

津波堆積物に基づく津波波源推定手法の開発

平成27年3月

関西大学

津波堆積物に基づく津波波源推定手法の開発

目 次

1. 序論	1-1
1.1 研究の背景と目的	1-1
1.2 研究内容	1-1
1.3 研究実施体制	1-3
2. 仙台湾浅海域における津波堆積物の追加調査	2-1
2.1 調査概要	2-1
2.2 調査結果	2-3
2.3 まとめ	2-8
参考文献	2-8
3. 気仙沼湾および戸賀湾における現地調査	3-1
3.1 気仙沼湾における深淺測量	3-1
3.2 気仙沼湾における音波探査	3-15
3.3 戸賀湾における古津波堆積物調査	3-25
3.3 海底サンプリング調査	3-44
参考文献	3-46
4. 宮崎県における津波堆積物調査	4-1
4.1 宮崎県延岡市島浦島における古津波堆積物の年代測定結果	4-1
4.2 宮崎県串間市での古津波堆積物調査に関わる 火山灰試料の年代測定結果	4-4
参考文献	4-4
5. 愛媛県，長崎県，大分県，高知県および韓国における津波堆積物調査	5-1
5.1 愛媛県八幡浜市における津波堆積物調査(竜王池)	5-1
5.2 長崎県長崎市における津波堆積物調査(川原大池)	5-5
5.3 大分県佐伯市における津波堆積物調査(龍神池)	5-8

5.4	高知県須の川海岸における予備調査	5-12
5.5	長崎県平戸市，壱岐市および島根県松江市における予備調査	5-15
5.6	韓国東海岸における予備調査	5-17
5.7	14C年代測定	5-23
5.8	X線分析装置およびCT画像の利活用可能性	5-24
	参考文献	5-30
6.	斜面を遡上する津波に関する基礎的水理実験	6-1
6.1	はじめに	6-1
6.2	水理実験	6-2
6.3	斜面模型の概要	6-9
6.4	おわりに	6-13
	参考文献	6-13
7.	沿岸湖沼に突入する津波の水理特性に関する基礎実験	7-1
7.1	はじめに	7-1
7.2	水理実験	7-1
7.3	実験の評価指標	7-5
7.4	実験結果	7-7
7.5	まとめ	7-18
	参考文献	7-18
8.	沿岸湖沼に突入する津波による底面形状画像計測	8-1
8.1	はじめに	8-1
8.2	移動床実験の概要	8-1
8.3	計測方法	8-2
8.4	計測結果	8-4
8.5	おわりに	8-8
	参考文献	8-8
9.	海底での砂移動に関する基礎的水理実験	9-1
9.1	はじめに	9-1
9.2	実験装置	9-1

9.3	固定床条件および移動床条件による PIV の比較	9-3
9.4	おわりに	9-6
	参考文献	9-6
10.	飽和浮遊砂濃度に関する基礎的水理実験	10-1
10.1	はじめに	10-1
10.2	実験装置	10-1
10.3	実験条件	10-3
10.4	流速と飽和浮遊砂濃度の関係	10-7
10.5	おわりに	10-8
	参考文献	10-9
11.	解析モデルの改良	11-1
11.1	はじめに	11-1
11.2	比較対象のデータ	11-1
11.3	再現計算の手法	11-2
11.4	計算結果	11-4
11.5	おわりに	11-19
	参考文献	11-19
12.	結論	12-1
	付録1. 発表論文リスト	付 1-1
	付録2. 沿岸湖沼に突入する津波の水理特性に関する基礎実験データ	付 2-1

1. 序論

1.1 研究の背景と目的

原子力発電所を対象とした確率論的津波ハザード評価に必要となる過去の津波発生に係るデータ（津波規模，繰り返し周期）を拡充するために，津波堆積物の情報に基づいて津波波源を推定する手法の開発が必要である．そのために，今年度は，津波堆積物に係る現地調査，津波による土砂移動および土砂堆積に係る水理実験，津波による土砂移動を再現するためのモデルの構築および解析コードの改良を目的とした．

1.2 研究内容

津波堆積物に基づく津波波源推定手法の開発を行うために，以下の研究を実施した．

- (1) 仙台湾浅海域における津波堆積物の追加調査（第2章）
- (2) 気仙沼湾および戸賀湾における現地調査（第3章）
- (3) 宮崎県における津波堆積物調査（第4章）
- (4) 愛媛県，長崎県，大分県，高知県および韓国における津波堆積物調査（第5章）
- (5) 斜面を遡上する津波に関する基礎的水理実験（第6章）
- (6) 沿岸湖沼に突入する津波の水理特性に関する基礎実験（第7章）
- (7) 沿岸湖沼に突入する津波による底面形状画像計測（第8章）
- (8) 海底での砂移動に関する基礎的水理実験（第9章）
- (9) 飽和浮遊砂濃度に関する基礎的水理実験（第10章）
- (10) 解析モデルの改良（第11章）

1.3 研究実施体制

本業務での研究実施体制および役割分担、業務構成をず 1-1 および表 1-1 に示す。本業務では現地調査、水理実験、数値解析が主な研究手法となるため、それぞれの研究手法でグループを構成している。

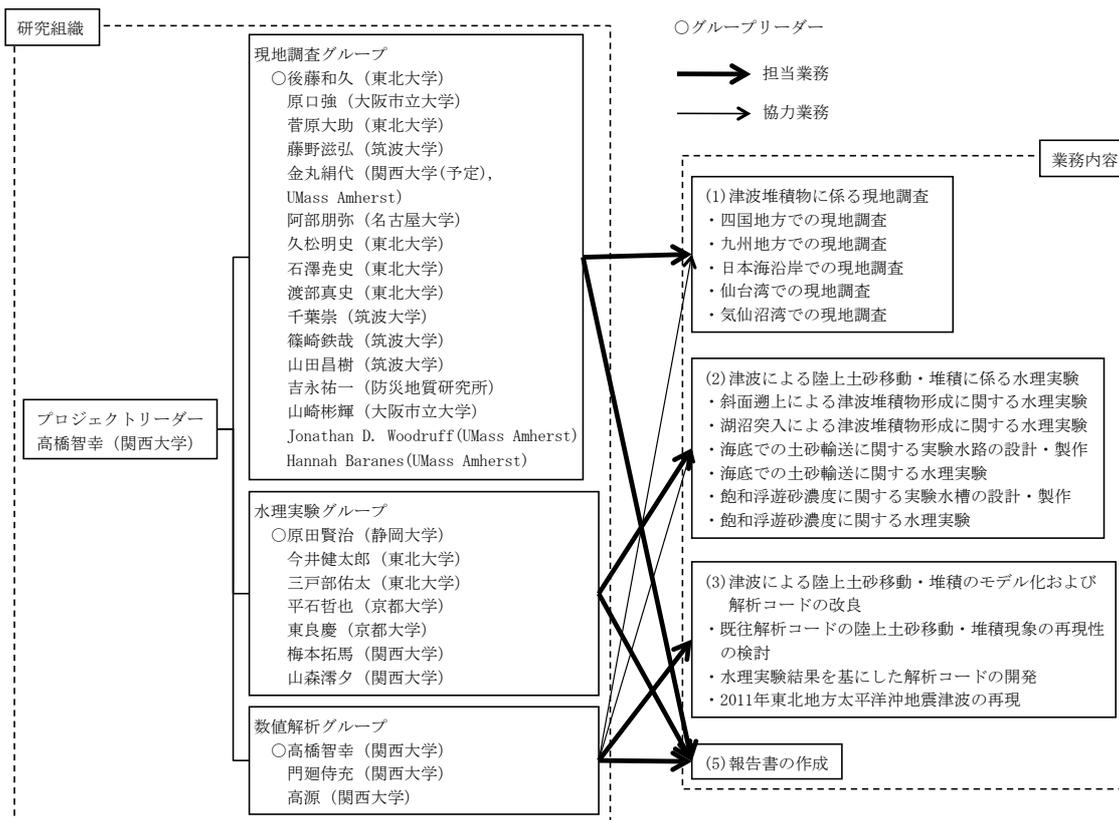


図 1-1 研究組織と担当

表 1-1 研究メンバーと担当

当該業務における担当業務	氏 名	所属・役職
<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトリーダー ・津波による陸上土砂移動・堆積のモデル化および解析コードの改良 ・報告書の作成 	高橋 智幸	関西大学社会安全学部・教授
<ul style="list-style-type: none"> ・津波堆積物に係る現地調査 ・報告書の作成 	後藤 和久	東北大学災害科学国際研究所・准教授
<ul style="list-style-type: none"> ・津波堆積物に係る現地調査 ・報告書の作成 	原口 強	大阪市立大学大学院理学研究科・准教授
<ul style="list-style-type: none"> ・津波堆積物に係る現地調査 ・報告書の作成 	菅原 大助	東北大学災害科学国際研究所・助教
<ul style="list-style-type: none"> ・津波堆積物に係る現地調査 ・報告書の作成 	藤野 滋弘	筑波大学生命環境系・助教
<ul style="list-style-type: none"> ・津波堆積物に係る現地調査 ・報告書の作成 	金丸 絹代	University of Massachusetts Amherst、関西大学特別任用研究員
<ul style="list-style-type: none"> ・津波による陸上土砂移動・堆積に係る水理実験 ・報告書の作成 	原田 賢治	静岡大学防災総合センター・准教授
<ul style="list-style-type: none"> ・津波による陸上土砂移動・堆積に係る水理実験 ・報告書の作成 	今井 健太郎	東北大学災害科学国際研究所・助教
<ul style="list-style-type: none"> ・津波による陸上土砂移動・堆積に係る水理実験 ・報告書の作成 	三戸部 佑太	東北大学大学院工学研究科・助教
<ul style="list-style-type: none"> ・津波による陸上土砂移動・堆積に係る水理実験 ・報告書の作成 	平石 哲也	京都大学防災研究所・教授
<ul style="list-style-type: none"> ・津波による陸上土砂移動・堆積に係る水理実験 ・報告書の作成 	東 良慶	京都大学防災研究所・助教

・津波堆積物に係る現地調査	阿部 朋弥	名古屋大学大学院理学研究科・博士課程（後期課程）3年次
・津波堆積物に係る現地調査	久松 明史	東北大学大学院理学研究科・修士課程2年次
・津波堆積物に係る現地調査	石澤 堯史	東北大学大学院理学研究科・修士課程1年次
・津波堆積物に係る現地調査	渡部 真史	東北大学大学院理学研究科・修士課程1年次
・津波堆積物に係る現地調査	千葉 崇	筑波大学生命環境系・研究員
・津波堆積物に係る現地調査	篠崎 鉄哉	筑波大学生命環境科学研究科・博士後期課程2年次
・津波堆積物に係る現地調査	山田 昌樹	筑波大学生命環境科学研究科・博士後期課程1年次
・津波堆積物に係る現地調査	吉永 祐一	㈱防災地質研究所・主任研究員
・津波堆積物に係る現地調査	山崎 彬輝	大阪市立大学大学院理学研究科生物地球系・博士前期課程2年次
・津波堆積物に係る現地調査	Jonathan D. Woodruff	University of Massachusetts Amherst・Assistant Professor
・津波堆積物に係る現地調査	Hannah Baranes	University of Massachusetts Amherst・Masters in Progress
・津波による陸上土砂移動・堆積に係る水理実験	梅本 拓馬	関西大学大学院社会安全研究科・博士課程前期課程1年次
・津波による陸上土砂移動・堆積に係る水理実験	山森 滯夕	関西大学大学院社会安全研究科・博士課程前期課程1年次
・津波による陸上土砂移動・堆積のモデル化および解析コードの改良	門廻 侍充	関西大学大学院社会安全研究科・博士課程後期課程1年次
・津波による陸上土砂移動・堆積のモデル化および解析コードの改良	高 源	関西大学大学院社会安全研究科・博士課程前期課程2年次

2. 仙台湾浅海域における津波堆積物の追加調査

2.1 調査概要

2011年東北地方太平洋沖地震の津波により、仙台湾沿岸では大規模な土砂の移動に伴う砂浜の浸食や内陸部での土砂堆積が生じた。津波による砂浜の浸食は仙台湾南部海岸で顕著であり、入江状の湾入地形が各所に形成された。浸食地形と陸上堆積土砂の観察や空撮映像の分析から、大量の土砂が海域へ流出したことが推測されている。当海域では津波に前後して継続的な深浅測量が行われており、津波の影響によると推定される水深の変化が確認されている（有働ほか，2013）。

本プロジェクトでは、昨年度（2013年7月17日～18日）に仙台湾南部の10地点で柱状採泥を行った。回収された津波堆積物試料について、厚さや性状を確認し、供給源と堆積過程に関する分析を実施している。本年度は、津波堆積物の面的な分布を確定し、津波の挙動推定に資する詳細なデータの取得を目的に、同じく仙台湾南部山元町沖合の7地点、仙台空港沖合の3地点で追加的な柱状採泥を実施した。

採泥作業は日本ミクニヤ株式会社に委託し、2014年10月8日～10日に実施した（図2-1，2-2）。掘削地点の位置は表2-1の通りである。

表 2-1: 仙台湾南部浅海域における堆積物追加調査地点

地点名	採泥日	緯度	経度	水深(m)	堆積層厚(m)
St.1	2014年10月9日	N 37°58'08.708"	E 140°55'19.775"	12.4	1.60
St.2	2014年10月9日	N 37°58'08.893"	E 140°55'25.087"	13.4	1.15
St.3	2014年10月10日	N 37°57'44.828"	E 140°55'25.209"	12.0	1.32
St.4	2014年10月10日	N 37°57'45.423"	E 140°55'30.829"	13.3	1.35
St.5	2014年10月10日	N 37°56'55.765"	E 140°55'49.061"	13.0	1.40
St.6	2014年10月10日	N 37°56'56.810"	E 140°55'57.543"	14.0	1.40
St.7	2014年10月10日	N 37°55'48.629"	E 140°56'40.779"	15.1	1.63
St.8	2014年10月9日	N 38°07'14.814"	E 140°56'48.150"	17.1	1.59
St.9	2014年10月9日	N 38°07'10.134"	E 140°57'08.413"	20.1	1.91
St.10	2014年10月9日	N 38°07'02.543"	E 140°57'41.081"	21.0	1.89

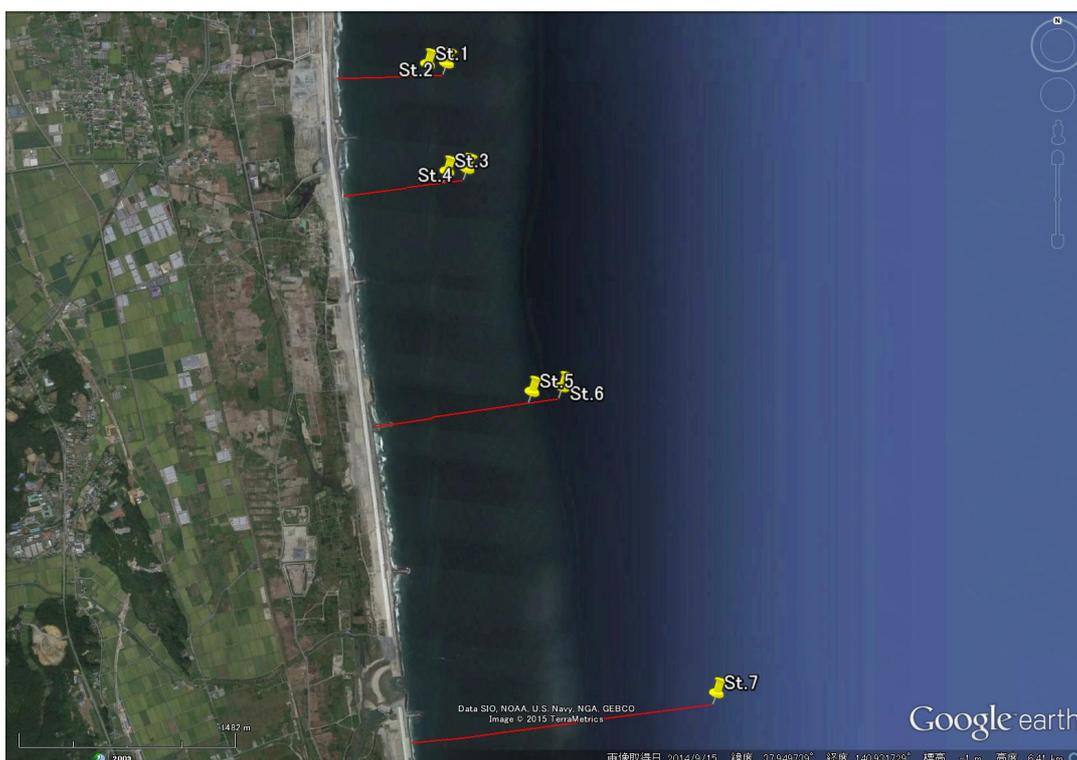


図 2-1 : 堆積物調査地点の位置 (St.1~St.7).

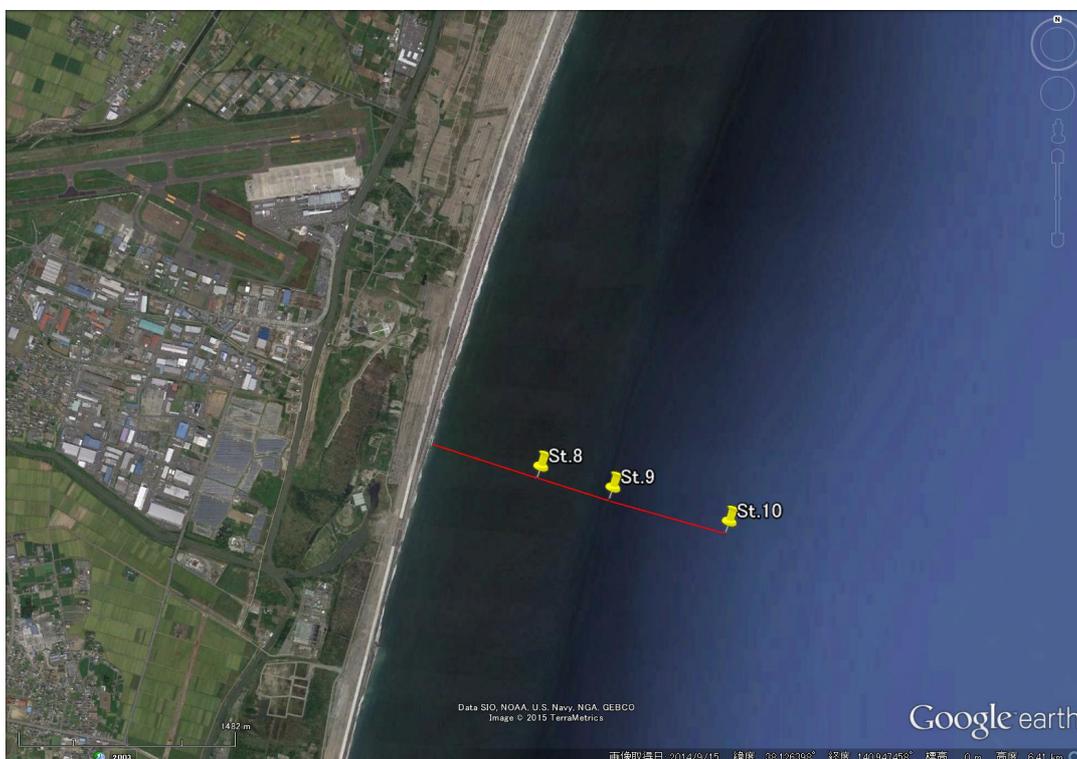


図 2-2 : 堆積物調査地点の位置 (St.8~St.10).

2.2 調査結果

回収された柱状試料を実験室内で肉眼により観察し、堆積物の厚さと構造の記載を行った。以下、深度は海底面と推定される採取試料最上部からの値である。

St.1 (図 2-3)

深度 0cm~51cm は灰白色の砂層である。深度 0cm~10cm は山型の葉理が、深度 10cm~20cm には水平面に斜交する葉理が発達し、黒色を呈する。深度 20cm~35cm は上位に向かって極粗粒砂から細粒砂まで上方細粒化している。深度 38cm~51cm は上方粗粒化し、最下部は細粒砂で黒色の平行葉理が確認された。深度 43cm には径 1.5cm 程の円礫が含まれていた。深度 51cm 以下は暗灰色を呈す極細粒砂層で 80cm~90cm に細片化した貝殻が密集している。

St.2 (図 2-3)

深度 0cm~40cm は灰白色の砂層で、下部からの上方粗粒化に続いて上方細粒化を示す。深度 0cm~17cm は細粒砂、深度 17cm~33cm は極粗粒砂、深度 33cm~40cm は細粒砂で下位層準との境界は明瞭である。深度 28cm は重鉍物による葉理が発達している。深度 40cm 以下は暗灰色を呈す極細粒砂層である。

St.3 (図 2-3)

深度 0cm~66cm は灰白色~黄灰色の砂層である。深度 0cm~22cm は粗粒砂から中粒砂への上方細粒化を示し、山型の葉理が認められる。深度 22cm~48cm は粗粒砂で深度 35cm, 39cm, 48cm に重鉍物による平行葉理が認められる。深度 48cm~66cm は中粒砂から粗粒砂へ上方粗粒化している。深度 60cm 以下は暗灰色を呈する極細粒砂~シルト層である。

St.4 (図 2-3)

深度 0cm~21cm は砂層で、重鉍物による葉理が認められる。深度 21cm~35cm は弱い上方細粒化を示す中粒砂層で、黄褐色を呈する。深度 35cm~55cm は黒色の葉理が卓越する黒色を呈する砂層で、以下、黄褐色の粗粒部が深度 55cm~64cm と 77cm~82cm、褐色の細粒部が 64cm~77cm, 82cm~100cm に交互に出現する。100cm 以下は暗灰色を呈する極細粒砂で、深度 125cm に貝殻片が濃集している。

St.5 (図 2-3)

深度 0cm~50cm は暗灰色の極細粒砂層で、深度 10cm~20cm には黄褐色の砂がわずかに混在している。また、深度 33cm にも黄褐色の中粒砂がパッチ状に含まれる。深度

50cm~70cm は暗灰色の細粒砂と黄褐色の中粒砂の薄層が互層をなしている。深度 77cm~110cm は暗灰色の極細粒砂層で上位層との境界はやや明瞭である。深度 110cm~120cm は黄褐色の中粒砂層ある。深度 120cm 以下は暗灰色の極細粒砂層で、上位層準との境界は不明瞭で漸移している。

St.6 (図 2-4)

深度 0cm~27cm は黄褐色の細粒砂と暗灰色の極粗粒砂が混在している。下位層準との境界には薄い泥層が認められる。深度 27cm~42cm, 48cm~51cm, 56cm~66cm は暗灰色の極細粒砂, その間の深度 42cm~48cm, 51cm~56cm は黄褐色の粗粒砂層であり, 互層となっている。深度 42cm には貝殻や礫が含まれている。深度 66cm 以下は黄褐色の極粗粒砂~中礫層で, 深度 70cm に重鉱物による葉理が見られる他は, 深度 80cm にパッチ状の泥, 深度 140cm に中礫が含まれている。

St.7 (図 2-4)

深度 0cm~75cm 付近まで, 下位から上方粗粒化した後に上方細粒化する暗橙色の砂層である。下位層準との境界は不明瞭である。上方細粒化部分は深度 0cm~30cm に認められ, 下部の細礫から上部の粗粒砂まで変化を示す。深度 10cm 付近には泥の薄層が 2 枚挟在し, 深度 30cm には保存状態の悪い貝殻が含まれる。上方粗粒化部分は深度 30cm~75cm 付近に認められ, 深度 45cm に保存状態の悪い貝殻, 深度 70cm 付近には中礫が含まれる。75cm よりも下位は暗灰色の極細粒砂層で, 深度 114cm に塊状の粗粒砂が含まれている。

St.8 (図 2-4)

深度 0cm~70cm 付近は暗灰色のシルト層である。深度 0cm 付近には明灰色の砂がパッチ状に含まれる。深度 30cm~42cm, 50cm~52cm には水平面と斜交する粘土層が挟在し, 深度 68cm にはパッチ状の泥が含まれる。深度 70cm~100cm は黄灰色の砂層で, 92cm に黒色の泥層を挟み, その上部は中粒砂から細粒砂へ上方細粒化する。泥層の下部は細粒砂から中粒砂まで上方粗粒化する。黄灰色砂層と上位層準との境界は不明瞭で, 漸移的である。深度 100cm 以下は暗灰色のシルト層で, 生物擾乱を示す構造が認められる。

St.9 (図 2-4)

深度 176cm まで暗灰色のシルト層であり, 深度 4cm~35cm は生物擾乱が顕著である。深度 35cm には, 現地性の貝個体 (試料採取時に生存状態であった) が含まれる。深度 40cm, 47cm, 60cm, 75cm には粘土の薄層が挟在している。深度 105cm, 深度 160cm~170cm には薄い低角の斜交葉理が認められる。深度 135cm にも, 現地性の貝

の大型個体が含まれている。深度 176cm よりも下位は粘土層である。

St.10 (図 2-4)

深度 0cm~60cm は暗灰色のシルト層である。深度 52cm には貝殻が密集し、その直上から深度 20cm にかけて薄い低角の斜交葉理が認められる。深度 60cm~122cm は粘土層である。深度 122cm~156cm は暗灰色のシルト層で、基部に貝殻が密集し、その直上に薄い低角斜交葉理が認められる。深度 156cm よりも下位は粘土の層となっている。



図 2-3 : コア半割画像 (St.1~St.5). カッコの中は堆積層厚.



