

### 3.3 試験データの情報整理

#### 3.3.1 遠心力载荷試験データの情報整理

表 3.3.1 に示す試験条件に対する試験ケースについて、試験データの情報整理を行った。

表 3.3.1 試験ケース内訳 (表 3.1.22 再掲)

ケース名称	弱層の配合強度	対策工	試験実施内容
ケース 32	低強度	なし	遠心载荷 50G→50G 振動試験
ケース 33	低強度	なし	遠心载荷 50G→50G 振動試験

#### (1) 遠心力载荷試験結果 (Case32)

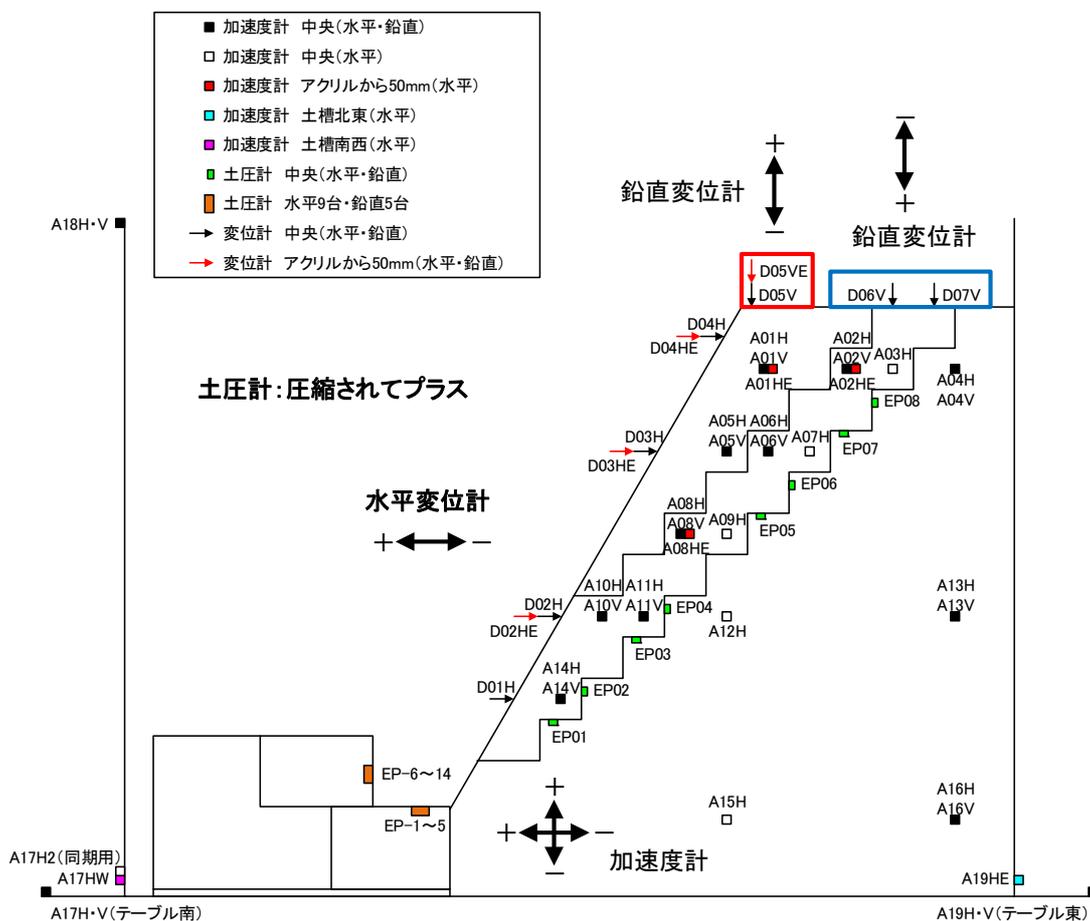


図 3.3.1 計測機器の極性定義図

#### ①代表的な時刻歴図

Case32 の代表的な時刻歴データとして、300gal 加振時のデータを図 3.3.2~図 3.3.17 に示す。

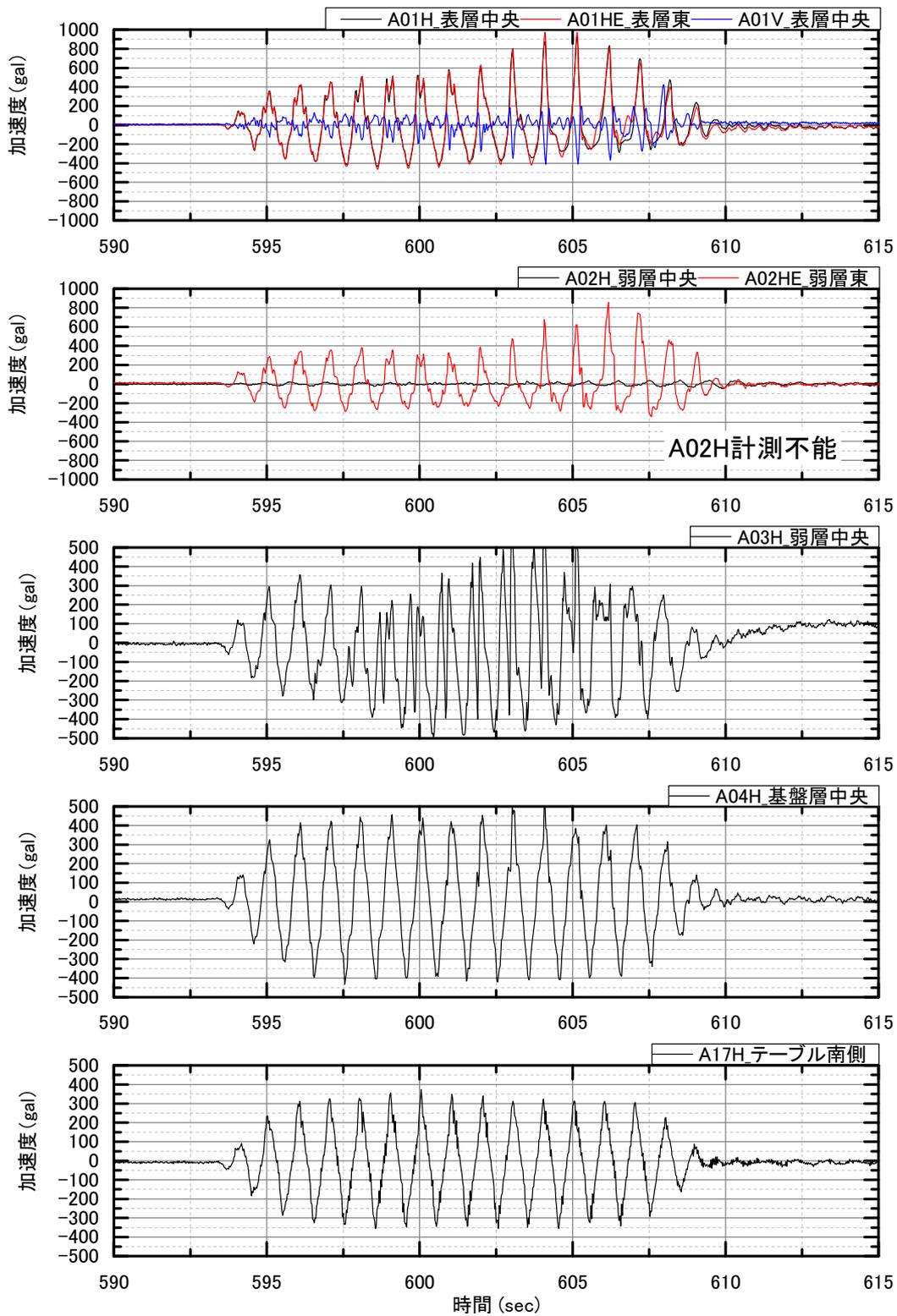


図 3.3.2 1 段目加速度計時刻歴\_300gal-1 回目

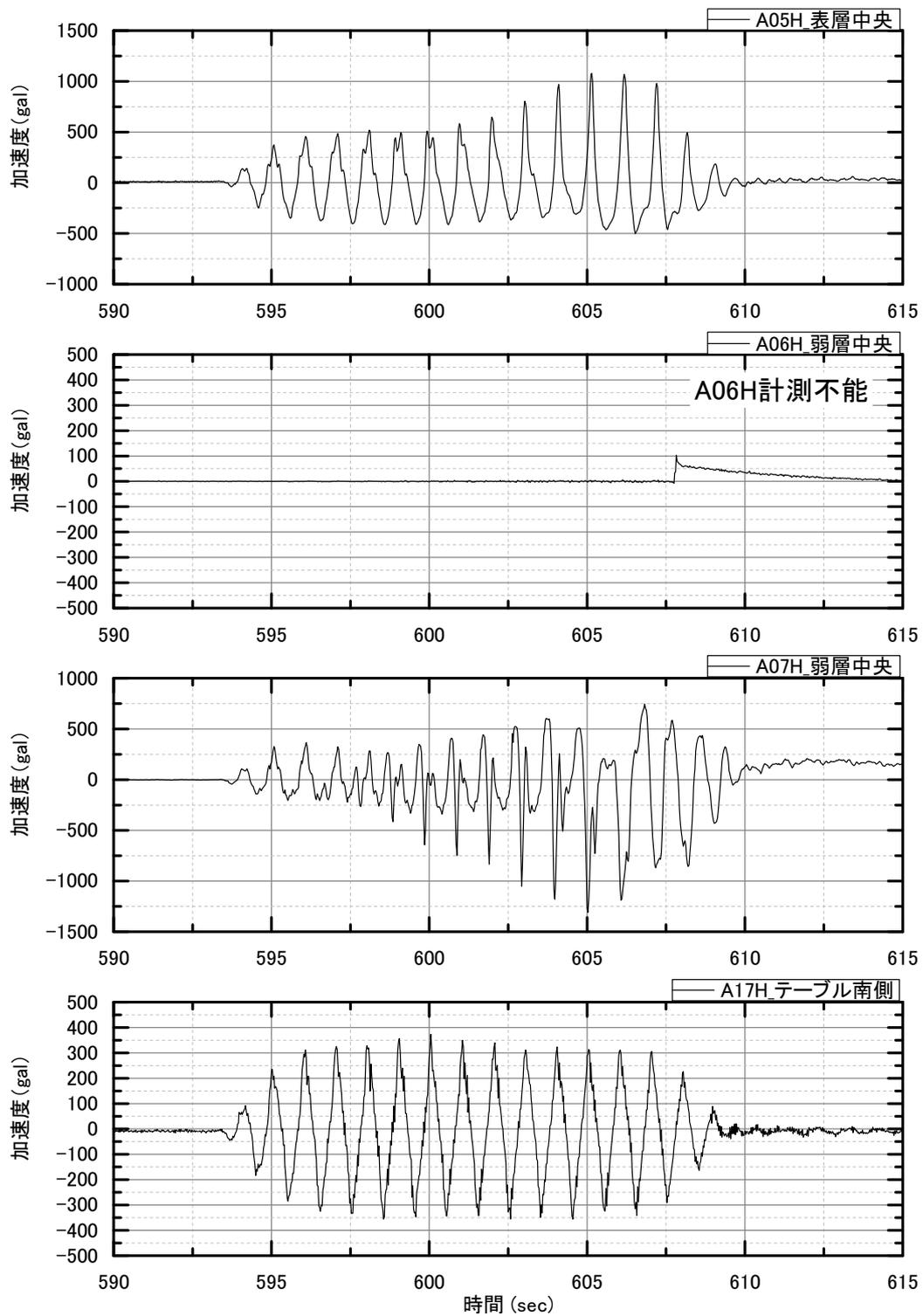


図 3.3.3 2 段目加速度計時刻歴\_300gal-1 回目

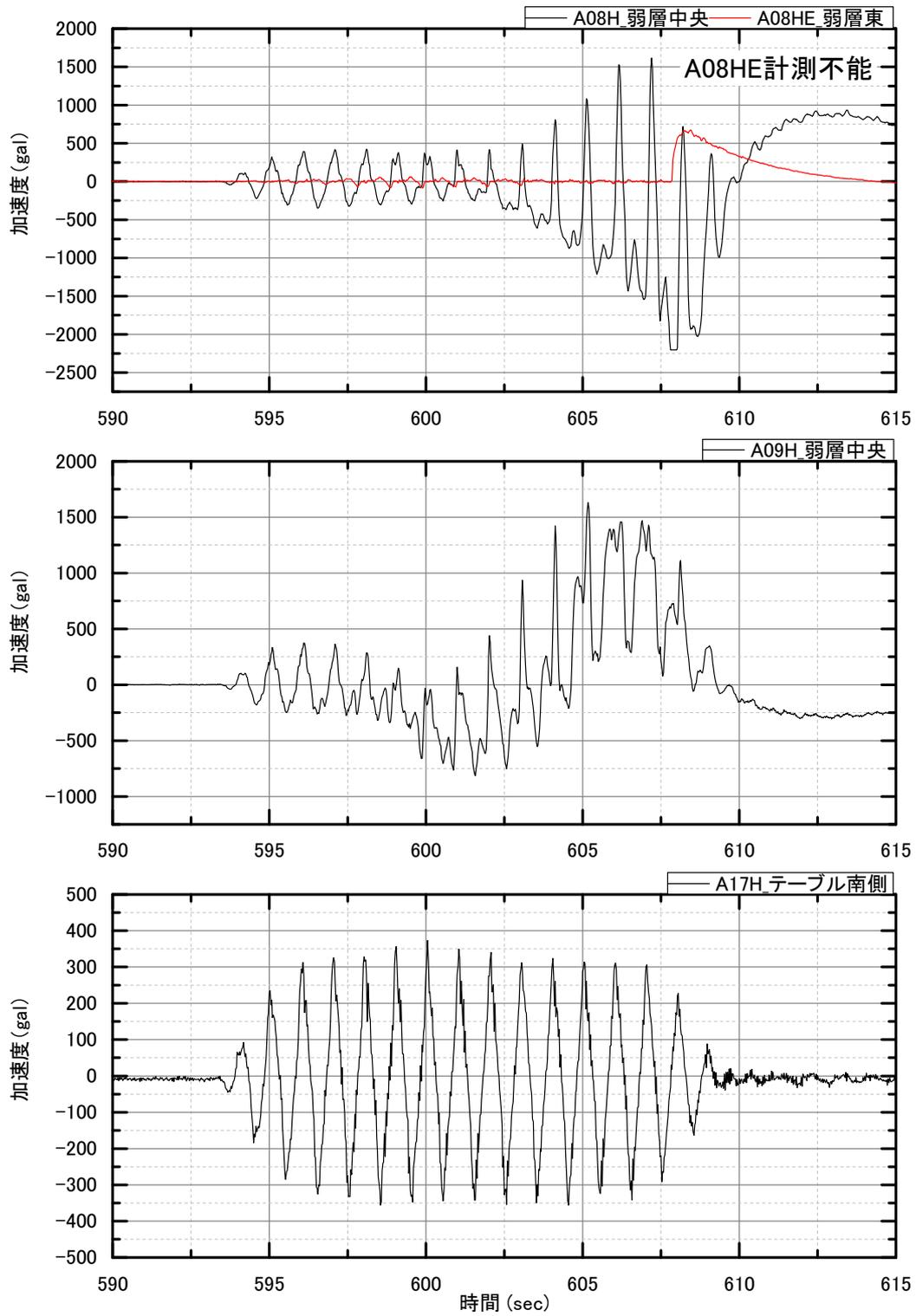


図 3.3.4 3 段目加速度計時刻歴\_300gal-1 回目

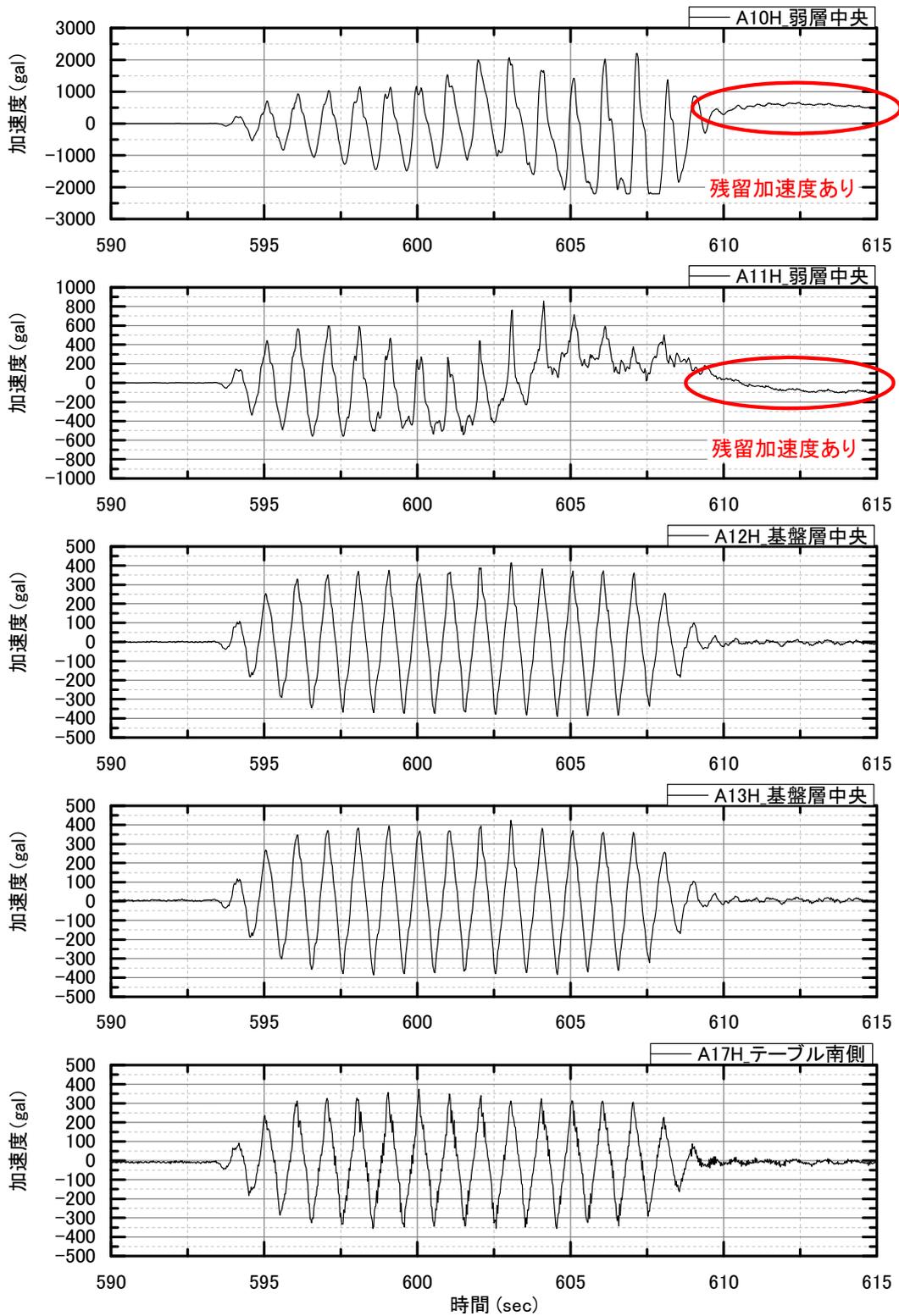


図 3.3.5 4 段目加速度計時刻歴\_300gal-1 回目

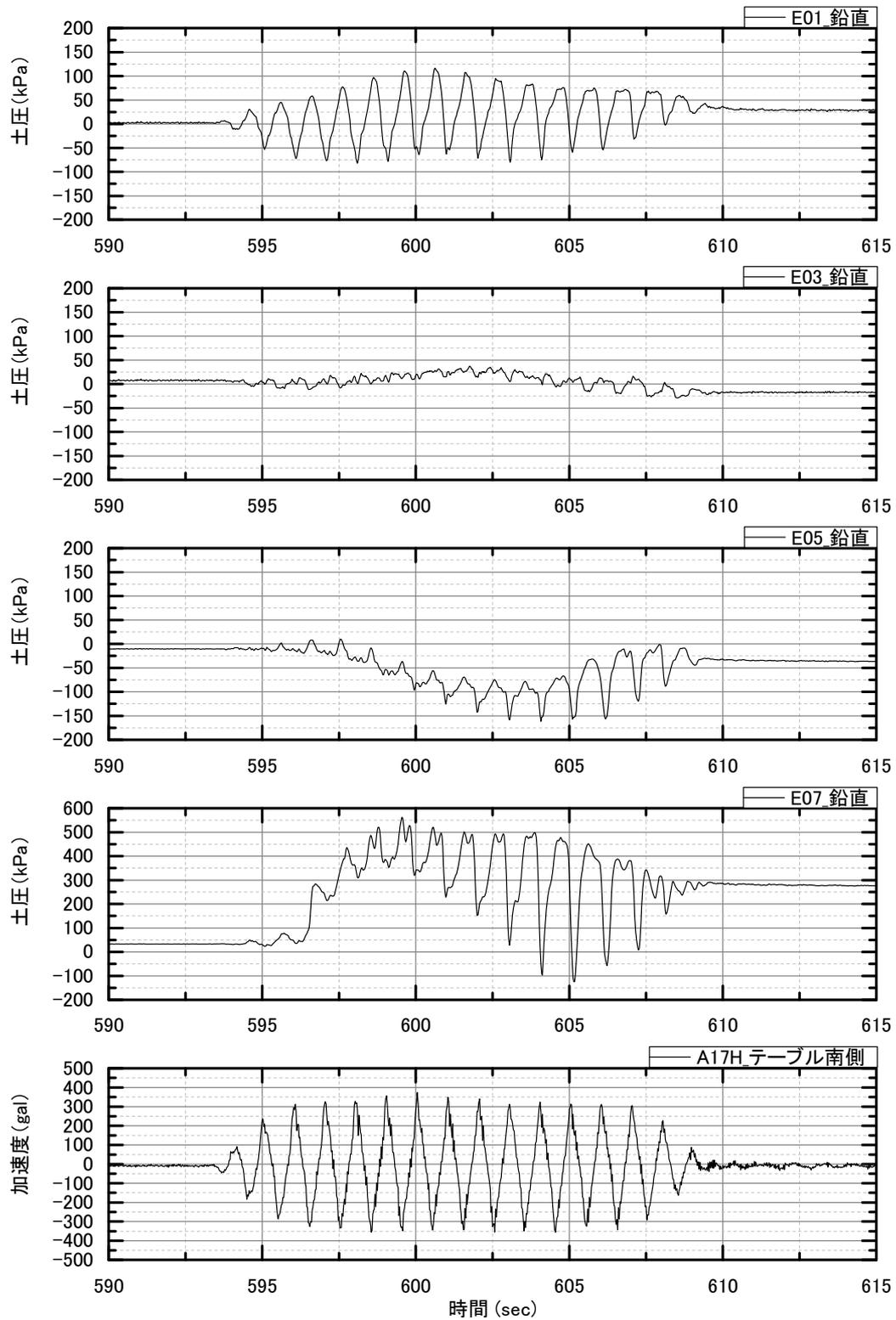


図 3.3.6 境界部鉛直土圧計時刻歴\_300gal-1回目

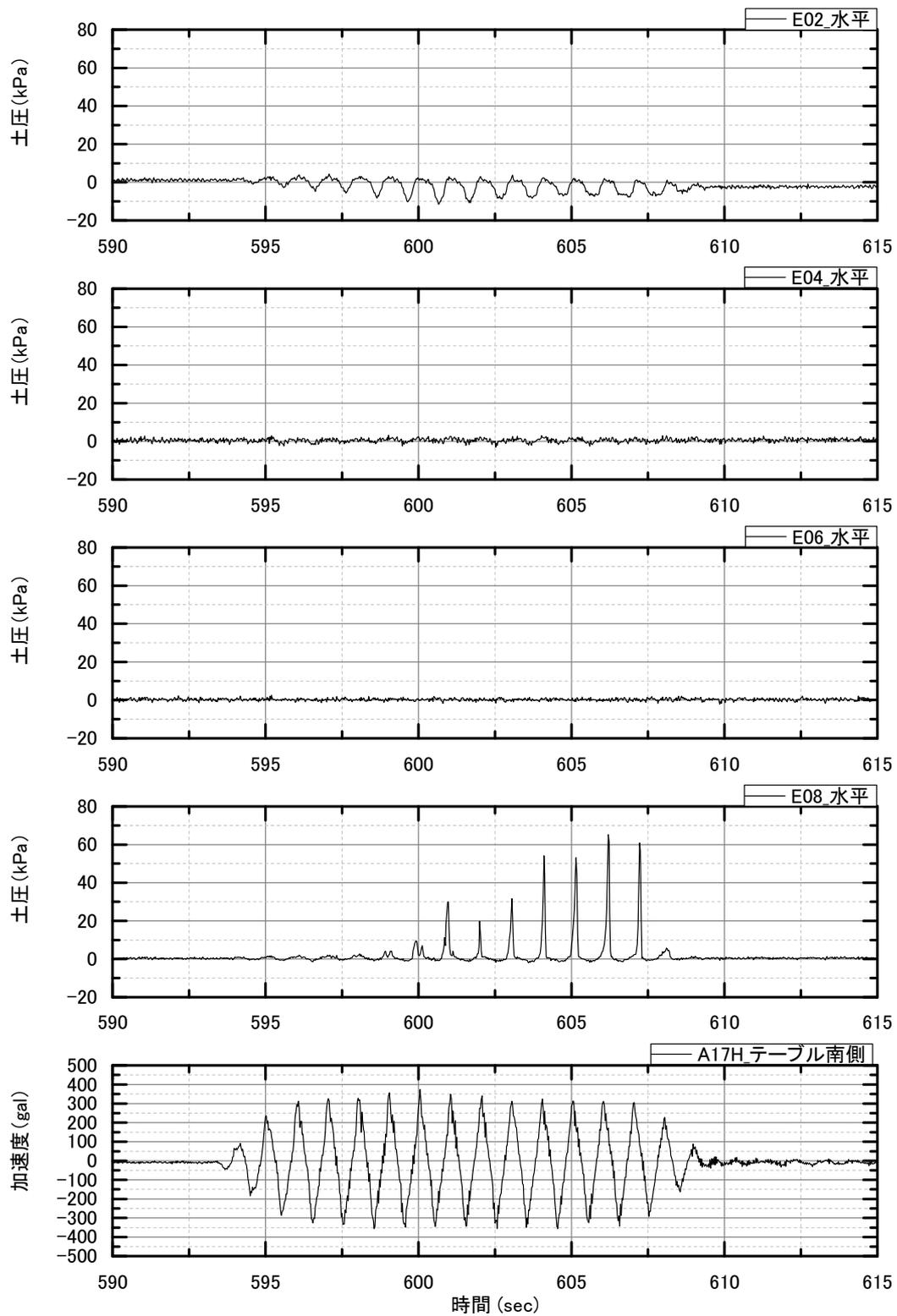


図 3.3.7 境界部水平土圧計時刻歴\_300gal-1 回目

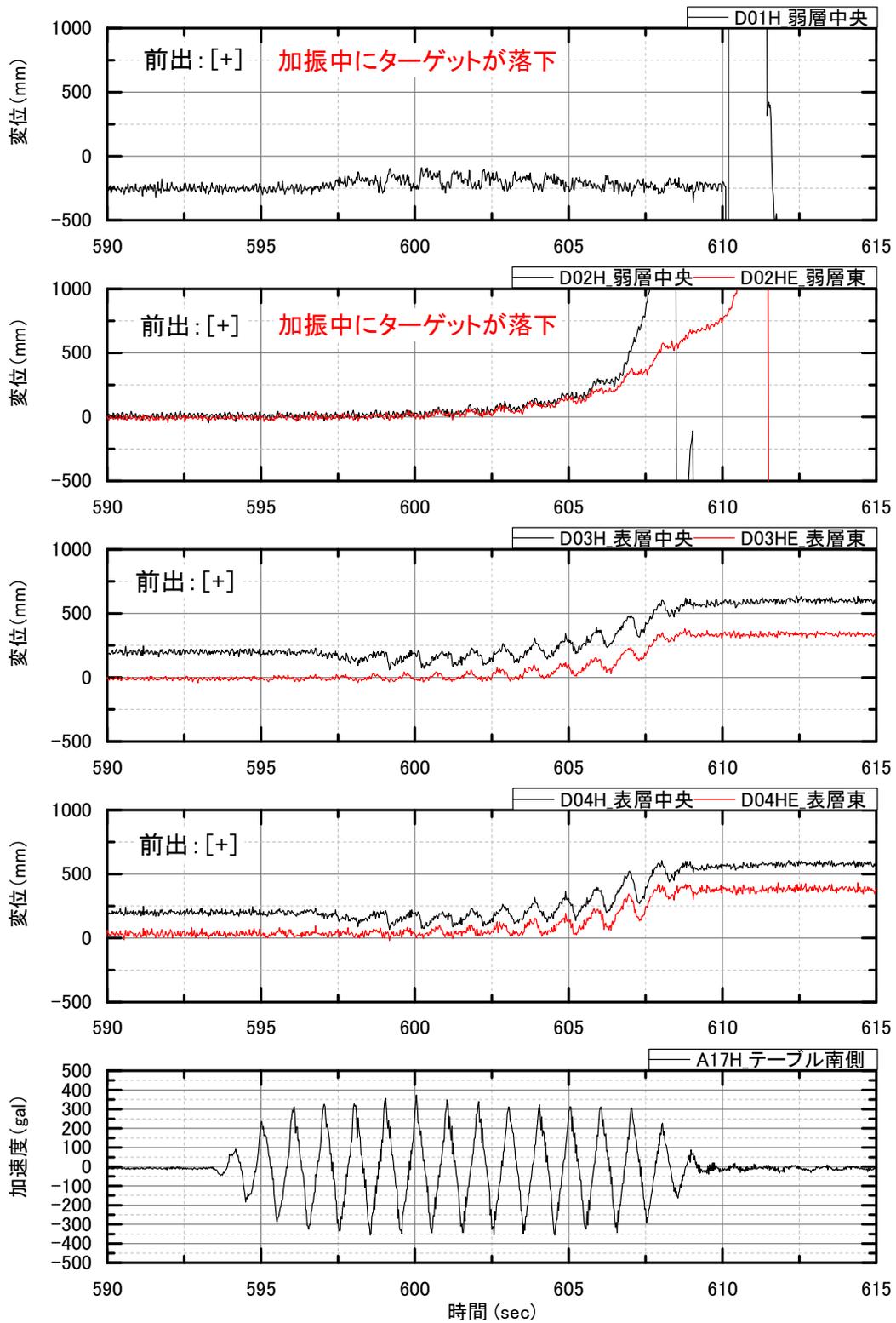


図 3.3.8 模型前面水平変位時刻歴\_300gal-1 回目

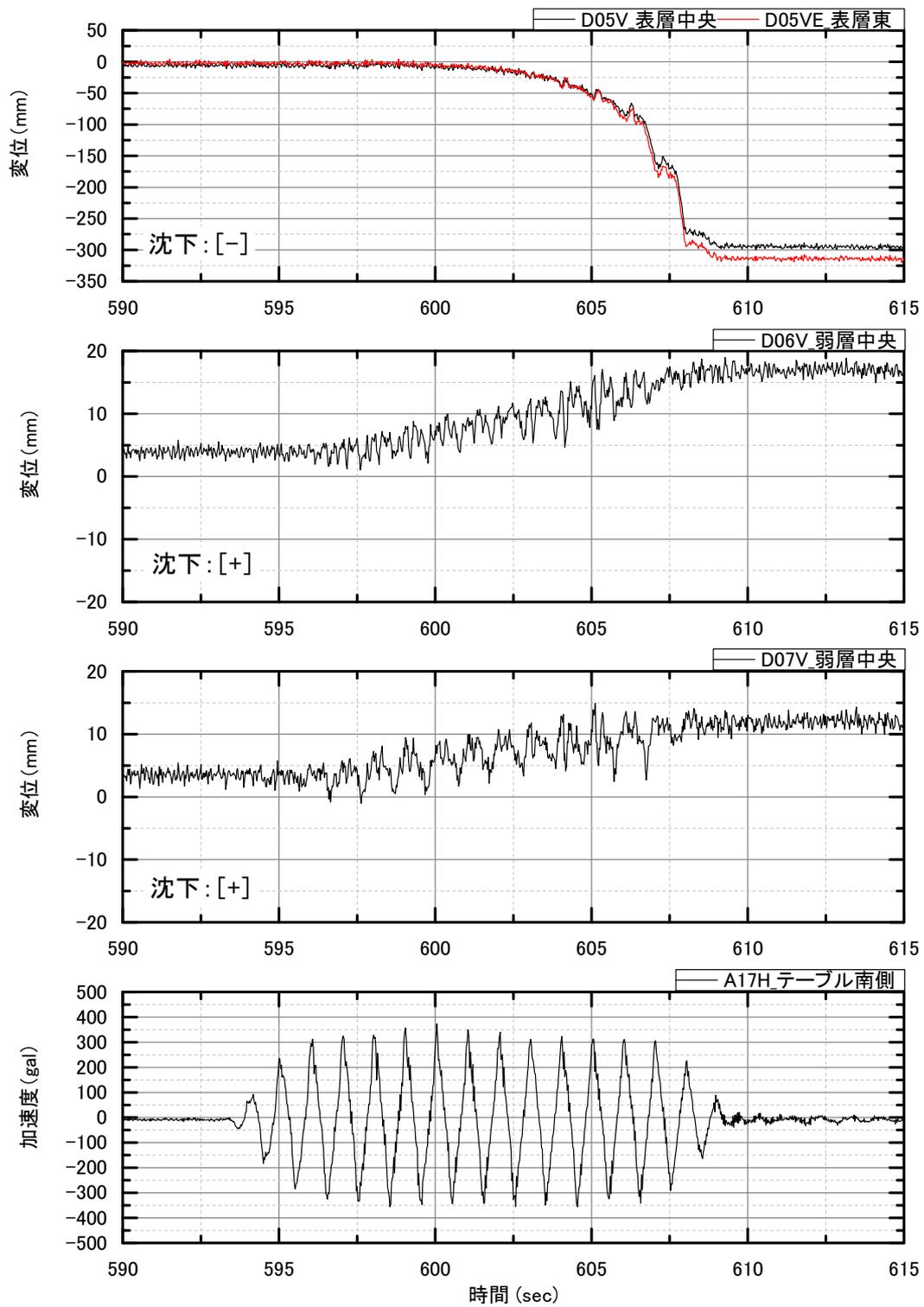


図 3.3.9 模型天端鉛直変位時刻歴\_300gal-1 回目

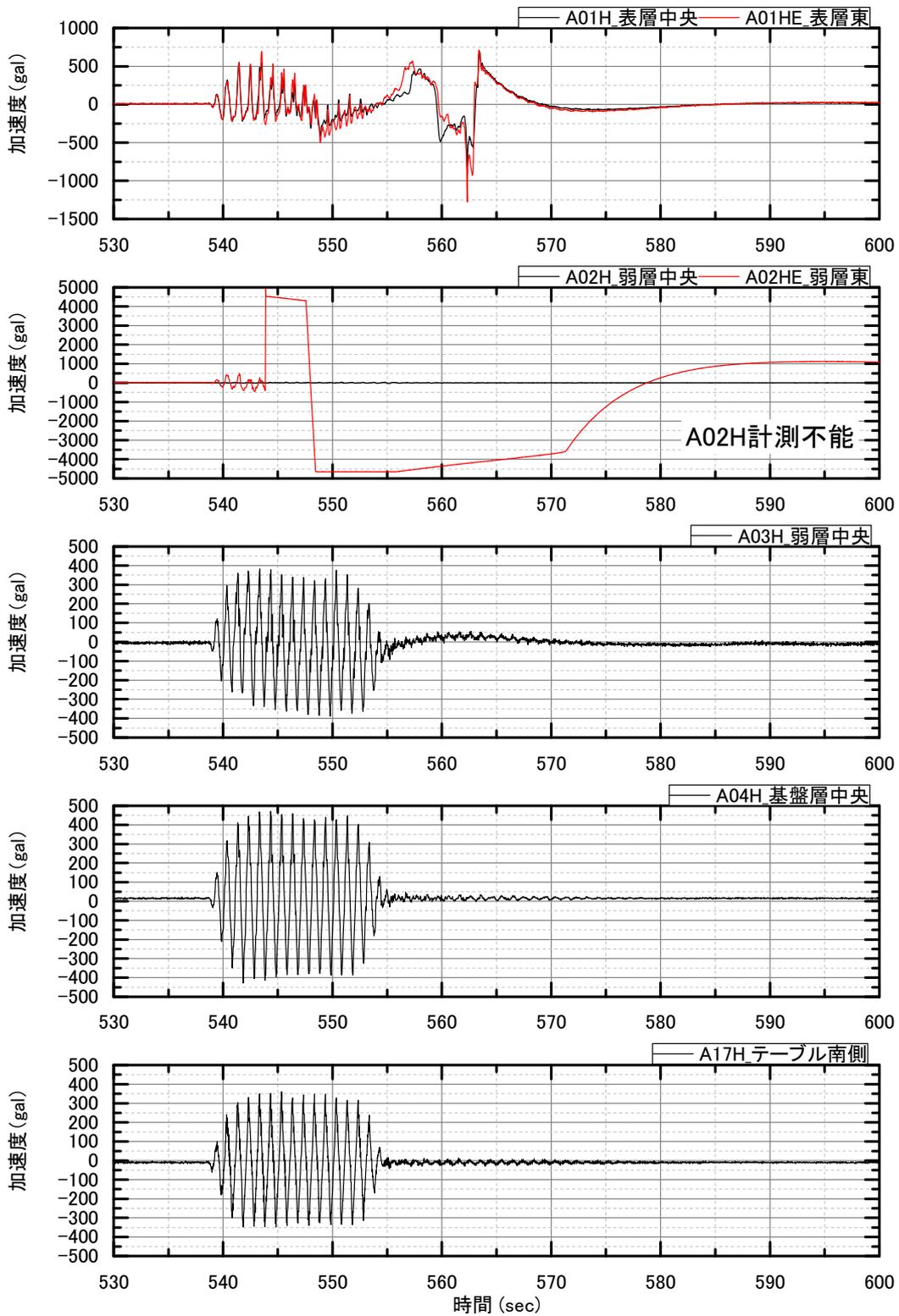


図 3.3.10 1 段目加速度計時刻歴\_300gal-2 回目

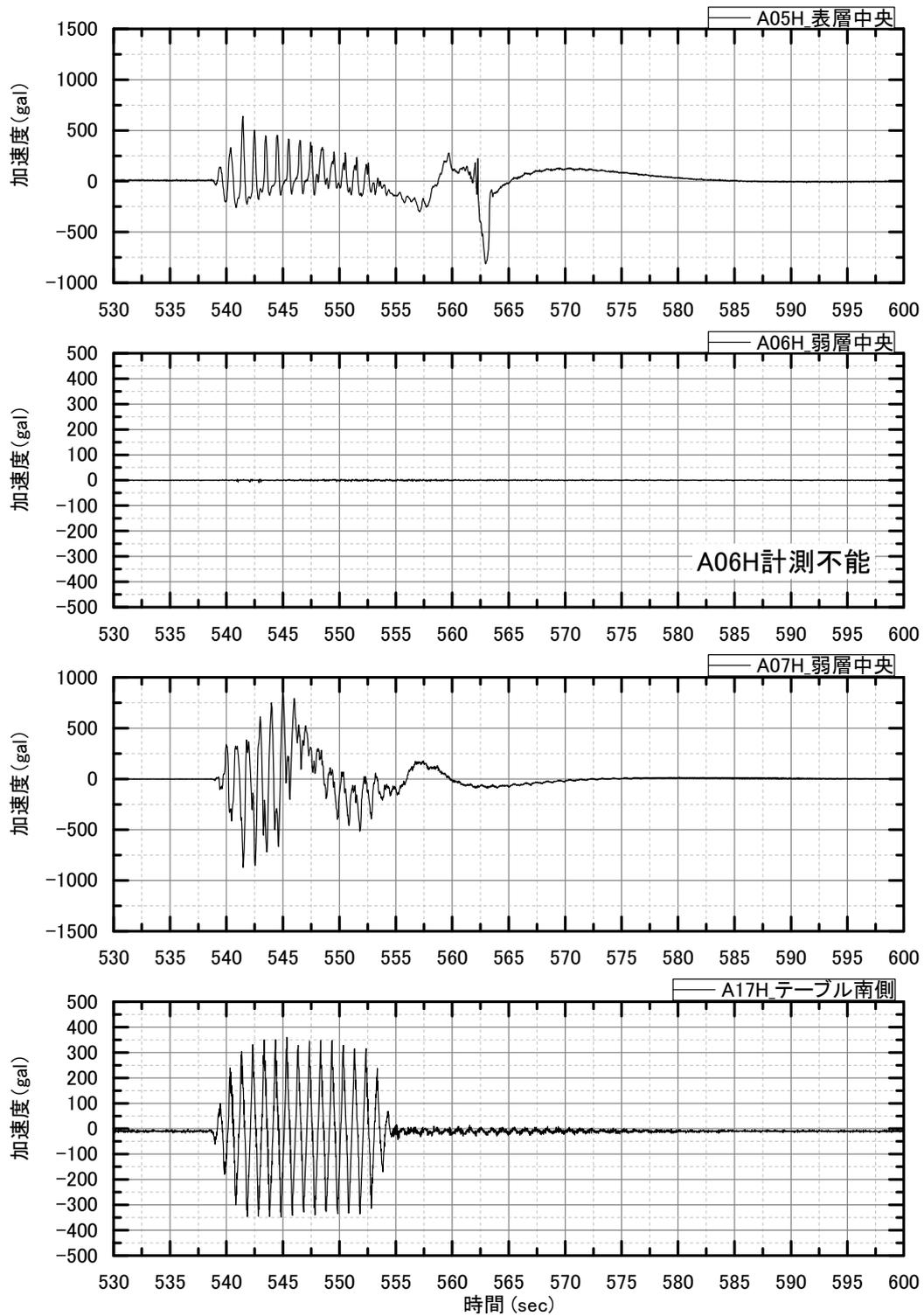


図 3.3.11 2 段目加速度計時刻歴\_300gal-2 回目

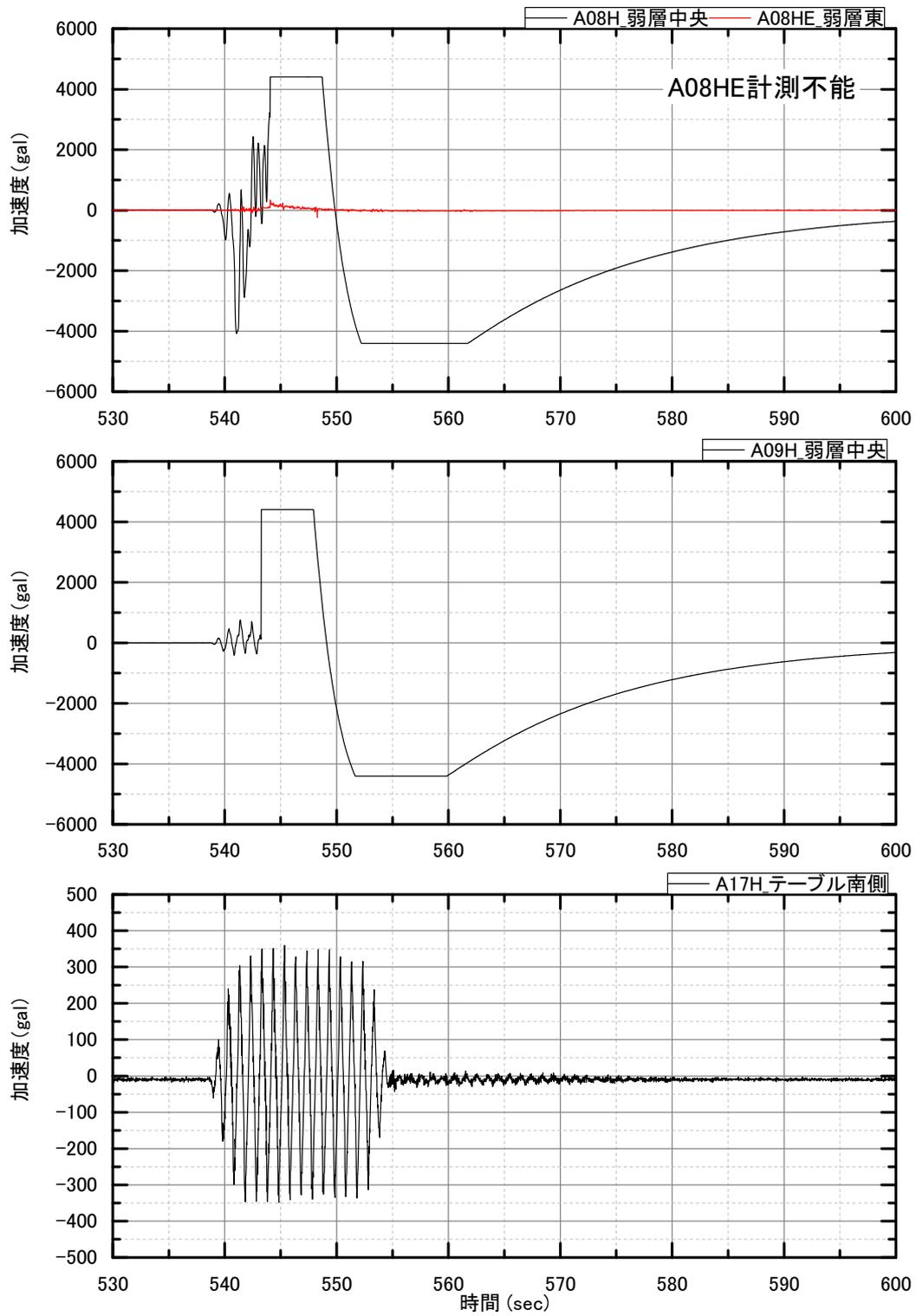


図 3.3.12 3 段目加速度計時刻歴\_300gal-2 回目

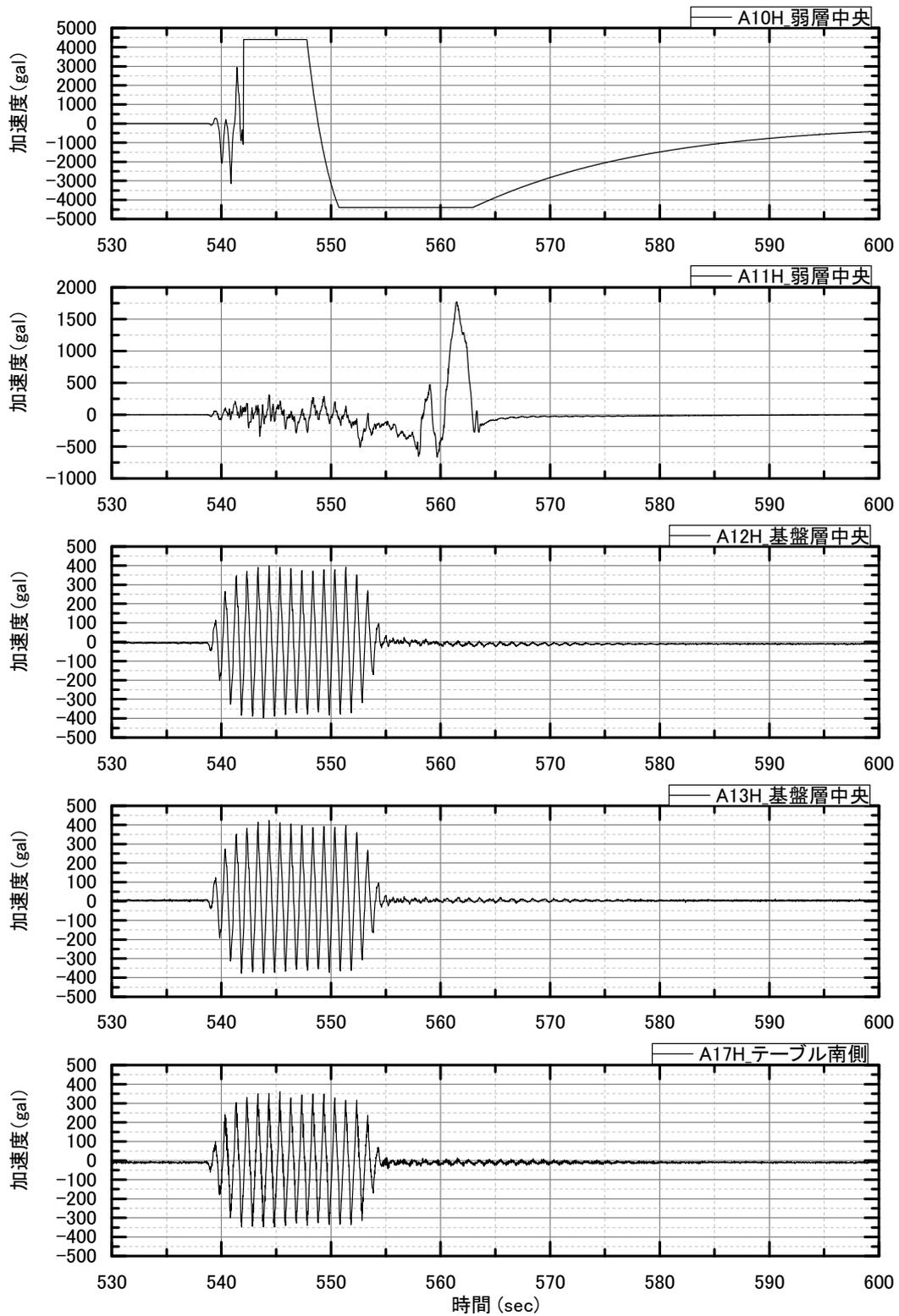


図 3.3.13 4 段目加速度計時刻歴\_300gal-2 回目

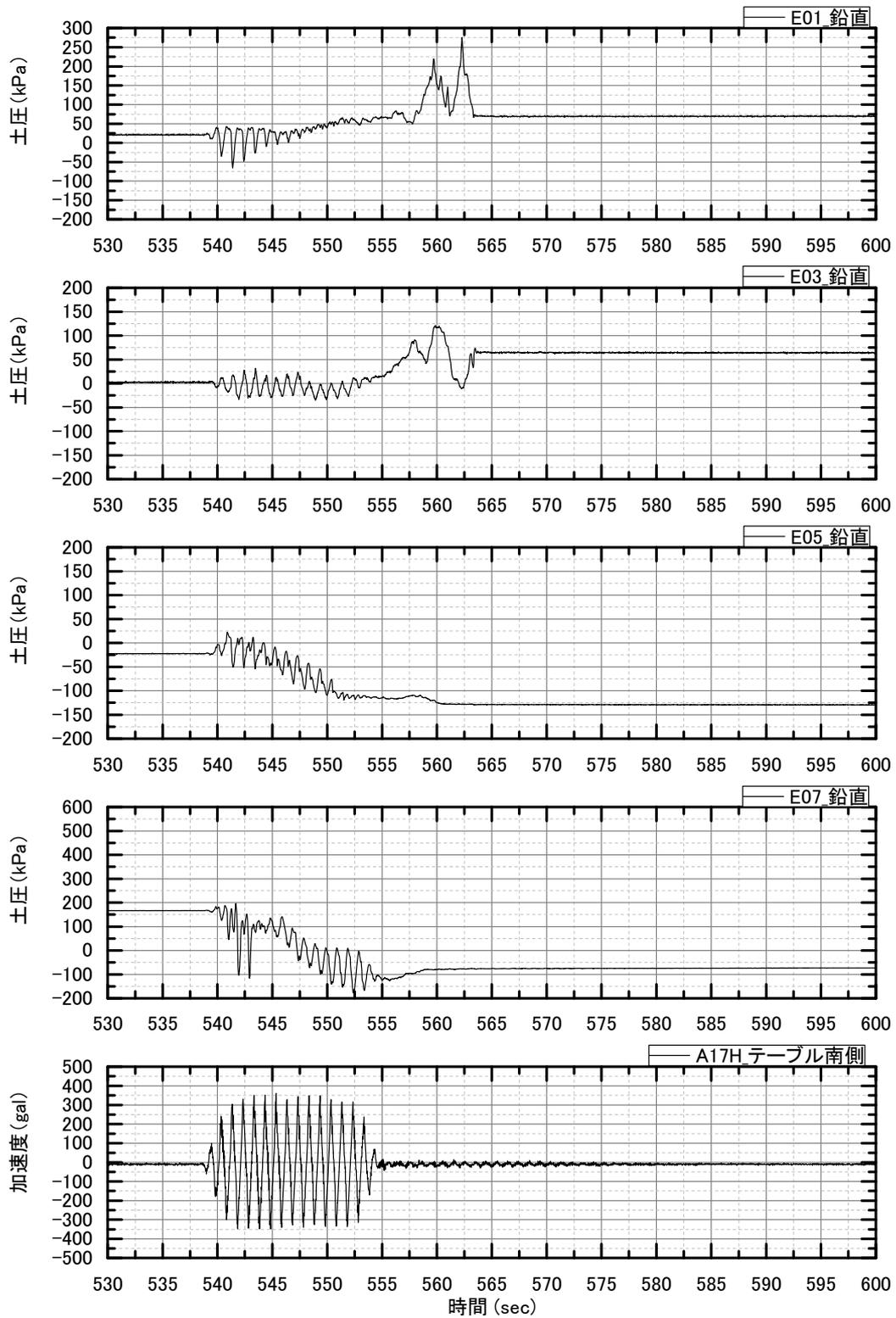


図 3.3.14 境界部鉛直土圧計時刻歴\_300gal-2 回目

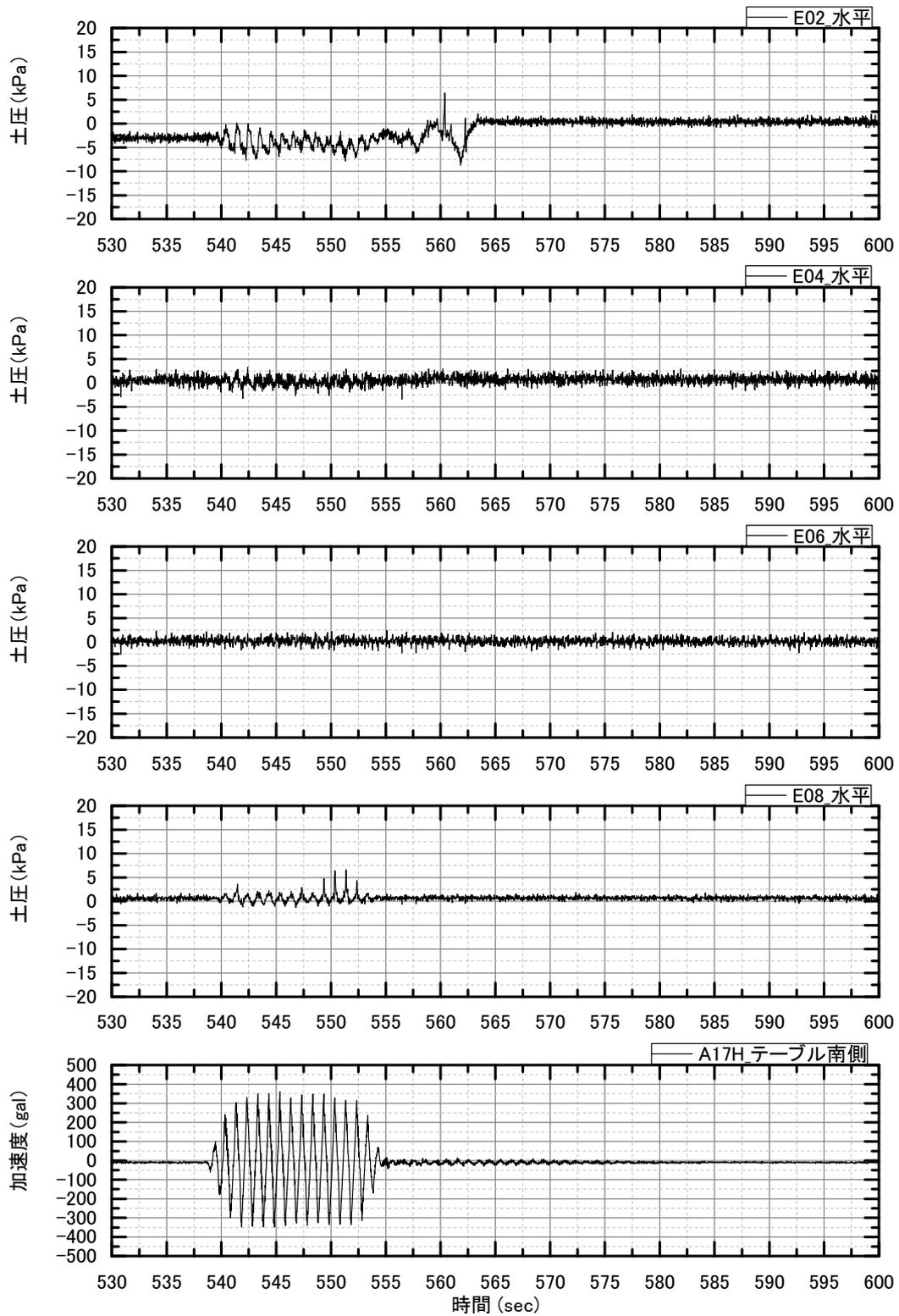


図 3.3.15 境界部水平土圧計時刻歴\_300gal-2 回目

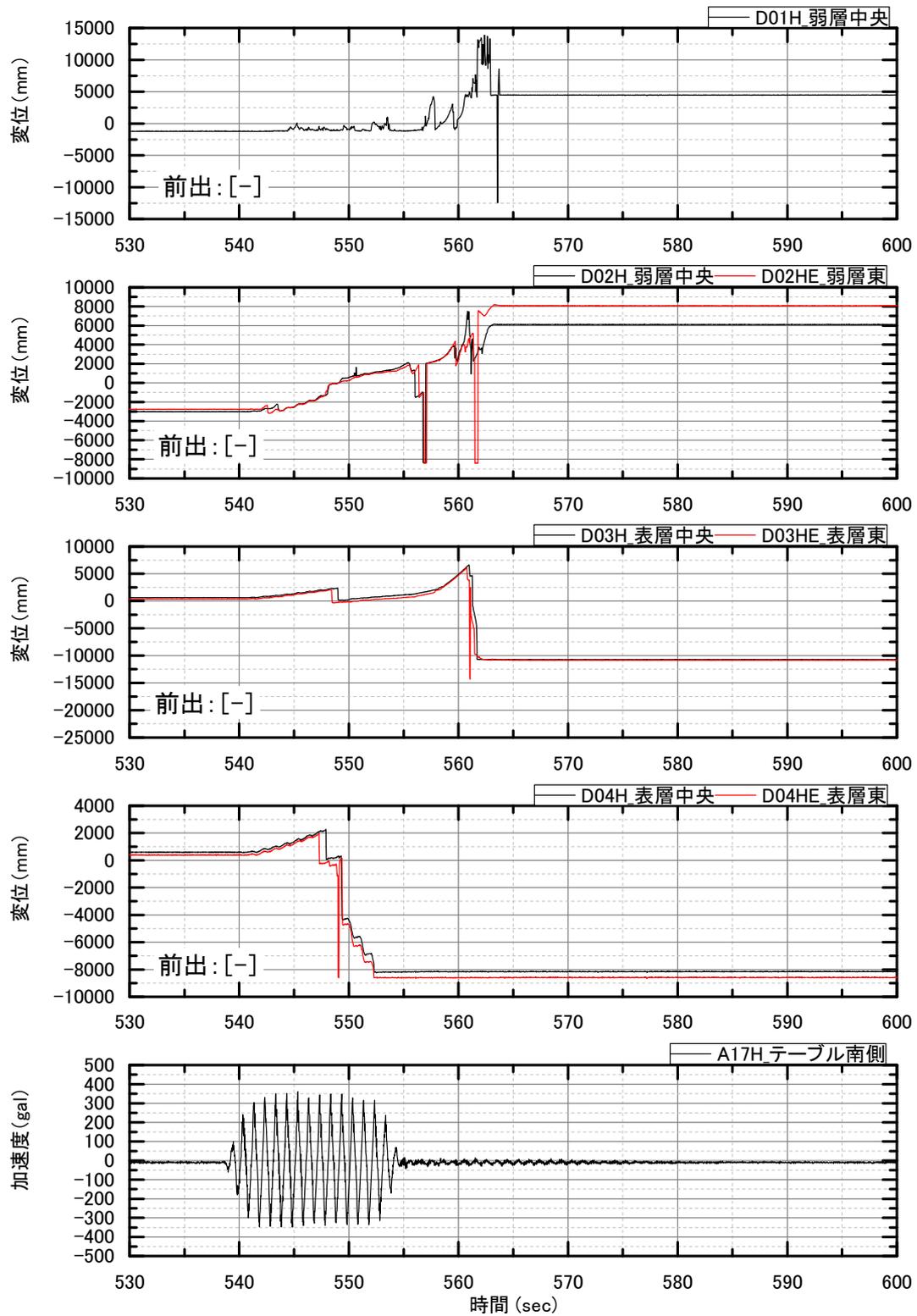


図 3.3.16 模型前面水平変位時刻歴\_300gal-2 回目

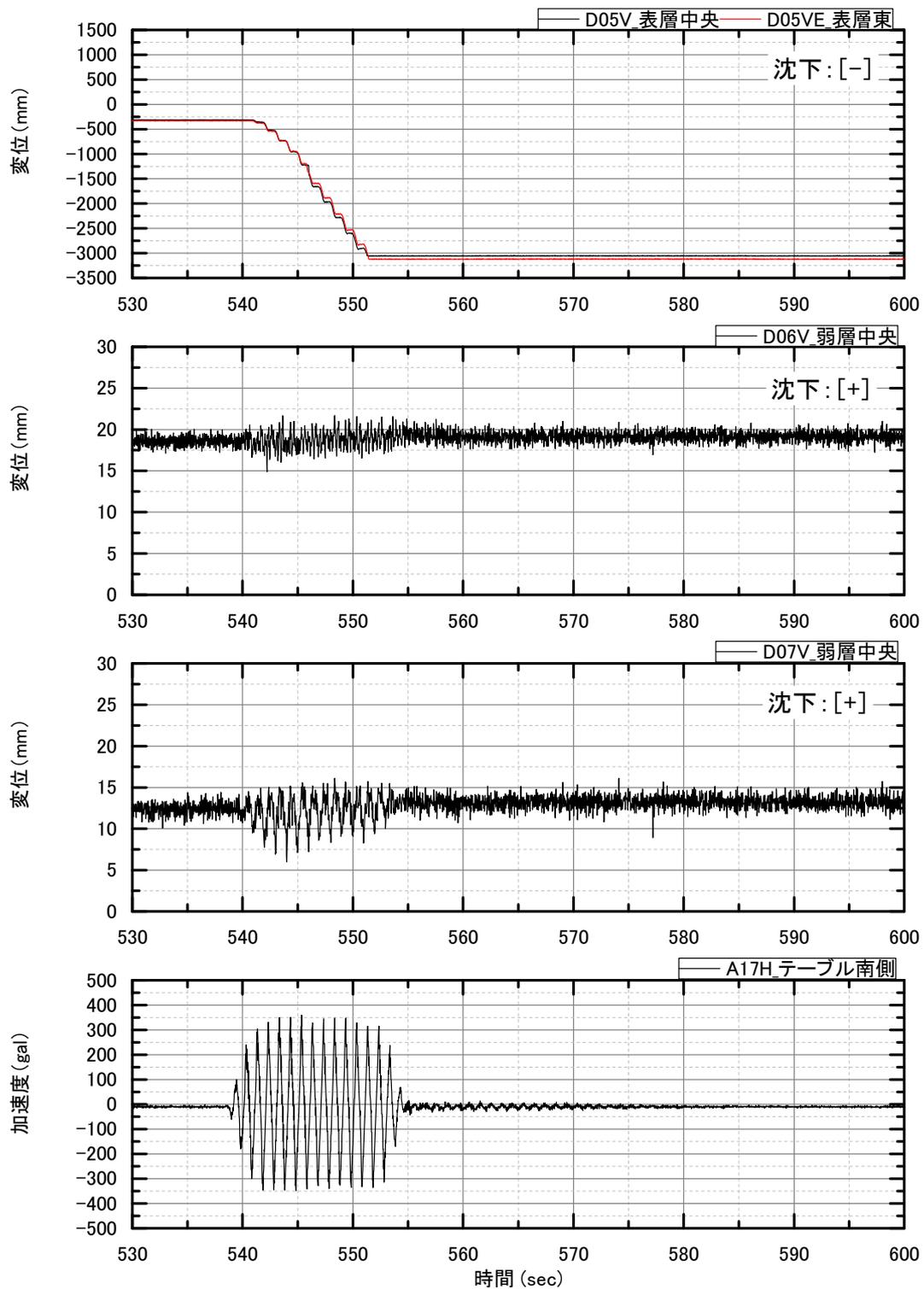


図 3.3.17 模型天端鉛直変位時刻歴\_300gal-2 回目

## ②標点の二次元変位量

試番1の標点位置を初期値として二次元変位量を算定し、その結果の代表例を図3.3.18～図3.3.20に示す。なお、作図にあたっては斜面模型の表層・弱層上部・弱層中上部・弱層中下部・弱層下部の4つの領域内で特に着目する標点（写真3.3.1）について、弱層が崩壊に至った試番4（300gal\_2回目）における時刻歴を作成している。

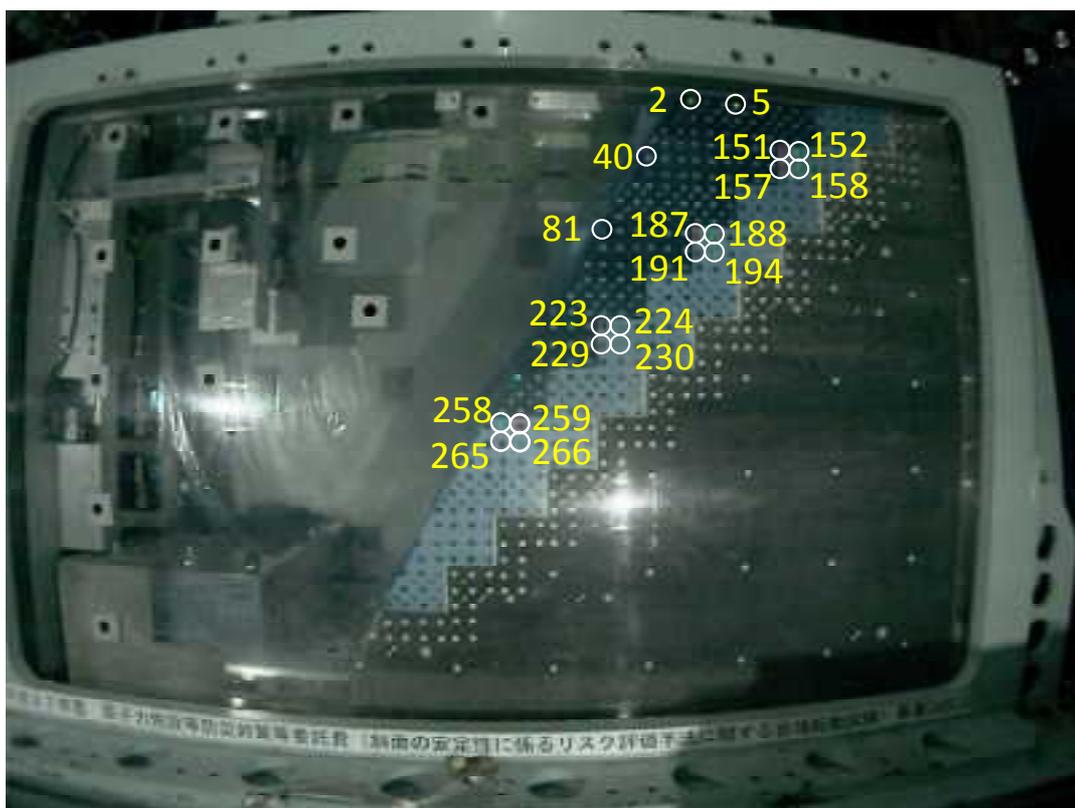


写真 3.3.1 作図標点 (Case32)

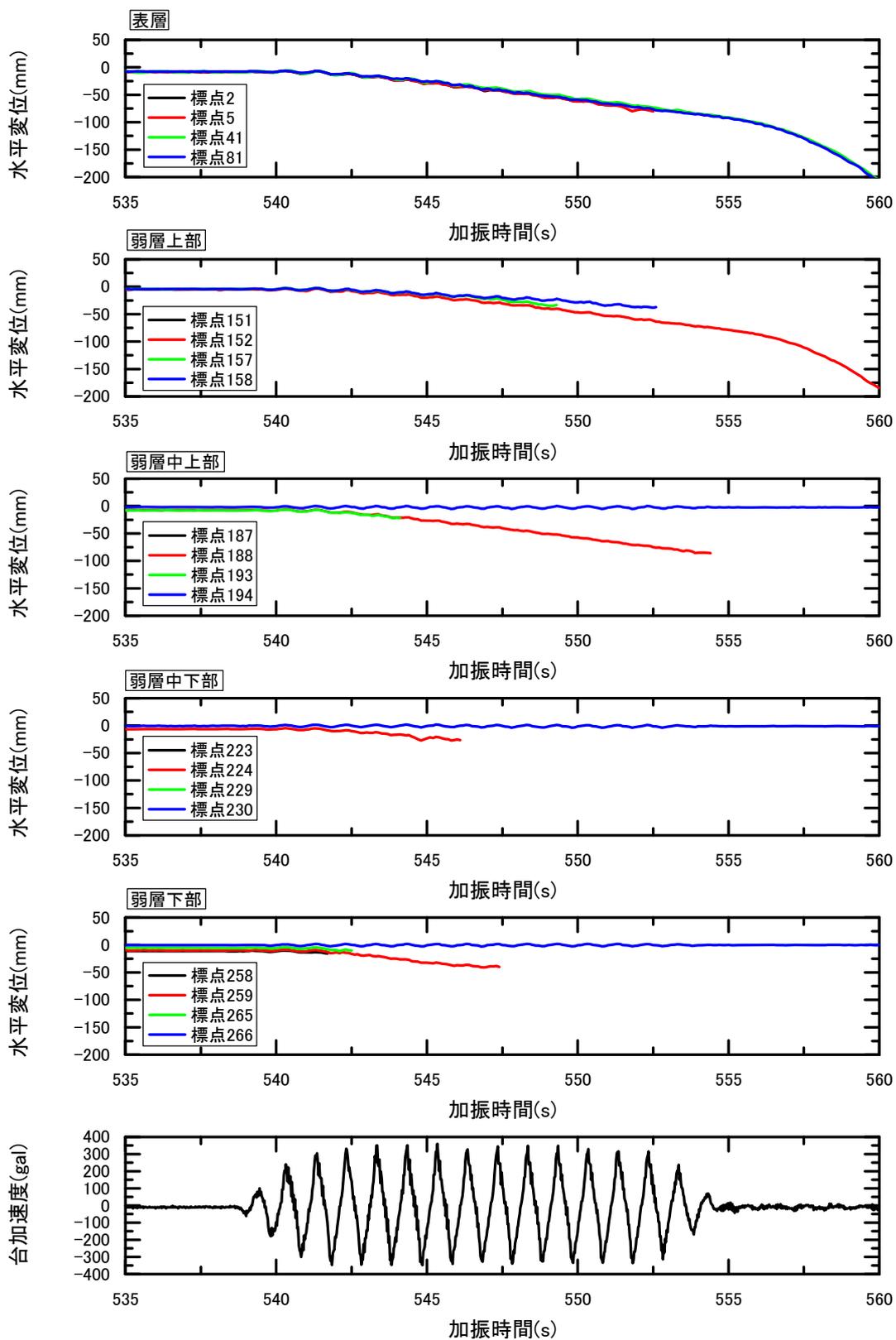


图 3.3.18 水平方向相对变位时刻歴\_300gal-2 回目

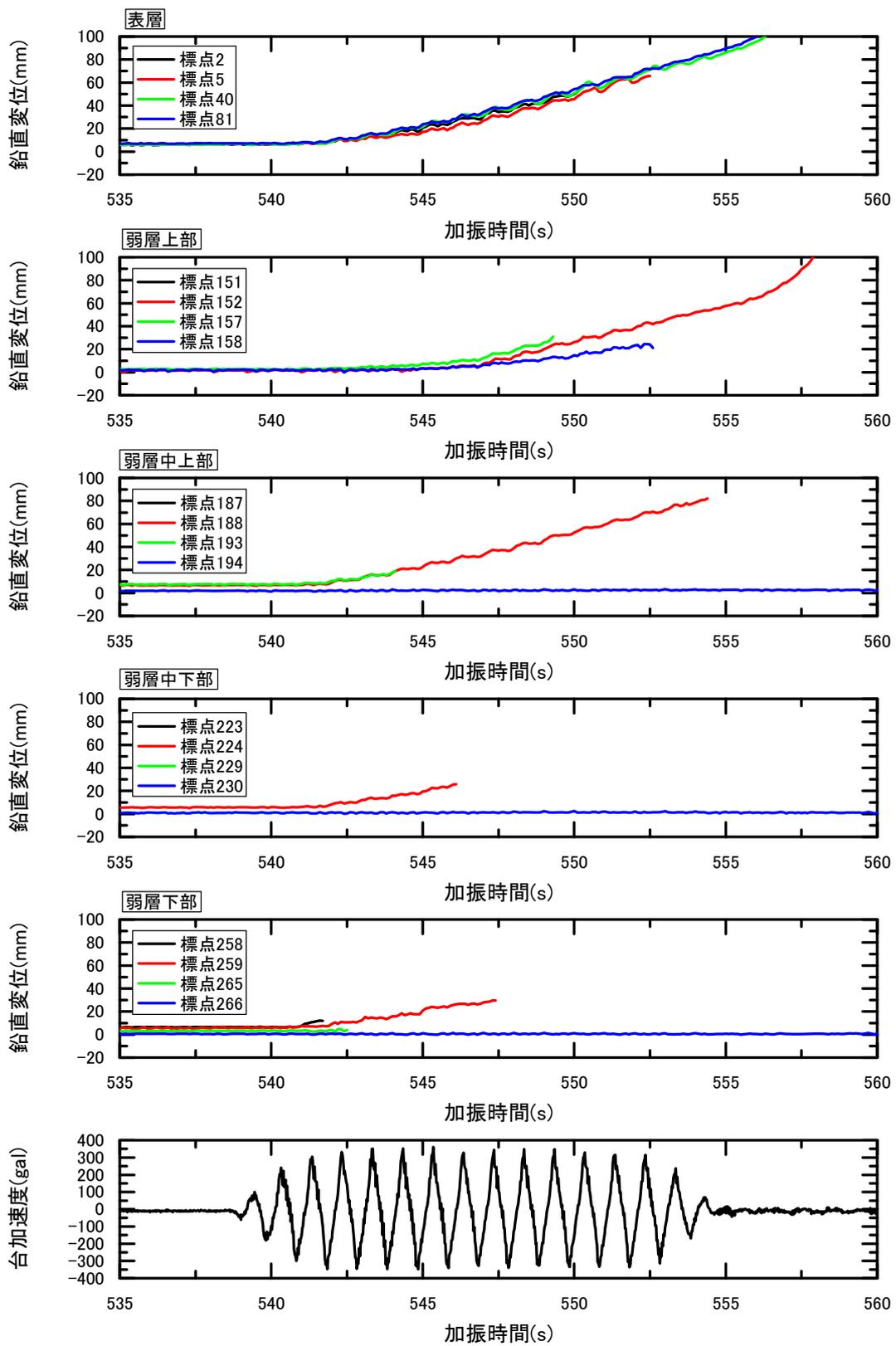


図 3.3.19 鉛直方向相对変位時刻歴\_300gal-2 回目

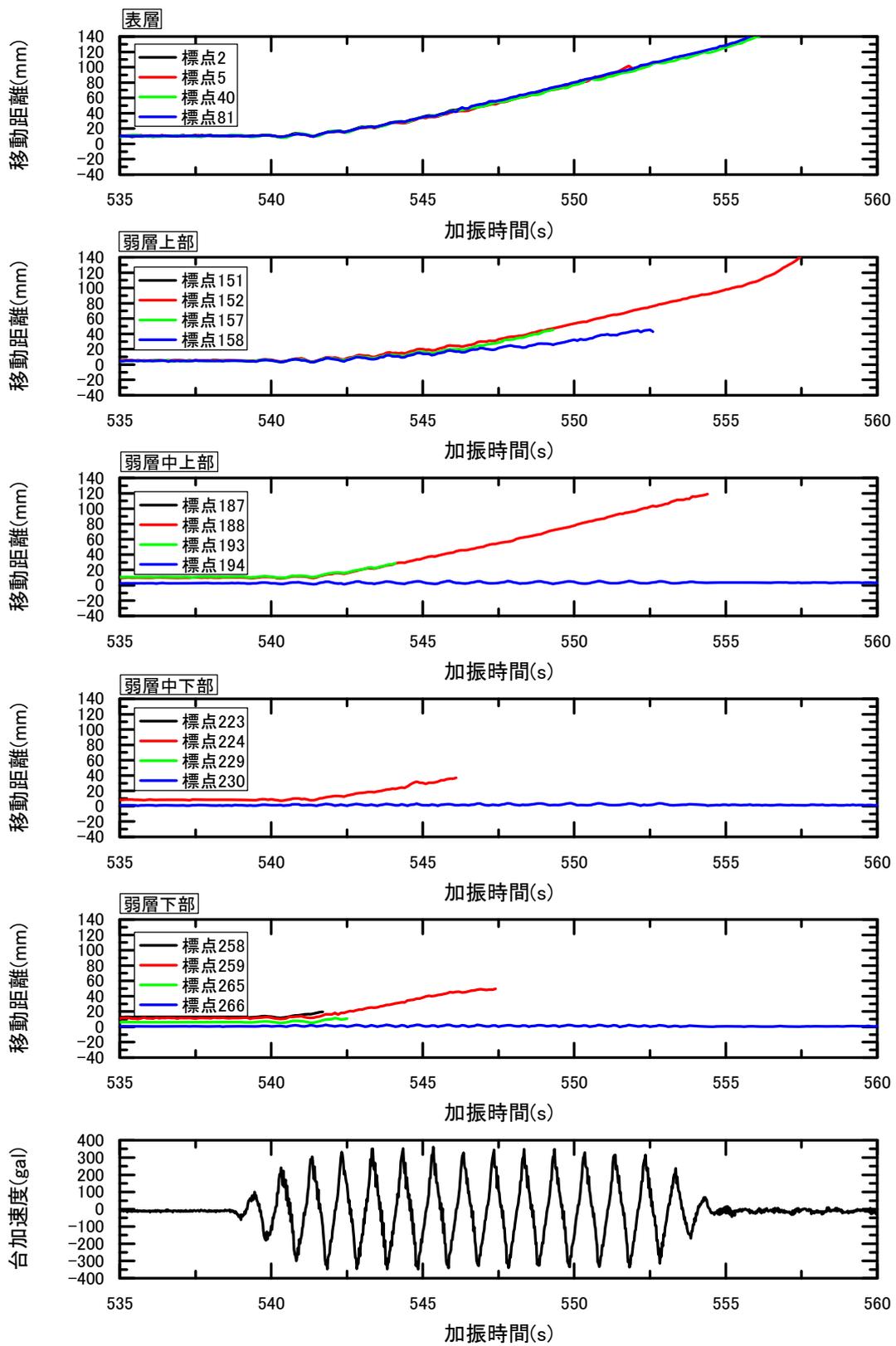


図 3.3.20 移動距離時刻歴\_300gal-2 回目

②で算出した各標点の変位量よりテンションクラックもしくはすべり線を挟んだ2点間距離の増分値を算出し、その値を用いてテンションクラックもしくはすべり線の接線および法線方向移動距離（増分値）の時刻歴を図 3.3.21 および図 3.3.22 に示す。

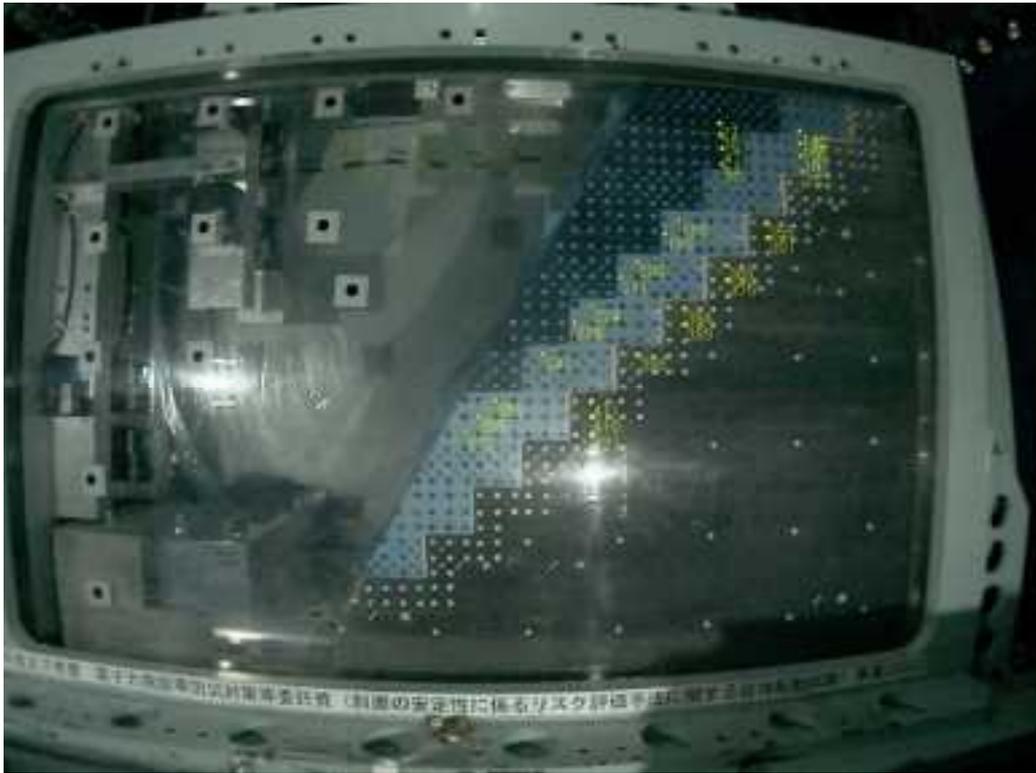


写真 3.3.2 作図標点 (Case32)

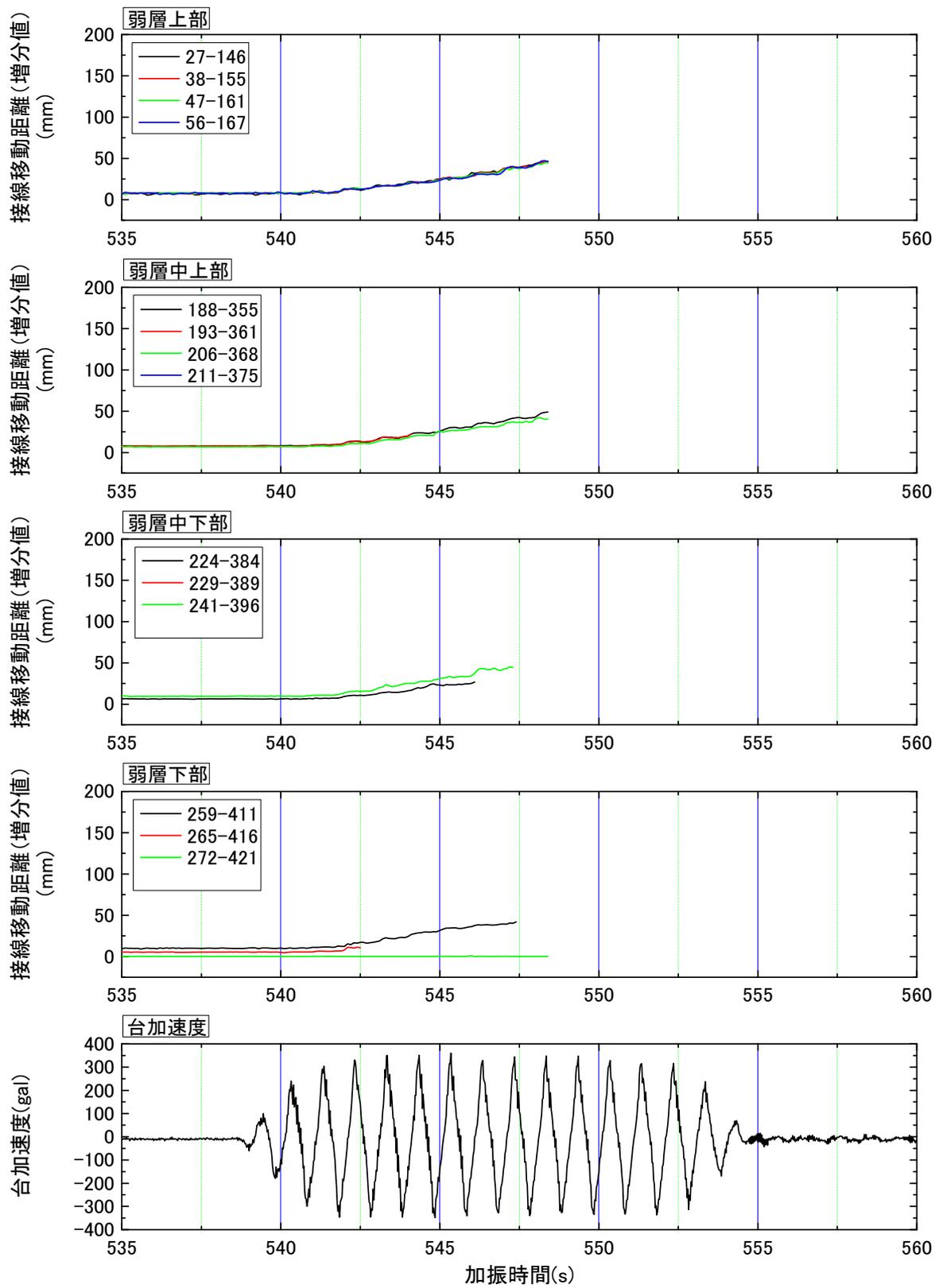


図 3.3.21 接線変位時刻歴\_300gal-2 回目

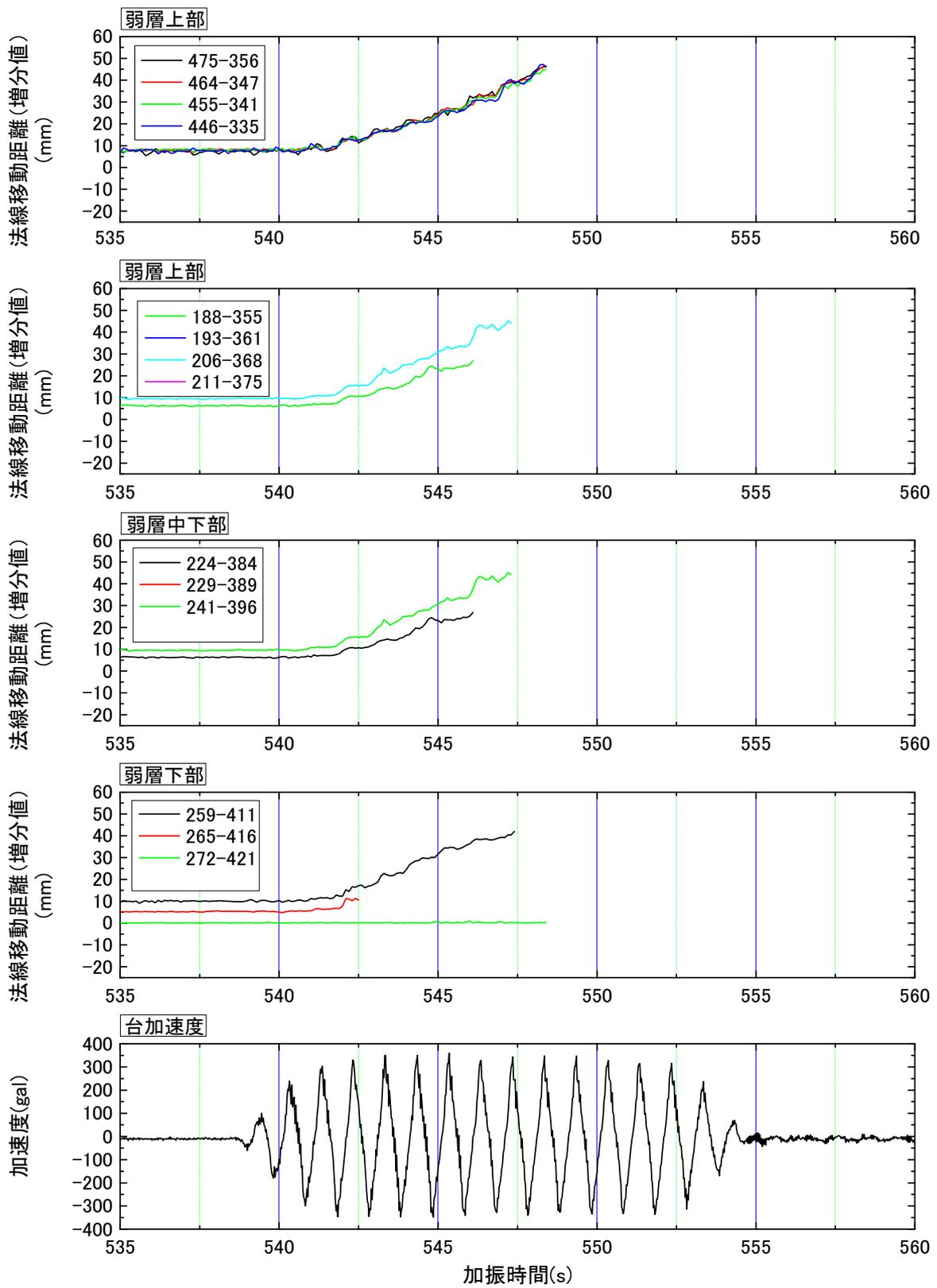


図 3.3.22 法線変位時刻歴\_300gal-2 回目

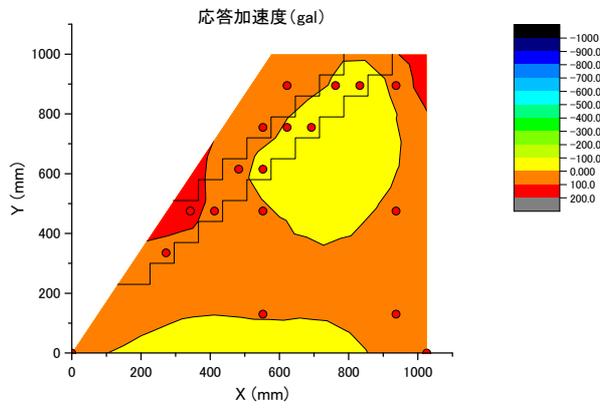
### ③加速度コンター図

試番 4 および試番 5 における、応答加速度のコンター図を図 3.3.23～図 3.3.25 に示す。なお、コンター作成の時刻は、入力加速度の落ち着く 4 波目と 14 波目を用いることとし、慣性力が最大へとなるマイナス側の (a) 振動台加速度ゼロ、(b) 振動台加速度ピーク、(c) 振動台加速度ゼロの 3 点で作成した。

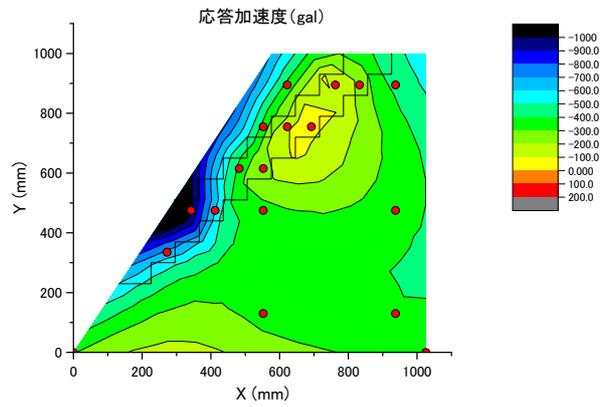
表 3.3.2 にコンターの作成時刻を示す。なお、300gal-2 回目については、A02H、A06H～A10H が計測不能となっているため、コンター作成のための十分なデータが得られていない。

表 3.3.2 コンター作成時刻

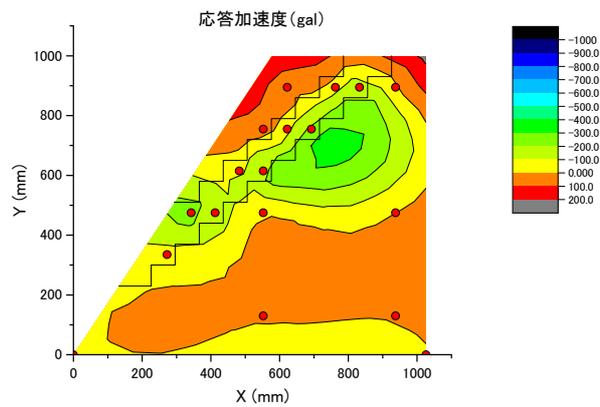
Case	作成時刻
300gal-1 回目 (4 波目)	(a) 597.325
	(b) 597.550
	(c) 597.825
300gal-2 回目 (14 波目)	(a) 607.350
	(b) 607.525
	(c) 607.825
300gal-2 回目 (4 波目)	(a) 542.625
	(b) 542.825
	(c) 543.100



(a) 振動台加速度ゼロ

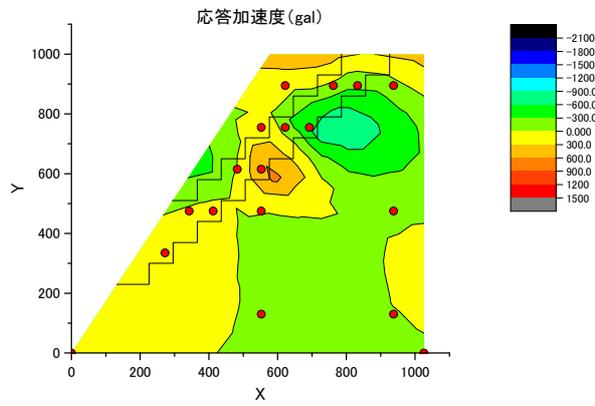


(b) 振動台加速度ピーク

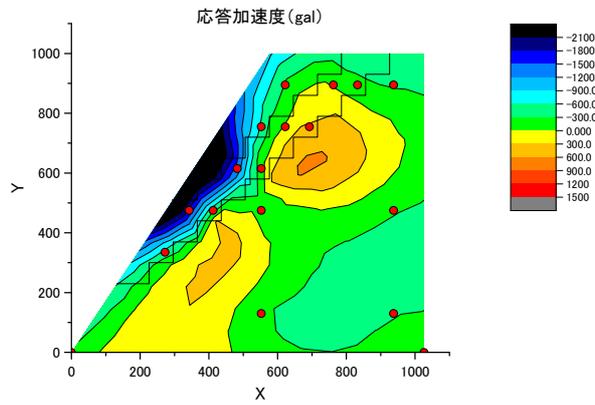


(c) 振動台加速度ゼロ

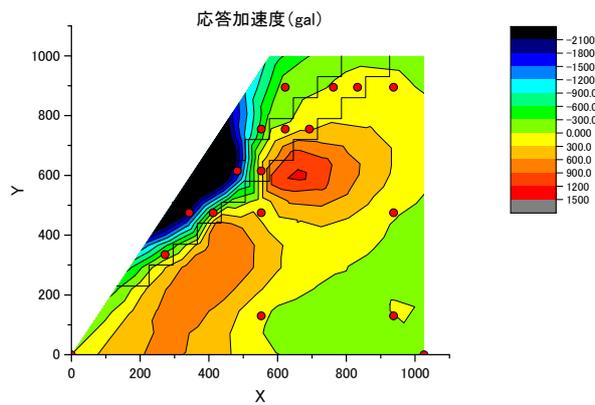
図 3.3.23 加速度コンター図\_300gal-1 回目 (4 波目)



(a) 振動台加速度ゼロ

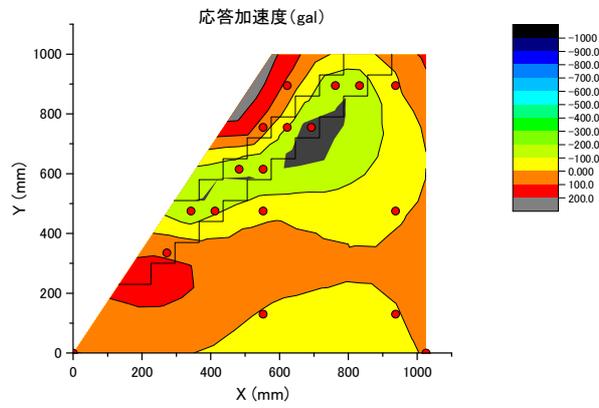


(b) 振動台加速度ピーク

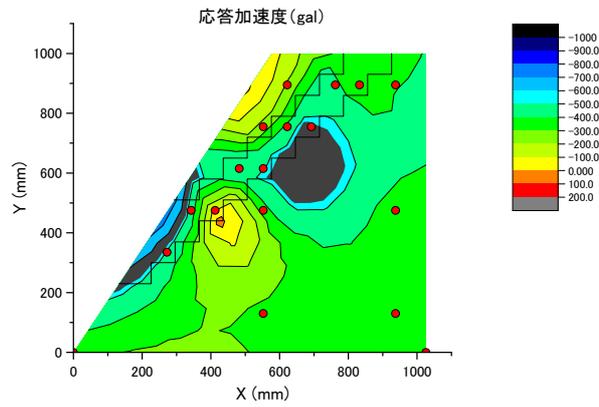


(c) 振動台加速度ゼロ

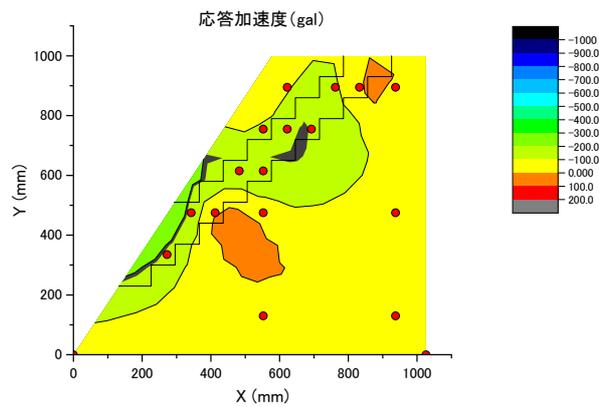
図 3.3.24 加速度コンター図\_300gal-1 回目 (14 波目)



(a) 振動台加速度ゼロ



(b) 振動台加速度ピーク



(c) 振動台加速度ゼロ

図 3.3.25 加速度コンター図\_300gal-2 回目 (4 波目)

#### ④せん断ひずみコンター図

「②標点の二次元変位量」で算出した各標点の変位量から、岩盤斜面中の最大せん断ひずみ量を算定し、代表点の最大せん断ひずみ量の時刻歴を図 3.3.27～図 3.3.30 に示す。なお、作図にあたっては弱層部分を弱層上部・中上部・中下部・下部の領域に分け、それぞれの領域で特に着目した最大せん断ひずみ量を算出したエレメント 3～4 箇所の平均値を用いて時刻歴を作成した。

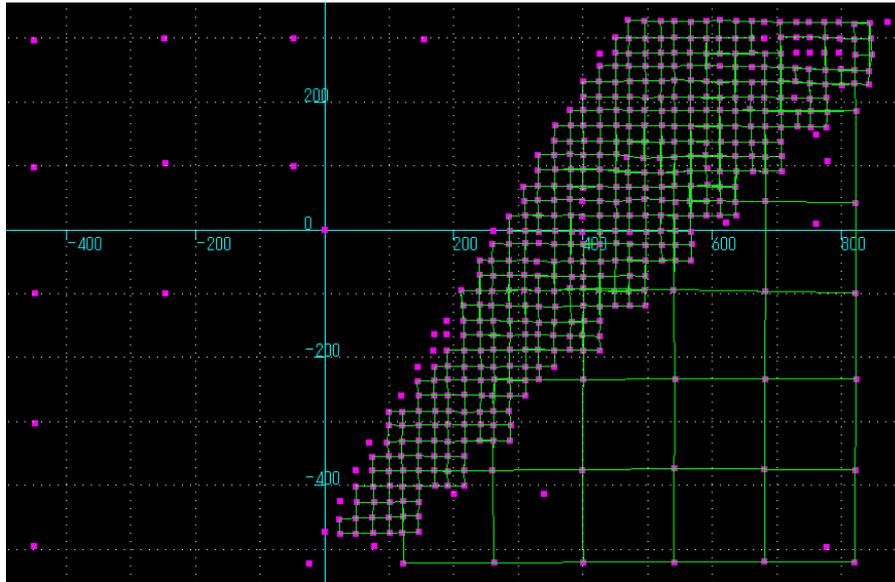


図 3.3.26  $\gamma_{\max}$  算出メッシュ (Case32)

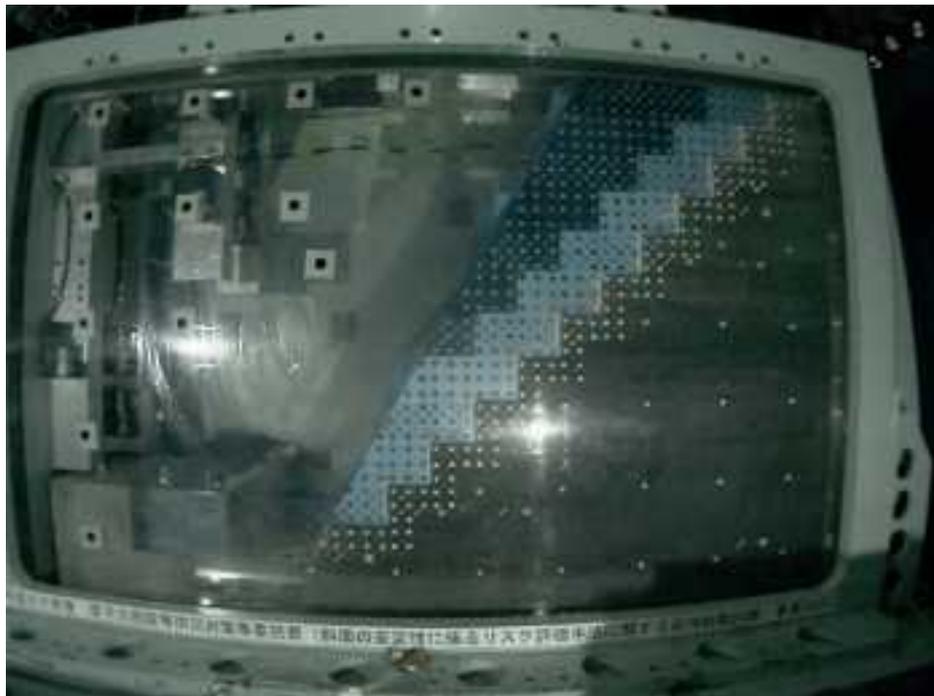


写真 3.3.3 標点配置 (Case32)

300gal 1回目 加振前45シーン

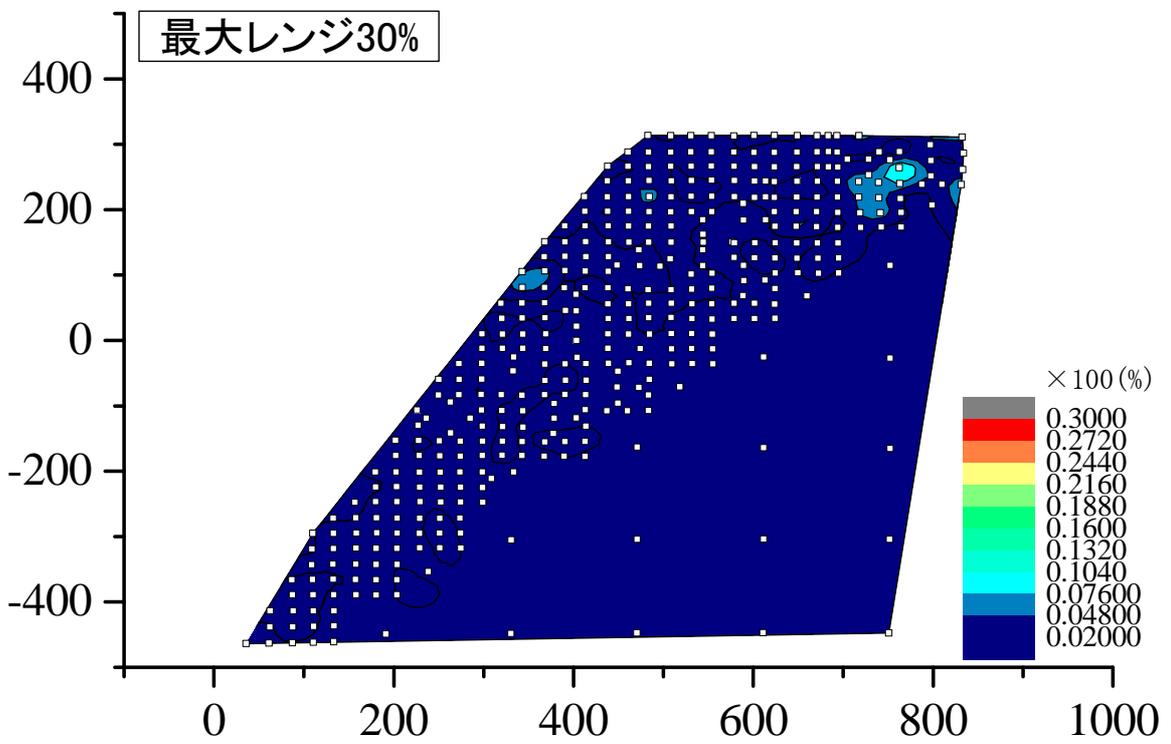
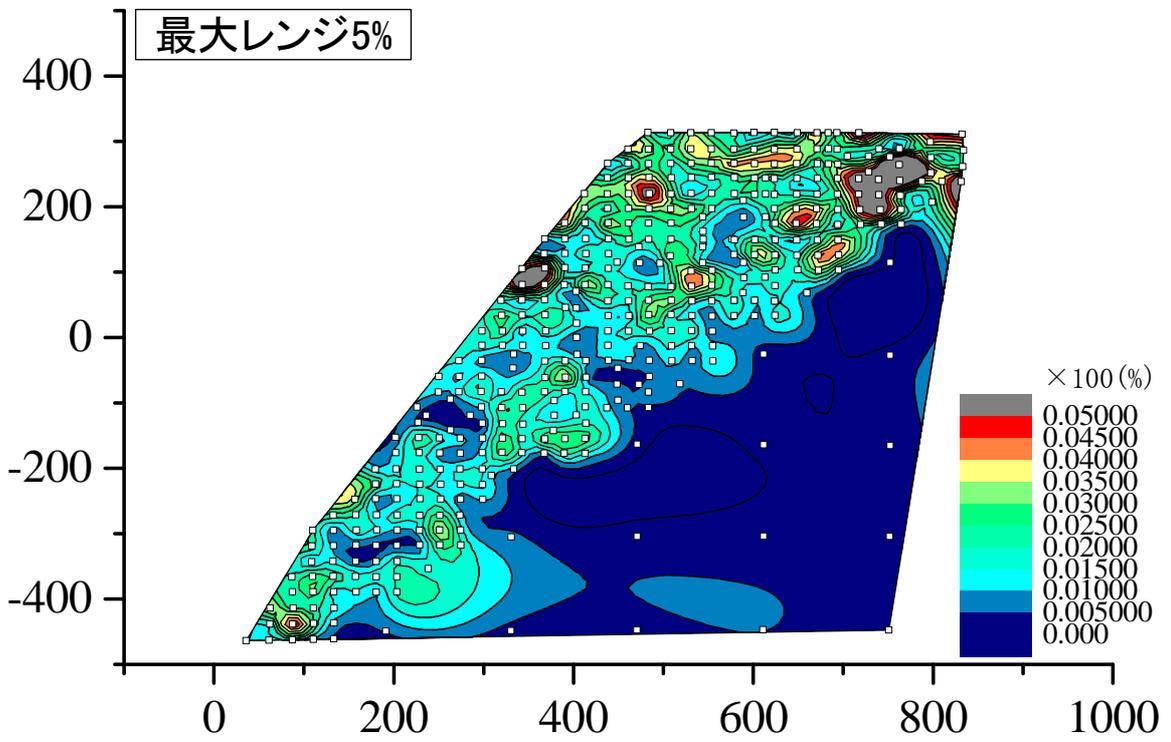


図 3.3.27 せん断ひずみコンター図\_300gal-1回目 (シーン 45)

300gal 1回目 10波目184シーン

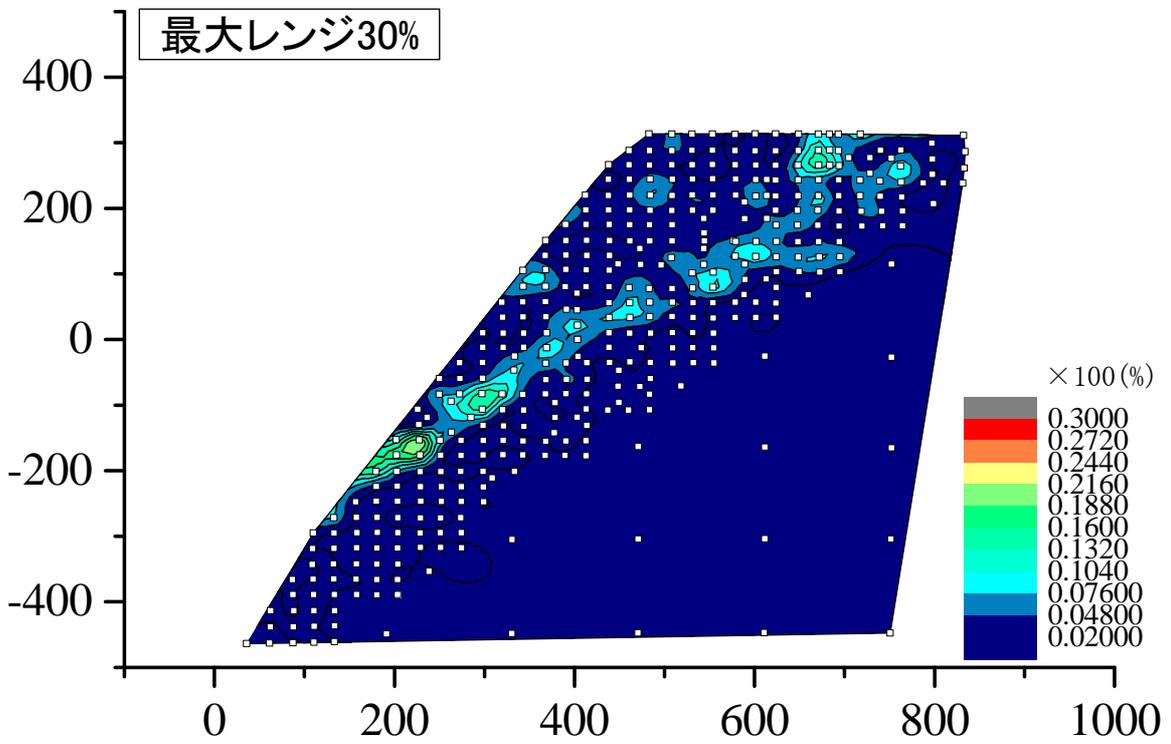
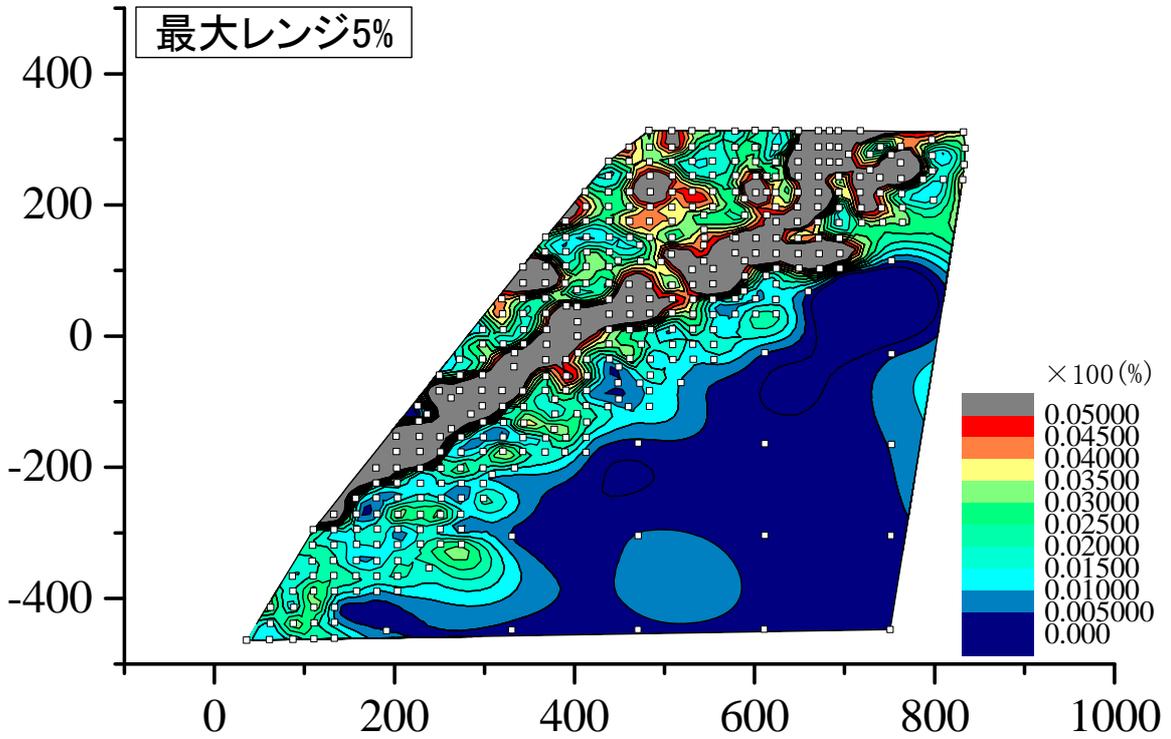


図 3.3.28 せん断ひずみコンター図\_300gal-1 回目 (シーン 184)

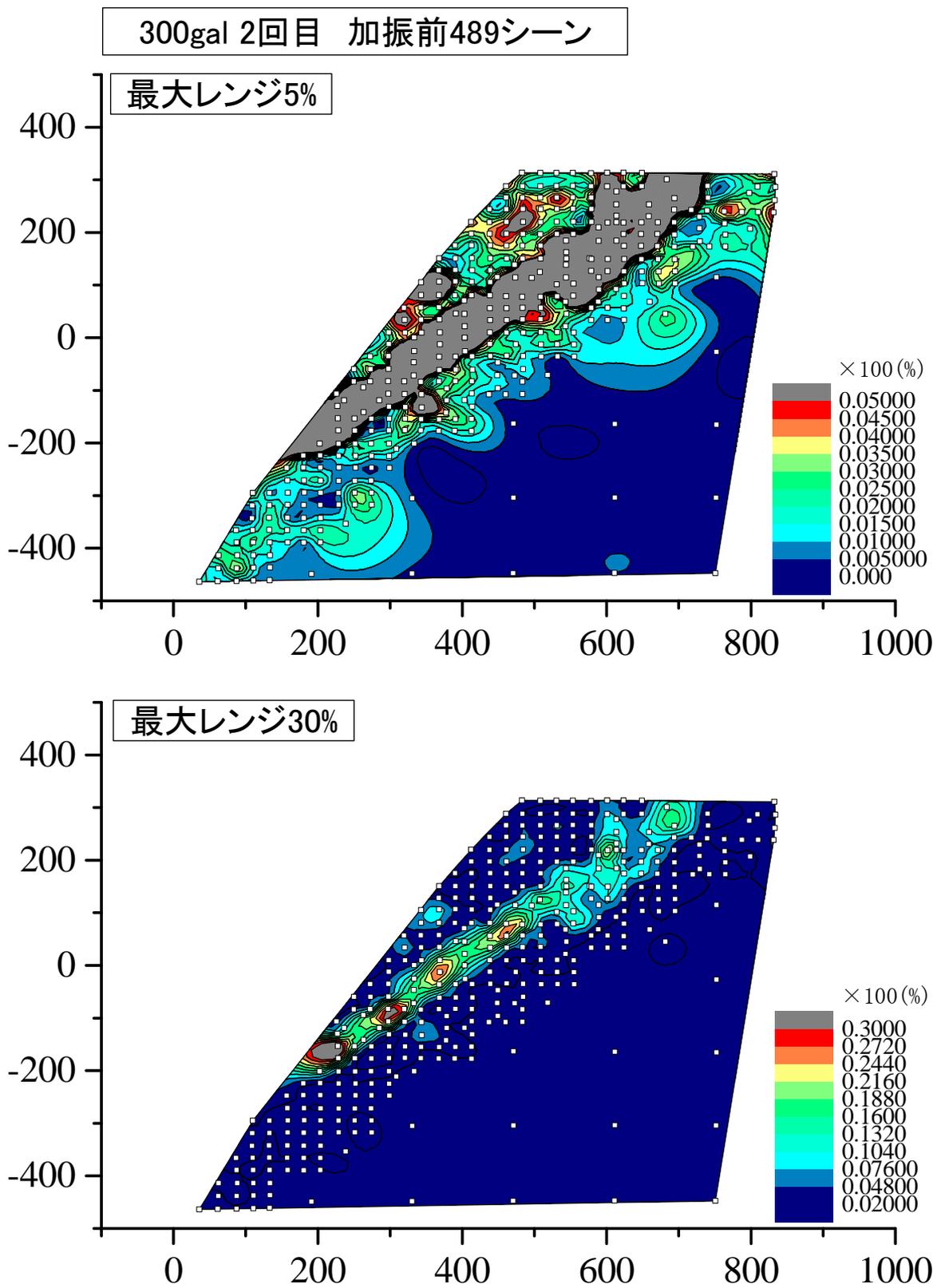


図 3.3.29 せん断ひずみコンター図\_300gal-2 回目 (シーン 489)

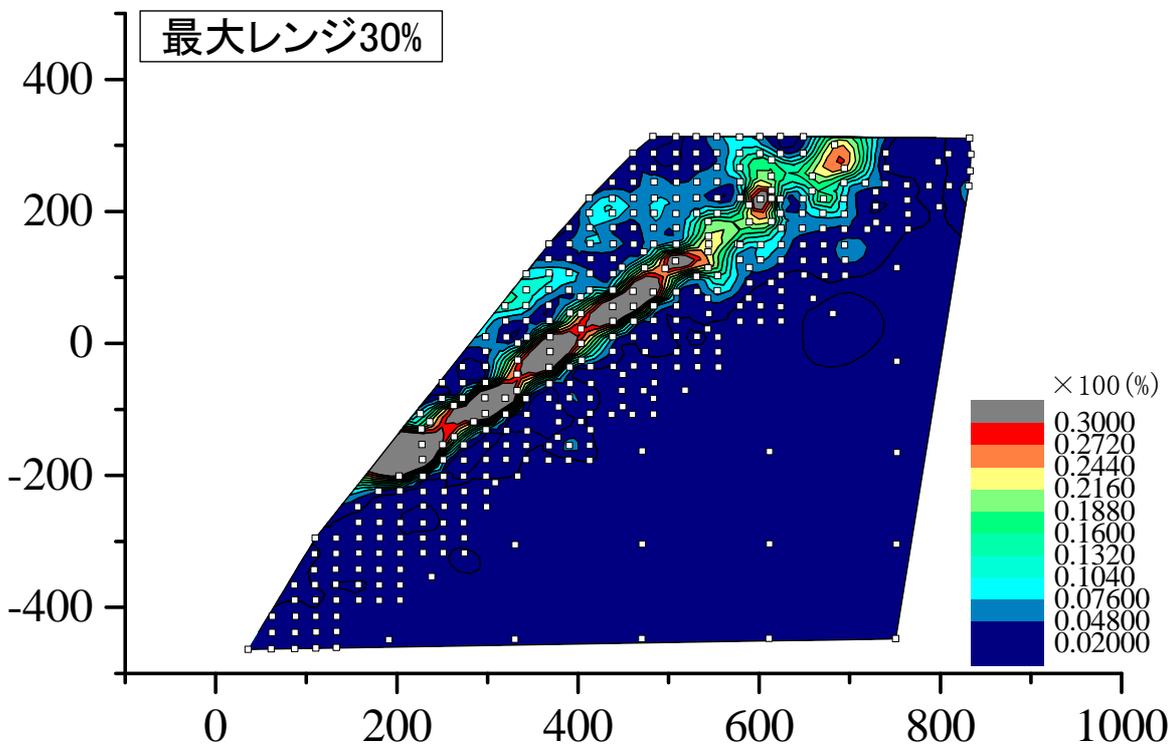
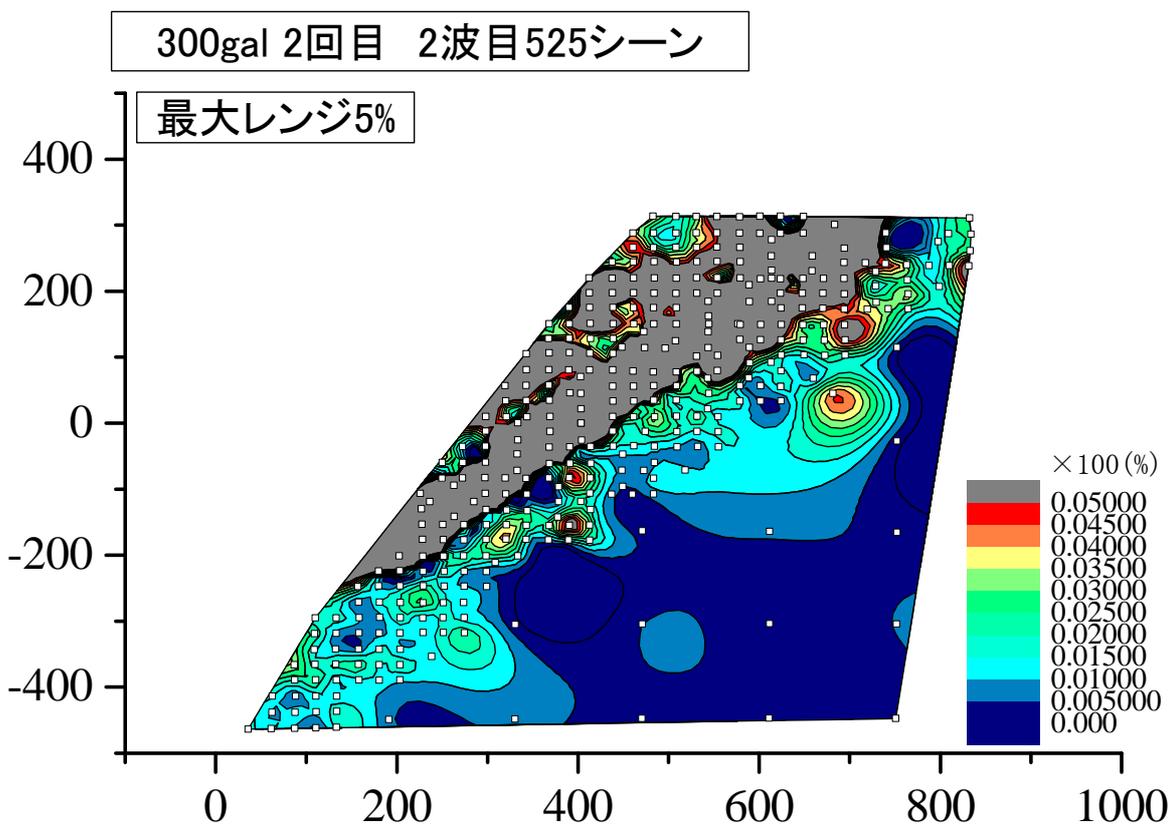


図 3.3.30 せん断ひずみコンター図\_300gal-2 回目 (シーン 525)

⑤衝突時の土圧

図3.3.31～図3.3.32には模型崩壊時にのり尻に設置していた土圧計にて測定した土圧を標点の二次元変位の時刻歴と併せて示す。

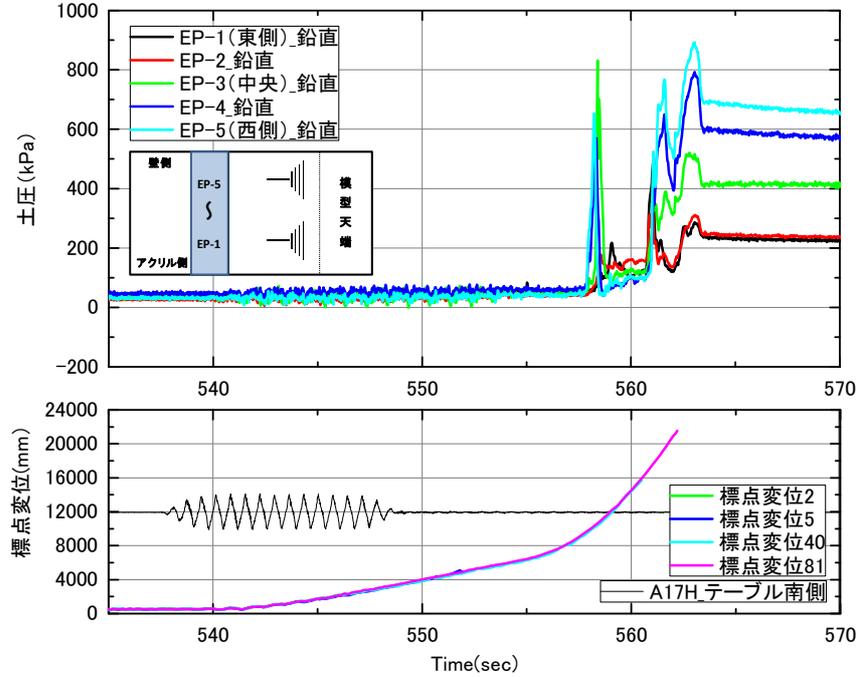


図 3.3.31 鉛直土圧計時刻歴

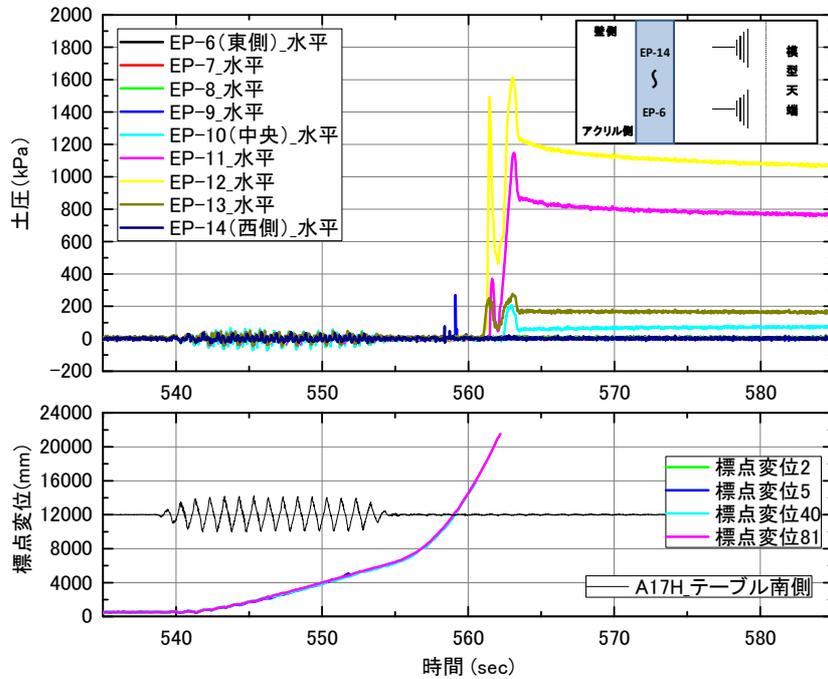


図 3.3.32 水平土圧計時刻歴

(2) 遠心力载荷試験結果 (Case33)

