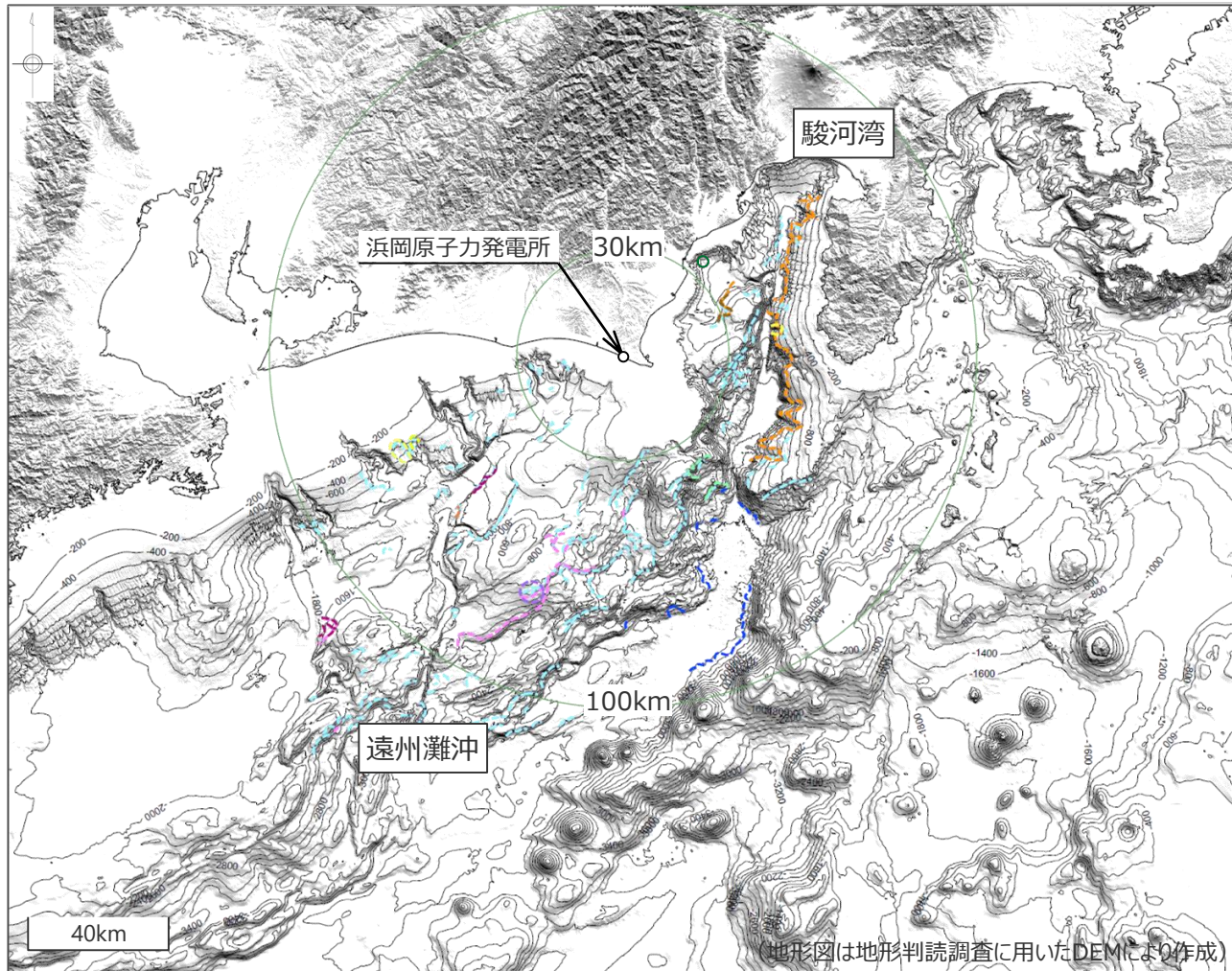


4 既往文献により海底地すべり地形が 示されている地点の地形判読調査結果

4 既往文献により海底地すべり地形が示されている地点の地形判読調査結果 敷地周辺の海底地すべりに関する文献調査

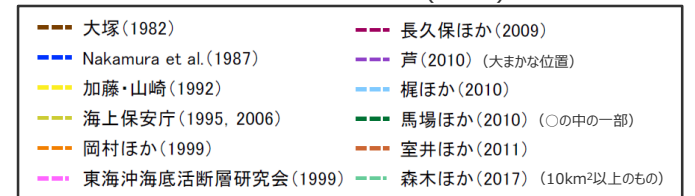
- 敷地周辺海域を対象として、海底地すべりに関する文献調査※1を実施した。
※1 主な科学技術系論文データベース等を対象（産総研Geolis、J-STAGE、CiNii、KAKEN、JAIRO）
- 文献により示されている海底地すべり地形は以下のとおり。南海トラフの大陸棚斜面からトラフ底の領域において海底地すべり地形が示されている。
なお、連続的な海底地すべり地形を示している文献については、断層運動や侵食作用による崖地形も含めて示していると考えられる。



既往文献により示されている海底地すべり地形

文献	手法	対象海域
① 大塚(1982)	・地形判読 ・音波探査記録	駿河湾
② Nakamura et al.(1987)	・音波探査記録	遠州灘沖
③ 加藤・山崎(1992)	・音波探査記録 ・潜水調査	駿河湾
④ 海上保安庁(1995,2006)	・地形判読 ・音波探査記録	遠州灘沖
⑤ 岡村ほか(1999)	・音波探査記録	駿河湾
⑥ 東海沖海底活断層研究会(1999)※2	・音波探査記録	遠州灘沖
⑦ 長久保ほか(2009)	・地形判読 ・音波探査記録	遠州灘沖
⑧ 芦(2010)	・音波探査記録 ・潜水調査	遠州灘沖
⑨ 梶ほか(2010)	・地形判読	遠州灘沖 ～駿河湾
⑩ 馬場ほか(2010)	・地形判読 ・潜水調査	駿河湾
⑪ 室井ほか(2011)	・地形判読 ・音波探査記録	遠州灘沖
⑫ 森木ほか(2017)	・地形判読	遠州灘沖 ～駿河湾

※2 徳山ほか(2001)も同様の位置に図示

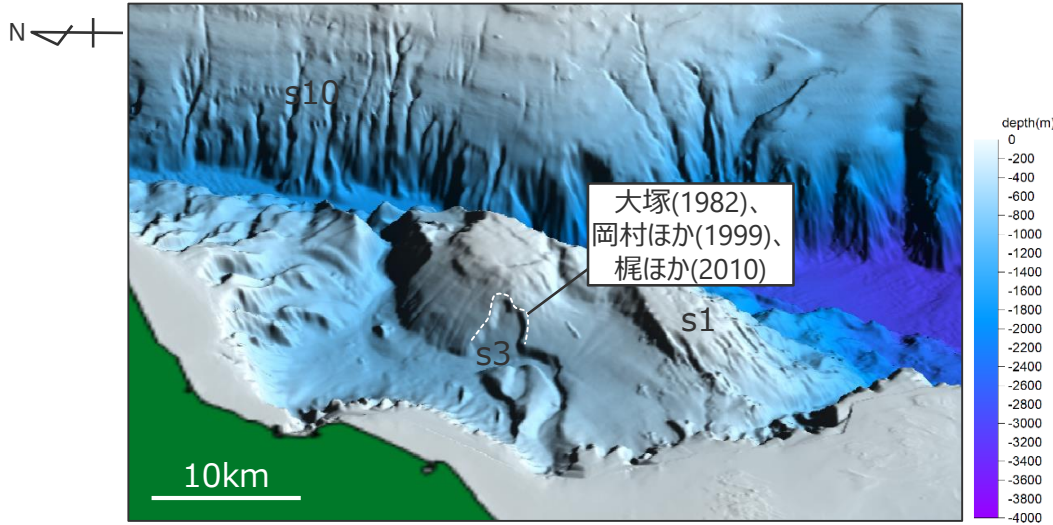


4 既往文献により海底地すべり地形が示されている地点の地形判読調査結果

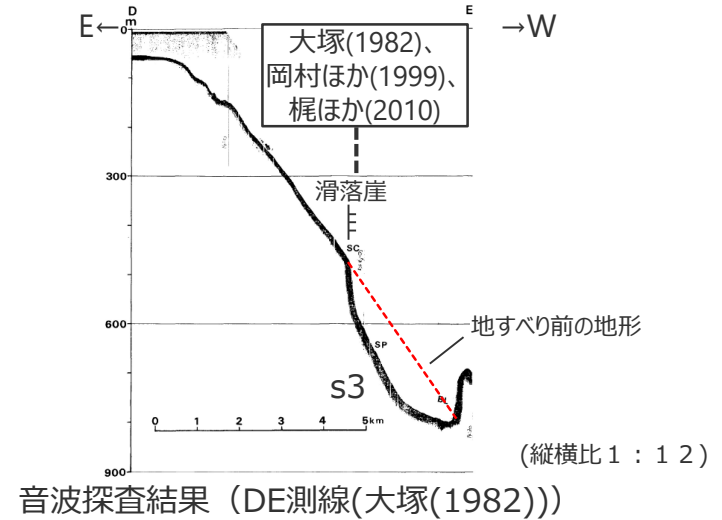
既往文献

大塚(1982)・岡村ほか(1999)・梶ほか(2010)

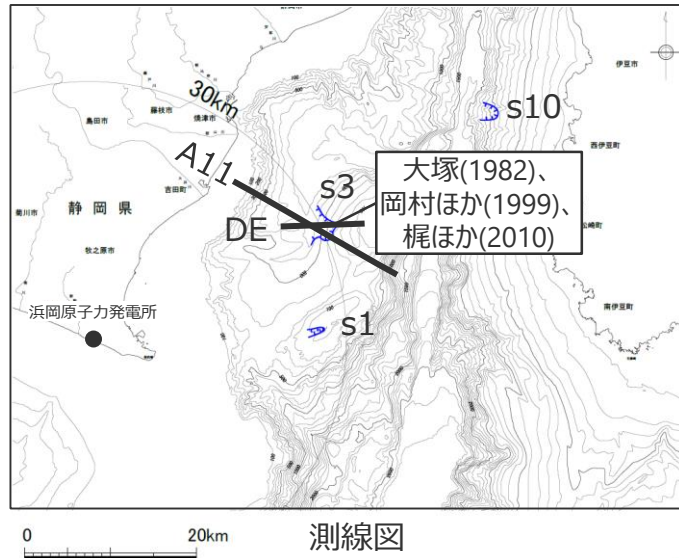
■ 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、駿河湾の海盆内に大塚(1982)、岡村ほか(1999)、梶ほか(2010)が示した海底地すべり地形について、s3地点の海底地すべり地形として抽出した。



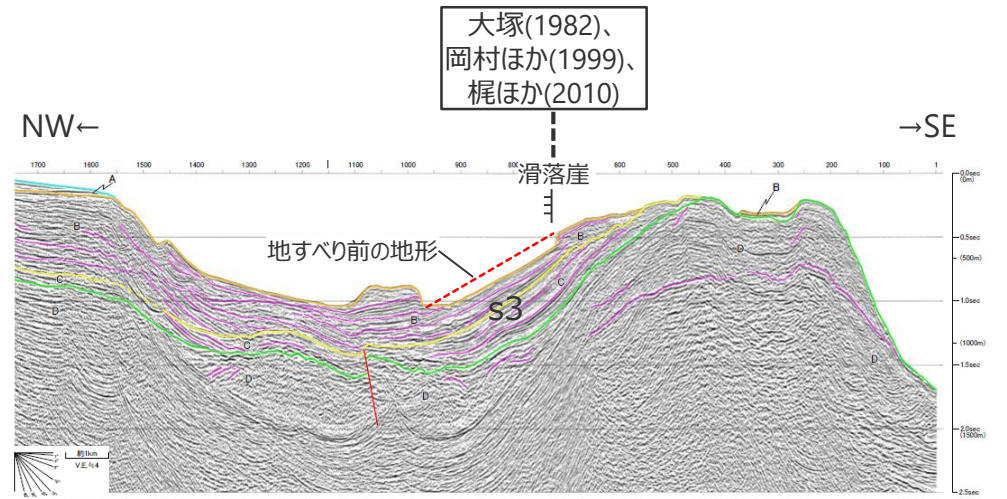
DEMより作成した鯨瞰図



音波探査結果 (DE測線(大塚(1982)))



測線図



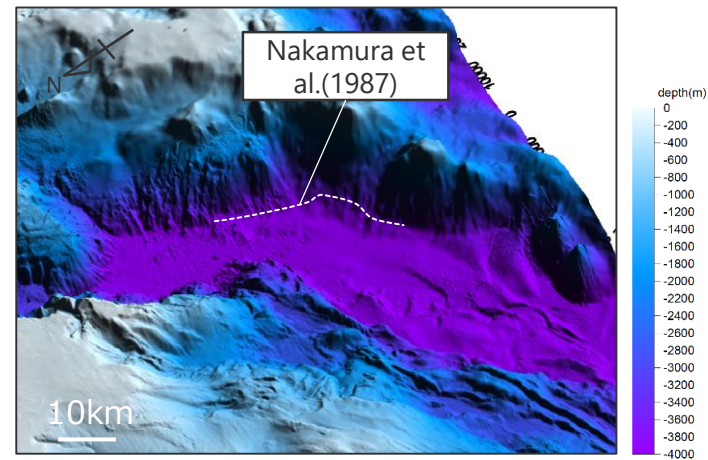
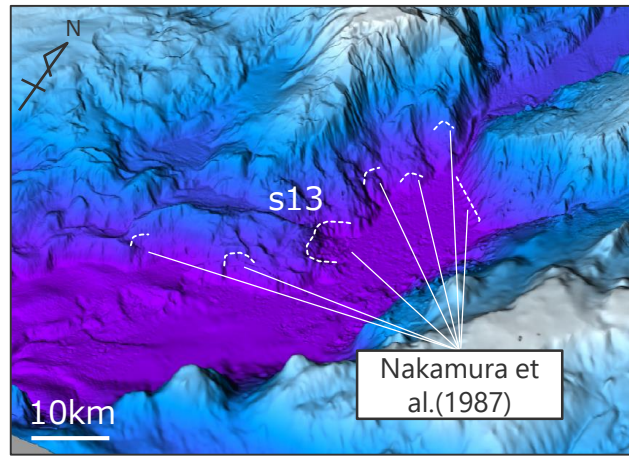
音波探査結果 (A11測線)

・地すべり前の地形は概略のもの

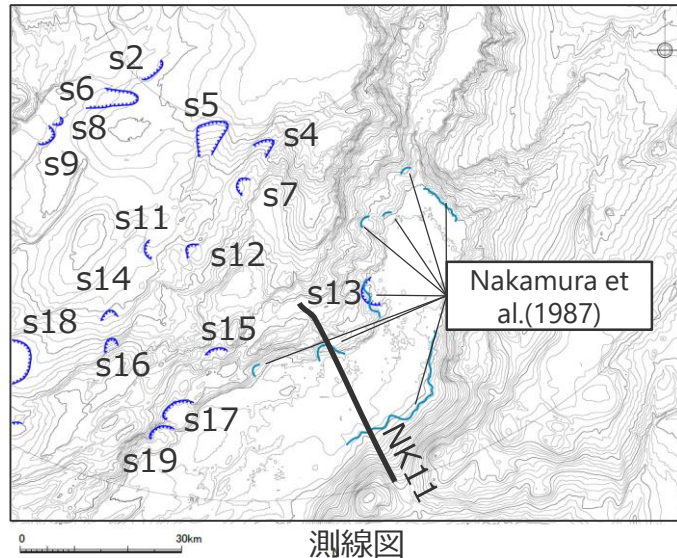
既往文献

Nakamura et al.(1987)

- 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、遠州灘沖の外縁隆起帯トラフ側斜面にNakamura et al.(1987)が示した海底地すべり地形について、その一部をs13地点の海底地すべり地形として抽出した。
- なお、その他の部分については、小規模な地形であり大規模な海底地すべり地形（約1億m³以上）ではない、もしくは、連続的な崖地形であり馬蹄形の滑落崖と土砂流出痕跡とみられる堆積部・土塊が認められないことを確認し南海トラフ底における侵食地形または前縁断層系の断層運動に伴う変動地形であり大規模な海底地すべり地形（約1億m³以上）ではないと評価した。



DEMより作成した鯨瞰図



測線図

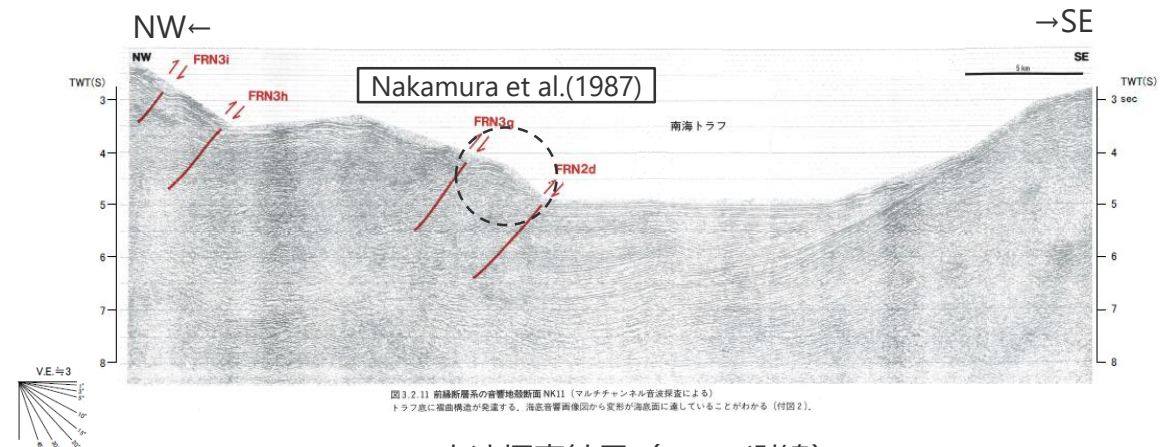


図3.2.11 前縁断層系の音響地殻断面NK11 (マルチチャンネル音波探査による)

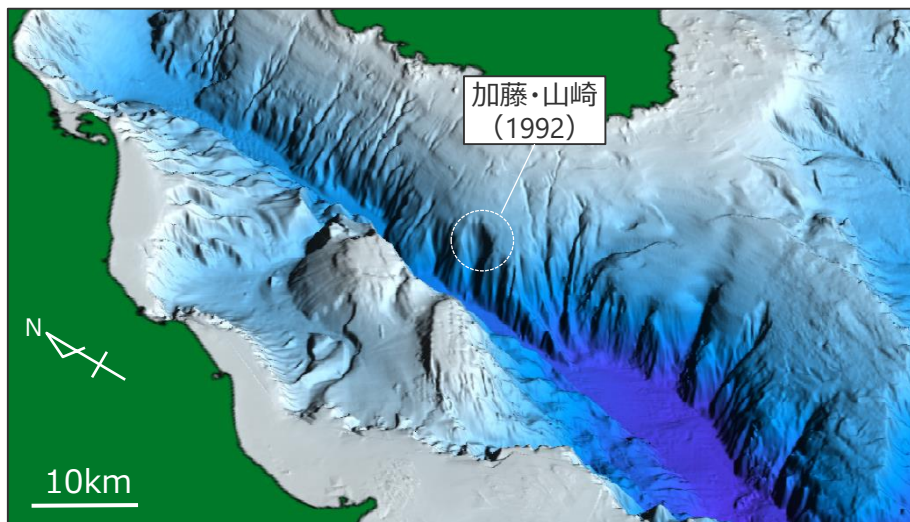
トラフ底に褶曲構造が発達する。海底音響画像図から地形が海底面に連していることがわかる (付図2)。

音波探査結果 (NK11測線)
(東海沖海底活断層研究会(1999)に基づき作成)

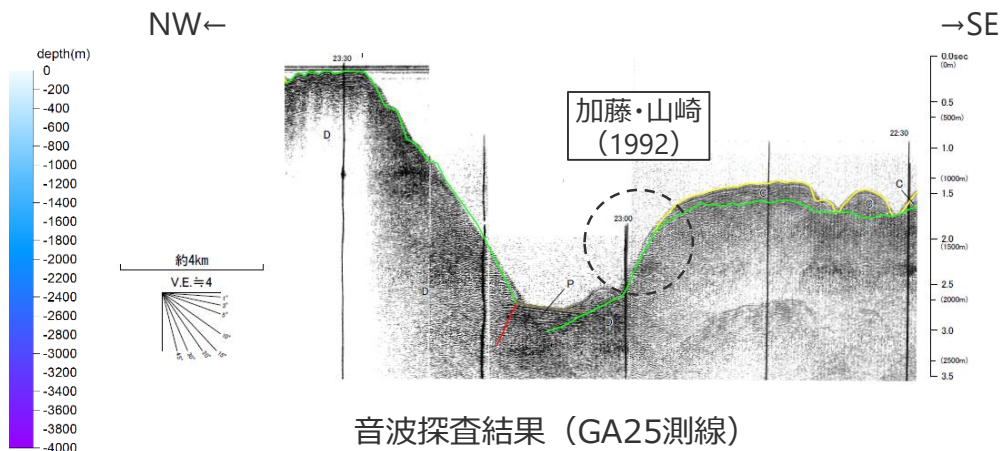
既往文献

加藤・山崎(1992)

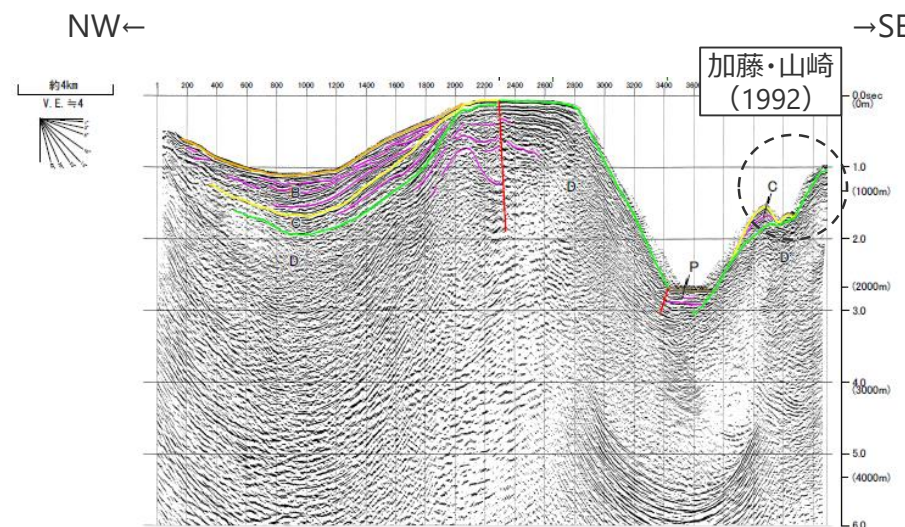
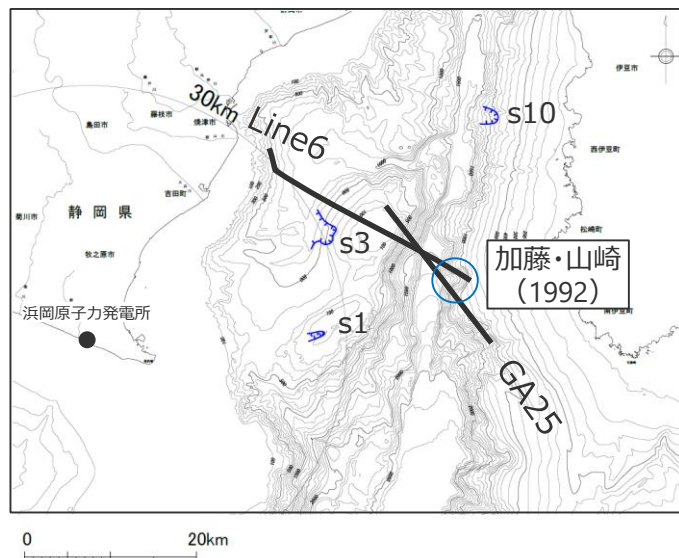
■ 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、駿河トラフ東側斜面に加藤・山崎(1992)が示した海底地すべり地形について、馬蹄形の滑落崖と土砂流出痕跡とみられる堆積部が認められないことを確認し、駿河トラフにおける侵食地形であり、大規模な海底地すべり地形（約1億m³以上）ではないと評価した。



DEMより作成した鯨瞰図



音波探査結果 (GA25測線)



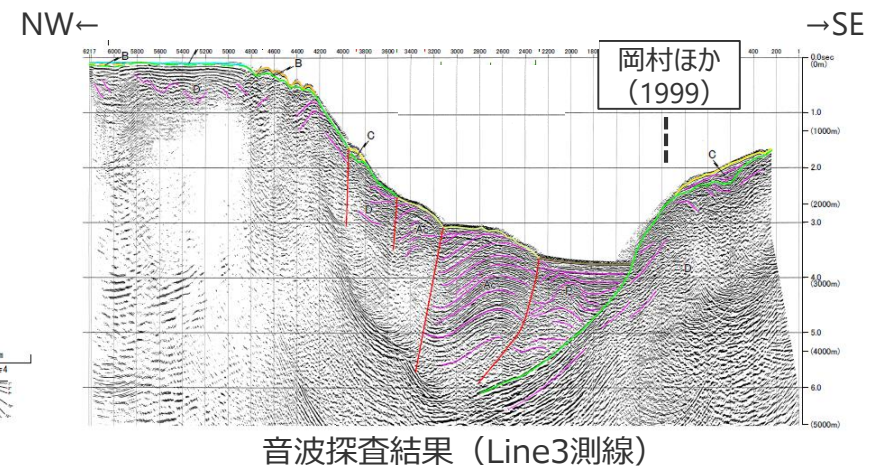
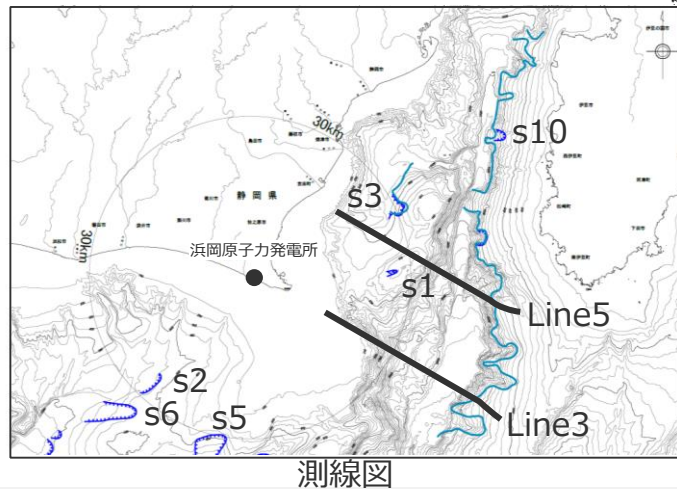
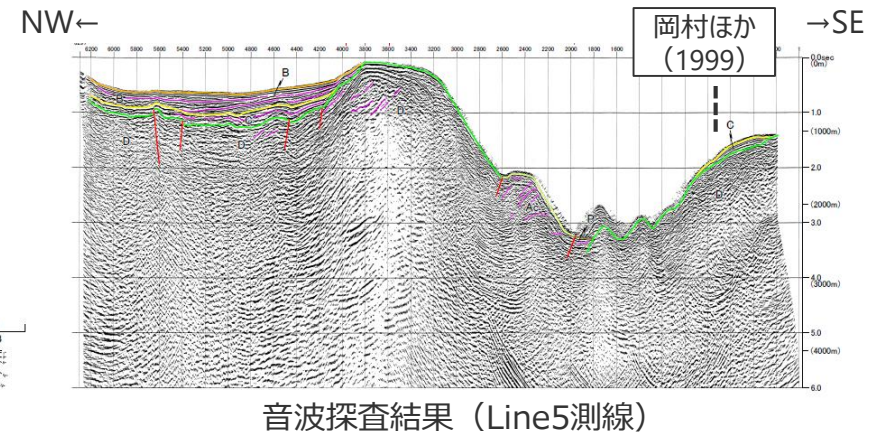
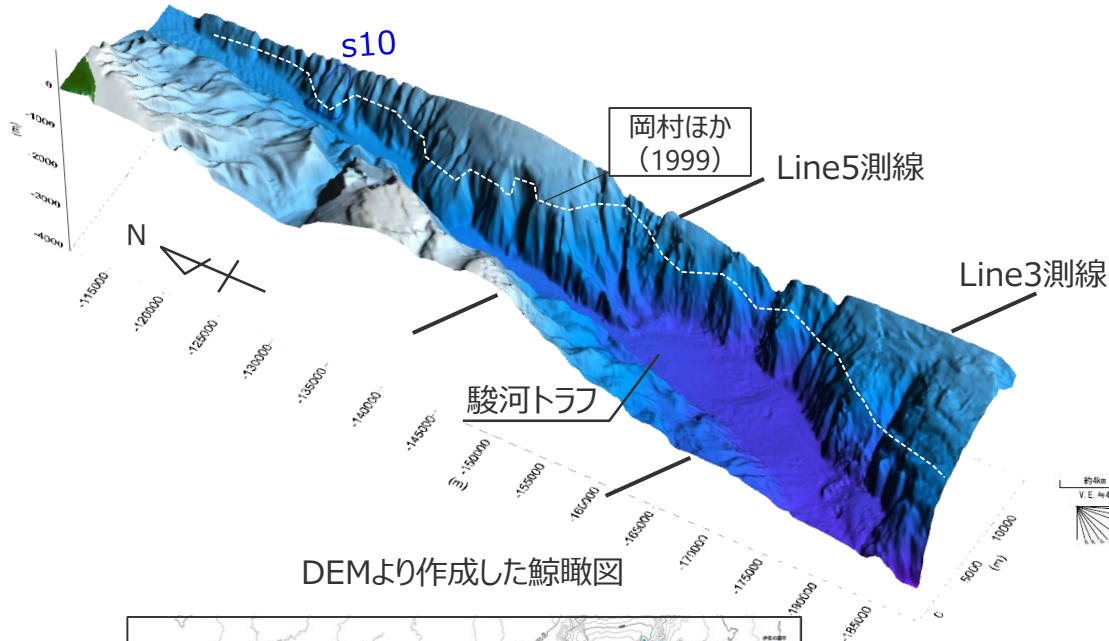
音波探査結果 (Line6測線)

4 既往文献により海底地すべり地形が示されている地点の地形判読調査結果

既往文献

岡村ほか(1999)

- 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、駿河トラフ東側斜面に岡村ほか(1999)が示した海底地すべり地形について、その一部をs10地点の海底地すべり地形として抽出した。
- なお、その他の部分については、連続した崖地形であり馬蹄形の滑落崖と土砂流出痕跡とみられる堆積部・土塊が認められないことを確認し、駿河トラフにおける侵食地形であり、大規模な海底地すべり地形（約1億m³以上）ではないと評価した。

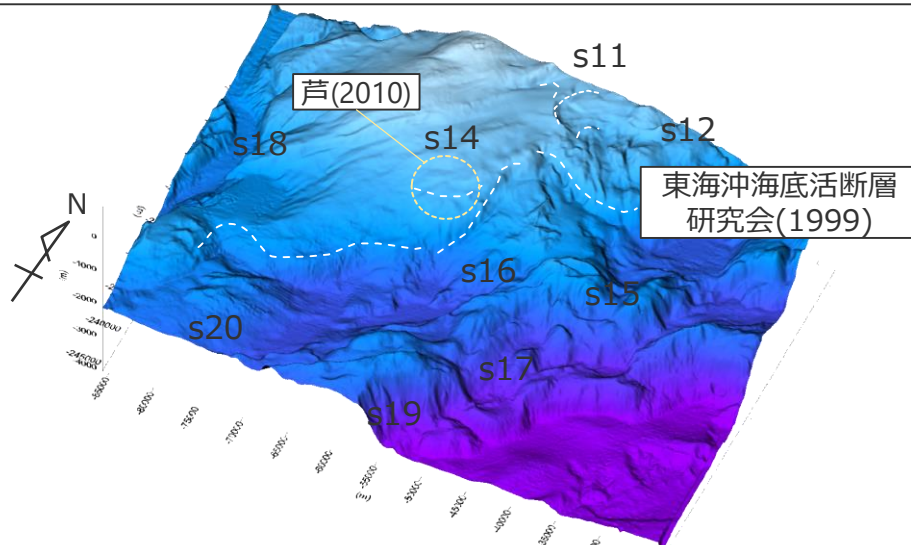


4 既往文献により海底地すべり地形が示されている地点の地形判読調査結果

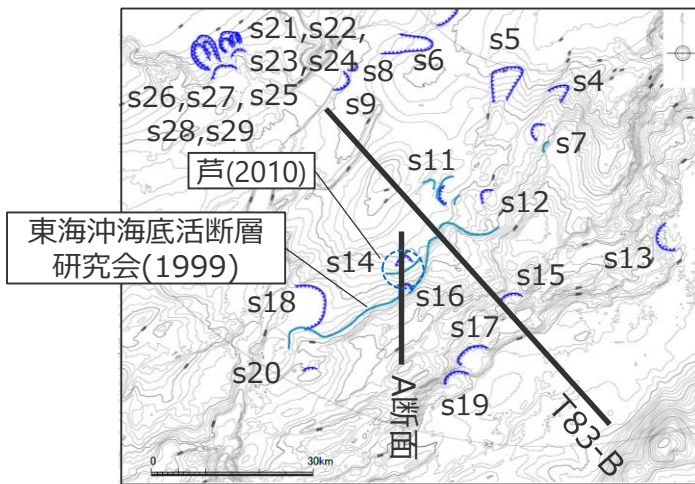
既往文献

東海沖海底活断層研究会(1999)・芦(2010)

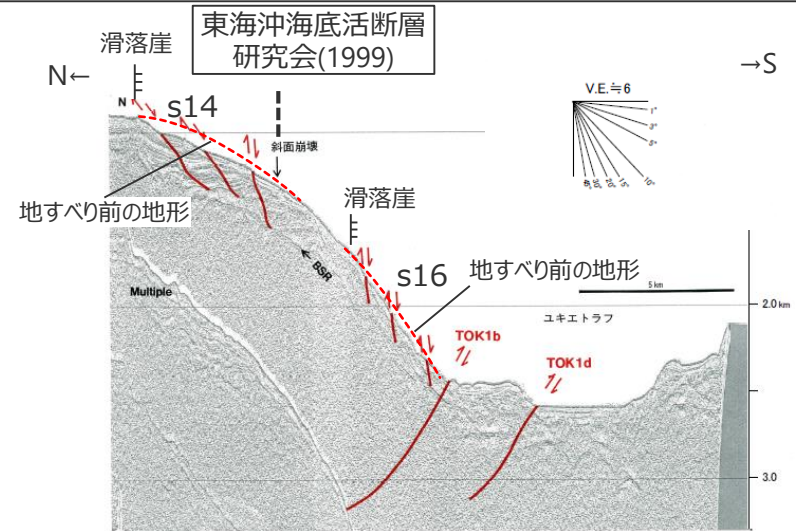
- 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、遠州灘沖の外縁隆起帯トラフ側斜面上に東海沖海底活断層研究会(1999)および芦(2010)が示した海底地すべり地形について、その一部をs7, s11, s14, s16地点の海底地すべり地形として抽出した。
- なお、その他の部分については、連続した崖地形であり土砂流出痕跡とみられる堆積部・土塊が認められないことを確認し、東海断層系等の断層運動に伴う変動地形であり、大規模な海底地すべり地形(約1億m³以上)ではないと評価した。



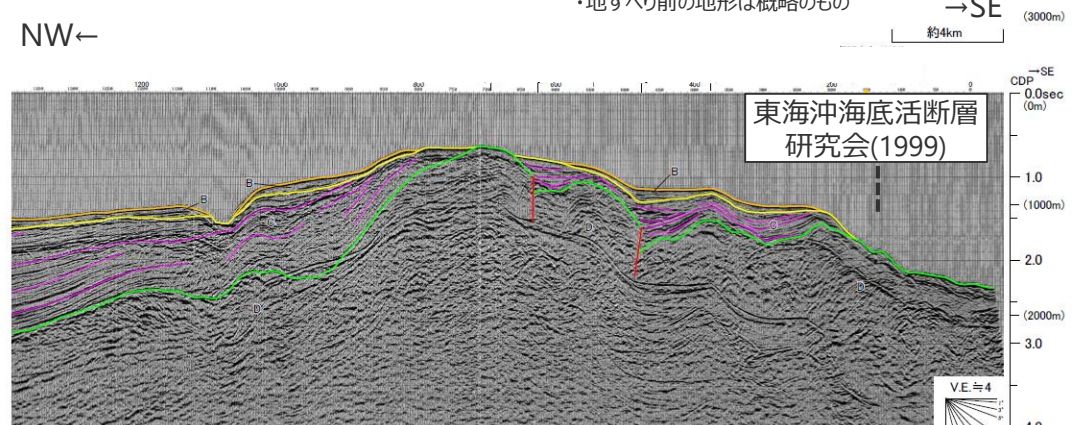
DEMより作成した鯨瞰図



測線図



音波探査結果 (A断面)
(東海沖海底活断層研究会(1999)に基づき作成)
・地すべり前の地形は概略のもの



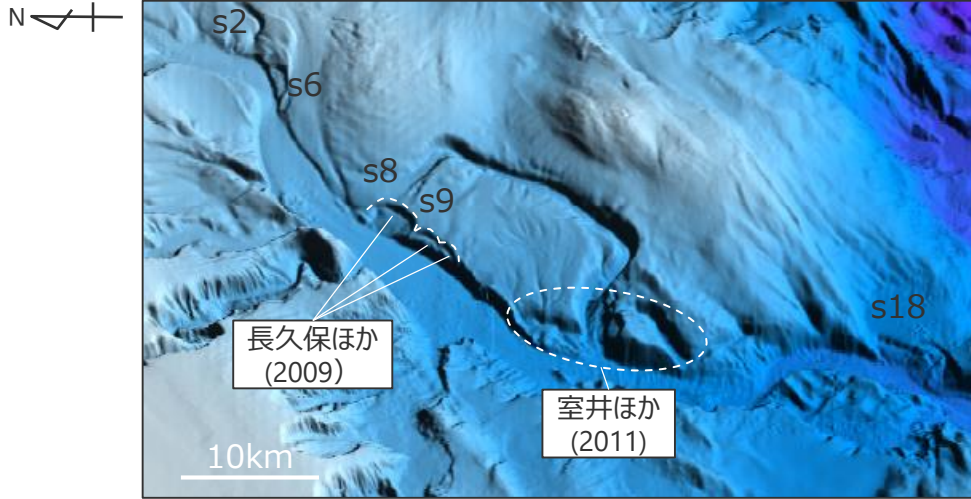
音波探査結果 (T83-B測線)

