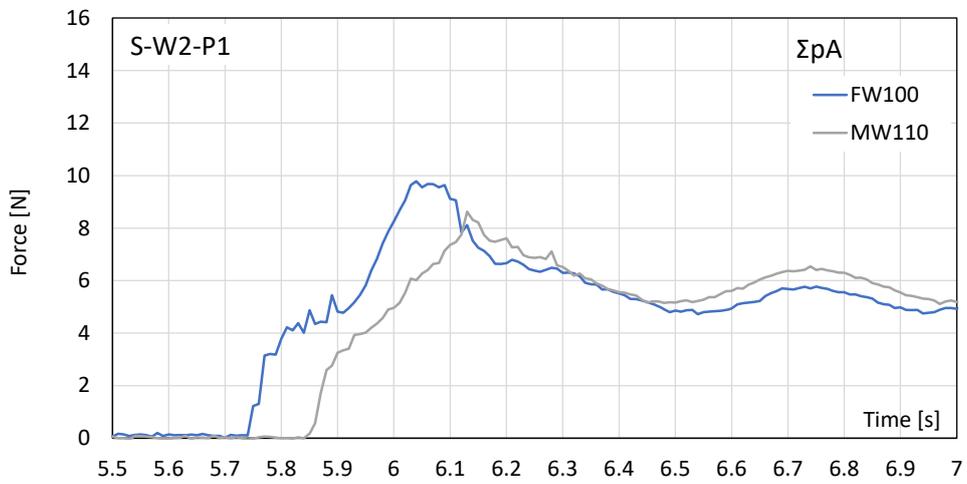


(c) 護岸汀線水位 H6

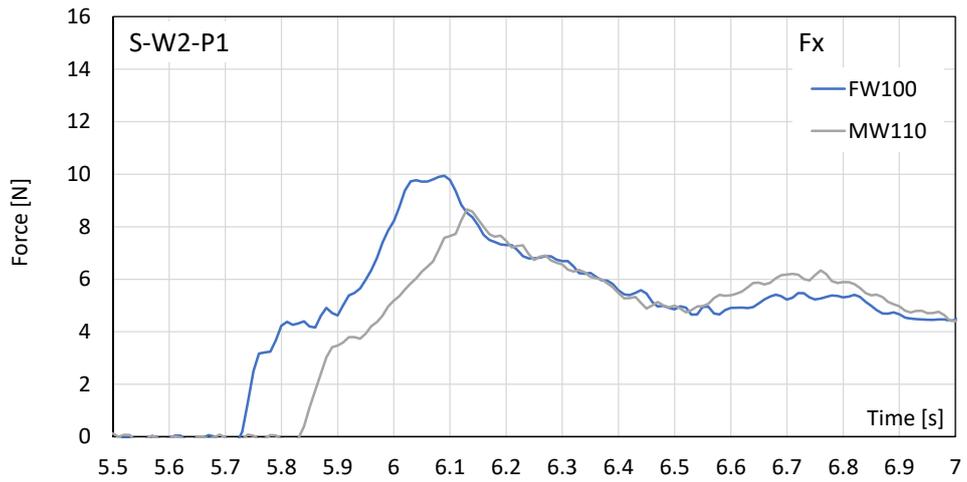
図-4.139 流体密度による比較 (S-W2-P1 ; 単純勾配 S, 津波 W2, 壁位置 P1) [1]



(a) 壁模型前面水位 H6

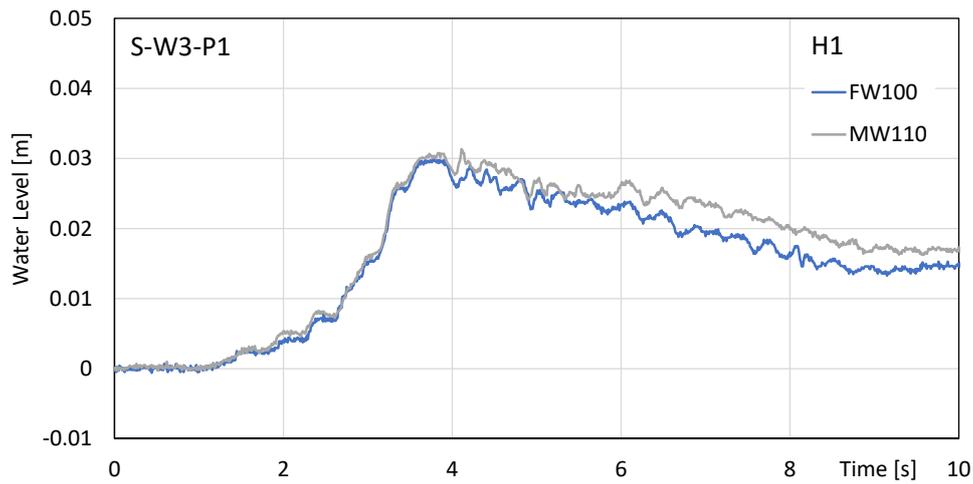


(b) 圧力計による波力 ΣpA

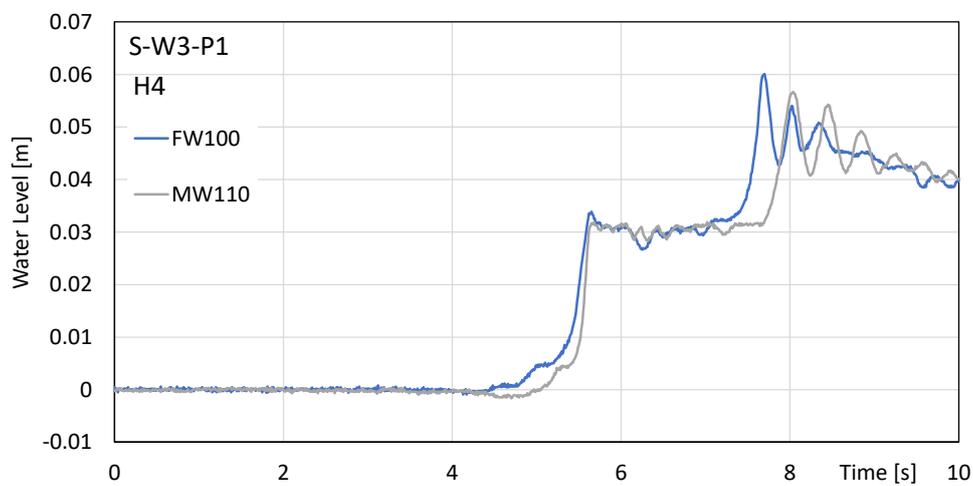


(c) 水中6分力計による波力 F_x

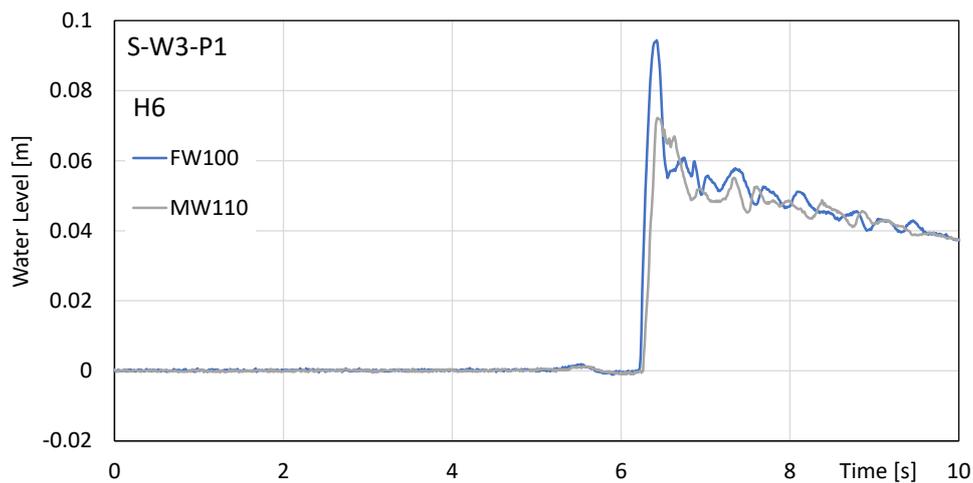
図-4.140 流体密度による比較 (S-W2-P1 ; 単純勾配 S, 津波 W2, 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

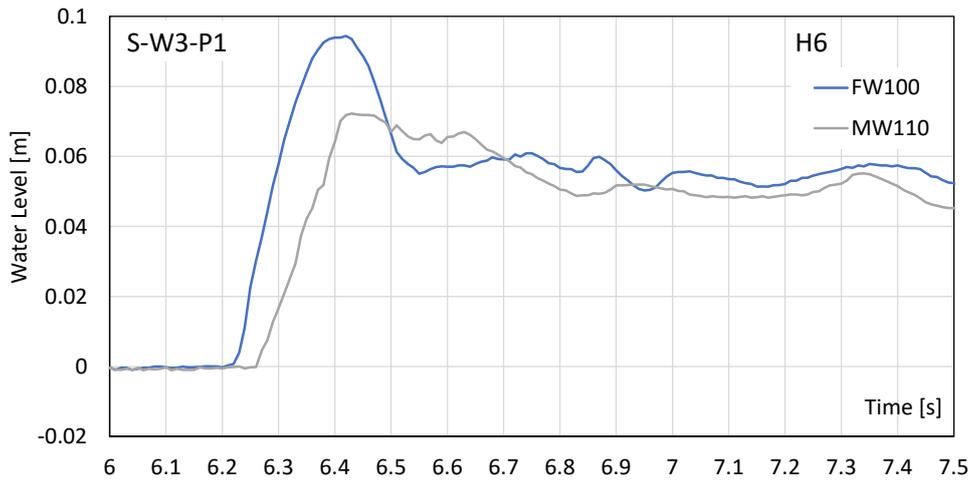


(b) 仕切板通過後水位 H4

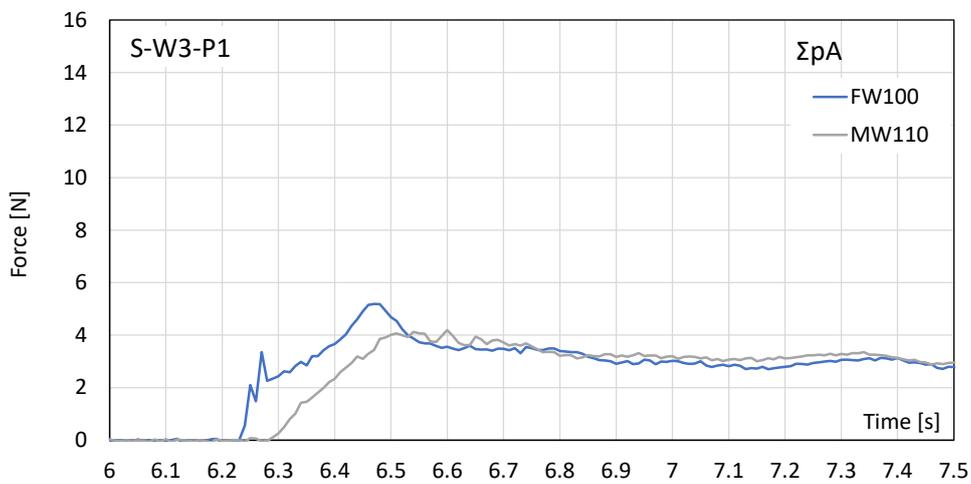


(c) 護岸汀線水位 H6

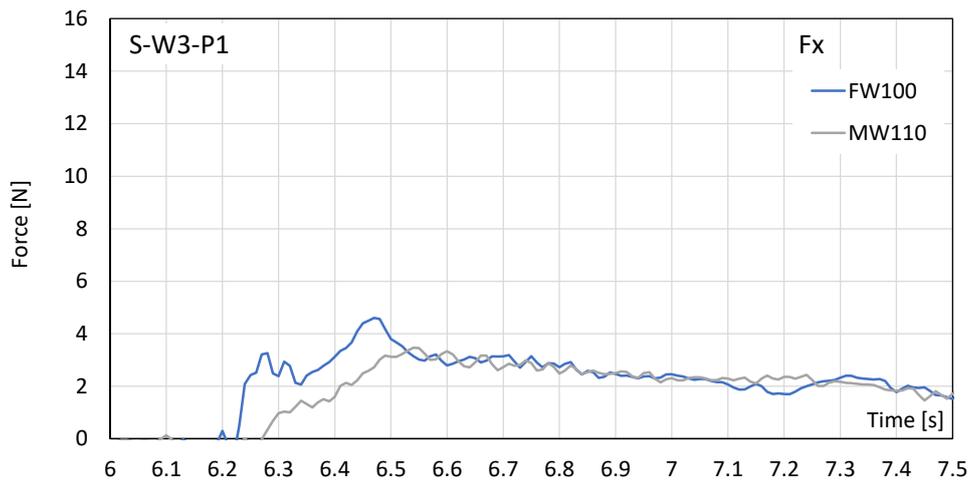
図-4.141 流体密度による比較 (S-W3-P1 ; 単純勾配 S, 津波 W3, 壁位置 P1) [1]



(a) 壁模型前面水位 H6

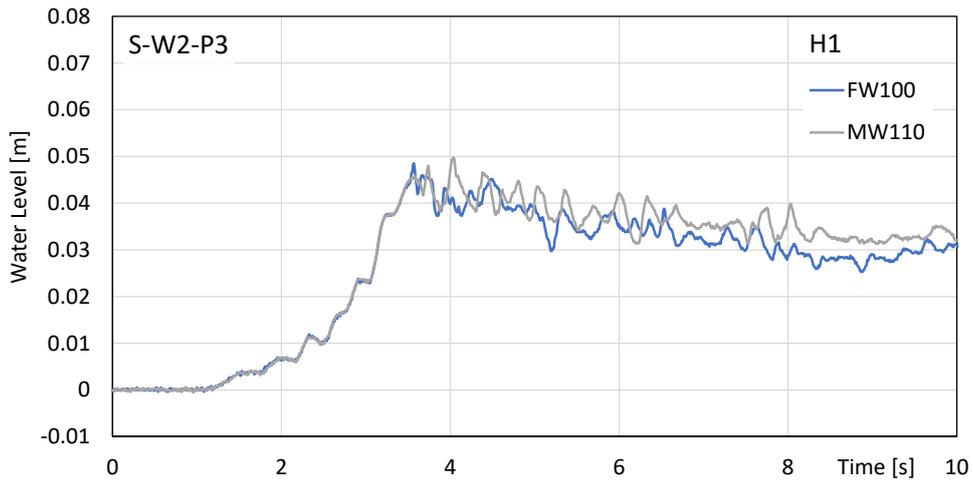


(b) 圧力計による波力 ΣpA

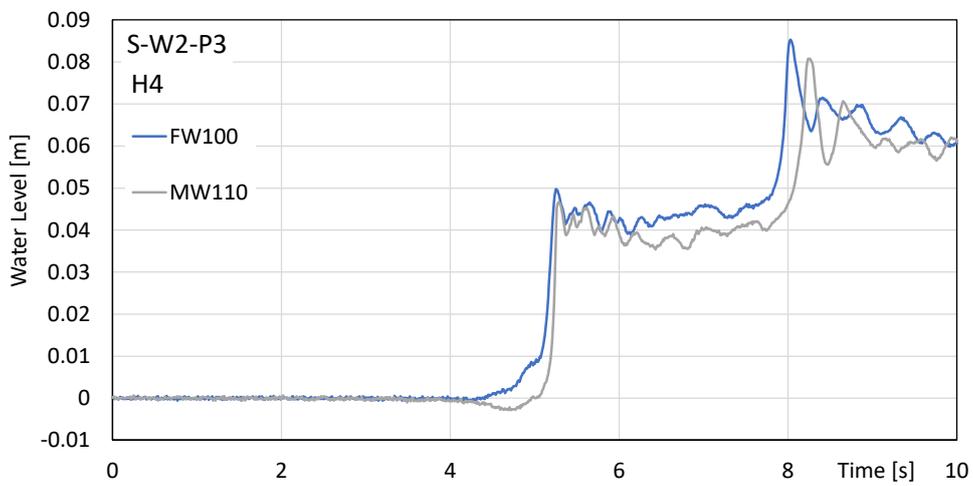


(c) 水中6分力計による波力 F_x

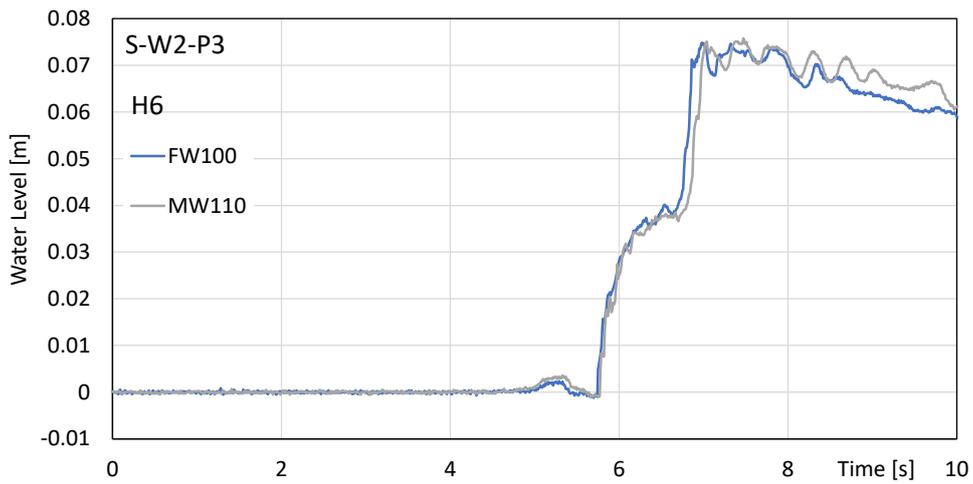
図-4.142 流体密度による比較 (S-W3-P1 ; 単純勾配 S, 津波 W3, 壁位置 P1) [2]



(a) 沖側水位 H1

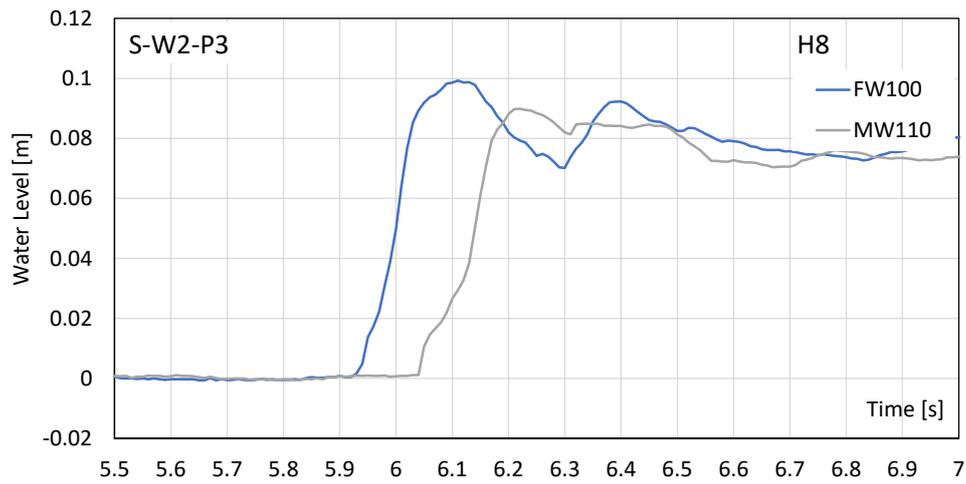


(b) 仕切板通過後水位 H4

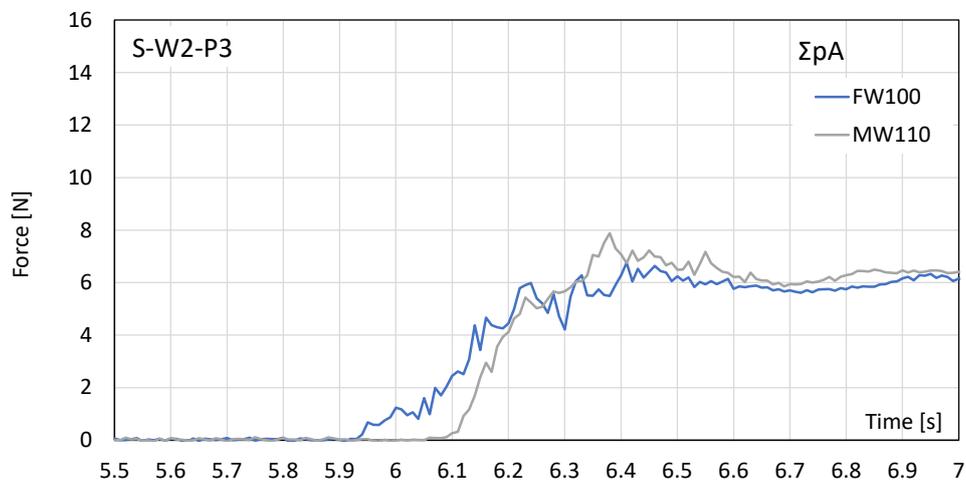


(c) 護岸汀線水位 H6

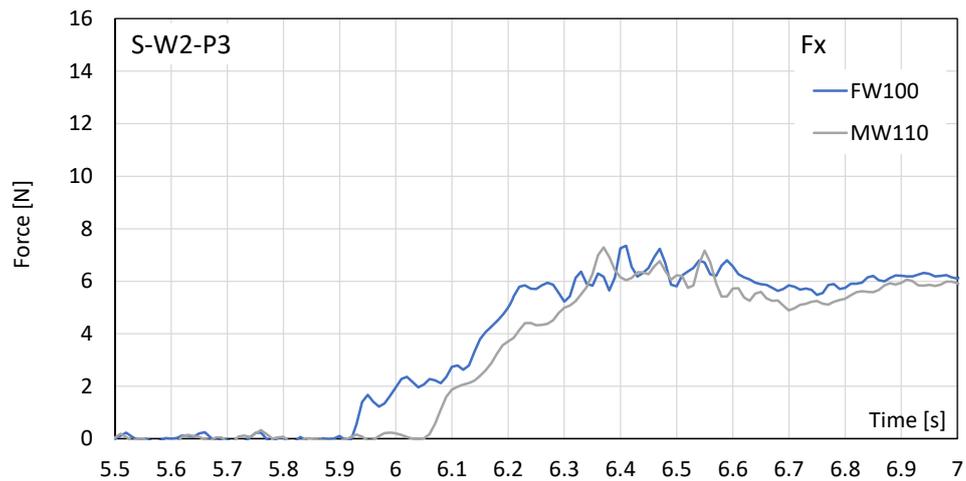
図-4.143 流体密度による比較 (S-W2-P3 ; 単純勾配 S, 津波 W2, 壁位置 P3) [1]



(a) 壁模型前面水位 H8

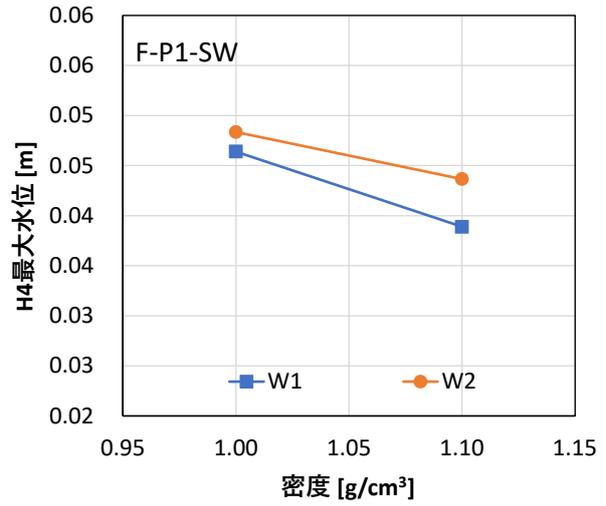
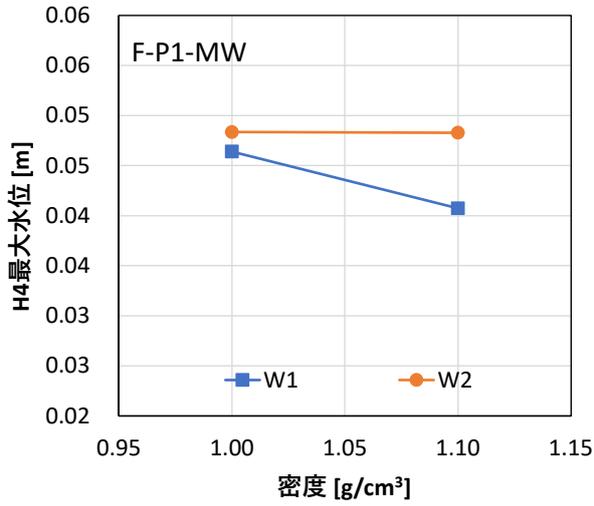


(b) 圧力計による波力 ΣpA

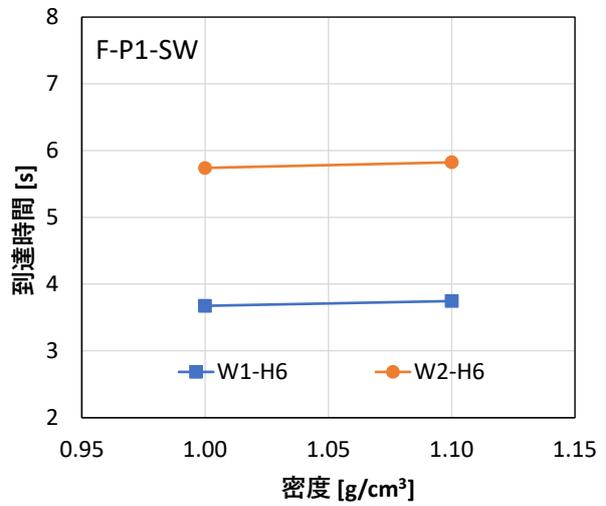
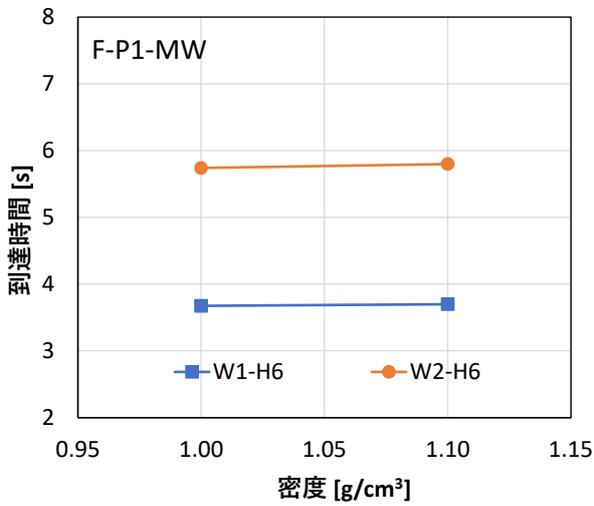


(c) 水中6分力計による波力 F_x

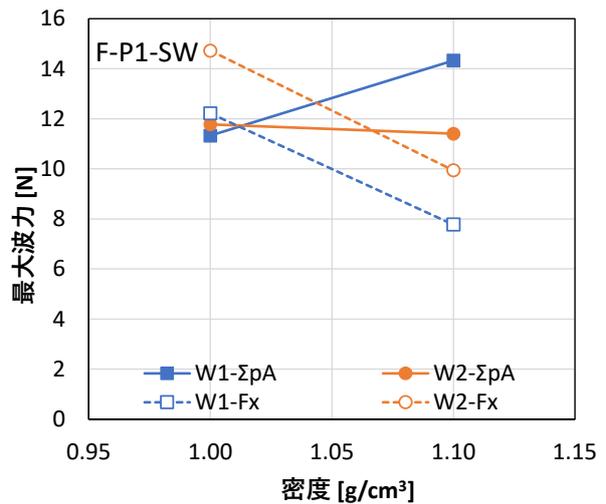
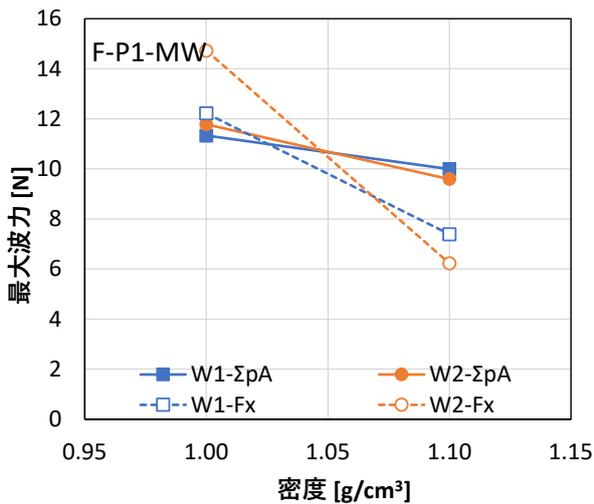
図-4.144 流体密度による比較 (S-W2-P3 ; 単純勾配 S, 津波 W2, 壁位置 P3) [2]



(a) H4 における最大水位 [左:濁水, 右:塩水]

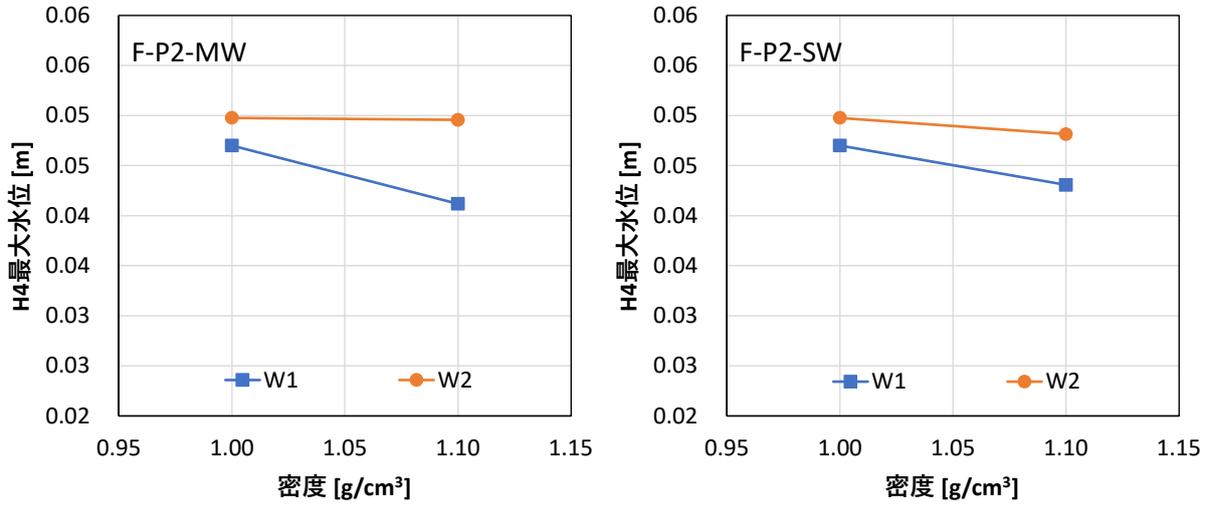


(b) H6, H7 における津波の到達時間 [左:濁水, 右:塩水]

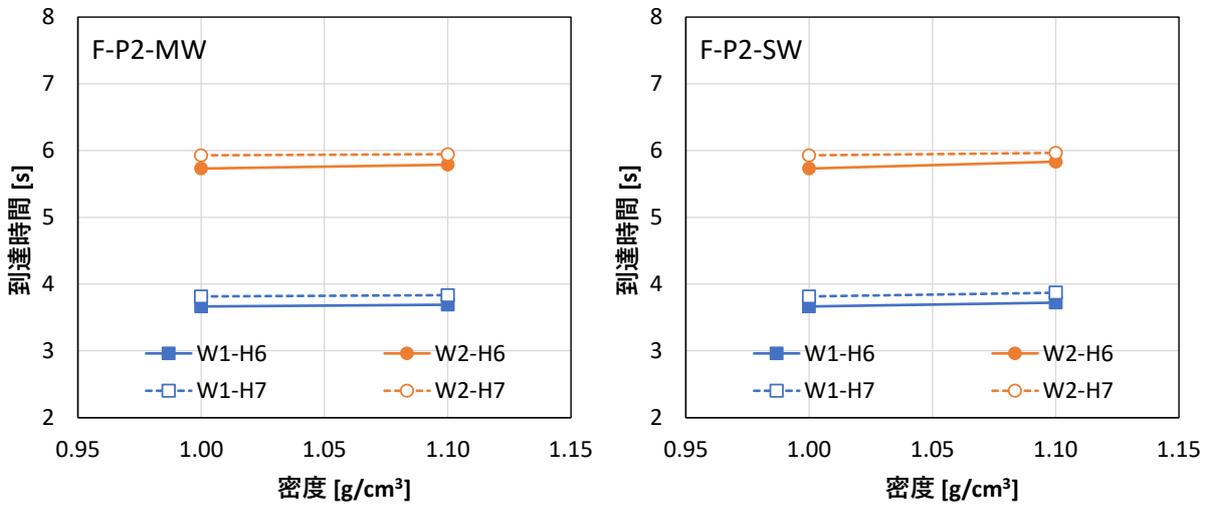


(c) 圧力計 ΣpA , 水中 6 分力計 F_x による最大波力 [左:濁水, 右:塩水]

