

鋼矢板と蛇籠による防波堤補強工法の耐震性に関する解析的検討

名古屋大学 (学) ○服部達哉 (正) 山田正太郎 (フェロー) 野田利弘
九州大学 (正) ハザリカ ヘマンタ

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震以降、南海トラフ巨大地震への対策として現在、地震と津波の複合被災による防波堤の損壊を軽減するため、基礎（基礎石+蛇籠）と被覆工（礫+蛇籠）で構成された蛇籠マウンドと鋼矢板を併用した防波堤補強工法が提案されている¹⁾。本研究では水～土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**²⁾を用いて解析を実施し、鋼矢板と蛇籠マウンドが耐震性向上に果たす効果を明らかにしていく。

2. 解析条件

鋼矢板と蛇籠による防波堤補強技術の耐震性を評価するため、ハザリカから¹⁾により振動台模型実験が行われている。本研究ではこの模型実験を参考に解析条件を決定した。実験と同様に Case1:無補強, Case2:蛇籠による補強, Case3:蛇籠と鋼矢板(2枚)による補強, Case4:蛇籠と鋼矢板(4枚)による補強の4ケースの地震時挙動を解析的に検討した。

2.1.有限要素メッシュおよび材料パラメータ

本研究で用いた有限要素メッシュおよび境界条件を図1に示す。寸法は模型寸法をそのまま用いた。寸法および境界条件は図に示す。解析断面(図1)は水平成層地盤上に、マウンド、ケーソン、被覆工蛇籠の順に有限要素メッシュを追加することで作成した。これらは2日で10mmずつ追加した。Case2~4に関してはケーソンを追加した後にさらに被覆工を図1に示す位置に追加した。その後水位を地表から210mmまで10mm/hourの速さで上昇させ、24時間圧密放置させた。被覆工と蛇籠マウンドは、該当部の節点間に距離不変の制約条件を与えることで表現した。鋼矢板は同様に該当する部分の節点間に距離不変と角度不変の制約条件を加えることで表現した。

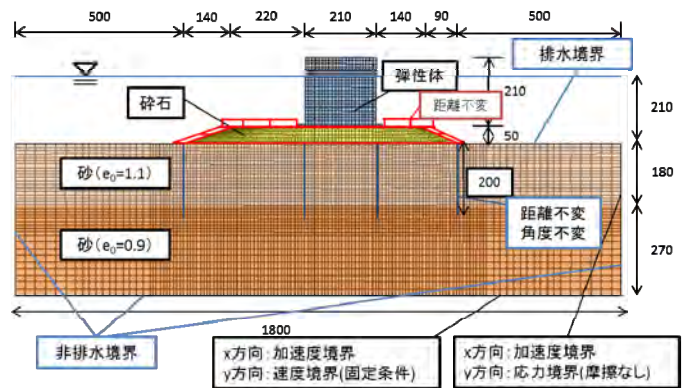


図1 有限要素メッシュと境界条件

表1 材料定数と初期値

	砂(密)	砂(ゆる)	砕石
透水係数 $k(\text{cm/s})$	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.650	2.650	2.773
<弾塑性パラメータ>			
圧縮指数 λ	0.050	0.050	0.053
膨潤指数	0.012	0.012	0.003
限界状態定数 M	1.00	1.00	1.70
NCLの切片 N	1.98	1.98	1.83
ポアソン比 ν	0.30	0.30	0.35
<発展側パラメータ>			
構造劣化指数 $a(b=c=1.0)$	2.2	2.2	2.2
正規圧密土化指数 m	0.06	0.06	0.10
回転硬化指数 b_r	3.5	3.5	3.5
回転硬化限界面 m_b	0.70	0.70	0.96
初期比体積 v_0	1.900	2.100	1.712
初期過圧密比 $1/R_0$	1.67	1.67	1.0
初期異方性の程度 ζ_0	0.0	0.0	0.0
初期側圧係数 K_0	0.6	0.6	0.6
ケーソン			
ヤング率 $E(\text{kN/m}^2)$	3.0×10^7		
ポアソン比 ν	0.30		
比重 G_s	2.300		

