

斜面上深礎基礎の水平支持力における杭の根入れ長の影響について

(株)白石 正会員 ○金井塚淳一 彭芳楽 大内正敏
東京工業大学 正会員 日下部治

はじめに

斜面上の深礎杭基礎の水平支持力特性は三次元的な問題で、杭の根入れ長の影響を受けていると考えられる。文献 1,2 では no-tension 効果を考慮した 3 次元弾塑性 FEM による斜面上深礎杭基礎の FEM 解析手法および水平載荷時の挙動について数値解析を行った。本研究では、水平荷重を受ける斜面上深礎杭基礎の水平支持力における杭の根入れ長さの影響について考察した。

解析概要

三次元 FEM 解析モデルは図-1 に示す。傾斜角度 50° を想定した岩盤斜面に、杭径 3m の深礎杭を設置した。杭前面から法肩までの距離は 0.8m である。また、地盤を一層地盤とモデル化した。地盤モデルは、対称性を考慮し、実物の片側のみを取り出してある。解析領域は、幅 26.2m、奥行き 10m 及び高さ 10m とした。荷重条件は、杭背面より斜面谷側方向へ荷重制御で水平載荷を行った。変位の境界条件は側面を面外固定、面内方向を自由とし、底面を面外、面内とも固定した。モデルの要素数は 5874 であり、要素の基本構成は 6 面体 8 節点要素を使用した。非線形解析手法は、剛性マトリックスを逐次再計算する Newton-Raphson 法を用いている。深礎基礎の物性値は弾性体（弾性係数 $E=2.8 \times 10^7$ 、ポアソン比 $\nu=0.1667$ ）、岩盤は、完全弾塑性体（ $E=5.56 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、粘着力 $c=100 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角度 $\phi=42^\circ$ ）を用いており^{1),3),4)}、降伏規準は Mohr-Coulomb 法による関連流れ則を用いた。また、岩盤の引張破壊を考慮するため、応力再分配法による No-tension 解析を行い、要素の最大引張応力を粘着力の 1/2 に設定している。解析ケースは、斜面上深礎基礎における杭の根入れ長さを $L=4.5\text{m}, 5.5\text{m}, 7\text{m}, 9\text{m}, 11\text{m}$ に変化させたモデルを用いている。

解析結果と考察

図-2 は、各解析ケースおよび実験 ($L=7\text{m}$) で得られた杭頭の水平荷重～杭頭変位関係を示す。図-2 に示すように、 $L=7.0\text{m}$ 時の FEM 解析で得られた結果は実験値と良く一致している²⁾。また、深礎杭の根入れ長が大きくなると、同じ荷重に対して杭の水平変位が小さくなり、水平支持力が大きくなる。図-3 は、水平降伏（極限）荷重～杭の根入れ長さの関係を示す。ここで、実験値を含めてすべてのケースの降伏（極限）荷重および降伏変位は Weibull 曲線方法⁵⁾によって求めたものである。杭の根入れ長が大きいほど、降伏および極限荷重が大きくなる。図-4 は、降伏時の杭頭水平変位～杭の根入れ長さの関係を示す。根入れ長さの増加に伴い、降伏時の杭頭水平変位が大きくなる。図-5(a)～(e)は、各解析ケースで得られた杭頭水平変位 50mm 時の塑性ひずみ領域をそれぞれに示す。図-5 に示すように、杭の根入れ長が大きいほど、塑性領域は深くなり、三次元的な広がりが増大する。これは、支持力増大の原因となっているようである。また、杭の根入れ長さの増加により、破壊パターンは変化する。杭頭水平変位が同一の場合、杭の根入れ長さが小さいと、前面地盤のみが塑性化し、背面地盤での抵抗分担が見られなくなり、基礎としてのじん性が低下するようである。一方、杭長が長くなると、斜面の影響が少なくなり、背面地盤も抵抗してじん性が増加するようである。

