

実大振動台実験による蛇籠擁壁の耐震性評価 (その3)
- 蛇籠擁壁の安定に対する解析的評価 -

蛇籠, 実大振動台実験, 解析

株式会社CPC
高知大学
株式会社エイト日本技術開発
防災科学技術研究所
佐賀大学

正会員 ○西 剛整
国際会員 原 忠, 学生会員 柴原 隆
正会員 木村 瞬, 栗林 健太郎
国際会員 中澤 博志
国際会員 末次 大輔

1. はじめに

前報その1¹⁾, その2²⁾では, ネパール国における擁壁を含めた蛇籠の多用性とその用途の代表例である蛇籠擁壁の2015年ゴルカ地震後の現地被災状況, 及びこれを考慮した蛇籠擁壁の安定性に関する振動台実験について示してきた。その中で, 直立1列壁よりも2列を配置した方が安定することを残留変位の観点から示している。

本報その3では, その定量的評価のための基礎資料を得ることを目的とし, まず背面に盛土を有さない蛇籠擁壁単体に対する振動特性³⁾について実験結果との比較, 検討を行った結果を報告する。また, 蛇籠擁壁に対する背面土圧の影響を評価するために, 直立1列壁構造に対して施工段階を考慮した静的解析による直列壁を有する蛇籠擁壁の安定性についての考察についても合わせて示す。

2. 蛇籠単体に対する動的解析

(1) 解析条件

蛇籠擁壁の振動特性について, 本報に示す実験に先立って蛇籠単体の振動特性を評価するために, 背面に土を有さない蛇籠の直列壁のみを対象とした振動台実験が実施されている³⁴⁾。ここでは, この蛇籠単体のモデルに対しての模擬解析を行った。実験に用いた蛇籠擁壁は, 前報1)2)に示す直立1列壁と同様であり, 1.0m×1.0mの蛇籠を3段に積み重ねたものである。

解析は, 有限要素法(FEM)による動的解析とした。解析モデルは右図-1のようなものであり, 中詰材を金網で囲うようなモデルを考えた。金網は, 径φ3.2mm, 単位奥行あたり7本/mの条件で断面積と断面二次モーメントを求めた⁵⁾。中詰材と金網はジョイント要素により接合しており, また積み重ね位置の金網間にもジョイント要素を設けた。ジョイント要素のせん断剛性は,

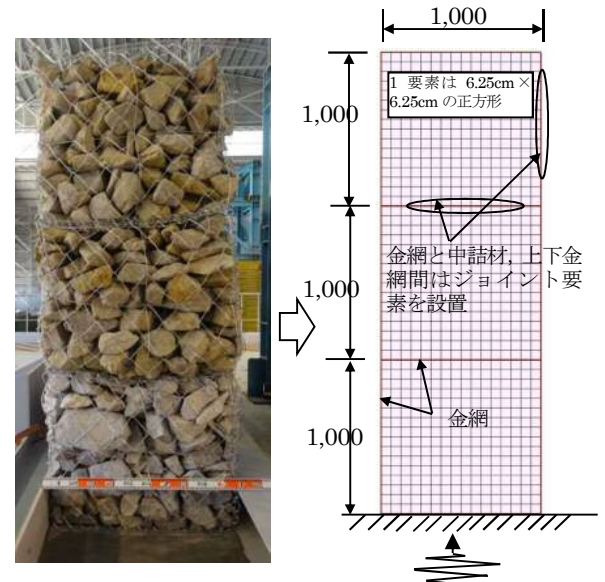


図1 解析モデル(蛇籠単体モデル)

は, 中詰材-金網間に対して $1.0 \times 10^7 \text{ kN/m}$ とし, 金網間は $1.0 \times 10^4 \text{ kN/m}$ を採用した。粘着力は0, 摩擦係数は文献4)を参考として $\mu = 0.949$ を仮定した。

中詰材の動的物性値の内, せん断弾性波速度 V_s は, 150m/s, 180m/s, 200m/sの3パターンを設定し, 解析の結果と実験値の比較より $V_s = 180 \text{ m/s}$ を採用した。中詰材はR-Oモデルにより非線形性を考慮した。R-Oモデルのパラメータとして, 最大減衰率 h_{\max} は文献3)に示される蛇籠擁壁のせん断応力と変形量/壁高で得られるせん断ひずみの履歴曲線より, そのループの面積から得られる減