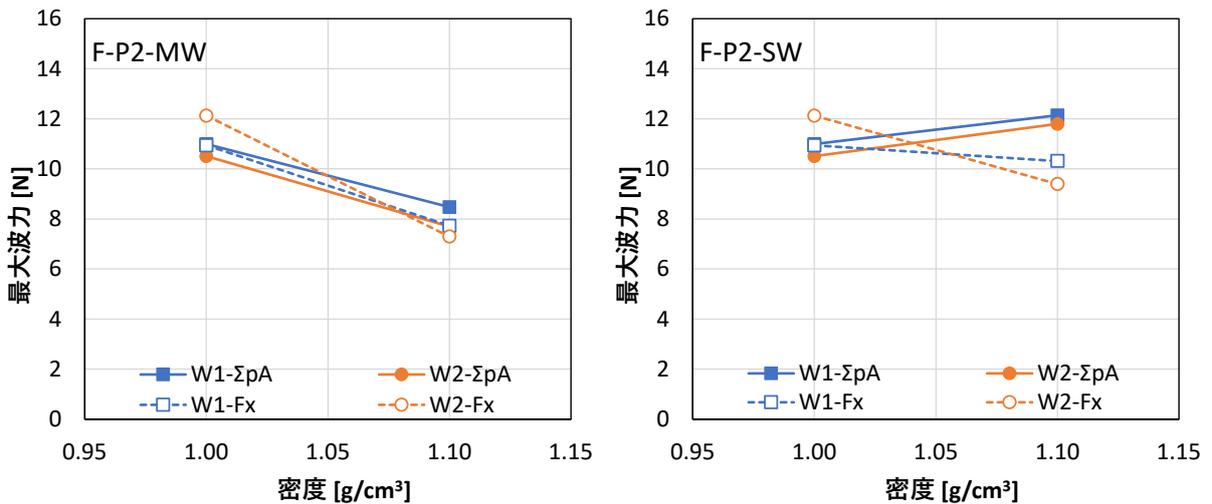
図- 4.145 流体密度による結果の比較 (F-P1 ; 水平床 F, 壁位置 P1)



(a) H4 における最大水位 [左:濁水, 右:塩水]

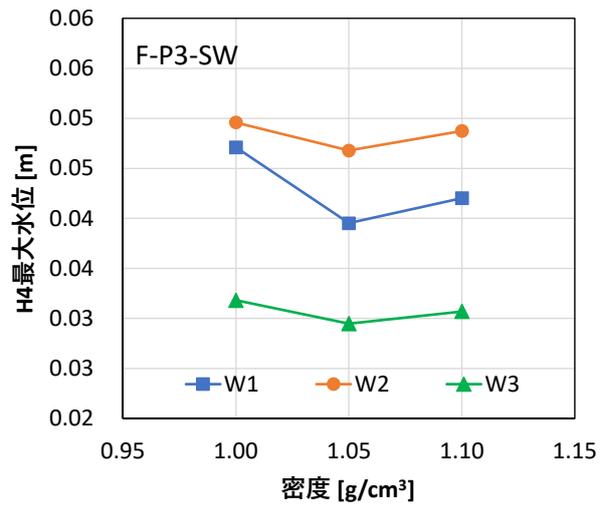
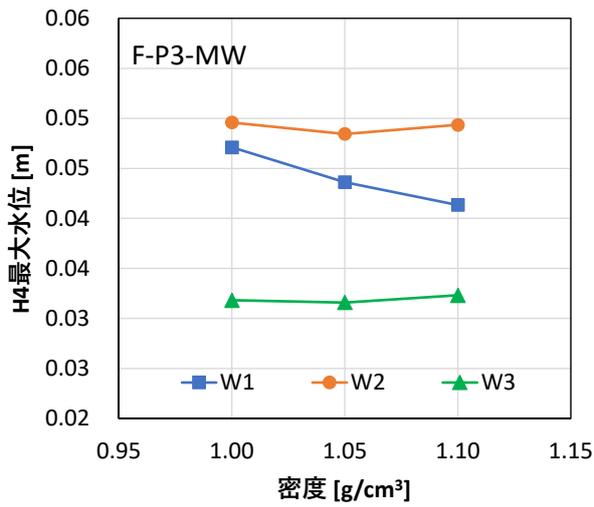


(b) H6, H7 における津波の到達時間 [左:濁水, 右:塩水]

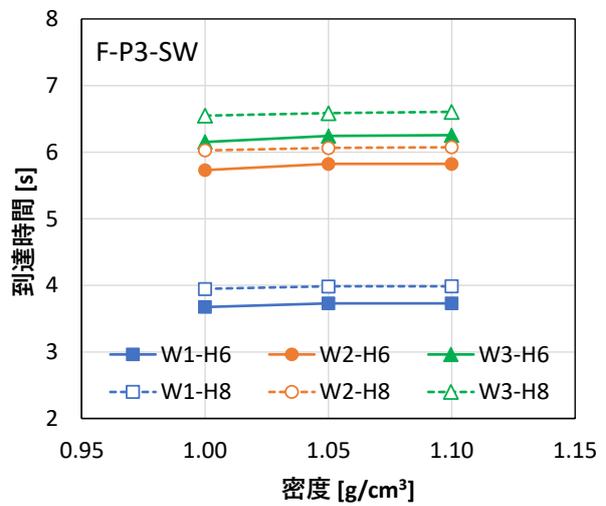
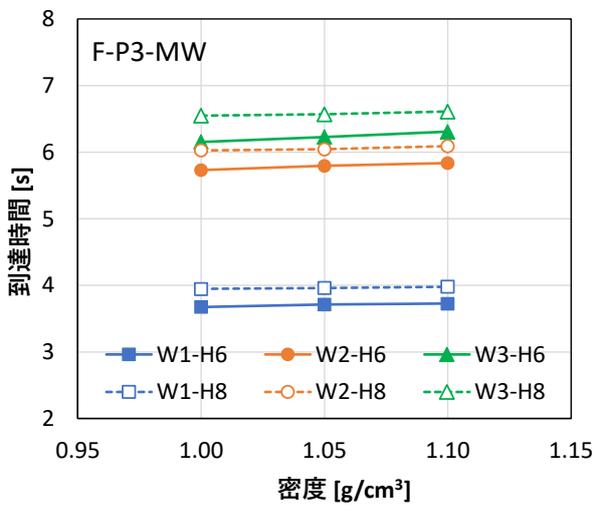


(c) 圧力計 ΣpA, 水中 6 分力計 Fx による最大波力 [左:濁水, 右:塩水]

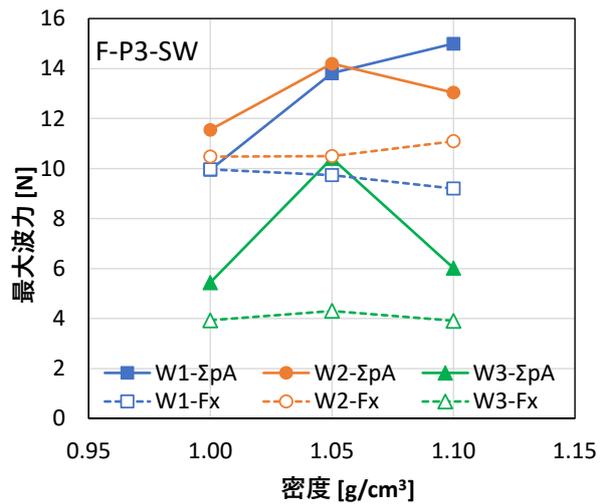
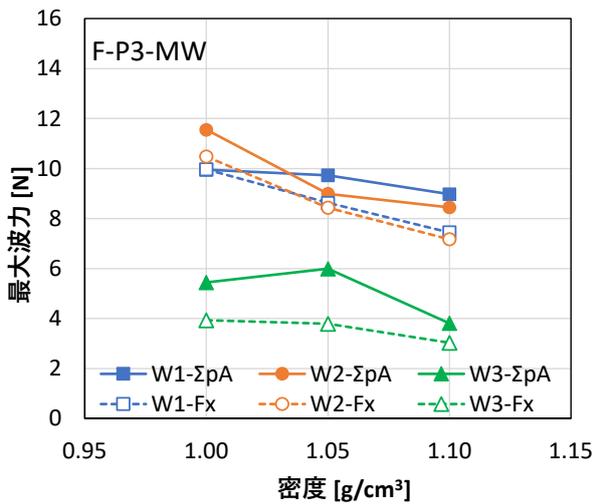
図- 4.146 流体密度による結果の比較 (F-P2 ; 水平床 F, 壁位置 P2)



(a) H4 における最大水位 [左:濁水, 右:塩水]

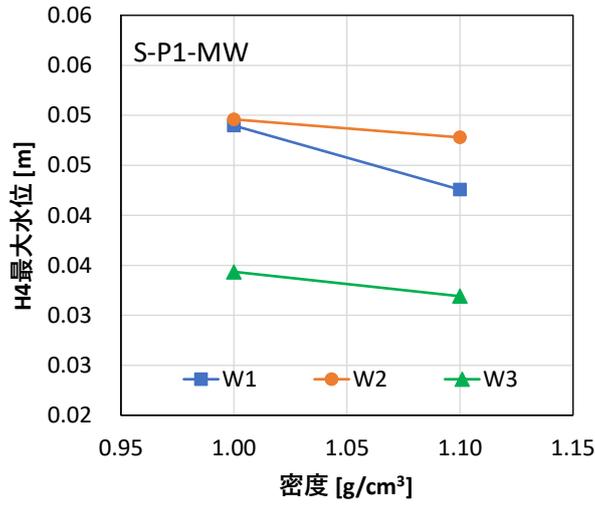


(b) H6, H7 における津波の到達時間 [左:濁水, 右:塩水]

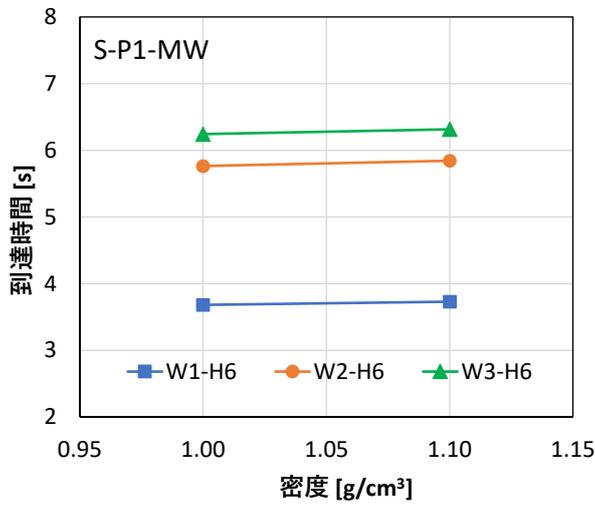


(c) 圧力計 Σp_A , 水中 6 分力計 F_x による最大波力 [左:濁水, 右:塩水]

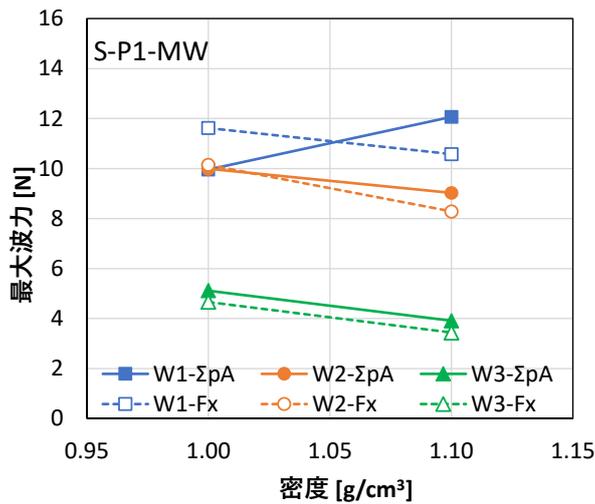
図-4.147 流体密度による結果の比較 (F-P3 ; 水平床 F, 壁位置 P3)



(a) H4 における最大水位 [濁水]

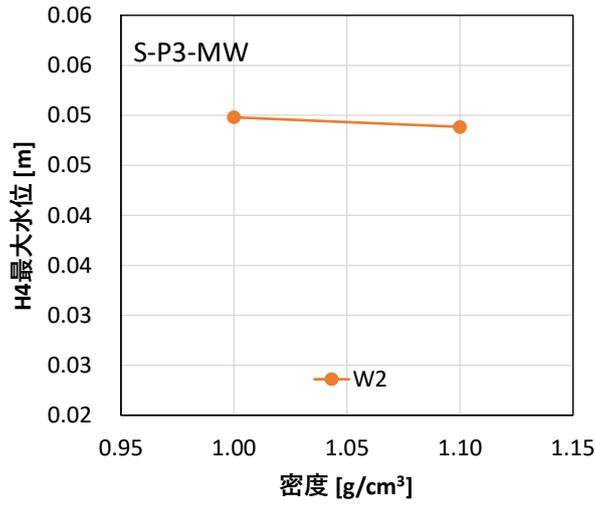


(b) H6, H7 における津波の到達時間 [濁水]

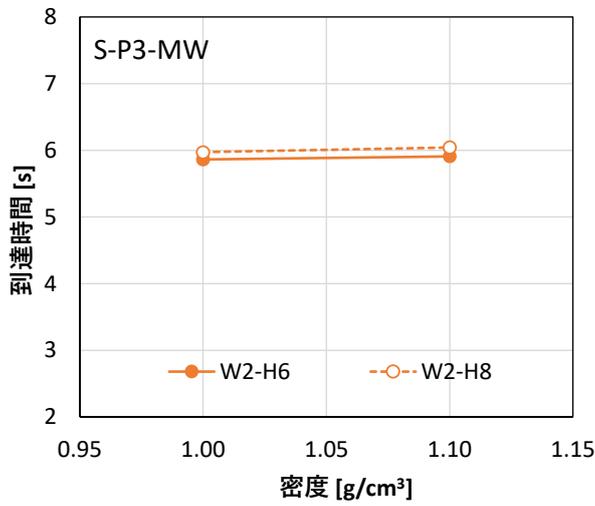


(c) 圧力計 Σp_A , 水中 6 分力計 F_x による最大波力 [濁水]

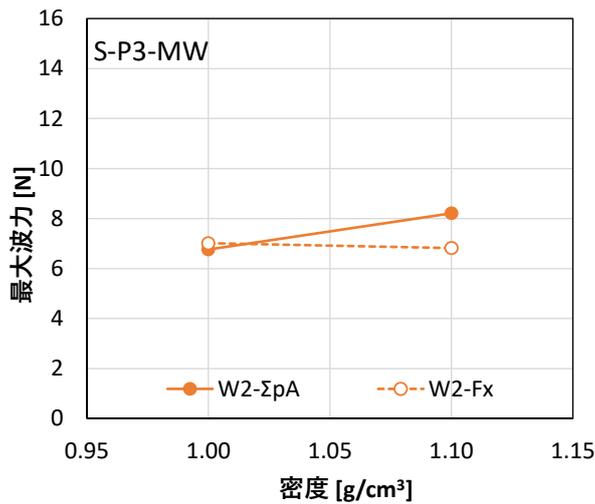
図- 4.148 流体密度による結果の比較 (S-P1 ; 単純勾配 S, 壁位置 P1)



(a) H4 における最大水位 [濁水]

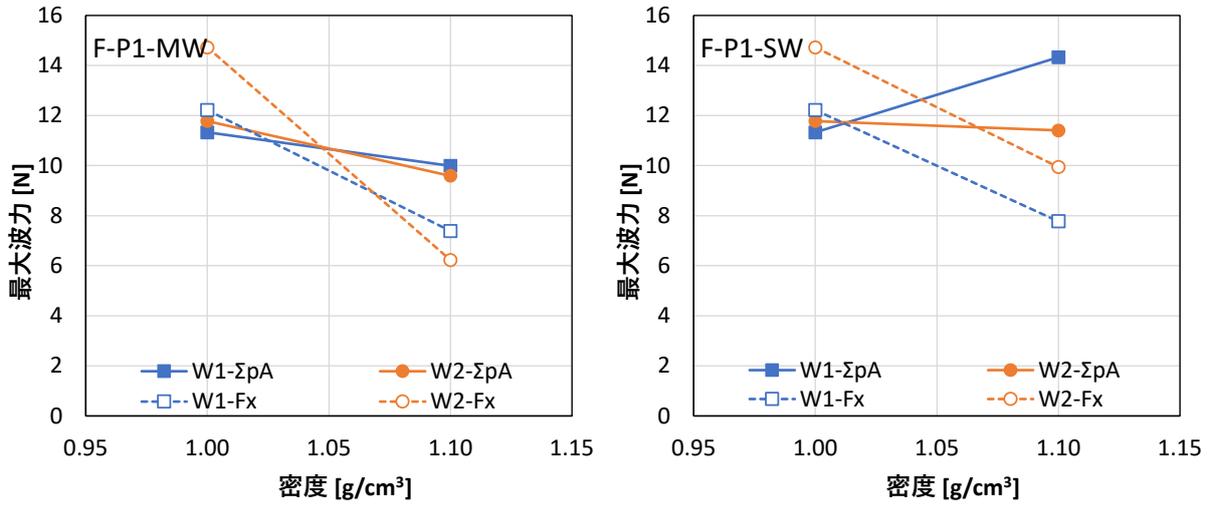


(b) H6, H7 における津波の到達時間 [濁水]

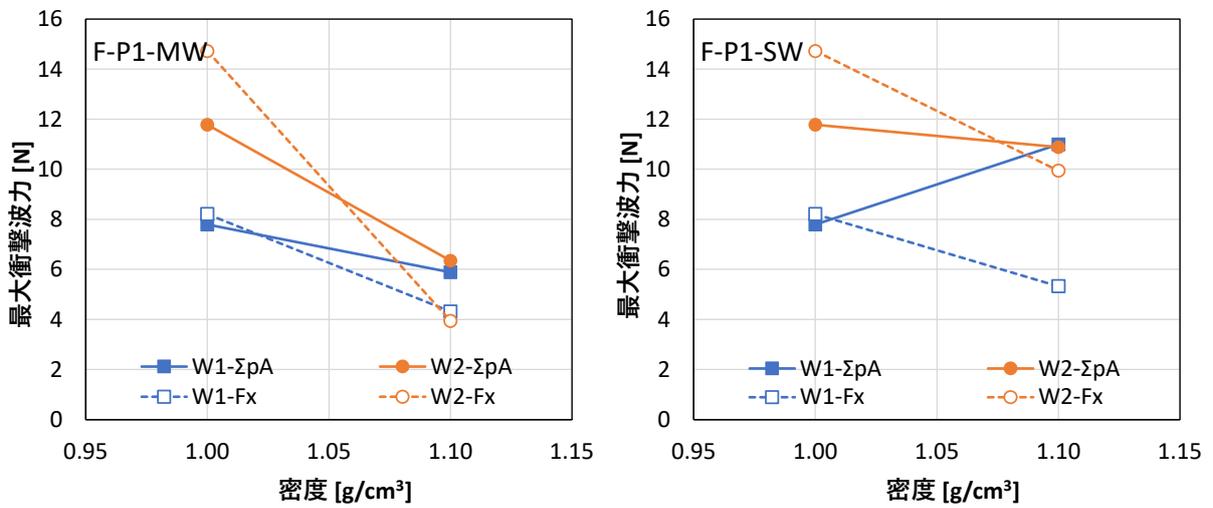


(c) 圧力計 ΣpA , 水中 6 分力計 F_x による最大波力 [濁水]

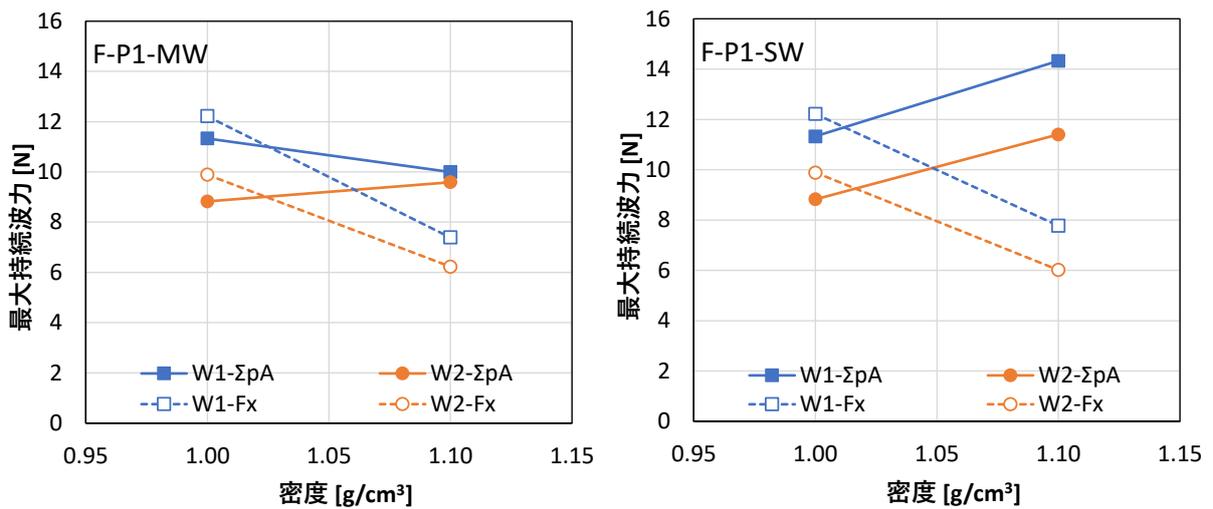
図- 4.149 流体密度による結果の比較 (S-P3 ; 単純勾配 S, 壁位置 P3)



(a) 全時間の最大波力 [左:濁水, 右:塩水] ※再掲

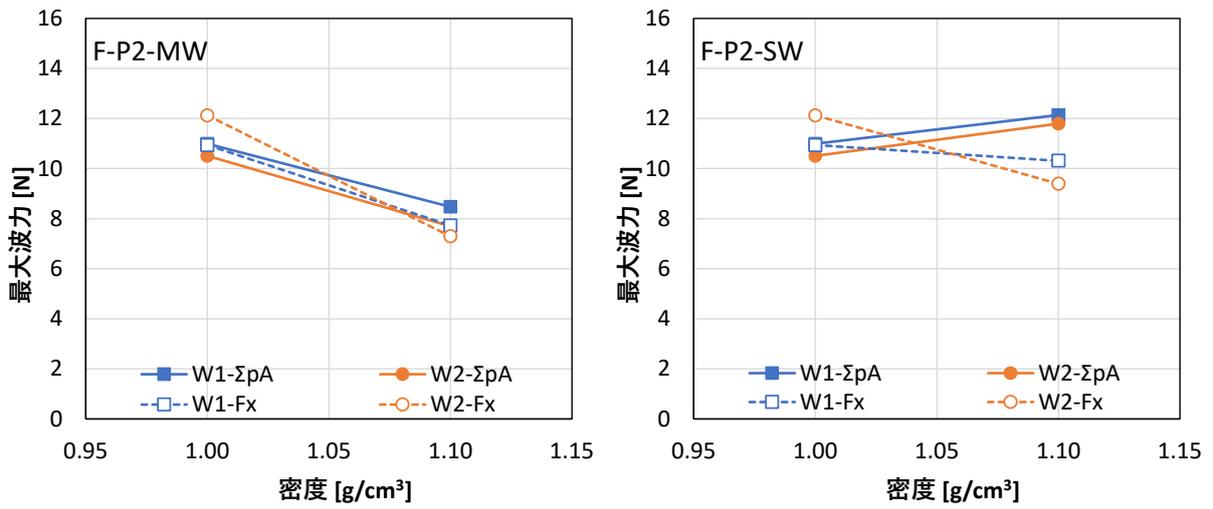


(b) 最大衝撃波力 [左:濁水, 右:塩水]

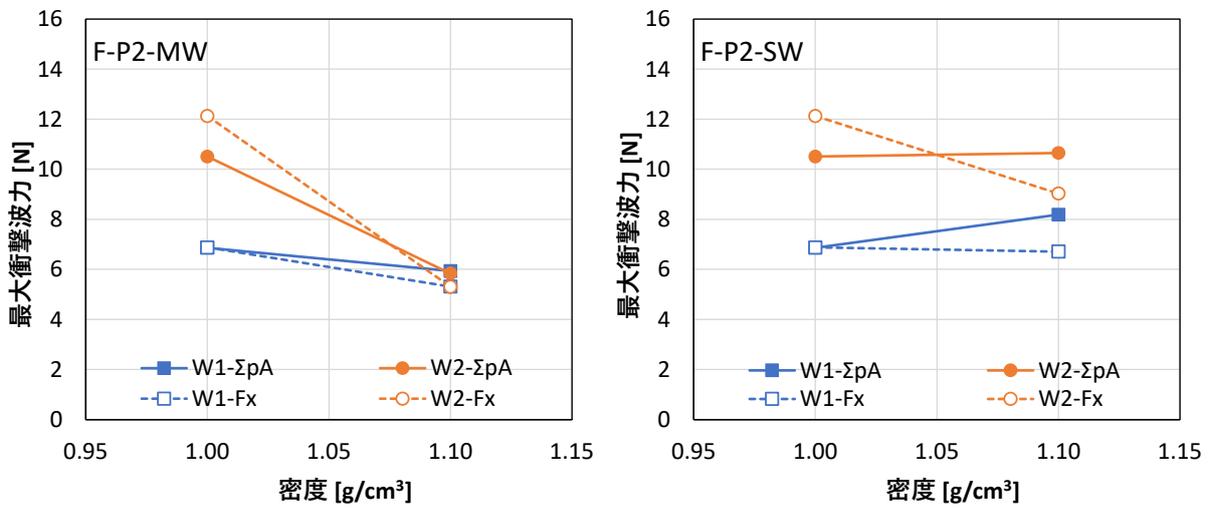


(c) 最大持続波力 [左:濁水, 右:塩水]

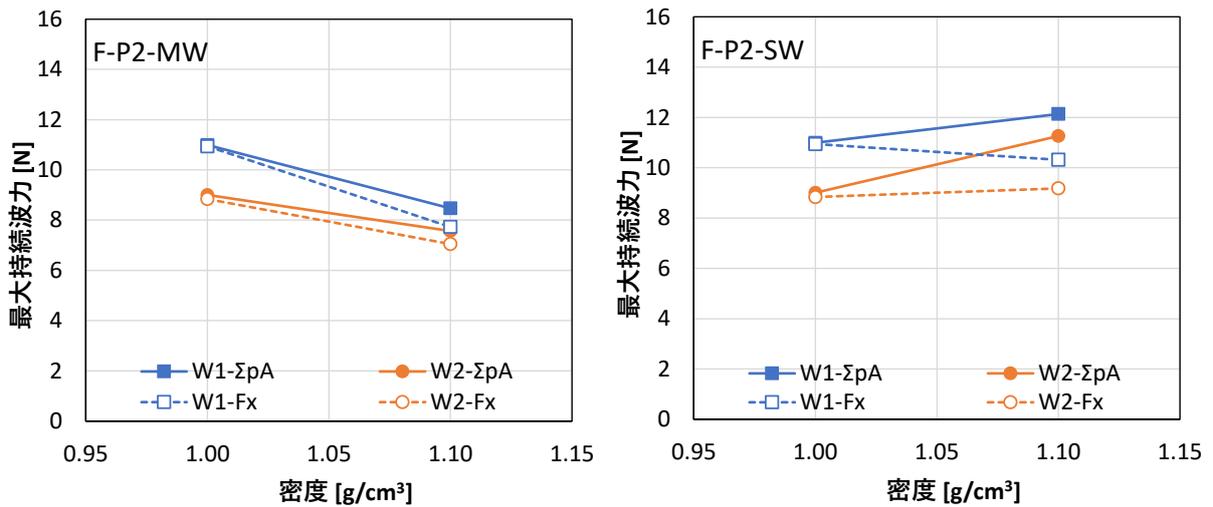
図- 4.150 流体密度による最大波力の比較 (F-P1 ; 水平床 F, 壁位置 P1)



(a) 全時間の最大波力 [左:濁水, 右:塩水] ※再掲

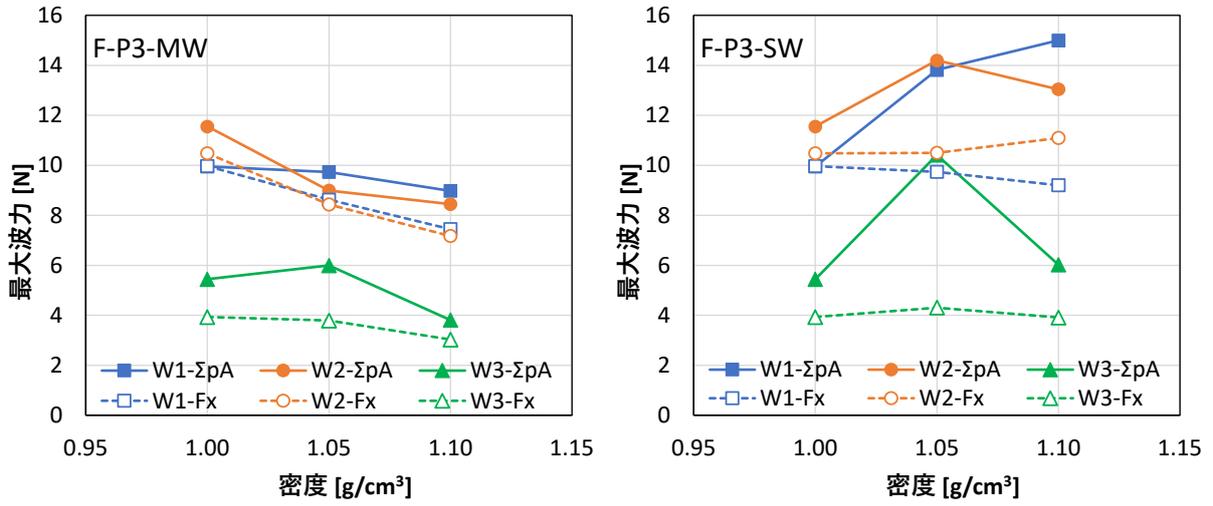


(b) 最大衝撃波力 [左:濁水, 右:塩水]

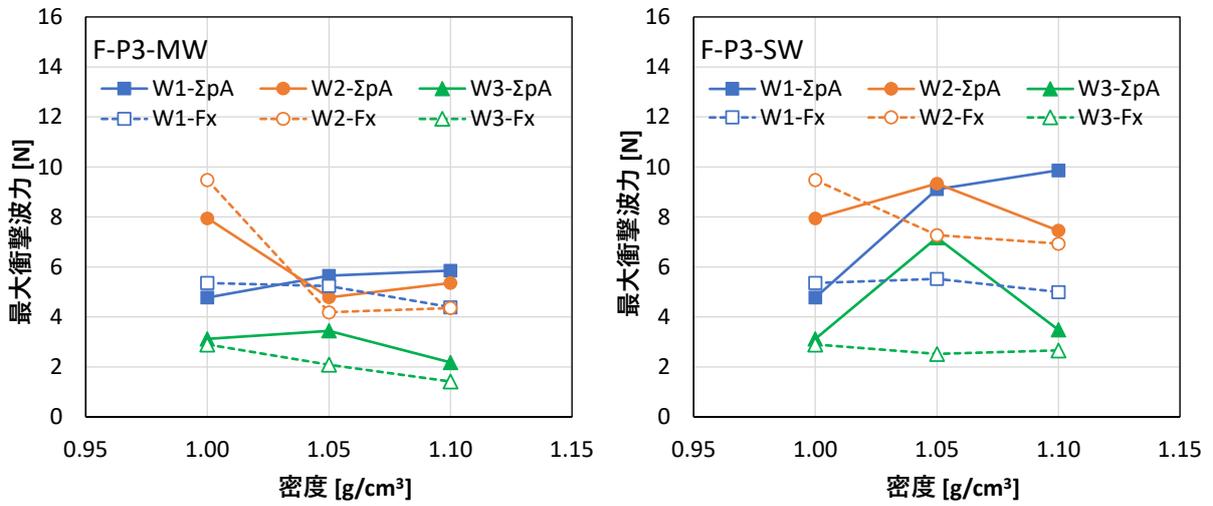


(c) 最大持続波力 [左:濁水, 右:塩水]

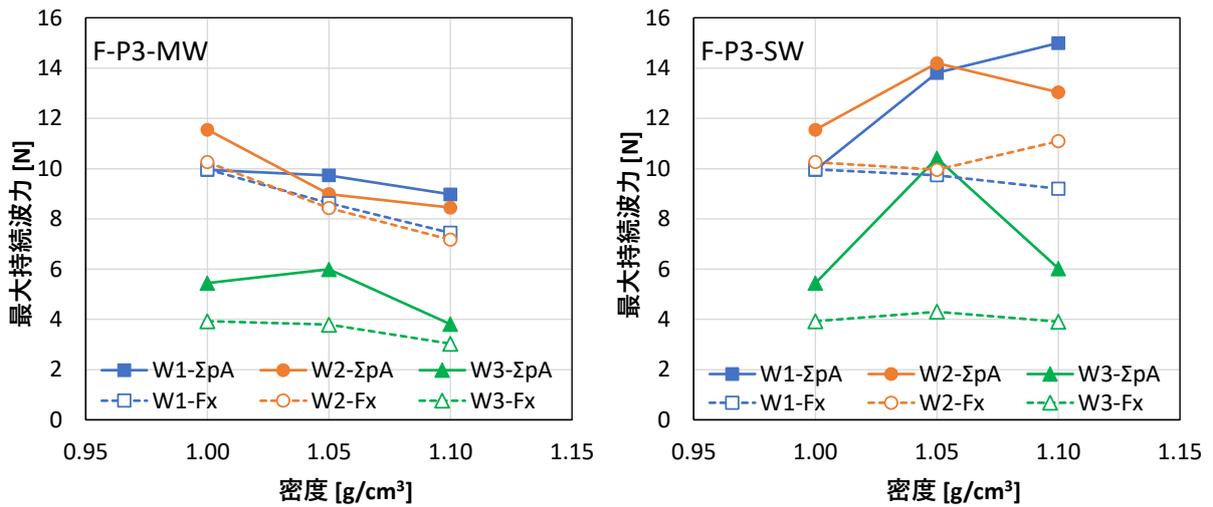
図- 4.151 流体密度による最大波力の比較 (F-P2 ; 水平床 F, 壁位置 P2)



