

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 16 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820200

研究課題名（和文）濁水状態の津波が海岸構造物とその基礎地盤の安定性に与える影響の評価と対応策の検証

研究課題名（英文）Evaluation of the stability of coastal structures and their foundations due to tsunamis containing suspended sediment and the effectiveness of countermeasures

研究代表者

中村 友昭（Nakamura, Tomoaki）

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90569328

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：底質を多く巻き込んだ濁水状態の津波に対する海岸保全施設の安定性を評価できる技術の確立に向けて、浮遊砂を含むことによる粘性係数の変化の測定と評価式の提案を行い、その評価式を組み込んだ数値計算モデルFS3Mの開発を行った。また、開発したFS3Mを用いて海岸保全施設の耐津波安定性に与える浮遊砂の影響の検討を行い、構造物に作用する衝撃段波波圧による最大津波力と準定常的な持続波圧による最大津波力は浮遊砂濃度の上昇に伴って増加することを示した。以上より、海岸保全施設の耐津波安定性を評価する際における浮遊砂の考慮の重要性を明らかにするとともに、海岸保全施設の強化に資する技術としてのFS3Mの有用性を示した。

研究成果の概要（英文）：To establish a numerical analysis method for the resilience of coastal protection facilities against tsunamis containing suspended sediment, this study was devoted to proposing an evaluation equation for the viscosity of water containing suspended sediment, developing a numerical model combined with the proposed equation, and examining and discussing the influence of suspended sediment on the stability of coastal protection facilities against tsunamis using the developed model. Numerical simulations showed that the maximum tsunami forces induced by impact bore pressure and quasi-steady wave pressure increased with suspended sediment concentration. This suggested that it is essential to consider the influence of suspended sediment in assessing the stability of coastal protection facilities against tsunamis and the developed model is a useful tool contributing to the enhancement of the resilience of coastal protection facilities.

研究分野：海岸工学

キーワード：津波 海岸保全施設 耐津波安定性 浮遊砂 粘性係数 非ニュートン流体 数値計算 波力

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震津波による被災地の復興や、南海トラフ等の巨大地震に伴う津波への防災・減災のために、海岸保全施設の津波による被災機構とその効果を粘り強く発揮できる構造についての検討が行われてきている。しかし、津波・海岸保全施設本体の挙動・基礎地盤の洗掘等の地形変化・基礎地盤の支持力の相互作用を解析できる数値計算モデルは限られており、既往の検討の多くは水理実験による検討に留まっていた。

一方、東北地方太平洋沖地震等発生時に、黒く濁った濁水状態の津波が越流、遡上する現象が確認されている。これは、津波が沖合の底質を巻き上げ、それを大量に含んだ状態となっていたためと推測される。このような浮遊砂を含んだ流れに対する研究は Vanoni (1946) 以降数多く行われてきており、静水流とは流れの構造が異なることが確認されている。しかし、津波を対象に浮遊砂の影響を取り扱った研究は少なく、断面平均浮遊砂濃度が 10% を超えることはないと仮定し、流体の密度として $1,200 \text{ kg/m}^3$ を使うことを推奨している FEMA (2008) と、推奨値を断面平均浮遊砂濃度 5%、流体の密度 $1,100 \text{ kg/m}^3$ に修正した FEMA (2012) に限られていた。

2. 研究の目的

本研究では、まず浮遊砂を含んだ水の粘性係数の測定を行い、粘性係数の評価式に含まれるパラメータの同定を行った。続いて、その評価式と浮遊砂による水の密度の変化を 3 次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデル FS3M (中村・水谷, 2015) に組み込むとともに、同モデルを用いて実スケールの津波の遡上計算を実施し、遡上津波による浸水深、底面流速、作用波圧、作用波力に与える浮遊砂の影響を考究した。

