

大型振動台実験による組積構造の盛土式乗降場の崩壊形態の検証と 内的安定照査法による崩壊形態の再現解析

鉄道総合技術研究所 (正) ○杉山 健太 阿部 慶太 讃岐 賢太

(正) 中島 進 石井 秀憲 白根 岳

東日本旅客鉄道 (正) 滝沢 聡 野本 将太 竹谷 勉 金城 雄也

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、組積構造の盛土式乗降場に、笠石の滑動、背面盛土の沈下、石積み擁壁の崩壊等の被害が発生した。このような被害が発生すると、擁壁を構成していた積み石が線路上に散乱し列車の走行安全性に影響を及ぼす上、ホーム上の旅客の安全性にも影響する。そのため、地震時の列車走行安全性と旅客に対する安全性向上を目的とした、組積構造の盛土式乗降場の崩壊機構の検証及び耐震補強工法の開発が求められる。崩壊機構の検証では、既往研究¹⁾²⁾で、図1に示すような実在する組積構造の盛土式乗降場の1/3スケールの小型模型実験による検証が行われている。その結果、変形開始時の水平震度と変形モードが、盛土式乗降場の形状によって異なることが分かった。筆者らは³⁾内的安定照査法を構築し、この手法により変形開始時の水平震度と変形モードを概ね再現可能であることを確認した。内的安定照査法の概要を図2に示す。各段の積石下端の支点からの距離を乗じたモーメントを用いて転倒の計算を行う。滑動も同様に各段の積石下端からの作用と抵抗の計算を行う。図3に実験で確認された変形開始時の水平震度と安定照査で求めた降伏震度（支点での安全率が1となる最小の水平震度）の関係を示す。図2中には後述する棒状補強材とアングル材で補強したケースも示すが、内的安定照査法で評価できることを確認した。

本研究では実物大の補強された組積構造の盛土式乗降場模型を構築し、大型振動台実験を行うことで補強効果を検証するとともに、実験で確認された変形開始時の水平震度と変形モードが内的安定照査法を用いて再現可能であるか検証を行った。

2. 大型振動台を用いた模型実験

図4に構築した模型の断面図と側面図を示す。模型（積石：モルタル製、目地：空積み、背面盛土・前面地盤：Dr80%6号硅砂、支持地盤：Dc80%稲城砂）は、棒状補強材を打設し、線路方向にアングル材を連結するとともに、組積壁前面を崩壊防止ネットで覆った実物大の組積盛土式ホームを模したものである。ただし、実験に用いる土槽のサイズの制約から補強材長を2.0mとし、奥行方向の制約から、線路方向の長さを実際の1/2の250mmにしている。

図5に、大型振動台実験での鉄道耐震標準におけるL2スペクトルII地震動（G2地盤）加振後の模型の状況を示す
キーワード 盛土式乗降場、大型振動台、内的安定、耐震補強

