

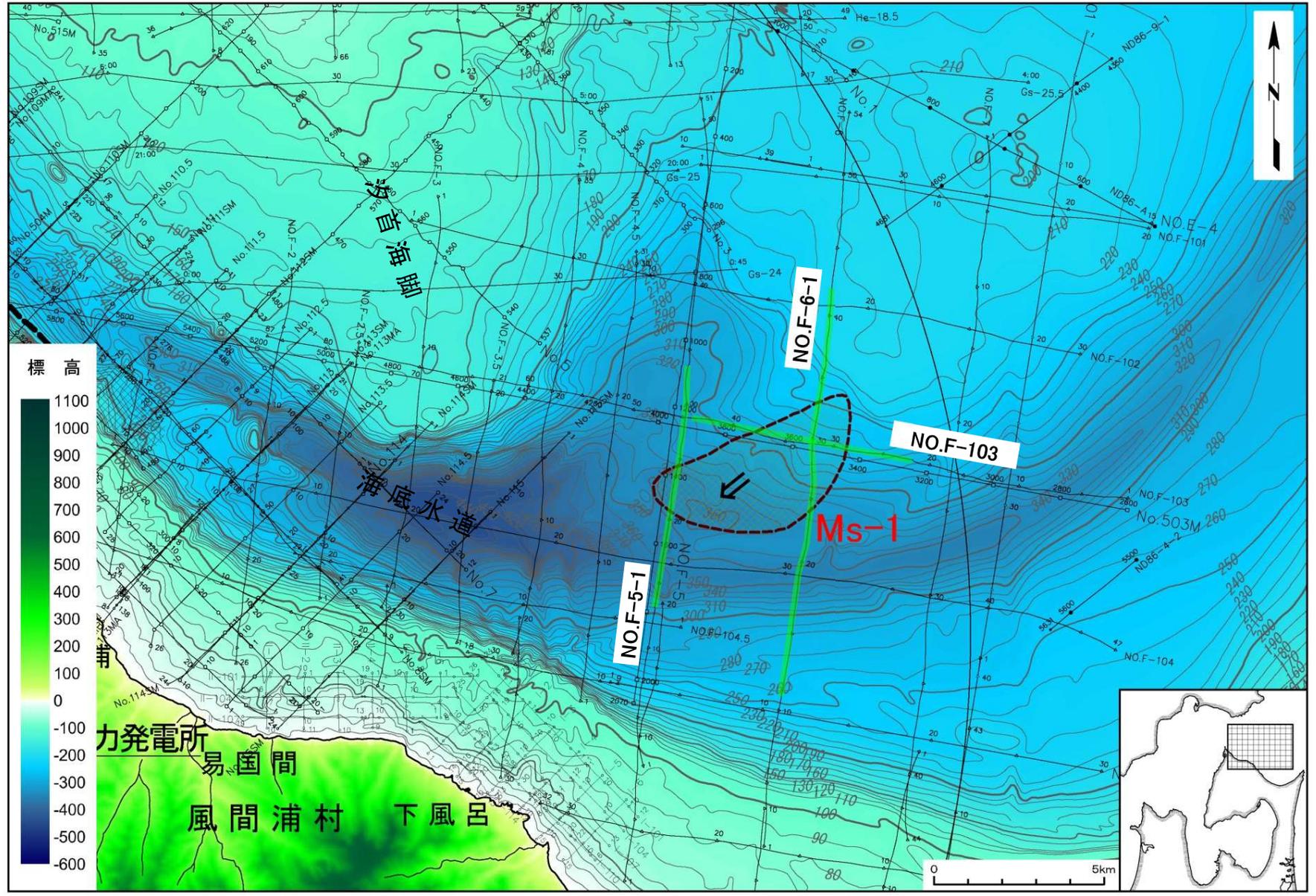
1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
 - 4-4. 動的破壊特性の不確かさの影響確認
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ水位評価地点の妥当性確認
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について



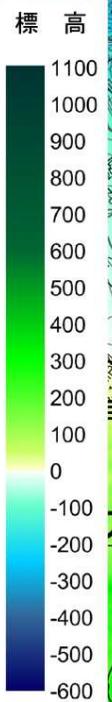
海底地すべりの可能性のある地形を横断する海上音波探査記録を整理した。



海底地すべり Ms-1



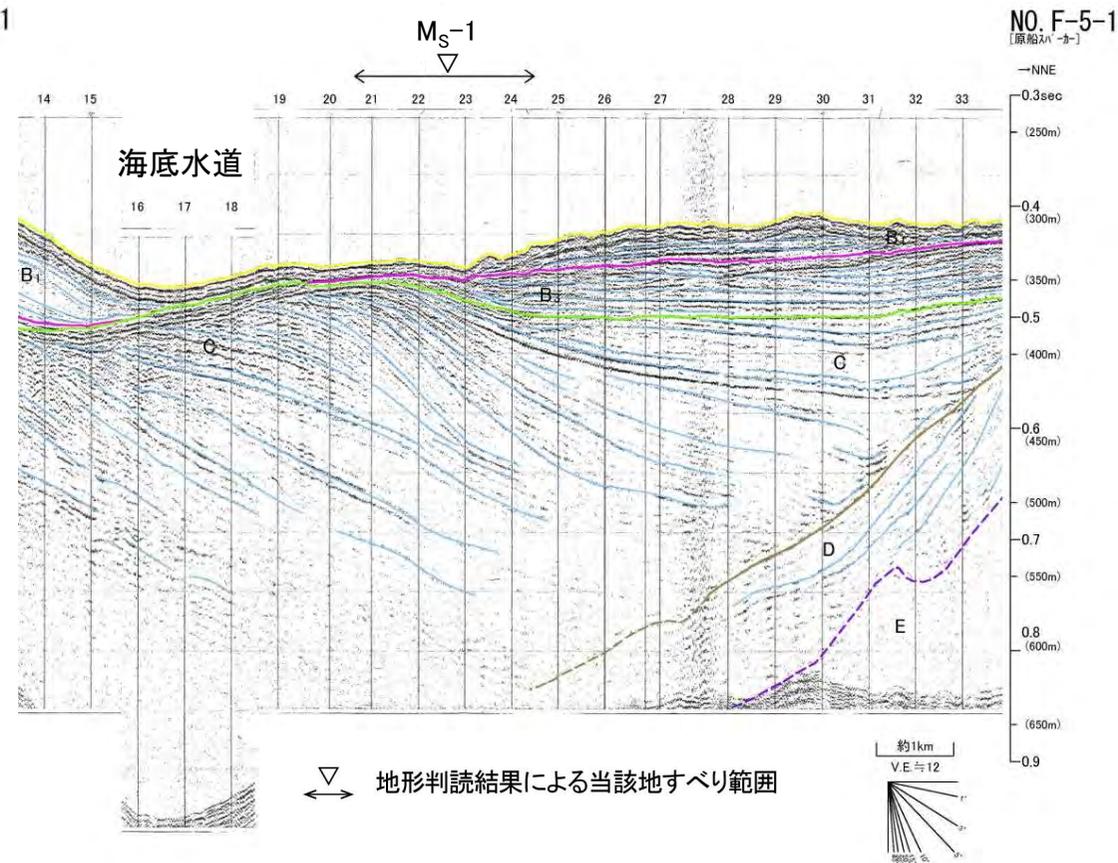
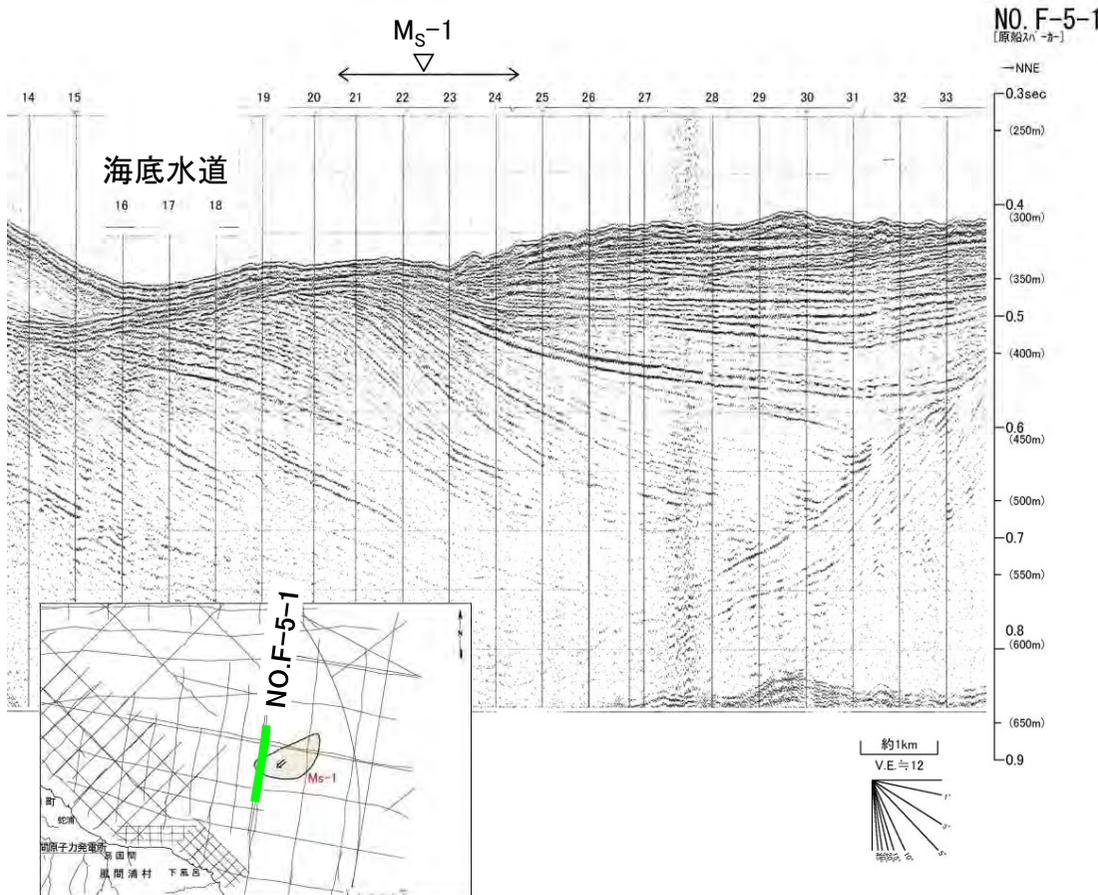
音波探査記録
の添付範囲





海底地すべり Ms-1

NO.F-5-1測線(反射断面図・解釈断面図)



- 当該範囲は、北海道側の大陸棚沖合いの斜面下部に位置し、その海底面は、B₁層の層理構造を切って広く浅い凹地を形成し、凹地の一部では波長の短い凹凸が認められる。
- 本構造は、海底地すべりによる削剥と考えられる。

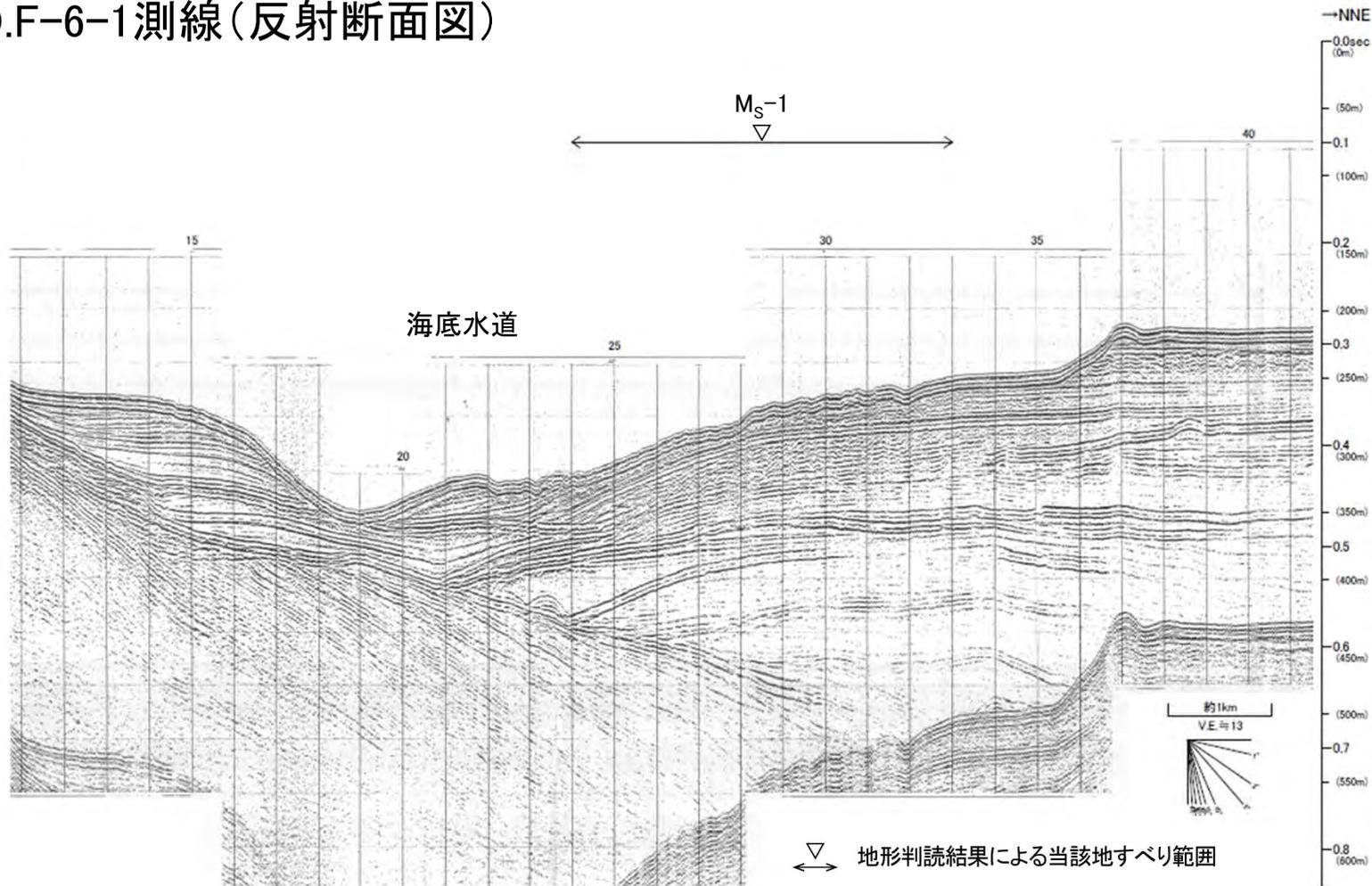
地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層	
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
		E層	
先新第三紀			



海底地すべり Ms-1

NO.F-6-1測線(反射断面図)

NO. F-6-1
[原船スキャン]

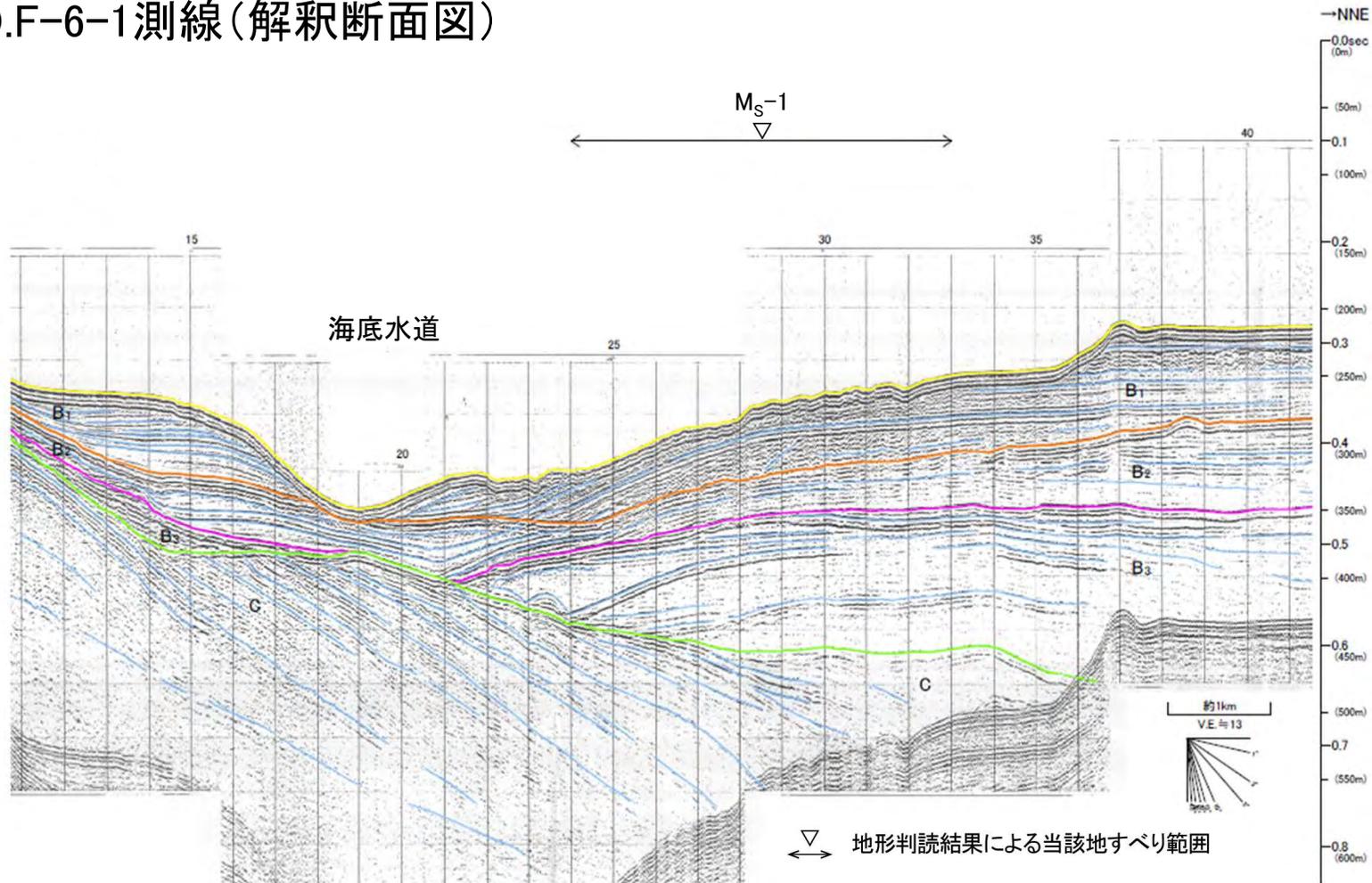




海底地すべり Ms-1

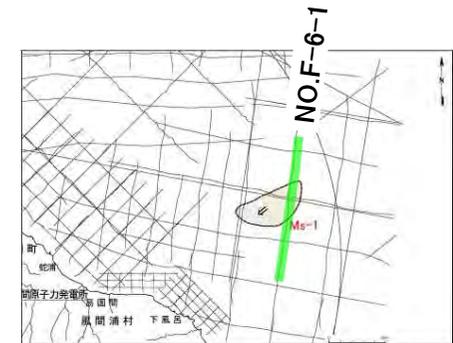
NO.F-6-1測線(解釈断面図)

NO. F-6-1
[原船名「カ」]



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
更新世	前期	B ₃ 層
		C層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

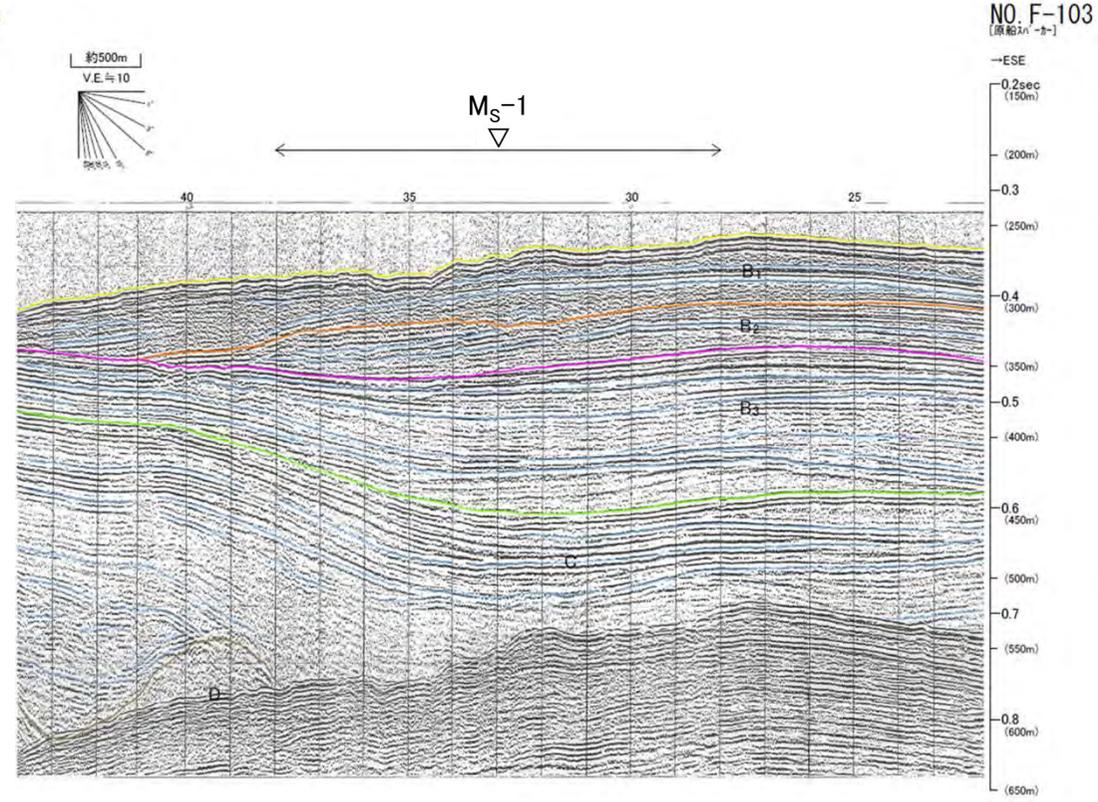
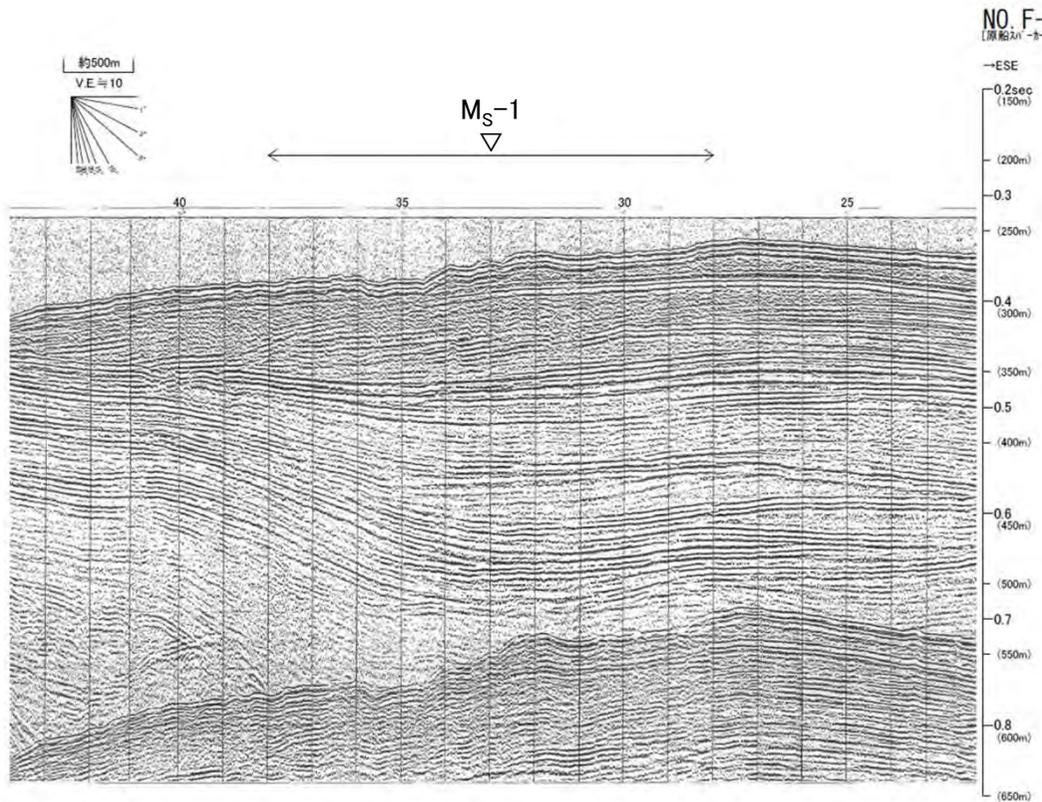


- 該当範囲は、北海道側の大陸棚沖合いの斜面下部に位置し、その海底面は、B₁層の層理構造を切って海底水道側に傾斜した広く浅い凹地を形成し、凹地中央部では波長の短い凹凸が認められる。
- 本構造は、海底地すべりによる削剥と考えられる。

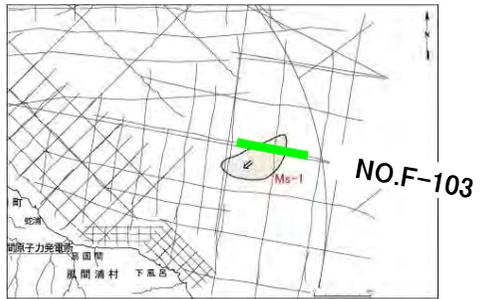


海底地すべり Ms-1

NO.F-103測線(反射断面図・解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

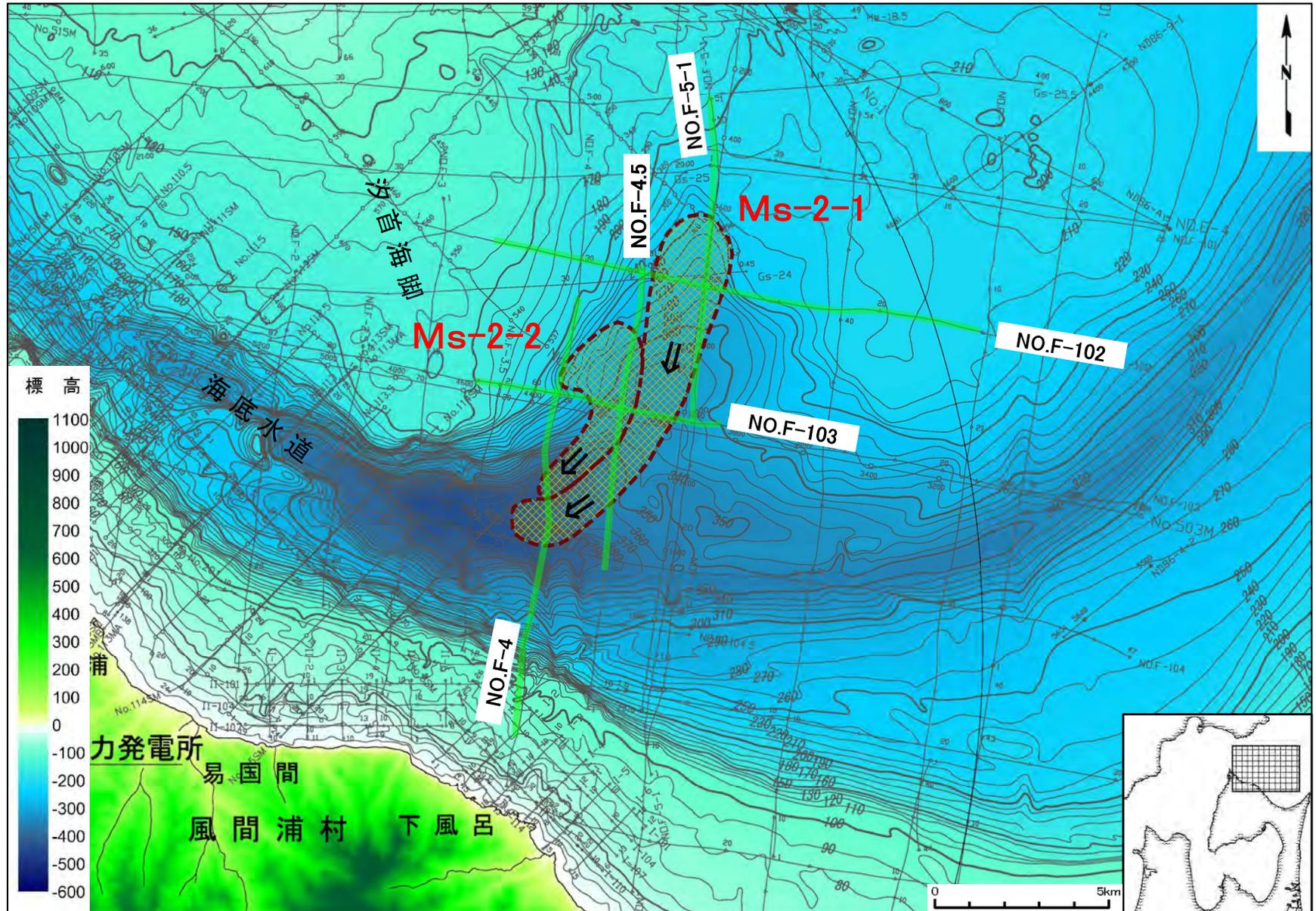


- 該当範囲は、B₁層の層理構造を切って広く浅い凹地を形成し、凹地中央部では波長の短い凹凸が認められる。
- 本構造は、海底地すべりによる削剥と考えられる。

地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
		E層	
先新第三紀			



海底地すべり Ms-2

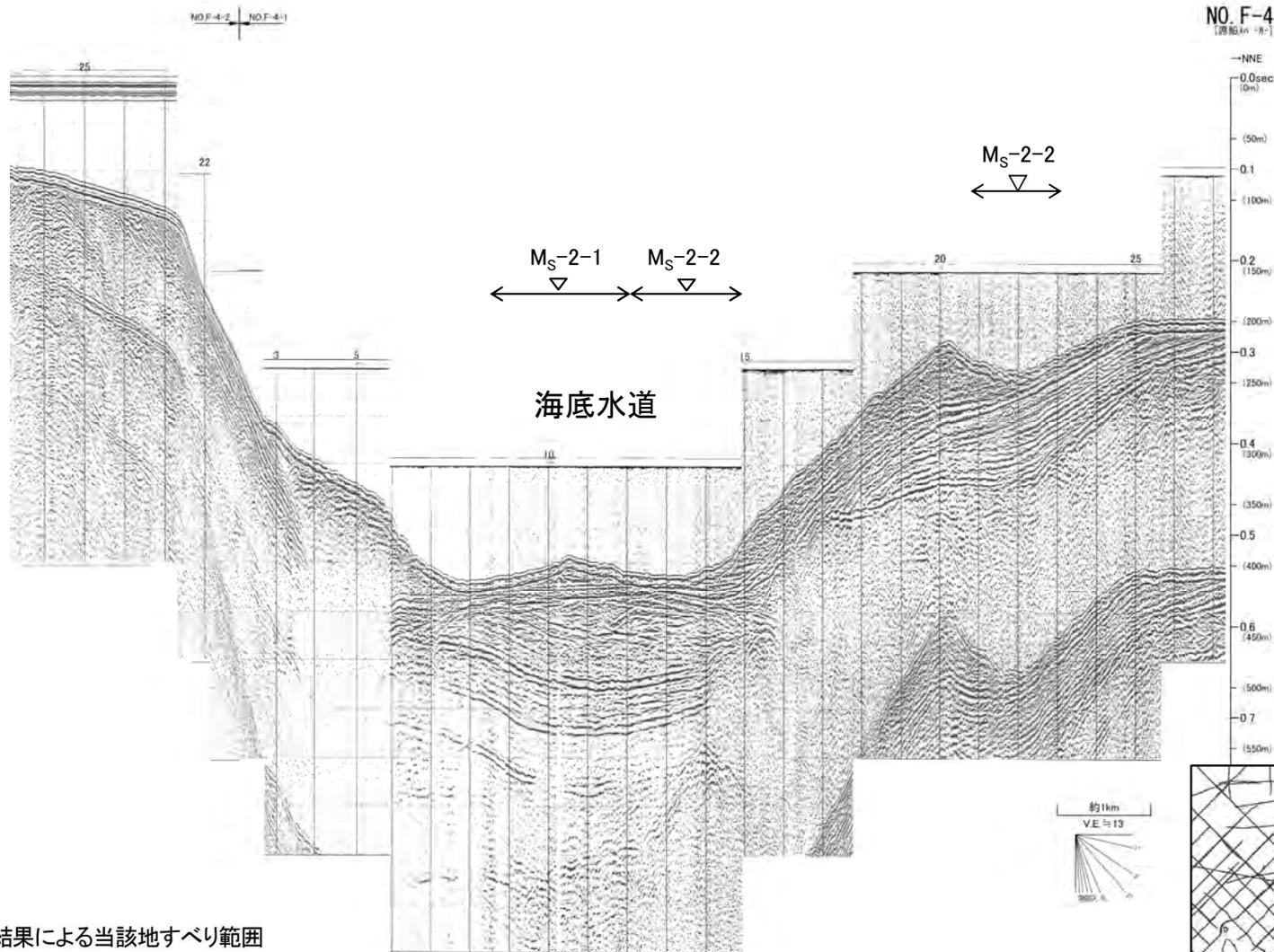


音波探査記録
の添付範囲

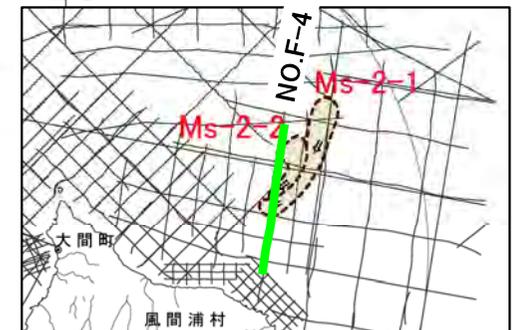


海底地すべり Ms-2

NO.F-4測線(反射断面図)



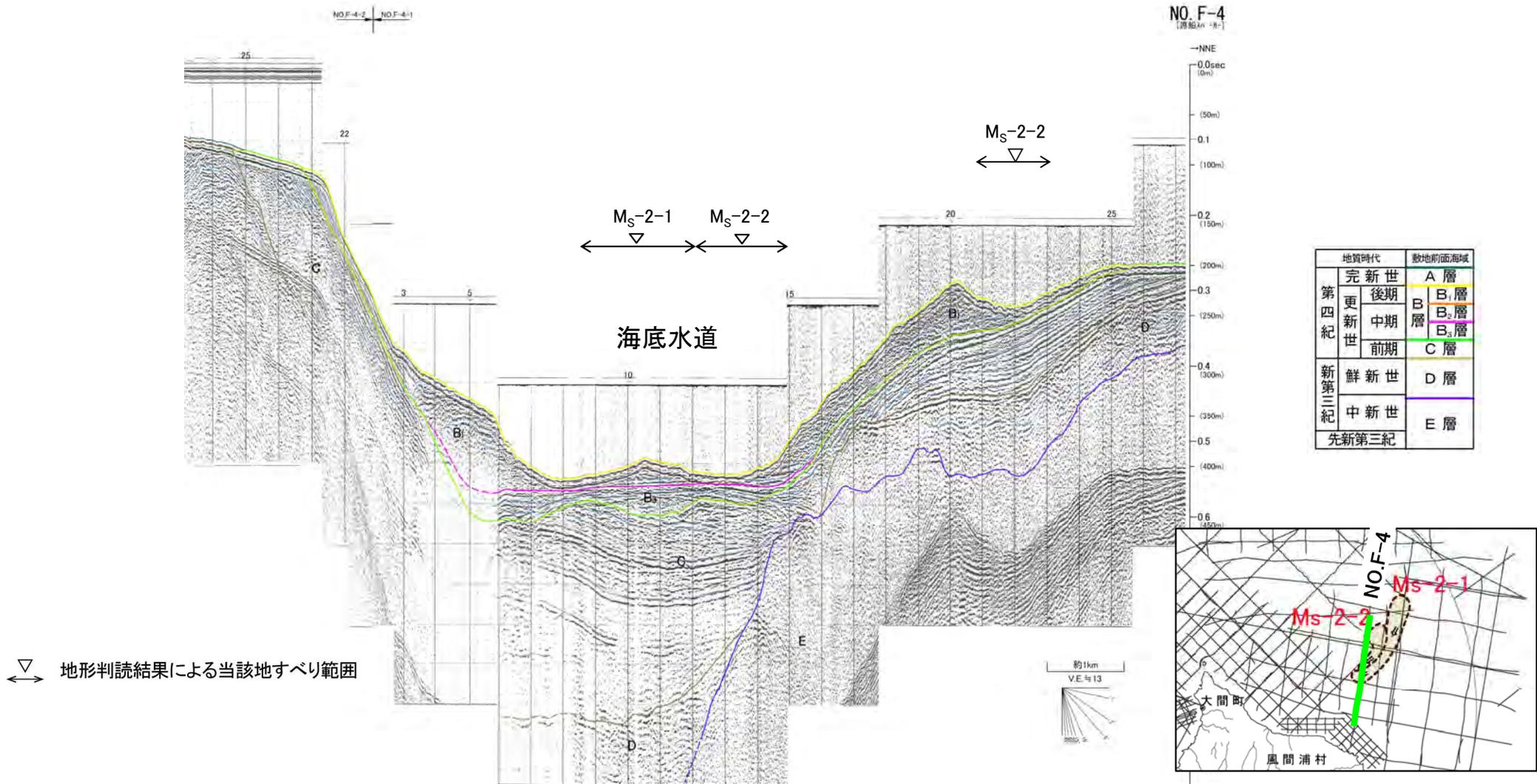
地形判読結果による当該地すべり範囲





海底地すべり Ms-2

NO.F-4測線(解釈断面図)

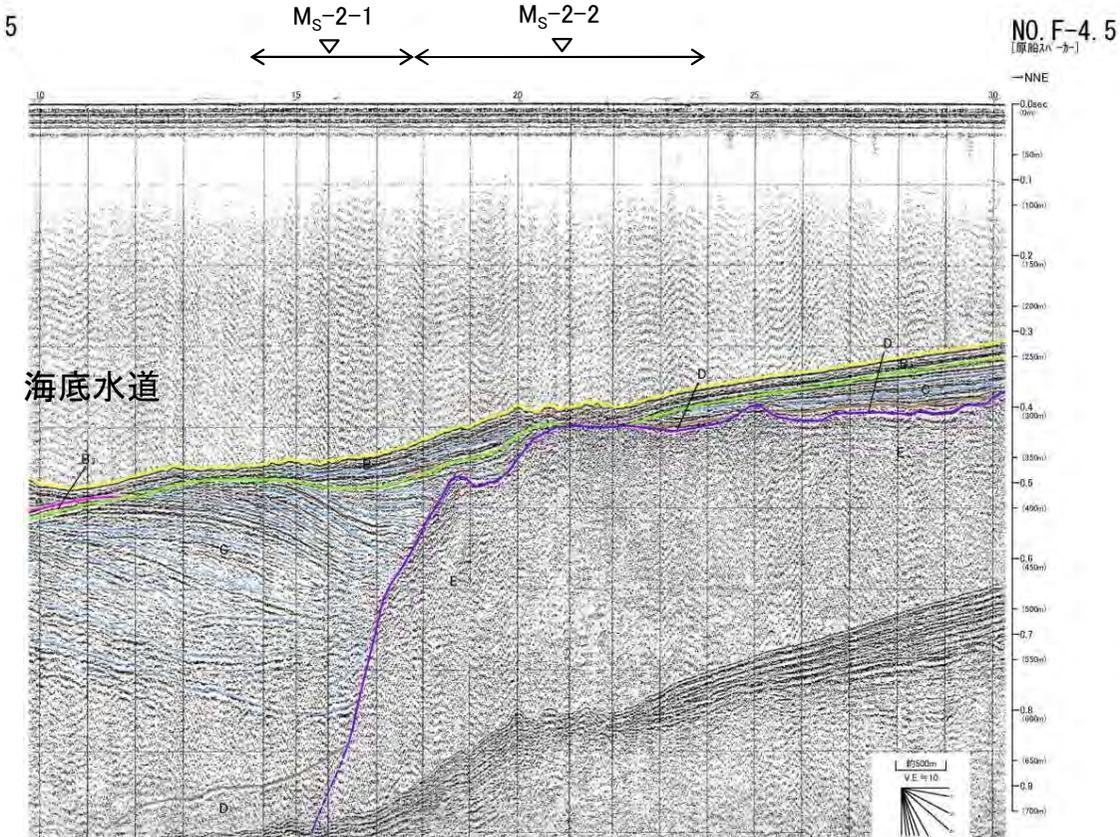
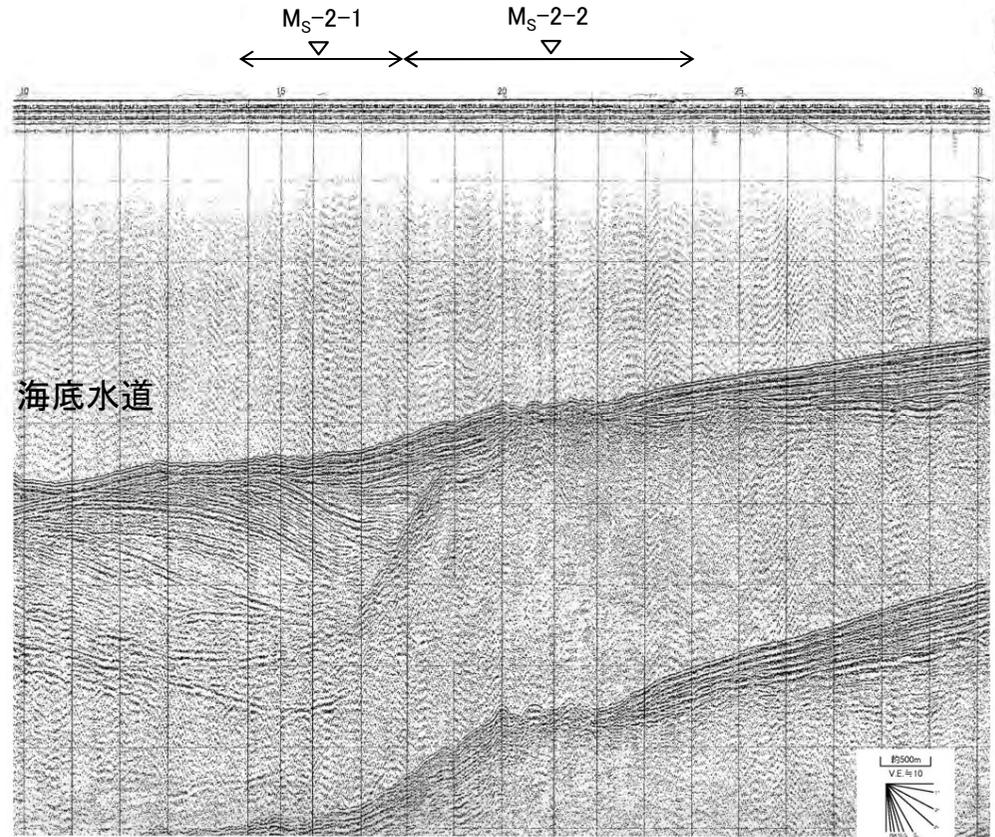


- 海底水道に位置する当該範囲では、海底水道の中央部に凸状地形が認められ、海底面下のB₁層は乱れた層理パターンを示す。
- 北海道側大陸棚沖合いの斜面に位置する当該範囲では、海底面は最上位のB₁層を削剥し、凹地を形成している。
- 前者は地すべり移動体、後者は地すべりにより削剥されたものと考えられる。



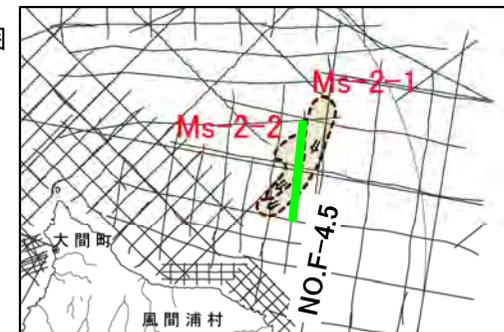
海底地すべり Ms-2

NO.F-4.5測線(反射断面図・解釈断面図)



↔ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、北海道側の大陸棚沖合いの斜面下部～中部に位置し、その海底面は、波長の短い凹凸が認められ、海底水道側は浅い凹地が形成されている。
- 本構造は、海底地すべりによる削剥及び地すべり移動体によるものと考えられる。

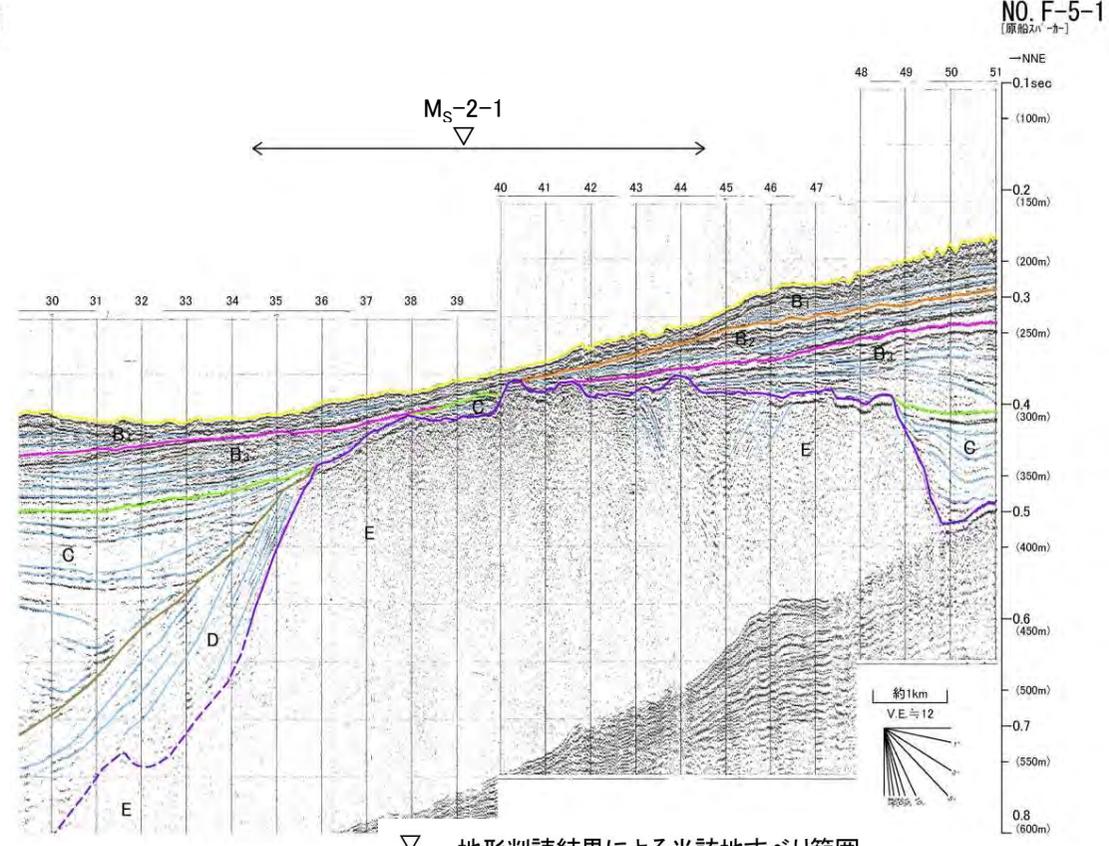
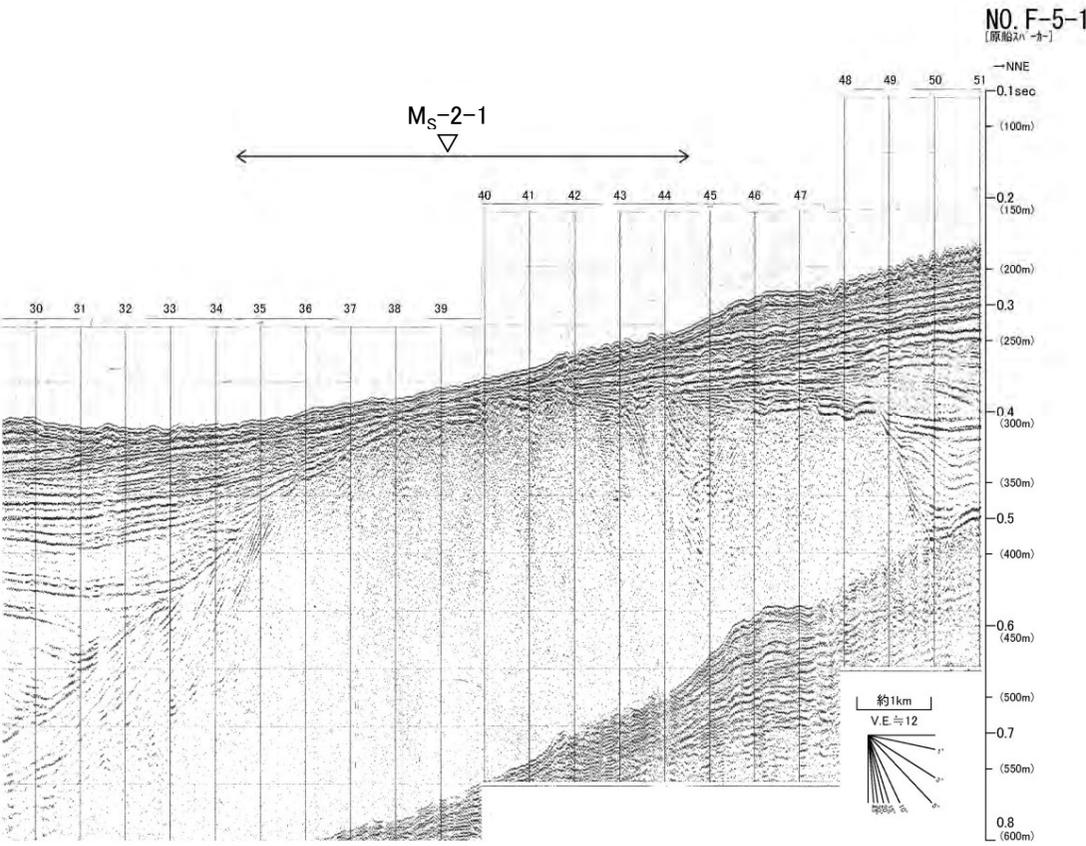


地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	更新世 後期	B層
	更新世 中期	B ₂ 層
	更新世 前期	B ₁ 層
新第三紀	鮮新世	C層
	中新世	D層
先新第三紀		E層



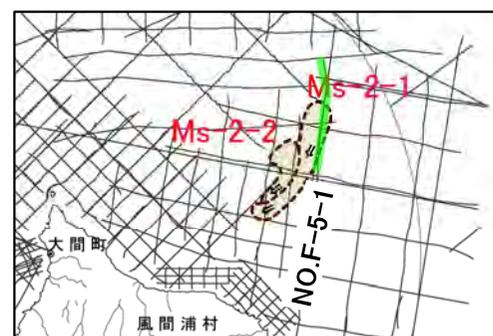
海底地すべり Ms-2

NO.F-5-1測線(反射断面図・解釈断面図)



地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲の海底面は、B₁層の層理構造を切って広く浅い凹地を形成し、凹地の一部では波長の短い凹凸が認められる。
- 本構造は、海底地すべりによる削剥と考えられる。

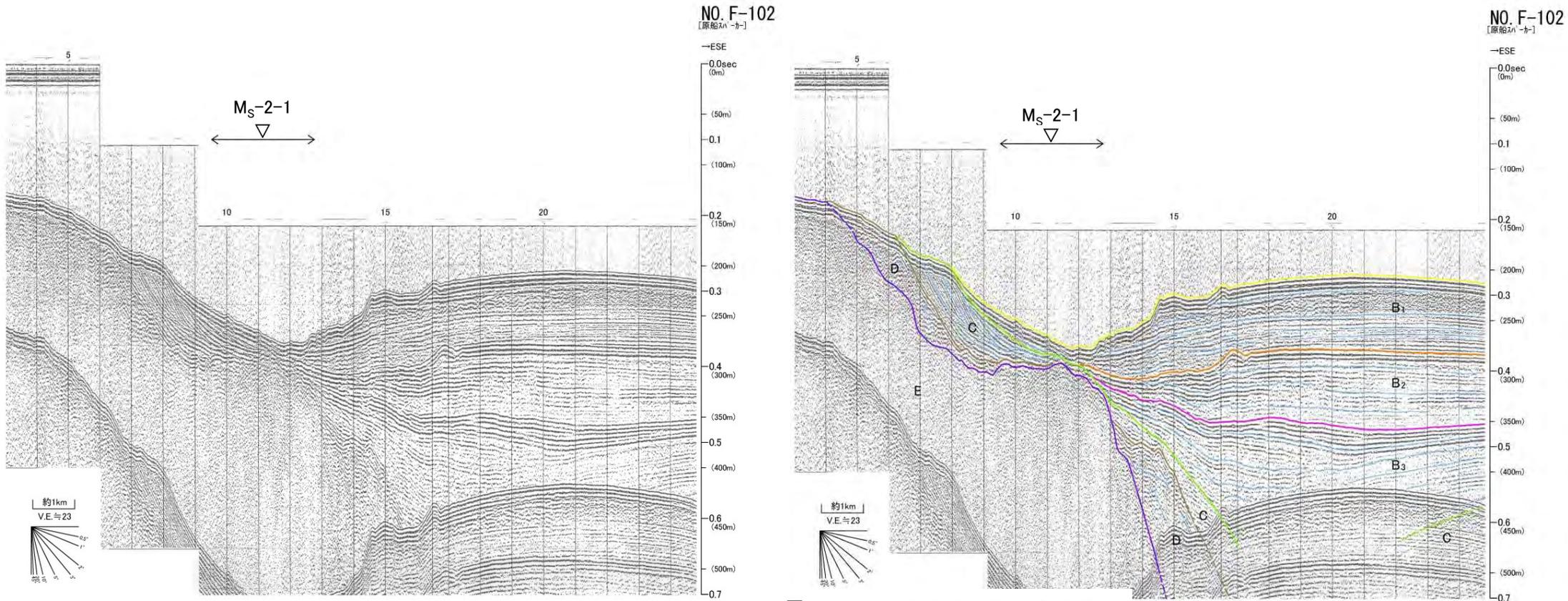


地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
更新世	前期	B ₃ 層
		C層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		



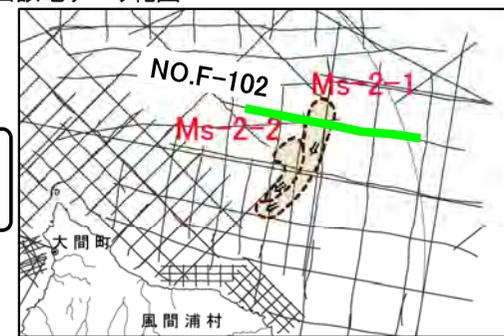
海底地すべり Ms-2

NO.F-102測線(反射断面図・解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲の海底面は、B₁層の層理構造を切って、比較的深い凹地を形成している。
- 本構造は、海底地すべりによる削剥と考えられる。

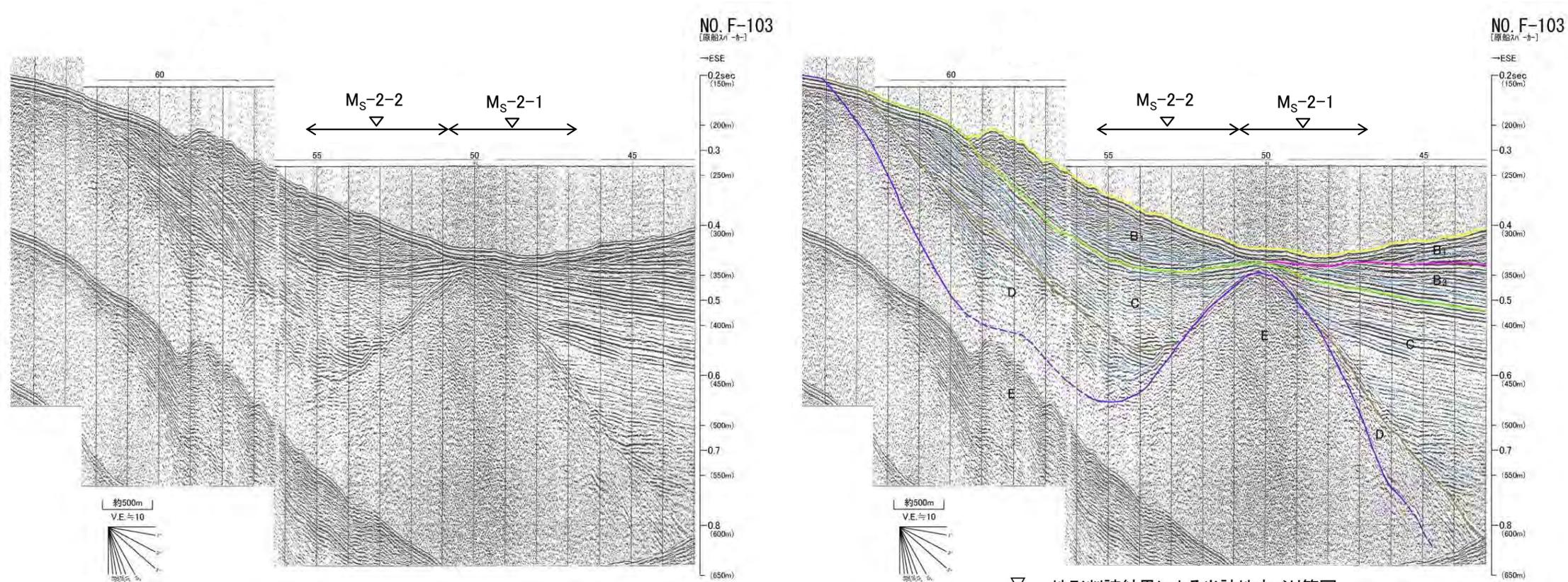


地質時代		数地前面/海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
鮮新世	前期	C層	
	中期	D層	
中新世		E層	
先新第三紀			