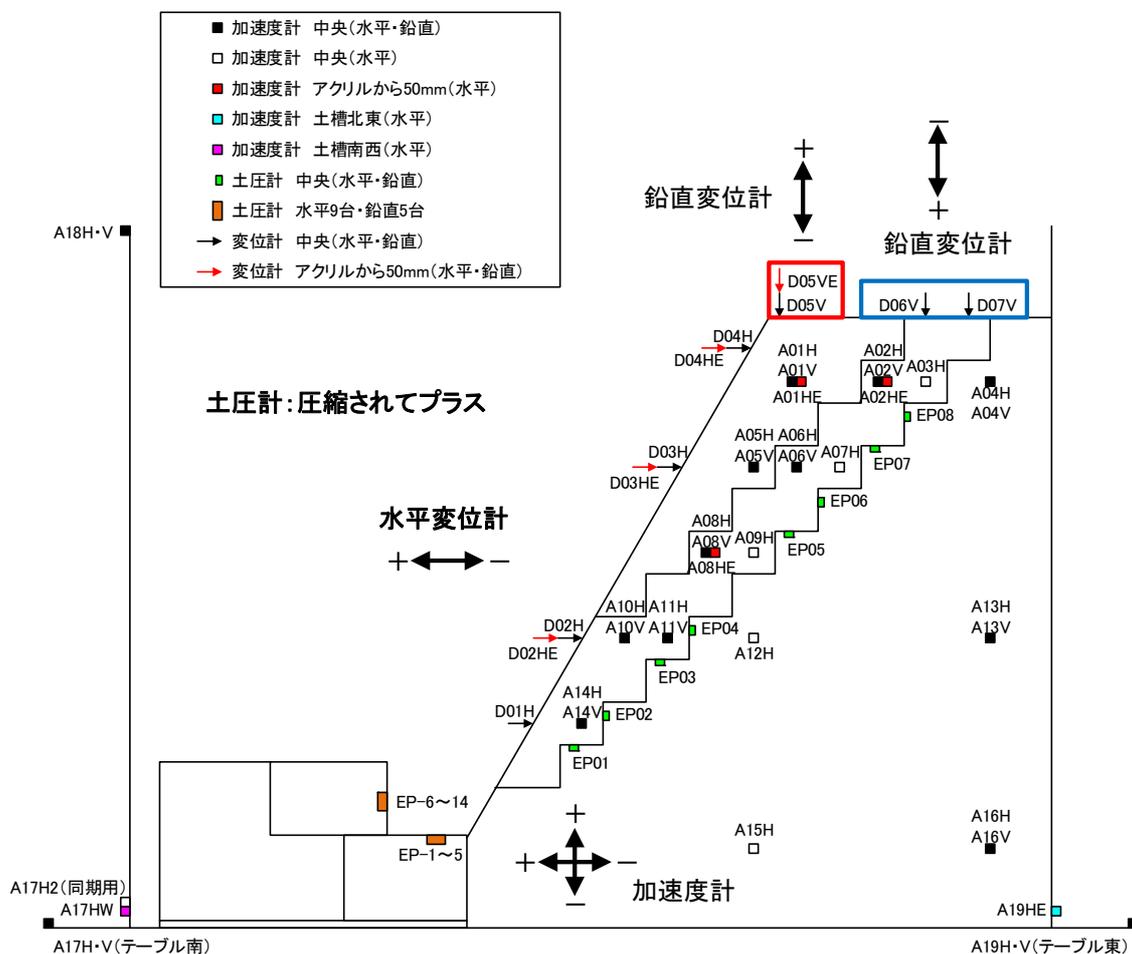


図 3.3.33 計測機器の極性定義図

①代表的な時刻歴図

Case33 における代表的な時刻歴データとして、500gal 加振時のデータを図 3.3.34～図 3.3.57 に示す。

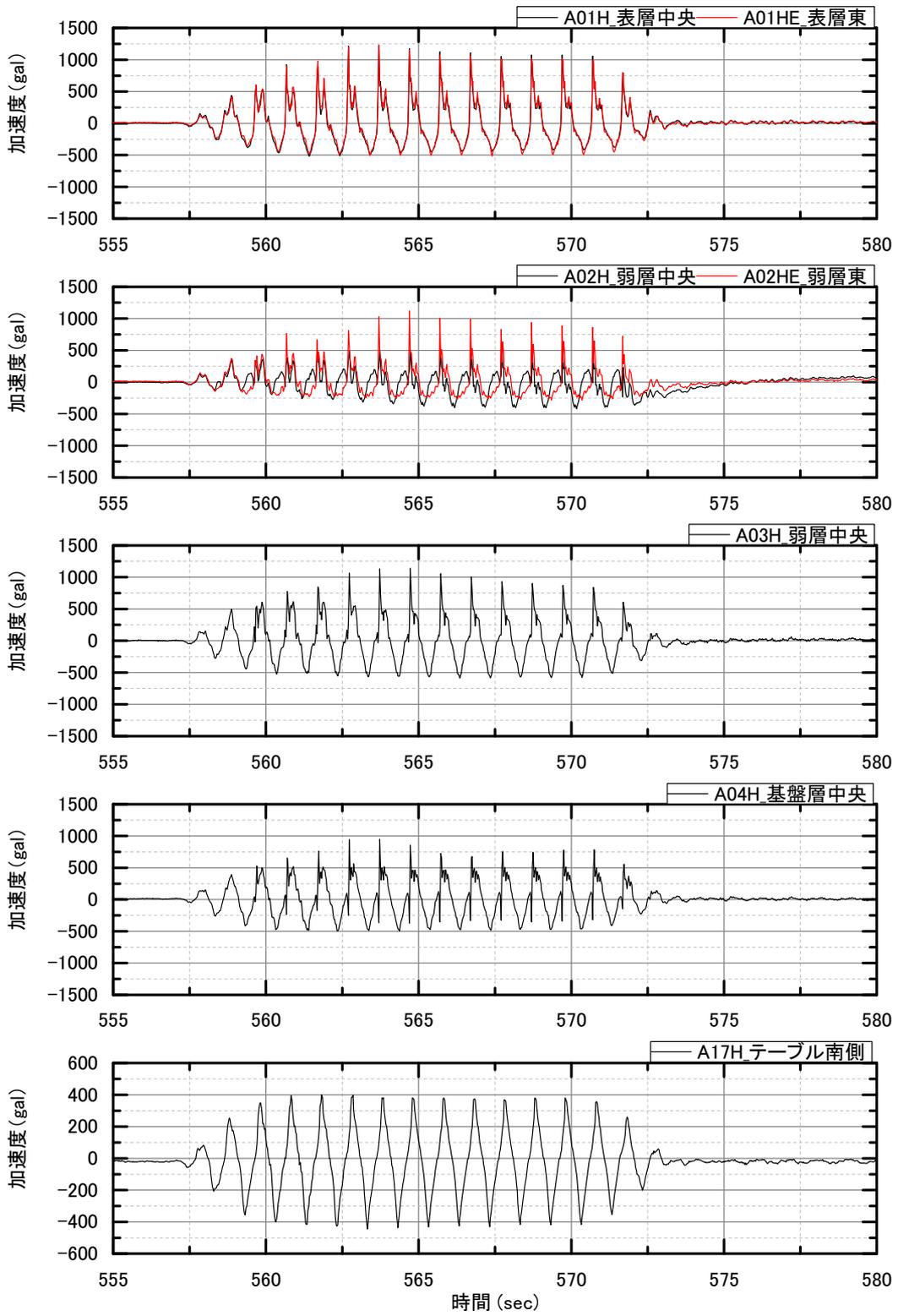


図 3.3.34 1 段目加速度計時刻歴\_400gal

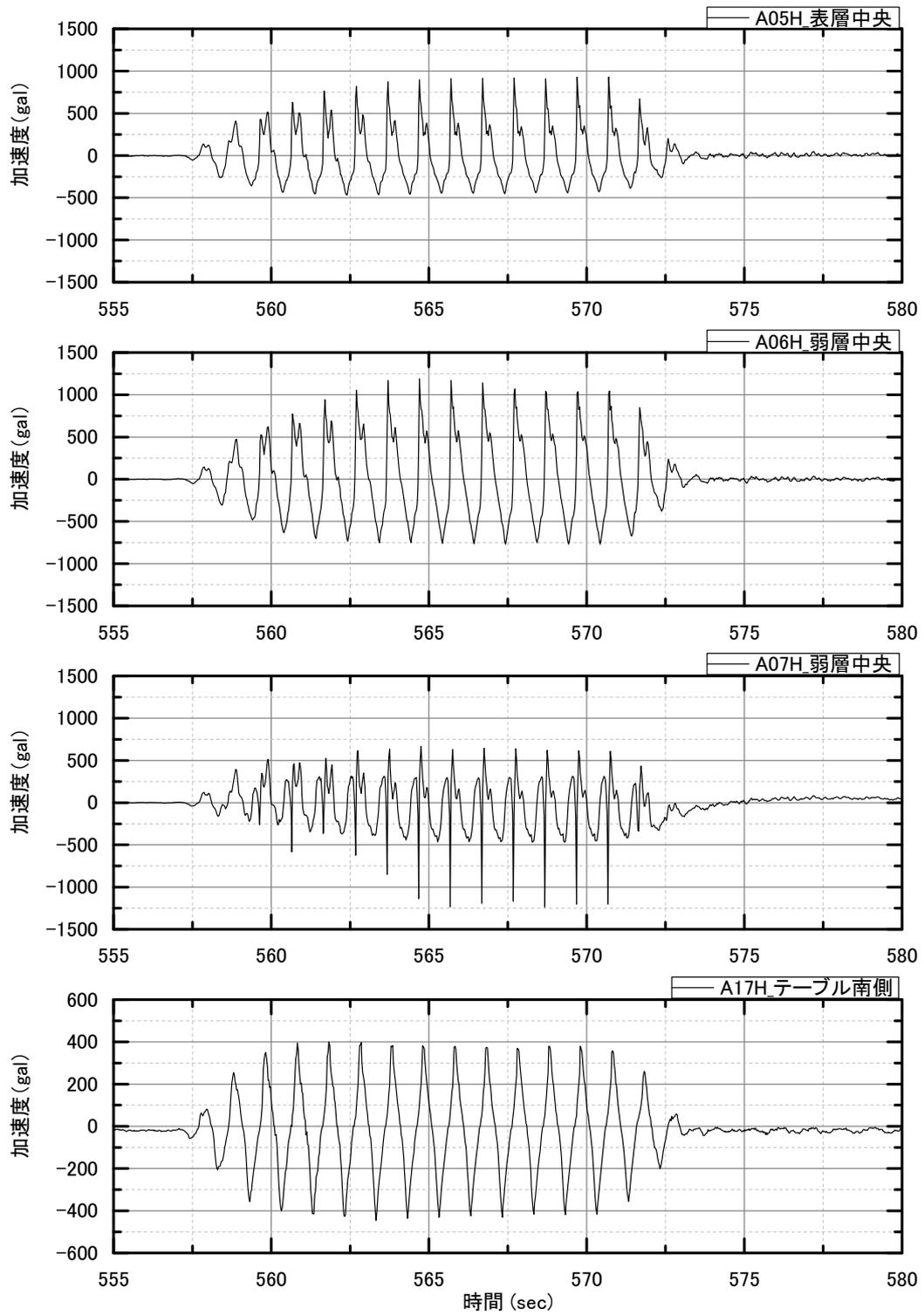


図 3.3.35 2 段目加速度計時刻歴\_400gal

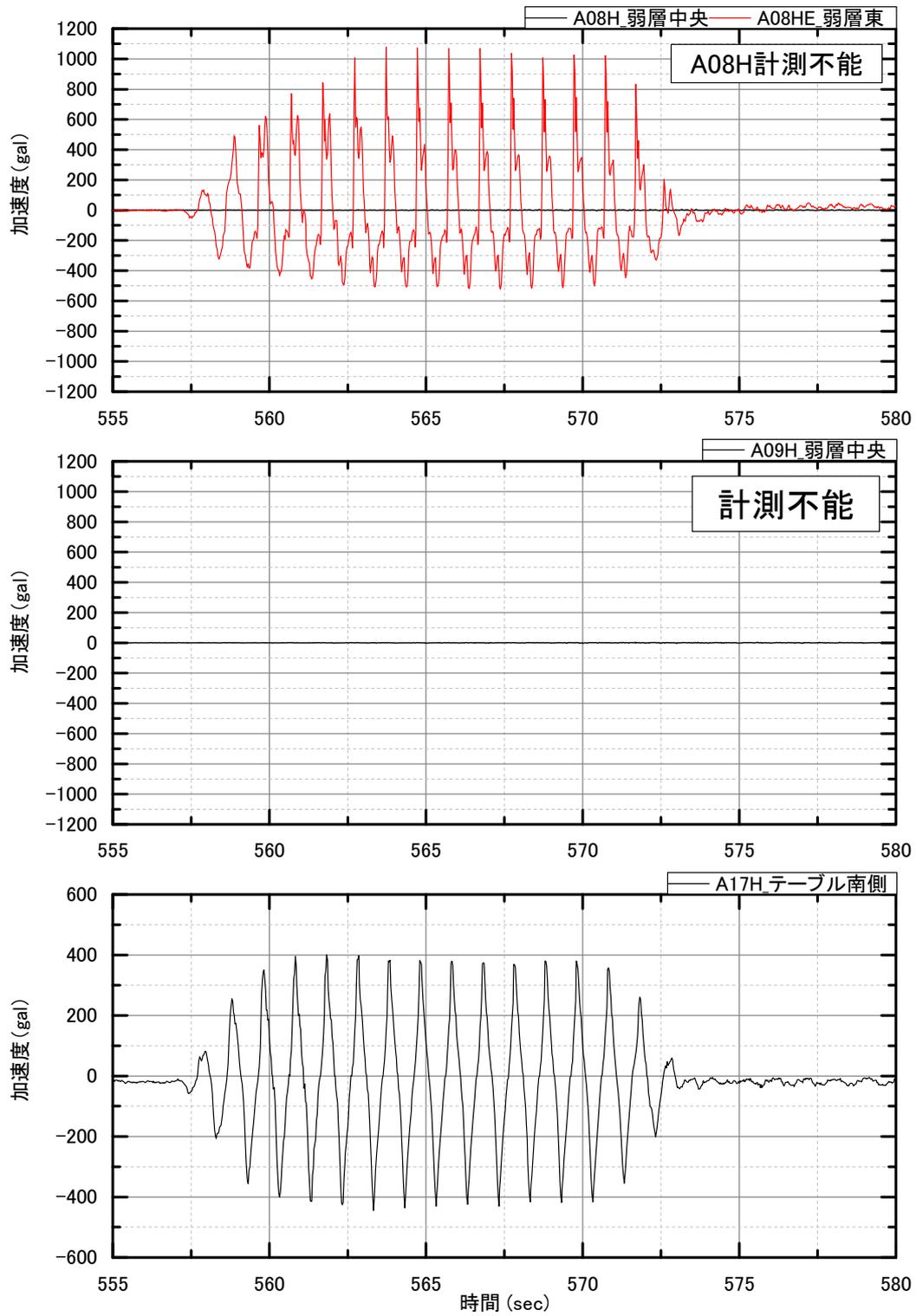


図 3.3.36 3 段目加速度計時刻歴\_400gal

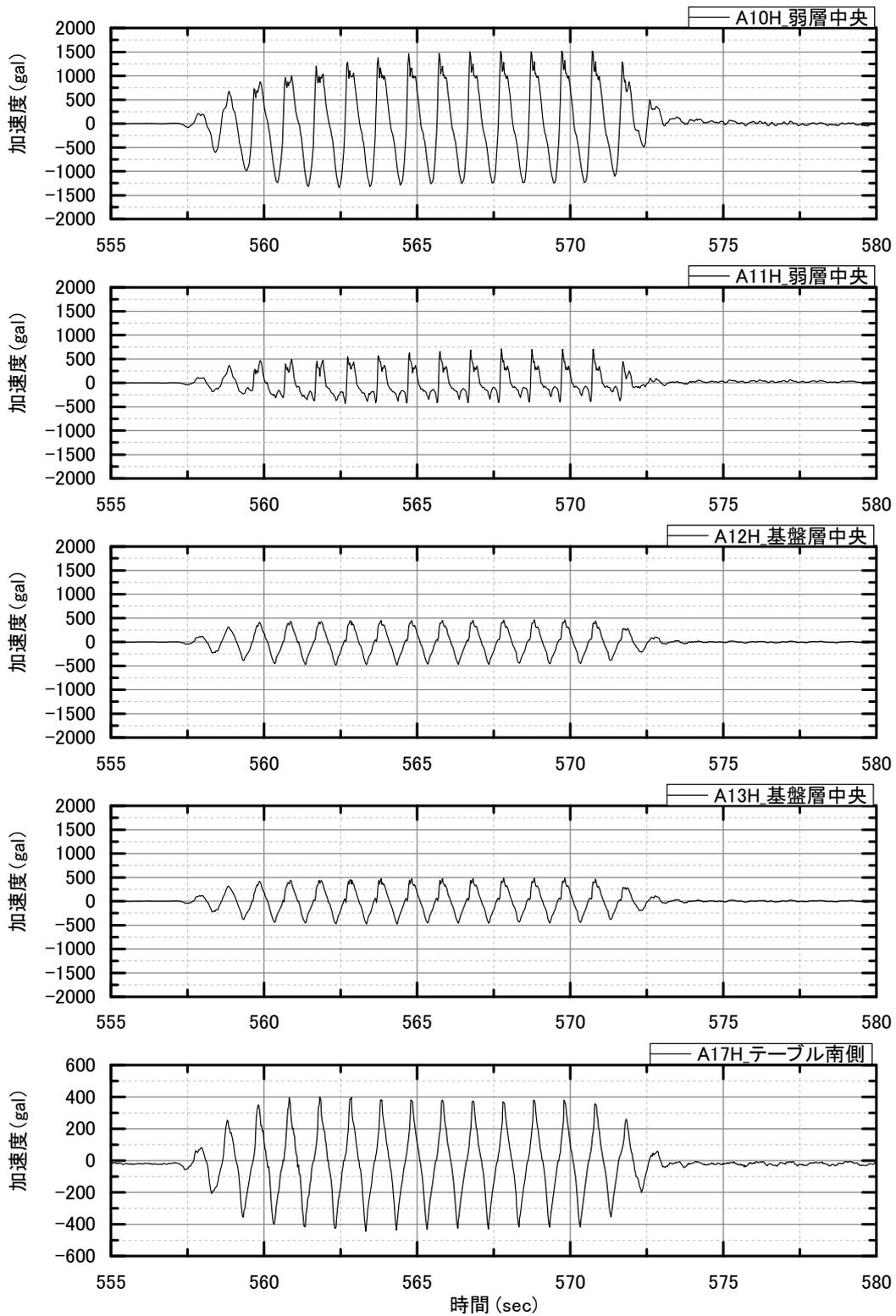


図 3.3.37 4 段目加速度計時刻歴\_400gal

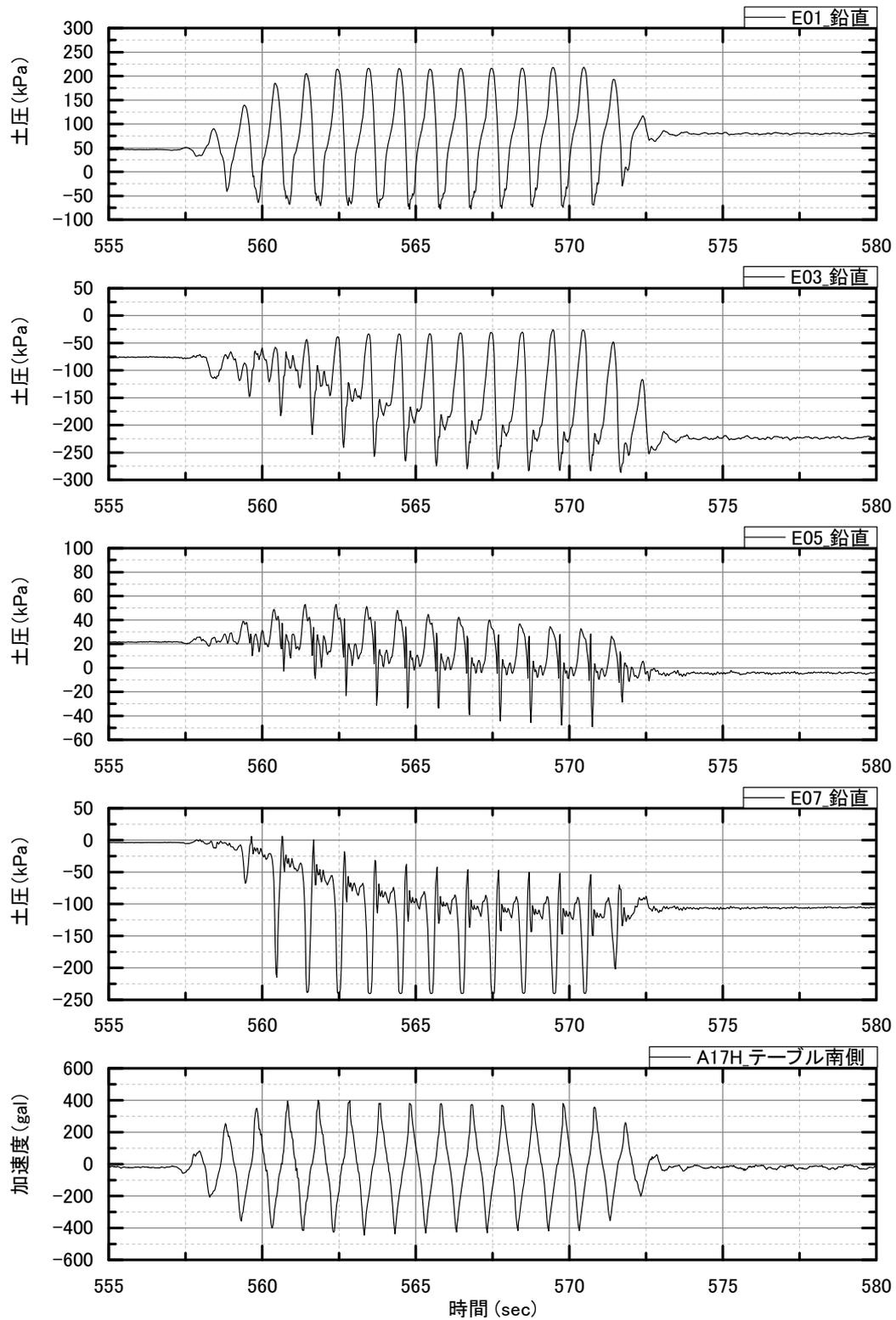


図 3.3.38 境界部鉛直土圧計時刻歴\_400gal

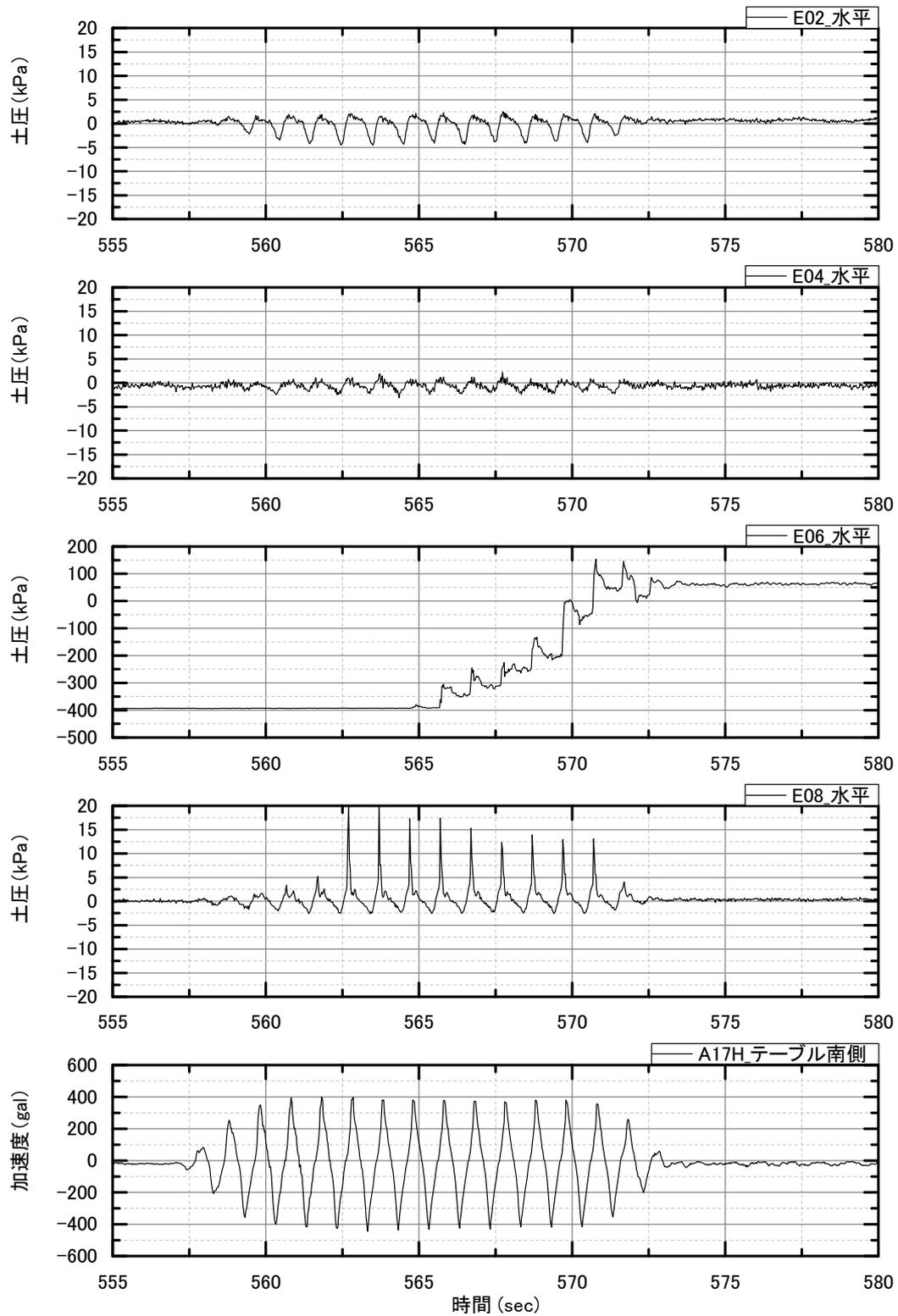


図 3.3.39 境界部水平土圧計時刻歴\_400gal

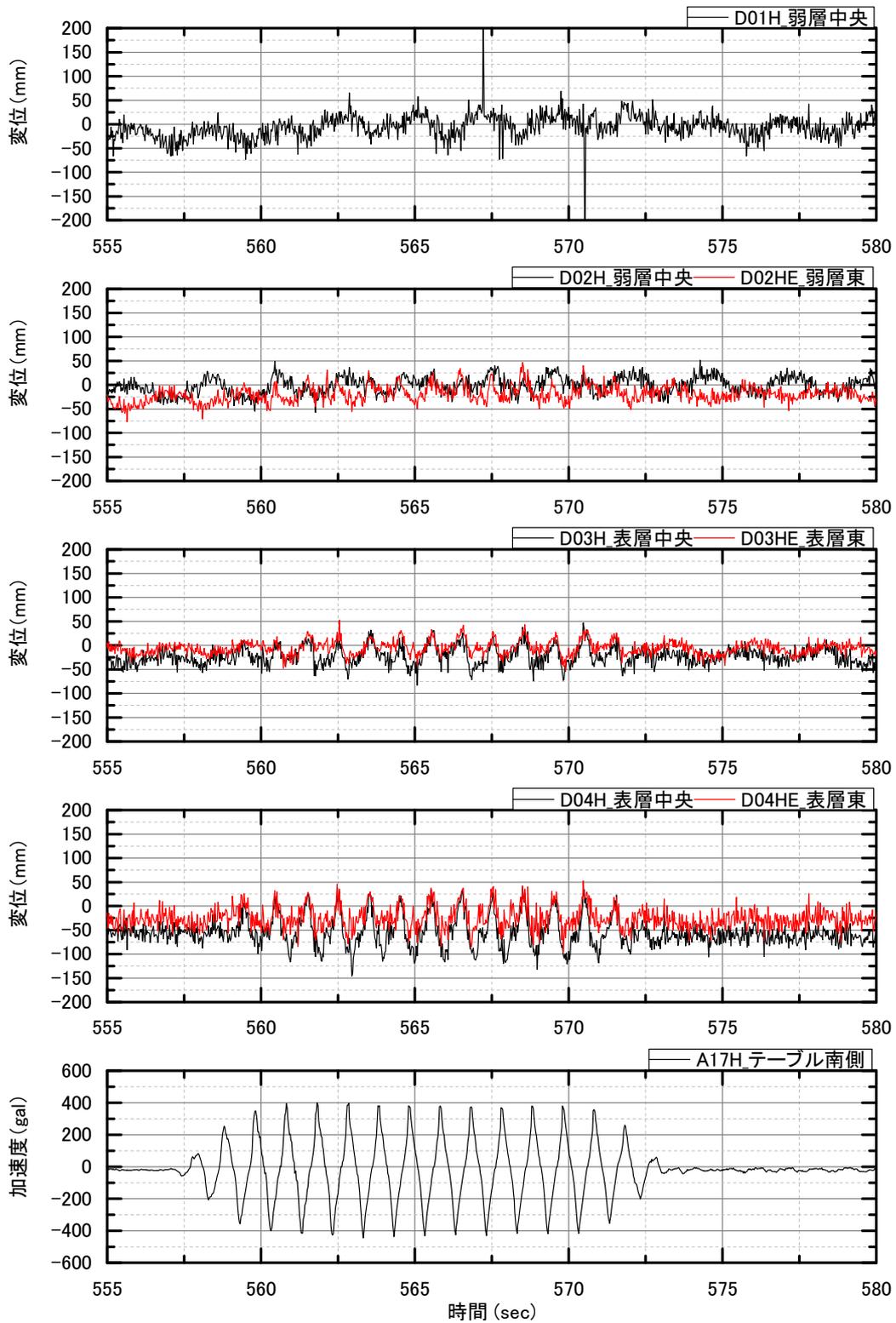


図 3.3.40 模型前面水平変位時刻歴\_400gal

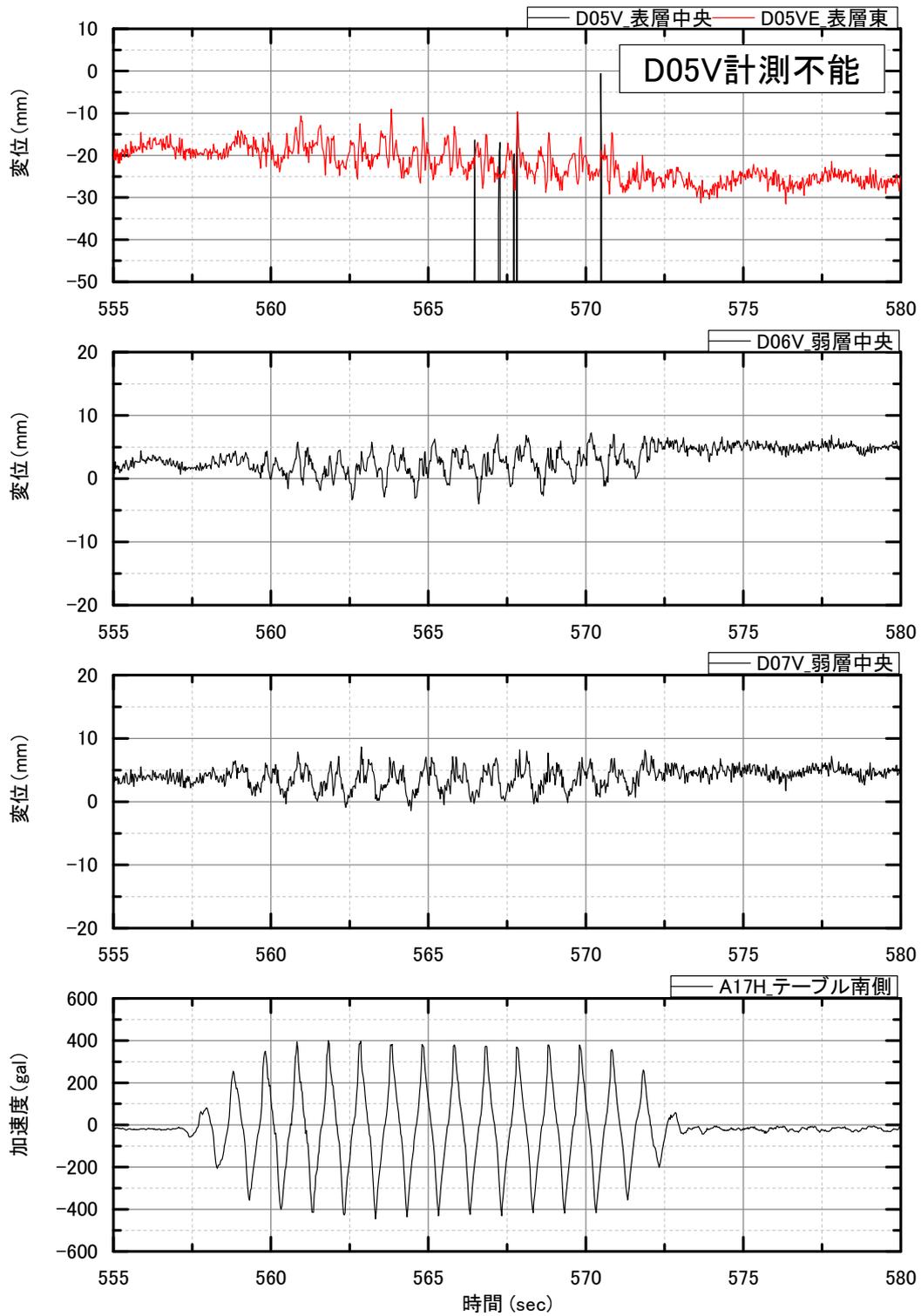


図 3.3.41 模型天端鉛直変位時刻歴\_400gal

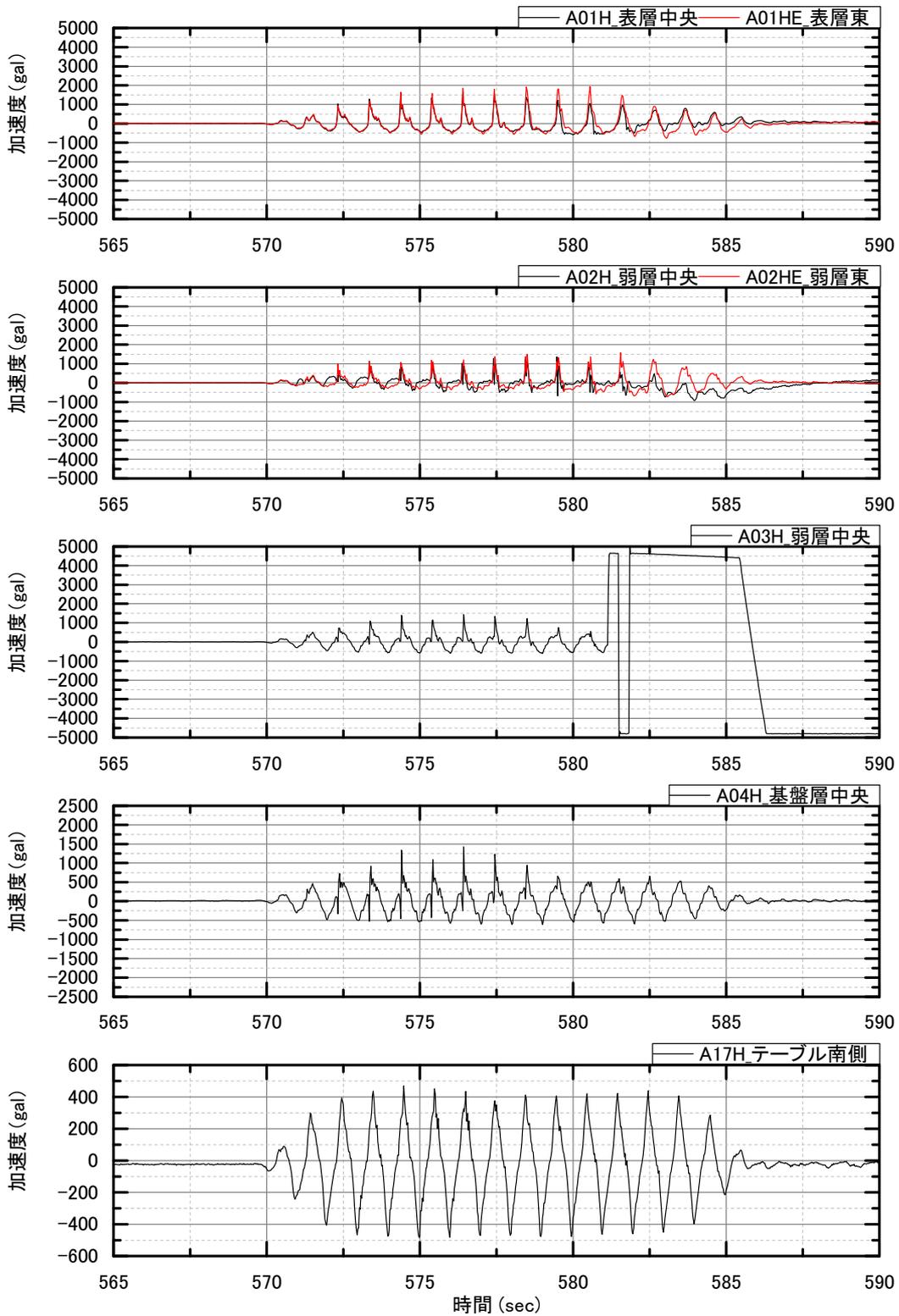


図 3.3.42 1 段目加速度計時刻歴\_500gal-1 回目

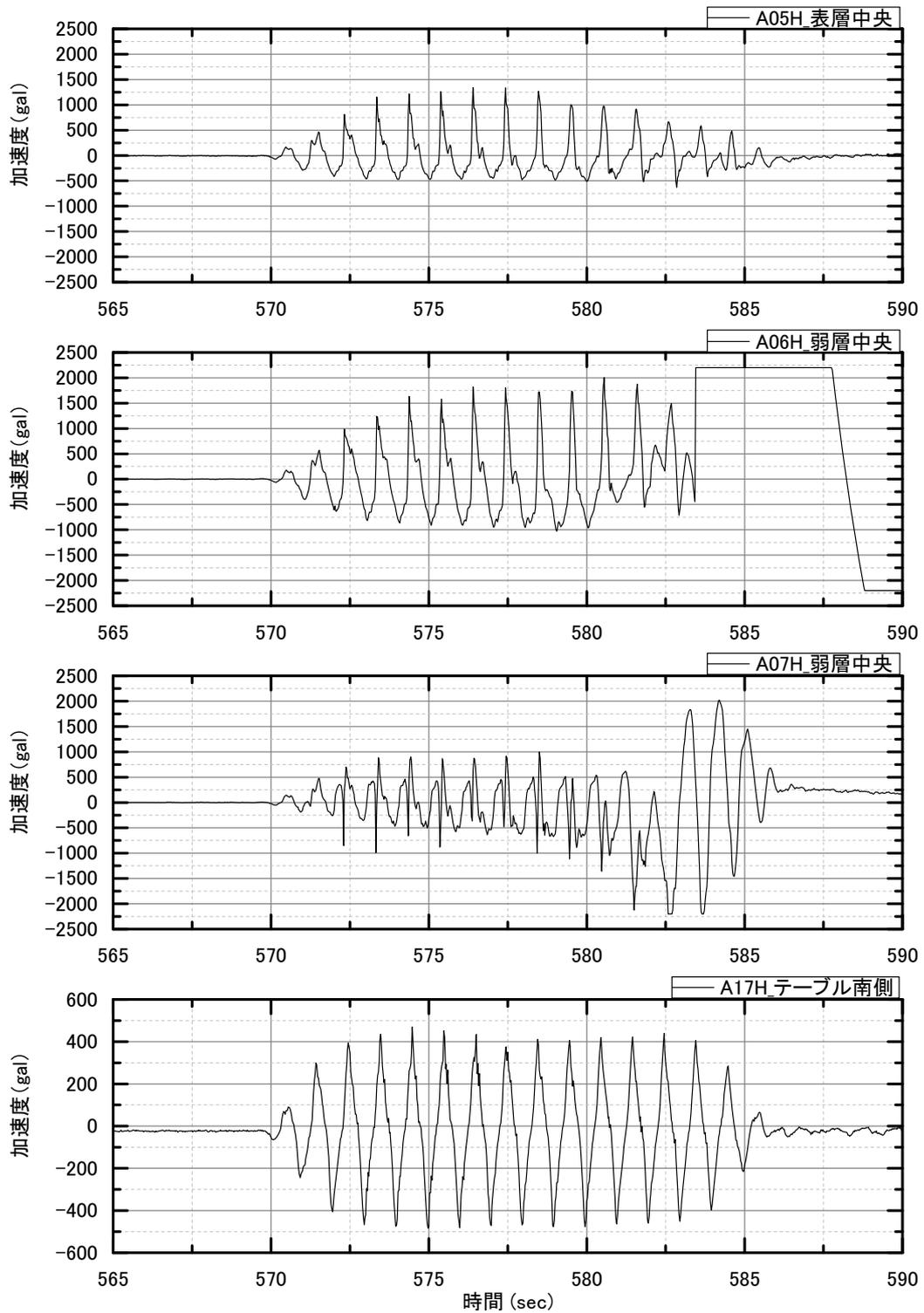


図 3.3.43 2 段目加速度計時刻歴\_500gal-1 回目

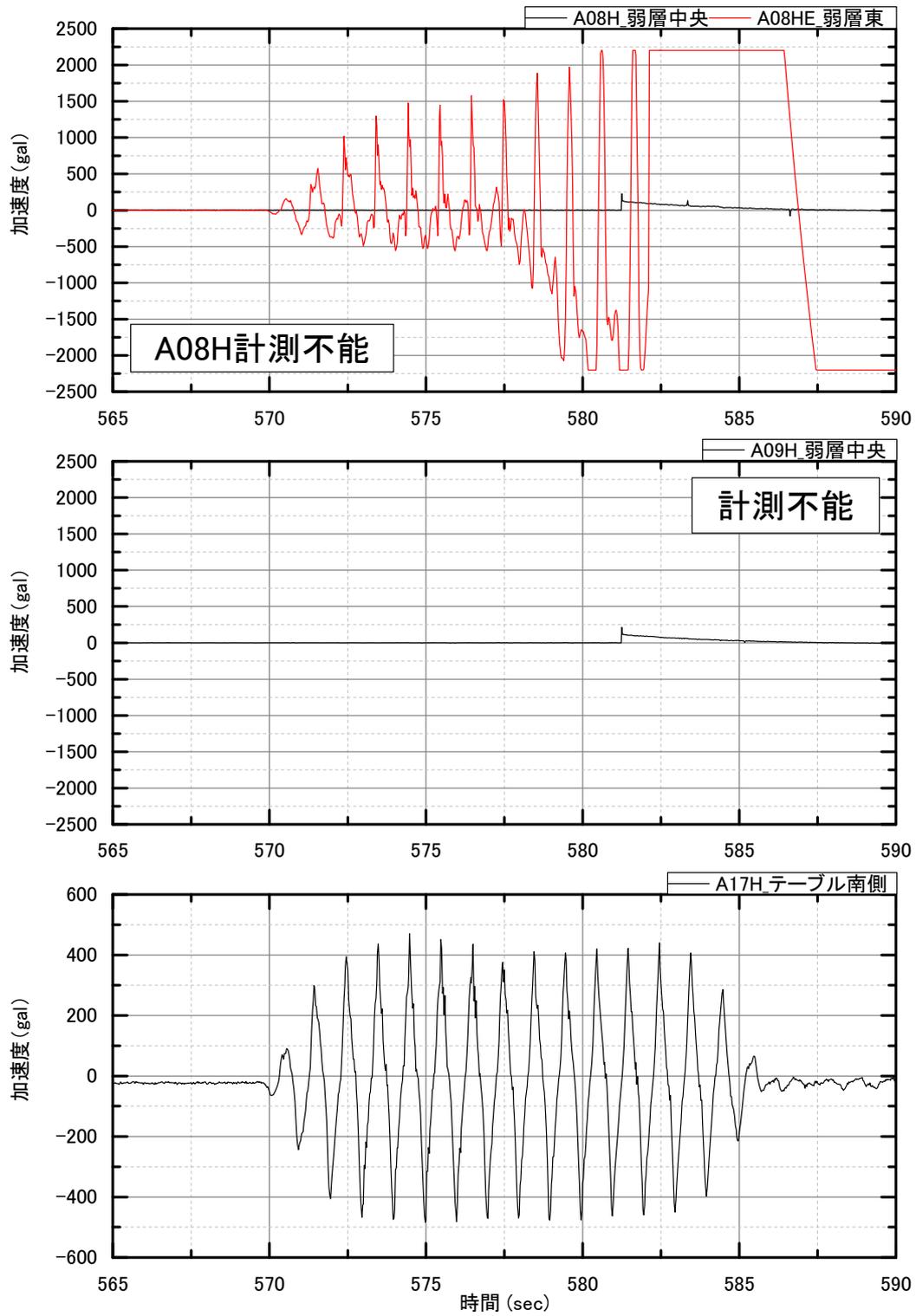


図 3.3.44 3 段目加速度計時刻歴\_500gal-1 回目

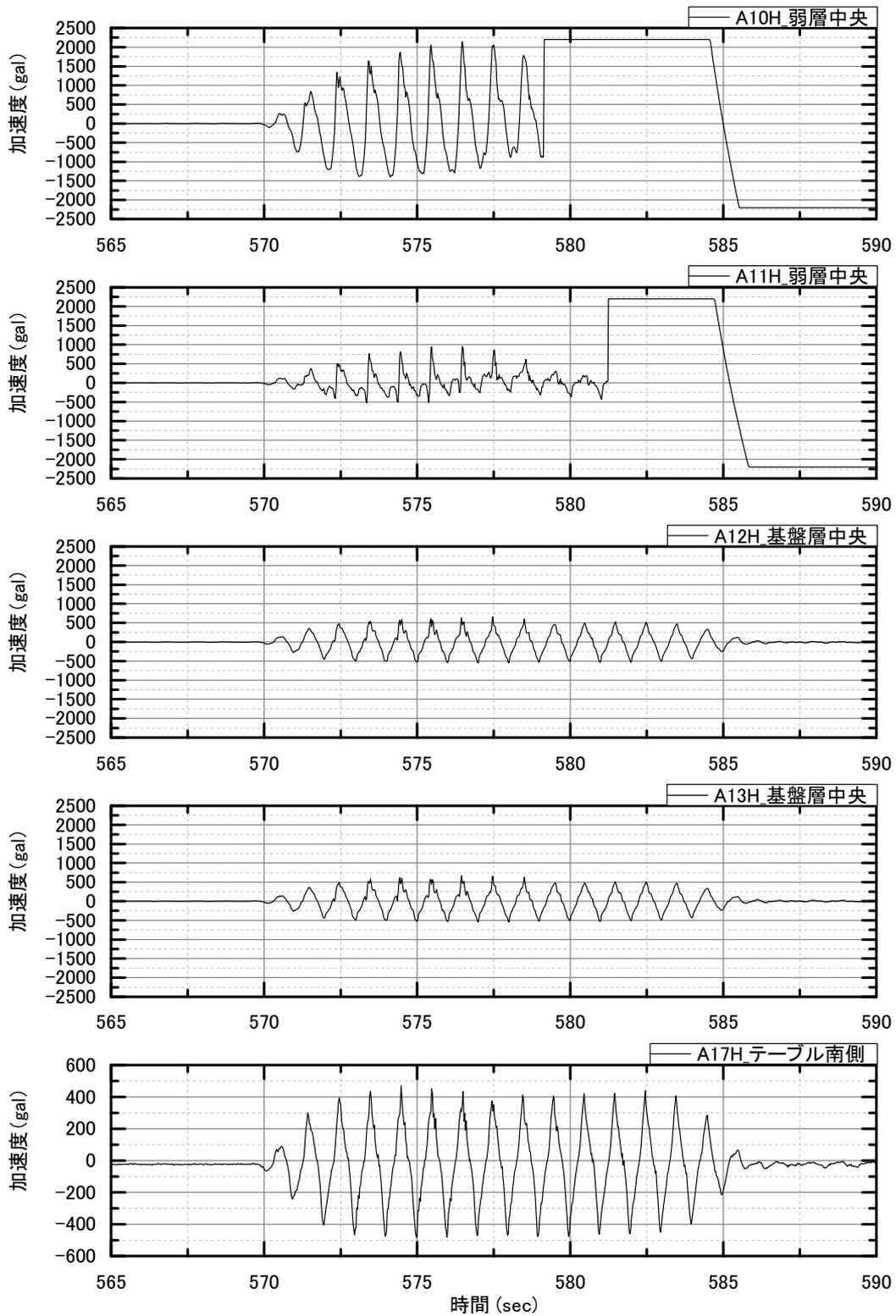


図 3.3.45 4 段目加速度計時刻歴\_500gal-1 回目

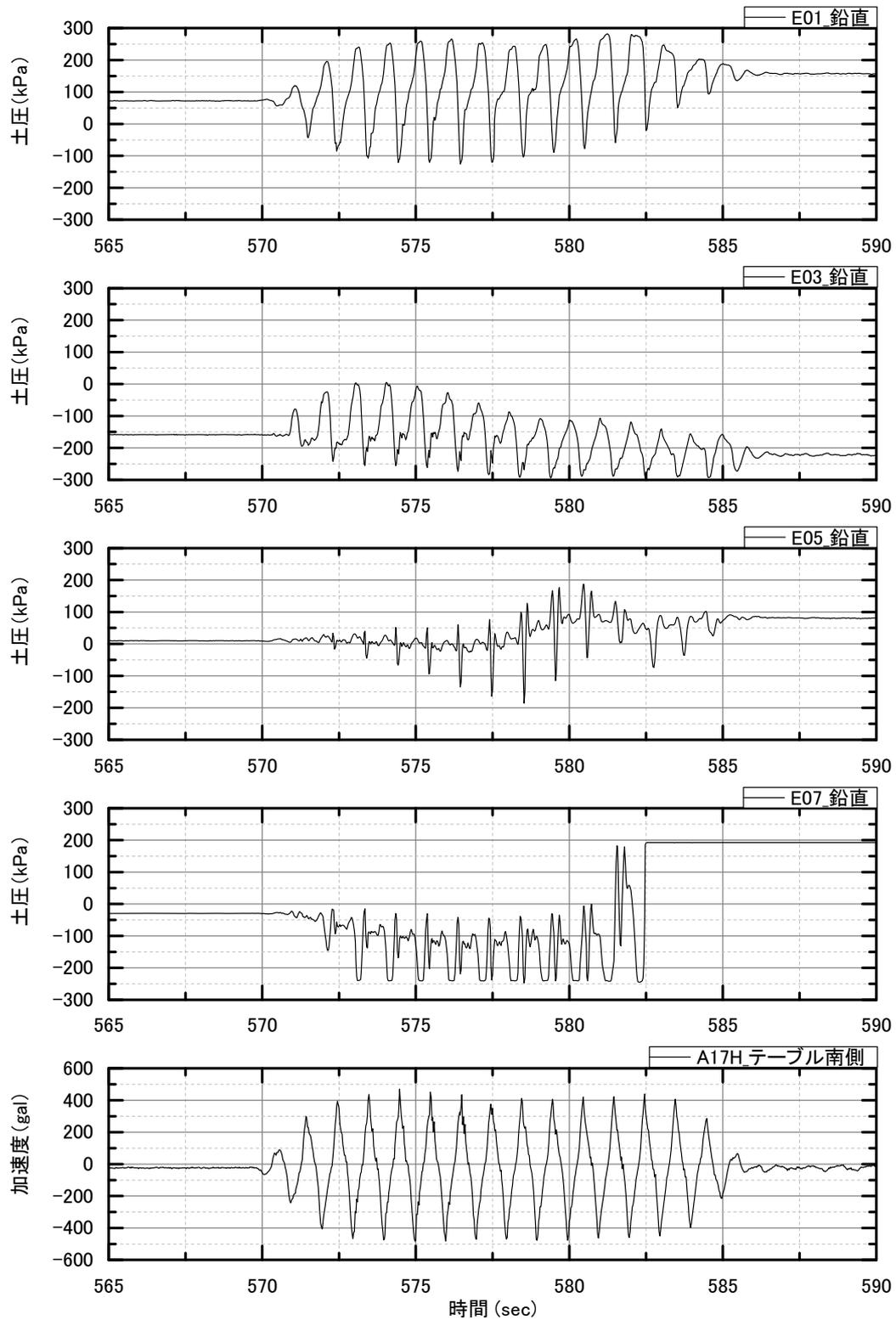


図 3.3.46 境界部鉛直土圧計時刻歴\_500gal-1 回目

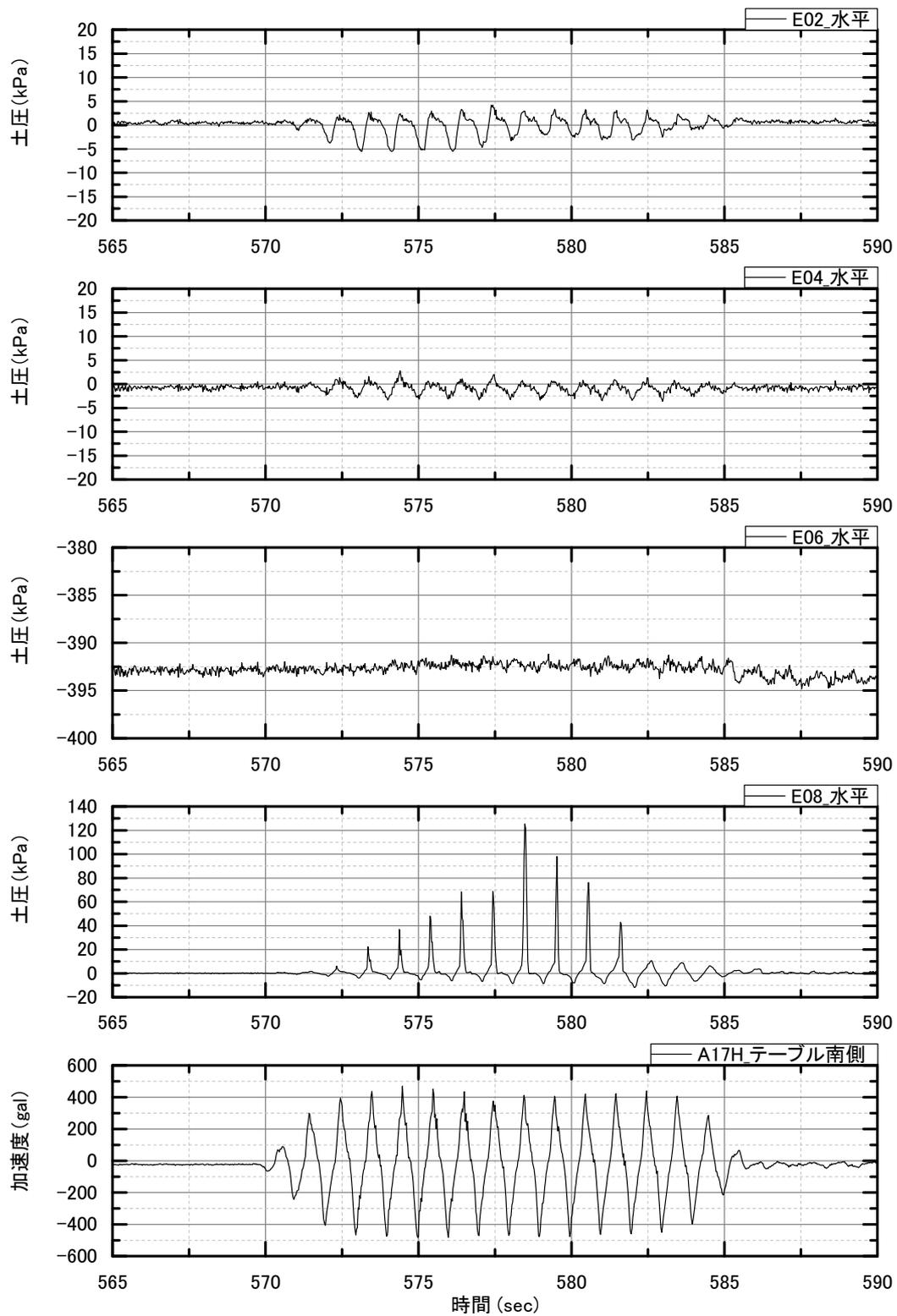


図 3.3.47 境界部水平土圧計時刻歴\_500gal-1 回目

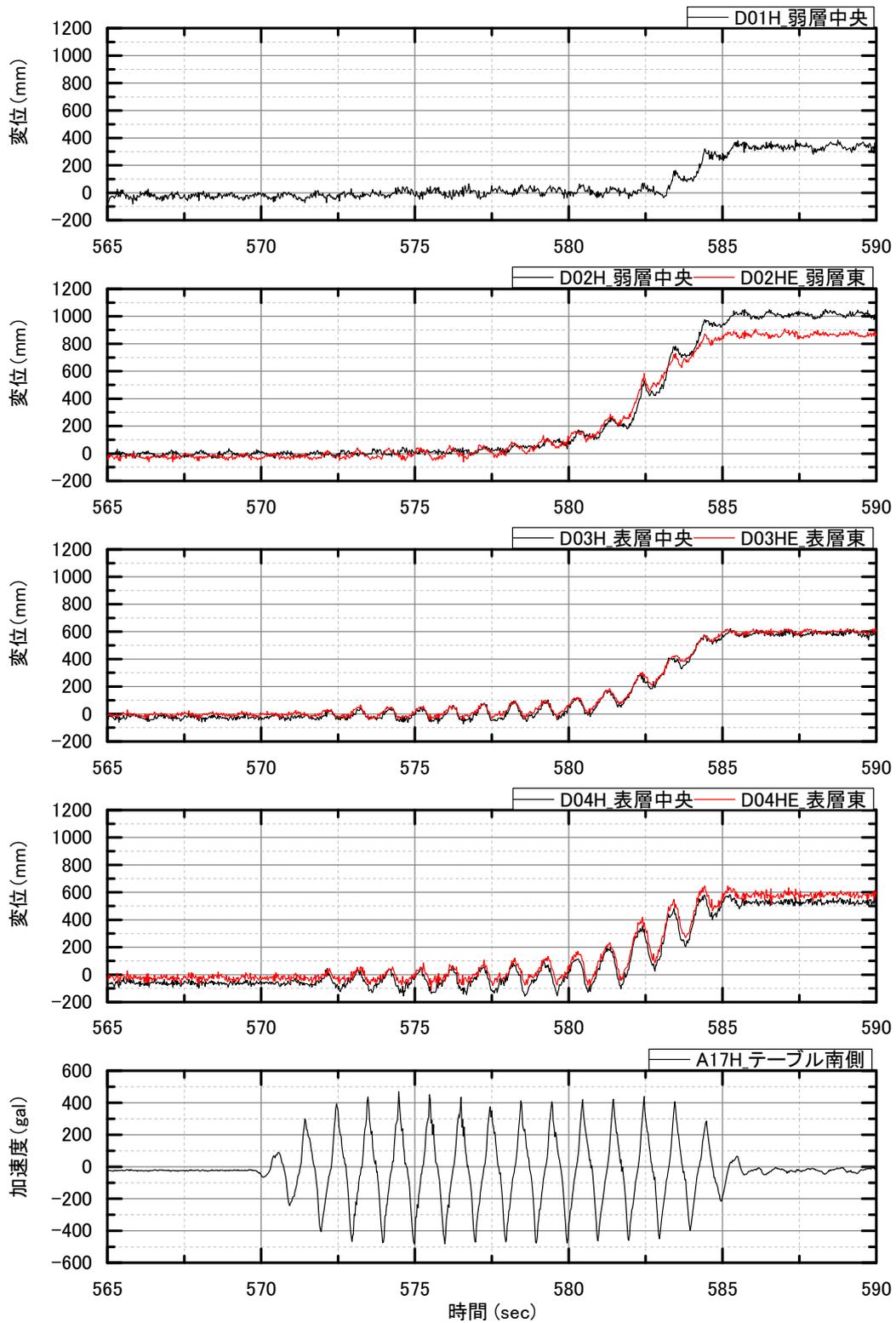


図 3.3.48 模型前面水平変位時刻歴\_500gal-1 回目

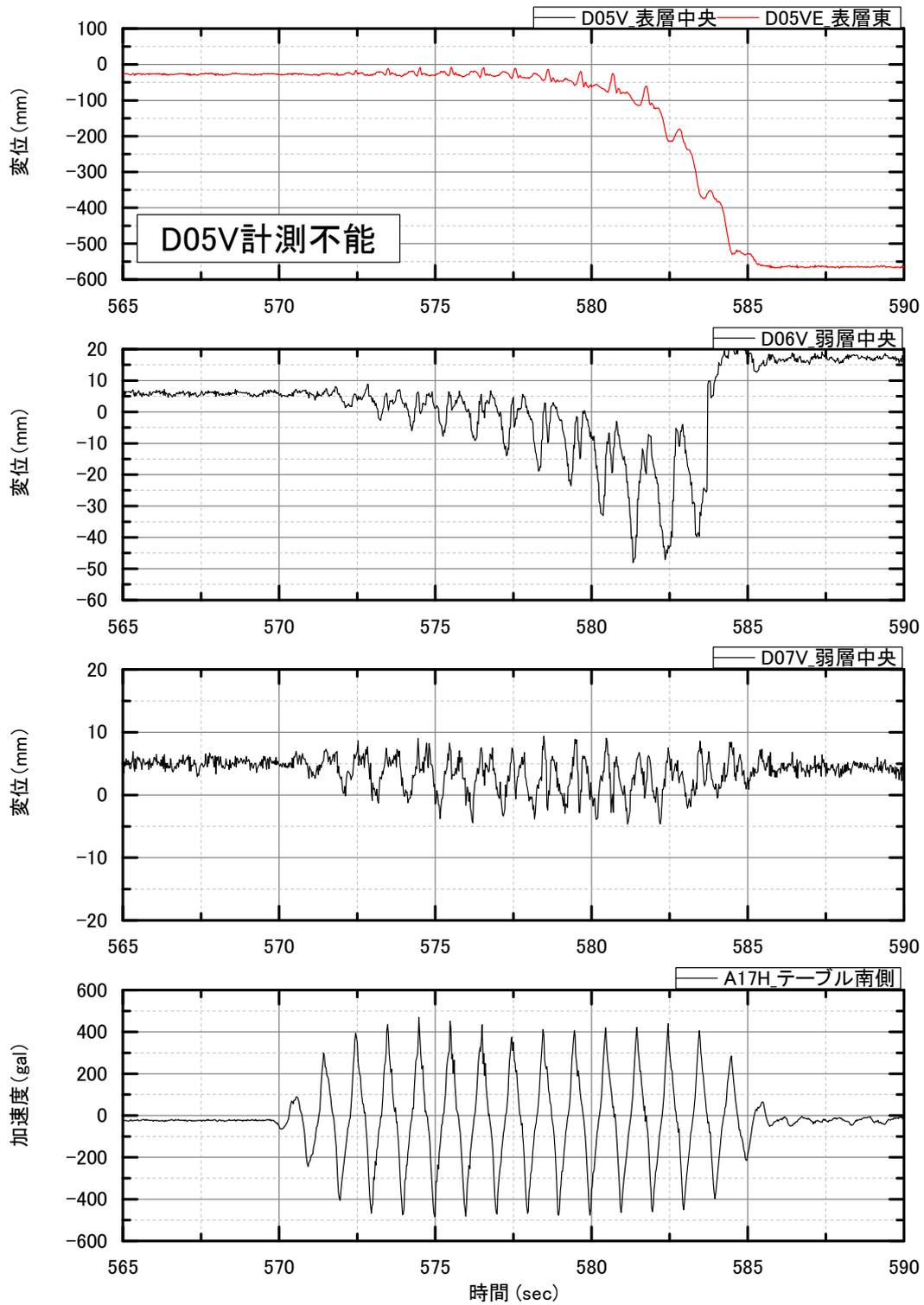


図 3.3.49 模型天端鉛直変位時刻歴\_500gal-1 回目

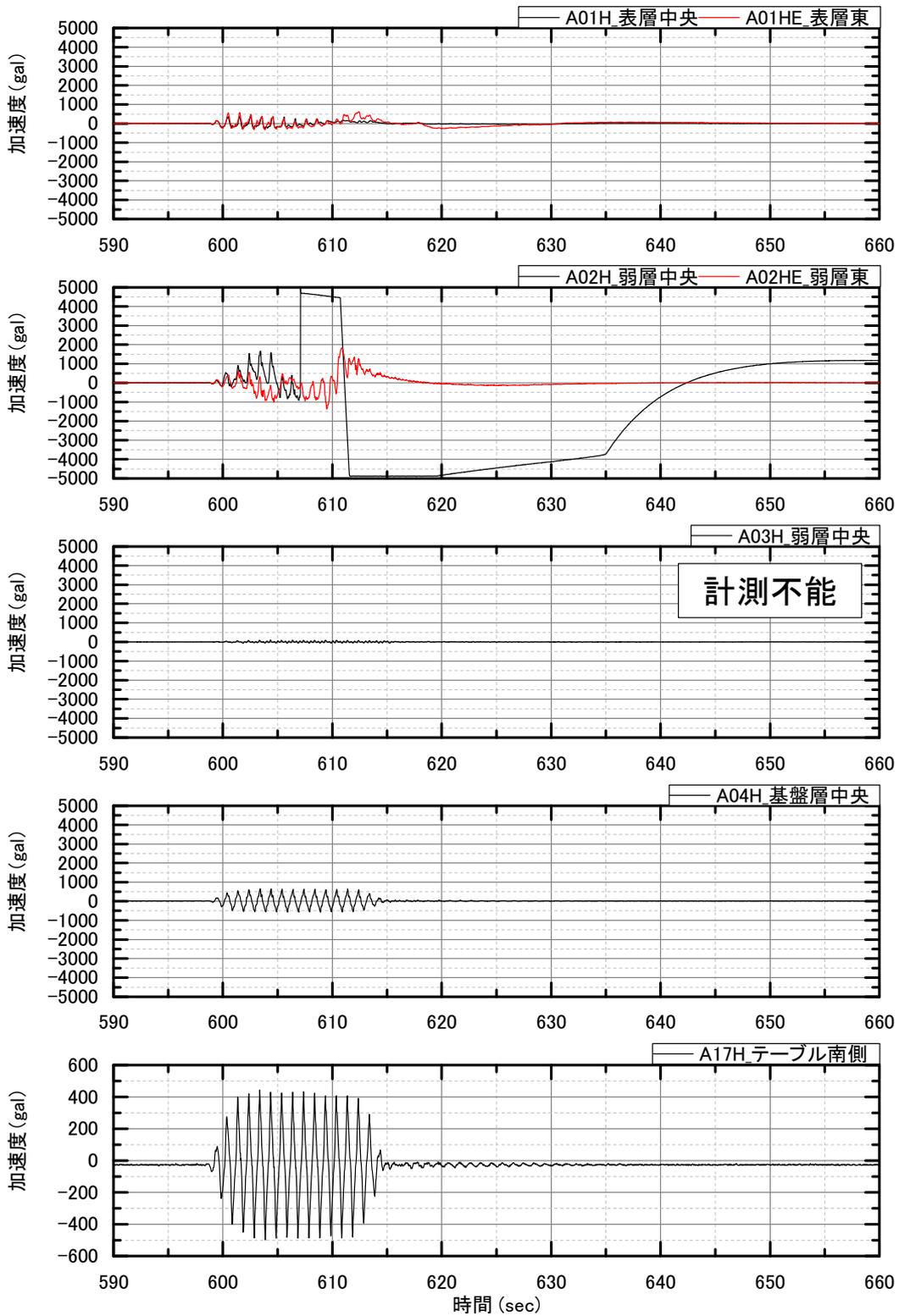


図 3.3.50 1 段目加速度計時刻歴\_500gal-2 回目

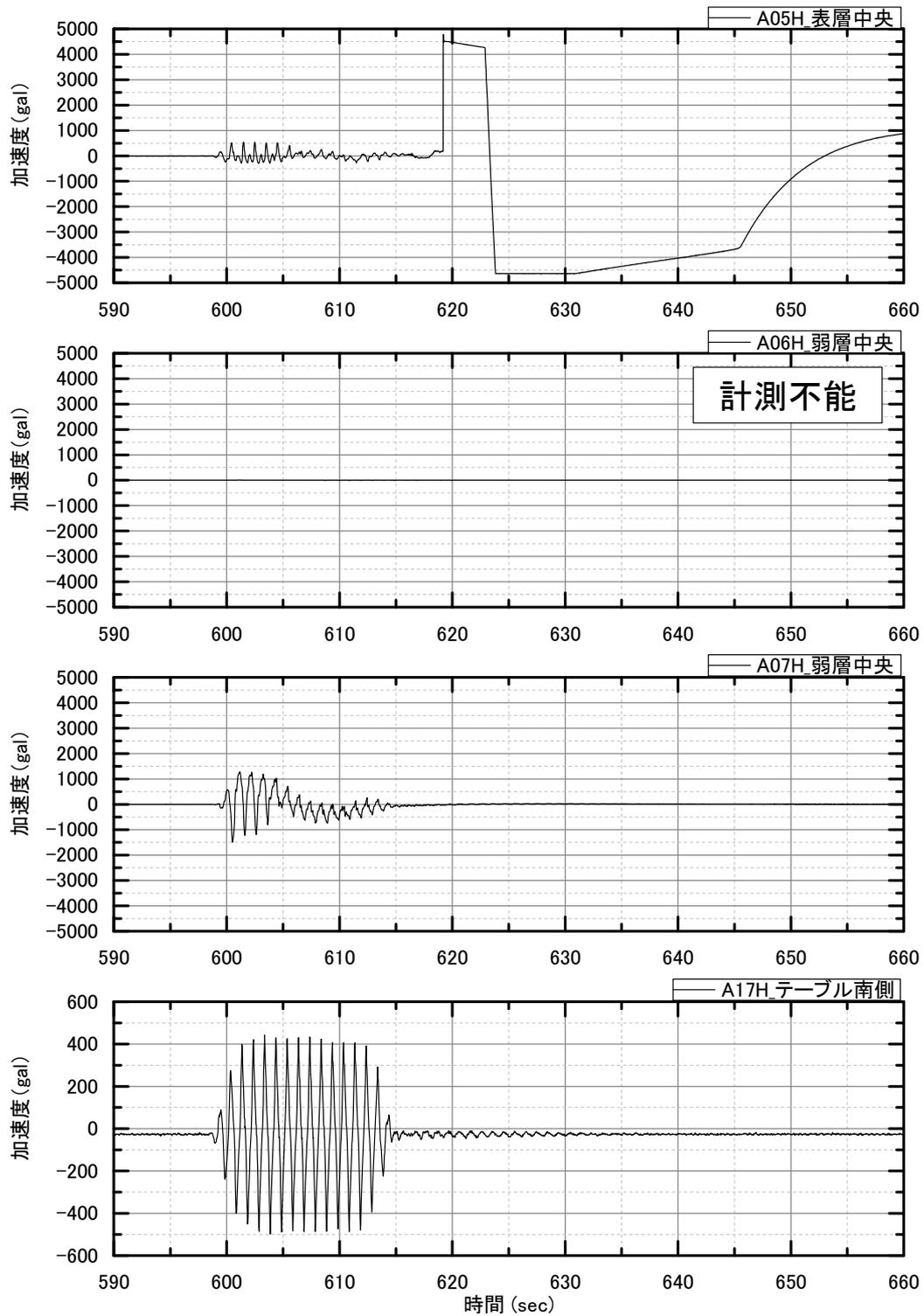


図 3.3.51 2 段目加速度計時刻歴\_500gal-2 回目

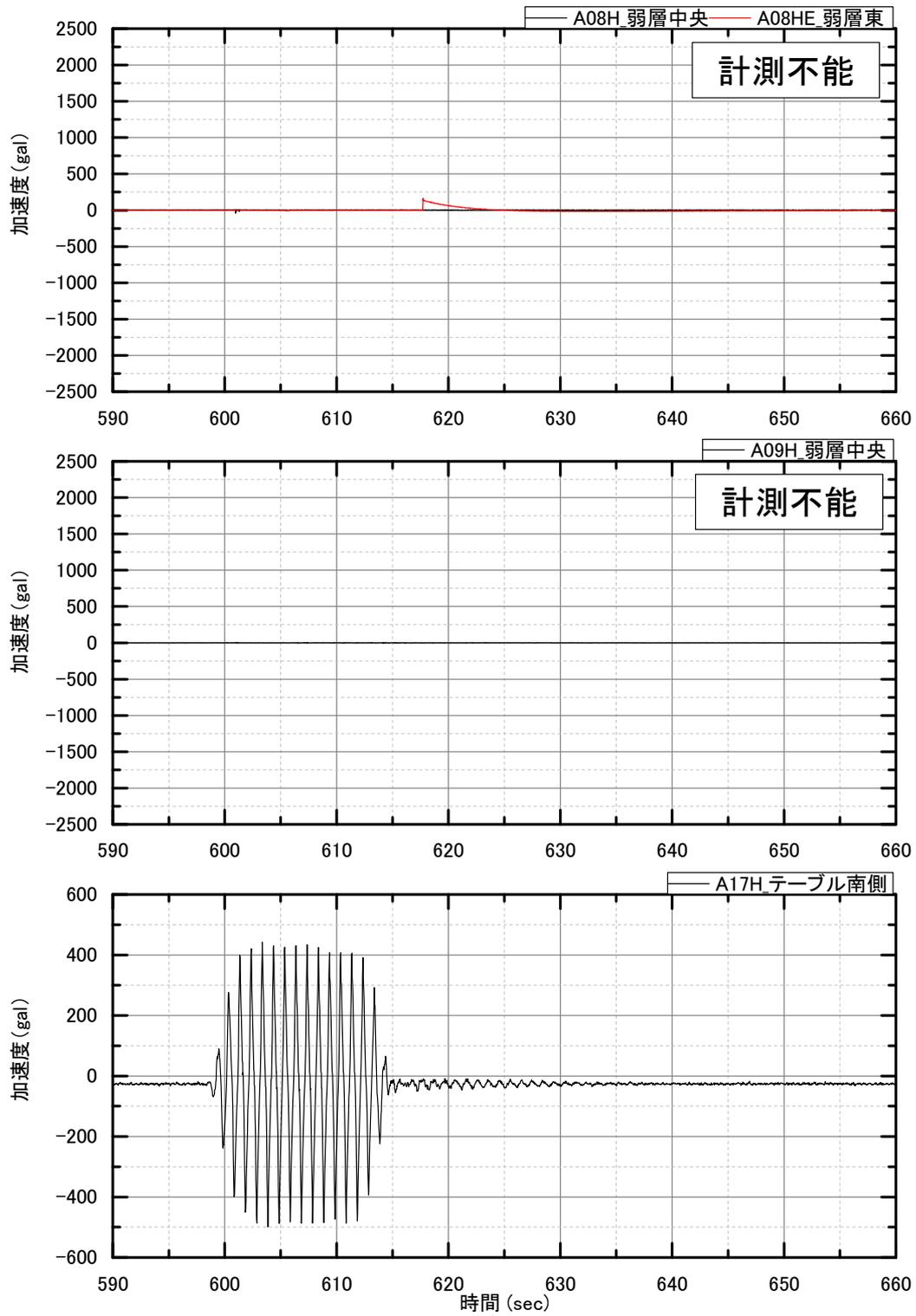


図 3.3.52 3 段目加速度計時刻歴\_500gal-2 回目

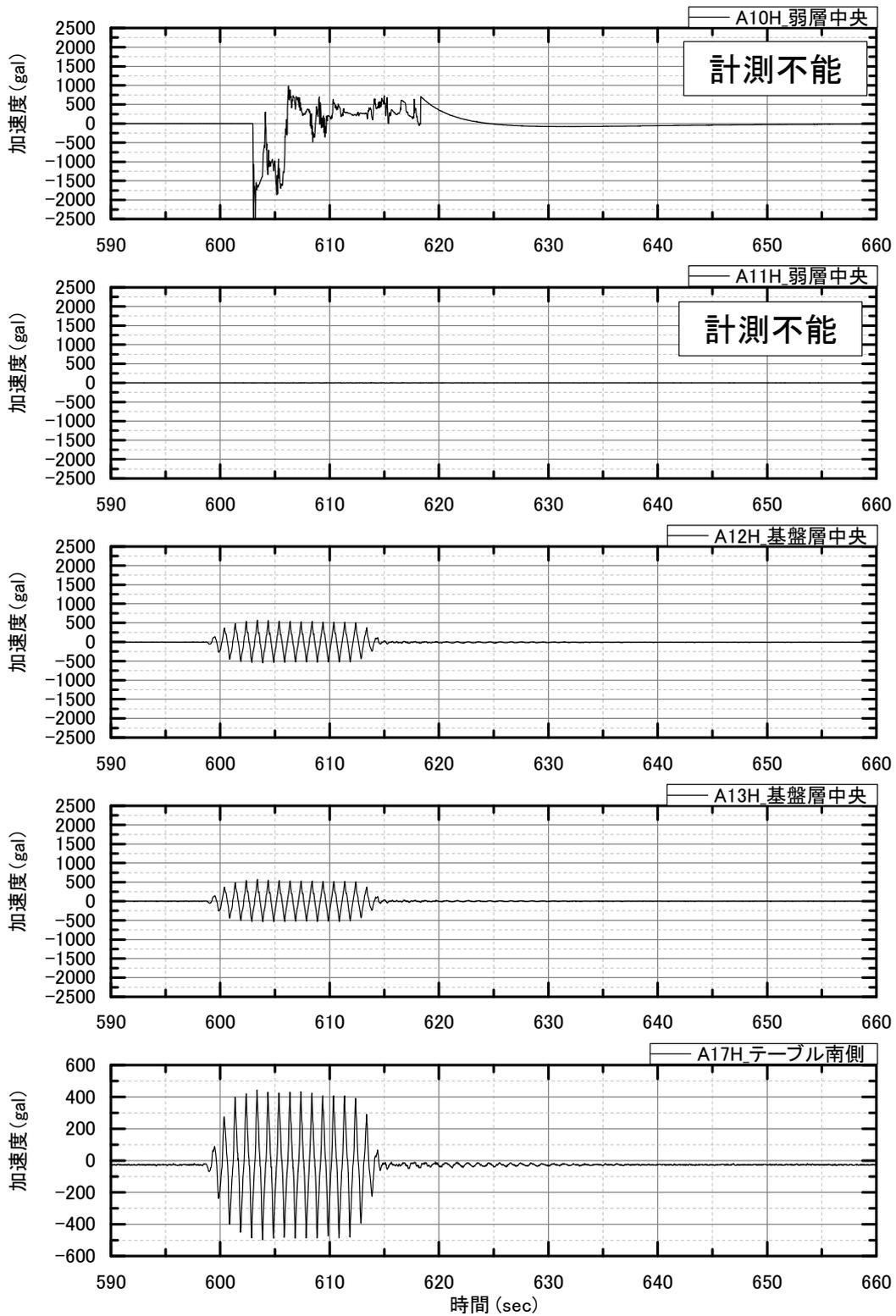


図 3.3.53 4 段目加速度計時刻歴\_500gal-2 回目

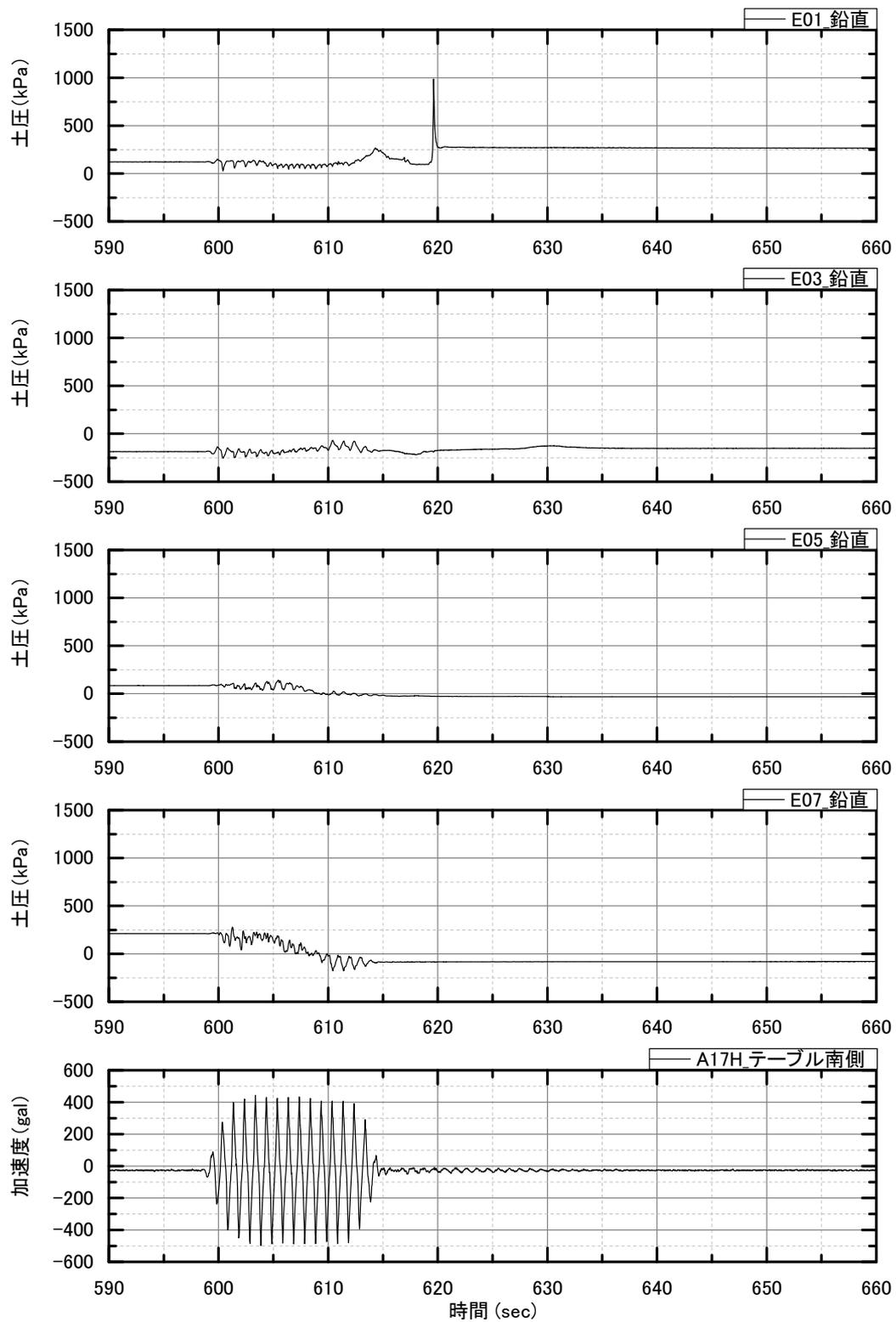


図 3.3.54 境界部鉛直土圧計時刻歴\_500gal-2 回目

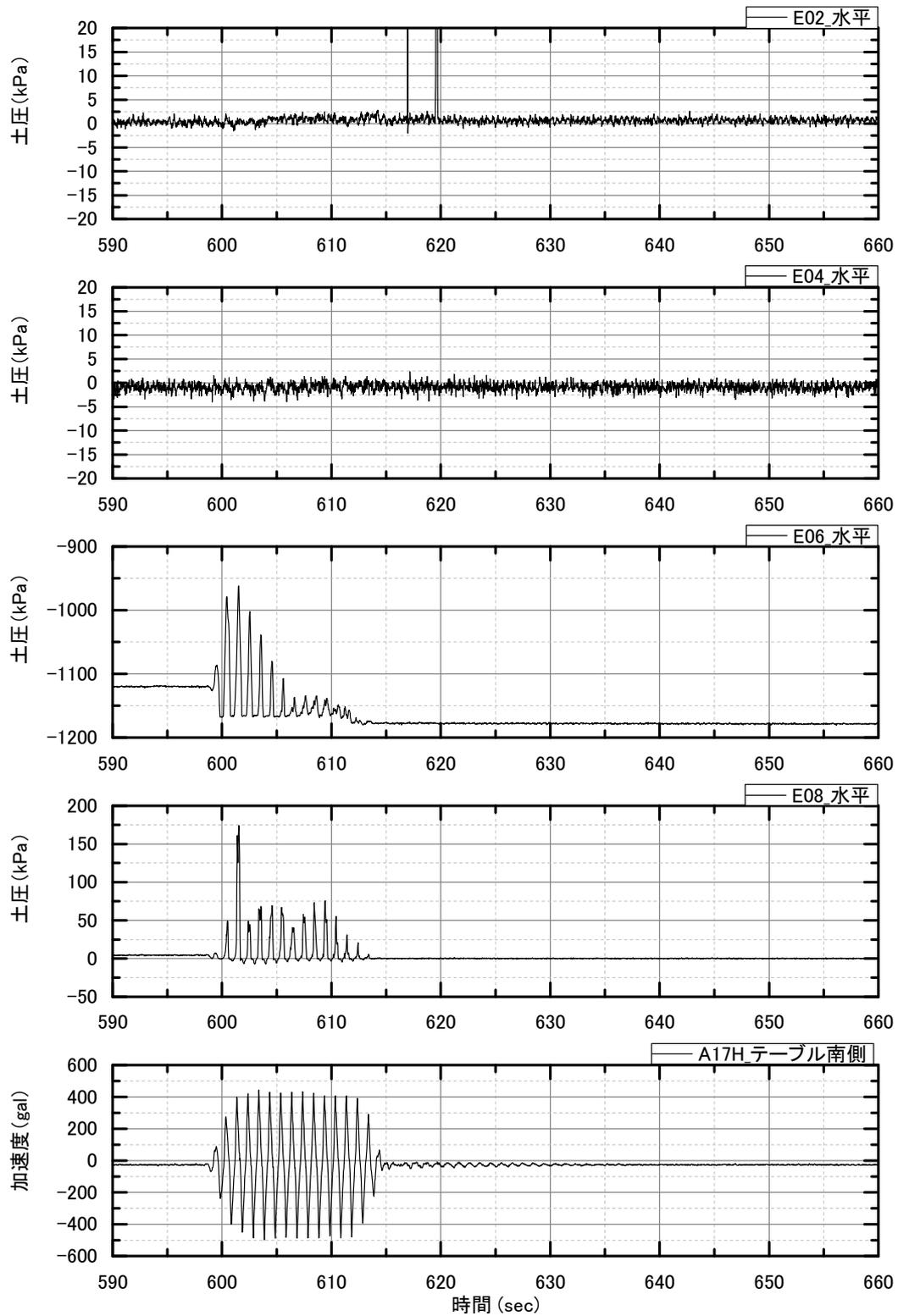


図 3.3.55 境界部水平土圧計時刻歴\_500gal-2 回目

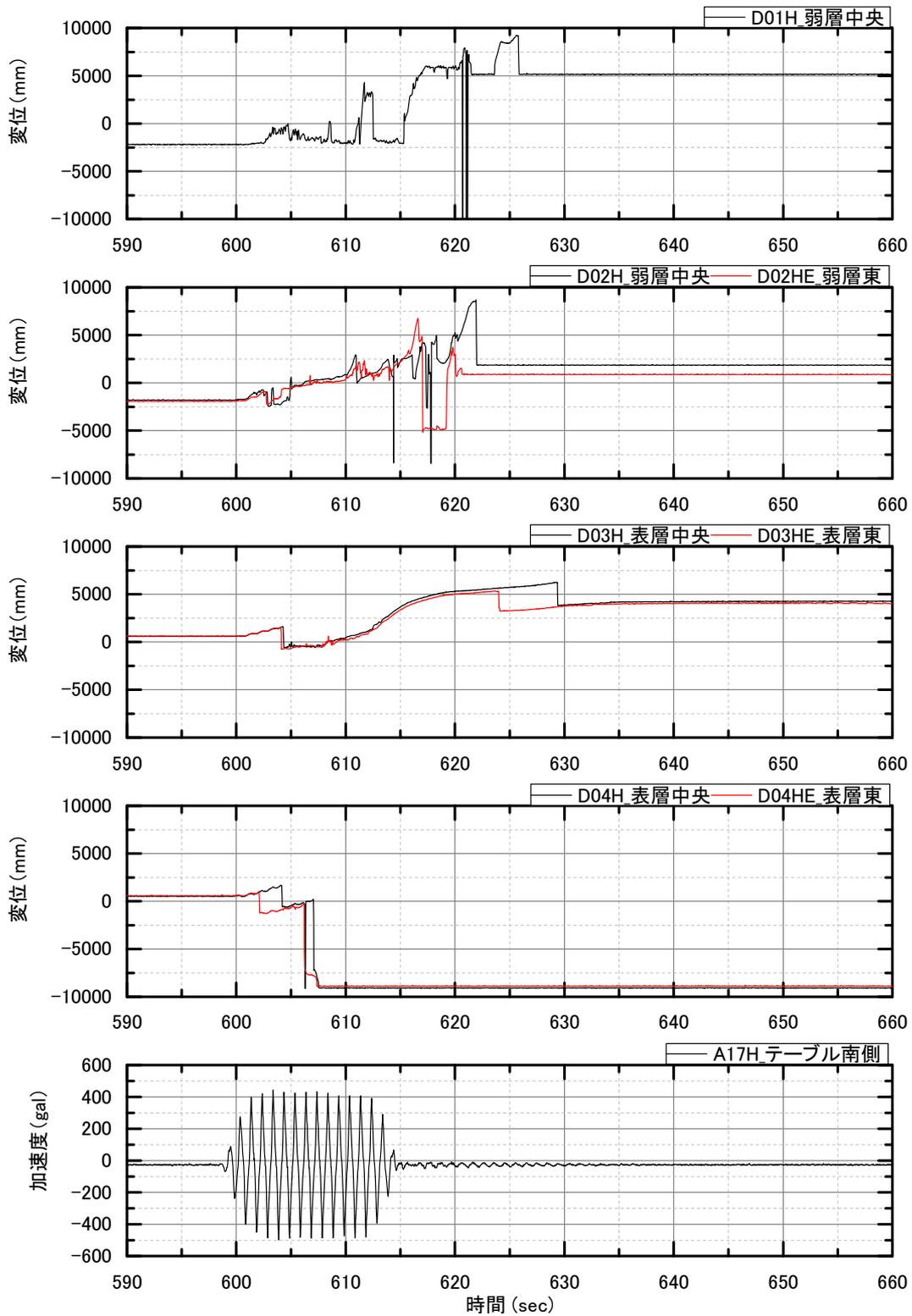


図 3.3.56 模型前面水平変位時刻歴\_500gal-2 回目

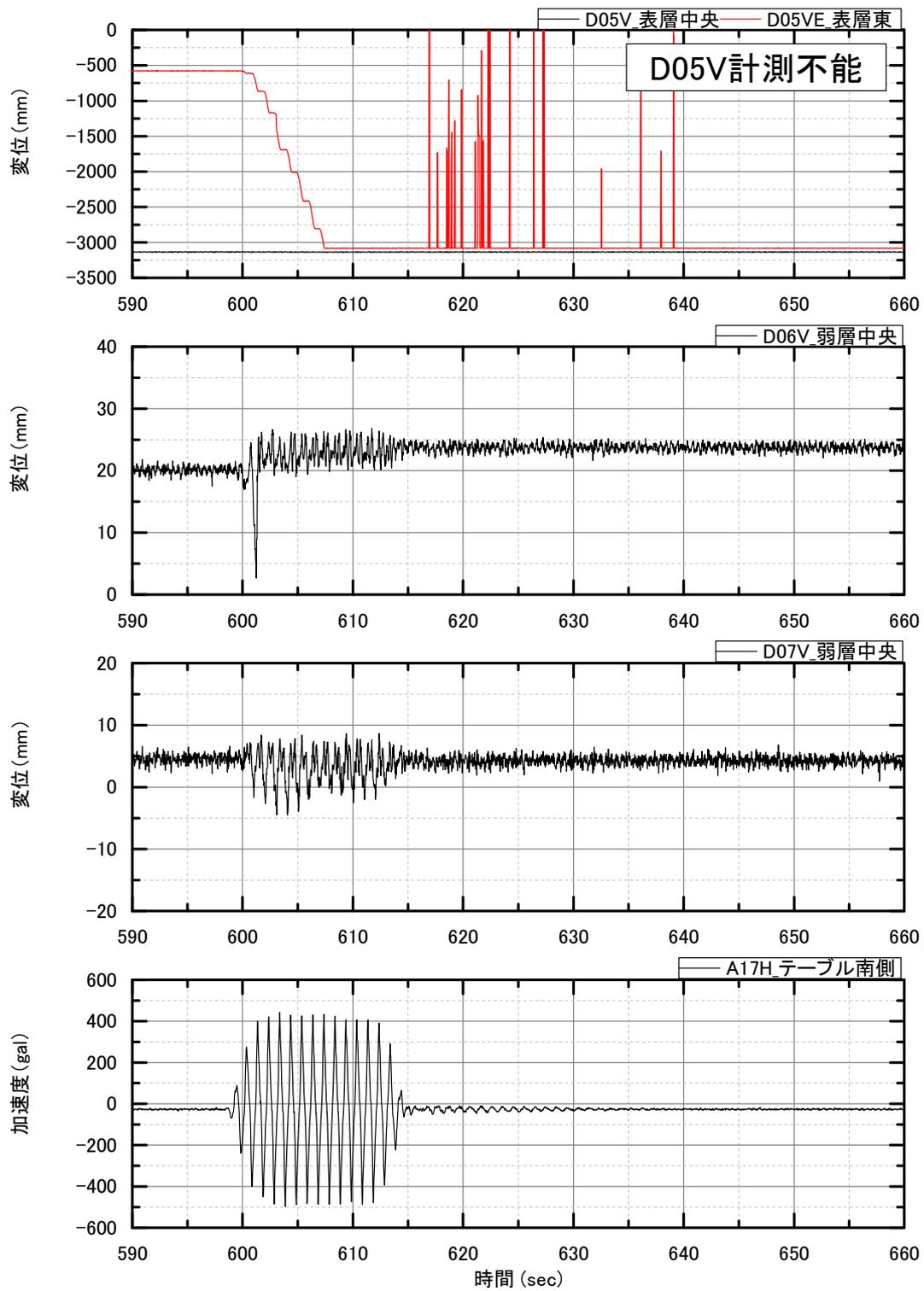


図 3.3.57 模型天端鉛直変位時刻歴\_500gal-2回目

## ②標点の二次元変位量

試番1の標点位置を初期値として二次元変位量を算定し、その結果の代表例を図 3.3.58～図 3.3.60 に示す。なお、作図にあたっては斜面模型の表層・弱層上部・弱層中上部・弱層中下部・弱層下部の4つの領域内で特に着目する標点(写真 3.3.4) について、弱層が崩壊に至った試番7 (500gal\_2回目) における時刻歴を作成している。

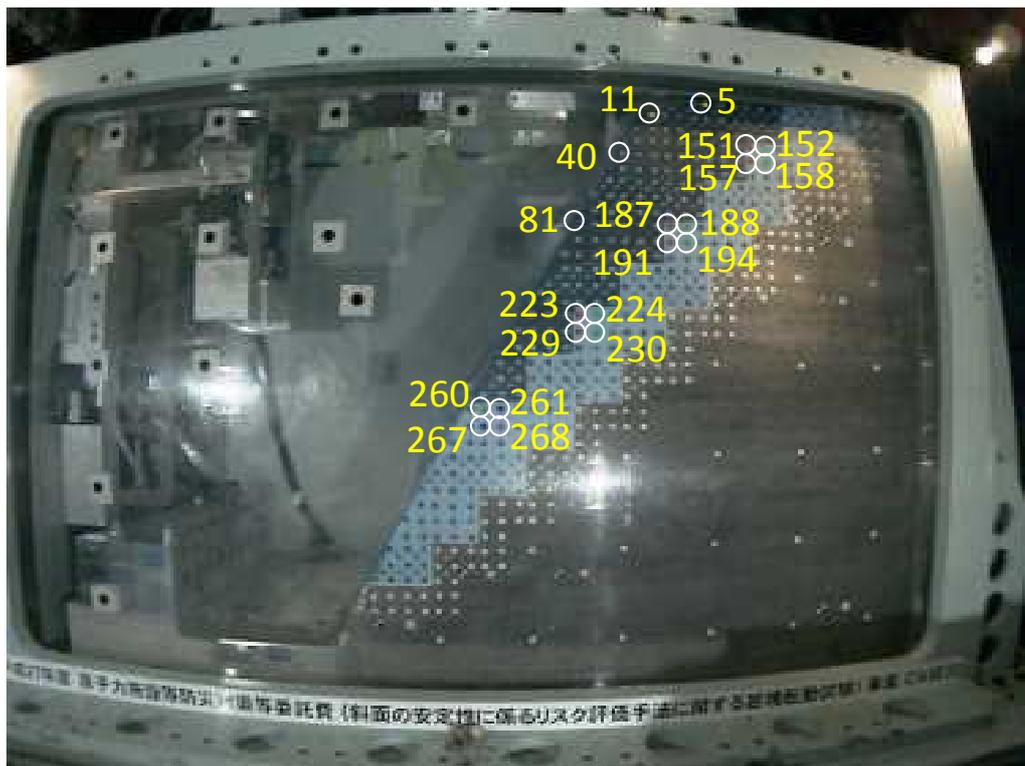


写真 3.3.4 作図標点 (Case33)

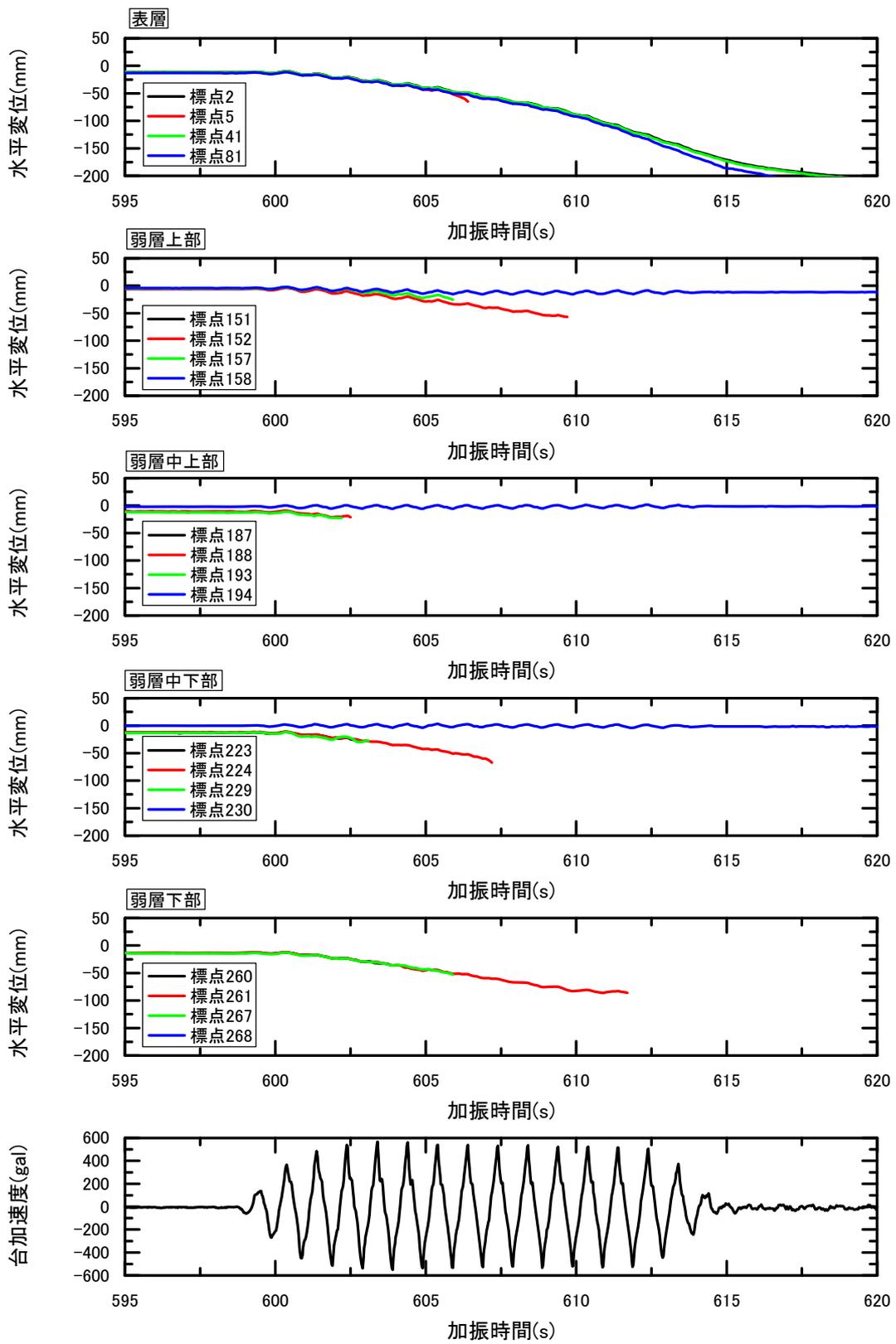


图 3.3.58 水平方向相对变位時刻歴\_500gal-2 回目

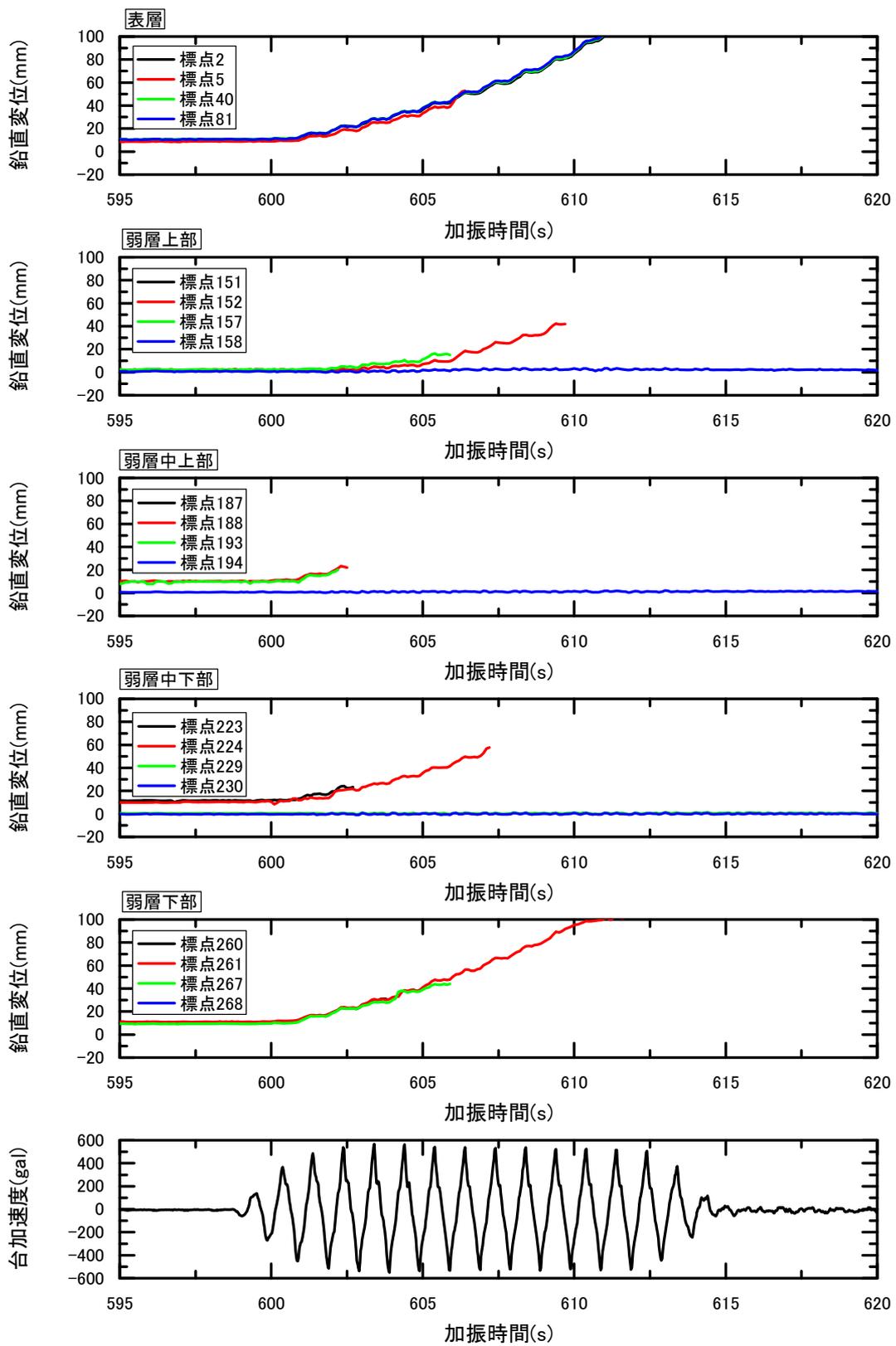


图 3.3.59 鉛直方向相对變位時刻歴\_500gal-2 回目

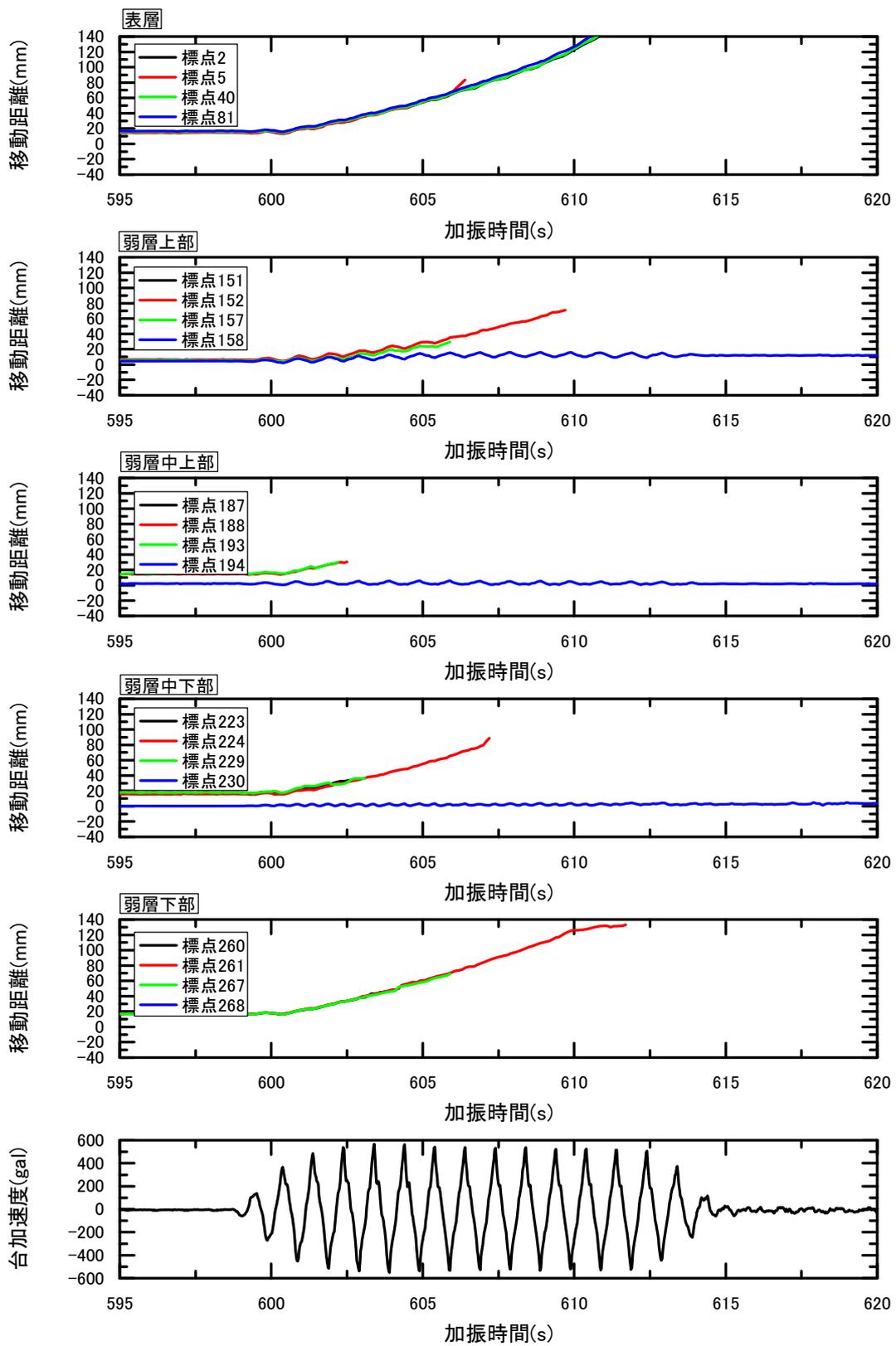


図 3.3.60 移動距離時刻歴\_500gal-2 回目

②で算出した各標点の変位量よりテンションクラックもしくはすべり線を挟んだ2点間距離の増分値を算出し、その値を用いてテンションクラックもしくはすべり線の接線および法線方向移動距離（増分値）の時刻歴を図 3.3.61 および図 3.3.62 に示す。

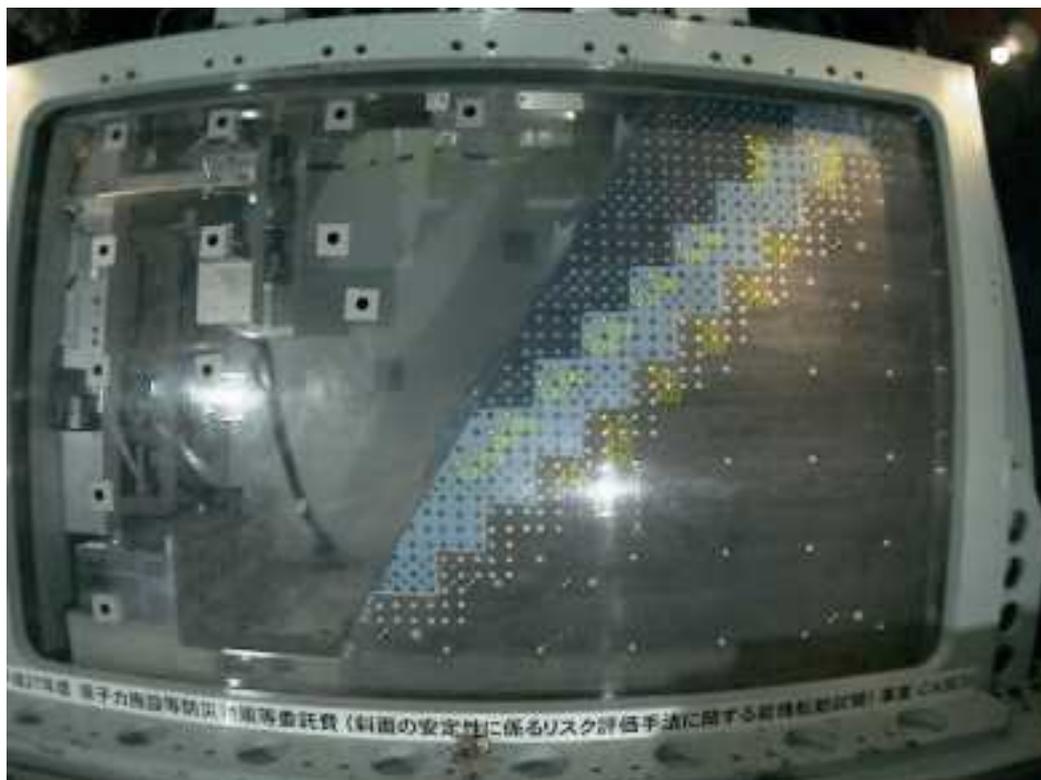


写真 3.3.5 作図標点 (Case33)

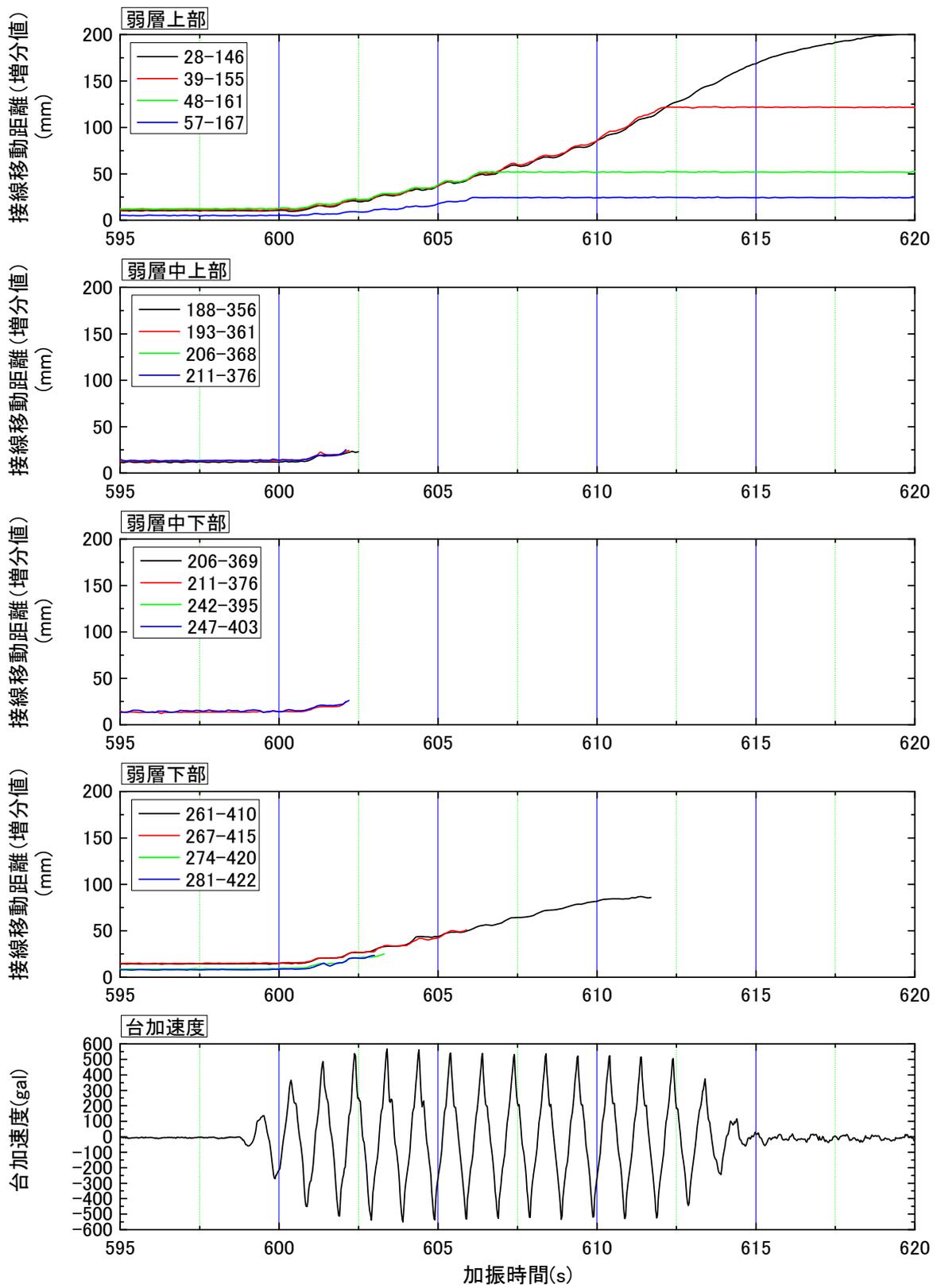


図 3.3.61 接線変位時刻歴\_500gal-2回目

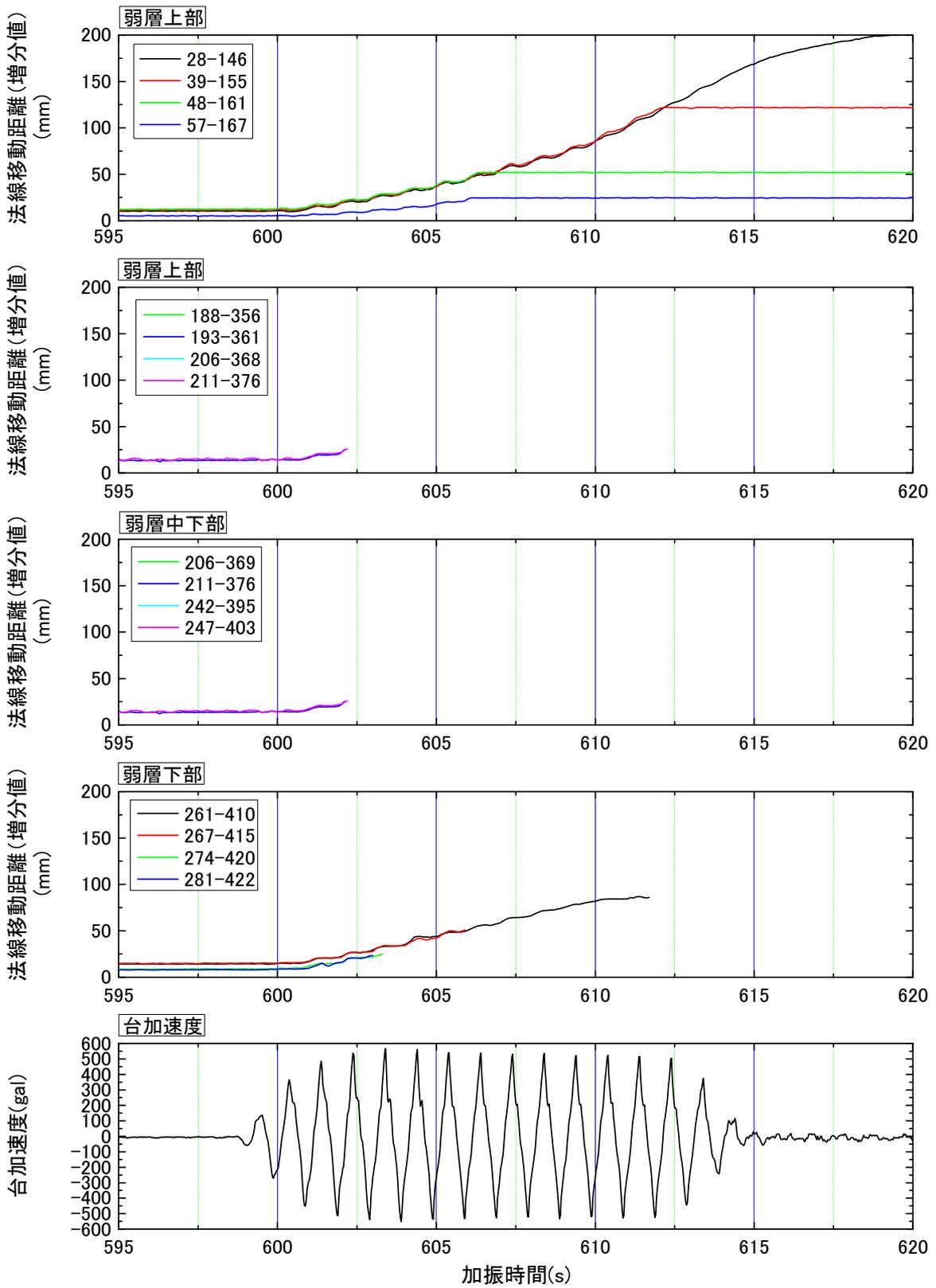


図 3.3.62 法線変位時刻歴\_500gal-2 回目

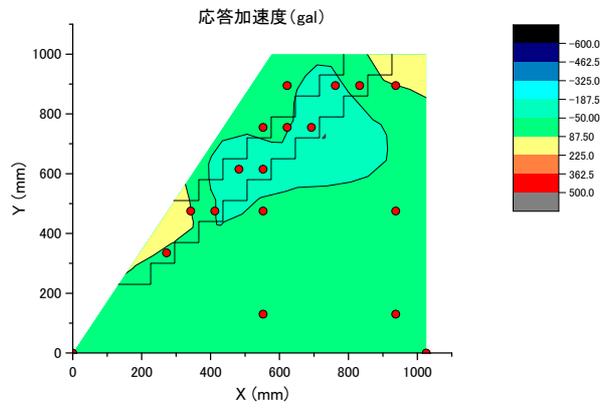
### ③加速度コンター図

試番 5 および試番 6 における、応答加速度のコンター図を図 3.3.63～図 3.3.64 に示す。なお、コンター作成の時刻は、入力加速度の落ち着く 4 波目を用いることとし、慣性力が最大へとなるマイナス側の (a) 振動台加速度ゼロ、(b) 振動台加速度ピーク、(c) 振動台加速度ゼロの 3 点で作成した。

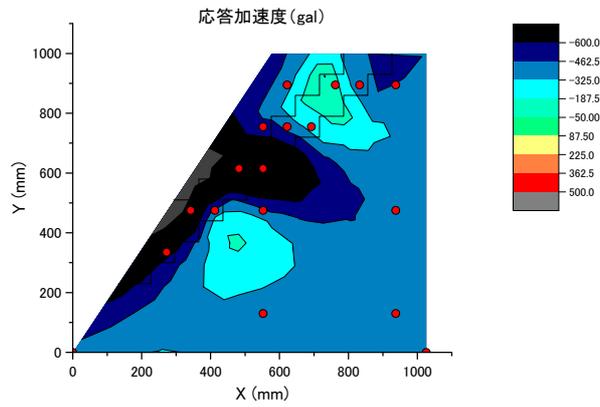
表 3.3.3 にコンターの作成時刻を示す。なお、500gal 加振については、A03H、A06H～A11H が計測不能となっているため、コンター作成のための十分なデータが得られていない。

表 3.3.3 コンター作成時刻

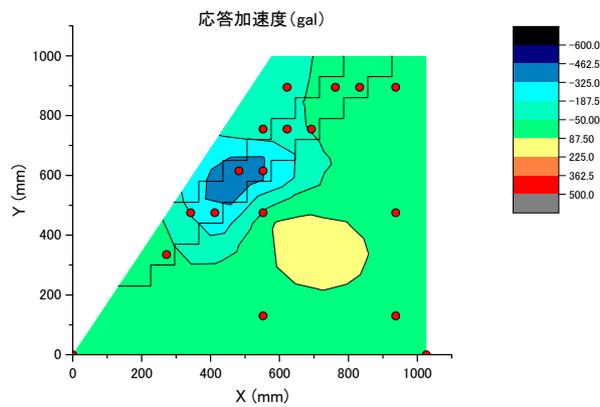
Case	作成時刻
400gal (4 波目)	(a) 597.325
	(b) 597.550
	(c) 597.825
500gal-1 回目 (4 波目)	(a) 607.350
	(b) 607.525
	(c) 607.825



(a) 振動台加速度ゼロ

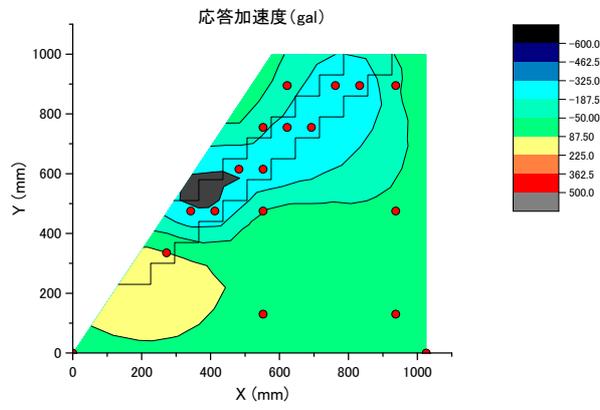


(b) 振動台加速度ピーク

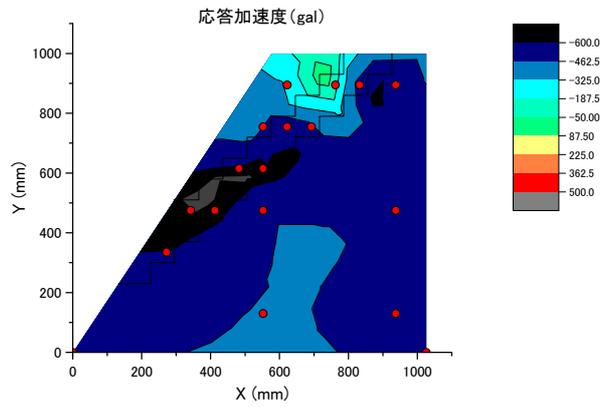


(c) 振動台加速度ゼロ

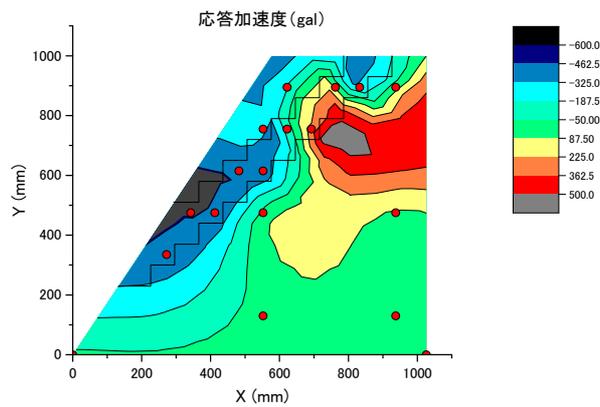
図 3.3.63 加速度コンター図\_400gal (4波目)



(a) 振動台加速度ゼロ



(b) 振動台加速度ピーク



(c) 振動台加速度ゼロ

図 3.3.64 加速度コンター図\_500gal-1 回目 (4 波目)

#### ④せん断ひずみコンター図

「②標点の二次元変位量」で算出した各標点の変位量から、岩盤斜面中の最大せん断ひずみ量を算定し、代表点の最大せん断ひずみ量の時刻歴を図 3.3.66～図 3.3.69 に示す。なお、作図にあたっては弱層部分を弱層上部・中上部・中下部・下部の領域に分け、それぞれの領域で特に着目した最大せん断ひずみ量を算出したエレメント 3～4 箇所の平均値を用いて時刻歴を作成した。

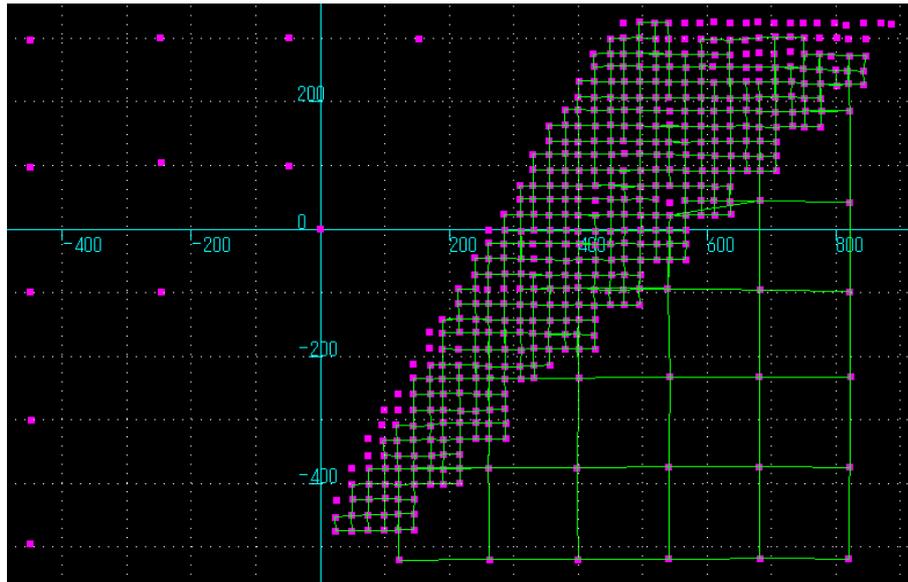


図 3.3.65  $\gamma_{\max}$  算出メッシュ (Case33)

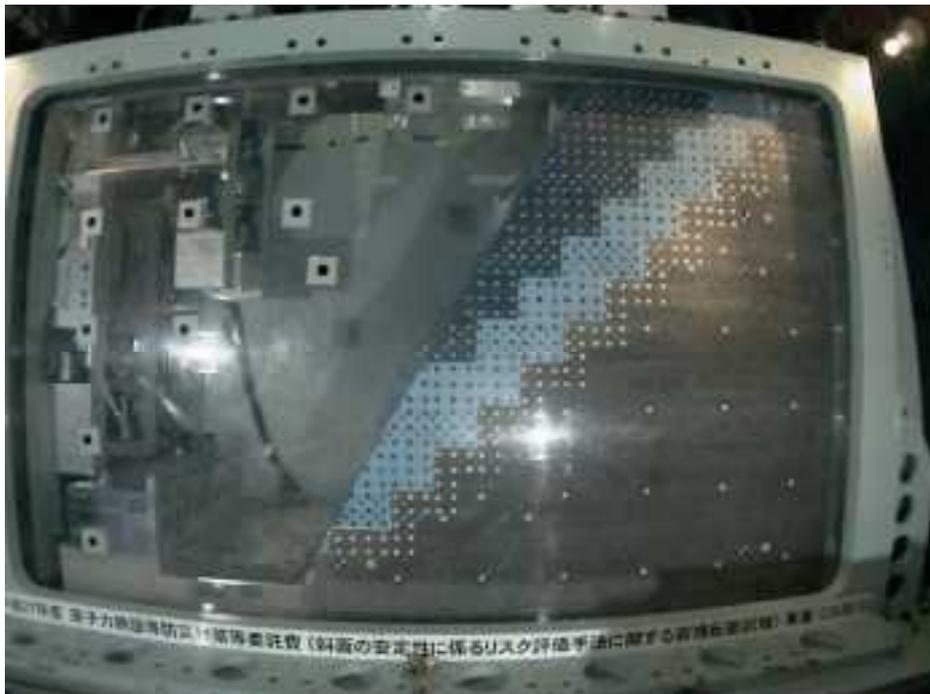


写真 3.3.6 標点配置 (Case33)

500gal 1回目 加振前51シーン

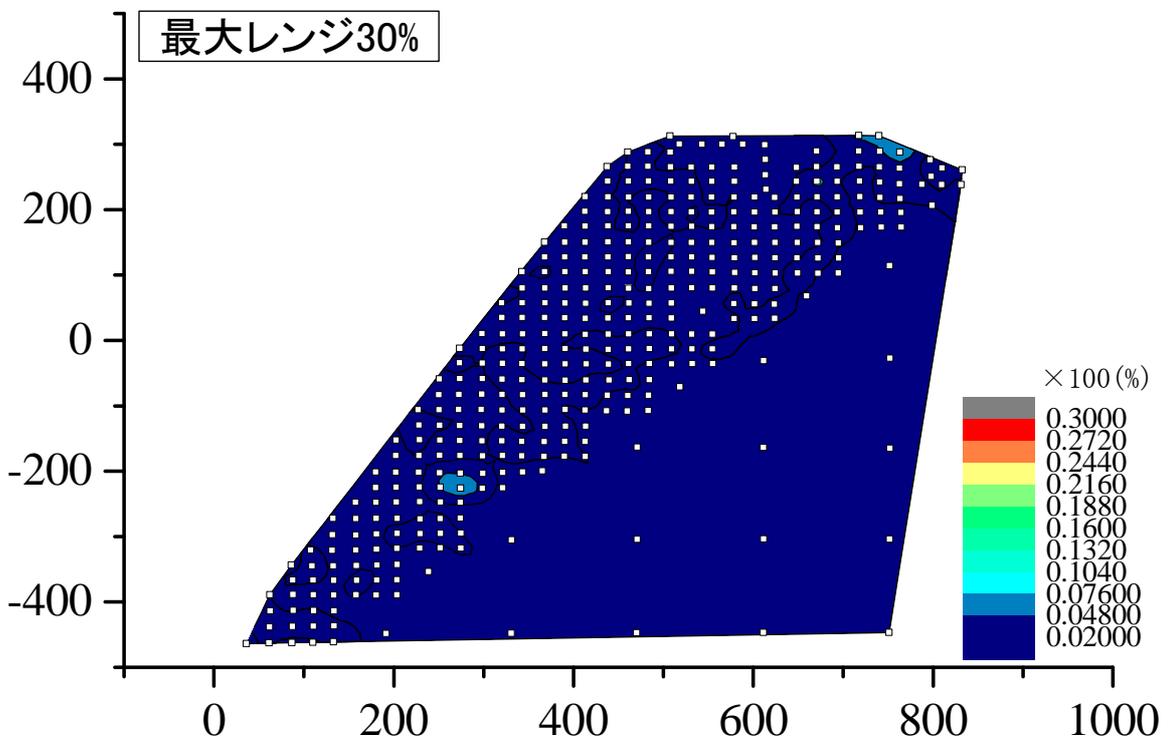
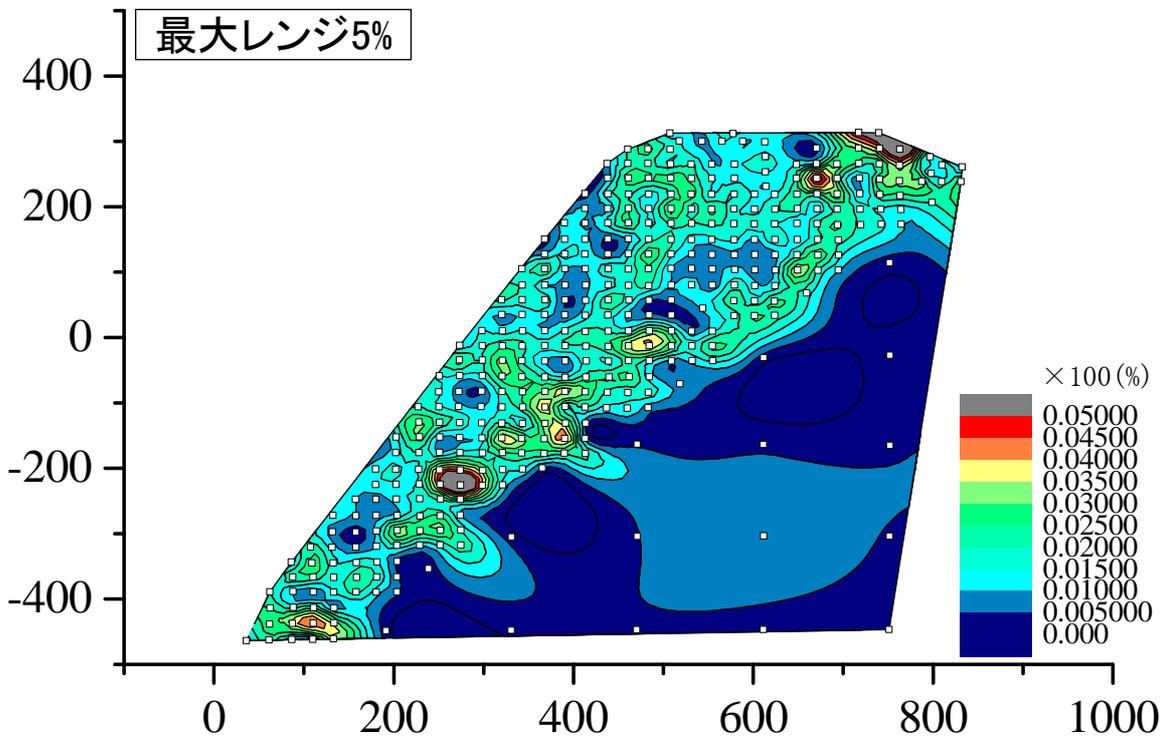


図 3.3.66 せん断ひずみコンター図\_500gal-1回目 (シーン 51)

500gal 1回目 12波目176シーン

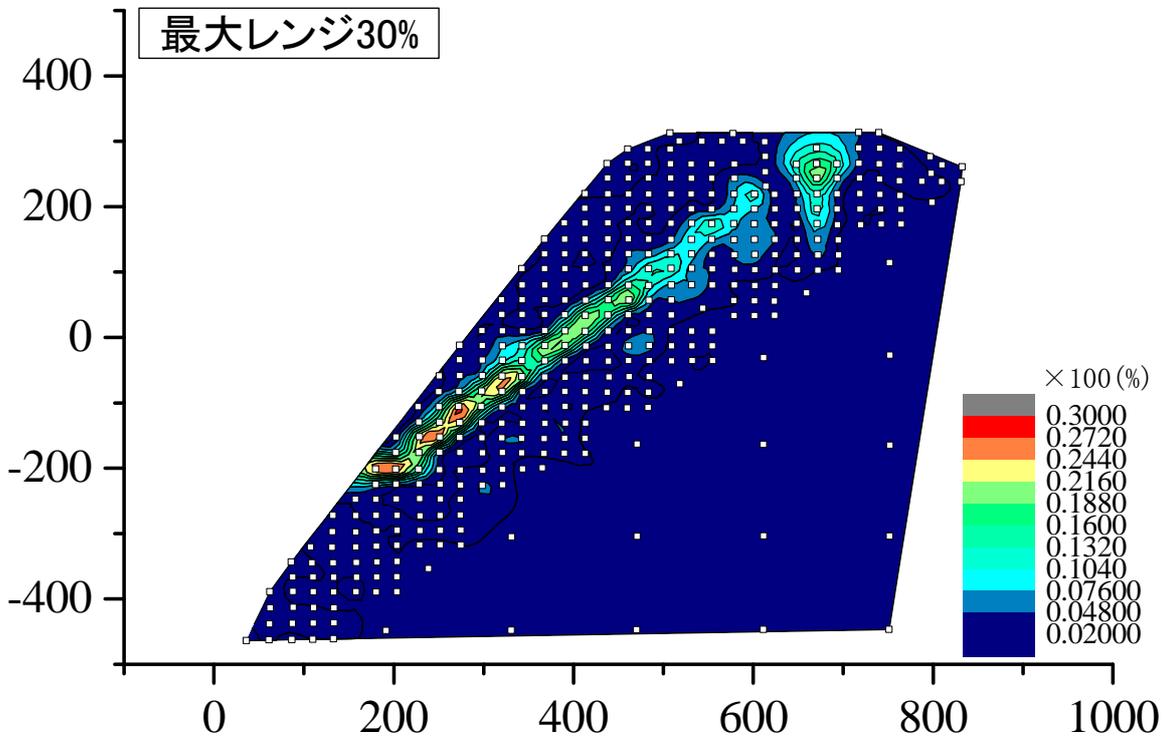
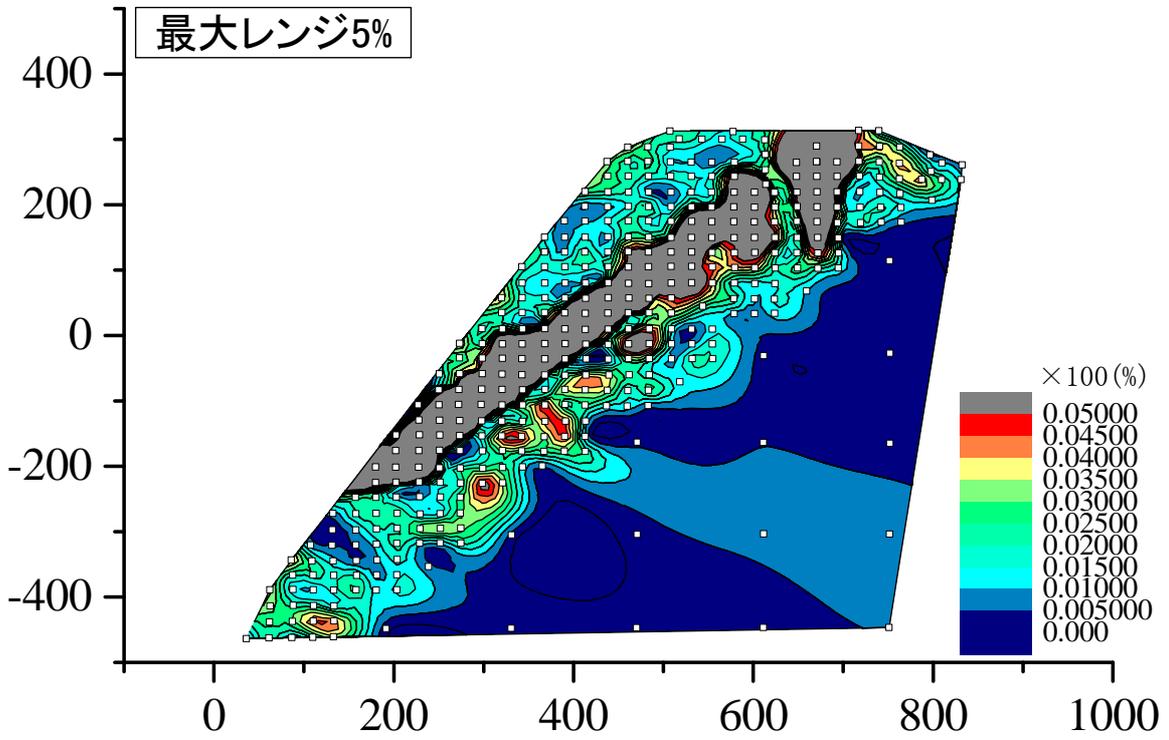


図 3.3.67 せん断ひずみコンター図\_500gal-1 回目 (シーン 176)

500gal 2回目 加振前600シーン

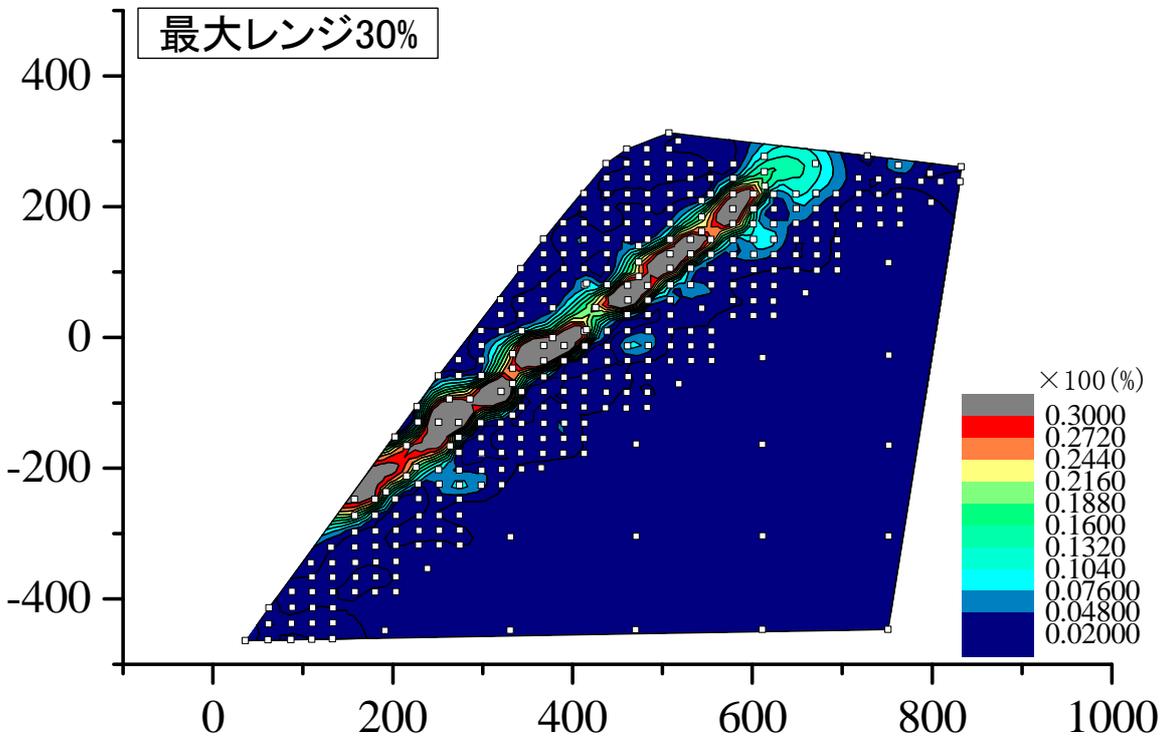
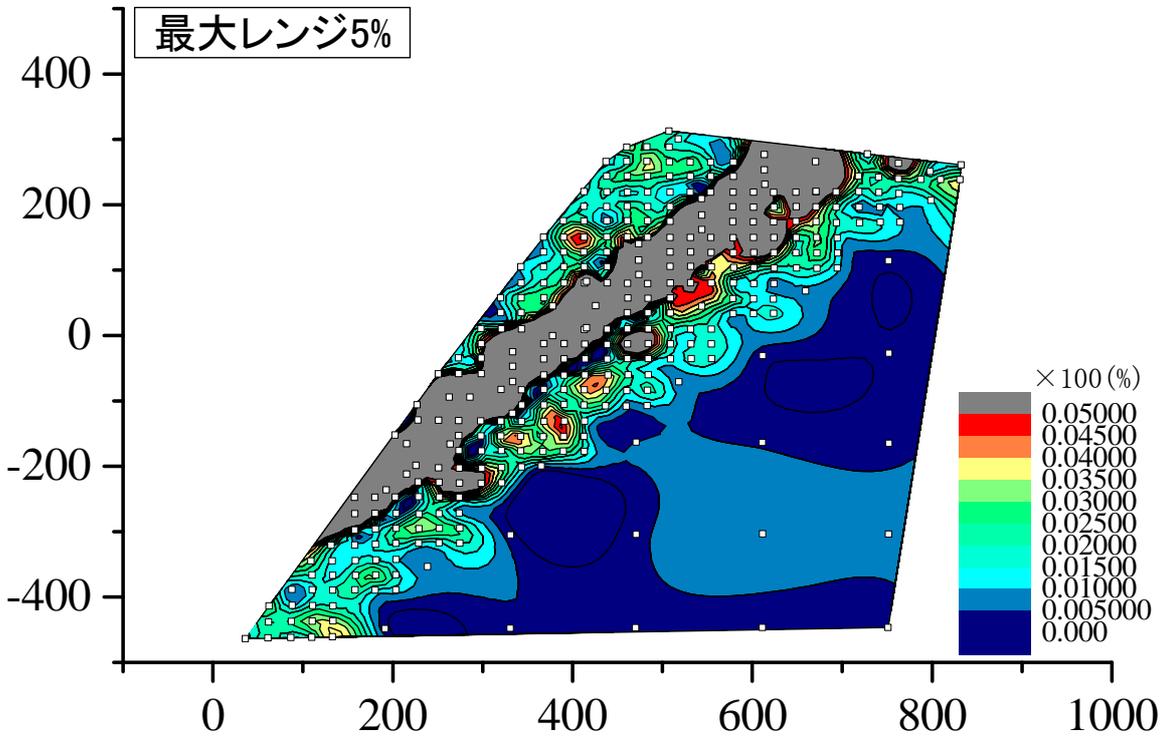


図 3.3.68 せん断ひずみコンター図\_500gal-2 回目 (シーン 489)

500gal 2回目 3波目643シーン

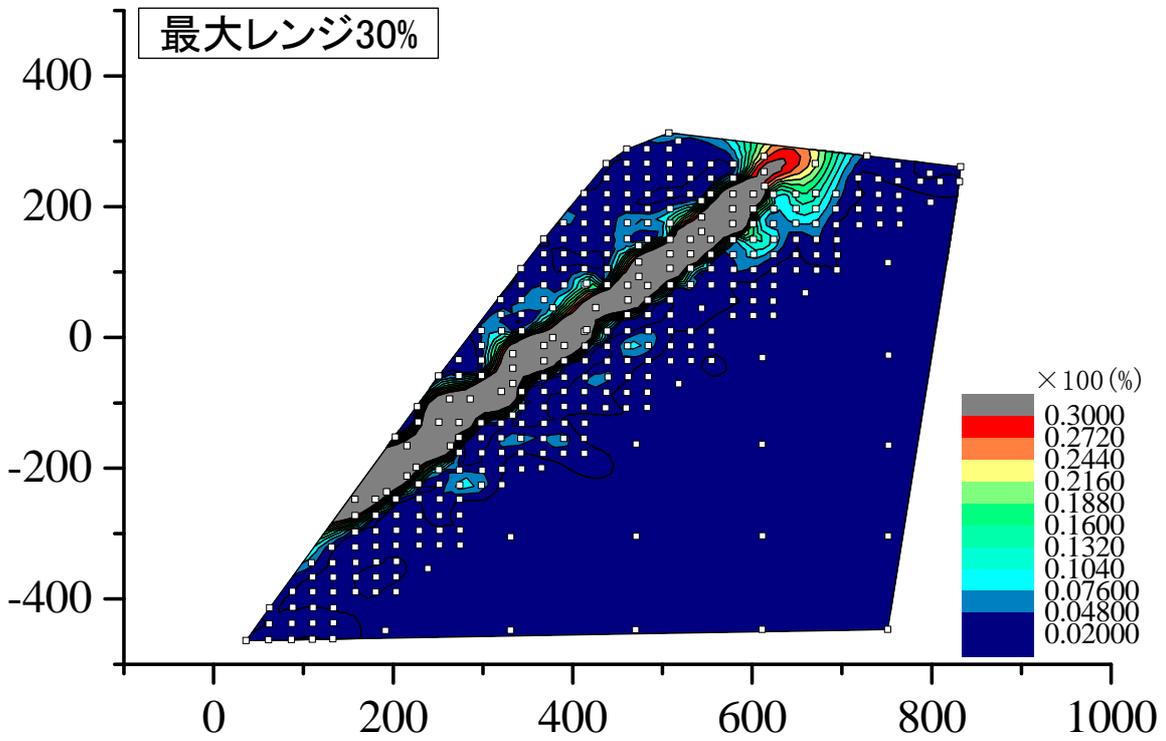
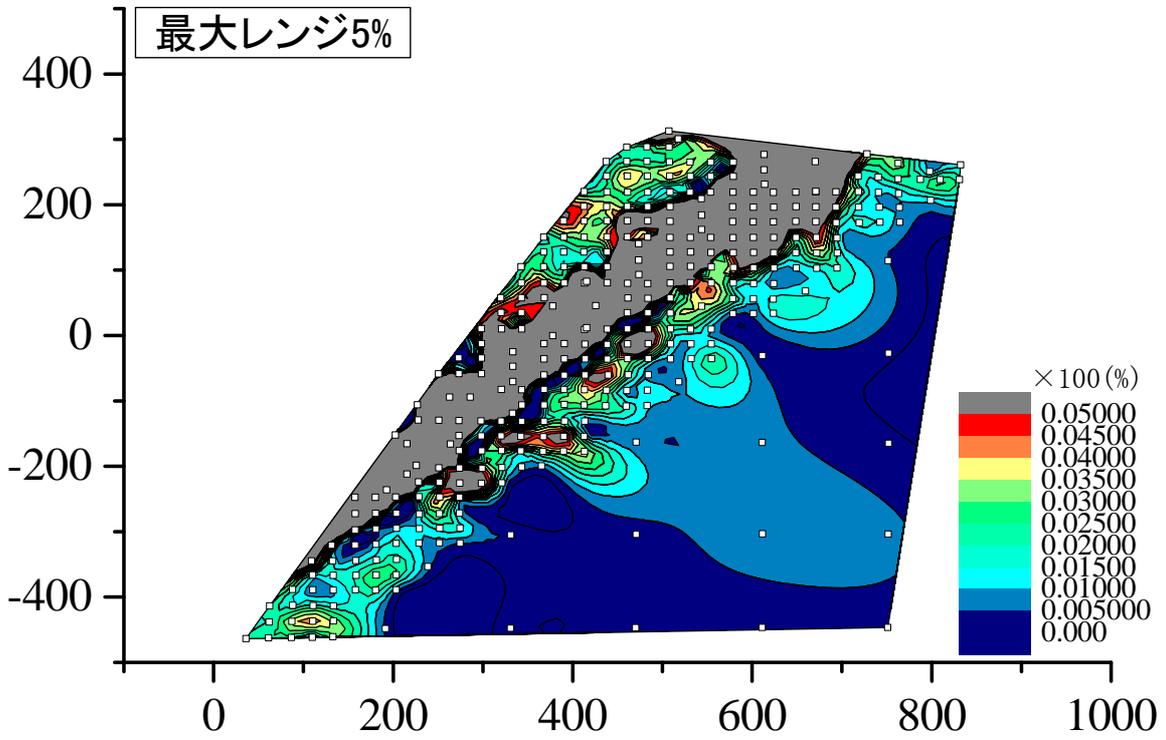


図 3.3.69 せん断ひずみコンター図\_500gal-2 回目 (シーン 643)

⑤衝突時の土圧

図3.3.70～図3.3.71には模型崩壊時にのり尻に設置していた土圧計にて測定した土圧を標点の二次元変位の時刻歴と併せて示す。

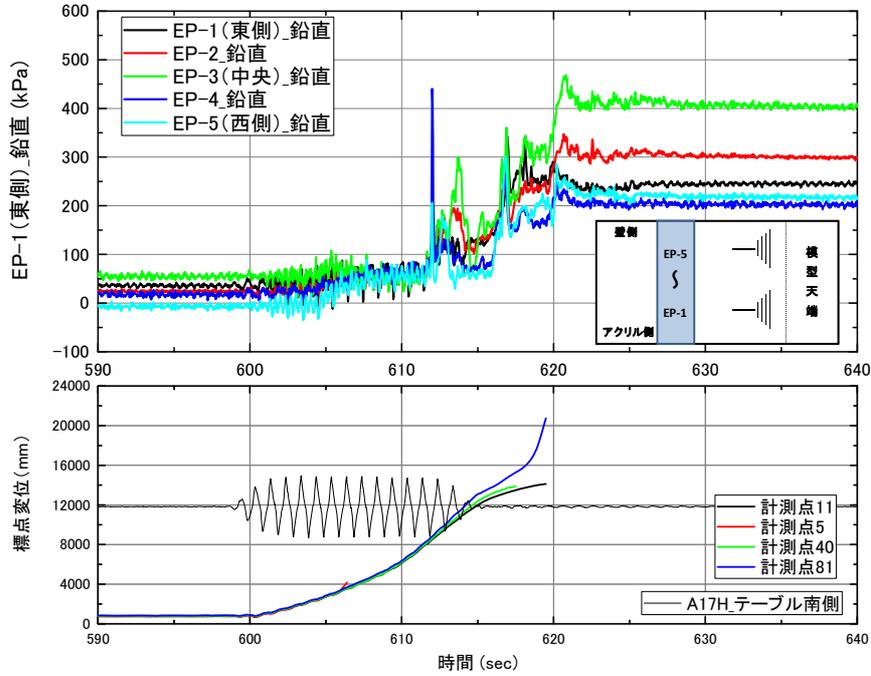


図 3.3.70 鉛直土圧計時刻歴

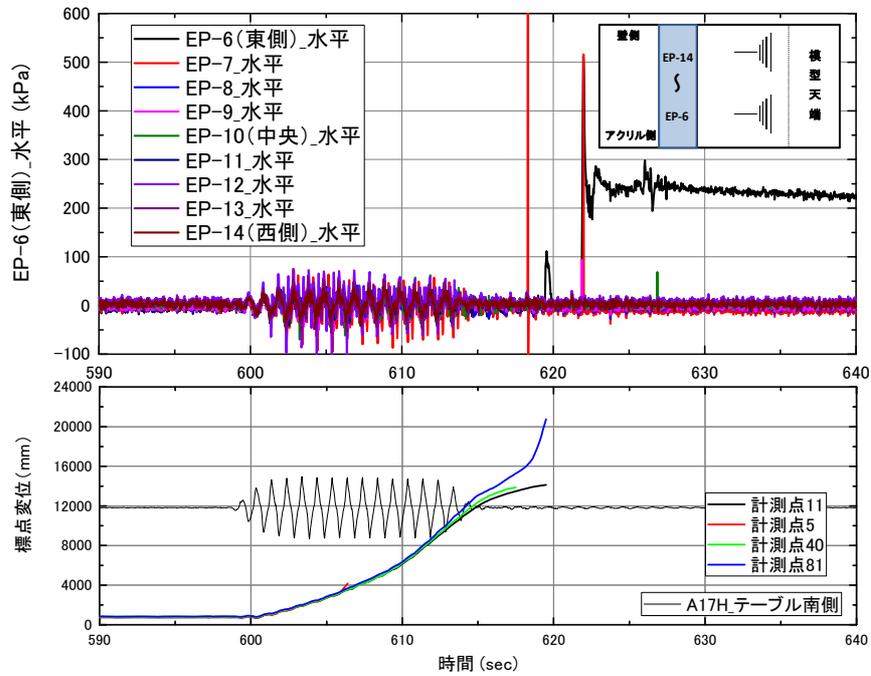


図 3.3.71 水平土圧計時刻歴

### (3) 遠心実験の考察

#### ①降伏震度について

試験対象のモデル(図 3.3.72)を用いた安定解析結果を図 3.3.73 に、安定解析に用いた各土層の土質諸数値を表 3.3.3 に示す。表 3.3.3 に示す安定解析に用いた土質諸数値は Case32 模型構築時のバッチ試験の結果である。Case32、Case33 とともに強度のばらつきを見る目的で各 9 本の三軸圧縮試験を実施したが、その平均は Case32 で  $c=71.8\text{kPa}$ 、 $\phi=36.8$  度、Case33 で  $c=98.3\text{kPa}$ 、 $\phi=36.8$  度であった。Case32 に関しては、表 3.3.3 と上記の平均値は概ね一致しており、図 3.3.73 は Case32 に関する安定解析結果とみなすことが可能である。一方で、後述する要素試験結果に示すように、Case33 では養生期間が長かった事から弱層の粘着力が増加した。このことから、粘着力の感度を見る目的で  $k_h=0.3$ 、 $k_v=0$  の場合のみ、粘着力  $c$  を  $\pm 5$ 、 $10$ 、 $20\text{kPa}$  と変動させた検討も行った。

なお、過去の遠心実験では、入力水平 1 方向加振に関わらず水平動の半分から 2/3 程度の鉛直動が計測された。このため、模型実験に先立ち実施した安定解析結果である図 3.3.73 では、水平震度  $k_h$  のみを考慮した場合と、鉛直動の影響として水平震度の 2/3 倍の  $k_v=2k_h/3$  を考慮した場合の両者を合わせて示している。

模型実験における基盤層上部(A04V)の鉛直動と水平動の履歴図を図 3.3.74 に示す。基盤層上部においても、鉛直動の影響は小さい事が確認できる。Case32、Case33 においては、過去のケースと比較して、土圧計測用の反力壁の設置などにより土槽内の重心バランスが改善されたことが鉛直動が小さくなった理由と考えられる。この結果から、今年度の遠心実験では鉛直動の影響がほぼ無視できるため、以下では水平震度  $k_h$  のみを考慮した解析結果を用いて実験結果と解析結果の比較を行う。

Case32 の安定解析結果に着目すると、安全率が 1 を下回るのは  $k_h=0.25$  程度であり、300gal 加振 1 回目においてのり尻部が局所的に破壊し、300gal 加振 2 回目に全体的な破壊に至った実際の現象と概ね整合する。

粘着力に関する感度分析結果から、安全率と粘着力の関係を求めると、 $0.0075/\text{kPa}$  であった。この結果と、 $k_h=0.3$  における水平震度と安全率の関係から、Case33 ( $c=98.3\text{kPa}$ ) における安全率と水平震度との関係を求めた結果も併せて図 3.3.73 に示している。この結果によると、安全率が 1 を下回るのは  $k_h=0.4\sim 0.5$  程度である。模型実験では、500gal 加振 1 回目において弱層のり尻部に局所的な破壊が生じ、その後 500gal 加振 2 回目において表層が全体的に滑落しており、降伏震度については安定解析結果と遠心実験の挙動が概ね整合した。

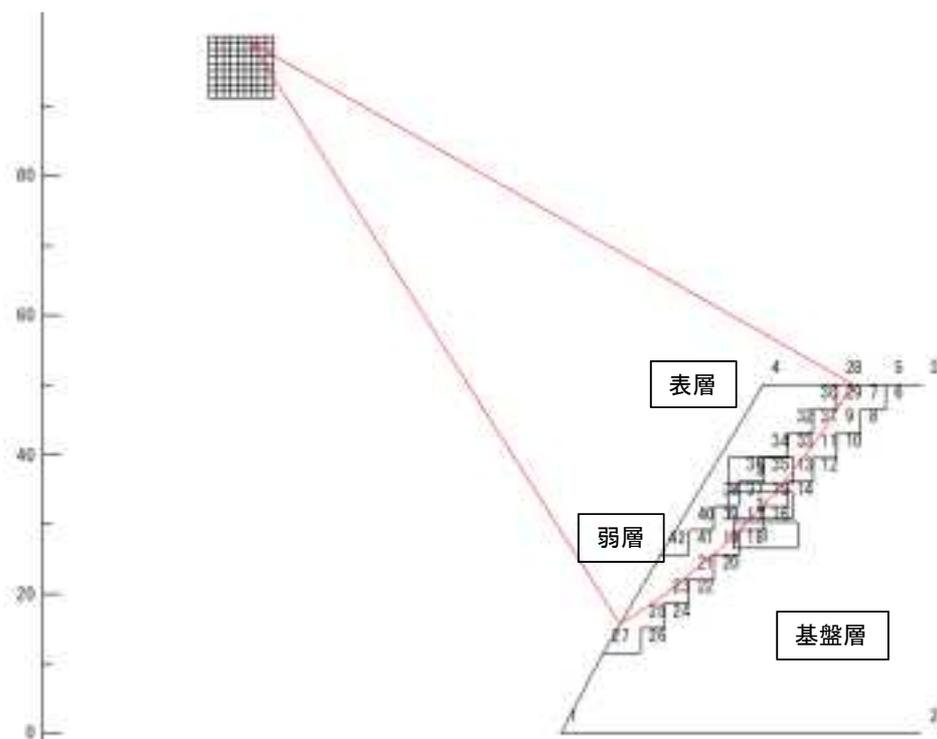


図 3.3.72 安定解析モデル

表 3.3.4 安定解析に用いた土質諸数値

	単位重量 (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 (度)
表層	27.6	940※	0※
弱層	16.2	73.97	35.39
基盤層	20.0	280.50	57.40

※:一軸圧縮試験から $q_u/2$ として設定

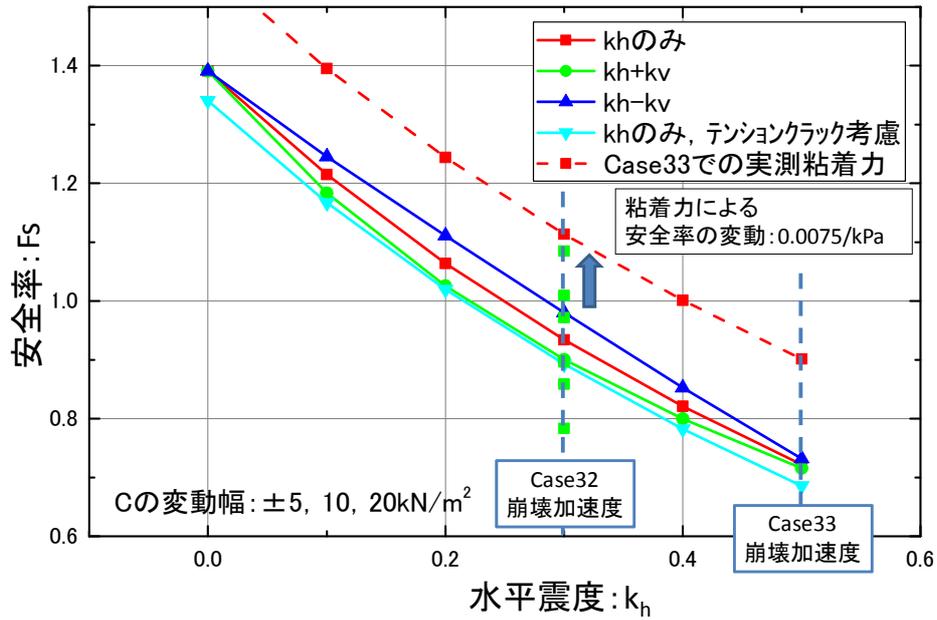


図 3.3.73 水平震度と安全率の関係

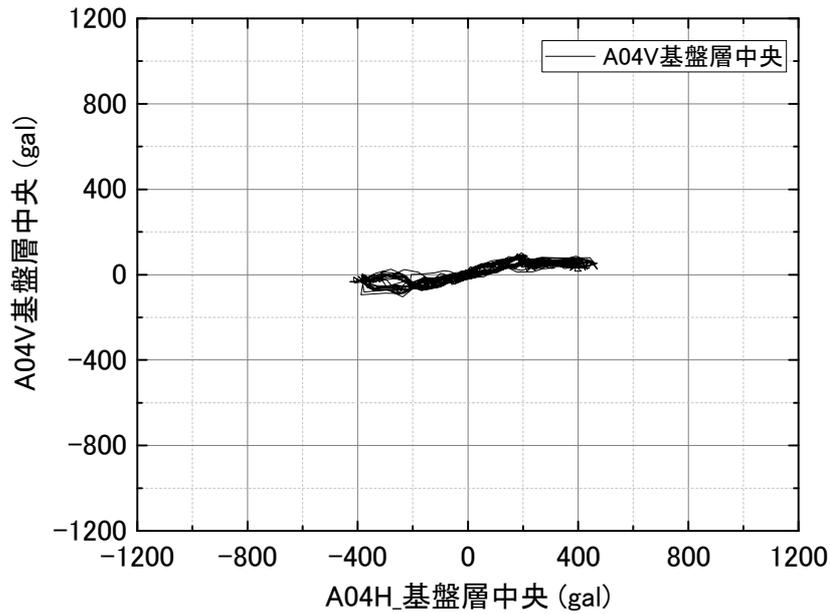


図 3.3.74 Case32 水平動と鉛直動の履歴図 (300gal 2回目)

## ②斜面の破壊形態およびすべり土塊の衝突荷重（残留値）

図 3.3.75 に Case32 における斜面の破壊過程を、図 3.3.76 および図 3.3.77 にすべり土塊の衝突時に土圧計で計測した水平・鉛直方向の圧力と、すべり土塊の移動距離の時刻歴を示す。これらの図には、図 3.3.75 に示した崩壊過程における各タイミングを合わせて図示している。水平方向の土圧計の計測結果は、土塊の衝突に伴い有意な圧力変動が確認された EP-9～EP-11 のみを示している。なお、土圧計および加速度計、すべり土塊の移動距離のサンプリング周波数はそれぞれ実物大換算値で 40Hz および 10Hz である。すべり土塊の移動距離については画像解析で図 3.3.75 に示したすべり土塊中の標点の水平・鉛直方向の変位量を評価し、これを合算して移動距離を算出した値を時刻歴として示している。

水平方向については 2 つのピーク値を示した後に一定の残留値に収束した。鉛直方向の時刻歴にみられる最初のピーク値は図 3.3.75 中、④と⑤の間ですべり土塊から分離した土塊が衝突した結果が計測されたと考えられる。各々の土圧計で残留値と最大値とを比較すると、鉛直方向では 1.23～1.39 倍、水平方向では 1.42～3.05 倍であった。

同様に、図 3.3.78 から図 3.3.80 に Case33 における斜面の破壊過程、すべり土塊衝突時に土圧計で計測した水平・鉛直方向の圧力の時刻歴を示す。水平方向圧力については、反力壁を水平方向に 7m 程度のり尻部から離れたことから、すべり土塊が反力壁に殆ど到達しなかった。このため、有意な圧力変動が見られたのは、アクリル面側の EP-6 のみであった。鉛直方向圧力については、Case32 と比較すると上昇傾向は比較的緩やかであり、ピーク値、残留値ともに Case33 と比較すると小さかった。すべり土塊中の標点変位の時刻歴をみると、615 秒付近までは全標点がほぼ同一の挙動を示すものの、それ以降は標点 81 のみが他の標点よりも移動距離の増加傾向が急激である。これと整合するように、図 3.3.78 では中部から下部のすべり土塊のみがすべり面にそって落下した後に、上部のすべり土塊については、徐々に下方に移動する傾向を示した。このように、変形が比較的緩やかに進行した事が、荷重の増加傾向が Case32 と比較して緩やかだった理由と考えられる。Case33 では、鉛直方向の土圧計で残留値と最大値を比較すると、最大値は残留値の 1.12～1.36 倍程度であり、この倍率については Case32 とほぼ同等であった。

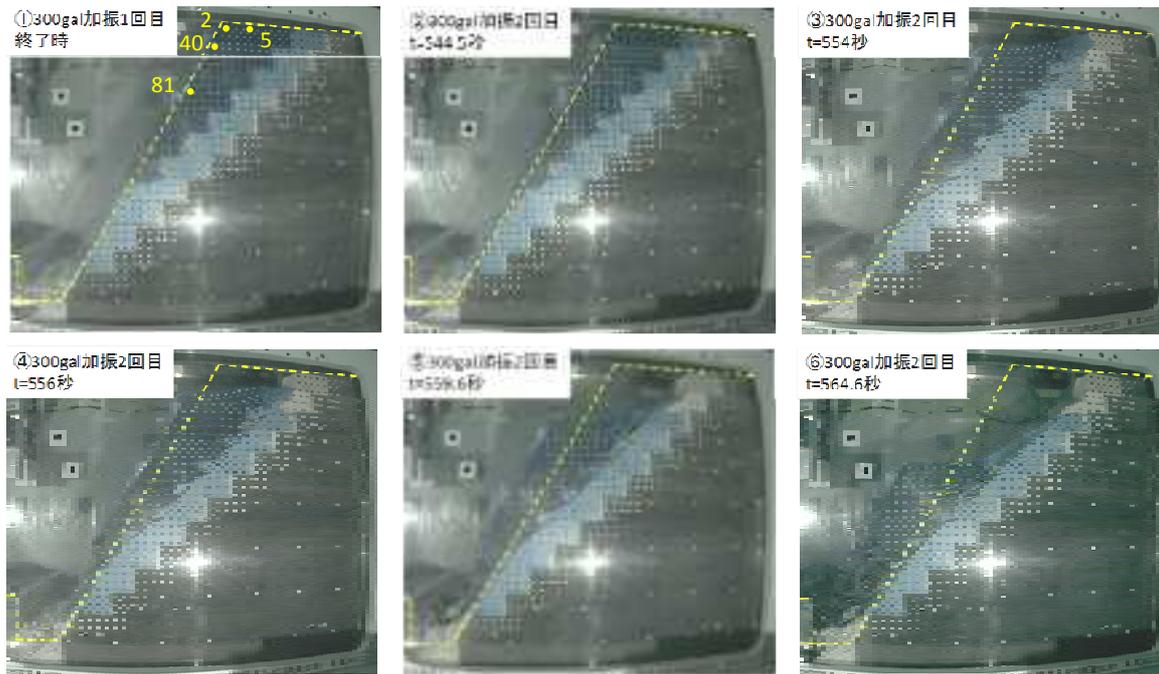


図 3.3.75 Case32 斜面の破壊過程

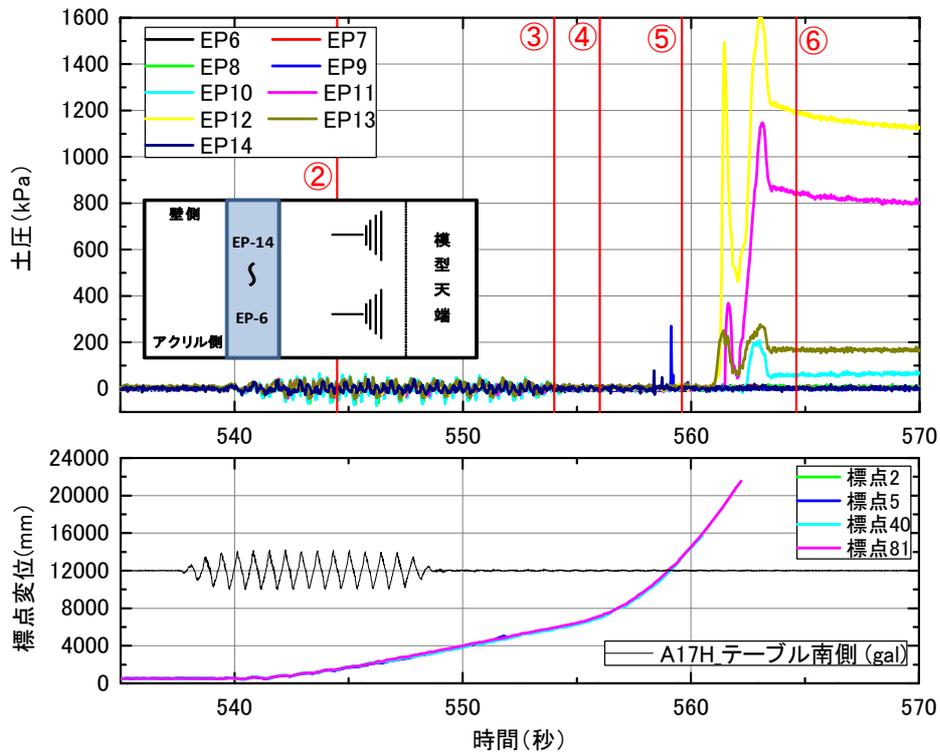


図 3.3.76 Case32 水平土圧と標点変位の時刻歴

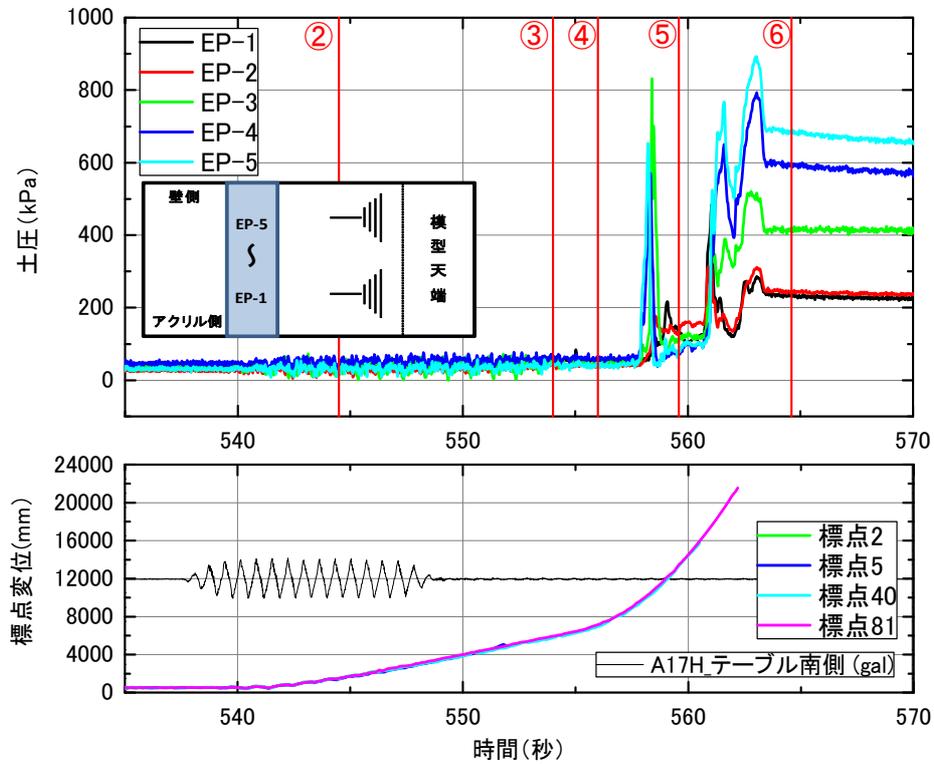


図 3.3.77 Case32 鉛直土圧と標点変位の時刻歴

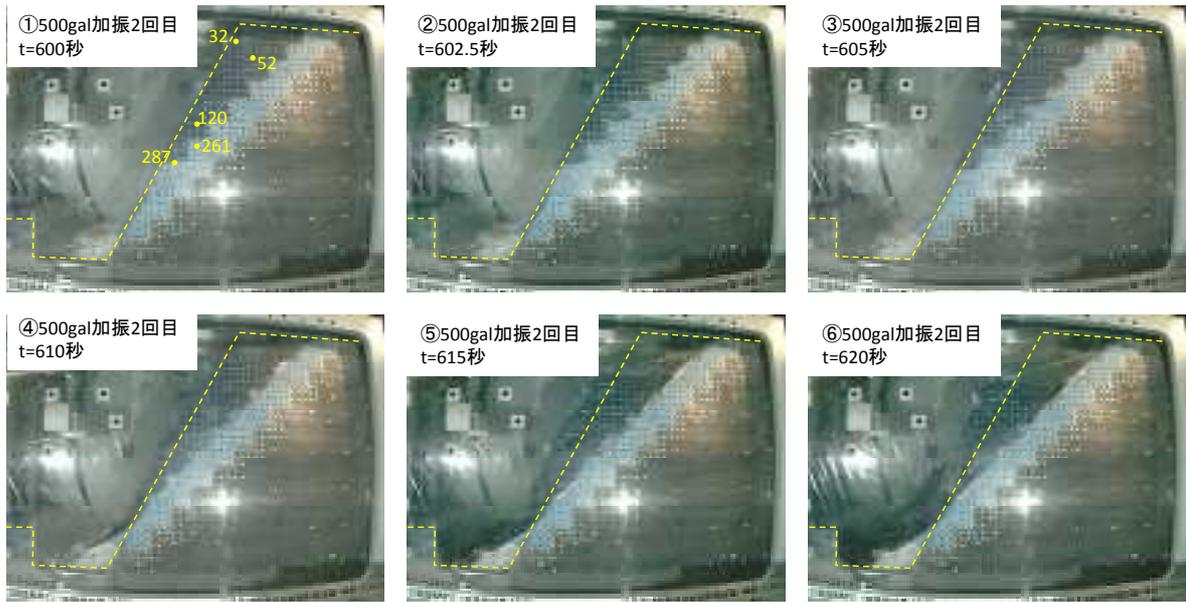


図 3.3.78 Case33 斜面の破壊過程

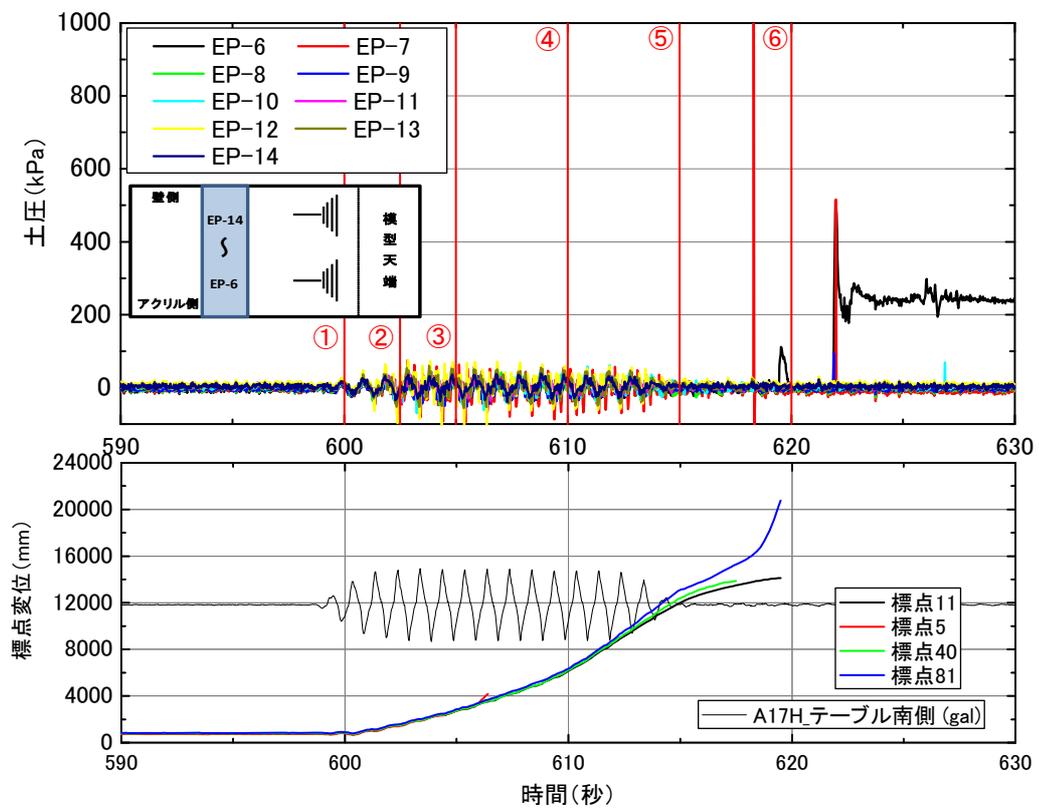


図 3.3.79 Case33 水平土圧と標点変位の時刻歴

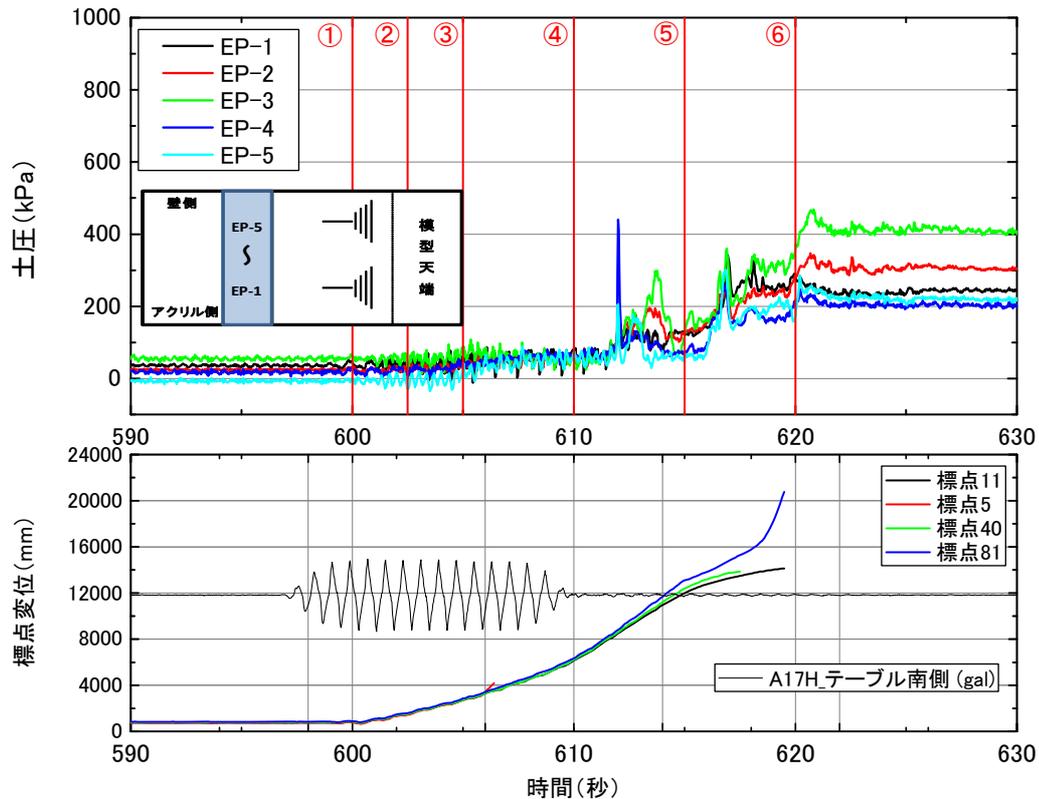


図 3.3.80 Case33 鉛直土圧と標点変位の時刻歴

図 3.3.81 に示すように、残留値について壁面の鉛直・水平反力とすべり土塊重量の力の釣り合いを考慮して壁面の反力を求め、便宜的に壁面に作用する荷重が等分布状態であると仮定して水平・鉛直方向の平均的な圧力を算定した結果を図 3.3.82、図 3.3.83 に示す。すべり土塊重量は Case32、Case33 とともに表層の全重量とした。すべり面のせん断抵抗については、Case32、Case33 の弱層の粘着力を考慮した。なお、比較のために図中に示した計測値は、水平方向、鉛直方向土圧計の平均値を示している。Case32、Case33 とともに鉛直応力は概ね整合しているものの水平応力は過少評価となった。これは、水平方向については模型実験で数個の土圧計でのみ有意な計測値の変化が確認された（衝突部位が限定的であった）のに対して、計算上は反力壁全体における平均的な過重負担を仮定しているためだと考えられる。鉛直方向圧力については、水平方向と比較するとすべり土塊重量が反力壁に均一に作用していると考えられるため、平均的な鉛直方向圧力の計算値と実測値とは比較的良好に整合しており、計算値に対して実測値は Case32 で 1.2 倍、Case33 で 1.09 倍程度であった。