(a) 全時間の最大波力 [左:濁水, 右:塩水] ※再掲

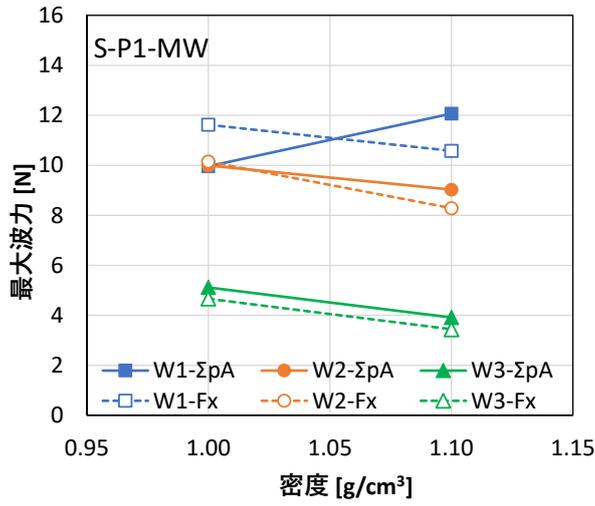


(b) 最大衝撃波力 [左:濁水, 右:塩水]

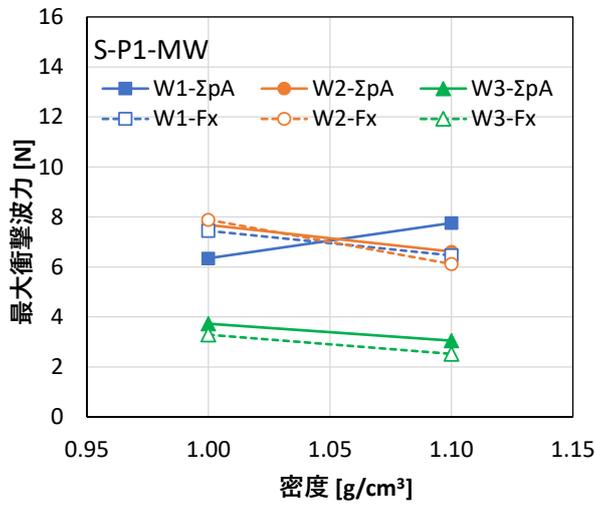


(c) 最大持続波力 [左:濁水, 右:塩水]

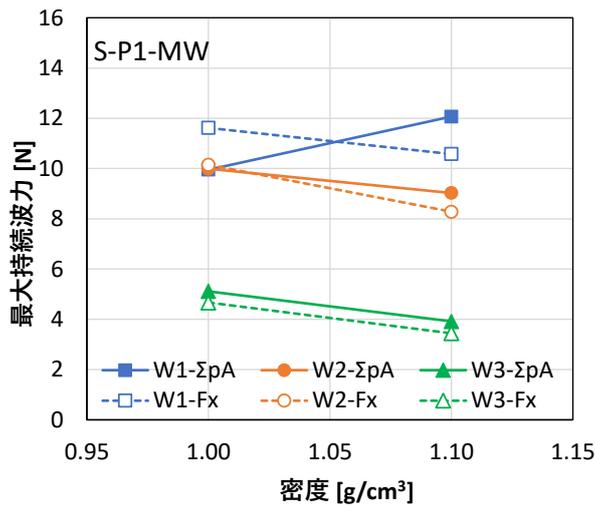
図- 4.152 流体密度による最大波力の比較 (F-P3 ; 水平床 F, 壁位置 P3)



(a) 全時間の最大波力 [濁水] ※再掲

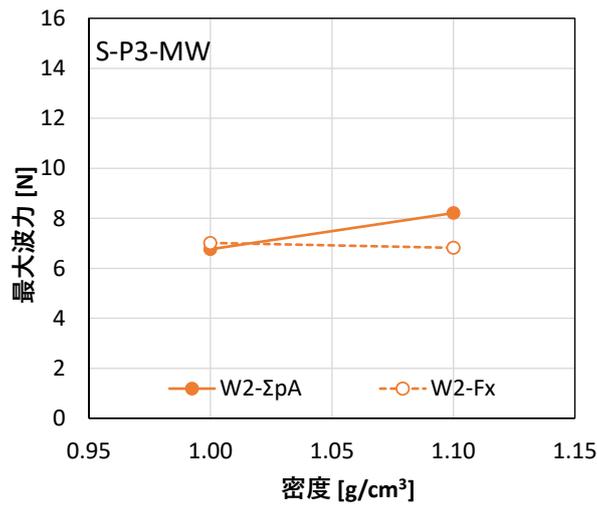


(b) 最大衝撃波力 [濁水]

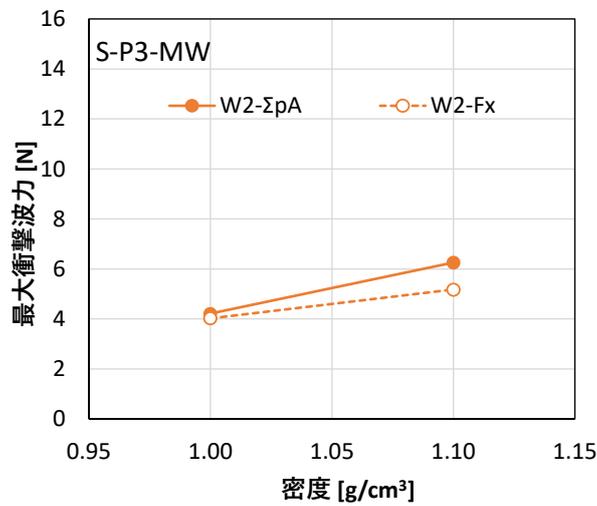


(c) 最大持続波力 [濁水]

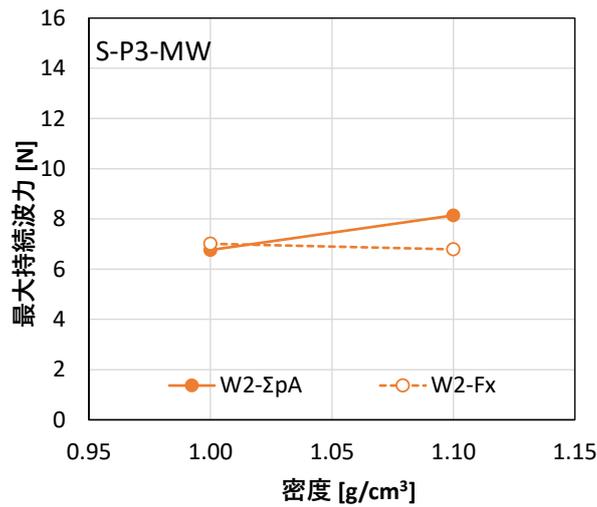
図- 4.153 流体密度による最大波力の比較 (S-P1 ; 単純勾配 S, 壁位置 P1)



(a) 全時間の最大波力 [濁水] ※再掲



(b) 最大衝撃波力 [濁水]



(c) 最大持続波力 [濁水]

図- 4.154 流体密度による最大波力の比較 (S-P3 ; 単純勾配 S, 壁位置 P3)



(a) 3.5 秒後

(b) 3.6 秒後

(c) 3.7 秒後

写真- 4.4 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-FW100-W1-P1 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P1)



(a) 3.5 秒後

(b) 3.6 秒後

(c) 3.7 秒後

写真- 4.5 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW110-W1-P1 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P1)



(a) 3.5 秒後

(b) 3.6 秒後

(c) 3.7 秒後

写真- 4.6 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW110-W1-P1 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P1)



(a) 5.5 秒後

(b) 5.6 秒後

(c) 5.7 秒後

写真- 4.7 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-FW100-W2-P1 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P1)



(a) 5.5 秒後

(b) 5.6 秒後

(c) 5.7 秒後

写真- 4.8 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW110-W2-P1 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P1)



(a) 5.5 秒後

(b) 5.6 秒後

(c) 5.7 秒後

写真- 4.9 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW110-W2-P1 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P1)



(a) 3.5 秒後

(b) 3.6 秒後

(c) 3.7 秒後

写真- 4.10 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-FW100-W1-P2 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P2)



(a) 3.5 秒後

(b) 3.6 秒後

(c) 3.7 秒後

写真- 4.11 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW110-W1-P2 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P2)



(a) 3.5 秒後

(b) 3.6 秒後

(c) 3.7 秒後

写真- 4.12 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW110-W1-P2 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P2)



(a) 5.6 秒後

(b) 5.7 秒後

(c) 5.8 秒後

写真- 4.13 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-FW100-W2-P2 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P2)



(a) 5.6 秒後

(b) 5.7 秒後

(c) 5.8 秒後

写真- 4.14 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW110-W2-P2 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P2)



(a) 5.6 秒後

(b) 5.7 秒後

(c) 5.8 秒後

写真- 4.15 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW110-W2-P2 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P2)



(a) 3.8 秒後

(b) 3.9 秒後

(c) 4.0 秒後

写真-4.16 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-FW100-W1-P3 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P3)



(a) 3.8 秒後

(b) 3.9 秒後

(c) 4.0 秒後

写真-4.17 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW105-W1-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.05g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P3)



(a) 3.8 秒後

(b) 3.9 秒後

(c) 4.0 秒後

写真-4.18 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW110-W1-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P3)



(a) 3.8 秒後

(b) 3.9 秒後

(c) 4.0 秒後

写真- 4.19 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW105-W1-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.05g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P3)



(a) 3.8 秒後

(b) 3.9 秒後

(c) 4.0 秒後

写真- 4.20 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW110-W1-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P3)



(a) 5.8 秒後

(b) 5.9 秒後

(c) 6.0 秒後

写真- 4.21 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-FW100-W2-P3 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P3)



(a) 5.8 秒後

(b) 5.9 秒後

(c) 6.0 秒後

写真- 4.22 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW105-W2-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.05g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P3)



(a) 5.8 秒後

(b) 5.9 秒後

(c) 6.0 秒後

写真- 4.23 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW110-W2-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P3)



(a) 5.8 秒後

(b) 5.9 秒後

(c) 6.0 秒後

写真- 4.24 護岸上を遡上する津波のスナップショット
(F-SW105-W2-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.05g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P3)



(a) 5.8 秒後

(b) 5.9 秒後

(c) 6.0 秒後

写真- 4.25 護岸上を遡上する津波のスナップショット
(F-SW110-W2-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P3)



(a) 6.3 秒後

(b) 6.4 秒後

(c) 6.5 秒後

写真-4.26 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-FW100-W3-P3 ; 水平床 F, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W3, 壁位置 P3)



(a) 6.3 秒後

(b) 6.4 秒後

(c) 6.5 秒後

写真-4.27 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW105-W3-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.05g/cm^3 , 津波 W3, 壁位置 P3)



(a) 6.3 秒後

(b) 6.4 秒後

(c) 6.5 秒後

写真-4.28 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-MW110-W3-P3 ; 水平床 F, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W3, 壁位置 P3)



(a) 3.8 秒後

(b) 3.9 秒後

(c) 4.0 秒後

写真- 4.29 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW105-W3-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.05g/cm^3 , 津波 W3, 壁位置 P3)



(a) 3.8 秒後

(b) 3.9 秒後

(c) 4.0 秒後

写真- 4.30 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(F-SW110-W3-P3 ; 水平床 F, 塩水 1.10g/cm^3 , 津波 W3, 壁位置 P3)



(a) 3.4 秒後

(b) 3.5 秒後

(c) 3.6 秒後

写真- 4.31 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-FW100-W1-P1 ; 単純勾配 S, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P1)



(a) 3.4 秒後

(b) 3.5 秒後

(c) 3.6 秒後

写真- 4.32 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-MW110-W1-P1 ; 単純勾配 S, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W1, 壁位置 P1)



(a) 5.5 秒後

(b) 5.6 秒後

(c) 5.7 秒後

写真- 4.33 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-FW100-W2-P1 ; 単純勾配 S, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P1)



(a) 5.5 秒後

(b) 5.6 秒後

(c) 5.7 秒後

写真- 4.34 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-MW110-W2-P1 ; 単純勾配 S, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P1)



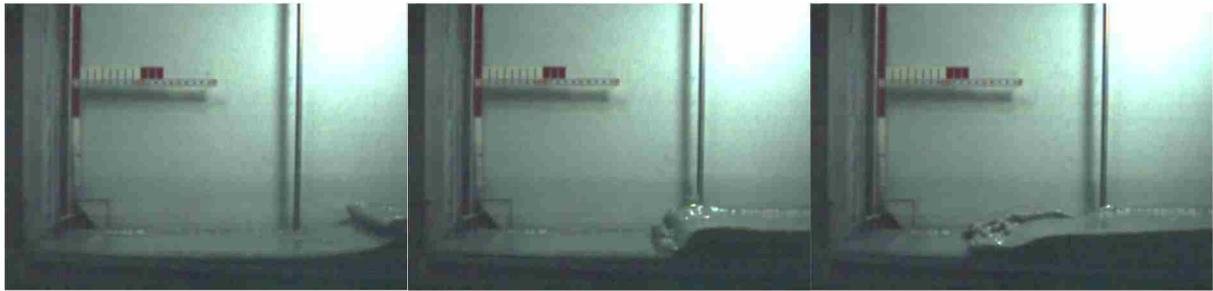
(a) 5.9 秒後

(b) 6.0 秒後

(c) 6.1 秒後

写真- 4.35 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-FW100-W3-P1 ; 単純勾配 S, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W3, 壁位置 P1)



(a) 5.9 秒後

(b) 6.0 秒後

(c) 6.1 秒後

写真- 4.36 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-MW110-W3-P1 ; 単純勾配 S, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W3, 壁位置 P1)



(a) 5.8 秒後

(b) 5.9 秒後

(c) 6.0 秒後

写真-4.37 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-FW100-W2-P3 ; 単純勾配 S, 淡水 1.00g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P3)



(a) 5.8 秒後

(b) 5.9 秒後

(c) 6.0 秒後

写真-4.38 護岸上を遡上する津波のスナップショット

(S-MW110-W2-P3 ; 単純勾配 S, 濁水 1.10g/cm^3 , 津波 W2, 壁位置 P3)

4.3. 粘性評価

4.3.1. 試験方法

写真-4.39 (a)に示すレオメーター（粘度・粘弾性測定装置）を使用して、粘性を計測した。なお、本装置はアタッチメントを替えることが可能で、今回は写真-4.39 (b), (c)に示す二重円筒型粘度計とペーン型粘度計を使用した。

各型式の特徴を以下に示す。

- ・二重円筒型粘度計：非ニュートン流体に対しても精度良く計測可能。
砂粒等が混入する流体は計測不可。
- ・ペーン型粘度計：砂粒等が混入する流体も計測可能。ただし、せん断速度は算定不可。

本試験は、Thermo Scientific 社製の HAAKE Viscotester iQ Air レオメーター（写真-4.39）を使用し、二重円筒型およびペーン型の粘度計による粘性試験からせん断速度 $\dot{\gamma}$ に対するせん断応力 τ を確認した。また、現地調査でサンプリングした底質試料は、ペーン型粘度計により粘性試験を行い、底質模型の結果との相対比較から粘性を評価した。



(a) レオメーター（粘度・粘弾性測定装置）

(b) 二重円筒型

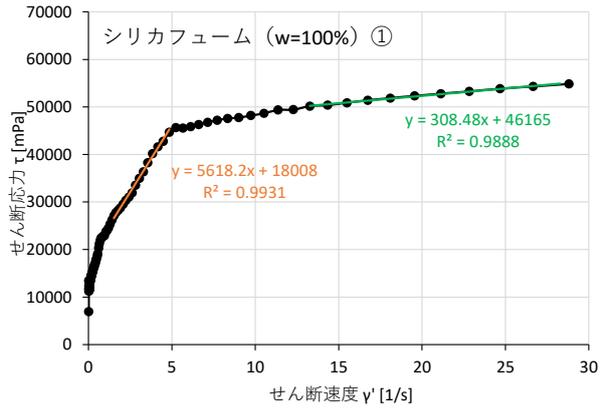
(c) ペーン型

写真-4.39 粘性評価試験装置

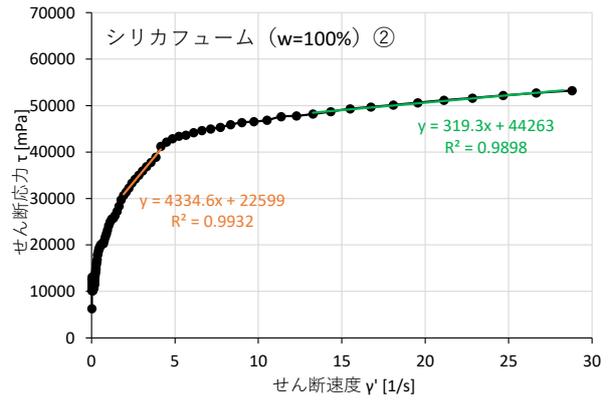
4.3.2. 底質模型の粘性

巻き上げ試験に用いた底質材料のうち、シリカフェームおよびフライアッシュの含水比を変化させ、二重円筒型粘度計により粘性を確認した。なお、同条件における試験を3回繰り返し実施した。本試験で得られた結果として、せん断速度 $\dot{\gamma}$ 'に対するせん断応力 τ を図-4.155～図-4.167に示す。各図中には、2本（橙・緑）の線形近似曲線を示しており、各近似式の傾きを粘度 η_1, η_2 、切片を降伏せん断応力 τ_{y1}, τ_{y2} として整理した。それらの結果より求めた、シリカフェームおよびフライアッシュの含水比と粘度および降伏せん断応力の関係を図-4.168, 図-4.169を示す。

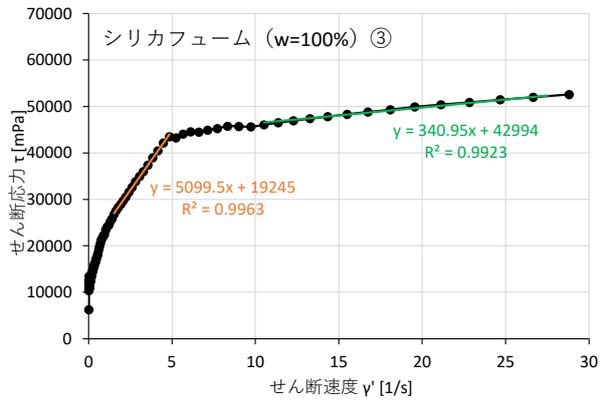
波圧試験に用いた流体のうち、濁水（シリカフェームの含有）と塩水について密度を変化させ、二重円筒型粘度計により粘性を確認した。また、淡水についても粘性試験を実施した。得られた結果としてせん断速度 $\dot{\gamma}$ 'に対するせん断応力 τ を図-4.170～図-4.180に示す。各図中には、青で線形近似曲線を示しており、近似式の傾きを粘度 η として整理した。濁水および塩水の流体密度に対する粘度の関係を図-4.181に示す。



(a) 1回目



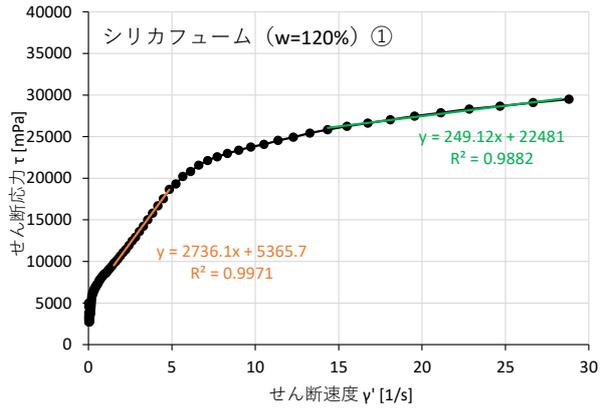
(b) 2回目



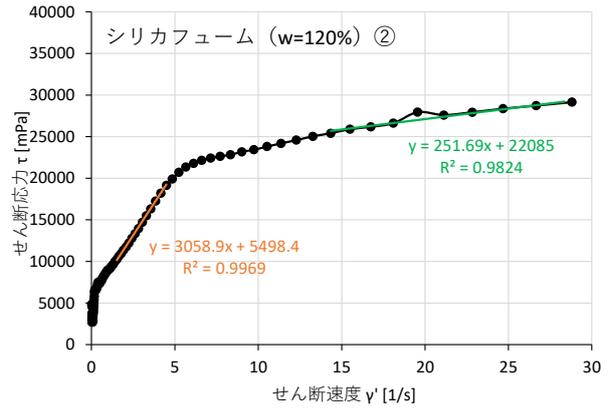
(c) 3回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

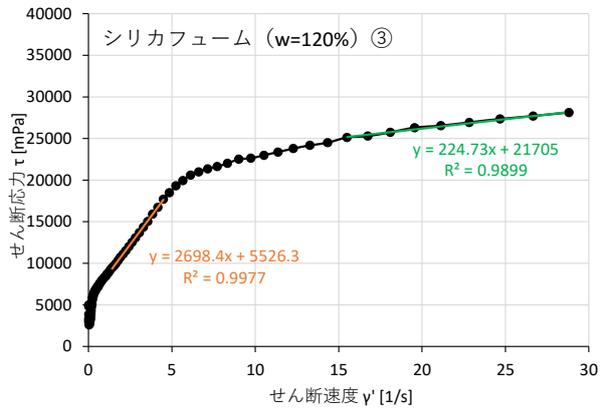
図-4.155 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=100%)



(a) 1 回目



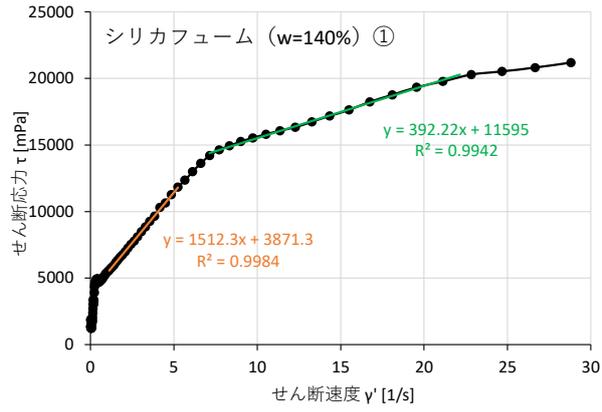
(b) 2 回目



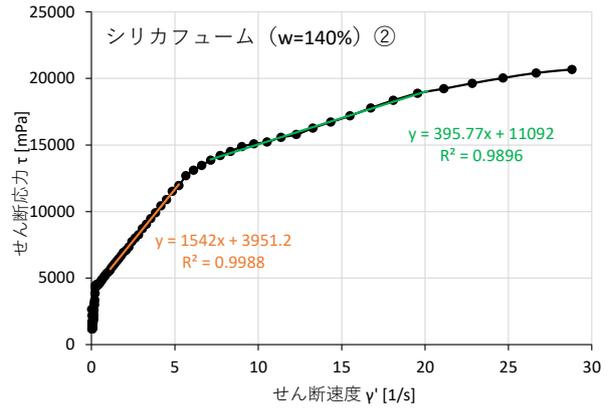
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

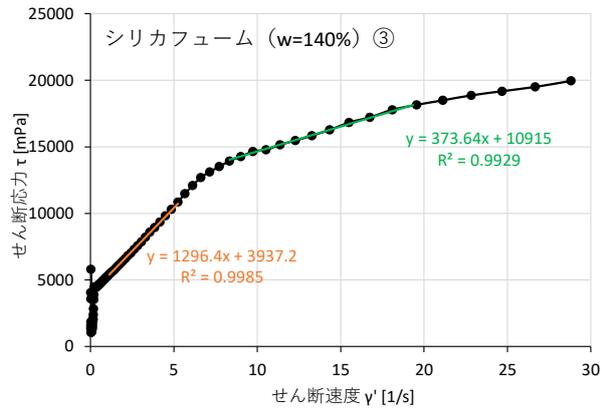
図-4.156 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=120%)



(a) 1 回目



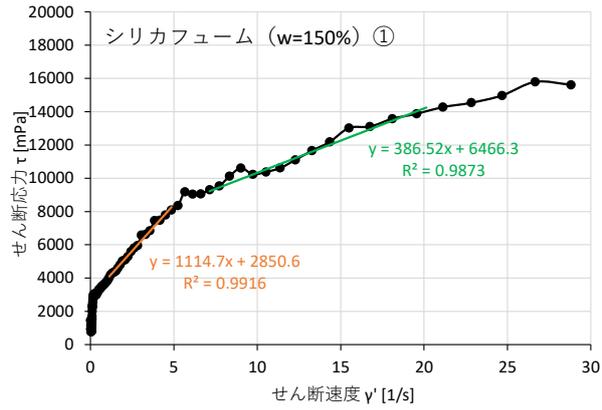
(b) 2 回目



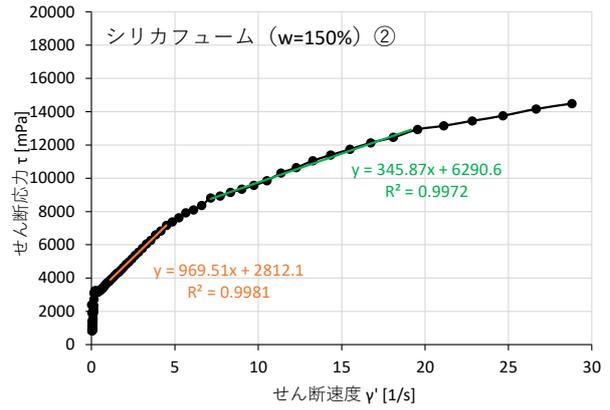
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

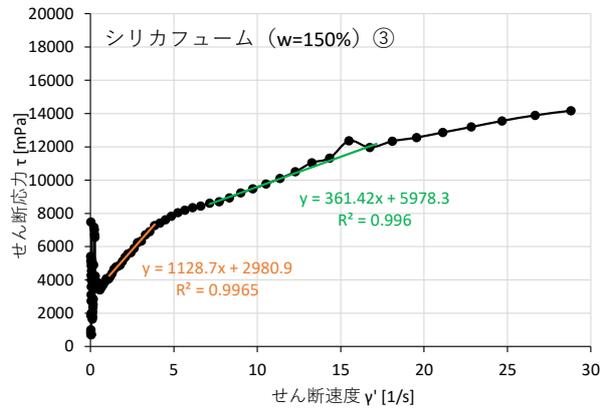
図-4.157 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=140%)



(a) 1 回目



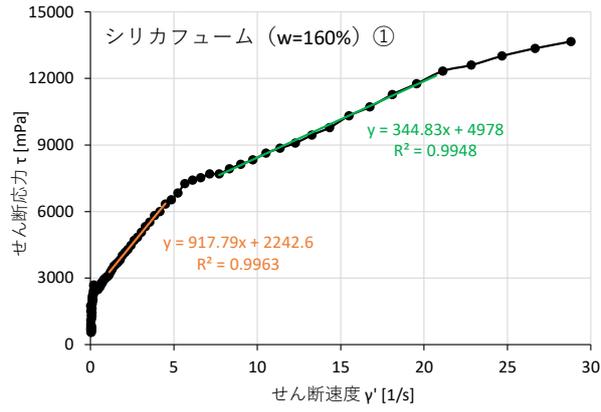
(b) 2 回目



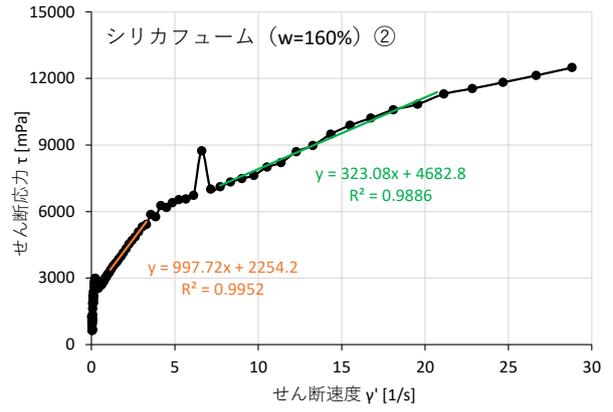
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

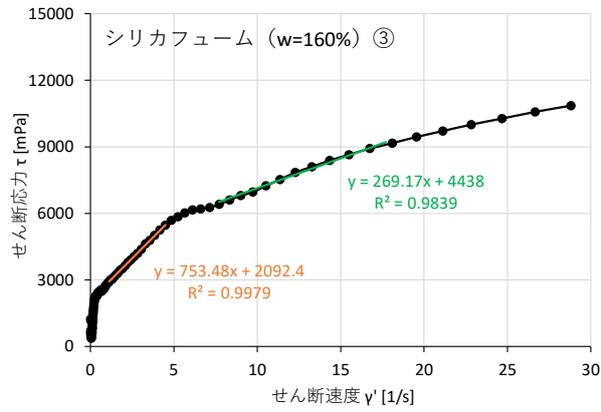
図-4.158 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=150%)



(a) 1 回目



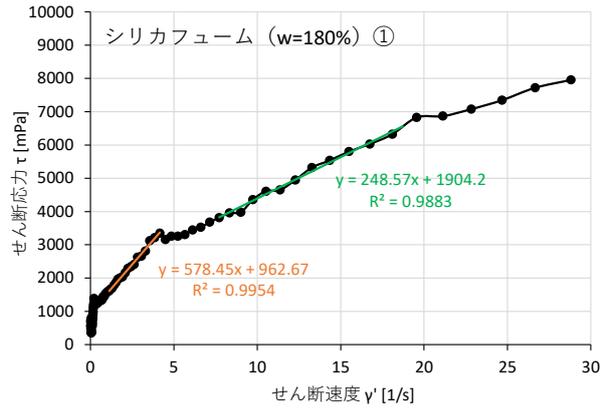
(b) 2 回目



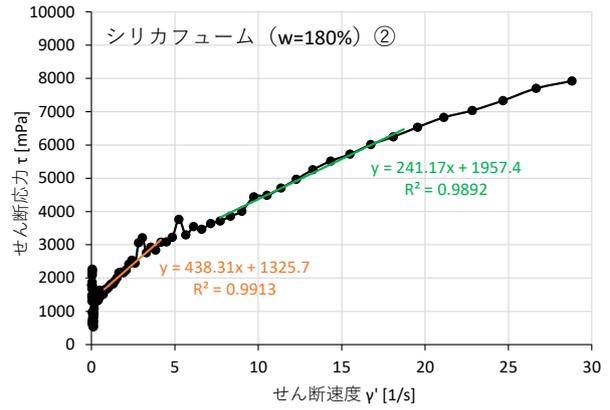
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

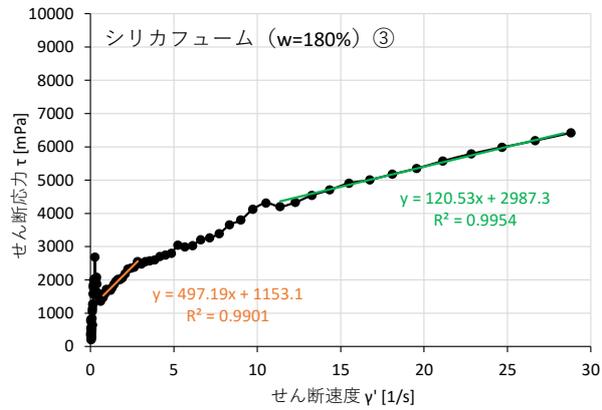
図-4.159 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフェーム, w=160%)



(a) 1 回目



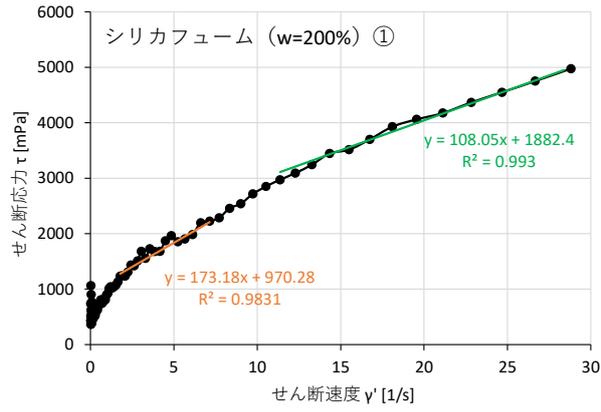
(b) 2 回目



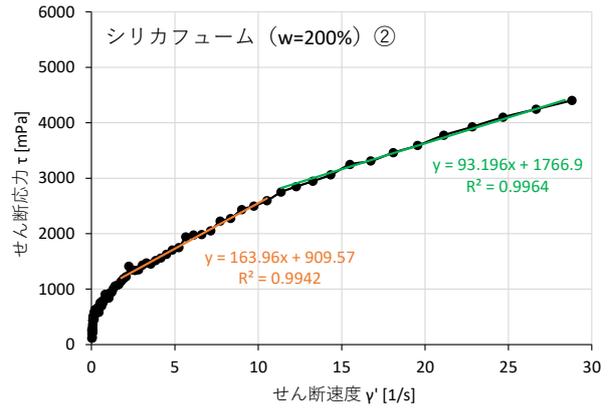
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

