

盛土施工が既設杭基礎に及ぼす影響 2次元および3次元解析による検討

名古屋工業大学 正会員 檜尾 正也 中井 照夫 黒崎 祥子
 東京電力(株) 正会員 佐藤 博
 東電設計(株) 正会員 高橋 秀明 白濱 美香
 清水建設(株) 正会員 鈴木 誠 福武 毅芳

はじめに

基礎の合理的・経済的な設計を行う上で、支持力の算出だけではなく変形予測も重要な問題であるため、実際地盤の諸問題を構造物と地盤の相互作用問題として捉える変形予測手法が有効である。この変形解析の際に、実際は3次元である地盤基礎系モデルを簡略化した2次元解析で行うことが多い。そこで本研究では、杭基礎の近接に盛土を施工した場合、盛土荷重による地盤沈下や盛土周辺での地盤の側方流動によって杭基礎が受ける影響について平面ひずみ条件ならびに3次元条件下の有限要素解析を土・水連成解析で行い、杭基礎の変形や周辺地盤への影響について両解析の比較・検討を行った。

解析の概要

解析対象とする地盤は層厚 30m の飽和粘土地盤であり、その下層に支持層として層厚 5m の砂層がある地盤を想定した。解析に用いた有限要素メッシュを Fig.1 に示す。杭は支持層(砂層)まで設置し、盛土の法尻から 4m と 11m の地点にある。また、杭間 7m で杭本数 4 本の鉄塔基礎を想定し、剛性の大きいビーム要素でそれぞれの杭頭をつなげ床版としている。3次元解析では解析の対称性を考慮して、杭間中心断面を対称面とした解析を行う。したがって、杭は対称面(杭間断面)から 3.5m 離れた位置に設置している。地下水位は地表とし、粘土層(透水係数 $k=1.8 \times 10^{-6}$ m/min)は水・土連成解析とし、砂層は完全排水条件で解析を行った。杭体はビーム要素を用いてモデル化している。3次元解析では杭体の断面積の大きさを考慮するためビーム要素とソリッド要素を組み合わせたハイブリッド要素¹⁾を用いている。また地盤材料の構成モデルは密度や拘束応力の影響を考慮した弾塑性モデル(subloading t_{ij} model)²⁾を用いた。この解析地盤は既往の研究³⁾で用いた地盤の状態を想定しており、土質パラメータは対象地盤から採取した試料を用い三軸試験と標準圧密試験を行い決定している。地盤の初期状態

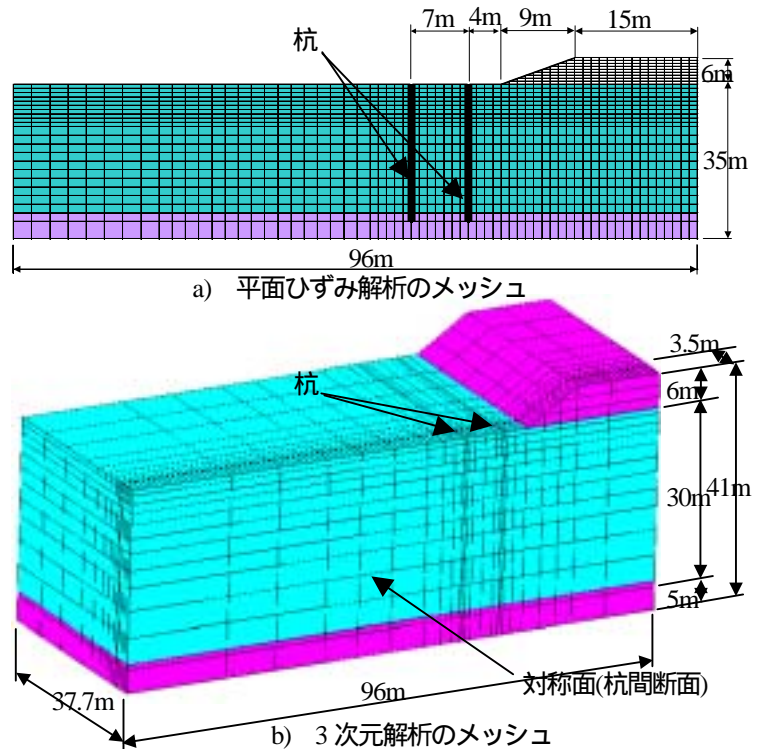


Fig.1 有限要素メッシュ

Table1 解析に用いた材料パラメータ
(a)土質パラメータ

	粘土層	盛土支持層(砂)
λ	0.192	0.07
κ	0.0068	0.006
N	1.25	1.0
$R_{CS}=(\sigma'_1/\sigma'_3)_{CS(comp)}$	3.55	3.5
β	1.5	1.2
a_{AF}	500	50
a_{IC}	500	500

(b)杭体のパラメータ

EI	1.20×10^6 (kN·m ²)
EA	1.93×10^7 (kN)

