

橋台側方移動対策としての荷重軽減工法に関する有限要素解析

日本道路公団 試験研究所¹⁾ 正会員 稲垣太浩 福島勇治
大成建設(株) 土木技術研究所²⁾ 正会員 ○石井裕泰 堀越研一

1. はじめに 著者らは、軟弱粘土地盤上に構築された橋台構造物の側方移動現象の把握とその対策に関する研究を進めており、施工中およびその後の動態観測によって実挙動を把握しながら、必要に応じて設計変更して対策を講じることの可能性、合理性を検討している¹⁾。別論文²⁾では、橋台背面既設盛土の荷重軽減範囲（除荷範囲）が橋台側方移動抑制に及ぼす効果を把握するための遠心模型実験結果を報告した。本論文では、同実験を対象とした橋台変位抑制効果の検証解析、ならびにこれに加えて、荷重軽減時期（除荷時期）と荷重軽減率が橋台変位に及ぼす効果に関する解析的検討結果を報告する。なお、本論文でいう荷重軽減率とは、盛土荷重の除荷率をいい、完全に除去した場合を100%としている。文献1)に示された実験では、荷重軽減率を100%としてモデル化を行っている。

2. 解析モデル 図-1に解析モデルの概要を示す。実験モデルは、実際の橋台に近い3次元的な形状を有しているが、本論文では、実務面での適用を意識して、2次元平面ひずみモデルで橋台構造物をモデル化した。地盤に関しては、下部支持層、上部排水層を線形弾性体で、軟弱粘性土を関口・太田による弾粘塑性体³⁾でモデル化した。橋台基礎杭は単位奥行きあたりの曲げ剛性 $E_p I_p$ (E_p は杭の弾性係数、 I_p は断面2次モーメント)を考慮した弾性梁要素で表現し、ジョイント要素を介して地盤要素と連結させた。軟弱粘土地盤中のジョイント要素の最大せん断応力は当該深度の非排水せん断強度 c_u で与える一方、せん断面直行方向剛性については、杭間における地盤のすり抜け現象を表現する目的で、Stewartら⁴⁾の方法に基づき、杭径、杭間隔および地盤のせん断剛性に依存する低めの値を設定している。これは、本論文の対象としている粘土地盤の剛性、強度が非常に

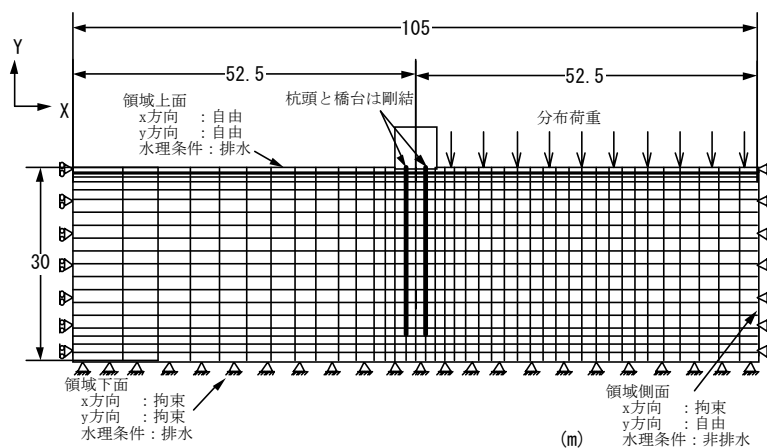


図-1 解析モデル

表-1 主な解析パラメータ

カオリ ン粘土	圧縮指数 λ	0.186 (圧密試験より)
	膨潤指数 κ	0.028 (圧密試験より)
	初期間隙比 e_0	圧密試験結果より 各深度で設定
	クリティカルースト パラメータ M	1.3 (3軸試験結果より)
	側圧係数	0.531
	ポアソン比	0.33
	透水係数 k	圧密試験結果により各深 度で設定
	二次圧縮指 数 α	1.0×10^{-3}
初期粘塑性 歪速度		$\dot{\gamma}_0 = 1.0 \times 10^{-6}$ (1/day)
下部支持層 (弾性体)		$E = 20.6 \text{ MN/m}^2$, $\nu = 0.333$
上部排水層 (弾性体)		$E = 0.3 \text{ MN/m}^2$, $\nu = 0.333$
杭	曲げ剛性	$0.0132 \text{ m}^4/\text{m}$ (単位奥行き当)

3. 遠心実験結果の検証解析 図-3に、除荷を行わない場合（文献1)におけるCase 1）、全範囲を盛土構築後430日で除荷した場合（同Case 4)）に

キーワード：有限要素解析、橋台、軟弱粘性土、側方移動、除荷

1) 〒194-8508 町田市忠生1-4-1 TEL 042-791-1621 FAX 042-791-2380
2) 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 TEL 045-953-7778 FAX 042-791-2380

ついて、実験・解析で得られた橋台側方変位の経時変化を示す。この図によれば、解析結果は、実験で得られた傾向をうまく捉えているもの、常に大き目の値を示している。これは、実験では、盛土下部地盤は3次的に側方移動するのに対し、解析では平面ひずみ条件を想定しているため、橋軸方向のみの移動しか考慮できないためであると考えられる。

解析結果が大きめとなる傾向は、設計的な観点からいえば安全側であるといえるが、除荷時の橋台変位の戻り量も過大に評価されている点には留意する必要がある。その他の点、すなわち 1) 与える荷重が線形的であっても、橋台変位は徐々にその増分が大きくなる非線形挙動を呈する傾向、2) 除荷を行わない場合には、盛土構築後も橋台変位が漸増する傾向、3) 逆に除荷を行った場合には、その後の橋台変位は抑制されている傾向にあることなどは、実験と解析とで整合性がとれている。本論文には示していないが、その他の実験ケースについても同様な傾向を得ている。

