様式 7-2

近畿建設協会研究助成報告書

3 次元数値流体解析による地すべり津波の生成・伝播機構の解明

近畿大学理工学部　准教授　高畠知行

1. 研究目的

津波は，地震動によって発生することがほとんどであるが，海底地滑りや山体崩壊など，大規模な地すべりに伴い発生することもある．実際に，2018 年にインドネシア・スラウェシ島の港湾都市パルを襲い，4,000 名以上の死傷者を発生させた津波は海底地すべりにより生成されたことが，現地調査結果 [1), 2)]などから明らかになっている．また，同年 12 月には，インドネシアのスンダ海峡に位置するアナク・クラカタウ火山が山体崩壊し，ジャワ島，スマトラ島沿岸部に津波被害を発生させた [3)]．加えて，2024 年能登半島地震の際に富山湾を襲った第 1 波は，海底地すべり津波による可能性が高いことが報じられている [4)]．

こうした地すべり津波は，日本国内の様々な沿岸域で将来の発生が懸念されている．実際に多くの原子力発電所や臨海施設が，地すべり津波に対する検討を行っている．しかしながら，地すべり津波に関する研究事例は少なく，津波の生成・伝播機構については未解明な部分が多いため，有効な防災対策の策定が進んでいないのが現状である．特に地すべり津波は，地すべり塊と水面の位置関係に応じて陸上・半没水・海底地すべり津波の 3 種類に分類できるが，地すべり形態の違いが津波の生成・伝播機構（生成される津波の最大高さや最大流速，伝播に伴う津波高の減衰量など）にどのような影響を及ぼすのかについてはほとんどわかっていない．研究代表者は，2018 年のパル津波以降，こうした地すべり形態の違いに着目し，陸上・半没水・海底地すべり津波の全てを対象とした水理実験を実施し，各形態の特性解明に取り組んできた [5)]．しかしながら，実施した水理実験 [5)]では水位変動のみを計測対象としており，流速変動を計測していないため，地すべり形態の違いが津波の生成・伝播機構に及ぼす影響を完全に解明するには至っていない．

以上を踏まえて本研究では，オープンソースの 3 次元数値流体解析ツールである OpenFOAM を活用し，数値解析によって地すべり形態の違いが津波の生成・伝播機構に及ぼす影響を解明することを目的とする．具体的には，研究代表者が実施した地すべり津波実験（陸上・半没水・海底地すべり全てを対象とした実験）[5)]の再現解析を行い，実験で得られた水位変動と解析結果として得られる水位変動を比較することにより，地すべり津波形態ごとの OpenFOAM の解析精度を検証する．さらに，解析により得られた地すべり津波内の流速変動を抽出・分析するとともに，解析対象とした全ケースについての第 1 波の最大水位，第 1 波の最大水位発生時の水平方向流速の鉛直分布，第 1 波の最大水位の減衰過程に着目し，地すべり形態の違いによる影響を分析する．これらを通じて，地すべり形態の違いが津波の生成・伝播機構に及ぼす影響を，既往実験では計測できていなかった流速場を含めて，より包括的に明らかにすることを目指す．

2. 研究方針・経過

本研究では，既往実験 [5)]で用いた 2 次元長水槽（長さ 14.5 m，幅 0.02 m，高さ 0.8 m）を OpenFOAM 内にモデル水槽として再現した（**図 1**）．ただし，計算負荷を軽減するため，水槽幅を 0.4 m から 0.02 m に，長さを 14. 5 m から 12 m に縮小してモデル化した．解析に用いた水の密度および動粘性係数はそれぞれ 1.000 kg/m^3 および 1.00×10^{-6} m^2/s であり，空気については密度を 1.00 kg/m^3, 動粘性係数を

1.48×10^{-5} m^2/s とした．地すべり塊（実験ではガラスビーズを使用）の密度は 2,500 kg/m^3 に設定した．実験では地すべり塊はガラスビーズの集合体であるため多孔性（空隙率 35%）を有している．これを解析で再現するため，解析では地すべり塊内部の空隙部には空気または水を充填した．また，数値解析では地すべり塊をニュートン流体としてモデル化し，その動粘性係数については別途感度解析を実施し最も適切な値を採用することとした．数値解析の精度評価は，実験と同じ位置に設置した 4 つの波高計（WG）で得られた水位変動の時系列データを用いて行った（**図 1**）．

既往実験[5)]では，水深，斜面角度，地すべり塊の重量などを変化させ 200 通り以上の実験を実施しているが，本研究では，これらの中から陸上地すべり 27 ケース，半没水地すべり 42 ケース，海底地すべり 27 ケースの合計 96 ケースを抽出して再現解析を行った．各ケースで設定したパラメタは，斜面角度（θ），地すべり塊の質量（m），初期水深（h），地すべり塊の初期位置（h_i），気中高さ（h_a），没水深（h_s）であり，それらの設定範囲を**表 1** に示した．地すべり形態ごとの各パラメタの詳細な定義は，**図 2** に示す通りである．また，**表 1** には，これらのパラメタを無次元化したものの範囲も示している．具体的に用いた無次元パラメタは，相対地すべり質量：$M = m/(p_w b h^2)$，相対気中高さ：$A = h_a/h$，相対没水深：$S = h_s/h$，相対位置：$I = h_i/h$，相対流下方向距離：$X = x/h$ である（ここで，p_w：水の密度，b：水槽幅，x：地すべり斜面下端から波高計までの距離である）．

本研究ではまず全 96 ケースについて解析を実施し，第 1 波の最大・最小水位，第 2 波の最大水位，第 1 波の周期，波速，波長を実験結果と比較することで，各地すべり形態ごとの解析精度を定量的に評価した．その後，第 1 波の最大水位，第 1 波の最大水位発生時の水平方向流速の鉛直分布，第 1 波の最大水位の減衰率のそれぞれを目的変数に，各無次元パラメタを説明変数に設定した多変量回帰分析を実施した．最終的に得られた回帰式を地すべり形態ごとに比較することで，地すべり形態の違いが各目的変数に与える影響の程度を定量的に分析した.

