崩壊防止ネットと地山補強材で耐震補強された石積み壁の非線形梁ばね解析

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 〇中島 進、加藤 久也、窪田 勇輝(株)複合技術研究所 正会員 三平 伸吾東日本旅客鉄道株式会社 正会員 藤原 寅士良、池本 宏文、鬼頭 和也、橘内 真太郎

1.はじめに 首都圏の鉄道在来線の沿線に土留め壁は20万箇所以上存 在し、石積み壁はその4割超を占める。石積み壁は、壁面に一体性が無く、 地震時に一部の積み石の抜け出しが全体的な破壊に遷移しうるため、耐震 補強が急務である。筆者らは石積み壁の耐震補強工法として、石積み壁前 面に崩壊防止ネットを敷設し、地山補強材を併用することによる耐震補強 工法を開発した¹⁾。本報では、補強効果の評価法として、非線形梁ばね解 析の適用性を検証するために実施した解析的検討の結果について報告する。 2. 崩壊防止ネットと地山補強材による耐震補強工 ットと地山補強材による対策工法の概念図を示す。崩壊防止ネットには、

積み石の抜け出し防止とともに、一体性が低い積み石を拘束する効 果を、地山補強材には背面地盤の安定化効果を期待している。図-2 に補強効果を把握するために実施した傾斜実験、振動台実験の概要 を、表-1に地盤試料の特性をまとめる。傾斜実験、振動台実験とも に同一の模型を使用して実施し、崩壊防止ネットとしてはポリエチ レン製のネットを剛性調整して使用した。傾斜実験の載荷は、毎分

1度の傾斜速度で実施し、振動台実験の加振は最大加速度 約50~100galの増分で模型に大きな変状が生じるま で加振を継続した。図-3に残留変位と水平震度の関係を示 す。無対策では、傾斜実験(Casel)、振動台実験(Case5) ともにkh=0.3程度で崩壊に至ったのに対して、提案工法で 補強した実験では(Case3、Case6)、実験条件の範囲では 石積み壁模型が崩壊に至らず、水平変位も限定的であった。

補強効果を評価する手法として、筆者らは静的解析法と 耐力照査に基づく補強効果の評価法¹⁾に加えて、背面地盤



図-1 対策工法の概要

表-1 地盤試料の特性

	土層	材料	単位重量	せん断 抵抗角	粘着力
			γ	ϕ d	cd
			kN/m ³	度	kPa
	基礎地盤	稲城砂(D=95%)	17.9	33.0	48.9
	背面地盤	東北硅砂6号 (Dr=80%)	15.8	44.1	2.7
	栗石層	鹿島硅砂8-12号	15.7	36.9	0
	ー サーチャージ1kPa				



図-2 実験模型(対策工模型、単位:mm)

の変形量を指標とした動的解析による評価法²⁾を提案した。しかしながら、これらの評価手法の中では、ネットが 破断しないことを前提として、地山補強材が地震時の作用に抵抗すると仮定していた。そのため、石積み壁自体の 抵抗力を無視しているので、補強された石積み壁の補強効果をより適切に評価するための基礎検討として、非線形 梁ばね解析による模型実験の検証解析を実施した。

3. 非線形梁ばね解析 傾斜実験、振動台実験ともに同一の模型諸元であるが、本研究ではまず傾斜実験の再現 解析を試みた。非線形梁ばね解析のモデルを図-4に示す。積み石および基礎は線形部材としてモデル化し、補強材 の抵抗特性を再現するために、①補強材水平ばね、②補強材鉛直ばねを補強材設置個所に付与した。また、積み石 間の相互作用については、③積み石回転ばね、④積み石鉛直ばね、⑤積み石せん断ばねにより再現した。また、背 面地盤との相互作用を再現するために⑥背面地盤水平ばね、⑦背面地盤鉛直ばねを付加した。図-4にはばね特性の 模式図も併せて示した。なお、基礎の抵抗特性については、本試験では基礎の変位が生じなかったため、基礎を固 定とした条件で検討を行った。ここで、①、②の補強材の抵抗特性については、模型実験における実測値を参考と してバイリニア関係でモデル化した。次に、積み石のかみ合わせによる抵抗特性を再現するために、③積み石回転 ばね、④積み石鉛直ばね、⑤積み石せん断ばねを参考文献3)に従い設定した。ここで、③積み石回転ばねについ

キーワード:石積み壁、耐震補強、崩壊防止ネット、地山補強材 連絡先:〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所、TEL 042-573-7261 FAX 042-573-7248

-681-

-341



図-3 残留水平変位と水平震度の関係

ては文献 3) における振動台実験結果に基づく原点対象のバイリニア関係 として、④の積み石鉛直ばねについては引張側には抵抗せず、圧縮側に ついてのみ十分に剛な弾性ばねを設定した。⑤の積み石せん断ばねにつ いては、間知石のせん断試験より設定した近似式によりトリリニア関係 としてモデル化した。⑥の背面地盤水平ばねについては、基礎標準⁴⁾に 準拠して、栗石の変形係数より鉛直方向地盤反力係数を求め、圧縮側に のみ抵抗するバイリニア関係としてモデル化した。

作用については、土槽の傾斜に伴う石積み壁前面方向への荷重増分お よび自重の減少分を考慮した。ここで、荷重増分については、慣性力に 相当する荷重に加えて、地震時土圧に相当する荷重を修正物部岡部式⁵⁾ により算定し、積み石に等分布荷重として作用させた。

傾斜実験における土槽の最大傾斜時点(kh=0.49相当)での変位分布の 実測値と解析値との比較を図-5に示す。なお、変位分布は解析値、実測 値ともに10倍の拡大表示としている。最上部はネットが両端部で地山補 強材により拘束されておらず、積み石が大きく変位したため、実測値が 解析値を上回っているものの、それ以外については解析値は水平変位を



(Case3 実験の変位分布との比較)

概ね安全側に評価しており、非線形梁ばね解析を補強石積み壁の評価に適用しうることが示唆された。

5. まとめおよび今度の課題 崩壊防止ネットと地山補強材により耐震補強された石積み壁の耐震補強工法の補 強効果を、非線形梁ばね解析により評価するための基礎検討として、傾斜実験の再現解析を実施した。解析に当た っては、補強材の引張抵抗の実測値とともに、石積み壁に関する既存の解析的検討例などを参考にしてばね係数を 設定した。その結果、傾斜実験における最大傾斜時点の変位分布を概ね再現できた。今後は、非線形ばね特性が解 析結果に及ぼす影響について感度分析などを行うとともに、三次元モデルへの拡張、動的解析などを行い、設計法 への適用性を検証していきたい。

参考文献 1) 中島ら:崩壊防止ネットと地山補強材による石積み壁の耐震対策, 地盤工学会特別シンポジウム(投稿中), 2014. 2) 窪田ら:崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の大型振動台実験に関する検証解析, 第 69 回土木学会年次学術講演会(投稿中), 2014. 3) 鉄道総合技術研究所編: 石積壁の耐震補強工設計・施工マ ニュアルーピンナップ工法施工マニュアルー, 鉄道総合技術研究所, 2008. 4) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等 設計標準・同解説 基礎構造物, 2012. 5) Koseki et. al.: A modified procedure to evaluate active earth pressure at high seismic loads, Special Issue of soils and foundations, pp.209-216., 1998.