4 既往文献により海底地すべり地形が示されている地点の地形判読調査結果

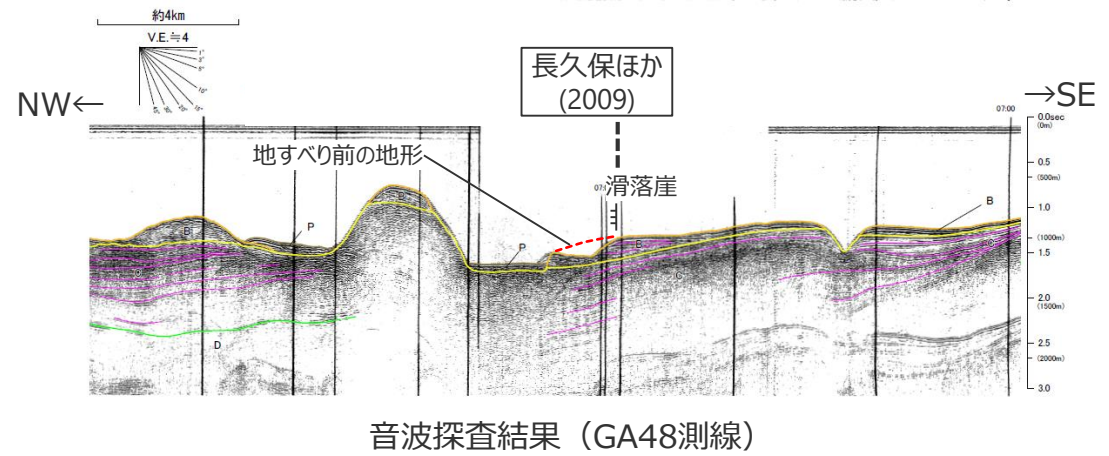
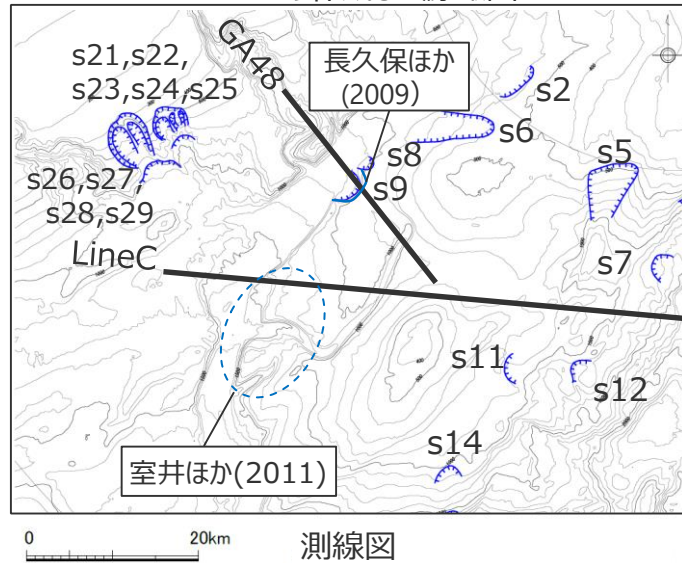
既往文献

長久保ほか(2009)・室井ほか(2011)

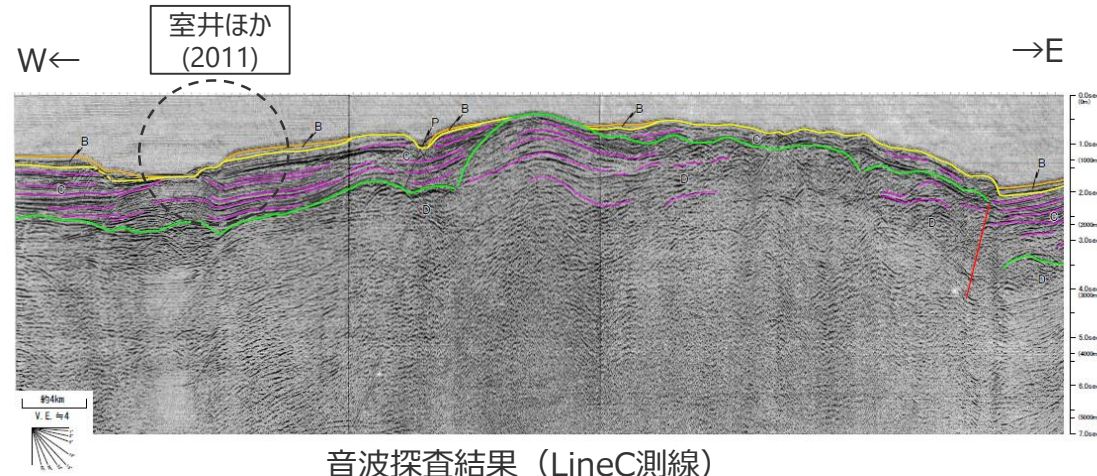
- 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、遠州灘沖の海盆内に長久保ほか(2009)および室井ほか(2011)が示した海底地すべり地形について、その一部をs9地点の海底地すべり地形として抽出した。
- なお、その他の部分については、小規模な地形であり大規模な海底地すべり地形（約1億m³以上）ではないと評価した。



DEMより作成した鯨瞰図



音波探査結果 (GA48測線)



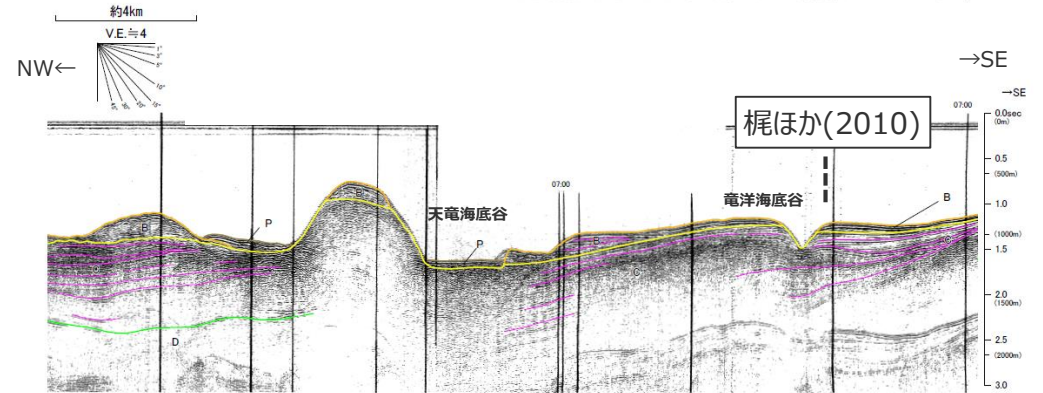
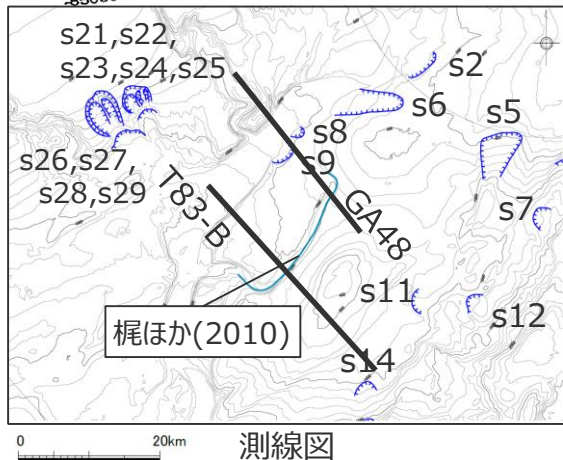
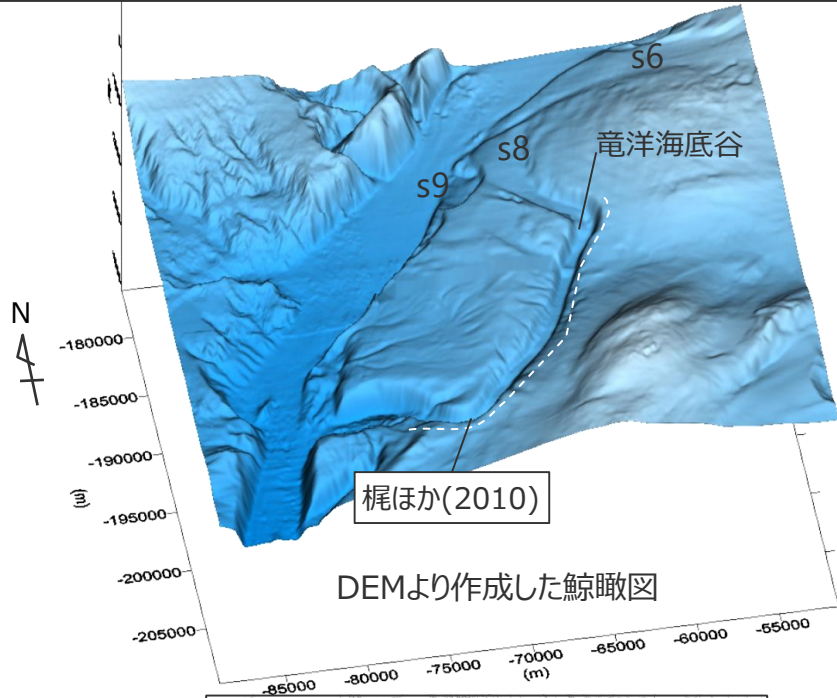
音波探査結果 (LineC測線)

4 既往文献により海底地すべり地形が示されている地点の地形判読調査結果

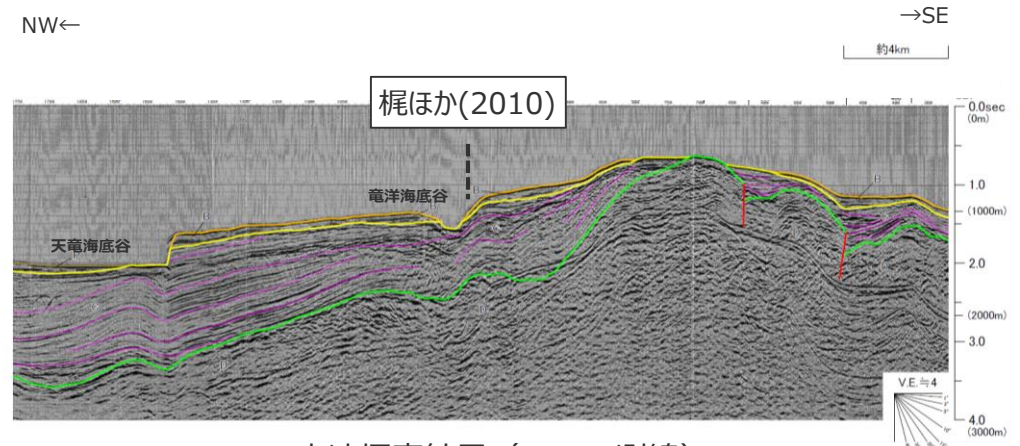
既往文献

梶ほか(2010) (1/2)

■ 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、遠州灘沖の海盆内の竜洋海底谷付近に梶ほか(2010)が示した海底地すべり地形について、連続した崖地形であり土砂の流出痕跡とみられる堆積部・土塊が認められないことを確認し、竜洋海底谷における侵食地形であり、大規模な海底地すべり地形(約1億m³以上)ではないと評価した。



音波探査結果 (GA48測線)

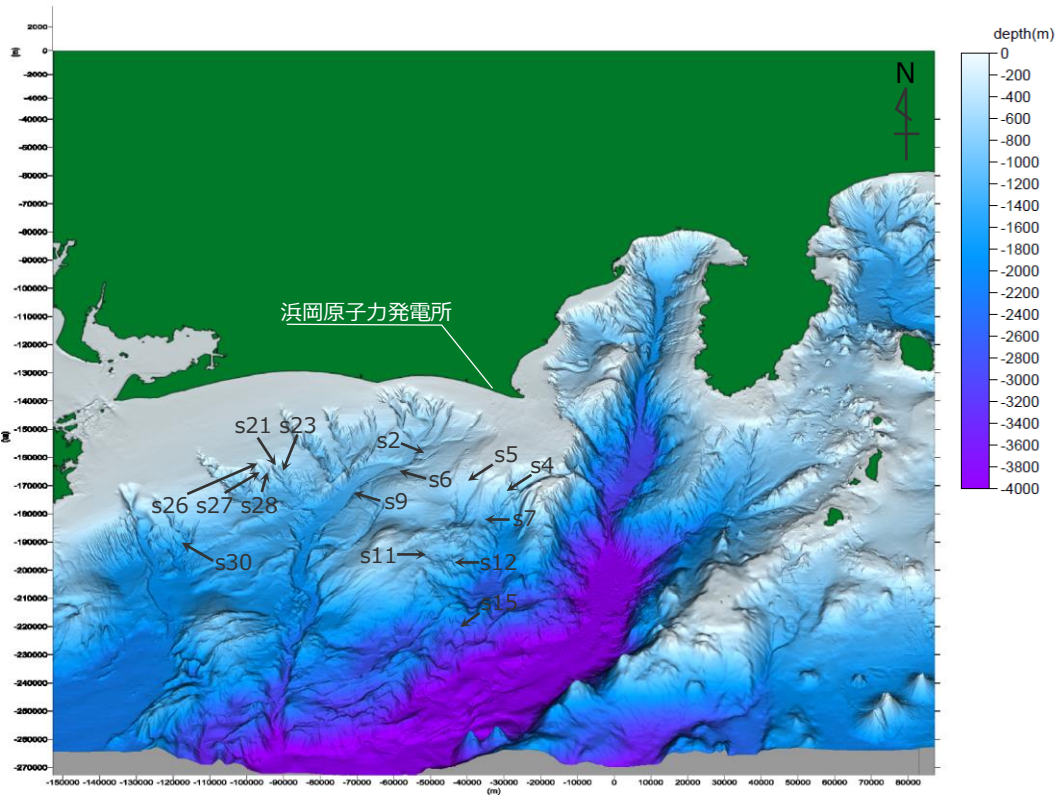


音波探査結果 (T83-B測線)

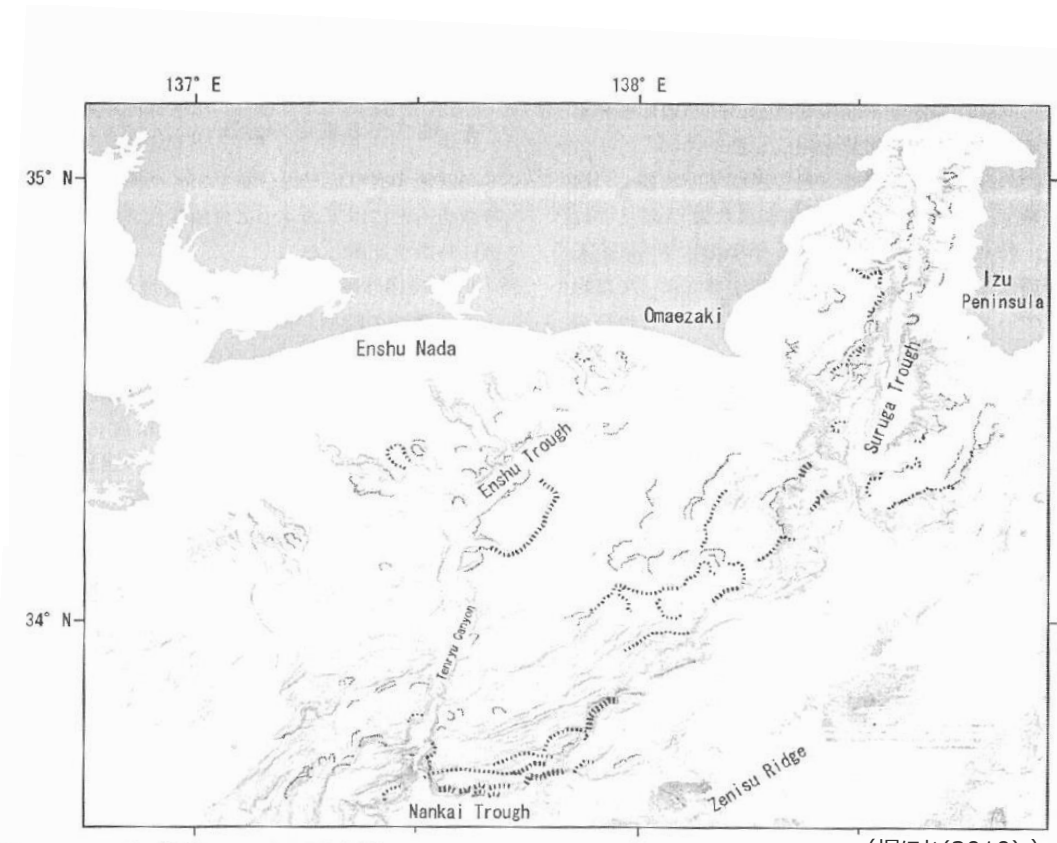
既往文献

梶ほか(2010) (2/2)

- 100mDEMおよび音波探査記録より地形判読調査を実施した結果、駿河湾～遠州灘沖に梶ほか(2010)が示すその他の海底地すべり地形について、その一部を海底地すべり地形 (s2,s3,s4,s5,s7,s9,s11,s12,s15,s21,s23,s26,s27,s28,s30地点の海底地すべり地形) として抽出した。
- なお、その他の部分については、馬蹄形の滑落崖と土砂流出痕跡とみられる堆積部・土塊が認められないことを確認し、大規模な海底地すべり地形 (約1億m³以上) ではないと評価した。



敷地周辺海域の鯨瞰図

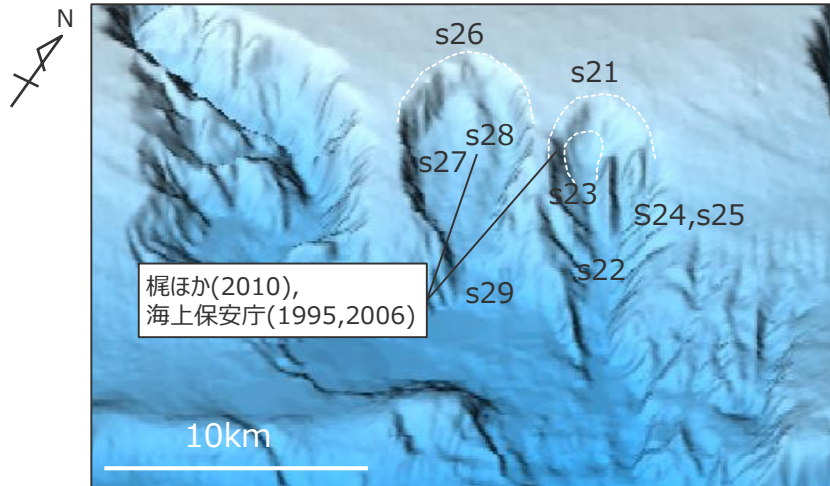


(梶ほか(2010))
梶ほか(2010)により示された海底地すべり地形

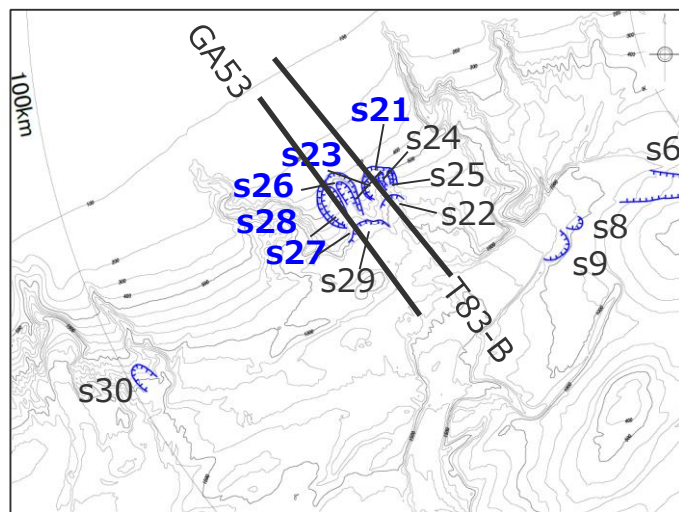
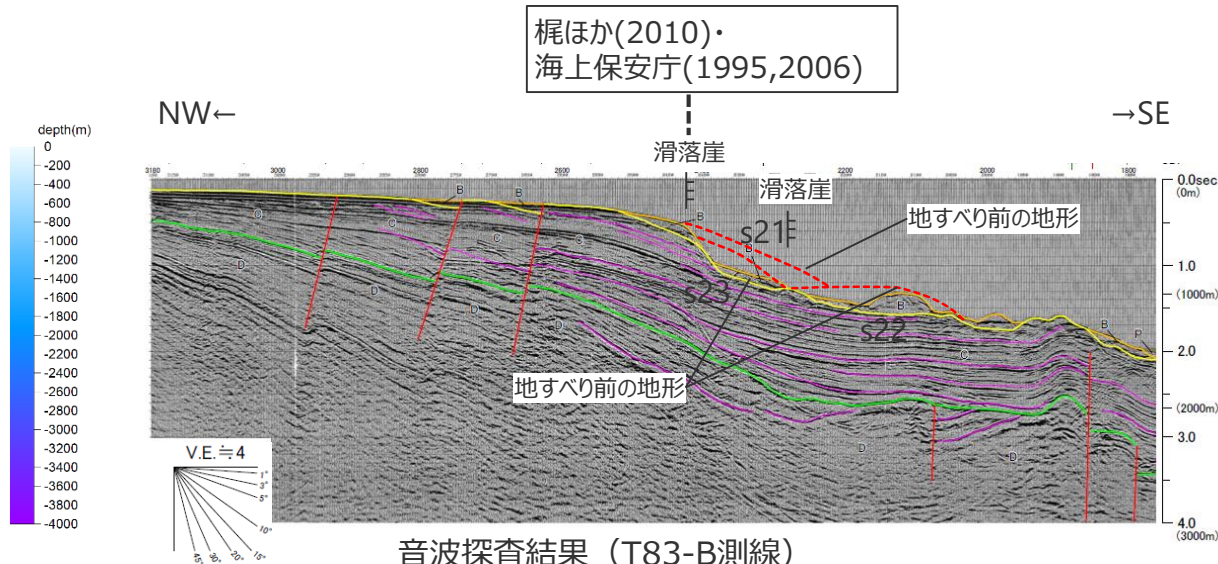
既往文献

海上保安庁(1995,2006)・梶ほか(2010)

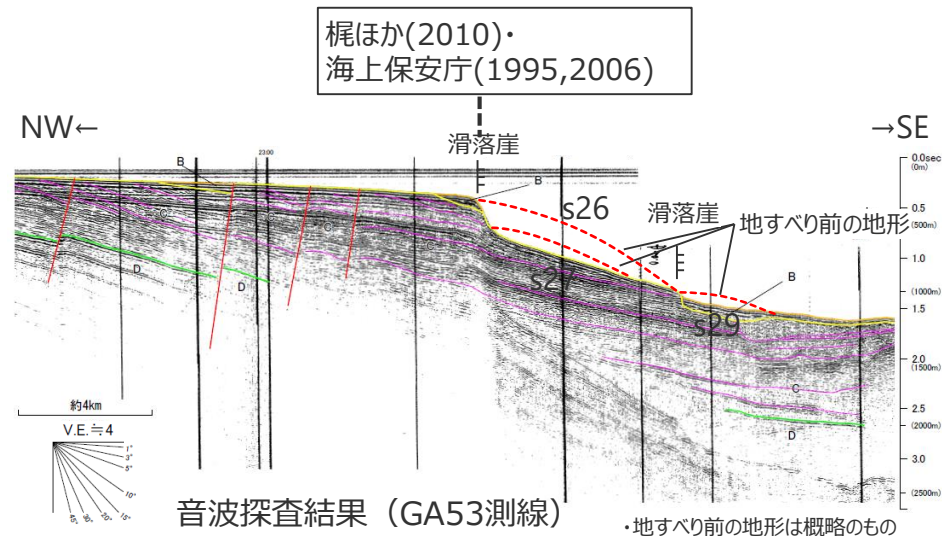
■ 100mDEMおよび音波探査記録を用いた地形判読調査の結果、遠州灘沖の大陸棚斜面に海上保安庁(1995,2006)および梶ほか(2010)が示した海底地すべり地形について、s21,s23,s26,s27,s28地点の海底地すべり地形として抽出した。



DEMより作成した鯨瞰図



測線図



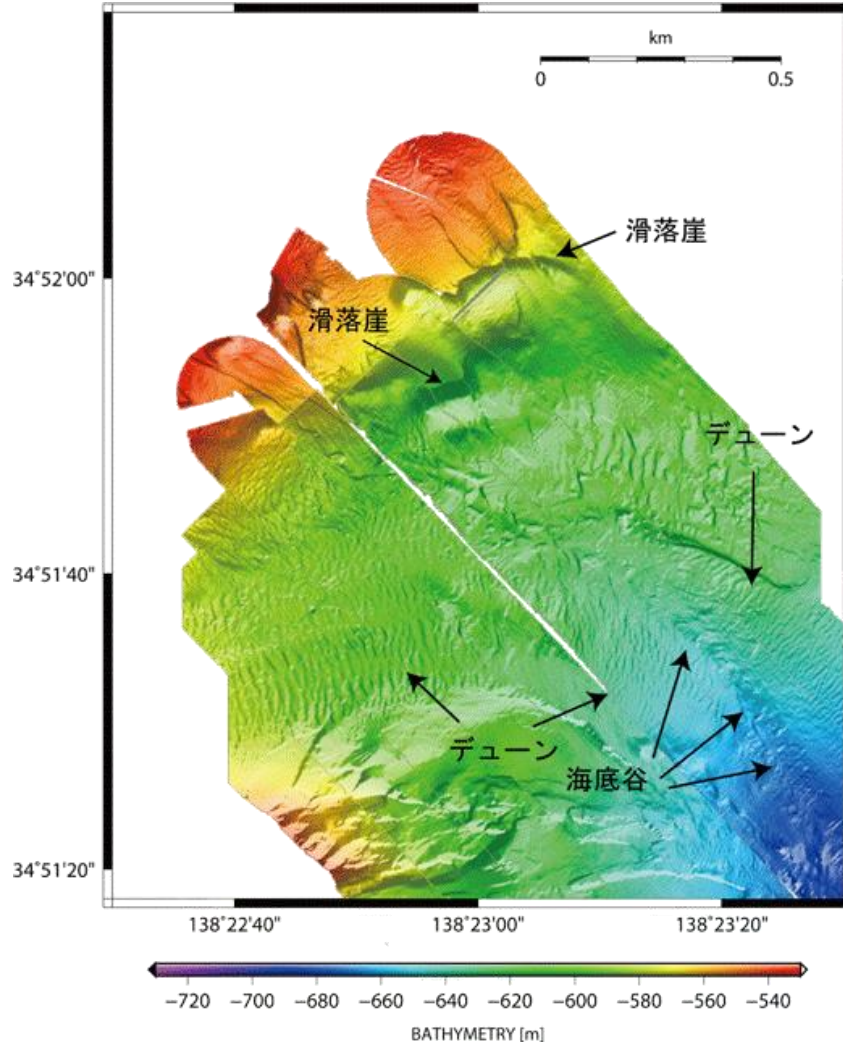
4 既往文献により海底地すべり地形が示されている地点の地形判読調査結果

既往文献

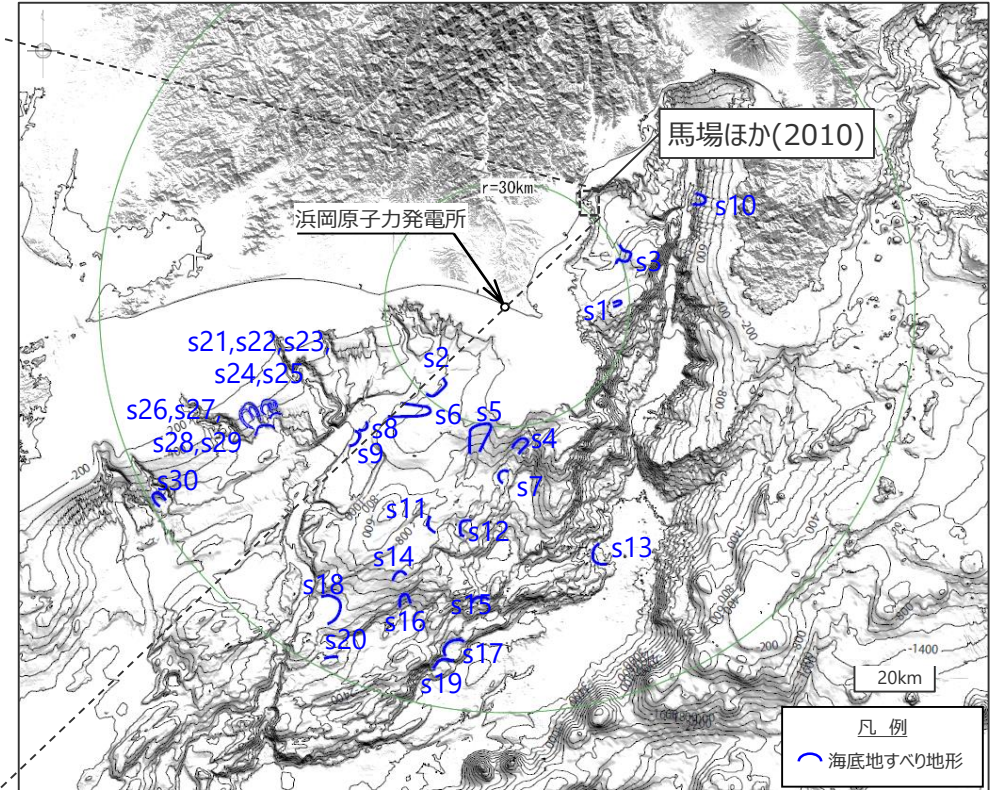
馬場ほか(2010)

■ 100mDEMおよび音波探査記録により地形判読調査を実施した結果、駿河湾の海盆内に馬場ほか(2010)が示した海底地すべり地形について、小規模な地形（全長約450m、比高約10-15m程度）であり大規模な海底地すべり地形（約1億m³以上）ではないと評価した。

・馬場ほか(2010)は、2009年駿河湾地震時に発生した海底地すべりに関して、海底地形調査を実施している。



焼津沖約5km付近の海底地形図（馬場ほか(2010)）

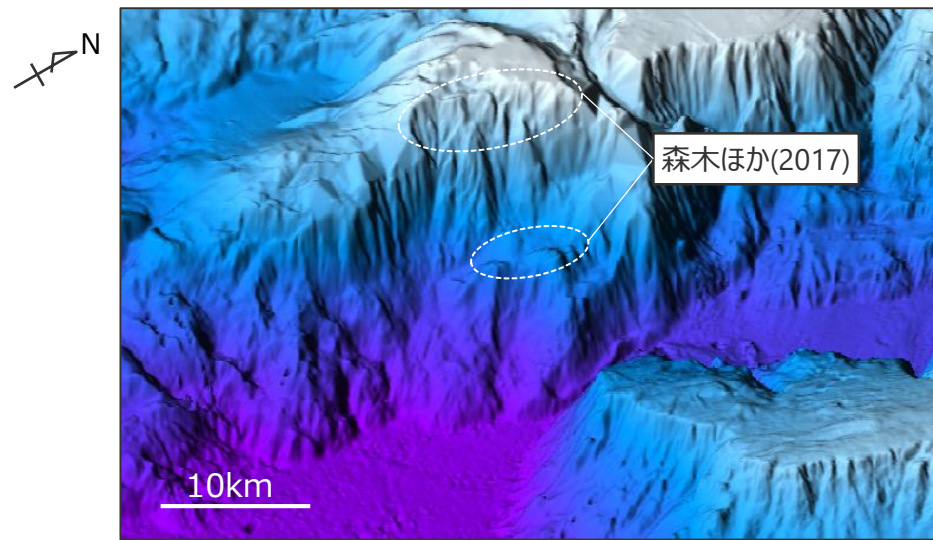


敷地周辺海域の海底地すべり地形の位置図

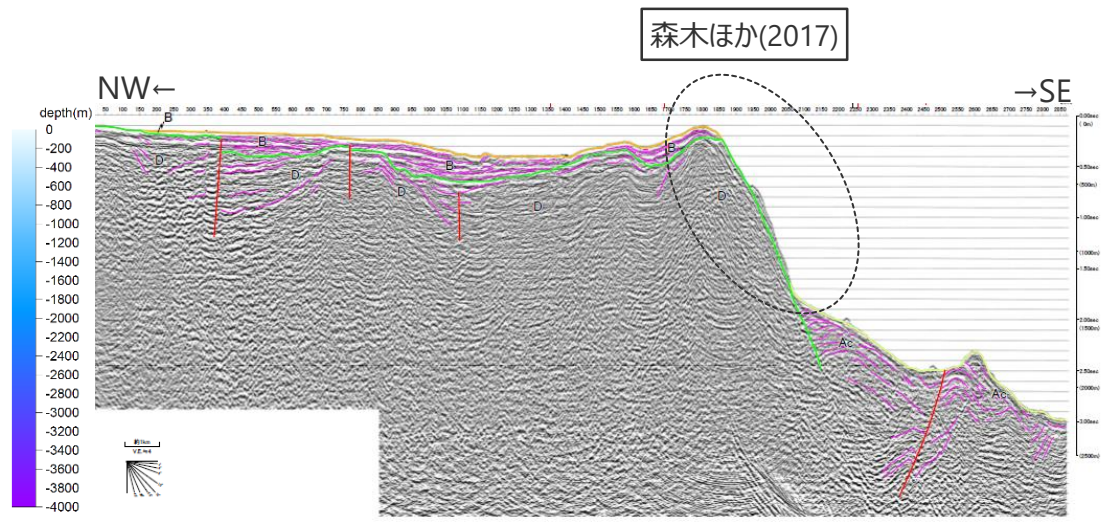
既往文献

森木ほか(2017)

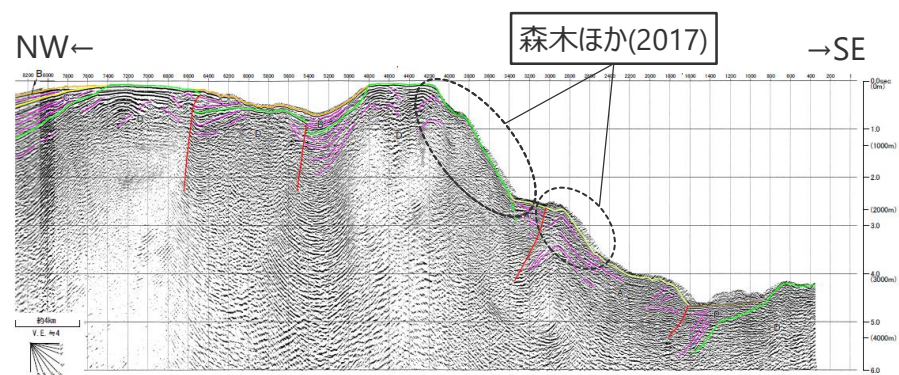
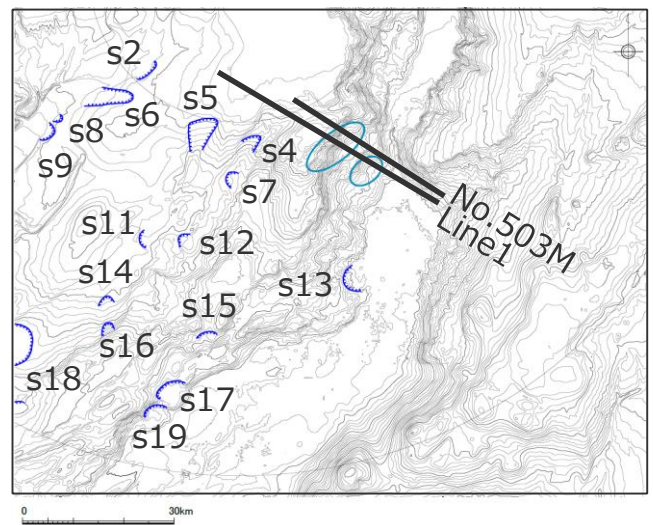
■ 100mDEMおよび音波探査記録により地形判読調査を実施した結果、遠州灘沖の外縁隆起帯トラフ側斜面に森木ほか(2017)が示した海底地すべり地形について、斜面基部に断層が認められ馬蹄形の滑落崖と土砂流出痕跡とみられる堆積部・土塊が認められないことを確認し、御前崎海脚東部の断層帯等の断層運動に伴う変動地形であり、大規模な海底地すべり地形（約1億m³以上）ではないと評価した。



DEMより作成した鯨瞰図



音波探査結果 (No.503M測線)

