

軟弱地盤での地盤改良複合杭基礎形式の提案とその考え方

岡山大学 環境理工学部 正会員
研究員 正会員
(株)コンサルタンツ大地 フェロー
構造部

○竹宮 宏和
島袋ホルヘ
坂手 道明
徐 光 黎

1. まえがき

軟弱地盤上の橋梁基礎として、杭基礎が使用される。地震時には、杭体が柔らかい構造であるため振動を受け易くなる。そのため橋梁全体としても揺れやすい動特性を持つ。したがって耐震構造としての水平抵抗が発揮できる杭体の断面設計としなければならない。著者らは水平抵抗が大きく期待でき、排土がほとんど生じない地盤改良複合杭基礎を提案する。地盤改良複合杭基礎は、地盤改良体と杭を一体化したもので、地盤改良体の剛性と前面抵抗などにより基礎の水平支持力を向上させ、杭で鉛直支持力を得るという新しい複合杭基礎形式である(図-1)。

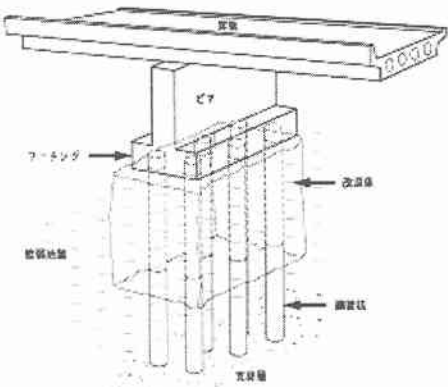


図1 地盤改良複合杭基礎

2. 地盤改良複合杭基礎の考え方

改良体の力学挙動の評価は改良体と原地盤の相対的な関係から決まる。深層混合処理工法による改良地盤の強度は原地盤よりかなり高く改良される。改良体と周辺地盤の相対剛性は、改良体の形状や改良深さなどの影響もあるが、改良体/周辺地盤の一軸強度比は10程度以上、変形係数比は100程度以上とすれば、軟弱地盤上での地盤改良体は、周辺地盤に対して十分な強度と剛度を有するため、力学解析上は改良体を剛体と仮定してもさしつかえない。すなわち、改良体はケーソン基礎で、杭体部は通常の杭基礎で評価する(表-1)。

過去の地震被害を調べると、杭の損傷部は、一般に杭頭部、杭先端部、地層の急変する深さにおいて、さらに液状化によっても地盤物性の急変が起こり、これらの境界面に集中している事実がある。杭体の破壊を防ぐため方策として、杭の周辺を地盤改良することで、杭と一体化する複合杭基礎を提案している。耐震設計が性能設計を基本にした方向で進んでいる現状から、地盤の非線形を考慮して地盤改良複合杭基礎の特徴を明確にしておくことは重要である。

地盤改良複合杭基礎の改良体の深さは基礎の水平抵抗特性及び地盤の特性を考慮し $1/\beta$ (Chang 公式の杭頭固定状態でたわみがゼロの深さ) $\sim \pi/2\beta$ (同条件で最大曲げモーメントの深さ) 程度の深度までとした。ただし、液状化層を有する場合には、改良体の深さは液状化層を貫通する深度とする必要があると考えられる。

表-1 地盤改良複合杭基礎の考え方

	ソイルセメント改良体	+	杭	=	地盤改良複合杭基礎
施工	・深層混合処理により改良体形成 ・改良深さ $L_1 = 1/\beta \sim \pi/2\beta$		・改良体を貫通して支持層までに根入れ ・改良体と一体させる		・組合せ
評価	・軟弱地盤でケーソンとみなす		・杭		・ケーソン+杭の複合
剛性	・ $EI = E_c I_c$		・ $EI = E_s I_s$		・ $EI = E_c I_c + E_s I_s$
バネ			・ $K_H = k_{Hi} \cdot De$ ・ $K_V = a \frac{A_p E_p}{L}$		・ $K_H = k_{Hi} \cdot Be + 2k_{SHDi} \cdot De$ ・ $K_V = 2k_{SVBi} \cdot Be + 2k_{SVDi} \cdot De$ ・ $K_R = 1/2 \cdot k_{SVBi} \cdot De^2 \cdot Be \cdot l_i + 1/6 \cdot k_{SVDi} \cdot De^3 \cdot l_i$
評価	・軟弱地盤でケーソンとみなす		・杭		・ケーソンと杭の複合

3. 載荷試験結果

フィールド実験地の地層は、深度50m程度までがN値0~20程度のシルト質細砂と砂質シルトの互層で構成され

る軟弱な沖積層である。地盤改良複合杭基礎の水平支持力特性を確認するために、表2の基の試験体を製作して載荷試験を行った

水平載荷試験における荷重～変位曲線の1例を図-2に示す。対象基礎は1.5% (20 mm) 程度まで弾性的な挙動を示している。水平変位 2.1% (30mm) 時において、 $H-\delta$ 曲線に明確な変曲点がみられる。これは、側面抵抗が 30 mm 付近で低下していることが変曲点が現れる原因の1つであると考えられる。基礎の水平変位を 3.8% (54 mm) とした時、フーチングにクラックが発生した。ただし、クラックが発生しても、水平抵抗は急激に減少しておらず、大変形時 100 mm (7.1%) においても、水平抵抗は増加の傾向にある。基礎の水平変位が1%時、地盤改良複合の耐力は 1320 kN で、杭基礎の耐力は 470 kN であり、地盤改良複合杭基礎の耐力が杭基礎の耐力より 2.8 倍大きい。このことから、改良体の前面地盤の受働抵抗と側面地盤の摩擦抵抗からなり、一般の杭基礎よりも大きな地盤抵抗が期待できる。また、軟弱地盤において、改良体は、基礎幅の 1% の水平変位を工学的な弾性限界とし、地盤反力係数の算出の基準変位量や震度法レベルの基礎の許容変位量としてよい。

