

柱列状改良体による橋台沈下対策工法に関する設計手法の提案

橋台 耐震対策 沈下抑制

東日本旅客鉄道 正会員 ○竹谷 勉 国際会員 池本 宏文
正会員 金田 淳 正会員 中村 宏
複合技術研究所 正会員 三平 伸吾

1. はじめに

当社では、首都直下地震に備えた耐震補強対策の一環で、橋台背面盛土の沈下対策を進めている。既往の研究成果をもとに、軌道脇に柱列状改良体を構築して背面盛土の沈下を抑制する工法（以下、既存工法と称する）を開発し、数件の現場で導入している¹⁾。また、図1に示すように橋台と柱列状改良体を連結材で繋ぐことで、既存工法よりも柱列状改良体の延長を短くでき、背面盛土の沈下抑制効果が向上する工法（以下、提案工法と称する）の開発も行っている^{2),3)}。本稿では、提案工法の設計手法の概要、および実構造物を対象とした比較解析結果を報告する。

2. 提案工法の概要

提案工法は、橋台背面盛土の沈下抑制を目的とする工法であり、棒状補強材の摩擦抵抗力を介して、橋台と柱列状改良体、その周辺盛土を繋ぐ役割を果たす。棒状補強材の施工は、橋台前面側から小型穿孔機械を用いて、橋台と改良体をコア削孔し、PC鋼棒やPC鋼線などを挿入後、孔内にグラウトを充填して連結する。この連結部材により、地震時の構造全体系の安定性が向上するため、既設橋台の躯体や柱列状改良体の各部材の応力負担の増加が懸念される。そのため、安定の照査と部材断面力の照査を合わせてできる設計体系が重要であると考えられる。

3. 解析モデル

図2に設計における解析モデルの概念図を示す。解析モデルは、基礎の安定と部材耐力の照査が行える「詳細設計モデル」と、部材照査は仕様で満足させることを基本として主に基礎の安定照査を実施する「簡易設計モデル」の両者を提案する。前者は若干複雑な構造モデルを用いるが、基礎の安定の照査とともに、橋台、柱列改良体、連結部材（棒状補強材）の各部材の耐力照査を同時に行えるモデルである。連結部材の照査は、解析から求まる軸力をもとに過去の模型実験⁴⁾およびその再現解析により求めた図3の性能曲線から、芯材の引抜けを確認する。後者は、連結部材と改良体の仕様は別途安全側に定めることとし、既設構造物である橋台の耐力と安定性の照査を安全側に行うモデルである。簡易設計モデルの連結部材を模擬した引抜き抵抗バネモデルは、柱列状改良体と周辺盛土地盤の摩擦抵抗の平均特性を適用させることとしている。

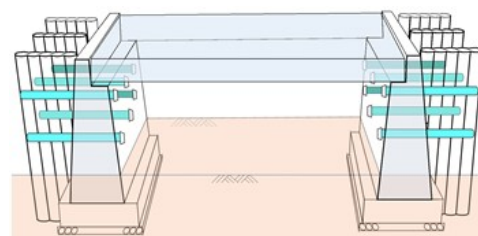


図1 提案工法の概要

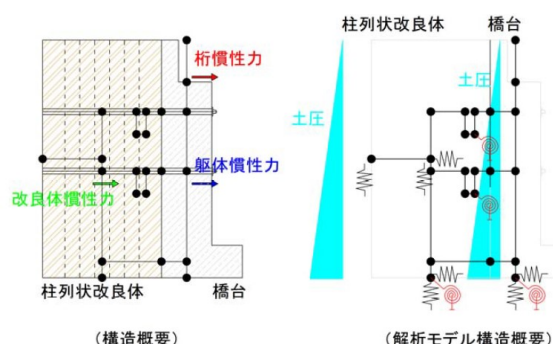
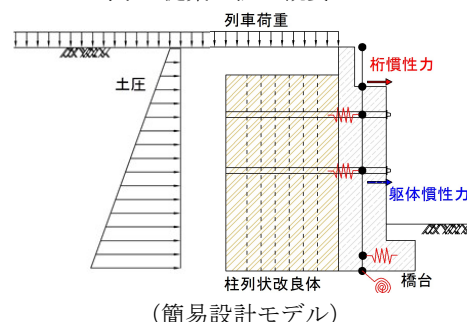


図2 設計における解析モデルの概念図

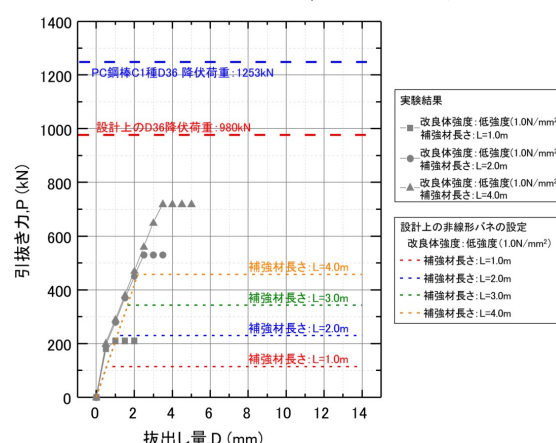


図3 提案工法に用いる連結部材の性能曲線

Proposal for design method of countermeasures against displacement of abutment using successive rows of soil-cement columns

Tsutomu TAKETANI (Eastjapan Railway Company)
Hirofumi IKEMOTO (Eastjapan Railway Company)
Jun KANEDA (Eastjapan Railway Company)
Hiroshi NAKAMURA (Eastjapan Railway Company)
Shingo MIHIRA (Integrated Geotechnology Institute Limited)