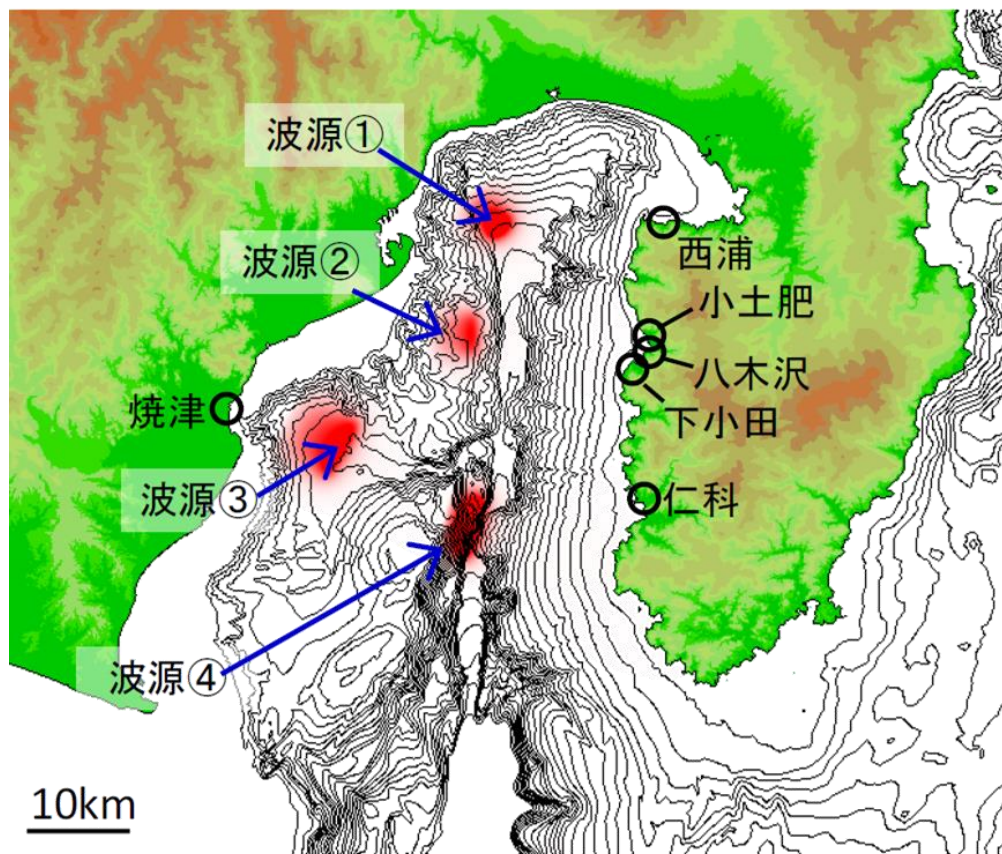


音波探査結果 (Line1測線)

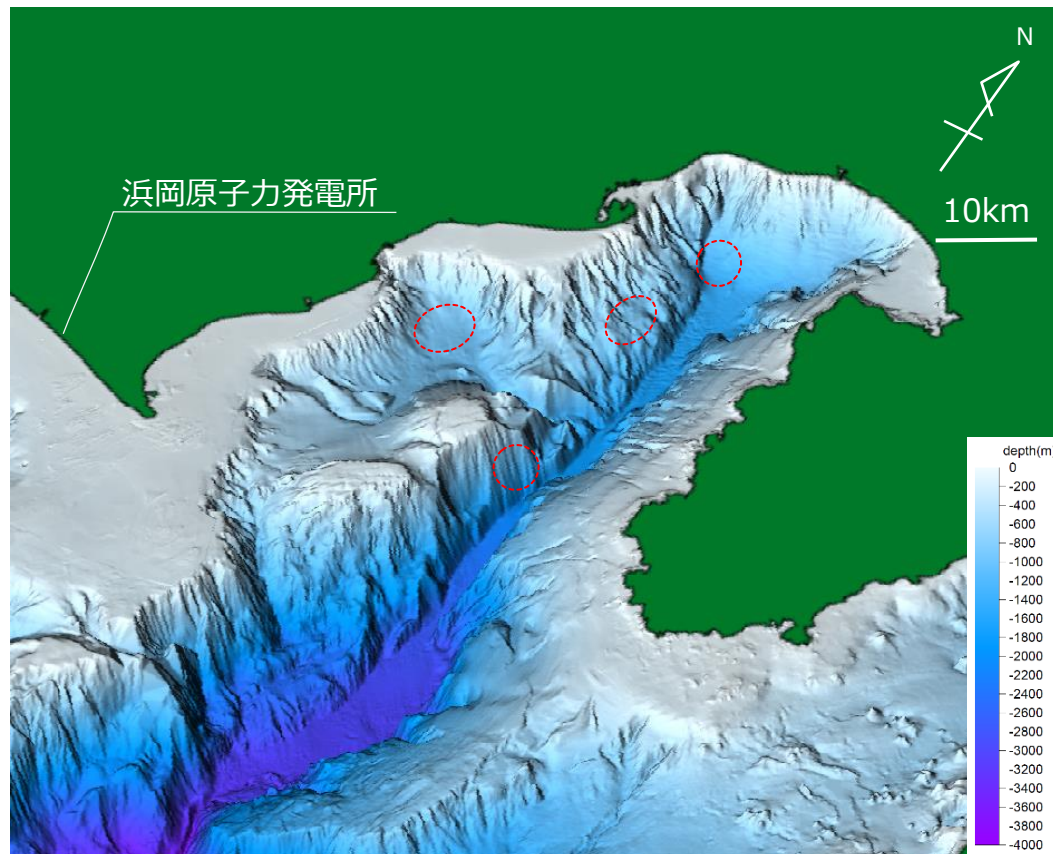
既往文献

(参考) 阿部(2017)の局所的な波源について

- 阿部(2017)は、1498年明応東海地震の駿河湾内の津波痕跡について、津波数値シミュレーションにより津波波源を様々に変化させて試行錯誤的に検討した結果、駿河湾内に4つの局所的な波源を置くことにより再現が可能であるとしている。
- 100mDEMおよび音波探査記録により地形判読調査を実施した結果、阿部(2017)が示した地点について、局所的な波源に対応するような大規模な海底地すべり地形(約1億m³以上)は抽出されないことを確認した。



阿部(2017)で図示された波源の位置 (阿部(2017))



駿河湾周辺のDEMによる鯨瞰図
(○は、阿部(2017)で図示された波源の位置)

- 阿部(2017)
- 駿河湾で知られている1498年の明応東海地震による津波痕跡を再現できる波源モデルを明らかにすることを目的として、津波発生条件を様々に変化した津波伝播および遡上解析を試行錯誤的に行った結果を報告した。結果として、これまで提案されているような南海トラフ沿いの運動地震および銭洲海嶺付近の断層モデルでは駿河湾内の津波痕跡を再現できないことを示した。
 - 駿河湾内で報告されている1498年の明応東海地震の津波痕跡について、駿河湾内での局所的な波源を置くことによって再現可能であることを示すことができた。

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

- (1) Wattsほかの予測式に基づく手法
- (2) 二層流モデルに基づく手法

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

Wattsほかの予測式に基づく手法

(数値シミュレーションの方法)

■ 数値シミュレーションは、Wattsほかの予測式に基づく手法 (Watts et al.(2005)およびGrilli and Watts(2005)) および二層流モデルに基づく手法 (Maeno and Imamura(2007)) を用いて実施した。

■ Wattsほかの予測式に基づく手法の計算手法は以下のとおり。

Wattsほかの予測式 (Slump型)

$$\eta(x,y) = -\frac{\eta_{0,3D}}{\eta_{min}} \operatorname{sech}^2\left(\kappa \frac{y-y_0}{w+\lambda_0}\right) \left(\exp\left\{-\left(\frac{x-x_0}{\lambda_0}\right)^2\right\} - \kappa' \exp\left\{-\left(\frac{x-\Delta x-x_0}{\lambda_0}\right)^2\right\} \right)$$

$\eta(x,y)$: 初期水位波形

η_{min} : 振幅を除く右項の最小値

κ, κ' : 形状パラメータ ($\kappa=3$)

Δx : 形状パラメータ ($= 0.4\lambda_0$)

x_0, y_0 : 地すべり体の中心の初期位置(m)

x, y : 地すべり体平面位置(m)

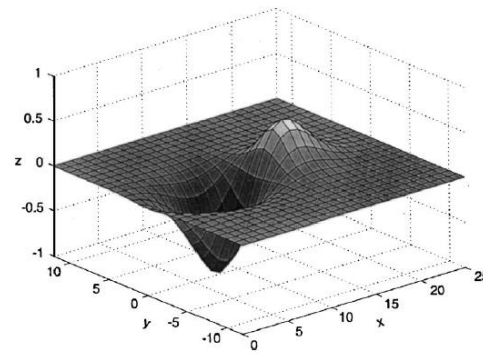


Fig. 3. Examples of double Gaussian function for approximate 3D tsunami elevations [Eq. (14)], with $\eta_{0,3D}=1$, $x_0=10$, $y_0=0$, $\lambda_0=5$, $\kappa=3$, $w=2$, $\kappa'=0.83$, and $\Delta x=2$ Watts et al.(2005)

海面水位波形の例

$$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$$

$$\eta_{0,2D} = S_0 \left(\frac{0.131}{\sin\theta} \right) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b \sin\theta}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{b}{R} \right)^{0.63} \times (\Delta\Phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1))(\gamma - 1)$$

$\eta_{0,3D}$: 現象が三次元的な場合の最大水位低下量

$\eta_{0,2D}$: 現象が二次元的な場合の最大水位低下量

γ : 土砂の比重 ($=\rho_s/\rho_w$) λ_0 : 特性津波波長 ($= t_0\sqrt{gd}$)

b : 地すべり長さ $\Delta\Phi$: 回転角 ($= 2S_0/R$)

T : 地すべり厚さ U_{max} : 最大速度 ($= S_0/t_0$)

w : 地すべり幅 ρ_s : 土砂の密度

d : 初期位置水深 ρ_w : 海水の密度($=1.03 \text{ g/cm}^3$)

θ : 斜面勾配 g : 重力加速度($=9.8 \text{ m/s}^2$)

C_d : 抗力係数

C_m : 付加質量係数

S : 移動距離*

S_0 : 特性距離 ($= S/2$)

X_g : 初期水深がdとなる位置の座標

C_n : 底面摩擦係数 ($= S_0/(R\cos\theta)$)

R : 曲率半径 ($= b^2/(8T)$)

a_0 : 初期加速度 ($= S_0/t_0^2$)

t_0 : 特性時間

* 地すべり長さを土塊の移動距離として設定。

ただし、復元前後の地形から土塊の移動が地すべり長さとは比べて小さいと判断できる場合には、復元地形の頂部と現地形の頂部との距離を移動距離として設定。

$$t_0 = \sqrt{\frac{R}{g}} \sqrt{\frac{\gamma + C_m}{\gamma - 1}}$$

(Watts et al.(2005)およびGrilli and Watts(2005))

Wattsほかの予測式に基づく手法 (計算条件)

■ Wattsほかの予測式に基づく手法の計算条件は以下のとおり。

項目	遠州灘沖 (海盆内)		遠州灘沖 (外縁隆起帯トラフ側斜面)					遠州灘沖 (大陸棚斜面)		駿河湾			設定根拠
	s2地点	s18地点	s4地点	s5地点	s12地点	s13地点	s17地点	s22地点	s26地点	s1地点	s3地点	s10地点	
土砂の密度 ρ_s (g/cm ³)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	地質調査所(1998)*
地すべり長さ b(m)	4,300	7,900	5,300	8,000	5,500	5,800	6,500	5,100	7,800	3,400	3,300	3,000	復元地形から判読
地すべり厚さ T(m)	120	120	90	90	230	300	370	190	230	40	100	350	復元地形から判読
地すべり幅 w(m)	8,500	8,200	2,500	4,000	4,850	7,000	7,200	3,600	5,300	1,100	4,200	3,200	復元地形から判読
初期位置水深 d(m)	600	1,690	900	820	1,200	3,450	3,200	930	510	180	470	1,250	復元地形から判読
斜面勾配 θ (°)	2.9	1.9	5.4	5.0	2.3	4.7	7.0	4.7	5.5	3.9	8.6	10.9	復元地形から判読
抗力係数 C_d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Grilli and Watts(2005)
付加質量係数 C_m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Grilli and Watts(2005)
移動距離 S(m)	4,300	7,900	5,300	8,000	1,000	5,800	6,500	5,100	7,800	3,400	3,300	1,000	復元地形から判読
特性距離 S_0 (m)	2,150	3,950	2,650	4,000	500	2,900	3,250	2,550	3,900	1,700	1,650	500	=S/2
底面摩擦係数 C_n	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	= $S_0/(R\cos\theta)$
曲率半径 R(m)	19,260	65,010	38,166	88,889	16,440	14,017	14,274	17,112	33,065	36,125	13,613	3,214	= $b^2/8T$
初期加速度 a_0 (m ² /s)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	= S_0/t_0^2
特性時間 t_0 (sec)	114	209	160	244	105	97	98	107	149	156	96	46	= $\sqrt{R/g} \cdot \sqrt{(\gamma + C_m)/(\gamma - 1)}$
特性津波波長 λ_0 (m)	8,712	26,862	15,020	21,879	11,383	17,821	17,320	10,223	10,524	6,535	6,482	5,137	= $t_0\sqrt{g d}$
回転角 $\Delta\Phi$ (rad)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.5	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	= $2S_0/R$
最大速度 U_{max} (m/s)	19	19	17	16	5	30	33	24	26	11	17	11	= S_0/t_0
形状パラメータ k'	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Grilli and Watts(2005)
形状パラメータ Δx (m)	3,485	10,745	6,008	8,752	4,553	7,128	6,928	4,089	4,210	2,614	2,593	2,055	= $0.4\lambda_0$

※ 地質調査所(1998)：「東海沖堆積物の物理的性質」、
『東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究』、平成9年度研究概要報告書
□：計算等から算出しないパラメータ

Wattsほかの予測式に基づく初期水位の推定値

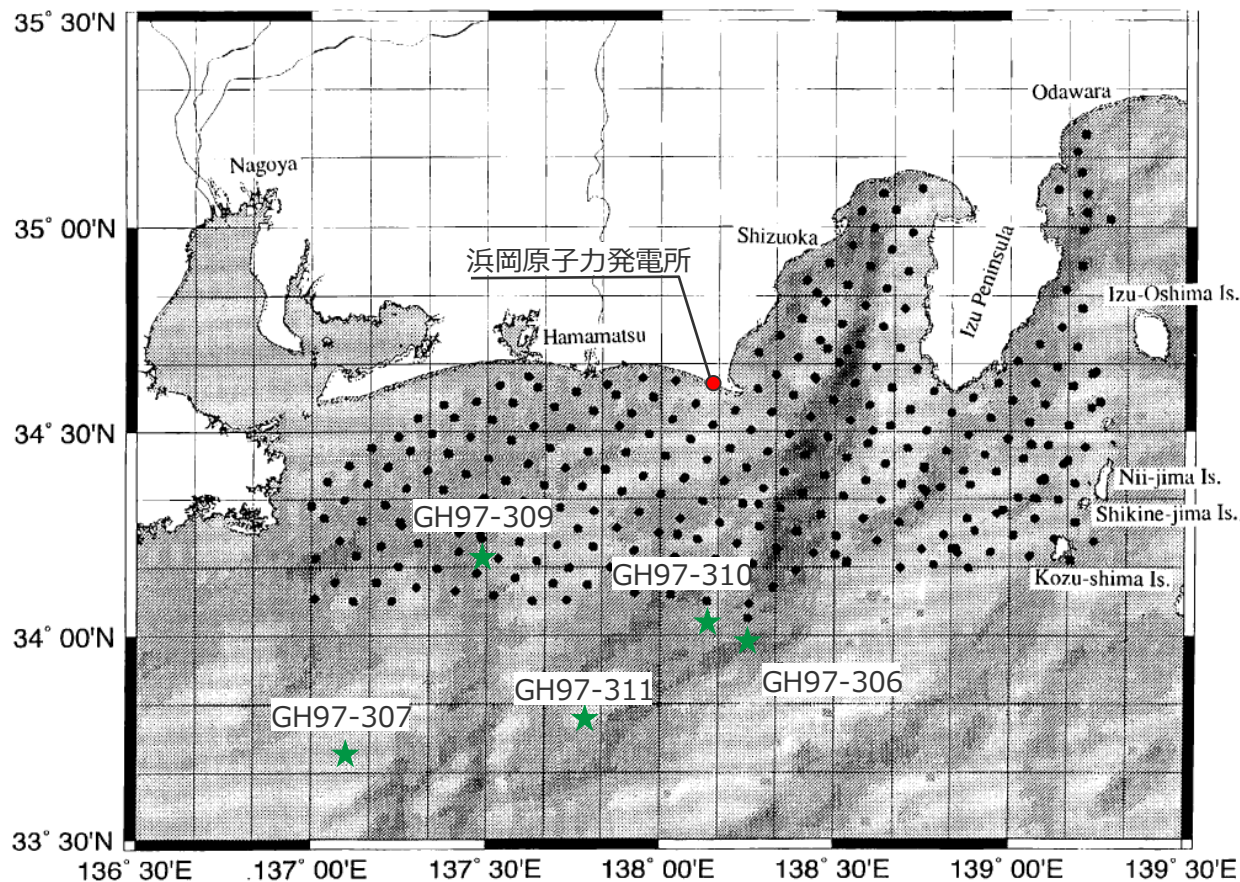
$\eta_{0,2D}$ (m)	4.6	1.3	2.0	2.3	0.7	4.0	7.6	7.9	28.1	2.3	5.3	4.5	$\eta_{0,2D} = S_0 \left(\frac{0.131}{\sin\theta} \right) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b \sin\theta}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{b}{R} \right)^{0.63} \times (\Delta\Phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1))(\gamma - 1)$
$\eta_{0,3D}$ (m)	2.3	0.3	0.3	0.4	0.2	1.2	2.3	2.1	9.4	0.4	2.1	1.7	$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

Wattsほかの予測式に基づく手法

(土砂密度の設定 (東海沖における土砂密度の測定結果))

■ Wattsほかの予測式に基づく手法で用いる土砂の密度は、地質調査所(1998)が測定した東海沖の土砂試料の湿潤密度に基づき設定した。



分析試料の採取位置 (Ikehara et al.(1999)を基に作成)

堆積物柱状試料		湿潤密度
東海沖	大陸棚斜面	GH97-309 1.3 (g/cm ³)
	海盆内	GH97-307 1.4 (g/cm ³)
	外縁隆起帯 トラフ側斜面	GH97-306 1.6 (g/cm ³)
		GH97-310 1.3 (g/cm ³)
		GH97-311 1.5 (g/cm ³)
東海沖 (平均値)		1.4 (g/cm ³)

★ 湿潤密度測定を実施した
堆積物柱状試料の採取位置

● グラブ採泥器による
表層堆積物採取の位置

地質調査所(1998)

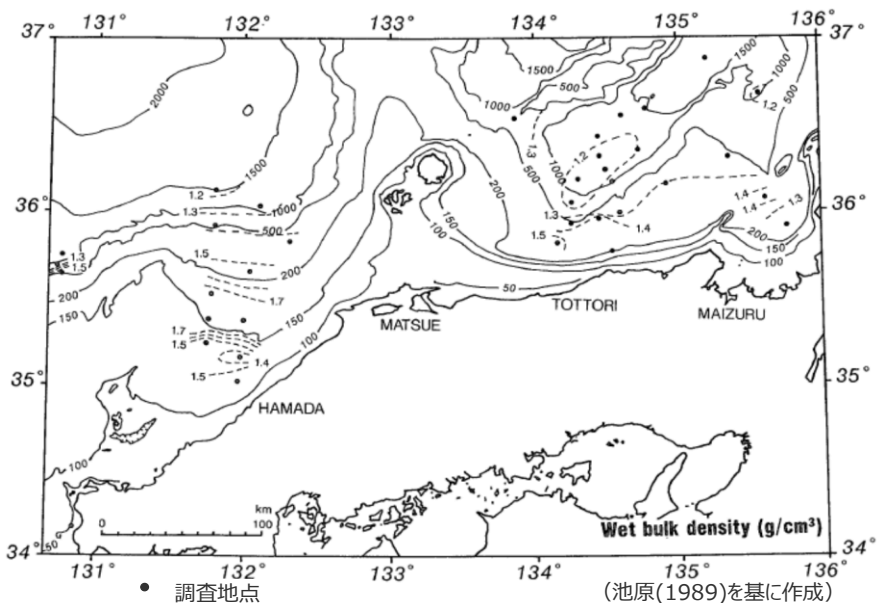
- GH97航海及びGA97航海において大口径重力式コアラーによる柱状採泥、グラブ採泥器による表層堆積物の採取等を実施した。大口径重力式コアラーによる試料については、ガンマー線による湿潤密度測定を実施した。グラブ採泥器による試料については、粒度・粒子組成分析等を実施した。
- 東海沖の表層堆積物の分布状況について、大陸棚斜面～海盆やトラフ底には密度の小さい粘土～極細粒砂の堆積物が分布している。一方、御前崎海脚からその斜面域（外縁隆起帯トラフ側斜面）には密度の大きい中粒砂以上の粗粒堆積物や露岩が広く分布している。

Ikehara et al.(1999)

- GH97航海及びGA97航海において採取された約300地点の試料を基に、南海トラフ海域の表層堆積物の分布についてこの特徴を解説した。

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 Wattsほかの予測式に基づく手法 (参考) 他海域における土砂密度の測定結果

■ 産業技術総合研究所（旧地質調査所）は、東海沖のほか、山陰-北陸沖、オホーツク海西方海域でも同様に土砂試料を採取して湿潤密度を測定しており、その測定結果は東海沖の土砂試料の湿潤密度と同程度となっている。



● 調査地点
--- 湿潤密度（平均値）の等高線（単位は g/cm^3 ）
湿潤密度の地理的分布
(池原(1989)を基に作成)



土砂試料の湿潤密度の調査海域

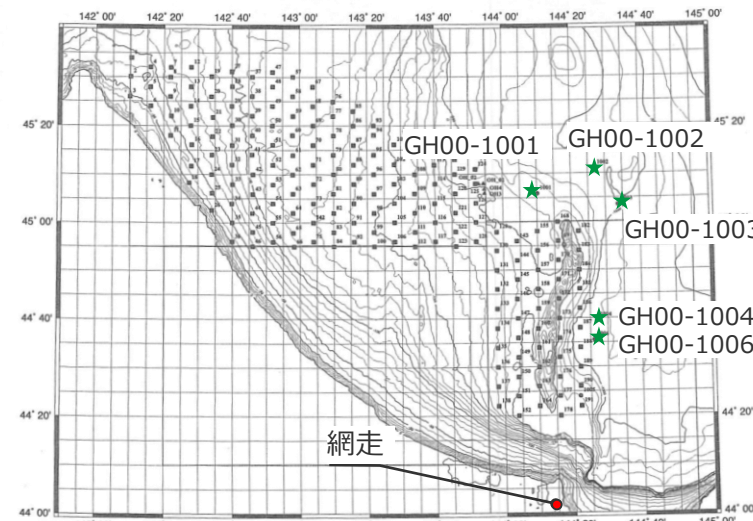
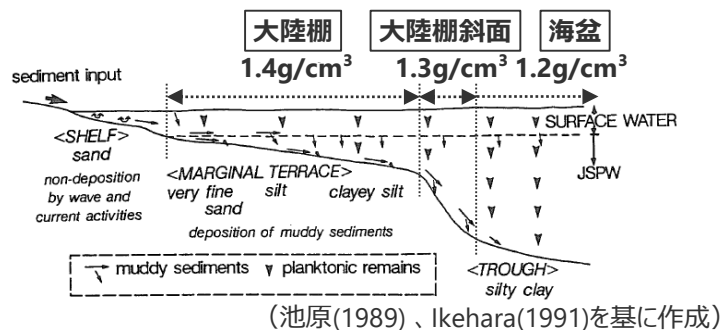


図1 GH00採取点位置図
(産業技術総合研究所(2002)を基に作成)
分析試料の採取位置



(池原(1989)、Ikehara(1991)を基に作成)

湿潤密度（平均値）の地形断面との関係

山陰-北陸沖海域における湿潤密度の測定結果

オホーツク海西方海域における湿潤密度の測定結果

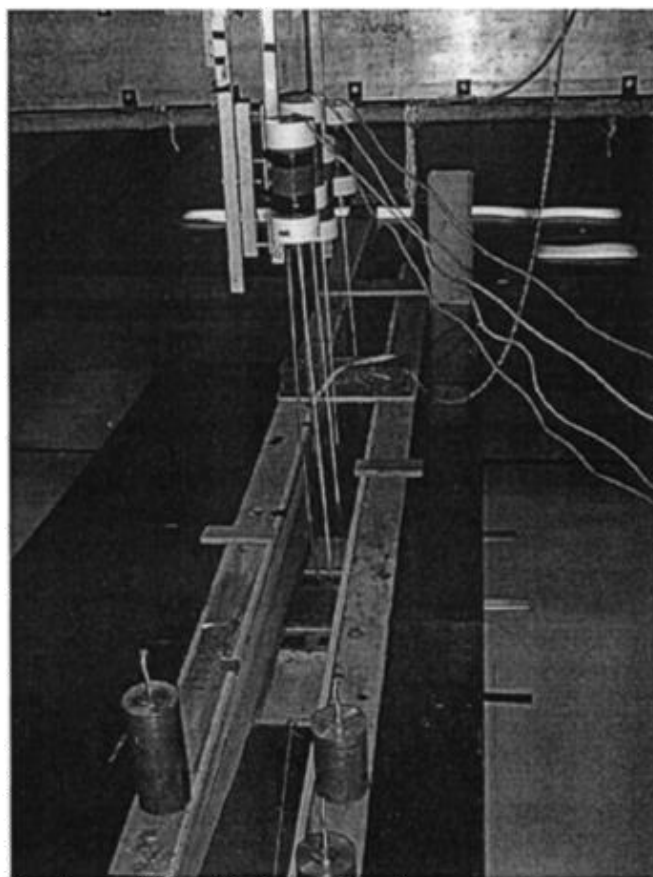
堆積物柱状試料		湿潤密度
オホーツク海西方	GH00-1001	1.5 (g/cm^3)
	GH00-1002	1.4 (g/cm^3)
	GH00-1003	1.5 (g/cm^3)
	GH00-1004	1.3 (g/cm^3)
	GH00-1006	1.3 (g/cm^3)
オホーツク海西方海域（平均値）		1.4 (g/cm^3)

★ 湿潤密度測定を実施した堆積物柱状試料の採取位置
● グラブ採泥器による表層堆積物採取の位置

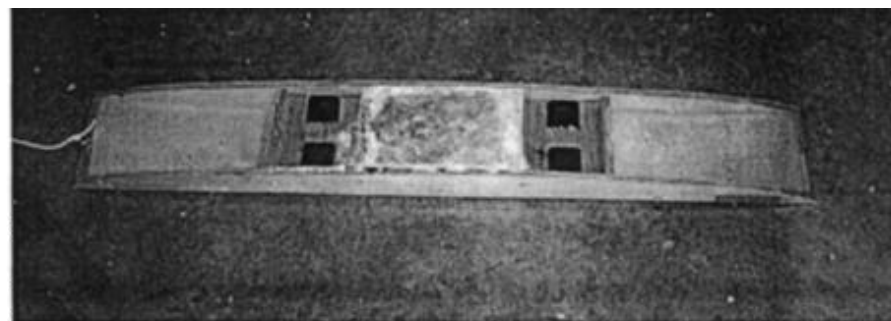
Wattsほかの予測式に基づく手法

(参考) Watts et al.(2005)の密度の設定根拠 (水理模型実験の再現計算)

- Watts et al.(2005)は、提案したWattsほかの予測式に基づく手法の妥当性を確認するため、Grilli and Watts(2005)の海底地すべりを模擬した水理模型実験の再現性を検討している。
- Watts et al.(2005)では水理模型実験を再現するため、Grilli and Watts(2005)の実験に用いた地すべり体の固体模型の密度 1.85g/cm^3 をWattsほかの予測式に用いる密度として設定している。
- ➡ 固体模型の密度は海底地すべり体の密度とは異なることから、海底地すべり体の密度の設定に際しては、評価対象の物性値として適切なパラメータを用いる必要がある。



地すべり実験装置外観



地すべり体の固体模型

from each other, near the center of the tank. A semielliptical slide model [Fig. 5(b)] was built out of plywood and mylar sheets. Melted lead was poured in a central cavity in the model, in order to achieve an average density $\gamma=1.806$ in the fresh water tank, corresponding to $\rho_f=1,850\text{ kg/m}^3$ in sea water of density $\rho_w=1,025\text{ kg/m}^3$. The model dimensions were length $B=1\text{ m}$, thickness $T=T_{ref}=0.052\text{ m}$, and width $w=0.2\text{ m}$. Four plastic wheels, with water-sealed bearings, were installed at the bottom part of the model (black cylinders in the picture), to provide for a smooth sliding down the slope, as frictionless as possible, about 2 mm above the slope. A microaccelerometer was embedded at the model center of mass and inclined perpendicular to the slope, with its controlling cable exiting through the back of the model in order to record center of mass acceleration during experiments.

地すべりの実験装置 (Grilli and Watts(2005))

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

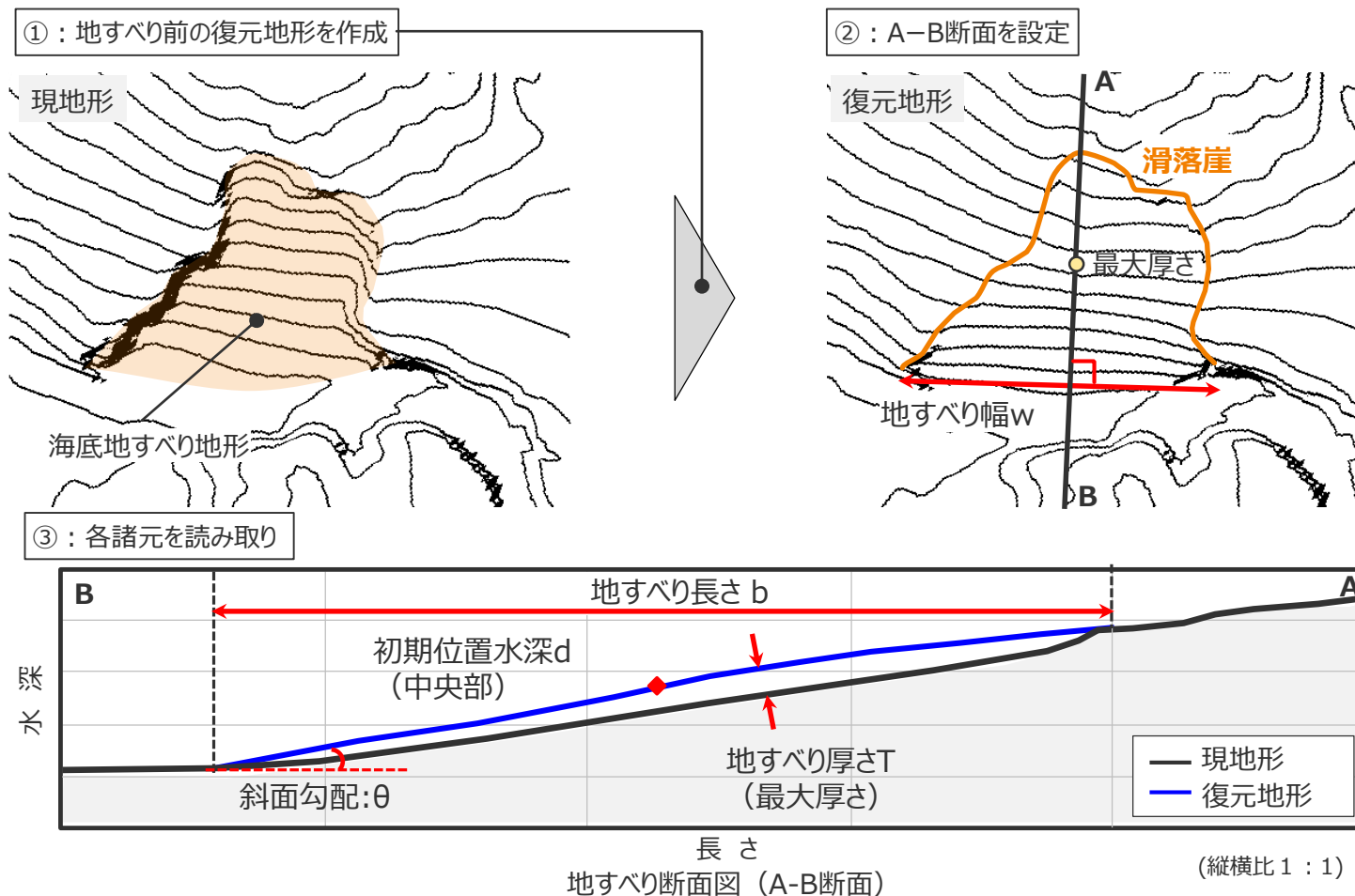
Wattsほかの予測式に基づく手法

(地すべり体の形状等の設定)

■ 海底地すべりの地すべり体の形状等は、復元地形に基づき以下のとおり設定した。

【設定方法】

- ①：地すべり前の復元地形を作成。
- ②：地すべり断面を、地すべり体の厚さが最大の地点を通り、地すべり地形の傾斜方向に沿うよう設定。
- ③：平面図、断面図に基づき、地すべり長さ、地すべり幅、初期位置水深、斜面勾配、移動距離を設定。



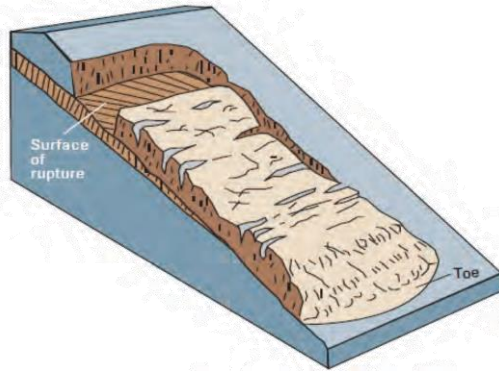
移動距離：地すべり長さを土塊の移動距離として設定。

ただし、復元前後の地形から土塊の移動が地すべり長さとは比べてごく小さいと判断できる場合には、復元地形の頂部と現地形の頂部との距離を移動距離として設定。

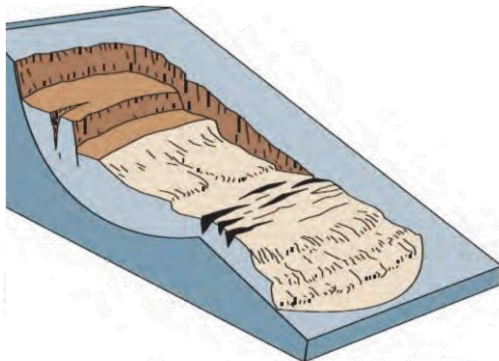
5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 Wattsほかの予測式に基づく手法

(地すべり形態の選定：抗力係数 C_d 、付加質量係数 C_m の設定)

■ Watts et al.(2005)の抗力係数 C_d 、付加質量係数 C_m は、地すべり形態（Slump型またはSlide型）に基づき設定することとされており、Slump型では「 $C_d = 0.0$ 、 $C_m = 1.0$ 」、Slide型では「 $C_d = 1.0$ 、 $C_m = 1.0$ 」と設定される。



Slide型



Slump型

(Shanmugam(2015))

海底地すべり形態のイメージ

For slumps, shear stress S_u along the failure plane may be assumed to remain constant during motion (Bardet 1997). Defining $A_b = wb$, the area of the failure plane projected on the slope, we find

$$C_n = S_u \frac{4b}{\pi B(\rho_\ell - \rho_w)Tg \cos \theta} \quad (17)$$

with $b/B = C/C'$ a function of ϵ . Due to the small angular rotation of slumps, the influence of fluid dynamic drag and angular non-linearity on center of the mass motion are often negligible [these effects could be evaluated from the exact solution of a damped oscillator; e.g., Nayfeh and Mook (1979)]. Hence, specifying $C_d = 0, S = R(\Phi - \Phi_0)$ and $\sin \theta = -\sin \Phi = -\Phi$, the linearized Eq. (11) becomes

$$(\gamma + C_m)\ddot{S} = (\gamma - 1)(\sin \theta - C_n \cos \theta)g - C_d \frac{2}{\pi B} \dot{S}^2 \quad (11)$$

We select constant values of $\gamma = 1.85$ and the dynamic coefficients $C_m = 1, C_d = 1$ for slides and $C_d = 0$ for slumps. We assume $C_n = 0$ for slides, except when comparing results to laboratory experiments, and nonzero values for slumps. For the ramp-up and deceleration of both slide and slump motion, we use $\chi = 0.02$ and $f = 0.1$ (see Appendix).