図 2-4 : コア半割画像 (St.6~St.10). カッコの中は堆積層厚.

2.3 まとめ

採取試料 St.1 から St.7 は山元町沖合から採取された。結果的に、堆積物の基本的な特徴は昨年度の報告と同様である。採取試料の層相は、大きく 3 つに分けることができる。

- ① コア上部：下部と同様の極細粒砂層
- ② コア中部：粗粒～中粒砂層（ここが、津波堆積物と考えられる）
- ③ コア下部：暗灰色の極細粒砂～シルト層

各層相の特徴として、③では極細粒砂は塊状かもしくは平行葉理が発達し、貝殻片の密集層も認められることが挙げられる。②の粗粒～中粒砂層には、貝殻片や円礫が大量に含まれていることが多く、平行あるいは斜交葉理も認められる。しばしば、複数の上方粗粒化や上方細粒化が認められる。また、層準②と③の境界はしばしば明瞭である。コア上部の①は③と同様の極細粒砂層で、地点によっては欠損している場合もある。生物擾乱と思われる堆積構造が見られることがある。

仙台空港沖合から回収された St.8~St.10 は主に暗灰色のシルト層および粘土層から構成され、山元町沖合とは層相が大きく異なっている。葉理構造が認められ、貝殻片や貝殻片の密集は認められるが、表層付近に明瞭な砂層は確認されていない。仙台空港沖合の現場は、海岸からの距離は山元町沖合と大差ないものの、水深は 5m 程度深い。また、津波による砂浜の浸食状況にも大きな違いがある。これらの違いが堆積物形成にどのように影響したかを、回収した試料の詳細な分析や土砂移動数値モデルなどを用いて、今後検討する必要がある。また、緯度と経度、水深が特定されている位置での堆積層厚は津波による土砂移動を再現するためのモデルおよび解析コードの検証データとして活用できると期待される。さらに、数値モデルで予測される津波継続時間と堆積層厚から飽和浮遊砂濃度に関する考察を行うことも重要である。

参考文献

有働恵子・武田百合子・田中仁・真野明, 2013, 東北地方太平洋沖地震津波による宮城県仙台湾南部海岸の海浜変形特性. 土木学会論文集 B (海岸工学), 69, I1391-I1395,

3. 気仙沼湾および戸賀湾における現地調査

3.1 気仙沼湾における深浅測量

(1) 深浅測量の方法

深浅測量は従来までと同じ機器 C3D を用いて、2014 年 8 月に実施した。以下に機器の概要を示す。

・使用機器：C3D (図 3-1)

使用機器は Teledyne Benthos 社の C3D-LPM で、小型艇に装着可能な浅海・河川・湖沼向け小型軽量のワイドスワス、サイドスキャンソナーシステムである。C3D-LPM は浅海域において高分解能のサイドスキャンイメージ取得に加え、広いスワス幅の測深計測が行える。C3D-LPM は海底反射波の位相差により測深を行うインターフェロメトリ方式を採用し、CAATI アルゴリズムによる演算を行うことで高精度・低ノイズ化を実現し、測深精度は IHO-S44-4th Edition Special Order に適合し、海上保安庁告示 102 号スワス音響測深機として認定されている。

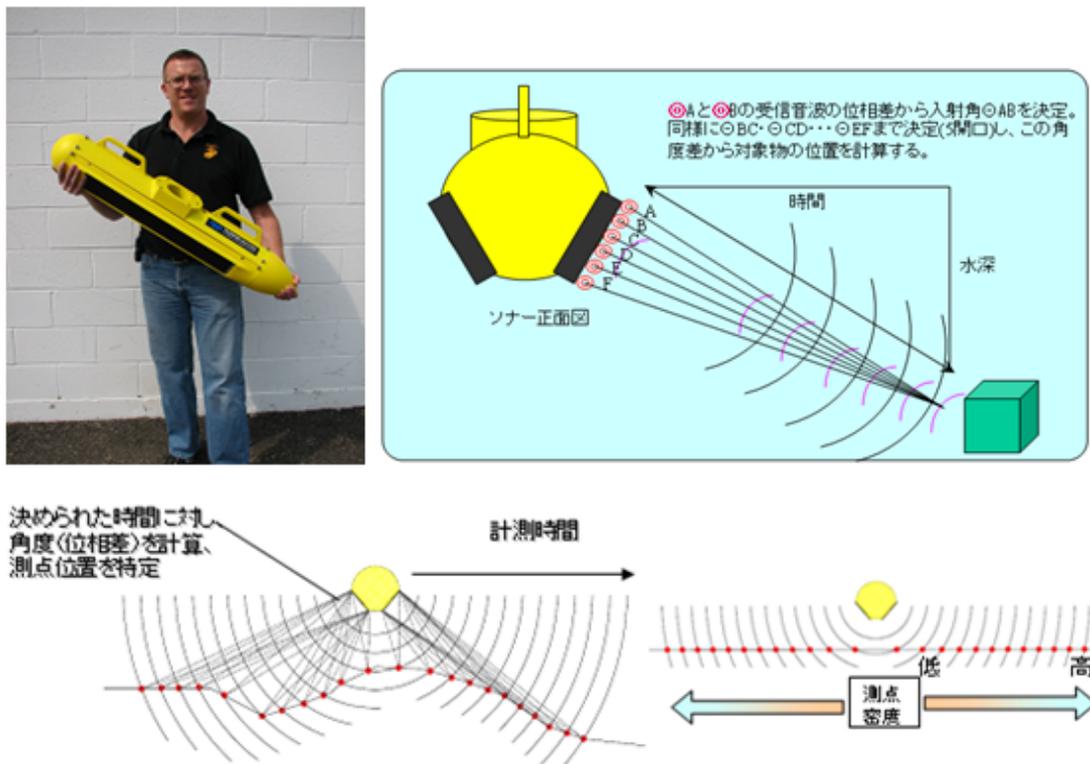


図 3-1 C3D-LPM とインターフェロメトリ方式

・インターフェロメトリ方式

反射してきた音波を一定時間に分割し、各時間における位相差から角度を計算する方式。6つの受波部による受信波の位相差から計算により入射角を最大 2000 点特定できる。受信時間を等間隔に分割するため、角度が広がると点密度が上がる特徴がある。

計測範囲

今回の範囲は、これまでの計測と同じく図 3-2 の着色範囲とした。

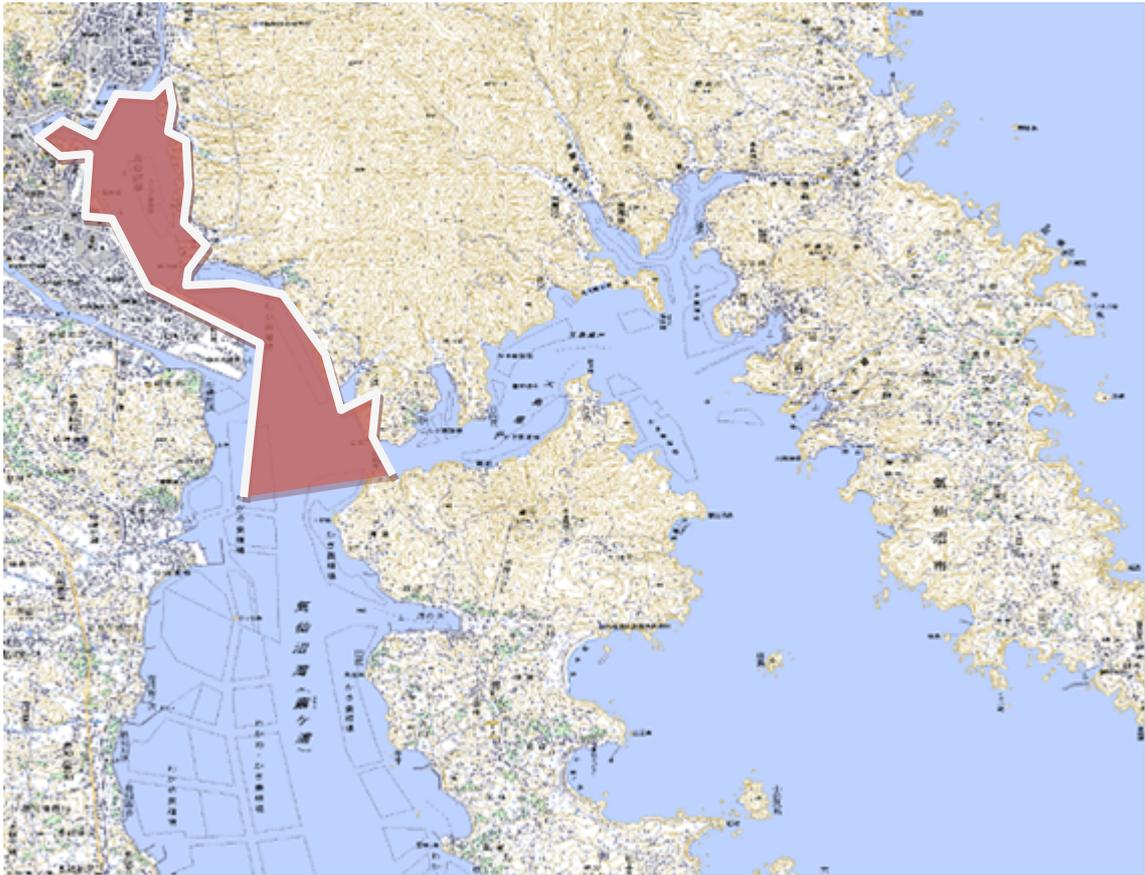


図 3-2 気仙沼湾計測範囲図

解析方法

C3D 型の測深データの解析フローを図 3-3 に示す。

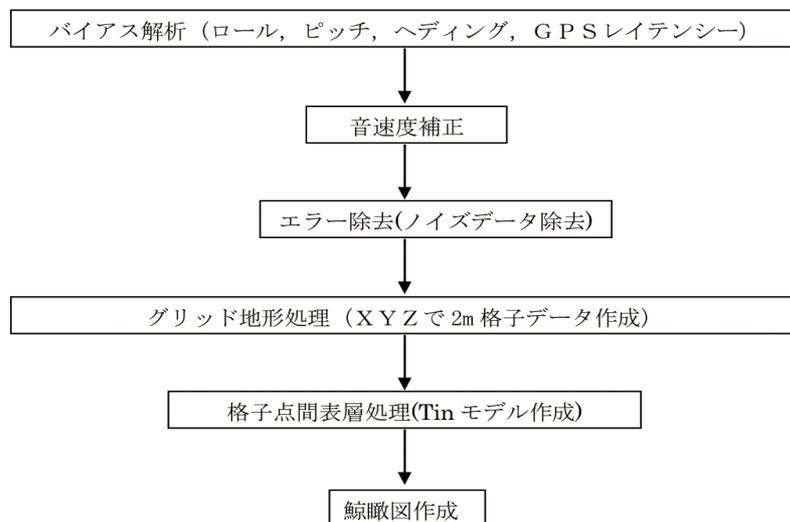


図 3-3 測深データ解析フロー図

測深データの解析には COG 社製水路測量解析ソフトウェア「Hypack-Max」を使用し、エラーデータ（水中のゴミ、気泡、魚群等によるスパイク状のエラー、機械的ノイズ等）を除去してから 3 次元メッシュデータの作成を行う。3 次元メッシュデータからは鳥瞰図を作成することができる。また、航跡図については、CAD に座標データを読み込んで編集してから作図する。

以下に使用機器の仕様等を示す。

【C3D 型測深器の仕様】

測深周波数	: 200KHz
計測レンジ	: 水深の約 10 倍
前後ビーム幅	: 1.0 度
測深点数	: 最大 2000 点
水平方向分解能	: 5.5cm(レンジに依存する)
高さ方向分解能	: 1cm
測深範囲	: 300m

【PHINS の仕様】

ヒープ	: 5cm または計測時の 5%のいずれか大きい値
ロール	: $\pm 0.01^\circ$
ピッチ	: $\pm 0.01^\circ$
方位	: 0.01°

【データ出力】

総合測量ソフト Hypack-Max に測位データを出力した。

【出力データ】

出力データは NMEA0183 プロトコル群の中の GGA プロトコルと VTG プロトコルを用いた。GGA プロトコルは調査船の位置特定に使用し、VTG プロトコルは船首の方位特定に使用した。各々のセンテンスの詳細を表 2 に示した。

表 3-1 GPS 出力データ詳細

GPS 出力データ詳細		
GGA プロ トコ ル	センテンス	明細
	\$GPGGA	プロトコル種別
	51230.00	測位時刻 (UTC)
	3517.2406384N	緯度 (北緯)
	13942.4004081E	経度 (東経)
	4	GPS クオリティ (RTK-GPS は「4」)
	8	受信衛星数
	0.9	HDOP
	-0.67M	平均海水面からのアンテナ高度 (m)
	39.71M	WGS-84 楕円体から平均海水面の高度差 (m)
	2.8	GPS データのエイジ (秒)
	0686*6C	GPS 基準局の ID とチェックサム
	出力間隔	
VTG プロ トコ ル	センテンス	明細
	\$GPVTG	プロトコル種別
	177.1T	真北に対する進行方向 (度)
	M	磁北に対する進行方向 (度)
	0.75N	対地速度 (ノット)
	1.39K	対地速度 (km/h)
	*59	チェックサム
出力間隔		5Hz