2.2.入力加速度および境界条件

本研究で用いた材料定数と状態変数の初期値を表1に示す。基礎地盤は珪砂6号の材料定数を基に、模型実験と同じ層厚で2層系の地盤を与えた。間隙比は下層を0.9, 上層を1.1とした。マウンド部と被覆工の材料定数および初期値は、模型実験に用いた砕石6号の圧密非排水三軸試験の結果³⁾を珪砂6号に対して決められた材料定数に変更を加えることで決定した。ケーソン部は弾性体で表現し、一般的なコンクリートの材料定数を用いた。入力加速度は模型実験を踏襲し、振幅400Galで15Hzの正弦波とした。振動の継続時間は16秒とした(実験における加振時間は8秒間であるが、より明確な違いを出すために倍の時間加振を行った)。解析の境界条件は剛土槽を再現するために、底面と側面のx方向は加速度境界、底面のy方向は速度0の速度境界、側面のy方向は摩擦なしを想定した応力境界とし、加振時には底面と側面の加速度境界に上記正弦波を入力した。

3. 解析結果

ケーソンの時間と重心沈下量の関係を図2に示す。重心沈下量を見ると補強の程度が強くなっていくほど(Case1から4の順で)沈下量は小さくなっている。無補強では明らかに沈下量が大きく、蛇籠補強のみでも半分以下に抑えられ

キーワード 防波堤, 補強, 蛇籠, 鋼矢板, 数値解析

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院 工学研究科 TEL052-789-4621

ている。また、蛇籠と鋼矢板4枚による補強では無補強時の90%の沈下を防ぐ効果が見られた。なお、加振開始から8秒経過時点での沈下量を模型実験で得られた値¹⁾と比較してみると、比較的近い値を示している。

加振終了時のケーソン上端の沈下を図3に示す。鋼矢板が入ることで不等沈下を抑制できることが分かる。

加振終了時のマウンド左右両端直下の鋼矢板の位置の水平変位を図4に示す。水平変位を見ると、Case3と4では鋼矢板が入っていることで明らかに水平変位が小さくなっている。また、間隙比が小さく硬い基礎地盤下層の位置ではいずれも水平変位が小さくなっている。一方、マウンド法尻部ではCase1の無補強のみ水平変位が大きく発生している。これはCase1以外において蛇籠マウンドを表現するために与えたマウンド底面の距離不変の制約条件の効果が表れていることを意味する。また、水平変位が大きいケースでは沈下量も大きくなっていることから、側方流動がケーソンの沈下の主因であり、鋼矢板によって側方流動が抑えられた結果、沈下が抑制されたことがわかる。

加振終了時のせん断ひずみの分布を図5に示す。無補強時に基礎地盤上層でX字に卓越したひずみ領域が発生し、円弧状の滑り破壊を生じかけていることがわかる。蛇籠による補強をすることでケーソン直下のひずみが減少し、鋼矢板による補強を加えるとひずみが顕著に抑えられることが分かる。マウンドの変形に着目して見ると、無補強の場合、マウンド部が大きくたわんでいることがわかる。鋼矢板の入っていない蛇籠による補強のみのケースを見ると、マウンドの外側の基礎地盤に大きな変形が見られる。これは、蛇籠による拘束効果でマウンド部の変形が抑えられ、マウンドが一つの構造体として挙動するようになった結果、ケーソンの重量による偏心作用で不等沈下が発生したためであるとえられる。鋼矢板が入っているケースではマウンドの外側の変形はそれほど見られず、基礎地盤の変形を抑える効果が見られる。

4. まとめ

蛇籠による補強でマウンド部の変形が抑制できることを解析的に示した。また、基礎地盤の変形を抑えるためには、矢板を入れるなど基礎地盤自体への対策が必要であることを示した。

