

岩盤斜面上深礎杭の合理的設計に関する基礎的研究

鹿島建設（株）正会員 ○松木 聡 正会員 田島 新一

西日本高速道路（株）正会員 安里 俊則 正会員 萩野 千晶

正会員 安部 哲生

1. 目的

岩盤を主体とした斜面上の深礎杭の原位置水平載荷試験¹⁾を実施することにより、岩盤斜面上の大口径深礎杭の支持力機構を解明し、得られた試験結果を3次元FEM解析で再現することで、岩盤斜面上の深礎杭の合理的設計法を構築するための基礎資料を得る。

2. 水平載荷試験

斜面上において杭径φ2000、杭長2.8mの深礎杭の試験杭（実大の大口径深礎杭の1/5.5縮小モデル）を施工し、原位置水平載荷試験を行う。

3. 3次元FEMによる再現解析

岩盤の非線形性を考慮した3次元FEM解析を行い、水平載荷試験を再現する。図-1に解析モデル図を示す。また、表-1に解析モデルの概要、表-2に構造物の物性値を、表-3、4に地盤と接合要素物性値をそれぞれ示す。解析上地盤はCM級の一様地盤とし、深礎と岩盤間にすべり・剥離を考慮できる接合要素を配置した。杭と周辺境界との離れは2.5D以上確保し、対称性を考慮した1/2モデルとした。境界条件は対称面と側面は鉛直ローラとし、底面は固定とした。

解析方法は、深礎と地盤のせん断剛性を0に設定し、自重解析を実施した後、載荷点に水平荷重を載荷した。解析ケースは、地盤物性値をピーク強度とした場合と残留強度とした場合の2ケースとする。残留強度時の強度定数は、粘着力cがピーク強度時の1/3倍、せん断抵抗角φが2/3倍とした。

(1)計測値と解析値の比較

図-2に解析における基礎降伏時（最終計算ステップ）の変形図を、図-3に水平載荷試験と3次元FEM解析の杭頭部における載荷荷重－変位曲線の比較結果を示す。載荷試験結果は降伏強度に至るまでは、ピーク強度による解析と整合し、地盤塑性化後は、残留強度による解析の結果に漸近することがわかる。図-4に主筋ひずみ、帯筋ひずみの比較結果を示す。なお、主筋ひずみは図-5におけるT1-V1～3、帯筋ひずみは図-5におけるT2-H1～3の点を図示した。比較結果より、主筋、帯筋ともに試験値に比べて解析値が大きくなる傾向にある。

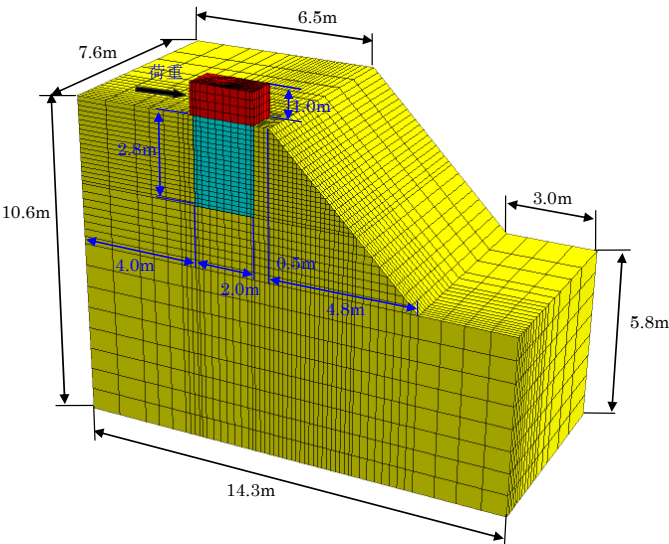


図-1 3次元FEM解析モデル図

表-1 解析モデル概要

杭体 : φ2m , L=2.8m		非線形
地盤		完全弾塑性体
降伏基準	関連流れ則	Drucker-Prager
塑性ポテンシャル		
躯体と地盤の境界	面直方向	ジョイント要素 No-tension
	せん断方向	ジョイント要素 (バイリニア)

表-2 解析用物性値

載荷ブロック	ヤング率 (N/m ²)	ポアソン比	単位体積重量(kN/m ³)
	2.5×10 ¹⁰ ※1	0.2	24
深礎杭 (コンクリート)	初期ヤング率 (N/m ²)	ポアソン比	単位体積重量(kN/m ³)
	2.5×10 ¹⁰	0.2	24
	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破壊エネルギー (N/m)
	24	1.91	78.3
深礎杭 (鉄筋)	初期ヤング率 (N/m ²)	降伏強度 (N/mm ²)	降伏後ヤング率 (N/m ²)
	2.0×10 ¹¹	345	初期ヤング率/100

※1 設計基準強度24MPaより

キーワード 大口径深礎杭, 水平載荷試験, 設計要領第二集, 合理的設計法

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設（株）土木設計本部 TEL 03-5561-2111

(2)破壊モードの比較

図-6に水平載荷試験の降伏時における周面状況を示す。図-7に3次元FEM解析における岩盤塑性域を示す。FEMにおける塑性域は、載荷試験と同様、杭周面地盤の塑性化が確認される。深礎基礎設計にあたっての従来の適用基準である設計要領第二集橋梁建設編²⁾においては、極限水平支持力算定に考慮するすべり土塊を基礎前面からのすべりとして考慮しているが、試験では杭側面からのすべり土塊になっていることがわかる。

