

高濃度の浮遊砂が津波力に与える影響に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 正会員 ○ 中村 友昭
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 趙 容桓
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美

1. 緒言: 東日本大震災時に見られたように、遡上津波は沖合や陸上の底質を多く含んだ濁水状態となっていると推測される。これに関連して、FEMA (2008) は、断面平均浮遊砂濃度が 10% を超えることはないとは仮定し、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。その後、FEMA (2012) では、推奨値を、断面平均浮遊砂濃度 5%、流体の密度 $1,100 \text{ kg/m}^3$ と修正している。松富・川島 (2015) は、流体の密度が土砂によって $1,200 \text{ kg/m}^3$ に達し得ることを水理実験により確認している。また、松富ら (2016) は、松富・川島 (2015) と同様の水理実験により、流体の密度が土砂によって大きくなるほど、遡上高は低く、遡上距離は短く、土砂堆積厚は大きくなることを確認している。中村ら (2016) は、準定常的な持続波圧により最大津波力が生じる場合には、浮遊砂が存在することで最大津波力が増加することを示している。しかし、津波に与える浮遊砂の影響に対する検討は十分とは言えない。本研究では、浮遊砂による流体の密度と粘性係数の変化を考慮可能な 3 次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデル (中村ら, 2016) を用いて実スケールの津波の遡上計算を実施し、陸上構造物に作用する津波力に与える浮遊砂の影響を検討する。

2. 計算条件: 中村ら (2016) を参考に決定した計算領域の概略図を図-1 に示す。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, 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

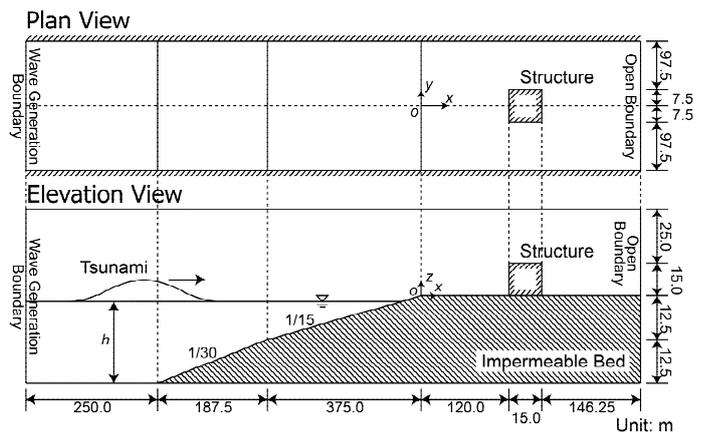


図-1 計算領域の概略図

ケースの計算を行った。ここで、浮遊砂はカオリンを想定し、カオリン粒子の密度は $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、中央粒径は $1 \mu\text{m}$ とした。なお、計算負荷の軽減のために、図-1 に示すように $y \geq 0$ の片側のみを解析対象とした。

3. 計算結果および考察: 構造物周辺の波変形の様子を図-2 と図-3 に例示する。同図より、津波が構造物の沖側面で打ち上げられ、打ち上げられた津波が沖向きに碎波し、それが後続の津波に乗りつつ徐々に沖側に伝播する様子が確認できる。また、波変形の様子が図-2 と図-3 で若干異なることも確認できる。

構造物全体に作用する x 軸方向の津波力 F_x の時間変化を図-4 に例示する。同図より、 F_x は津波作用開始直後の衝撃段波波圧とその後の準定常的な持続波圧により極大となっていることが分かる。また、図-4(a) の条件では衝撃段波波圧による F_x の極大値 F_{xi}^{\max} の方が、図-4(b) の条件では持続波圧による F_x の極大値 F_{xs}^{\max} の方が大きいこと、 F_{xi}^{\max} と F_{xs}^{\max} は初期浮遊砂濃度 C_0 の増加とともに大きくなることも確認できる。

図-5 に F_{xi}^{\max} および F_{xs}^{\max} の浮遊砂の有無による比較を示す。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、 $T = 60 \text{ s}$ の場合は F_{xs}^{\max} が決定できないケースがあったため、 $T = 60 \text{ s}$ の結果は図-5(b)には示さなかった。

図-5(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 $C_0 = 1\%$ を対象とした中村ら (2016) 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。

図-5(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。中村ら (2016) 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、本研究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る。

4. 結論: 本研究では、浮遊砂による流体の密度と粘性係数の変化を考慮可能な数値計算モデルを用いて、陸上構造物に作用する津波力に与える浮遊砂の影響を検討した。その結果、衝撃段波波圧による津波力が支配的となる条件でかつ浮遊砂濃度が 1% の場合を除いて、浮遊砂の影響を考慮することの重要性が示唆された。今後も、津波に与える浮遊砂の影響に対するさらなる検討を行っていく所存である。最後に、本研究は科学研究費補助金若手研究(B) (課題番号: 26820200) の補助を受けたことを付記し、謝意を表す。

参考文献: [1] 中村ら (2016), 土論 B3 (海洋), 72, 2, pp. I_163-I_168. [2] 松富・川島 (2015), 土論 B2 (海岸), 71, 2, pp. I_355-I_360. [3] 松富ら (2016), 土論 B2 (海岸), 72, 2, pp. I_397-I_402. [4] FEMA (2008), FEMA P-646, 158 p. [5] FEMA (2012), FEMA P-646 Second Edition, 174 p.