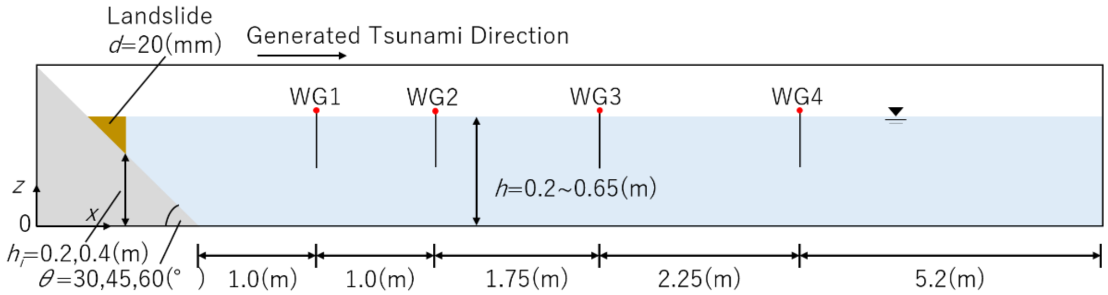

図 1　数値解析に用いたモデル水槽の概要図と波高計設置位置

表 1　数値解析における各パラメタの設定範囲

Parameters	Subaerial	Partially submerged	Submarine
θ (°)	30, 45, 60	30, 45, 60	30, 45, 60
m (kg)	5, 10, 15	5, 10, 15	5, 10, 15
h (m)	0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40	0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55	0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65
h_i (m)	0.40	0.20, 0.40	0.20, 0.40
M	0.08–0.94	0.04–0.60	0.03–0.23
A	0.31–2.15	0.02–0.93	–
S	–	0.11–0.56	0.03–0.44
I	1.00–2.00	0.44–0.89	0.33–0.73
X	2.50–30.00	1.67–24.00	1.54–15.00

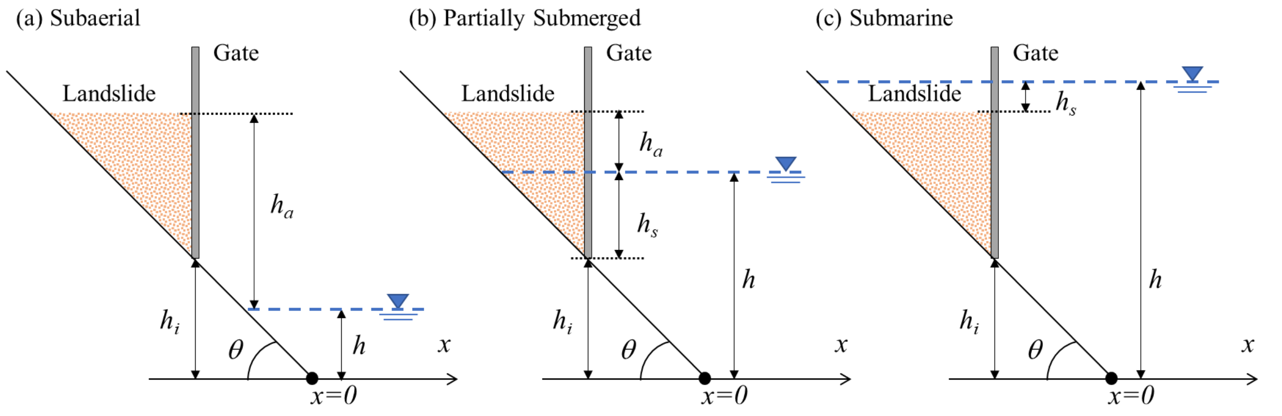

図 2　解析に用いたパラメタの定義

3.　研究結果

全 96 ケースの解析を実施する前に，メッシュサイズと地すべり塊（解析ではニュートン流体として表現）の動粘性係数の数値を決定するための感度分析を実施した．感度分析は，次の条件を有する半没水地すべり津波を対象として実施した（$\theta = 45°$, $m = 10$ kg, $h = 0.5$ m, $h_i = 0.4$ m, $h_a = 0.08$ m, $h_s = 0.1$ m)．水槽全体に設定するメッシュサイズは 0.02 m，0.01 m，0.005 m の 3 種類，地すべり塊の動粘性係数は $1.0{\times}10^{-2}$ m²/s，$1.0{\times}10^{-3}$ m²/s，$1.0{\times}10^{-4}$ m²/s の 3 種類を用意し，これらの組み合わせに基づく合計 9 ケースの解析を実施した．**図 3** に，感度解析の結果として得られた水位変動量（η）の時系列変化を示す．各列はメッシュサイズ（左から順に 0.02 m，0.01 m，0.005 m），各行は波高計（上から順に WG1,

