液状化地盤における橋台杭基礎に作用する土圧のモデル化と検証解析 (その2 杭の作用土圧のモデル化)

国立研究開発法人土木研究所 正会員 〇楊 勇,谷本 俊輔,河口 大輔,桐山 孝晴,大住 道生

1. はじめに前報¹⁾では,液状化強度曲線の同定について報告した.本報では,液状化層から杭に作用する土圧について,模型実験結果に基づき,深さ方向分布,杭配置の影響及び液状化の程度 *F*_Lの影響を考慮したモデル化を検討する.

2. 杭に作用する土圧のモデル化 橋台の前面側~背面側の地盤が完 全に液状化した場合,土の応力状態は等方化し,任意の深さにおける 土の水平全応力は全上載圧と等しくなる.そのため,橋台の前背面に おいて,盛土による全上載圧の差異に起因し,前背面で水平全応力に 差が生じることとなる.その概念図は図-1に示すとおりであり,本研 究ではこうした単純な構図を考慮して液状化地盤における杭の作用 土圧を定式化する.その上で,杭の作用土圧の深さ方向分布,杭配置 の影響,及び液状化程度の影響を考慮する.また,式(1)に示すよ うに,杭の作用土圧 EP は,それらの影響をそれぞれ係数 C₁, C₂及び C₃により盛土の上載圧 q を補正する形で表す.以下,まず,土圧のモ デル化に用いる模型実験の概要を説明する.次に,それらの補正係数 の求め方と結果を説明する.



2.1 模型実験の概要 模型実験において,想定した橋台杭基礎の諸元及び補強対策有無の一覧は表-1 に示す.想定した適用基準は,地盤液状化の影響を考慮されていない S39 指針²⁾と考慮されている H24 道示³⁾とした. 杭種類は,既製 PHC 杭,場所打ち杭及び既製 RC 杭とした.液状化の対策としては,鋼管矢板壁(前面分離型・側面一体型)と斜杭(側面一体型)による補強工法である.模型実験についての詳細は文献4)を参照されたい.

ケース	適用基準	基礎諸元	補強対策**2	ケース	適用基準 	基礎諸元	補強対策※2
		(机種類**(机種類***				(机種類**・(机種類**・」(1.11111111111111111111111111111111	
実験シリーズ1				12	H24 道示	杭 B_	_
1	S39 指針	杭A_	無対策	実験シリーズ2			
2		杭A_0600mm_18.6m_6×3本		1	S39 指針	杭 C_	無対策
3		杭A_0600mm_18.6m_6×3本	対策 A	2 ^{**3}		杭C_0450mm_10m_8×3本	
4		杭A_0600mm_18.6m_6×3本	対策 B	3	H24 道示	杭B_	-
5		杭A_0600mm_18.6m_6×3本	対策C	4		杭C_0450mm_10m_8×3本	対策 A
6	H24 道示	杭 B_	_	5	S39 指针	杭C_0450mm_10m_8×3本	対策C
7	S39 指針	杭 B_	無対策	実験シリーズ3			
8		杭 B_		1	S39 指針	杭C_0450mm_10m_8×3本	対策C
9		杭 B_	対策 A	※1:杭A:既製 PHC 杭;B:場所打ち杭;C:既製 RC 杭. ※2:対策A: 鋼管矢板壁(前面分離型);B:斜杭(側面一体型);C:鋼管矢板壁(側 面一体型). ※3:道路盛土タイプ.			
10		杭 B_ φ 1000mm_11m_4×4 本	対策 B				
11		杭 B_	対策C				

表-1 各実験シリーズにおける想定した橋台杭基礎の諸元と補強対策の一覧

2.2 深さ方向分布に対する補正係数 C₁ まず,実験結果に基づき杭の最大応答時刻の土圧分布の特徴を分析する(次報 ⁵⁾における図-3 参照).同図から分かるように,液状化層の中央付近で土圧が極大値を示す傾向が見られる.また,液状化層の下面に向かって土圧が小さくなる傾向も認められる.これは,液状化層下面における液状化層の水平変位量が小さく,地盤・基礎間の相対変位が小さいことによるものと考えられる.そのため,補正係数 C₁を式(2)と定義し,

キーワード 液状化,土圧,杭

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

杭の最大応答時刻の土圧分布の実験結果を式(3)でフィッティングする ことにより(図-2),上記の杭の作用土圧の分布特徴を表現する.正規化 された液状化層上面からの深さに対して,x=0において,杭の作用土圧が 0より大きい;x=aにおいて,杭の作用土圧が最大値となる;x=1におい て,杭の作用土圧が0となり,実験結果から得られた特徴とほぼ対応する.