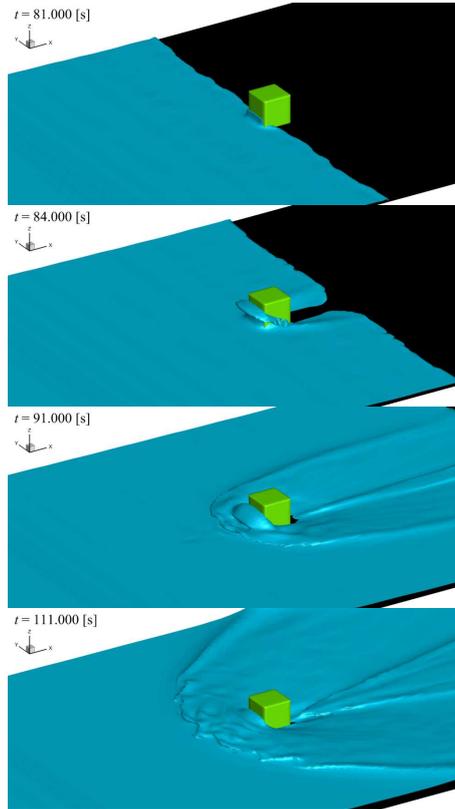


図-2 波変形の様子
($T = 90 \text{ s}$, $H = 6 \text{ m}$, $C_0 = 0\%$)

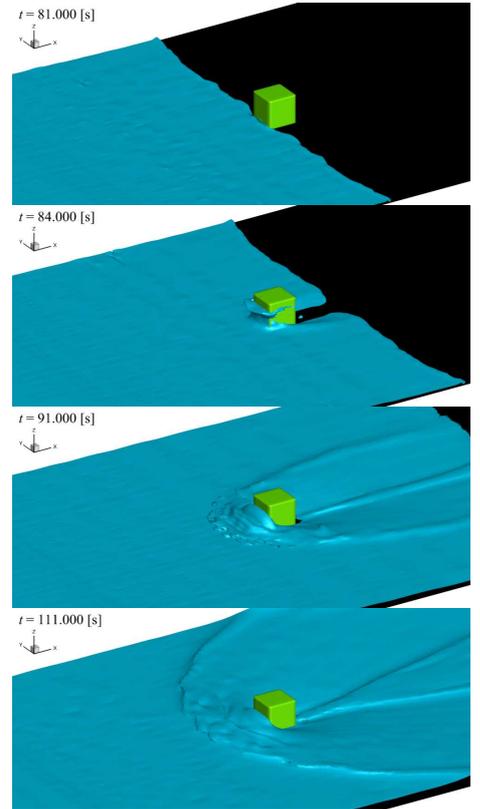
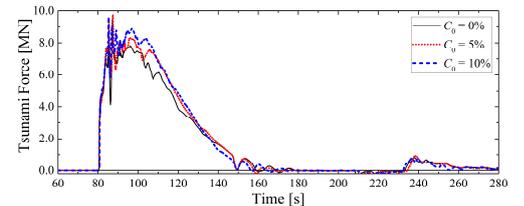
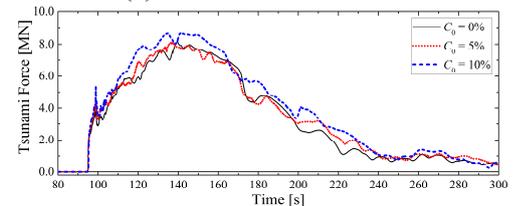


図-3 波変形の様子
($T = 90 \text{ s}$, $H = 6 \text{ m}$, $C_0 = 10\%$)

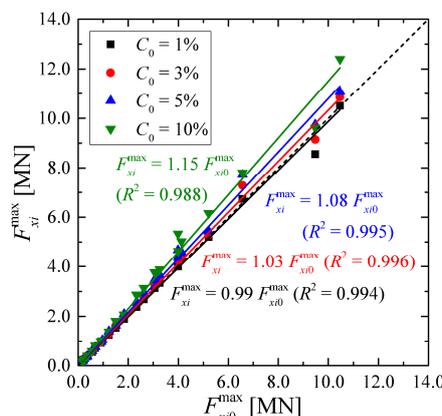


(a) $T = 90 \text{ s}$, $H = 6 \text{ m}$

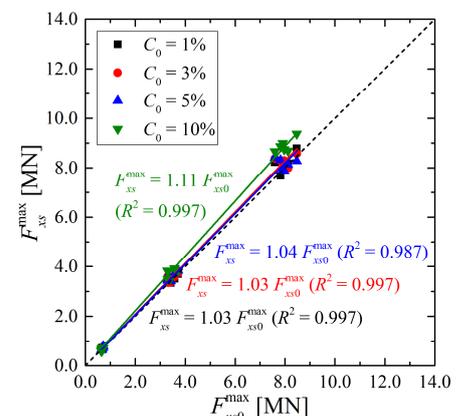


(b) $T = 180 \text{ s}$, $H = 6 \text{ m}$

図-4 津波力の比較



(a) 衝撃段波波圧による津波力



(b) 持続波圧による津波力

図-5 最大津波力の比較