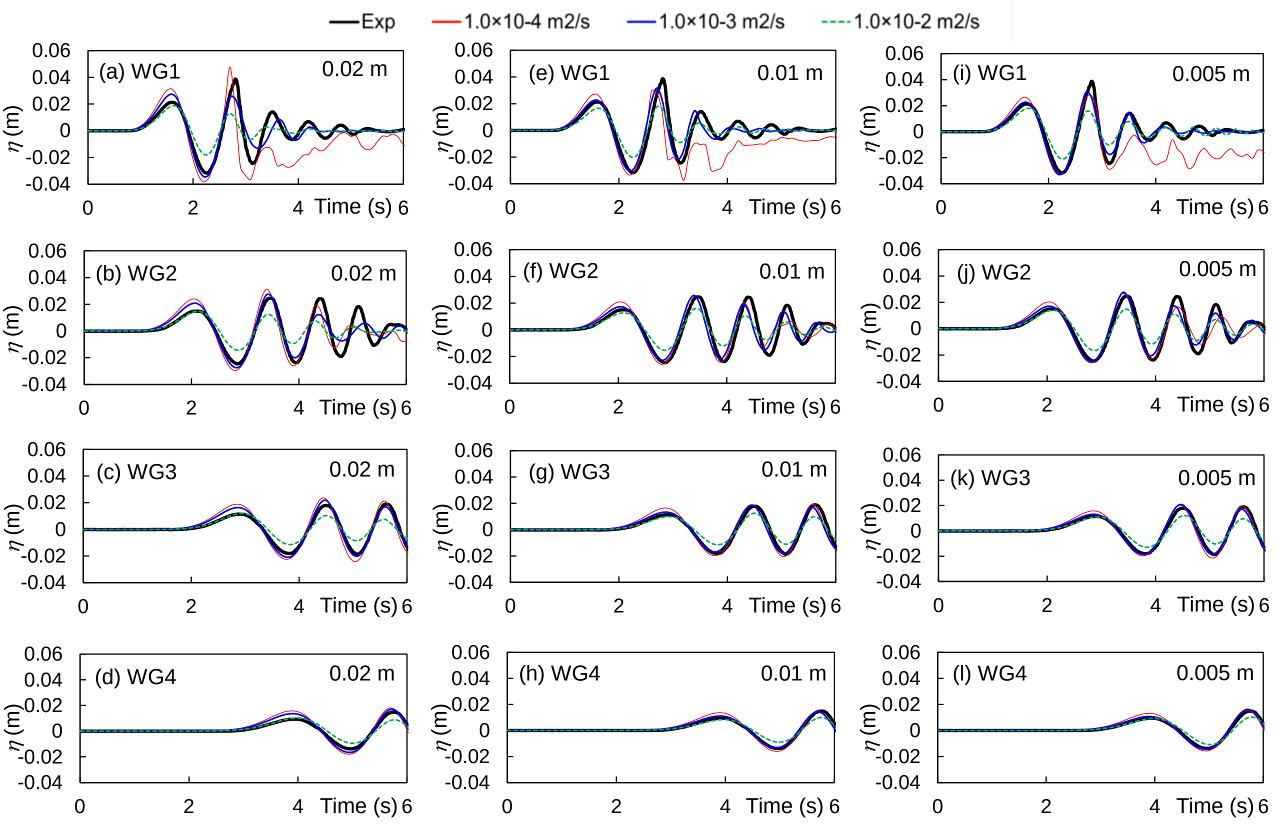

図 3　異なるメッシュサイズおよび動粘性係数における水位時系列の解析結果の比較：(a)〜(d)メッシュサイズ 0.02 m，(e)〜(h) 0.01 m，(i)〜(l) 0.005 m

WG2，WG3，WG4）を示し，各グラフに 3 種類の動粘性係数での解析結果を併せて示している．同図より，波高計の位置が地すべり斜面から遠くなるほど，実験結果と解析結果の一致度が高くなる傾向が確認できる．また，メッシュサイズの違いによる影響を見ると，0.02 m の場合は，0.01 m および 0.005 m の場合と比べて，実験結果との誤差がやや大きくなることが明らかとなった．一方で，メッシュサイズ 0.01 m と 0.005 m の解析結果にはほとんど差異が認められなかった．これらの結果を踏まえ，計算精度と解析効率のバランスを考慮し，本研究の全 96 ケースの解析には 0.01 m のメッシュサイズを用いることに決定した．動粘性係数については，本感度解析で用いたケースにおいては，1.0×10^{-3} m²/s が実験結果との整合性が最も高かった．しかし，その後の検討により，解析条件によっては他の動粘性係数の方が実験結果との整合性が高い場合もあることが判明した．そこで全 96 ケースの解析では，動粘性係数を 1.0×10^{-2} m²/s，1.0×10^{-3} m²/s，1.0×10^{-4} m²/s の 3 種類に変化させたキャリブレーション解析を個別に実施し，最も高い予測精度を示した結果を最終的な解析結果として採用することとした．この際の精度評価の指標には，第 1 波の最大水位についての実験結果と解析結果の平均絶対パーセント誤差（Mean Absolute Percentage Error, MAPE）を用いた．

図 4 は，地すべり塊の動粘性係数を各ケースでキャリブレーションして得られた全 96 ケースにおける水位の比較結果を示している．左列には第 1 波の最大水位（a_{c1}/h），中央列には第 1 波の最小水位（a_{t1}/h），右列には第 2 波の最大水位（a_{c2}/h）の結果を示している．各図には 4 つの波高計（WG）の結果を全てプロットしている．図の最上段は全 96 ケース（合計 384 プロット）の結果を示し，2 段目以降では斜面角度別（上から 45°，30°，60°）に解析結果を示している．