4. 除荷時期と軽減率に関する検討

実験で想定したケース（盛土完了後430日で100%の除荷）を基本とし、除荷を行う時期と軽減率とを変化させて、これらが橋台変位に及ぼす効果についても解析的検討を行った。ここ

では、除荷時期を盛土完了直後とした場合、荷重軽減率を50%とした場合を想定した。図-4は、軟弱層厚分範囲を除荷したケースについて解析結果を示したものである。除荷を実施した場合の効果は軽減時の即時の変位戻り量と放置期間中の変位増分の低減の双方で与えられる。この図によれば、軽減率にかかわらず、粘性土地盤の有効応力増分が小さい早期の段階で除荷を行うことが橋台変位を抑える上で有効であることがわかる。図-5は、除荷幅（軟弱地盤層厚で正規化）と盛土完了後430日後の橋台変位を1とした場合の正規化橋台上部変位量との関係をまとめたものである。この図から、実験と解析とを比較すると、除荷直後の橋台変位量抑制効果については、解析が過大に評価する可能性があるが、長期間放置後の効果を比較した場合には、解析が過小評価する可能性があること、軽減率が同じ場合、除荷時期を早めることの橋台変位抑制効果は大であること、軽減率を半分にしてもある程度の橋台変位抑制効果が得られること、などが判明した。

【参考文献】 1) 稲垣、今吉、石井、堀越 (2002)：軟弱地盤上の橋台の変位問題から見た性能設計の必要性と効果、土と基礎、1月号、pp.4-6. 2) 稲垣、福島、堀越、石井 (2002)、橋台側方移動対策としての荷重軽減工法に関する遠心模型実験、第57回土木学会年次学術講演会（投稿中）。3) Sekiguchi ら(1977), Induced anisotropy and time dependency of clay, Proc. 9th ICSMFE, pp. 229-239. 4) Stewart ら (1993), Numerical modelling of piled bridge abutments on soft ground, Computers and Geotechnics, 15, pp.21-46.

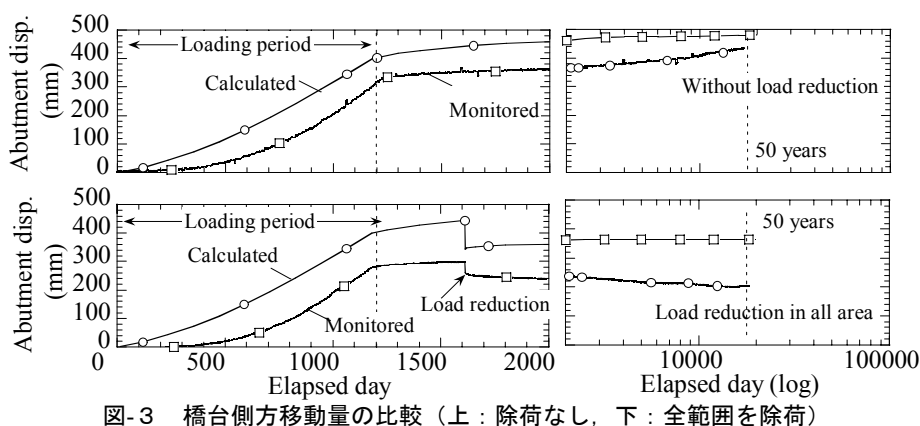


図-3 橋台側方移動量の比較（上：除荷なし、下：全範囲を除荷）

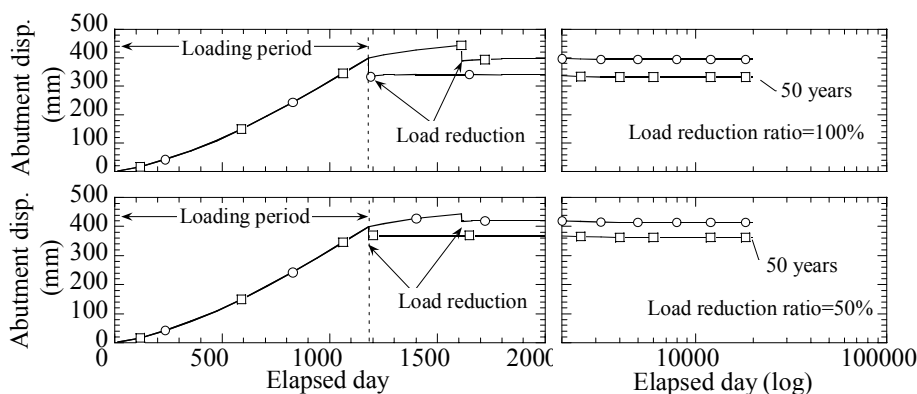


図-4 橋台側方変位の比較
（軟弱層厚分範囲、上：軽減率100%、下：軽減率50%）

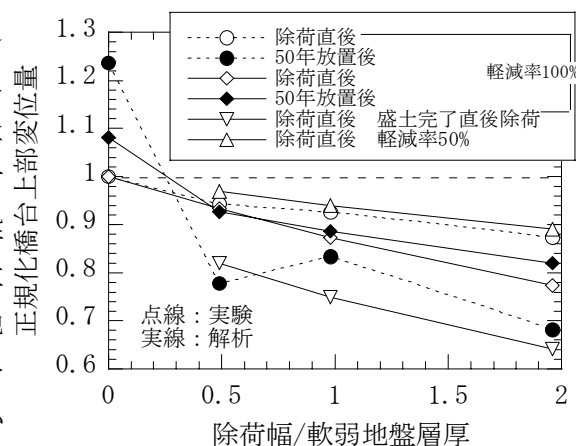


図-5 除荷幅と橋台変位抑制効果との関係