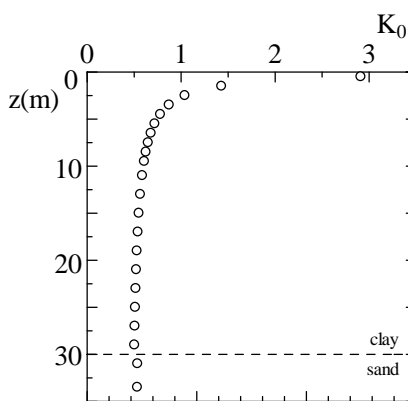


Fig.2 初期地盤の K_0 分布

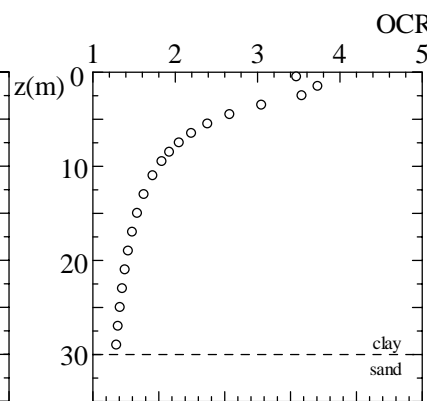


Fig.3 初期地盤の過圧密比分布

は、粘土層(飽和単位体積重量 $\gamma_{sat}=16.7$ kN/m³)を自重圧密させ、その後地表面に 49.1kN/m² のプレロードをかけて過圧密地盤を作成している。この地盤の初期 K_0 値と過圧密比(OCR)の分布図を Fig.2, Fig.3 に示す。また、この地盤に高さ 6m の盛土(盛土施工期間 60 日)を行うが、盛土は湿潤単位体積重量 15.5kN/m³ の砂質土としている。その後過剰間隙水圧が消散するまで放置する解析を行っている。Table1 に解析に用いた材料パラメータを示す。ここで杭の剛性は杭径 1m, 杭間隔 7m のコンクリート杭を考えており、平面ひずみ条件での解析では杭の剛性を単位奥行きに換算(剛性を 1/7)している。

キーワード：杭、有限要素法、3次元、弾塑性
 連絡先 名古屋工業大学 (住所：名古屋市中昭和区御器所町、電話・FAX：052-735-7157)

解析結果の考察

Fig.4 に平面ひずみ解析での地表面沈下形状を、Fig.5 に平面ひずみ解析での水平変位分布を示す。図中の実線および破線は杭基礎がない地盤のみの場合の解析結果を示している。また、図に示すデータは935日目のデータであるが、圧密は500日目でほとんど終了している。これらの図から盛土時に生じた過剰間隙水圧が時間とともに消散することで変形が進んでいることがわかる。杭基礎のない場合の水平変位分布を見ると盛土終了時には側方にははらみだしているがその後の圧密によって地表面付近では盛土の方に引き込まれている。一方、地中(地表面から10m~20m付近)では圧密の進行に伴ってさらに側方へのはらみだしが進んでいる。しかし杭基礎がある場合では、特に、盛土後の圧密時には、杭基礎がない場合のような引き込み変形があまり見られず、杭体によって地盤の変位がかなり抑制されている。これは解析が平面ひずみ条件であるため、この杭体は山留め壁と同じ効果を発揮するからである。次に、3次元解析の結果を示す。Fig.6 に地表面沈下形状を、Fig.7 に水平変位分布を示す。ここで3次元解析では計算の都合で盛土終了時(60日目)のデータのみを示す。3次元解析では平面ひずみ解析と比較すると地表面沈下形状は、3次元解析と平面ひずみ解析ではほとんど違いが見られなかった。しかし、水平変位分布を見ると杭の変位量(特に杭頭変位)が大きく異なり、3次元解析のほうが変位が大きく、さらに盛土から4mにある杭の変形分布が大きく異なる。これは解析の2本の杭が独立ではなく床版で連結されており、杭が壁体にモデル化される平面ひずみ条件では盛土から11mの杭が壁効果を発揮し、連結されている盛土から4mの杭の側方変位に抵抗するため、両方の杭頭変位が抑えられたと考えられる。しかし、3次元解析では杭間を地盤がすり抜けるため盛土から11mでの杭では水平変位を抑えることはできず結果として平面ひずみ解析より大きな変位が生じる結果となった。つまり、平面ひずみ解析では、杭間隔に応じて杭の剛性を低減したとしても盛土に近い杭では変形形状(曲げモーメント分布に相当)を過大に評価し、杭頭の変位(特に盛土から遠い杭の変位)を過小評価する可能性がある。Fig.8 に3次元解析での杭周辺の地表面の変形をメッシュで表した図(実際の変位を50倍して示している)を示す。この図から盛土から4mの杭には地盤とほぼ同じ水平変位が生じており、水平変位の抑制の効果はほとんどない。さらに盛土から11mの杭では地盤よりも杭のほうの水平変位が大きい結果となっている。これは杭同士が床版で連結されているため杭頭が押出されるためである。したがって、このような床版で拘束された杭近傍の地盤は杭から離れた所に比べ側方変位は大きくなる。