(2) 深浅測量の結果

測量結果は、①深浅図、②等深線図、③鳥瞰図、④断面図、⑤差分図としてまとめ、別途デジタルデータとして提出した。

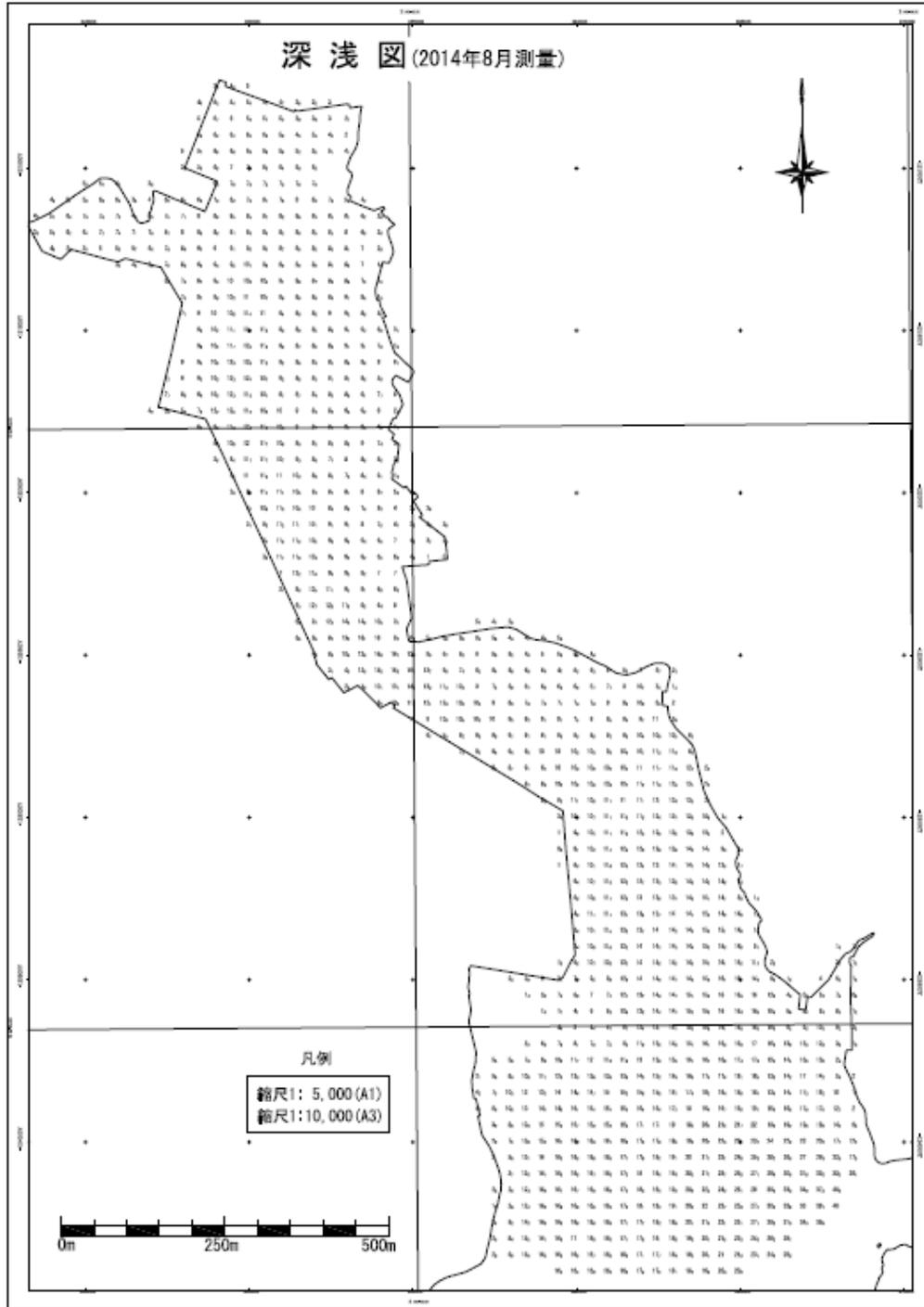


图 3-4 深浅图

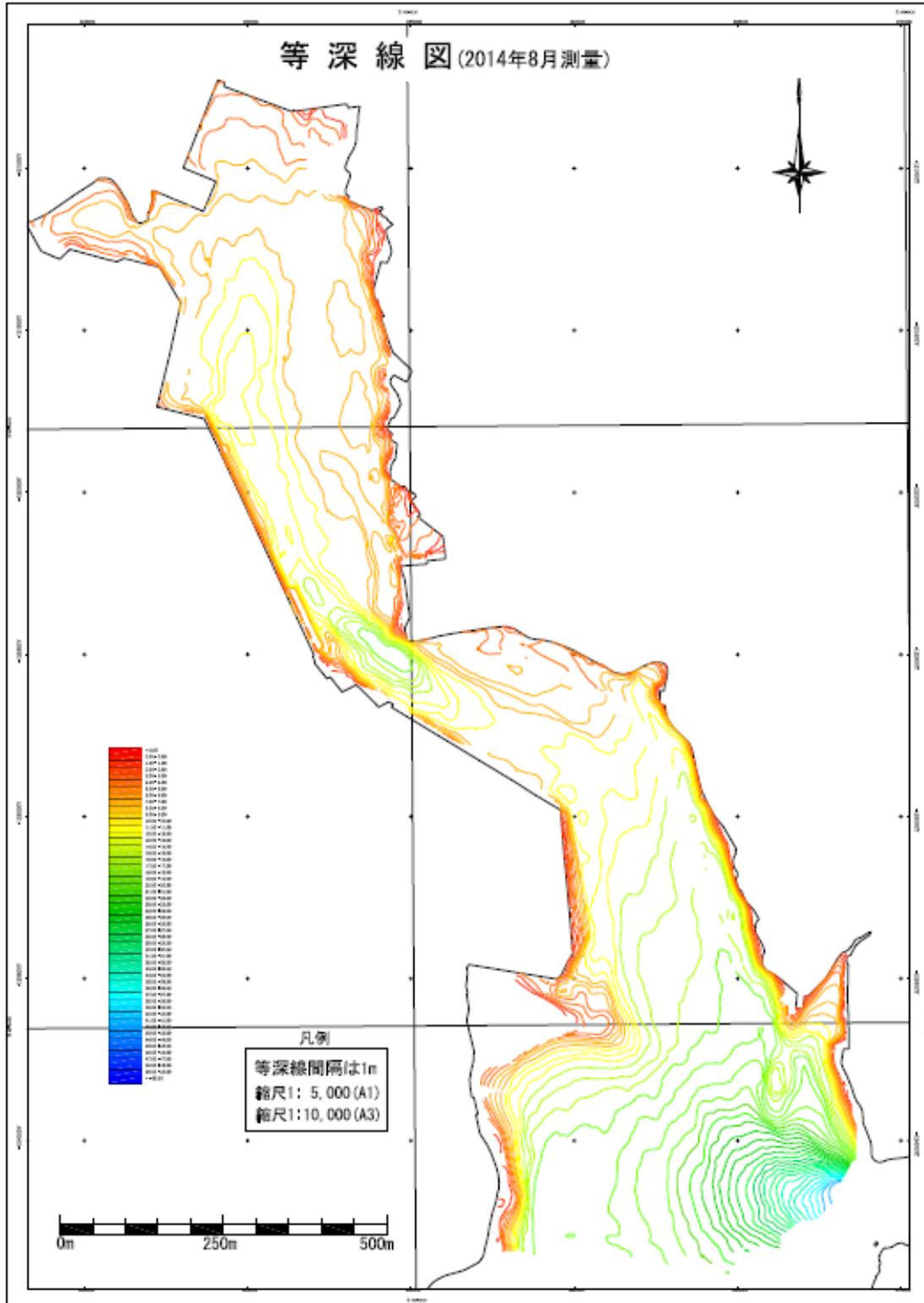
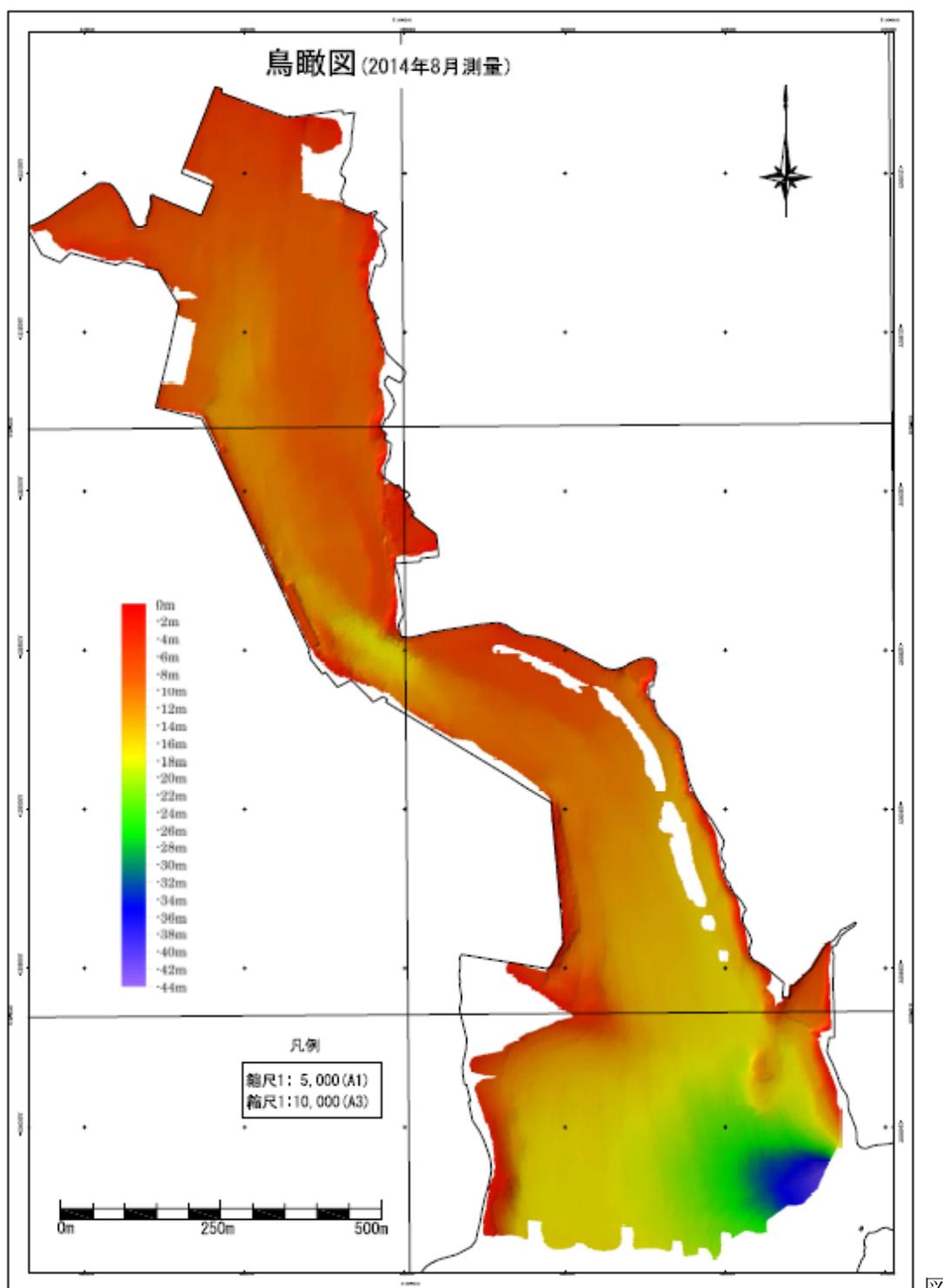


図 3-5 等深線図



3-6 鳥瞰図

港内断面位置

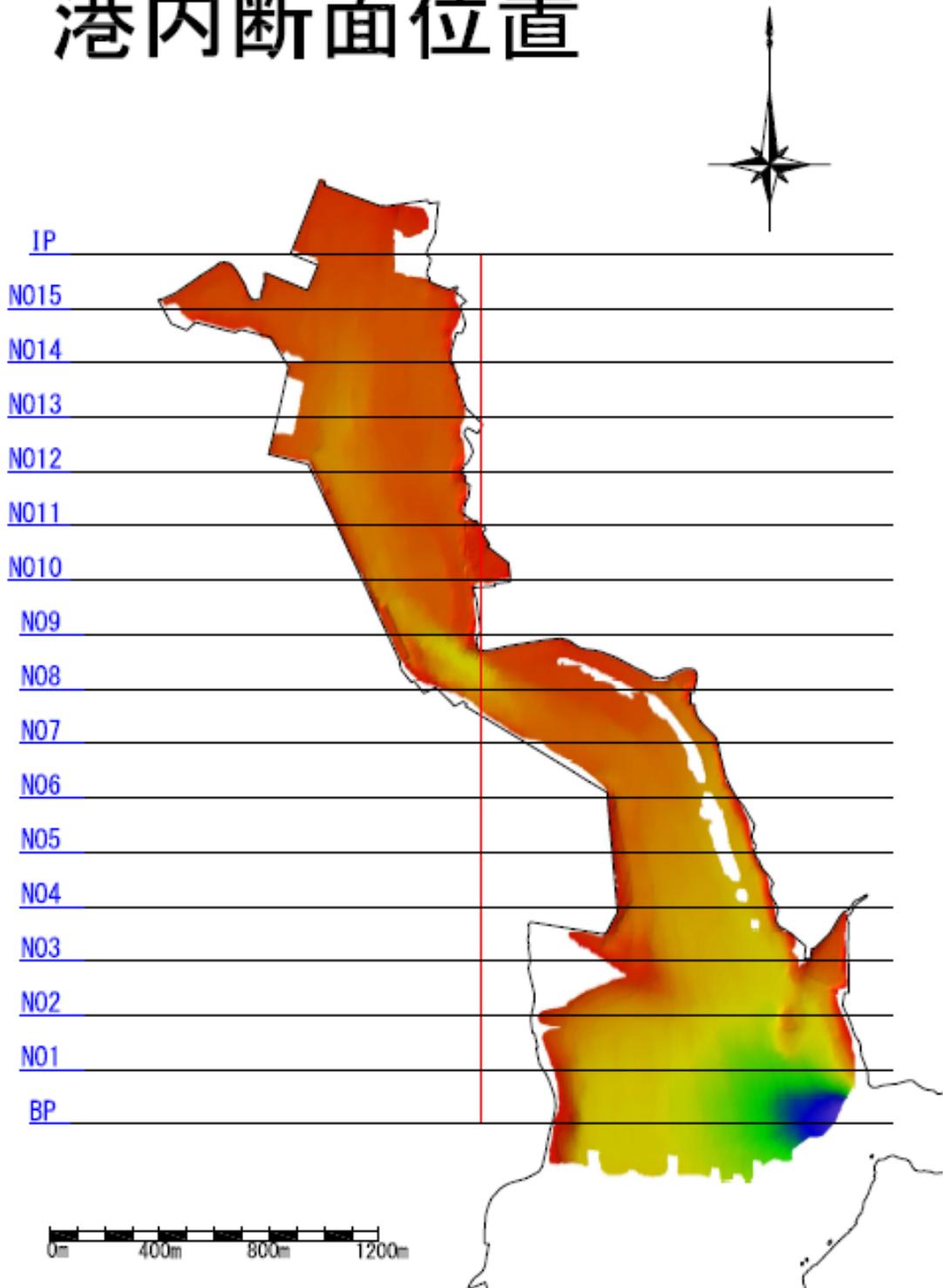


图 3-7 断面位置图

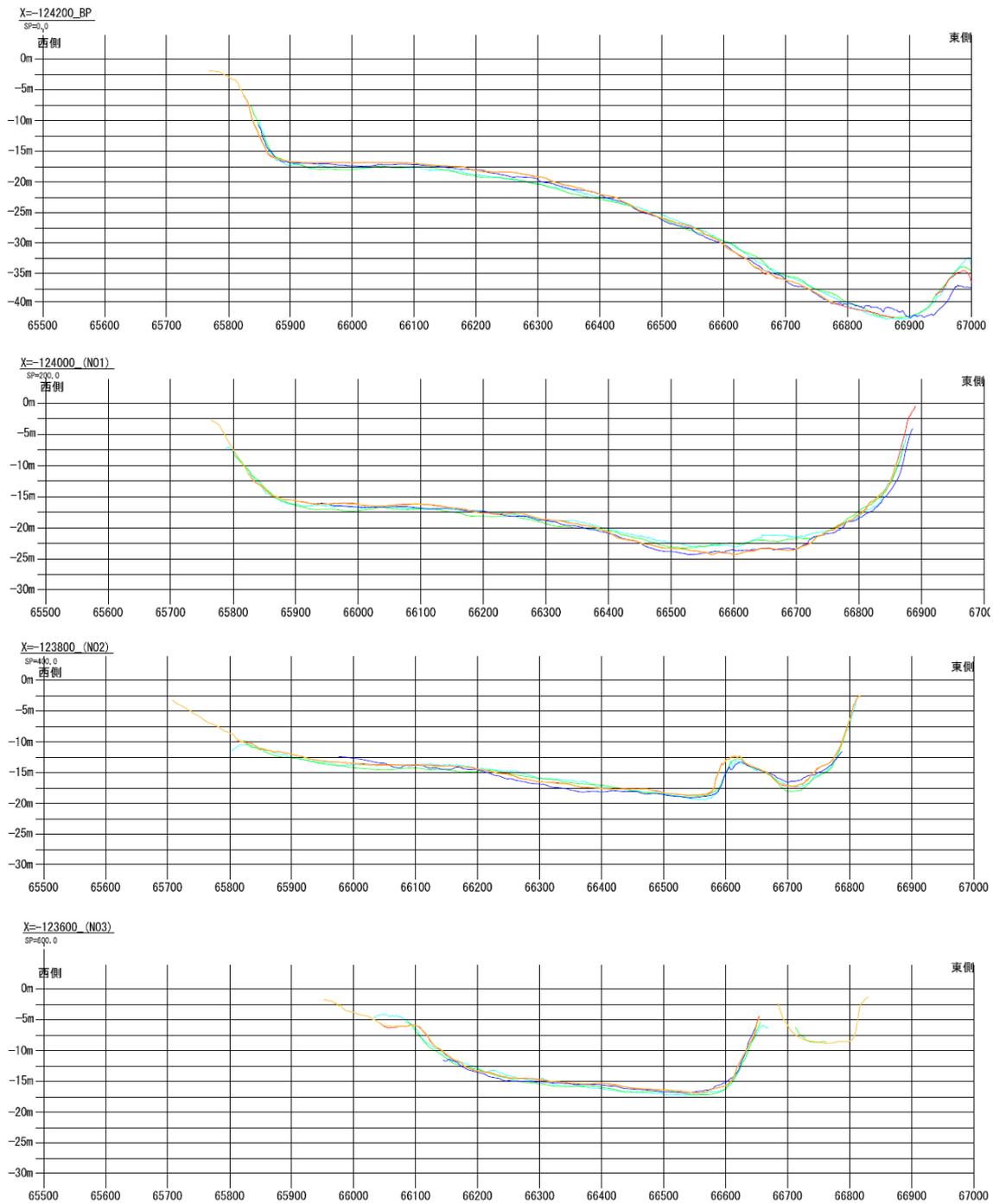


図 3-8 断面図 1

凡例

- 2014年測量 ————
 - 2013年測量 ————
 - 2011年測量 ————
 - 2010年測量 ————
 - 2008年測量 ————
- ※高さは水平比10倍強調

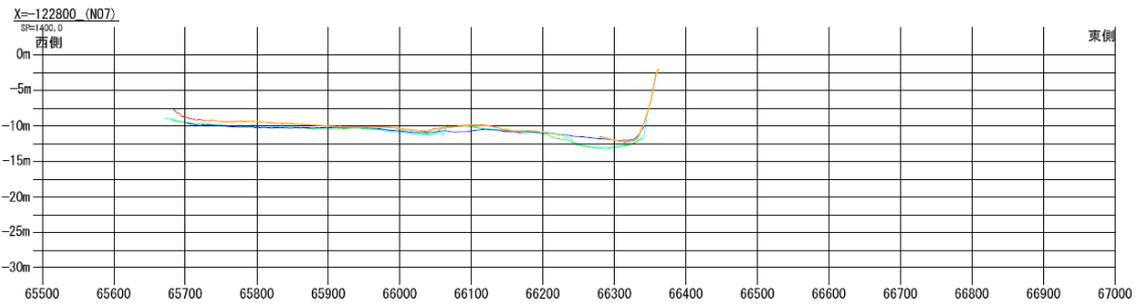
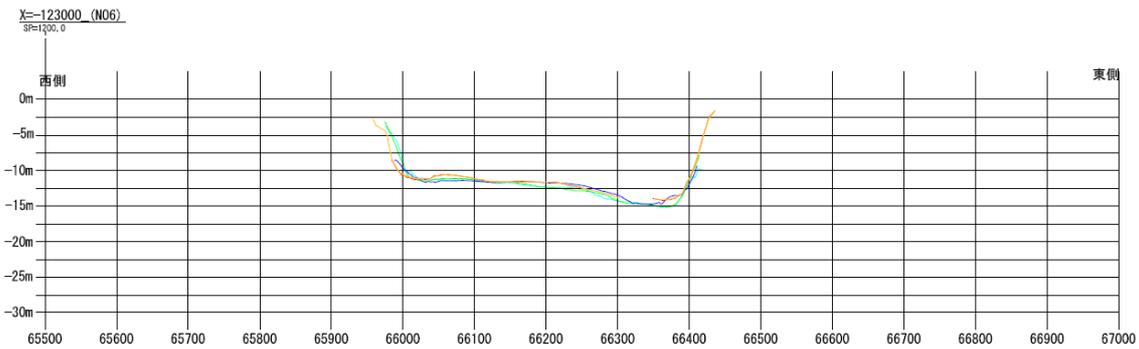
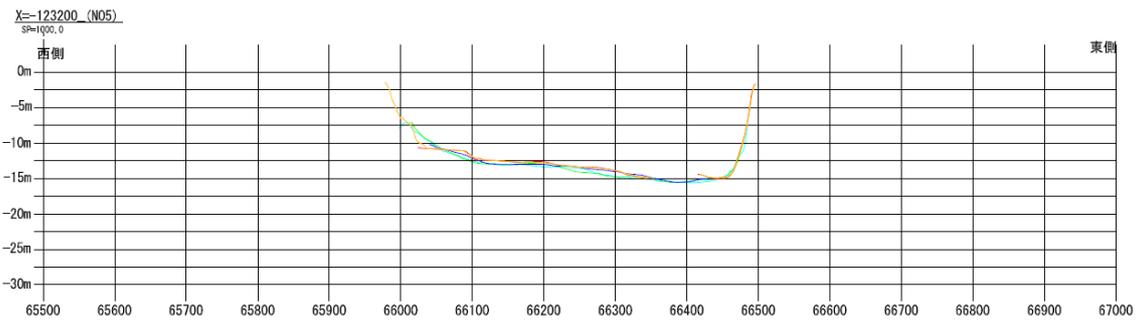
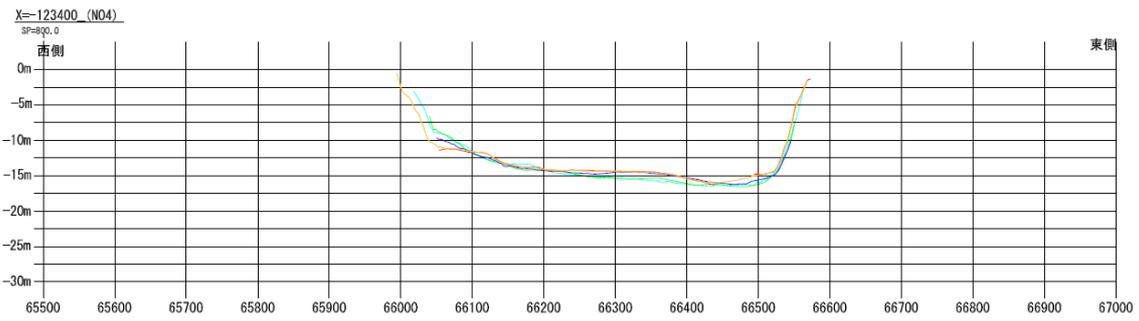


図 3-9 断面図 2

- 凡例
- 2014年測量 ————
 - 2013年測量 ————
 - 2011年測量 ————
 - 2010年測量 ————
 - 2008年測量 ————
- ※高さは水平比10倍強調

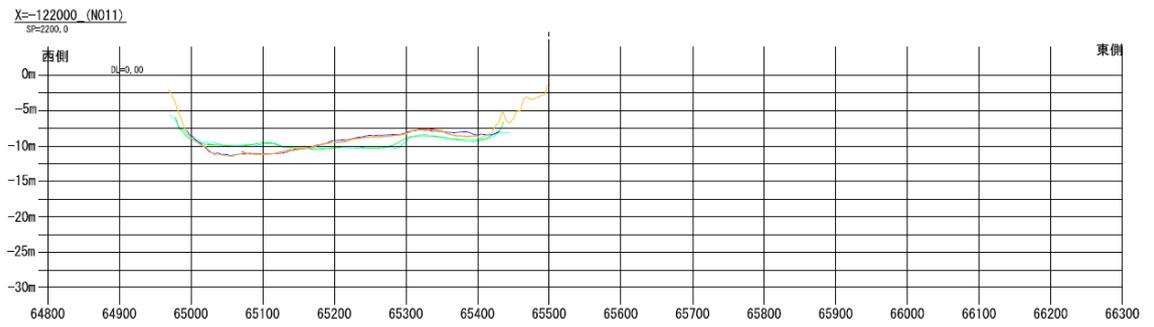
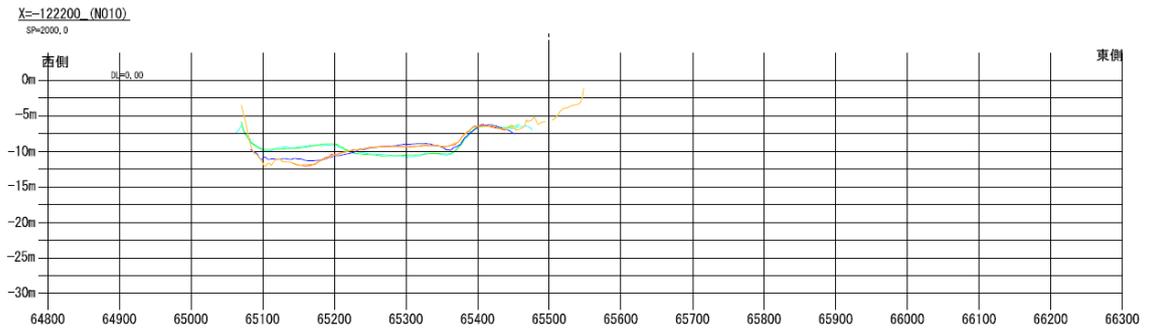
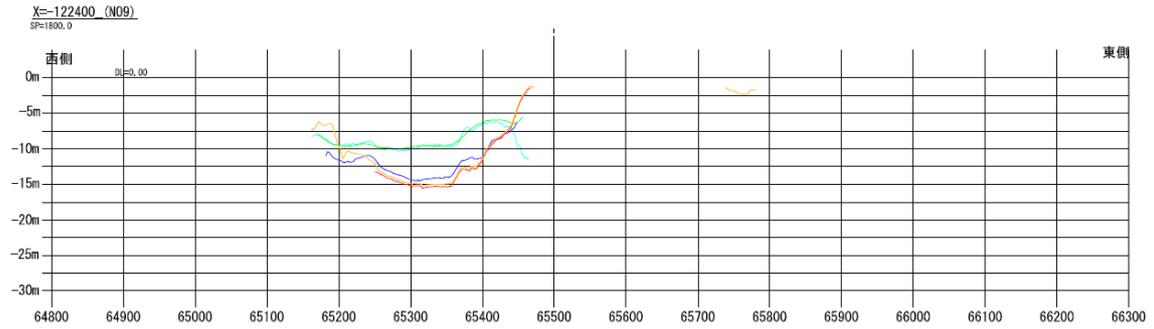
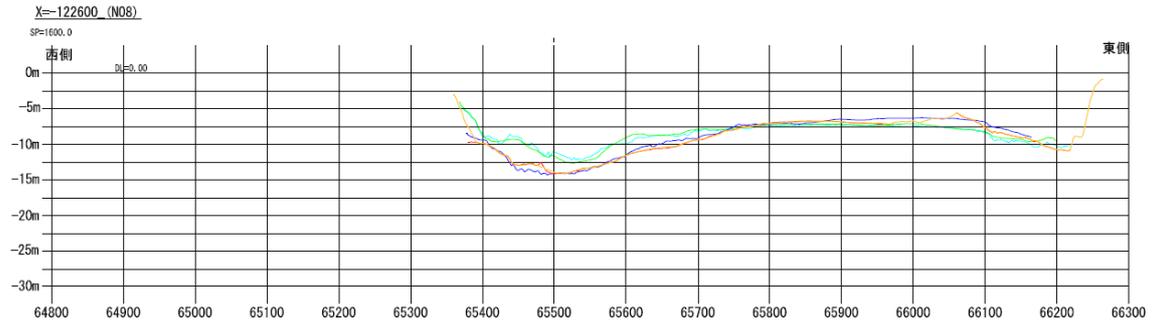
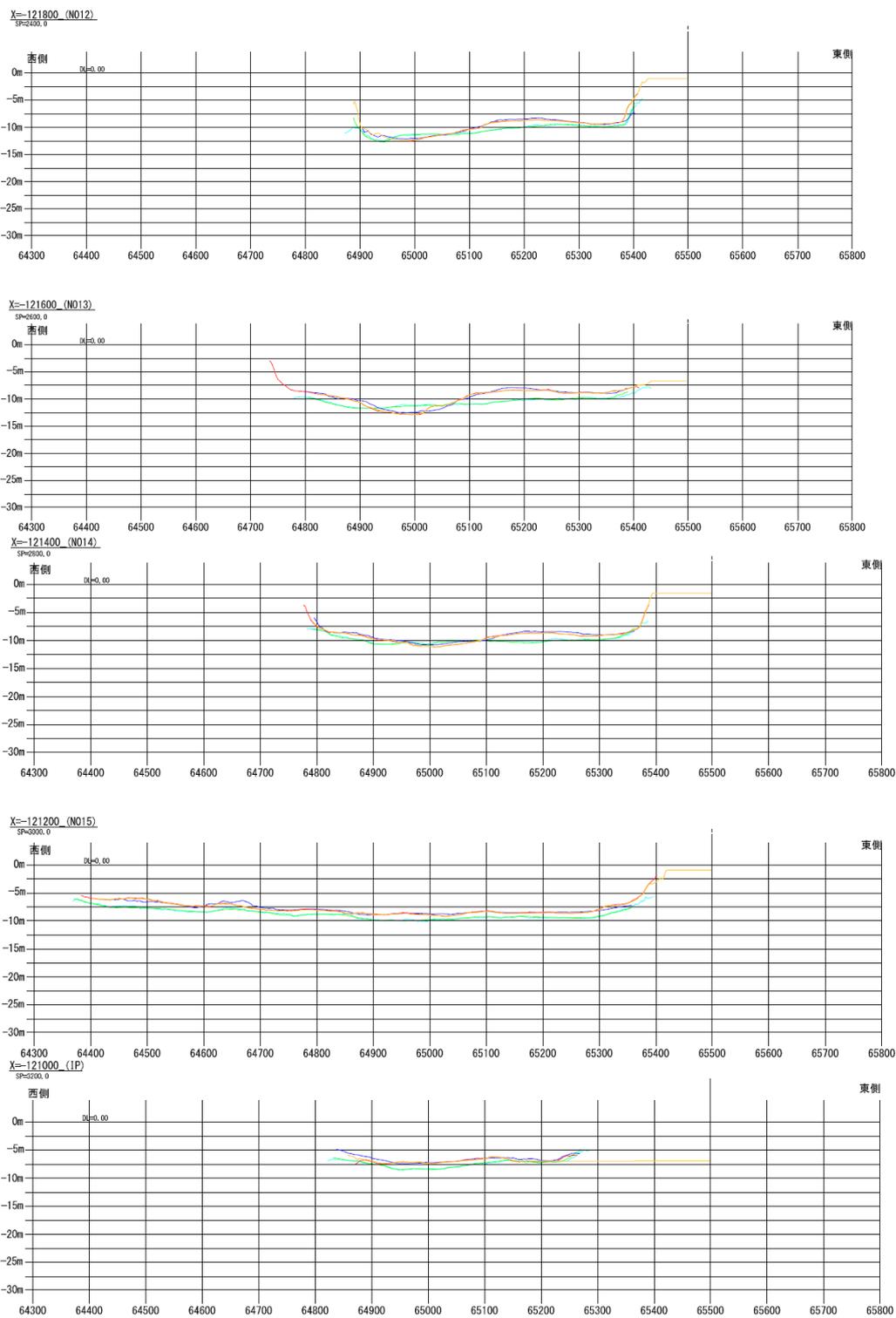


