増し杭基礎の３次元弾塑性有限要素解析

○　阪神高速道路(株)　正会員　堀岡　良則
阪神高速道路(株)　正会員　小坂　崇

１．概要

阪神高速道路では、大阪港線から環状線北行きへの通行を可能にする西船場ジャンクション改築事業において，上部工拡幅に伴い，図-1 に示す既設橋脚（NP-3）の補強が必要となった。補強対象の橋脚は，杭基礎形式で既設杭（杭長 L=15m）が現行基準のＮ値≧30 を満足していない Ts 層（天満砂質土層）に支持されていることが分かった。そこで拡幅に伴う既設杭基礎の増し杭補強において，増し杭は現行基準に準拠し既設杭よりも深い Og 層（大阪砂礫層）で支持させることにした。補強する杭基礎は，既設杭，増し杭の間隔が異なる配置で杭長も既設杭で 15m，増し杭で 32m と異なっていた。補強する杭基礎は、道路橋示方書Ⅳに準拠し設計を行った。すなわち，非線形特性を考慮した杭を梁とし周辺地盤をバネでモデル化した梁－バネモデルで設計を行った。しかし，梁－バネモデルでは，杭－地盤－杭の相互作用（群杭）効果までは考慮できないので，３次元弾塑性有限要素法(FEM)により設計の検証を行った。

２．３次元弾塑性有限要素解析

上部工の拡幅に伴い，既設橋脚 NP-3 を図-1 に示すように梁，柱，基礎の補強設計を行う。レベル２地震時の設計を梁－バネモデルによる従来設計法と３次元弾塑性有限要素法(FEM)解析（図-2）を行う。FEM 解析は，杭間隔を反映した群杭効果を表現するため，杭の体積を考慮できるハイブリット要素を用いた。ハイブリット要素とは場所打ち杭の９割の剛性を持ったビーム要素の周りに１割の剛性を持った弾性体（コラム要素[1)]）を配置した要素である。

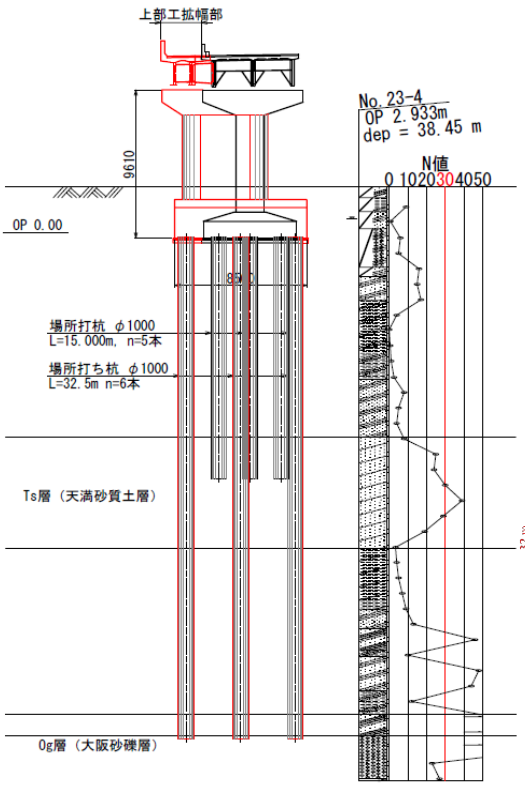

図-1　NP-3 橋脚構造図

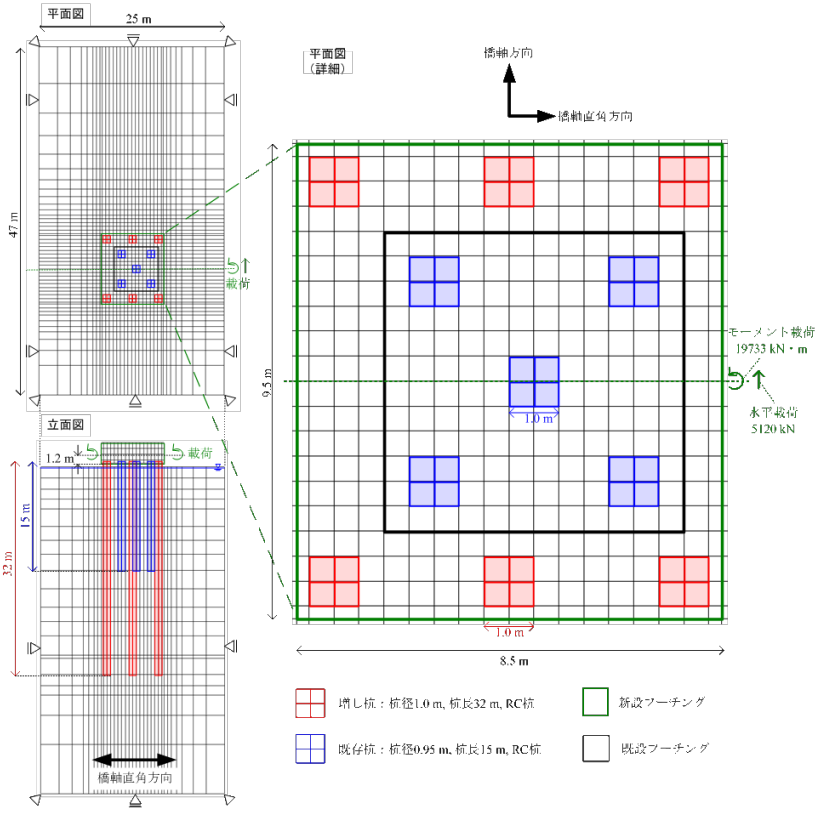

図-2　３次元弾塑性有限要素解析モデル図

キーワード　杭基礎，群杭効果，有限要素法，ハイブリッド要素
連絡先　〒550-00118　大阪府大阪市西区阿波座 1-3-15　阪神高速道路設(株)建設事業本部　TEL 06-6535-9438

