

柱列状改良体を連結した橋台耐震補強工法に関する振動台実験

東日本旅客鉄道 正会員 ○水野 弘二・池本 宏文・細井 学
・高崎 秀明・藤原 寅士良
鉄道総合技術研究所 正会員 西岡 英俊・佐名川 太亮

1. はじめに

筆者らは、地震時に生じる橋台と背面盛土の相対変位の抑制を目的として、橋台背面盛土内に柱列状の改良体（以下、改良体と称する）を造成し、橋台に作用する土圧を低減させることで耐震性向上を図る工法を提案している。既往の研究¹⁾により、重量桁のように橋台に作用する桁慣性力の割合が大きい場合は、土圧が低減されたとしても、軽量桁と比較して耐震性の大きな向上効果が得られない点を確認されている。本稿では重量桁を想定し、橋台と改良体を連結した場合の補強効果を振動台実験により確認したことから、その内容について報告する。

2. 振動台実験の概要

実験ケースは、図-1に示す改良体、および改良体の連結の有無と改良体の線路方向の長さの違いによる4ケースとした。図-2にCase3の模型概要および計測機器配置を示す。橋台と改良体の連結は、ピン結合とし、橋台上部端でユニバーサルジョイントを用いて模擬した。模型縮尺は1/15とし、文献1)と同じ条件で実験を行った。加振波形は正弦波5Hz、10波とし、100galから崩壊形態が明確になるまで、1ステップ100gal間隔で段階的に増加させた。なお、本稿で記載している加速度の数値は、振動台実験の目標加速度であり、実際に入力されている加速度とは若干の差がある。

3. 実験結果

3.1 橋台・背面盛土の崩壊形状

図-3, 4にCase2の800gal, Case3の1100galにおける加振後の崩壊状況のスケッチと模型地盤側面に設置した標点の残留変位から求めた変位ベクトルを示す。Case2では橋台の傾斜に伴い、橋台背面盛土にすべりが生じ、橋台近傍で150mmの沈下が発生した。それに対してCase3は橋台、改良体が一体で挙動し、橋台近傍での沈下量は少なく、改良体背面側ですべりが生じて沈下した。

3.2 橋台の残留変位

図-5に、橋台フーチング直下地盤の最大加速度（慣性力主働方向）と橋台下部の残留水平変位および残留回転角の関係を示す。残留水平変位はCase1, 2では400gal, Case3では900gal, Case4では700gal程度から増加しはじめる傾向にある。同じ加速度で比較すると、改良体の連結によって橋台の変位が大幅に抑制され、耐震性が向上していることがわかる。改良体を連結した場合のCase3, 4を比較すると、改良体の長さの大きいものほど耐震性が高いことがわかる。また、改良体を連結することで、橋台上部での水平変位が抑制されるため、残留回転角が小さくなり（図-5 (b)）、崩壊形態が転倒モードから滑動モードに移行している。

3.3 改良体連結による抵抗力

図-6は、橋台に作用する慣性力、土圧合力、およびその両者を足し合わせた全水平力について、Case2, 3における500gal加振時の時刻歴波形を示したものである。慣性力は橋台模型を上部（桁・壁体上部）と下部（壁体下部・フーチング）で高さ方向に2分割して壁体天端、およびフーチングに設置した加速度計の計測値に各々の質量を乗じて求めた。土