図 3-10 断面図 3

- 凡例
- 2014年測量 ————
 - 2013年測量 ————
 - 2011年測量 ————
 - 2010年測量 ————
 - 2008年測量 ————
- ※高さは水平比10倍強調



凡例

図 3-11 断面図 4

- 2014年測量 ————
 - 2013年測量 ————
 - 2011年測量 ————
 - 2010年測量 ————
 - 2008年測量 ————
- ※高さは水平比10倍強調

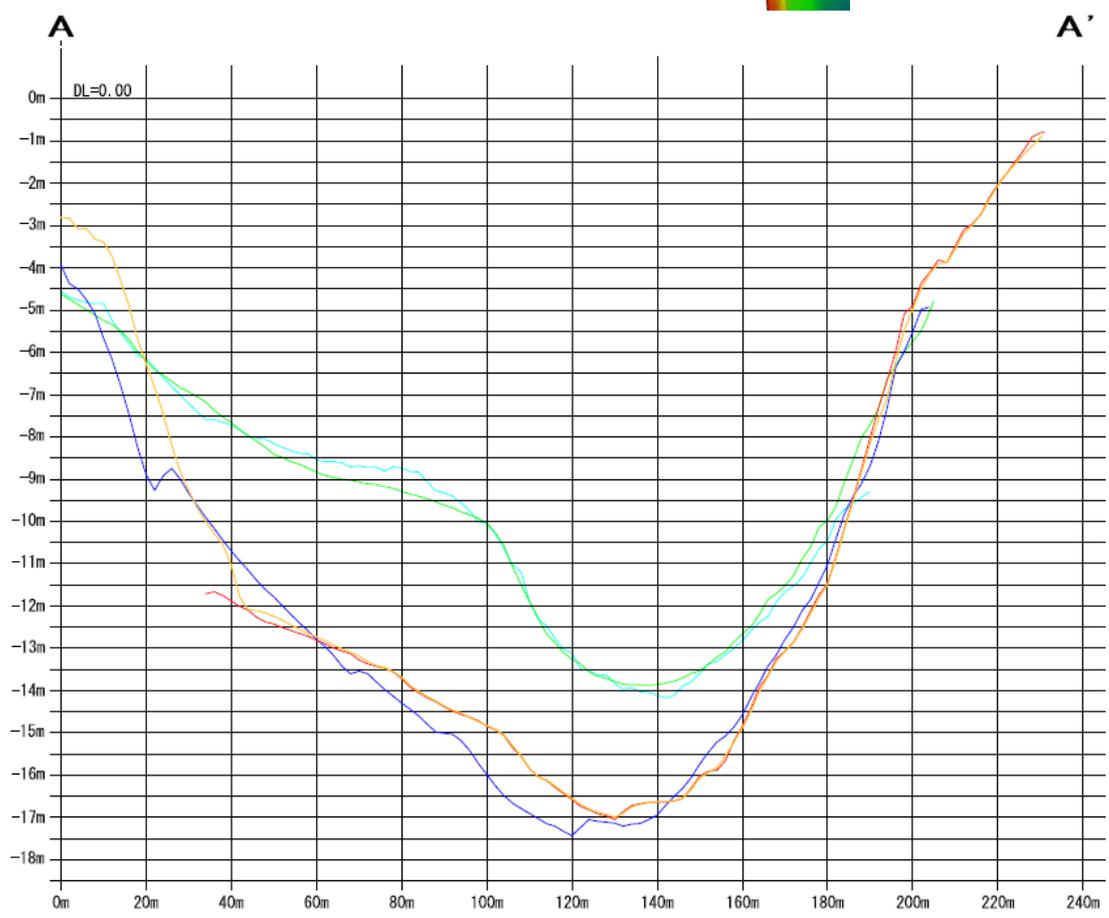
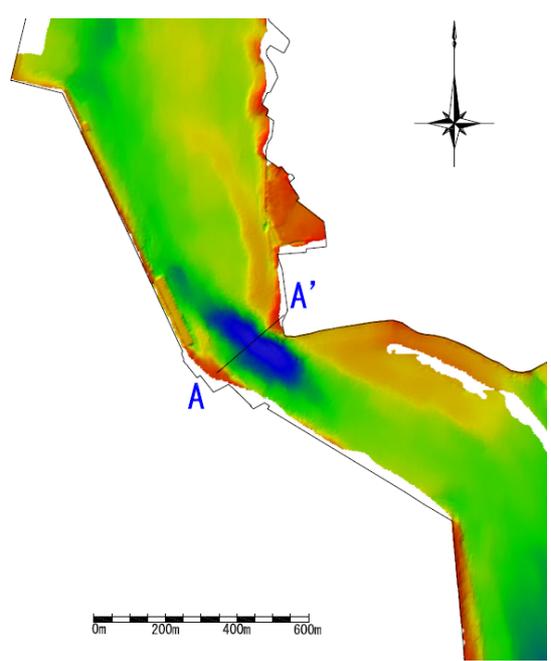


図 3-12 断面位置および断面図

(3) まとめ

津波後の港内の定常的な地形変化量を評価することを目的として、同一海域で深淺測量を実施した。過去 1.5 年間（前回：2013 年 2 月，今回 2014 年 8 月）の地形変化（図 3-13）は，地形の急変部でやや大きな値を取るが全体として概ね 10cm 以内である。

これらの変化は，津波後に大きく海底地形が変化して不安定化した部分を通常波浪下で平衡状態へと修復する地形変化プロセスと見られる。なお，地形の急変部の変化は部分的で，全体の傾向に影響を与えるものではない。原因としては，急傾斜する部分に原理的に弱点を持つ使用機器（C3D：インターフェロメトリー方式）の測定誤差が原因の可能性が高い。

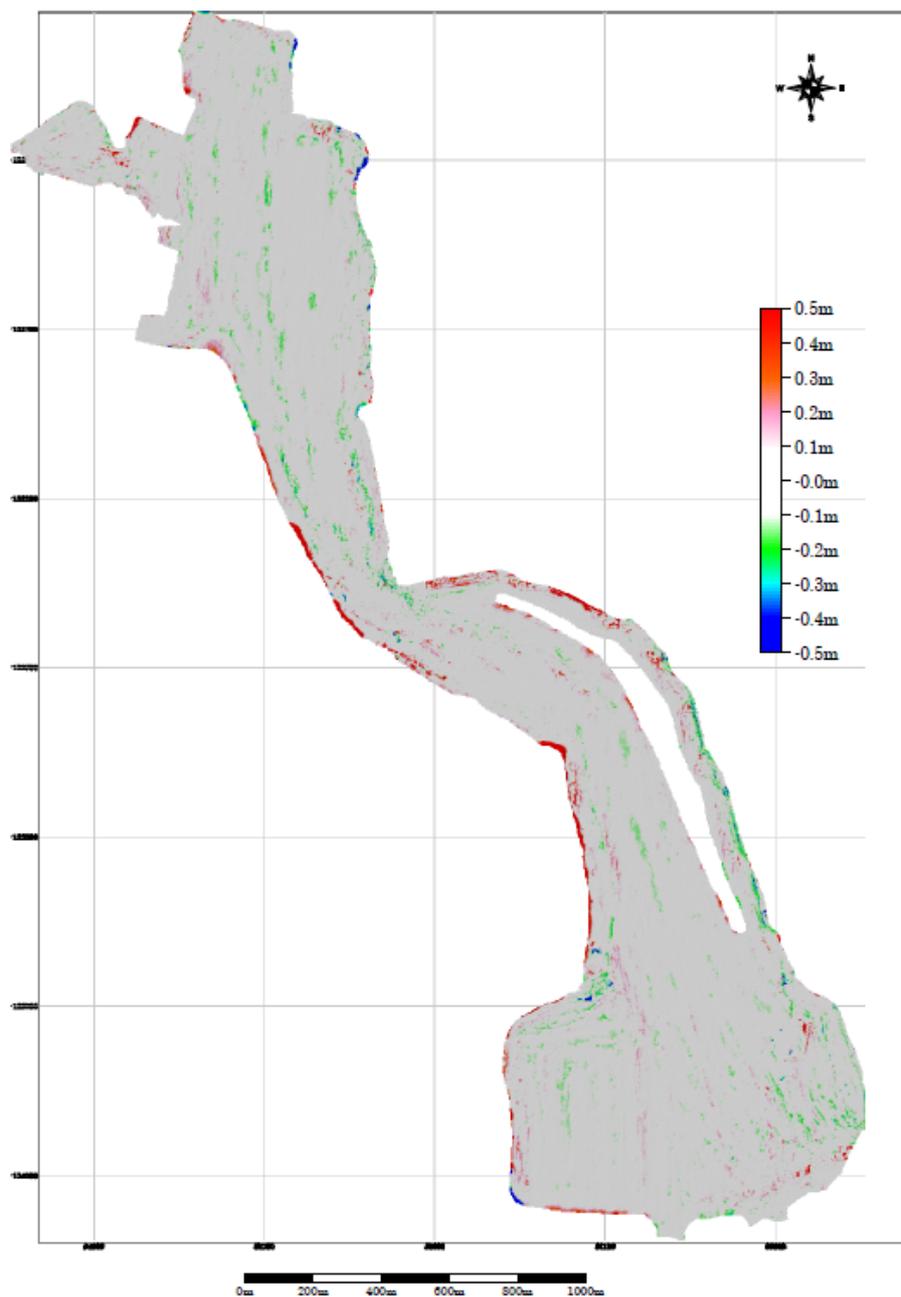


図 3-13 過去 1.5 年間（前回：2013 年 2 月，今回 2015 年 8 月）の地形変化

3.2 気仙沼湾における音波探査

(1) 音波探査の概要

津波後の堆積状況を把握するため、2014年8月に湾内（図3-14）で音波探査を行った。音波探査は、調査船に米国 SyQwest 社製地層探査器 StrataBox を搭載し、GPS によるナビゲーションを同時に実施しながら探査した。



図 3-14 音波探査測線

【地層探査器 StrataBox の仕様】

使用した機器の仕様を表 3-2 に示す.

表 3-2 音波探査機 Strata Box 仕様 (SyQwest 社カタログを引用)

Units	Feet or Meters
Depth Ranges	0-15, 0-30, 0-60, 0-120, 0-240, 0-450 Feet 0-5, 0-10, 0-20, 0-40, 0-80, 0-150 Meters
Shift Range	0-450 Feet in 1 Foot increments 0-150 Meters in 1 Meter increments
Zoom Range	15, 30, 60, 120, 240 Feet 5, 10, 20, 40, 80 Meters
Zoom Modes	Bottom Zoom, Bottom Lock Zoom, Marker Zoom, GUI Zoom (Playback Only)
Display	Normal Data, Zoom Data, Navigation, Depth, Command/Status, Color Control for Data: 4 Selections or Custom (User Input), Data Color Invert possible
Strata Resolution	6 cm with 40 Meters of bottom penetration
Depth Resolution	0.1 Feet, 0.1 Meters
Depth Accuracy	± 0.5%
Speed of Sound	1500 Meters/Second, 4800 Feet/Second
Geographic Position	NMEA 0183, GLL, GGA, RMC, VTG, VHW, HDT Selectable Baud Rates (RS-232): 4800, 9600, 19200, 38400
Data Interface	SYQWEST StrataBox Interface, 57600 Baud (RS-422)
Printer Output	Centronics (Parallel Port) interface to TDU Series Thermal Printers
Shallow Water Operation	< 2.5 Meters; bottom type dependant
Transmit Rate	Up to 10 Hz, depth and operator mode dependant
Event Marks	Periodic, External, and/or Manual (Periodic selectable in 1 minute intervals)
Data File Output	Stores Depth, Navigation, and Graphic Data in ODC format (Proprietary) Normal and Zoom Data stored is Pixel data and can be played back and/or printed
Data File Playback	Files can be played back and/or printed at Normal or Fast-Forward speed, with Pause and GUI Zoom available
Frequency Output	10 KHz
Transmit Output Power	300 Watts (Pulsed), 1000 Watts capable
Input Power	10-30 Volts DC, Nominal power 8 Watts, Reverse Polarity and Over Voltage Protected
Dimensions	25.4 cm (10") Length, 15.876 cm (6.25") Width, and 6.25 cm (2.5") Height
Weight	0.9 kg (2.0 lbs)
Environmental	-25°C to +60°C Operating Temperature (-55°C to +90°C Storage) Water Resistant to EN60529 IP65 EMC meets EN60945 Emissions; CE Compliant

