

斜面上深礎杭基礎の水平支持力における傾斜角度の影響について

(株) 白石 正会員 ○彭芳楽 大内正敏 金井塚淳一
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、斜面の傾斜角による影響を強く受けられていると考えられる。筆者ら^{1),2)}は、斜面上の深礎杭基礎のFEM解析手法および水平载荷を受ける時の挙動に関する検討を行った。本研究では、斜面の傾斜角度の変化により、深礎杭基礎の水平支持力特性および破壊メカニズムについて傾斜影響の評価を試みた。

解析モデル

三次元FEM解析モデル概要を図-1に示す。岩盤の傾斜地盤に杭径3m、杭長7mの深礎杭を設置し、斜面谷側方向へ水平载荷を行った。杭前面から法肩までの距離は0.8mである。斜面角度を変化させ、载荷方向における地盤領域の長さを変化させたが、斜面上の面積（奥行き10m×12.8m）及び斜面高さ10mは固定した。地盤モデルは一層地盤とし、杭中心を通る奥行き方向に垂直な面を対称面として考慮し、1/2モデルを用いた。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($E=5.56 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 、 $\nu=0.3$ 、粘着力 $c=100 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角度 $\phi=42^\circ$)であり^{1),3),4),5)}、降伏規準はMohr-Coulomb法による関連流れ則を用いた。非線形解析には、Newton-Raphson法を用いた。また、岩盤と深礎杭及び岩盤相互間の引張り破壊を考慮するため、要素の最大引張り強度を粘着力の半分の値に設定し、応力再分配法により、要素の応力状態を制御した。引張り破壊した要素については、弾性係数を1/100に低減させた。解析ケースは、斜面の傾斜角度を $\beta=0^\circ$ （水平地盤）、 10° 、 20° 、 30° 、 40° 、 50° 、 60° 、 70° 、 80° に変化させた。

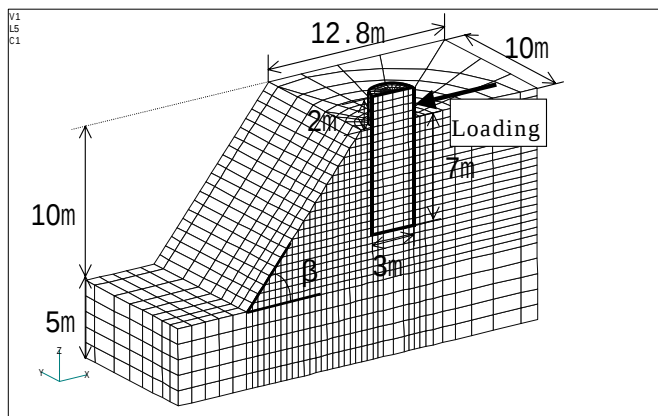


図-1 三次元FEM解析モデル概要図

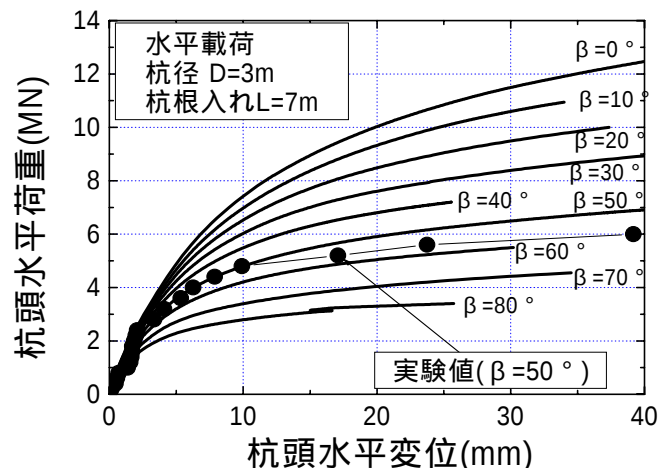


図-2 荷重～水平変位曲線の比較

解析結果と考察

図-2は、杭頭の水平荷重～変位関係について各ケースの解析結果および $\beta=50^\circ$ 時の実験結果を示す。斜面傾斜角度が大きくなると、同じ荷重に対して杭の水平変位が大きくなり、水平支持力が小さくなる。一方、図-3(a), (b)は、各ケースの降伏（極限）荷重および水平地盤に対する水平支持力の低下状況～斜面の傾斜角 β との関係をそれぞれに示す。ここで、降伏荷重および極限荷重は実験値と解析値ともにWeibull曲線方法⁶⁾によって求めた値である。斜面の影響によって深礎杭に対する地盤の水平抵抗力が低下し、斜面の傾斜角 β が大きいほど降伏（極限）荷重は小さくなる。しかも、それらの低下状況は傾斜角の増大とともに直線的に低下し、傾斜角度 $\beta=50^\circ$ 時の降伏および極限荷重は水平地盤のほぼ半分になっている。また、水平地盤に対する水平支持力の低下は、降伏荷重の低減率と極限荷重の方とはほぼ同様である。図-3(c)は、各ケース

キーワード：深礎杭基礎、傾斜角、三次元FEM、弾塑性性、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: peng@shiraishi.com