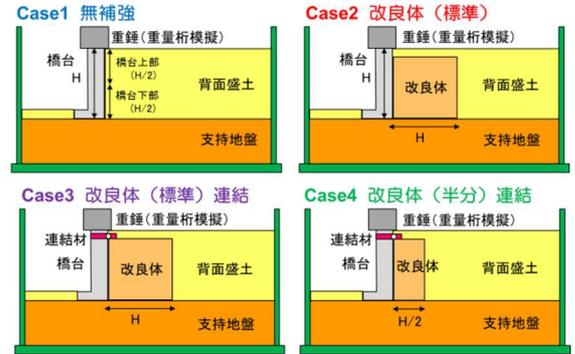


図-1 実験ケース（模型断面図）

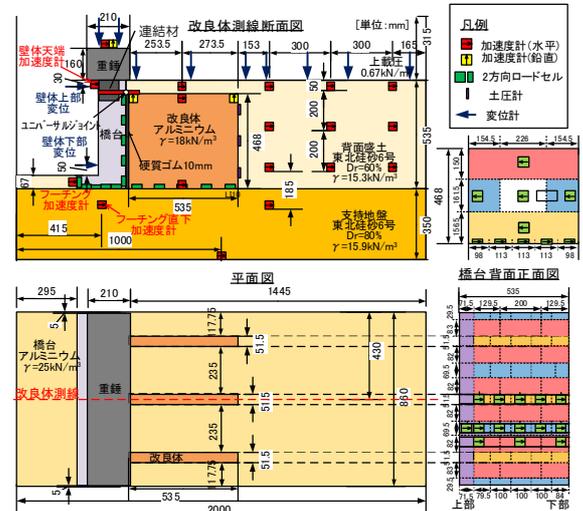


図-2 模型概要図（Case3）

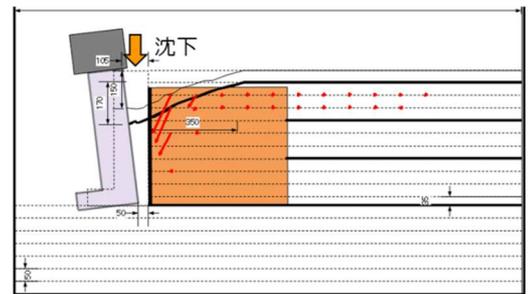


図-3 Case2 800gal 加振後の崩壊状況

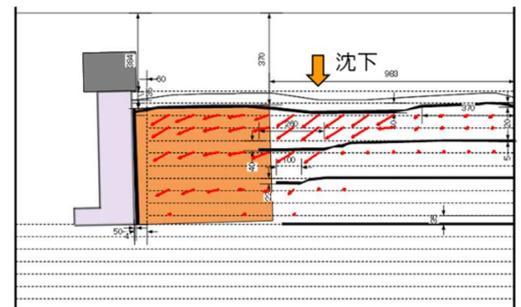


図-4 Case3 1100gal 加振後の崩壊状況

キーワード 橋台 改良体 耐震補強 振動台実験

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 東日本旅客鉄道（株）構造技術センター TEL03-6276-1251

圧合力は、橋台模型背面に設置したロードセルの計測値（水平力成分）から、各計器の負担面積（図-2 橋台背面正面図参照）を乗じて算定した。

Case2は、慣性力と土圧合力の位相にずれが生じているが、Case3は橋台、改良体、背面盛土が一体で挙動するため、慣性力と土圧合力は同位相となっている。慣性力が主働方向に最大となる時点での土圧合力を比べると、Case3よりもCase2の方が小さい。これは、慣性力との位相のずれの影響と文献1)の改良体による土圧低減効果によるものと考えられる。そのため、改良体を連結する場合は、連結しないものよりも橋台に作用する土圧は大きくなる傾向にある。

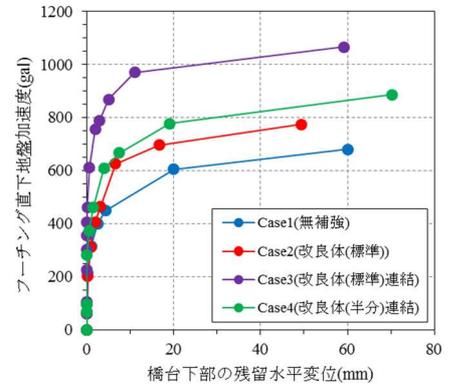
図-7に、Case2, 3における500gal加振時の改良体底面の鉛直地盤反力、改良体底面のせん断力、改良体側面のせん断力、および連結材に生じる軸力、せん断力の時刻歴波形を示す。改良体のせん断力、鉛直地盤反力はロードセルの計測値に各計器の負担面積（図-2改良体側面図参照）を乗じて合力として評価したものである。連結材の軸力、せん断力は連結材に設置したひずみゲージの計測値から算出したものである。なお、作用方向は改良体に抵抗となる方向をプラスとして整理している。

慣性力が主働方向に最大となる時点では、Case2, 3ともに改良体底面の鉛直地盤反力、改良体底面のせん断力、改良体側面のせん断力は改良体に対する抵抗力として働いており、いずれの数値もCase3の方が大きくなっている。Case2においては、これらの抵抗力によって、前述の土圧低減効果が発揮されるものと考えられる。それに対して、Case3では連結材の軸力、せん断力と改良体の抵抗力の位相が一致していることから、連結材を介して改良体に生じる抵抗力が、橋台の安定における抵抗力として寄与していることが分かる。また、連結することにより、抵抗力が大きくなる傾向にあるものと考えられる。以上のことから、改良体の連結によって、連結しない場合よりも橋台に作用する土圧は大きくなるものの、改良体の抵抗力によって、橋台の安定が向上する。