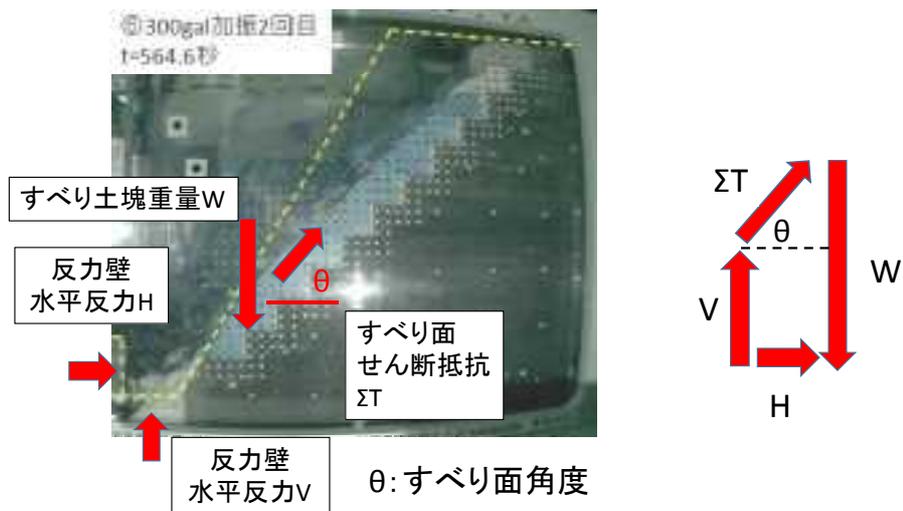


図 3.3.81 残留値評価のために想定する力の釣合いの模式図

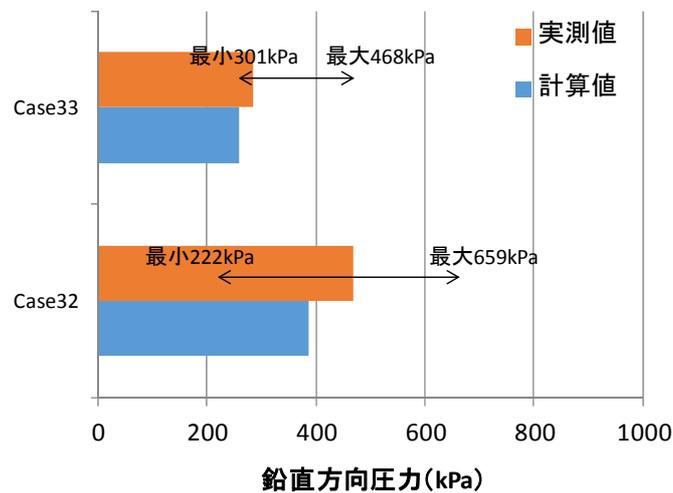


図 3.3.82 鉛直方向残留圧力の計算値と実測値との比較

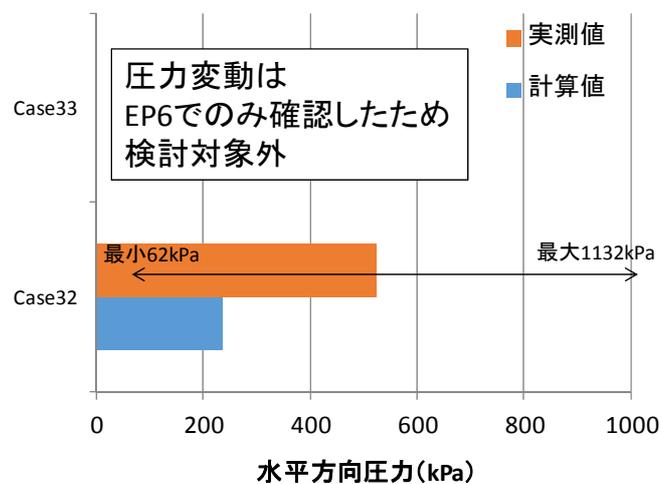


図 3.3.83 水平方向残留圧力の計算値と実測値との比較

### ③すべり土塊の衝突荷重

以下では、二球体の衝突問題を解いたヘルツの理論式（式 3.3.1～式 3.3.3）を用いて衝突荷重を算定し、実験結果との比較を行う。

$$P = n^{\frac{2}{5}} \left[ \frac{5}{4} V_0^2 \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right]^{\frac{3}{5}} \quad (\text{式 3.3.1})$$

$$n = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{1}{k_1 + k_2} \cdot \left[ \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{式 3.3.2})$$

$$k_i = (1 - \nu_i^2) / (\pi E_i) (i = 1, 2) \quad (\text{式 3.3.3})$$

ここに、 $\nu_i$ ：ポアソン比、 $E_i$ ：弾性係数、 $R_i$ ：曲率半径、 $m_i$ ：質量であり、サフィックス  $i=1, 2$  はそれぞれ土塊、反力壁を示す。

実験条件から、反力壁の曲率半径  $R_2 \rightarrow \infty$ 、反力壁の質量  $m_2 \rightarrow \infty$  となるため、式 (1)、式 (2) はそれぞれ (式 3.3.4)、(式 3.3.5) となる。

$$P = n^{\frac{2}{5}} \left[ \frac{5}{4} V_0^2 \cdot m_1 \right]^{\frac{3}{5}} \quad (\text{式 3.3.4})$$

$$n = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{1}{k_1 + k_2} \cdot R_1^{\frac{1}{2}} \quad (\text{式 3.3.5})$$

ここで、反力壁、すべり土塊の物理特性は以下の通りである。

$\nu_1 = 0.2$  （繰り返し三軸圧縮試験結果より）

$\nu_2 = 0.33$  （アルミニウムの工学的性質より）

$E_1 = 2190 \times 10^3 \text{ kPa}$ （表層の繰り返し三軸圧縮試験結果の  $G_0 = 1825 \text{ MPa}$  からポアソン比  $\nu_1 = 0.2$  として  $E_0 = 4380 \text{ MPa}$  を求め、その 50% と設定）

$E_2 = 70 \text{ kN/mm}^2 = 70 \times 10^6 \text{ kPa}$ （アルミニウムの工学的性質より）

すべり土塊の曲率半径  $R_1$  については、便宜的に模型実験のすべり土塊と同等の重量を持つ直径  $R$  の球体を仮定し、当該球体の半径を曲率半径と設定した。前述の通り、すべり土塊の重量は表層の重量が支配的であるため、表層の質量  $m_1$ 、総重量  $W_1$  を求めると以下の通り  $R = 9.88 \text{ m}$  と

なり、曲率半径  $R_1=R/2=4.94\text{m}$  である。

$$W_1=105110 \text{ kN}$$

$$m_1=W_1(\text{kN}) / 9.8 (\text{m/s}^2)= 10725 \text{ t}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{3W_1}{4\pi\gamma_1}} = \sqrt[3]{(3 \times 105110)/(4 \times \pi \times 26.00)} = 9.88$$

一方で、Case33 については、図 3.3.84 に示すように、すべり土塊である表層の上部はすべり面状に残存していた。このため、衝突荷重を算定する際の質量としては下部の実際に滑落した部分を用いるのが適切と考えられる。このため、Case33 については、すべり土塊の重量、質量を落下部分に限定して割り引く事とした。ここで、すべり土塊の側面積=177.625m<sup>2</sup> に対して、滑落部の面積は約 70m<sup>2</sup> であるため、重量、質量を 70/177.625=0.394 倍する事とした。

この場合、Case33 の衝突荷重算定に用いる土塊の直径  $R'$  は以下の通りであり、 $R_1'$  は 3.63m である。

$$R' = \sqrt[3]{\frac{3W_1}{4\pi\gamma_1}} = \sqrt[3]{(3 \times 105110 \times 0.394)/(4 \times \pi \times 26.00)} = 7.25$$

ここで、すべり土塊の速度は図 3.3.83、図 3.3.84 に示したすべり土塊の速度の時刻歴から評価可能である。各ケースの衝突直前のすべり土塊の水平方向、鉛直方向速度も併せて図に示している。これらの値を用いて各ケースの衝突荷重を算定し、反力壁における等分布負担を仮定して計算値と実測値とを比較した結果を図 3.3.87、図 3.3.88 に示す。なお、Case33 については、全土塊重量を考慮した場合と滑落部分の土塊重量のみを考慮した場合の二通りの計算結果を示した。計算結果はいずれの場合でも実測値を過大に評価しており、計算値の実測値に対する倍率は Case32 では水平方向で 5.7 倍、鉛直方向で 4.6 倍、Case33 では鉛直方向について、すべり土塊の全重量を考慮した場合で 32 倍、下部の重量のみを考慮した場合で 17 倍であった。

ロックシェッドの頂版等については、ヘルツ式でもとめた作用衝撃力が重錘とコンクリート版との衝突問題に関する実験結果を 5 倍程度過大評価する事を踏まえて、ヘルツの式で求めた計算値の 1/5 に対して 1.25 倍程度の余裕を持たせた衝撃力を衝撃荷重の特性値として扱っている<sup>1</sup>。Case32 における計算値と実測値の差異は概ねこの範囲にとどまっており、同様の運用で反力壁

<sup>1</sup> 土木学会：防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計—基準体系の指針—、構造工学シリーズ 22、2013。

等の設計荷重評価にヘルツの式を運用可能であることを示している。一方で、Case33 については計算値と実測値に大きな乖離がみられる。

今回の解析では、土塊の剛性  $E_1$  を表層の繰り返し三軸圧縮試験結果から  $G_0$  から求めたヤング率  $E_0$  の半分と仮定して衝突荷重を評価した。実際には崩壊する過程で顕著に剛性低下する事が考えられるため、すべり土塊の剛性を指標とした感度解析を行い、実測値との比較を行った結果を図 3.3.89 に示す。この結果から、Case32 については剛性を初期剛性  $E_0$  の 1/64 程度とすることで実測値と計算結果が整合する結果となった。図 3.3.90 に一軸圧縮試験結果から求めた接線剛性の低下率と軸ひずみの関係を示す。同図に示すように、表層が滑落する程度の大きなひずみレベルの元では剛性が 1/64 以下に低下する事も考えられる。

一方で、Case33 については、剛性を 1/64 とした場合でも、依然として計算値は実測値を 4.4 倍程度過大評価していた。前述した通り Case33 では、すべり土塊の下部のみが先行的に崩壊して原形をとどめない状態で底面に衝突した。この現象を鑑みると、落石の衝突荷重評価に用いるヘルツの式よりも、(式 3.3.6) に示す粒体力の算定式による評価法がより適合性が高い可能性がある。そこで、Case33 について流体力の算定式を用いて衝突力を評価した結果を図 3.3.89 に併せて示している。計算には、崩土の単位体積質量  $\rho_s=2.6\text{t/m}^3$ 、 $A=22.5\times 6.5=146.25\text{m}^2$ 、 $\alpha=48^\circ$  (すべり面角度)、 $V=7\text{m/s}$  をの実験結果から得られるパラメータを用いた。

$$P = \rho_s \cdot V^2 \cdot A \cdot \sin^2 \alpha \quad (\text{式 3.3.6})$$

ここに、 $P$  : 構造物に作用する荷重(kN)、 $\rho_s$  : 崩壊土の単位体積質量 ( $\text{t/m}^3$ )、 $V$  : 崩土の衝突速度 (m/s)、 $A$  : 構造物の面に対する崩土の作用投影面積 ( $\text{m}^2$ )、 $\alpha$  : 崩土の構造物への衝突確度 ( $^\circ$ )

その結果、反力壁底面が均等に過重分担すると仮定すると、衝突時の鉛直方向圧力は、70kPa 程度であり、実測値を大幅に下回る結果となった。Case33 については土塊と崩土との境界的な挙動を示したために、いずれの評価式においても必ずしも整合性が確認できない結果となったと考えられる。今後は、こうした挙動を評価するための解析法の整備、妥当性の検証が重要となる。

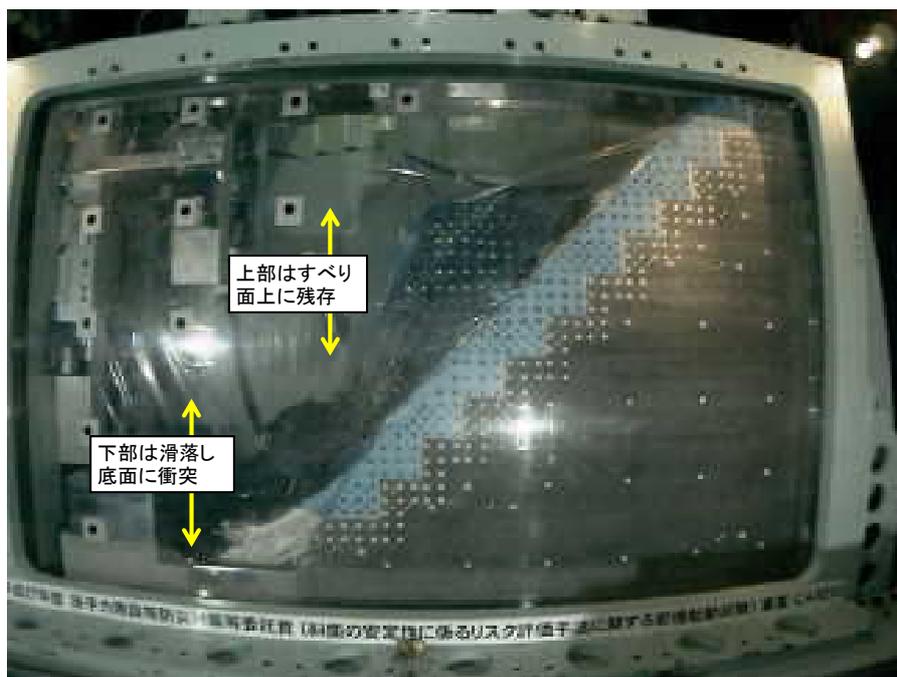


図 3.3.84 Case32 すべり土塊の速度の時刻歴

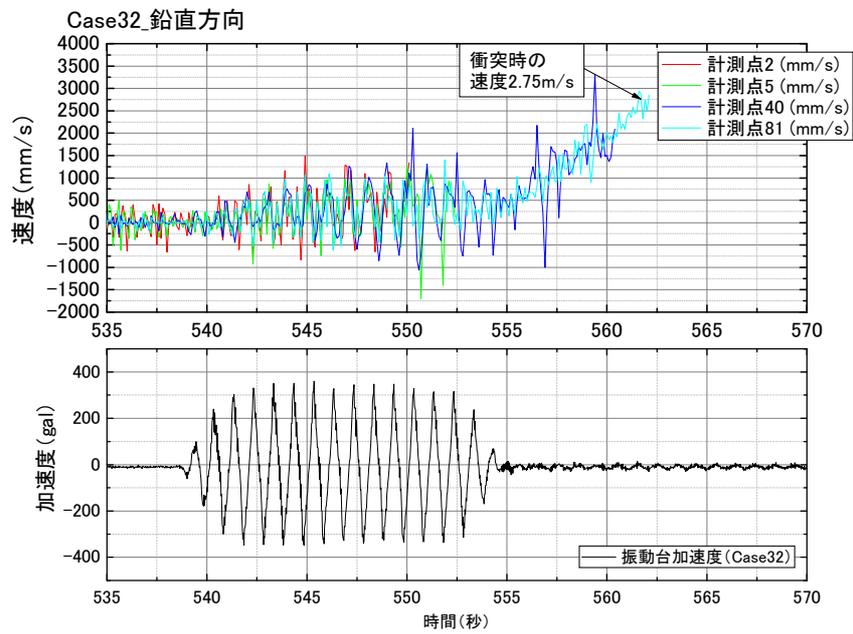
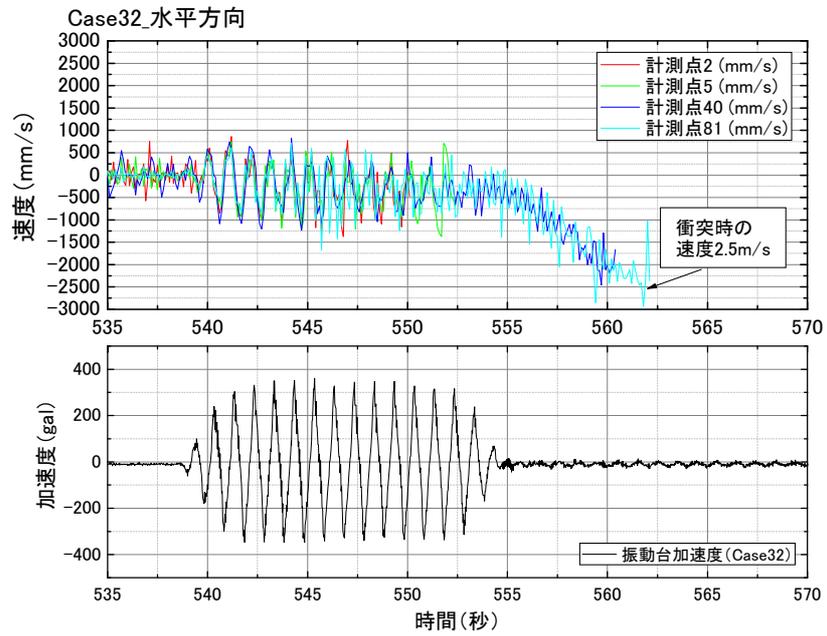


図 3.3.85 Case32 すべり土塊の速度の時刻歴

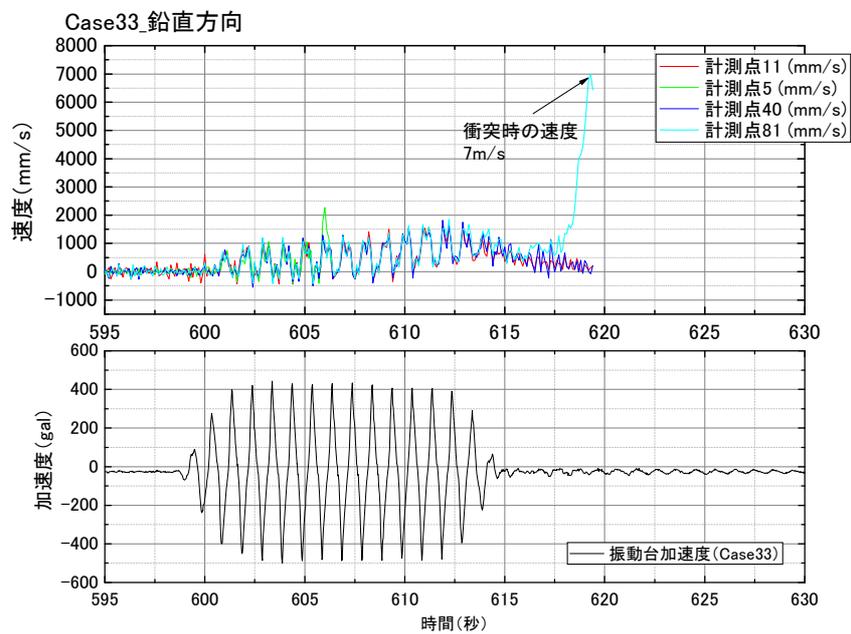
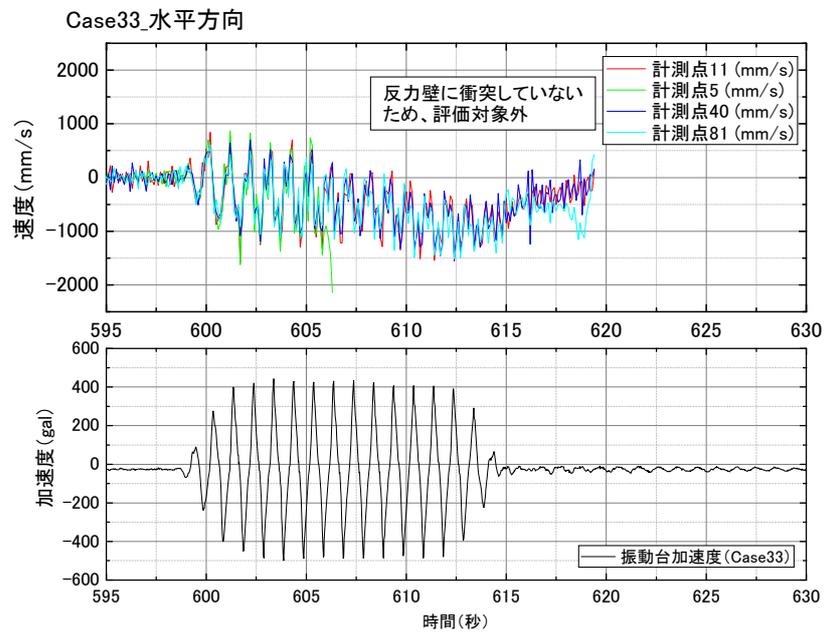


図 3.3.86 Case33 すべり土塊の速度の時刻歴

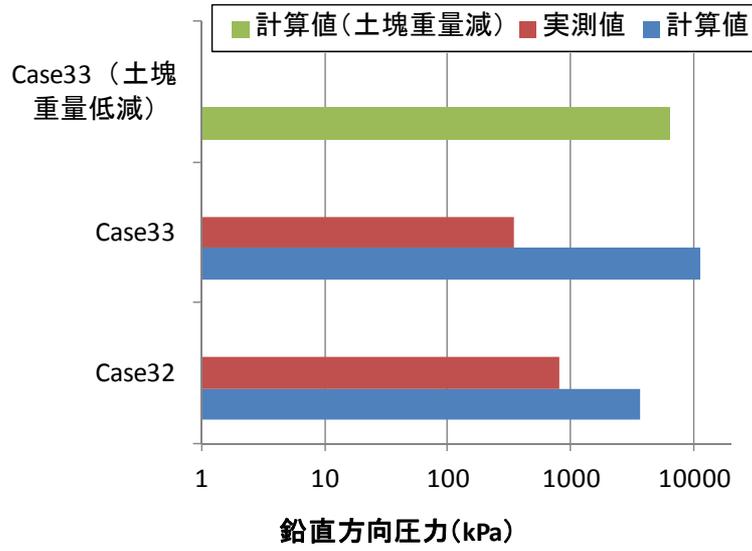


図 3.3.87 鉛直方向衝突圧の計算値と実測値の比較

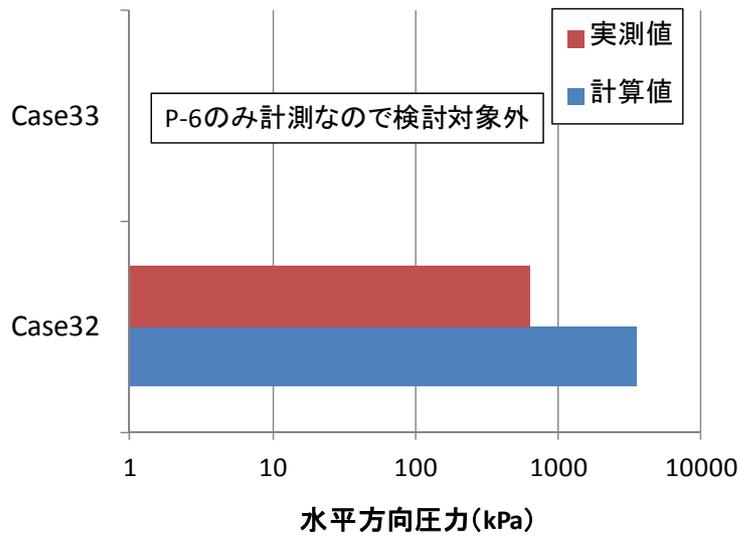


図 3.3.88 水平方向衝突圧の計算値と実測値の比較

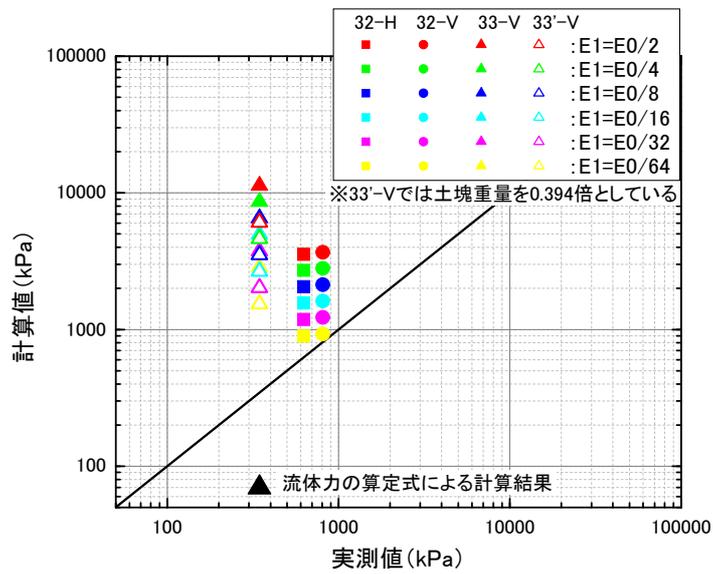


図 3.3.89 剛性に関する感度分析結果

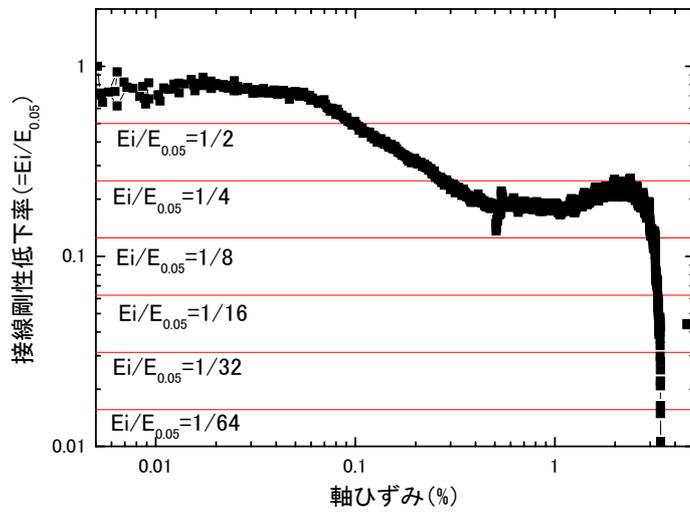


図 3.3.90 一軸圧縮試験による表層の接線剛性低下率

(4) 要素試験結果

①一軸圧縮試験

一軸圧縮試験結果は、表 3.3.5~表 3.3.6 ならびに図 3.3.91~図 3.3.100 に示すとおりである。

表 3.3.5 一軸圧縮試験結果一覧

試験名*	配合 条件	一軸圧縮応力 $q_u$ (kPa)	平均一軸圧縮応力 $ave\_q_u$ (kPa)	粘着力 $c (= q_u/2)$ (kPa)	試験後 含水比(%)
UC-1	配合⑧	244	256	128	10.5
UC-2		245			10.5
UC-3		279			10.5
UC-4		168	202	101	11.7
UC-5		238			11.1
UC-6		201			11.0
UC-7		180	236	118	11.0
UC-8		242			10.9
UC-9		285			10.3
UC-10	配合⑧	777	471	236	8.2
UC-11		194			8.9
UC-12		443			9.4
UC-13	配合⑧	346	338	169	10.5
UC-14		338			11.0
UC-15		329			11.0
UC-16		393	355	178	10.6
UC-17		352			10.6
UC-18		320			10.7
UC-19		345	358	179	9.8
UC-20		339			10.1
UC-21		390			10.2

\*UC1~9：斜面模型ケース 32 模型構築試料、UC10~12：斜面模型ケース 32 加振後サンプリング試料

\*UC13~21：斜面模型ケース 33 模型構築試料、UC22~24：斜面模型ケース 33 加振後サンプリング試料

表 3.3.6 一軸圧縮試験結果一覧

試験名*	配合条件	一軸圧縮応力 q <sub>u</sub> (kPa)	平均一軸圧縮応力 ave_q <sub>u</sub> (kPa)	粘着力 c (= q <sub>u</sub> /2) (kPa)	供試体作製時 含水比(%)
UC-22	配合⑧	658	629	315	6.0
UC-23		589			8.5
UC-24		641			7.9
UC-25	表層 C5	1722	1777	889	14.9
UC-26		1715			16.0
UC-27		1895			14.8
UC-28	表層 C8	1854	1880	940	15.7
UC-29		1718			16.0
UC-30		2068			15.9

\*UC25~30 : 室内作製試料

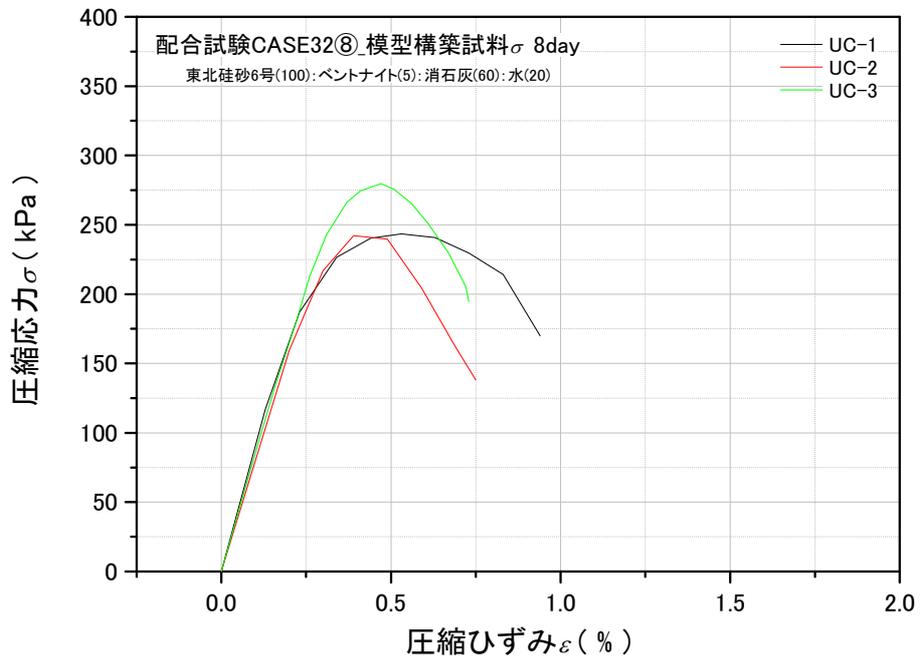


図 3.3.91 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-1~3

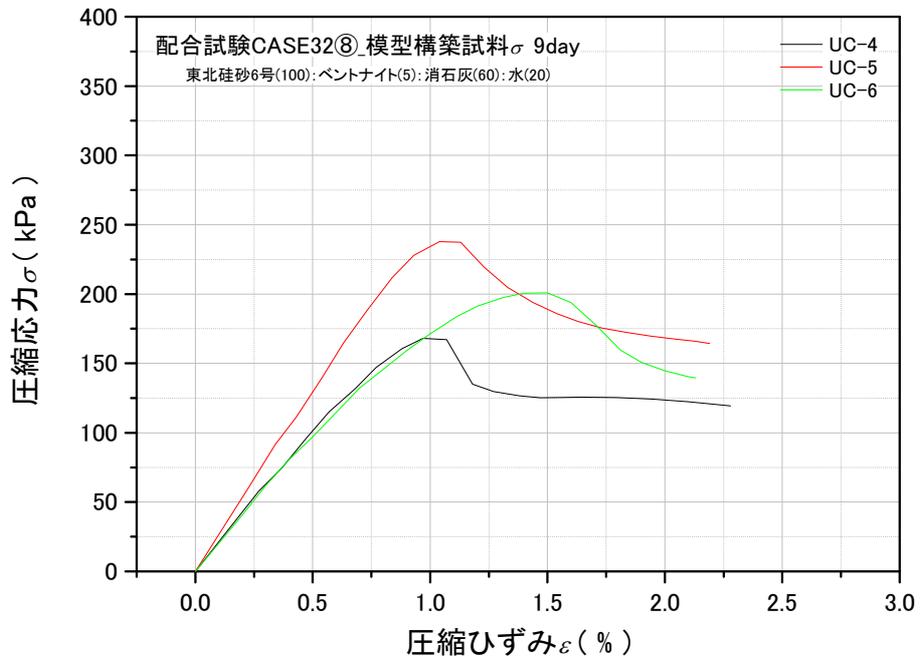


図 3.3.92 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-4~6

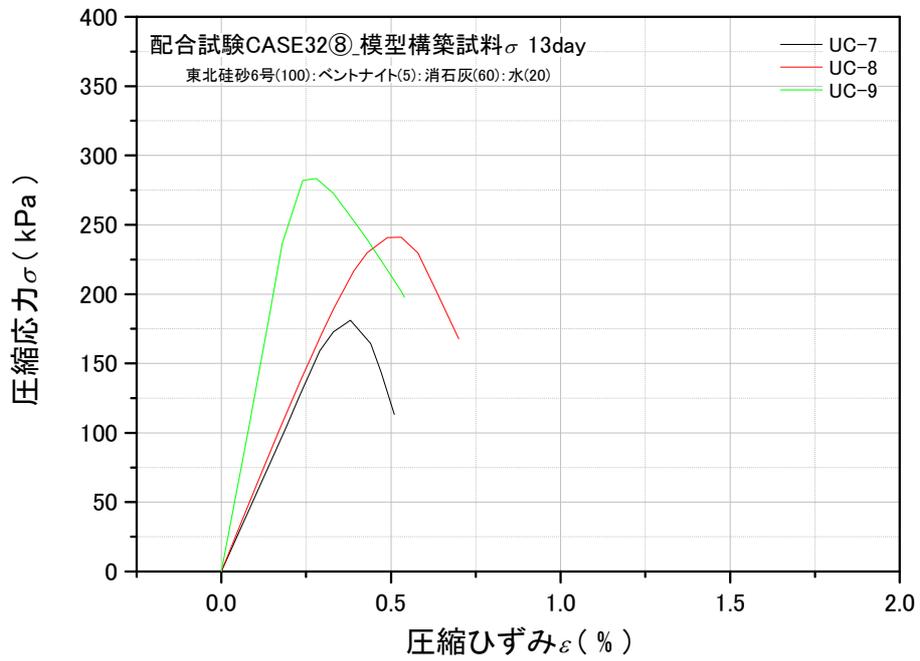


図 3.3.93 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-7~9

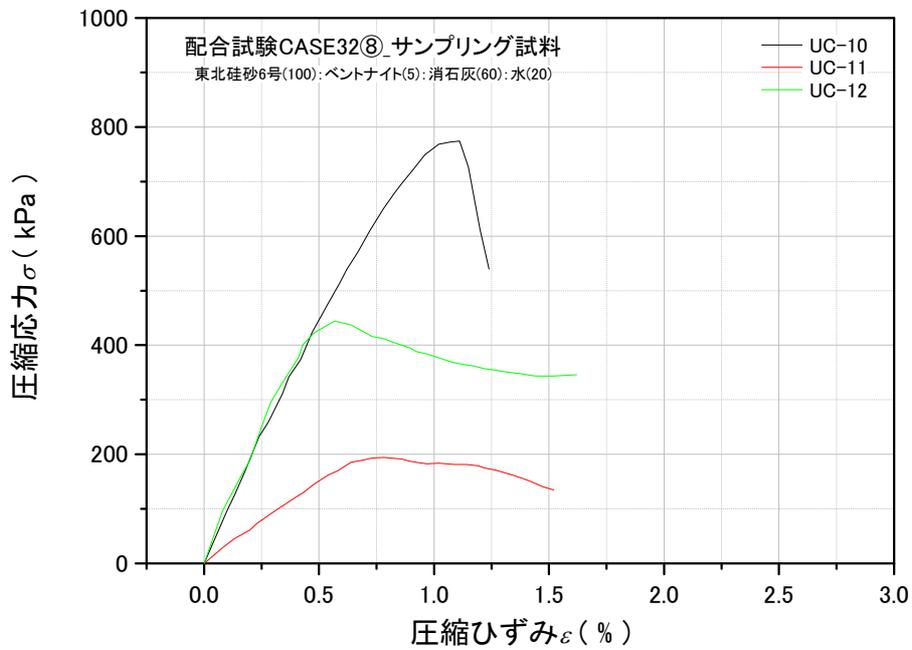


図 3.3.94 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-10~12

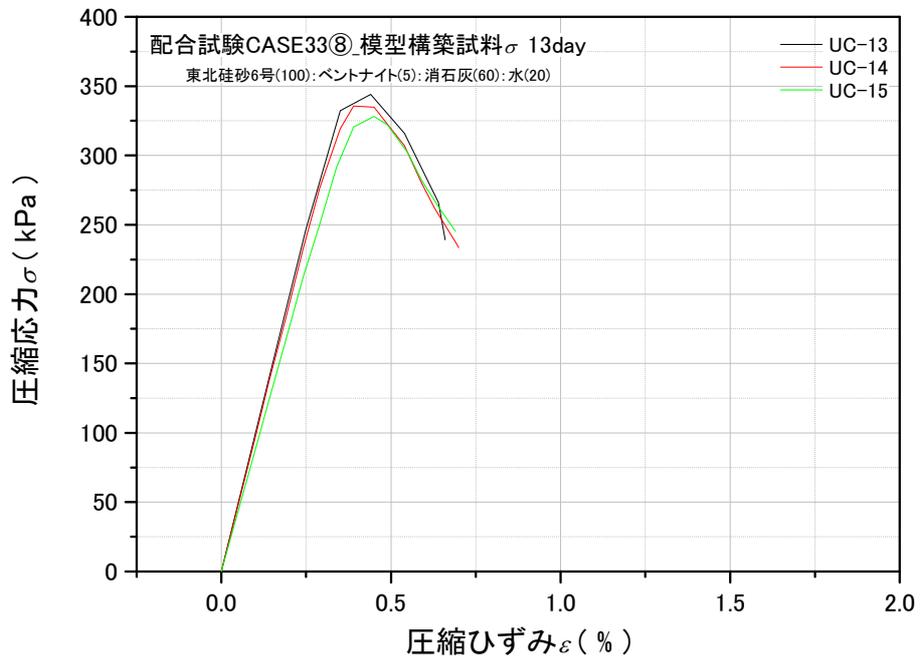


図 3.3.95 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-13~15

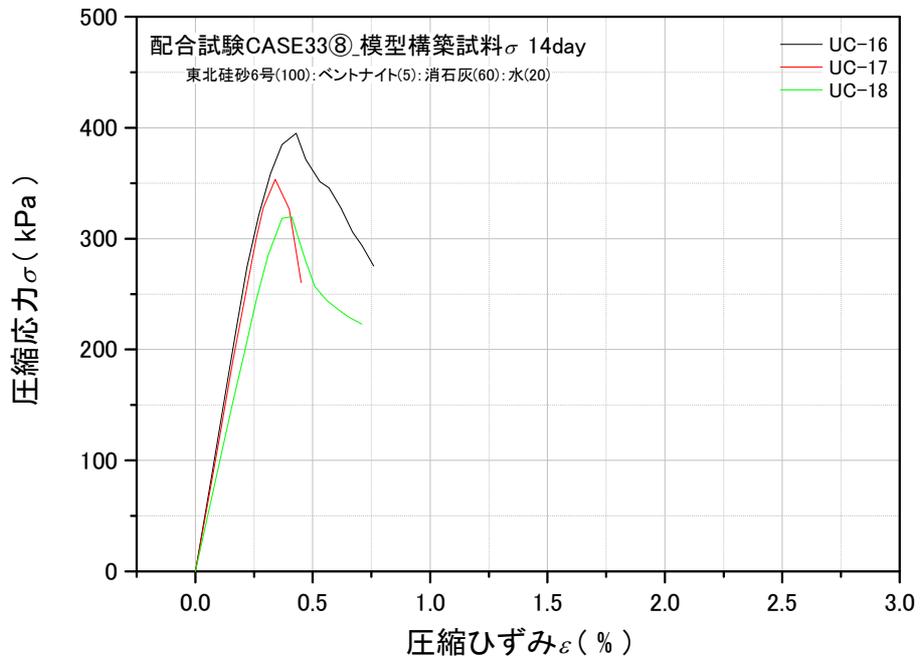


図 3.3.96 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-16~18

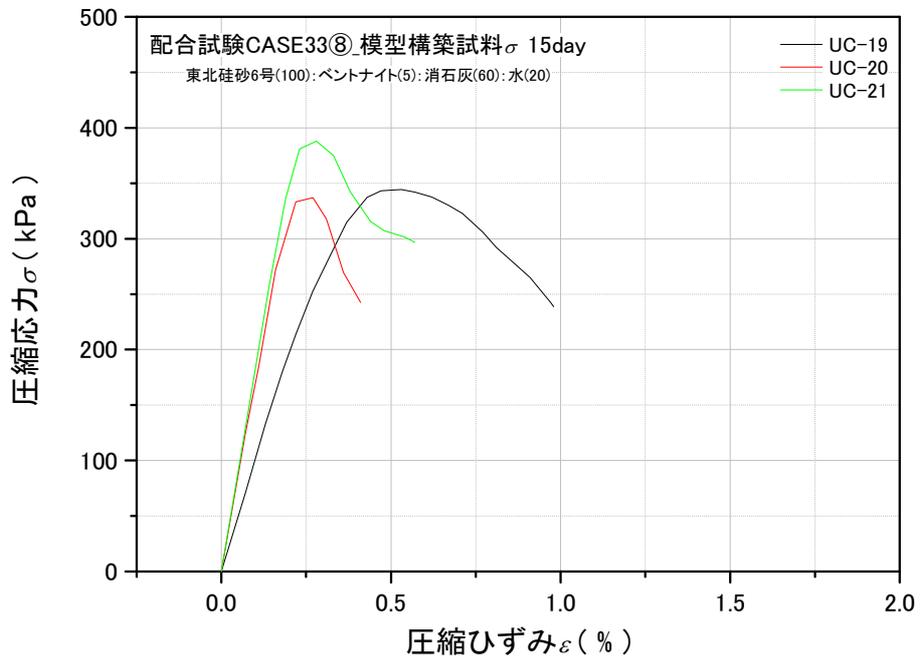


図 3.3.97 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-19~21

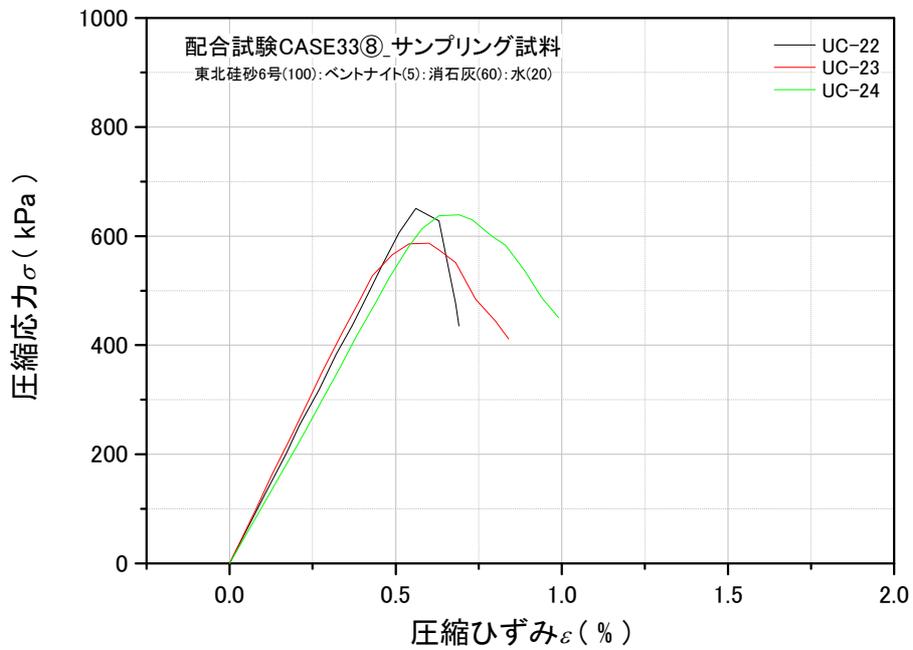


図 3.3.98 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-22~24

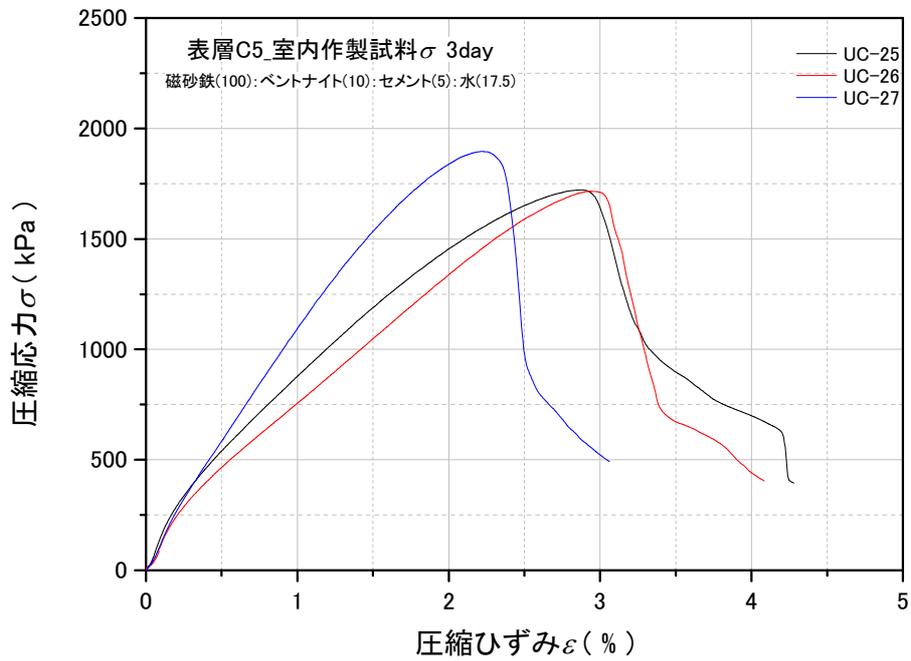


図 3.3.99 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-25~27

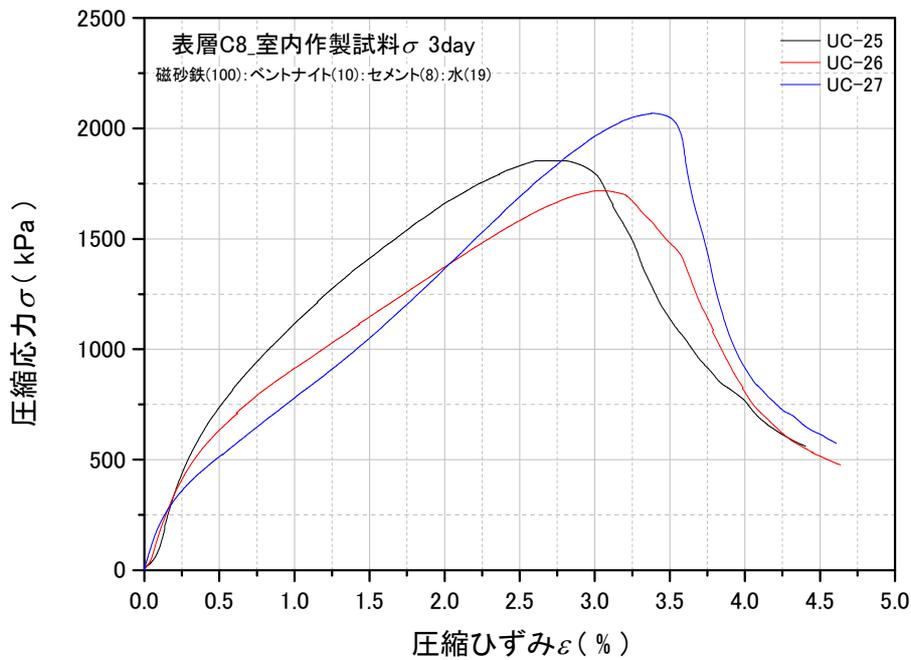


図 3.3.100 一軸圧縮応力 - 軸ひずみ関係\_UC-28~30

②三軸圧縮試験

三軸圧縮試験結果は、表 3.3.7 ならびに図 3.3.101~図 3.3.130 に示すとおりである。

表 3.3.7 三軸圧縮試験結果一覧

試験名	配合条件	養生日数(日)	拘束圧 $\sigma_r$ (kPa)	ピーク強度 $q_{max}$ (kPa)	破壊ひずみ $\epsilon_f$ (%)	残留強度 $q_{res}$ (kPa)	peak		res		試験後含水比(%)	
							$c_d$ (kPa)	$\phi_d$ (deg.)	$c_d$ (kPa)	$\phi_d$ (deg.)		
TC-1	配合⑧	8	50	433.5	1.5	264.6	62.5	37.3	20.1	39.6	10.8	
TC-2			200	820.6	9.3	785.9					10.6	
TC-3			400	1497.6	15.1	1497.6					10.8	
TC-4		9	13	50	382.9	2.3	259.7	72.5	32.5	39.0	34.8	11.2
TC-5				200	725.6	15.2	725.6					11.0
TC-6				400	1195.7	15.3	1195.7					11.3
TC-7		配合⑧	17	50	465.6	1.5	264.3	80.4	35.5	27.9	38.4	10.4
TC-8				200	843.5	6.0	797.0					10.5
TC-9				400	1432.2	12.6	1413.0					10.3
TC-10	18		19	50	599.4	1.2	304.2	96.8	37.1	25.5	40.1	10.4
TC-11				200	906.9	8.0	808.1					10.0
TC-12				400	1635.6	11.5	1564.5					10.3
TC-13	18		19	50	575.5	1.2	296.1	108.2	36.5	28.1	40.3	10.6
TC-14				200	1018.7	5.5	871.1					10.7
TC-15				400	1604.3	11.7	1581.8					10.4
TC-16	19	19	50	593.1	1.5	340.0	89.8	37.2	39.4	38.4	10.5	
TC-17			200	856.7	7.7	799.7					10.6	
TC-18			400	1622.3	11.2	1486.4					10.4	

\*TC1~9 : 斜面模型ケース 32 模型構築試料、TC10~18 : 斜面模型ケース 33 模型構築試料

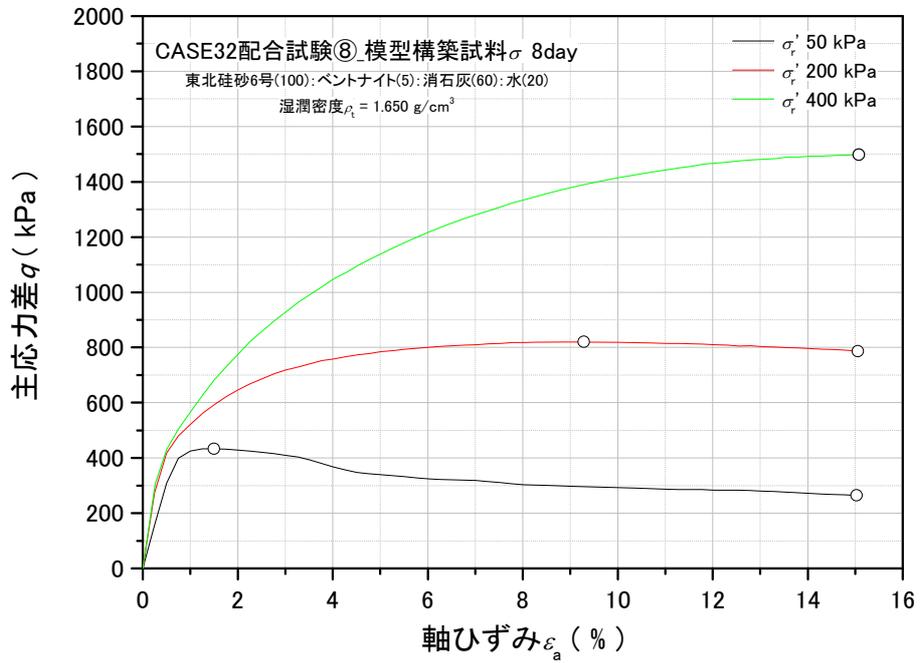


図 3.3.101 主応力差 - 軸ひずみ関係\_TC-1~3

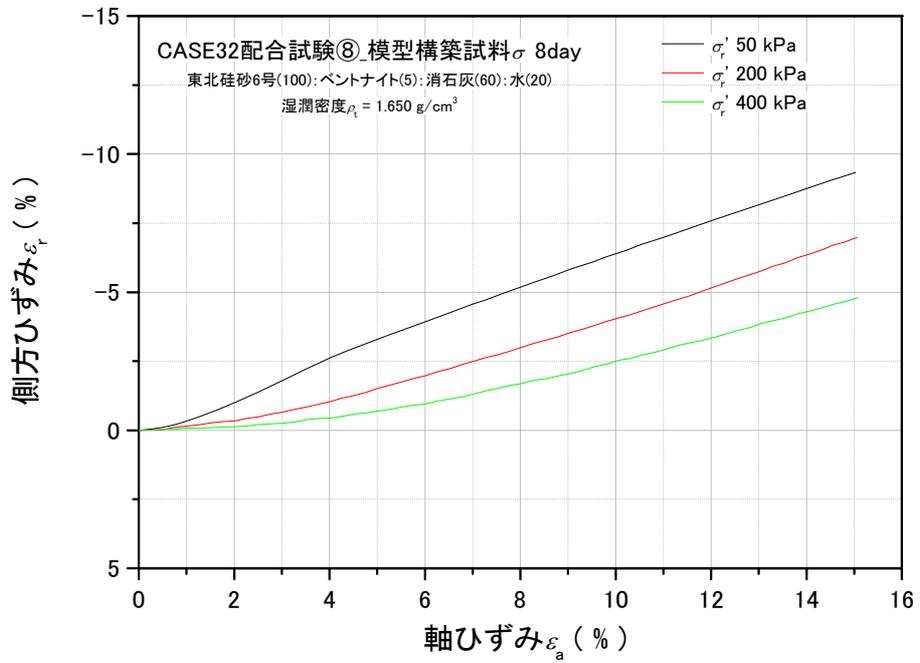


図 3.3.102 側方ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-1~3

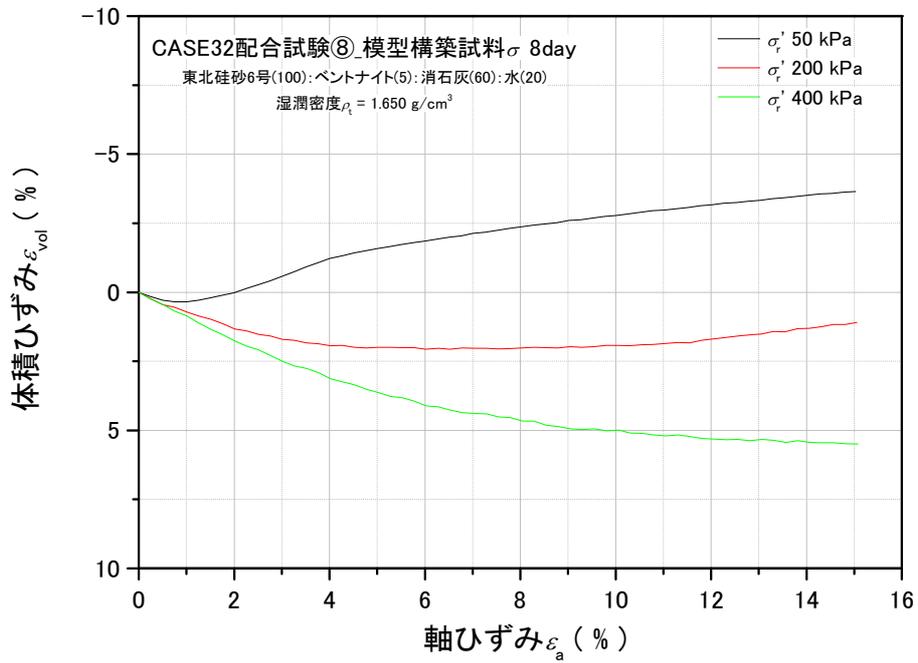


図 3.3.103 体積ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-1~3

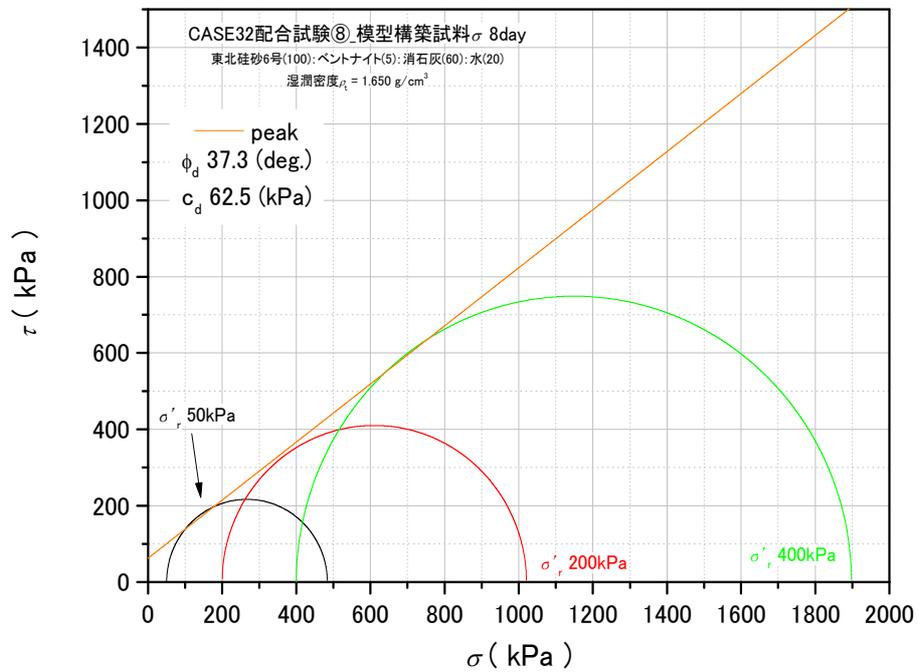


図 3.3.104 モール・クーロンの応力円\_peak\_TC-1~3

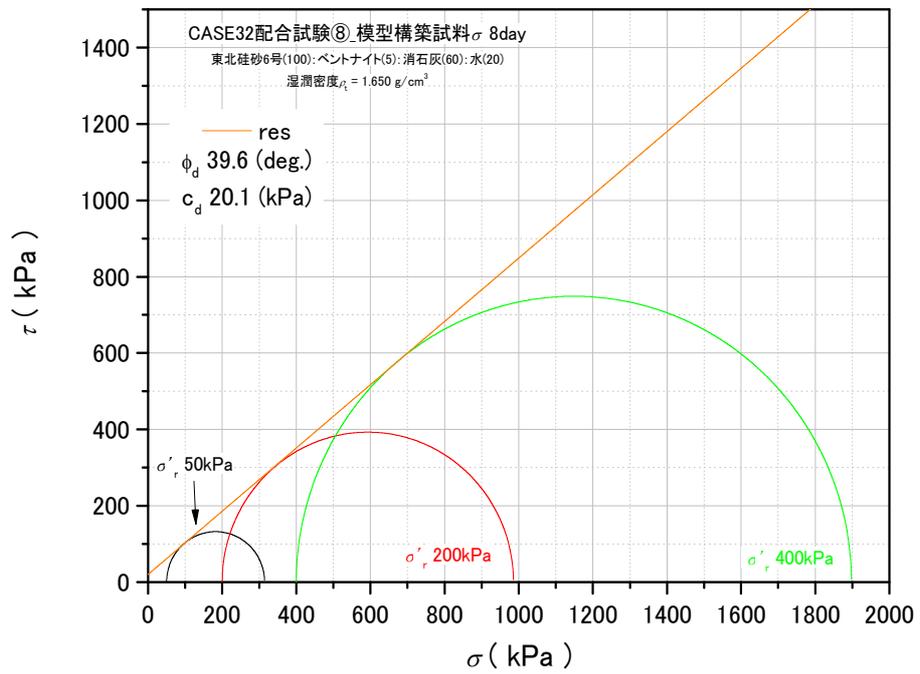


図 3.3.105 モール・クーロンの応力円\_res\_TC-1~3

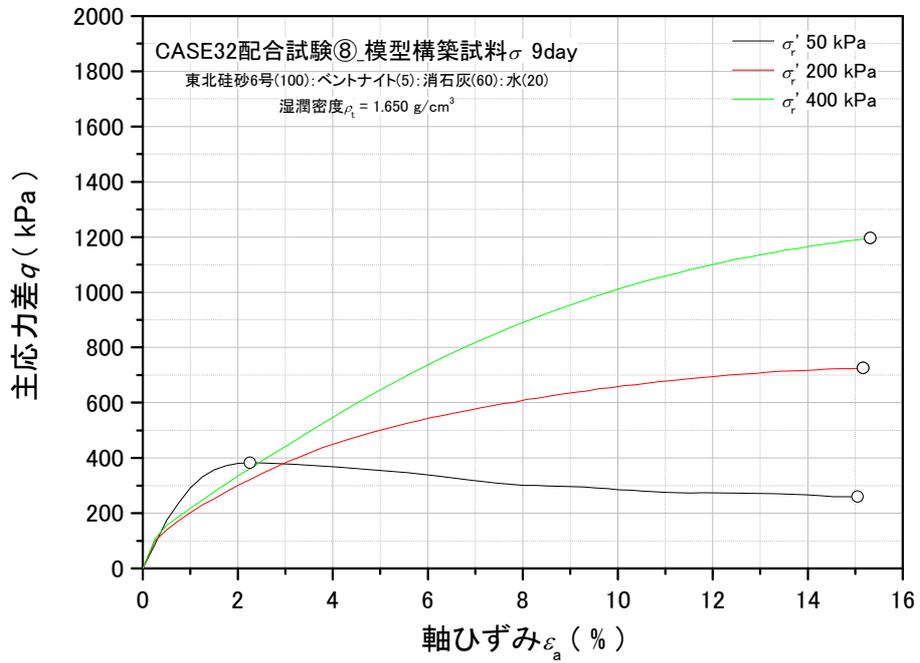


図 3.3.106 主応力差 - 軸ひずみ関係\_TC-4~6

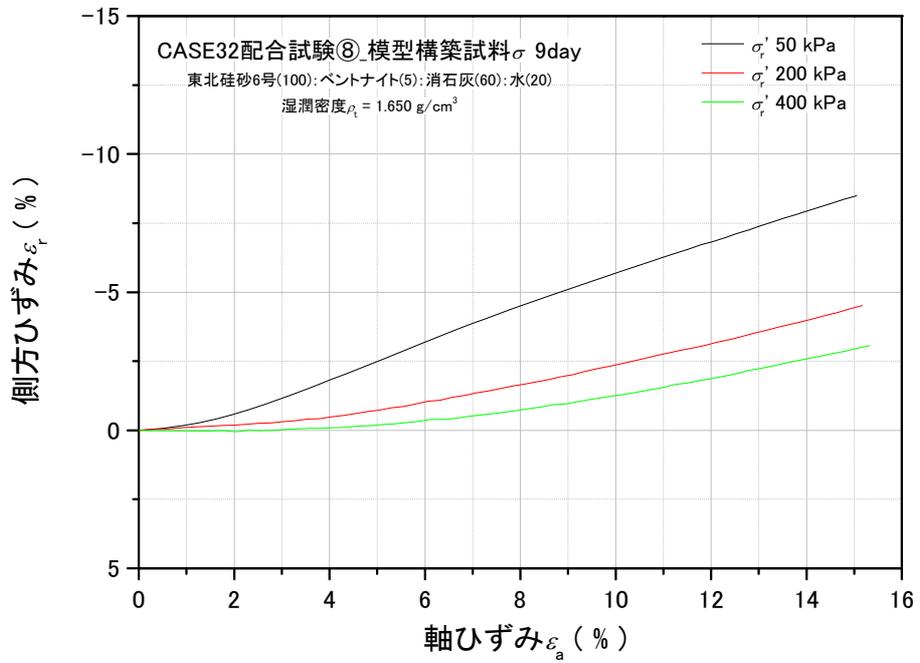


図 3.3.107 側方ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-4~6

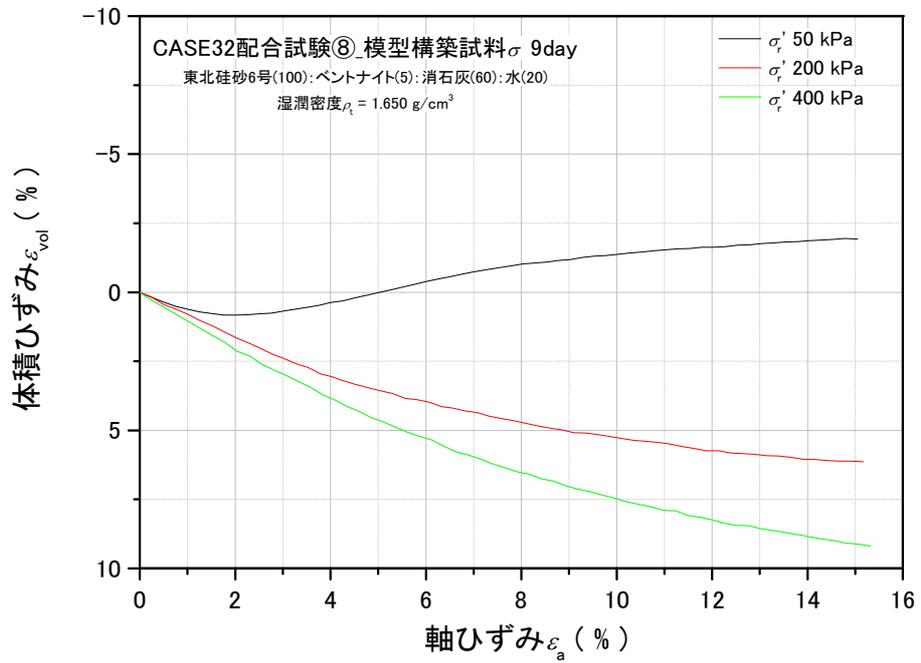


図 3.3.108 体積ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-4~6

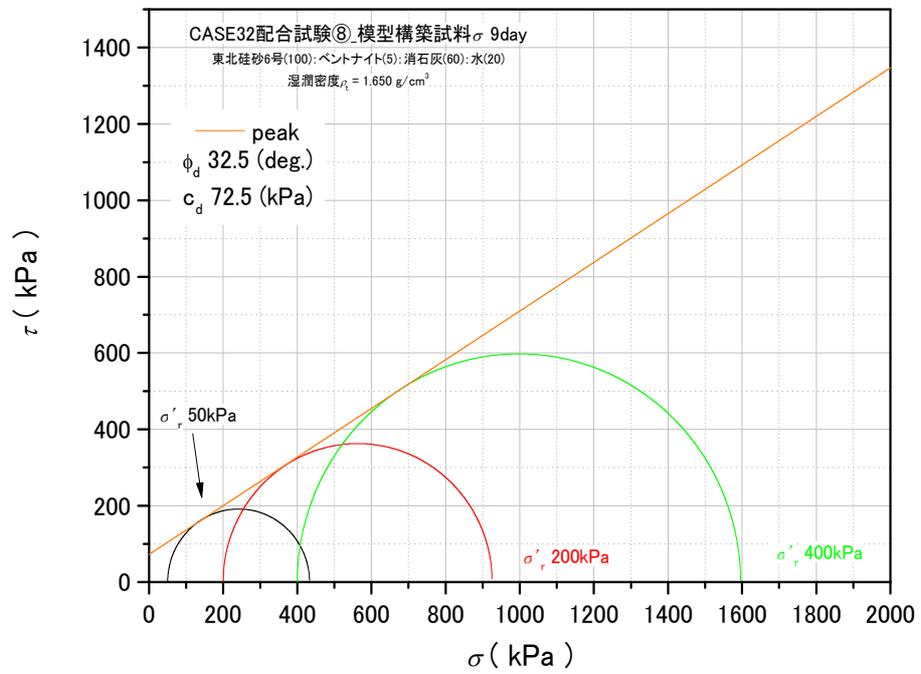


図 3.3.109 モール・クーロンの応力円\_peak\_TC-4~6

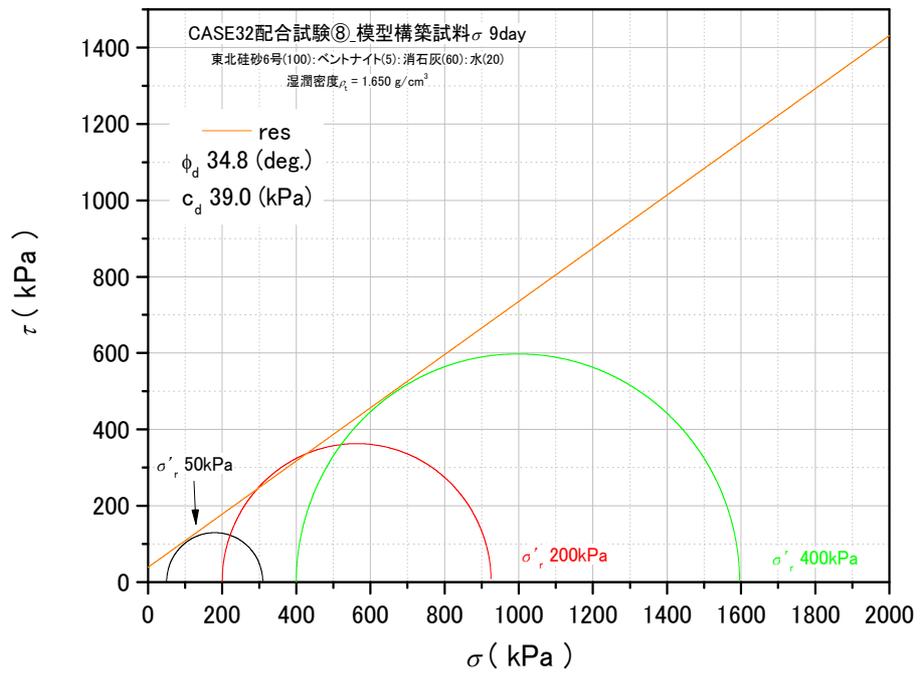


図 3.3.110 モール・クーロンの応力円\_res\_TC-4~6

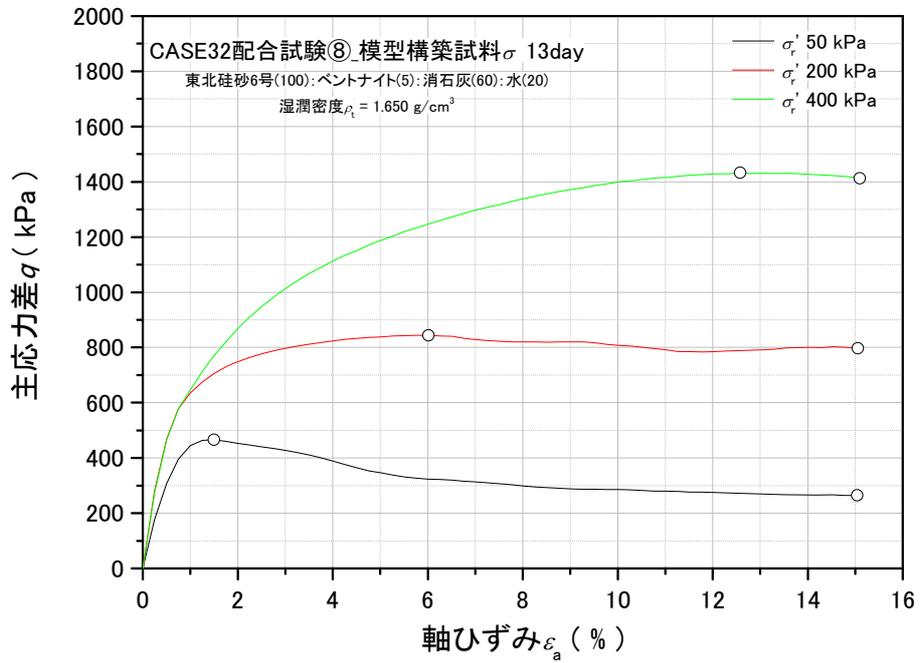


図 3.3.111 主応力差 - 軸ひずみ関係\_TC-7~9

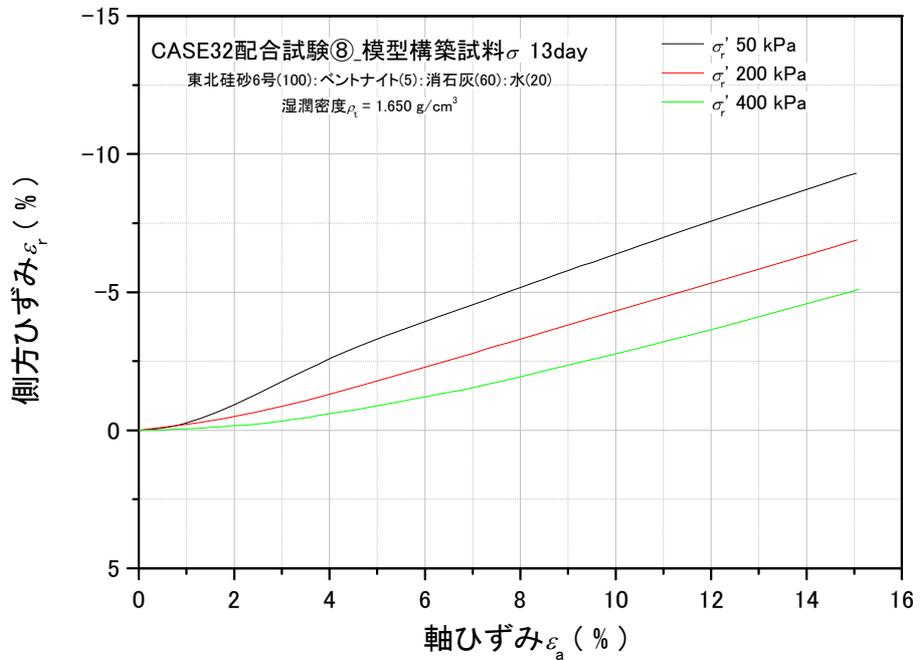


図 3.3.112 側方ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-7~9

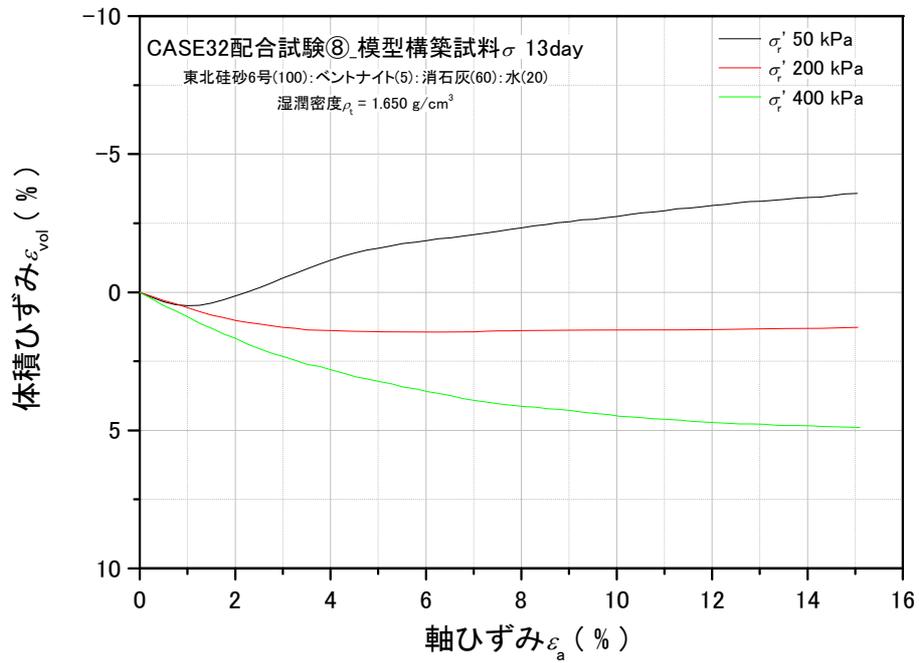


図 3.3.113 体積ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-7~9

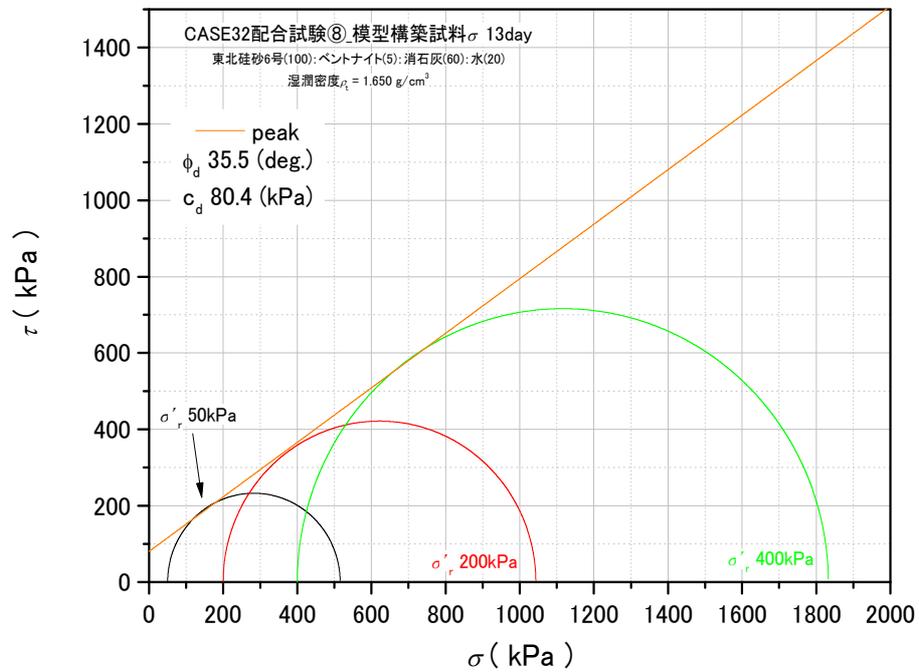


図 3.3.114 モール・クーロンの応力円\_peak\_TC-7~9

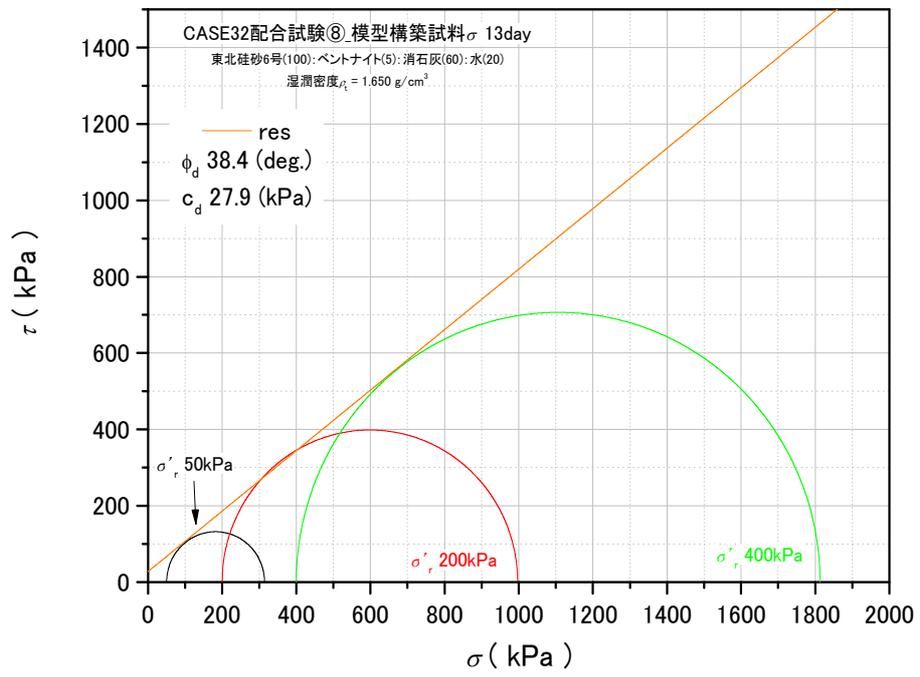


図 3.3.115 モール・クーロンの応力円\_res\_TC-7~9

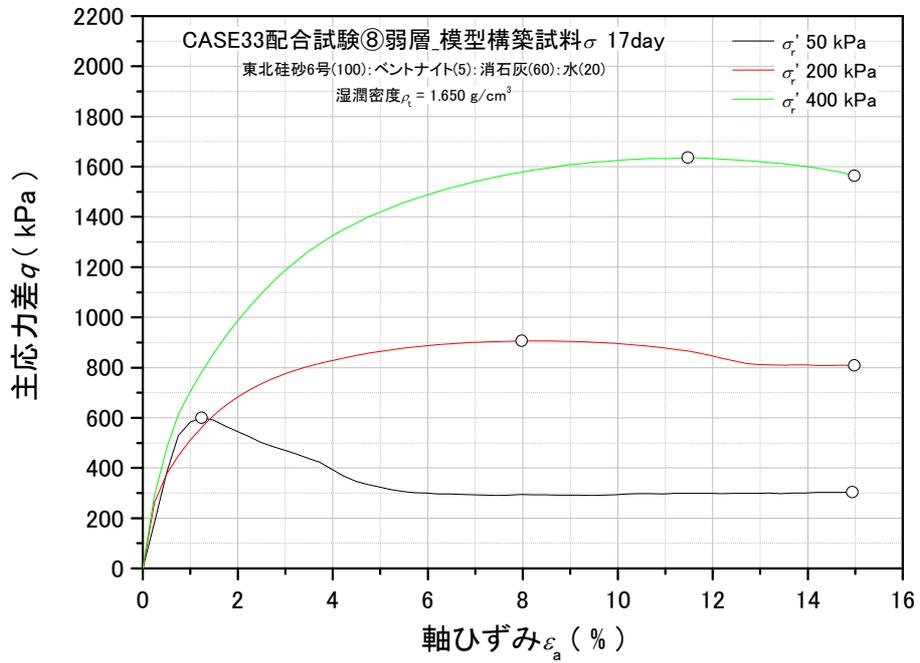


図 3.3.116 主応力差 - 軸ひずみ関係\_TC-10~12

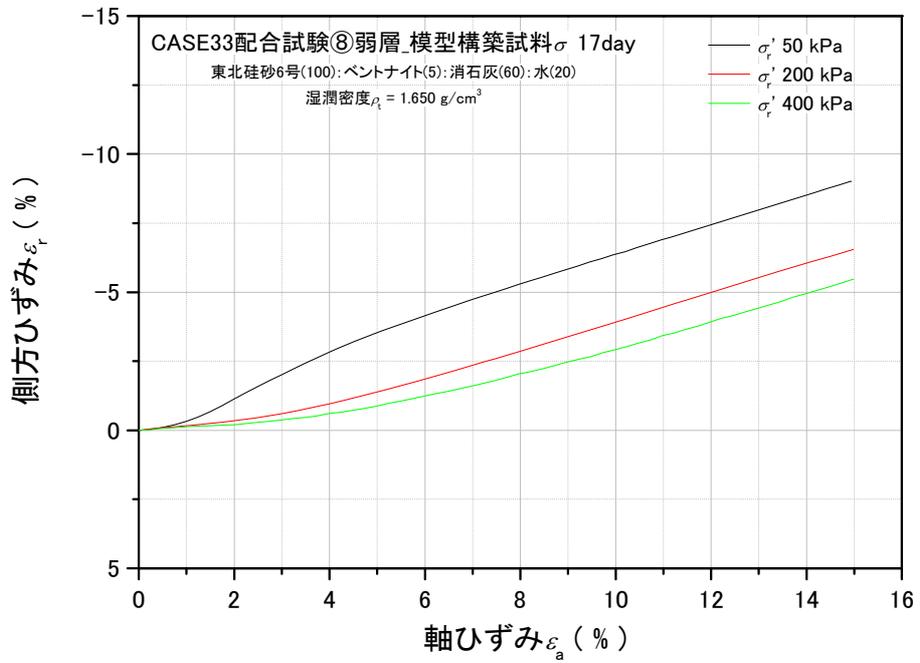


図 3.3.117 側方ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-10~12

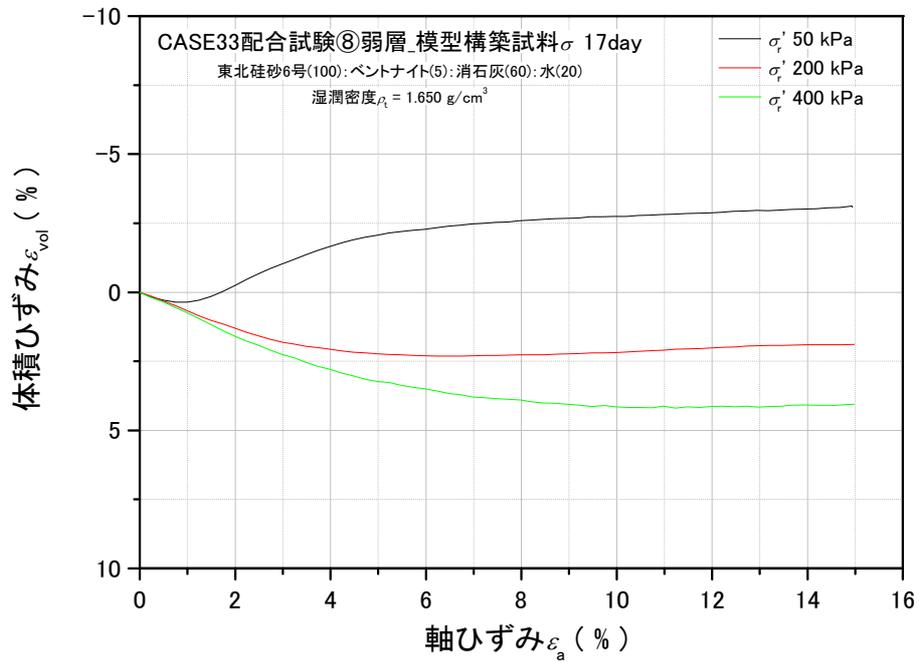


図 3.3.118 体積ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-10~12

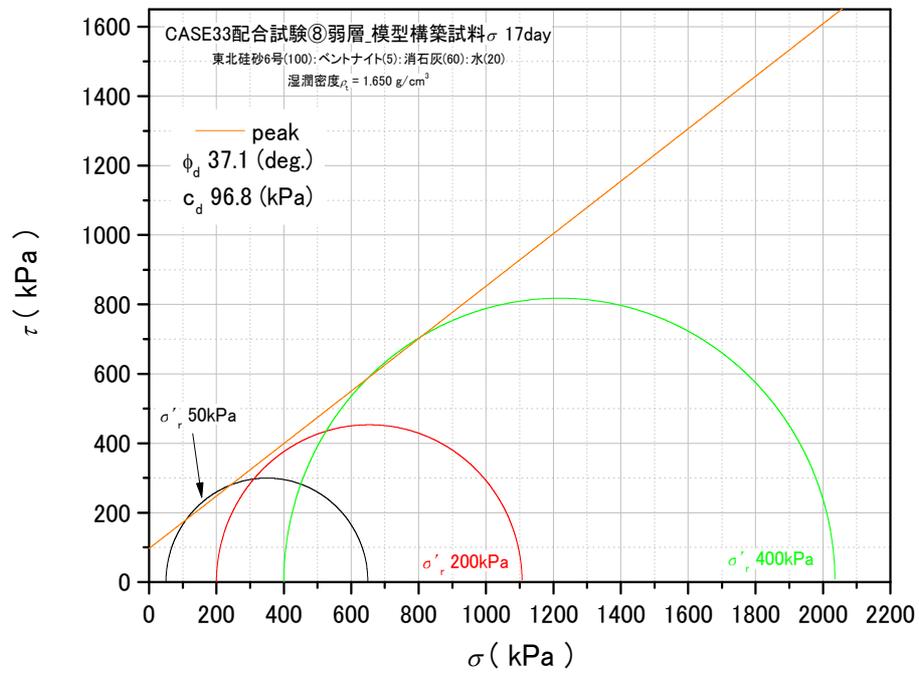


図 3.3.119 モール・クーロンの応力円\_peak\_TC-10~12

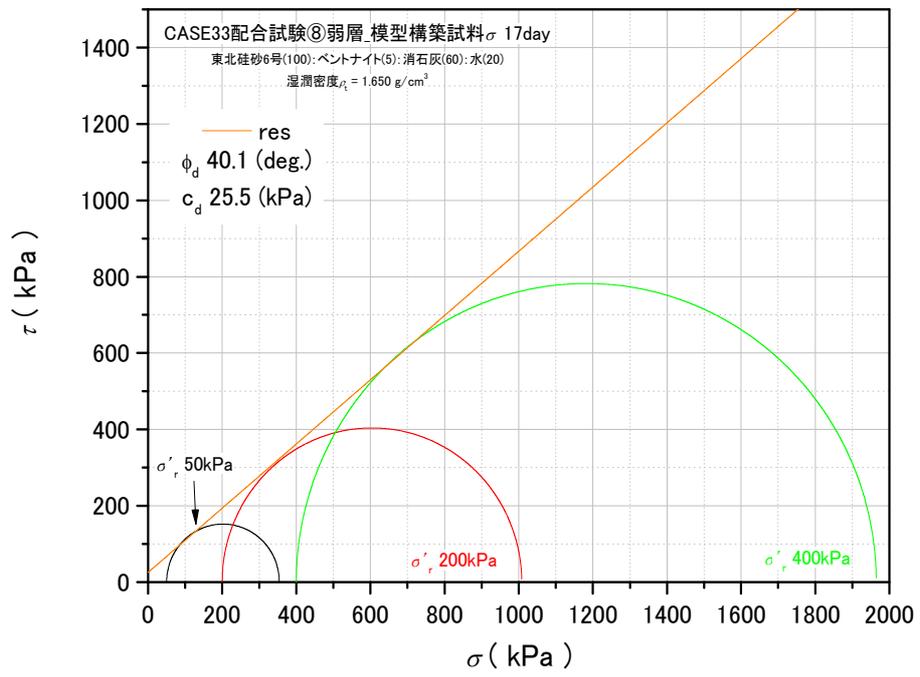


図 3.3.120 モール・クーロンの応力円\_res\_TC-10~12

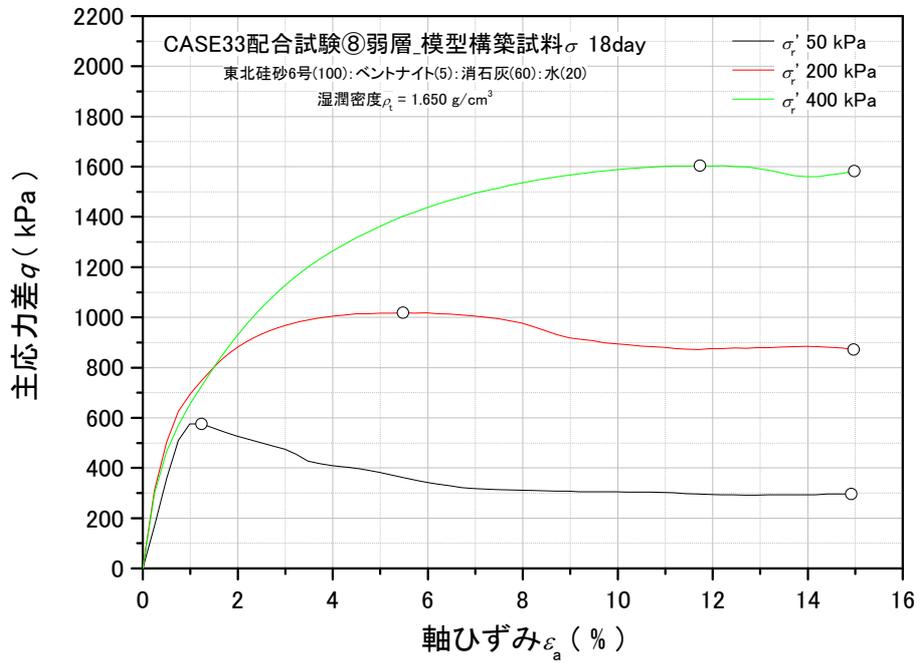


図 3.3.121 主応力差 - 軸ひずみ関係\_TC-13~15

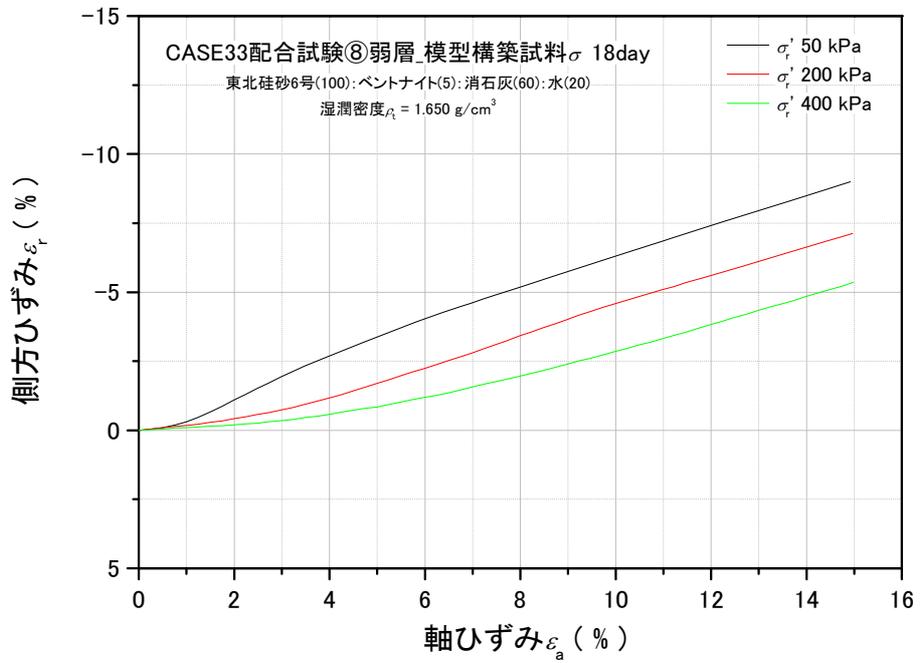


図 3.3.122 側方ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-13~15

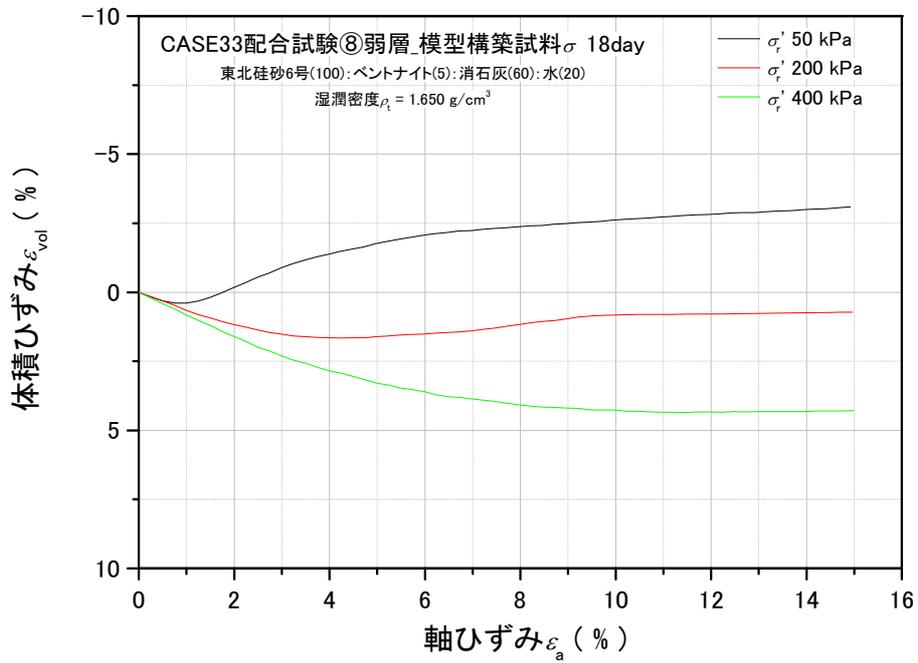


図 3.3.123 体積ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-13~15

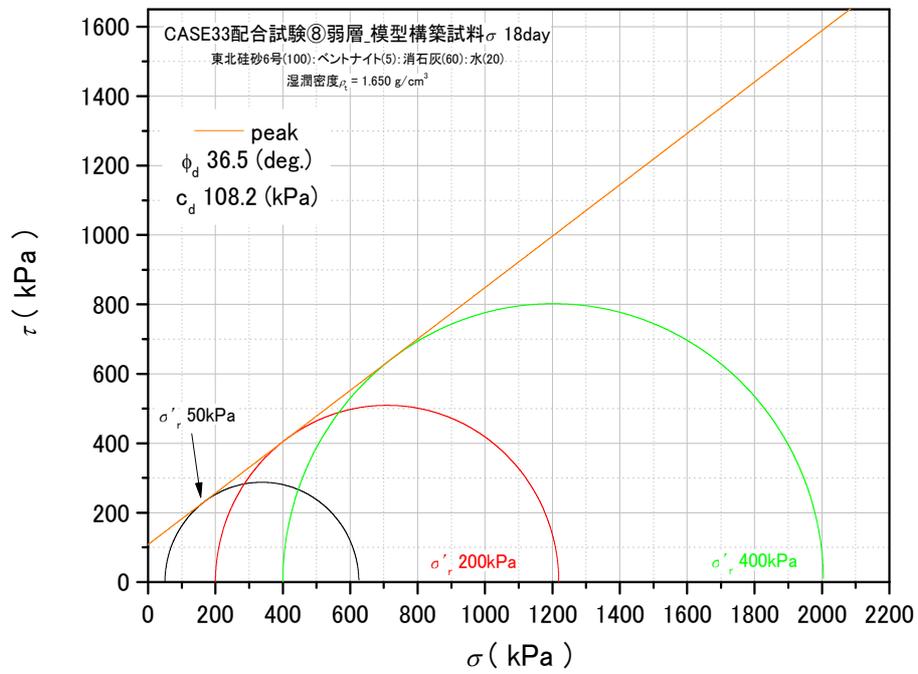


図 3.3.124 モール・クーロンの応力円\_peak\_TC-13~15

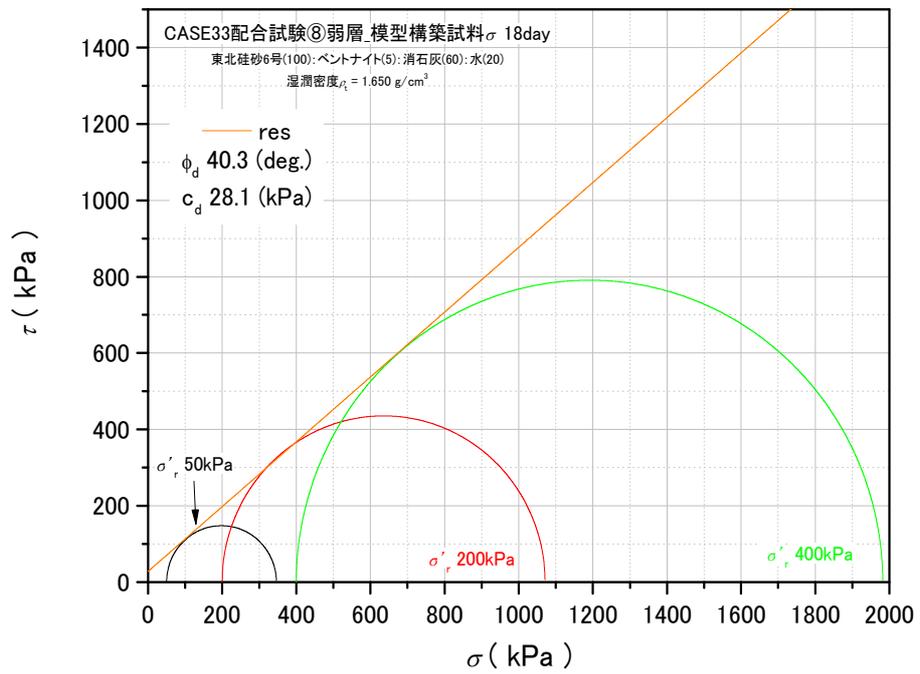


図 3.3.125 モール・クーロンの応力円\_res\_TC-13~15

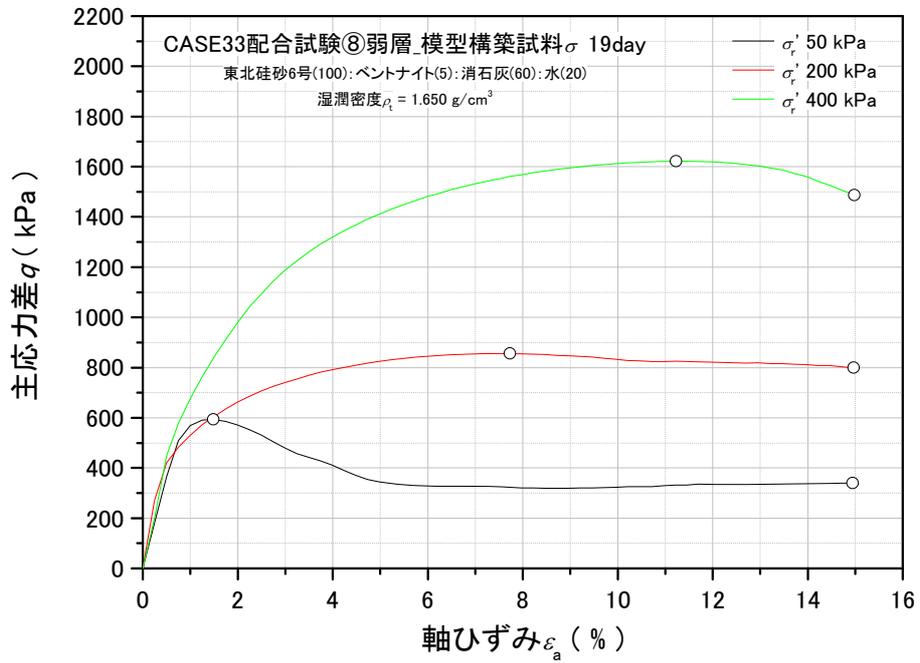


図 3.3.126 主応力差 - 軸ひずみ関係\_TC-16~18

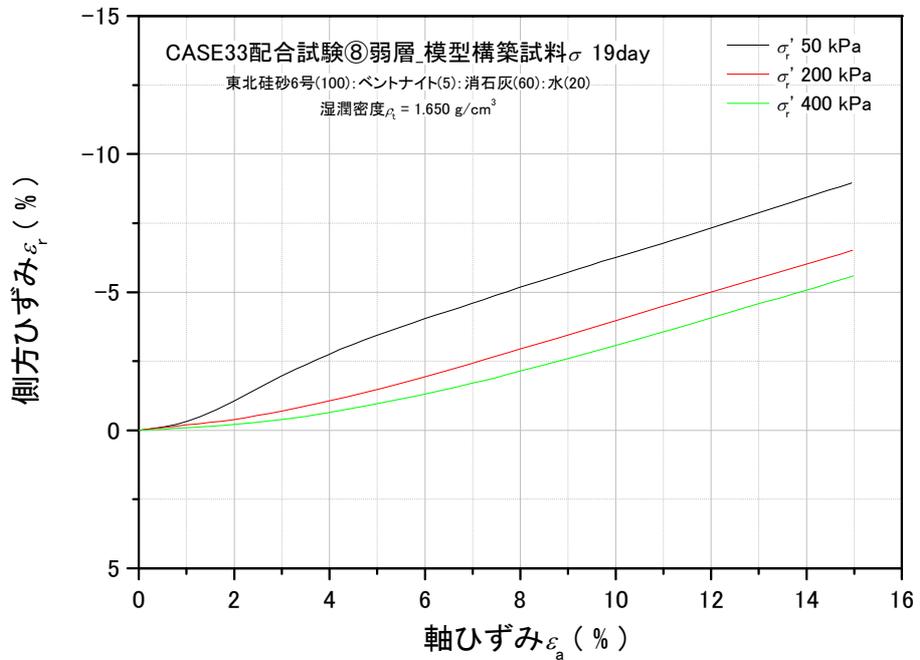


図 3.3.127 側方ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-16~18

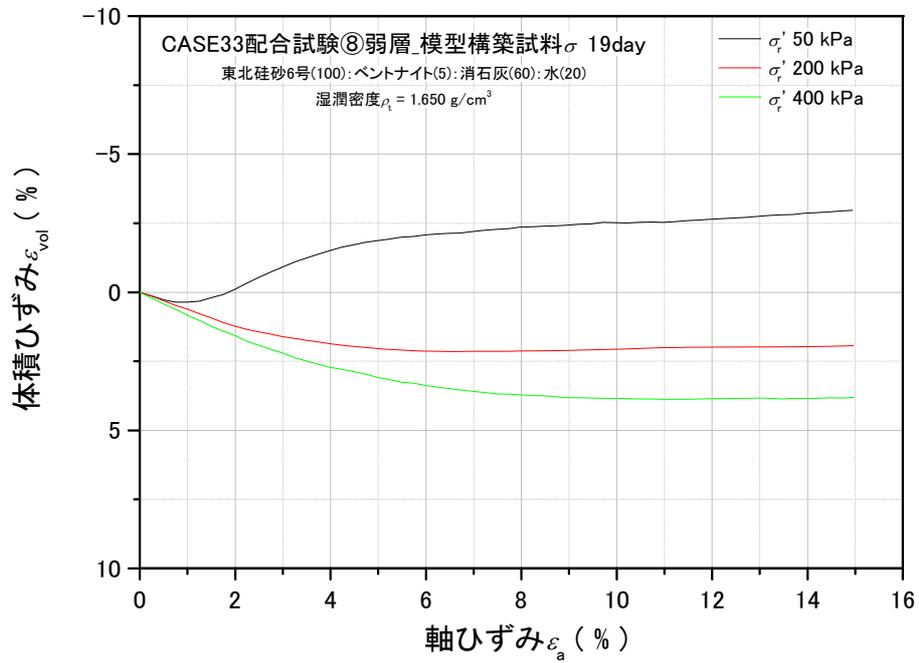


図 3.3.128 体積ひずみ - 軸ひずみ関係\_TC-16~18

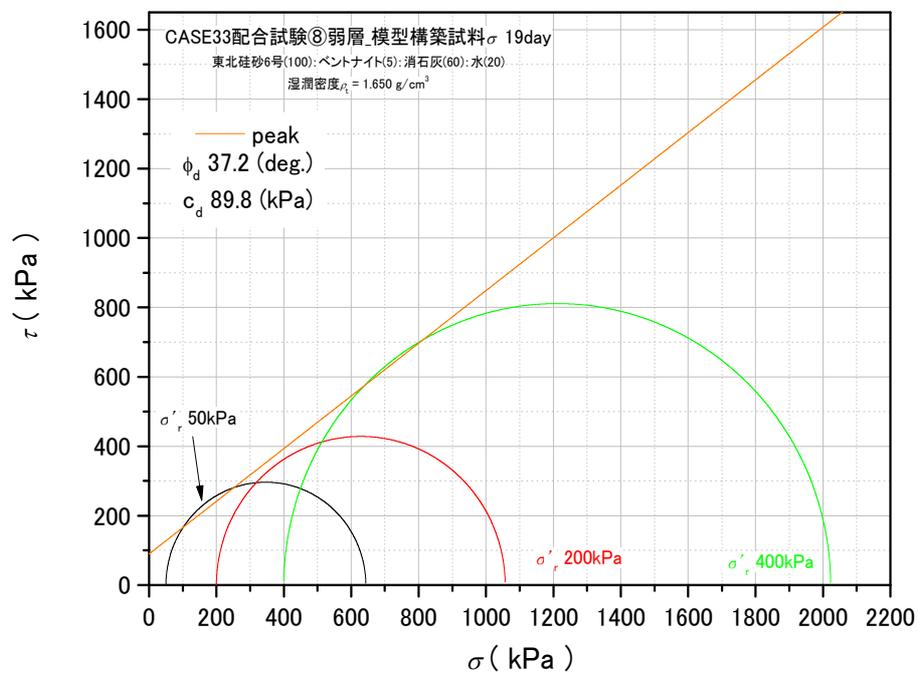


図 3.3.129 モール・クーロンの応力円\_peak\_TC-16~18

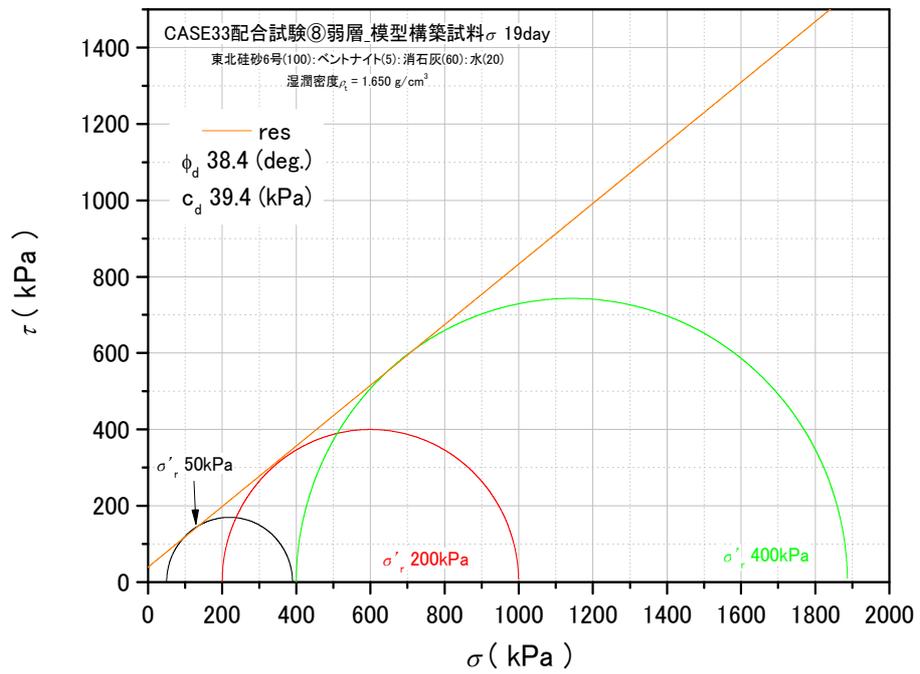


図 3.3.130 モール・クーロンの応力円\_res\_TC-16~18

③三軸圧縮繰返し試験

三軸圧縮繰返し試験結果は、表 3.3.8 および図 3.3.131~図 3.3.136 に示すとおりである。

表 3.3.8 三軸圧縮繰返し試験結果一覧

試験名	配合条件	養生日数 (日)	初期せん断剛性 (MPa)	初期せん断ひずみ片振幅 YSA(%)	試験後含水比 (%)
CYC-1	配合⑧	9	391	0.0016	11.0
CYC-2	配合⑧	12	498	0.0017	11.6
CYC-3	表層	13	1825	0.0008	14.5

\*CYC-1 : 斜面模型ケース 32 模型構築試料、CYC-2~3 : 斜面模型ケース 33 模型構築試料

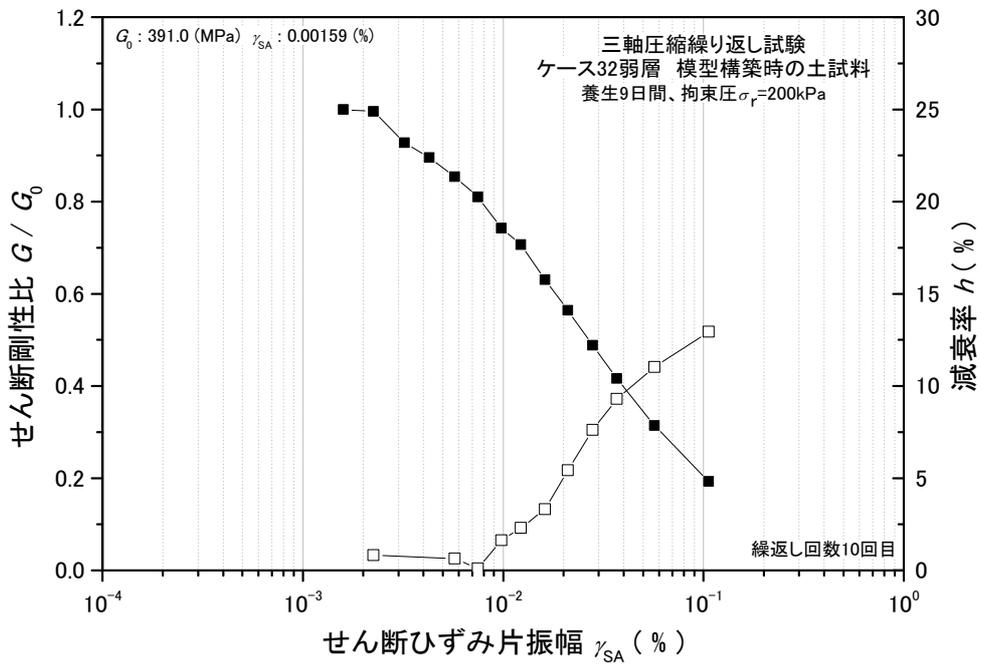


図 3.3.131 せん断剛性比 - 減衰率 - せん断ひずみ片振幅関係\_CYC-1

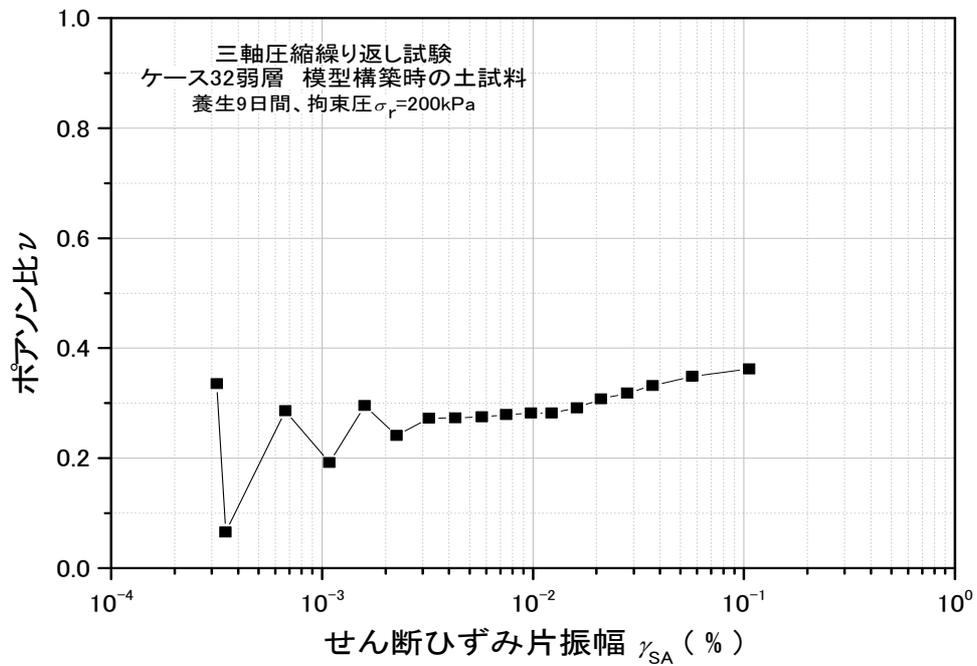


図 3.3.132 ポアソン比 - せん断ひずみ片振幅関係\_CYC-1

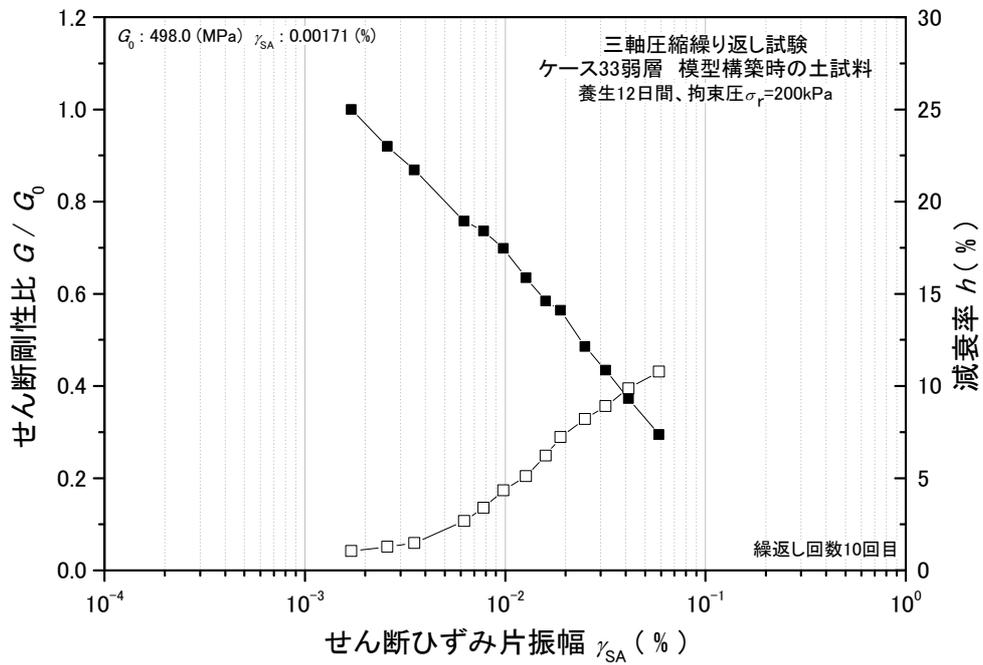


図 3.3.133 せん断剛性比 - 減衰率 - せん断ひずみ片振幅関係\_CYC-2

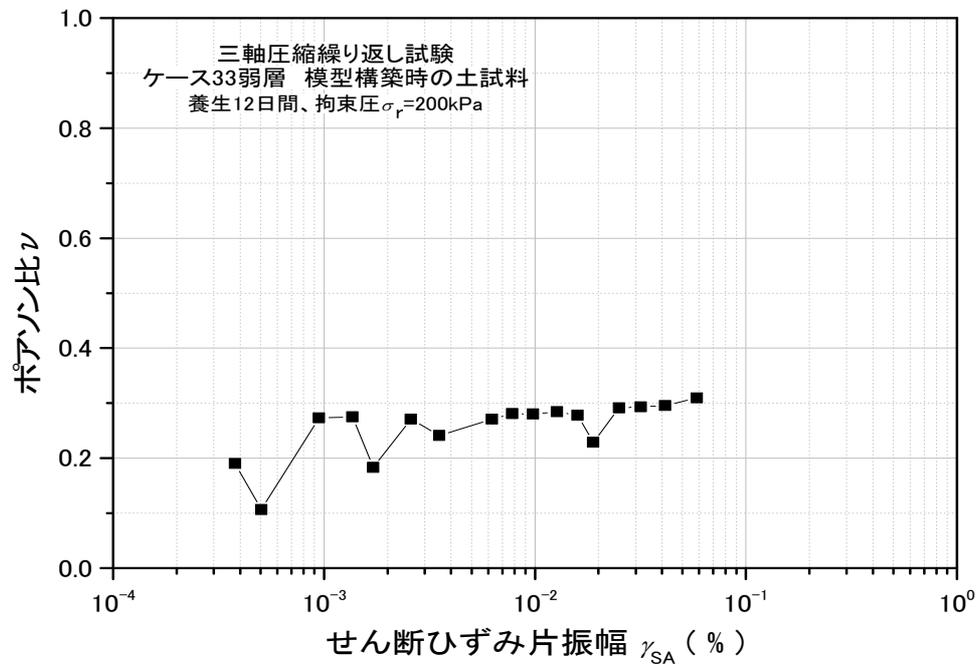


図 3.3.134 ポアソン比 - せん断ひずみ片振幅関係\_CYC-2

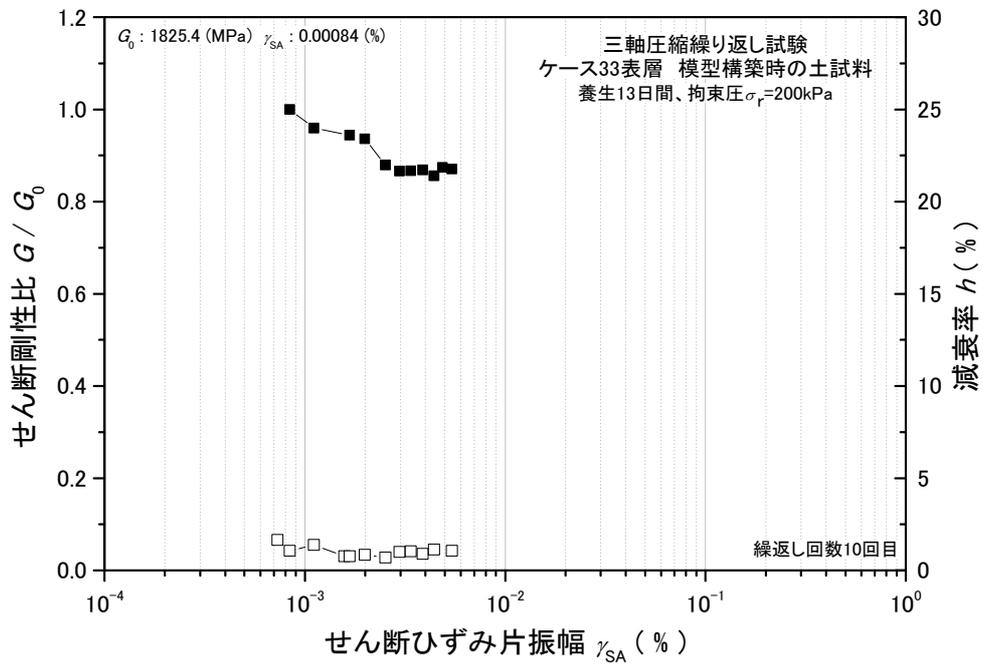


図 3.3.135 せん断剛性比 - 減衰率 - せん断ひずみ片振幅関係\_CYC-3

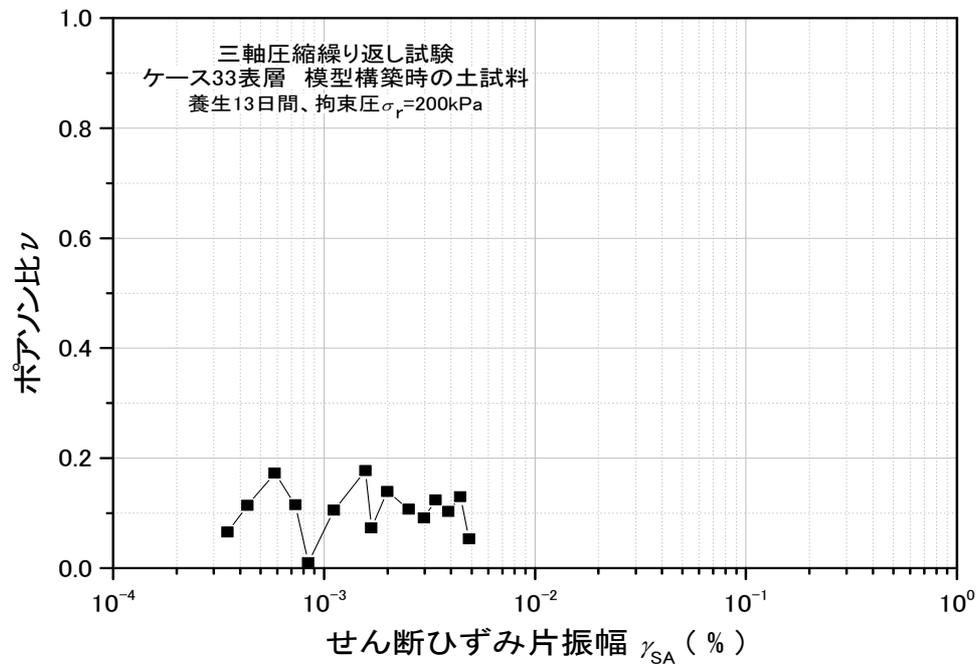


図 3.3.136 ポアソン比 - せん断ひずみ片振幅関係\_CYC-3

④一面せん断試験

一面せん断試験結果は、表 3.3.9 ならびに図 3.3.137~図 3.3.146 に示すとおりである。

表 3.3.9 一面せん断試験結果一覧

試験名*	配合条件	養生日数(日)	拘束圧 $\sigma$ (kPa)	せん断強さ $\tau$ (kPa)	せん断変位 $\delta$ (mm)	残留強度 $\tau_{res}$ (kPa)	peak		res		試験後含水比(%)
							$c_d$ (kPa)	$\phi_d$ (deg.)	$c_d$ (kPa)	$\phi_d$ (deg.)	
DS-1	材料A	14	10	12	0.97	9	3.8	39.7	2.7	30.7	8.7
DS-2			25	26	0.89	17					8.9
DS-3			50	45	1.72	33					8.8
DS-4	材料D	14	20	124	0.75	15	109	35.8	0	43.6	7.9
DS-5			50	145	0.87	50					7.7
DS-6			200	254	1.11	190					7.9

\*DS-1~6：室内作製試料

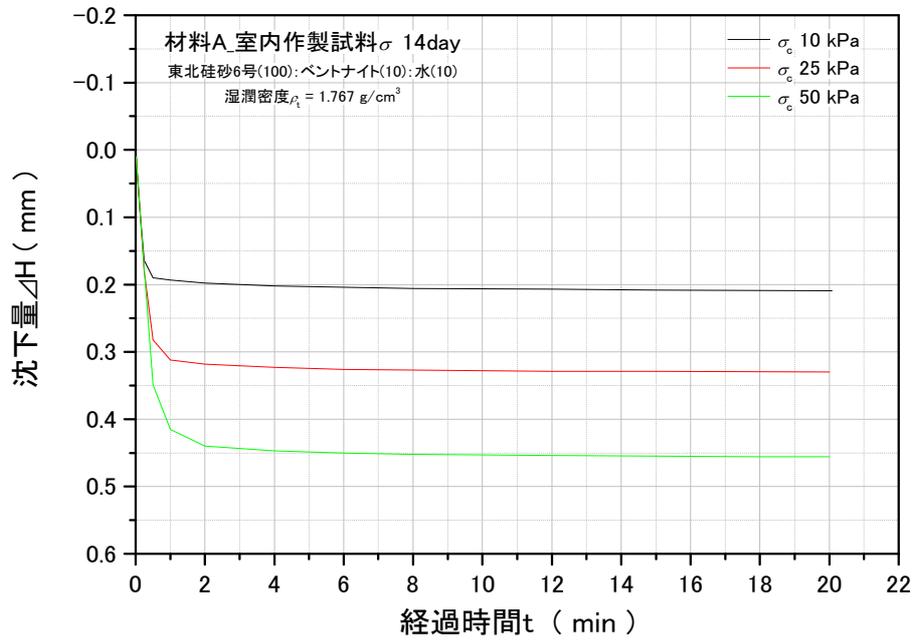


図 3.3.137 沈下量の時刻歴 (圧密過程) \_DS-1~3

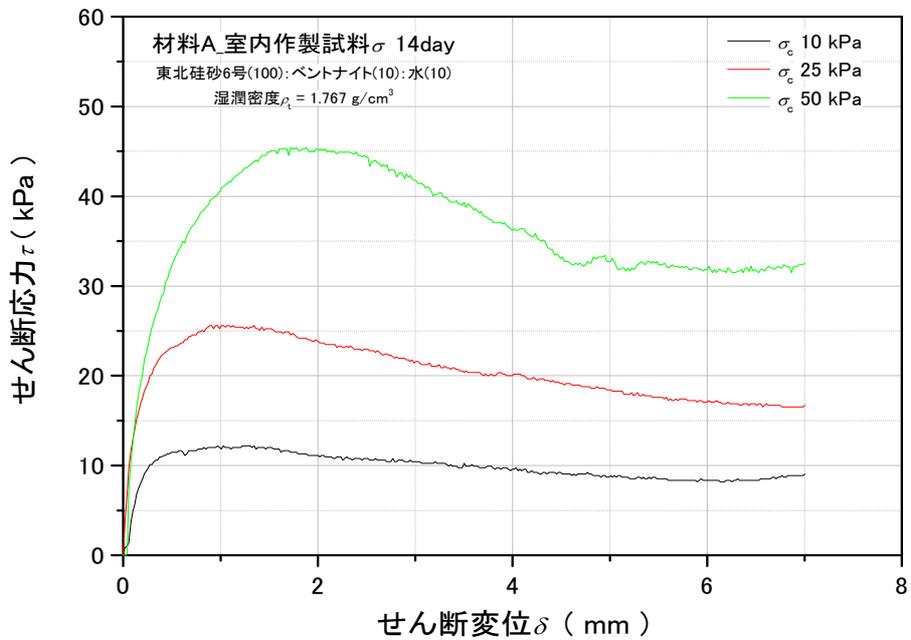


図 3.3.138 せん断応力 - せん断変位関係\_DS-1~3

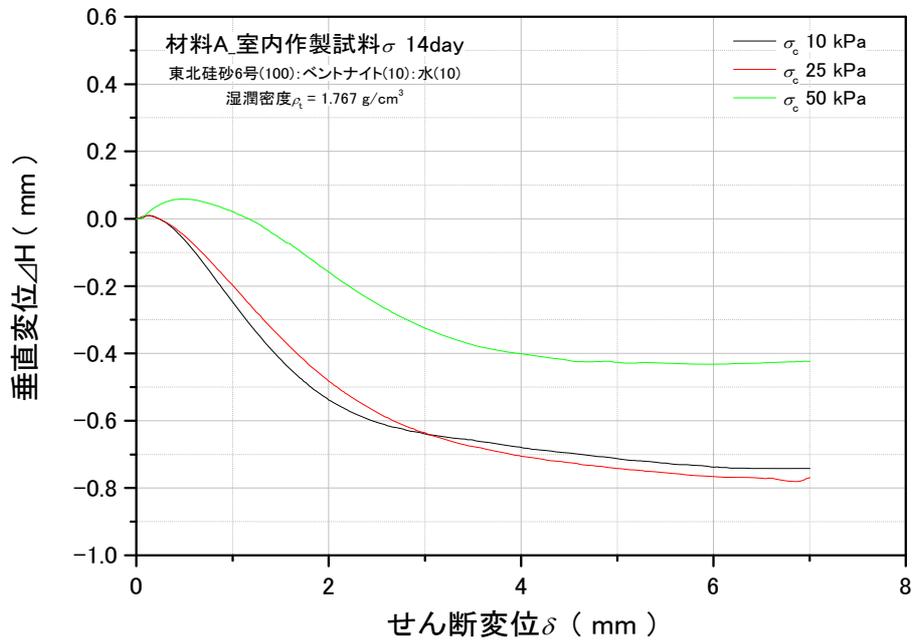


図 3.3.139 垂直変位 - せん断変位関係\_DS-1~3

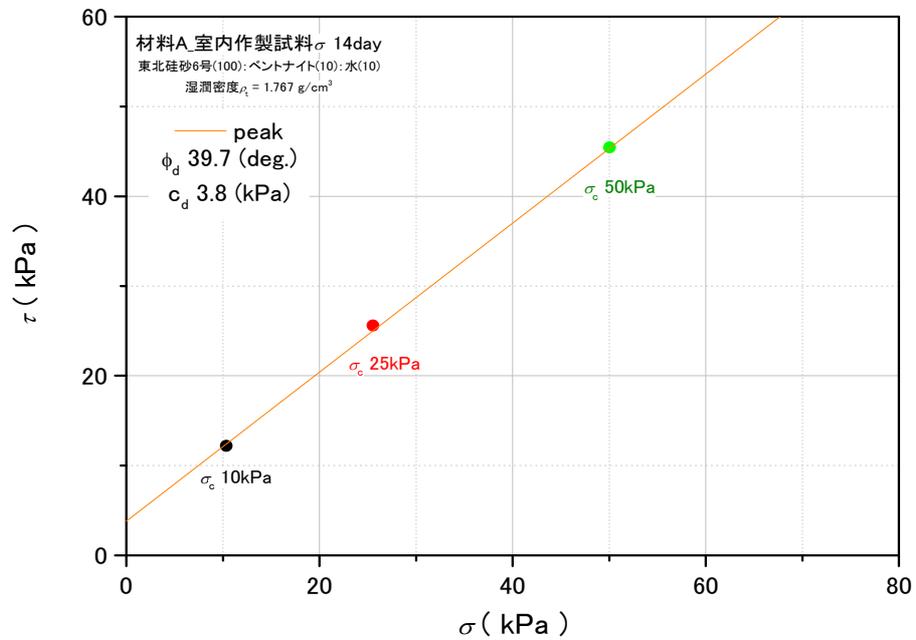


図 3.3.140 せん断応力 - 垂直応力関係\_peak\_DS-1~3

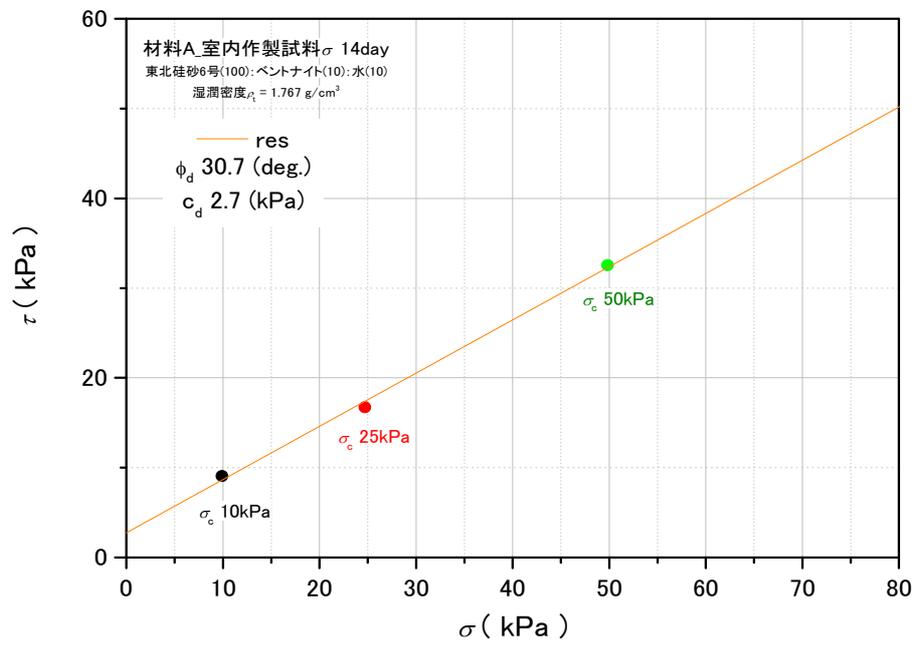


図 3.3.141 せん断応力 - 垂直応力関係\_res\_DS-1~3

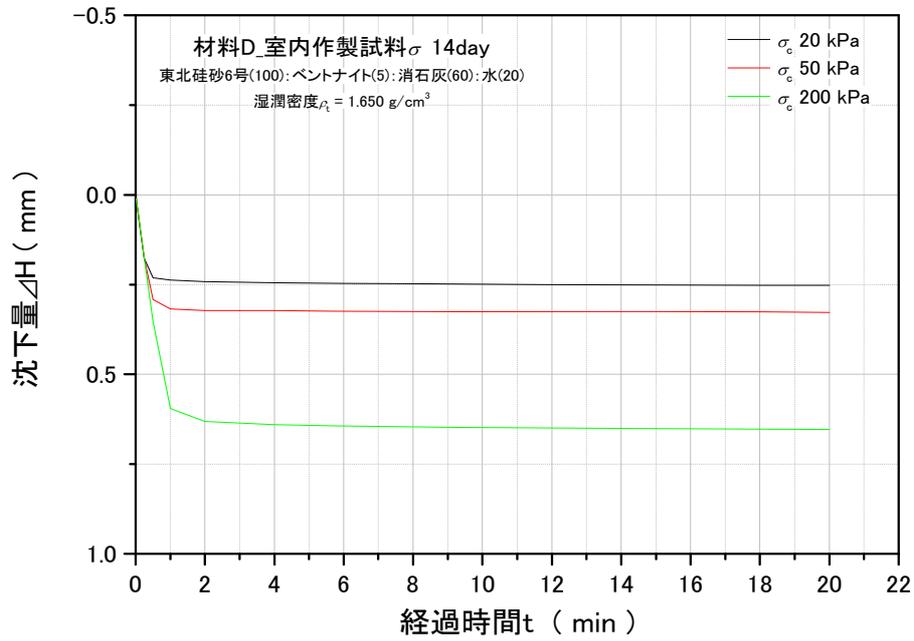


図 3.3.142 沈下量の時刻歴 (圧密過程) \_DS-4~6

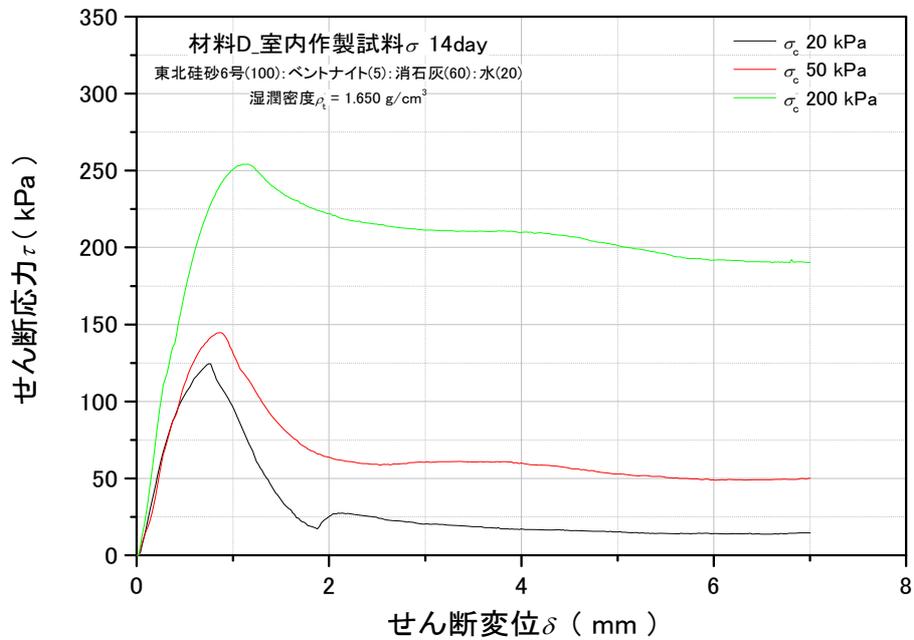


図 3.3.143 せん断応力 - せん断変位関係\_DS-4~6

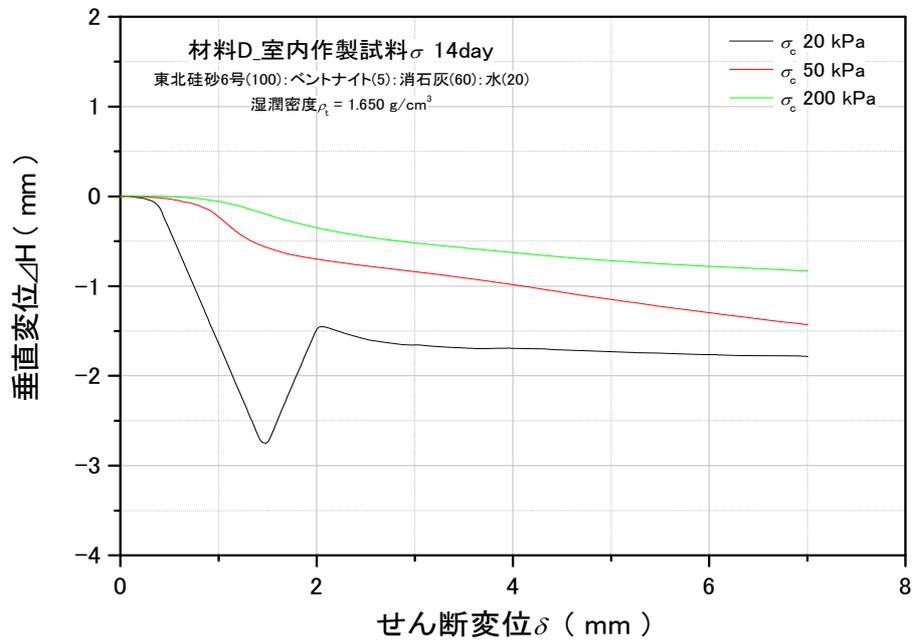


図 3.3.144 垂直変位 - せん断変位関係\_DS-4~6

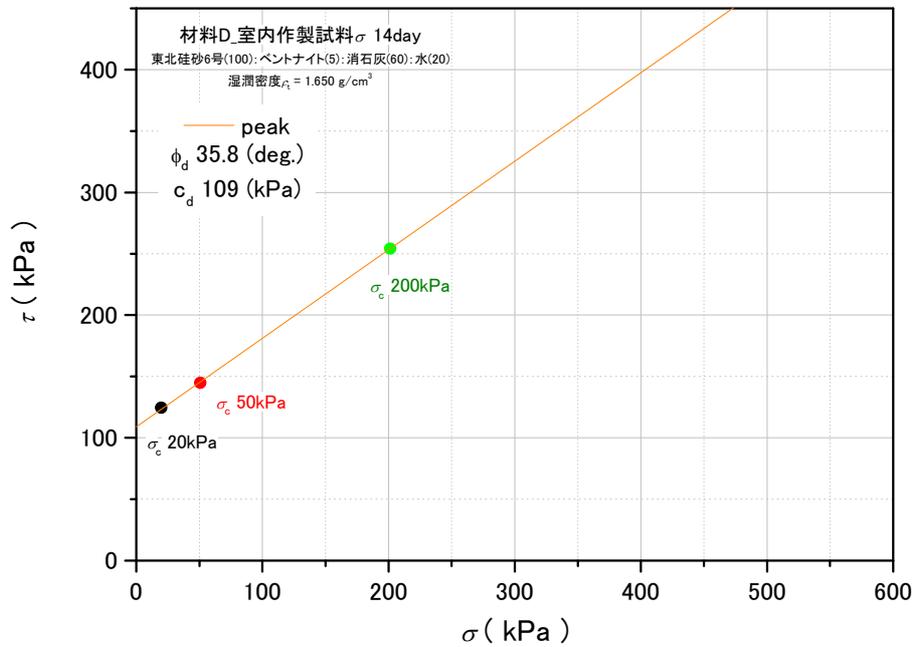


図 3.3.145 せん断応力 - 垂直応力関係\_peak\_DS-4~6

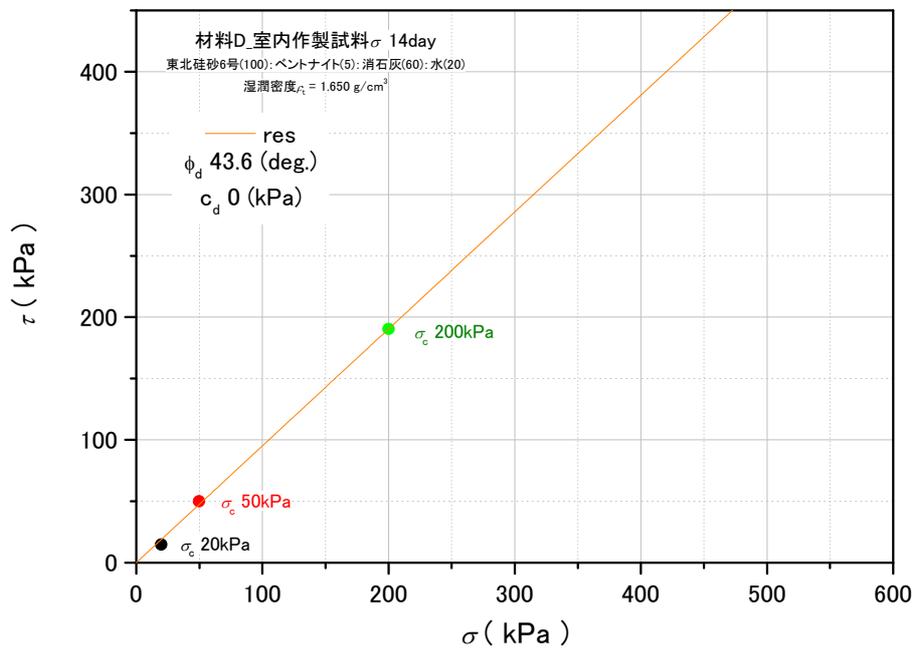


図 3.3.146 せん断応力 - 垂直応力関係\_res\_DS-4~6

(5) まとめ

衝突荷重の評価を目的として、動的遠心模型実験を 2 ケース（通番 Case33,34）および関連する要素試験を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) Case32、Case33 で同一の配合で作製した材料を用いたものの、三軸圧縮試験により強度確認試験を実施した結果、Case32 では平均的な粘着力が  $c=71.8\text{kPa}$ 、Case33 では  $c=98.3\text{kPa}$  であった。
- 2) この結果、遠心実験で崩壊する加速度レベルは Case32 で 300gal、Case33 で 500gal 程度であったが、この結果は上記の粘着力を用いた安定解析結果と概ね整合した。
- 3) すべり土塊の衝突荷重評価を目的として土槽底面に鉛直方向および水平方向土圧計を埋め込んだ反力壁を設置した。その結果、Case32 では水平、鉛直方向ともに、Case33 では主に鉛直方向について、すべり土塊衝突時の圧力変化を計測する事に成功した。
- 4) 反力壁に埋設した土圧計の計測結果は、いずれも土塊衝突時にピーク値を示した後に、一定の残留値に収束した。
- 5) 残留値について、すべり土塊の自重とすべり面上のせん断抵抗および反力壁の水平・鉛直方

向反力の力の釣合いを考慮して計算値と実測値とを比較した結果、Case32、Case33ともに鉛直方向については、計算値と実測値が比較的良好に一致した。一方で、水平方向については計算値が実測値を過少に評価した。

- 6) 水平方向で計算値が実測値を過少評価した理由は、反力壁に均一に荷重が作用していると仮定して計算を行っているものの、実際には水平方向については衝突時に土塊が反力壁前面に均等に荷重を及ぼすようには堆積しなかったためである。鉛直方向については、比較的均一に反力壁上に堆積したため、計算値と実測値が比較的良好に整合したものと考えられる。
- 7) 衝突荷重時の圧力変動について、ヘルツ式と実測値とを比較した。計算の結果、いずれのケースにおいても計算値は実測値を安全側に評価した。
- 8) Case32については、水平方向、鉛直方向で実測値の概ね4.5~5倍程度の衝突荷重となる計算結果であった。この差異は、既往の重錘とコンクリート床盤との衝突実験における実験結果とヘルツ式による計算結果の差異と概ね同程度であった。
- 9) さらに、土塊の剛性を低減して土塊の剛性が理論式の計算結果に及ぼす影響に関する感度分析を行った結果、剛性を初期剛性の1/64程度とすることで、計算値と実測値とは概ね整合した。一軸圧縮試験の接線剛性低下率の評価結果から判断すると、すべり土塊の剛性低下として現実的なものであった。
- 10) 一方で、Case33については、剛性低下を考慮したとしても計算値は実測値の5倍程度であり、過度に安全側に作用荷重を評価する結果となった。そこで、流体力の算定式を用い衝突荷重を評価した結果、実測値の1/5程度であり危険側に評価する結果となった。Case33については、すべり土塊の下部が先行して崩壊し反力壁に衝突したため、実際にはヘルツ式で想定する弾性体の衝突問題と、流体力として評価可能な問題との境界的な挙動を示したものと考えられる。今後は、このような境界的な挙動を評価可能な解析手法の整備・妥当性の検証が必要である。

### 3.3.2 岩塊衝突試験データの情報整理

試験条件は落下させる岩塊・土砂模型の形状・重量のほかにロードセル受圧面の条件をベニヤ板 CaseA とコンクリート板 CaseB の 2 種類とし、落下高さについては 1 ～ 5 m の範囲で変化させた。使用したベニヤ板とコンクリート板の仕様を表 3.3.1 に示す。落下高さの計測にはレーザー距離計 (Laica 製 DISTO D5) を 2 台使い、その平均高さとした。

表 3.3.1 受圧板の仕様 (表 3.2.17 再掲)

受圧板種別	ベニヤ板	コンクリート板
材料	ラワン	鉄筋コンクリート
材料強度	—	Fc27
板厚(mm)	21	60
平面形状(mm)	500×500	450×600

#### (1) 試験結果の整理

岩塊衝突試験結果について、以下の項目に対しデータ整理を行った。

- ・岩塊衝突直前直後の速度
- ・岩塊衝突時の荷重
- ・撮影画像 (写真、ビデオ)

岩塊衝突直前の速度については、岩塊模型の落下高さを計測し、下記の自由落下の速度算定式から導出した。

$$v = \sqrt{2gh} \quad (\text{式 3.3.2.1})$$

ここで、 $v$  は衝突直前の速度、 $h$  は落下高さである。画像解析を実施したケースに対しては、衝突直前の速度のみでなく、衝突直後の速度も解析から求めた。

岩塊衝突時の荷重については、荷重の時刻歴からピーク荷重と衝突時間を整理した。

撮影画像については、試験中の写真やビデオをデジタル形式で保存した。

(2) 試験ケース

実施した試験ケースを表 3.3.2.2 に示す。試験結果は、3 分力荷重計に取り付けた受圧板がベニヤ板のケースを CaseA、受圧板がコンクリート板のケースを CaseB として整理した。

表 3.3.2.2 試験ケース一覧

模型	サイズ	受圧板	落下高さ (m)	試験ケース		受圧板	落下高さ (m)	試験ケース		
					合計				合計	
実岩塊模型	20cm	ベニヤ板	1.0	3	22	RC板	1.0	14	20	
			3.0	4			3.0	2		
			4.0	7			4.0	2		
			5.0	8			5.0	2		
			1.0	3			1.0	3		
	40cm		3.0	4	21		3.0	3	20	
			4.0	7			4.0	7		
			5.0	7			5.0	7		
			1.0	3			1.0	3		
			3.0	4			3.0	3		
多面体岩塊模型	20cm	ベニヤ板	1.0	3	21	RC板	1.0	14	21	
			3.0	4			3.0	3		
			4.0	7			4.0	2		
			5.0	7			5.0	2		
			1.0	3			1.0	3		
	40cm		3.0	4	21		3.0	3	20	
			4.0	7			4.0	7		
			5.0	7			5.0	7		
			1.0	3			1.0	3		
			3.0	4			3.0	3		
球状岩塊模型	20cm	ベニヤ板	1.0	1	6	RC板	1.0	1	5	
			2.0	1			2.0	1		
			3.0	2			3.0	1		
			4.0	1			4.0	1		
			5.0	1			5.0	1		
	40cm		0.5	2	8		0.5	2	5	
			1.0	2			1.0	1		
			2.0	1			2.0	1		
			3.0	3			2.5	1		
			1.0	2			1.0	2		
土砂模型	トンパック 土のう詰め	ベニヤ板	1.0	2	25	RC板	1.0	2	23	
			3.0	2			3.0	2		
			4.0	3			4.0	2		
	土のう2段		40kg	1.0			1	1.0		1
				3.0			2	3.0		2
				5.0			2	5.0		2
	土のう4段		80kg	1.0			1	1.0		1
				3.0			3	3.0		2
				5.0			2	5.0		2
	土のう6段		120kg	1.0			1	1.0		1
				3.0			2	3.0		2
				5.0			2	5.0		2
	トンパック		100kg	3.0			2	3.0		2
							合計	124		
						合計		114		

### (3) 衝突荷重時刻歴

3 分力荷重計によって得られた 3 方向の荷重時刻歴波形の代表的なデータとして、各模型において実施した最大落下高さの結果を図 3.3.2.2～図 3.3.2.67 に示す。3 方向の荷重時刻歴波形の時刻表示範囲については、それぞれの Z 方向(衝突方向)の荷重ピーク値付近とした。

なお荷重計の各方向と X、Y、Z の関係は以下の通りとした (図 3.3.2.1 参照)。

X : 衝突直行方向 (水平東西方向)

Y : 衝突直行方向 (水平南北方向)

Z : 衝突方向 (鉛直方向)

3 方向の荷重時刻歴波形図のうち、荷重計に取り付けた受圧板がベニヤ板である CaseA についての 3 方向の荷重時刻歴波形を図 3.3.2.2～図 3.3.2.34 に、コンクリート板である CaseB についての 3 方向の荷重時刻歴波形を図 3.3.2.35～図 3.3.2.67 に示す。