(Grilli and Watts(2005))

Slide型
付加質量係数 $C_m = 1$
抗力係数 $C_d = 1$

Slump型
付加質量係数 $C_m = 1$
抗力係数 $C_d = 0$

項目	設定値
抗力係数 (C_d)	0.0 (Slump型)
	1.0 (Slide型)
付加質量係数 (C_m)	1.0 (Slump型)
	1.0 (Slide型)

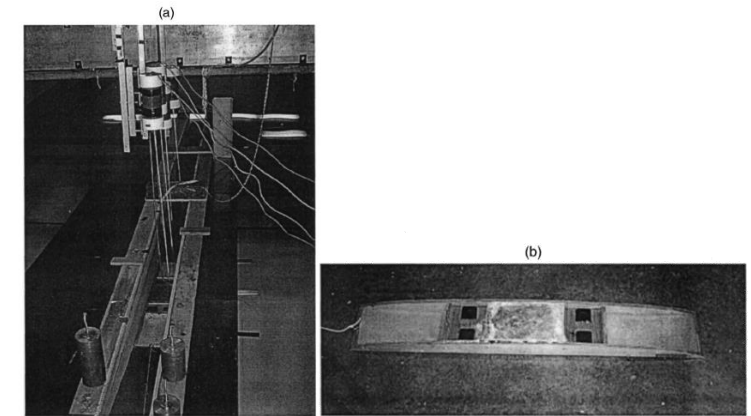


Fig. 5. Laboratory experiments for 2D slide over $\theta = 15^\circ$ slope: (a) experimental setup for submergence depth $d = d_{ref} = 0.259$ m, with four capacitance wave gauges; and (b) semielliptical plywood and mylar slide model with $B = 1$ m, $T = T_{ref} = 0.052$ m, $w = 0.2$ m, and lead weight (at center) to achieve $\gamma = 1.806$

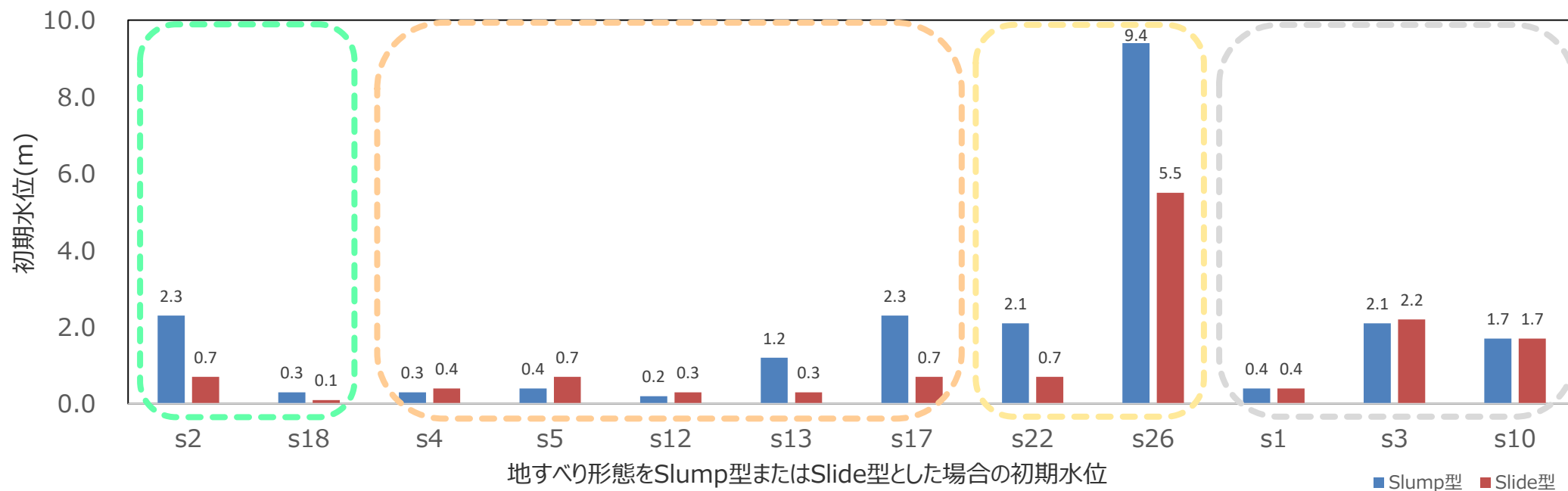
地すべりの実験装置 (Grilli and Watts(2005))

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

Wattsほかの予測式に基づく手法

(地すべり形態の選定：抗力係数Cd、付加質量係数Cmの設定)

- 敷地周辺海域の検討対象とする海底地すべりについて、地すべり形態をSlump型またはSlide型とした場合の津波の初期水位は以下のとおり。
- Slump型の初期水位は、Slide型の初期水位と比べて大きいもしくはほぼ同程度となっている。
- ➔ 統一的なパラメータ設定で検討するため、検討対象とした地すべり地点についてはSlump型のパラメータ (Cd = 1.0、Cm = 1.0) を設定した。

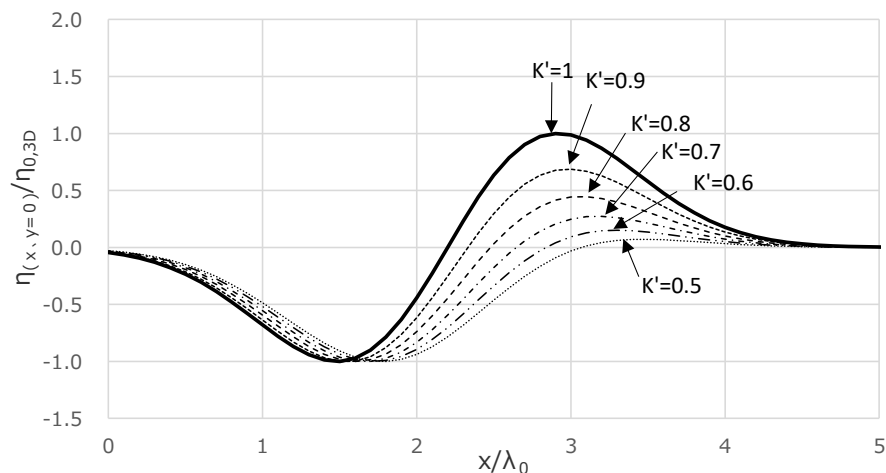


- 遠州灘 (海盆内)
- 遠州灘 (外縁隆起帯トラフ側斜面)
- 遠州灘沖 (大陸棚斜面)
- 駿河湾

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

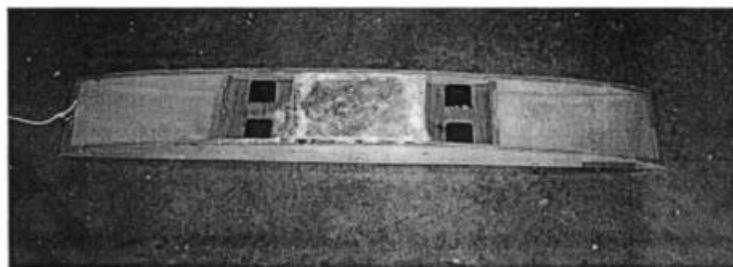
Wattsほかの予測式に基づく手法 (形状パラメータK'の設定)

- Watts et al.(2005)の形状パラメータK'は、初期水位波形の最低水位に対して最高水位を決めるパラメータであり、Grilli and Watts(2005)で実施した水理模型実験の結果等に基づき設定することができるとされる。
また、Grilli and Watts(2005)の水理模型実験から求まる初期水位波形の最高水位と最低水位の比 $|\eta_{max}/\eta_{min}|$ は0.6~1.0であり、それから求まるK'は0.86~1と算定される。
- そこで、K'の設定値について、Grilli and Watts(2005)の固体模型での実験結果に基づき、保守的にK'=1と設定した。
なお、Grilli and Watts(2005)では、地すべり体として固体模型を用いての水理模型実験を行っており、一方、実現象としては地すべり体が固体から流動体へ性状を変えながら地すべり現象が進展することを考えると、初期水位波形の最高水位と最低水位は保守的に測定されたと考えられる。



(Watts et al.(2005)に基づき作成)

形状パラメータK'の違いによる初期水位分布の変化



Grilli and Watts(2005)の水理模型実験における
海底地すべりの固体模型

初期水位波形の平面分布 (Watts et al.(2005)に基づく)

κ' : 下降側の水位に対する上昇側の水位の比を決めるパラメータ

$$\eta(x,y) = -\frac{\eta_{0,3D}}{\eta_{min}} \operatorname{sech}^2 \left(\kappa \frac{y-y_0}{w+\lambda_0} \right) \left(\exp \left\{ -\left(\frac{x-x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} - \kappa' \exp \left\{ -\left(\frac{x-\Delta x-x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} \right)$$

水位下降側の水位分布の設定項

水位上昇側の水位分布の設定項

$\eta(x,y)$: 初期水位波形 η_{min} : 振幅を除く右項の最小値 x_0, y_0 : 地すべり体の中心の初期位置
 κ, κ' : 形状パラメータ ($\kappa=3$) Δx : 形状パラメータ ($= 0.4\lambda_0$)

Grilli and Watts(2005)の地すべり実験結果の上昇/下降水位比 η_{max}/η_{min} と、それに基づき算出される形状パラメータK'

ケース	η_{max}	η_{min}	$ \eta_{max}/\eta_{min} $	K'
a	0.0030	-0.0030	1.0	1.00
b	0.0035	-0.0045	0.8	0.92
c	0.0050	-0.0060	0.8	0.92
d	0.0055	-0.0075	0.7	0.90
e	0.0060	-0.0085	0.7	0.90
f	0.0075	-0.0120	0.6	0.86
g	0.0085	-0.0140	0.6	0.86
h	0.0095	-0.0170	0.6	0.86
i	0.0150	-0.0210	0.7	0.90

(Grilli and Watts(2005)に基づき作成)

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細

- (1) Wattsほかの予測式に基づく手法
- (2) 二層流モデルに基づく手法**

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 二層流モデルに基づく手法 (数値シミュレーションの方法)

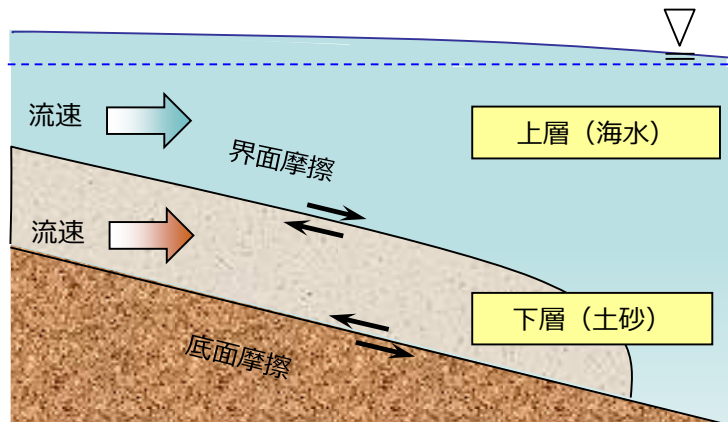
■ 数値シミュレーションは、Wattsほかの予測式に基づく手法 (Watts et al.(2005)およびGrilli and Watts(2005)) および二層流モデルに基づく手法 (Maeno and Imamura(2007)) を用いて実施した。

■ 二層流モデルに基づく手法の計算条件は以下のとおり。

二層流モデルに基づく数値シミュレーションの計算条件

項目		設定値
密度 (t/m ³)	上層 (海水)	1.03
	下層 (土砂) ※1	1.40
マンニングの粗度係数(m ^{-1/3} s)	上層 (海水)	0.025
	下層 (土砂) ※2	0.40
界面抵抗係数※2		0.2
水平渦動粘性係数(m ² /s)※2		0.1

※1 地質調査所(1998)：「東海沖堆積物の物理的性質」、
『東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究』、平成9年度研究概要報告書
※2 Kawamata et al.(2005)



二層流モデルでは、
上層 (海水) と下層 (土砂)
を同時に計算する。

○上層 (海水)

$$\frac{\partial(\eta_1 - \eta_2)}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_1^2}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{M_1 N_1}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = DIFF_{1,x} - \beta \frac{\tau_{1,x}}{\rho_1} - (1 - \beta) \cdot INTF_x$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_1 N_1}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N_1^2}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial y} = DIFF_{1,y} - \beta \frac{\tau_{1,y}}{\rho_1} - (1 - \beta) \cdot INTF_y$$

○下層 (土砂)

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_2^2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{M_2 N_2}{D_2} \right) + g D_2 \left(\alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) = DIFF_{2,x} + \alpha \cdot INTF_x - \frac{\tau_{2,x}}{\rho_2}$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_2 N_2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N_2^2}{D_2} \right) + g D_2 \left(\alpha \frac{\partial D_1}{\partial y} + \frac{\partial \eta_2}{\partial y} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) = DIFF_{2,y} + \alpha \cdot INTF_y - \frac{\tau_{2,y}}{\rho_2}$$

η : 水位変動量 (η_1 : 静水面からの水位変化量、 η_2 : 土砂流の厚さ)、 h : 水深、 D : 全水深、
 M, N : x, y 方向の線流量、 u, v : x, y 方向の流速、 g : 重力加速度、 ρ : 密度、 α : 密度比 ($=\rho_1/\rho_2$)、
 β : 下層に土砂がない場合 $\beta = 1$ 、土砂がある場合 $\beta = 0$ 、
 τ/ρ : 底面摩擦力 (n : マンニングの粗度係数)

$$\frac{\tau_{1,x}}{\rho_1} = \frac{gn_1^2}{D_1^{7/3}} M_1 \sqrt{M_1^2 + N_1^2} \quad \frac{\tau_{2,x}}{\rho_2} = \frac{gn_2^2}{D_2^{7/3}} M_2 \sqrt{M_2^2 + N_2^2}$$

$$\frac{\tau_{1,y}}{\rho_1} = \frac{gn_1^2}{D_1^{7/3}} N_1 \sqrt{M_1^2 + N_1^2} \quad \frac{\tau_{2,y}}{\rho_2} = \frac{gn_2^2}{D_2^{7/3}} N_2 \sqrt{M_2^2 + N_2^2}$$

$INTF$: 界面抵抗力 (f_{int} : 界面抵抗係数、 u, v : x 方向、 y 方向の流速)

$$INTF_x = f_{int} \bar{u} \sqrt{u^2 + v^2} \quad \bar{u} = u_1 - u_2$$

$$INTF_y = f_{int} \bar{v} \sqrt{u^2 + v^2} \quad \bar{v} = v_1 - v_2$$

$DIFF$: 渦動粘性項 (ν : 水平渦動粘性係数)

$$DIFF_{1,x} = \nu_1 \left(\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_1}{\partial y^2} \right) \quad DIFF_{2,x} = \nu_2 \left(\frac{\partial^2 M_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial y^2} \right)$$

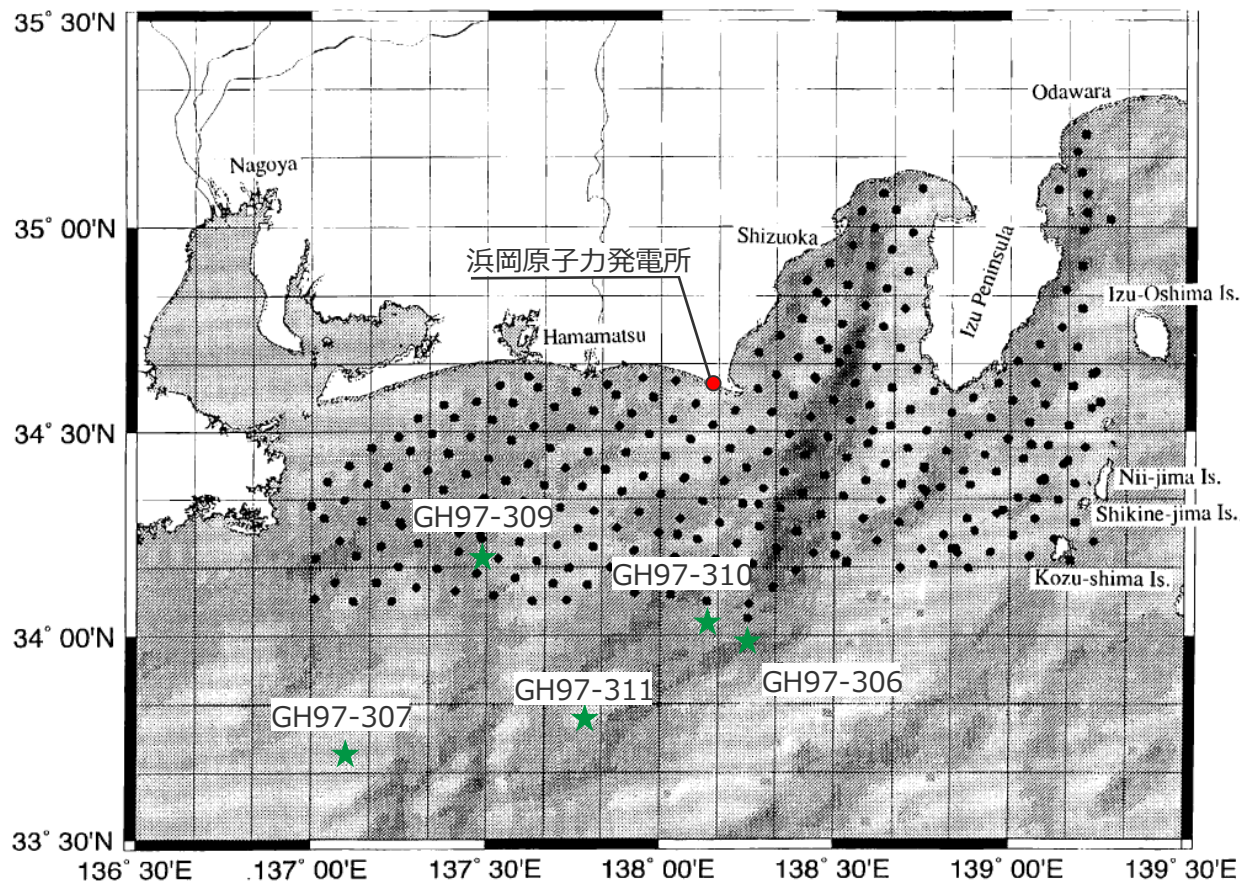
$$DIFF_{1,y} = \nu_1 \left(\frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_1}{\partial y^2} \right) \quad DIFF_{2,y} = \nu_2 \left(\frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_2}{\partial y^2} \right)$$

※添え字の1・2はそれぞれ上層・下層を、 $x \cdot y$ はそれぞれ x 方向・ y 方向を示す。

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 二層流モデルに基づく手法

(下層(土砂)密度の設定(東海沖における土砂密度の測定結果)) (再掲)

■ 二層流モデルに用いる下層(土砂)の密度は、地質調査所(1998)が測定した東海沖の土砂試料の湿潤密度に基づき設定した。



堆積物柱状試料		湿潤密度	
東海沖	大陸棚斜面	GH97-309	1.3 (g/cm ³)
	海盆内	GH97-307	1.4 (g/cm ³)
	外縁隆起帯 トラフ側斜面	GH97-306	1.6 (g/cm ³)
		GH97-310	1.3 (g/cm ³)
		GH97-311	1.5 (g/cm ³)
東海沖(平均値)		1.4 (g/cm ³)	

★ 湿潤密度測定を実施した
堆積物柱状試料の採取位置
● グラブ採泥器による
表層堆積物採取の位置

分析試料の採取位置 (Ikehara et al.(1999)を基に作成)

地質調査所(1998)

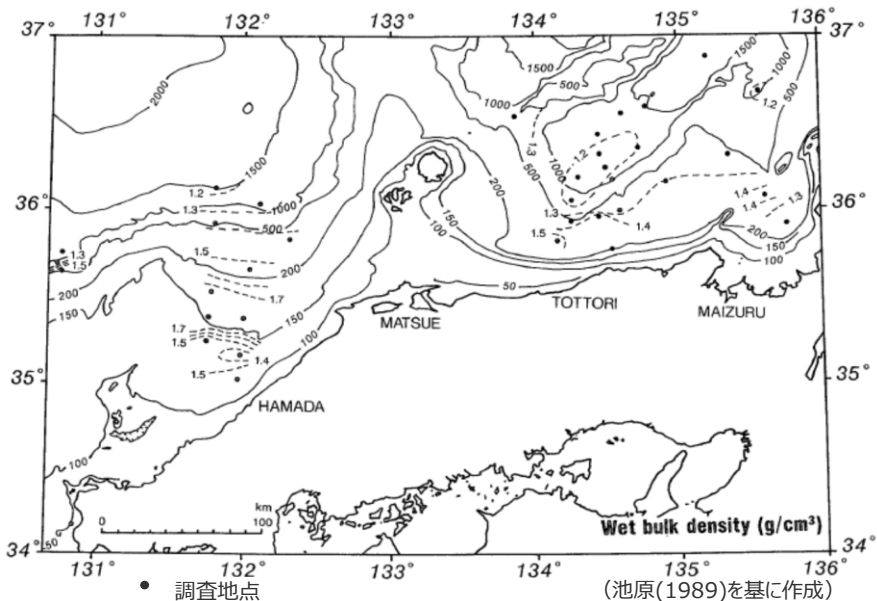
- GH97航海及びGA97航海において大口径重力式コアラーによる柱状採泥、グラブ採泥器による表層堆積物の採取等を実施した。大口径重力式コアラーによる試料については、ガンマー線による湿潤密度測定を実施した。グラブ採泥器による試料については、粒度・粒子組成分析等を実施した。
- 東海沖の表層堆積物の分布状況について、大陸棚斜面～海盆やトラフ底には密度の小さい粘土～極細粒砂の堆積物が分布している。一方、御前崎海脚からその斜面域(外縁隆起帯トラフ側斜面)には密度の大きい中粒砂以上の粗粒堆積物や露岩が広く分布している。

Ikehara et al.(1999)

- GH97航海及びGA97航海において採取された約300地点の試料を基に、南海トラフ海域の表層堆積物の分布についてこの特徴を解説した。

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 二層流モデルに基づく手法 (参考) 他海域における土砂密度の測定結果 (再掲)

■ 産業技術総合研究所 (旧地質調査所) は、東海沖のほか、山陰-北陸沖、オホーツク海西方海域でも同様に土砂試料を採取して湿潤密度を測定しており、その測定結果は東海沖の土砂試料の湿潤密度と同程度となっている。



● 調査地点
--- 湿潤密度 (平均値) の等高線 (単位は g/cm^3)
湿潤密度の地理的分布
(池原(1989)を基に作成)



土砂試料の湿潤密度の調査海域

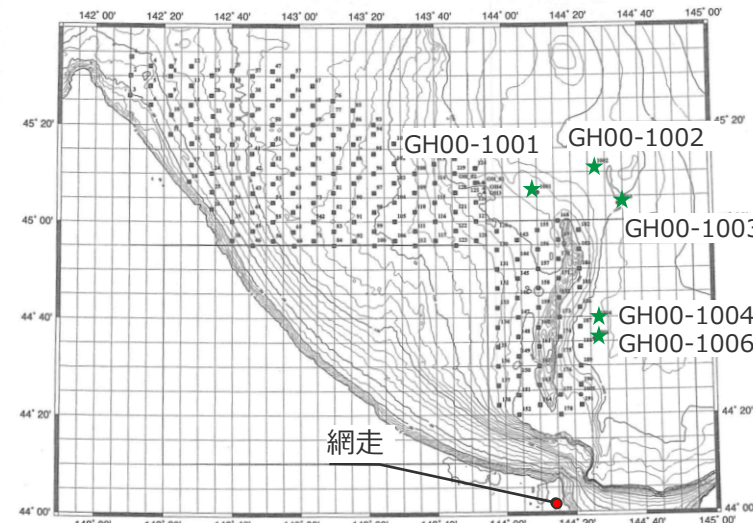
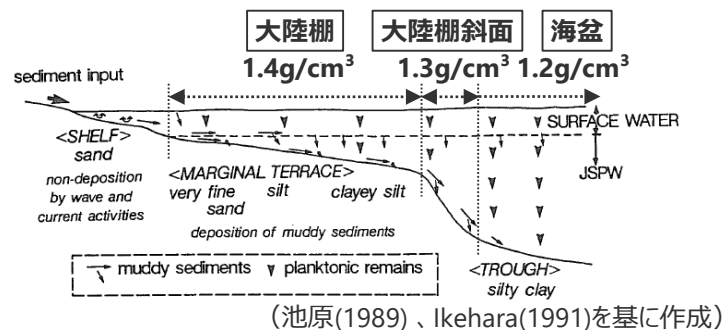


図1 GH00採取点位置図
(産業技術総合研究所(2002)を基に作成)
分析試料の採取位置



(池原(1989)、Ikehara(1991)を基に作成)

湿潤密度 (平均値) の地形断面との関係

山陰-北陸沖海域における湿潤密度の測定結果

オホーツク海西方海域における湿潤密度の測定結果

堆積物柱状試料		湿潤密度
オホーツク海西方	GH00-1001	1.5 (g/cm^3)
	GH00-1002	1.4 (g/cm^3)
	GH00-1003	1.5 (g/cm^3)
	GH00-1004	1.3 (g/cm^3)
	GH00-1006	1.3 (g/cm^3)
オホーツク海西方海域 (平均値)		1.4 (g/cm^3)

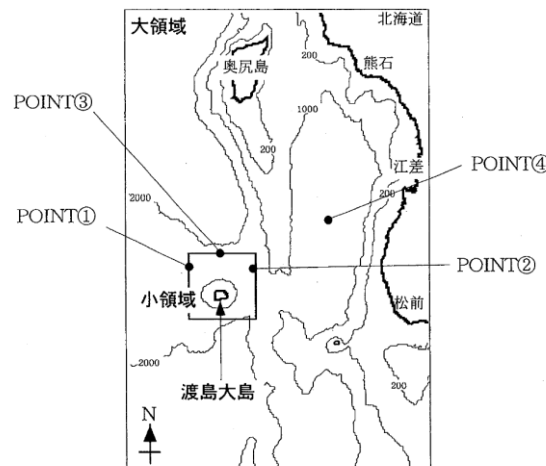
★ 湿潤密度測定を実施した堆積物柱状試料の採取位置
● グラブ採泥器による表層堆積物採取の位置

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 二層流モデルに基づく手法

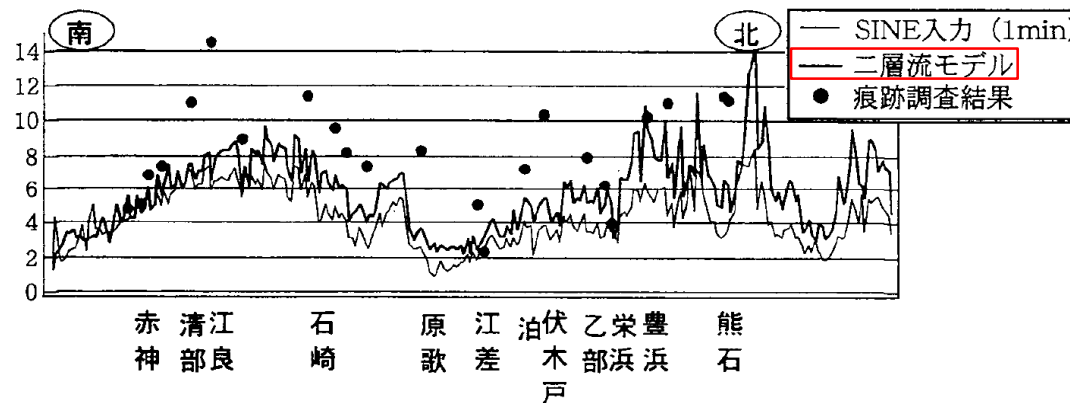
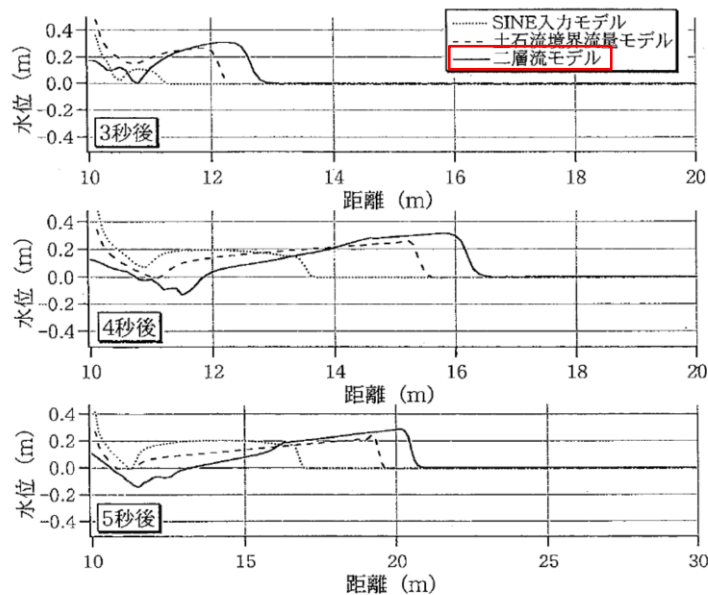
(参考) 松本ほか(1998)の密度の設定根拠 (山体崩壊による津波の再現計算)

- 松本ほか(1998)は、提案した二層流モデルの妥当性を確認するため、渡島大島の山体崩壊による津波の再現解析を実施している。
- 松本ほか(1998)では、渡島大島の山体崩壊による津波を再現するため、火山島の山体密度 (2.0g/cm³) を二層流モデルに基づく手法の下層密度として設定し、数値シミュレーションを実施している。
- ➡ 火山岩を含む山体の密度は海底地すべり体の密度とは異なることから、海底地すべり体の密度の設定に際しては、評価対象の物性値として適切なパラメータを用いる必要がある。

項目	設定値
密度(g/cm ³)	2.0
海水密度(g/cm ³)	1.03
時間格子間隔(s)	0.002
空間格子間隔(m)	0.1
空間格子数(個)	400



項目	小領域	大領域
土石流密度(g/cm ³)	2.0	
海水密度(g/cm ³)	1.03	
時間格子間隔(s)	0.01	1.0
空間格子間隔(m)	50	500
空間格子数(個)	400×400	296×194



二層流モデルを用いた土石流の海域突入のシミュレーション結果 (松本ほか(1998))

二層流モデルを用いた1741年の渡島大島の火山津波の解析結果 (松本ほか(1998))

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 二層流モデルに基づく手法

(参考) Maeno and Imamura(2007)の密度の設定根拠 (海中噴火による津波の再現計算)

- Maeno and Imamura(2007)は、提案した二層流モデルの妥当性を確認するため、鬼界カルデラの海中噴火による津波の再現解析を実施している。
- Maeno and Imamura(2007)では、鬼界カルデラの海中噴火による津波を再現するため、海中噴火のみかけ密度 (火砕物の密度 1.25g/cm^3) を二層流モデルに基づく手法の下層密度として設定し、数値シミュレーションを実施している。
- ➡海中噴火のみかけ密度は海底地すべり体の密度とは異なることから、海底地すべり体の密度の設定に際しては、評価対象の物性値として適切なパラメータを用いる必要がある。

Table 1. Parameters for Numerical Calculations of a Pyroclastic Flow Entering the Sea^a

Models	Pyroclastic Flow			Tsunami			
	V_i	Q_{max}	T	Location 1		Location 4	
				η_{max}	η_{max}	U_{0z}	U_{sz}
	km^3	m^3/s	s	m	m	m/s	m/s
Model 1a	10	1.0E+08	157	23	2.0	0.8	0.033
Model 1b	10	5.0E+07	314	15	1.7	0.7	0.029
Model 1c	10	2.0E+07	785	15	0.8	0.4	0.016
Model 1d	10	1.0E+07	1571	8	0.5	0.2	0.008
Model 2a	5	1.0E+08	79	17	1.5	0.7	0.029
Model 2b	5	5.0E+07	157	13	1.3	0.6	0.024
Model 2c	5	2.0E+07	393	11	0.8	0.4	0.016
Model 2d	5	1.0E+07	785	10	0.5	0.2	0.008
Model 3b	3	5.0E+07	94	11	0.9	0.4	0.016
Model 3c	3	2.0E+07	236	9	0.7	0.3	0.012
Model 3d	3	1.0E+07	471	8	0.5	0.2	0.008

^a Q_{max} : maximum volume flux; V_i : volume; T : duration; η_{max} : maximum wave height; U_{0z} : depth-averaged velocity; U_{sz} : shear velocity. Duration of calculations is set to be 2.3 hours for all models.



Figure 1. (a) Location of the Kikai caldera, south of Kyushu, Japan. This map also shows the computed area used for the numerical simulations. Tsunami data were collected at four points (1: Makurazaki, 2: Ei, 3: Nejime, 4: Tachibana Bay). (b) In the numerical simulations, pyroclastic flows are generated from a circular source of 4 km radius in the center of the pre-caldera island.

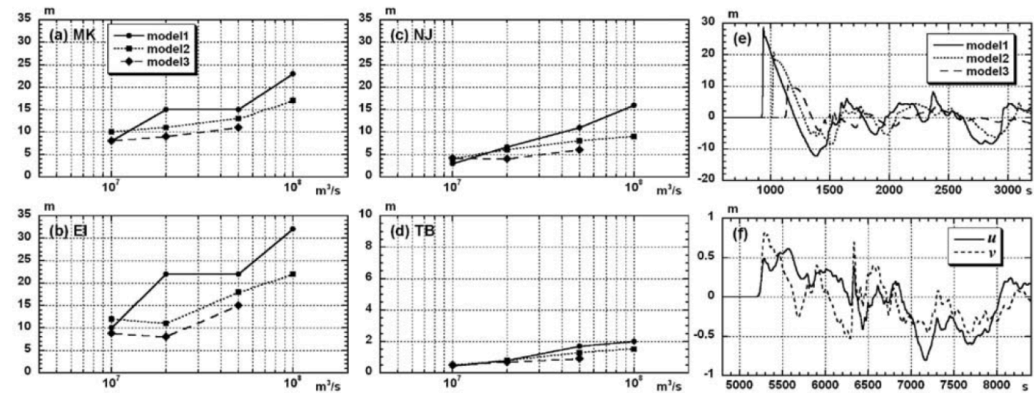


Figure 2. Computed maximum heights of the tsunami with all models at (a) Makurazaki, (b) Ei, (c) Nejime, and (d) Tachibana Bay. (e) Comparison of tsunami waveforms with different volume flux (models 1a, 1b, and 1c). Time in the abscissa is in seconds. The waveforms are computed at the Osumi Strait (See Figure 1). (f) Depth-averaged velocity of tsunami at Tachibana Bay. (u : x -direction; v : y -direction)

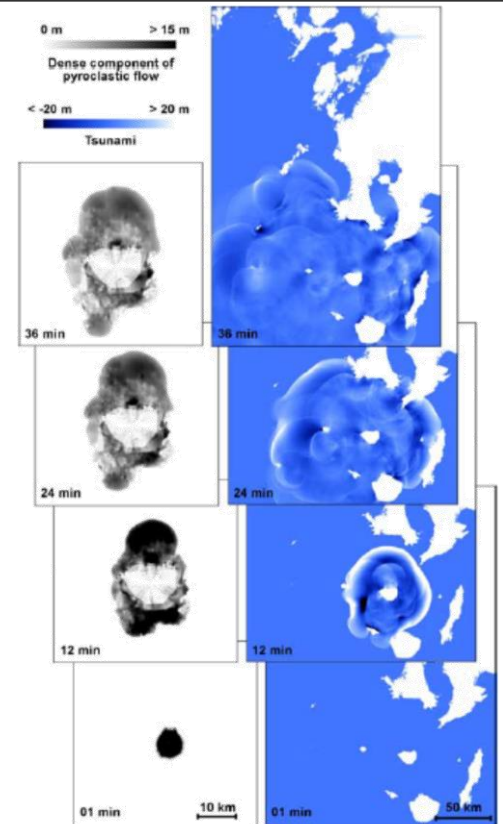


Figure 3. (left) Results of numerical calculations of the dense component of a pyroclastic flow entering the sea and (right) tsunami generation, using model 1a. Left-side figures are magnifications of the caldera area. Numbers in each figure show minutes from the start.

二層流モデルを用いた鬼界カルデラの海中噴火による津波のシミュレーション (Maeno and Imamura(2007))

5 海底地すべりの津波の計算条件の詳細 二層流モデルに基づく手法 (粗度係数、界面抵抗係数、水平渦動粘性係数の設定)

■ 二層流モデルの下層の粗度係数、界面抵抗係数、水平渦動粘性係数は、水理実験及び再現計算を実施し実験値および観測値の計算結果を比較することにより二層流モデルに基づく手法の再現性を確認したKawamata et al.(2005)に基づき設定。

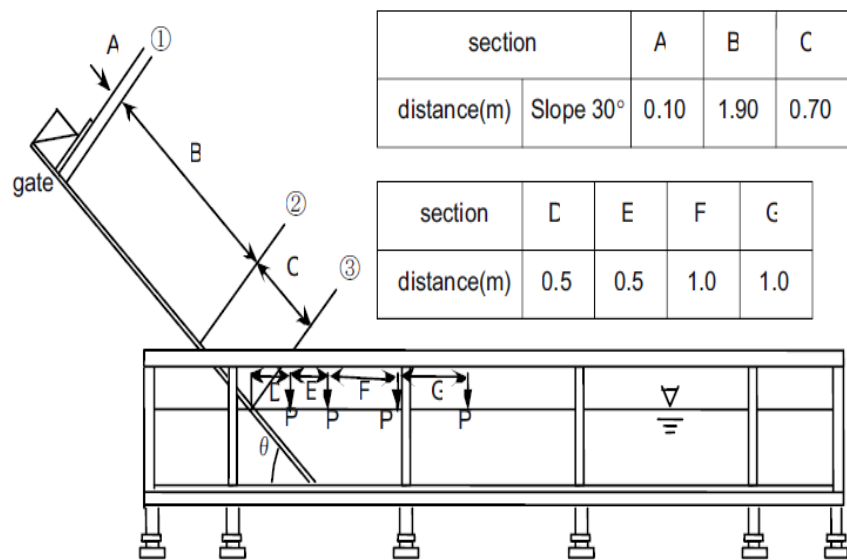


Fig. 1. Experimental setup.

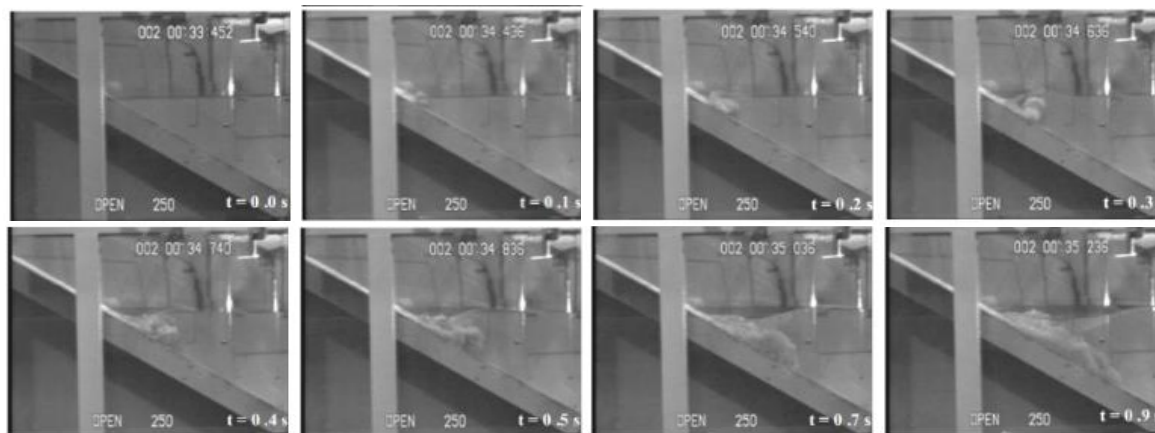


Fig. 2. Series photographs of debris flow.