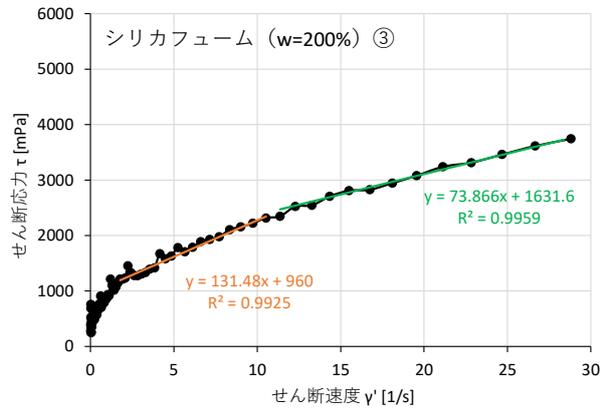
図-4.160 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=180%)



(a) 1 回目



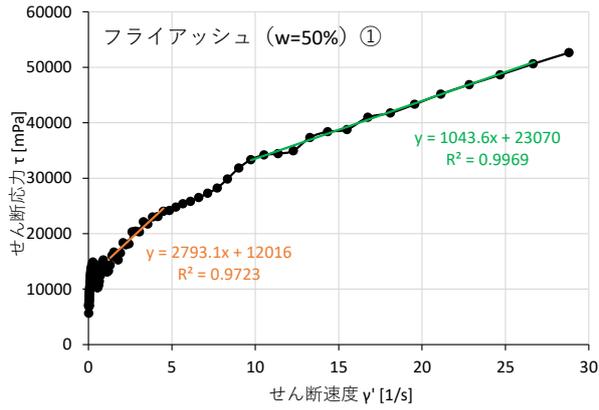
(b) 2 回目



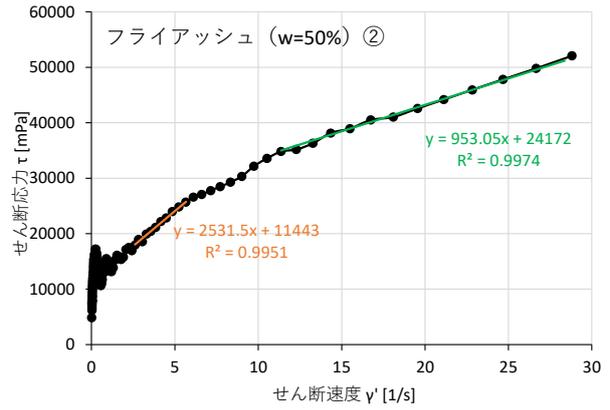
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
 — : 傾き η_2 , 切片 τ_2

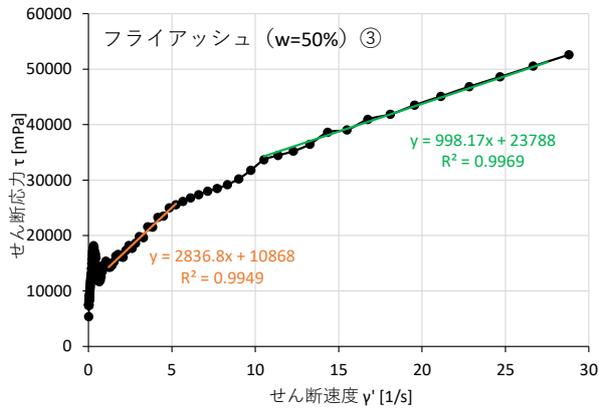
図-4.161 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフェーム, w=200%)



(a) 1 回目



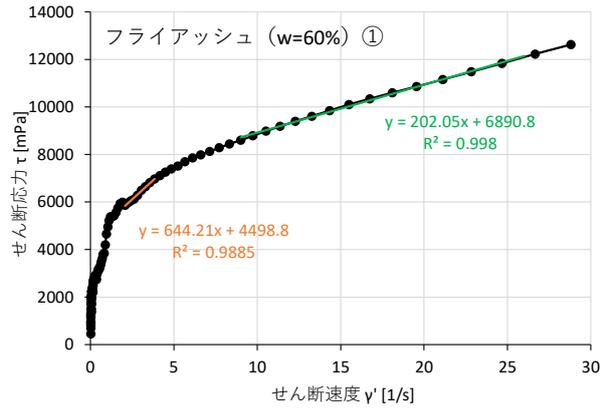
(b) 2 回目



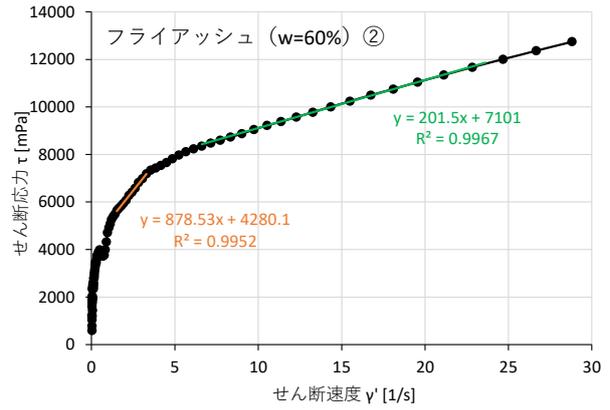
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

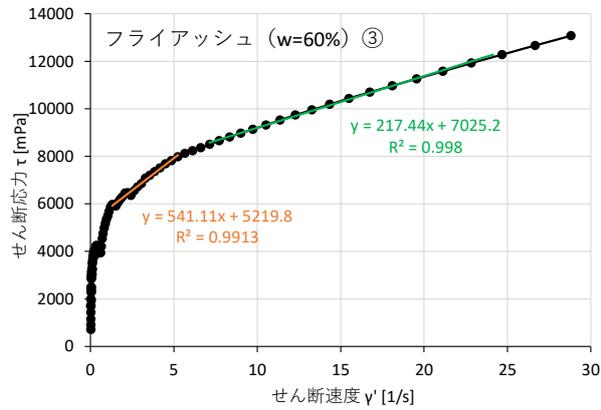
図- 4.162 二重円筒型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=50%)



(a) 1 回目



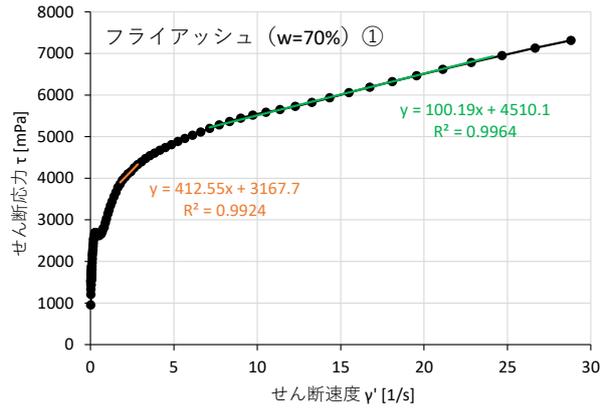
(b) 2 回目



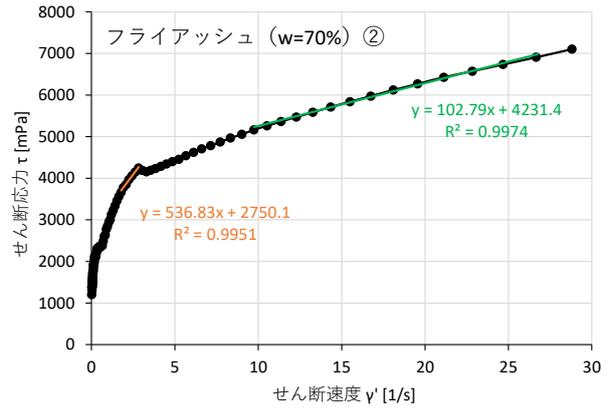
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

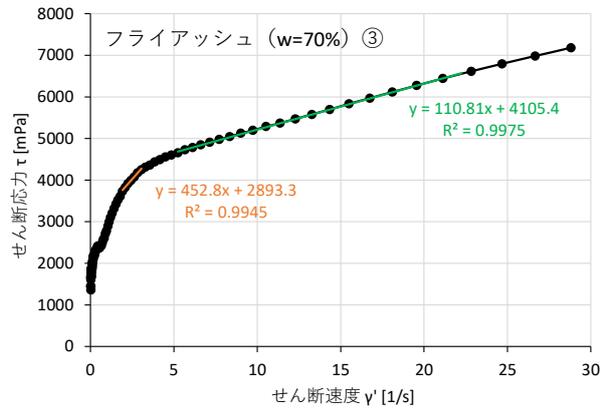
図- 4.163 二重円筒型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=60%)



(a) 1 回目



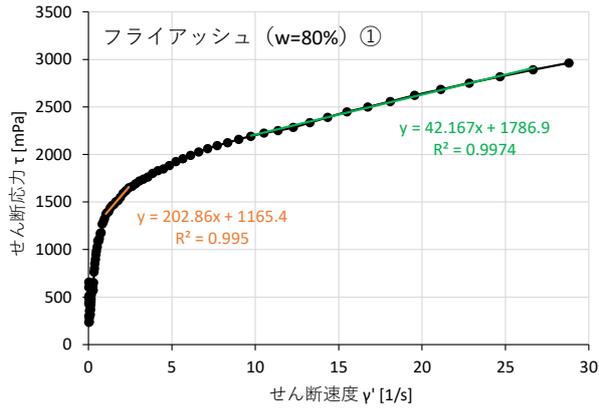
(b) 2 回目



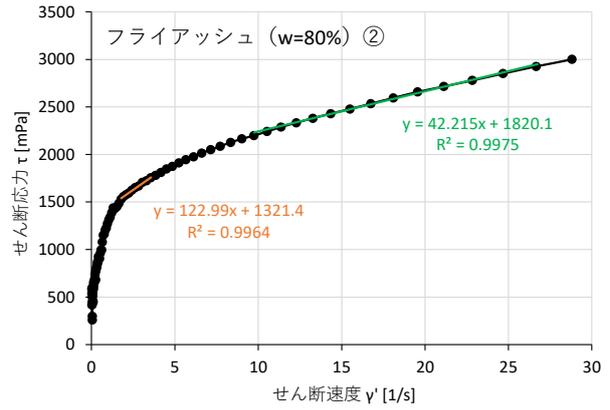
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

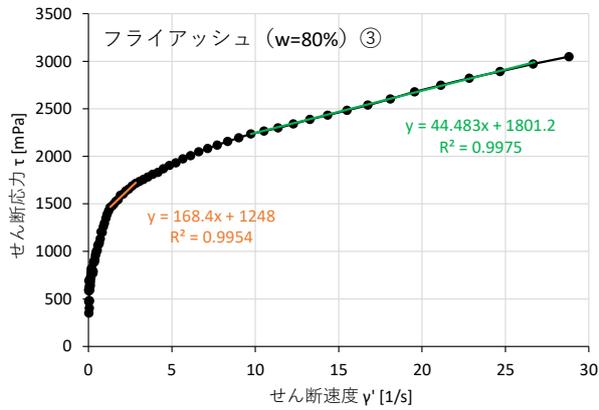
図- 4.164 二重円筒型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=70%)



(a) 1 回目



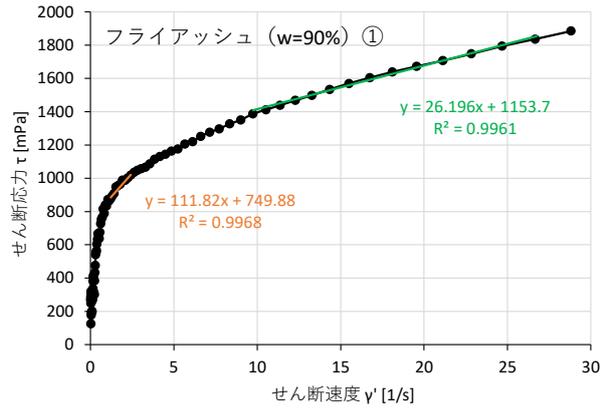
(b) 2 回目



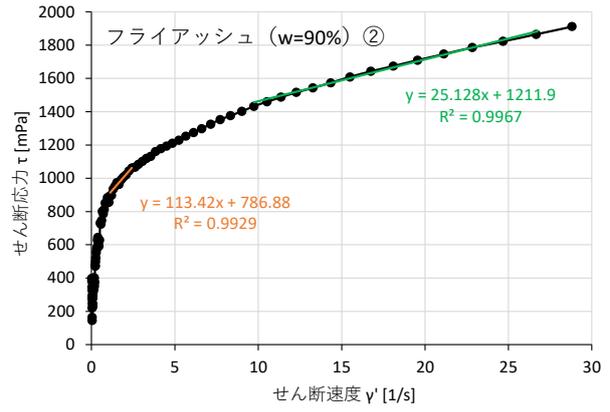
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

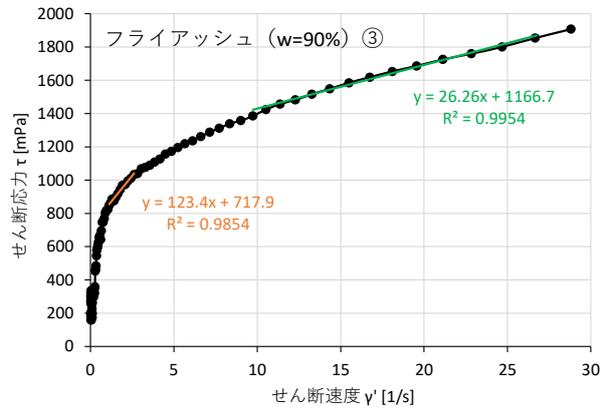
図- 4.165 二重円筒型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=80%)



(a) 1 回目



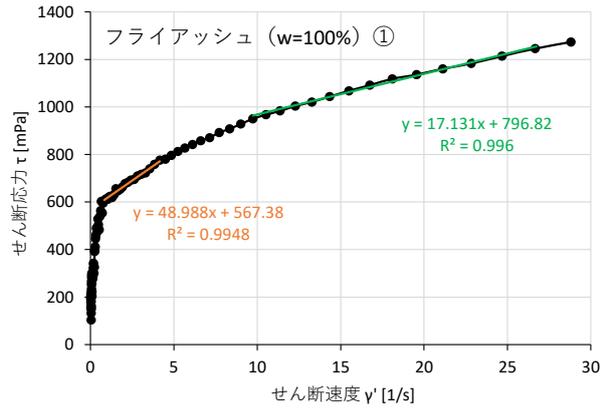
(b) 2 回目



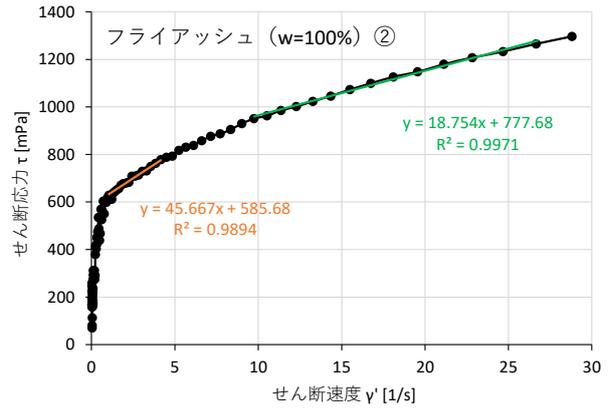
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

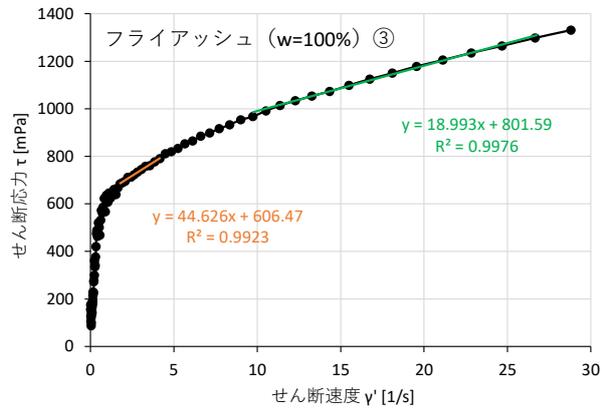
図- 4.166 二重円筒型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=90%)



(a) 1 回目



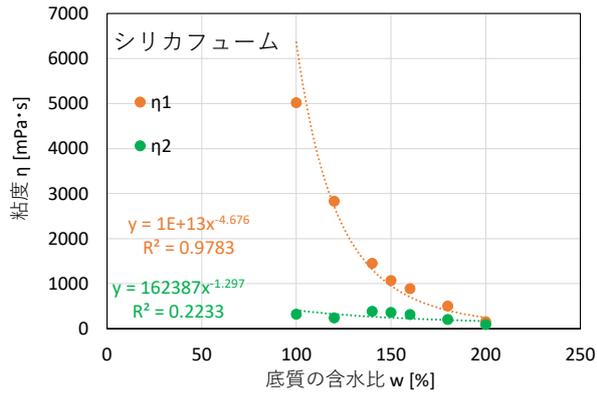
(b) 2 回目



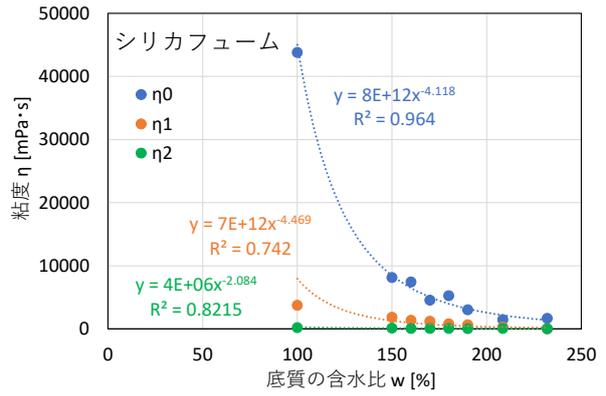
(c) 3 回目

— : 傾き η_1 , 切片 τ_1
— : 傾き η_2 , 切片 τ_2

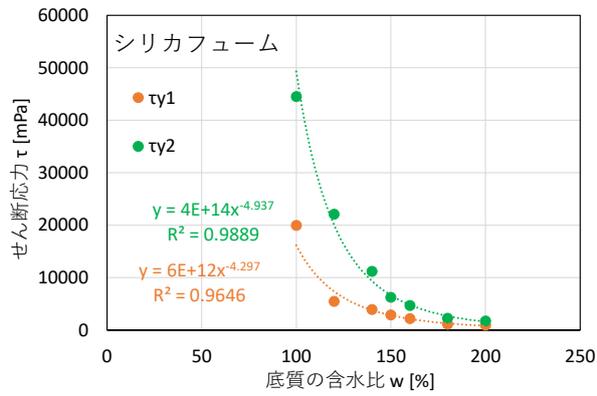
図-4.167 二重円筒型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=100%)



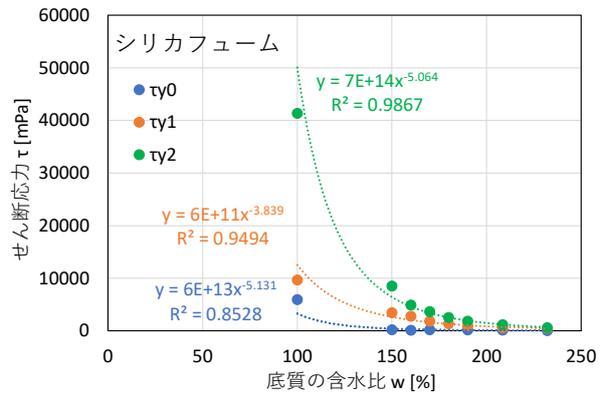
(a) 粘度 η : R5



(b) 粘度 η : R4

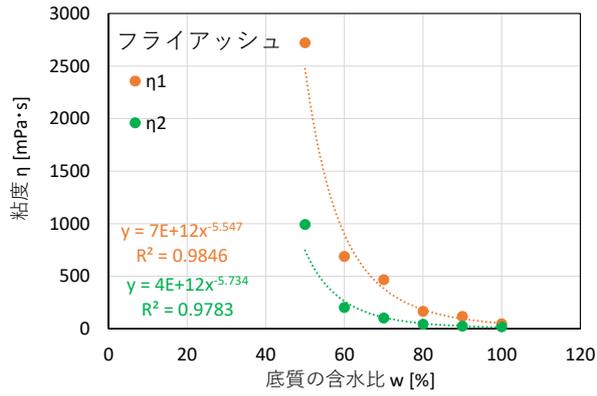


(c) せん断応力 τ : R5

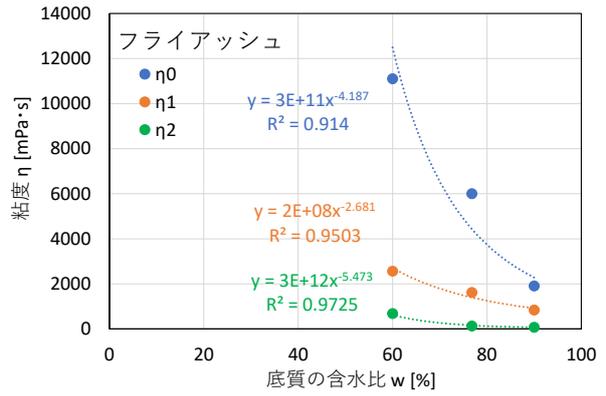


(d) せん断応力 τ : R4

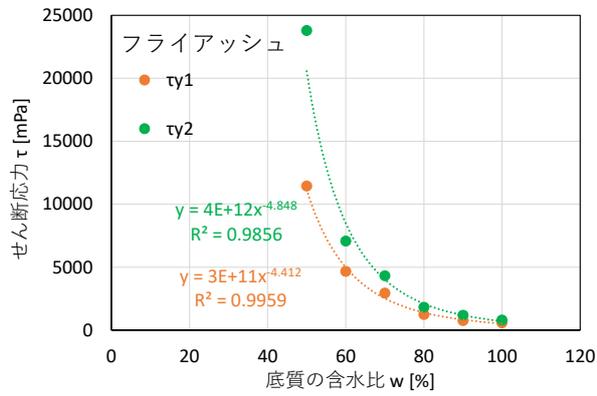
図- 4.168 シリカフュームの含水比による粘度および降伏せん断応力 (二重円筒型粘度計)



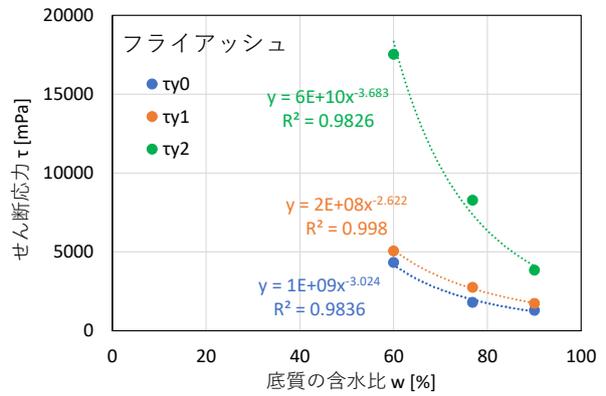
(a) 粘度 η : R5



(b) 粘度 η : R4

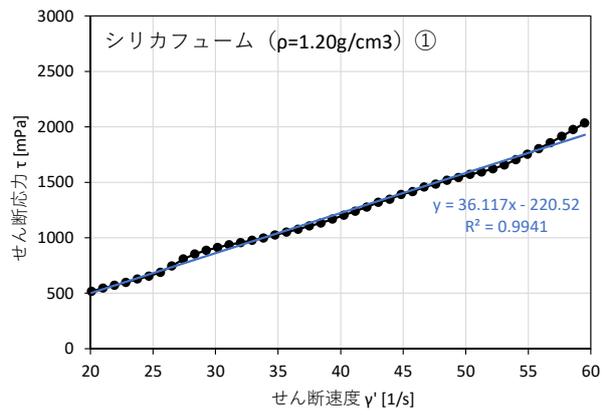


(c) せん断応力 τ : R5

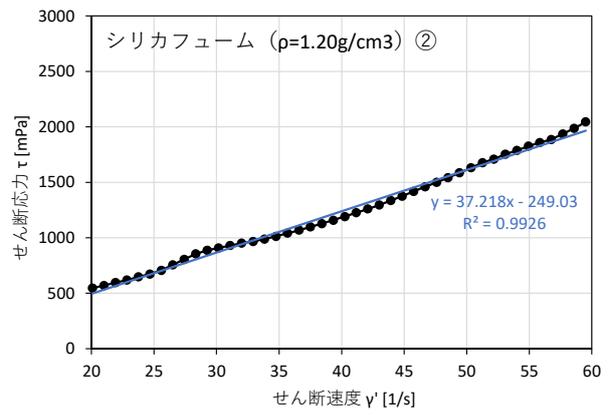


(d) せん断応力 τ : R4

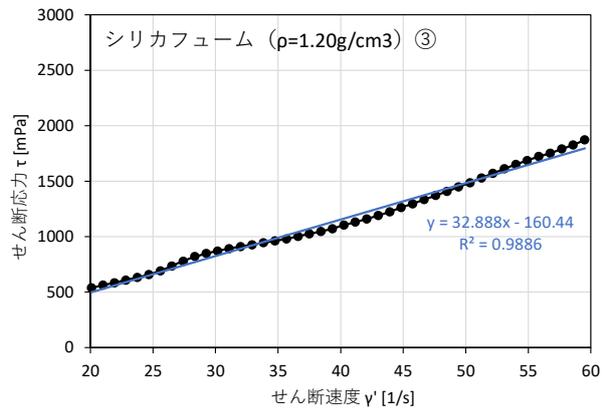
図- 4.169 フライアッシュの含水比による粘度および降伏せん断応力 (二重円筒型粘度計)



(a) 1 回目

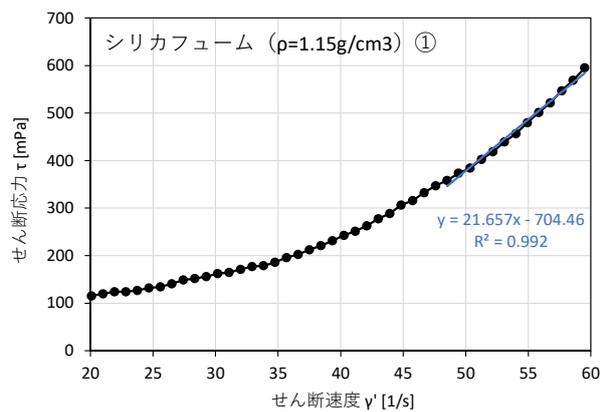


(b) 2 回目

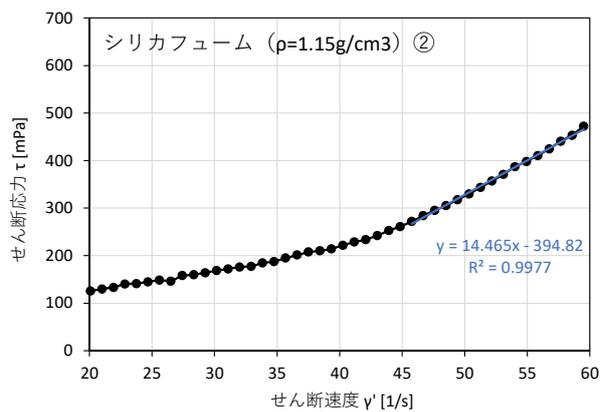


(c) 3 回目

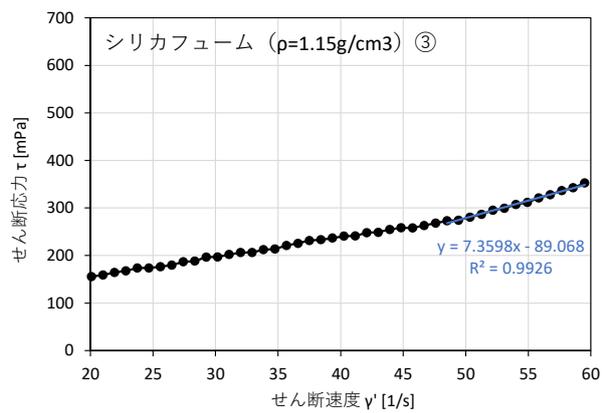
図- 4.170 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $\rho=1.20\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

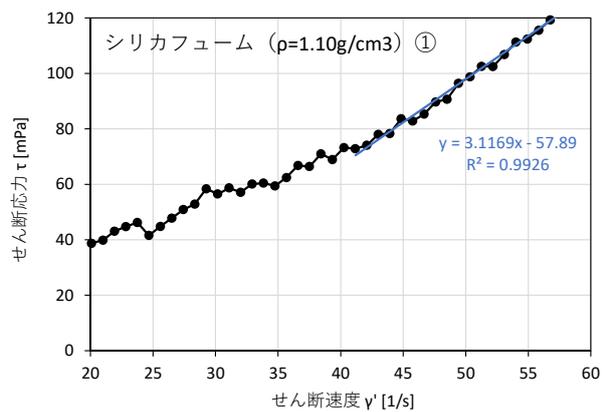


(b) 2 回目

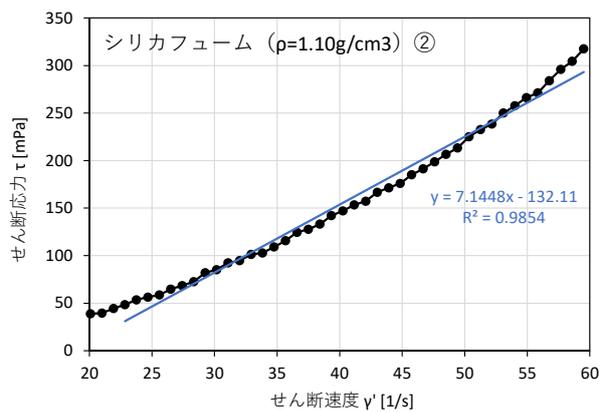


(c) 3 回目

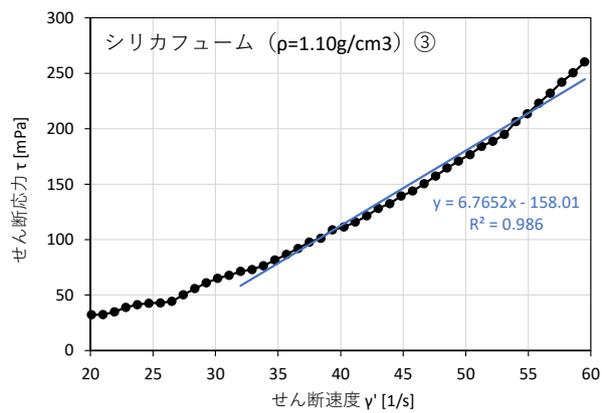
図- 4.171 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $\rho=1.15\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

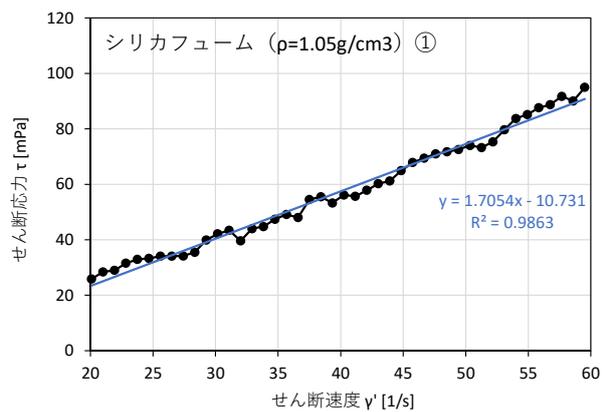


(b) 2 回目

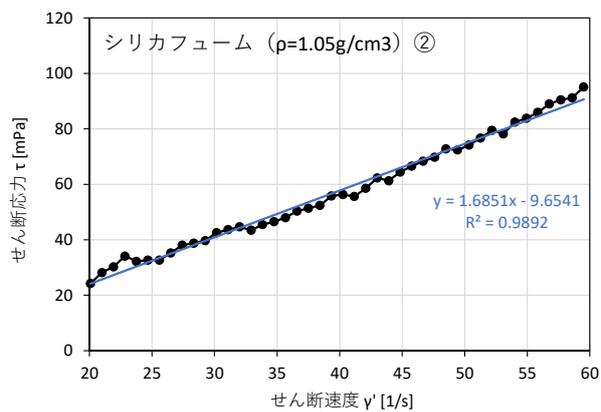


(c) 3 回目

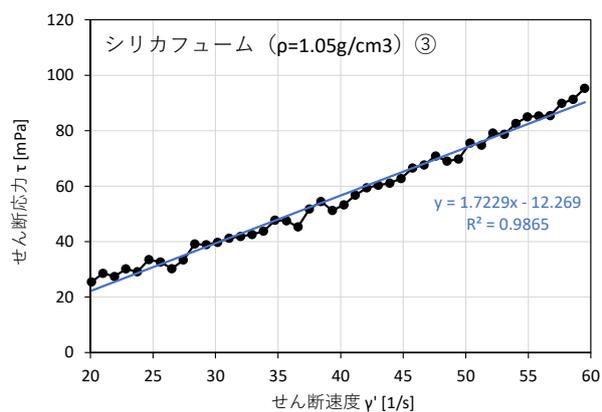
図- 4.172 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