図 3.3.2.1 試験状況

CaseA No.15 試番 64 実岩塊 模型 No.4 20cm 落下高さ 5m 1回目

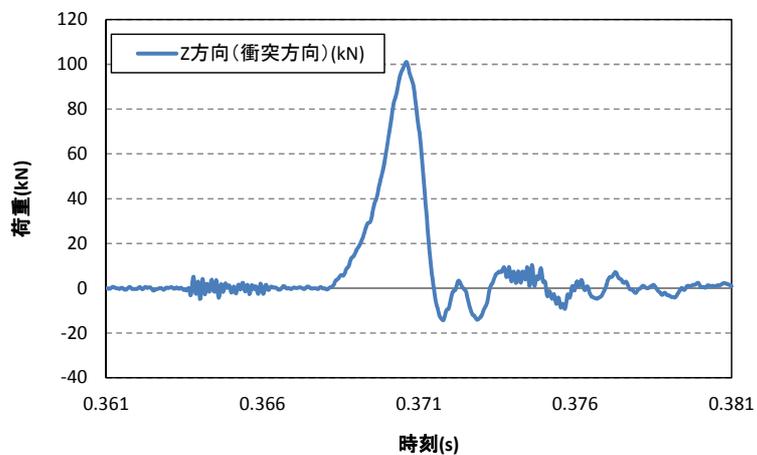


図 3.3.2.2 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

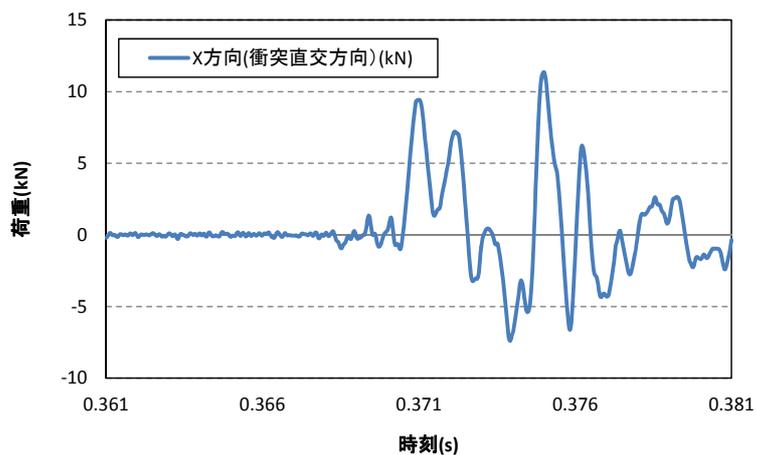


図 3.3.2.3 X 方向（衝突直交方向）荷重時刻歴波形

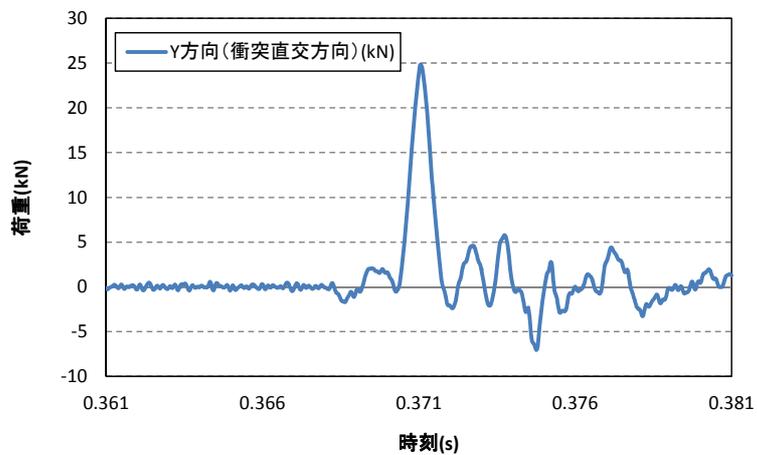


図 3.3.2.4 Y 方向（衝突直交方向）荷重時刻歴波形

CaseA No.37 試番 136 実岩塊 模型 No.4 40cm 落下高さ 5m 1回目

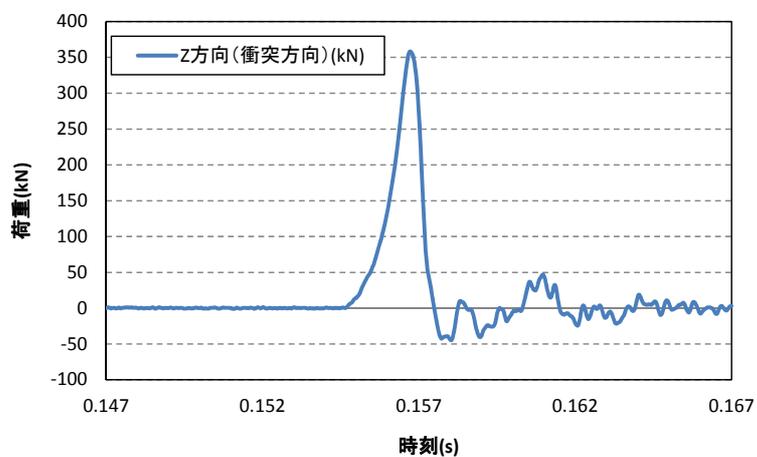


図 3.3.2.5 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

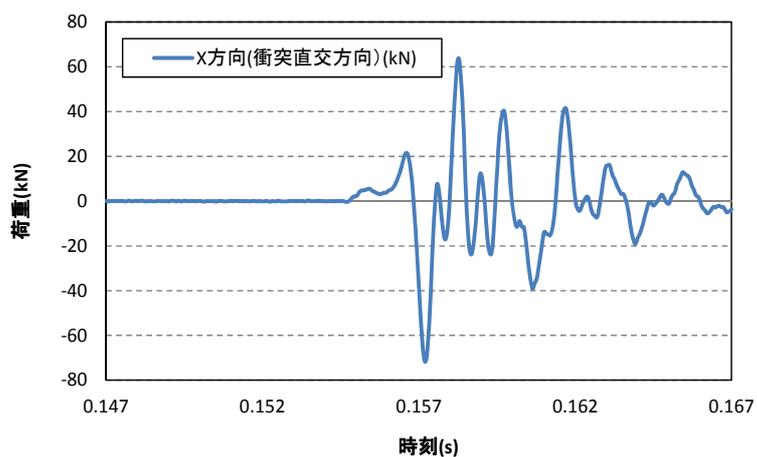


図 3.3.2.6 X 方向（衝突直交方向）荷重時刻歴波形

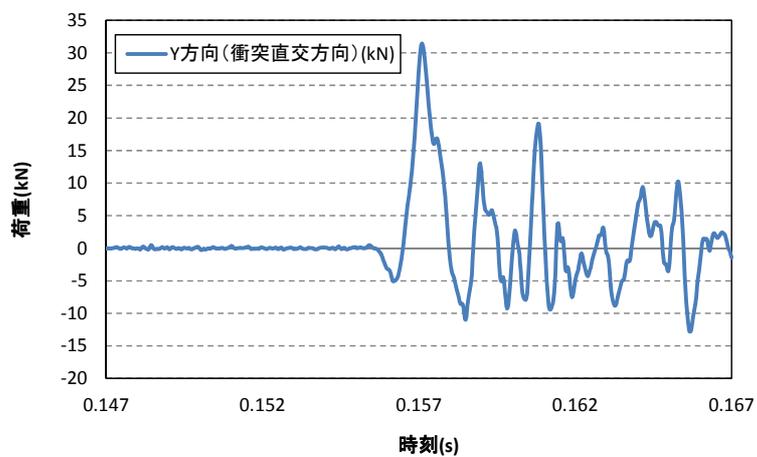


図 3.3.2.7 Y 方向（衝突直交方向）荷重時刻歴波形

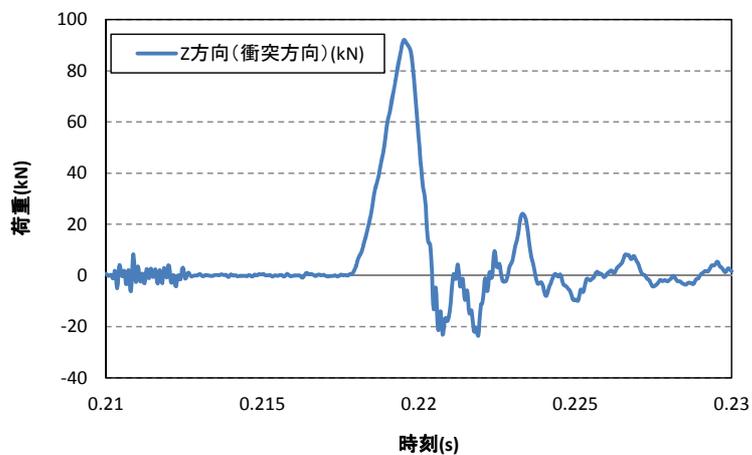


図 3.3.2.8 Z方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

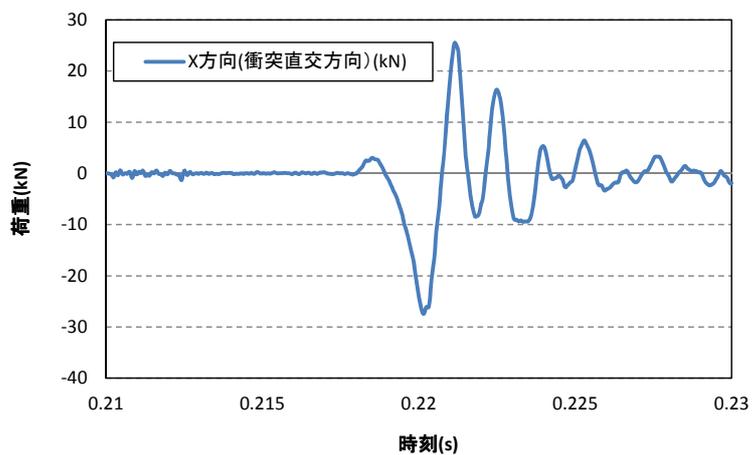


図 3.3.2.9 X方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

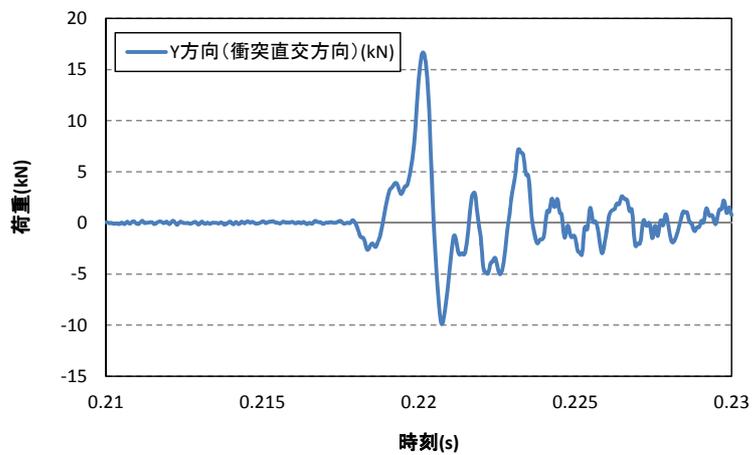


図 3.3.2.10 Y方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

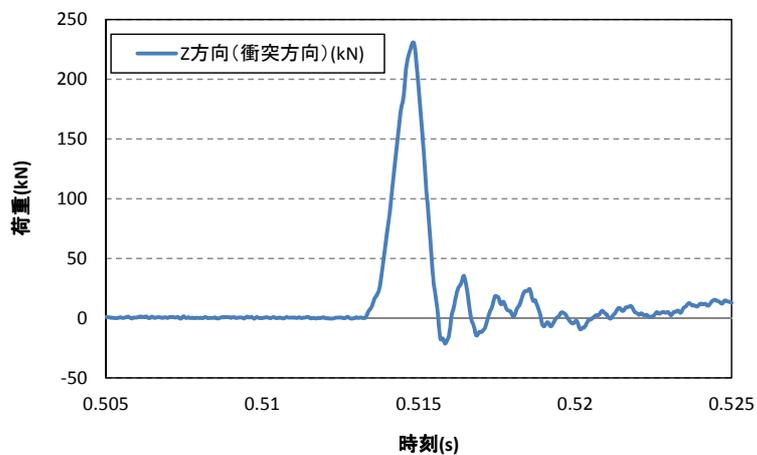


図 3.3.2.11 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

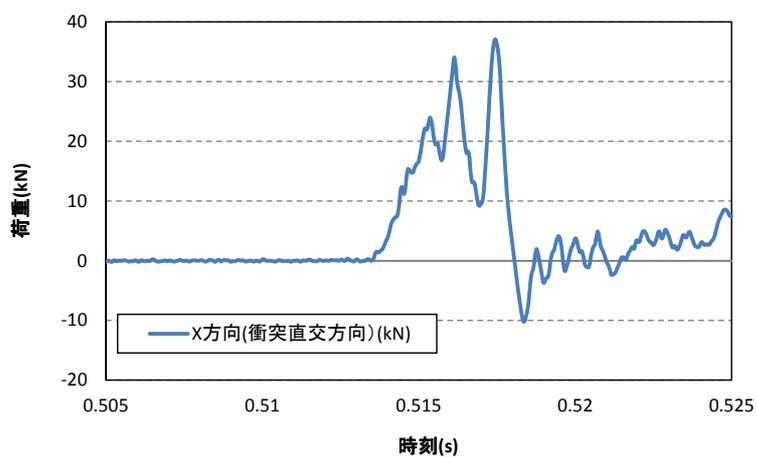


図 3.3.2.12 X 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

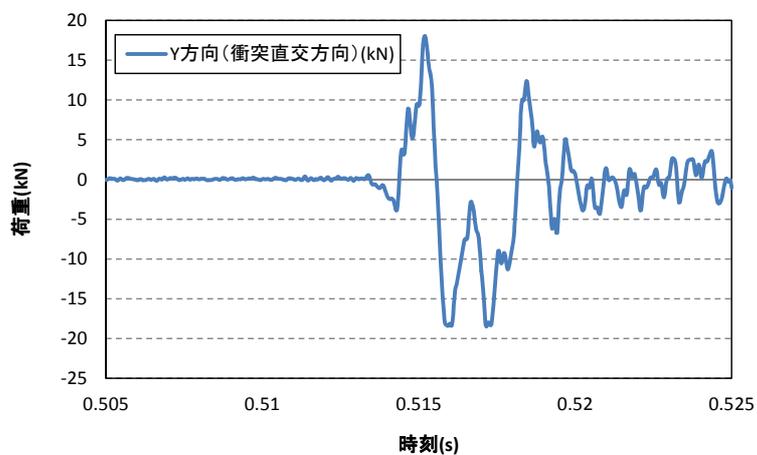


図 3.3.2.13 Y 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

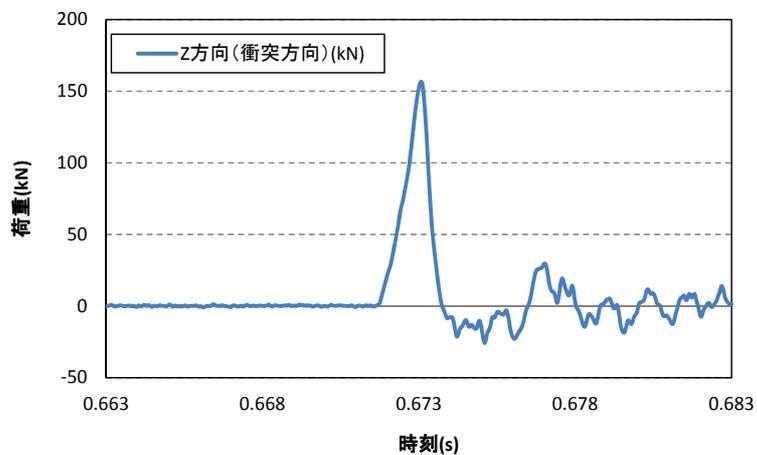


図 3.3.2.14 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

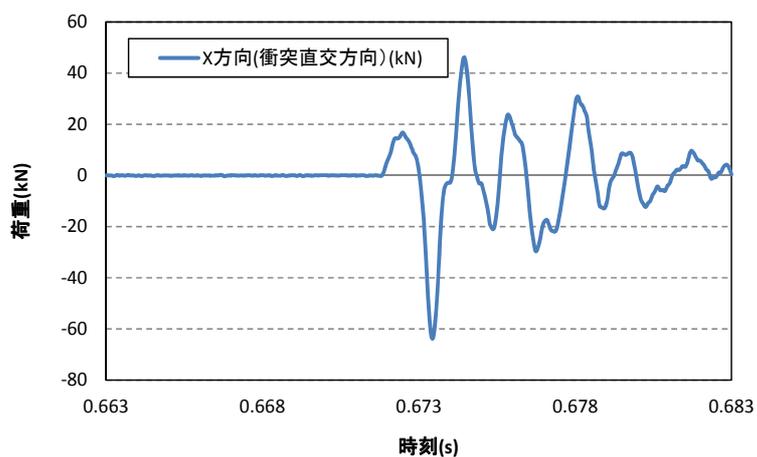


図 3.3.2.15 X 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

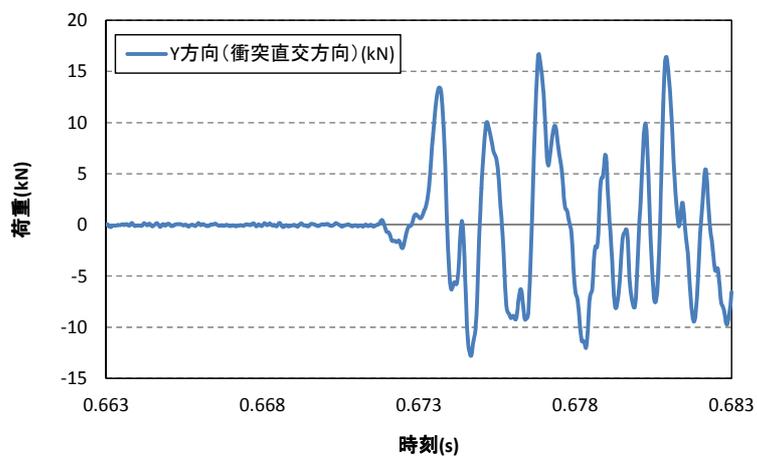


図 3.3.2.16 Y 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

CaseA No.97 試番 25 球状岩塊 模型 No.1 40cm 落下高さ 3m 1回目

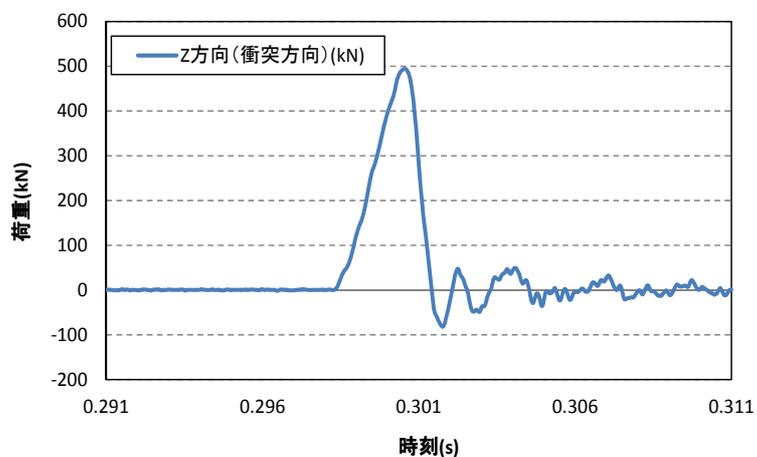


図 3.3.2.17 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

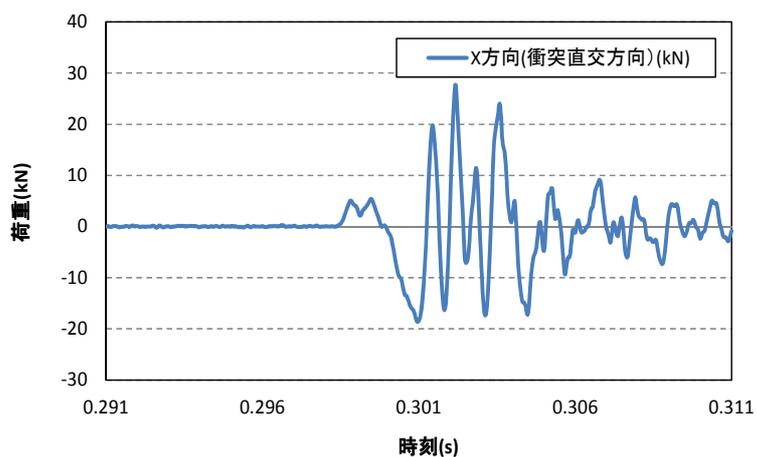


図 3.3.2.18 X 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

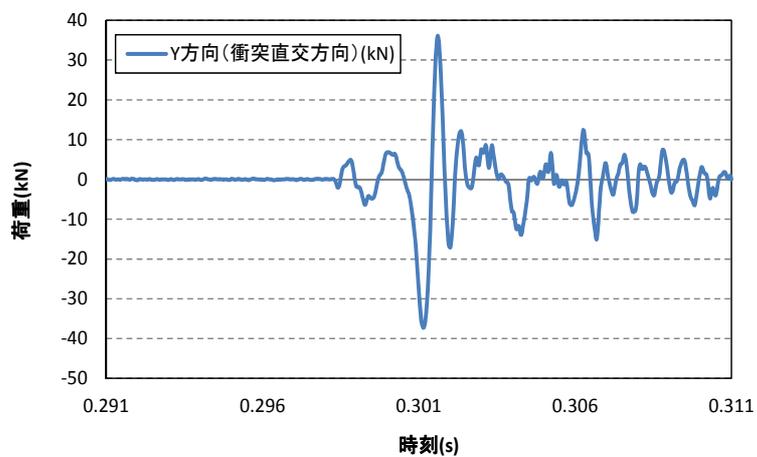


図 3.3.2.19 Y 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

CaseA No.104 試番 181

土砂模型(トンパック土のう詰め) 模型 No.1 160kg 落下高さ 4m 1回目

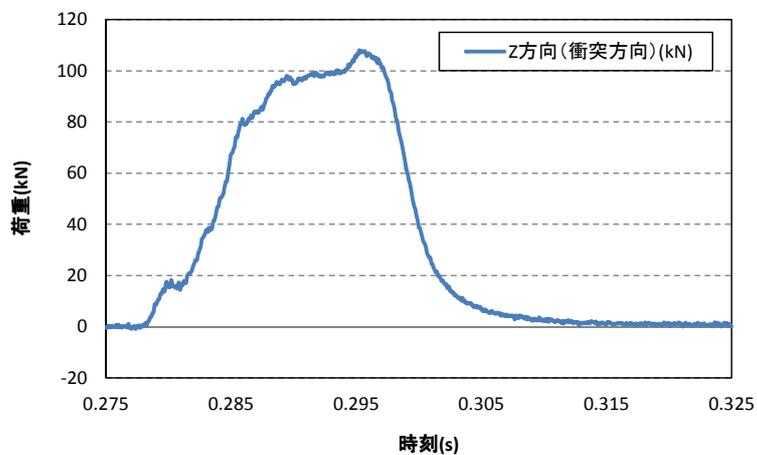


図 3.3.2.20 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

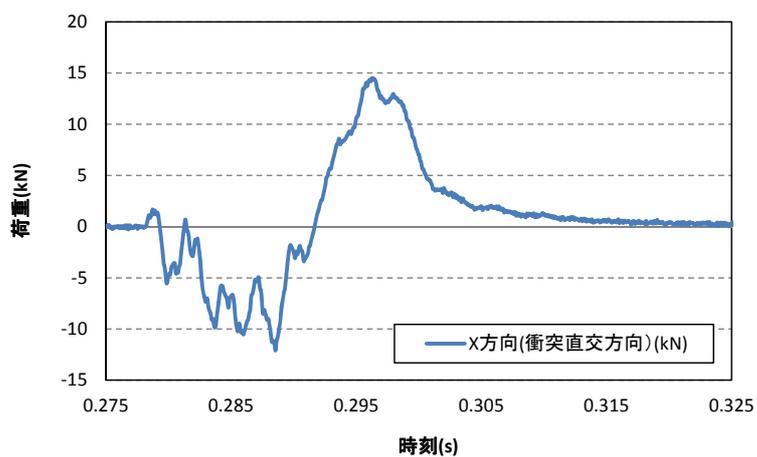


図 3.3.2.21 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

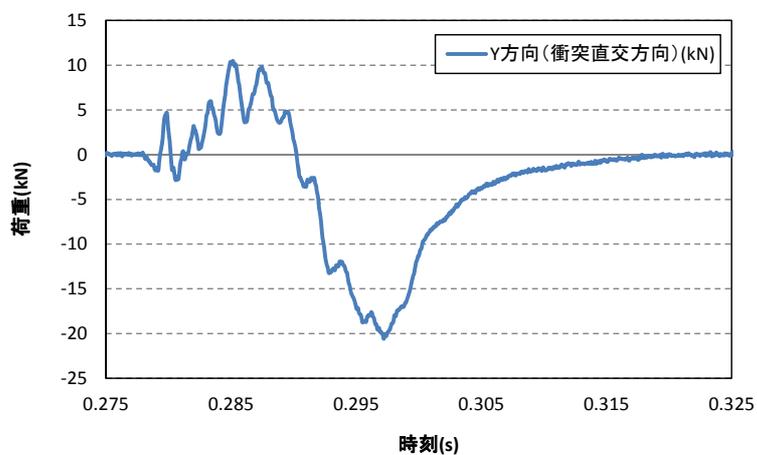


図 3.3.2.22 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseA No.110 試番 163

土砂模型(土のう 2 段) 模型 No.2 40kg 落下高さ 5m 1 回目

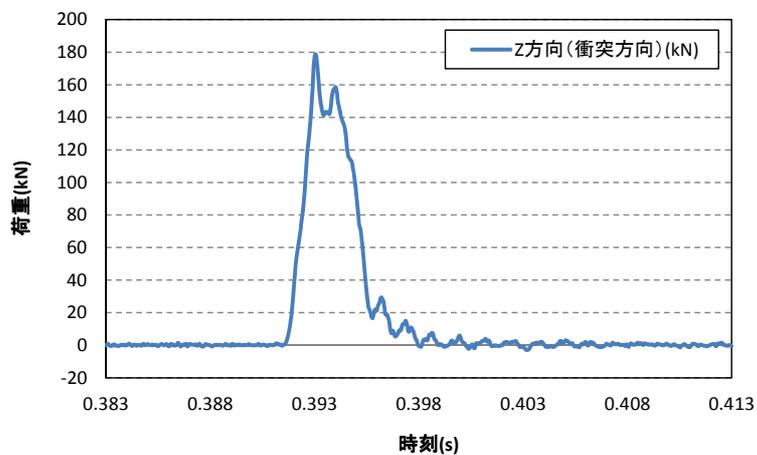


図 3.3.2.23 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

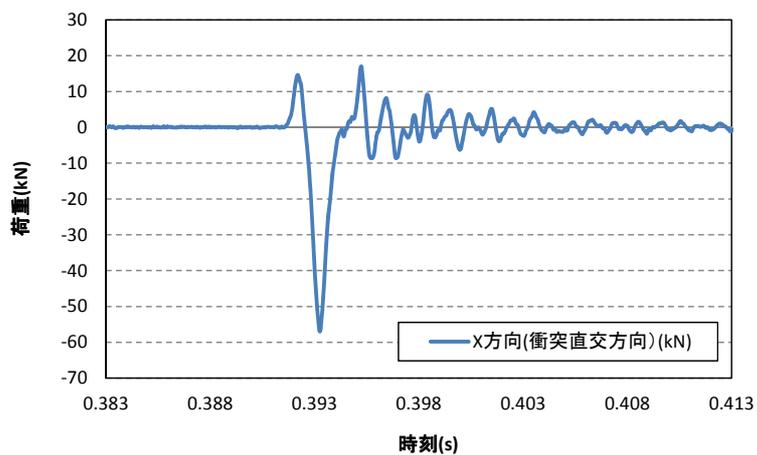


図 3.3.2.24 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

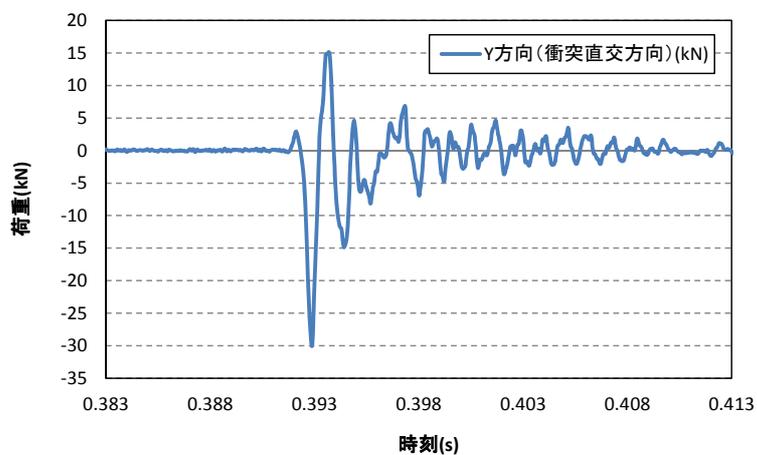


図 3.3.2.25 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseA No.116 試番 170

土砂模型(土のう 4 段) 模型 No.3 80kg 落下高さ 5m 1 回目

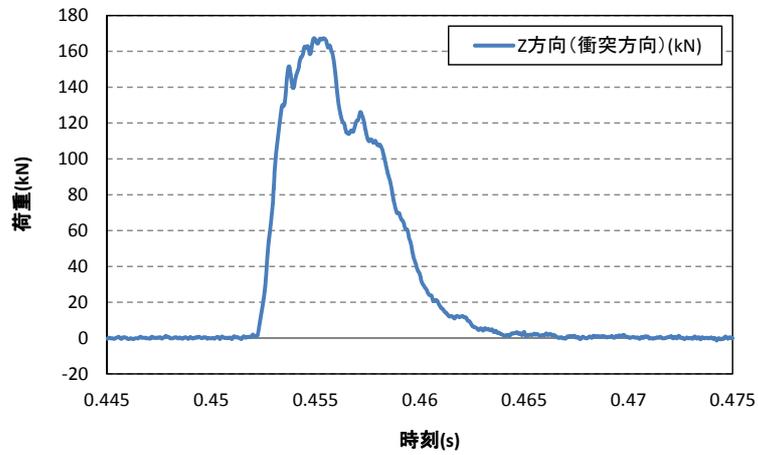


図 3.3.2.26 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

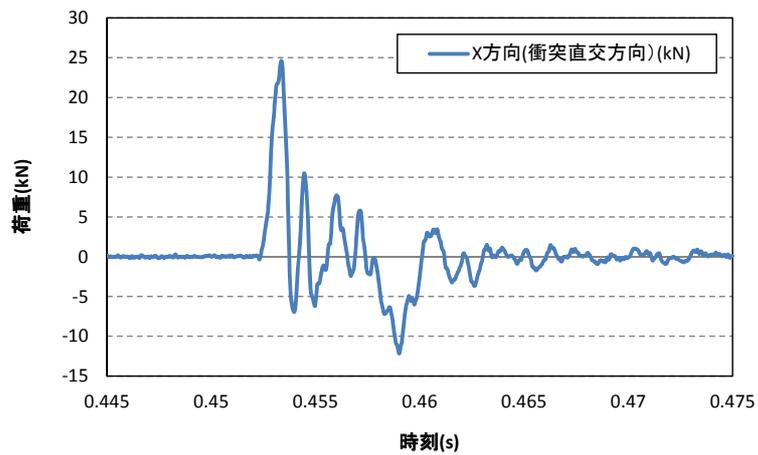


図 3.3.2.27 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

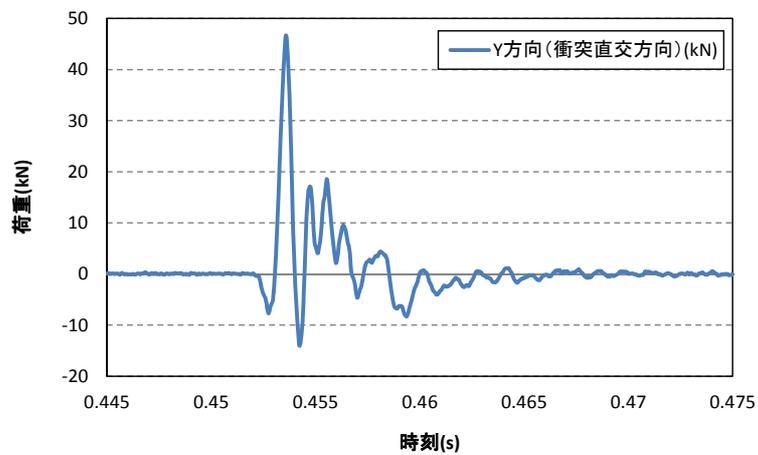


図 3.3.2.28 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseA No.121 試番 175

土砂模型(土のう6段) 模型 No.4 120kg 落下高さ 5m 1回目

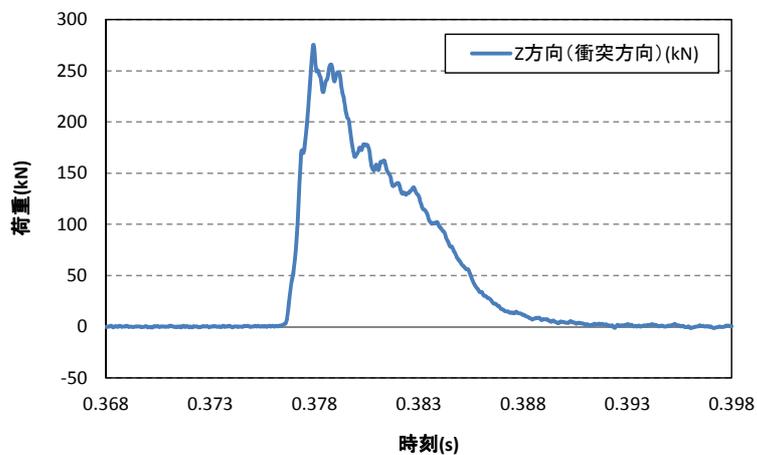


図 3.3.2.29 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

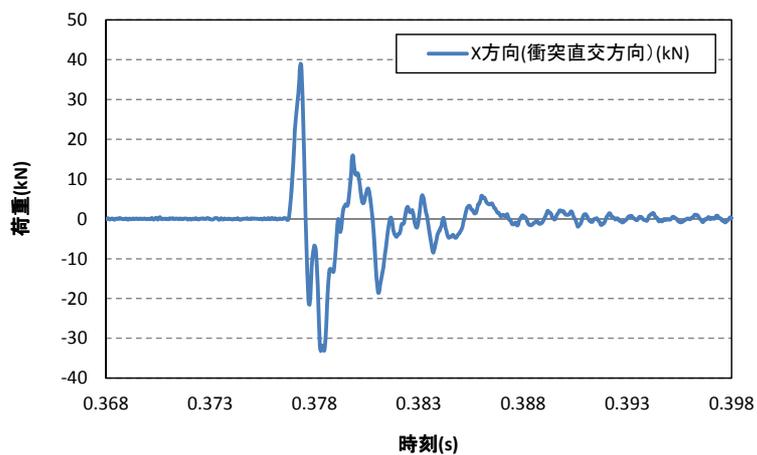


図 3.3.2.30 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

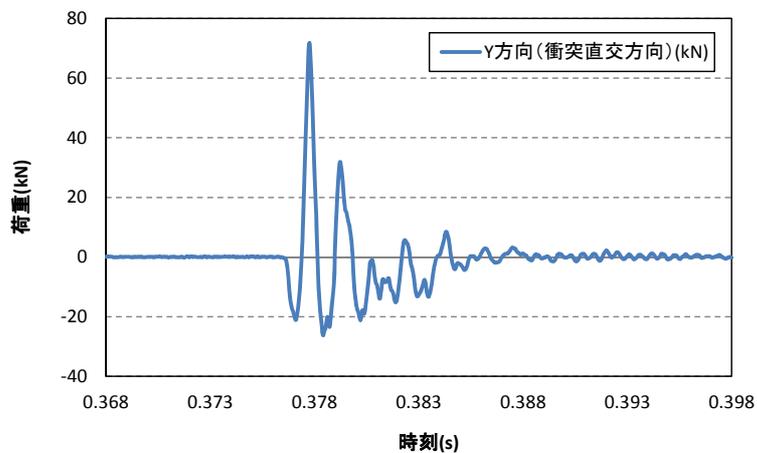


図 3.3.2.31 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseA No.123 試番 158

土砂模型(トンパック) 模型 No.5 100kg 落下高さ 3m 1回目

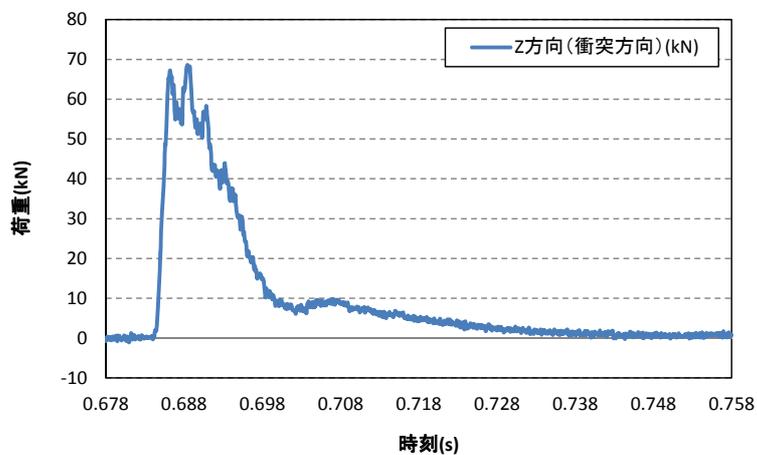


図 3.3.2.32 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

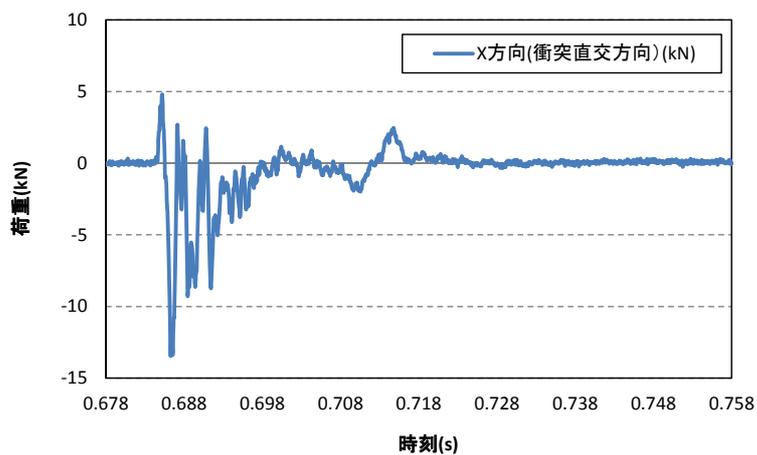


図 3.3.2.33 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

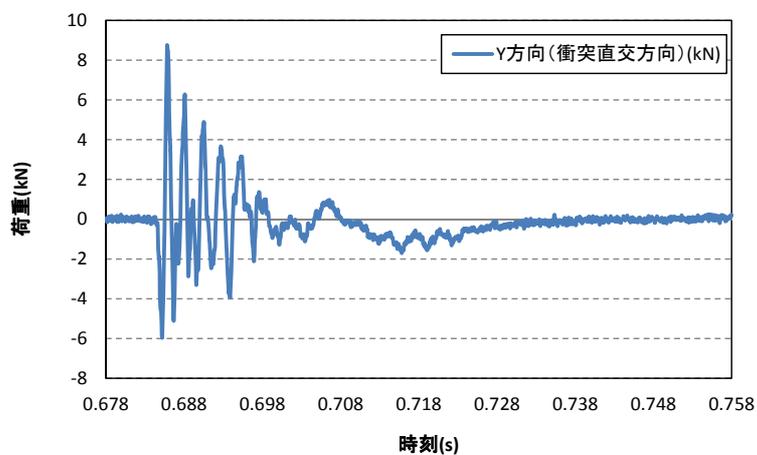


図 3.3.2.34 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

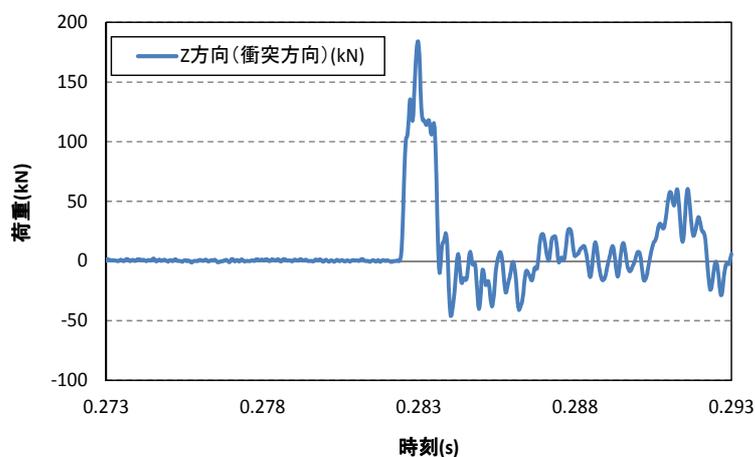


図 3.3.2.35 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

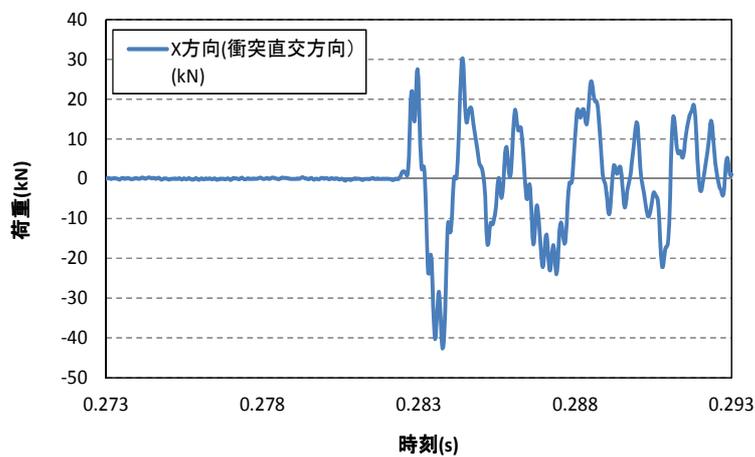


図 3.3.2.36 X 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

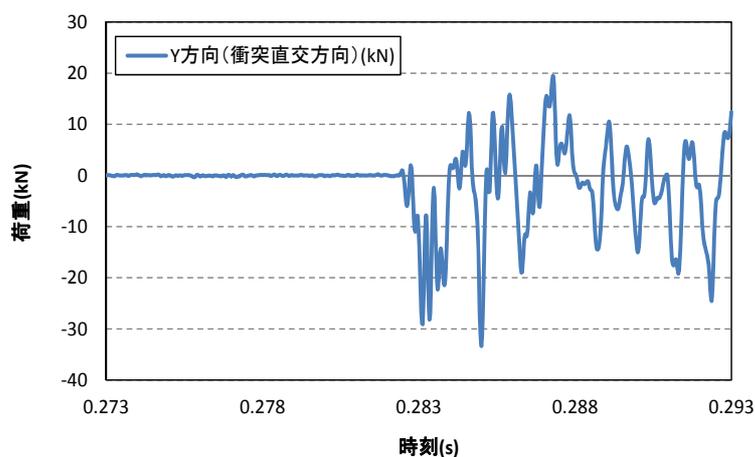


図 3.3.2.37 Y 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

CaseB No.34 試番 83 実岩塊 模型 No.9 40cm 落下高さ 5m 1回目

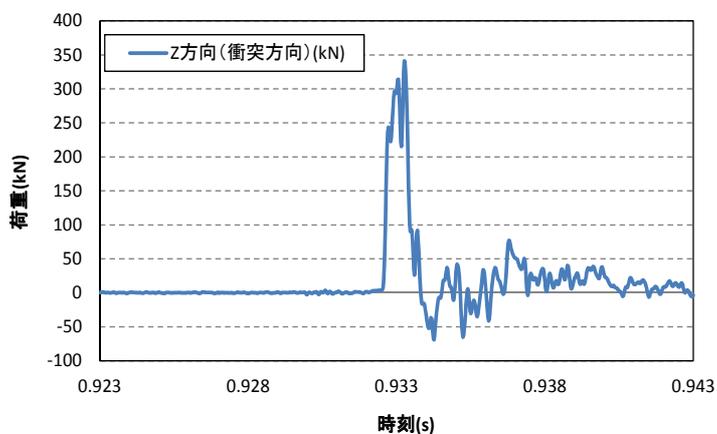


図 3.3.2.38 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

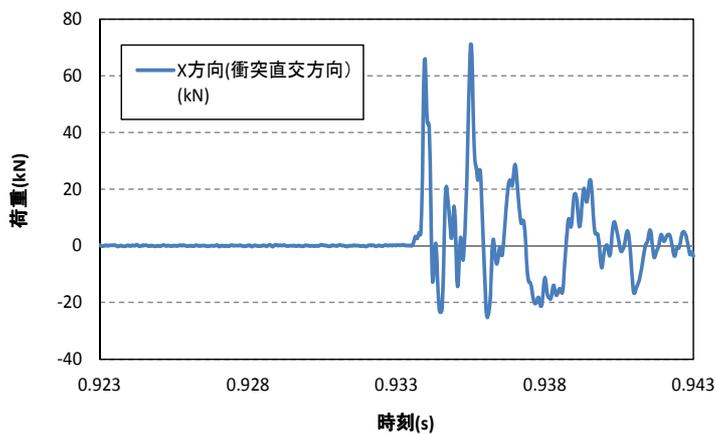


図 3.3.2.39 X 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

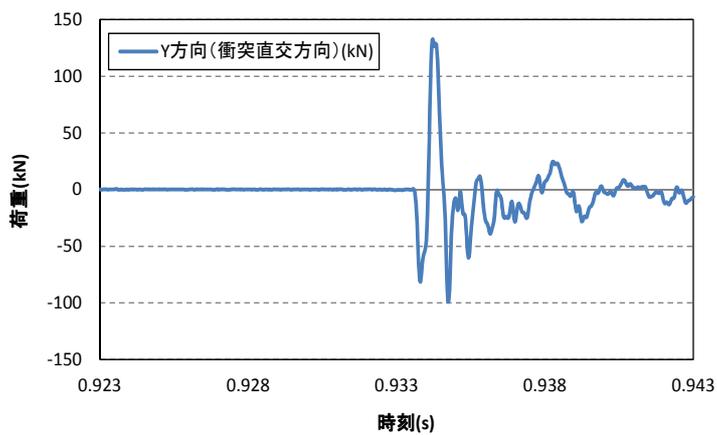


図 3.3.2.40 Y 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

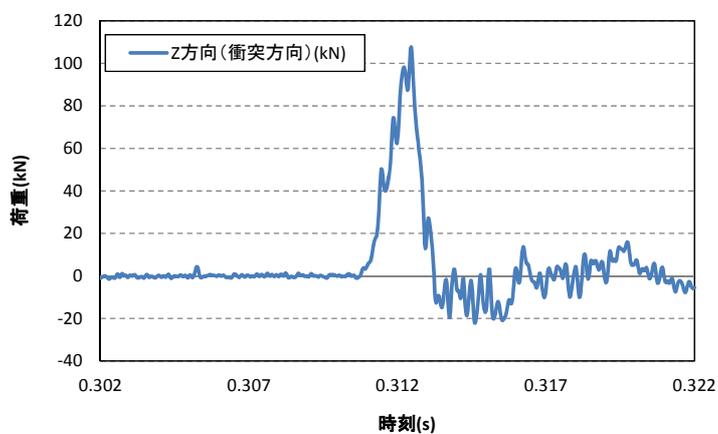


図 3.3.2.41 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

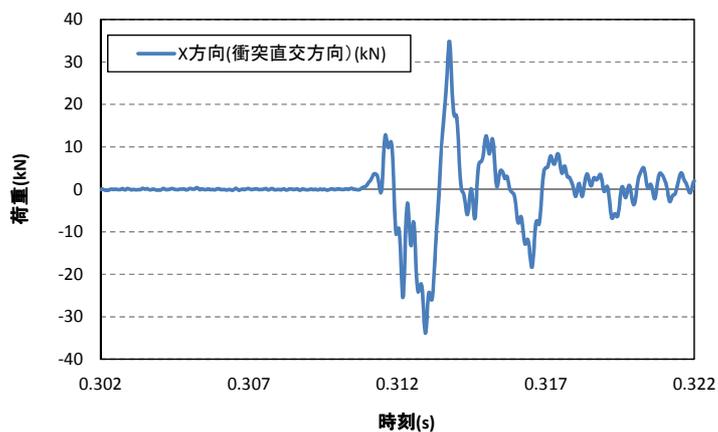


図 3.3.2.42 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

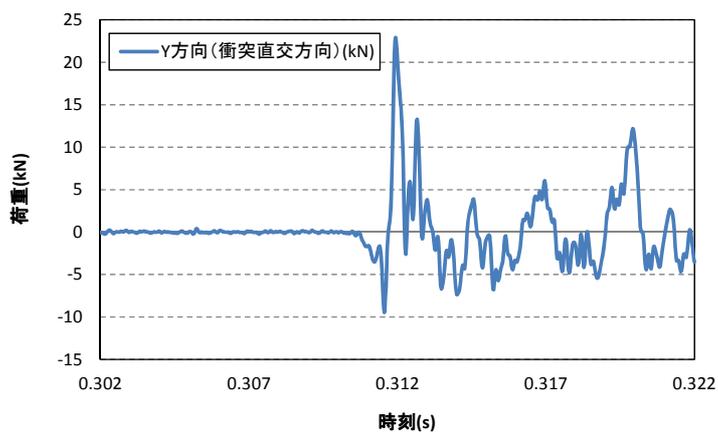


図 3.3.2.43 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseB No.75 試番 55 多面体岩塊 模型 No.4 40cm 落下高さ 5m 1回目

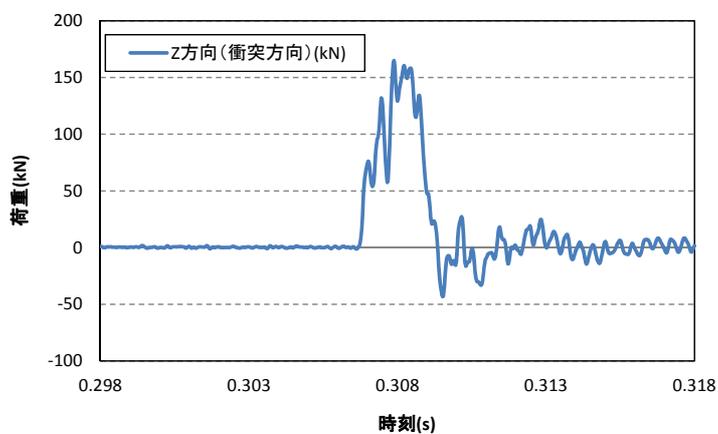


図 3.3.2.44 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

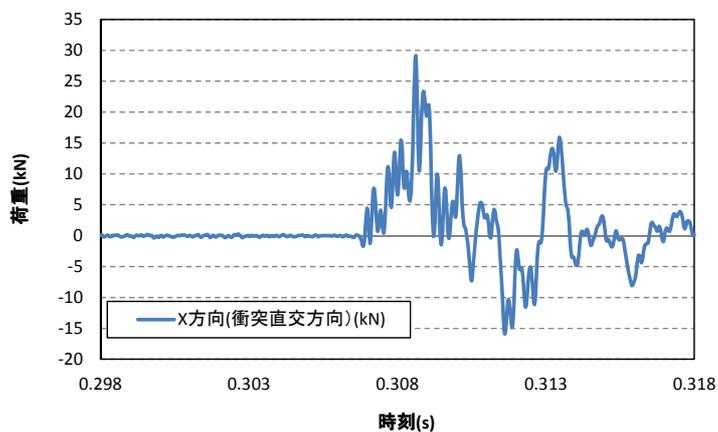


図 3.3.2.45 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

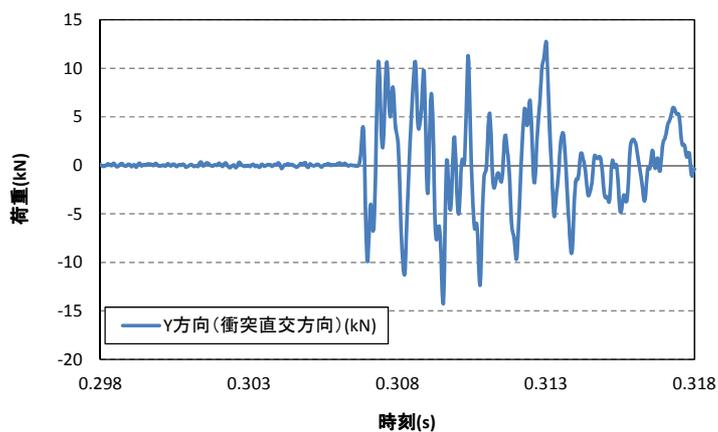


図 3.3.2.46 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

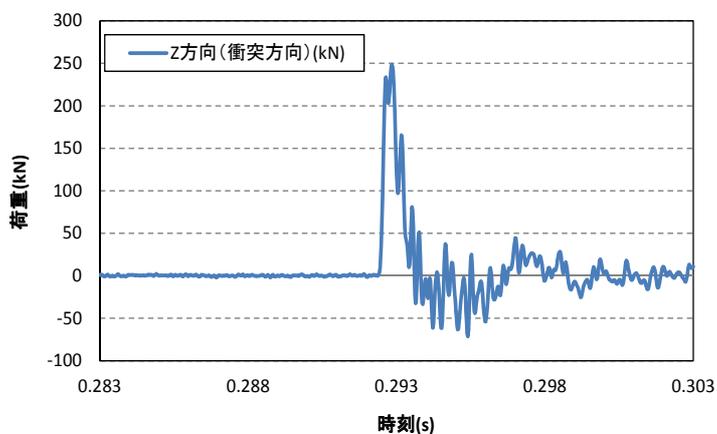


図 3.3.2.47 Z 方向（衝突方向）荷重時刻歴波形

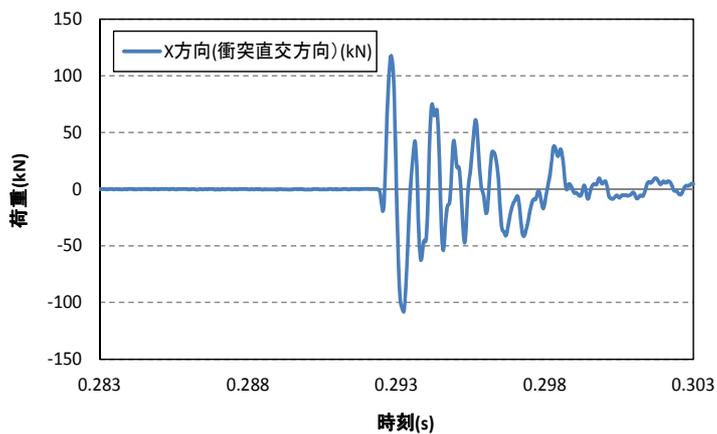


図 3.3.2.48 X 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

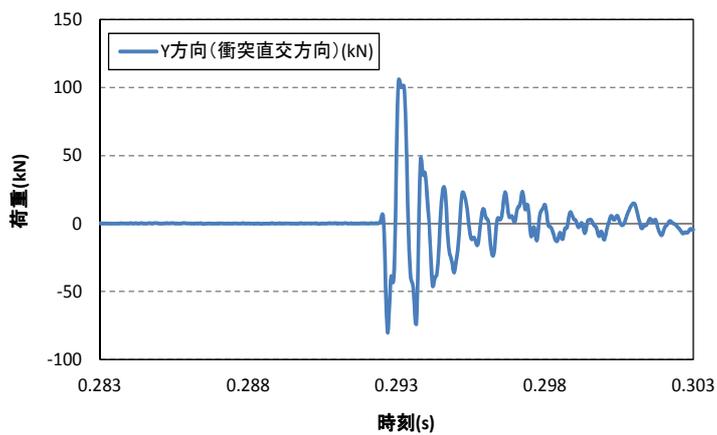


図 3.3.2.49 Y 方向（衝突直行方向）荷重時刻歴波形

CaseB No.91 試番 95 球状岩塊 模型 No.1 40cm 落下高さ 2.5m 1回目

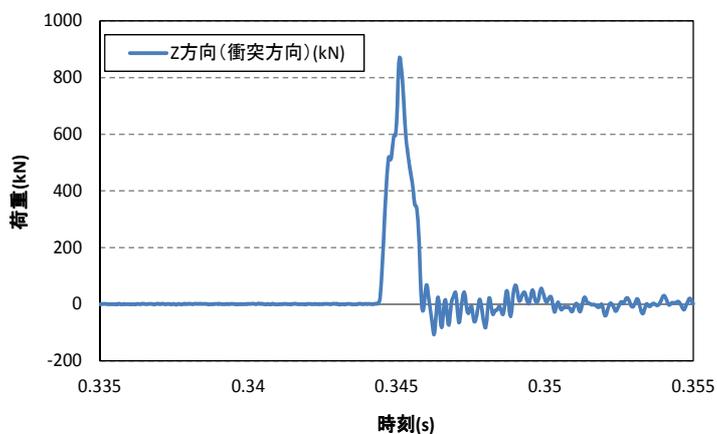


図 3.3.2.50 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

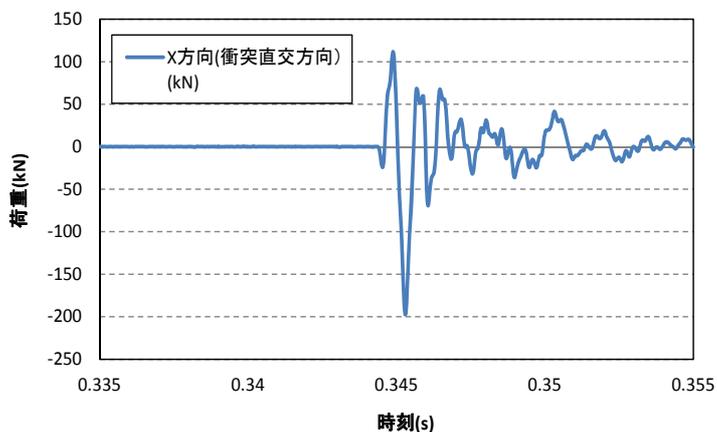


図 3.3.2.51 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

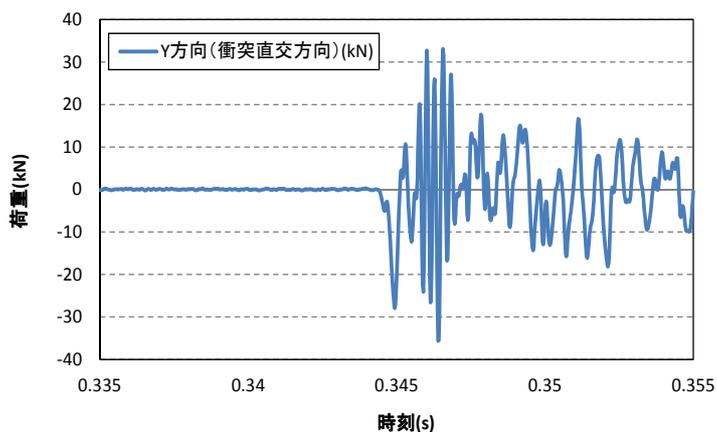


図 3.3.2.52 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseB No.96 試番 141

土砂模型(トンパック土のう詰め) 模型 No.1 160kg 落下高さ 4m 1回目

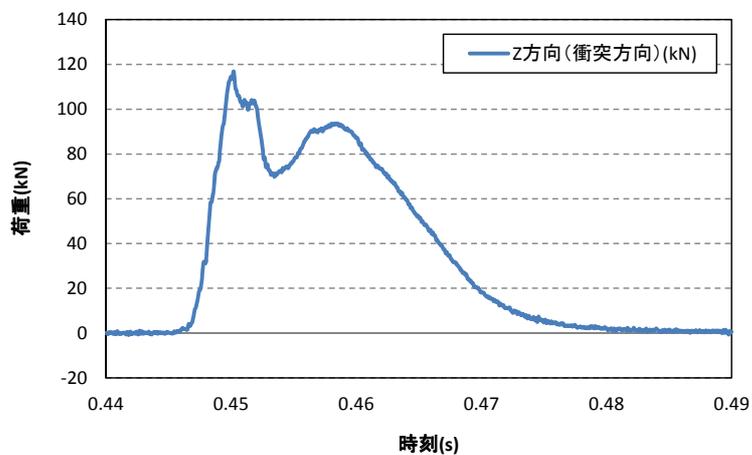


図 3.3.2.53 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

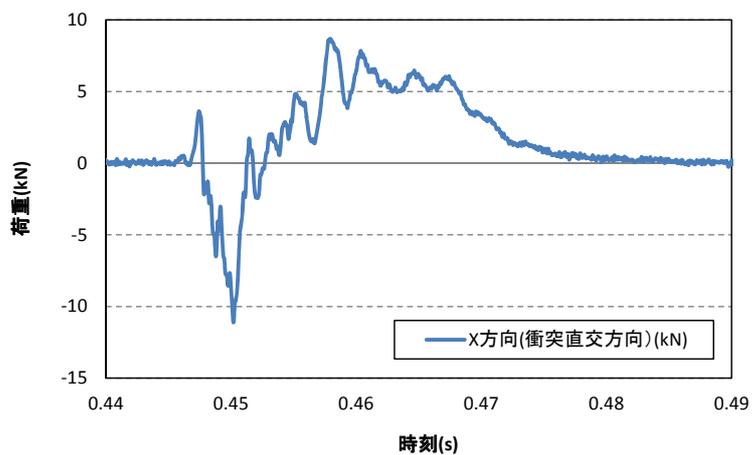


図 3.3.2.54 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

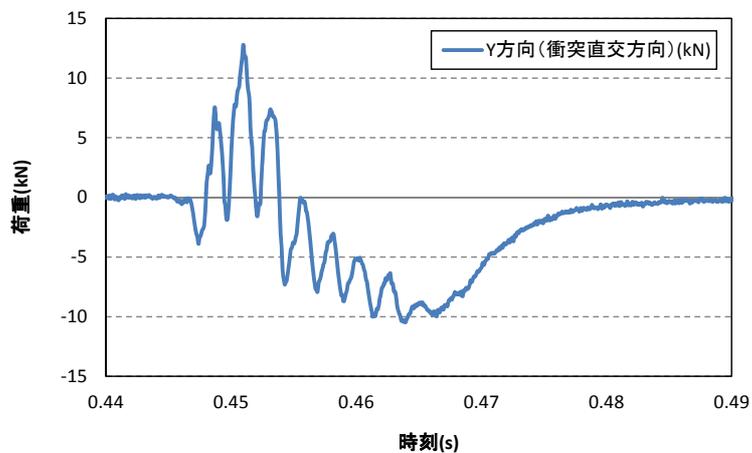


図 3.3.2.55 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseB No.101 試番 130

土砂模型(土のう 2 段) 模型 No.2 40kg 落下高さ 5m 1 回目

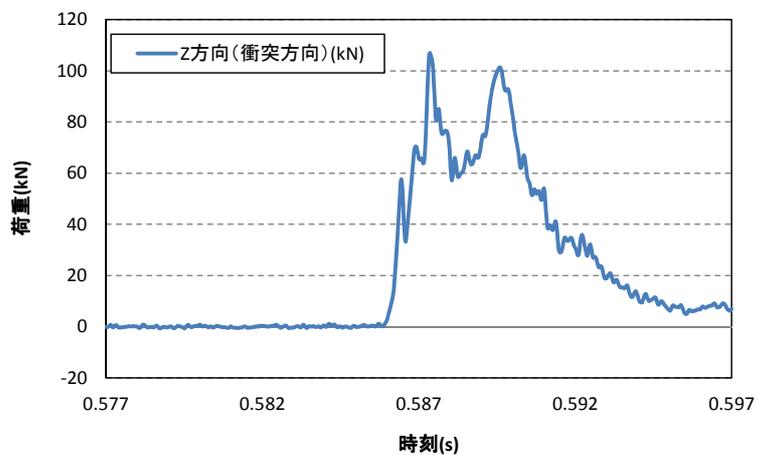


図 3.3.2.56 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

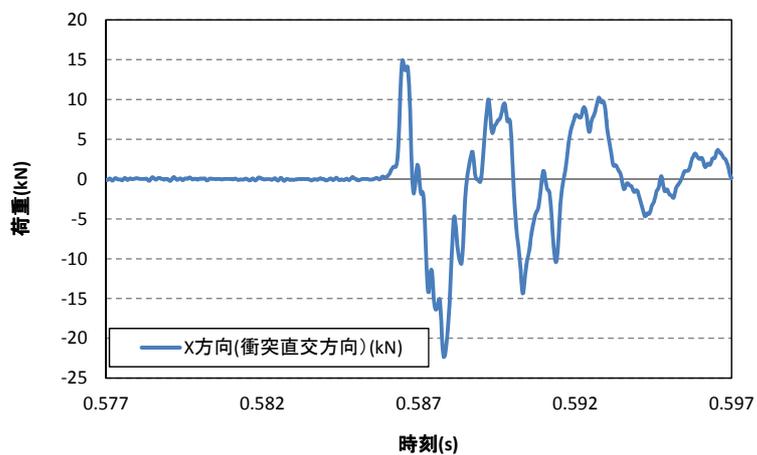


図 3.3.2.57 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

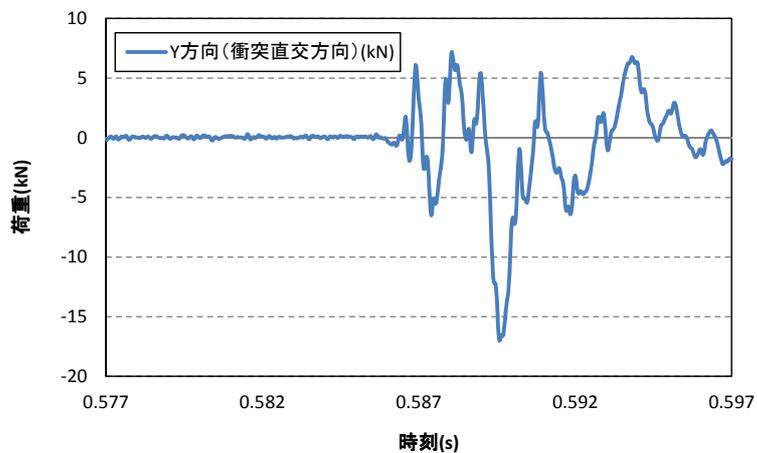


図 3.3.2.58 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseB No.106 試番 146

土砂模型(土のう 4 段) 模型 No.3 80kg 落下高さ 5m 1 回目

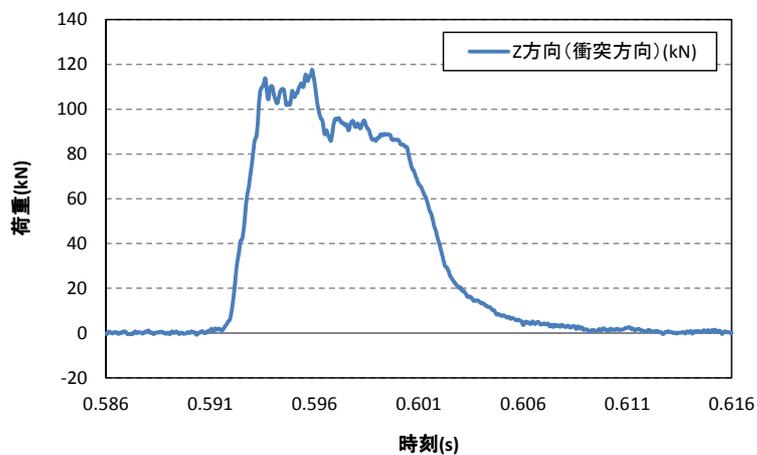


図 3.3.2.59 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

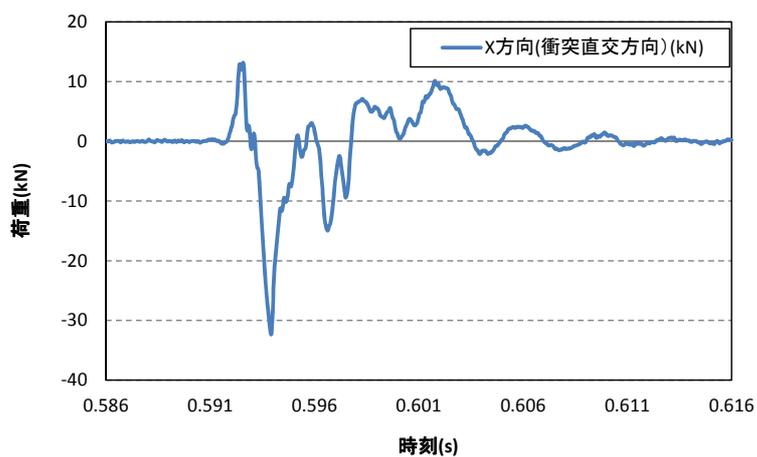


図 3.3.2.60 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

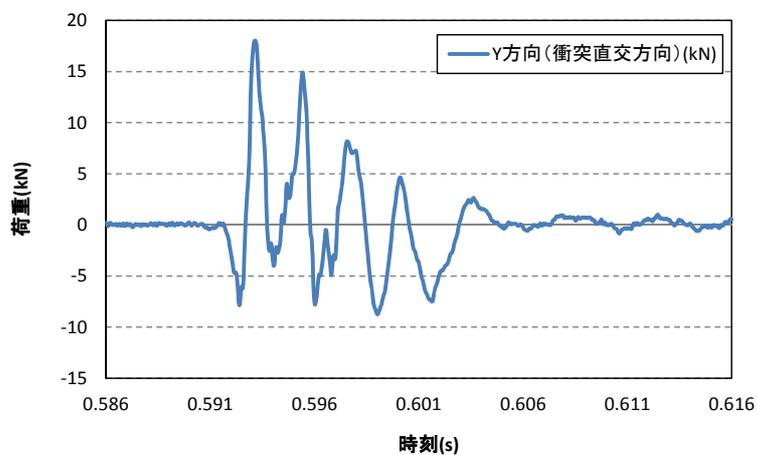


図 3.3.2.61 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseB No.111 試番 123

土砂模型(土のう6段) 模型 No.4 120kg 落下高さ 5m 画像解析 1回目

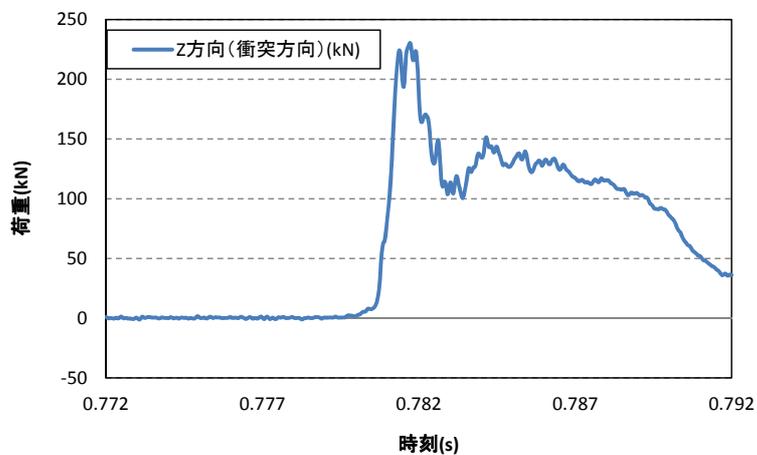


図 3.3.2.62 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

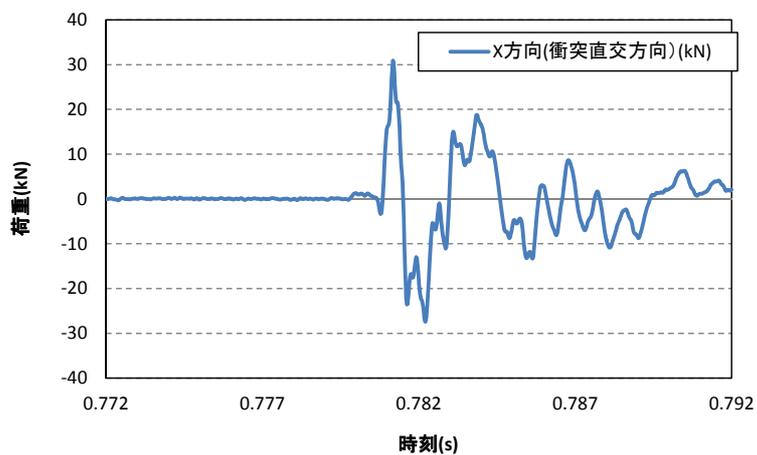


図 3.3.2.63 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

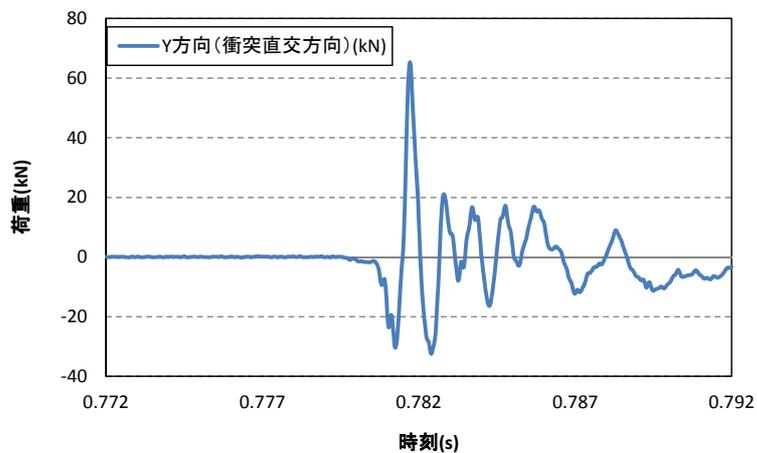


図 3.3.2.64 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

CaseB No.113 試番 114

土砂模型(トンパック) 模型 No.5 100kg 落下高さ 3m 1回目

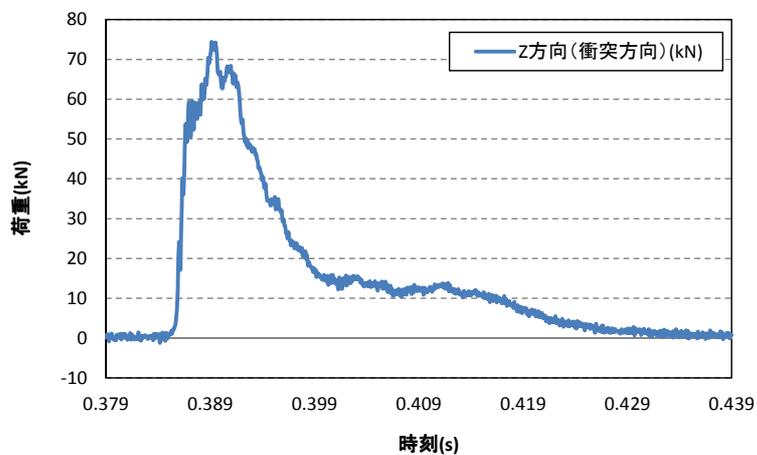


図 3.3.2.65 Z 方向 (衝突方向) 荷重時刻歴波形

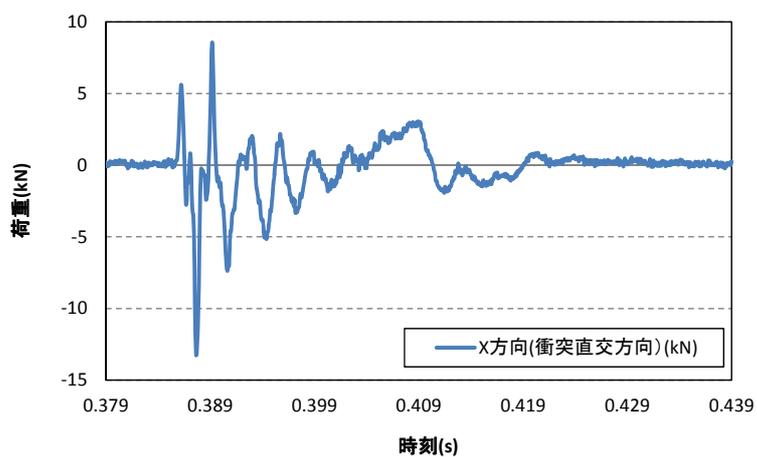


図 3.3.2.66 X 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

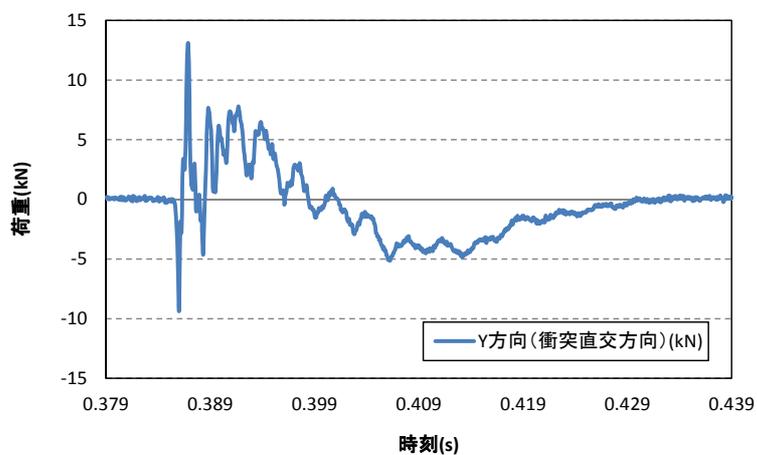


図 3.3.2.67 Y 方向 (衝突直行方向) 荷重時刻歴波形

(4) 画像解析による速度および衝突荷重

画像解析によって求める岩塊の衝突速度と、式(3.3.2.1)に示す自由落下の速度式から求める岩塊の衝突速度の整合性を確認することを目的に、表 3.3.2.2 に示す試験ケースのうち 20 ケースに対して画像解析を実施した。また、画像解析により得られた荷重計衝突直前直後の速度を基に、力積からの衝突荷重の導出も行った。具体的な試験ケースは以下の表 3.3.2.3 に示す。

表 3.3.2.3 画像解析実施ケース

模型		サイズ	受圧板	落下高さ (m)	試験ケース	
						合計
実岩塊模型	20cm	RC板	1	1	5	
			3	1		
			4	1		
			5	2		
多面体岩塊模型	20cm	RC板	1	1	5	
			3	1		
			4	1		
			5	2		
球状岩塊模型	20cm	RC板	1	1	5	
			2	1		
			3	1		
			4	1		
土砂模型	土のう6段	120kg	RC板	1	1	5
				3	2	
				5	2	
					合計	20

画像解析は高速度カメラにより撮影した画像から画像解析プログラム「Move-tr 2D」を用いて PTV 法により画像解析を行い、得られた標点の位置データから荷重計衝突直前直後の速度を求めた。力積からの衝突荷重の導出は、画像解析から得られる衝突時の岩塊模型の速度の時刻歴から衝突前後の衝突方向の速度を求め、荷重計で計測した衝突方向の荷重の衝突時間と、岩塊模型の質量から衝突荷重を以下の式より求めた。

$$F = \frac{mv - mv'}{\Delta t} \quad (\text{式 3.3.2.2})$$

ここで、 $m$  は岩塊模型の質量、 $v$ 、 $v'$  はそれぞれ衝突前、衝突後の速度、 $\Delta t$  は衝突時間である。なお、速度については岩塊模型において複数の標点を追跡することが出来た場合は画像 1 枚毎にその位置データを平均して求めた。また土砂模型の場合は段毎、画像 1 枚毎に標点の位置データを平均し速度を求めた。

土砂模型の衝突実験ではその衝突時に生じた振動が画像に顕著に表れていたため、模型標点の移動データから固定点の移動データを差し引くことにより振動によって生じた振幅量をキャンセルしている。

図 3.3.2.68 に画像解析による衝突時の速度の時刻歴の一例を示す。ここで、衝突荷重算出に用いる衝突前の速度は平均落下速度のプラス側の最大値とし、衝突後の速度は平均落下速度のマイナス側の最大値とした。

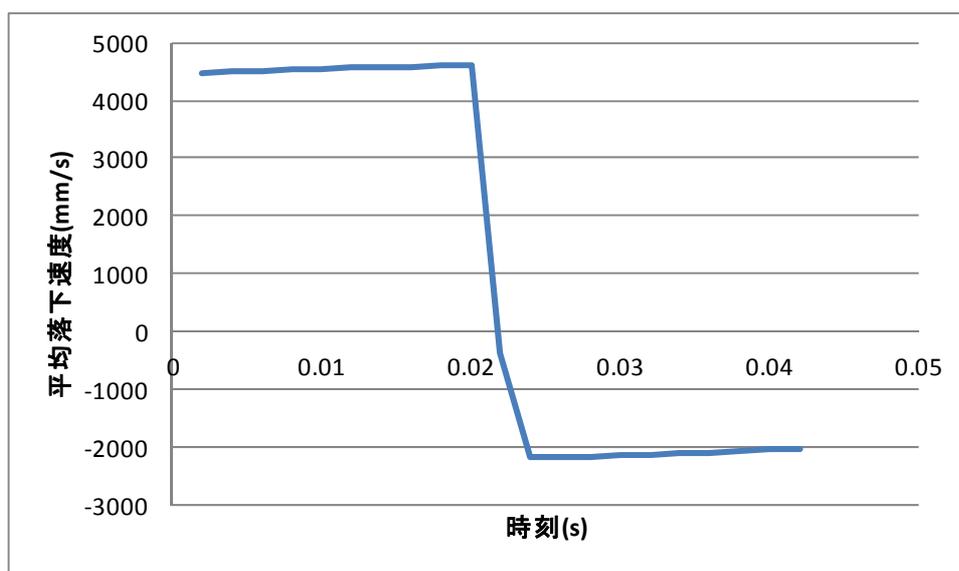


図 3.3.2.68 画像解析による速度の時刻歴の一例（球状岩塊 20cm 落下高さ 1m）

図 3.3.2.69～図 3.3.2.88 に解析を行った標点を示す。なお固定点は全ての試番において標点 1 とした。

表 3.3.2.4 に解析によって得られた衝突直前および直後の速度並びにその差分から求めた衝突荷重の一覧を示す。なお土砂模型の速度については最下段の土のう袋の値を用いている。



図 3.3.2.69 CaseB No.2 試番 101 実岩塊 20cm 落下高さ 1m



図 3.3.2.70 CaseB No.16 試番 103 実岩塊 20cm 落下高さ 3m



図 3.3.2.71 CaseB No.18 試番 104 実岩塊 20cm 落下高さ 4m



図 3.3.2.72 CaseB No.19 試番 106 実岩塊 20cm 落下高さ 5m



図 3.3.2.73 CaseB No.20 試番 107 実岩塊 20cm 落下高さ 5m



図 3.3.2.74 CaseB No.42 試番 96 多面体 20cm 落下高さ 1m



図 3.3.2.75 CaseB No.56 試番 97 多面体 20cm 落下高さ 3m



図 3.3.2.76 CaseB No.59 試番 98 多面体 20cm 落下高さ 4m



図 3.3.2.77 CaseB No.60 試番 99 多面体 20cm 落下高さ 5m



図 3.3.2.78 CaseB No.61 試番 100 多面体 20cm 落下高さ 5m

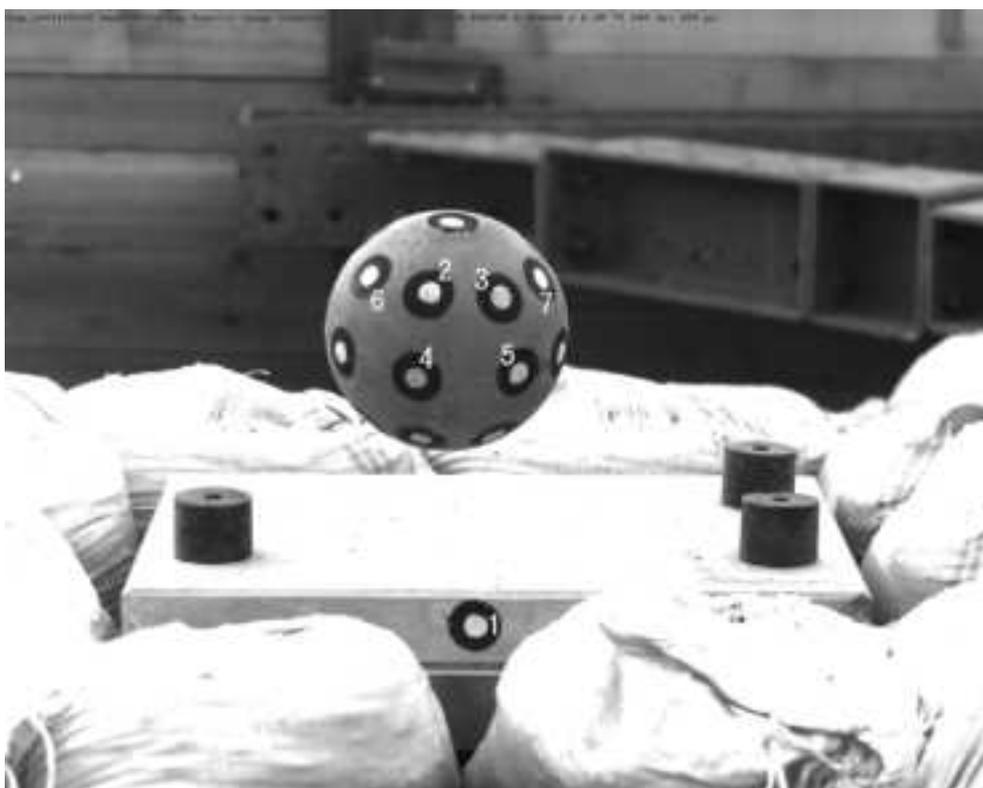


図 3.3.2.79 CaseB No.82 試番 108 球状 20cm 落下高さ 1m

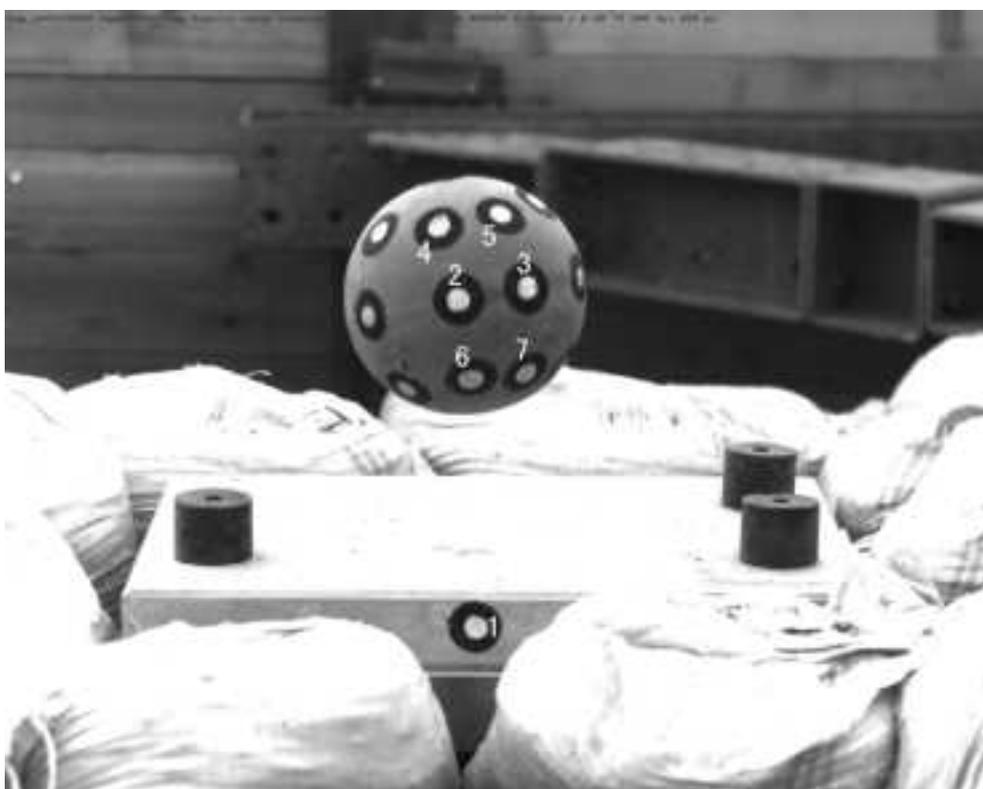


図 3.3.2.80 CaseB No.83 試番 110 球状 20cm 落下高さ 2m



図 3.3.2.81 CaseB No.84 試番 111 球状 20cm 落下高さ 3m



図 3.3.2.82 CaseB No.85 試番 112 球状 20cm 落下高さ 4m



図 3.3.2.83 CaseB No.86 試番 113 球状 20cm 落下高さ 5m

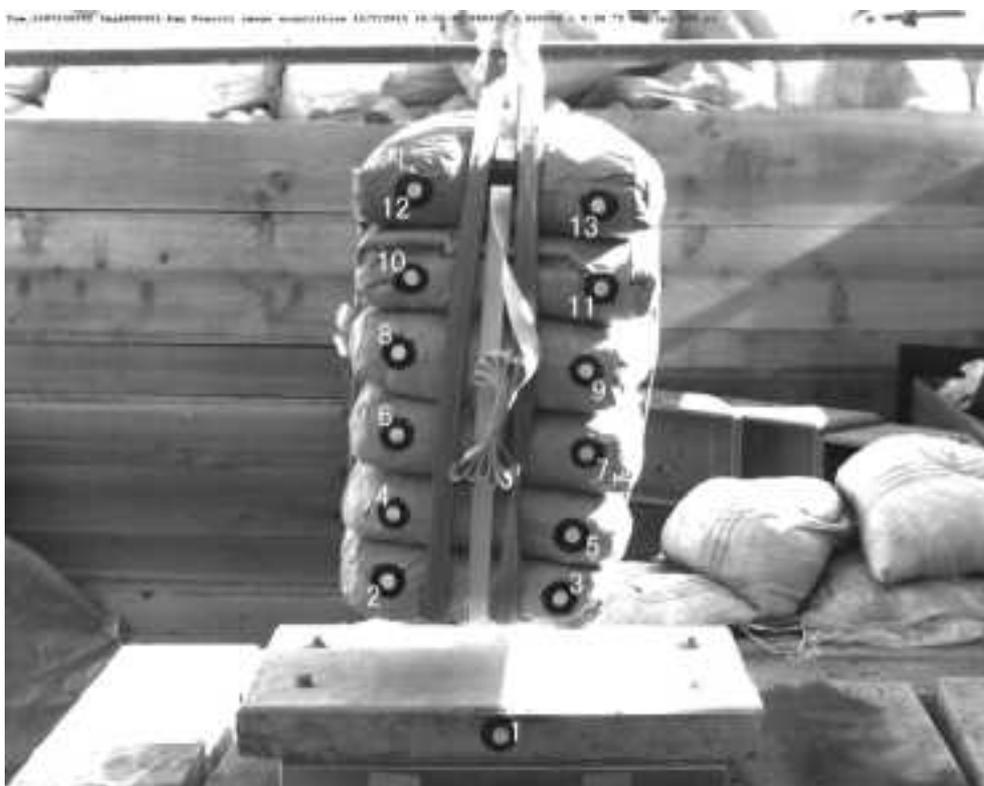


図 3.3.2.84 CaseB No.108 試番 118 土のう 6 段落下高さ 1m

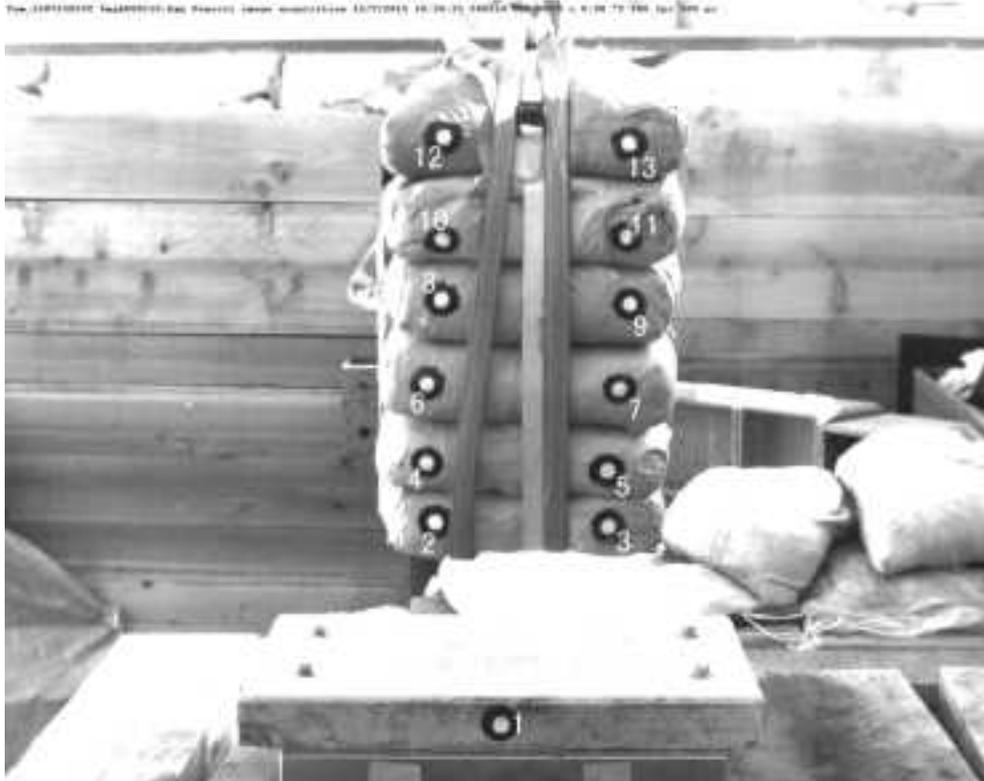


図 3.3.2.85 CaseB No.109 試番 120 土のう 6 段落下高さ 3m

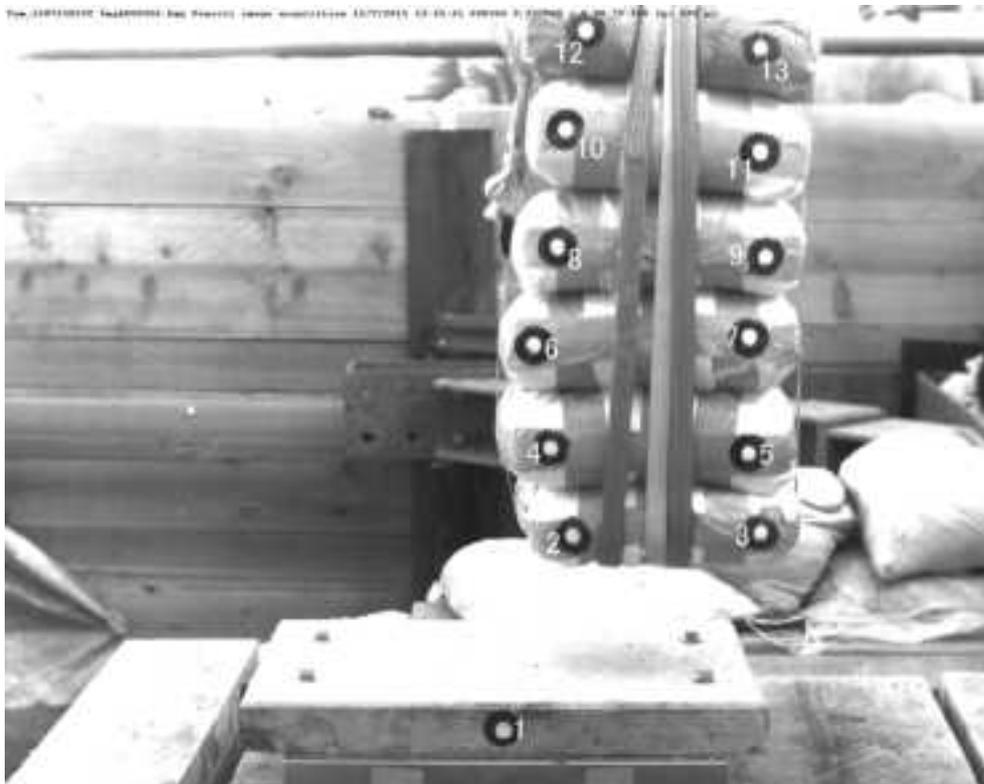


図 3.3.2.86 CaseB No.110 試番 125 土のう 6 段落下高さ 3m

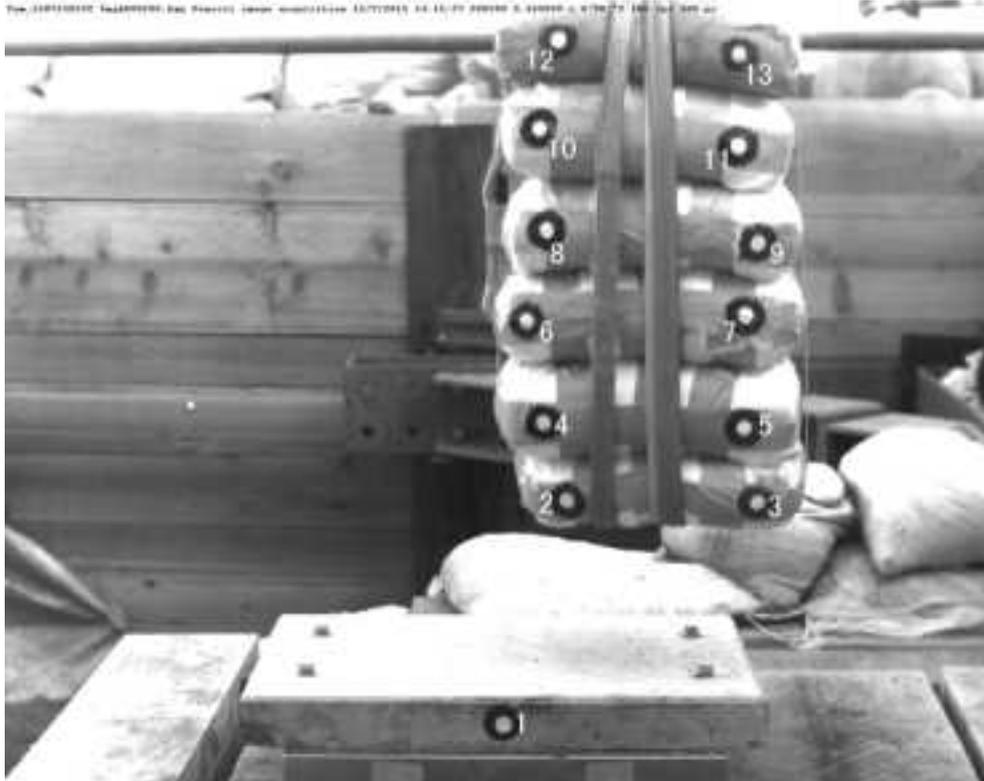


図 3.3.2.87 CaseB No.111 試番 123 土のう 6 段落下高さ 5m

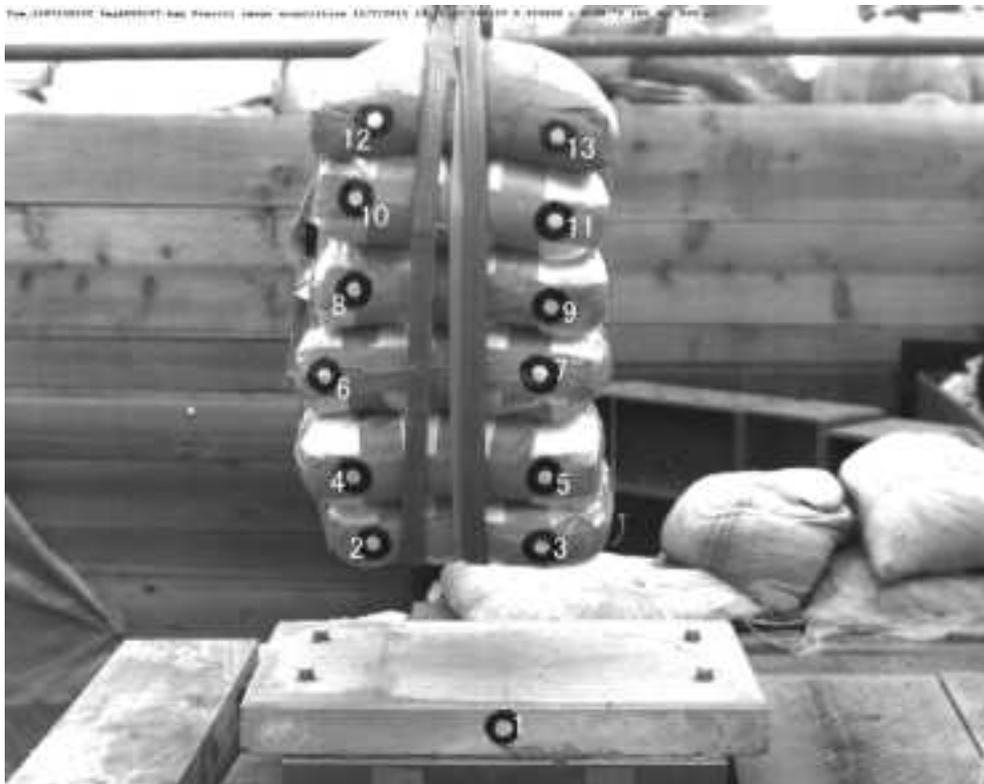


図 3.3.2.88 CaseB No.112 試番 124 土のう 6 段落下高さ 5m

表 3.3.2.4 画像解析結果一覧表

No.	試番	実施日	実施番号	計測データ番号	受圧板条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ平均(m)	画像解析結果			
												a	+	b	合計	a	+	b	合計		衝突直前速度 m/s	衝突直後速度 m/s	衝突時間 s	衝突荷重 kN
2	101	2015/12/4	6	6	コンクリート板	実岩塊	7	20	12.96	1	1	-0.438	+	-1.441	1.003	-0.375	+	-1.353	0.978	0.991	4.618	2.273	0.002	16.883
16	103	2015/12/4	8	8	コンクリート板	実岩塊	7	20	12.96	3	1	1.555	+	-1.441	2.996	1.640	+	-1.353	2.993	2.995	7.944	4.263	0.002	29.450
18	104	2015/12/4	9	9	コンクリート板	実岩塊	7	20	12.96	4	1	2.571	+	-1.441	4.012	2.647	+	-1.353	4.000	4.006	9.330	-2.956	0.002	84.699
19	106	2015/12/4	11	11	コンクリート板	実岩塊	7	20	12.96	5	1	3.546	+	-1.441	4.987	計測不可				4.987	10.032	-0.389	0.001	96.470
20	107	2015/12/4	12	12	コンクリート板	実岩塊	7	20	12.96	5	2	3.553	+	-1.441	4.994	計測不可				4.994	10.377	-2.790	0.001	121.892
42	96	2015/12/4	1	1	コンクリート板	多面体岩塊	6	20	8.28	1	1	-0.438	+	-1.441	1.003	-0.384	+	-1.353	0.969	0.986	4.431	-1.448	0.001	32.452
56	97	2015/12/4	2	2	コンクリート板	多面体岩塊	6	20	8.28	3	1	1.552	+	-1.441	2.993	1.629	+	-1.353	2.982	2.988	7.817	-3.020	0.001	62.312
59	98	2015/12/4	3	3	コンクリート板	多面体岩塊	6	20	8.28	4	1	2.549	+	-1.441	3.990	2.631	+	-1.353	3.984	3.987	9.073	-3.294	0.001	89.819
60	99	2015/12/4	4	4	コンクリート板	多面体岩塊	5	20	8.24	5	1	3.559	+	-1.441	5.000	3.658	+	-1.353	5.011	5.006	10.057	-1.597	0.003	37.401
61	100	2015/12/4	5	5	コンクリート板	多面体岩塊	5	20	8.24	5	2	3.545	+	-1.441	4.986	3.634	+	-1.353	4.987	4.987	9.884	-2.143	0.002	57.900
82	108	2015/12/4	13	13	コンクリート板	球状岩塊	2	20	9.02	1	1	-0.447	+	-1.441	0.994	-0.346	+	-1.353	1.007	1.001	4.612	-2.183	0.002	39.798
83	110	2015/12/4	15	15	コンクリート板	球状岩塊	2	20	9.02	2	1	0.548	+	-1.441	1.989	0.652	+	-1.353	2.005	1.997	6.505	-2.567	0.001	54.556
84	111	2015/12/4	16	16	コンクリート板	球状岩塊	2	20	9.02	3	1	1.553	+	-1.441	2.994	1.652	+	-1.353	3.005	3.000	7.953	-2.799	0.001	67.347
85	112	2015/12/4	17	17	コンクリート板	球状岩塊	2	20	9.02	4	1	2.560	+	-1.441	4.001	2.669	+	-1.353	4.022	4.012	9.344	-3.229	0.001	96.109
86	113	2015/12/4	18	18	コンクリート板	球状岩塊	2	20	9.02	5	1	3.559	+	-1.441	5.000	3.663	+	-1.353	5.016	5.008	10.379	-2.703	0.001	90.767
108	118	2015/12/7	1	1	コンクリート板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	1	1	-0.108	+	-1.114	1.006	-0.688	+	-1.702	1.014	1.010	4.590	-0.267	0.015	39.016
109	120	2015/12/7	3	3	コンクリート板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	3	1	1.876	+	-1.114	2.990	1.286	+	-1.702	2.988	2.989	7.910	-0.442	0.016	62.880
110	125	2015/12/7	8	8	コンクリート板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	3	2	1.872	+	-1.114	2.986	1.263	+	-1.702	2.965	2.976	7.900	-0.370	0.016	63.372
111	123	2015/12/7	6	6	コンクリート板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	5	1	3.900	+	-1.114	5.014	計測不可				5.014	10.283	-0.322	0.016	78.653
112	124	2015/12/7	7	7	コンクリート板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	5	2	3.878	+	-1.114	4.992	計測不可				4.992	10.343	-0.543	0.016	82.986

図 3.3.2.89 に画像解析と理論式から求めた衝突直前速度の関係を示す。両者は一致していることが分かる。図 3.3.2.90 に画像解析と理論式から求めた衝突荷重の関係を示す。画像解析結果から力積の式を通じて計算した衝突荷重は計測値より小さい値になった。これは、衝突対象の剛性や岩塊形状を考慮していないことが影響したものと考えられる。

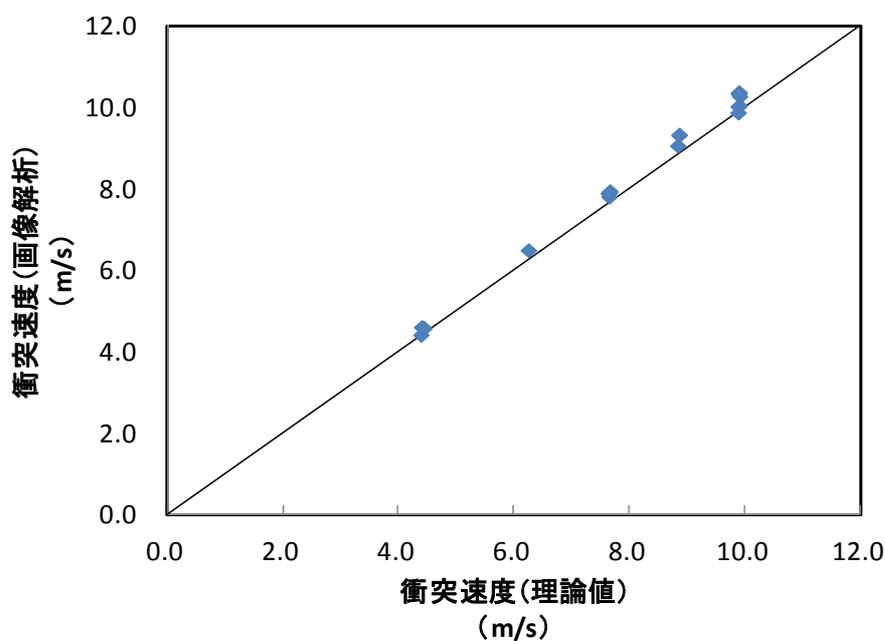


図 3.3.2.89 画像解析と理論式から求めた衝突直前速度の関係

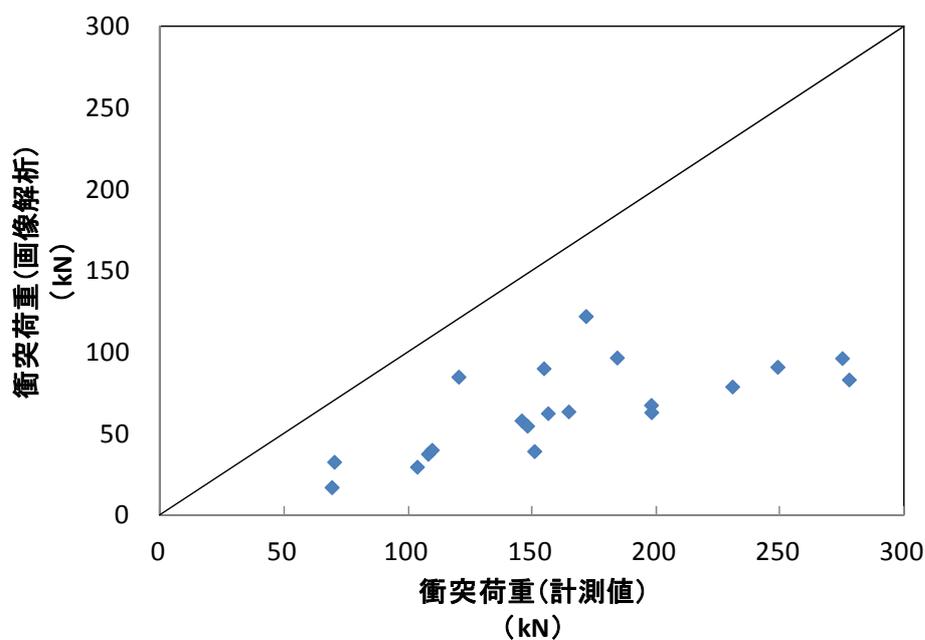


図 3.3.2.90 画像解析と理論式から求めた衝突荷重の関係

(5) 試験結果一覧

3分力荷重計により得られた各方向荷重の最大値、落下速度の理論値、画像解析から得られた衝突直前および直後の速度と衝突荷重を試番表に記入し纏めたものを表 3.3.2.5～表 3.3.2.14 に示す。

表 3.3.2.5 Case A 試験結果一覧表 その1

No.	試番	実施日	受任様条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)			落下高さ2(m)			落下高さ平均(m)	衝突速度理論値(m/s)	ピーク値					
										a	b	合計	a	b	合計			Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)		
1	61	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	1	1	-0.183	+	-1.187	1.004	-0.695	+	-1.685	0.990	0.997	4.422	0.563	42.852	6.564	-0.629
2	65	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	1	2	-0.179	+	-1.187	1.008	-0.682	+	-1.685	1.003	1.006	4.442	0.673	38.545	5.820	4.956
3	69	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	1	3	-0.188	+	-1.187	0.999	-0.702	+	-1.685	0.983	0.991	4.409	0.723	43.058	9.090	5.629
4	35	2015/11/13	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	3	1	1.475	+	-1.536	3.011	計測不可			3.011	7.685	0.223	112.209	-28.819	4.718	
5	62	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	3	2	1.808	+	-1.187	2.995	1.301	+	-1.685	2.986	2.991	7.659	0.371	99.492	-1.462	9.201
6	66	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	3	3	1.809	+	-1.187	2.996	1.302	+	-1.685	2.987	2.992	7.660	0.386	56.243	10.217	13.452
7	70	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	3	4	1.805	+	-1.187	2.992	1.280	+	-1.685	2.965	2.979	7.644	0.350	53.246	-7.330	5.218
8	63	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	4	1	2.800	+	-1.187	3.987	2.285	+	-1.685	3.970	3.979	8.834	0.319	73.450	1.345	4.271
9	67	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	4	2	2.810	+	-1.187	3.997	2.305	+	-1.685	3.990	3.994	8.851	0.320	82.082	-4.680	-0.863
10	71	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	4	3	2.802	+	-1.187	3.989	2.290	+	-1.685	3.975	3.982	8.837	0.195	71.989	1.121	7.316
11	74	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	4	4	2.810	+	-1.193	4.003	2.340	+	-1.658	3.998	4.001	8.858	0.936	70.627	-1.525	9.923
12	76	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	4	5	2.820	+	-1.193	4.013	2.341	+	-1.658	3.999	4.006	8.864	1.007	71.408	2.102	-15.832
13	79	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	4	6	2.805	+	-1.193	3.998	2.323	+	-1.658	3.981	3.990	8.846	1.030	62.713	-9.317	-17.843
14	81	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	4	7	2.807	+	-1.193	4.000	2.354	+	-1.658	4.012	4.006	8.864	1.152	111.506	5.690	-0.421
15	64	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	1	3.797	+	-1.187	4.984	3.291	+	-1.685	4.976	4.980	9.883	0.371	101.112	2.285	7.111
16	68	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	2	3.825	+	-1.187	5.012	3.318	+	-1.685	5.003	5.008	9.911	0.334	100.725	-1.562	5.629
17	72	2015/11/16	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	3	3.806	+	-1.187	4.993	3.279	+	-1.685	4.964	4.979	9.882	0.128	94.044	-8.921	-0.681
18	75	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	4	3.806	+	-1.193	4.999	3.342	+	-1.658	5.000	5.000	9.903	0.984	113.177	-0.485	-4.026
19	78	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	5	3.804	+	-1.193	4.997	3.337	+	-1.658	4.995	4.996	9.899	1.245	92.388	-0.761	-28.633
20	80	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	6	3.810	+	-1.193	5.003	3.374	+	-1.658	5.032	5.018	9.921	1.004	85.115	-19.256	-20.780
21	82	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	7	3.807	+	-1.193	5.000	3.314	+	-1.658	4.972	4.986	9.889	0.991	149.102	-2.524	-4.030
22	84	2015/11/17	ベニヤ板	実岩塊	4	20	12.28	5	8	3.815	+	-1.193	5.008	3.335	+	-1.658	4.993	5.001	9.904	0.435	103.246	-14.463	-9.188
23	131	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	1	1	-0.169	+	-1.172	1.003	-0.602	+	-1.610	1.008	1.006	4.442	0.304	92.499	-2.748	-6.831
24	137	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	1	2	-0.176	+	-1.172	0.996	-0.616	+	-1.610	0.994	0.995	4.418	0.549	63.218	-4.293	-5.295
25	142	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	1	3	-0.183	+	-1.172	0.989	-0.620	+	-1.610	0.990	0.990	4.404	0.813	98.406	1.975	3.220

表 3.3.2.6 Case A 試験結果一覧表 その2

No.	試番	実施日	受任板条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)			落下高さ2(m)			落下高さ平均(m)	衝突速度理論値(m/s)	ピーク値					
										a	b	合計	a	b	合計			Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)		
26	36	2015/11/13	ベニヤ板	実岩塊	3	40	34.16	3	1	1.457	+	-1.536	2.993	計測不可			2.993	7.662	0.191	245.951	-48.099	-32.984	
27	132	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	3	2	1.826	+	-1.172	2.998	1.380	+	-1.610	2.990	2.994	7.663	0.231	146.901	-36.649	21.425
28	138	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	3	3	1.840	+	-1.172	3.012	1.396	+	-1.610	3.006	3.009	7.682	0.305	223.885	-5.639	8.782
29	143	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	3	4	1.825	+	-1.172	2.997	1.382	+	-1.610	2.992	2.995	7.664	0.320	207.892	3.724	-10.240
30	133	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	4	1	2.832	+	-1.172	4.004	2.385	+	-1.610	3.995	4.000	8.857	0.309	242.602	18.019	0.494
31	139	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	4	2	2.825	+	-1.172	3.997	2.386	+	-1.610	3.996	3.997	8.854	0.354	314.874	-12.144	-13.976
32	144	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	4	3	2.840	+	-1.172	4.012	2.408	+	-1.610	4.018	4.015	8.874	0.143	172.998	8.882	7.482
33	146	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	4	4	2.830	+	-1.172	4.002	2.390	+	-1.610	4.000	4.001	8.858	0.370	264.134	30.811	-15.683
34	149	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	4	5	2.839	+	-1.172	4.011	2.383	+	-1.609	3.992	4.002	8.860	0.349	159.857	17.681	-32.869
35	151	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	4	6	2.827	+	-1.172	3.999	2.367	+	-1.609	3.976	3.988	8.844	0.396	229.277	5.570	16.485
36	154	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	4	7	2.839	+	-1.172	4.011	2.392	+	-1.609	4.001	4.006	8.864	0.528	203.732	-3.183	-29.253
37	136	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	5	1	3.826	+	-1.172	4.998	3.376	+	-1.610	4.986	4.992	9.895	0.157	358.473	16.733	9.405
38	141	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	5	2	3.824	+	-1.172	4.996	3.361	+	-1.610	4.971	4.984	9.887	0.346	252.429	-6.245	-62.334
39	145	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	5	3	3.825	+	-1.172	4.997	3.386	+	-1.610	4.996	4.997	9.900	0.302	505.227	6.190	14.677
40	147	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	5	4	3.839	+	-1.172	5.011	3.397	+	-1.610	5.007	5.009	9.912	0.387	422.630	6.301	20.720
41	150	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	5	5	3.823	+	-1.172	4.995	3.358	+	-1.609	4.967	4.981	9.884	0.288	343.640	-6.107	4.308
42	153	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	5	6	3.824	+	-1.172	4.996	3.379	+	-1.609	4.988	4.992	9.895	0.344	277.017	-59.465	17.251
43	155	2015/11/20	ベニヤ板	実岩塊	4	40	34.16	5	7	3.816	+	-1.172	4.988	3.373	+	-1.609	4.982	4.985	9.888	0.382	253.607	-17.820	38.736
44	41	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	1	-0.199	+	-1.187	0.988	-0.645	+	-1.655	1.010	0.999	4.426	0.565	41.100	1.960	-2.609
45	45	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	2	-0.187	+	-1.187	1.000	-0.656	+	-1.655	0.999	1.000	4.429	0.820	32.155	5.994	-9.399
46	49	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	3	-0.191	+	-1.187	0.996	-0.646	+	-1.655	1.009	1.003	4.435	0.608	36.035	-7.948	4.956
47	33	2015/11/13	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	3	1	1.468	+	-1.536	3.004	1.744	+	-1.247	2.991	2.998	7.668	0.240	68.076	7.432	-14.871
48	42	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	3	2	1.828	+	-1.187	3.015	1.383	+	-1.655	3.038	3.027	7.705	0.183	70.149	-14.802	7.288
49	46	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	3	3	1.814	+	-1.187	3.001	1.342	+	-1.655	2.997	2.999	7.669	0.273	89.458	6.462	-20.917
50	50	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	3	4	1.825	+	-1.187	3.012	1.368	+	-1.655	3.023	3.018	7.694	0.120	62.125	4.301	6.411

表 3.3.2.7 Case A 試験結果一覧表 その3

No.	試番	実施日	受注仕様	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)			落下高さ2(m)			落下高さ平均(m)	衝突速度理論値(m/s)	ピーク値					
										a	b	合計	a	b	合計			Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)		
51	43	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	4	1	2.805	+	-1.187	3.992	2.351	+	-1.655	4.006	3.999	8.856	0.248	73.690	-2.126	8.696
52	47	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	4	2	2.822	+	-1.187	4.009	2.367	+	-1.655	4.022	4.016	8.875	0.316	79.616	6.329	-6.919
53	51	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	4	3	2.815	+	-1.187	4.002	2.331	+	-1.655	3.988	3.994	8.851	0.093	68.176	0.613	9.238
54	53	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	4	4	2.801	+	-1.187	3.988	計測不可			3.988	8.844	0.268	61.337	8.766	3.845	
55	55	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	4	5	2.793	+	-1.187	3.980	計測不可			3.980	8.835	0.035	79.925	-2.896	7.718	
56	57	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	4	6	2.809	+	-1.187	3.996	計測不可			3.996	8.853	0.031	90.489	9.032	-19.644	
57	59	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	4	7	2.805	+	-1.187	3.992	計測不可			3.992	8.849	0.410	70.612	3.266	2.247	
58	44	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	5	1	3.815	+	-1.187	5.002	3.346	+	-1.655	5.001	5.002	9.905	0.220	92.057	-9.428	3.343
59	48	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	5	2	3.833	+	-1.187	5.020	3.351	+	-1.655	5.006	5.013	9.916	0.110	97.247	-7.794	7.386
60	52	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	5	3	3.805	+	-1.187	4.992	計測不可			4.992	9.895	0.297	120.259	-17.696	13.362	
61	54	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	5	4	3.808	+	-1.187	4.995	計測不可			4.995	9.898	0.176	87.750	20.788	-0.834	
62	56	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	5	5	3.810	+	-1.187	4.997	計測不可			4.997	9.900	0.318	73.925	-9.219	-6.766	
63	58	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	5	6	3.812	+	-1.187	4.999	計測不可			4.999	9.902	0.171	101.259	-4.425	15.732	
64	60	2015/11/16	ベニヤ板	多面体岩塊	1	20	8.14	5	7	3.809	+	-1.187	4.996	計測不可			4.996	9.899	0.266	119.957	-11.517	-16.685	
65	104	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	1	1	-0.192	+	-1.193	1.001	-0.627	+	-1.633	1.006	1.004	4.438	1.408	71.058	12.338	4.649
66	110	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	1	2	-0.202	+	-1.193	0.991	-0.651	+	-1.633	0.982	0.987	4.400	0.571	64.506	6.514	-10.244
67	114	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	1	3	-0.193	+	-1.193	1.000	-0.638	+	-1.640	1.005	1.003	4.435	0.431	80.595	-10.254	-6.624
68	34	2015/11/13	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	3	1	1.445	+	-1.536	2.981	1.757	+	-1.247	3.004	2.993	7.662	0.270	165.342	2.586	0.581
69	106	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	3	2	1.801	+	-1.193	2.994	1.358	+	-1.633	2.991	2.993	7.662	0.270	165.342	2.586	0.581
70	111	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	3	3	1.812	+	-1.193	3.005	1.371	+	-1.633	3.004	3.005	7.662	0.737	187.500	40.192	7.500
71	115	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	3	4	1.804	+	-1.193	2.997	1.360	+	-1.640	3.000	2.999	7.677	0.484	188.034	10.511	-1.218
72	108	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	4	1	2.822	+	-1.193	4.015	2.381	+	-1.633	4.014	4.015	8.874	0.420	157.060	26.355	-4.723
73	112	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	4	2	2.821	+	-1.193	4.014	2.383	+	-1.633	4.016	4.015	8.874	0.485	207.579	27.327	-0.549
74	118	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	4	3	2.809	+	-1.193	4.002	計測不可			4.002	8.860	0.892	176.421	12.134	-18.325	
75	122	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	4	4	2.798	+	-1.193	3.991	2.316	+	-1.640	3.956	3.974	8.829	0.773	189.745	34.086	-1.476

表 3.3.2.8 Case A 試験結果一覧表 その4

No.	試番	実施日	受任板条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ平均(m)	衝突速度理論値(m/s)	ピーク値			
										a	b	合計	標準偏差	a	b	合計	標準偏差			Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)
76	124	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	4	5	2.818	+	-1.193	4.011	2.343	+	-1.640	3.983	3.997	8.854	0.572	178.464	30.269	-19.234
77	126	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	4	6	2.807	+	-1.193	4.000	2.324	+	-1.640	3.964	3.982	8.837	0.546	173.218	43.361	-18.187
78	128	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	4	7	2.794	+	-1.193	3.987	2.317	+	-1.640	3.957	3.972	8.826	0.403	182.365	45.961	0.115
79	109	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	5	1	3.797	+	-1.193	4.990	3.355	+	-1.633	4.988	4.989	9.892	0.515	231.007	14.845	5.397
80	113	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	5	2	3.798	+	-1.193	4.991	3.343	+	-1.633	4.976	4.984	9.887	0.578	269.490	2.817	0.618
81	121	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	5	3	3.780	+	-1.193	4.973	3.312	+	-1.640	4.952	4.963	9.866	1.051	241.571	31.046	25.018
82	123	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	5	4	3.799	+	-1.193	4.992	3.312	+	-1.640	4.952	4.972	9.875	1.536	307.697	15.174	4.101
83	125	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	5	5	3.791	+	-1.193	4.984	3.300	+	-1.640	4.940	4.962	9.865	0.435	273.391	22.345	11.651
84	127	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	5	6	3.805	+	-1.193	4.998	3.321	+	-1.640	4.961	4.980	9.883	0.759	246.834	-15.863	14.746
85	130	2015/11/19	ベニヤ板	多面体岩塊	1	40	32.00	5	7	3.792	+	-1.193	4.985	3.296	+	-1.640	4.936	4.961	9.864	0.516	273.263	-7.504	15.143
86	24	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	20	9.04	1	1	-0.535	+	-1.536	1.001	-0.264	+	-1.247	0.983	0.992	4.411	0.190	43.610	-2.106	3.843
87	23	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	20	9.04	2	1	0.471	+	-1.536	2.007	0.752	+	-1.247	1.999	2.003	6.268	0.469	23.108	0.625	-1.375
88	22	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	20	9.04	3	1	1.452	+	-1.536	2.988	1.741	+	-1.247	2.988	2.988	7.655	0.059	96.897	2.024	5.057
89	31	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	20	9.04	3	2	1.448	+	-1.536	2.984	1.847	+	-1.247	3.094	3.039	7.720	0.187	112.062	-0.672	0.212
90	21	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	20	9.04	4	1	2.479	+	-1.536	4.015	2.762	+	-1.247	4.009	4.012	8.871	0.150	109.301	0.951	-3.827
91	184	2015/12/9	ベニヤ板	球状岩塊	1	20	9.04	5	1	3.524	+	-1.472	4.996	3.633	+	-1.390	5.023	5.010	9.913	0.673	156.618	-5.686	0.710
92	29	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	0.5	1	-1.047	+	-1.536	0.489	-0.779	+	-1.247	0.468	0.479	3.065	0.946	127.466	2.556	21.555
93	38	2015/11/16	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	0.5	2	-0.676	+	-1.187	0.511	-1.126	+	-1.655	0.529	0.520	3.194	0.882	113.498	-9.480	5.319
94	28	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	1	1	-0.544	+	-1.536	0.992	-0.260	+	-1.247	0.987	0.990	4.406	0.654	489.684	-8.619	-32.269
95	39	2015/11/16	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	1	2	-0.192	+	-1.187	0.995	-0.638	+	-1.655	1.017	1.006	4.442	0.563	214.554	-8.527	0.902
96	27	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	2	1	0.477	+	-1.536	2.013	0.757	+	-1.247	2.004	2.009	6.277	0.139	586.572	-24.135	54.054
97	25	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	3	1	1.474	+	-1.536	3.010	1.756	+	-1.247	3.003	3.007	7.680	0.301	494.479	-13.162	-0.194
98	30	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	3	2	1.463	+	-1.536	2.999	1.760	+	-1.247	3.007	3.003	7.675	0.248	1020.171	21.419	34.995
99	32	2015/11/13	ベニヤ板	球状岩塊	1	40	71.82	3	3	1.455	+	-1.536	2.991	1.743	+	-1.247	2.990	2.991	7.659	0.192	601.737	-0.777	-2.320
100	177	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型 (トンバック土の詰め)	1	160kg	160.00	1	1	-0.471	+	-1.472	1.001	-0.396	+	-1.390	0.994	0.998	4.424	0.405	87.934	1.943	4.788

表 3.3.2.9 Case A 試験結果一覧表 その5

No.	試番	実施日	受任板条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ平均(m)	衝突速度理論値(m/s)	ピーク値			
										a	+	b	合計	a	+	b	合計			Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)
101	178	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型 (トンパック土のう詰め)	1	160kg	160.00	1	2	-0.482	+	-1.472	0.990	-0.403	+	-1.390	0.987	0.989	4.404	0.400	83.057	3.613	2.154
102	179	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型 (トンパック土のう詰め)	1	160kg	160.00	3	1	1.528	+	-1.472	3.000	1.618	+	-1.390	3.008	3.004	7.676	0.404	153.802	-4.821	13.040
103	180	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型 (トンパック土のう詰め)	1	160kg	160.00	3	2	1.526	+	-1.472	2.998	1.603	+	-1.390	2.993	2.996	7.666	0.433	146.680	1.776	-5.812
104	181	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型 (トンパック土のう詰め)	1	160kg	160.00	4	1	2.520	+	-1.472	3.992	2.627	+	-1.390	4.017	4.005	8.863	0.295	108.013	11.380	-17.749
105	182	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型 (トンパック土のう詰め)	1	160kg	160.00	4	2	2.535	+	-1.472	4.007	2.636	+	-1.390	4.026	4.017	8.876	0.496	179.605	-1.055	-0.383
106	183	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型 (トンパック土のう詰め)	1	160kg	160.00	4	3	2.535	+	-1.472	4.007	2.638	+	-1.390	4.028	4.018	8.877	0.503	163.391	0.328	18.007
107	160	2015/12/8	ベニヤ板	土砂模型(土のう2段)	2	40kg	40.00	1	1	-0.461	+	-1.459	0.998	-0.355	+	-1.378	1.023	1.011	4.453	0.563	30.054	-4.510	3.347
108	161	2015/12/8	ベニヤ板	土砂模型(土のう2段)	2	40kg	40.00	3	1	1.538	+	-1.459	2.997	1.648	+	-1.378	3.026	3.012	7.686	0.386	113.056	4.957	10.349
109	162	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう2段)	2	40kg	40.00	3	2	1.533	+	-1.472	3.005	1.604	+	-1.390	2.994	3.000	7.671	0.343	113.424	-4.463	-27.594
110	163	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう2段)	2	40kg	40.00	5	1	3.531	+	-1.472	5.003	3.618	+	-1.390	5.008	5.006	9.909	0.393	178.758	-42.936	-17.085
111	165	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう2段)	2	40kg	40.00	5	2	計測不可			3.620	+	-1.390	5.010	5.010	9.913	0.524	120.546	-17.482	13.178	
112	166	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	1	1	-0.476	+	-1.472	0.996	-0.407	+	-1.390	0.983	0.990	4.406	0.612	52.451	-5.195	1.458
113	167	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	3	1	1.531	+	-1.472	3.003	1.601	+	-1.390	2.991	2.997	7.667	0.389	128.865	-13.259	6.388
114	168	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	3	2	1.528	+	-1.472	3.000	1.592	+	-1.390	2.982	2.991	7.659	0.344	210.211	-14.087	-14.728
115	169	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	3	3	1.522	+	-1.472	2.994	1.582	+	-1.390	2.972	2.983	7.649	0.414	149.956	18.764	0.475
116	170	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	5	1	3.539	+	-1.472	5.011	3.613	+	-1.390	5.003	5.007	9.910	0.455	167.421	-5.945	7.011
117	171	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	5	2	3.520	+	-1.472	4.992	3.594	+	-1.390	4.984	4.988	9.891	0.373	221.327	0.537	5.226
118	172	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	1	1	-0.473	+	-1.472	0.999	-0.407	+	-1.390	0.983	0.991	4.409	0.451	119.332	-18.806	4.382
119	173	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	3	1	1.528	+	-1.472	3.000	1.600	+	-1.390	2.990	2.995	7.664	0.372	89.333	3.261	-3.353
120	174	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	3	2	1.529	+	-1.472	3.001	1.630	+	-1.390	3.020	3.011	7.685	0.409	126.932	-6.555	9.636
121	175	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	5	1	3.520	+	-1.472	4.992	計測不可				4.992	9.895	0.378	275.361	-7.402	38.049
122	176	2015/12/9	ベニヤ板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	5	2	3.526	+	-1.472	4.998	計測不可				4.998	9.901	0.538	387.367	-47.192	29.396
123	158	2015/12/8	ベニヤ板	土砂模型(トンパック)	5	100kg	100.00	3	1	1.556	+	-1.459	3.015	1.677	+	-1.378	3.055	3.035	7.715	0.688	68.647	-9.104	-0.467
124	159	2015/12/8	ベニヤ板	土砂模型(トンパック)	5	100kg	100.00	3	2	1.555	+	-1.459	3.014	1.671	+	-1.378	3.049	3.032	7.712	0.473	85.229	-12.961	12.054

表 3.3.2.10 Case B 試験結果一覧表 その1

No.	試番	実施日	受任板条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ平均値(m)	衝突速度理論値(m/s)	動ひずみ計データ				画像解析結果				備考			
										a		b		合計		a				b		合計		ピーク値							
										+	-	+	-	+	-	+	-			+	-	+	-	Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)		衝突直前速度(m/s)	衝突直後速度(m/s)	衝突時間(s)
1	9	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	1	-0.461	+	-1.463	1.002	-0.311	+	-1.284	0.973	0.988	4.402	0.312	145.171	9.669	-2.048	-	-	-	-	-	-	-	
2	101	2015/12/4	RC板	実岩塊	7	20	12.96	1	2	-0.438	+	-1.441	1.003	-0.375	+	-1.353	0.978	0.991	4.409	0.587	68.905	-17.596	-13.875	4.618	2.273	0.002	16.883	-	-	-	-
3	10	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	3	-0.478	+	-1.463	0.985	-0.317	+	-1.284	0.967	0.976	4.375	0.710	117.565	-1.652	-2.565	-	-	-	-	-	-	-	
4	11	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	4	-0.478	+	-1.463	0.985	-0.328	+	-1.284	0.956	0.971	4.364	0.992	109.946	3.127	-2.625	-	-	-	-	-	-	-	
5	12	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	5	-0.458	+	-1.463	1.005	-0.307	+	-1.282	0.975	0.990	4.406	0.874	120.307	39.961	-18.911	-	-	-	-	-	-	-	
6	17	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	6	-0.456	+	-1.463	1.007	-0.319	+	-1.287	0.968	0.988	4.402	0.891	142.153	10.677	-2.477	-	-	-	-	-	-	-	
7	18	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	7	-0.460	+	-1.463	1.003	-0.294	+	-1.287	0.993	0.998	4.424	1.838	105.381	15.609	11.859	-	-	-	-	-	-	-	
8	19	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	8	-0.466	+	-1.463	0.997	-0.309	+	-1.287	0.978	0.988	4.402	0.648	93.805	-1.596	-7.163	-	-	-	-	-	-	-	
9	22	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	9	-0.455	+	-1.463	1.008	-0.293	+	-1.287	0.994	1.001	4.431	0.565	109.743	8.184	12.943	-	-	-	-	-	-	-	
10	23	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	10	-0.465	+	-1.463	0.998	-0.290	+	-1.287	0.997	0.998	4.424	0.730	97.707	15.761	-3.137	-	-	-	-	-	-	-	
11	24	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	11	-0.481	+	-1.463	0.982	-0.318	+	-1.287	0.969	0.976	4.375	0.539	165.342	35.756	-0.244	-	-	-	-	-	-	-	
12	25	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	12	-0.451	+	-1.463	1.012	-0.286	+	-1.287	1.001	1.007	4.444	0.432	122.626	13.027	3.773	-	-	-	-	-	-	-	
13	26	2015/11/30	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	13	-0.443	+	-1.445	1.002	-0.377	+	-1.361	0.984	0.993	4.413	0.849	135.546	3.373	-1.469	-	-	-	-	-	-	-	
14	27	2015/11/30	RC板	実岩塊	4	20	12.28	1	14	-0.453	+	-1.445	0.992	-0.384	+	-1.361	0.977	0.985	4.395	0.546	136.429	7.903	-14.511	-	-	-	-	-	-	-	
15	14	2015/11/24	RC板	実岩塊	4	20	12.28	3	1	1.527	+	-1.463	2.990	1.687	+	-1.293	2.980	2.985	7.652	1.281	199.904	6.218	11.725	-	-	-	-	-	-	-	
16	103	2015/12/4	RC板	実岩塊	7	20	12.96	3	2	1.555	+	-1.441	2.996	1.640	+	-1.353	2.993	2.995	7.664	0.386	103.339	-8.674	-0.517	7.944	4.263	0.002	29.450	-	-	-	-
17	28	2015/11/30	RC板	実岩塊	4	20	12.28	4	1	2.544	+	-1.445	3.989	2.612	+	-1.361	3.973	3.981	8.836	0.339	410.299	46.609	-10.969	-	-	-	-	-	-	-	
18	104	2015/12/4	RC板	実岩塊	7	20	12.96	4	2	2.571	+	-1.441	4.012	2.647	+	-1.353	4.000	4.006	8.864	0.345	120.049	15.928	17.334	9.330	-2.956	0.002	84.699	-	-	-	-
19	106	2015/12/4	RC板	実岩塊	7	20	12.96	5	1	3.546	+	-1.441	4.987	計測不可				4.987	9.890	0.283	183.966	25.296	-9.267	10.032	-0.389	0.001	96.470	-	-	-	-
20	107	2015/12/4	RC板	実岩塊	7	20	12.96	5	2	3.553	+	-1.441	4.994	計測不可				4.994	9.897	0.315	171.415	17.080	-6.356	10.377	-2.790	0.001	121.892	-	-	-	-
21	68	2015/12/1	RC板	実岩塊	4	40	34.16	1	1	-0.434	+	-1.431	0.997	-0.351	+	-1.362	1.011	1.004	4.438	0.997	149.201	4.876	-3.732	-	-	-	-	-	-	-	
22	69	2015/12/1	RC板	実岩塊	4	40	34.16	1	2	-0.430	+	-1.431	1.001	-0.338	+	-1.362	1.024	1.013	4.457	0.541	148.852	51.323	21.656	-	-	-	-	-	-	-	
23	70	2015/12/1	RC板	実岩塊	4	40	34.16	1	3	-0.442	+	-1.431	0.989	-0.351	+	-1.362	1.011	1.000	4.429	0.827	155.109	-17.570	-2.634	-	-	-	-	-	-	-	
24	71	2015/12/1	RC板	実岩塊	4	40	34.16	3	1	1.555	+	-1.431	2.986	1.657	+	-1.362	3.019	3.003	7.675	0.367	256.957	57.462	12.154	-	-	-	-	-	-	-	
25	72	2015/12/1	RC板	実岩塊	4	40	34.16	3	2	1.557	+	-1.431	2.988	1.653	+	-1.362	3.015	3.002	7.673	0.134	246.282	27.748	7.726	-	-	-	-	-	-	-	

表 3.3.2.11 Case B 試験結果一覧表 その2

No.	試番	実施日	受圧板 条件	模型種別	模型 No.	サイズ (cm)	重量 (kg)	目標落下 高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ 平均 (m)	衝突速度 理論値(m/s)	動ひずみ計データ ピーク値				画像解析結果				備考				
										a		b		合計		a				b		合計		Z方向 衝撃ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)		衝突直前速度 m/s	衝突直後速度 m/s	衝突時間 s	衝突荷重 kN
										+	-	+	-	+	-	+	-			+	-	+	-									
26	73	2015/12/1	RC板	実岩塊	4	40	34.16	3	3	1.560	+	-1.431	2.991	1.662	+	-1.362	3.024	3.008	7.681	0.364	353.283	1.633	27.062	-	-	-	-					
27	74	2015/12/2	RC板	実岩塊	3	40	44.16	4	1	2.532	+	-1.445	3.977	2.620	+	-1.353	3.973	3.975	8.830	0.657	275.986	-25.250	17.242	-	-	-	-					
28	75	2015/12/2	RC板	実岩塊	3	40	44.16	4	2	2.547	+	-1.445	3.992	2.653	+	-1.353	4.006	3.999	8.856	0.841	322.401	-60.247	37.966	-	-	-	-					
29	77	2015/12/2	RC板	実岩塊	3	40	44.16	4	3	2.537	+	-1.445	3.982	2.638	+	-1.353	3.991	3.987	8.843	0.721	284.931	97.567	73.556	-	-	-	-					
30	78	2015/12/2	RC板	実岩塊	3	40	44.16	4	4	2.546	+	-1.445	3.991	2.647	+	-1.353	4.000	3.996	8.853	0.426	416.114	22.451	9.820	-	-	-	-					
31	80	2015/12/2	RC板	実岩塊	9	40	27.26	4	5	2.547	+	-1.445	3.992	2.657	+	-1.353	4.010	4.001	8.859	0.651	441.144	-18.607	-17.555	-	-	-	-					
32	81	2015/12/2	RC板	実岩塊	9	40	27.26	4	6	2.549	+	-1.445	3.994	2.657	+	-1.353	4.010	4.002	8.860	0.818	191.733	19.254	-18.570	-	-	-	-					
33	82	2015/12/2	RC板	実岩塊	9	40	27.26	4	7	2.535	+	-1.445	3.980	2.640	+	-1.353	3.993	3.987	8.843	0.836	259.680	6.264	-15.471	-	-	-	-					
34	83	2015/12/2	RC板	実岩塊	9	40	27.26	5	1	3.547	+	-1.445	4.992	3.636	+	-1.353	4.989	4.991	9.894	0.933	341.100	-8.457	127.186	-	-	-	-					
35	84	2015/12/2	RC板	実岩塊	9	40	27.26	5	2	3.542	+	-1.445	4.987	3.619	+	-1.353	4.972	4.980	9.883	0.596	416.151	-53.470	66.402	-	-	-	-					
36	85	2015/12/2	RC板	実岩塊	9	40	27.26	5	3	3.531	+	-1.445	4.976	3.619	+	-1.353	4.972	4.974	9.877	0.400	334.290	16.062	1.126	-	-	-	-					
37	87	2015/12/3	RC板	実岩塊	13	40	28.86	5	4	3.572	+	-1.442	5.014	3.674	+	-1.346	5.020	5.017	9.920	0.291	125.184	9.373	25.572	-	-	-	-					
38	88	2015/12/3	RC板	実岩塊	13	40	28.86	5	5	3.556	+	-1.442	4.998	3.656	+	-1.346	5.002	5.000	9.903	0.227	254.748	33.753	64.502	-	-	-	-					
39	89	2015/12/3	RC板	実岩塊	13	40	28.86	5	6	3.551	+	-1.442	4.993	3.628	+	-1.346	4.974	4.984	9.887	0.225	291.703	54.265	-18.303	-	-	-	-					
40	90	2015/12/3	RC板	実岩塊	13	40	28.86	5	7	3.560	+	-1.442	5.002	3.650	+	-1.346	4.996	4.999	9.902	0.431	214.922	11.963	14.622	-	-	-	-					
41	29	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	1	-0.453	+	-1.445	0.992	-0.347	+	-1.362	1.015	1.004	4.438	0.940	73.156	23.697	-6.107	-	-	-	-					
42	96	2015/12/4	RC板	多面体岩塊	6	20	8.28	1	2	-0.438	+	-1.441	1.003	-0.384	+	-1.353	0.969	0.986	4.398	0.576	69.898	-2.448	9.780	4.431	-1.448	0.001	32.452	画像 解析				
43	30	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	3	-0.454	+	-1.445	0.991	-0.386	+	-1.362	0.976	0.984	4.393	0.543	76.137	-4.711	12.308	-	-	-	-					
44	31	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	4	-0.445	+	-1.445	1.000	-0.385	+	-1.362	0.977	0.989	4.404	0.881	98.020	21.510	2.725	-	-	-	-					
45	32	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	5	-0.458	+	-1.445	0.987	-0.394	+	-1.362	0.968	0.978	4.380	0.490	79.119	19.963	3.017	-	-	-	-					
46	33	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	6	-0.441	+	-1.445	1.004	-0.380	+	-1.362	0.982	0.993	4.413	0.281	73.929	6.010	-0.332	-	-	-	-					
47	34	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	1	20	8.14	1	7	-0.436	+	-1.445	1.009	-0.381	+	-1.362	0.981	0.995	4.418	0.163	63.144	9.604	-4.245	-	-	-	-					
48	35	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	2	20	8.34	1	8	-0.436	+	-1.445	1.009	-0.366	+	-1.362	0.996	1.003	4.435	0.744	61.580	11.299	2.648	-	-	-	-					
49	36	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	20	8.08	1	9	-0.448	+	-1.445	0.997	-0.389	+	-1.362	0.973	0.985	4.395	0.468	72.070	21.438	-0.465	-	-	-	-					
50	37	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	20	8.08	1	10	-0.436	+	-1.445	1.009	-0.380	+	-1.362	0.982	0.996	4.420	0.807	104.222	22.311	1.393	-	-	-	-					

表 3.3.2.12 Case B 試験結果一覧表 その3

No.	試番	実施日	受圧板 条件	模型種別	模型 No.	サイズ (cm)	重量 (kg)	目標落下 高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ 平均 (m)	衝突速度 理論値(m/s)	動ひずみ計データ ピーク値				画像解析結果				備考				
										a		b		合計		a				b		合計		Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)		衝突直前速度 m/s	衝突直後速度 m/s	衝突時間 s	衝突荷重 kN
										+	-	+	-	+	-	+	-			+	-	+	-									
51	38	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	20	8.08	1	11	-0.452	+	-1.445	0.993	-0.394	+	-1.362	0.968	0.981	4.386	0.542	51.918	5.128	1.882	-	-	-	-					
52	39	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	20	8.08	1	12	-0.452	+	-1.445	0.993	-0.377	+	-1.362	0.985	0.989	4.404	0.744	69.586	4.254	9.450	-	-	-	-					
53	40	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	20	8.08	1	13	-0.442	+	-1.445	1.003	-0.380	+	-1.362	0.982	0.993	4.413	0.707	106.302	22.550	-2.843	-	-	-	-					
54	41	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	20	8.08	1	14	-0.443	+	-1.445	1.002	-0.372	+	-1.362	0.990	0.996	4.420	0.502	67.764	14.995	-4.113	-	-	-	-					
55	42	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	20	8.08	3	1	1.554	+	-1.445	2.999	1.636	+	-1.362	2.998	2.999	7.669	0.219	131.147	46.873	-3.335	-	-	-	-					
56	97	2015/12/4	RC板	多面体岩塊	6	20	8.28	3	2	1.552	+	-1.441	2.993	1.629	+	-1.353	2.982	2.988	7.655	0.280	156.121	31.005	9.456	7.817	-3.020	0.001	62.312	画像 解析				
57	43	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	4	20	8.24	3	3	1.561	+	-1.445	3.006	1.654	+	-1.362	3.016	3.011	7.685	0.384	106.909	3.456	-2.726	-	-	-	-					
58	44	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	4	20	8.24	4	1	2.554	+	-1.445	3.999	計測不可				3.999	8.856	0.203	128.166	16.414	-2.629	-	-	-	-					
59	98	2015/12/4	RC板	多面体岩塊	6	20	8.28	4	2	2.549	+	-1.441	3.990	2.631	+	-1.353	3.984	3.987	8.843	0.157	154.428	19.888	-2.689	9.073	-3.294	0.001	89.819	画像 解析				
60	99	2015/12/4	RC板	多面体岩塊	5	20	8.24	5	1	3.559	+	-1.441	5.000	3.658	+	-1.353	5.011	5.006	9.909	0.312	107.737	-13.236	4.714	10.057	-1.597	0.003	37.401	画像 解析				
61	100	2015/12/4	RC板	多面体岩塊	5	20	8.24	5	2	3.545	+	-1.441	4.986	3.634	+	-1.353	4.987	4.987	9.890	0.169	145.465	-19.139	40.461	9.884	-2.143	0.002	57.900	画像 解析				
62	45	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	1	40	32.00	1	1	-0.453	+	-1.445	0.992	-0.353	+	-1.362	1.009	1.001	4.431	1.047	205.499	28.812	2.984	-	-	-	-					
63	46	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	2	40	32.30	1	2	-0.444	+	-1.445	1.001	-0.343	+	-1.362	1.019	1.010	4.451	0.685	115.724	-2.433	-11.130	-	-	-	-					
64	47	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	2	40	32.30	1	3	-0.433	+	-1.445	1.012	-0.345	+	-1.362	1.017	1.015	4.462	0.295	208.591	-18.385	-16.029	-	-	-	-					
65	48	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	2	40	32.30	3	1	1.552	+	-1.445	2.997	1.649	+	-1.362	3.011	3.004	7.676	0.200	382.656	-26.776	-3.178	-	-	-	-					
66	49	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	2	40	32.30	3	2	1.566	+	-1.445	3.011	1.667	+	-1.362	3.029	3.020	7.696	0.363	144.508	-4.811	-6.960	-	-	-	-					
67	50	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	2	40	32.30	3	3	1.565	+	-1.445	3.01	1.667	+	-1.362	3.029	3.020	7.696	0.296	237.080	10.330	12.191	-	-	-	-					
68	51	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	40	32.28	4	1	2.563	+	-1.445	4.008	計測不可				4.008	8.866	0.226	163.759	27.692	5.581	-	-	-	-					
69	52	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	3	40	32.28	4	2	2.556	+	-1.445	4.001	2.675	+	-1.362	4.037	4.019	8.878	0.208	222.688	10.714	30.480	-	-	-	-					
70	58	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	4	40	32.18	4	3	2.570	+	-1.431	4.001	2.627	+	-1.362	3.989	3.995	8.852	0.848	333.959	36.529	34.899	-	-	-	-					
71	59	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	5	40	32.28	4	4	2.568	+	-1.431	3.999	2.640	+	-1.362	4.002	4.001	8.858	0.888	351.443	47.613	31.762	-	-	-	-					
72	60	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	5	40	32.28	4	5	2.557	+	-1.431	3.988	2.642	+	-1.362	4.004	3.996	8.853	0.890	132.656	-14.878	-0.443	-	-	-	-					
73	61	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	5	40	32.28	4	6	2.575	+	-1.431	4.006	2.645	+	-1.362	4.007	4.007	8.865	0.658	245.289	1.517	0.000	-	-	-	-					
74	62	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	5	40	32.28	4	7	2.561	+	-1.431	3.992	2.623	+	-1.362	3.985	3.989	8.845	0.828	308.009	2.831	24.068	-	-	-	-					
75	55	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	4	40	32.18	5	1	3.552	+	-1.445	4.997	3.662	+	-1.362	5.024	5.011	9.914	0.308	164.937	12.639	6.956	-	-	-	-					

表 3.3.2.13 Case B 試験結果一覧表 その4

No.	試番	実施日	受任板条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ平均値(m)	衝突速度理論値(m/s)	動いずみ計データ				画像解析結果				備考
										a		b		合計		a				b		合計		ピーク値				
										+	-	+	-	+	-	+	-			+	-	+	-	Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)	
76	56	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	4	40	32.18	5	2	3.569	+	-1.445	5.014	3.677	+	-1.362	5.039	5.027	9.930	0.396	372.718	-55.172	60.498	-	-	-	-	
77	57	2015/11/30	RC板	多面体岩塊	4	40	32.18	5	3	3.549	+	-1.445	4.994	3.664	+	-1.362	5.026	5.010	9.913	0.320	252.356	0.194	12.168	-	-	-	-	
78	63	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	5	40	32.28	5	4	3.573	+	-1.431	5.004	3.639	+	-1.362	5.001	5.003	9.906	0.489	330.021	2.785	-28.404	-	-	-	-	
79	64	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	5	40	32.28	5	5	3.555	+	-1.431	4.986	計測不可				4.986	9.889	0.271	287.802	23.140	28.995	-	-	-	-	
80	66	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	6	40	32.28	5	6	3.556	+	-1.431	4.987	計測不可				4.987	9.890	0.401	319.898	7.041	20.083	-	-	-	-	
81	67	2015/12/1	RC板	多面体岩塊	6	40	32.28	5	7	3.572	+	-1.431	5.003	計測不可				5.003	9.906	0.421	229.351	6.569	24.364	-	-	-	-	
82	108	2015/12/4	RC板	球状岩塊	2	20	9.02	1	1	-0.447	+	-1.441	0.994	-0.346	+	-1.353	1.007	1.001	4.431	0.595	109.320	22.461	8.207	4.612	-2.183	0.002	39.798	画像解析
83	110	2015/12/4	RC板	球状岩塊	2	20	9.02	2	1	0.548	+	-1.441	1.989	0.652	+	-1.353	2.005	1.997	6.258	0.245	147.784	26.096	4.820	6.505	-2.567	0.001	54.556	画像解析
84	111	2015/12/4	RC板	球状岩塊	2	20	9.02	3	1	1.553	+	-1.441	2.994	1.652	+	-1.353	3.005	3.000	7.671	0.323	197.733	28.183	8.404	7.953	-2.799	0.001	67.347	画像解析
85	112	2015/12/4	RC板	球状岩塊	2	20	9.02	4	1	2.560	+	-1.441	4.001	2.669	+	-1.353	4.022	4.012	8.871	0.489	274.809	74.482	28.976	9.344	-3.229	0.001	96.109	画像解析
86	113	2015/12/4	RC板	球状岩塊	2	20	9.02	5	1	3.559	+	-1.441	5.000	3.663	+	-1.353	5.016	5.008	9.911	0.293	248.749	116.044	-39.336	10.379	-2.703	0.001	90.767	画像解析
87	91	2015/12/3	RC板	球状岩塊	1	40	71.82	0.5	1	-0.951	+	-1.442	0.491	-0.854	+	-1.342	0.488	0.490	3.100	0.882	416.630	-25.241	5.664	-	-	-	-	
88	92	2015/12/3	RC板	球状岩塊	1	40	71.82	0.5	2	-0.949	+	-1.442	0.493	-0.854	+	-1.342	0.488	0.491	3.103	0.406	417.476	0.046	26.061	-	-	-	-	
89	93	2015/12/3	RC板	球状岩塊	1	40	71.82	1	1	-0.431	+	-1.442	1.011	-0.330	+	-1.342	1.012	1.012	4.455	0.528	534.894	61.667	21.744	-	-	-	-	
90	94	2015/12/3	RC板	球状岩塊	1	40	71.82	2	1	0.557	+	-1.442	1.999	0.652	+	-1.342	1.994	1.997	6.258	0.280	757.803	92.487	28.662	-	-	-	-	
91	95	2015/12/3	RC板	球状岩塊	1	40	71.82	2.5	1	1.052	+	-1.442	2.494	1.159	+	-1.342	2.501	2.498	7.000	0.345	871.025	-57.920	-1.421	-	-	-	-	
92	136	2015/12/8	RC板	土砂模型 (トンバツ土のう詰め)	1	160kg	160.00	1	1	-0.459	+	-1.459	1.000	-0.359	+	-1.343	0.984	0.992	4.411	0.841	47.630	-1.591	5.194	-	-	-	-	
93	137	2015/12/8	RC板	土砂模型 (トンバツ土のう詰め)	1	160kg	160.00	1	2	-0.462	+	-1.459	0.997	-0.383	+	-1.343	0.960	0.979	4.382	0.635	39.716	1.124	2.168	-	-	-	-	
94	138	2015/12/8	RC板	土砂模型 (トンバツ土のう詰め)	1	160kg	160.00	3	1	1.544	+	-1.459	3.003	1.650	+	-1.343	2.993	2.998	7.668	0.623	167.587	0.051	2.002	-	-	-	-	
95	139	2015/12/8	RC板	土砂模型 (トンバツ土のう詰め)	1	160kg	160.00	3	2	1.529	+	-1.459	2.988	1.650	+	-1.343	2.993	2.991	7.659	0.677	129.546	-14.975	5.898	-	-	-	-	
96	141	2015/12/8	RC板	土砂模型 (トンバツ土のう詰め)	1	160kg	160.00	4	1	2.540	+	-1.459	3.999	計測不可				3.999	8.856	0.450	116.847	-11.098	7.053	-	-	-	-	
97	142	2015/12/8	RC板	土砂模型 (トンバツ土のう詰め)	1	160kg	160.00	4	2	2.531	+	-1.459	3.990	計測不可				3.990	8.846	0.439	151.539	-15.285	46.508	-	-	-	-	
98	126	2015/12/7	RC板	土砂模型 (土のう2段)	2	40kg	40.00	1	1	-0.122	+	-1.114	0.992	-0.739	+	-1.702	0.963	0.978	4.380	0.614	50.740	2.093	0.325	-	-	-	-	
99	127	2015/12/7	RC板	土砂模型 (土のう2段)	2	40kg	40.00	3	1	1.883	+	-1.114	2.997	1.250	+	-1.717	2.967	2.982	7.648	0.490	167.513	-27.670	-8.017	-	-	-	-	
100	128	2015/12/7	RC板	土砂模型 (土のう2段)	2	40kg	40.00	3	2	1.879	+	-1.114	2.993	1.261	+	-1.717	2.978	2.986	7.653	0.444	110.001	16.584	-16.915	-	-	-	-	

表 3.3.2.14 Case B 試験結果一覧表 その5

No.	試番	実施日	受圧板条件	模型種別	模型No.	サイズ(cm)	重量(kg)	目標落下高さ(m)	回数	落下高さ1(m)				落下高さ2(m)				落下高さ平均(m)	衝突速度理論値(m/s)	動いずみ計データ				画像解析結果				備考
										ピーク値		ピーク値		ピーク値		ピーク値				Z方向(衝突方向)(kN)	X方向(衝突直交方向)(kN)	Y方向(衝突直交方向)(kN)	衝突直前速度(m/s)	衝突直後速度(m/s)	衝突時間(s)	衝突荷重(kN)		
										a	b	合計	a	b	合計	Z方向荷重ピーク時刻(s)	Z方向(衝突方向)(kN)										X方向(衝突直交方向)(kN)	
101	130	2015/12/7	RC板	土砂模型(土のう2段)	2	40kg	40.00	5	1	3.900	+	-1.114	5.014	3.263	+	-1.717	4.980	4.997	7.653	0.444	110.001	16.584	-16.915	-	-	-	-	
102	131	2015/12/7	RC板	土砂模型(土のう2段)	2	40kg	40.00	5	2	3.887	+	-1.114	5.001	3.243	+	-1.717	4.960	4.981	9.884	0.560	79.266	-9.960	4.520	-	-	-	-	
103	143	2015/12/8	RC板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	1	1	-0.447	+	-1.459	1.012	-0.355	+	-1.343	0.988	1.000	4.429	0.266	56.224	-3.879	3.504	-	-	-	-	
104	144	2015/12/8	RC板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	3	1	1.549	+	-1.459	3.008	1.655	+	-1.343	2.998	3.003	7.675	0.780	99.676	-5.505	1.370	-	-	-	-	
105	145	2015/12/8	RC板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	3	2	1.555	+	-1.459	3.014	1.663	+	-1.343	3.006	3.010	7.683	0.452	159.379	-29.751	4.682	-	-	-	-	
106	146	2015/12/8	RC板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	5	1	3.549	+	-1.459	5.008	3.675	+	-1.343	5.018	5.013	9.916	0.596	117.638	2.984	-1.868	-	-	-	-	
107	147	2015/12/8	RC板	土砂模型(土のう4段)	3	80kg	80.00	5	2	3.544	+	-1.459	5.003	3.663	+	-1.343	5.006	5.005	9.908	0.516	234.890	-25.000	19.995	-	-	-	-	
108	118	2015/12/7	RC板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	1	1	-0.108	+	-1.114	1.006	-0.688	+	-1.702	1.014	1.010	4.451	0.967	150.637	-14.393	19.624	4.590	-0.267	0.015	39.016	画像解析
109	120	2015/12/7	RC板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	3	1	1.876	+	-1.114	2.990	1.286	+	-1.702	2.988	2.989	7.657	0.303	197.843	3.132	-11.891	7.910	-0.442	0.016	62.880	画像解析
110	125	2015/12/7	RC板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	3	2	1.872	+	-1.114	2.986	1.263	+	-1.702	2.965	2.976	7.640	0.445	164.421	-0.231	-1.785	7.900	-0.370	0.016	63.372	画像解析
111	123	2015/12/7	RC板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	5	1	3.900	+	-1.114	5.014	計測不可			5.014	9.917	0.782	230.492	-17.487	65.332	10.283	-0.322	0.016	78.653	画像解析	
112	124	2015/12/7	RC板	土砂模型(土のう6段)	4	120kg	120.00	5	2	3.878	+	-1.114	4.992	計測不可			4.992	9.895	0.591	277.569	-48.756	21.979	10.343	-0.543	0.016	82.986	画像解析	
113	114	2015/12/4	RC板	土砂模型(トンパック)	5	100kg	100.00	3	1	1.567	+	-1.441	3.008	1.667	+	-1.353	3.020	3.014	7.689	0.389	74.426	7.888	4.700	-	-	-	-	
114	135	2015/12/8	RC板	土砂模型(トンパック)	5	100kg	100.00	3	2	1.539	+	-1.459	2.998	1.609	+	-1.343	2.952	2.975	7.639	0.530	75.806	-2.628	-2.039	-	-	-	-	

## (6) 試験結果の考察

### ①岩塊模型の衝撃荷重と衝突速度の関係

図 3.3.2.91～図 3.3.2.104 に球形、塊状、板状および実岩塊模型の衝突方向荷重のピーク値と衝突直前速度の関係を示す。全体的に衝突荷重は衝突直前速度と正の相関関係がある。さらに、ベニヤ板のケースの結果から大型斜面模型実験と自由落下実験から得られた結果に大きな差がないことが分かる。

岩塊模型間の違いとしては、球形模型の場合の衝突荷重に対し、他の岩塊模型の衝突荷重は小さい傾向がある。また、コンクリート板のケースでは、一部のケースで荷重が小さくなる傾向が見られるがこれは岩塊模型とコンクリート板の損傷が影響したものと考えられる。