地すべりによる津波の実験概要 (Kawamata et al.(2005))

粗度係数($m^{-1/3}s$)	界面抵抗係数	水平渦動粘性係数(m^2/s)
0.40	0.2	0.1

Kawamata et al.(2005)

- ・土砂が水面に突入する様子を模擬した水理実験を実施し、二層流モデルによる数値シミュレーション結果と水理実験の結果とを比較した。
- ・また、二層流モデルを1741年の渡島大島の津波に適用し、北海道沿岸と日本海の朝鮮半島沿いの津波高を再現した。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合 の影響確認

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認

複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認の検討概要

海底地すべりの同時発生による影響確認

海底地すべり地形とその周辺の地形判読調査

- 遠州灘沖の大陸棚斜面のs21-s25地点 (s21,s22,s23,s24,s25地点)、および s26-s29地点 (s26,s27,s28,s29地点)の海底地すべりは、複数の滑落崖が認められ、海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえると、個々の地すべりが徐々に進展して発生したと考えられ、また、海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目した地形判読を行った結果、個々の地すべりの発生間隔は同時発生とみなせるような短いものではなく、侵食過程を経るなどの時間経過をにおいて順番に発生したと考えられる。

海底地すべりの同時発生による影響確認

- ここでは、「s21-s25地点の海底地すべり」、「s26-s29地点の海底地すべり」について、個々の地すべりが一体となって移動すると仮定した場合の影響確認を行うこととした。当該地点の単独発生の評価において影響の大きいWattsほかの手法を用いて、地すべり地形群を包絡する一つの地すべりとして同時発生時の波源モデルを設定し、数値シミュレーションによる評価を行って、地すべり体の体積が最も大きいs22地点、s26地点の単独の海底地すべりの津波高と比較した。
- その結果、同時発生と単独発生とで津波の伝播状況や敷地への到来時刻に大きな違いはなく、最大上昇水位・最大下降水位ともに、s26地点単独の海底地すべりの影響が最も大きいことを確認した。

同時発生による評価結果の分析

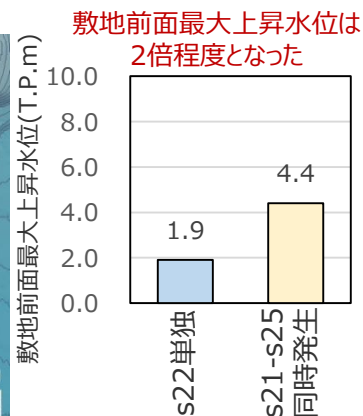
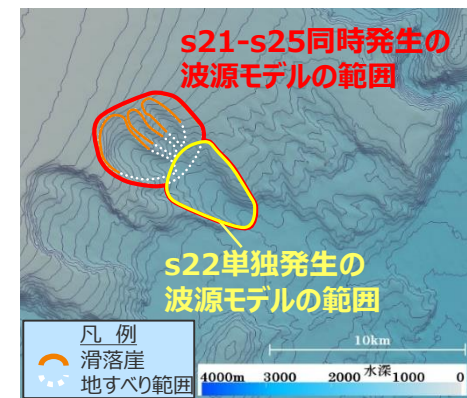
- 同時発生による評価結果の分析を行った結果、s26-s29地点の同時発生では、単独の地すべりよりも地すべり体の寸法があまり大きくならなかった一方で、単独発生時の波源モデルよりも下方に波源が広がり初期位置水深が大きくなった影響により、津波高がやや小さくなったと考えられることを確認した。
- 以上から、これら地すべりの同時発生による影響は、s26地点単独の海底地すべりの影響により代表できることを確認した。

検討対象とする海底地すべりの選定

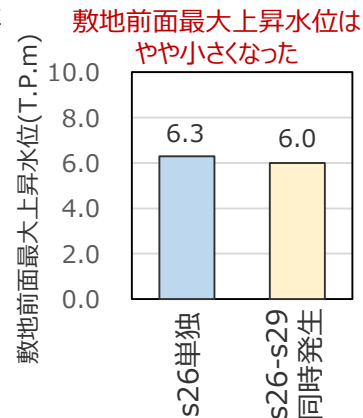
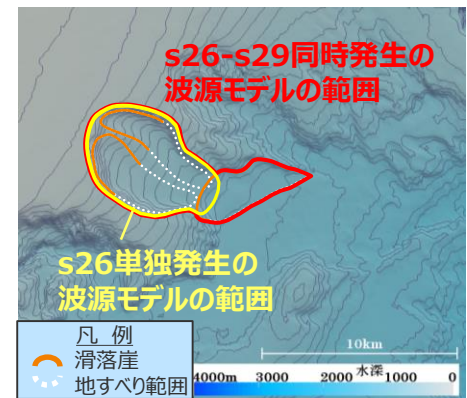
選定結果の妥当性確認

- 同時発生による評価結果の分析の結果から、地すべり体の体積、敷地からの距離に加え、地すべり体の初期位置水深が津波評価に与える影響も比較的大きいと考えられることを踏まえ、地すべり体の体積、敷地からの距離に基づき行った検討対象とする海底地すべりの選定結果が初期位置水深の観点からも妥当であることを確認した。

s21-s25地点における
同時発生と単独発生時の波源モデル



s26-s29地点における
同時発生と単独発生時の波源モデル

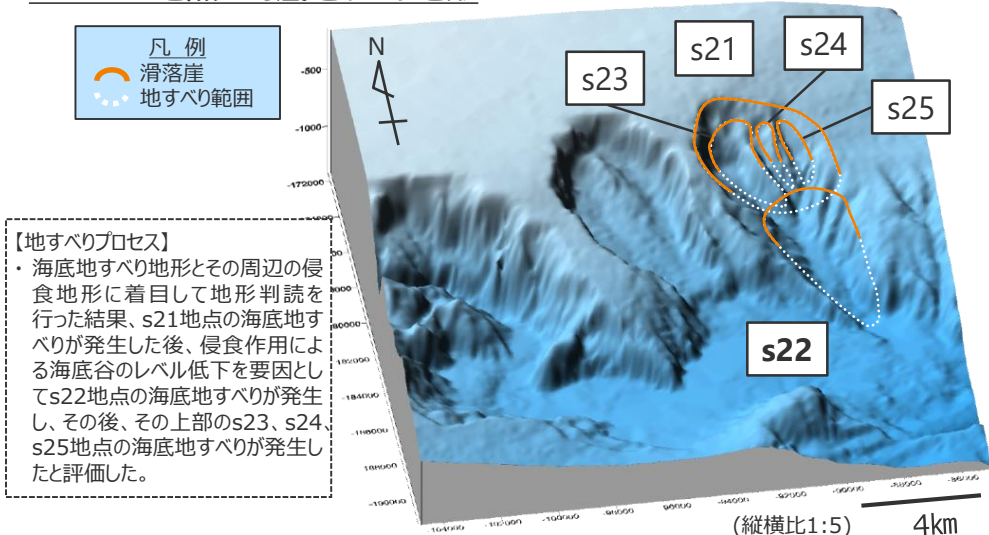


・朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s29地点の各地点の海底地すべりの津波評価の概要

- 遠州灘沖の大陸棚斜面のs21,s22,s23,s24,s25地点(s21-s25地点)、およびs26,s27,s28,s29地点(s26-s29地点)の海底地すべりについて、複数の滑落崖が認められ、海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読を行った結果、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられる。
- そのため、s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり地形を抽出し、それぞれ最も体積の大きいs22地点、s26地点について津波評価を実施した。

s21-s25地点の海底地すべり地形



【地すべりプロセス】
・海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読を行った結果、s21地点の海底地すべりが発生した後、侵食作用による海底谷のレベル低下を要因としてs22地点の海底地すべりが発生し、その後、その上部のs23、s24、s25地点の海底地すべりが発生したと評価した。

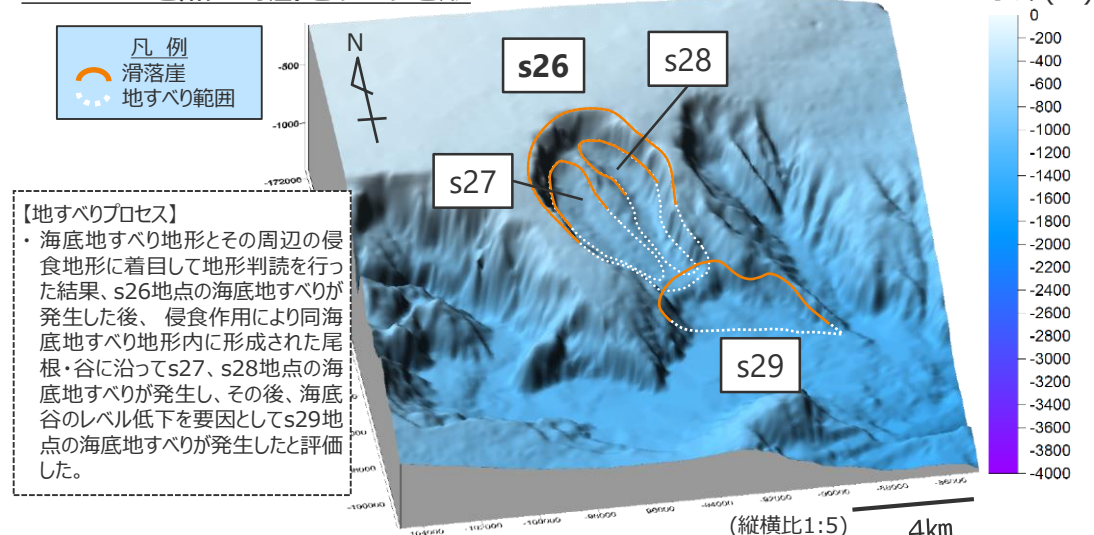
○地すべり体の概略体積（再掲）

s21 地点	s22 地点	s23 地点	s24 地点	s25 地点
11 億m ³	12 億m³	7 億m ³	1 億m ³	1 億m ³

○s22地点の津波評価結果（再掲）

【最大上昇水位】 敷地前面(T.P.m)		【最大下降水位】 3,4号取水塔(T.P.m)（水位低下時間）	
二層流	Watts	二層流	Watts
1.3	1.9	-1.1（なし）	-1.5（なし）

s26-s29地点の海底地すべり地形



【地すべりプロセス】
・海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読を行った結果、s26地点の海底地すべりが発生した後、侵食作用により同海底地すべり地形内に形成された尾根・谷に沿ってs27、s28地点の海底地すべりが発生し、その後、海底谷のレベル低下を要因としてs29地点の海底地すべりが発生したと評価した。

○地すべり体の概略体積（再掲）

s26 地点	s27 地点	s28 地点	s29 地点
32 億m³	11 億m ³	7 億m ³	1 億m ³

○s26地点の津波評価結果（再掲）

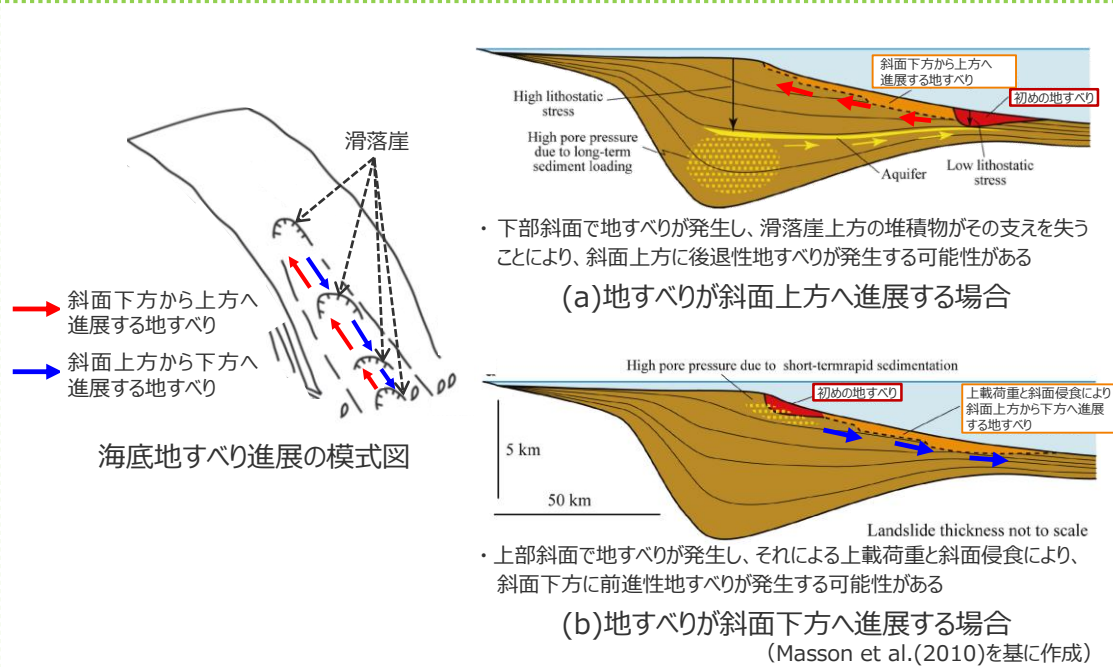
【最大上昇水位】 敷地前面(T.P.m)		【最大下降水位】 3,4号取水塔(T.P.m)（水位低下時間）	
二層流	Watts	二層流	Watts
4.7	6.3	-2.0（なし）	-3.4（なし）

地形判読の結果から、個々の地すべりが海底地形の侵食過程を経るなどして順に発生したと考えられ、個々の地すべりの発生時期の間隔は同時発生とみなせるような短いものではないと考えられる。しかしながら、この侵食過程の時間的スケールを定量的に示すことは困難である。

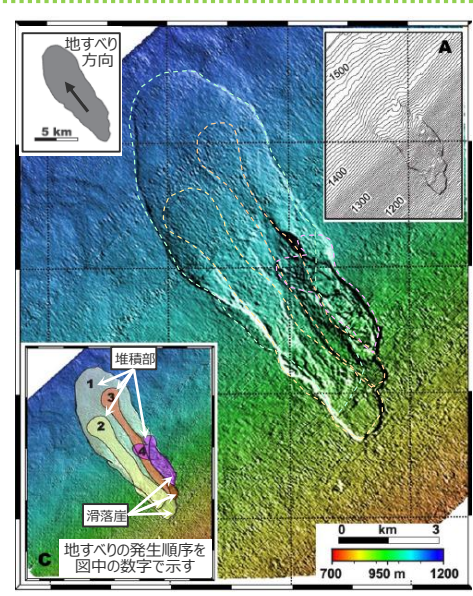
・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮 ・水位下降側：朔望平均干潮位T.P.-0.93mを考慮 ・水位低下時間：取水塔地点の水位が取水塔呑口下端レベル(T.P.-6m)を下回り取水塔から取水できない時間。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 海底地すべりの同時発生に関する検討方針 (1/2)

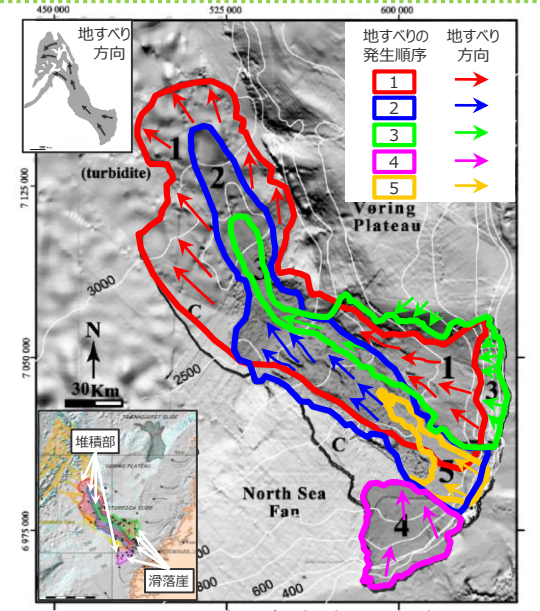
- Masson et al.(2010) によると、海底の大陸棚斜面における地すべりの進展メカニズムおよび進展事例の検討結果から、海底の大陸棚斜面においては、一つの地すべりの発生が、その地すべりと接する斜面上方もしくは斜面下方の他の地すべりの発生に進展する場合があるとされている。
- 海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例によると、関係するこれらの地すべり地形は、平面的に見て、「①接しているもしくは一部重なっている」、かつ、「②一方の地すべり地形の傾斜方向（地すべり方向）が、他方の地すべり地形の方向を向いている」関係になっている。



海底地すべりの進展メカニズム



フェロー諸島付近の海底地すべり地形



ノルウェー沖の海底地すべり地形
(Canals et al.(2004)、Hafliðason et al.(2004)を基に作成)

海底地すべりの進展事例

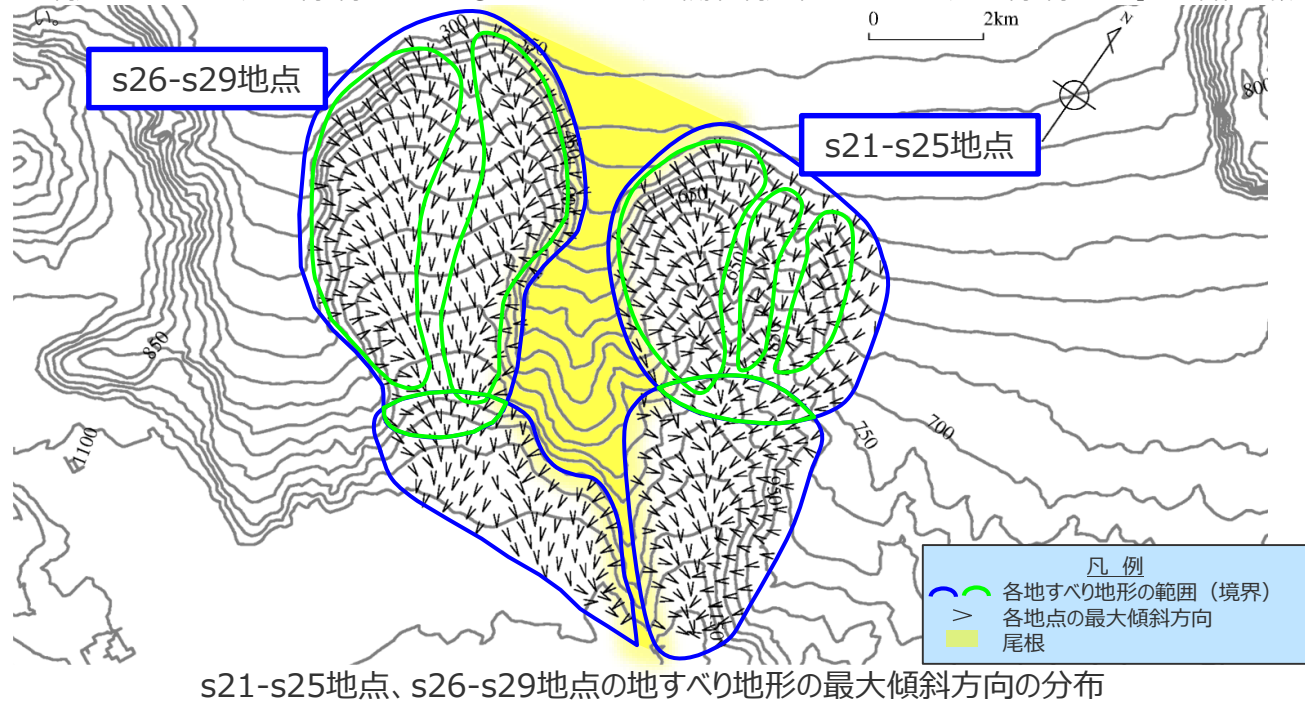
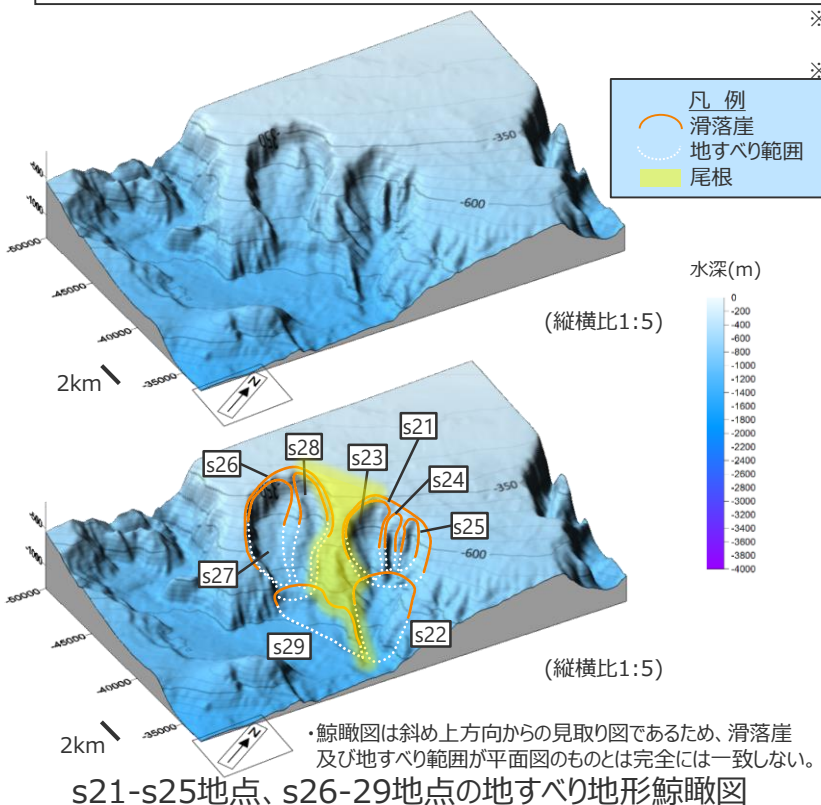
- Masson et al. (2010)
- ・海底の大陸棚斜面において一つの地すべりの発生が他の地すべりの発生に進展するメカニズムおよび進展事例を検討している。
- ・(a) 上部斜面の下の厚い堆積物の蓄積による高い間隙水圧の横方向移流により、下部斜面で発生した地すべり：大陸斜面堆積物層を介した高い間隙水圧の横方向移流が下部斜面での地すべりを発生させる。下部斜面で地すべりが発生すると、滑落崖上方の堆積物がその支えを失うことにより、斜面上方に後退する可能性がある。
- ・(b) 急速な堆積により上部斜面で発生した地すべり：大陸棚斜面では、陸地の侵食に由来する堆積物が大陸棚の縁を越えて運ばれ斜面に堆積し、海側に薄くなるくさび形の堆積物が構築されている。短期間の沈降速度は斜面上部で最も高く、高い間隙水圧を生み出し、斜面の崩壊につながる。結果として生じる地すべりは、上載荷重と斜面侵食により斜面下方に前進する可能性がある。

海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえると、地すべり地形のうち、「①接しているもしくは一部重なっている」、かつ、「②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている」関係にある地すべり地形については、地すべりが進展して発生した可能性がある。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 海底地すべりの同時発生に関する検討方針 (2/2)

- 「s21-s25地点の海底地すべり」の地形について、個々の地すべり地形が①一部重なっており、かつ、②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている※1ことから、海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえると、地すべりが進展して発生した可能性がある。「s26-s29地点の海底地すべり」の地形についても同様である。
- 「s21-s25地点の海底地すべり」の地形と「s26-s29地点の海底地すべり」の地形とは、その間に尾根を挟んでいるため、①接しておらず、また、②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いていない※2ことから、互いの地すべりが進展したものではないと考えられる。

※1 s21-s25地点の地すべり地形内において、s21-s25地点の各地すべり地形の境界（緑の実線）を越える方向へ向かう傾斜の矢印が確認されることから、「②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている」という条件に合致する。
 ※2 s21-s25地点の地すべり地形とs26-s29地点の地すべり地形との境界（青の実線）を越える方向へ向かう傾斜の矢印がないことから、地すべり地形の傾斜方向が互いの地すべり地形の方向を向いておらず、「②一方の地すべり地形の傾斜方向が、他方の地すべり地形の方向を向いている」という条件に合致しない



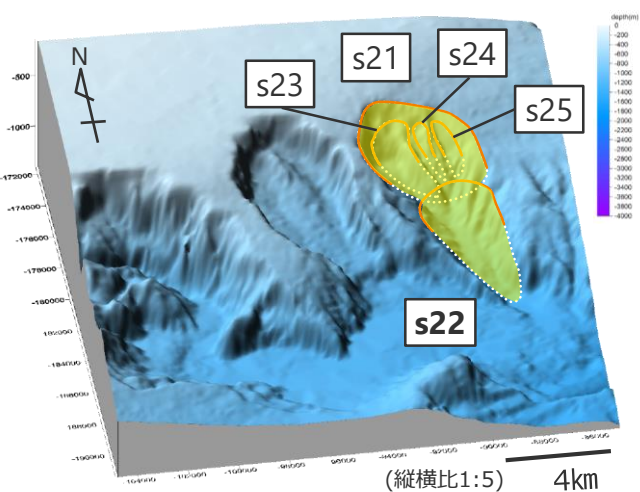
【海底地すべりの同時発生に関する検討方針】

- ・海底地すべりの進展メカニズムおよび進展事例を踏まえると、「s21-s25地点の海底地すべり」および「s26-s29地点の海底地すべり」それぞれについては、個々の地すべりが進展して発生した可能性がある。地形判読の結果からは個々の地すべりの発生時期の間隔は同時発生とみなせるような短いものではないと考えられるが、その時間的スケールを定量的に示すことは困難であることから、同時発生による影響確認として、個々の地すべりが一体となって移動すると仮定した検討を実施することとした。
- ・同時発生による影響確認では、当該地点の単独発生の評価において影響の大きいWattsほかの手法を用いて、地すべり地形群を包絡する一つの地すべりとして波源モデルを設定し、数値シミュレーションによる評価を行って、地すべり体の体積が最も大きいs22地点、s26地点の単独の海底地すべりの津波高と比較した。

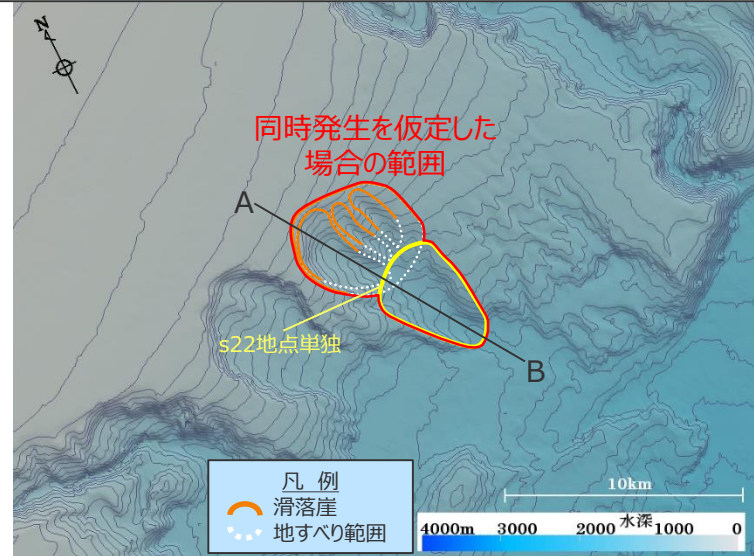
・「s21-s25地点の海底地すべり」と「s26-s29地点の海底地すべり」とは、互いの地すべりが進展したものではないと考えられることから、同時発生の影響検討を行うことまでは必要ないと考えられる。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 波源モデルの設定 (s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合)

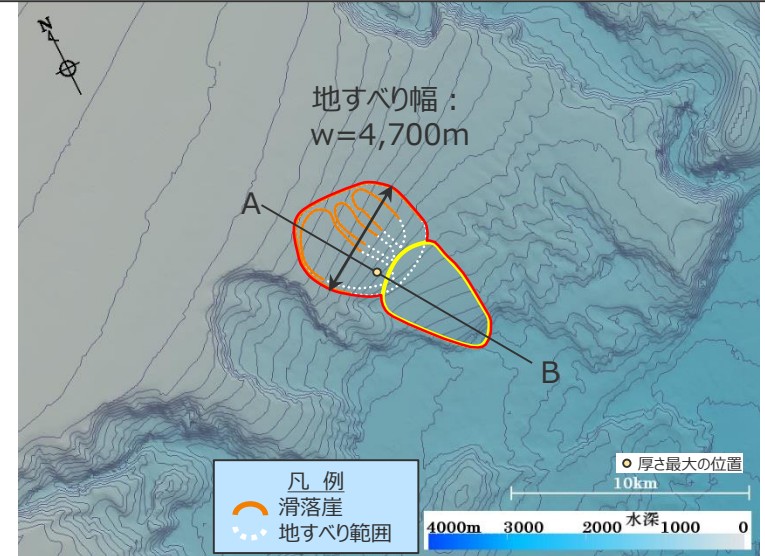
- s21-s25地点は、海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読調査を実施した結果、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられる。ここでは、s21-s25地点の海底地すべりの同時発生として、個々の地すべりが一体となって移動すると仮定した場合の影響確認を実施することとした。
- 波源モデルは、当該地点の単独発生の評価において影響の大きいWattsほかの手法を用い、地すべり地形群の複数の馬蹄形状を包絡する一つの地すべりとして設定した。
- 地すべり方向は、地すべり体の体積が最も大きいs22地点の地すべりと同じ方向とした。



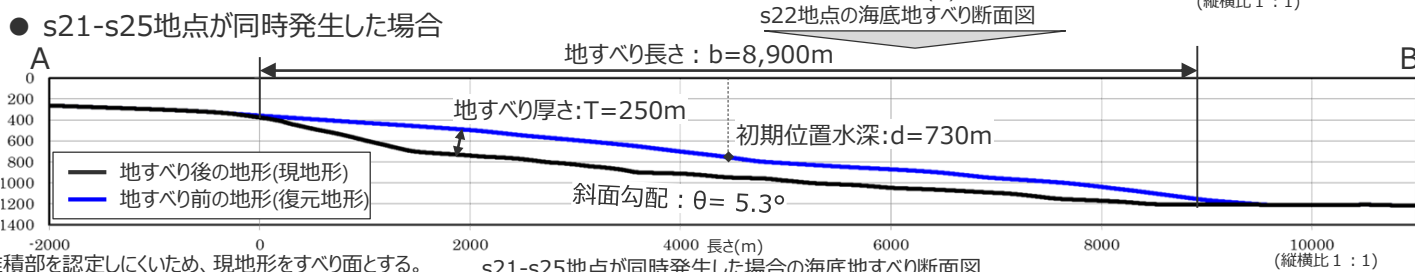
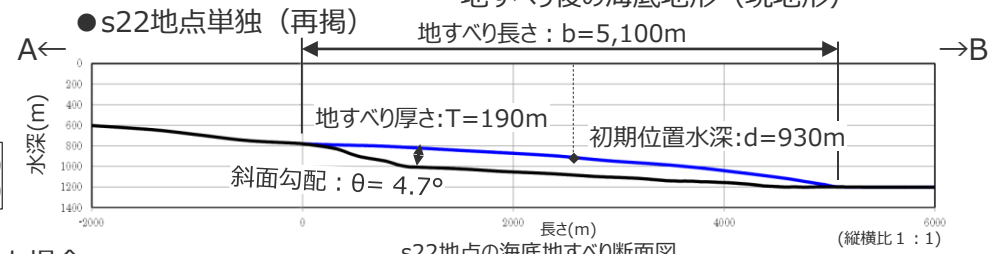
DEMより作成した俯瞰図



地すべり後の海底地形 (現地形)



地すべり前の海底地形 (復元地形)
パラメータの設定値

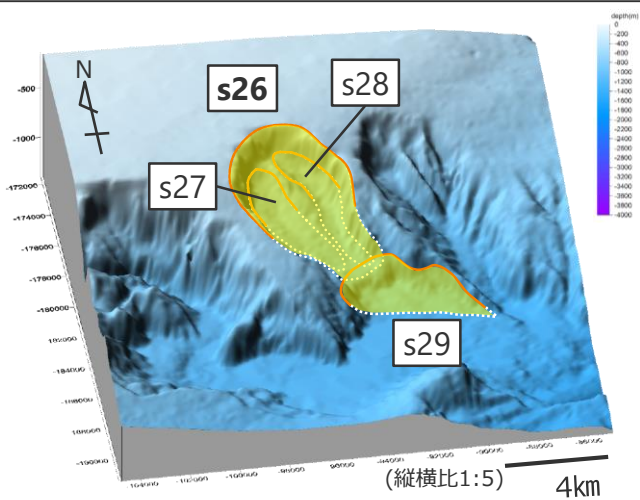


・堆積部を認定しにくいため、現地地形をすべり面とする。
 ・同時発生と単独発生の復元地形は個別に作成しているため、同時発生の復元地形は、厚さのほとんどない地すべり体長さの下方端部において単独発生の復元地形とわずかな差があるが、津波評価上影響する部分ではないと考えられる。

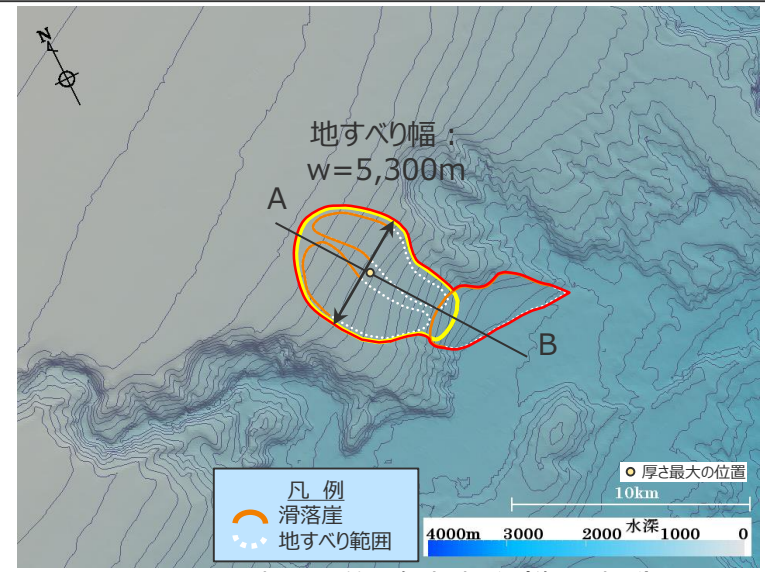
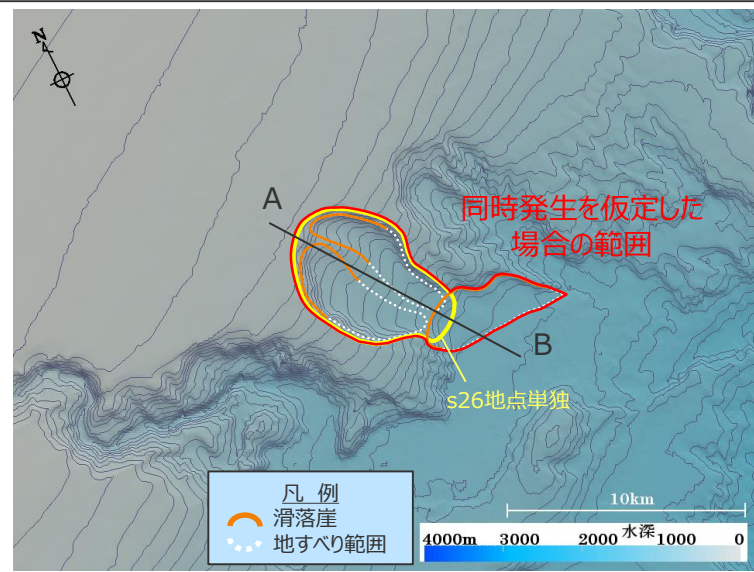
項目	s22地点 単独(再掲)	s21-s25地点 同時発生
地すべり長さ b(m)	5,100	8,900
地すべり厚さ T(m)	190	250
地すべり幅 w(m)	3,600	4,700
初期位置水深 d(m)	930	730
斜面勾配 θ (°)	4.7	5.3
移動距離 S(m)	5,100	8,900
地すべり体の体積 (億 m^3)	12	36

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 波源モデルの設定 (s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合)

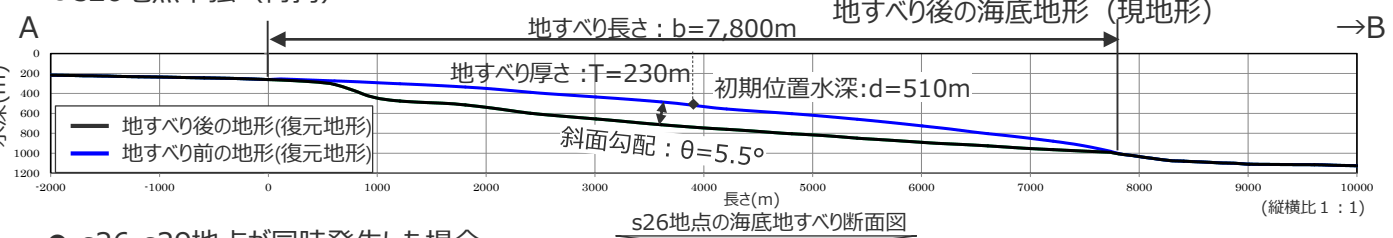
- s26-s29地点は、海底地すべり地形とその周辺の侵食地形に着目して地形判読調査を実施した結果、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられる。ここでは、s26-s29地点の海底地すべりの同時発生として、個々の地すべりが一体となって移動すると仮定した場合の影響確認を実施することとした。
- 波源モデルは、当該地点の単独発生の評価において影響の大きいWattsほかの手法を用い、地すべり地形群の複数の馬蹄形状を包絡する一つの地すべりとして設定した。
- 地すべり方向は、地すべり体の体積が最も大きいs26地点の地すべりと同じ方向とした。



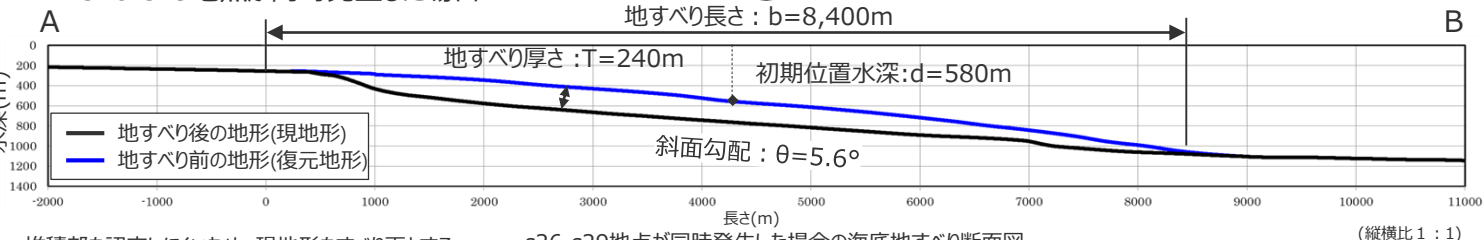
DEMより作成した鯨瞰図



● s26地点単独 (再掲)