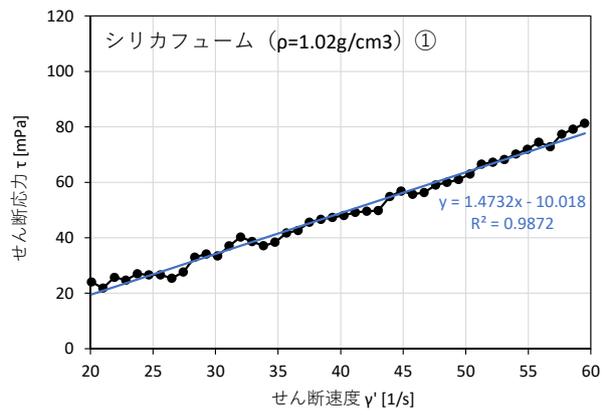


(b) 2 回目

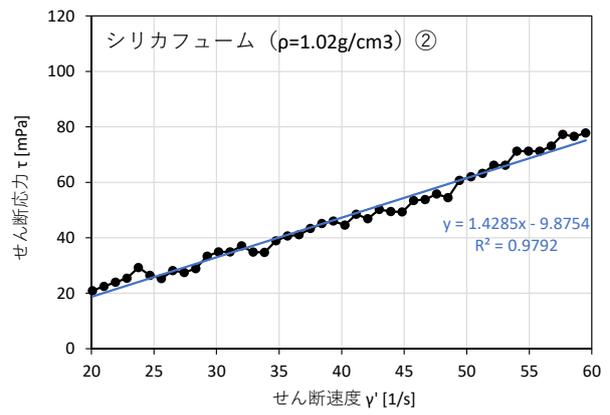


(c) 3 回目

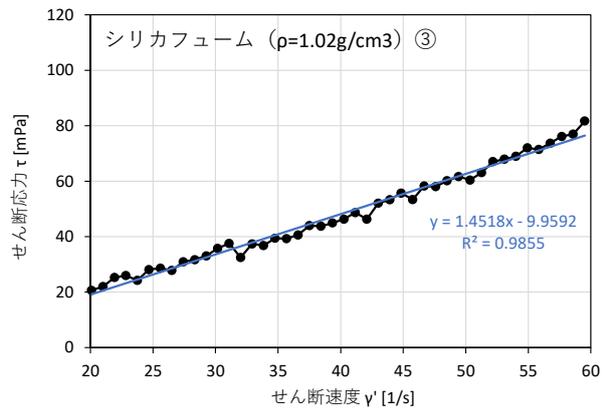
図- 4.173 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

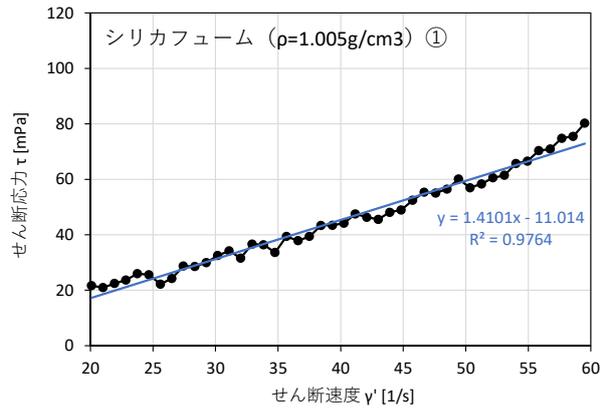


(b) 2 回目

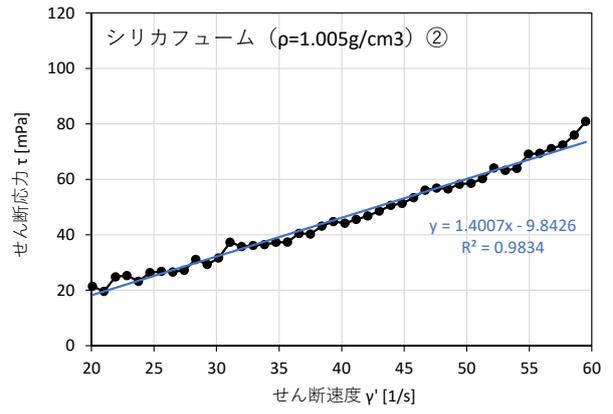


(c) 3 回目

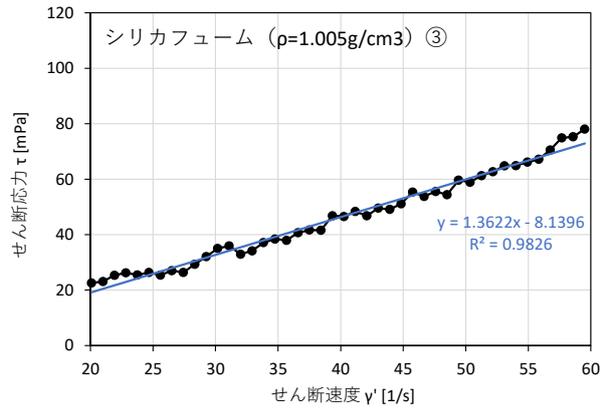
図- 4.174 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $\rho=1.02\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

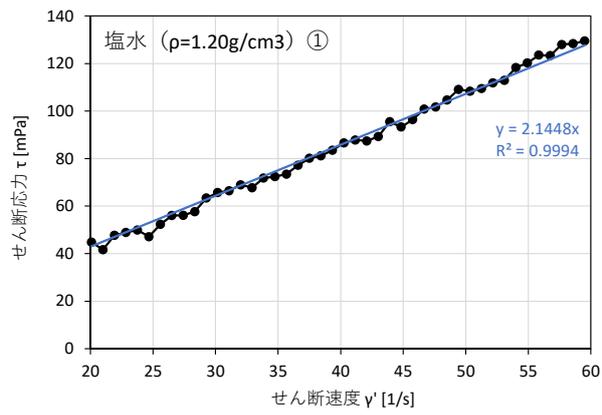


(b) 2 回目

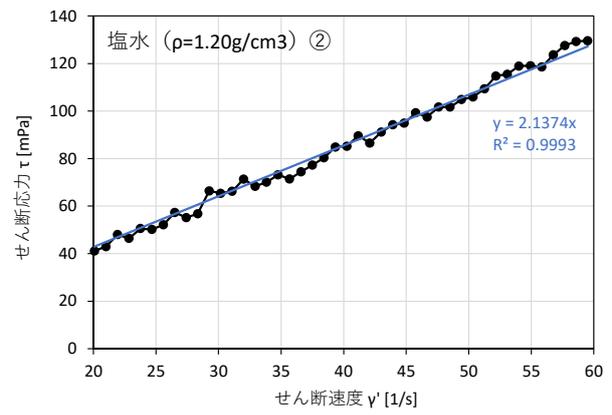


(c) 3 回目

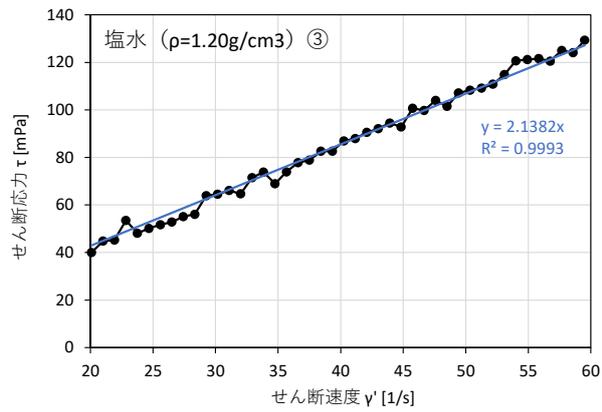
図-4.175 二重円筒型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $\rho=1.005\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

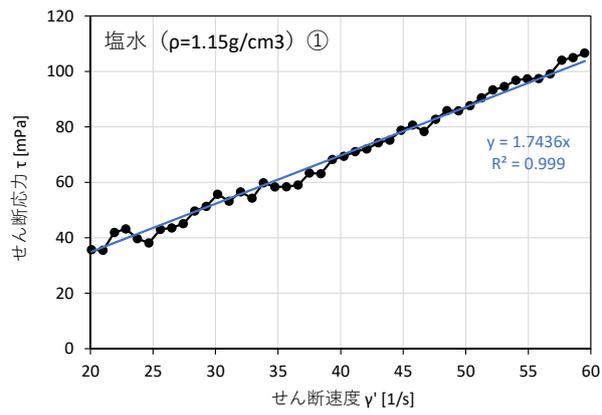


(b) 2 回目

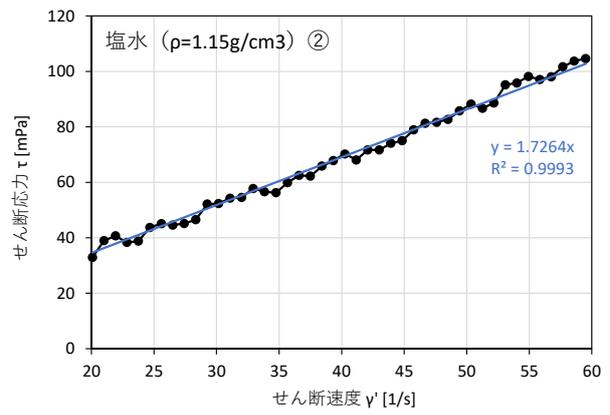


(c) 3 回目

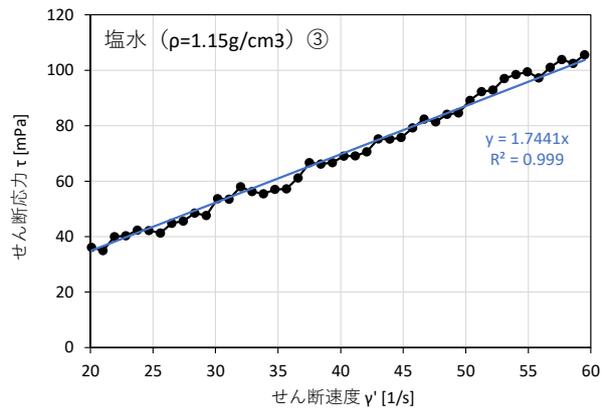
図-4.176 二重円筒型粘度計による試験結果 (塩水, $\rho=1.20\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

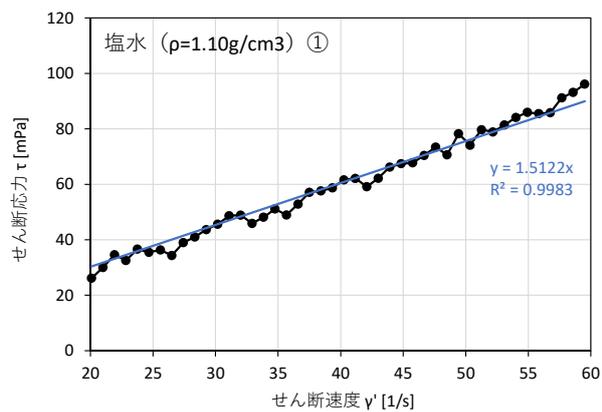


(b) 2 回目

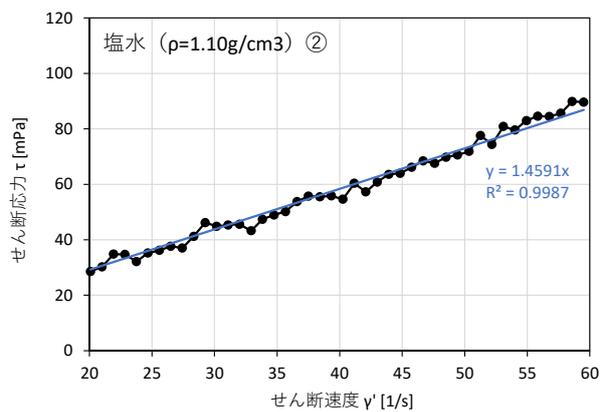


(c) 3 回目

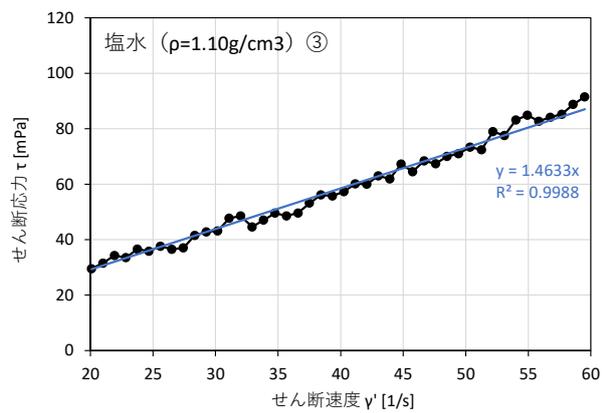
図- 4.177 二重円筒型粘度計による試験結果 (塩水, $\rho=1.15\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

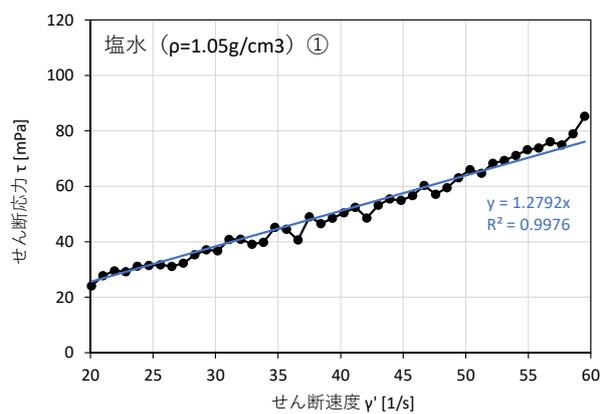


(b) 2 回目

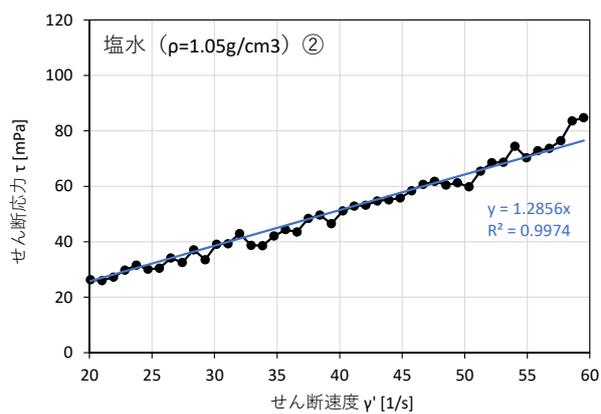


(c) 3 回目

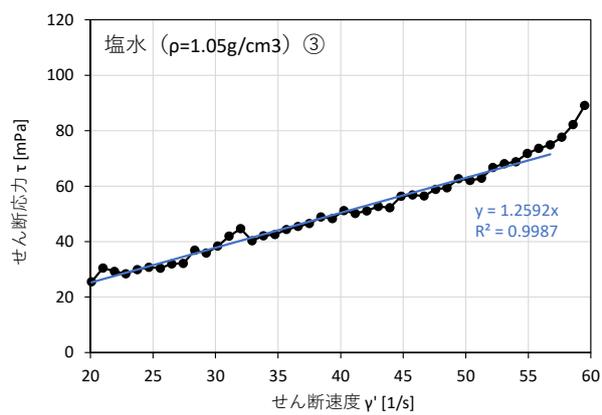
図- 4.178 二重円筒型粘度計による試験結果 (塩水, $\rho=1.10\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

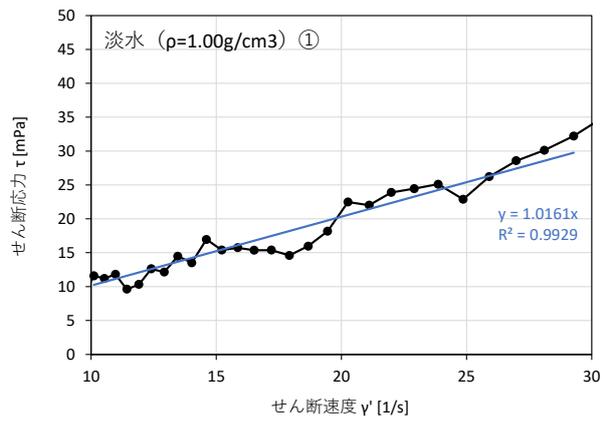


(b) 2 回目

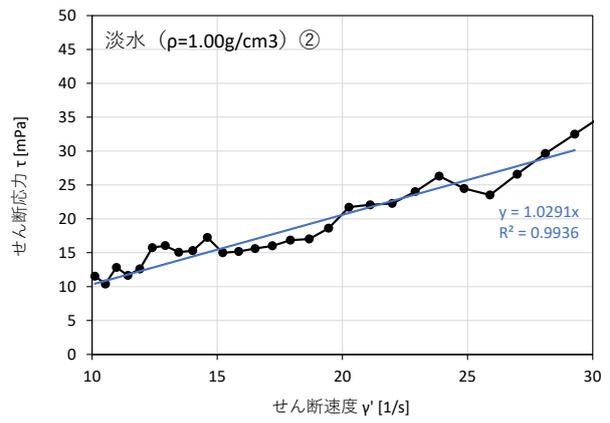


(c) 3 回目

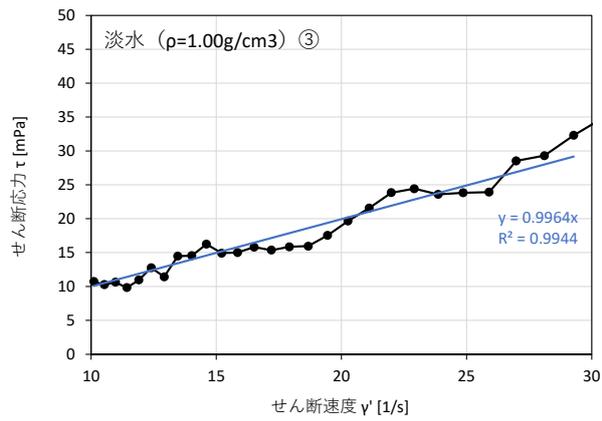
図- 4.179 二重円筒型粘度計による試験結果 (塩水, $\rho=1.05\text{g/cm}^3$)



(a) 1 回目

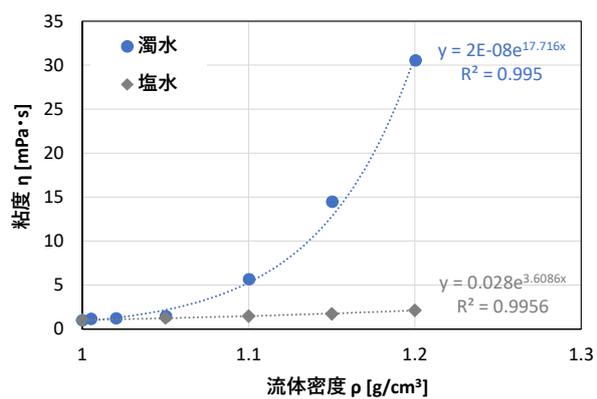


(b) 2 回目

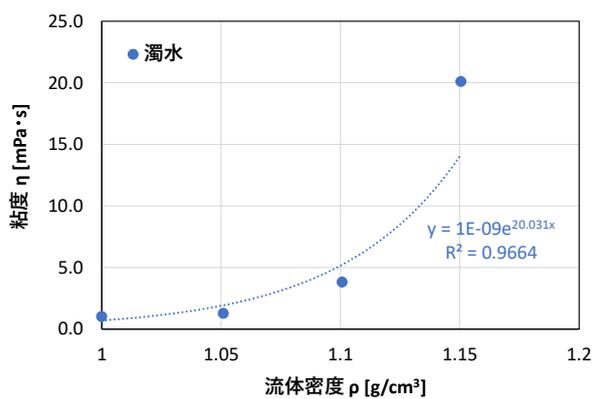


(c) 3 回目

図- 4.180 二重円筒型粘度計による試験結果 (淡水, $\rho=1.00\text{g/cm}^3$)



(a) R5



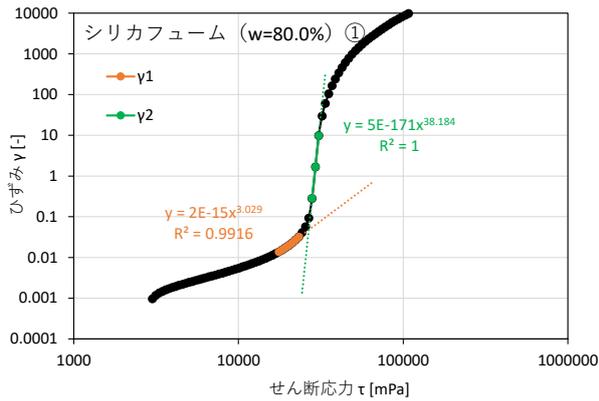
(b) R4

図- 4.181 流体密度に対する粘度 (二重円筒型粘度計)

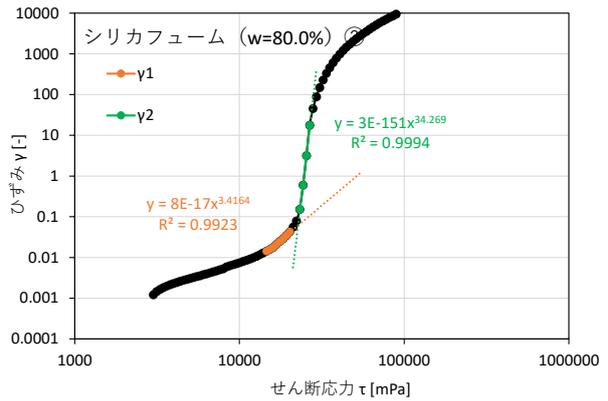
4.3.3. 現地採取試料との比較

巻き上げ試験に用いた底質材料のうち、シリカフェームおよびフライアッシュについて含水比を変化させ、ベーン型粘度計により粘性を確認した。なお同条件における試験を2回繰返し実施した。試験結果として得られた、せん断応力 τ とひずみ γ の関係を図-4.182～図-4.195に示す。

底質模型と現地採取試料の降伏せん断応力の比較結果を図-4.196に示す。なお、同図には、現地採取試料の沈降・堆積期間1週間における降伏せん断応力を破線で示しており、シリカフェームの含水比 $w=100\%$ およびフライアッシュの含水比 $w=62.3\%$ の底質模型が、概ね同じ降伏せん断応力であることが確認できた。

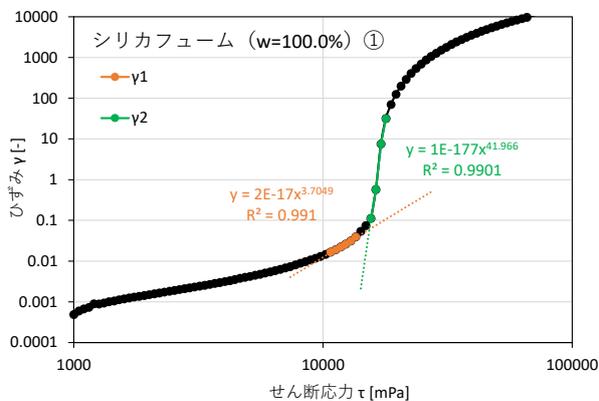


(a) 1 回目

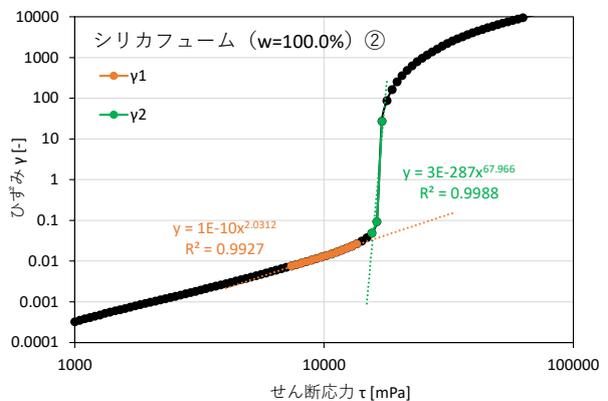


(b) 2 回目

図- 4.182 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフェーム, $w=80.0\%$)

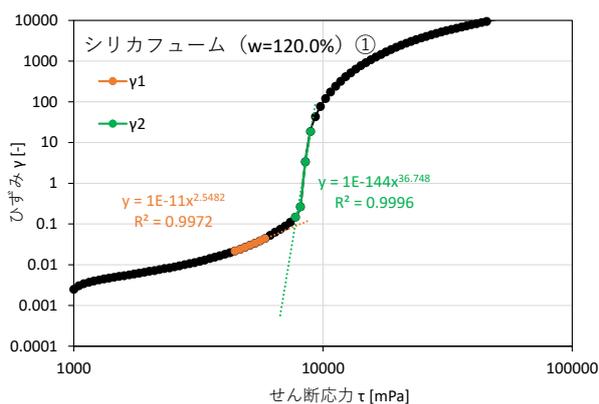


(a) 1 回目

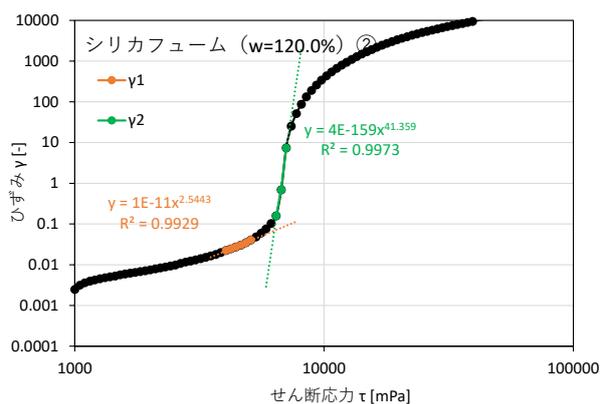


(b) 2 回目

図- 4.183 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフェーム, $w=100.0\%$)

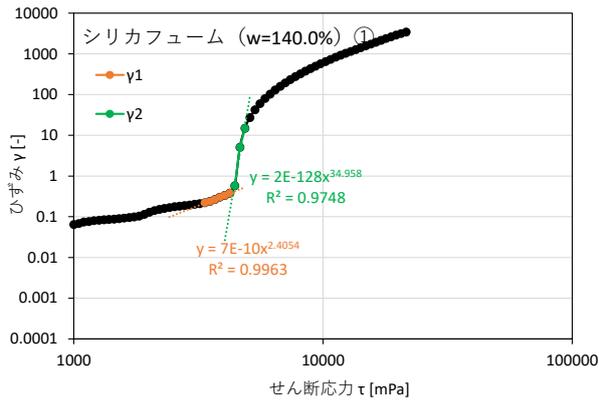


(a) 1 回目

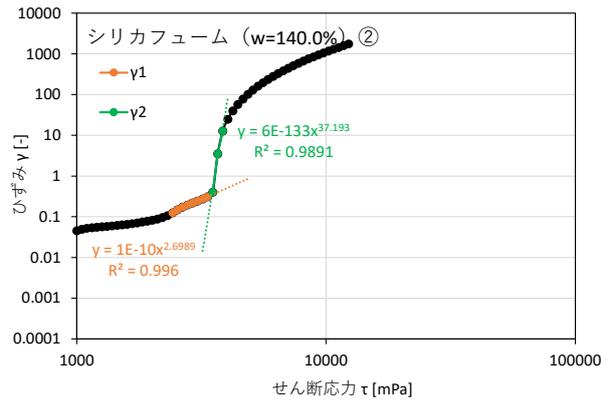


(b) 2 回目

図- 4.184 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフェーム, $w=120.0\%$)

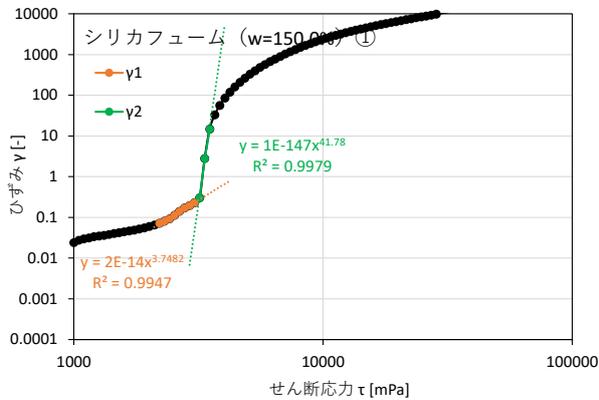


(a) 1 回目

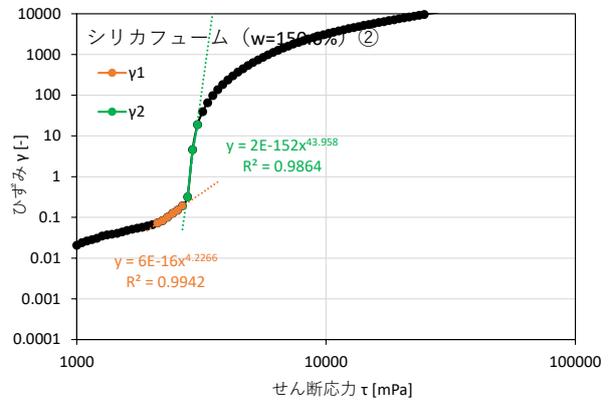


(b) 2 回目

図-4.185 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=140.0%)

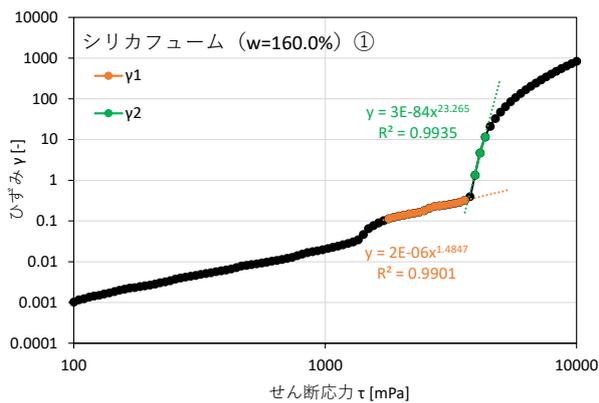


(a) 1 回目

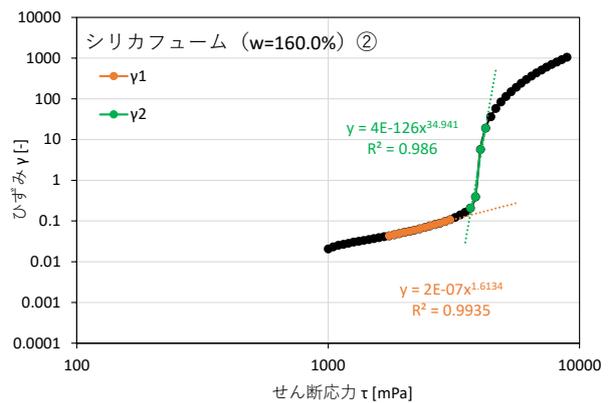


(b) 2 回目

図-4.186 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=150.0%)

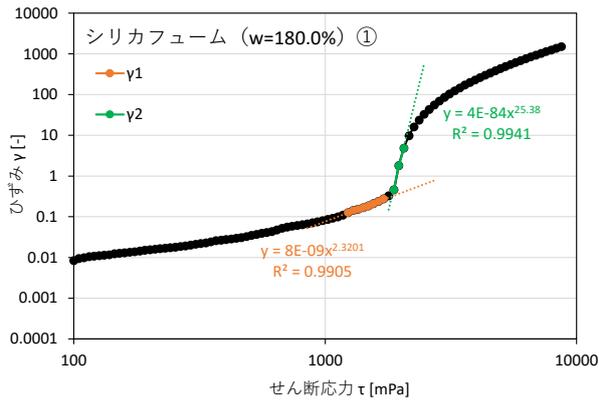


(a) 1 回目

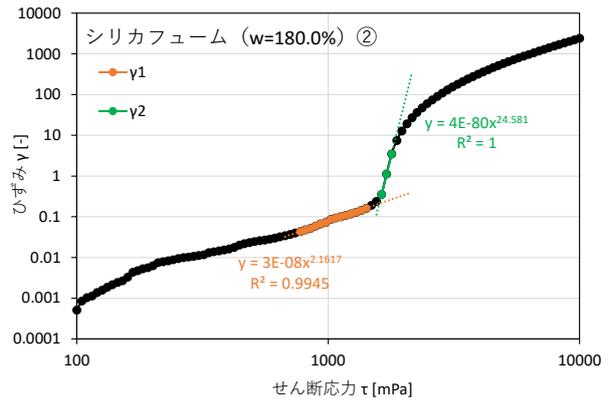


(b) 2 回目

図-4.187 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフューム, w=160.0%)

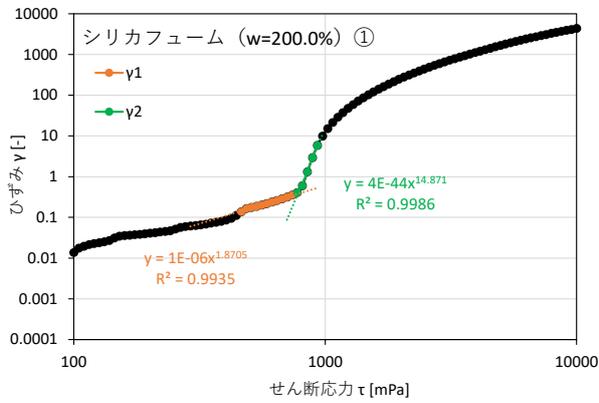


(a) 1回目

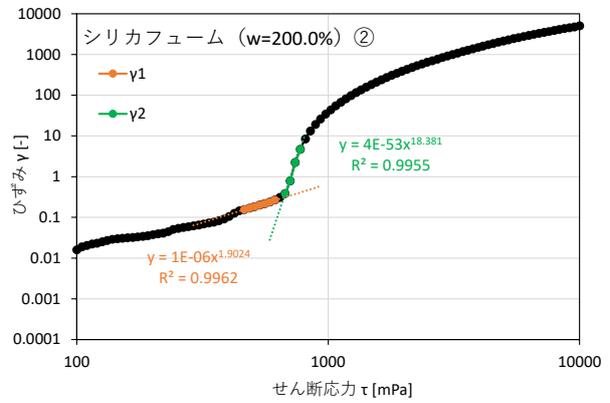


(b) 2回目

図-4.188 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $w=180.0\%$)