図 3.3.2.99～図 3.3.2.104 には、コンクリート板または岩塊模型が損傷したケースと、無損傷のケースを区別して示す。なお、損傷の有無は、目視で確認し、ひび割れや欠けがほとんどない場合を無損傷のケースとした。コンクリート板または岩塊模型が損傷したケースは、比較的衝突速度が大きい場合に発生している。また、衝突荷重が相対的に小さくなる傾向がある。これは、衝突速度が大きいほど衝突荷重が大きくなり、コンクリート板と岩塊模型の接触面で損傷エネルギーに衝突荷重の一部が使われたことを示していると考えられる。

### ②岩塊の衝突荷重に対するヘルツの理論式との比較

上記の衝突方向荷重のピーク値と衝突直前速度の関係から、衝突直前速度をパラメータとした衝突方向荷重のピーク値の算定式を構築し、衝突荷重の評価手法を提案するものとした。衝突方向荷重のピーク値の算定式には、異なる質量、剛性、径を持つ二つの球体間の衝突荷重の理論式であるヘルツの式を用いた。すなわち剛な球形岩塊が平坦な弾性体の反力体に衝突した場合の理論式は次式で表される。

$$P = \left\{ \frac{4(1-2\nu)\lambda}{3(1-\nu)\nu} \sqrt{R} \right\}^{2/5} \cdot \left( \frac{5}{4} m V^2 \right)^{3/5} \quad (\text{式3.3.2.3})$$

ここで、 $P$ は衝突方向荷重のピーク値(kN)、 $\lambda$ はラメの定数(kN/m<sup>2</sup>)、 $\nu$ はポアソン比、 $R$ は岩塊の半径(m)、 $m$ は岩塊の質量(kg)である。本件では、ポアソン比 $\nu$ には、表 3.3.2.15に示すベニヤとコンクリートのポアソン比を用いた。 $R$ については、球形岩塊にはその半径を、その他の岩塊模型には長辺と短辺の平均値の半値を用いた。

はじめに、球形模型の衝突方向荷重と速度の関係から、理論式が計測値を概ね包括するように

$\lambda$ をベニヤとコンクリートに対し求めた。その後、他の形状の岩塊模型に対し、式(3.3.2.4)が計測値を概ね包絡するように、補正係数 $\alpha$ を求めた。

$$P' = \alpha P \quad (\text{式}3.3.2.4)$$

ここで、 $P'$ は、補正後の衝突方向荷重のピーク値(kN)である。

図 3.3.2.91～図 3.3.2.104 にこれらの算定式より求めた衝突方向荷重と速度の関係を示す。また、その際のベニヤとコンクリートのラメの定数  $\lambda$  と補正係数  $\alpha$ 、その他のパラメータを表 3.3.2.15 に示す。ここで、図中の斜面実験のデータは、平成 25 年度斜面安定性における転動挙動衝撃試験（旧（独）原子力安全基盤機構実施）で得られたデータである。算定式は概ね計測値を包絡できている。なお、実岩塊模型については、複数個の異なる質量を有する模型を用いて実験を実施したため、異なる質量の岩塊に対する算定式も示している。ベニヤとコンクリートのラメの定数  $\lambda$  は、材料試験で求められる一般的な値より小さい値になった。これは、岩塊模型は衝突後大きな破損はないものの、衝突箇所と考えられる部分は局所的に破損している上、荷重計受け面に敷設したベニヤ板およびコンクリート板も局所的に破損しており、これらの破損に伴う塑性化を反映したものと考えられる。

表 3.3.2.15 岩塊模型の衝撃荷重算定式のパラメータ

形状		球形		塊状		板状		実岩塊	
代表径		20cm	40cm	20cm	40cm	20cm	40cm	20cm	40cm
質量(kg)		9.20	72.3	8.50	31.9	10.8	27.3	12.3～ 13.0	27.3～ 44.2
岩塊半径(m)		0.10	0.20	0.10	0.14	0.16	0.17	0.10	0.12～ 0.15
補正係数	ベニヤ	1.0		0.5		0.4		0.5	
	コンクリート	1.0		0.7		-		0.9	
ラメの定数 (kN/m <sup>2</sup> )	ベニヤ	220.0							
	コンクリート	25.0							
ポアソン比	ベニヤ	0.40							
	コンクリート	0.16							

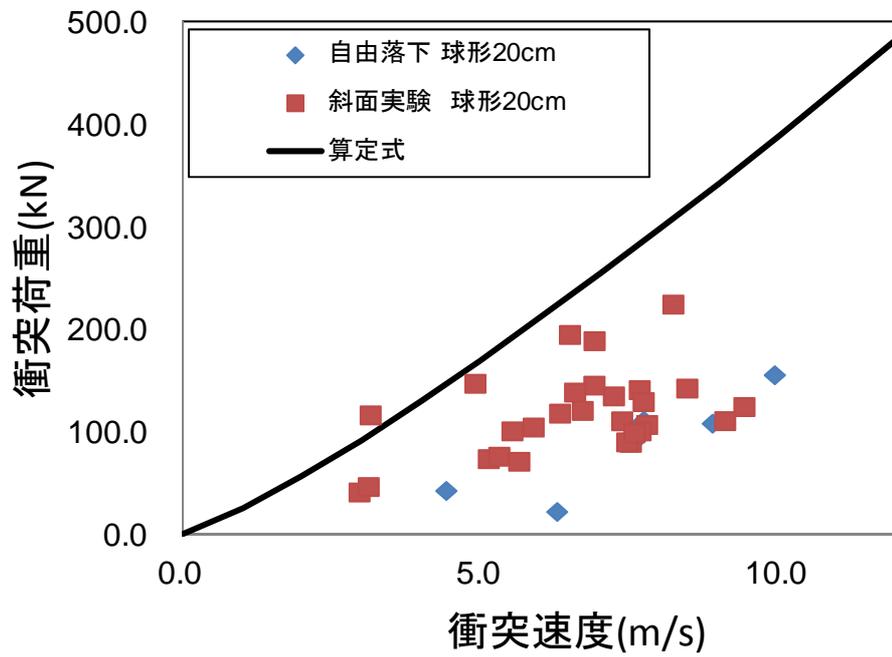


図 3.3.2.91 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, 球形 20cm)

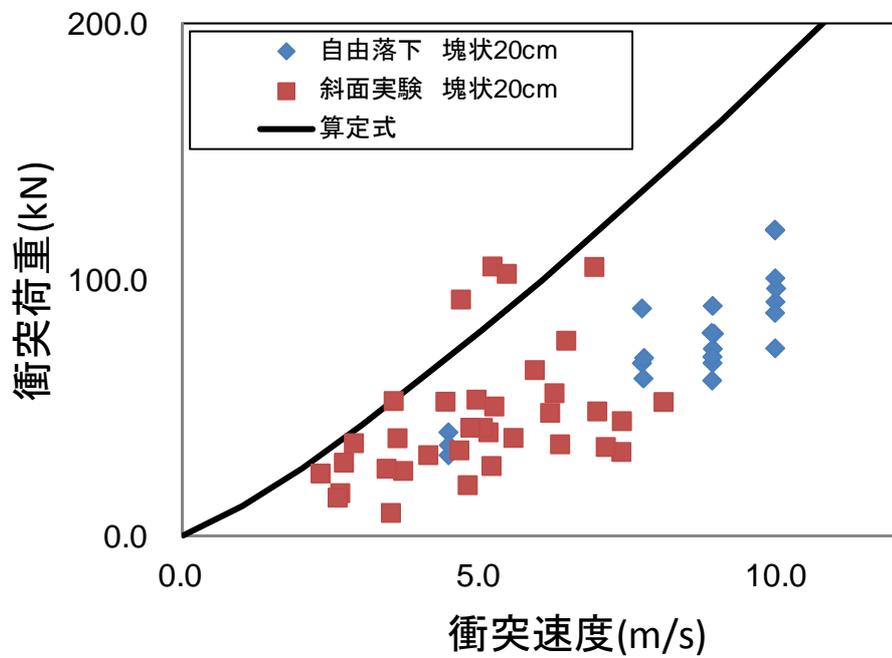


図 3.3.2.92 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, 塊状 20cm)

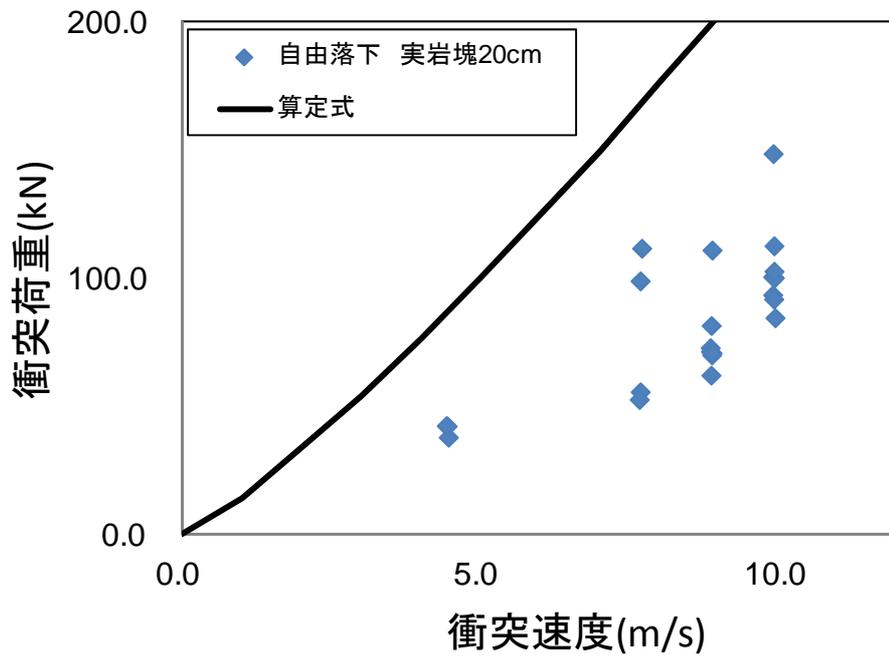


図 3.3.2.93 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, 実岩塊 20cm)

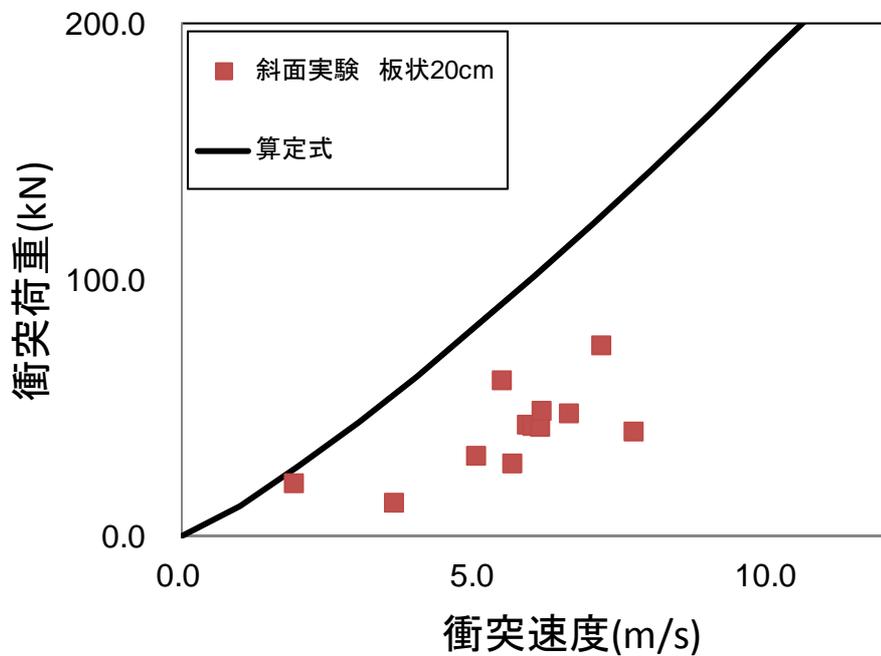


図 3.3.2.94 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, 板状 20cm)

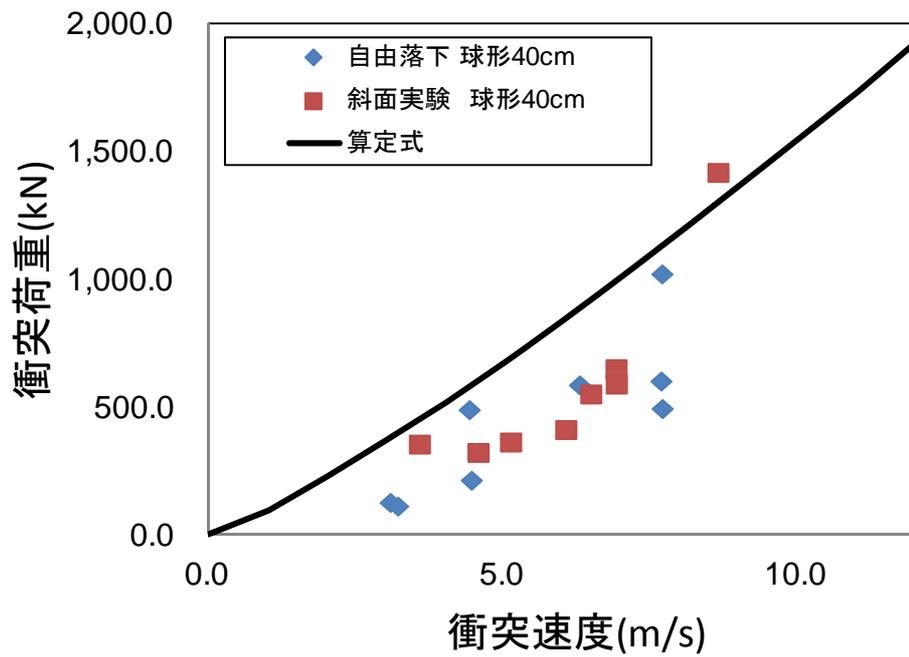


図 3.3.2.95 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, 球形 40cm)

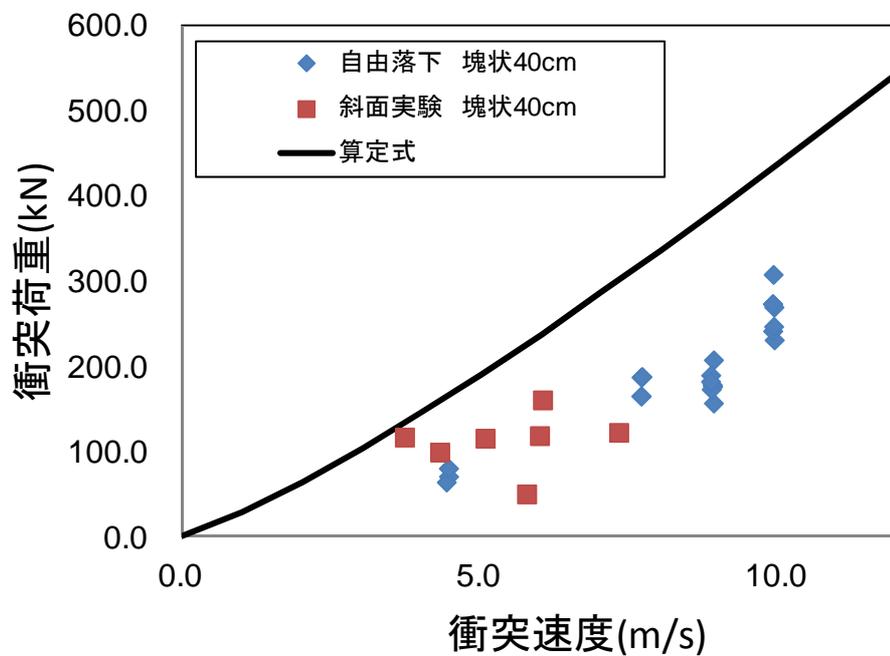


図 3.3.2.96 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, 塊状 40cm)

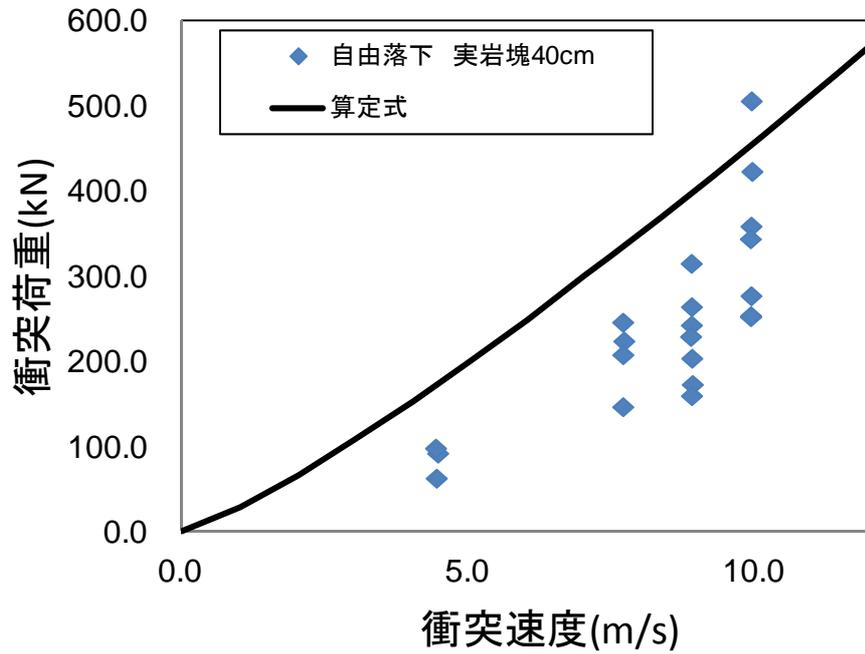


図 3.3.2.97 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係（ベニヤ板，実岩塊 40cm）

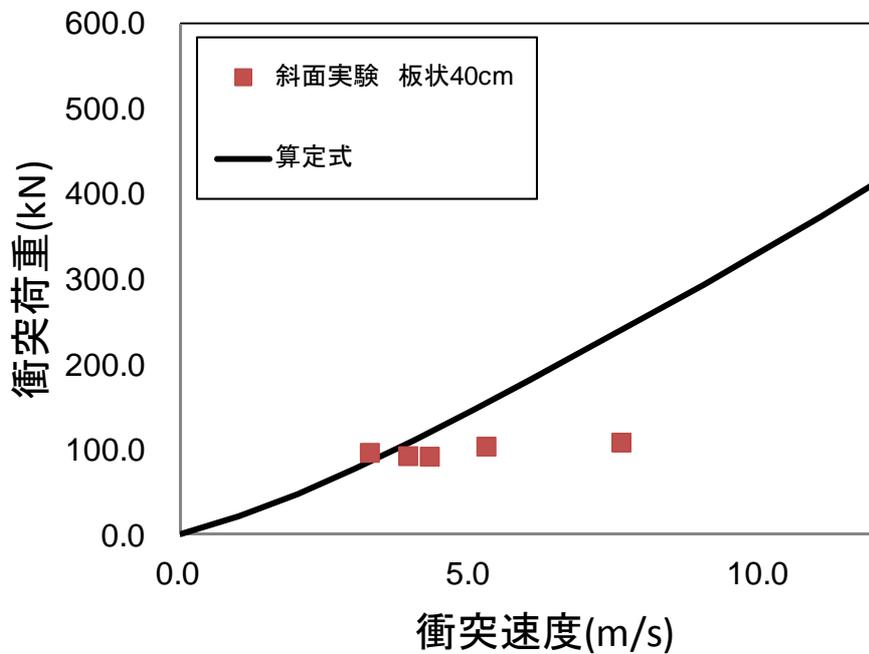


図 3.3.2.98 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係（ベニヤ板，板状 40cm）

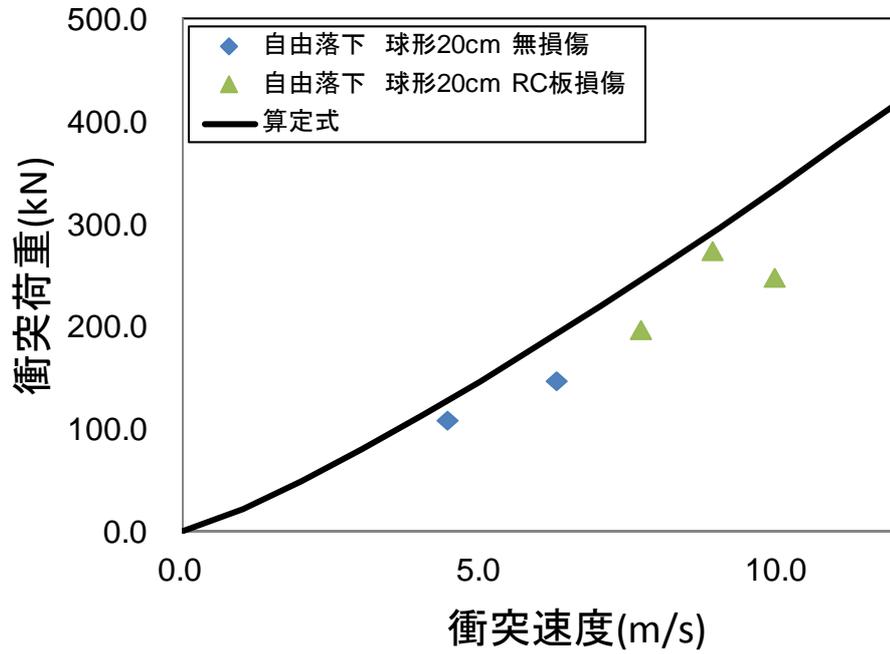


図 3.3.2.99 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (コンクリート板, 球形 20cm)

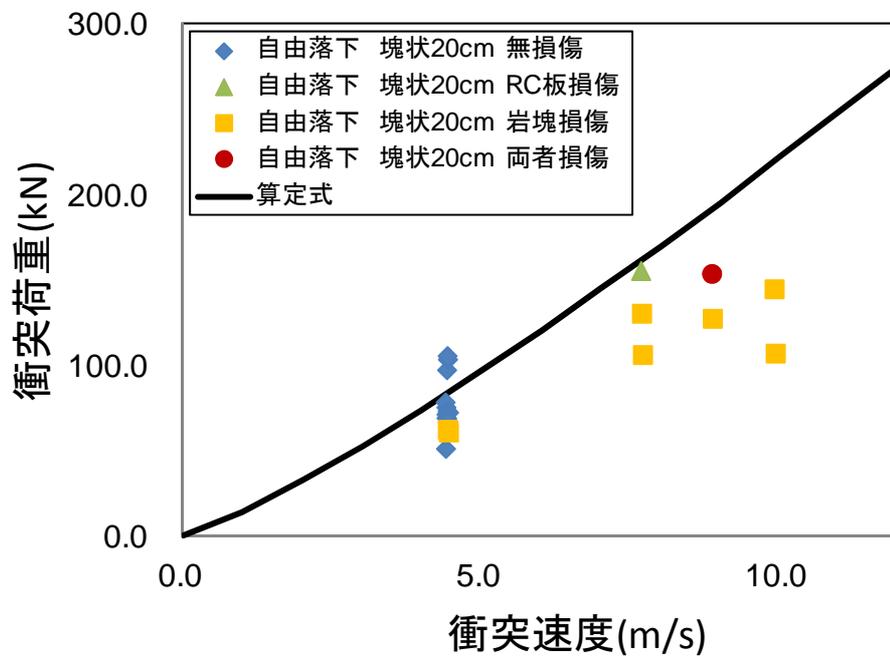


図 3.3.2.100 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (コンクリート板, 塊状 20cm)

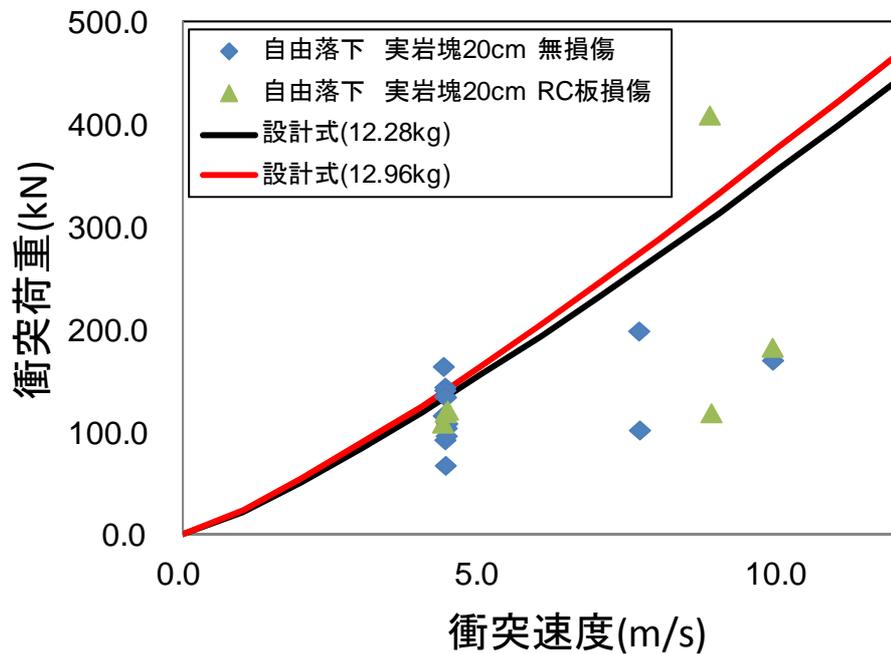


図 3.3.2.101 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (コンクリート板, 実岩塊 20cm)

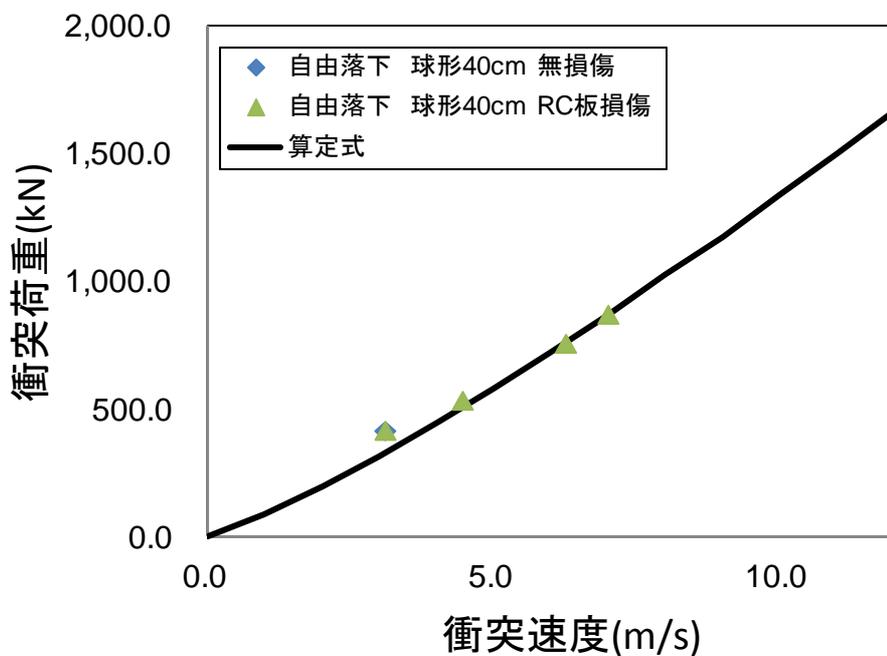


図 3.3.2.102 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (コンクリート板, 球形 40cm)

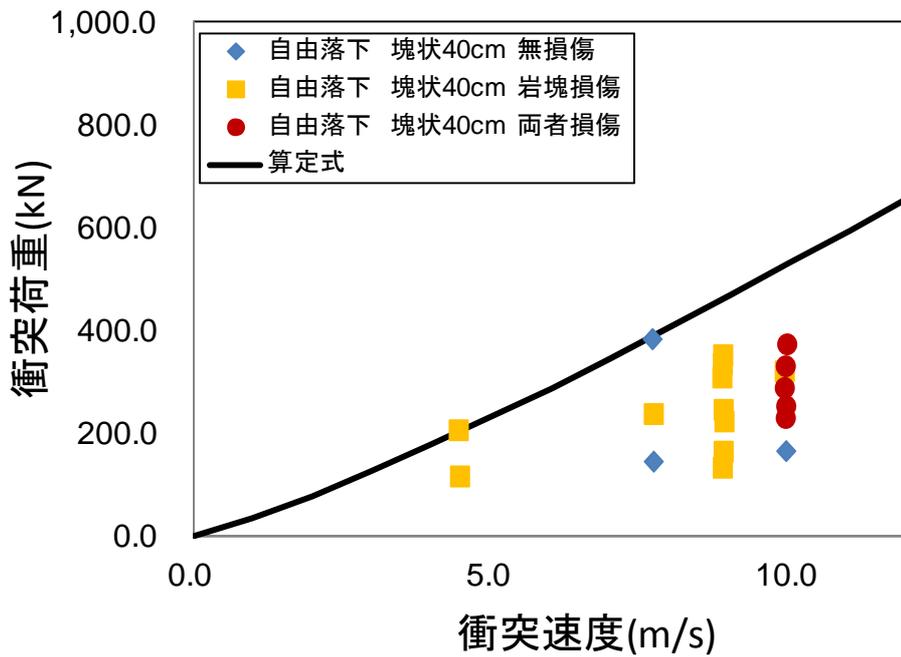


図 3.3.2.103 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係(コンクリート板, 塊状 40cm)

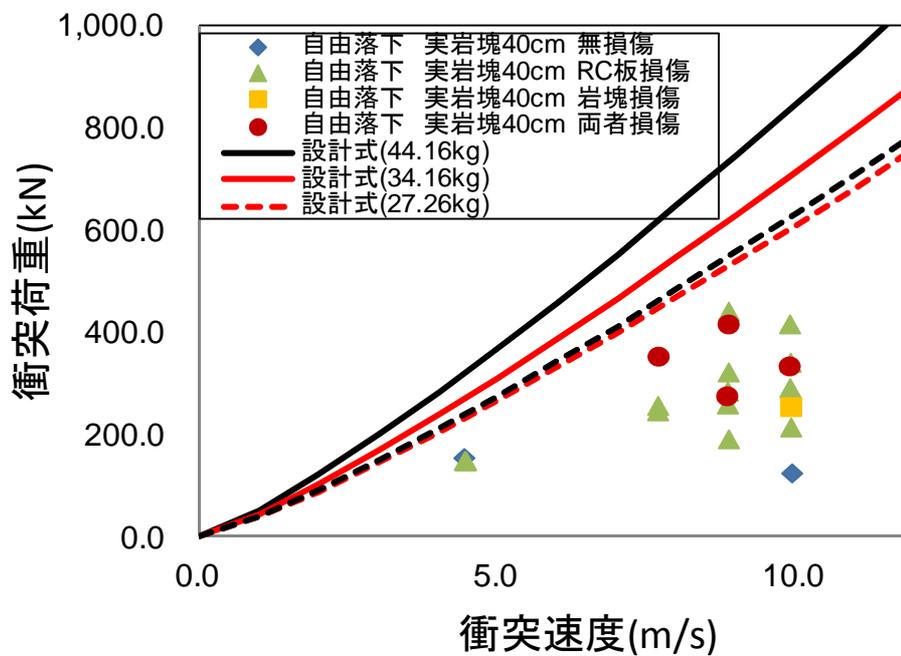


図 3.3.2.104 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (コンクリート板, 実岩塊 40cm)

### ③土砂模型の衝突荷重と衝突速度の関係

岩塊模型同様に荷重履歴から荷重のピーク値を求め、衝突直前速度との関係を調べた。図 3.3.2.105～図 3.3.2.108 に土砂模型の衝突荷重のピーク値と衝突直前速度の関係を示す。荷重と速度には正の相関関係が見られた。また、土のうのケースでは、土のうの段数が多いほど荷重が大きくなる傾向が見られた。これは、土砂模型の質量が大きくなったことが影響したものと考えられる。

### ④土砂の衝突荷重に対する流体力式との比較

土砂模型の衝突荷重の算定式には、土石流荷重の算定に用いられる下式に示す流体力に基づく式を用いた。

$$P_s = \beta \frac{\gamma_s}{g} A V_s^2 \quad (\text{式3.3.2.5})$$

ここで、 $P_s$ は土砂の衝突荷重(kN)、 $\beta$ は補正係数、 $\gamma_s$ は土砂の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)、 $A$ は衝突時の土砂と反力体の接触面積(m<sup>2</sup>)、 $V_s$ は土砂の衝突直前速度(m/s)である。

図 3.3.2.105～図 3.3.2.108 に上記の算定式で求めた衝突荷重と速度の関係、表 3.3.2.16 に算定に用いたパラメータを示す。なお、接触面積  $A$  は土砂の深さと幅、トンパックおよび土のうの底面積から求めたものである。補正係数を 5.0～20.0 と大きく設定する必要がある。これは、土砂が塊として衝突し、岩塊衝突に類似したメカニズムで荷重計に荷重が作用したためと考えられる。

表 3.3.2.16 土砂模型の衝撃荷重算定式のパラメータ

	自由落下実験	
	トンパック	土のう
単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	18.5	18.5
接触面積(m <sup>2</sup> )	0.25	0.105
補正係数	5.0	20.0

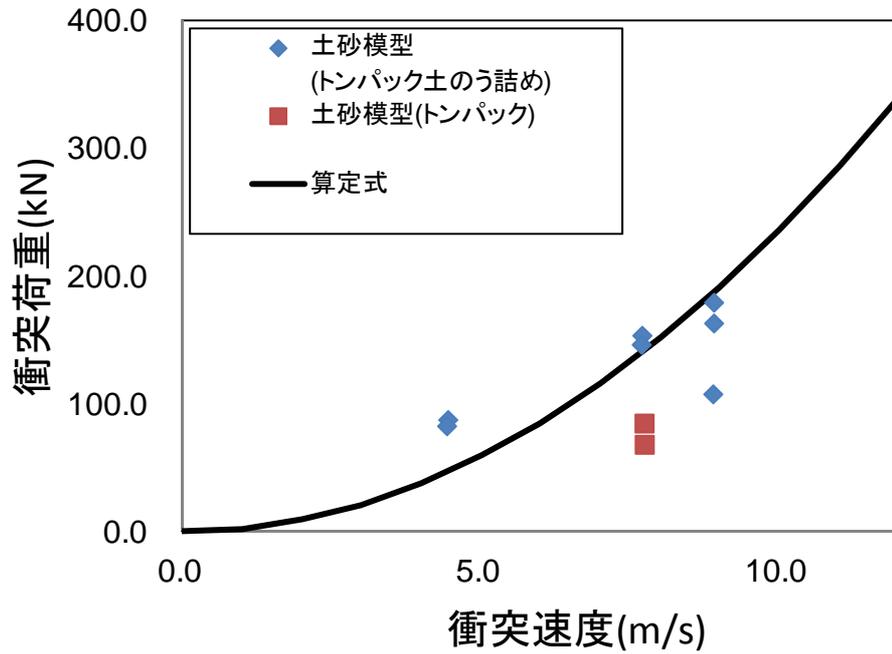


図 3.3.2.105 土砂模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, トンパック)

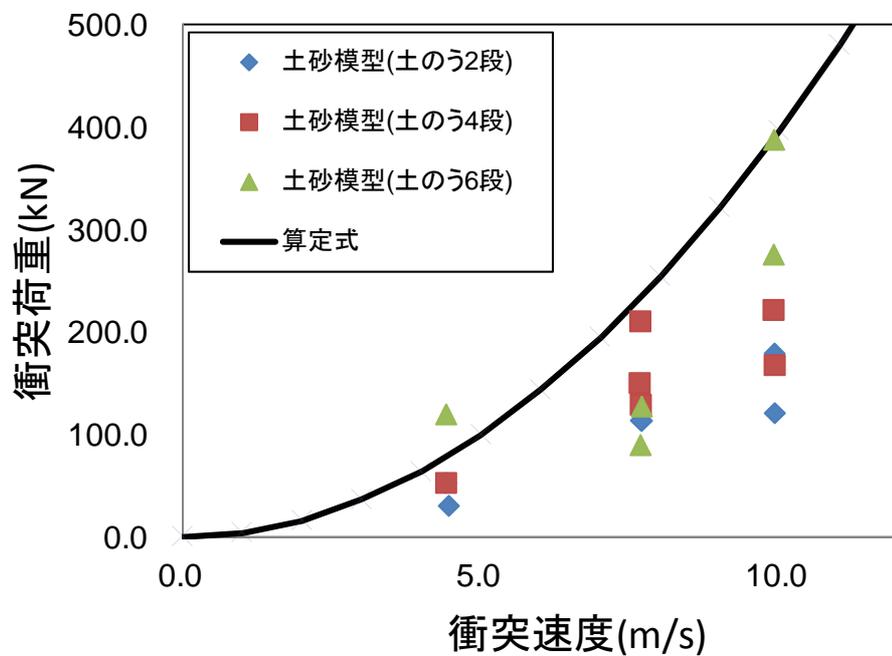


図 3.3.2.106 土砂模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係 (ベニヤ板, 土のう)

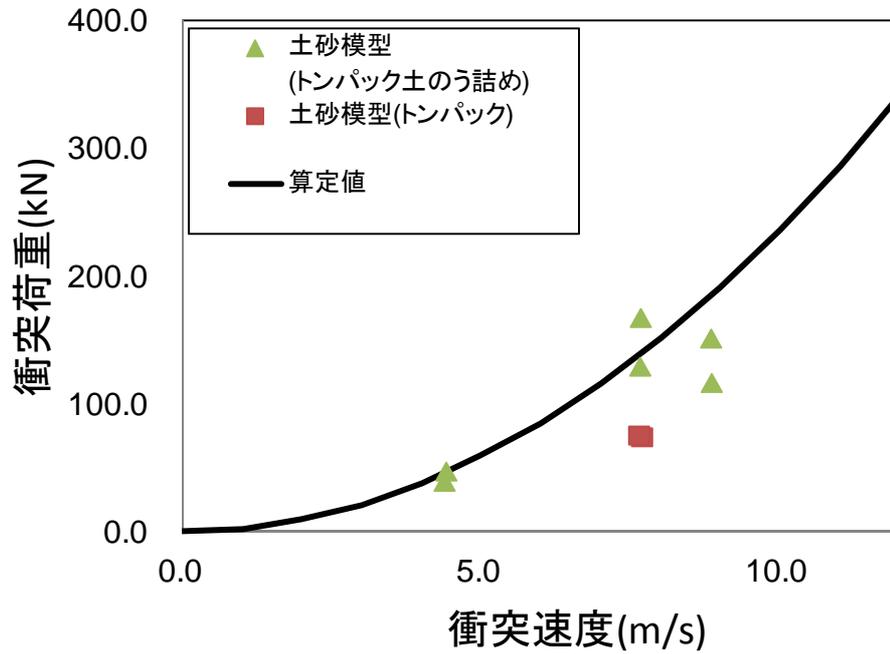


図 3.3.2.107 土砂模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係（コンクリート板，トンパッキング）

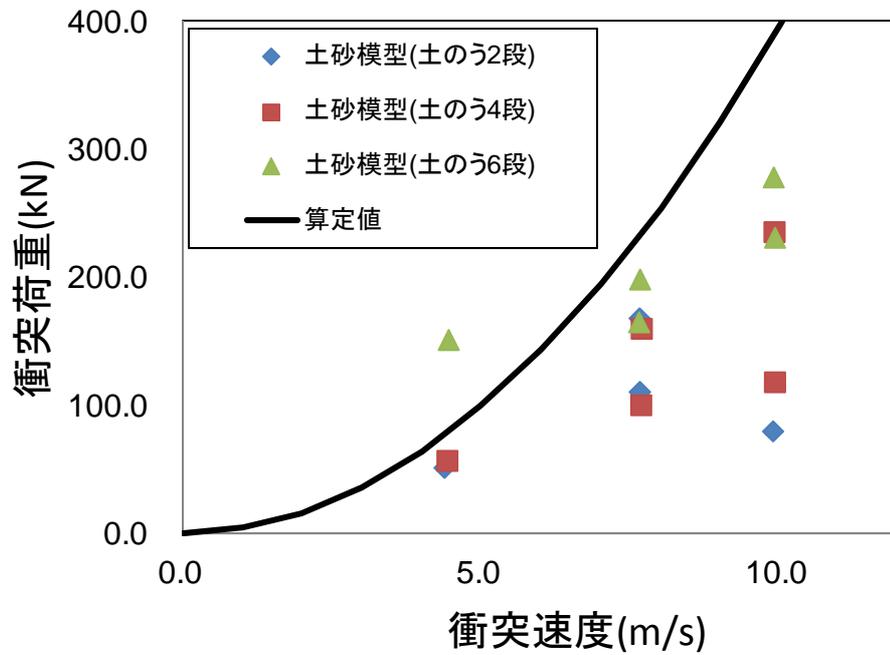


図 3.3.2.108 土砂模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係（コンクリート板，土のう）

#### ⑤岩塊の衝突荷重時刻歴の比較

図 3.3.2.109～図 3.3.2.119 に衝突荷重時刻歴を岩塊模型種別毎に比較した結果を示す。20cm 径および 40cm 径岩塊・ベニヤ板、40 径岩塊・コンクリート板のケースでは、落下高さが大きいほど岩塊種別で違いが生じる傾向がある。全体的には、衝突荷重は、球形>多面体=実岩塊の傾向があり、衝突荷重の作用が継続する時間は、実岩塊>多面体>球形になる傾向がある。これは、衝突荷重が大きくなるほど、衝突荷重の作用が継続する時間は小さくなることを意味している。

一方、コンクリート板・20cm 径岩塊のケースでは、岩塊種別間で全体的に差がない結果になった。以上から、全体的には、岩塊が球形に近いほど衝突荷重は大きくなり、衝突荷重の作用が継続する時間は小さくなる傾向がある。

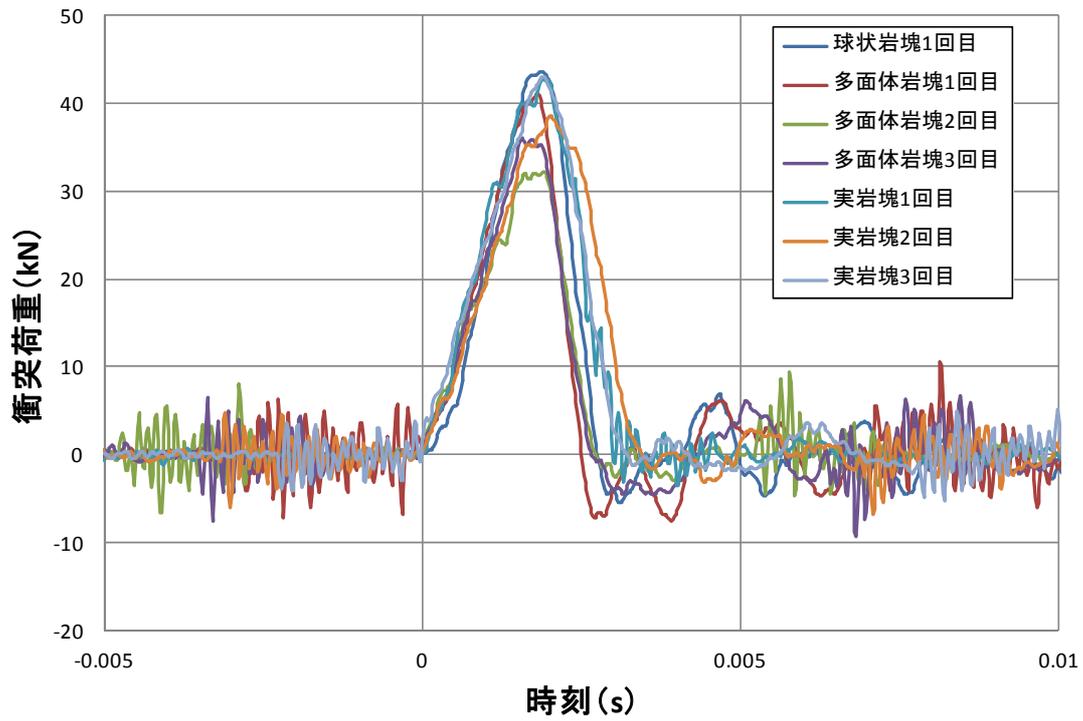


図 3.3.2.109 ベニヤ板、落下高さ 1.0m、20cm 径岩塊

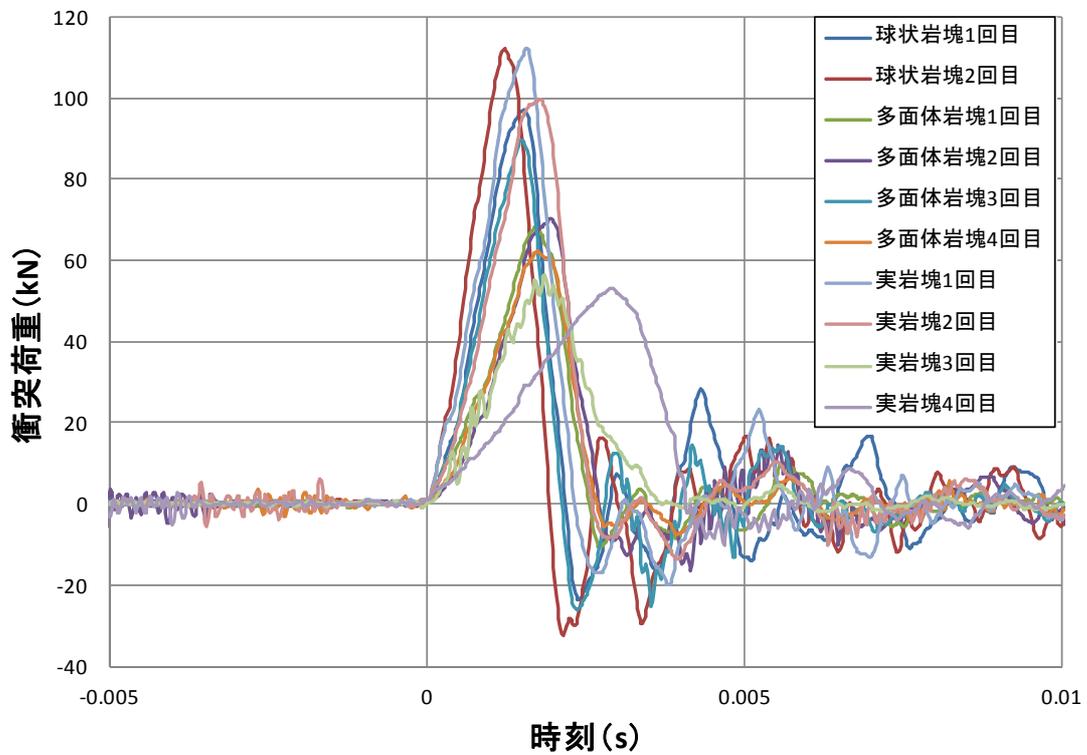


図 3.3.2.110 ベニヤ板、落下高さ 3.0m、20cm 径岩塊

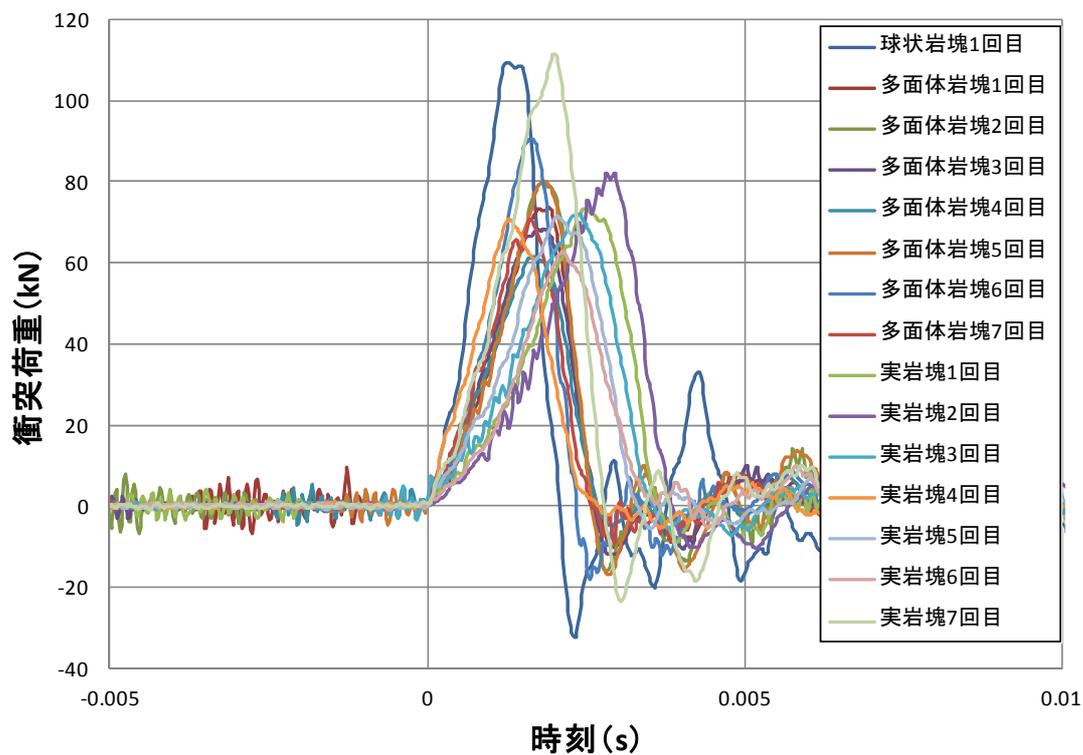


図 3.3.2.111 ベニヤ板、落下高さ 4.0m、20cm 径岩塊

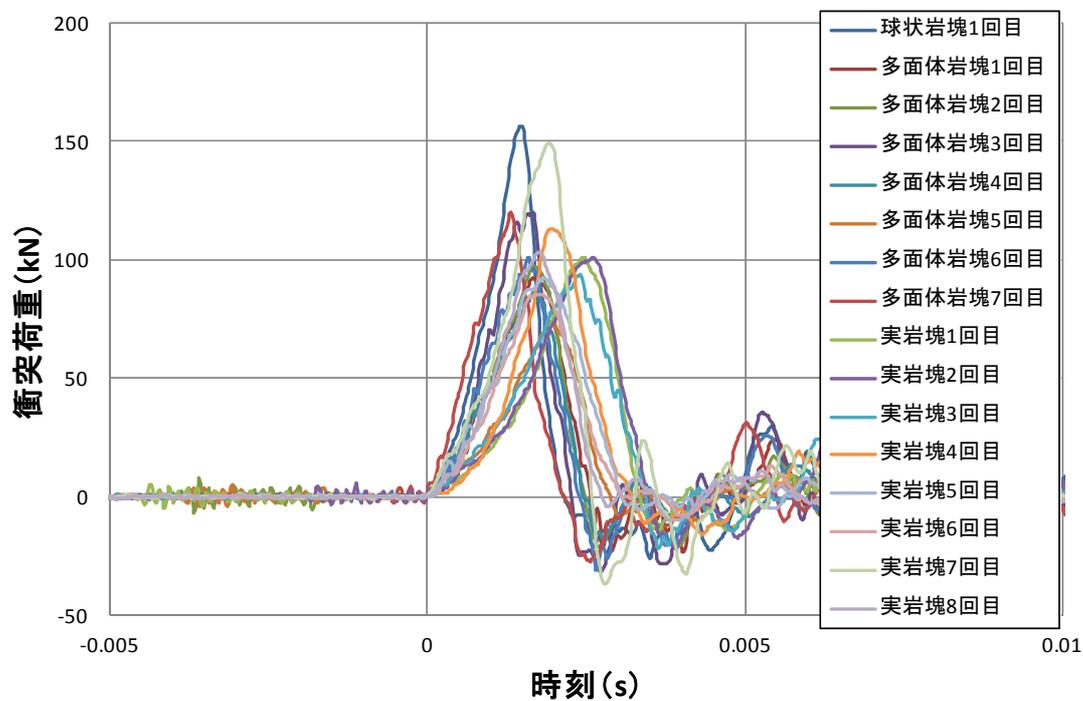


図 3.3.2.112 ベニヤ板、落下高さ 5.0m、20cm 径岩塊

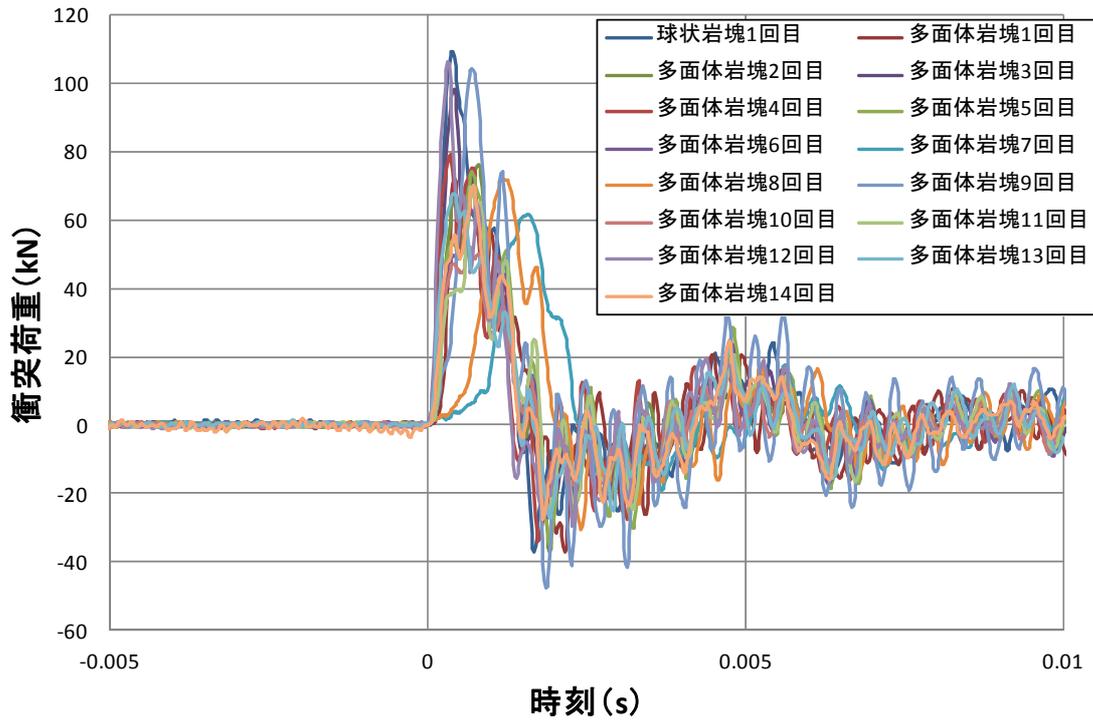


図 3.3.2.113 コンクリート板、落下高さ 1.0m、20cm 径岩塊

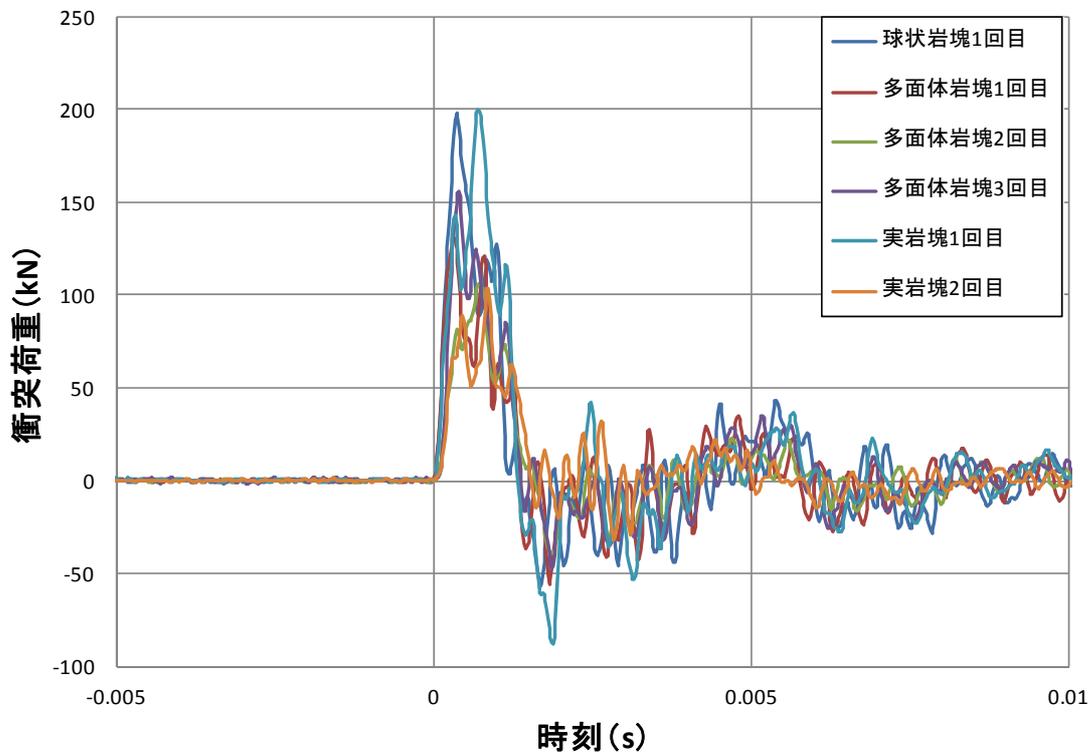


図 3.3.2.114 コンクリート板、落下高さ 3.0m、20cm 径岩塊

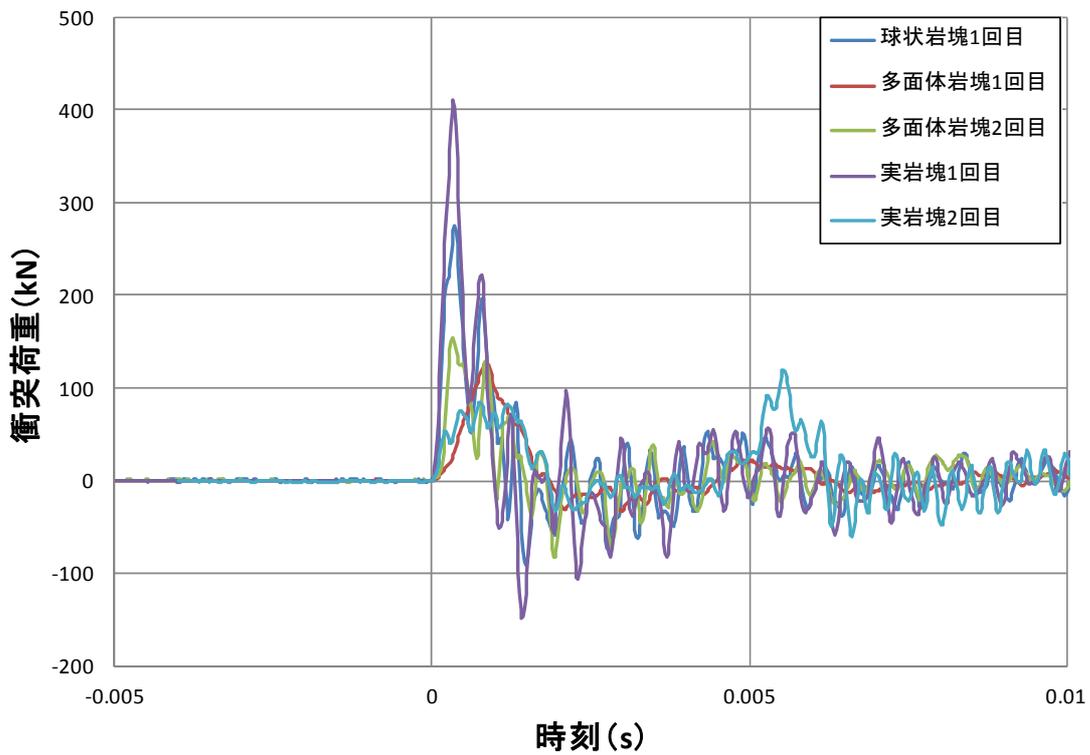


図 3.3.2.115 コンクリート板、落下高さ 4.0m、20cm 径岩塊

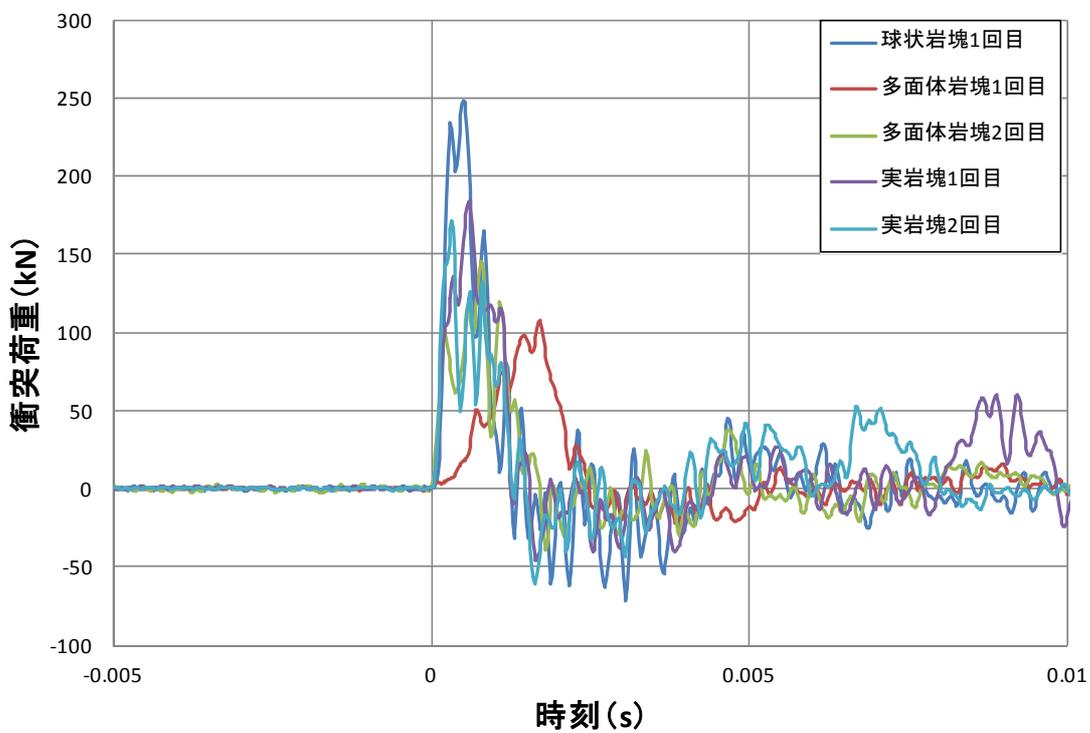


図 3.3.2.116 コンクリート板、落下高さ 5.0m、20cm 径岩塊

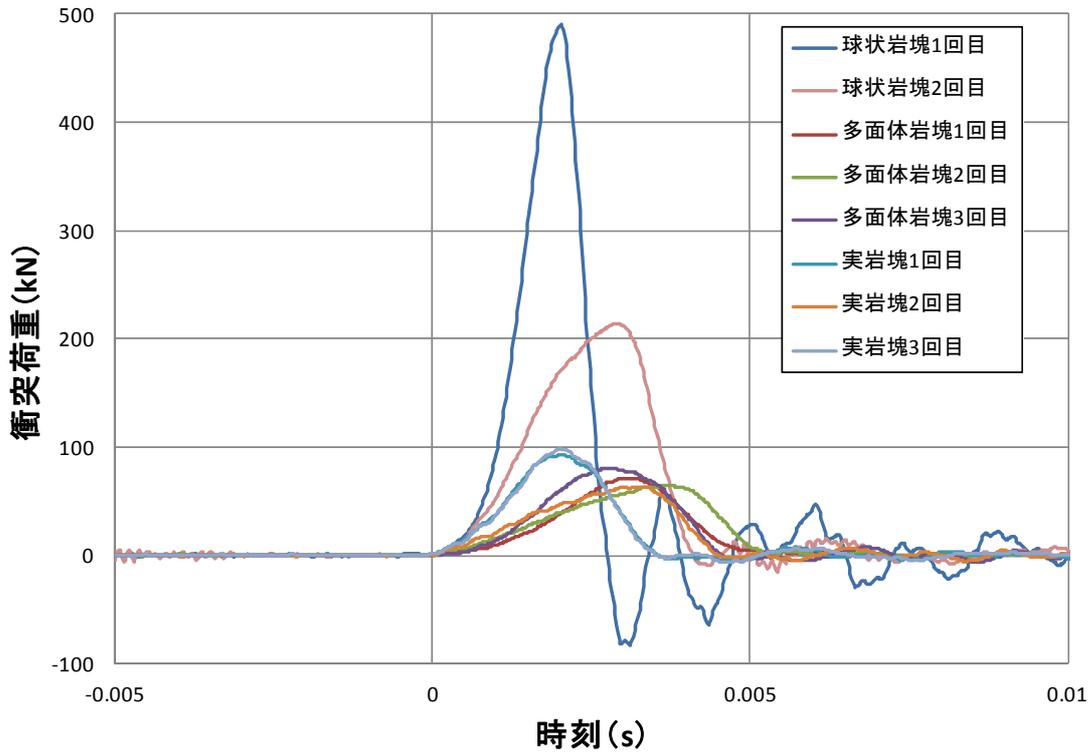


図 3.3.2.117 ベニヤ板、落下高さ 1.0m、40cm 径岩塊

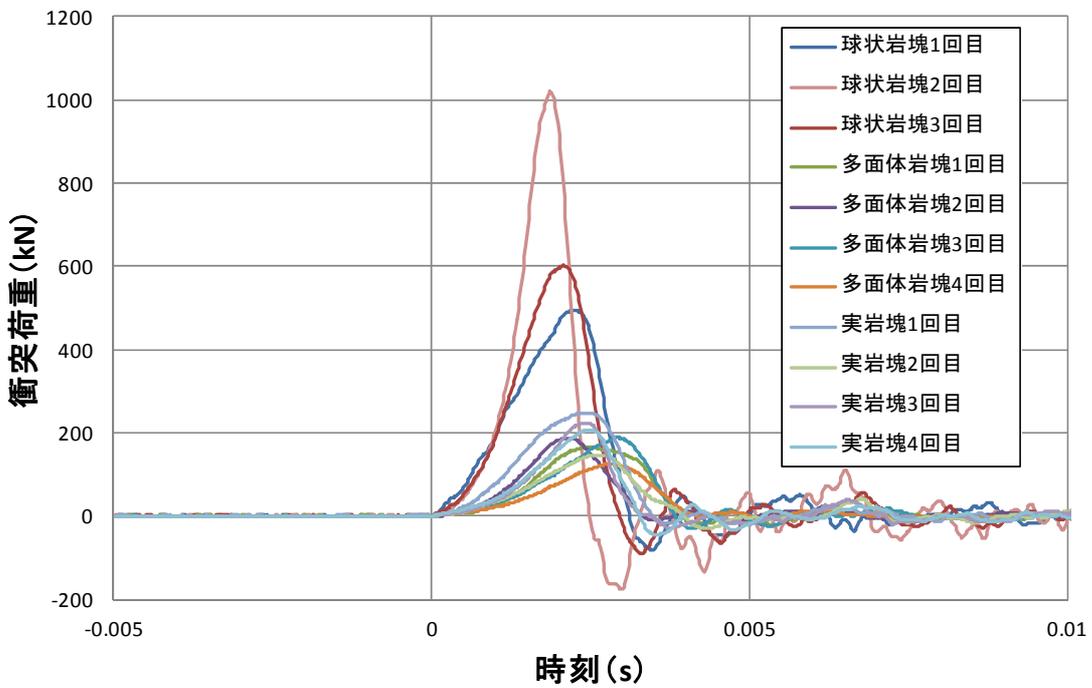


図 3.3.2.118 ベニヤ板、落下高さ 3.0m、40cm 径岩塊

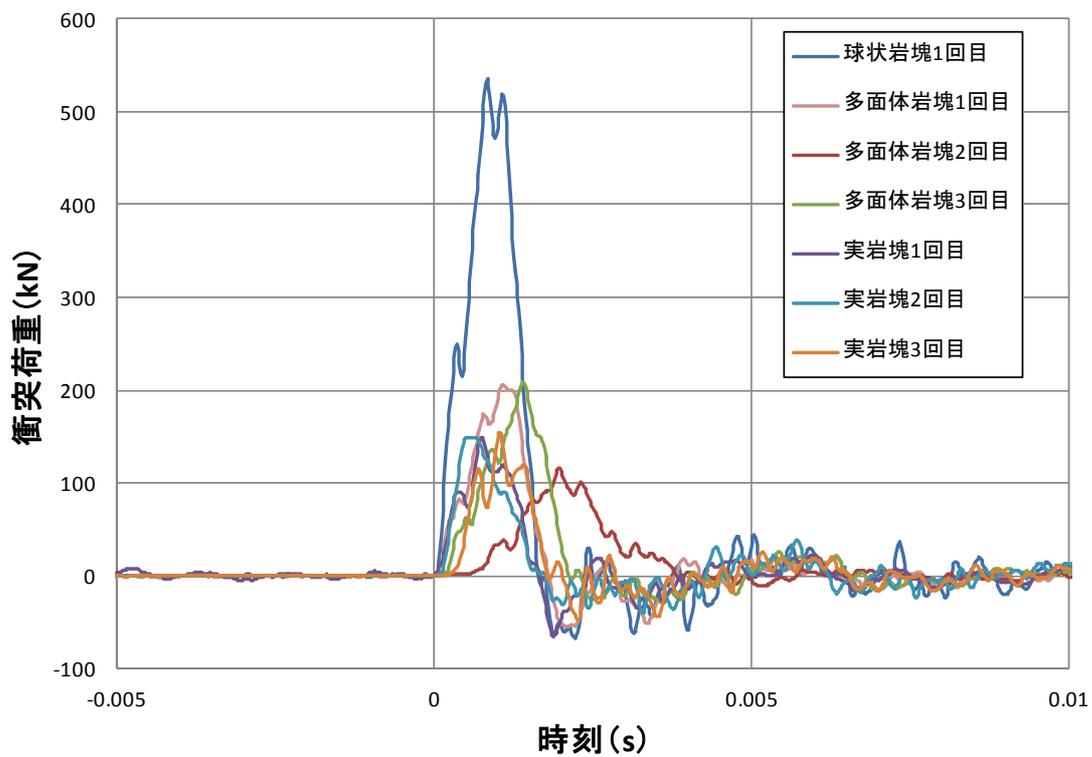


図 3.3.2.119 コンクリート板、落下高さ 1.0m、40cm 径岩塊

#### ⑥土砂の衝突荷重時刻歴の比較

図 3.3.2.120～図 3.3.2.125 に、土砂模型のうち、土のうのケースについて衝突荷重の時刻歴を土のう段数毎に比較した結果を示す。全体的には、土のうの段数が多くなるほど、衝突荷重が大きく、衝突荷重の作用が継続する時間が増える傾向があり、この傾向は、落下高さが大きいケースほど顕著である。

以上から、土砂の土量が多いほど、衝突荷重は大きく、衝突荷重の作用が継続する時間は増えることが考えられる。

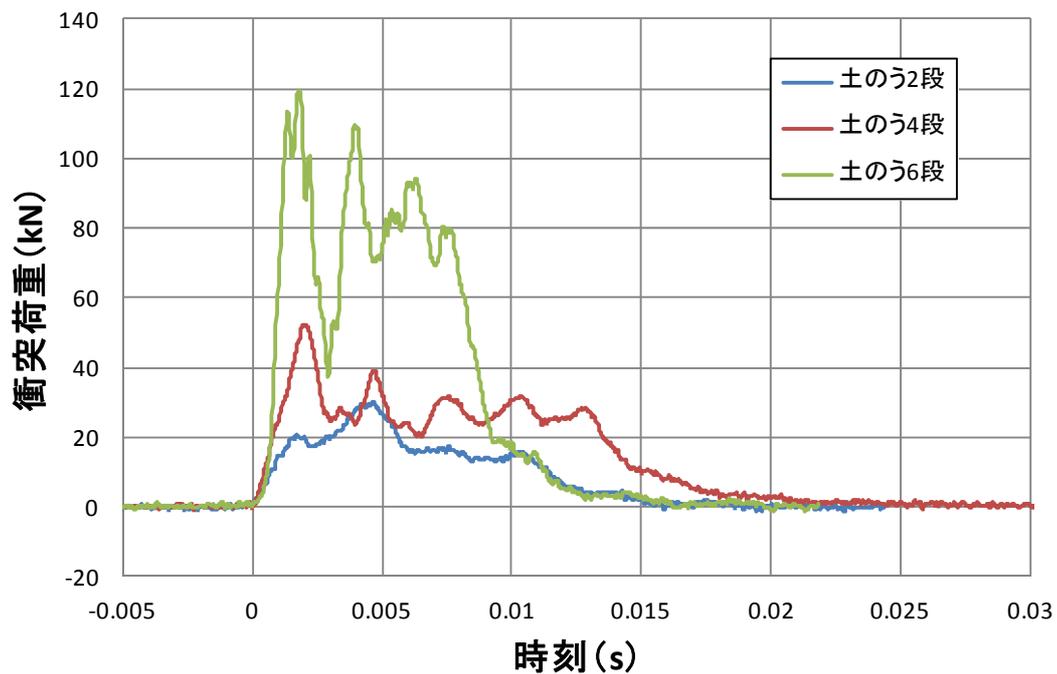


図 3.3.2.120 ベニヤ板、落下高さ 1.0m、土のう

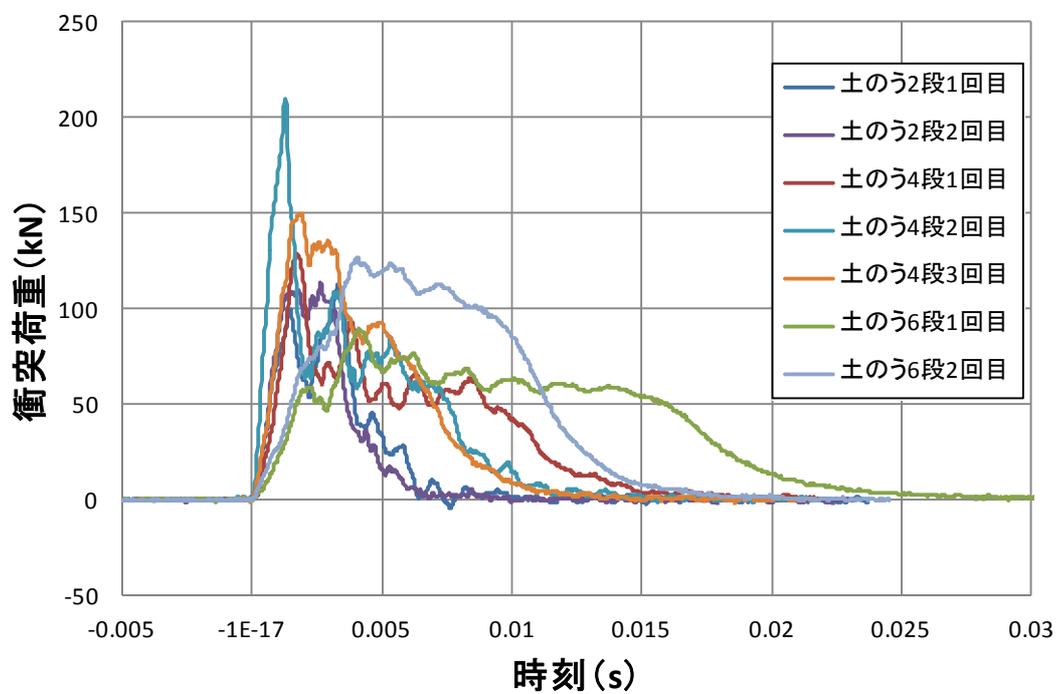


図 3.3.2.121 ベニヤ板、落下高さ 3.0m、土のう

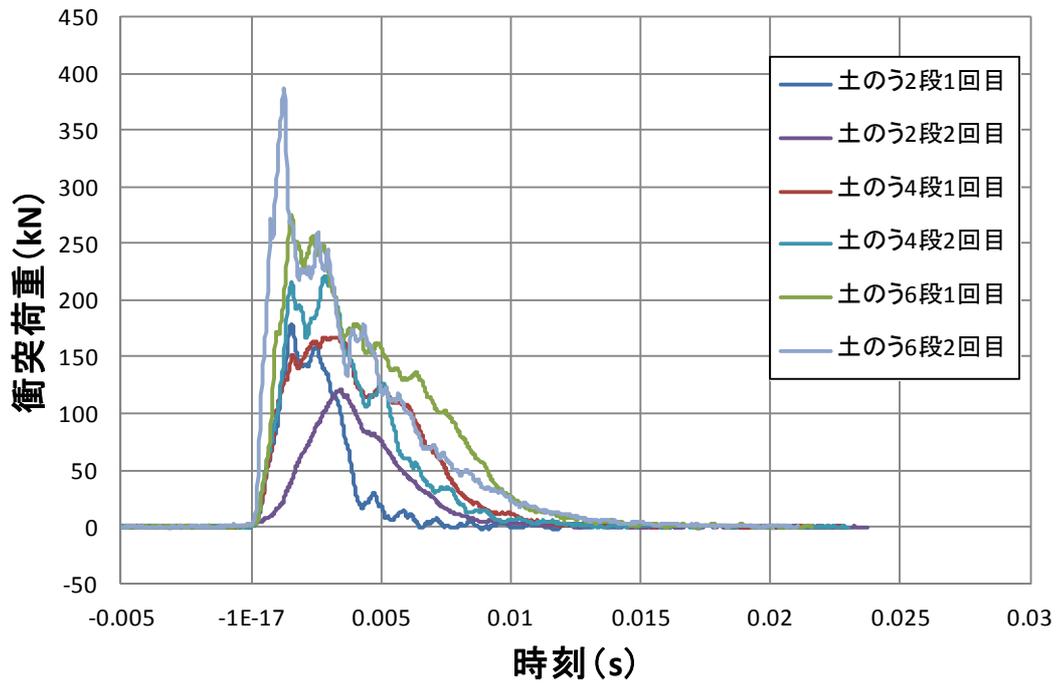


図 3.3.2.122 ベニヤ板、落下高さ 5.0m、土のう

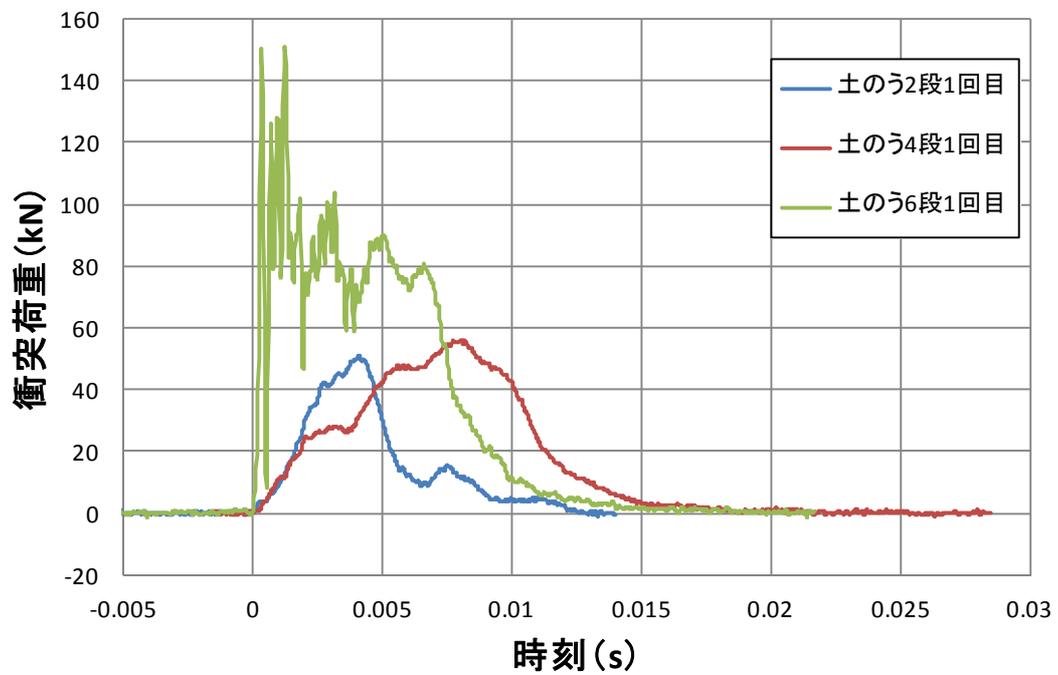


図 3.3.2.123 コンクリート板、落下高さ 1.0m、土のう

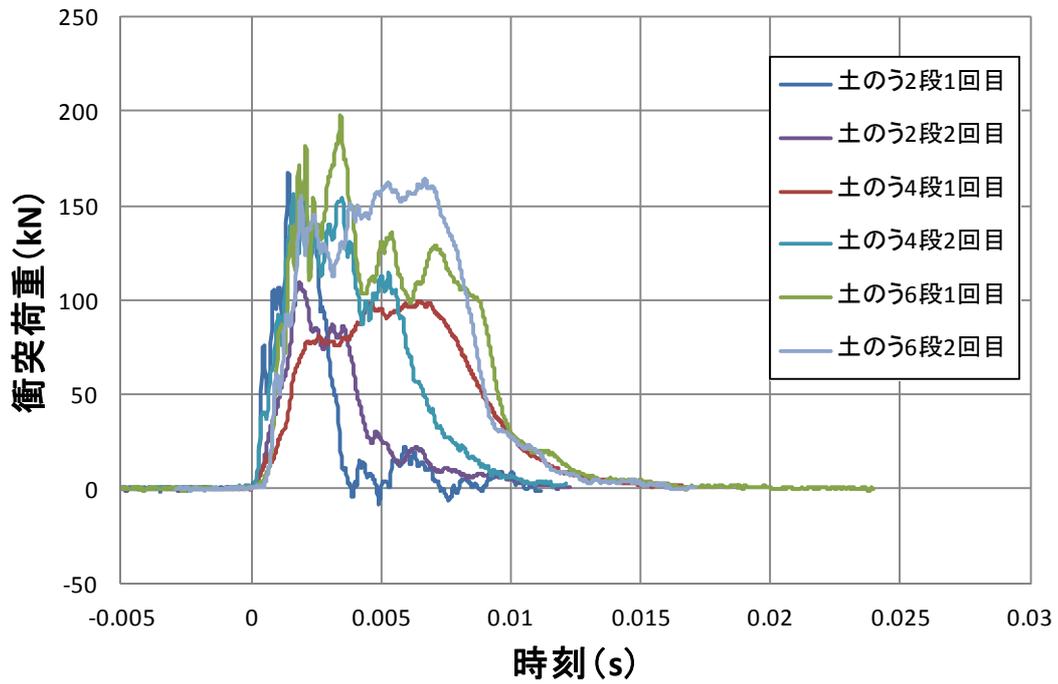


図 3.3.2.124 コンクリート板、落下高さ 3.0m、土のう

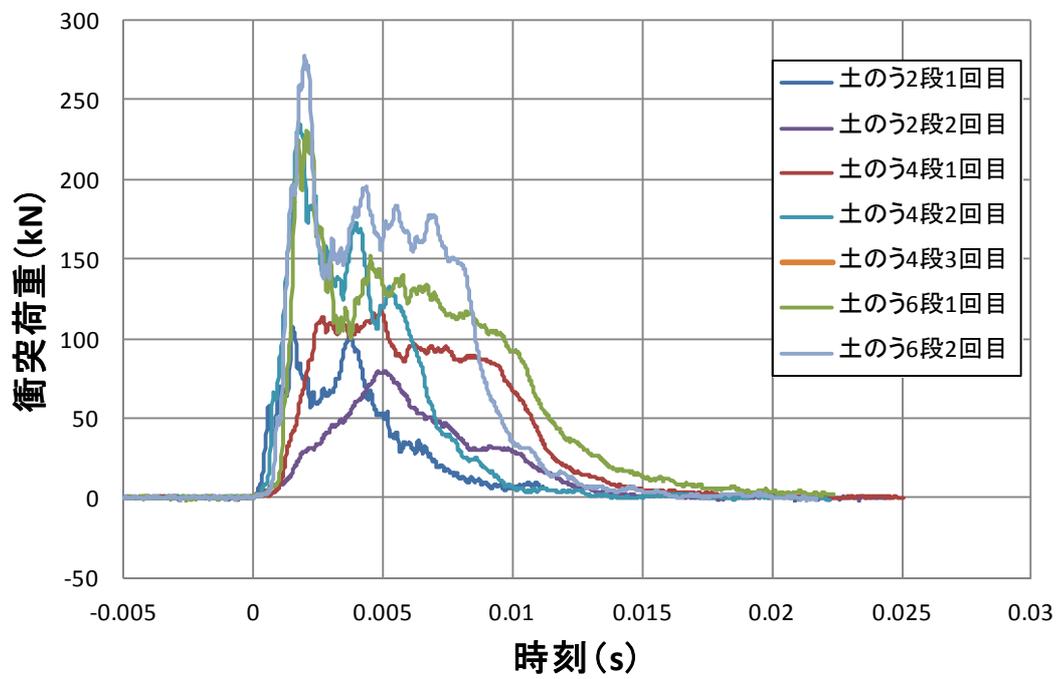


図 3.3.2.125 コンクリート板、落下高さ 5.0m、土のう

## (7) まとめ

岩塊および土砂の衝突荷重の評価法構築を目的に、岩塊、土砂模型の自由落下実験を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 画像解析と理論式から求めた衝突直前速度の関係を確認し、両者は一致していることを確認し、理論式による衝突速度の算定方法に精度上問題ないことを確認した。
- 2) 画像解析と理論式から求めた衝突荷重の関係を確認した結果、画像解析結果から力積の式を通じて計算した衝突荷重は計測値より小さい値になった。これは、衝突対象の剛性や岩塊形状を考慮していないことが影響したものと考えられる。
- 3) 岩塊模型の衝突荷重と衝突直前速度の関係を整理した。その結果、岩塊模型間の違いとしては、球形模型の場合の衝突荷重に対し、他の岩塊模型の衝突荷重は小さい傾向があった。また、コンクリート板のケースでは、一部のケースで荷重が小さくなる傾向が見られた。これは岩塊模型とコンクリート板の損傷が影響したものと考えられる。
- 4) 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係において、コンクリート板または岩塊模型が損傷したケースは、比較的衝突速度が大きい場合に発生し、衝突荷重が相対的に小さくなる傾向があることを確認した。これは、衝突速度が大きいほど衝突荷重が大きくなり、コンクリート板と岩塊模型の接触面で損傷エネルギーに衝突荷重の一部が使われたことを示していると考えられる。
- 5) 土砂模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度との関係を調べた。その結果、荷重と速度には正の相関関係が見られ、土のうのケースでは、土のうの段数が多いほど荷重が大きくなる傾向が見られた。これは、土砂模型の質量が大きくなったことが影響したものと考えられる。
- 6) 岩塊の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係に対するヘルツの式の適用性を確認した。その結果、ヘルツの式で求めた算定値で、概ね計測値を包絡できることを確認した。ただし、ベニヤとコンクリートのラメの定数 $\lambda$ は、材料試験で求められる一般的な値より小さい値になった。これは、岩塊模型は衝突後大きな破損はないものの、衝突箇所と考えられる部分は局所的に破損している上、荷重計受け面に敷設したベニヤ板およびコンクリート板も局所的に破損しており、これらの破損に伴う塑性化を反映したものと考えられる。
- 7) 土砂の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係に対する流体力式の適用性を確認した。その結果、流体力式で求めた算定値で、計測値を包絡するためには、補正係数を5.0~20.0と大きく設定する必要があることが分かった。これは、土砂が塊として衝突し、岩塊衝突に類似したメカニズムで荷重が作用したためと考えられる。

- 8) 岩塊模型の衝突荷重時刻歴を岩塊模型種別毎に比較した。その結果、20cm 径および 40cm 径岩塊・ベニヤ板、40 径岩塊・コンクリート板のケースでは、落下高さが大きいほど岩塊種別で違いが生じる傾向があることが分かった。全体的には、衝突荷重は、球形>多面体=実岩塊の傾向があり、衝突荷重の作用が継続する時間は、実岩塊>多面体>球形になる傾向があった。これは、衝突荷重が大きくなるほど、衝突荷重の作用が継続する時間は小さくなることを意味している。一方、コンクリート板・20cm 径岩塊のケースでは、岩塊種別間で全体的に差がない結果になった。よって、全体的には、岩塊が球形に近いほど衝突荷重は大きくなり、衝突荷重の作用が継続する時間は小さくなる傾向があることが分かった。
- 9) 土砂模型の衝突荷重時刻歴を岩塊模型種別毎に比較した。その結果、土のうの段数が多くなるほど、衝突荷重が大きく、衝突荷重の作用が継続する時間が増える傾向があり、この傾向は、落下高さが大きいケースほど顕著であった。よって、土砂の土量が多いほど、衝突荷重は大きく、衝突荷重の作用が継続する時間は増えることが考えられる。

### 3.3.3 過去に実施した岩塊転動試験データの画像解析

#### (1) 平成26年度実施した試験データの整理

##### ①実施ケース一覧

平成26年度実施した約200ケースの砕石単体の転動試験のうち画像撮影を実施した23ケースについて画像解析と試験結果の整理を実施した。表 3.3.3.1 および表 3.3.3.2 に画像解析およびデータの整理を行った内容の一覧表を示す。

表 3.3.3.1 解析を行った試番と試験・データ整理内容一覧 (試番 1~試番 3)

試番	ケース	斜面勾配 (度)	砕石の種類	落下高さ (m)	試験日	撮影データの有無				保存フォルダ番号	画像解析 データ整理 <sup>1</sup> の有無	備考
						撮影位置						
						正面	斜め	側面	回転角用			
1	41		砕石A	2	2014/11/18	○	○	○	-	070	-	
						○	○	○	-	071	-	前年度実施
						○	○	○	-	072	-	
						○	○	○	-	073	-	
						○	○	○	-	074	-	
						○	○	○	-	075	-	
						○	○	○	-	076	-	
						○	○	○	-	077	-	○
						○	○	○	-	078	-	
						○	○	○	-	079	-	
						○	○	○	-	011	-	
						○	○	○	-	012	-	○
						○	○	○	-	013	-	
						○	○	○	-	014	-	
						○	○	○	-	015	-	
						○	○	○	-	016	-	
						○	○	○	-	017	-	
						○	○	○	-	018	-	○
						○	○	○	-	019	-	
						○	○	○	-	020	-	
					○	○	○	-	021	-		
					○	○	○	-	022	-		
					○	○	○	-	023	-		
					○	○	○	-	024	-		
					○	○	○	-	025	-		
					○	○	○	-	026	-		
					○	○	○	-	027	-		
					○	○	○	-	028	-		
					○	○	○	-	029	-		
					○	○	○	-	030	-		
					○	○	○	-	031	-		
					○	○	○	-	032	-		
					○	○	○	-	033	-		
					○	○	○	-	034	-	○	
					○	○	○	-	035	-		
					○	○	○	-	036	-		
					○	○	○	-	037	-	○	
					○	○	○	-	038	-		
					○	○	○	-	039	-		
					○	○	○	-	040	-	前年度実施	
2	41		砕石B	0.5	2014/11/18	○	○	○	-	028	-	
						○	○	○	-	029	-	
						○	○	○	-	030	-	
						○	○	○	-	031	-	
						○	○	○	-	032	-	
						○	○	○	-	033	-	
						○	○	○	-	034	-	
						○	○	○	-	035	-	
						○	○	○	-	036	-	
						○	○	○	-	037	-	
						○	○	○	-	038	-	○
						○	○	○	-	039	-	
						○	○	○	-	040	-	
						○	○	○	-	041	-	
						○	○	○	-	042	-	
						○	○	○	-	043	-	○
						○	○	○	-	044	-	
						○	○	○	-	045	-	
						○	○	○	-	046	-	
						○	○	○	-	047	-	
						○	○	○	-	048	-	
						○	○	○	-	049	-	
						○	○	○	-	050	-	
						○	○	○	-	051	-	
						○	○	○	-	052	-	○
						○	○	○	-	053	-	前年度実施
						○	○	○	-	054	-	
						○	○	○	-	055	-	
						○	○	○	-	056	-	
						○	○	○	-	057	-	○
						○	○	○	-	058	-	前年度実施
						○	○	○	-	059	-	
						○	○	○	-	060	-	
						○	○	○	-	061	-	
						○	○	○	-	062	-	
						○	○	○	-	063	-	
						○	○	○	-	064	-	
						○	○	○	-	065	-	
						○	○	○	-	066	-	
						○	○	○	-	067	-	
○	○	○	-	068	-							
○	○	○	-	069	-							
3	41		砕石B	1	2014/11/17	○	○	○	-	011	-	
						○	○	○	-	012	-	
						○	○	○	-	013	-	
						○	○	○	-	014	-	
						○	○	○	-	015	-	○
						○	○	○	-	016	-	
						○	○	○	-	017	-	
						○	○	○	-	018	-	
						○	○	○	-	019	-	
						○	○	○	-	020	-	
						○	○	○	-	021	-	
						○	○	○	-	022	-	○
						○	○	○	-	023	-	
						○	○	○	-	024	-	○
						○	○	○	-	025	-	
						○	○	○	-	026	-	前年度実施
						○	○	○	-	027	-	
						○	○	○	-	028	-	
						○	○	○	-	029	-	
						○	○	○	-	030	-	
						○	○	○	-	031	-	
						○	○	○	-	032	-	
					○	○	○	-	033	-		
					○	○	○	-	034	-		
					○	○	○	-	035	-		
					○	○	○	-	011	-		
					○	○	○	-	012	-		
					○	○	○	-	013	-		
					○	○	○	-	014	-	○	
					○	○	○	-	015	-		
					○	○	○	-	016	-		
					○	○	○	-	017	-		
					○	○	○	-	018	-		
					○	○	○	-	019	-		
					○	○	○	-	020	-	前年度実施	
					○	○	○	-	021	-	○	
					○	○	○	-	022	-		
					○	○	○	-	023	-		
					○	○	○	-	024	-		
					○	○	○	-	025	-		
					○	○	○	-	026	-		
					○	○	○	-	027	-		

表 3.3.3.2 解析を行った試番と試験・データ整理内容一覧（試番 4～試番 5）

試番	ケース	斜面勾配 (度)	碎石の種類	落下高さ (m)	試験日	撮影データの有無				保存フォルダ番号	画像解析 データ整理I の有無	備考
						撮影位置						
						正面	斜め	側面	回転角用			
4	41	碎石B	2	2014/11/14	○	○	○	-	011	-		
					○	○	○	-	012	-		
					○	○	○	-	013	-		
					○	○	○	-	014	-		
					○	○	○	-	015	-		
					○	○	○	-	016	-		
					○	○	○	-	017	-		
					○	○	○	-	018	-		
					○	○	○	-	019	-	撮影に失敗したため、画像解析には使用しない	
					○	○	○	-	020	-		
					○	○	○	-	021	-	前年度実施	
					○	○	○	-	022	-		
					○	○	○	-	023	-		
					○	○	○	-	024	-		
					○	○	○	-	025	-		
					○	○	○	-	026	-	前年度実施	
					○	○	○	-	027	-		
					○	○	○	-	028	-		
					○	○	○	-	029	○		
					○	○	○	-	030	-		
					○	○	○	-	031	-		
					○	○	○	-	032	-		
					○	○	○	-	033	-	前年度実施	
					○	○	○	-	034	-		
					○	○	○	-	035	-		
					○	○	○	-	036	-		
					○	○	○	-	037	-	前年度実施	
					○	○	○	-	038	-		
					○	○	○	-	039	-		
					○	○	○	-	040	-		
					○	○	○	-	041	-		
					○	○	○	-	042	-		
					○	○	○	-	043	○		
					○	○	○	-	044	-		
					○	○	○	-	045	-		
					○	○	○	-	046	○		
					○	○	○	-	047	-		
					-	-	-	-	○	001	-	
					-	-	-	-	○	002	-	
					-	-	-	-	○	003	-	
					-	-	-	-	○	004	-	
					-	-	-	-	○	005	-	
-	-	-	-	○	006	-						
-	-	-	-	○	007	-						
○	○	○	-	011	○							
○	○	○	-	012	-							
○	○	○	-	013	-							
○	○	○	-	014	-							
○	○	○	-	015	-	前年度実施						
○	○	○	-	016	-							
○	○	○	-	017	-							
○	○	○	-	018	-							
○	○	○	-	019	-							
○	○	○	-	020	-							
○	○	○	-	021	○							
○	○	○	-	022	-							
○	○	○	-	023	○							
○	○	○	-	024	-							
○	○	○	-	025	-							
○	○	○	-	026	-							
○	○	○	-	027	-							
○	○	○	-	028	-							
○	○	○	-	029	-							
○	○	○	-	030	-							
○	○	○	-	031	-							
○	○	○	-	032	-							
○	○	○	-	033	-							
○	○	○	-	034	-							
○	○	○	-	035	-							
○	○	○	-	036	-							
○	○	○	-	037	-							
○	○	○	-	038	-							
○	○	○	-	039	-							
○	○	○	-	040	○							
○	○	○	-	041	-							
○	○	○	-	042	-	前年度実施						
○	○	○	-	043	-							
○	○	○	-	044	-							
○	○	○	-	045	○							
-	-	-	-	○	002	-						
-	-	-	-	○	003	-						
-	-	-	-	○	004	-						

## ②解析方法

画像解析による計測は、PTV (Particle Tracking Velocimetry) 法を用いた。三次元解析では碎石そのものを標点とみなして追跡し、碎石の速度および位置を求めた。なお、三次元画像解析には貸与された解析ソフトウェア (Move-Tr/3D) を用いた。

解析ソフトウェア (Move-Tr/3D) で使用した画像ファイル等の画像解析詳細を表 3.3.3.3 に示す。

表 3.3.3.3 画像解析詳細 (今回実施分)

試番	ケース	斜面勾配 (度)	粒子サイズ	落下高さ (m)	落下種別	撮影日	石番号	フォルダ 番号	使用画像開 始ファイル	使用画像終了 ファイル	空間 キャリブレーション ファイル		
1	8	41	A	2.0	角落とし	11月18日	8	77	ImgA000050	ImgA000580	1118_3Dキャリブ.clb		
	12				角落とし	11月19日	13	12	ImgA000090	ImgA000430	1119_3Dキャリブ.clb		
	18				角落とし	11月19日	19	18	ImgA000085	ImgA000505	1119_3Dキャリブ.clb		
	34				平落とし	11月19日	15	34	ImgA000075	ImgA000390	1119_3Dキャリブ.clb		
	37				平落とし	11月19日	18	37	ImgA000120	ImgA000420	1119_3Dキャリブ.clb		
2	11		41	B	0.5	角落とし	11月18日	50	38	ImgA000080	ImgA000400	1118_3Dキャリブ.clb	
	15					角落とし	11月18日	70	42	ImgA000065	ImgA000300	1118_3Dキャリブ.clb	
	16					角落とし	11月18日	73	43	ImgA000075	ImgA000599	1118_3Dキャリブ.clb	
	26					平落とし	11月18日	20	53	ImgA000095	ImgA000320	1118_3Dキャリブ.clb	
	30					平落とし	11月18日	35	57	ImgA000080	ImgA000375	1118_3Dキャリブ.clb	
3	5	41		B	1.0	角落とし	11月17日	20	15	ImgA000120	ImgA000410	1117_3Dキャリブ.clb	
	12					角落とし	11月17日	56	22	ImgA000100	ImgA000380	1117_3Dキャリブ.clb	
	14					角落とし	11月17日	60	24	ImgA000090	ImgA000400	1117_3Dキャリブ.clb	
	29					平落とし	11月18日	31	14	ImgA000020	ImgA000653	1118_3Dキャリブ.clb	
	35					平落とし	11月18日	60	20	ImgA000070	ImgA000570	1118_3Dキャリブ.clb	
4	19		41	B	2.0	角落とし	11月14日	83	29	ImgA000080	ImgA000720	1114_3Dキャリブ.clb	
	33					平落とし	11月14日	50	43	ImgA000090	ImgA000440	1114_3Dキャリブ.clb	
	36					平落とし	11月14日	60	46	ImgA000110	ImgA000510	1114_3Dキャリブ.clb	
5	6			60	B	2.0	角落とし	12月22日	31	11	ImgA000090	ImgA000599	1222_3Dキャリブ.clb
	16						角落とし	12月22日	83	21	ImgA000070	ImgA000270	1222_3Dキャリブ.clb
	18	角落とし					12月22日	89	23	ImgA000085	ImgA000598	1222_3Dキャリブ.clb	
	35	平落とし					12月22日	73	40	ImgA000040	ImgA000360	1222_3Dキャリブ.clb	
	40	平落とし					12月22日	8	45	ImgA000060	ImgA000300	1222_3Dキャリブ.clb	

表 3.3.3.4 画像解析詳細 (平成 26 年度実施分)

試番	ケース	斜面勾配 (度)	粒子サイズ	落下高さ(m)	落下種別	撮影日	石番号	フォルダ番号	使用画像開始ファイル	使用画像終了ファイル	空間キャリブレーションファイル
1	2	41	粒子 A	2	角落し	11 月 18 日	2	071	ImgA000070	ImgA000588	1118_3D キャリブ .clb
	平落し				11 月 19 日	21	040	ImgA000082	ImgA000550	1119_3D キャリブ .clb	
2	27		0.5	平落し	11 月 18 日	23	054	ImgA000083	ImgA000450	1118_3D キャリブ .clb	
	31				11 月 18 日	44	058	ImgA000084	ImgA000598	1118_3D キャリブ .clb	
3	16		1	角落し	11 月 17 日	73	026	ImgA000156	ImgA000744	1117_3D キャリブ .clb	
	34				11 月 18 日	58	019	ImgA000070	ImgA000670	1118_3D キャリブ .clb	
4	11		2	角落し	11 月 14 日	44	021	ImgA000083	ImgA000742	1114_3D キャリブ .clb	
	16				11 月 14 日	70	026	ImgA000070	ImgA000650	1114_3D キャリブ .clb	
	23				11 月 14 日	8	033	ImgA000114	ImgA000595	1114_3D キャリブ .clb	
	27				11 月 14 日	20	037	ImgA000113	ImgA000553	1114_3D キャリブ .clb	
5	10		60	2	角落し	12 月 22 日	56	015	ImgA000092	ImgA000540	1222_3D キャリブ .clb
	37					12 月 22 日	83	042	ImgA000084	ImgA000535	1222_3D キャリブ .clb

### ③データ整理項目

画像解析によって得られたデータを元に以下の項目について整理を行った。なお、斜面模型の原点・座標系は、図 3.3.3.1、図 3.3.3.2 に示すように定義した。

#### ・ 碎石の軌跡履歴

画像解析の結果から得られた変位時刻歴データより作成した。

#### ・ 碎石の速度履歴

画像解析の結果から得られた変位時刻歴データを撮影周波数で除することにより速度を求めた。なお、上記速度は、 $x$  方向（流路長手方向）、 $y$  方向（高さ方向）、 $z$  方向（奥行方向）の3成分を算出した。

#### ・ 碎石の速度一覧

上記より得られた速度履歴から、傾斜部の中間地点、傾斜部と平坦部との境界部、最大転動距離の1/2の地点の3点を通過した際の、それぞれの速度を抽出し、一覧を作成した。

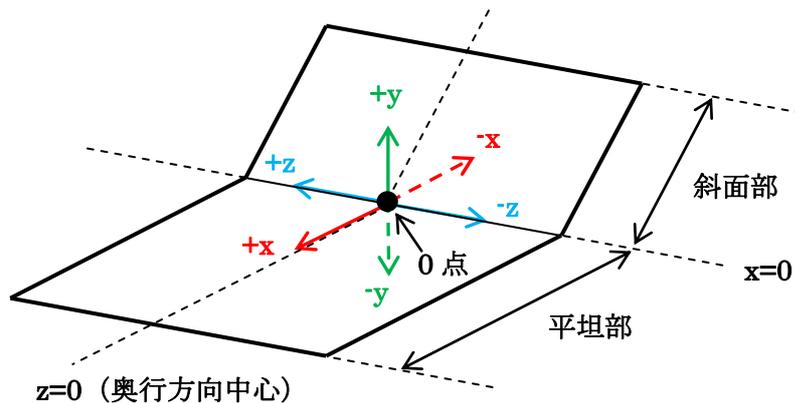


図 3.3.3.1 斜面模型の概要と座標系の定義

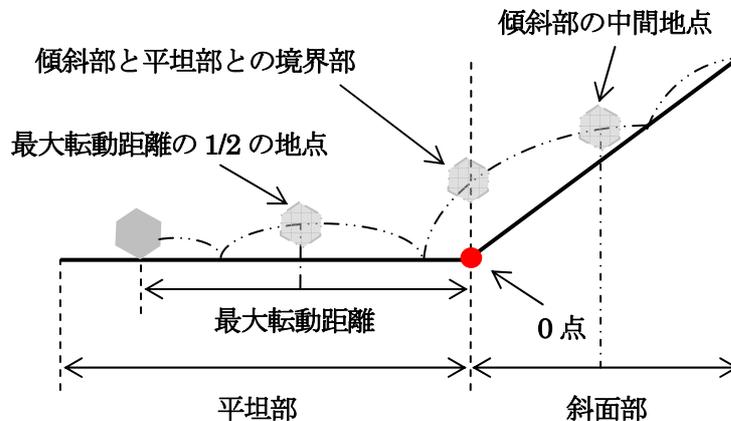


図 3.3.3.2 岩塊の速度算出地点の定義

④データ整理結果

図 3.3.3.3～図 3.3.3.212 にそれぞれの「試番 ケース」に対する流路正面写真、流路正面  
三次元メッシュ図、二次元変位・速度軌跡を示す。また表 3.3.3.5 に速度一覧を示す。

・今回実施分



図 3.3.3.3 試番 1 ケース 8 流路正面

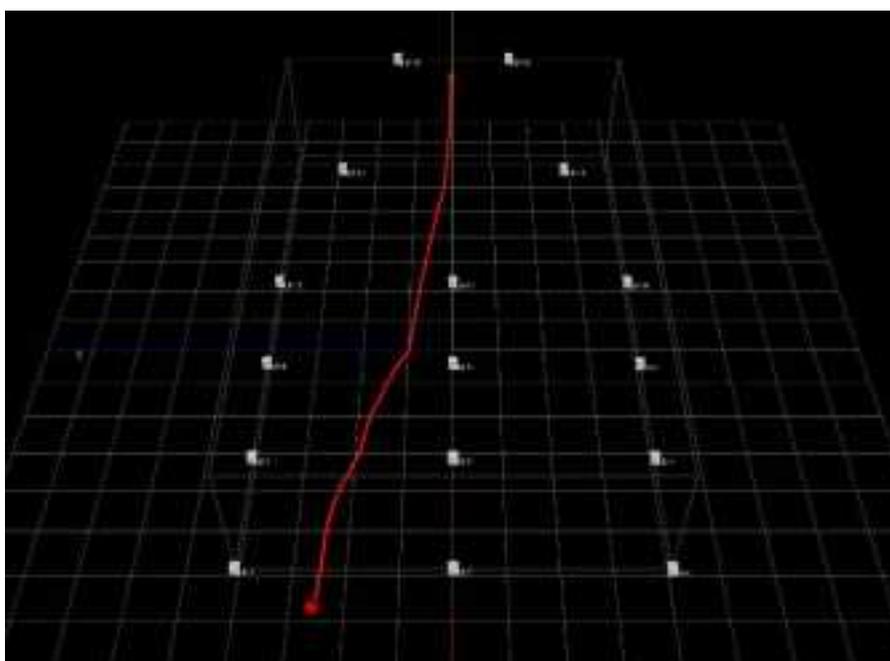


図 3.3.3.4 試番 1 ケース 8 流路正面 三次元メッシュ図

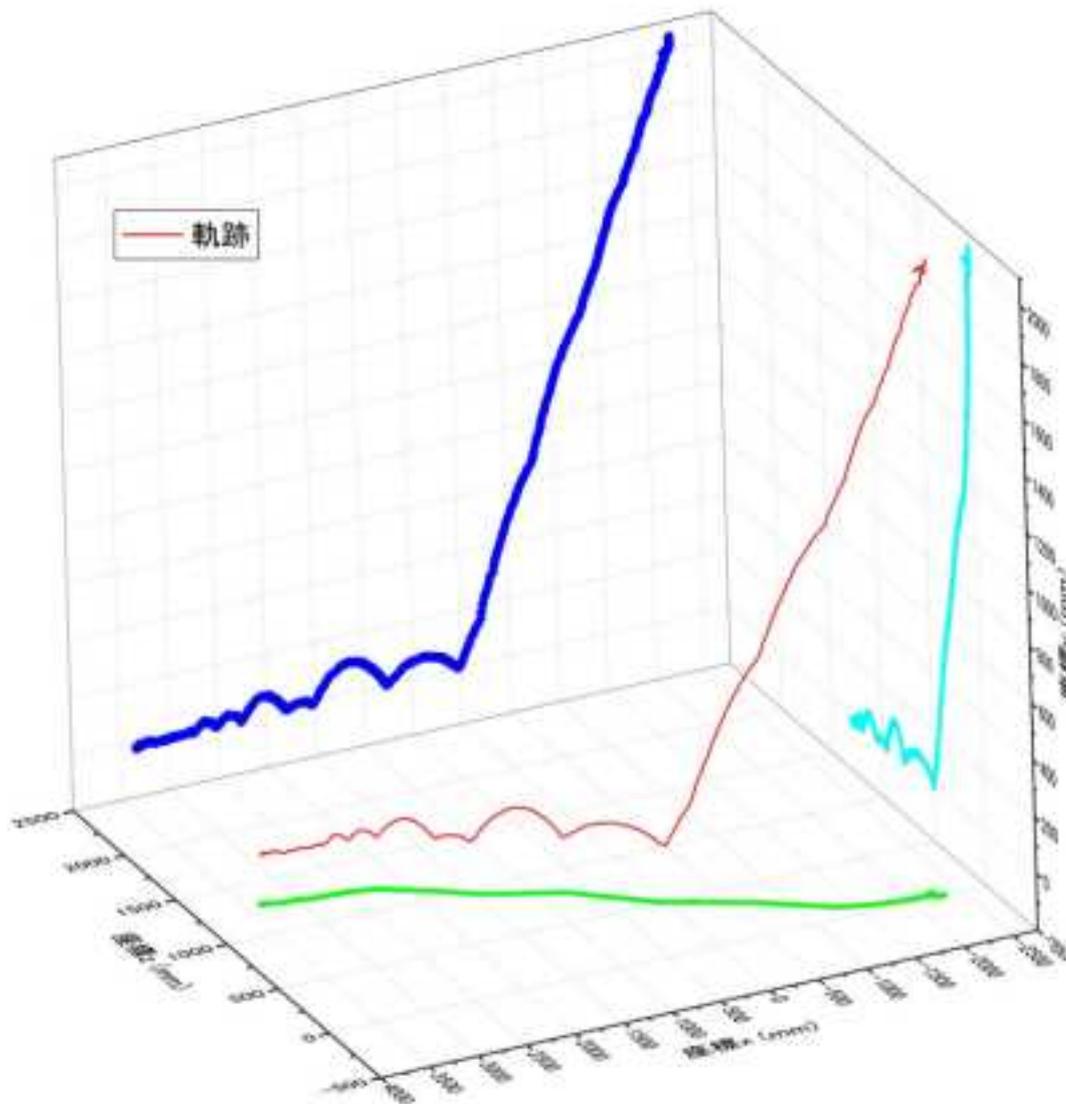


図 3.3.3.5 試番1 ケース8 三次元変位軌跡

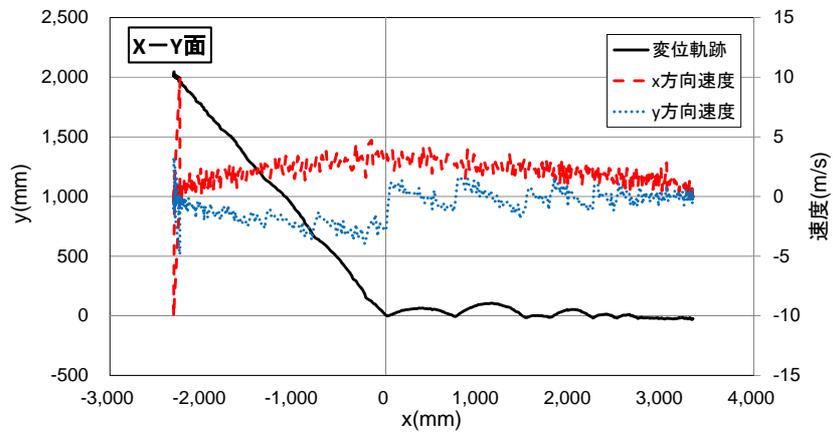


図 3.3.3.6 試番 1 ケース 8 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

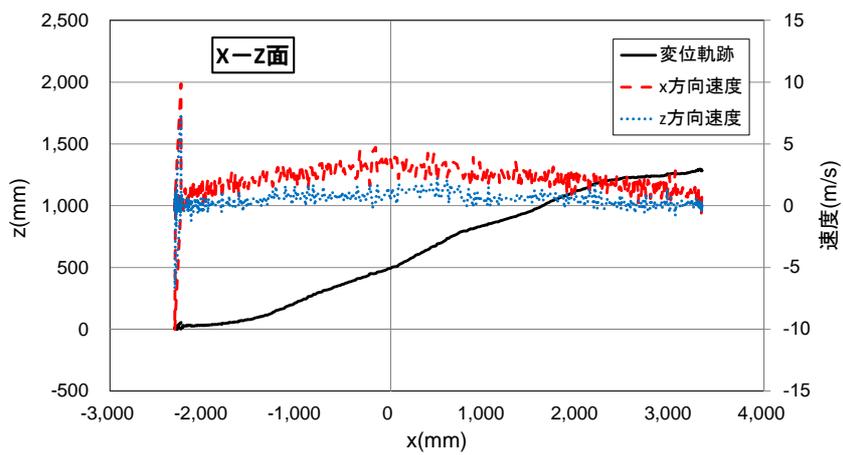


図 3.3.3.7 試番 1 ケース 8 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

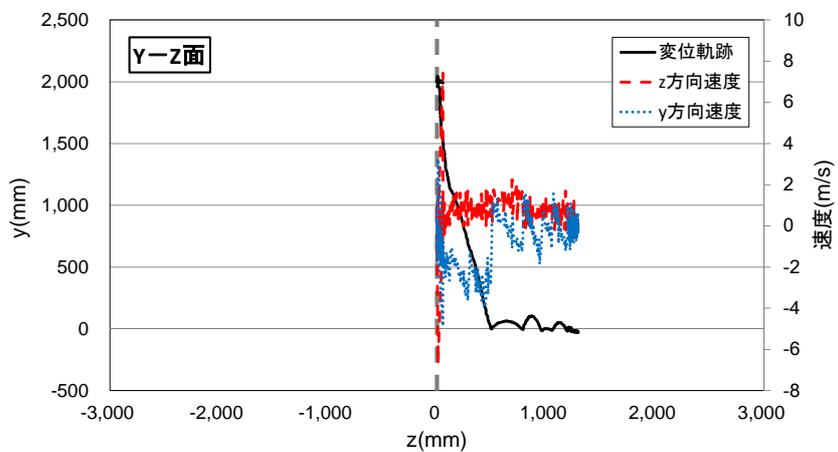


図 3.3.3.8 試番 1 ケース 8 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.9 試番1 ケース12 流路正面

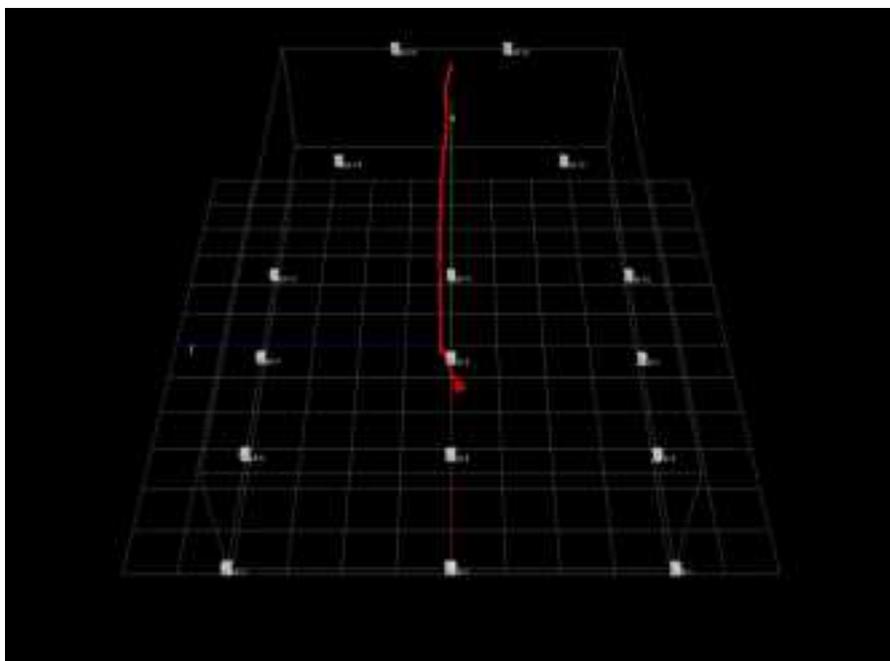


図 3.3.3.10 試番1 ケース12 流路正面 三次元メッシュ図

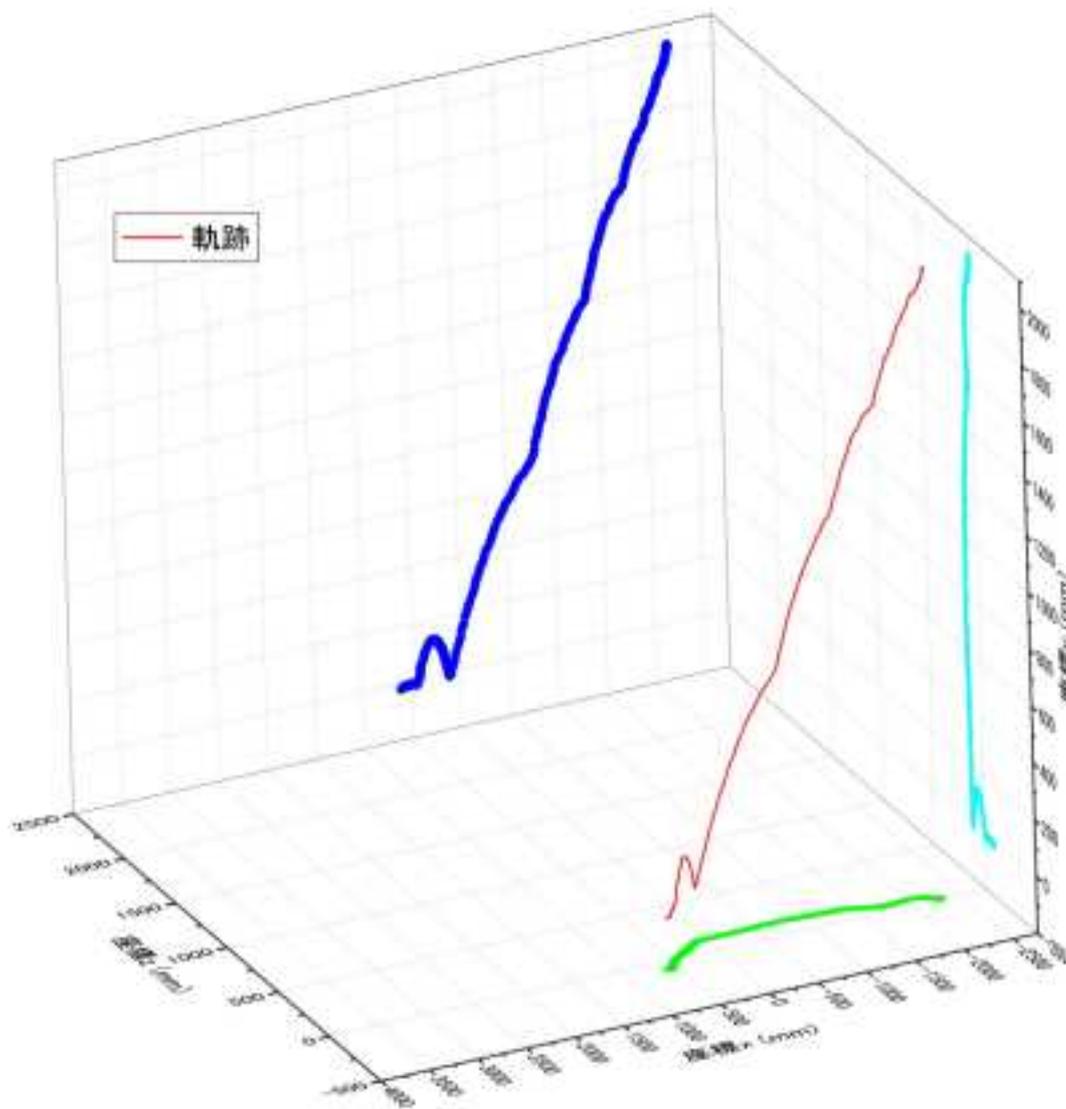


図 3.3.3.11 試番 1 ケース 12 三次元変位軌跡

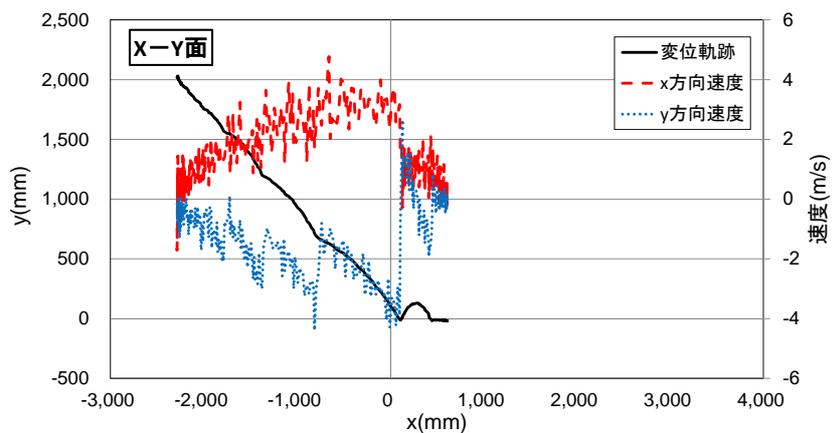


図 3.3.3.12 試番 1 ケース 12 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

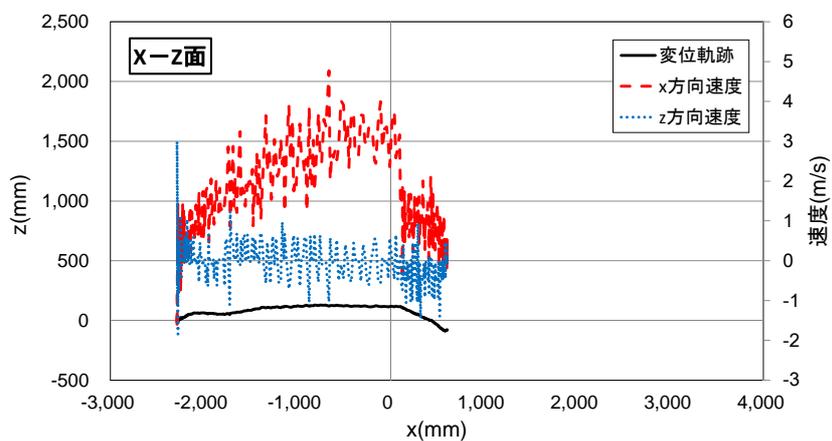


図 3.3.3.13 試番 1 ケース 12 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

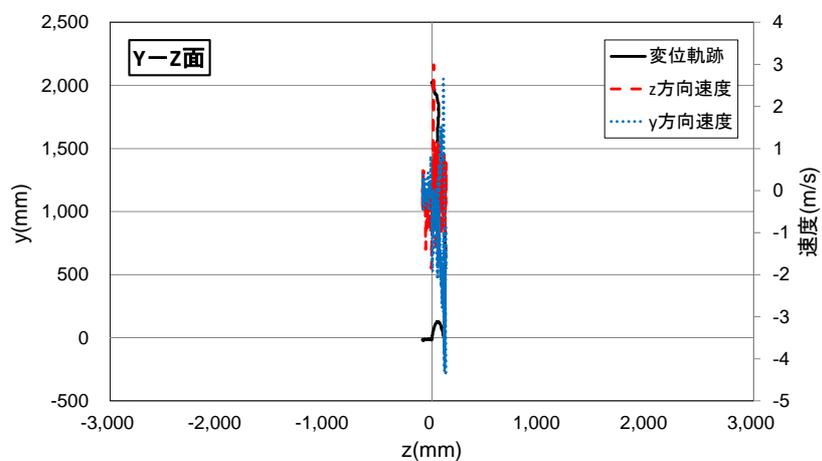


図 3.3.3.14 試番 1 ケース 12 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.15 試番1 ケース18 流路正面

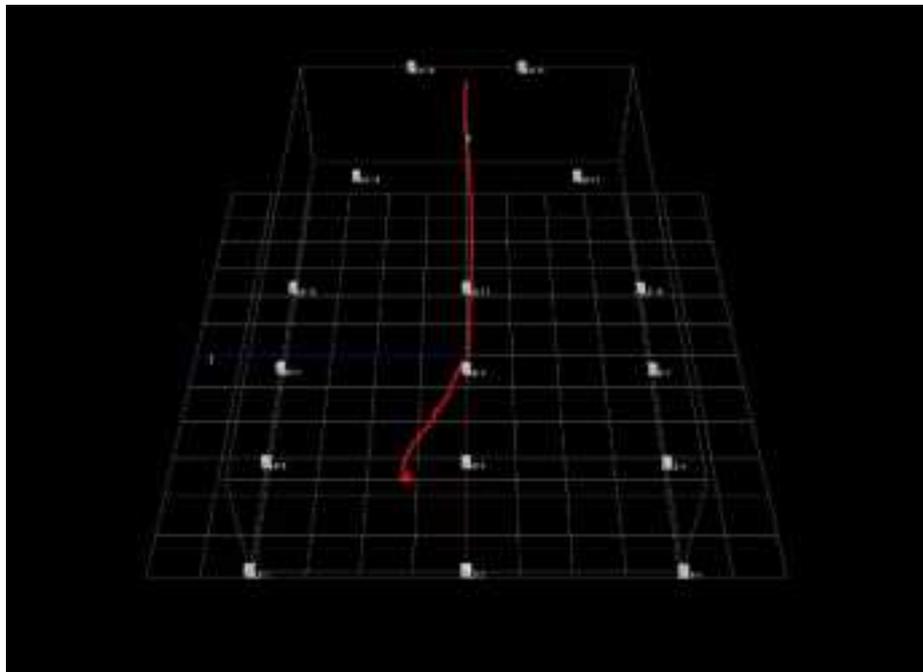


図 3.3.3.16 試番1 ケース18 流路正面 三次元メッシュ図

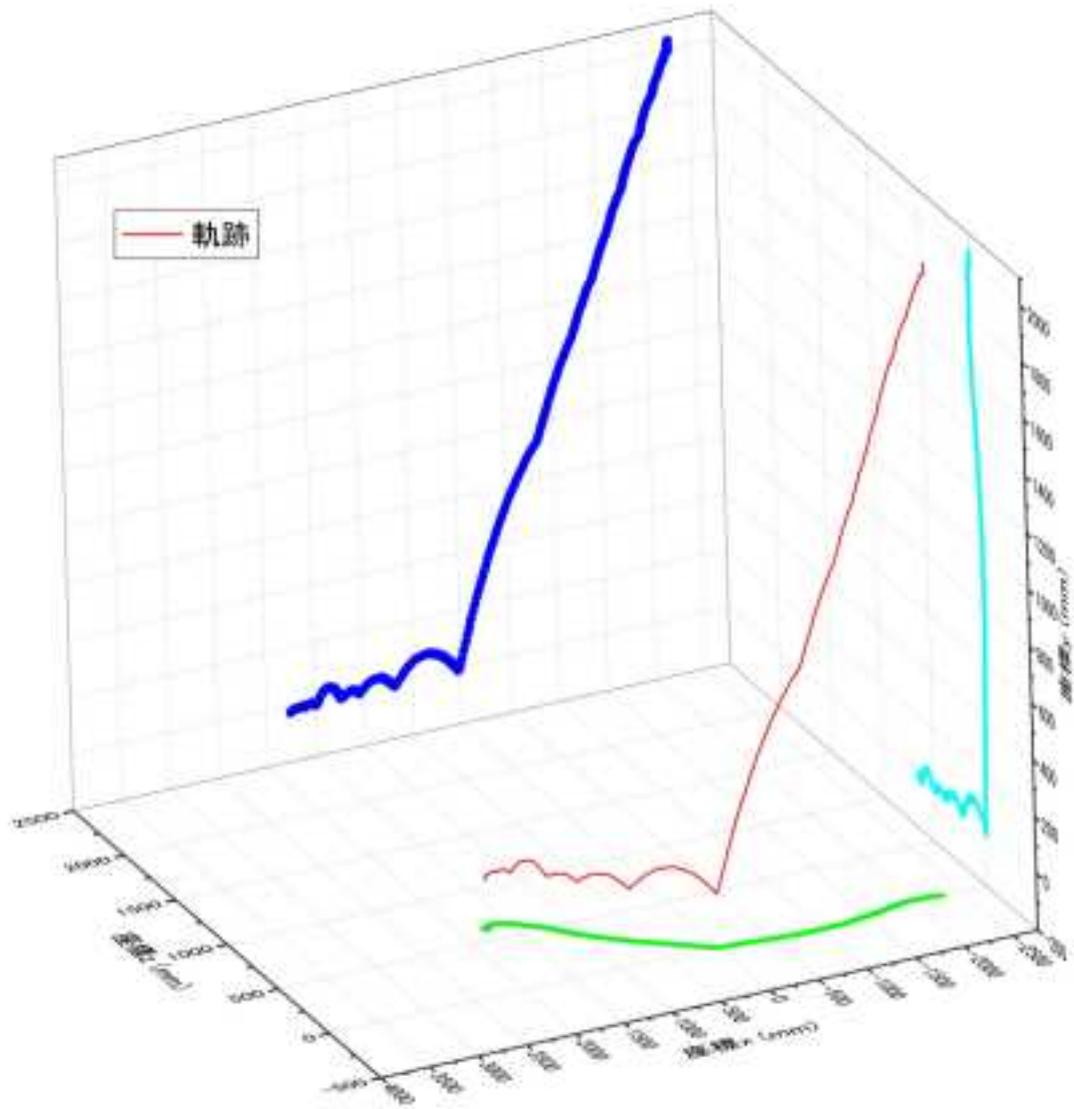


図 3.3.3.17 試番 1 ケース 18 三次元変位軌跡

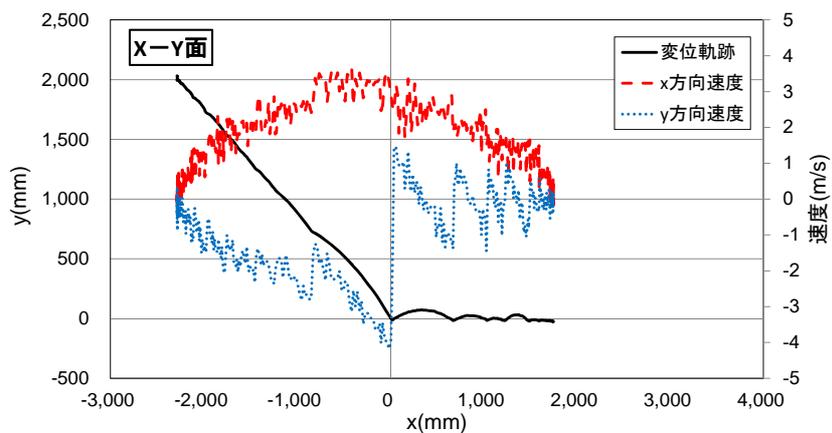


図 3.3.3.18 試番 1 ケース 18 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

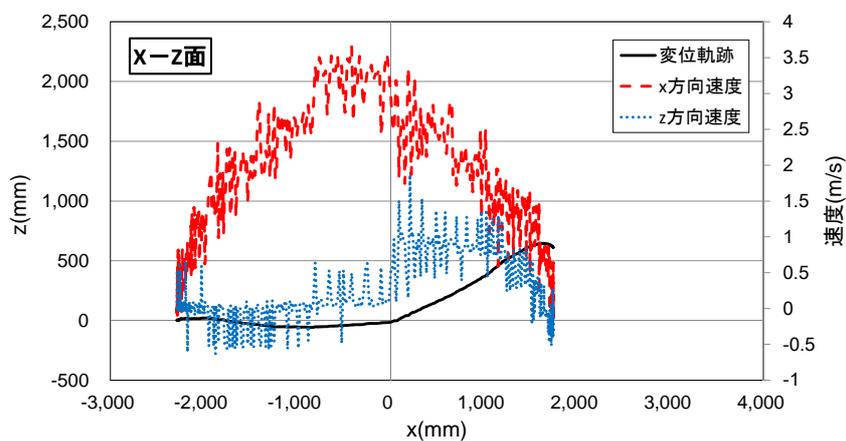


図 3.3.3.19 試番 1 ケース 18 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

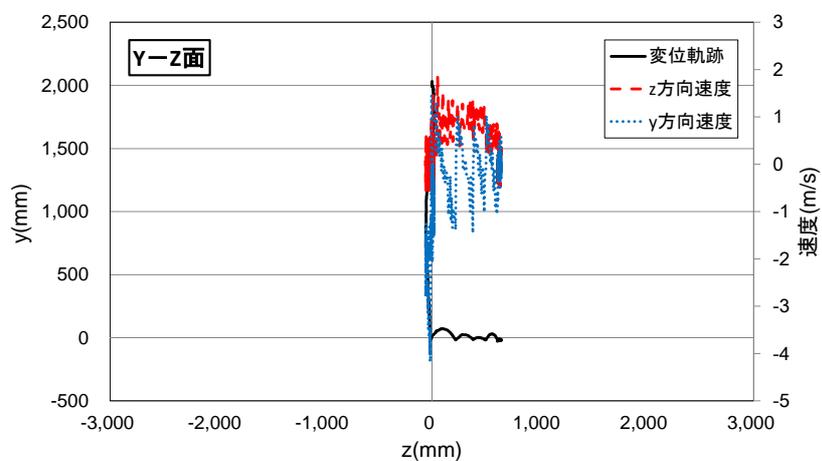


図 3.3.3.20 試番 1 ケース 18 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.21 試番1 ケース34 流路正面

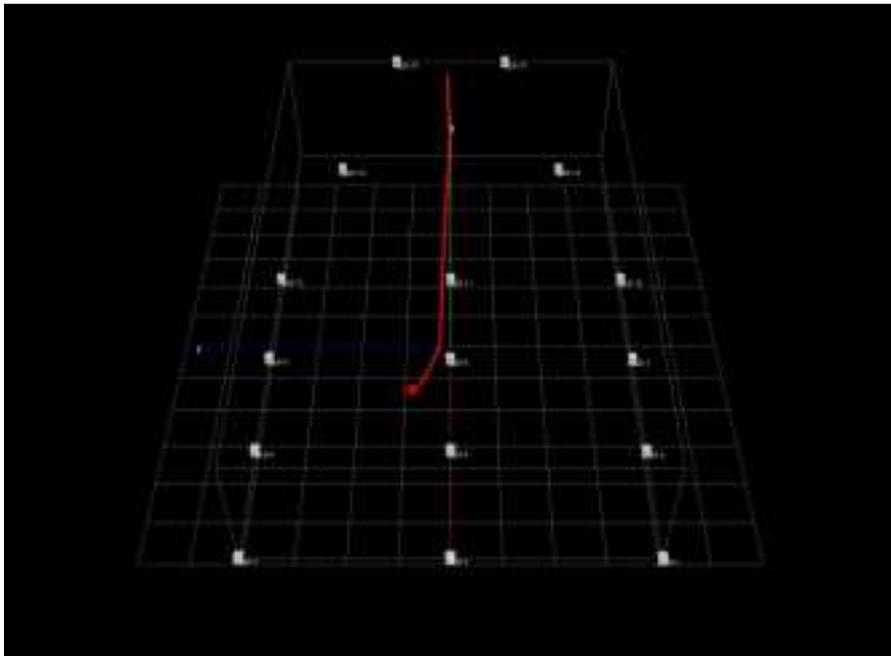


図 3.3.3.22 試番1 ケース34 流路正面 三次元メッシュ図

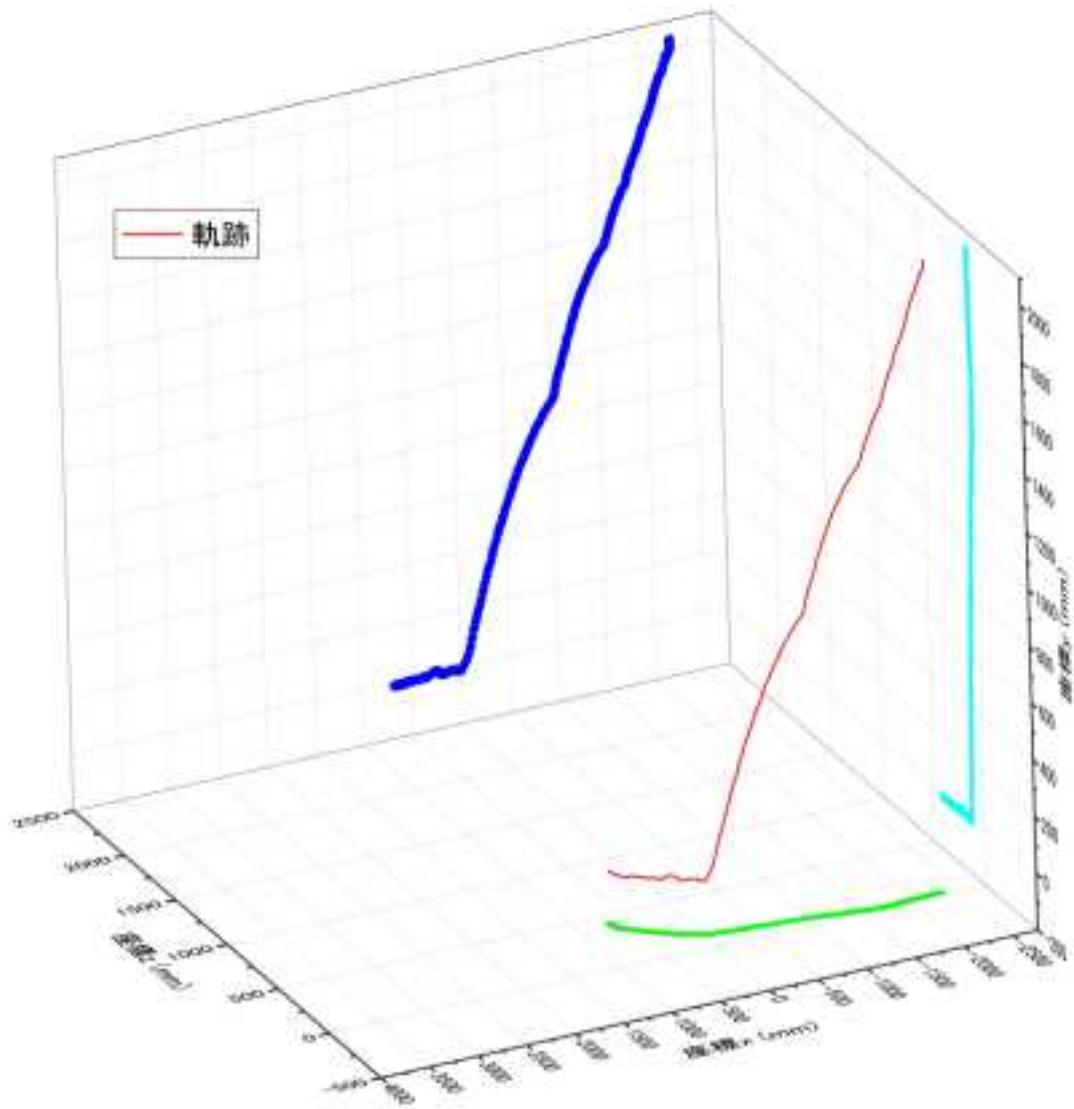


図 3.3.3.23 試番1 ケース 34 三次元変位軌跡

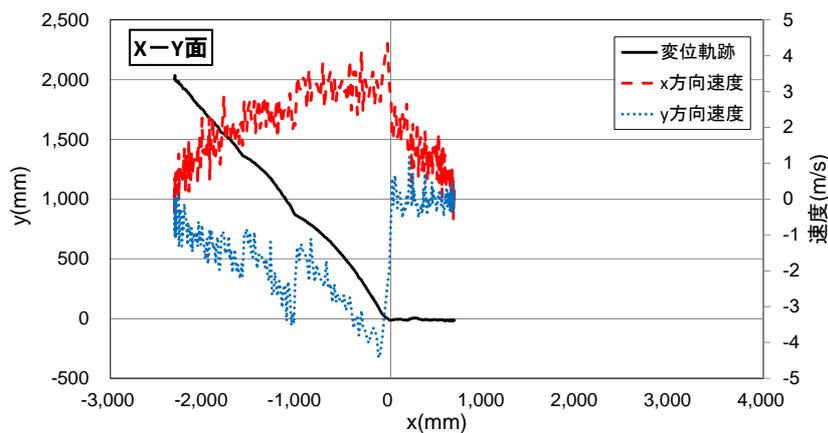


図 3.3.3.24 試番 1 ケース 34 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

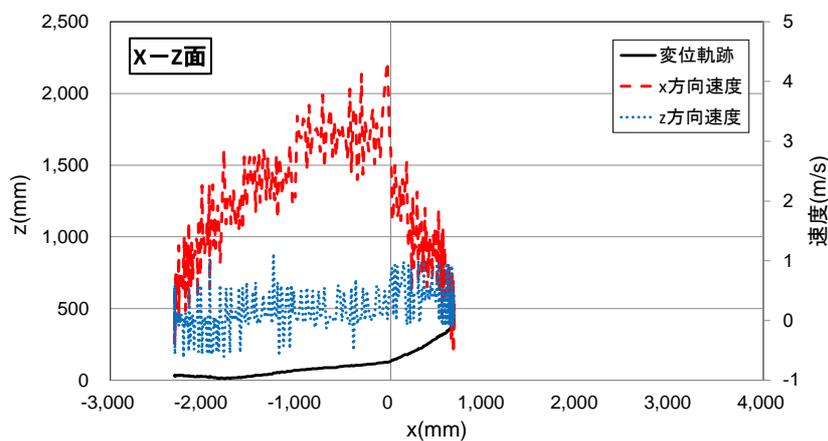


図 3.3.3.25 試番 1 ケース 34 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

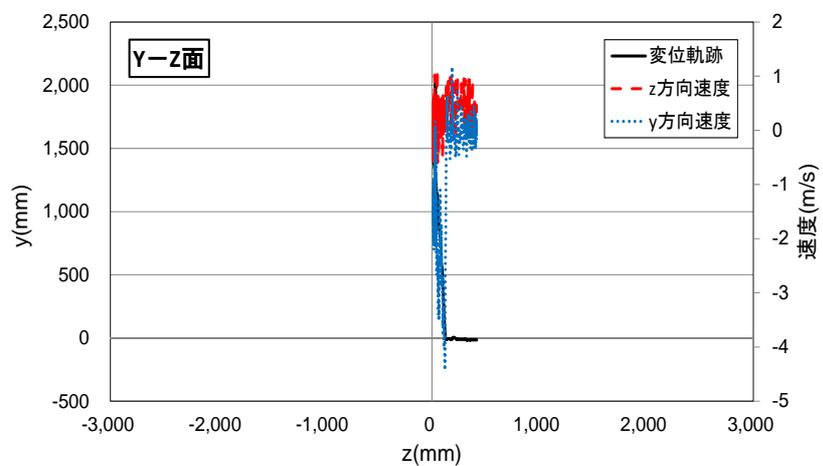


図 3.3.3.26 試番 1 ケース 34 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.27 試番1 ケース37 流路正面

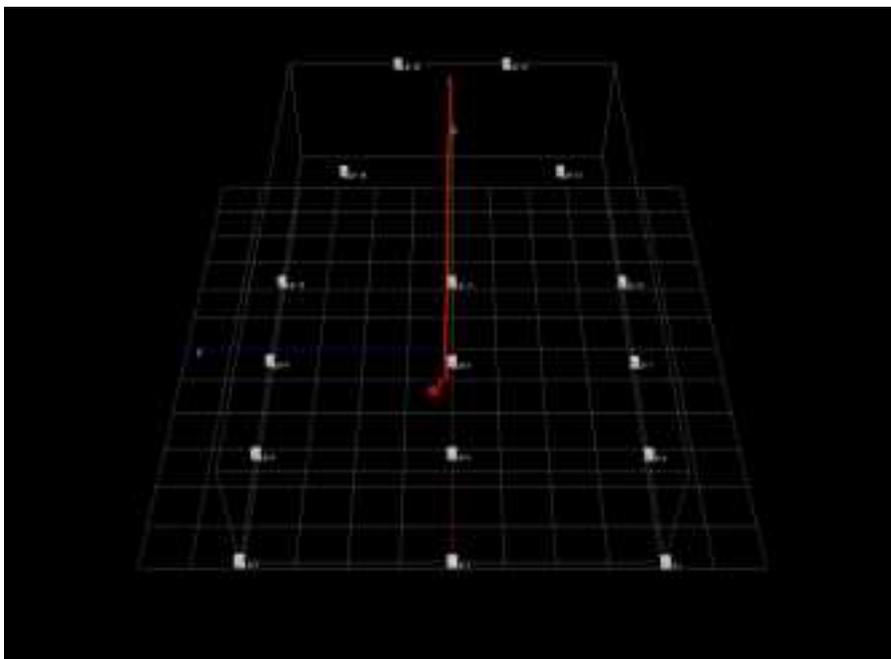


図 3.3.3.28 試番1 ケース37 流路正面 三次元メッシュ図

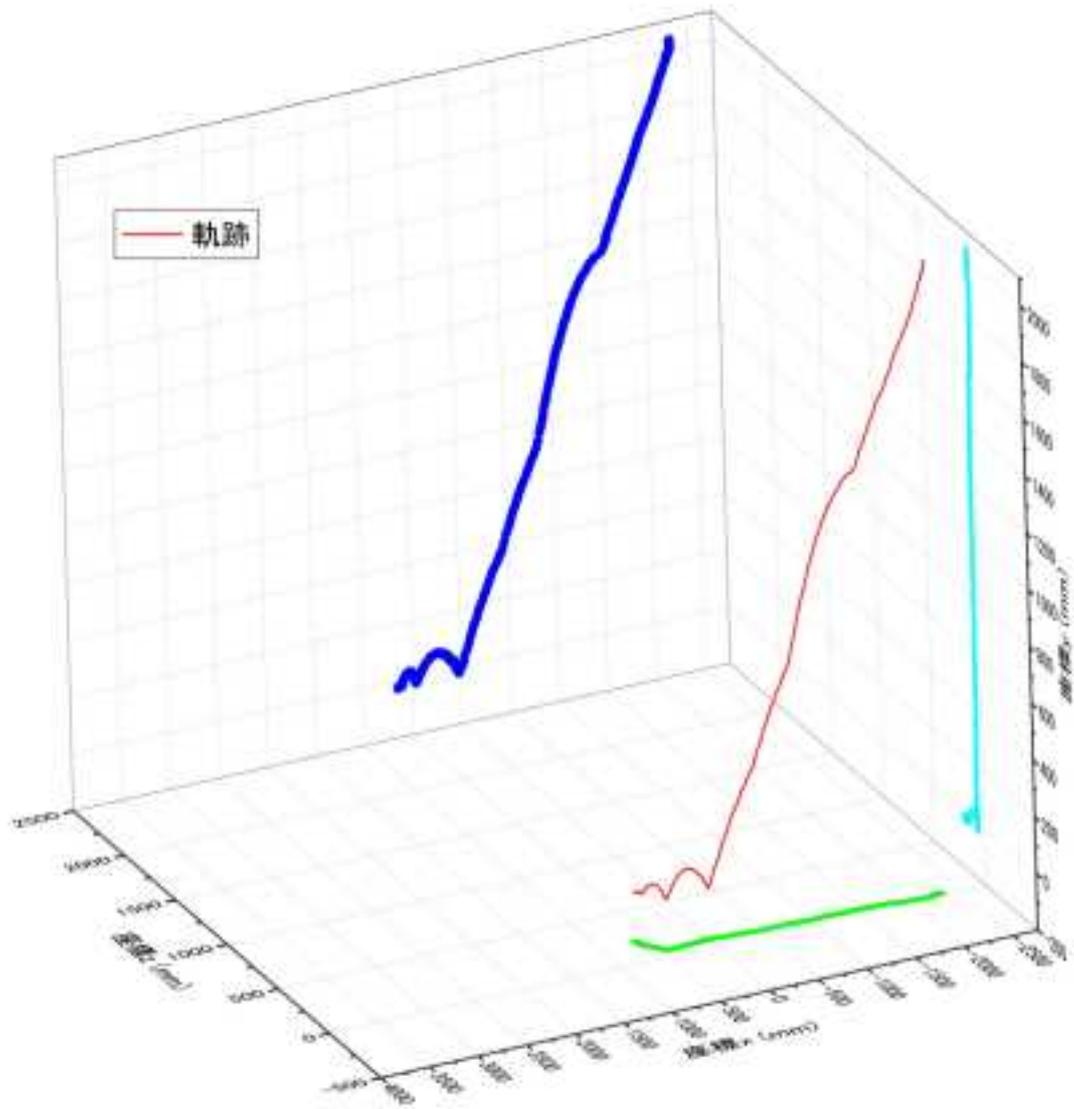


図 3.3.3.29 試番 1 ケース 37 三次元変位軌跡

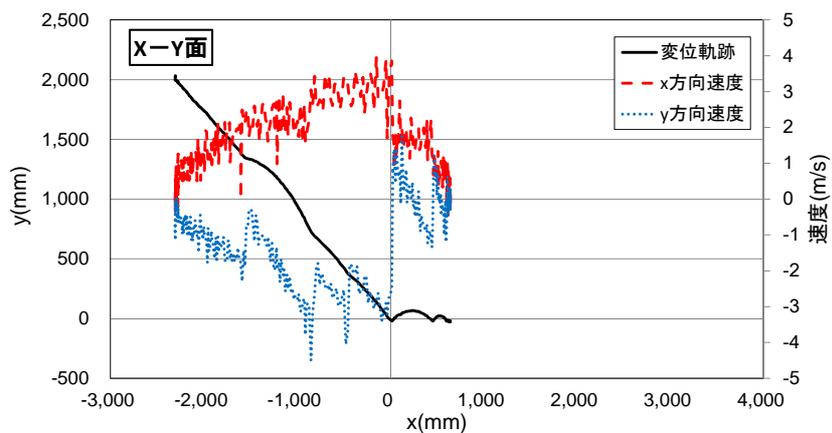


図 3.3.3.30 試番 1 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

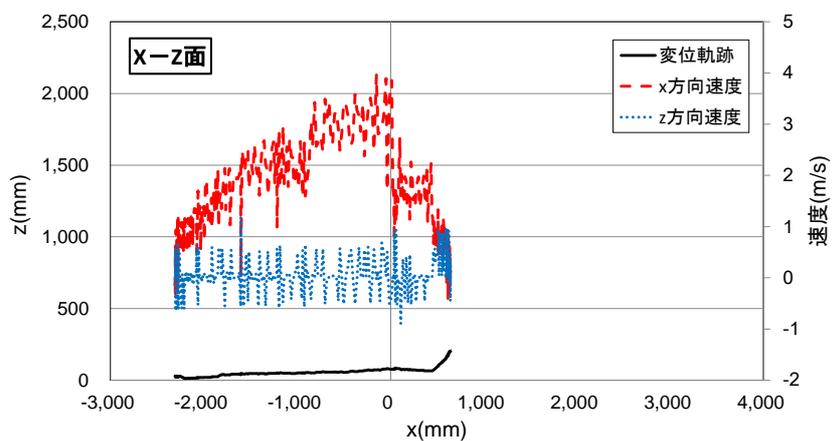


図 3.3.3.31 試番 1 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

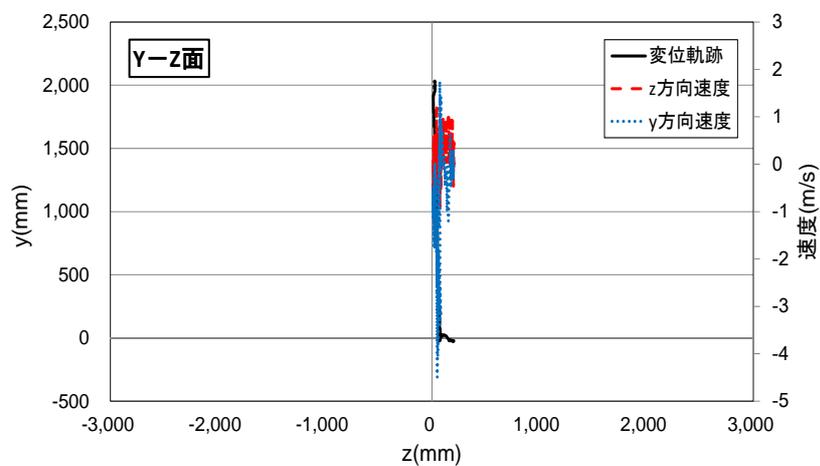


図 3.3.3.32 試番 1 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.33 試番 2 ケース 11 流路正面

