

現場条件に応じた既設石積み壁の耐震補強工法の選定法

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○谷 賢俊、中島 進、太田直之、島田貴文、成田浩明

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 藤原寅士良、細井学、水野弘二

1. はじめに 鉄道施設を構成する構造物の一つである石積み壁は壁面に一体性が無いため、地震時に一部の積み石が不安定化すると、それが全体に伝播して脆性的な破壊に至る恐れがある。このような既設石積み壁に対し、従来は地山補強材を密に打設する方法や石積み壁前面に RC 壁を構築する方法により耐震補強を行っていたが、工事が大規模化しやすいという課題があった。そこで、鉄道総研では過去に、崩壊防止ネットと地山補強材を併用する工法を開発した。さらに、都市部に構築された石積み壁のように、用地の制約により必要補強材長が確保出来ない場合にも適用可能な工法の提案を目的とし、崩壊防止ネットと打設角度を急勾配化した地山補強材を併用する工法について模型振動台実験を実施した。本報では、提案工法に関する模型振動台実験の結果を報告するとともに、提案工法を含めた既設石積み壁に対する耐震補強工法の選定方法を提案する。

2. 提案工法の概要と模型振動台実験結果 提案工法は、過去に鉄道総研が開発をした崩壊防止ネットと地山補強材を用いた工法¹⁾(以下「ネット補強Ⅰ型」という)をもとに、用地の制約条件が厳しい箇所にも適用出来るように地山補強材を長尺化・急勾配化した工法(以下「ネット補強Ⅱ型」という)と、石積み壁前面に H 鋼杭を打設し、支持地盤の抵抗を壁体に伝達することでネット補強Ⅱ型から総補強材長の低減を図った工法(以下「ネット補強Ⅲ型」という)で、これらの補強効果を模型振動台実験によって確認した。図 1 に実験模型の概要図を示す。縮尺は概ね 1/10 とし、自立性の低い背面地盤を想定した。

図 2 に最大水平変位と最大加速度の関係を示す。ネット補強Ⅱ型はネット補強Ⅰ型と同等以上の耐震性を示しており、特に加振レベルが高くなるほど水平変位の抑制効果が高くなることを確認した。これは、補強材の曲げによる抵抗が発揮されたためだと考えられる。補強メカニズムの考察は文献 2 を参考にされたい。また、ネット補強Ⅲ型はネット補強Ⅱ型よりも総補強材長を 4 割程度減らしたことにより最大水平変位は増加したものの、石積み壁下部の変位はネット補強Ⅱ型と比べて顕著な差がなかったことから、H 鋼杭を介して支持地盤の抵抗を壁体に伝達することで総補強材長を低減しうることを確認した。

3. 既存の耐震補強工法の概要 提案工法を含め、レベル 2 地震動に対する既設石積み壁の耐震補強方法として一定の補強効果が確認されている補強工法の概要を図 3 および以下に示す。

(1) 引留め式補強土擁壁³⁾: 自立性を有する背面地盤を対象として、短尺の地山補強材を打設した上で、前面に RC 壁を構築する事で耐震補強を図る工法である。地震時作用に対する抵抗力は地山補強材の引抜き抵抗力である。

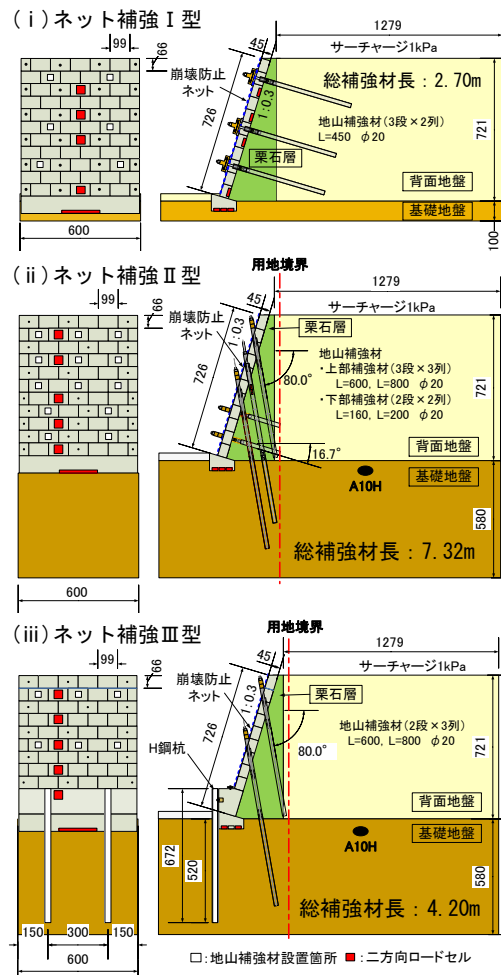


図 1 実験模型の概要(単位:mm)

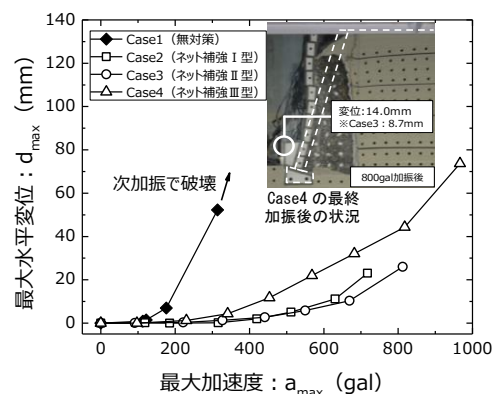


図 2 最大水平変位と最大加速度の関係

キーワード 石積み壁、耐震補強、地山補強材

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所(基礎・土構造) TEL042-573-7261

(2)ピンナップ工法⁴⁾:自立性を有する背面地盤の前面に構築された、主に空積み形式の石積み壁を対象にした工法で、間知石とその背後の栗石を部分的に固化させて一体化させるピンナップ工法Ⅰ型と、固化体をアンカー体により背面地盤に定着させるピンナップ工法Ⅱ型がある。ピンナップ工法Ⅰ型は、固化体構築により、間知石の背面地盤へのもたれ効果を増大させるものである。またピンナップ工法Ⅱ型は、Ⅰ型の効果に加え、アンカー体の引抜き抵抗によって地山と壁との相対変位を小さく抑え、栗石全体の移動を抑制するものである。