3. 研究の方法

(1) 粘性係数の評価式の提案

① 粘性係数のモデル化と測定方法

浮遊砂のような微粒子が懸濁している水 (以下、懸濁液と呼ぶ) を考える。このとき、懸濁液の粘性係数 μ の粒子濃度依存性は

$$\mu = \mu_w (1 - \phi / \phi_m)^{-[\mu] \phi_m} \quad (1)$$

と表される (Krieger・Dougherty, 1959)。ここで、 ϕ は懸濁液の体積に対する粒子の体積 (以下、浮遊砂濃度と呼ぶ)、 ϕ_m は懸濁液の流動が可能な最大浮遊砂濃度、 μ_w は水の粘性係数、 $[\mu]$ は固有粘度である。また、懸濁液の粘性係数 μ のせん断応力 τ 依存性は

$$(\mu - \mu_H) / (\mu_L - \mu_H) = [1 + (\tau / \tau_c)^n]^{-1} \quad (2)$$

と表される (Russelら, 1992)。ここで、 μ_L は低せん断ニュートン粘度、 μ_H は高せん断ニュートン粘度、 n は $1 \leq n \leq 2$ なるパラメータであ

る。また、 a を粒子の半径、 k_b を Boltzmann 定数 ($= 1.38054 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)、 T を絶対温度、 β を $0.05 \leq \beta \leq 0.35$ なるパラメータとしたとき、 τ_c は $\tau_c = k_b T / (\beta a^3)$ と表される。

粘性係数 μ の測定は、TVB-15 型粘度計、低粘度アダプタ、高精度低温循環恒温槽ビスコメイト VM-150F (東機産業製) を用いて行った。測定液の溶媒は水とし、溶質にはカオリン、ベントナイト、7号珪砂の3種類を用いた。溶質の濃度 ϕ は、清水状態 ($\phi = 0$) に加えて、溶質がカオリンのとき $0.01 \sim 0.20$ の 9 パターン、ベントナイトのとき $0.01 \sim 0.10$ の 5 パターン、珪砂のとき $0.01 \sim 0.20$ の 8 パターン変化させた。そして、測定液の温度が 20°C の条件下で粘度計の回転速度を $3 \sim 60 \text{ rpm}$ の 5 パターン変化させ、計 82 ケースの実験を行った。

② 測定結果とパラメータの同定

粘性係数 μ の測定で得られた μ とせん断応力 τ の関係を図-1 に示す。

溶質がカオリンの場合、図-1(a) より、清水状態 ($\phi = 0$) あるいは $\phi \leq 0.02$ の低濃度のときは μ は τ によらずほぼ一定値となっているものの、 $\phi \geq 0.03$ の高濃度ときは μ は τ の増加とともに減少しており、カオリンを含んだことで式(2)で表される非ニュートン流体となったことが分かる。そこで、このデータに基づいて、式(2)の μ 、 μ_H 、 n 、 τ_c の同定を行った。まず粘度計の限界から高せん断領域で μ が一定となる領域までの μ の測定が行えておらず μ_H を決定できないことから、高せん断領域では水の粘性係数に漸近すると考えて $\mu_H = 1.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ と仮定した。次に、 $1 \leq n \leq 2$ の範囲で μ 、 n 、 τ_c を最小自乗法により求めたところ、 n が小さいと ϕ が大きい場合に解が収束しなかったことから、 n として上限値の 2 を採用した。続いて、 μ と τ_c を最小自乗法により求めたところ、 ϕ ごとに異なる値が得られたものの、 τ_c は ϕ の関数ではないことから、得られた τ_c の値を平均し 80 mPa とした。最後に、 μ を最小自乗法により求め、表-1 に示す値を得た。

一方、溶質がベントナイトあるいは珪砂のとき、高濃度の場合には低せん断時に μ が急激に増加する降伏応力 τ_0 が現れていることから、ベントナイトあるいは珪砂を含んだことで非ニュートン流体の中でもビンガム流体となったことが分かる。ただし、粘度計の限界のためにデータが不足しており、低濃度の場合には τ_0 の同定が、高濃度の場合には $\tau > \tau_0$ のときの μ の同定が困難である。そこで、本研究では、低せん断時の μ の増加が見られない低濃度の場合 (ベントナイトのとき $\phi \leq 0.05$ 、珪砂のとき $\phi \leq 0.15$) に着目した。このとき、せん断応力依存性がないニュートン流体と見なせることから、 ϕ ごとに測定結果の平均値を計算し、その値を各 ϕ での μ とした。