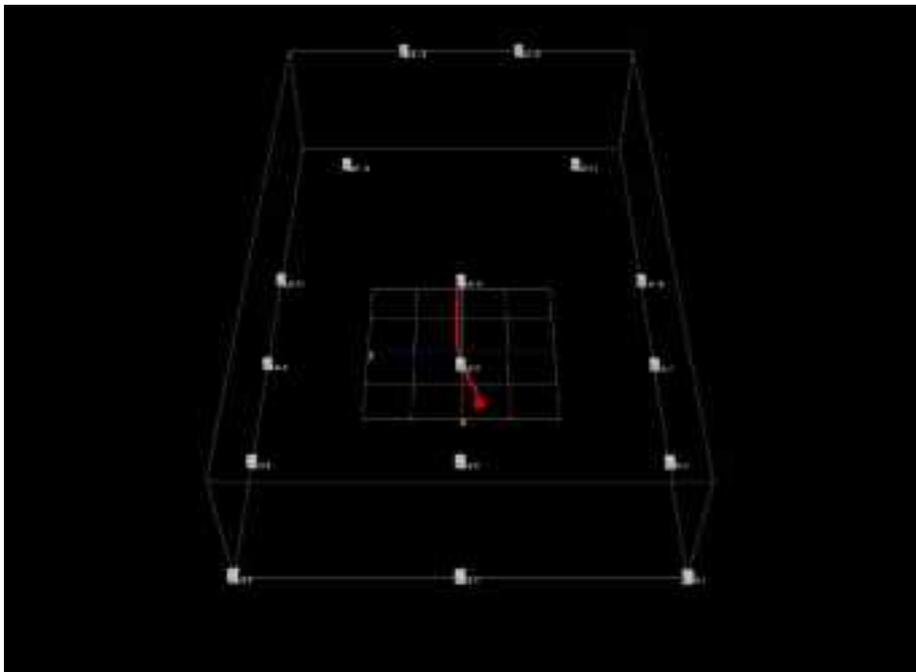


図 3.3.3.34 試番 2 ケース 11 流路正面 三次元メッシュ図

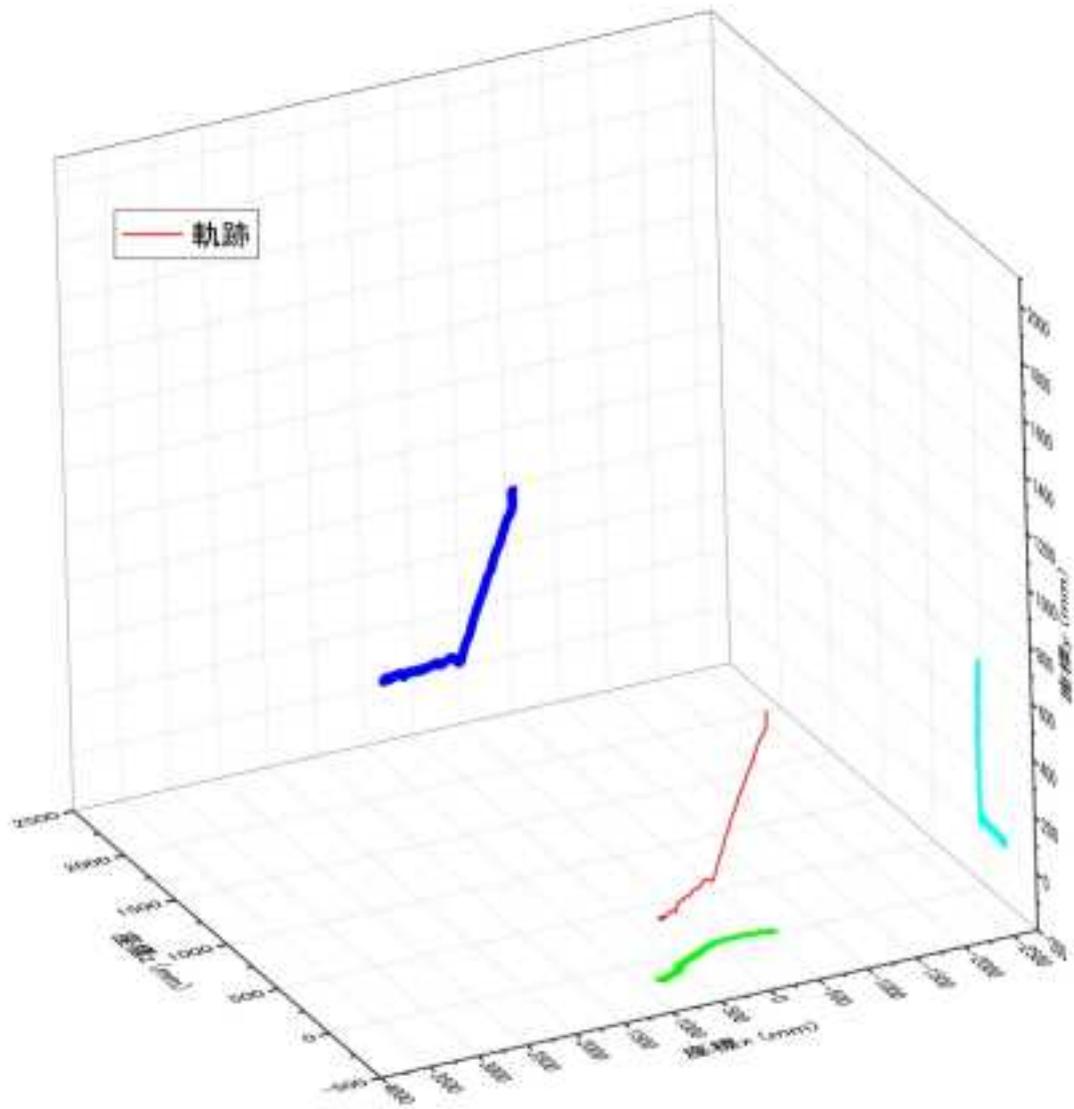


図 3.3.3.35 試番 2 ケース 11 三次元変位軌跡

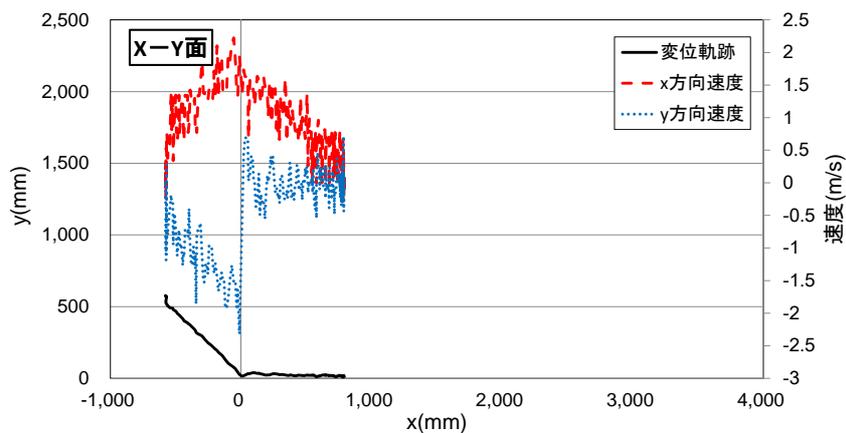


図 3.3.3.36 試番 2 ケース 11 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

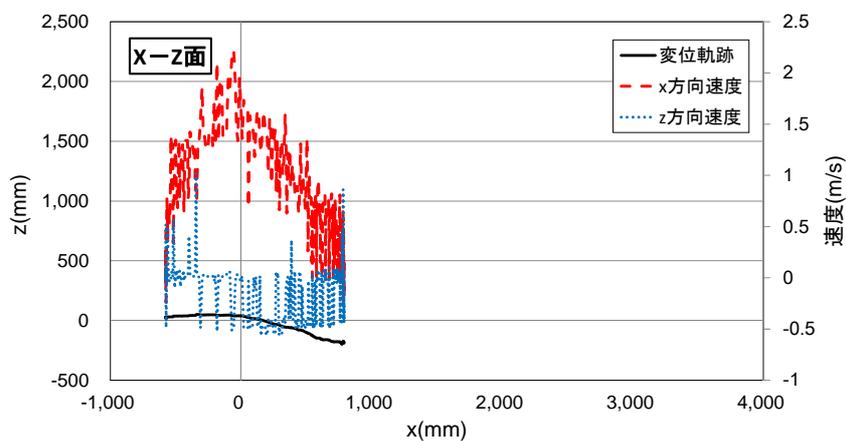


図 3.3.3.37 試番 2 ケース 11 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

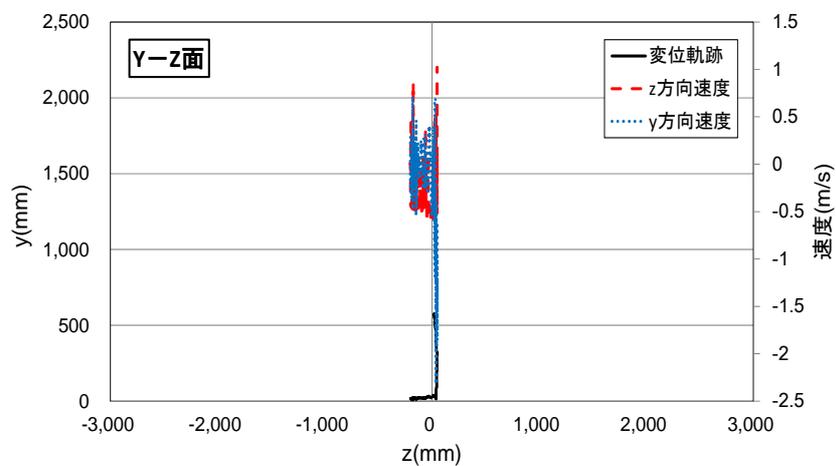


図 3.3.3.38 試番 2 ケース 11 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

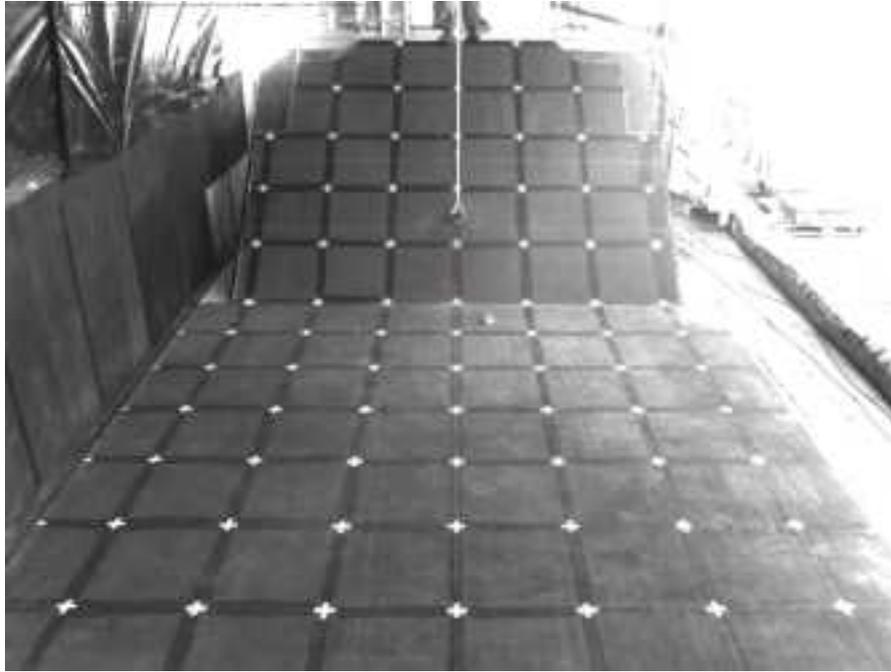


図 3.3.3.39 試番 2 ケース 15 流路正面

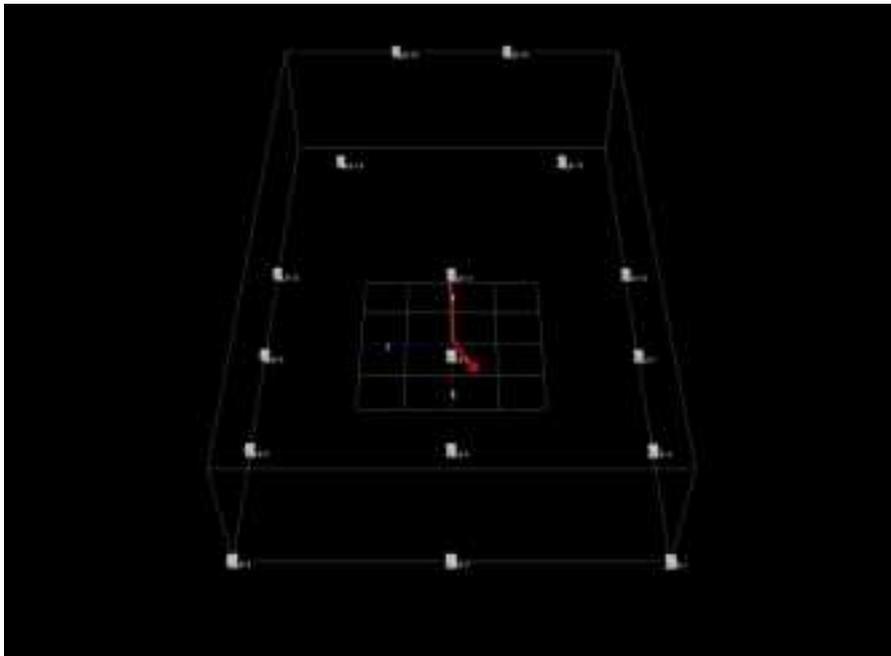


図 3.3.3.40 試番 2 ケース 15 流路正面 三次元メッシュ図

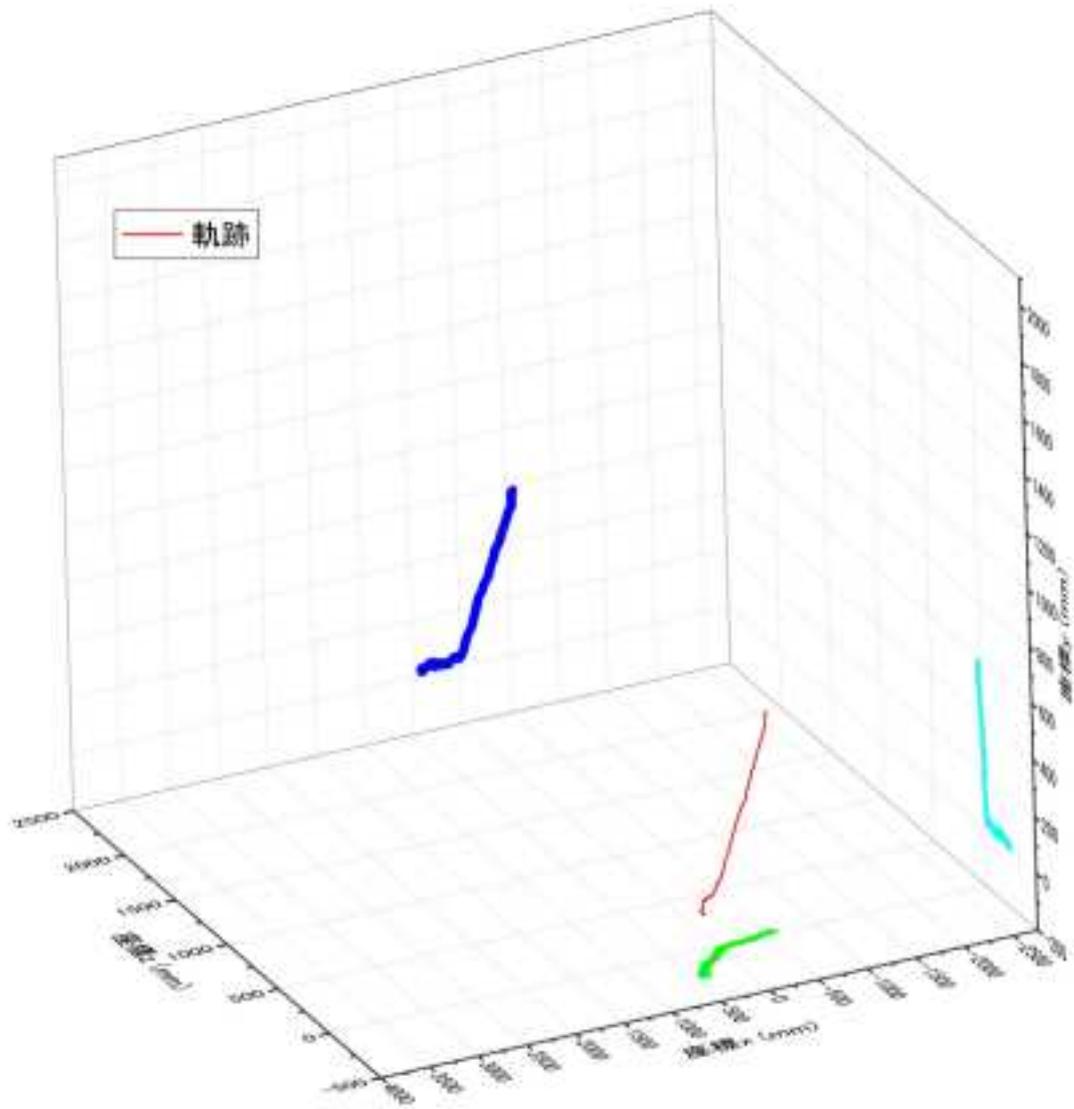


図 3.3.3.41 試番 2 ケース 15 三次元変位軌跡

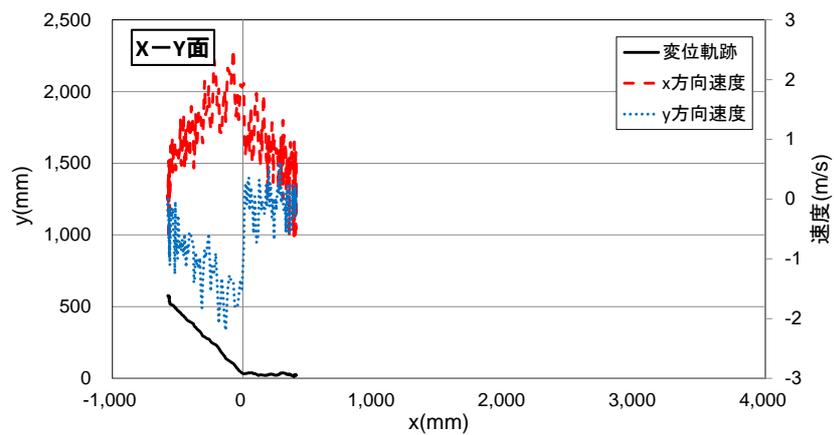


図 3.3.3.42 試番 2 ケース 15 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

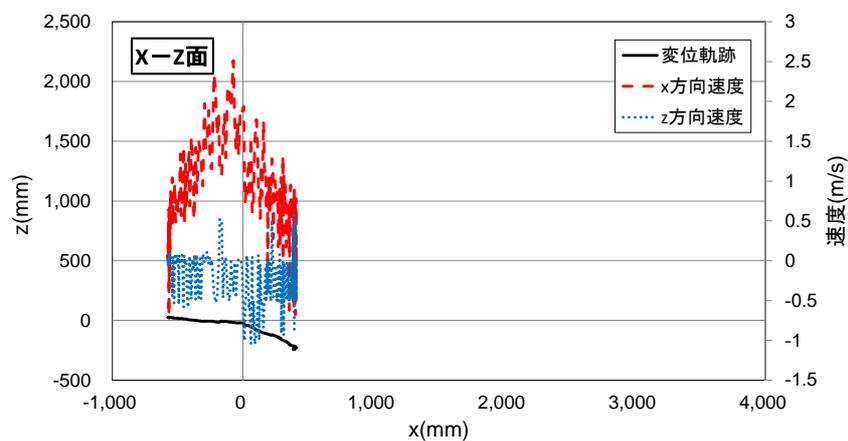


図 3.3.3.43 試番 2 ケース 15 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

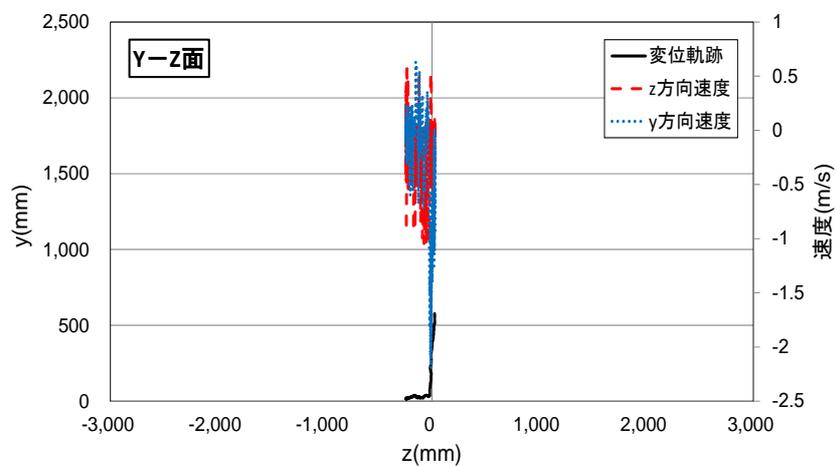


図 3.3.3.44 試番 2 ケース 15 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.45 試番 2 ケース 16 流路正面

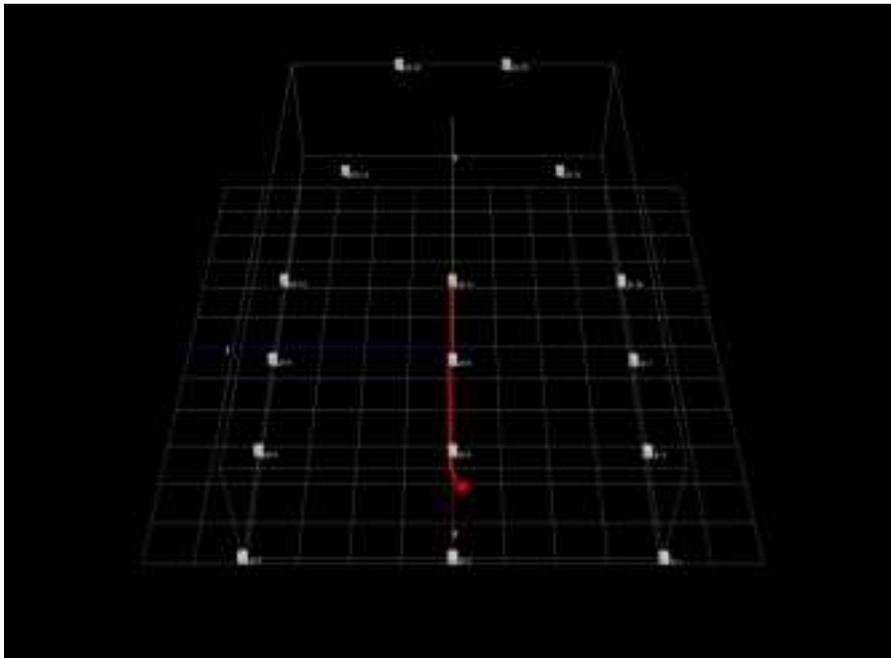


図 3.3.3.46 試番 2 ケース 16 流路正面 三次元メッシュ図

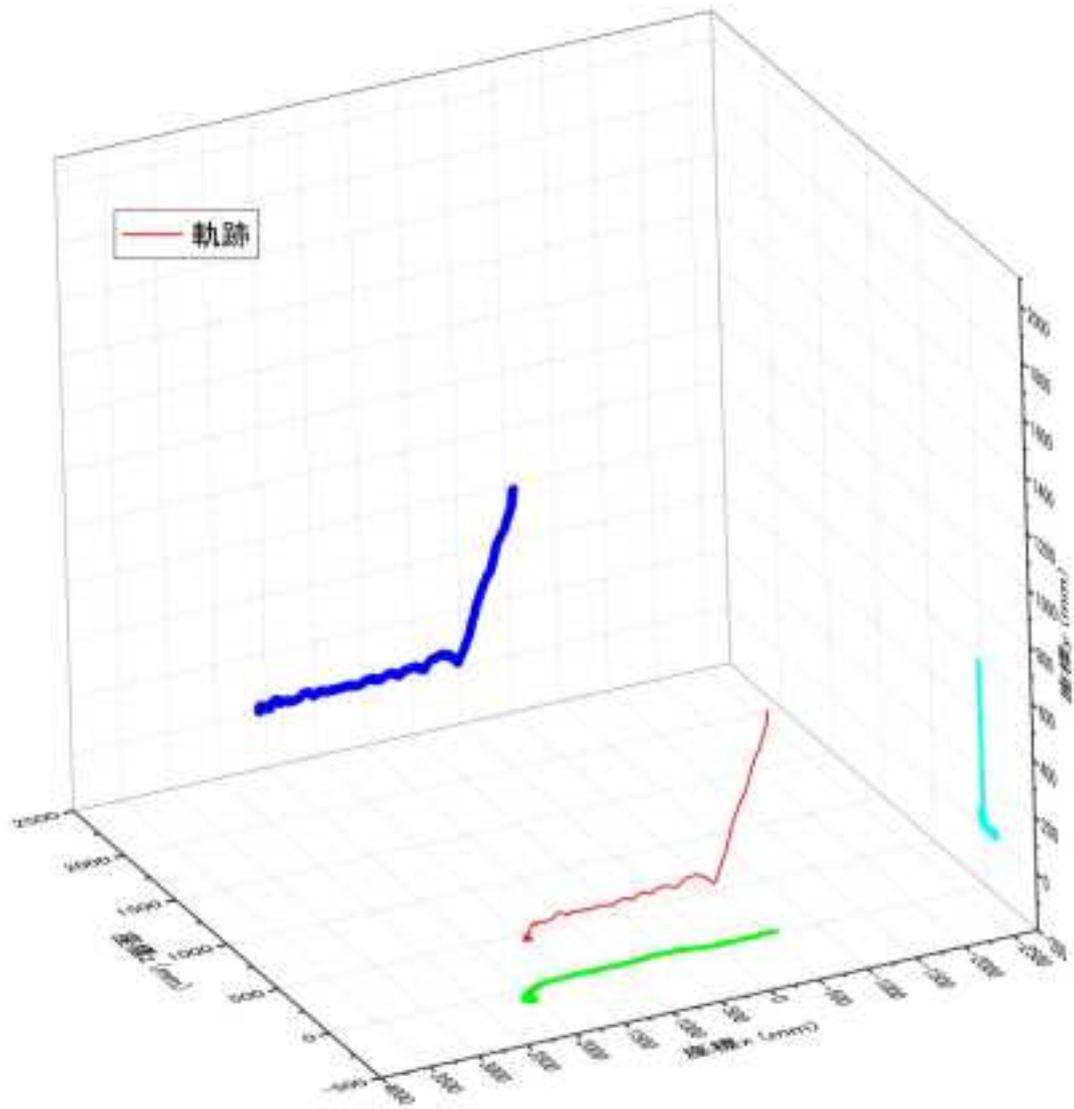


図 3.3.3.47 試番 2 ケース 16 三次元変位軌跡

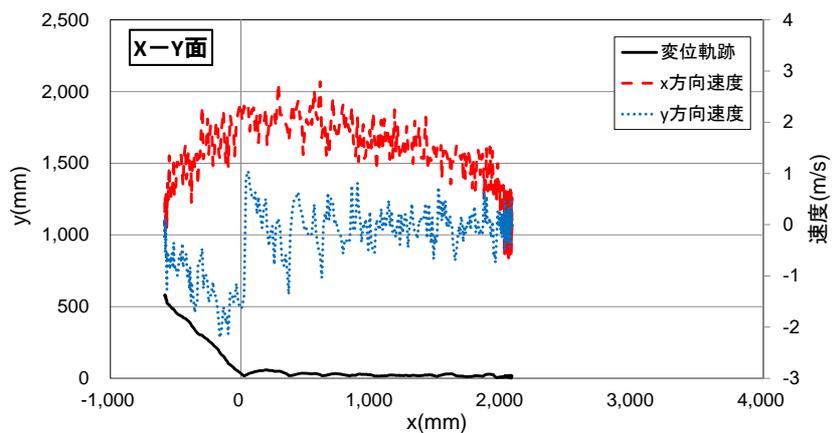


図 3.3.3.48 試番 2 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

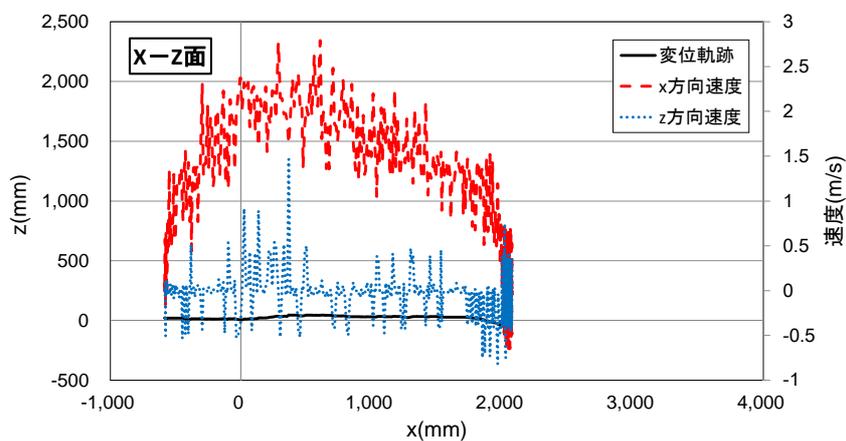


図 3.3.3.49 試番 2 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

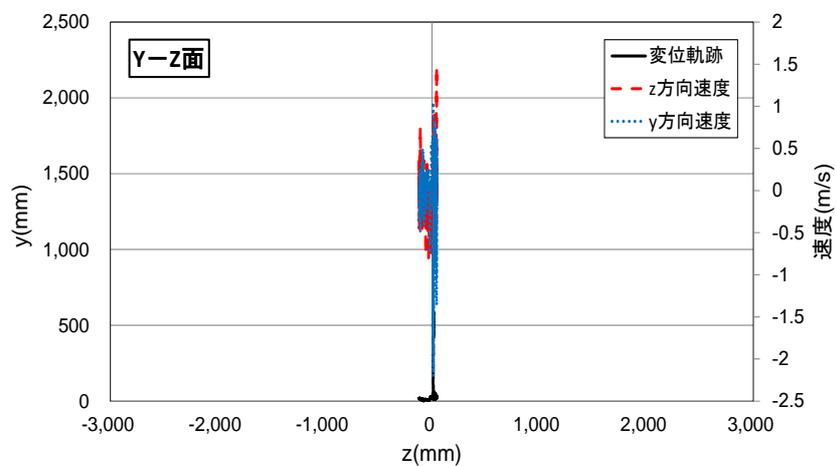


図 3.3.3.50 試番 2 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.51 試番 2 ケース 26 流路正面

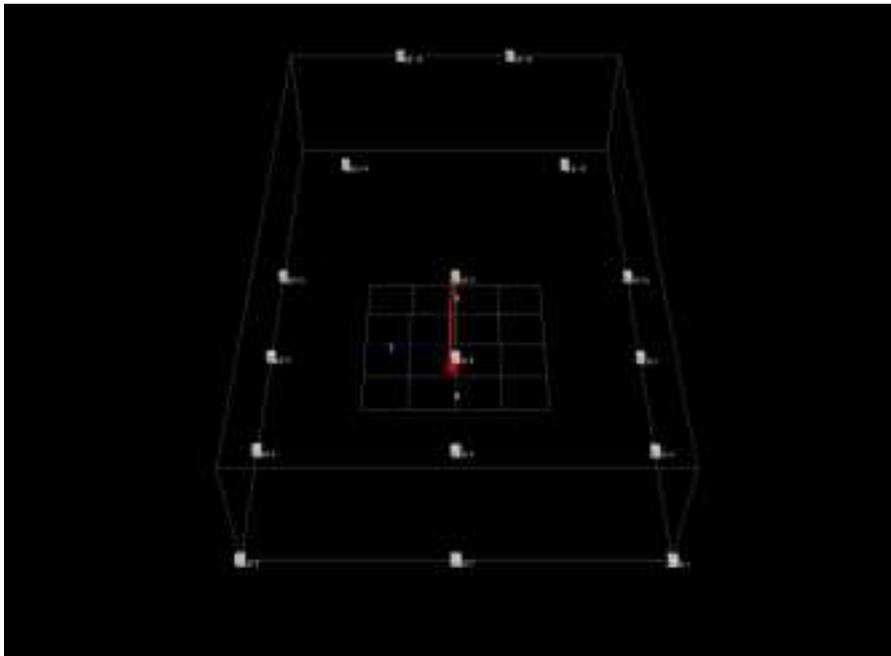


図 3.3.3.52 試番 2 ケース 26 流路正面 三次元メッシュ図

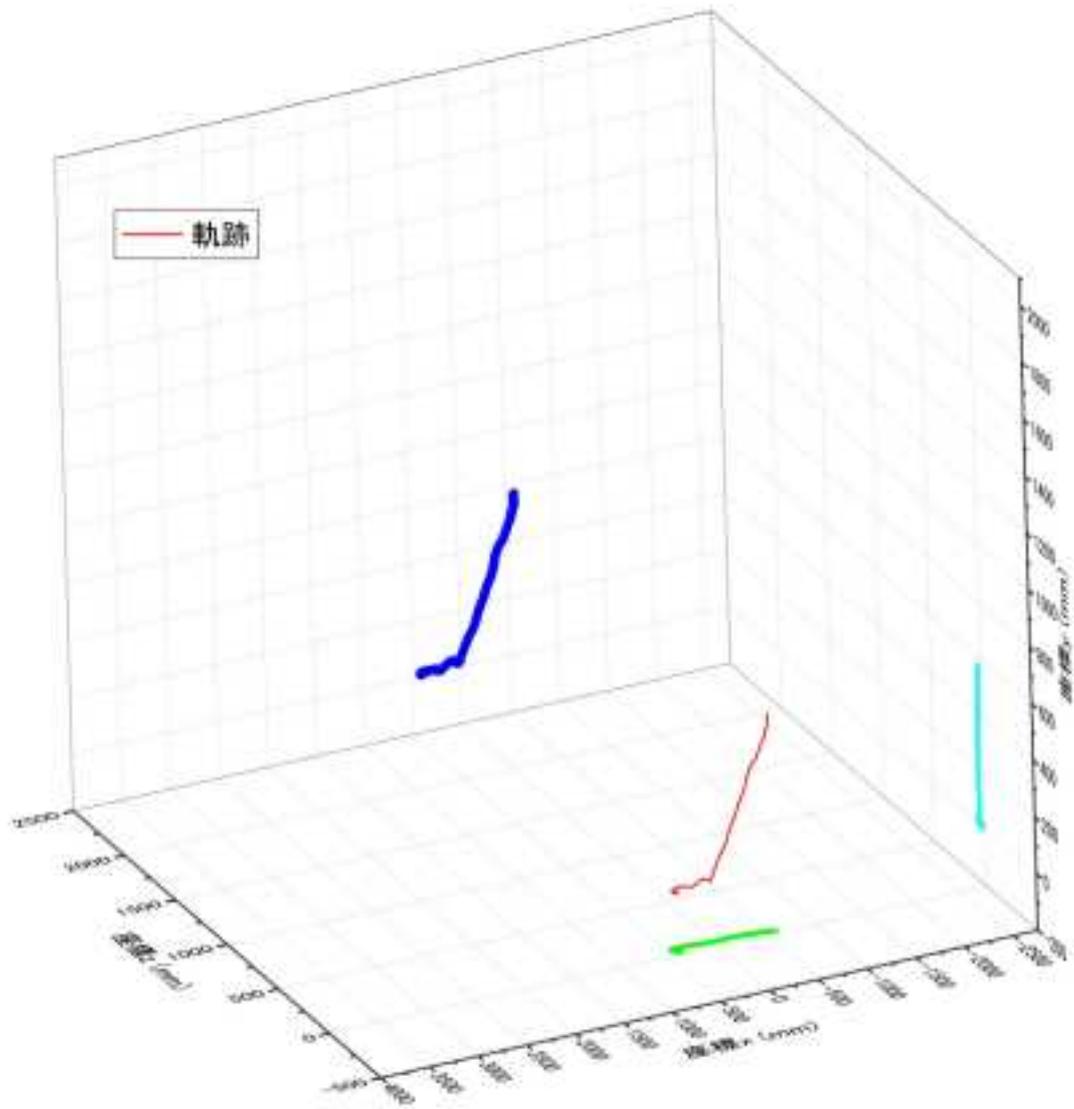


図 3.3.3.53 試番 2 ケース 26 三次元変位軌跡

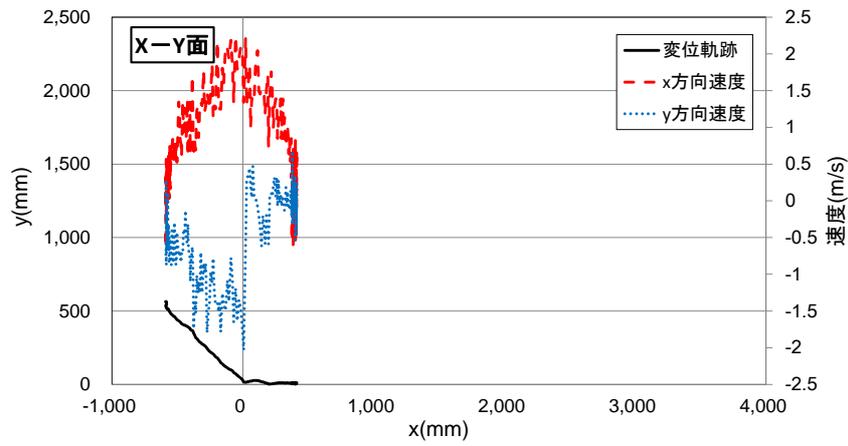


図 3.3.3.54 試番 2 ケース 26 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

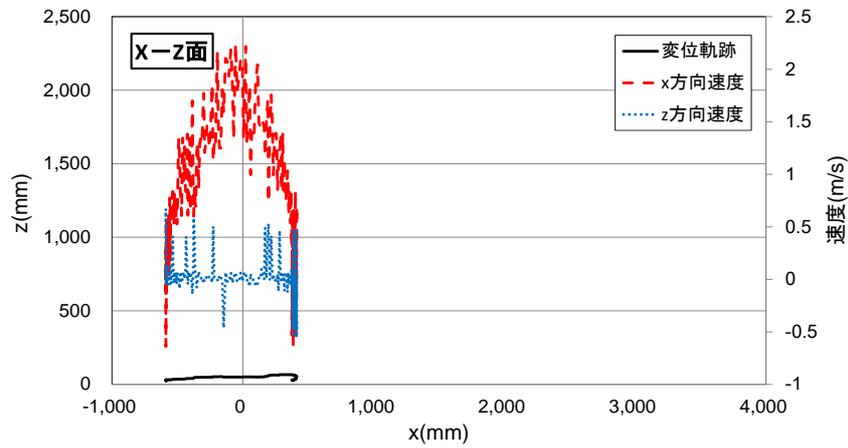


図 3.3.3.55 試番 2 ケース 26 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

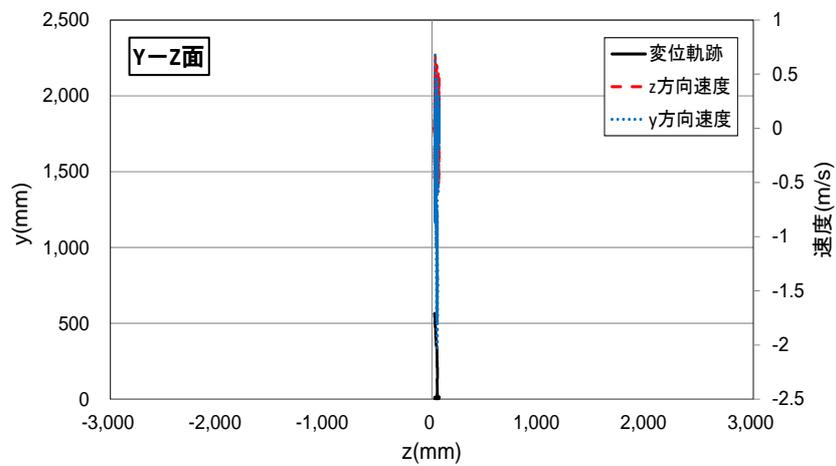


図 3.3.3.56 試番 2 ケース 26 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.57 試番 2 ケース 30 流路正面

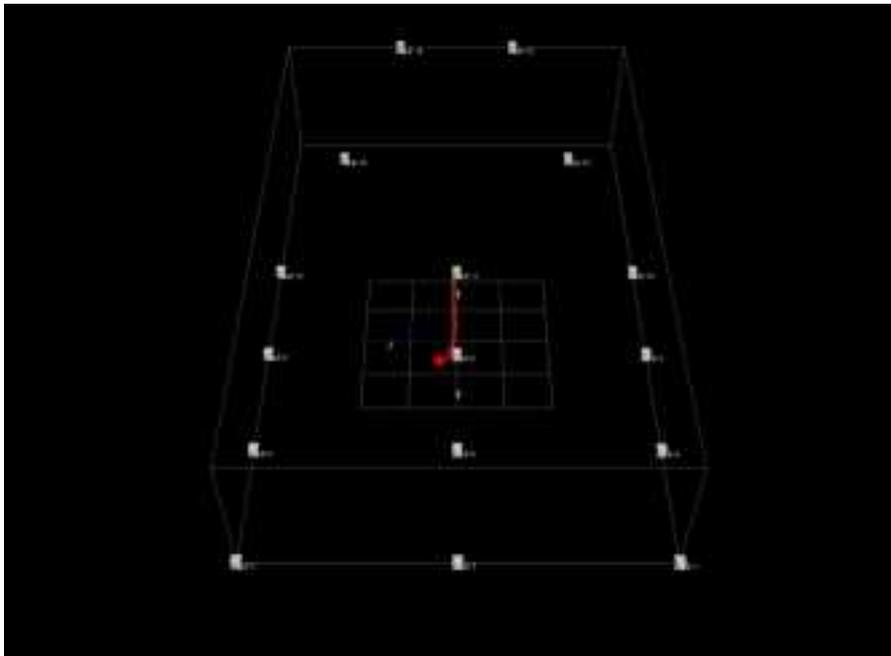


図 3.3.3.58 試番 2 ケース 30 流路正面 三次元メッシュ図

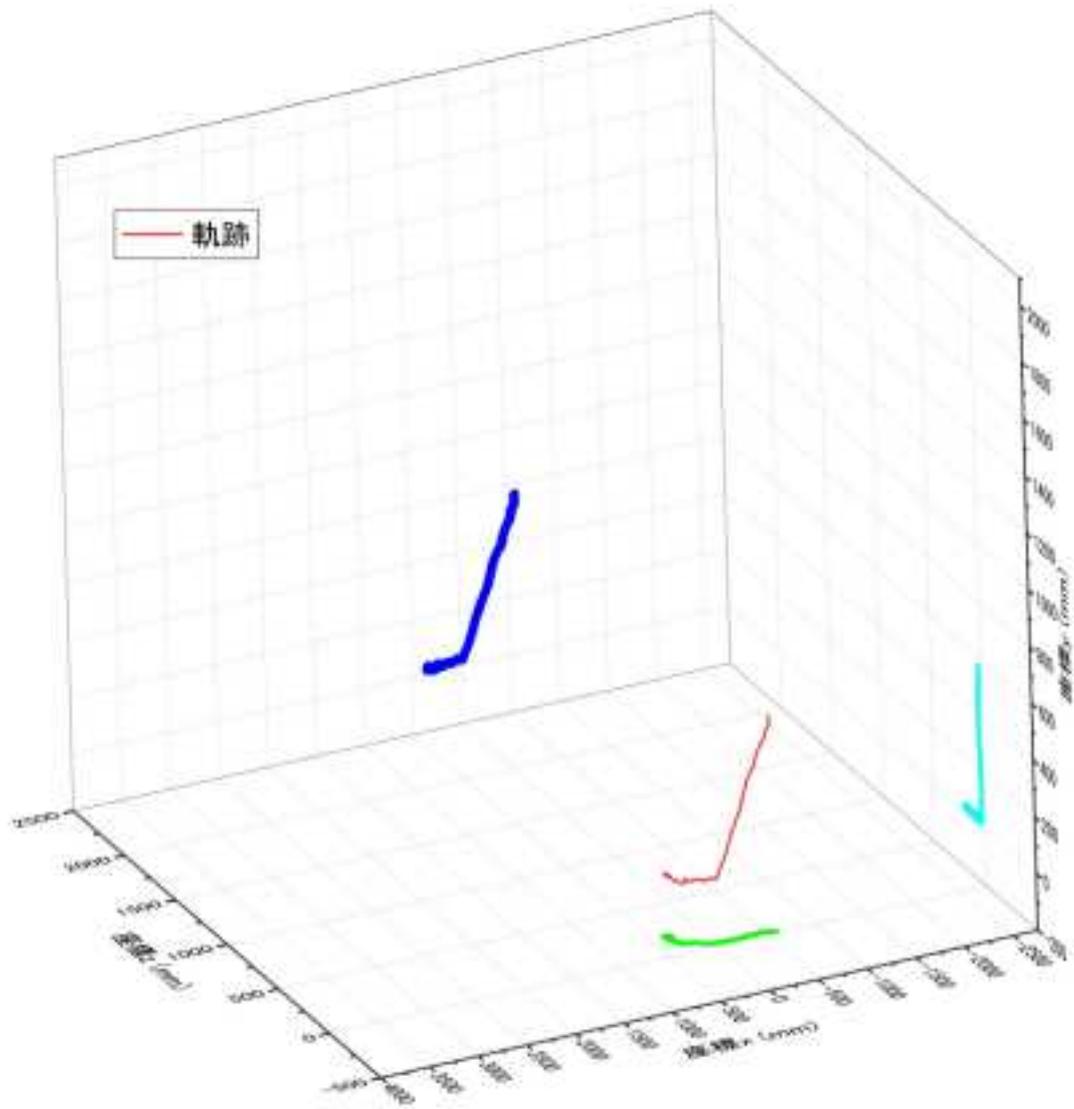


図 3.3.3.59 試番 2 ケース 30 三次元変位軌跡

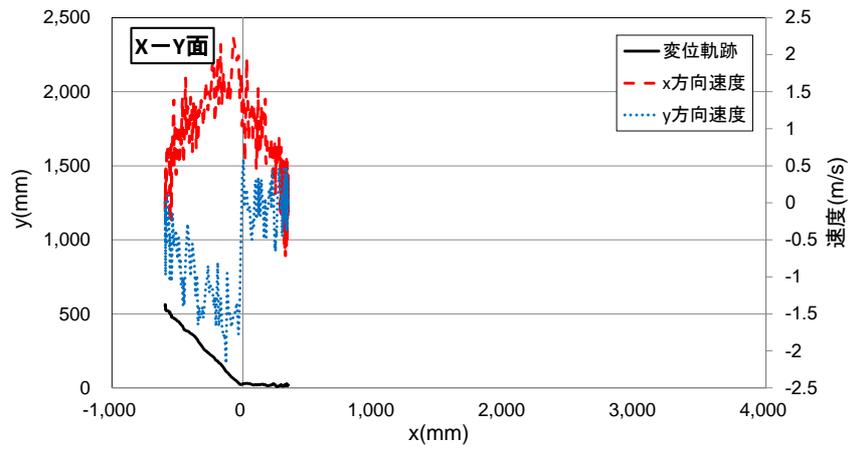


図 3.3.3.60 試番 2 ケース 30 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

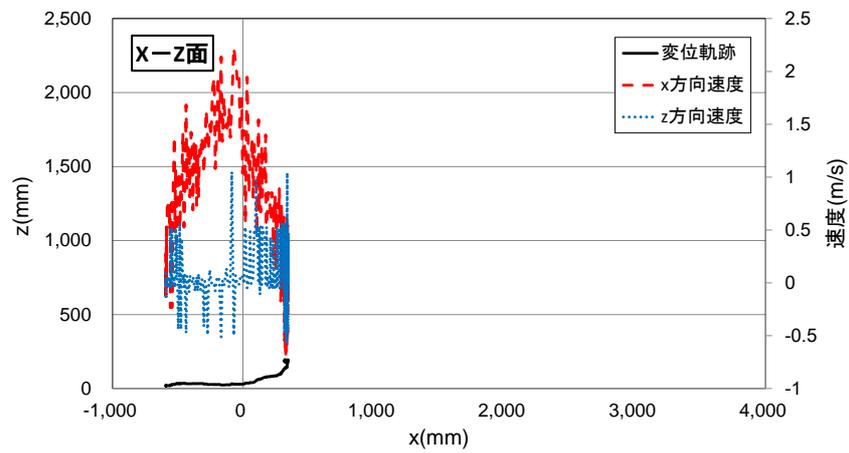


図 3.3.3.61 試番 2 ケース 30 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

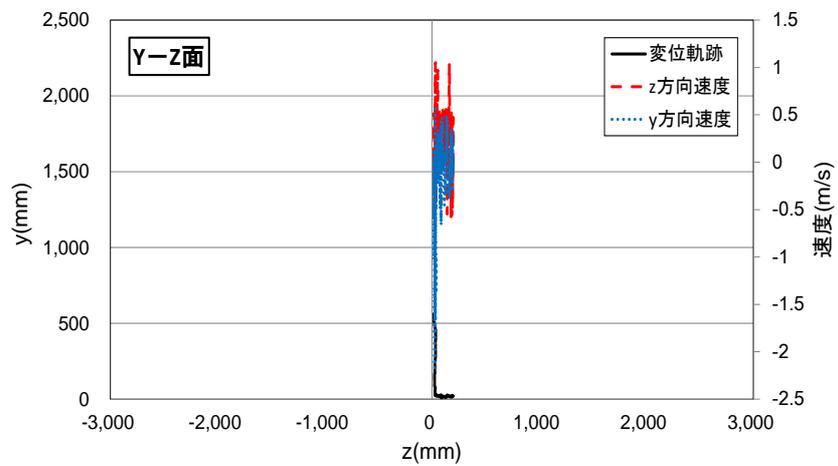


図 3.3.3.62 試番 2 ケース 30 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

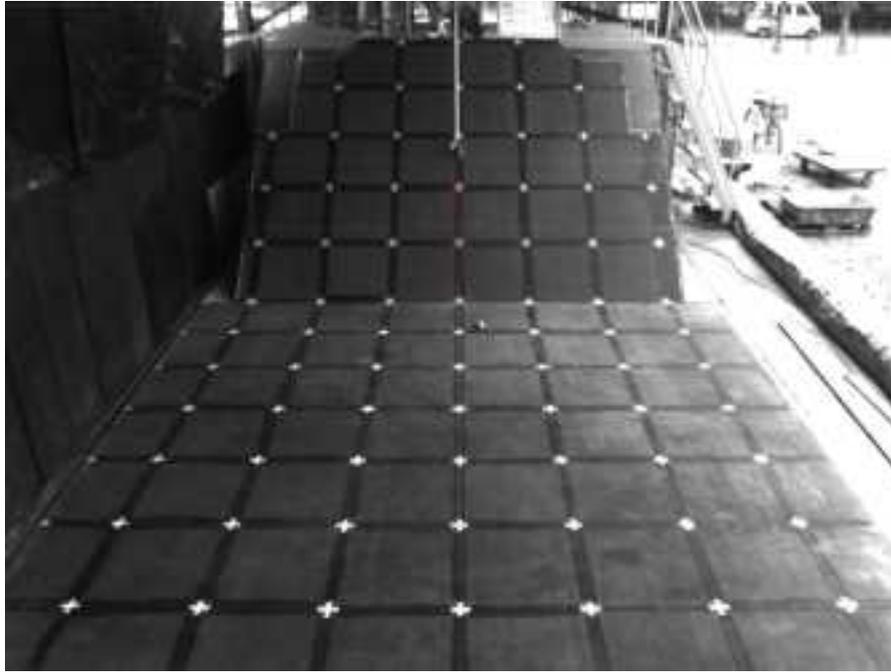


図 3.3.3.63 試番 3 ケース 5 流路正面

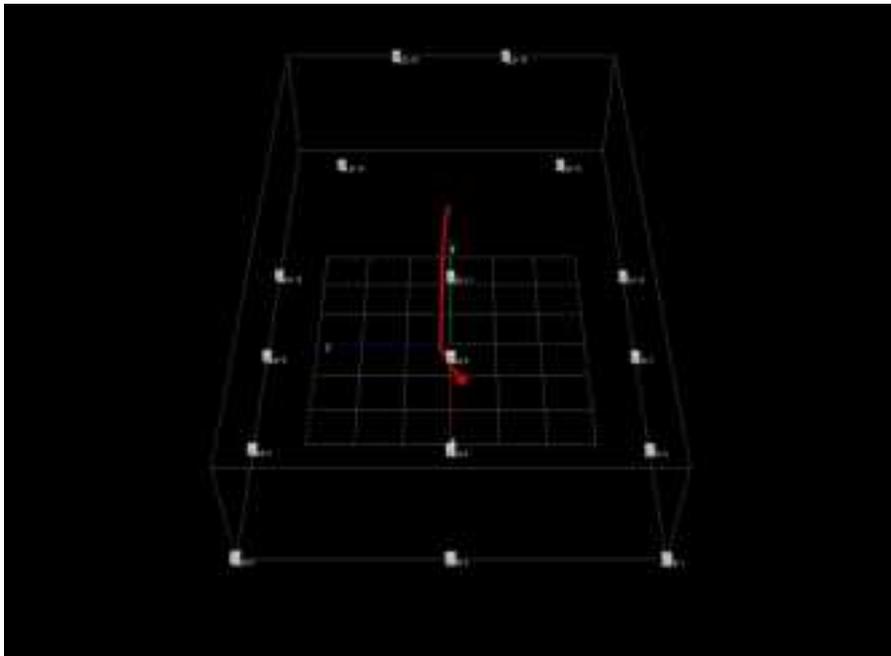


図 3.3.3.64 試番 3 ケース 5 流路正面 三次元メッシュ図

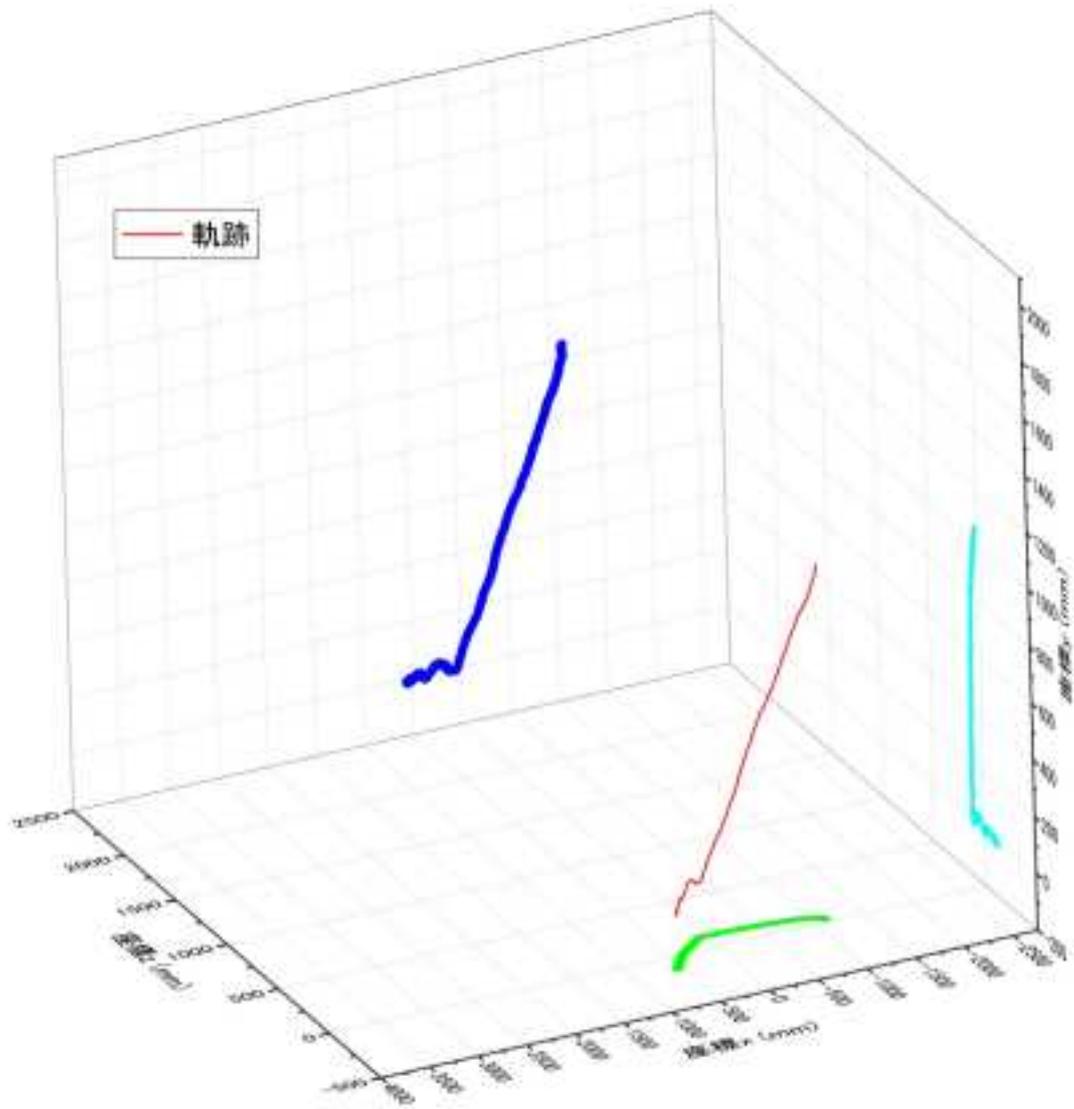


図 3.3.3.65 試番 3 ケース 5 三次元変位軌跡

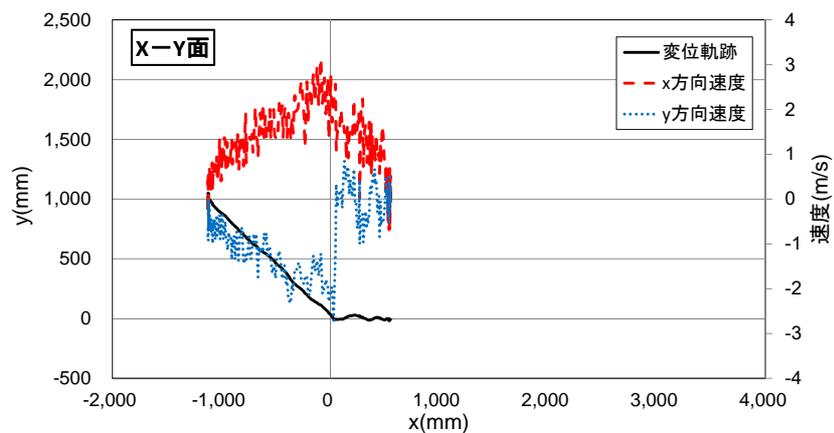


図 3.3.3.66 試番 3 ケース 5 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

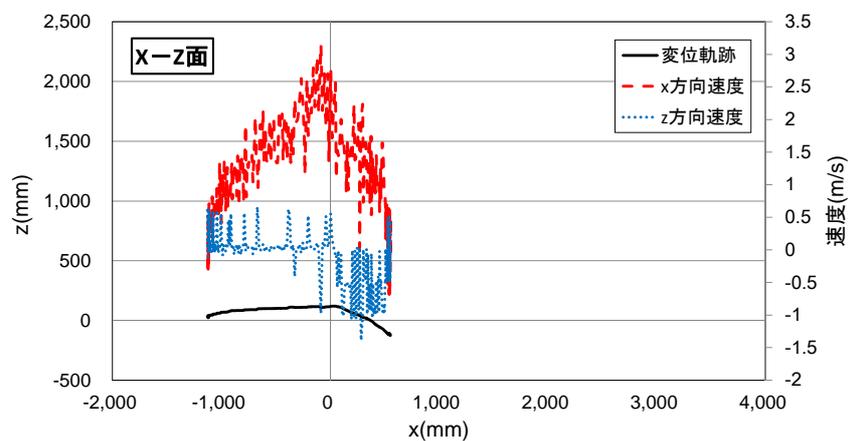


図 3.3.3.67 試番 3 ケース 5 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

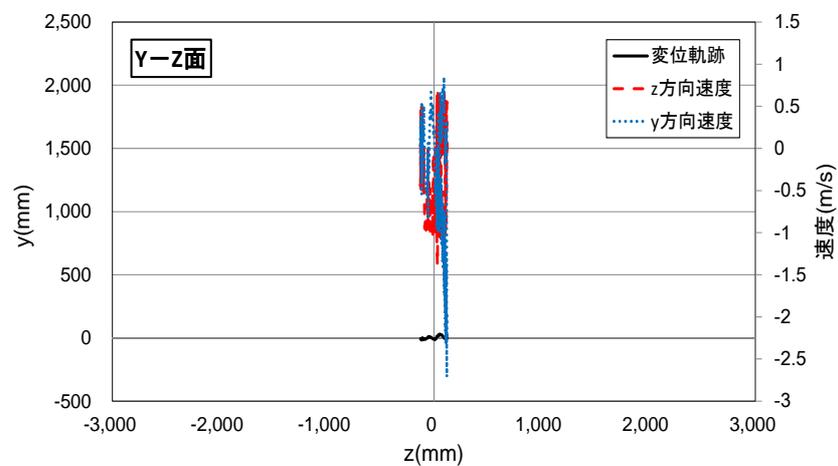


図 3.3.3.68 試番 3 ケース 5 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.69 試番 3 ケース 12 流路正面

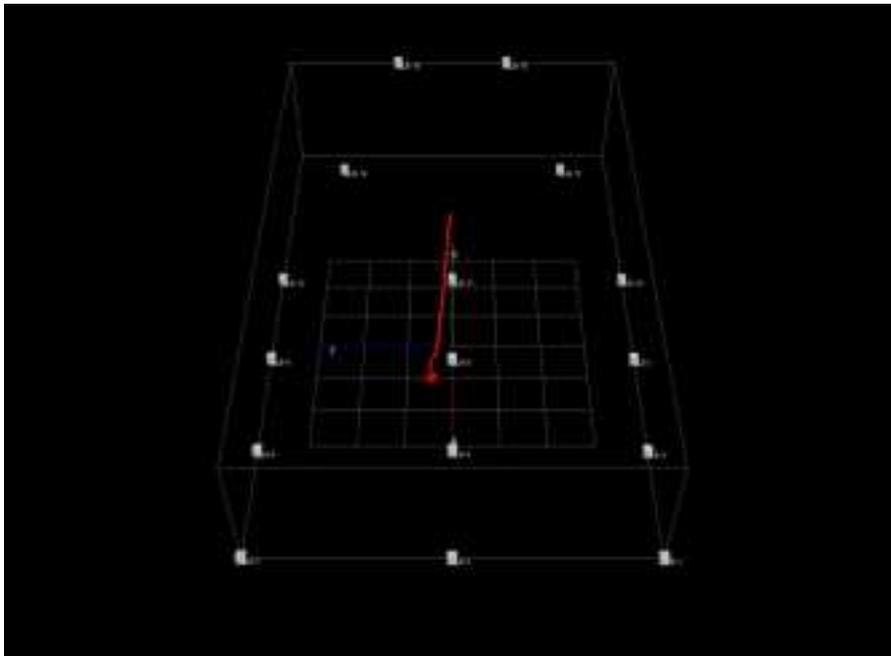


図 3.3.3.70 試番 3 ケース 12 流路正面 三次元メッシュ図

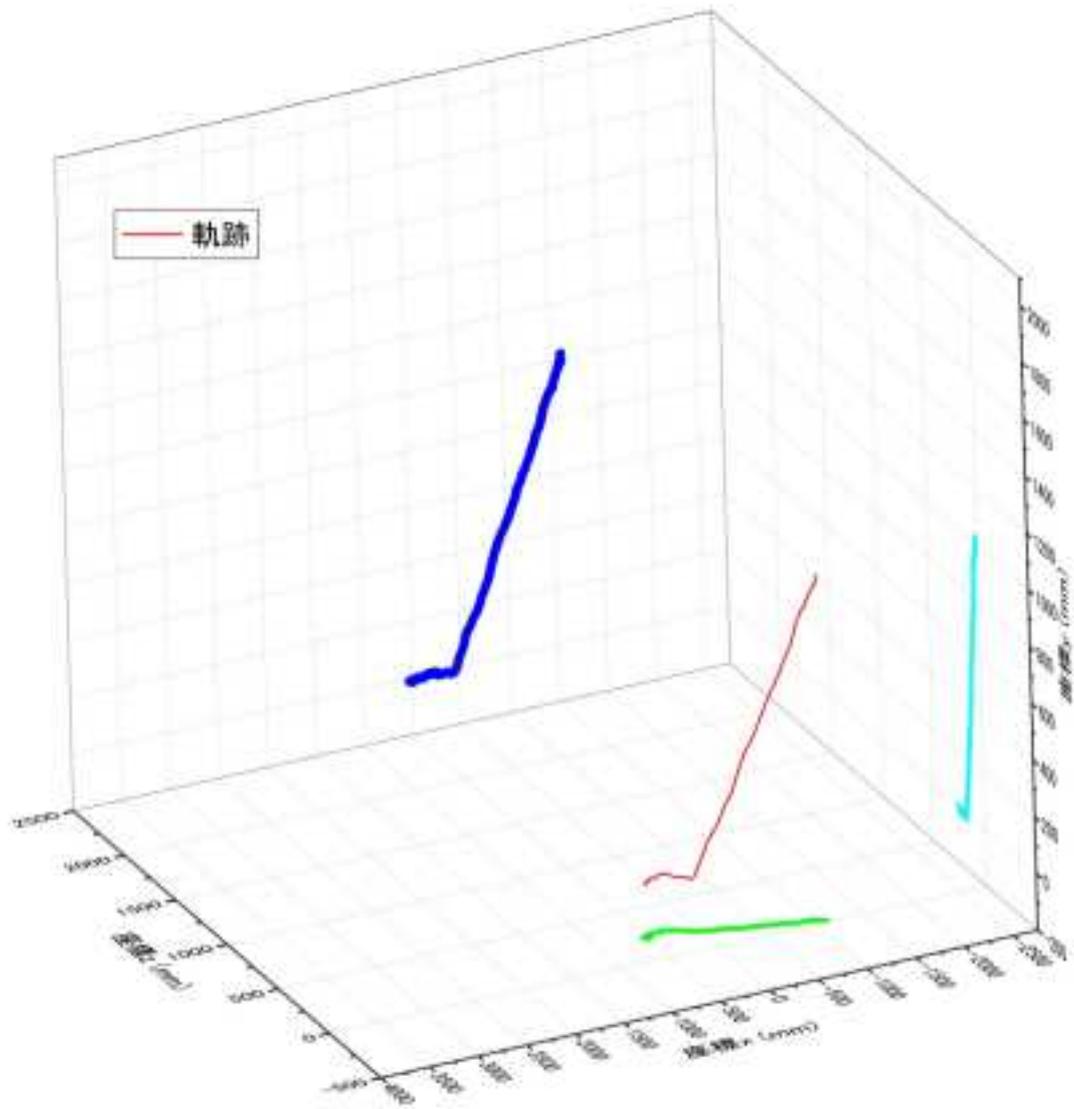


図 3.3.3.71 試番 3 ケース 12 三次元変位軌跡

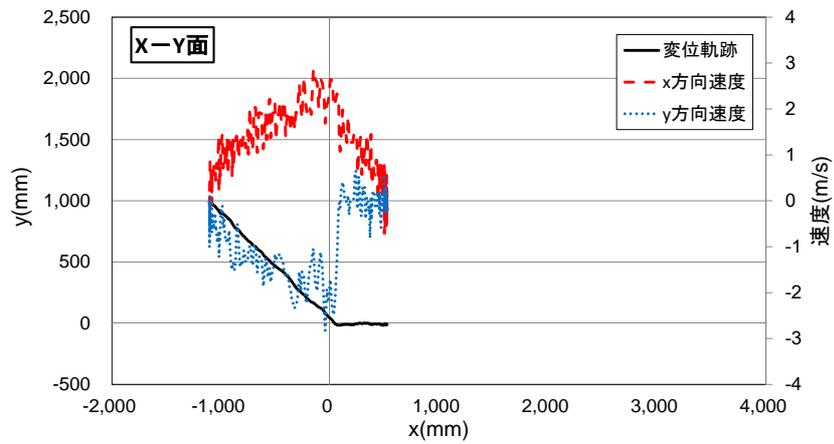


図 3.3.3.72 試番 3 ケース 12 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

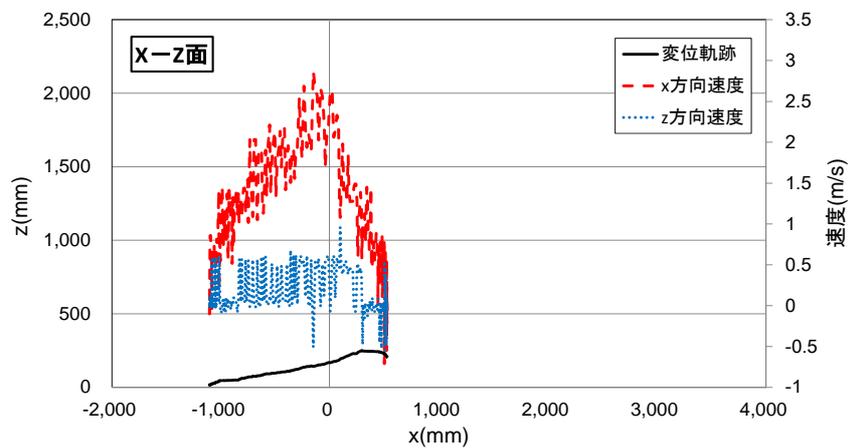


図 3.3.3.73 試番 3 ケース 12 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

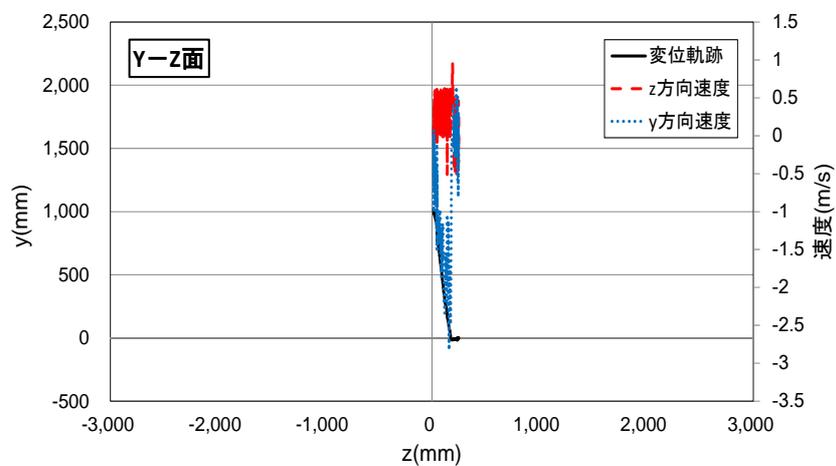


図 3.3.3.74 試番 3 ケース 12 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.75 試番 3 ケース 14 流路正面

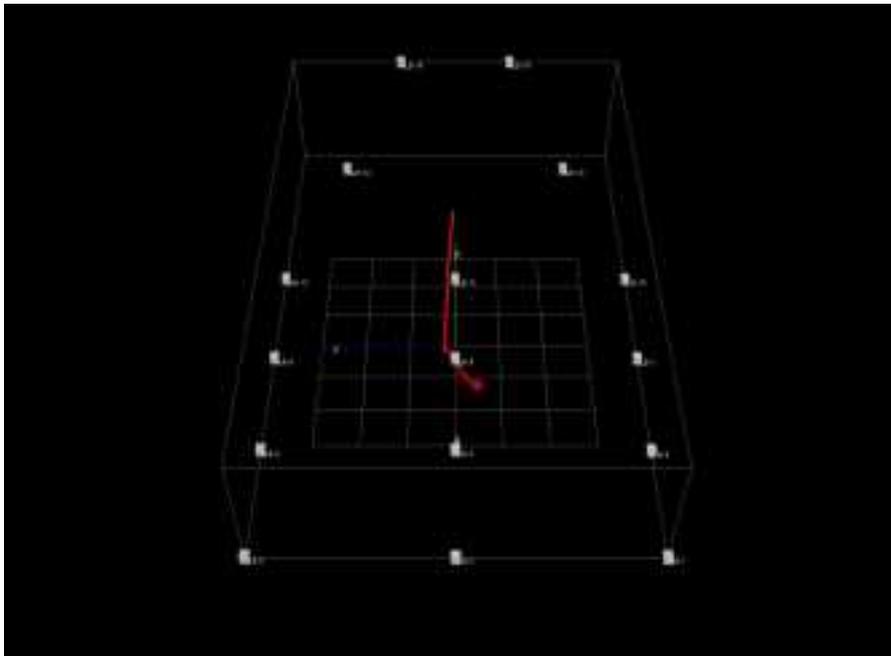


図 3.3.3.76 試番 3 ケース 14 流路正面 三次元メッシュ図

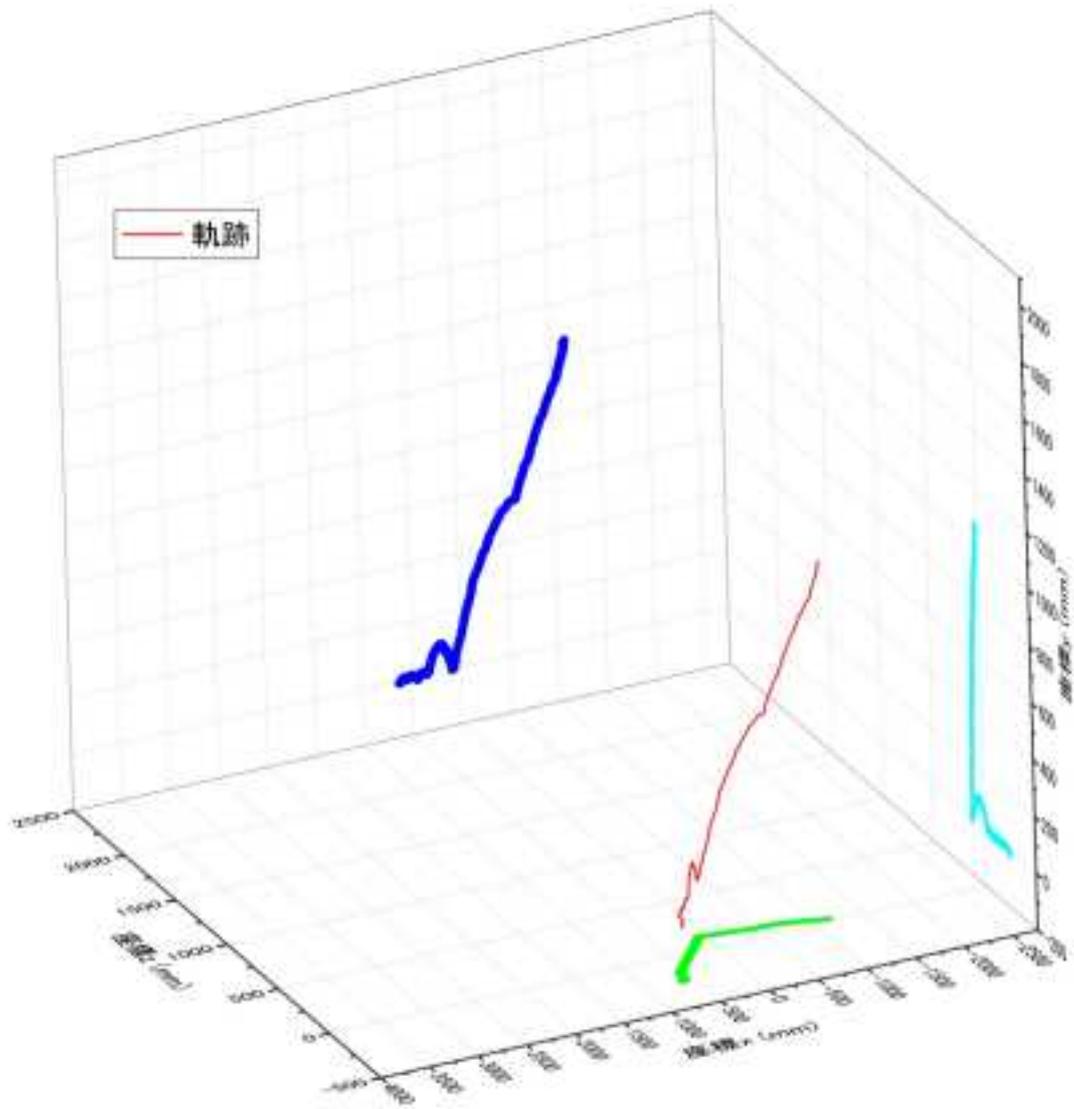


図 3.3.3.77 試番 3 ケース 14 三次元変位軌跡

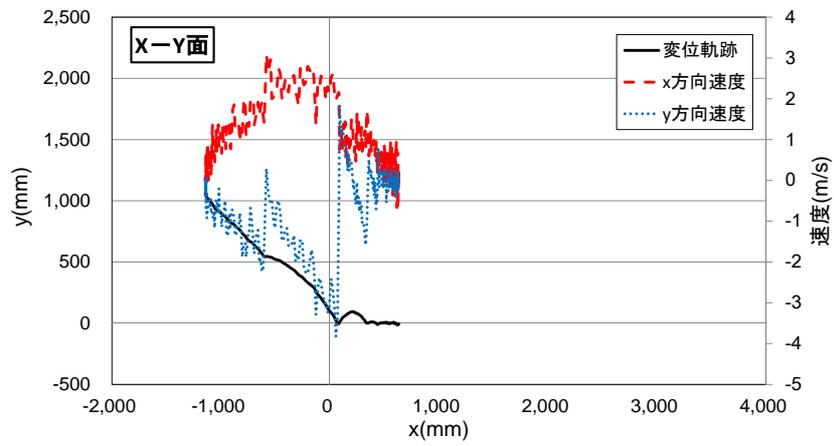


図 3.3.3.78 試番 3 ケース 14 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

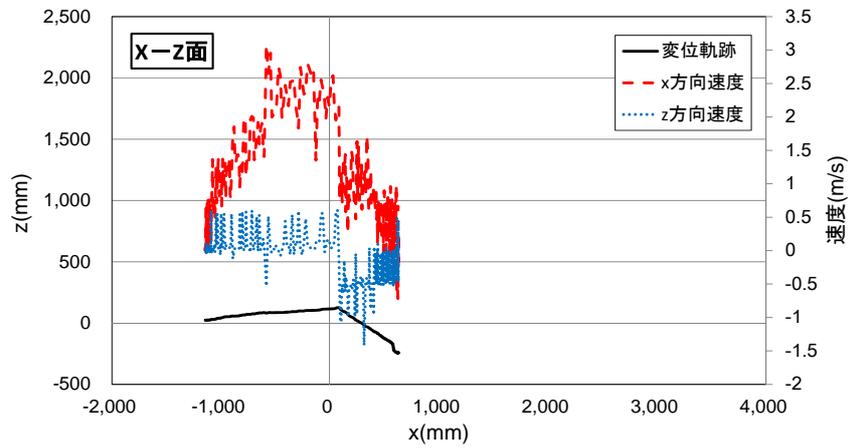


図 3.3.3.79 試番 3 ケース 14 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

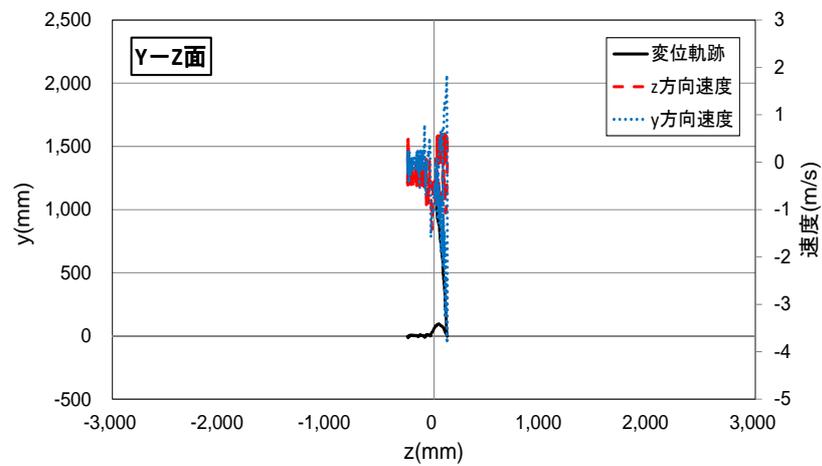


図 3.3.3.80 試番 3 ケース 14 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.81 試番 3 ケース 29 流路正面

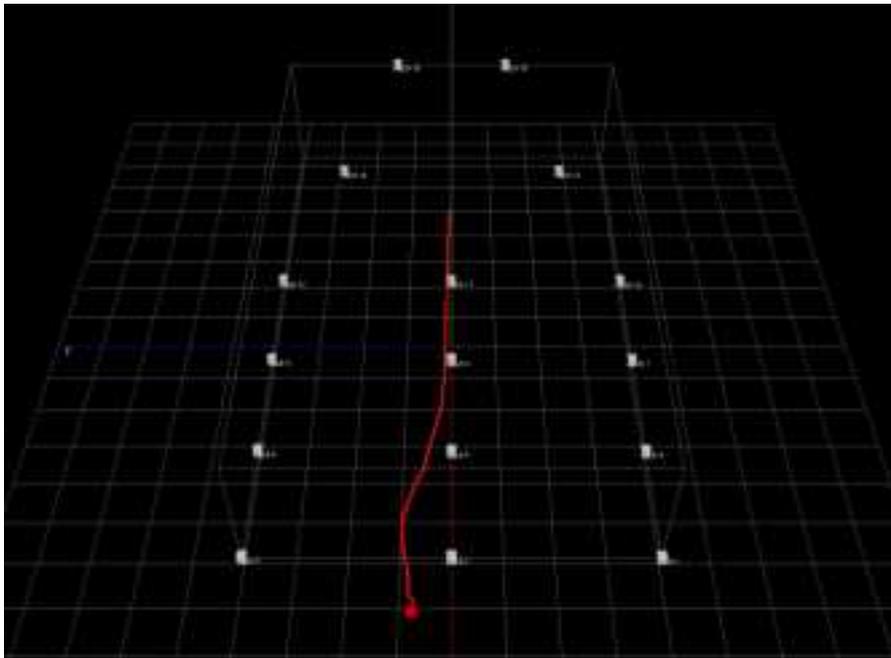


図 3.3.3.82 試番 3 ケース 29 流路正面 三次元メッシュ図

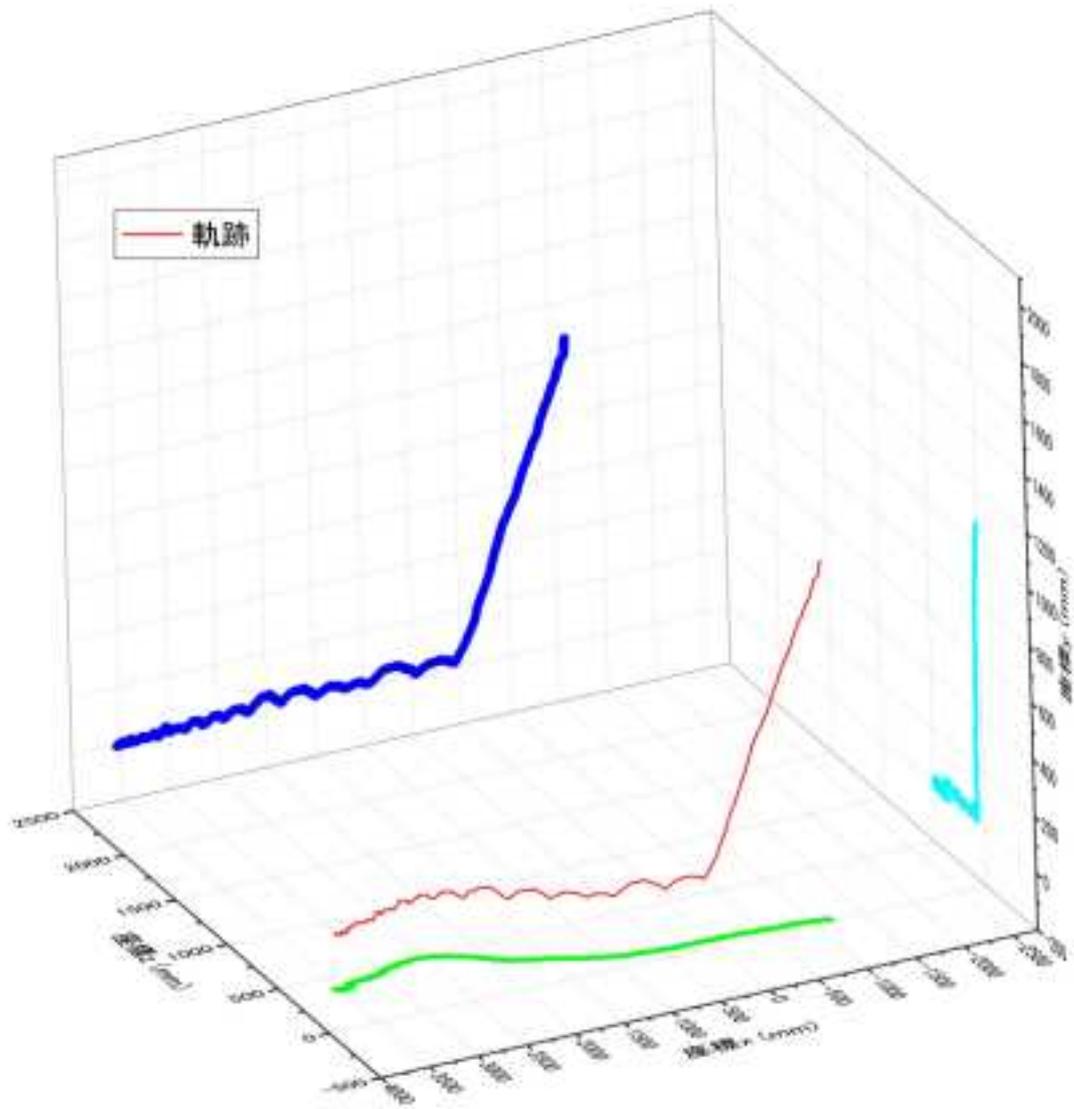


図 3.3.3.83 試番 3 ケース 29 三次元変位軌跡

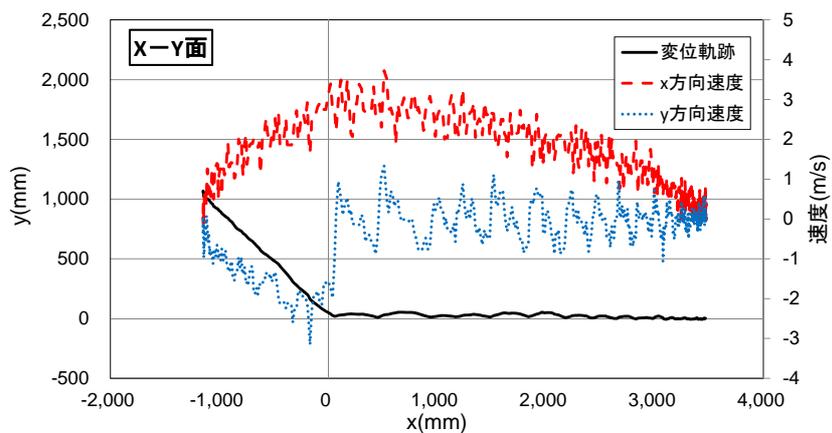


図 3.3.3.84 試番 3 ケース 29 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

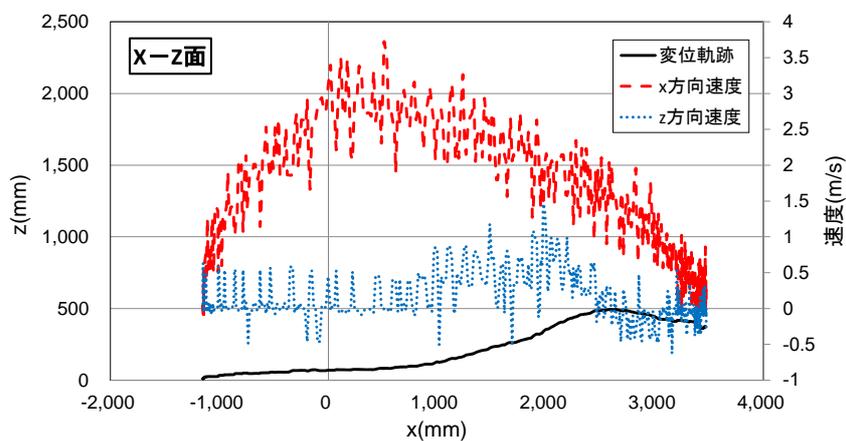


図 3.3.3.85 試番 3 ケース 29 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

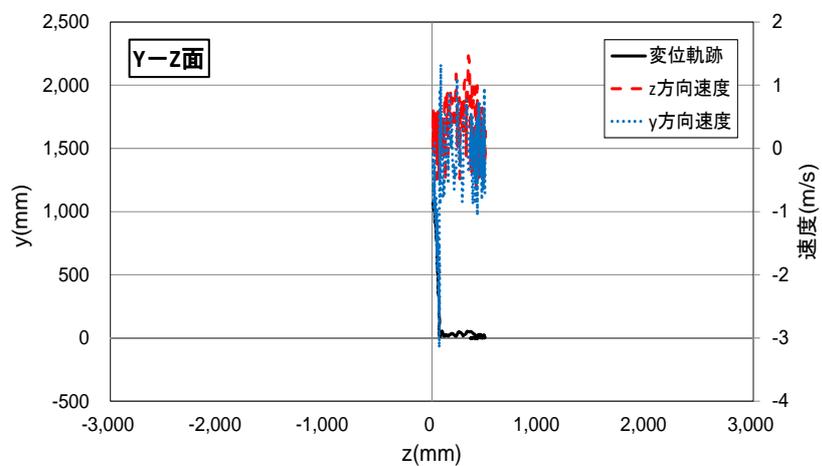


図 3.3.3.86 試番 3 ケース 29 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.87 試番 3 ケース 35 流路正面

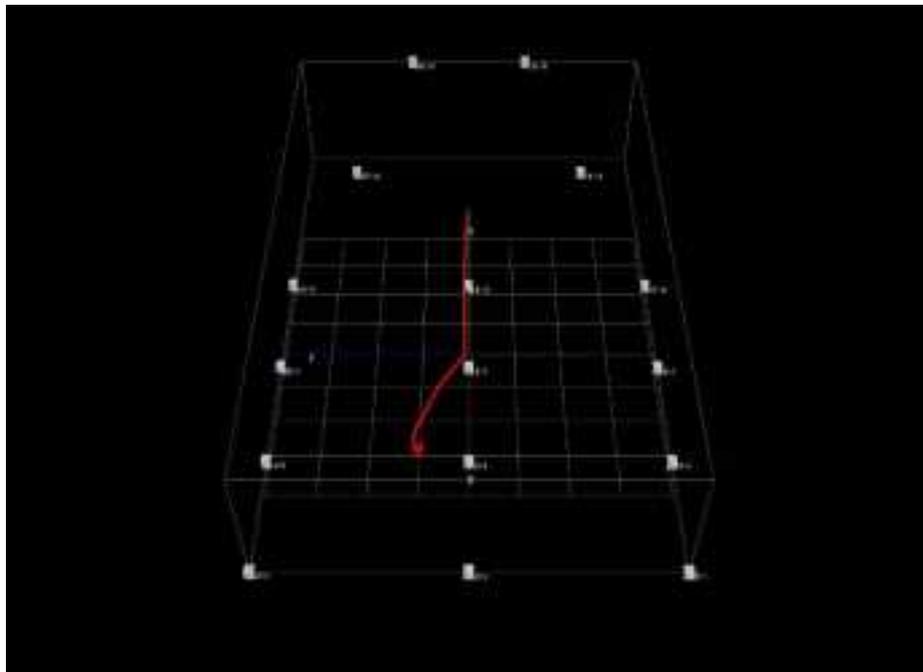


図 3.3.3.88 試番 3 ケース 35 流路正面 三次元メッシュ図

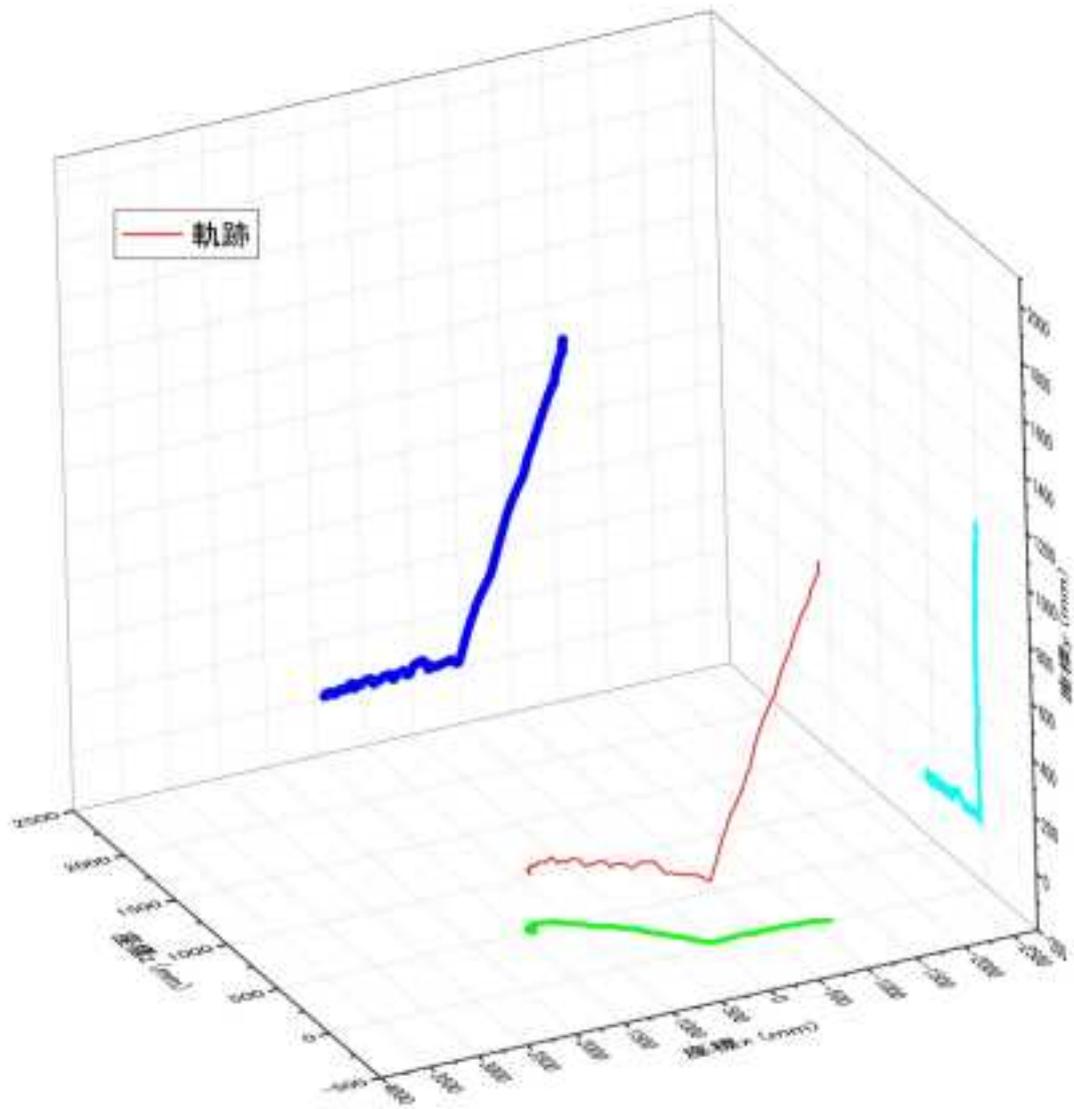


図 3.3.3.89 試番 3 ケース 35 三次元変位軌跡

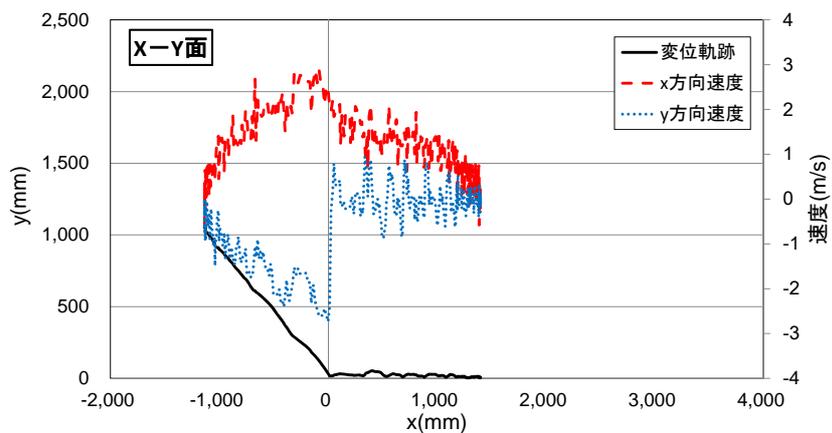


図 3.3.3.90 試番 3 ケース 35 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

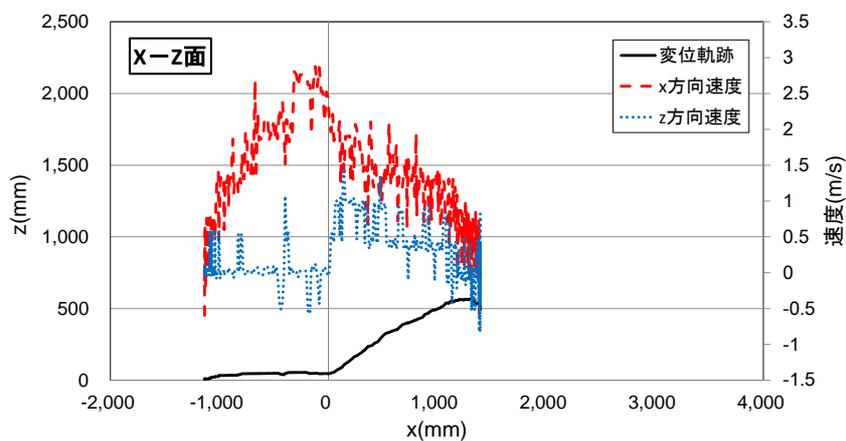


図 3.3.3.91 試番 3 ケース 35 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

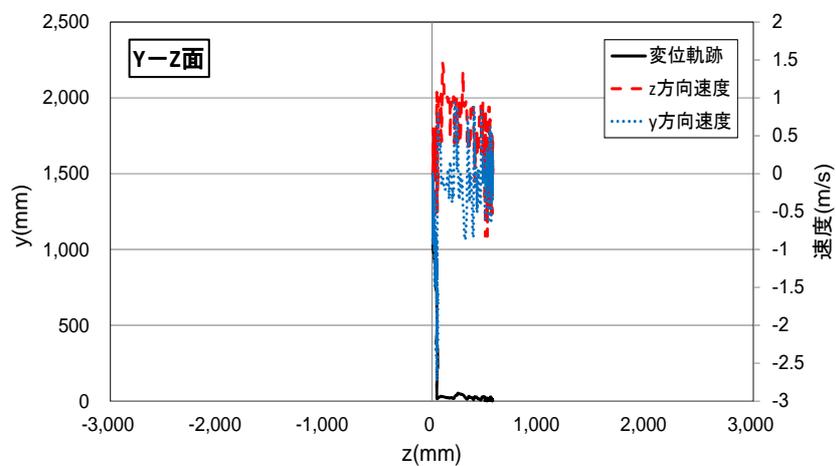


図 3.3.3.92 試番 3 ケース 35 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.93 試番 4 ケース 19 流路正面

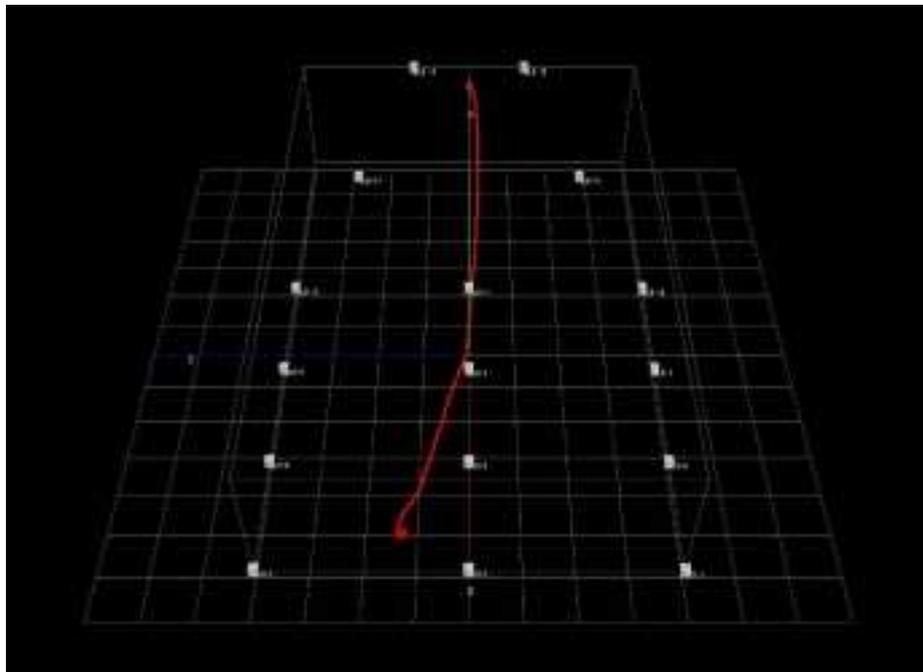


図 3.3.3.94 試番 4 ケース 19 流路正面 三次元メッシュ図

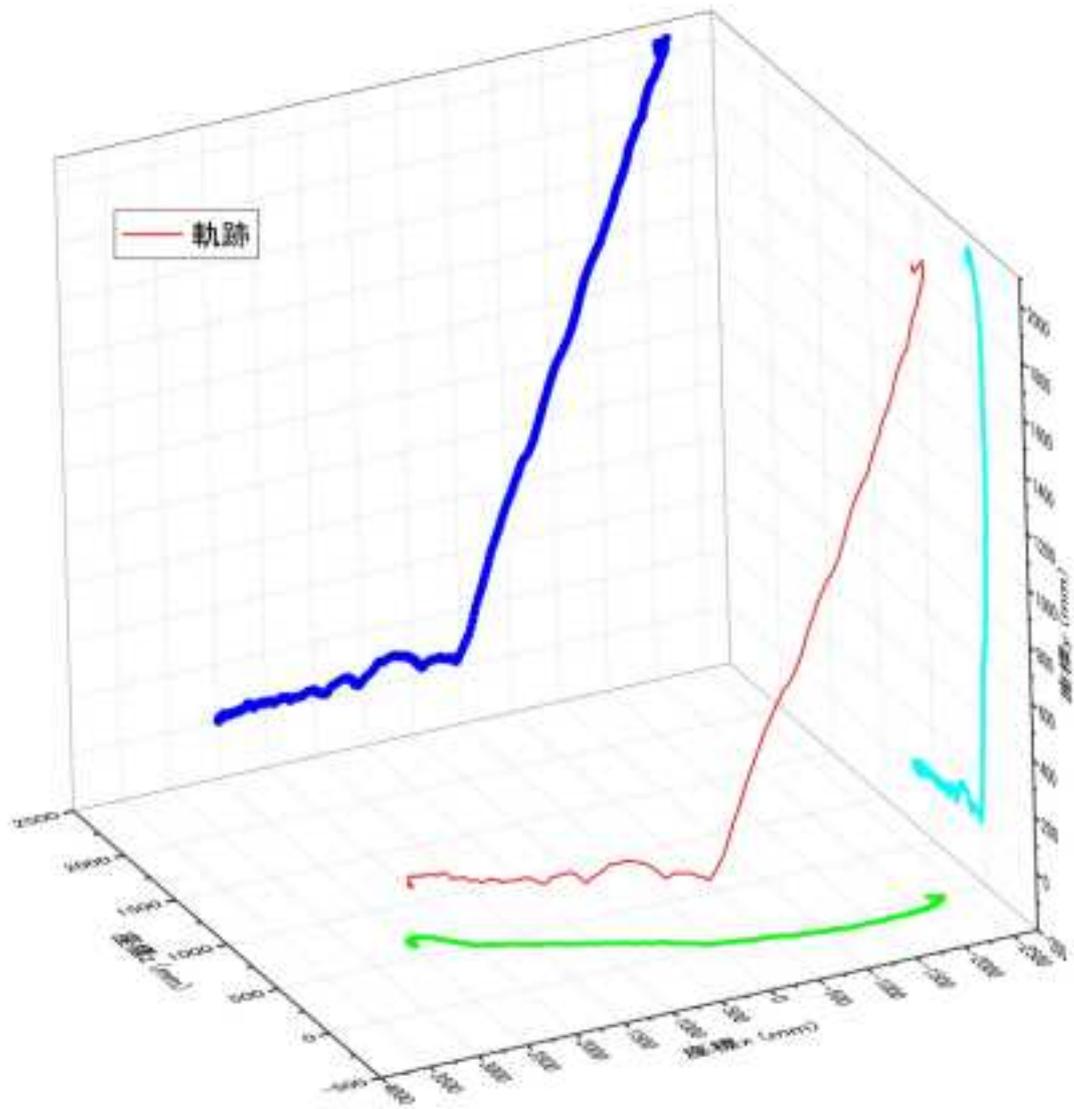


図 3.3.3.95 試番 4 ケース 19 三次元変位軌跡

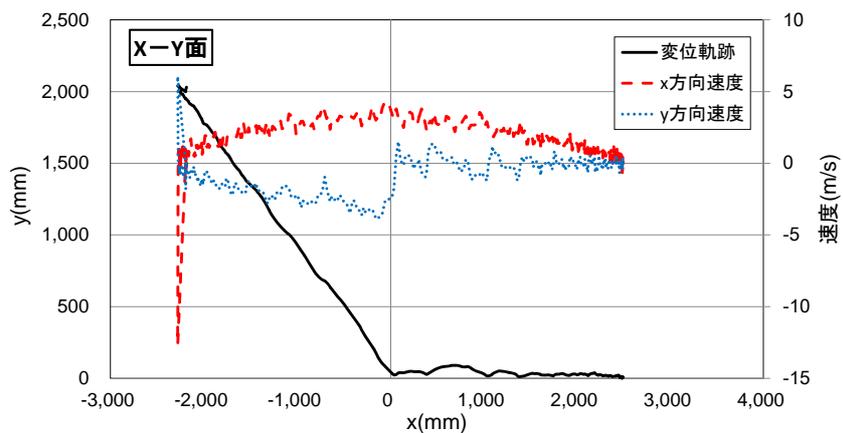


図 3.3.3.96 試番 4 ケース 19 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

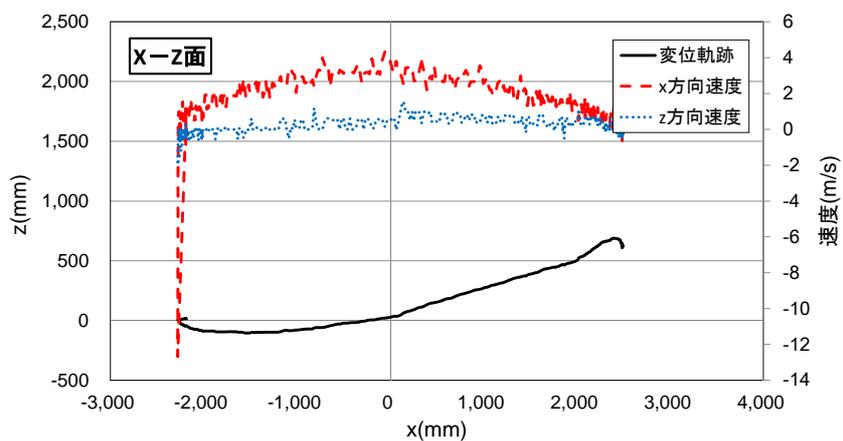


図 3.3.3.97 試番 4 ケース 19 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

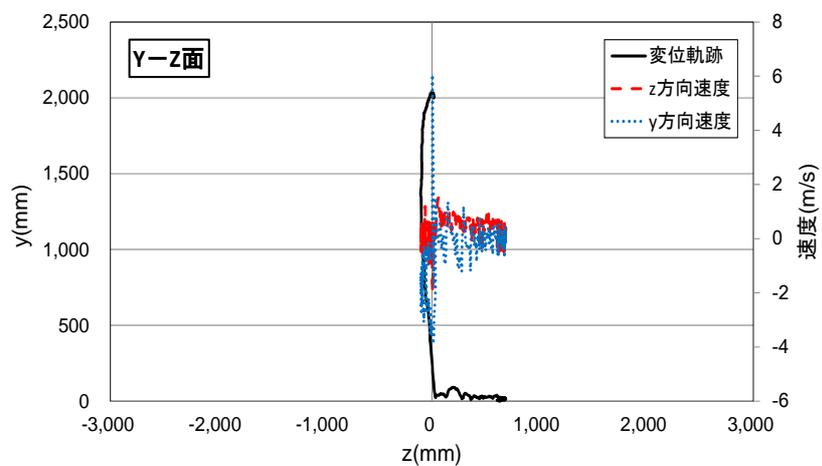


図 3.3.3.98 試番 4 ケース 19 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.99 試番 4 ケース 33 流路正面

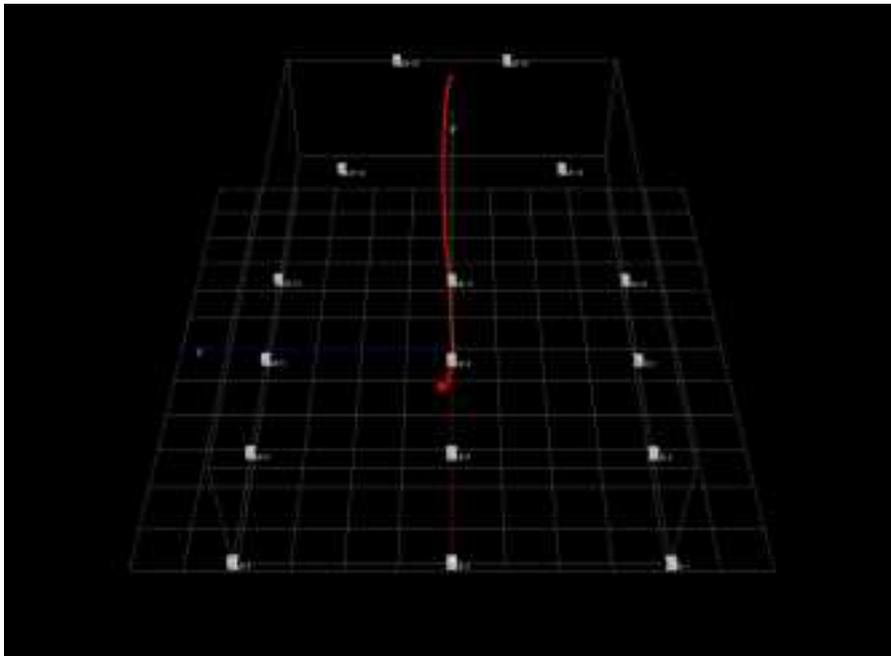


図 3.3.3.100 試番 4 ケース 33 流路正面 三次元メッシュ図

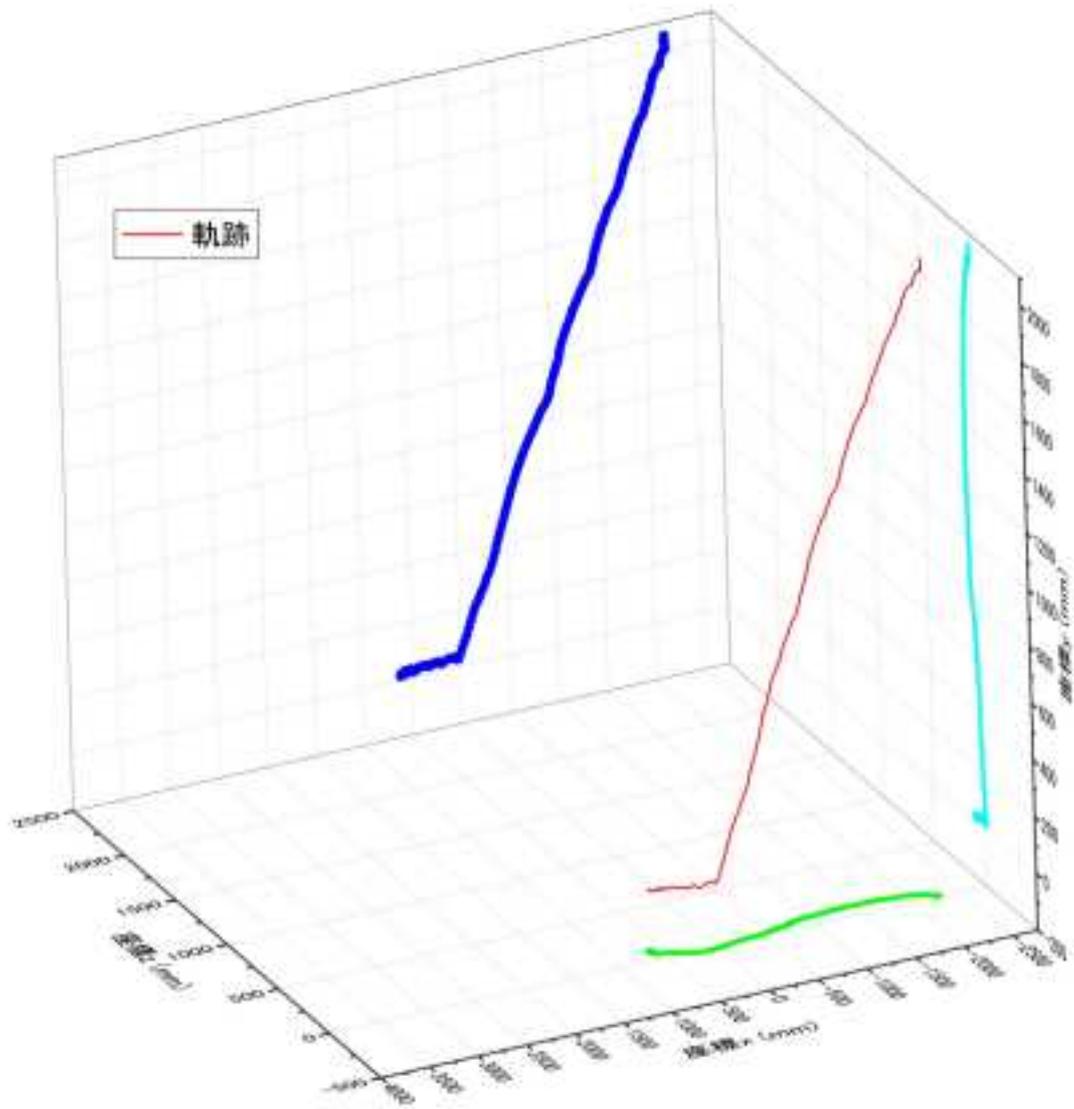


図 3.3.3.101 試番 4 ケース 33 三次元変位軌跡

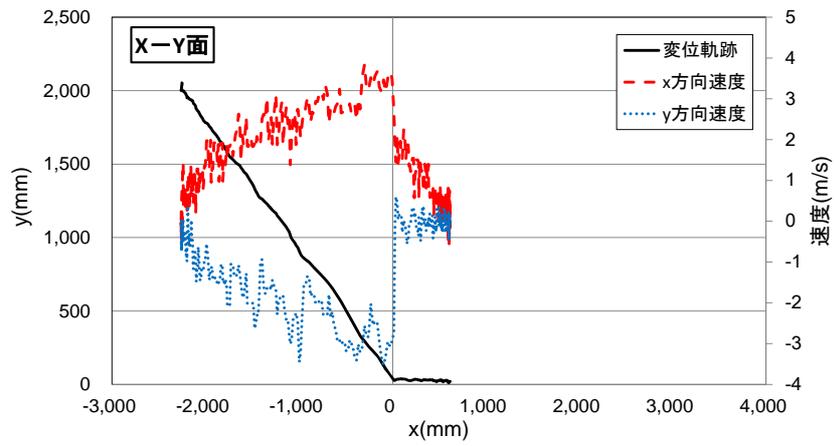


図 3.3.3.102 試番 4 ケース 33 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

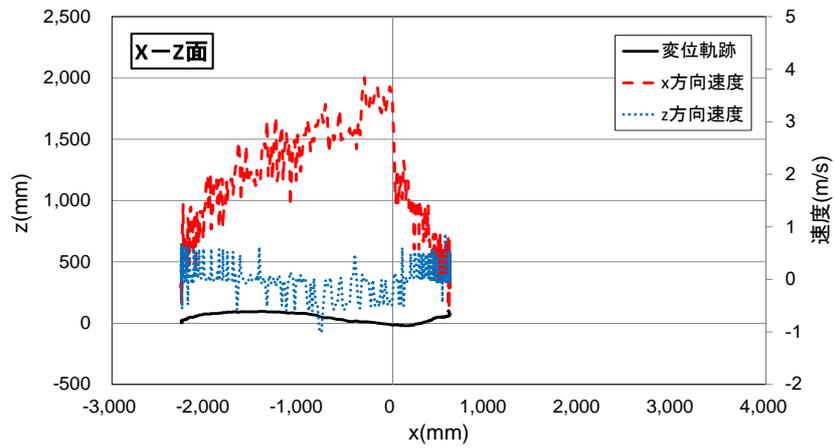


図 3.3.3.103 試番 4 ケース 33 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

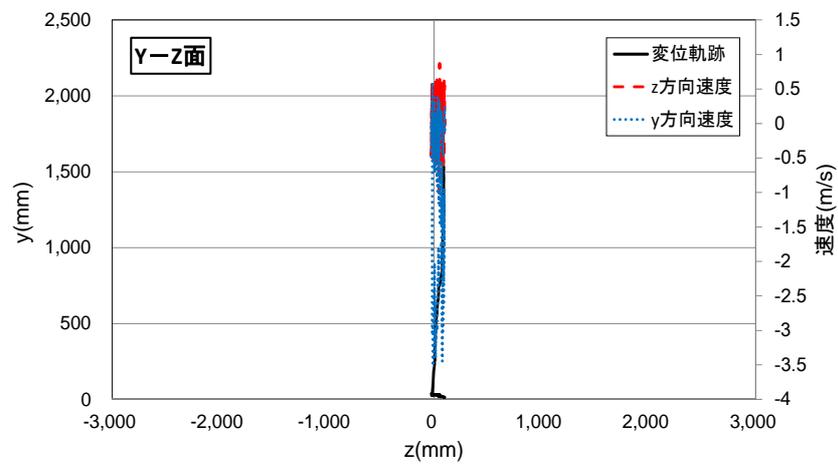


図 3.3.3.104 試番 4 ケース 33 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.105 試番 4 ケース 36 流路正面