同図から，まず第 1 波の最小水位（a_{t1}）は全体的に過小評価となる傾向が確認された（**図 4b**）．これは動粘性係数の設定を，第 1 波の最大水位（a_{c1}）の予測精度を基準に行った影響によるものと考えられる．また，第 2 波の最大水位（a_{c2}）の解析結果は，全体的にばらつきが大きく（**図 4c**），特に半没水地すべりのケースでは，すべての斜面角度において過小評価の傾向が顕著であった．なかでも斜面角度 30°のケースでその傾向が最も強く現れた．一方で，海底地すべりのケースでは多くのプロットが実線（完全一致ライン）付近に集中しており，解析結果が比較的安定していることが分かった．陸上地すべりの場合は，斜面角度が小さいほど第 2 波の最大水位が過小評価されるが，斜面角度が大きくなるにつれて実線付近に近づき，斜面角度 60°では逆に過大評価となる傾向が確認された．

次に，地すべり津波の形態ごとに解析精度を定量的に評価するため，各ケースにおける平均絶対パーセント誤差（MAPE）を算出した結果を**表 2** に示す．同表に示す通り，陸上，半没水，海底地すべり津波における第 1 波の最大水位（a_{c1}）の MAPE は，それぞれ 16.3%，16.5%，25.9%であった．陸上および半没水地すべり津波の結果を見ると，MAPE は第 1 波の最大水位（a_{c1}）で最も小さく，第 1 波の最小水位（a_{t1}），第 2 波の最大水位（a_{c2}）の順に誤差が増加する傾向があることがわかった．一方で海底地すべりでは，第 1 波の最大水位（a_{c1}）の誤差が最も大きく，第 1 波の最小水位（a_{t1}）の誤差が最も小さいという，陸上および半没水地すべりとは異なる傾向が示された．このことから，地すべり形態の違いが，津波の水位予測精度に明確な影響を及ぼしていることがわかった．

斜面角度ごとの解析精度を比較すると，斜面角度が 60°の場合，陸上および半没水地すべり津波では誤差が最大となる一方，海底地すべり津波では誤差が 20%以下に収まることが明らかとなった．また，半没水地すべりにおいては，斜面角度 45°での第 1 波最小水位（a_{t1}）の MAPE が最も高く，斜面角度 60°では逆に第 1 波最小水位の MAPE が最も低いなど，斜面角度による精度の変動が顕著に見られることがわかった．