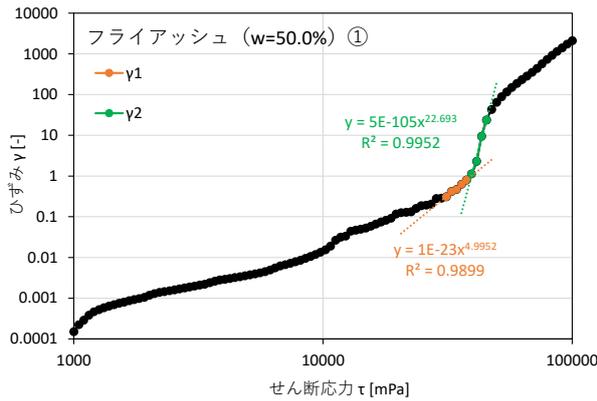


(a) 1回目

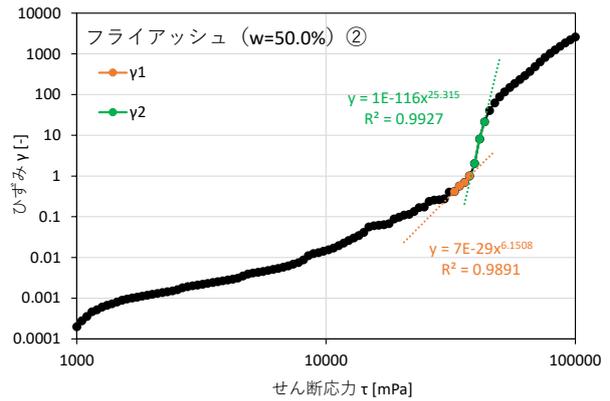


(b) 2回目

図-4.189 ベーン型粘度計による試験結果 (シリカフューム, $w=200.0\%$)

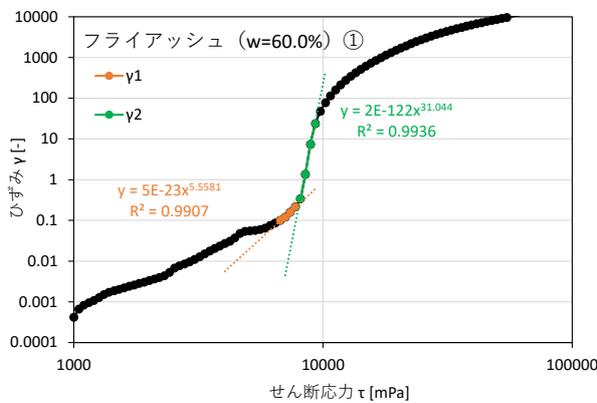


(a) 1 回目

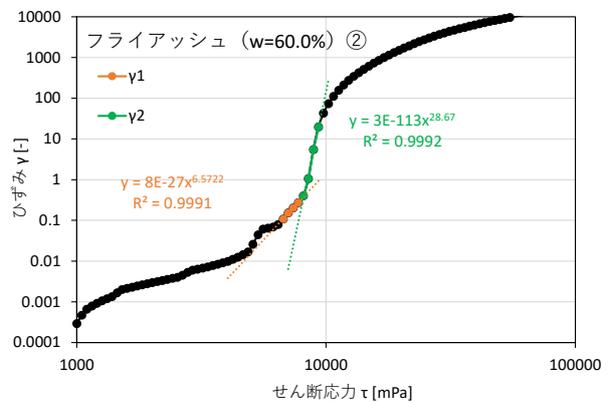


(b) 2 回目

図- 4.190 ベーン型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=50.0%)

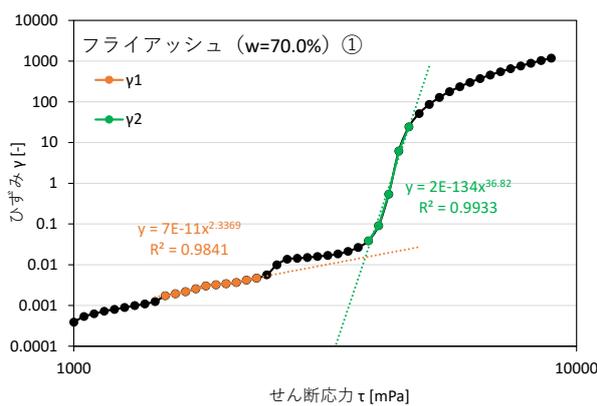


(a) 1 回目

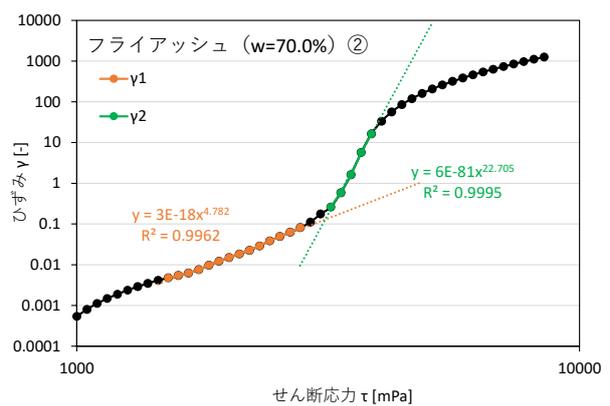


(b) 2 回目

図- 4.191 ベーン型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=60.0%)

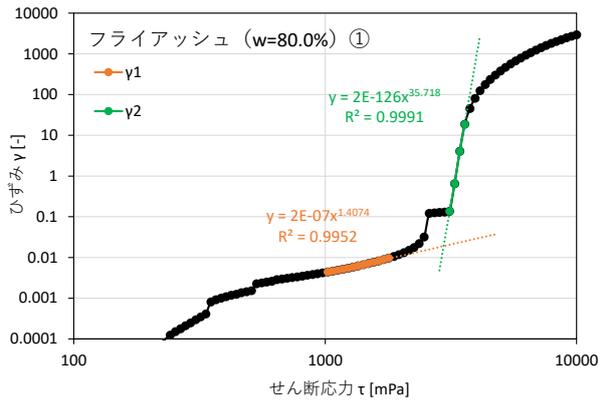


(a) 1 回目

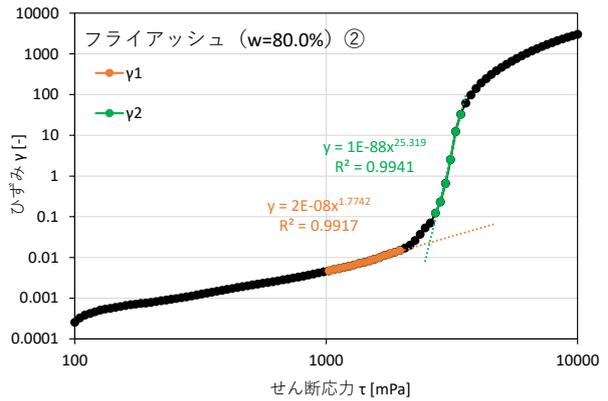


(b) 2 回目

図- 4.192 ベーン型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=70.0%)

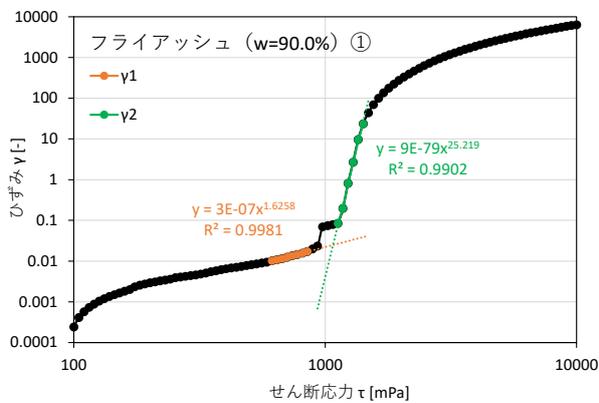


(a) 1 回目

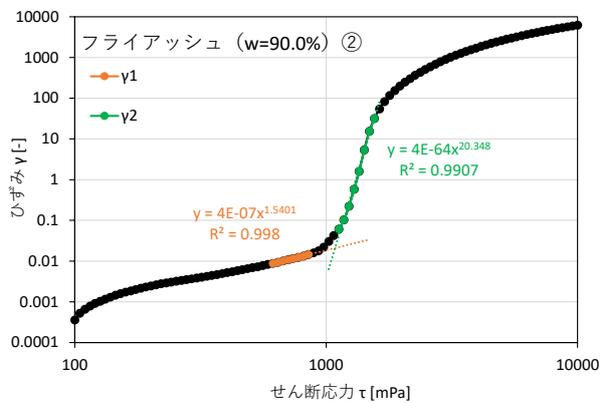


(b) 2 回目

図- 4.193 ベーン型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=80.0%)

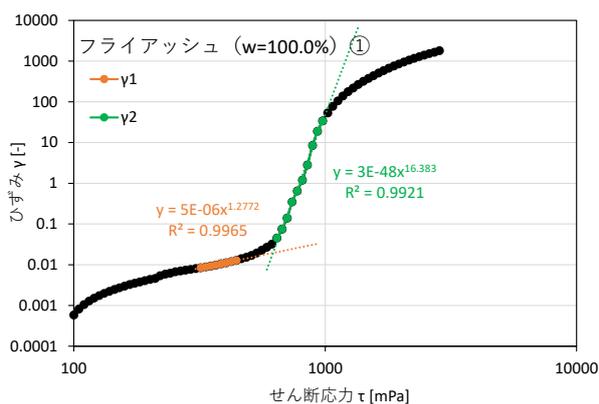


(a) 1 回目

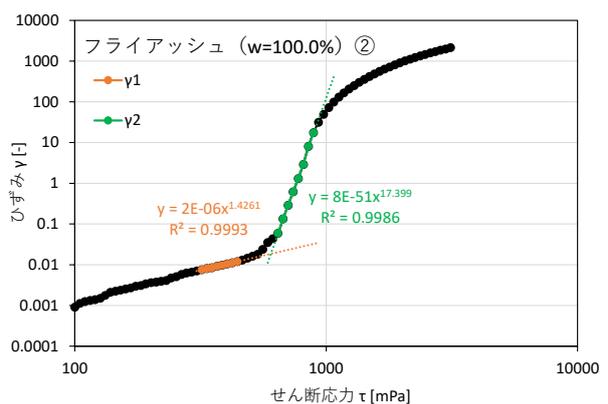


(b) 2 回目

図- 4.194 ベーン型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=90.0%)

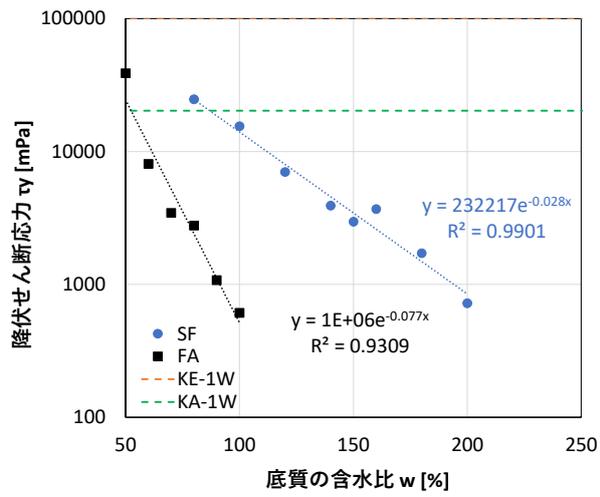


(a) 1 回目

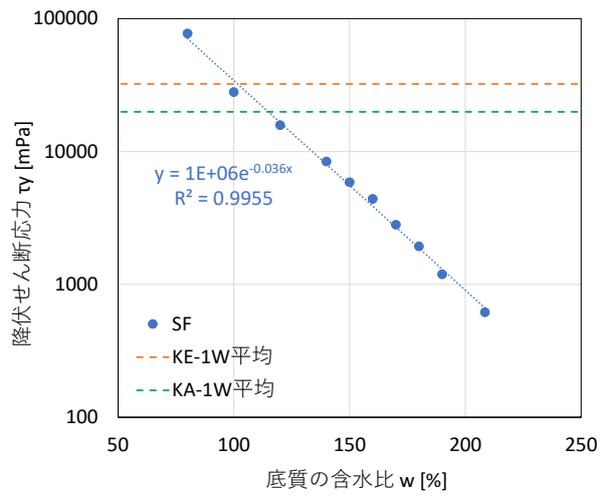


(b) 2 回目

図- 4.195 ベーン型粘度計による試験結果 (フライアッシュ, w=100.0%)



(a) R5



(b) R4

図- 4.196 底質模型と現地採取試料の比較 (ペーン型粘度計による降伏せん断応力)

5. 結果の整理

本事業では、海底に堆積したヘドロ等の泥・シルト性堆積物を含む津波（以降、黒津波とする）に関する既往文献を調査して整理し、有識者へのヒアリングおよび技術検討会を実施した。また、実際の海域においてヘドロ等をサンプリングして性状を分析・整理するとともに、ヘドロ等の巻き上げおよび波圧に関する水理試験を実施することにより、実海域における黒津波の発生条件やその特性等に係る知見を拡充した。本事業で得られた結果を以下にまとめる。

知見調査

- ✓ 有識者のヒアリングを3名に実施し、現地調査・水理試験の内容や方法を説明し、意見を頂き、計画や取りまとめに反映した。
- ✓ 文献調査では、現地調査・水理試験・数値解析の項目に分類して整理した。
- ✓ 現地調査に関する既往文献については、津波を対象とした既往調査が限定的であるため、一般的な底泥の移動に関する調査内容と、東日本大震災後の陸域におけるヘドロ等の堆積物調査に関わる知見を整理した。
- ✓ 水理試験に関する既往文献については、底泥を対象とした巻き上げ試験・波圧試験を整理した。
- ✓ 数値解析に関する既往文献については、黒津波を対象とした解析に関するものは見当たらないため、Fluid mud層に外力が作用する際の底泥移動モデル、固液二相流モデルに個別要素法を用いた粒子群の流動モデルを加えた高濃度掃流層の数値解析、土砂を含む津波氾濫流の先端部における水面形を評価等する数値計算手法について整理した。
- ✓ 技術検討会では1名の有識者を招聘し、原子力規制庁担当者同席のもと各試験内容・結果について討議した。その結果を取りまとめに反映した。

現地調査

- ✓ 現地調査では、過去事業で調査した河口付近の海域2箇所において、海底に堆積した底質（ヘドロ等）を採取し、粒度分布・比重・含水比・密度・組成等を分析した。
- ✓ 気仙沼湾奥および川崎港京浜運河で各2地点を調査した結果、海底表層に底泥（ヘドロ）が確認された。
- ✓ 採取された底質の表層20cm分を分析した結果、気仙沼湾奥の底質は川崎港京浜運河に比べて、中央粒径・比重は大きく、含水比は小さく、密度は大きく、強熱減量・有機体炭素は小さい結果となった。また、各種金属・イオンについては、川崎港京浜運河の底質が比較的大きい結果であった。
- ✓ 底質の含水比を深度方向に計測し、海底面からの鉛直分布を確認したが、含水比の変化による明瞭な土層構成の違いは判断できなかった。

- ✓ 粘性評価については、採取した底質（ヘドロ）から小石や貝等の不純物を取り除いた調整試料を用い、室温 20℃の定温環境下において粘性試験を実施した。その結果、底質の沈降・堆積期間に対する降伏せん断応力、ヘドロ等が巻き上がった状態を想定した濁水密度に対する粘度を取得した。

水理試験

・巻き上げ試験

- ✓ 試験体として、流速の大きい領域におけるヘドロ等の巻き上げを模擬できる試験装置の製作および底質模型の選定を実施した。
- ✓ 試験装置は、管路区間（幅 0.2m×高さ 0.2m）および開水路区間（幅 0.5m×高さ 1.0m）を有する 2 次元水路を用い、管路区間のサンドベッド（延長 3.5m×深さ 0.15m）に設置した底質模型を、津波を模した流れにより巻き上げる機構とした。
- ✓ 底質模型は、せん断応力が限界せん断応力を大きく上回る条件を模擬できるようにシリカフェーム（中央粒径 0.31 μm ，比重 2.27），フライアッシュ（中央粒径 3.81 μm ，比重 2.34）を選定した。なおシリカフェームについては、含水比を 2 種類設定し、粘性による影響を検討した。
- ✓ 津波を模した流れとして、目標断面平均流速を 1.0, 1.5, 2.0 m/s の 3 ケース設定した。また、流れによる圧力勾配の影響も確認するため、流速の増加率（加速度）を 0.06, 0.6, 0.7, 1.1 m/s² の 4 ケース設定した。
- ✓ 予備試験として、サンドベッドに底質模型を敷き均し、ポンプの回転数を徐々に上げ、流速を連続的に増加させた。水路側面から撮影した動画から、底質が動き出し始める流速（流送限界）を求め、限界摩擦速度と限界シールズ数を推定した。
- ✓ 移動床試験では、流れ方向に設置した圧力計から通水時の圧力勾配を求め、鉛直方向に設置した圧力計からサンドベッド内の圧力変化を計測した。カメラで巻き上げ状況を撮影し、任意のタイミングで吸引孔から濁水を採取した。撮影された映像は画像解析を行うことで連続的に SS 濃度分布を取得し、各吸引孔の位置で採取した試料からは濁水密度・体積濃度・SS 濃度の鉛直分布を求めた。
- ✓ 伝播中における津波の圧力分布は静水圧で近似できるため、本試験における圧力勾配は、津波の水面勾配に相当する。
- ✓ 吸引孔については、サンドベッドおよびその下流の 2 地点において水路側面から鉛直方向にそれぞれ 8 箇所および 1 箇所に設け、巻き上がった底質を含む濁水を水路断面中央位置で吸い込み採取し、同条件において 3 回繰返し実施した。
- ✓ 画像解析による濃度分布の推定については、光源として EL シートを用いて事前にキャリブレーションを実施し、濁水濃度と輝度との関係を求めた。本試験では、各ケースで 1 回実施した。

- ✓ サンドベッド上で鉛直方向に 8 箇所設置した吸引孔による濃度の結果から、底質が同じであれば流速が大きいほど濃度の鉛直分布の傾きは大きくなり、流速が同じ条件でも粘性が高い底質では鉛直分布の傾きは小さい傾向にあることが分かった。ただし、サンドベッド内の底質の粘性が低い（含水比が低い＝濃度が低い）と巻き上がり量自体が少ないため、粘性が高い底質よりも鉛直分布の傾きが小さくなる場合があった。
 - ✓ サンドベッド下流で水路床近くに 1 箇所設置した吸引孔による濃度の計測結果について、飽和含水比の底質濃度との比を正規化濃度と定義して算定し、また映像による目視判断からサンドベッド内の底質の破壊／移動を整理した。サンドベッドにある底質表層の一部が流動化した場合、吸引孔における濃度が飽和含水比の濃度と同程度に増加する。
 - ✓ 本試験の結果より、流速が同じ条件に対して、加速度（圧力勾配）が小さい場合に正規化濃度が小さく流動化（底質の破壊）が生じていない底質模型でも、加速度（圧力勾配）が大きくなると底質が破壊して流動化し、正規化濃度が高くなることが確認できた。そこで、底質模型の降伏せん断応力および圧力勾配の最大値と、底質の流動化の有無の関係を整理し、底質の流動化有無を判定する閾値の推定範囲を 1 次関数により示した。
 - ✓ 画像解析から濃度分布の時間変化について計測し、同じ位置、同じタイミングでの吸引孔による鉛直濃度分布の計測結果と、概ね一致することを確認した。ここで得られた SS 濃度の鉛直分布から、巻き上げ速度の変化を推定した。ただし、所定流速に至るまでにサンドベッド内の底質が浸食されており、巻き上がった底質の濁りにより底面位置（洗掘深）が明確に判読できないため、今回の結果は参考値とする。
 - ✓ サンドベッドの底質内における圧力の時間変化から、破壊により流動化した層厚を推定し、圧力勾配の最大値との関係を定量的に整理した。ただし、圧力の鉛直分布の変化は不明瞭なため、流動化推定層厚については今後さらに検討が必要である。
- ・波圧試験
- ✓ 波圧試験は、沖で発生した津波の第一波により底泥が巻き上がり、護岸前面の流体密度が高くなった場所に津波の第二波が来襲し、護岸を越流して防潮堤に黒い津波が衝突する状況を想定した。
 - ✓ 2 次元開水路（幅 0.20m×高さ 0.50m）を用いて、濁水を対象とした防潮堤に働く津波波力の計測試験を実施した。入射津波の特性を流体の密度によらず一定とするため、水路内に仕切板を設置し、津波造波装置側は常に清水とし、防潮堤（壁模型）側を濁水とした。
 - ✓ 流体の密度を 3 種類（1.00, 1.05, 1.10 g/cm³）として淡水（FW）、濁水（MW）、塩水（SW）を対象に試験を実施し、津波の伝播に伴う波形の変化、防潮堤に働く津波の波力・波圧を計測した。なお、同条件において通過波試験は 3 回、衝突試験は 5 回繰返し実施した。
 - ✓ 波検定により、3 種類（W1, W2, W3）の津波波形を設定した。海底地形は、水平床（F）と単純勾配（S）の 2 種類、防潮壁の位置は 3 種類（P1, P2, P3）とした。

- ✓ 防潮堤（壁模型）の無い状態で、防潮堤位置における通過波の浸水深および流速を計測し、フルード数を算定した。濁水についてはプロペラ流速計による流速の計測が困難であったため、映像による波先端の速度を判読してフルード数を算定した。その結果、最大浸水時におけるフルード数は、水平床（F）の条件で淡水（FW）0.3～1.0程度、濁水（MW）2.1～2.9程度、塩水（SW）0.2～1.0程度であり、単純勾配の条件で淡水（FW）0.9～1.0程度、濁水（MW）1.9～2.6程度であった。
- ✓ 通過波試験の結果より、各水位計測位置（H1～H8）における最大津波高の変化を流体及び密度ごとに整理し、水路側面から撮影した映像から各ケースの砕波位置を記録した。その結果、密度が大きいほど各地点の最大津波高は小さくなり、砕波点が沖側に移動する傾向を確認できた。
- ✓ 衝突試験の結果より、流体密度が大きくなるほど、津波の高さが低減し、津波の到達時間が遅くなる傾向を示した。また流体密度が大きくなるほど、波力が概ね小さくなる傾向を示した。なお、塩水（SW）における圧力計の計測値は、計測機器等からの電氣的なノイズ影響を受けている可能性があるため、その計測結果の評価には注意が必要である。
- ✓ 壁模型前面での最大水位の時刻前後において、それぞれ生じる波力を衝撃波力と持続波力と定義し、各最大値を整理した。その結果、全体的に衝撃波力よりも持続波力の方が大きく、持続波力が支配的となる傾向であった。ただし、堤体位置 P1, P2 の津波 W2 のケースにおいて、淡水（FW）は衝撃波力が全時刻の最大であるのに対し、濁水（MW ; 1.10g/cm^3 ）は持続波力が全時刻の最大になっている。これは、流体密度の増大により津波高が低下し、水面勾配が緩やかになったことが原因と考えられる。
- ✓ 濁水（MW）については、壁模型衝突時の流体密度を確認するため、壁模型前面および護岸前面において吸引孔を設置して濁水を採取した。採水のタイミングは、最大波力が発生した直後とし、各ケースで2回測定した。その結果、海底地形（F,S）、堤体位置（P1,P2,P3）、津波の種類（W1,W2,W3）に関わらず、壁模型前面において流体密度 1.05g/cm^3 が 1.02g/cm^3 程度、流体密度 1.10g/cm^3 が 1.05g/cm^3 程度となっていたことが分かった。
- ✓ 陸域に遡上した津波の先端部の波形は、流体密度の高い方が水面の角度が大きくなる（切り立つ）傾向が確認された。要因として粘性の増加による底面摩擦増大の影響が考えられるが、特性を明らかにするにはより詳細な検討が必要である。

・粘性評価

- ✓ 粘性評価として、底質模型について二重円筒型粘度計により粘性試験を実施し、せん断速度に対するせん断応力の変化から、粘度と降伏せん断応力を求めた。得られた結果より、底質の含水比が大きくなるほど粘度および降伏せん断応力は小さくなり、両者の関係は累乗近似式で整理できることが分かった。また、流体密度を調整した濁水と塩水についても同様に試験を実施し、流体密度と粘度の関係を確認した。得られた結果より、流体密度が大きくなるほど粘度が大きくなり、両者の関係は累乗近似式で整理できることが分かった。

- ✓ ベーン型粘度計を用いた粘性試験を実施し、せん断応力に対するひずみの変化から、降伏せん断応力を求めた。得られた結果から、二重円筒型粘度計の結果と同様、底質の含水比が大きくなるほど降伏せん断応力は小さくなり、両者の関係は累乗近似式で整理できることが分かった。ただし、ベーン型粘度計による降伏せん断応力は二重円筒型粘度計による降伏せん断応力よりも大きく、底質の破壊判定基準としては前者の方が適切であると考えられる。
- ✓ ベーン型粘度計による底質模型の降伏せん断応力について現地採取試料との比較を行った。その結果、シリカフェームの含水比 100%の底質模型が、現地採取試料（沈降後 1 週間後）の粘性を概ね再現していることが確認できた。

相似則の影響

- ✓ 巻き上げ試験では、実際のスケール（想定縮尺 1/1）での津波の再現を目標とし、製作した試験装置で発生可能な最大流速（断面平均流速 2m/s）を設定した。この流速は、水深 15m において津波高 2.5m の津波が来襲する時の流速と同等である。
- ✓ 東日本大震災時における気仙沼湾での黒津波を事例に、実際のスケールにおけるシールズ数の概略を推定すると、以下の通りである。
 - ・ 気仙沼湾の最大津波高 $\eta=5.75\text{m}$ 、推定水深 $h=20\text{m}$ → 鉛直平均流速 $\bar{u}=4.0\text{ m/s}$
 - ・ 流速分布が対数則と仮定、底泥の平均粒径 $d_{50}=7\mu\text{m}$ → 摩擦速度 $u^*=0.093\text{ m/s}$
 - ・ 底泥の粒子密度 $\rho_s=2.7\text{g/cm}^3$ → シールズ数 $\tau^*=74$

一方、過年度実施された巻き上げ試験の固定床条件で得られた流速分布よりシールズ数を推定した結果、フライアッシュが 14~197、それより粒径の細かいシリカフェームが 356~3686 であった。なおフライアッシュの粒径は、東日本大震災後に黒津波の痕跡で採取された底泥の中央粒径相当である。このことから本試験は、実際の津波による巻き上げ現象と同等、または、より巻き上げが卓越する現象を包括的に捉えられていると考えられる。ただし、シールズ数は砂粒子に対する底質移動の指標として提案されているものであるため、ここで取り扱う黒津波への適用については、さらに検討を加える必要がある。

- ✓ 波圧試験では、フルード相似則を適用した場合の想定縮尺を 1/100 とした。ただし、底質を含む濁水の粘度[Pa・s]については、フルード相似則に従うと 1/1000 に小さくする必要があるが、水理試験においてこれを再現するのは困難であり、本試験は粘性を過大に評価する傾向にあると考えられる。本試験結果からは、粘性の影響よりも比重の影響の方が大きいことが示唆されたが、粘性の影響について詳細は未解明であるため、更なる調査・検討が必要である。