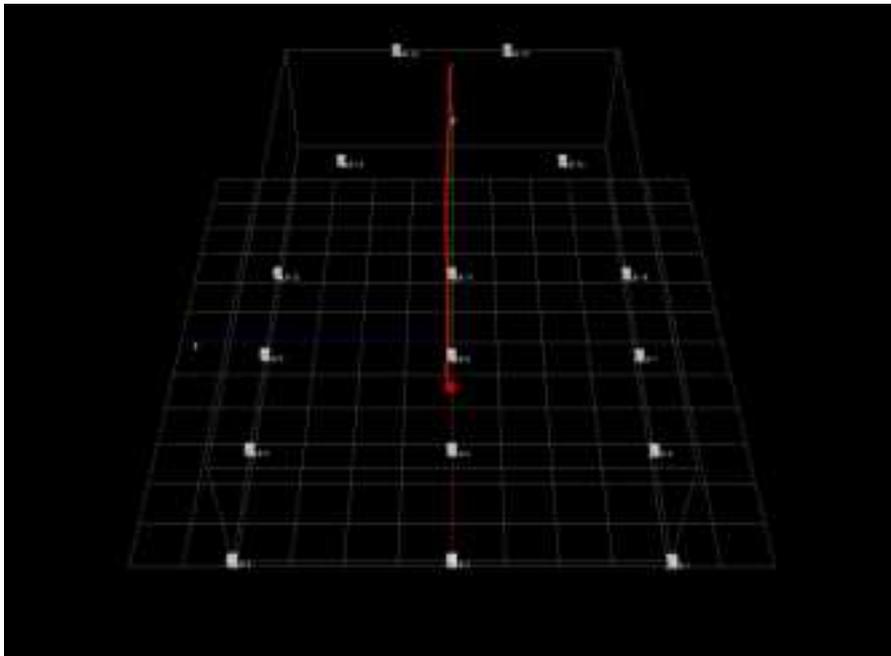


図 3.3.3.106 試番 4 ケース 36 流路正面 三次元メッシュ図

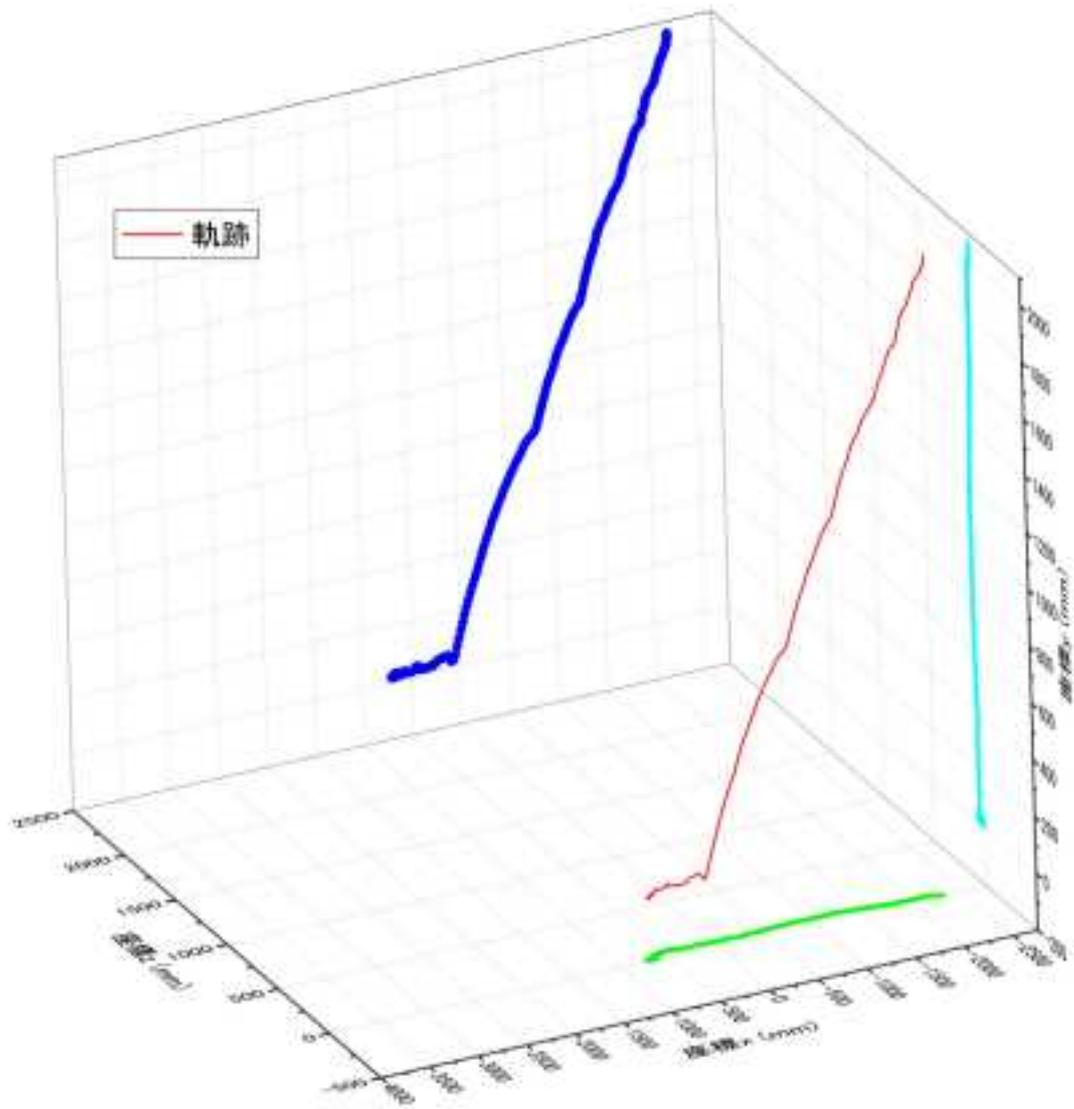


図 3.3.3.107 試番 4 ケース 36 三次元変位軌跡

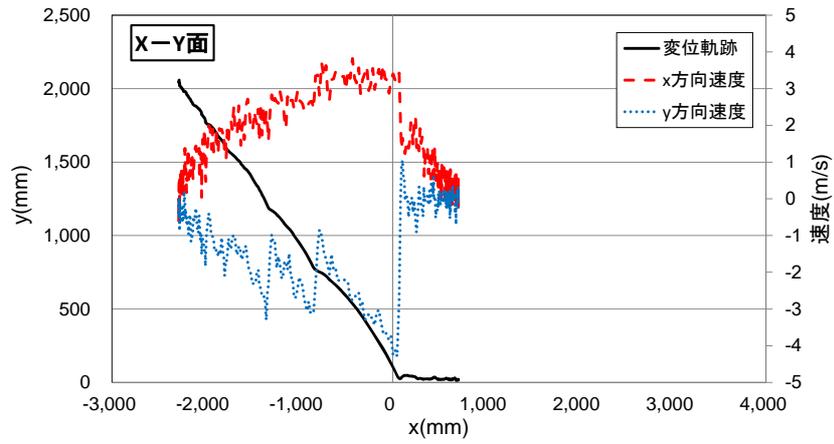


図 3.3.3.108 試番 4 ケース 36 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

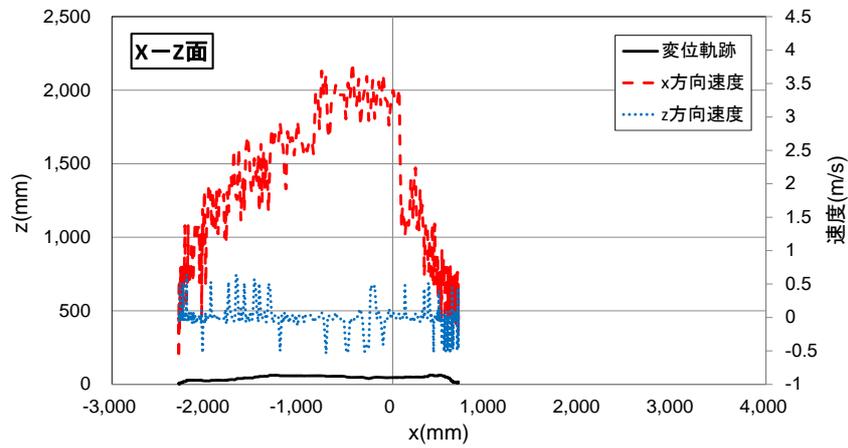


図 3.3.3.109 試番 4 ケース 36 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

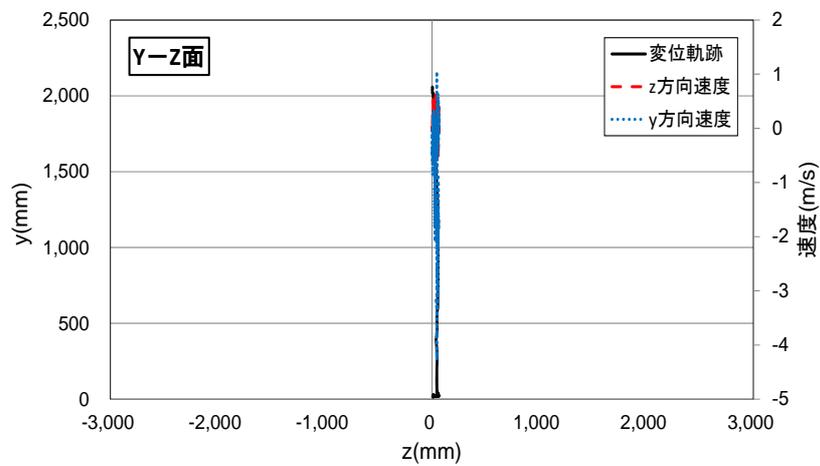


図 3.3.3.110 試番 4 ケース 36 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

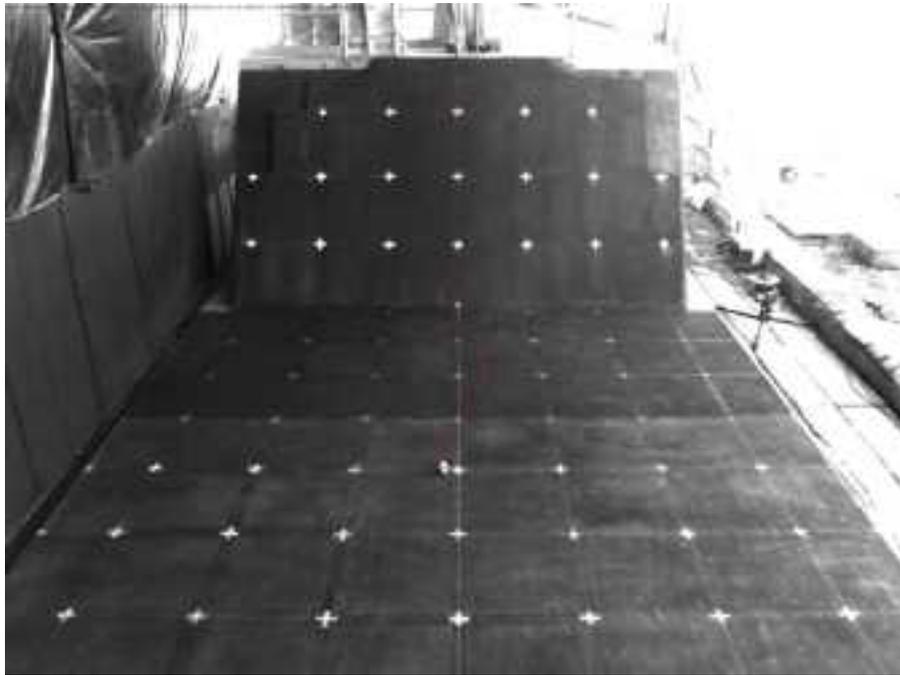


図 3.3.3.111 試番 5 ケース 6 流路正面

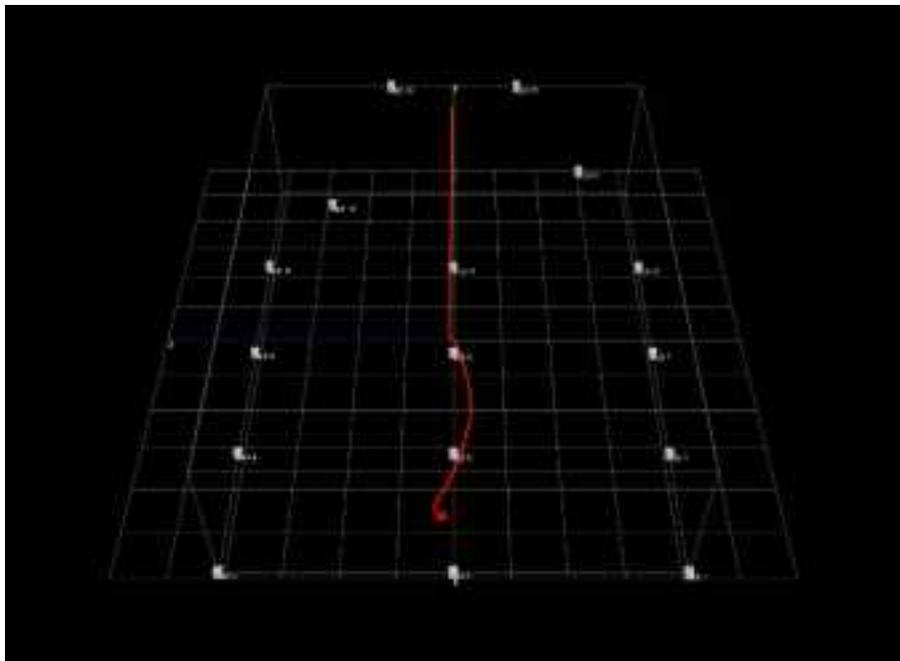


図 3.3.3.112 試番 5 ケース 6 流路正面 三次元メッシュ図

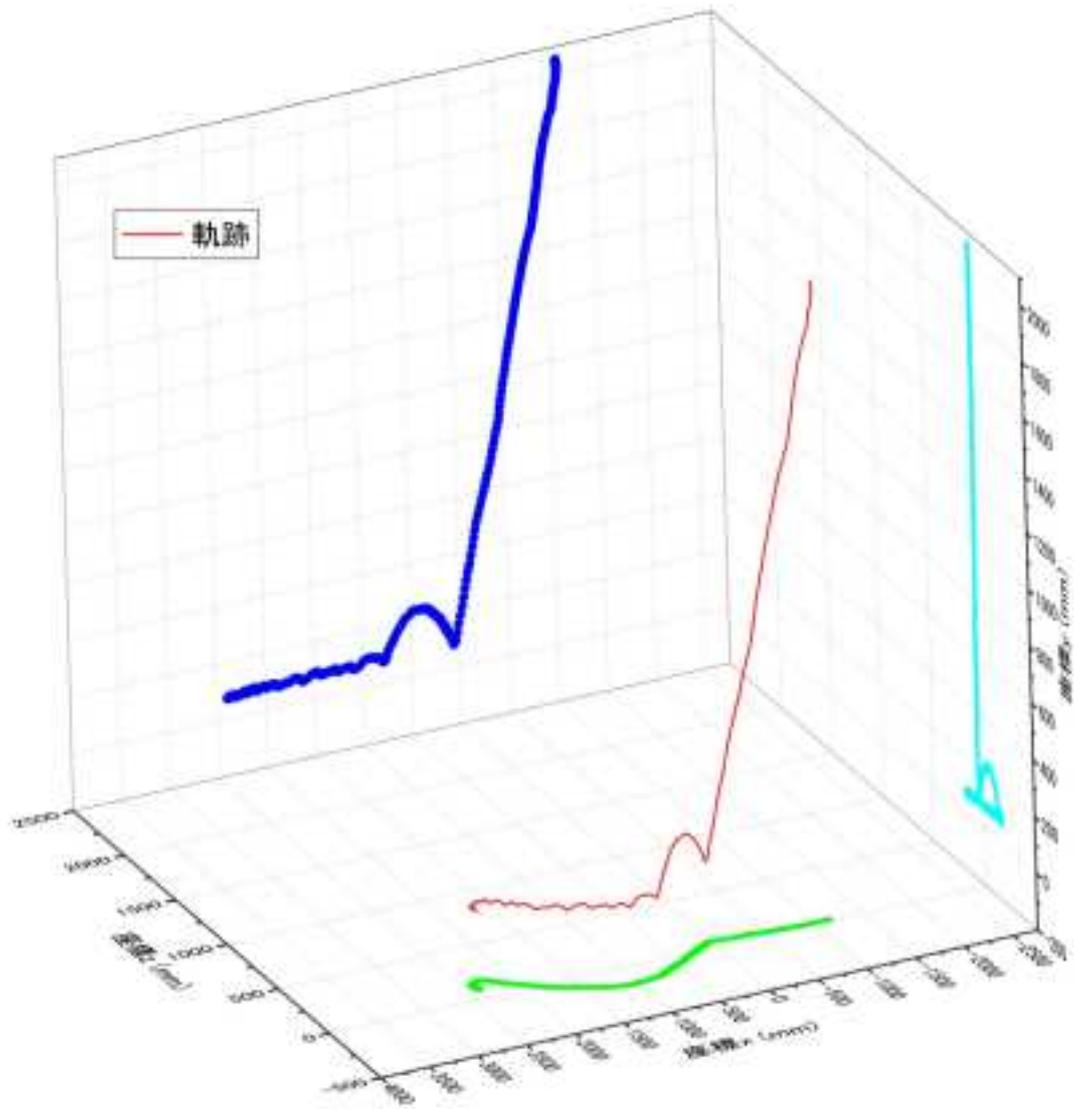


図 3.3.3.113 試番 5 ケース 6 三次元変位軌跡

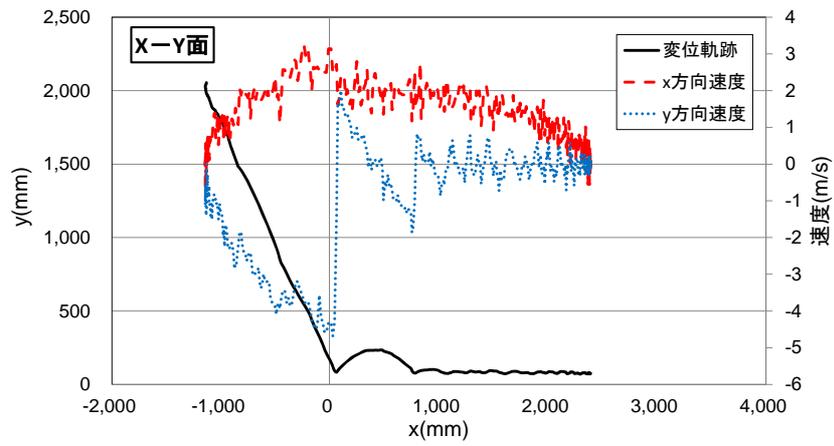


図 3.3.3.114 試番 5 ケース 6 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

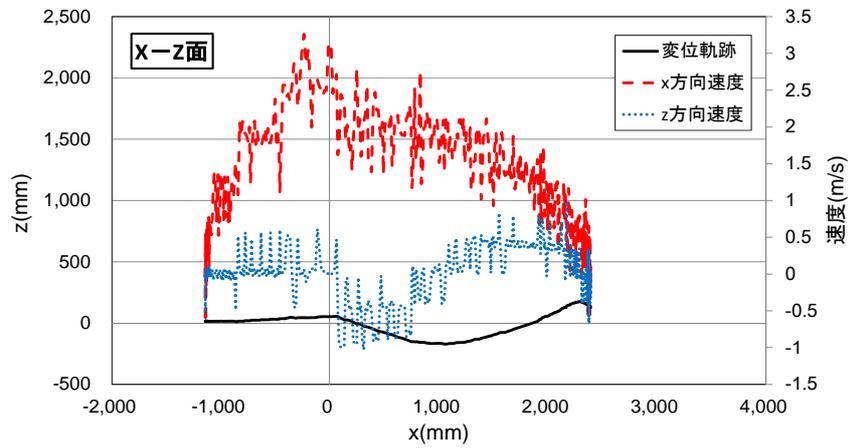


図 3.3.3.115 試番 5 ケース 6 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

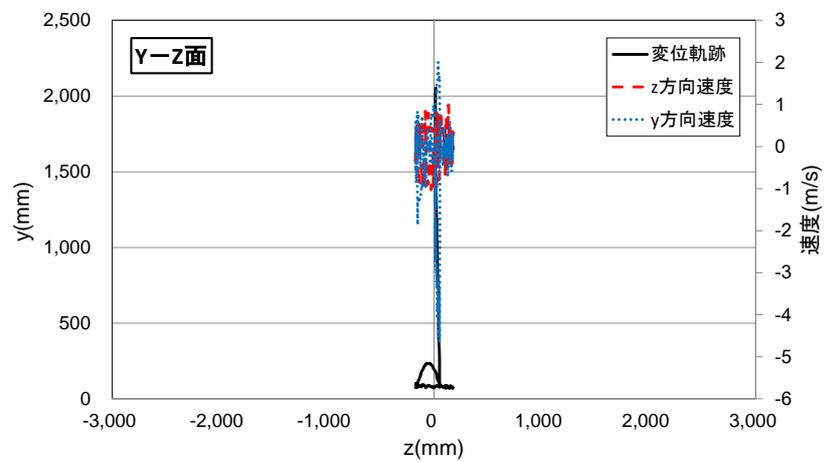


図 3.3.3.116 試番 5 ケース 6 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

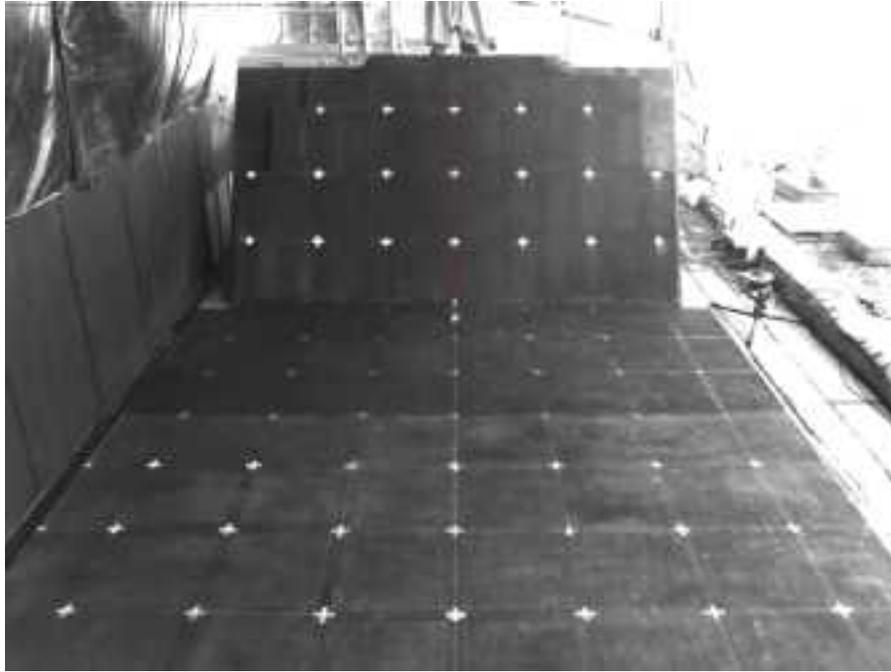


図 3.3.3.117 試番 5 ケース 16 流路正面

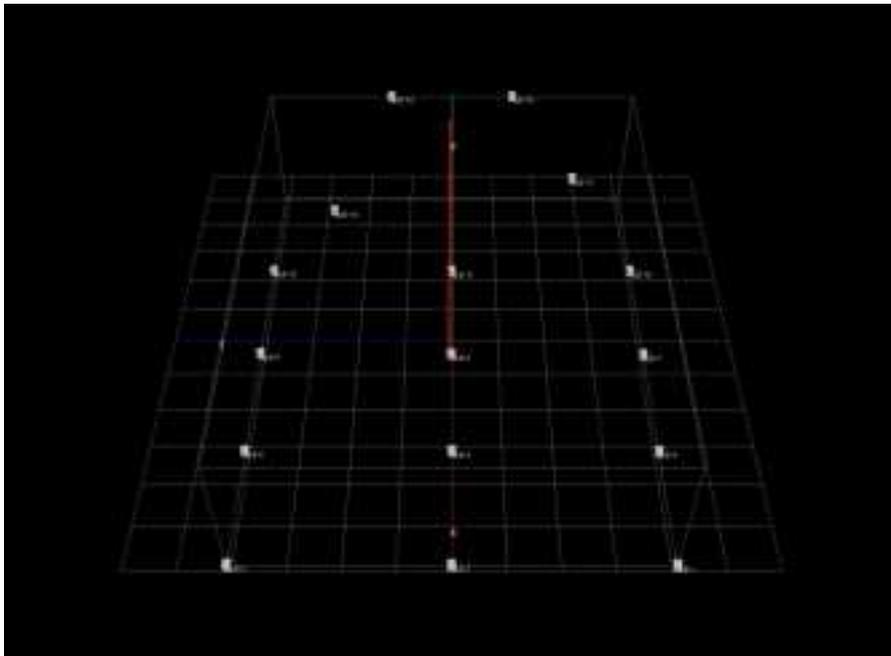


図 3.3.3.118 試番 5 ケース 16 流路正面 三次元メッシュ図

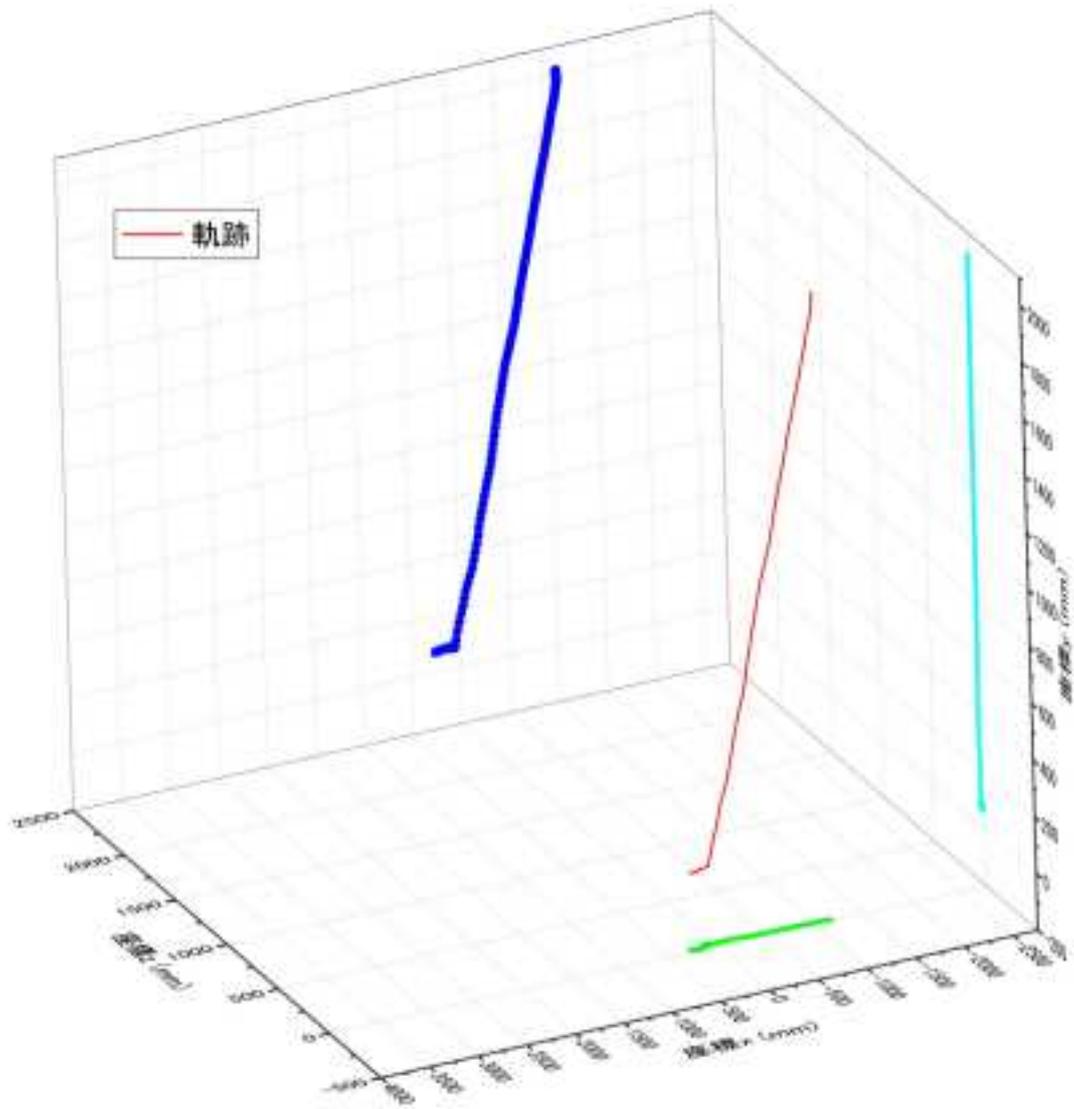


図 3.3.3.119 試番 5 ケース 16 三次元変位軌跡

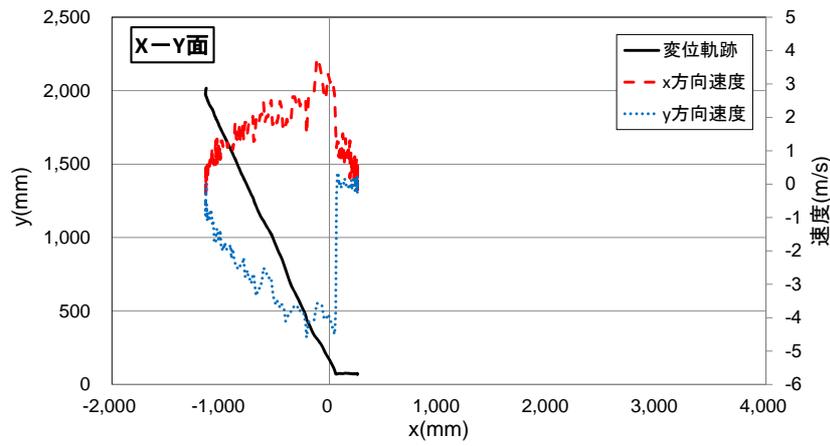


図 3.3.3.120 試番 5 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

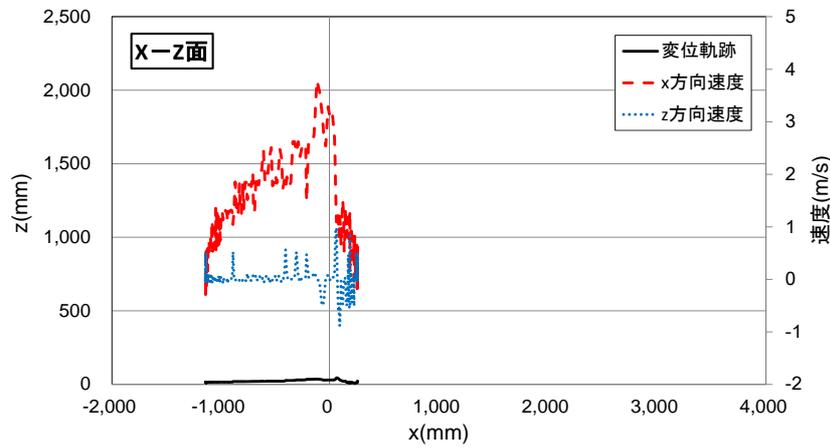


図 3.3.3.121 試番 5 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

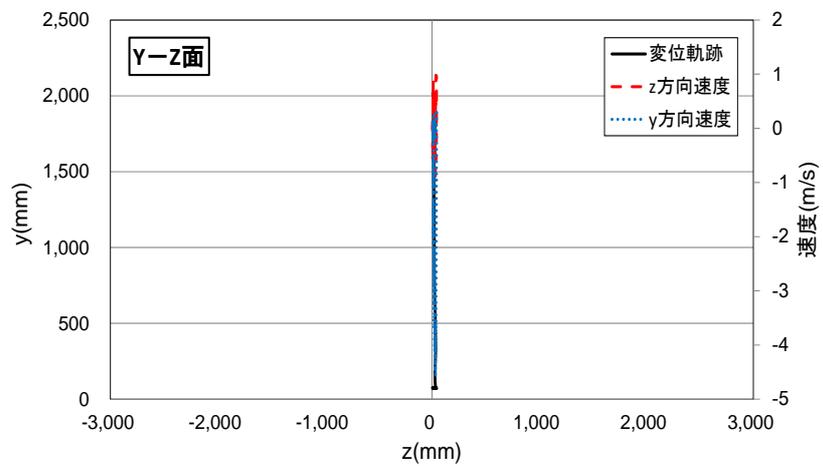


図 3.3.3.122 試番 5 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

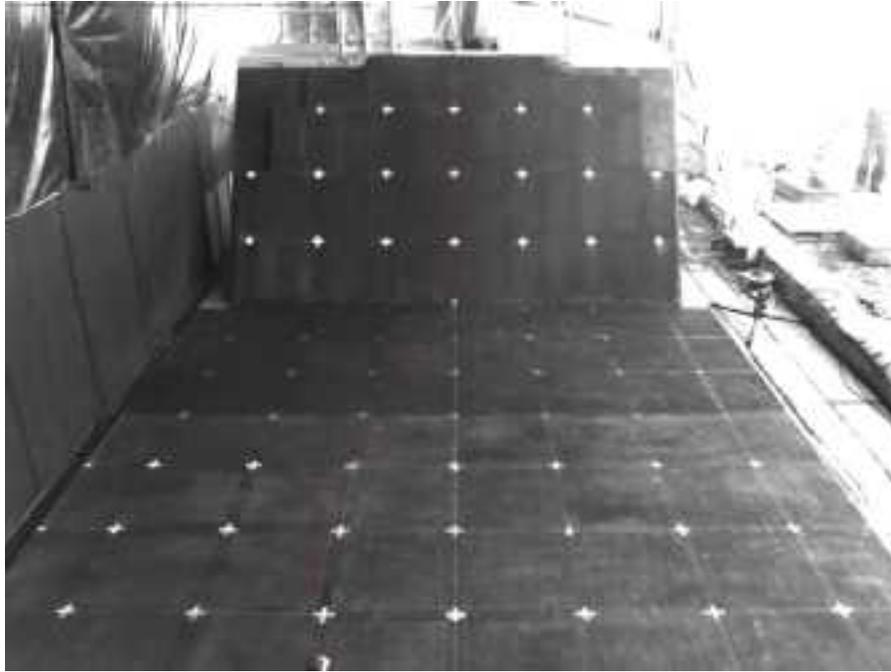


図 3.3.3.123 試番 5 ケース 18 流路正面

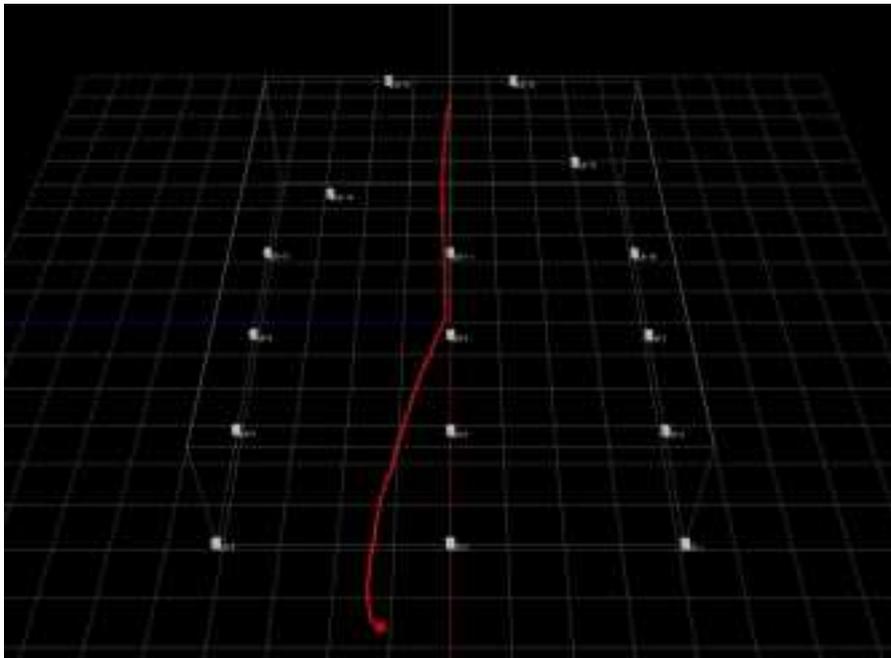


図 3.3.3.124 試番 5 ケース 18 流路正面 三次元メッシュ図

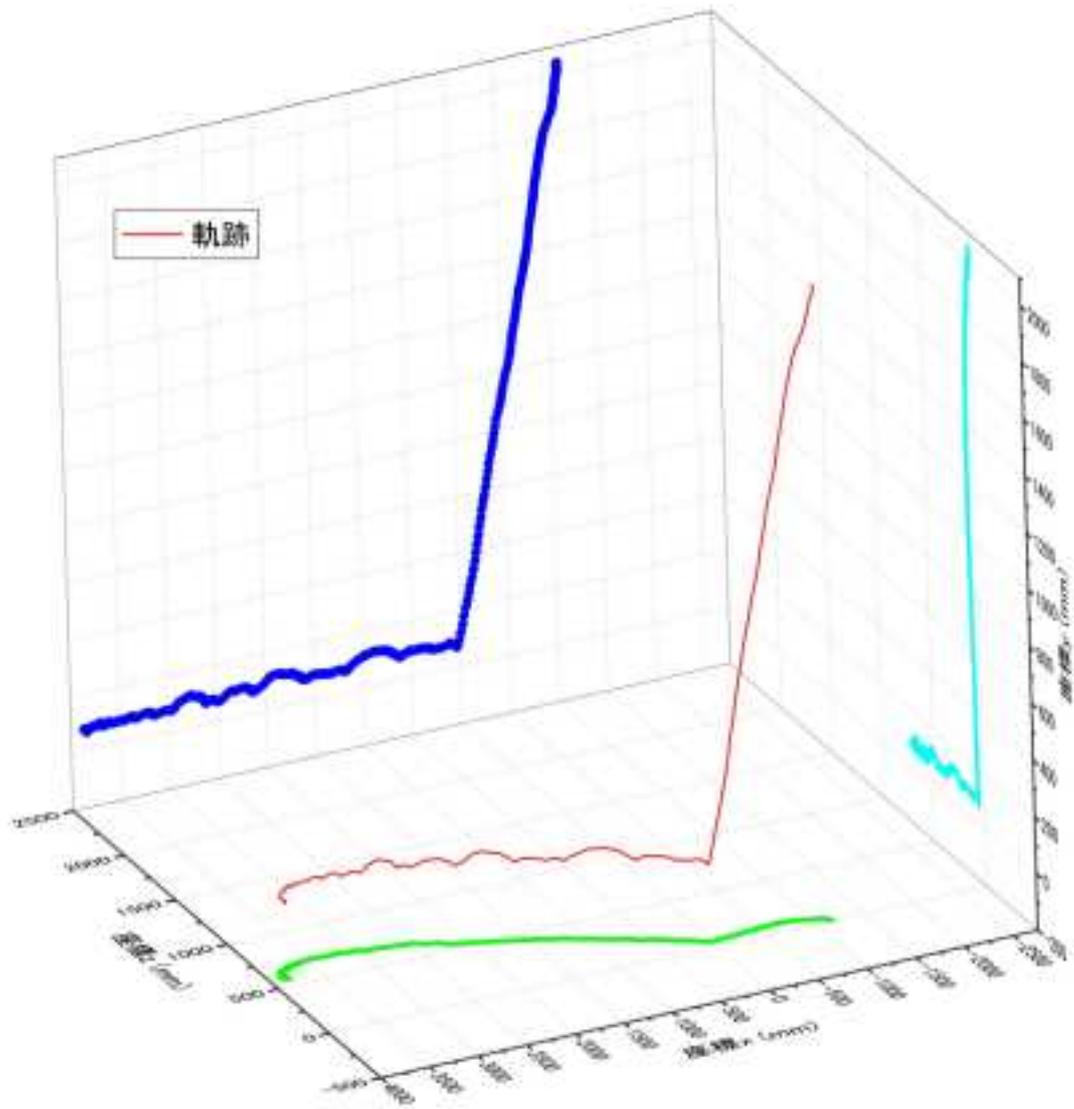


図 3.3.3.125 試番 5 ケース 18 三次元変位軌跡

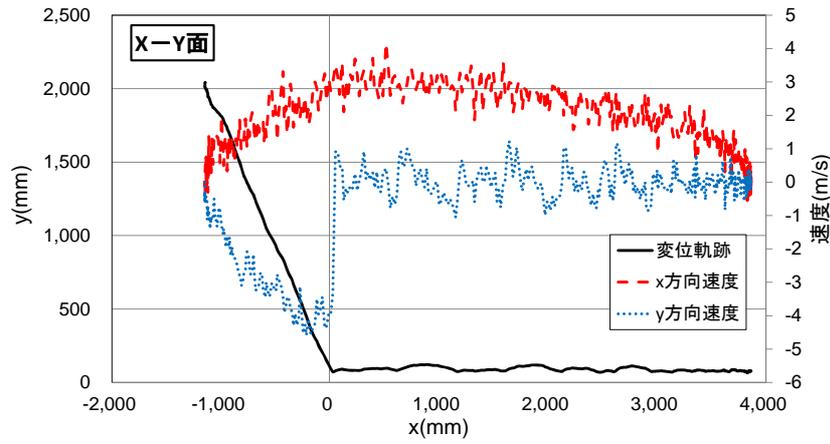


図 3.3.3.126 試番 5 ケース 18 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

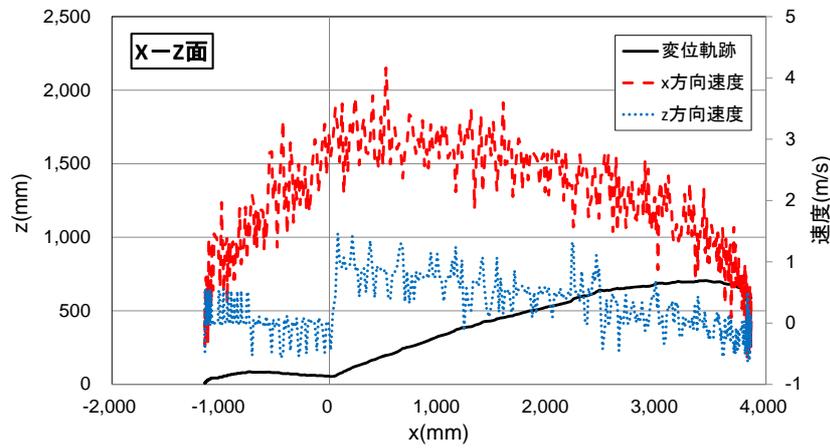


図 3.3.3.127 試番 5 ケース 18 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

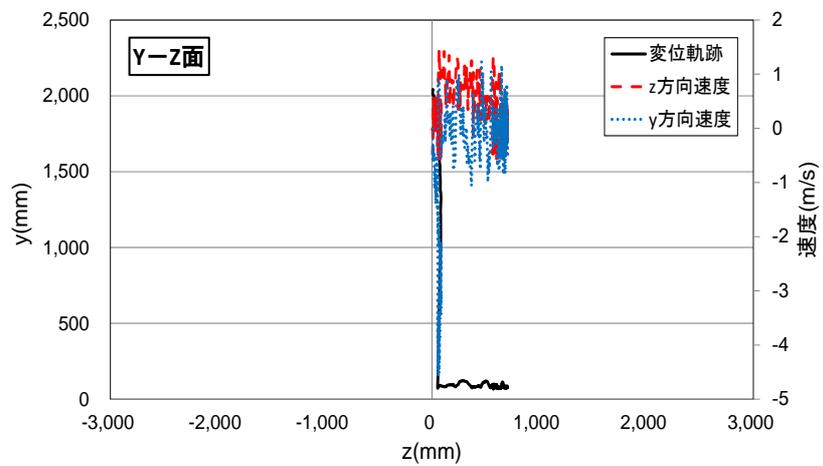


図 3.3.3.128 試番 5 ケース 18 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

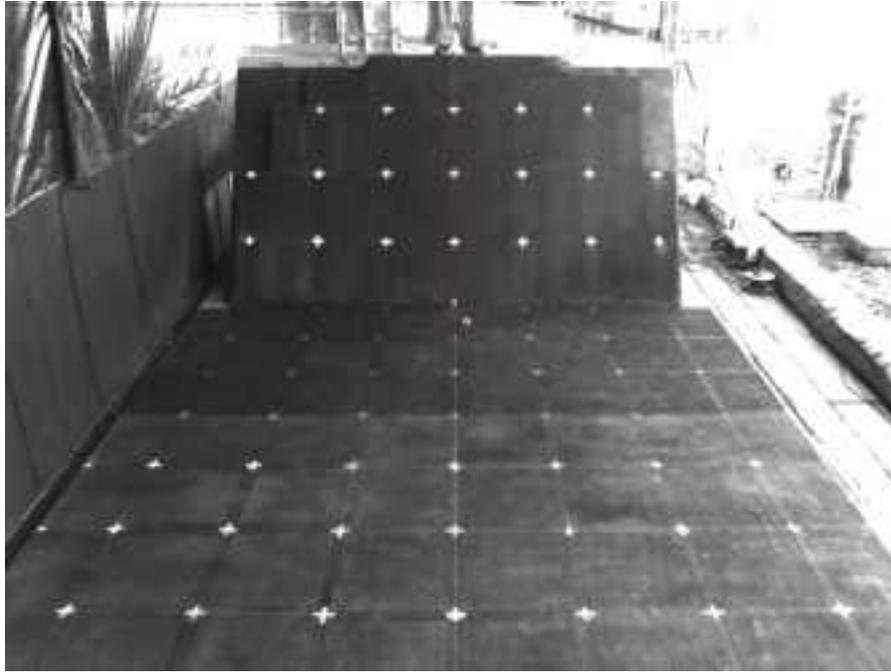


図 3.3.3.129 試番 5 ケース 35 流路正面

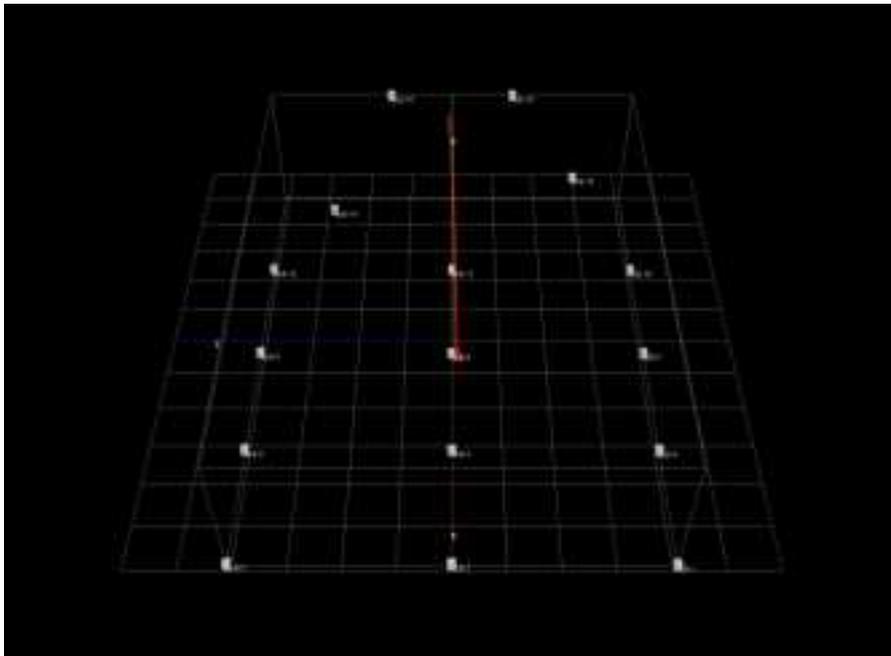


図 3.3.3.130 試番 5 ケース 35 流路正面 三次元メッシュ図

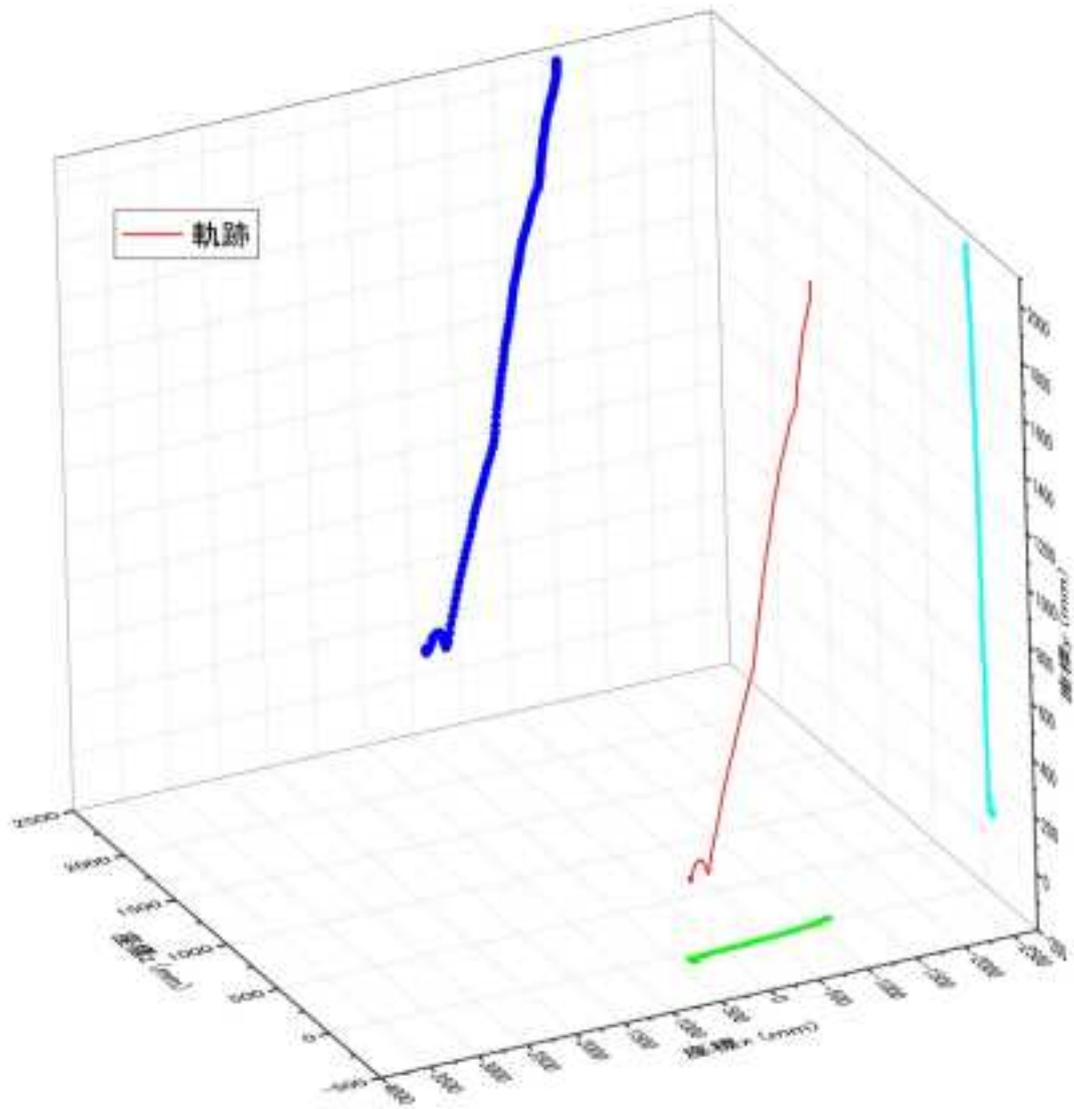


図 3.3.3.131 試番 5 ケース 35 三次元変位軌跡

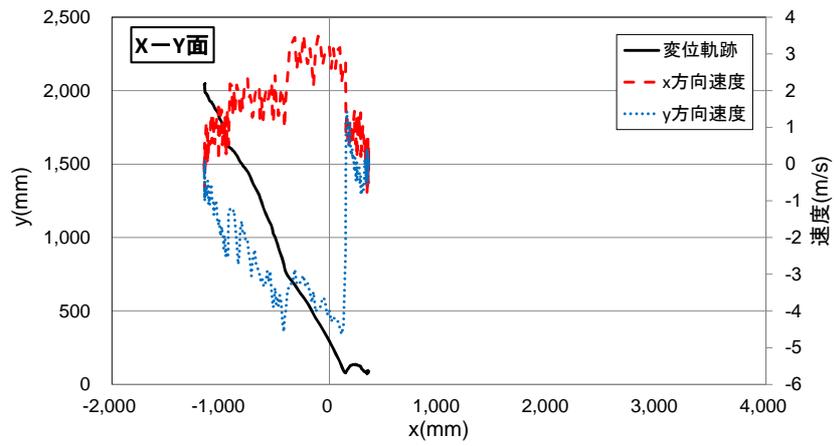


図 3.3.3.132 試番 5 ケース 35 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

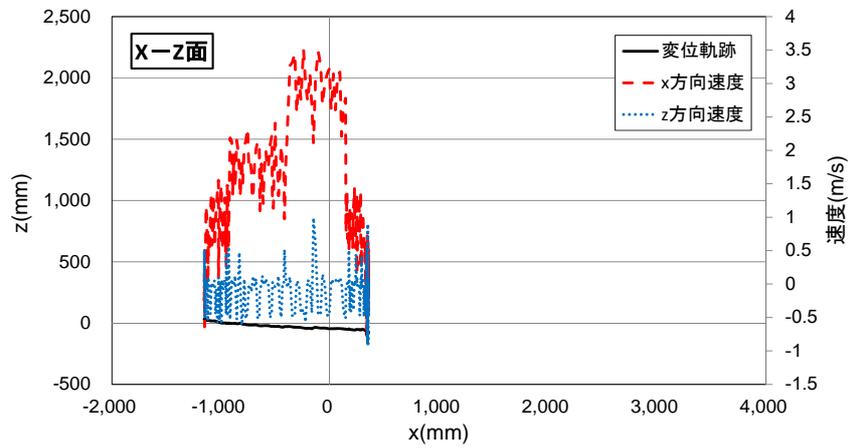


図 3.3.3.133 試番 5 ケース 35 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

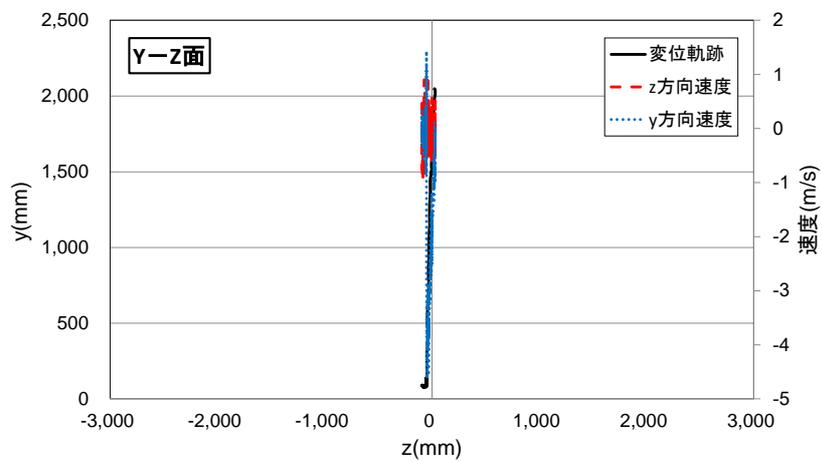


図 3.3.3.134 試番 5 ケース 35 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

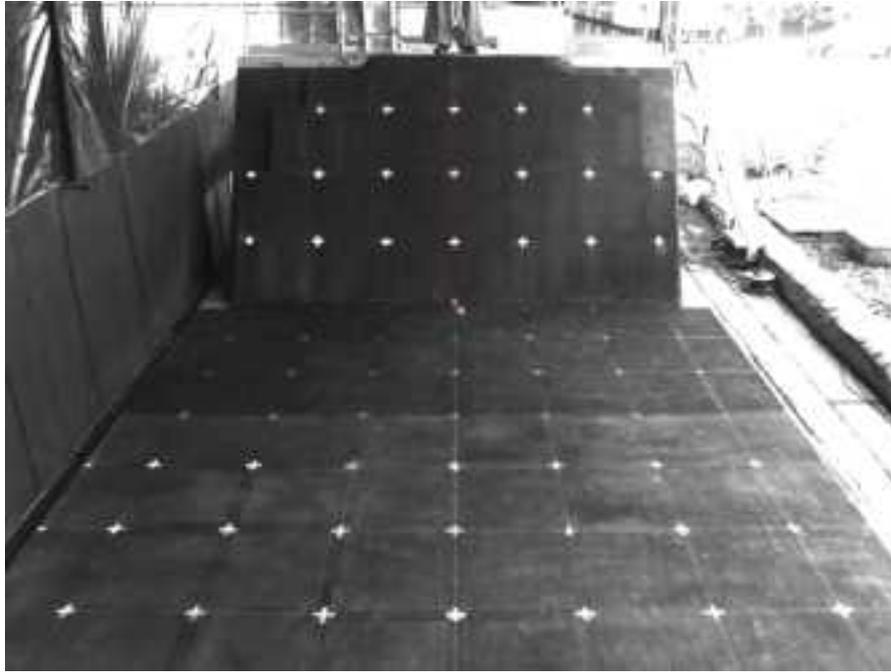


図 3.3.3.135 試番 5 ケース 40 流路正面

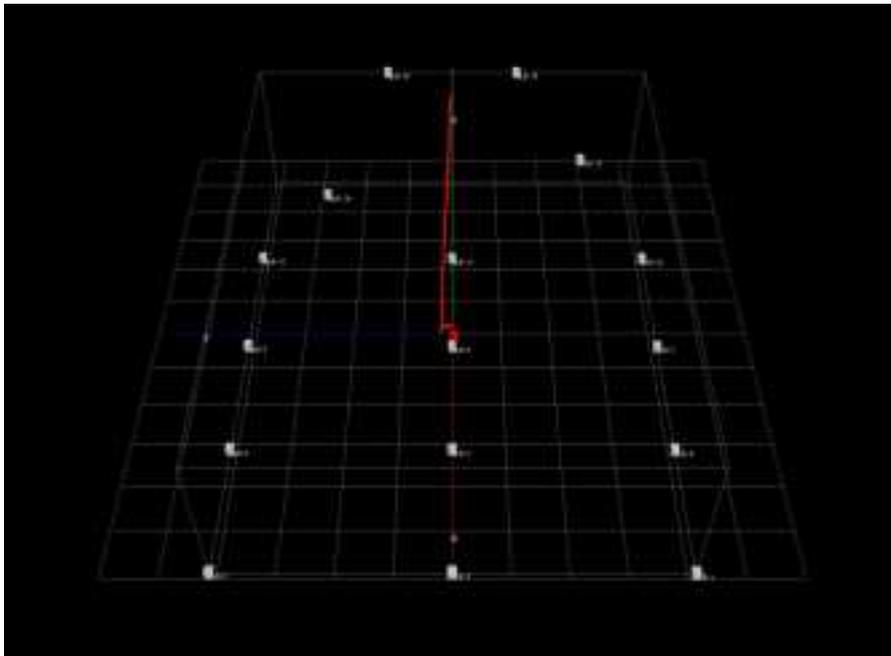


図 3.3.3.136 試番 5 ケース 40 流路正面 三次元メッシュ図

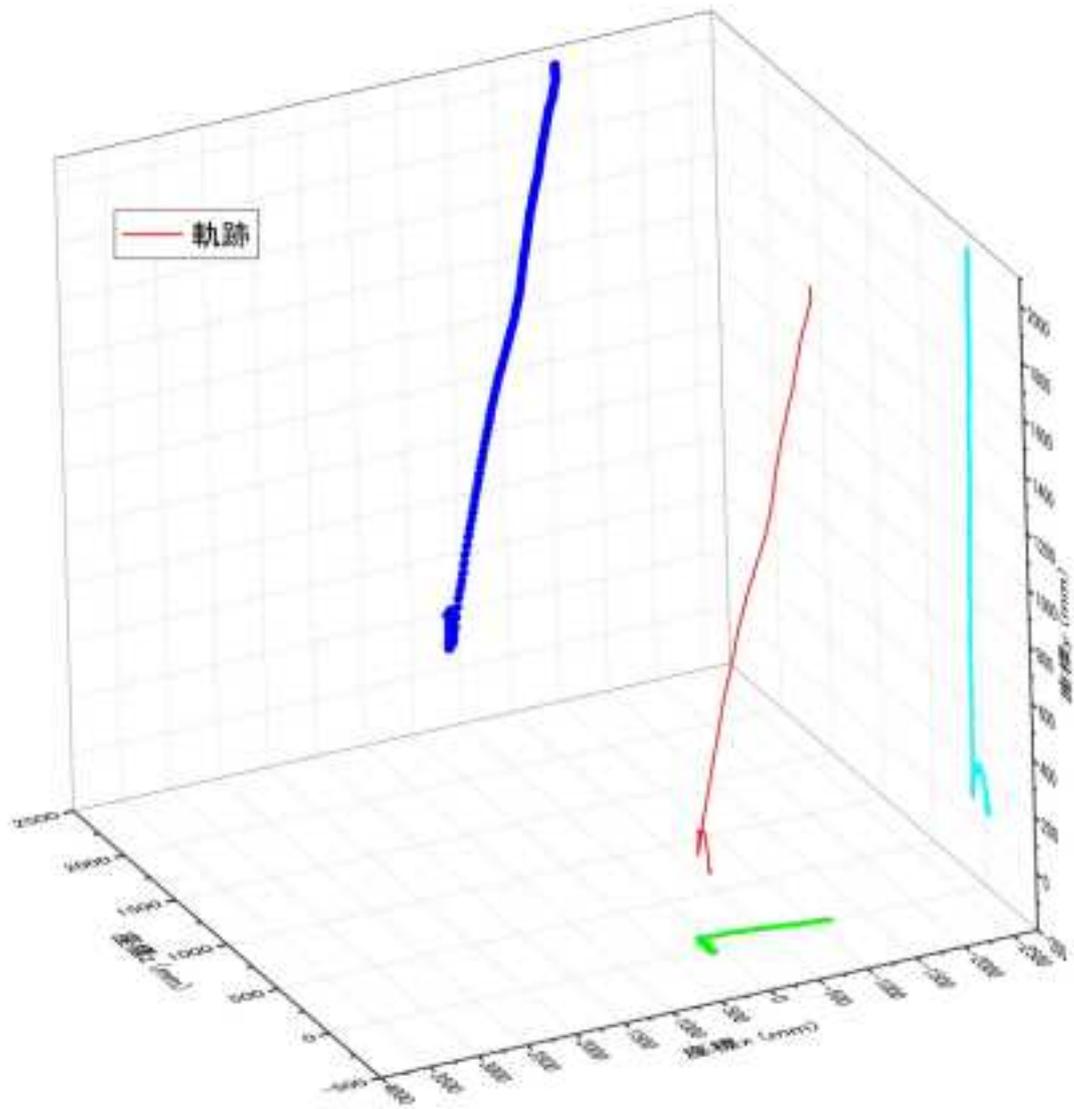


図 3.3.3.137 試番 5 ケース 40 三次元変位軌跡

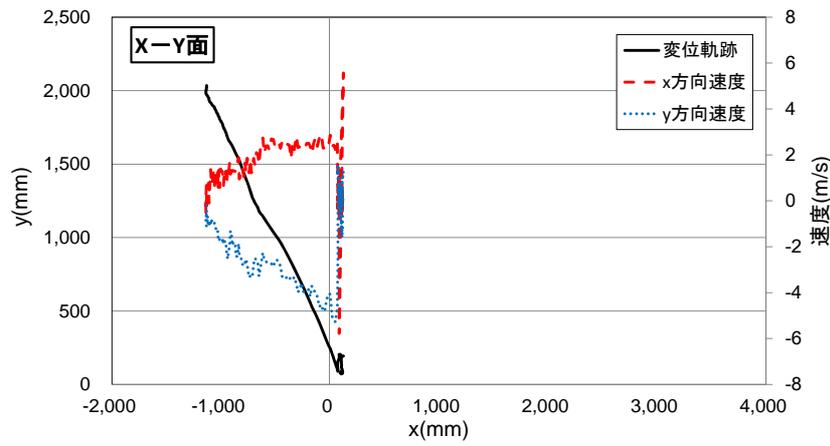


図 3.3.3.138 試番 5 ケース 40 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

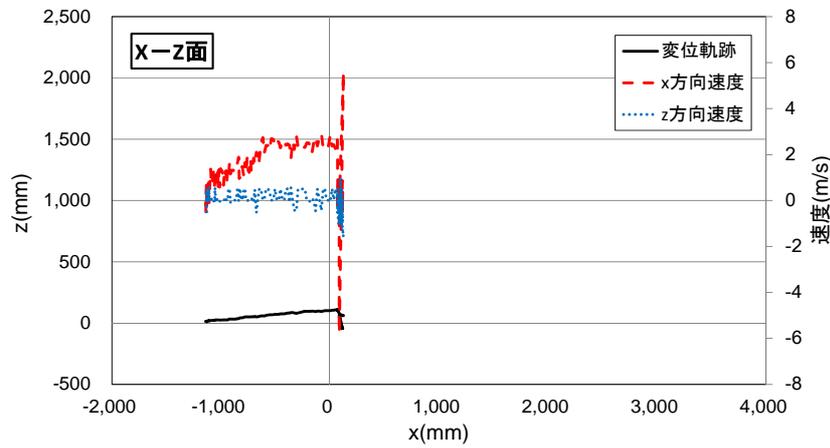


図 3.3.3.139 試番 5 ケース 40 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

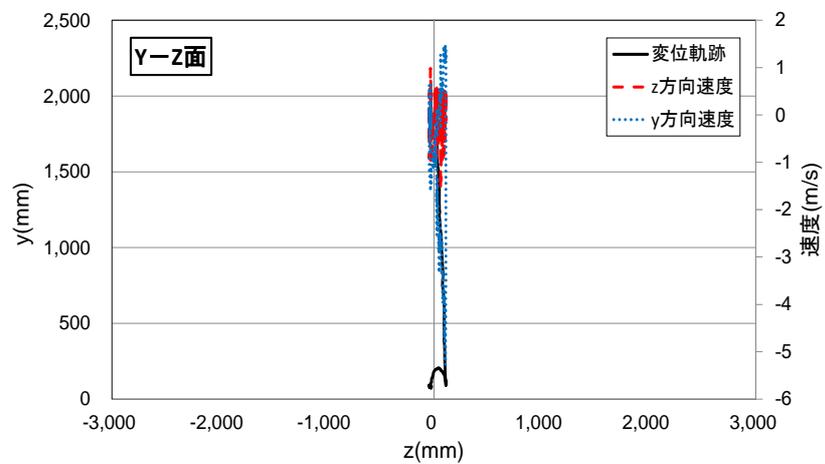


図 3.3.3.140 試番 5 ケース 40 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

・平成 26 年度実施分



図 3.3.3.141 試番 1 ケース 2 流路正面

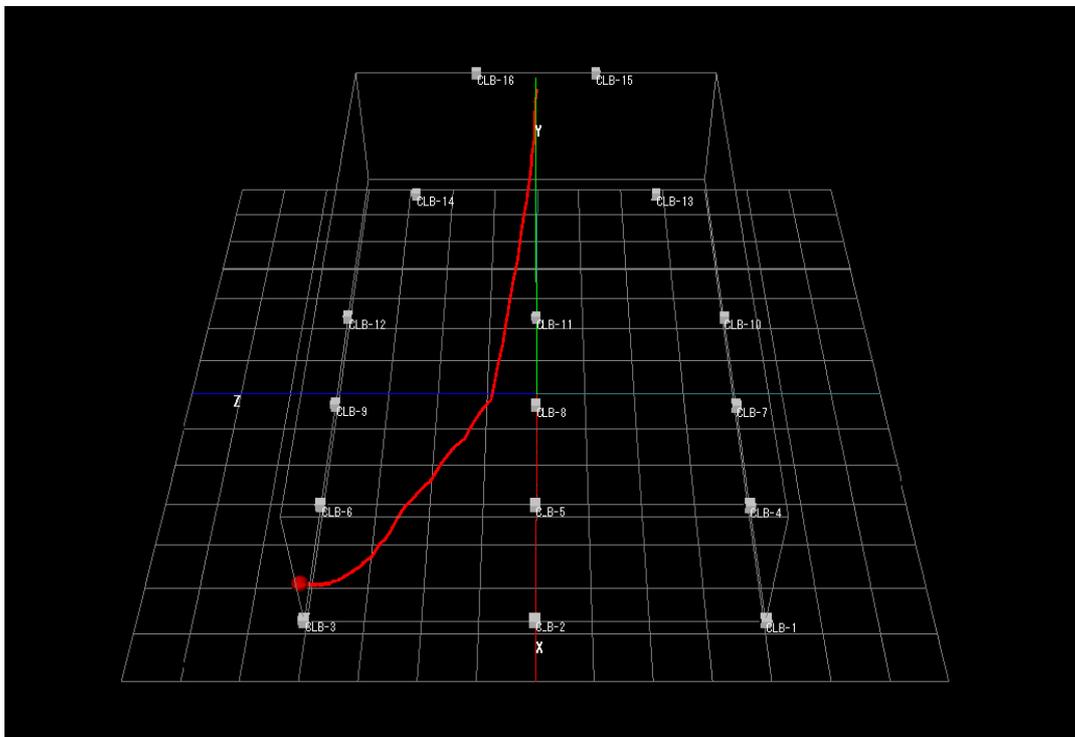


図 3.3.3.142 試番 1 ケース 2 流路正面 三次元メッシュ図

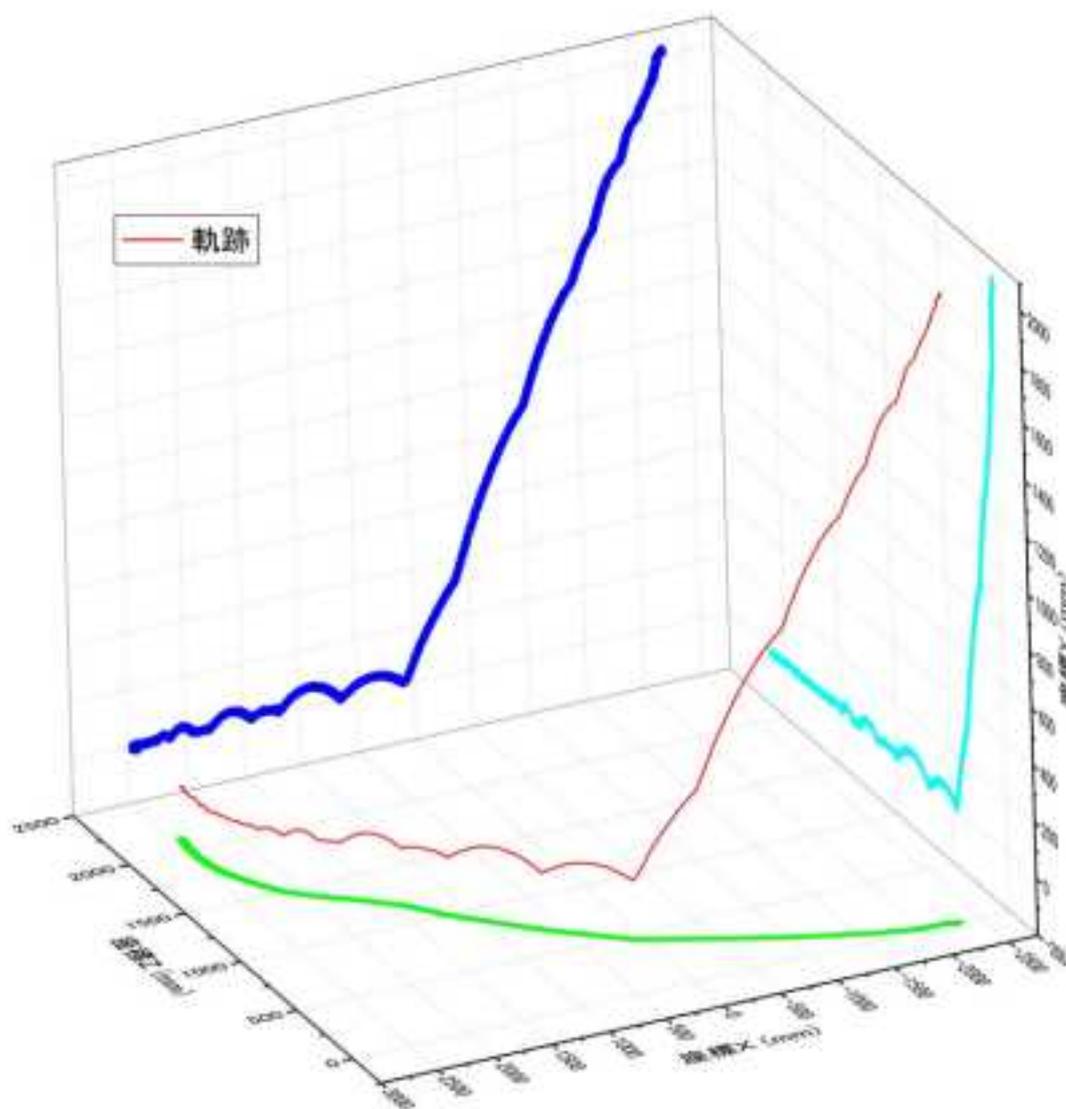


図 3.3.3.143 試番 1 ケース 2 三次元変位軌跡

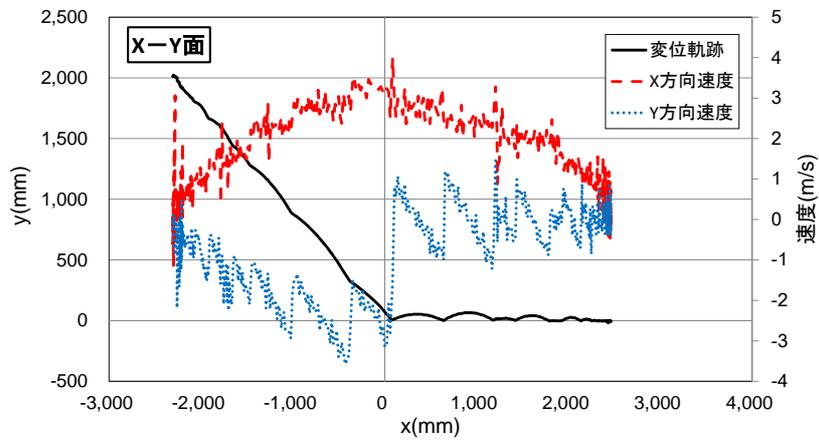


図 3.3.3.144 試番 1 ケース 2 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

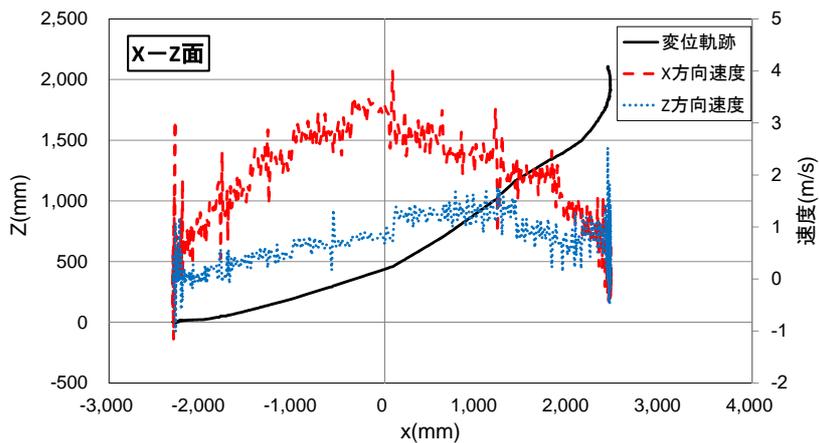


図 3.3.3.145 試番 1 ケース 2 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

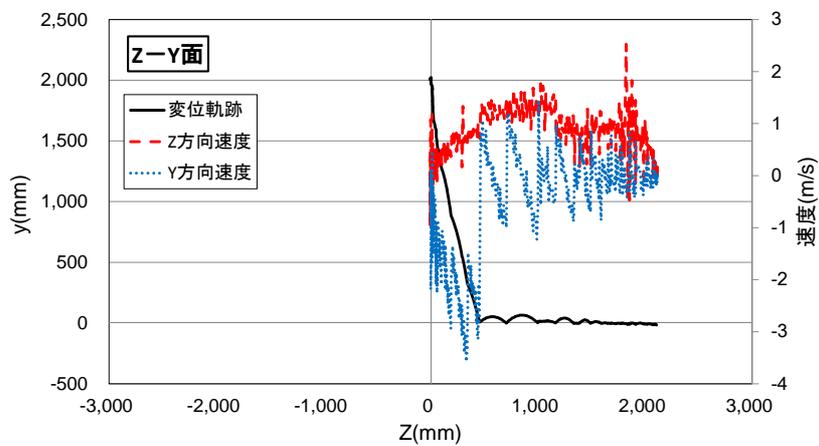


図 3.3.3.146 試番 1 ケース 2 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

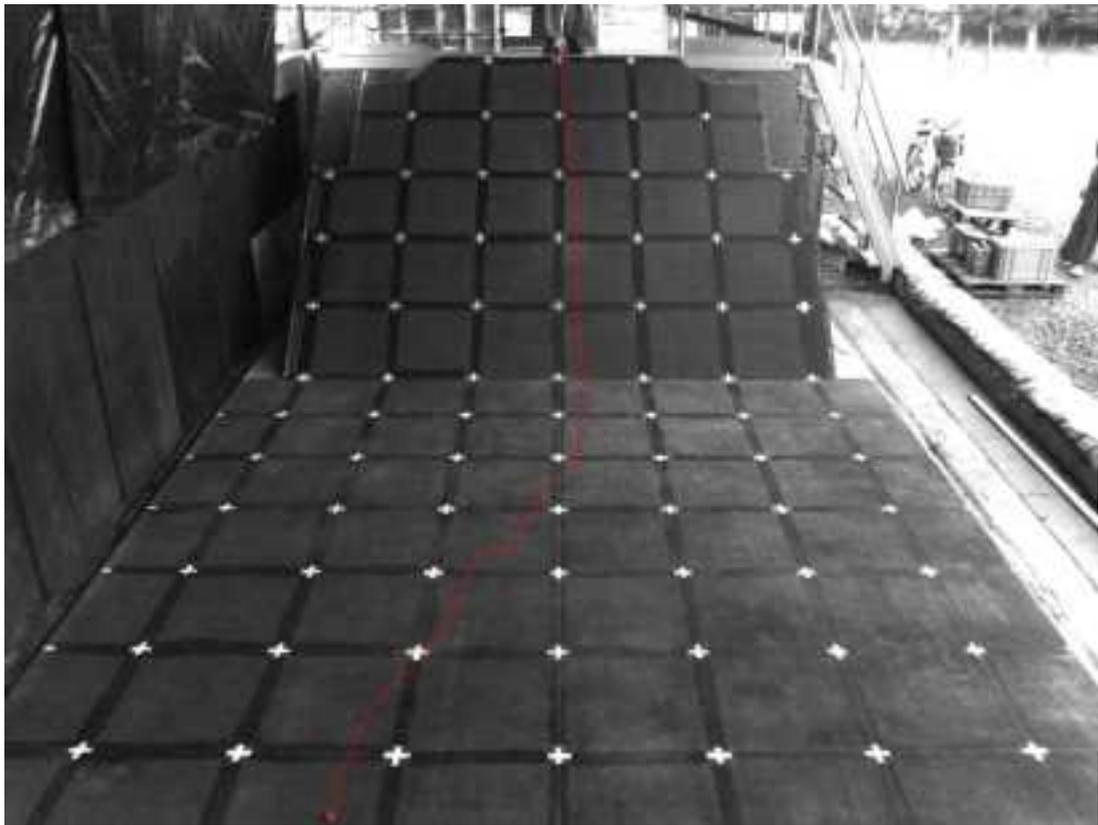


図 3.3.3.147 試番1 ケース40 流路正面

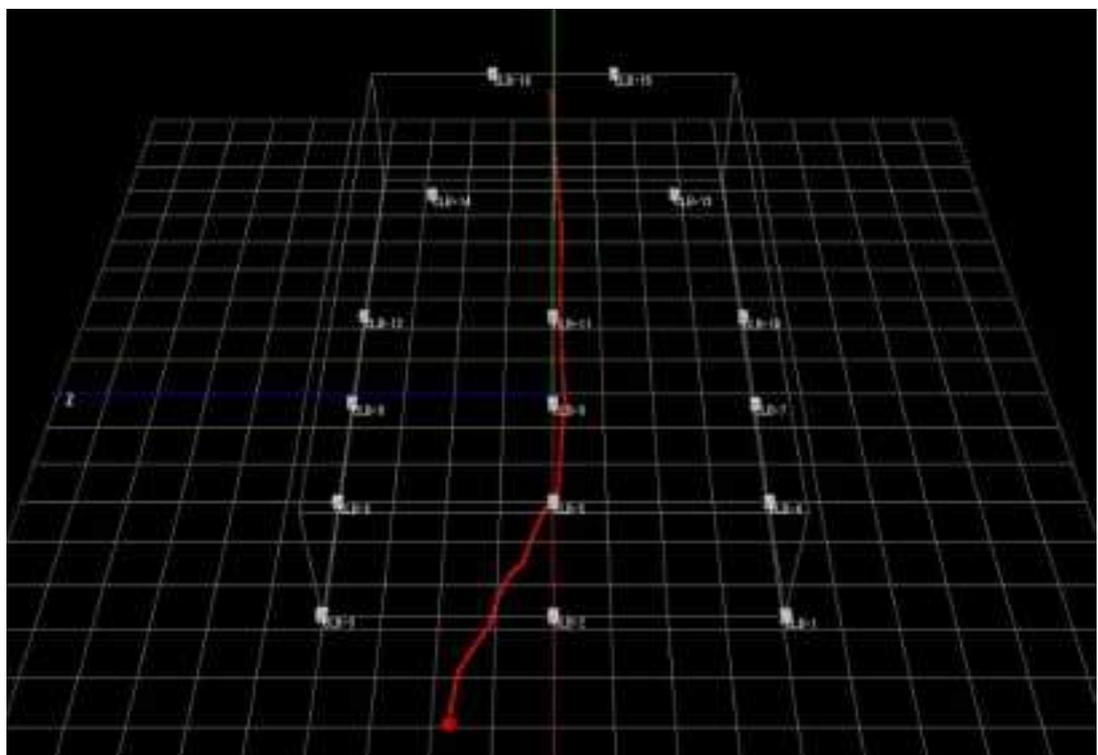


図 3.3.3.148 試番1 ケース40 流路正面 三次元メッシュ図

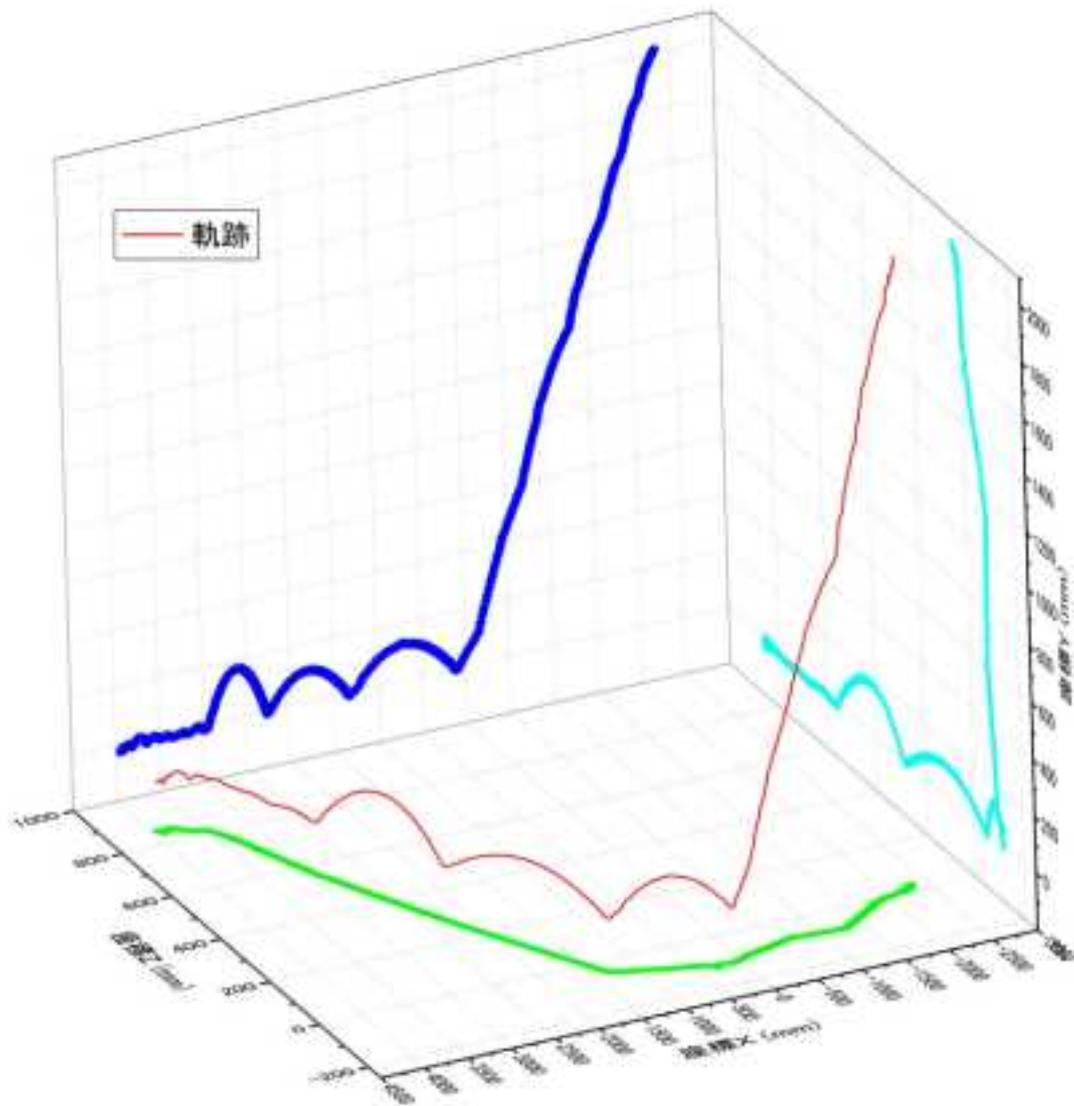


図 3.3.3.149 試番1 ケース40 三次元変位軌跡

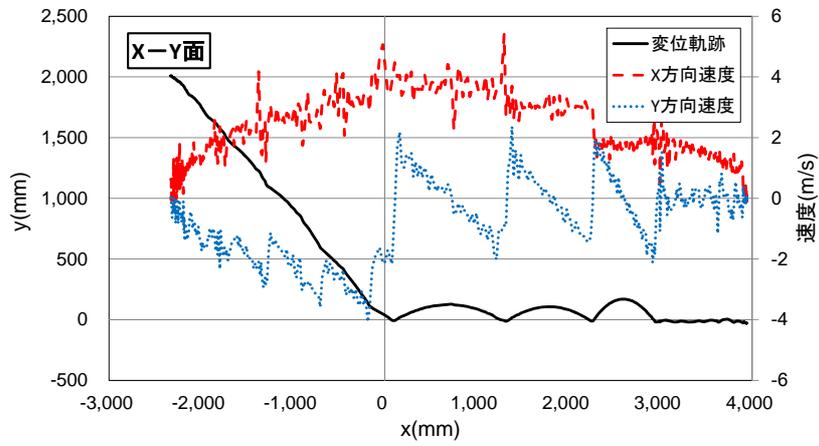


図 3.3.3.150 試番 1 ケース 40 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

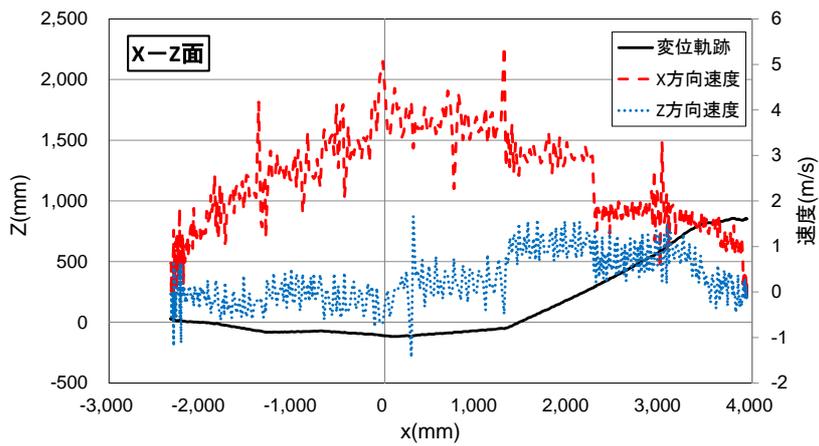


図 3.3.3.151 試番 1 ケース 40 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

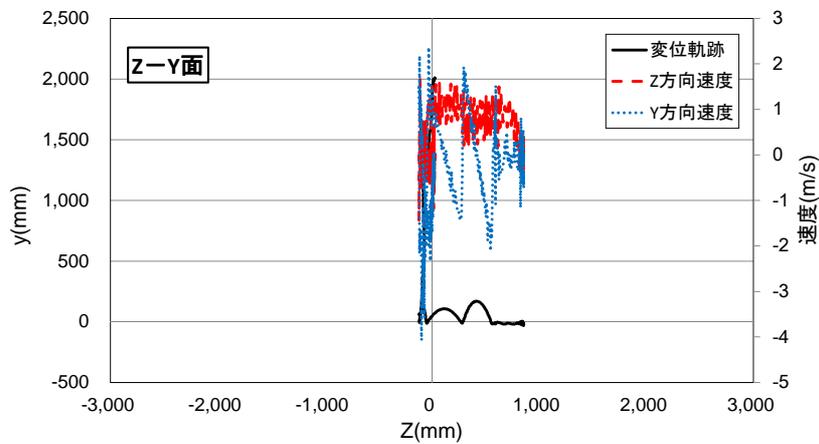


図 3.3.3.152 試番 1 ケース 40 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.153 試番 2 ケース 27 流路正面

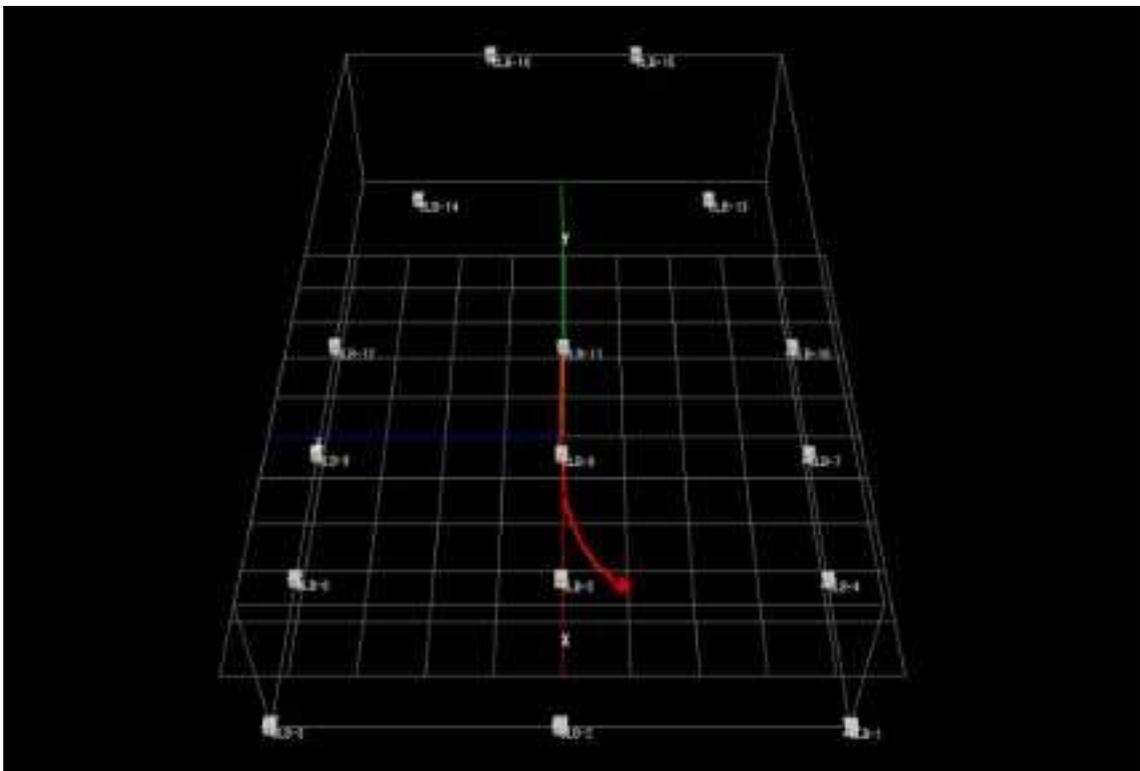


図 3.3.3.154 試番 2 ケース 27 流路正面 三次元メッシュ図

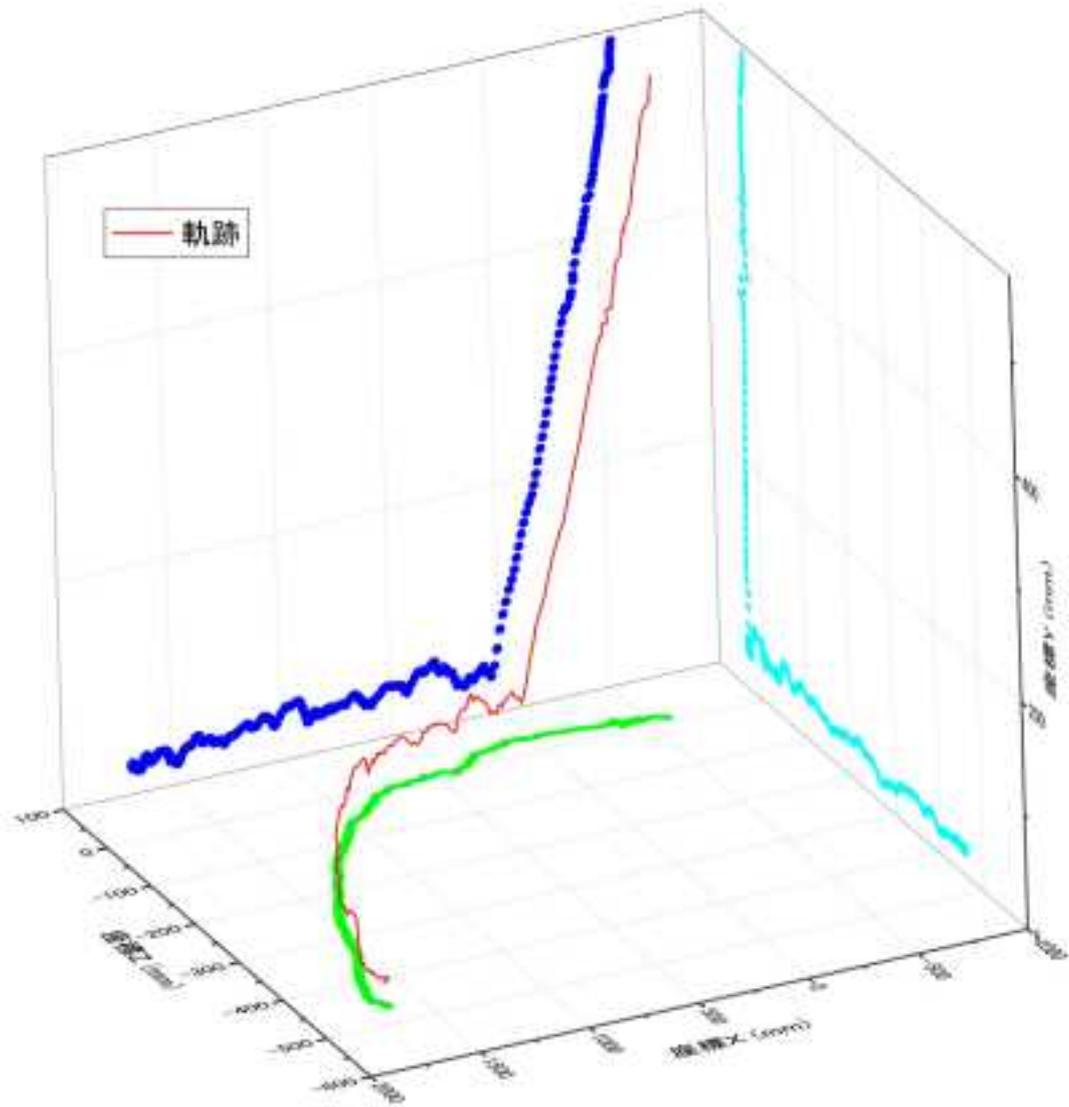


図 3.3.3.155 試番 2 ケース 27 三次元変位軌跡

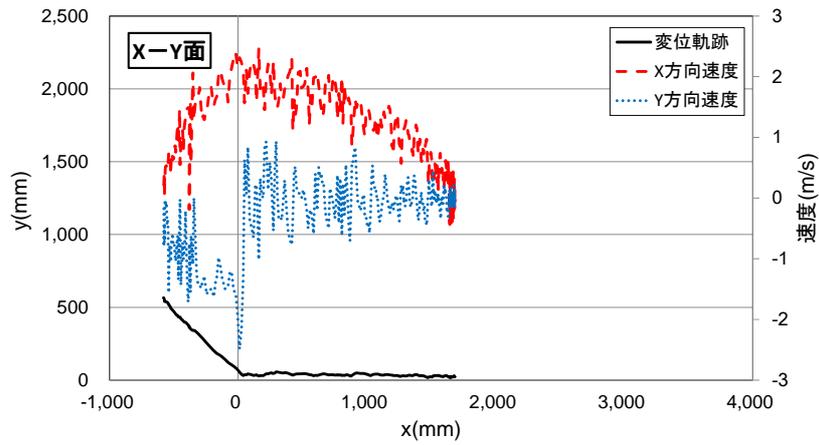


図 3.3.3.156 試番 2 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

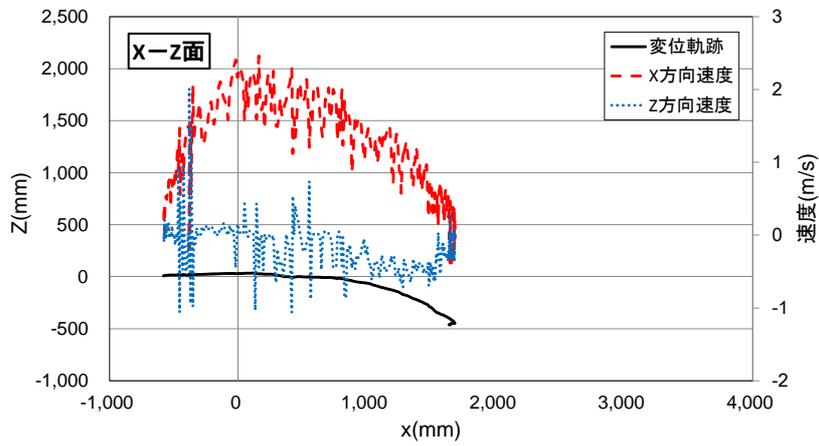


図 3.3.3.157 試番 2 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

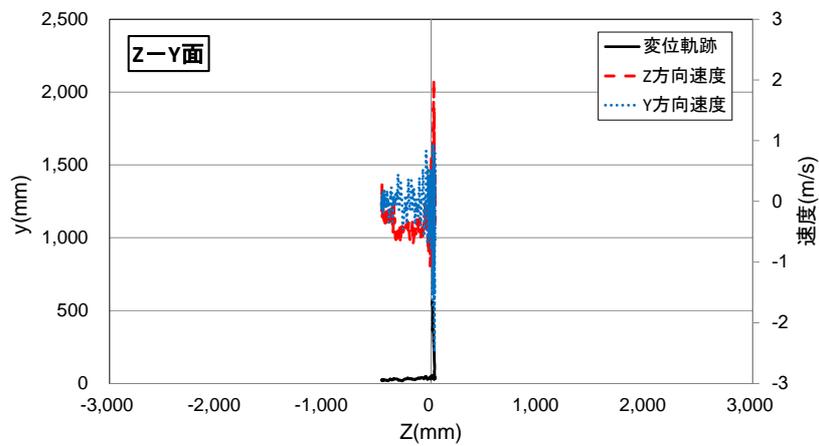


図 3.3.3.158 試番 2 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.159 試番 2 ケース 31 流路正面

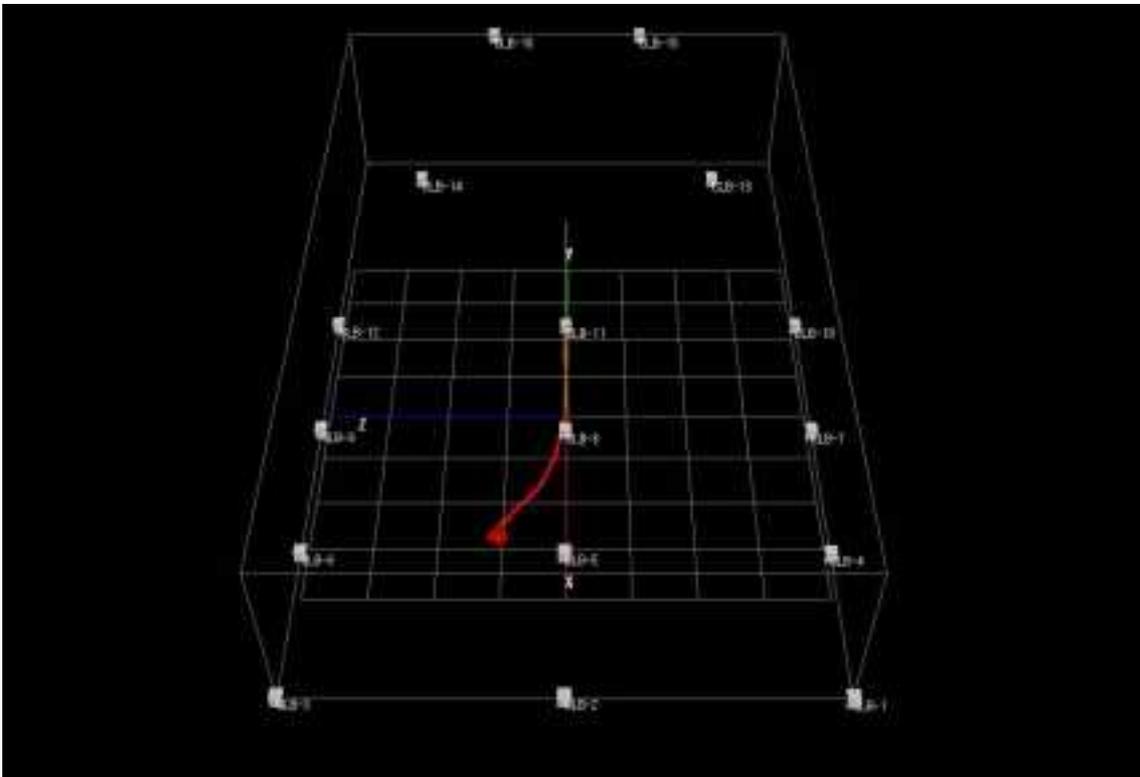


図 3.3.3.160 試番 2 ケース 31 流路正面 三次元メッシュ図

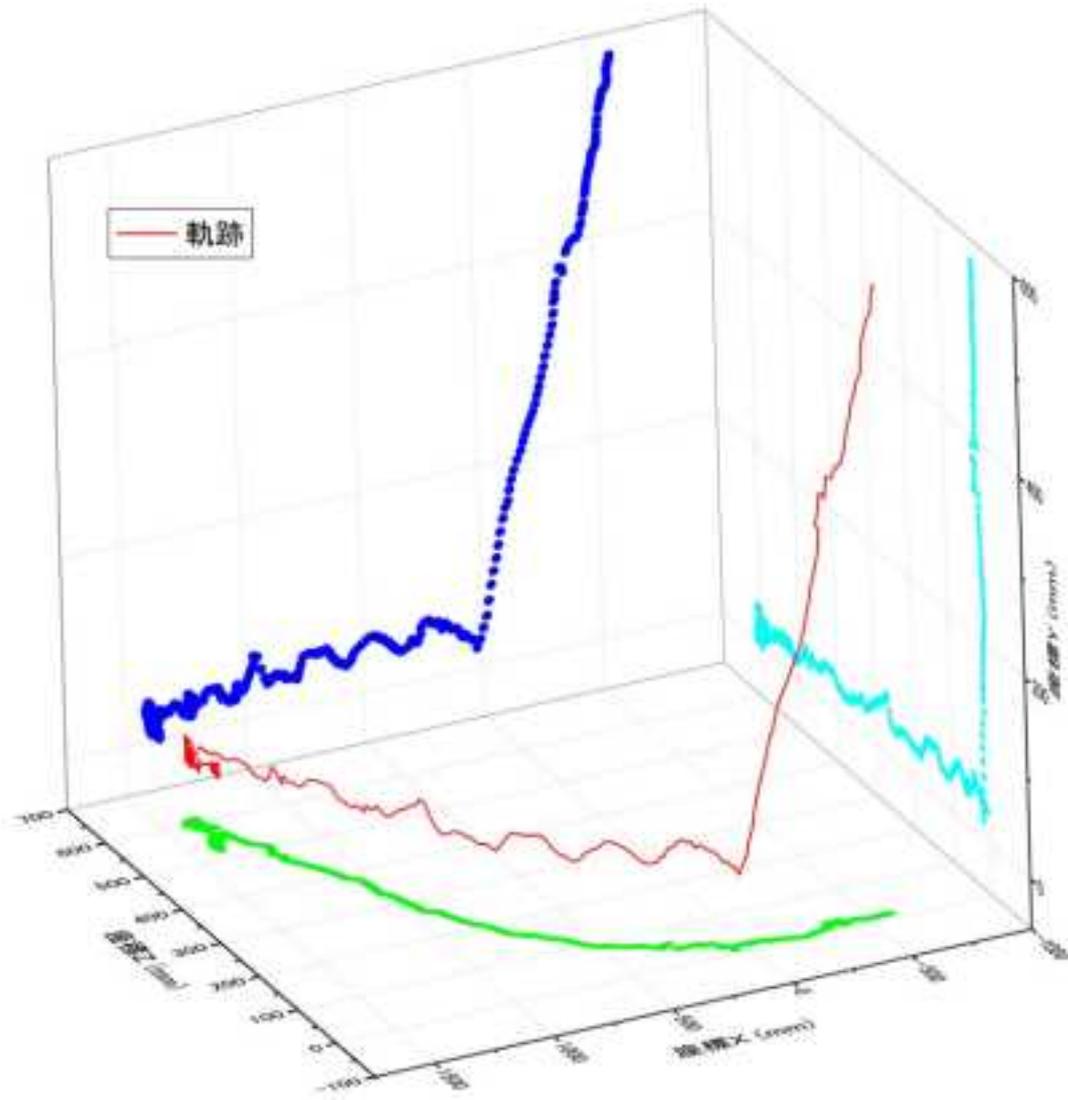


図 3.3.3.161 試番 2 ケース 31 三次元変位軌跡

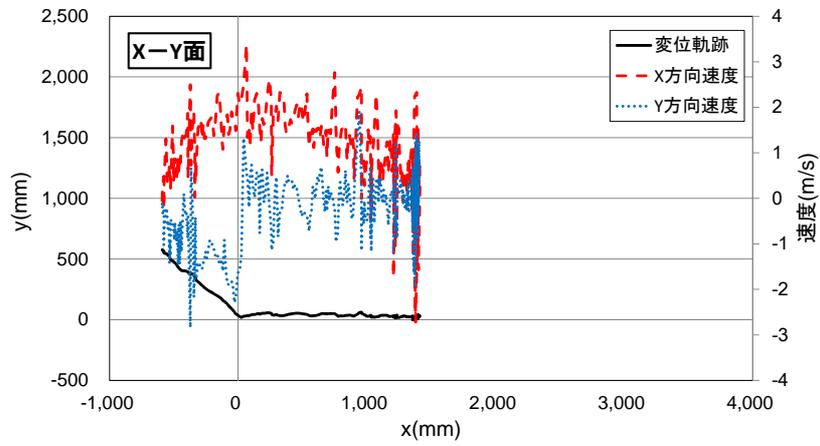


図 3.3.3.162 試番 2 ケース 31 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

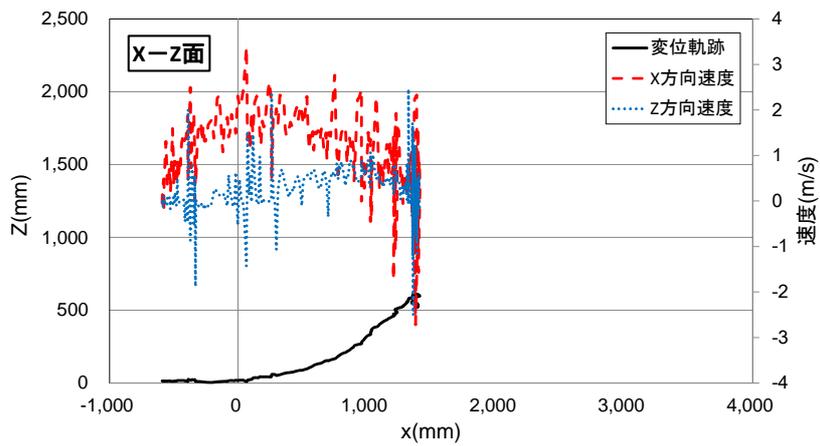


図 3.3.3.163 試番 2 ケース 31 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

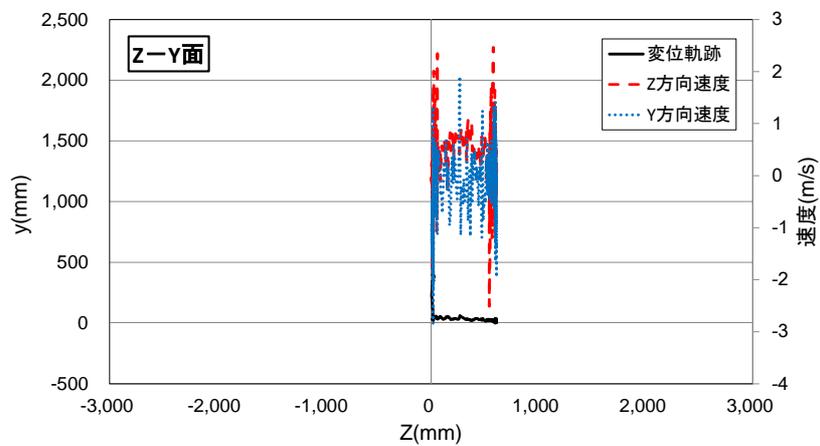


図 3.3.3.164 試番 2 ケース 31 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.165 試番 3 ケース 16 流路正面

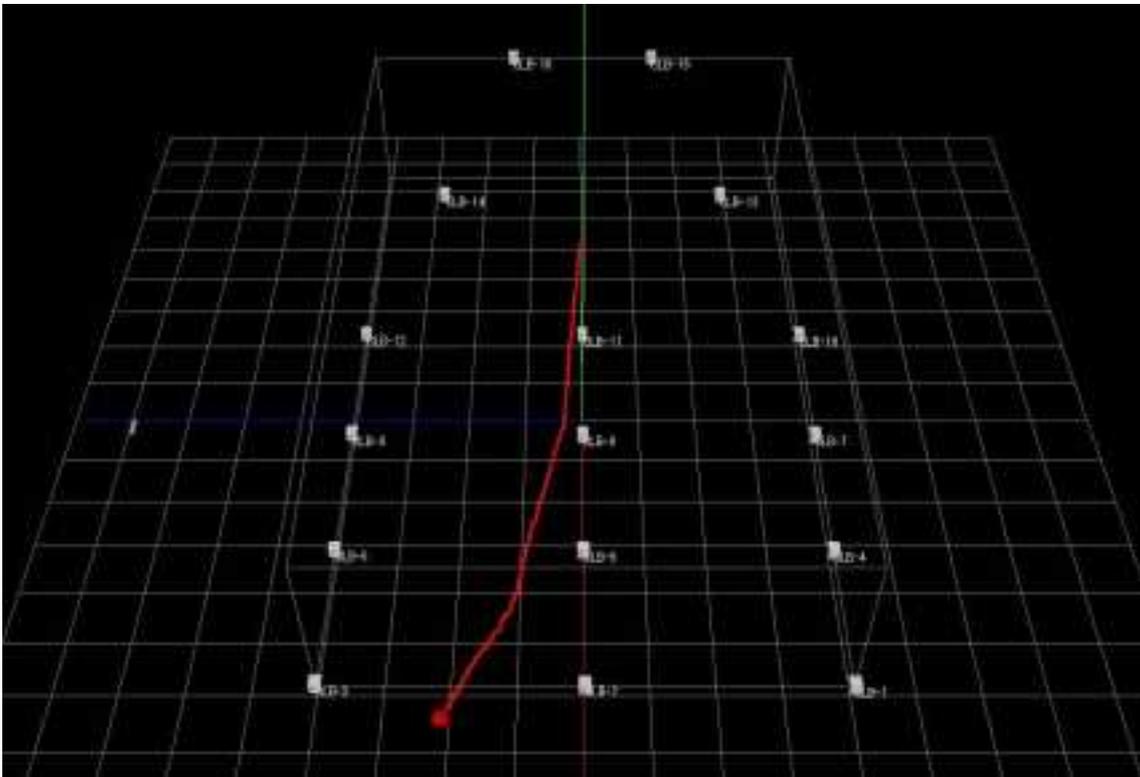


図 3.3.3.166 試番 3 ケース 16 流路正面 三次元メッシュ図

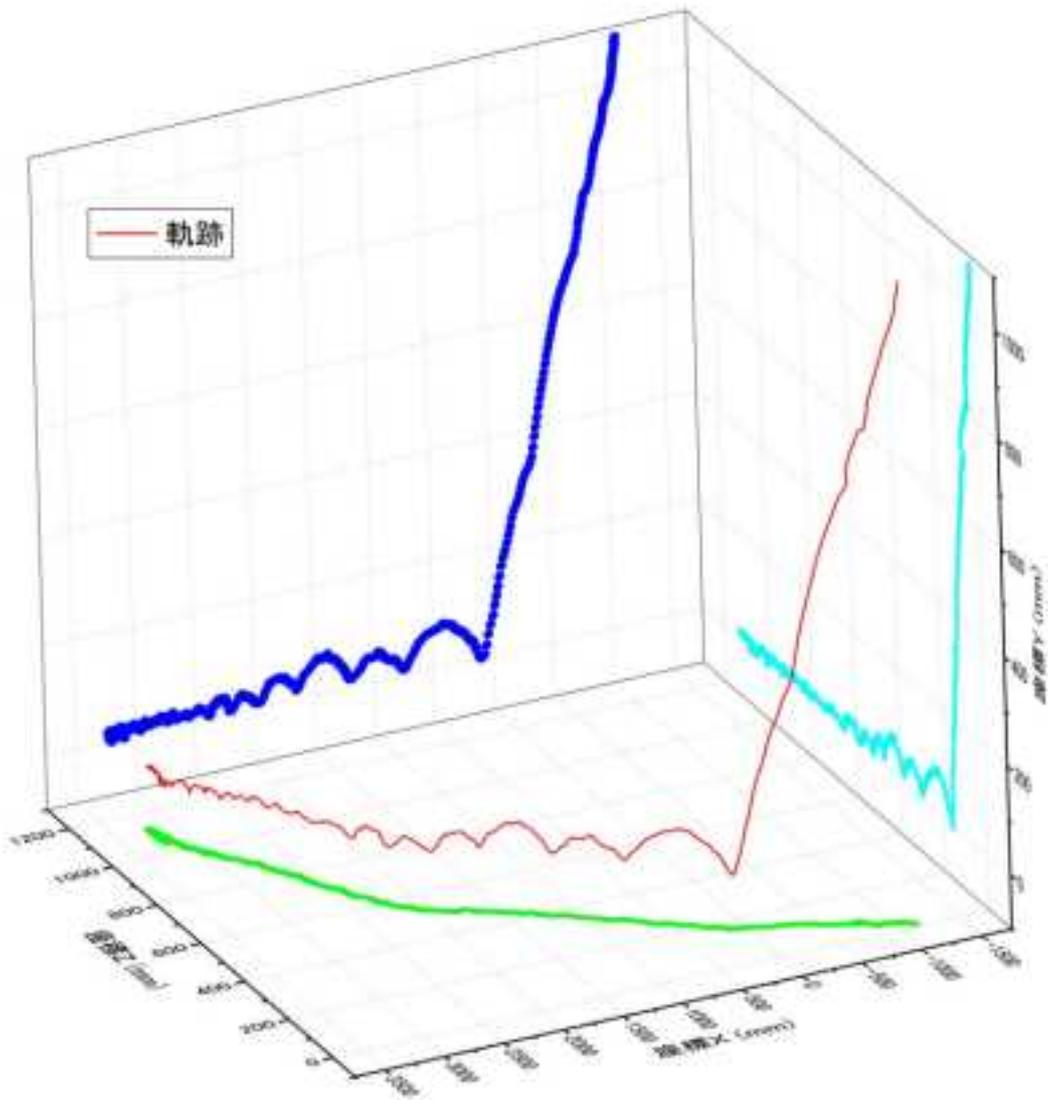


図 3.3.3.167 試番 3 ケース 16 三次元変位軌跡

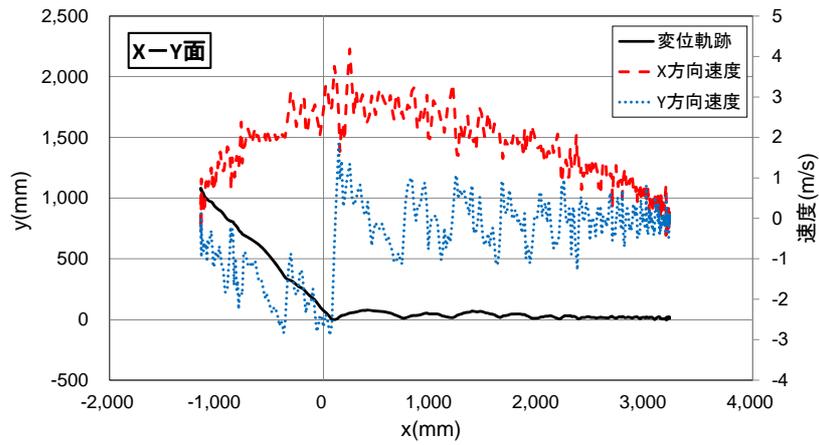


図 3.3.3.168 試番 3 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

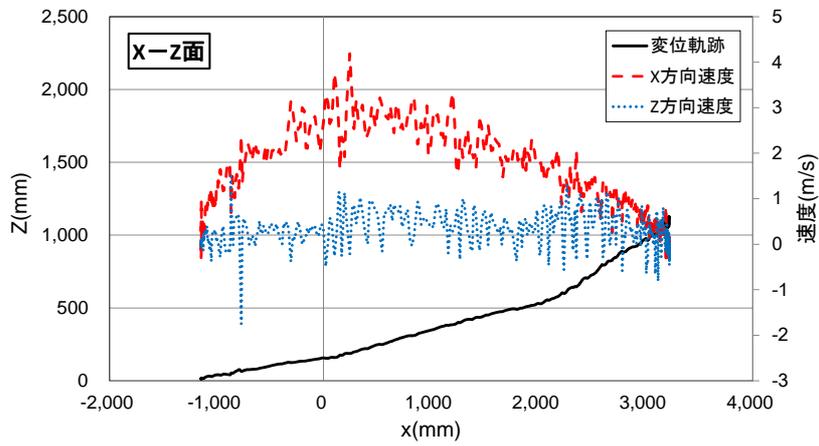


図 3.3.3.169 試番 3 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

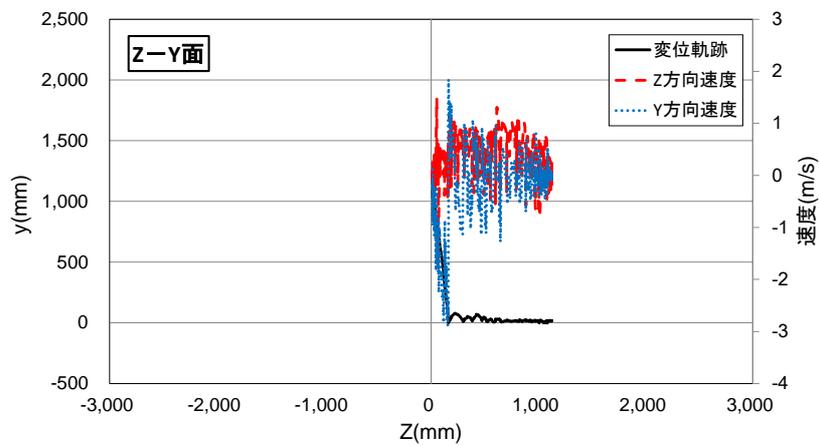


図 3.3.3.170 試番 3 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.171 試番 3 ケース 34 流路正面

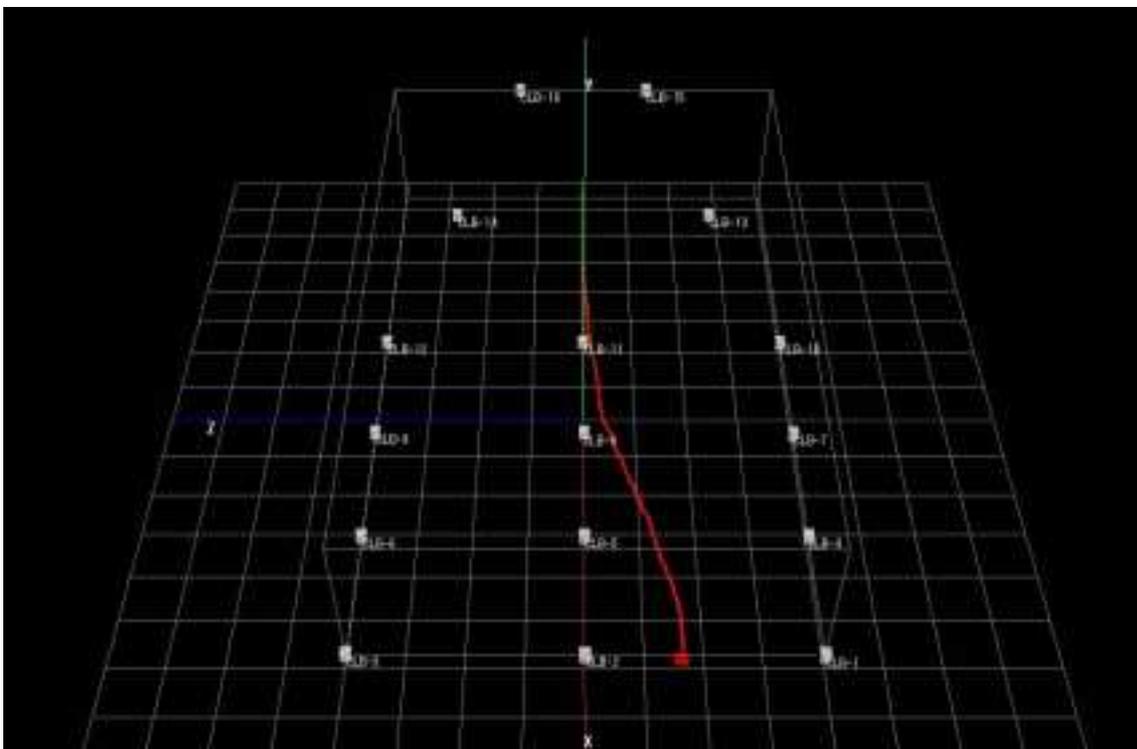


図 3.3.3.172 試番 3 ケース 34 流路正面 三次元メッシュ図

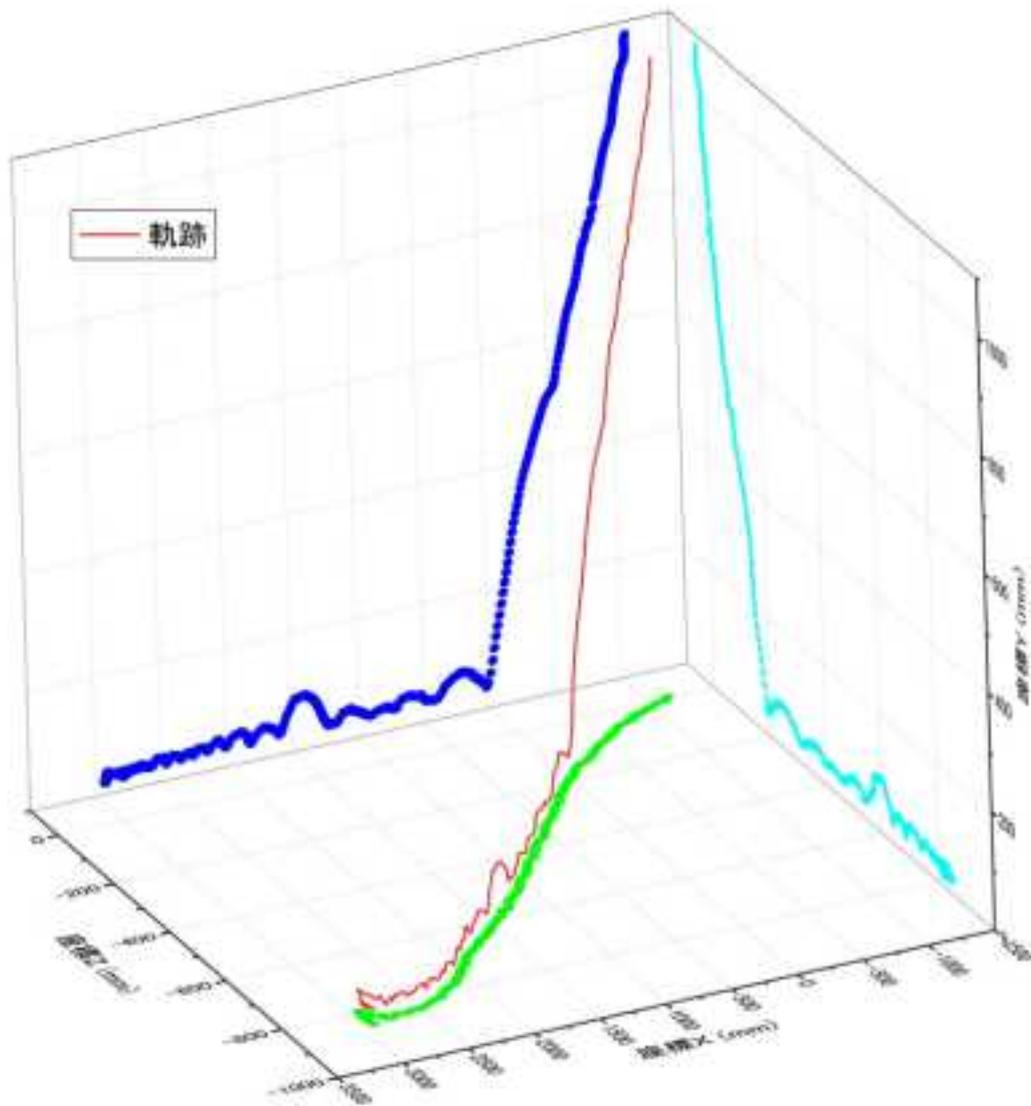


図 3.3.3.173 試番 3 ケース 34 三次元変位軌跡

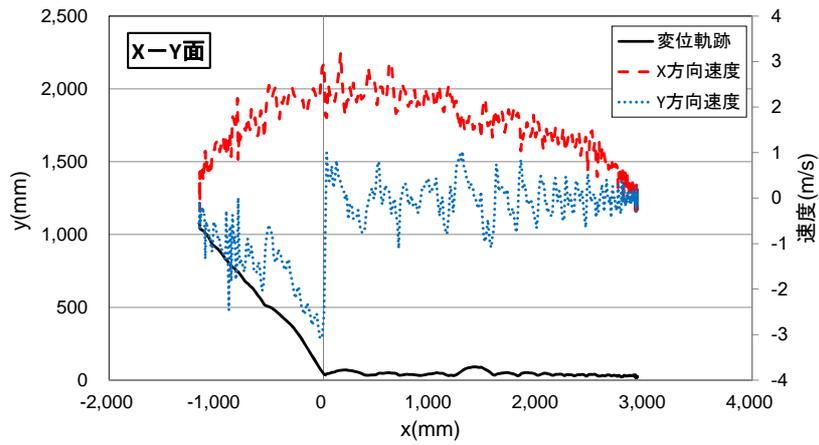


図 3.3.3.174 試番 3 ケース 34 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

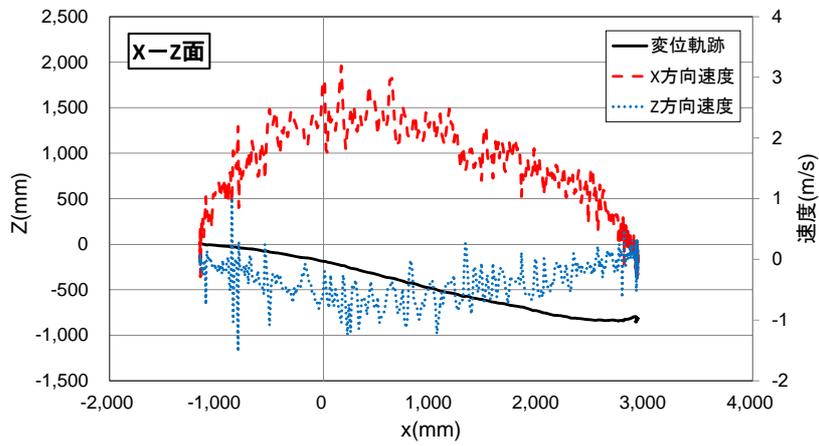


図 3.3.3.175 試番 3 ケース 34 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

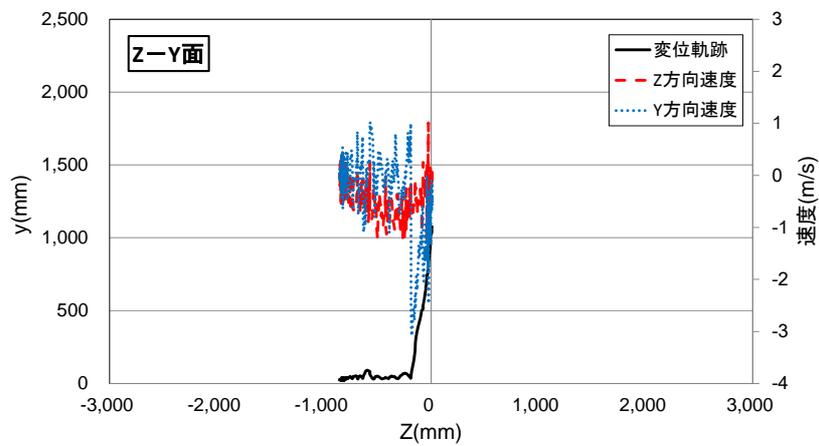


図 3.3.3.176 試番 3 ケース 34 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.177 試番 4 ケース 11 流路正面

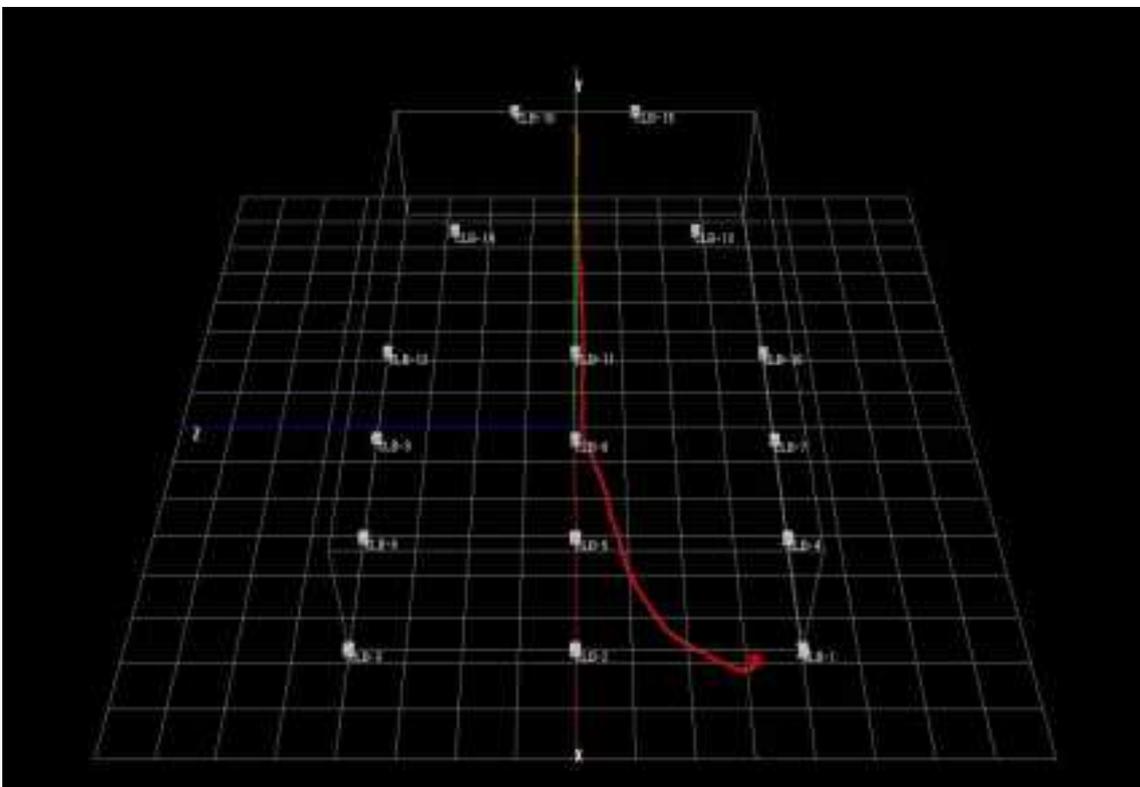


図 3.3.3.178 試番 4 ケース 11 流路正面 三次元メッシュ図

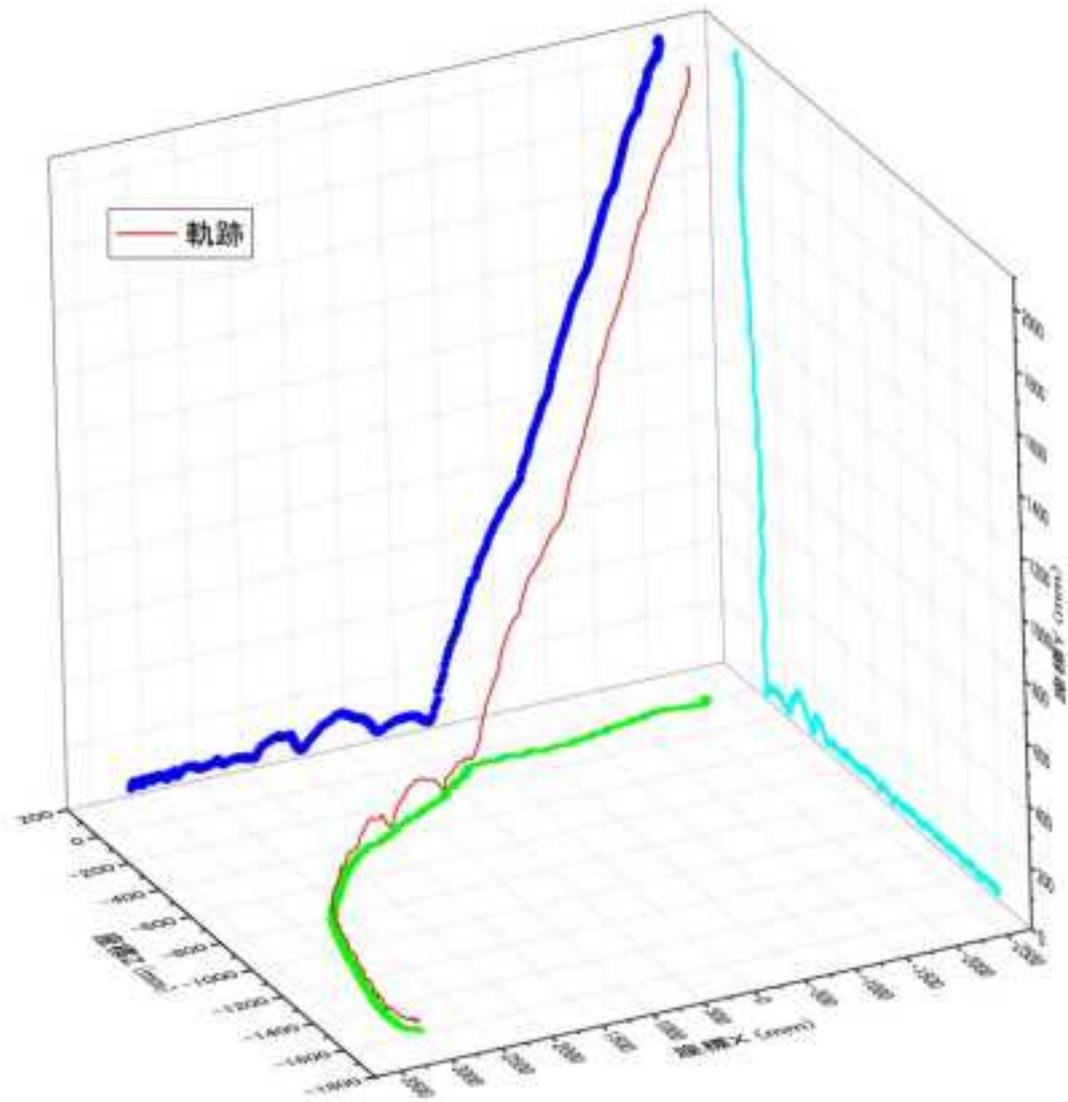


図 3.3.3.179 試番 4 ケース 11 三次元変位軌跡

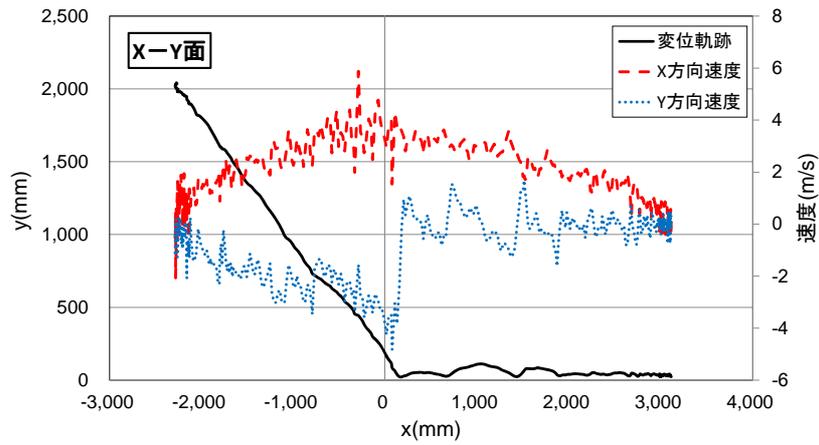


図 3.3.3.180 試番 4 ケース 11 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

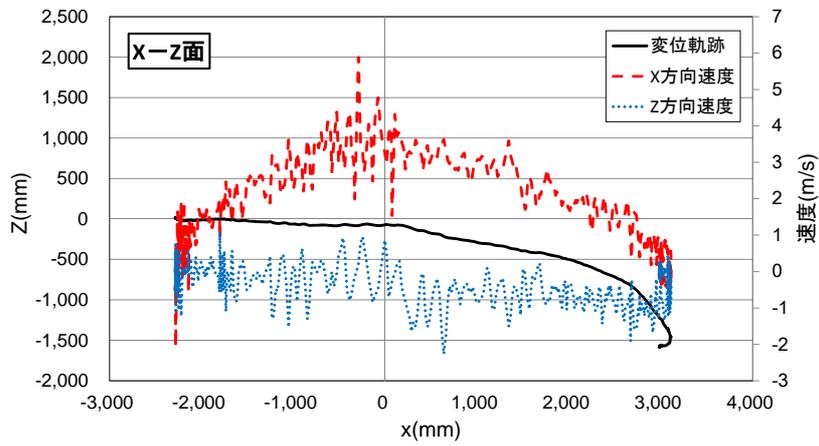


図 3.3.3.181 試番 4 ケース 11 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

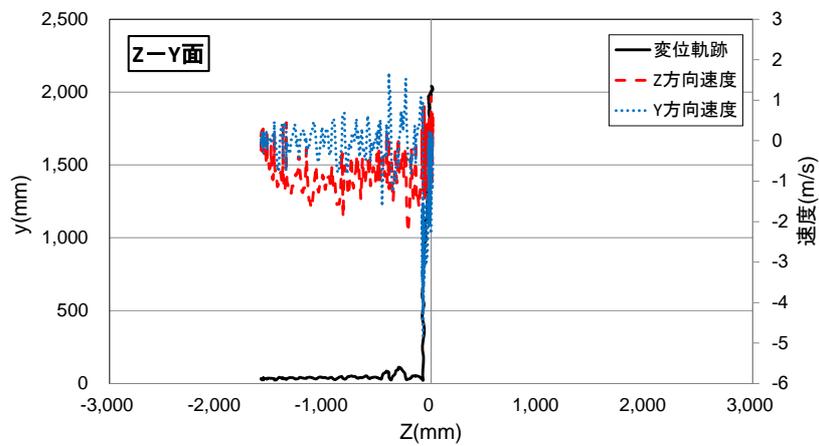


図 3.3.3.182 試番 4 ケース 11 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



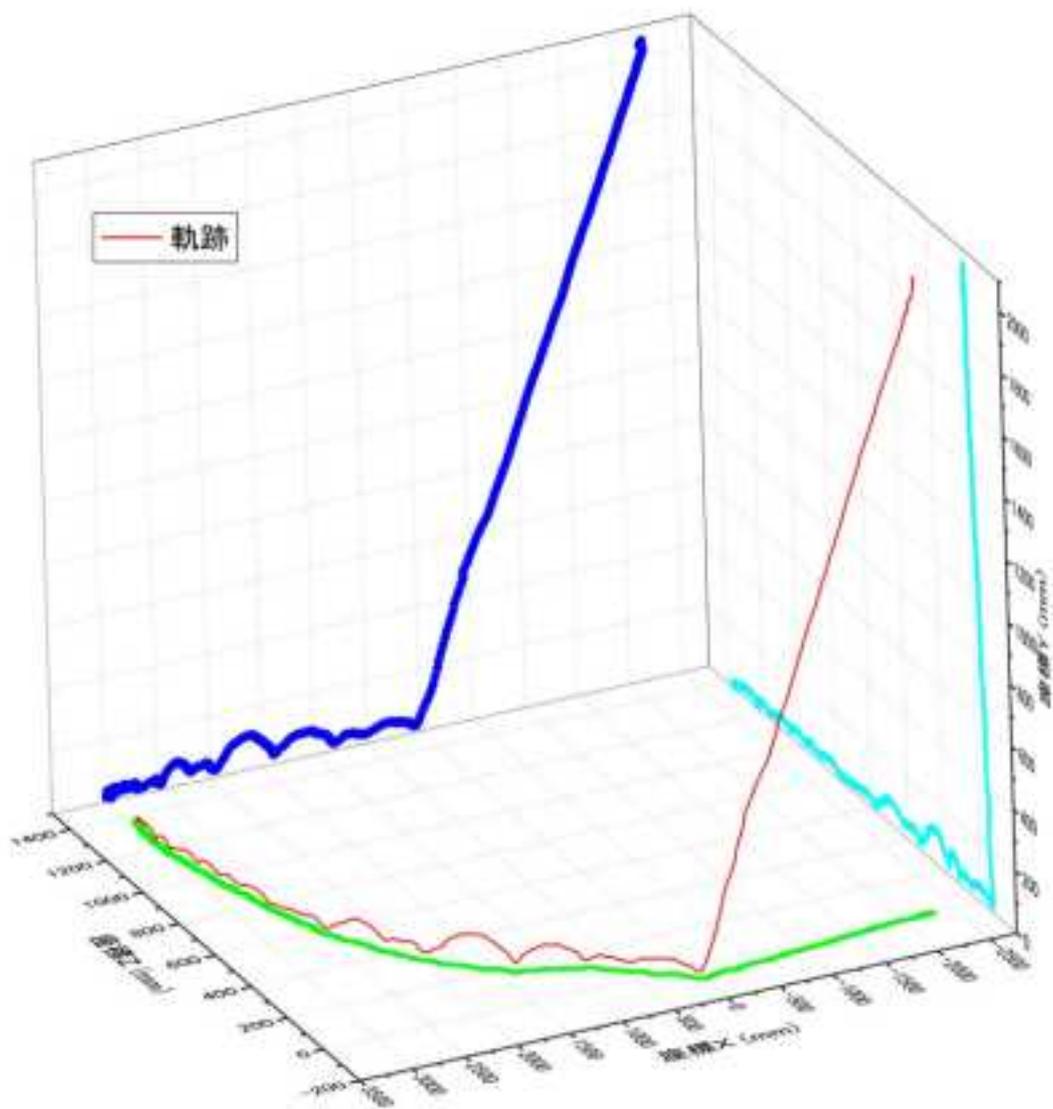


図 3.3.3.185 試番 4 ケース 16 三次元変位軌跡

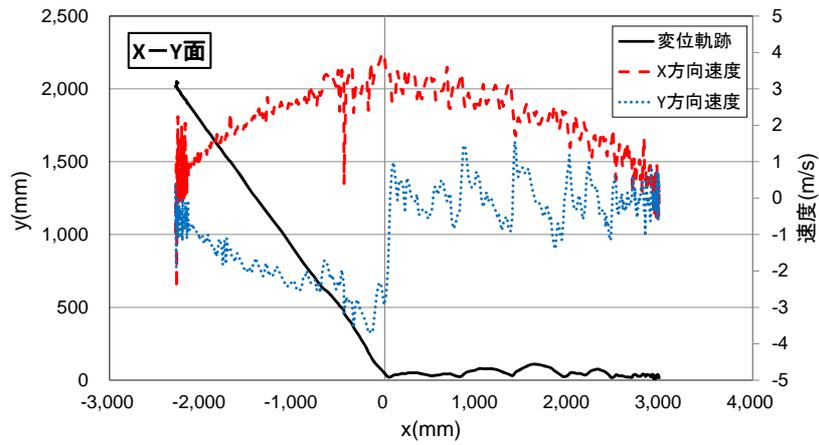


図 3.3.3.186 試番 4 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

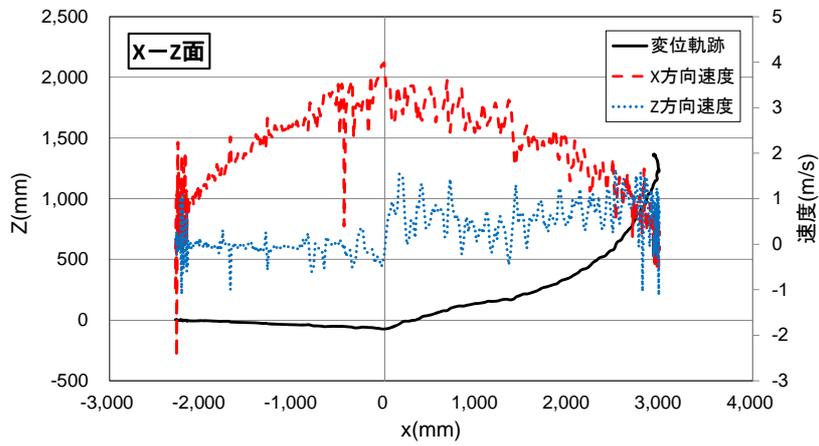


図 3.3.3.187 試番 4 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

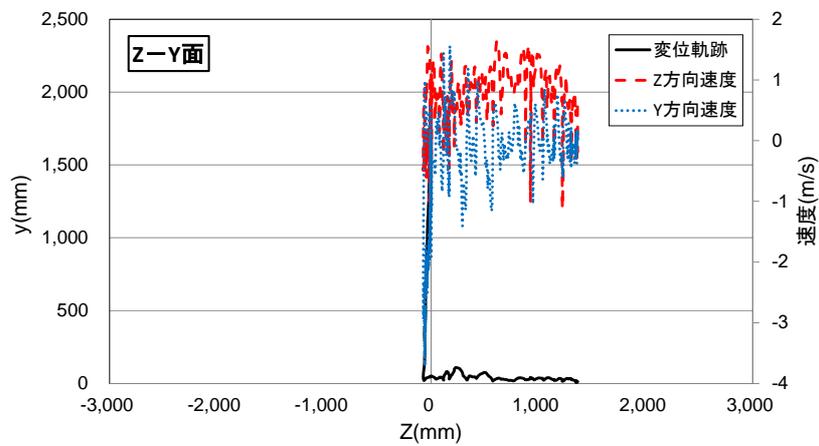


図 3.3.3.188 試番 4 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



図 3.3.3.189 試番 4 ケース 23 流路正面

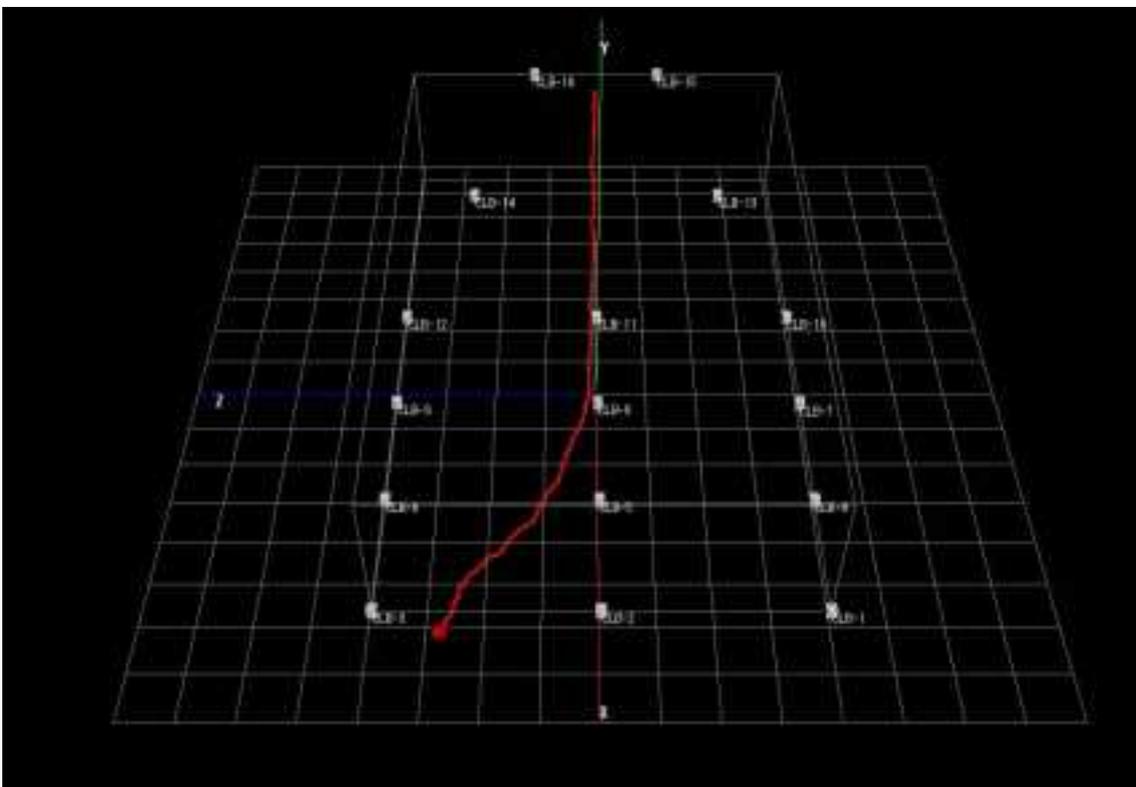


図 3.3.3.190 試番 4 ケース 23 流路正面 三次元メッシュ図

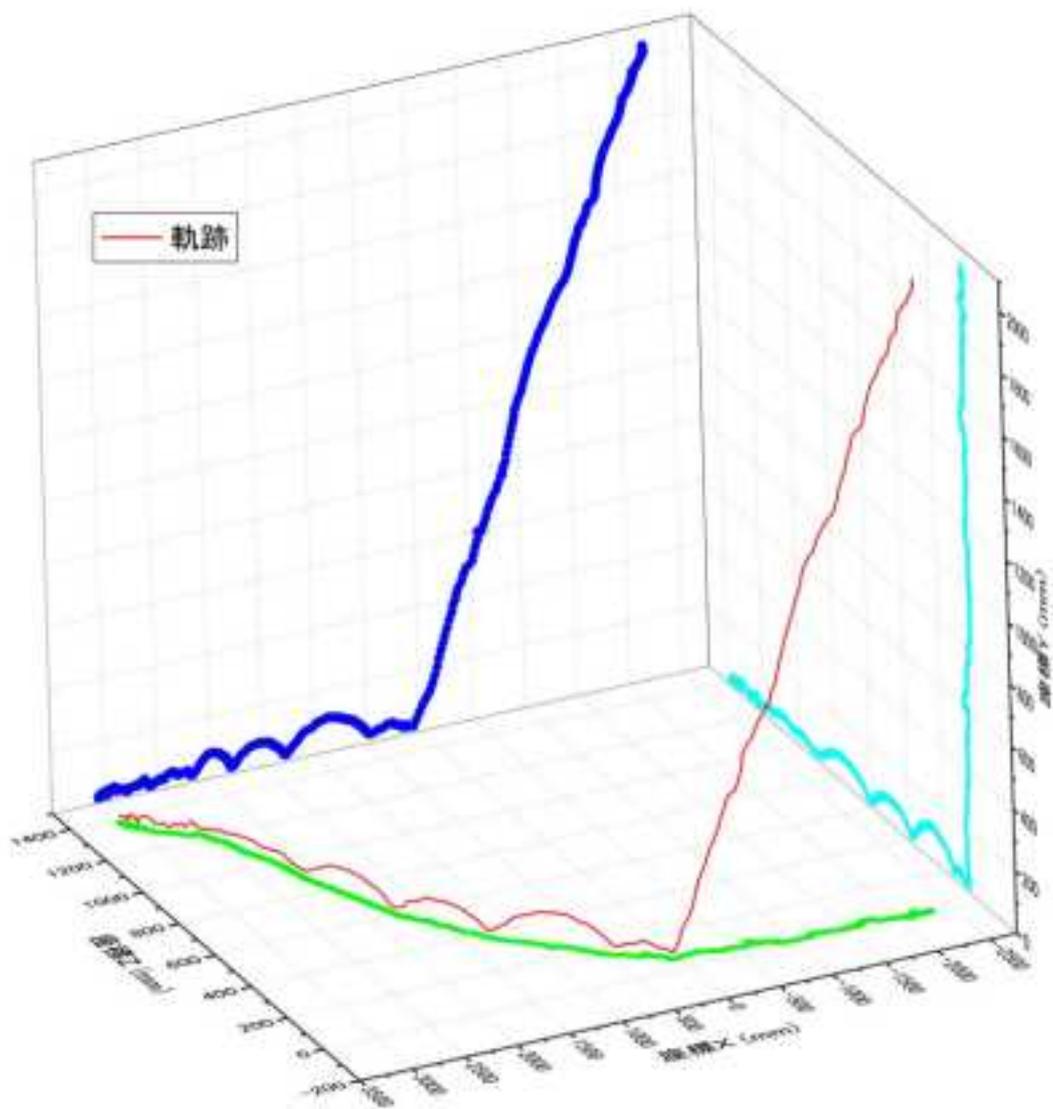


図 3.3.3.191 試番 4 ケース 23 三次元変位軌跡

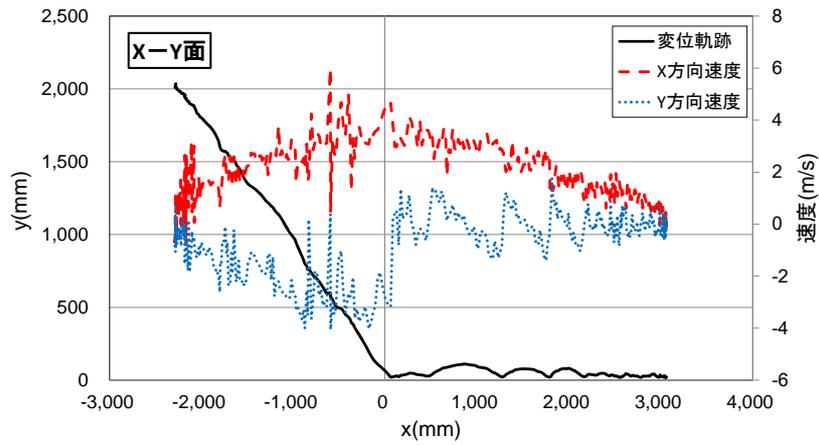


図 3.3.3.192 試番 4 ケース 23 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

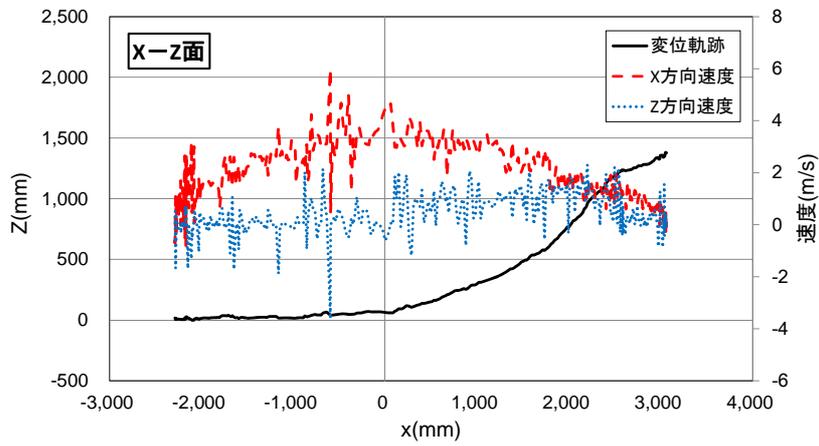


図 3.3.3.193 試番 4 ケース 23 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

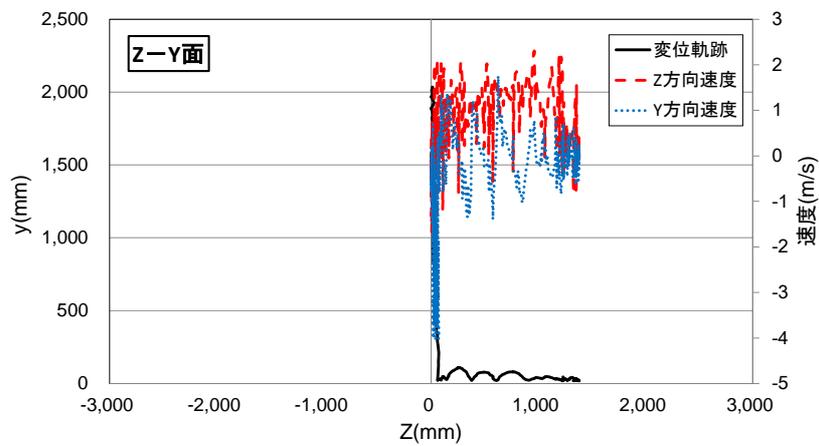


図 3.3.3.194 試番 4 ケース 23 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

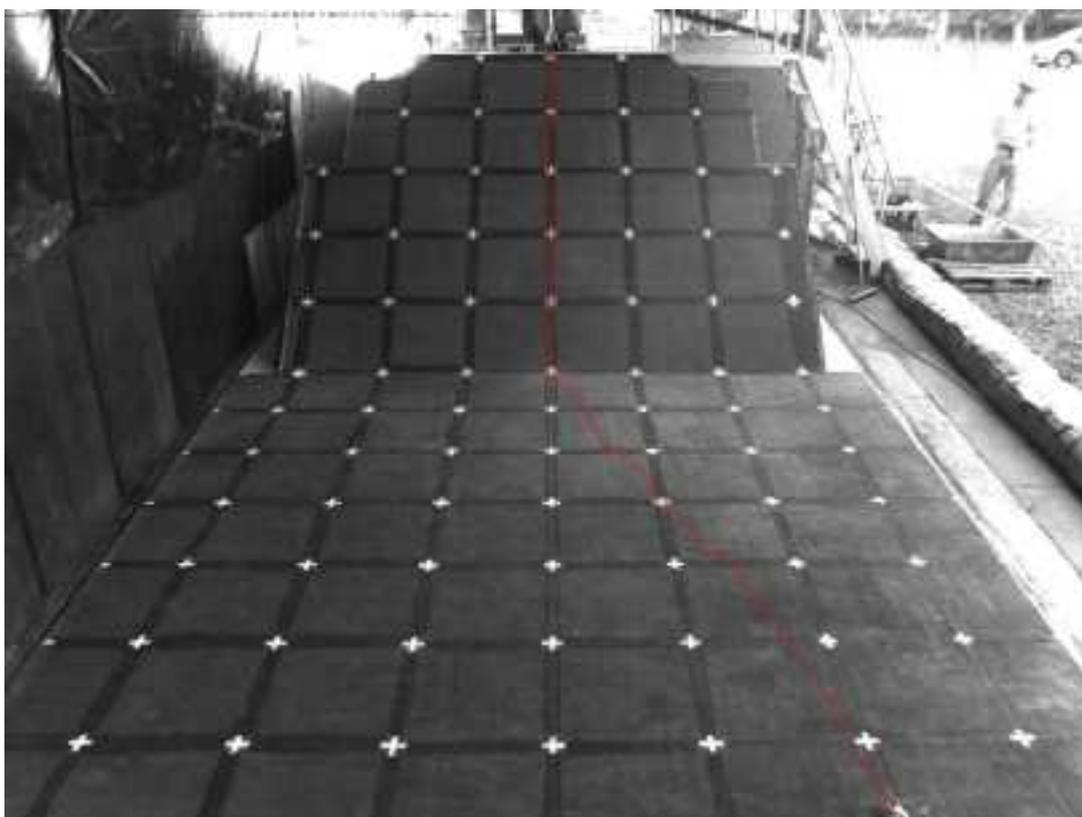


図 3.3.3.195 試番 4 ケース 27 流路正面

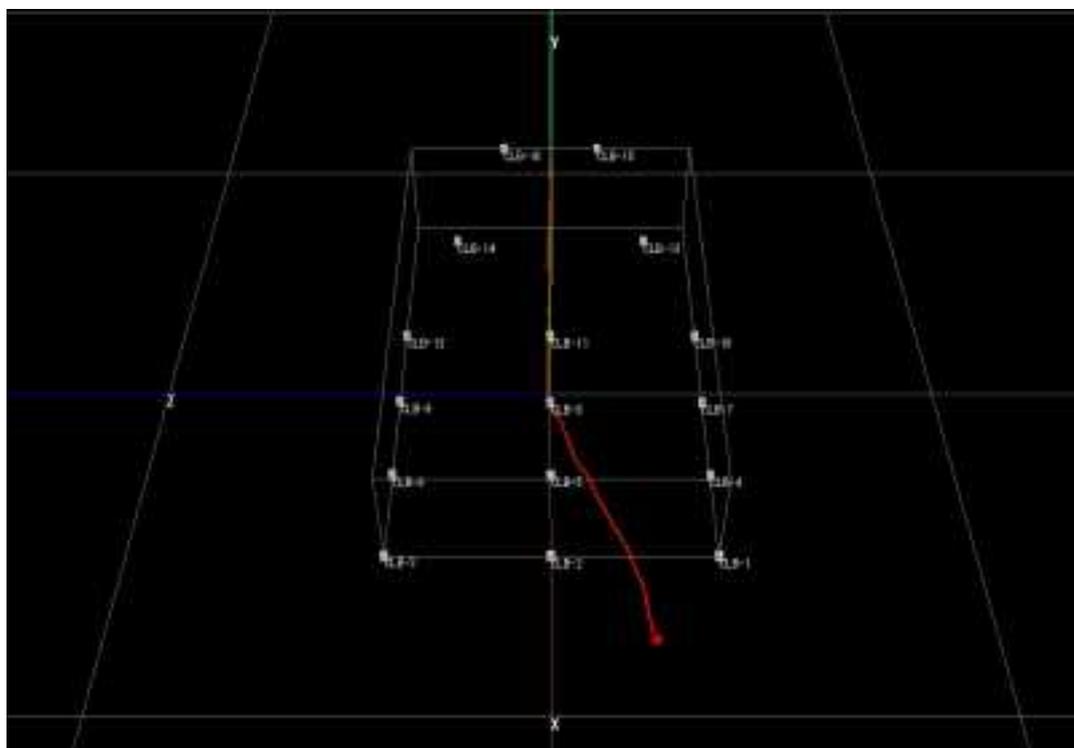


図 3.3.3.196 試番 4 ケース 27 流路正面 三次元メッシュ図

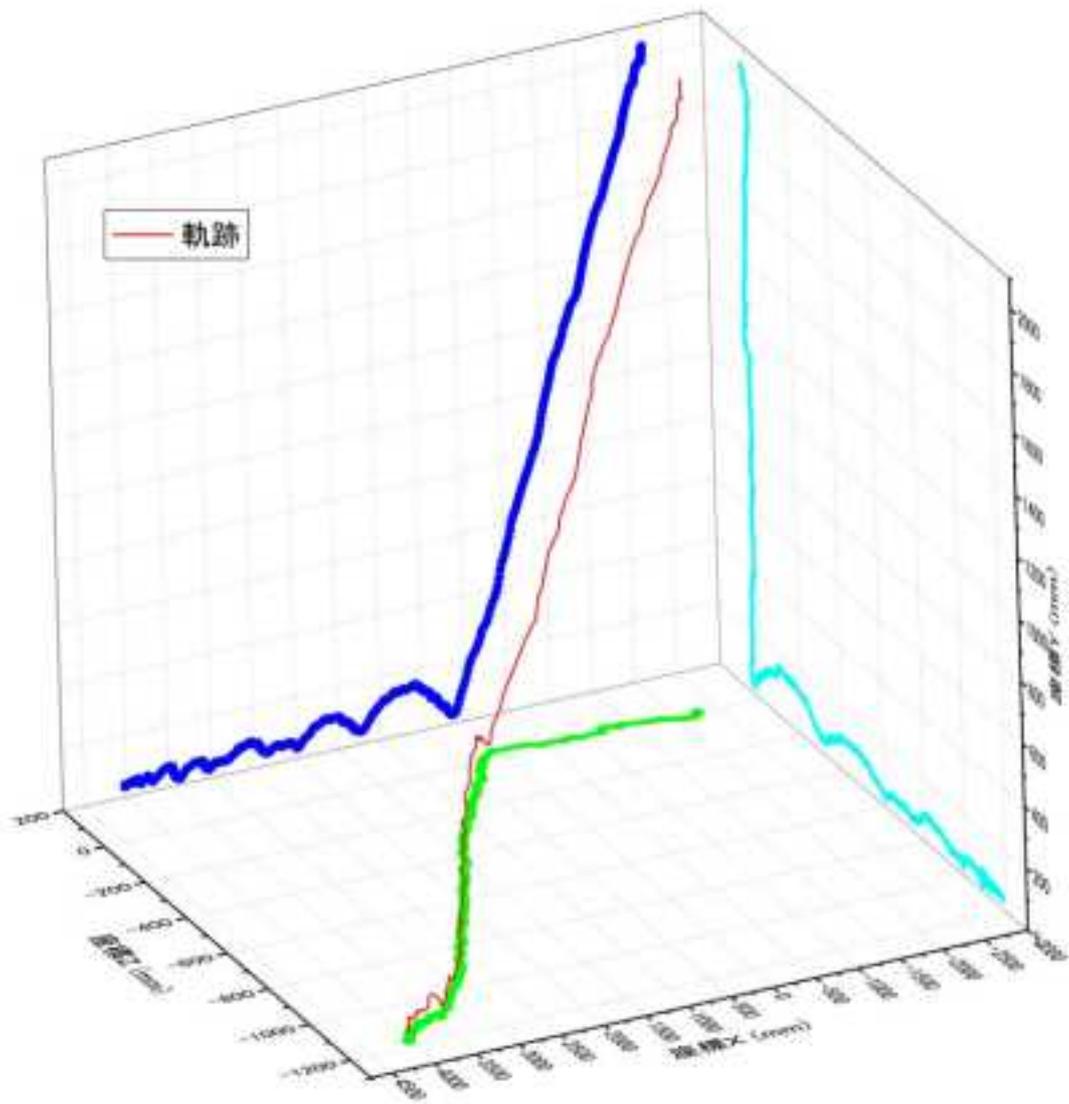


図 3.3.3.197 試番 4 ケース 27 三次元変位軌跡

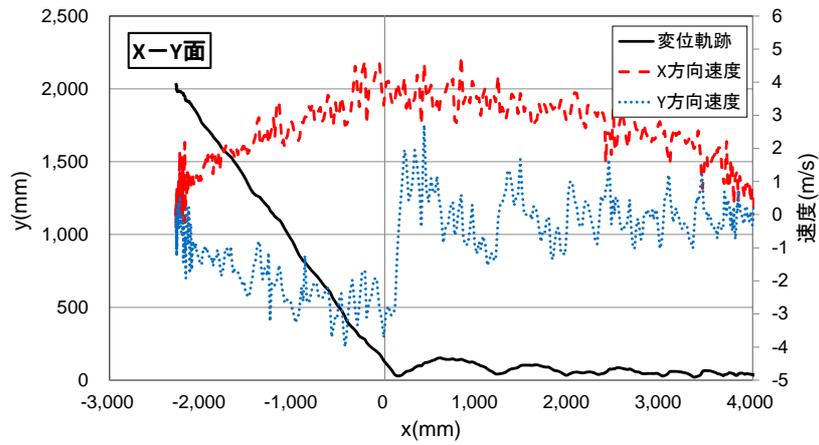


図 3.3.3.198 試番 4 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

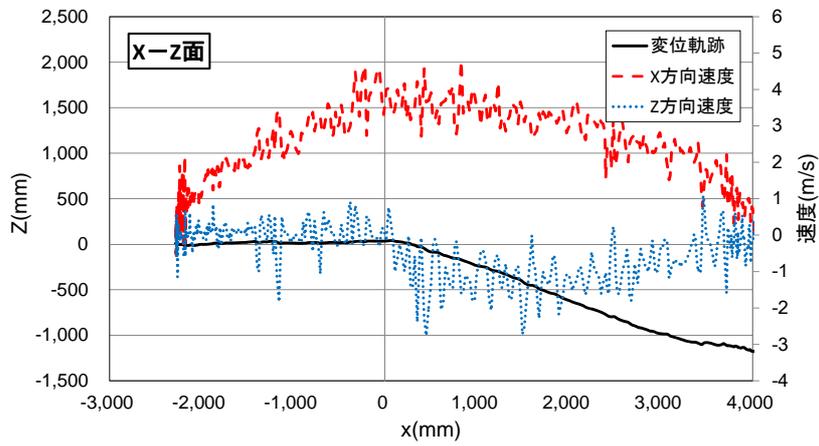


図 3.3.3.199 試番 4 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

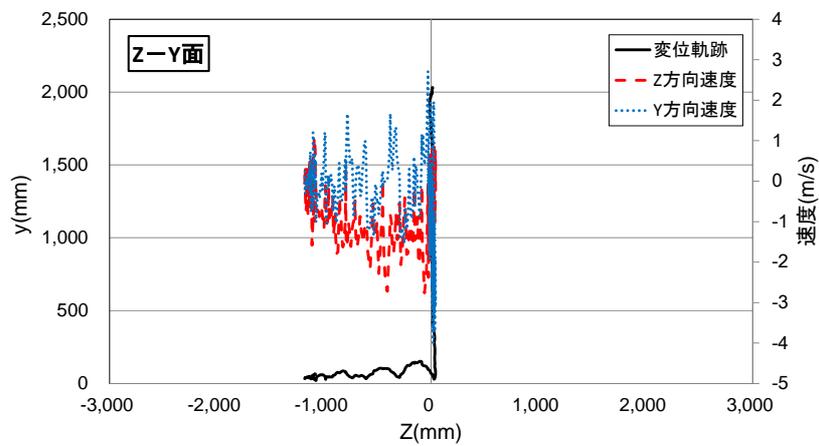


図 3.3.3.200 試番 4 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

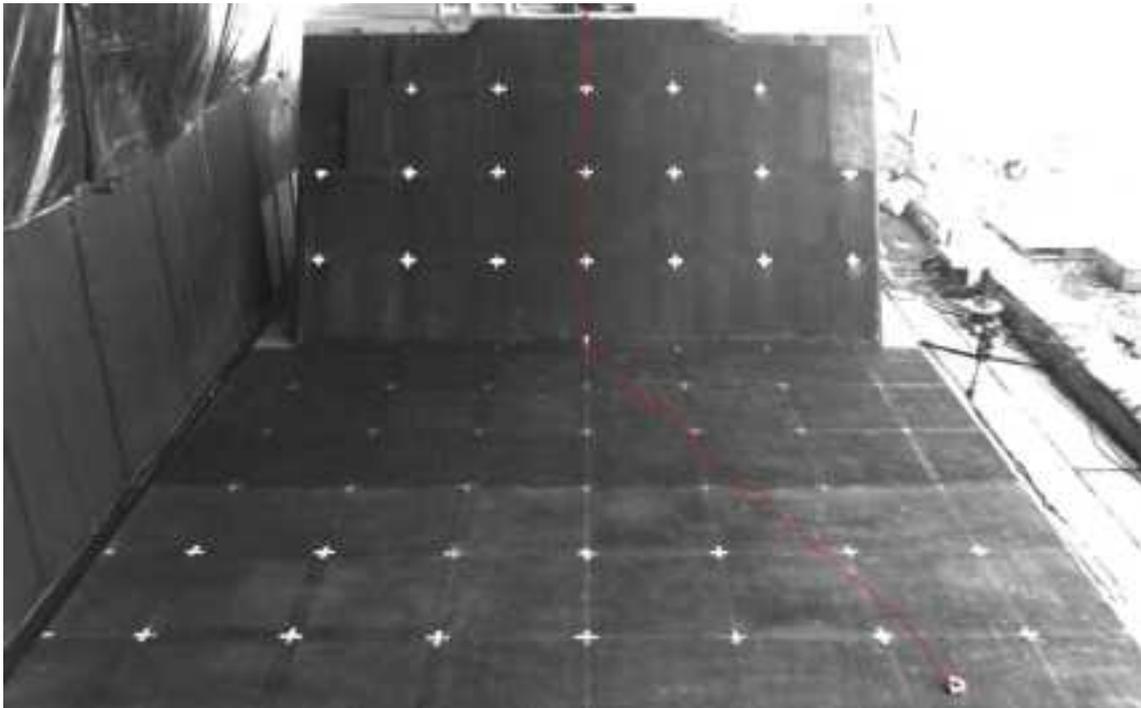


図 3.3.3.201 試番 5 ケース 10 流路正面

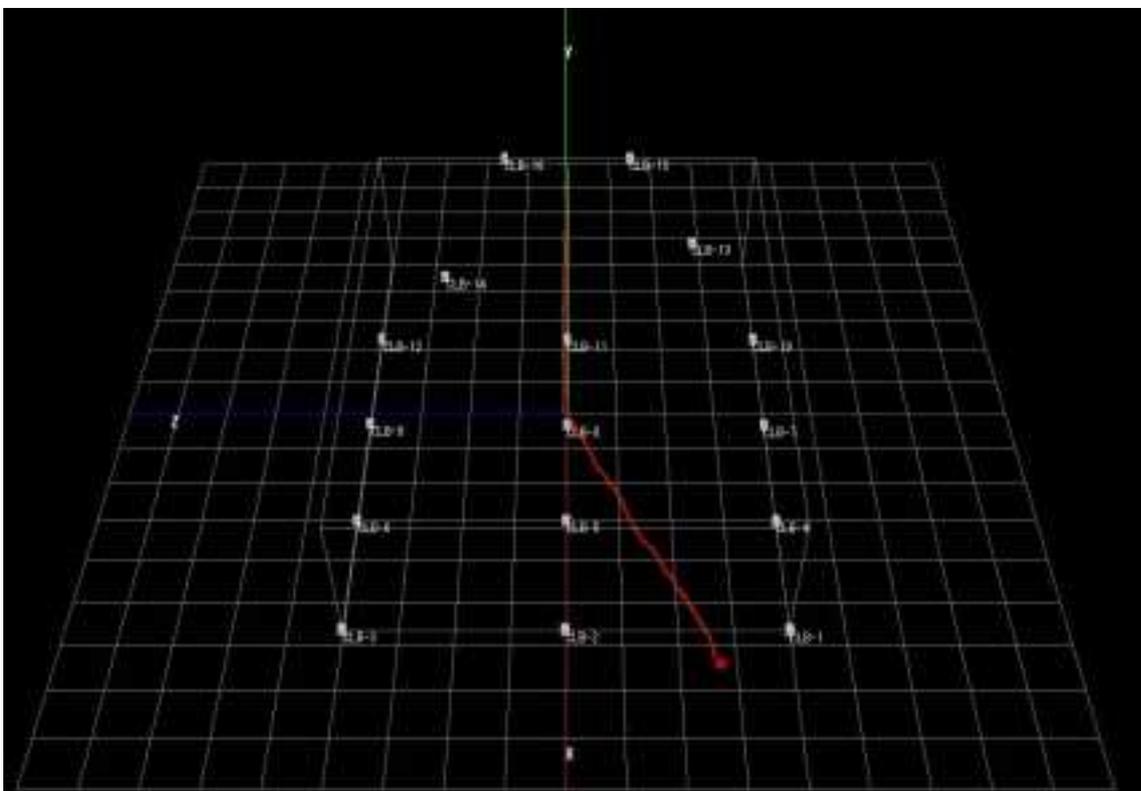


図 3.3.3.202 試番 5 ケース 10 流路正面 三次元メッシュ図

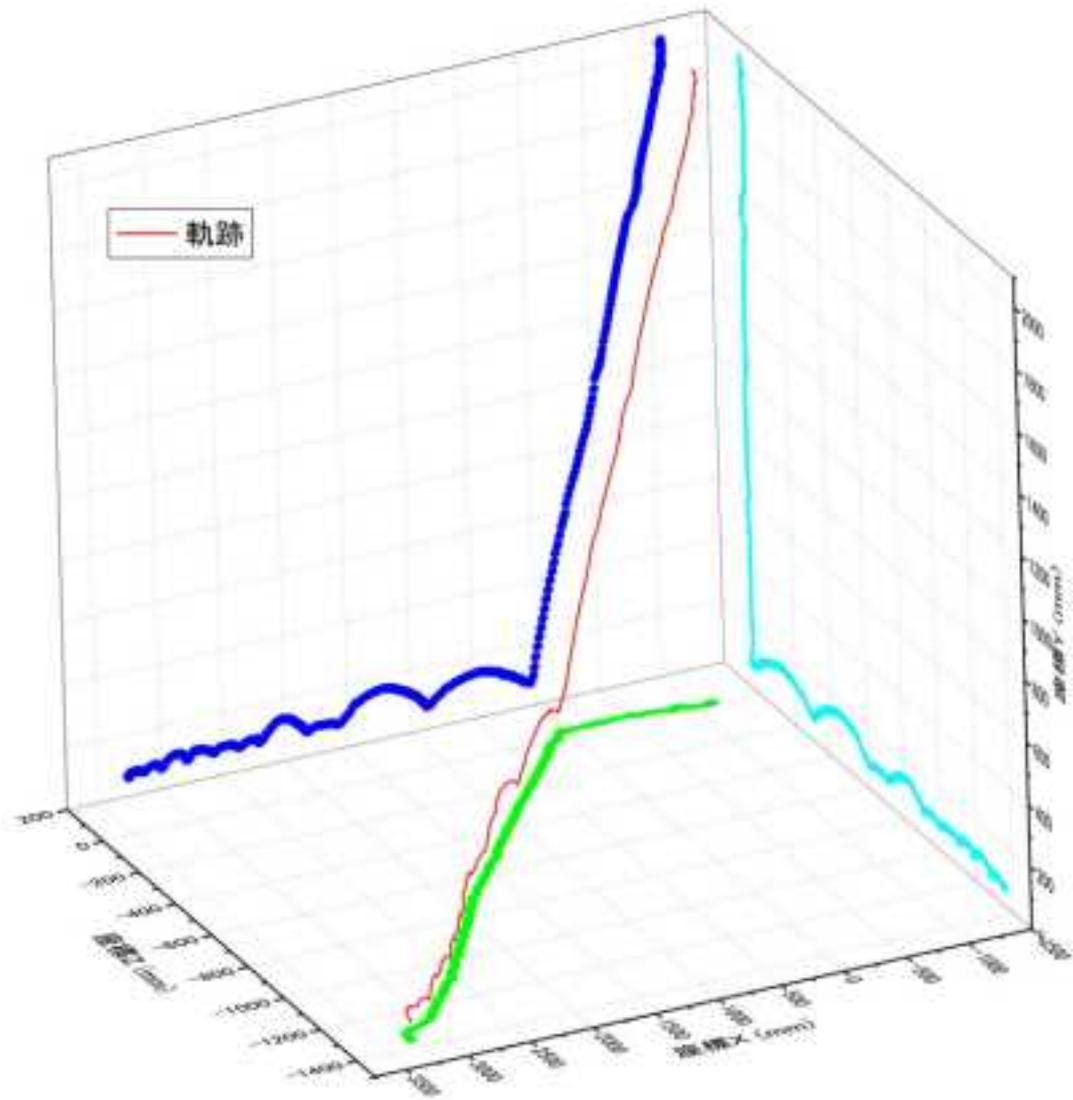


図 3.3.3.203 試番 5 ケース 10 三次元変位軌跡

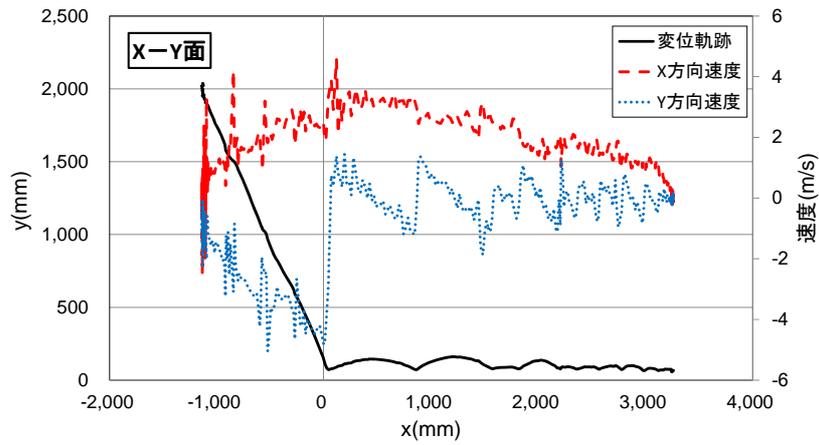


図 3.3.3.204 試番 5 ケース 10 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

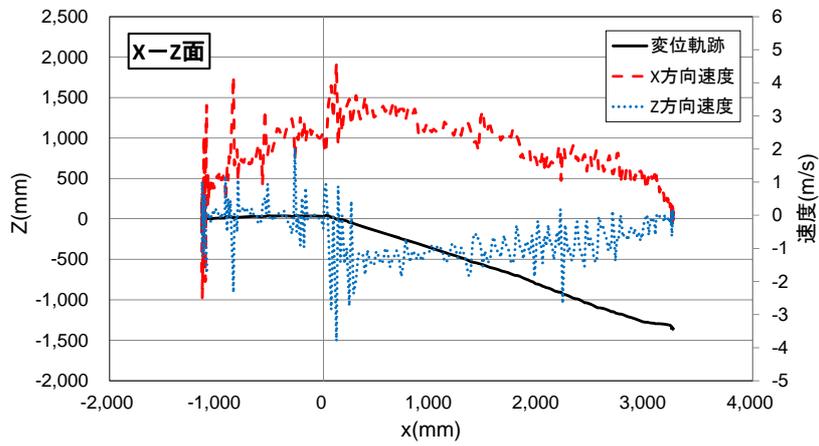


図 3.3.3.205 試番 5 ケース 10 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

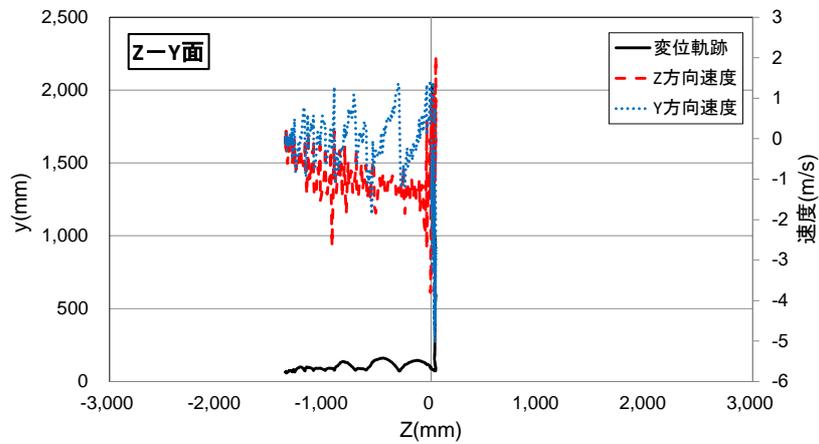


図 3.3.3.206 試番 5 ケース 10 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

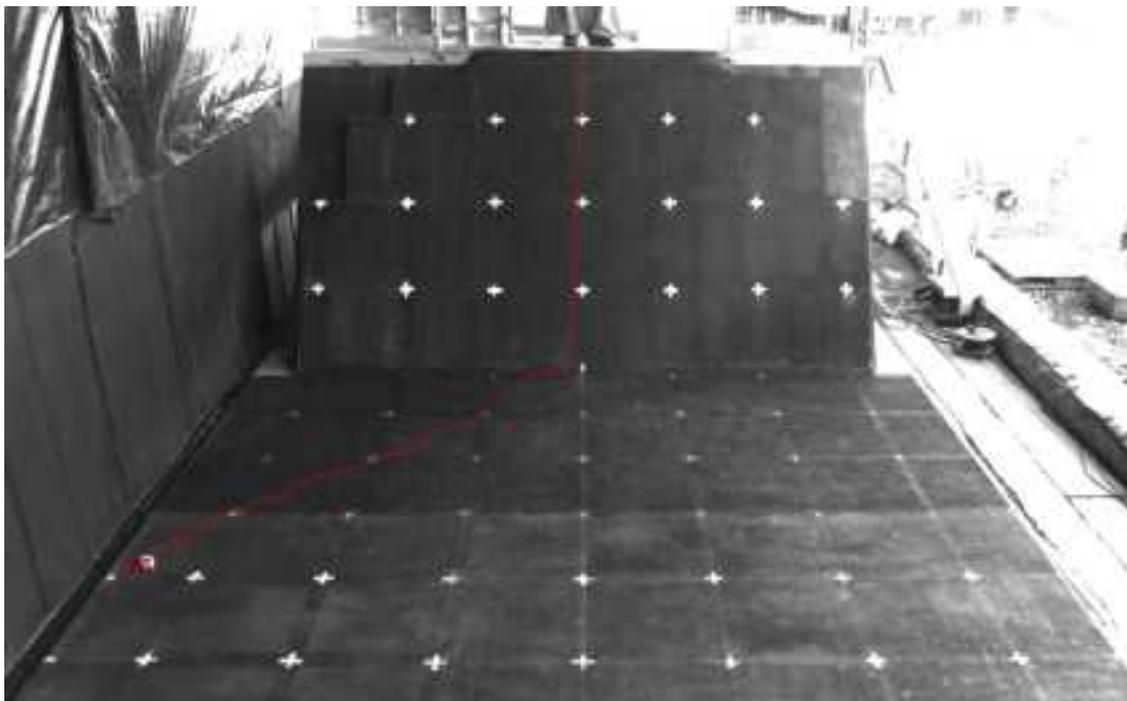


図 3.3.3.207 試番 5 ケース 37 流路正面

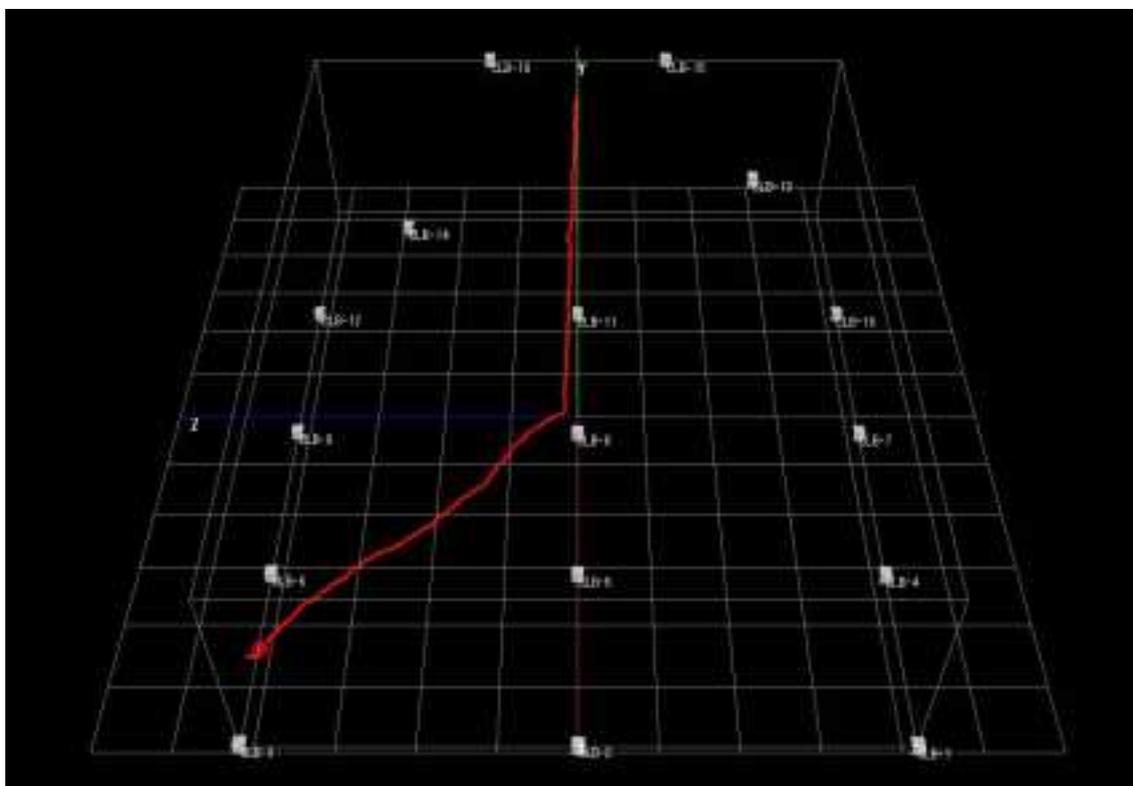


図 3.3.3.208 試番 5 ケース 37 流路正面 三次元メッシュ図

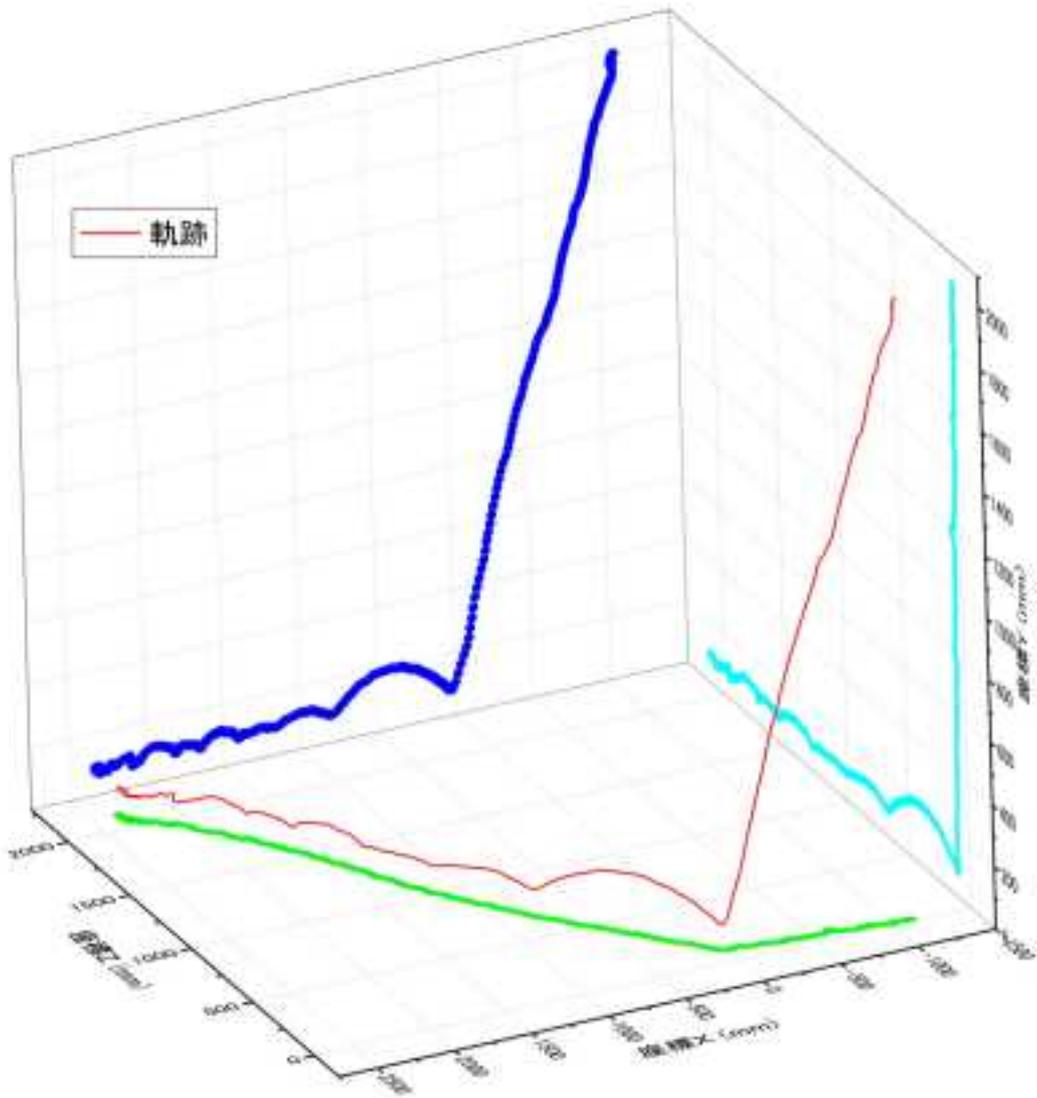


図 3.3.3.209 試番 5 ケース 37 三次元変位軌跡

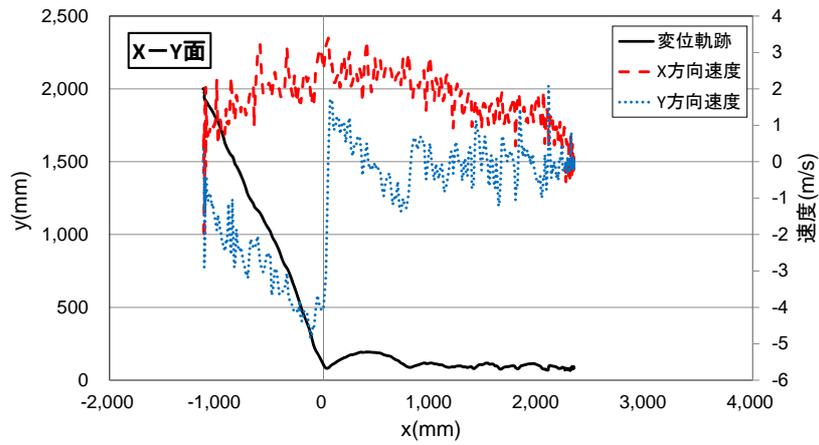


図 3.3.3.210 試番 5 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

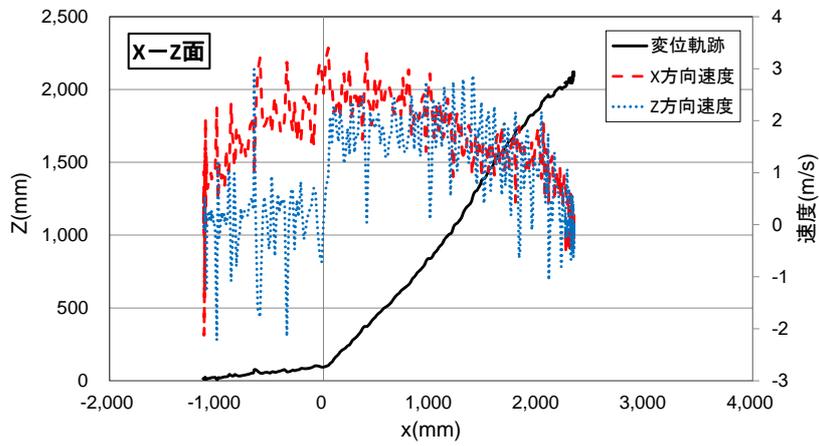


図 3.3.3.211 試番 5 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

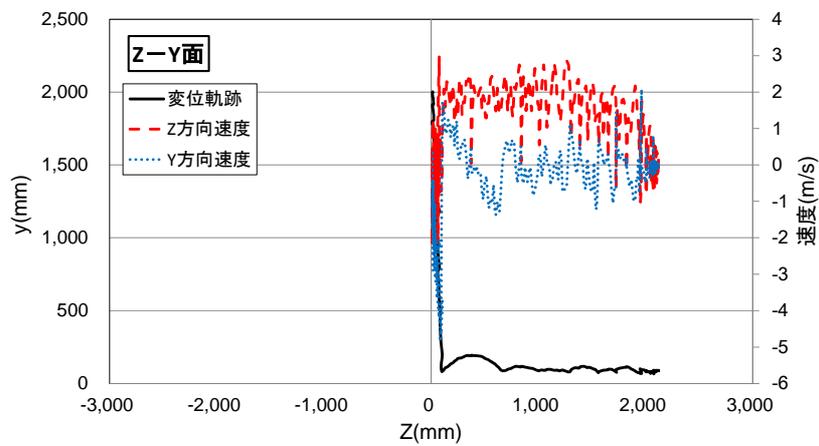


図 3.3.3.212 試番 5 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

表 3.3.3.5 速度一覧

試番	ケース	斜面勾配	粒子サイズ	落下高さ (m)	傾斜部の中間地点			傾斜部と平坦部との境界部			最大転動距離の1/2の地点			備考	
					X方向速度 (m/s)	Y方向速度 (m/s)	Z方向速度 (m/s)	X方向速度 (m/s)	Y方向速度 (m/s)	Z方向速度 (m/s)	X方向速度 (m/s)	Y方向速度 (m/s)	Z方向速度 (m/s)		
1	2	41度	粒子A	2	2.319	0.4335	-2.25	3.33	0.6705	-3.1275	1.1415	0.654	0.2085	H26年度実施	
	8				3.376	-1.805	0.951	3.748	-2.854	0.474	1.628	-0.300	1.016		
	12				3.529	-1.987	0.462	2.363	-4.287	0.564	1.604	-0.219	-1.030		
	18				2.620	-1.862	0.069	2.938	-4.001	0.532	2.019	-0.071	0.835		
	34				2.496	-2.397	0.053	3.169	-1.930	0.539	0.814	-0.416	0.522		
	37				1.831	-2.801	0.009	3.449	-2.681	-0.507	1.438	-0.902	0.015		
	40				2.742	0.060	-1.711	4.264	-0.174	-2.078	3.033	0.914	-0.635	H26年度実施	
2	11		41度	粒子A	0.5	1.252	-1.399	0.013	1.684	-1.366	-0.034	1.104	-0.228	-0.383	
	15					1.155	-1.122	0.006	1.936	-0.844	-0.918	1.050	0.547	-0.407	
	16					1.933	-1.391	-0.016	2.376	-1.636	-0.402	1.652	-0.550	0.034	
	26					1.472	-1.795	0.043	1.989	-1.767	-0.020	1.713	-0.445	0.431	
	27					1.532	0.013	-1.484	2.164	0.153	-1.888	1.842	-0.841	-0.277	H26年度実施 ※1参照
	30					1.633	-1.122	-0.037	1.037	0.351	0.066	1.031	-0.486	0.463	
3	5			41度	粒子B	1	1.309	-0.105	-1.554	2.072	0.472	-1.604	1.531	-0.348	0.266
	12	1.955					-1.658	0.001	2.750	-2.058	0.553	0.034	-1.000	0.036	
	14	1.369					-1.774	0.060	2.639	-1.718	-0.067	1.276	-0.023	0.444	
	16	1.989					-1.483	0.002	2.155	-3.116	0.144	1.118	-1.063	-0.557	
	29	1.870					0.405	-1.793	2.656	0.350	-2.688	1.746	0.249	0.265	H26年度実施
	34	2.123					-1.573	0.073	3.104	-1.560	0.447	2.730	-0.501	0.638	
	35	1.716					-0.579	-1.955	2.238	-0.812	-2.831	1.680	-0.566	-0.441	H26年度実施
4	11	41度			粒子B	2	1.913	-1.599	-0.026	2.451	-2.733	-0.046	1.323	0.192	0.376
	16		2.623				-0.127	-2.541	3.289	0.861	-3.787	1.719	-0.400	0.131	H26年度実施
	19		2.635				-0.078	-2.134	3.422	0.217	-2.654	2.060	0.431	0.681	H26年度実施
	23		3.446				-1.704	-0.502	3.922	-2.404	0.513	2.502	-0.381	0.700	
	27		2.830				0.017	-2.591	4.453	-0.607	-2.832	1.928	1.392	-0.220	H26年度実施
	33		2.783				-0.571	-1.752	3.998	-0.168	-2.892	2.948	-1.065	0.689	H26年度実施
	37		1.995				-2.924	0.081	3.496	-2.935	-0.494	1.505	-0.197	0.021	
5	6		60度	粒子B	2	2.430	-2.699	-0.071	3.398	-4.249	0.083	0.861	-0.071	0.051	
	10					1.888	-3.750	-0.015	3.136	-4.306	-0.015	2.099	-0.246	0.091	
	16					1.821	0.950	-5.040	2.533	-0.404	-4.783	1.412	-0.458	-0.017	H26年度実施
	18					1.778	-3.194	-0.021	3.045	-4.051	-0.021	1.162	0.006	-0.080	
	35					2.782	-3.425	0.022	2.728	-3.955	-0.441	2.243	-0.101	0.590	
	37					2.407	-3.372	-0.050	3.220	-3.969	-0.469	0.572	0.630	-0.049	
	40					2.357	-0.488	-2.928	2.525	0.083	-4.013	1.371	1.098	-0.491	H26年度実施
					2.606	-2.574	0.013	2.856	-4.064	-0.054	2.234	-5.275	0.507		