以上の結果に基づいて、 μ の ϕ への依存性を表す式(1)の ϕ_m と $[\mu]$ の同定を行った。

カオリンの場合、表-1 に示した ϕ と μ の関係に最小自乗法を適用したところ、 $\phi_m = 0.379$ と $[\mu] \phi_m = 10.0$ を得た。この結果を図-2(a) に示

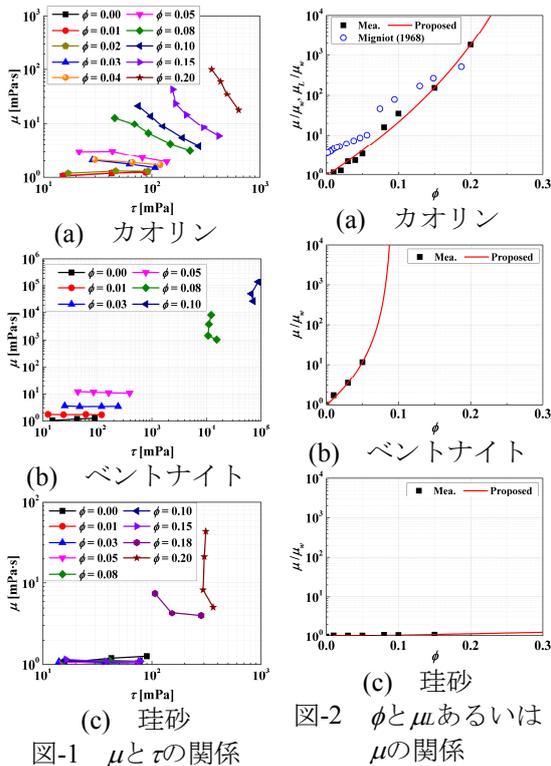


図-1 μ と τ の関係

ϕ	μ_L [mPa·s]	ϕ	μ_L [mPa·s]
0.01	1.18	0.08	1.59×10^0
0.02	1.31	0.10	3.49×10^0
0.03	2.20	0.15	1.53×10^1
0.04	2.36	0.20	1.83×10^1
0.05	3.41		

す。ここで、実線は上記の値を代入した式(1)、○印はせん断応力依存性を考慮していない Migniot (1968) によるカオリン懸濁液の μ の測定結果である。図-2(a)より、 $\phi = 0.1$ 付近で若干のずれが認められるものの、 $\phi_m = 0.379$ と $[\mu] \phi_m = 10.0$ を代入した式(1)で概ね評価できることが分かる。また、Migniot (1968) による μ の測定結果の方が μ に比べて全体的に大きい傾向が確認でき、せん断応力依存性を考慮していないためと推測される。

ベントナイトの場合、 ϕ ごとに平均して求めた μ と ϕ の関係に最小自乗法を適用したところ、 $\phi_m = 9.24 \times 10^{-2}$ と $[\mu] \phi_m = 3.14$ を得た。同様にして、珪砂の場合には、 $\phi_m = 7.52 \times 10^0$ と $[\mu] \phi_m = 6.39 \times 10^6$ を得た。以上の結果を示した図-2(b), (c)より、カオリンの場合と同様に、式(1)で概ね評価できると言える。

なお、上記の適用範囲は、カオリンの場合は $0 \leq \phi \leq 0.20$ 、ベントナイトの場合は $0 \leq \phi \leq 0.05$ かつ $10 < \tau < 500$ mPa、珪砂の場合は $0 \leq \phi \leq 0.15$ かつ $10 < \tau < 100$ mPaである。

以下では、評価式の適用範囲が最も広いカオリン懸濁液を対象に検討を進めた。

(2) 津波の遡上現象への浮遊砂の影響

カオリン懸濁液の粘性係数にはせん断応力依存性が見られるため、実スケールでの検討が不可欠である。そこで、津波の遡上現象の検討を行うために、実スケールの断面2次元および3次元の数値解析を実施した。

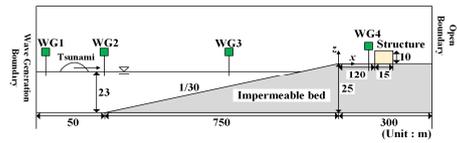


図-3 計算領域の概略図 (断面2次元)