● s26-s29地点が同時発生した場合



パラメータの設定値

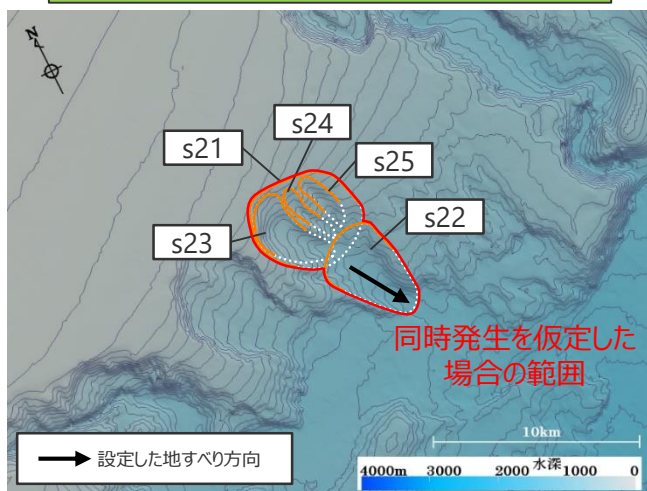
項目	s26地点 単独(再掲)	s26-s29地点 同時発生
地すべり長さ b(m)	7,800	8,400
地すべり厚さ T(m)	230	240
地すべり幅 w(m)	5,300	5,300
初期位置水深 d(m)	510	580
斜面勾配 θ(°)	5.5	5.6
移動距離 S(m)	7,800	8,400
地すべり体の体積(億m ³)	33	47

・堆積部を認定しにくいため、現地形をすべり面とする。
 ・同時発生の復元地形は、地すべり長さの下方端部において厚さのほとんどない部分があるが、津波評価上影響する部分ではないと考えられる。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 波源モデルの設定 (s21-s25地点の地すべり方向の妥当性確認)

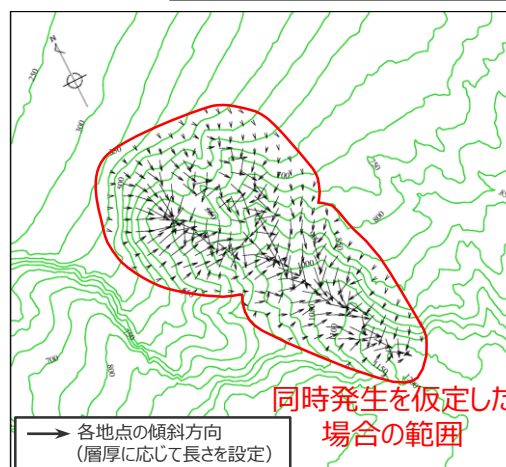
- s21-s25地点同時発生時の地すべり方向設定の妥当性確認のために、地すべり地形内の傾斜方向の分布および傾斜方向を層厚で加重平均した方向を算出し、s21-s25地点同時発生時の地すべり方向と比較した。
- その結果、設定したs21-s25地点同時発生時の地すべり方向は、地すべり地形内の傾斜方向の分布を概ね代表しているとともに、傾斜方向を層厚で加重平均した方向とほぼ同じであることを確認した。

s21-s25地点同時発生時の地すべり方向

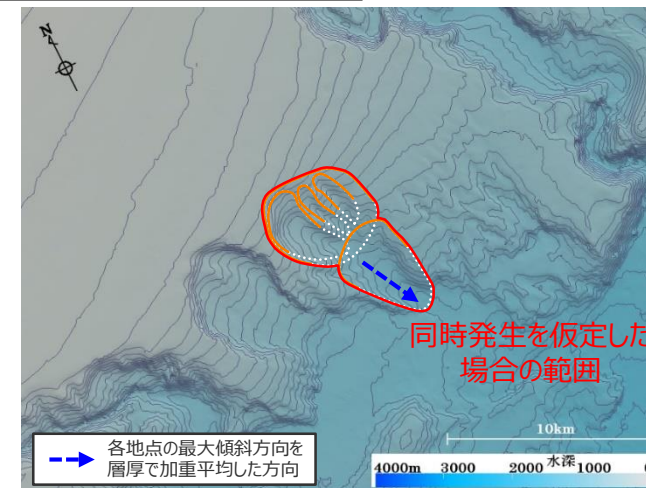


s21-s25地点同時発生時の地すべり方向
(体積が大きいs22地点の地すべり方向と同じ設定)

s21-s25地点の地すべり地形内の層厚を加味した傾斜方向



地すべり地形内の傾斜方向の分布



地すべり地形内の傾斜方向を層厚で加重平均した方向
・層厚加重平均による地すべり方向は、層厚に応じて長さを設定した各地点の傾斜方向ベクトル（左図）すべてを平均して算出

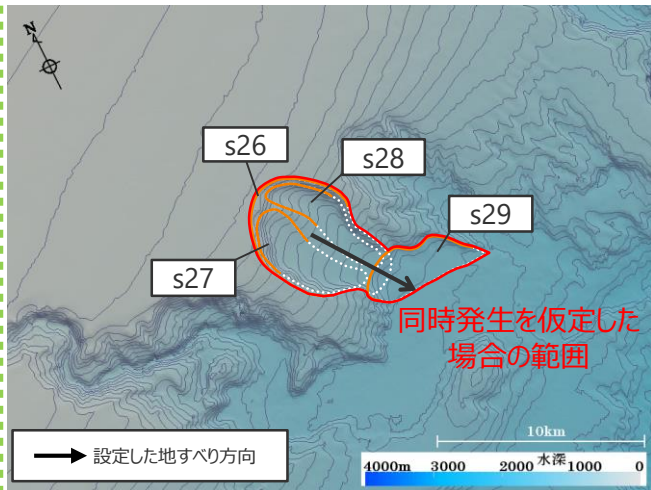
- 凡例
- 滑落崖
 - 地すべり範囲

- 以上より、s21-s25地点同時発生時の地すべり方向を、地すべり体の体積が大きいs22地点と同じとする設定は妥当であることを確認した。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 波源モデルの設定 (s26-s29地点の地すべり方向の妥当性確認)

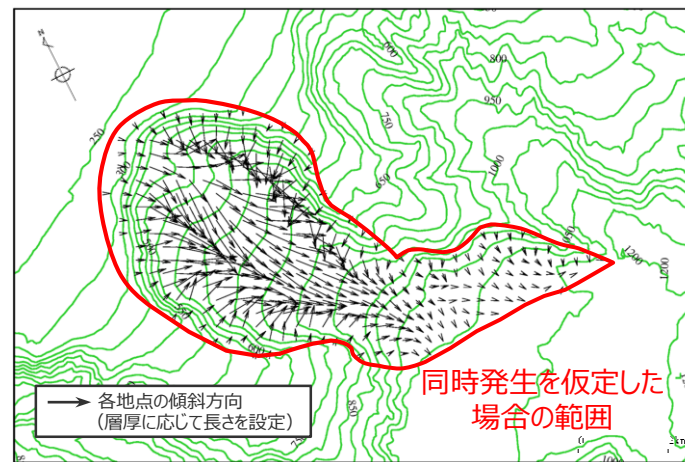
- s26-s29地点同時発生時の地すべり方向設定の妥当性確認のために、地すべり地形内の傾斜方向の分布および傾斜方向を層厚で加重平均した方向を算出し、s26-s29地点同時発生時の地すべり方向と比較した。
- その結果、設定したs26-s29地点同時発生時の地すべり方向は、地すべり地形内の傾斜方向の分布を概ね代表しているとともに、傾斜方向を層厚で加重平均した方向とほぼ同じであることを確認した。

s26-s29地点同時発生時の地すべり方向

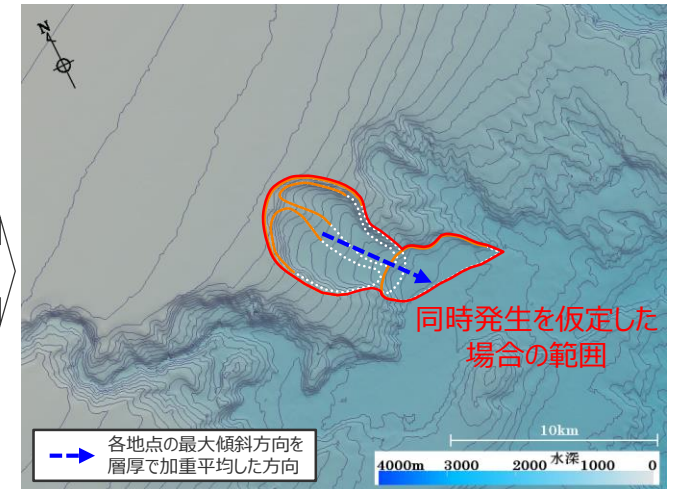


s26-s29地点同時発生時の地すべり方向
(体積が大きいs26地点の地すべり方向と同じ設定)

s26-s29地点の地すべり地形内の層厚を加味した傾斜方向



地すべり地形内の傾斜方向の分布



地すべり地形内の傾斜方向を層厚で加重平均した方向

- ・ 層厚加重平均による地すべり方向は、層厚に応じて長さを設定した各地点の傾斜方向ベクトル（左図）すべてを平均して算出

- 凡例
- 👉 滑落崖
 - 👉 地すべり範囲

- 以上より、s26-s29地点同時発生時の地すべり方向を、地すべり体の体積が大きいs26地点と同じとする設定は妥当であることを確認した。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響確認 (計算条件)

■ Wattsほかの予測式に基づく手法の計算条件は以下のとおり。

- ・ 波源モデルは、個々の地すべりが一体となって移動すると仮定し、馬蹄形状を持つ地すべり地形群を包絡する一つの地すべり地形を想定してWattsの予測式に基づく波源モデルを設定した。

Wattsほかの予測式に基づく数値シミュレーションの計算条件

項目	(再掲)s22地点単独	s21-s25地点が同時発生した場合	(再掲)s26地点単独	s26-s29地点が同時発生した場合	設定根拠
土砂の密度 ρ_s (g/cm ³)	1.4	1.4	1.4	1.4	地質調査所(1998)*
地すべり長さ b(m)	5,100	8,900	7,800	8,400	復元地形から判読
地すべり厚さ T(m)	190	250	230	240	復元地形から判読
地すべり幅 w(m)	3,600	4,700	5,300	5,300	復元地形から判読
初期位置水深 d(m)	930	730	510	580	復元地形から判読
斜面勾配 θ (°)	4.7	5.3	5.5	5.6	復元地形から判読
抗力係数 Cd	0	0	0	0	Grilli and Watts(2005)
付加質量係数 Cm	1	1	1	1	Grilli and Watts(2005)
移動距離 S(m)	5,100	8,900	7,800	8,400	復元地形から判読
特性距離 S ₀ (m)	2,550	4,450	3,900	4,200	=S/2
底面摩擦係数 Cn	0.2	0.1	0.1	0.1	=S ₀ /(Rcos θ)
曲率半径 R(m)	17,112	39,605	33,065	36,750	=b ² /8T
初期加速度 a ₀ (m ² /s)	0.2	0.2	0.2	0.2	=S ₀ /t ₀ ²
特性時間 t ₀ (sec)	107	163	149	157	= $\sqrt{R/g} \cdot \sqrt{(\gamma + C_m)/(\gamma - 1)}$
特性津波波長 λ_0 (m)	10,223	13,780	10,524	11,832	=t ₀ $\sqrt{g d}$
回転角 $\Delta\Phi$ (rad)	0.3	0.2	0.2	0.2	=2S ₀ /R
最大速度 U _{max} (m/s)	24	27	26	27	=S ₀ /t ₀

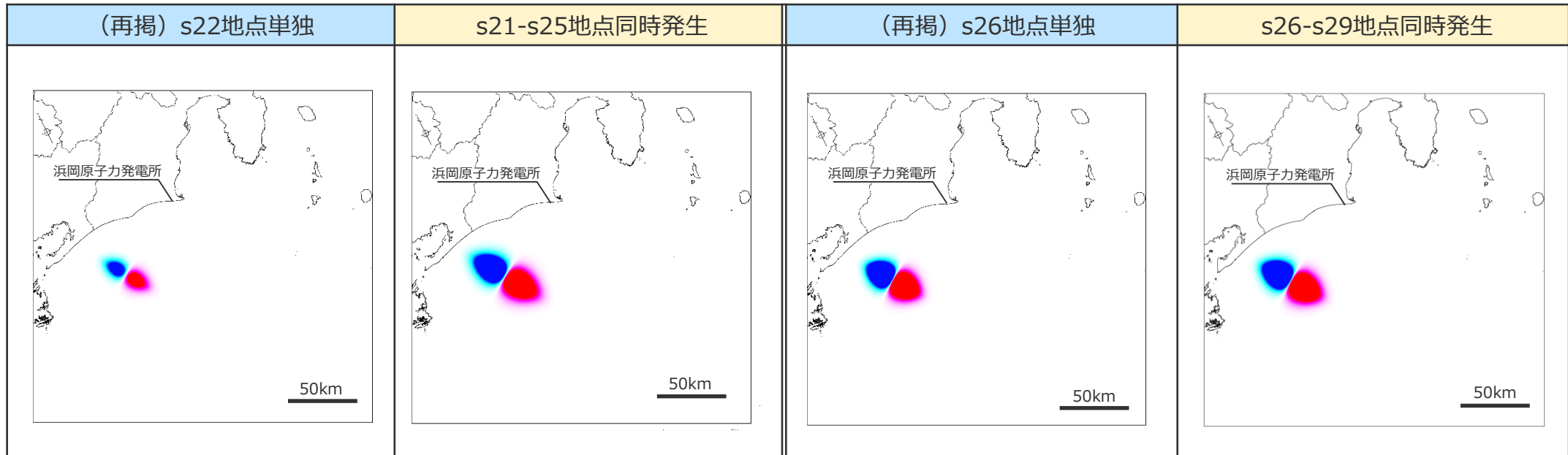
* 地質調査所(1998)：「東海沖堆積物の物理的性質」、
『東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究』、平成9年度研究概要報告書

Wattsほかの予測式に基づく波源振幅の推定値

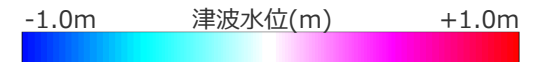
$\eta_{0,2D}$ (m)	7.9	21.7	28.1	26.6	$\eta_{0,2D} = S_0 \left(\frac{0.131}{\sin\theta} \right) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b \sin\theta}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{b}{R} \right)^{0.63} \times (\Delta\Phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1))(\gamma - 1)$
$\eta_{0,3D}$ (m)	2.1	5.6	9.4	8.3	$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響確認 (初期水位分布)

■ s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合の初期水位分布を示す。



初期水位分布



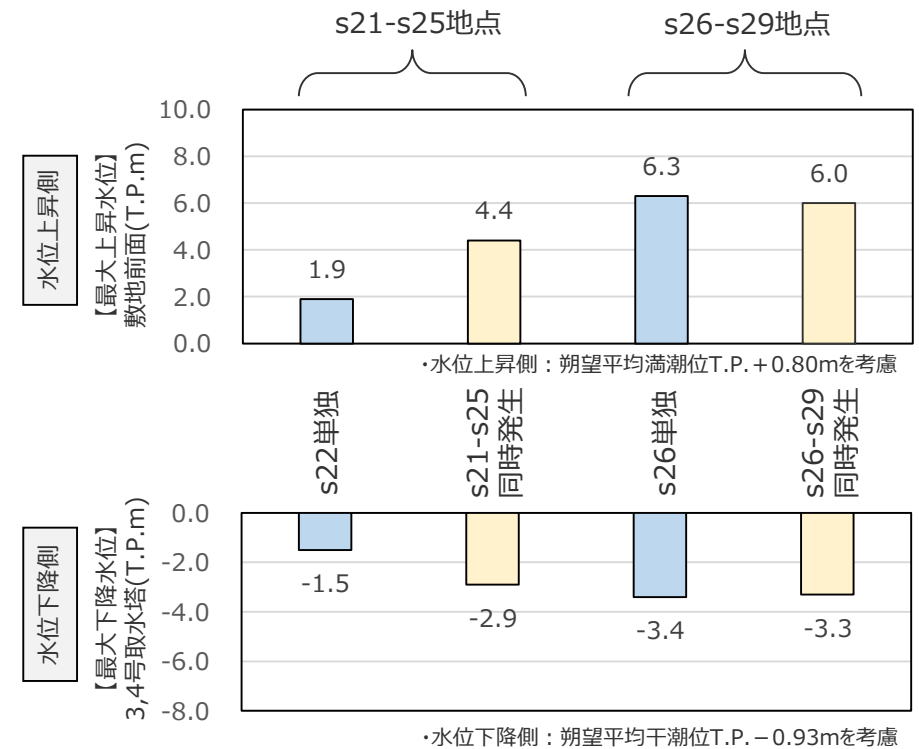
6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響確認 (津波評価結果 (水位上昇側・水位下降側))

- 地形判読調査の結果、s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり地形は、複数の地すべりが時間差を持って発生したと考えられるが、s21-s25地点およびs26-s29地点の複数の地すべりがそれぞれ一体となって移動したと仮定して、複数の地すべり地形群を包絡する一つの地すべりとして同時発生の波源モデルを設定し、上昇側・下降側について数値シミュレーションにより影響確認を行った。
- その結果は、以下のとおり。

単独発生と同時発生の評価結果の比較

地点名	s21-s25地点		s26-s29地点	
	s22地点単独	s21-s25地点同時発生	s26地点単独	s26-s29地点同時発生
地すべり体の体積 (億m ³)	12	36	33	47
敷地からの距離 (km)	63		68	
【最大上昇水位】敷地前面(T.P.m)	1.9	4.4	6.3	6.0
【最大下降水位】3,4号取水塔(T.P.m) (水位低下時間)	-1.5 (なし)	-2.9 (なし)	-3.4 (なし)	-3.3 (なし)

- ・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P. + 0.80mを考慮
- ・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮
- ・水位低下時間：取水塔地点の水位が取水塔呑口下端レベルを下回り取水塔から取水できない時間

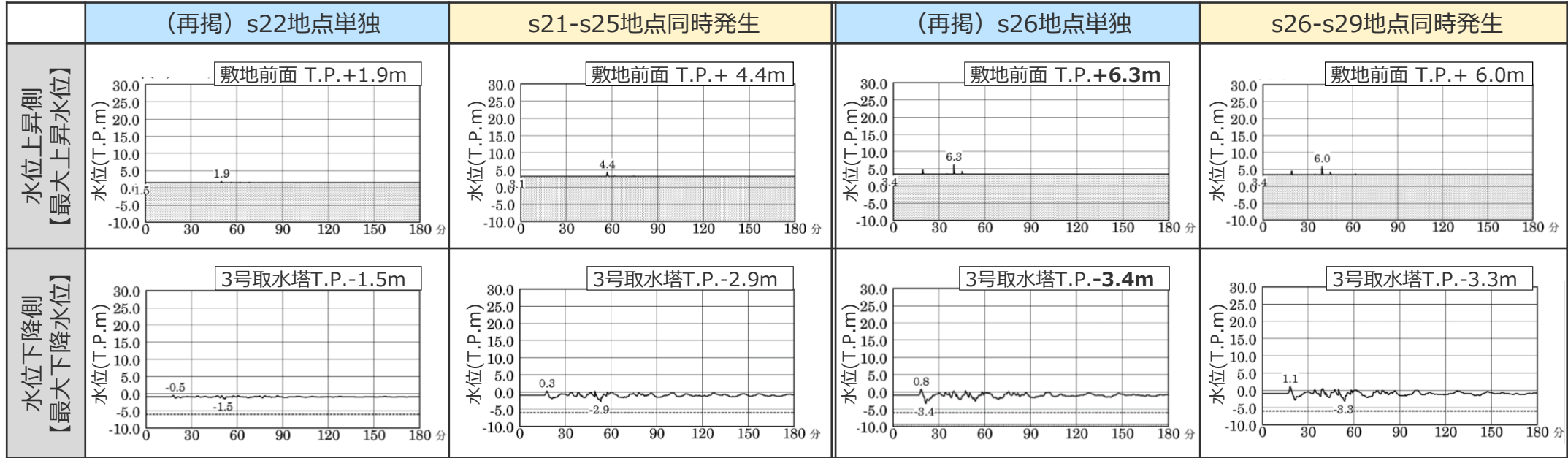


単独発生と同時発生の評価結果の比較

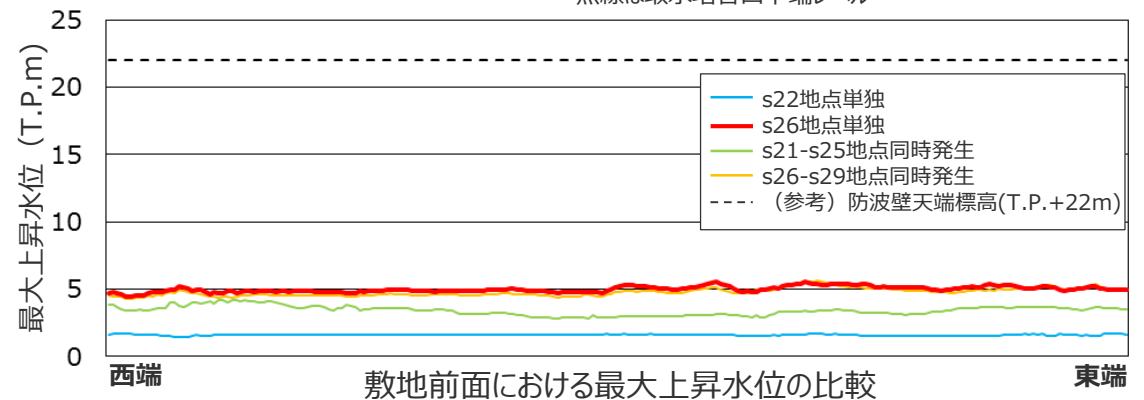
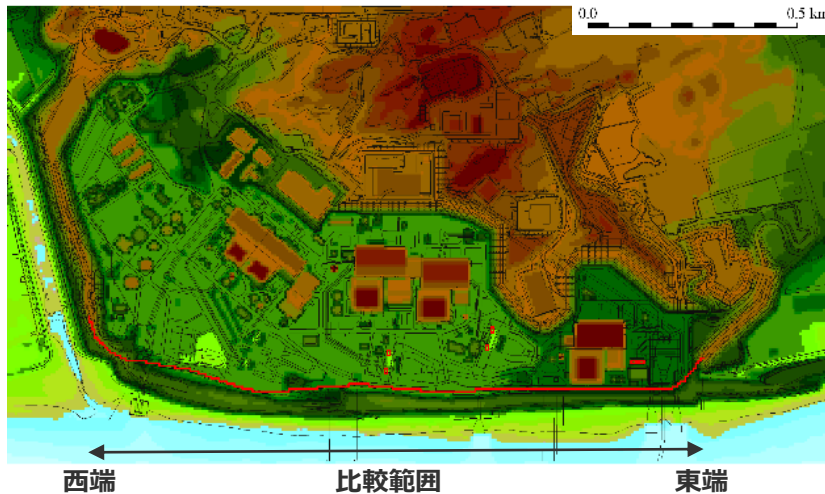
- 最大上昇水位・最大下降水位ともに、s26地点単独の海底地すべりの影響が最も大きいことを確認した。

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響確認 (津波評価結果 (水位上昇側・水位下降側))

■ 時刻歴波形と最大上昇水位分布を示す。同時発生と単独発生とで津波の到来状況の傾向に大きな違いはない。



- ・水位上昇側は朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮
- ・水位下降側は朔望平均干潮位T.P.-0.93mを考慮
- ・網掛け部の上端は当該地点の標高
- ・点線は取水塔呑口下端レベル

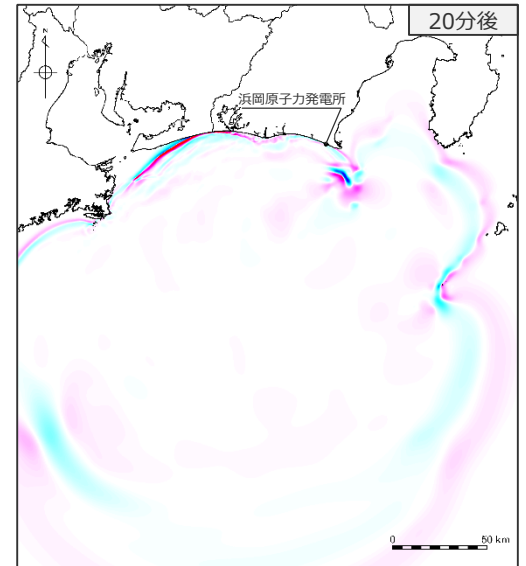
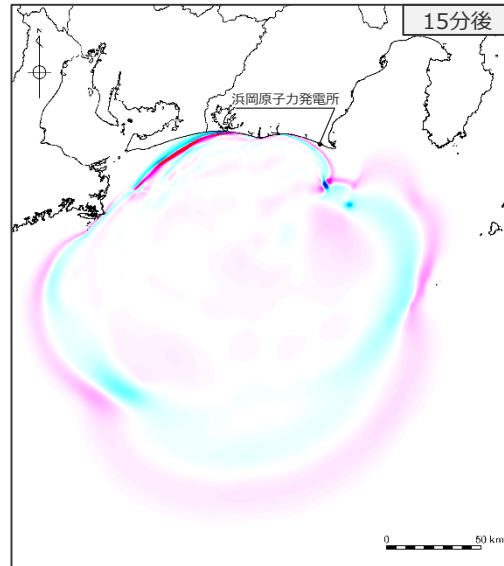
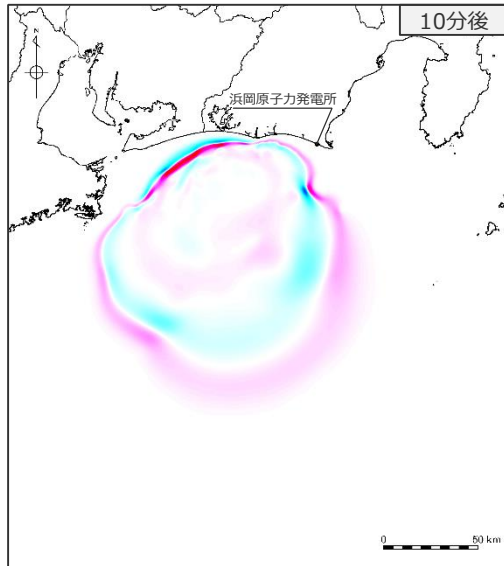
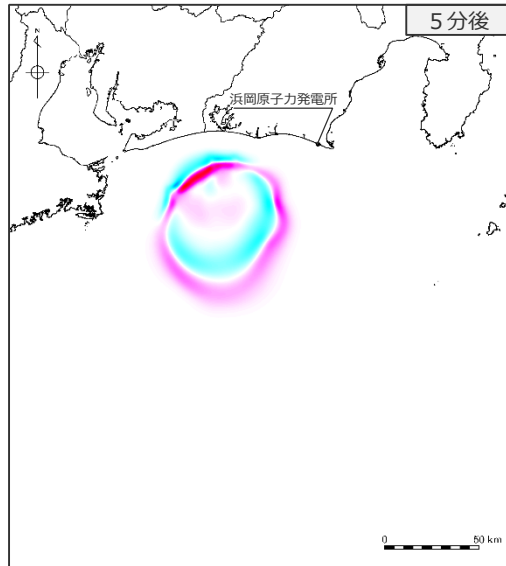


s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

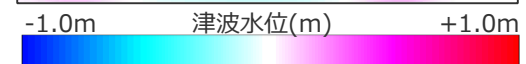
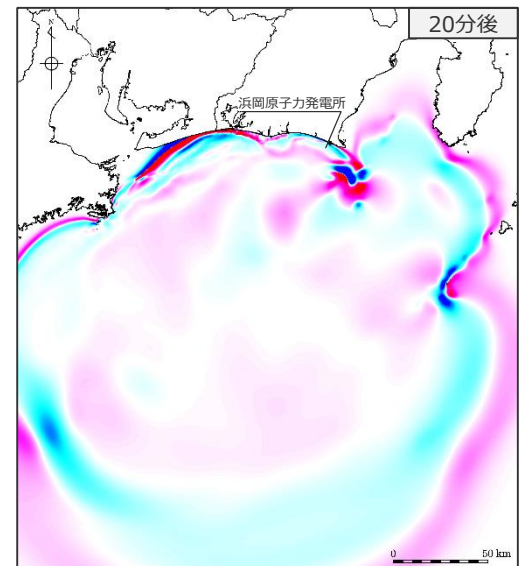
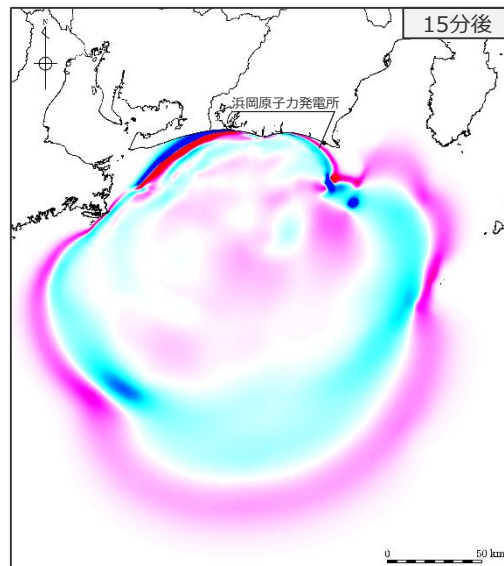
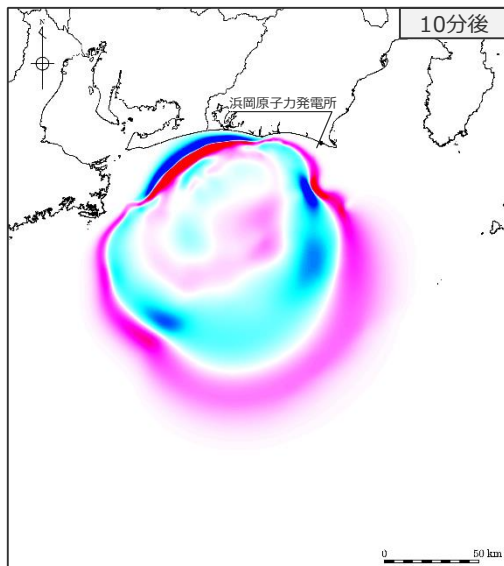
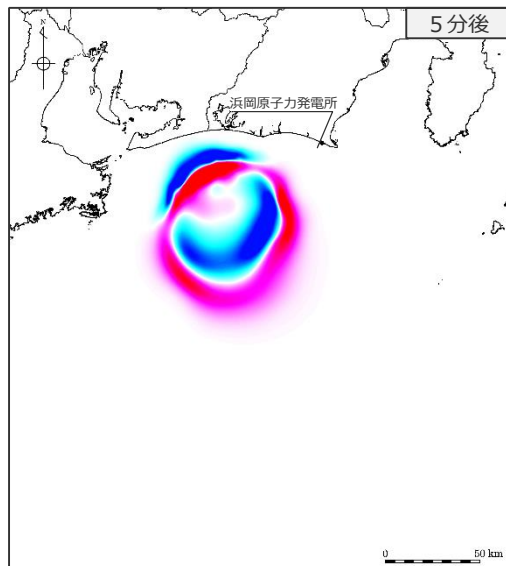
(津波伝播状況 (水位上昇側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s22地点単独



s21-s25地点同時発生



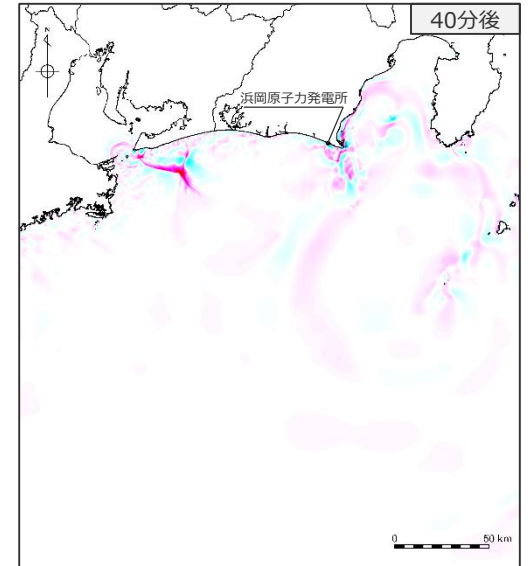
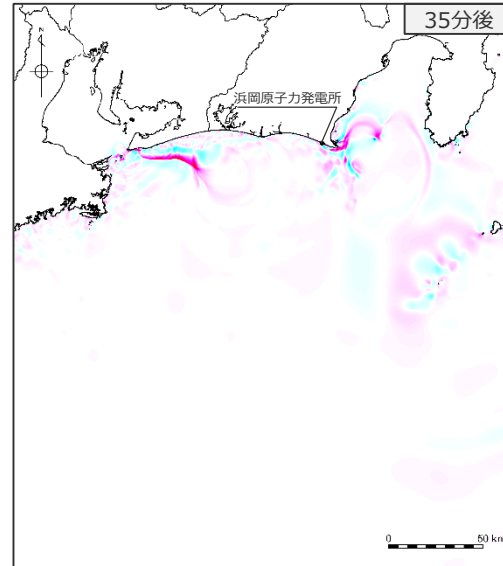
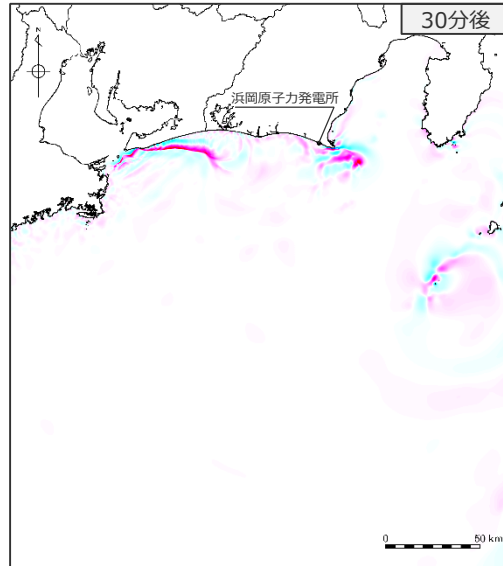
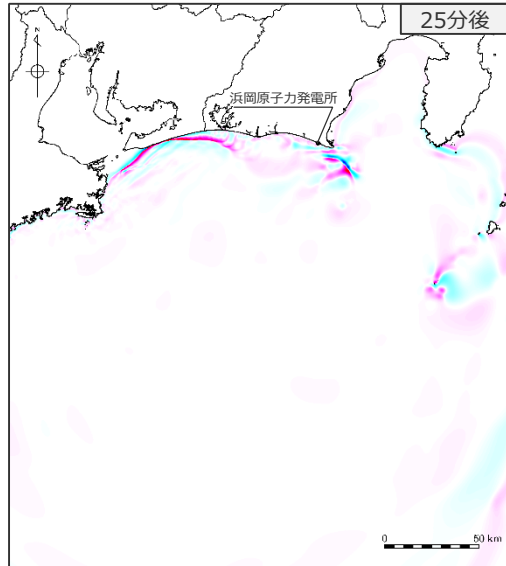
・水位上昇側：朔望平均満潮時T.P.+0.80mを考慮

s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

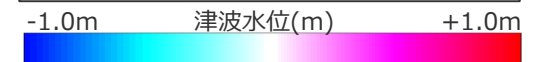
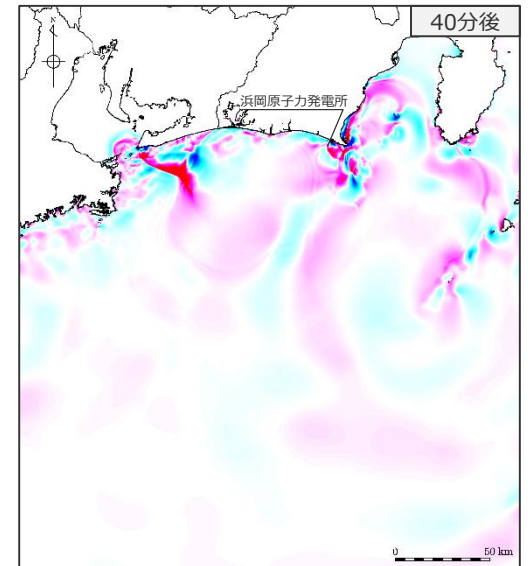
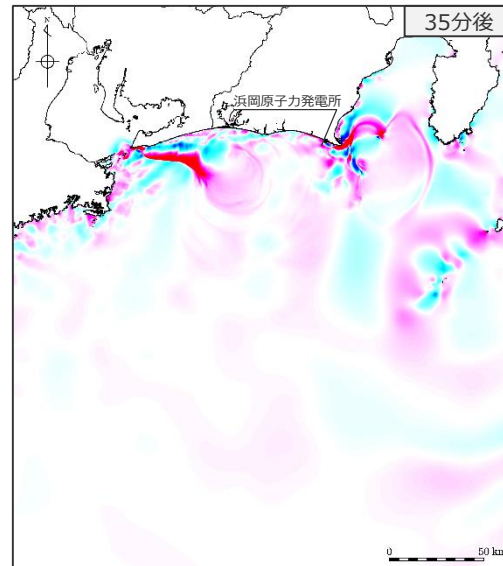
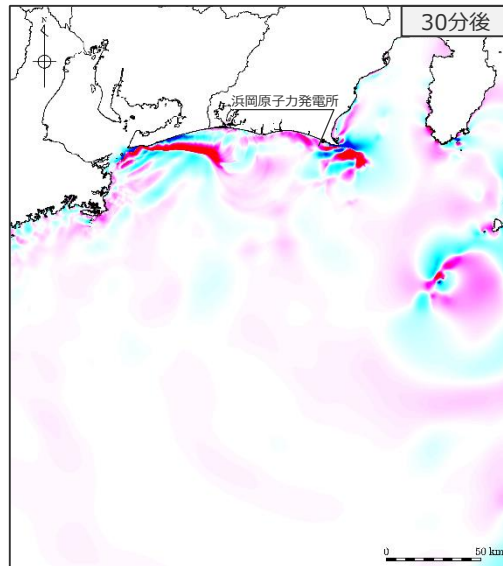
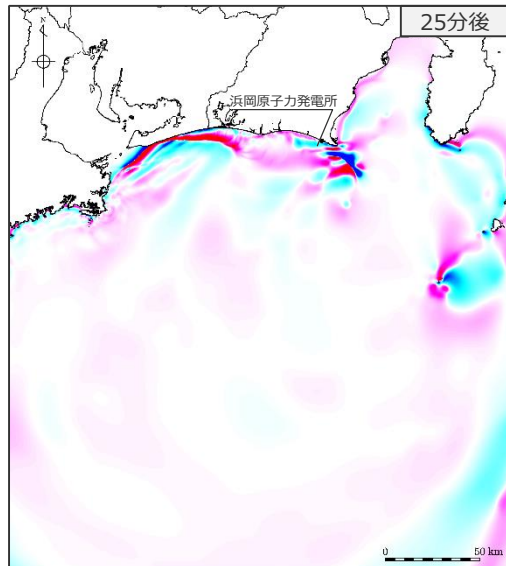
(津波伝播状況 (水位上昇側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s22地点単独



s21-s25地点同時発生



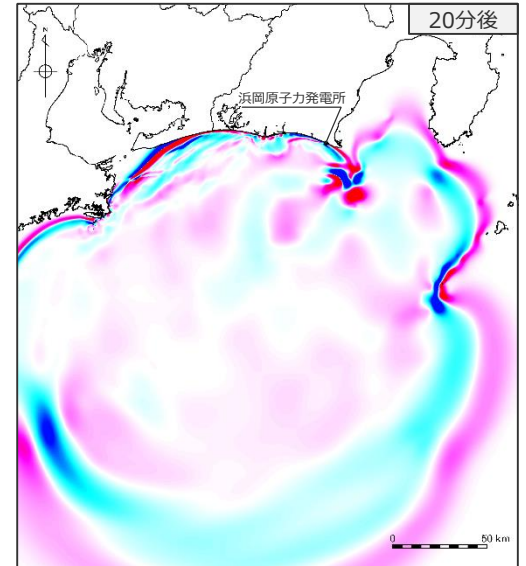
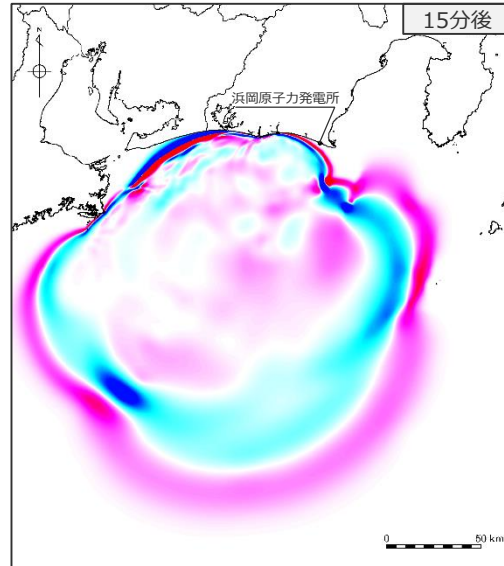
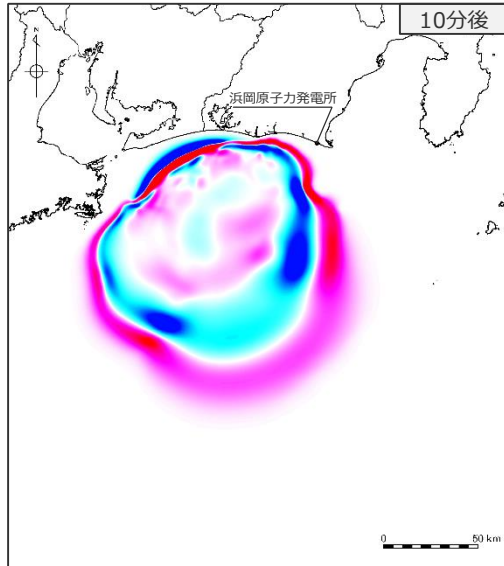
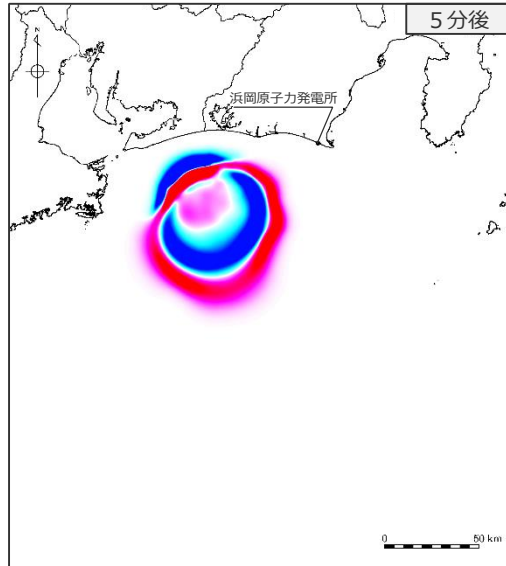
・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