※1 傾斜部と平坦部境界点から2mまで転動していないため、最大到達点1.652mに対して半分の位置0.826mでの速度とした。  
 ※2 傾斜部と平坦部境界点から2mまで転動していないため、最大到達点1.388mに対して半分の位置0.694mでの速度とした。

## (2) 到達距離と速度の関係に関するデータ整理

### ①作業実施ケース

原子力規制庁より貸与した過年度に整理した岩塊単体の 12 ケースに加えて、今回整理した岩塊単体の 23 ケースを合わせた計 35 ケースについて、岩塊単体の到達距離と速度の関係に関して試験結果の整理を実施した。表 3.3.3.6～表 3.3.3.7 にデータの整理を行った内容の一覧表を示す。

表 3.3.3.6 データ整理内容一覧 (試番 1~試番 3)

試番	ケース	斜面勾配 (度)	砕石の種類	落下高さ (m)	試験日	撮影データの有無				保存フォルダ番号	画像解析 データ整理1 の有無	データ整理2 の有無	備考
						撮影位置							
						正面	斜め	側面	回転角用				
1	41		砕石A	2	2014/11/18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	070	-	-	
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	071	前年度実施	<input type="checkbox"/>	前年度実施
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	072	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	073	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	074	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	075	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	076	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	077	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	078	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	079	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	011	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	012	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	013	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	014	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	015	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	016	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	017	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	018	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	019	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	020	-	-	-
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	021	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	022	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	023	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	024	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	025	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	026	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	027	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	028	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	029	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	030	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	031	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	032	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	033	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	034	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	035	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	036	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	037	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	038	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	039	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	040	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	040	-	前年度実施	前年度実施						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	028	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	029	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	030	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	031	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	032	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	033	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	034	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	035	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	036	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	037	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	038	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	039	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	040	-	前年度実施	前年度実施						
2	41		砕石B	0.5	2014/11/18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	029	-	-	
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	030	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	031	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	032	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	033	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	034	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	035	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	036	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	037	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	038	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	039	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	040	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	041	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	042	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	043	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	044	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	045	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	046	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	047	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	048	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	049	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	050	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	051	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	052	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	053	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	054	-	前年度実施	前年度実施
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	055	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	056	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	057	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	058	-	前年度実施	前年度実施
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	059	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	060	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	061	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	062	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	063	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	064	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	065	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	066	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	067	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	068	-	-	-
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	069	-	-	-						
3	41		砕石B	1	2014/11/17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	011	-	-	
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	012	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	013	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	014	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	015	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	016	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	017	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	018	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	019	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	020	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	021	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	022	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	023	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	024	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	025	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	026	-	前年度実施	前年度実施
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	027	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	028	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	029	-	-	-
						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	030	-	-	-
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	031	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	032	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	033	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	034	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	035	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	011	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	012	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	013	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	014	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	015	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	016	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	017	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	018	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	019	-	前年度実施	前年度実施	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	020	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	021	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	022	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	023	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	024	-	-	-	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	025	-	-	-	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	026	-	-	-						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	027	-	-	-						

表 3.3.3.7 データ整理内容一覧 (試番 4~試番 5)

試番	ケース	斜面勾配 (度)	砕石の種類	落下高さ (m)	試験日	撮影データの有無				保存フォルダ番号	画像解析 データ整理  の有無	画像解析 データ整理  の有無	備考
						撮影位置							
						正面	斜め	側面	回転角用				
4	41		砕石B	2	2014/11/14	○	○	○	-	011	-	-	
						○	○	○	-	012	-	-	
						○	○	○	-	013	-	-	
						○	○	○	-	014	-	-	
						○	○	○	-	015	-	-	
						○	○	○	-	016	-	-	
						○	○	○	-	017	-	-	
						○	○	○	-	018	-	-	
						○	○	○	-	019	-	-	撮影に失敗したため、画像解析には使用しない
						○	○	○	-	020	-	-	
						○	○	○	-	021	前年度実施	○	前年度実施
						○	○	○	-	022	-	-	
						○	○	○	-	023	-	-	
						○	○	○	-	024	-	-	
						○	○	○	-	025	-	-	
						○	○	○	-	026	前年度実施	○	前年度実施
						○	○	○	-	027	-	-	
						○	○	○	-	028	-	-	
						○	○	○	-	029	○	○	
						○	○	○	-	030	-	-	
						○	○	○	-	031	-	-	
						○	○	○	-	032	-	-	
						○	○	○	-	033	前年度実施	○	前年度実施
						○	○	○	-	034	-	-	
						○	○	○	-	035	-	-	
						○	○	○	-	036	-	-	
						○	○	○	-	037	前年度実施	○	前年度実施
						○	○	○	-	038	-	-	
						○	○	○	-	039	-	-	
						○	○	○	-	040	-	-	
						○	○	○	-	041	-	-	
						○	○	○	-	042	-	-	
						○	○	○	-	043	○	○	
						○	○	○	-	044	-	-	
						○	○	○	-	045	-	-	
						○	○	○	-	046	○	○	
						○	○	○	-	047	-	-	
						-	-	-	-	○	001	-	-
						-	-	-	-	○	002	-	-
						-	-	-	-	○	003	-	-
						-	-	-	-	○	004	-	-
						-	-	-	-	○	005	-	-
-	-	-	-	○	006	-	-						
-	-	-	-	○	007	-	-						
○	○	○	-	011	○	○							
○	○	○	-	012	-	-							
○	○	○	-	013	-	-							
○	○	○	-	014	-	-							
○	○	○	-	015	前年度実施	○	前年度実施						
○	○	○	-	016	-	-							
○	○	○	-	017	-	-							
○	○	○	-	018	-	-							
○	○	○	-	019	-	-							
○	○	○	-	020	-	-							
○	○	○	-	021	○	○							
○	○	○	-	022	-	-							
○	○	○	-	023	○	○							
○	○	○	-	024	-	-							
○	○	○	-	025	-	-							
○	○	○	-	026	-	-							
○	○	○	-	027	-	-							
○	○	○	-	028	-	-							
○	○	○	-	029	-	-							
○	○	○	-	030	-	-							
○	○	○	-	031	-	-							
○	○	○	-	032	-	-							
○	○	○	-	033	-	-							
○	○	○	-	034	-	-							
○	○	○	-	035	-	-							
○	○	○	-	036	-	-							
○	○	○	-	037	-	-							
○	○	○	-	038	-	-							
○	○	○	-	039	-	-							
○	○	○	-	040	○	○							
○	○	○	-	041	-	-							
○	○	○	-	042	前年度実施	○	前年度実施						
○	○	○	-	043	-	-							
○	○	○	-	044	-	-							
○	○	○	-	045	-	-							
-	-	-	-	○	002	-	-						
-	-	-	-	○	003	-	-						
-	-	-	-	○	004	-	-						
5	60		砕石B	2	2014/12/22	○	○	○	-	007	-	-	
						○	○	○	-	011	○	○	
						○	○	○	-	012	-	-	
						○	○	○	-	013	-	-	
						○	○	○	-	014	-	-	
						○	○	○	-	015	前年度実施	○	前年度実施
						○	○	○	-	016	-	-	
						○	○	○	-	017	-	-	
						○	○	○	-	018	-	-	
						○	○	○	-	019	-	-	
						○	○	○	-	020	-	-	
						○	○	○	-	021	○	○	
						○	○	○	-	022	-	-	
○	○	○	-	023	-	-							
○	○	○	-	024	○	○							
○	○	○	-	025	-	-							
○	○	○	-	026	-	-							
○	○	○	-	027	-	-							
○	○	○	-	028	-	-							
○	○	○	-	029	-	-							
○	○	○	-	030	-	-							
○	○	○	-	031	-	-							
○	○	○	-	032	-	-							
○	○	○	-	033	-	-							
○	○	○	-	034	-	-							
○	○	○	-	035	-	-							
○	○	○	-	036	-	-							
○	○	○	-	037	-	-							
○	○	○	-	038	-	-							
○	○	○	-	039	-	-							
○	○	○	-	040	○	○							
○	○	○	-	041	-	-							
○	○	○	-	042	前年度実施	○	前年度実施						
○	○	○	-	043	-	-							
○	○	○	-	044	-	-							
○	○	○	-	045	-	-							
-	-	-	-	○	002	-	-						
-	-	-	-	○	003	-	-						
-	-	-	-	○	004	-	-						
-	-	-	-	○	004	-	-						
-	-	-	-	○	003	-	-						
-	-	-	-	○	004	-	-						

## ②試験結果の整理作業

以下の項目について試験結果の整理を行った。なお、到達距離については、図 3.3.3.213 の通りとした。

- x 方向の斜面部の最大速度  $V_{x_{max}}$  と x 方向の到達距離の関係
- x 方向の O 点における速度  $V_{x0}$  と x 方向の到達距離の関係
- x 方向の斜面部中間地点での速度と x 方向の到達距離の関係
- x 方向の最大転動距離の 1/2 の地点での速度と x 方向の到達距離の関係
- z 方向の斜面部の最大速度  $V_{z_{max}}$  と z 方向の到達距離の関係
- z 方向の O 点における速度  $V_{z0}$  と z 方向の到達距離の関係
- z 方向の斜面部中間地点での速度と z 方向の到達距離の関係
- z 方向の最大転動距離の 1/2 の地点での速度と z 方向の到達距離の関係

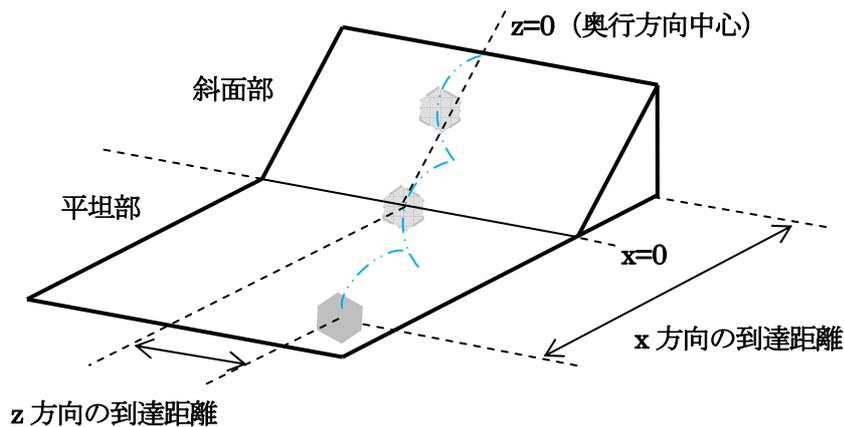


図 3.3.3.213 岩塊の到達距離の定義

## ③試験結果

x 方向の斜面部の最大速度  $V_{x_{max}}$  と x 方向の到達距離の関係図を図 3.3.3.214～図 3.3.3.216 に、x 方向の O 点における速度  $V_{x0}$  と x 方向の到達距離の関係図を図 3.3.3.217～図 3.3.3.219 に、x 方向の斜面部中間地点の速度と x 方向の到達距離の関係図を～に、x 方向の最大転動距離の 1/2 の地点での速度と x 方向の到達距離の関係図を～に、z 方向の斜面部の最大速度  $V_{z_{max}}$  と z 方向の到達距離の関係図を図 3.3.3.226～図 3.3.3.228 に、z 方向の O 点における速度  $V_{z0}$  と z 方向の到達距離の関係図を図 3.3.3.229～図 3.3.3.231 に、z 方向の斜面部中間地点の速度と z 方向の到達距離の関係図を～に、z 方向の最大転動距離の 1/2 の地点での速度と z 方向の到達距離の関係図を～に示す。

粒子 A 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 2.0m

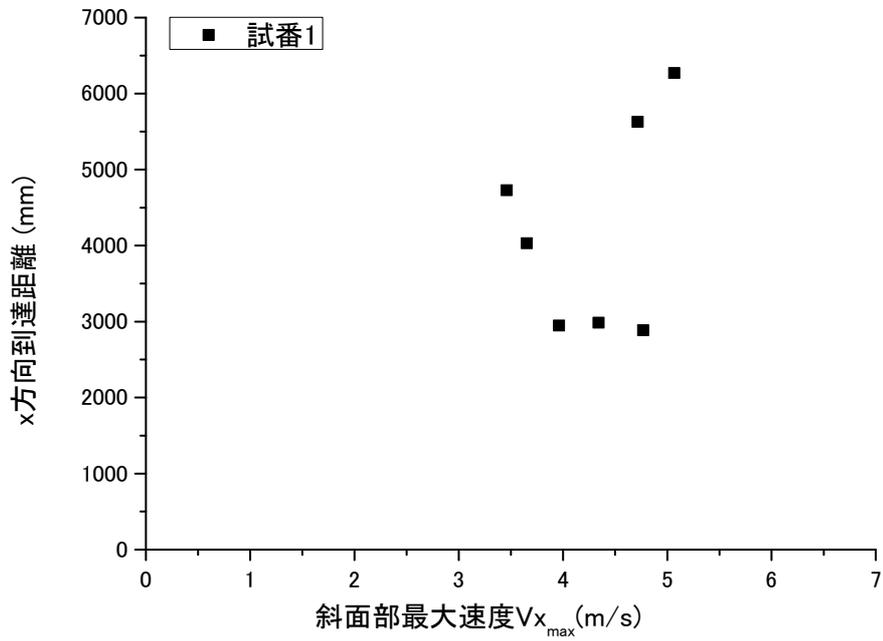


図 3.3.3.214 x 方向の斜面部の最大速度  $V_{x_{max}}$  と x 方向の到達距離の関係図 (試番 1)

粒子 B 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

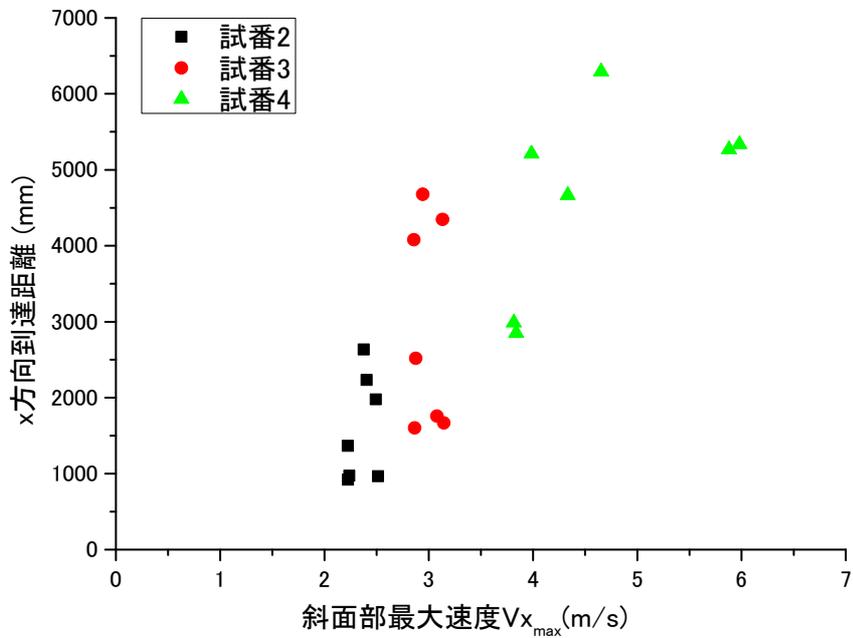


図 3.3.3.215 x 方向の斜面部の最大速度  $V_{x_{max}}$  と x 方向の到達距離の関係図 (試番 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 60 度 落下高さ 2.0m

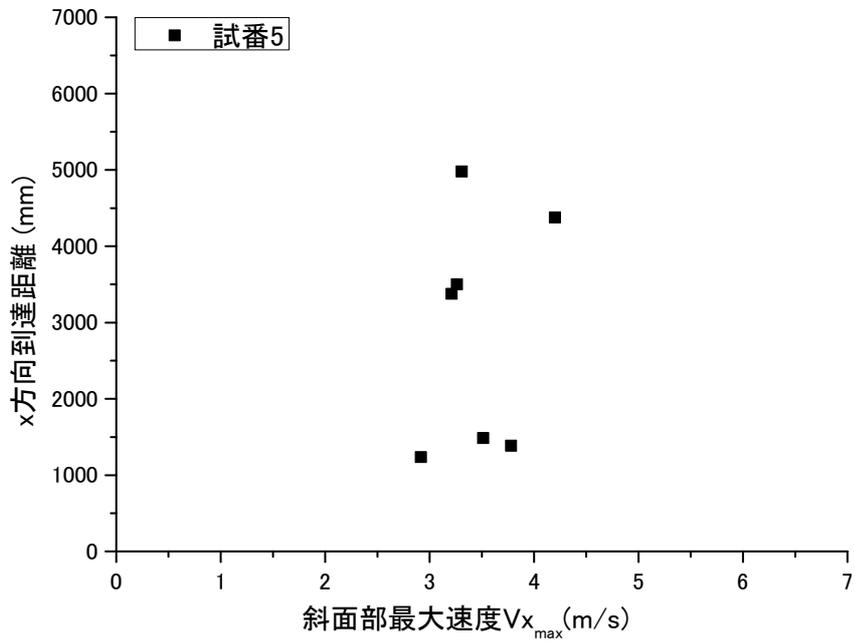


図 3.3.3.216 x 方向の斜面部の最大速度  $V_{x_{max}}$  と x 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

粒子 A 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 2.0m

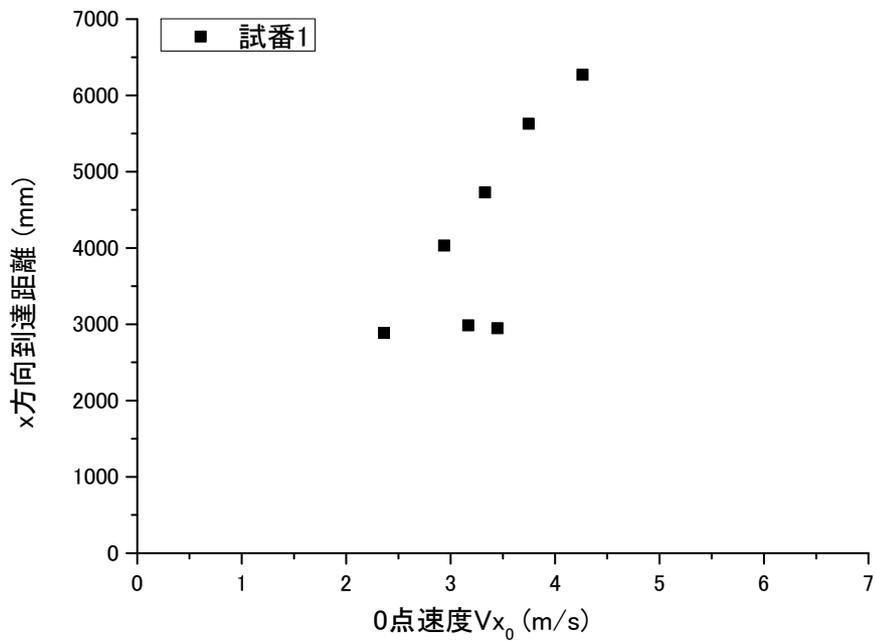


図 3.3.3.217 x 方向の O 点における速度  $V_{x_0}$  と x 方向の到達距離の関係図 (試番 1)

粒子 B 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

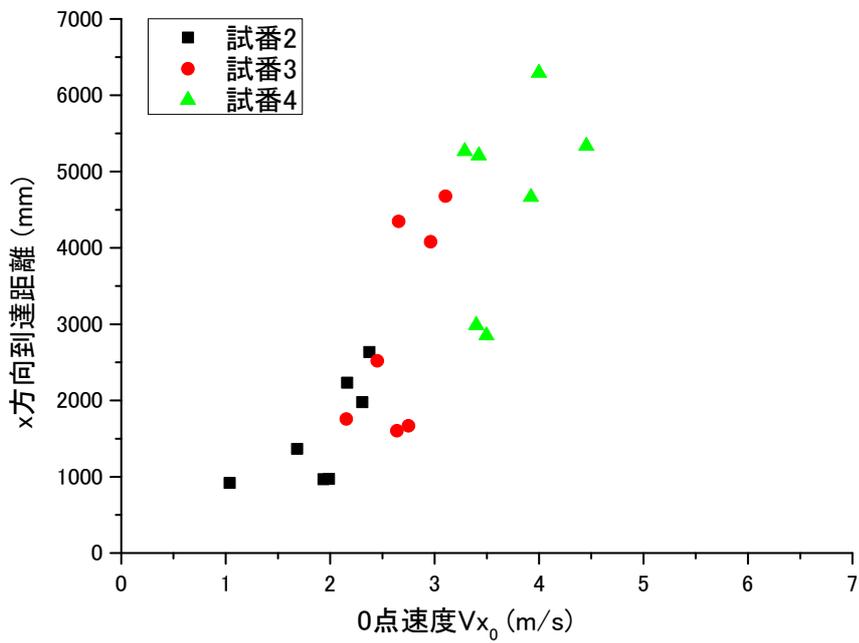


図 3.3.3.218 x 方向の O 点における速度  $V_{x_0}$  と x 方向の到達距離の関係図 (試番 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 60 度 落下高さ 2.0m

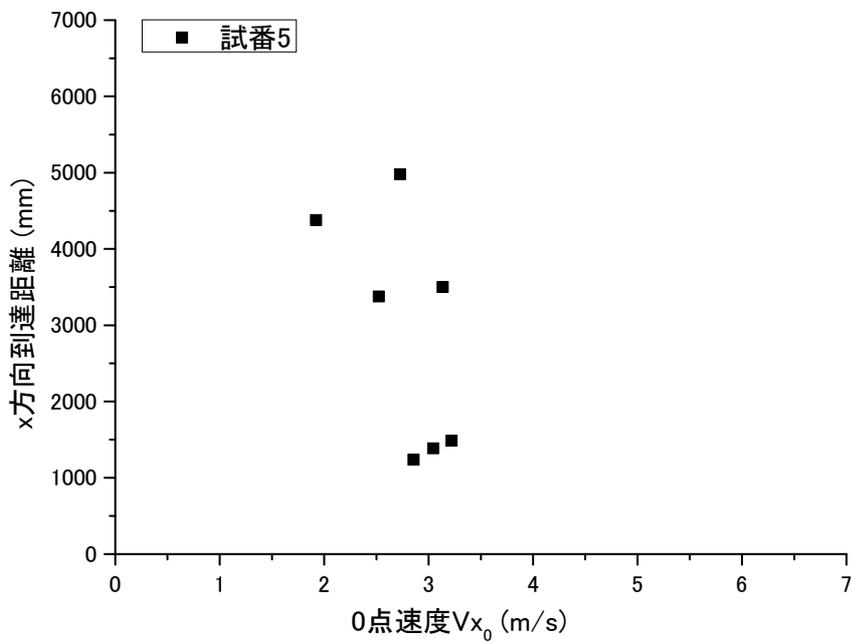


図 3.3.3.219 x 方向の O 点における速度  $V_{x_0}$  と x 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

粒子A 斜面傾斜角 41度 落下高さ 2.0m

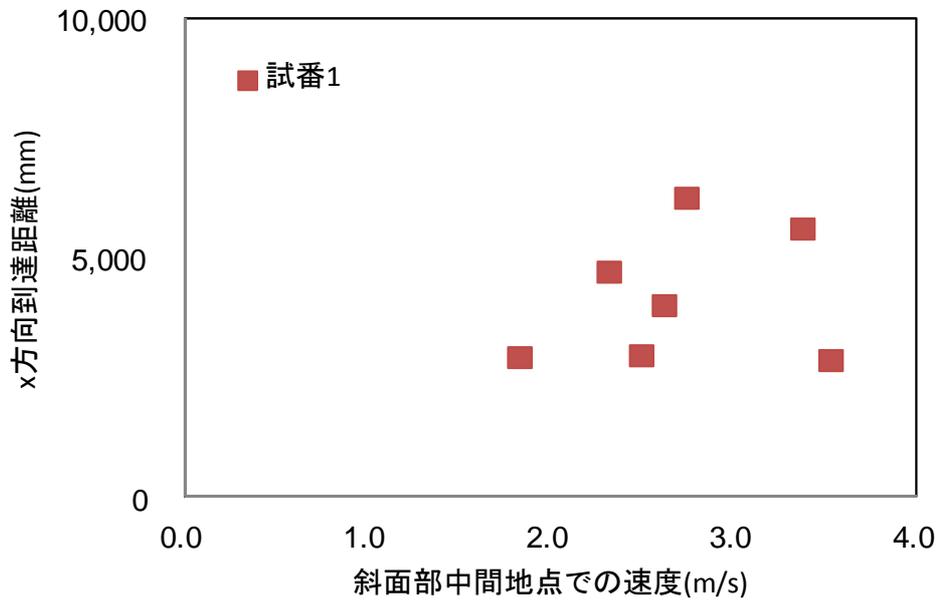


図 3.3.3.220 x 方向の斜面部中間地点の速度と x 方向の到達距離の関係図 (試番 1)

粒子B 斜面傾斜角 41度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

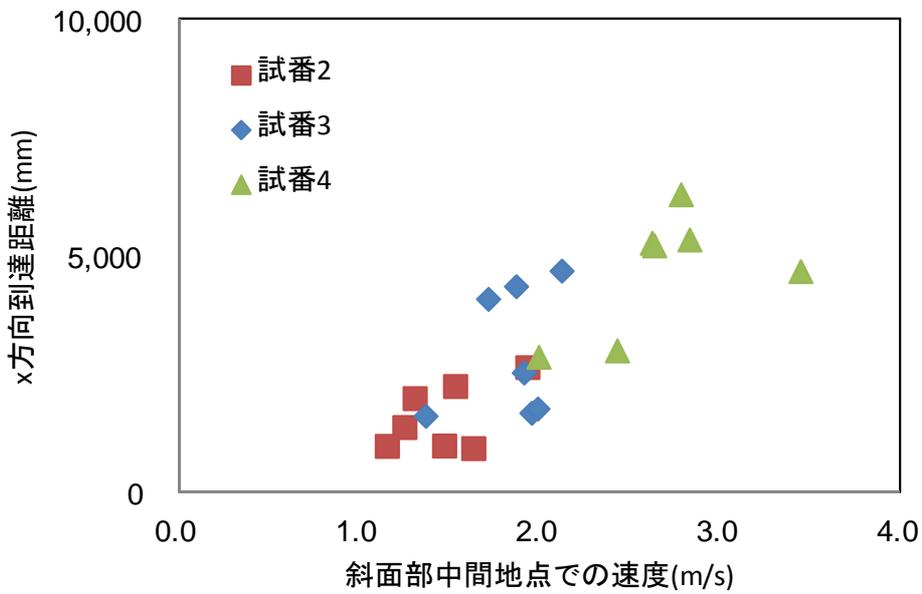


図 3.3.3.221 x 方向の斜面部中間地点の速度と x 方向の到達距離の関係図 (試番 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 60 度 落下高さ 2.0m

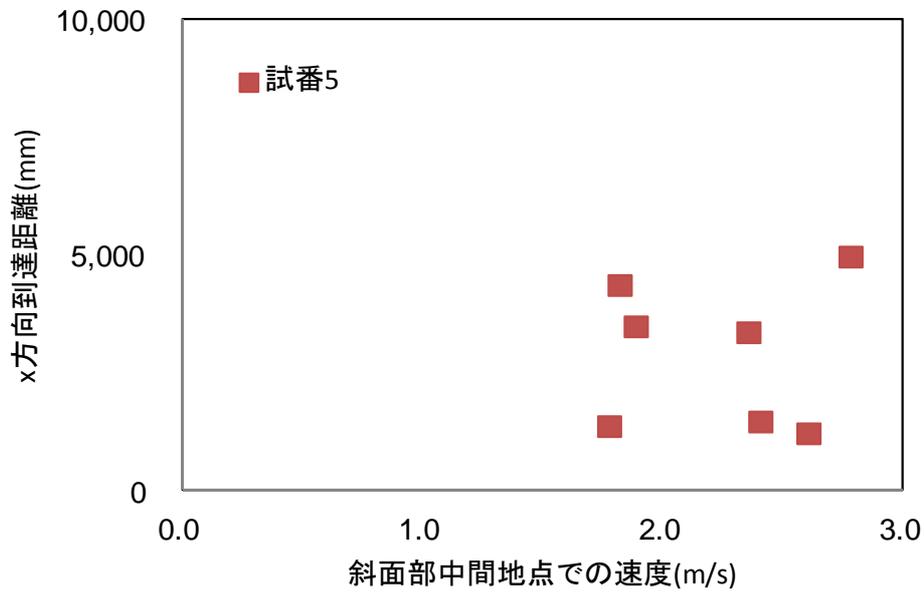


図 3.3.3.222 x 方向の斜面部中間地点の速度と x 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

粒子 A 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 2.0m

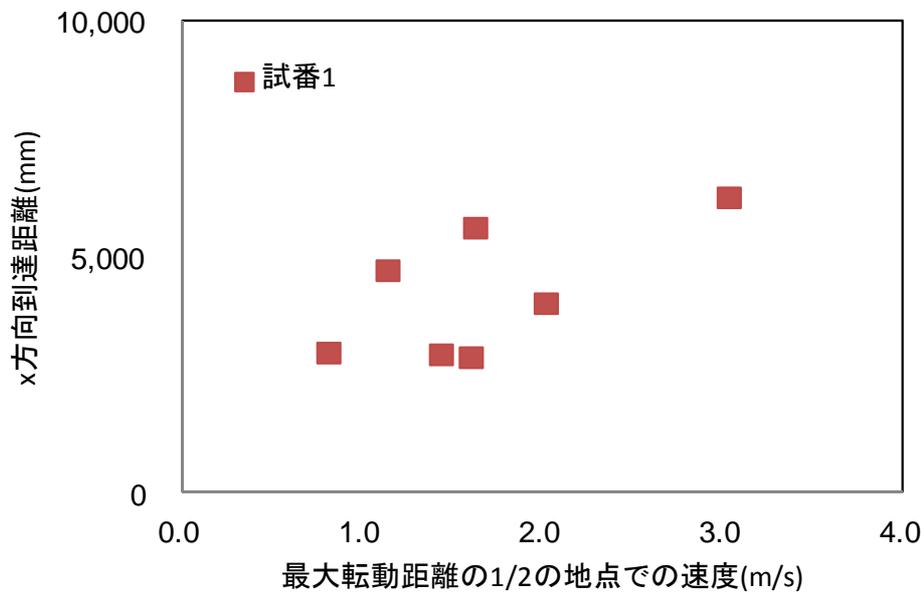


図 3.3.3.223 x 方向の最大転動距離の 1/2 の地点の速度と x 方向の到達距離の関係図 (試番 1)

粒子 B 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

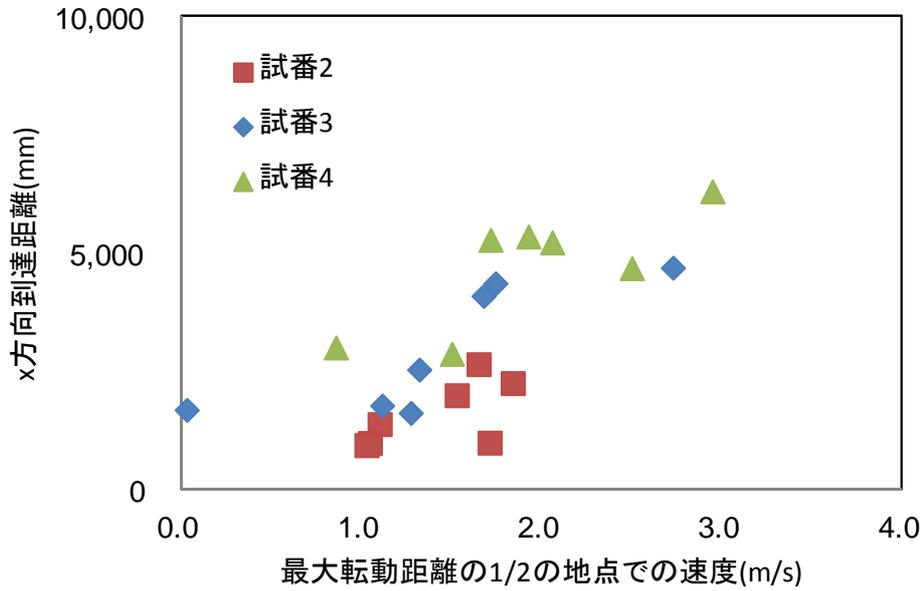


図 3.3.3.224 x 方向の最大転動距離の 1/2 の地点の速度と x 方向の到達距離の関係 (試番 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 60 度 落下高さ 2.0m

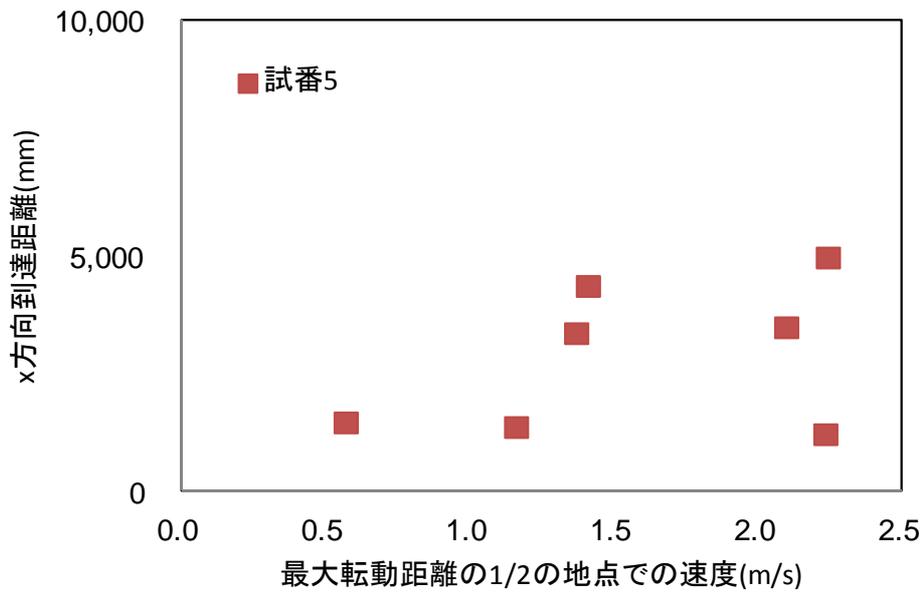


図 3.3.3.225 x 方向の最大転動距離の 1/2 の地点の速度と x 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

粒子A 斜面傾斜角 41度 落下高さ 2.0m

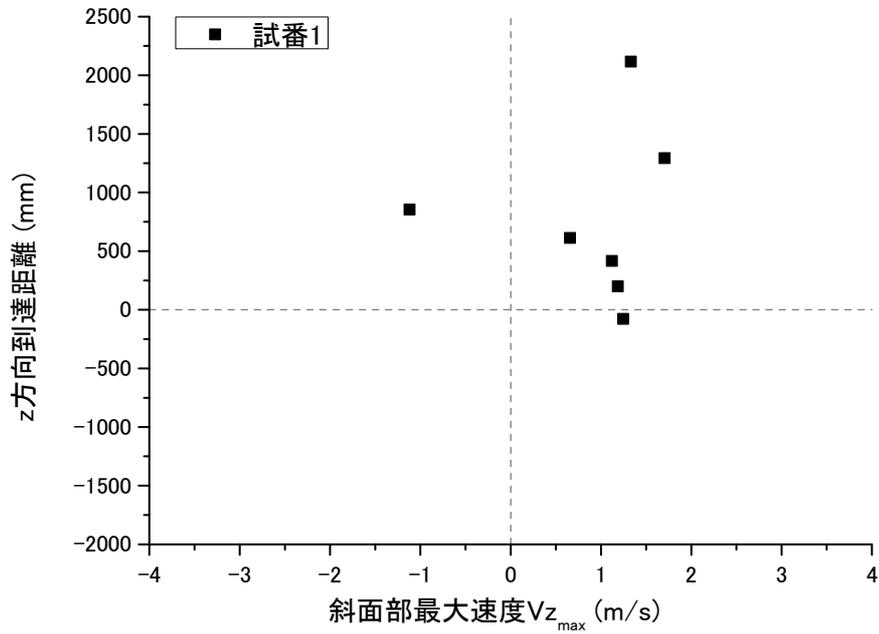


図 3.3.3.226 z方向の斜面部の最大速度  $V_{z_{max}}$  と z方向の到達距離の関係図 (試番 1)

粒子B 斜面傾斜角 41度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

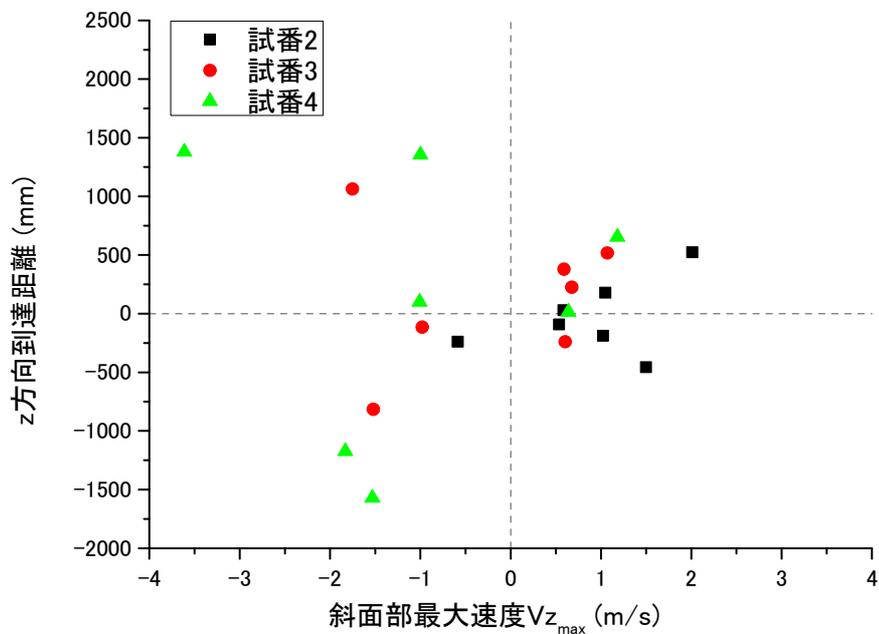


図 3.3.3.227 z方向の斜面部の最大速度  $V_{z_{max}}$  と z方向の到達距離の関係図 (試番 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 60 度 落下高さ 2.0m

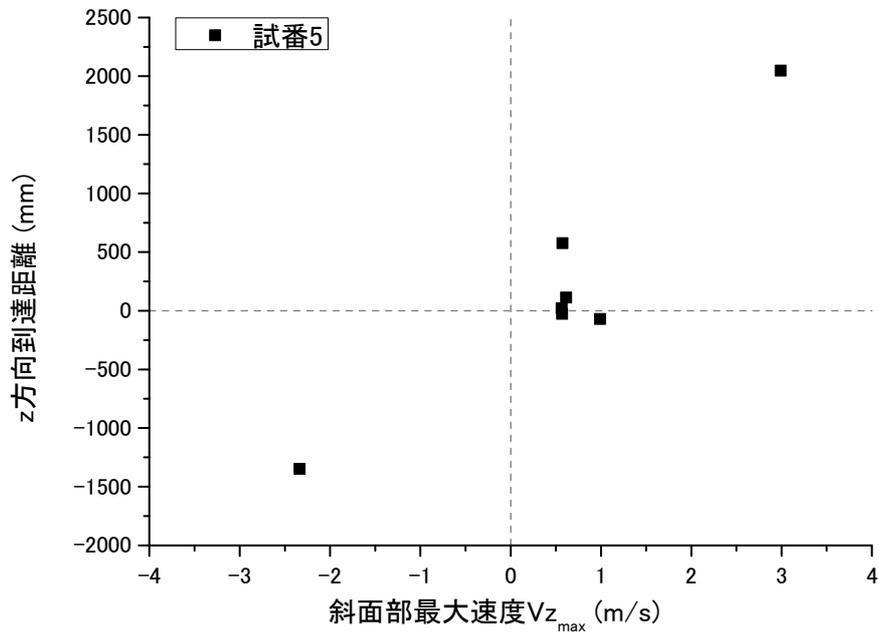


図 3.3.3.228 z 方向の斜面部の最大速度  $V_{z_{max}}$  と z 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

粒子 A 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 2.0m

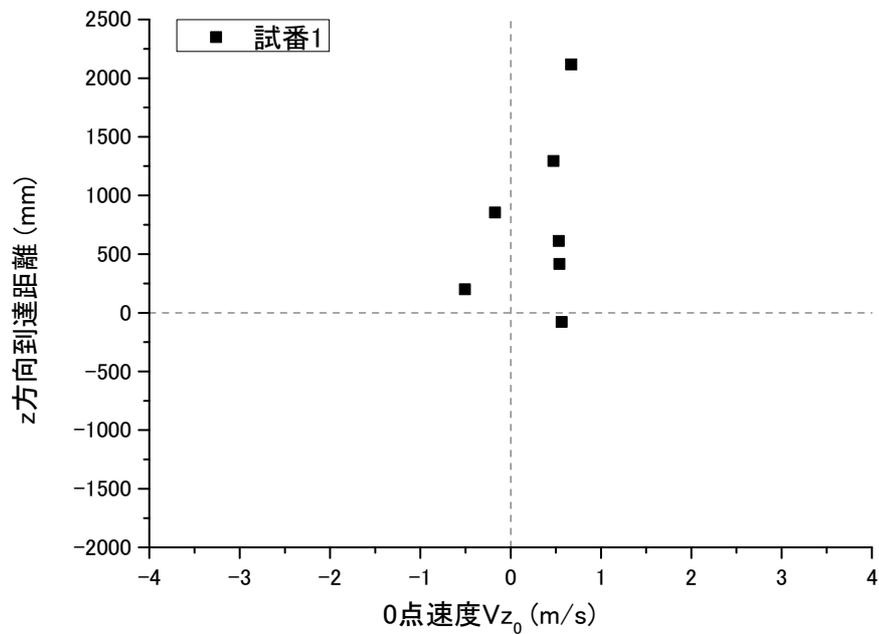


図 3.3.3.229 z 方向の O 点における速度  $V_{z_0}$  と z 方向の到達距離の関係図 (試番 1)

粒子 B 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

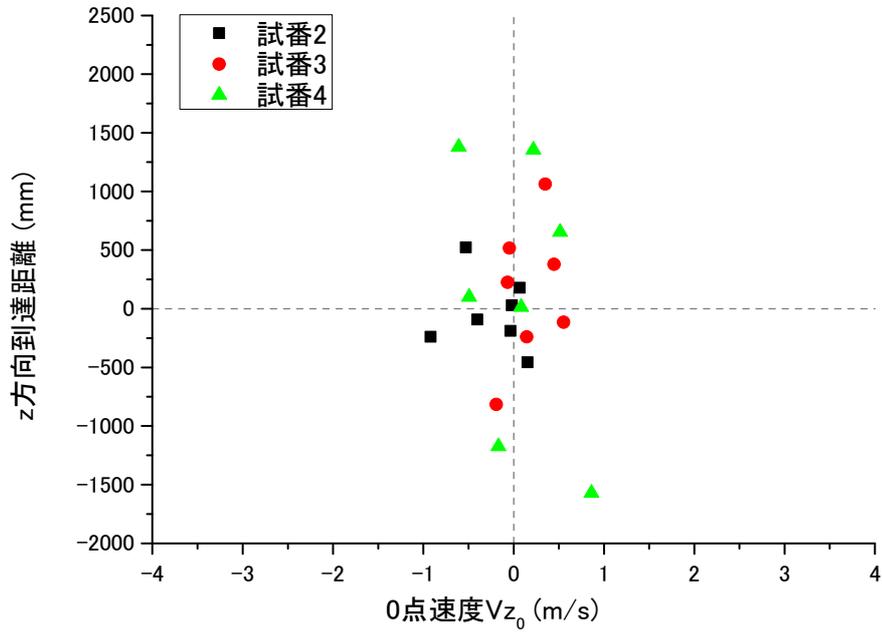


図 3.3.3.230 z 方向の O 点における速度  $V_{z_0}$  と z 方向の到達距離の関係図 (試番 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

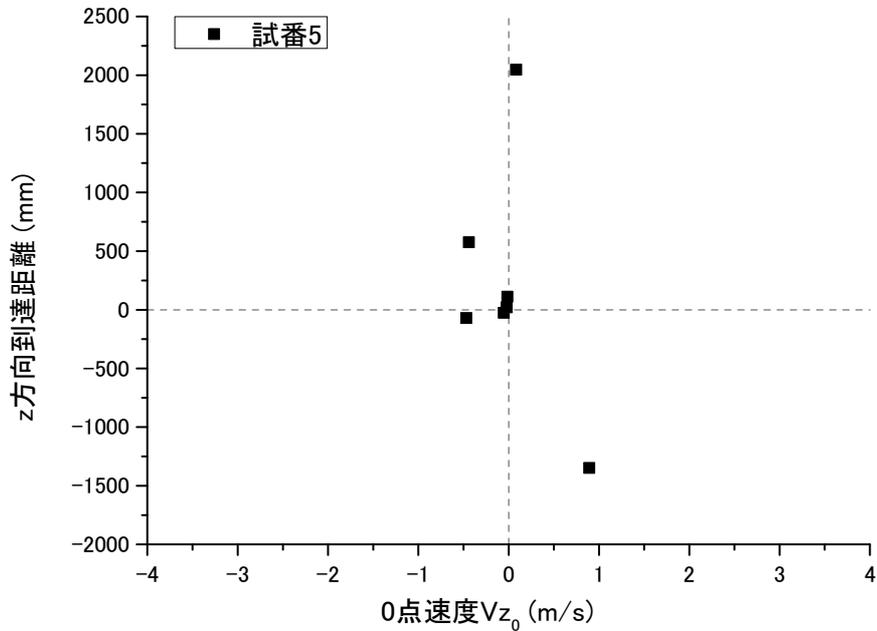


図 3.3.3.231 z 方向の O 点における速度  $V_{z_0}$  と z 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

粒子A 斜面傾斜角 41度 落下高さ 2.0m

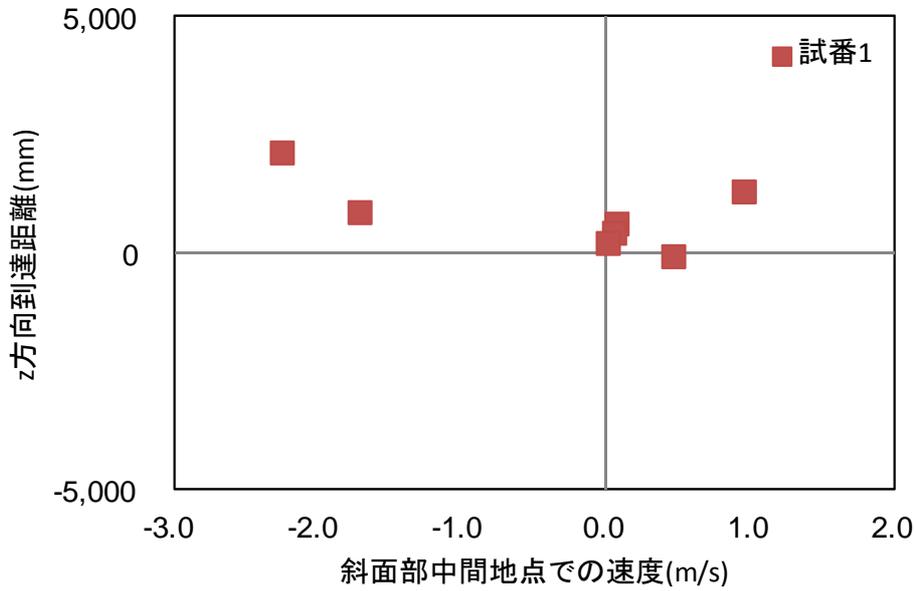


図 3.3.3.232 z 方向の斜面部中間地点の速度と z 方向の到達距離の関係図 (試験 1)

粒子B 斜面傾斜角 41度 落下高さ 0.5m・1.0m・2.0m

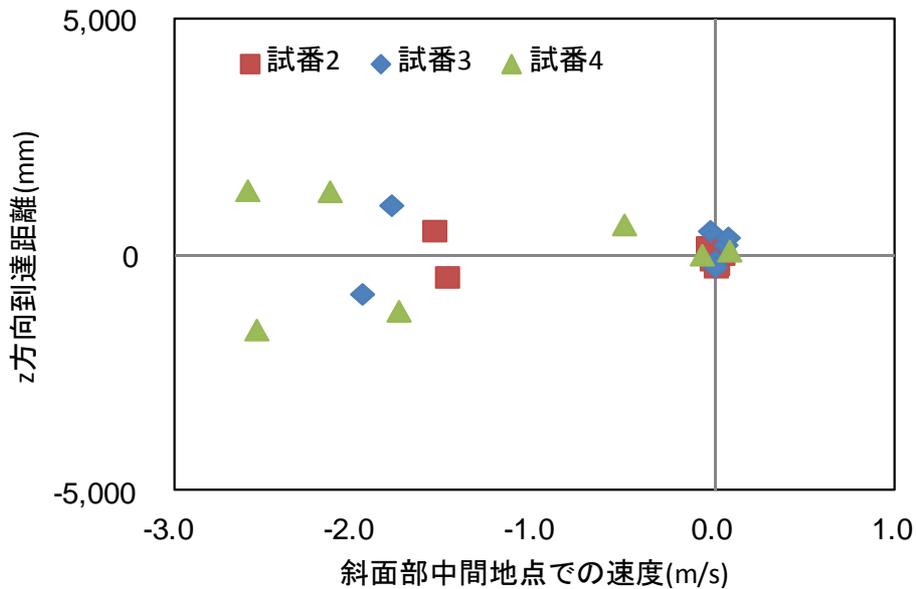


図 3.3.3.233 z 方向の斜面部中間地点の速度と z 方向の到達距離の関係図 (試験 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 60 度 落下高さ 2.0m

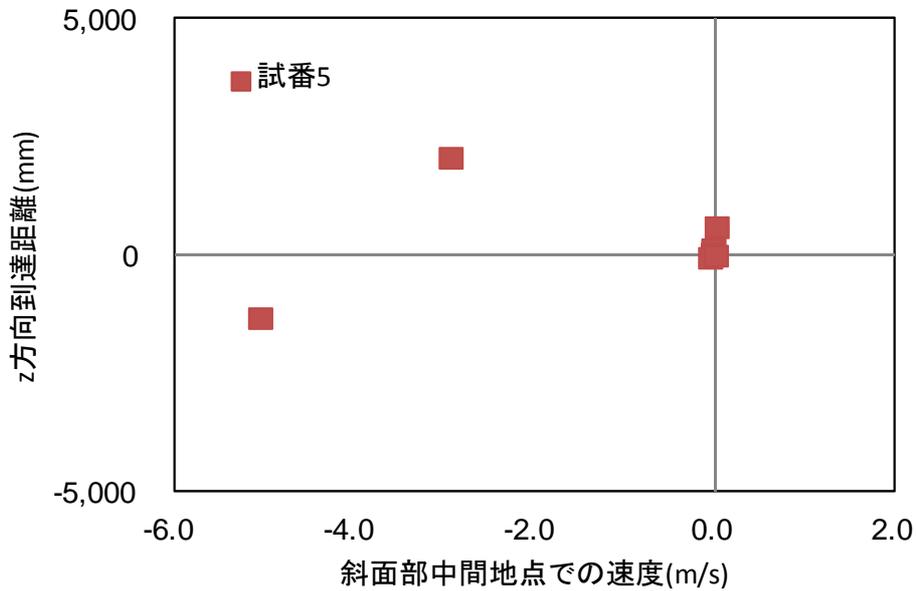


図 3.3.3.234 z 方向の斜面部中間地点の速度と z 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

粒子 A 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 2.0m

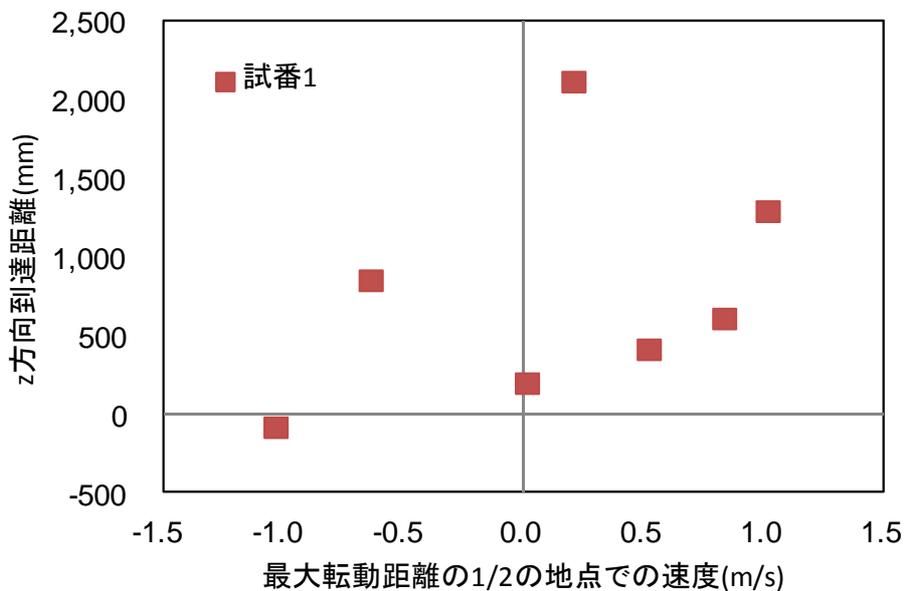


図 3.3.3.235 z 方向の最大転動距離の 1/2 の地点の速度と z 方向の到達距離の関係図 (試番 1)

粒子 B 斜面傾斜角 41 度 落下高さ 0.5m · 1.0m · 2.0m

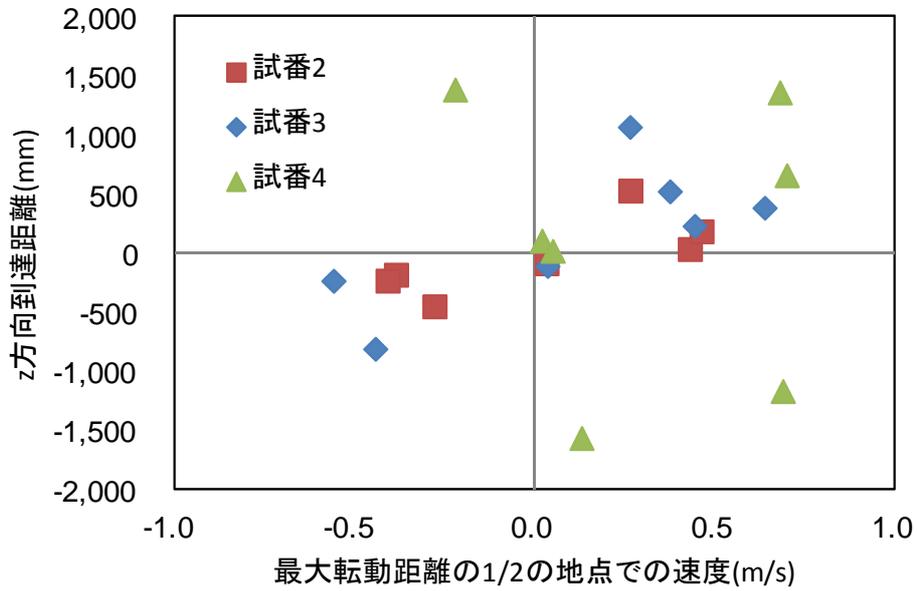


図 3.3.3.236 z 方向の最大転動距離の 1/2 の地点の速度と z 方向の到達距離の関係 (試番 2~4)

粒子 B 斜面傾斜角 60 度 落下高さ 2.0m

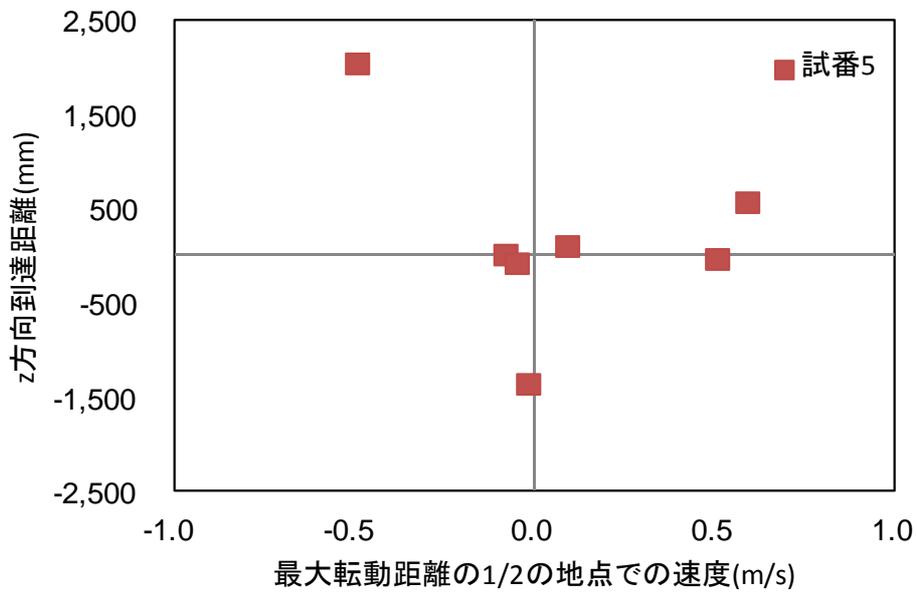


図 3.3.3.237 z 方向の最大転動距離の 1/2 の地点の速度と z 方向の到達距離の関係図 (試番 5)

## (2) まとめと考察

到達距離に影響を及ぼすと考えられる物理量として、斜面部での最大速度と、斜面部と平坦部の境界での速度に着目し、斜面方向  $x$  および斜面直交方向  $z$  の到達距離と、斜面部最大速度および斜面部と平坦部の境界での速度（以後、 $O$  点速度）の関係を分析した。

図 3.3.3.238～図 3.3.3.247 に、到達距離と  $O$  点速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に示す。斜面直交方向  $z$  の到達距離に関しては、いずれのケースでも到達距離と速度に有意な関係は見られなかった。これは、岩塊の斜面直交方向の到達距離は速度の大きさより、跳ね返り方向等その他の要因が大きな影響を及ぼすためと考えられる。よって、斜面直交方向の到達距離を  $O$  点速度から直接的に推定することは困難であり、初期位置をばらつかせた個別要素法等を用いたシミュレーションによる評価方法が必要であると考えられる。一方、斜面方向  $x$  の到達距離に関して、粒子 A、41 度勾配のケースでは、落下高さ 2.0m の場合で、 $x$ 、 $y$  方向の速度と正の相関が確認できる。 $x$  方向の速度が大きく、 $y$  方向の速度小さくなるということは、斜面接線方向の速度が、斜面法線方向の速度に対して卓越することを意味しており、斜面接線方向の速度が大きくなるほど到達距離が大きくなることを示している。しかしながら、粒子 B のケースでは、斜面勾配の大きさに拘わらず、到達距離と速度の間に有意な関係は見られなかった。これは、岩塊のサイズが大きい粒子 B のケースでは、跳ね返りの影響が大きくなり、到達距離に対して、跳ね返り等斜面部と平坦部の境界での速度以外の要因の影響が大きくなったためと考えられる。よって、底面の凹凸に対して岩塊のサイズが大きくなるほど、斜面方向の到達距離を  $O$  点速度から推定することは困難になると考えられ、上述した初期位置をばらつかせた個別要素法等によるシミュレーションを用いた評価方法が必要になると考えられる。

図 3.3.3.248～図 3.3.3.257 に、到達距離と斜面部最大速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に示す。斜面方向  $x$ 、斜面直交方向  $z$  の到達距離ともに、いずれのケースでも斜面部最大速度と有意な関係は見られなかった。よって、到達距離を斜面部最大速度から推定することは困難であると考えられる。

図 3.3.3.258～図 3.3.3.267 に、到達距離と斜面部中間地点の速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に示す。斜面方向  $x$ 、斜面直交方向  $z$  の到達距離ともに、いずれのケースでも斜面部の中間地点の速度と有意な関係は見られなかった。よって、到達距離を斜面部の中間地点の速度から推定することは困難であると考えられる。

図 3.3.3.268～図 3.3.3.277 に、到達距離と最大転動距離の 1/2 地点の速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に示す。斜面方向  $x$  について、41 度斜面、落下高さ 2.0m のケース

では、粒子サイズ A および B のケースともに最大転動距離の 1/2 地点の速度と到達距離に相関関係が見られる。一方、その他の斜面方向 x に対するケース、斜面直交方向 z のケースでは、到達距離と最大転動距離の 1/2 地点の速度との間に有意な関係は見られなかった。これは、41 度斜面、落下高さ 2.0m のケースでは平坦部において転動挙動が卓越する一方、落下高さが小さいケース、60 度斜面のケースでは平坦部において、跳ね返り挙動が卓越し、到達距離と速度のばらつきが大きくなったためと考えられる。

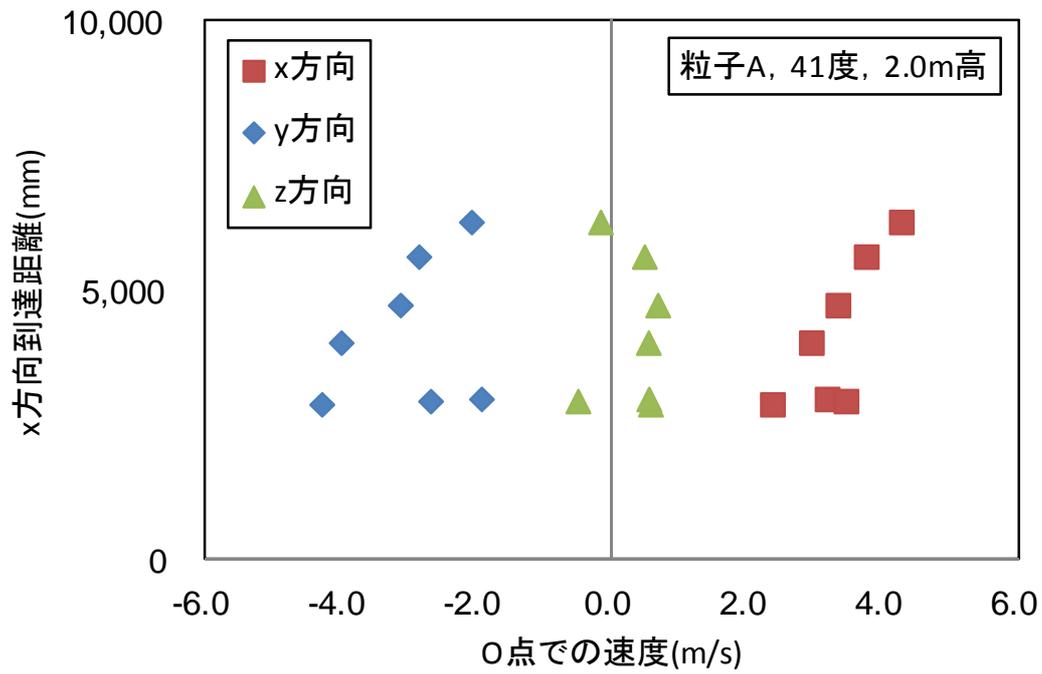


図 3.3.3.238 O点における速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子A、41 度、2.0m 高)

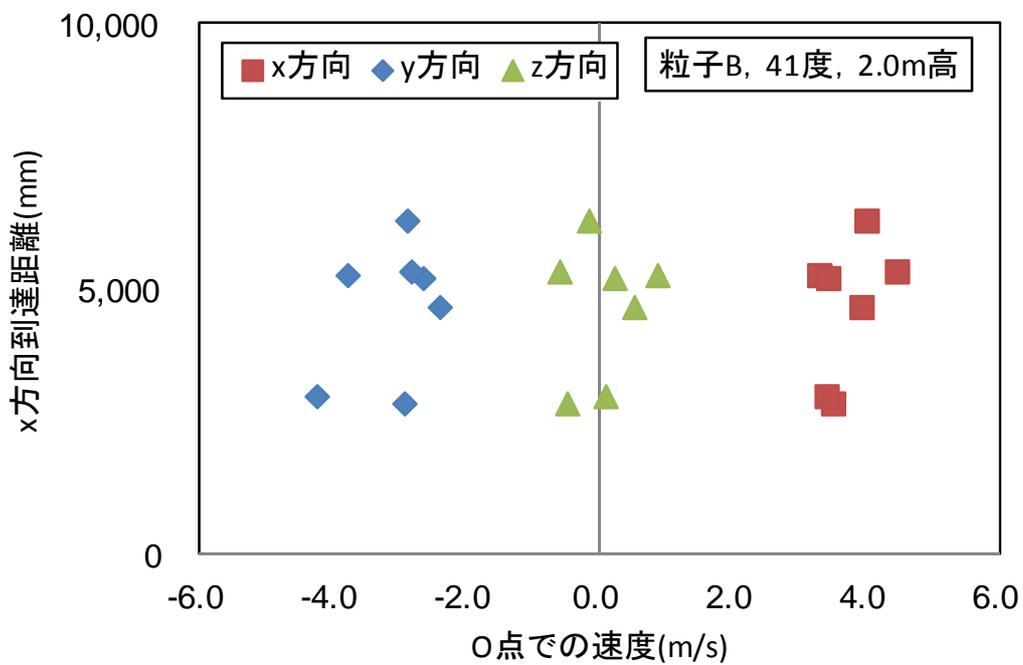


図 3.3.3.239 O点における速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、2.0m 高)

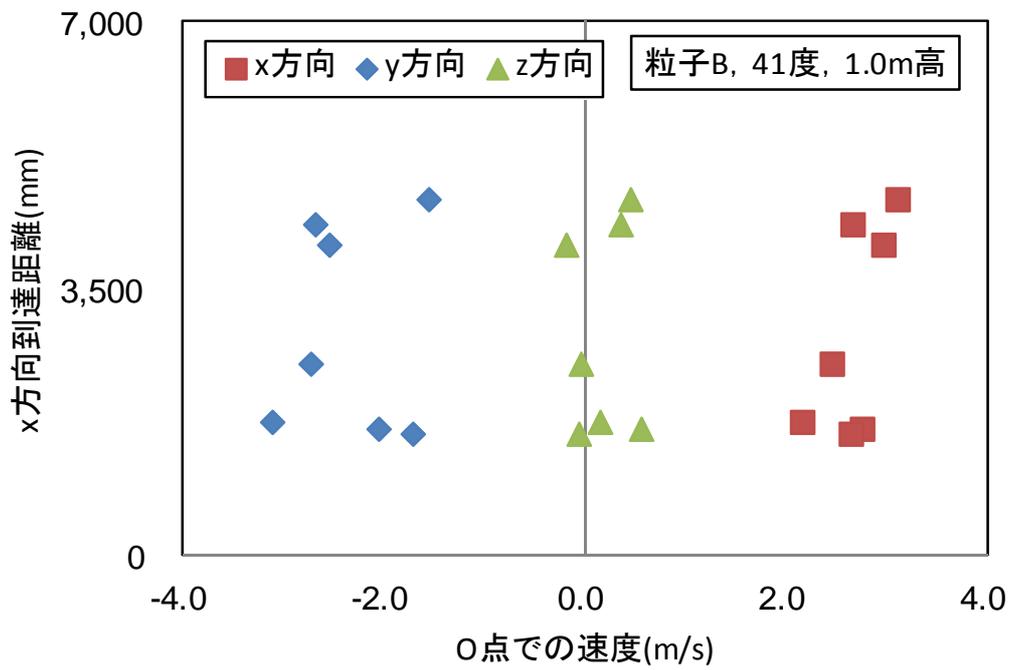


図 3.3.3.240 O点における速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、1.0m 高)

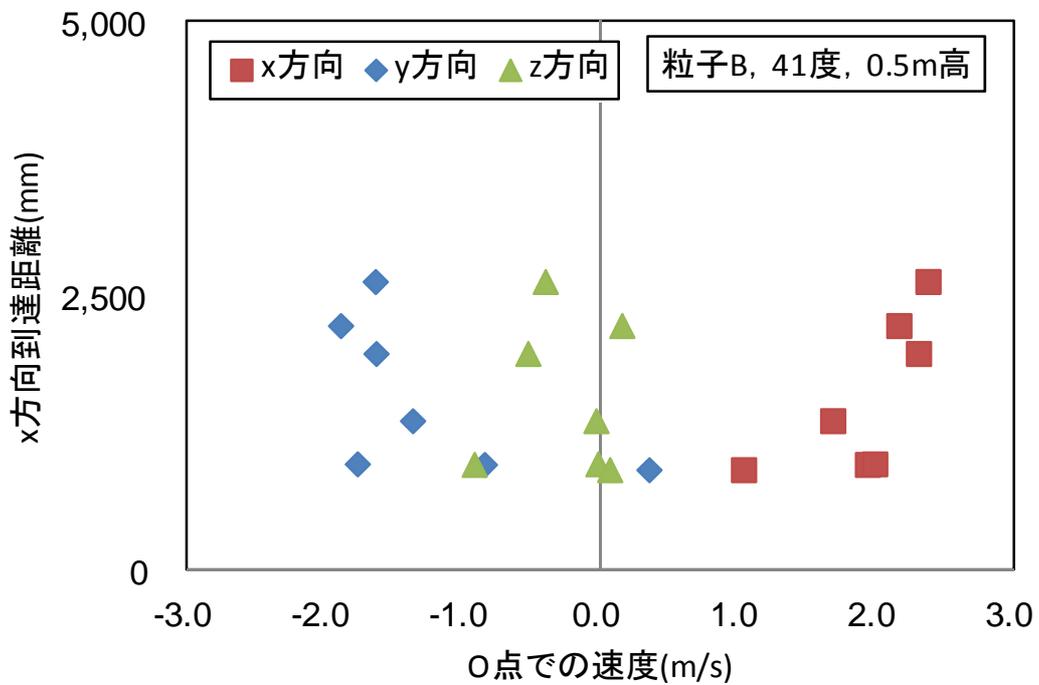


図 3.3.3.241 O点における速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、0.5m 高)

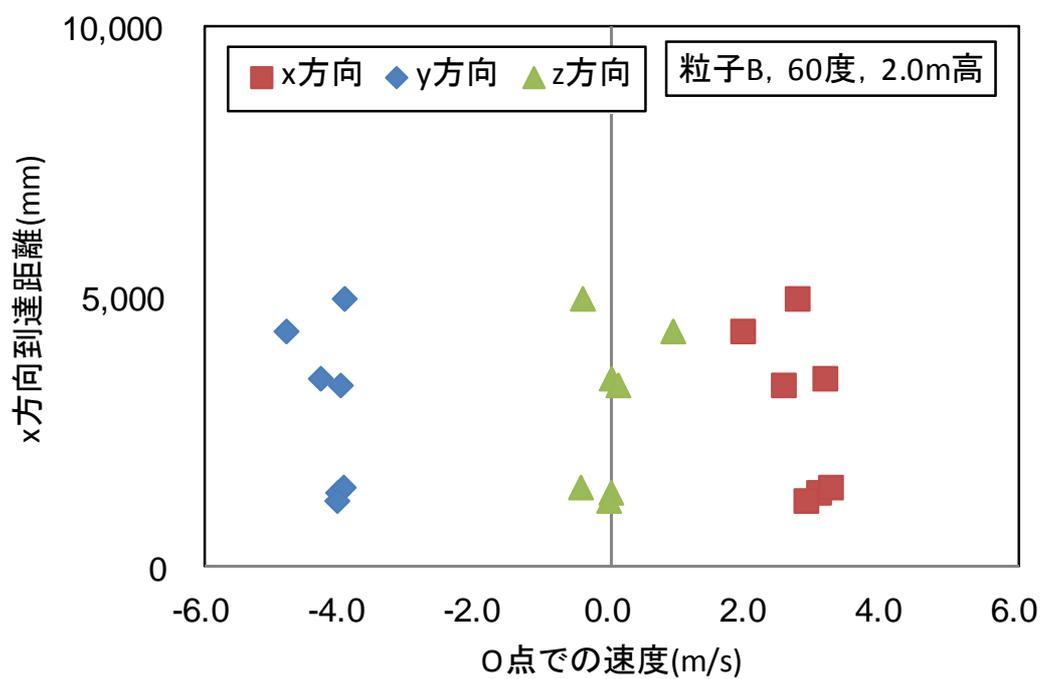


図 3.3.3.242 O点における速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、60度、2.0m 高)

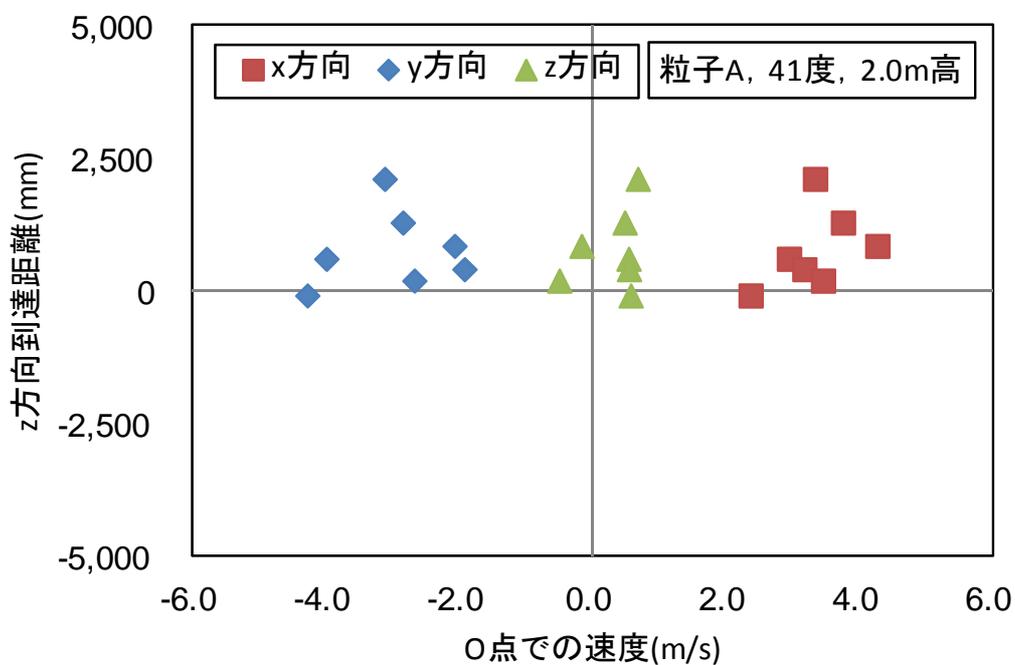
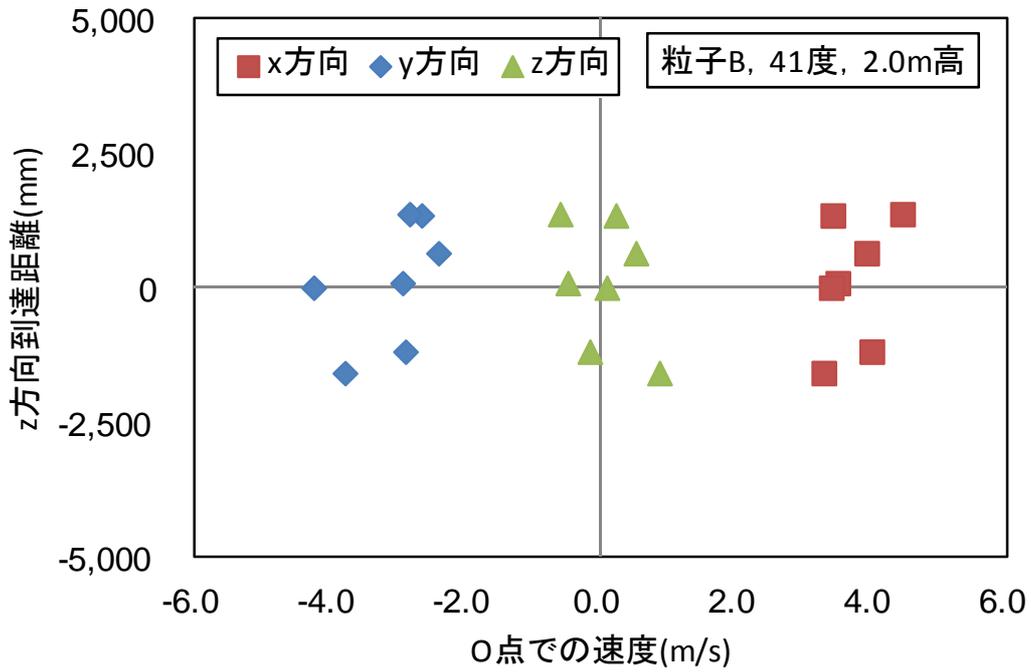


図 3.3.3.243 O点における速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子A、41度、2.0m 高)



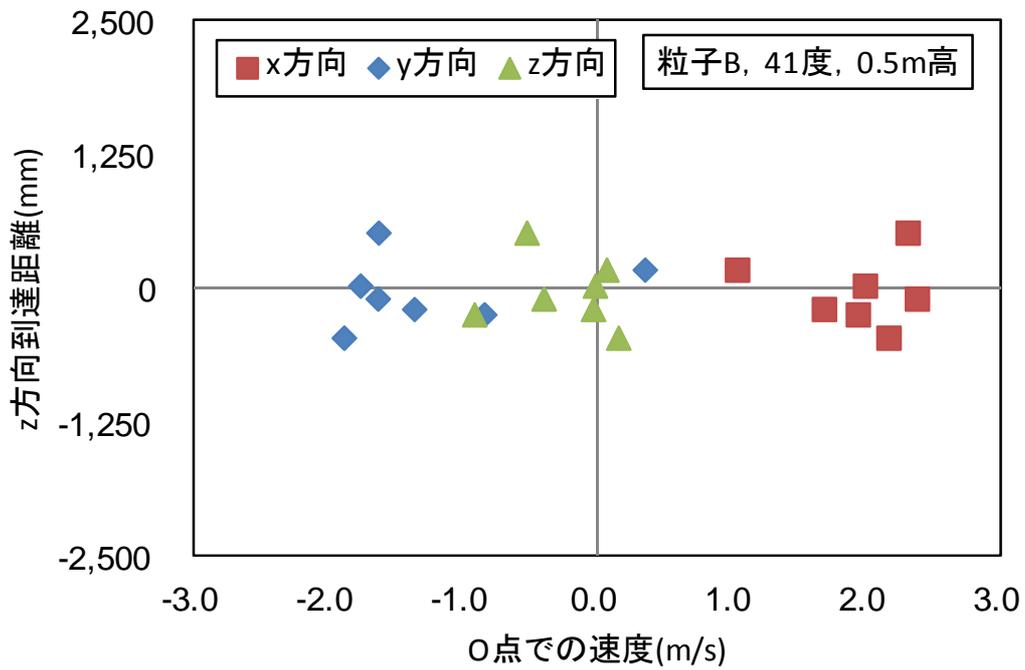


図 3.3.3.246 O点における速度とz方向の到達距離の関係 (粒子B、41度、0.5m高)

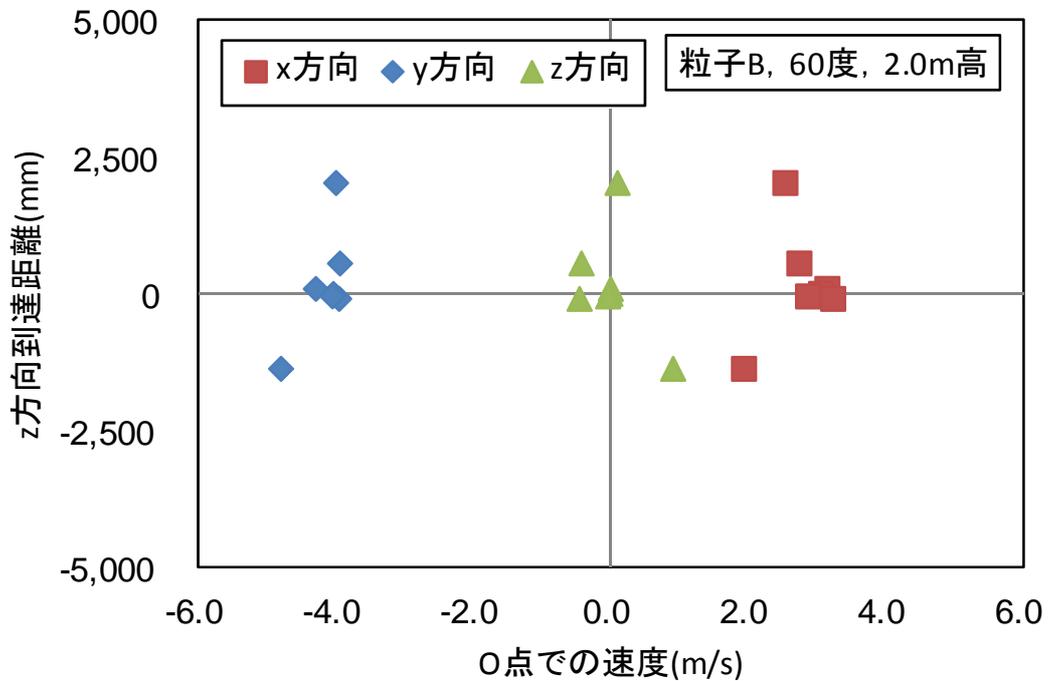


図 3.3.3.247 O点における速度とz方向の到達距離の関係 (粒子B、60度、2.0m高)

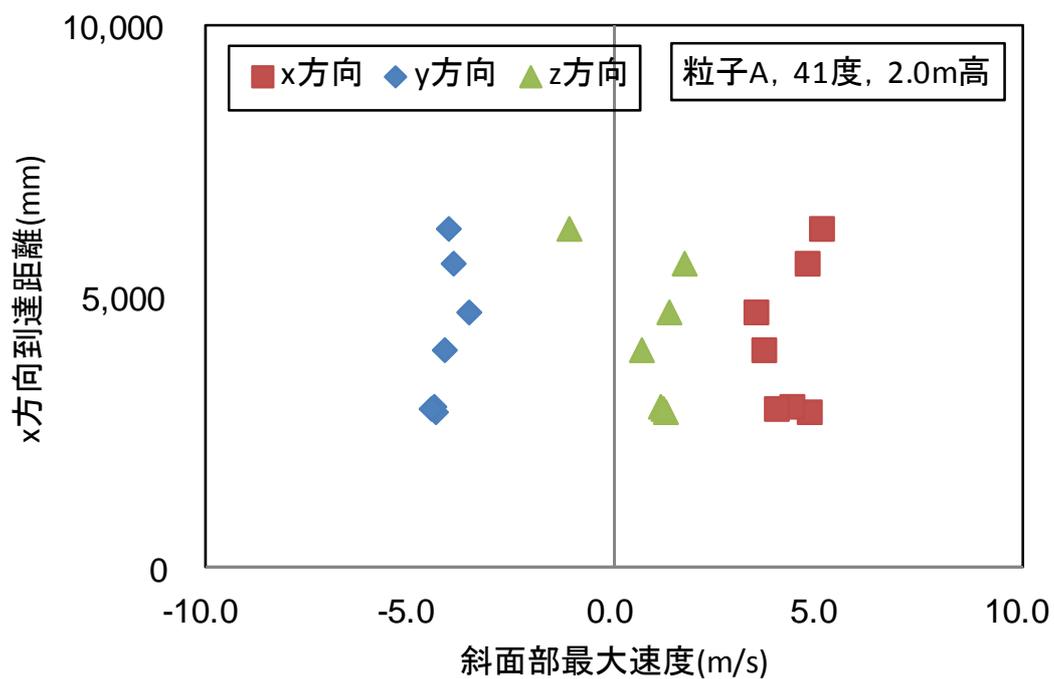


図 3.3.3.248 斜面部最大速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子A、41 度、2.0m 高)

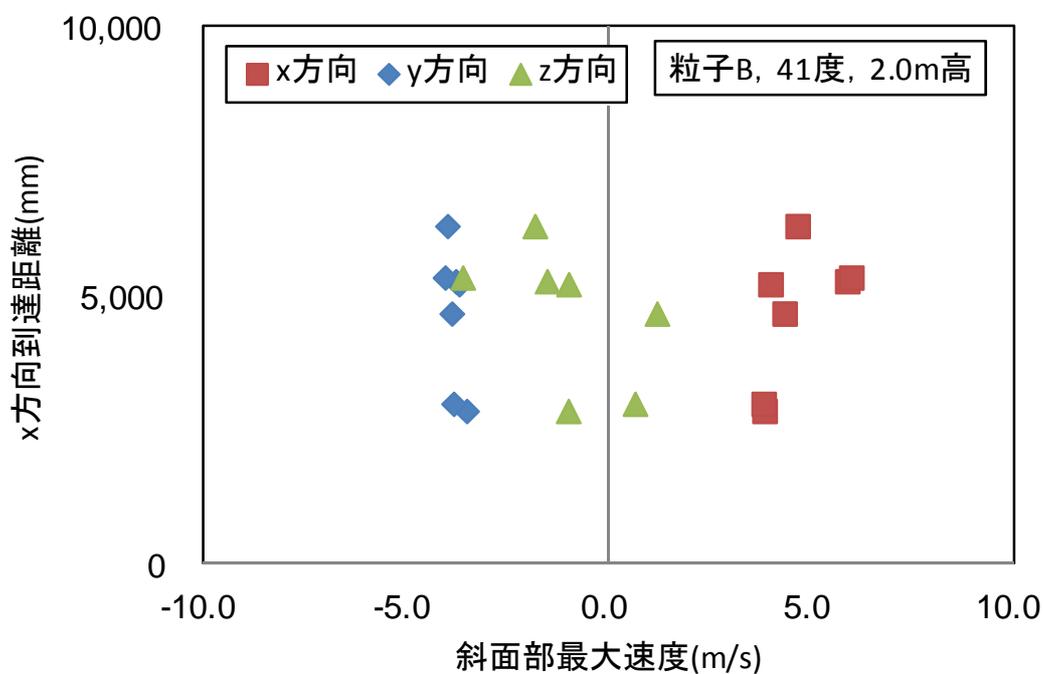


図 3.3.3.249 斜面部最大速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、2.0m 高)



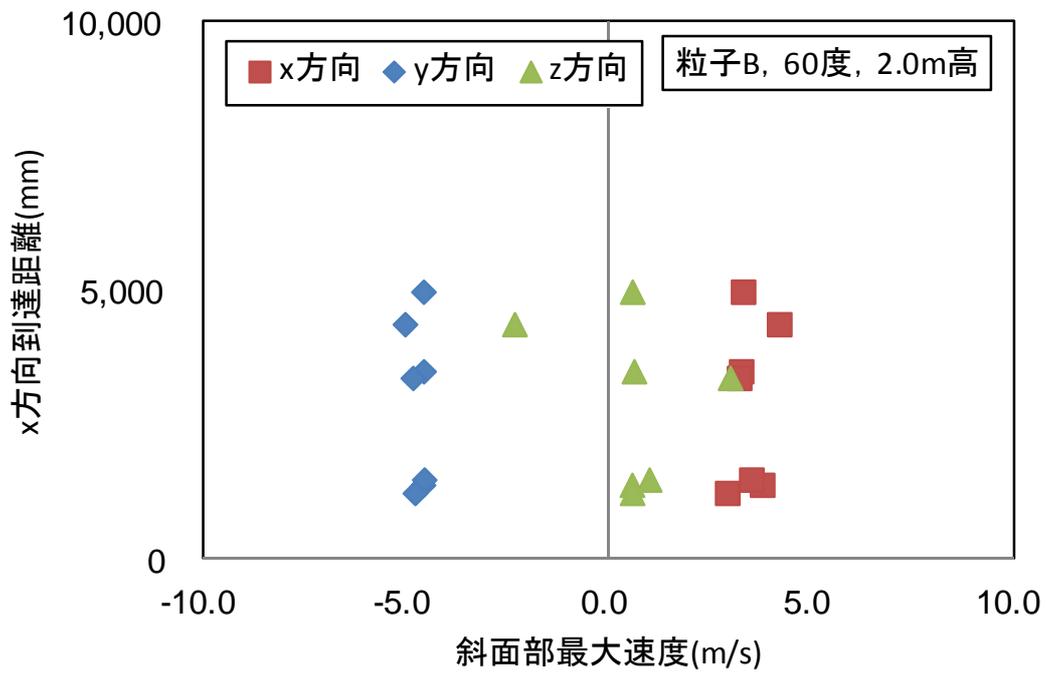


図 3.3.3.252 斜面部最大速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、60 度、2.0m 高)

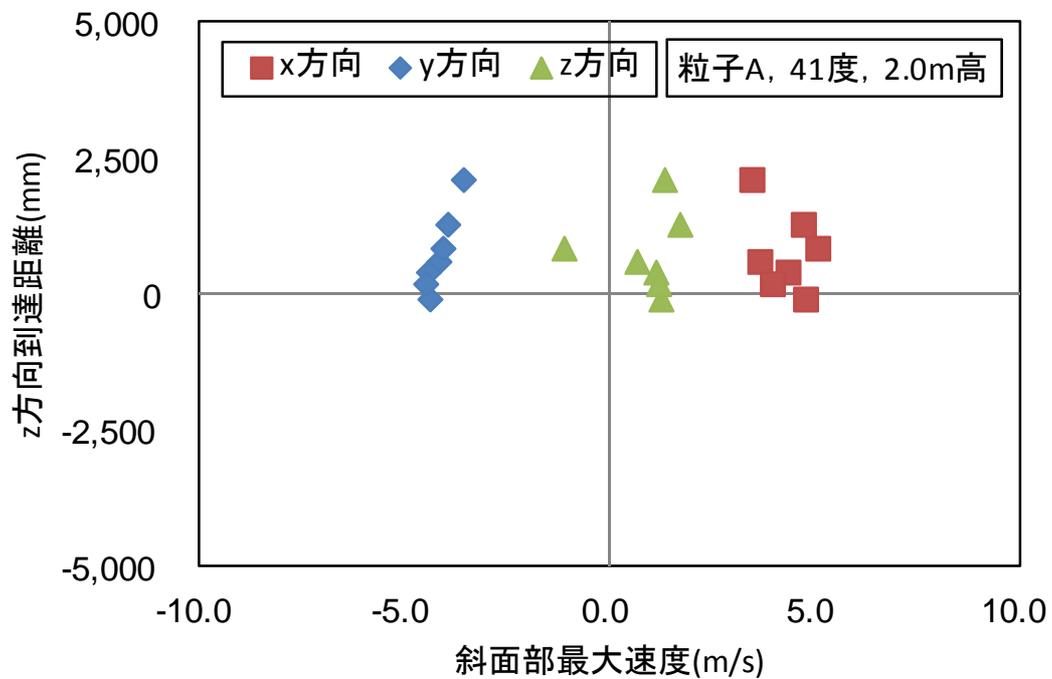


図 3.3.3.253 斜面部最大速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子A、41 度、2.0m 高)

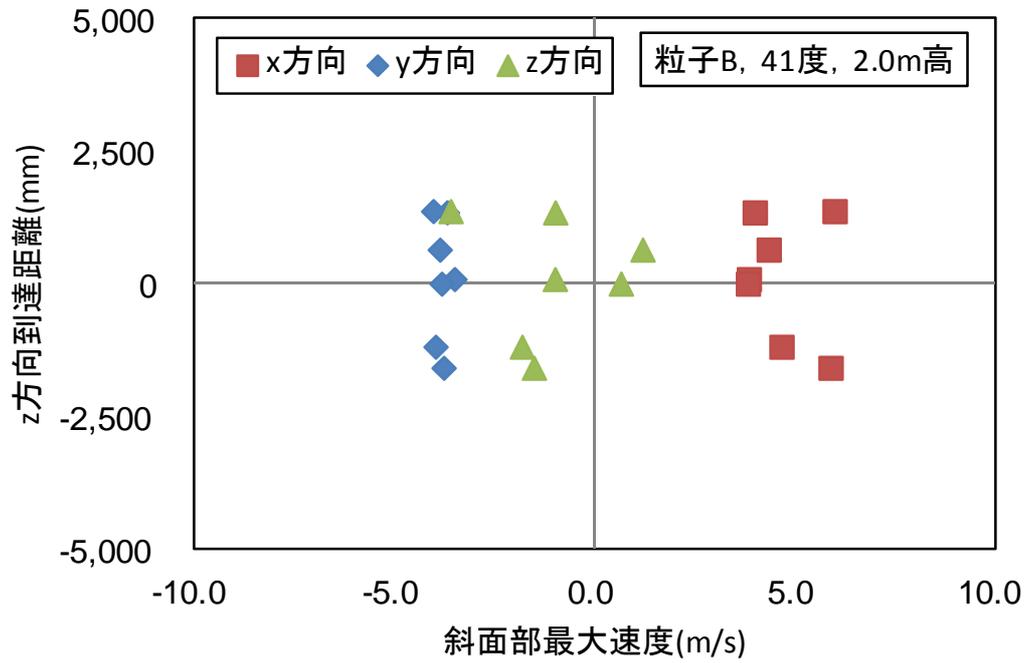


図 3.3.3.254 斜面部最大速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、2.0m 高)

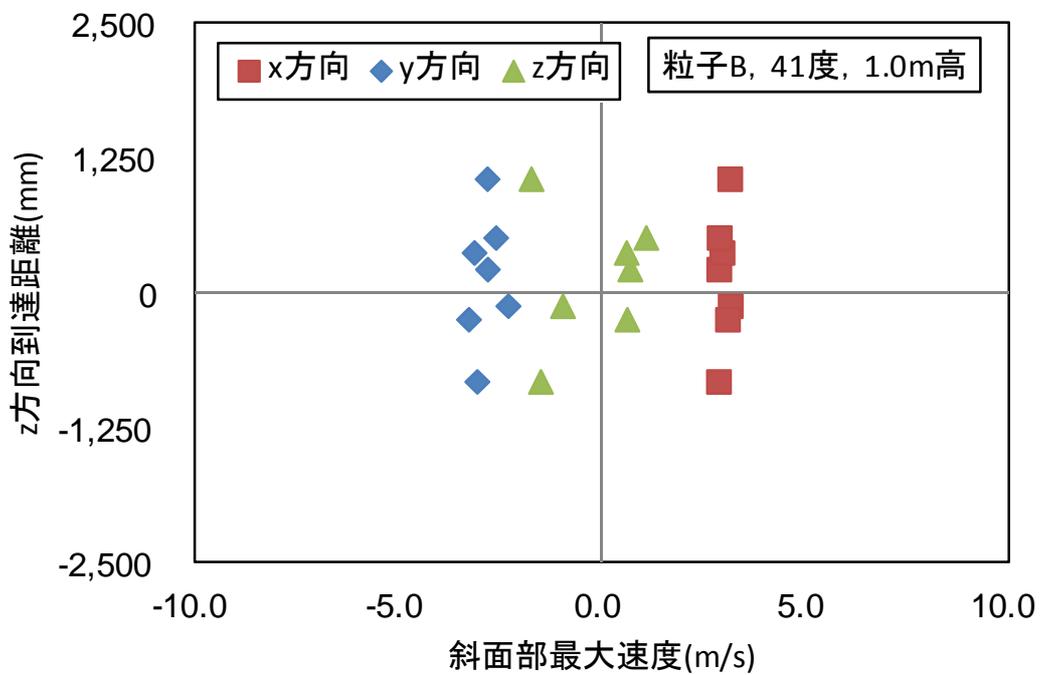


図 3.3.3.255 斜面部最大速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、1.0m 高)

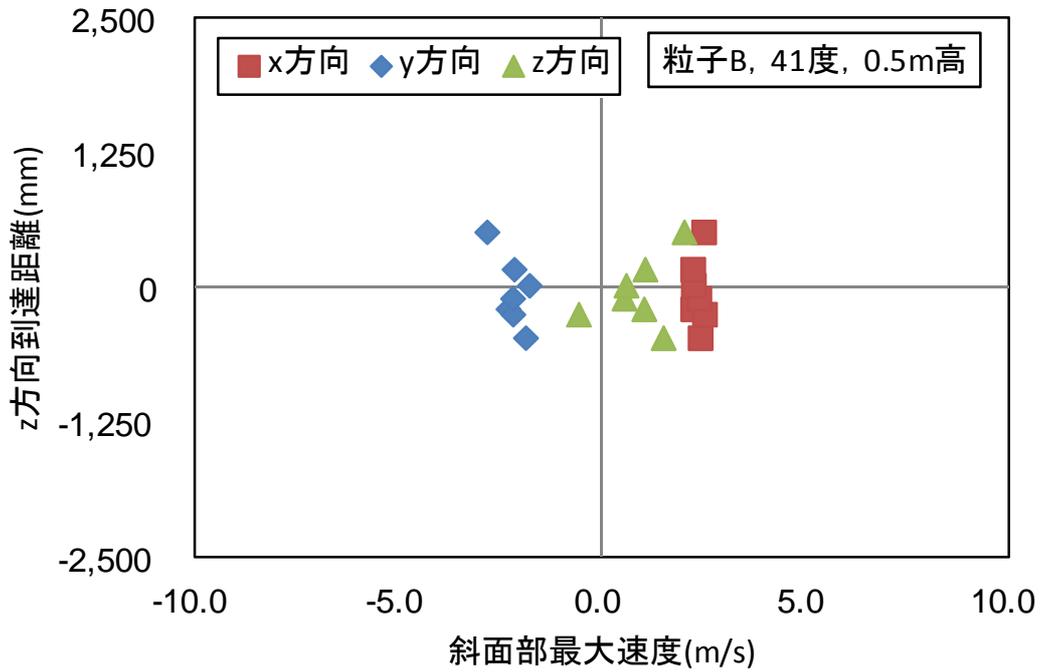


図 3.3.3.256 斜面部最大速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、0.5m 高)

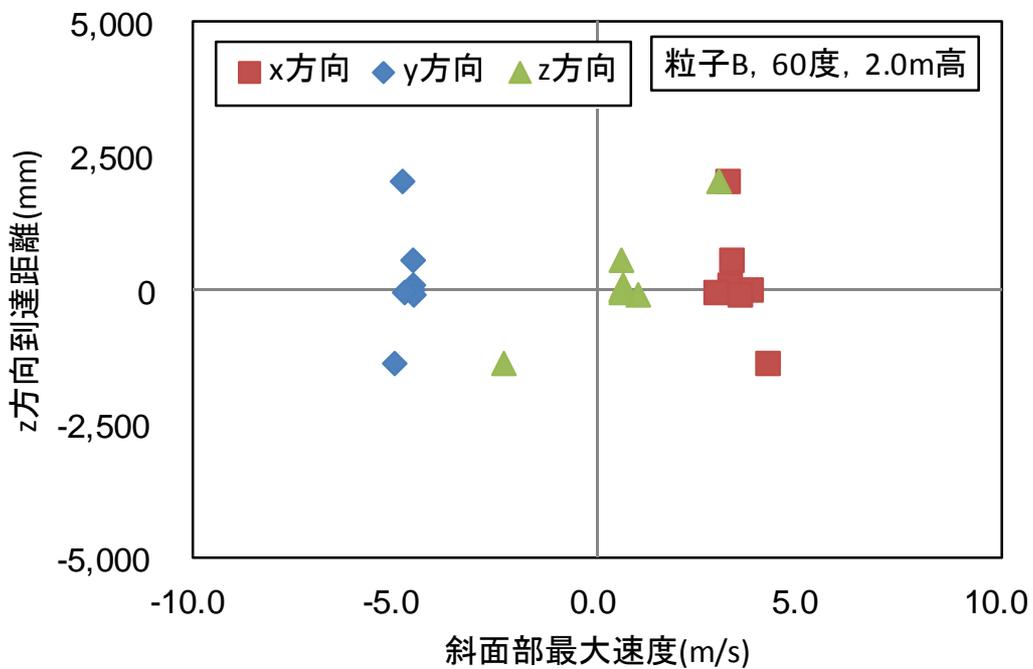


図 3.3.3.257 斜面部最大速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、60 度、2.0m 高)

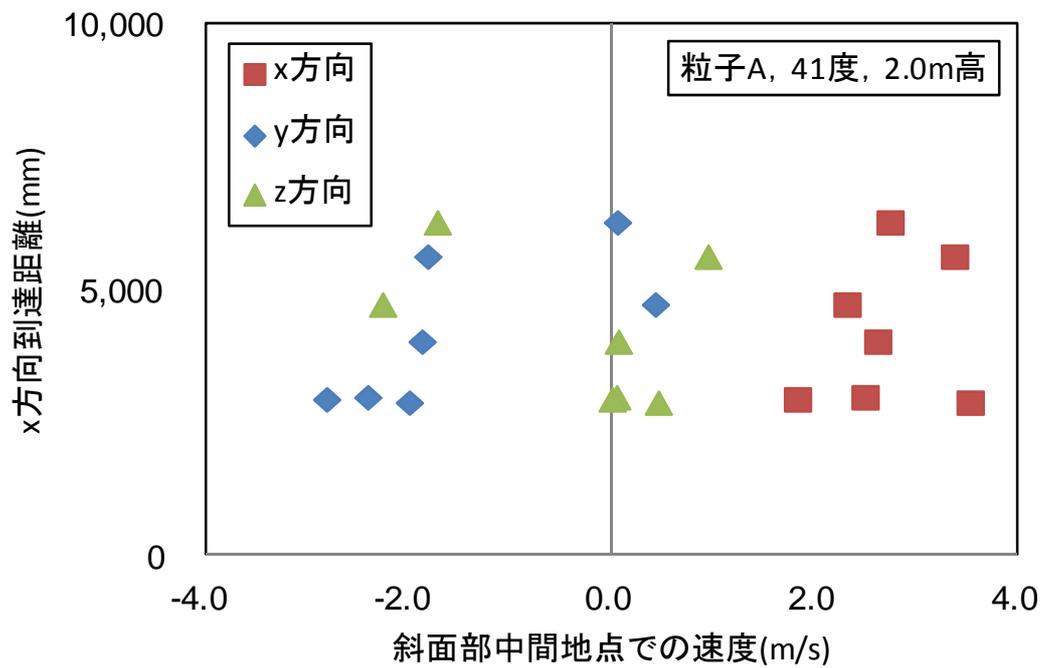


図 3.3.3.258 斜面部中間地点速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子A、41 度、2.0m 高)

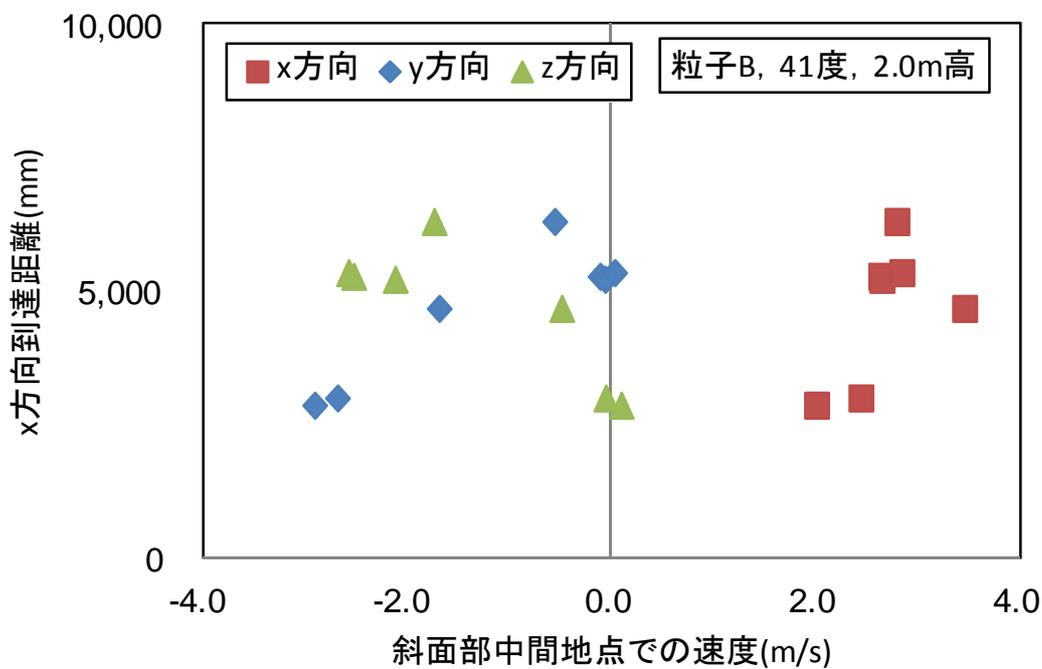


図 3.3.3.259 斜面部中間地点速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、2.0m 高)

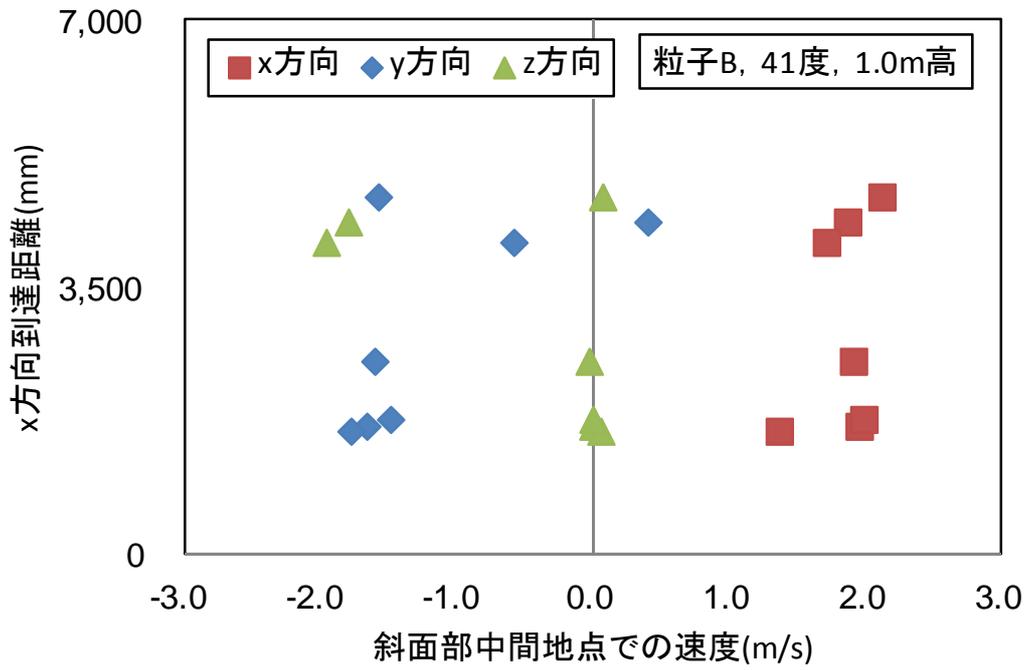


図 3.3.3.260 斜面部中間地点速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、1.0m 高)

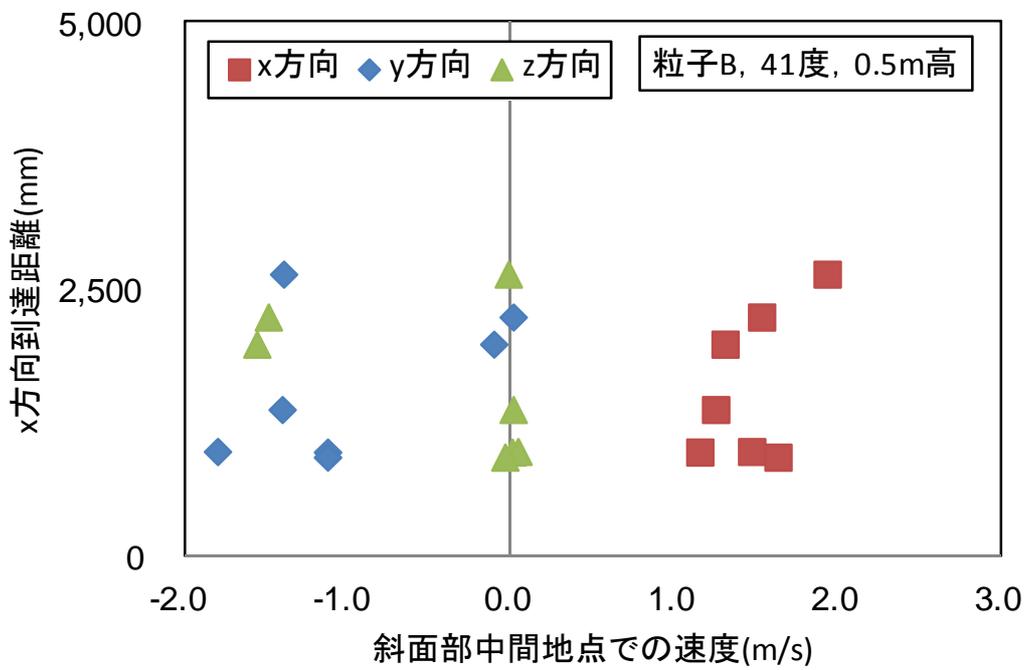


図 3.3.3.261 斜面部中間地点速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、0.5m 高)

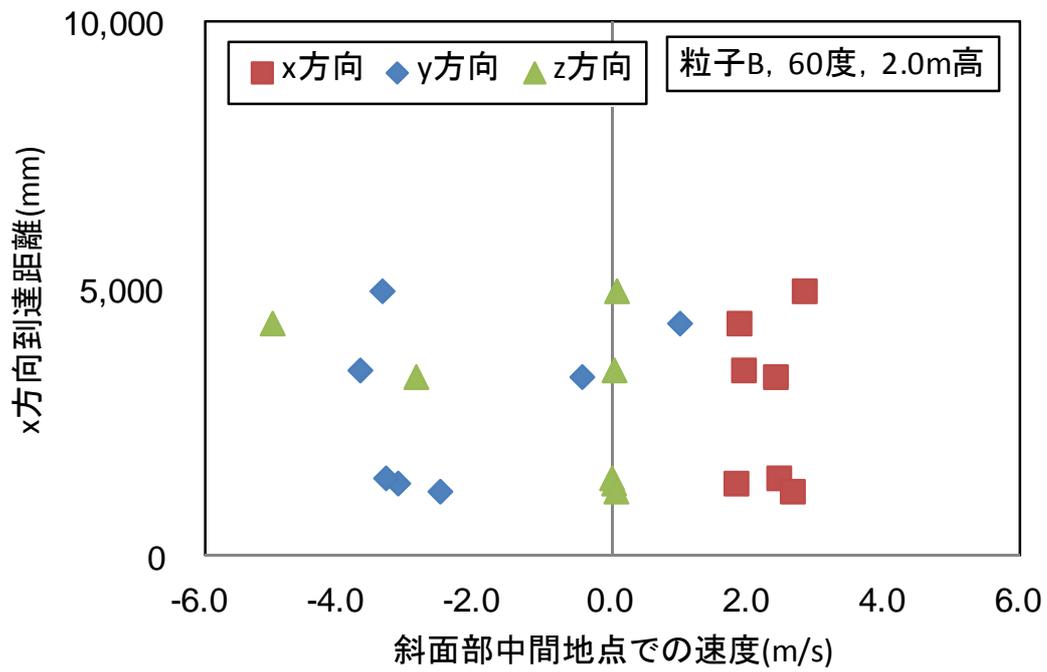


図 3.3.3.262 斜面部中間地点速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、60 度、2.0m 高)

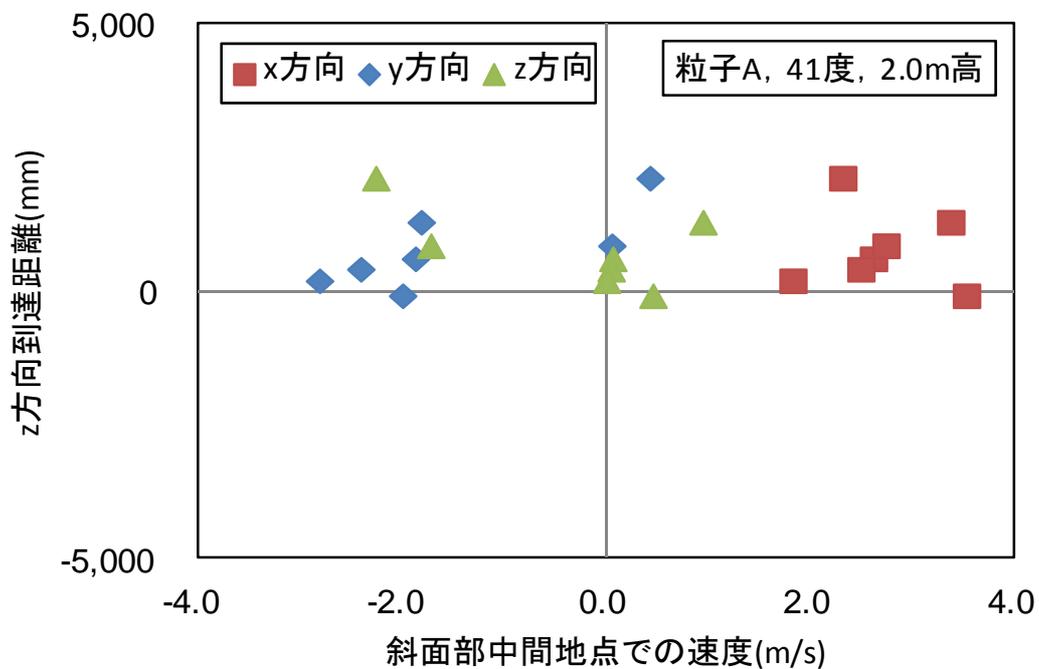


図 3.3.3.263 斜面部中間地点速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子A、41 度、2.0m 高)

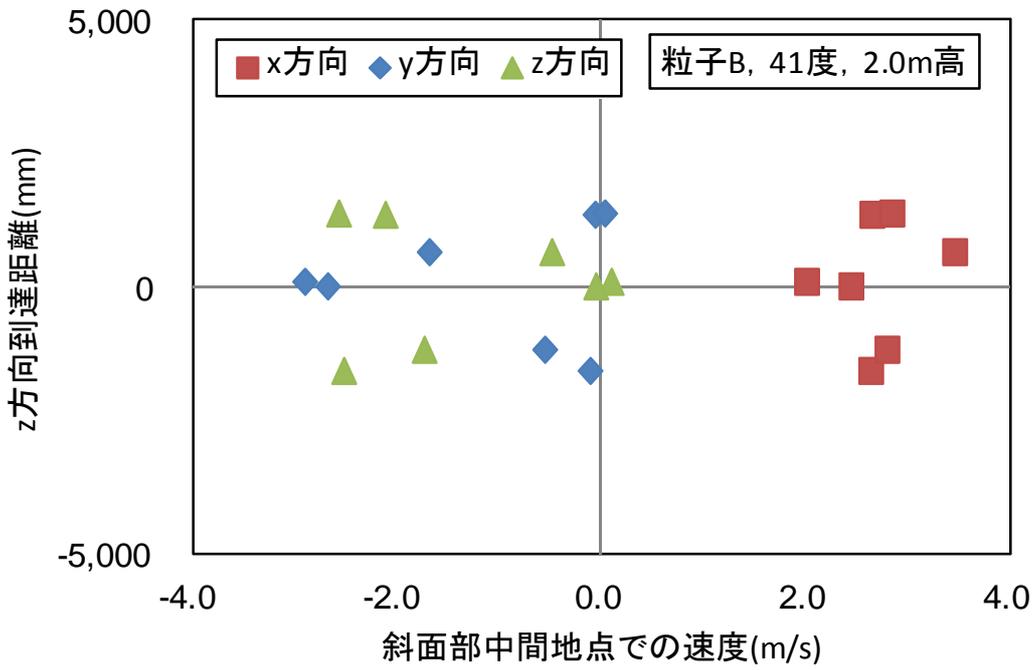


図 3.3.3.264 斜面部中間地点速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、2.0m 高)

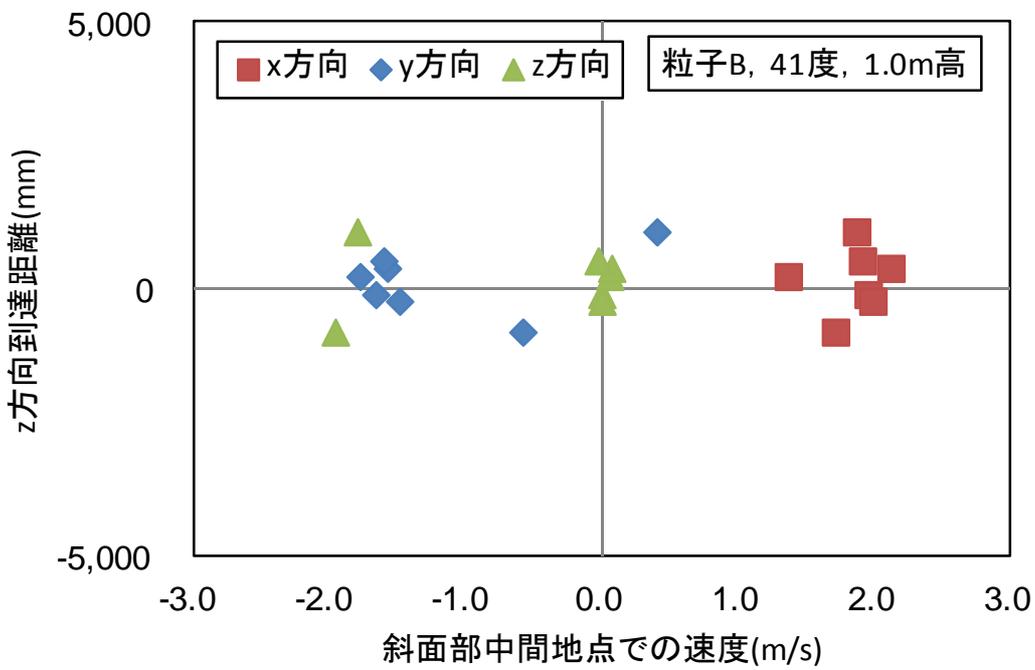


図 3.3.3.265 斜面部中間地点速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、1.0m 高)

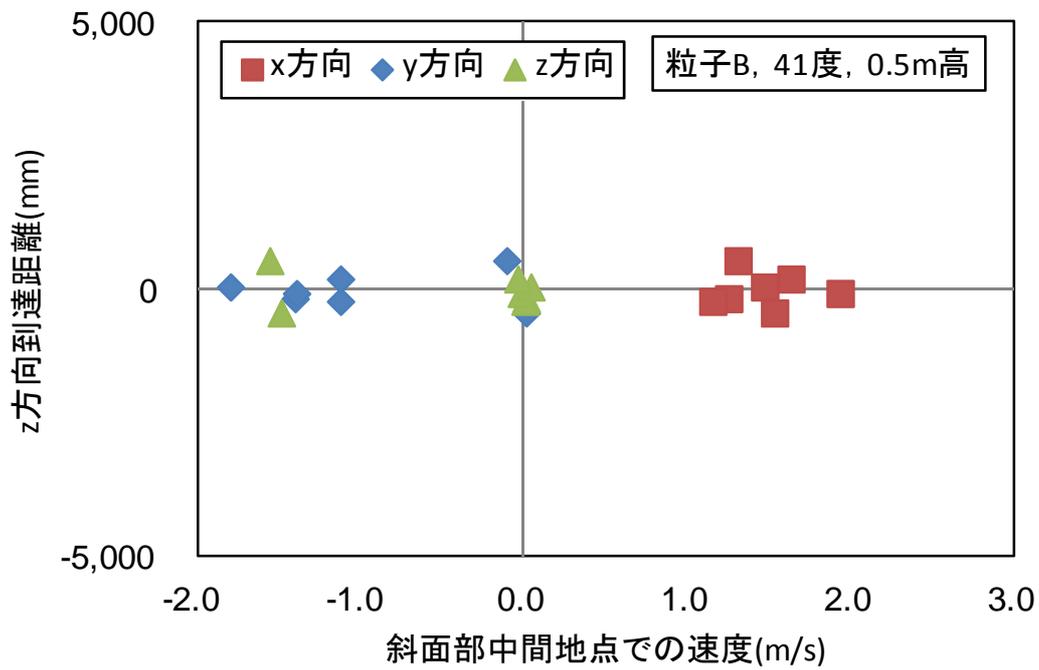


図 3.3.3.266 斜面部中間地点速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、0.5m 高)

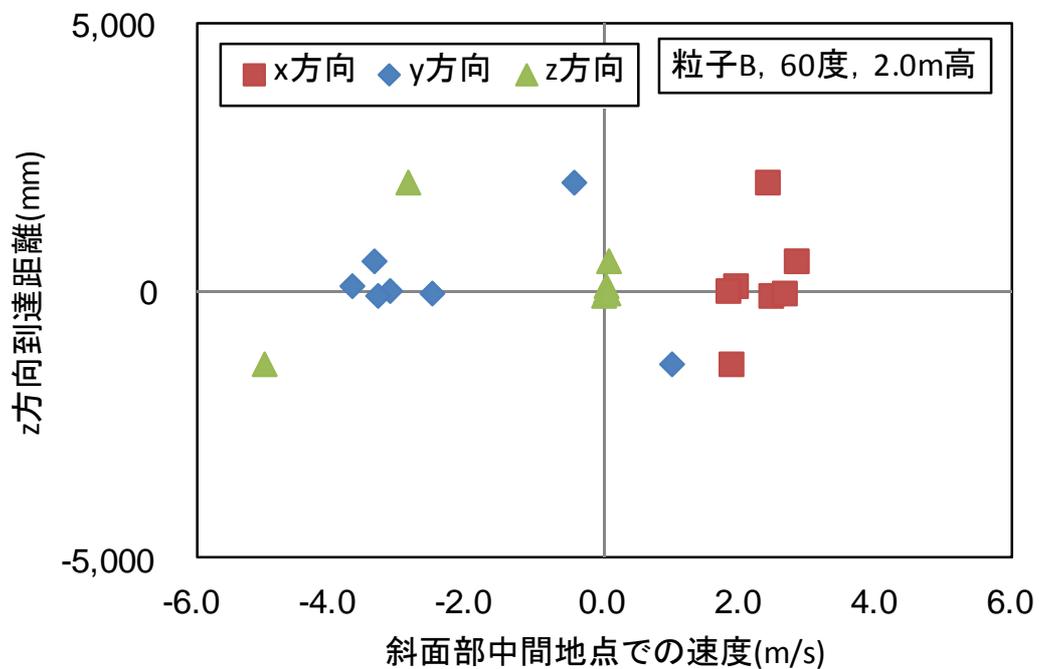


図 3.3.3.267 斜面部中間地点速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、60 度、2.0m 高)

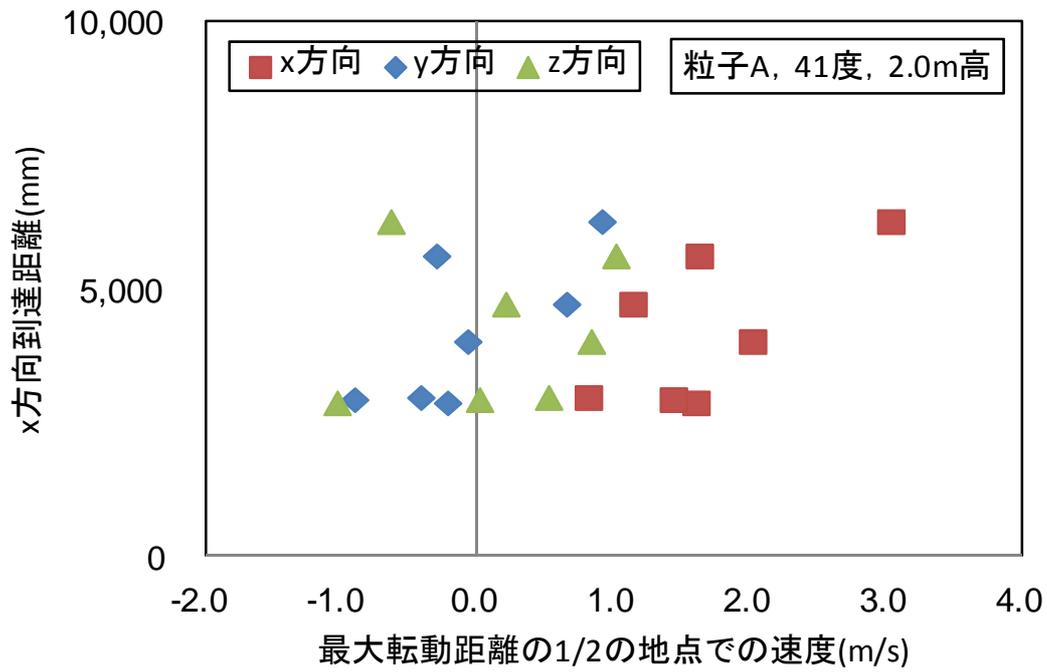


図 3.3.3.268 最大転動距離 1/2 地点の速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子A、41 度、2.0m 高)

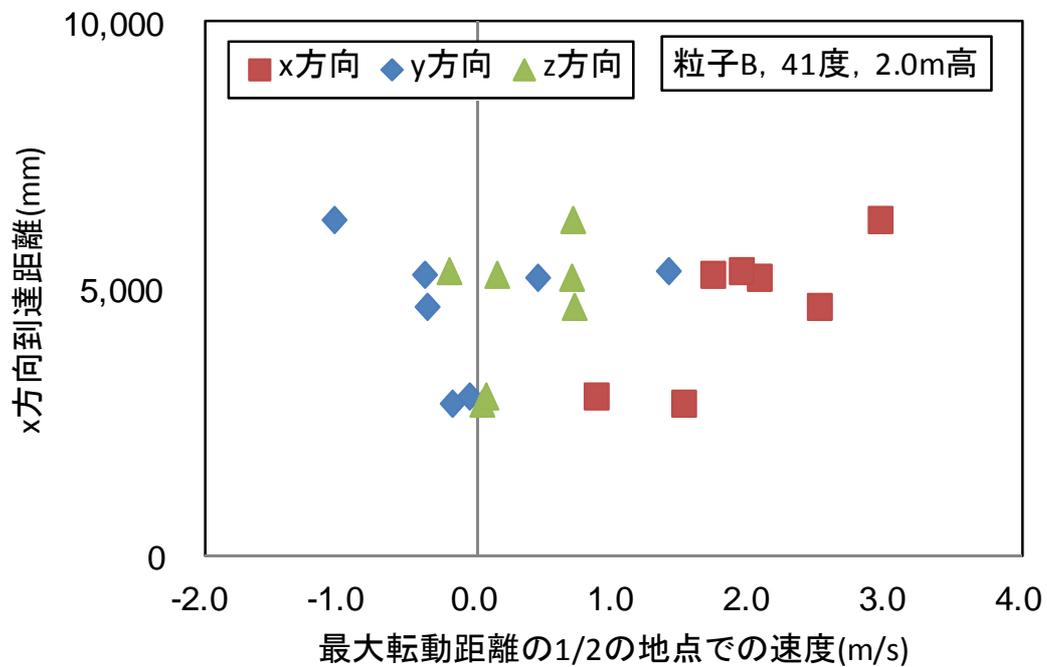


図 3.3.3.269 最大転動距離 1/2 地点の速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、2.0m 高)

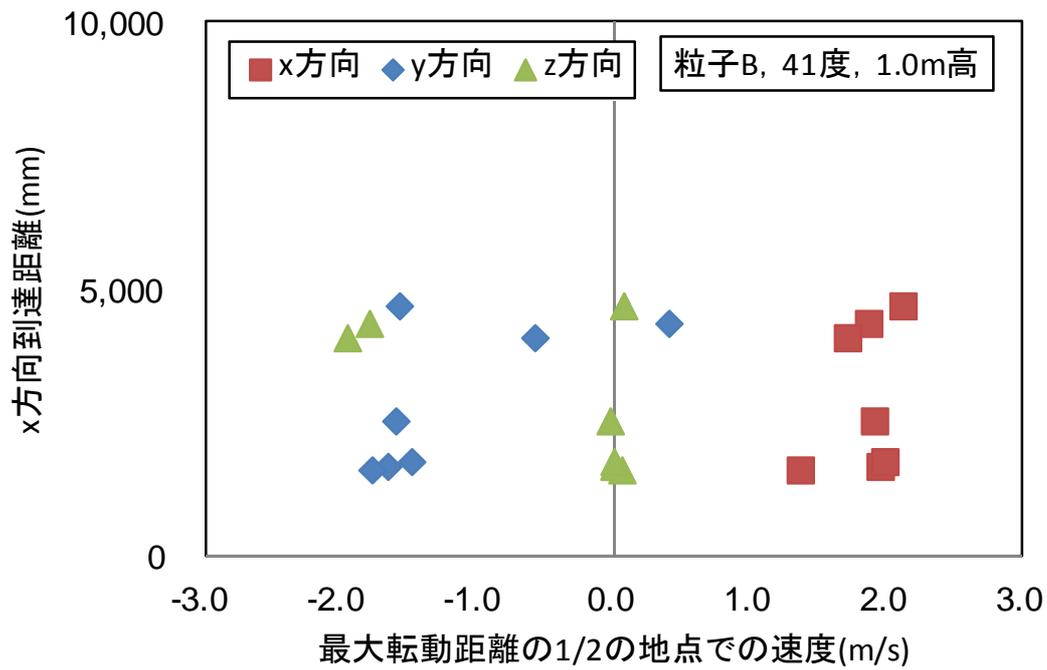


図 3.3.3.270 最大回転距離 1/2 地点の速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、1.0m 高)

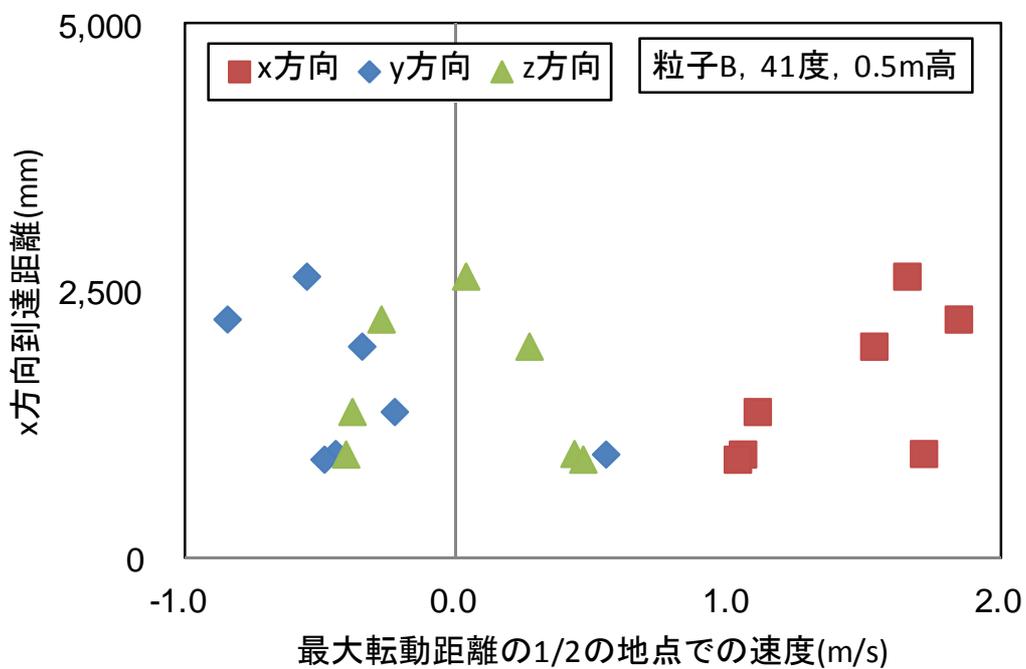


図 3.3.3.271 最大回転距離 1/2 地点の速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、0.5m 高)

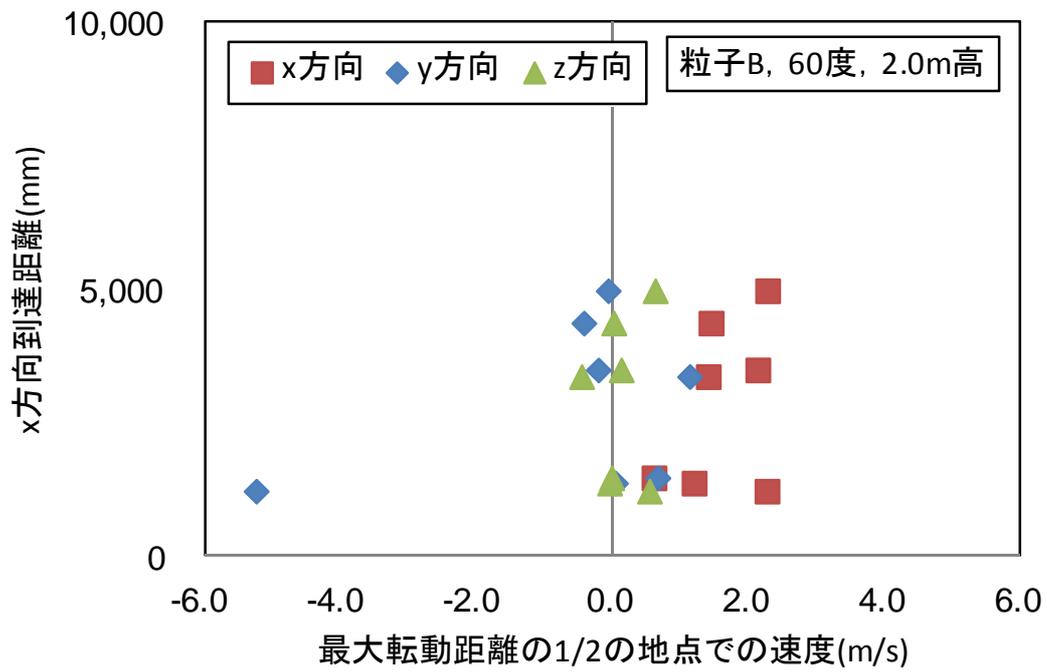


図 3.3.3.272 最大回転距離 1/2 地点の速度と x 方向の到達距離の関係 (粒子B、60 度、2.0m 高)

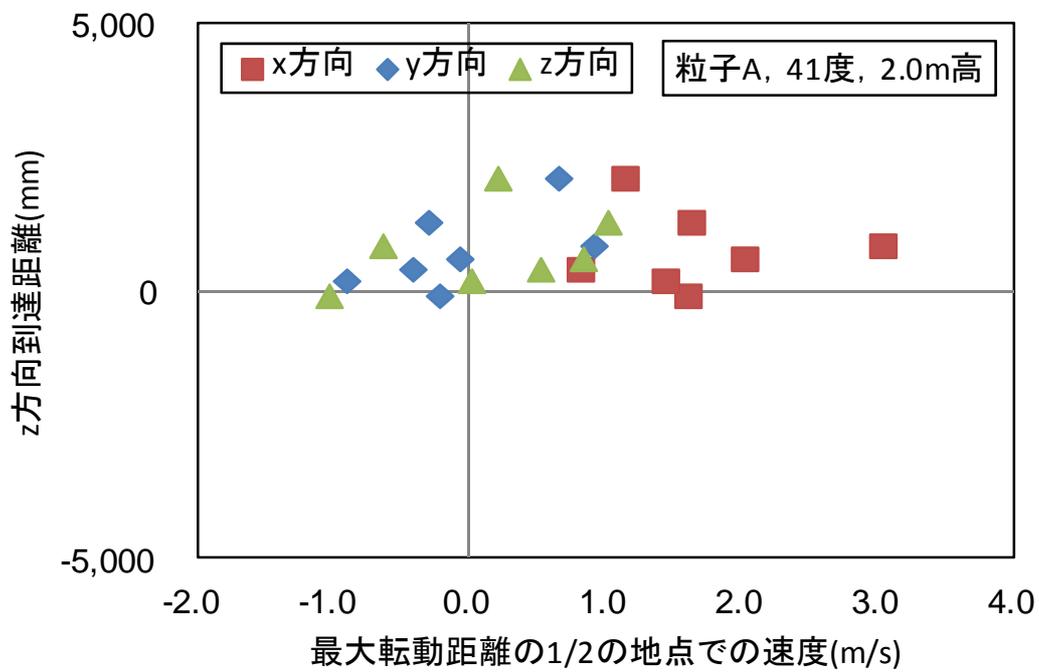


図 3.3.3.273 最大回転距離 1/2 地点の速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子A、41 度、2.0m 高)



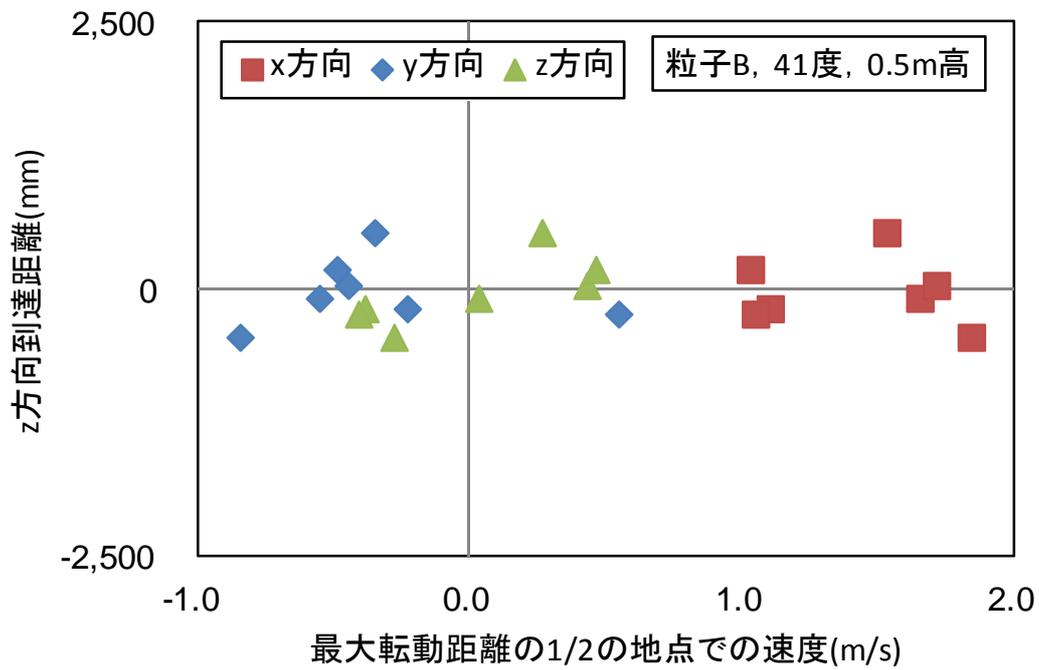


図 3.3.3.276 最大回転距離 1/2 地点の速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、41 度、0.5m 高)

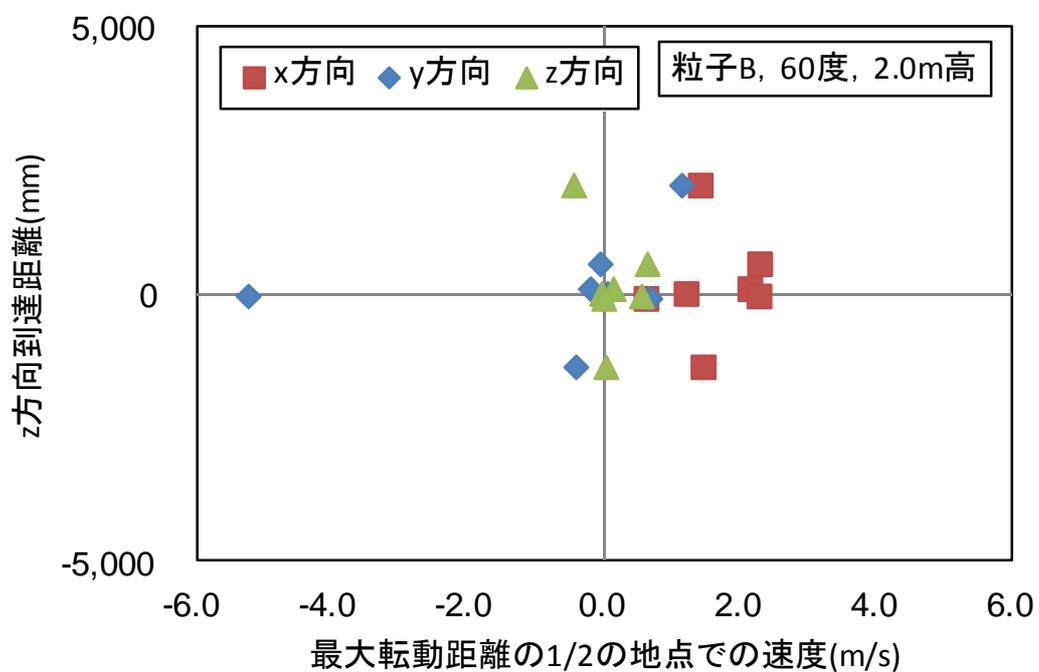


図 3.3.3.277 最大回転距離 1/2 地点の速度と z 方向の到達距離の関係 (粒子B、60 度、2.0m 高)

### 3.4 検討委員会の開催

地盤工学と耐震工学に関する研究者および専門家4名を含めて、事業実施期間内に計4回会議を実施した。表3.4.1に委員会メンバー、表3.4.2に実施日および開催場所を示す。

表 3.4.1 委員会メンバー

	氏名	所属
委員長	中村 晋	日本大学 工学部 土木工学科 教授
委員	吉田 郁政	東京都市大学 工学部 都市工学科 教授
委員	河井 正	東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻 准教授
委員	篠田 昌弘*	防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科 准教授

\*平成27年11月13日より

表 3.4.2 実施日および開催場所

	実施日	場所
第1回	平成27年7月8日	公益財団法人鉄道総合技術研究所（東京都国分寺市）
第2回	平成27年9月7日	公益財団法人鉄道総合技術研究所（東京都国分寺市）
第3回	平成27年11月13日	公益財団法人鉄道総合技術研究所（東京都国分寺市）
第4回	平成28年1月22日	公益財団法人鉄道総合技術研究所東京オフィス（東京都千代田区）

#### 4. まとめ

本業務では、岩塊、土砂の衝突荷重の評価手法の構築を目的とし、遠心力模型実験、岩塊衝突試験、試験データの情報整理、検討委員会の開催を実施した。

遠心力模型実験から得られた主な知見は以下の通りである。

- 1) 遠心実験で崩壊する加速度レベルは Case32 で 300gal、Case33 で 500gal 程度であったが、この結果は要素試験から得られた粘着力を用いた安定解析結果と概ね整合した。
- 2) 反力壁に埋設した土圧計の計測結果は、いずれも土塊衝突時にピーク値を示した後に、一定の残留値に収束した。
- 3) 残留値について、すべり土塊の自重とすべり面上のせん断抵抗および反力壁の水平・鉛直方向反力の力の釣合いを考慮して計算値と実測値とを比較した結果、鉛直方向については、計算値と実測値が比較的良好に一致した。一方で、水平方向については計算値が実測値を過少に評価した。
- 4) 水平方向で計算値が実測値を過少評価した理由は、反力壁に均一に荷重が作用していると仮定して計算を行っているものの、実際には水平方向については衝突時に土塊が反力壁前面に均等に荷重を及ぼすようには堆積しなかったためである。鉛直方向については、比較的均一に反力壁上に堆積したため、計算値と実測値が比較的良好に整合したものと考えられる。
- 5) 衝突荷重時の圧力変動について、ヘルツ式と実測値とを比較した。計算の結果、いずれのケースにおいても計算値は実測値を安全側に評価した。
- 6) Case32 については、水平方向、鉛直方向で実測値の概ね 4.5~5 倍程度の衝突荷重となる計算結果であった。この差異は、既往の重錘とコンクリート床盤との衝突実験における実験結果とヘルツ式による計算結果の差異と概ね同程度であった。
- 7) 土塊の剛性を低減して土塊の剛性が理論式の計算結果に及ぼす影響に関する感度分析を行った結果、剛性を初期剛性の  $1/64$  程度とすることで、計算値と実測値とは概ね整合した。一軸圧縮試験の接線剛性低下率の評価結果から判断すると、すべり土塊の剛性低下として現実的なものであった。
- 8) Case33 については、剛性低下を考慮したとしても計算値は実測値の 5 倍程度であり、過度に安全側に作用荷重を評価する結果となった。そこで、流体力の算定式を用い衝突荷重を評価した結果、実測値の  $1/5$  程度であり危険側に評価する結果となった。Case33 については、すべり土塊の下部が先行して崩壊し反力壁に衝突したため、実際にはヘルツ式で想定する弾

性体の衝突問題と、流体力として評価可能な問題との境界的な挙動を示したものと考えられる。今後は、このような境界的な挙動を評価可能な解析手法の整備・妥当性の検証が必要である。

岩塊衝突試験から得られた主な知見は以下の通りである。

- 1) 画像解析と理論式から求めた衝突荷重の関係を確認した結果、画像解析結果から力積の式を通じて計算した衝突荷重は計測値より小さい値になった。これは、衝突対象の剛性や岩塊形状を考慮していないことが影響したものと考えられる。
- 2) 岩塊模型の衝突荷重と衝突直前速度の関係を整理した。その結果、岩塊模型間の違いとしては、球形模型の場合の衝突荷重に対し、他の岩塊模型の衝突荷重は小さい傾向があった。また、コンクリート板のケースでは、一部のケースで荷重が小さくなる傾向が見られた。これは岩塊模型とコンクリート板の損傷が影響したものと考えられる。
- 3) 岩塊模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係において、コンクリート板または岩塊模型が損傷したケースは、比較的衝突速度が大きい場合に発生し、衝突荷重が相対的に小さくなる傾向があることを確認した。これは、衝突速度が大きいほど衝突荷重が大きくなり、コンクリート板と岩塊模型の接触面で損傷エネルギーに衝突荷重の一部が使われたことを示していると考えられる。
- 4) 土砂模型の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度との関係を調べた。その結果、荷重と速度には正の相関関係が見られ、土のうのケースでは、土のうの段数が多いほど荷重が大きくなる傾向が見られた。これは、土砂模型の質量が大きくなったことが影響したものと考えられる。
- 5) 岩塊の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係に対するヘルツの式の適用性を確認した。その結果、ヘルツの式で求めた算定値で、概ね計測値を包絡できることを確認した。ただし、ベニヤとコンクリートのラメの定数  $k$  は、材料試験で求められる一般的な値より小さい値になった。これは、岩塊模型とコンクリート板の破損に伴う塑性化を反映したものと考えられる。
- 6) 土砂の衝突荷重ピーク値と衝突直前速度の関係に対する流体力式の適用性を確認した。その結果、流体力式で求めた算定値で、計測値を包絡するためには、補正係数を 5.0~20.0 と大きく設定する必要があることが分かった。これは、土砂が塊として衝突し、岩塊衝突に類似したメカニズムで荷重が作用したためと考えられる。
- 7) 岩塊模型の衝突荷重時刻歴を岩塊模型種別毎に比較した。その結果、20cm 径および 40cm 径岩塊・ベニヤ板、40 径岩塊・コンクリート板のケースでは、落下高さが大きいほど岩塊種別で違いが生じる傾向があることが分かった。全体的には、衝突荷重は、球形>多面体=実岩塊の

傾向があり、衝突荷重の作用が継続する時間は、実岩塊>多面体>球形になる傾向があった。これは、衝突荷重が大きくなるほど、衝突荷重の作用が継続する時間は小さくなることを意味している。一方、コンクリート板・20cm 径岩塊のケースでは、岩塊種別間で全体的に差がない結果になった。

- 8) 土砂模型の衝突荷重時刻歴を岩塊模型種別毎に比較した。その結果、土のうの段数が多くなるほど、衝突荷重が大きく、衝突荷重の作用が継続する時間が増える傾向があり、この傾向は、落下高さが大きいケースほど顕著であった。よって、土砂の土量が多いほど、衝突荷重は大きく、衝突荷重の作用が継続する時間は増えることが考えられる。

過去に実施した岩塊転動試験データの情報整理から得られた主な知見は以下の通りである。

- 1) 到達距離に影響を及ぼすと考えられる物理量として、斜面部での最大速度と、斜面部と平坦部の境界での速度に着目し、斜面方向  $x$  および斜面直交方向  $z$  の到達距離と、斜面部最大速度および斜面部と平坦部の境界での速度（以後、O 点速度）の関係を分析した。
- 2) 到達距離と O 点速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に整理した。その結果、斜面直交方向  $z$  の到達距離に関しては、いずれのケースでも到達距離と速度に有意な関係は見られなかった。これは、岩塊の斜面直交方向の到達距離は速度の大きさより、跳ね返り方向等その他の要因が大きな影響を及ぼすためと考えられる。一方、斜面方向  $x$  の到達距離に関して、粒子 A、41 度勾配のケースでは、落下高さ 2.0m の場合で、 $x$ 、 $y$  方向の速度と正の相関が確認できた。これは、斜面接線方向の速度が大きくなるほど到達距離が大きくなることを示している。
- 3) 到達距離と O 点速度の関係において、粒子 B のケースでは、斜面勾配の大きさに拘わらず、到達距離と速度の間に有意な関係は見られなかった。これは、岩塊のサイズが大きい粒子 B のケースでは、跳ね返りの影響が大きくなり、到達距離に対して、跳ね返り等斜面部と平坦部の境界での速度以外の要因の影響が大きくなったためと考えられる。よって、底面の凹凸に対して岩塊のサイズが大きくなるほど、斜面方向の到達距離を O 点速度から推定することは困難になると考えらる。
- 4) 到達距離と斜面部最大速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に整理した。斜面方向  $x$ 、斜面直交方向  $z$  の到達距離ともに、いずれのケースでも斜面部最大速度と有意な関係は見られなかった。よって、到達距離を斜面部最大速度から推定することは困難であると考えられる。
- 5) 到達距離と斜面部中間地点の速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に整理し

た。斜面方向  $x$ , 斜面直交方向  $z$  の到達距離ともに、いずれのケースでも斜面部の中間地点の速度と有意な関係は見られなかった。よって、到達距離を斜面部の中間地点の速度から推定することは困難であると考えられる。

- 6) 到達距離と最大転動距離の 1/2 地点の速度の関係を粒子サイズと斜面勾配が異なるケース毎に整理した。斜面方向  $x$  について、41 度斜面、落下高さ 2.0m のケースでは、粒子サイズ A および B のケースともに最大転動距離の 1/2 地点の速度と到達距離に相関関係が見られる。一方、その他の斜面方向  $x$  に対するケース、斜面直交方向  $z$  のケースでは、到達距離と最大転動距離の 1/2 地点の速度との間に有意な関係は見られなかった。これは、41 度斜面、落下高さ 2.0m のケースでは平坦部において転動挙動が卓越する一方、落下高さが小さいケース、60 度斜面のケースでは平坦部において、跳ね返り挙動が卓越し、到達距離と速度のばらつきが大きくなったためと考えられる。