4. 比較検証解析と効果分析

3.で示した解析モデルを用いて、既存工法と提案工法における応答値を比較した。図4に対象とする補強の構造比較を示す。橋台は複線形式の重力式橋台を対象とし、複線の軌道間と両外側面に、柱列状改良体を計3列配置する。既存工法は、既往の研究成果より、既設橋台高さ相当の改良体幅が必要であることから、既設橋台高 $H=6.5\text{m}$ に対し改良体幅は $B=7.1\text{m}$ とした。これに対し、提案工法では、各列の柱状改良体を棒状補強材（ $\phi 110\text{mm}$, $L=5.2\text{m}$, 芯材 PC 鋼棒 D36）にて連結し、改良体幅は既存工法の約半分に相当する $B=3.6\text{m}$ とした。なお、地盤種別はG2地盤とした。

図5に、詳細設計モデルによりL2地震時の解析から求まる設計応答値、および簡易設計モデルにより求まる設計応答値を示す。既設橋台は、無補強状態では安定性能および部材性能ともに、要求性能を満足しない結果となるが、図4の両工法は各要求性能を満足するとともに、両者のL2地震時の応答値は同程度であることを確認した。また、簡易設計モデルでの検討結果は、詳細設計モデルと概ね同程度であることを確認した。なお、提案工法における棒状補強材の芯材破断時の荷重は112kN、引抜け時の荷重は401kNで、それぞれ設計値の10%~30%程度であった。

表1は詳細設計モデルの解析結果から、設計標準⁵⁾に準拠した等体積法で評価した軌道面沈下量と、補強にかかる概算の直接工事費を両工法で比較したものである。軌道面沈下量は同程度であるが、概算工事費は、既存工法に対して提案工法は6割程度になった。

提案工法は設計作業が複雑であるが、施工量を小さくできるメリットがあり、既設橋台の躯体補強が併用可能なことのほか、多く潜在することが予想される。一方、既設橋台の躯体を構成する各部材は、建設より100年以上経過するものも少なくないことから、柱列状改良体を既設橋台と連結するメリット、デメリットについては、今後も検討を継続していくことが必要である。

5. まとめ

本稿で提案した設計モデルを用いて、実構造物を対象とした比較検証解析を実施し、その実用性を確認することができた。提案工法に関連する研究開発は、公益財団法人鉄道総合技術研究所のご協力を得ており、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1)滝沢ら：柱列地盤改良による橋台背面沈下対策，基礎工，Vol.45，No.12，pp.38-41，2017。
- 2)池本ら：柱列状改良体の連結による橋台耐震補強工法に関する実験的検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.73，No.4（地震工学論文集第36巻），pp.I_679-I_693，2017。
- 3)池本ら：柱列状改良体の連結による橋台の耐震補強工法に関する研究，構造工学論文集，Vol.63A，pp.1023-1034，2017。
- 4)金田ら：柱列状地盤改良体内に配置された棒状連結材の引き抜き力特性に関する実験，第54回地盤工学研究発表会，No.740，pp.1479-1480，2019。
- 5)国土交通省監修 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，2013

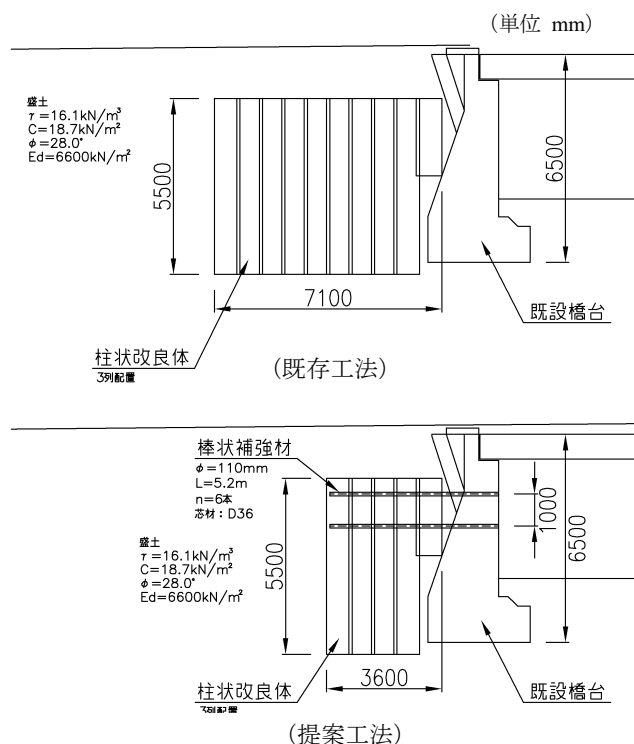


図4 比較検証解析で対象とした補強の構造

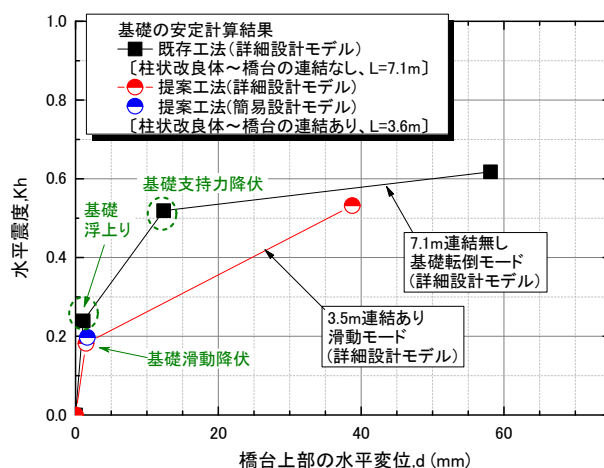


図5 設計応答値

表1 軌道面沈下量および概算工事費比較

	軌道面沈下量(mm)	概算工事費
既存工法	37.8 < 100.0	1.00
提案工法	41.0 < 100.0	0.63