表-2 計算条件

Case	浮遊砂濃度	密度	粘性
1	0%	NA	NA
2	1%	考慮せず	考慮せず
3	1%	考慮	考慮
4	1%	考慮	考慮せず
5	1%	考慮せず	考慮

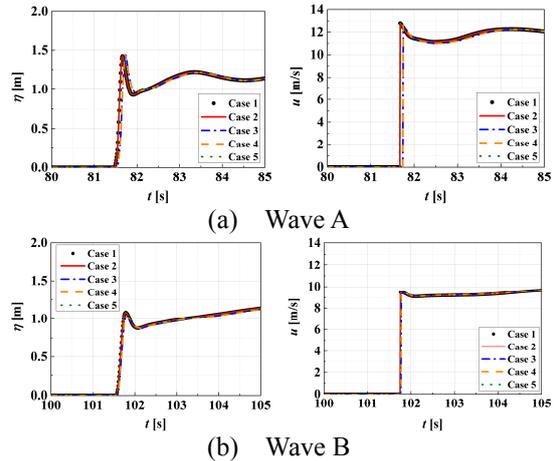


図-4 通過波の水位変動 η と底面流速 u

① 断面2次元解析による検討

a) 計算条件

図-3に計算領域の概略図を示す。同図に示すように、沖側から順に1/30勾配の不透過斜面と高さ25 mの不透過水平床を設定し、水平床沖側端から120 mの位置に不透過構造物(長さ15 m、高さ10 m)を設置した。そして、静水深 h を水平床より若干低い23 mとし、津波を想定した押し波のみの長周期波1波(造波津波高 $H = 4$ m)を沖側の造波境界から入射させた。このとき、津波の継続時間 T を50 sと150 sの2パターン(以下、 $T = 50$ sのときをWave A、 $T = 150$ sのときをWave Bと呼ぶ)、浮遊砂による密度または粘性係数の変化の考慮を表-2に示す5パターン変化させた計10ケースの計算を行った。ここで、Case 2~5では、カオリンの粒子の密度を 2.65×10^3 kg/m³、中央粒径を1 μ mとし、初期に1%の濃度の浮遊砂を計算領域全体に設定した。

b) 通過波の水位変動と底面流速への影響

陸上構造物の沖側面のWG4(図-3参照)の位置における陸上構造物がない状態での水位変動を η 、底面流速を u としたとき、 η と u の時間変化を図-4に示す。ここで、 t は時間である。また、 u は底面直上の計算格子中央($z = 0.25$ m)での水平流速であり、空気の影響を無視するため計算格子が水で満たされていないときは $u = 0$ とした。図-4より、浮遊砂による密度の変化を考慮したCase 3, 4では、 η や u が増加し始める時刻が他のケースと比較して若干遅れていることが分かる。

そこで、 η が増加し始める時刻を基準にCase 3, 4の位相を若干早めてCase 1, 2, 5に

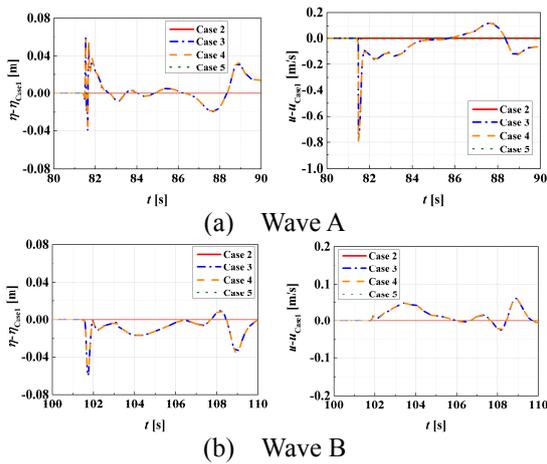


図-5 Case 1 との η および u の差

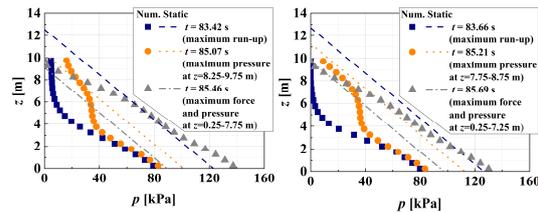


図-6 陸上構造物への作用波圧 p (Wave A)