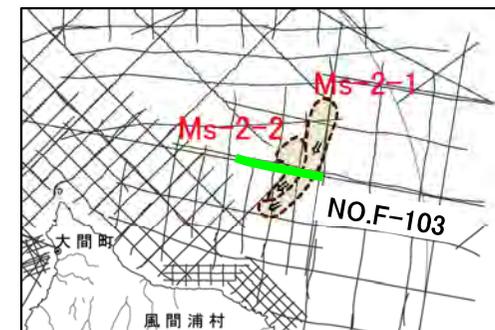


海底地すべり Ms-2

NO.F-103測線(反射断面図・解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

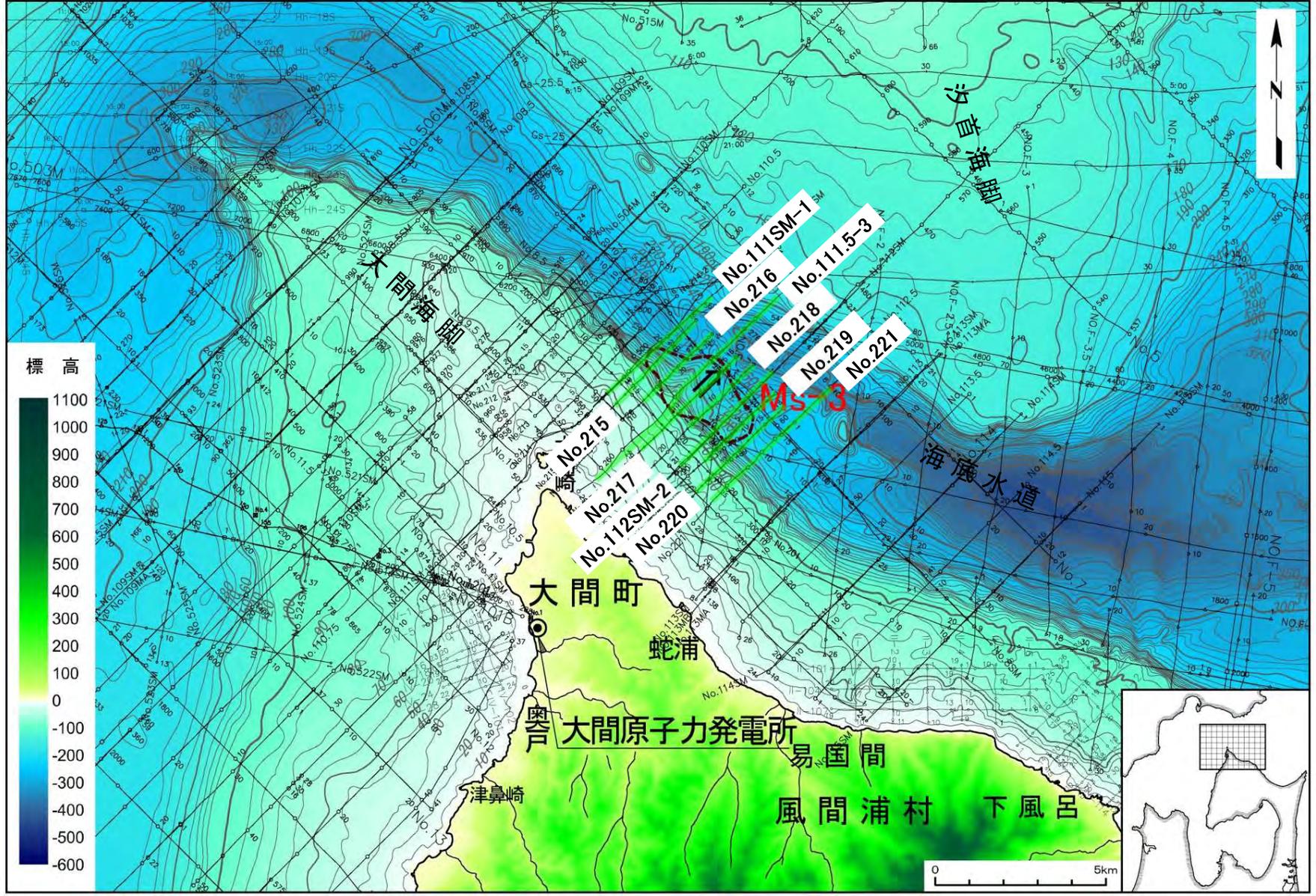


地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	C層
	中新世	D層
先新第三紀		E層

- 当該範囲の海底面は、B₁層の層理構造を切って、広い凹地を形成している。
- 本構造は、海底地すべりによる削剥と考えられる。



海底地すべり Ms-3

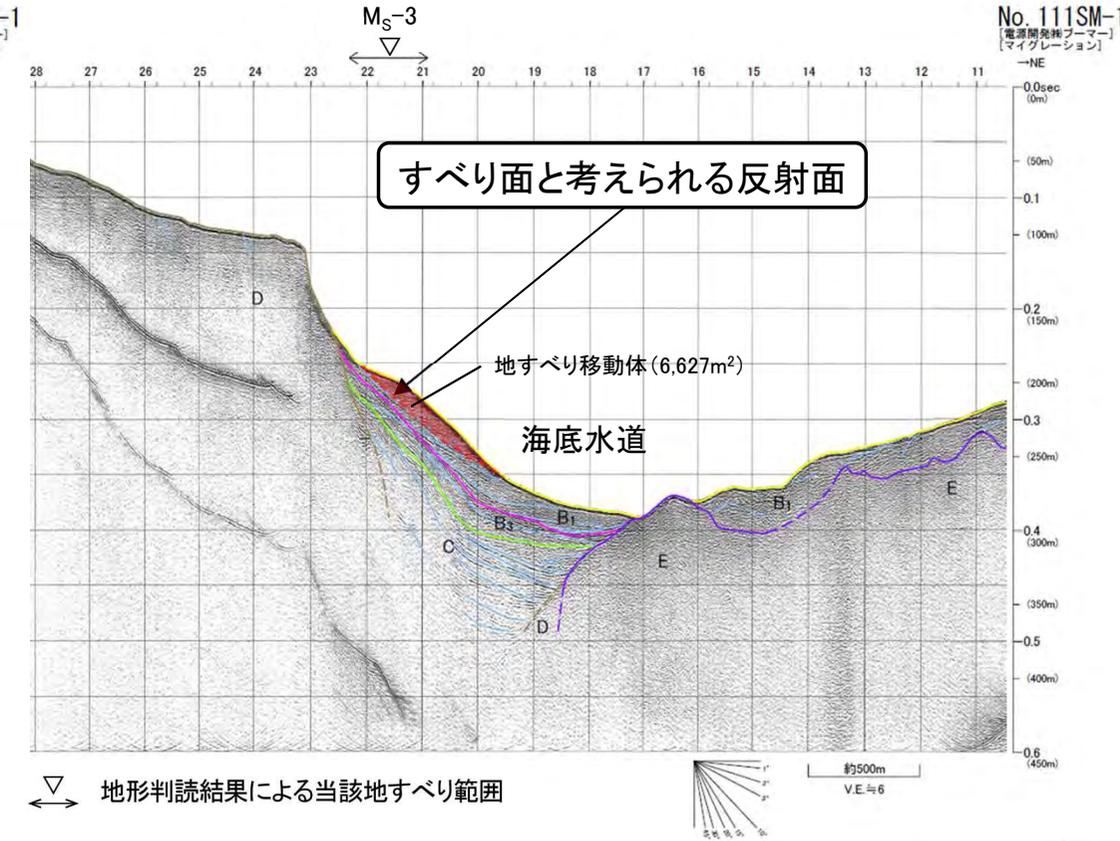
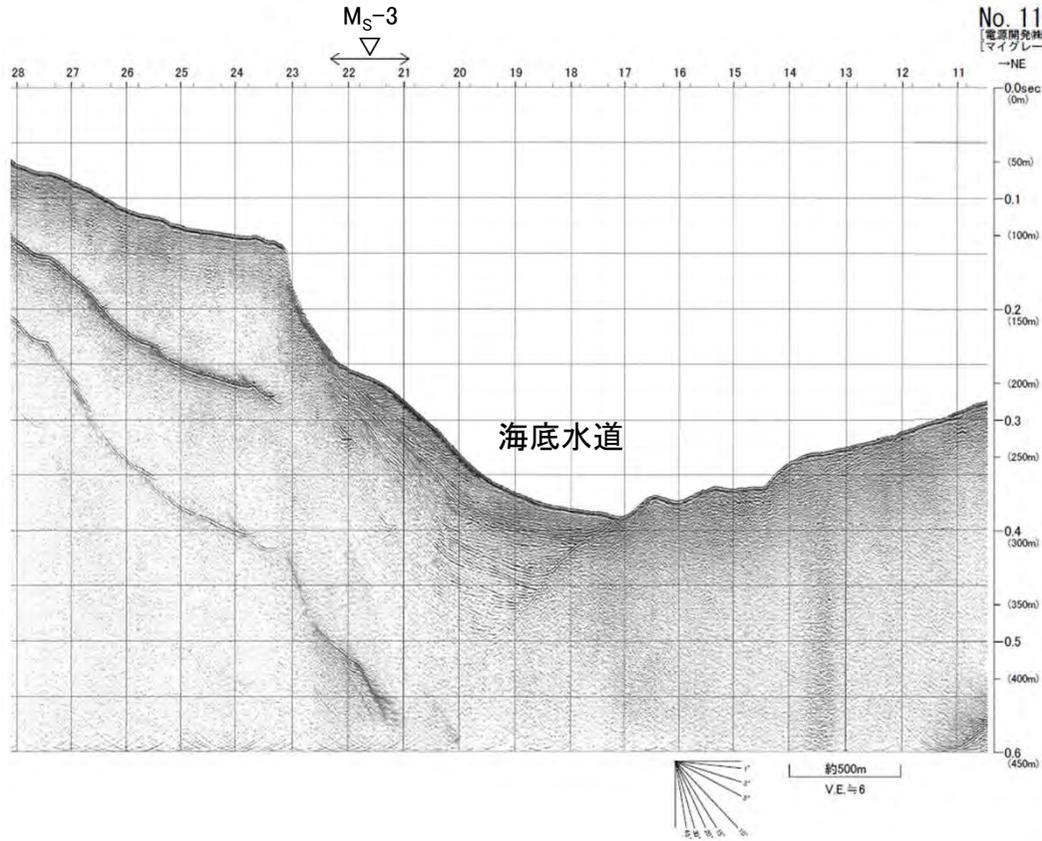


音波探査記録
の添付範囲



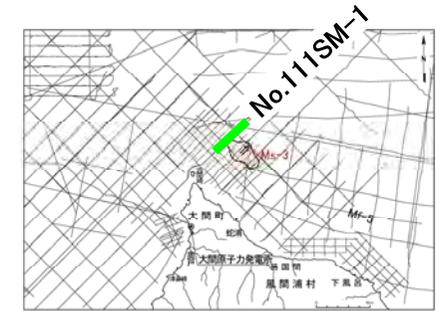
海底地すべり Ms-3

No.111SM-1測線(反射断面図・解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面中部に位置し、斜面中央部付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。

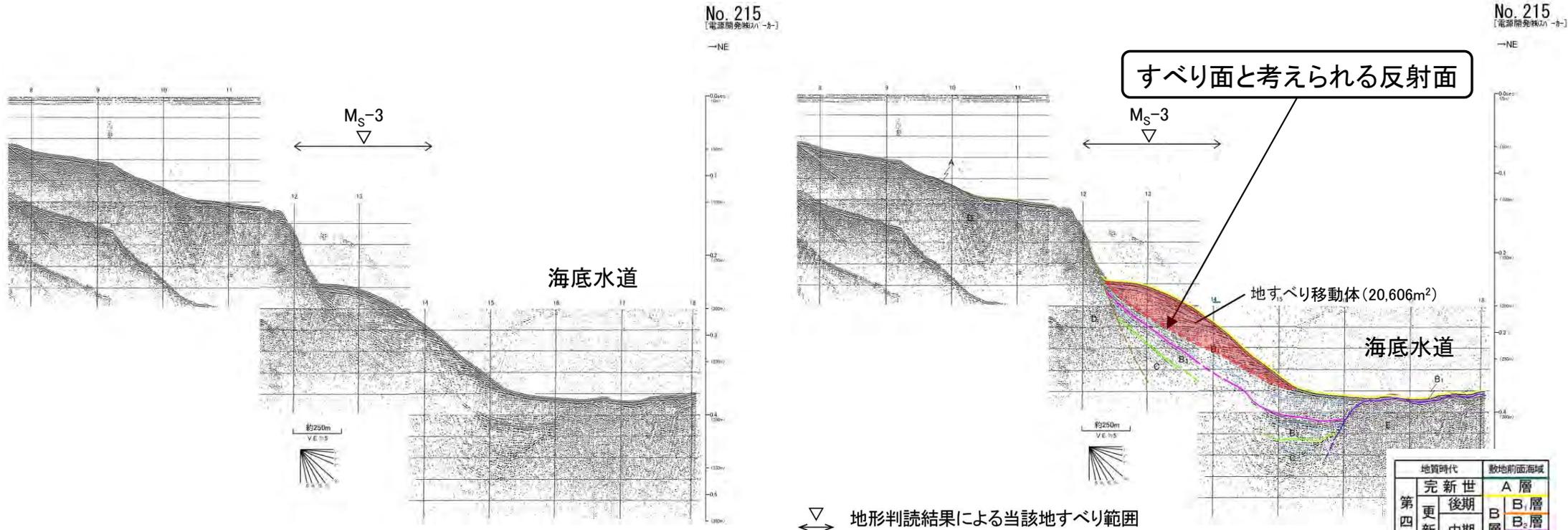


地質時代	数地前面海域
第四紀 更新世	完新世 A層
	後期 B ₁ 層
	中期 B ₂ 層
	前期 B ₃ 層
新第三紀	鮮新世 D層
	中新世 E層
先新第三紀	



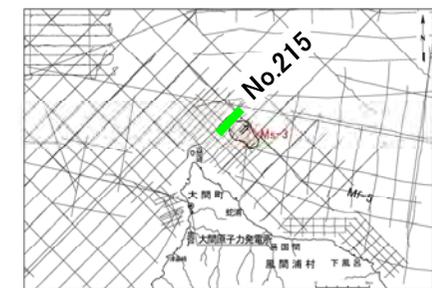
海底地すべり Ms-3

No.215測線(反射断面図・解釈断面図)



地質時代	敷地前面海域	
完新世	A層	
更新世	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
鮮新世	C層	
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部～中部に位置し 斜面上部の急斜面下端付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンまたはおおむね水平な層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。





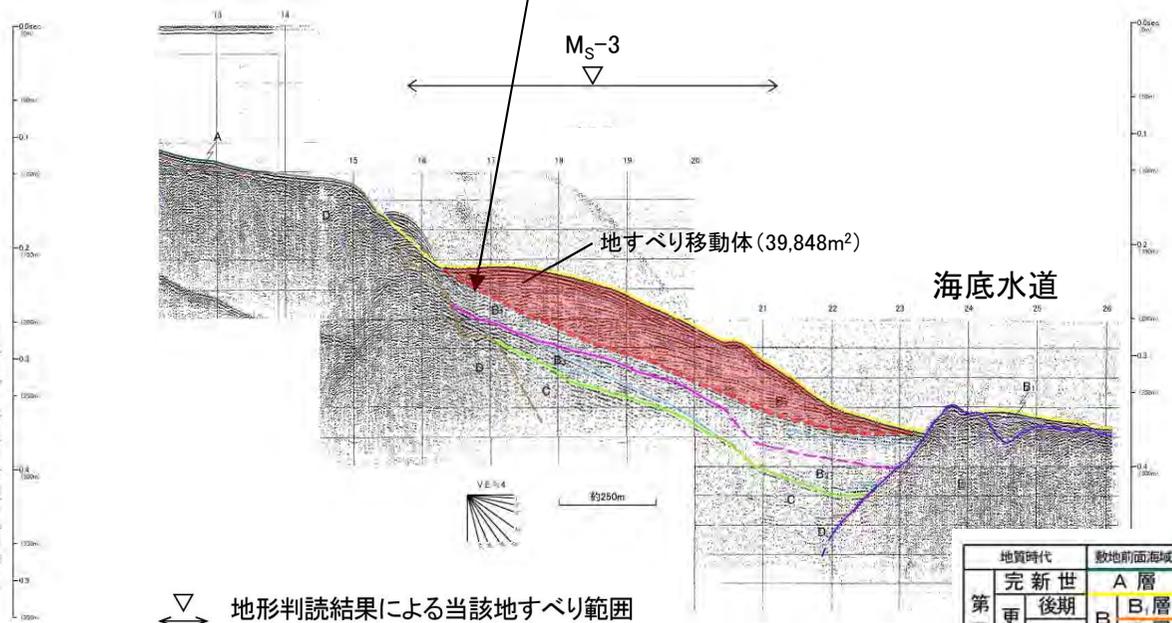
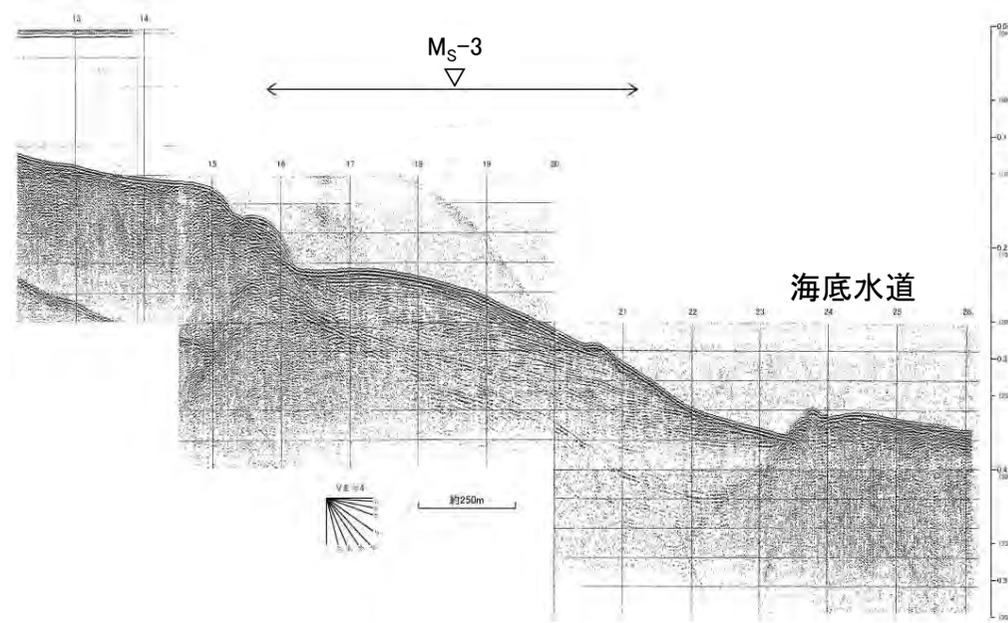
海底地すべり Ms-3

No.216測線(反射断面図・解釈断面図)

No. 216
[電源開閉機A1-カ]
-NE

すべり面と考えられる反射面

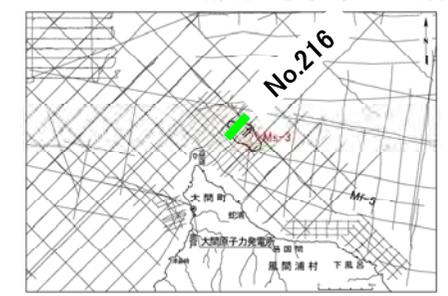
No. 216
[電源開閉機A1-カ]
-NE



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

地質時代	数地断面海域
完新世	A層
第四紀 更新世	後期 B ₁ 層
	中期 B ₂ 層
	前期 B ₃ 層
新第三紀 鮮新世	C層
中新世	D層
先新第三紀	E層

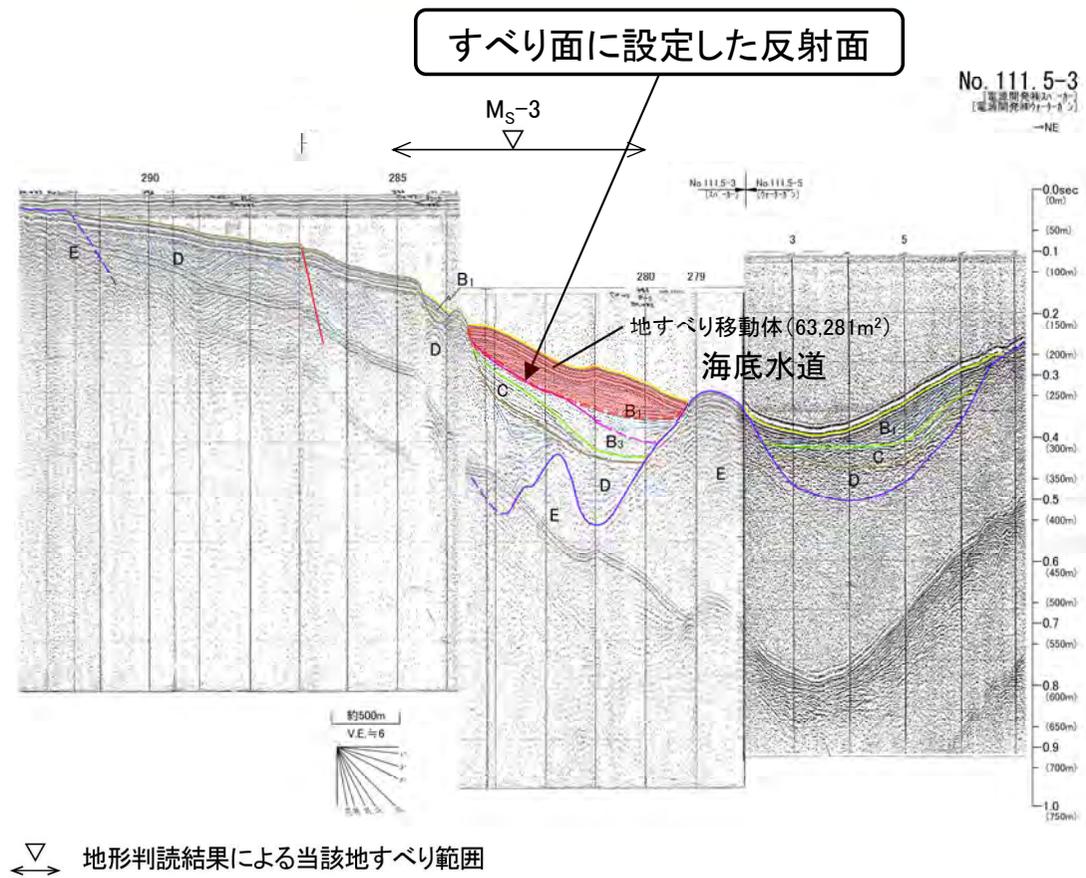
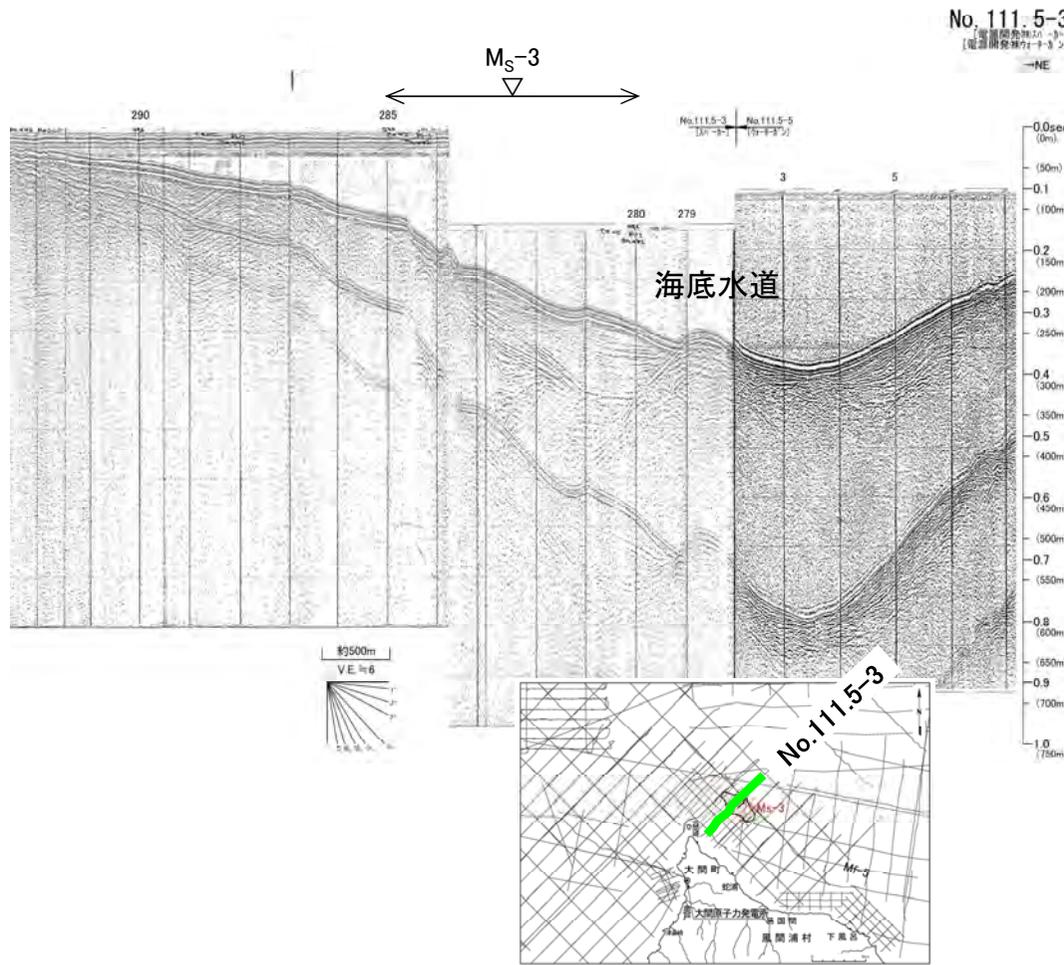
- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部～中部に位置し、斜面上部付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンまたは緩やかな凸状の層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。





海底地すべり Ms-3

No.111.5-3測線(反射断面図・解釈断面図)



- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部～下部に位置する。
- 当該範囲のB₁層は、緩やかな凸状の層理パターンを示す。
- すべり面については音波探査記録の分解能の関係から不明瞭であるが、近傍測線のすべり面を参照し、安全側にB₁層下面から延びる面をすべり面に設定した。

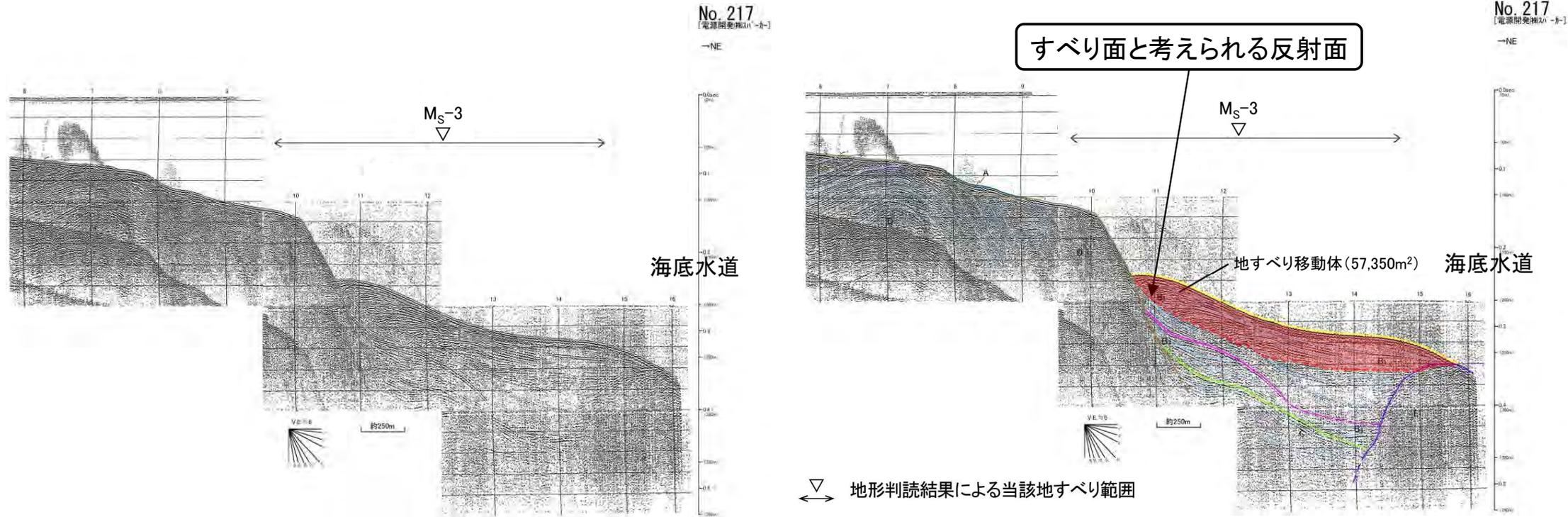
地質時代	敷地前面海域
第四紀	完新世 A層
更新世	後期 B ₁ 層
	中期 B ₂ 層
	前期 B ₃ 層
新第三紀	鮮新世 D層
	中新世 E層
先新第三紀	

- ▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲
- └ 解析結果による断層位置及び落下側
- ||| 上部更新統以上に変位(変形)が及ぶ断層

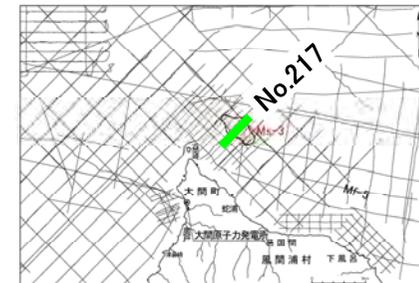


海底地すべり Ms-3

No.217測線(反射断面図・解釈断面図)



- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部～中部に位置し、斜面上部の急斜面下端付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンまたは緩やかな凸状の層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。

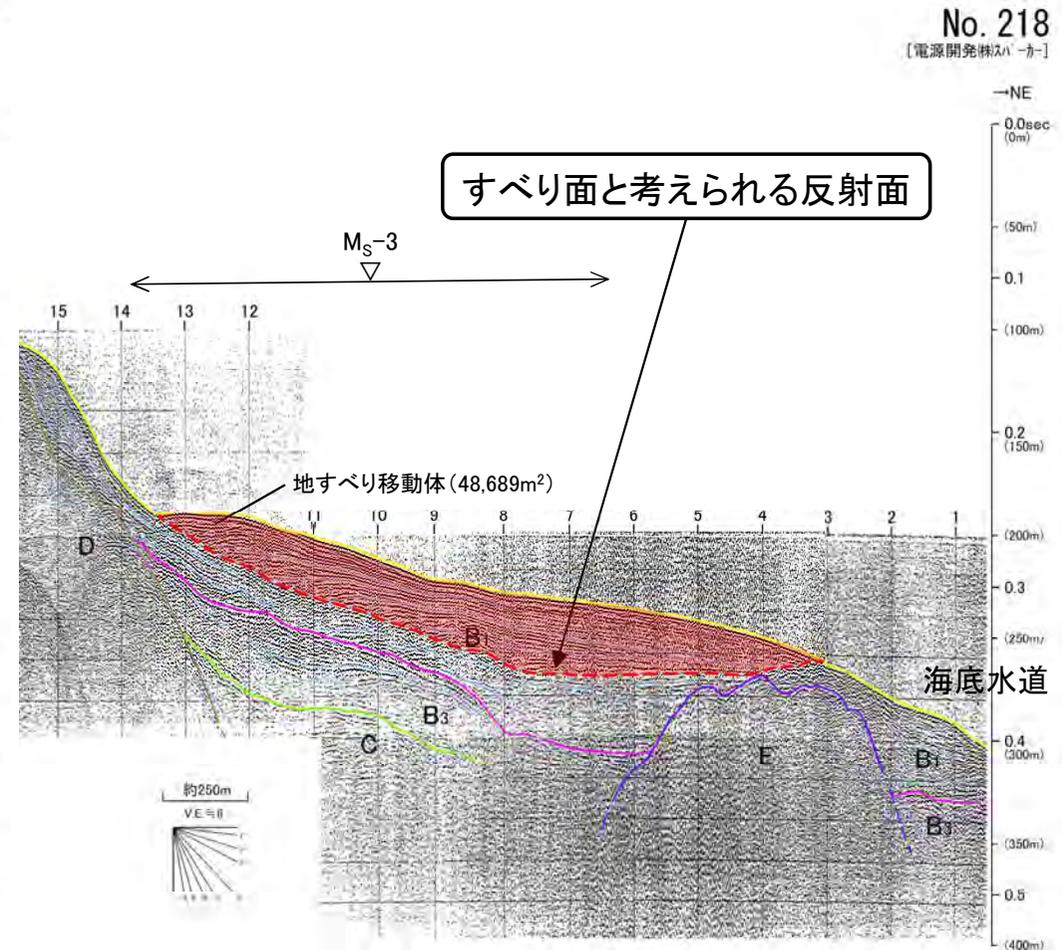
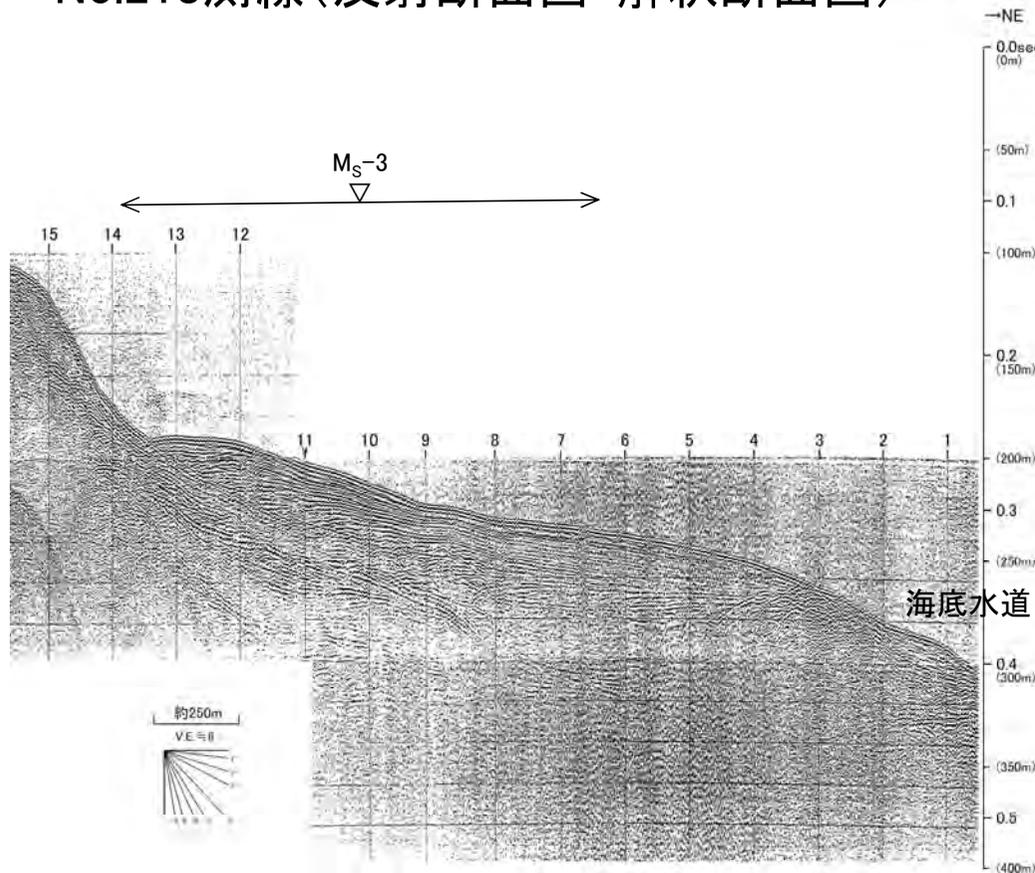


地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		



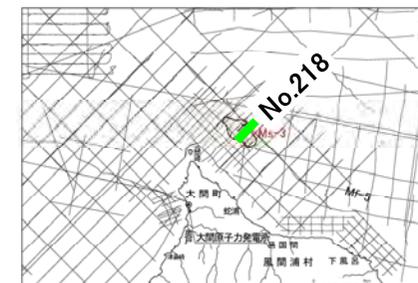
海底地すべり Ms-3

No.218測線(反射断面図・解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部～中部に位置し、斜面上部の急斜面下端付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンまたは緩やかな凸状の層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。

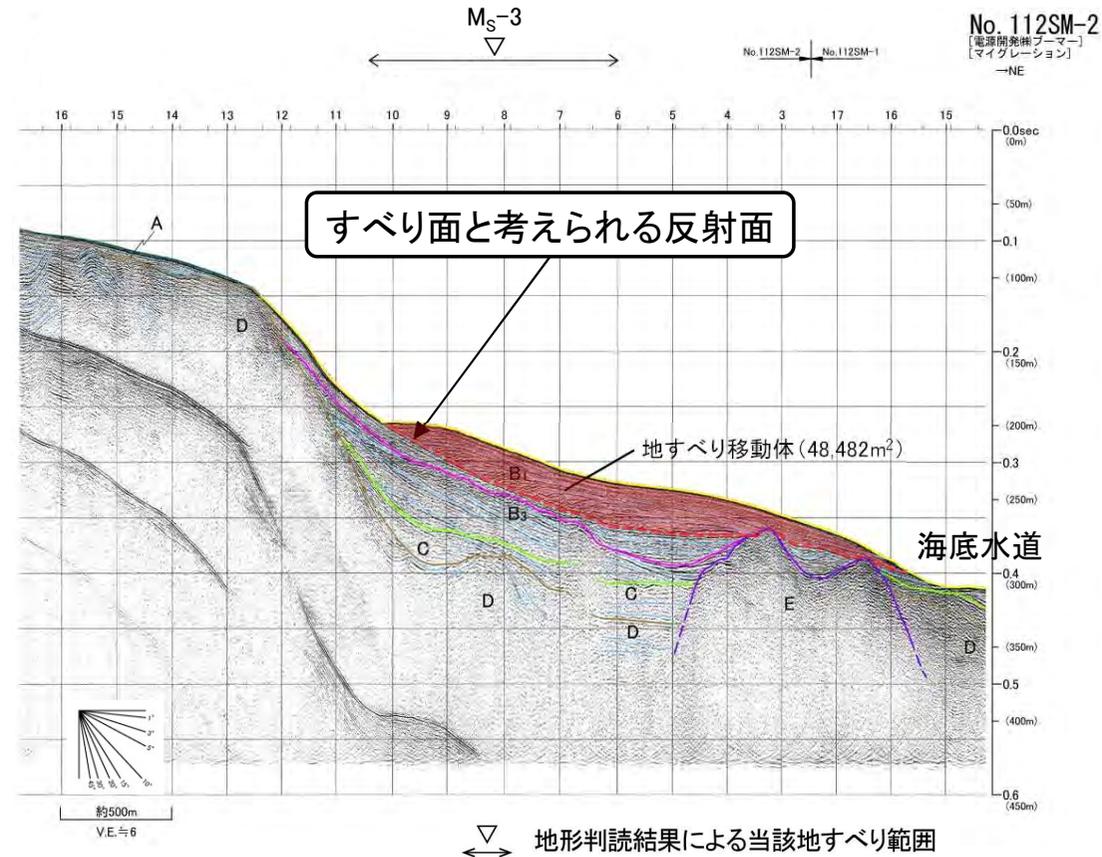
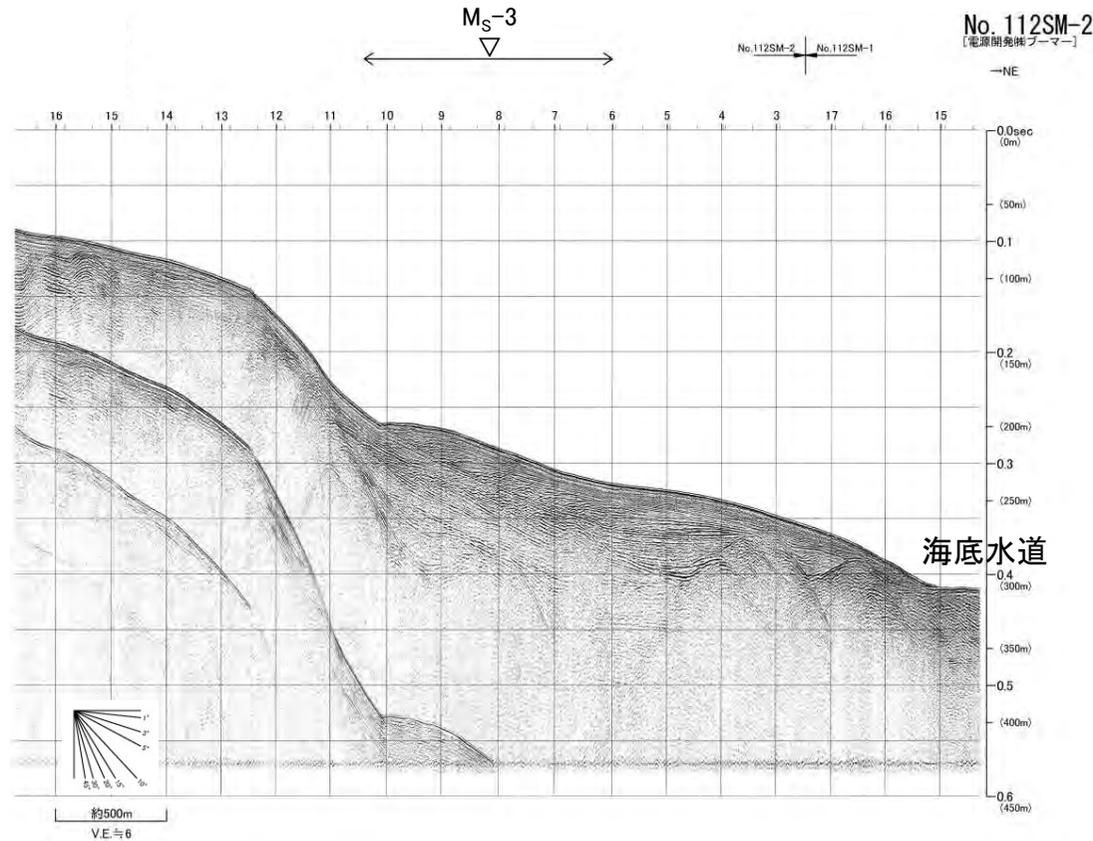


地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

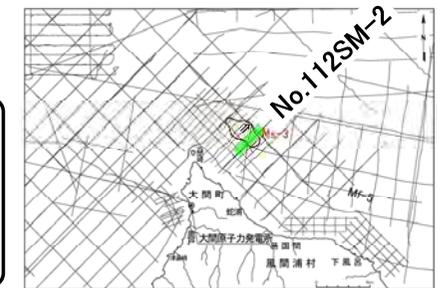


海底地すべり Ms-3

No.112SM-2測線(反射断面図・解釈断面図)



- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面中部に位置し、斜面上部の急斜面下端付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンまたは緩やかな凸状の層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。

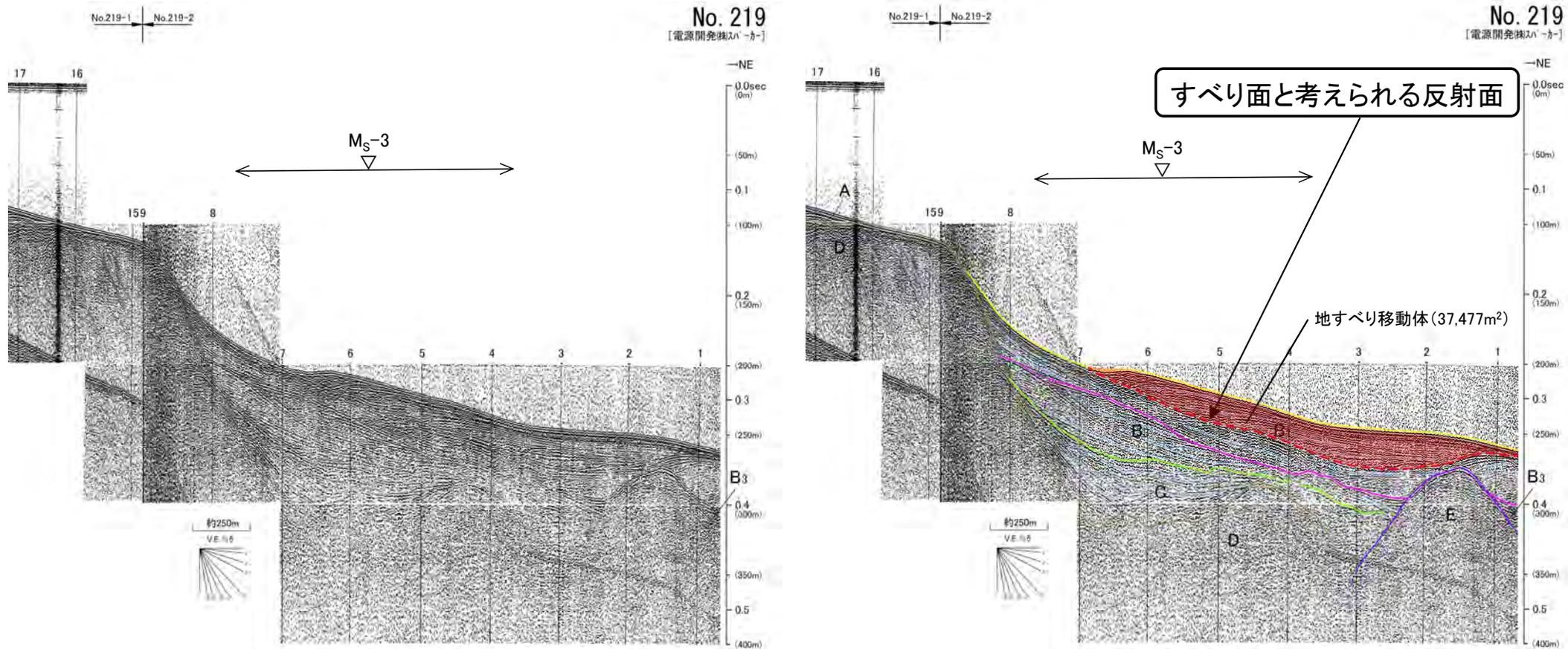


地質時代	数地前面海域	
第四紀	完新世 後期	A層
	完新世 中期	B層
	完新世 前期	B ₁ 層
	完新世 前期	B ₂ 層
第三紀	鮮新世	C層
	中新世	D層
先第三紀		E層



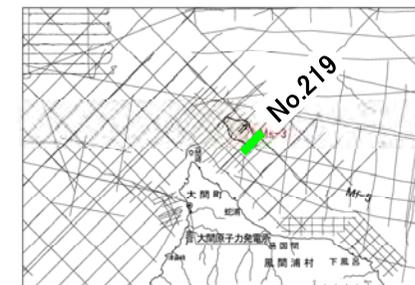
海底地すべり Ms-3

No.219測線(反射断面図・解釈断面図)



↔ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面中部に位置し、斜面上部の比較的急な斜面の下端付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンまたは緩やかな凸状の層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。



地質時代	軟地前面海域
第四紀	完新世 A層
	後期 B ₁ 層
	中期 B ₂ 層
	前期 B ₃ 層
鮮新世 D層	
中新世 E層	
先新第三紀	

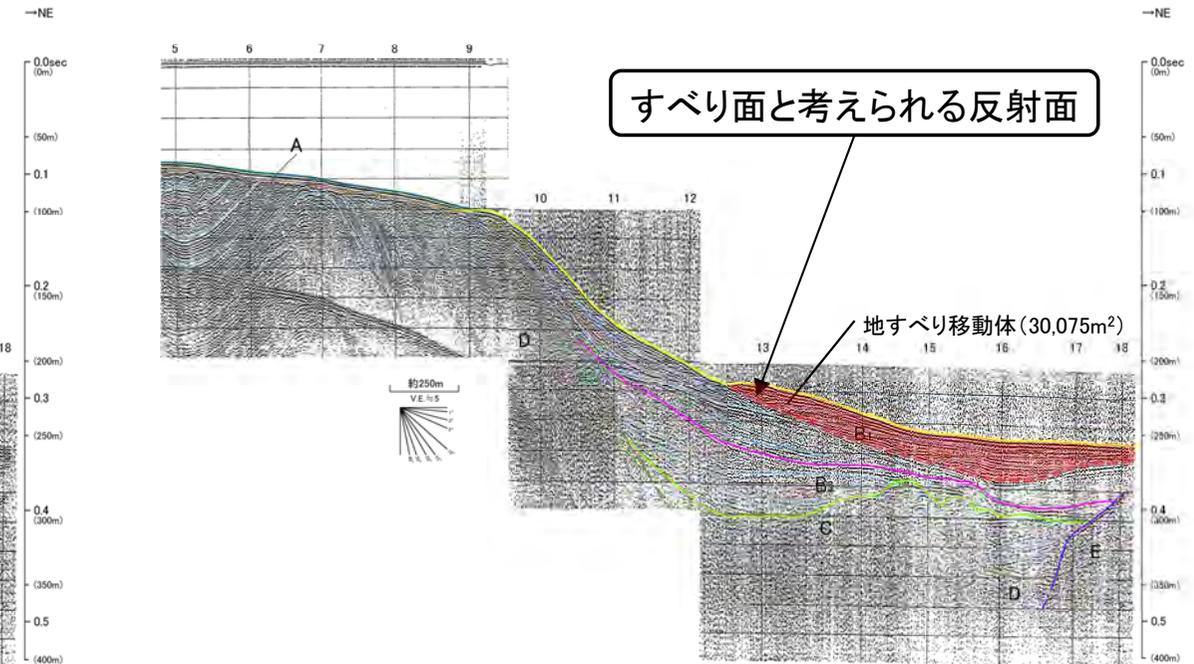
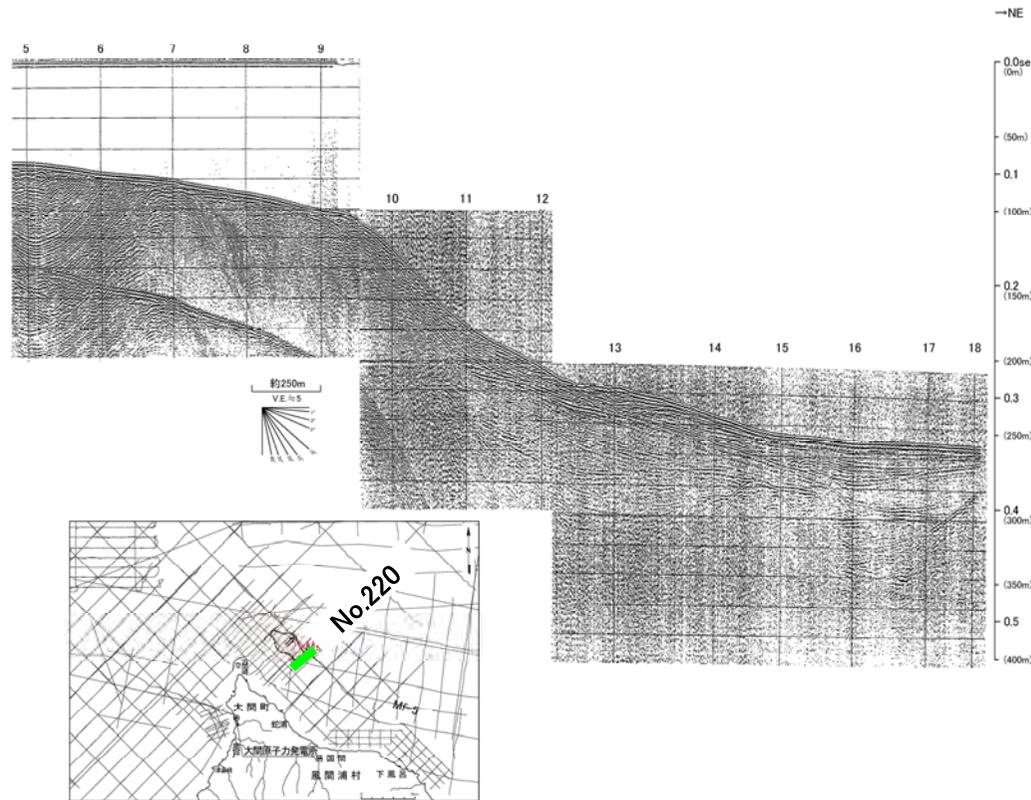


海底地すべり Ms-3

No.220測線(反射断面図・解釈断面図)

No. 220
[電源開発株式会社]

No. 220
[電源開発株式会社]



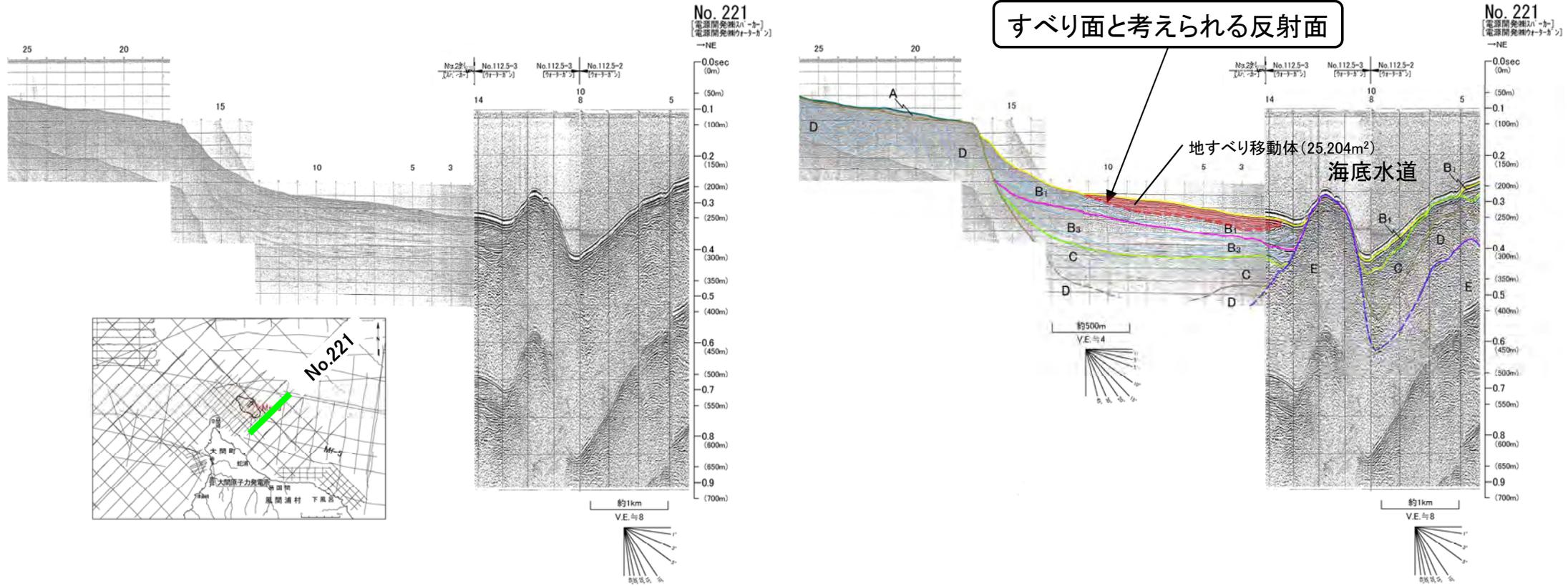
- 本記録範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部～中部に位置し、斜面上部の比較的急な斜面の下端付近からB₁層中に延びる反射面が認められる。
- 本反射面の上位は、やや乱れた層理パターンまたは緩やかな凸状の層理パターンを示す。
- 本反射面の上位の地層は、本反射面をすべり面とした地すべり移動体と考えられる。

地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
		中新世	E層
先新第三紀			



海底地すべり Ms-3

No.221測線(反射断面図・解釈断面図)



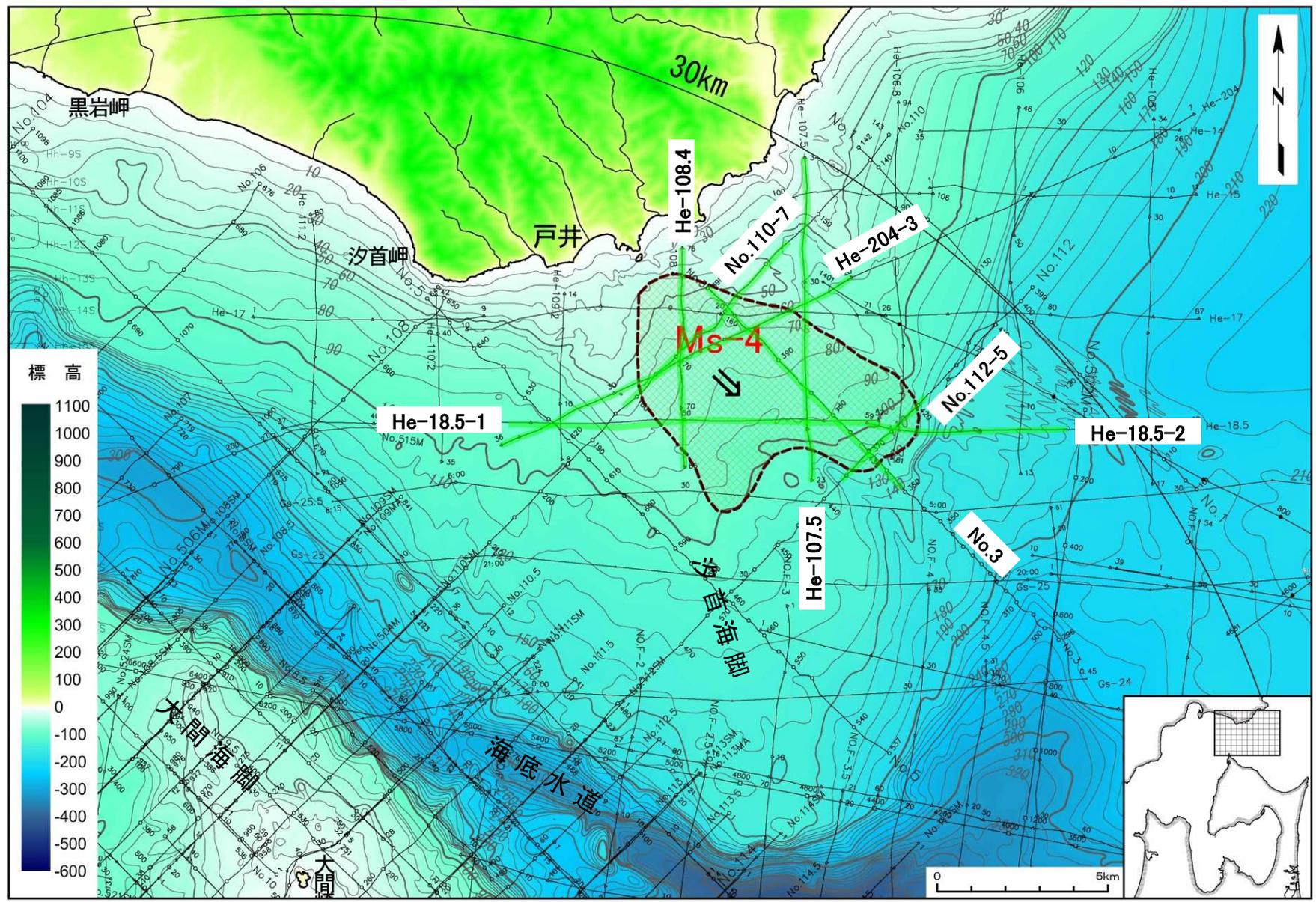
- 本記録範囲は、南西側から下北半島側大陸棚、大陸棚沖合いの斜面、海底水道及び北海道側大陸棚沖合いの斜面下部に位置する。
- 大陸棚沖合いの斜面中部付近の海底面は、緩やかな凸状を示し、最上位のB₁層はおおむね水平な層理パターンを示す。
- 本凸状構造は、小規模ではあるが隣接する測線の構造と類似していることから、地すべり移動体の末端部と考えられる。