【探査データの解析方法】

収録したデータについては以下の数値処理を行い、音波探査断面図を作成した。さらに反射強度の境界面抽出を目的に反射強度差分断面図を作成した。

図 3-15 に解析フローを示す。

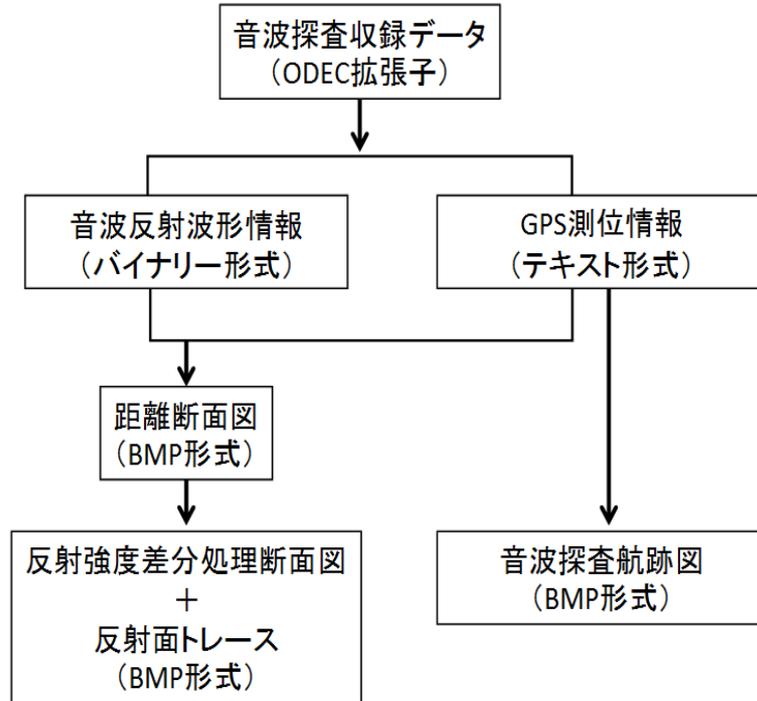


図 3-15 測深データ解析フロー図

(2) 音波探査の結果

調査の結果、気仙沼港内から大島海峡にかけて複数枚の反射面を確認した。

次ページ以降に各測線の音波探査断面図および反射強度差分断面図を示す。

津波前に計測したデータが別途存在することから、今後、両者を比較することで津波堆積物の認定が可能であろう。

今後堆積物調査を実施して津波来襲時の堆積プロセスとその供給源を特定することが重要と考える。

N-S Line 1

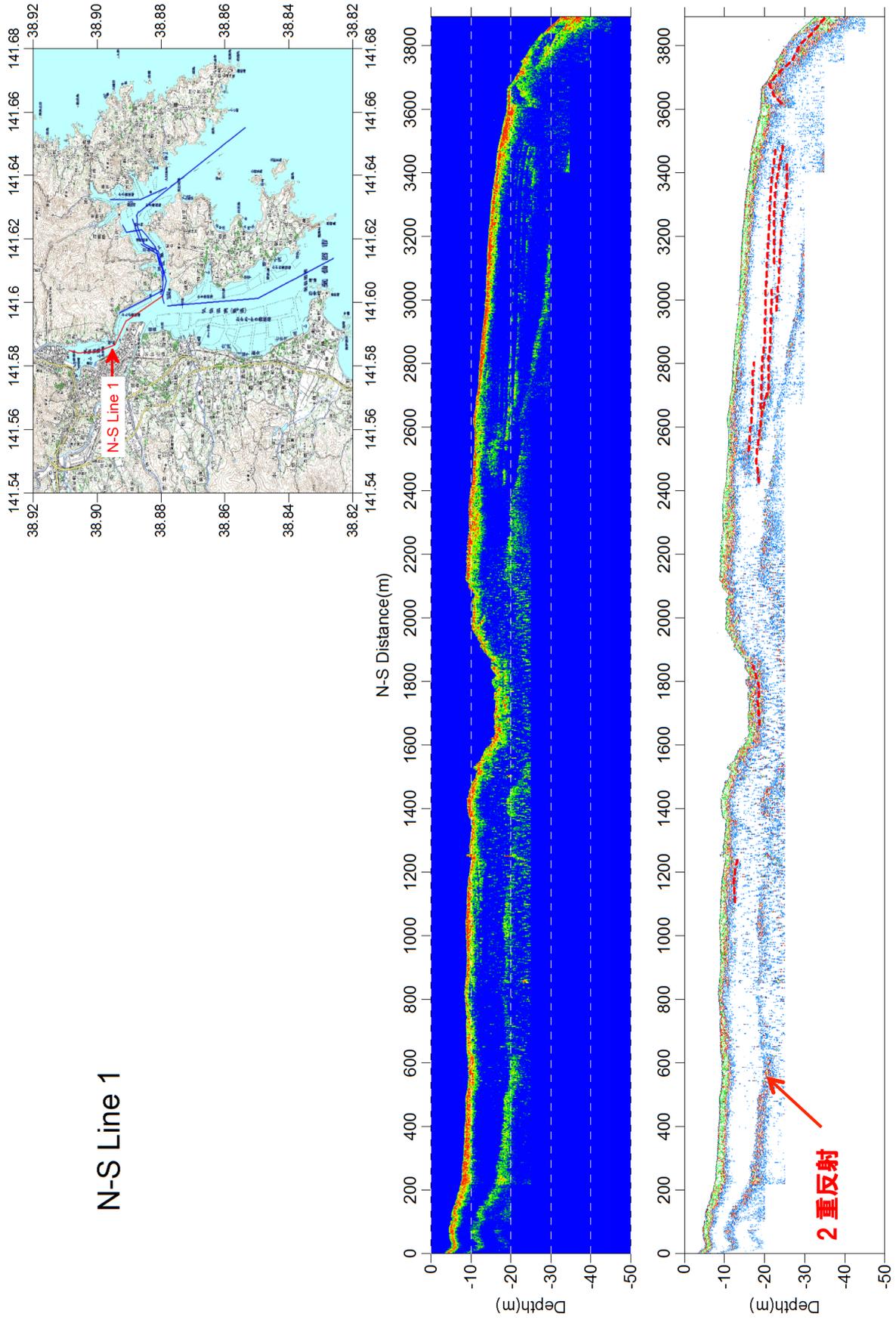


図 3-16 距離断面図 (上) および反射強度差断面図 (下) N-S 測線 1

N-S Line 2

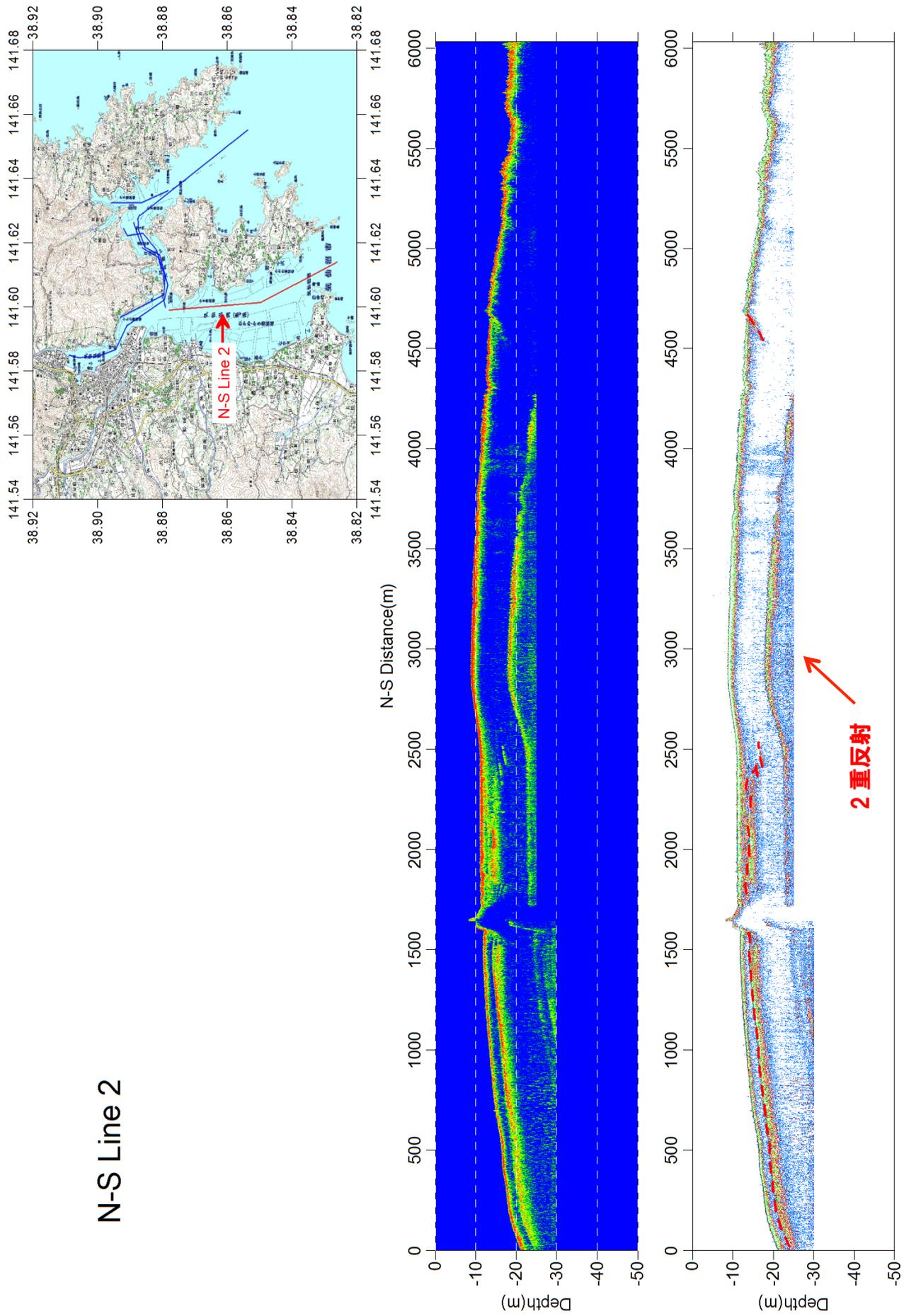


図 3-17 距離断面図 (上) および反射強度差断面図 (下) N-S 測線 2

N-S Line 3

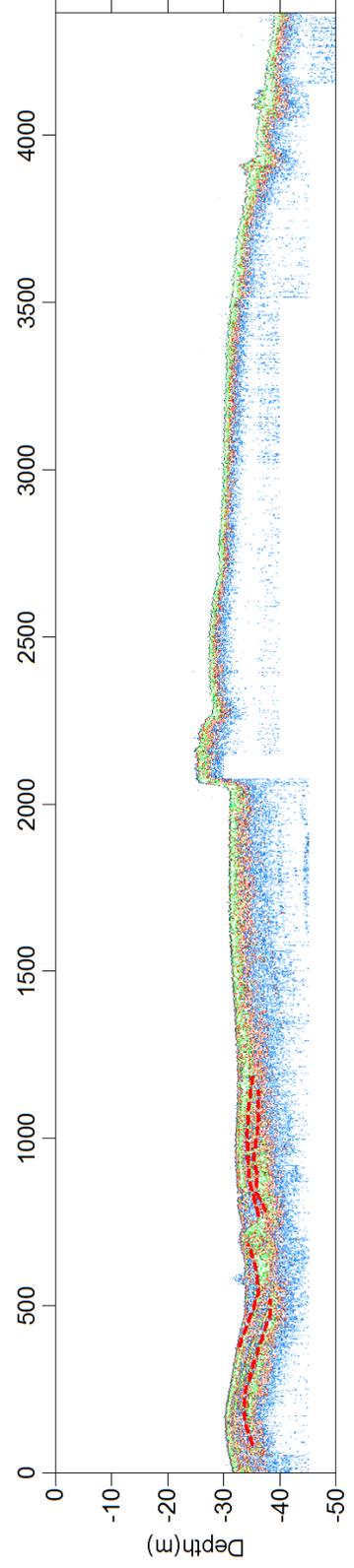
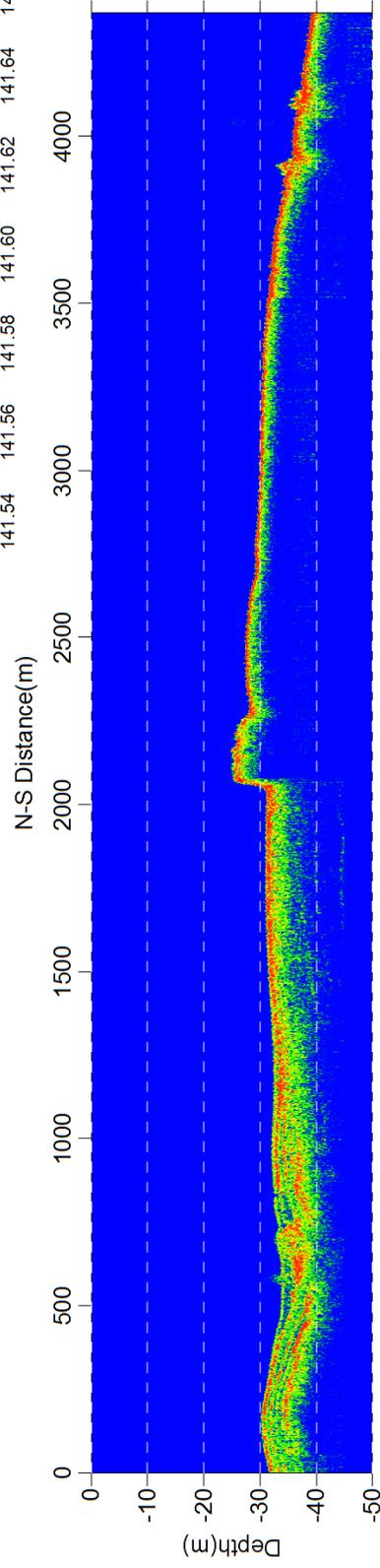
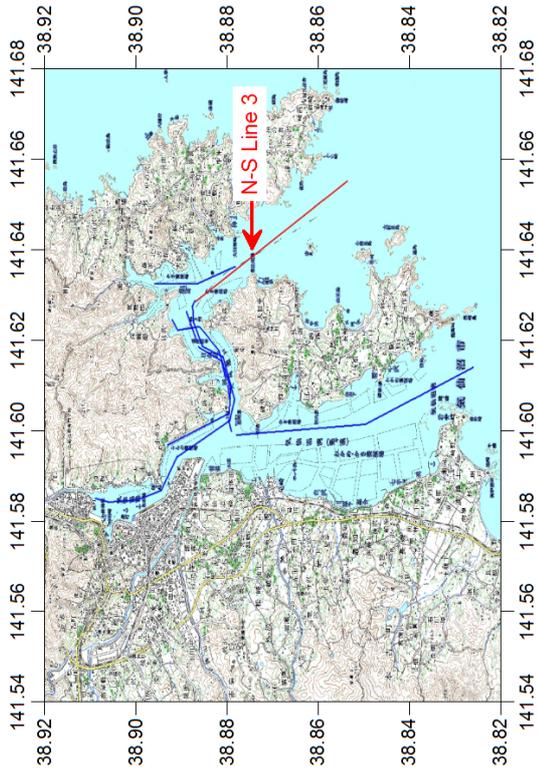


図 3-18 距離断面図 (上) および反射強度差断面図 (下) N-S 測線 3

N-S Line 4

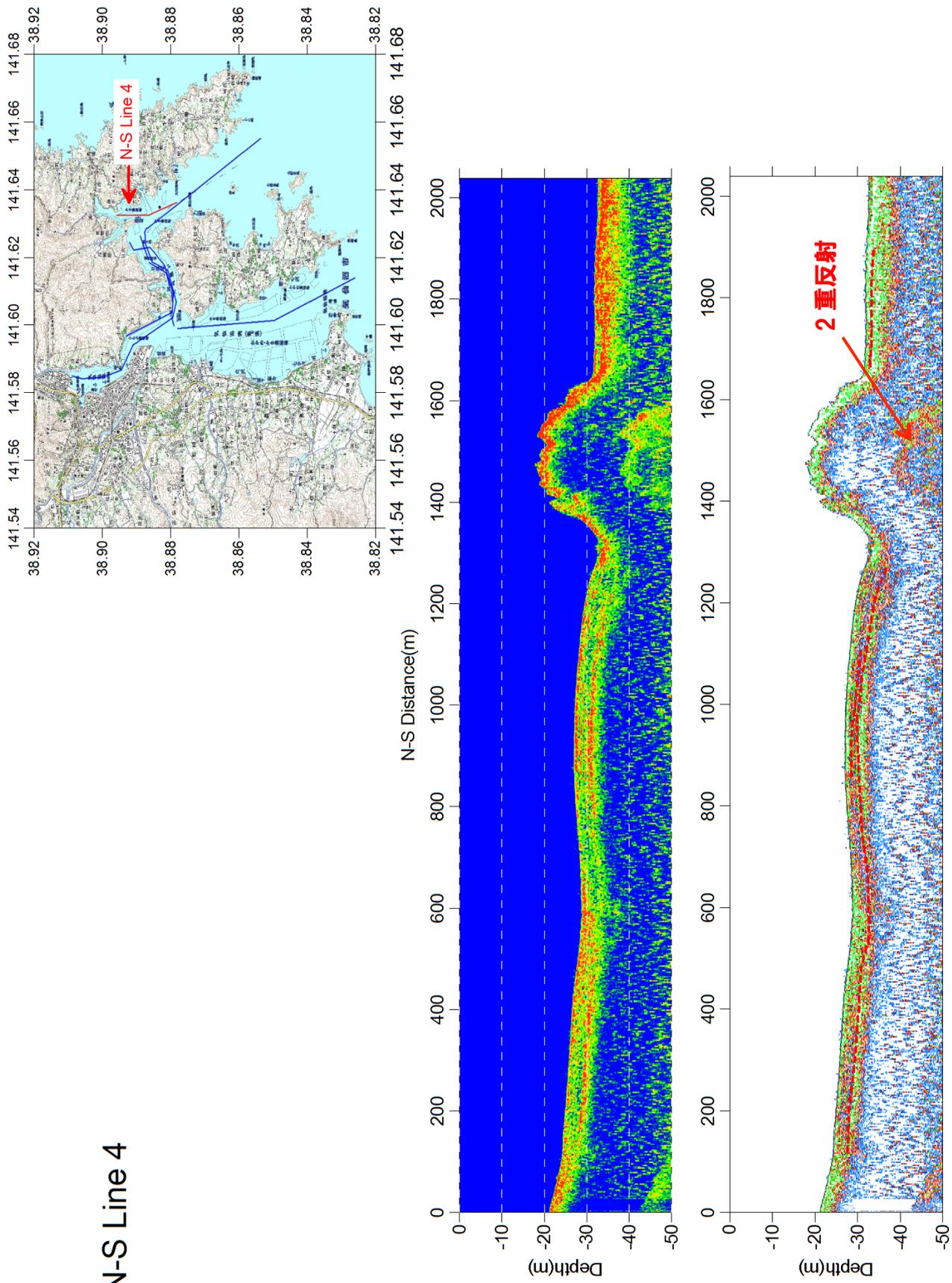


図 3-19 距離断面図 (上) および反射強度差断面図 (下) N-S 測 4

W-E Line 1

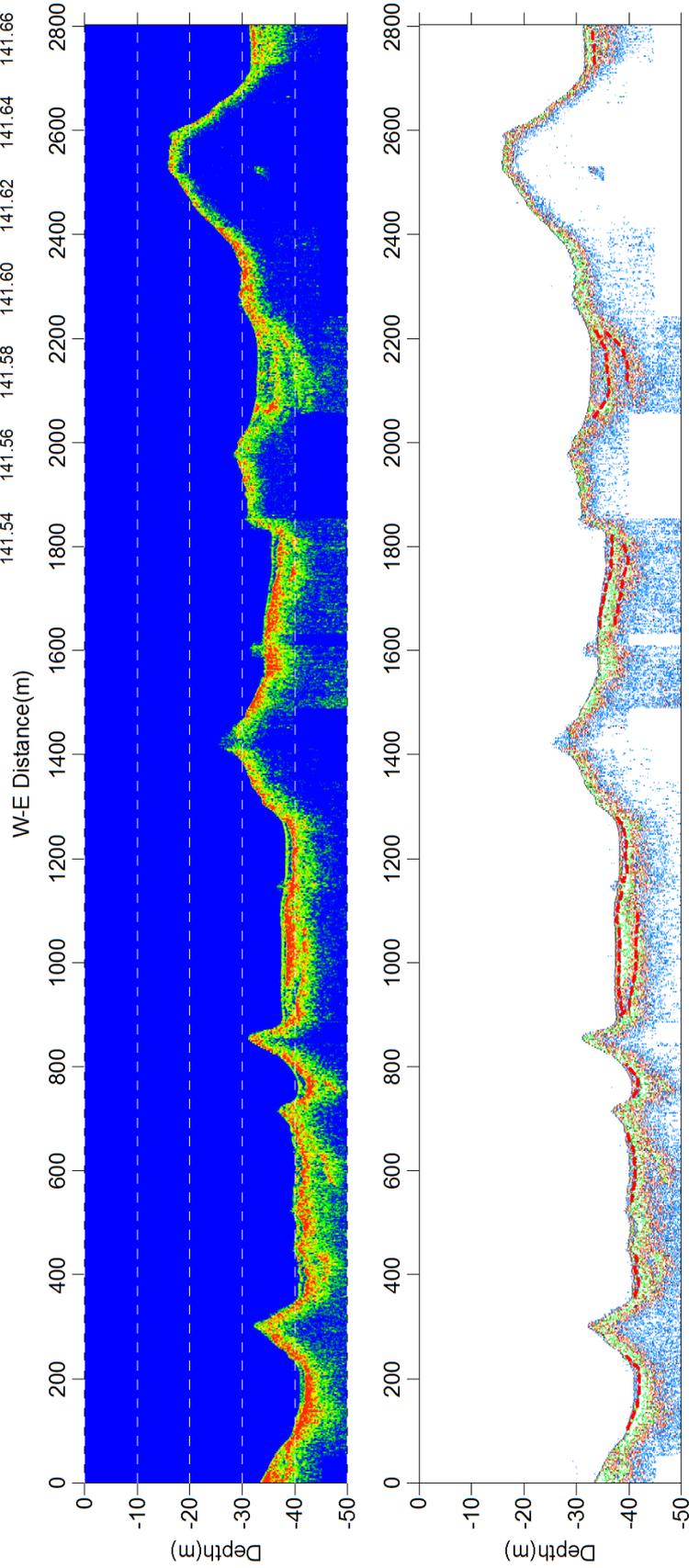
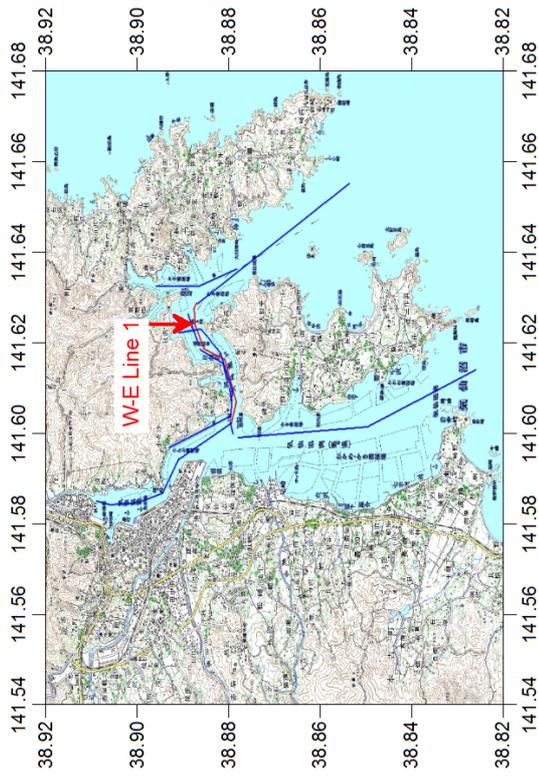
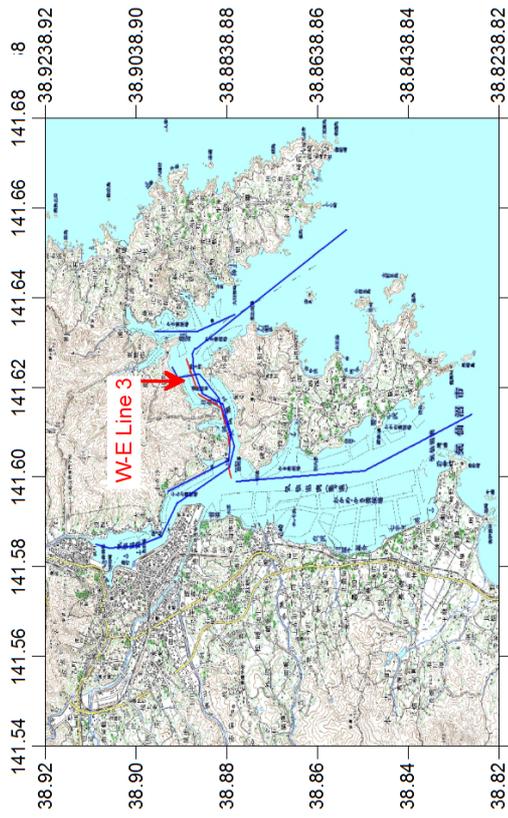


図 3-20 距離断面図 (上) および反射強度差断面図 (下) W-E 測線 1



W-E Line 3

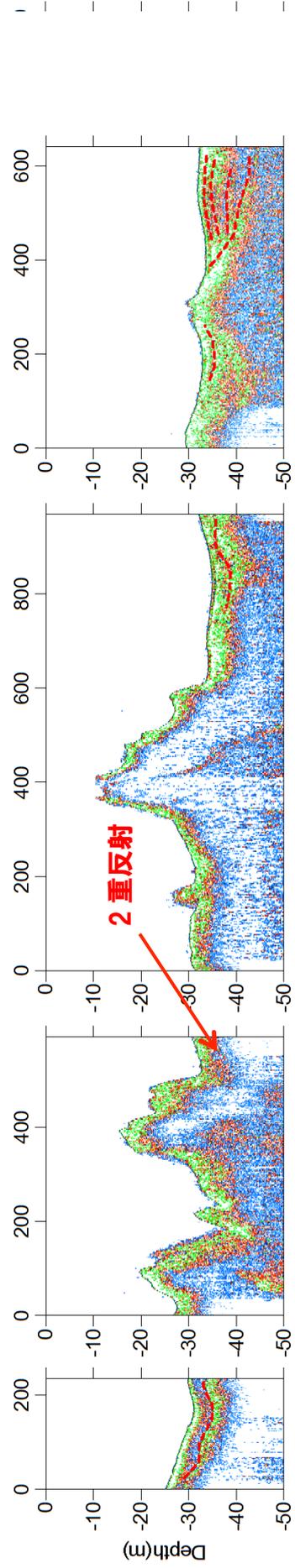
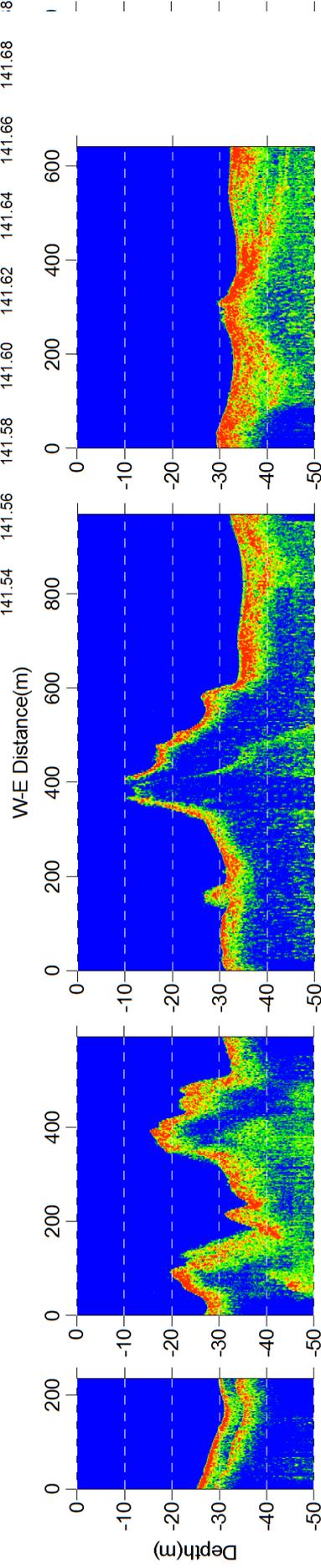


図 3-21 距離断面図 (上) および反射強度差断面図 (下) W-E 測線 2

3.3 戸賀湾における古津波堆積物調査

戸賀湾は秋田県男鹿半島の西側の先端部に位置し、日本海東縁部にあたる。戸賀湾の東方には、一ノ目潟、二ノ目潟、三ノ目潟とマール湖が点在する（図 3-22）。戸賀湾自体もその形状から、一部は侵食されて円形ではないが、マール湖の可能性はある。



図 3-22 男鹿半島周辺の地形図

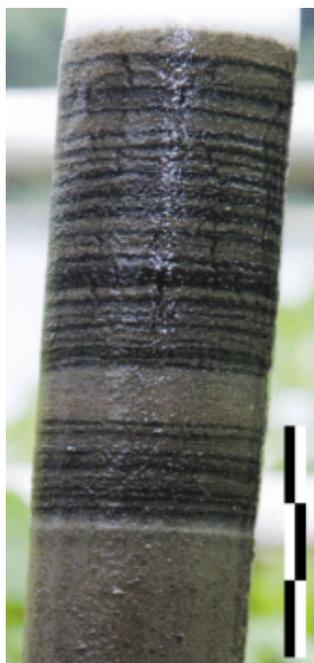


図 3-23 年縞堆積物

マール群のうち一ノ目潟は、最大水深 45m の鍋底状の湖底地形をなし、流入・流出河川もない静穏な湖である。湖底から年縞堆積物（図 3-23）が発見され、その中にはタービダイト性の砂泥層（イベント層）が挟まれることも知られている。これは湖岸斜面で発生した崩壊堆積物が供給源とするもので、その誘因として地震や異常降雨が考えられる。