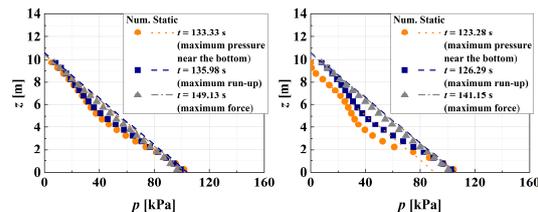


図-7 陸上構造物への作用波圧 p (Wave B)

合わせ、さらにそれと Case 1 での水位変動 $\eta_{Case 1}$ や底面流速 $u_{Case 1}$ との差を取った結果を図-5に示す。同図より、津波到達直後に着目すると、Wave A の場合は Case 3, 4 の方が η は大きく、 u は小さくなっている一方で、Wave B の場合には逆に Case 3, 4 の方が η は小さく、 u は大きくなっていることが分かる。

以上より、津波の遡上現象では、浮遊砂による密度の変化の方が粘性係数の変化よりも影響が大きいことが判明した。

c) 作用波圧および作用波力への影響

陸上構造物の沖側面に作用する波圧 p の鉛直分布を図-6と図-7に例示する。同図には、打上高最大時、波圧最大時、津波力最大時の p を示した。また、各時刻での打上高から求めた静水圧分布も同時に示した。このとき、Case 3 と 4 では、浮遊砂を 1% 含む分だけ増加させた密度を用いた。一方、陸上構造物の沖側面に作用する単位奥行き当たりの x 軸方向の津波力 F の時間変化を図-8に、 F の最大値 F_{max} を表-3に示す。同表には、朝倉ら (2000) の評価式に Case 1 での通過波の η を代入して求めた F_{max} も同時に示した。

図-8より、Wave A では津波作用開始直後の衝撃段波波圧により F_{max} が生じる特性があり、Wave B では衝撃段波波圧後の準定常的な持

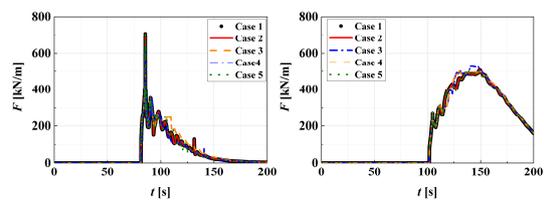


図-8 陸上構造物への作用波力 F

表-3 最大津波力 F_{max}

	Wave A	Wave B
Case 1	708 kN/m	507 kN/m
Case 2	708 kN/m	507 kN/m
Case 3	651 kN/m	529 kN/m
Case 4	653 kN/m	503 kN/m
Case 5	708 kN/m	500 kN/m
Asakura et al. (2000)	151 kN/m	531 kN/m

続波圧により F_{max} が生じる特性があることが確認できる。

まず Wave A に着目すると、図-6より、津波力最大時の p はすべてのケースで静水圧分布を上回っていることが分かる。また、Case 1, 2, 5 と Case 3, 4 を比較すると、津波力最大時の p は Case 3, 4 の方が若干小さく、そのために表-3に示すように F_{max} も若干小さくなっている。上述したように、陸上構造物がない状態の通過波では、Case 3, 4 の方が η は大きかったものの、 u は小さかった。また、 F_{max} は $(u^2 \eta)_{max}$ の関数である運動量の変化から評価できること (中村ら, 2014) から考えると、遡上波先端部での u が小さくなった影響の方が強く表れ、そのために Case 3, 4 の F_{max} の方が小さくなったと推測される。