地質時代		数地前海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
		E層	
先新第三紀			

(余白)



海底地すべり Ms-4

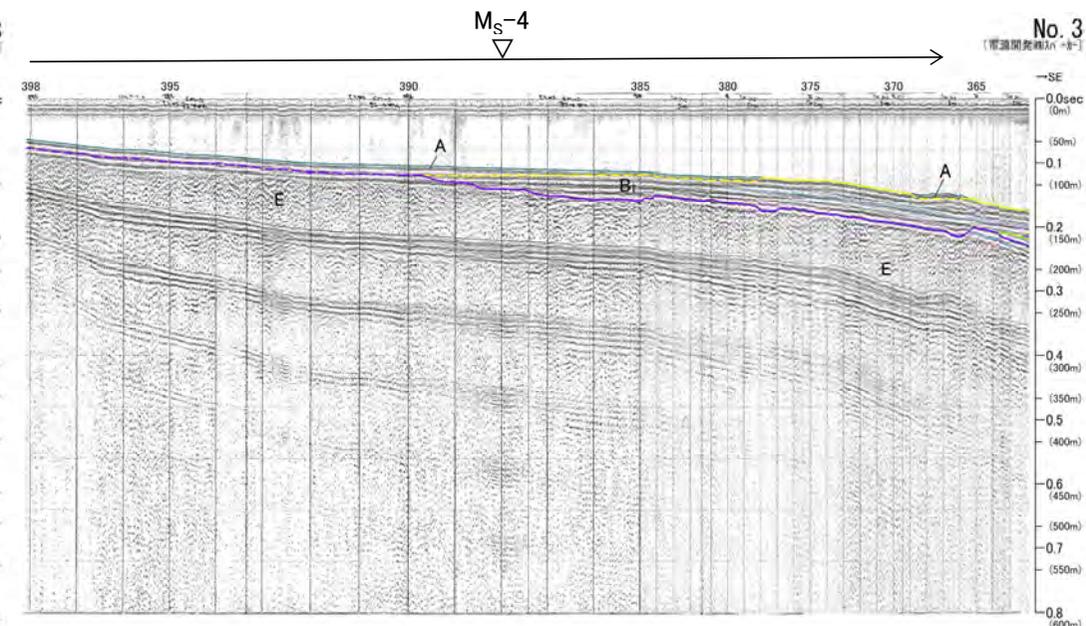
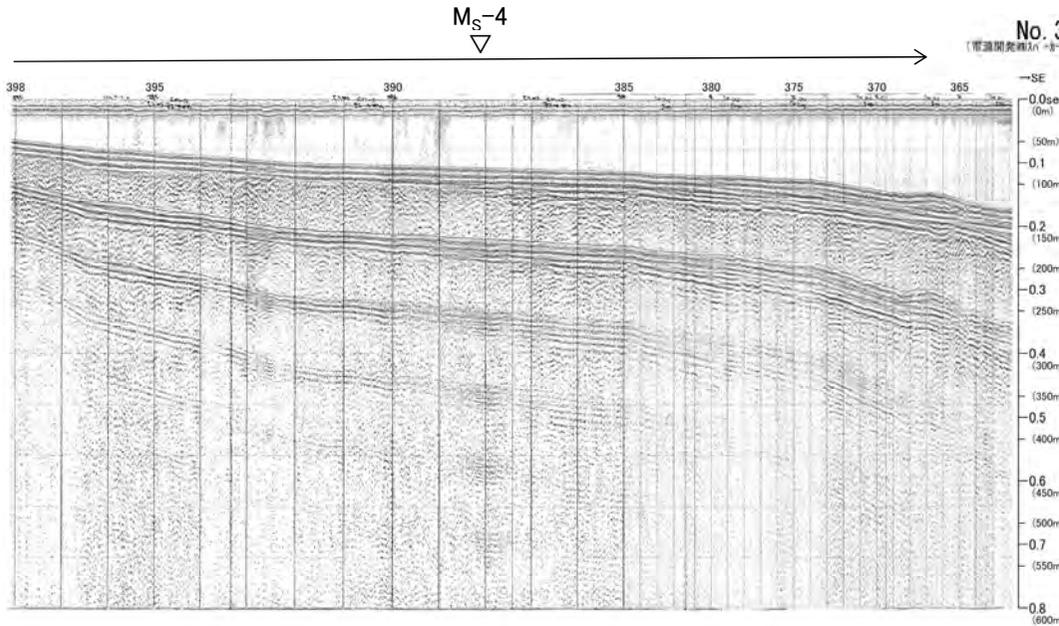


音波探査記録
の添付範囲



海底地すべり Ms-4

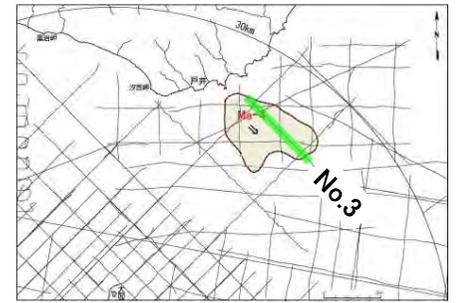
No.3測線(反射断面図・解釈断面図)



地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、E層が海底下浅部に分布し、E層は緩やかな谷状に削剥されており、これを埋めるようにB₁層及びA層が堆積している。
- B₁層には、おおむね平行な層理パターンが認められる。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

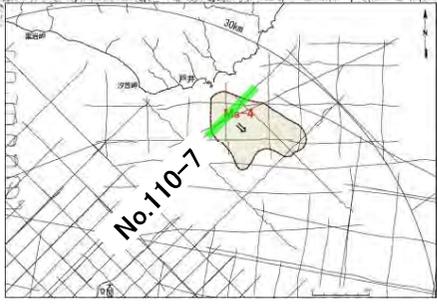
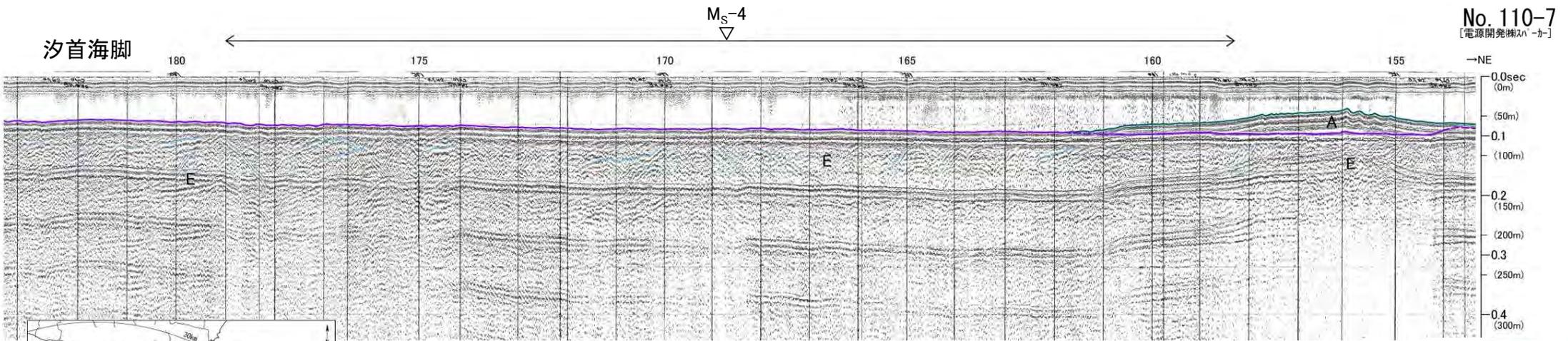
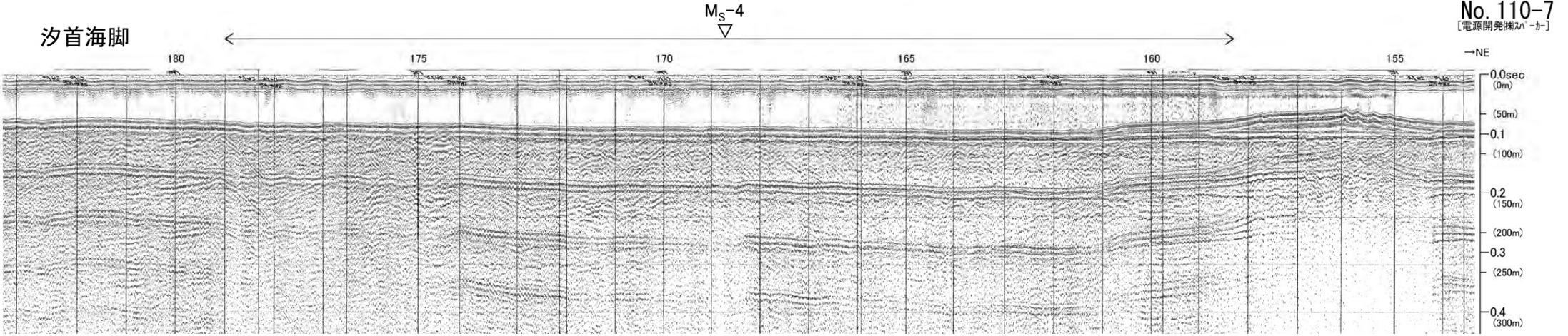
地質時代	敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	C層
先新第三紀	中新世	D層
		E層





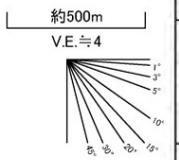
海底地すべり Ms-4

No.110-7測線(反射断面図・解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、E層が海底面に露出している。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

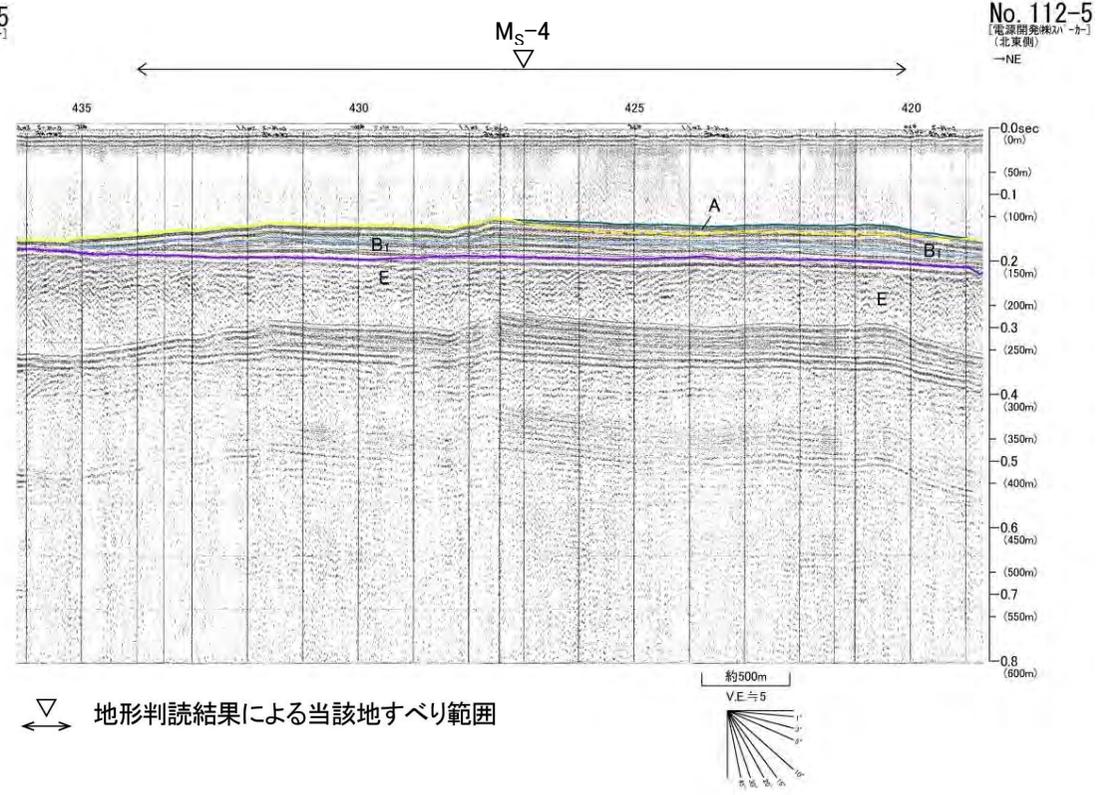
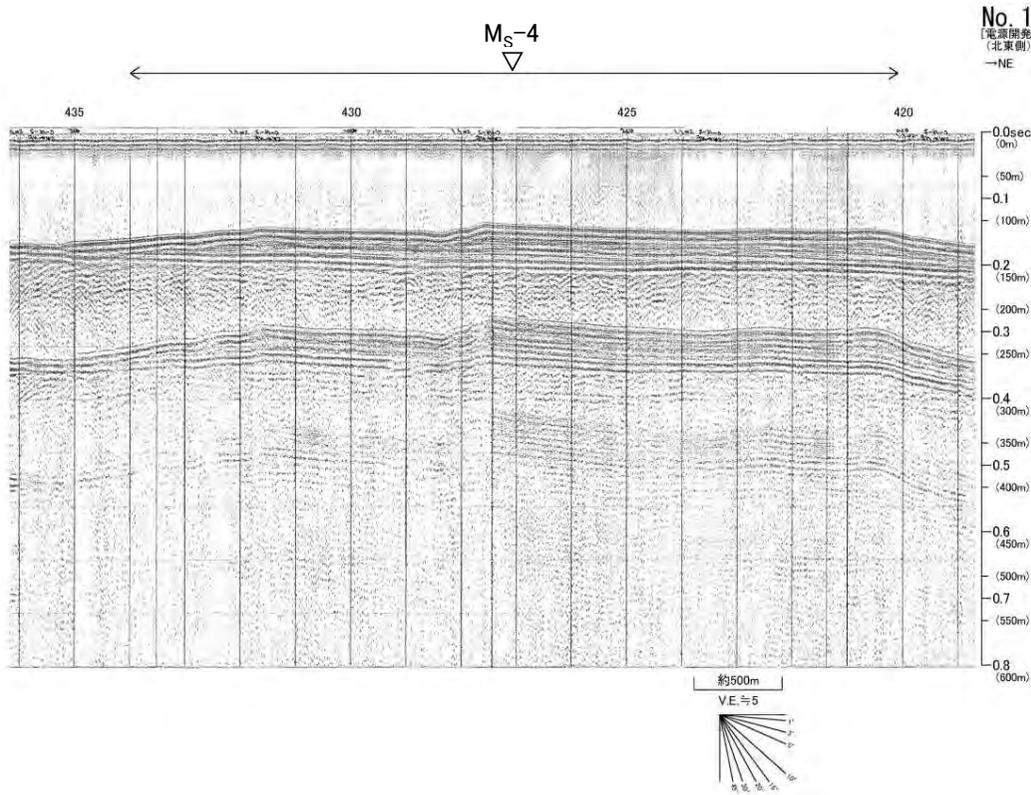


地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
更新世	前期	B ₃ 層
		C層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		



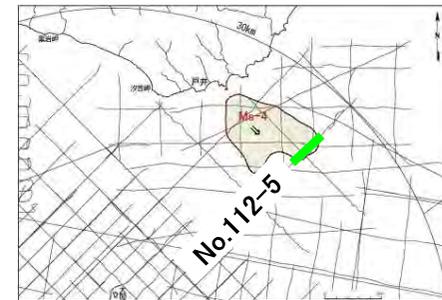
海底地すべり Ms-4

No.112-5測線(反射断面図・解釈断面図)



地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、E層が海底下浅部に分布する。
- E層上面は平坦で、これをB₁層及びA層がおおむね平行な層理パターンで覆っている。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

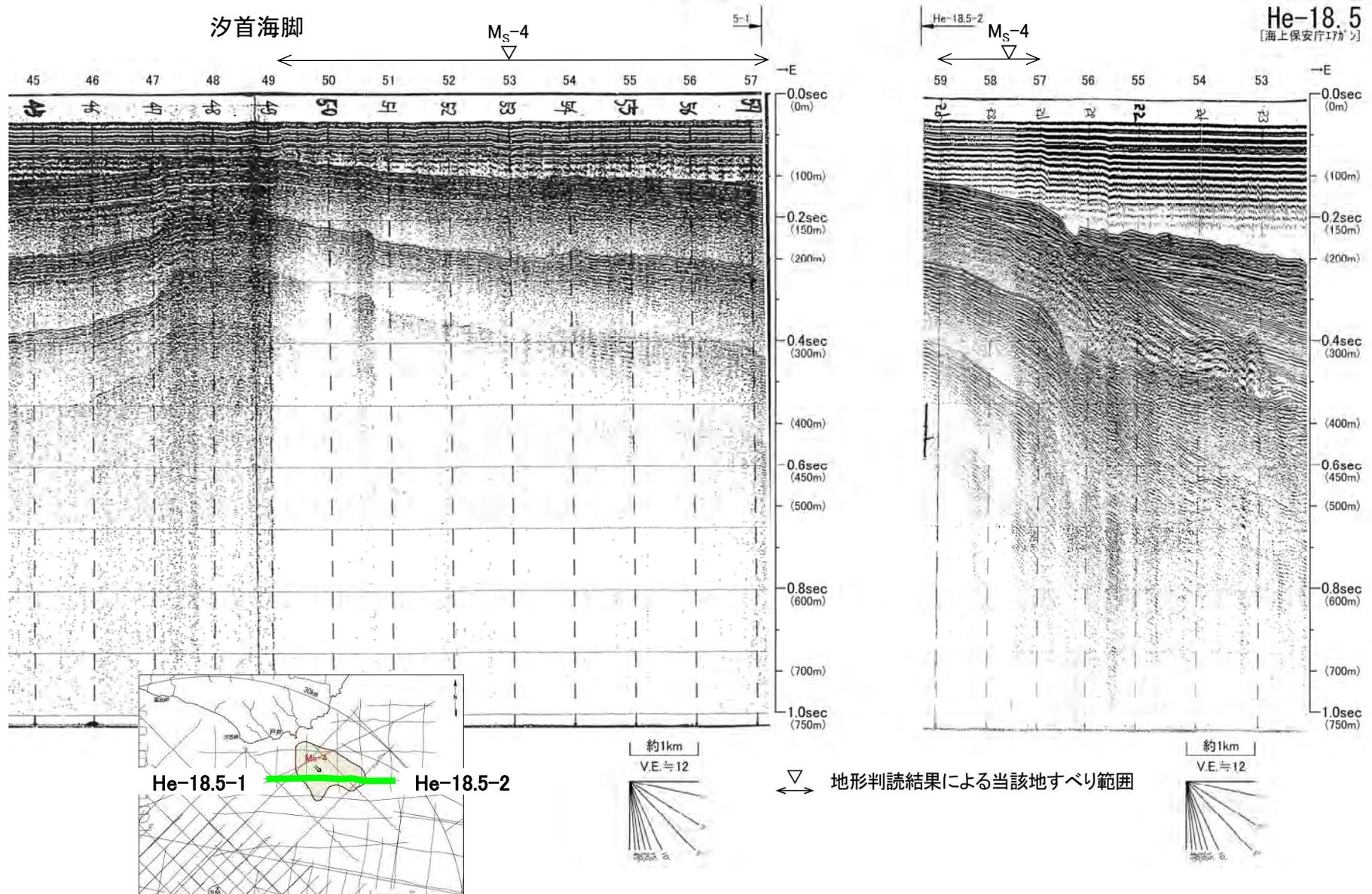


地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層	
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
			E層
先新第三紀			



海底地すべり Ms-4

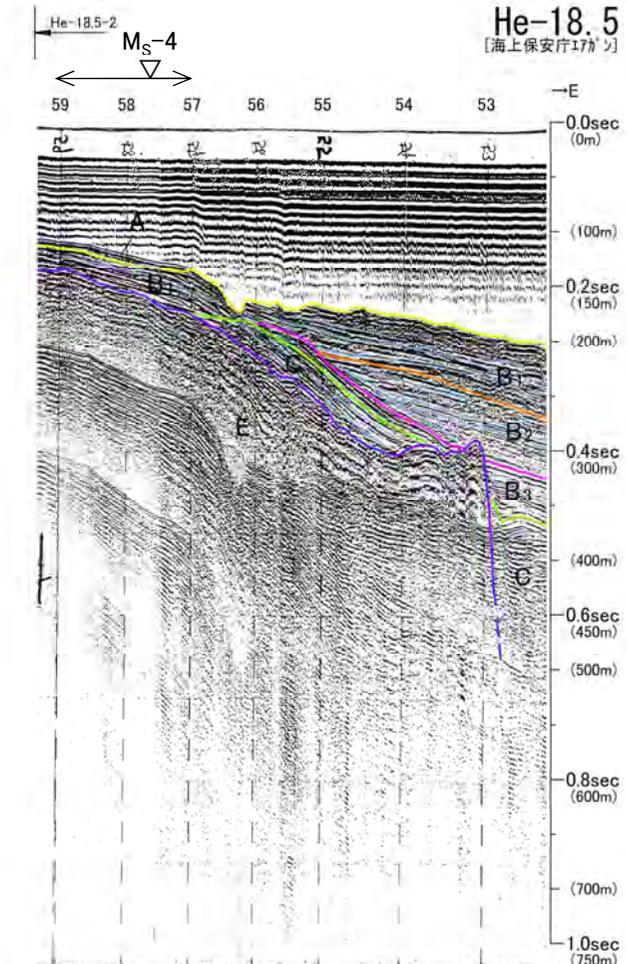
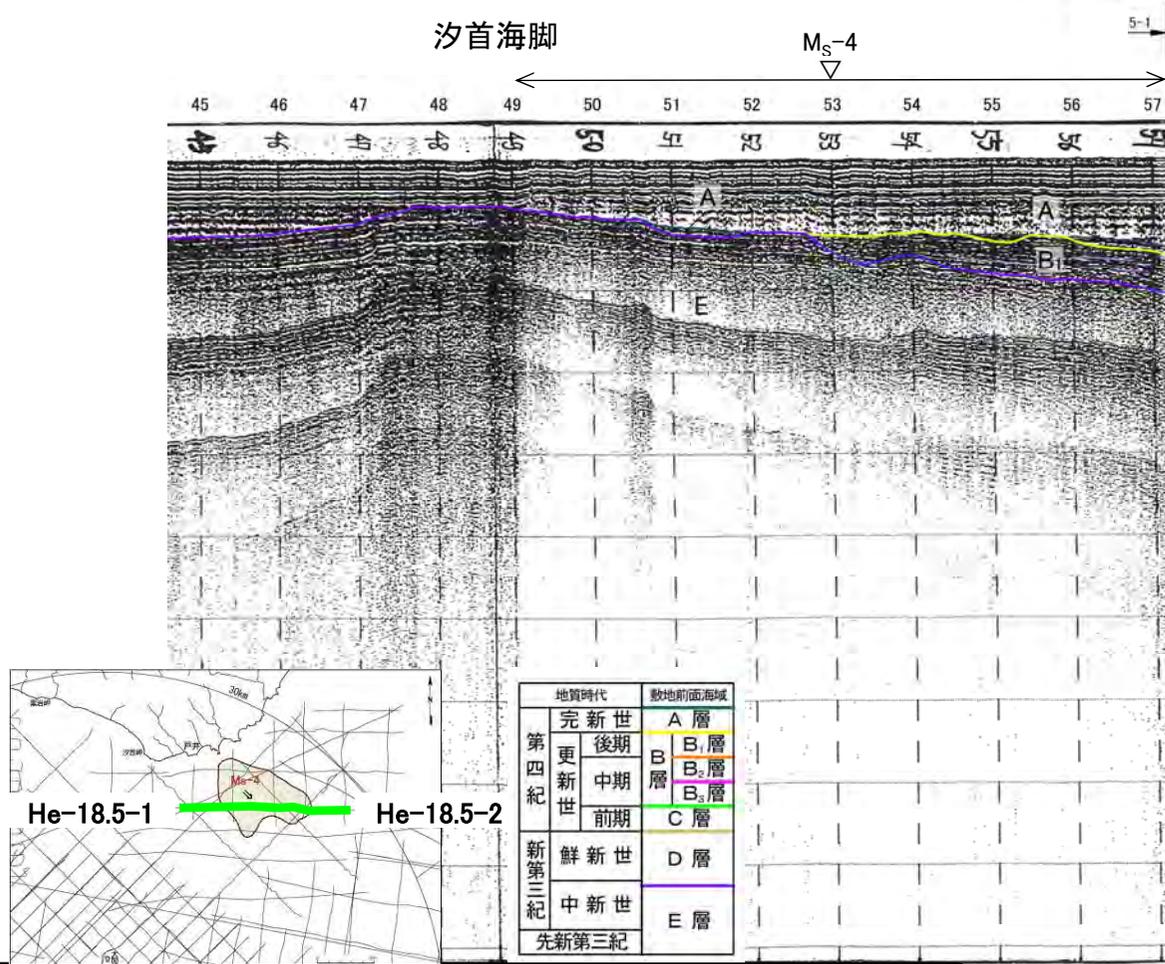
He-18.5-1,2測線(反射断面図)



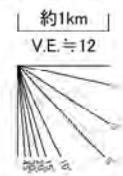


海底地すべり Ms-4

He-18.5-1,2測線(解釈断面図)



- 当該範囲は、E層が海底下浅部に分布し、E層は緩やかな谷状に削剥されており、これを埋めるようにB₁層及びA層が堆積している。
- B₁層には、おおむね海底面に平行な層理パターンが認められる。
- 地すべりによるものと考えられる堆積構造は認められない。



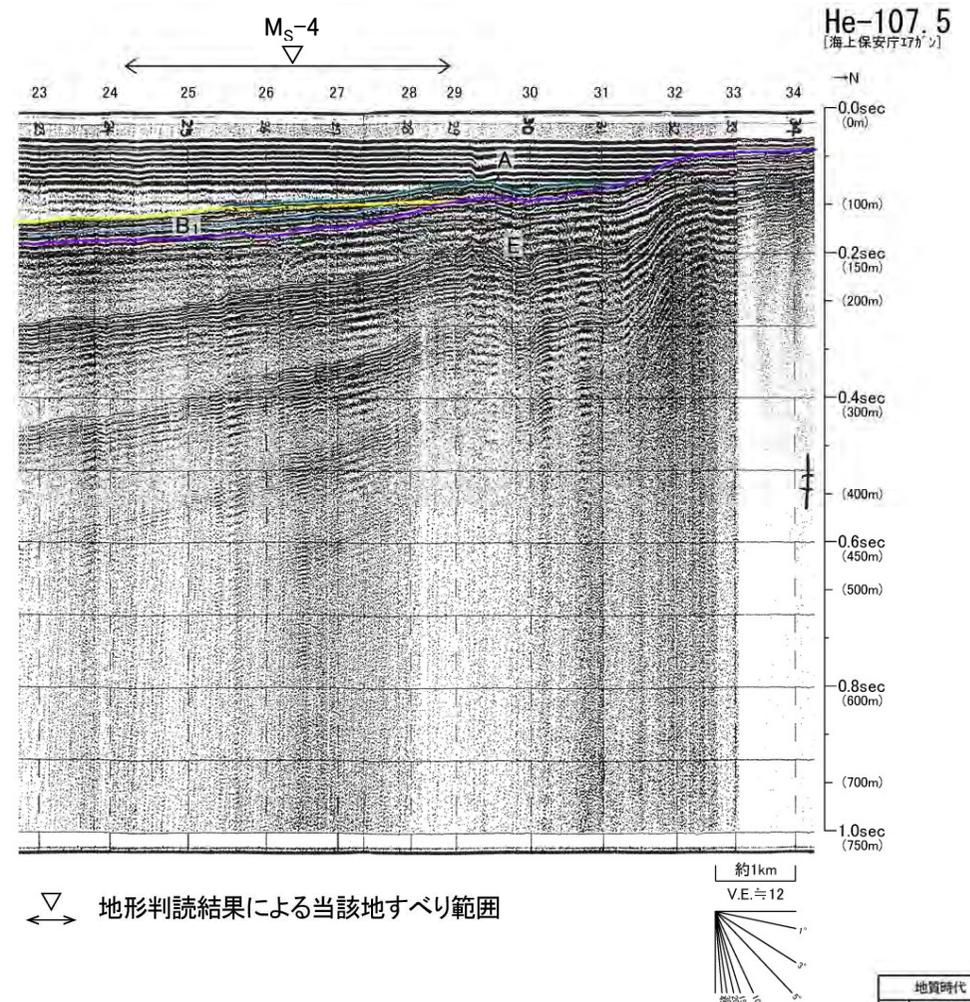
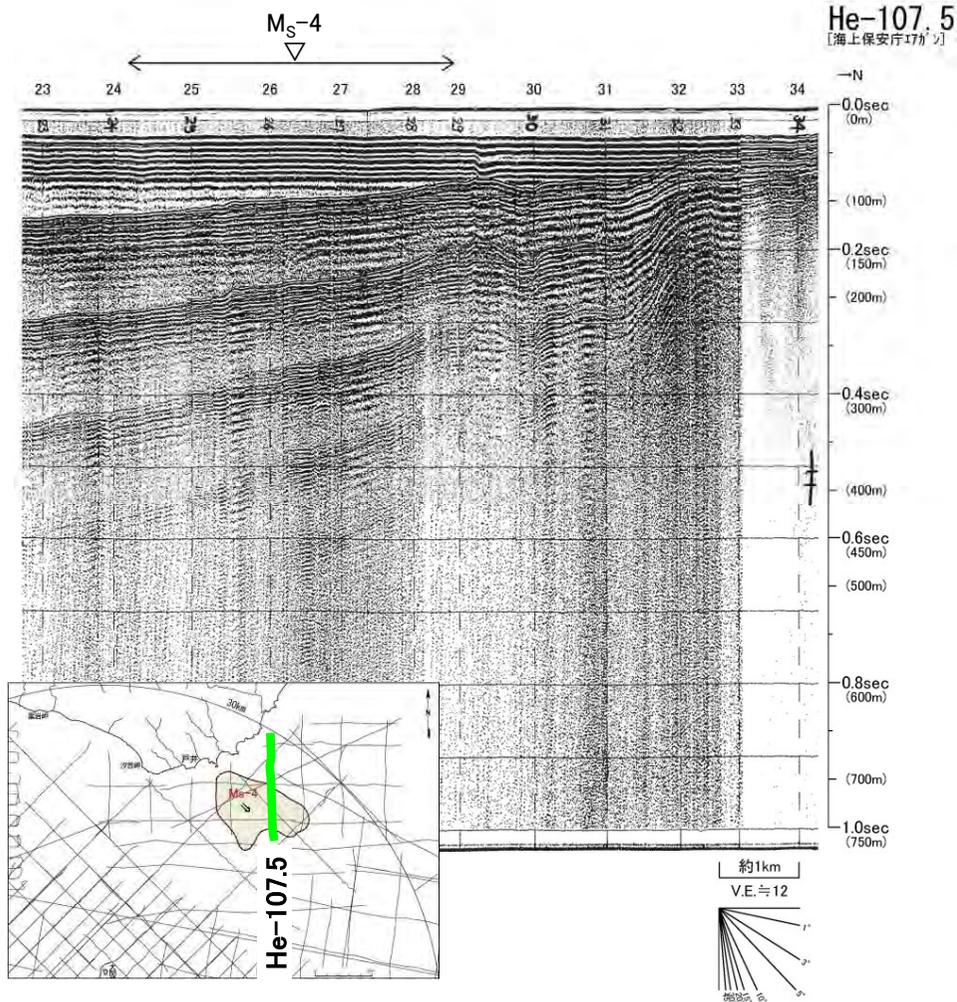
▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲





海底地すべり Ms-4

He-107.5測線(反射断面図・解釈断面図)



△ 地形判読結果による当該地すべり範囲

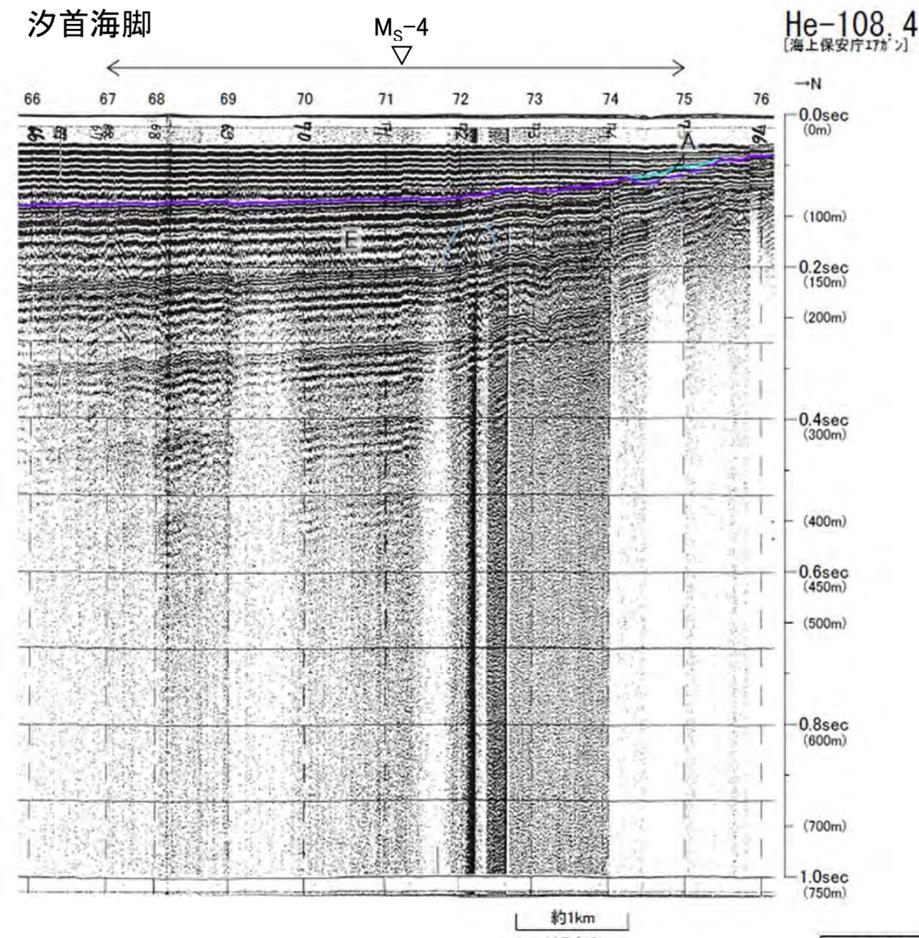
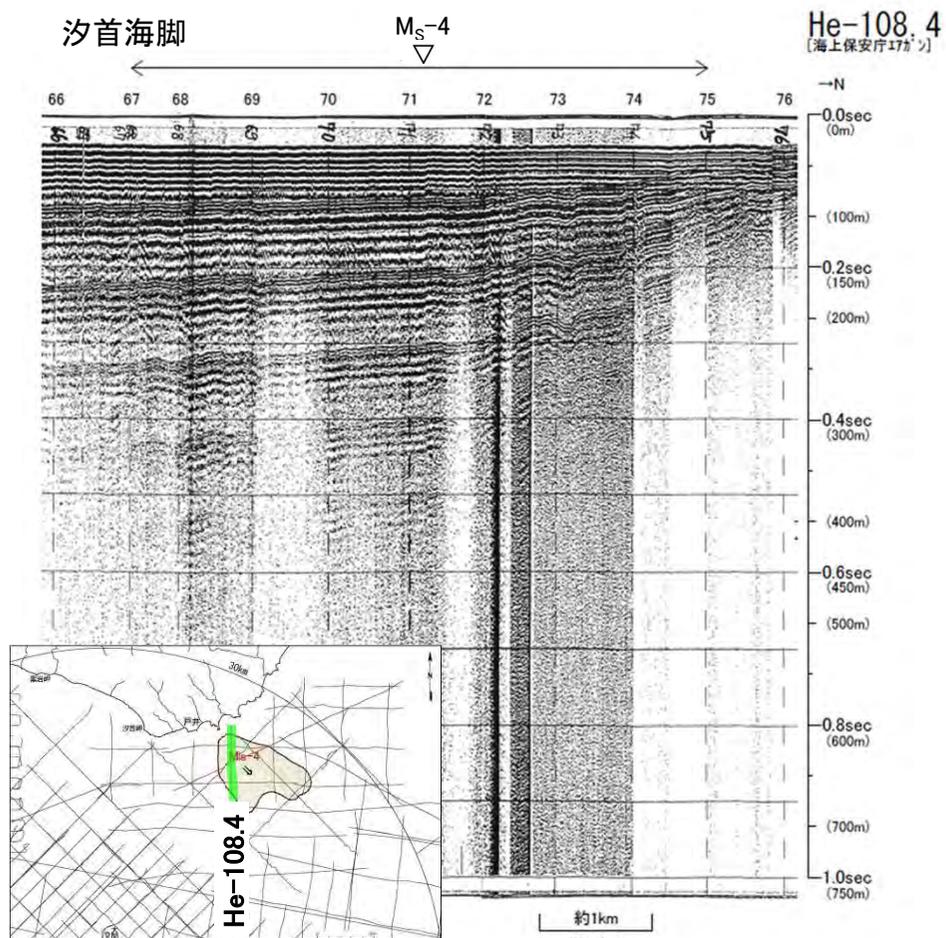
- 当該範囲は、E層が海底下浅部に分布し、上面は南側に緩やかに傾斜する平坦面で、これをB₁層及びA層が覆っている。
- B₁層には、平行な層理パターンが認められる。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
			E層
先新第三紀			



海底地すべり Ms-4

He-108.4測線(反射断面図・解釈断面図)



- 当該範囲は、広くE層が海底面に露出している。
- E層上面はおおむね平坦である。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

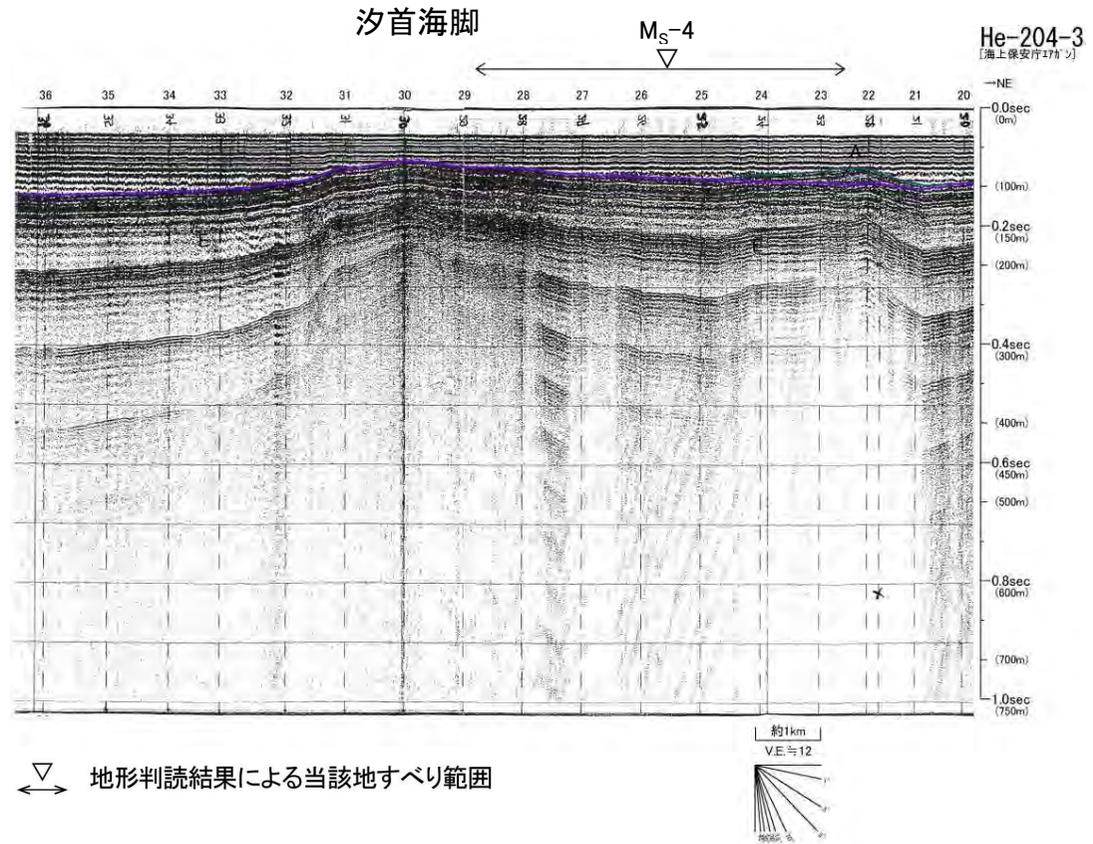
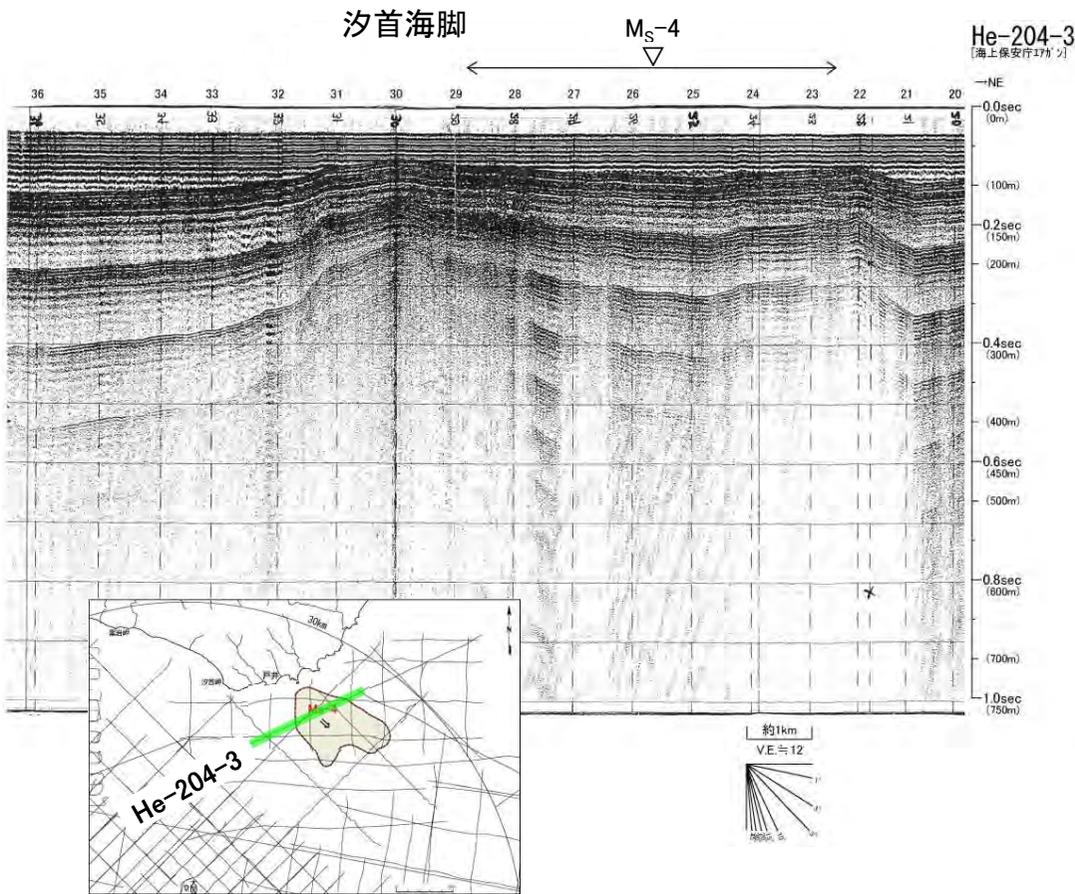
▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B層
	中期	B層
	前期	C層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		



海底地すべり Ms-4

He-204-3測線(反射断面図・解釈断面図)

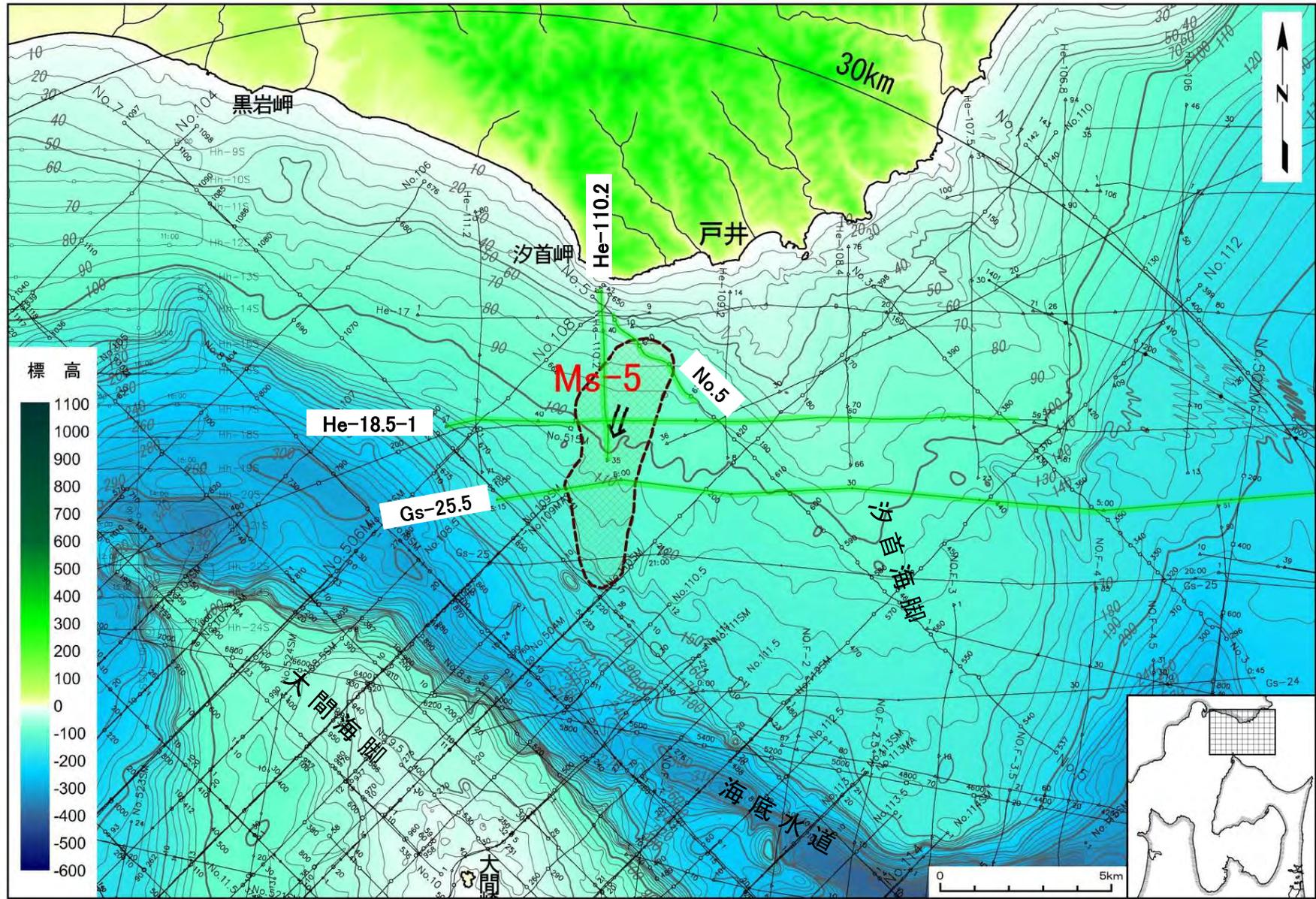


- 当該範囲は、E層が広く海底面に露出しており、E層上面はおおむね平坦である。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
先第三紀		E層	



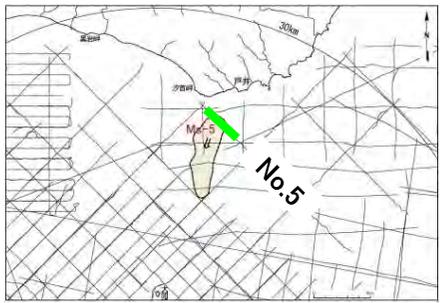
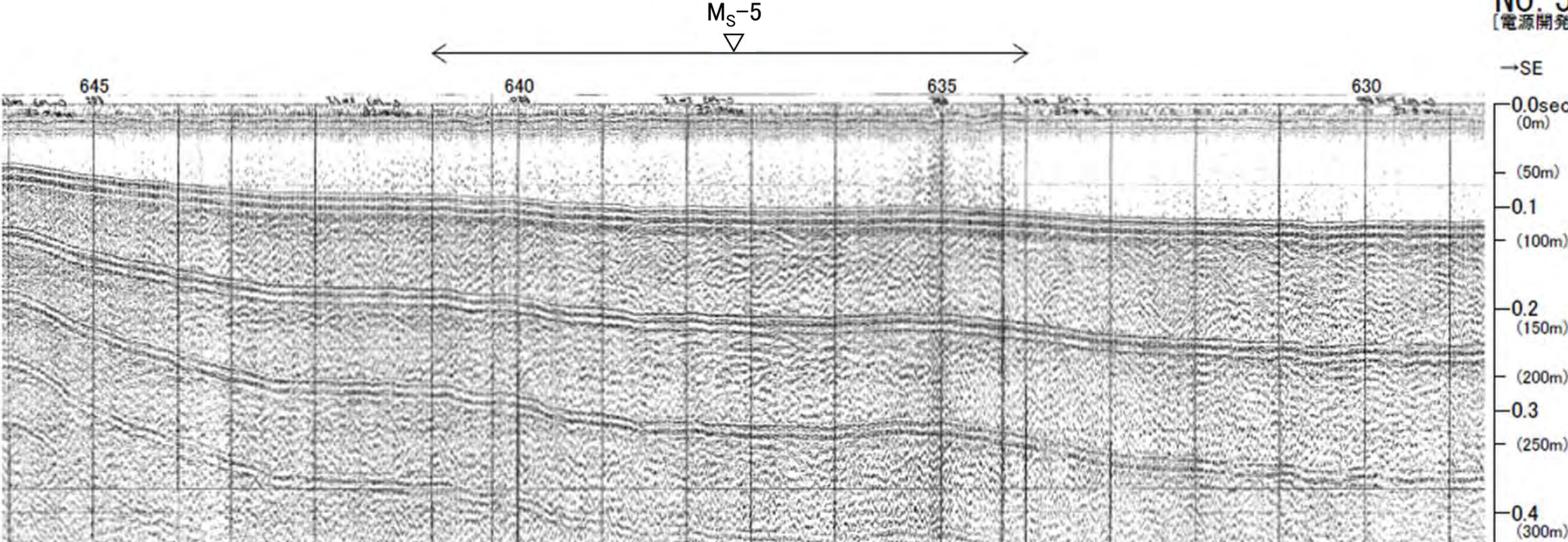
海底地すべり Ms-5



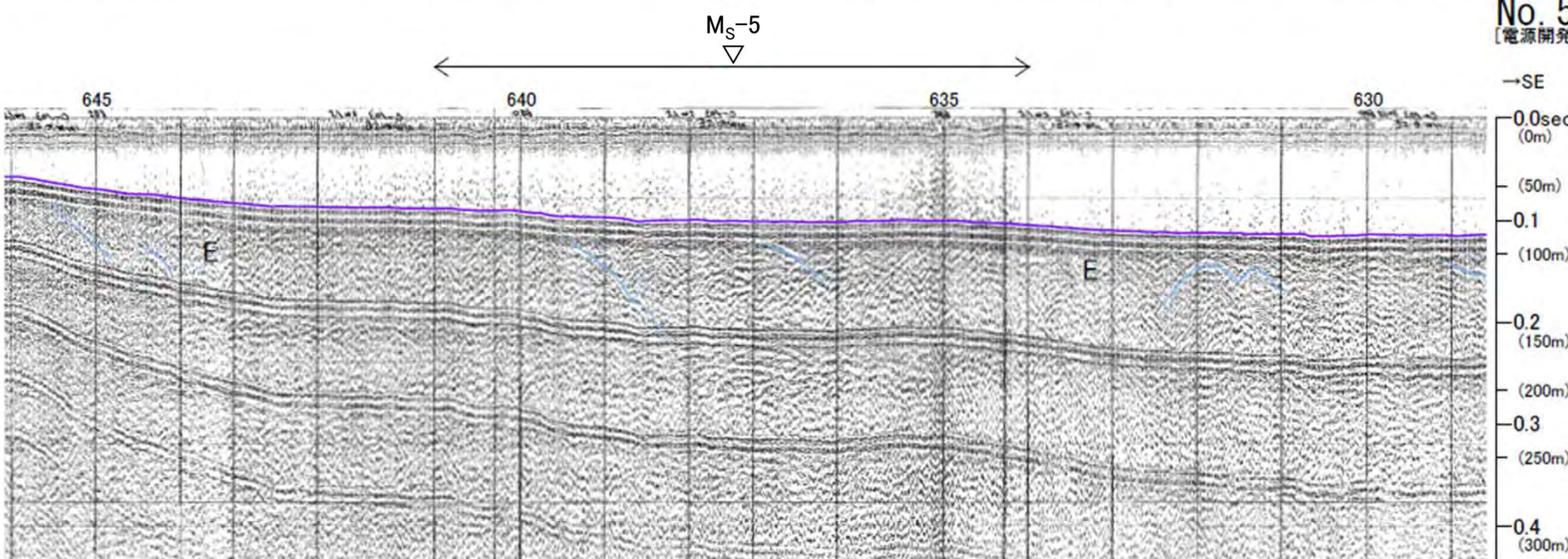
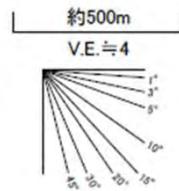


海底地すべり Ms-5

No.5測線(反射断面図・解釈断面図)



地質時代		数地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	C層
第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先第三紀		



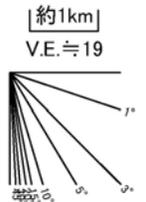
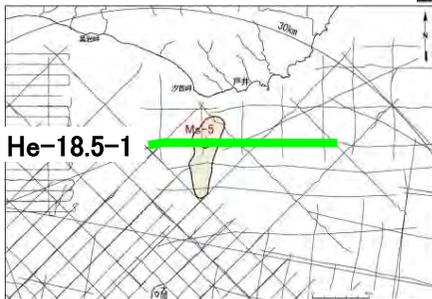
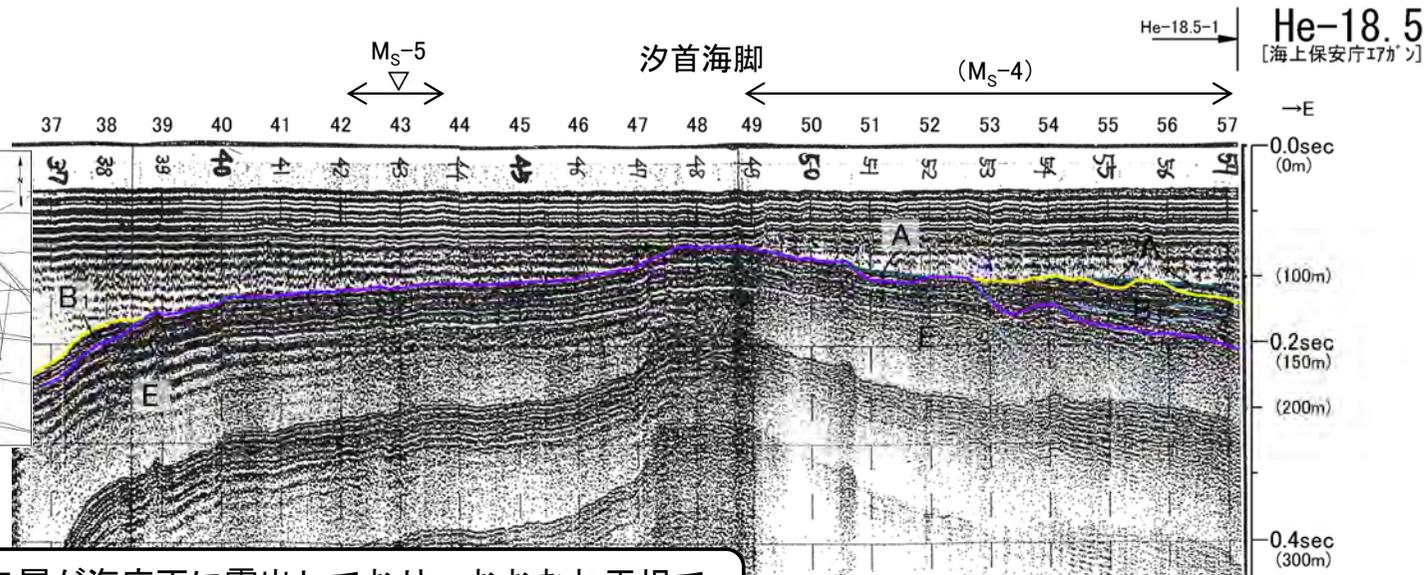
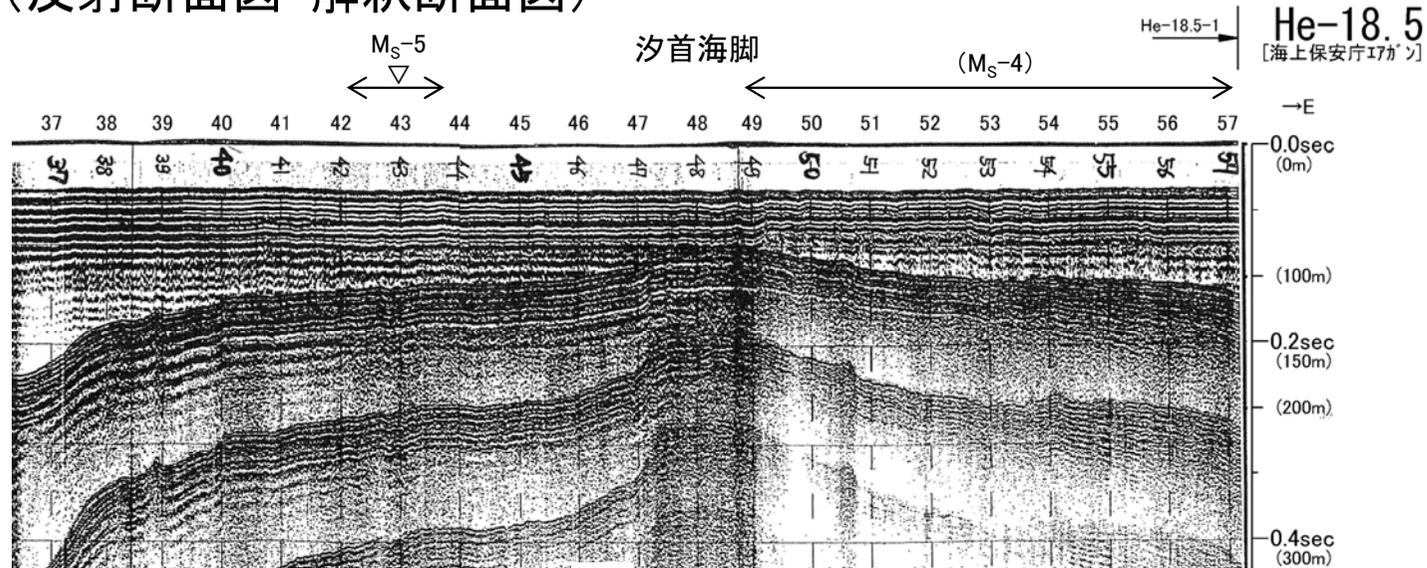
- 当該範囲は、E層が海底面に露出し、おおむね平坦である。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲



海底地すべり Ms-5

He-18.5-1測線(反射断面図・解釈断面図)



地質時代		数地前面海域
第四紀	完新世	A層
	更新世	後期 B ₁ 層
		中期 B ₂ 層
	前期 B ₃ 層	
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

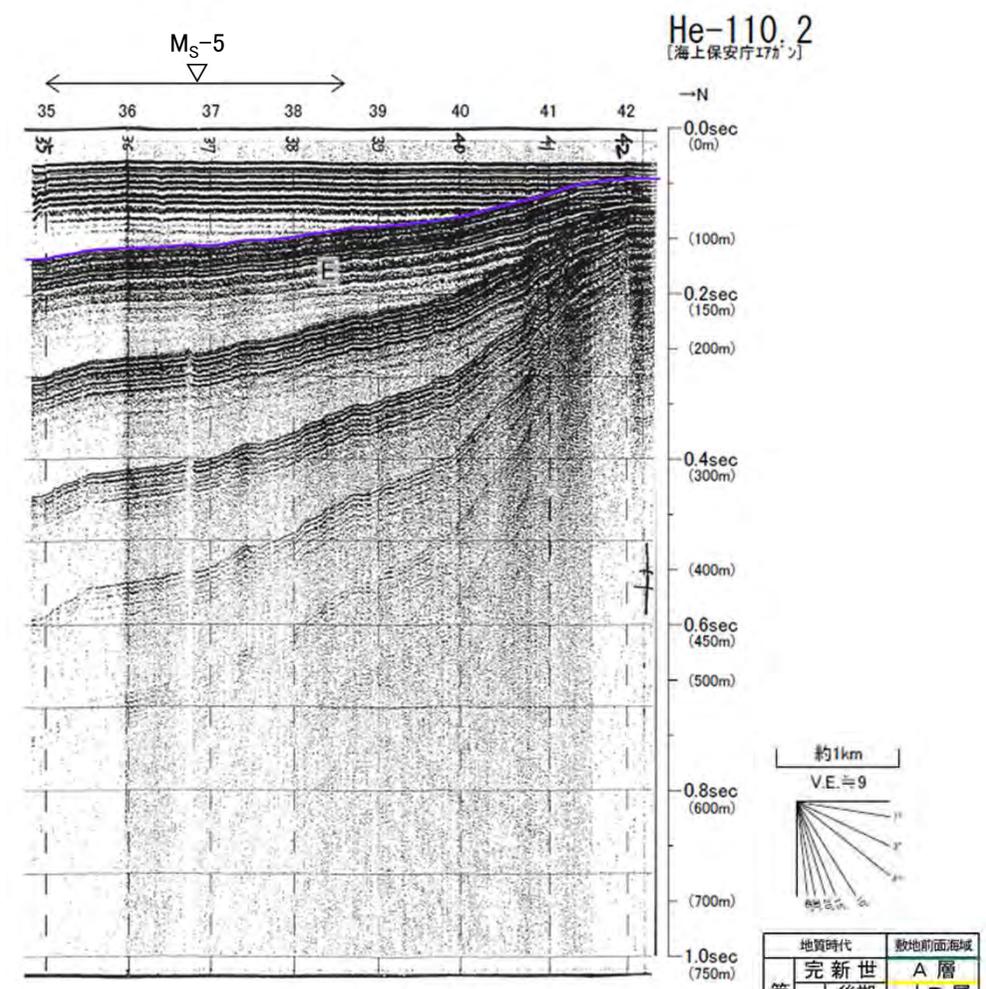
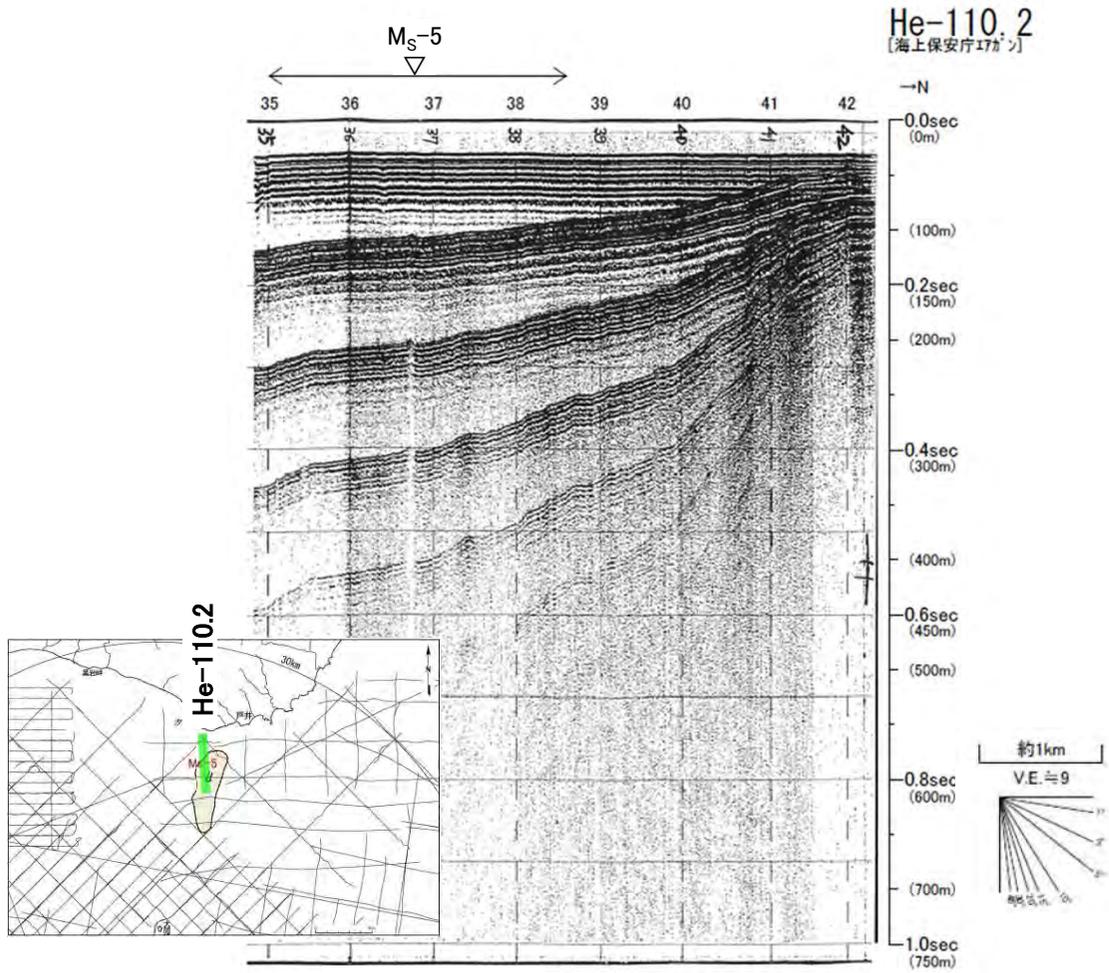
- 当該範囲は、E層が海底面に露出しており、おおむね平坦である。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲



海底地すべり Ms-5

He-110.2測線(反射断面図・解釈断面図)



△地形判読結果による当該地すべり範囲

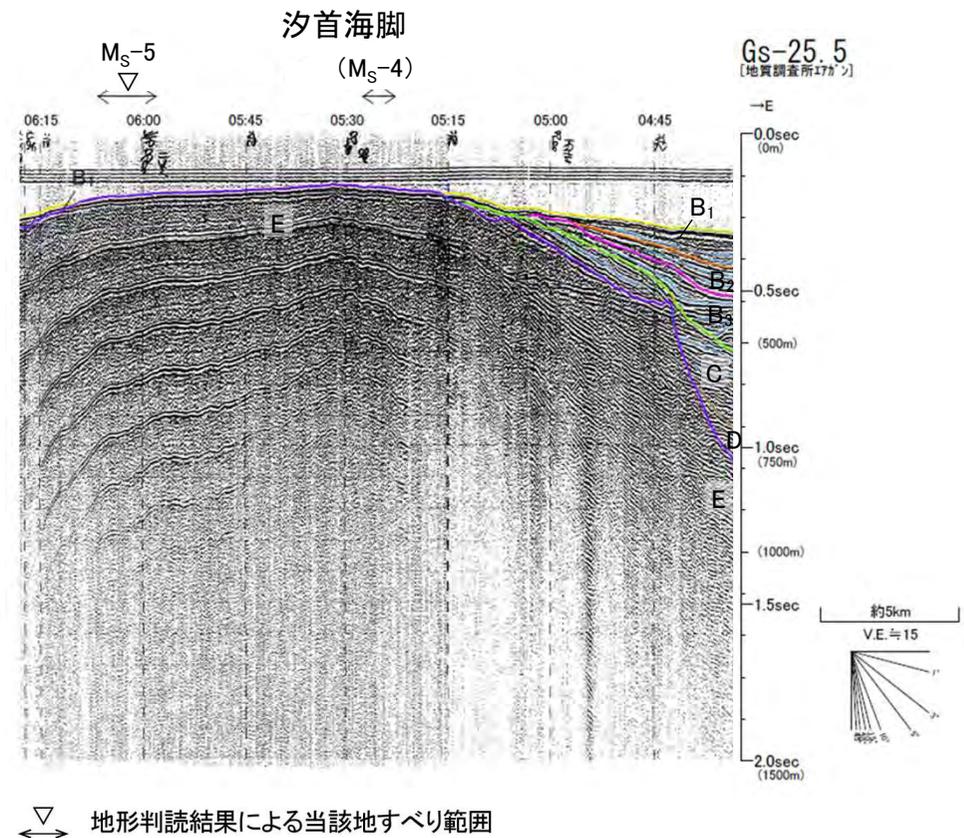
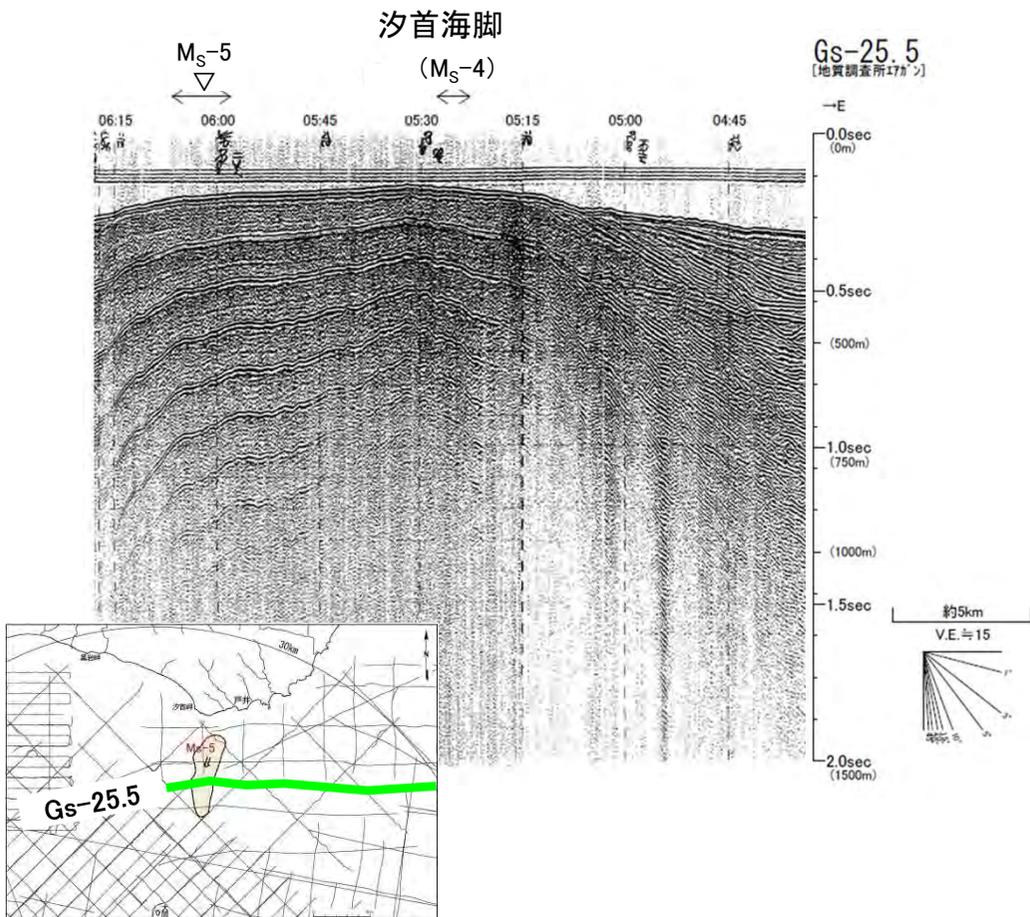
- 当該範囲は、E層が海底面に露出しており、おおむね平坦である。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	後期	B ₁ 層	
	中期	B ₂ 層	
	前期	C層	
新第三紀	鮮新世	D層	
	中新世	E層	
先新第三紀			



海底地すべり Ms-5

Gs-25.5測線(反射断面図・解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

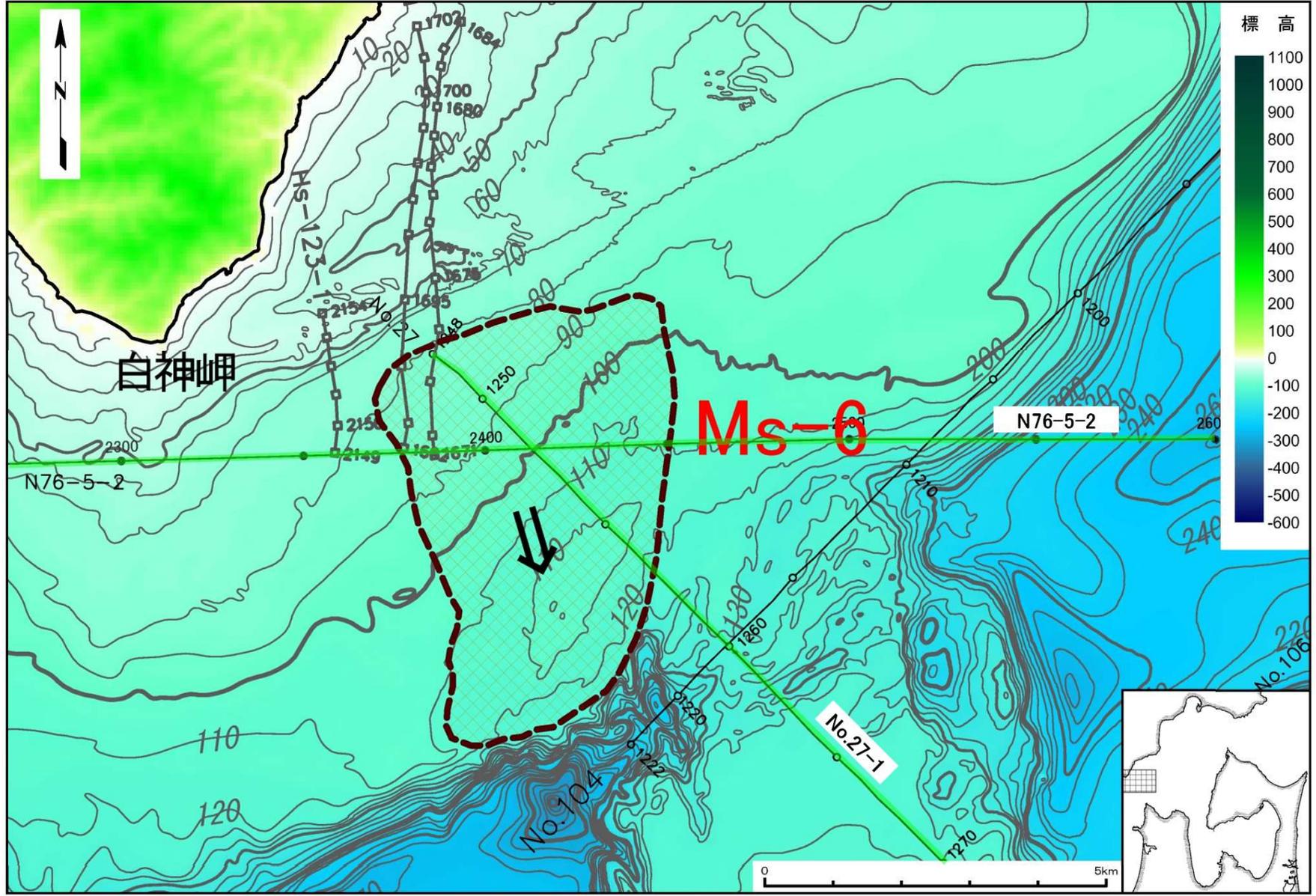
- 当該範囲は、E層が海底面に露出している。
- 海底面は緩やかに西側に傾斜するが、おおむね平坦である。
- 地すべりによるものと考えられる堆積構造は認められない。

地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
		E層	
先新第三紀			

(余白)



海底地すべり Ms-6



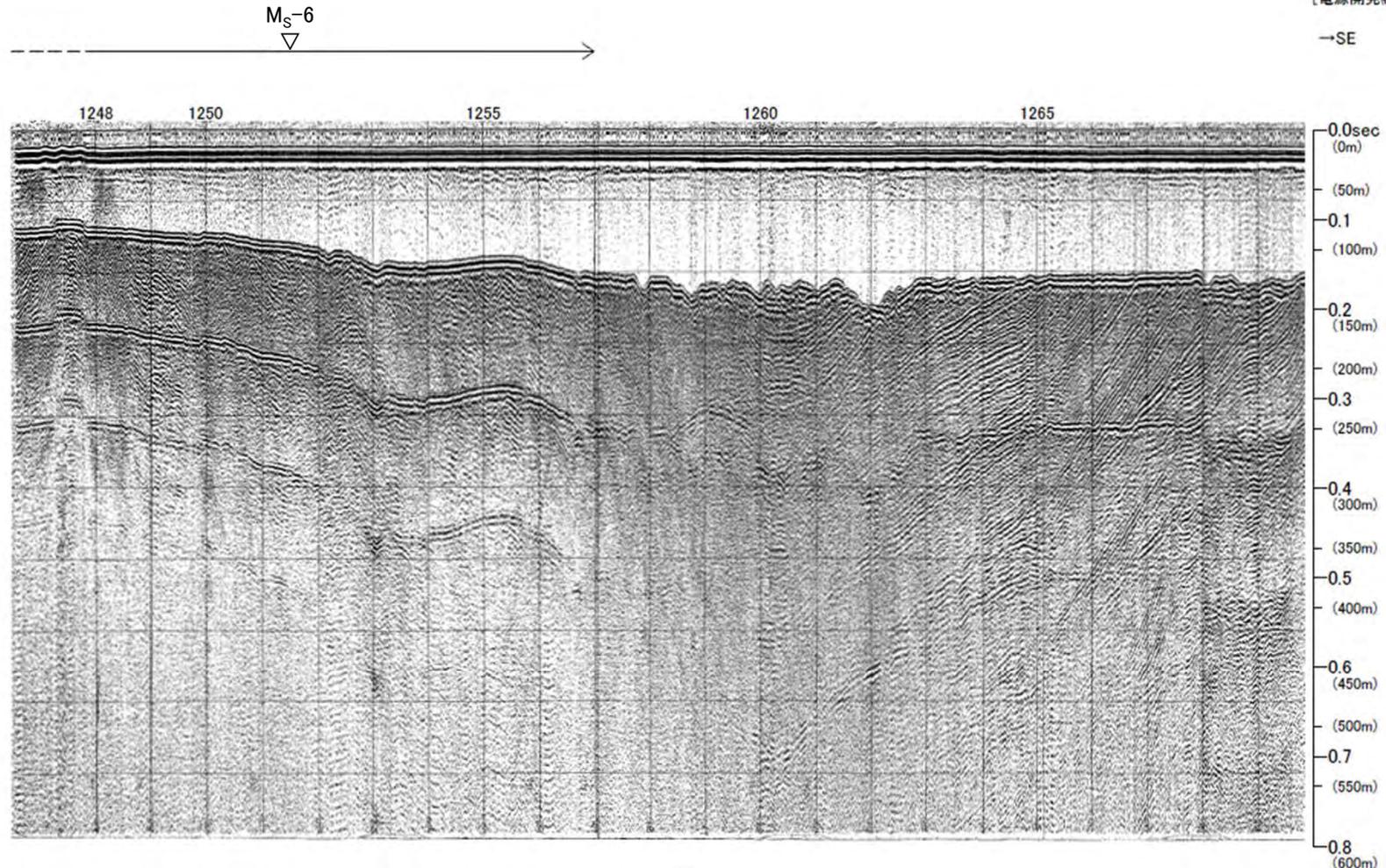
音波探査記録
の添付範囲





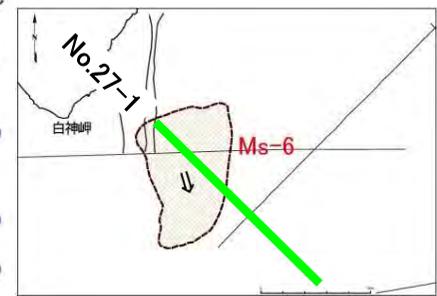
海底地すべり Ms-6

No.27-1測線(反射断面図)



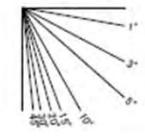
No. 27-1
[電源開発株式会社]

→SE



△ 地形判読結果による当該地すべり範囲

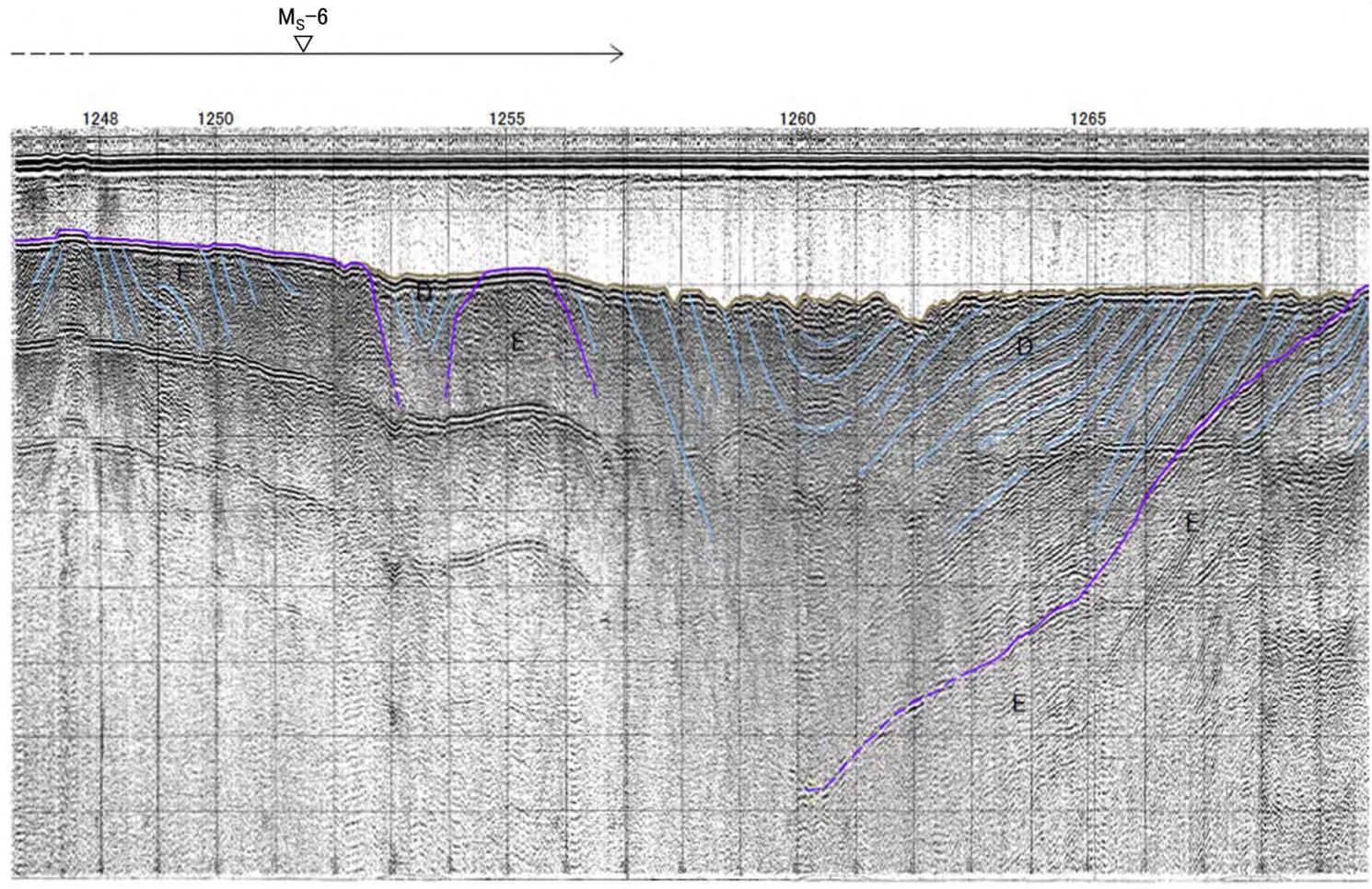
約1km
V.E. ≒ 10



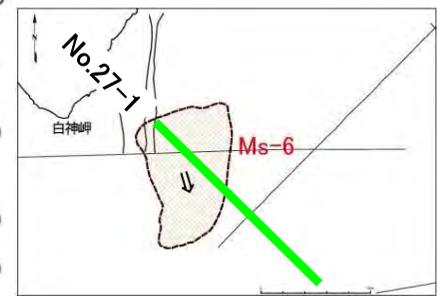


海底地すべり Ms-6

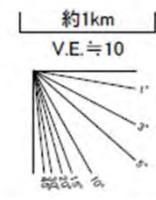
No.27-1測線(解釈断面図)



No. 27-1
[電源開発株式会社] →SE



地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	後期	B ₁ 層	
	中期	B ₂ 層	
	前期	B ₃ 層	
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
先新第三紀		E層	



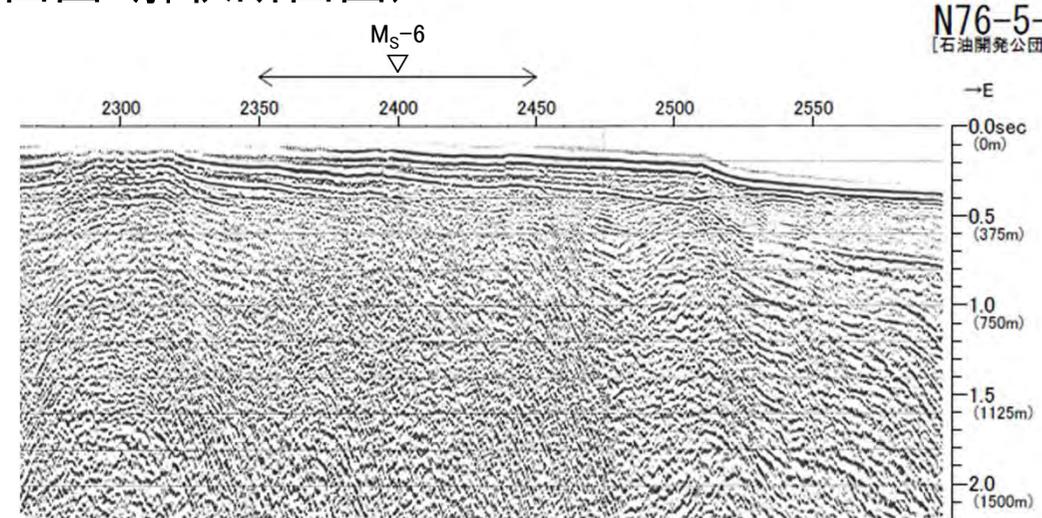
▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、E層が広く海底面に露出している。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。

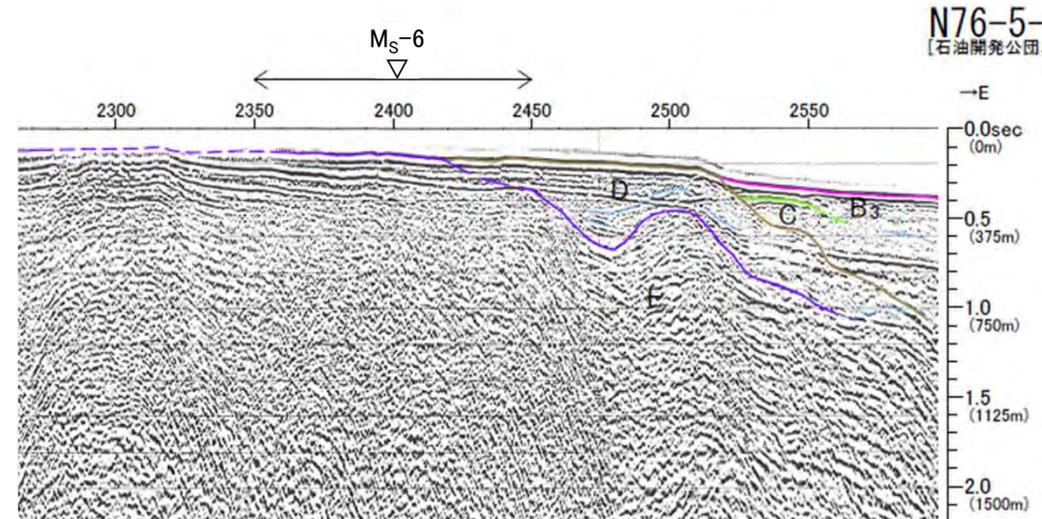
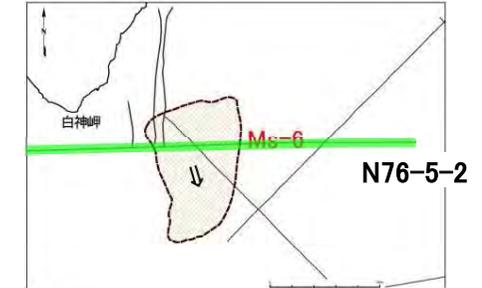


海底地すべり Ms-6

N76-5-2測線(反射断面図・解釈断面図)



N76-5-2
[石油開発公団エアガン]



N76-5-2
[石油開発公団エアガン]

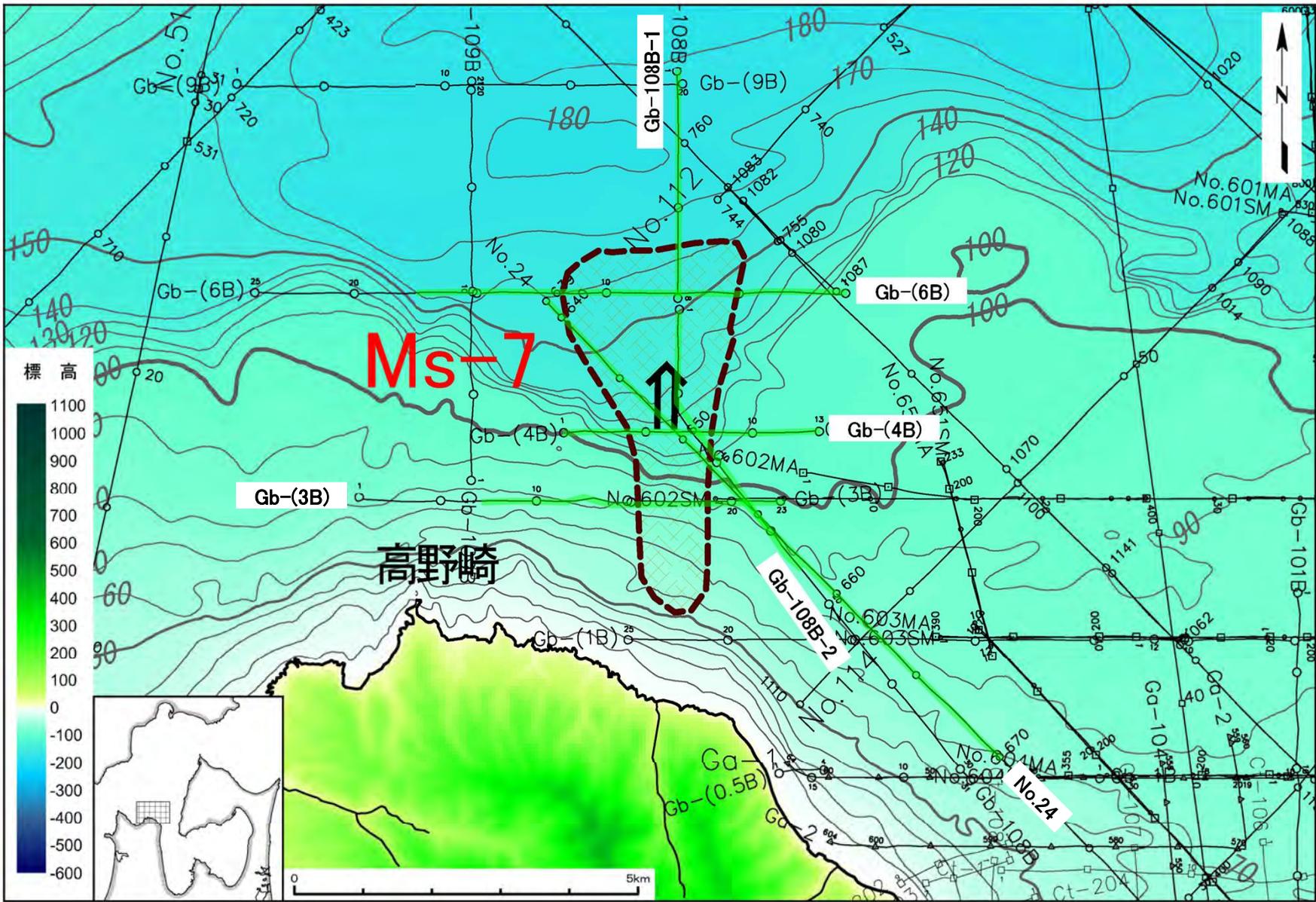
地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₁ 層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

- 当該範囲は、E層及びD層が広く海底面に露出している。
- 地すべりを示唆する堆積構造は認められない。



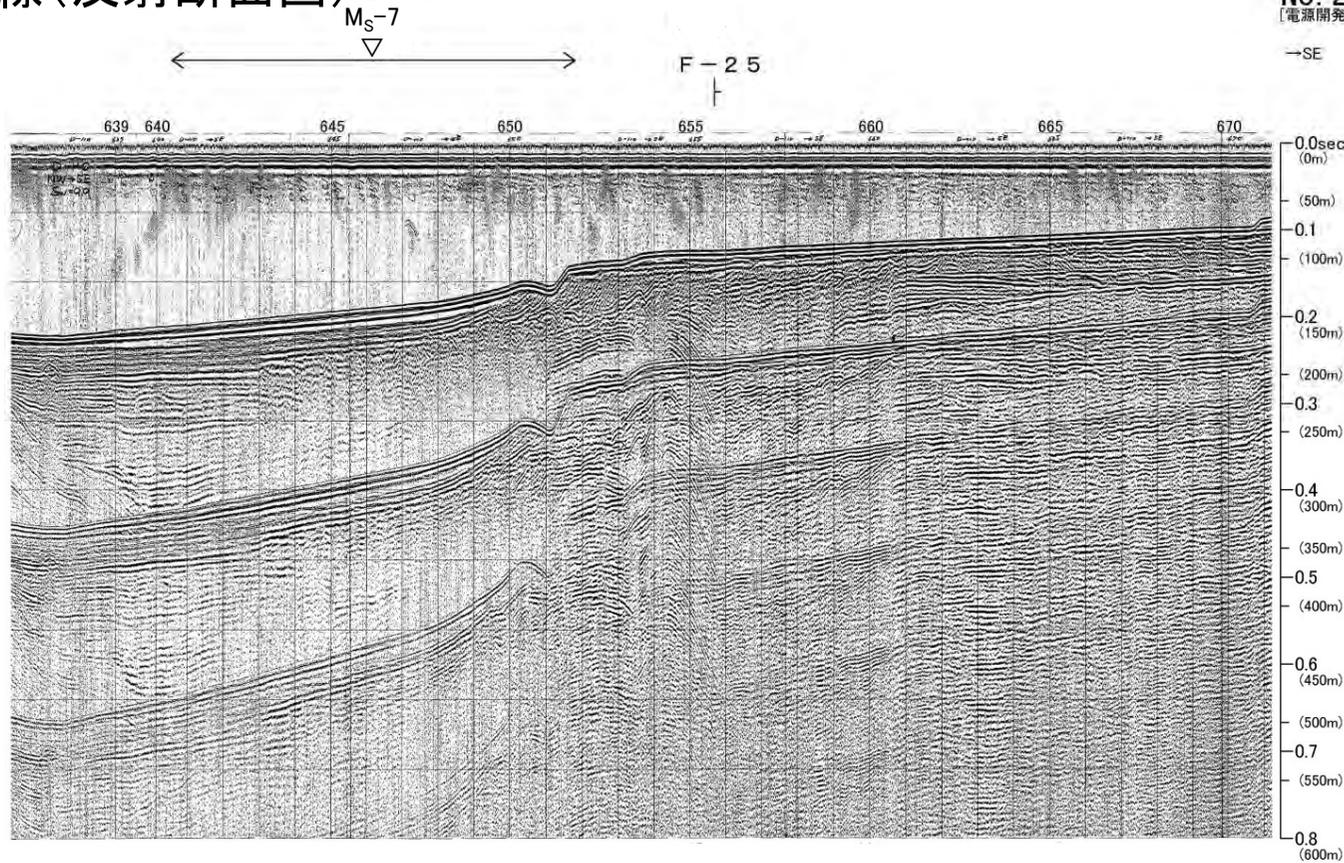
海底地すべり Ms-7



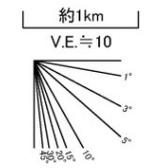
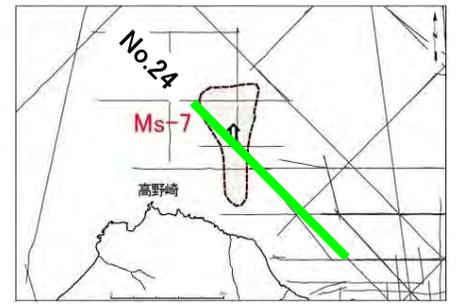


海底地すべり Ms-7

No.24測線(反射断面図)



No. 24
[電源開発株式会社-カ-]
→SE

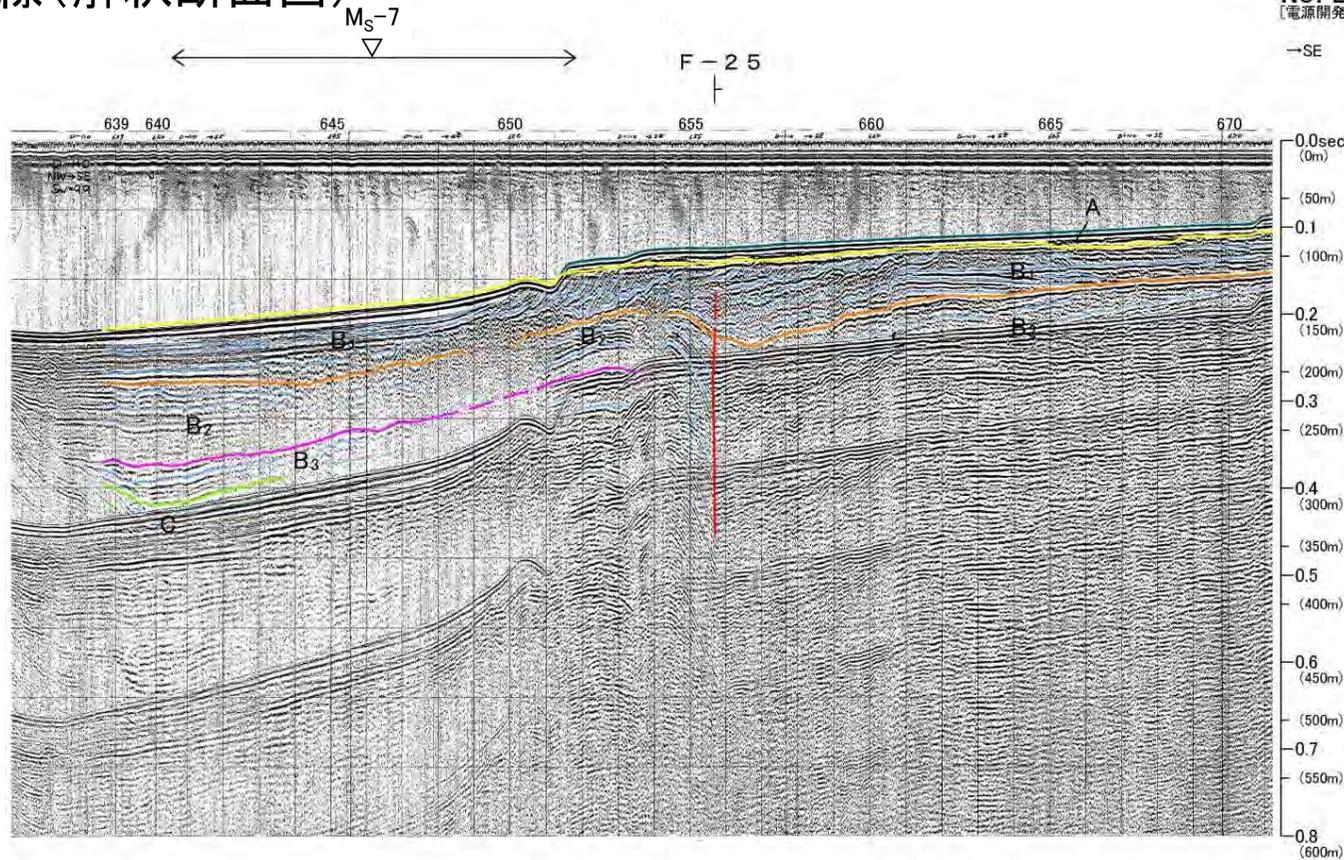


↔ 地形判読結果による当該地すべり範囲
┆ 解析結果による断層位置及び落下側



海底地すべり Ms-7

No.24測線(解釈断面図)



No. 24
[電源開発株式会社]
→SE

地質時代		数地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世 後期	B層	B ₁ 層
	更新世 中期	B層	B ₂ 層
	更新世 前期	B層	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	D層	
	中新世	E層	
	先新第三紀		

- ▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲
- ┆ 解析結果による断層位置及び落下側
- ┆┆┆ 上部更新統以上に変位(変形)が及ぶ断層

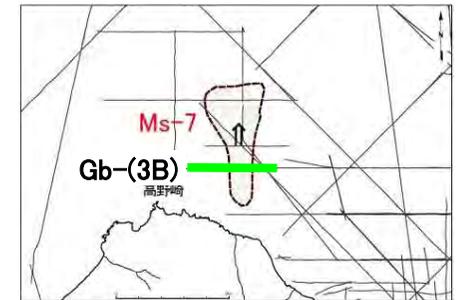
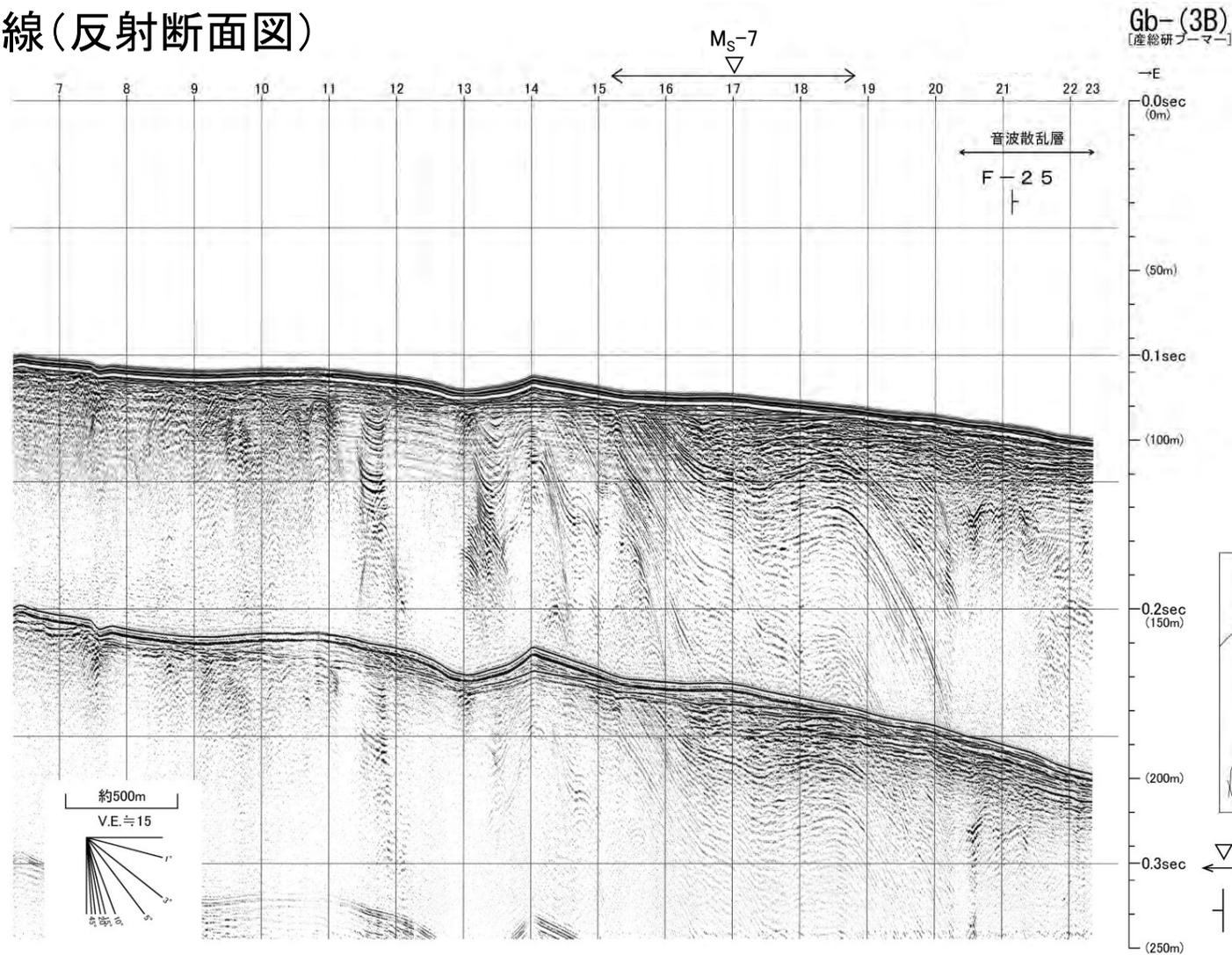
- B₁層が比較的厚く堆積し、北西に傾斜するプログラデーショ構造が認められ、水深約100mより浅い大陸棚では上位にA層が薄く分布する。
- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部に位置し、海底面は北西に向かって緩やかに傾斜する平坦面で、最上位のB₁層は平行な層理パターンを示し、乱れた層理パターンは認められない。
- 大陸棚縁辺部で認められる凹状地形は、底層流により形成された堆積構造あるいは海面低下時に形成された谷地形と考えられる。





海底地すべり Ms-7

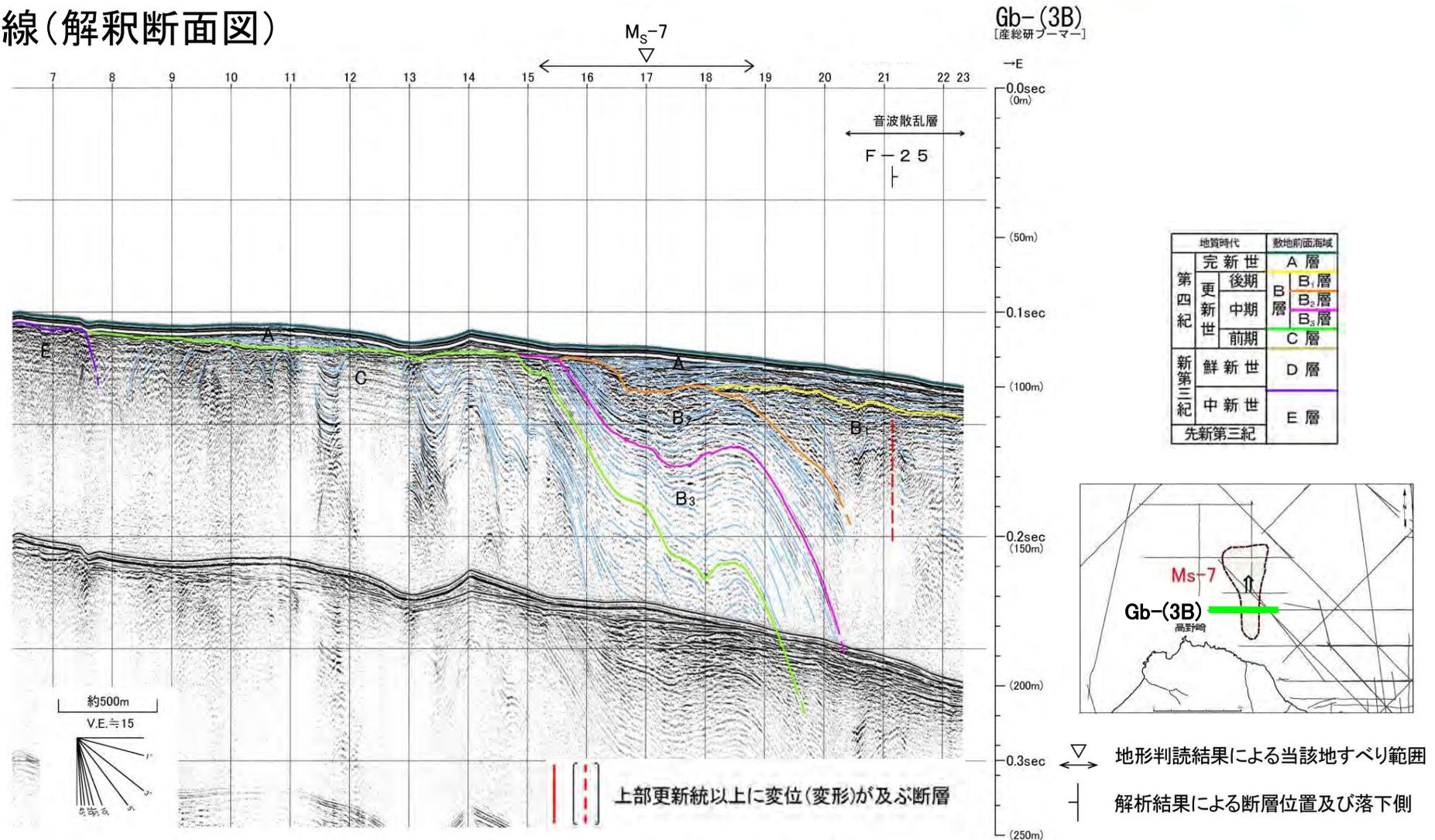
Gb-(3B)測線(反射断面図)





海底地すべり Ms-7

Gb-(3B)測線(解釈断面図)

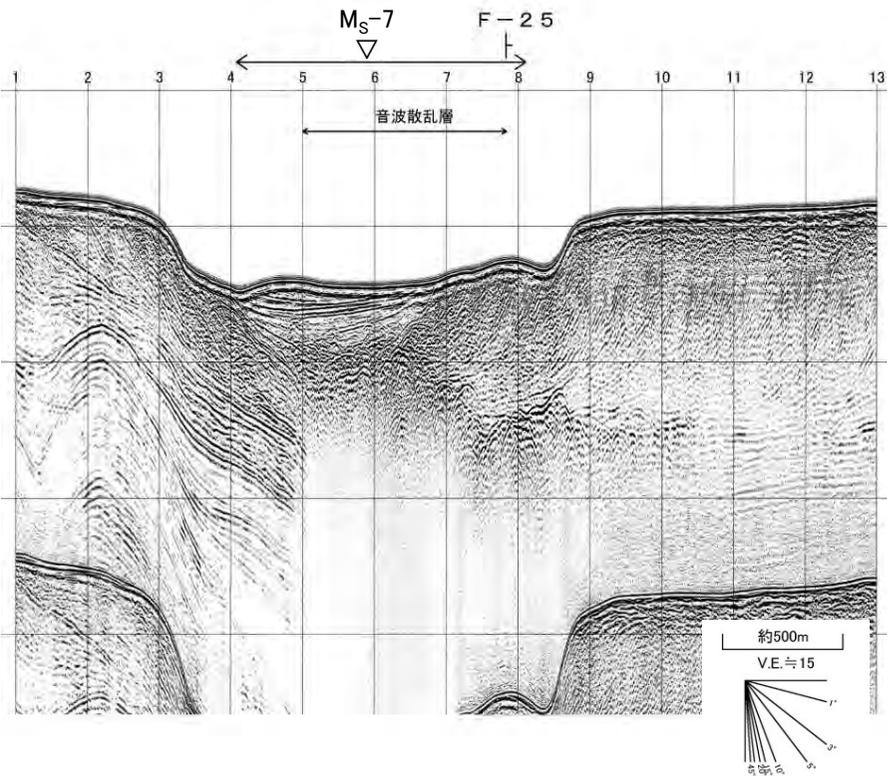


- 褶曲するC層からB₂層をB₁層及びA層が覆っている。
- 当該範囲の海底面はおおむね平坦で、最上位のA層もおおむね水平な平行層理パターンで下位層の凹部を埋めている。
- 地すべりによるものと考えられる堆積構造は認められない。

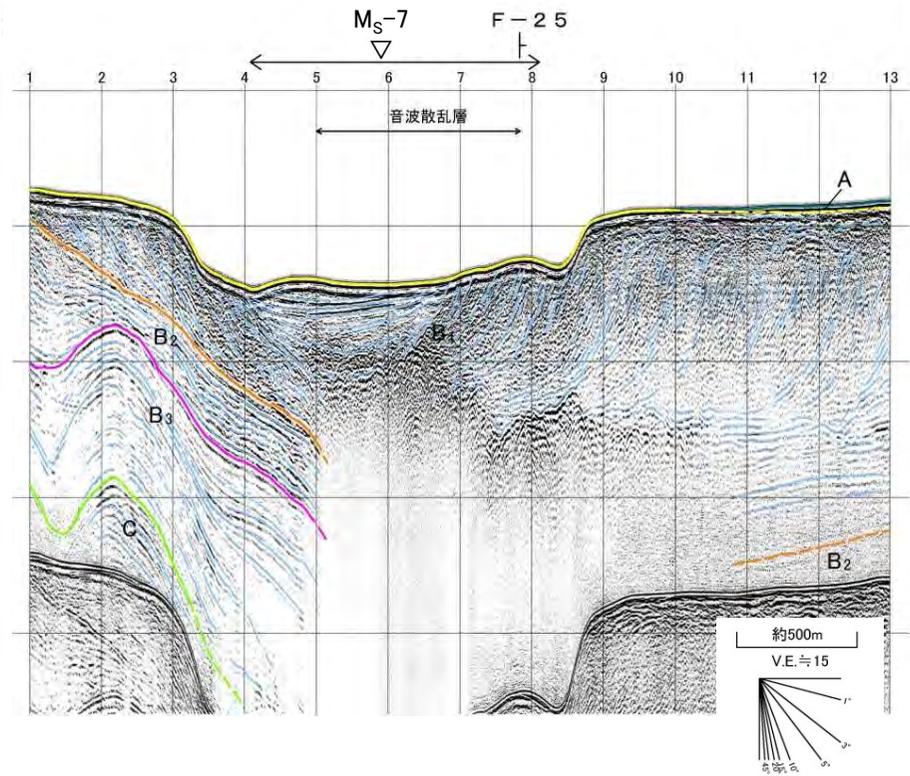
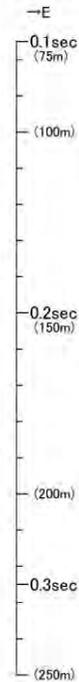


海底地すべり Ms-7

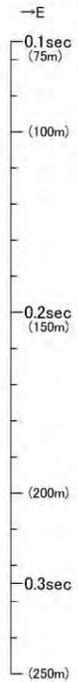
Gb-(4B)測線(反射断面図・解釈断面図)



Gb-(4B)
[産総研フォーマット]

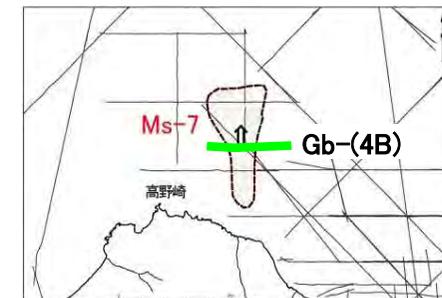


Gb-(4B)
[産総研フォーマット]



- B₁層が厚く堆積し、東から西に向かうプログラデーショナル構造が認められる。
- 当該範囲で認められる凹地形は、東側から発達してきたプログラデーショナル構造と津軽半島側の大陸棚沖合いの斜面にはさまれて形成されたものである。
- 当該範囲のB₁層上部は、連続性のよい層理パターンを示すことから、凹地形は地すべりによるものではないと考えられる。
- 大陸棚縁辺部で認められる凹状地形は、底層流により形成された堆積構造あるいは海面低下時に形成された谷地形と考えられる。

▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲
+ 解析結果による断層位置及び落下側



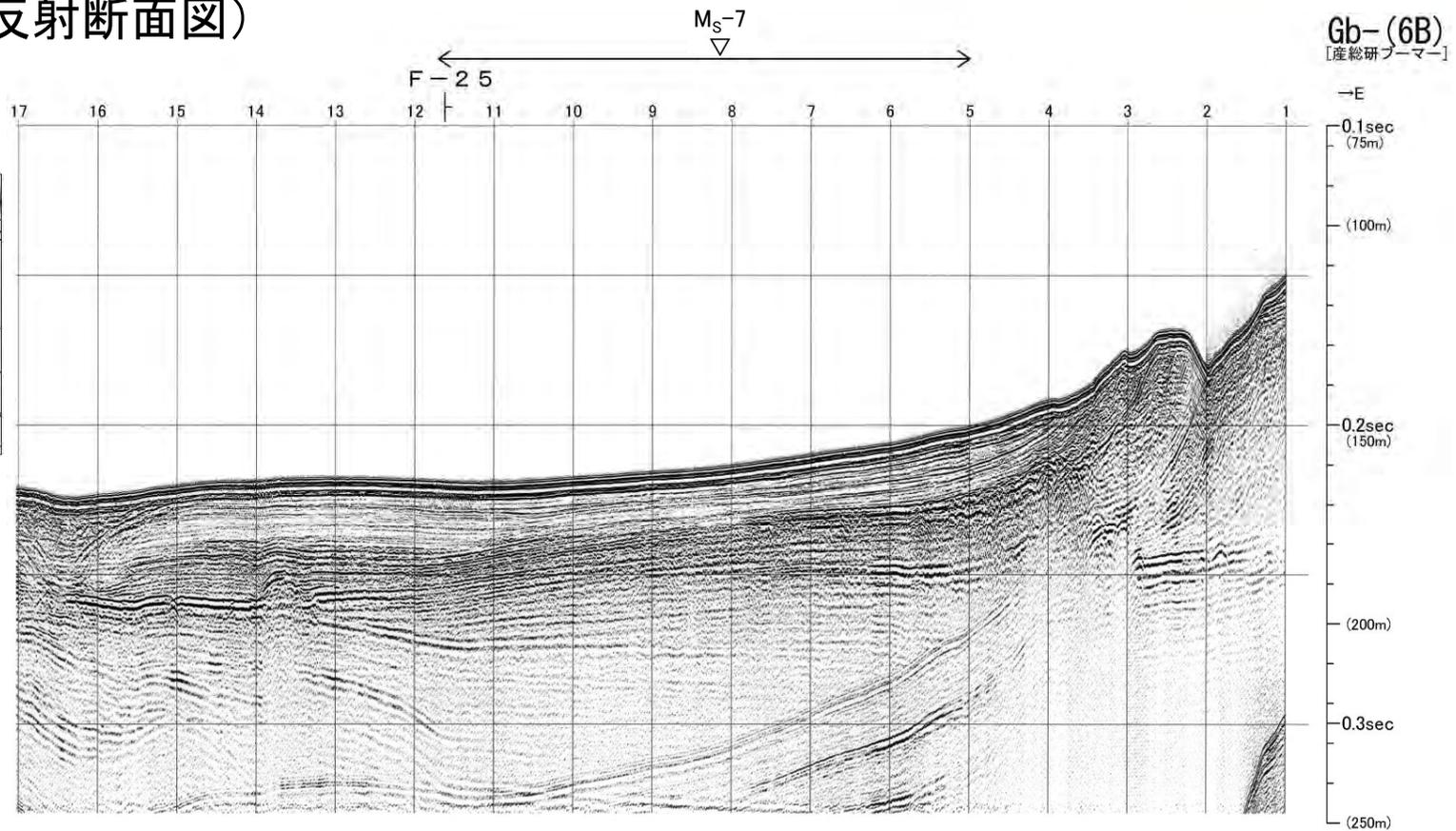
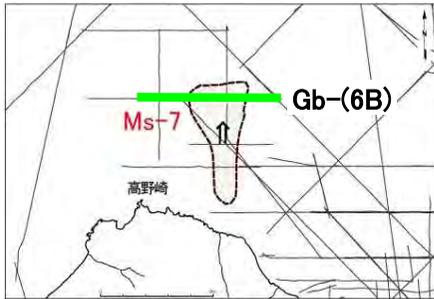
地質時代	敷地前面海域
完新世	A層
第四紀 更新世	後期 B ₁ 層
	中期 B ₂ 層
	前期 B ₃ 層
新第三紀 鮮新世	C層
中中新世	D層
	E層
先新第三紀	

(余白)

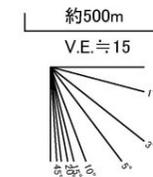


海底地すべり Ms-7

Gb-(6B)測線(反射断面図)



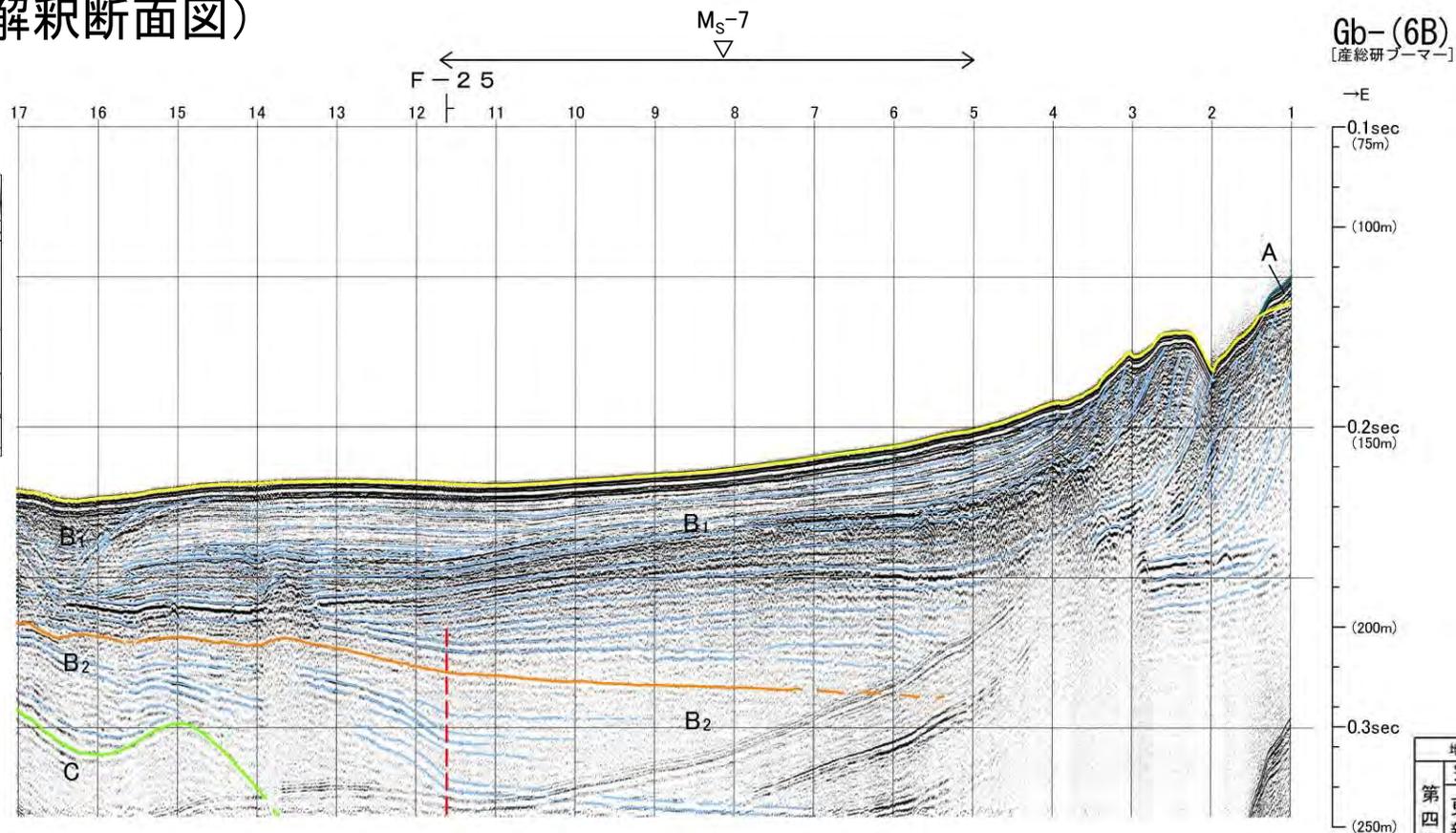
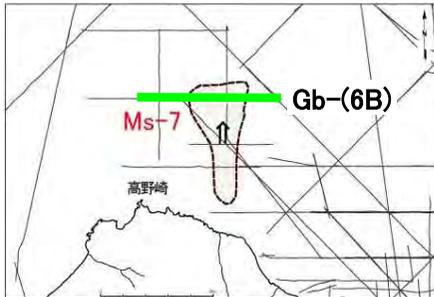
▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲
┆ 解析結果による断層位置及び落下側





海底地すべり Ms-7

Gb-(6B)測線(解釈断面図)



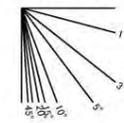
Gb-(6B)
[産総研ブーマー]

→E

0.1sec (75m)
(100m)
0.2sec (150m)
(200m)
0.3sec
(250m)

地質時代		敷地前海域	
第四紀	完新世	A層	
	後期	B ₁ 層	
	中期	B ₂ 層	
	前期	B ₃ 層	
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
先新第三紀		E層	

約500m
V.E. ≒ 15



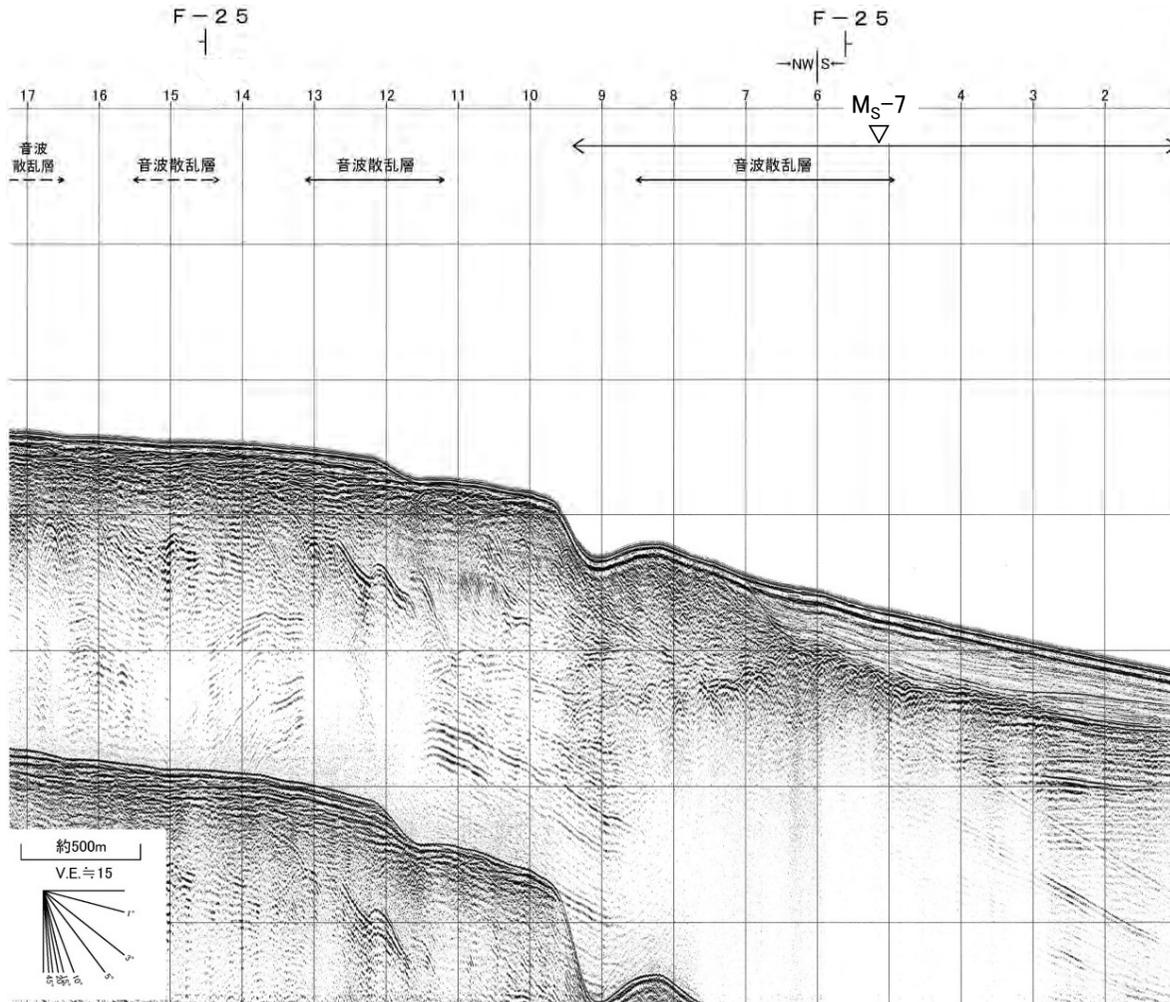
- 最上位のB₁層が厚く堆積し、東から西に向かうプログラデーション構造が認められる。
- 当該範囲では、海底面は西に向かって緩く傾斜し、最上位のB₁層は平行な層理パターンを示す。
- 当該範囲には、地すべりによるものと考えられる堆積構造は認められない。
- なお、大陸棚縁辺部で認められる凹状地形は、底層流により形成された堆積構造あるいは海面低下時に形成された谷地形と考えられる。

- ▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲
- + 解析結果による断層位置及び落下側
- ||| 上部更新統以上に変位(変形)が及ぶ断層

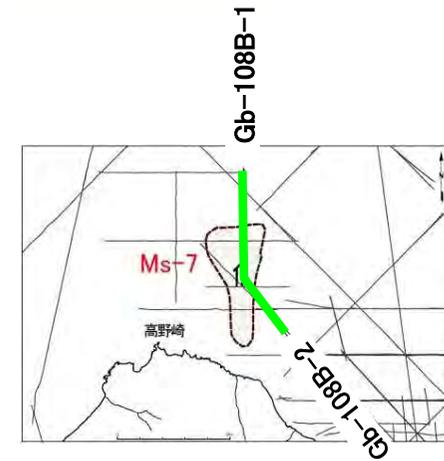
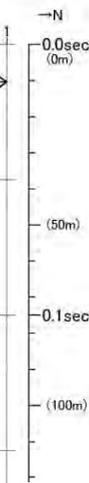


海底地すべり Ms-7

Gb-108B-1及びGb-108B-2測線(反射断面図)



Gb-108B-2
[産総研ブーマー]



Ms-7



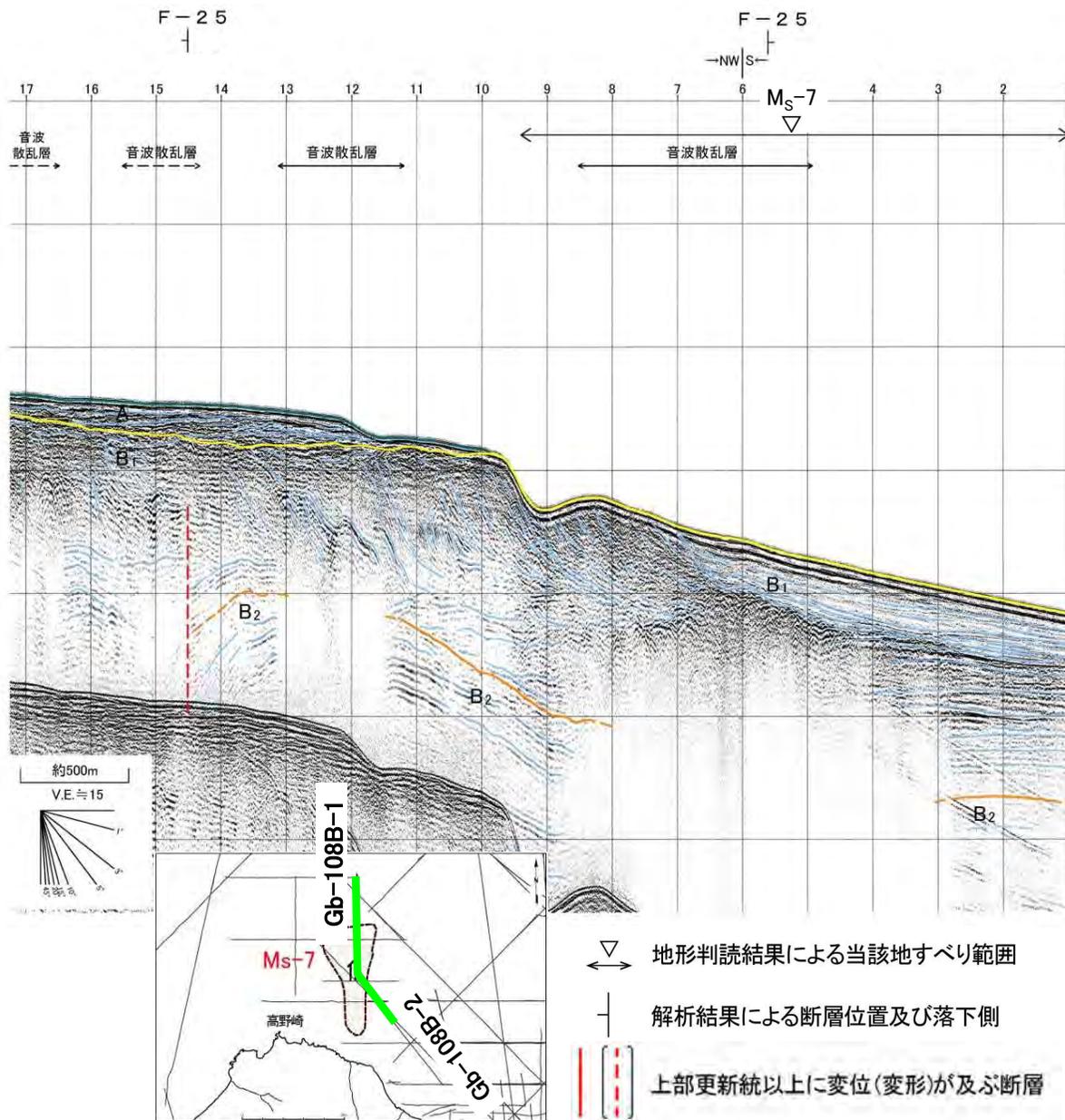
Gb-108B-1
[産総研ブーマー]

▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲
| 解析結果による断層位置及び落下側

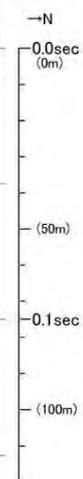


海底地すべり Ms-7

Gb-108B-1及びGb-108B-2測線(解釈断面図)

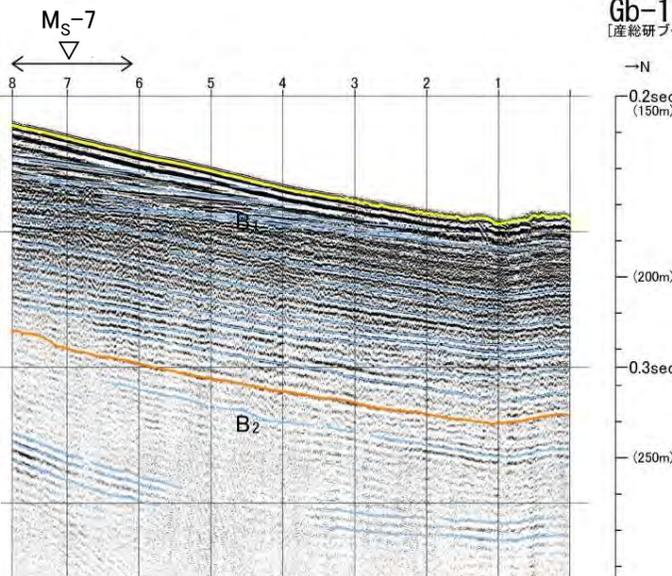


Gb-108B-2
[産総研ブーマー]



- B₁層が比較的厚く堆積し、北に傾斜するプログレッション構造が認められ、水深約100mより浅い大陸棚では上位にA層が薄く分布する。
- 当該範囲は、大陸棚沖合いの斜面上部に位置し、海底面は北に向かって緩やかに傾斜する平坦面で、最上位のB₁層はおおむね平行な層理パターンを示し、乱れた層理パターンは認められない。
- 大陸棚縁辺部で認められる凹状地形は、底層流により形成された堆積構造あるいは海面低下時に形成された谷地形と考えられる。

Gb-108B-1
[産総研ブーマー]



地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	後期	B ₁ 層	
	中期	B ₂ 層	
	前期	B ₃ 層	
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
先新第三紀		E層	

目 次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
 - 4-4. 動的破壊特性の不確かさの影響確認
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ水位評価地点の妥当性確認
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について

7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (1 / 16)

第868回審査会合
資料2-2 P.268再掲

7.3-2



各海底地すべり地形について、崩壊量の算定に係る詳細情報を整理した。



7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (2 / 16)

検討対象海底地すべり地形の選定【ステップ3】：海底地すべり地形崩壊量算定フロー

- 抽出した発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある海底地すべり地形 (Ms-1 ~ Ms-3) の崩壊量の算定については、以下の検討方針に基づき算定した。検討フローは以下のとおり。
 - ✓ 原則として、地すべり前地形を復元し、すべり面との差分から算定する。また、すべり面は保守側に乱れた地層の下限とする。
 - ✓ なお、音波探査記録で、すべり面が明瞭で、且つ削剥が殆ど認められず地すべり移動体が保存されている場合 (Ms-3) は、地すべり後の地形から算定する。

検討フロー

【ステップ3-1】：推定崩壊範囲（平面形状）の設定

・地形判読により海底地すべりの痕跡を抽出して設定

音波探査記録で、すべり面が明瞭で、且つ削剥が殆ど認められず地すべり移動体が保存されているか？

YES

Ms-1 (P. 7.3-4~P. 7.3-8参照)
Ms-2 (P. 7.3-9~P. 7.3-16参照)

Ms-3 (P. 7.3-17参照)

【ステップ3-2】：地すべり前地形（復元）の設定

NO

・現地地形から判読される凹み地形を埋め戻す等により地すべり前地形を再現して設定

【ステップ3-3】：すべり面の設定

・音波探査記録に明瞭なすべり面が認められる場合はすべり面を、一方、明瞭なすべり面が認められない場合は地層の乱れを地すべり土塊と想定し地すべり土塊の下限※を、それぞれすべり面に設定

※音波探査記録に乱れた地層の下限が認められない場合は、安全側の評価となるよう音波探査記録の地層境界をすべり面に設定。

【ステップ3-4】：崩壊量算定

・地すべり前地形（復元）とすべり面との差分を崩壊土塊として3D CADでモデル化して算定

【ステップ3-4'】：崩壊量算定

・崩壊後の地すべり移動体の面積を基に平均断面法により算定

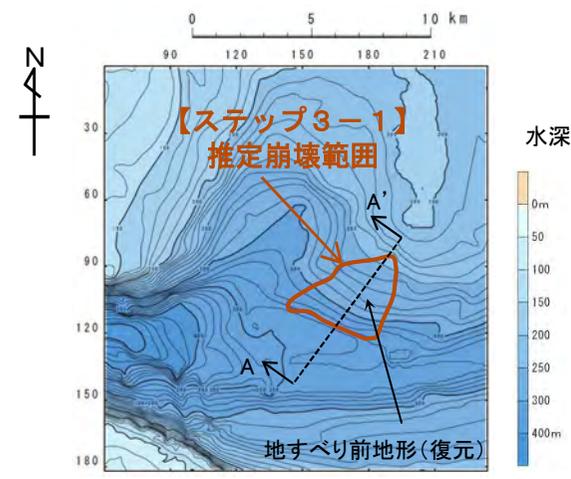


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (3 / 16)

海底地すべり地形 Ms-1

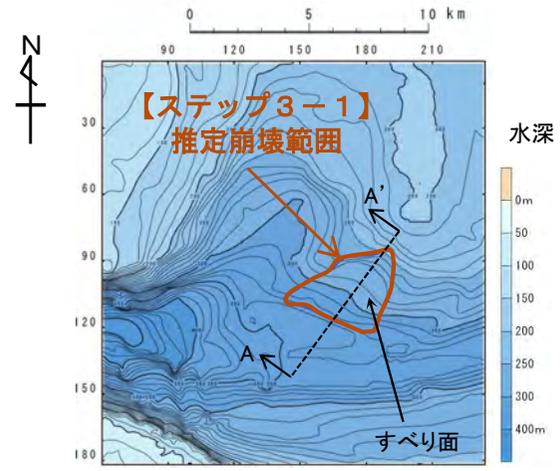
【ステップ3-1】 推定崩壊範囲（平面形状）は，地形判読により設定。（本編資料P. 3. 3-6参照）
 【ステップ3-2】 地すべり前地形（復元）は，現地形から判読される凹み地形を埋め戻す等により設定。
 【ステップ3-3】 すべり面は，音波探査記録からすべり面を読み取って設定。
 【ステップ3-4】 地すべり前地形（復元）とすべり面との差分を崩壊土塊としてモデル化し，土塊の体積を崩壊量として算定。

【ステップ3-2】



地形モデル(地すべり前地形(復元))

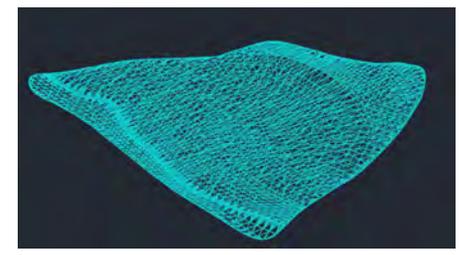
【ステップ3-3】



地形モデル(すべり面※1)

※1 : P. 7. 3-5 ~P. 7. 3-7参照。

【ステップ3-4】

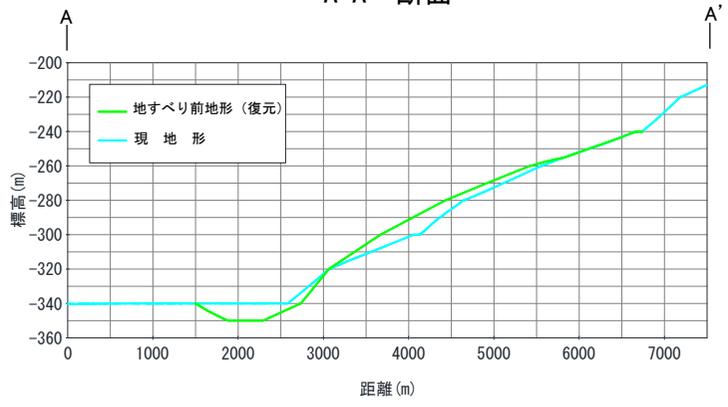


崩壊土塊(地すべり前地形-すべり面)

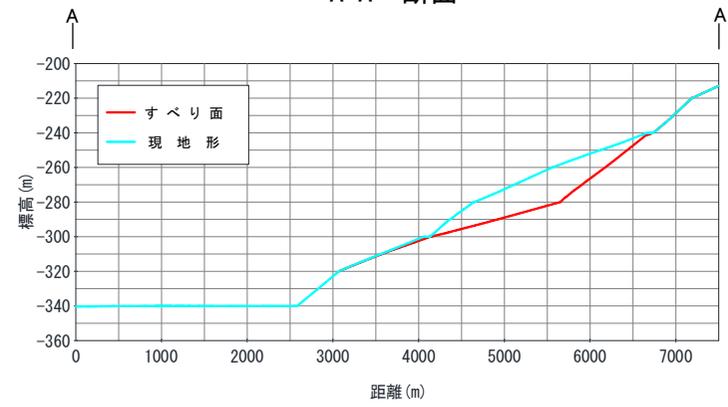
崩壊量: 0.09km³※2

※2: 3D CADにより崩壊量算定

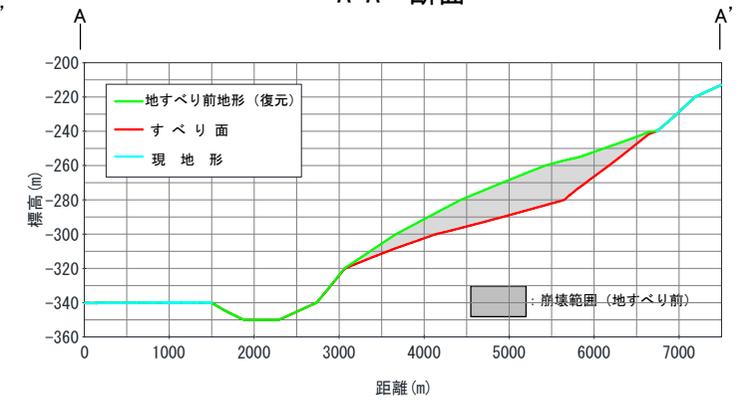
A-A' 断面



A-A' 断面



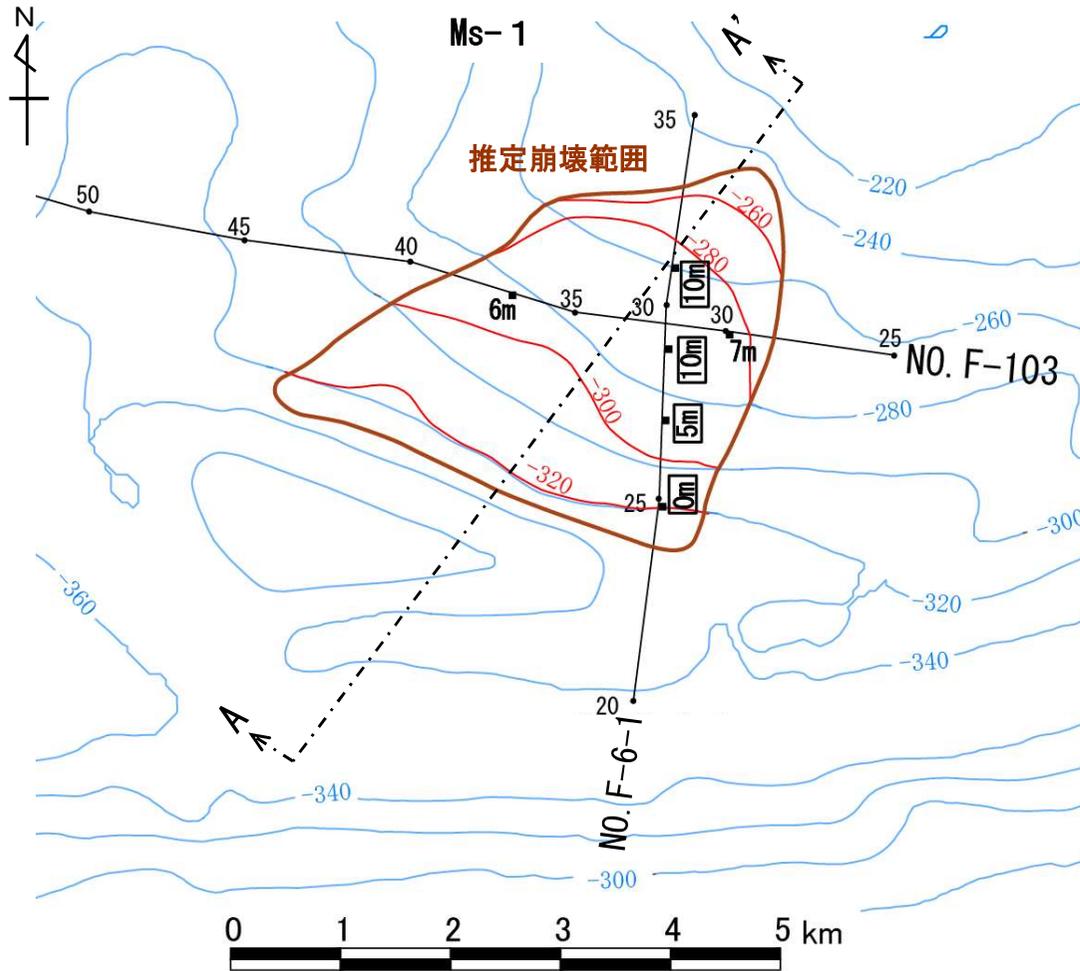
A-A' 断面





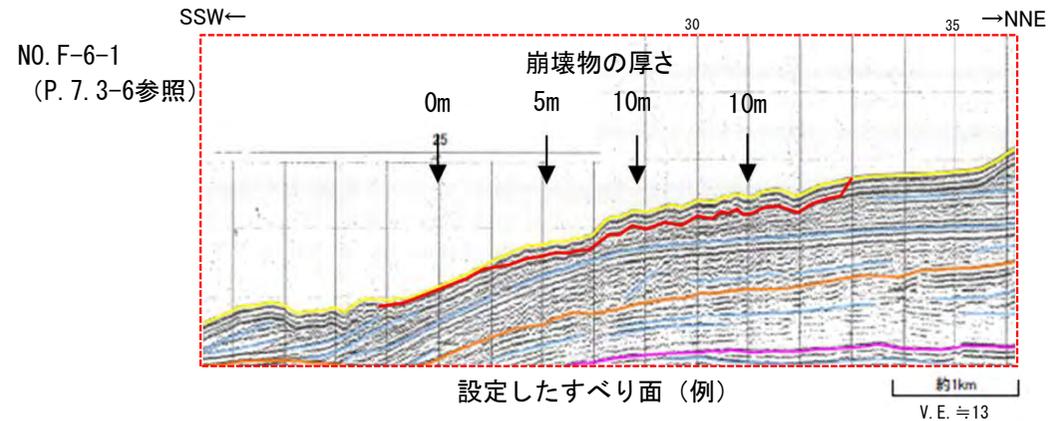
7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (4 / 16)

海底地すべり地形 Ms-1 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (1 / 3)

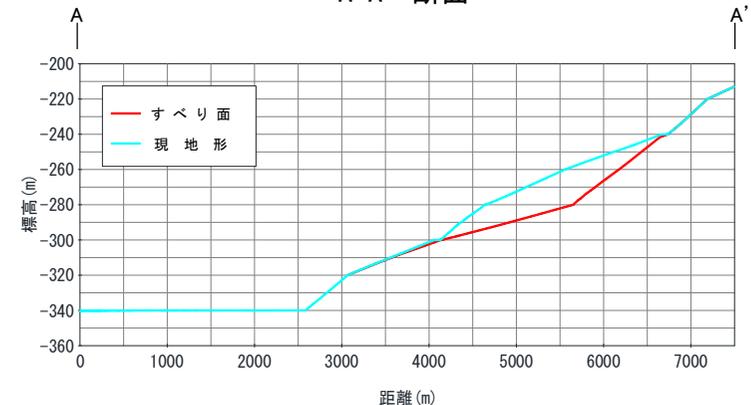


【ステップ3-3】すべり面の設定方法

- (1) 地形判読により設定した推定崩壊範囲 (左図茶色線) と交わる音波探査記録NO. F-6-1及びNO. F-103の2測線に対し、すべり面を設定し (P. 7. 3-6, P. 7. 3-7参照), 崩壊範囲内の任意の点における崩壊物の厚さ (現地形標高-すべり面標高) (左図: 黒字) を算出した (下図参照)。
- (2) すべり面のモデル化にあたっては、算定した崩壊物の厚さを基に、三次元的に滑らかな形状になるように設定した。なお、算定した崩壊物の厚さに測線間でバラつきが認められる場合は、安全側の設定となるよう厚い値を採用値 (左図: □で囲まれた黒字) とすることを基本とした。



A-A' 断面



凡例
 黒数字 : 音波探査記録から算出した崩壊物の厚さ (現地形標高-すべり面標高) (m)
 □は採用値
 青コンター : 現地形コンター
 赤コンター : すべり面コンター

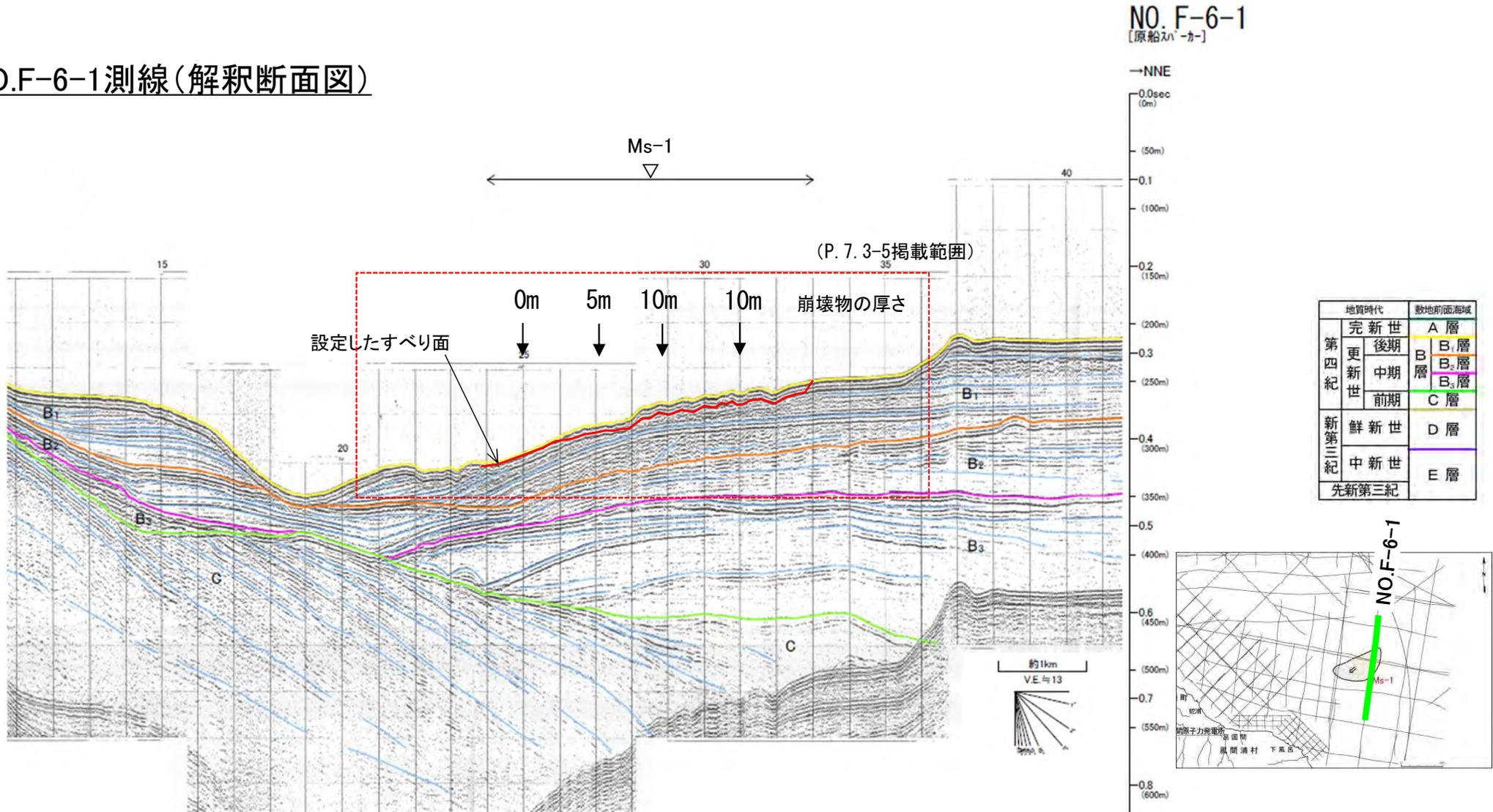


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (5 / 16)

海底地すべり地形 Ms-1 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (2 / 3)

音波探査記録NO. F-6-1からは明らかなすべり線が認められず、乱れた地層の下限が認められるため、乱れた地層の下限をすべり面に設定した。判読される崩壊物の厚さは以下のとおり。

NO.F-6-1測線(解釈断面図)



地形判読結果による当該地すべり範囲

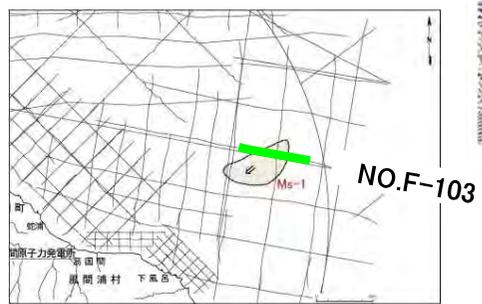
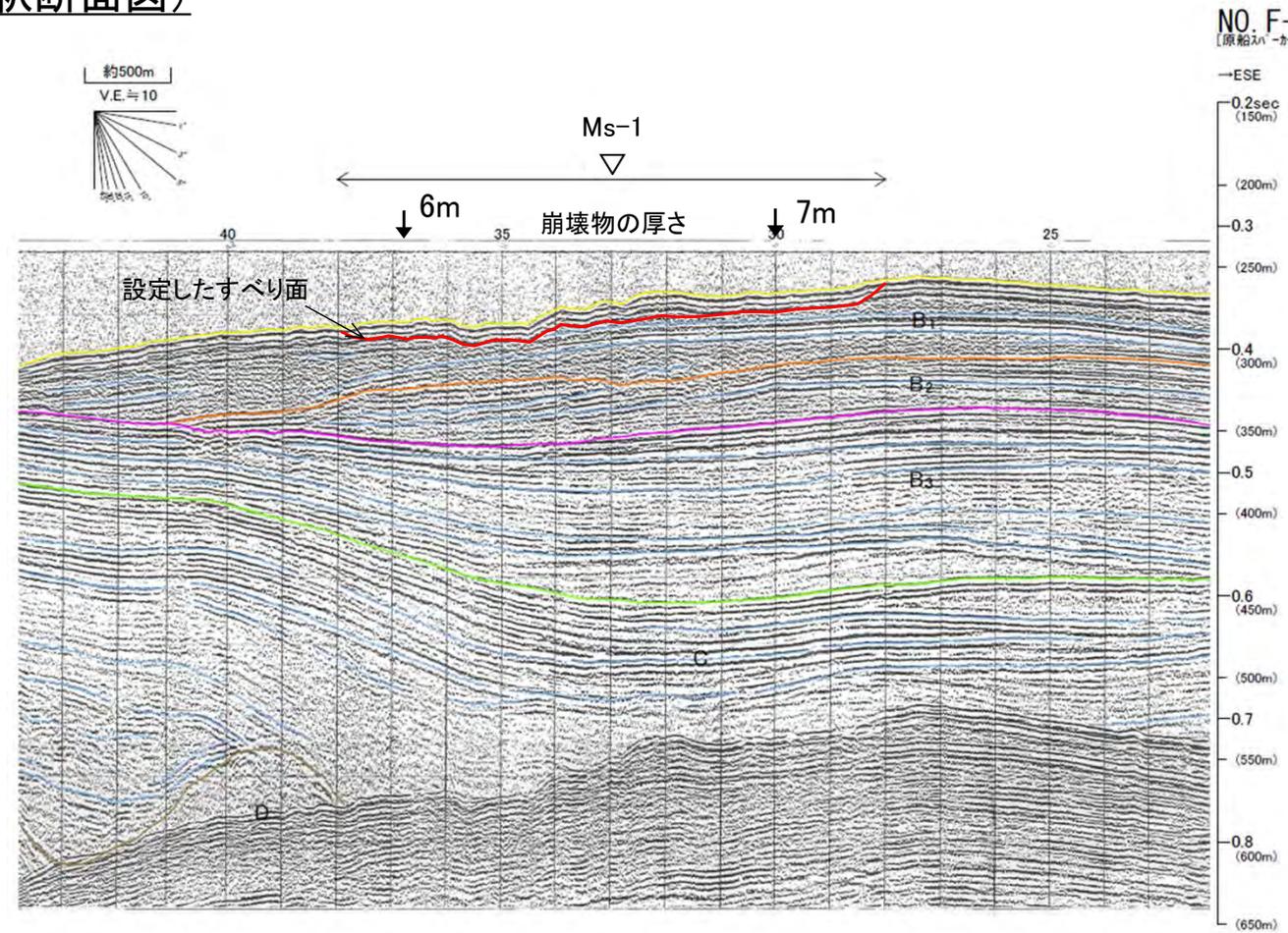


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (6 / 16)

海底地すべり地形 Ms-1 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (3 / 3)

音波探査記録NO.F-103からは明らかなすべり線が認められず、乱れた地層の下限が認められるため、乱れた地層の下限をすべり面に設定した。判読される崩壊物の厚さは以下のとおり。

NO.F-103測線(解釈断面図)



地質時代		数地前面海域
第四紀 更新世	完新世	A層
	後期	B層
		B ₁ 層
		B ₂ 層
中期	B ₃ 層	
前期	C層	
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

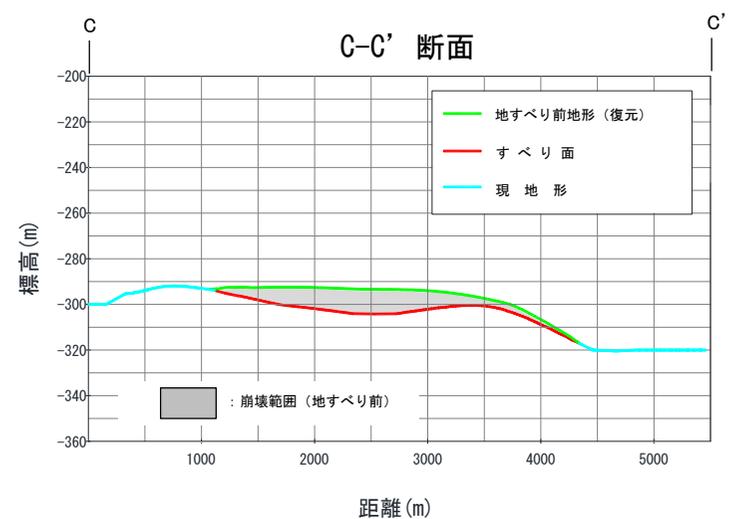
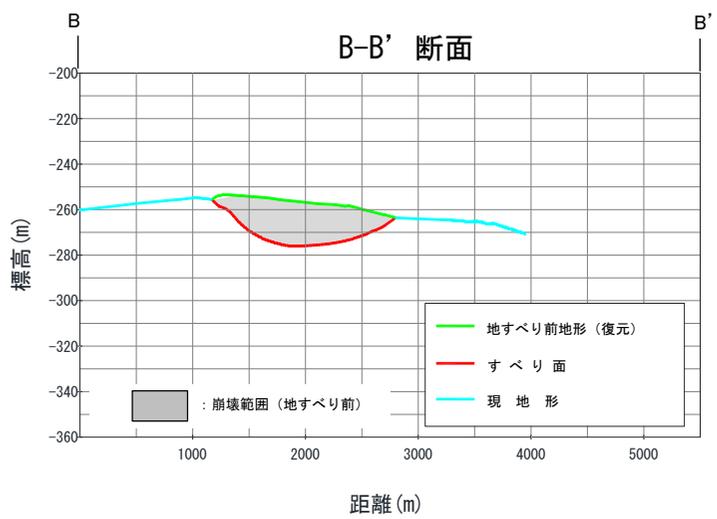
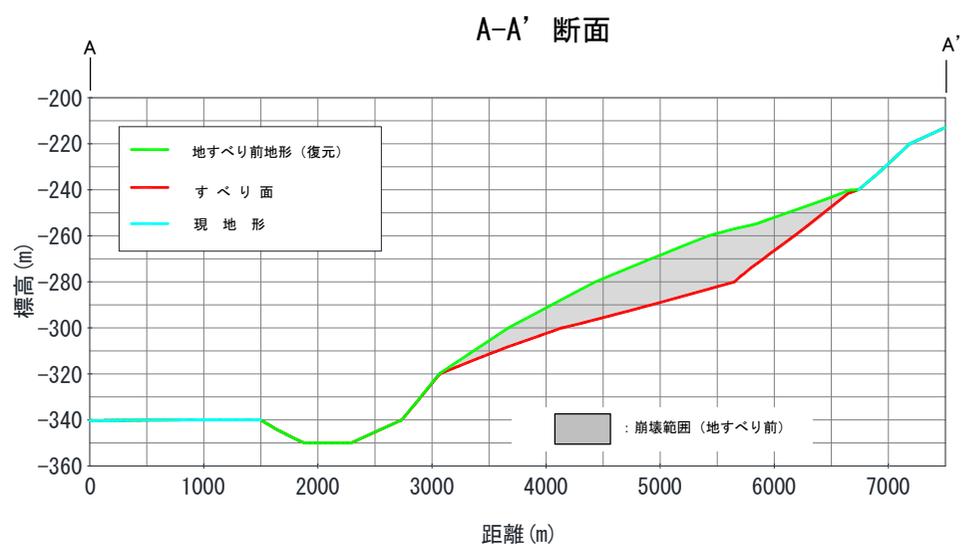
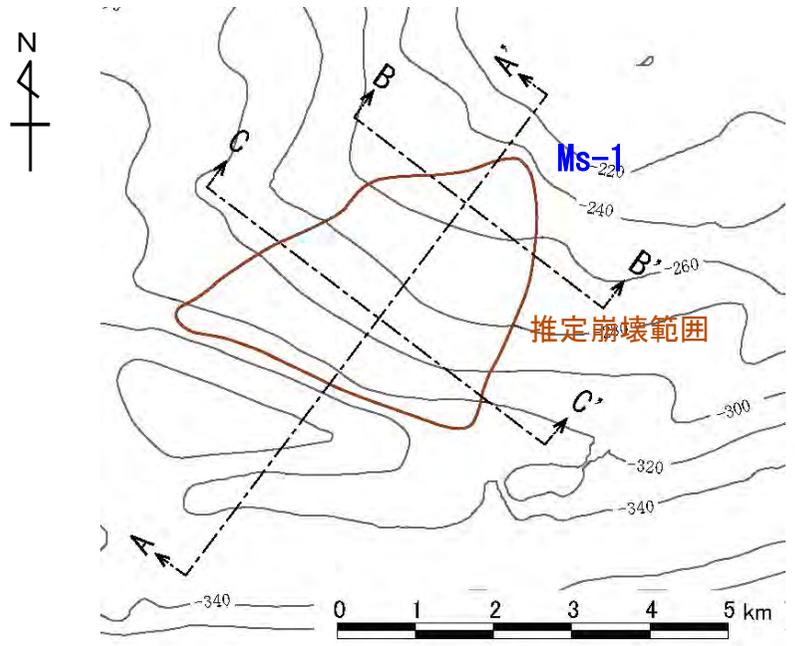
▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲



7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (7 / 16)

海底地すべり地形 Ms-1 : 【ステップ3-4】崩壊量算定

- ・地すべり前地形（復元）とすべり面との差分を崩壊土塊として3D CADでモデル化して崩壊量を算定した。
- ・作成した地形に係る断面図は以下のとおり。



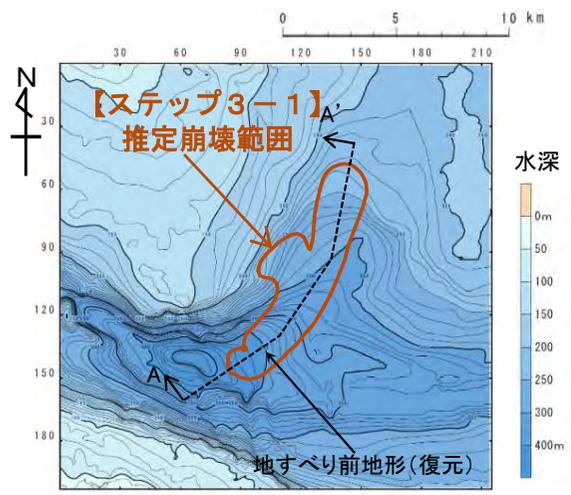


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (8 / 16)

海底地すべり地形 Ms-2

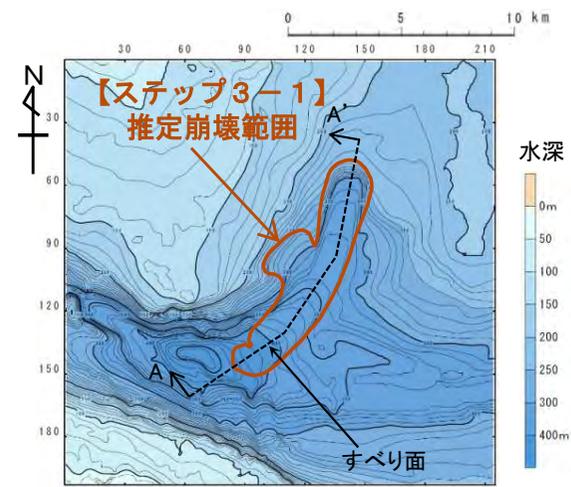
【ステップ3-1】 推定崩壊範囲（平面形状）は，地形判読により設定。（本編資料P. 3. 3-6参照）
 【ステップ3-2】 地すべり前地形（復元）は，現地形から判読される凹み地形を埋め戻す等により設定。
 【ステップ3-3】 すべり面は，音波探査記録からすべり面を読み取って設定。
 【ステップ3-4】 地すべり前地形（復元）とすべり面との差分を崩壊土塊としてモデル化し，土塊の体積を崩壊量として算定。

【ステップ3-2】



地形モデル(地すべり前地形)

【ステップ3-3】



地形モデル(すべり面※1)

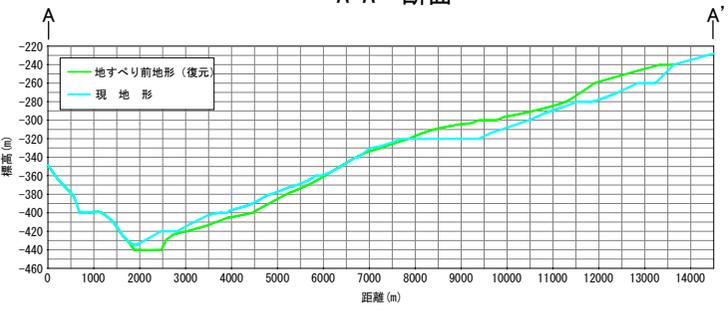
※1 : P. 7. 3-10~P. 7. 3-15参照。

【ステップ3-4】

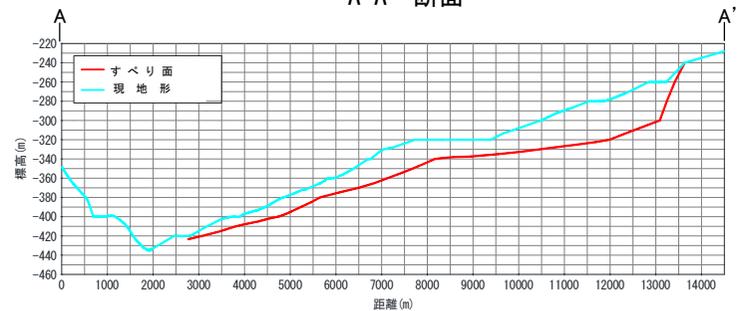


④崩壊土塊(地すべり前地形-すべり面)
崩壊量: 0.52km³※2
※2 : 3D CADにより崩壊量算定

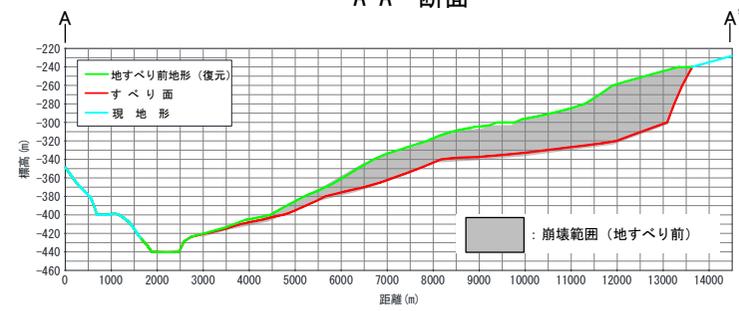
A-A' 断面



A-A' 断面



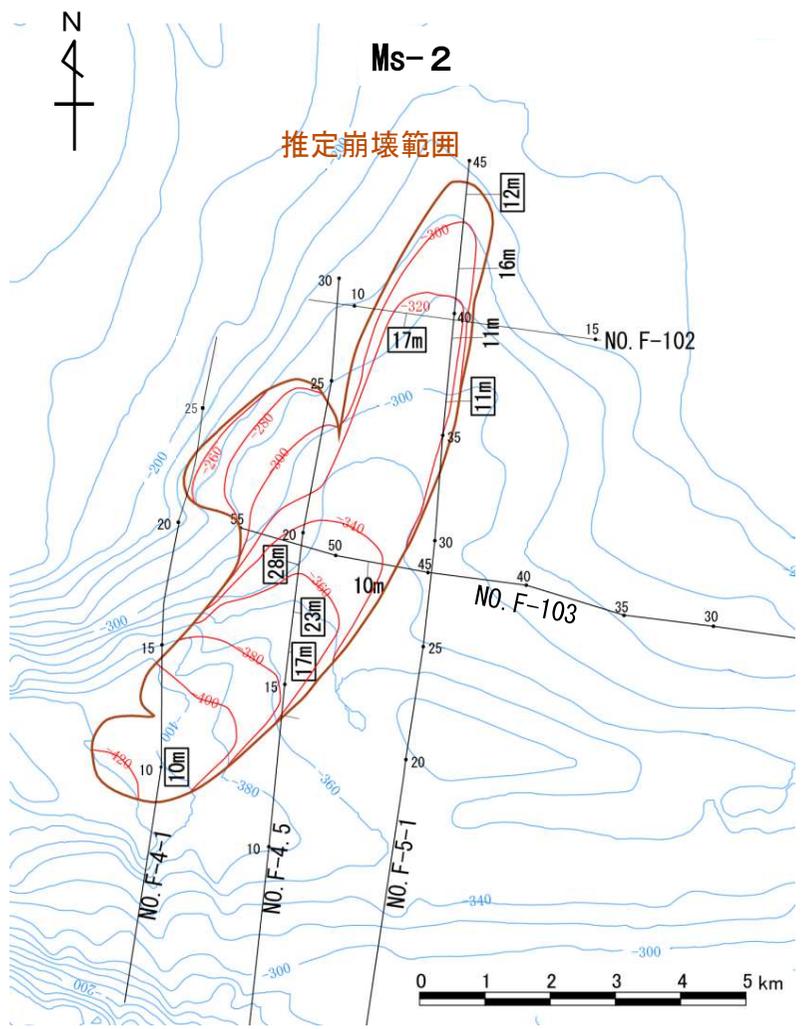
A-A' 断面





7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (9/16)

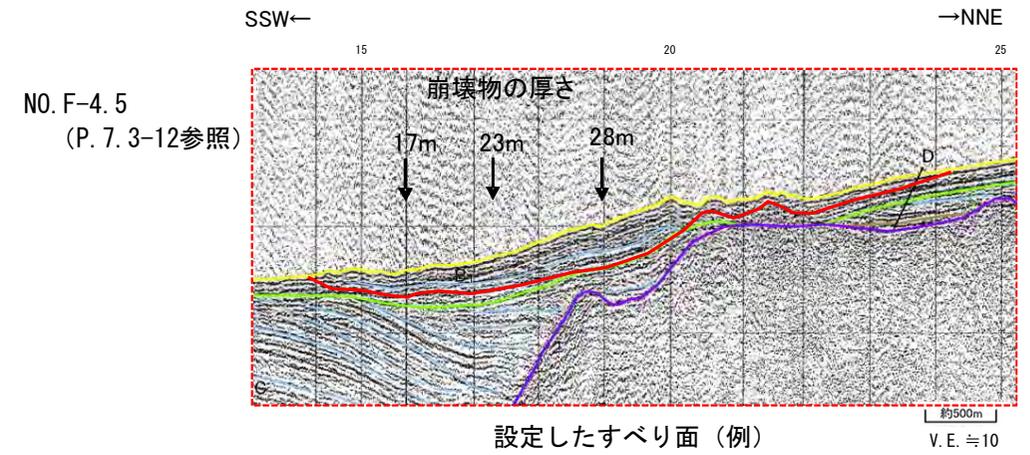
海底地すべり地形 Ms-2 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (1/6)



