

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

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○窪田勇輝 中島進 佐々木徹也 渡辺健治
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 池本宏文 藤原寅士良 鬼頭和也 橘内真太郎

1. はじめに 崩壊防止ネットと地山補強材を併用した既設石積み壁の耐震補強方法の開発に関する実験により崩壊防止ネットおよび地山補強材の有効性を確認し¹⁾、実験結果に基づいて静的な安定解析による補強設計法を提案した²⁾。本研究では、実施工に向けた実証実験という位置付けで実施した縮尺 1/2 の模型による大型振動台実験を対象に、動的解析法を用いて検証解析を実施したので、その結果を報告する。

2. 大型振動台実験の概要 実験模型の概要を図-1に示す。石積み壁の高さは実物高さ5m程度を想定して2.568mとし、1:0.3の勾配で空積み・布積みにより構築した。振動台の加振条件としては、鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計³⁾に示すL2地震動のうちスペクトルⅡ(G2地盤)を相似則に基づき調整したものを用いた。図-2に大型振動台実験および文献⁴⁾に示す中型振動台実験(自立性低・無対策)の残留変位と水平震度の関係を示す。残留変位は当該水平震度における天端近辺ブロックの残留水平変位を構造物高さで除して正規化した値として示した。大型振動台実験においては水平震度 $k_h=0.5$ 付近で変位が増大し始め、加振終了後は正規化水平変位が2%程度となった。また、無対策の場合と比較して対策有の方が水平変位が大きく低下し、耐震性が顕著に向上した。

3. 静的解析法 提案した静的な安定解析法では、崩壊防止ネットの拘束効果により、地震時における石積み壁への作用に対して地山補強材が抵抗すると想定し、補強された石積み壁の内的安定および補強材、ネットに関する検討を行う。図-3に石積み壁の内的安定に関する照査の概略図を示す。滑動安定および転倒安定の検討は鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物⁵⁾に準拠して行う。次に、図-4に崩壊防止ネットの破断に関する照査の概略図を示す。崩壊防止ネットの一般部については、石積み壁の変位に相当する許容たわみ量 f を設定した上で、ケーブル構造のたわみ理論を基本として照査を行う。また、崩壊防止ネットの定着部については、定着プレートにかかるネットの素線数 n にネット部材の素線強度 P_0 を乗じたものと、地山補強材の最大抵抗力を定着部への作用としたものについて照査を行う。

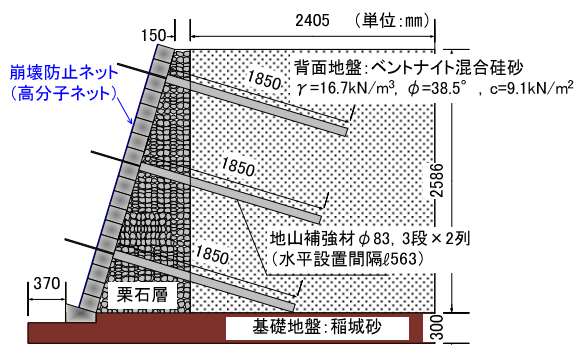


図-1 大型振動台実験の模型概要図

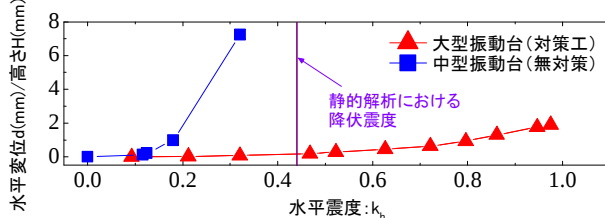


図-2 残留変位と水平震度の関係

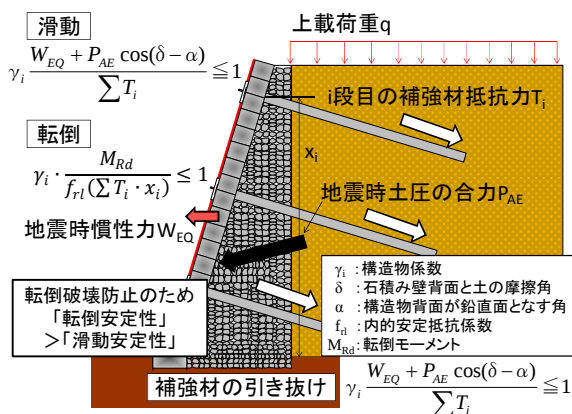


図-3 内的安定に関する照査

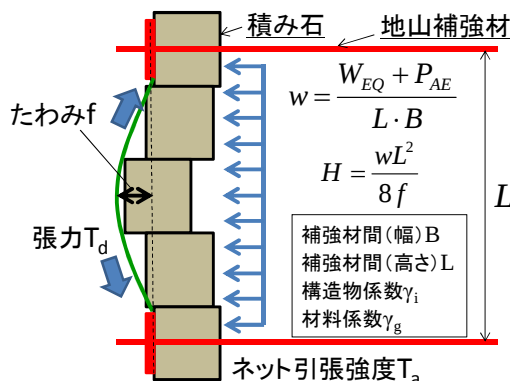


図-4 崩壊防止ネット一般部に関する照査

キーワード 石積み壁, 地山補強材, 崩壊防止ネット, 振動台実験, 動的解析

連絡先 〒185-0023 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) TEL 042-573-7261