このうち表層部に見られるタービダイトの年代は年縞の縞数え等によって特定され、その一枚は 1983 日本海中部地震（図 3-24）に対比されていることが分かってきた（山田，原口：未公表資料）。



2011.3.1 採取コア 西暦 1983 年春のタービダイト

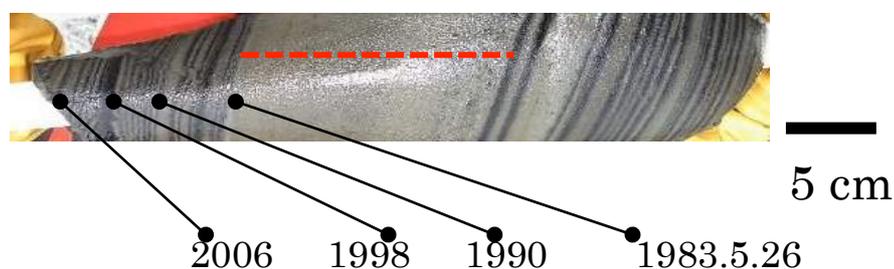


図 3-24 コア採取法と採取された年縞から年代が特定されたタービダイト

日本海東縁部のうち男鹿半島付近の過去 100 年間の地震活動¹⁾ をみると、マグニチュード 6 以上の地震が複数回発生している。このうち 1983 年日本海中部地震では津波が発生し、犠牲者も出ている。戸賀湾では津波の被害は軽微であったものの、湾内に津波は到達しておりその海底面下には津波堆積物が保存されている可能性がある。

このような背景から、戸賀湾内の過去の津波堆積物の痕跡を調査することを目的として、音波探査およびコアリングを計画・実施した。

(1) 音波探査の概要

戸賀湾の海底下の堆積物中の古津波の痕跡を探る目的で、湾内において音波探査を行った。手法は前述の気仙沼湾と同じである。

以下に各測線の音波探査断面図および反射強度差分断面図を示す。

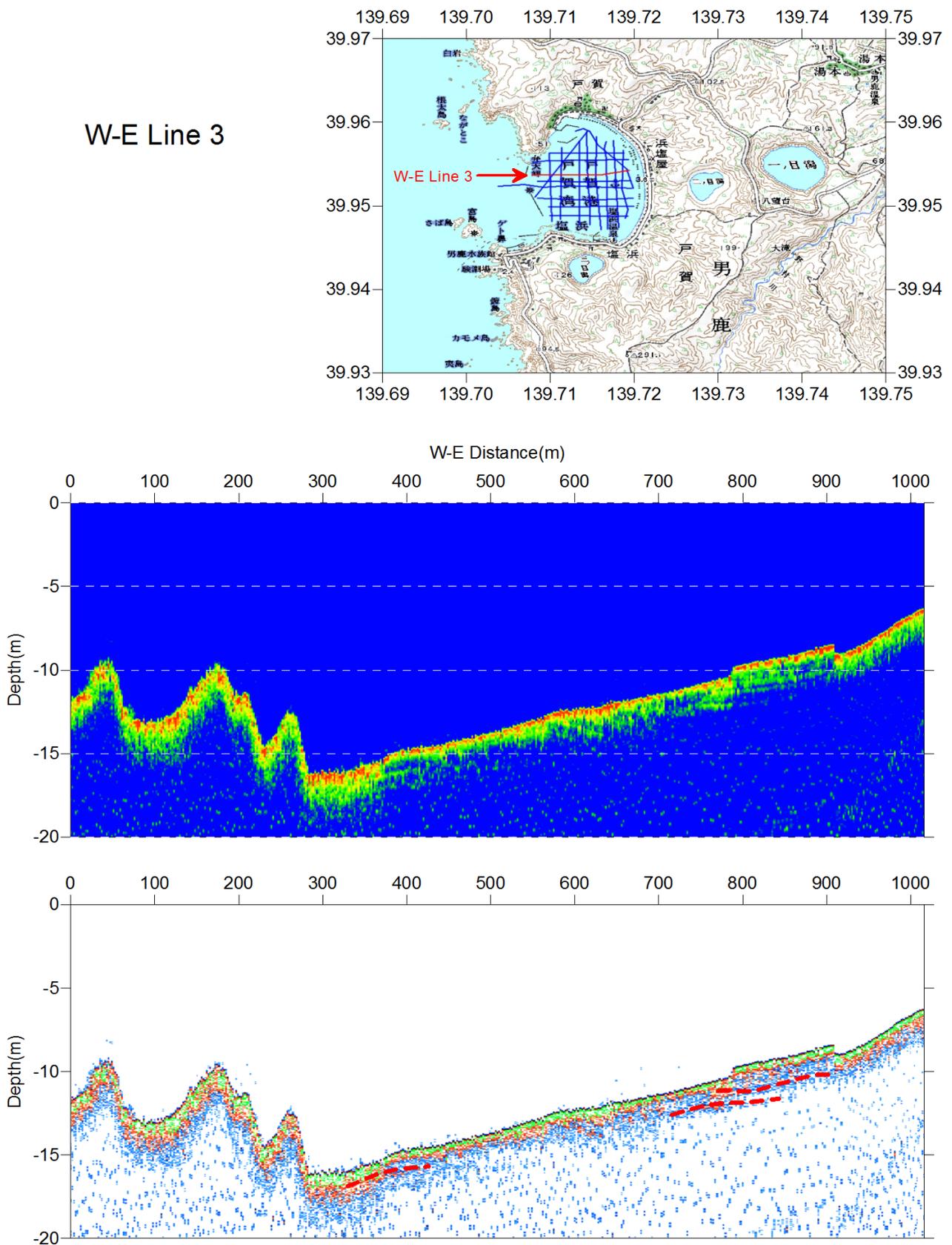


図 3-27 距離断面図（上）および反射強度差分断面図（下） W-E 測線 3

W-E Line 4

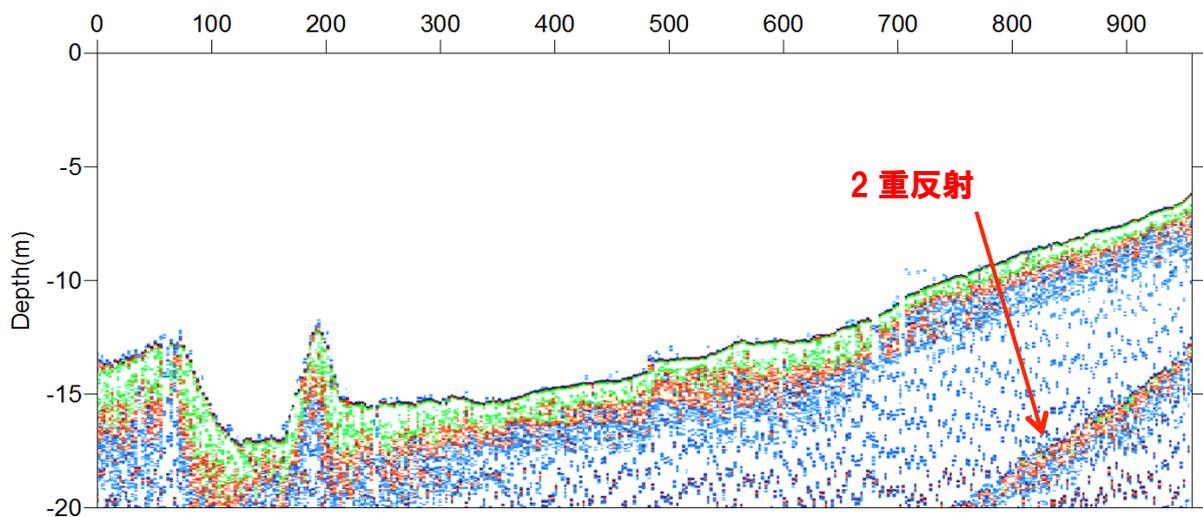
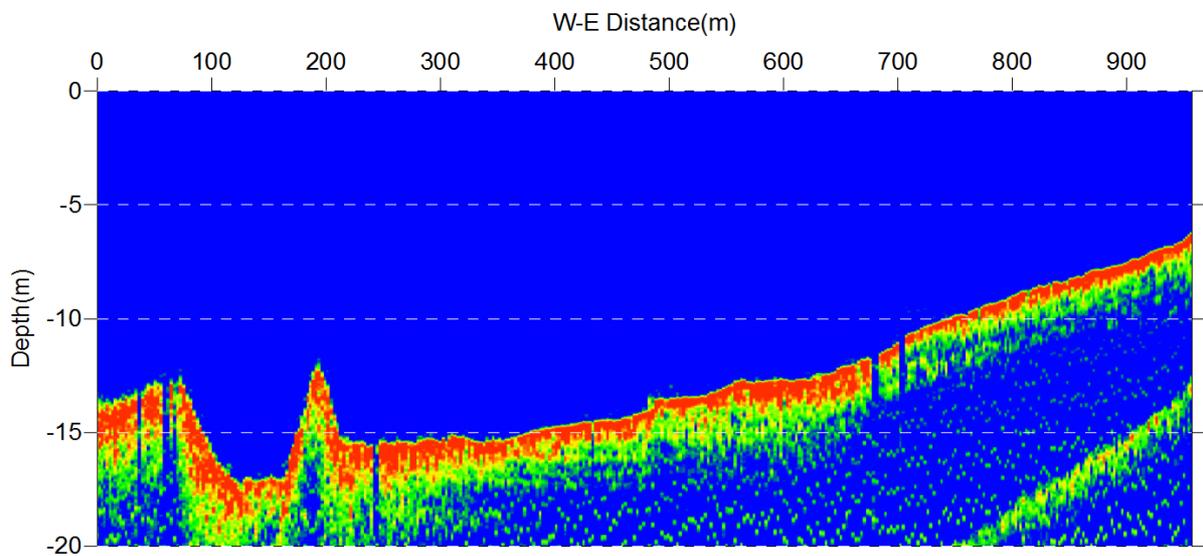
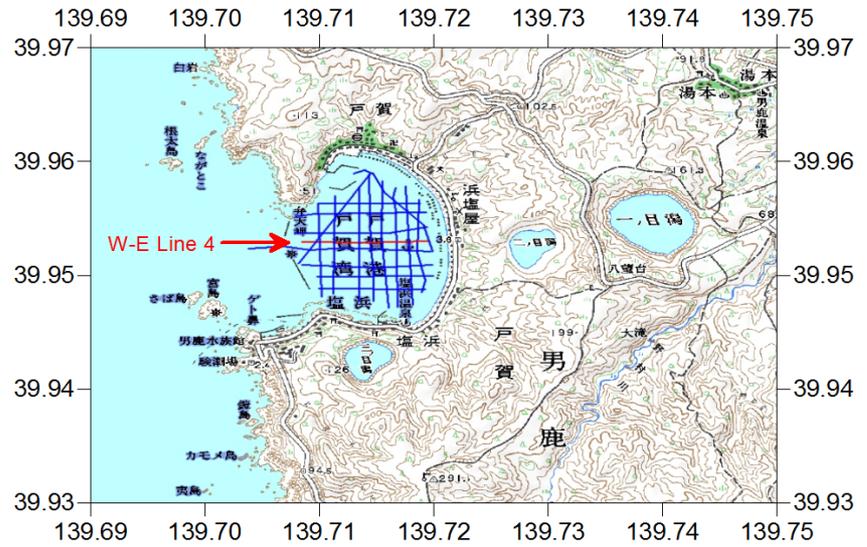


図 3-28 距離断面図 (上) および反射強度差分断面図 (下) W-E 測線 4

W-E Line 6

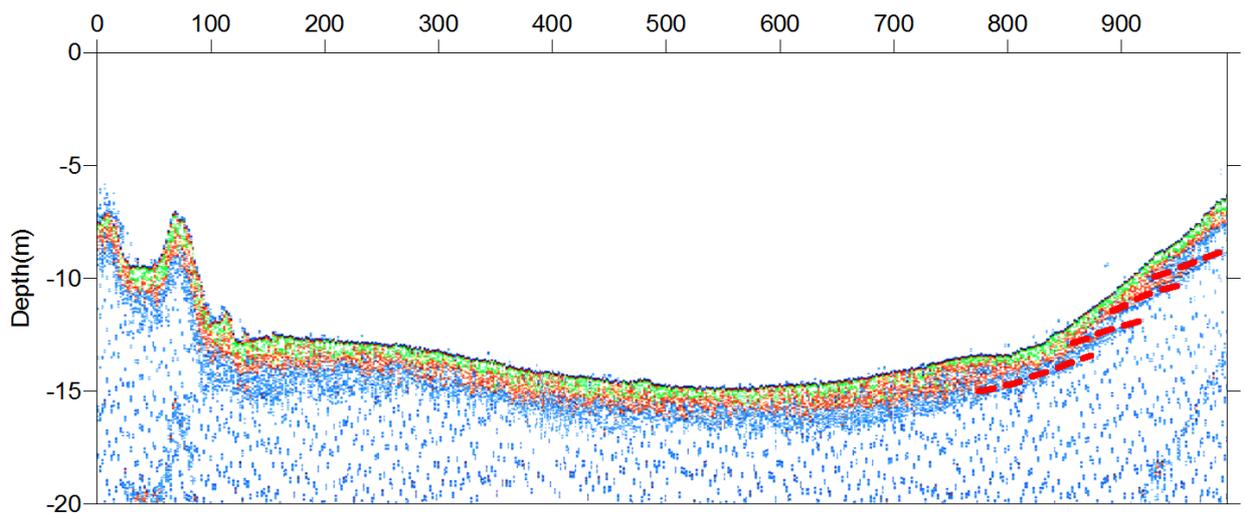
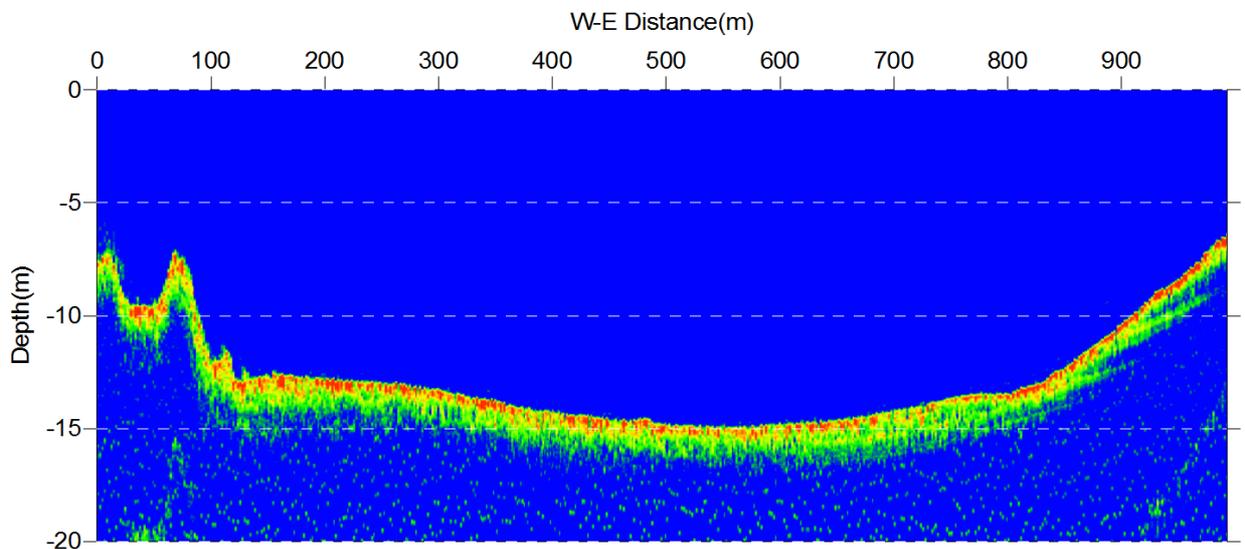
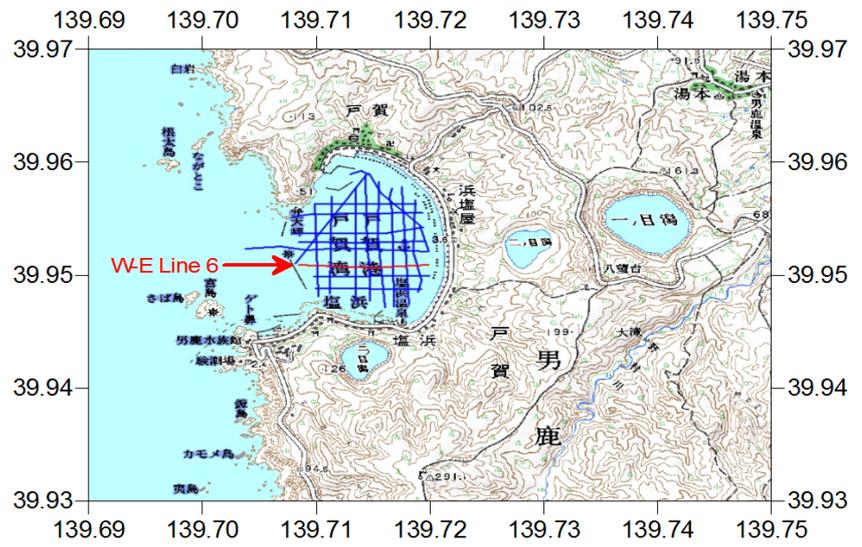


図 3-30 距離断面図（上）および反射強度差分断面図（下） W-E 測線 6

W-E Line 7

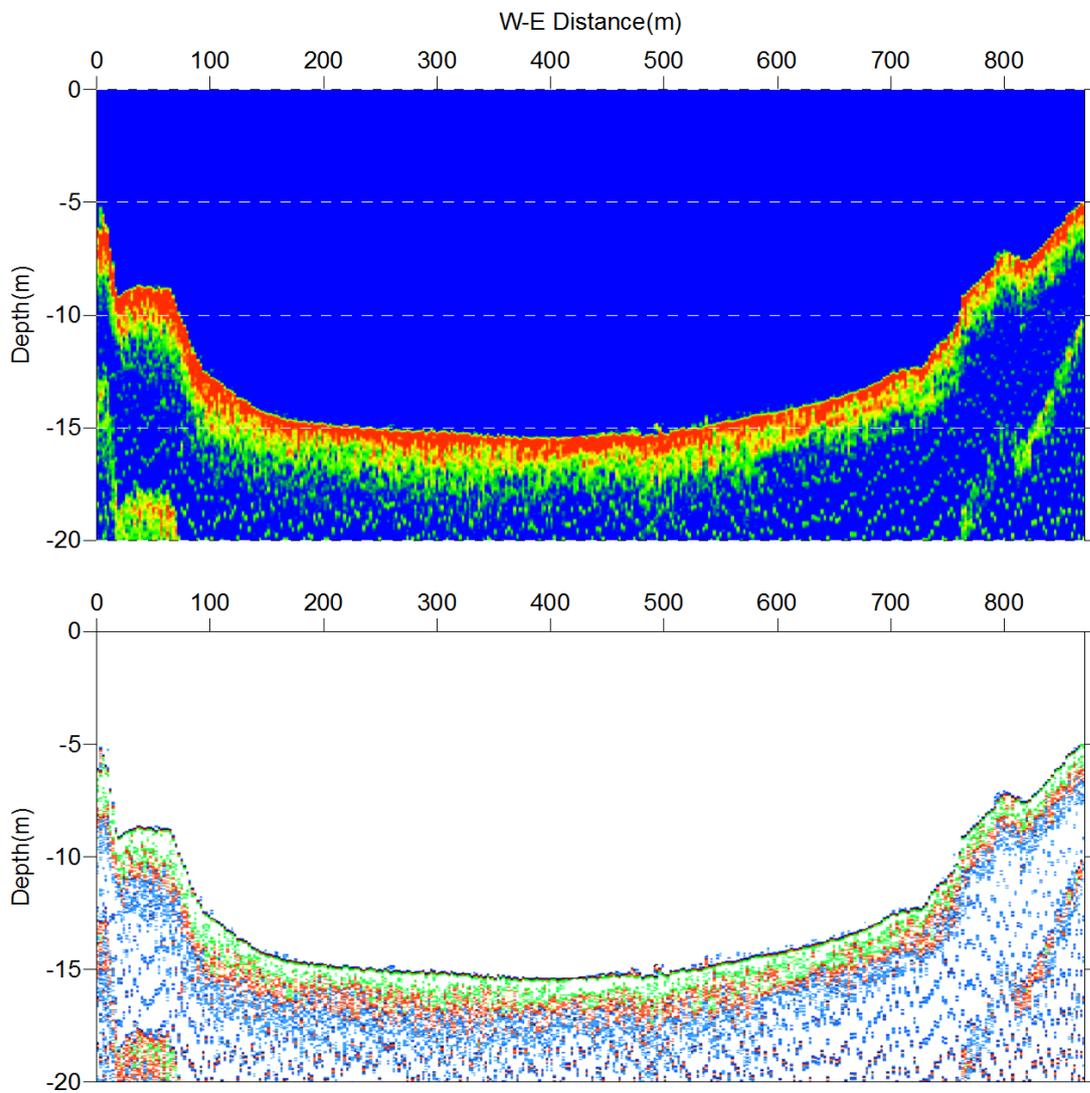
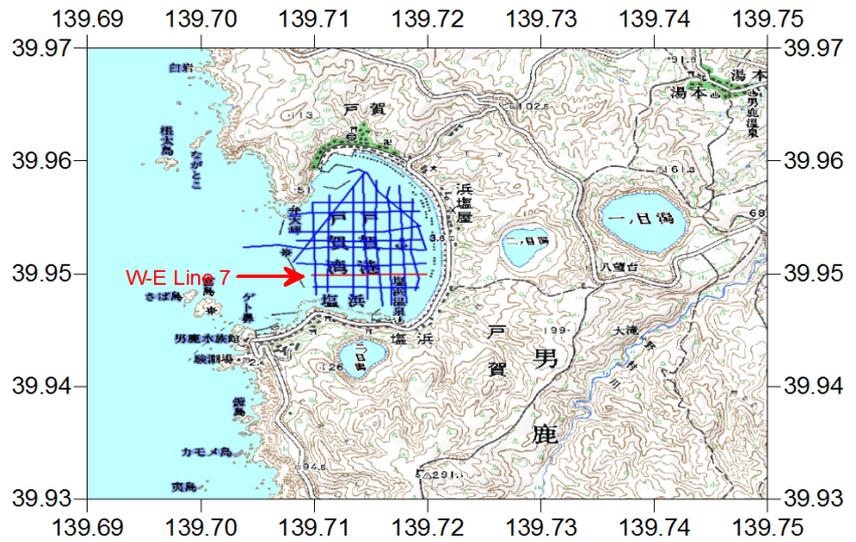