【ステップ3-3】すべり面の設定方法

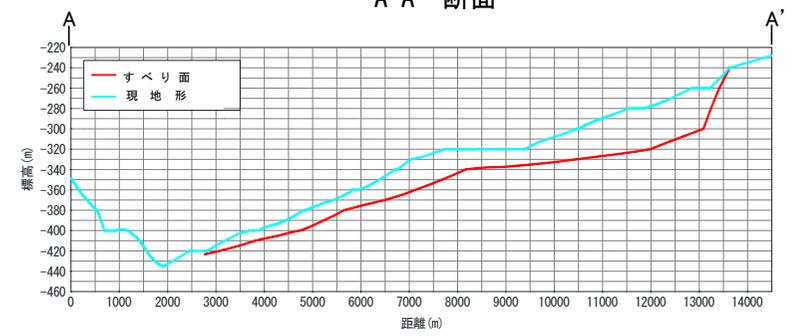
(1) 地形判読により設定した推定崩壊範囲 (左図茶色線) と交わる音波探査記録NO. F-4-1, NO. F-4.5, NO. F-5-1, NO. F-102及びNO. F-103の5測線に対し, すべり面を設定し (P. 7.3-11~P. 7.3-15参照) 崩壊範囲内の任意の点における崩壊物の厚さ (現地地形標高 - すべり面標高) (左図: 黒字) を算出した (下図参照)。

(2) すべり面のモデル化にあたっては, 算定した崩壊物の厚さを基に, 三次元的に滑らかな形状になるように設定した。なお, 算定した崩壊物の厚さにバラつきが認められる場合は, 安全側の設定となるよう厚い値を採用値 (左図: □で囲まれた黒字) とすることを基本とした。



設定したすべり面 (例)

A-A' 断面



凡例

黒数字 : 音波探査記録から算出した崩壊物の厚さ (現地地形標高 - すべり面標高) (m)
□は採用値

青コンター : 現地地形コンター
赤コンター : すべり面コンター

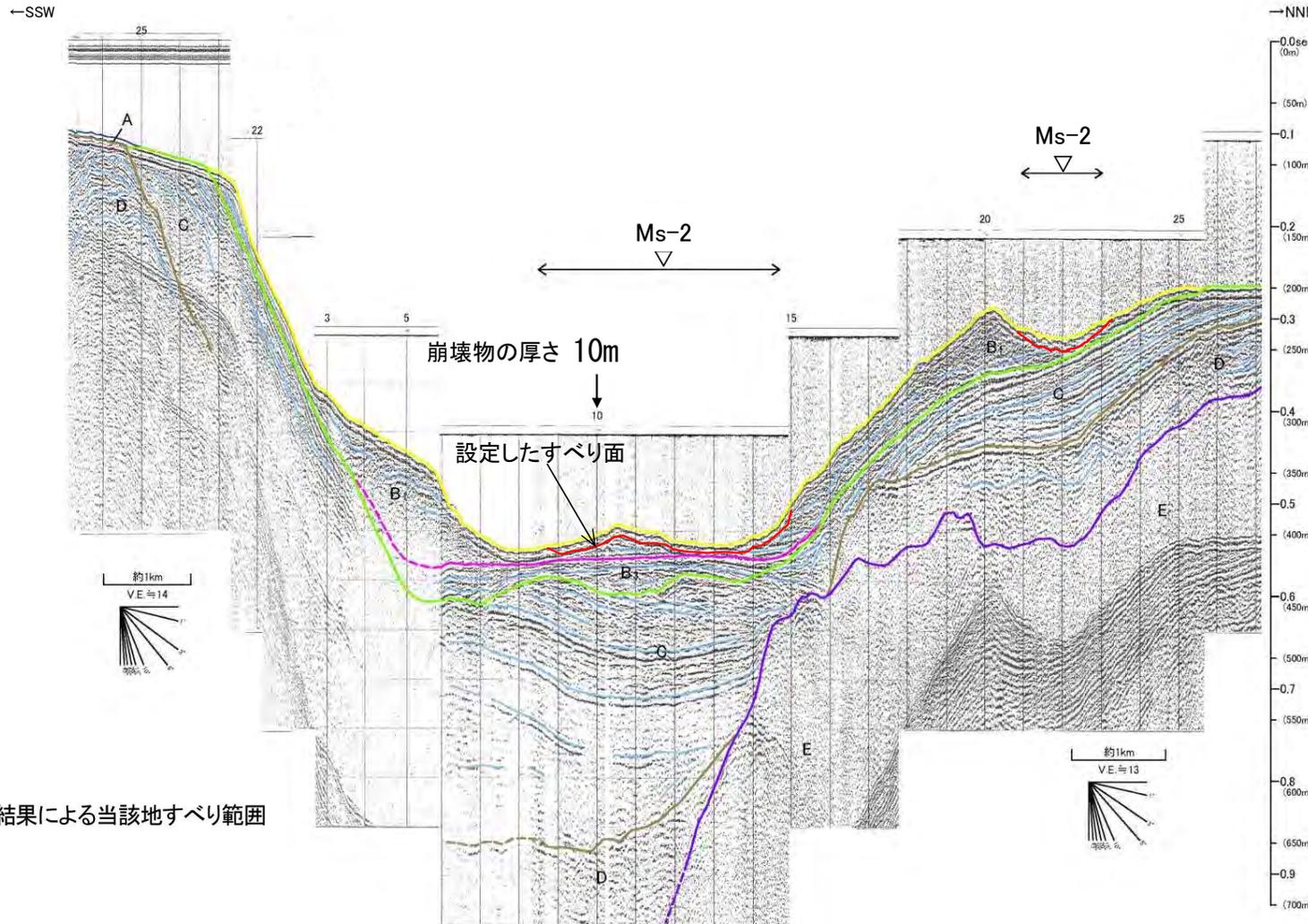


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (10/16)

海底地すべり地形 Ms-2 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (2/6)

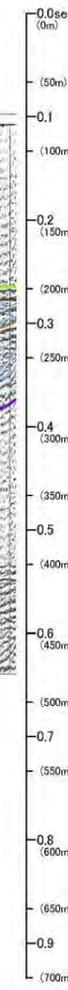
音波探査記録NO. F-4-1からは明らかなすべり線が認められず、乱れた地層の下限が認められるため、乱れた地層の下限をすべり面に設定した。判読される崩壊物の厚さは以下のとおり。

NO.F-4-1測線(解釈断面図)

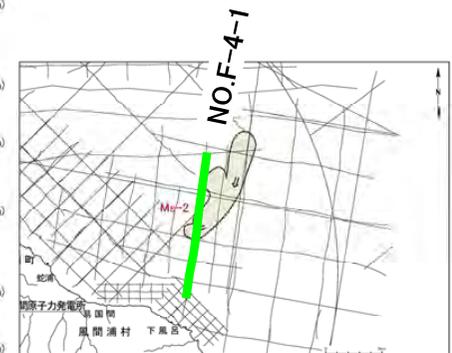


NO. F-4-1
[原船ハ-カ]

→NNE



地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	後期	B ₁ 層	
	中期	B ₂ 層	
	前期	C層	
新第三紀	鮮新世	D層	
	中新世	E層	
先新第三紀			



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

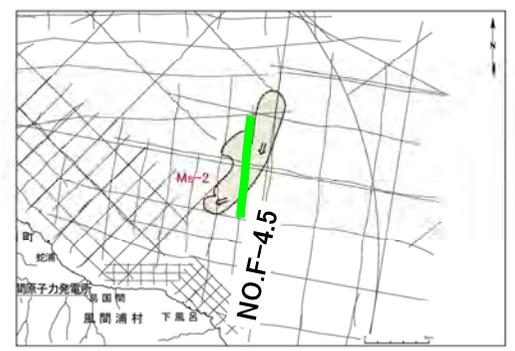
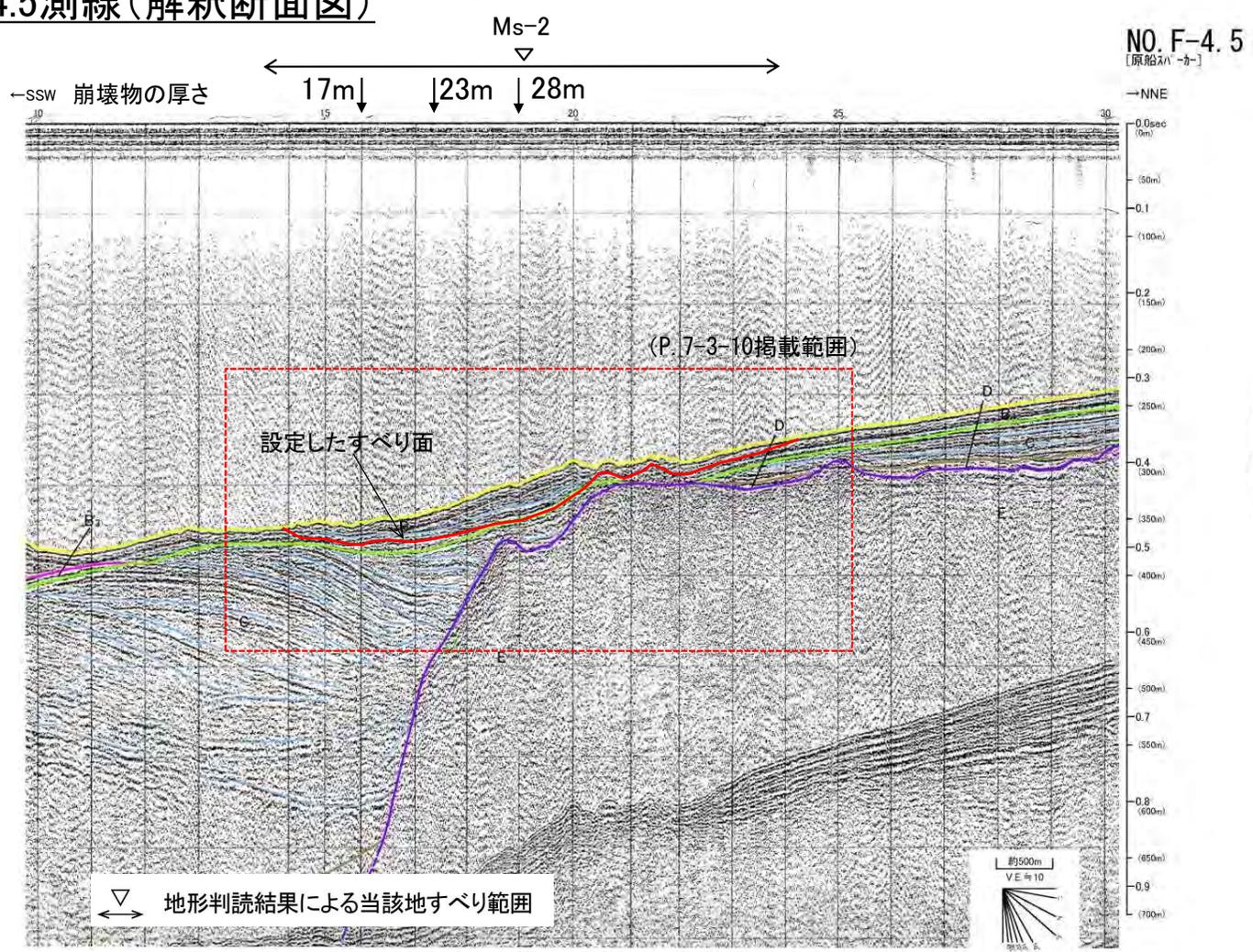


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (11/16)

海底地すべり地形 Ms-2 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (3/6)

音波探査記録NO.F-4.5からは明らかなすべり線、及び乱れた地層の下限が認められないため、地層境界をすべり面に設定した。判読される崩壊物の厚さは以下のとおり。

NO.F-4.5測線(解釈断面図)



地質時代		敷地前面海域	
第四紀	完新世	A層	
	更新世	後期	B ₁ 層
		中期	B ₂ 層
		前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	C層	
	中新世	D層	
		E層	
先新第三紀			

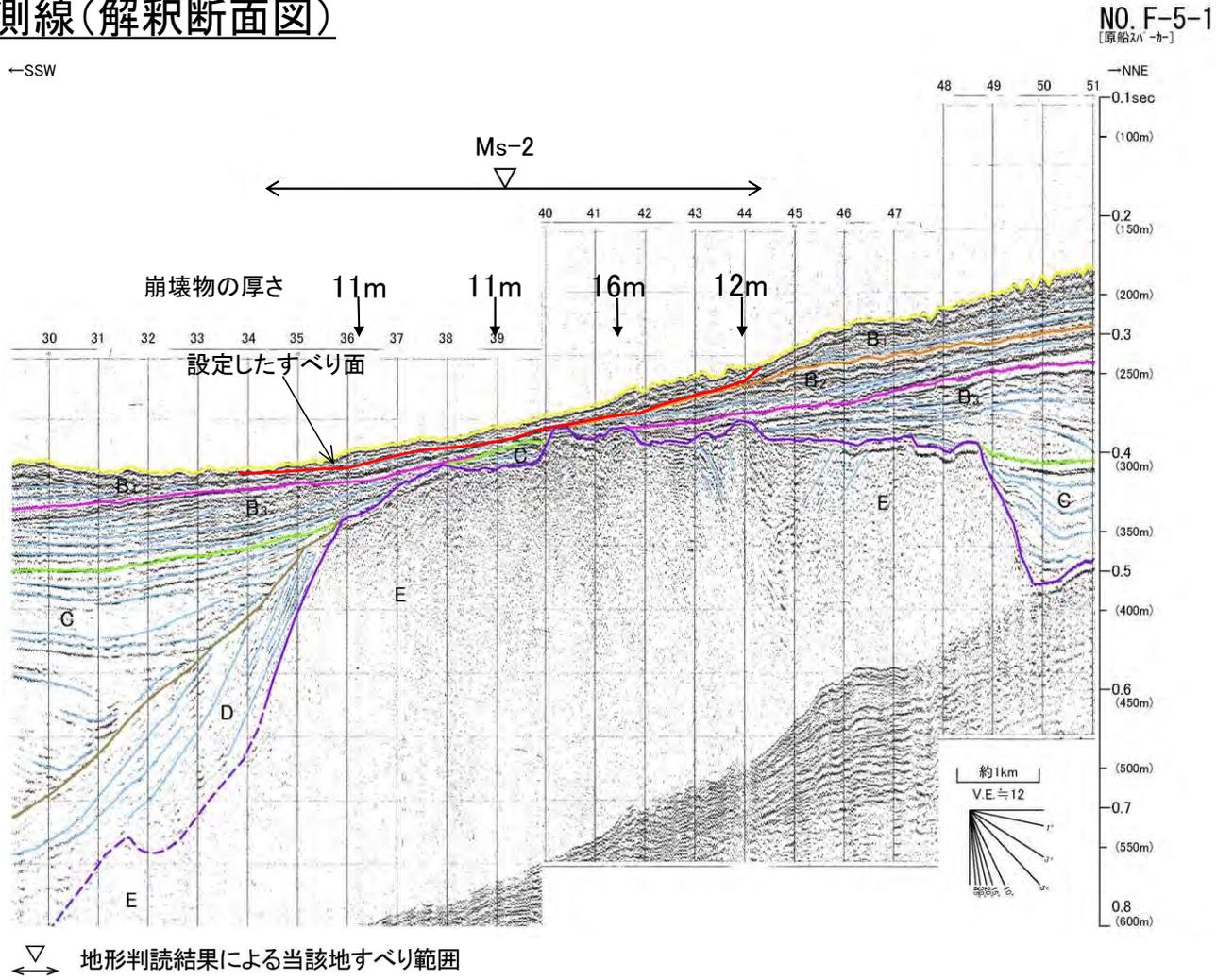


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (12/16)

海底地すべり地形 Ms-2 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (4/6)

音波探査記録NO.F-5-1からは明かなすべり線が認められず、乱れた地層の下限が認められるため、乱れた地層の下限をすべり面に設定した。判読される崩壊物の厚さは以下のとおり。

NO.F-5-1測線(解釈断面図)



地質時代		数地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

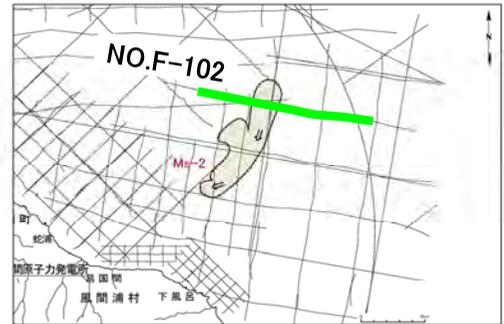
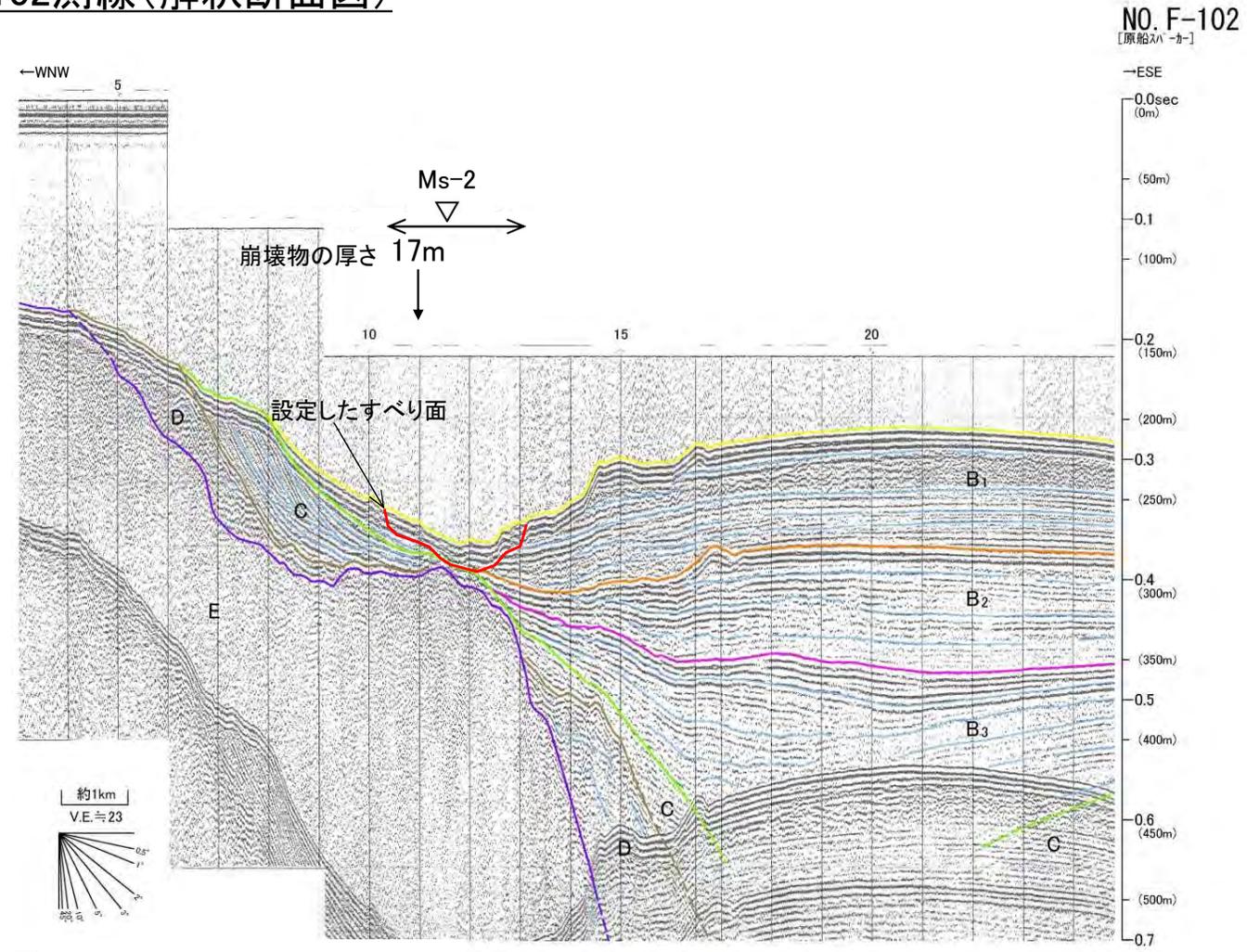


7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (13/16)

海底地すべり地形 Ms-2 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (5/6)

音波探査記録NO.F-102からは明らかなすべり線、及び乱れた地層の下限が認められないため、地層境界をすべり面に設定した。判読される崩壊物の厚さは以下のとおり。

NO.F-102測線(解釈断面図)



▽ 地形判読結果による当該地すべり範囲

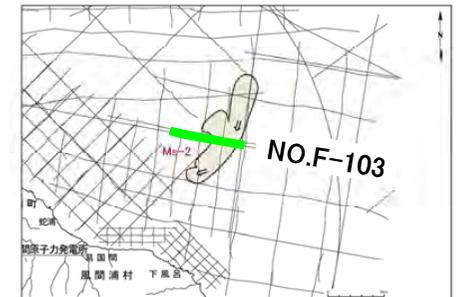
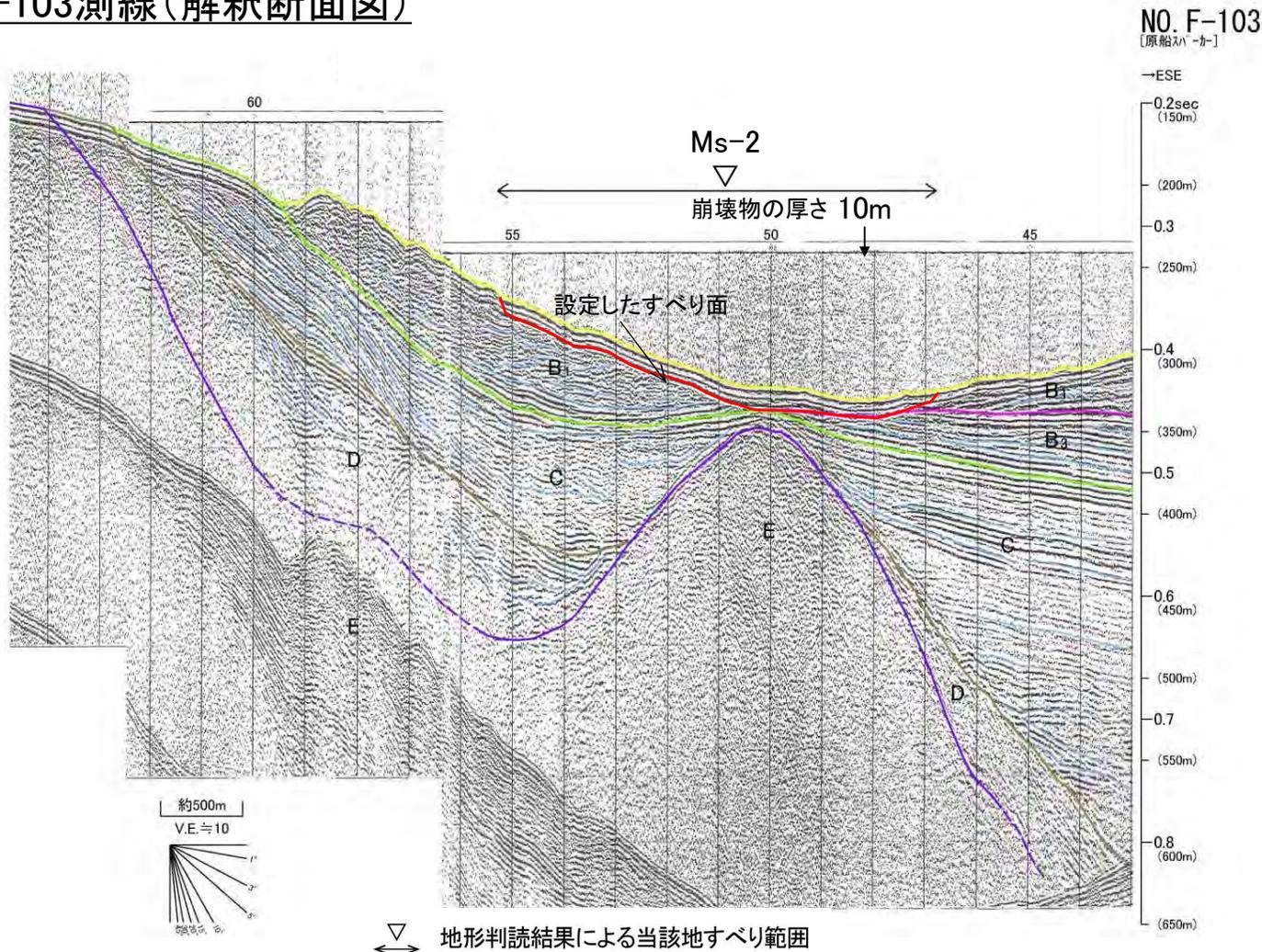
地質時代		敷地前面海域
第四紀	完新世	A層
	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
新第三紀	鮮新世	D層
	中新世	E層
先新第三紀		

7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (14 / 16)

海底地すべり地形 Ms-2 : 【ステップ3-3】すべり面の設定 (6 / 6)

音波探査記録NO.F-103からは明らかなすべり線、及び乱れた地層の下限が認められないため、地層境界をすべり面に設定した。判読される崩壊物の厚さは以下のとおり。

NO.F-103測線(解釈断面図)

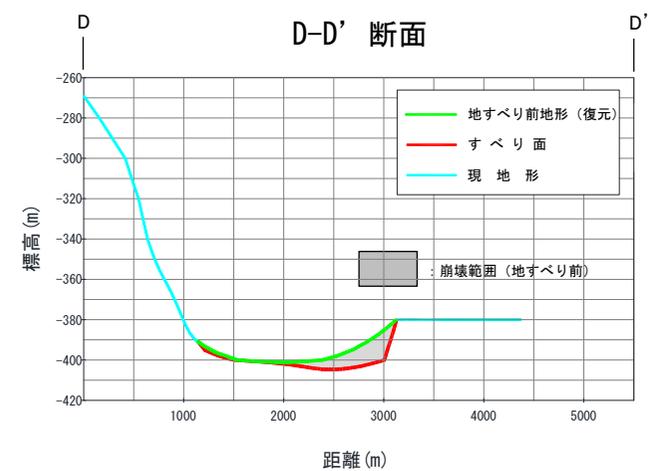
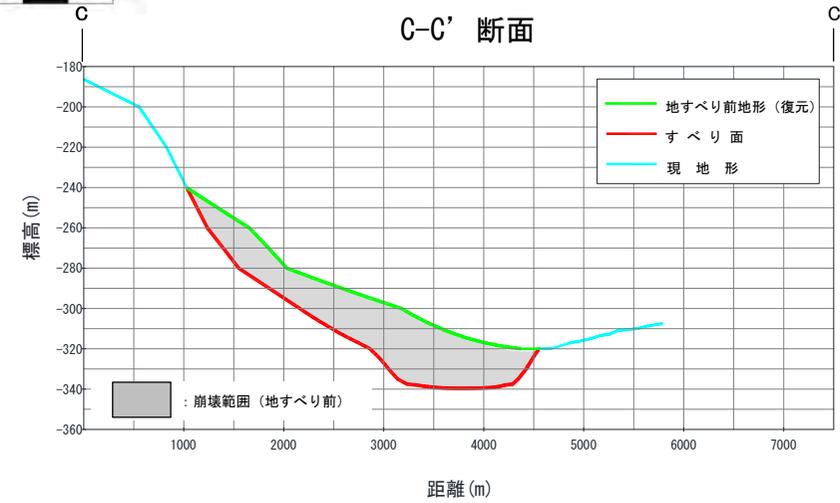
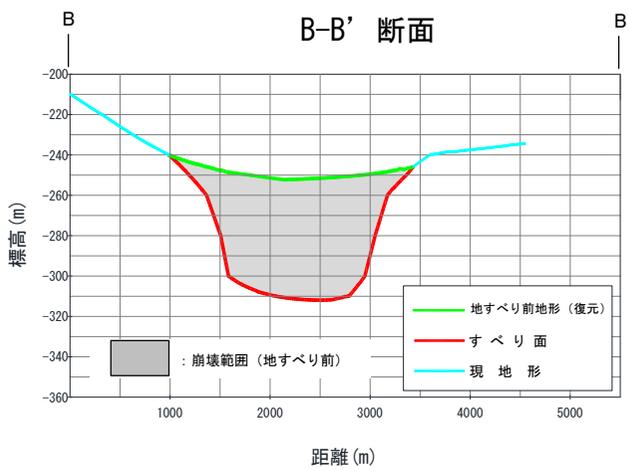
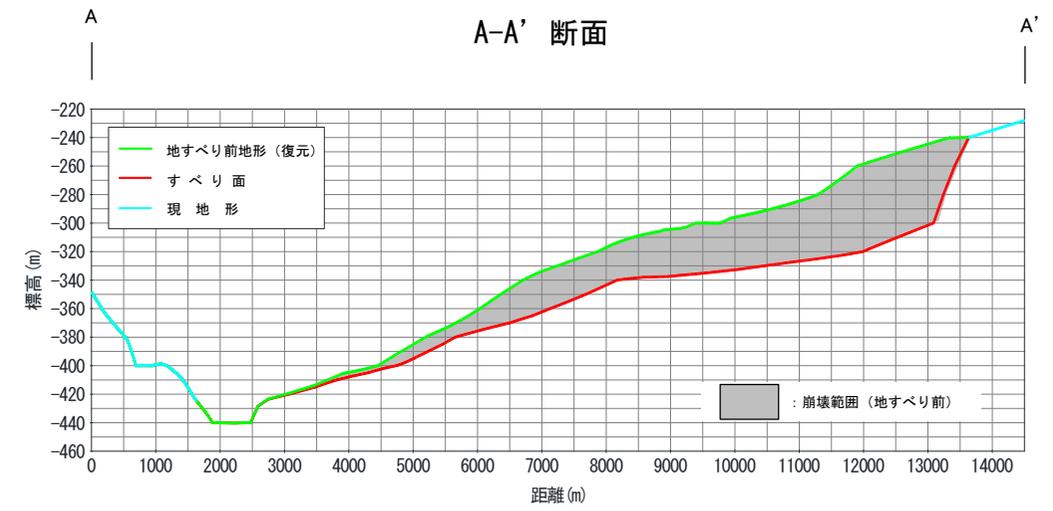
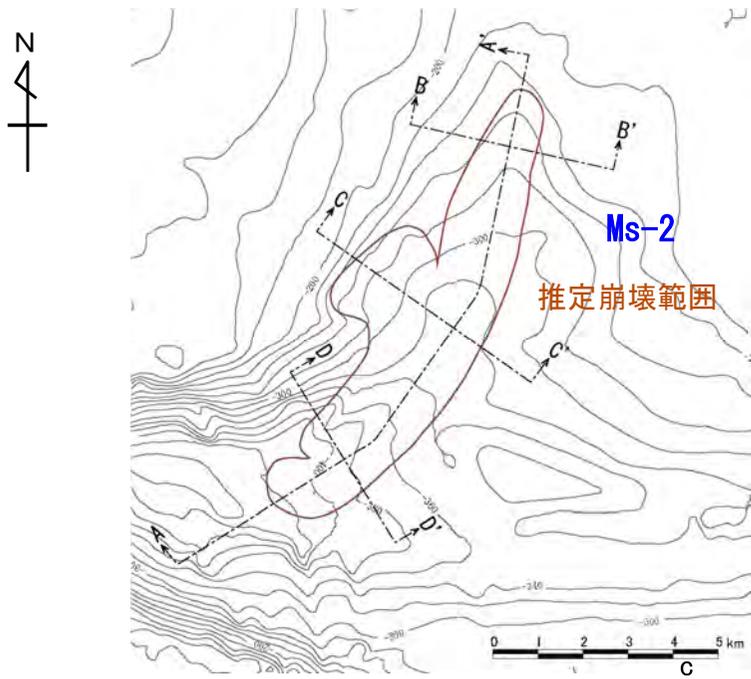




7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (15/16)

海底地すべり地形 Ms-2 : 【ステップ3-4】崩壊量算定

- ・地すべり前地形（復元）とすべり面との差分を崩壊土塊として3D CADでモデル化して崩壊量を算定した。
- ・作成した地形に係る断面図は以下のとおり。





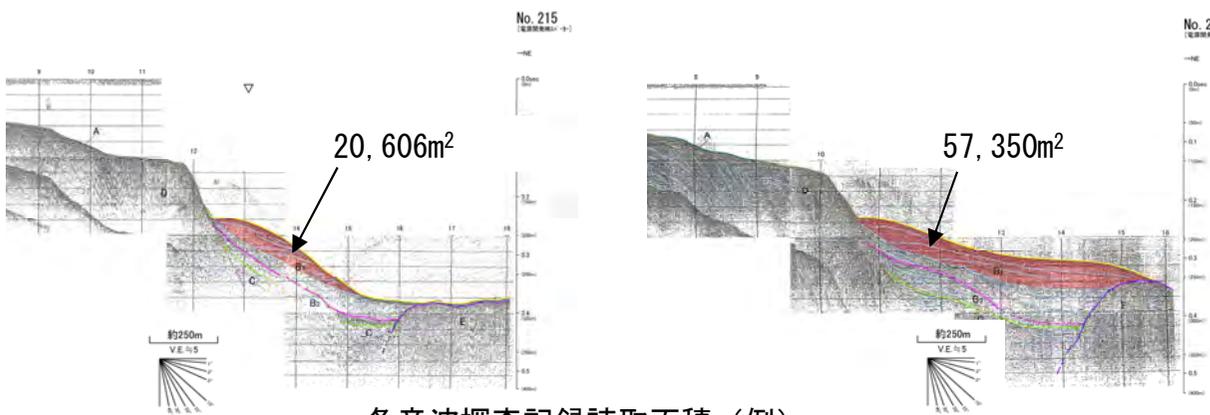
7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定 (16 / 16)

海底地すべり地形 Ms-3 【ステップ3-4'】崩壊量算定

・海底地すべり地形Ms-3については、音波探査記録で、すべり面が明瞭で、且つ削剥が殆ど認められず地すべり移動体が保存されていることから、崩壊量は、各音波探査記録から読み取れる崩壊後の地すべり移動体の面積を基に平均断面法により算定した。

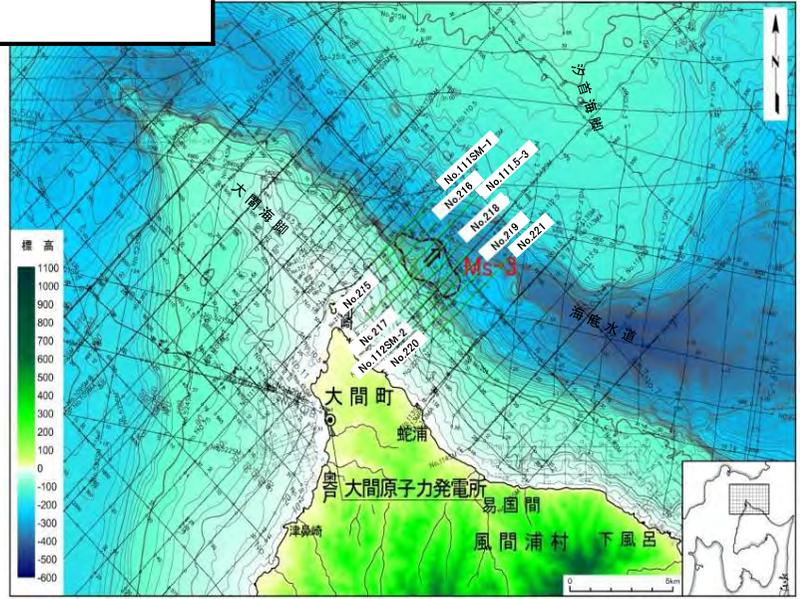
海底地すべり地形Ms-3崩壊量算出表

測線	測線間距離 (m)	断面積 (m ²)	平均断面積 (m ²)	体積 (m ³)	備考
No. 214	0.0	0	0	0	—
No. 111SM	655	6,627	3,313	2.17 × 10 ⁶	P. 7.2-16参照
No. 215	265	20,606	13,616	3.60 × 10 ⁶	P. 7.2-17参照
No. 216	581	39,848	30,227	1.76 × 10 ⁷	P. 7.2-18参照
No. 111.5-3	527	63,281	51,565	2.72 × 10 ⁷	P. 7.2-19参照
No. 217	438	57,350	60,316	2.64 × 10 ⁷	P. 7.2-20参照
No. 218	518	48,689	53,019	2.74 × 10 ⁷	P. 7.2-21参照
No. 112SM-2	602	48,482	48,586	2.93 × 10 ⁷	P. 7.2-22参照
No. 219	418	37,477	42,979	1.80 × 10 ⁷	P. 7.2-23参照
No. 220	478	30,075	33,776	1.61 × 10 ⁷	P. 7.2-24参照
No. 221	499	25,204	27,639	1.38 × 10 ⁷	P. 7.2-25参照
No. 113SM	1,609	0	12,602	2.03 × 10 ⁷	—
合計				2.02 × 10 ⁸	



各音波探査記録読取面積 (例)

審査資料の再チェックを行い、「海底地すべり地形Ms-3崩壊量算出表中の一部記載の誤り」を修正(656mを655mに、27,640m²を27,639m²に、2.01 × 10⁸m³を2.02 × 10⁸m³に修正)した。



(余白)

目 次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
 - 4-4. 動的破壊特性の不確かさの影響確認
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ水位評価地点の妥当性確認
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について



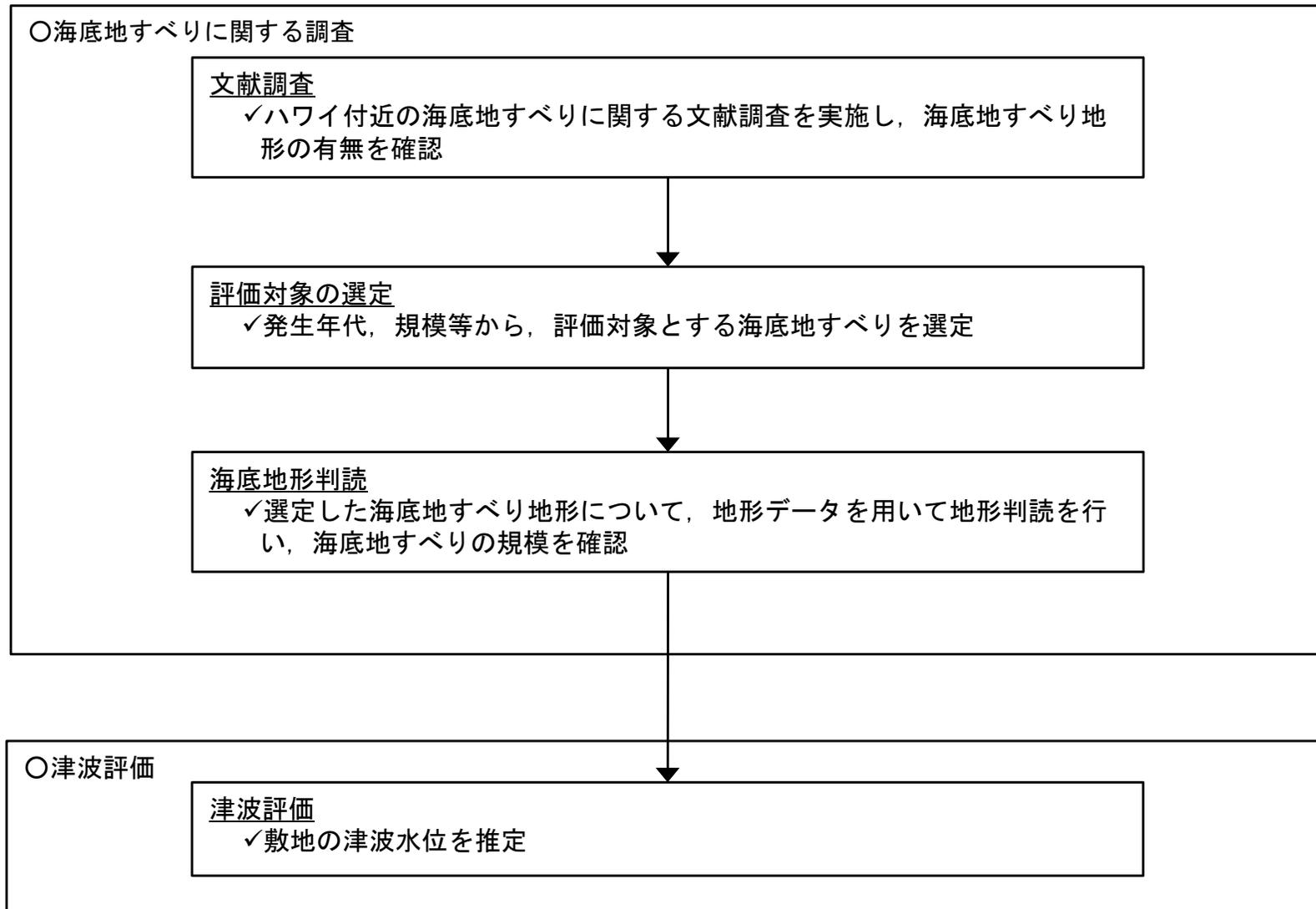
ハワイ付近の海底地すべりに起因する津波の影響について検討した。

7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (2 / 10)



検討フロー

- 以下のフローに従い、ハワイ付近の海底地すべりに関する調査及び津波評価を実施し、ハワイ諸島周辺の海底地すべりが敷地に与える影響を確認した。

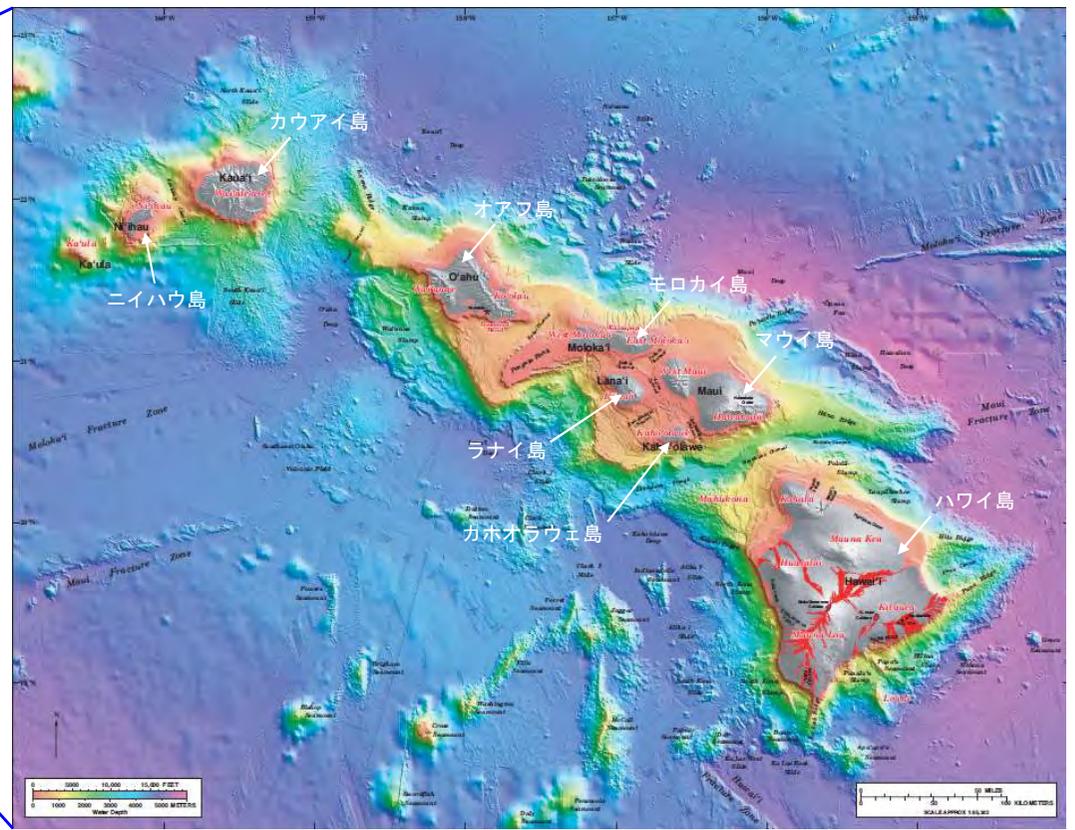
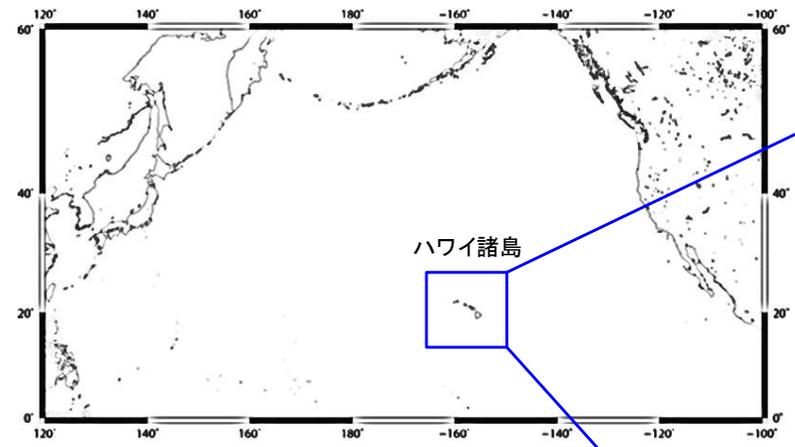


7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (3 / 10)



ハワイ諸島の概要

- ハワイ諸島は日本の南東約6,400kmの太平洋上に位置しており、ハワイ島、マウイ島、オアフ島、カウアイ島、モロカイ島、ラナイ島、ニイハウ島及びカホオラウェ島の8つの島のほか多数の島と環礁からなる。
- ハワイ諸島をのせる太平洋プレートは北西方向へ年間10cm程度の速さで動いているので、ハワイ諸島は北西へ行くほど古い (佐竹(1997)⁽⁸¹⁾)。



Eakins et. al. (2003)⁽⁸²⁾ に一部加筆

7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (4 / 10)



文献調査及び評価対象の選定 (1 / 3) : 1975年Kalapana津波 (1 / 2)

- 1975年にハワイ島南岸の Kalapana付近に強震が起こり、日本沿岸各地で津波が観測された (羽鳥(1976)⁽⁸³⁾)、その地震の規模はMw7.7である (Nettles and Ekström(2004)⁽⁸⁴⁾)。
- 日本沿岸における検潮記録の最大全振幅の最大値は、鮎川検潮所における55cmであり (羽鳥(1976)⁽⁸³⁾)、ハワイ沿岸では最大15m弱の津波が観測された (Day et al.(2005)⁽⁸⁵⁾)。

No.	Tide station	Initial wave					Maximum wave	
		A			B		Double ampl.	Occurred time, GMT
		Arrival time, GMT	Rise	Period	Arrival time, GMT	Rise		
1	Hanasaki	Nov. 30 8:48	cm 6	min 8	Nov. 30 7:56	cm 10	cm 27	Nov. 30 13:32
2	Kushiro	?					12	13:08
3	Hiroo	7:42	15	12			23	10:06
4	Urakawa	9:00	-6	15	7:42	3	12	12:11
5	Hakodate	?					17	13:30
6	Same	8:56	2	10	7:55	2	5	11:15
7	Miyako	8:50	-8	8	7:35	6	14	9:48
8	Enoshima	8:46	-4	10				
9	Ayukawa	9:00	-6	8	7:44	4	55	10:44
10	Onahama	8:10	4				21	9:20
11	Hitachi	7:27	5	16			24	10:14
12	Mera	8:28	5	16	7:22	4	19	11:22
13	Miyake Is.	8:22	4	7			24	10:15
14	Chichijima	6:53	6	18			18	10:18
15	Minami-Izu	7:20	3				20	11:46
16	Omaezaki	7:33	4	10			14	13:50
17	Owase	9:14	8	22	7:40	2	22	10:00
18	Kushimoto	10:00	7	12			22	17:00
19	Muroto	8:50	3	8			11	11:50
20	Tosa-Shimizu	8:00	8	22			23	16:23
21	Aburatsu	?					18	15:32
22	Naha	8:35	3	18			13	16:43

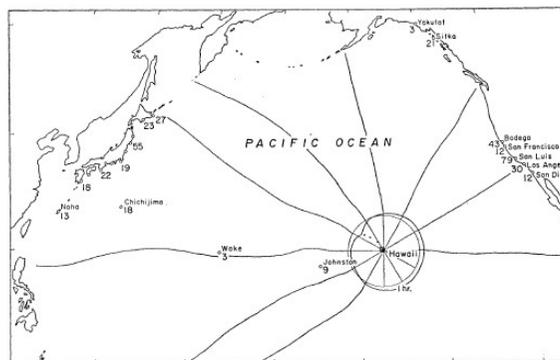


Fig. 7. Distribution of the maximum double amplitude (unit: cm) and wave rays which are emitted from the origin subdivided into equal angles of 30 degrees.

羽鳥 (1976)⁽⁸³⁾ による波向線



ハワイ沿岸の痕跡地点及び遡上高

Location	Observed (m)
Honokahau (W)	2.1
Kailua (W)	3.4
Kahaluu (W)	1.8
Keauhou (W)	2.4
Napoopoo (W)	2.4
Honaunau (W)	1.8
Milolii (W)	<1.8
South Point (W)	6.7
Kaalualu (S)	4.0
Honuapo (S)	6.1
Punaluu (S)	6.1
Kaluu (S)	9.4
Halape (S)	7.0
Apua Point (S)	14.6
Kamoamoa (S)	6.4
Kalapana (S)	2.6
Pohoiki (S)	2.4
Cape Kumukahi (S)	3.4
Hilo (E)	3.0

A: Evident wave commences. B: Wave front is indefinite. Wave front is determined with the aid of the refraction diagram.

■: 鮎川の検潮記録

日本沿岸の検潮記録に加筆

羽鳥 (1976)⁽⁸³⁾ に一部加筆

7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (5 / 10)



文献調査及び評価対象の選定 (2 / 3) : 1975年Kalapana津波 (2 / 2)

- Ma et al. (1999) ⁽⁸⁶⁾ は、①海底地すべり、②低角逆断層のいずれでもハワイ周辺の検潮記録を説明できるとし、これらの組合せにより津波が発生したであろうとしている。

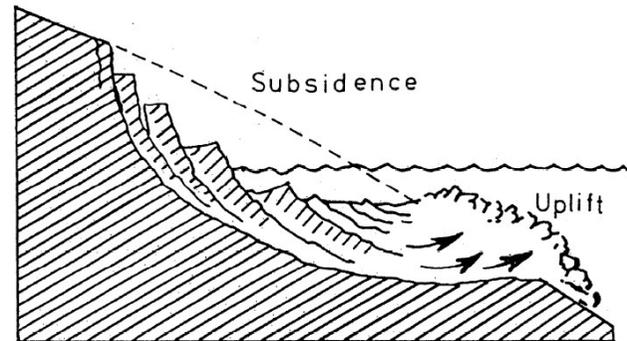
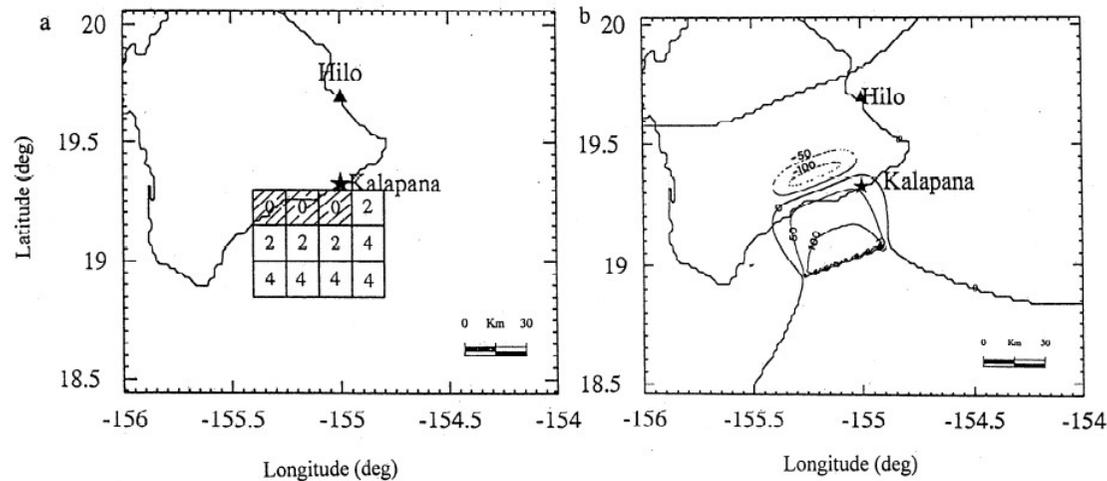


Figure 17. Schematic showing a rotational slumping that causes subsidence and uplift.



1975年Kalapana津波のメカニズムの解釈 (上), 海底地すべりの分布 (左下) 及び低角逆断層による初期波形 (右下)

→左下図のハッチ部は沈降域, 白抜き部は隆起域である。数字は時間遅れ (分) を表す。

7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (6 / 10)



文献調査及び評価対象の選定 (3 / 3) : 評価対象の選定

- 以下のハワイ諸島で発生した海底地すべりの特徴、発生年代に関する知見も踏まえ、後期更新世以降に生じた地すべりのうち、巨大津波を伴った可能性があり、面積が大きい「Alika-2」を評価対象として選定した。
- ✓ Moore et al. (1989)⁽⁸⁷⁾ によれば、ハワイ諸島で発生した17の海底地すべりの特徴が示されている。
- ✓ 横瀬(2007, 2010)⁽⁸⁸⁾⁽⁸⁹⁾ では、詳細なDEMデータに基づきハワイ諸島の流山地域の微地形解析を実施し、ハワイ諸島で想定されている17の巨大海底地すべり堆積物の中で、巨大津波を伴った可能性があるのは、オアフ島東部のNuuanu地すべり、ハワイ島西部のAlika-2地すべり及びハワイ島南部の東KaLae地すべりの3つに限定されるとしている。

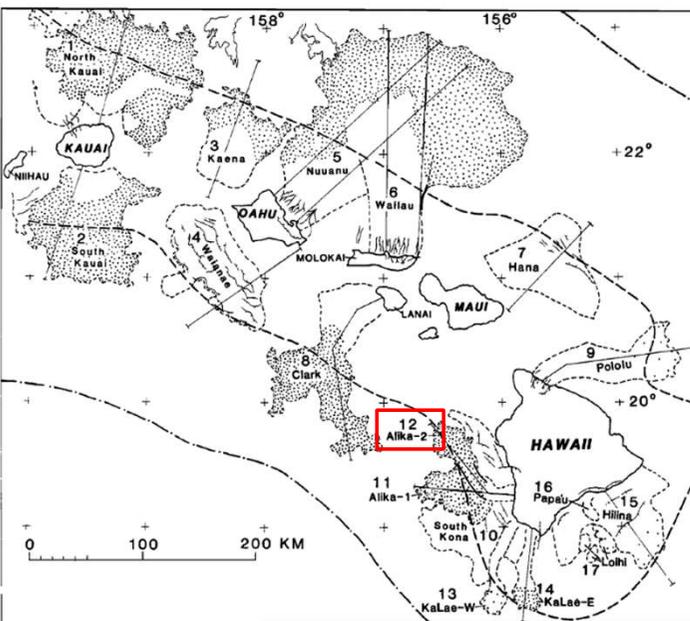


Fig. 2. Map of southeastern Hawaiian Ridge showing major slides bounded by dashed lines identified by number in text and Table 1; compare with Figure 1. Dotted area, hummocky ground (widely spaced where subdued); hatched lines, scarpes; thin, downslope-directed lines, submarine canyons and their subaerial counterparts; heavy dashed line, axis of the Hawaiian Deep; dash-dotted line, crest of the Hawaiian Arch.

TABLE 1. Hawaiian Submarine Slides

No.	Name	Location	Area, km ²	Length, ^a km	Width, ^b km	Type ^c	年代 (Ma) ※1
1	North Kauai	North Kauai	14,000	140	100	D (0.6-0.9)	5.0
2	South Kauai	South Kauai	6,800	100	50	D (0.6-1.2)	5.0
3	Kaena	NE Oahu	3,900	80	45	D	3.6
4	Waianae	SW Oahu	6,100	50	80	S (1.0)	2.9-3.1
5	Nuuanu	NE Oahu	23,000	235	35	D (0.8-1)	2.1-2.2
6	Wailau	North Molokai	13,000?	<195	40	D (0.7)	1.0±0.1
7	Hana	NE Maui	4,900	85	110	S	0.86
8	Clark	SW Lanai	6,100	150	30	D (0.5-1)	1.3±0.06
9	Pololu	North Hawaii	3,500	130	20	D	0.254-0.306
10	South Kona	West Mauna Loa	4,600	80	80	S	0.200-0.240
11	Alika-1	West Mauna Loa	2,300	88	15	D (0.9-1)	>0.112-0.127
12	Alika-2	West Mauna Loa	1,700	95	15	D (2-5)	>0.112-0.127
13	Ka Lac, west	South Hawaii	850	85	10	D	>0.032-0.060?
14	Ka Lac, east	South Hawaii	950	75	10	D (2)	>0.032-0.010?
15	Hilina	South Hawaii	5,200	40	100	S	>0.010-0.100
16	Papa'u	South Hawaii	200	20	6	SF	0.001~0.005※2
17	Loihi	South Hawaii	500	15	10-30	L	0.001~0.115※3
Total			97,600				

Located by number in Figure 2.

^aLength of Waianae and South Kilauea landslides omits indistinct irregular topography beyond steep toe.

^bWidth at head of landslide.

^cD, Debris avalanche; (number) is average number of hummocks appearing in GLORIA images per square kilometer; S, Slump; SF, sand rubble flow; L, three unclassified landslides.

