

津波が作用する海岸構造物および海底地盤の SPH 法を用いた安定解析

津波 SPH 法 ドラム型遠心力载荷重装置

名古屋工業大学	学生会員	○今瀬達也
同上	国際会員	前田健一
同上	学生会員	坂井宏隆
東洋建設株式会社技術研究所	国際会員	三宅達夫
同上	正会員	澤田豊
同上	正会員	角田紘子

1. はじめに

世界的に甚大な被害をもたらす津波災害に対し、被害を最小限に抑える対策は重要であり、我が国においても急務である。過去の被害報告では津波と海岸構造物の相互作用に注目するケースが多い。しかし、稲富らによる北海道南西地震で発生した津波被害報告では、防波堤などの海岸構造物の被災は、防波堤直下の捨石マウンドや地盤が津波力の作用により変形することに起因すると指摘されている¹⁾。

そこで本研究では、津波および海岸構造物、そして海底地盤の相互関係に着目した実験および解析手法の確立に取り組んでいる。実験においてはドラム型遠心力载荷装置(東洋建設株)を用いて津波実験を行い、津波・構造物・地盤の相互関係に着目した検証を行った。数値解析では、手法として宇宙物理より発達した Smoothed Particle Hydrodynamics²⁾(以下、SPH 法と呼ぶ)を用い、支持地盤の洗掘・侵食、液状化による不安定化、それに伴う構造物の転倒・滑動が予測可能な解析手法の開発を試みた。さらに、流体挙動の検証を目的とし、数値波動水路³⁾(以下、CADMAS-SURF と呼ぶ)を用いた。

2. 遠心模型実験

2-1. 実験概要

本研究では、東洋建設株鳴尾研究所が所有するドラム型遠心力载荷装置を用いて実験⁴⁾を共同で行っている。実験装置の概要図を図1に示す。実験の詳細については参考文献4を参照されたい。

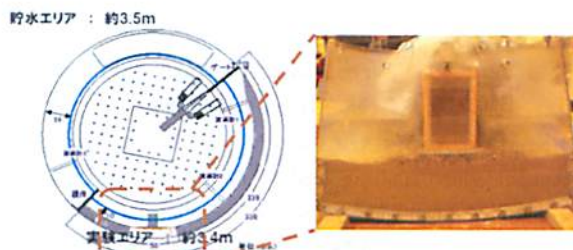


図1 実験装置概要(左)と実験模型(右)

2-2. 実験結果

本稿で示す実験ケースは、ビーム型遠心力载荷装置において 200[gal]の地震動を海岸構造物模型に与え、その後、ドラム型遠心力载荷装置を用い 70G 場において最大津波波高約 3[m]程度の津波力を再現し、構造物に与えたものである。図2に、実験時に撮影した画像の経時変化を示す。特に、第1波目に注目してみると、津波が防波堤を越波する時点(最大重複波)で、防波堤が並進運動を起こすことがわかった。

また、捨石マウンドの変形に着目すると、捨石マウンド内を移動する津波流により、防波堤後方(岸側)の捨石マウンドの噴出が顕著にみられた(図2内赤丸)。同時にマウンド下の地盤表層が流出する現象を確認した。

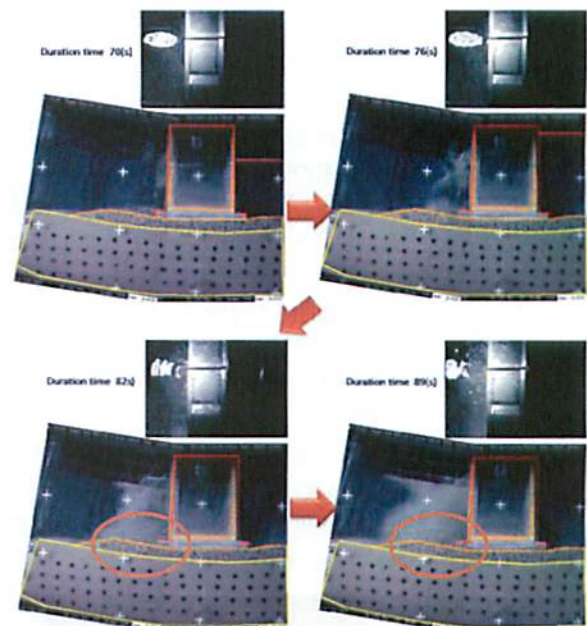


図2 津波襲来時の防波堤周辺の様子

次に、海底地盤の安定性に着目した。指標として過剰間隙水圧比を算出している。算出にあたって、実験時に地盤内に設置した間隙水圧計の圧力増分(Δu)と Boussinesq の近似解により算出した地盤内の初期有効応

力 (σ) の比を用いており、その結果を図 3 に示す。津波襲来時には、防波堤後方 (岸側) が 1.0 (赤色部分) に近い値となり、非常に大きなダメージを受けていることがわかった。防波堤直下においては、防波堤や捨石マウンドの上載荷重があるため、特に変動がみられない。