まとめ

岩盤の no-tension 効果を考慮した三次元弾塑性 FEM により斜面上深礎基礎の水平支持力特性における杭の根入れ長の影響を検討した。この結果、斜面上の深礎杭基礎は、杭の根入れ長の増加により、杭の水平支持力と降伏変位の両方が増加している。塑性領域範囲は杭の根入れ長の増加により深くなり、塑性破壊パターンが変化していることが認められた。

参考文献： 1) 金井塚・彭・大内・岡部・岡田・日下部：斜面上の深礎杭基礎における FEM 解析手法について、第 37 回地盤工学研究発表会（投稿中）； 2) 大内・彭・金井塚・岡田・日下部：No-tension を考慮した水平載荷時の斜面上深礎杭基礎の三次元弾塑性 FEM 数値解析、第 37 回地盤工学研究発表会（投稿中）； 3) 土質工学会：岩の工学的性質と設計・施工への応用, pp.219~225, 1985; 4) 日本道路公団：設計要領第二集（橋梁保全編第四章）, 1997; 5) 宇都・冬木・桜井：杭の載荷試験結果の整理方法、基礎工、Vol.10, No.9, 1982.

キーワード：深礎杭基礎、杭根入れ、三次元 FEM、弾塑性、支持力、破壊メカニズム

連絡先：〒101-8588 東京都千代田区神田岩本町 1-14、(株)白石技術本部、Tel: 03-3253-9118, Fax: 03-3253-7427

E-mail: kanaizuka@shiraishi.com