巻末資料

現地調査補足資料

以下の内容について，資料を添付する．

- (1) 作業写真集（気仙沼湾奥・川崎港京浜運河）
- (2) 試験分析報告書

(1) 作業写真集



No. 1

気仙沼湾奥

地点A

周辺状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 2

気仙沼湾奥

地点A

周辺状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 3

気仙沼湾奥

地点A

採泥位置

撮影日: 2023年9月27日



No. 4

気仙沼湾奥

地点A

潜水士

撮影日: 2023年9月27日



No. 5

気仙沼湾奥

地点A

潜水士

撮影日: 2023年9月27日



No. 6

気仙沼湾奥

地点A

海底状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 7

気仙沼湾奥

地点A

海底状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 8

気仙沼湾奥

地点A

採泥状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 9

気仙沼湾奥

地点A

採泥状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 10

気仙沼湾奥

地点A

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 11

気仙沼湾奥

地点A

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 12

気仙沼湾奥

地点A

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 13

気仙沼湾奥

地点A

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 14

気仙沼湾奥

地点A

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 15

気仙沼湾奥

地点B

採泥位置

撮影日: 2023年9月27日



No. 16

気仙沼湾奥

地点B

周辺状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 17

気仙沼湾奥

地点B

周辺状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 18

気仙沼湾奥

地点B

潜水作業

撮影日: 2023年9月27日



No. 19

気仙沼湾奥

地点B

海底状況

撮影日: 2023年9月27日



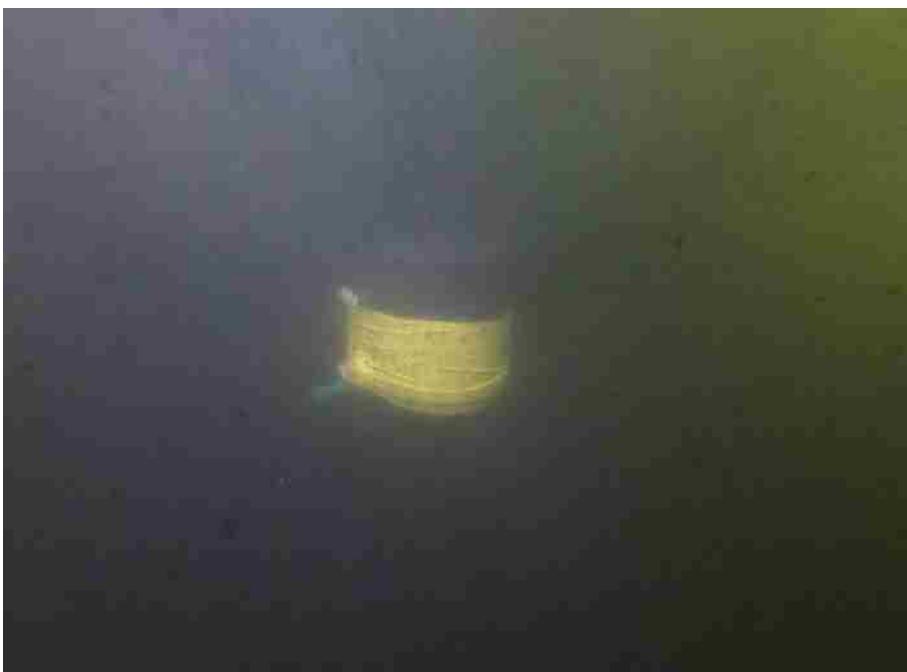
No. 20

気仙沼湾奥

地点B

海底状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 21

気仙沼湾奥

地点B

採泥状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 22

気仙沼湾奥

地点B

採泥状況

撮影日: 2023年9月27日



No. 23

気仙沼湾奥

地点B

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 24

気仙沼湾奥

地点B

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



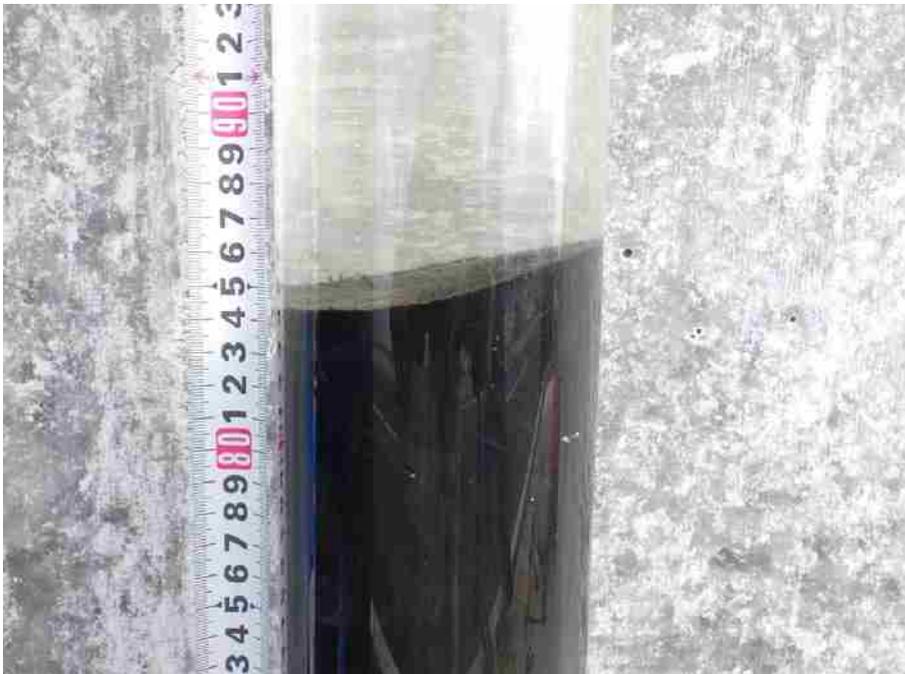
No. 25

気仙沼湾奥

地点B

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 26

気仙沼湾奥

地点B

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 27

気仙沼湾奥

地点B

コアサンプル

撮影日: 2023年9月27日



No. 28

川崎港京浜運河

TBM-KY

撮影日: 2023年9月23日



No. 29

川崎港京浜運河

地点A1

周辺状況

撮影日: 2023年9月23日



No. 30

川崎港京浜運河

地点A1

周辺状況

撮影日: 2023年9月23日



No. 31

川崎港京浜運河

地点A1

周辺状況

撮影日: 2023年9月23日



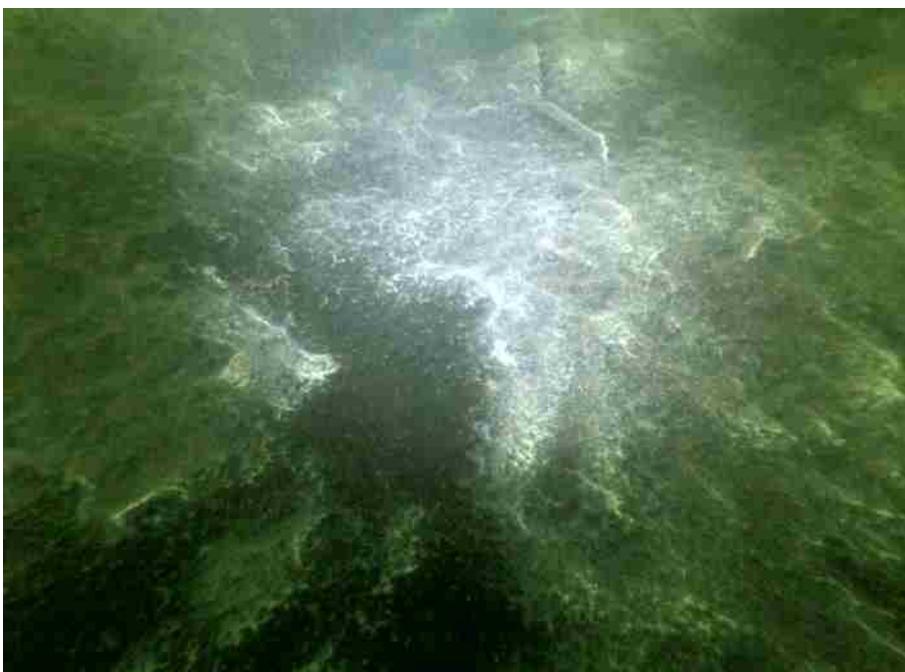
No. 32

川崎港京浜運河

地点A1

潜水作業

撮影日: 2023年9月23日



No. 33

川崎港京浜運河

地点A1

海底状況

撮影日: 2023年9月23日



No. 34

川崎港京浜運河

地点A1

海底状況

撮影日: 2023年9月23日



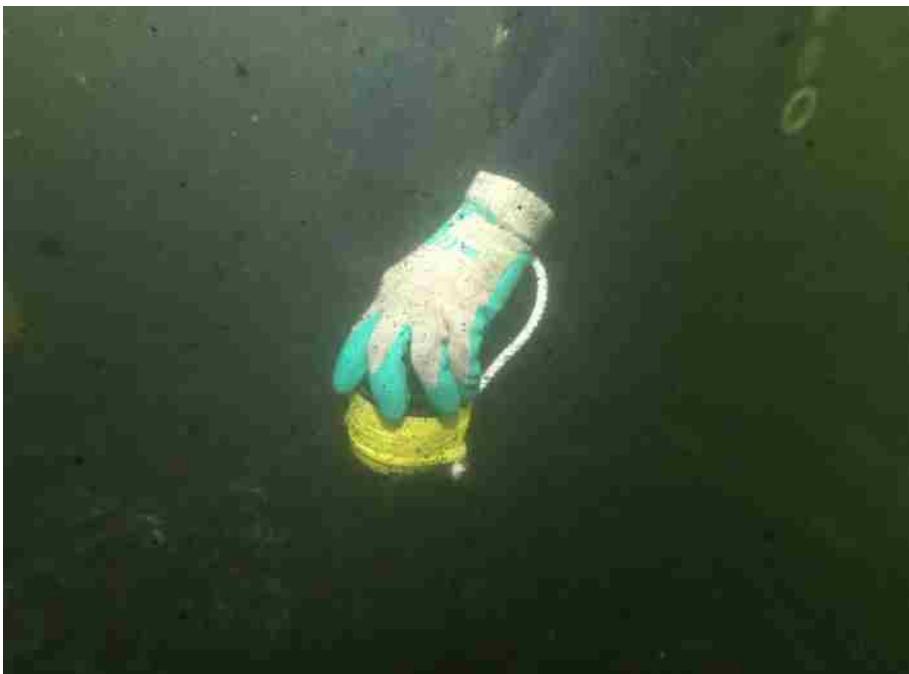
No. 35

川崎港京浜運河

地点A1

採泥状況

撮影日: 2023年9月23日



No. 36

川崎港京浜運河

地点A1

採泥状況

撮影日: 2023年9月23日



No. 37

川崎港京浜運河

地点A1

コアサンプル

撮影日: 2023年9月23日



No. 38

川崎港京浜運河

地点A1

コアサンプル

撮影日: 2023年9月23日



No. 39

川崎港京浜運河

地点A1

コアサンプル

撮影日: 2023年9月23日



No. 40

川崎港京浜運河

地点:C

周辺状況

撮影日:2023年9月23日



No. 41

川崎港京浜運河

地点:C

周辺状況

撮影日:2023年9月23日



No. 42

川崎港京浜運河

地点:C

周辺状況

撮影日:2023年9月23日



No. 43

川崎港京浜運河

地点:C

潜水作業状況

撮影日:2023年9月23日



No. 44

川崎港京浜運河

地点:C

海底状況

撮影日:2023年9月23日



No. 45

川崎港京浜運河

地点:C

海底状況

撮影日:2023年9月23日



No. 46

川崎港京浜運河

地点:C

採泥状況

撮影日:2023年9月23日



No. 47

川崎港京浜運河

地点:C

採泥状況

撮影日:2023年9月23日



No. 48

川崎港京浜運河

地点:C

採泥状況

撮影日:2023年9月23日



No. 49

川崎港京浜運河

地点:C

コアサンプル

撮影日:2023年9月23日



No. 50

川崎港京浜運河

地点:C

コアサンプル

撮影日:2023年9月23日

(2) 試験分析報告書

注；試験分析報告書の試料名(測点名)について

- KA-A1:川崎港京浜運河 地点 A1
- KA-C :川崎港京浜地区 地点 C
- KE-A :気仙沼湾奥 地点 A
- KE-B :気仙沼湾奥 地点 B

試験分析報告書

発行No. 23123145

【含有量試験】

2023年10月30日

海洋エンジニアリング株式会社 様

2023年度 海底表層にある底質の潜水採取

2023年10月2日受付の試料について試験した結果を下記のとおり報告いたします。



帝人エコ・サイエンス株式会社

東京都港区三田三丁目3番8号

TEL 03-5440-4301

事業所 東京都羽村市神明台四丁目8番43号

TEL 042-530-4030

計量証明事業登録 東京都No. 624 (濃度)
東京都No. 1003 (音圧)
東京都No. 1004 (振動)

試料受付方法

持込

試験責任者

若林 和也

試験分析項目	試料名称	単位	KA-A1		試験分析方法
1	粒度試験	—	別紙		JIS Z 8825
2	粒度試験(有機物除去)	—	別紙		JIS Z 8825
3	比重	—	2.467		ピクノメーター法
4	含水比	%	409.93		JIS A 1203
5	液性限界	%	172.6		JIS A 1205
6	塑性限界	%	75.4		JIS A 1205
7	沈降速度(遠心沈降法)	—	別紙		光透過式遠心沈降法
8	強熱減量	%	19.58		JIS A 1226準拠
9	pH	pH	8.1(23°C)		底質調査方法(H24) II 4.4
10	COD	mg/g	80		底質調査方法(H24) II 4.7
11	硫化物	mg/g	5.1		底質調査方法(H24) II 4.6 よう素滴定法
12	全りん	mg/g	1.5		底質調査方法(H24) II 4.9 モリブデン青吸光度法
13	全有機炭素	mg/g	81		底質調査方法(H24) II 4.10 燃焼酸化法
14	有機塩素化合物	mg/kg	<4		環告第13号別表第6/JIS K 0102 35.3 ｲﾝﾌｫﾘﾏﾄﾞﾗﾝ法
15	鉄	mg/kg	69000		底質調査方法(H24) II 5.5. 4 ICP発光分析法
16	マンガン	mg/kg	800		底質調査方法(H24) II 5.6. 4 ICP発光分析法
17	銅	mg/kg	440		底質調査方法(H24) II 5.3. 4 ICP発光分析法
18	亜鉛	mg/kg	2400		底質調査方法(H24) II 5.4. 4 ICP発光分析法
24	密度	kg/m ³	1185		重量法
	以下余白				

試験分析報告書

発行No. 23123146

【含有量試験】

2023年10月30日

海洋エンジニアリング株式会社 様

2023年度 海底表層にある底質の潜水採取



帝人エコ・サイエンス株式会社

東京都港区三田三丁目3番8号

TEL 03-5440-4301

事業所 東京都羽村市神明台四丁目8番43号

TEL 042-530-4030

計量証明事業登録

東京都No. 624 (濃度)

東京都No. 1003 (音圧)

東京都No. 1004 (振動)

2023年10月2日受付の試料について試験した結果を下記のとおり報告いたします。

試料受付方法

持込

試験責任者

若林 和也

試験分析項目	試料名称	単位	KA-C	試験分析方法
1	粒度試験	—	別紙	JIS Z 8825
2	粒度試験(有機物除去)	—	別紙	JIS Z 8825
3	比重	—	2.552	ピクノメーター法
4	含水比	%	197.49	JIS A 1203
5	液性限界	%	110.9	JIS A 1205
6	塑性限界	%	51.0	JIS A 1205
7	沈降速度(遠心沈降法)	—	別紙	光透過式遠心沈降法
8	強熱減量	%	11.58	JIS A 1226準拠
9	pH	pH	7.9(23°C)	底質調査方法(H24) II 4.4
10	COD	mg/g	40	底質調査方法(H24) II 4.7
11	硫化物	mg/g	2.2	底質調査方法(H24) II 4.6 よう素滴定法
12	全りん	mg/g	0.64	底質調査方法(H24) II 4.9 モリブデン青吸光度法
13	全有機炭素	mg/g	31	底質調査方法(H24) II 4.10 燃焼酸化法
14	有機塩素化合物	mg/kg	<4	報告第13号別表第6/JIS K 0102 35.3 イソシロマトゲ法
15	鉄	mg/kg	27000	底質調査方法(H24) II 5.5. 4 ICP発光分析法
16	マンガン	mg/kg	390	底質調査方法(H24) II 5.6. 4 ICP発光分析法
17	銅	mg/kg	99	底質調査方法(H24) II 5.3. 4 ICP発光分析法
18	亜鉛	mg/kg	400	底質調査方法(H24) II 5.4. 4 ICP発光分析法
24	密度	kg/m ³	1264	重量法
	以下余白			

試験分析報告書

発行No 23123147

【含有量試験】

2023年10月30日

海洋エンジニアリング株式会社 様

2023年度 海底表層にある底質の潜水採取

2023年10月2日受付の試料について試験した結果を下記のとおり報告いたします。



帝人エコ・サイエンス株式会社

東京都港区三田三丁目3番8号

TEL 03-5440-4301

事業所 東京都羽村市神明台四丁目8番43号

TEL 042-530-4030

計量証明事業登録

東京都No. 624 (濃度)

東京都No. 1003 (音圧)

東京都No. 1004 (振動)

試料受付方法 持込

試験責任者 若林 和也

試験分析項目	試料名称	単位	KE-A		試験分析方法
1	粒度試験	—	別紙		JIS Z 8825
2	粒度試験(有機物除去)	—	別紙		JIS Z 8825
3	比重	—	2.651		ピクノメーター法
4	含水比	%	76.96		JIS A 1203
5	液性限界	%	74.4		JIS A 1205
6	塑性限界	%	42.7		JIS A 1205
7	沈降速度(遠心沈降法)	—	別紙		光透過式遠心沈降法
8	強熱減量	%	10.17		JIS A 1226準拠
9	pH	pH	7.8(23°C)		底質調査方法(H24) II 4.4
10	COD	mg/g	48		底質調査方法(H24) II 4.7
11	硫化物	mg/g	1.9		底質調査方法(H24) II 4.6 よう素滴定法
12	全りん	mg/g	0.95		底質調査方法(H24) II 4.9 モリブデン青吸光度法
13	全有機炭素	mg/g	21		底質調査方法(H24) II 4.10 燃焼酸化法
14	有機塩素化合物	mg/kg	<4		環告第13号別表第6/JIS K 0102 35.3 イソマトグラフ法
15	鉄	mg/kg	29000		底質調査方法(H24) II 5.5. 4 ICP発光分析法
16	マンガン	mg/kg	290		底質調査方法(H24) II 5.6. 4 ICP発光分析法
17	銅	mg/kg	140		底質調査方法(H24) II 5.3. 4 ICP発光分析法
18	亜鉛	mg/kg	220		底質調査方法(H24) II 5.4. 4 ICP発光分析法
24	密度	kg/m ³	1418		重量法
	以下余白				

試験分析報告書

発行No 23123148

【含有量試験】

2023年10月30日

海洋エンジニアリング株式会社 様

2023年度 海底表層にある底質の潜水採取



帝人エコ・サイエンス株式会社

東京都港区三田三丁目3番8号

TEL 03-5440-4301

事業所 東京都羽村市神明台四丁目8番43号

TEL 042-530-4030

計量証明事業登録

東京都No. 624 (濃度)

東京都No. 1003 (音圧)

東京都No. 1004 (振動)

2023年10月2日受付の試料について試験した結果を下記のとおり報告いたします。

試料受付方法

持込

試験責任者

若林 和也

試験分析項目	試料名称	単位	KE-B		試験分析方法
1	粒度試験	—	別紙		JIS Z 8825
2	粒度試験(有機物除去)	—	別紙		JIS Z 8825
3	比重	—	2.644		ピクノメーター法
4	含水比	%	100.96		JIS A 1203
5	液性限界	%	75.8		JIS A 1205
6	塑性限界	%	40.9		JIS A 1205
7	沈降速度(遠心沈降法)	—	別紙		光透過式遠心沈降法
8	強熱減量	%	11.25		JIS A 1226準拠
9	pH	pH	7.8(23°C)		底質調査方法(H24) II 4.4
10	COD	mg/g	42		底質調査方法(H24) II 4.7
11	硫化物	mg/g	1.9		底質調査方法(H24) II 4.6 よう素滴定法
12	全りん	mg/g	0.87		底質調査方法(H24) II 4.9 モリブデン青吸光度法
13	全有機炭素	mg/g	26		底質調査方法(H24) II 4.10 燃焼酸化法
14	有機塩素化合物	mg/kg	<4		環告第13号別表第6/JIS K 0102 35.3 イソナトリウム法
15	鉄	mg/kg	34000		底質調査方法(H24) II 5.5. 4 ICP発光分析法
16	マンガン	mg/kg	290		底質調査方法(H24) II 5.6. 4 ICP発光分析法
17	銅	mg/kg	150		底質調査方法(H24) II 5.3. 4 ICP発光分析法
18	亜鉛	mg/kg	240		底質調査方法(H24) II 5.4. 4 ICP発光分析法
24	密度	kg/m ³	1468		重量法
	以下余白				

測定報告書

1 測定項目

粒度分布(レーザー回折・散乱法)

2 測定試料

KA-A1

KA-C

KE-A

KE-B

計:4検体

3 使用機器・測定方法・測定条件

使用機器: LMS-2000e(株セイシン企業製)

測定方法: 1.分散媒のみでブランク測定を行う。
2.試料を超音波にて分散させる。
3.試料を分散槽に入れ、循環式にて粒度分布測定を行う。

測定条件: 測定範囲 0.020~2000.00 μm
使用分散媒 イオン交換水
超音波分散時間 1分

4 測定結果

測定結果は別紙参照願います。

測定番号 5413

SOP名

測定日 2023年10月4日 16:19:56

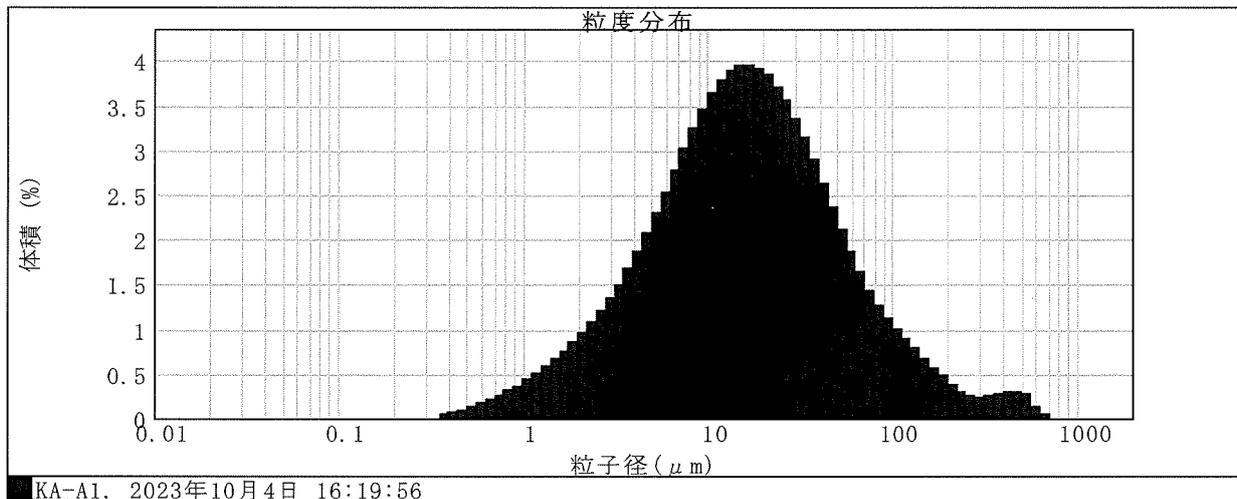
サンプル名 KA-A1

ロット番号

測定者名 (株)セイシン企業

分散ユニット名	WET UNIT 2000S (A)	散乱強度	17.43 %	超音波出力	0 %		
粒子名	Fraunhofer	粒子屈折率	0.000	虚数部	0	解析モデル	汎用モード
分散媒名	Water	分散媒屈折率	1.330	粒子径範囲	0.020 to 2000.000 μm		
モード	16.248 μm	平均径	36.045 μm				

濃度	0.0196 %Vol	スパン	4.643	均一性	1.79		
	d(25): 7.134 μm				d(75): 34.997 μm		
	d(10): 3.144 μm		d(50): 15.928 μm			d(90): 77.092 μm	



粒子径 (μm)	ふるい下 (体積) %	粒子径 (μm)	ふるい下 (体積) %	粒子径 (μm)	ふるい下 (体積) %	粒子径 (μm)	ふるい下 (体積) %	粒子径 (μm)	ふるい下 (体積) %
0.020	0.00	0.224	0.00	2.518	7.54	28.251	68.92	316.979	98.39
0.022	0.00	0.252	0.00	2.825	8.75	31.698	72.28	355.656	98.65
0.025	0.00	0.283	0.00	3.170	10.10	35.566	75.43	398.052	98.93
0.028	0.00	0.317	0.00	3.557	11.61	39.905	78.32	447.744	99.23
0.032	0.00	0.356	0.00	3.991	13.29	44.774	80.96	502.377	99.54
0.036	0.00	0.399	0.05	4.477	15.16	50.238	83.33	563.677	99.82
0.040	0.00	0.448	0.12	5.024	17.24	56.368	85.44	632.456	99.95
0.045	0.00	0.502	0.22	5.637	19.54	63.246	87.31	709.627	100.00
0.050	0.00	0.564	0.36	6.325	22.08	70.963	88.95	796.214	100.00
0.056	0.00	0.632	0.53	7.096	24.87	79.621	90.38	893.367	100.00
0.063	0.00	0.710	0.75	7.962	27.89	89.337	91.65	1002.374	100.00
0.071	0.00	0.796	1.01	8.934	31.15	100.237	92.78	1124.683	100.00
0.080	0.00	0.893	1.32	10.024	34.62	112.468	93.78	1261.915	100.00
0.089	0.00	1.002	1.70	11.247	38.27	126.191	94.67	1415.892	100.00
0.100	0.00	1.125	2.13	12.619	42.06	141.589	95.45	1588.656	100.00
0.112	0.00	1.262	2.64	14.159	45.96	158.866	96.13	1782.502	100.00
0.126	0.00	1.416	3.22	15.887	49.91	178.250	96.71	2000.000	100.00
0.142	0.00	1.589	3.88	17.825	53.87	200.000	97.19		
0.159	0.00	1.783	4.64	20.000	57.80	224.404	97.57		
0.178	0.00	2.000	5.50	22.440	61.64	251.785	97.88		
0.200	0.00	2.244	6.46	25.179	65.36	282.508	98.14		

粒子径 (μm)	頻度 % (体積)	粒子径 (μm)	頻度 % (体積)	粒子径 (μm)	頻度 % (体積)	粒子径 (μm)	頻度 % (体積)	粒子径 (μm)	頻度 % (体積)
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.44	7.096	3.03	50.238	2.11
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.50	7.962	3.26	56.368	1.86
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.58	8.934	3.47	63.246	1.64
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.67	10.024	3.65	70.963	1.44
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.76	11.247	3.79	79.621	1.27
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.86	12.619	3.90	89.337	1.12
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.96	14.159	3.95	100.237	1.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.08	15.887	3.96	112.468	0.89
0.050	0.00	0.356	0.05	2.518	1.21	17.825	3.93	126.191	0.79
0.056	0.00	0.399	0.08	2.825	1.35	20.000	3.84	141.589	0.68
0.063	0.00	0.448	0.10	3.170	1.51	22.440	3.72	158.866	0.58
0.071	0.00	0.502	0.14	3.557	1.68	25.179	3.56	178.250	0.48
0.080	0.00	0.564	0.17	3.991	1.87	28.251	3.36	200.000	0.38
0.089	0.00	0.632	0.21	4.477	2.08	31.698	3.14	224.404	0.31
0.100	0.00	0.710	0.26	5.024	2.30	35.566	2.90	251.785	0.26
0.112	0.00	0.796	0.31	5.637	2.54	39.905	2.64	282.508	0.25
0.126	0.00	0.893	0.37	6.325	2.79	44.774	2.37	316.979	0.25
0.142	0.00	1.002	0.37	7.096	2.79	50.238	2.37	355.656	0.26

測定番号 5416

SOP名

測定日 2023年10月4日 16:28:27

サンプル名 KA-C

ロット番号

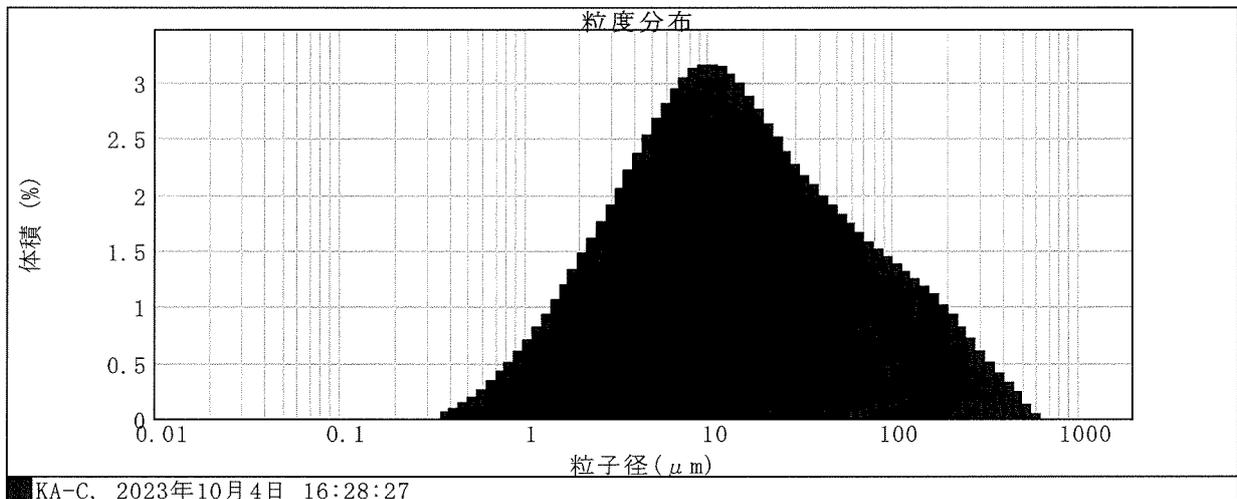
測定者名 (株)セイシン企業

分散ユニット名 WET UNIT 2000S (A) 散乱強度 19.21 % 超音波出力 0 %
粒子名 Fraunhofer 粒子屈折率 0.000 虚数部 0 解析モデル 汎用モード
分散媒名 Water 分散媒屈折率 1.330 粒子径範囲 0.020 to 2000.000 μm
モード 10.231 μm 平均径 41.760 μm

濃度 0.0173 %Vol スパン 8.736 均一性 2.71

d(25): 5.130 μm d(75): 41.365 μm

d(10): 2.229 μm d(50): 13.300 μm d(90): 118.416 μm



粒子径 (μm)	ふるい下(体積)%								
0.020	0.00	0.224	0.00	2.518	11.70	28.251	67.84	316.979	98.36
0.022	0.00	0.252	0.00	2.825	13.46	31.698	70.11	355.656	98.87
0.025	0.00	0.283	0.00	3.170	15.36	35.566	72.29	399.052	99.28
0.028	0.00	0.317	0.00	3.557	17.42	39.905	74.37	447.744	99.61
0.032	0.00	0.356	0.00	3.991	19.63	44.774	76.36	502.377	99.84
0.036	0.00	0.399	0.05	4.477	22.00	50.238	78.28	563.677	99.96
0.040	0.00	0.448	0.14	5.024	24.53	56.368	80.10	632.456	100.00
0.045	0.00	0.502	0.28	5.637	27.20	63.246	81.85	709.627	100.00
0.050	0.00	0.564	0.48	6.325	30.02	70.963	83.51	796.214	100.00
0.056	0.00	0.632	0.74	7.096	32.96	79.621	85.09	893.367	100.00
0.063	0.00	0.710	1.07	7.962	36.01	89.337	86.60	1002.374	100.00
0.071	0.00	0.796	1.48	8.934	39.13	100.237	88.03	1124.683	100.00
0.080	0.00	0.893	1.98	10.024	42.29	112.468	89.40	1261.915	100.00
0.089	0.00	1.002	2.58	11.247	45.45	126.191	90.72	1415.892	100.00
0.100	0.00	1.125	3.28	12.619	48.59	141.589	91.97	1588.656	100.00
0.112	0.00	1.262	4.10	14.159	51.66	158.866	93.15	1782.502	100.00
0.126	0.00	1.416	5.04	15.887	54.66	178.250	94.26	2000.000	100.00
0.142	0.00	1.589	6.10	17.825	57.54	200.000	95.29		
0.159	0.00	1.783	7.29	20.000	60.30	224.404	96.21		
0.178	0.00	2.000	8.62	22.440	62.94	251.785	97.03		
0.200	0.00	2.244	10.09	25.179	65.45	282.508	97.75		

粒子径 (μm)	頻度%(体積)								
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.70	7.096	3.04	50.238	1.83
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.82	7.962	3.12	56.368	1.75
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.94	8.934	3.16	63.246	1.66
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.06	10.024	3.16	70.963	1.58
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.19	11.247	3.14	79.621	1.50
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.33	12.619	3.08	89.337	1.44
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.47	14.159	2.99	100.237	1.37
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.61	15.887	2.89	112.468	1.31
0.050	0.00	0.356	0.05	2.518	1.76	17.825	2.76	126.191	1.25
0.056	0.00	0.399	0.09	2.825	1.91	20.000	2.64	141.589	1.18
0.063	0.00	0.448	0.14	3.170	2.06	22.440	2.51	158.866	1.11
0.071	0.00	0.502	0.19	3.557	2.21	25.179	2.39	178.250	1.02
0.080	0.00	0.564	0.26	3.991	2.37	28.251	2.28	200.000	0.93
0.089	0.00	0.632	0.33	4.477	2.53	31.698	2.17	224.404	0.82
0.100	0.00	0.710	0.41	5.024	2.68	35.566	2.08	251.785	0.72
0.112	0.00	0.796	0.50	5.637	2.82	39.905	2.00	282.508	0.61
0.126	0.00	0.893	0.60	6.325	2.94	44.774	1.91	316.979	0.51
0.142	0.00	1.002	0.60	7.096	2.94	50.238	1.91	355.656	0.51

測定番号 5420

SOP名

測定日 2023年10月4日 16:38:52

サンプル名 KE-A

ロット番号

測定者名 (株)セイシン企業

分散ユニット名 WET UNIT 2000S (A) 散乱強度 17.14 % 超音波出力 0 %

粒子名 Fraunhofer 粒子屈折率 0.000 虚数部 0 解析モデル 汎用モード

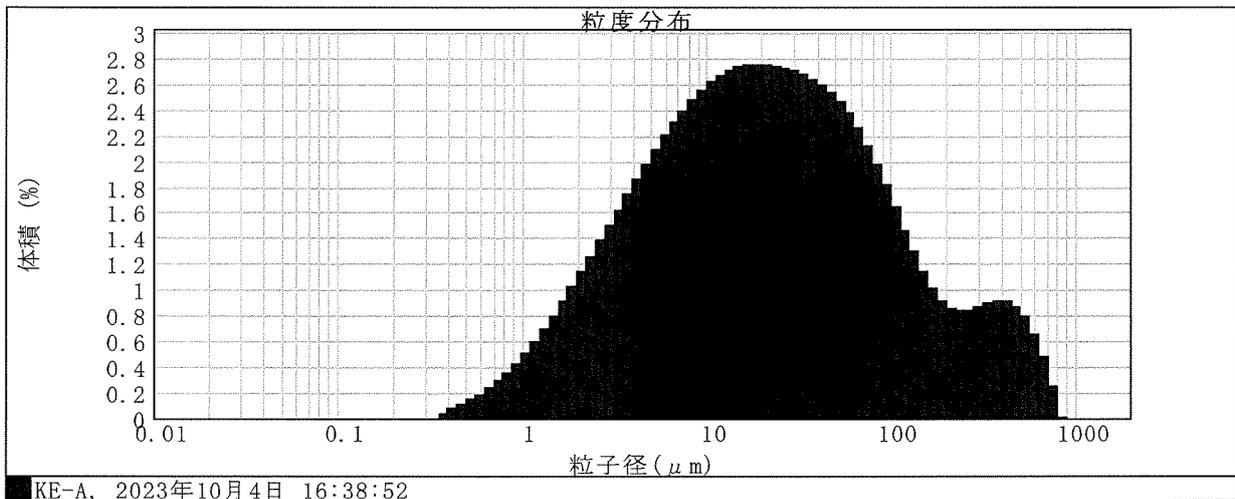
分散媒名 Water 分散媒屈折率 1.330 粒子径範囲 0.020 to 2000.000 μm

モード 19.046 μm 平均径 66.689 μm

濃度 0.0193 %Vol スパン 8.512 均一性 2.81

d(25): 6.948 μm d(75): 62.533 μm

d(10): 2.789 μm d(50): 20.800 μm d(90): 179.835 μm



粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)
0.020	0.00	0.224	0.00	2.518	8.78	28.251	57.27	316.979	94.23
0.022	0.00	0.252	0.00	2.825	10.16	31.698	59.97	355.656	95.12
0.025	0.00	0.283	0.00	3.170	11.66	35.566	62.64	399.052	96.04
0.028	0.00	0.317	0.00	3.557	13.28	39.905	65.28	447.744	96.95
0.032	0.00	0.356	0.00	3.991	15.02	44.774	67.87	502.377	97.82
0.036	0.00	0.399	0.04	4.477	16.87	50.238	70.40	563.677	98.61
0.040	0.00	0.448	0.12	5.024	18.85	56.368	72.86	632.456	99.26
0.045	0.00	0.502	0.22	5.637	20.93	63.246	75.23	709.627	99.74
0.050	0.00	0.564	0.36	6.325	23.13	70.963	77.48	796.214	99.99
0.056	0.00	0.632	0.55	7.096	25.43	79.621	79.60	893.367	100.00
0.063	0.00	0.710	0.78	7.962	27.82	89.337	81.58	1002.374	100.00
0.071	0.00	0.796	1.08	8.934	30.30	100.237	83.39	1124.683	100.00
0.080	0.00	0.893	1.43	10.024	32.85	112.468	85.02	1261.915	100.00
0.089	0.00	1.002	1.86	11.247	35.47	126.191	86.48	1415.892	100.00
0.100	0.00	1.125	2.37	12.619	38.13	141.589	87.78	1588.656	100.00
0.112	0.00	1.262	2.97	14.159	40.83	158.866	88.91	1782.502	100.00
0.126	0.00	1.416	3.66	15.887	43.57	178.250	89.93	2000.000	100.00
0.142	0.00	1.589	4.46	17.825	46.31	200.000	90.84		
0.159	0.00	1.783	5.37	20.000	49.06	224.404	91.70		
0.178	0.00	2.000	6.39	22.440	51.81	251.785	92.53		
0.200	0.00	2.244	7.52	25.179	54.55	282.508	93.37		

粒子径(μm)	頻度%(体積)	粒子径(μm)	頻度%(体積)								
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.51	7.096	2.39	50.238	2.46	355.656	0.91
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.60	7.962	2.48	56.368	2.37	399.052	0.87
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.69	8.934	2.55	63.246	2.25	447.744	0.81
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.80	10.024	2.61	70.963	2.12	502.377	0.79
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.91	11.247	2.66	79.621	1.97	563.677	0.65
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.02	12.619	2.70	89.337	1.81	632.456	0.48
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.14	14.159	2.73	100.237	1.64	709.627	0.25
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.26	15.887	2.75	112.468	1.46	796.214	0.01
0.050	0.00	0.356	0.04	2.518	1.38	17.825	2.75	126.191	1.29	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.08	2.825	1.50	20.000	2.75	141.589	1.14	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.10	3.170	1.62	22.440	2.74	158.866	1.01	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.14	3.557	1.74	25.179	2.72	178.250	0.92	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.19	3.991	1.86	28.251	2.70	200.000	0.86	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.24	4.477	1.97	31.698	2.67	224.404	0.83	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.29	5.024	2.09	35.566	2.64	251.785	0.84	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.36	5.637	2.20	39.905	2.59	282.508	0.86	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.43	6.325	2.30	44.774	2.53	316.979	0.89		
0.142	0.00	1.002	0.43	7.096	2.30	50.238	2.53	355.656	0.89		