4. 耐震性能の検討

動的解析を行った結果について説明する。図3の橋梁基礎を対象に、構造設計で規定されている入力地震波を用いた地震応答解析結果を図4において原杭基礎と地盤改良複合杭基礎との比較をする。ここでは、改良幅をパラメータにして杭体の曲げモーメントを対象にしている。地盤改良体を設けることで、杭頭曲げモーメントを大きく低減することができる。これは複合基礎の一体化による効果のためである。しかし、地盤改良することによって地層の変化をもたらし、同断面の杭体曲げモーメントが大きくなって現れる。杭体の変形を特徴つける深さとして、Chang 公式からの特性値 $1/\beta$, $\pi/2\beta$ を参考にして地盤改良深さを変化させた場合の検討も与えた。

5. まとめ

盤改良体の設計、施工においてブロック状は、コストの観点から合理化するものとして、各地盤改良杭の剛性を高め、それらを連結して構造上の形状効果を期待できるハニカム構造を提案する。そのイメージを図4に描いた。同構造により、基礎周辺にかなりの範囲において施工がコスト的に可能となる。副次効果として、液状化防止、交通振動の減振機能が挙げられる

表-2 地盤改良複合杭基礎試験体の使用 (単位: m)

改良体			ソイルセメント鋼管杭(2本)			
幅	幅	改良深さ	杭長	杭径	肉厚	ソイル径
B	D	L_1	L_2	D_p	t	D_s
3.2	1.4	8.4	30.0	0.6	0.016	0.8

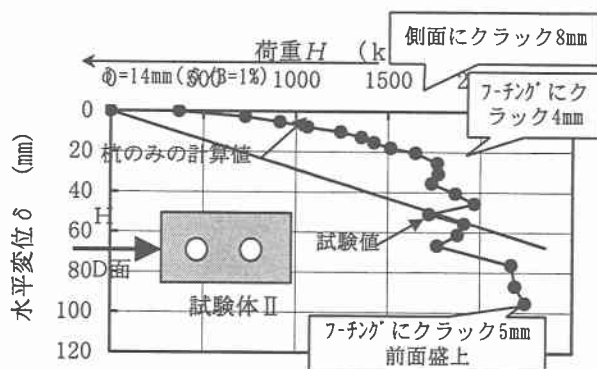


図-2 試験体Ⅱ D面 $\delta \sim H$ 曲線

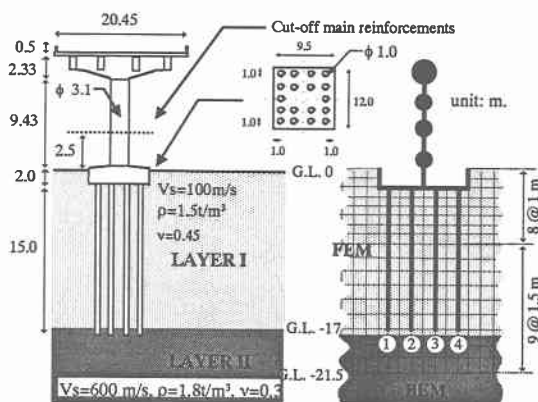


図3 杭基礎と解析モデル

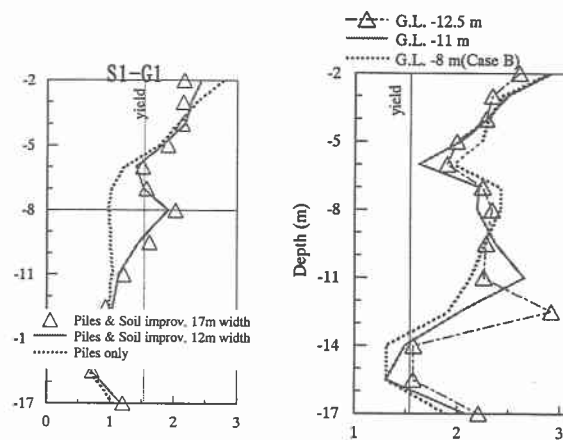


図4 杭体の曲げモーメント ($\times 10^6$ N-m)

参考文献

- 平成 11 年度 東京外環自動車道基礎構造に関する技術検討報告書, (財) 高速道路技術センター
- H.Takemiya and J. Shimabuku, Application of soil-cement columns for better seismic design of bridge piles and mitigation of nearby ground vibration due to traffic, J. Structural Eng. 48A, 437-444, 2002