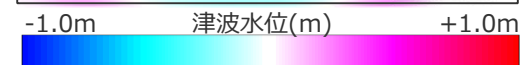
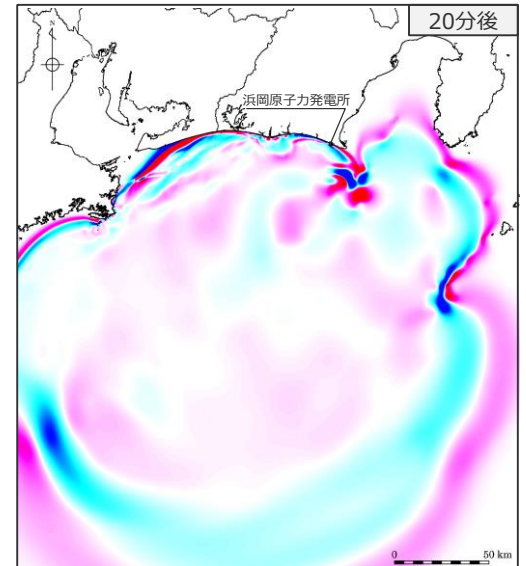
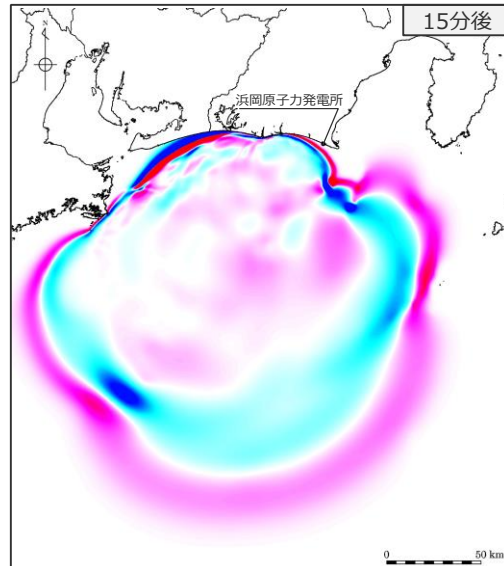
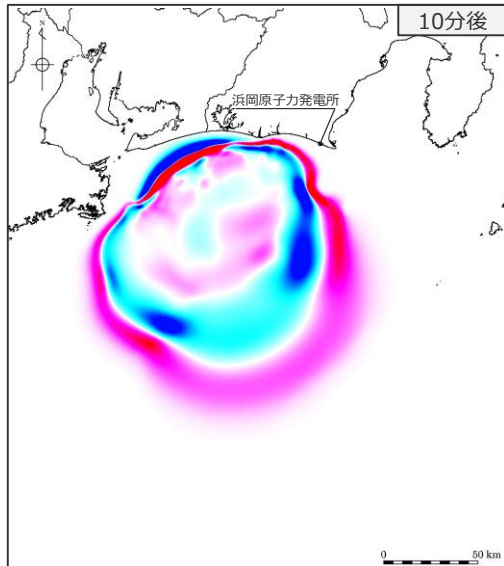
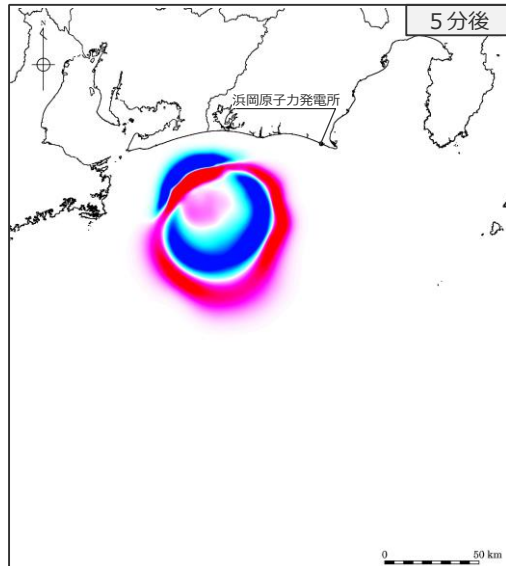
(津波伝播状況 (水位上昇側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s26地点単独



s26-s29地点同時発生



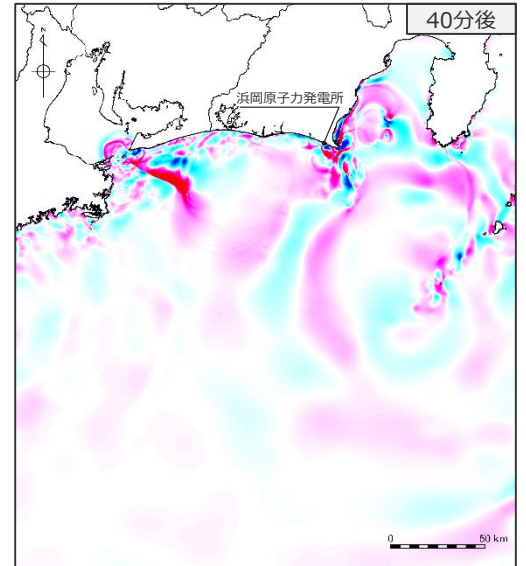
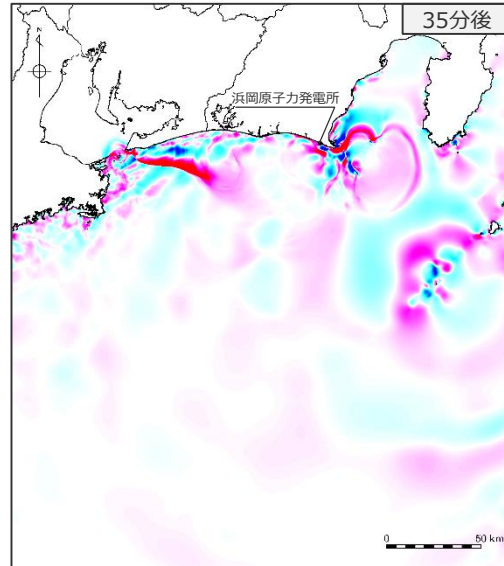
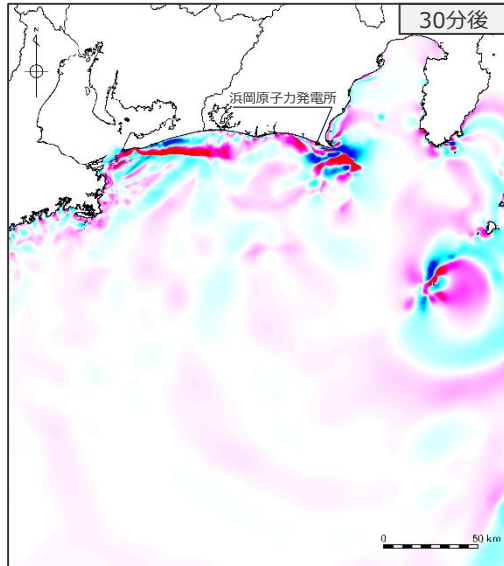
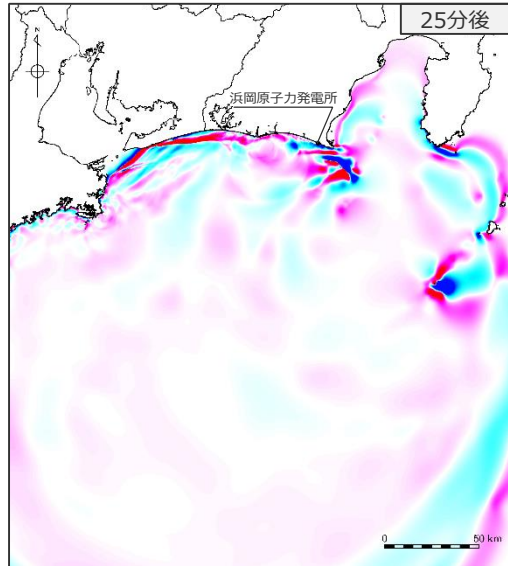
・水位上昇側：朔望平均満潮時T.P.+0.80mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

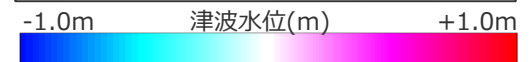
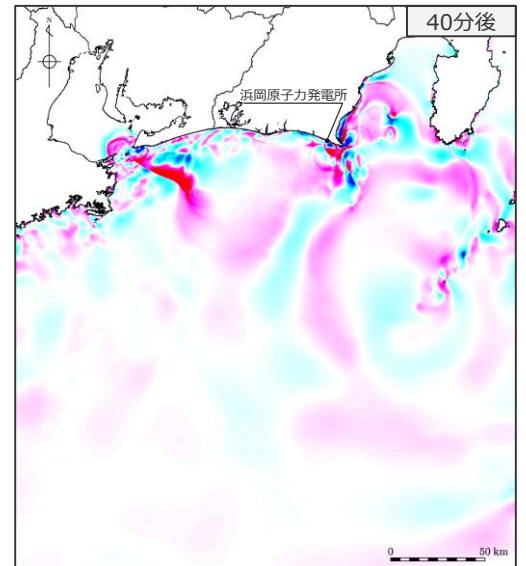
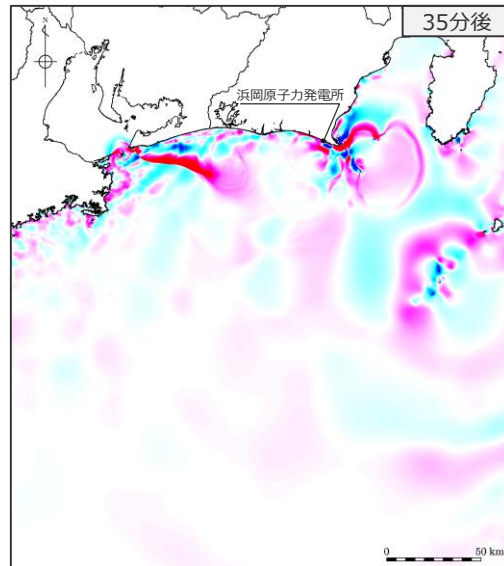
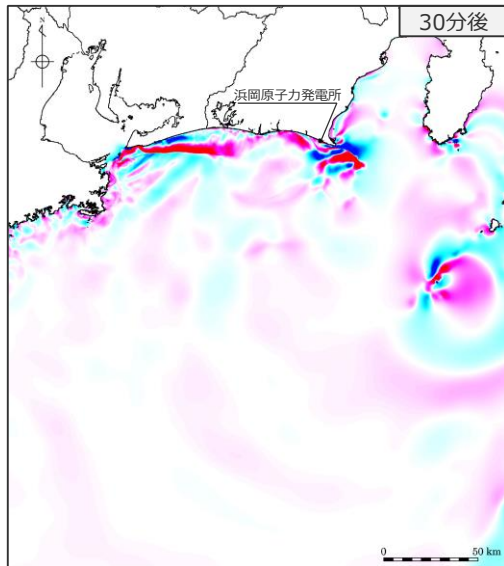
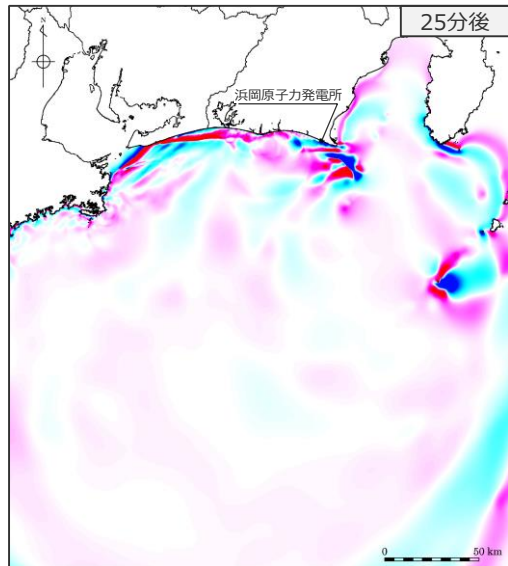
(津波伝播状況 (水位上昇側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s26地点単独



s26-s29地点同時発生



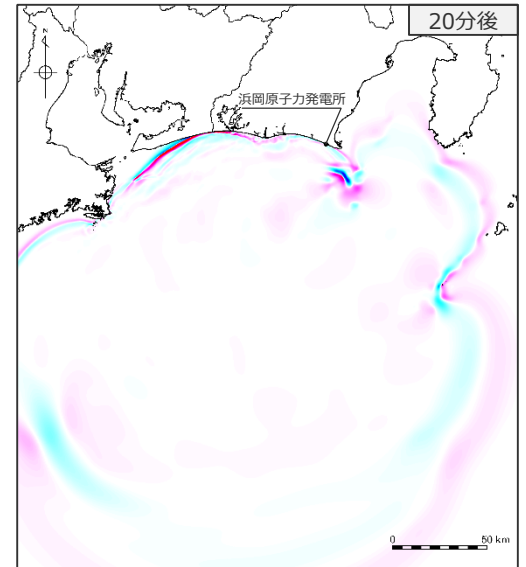
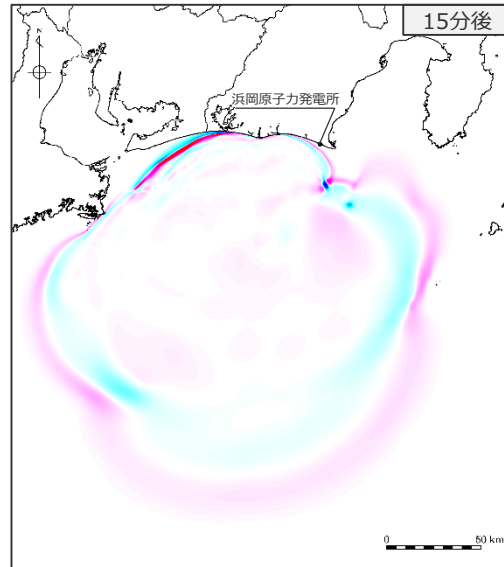
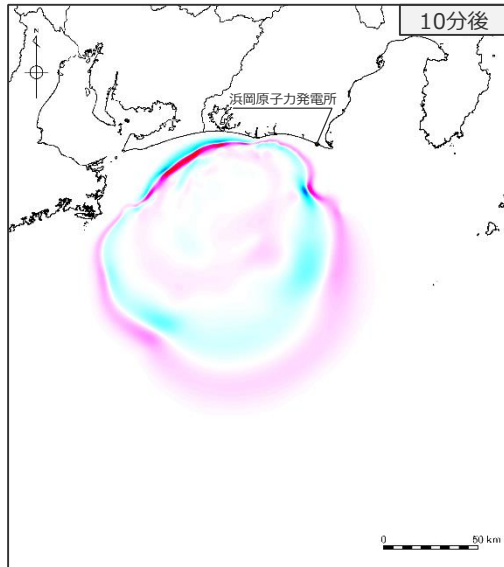
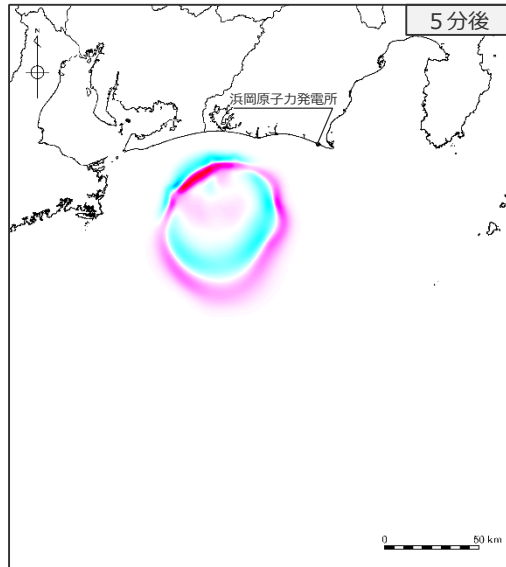
・水位上昇側：朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

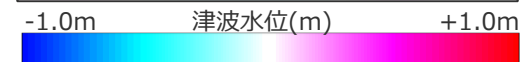
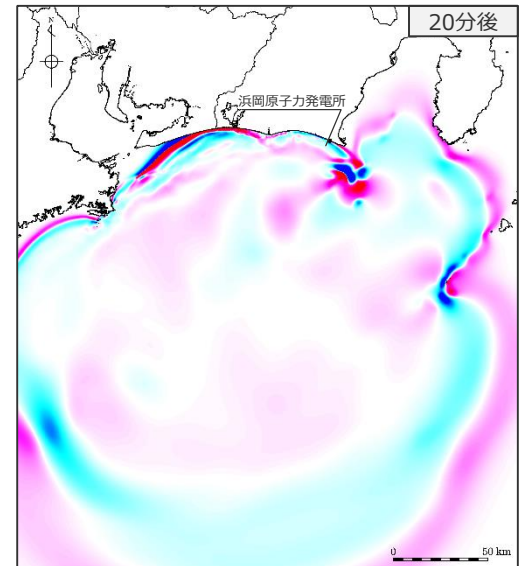
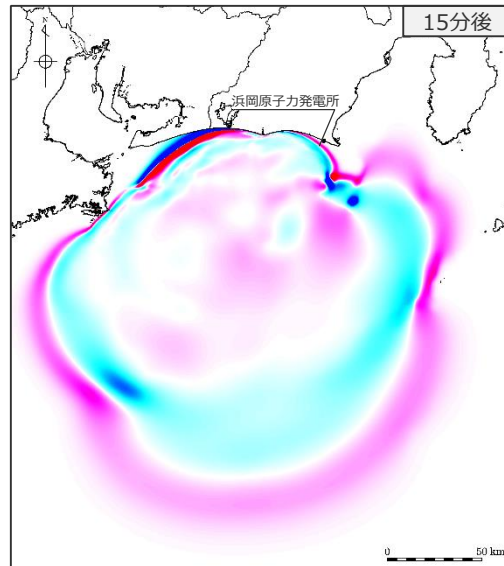
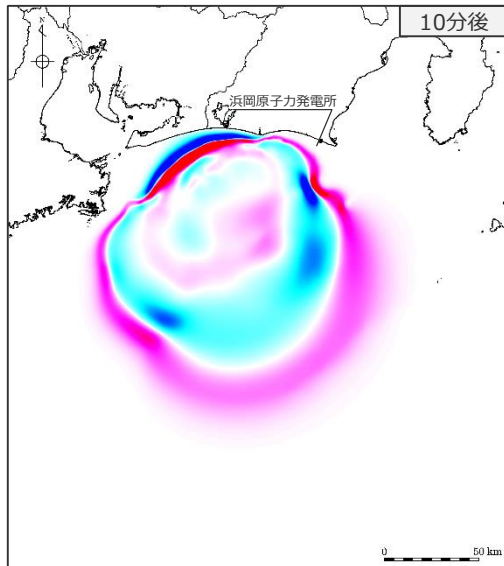
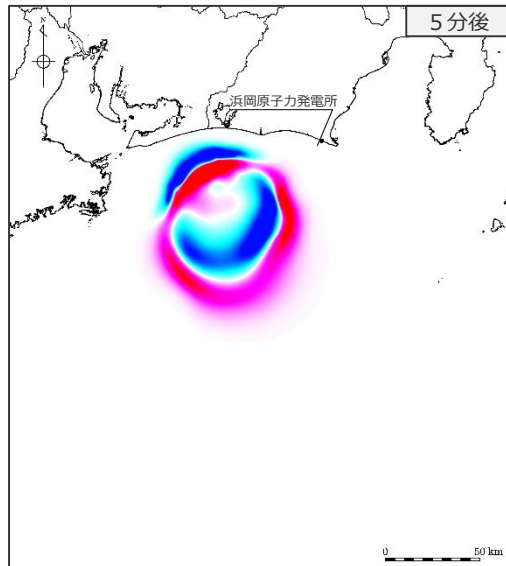
(津波伝播状況 (水位下降側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s22地点単独



s21-s25地点同時発生



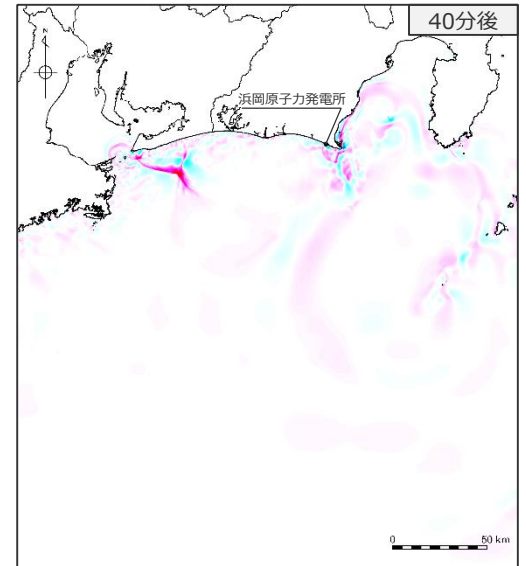
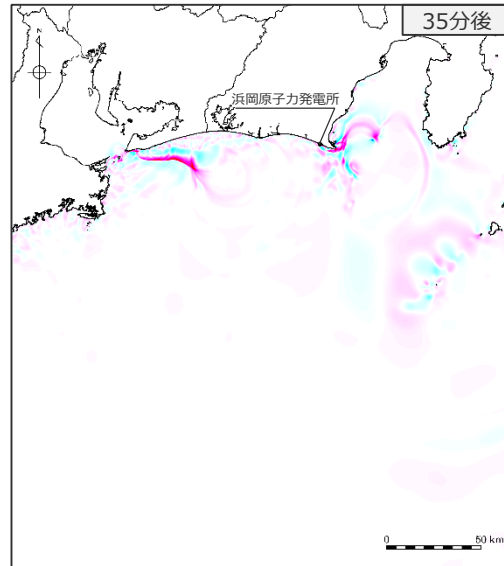
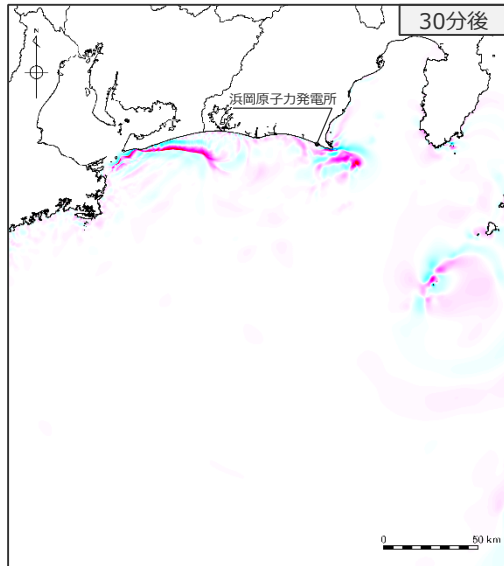
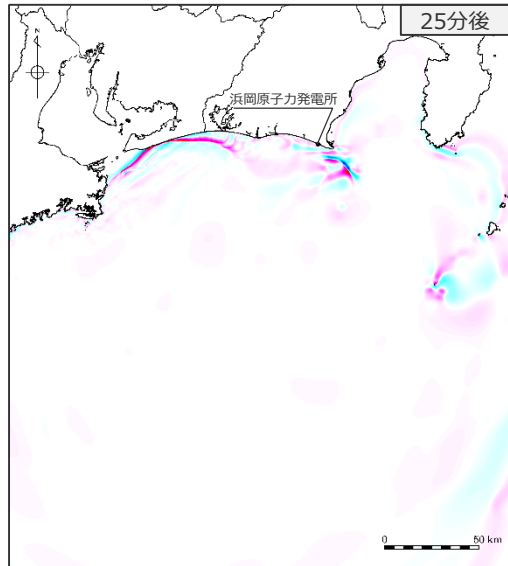
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

s21-s25地点の海底地すべりが同時発生した場合

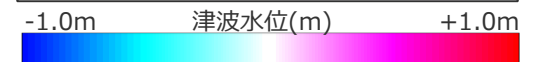
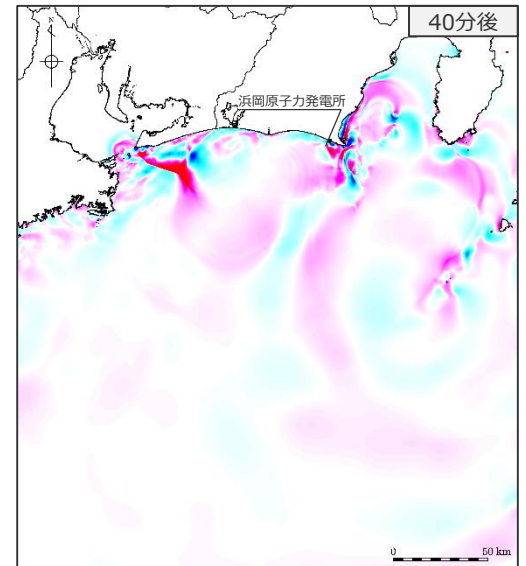
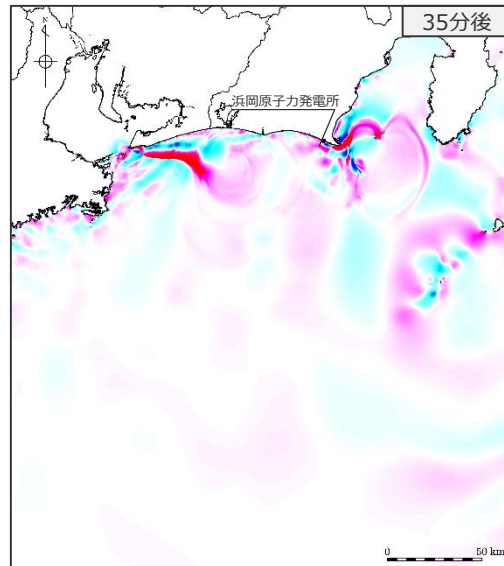
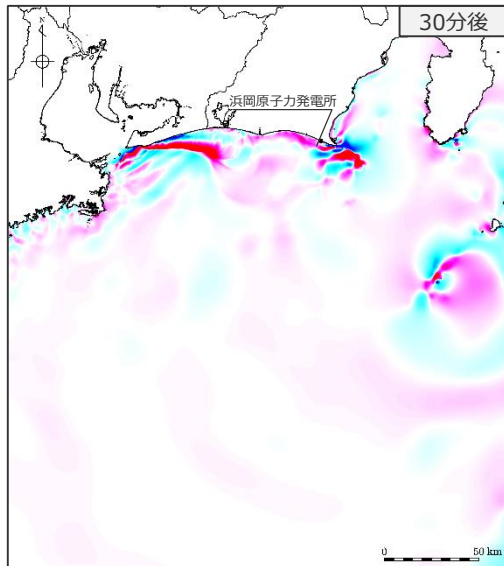
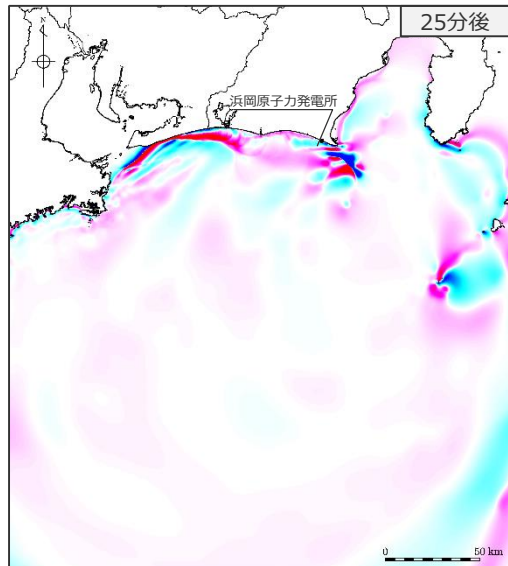
(津波伝播状況 (水位下降側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s22地点単独



s21-s25地点同時発生



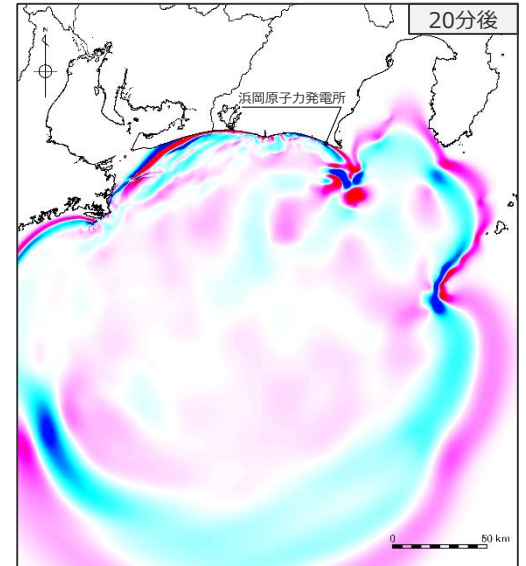
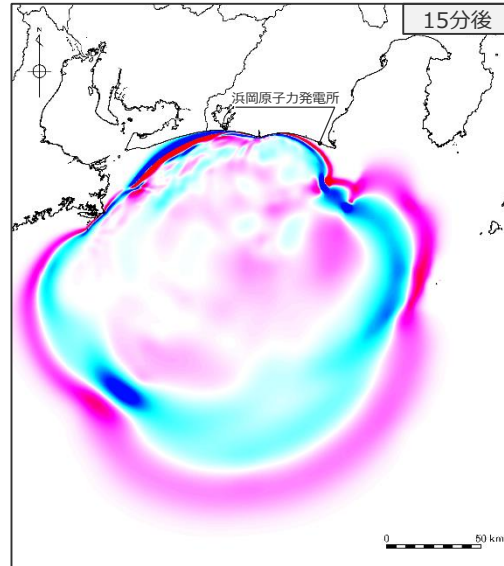
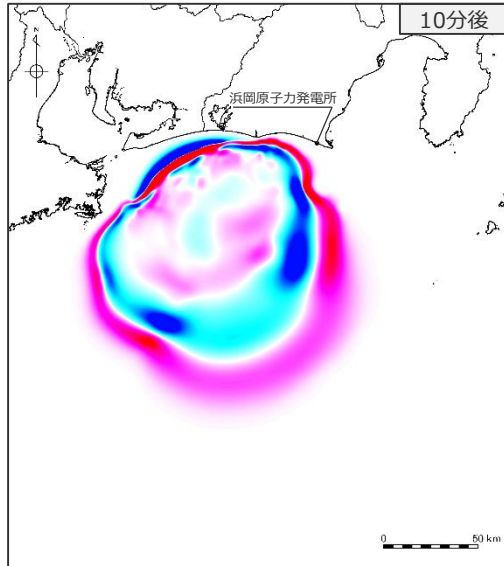
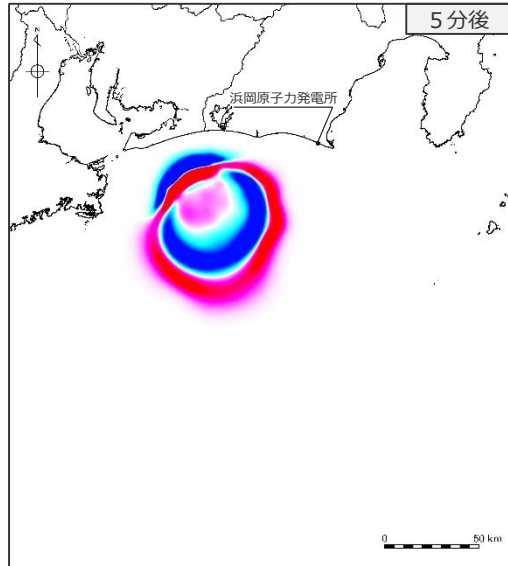
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. - 0.93mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