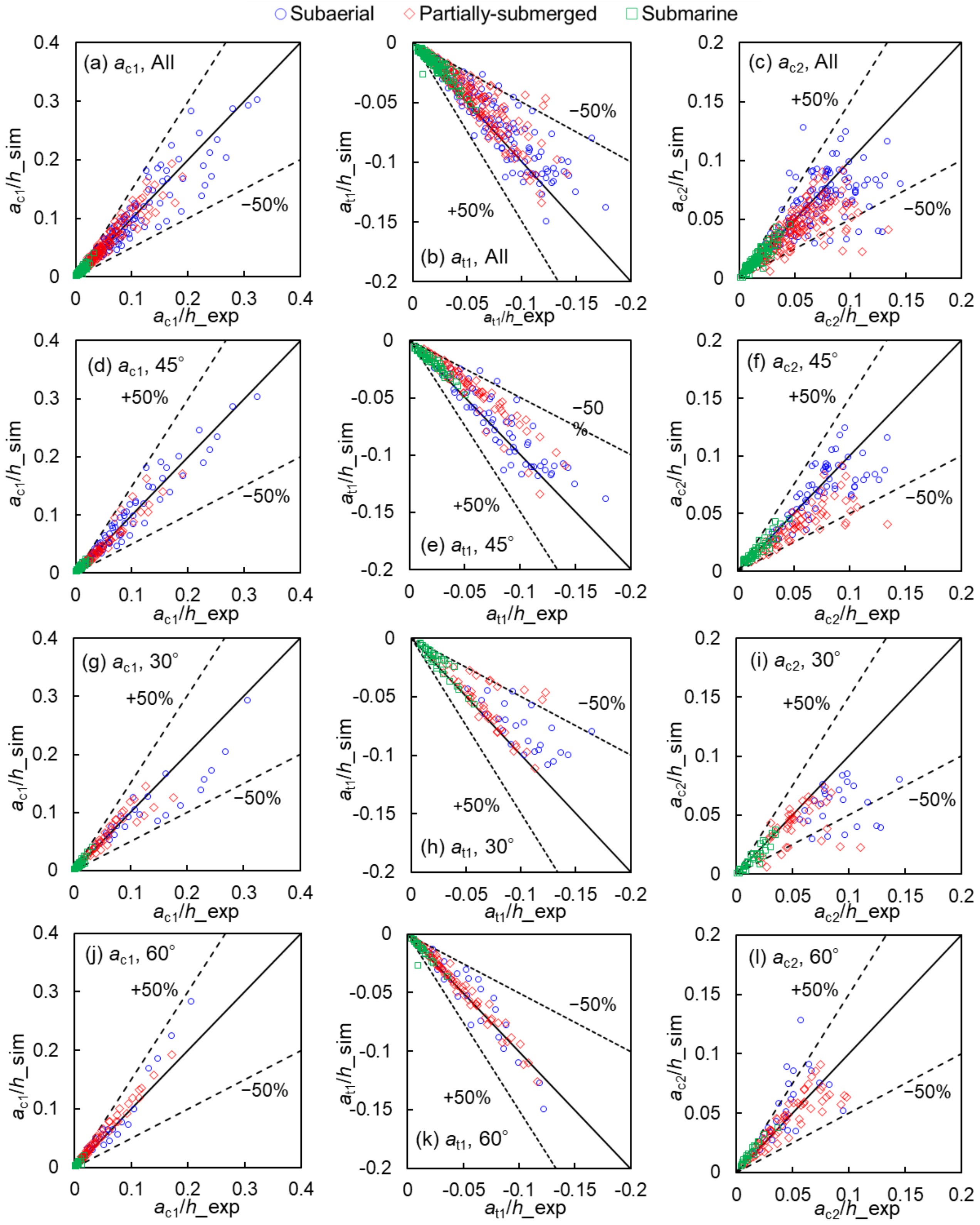

図 4 実験結果と解析結果の最大水位・最小水位の比較：青丸は陸上，赤菱形は半没水，緑四角は海底地すべりの比較結果を示す．実線は完全一致を，点線は 50%の誤差範囲を示す．

表.2 最大水位・最小水位に関する平均絶対パーセント誤差（MAPE）の比較

	Subaerial	**Partially submerged**	**Submarine**
a_{c1} for all	16.27	16.45	25.87
a_{c1} for 45°	15.06	12.85	27.14
a_{c1} for 30°	16.89	15.97	27.60
a_{c1} for 60°	18.66	20.35	19.57
a_{t1} for all	18.58	18.15	15.58
a_{t1} for 45°	16.19	27.35	12.99
a_{t1} for 30°	23.09	17.93	21.05
a_{t1} for 60°	20.06	9.09	14.06
a_{c2} for all	24.10	21.66	20.93
a_{c2} for 45°	17.12	26.38	16.81
a_{c2} for 30°	33.03	24.05	25.52
a_{c2} for 60°	32.61	15.45	25.13

図 5 に，動粘性係数をキャリブレーションして得られた全 96 ケースについて，周期・波長・波速に関する実験結果と解析結果の比較を示す．同図では左列から順に，第 1 波の周期（T_{c1}），波速（C_{c1}），波長（L_{c1}）の結果を表している．ここで周期は，各波高計（WG）における第 1 波と第 2 波の波頂到達時間の差から算出した．波速は，隣接する波高計間の距離を第 1 波の波頂が通過する時間で割って求め，波長は，隣接する波高計間で算出された波速とそれら波高計における周期の平均値の積として算出した．**図 5** の上段には全ての斜面角度の結果を示し，2 段目以降は，斜面角度別（上から順に 45°, 30°，60°）の結果を示している．これらの MAPE を**表 3** に示した．

図 5 および**表 3** 示す通り，地すべり形態を問わず，全体として周期・波速・波長の MAPE は水位の MAPE よりも低く，数値解析によって良好に再現されていることが分かった．特に海底地すべり津波では，第 1 波の周期（T_{c1}）のプロットがほぼ実線上に集中しており，OpenFOAM が海底地すべり津波の周期を高い精度で再現できることが確認された．実際，**表 3** を見ると，海底地すべり津波における周期（T_{c1}）の MAPE は 4.7%と非常に低い値を示している．一方，陸上地すべり津波の場合，周期は水位より高精度で再現されているものの，斜面角度が緩やかになるほど過小評価する傾向が認められた．波速（C_{c1}）に関しては，海底地すべり津波が最も高い MAPE を示し，次いで半没水地すべり津波，陸上地すべり津波の順に低下した．この傾向は周期（T_{c1}）とは逆であり，周期では陸上地すべり津波が最も高い MAPE を示していた．波長（L_{c1}）については，周期と波速を掛け合わせて算出される特性上，周期の MAPE が最も低かった海底地すべり津波と，波速の MAPE が最も低かった陸上地すべり津波の中間に位置する半没水地すべり津波で最も低い MAPE（9.1%）が得られた．