3．解析結果

解析結果を図-3～図-5，表-1 に示す。従来設計法と FEM を比較すると以下の知見が得られた。

① 荷重変位関係：図-3 より，基礎の初期剛性は FEM 解析の方が大きかったが，荷重の増加に伴って剛性が低下し，水平震度が上限の 0.44 に達してからは，FEM 解析の方の変位量が大きくなった。これは，FEM 解析では地盤を弾塑性体としているため，塑性化に伴って剛性が低下するためと考えられる。

② 荷重分担率：水平力を増し杭が受け持つ割合は，表-1 より，従来設計では 52%，FEM 解析では 60%となり，既設杭と増し打ち杭が協同して外力に抵抗し，増し杭による補強効果が大きいことが確認できた。

③ 断面力分布：図-3，図-4 より，FEM 解析では既設杭との杭間隔が大きい増し杭の方が小さい杭と比較して，大きな断面力が発生した。すなわち，杭配置による群杭効果が確確認できた。

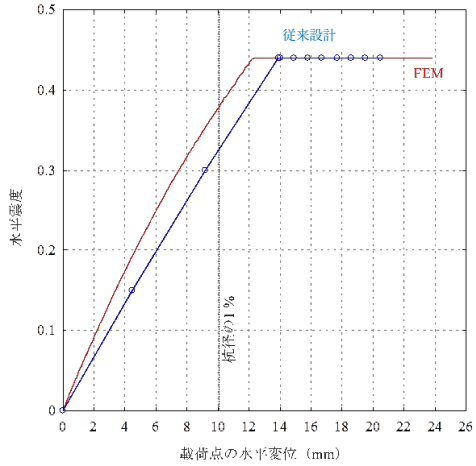

図-3　荷重－変位関係

表-1　解析結果比較表

	既設杭		増杭	
	従来設計	FEM	従来設計	FEM
発生せん断力（kN）	2455	1880	2694	3240
せん断耐力（kN）	3024		7632	
最大発生曲げモーメント（kNm）	786	951	737	924
降伏曲げモーメント(kNm)	1170		1051	
荷重分担率	0.48	0.40	0.52	0.60

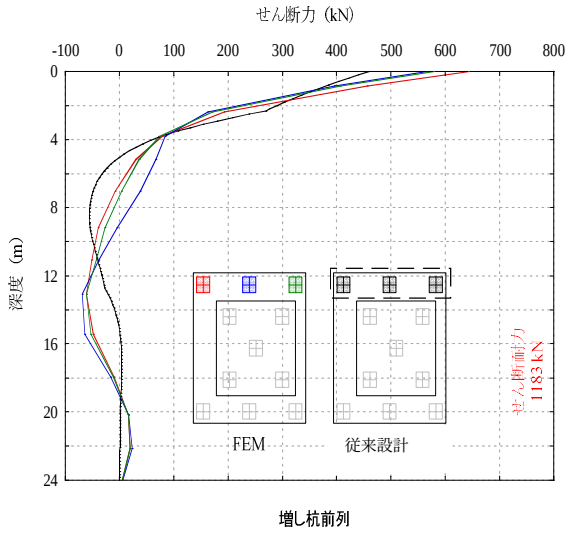

図-4　増し杭のせん断力分布

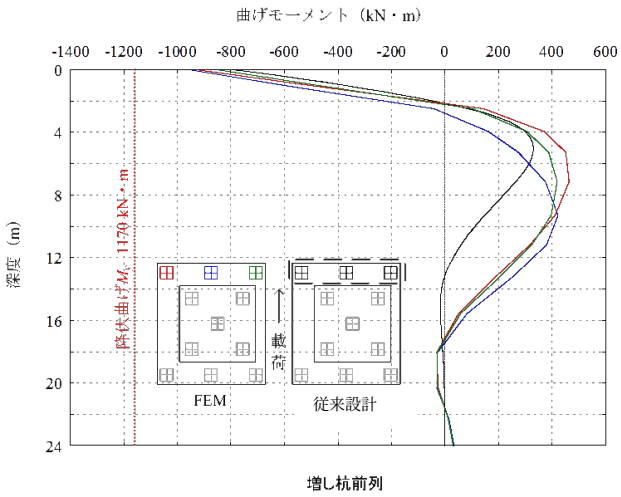

図-5　増し杭の曲げモーメント分布

4．おわりに

杭の体積を考慮した FEM 解析によって従来設計法ではみられなかった杭間隔の違いによる群杭効果の発現を確認でき，[1)]既往の研究と一致する結果であった。また，従来設計を FEM 解析で検証した結果，個々の杭の発生断面力分布は異なるものの，基礎全体の設計としては妥当であった。このように群杭効果による杭の荷重分担を設計に考慮できれば，合理的な増し杭の設計ができるようになると考えられる。本研究を行うにあたり，京都大学木村教授にご指導をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

1）段野孝一郎，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