図 3-31 距離断面図 (上) および反射強度差分断面図 (下) W-E 測線 7

W-E Line 8

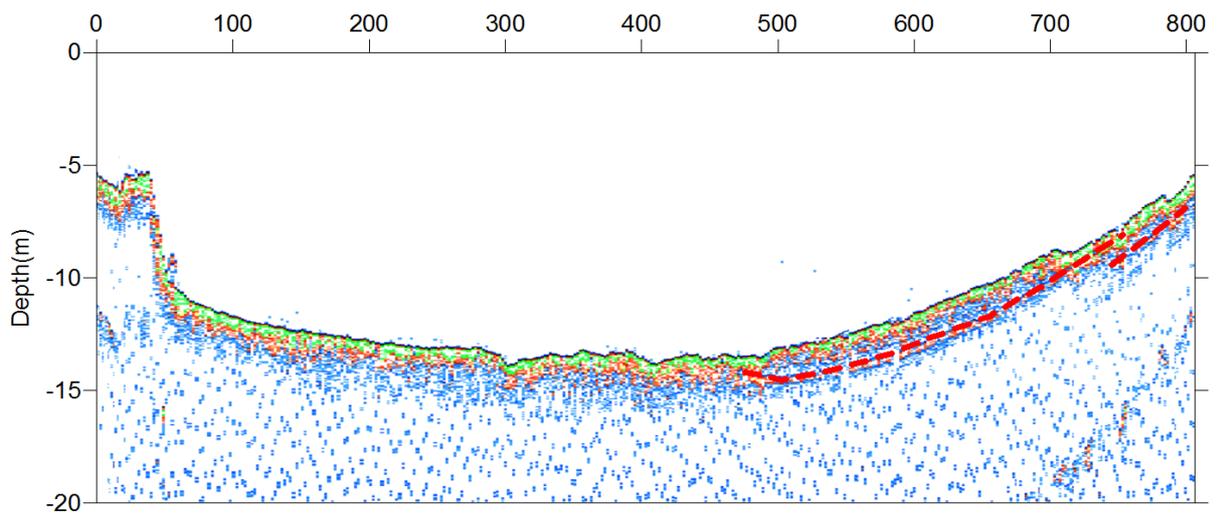
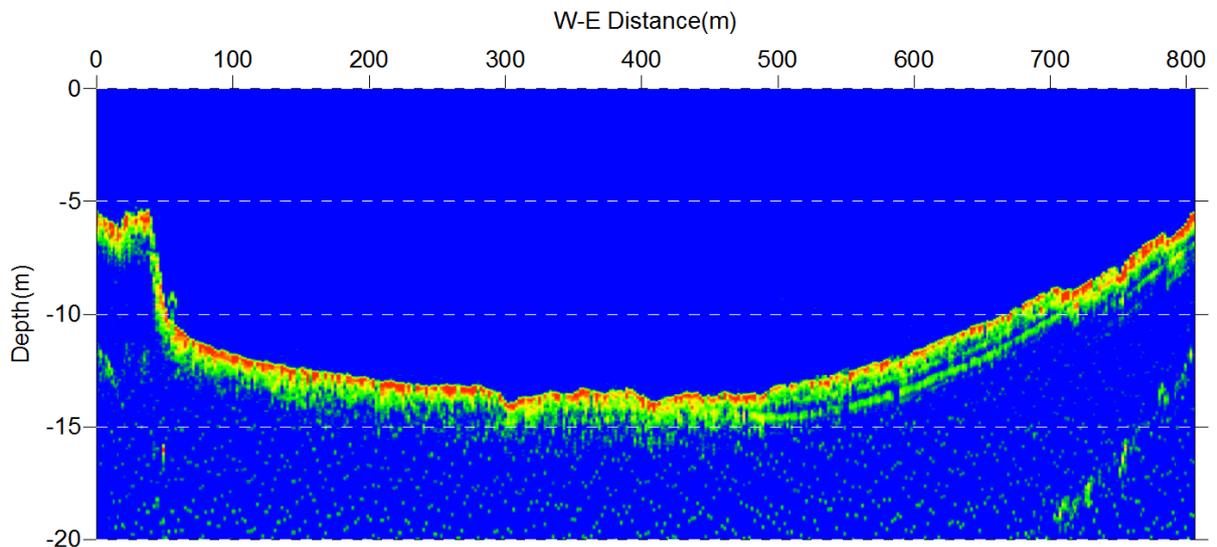
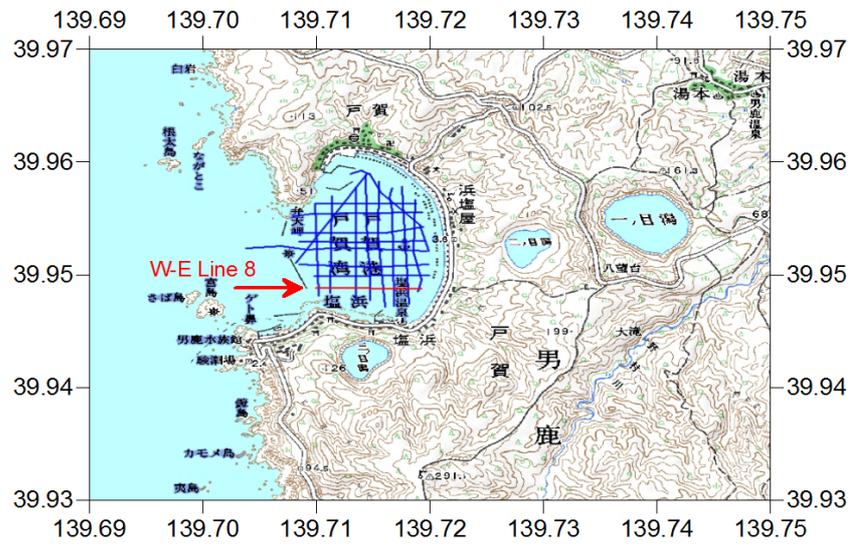


図 3-32 距離断面図 (上) および反射強度差分断面図 (下) W-E 測線 8

N-S Line 1

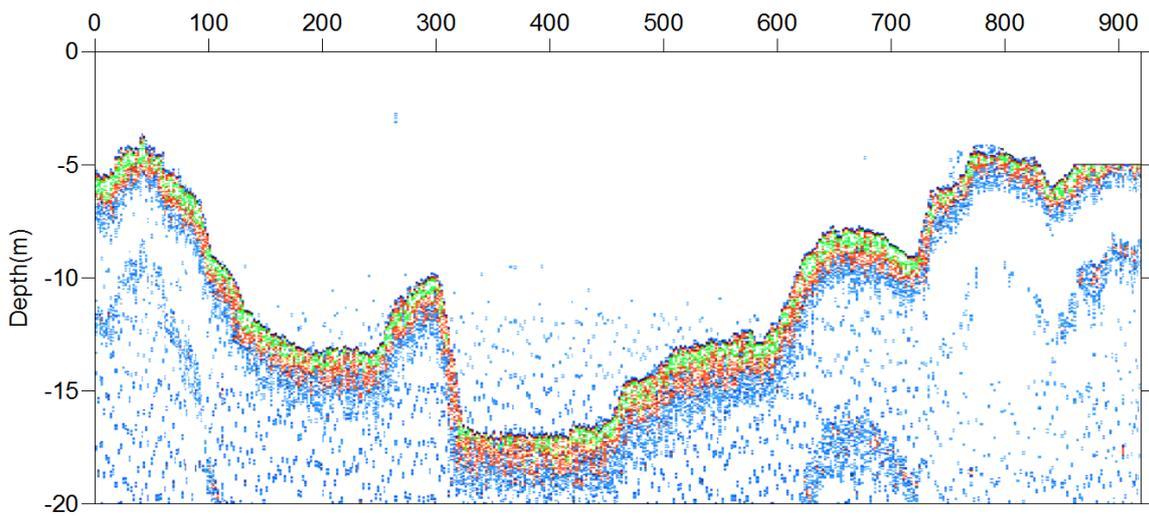
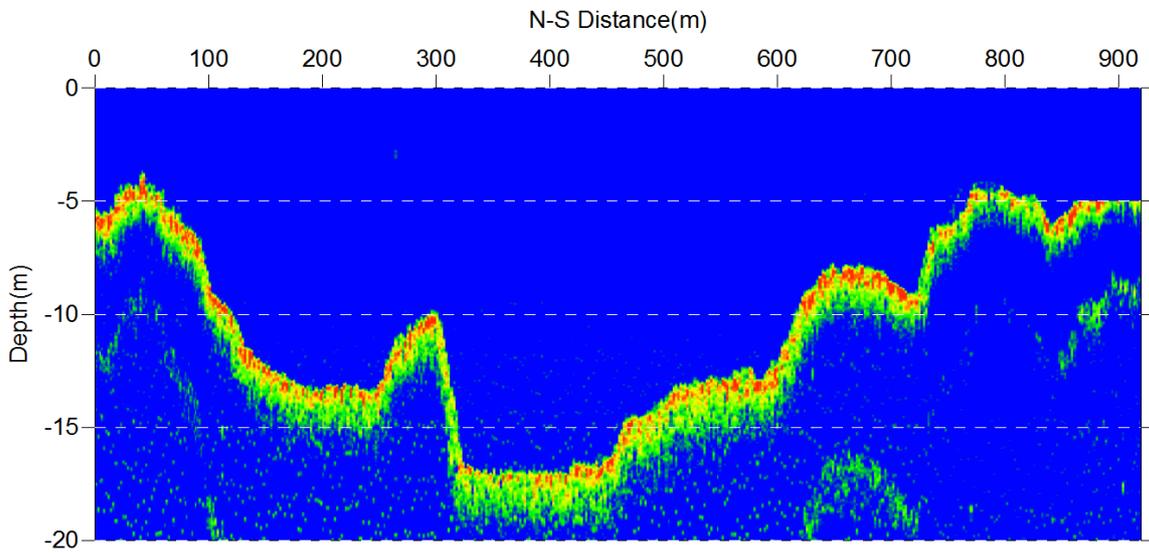
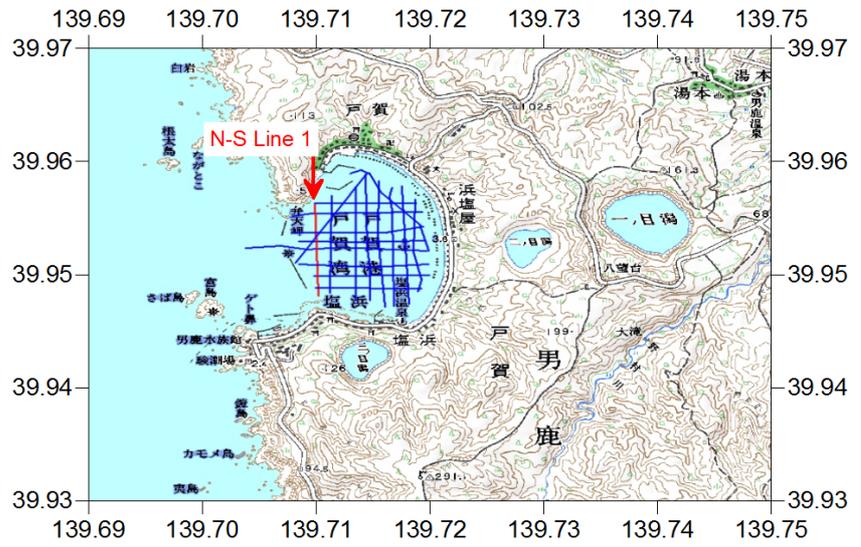


図 3-33 距離断面図 (上) および反射強度差分断面図 (下) N-S 測線 1

N-S Line 2

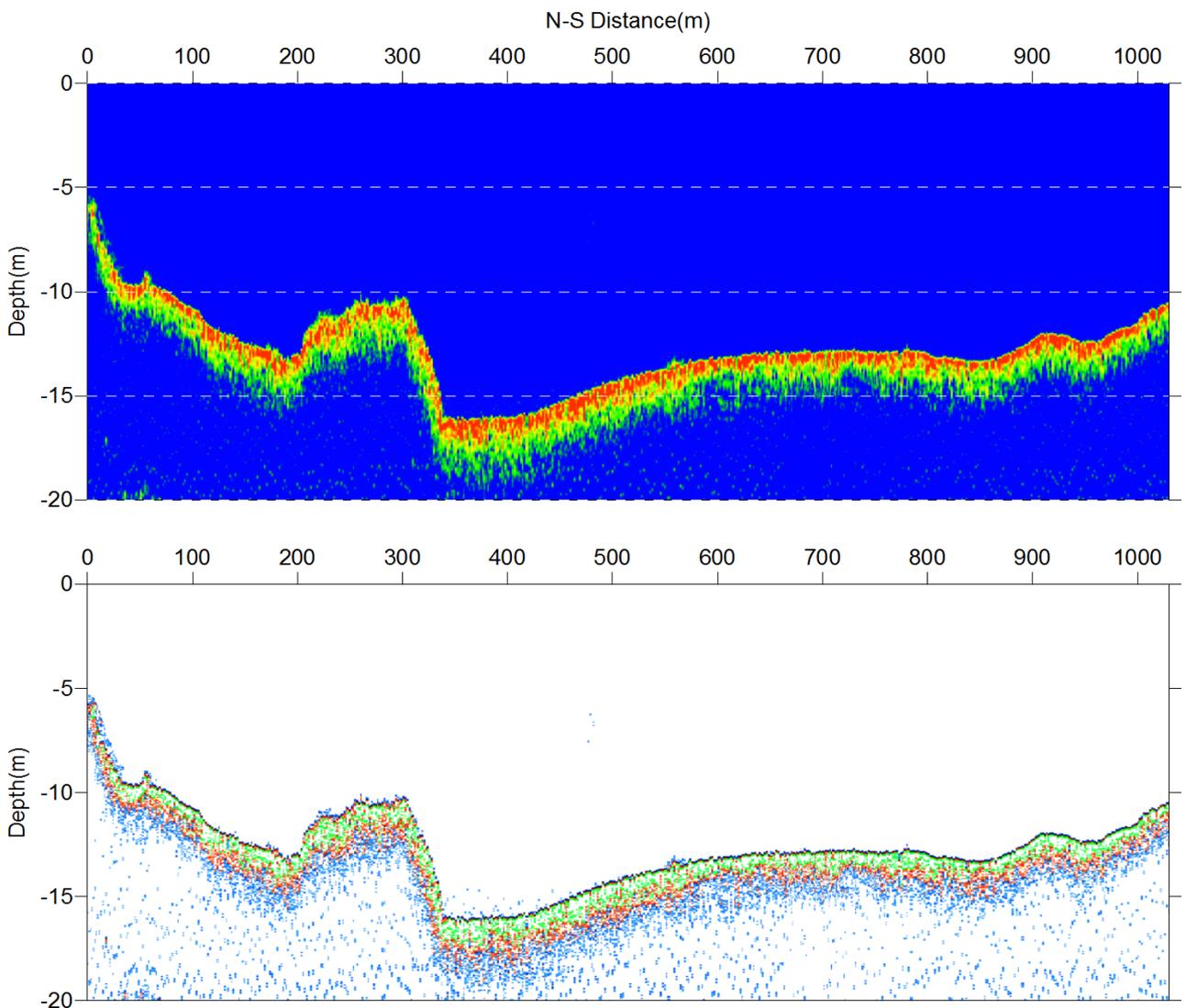
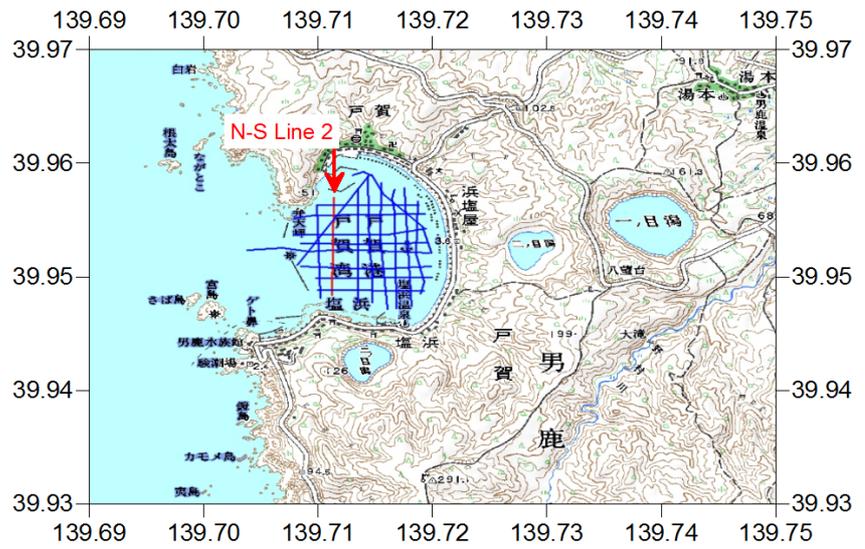


図 3-34 距離断面図 (上) および反射強度差分断面図 (下) N-S 測線 2

N-S Line 4

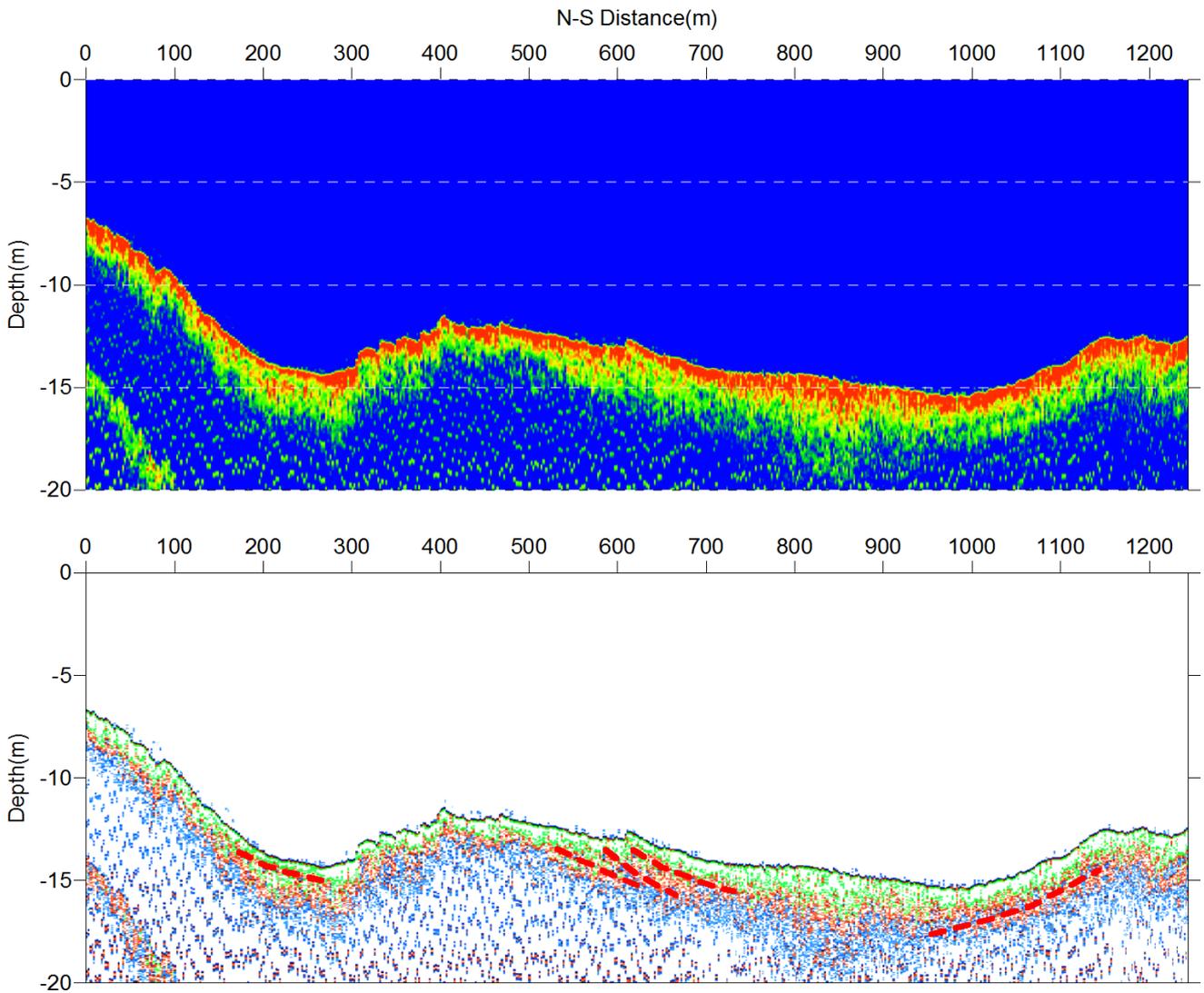
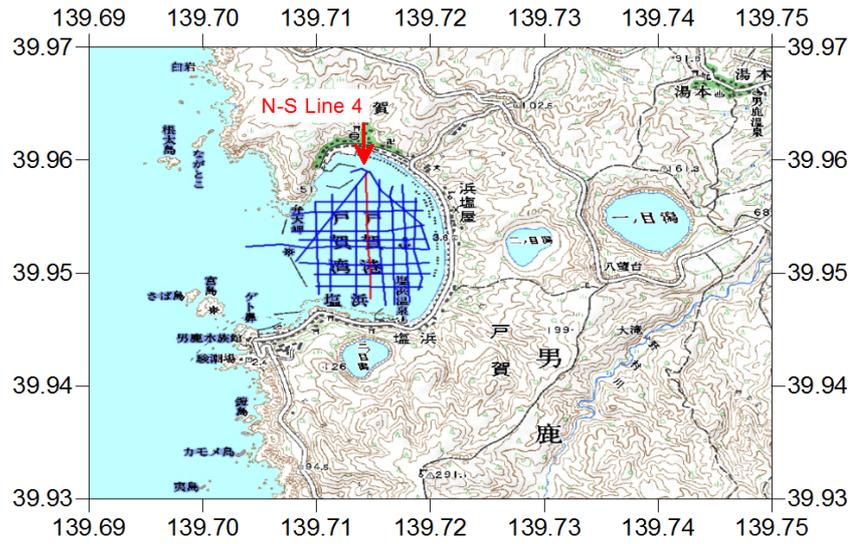