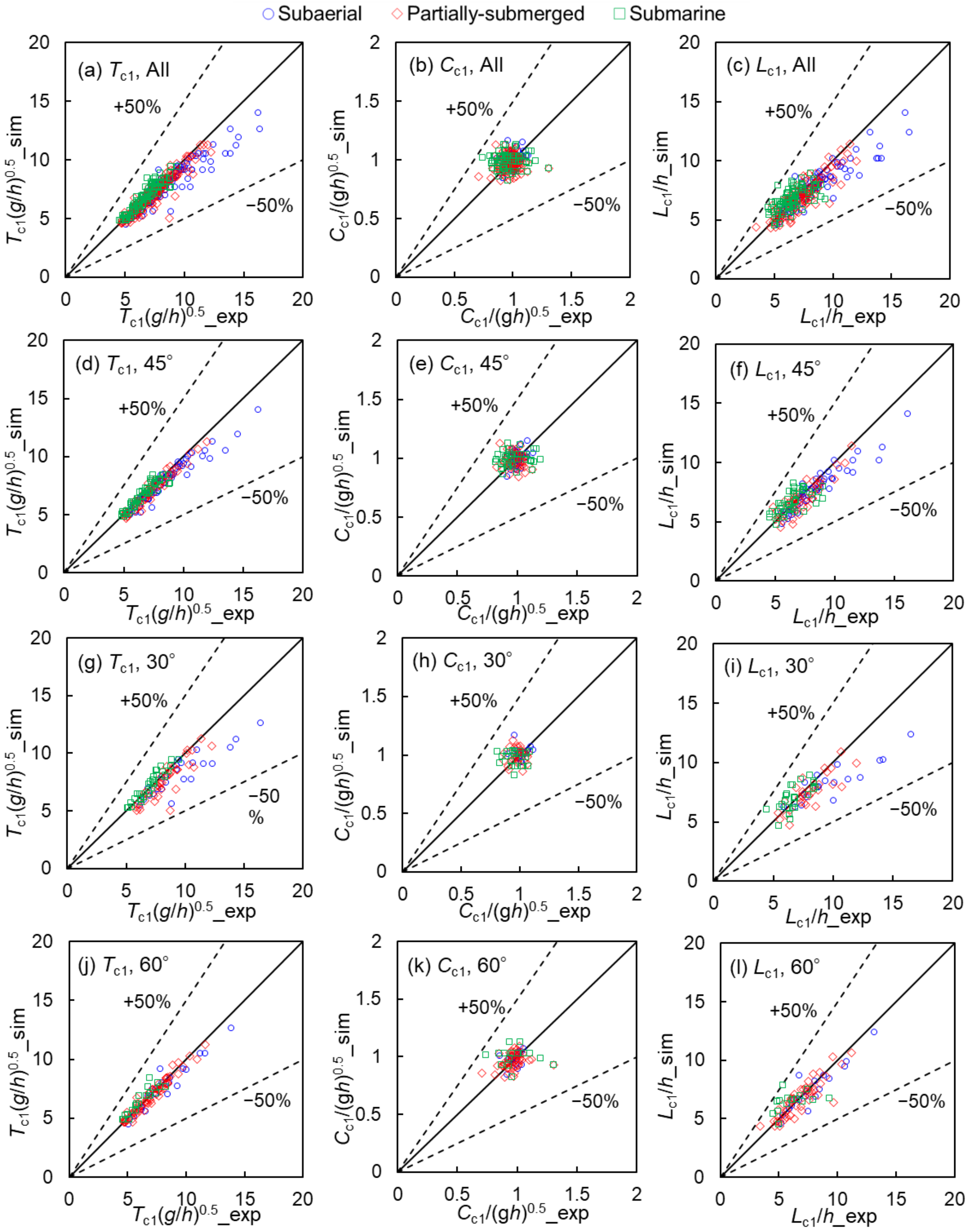

図 5　実験結果と解析結果の周期（左列），波速（中央列），波長（右列）の比較：実線は完全一致を，点線は 50%の誤差範囲を示す.

表 3　周期，波速，波長に関する MAPE の比較

	Subaerial	**Partially submerged**	**Submarine**
T_{c1} for all	9.08	5.63	4.69
T_{c1} for 45°	7.98	5.05	3.96
T_{c1} for 30°	13.62	8.75	4.95
T_{c1} for 60°	7.29	4.27	6.32
C_{c1} for all	4.78	6.96	9.98
C_{c1} for 45°	4.81	7.52	9.32
C_{c1} for 30°	4.72	6.41	9.19
C_{c1} for 60°	4.77	6.74	13.10
L_{c1} for all	10.22	9.10	12.18
L_{c1} for 45°	9.05	8.83	10.95
L_{c1} for 30°	15.04	9.81	11.78
L_{c1} for 60°	8.32	8.92	16.26

これまでの解析結果を踏まえ，地すべり津波の生成・伝播機構をより詳細に分析するため，回帰式を導出した．具体的には，解析で得られた第 1 波の最大水位，第 1 波の最大水位発生時の水平方向流速の鉛直分布（WG1 地点），および第 1 波の最大水位の減衰率を目的変数とし，各無次元パラメタを説明変数として多変量回帰分析を実施した．以下に，各目的変数について導出した回帰式を地すべり形態ごとに示す．　まず，第 1 波の最大水位（a_{c1}）について得られた回帰式を式（1）～（3）に示す．

$$\frac{a_{c1_subaerial}}{h} = 0.718M^{1.323}A^{-0.619}I^{0.537}(\tan\theta)^{0.275}X^{-0.351} \tag{1}$$

$$\frac{a_{c1_partially\ submerged}}{h} = 0.447M^{1.210}S^{-0.331}I^{0.591}(\tan\theta)^{0.107}X^{-0.351} \tag{2}$$

$$\frac{a_{c1_submarine}}{h} = 0.970M^{1.273}S^{1.431}I^{-0.037}(\tan\theta)^{-0.449}X^{-0.043} \tag{3}$$

次に，第 1 波の最大水位発生時の水平方向流速（v_x）の鉛直分布（WG1 地点）について得られた回帰式を式（4）～（6）に示す．

$$\frac{v_{x_subaerial}}{\sqrt{gh}} = 0.251M^{1.083}A^{-0.889}I^{1.051}(\tan\theta)^{0.213}Z^{0.225} \tag{4}$$

$$\frac{v_{x_partially\ submerged}}{\sqrt{gh}} = 0.180M^{1.029}S^{-0.434}I^{0.231}(\tan\theta)^{0.105}Z^{0.213} \tag{5}$$

$$\frac{v_{x_submarine}}{\sqrt{gh}} = 0.459M^{1.147}S^{-0.004}I^{1.303}(\tan\theta)^{0.061}Z^{0.211} \tag{6}$$