今回は、大きな変動モードが現れなかったが、防波堤を挟んで前後に大きな影響を与えているため、何らかの対策を講じるなど注目する必要があるのではないかと考える。

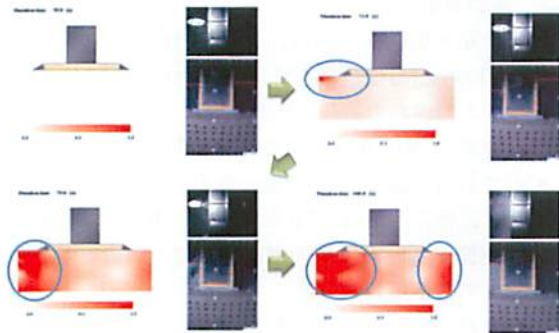


図 3 津波襲来時の過剰間隙水圧比変化

3. SPH 法による解析

3-1. SPH 法とは

SPH 法は宇宙物理の分野から発達した粒子法ベースのラグランジュ的解析手法である。本手法の特徴としては、連続体を粒子素片と呼ばれる粒子塊として扱っており、有限要素法のように広範囲の領域において解析が可能である。また、同時に粒子としての特徴を有するため、流動や侵食などのダイナミックな現象を再現することが可能である。現在までに、ベンチマーク指標としてダムブレイク実験と比較し、定量的に再現性が取れている。

3-2. 津波の解析

本稿では、図 4 に示す解析領域にてダムブレイクにより津波力を発生させ、防波堤および捨石マウンドへの作用をシミュレートした。初期水位差は 3[m]、粒子素片 0.2[m]、マウンド内透水係数 $k=1.0 \times 10^4$ [cm/s] としている。但し、本ケースでは、防波堤および捨石マウンドの位置は固定しており、変形しないものとしている。

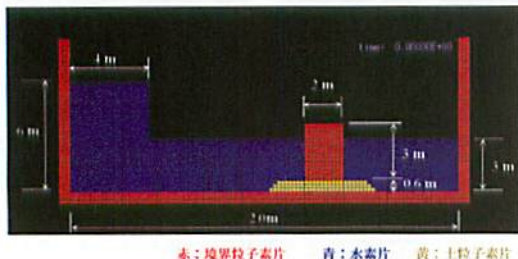


図 5 解析領域と寸法

また、CADMAS-SURF においても同じ条件で解析を行い、比較検討を行った (図 5)。CADMAS-SURF は海岸工学分野において、2 次元水路実験に変わりうる手法と

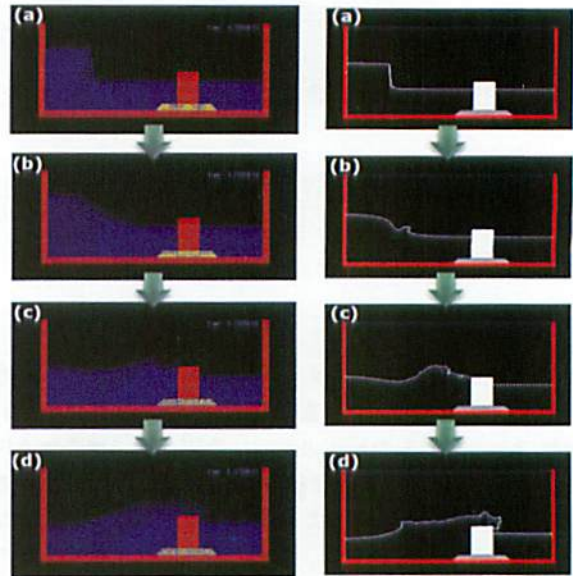


図 4 SPH 法 (左) と CADMAS-SURF (右) による経時比較 (a) - (d)

されており、定性的、定量的な現象再現の信頼性が非常に高い。その手法と SPH 法における解析を比較した結果水柱の崩壊から防波堤を越波する様子、さらに透水性の高いマウンド内を津波が移流する現象など定性的に非常により結果を示すことができた。

4. 結論

今年度、ドラム型遠心力载荷装置における津波実験を確立させることができ、防波堤の滑動や捨石マウンド・海底地盤の噴出を可視化表現することができた。また、過剰間隙水圧比を算定した結果、防波堤を挟んで沖側・岸側ともに、津波によって地盤が劣化することがわかった。さらに、SPH 法において防波堤や捨石マウンド内を移動する流体挙動を定性的に表現することができた。防波堤や捨石マウンド、海底地盤の変形モードを考慮した解析の結果については、紙面の都合上省略した。

5. 参考文献

- 1) 稲富ら: 1993 年北海道南西沖地震による港湾施設被害報告, 港湾技研資料, No.791, pp.38-64, 1994.
- 2) K. MAEDA, H. SAKAI and M. SAKAI: Development of seepage failure analysis method of ground with smoothed particle hydrodynamics, *Journal of structural and earthquake engineering*, JSCE, Vol.23, No.2, pp.307-319, 2006.
- 3) (財) 沿岸開発技術研究センター: 数値波動水路の研究・開発, 沿岸技術ライブラリー, No.12, 2001.
- 4) 三宅ら: 津波を受けるケーソン式防波堤の安定性に関する遠心模型実験, 第 44 回地盤工学研究発表会講演集, 2009.