〒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 基礎・土構造 TEL 042-573-7261

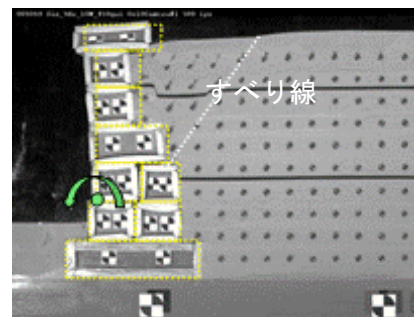


図1 模型実験での崩壊形態^{1) 2)}

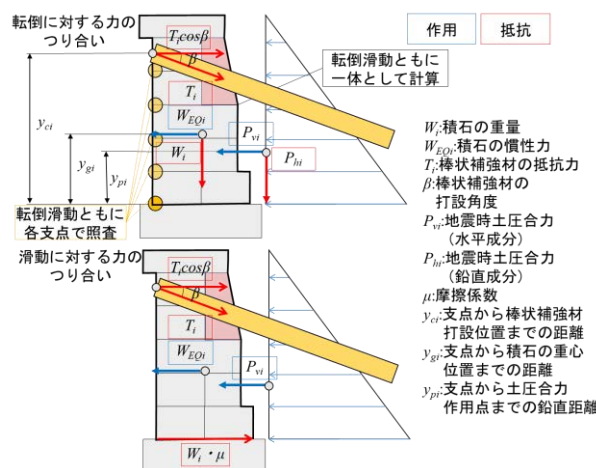


図2 内的安定照査手法の概要

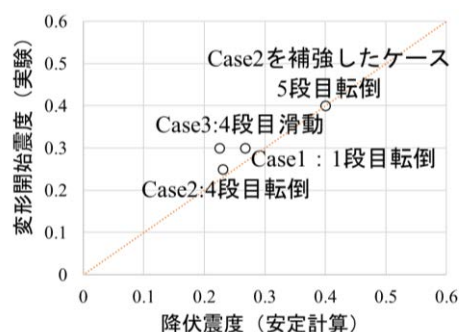


図3 実験での変形開始時の水平震度と解析から求めた変形開始震度の関係³⁾

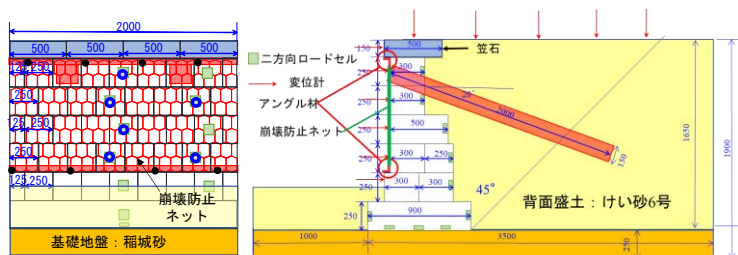


図4 大型振動台実験模型の側面図

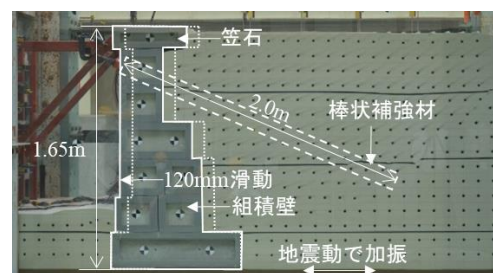


図5 大型振動台実験加振後の状況

す。5段目の積み石で滑動変位するものの、前面への転倒崩壊が回避されるとともに、前面への変位量は120mm程度であった。大地震時においても、棒状補強材、アングル材、前面防護による補強を行うことで、組積構造の盛土式乗降場の崩壊を防ぐことが確認された。

3. 内的安定照査法による変形開始時の水平震度と崩壊形態の再現

内的安定照査法によって、模型実験で見られた変形開始震度と崩壊形態を再現できるか検証を行った。解析モデルは実験に用いている実物大スケールの補強したモデルを用いて、応答加速度を考慮しつつ、設計水平震度 $k_h=0.05\sim 1.0$ に対して転倒と滑動の照査を行い、何段目が最も厳しくなるか検討を行った。表1に各段の安全率が1になるときの水平震度（降伏震度）を示す。その結果、5段目の転倒から変形が始まり、その際の降伏震度は0.4となることが分かった。

模型実験では、レーザー変位計（以下変位計とする）と高速カメラで撮影した標点画像を用いたPTV画像解析を用いて変形開始時の水平震度と変形モードを計測した。図6に入力した地震波形、図7に水平震度毎に内的安定照査で求めた照査値と、変位計、画像解析で求めた笠石の水平変位量を示す。変位計と画像解析で求めた変位量は水平震度0.4から急激に増えており、変位量が1.0mmを超えときの水平震度は画像解析で0.435、変位計で0.482であった。よって、内的安定照査法により求めた降伏震度は、実験で確認された変形開始時の水平震度と概ね一致した。図8に入力波形の振幅が0～550gal時の積石毎の変位量を示す。変位計は計測器の配置の関係で5段目を計測していないため、画像解析で求めた結果を示している。変形開始時は、5段目を支点として積石の高さが高くなるにつれて変位が大きくなり転倒の挙動を示しており、内的安定照査から求めた変形モードと一致することを確認した。

4. まとめ

大型振動台実験により、棒状補強材、アングル材、前面防護による補強方法は、組積構造の盛土式乗降場の崩壊を防ぐ上で有効であることを確認した。また、内的安定照査法により、実験で確認された変形開始震度と変形モードを再現できることを確認した。

参考文献

- 1) 滝沢聡, 野本将太, 阿部慶太, 中島進, 高崎秀明, 山本忠: 組積構造の盛土式乗降場の耐震補強に関する実験的研究, 第39回土木学会地震工学研究発表会, 2019.2)
- 2) 野本将太, 阿部慶太, 高崎秀明, 滝沢聡, 石橋誠司, 佐々木愛: 地震時における盛土式乗降場の崩壊メカニズムに関する実験的研究, 第54回地盤工学研究発表会, 2019.3)
- 3) 杉山健太, 阿部慶太, 滝沢聡, 野本将太, 石井秀憲, 讃岐賢太, 中島進, 白根岳: 地山補強材を施工した盛土式乗降場の地震時内的安定照査法の提案と変形開始震度および崩壊形態の分析, 第40回地震工学研究発表会, 2020.

表1 各段の安全率が1になるときの水平震度

	転倒	滑動
笠石		
1段目	5.028	2.557
2段目	5.611	2.141
3段目	1.876	1.315
4段目	0.558	0.654
5段目	0.497	0.793
基礎		

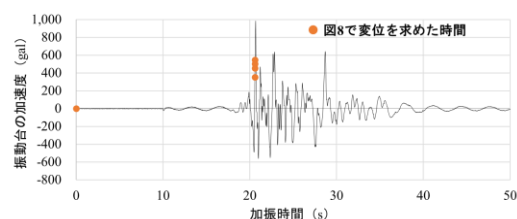


図6 大型振動台実験で入力した地震波形

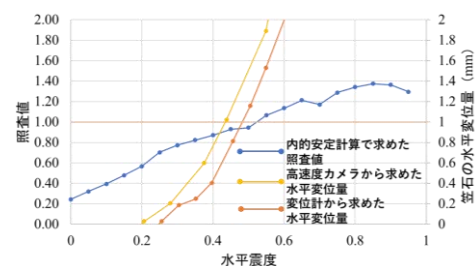


図7 内的安定照査で求めた照査値と笠石の変位の関係

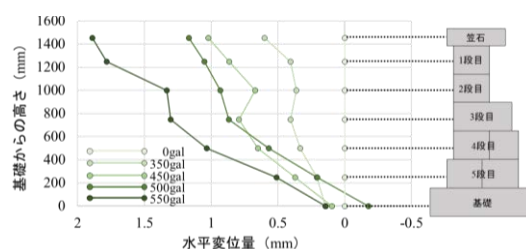


図8 画像解析で求めた各段の水平変位量