ここで，新たに導入した無次元パラメタ（$Z = z/h$）　は，水底を基準とした水底からの相対鉛直高さである．最後に，第 1 波の最大水位の減衰率（AR）の回帰式を式（7）～（9）に示す．ここで減衰率は，WG1 地点の第 1 波最大水位を基準としたもので，WG1 地点の第 1 波最大水位と各地点（WG2～WG4）の第 1 波最大水位との差を WG1 地点の第 1 波最大水位で除した値として算出している．

$$AR_{subaerial} = 0.075M^{-0.407}A^{0.800}I^{-1.936}(\tan\theta)^{-0.336}X^{0.673} \tag{7}$$

$$AR_{partially\ submerged} = 0.028M^{-0.383}S^{-0.120}I^{-0.622}(\tan\theta)^{0.045}X^{0.654} \tag{8}$$

$$AR_{submarine} = 0.066M^{-0.212}S^{-0.083}I^{0.268}(\tan\theta)^{0.708}X^{-0.018} \tag{9}$$

図 6 に各目的変数について，解析結果（横軸）と回帰式から算出した予測値（縦軸）を比較した結果を示す．左列が陸上地すべり，中央列が半没水地すべり，右列が海底地すべり津波に対応している．同図より，地すべり形態や目的変数にかかわらず，多くのプロットが誤差 50%以内に収まっていることが確認できる．この結果は，第 1 波の最大水位，その最大水位発生時の水平方向流速の鉛直分布，

および第 1 波の最大水位の減衰率が，地すべりの初期条件を示す各無次元パラメタと強い関連性を持ち，それらのパラメタから推定可能であることを示している．すなわち，複雑な 3 次元数値解析を実施しなくても，地すべりの初期条件からこれらの物理量を簡易的に推定できる可能性を示唆しており，今後の地すべり津波解析の効率化に大きく貢献する知見であると考えられる．

各回帰式のパラメタ係数について比較すると，第 1 波の最大水位および最大水位発生時の水平方向流速においては，相対地すべり重量（*M*）が最も大きな係数を示しており，地すべり形態によらず，重量が津波の規模や流速を決定する最も支配的な要因であることが明らかとなった．一方，第 1 波の減衰率に関しては，全ての地すべり形態において相対地すべり重量（*M*）の係数は比較的小さい傾向が確認された．これらの結果は，地すべり津波が，地すべり重量が大きくなるほど大きな津波と流速を発生させ，さらに津波の減衰が起こりにくくなるという共通の特性を有していることを示している．斜面角度（$tan\ \theta$）の影響に着目すると，陸上および半没水地すべりでは斜面角度が急になるほど第 1 波の最大水位が大きくなる傾向が見られた．一方，海底地すべりでは逆に斜面角度が緩やかなほど津波が大きくなるという特徴が明らかとなった．相対流下方向距離（*X*）の係数についても，海底地すべりでは顕著に小さく，第 1 波の伝播に伴う減衰が陸上および半没水地すべりよりも小さいことを示している．この傾向は，第 1 波の減衰率に関する回帰式において，相対流下方向距離（*X*）の係数が海底地すべりでほぼゼロに近い値を示していることからも裏付けられる．流速の鉛直分布に関する解析では，全ての地すべり形態で水面に近いほど流速が大きくなる傾向（*Z* の係数が正）が確認された．また，その原因については更なる解析が必要であるが，半没水地すべりの場合には，相対位置（*I*）の影響が陸上および海底地すべりと大きく異なる傾向を示したことも新たな知見として得られた．

4. まとめ

既往の地すべり津波実験[5)]の再現解析を網羅的に実施した結果，水位の解析精度には地すべり形態による明確な影響があることが明らかになった．具体的には，陸上および半没水地すべり津波では第 1 波の解析精度が高いのに対し，海底地すべり津波では第 2 波の解析精度が高くなる傾向が確認された．一方で，周期・波速・波長については地すべり形態にかかわらず良好な解析精度が得られることがわかった．また，多変量回帰分析の結果，第 1 波の最大水位，その最大水位発生時の水平方向流速の鉛直分布，および第 1 波の最大水位の減衰率のいずれもが，地すべりの初期条件を表す各無次元パラメタと強い関連性を持つことが示された．特に，地すべりの初期条件と流速との間に明確な関連性が実証されたことは，本研究が世界で初めて明らかにした新しい知見であり，地すべり津波研究の発展に大きく寄与する成果である．これらの結果は，複雑で計算負荷の高い 3 次元数値流体解析を用いずとも，簡易的に水位・流速を推定できる可能性を示唆しており，今後の地すべり津波解析技術の効率化に繋がる重要な成果でもある．導出した回帰式の係数を地すべり形態ごとに比較すると，地すべり重量が最大水位や流速，減衰率に最も大きく影響する共通の因子であることがわかった，一方で，斜面勾配の影響や津波の減衰過程については，海底地すべり津波と陸上・半没水地すべり津波の間に明確な差異が存在することも示された．このように，地すべり形態ごとに津波の生成・伝播機構が定量的に異なることが明らかになったことで，沿岸域における防災対策の策定に際し，より精緻で現実的なリスク評価が可能になることが期待される．なお，当初計画では，実験で対象としていない低角度（～5° 程度）の斜面の解析を新たに実施する予定であったが，実験で実施された比較的低角度（8° ）のケースの再現解析を行った結果，十分な解析精度が得られなかった．そのため，本研究では当初 60 ケースを予定していた再現解析対象を 96 ケースへと拡大し，比較的勾配が急な斜面を網羅的に解析することで解析精度を担保し，信頼性のある回帰式の導出を優先した．したがって，本研究で得られた