謝辞 本研究は日本鉄鋼連盟の鋼構造研究・教育助成事業の重点テーマ研究助成を受けて実施した。

参考文献 1) ハザリカラ(2013): 鋼矢板と蛇籠マウンドによる防波堤の耐震・耐津波補強工法の構築, 2013年度鋼構造研究・教育助成事業研究発表会報告資料。2) Noda, et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-slay model, *S&F*, **45**(6), 771-790。3) 原ら(2013): ケーソン式防波堤マウンドのせん断特性に関する考察, 地盤工学会四国支部平成25年度技術研究発表会講演概要集。

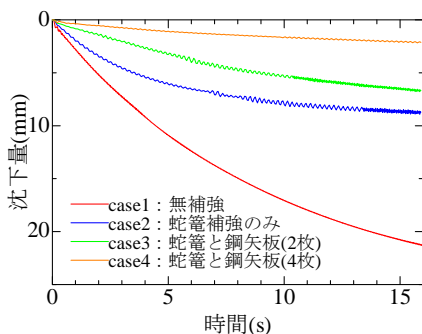


図2 重心沈下量

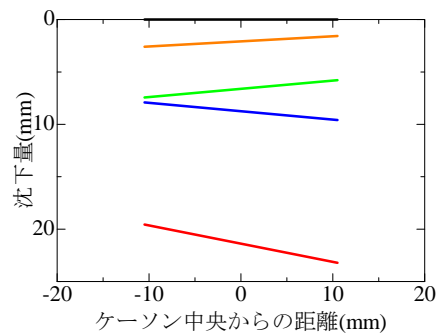


図3 ケーソン上端沈下量

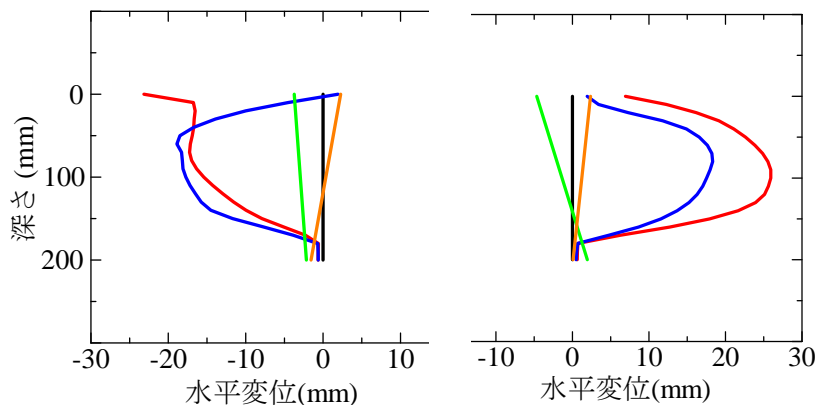


図4 水平変位

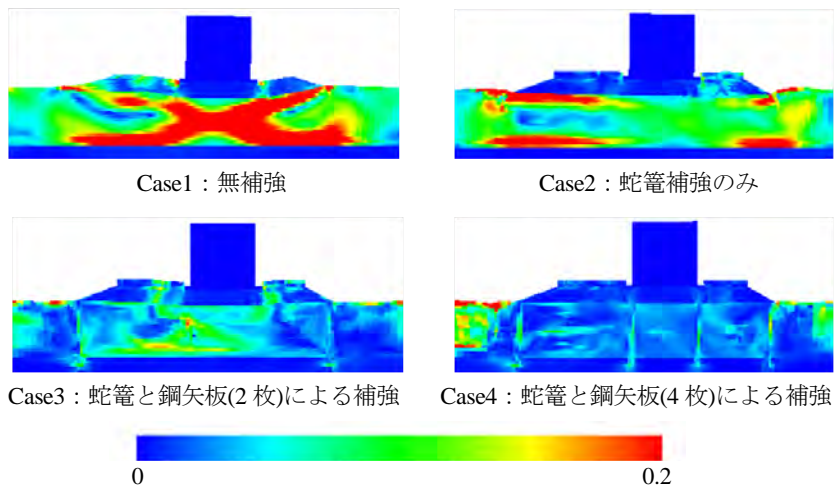


図5 せん断ひずみ分布