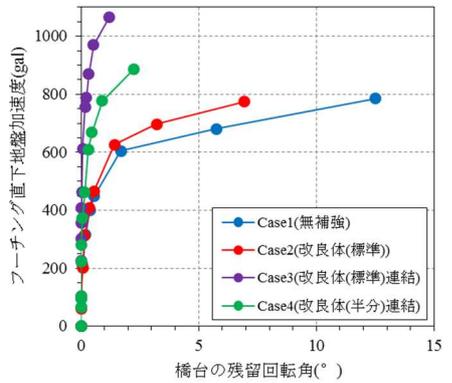
4. まとめ

本稿では、橋台背面の耐震補強工法について橋台と改良体を連結した場合の振動台実験の結果を報告した。改良体と橋台を連結することにより、橋台に作用する土圧は大きくなるものの、改良体底面の地盤反力、せん断力、側面のせん断力が抵抗側に大きく作用することにより、耐震性が大幅に向上することが分かった。なお、振動台実験により確認した以外の改良体による抵抗力（例えば鉛直方向に働く改良体側面のせん断力）については、傾斜実験²⁾により確認しているため合わせて参照されたい。

- 参考文献 1) 池本ら：桁質量の異なる橋台における耐震補強効果の実験的検討，土木学会第70回年次学術講演会，2015.9
- 2) 細井ら：柱状改良体を連結した橋台耐震補強工法に関する傾斜実験，土木学会第71回年次学術講演会(投稿中)，2016.9

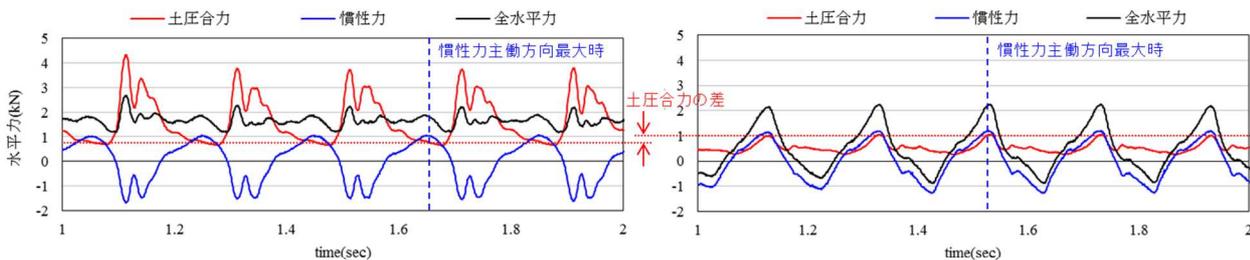


(a) 残留水平変位



(b) 残留回転角

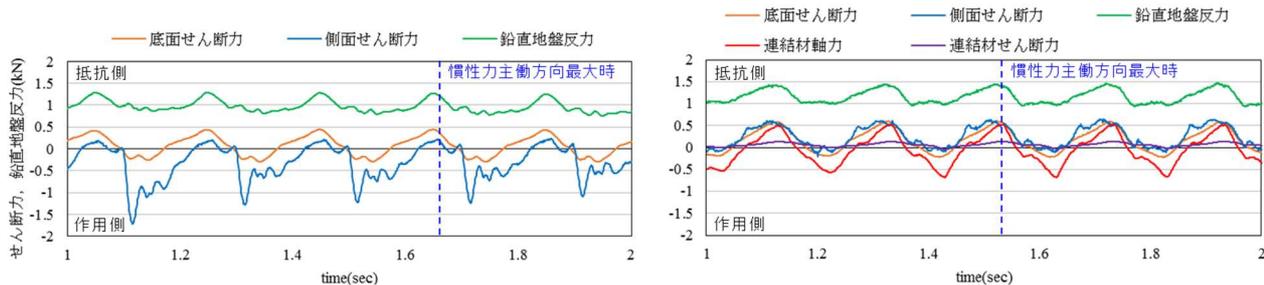
図-5 橋台の残留変位



(a) Case2 改良体 (標準)

(b) Case3 改良体 (標準) 連結

図-6 水平力の時刻歴応答の比較 (500gal 加振時)



(a) Case2 改良体 (標準)

(b) Case3 改良体 (標準) 連結

図-7 改良体による抵抗力の時刻歴応答の比較 (500gal 加振時)