測定番号 5429

SOP名

測定日 2023年10月4日 16:53:39

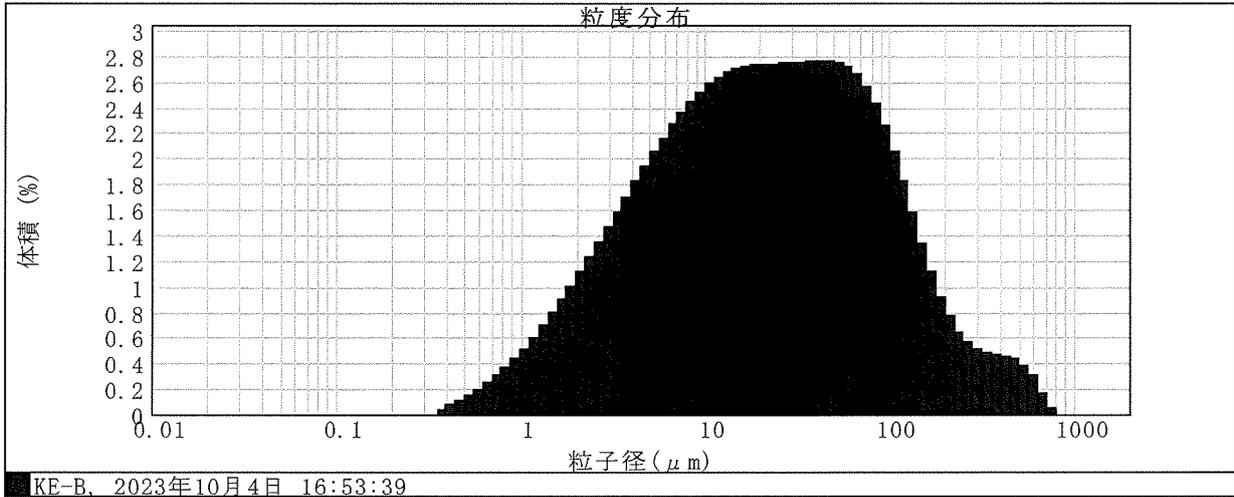
サンプル名 KE-B

ロット番号

測定者名 株式会社セイシン企業

分散ユニット名	WET UNIT 2000S (A)	散乱強度	17.47 %	超音波出力	0 %
粒子名	Fraunhofer	粒子屈折率	0.000	虚数部	0
分散媒名	Water	分散媒屈折率	1.330	解析モデル	汎用モード
モード	45.075 μm	平均径	53.250 μm	粒子径範囲	0.020 to 2000.000 μm

濃度	0.0197 %Vol	スパン	5.893	均一性	2.11
d(25):	7.048 μm	d(75):	60.630 μm		
d(10):	2.789 μm	d(50):	21.285 μm	d(90):	128.221 μm



粒子径(μm)	ふるい下(体積)%	粒子径(μm)	ふるい下(体積)%	粒子径(μm)	ふるい下(体積)%	粒子径(μm)	ふるい下(体積)%	粒子径(μm)	ふるい下(体積)%
0.020	0.00	0.224	0.00	2.518	8.81	28.251	56.73	316.979	97.22
0.022	0.00	0.252	0.00	2.825	10.16	31.698	59.48	355.656	97.71
0.025	0.00	0.283	0.00	3.170	11.62	35.566	62.23	399.052	98.19
0.028	0.00	0.317	0.00	3.557	13.20	39.905	64.99	447.744	98.65
0.032	0.00	0.356	0.00	3.991	14.90	44.774	67.76	502.377	99.08
0.036	0.00	0.399	0.04	4.477	16.72	50.238	70.52	563.677	99.46
0.040	0.00	0.448	0.12	5.024	18.66	56.368	73.27	632.456	99.78
0.045	0.00	0.502	0.23	5.637	20.71	63.246	75.99	709.627	99.95
0.050	0.00	0.564	0.38	6.325	22.87	70.963	78.65	796.214	100.00
0.056	0.00	0.632	0.58	7.096	25.14	79.621	81.21	893.367	100.00
0.063	0.00	0.710	0.82	7.962	27.50	89.337	83.63	1002.374	100.00
0.071	0.00	0.796	1.12	8.934	29.95	100.237	85.89	1124.683	100.00
0.080	0.00	0.893	1.49	10.024	32.47	112.468	87.94	1261.915	100.00
0.089	0.00	1.002	1.93	11.247	35.06	126.191	89.77	1415.892	100.00
0.100	0.00	1.125	2.45	12.619	37.69	141.589	91.35	1588.656	100.00
0.112	0.00	1.262	3.05	14.159	40.37	158.866	92.69	1782.502	100.00
0.126	0.00	1.416	3.75	15.887	43.07	178.250	93.80	2000.000	100.00
0.142	0.00	1.589	4.55	17.825	45.79	200.000	94.73		
0.159	0.00	1.783	5.45	20.000	48.52	224.404	95.49		
0.178	0.00	2.000	6.45	22.440	51.26	251.785	96.14		
0.200	0.00	2.244	7.57	25.179	53.99	282.508	96.70		

粒子径(μm)	相対体積%	粒子径(μm)	相対体積%	粒子径(μm)	相対体積%	粒子径(μm)	相対体積%	粒子径(μm)	相対体積%
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.52	7.096	2.36	355.656	0.47
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.60	7.962	2.45	399.052	0.46
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.70	8.934	2.52	447.744	0.43
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.80	10.024	2.59	502.377	0.38
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.90	11.247	2.64	563.677	0.32
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.01	12.619	2.67	632.456	0.17
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.12	14.159	2.70	709.627	0.05
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.23	15.887	2.72	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.04	2.518	1.35	17.825	2.73	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.08	2.825	1.47	20.000	2.74	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.11	3.170	1.58	22.440	2.74	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.15	3.557	1.70	25.179	2.74	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.20	3.991	1.82	28.251	2.74	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.25	4.477	1.94	31.698	2.75	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.30	5.024	2.05	35.566	2.76	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.37	5.637	2.16	39.905	2.77	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.44	6.325	2.27	44.774	2.77		
0.142	0.00	1.002		7.096	2.27	50.238	2.77		

測定報告書

1 測定項目

粒度分布(レーザー回折・散乱法)

2 測定試料

KA-A1

KA-C

KE-A

KE-B

計:4検体

3 使用機器・測定方法・測定条件

使用機器: LMS-2000e(株セイシン企業製)

測定方法: 1.試料に過酸化水素処理を行う(有機物除去)。
2.分散媒のみでブランク測定を行う。
3.有機物除去済試料を超音波にて分散させる。
4.試料を分散槽に入れ、循環式にて粒度分布測定を行う。

測定条件: 測定範囲 0.020~2000.00 μ m
使用分散媒 イオン交換水
超音波分散時間 1分

4 測定結果

測定結果は別紙参照願います。

測定番号 5443

SOP名

測定日 2023年10月11日 16:31:04

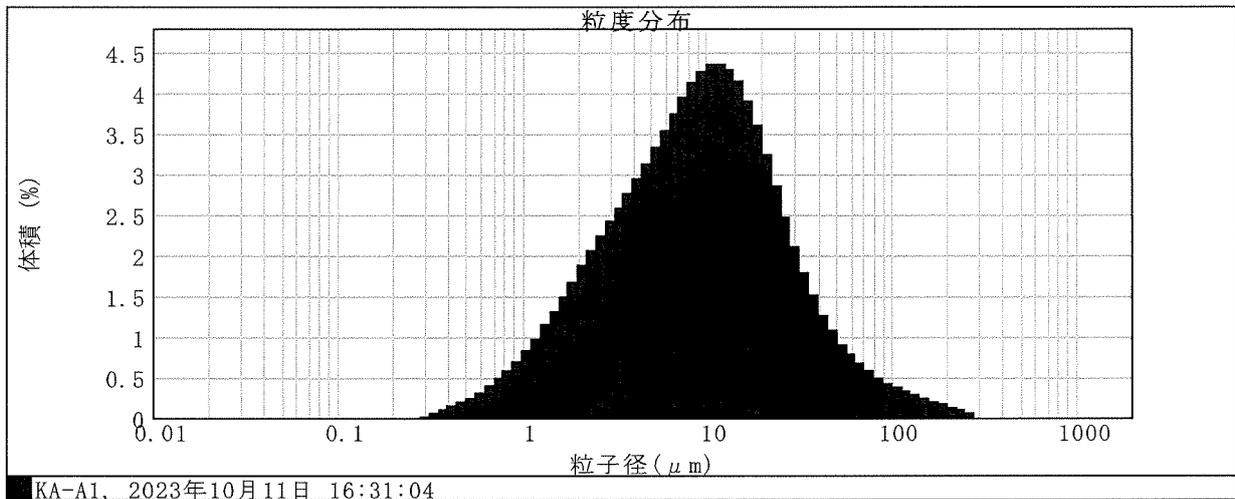
サンプル名 KA-A1

ロット番号 有機物除去後

測定者名 (株)セイシン企業

分散ユニット名 WET UNIT 2000S (A) 散乱強度 17.35 % 超音波出力 0 %
粒子名 Fraunhofer 粒子屈折率 0.000 虚数部 0 解析モデル 汎用モード
分散媒名 Water 分散媒屈折率 1.330 粒子径範囲 0.020 to 2000.000 μm
モード 11.528 μm 平均径 16.344 μm

濃度 0.0124 %Vol スパン 3.559 均一性 1.31
d(25): 4.069 μm d(75): 18.134 μm
d(10): 1.922 μm d(50): 9.134 μm d(90): 34.426 μm



粒子径 (μm)	ふるい下(体積)%								
0.020	0.00	0.224	0.00	2.518	14.52	28.251	86.58	316.979	100.00
0.022	0.00	0.252	0.00	2.825	16.76	31.698	88.69	355.656	100.00
0.025	0.00	0.283	0.00	3.170	19.17	35.566	90.47	399.052	100.00
0.028	0.00	0.317	0.01	3.557	21.76	39.905	91.97	447.744	100.00
0.032	0.00	0.356	0.07	3.991	24.52	44.774	93.24	502.377	100.00
0.036	0.00	0.399	0.16	4.477	27.46	50.238	94.31	563.677	100.00
0.040	0.00	0.448	0.30	5.024	30.58	56.368	95.21	632.456	100.00
0.045	0.00	0.502	0.49	5.637	33.90	63.246	95.98	709.627	100.00
0.050	0.00	0.564	0.73	6.325	37.42	70.963	96.64	796.214	100.00
0.056	0.00	0.632	1.04	7.096	41.15	79.621	97.21	893.367	100.00
0.063	0.00	0.710	1.43	7.962	45.08	89.337	97.70	1002.374	100.00
0.071	0.00	0.796	1.91	8.934	49.19	100.237	98.12	1124.683	100.00
0.080	0.00	0.893	2.49	10.024	53.44	112.468	98.49	1261.915	100.00
0.089	0.00	1.002	3.19	11.247	57.78	126.191	98.81	1415.892	100.00
0.100	0.00	1.125	4.02	12.619	62.13	141.589	99.09	1588.656	100.00
0.112	0.00	1.262	4.99	14.159	66.42	158.866	99.33	1782.502	100.00
0.126	0.00	1.416	6.13	15.887	70.55	178.250	99.54	2000.000	100.00
0.142	0.00	1.589	7.44	17.825	74.44	200.000	99.70		
0.159	0.00	1.783	8.93	20.000	78.03	224.404	99.84		
0.178	0.00	2.000	10.60	22.440	81.26	251.785	99.94		
0.200	0.00	2.244	12.47	25.179	84.11	282.508	100.00		

粒子径 (μm)	割合%(体積)								
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.83	7.096	3.93	50.238	0.90
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.83	7.962	3.93	56.368	0.90
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.98	8.934	4.11	63.246	0.77
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.14	10.024	4.25	70.963	0.66
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.31	11.247	4.34	79.621	0.57
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.49	12.619	4.35	89.337	0.49
0.040	0.00	0.283	0.01	2.000	1.68	14.159	4.29	100.237	0.42
0.045	0.00	0.317	0.06	2.244	2.05	15.887	4.13	112.468	0.37
0.050	0.00	0.356	0.09	2.518	2.23	17.825	3.89	126.191	0.32
0.056	0.00	0.399	0.14	2.825	2.41	20.000	3.59	141.589	0.28
0.063	0.00	0.448	0.19	3.170	2.59	22.440	3.23	158.866	0.24
0.071	0.00	0.502	0.24	3.557	2.76	25.179	2.85	178.250	0.20
0.080	0.00	0.564	0.31	3.991	2.94	28.251	2.47	200.000	0.17
0.089	0.00	0.632	0.39	4.477	3.12	31.698	2.11	224.404	0.13
0.100	0.00	0.710	0.48	5.024	3.32	35.566	1.78	251.785	0.10
0.112	0.00	0.796	0.58	5.637	3.52	39.905	1.50	282.508	0.06
0.126	0.00	0.893	0.70	6.325	3.73	44.774	1.26	316.979	0.00
0.142	0.00	1.002	0.70	7.096	3.73	50.238	1.07	355.656	0.00

測定番号 5453

SOP名

測定日 2023年10月11日 16:53:57

サンプル名 KE-A

ロット番号 有機物除去後

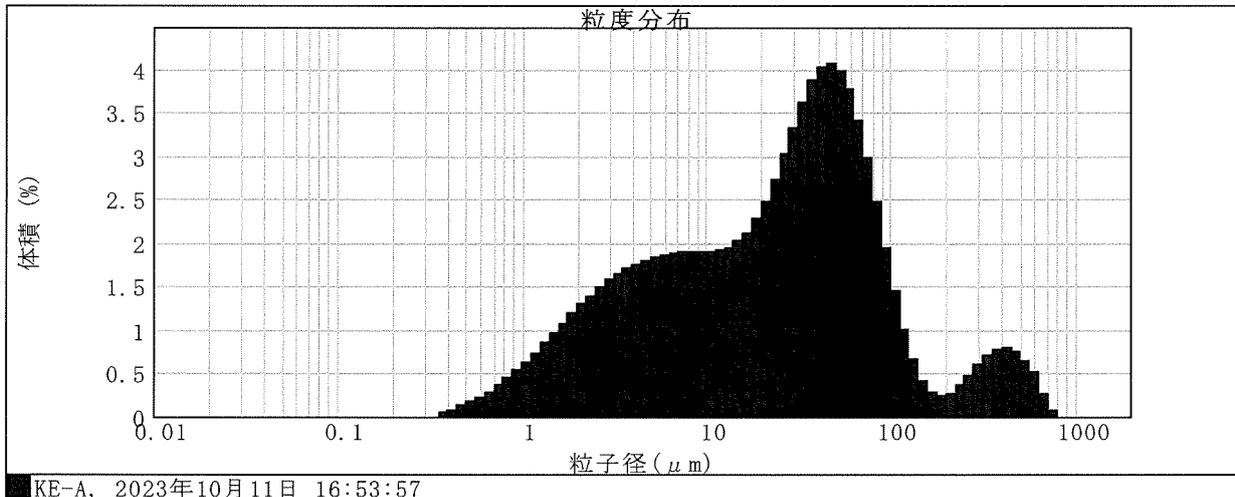
測定者名 (株)セイシン企業

分散ユニット名 WET UNIT 2000S (A) 散乱強度 18.89 % 超音波出力 0 %
粒子名 Fraunhofer 粒子屈折率 0.000 虚数部 0 解析モデル 汎用モード
分散媒名 Water 分散媒屈折率 1.330 粒子径範囲 0.020 to 2000.000 μm
モード 46.767 μm 平均径 56.137 μm

濃度 0.0200 %Vol スパン 3.854 均一性 1.81

d(25): 6.657 μm d(75): 56.238 μm

d(10): 2.421 μm d(50): 26.036 μm d(90): 102.763 μm



粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)	粒子径(μm)	ふるい下(体積%)
0.020	0.00	0.224	0.00	2.518	10.49	28.251	52.18	316.979	95.45
0.022	0.00	0.252	0.00	2.825	11.98	31.698	55.51	355.656	96.15
0.025	0.00	0.283	0.00	3.170	13.55	35.566	59.13	399.052	96.93
0.028	0.00	0.317	0.00	3.557	15.20	39.905	63.00	447.744	97.73
0.032	0.00	0.356	0.00	3.991	16.90	44.774	67.02	502.377	98.49
0.036	0.00	0.399	0.05	4.477	18.66	50.238	71.09	563.677	99.15
0.040	0.00	0.448	0.14	5.024	20.46	56.368	75.08	632.456	99.67
0.045	0.00	0.502	0.27	5.637	22.30	63.246	78.84	709.627	99.93
0.050	0.00	0.564	0.45	6.325	24.16	70.963	82.26	796.214	100.00
0.056	0.00	0.632	0.68	7.096	26.05	79.621	85.23	893.367	100.00
0.063	0.00	0.710	0.98	7.962	27.94	89.337	87.70	1002.374	100.00
0.071	0.00	0.796	1.34	8.934	29.84	100.237	89.65	1124.683	100.00
0.080	0.00	0.893	1.79	10.024	31.74	112.468	91.10	1261.915	100.00
0.089	0.00	1.002	2.33	11.247	33.65	126.191	92.11	1415.892	100.00
0.100	0.00	1.125	2.96	12.619	35.57	141.589	92.78	1588.656	100.00
0.112	0.00	1.262	3.70	14.159	37.52	158.866	93.20	1782.502	100.00
0.126	0.00	1.416	4.55	15.887	39.54	178.250	93.49	2000.000	100.00
0.142	0.00	1.589	5.52	17.825	41.66	200.000	93.73		
0.159	0.00	1.783	6.60	20.000	43.94	224.404	94.01		
0.178	0.00	2.000	7.79	22.440	46.42	251.785	94.37		
0.200	0.00	2.244	9.09	25.179	49.15	282.508	94.85		

粒子径(μm)	頻度%(体積)								
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.63	7.096	1.90	50.238	3.99
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.74	7.962	1.90	56.368	3.77
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.85	8.934	1.90	63.246	3.42
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.96	10.024	1.90	70.963	2.97
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.08	11.247	1.92	79.621	2.47
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.19	12.619	1.95	89.337	1.95
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.30	14.159	2.02	100.237	1.45
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.40	15.887	2.12	112.468	1.01
0.050	0.00	0.356	0.05	2.518	1.49	17.825	2.28	126.191	0.67
0.056	0.00	0.399	0.08	2.825	1.57	20.000	2.48	141.589	0.42
0.063	0.00	0.448	0.13	3.170	1.64	22.440	2.74	158.866	0.29
0.071	0.00	0.502	0.18	3.557	1.70	25.179	3.02	178.250	0.24
0.080	0.00	0.564	0.23	3.991	1.76	28.251	3.33	200.000	0.27
0.089	0.00	0.632	0.30	4.477	1.80	31.698	3.62	224.404	0.36
0.100	0.00	0.710	0.37	5.024	1.84	35.566	3.87	251.785	0.48
0.112	0.00	0.796	0.45	5.637	1.87	39.905	4.03	282.508	0.60
0.126	0.00	0.893	0.54	6.325	1.89	44.774	4.07	316.979	0.71
0.142	0.00	1.002	0.54	7.096	1.89	50.238	4.07	355.656	0.71

測定番号 5457 SOP名 測定日 2023年10月11日 17:21:46
サンプル名 KE-B ロット番号 有機物除去後 測定者名 (株)セイシン企業

分散ユニット名 WET UNIT 2000S (A) 散乱強度 19.67 % 超音波出力 0 %
粒子名 Fraunhofer 粒子屈折率 0.000 虚数部 0 解析モデル 汎用モード
分散媒名 Water 分散媒屈折率 1.330 粒子径範囲 0.020 to 2000.000 μm
モード 47.103 μm 平均径 39.007 μm

濃度 0.0194 %Vol スパン 3.534 均一性 1.35
d(25): 5.927 μm d(75): 51.035 μm
d(10): 2.254 μm d(50): 22.965 μm d(90): 83.407 μm

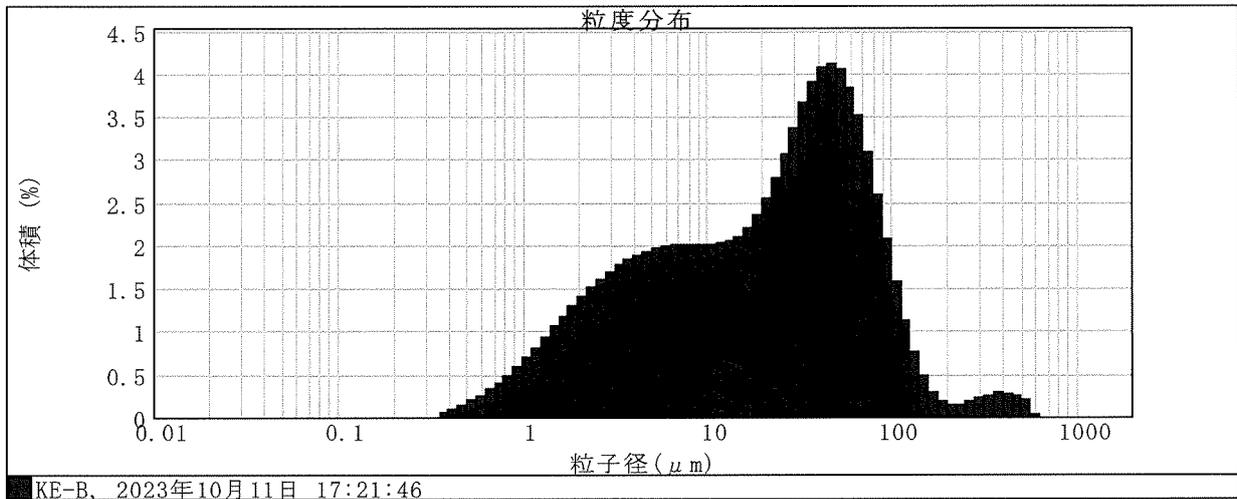


Table with 10 columns: 粒子径 (μm), ふるい下 (体積)%, 粒子径 (μm), ふるい下 (体積)%, 粒子径 (μm), ふるい下 (体積)%, 粒子径 (μm), ふるい下 (体積)%, 粒子径 (μm), ふるい下 (体積)%. Contains cumulative distribution data.

Table with 10 columns: 粒子径 (μm), 箱度 (体積)%, 粒子径 (μm), 箱度 (体積)%, 粒子径 (μm), 箱度 (体積)%, 粒子径 (μm), 箱度 (体積)%, 粒子径 (μm), 箱度 (体積)%. Contains bin distribution data.

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)

調査件名 土系試料

整理年月日 2023年 10月 16日

整理担当者 宮下 晃

試料番号 (深 さ)	KA-A1	KA-C	KE-A	KE-B		
一般	湿潤密度 ρ_w g/cm ³					
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³					
	自然含水比 w_n %					
	間隙比 e					
粒度	飽和度 S_r %					
	石分 (75mm以上) %					
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %					
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %					
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %					
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %					
	最大粒径 mm					
均等係数 U_c						
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %	172.6	110.9	74.4	75.8	
	塑性限界 w_p %	75.4	51.0	42.7	40.9	
	塑性指数 I_p	97.2	59.9	31.7	34.9	
分類	地盤材料の 分類名					
	分類記号					
圧密	試験方法					
	圧縮指数 C_c					
	圧密降伏応力 p_c kN/m ²					
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u kN/m ²					
	破壊ひずみ ϵ_r %					
	変形係数 E_{50} MN/m ²					
せん断	試験条件					
	全応力	c kN/m ²				
		ϕ °				
	有効応力	c' kN/m ²				
ϕ' °						

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

調査件名 土系試料

試験年月日 2023年 10月 16日

試験者 宮下 晃

試料番号 (深さ) KA-A1

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
9	204.4	75.4	172.6
17	186.4	74.3	塑性限界 w_p %
23	174.3	76.4	75.4
29	167.2		塑性指数 I_p
35	163.2		97.2
43	154.6		

試料番号 (深さ) KA-C

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
13	121.1	50.8	110.9
20	113.8	52.6	塑性限界 w_p %
24	111.1	49.7	51.0
29	108.8		塑性指数 I_p
35	106.4		59.9
47	101.5		

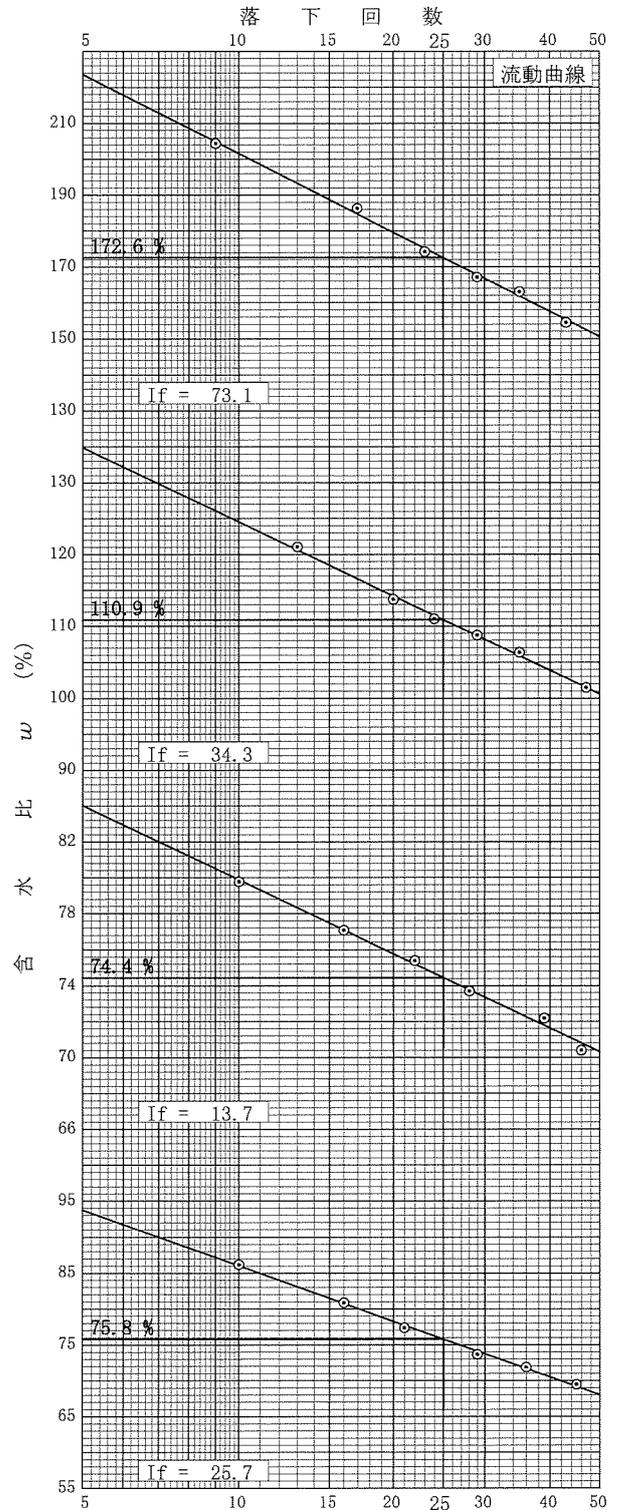
試料番号 (深さ) KE-A

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
10	79.8	41.2	74.4
16	77.1	43.3	塑性限界 w_p %
22	75.4	43.5	42.7
28	73.7		塑性指数 I_p
39	72.2		31.7
46	70.4		

試料番号 (深さ) KE-B

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
10	86.2	40.4	75.8
16	80.9	39.8	塑性限界 w_p %
21	77.4	42.5	40.9
29	73.7		塑性指数 I_p
36	71.9		34.9
45	69.5		

特記事項



沈降速度（遠心沈降法）結果一覧

$$\text{ストークスの式：} V = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{18\mu}$$

V：沈降速度 (cm/s)

d：粒子径 (cm)

ρ_s ：粒子密度 (g/cm³)

ρ_f ：液体密度 (g/cm³)

g：重力加速度 (cm/s²) = 980

μ ：液体の粘度 (g/cm・s)

No.23123145	ρ_s 粒子密度 g/cm ³	ρ_f 液体密度 g/cm ³	μ 液体の粘度 c poise	d 粒径 μm	V 沈降速度 cm/s
KA-A1	2.467	0.998	0.981	75	0.4586
	2.467	0.998	0.981	50	0.2038
	2.467	0.998	0.981	30	0.0734
	2.467	0.998	0.981	20	0.0326
	2.467	0.998	0.981	15	0.0183
	2.467	0.998	0.981	10	0.0082
	2.467	0.998	0.981	7	0.0040
	2.467	0.998	0.981	5	0.0020
	2.467	0.998	0.981	3	0.00073
	2.467	0.998	0.981	2	0.00033
	2.467	0.998	0.981	1.5	0.00018
	2.467	0.998	0.981	1	0.000082
	2.467	0.998	0.981	0.7	0.000040
	2.467	0.998	0.981	0.5	0.000020

沈降速度（遠心沈降法）結果一覧

$$\text{ストークスの式：} V = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{18\mu}$$

V：沈降速度 (cm/s)

d：粒子径 (cm)

ρ_s ：粒子密度 (g/cm³)

ρ_f ：液体密度 (g/cm³)

g：重力加速度 (cm/s²) = 980

μ ：液体の粘度 (g/cm・s)

No.23123146	ρ_s 粒子密度 g/cm ³	ρ_f 液体密度 g/cm ³	μ 液体の粘度 c poise	d 粒径 μm	V 沈降速度 cm/s
KA-C	2.552	0.998	0.981	75	0.4851
	2.552	0.998	0.981	50	0.2156
	2.552	0.998	0.981	30	0.0776
	2.552	0.998	0.981	20	0.0345
	2.552	0.998	0.981	15	0.0194
	2.552	0.998	0.981	10	0.0086
	2.552	0.998	0.981	7	0.0042
	2.552	0.998	0.981	5	0.0022
	2.552	0.998	0.981	3	0.00078
	2.552	0.998	0.981	2	0.00034
	2.552	0.998	0.981	1.5	0.00019
	2.552	0.998	0.981	1	0.000086
	2.552	0.998	0.981	0.7	0.000042
	2.552	0.998	0.981	0.5	0.000022

沈降速度（遠心沈降法）結果一覧

$$\text{ストークスの式：} V = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{18\mu}$$

V：沈降速度 (cm/s)

d：粒子径 (cm)

ρ_s ：粒子密度 (g/cm³)

ρ_f ：液体密度 (g/cm³)

g：重力加速度 (cm/s²) = 980

μ ：液体の粘度 (g/cm・s)

No.23123147	ρ_s 粒子密度 g/cm ³	ρ_f 液体密度 g/cm ³	μ 液体の粘度 c poise	d 粒径 μm	V 沈降速度 cm/s
KE-A	2.651	0.997	0.884	75	0.5730
	2.651	0.997	0.884	50	0.2547
	2.651	0.997	0.884	30	0.0917
	2.651	0.997	0.884	20	0.0407
	2.651	0.997	0.884	15	0.0229
	2.651	0.997	0.884	10	0.0102
	2.651	0.997	0.884	7	0.0050
	2.651	0.997	0.884	5	0.0025
	2.651	0.997	0.884	3	0.00092
	2.651	0.997	0.884	2	0.00041
	2.651	0.997	0.884	1.5	0.00023
	2.651	0.997	0.884	1	0.000102
	2.651	0.997	0.884	0.7	0.000050
	2.651	0.997	0.884	0.5	0.000025

沈降速度（遠心沈降法）結果一覧

$$\text{ストークスの式：} V = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{18\mu}$$

V：沈降速度 (cm/s)

d：粒子径 (cm)

ρ_s ：粒子密度 (g/cm³)

ρ_f ：液体密度 (g/cm³)

g：重力加速度 (cm/s²) = 980

μ ：液体の粘度 (g/cm・s)

No.23123148	ρ_s 粒子密度 g/cm ³	ρ_f 液体密度 g/cm ³	μ 液体の粘度 c poise	d 粒径 μm	V 沈降速度 cm/s
KE-B	2.644	0.998	0.936	75	0.5386
	2.644	0.998	0.936	50	0.2394
	2.644	0.998	0.936	30	0.0862
	2.644	0.998	0.936	20	0.0383
	2.644	0.998	0.936	15	0.0215
	2.644	0.998	0.936	10	0.0096
	2.644	0.998	0.936	7	0.0047
	2.644	0.998	0.936	5	0.0024
	2.644	0.998	0.936	3	0.00086
	2.644	0.998	0.936	2	0.00038
	2.644	0.998	0.936	1.5	0.00022
	2.644	0.998	0.936	1	0.000096
	2.644	0.998	0.936	0.7	0.000047
	2.644	0.998	0.936	0.5	0.000024

試験分析報告書

発行No 23123154

【含有量試験】

2023年10月16日

海洋エンジニアリング株式会社 様

2023年度 海底表層にある底質の潜水採取

2023年10月2日受付の試料について試験した結果を下記のとおり報告いたします。



帝人エコ・サイエンス株式会社

東京都港区三田三丁目3番8号

TEL 03-5440-4301

事業所 東京都羽村市神明台四丁目8番43号

TEL 042-530-4030

計量証明事業登録

東京都No. 624 (濃度)

東京都No. 1003 (音圧)

東京都No. 1004 (振動)

試料受付方法 持込

試験責任者 若林 和也

試験分析項目		含水比 (%)			
試料名称					
1	KE-B-①	216.30			
2	KE-B-②	104.73			
3	KE-B-③	72.58			
4	KE-B-④	90.21			
5	KE-B-⑤	76.78			
6	KE-B-⑥	85.05			
7	KE-B-⑦	101.18			
8	KE-B-⑧	99.89			
	以下余白				
試験分析方法		JIS A 1203			

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。