また,式(2)に示すように、ある深さにおける補正係数 C_1 は、パラメ ータaだけに依存する.土圧分布の実験結果をフィッティングすることに より、補正係数 C_1 におけるパラメータaが求められる.本研究では、各 シリーズの実験結果に基づき求めたパラメータaの平均値は0.35となる. 2.3 杭の配置位置に依存する補正係数 C_2 液状化地盤における杭基礎 は、後列・中列・前列杭が受けた土圧が異なり、背面側の後列杭が最も 大きな影響を受けると表-1に示す一連の実験結果から確認されている⁴⁾. 本研究では、杭の配置位置の違いによる補正係数 C_2 は、後列・中列・前 列杭の地盤抵抗領域の違いを考慮した群杭効果の補正係数の算定方法⁶⁾ と同様に、各列杭の土圧の作用面積と単杭の土圧の作用面積の比率とす る.ただし、本研究では、補正係数の設定について、実験結果に基づい て後列杭を最も大きい値とした.

2. 4 液状化の程度による補正係数 C_3 液状化の発生程度 F_L の増加と ともに、杭は受けた土圧が大きくなると考えられる. つまり、式 (1) に おける補正係数 C_3 は、液状化の発生程度 F_L の増加とともに大きくなる. 本研究では、まず、実験結果を用いて定義した補正係数 C_3 と液状化の程 度を表す F_L 値をそれぞれ算定し、両者の相関関係を分析する. 次に、補 正係数 C_3 と液状化の発生程度 F_L との回帰式を設定し、実験結果に基づ き回帰式におけるパラメータを求める.





液状化による杭の作用土圧が増加するとともに杭の断面力や変形などの応答が大きくなり、杭の応答が最大値になる 時刻は杭の作用土圧が最大値となる時刻とほぼ対応すると考えられる.そのため、補正係数 C_3 と液状化の発生程度 F_L の相関関係分析に用いる実験結果は、杭の最大応答時刻付近にピーク値となる実験結果を対象とする.補正係数 C_3 は式 (4)より算定する.ただし、式(4)における最大土圧 EP_{max} は、パラメータ a=0.35を式(3)に代入して実験結果の フィッティングから求める.また、液状化の程度 F_L は、前報¹⁾に報告した液状化強度曲線に基づき、液状化層の各深さ で算定した F_L の平均値とする.実験シリーズ2を例として求めた補正係数 C_3 と液状化の程度 F_L の相関関係を図-3に 示す.同図より、最大応答以外の時刻における補強杭の実験結果を除いて液状化の程度 F_L の減少とともに補正係数 C_3 が増加する傾向が見られる.また、液状化の程度 F_L が 1.0となる時、補正係数 C_3 は約 1.0となる.そのため、補正係数 C_3 の回帰式を式(5)と仮定し、式におけるパラメータは実験結果をフィッティングすることより求める.各シリーズ の実験結果に基づき求めた式(5)におけるパラメータ C_{30} は 1.0となり、Bの平均値は 2.0となる.

以上より、求めた各補正係数を式(1)に代入し構築した杭の作用土圧の算定式は式(6)に示す.また、式(6)による土圧の算定結果と実験結果の比較は、検証解析に合わせて次報⁵の図-3に示す.同図から両者の整合性が確認できる.

3. **まとめ** 本報では、液状化地盤における橋台杭基礎の作用土圧のモデル化について検討した. 次報⁵では、杭の作 用土圧のモデル化の検討結果を用いて検証解析を行う.

参考文献 1) 谷本 俊輔, 楊 勇, 河口 大輔, 桐山 孝晴, 大住 道生:液状化地盤における橋台杭基礎に作用する土圧のモデル化 と検証解析(その1 模型地盤の液状化強度曲線の同定),土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集,2019.9.(投稿中) 2)(社) 日本道路協会:道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計篇,1964.3.3)(社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説,IV下部構造編,2012.3.4)土木研究所,東京工業大学,鋼管杭・鋼矢板技術協会:橋梁基礎の液状化に対する耐震性能評価手法と耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書,共同研究報告書第506号,2019.3.5)河口 大輔,谷本 俊輔,楊 勇,桐山 孝晴,大住 道生:液状化地盤における橋台杭基礎に作用する土圧のモデル化と検証解析(その3 検証解析),土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集,2019.9.(投稿中) 6)幸左 賢二,鈴木 直人,木村 亮,木村 嘉富,森田 悠紀雄:終局挙動に着目した実物大杭基礎の水平載荷試験,土木学会論文集,No.596/III-43, pp. 249-260, 1998.