大型振動台実験を対象に静的解析法による検討を実施した。円弧すべり安定解析の結果、大規模地震に対しては背面地盤が不安定化すると考えられることから地震時土圧の算定には修正物部岡部法を用い、ピーク時の地盤の強度定数 $\varphi=38.5^\circ$, $c=9.1\text{kN/m}^2$ を $\varphi=45.18^\circ$, $c=0.0\text{kN/m}^2$ に換算した。また、修正物部岡部法における一次降伏震度は 0.2 に設定した。なお、地山補強材の有効定着長はすべり面外を有効とした。解析の結果、降伏震度が $k_{hy}=0.44$ となったが、これは水平震度 $k_h=0.5$ 付近で水平変位が増大し始めるという実験結果と概ね整合するものであった。

4. 動的解析法 石積み壁の地震時挙動は、盛土と同様に一方方向（石積み壁前面方向）に変位が累積しやすい。このため、石積み壁の地震時残留変位量は地震動の大きさだけではなく、降伏震度を超える地震動の作用回数や継続時間の影響を大きく受ける。一方で、残留変位量を評価しようとする場合、コンクリート壁面を有する抗土圧擁壁と異なり、石積み壁に一体性が無いために本来は個々の積み石について運動方程式を解く必要がある。しかしながら、本工法で補強された石積み壁はネットの拘束効果により、石積み壁が一体的に挙動するために、地震時残留変位量の算定に当たっては、ニューマーク法⁵⁾を適用することとした。ただし、補強された石積み壁全体の水平変位に加えて、個別の積み石がはらみ出す挙動についても考慮する必要がある。以上より、図-5に示すように石積み壁の水平変位に静的解析法で設定したはらみ出し量を加算して、背面地盤の変形量（＝沈下量）を評価することとした。

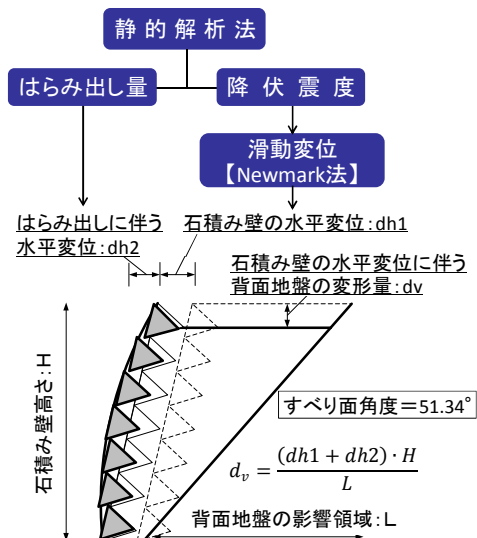


図-5 背面地盤変形量の算定フロー

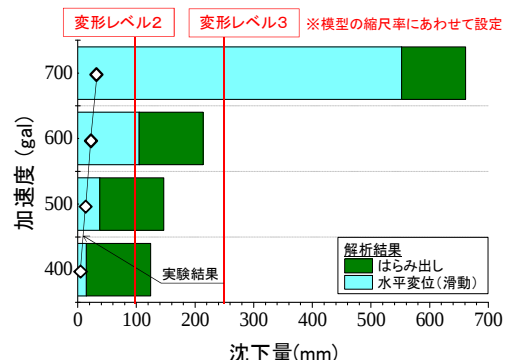


図-6 背面地盤沈下量の算定結果

静的解析法により設定した補強仕様に対して、動的解析法を用いて背面地盤の沈下量を算定した。水平変位の算定にあたっては、設計地震動として大型振動台実験で用いた地震波を使用した。また、はらみ出し量はケースによらず一定とし、静的解析法においてネット一般部の照査に用いた値である、積み石幅の 1/2 に相当する 87.5mm を設定した。背面地盤沈下量の算定結果を図-6に示す。なお、文献3)では、盛土の変形レベルについて、残留変位の発生状態に伴う補修・補強等の修復行為の難易度を考慮し、盛土の要求性能の水準に応じて適切に考慮して設定することとしている。実験結果では全ての加振レベルにおいて変形レベル2（軽微な被害）にとどまっていたが、動的解析により算出した結果では、600gal 加振までは変形レベル3（応急処置で復旧が可能な被害）相当の沈下量であり、700gal 加振で変形レベル4（復旧に長時間を要する被害）に達している。以上より、石積み壁背面地盤の沈下量の照査において、動的解析法では、実験結果と比較して安全側に照査しうることが把握できた。

5. まとめ (1) 大型振動台実験を対象とした静的解析により、降伏震度が $k_{hy}=0.44$ と算出されたが、これは水平震度 $k_h=0.5$ 付近で水平変位が増大し始めるという実験結果と概ね整合するものであった。(2) ニューマーク法を用いた動的解析により、補強された石積み壁の背面地盤の沈下量を算出した結果、実験結果と比較して安全側に照査しうることが分かった。(3) この理由として、積み石のはらみ出し量が背面地盤の沈下量に与える影響を安全側に考慮していること、崩壊防止ネットの拘束効果や積み石間の抵抗を考えていないこと等が考えられるため、今後は、補強材および背面地盤を質点および非線形性を考慮した梁・バネでモデル化することにより、積み石および地盤の挙動を精緻に評価し、変形性能も考慮した解析を行うことで、解析手法の精度向上を図りたい。

参考文献 1) 池本宏文 他：崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の耐震補強方法に関する大型振動台実験，第49回地盤工学研究発表会，2014 2) 窪田勇輝 他：崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の補強設計法に関する検討，第49回地盤工学研究発表会，2014 3) 国土交通省鉄道局 監修，鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，2012 4) 窪田勇輝 他：崩壊防止ネットと地山補強材による石積み壁の補強方法に関する傾斜実験および振動台実験，ジオシンセディックス論文集，第28巻，2013 5) 国土交通省鉄道局 監修，鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物，丸善，2012