図 3-36 距離断面図（上）および反射強度差分断面図（下） N-S 測線 4

N-S Line 5

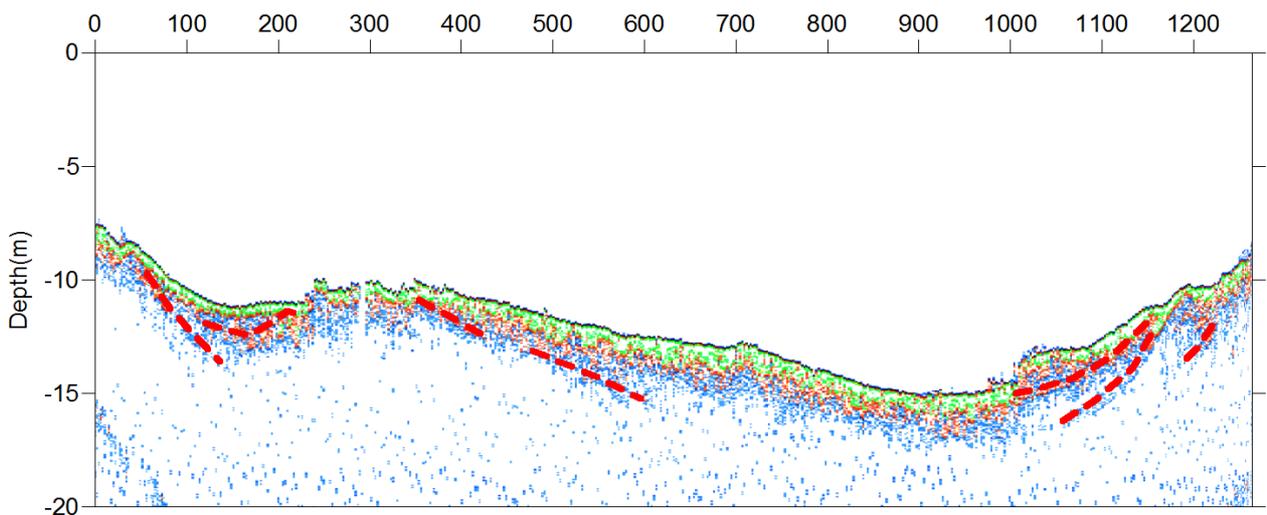
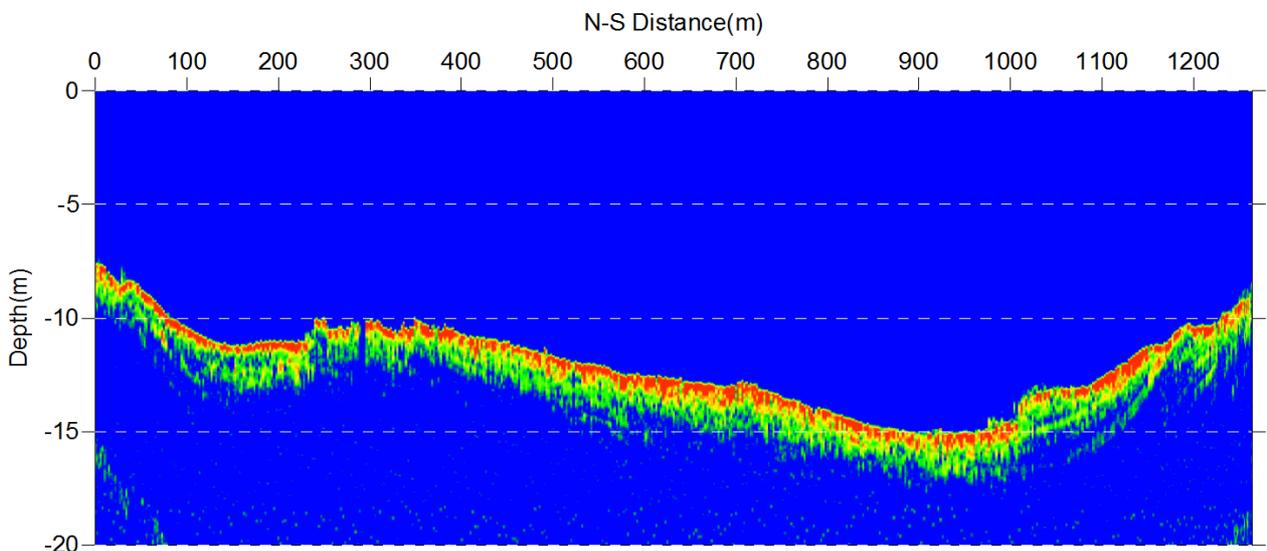
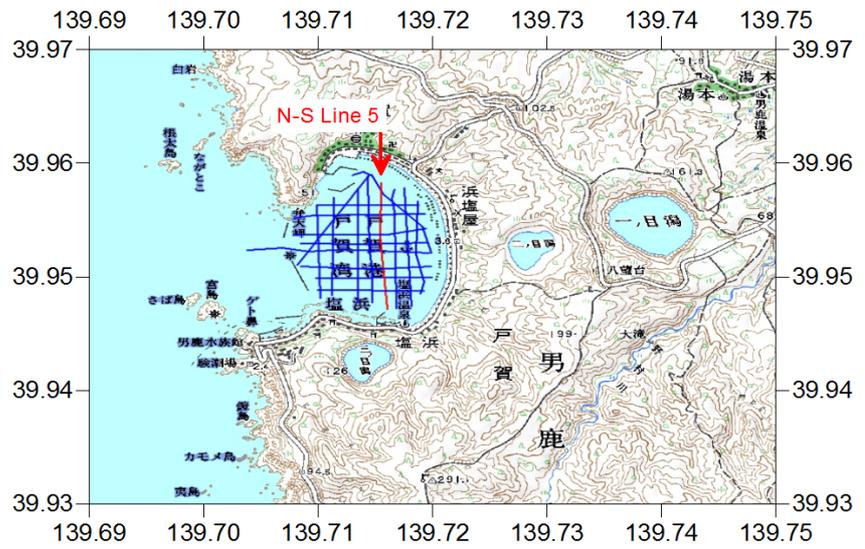


図 3-37 距離断面図（上）および反射強度差断面図（下） N-S 測線 5

N-S Line 6

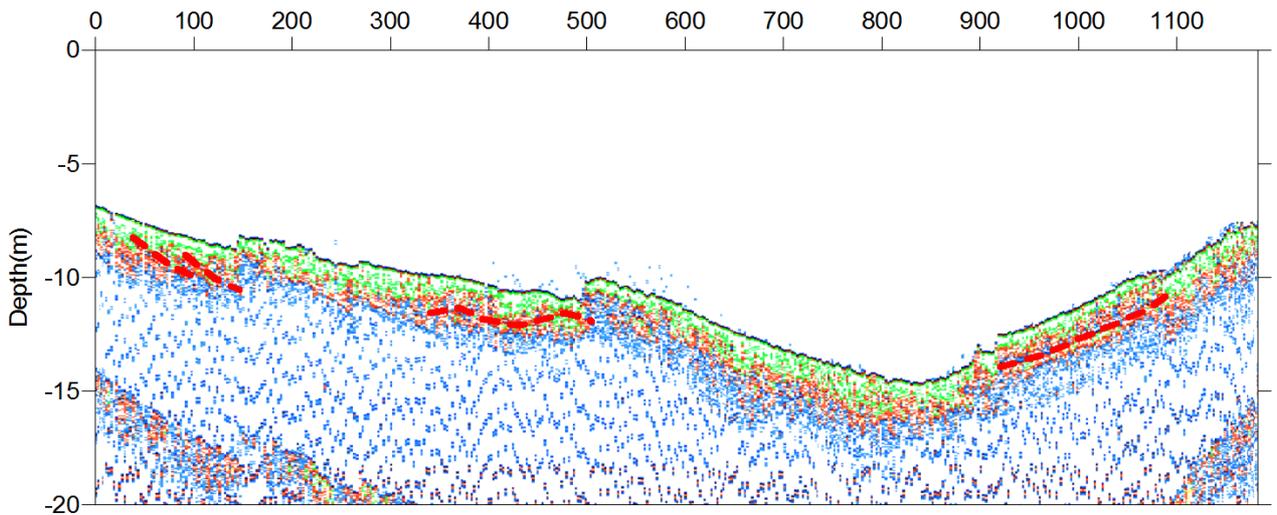
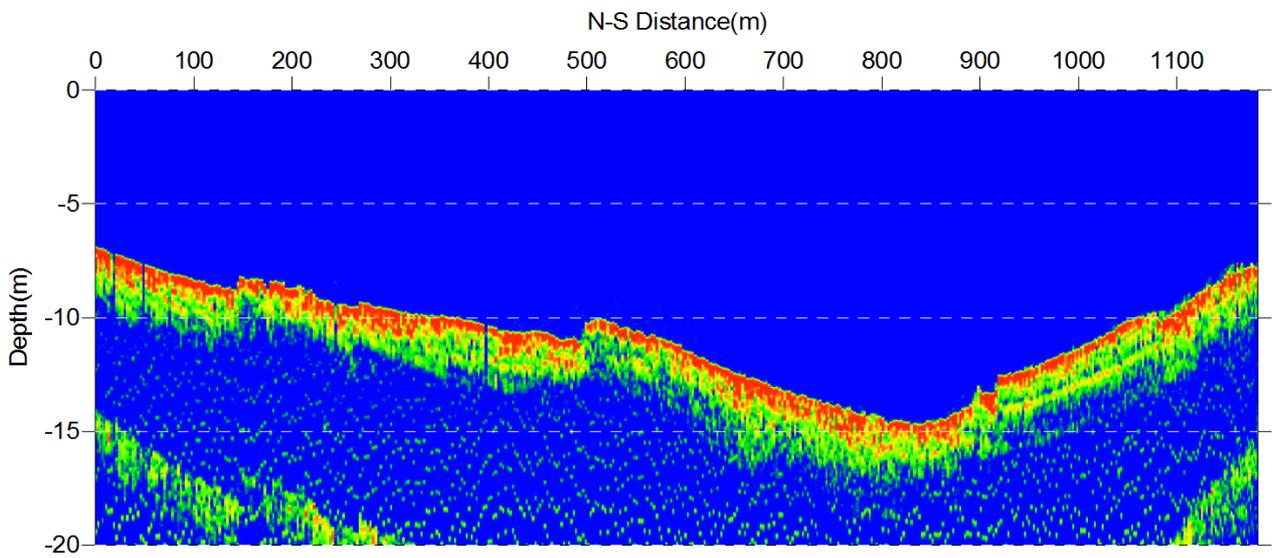
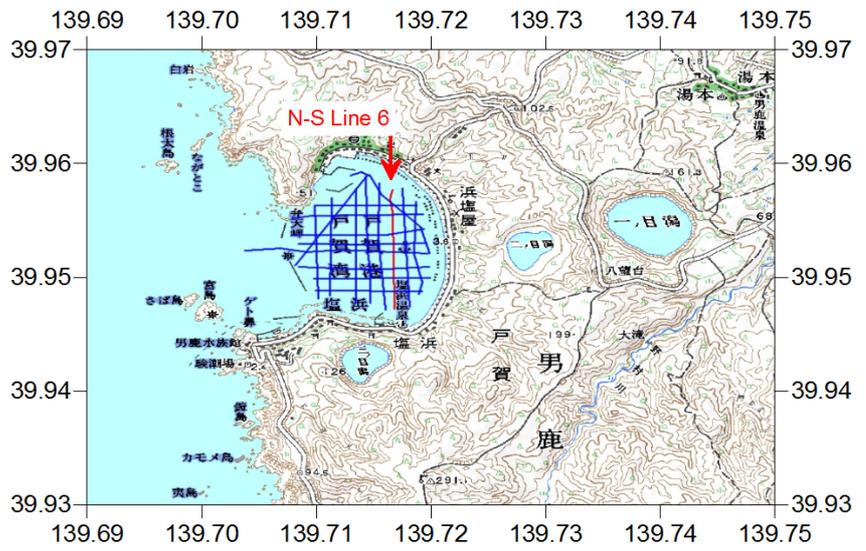


図 3-38 距離断面図 (上) および反射強度差分断面図 (下) N-S 測線 6

N-S Line 7

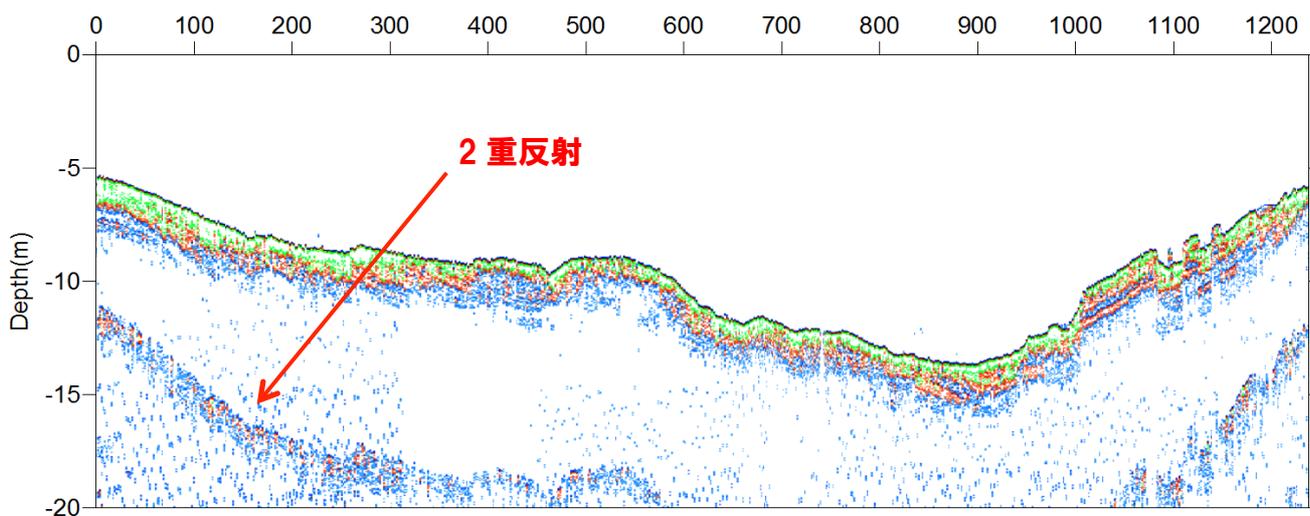
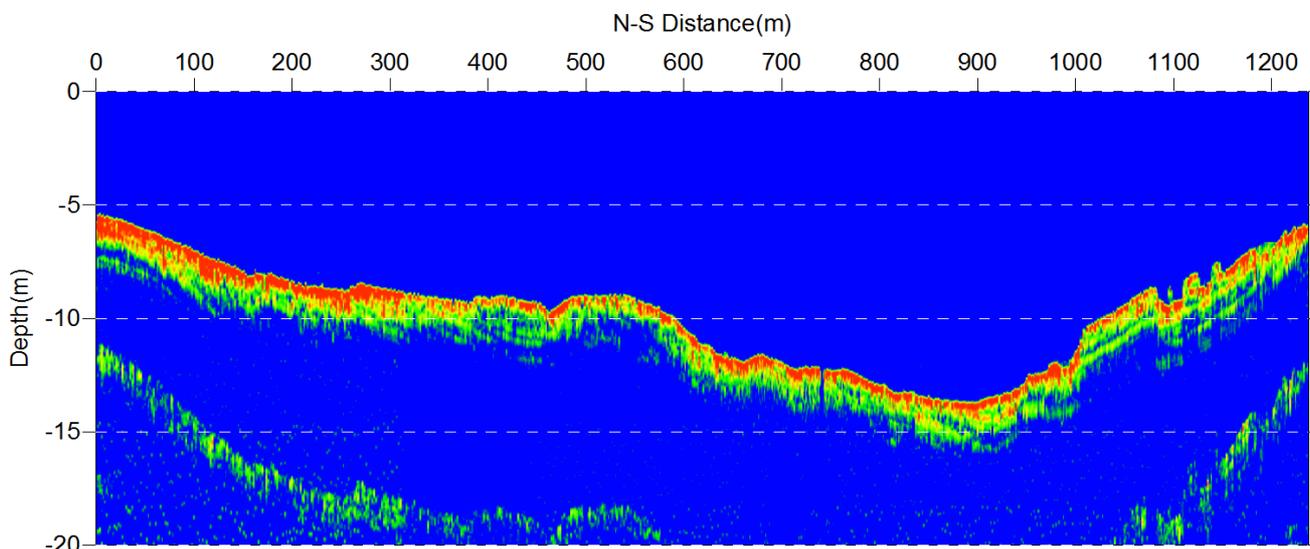
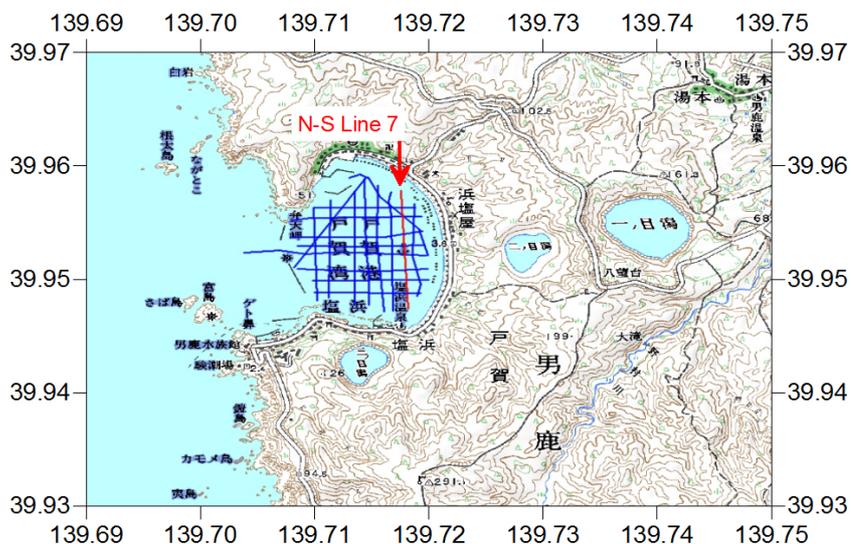


図 3-39 距離断面図 (上) および反射強度差分断面図 (下) N-S 測線 7

N-S Line 8

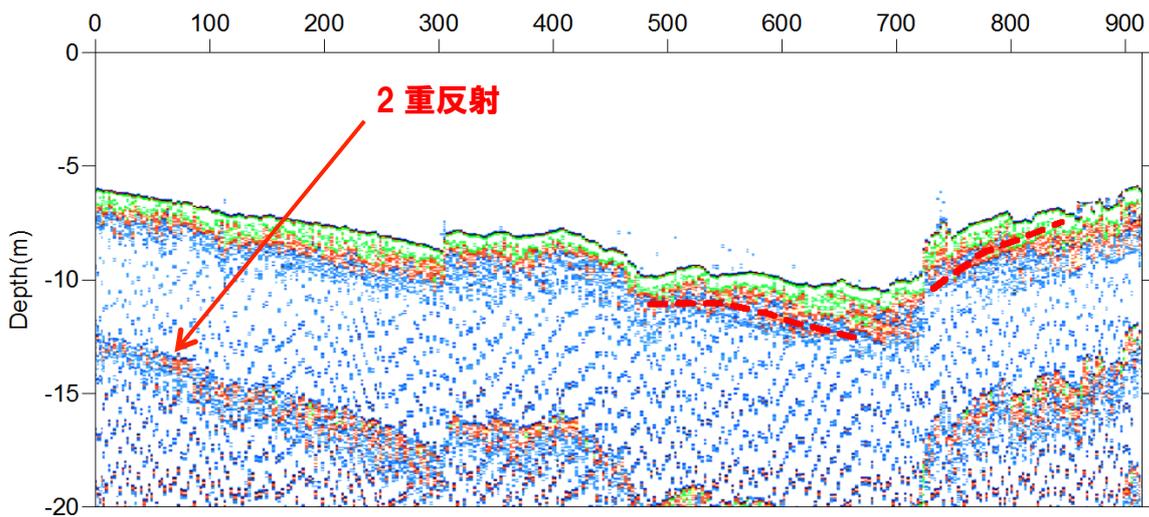
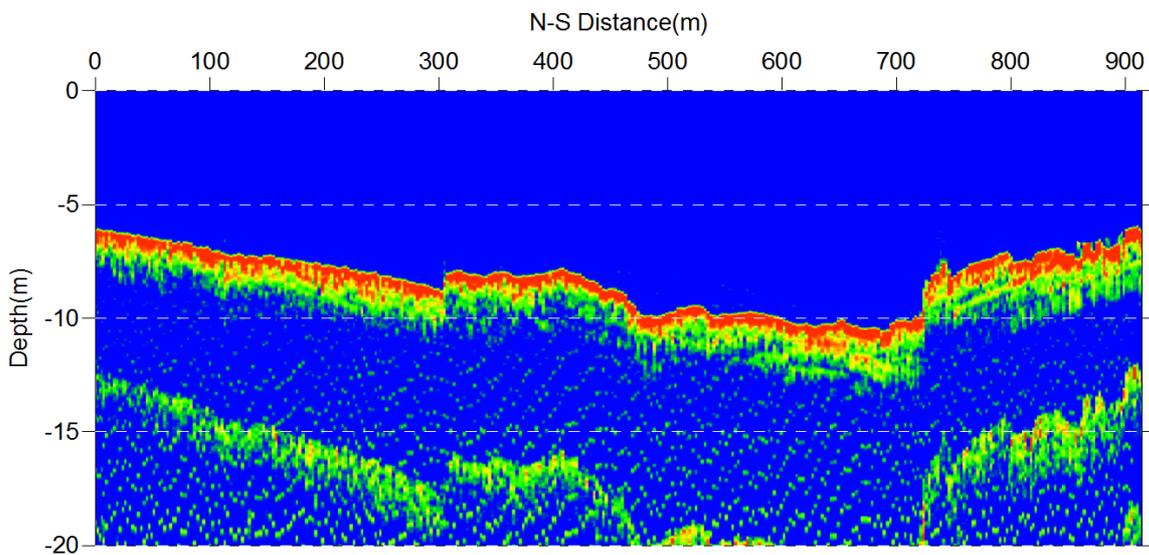
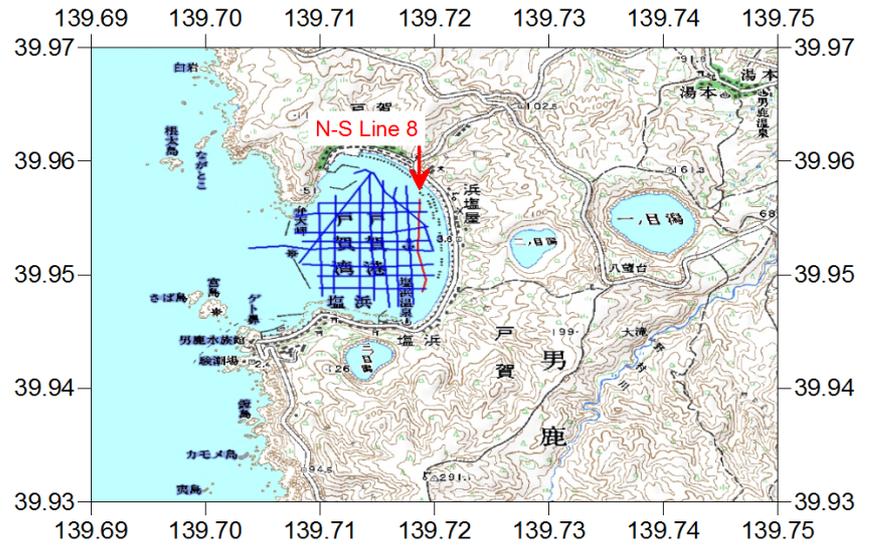


図 3-40 距離断面図 (上) および反射強度差断面図 (下) N-S 測線 8