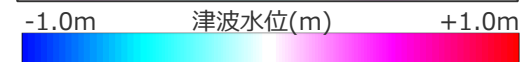
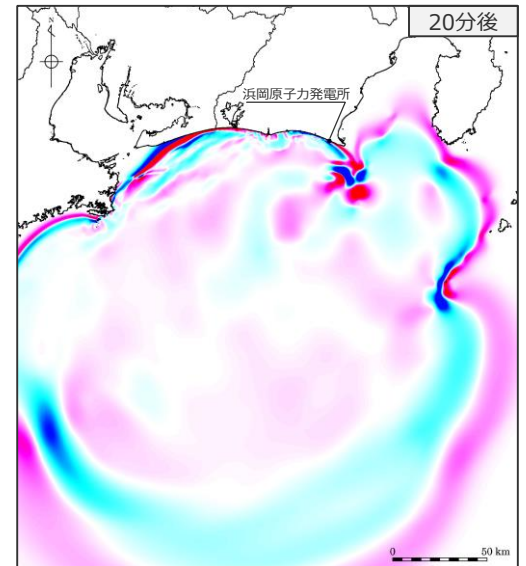
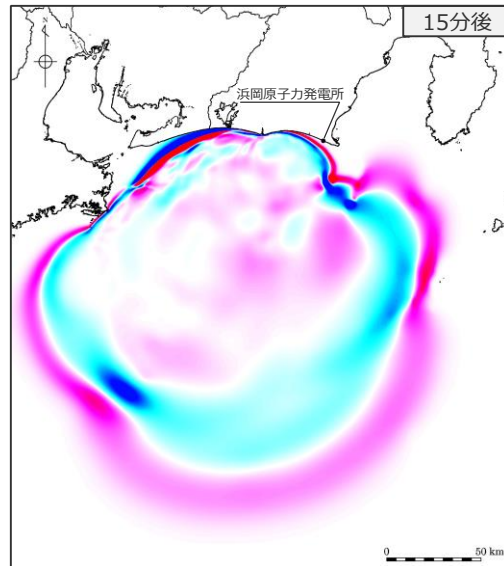
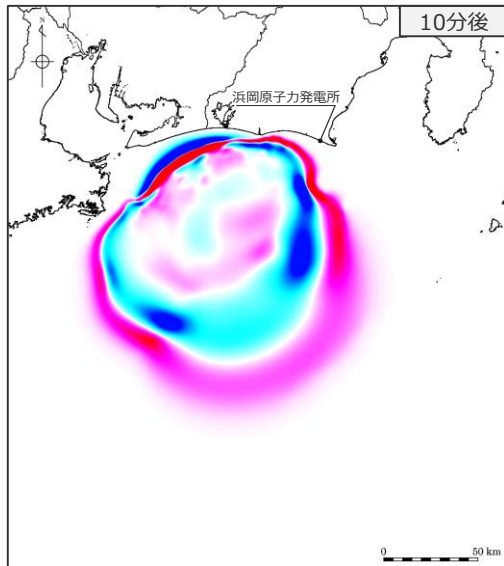
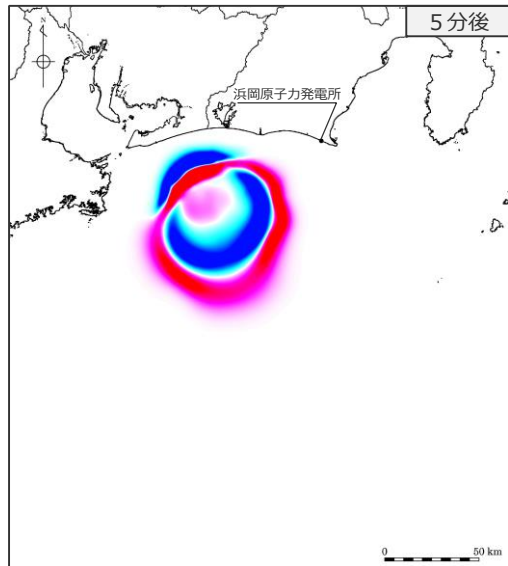
(津波伝播状況 (水位下降側 : 1/2))

■ 5～20分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s26地点単独



s26-s29地点同時発生



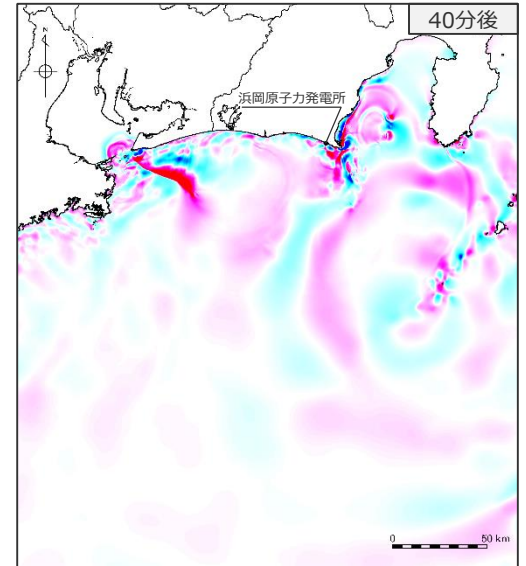
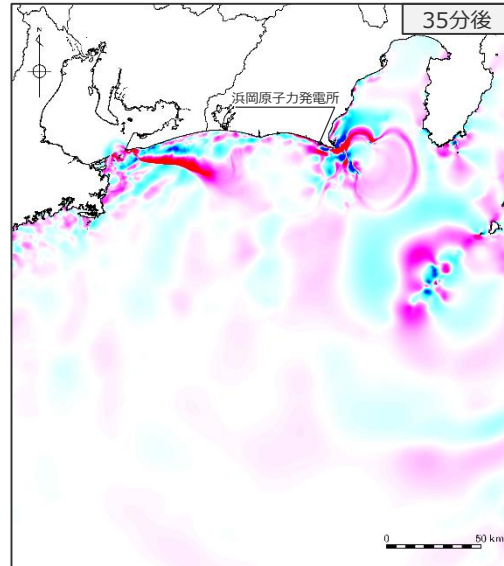
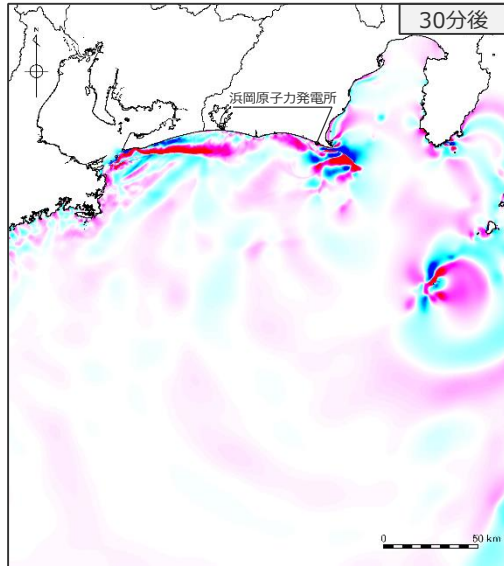
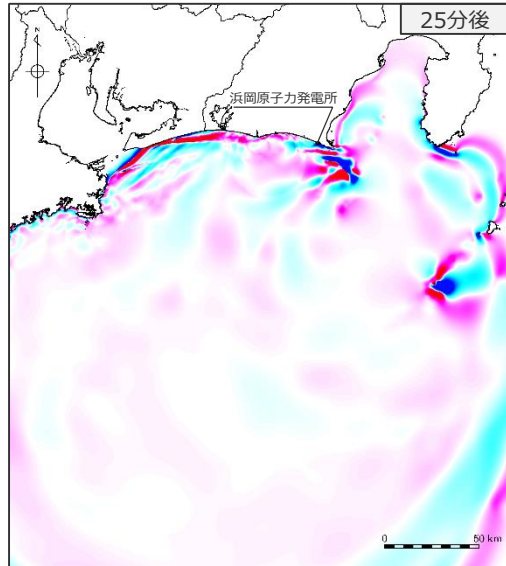
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

s26-s29地点の海底地すべりが同時発生した場合

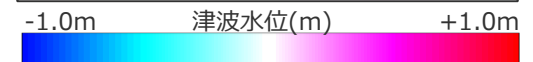
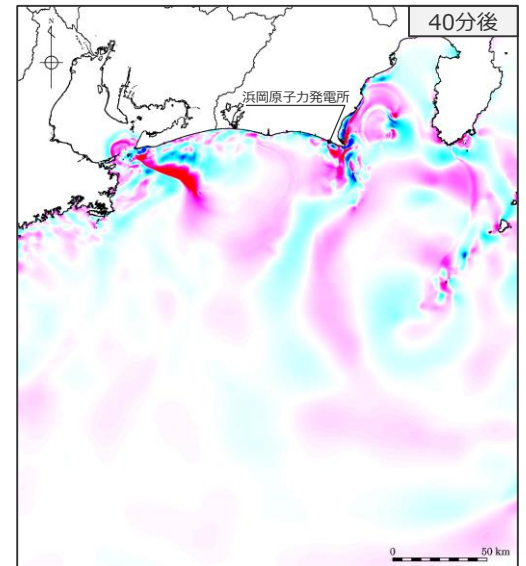
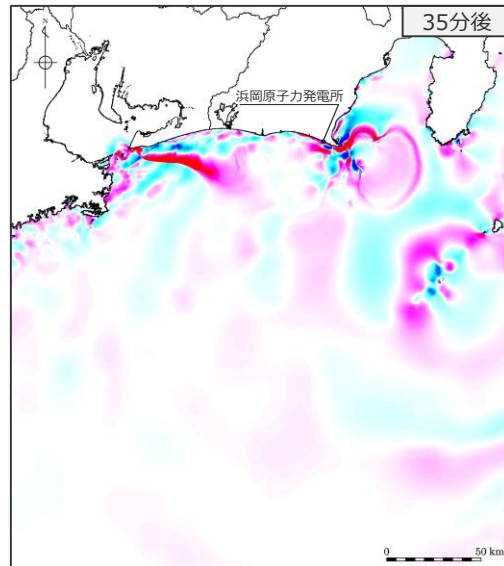
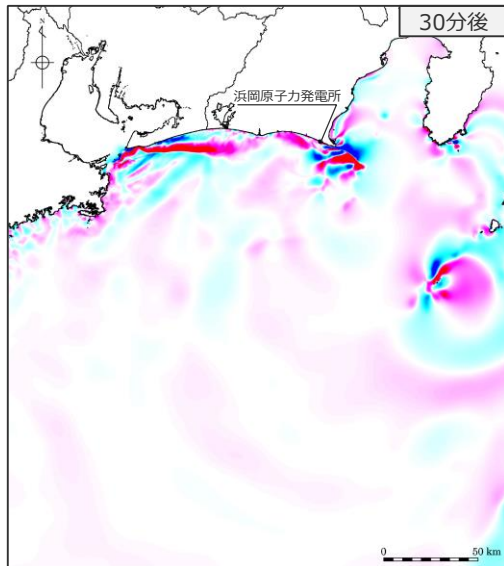
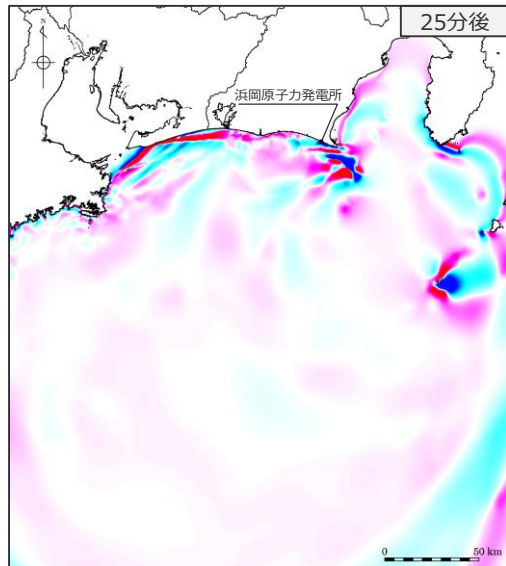
(津波伝播状況 (水位下降側 : 2/2))

■ 25～40分後までの津波伝播のスナップショットを示す。同時発生と単独発生とで津波の伝播状況の傾向に大きな違いはない。

(再掲) s26地点単独



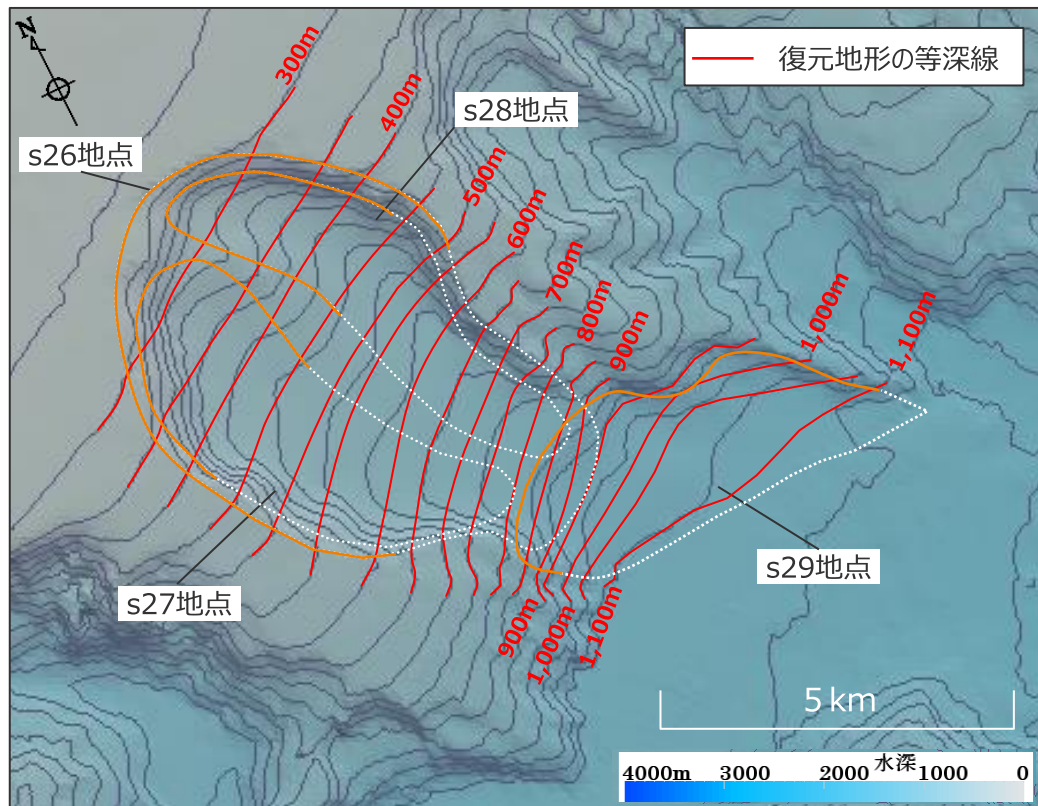
s26-s29地点同時発生



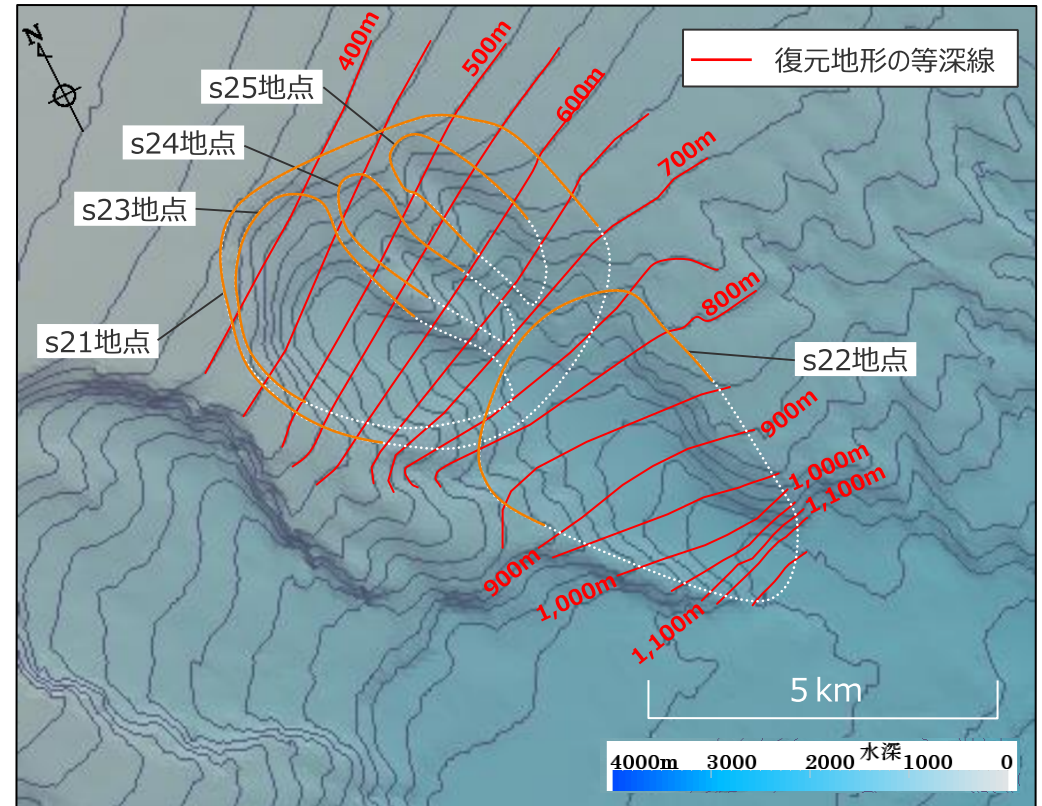
・水位下降側：朔望平均干潮位T.P. -0.93mを考慮

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 (参考) 復元地形の確認：地形図



■ 現地形と復元地形の等深線を重ねた地形図を作成し、s21-s25地点及びs26-s29地点の南端部が、その両側の崖地形（等深線）と整合していることを確認した。



s26-s29地点の地すべり地形
(基図：現地形)

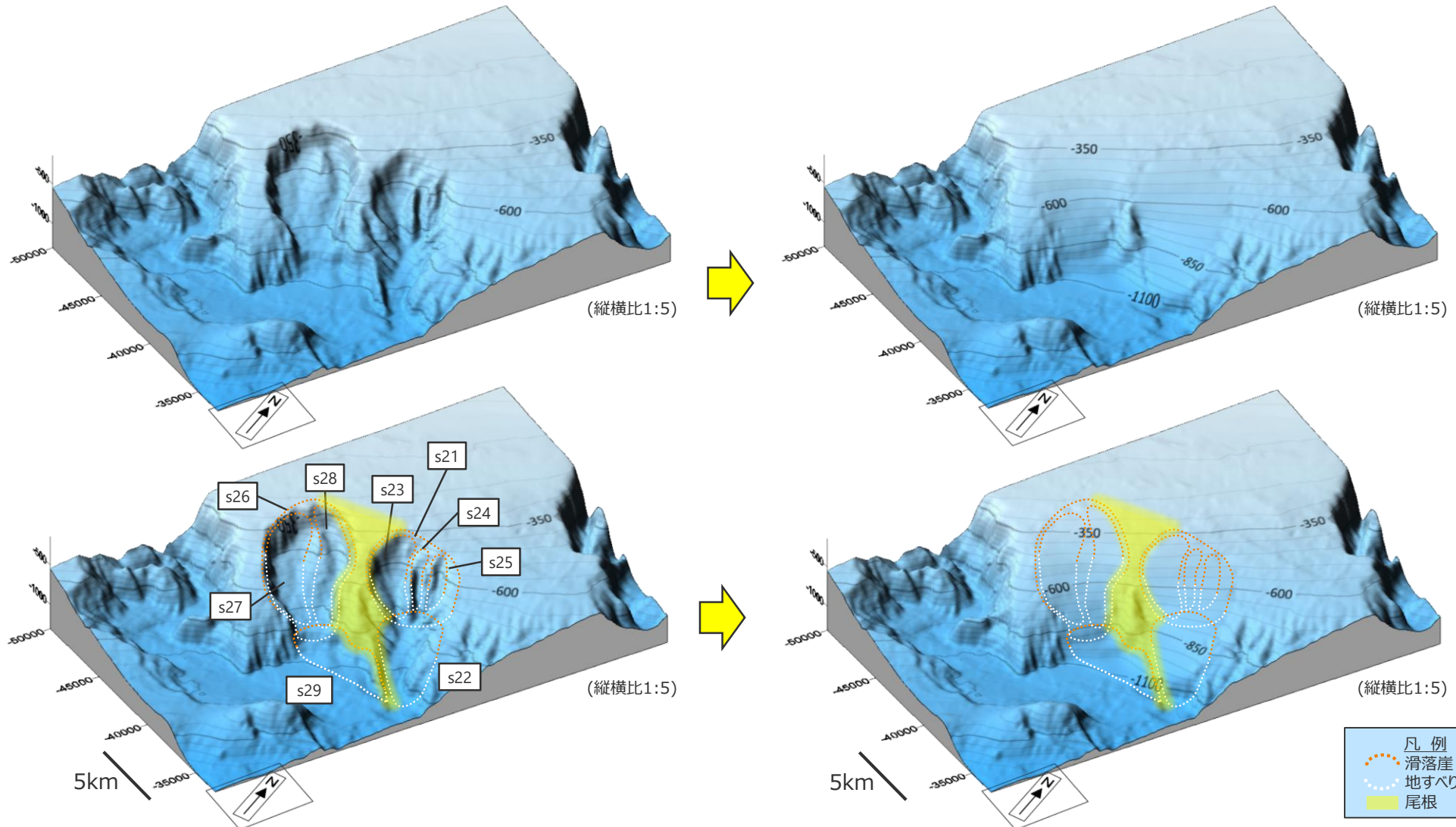


s21-s25地点の地すべり地形
(基図：現地形)

凡例
 滑落崖
 地すべり範囲

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 (参考) 復元地形の確認：鯨瞰図

■ 海底地すべりの復元地形の鯨瞰図を以下に示す。



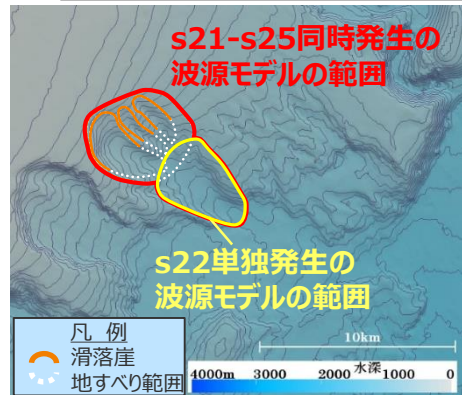
s21-s25地点、s26-29地点の地すべり地形鯨瞰図 (基図：現地形)
(左：現地形、右：復元地形)

・鯨瞰図は斜め上方向からの見取り図であるため、滑落崖及び地すべり範囲が平面図のものとは完全には一致しない。

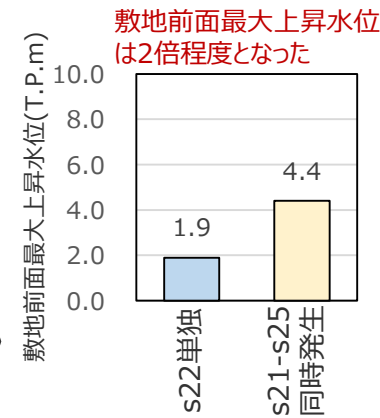
6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響確認 (計算結果に関する分析)

- s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべりについて、複数の地すべり地形群を包絡する一つの地すべりとしてWattsの予測式に基づき設定した同時発生の波源モデルのパラメータは、単独発生の波源モデルと比較して、地すべり体の寸法（長さ、厚さ、幅）、地すべり体の初期位置水深、斜面勾配に差異がある。
- ここでは、同時発生と単独発生の波源モデルのパラメータの違いが、波源位置における初期水位の最大値に与える影響を分析した。その結果は以下のとおり。
 - ・ s21-s25地点の同時発生では、単独発生の波源モデルよりも地すべり体の寸法が特に大きくなったとともに、単独発生の波源モデルよりも上方に波源が広がり初期位置水深が小さくなったことにより、初期水位の最大値が約2.7倍となっている。この影響により敷地前面の津波高が大きくなったと考えられる。
 - ・ s26-s29地点の同時発生では、単独発生の波源モデルよりも地すべり体の寸法があまり大きくならなかった一方で、単独発生の波源モデルよりも下方に波源が広がり初期位置水深が大きくなったことにより、初期水位の最大値が約0.9倍となっている。この影響により敷地前面の津波高がやや小さくなったと考えられる。

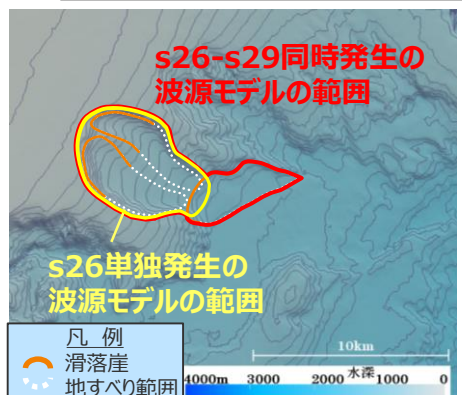
s21-s25地点における同時発生と単独発生の波源モデルの比較



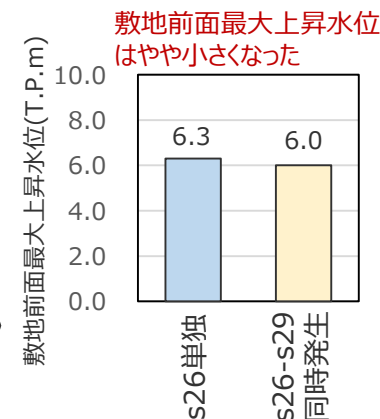
項目	地すべり体の寸法			地すべり体の初期位置水深d	斜面勾配θ (°)
	地すべり長さb (m)	地すべり厚さT (m)	地すべり幅w (m)	水深d (m)	θ (°)
波源モデルのパラメータの変化率 (同時発生/s22地点単独発生)	1.75倍	1.32倍	1.31倍	0.78倍	1.13倍
上記による初期水位の最大値 $\eta_{0,3D}$ の変化率 (同時発生/s22地点単独発生)	1.8倍			1.5倍	1.0倍
	=計2.7倍				



s26-s29地点における同時発生と単独発生の波源モデルの比較



項目	地すべり体の寸法			地すべり体の初期位置水深d	斜面勾配θ (°)
	地すべり長さb (m)	地すべり厚さT (m)	地すべり幅w (m)	水深d (m)	θ (°)
波源モデルのパラメータの変比率 (同時発生/s26地点単独発生)	1.08倍	1.04倍	1.00倍	1.14倍	1.02倍
上記による初期水位の最大値 $\eta_{0,3D}$ の変化率 (同時発生/s26地点単独発生)	1.1倍			0.8倍	1.0倍
	=計0.9倍				



・朔望平均満潮位T.P.+0.80mを考慮

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響確認 (各計算要素の初期水位計算結果への寄与度 (s21-s25地点))

■ s21-s25地点の海底地すべりの同時発生におけるパラメータの影響分析の詳細は下記のとおり。

Wattsほかの予測式に基づく数値シミュレーションの計算条件

□ : 単独ケースと設定に差異があるパラメータ
(計算上、従属的に変化するものを除く)

項目	s22地点単独	パラメータの影響分析						s21-s25地点 が同時発生 した場合	設定根拠
		地すべり体の寸法を変更				初期位置水深d を変更	斜面勾配θ を変更		
		地すべり長さb のみ変更	地すべり厚さT のみ変更	地すべり幅w のみ変更	b,T,wを変更				
土砂の密度 ρs(g/cm³)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	地質調査所(1998)*
地すべり長さ b(m)	5,100	8,900	5,100	5,100	8,900	5,100	5,100	8,900	復元地形から判読
地すべり厚さ T(m)	190	190	250	190	250	190	190	250	復元地形から判読
地すべり幅 w(m)	3,600	3,600	3,600	4,700	4,700	3,600	3,600	4,700	復元地形から判読
初期位置水深 d(m)	930	930	930	930	930	730	930	730	復元地形から判読
斜面勾配 θ(°)	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	5.3	5.3	復元地形から判読
抗力係数 Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	Grilli and Watts(2005)
付加質量係数 Cm	1	1	1	1	1	1	1	1	Grilli and Watts(2005)
移動距離 S(m)	5,100	8,900	5,100	5,100	8,900	5,100	5,100	8,900	復元地形から判読 (=b)
特性距離 S0(m)	2,550	4,450	2,550	2,550	4,450	2,550	2,550	4,450	=S/2
底面摩擦係数 Cn	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	=S0/(Rcosθ)
曲率半径 R(m)	17,112	52,112	13,005	17,112	39,605	17,112	17,112	39,605	=b²/8T
初期加速度 a0 (m²/s)	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	=S0/t0²
特性時間 t0 (sec)	107	187	93	107	163	107	107	163	=√R/g・√(γ+Cm)/(γ-1)
特性津波波長 λ0 (m)	10,223	17,841	8,912	10,223	15,553	9,058	10,223	13,780	=t0√g d
回転角 ΔΦ(rad)	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	=2S0/R
最大速度 Umax(m/s)	24	24	27	24	27	24	24	27	=S0/t0

Wattsほかの予測式に基づく波源振幅の推定値

* 地質調査所(1998) : 「東海沖堆積物の物理的性質」,
『東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究』、平成9年度研究概要報告書

η0,2D(m)	7.9	9.0	13.7	7.9	15.6	10.7	8.1	21.7	$\eta_{0,2D} = S_0 \left(\frac{0.131}{\sin\theta} \right) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b \sin\theta}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{b}{R} \right)^{0.63} \times (\Delta\Phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1))(\gamma - 1)$
η0,3D(m)	2.1	1.5	4.0	2.5	3.6	3.1	2.2	5.6	$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$
単独ケースに対する パラメータの変化率	-(基準)	1.75	1.32	1.31	-	0.78	1.13	-	変更したパラメータ/単独地すべりのパラメータ
η0,3Dの変化率	-(基準)	0.73	1.92	1.21	1.76	1.48	1.03	2.69	変更後のη0,3D/変更前のη0,3D

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 s21-s25地点およびs26-s29地点の海底地すべり同時発生による影響確認 (各計算要素の初期水位計算結果への寄与度 (s26-s29地点))

■ s26-s29地点の海底地すべりの同時発生におけるパラメータの影響分析の詳細は下記のとおり。

Wattsほかの予測式に基づく数値シミュレーションの計算条件

□ : 単独ケースと設定に差異があるパラメータ
(計算上、従属的に変化するものを除く)

項目	s26地点単独	パラメータの影響分析					初期位置水深d を変更	斜面勾配θ を変更	s26-s29地点 が同時発生 した場合	設定根拠
		地すべり体の寸法を変更								
		地すべり長さb のみ変更	地すべり厚さT のみ変更	地すべり幅w のみ変更	b,T,wを変更					
土砂の密度 ρ_s (g/cm ³)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	地質調査所(1998)*	
地すべり長さ b(m)	7,800	8,400	7,800	7,800	8,400	7,800	7,800	8,400	復元地形から判読	
地すべり厚さ T(m)	230	230	240	230	240	230	230	240	復元地形から判読	
地すべり幅 w(m)	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	復元地形から判読	
初期位置水深 d(m)	510	510	510	510	510	580	510	580	復元地形から判読	
斜面勾配 θ (°)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	復元地形から判読	
抗力係数 Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	Grilli and Watts(2005)	
付加質量係数 Cm	1	1	1	1	1	1	1	1	Grilli and Watts(2005)	
移動距離 S(m)	7,800	8,400	7,800	7,800	8,400	7,800	7,800	8,400	復元地形から判読 (=b)	
特性距離 S_0 (m)	3,900	4,200	3,900	3,900	4,200	3,900	3,900	4,200	=S/2	
底面摩擦係数 Cn	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	= $S_0/(R\cos\theta)$	
曲率半径 R(m)	33,065	38,348	31,688	33,065	36,750	33,065	33,065	36,750	= $b^2/8T$	
初期加速度 a_0 (m ² /s)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	= S_0/t_0^2	
特性時間 t_0 (sec)	149	160	146	149	157	149	149	157	= $\sqrt{R/g} \cdot \sqrt{(\gamma + C_m)/(\gamma - 1)}$	
特性津波波長 λ_0 (m)	10,524	11,333	10,302	10,524	11,095	11,223	10,524	11,832	= $t_0\sqrt{g d}$	
回転角 $\Delta\Phi$ (rad)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	= $2S_0/R$	
最大速度 U_{max} (m/s)	26	26	27	26	27	26	26	27	= S_0/t_0	

Wattsほかの予測式に基づく波源振幅の推定値

* 地質調査所(1998):「東海沖堆積物の物理的性質」
『東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究』、平成9年度研究概要報告書

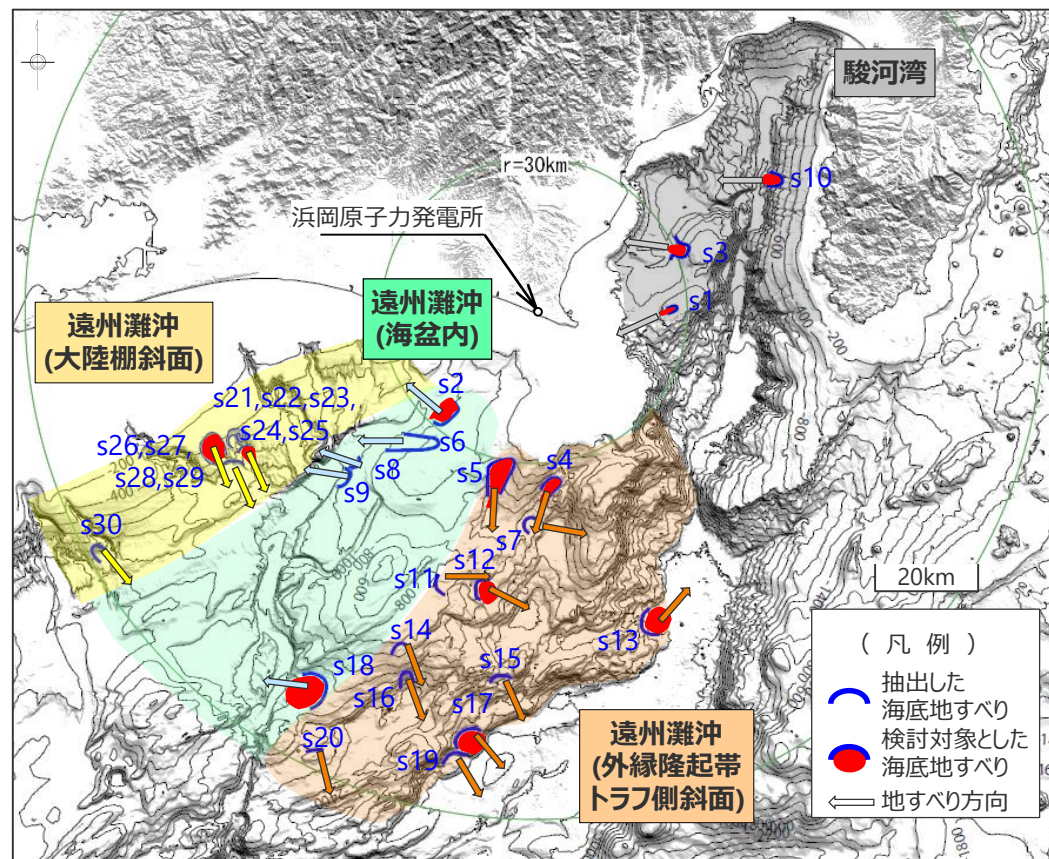
$\eta_{0,2D}$ (m)	28.1	28.6	30.6	28.1	31.2	23.9	28.2	26.6	$\eta_{0,2D} = S_0 \left(\frac{0.131}{\sin\theta} \right) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b\sin\theta}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{b}{R} \right)^{0.63} \times (\Delta\Phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1))(\gamma - 1)$
$\eta_{0,3D}$ (m)	9.4	9.2	10.4	9.5	10.1	7.7	9.5	8.3	$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$
単独ケースに対する パラメータの変化率	-(基準)	1.08	1.04	1.00	-	1.14	1.02	-	変更したパラメータ/単独地すべりのパラメータ
$\eta_{0,3D}$ の変化率	-(基準)	0.97	1.11	1.00	1.07	0.82	1.01	0.88	変更後の $\eta_{0,3D}$ /変更前の $\eta_{0,3D}$

6 複数の海底地すべりが同時発生した場合の影響確認 検討対象とする海底地すべりの選定結果の妥当性確認

- 検討対象とする海底地すべりは、津波の指向性を考慮した領域ごとに、津波評価への影響が大きいと考えられる地すべり体の体積、敷地からの距離に基づき選定した。
- ここで、同時発生に関する影響分析の結果から、地すべり体の体積、敷地からの距離に加え、地すべり体の初期位置水深が津波評価に与える影響も比較的大きいと考えられることから、検討対象の選定結果の妥当性確認として、個々の地すべりの初期位置水深を確認した。
- その結果、敷地に最も影響の大きいs26地点の海底地すべりの初期位置水深は比較的小さいこと、また、初期位置水深がs26地点より小さい海底地すべりは全て検討対象として選定できていることを確認し、地すべり体の体積、敷地からの距離に基づき行った検討対象とする海底地すべりの選定結果について、地すべりの初期位置水深の観点からも妥当であることを確認した。

検討対象とする海底地すべりの選定結果と、海底地すべりの初期位置水深

(赤字：検討対象とする海底地すべり地点)



検討対象とする海底地すべりの選定結果

地点名	選定に用いたパラメータ		海底地すべりの初期位置水深(m)	選定理由	
	地すべり体の概略体積(億m ³)	敷地からの距離(km)			
遠州灘沖(海盆内)	s2	15	27	600	遠州灘沖(海盆内)の中で最も敷地に近い
	s6	7	38	580	-
	s8	3	46	980	-
	s9	4	50	1,040	-
遠州灘沖(外縁隆起帯トラフ側斜面)	s18	26	87	1,690	s2地点よりも、敷地から遠いが、体積が大きい
	s4	4	35	900	遠州灘沖(外縁隆起帯トラフ側斜面)の中で最も敷地に近い
	s5	10	35	820	遠州灘沖(外縁隆起帯トラフ側斜面)の中で最も敷地に近い
	s7	5	42	1,300	-
	s11	8	55	970	-
	s12	20	56	1,200	s5地点よりも、敷地から遠いが、体積が大きい
	s13	41	64	3,450	s12地点よりも、敷地から遠いが、体積が大きい
	s14	12	72	1,200	-
	s15	5	74	2,460	-
	s16	5	77	2,120	-
	s17	58	86	3,200	s13地点よりも、敷地から遠いが、体積が大きい
	s19	32	91	3,220	-
	s20	10	97	1,980	-
	遠州灘沖(大陸棚斜面)	s21	11	63	580
s22		12	63	930	遠州灘沖(大陸棚斜面)の中で敷地に近く、体積が大きい
s23		7	64	610	-
s24		1	63	690	-
s25		1	62	720	-
s26		32	68	510	s22地点よりも、敷地から遠いが、体積が大きい
s27		11	71	670	-
s28		7	67	660	-
s29		1	65	1,000	-
s30		4	99	1,370	-
駿河湾	s1	1	25	180	駿河湾の中で最も敷地に近い
	s3	5	31	470	s1地点よりも、敷地から遠いが、体積が大きい
	s10	11	52	1,250	s3地点よりも、敷地から遠いが、体積が大きい