4. 考察

3次元FEM解析により、原位置水平載荷試験結果を再現し、結果を比較した。試験の鉄筋ひずみが解析結果より小さくなること、試験で確認されたすべり土塊が設計で想定するものより大きくなることなどが判った。

以上の結果は、岩盤斜面上の深礎杭の合理的設計法を構築するための基礎資料になると考えられる。

表-3 地盤物性値 (CM級岩盤)

	変形係数 (N/mm^2)	ポアソン比	粘着力C (N/mm^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	単位体積重量 (kN/m^3)
ピーク強度時	1460	0.3	1.13	38	25
残留強度時	1460	0.3	0.377 ($=1.13/3$)	25.3 ($=2/3 \times 38$)	25

表-4 接合要素物性値 (深礎-地盤)

粘着力C (N/mm^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	引張強度 σ_t (N/mm^2)
1.13	38	1.44 ($=C/\tan \phi$)

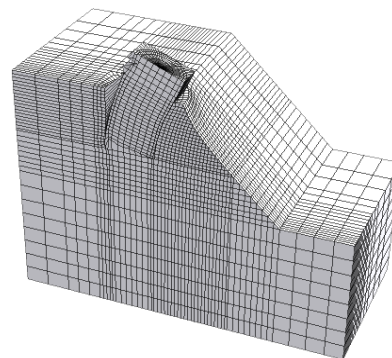
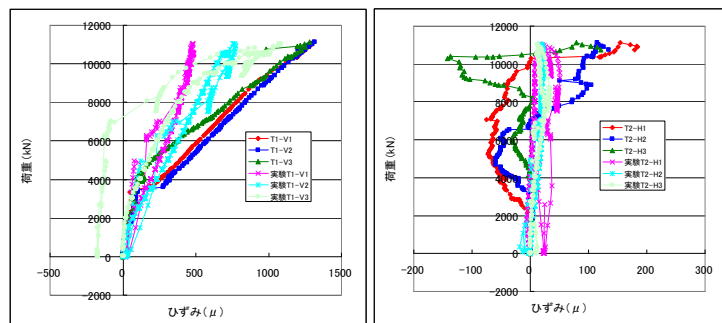


図-2 最終計算ステップ変形図



(a)主筋ひずみ

(b)帯筋ひずみ

図-4 鉄筋ひずみ比較結果

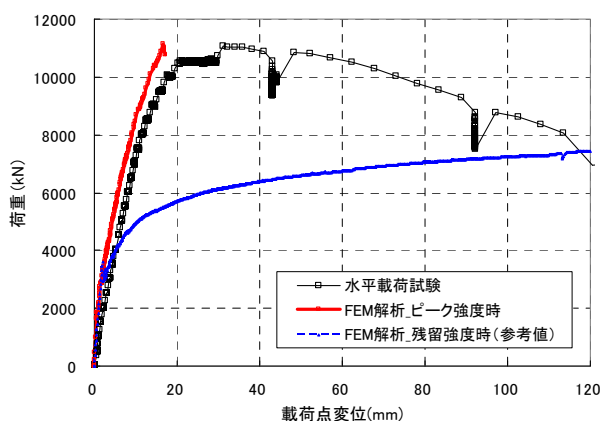


図-3 載荷荷重-変位曲線の比較結果



図-6 杭降伏時周面状況

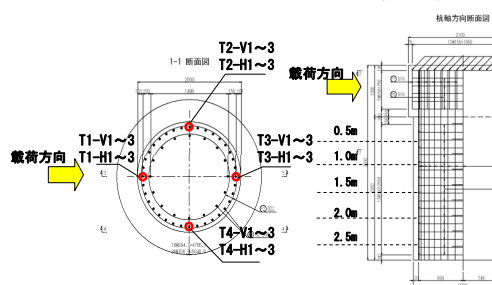


図-5 鉄筋ひずみ計測位置図

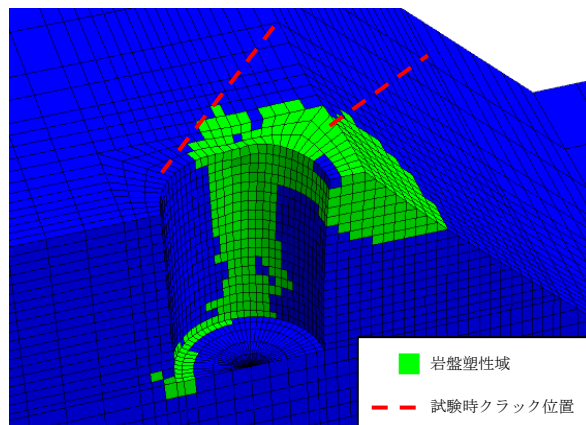


図-7 杭降伏時岩盤塑性域

- 参考文献 1) 安里俊則, 佐溝純一, 下條和寿, 松木聡, 村重直邦: 岩盤を主体とした斜面上深礎杭の現位置水平載荷試験, 第66回年次学術講演会概要集 (CD-ROM), 2011.9
2) 設計要領第二集橋梁建設編: 西日本高速道路株式会社, 2010.02 (一部修正)