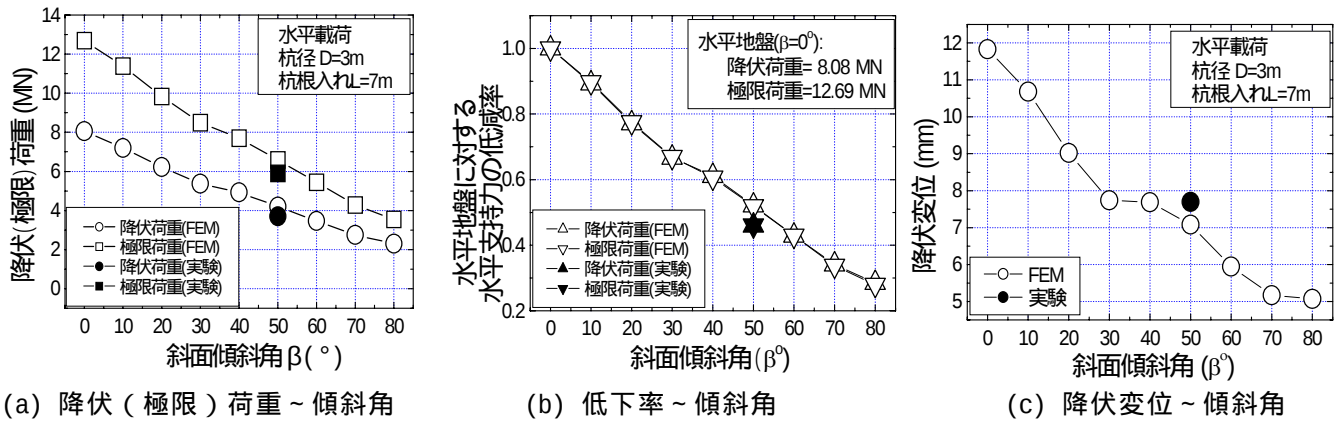


図-3 水平支持力特性～斜面傾斜角の関係

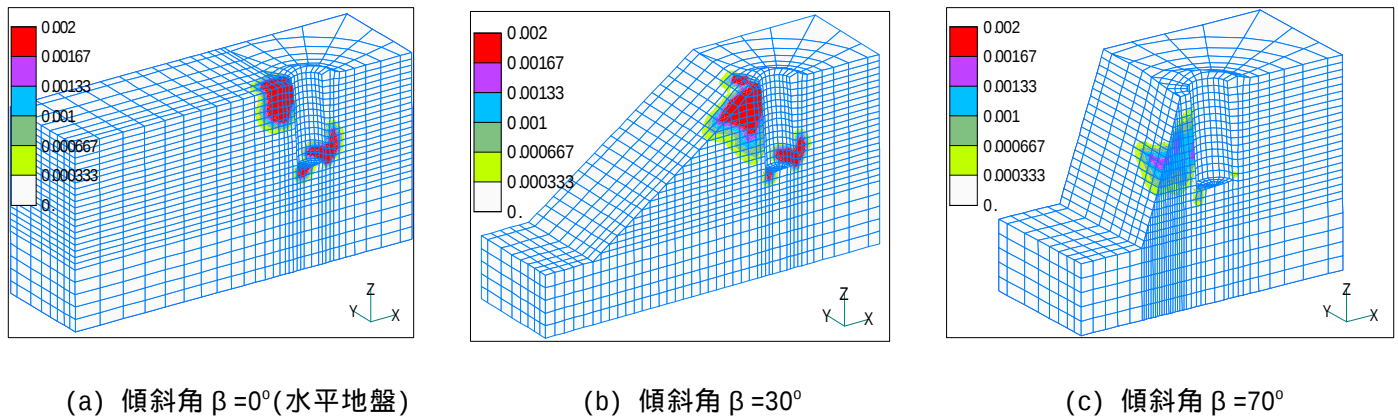


図-4 塑性ひずみ分布（変位 30mm 時）

降伏時の杭頭水平変位～斜面傾斜角 β との関係を示す。斜面傾斜角の増加により降伏変位が減少している。図-4(a)～(c)は、 $\beta=0^\circ$ （水平地盤）、 30° 、 70° のケースに対して、杭頭の水平変位 30mm での塑性ひずみ領域をそれぞれ示す。水平地盤に比べ、斜面があると破壊領域は広がるのがわかる。斜面の浅い部分では地盤が塑性化し、深い部分は弾性領域に止まっている。また、斜面傾斜角 β が大きくなるほど、杭の回転中心位置は下がり、 $\beta=70^\circ$ では杭底面より浅くなる。これにより、傾斜の影響が少ない杭背面地盤での水平抵抗分担が減少し、杭は前方への押し出しモードとなる。また、杭前面の塑性領域は、斜面傾斜角 β が小さい時には斜め上方へ広がり、 β が大きくなると斜め下方へも広がる。

まとめ

No-tension 効果を取り入れた三次元弾塑性 FEM により、斜面上深礎基礎の水平支持力における傾斜角の影響について検討を行った。その結果、傾斜方向の水平支持力は水平地盤に比べると、傾斜角の増加により降伏（極限）荷重および降伏変位が直線的に低下していくことが認められた。今後、斜面傾斜角度の影響について下記事項に着目した比較分析を進めていく。1)降伏・極限荷重に対して、載荷重の相対レベルが同等な場合における地盤の塑性ひずみ分布や基礎体変形モード；(2)平坦地盤および傾斜地盤における支持力の三次元効果の評価。

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) 飯島・岡田・小宅・松島・加藤：亀裂性岩盤の斜面上深礎基礎の実規模水平載荷試験（その 1）、第 35 回地盤工学研究発表会、2000；
- 6) 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