(3)ネット補強工法:壁面にネットを敷設して積み石の抜け出しを防止し、地山補強材の併用により背面地盤の安定性を向上させる工法である。背面地盤の安定性や要求性能に応じて補強仕様を広範に調整可能な点が特徴である。一般的な施工条件では、壁面直交方向に補強材を打設することで補強材の引張補強を期待したネット補強Ⅰ型の採用が効率的である。また、用地の制約が厳しい箇所では、ネット補強Ⅱ型や、ネット補強Ⅲ型が適用可能である。

(4)地山補強式補強土擁壁³⁾:非自立性の背面地盤を対象として、引留め式の場合よりも長尺の地山補強材を打設した上で、前面にRC壁を構築する事で耐震補強を図る工法である。地震時作用に対する抵抗力は地山補強材の引抜き抵抗力と、基礎の抵抗力である。

4. 工法選定フローの提案 図4に

石積み壁の耐震補強工法の選定フローを示す。提案フローでは、第一に背面地盤の自立性を円弧すべり安定解析により判定する。想定する地震作用に対して背面地盤に自立性がない場合は、地山補強式補強土擁壁、

もしくは地山の自立性の有無に関わらず適用可能なネット補強工法のうち、要求性能や経済性等の観点から適当な方を選定する。なお、必要補強材長を満足できない場合には、ネット補強Ⅱ型、ネット補強Ⅲ型の適用を検討する。その際、石積み壁前面にH鋼杭を打設することが可能な場合には、地山補強材の打設長を低減することが可能なネット補強Ⅲ型を標準とする。また、想定する地震作用に対して背面地盤に自立性があると判断される場合は、引留め式補強土擁壁、ネット補強工法、適用条件

を満たす場合に限りピンナップ工法が適用可能である⁴⁾。非自立性の背面地盤と比較すると、自立性がある背面地盤の場合は必要補強材長が短くなるが、それでも必要補強材長を確保できない場合には、前面杭の打設の可否に応じて、ネット補強Ⅱ型、Ⅲ型により対応する。なお、ネット補強工法は建築限界に余裕がある場合、ネットの代わりにRC壁を構築して補強土擁壁化を図ることで、耐震性をさらに向上させることが可能である。

5. まとめ 本研究では、用地の制約を受ける石積み壁に対しても適用可能な耐震補強工法として、崩壊防止ネットと急勾配化した地山補強材を併用する工法について模型振動台実験を行い、その補強効果を確認した。また、提案工法を含めた既存の補強工法の特徴を整理し、現場条件に応じた工法選定フローを提案した。

参考文献 1)中島ら:崩壊防止ネットと地山補強材による既設石積み壁の補強方法の開発,土木学会論文集 C, Vol.71, No.4, pp.317-334, 2015 2)谷ら:急勾配補強材を用いた既設石積み壁の耐震補強に関する検証解析,第51回地盤工学研究発表会(投稿中),2016 3)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物,2012 4)財団法人鉄道総合技術研究所:石積み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,2008

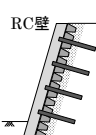
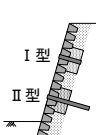
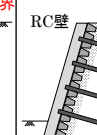
工 法	引留め式補強土擁壁	ピンナップ工法	ネット補強Ⅰ型	ネット補強Ⅱ型	ネット補強Ⅲ型	地山補強式補強土擁壁
概要図						
対象背面地盤	自立性地山		自立性・非自立性地山とも			非自立性地山

図3 石積み壁の耐震補強工法の概要

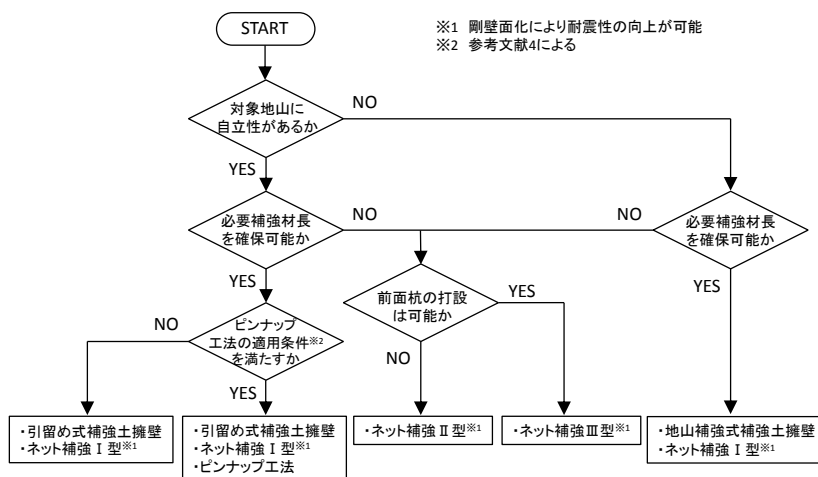


図4 石積み壁の耐震補強工法の選定フロー