成果は，急勾配の斜面における地すべり津波現象を対象とする範囲ではあるが，その信頼性は高く，地すべり津波研究および防災対策において有用な基礎的知見として位置づけられると考える．

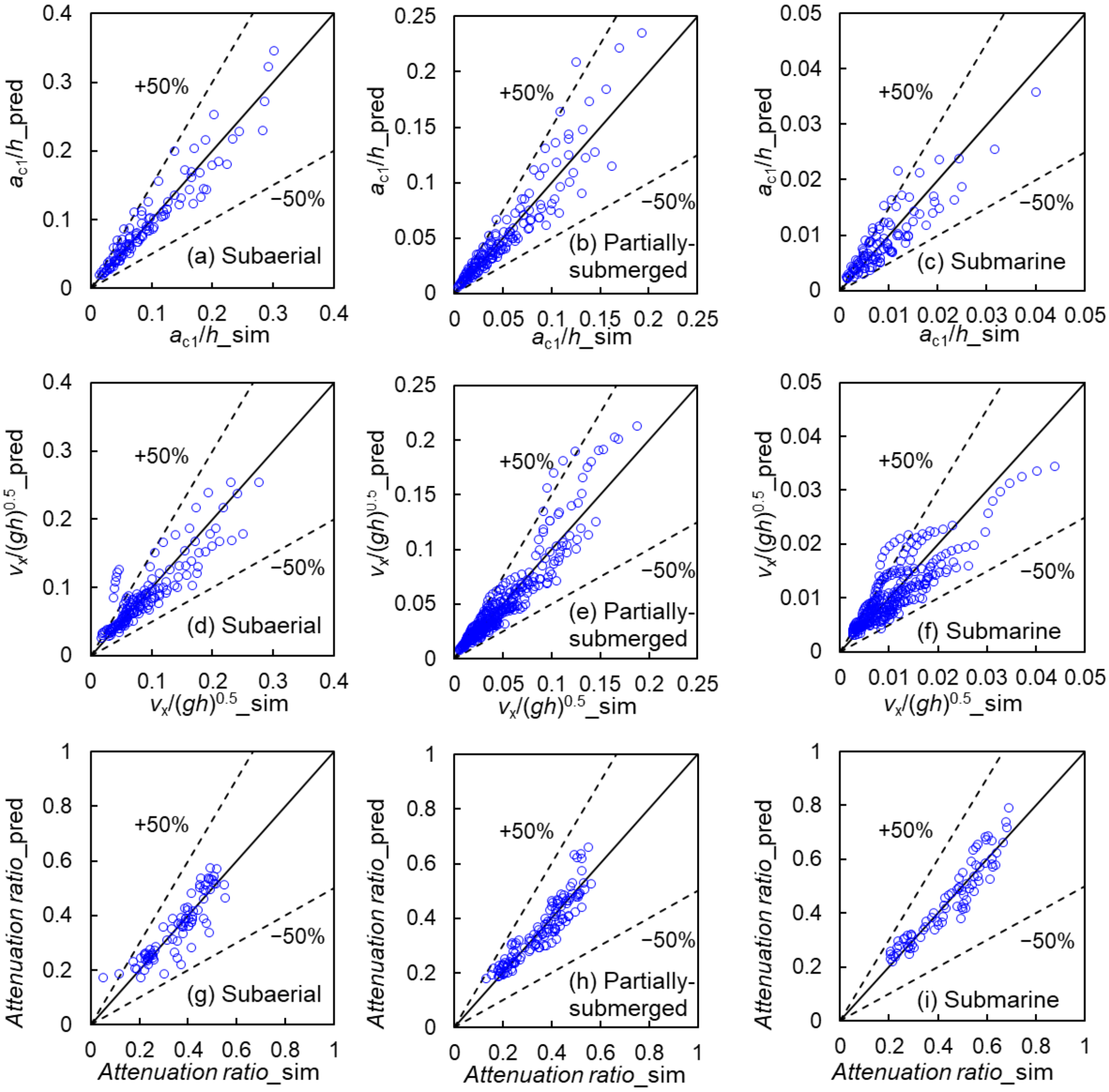

図 6 OpenFOAM による解析結果と各予測式による推定値の比較：実線は完全一致を，点線は 50%の誤差範囲を示す．

5. 参考文献

1). Aránguiz, R., et al. (2020). The 2019 Sulawesi tsunami in Palu city as a result of several landslides and coseismic tsunamis. *Coastal Engineering Journal*, 62(4), 445–459.

2). Arikawa, T., et al. (2018). Coastal subsidence induced several tsunamis during the 2018 Sulawesi earthquake. *Journal of Disaster Research*, 13, sc20181204.

3). Takabatake, T., et al. (2019). Field survey and evacuation behaviour during the 2018 Sunda Strait tsunami. *Coastal Engineering Journal*, 61(4), 423–443.

4). Yanagisawa, H., Abe, I., & Baba, T. (2024). What was the source of the nonseismic tsunami that occurred in Toyama Bay during the 2024 Noto Peninsula earthquake? *Scientific Reports*, 14, 18245.

5). Takabatake, T., et al. (2020). Physical modeling of tsunamis generated by subaerial, partially submerged, and submarine landslides. *Coastal Engineering Journal*, 62(4), 582–601.