一方、Wave B の場合には、図-7より、津波力最大時の p は概ね静水圧分布となっていることが分かる。また、表-3より、Case 4, 5 の場合は Case 1, 2 より F_{max} が小さくなっている一方で、Case 3 の場合には F_{max} が大きくなっている。ここで、津波力最大時の打上高は、浮遊砂による密度と粘性係数の片方の変化のみを考慮した Case 4, 5 では Case 1, 2 と比較して若干小さかったものの、密度と粘性係数の変化をともに考慮した Case 3 では若干大きかったことを確認している。そのため、打上高が若干大きくなった影響と水の見かけの密度が浮遊砂を含んだ分だけ増加した影響から、表-3に示したように Case 3 の F_{max} が最も大きくなったと考えられる。

以上より、準定常的な持続波圧により F_{max} が生じる場合には、 F_{max} の評価時に浮遊砂による密度および粘性係数の影響をともに考慮することの重要性が示唆された。

② 3次元解析による検討

a) 計算条件

図-9に計算領域の概略図を示す。同図に示すように、沖側から順に 1/30 勾配の斜面、1/15 勾配の斜面、高さ 25.0 m の水平床を設定し、水平床の沖側端から 120.0 m の位置に 15.0 m 角の構造物を設定した。そして、沖での静水深 h を水平床よりも若干低い 23.0 m とし、津波を想定した押し波のみの長周期波 1 波を作用させた。このとき、初期浮遊砂濃度 C_0 を 0, 1,

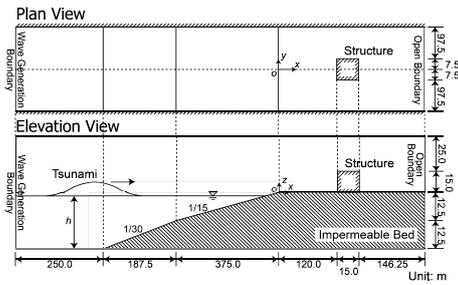
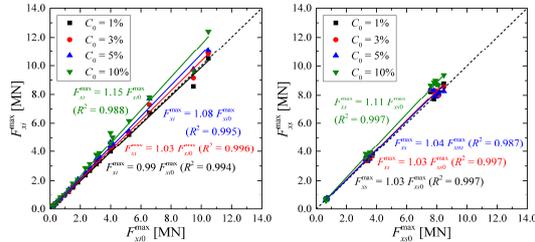


図-9 計算領域の概略図 (3次元)



(a) 衝撃段波波圧による最大津波力 (b) 持続波圧による最大津波力

図-10 最大津波力の比較

3, 5, 10%の5種類, 造波津波高 H を2, 4, 6 mの3種類, 継続時間 T を60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 sの7種類変化させ, 計105ケースの計算を行った. なお, 計算負荷の軽減のために, $y \geq 0$ の片側のみを解析対象とした.

b) 最大津波力への影響

構造物全体に作用する x 軸方向の津波力を F_x としたとき, 津波作用開始直後の衝撃段波波圧による F_x の極大値を F_{xi}^{max} , 持続波圧による F_x の極大値を F_{xs}^{max} とする. このとき, F_{xi}^{max} および F_{xs}^{max} の浮遊砂の有無による比較を図-10に示す. ここで, F_{xi0}^{max} と F_{xs0}^{max} は $C_0 = 0\%$ のときの F_{xi}^{max} と F_{xs}^{max} である. また, C_0 ごとに求めた近似直線, 近似式, 決定係数 R^2 も同時に示した. なお, $T = 60$ sの場合は F_{xs}^{max} が決定できないケースがあったため, $T = 60$ sの結果は図-10(b)には示さなかった.

図-10(a)より, F_{xi}^{max} は $C_0 = 0\%$ のときよりも $C_0 = 1\%$ のときの方が1%程度小さいことが分かる. 同様の傾向は $C_0 = 1\%$ を対象とした断面2次元解析でも確認されている. ただし, $C_0 = 3\%$ 以上のときは $C_0 = 1\%$ のときと傾向が異なっており, $C_0 = 0\%$ のときよりも F_{xi}^{max} が増加していること, またその増加割合 $F_{xi}^{max} / F_{xi0}^{max}$ は C_0 の増加とともに大きくなっていることが確認できる.