衰率から求めた。基準ひずみは, 5.0×10^{-5} を仮定した。

(2) 解析結果

解析は, ホワイトノイズ波及び正弦波(最大加速度65gal, 257gal)のケースについて実施した。図2は, ホワイトノイズ波入射時の蛇籠天端での応答加速度について, 中詰材の $V_s = 150 \text{ m/s} \sim 200 \text{ m/s}$ の条件で実施したときの天端応答加速度と入力波のフーリエスペクトル比(応答値/入力値)を実験結果と比較したものである。ホワイトノイズの最大加速度は20gal程度程度である。実験結果は解析結果よりやや大きい応答値を示しており, ここでは比較のしやすさを考慮して実験結果に対しては縦軸を1/2とした。

表1 中詰材の物性値

名称	ポアソン比 ν	弾性波速度 $V_s(\text{m/s})$	せん断剛性率 $G_0(\text{kN/m}^2)$	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	非線形特性	
					基準ひずみ γ_r	最大減衰率 h_{\max}
中詰材	0.450	180.0	52862	16.0	5.00E-05	0.20

図2より、実験結果は4Hz程度にピークがあり、18Hz程度に2番目のピークが現れる。中詰材のVs=180m/sの条件では、この2つのピークを適切に表現できていると判断される。条件で示したVs値はこのようにして設定したものである。

図3は、ホワイトノイズ波による天端加速度の時刻歴を5秒～10秒について示したものである。実験結果はノイズ除去のために20Hzのローパスフィルタ処理を行っている。解析結果は実験結果と比較してやや応答が小さいが、波形の傾向はほぼ一致している。図4は正弦波（入力最大加速度65gal及び257gal）に対する天端位置での加速度波形を実験結果と解析値について比較したものである。65galの解析結果は、ほぼ実験結果と一致している。一方、257galの結果は、実験結果と比較して解析結果はかなり大きい応答値を示す。文献3)で示したように、入力加速度が大きくなると壁体の残留変形や中詰材の孕み出しが大きくなり、非線形性がより顕著になる。このため、中詰材間の摩擦、中詰と金網の摩擦に加え、金網間の摩擦に依存する減衰効果はかなり大きくなったものであり、このため応答値が低下したものである。

3. 直立壁の安定に対する解析的検討

前報¹⁾²⁾に示す直立1列壁について、地震動加振前の応力状態を確認することを目的として静的解析を行った。解析は、対象擁壁の施工手順を考慮した施工段階解析とした。すなわち、基礎地盤の設置→1断面の蛇籠設置→1段目蛇籠背面の盛土→2段目蛇籠設置→背面盛土→3段目蛇籠設置→背面盛土、の手順で解析を実施した。解析に用いた物性値を表2に示す。中詰材及び背面土は弾性体とした。中詰材の弾性係数は、中詰材の相似粒度材料の三軸圧縮試験結果⁹⁾より、E₅₀相当として設定した。中詰材及び基礎地盤については、用いられたまさ土の三軸圧縮試験結果より、対象地盤の平均的な拘束圧条件下でのE₅₀相当の値として設定した。

図5に解析による最大主応力の分布図を示す。前報²⁾では、直立壁は蛇籠擁壁の変形（前方への傾斜）が振動により累積することを示した。図5の結果は擁壁のつま先部の初期段階で大きな応力が作用し、また、背面地盤の下端でも大きな応力が作用することがわかる。これは擁壁が転倒モードになりやすいことを意味しており、擁壁のみならず背面地盤も不安定になりやすい傾向にあることがわかる。よって、安定性を保つにはこのつま先部の応力の低減に着目した検討が必要と考える。