- : 後期更新世よりも前に生じた地すべり
- : 巨大津波を伴った可能性のある地すべり
- (red border) : 評価対象として選定した地すべり

※1 McMurtry et al. (2004)⁽⁹⁰⁾

※2 Papa'u (No. 16)の年代はMoore et al. (1989)⁽⁸⁷⁾の“several thousand years ago”との記述に基づく。

※3 Loihi (No. 17)の年代はGuillou et al. (1997)⁽⁹¹⁾がLoihi火山東斜面の試料から求めた5±4~102±13kaに基づく。

Moore et al. (1989)⁽⁸⁷⁾に一部加筆

7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (7 / 10)

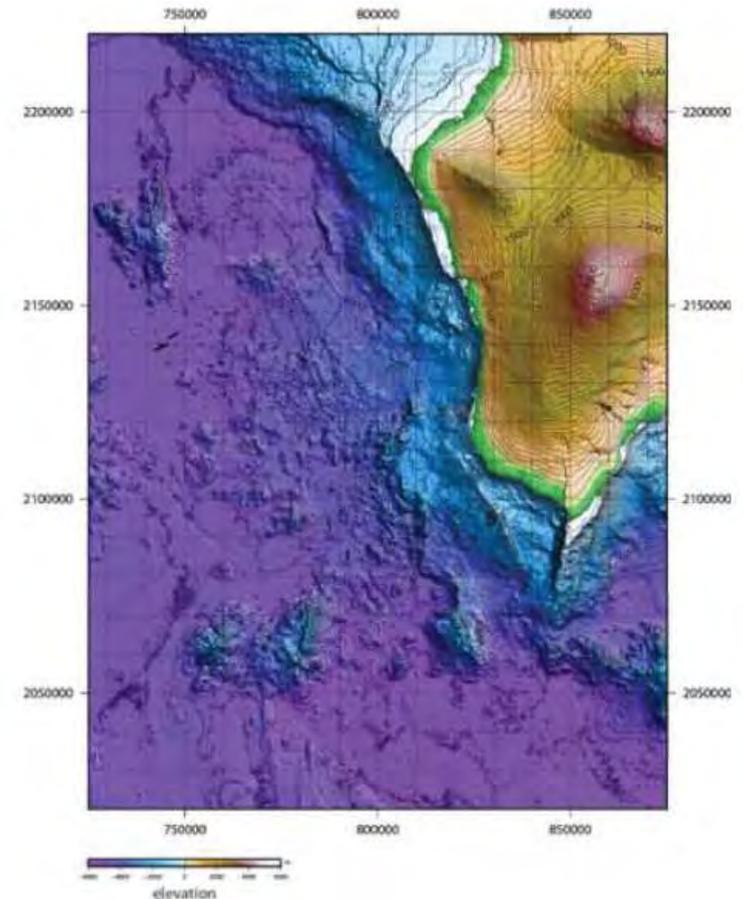


海底地形判読 (1 / 2) : 検討方針

- Alike-2地すべり周辺 (ハワイ島西部周辺) を対象に、ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部 (SOEST) による海底地形デジタルデータ (50mグリッド) を用いて海底地形コンター図及び標高段彩陰影図を作成し、海底地形判読を行った。
- なお、海底地形判読にあたっては、以下の判読基準により、海底地すべりの可能性のある地形を抽出した。

海底地すべりの可能性のある地形判読基準

ポイント	典型的特徴
地形	<ul style="list-style-type: none"> ・地すべり地形としては滑落崖とその下部にある地すべり土塊 (滑落土塊) が対をなす。 ・陸上の地すべりに比べて、大規模、薄く広がる傾向がある。薄く広がるケースでは土塊は認定しにくいので滑落崖だけを認定する。
滑落崖	<ul style="list-style-type: none"> ・馬蹄形、半円形、コの字形の平面形で、斜面下方へ開く急斜面。 ・急斜面は平面的に出入りがなくスムーズな形状で、傾斜も一定傾向。 ・下方に地すべり土塊が対をなして存在すると確実度が上がる。
地すべり土塊	<ul style="list-style-type: none"> ・滑落崖の下部にある扇状地状、舌状の高まり及び台地状を呈す。 ・典型的な場合には、土塊の表面に不規則な凹凸、低崖、凹地があり、全体として上に凸形の斜面を呈す。



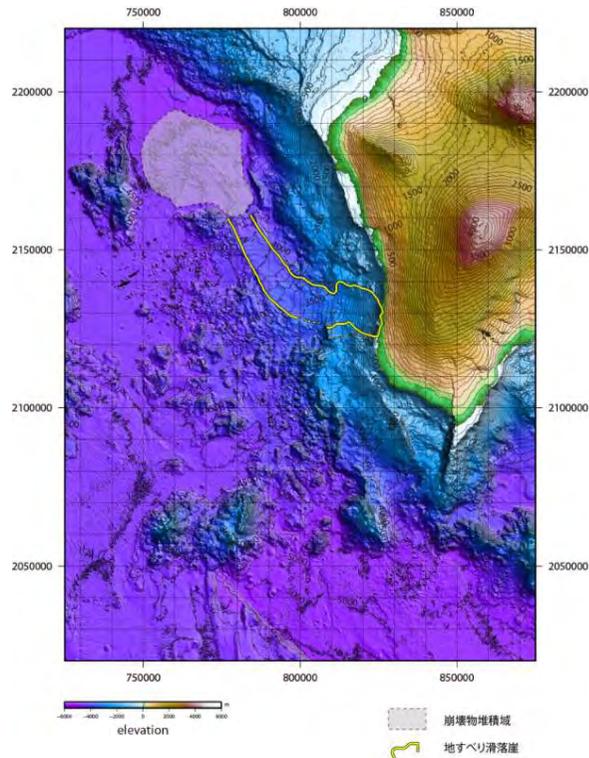
海底地形コンター図及び標高段彩陰影図

ハワイ大学マノア校海洋地球科学技術学部 (SOEST) による海底地形デジタルデータを使用

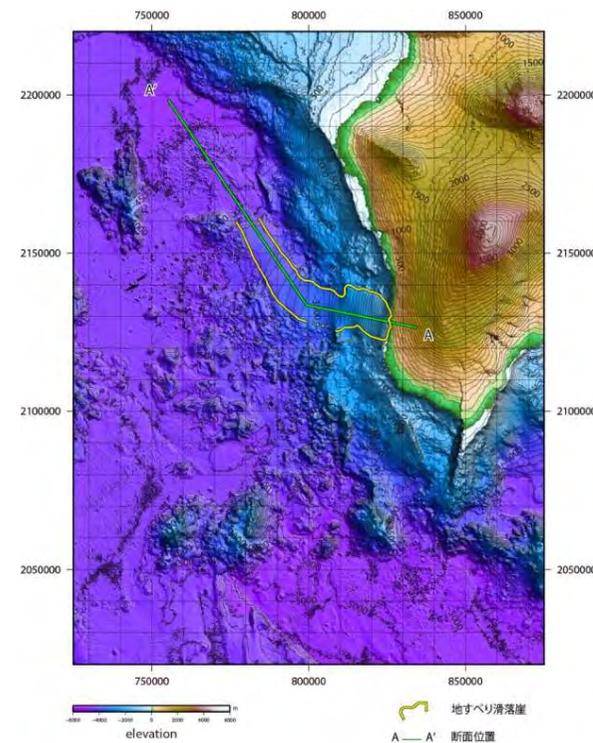


海底地形判読 (2/2) : 判読結果

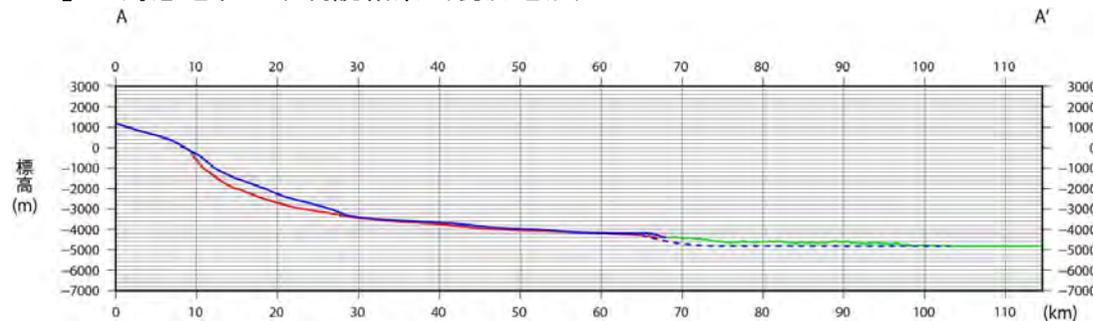
- 海底地形判読の結果, 「Alika-2」 付近に海底地すべりと判断される地形 (滑落崖, 崩壊物堆積域) が認められた (左図)。
- 地すべり滑落崖周辺の現況地形から滑落崖を埋め戻し, 地すべり崩壊前地形を復元した (右図)。
- 復元地形と現況地形との差から算出した崩壊量は約105km³である。



「Alika-2」の海底地すべり判読結果 (現況地形)



復元地形



地形断面図 (H:V=1:2.5)

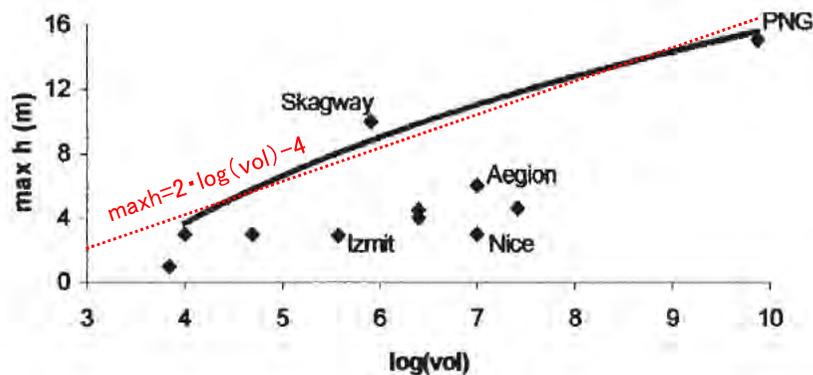
- : すべり面 (現況地形)
- : 崩壊物堆積域 (現況地形)
- ⋯ : 復元地形

7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (9/10)



津波評価

- 「Alika-2」の海底地すべりによる津波の敷地への影響を確認することを目的に、地すべり規模から津波水位を推定することを検討した。
- 津波水位の推定は、Papadopoulos and Kortekaas (2003)⁽⁹²⁾による20世紀以降に発生した世界の地すべり津波のデータ分析に基づく、崩壊量と沿岸における津波の最高水位の関係が日本沿岸でも成立すると仮定して実施した。
- Ma et al. (1999)⁽⁸⁶⁾より、1975年Kalapana津波の地すべり崩壊量を2.5km³とし、その地すべりに伴う日本沿岸における津波水位を検潮記録最大全振幅の最大値である55cm（鮎川検潮所）（羽鳥（1976）⁽⁸³⁾）と仮定する。
- Papadopoulos and Kortekaas (2003)⁽⁹²⁾による地すべり体積と津波水位の関係式から、「Alika-2」のような地すべり（崩壊量約105km³）がハワイで発生した場合の日本沿岸における水位は3.8m程度と推定される。



- 地すべり1の体積をV1, 日本沿岸における津波水位をh1とする。地すべり2の体積をV2, 日本沿岸における津波水位をh2とする。
- Papadopoulos and Kortekaas (2003)⁽⁹²⁾の関係により、

$$h2 = a \cdot \log(V2) + b$$

$$h1 = a \cdot \log(V1) + b$$
 両式の差をとれば、

$$h2 - h1 = a (\log(V2) - \log(V1))$$
 よって、

$$h2 = h1 + a \cdot \log(V2/V1)$$
 となる。
- 添え字1を1975年Kalapana津波, 添え字2を想定津波に対応させると、津波水位h2は以下ようになる。なお、定数aは、Papadopoulos and Kortekaas (2003)⁽⁹²⁾に基づき2とする。

崩壊量(m³)と沿岸における津波の最高水位の関係※

※ 赤線は包絡線を直線近似して加筆したもの。PNG(1998パプアニューギニア)及びIzmit(1999トルコ)は断層運動による津波への寄与が含まれる。

Papadopoulos and Kortekaas (2003)⁽⁹²⁾に加筆

1975年の日本沿岸における津波水位 h1	0.55m
1975年Kalapana津波の崩壊量V1	2.5km ³
想定津波の崩壊量V2	105km ³
想定津波の日本沿岸における津波水位 h2	3.8m

7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について (10/10)



まとめ

- ハワイ付近の海底地すべり「Alike-2」による日本沿岸における津波水位は3.8m程度と推定される。
- 大間原子力発電所は、津軽海峡内に位置していることから、敷地への津波の影響はさらに小さくなると推測されるため、ハワイ付近の海底地すべりによる津波の敷地への影響は大きくないと考えられる。

(余白)

目次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
 - 4-4. 動的破壊特性の不確かさの影響確認
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ水位評価地点の妥当性確認
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について



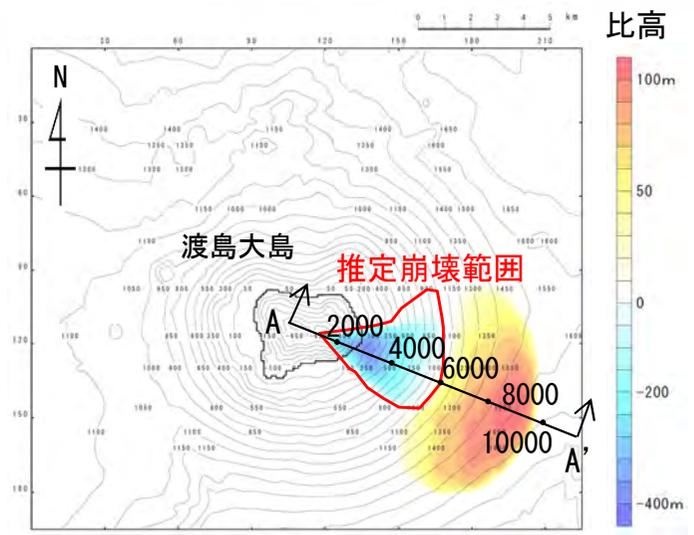
火山現象（渡島大島の山体崩壊）に起因する津波評価に係るkinematic landslideモデルの解析パラメータを，二層流モデル解析結果を反映して設定する場合の検討を実施した。



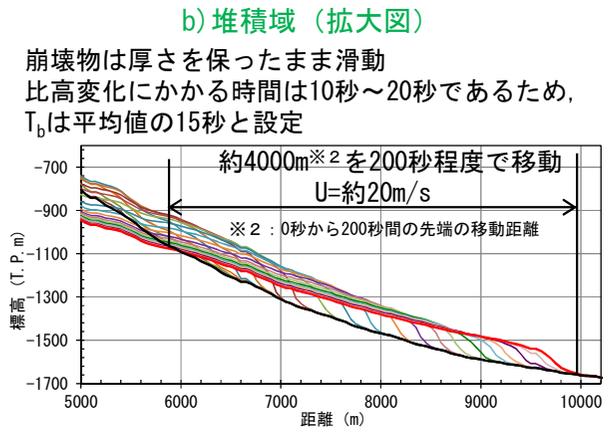
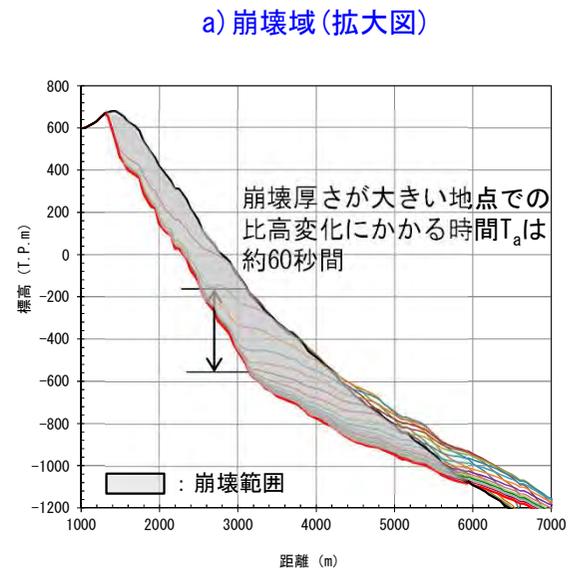
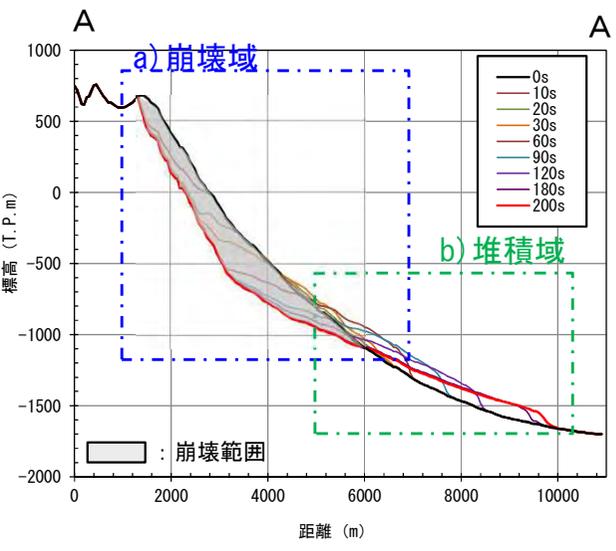
8-1. kinematic landslileモデルによる追加検討 (2 / 3)

解析パラメータの設定 (二層流モデル解析結果を反映)

- 火山現象 (渡島大島の山体崩壊) に起因する津波に係るkinematic landslideモデルの解析パラメータは, Satake (2007) ⁽⁹³⁾ に基づき設定 (P. 8.1-4参照) しているが, 参考に二層流モデル解析結果を反映して設定したケースの検討を実施した。
 - 二層流モデル解析で得られた崩壊物の移動状況より設定したパラメータは以下のとおり。
 - 水平移動速度 : 崩壊域 U_a : 0m/s^{※1}
堆積域 U_b : 20m/s
 - 比高変化継続時間 : 崩壊域 T_a : 60s
堆積域 T_b : 15s
- ※1 崩壊域では, 崩壊開始と同時に, すべり面を利用して全域で崩壊が開始するため, 水平移動速度は0m/sと設定。



kinematic landslideモデルに用いる比高分布 (二層流モデル解析結果)



kinematic landslideモデルに用いるU及びT (二層流モデル解析による崩壊測線上の崩壊物の移動状況より設定)

8-1. kinematic landslidesモデルによる追加検討 (3 / 3)



(補足) 解析パラメータの設定 (Satake(2007))

• Satake (2007) ⁽⁹³⁾ による火山現象 (渡島大島の山体崩壊) に起因する津波に係るkinematic landslideモデルの解析パラメータは以下のとおり。これらは既往の事例等を参照してU及びTそれぞれに対し複数の値※を設定の上、UとTの組合せによるパラメータスタディを実施して、既往津波高さの再現性が良好な組合せとして設定されている。

- 水平移動速度U : 40m/s
- 比高変化継続時間T : 120s

※U : 1980年のMt. St. Helens等の事例を参照して、海底における崩壊域・堆積域の区別なく一定値として20, 40, 60, 80及び100m/sを設定。
T : 海底における崩壊域・堆積域の区別なく一定値として1分, 2分及び5分を設定。

パラメータスタディの比較

U (m/s)	T (min)	6" grid (n=36)			1' and 6" grids (n=49)		
		K	κ	r	K	κ	r
20	1	1.34	1.42	0.68	1.48	1.48	0.80
40	1	0.93	1.39	0.72	1.04	1.52	0.82
60	1	0.90	1.46	0.71	1.04	1.62	0.81
80	1	0.99	1.49	0.66	1.15	1.65	0.78
100	1	1.11	1.52	0.60	1.28	1.66	0.74
10	2	2.35	1.42	0.70	2.66	1.53	0.81
20	2	1.49	1.41	0.69	1.62	1.46	0.81
40	2	0.99	1.37	0.75	1.11	1.50	0.84
50	2	0.94	1.39	0.76	1.09	1.55	0.85
60	2	0.94	1.39	0.75	1.11	1.58	0.84
80	2	1.02	1.41	0.71	1.20	1.60	0.82
100	2	1.14	1.44	0.64	1.34	1.62	0.78
20	5	2.64	1.49	0.56	2.57	1.49	0.71
40	5	2.16	1.42	0.67	2.29	1.44	0.80
60	5	2.15	1.43	0.69	2.27	1.45	0.81
80	5	2.34	1.44	0.64	2.52	1.47	0.78
100	5	2.63	1.47	0.55	2.86	1.50	0.73

K : 幾何平均値
 κ : 幾何標準偏差
r : 相関係数

目 次

1. 津波堆積物調査（現地調査）
2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル
3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見
 - 3-1. 2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見
 - 3-2. 世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見の整理
 - 3-3. まとめ
4. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 4-1. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波等の再現性確認
 - 4-2. 分岐断層に関する検討
 - 4-3. ライズタイムの影響検討
 - 4-4. 動的破壊特性の不確かさの影響確認
5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討
6. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 6-1. 地すべり地形分布図
 - 6-2. 二層流モデルの適用性について
7. 海底地すべりに起因する津波
 - 7-1. 急傾斜部を対象とした地形判読
 - 7-2. 海底地すべり海上音波探査記録
 - 7-3. 海底地すべり地形崩壊量算定
 - 7-4. ハワイ付近の海底地すべりの影響について
8. 火山現象に起因する津波
 - 8-1. kinematic landslideモデルによる追加検討
9. 津波発生要因の組合せに関する検討
 - 9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定
 - 9-2. 線形足し合せ水位評価地点の妥当性確認
10. 津軽海峡・発電所専用港湾及び津波の周期特性
 - 10-1. 検討方法
 - 10-2. 日本海側からの津波に対する検討
 - 10-3. 太平洋側からの津波に対する検討
 - 10-4. まとめ
11. 津波の伝播特性について

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (1 / 2 1)



コメントNo.S5-36

検討方針

- ・ 津波を発生させる要因の組合せ検討では、敷地に与える影響が大きいと考えられる日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波（下降側）との組合せ対象として、佐井エリアの斜面崩壊に起因する津波を考慮した。
- ・ 上記に係り、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波（下降側）の組合せ対象として最も保守的な陸上の斜面崩壊が佐井エリアの陸上の斜面崩壊であることの妥当性を示す。検討フローは以下のとおり。
- ・ なお、海底地すべりに起因する津波は、敷地への影響が小さいため陸上の斜面崩壊に起因する津波を検討対象とする。

検討フロー

1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出

- ・ 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波波形（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波波形（下降側）と、佐井エリア、恵山エリア、函館エリア、知内エリア及び竜飛崎エリアの陸上の斜面崩壊に起因するそれぞれの津波波形（概略影響検討、本編資料P.3.2-27～P.3.2-30）との線形足し合せを実施し、組合せの影響が最も大きくなる陸上の斜面崩壊を抽出する。



2. 数値シミュレーション

- ・ 1. の検討で抽出された佐井エリアの影響を上回る陸上の斜面崩壊による津波について、詳細数値シミュレーションを実施する。（二層流モデル及びkinematic landslideモデルを用いて総合的に評価）

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較

- ・ 佐井エリアの陸上の斜面崩壊による津波波形（詳細検討、本編資料P.3.2-23, 3.2-24参照）と2. で検討した地すべりによる津波波形とを、それぞれ日本海東縁部に想定される地震に伴う津波波形（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波波形（下降側）と線形に足し合せて、津波の組合せの影響について比較し、佐井エリアの影響が大きいことを確認する。

「佐井エリア」の保守性確認

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (2 / 2 1)



コメントNo.S5-36

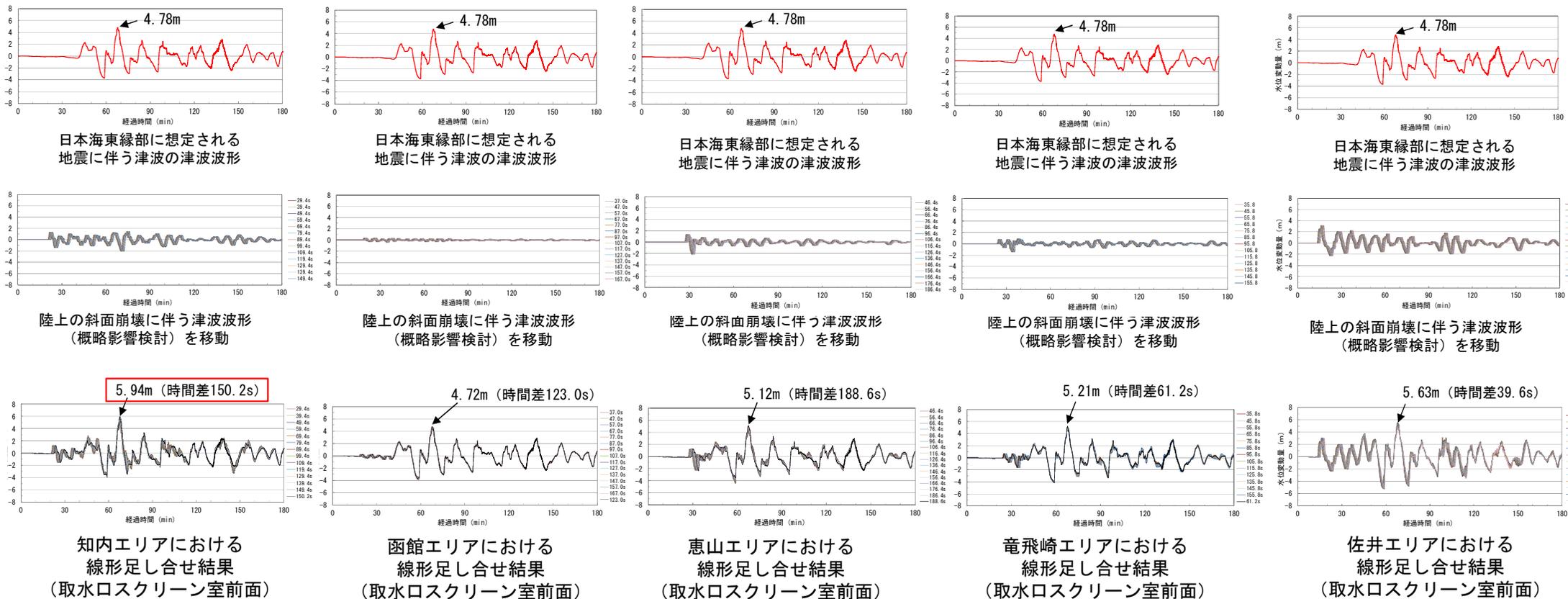
1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出 (1 / 3)

線形足し合せ結果【上昇側】

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波形と概略影響検討による各エリアの斜面崩壊による津波の波形とを線形に足し合わせて、上昇側の組合せの影響を比較した。なお、この際、斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間 (Ts) ※1及び斜面崩壊位置での地震継続時間 (Td) ※2を考慮し、斜面崩壊に伴う津波波形は、Ts~Ts+Td間で移動させている。
- 上昇側については知内エリアの影響が最も大きいことを確認した。

区分	地すべりエリア	等価震源距離	地震波速度 (S波速度)	Ts※1	Td※2
最大水位上昇ケース	知内エリア	99.9km	3.4km/s※3	29.4s	120.9s
	函館エリア	125.9km		37.0s	131.0s
	恵山エリア	157.8km		46.4s	142.1s
	竜飛崎エリア	121.8km		35.8s	129.5s
	佐井エリア	134.2km		39.6s	134.0s

※1: 各断面層から斜面崩壊位置までの等価震源距離とS波速度から算定
 ※2: Noda et al. (2002) (95) による振幅包絡線の経時特性から算定
 ※3: 地震調査研究推進本部 (2009) (96) より



知内エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

函館エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

恵山エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

竜飛崎エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

佐井エリアにおける線形足し合せ結果 (取水口スクリーン室前面)

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (3 / 2 1)



コメントNo.S5-36

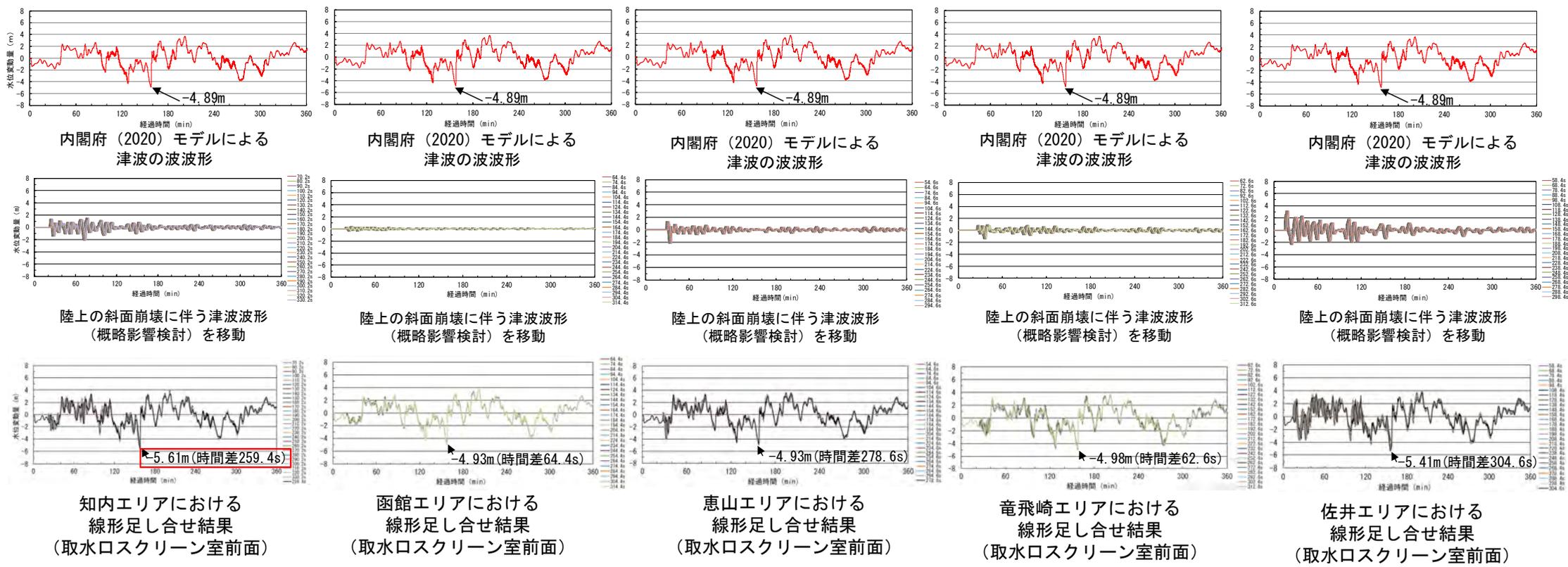
1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出 (2 / 3)

線形足し合せ結果【下降側】

- 内閣府 (2020) (94) モデルによる津波の波形と概略影響検討による各エリアの斜面崩壊による津波の波形とを線形に足し合わせて、下降側の組合せの影響を比較した。なお、この際、斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間 (Ts) ※1及び斜面崩壊位置での地震継続時間 (Td) ※2を考慮し、斜面崩壊に伴う津波波形は、Ts~Ts+Td間で移動させている。
- 下降側については知内エリアの影響が最も大きいことを確認した。

区分	地すべりエリア	等価震源距離	地震波速度 (S波速度)	Ts※1	Td※2
最大水位下降ケース	知内エリア	238.5km	3.4km/s※3	70.2s	262.3s
	函館エリア	219.0km		64.4s	254.7s
	恵山エリア	185.4km		54.6s	240.8s
	竜飛崎エリア	213.0km		62.6s	252.3s
	佐井エリア	198.2km		58.4s	246.2s

※1: 各断面層面から斜面崩壊位置までの等価震源距離とS波速度から算定
 ※2: Noda et al. (2002) (95) による振幅包絡線の経時特性から算定
 ※3: 地震調査研究推進本部 (2009) (96) より



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (4 / 2 1)



コメントNo.S5-36

1. 組合せ検討対象の陸上の斜面崩壊抽出 (3 / 3)

まとめ

- ・ 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波（下降側）の波形と、佐井エリア，恵山エリア，函館エリア，知内エリア及び竜飛崎エリアの陸上の斜面崩壊に起因するそれぞれの津波波形（概略影響検討，本編資料P. 3. 2-27～P. 3. 2-30）との線形足し合せを実施し，組合せの影響が最も大きくなる陸上の斜面崩壊を以下のとおり抽出した。
 - ✓ 上昇側：知内エリアの陸上の斜面崩壊
 - ✓ 下降側：知内エリアの陸上の斜面崩壊
- ・ 佐井エリア以外の知内エリアの陸上の斜面崩壊が抽出されたことから，知内エリアの陸上の斜面崩壊を対象として，詳細数値シミュレーションを実施する。（2. 数値シミュレーションで検討）

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (5 / 2 1)

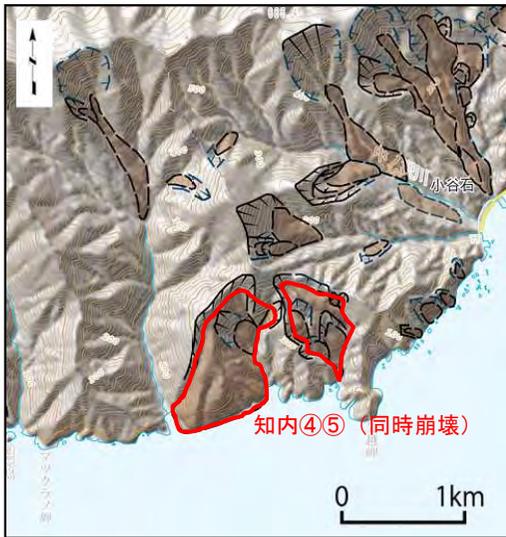


コメントNo.S5-36

2. 数値シミュレーション (1 / 1 2)

検討方針

- ・ 知内エリアを対象に、すべり面、崩壊量を設定し、数値シミュレーションによって敷地への影響を評価する。
- ・ 波源域の数値シミュレーション方法として、二層流モデルとkinematic landslideモデルの2つの手法を用いて敷地への影響を総合的に評価した。



「国土地理院の空中写真」

知内エリアの対象地すべりブロック
(本編資料P. 3. 2-11参照)

波源域の数値シミュレーション方法

二層流モデル
(本編資料P. 3. 1-4参照)

kinematic landslideモデル
(本編資料P. 3. 1-5参照)

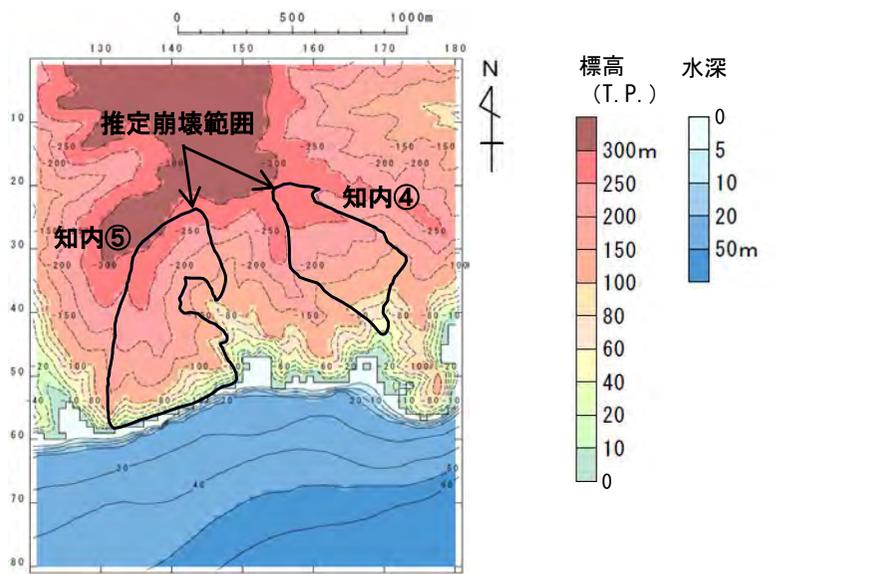
評価方針

敷地への影響を総合的に評価
(安全側の評価を採用)

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (6 / 21)

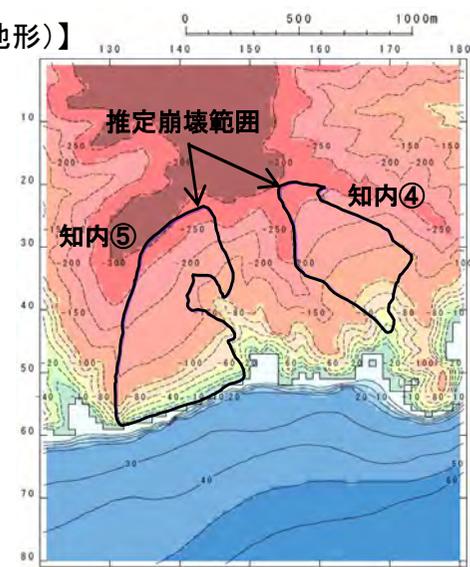
2. 数値シミュレーション (2 / 12) : 解析モデル①<二層流モデル> (1 / 6)

すべり面及び崩壊量の設定【知内エリアの地すべり地形】



地形モデル

【現地地形(モデル上の崩壊前地形)】

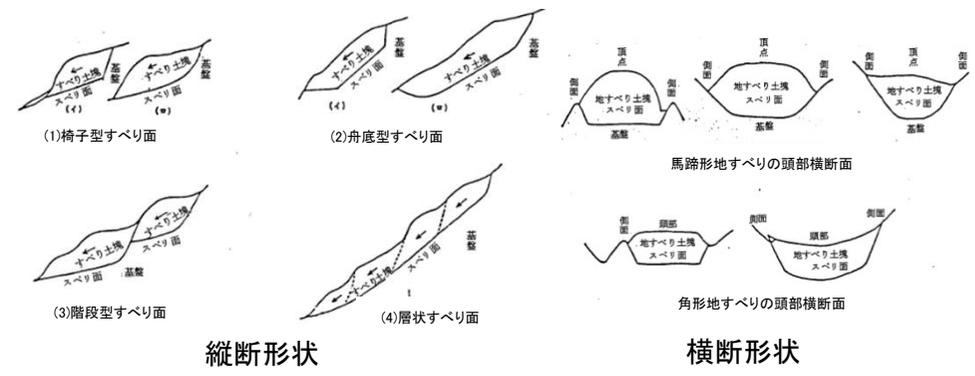


波源モデル

地形モデル(すべり面)

○解析モデル①として二層流モデルを採用した※。
○検討対象地すべり地形の推定すべり面は、高速道路調査会(1985)⁽⁹⁷⁾等を参照し、以下の考えに基づき設定した(P.9.1-8, P.9.1-9参照)。

- ・推定された地すべり厚さDが地すべりブロック中央部付近の代表的な厚さとする。
- ・地すべりブロック縦断方向に対しては、ブロック中央部付近でおおむね一定勾配を呈し、ブロック頭部に向かって漸増的に急勾配化させる。ブロック端部では、頭部とは逆に中央部から末端部に向かって徐々に緩勾配化させる。
- ・横断方向に対しては、ブロック中央部付近では一定勾配を呈し、ブロック側方境界部に向かって漸増的に急勾配化させる。
- ・すべり面形状が地表面地形形状に滑らかな接続となるようにする。



すべり面形状例 高速道路調査会(1985)⁽⁹⁷⁾に一部加筆

○現地地形を解析モデル上の崩壊前地形と設定した。
○作成した現地地形モデルとすべり面モデルより算出した知内エリアの検討対象地すべり地形(知内④⑤)の崩壊量は $1.29 \times 10^7 \text{m}^3$ である。

※「6-2. 二層流モデルの適用性について」参照。

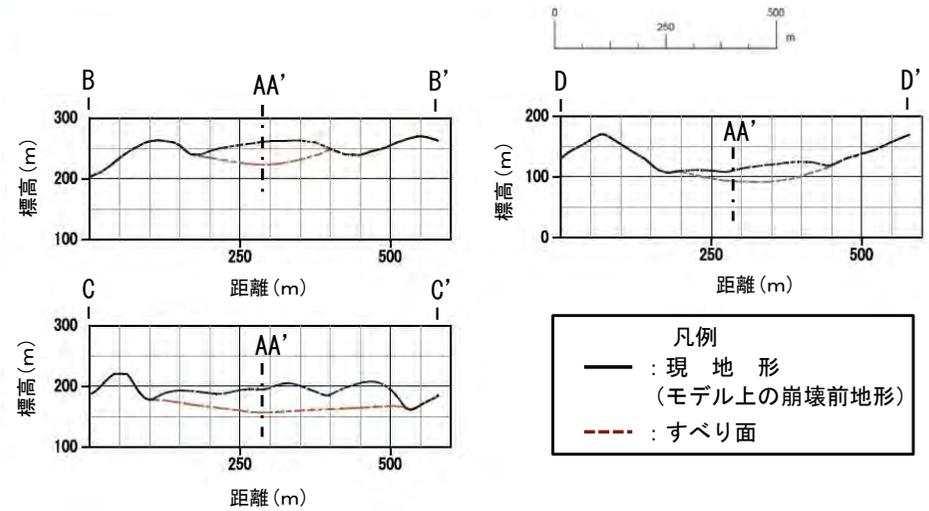
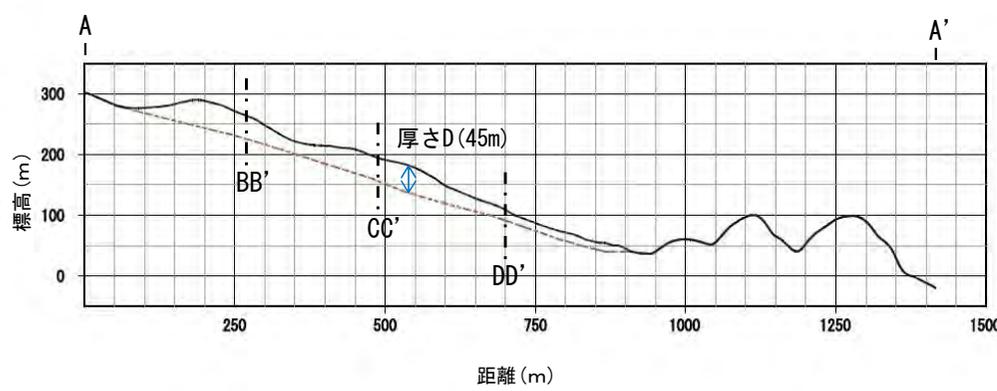
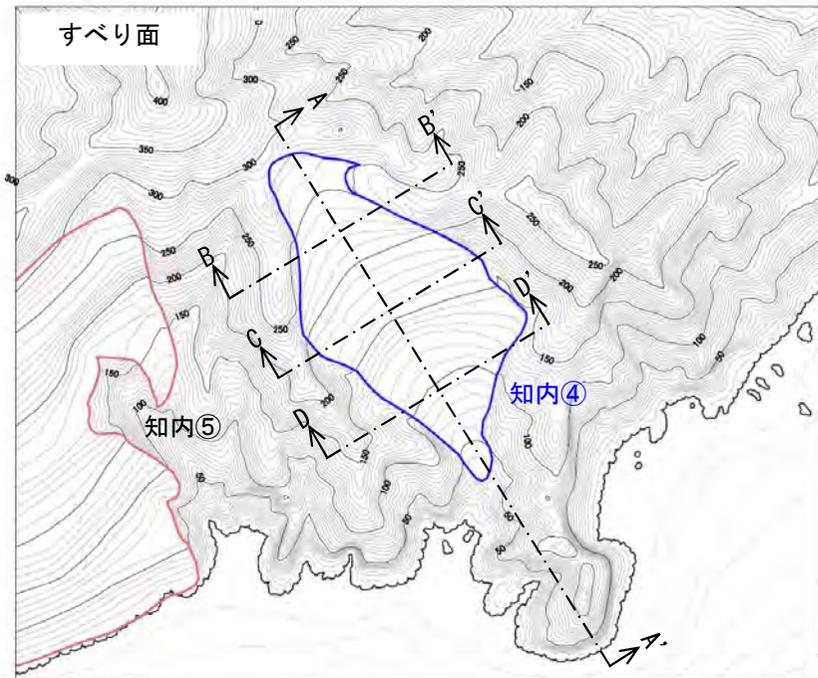
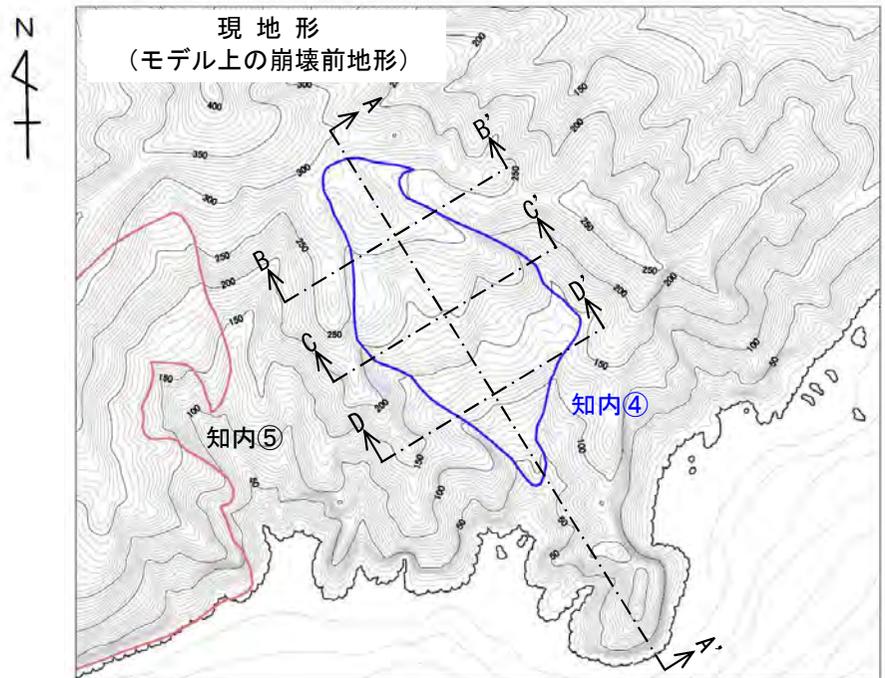
9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (7/21)



コメントNo.S5-36

2. 数値シミュレーション (3/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (2/6)

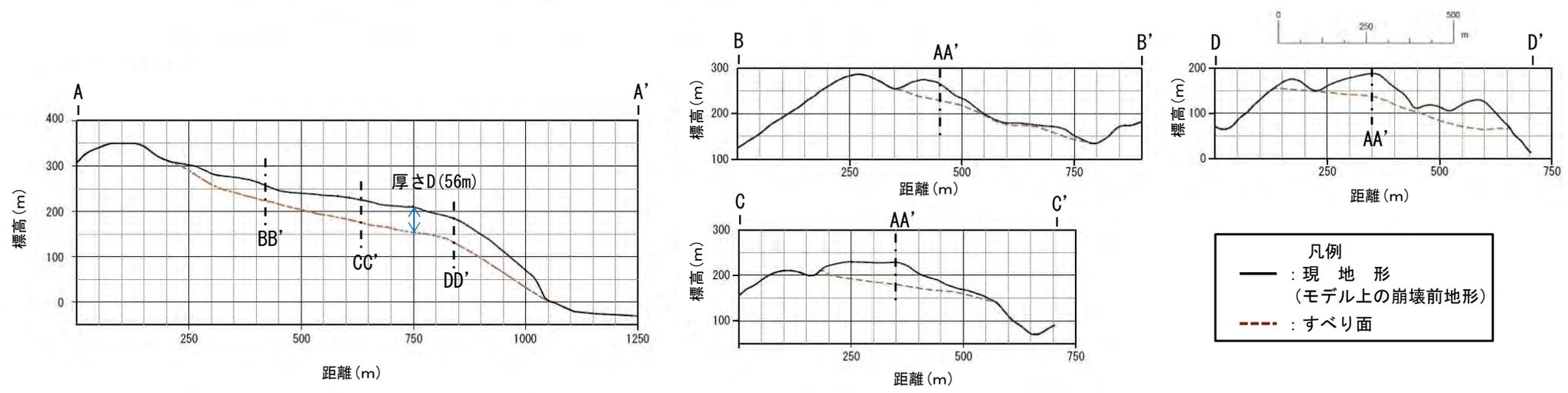
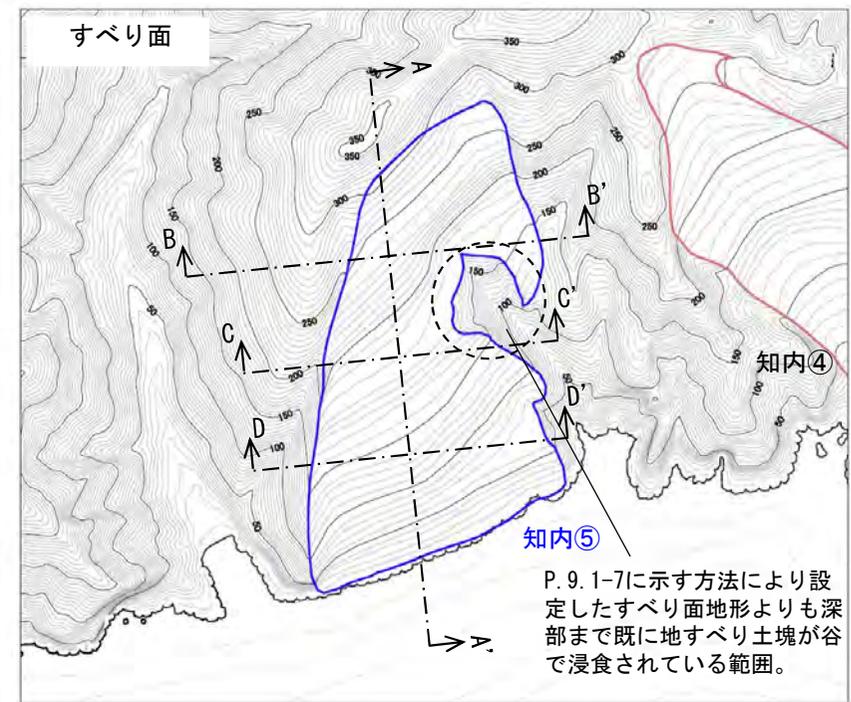
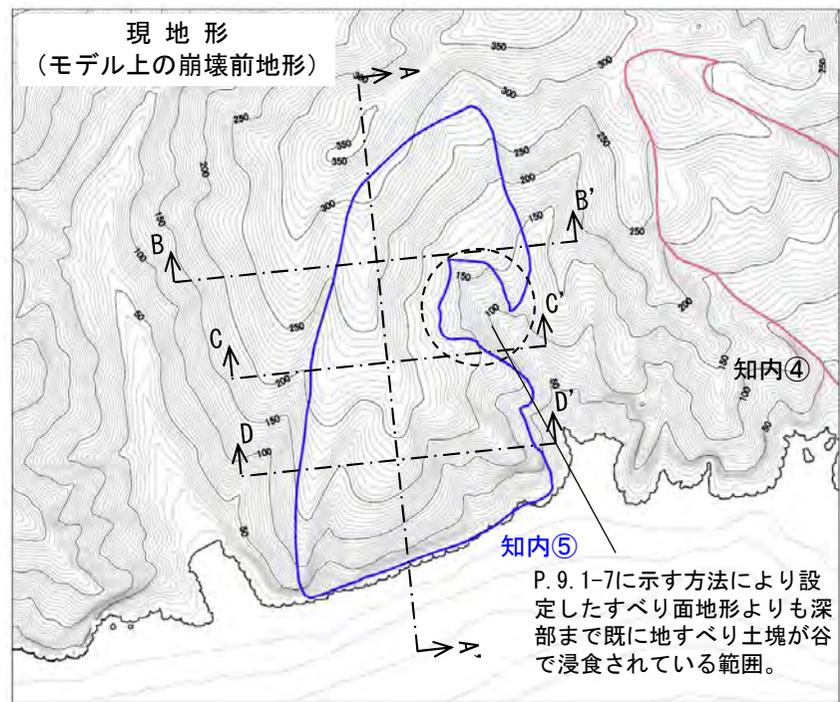
検討対象地すべり地形 縦断面図 (1/2) 【ブロック知内④】



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (8/21)

2. 数値シミュレーション (4/12) : 解析モデル①<二層流モデル> (3/6)

検討対象地すべり地形 縦断面図 (2/2) 【ブロック知内⑤】



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (9 / 2 1)



コメントNo.S5-36

2. 数値シミュレーション (5 / 1 2) : 解析モデル①<二層流モデル> (4 / 6)

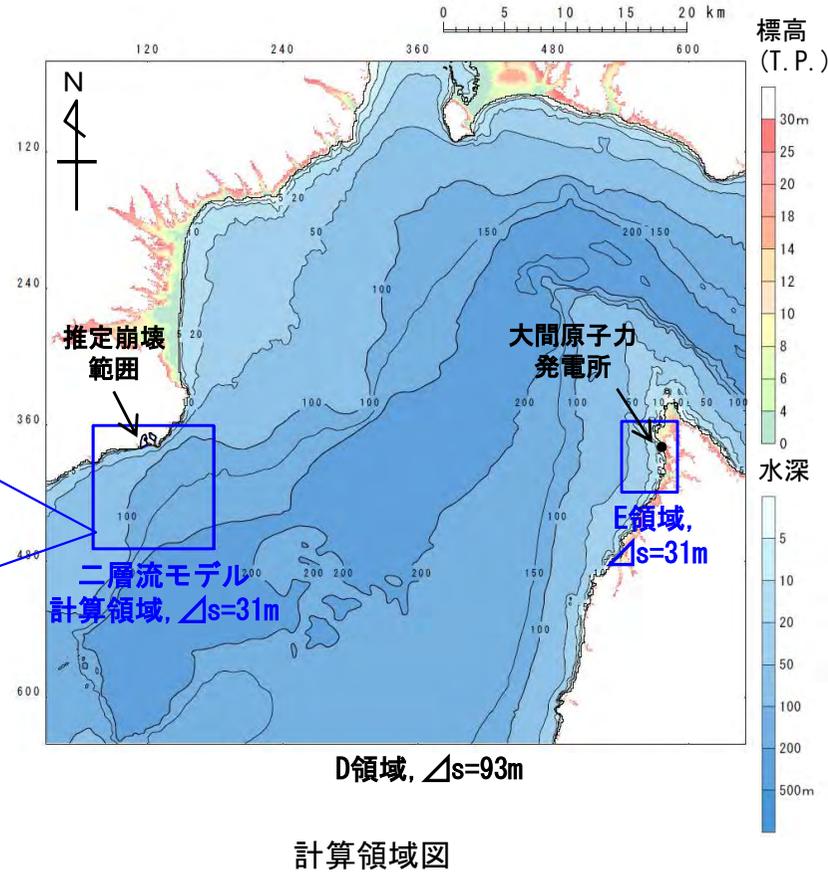
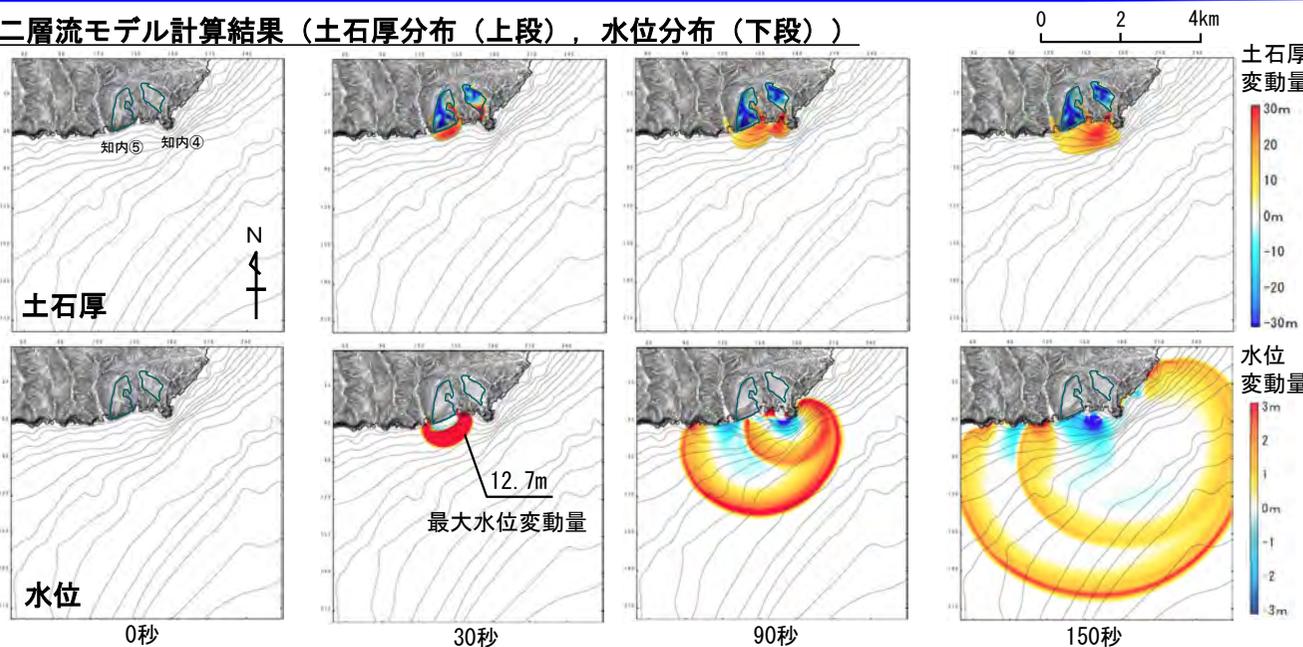
計算条件

- 二層流モデルの計算条件は下表のとおりである。なお、知内④⑤が同時に崩壊開始するものとした。
- 敷地への津波の伝播シミュレーションは、二層流モデル計算領域の境界部で得られた時刻歴波形を津波伝播計算領域に接続して実施した。

主な計算条件

項目	内容	設定根拠
海水密度	$\rho_1 = 1.03 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	一般値
崩壊物の密度	$\rho_2 = 2.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	
上層(水)の粗度係数	$n = 0.025 \text{ (s/m}^{1/3}\text{)}$	Kawamata et al. (2005) ⁽⁷⁵⁾ で1741年渡島大島火山津波を再現された値
下層(土砂)の粗度係数	$n = 0.4 \text{ (s/m}^{1/3}\text{)}$	
抗力係数	$C_D = 2.0$	
水平拡散係数	$\nu = 0.1 \text{ (m}^2\text{/s)}$	
計算時間間隔	$\Delta t = 1.0 \times 10^{-5} \text{ (s)}$	計算の安定性を考慮して設定

二層流モデル計算結果 (土石厚分布 (上段), 水位分布 (下段))



計算領域図

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (10 / 21)