一方, 図-10(b)より, 浮遊砂が存在することで F_{xs}^{max} は $C_0 = 0\%$ のときよりも大きくなっていることが分かる. 断面2次元解析では $C_0 = 1\%$ の浮遊砂が存在することで F_{xs}^{max} が4%程度増加することを示しており, 3次元解析でも同等の増加割合となることが確認できた. また, C_0 が等しい条件では $F_{xi}^{max} / F_{xi0}^{max}$ と比較して若干小さいものの, C_0 の増加とともに $F_{xs}^{max} / F_{xs0}^{max}$ も大きくなっている.

以上より, 衝撃段波波圧による津波力が支配的となる条件では, 浮遊砂濃度が1%を超える場合には浮遊砂を考慮することの重要性が示唆され, 持続波圧による津波力が支配的

となる条件では, 浮遊砂濃度に関わらず, 浮遊砂を考慮することの重要性が示唆された.

4. 研究成果

本研究で得られた成果を以下にまとめる.

- ・ 懸濁液の溶媒が水, 溶質がカオリン, ベントナイト, 珪砂のとき, 浮遊砂濃度とせん断応力が与えられれば評価式から粘性係数が推定できることを示した.
- ・ 浮遊砂の影響の考慮の有無で遡上津波による水位変動, 底面流速, 作用波圧, 作用波力が変化することが判明した.
- ・ 津波作用開始直後の衝撃段波波圧による津波力が支配的となる条件では, 浮遊砂濃度が1%を超える場合には浮遊砂の影響を考慮することの重要性が判明した.
- ・ 持続波圧による津波力が支配的となる条件では, 浮遊砂濃度によらず, 浮遊砂の影響を考慮することの重要性が判明した.
- ・ 以上より, 海岸保全施設の耐津波安定性を評価する際における浮遊砂の考慮の重要性を明らかにするとともに, 海岸保全施設の強化に資する技術としての数値計算モデル FS3M の有用性を示した.

<引用文献>

- ① 朝倉良介, 岩瀬浩二, 池谷毅, 高尾誠, 金戸俊道, 藤井直樹, 大森政則: 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 911-915, 2000.
- ② 中村友昭, 中島彩, 水谷法美: 沿岸構造物存在下における陸上構造物への津波力に関する3次元数値解析, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. I_816-I_820, 2014.
- ③ 中村友昭, 水谷法美: 津波の越流による海岸堤防裏法尻の洗掘に関する大規模実験の数値シミュレーション, 第29回数値流体力学シンポジウム, A07-1, 10 p., 2015.
- ④ FEMA: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, FEMA P-646, 158 p., 2008.
- ⑤ FEMA: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, Second Edition, FEMA P-646, 174 p., 2012.
- ⑥ Krieger, I. M. and Dougherty, T. J.: A mechanism for non-Newtonian flow in suspensions of rigid spheres, Trans. Soc. Rheology, Vol. 3, pp. 137-152, 1959.
- ⑦ Migniot, C.: A study of the physical properties of different very fine sediments and their behavior under hydrodynamic action, La Houille Blanche, Vol. 7, pp. 591-620, 1968 (in French).
- ⑧ Russel, W. B., Saville, D. A., and Schowalter, W. R.: Col-loidal Dispersions, Cambridge Univ. Press, 544 p., 1992.
- ⑨ Vanoni, V. A.: Transportation of suspended sediment by water, Trans. ASCE, Vol. 111, pp.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ①中村友昭, 水谷法美: 津波の越流による海岸堤防裏法尻の洗掘に関する大規模実験の数値シミュレーション, *ながれ*, 日本流体力学会, 第 35 巻, 第 5 号, pp. 379-390, 2016.
http://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?d=35-5_gencho1.pdf&dir=74
- ②Nakamura, T., Sawa, Y., and Mizutani, N.: Study on the evaluation of temporal change in horizontal and vertical tsunami forces acting on a bridge superstructure, *Coastal Engineering Journal*, 査読有, Vol. 58, No. 4, 1640020, 27 p., 2016.
DOI: 10.1142/S0578563416400209
- ③中村友昭, 鈴木愛美, 趙 容桓, 水谷法美: 浮遊砂による流体の粘度の変化と一様流および津波による流動場に与える影響に関する研究, *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, 査読有, Vol. 72, No. 2, pp. I_163-I_168, 2016.
DOI: 10.2208/jscejoe.72.I_163
- ④中村友昭, 鈴木愛美, 水谷法美: 高濃度の浮遊砂を含有した流体の粘度の測定とその評価, *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, 査読有, Vol. 71, No. 2, pp. I_1185-I_1190, 2015.
DOI: 10.2208/jscejoe.71.I_1185
- ⑤Cho, Y.-H., Nakamura, T., Mizutani, N., and Lee, K.-H.: A numerical simulation of wave-induced topographic change of shallow composed of fine sand, *Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering*, JSST, 査読有, Vol. 1, No. 1, p. 72-86, 2014.
DOI: 10.15748/jasse.1.72
- ⑥Cho, Y.-H., Nakamura, T., Suzuki, M., and Mizutani, N.: An experimental study on influences of cohesive sediments on sediment transport of mixed soil, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Series B3 (Ocean Engineering)*, JSCE, 査読有, Vol. 70, No. 2, pp. I_738-I_743, 2014.
DOI: 10.2208/jscejoe.70.I_738
- ⑦中村友昭, 中島 彩, 水谷法美: 護岸を越流した津波による陸上構造物への作用波力とその評価手法に関する研究, *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, 査読有, Vol. 70, No. 2, pp. I_408-I_413, 2014.
DOI: 10.2208/jscejoe.70.I_408
- ⑧中村友昭, 根笹裕太, 水谷法美: 津波の作用と洗掘の発生に伴う陸上構造物の移動とその対策法に関する研究, *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, 査読有, Vol. 70, No. 2, pp. I_331-I_336, 2014.