4. おわりに

本研究より、蛇籠擁壁の振動特性に対して、ある程度解析的評価が可能と考える。今後、主に減衰定数に着目して解析の精度を高めるとともに、蛇籠背面土をモデル化した解析を行い、背面地盤を有する実際の蛇籠擁壁の挙動に対する定量的評価を行っていく予定である。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(基礎研究B(一般)16H04413 および基礎研究B(海外学術調査)16H05746)の助成を受けたものです。関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】1)木村他, 実大振動台実験による蛇籠擁壁の耐震性評価(その1) - 実験概要 -, 第53回地盤工学研究発表会, 2018(投稿中), 2)柴原, 原他, 実大振動台実験による蛇籠擁壁の耐震性評価(その2) - 挙動と残留変位 -, 第53回地盤工学研究発表会, 2018(投稿中), 3)柴原他, 大型振動台実験による実大蛇籠擁壁の振動特性(その1) - 実験概要 -, 平成29年度地盤工学会四国支部技術研究発表会, 2017, 4)田所他, 大型振動台実験による実大蛇籠擁壁の振動特性(その2) - 振動特性と緊結効果の評価 -, 平成29年度地盤工学会四国支部技術研究発表会, 2017, 5)栗林他, 蛇籠擁壁の耐震性評価手法の検討(その3) - 再現解析による評価 -, 第72回土木学会年次学術講演会, 2017, 6)田所他, 蛇籠擁壁の耐震性評価手法の検討(その1) - 中詰め材の要素試験 -, 第72回土木学会年次学術講演会, 2017

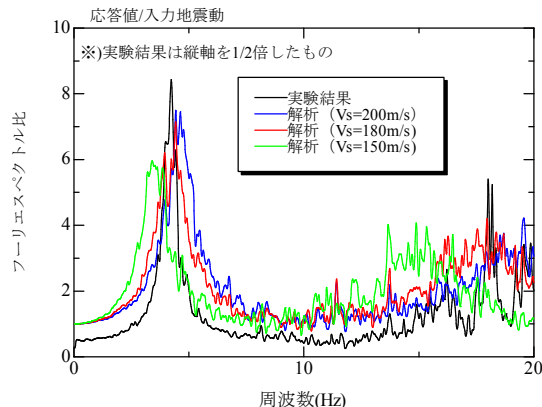


図2 ホワイトノイズ波のフーリエスペクトル比

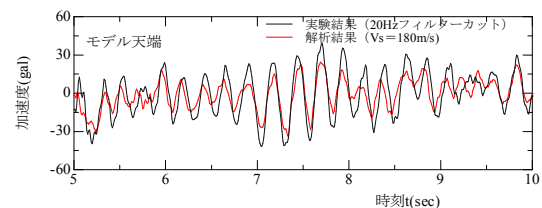


図3 ホワイトノイズ波による天端応答加速度

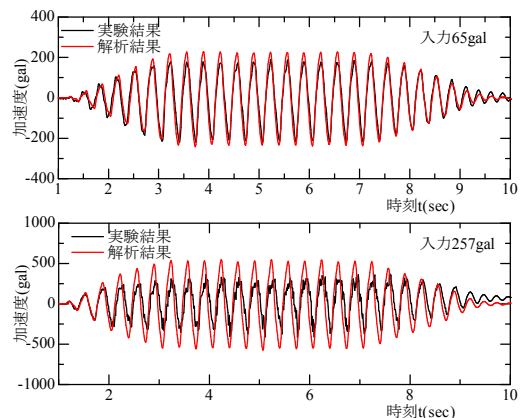


図4 正弦波加振時の天端応答加速度

表2 直立1列壁解析時の地盤物性

名称	ポアソン比 ν	せん断剛性率 G(kN/m ²)	ヤング率 E(kN/m ²)	単位体積重量 γ(kN/m ³)
中詰材	0.330	1880	5000	16.0
背面土	0.330	5639	15000	20.0
基礎地盤	0.330	7519	20000	20.0

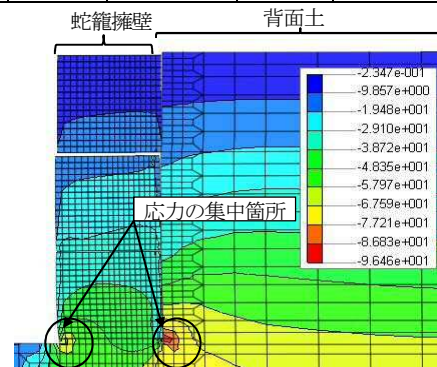


図5 解析による最大主応力(σ₁)分布(変形倍率10倍)