結論

近接盛土による杭基礎への影響を平面ひずみ解析と3次元解析で比較・検討した結果、盛土施工後の地表面沈下はどちらもほとんど違いがないが、杭の側方変位では大きな違いが出る。平面ひずみ解析では杭の変形形状を過大に評価し、地表面の水平変位を過小評価する結果となった。したがってより実際の状況に近い3次元解析を行う必要があるといえる。

《参考文献》

- 1)Feng Zhang et al. : Mechanical Behavior of Pile Foundations Subjected to Cyclic Lateral Loading up to The Ultimate State., Soils and Foundations, Vol.40, No.5, pp.1-17, 2000
- 2)T. Nakai & M. Hinokio, A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters., S&F, vol. 44(2), 2004
- 3)檜尾正也 他 : 水平荷重を受ける杭の支持力特性に関する解析-粘土地盤および砂地盤での検討-,第38回地盤工学研究発表会, vol.2, pp.1447-1448, 2003

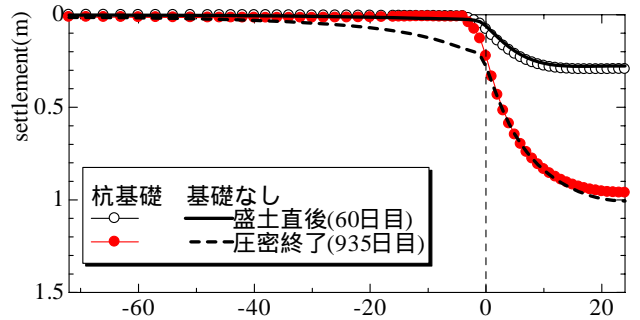


Fig.4 地表面沈下形状(平面ひずみ解析) x(m)

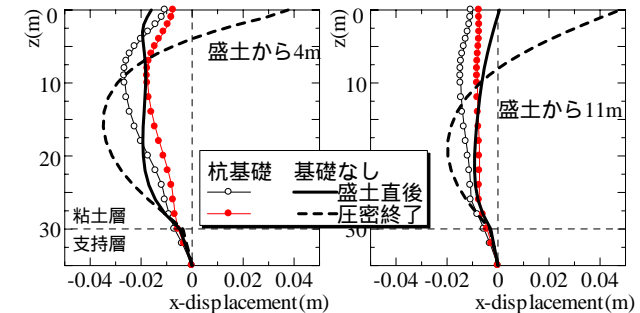


Fig.5 水平変位分布(平面ひずみ解析)

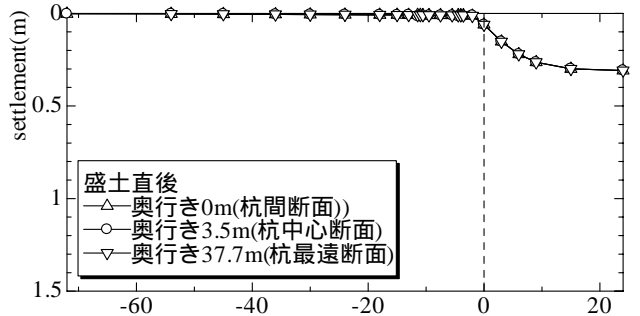


Fig.6 地表面沈下形状(3次元解析) x(m)

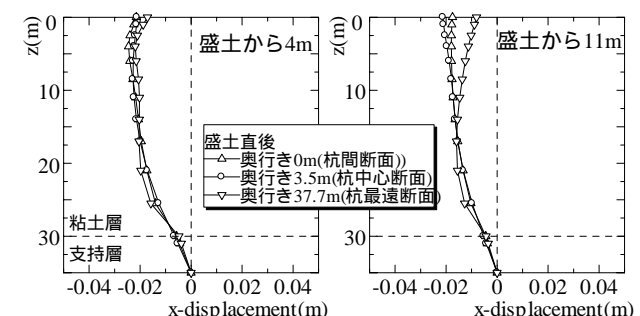


Fig.7 水平変位分布(3次元解析)

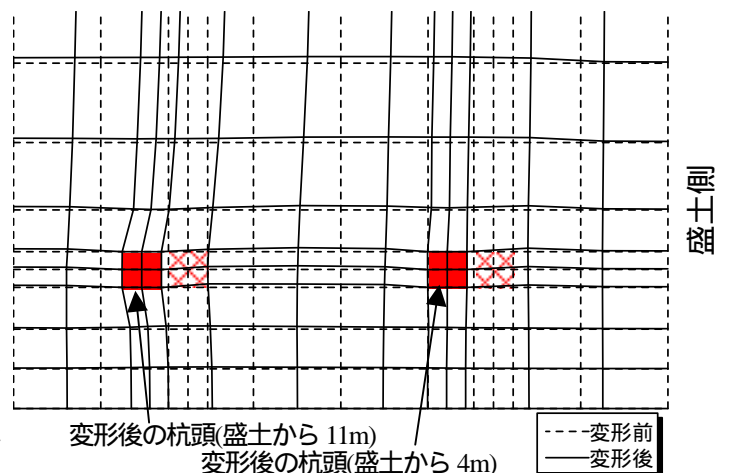


Fig.8 杭周辺の地表面変形形状(3次元解析)