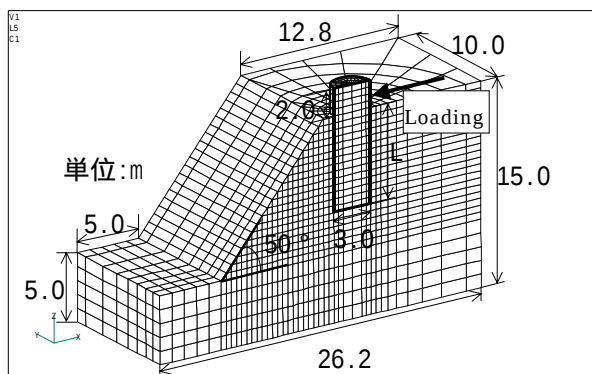


図-1 三次元FEM解析モデル概要図

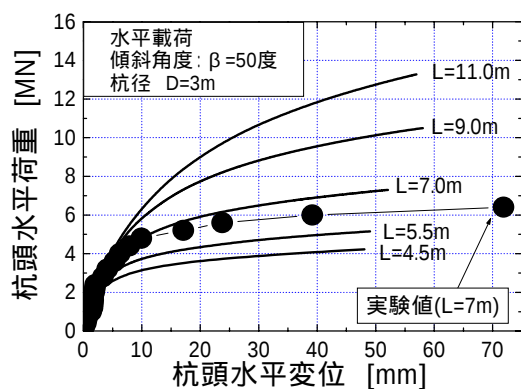


図-2 杭頭の荷重～変位の関係

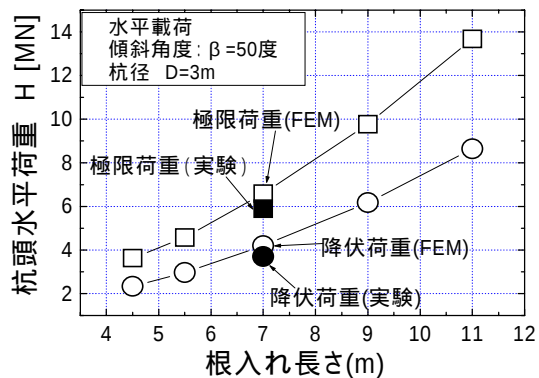


図-3 降伏（極限）荷重～杭根入れ長の関係

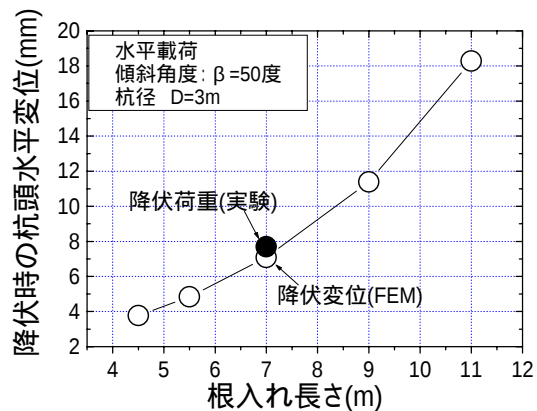


図-4 降伏変位～杭根入れ長の関係

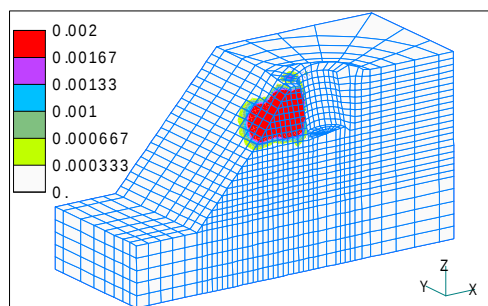
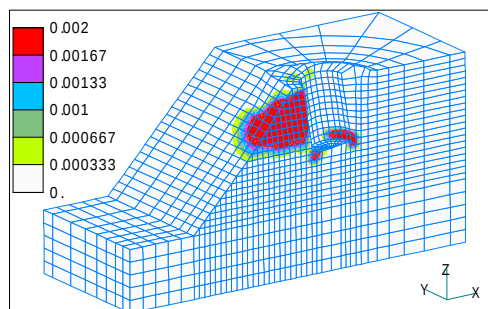
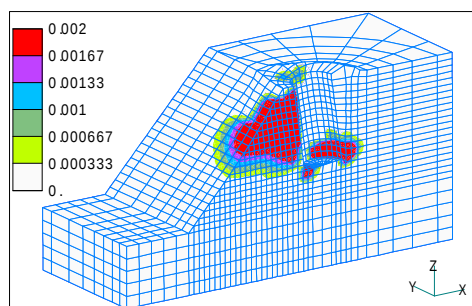
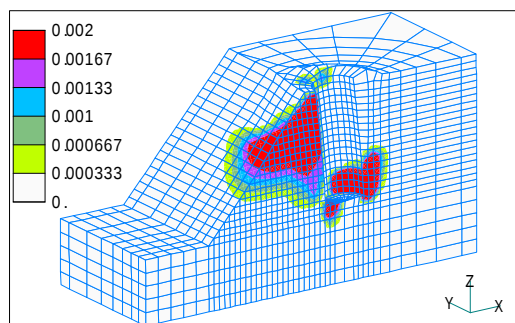
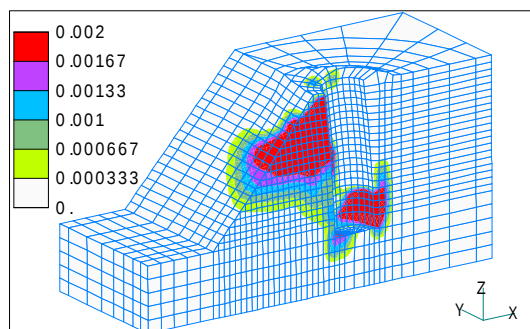
(a) 根入れ長 $L = 4.5\text{m}$ (b) 根入れ長 $L = 5.5\text{m}$ (c) 根入れ長 $L = 7.0\text{m}$ (d) 根入れ長 $L = 9.0\text{m}$ (e) 根入れ長 $L = 11.0\text{m}$

図-5 塑性ひずみ分布（変位 50mm 時）