[学会発表] (計 10 件)

- ①中村友昭, 趙 容桓, 水谷法美: 高濃度の浮遊砂が津波力に与える影響に関する一考察, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017 年 3 月 3 日, 金沢大学 (石川県金沢市).
- ②谷口淳也, 中村友昭, 趙 容桓, 水谷法美: 越流した津波による海岸堤防裏法尻の洗掘に与える蛇籠工の効果に関する一考察, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017 年 3 月 3 日, 金沢大学 (石川県金沢市).
- ③日比野加奈, 中村友昭, 趙 容桓, 水谷法美: 越流した津波により海岸堤防裏法尻に生じる流れ場の形成条件に関する数値解析, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017 年 3 月 3 日, 金沢大学 (石川県金沢市).
- ④中村友昭, 水谷法美: 高濃度の浮遊砂を含む津波の遡上挙動に関する数値シミュレーション, 第 30 回数値流体力学シンポジウム, 2016 年 12 月 12 日, タワーホール船堀 (東京都江戸川区).
- ⑤Nakamura, T., Nezasa, Y., Mizutani, N., and Kotake, Y.: Numerical simulation of tsunami scour at landward toe of coastal dike and its countermeasures, THESIS 2016, September 14, 2016, Chuo University (Bunkyo-ku, Tokyo).
- ⑥Nakamura, T., Nezasa, Y., Tanabe, T., and Mizutani, N.: Study on stability of buildings against tsunami run-up and scour, THESIS 2016, September 14, 2016, Chuo University (Bunkyo-ku, Tokyo).
- ⑦中村友昭, 趙 容桓, 水谷法美: 漂砂による地形変化計算時における斜面崩壊の取り扱いに関する一考察, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016 年 9 月 9 日, 東北大学 (宮城県仙台市).
- ⑧鈴木愛美, 中村友昭, 水谷法美: 浮遊砂が遡上津波の流動場や作用波力に及ぼす影響に関する一考察, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016 年 3 月 4 日, 豊田工業高等専門学校 (愛知県豊田市).
- ⑨中村友昭, 水谷法美: 漂砂による地形変化計算時における斜面崩壊計算の簡易的な取り扱いについて, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016 年 3 月 4 日, 豊田工業高等専門学校 (愛知県豊田市).
- ⑩鈴木愛美, 中村友昭, 水谷法美: 高濃度浮遊砂含有時の流体の粘度に関する一考察, 平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会, 2015 年 3 月 6 日, 豊橋技術科学大学 (愛知県豊橋市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 友昭 (NAKAMURA, Tomoaki)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 90569328