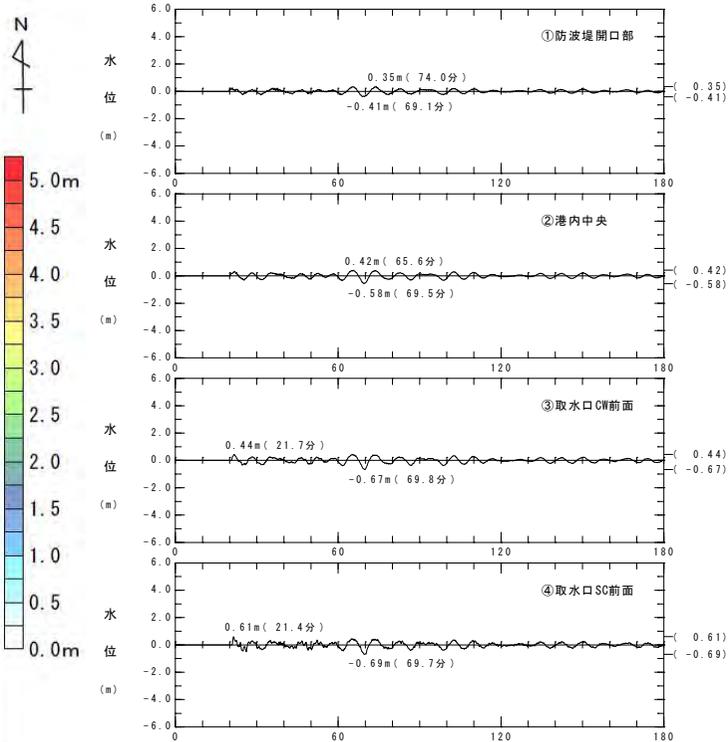
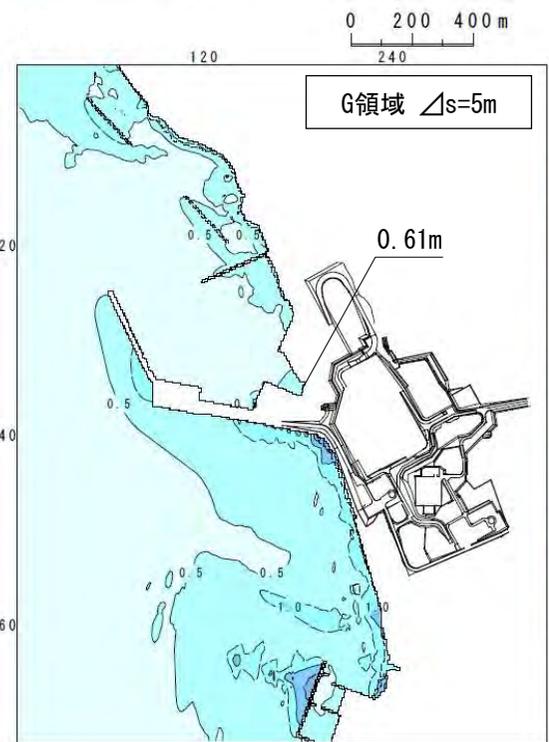
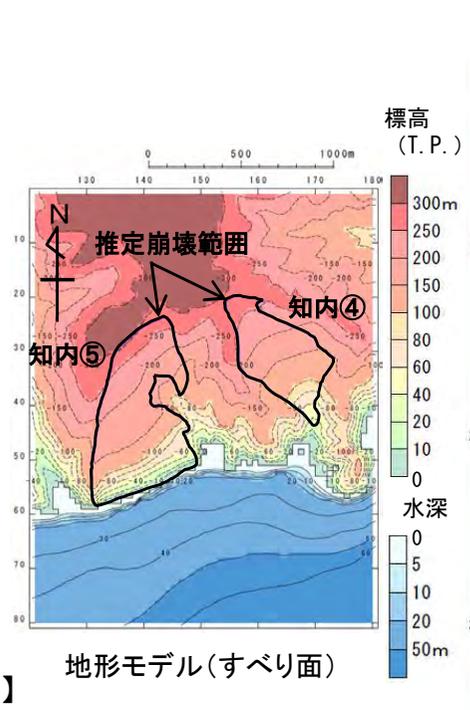
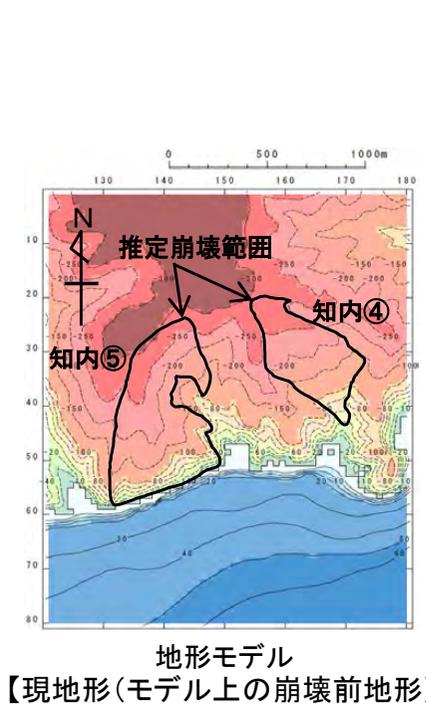
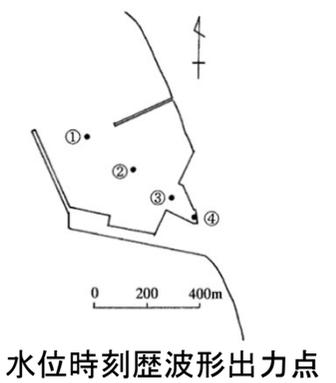
2. 数値シミュレーション (6 / 12) : 解析モデル①<二層流モデル> (5 / 6)

計算結果

陸上の斜面崩壊に起因する津波の二層流モデルによる計算結果 (上昇側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (上昇側)

検討対象	解析モデル	敷地における最大水位上昇量
知内エリアの地すべり地形	二層流モデル	0.61m



波源モデル

最大水位上昇量分布

水位時刻歴波形

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (11 / 21)



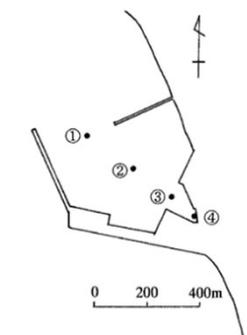
2. 数値シミュレーション (7 / 12) : 解析モデル①<二層流モデル> (6 / 6)

計算結果

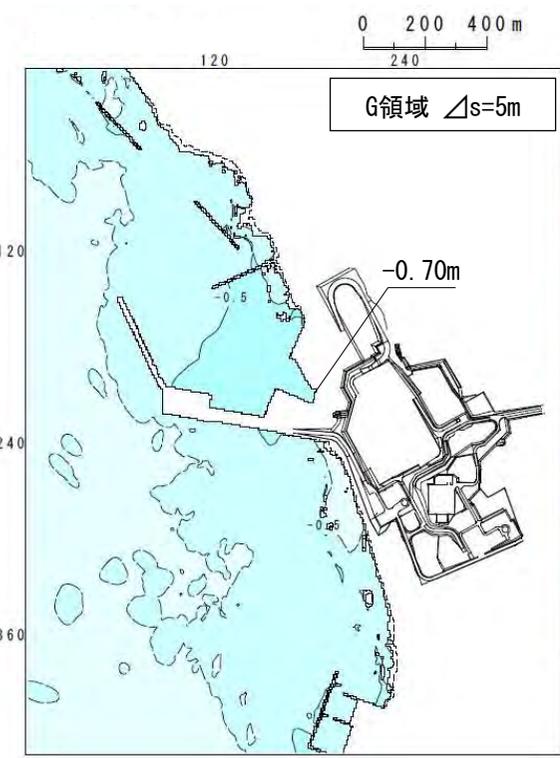
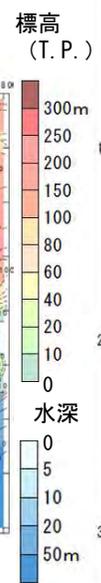
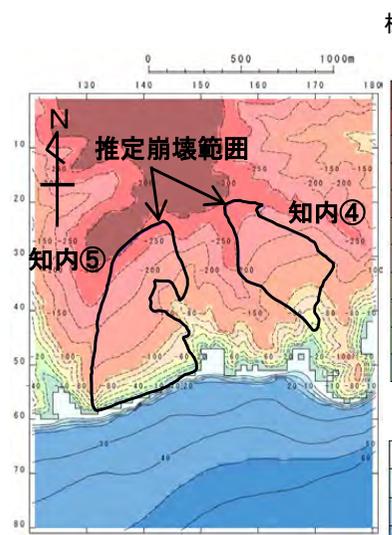
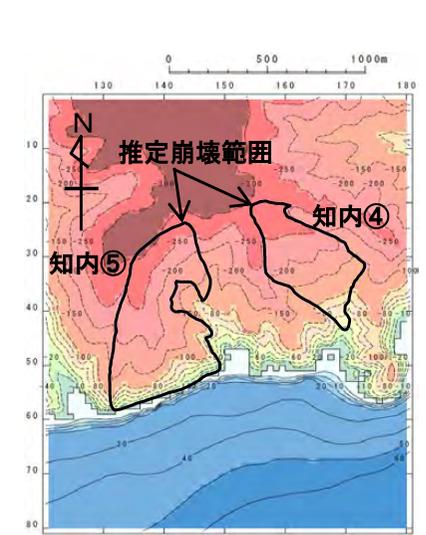
陸上の斜面崩壊に起因する津波の二層流モデルによる計算結果 (下降側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果(下降側)

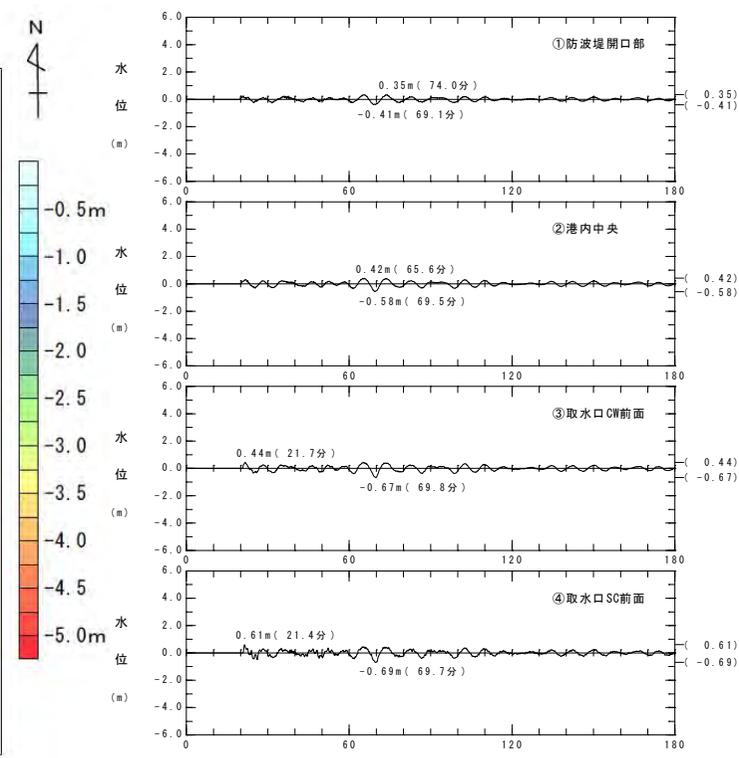
検討対象	解析モデル	取水口スクリーン室前面における最大水位下降量
知内エリアの地すべり地形	二層流モデル	-0.70m



水位時刻歴波形出力点



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形

波源モデル

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (12/21)

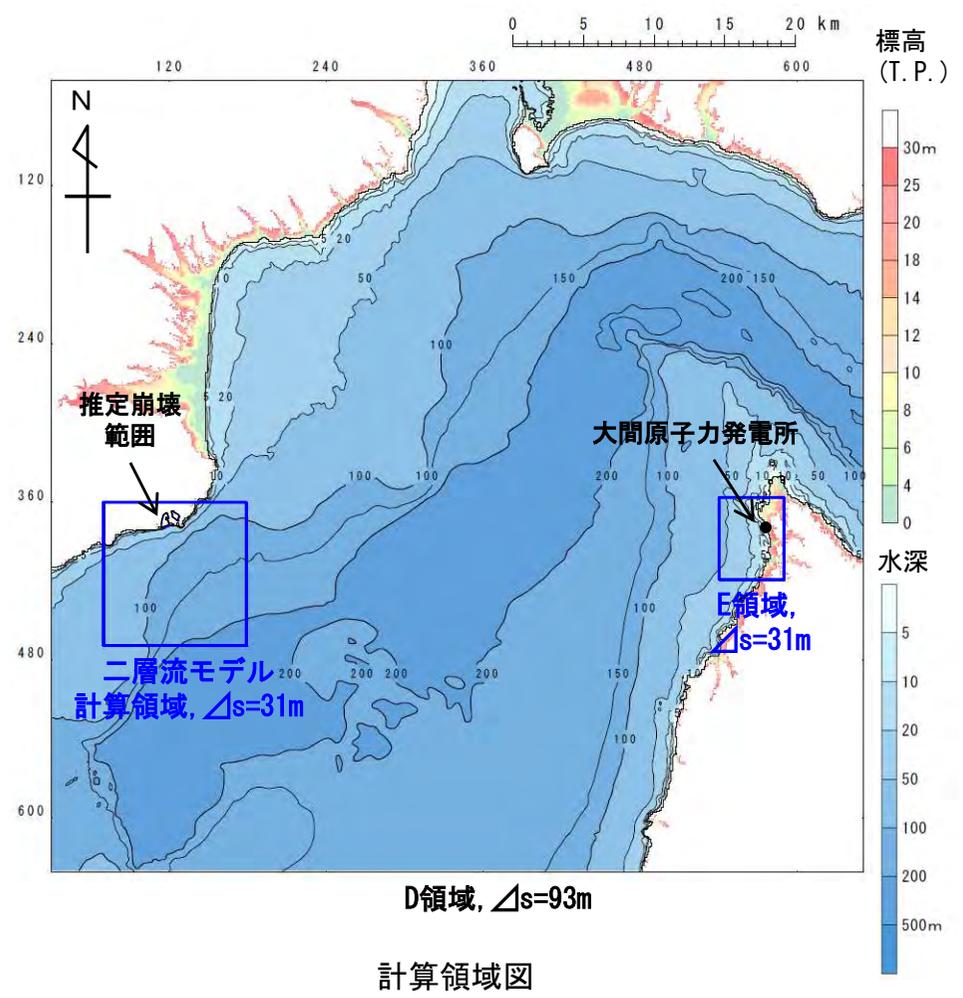
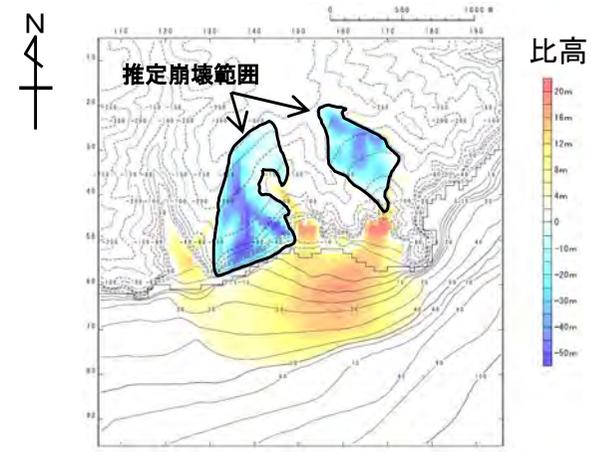
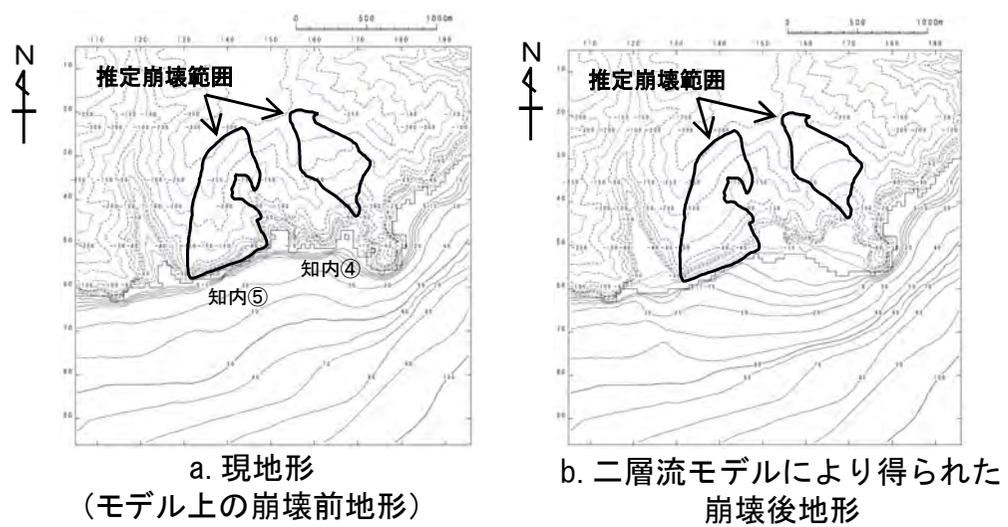


コメントNo.S5-36

2. 数値シミュレーション (8/12) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (1/4)

崩壊地形データの作成【知内エリアの地すべり地形】

- ・ 解析モデル②としてkinematic landslideモデルを採用した。
- ・ kinematic landslideモデルの崩壊地形データ (比高分布) は、現地形 (モデル上の崩壊前地形) と二層流モデルにより得られた崩壊後地形から作成した。



9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (13/21)

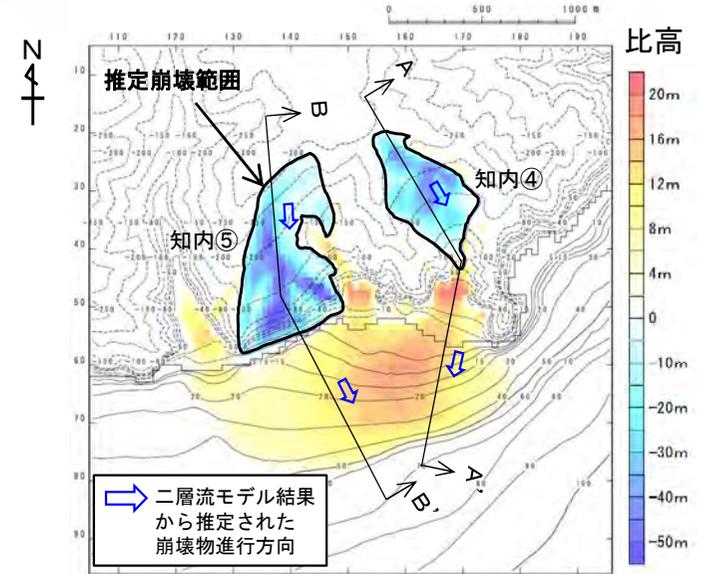


コメントNo.S5-36

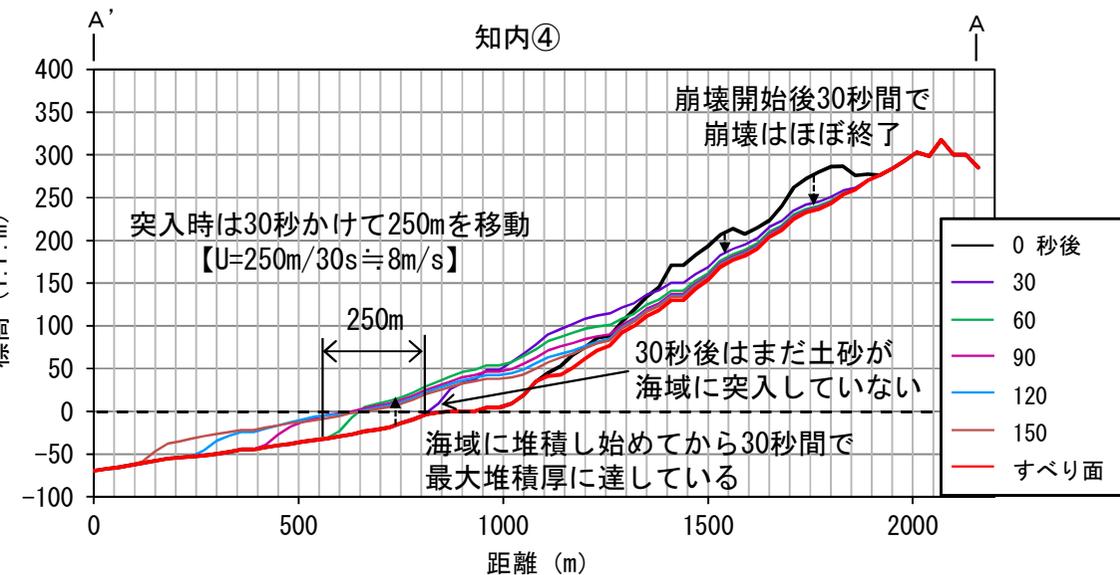
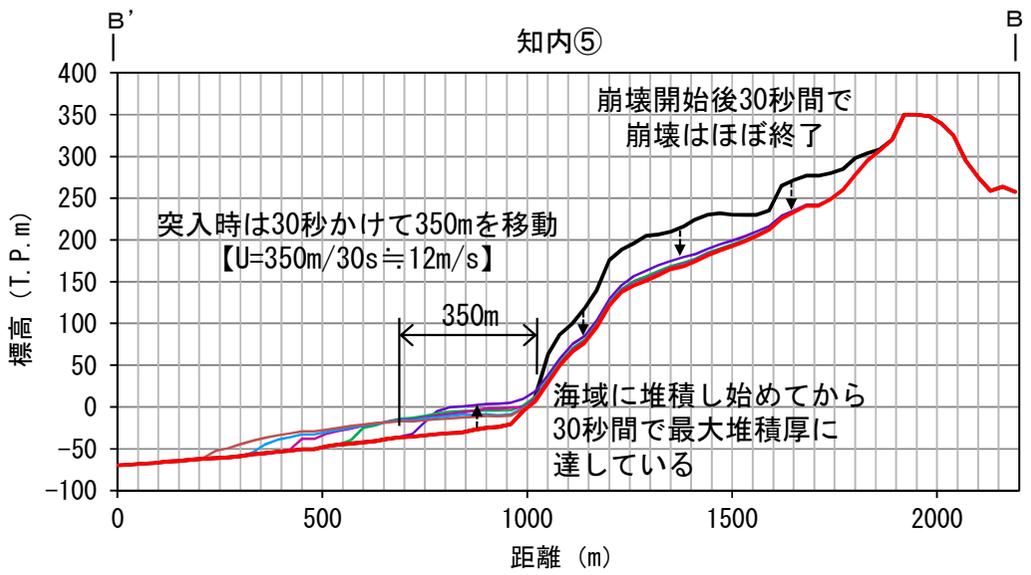
2. 数値シミュレーション (9/12) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (2/4)

パラメータの設定【水平移動速度・比高変化継続時間】

- kinematic landslideモデルで考慮する水平移動速度Uおよび比高変化継続時間Tは、二層流モデル解析で得られた崩壊測線上の崩壊物の移動状況より下記のとおり設定した。
 - 水平移動速度 U_1 : 8m/s (知内④) 比高変化継続時間 T : 30秒
 - U_2 : 12m/s (知内⑤)
- 崩壊物が海域に突入する時間については、知内⑤の崩壊物が先に海域に突入し、30秒後に知内④の崩壊物が海域に突入するものとした。



kinematic landslideモデルに用いる比高分布



kinematic landslideモデルに用いるU及びT

(二層流モデル解析による崩壊測線上の崩壊物の移動状況より設定)

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (14 / 21)



2. 数値シミュレーション (10 / 12) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (3 / 4)

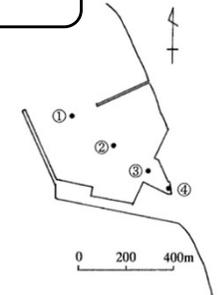
計算結果

コメントNo.S5-36

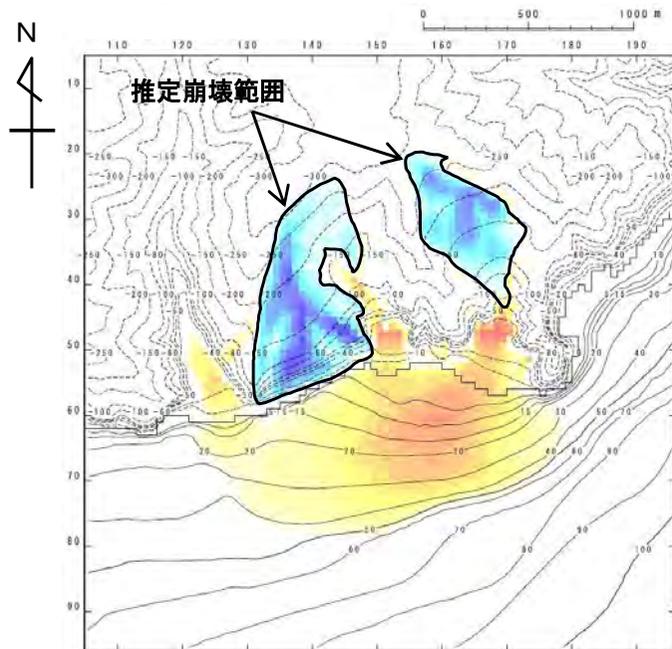
陸上の斜面崩壊に起因する津波のkinematic landslideモデルによる計算結果 (上昇側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (上昇側)

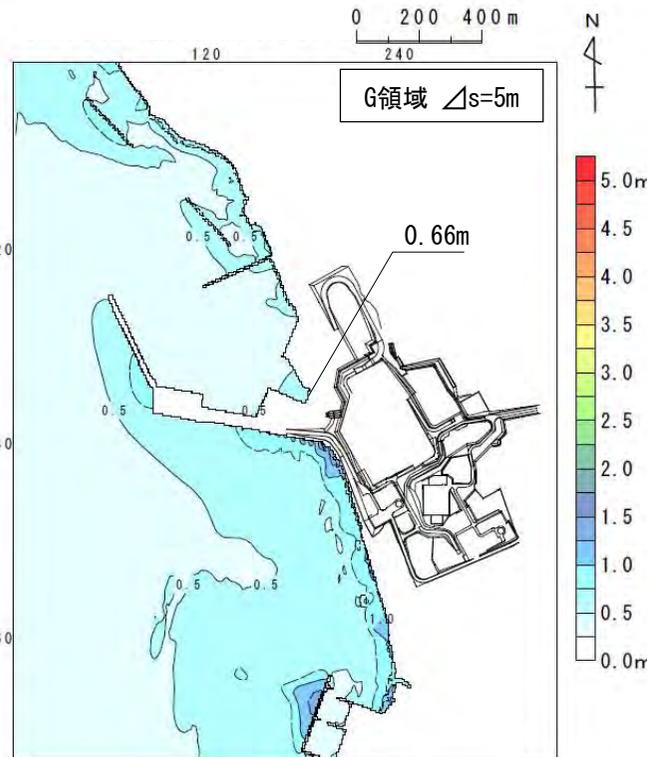
検討対象	解析モデル	敷地における最大水位上昇量
知内エリアの地すべり地形	kinematic landslideモデル	0.66m



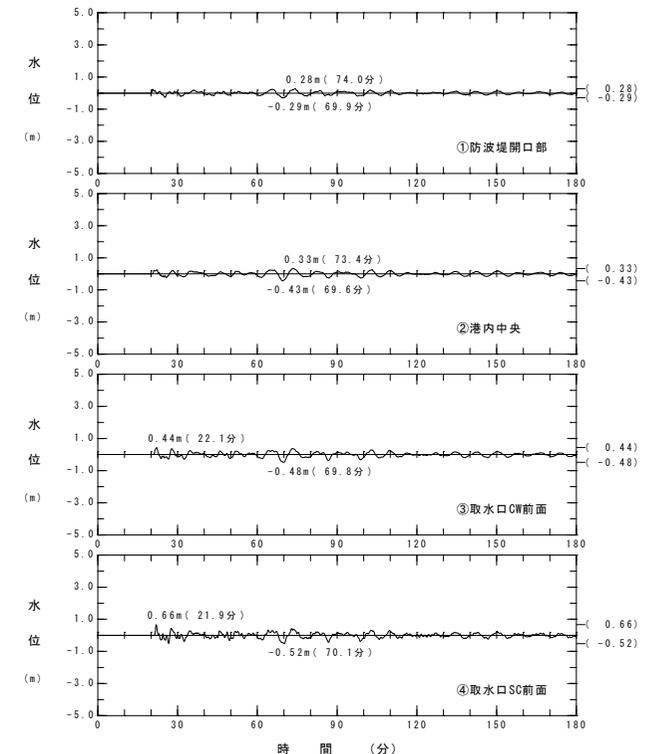
水位時刻歴波形出力点



波源モデル



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (15 / 21)



2. 数値シミュレーション (11 / 12) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (4 / 4)

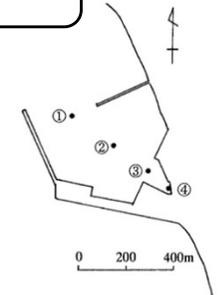
計算結果

コメントNo.S5-36

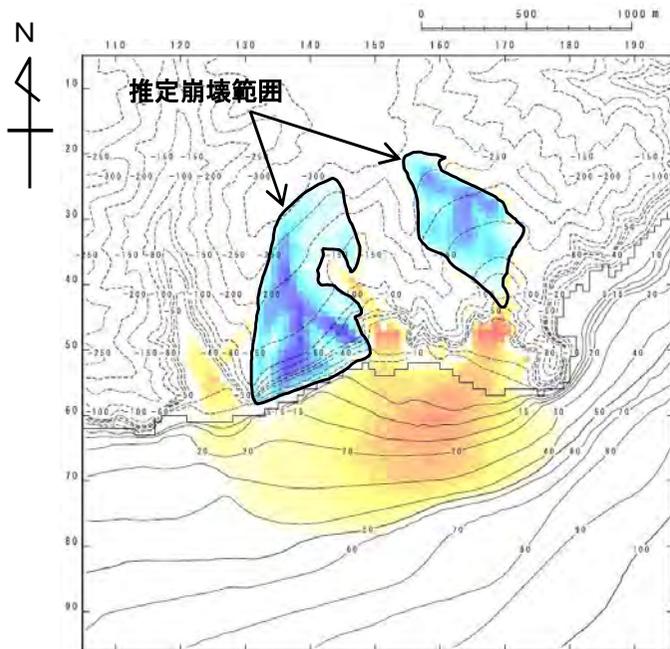
陸上の斜面崩壊に起因する津波のkinematic landslideモデルによる計算結果 (下降側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果(下降側)

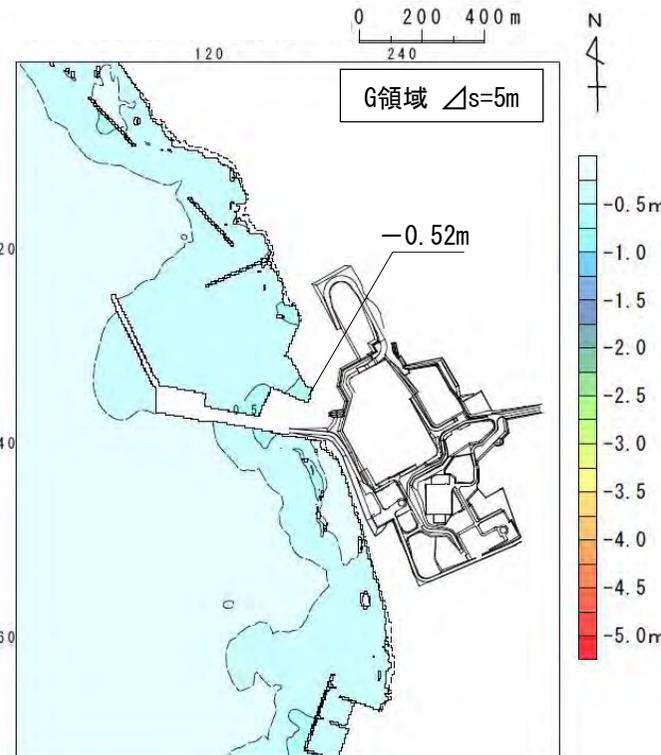
検討対象	解析モデル	取水口スクリーン室前面における最大水位下降量
知内エリアの地すべり地形	kinematic landslideモデル	-0.52m



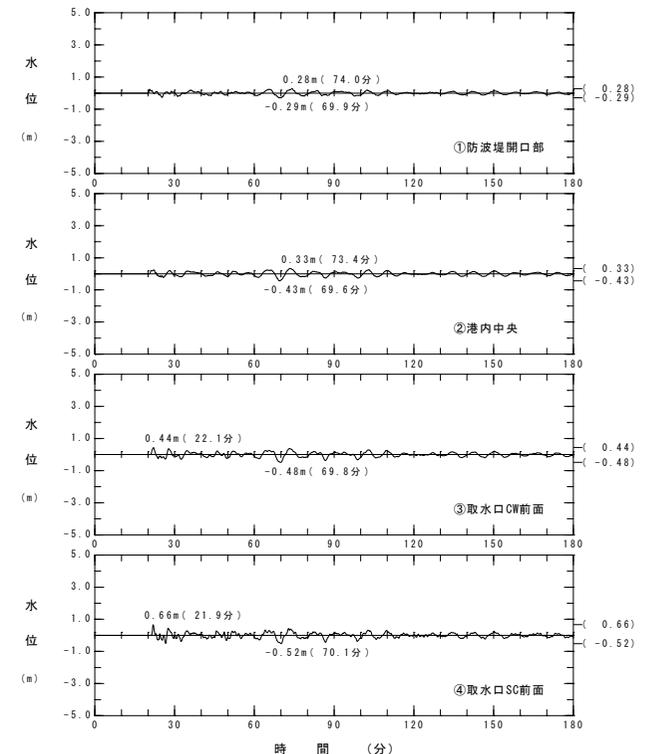
水位時刻歴波形出力点



波源モデル



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (16 / 21)

2. 数値シミュレーション (12 / 12)

知内エリアに想定される陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果

- 知内エリアに想定される陸上の斜面崩壊に起因する津波の検討結果は以下のとおりである。
- 知内エリアの津波は佐井エリアの津波に比べ敷地における最大水位変動量は有意に小さい。

陸上の斜面崩壊に起因する津波

区分	解析モデル	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面 における 最大水位下降量	備考	
陸上の斜面崩壊 に起因する津波	知内 エリア	二層流モデル	0.61m	-0.70m	—
		kinematic landslide モデル	0.66m	-0.52m	—
	佐井 エリア (参考)	二層流モデル	4.70m	-2.64m	本編資料 P.3.2-19, P.3.2-20 参照
		kinematic landslide モデル	4.97m	-3.49m	本編資料 P.3.2-23, P.3.2-24 参照

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (17 / 21)



コメントNo.S5-36

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (1 / 5)

検討方針

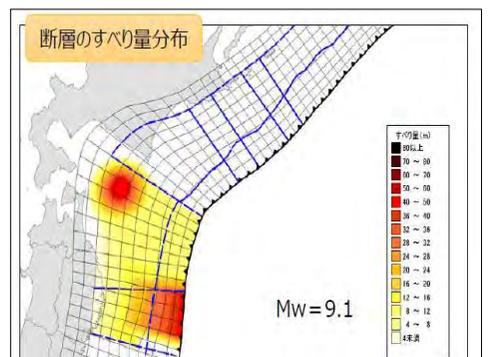
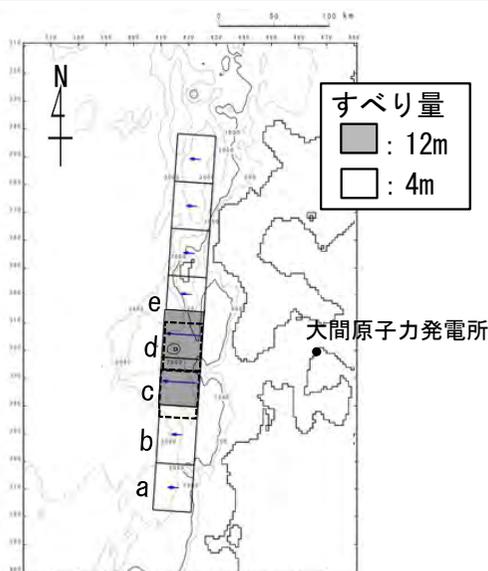
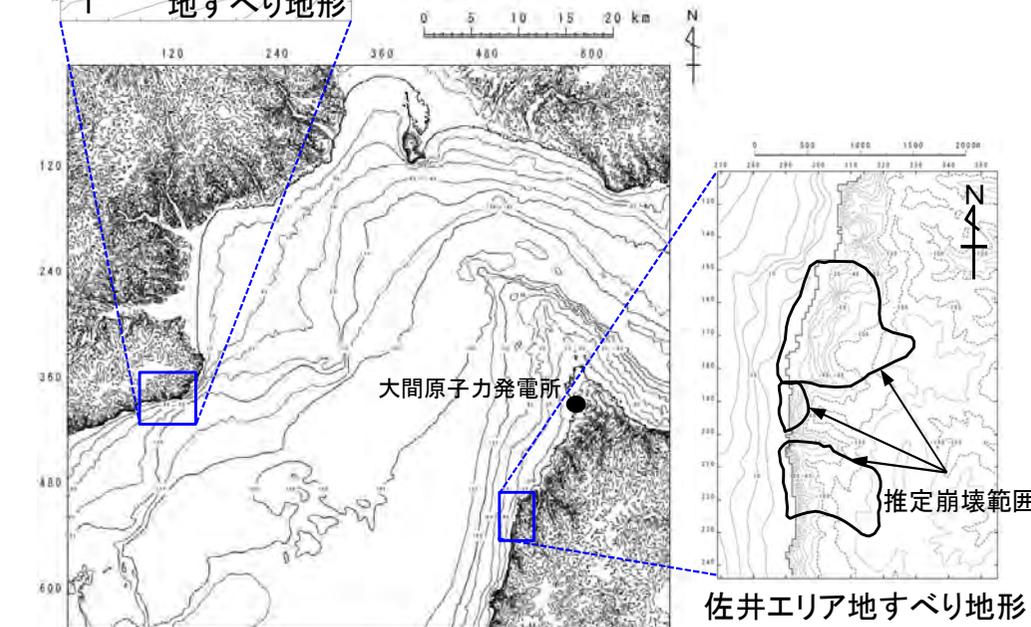
- 敷地に与える影響が大きいと考えられる日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波（下降側）と陸上の斜面崩壊に起因する津波との組合せについて、佐井エリア及び知内エリアの2地点を対象に取水口前面位置における水位時刻歴波形の線形足し合せにより、津波が重畳した場合の敷地への影響を比較する。

■陸上の斜面崩壊に起因する津波

評価対象		解析モデル
佐井 エリア	最大水位上昇ケース 及び最大水位下降ケース	kinematic landslideモデル
	最大水位上昇ケース	kinematic landslideモデル
知内 エリア	最大水位下降ケース	二層流モデル

■地震による津波

評価対象	地震	決定ケース
最大水位 上昇ケース	日本海東縁部の地震 Mw=8.2	東西方向中央，東傾斜($\delta=30^\circ$)のW=40.0km, アスペリティ位置c+dを北方へ10km移動, 上縁深さ5km
最大水位 下降ケース	内閣府(2020) ⁽⁹⁴⁾ モデルによる地震 Mw=9.1	内閣府(2020) ⁽⁹⁴⁾ モデル



最大水位上昇ケース

最大水位下降ケース

※内閣府(2020)⁽⁹⁴⁾

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (18/21)



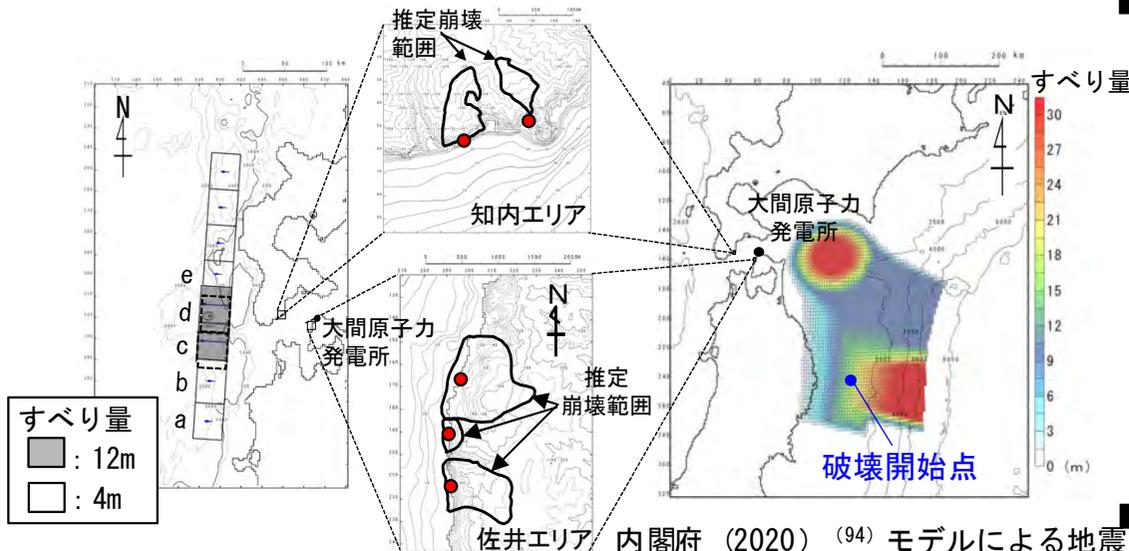
コメントNo.S5-36

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (2/5)

線形足し合せ方法

- 斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間 (T_s) , 及び斜面崩壊位置での地震動継続時間 (T_d) から斜面崩壊が発生する時間範囲 ($T_s \sim T_s + T_d$) を算定し, その時間範囲で各津波の取水口スクリーン室前面位置における水位時刻歴波形を線形に足し合わせ, 最大水位変動量の比較を行う。

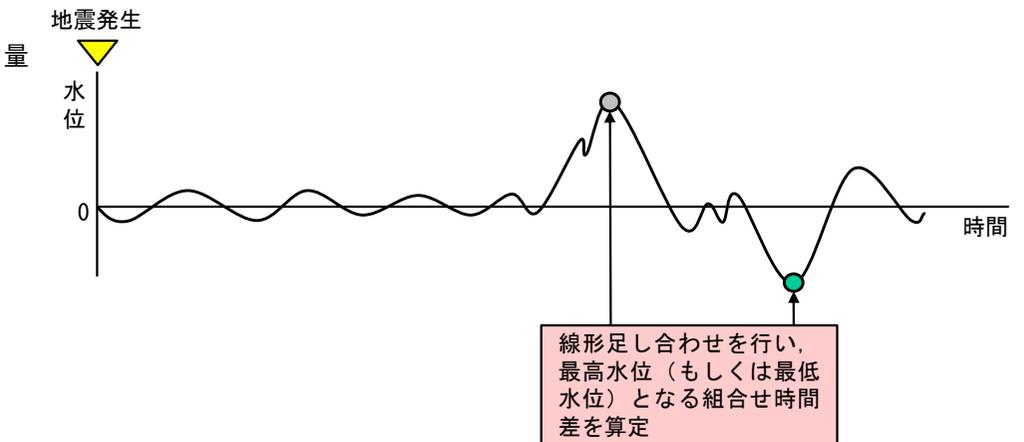
■時間差範囲の設定方法 (概念)



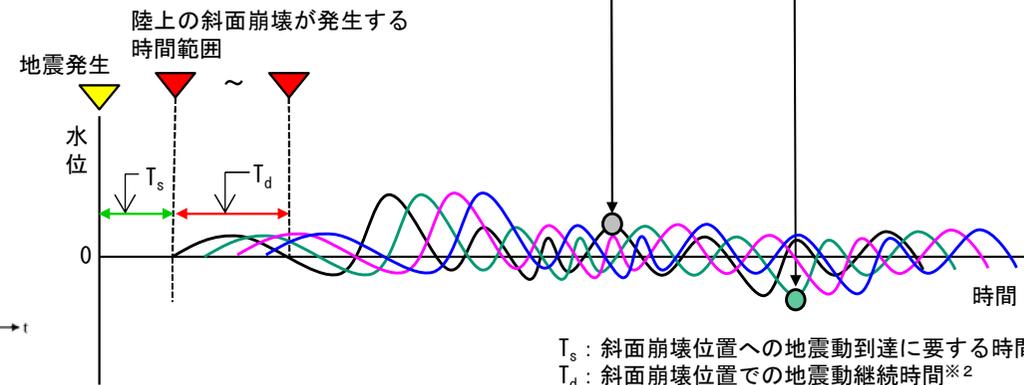
日本海東縁部の地震最大水位上昇ケース

●: 等価震源距離の評価地点
斜面崩壊

■地震による津波の敷地での水位時刻歴波形

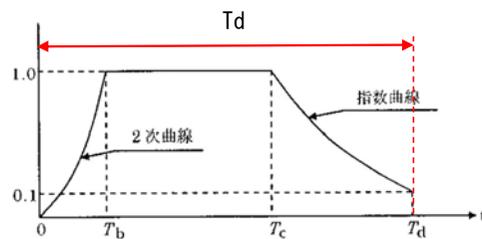


■陸上の斜面崩壊に起因する津波の敷地での水位時刻歴波形



T_s : 斜面崩壊位置への地震動到達に要する時間*1
 T_d : 斜面崩壊位置での地震動継続時間*2

区分	等価震源距離	地震波速度 (S波速度)	T_s *1	T_d *2
佐井エリア	最大水位上昇ケース	3.4km/s*3	39.6s	134.1s
	最大水位下降ケース		58.2s	246.1s
知内エリア	最大水位上昇ケース	3.4km/s*3	29.4s	120.9s
	最大水位下降ケース		70.2s	262.3s

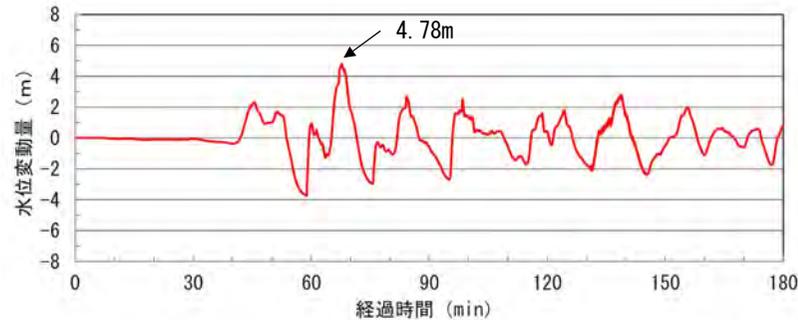


*1: 各断面から斜面崩壊位置までの等価震源距離とS波速度から算定
*2: Noda et al. (2002) (95) による振幅包絡線の経時特性から算定
*3: 地震調査研究推進本部 (2009) (96) より

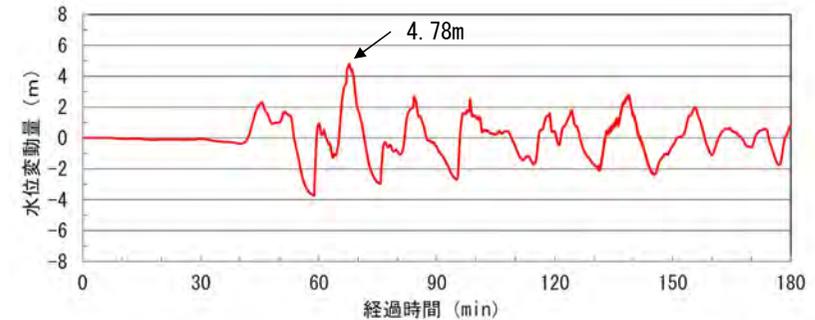
3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (3/5)

線形足し合せ結果【上昇側】

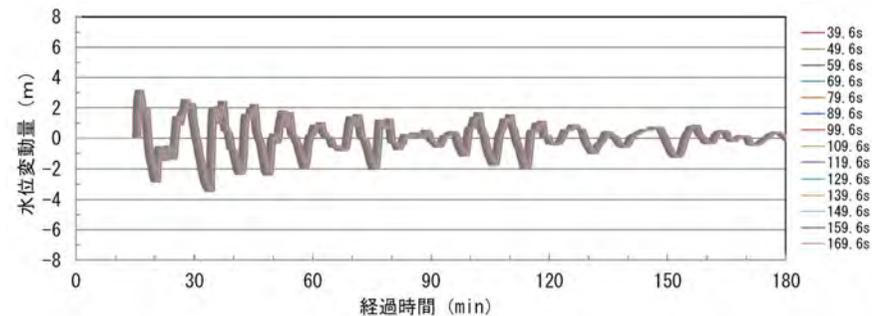
- 陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を、 $T_s \sim T_s + T_d$ 間に変化させ、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波形と2つの陸上の斜面崩壊に起因する津波の波形との線形足し合せを行い、水位時刻歴波形での最大水位上昇量を比較した。
- 重ね合わせた結果としての最大水位上昇量は佐井エリアの方が大きい。



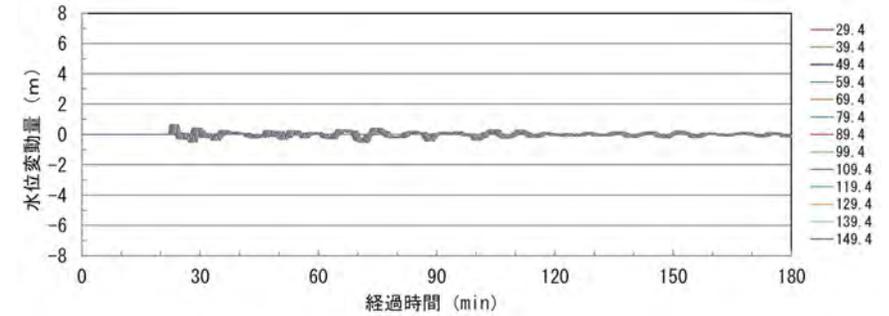
日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形



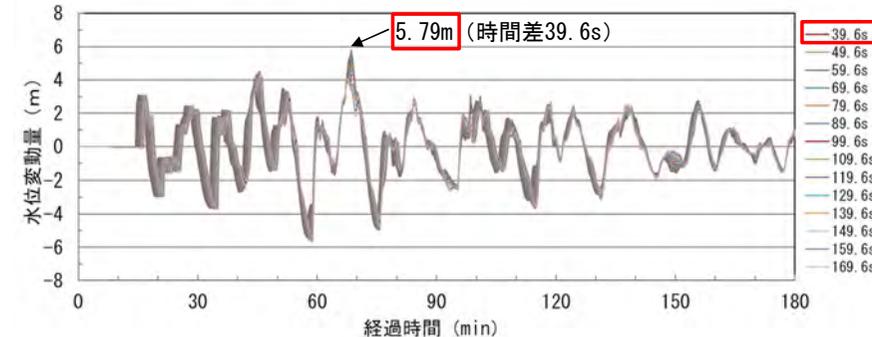
日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の津波波形



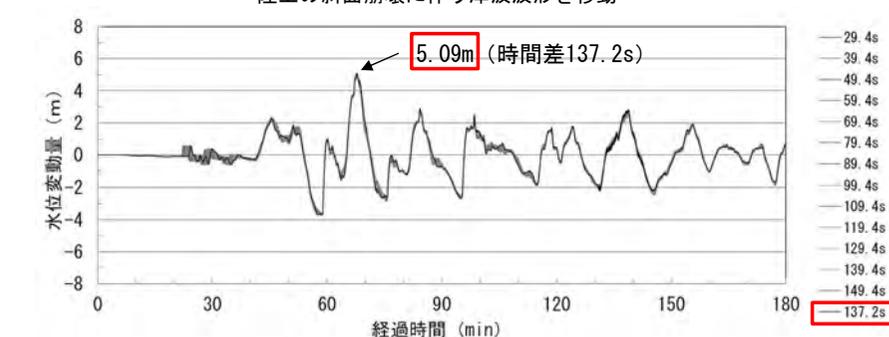
陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を移動



陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を移動



線形足し合せ波形
佐井エリアにおける線形足し合せ結果

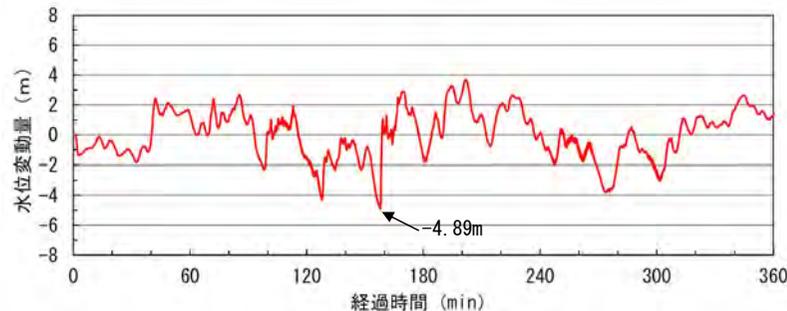


線形足し合せ波形
知内エリアにおける線形足し合せ結果

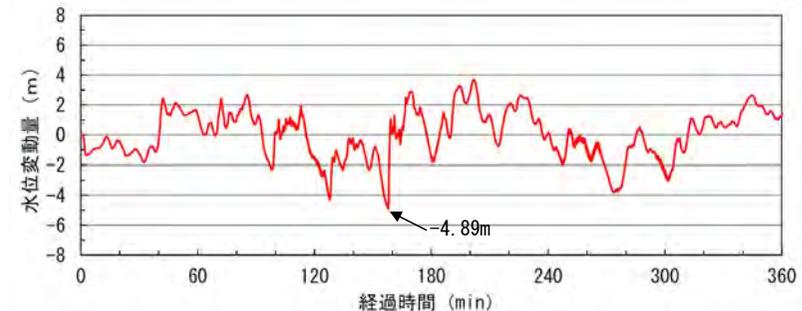
3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (4/5)

線形足し合せ結果【下降側】

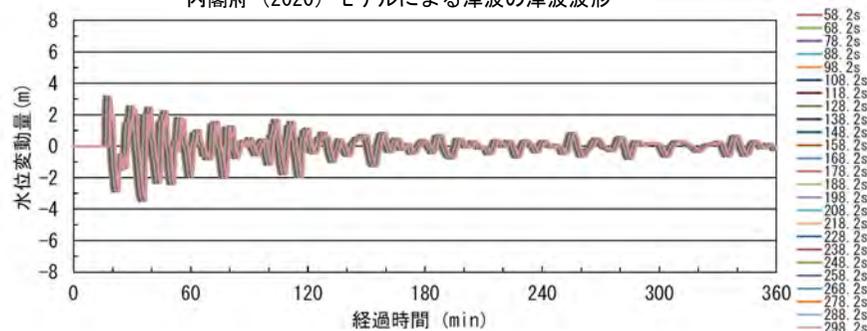
- 陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を, $T_s \sim T_s + T_d$ 間に変化させ, 内閣府(2020)⁽⁹⁴⁾モデルによる津波の波形と2つの陸上の斜面崩壊に起因する津波の波形との線形足し合せを行い, 水位時刻歴波形での最大水位下降量を比較した。
- 重ね合わせた結果としての最大水位下降量は佐井エリアの方が大きい。



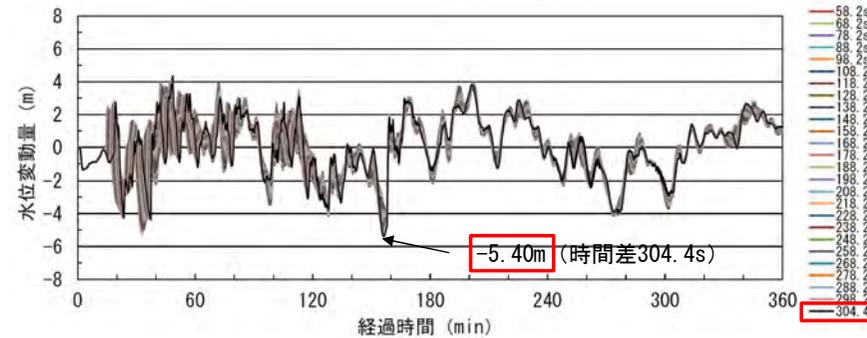
内閣府(2020)モデルによる津波の津波波形



内閣府(2020)モデルによる津波の津波波形

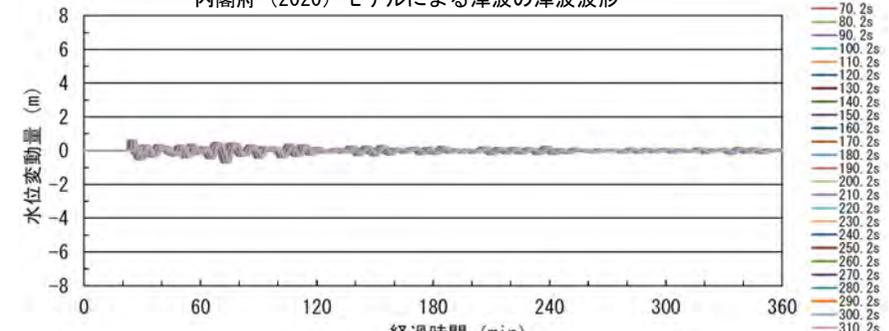


陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を移動

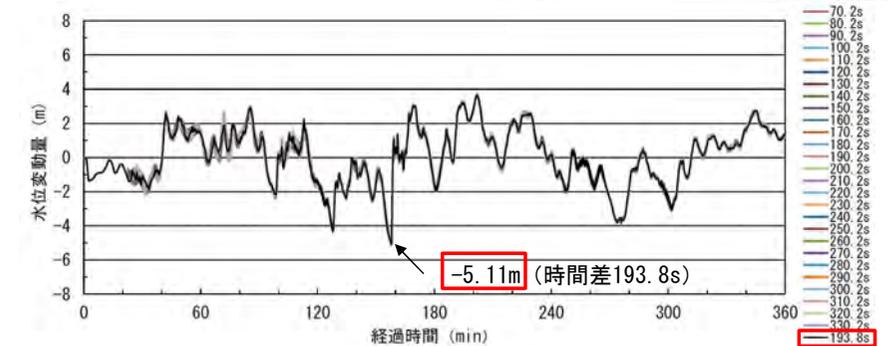


線形足し合せ波形

佐井エリアにおける線形足し合せ結果



陸上の斜面崩壊に伴う津波波形を移動



線形足し合せ波形

知内エリアにおける線形足し合せ結果

9-1. 組合せ対象地すべりエリアの選定 (21 / 21)



コメントNo.S5-36

3. 津波波形の線形足し合せによる影響比較 (5 / 5)

検討結果まとめ

- ・ 津軽海峡内に想定された5つの陸上の斜面崩壊（恵山エリア，函館エリア，知内エリア，佐井エリア，竜飛崎エリア）に起因する津波のうち，日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波（下降側）と重畳した場合に敷地への影響が比較的大きいと想定された佐井エリア，知内エリアについて，水位時刻歴波形の線形足し合せにより，敷地への影響を比較した結果，知内エリアに比べ佐井エリアの陸上の斜面崩壊に起因する津波の敷地への影響が大きいことを確認した。
- ・ 以上より，日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（上昇側）及び内閣府（2020）⁽⁹⁴⁾モデルによる津波（下降側）との組合せ対象として最も保守的な陸上の斜面崩壊は，佐井エリアの斜面崩壊と判断される。