

名古屋工業大学 学生員 西尾彰人
 名古屋工業大学 正会員 中井照夫
 名古屋工業大学 正会員 檜尾正也
 名古屋工業大学 学生員 西村 智

1. はじめに

平成14年、茨城県で台風により送電線の鉄塔が引き抜かれ、倒壊する事故が起きた。これは、杭基礎の引き抜き耐力を上回る引き抜き荷重がかかり引き抜かれた為と考えられる。このような引き抜き方向の荷重に耐えうる基礎として、補強材を杭体の周りに設置した補強型基礎¹⁾がある。本研究では前報²⁾に引き続き、この補強型基礎の補強メカニズムについて検討する。アルミ棒積層体地盤を用いたモデル試験と有限要素解析を行い、これらの実験・解析結果から補強材の向き、剛性の違いによる補強効果の比較、検討を行う。また併せて周辺地盤への影響も検討する。

2. モデル試験および有限要素解析の概要

図1にモデル試験装置の概略図を示す。地盤材料として長さ5cm、直径1.6mmと3.0mmアルミ棒を用い、幅80cm、深さ50cmに積んだアルミ棒積層体を地盤としている。モーターで強制変位を与え、先端に取り付けたロードセルにより荷重を計測している。補強材は3.0mmと0.1mmの厚さのアルミ板を用い、設置角度は図2の4パターンである。载荷パターンは鉛直引き抜き、鉛直押し込みと傾斜引き抜きの3パターンで行い、傾斜引き抜きの傾斜角は15°、30°で行った。

有限要素解析はモデル試験と同じスケールで行い、構成モデルとして *subloading t-j model*³⁾を、要素にはアイソパラメトリック要素を、平面ひずみ条件および軸対称条件、微小変形理論、排水条件下で解析した。補強材の設置角度はモデル試験同様図2の4パターンである。载荷パターンは平面ひずみ条件では鉛直引き抜き、押し込み、傾斜引き抜きの3パターン、軸対称条件では鉛直引き抜きおよび押し込みの2パターンについて行った。解析で用いた材料パラメータを表1に示す。図3に平面ひずみ条件下での解析に用いた有限要素のメッシュ⁴⁾の一例を示す。地盤と基礎および地盤と補強材の間はジョイント要素で、補強材はビーム要素として表現している。補強材は実験に用いた補強材と等価の剛性を持つ2種類を用意した。それぞれの剛性、杭と地盤との摩擦角、補強材と地盤との摩擦角を表2に示す。軸対称条件下での解析では補強材の単位断面積あたりの剛性を等

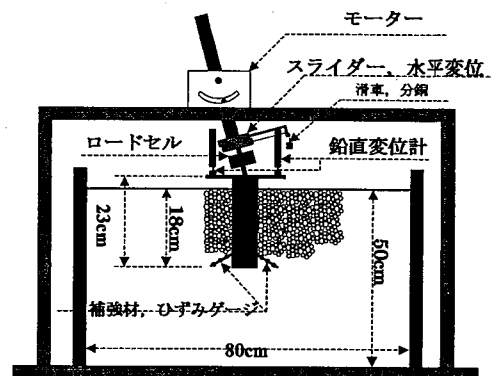


図1 モデル試験機

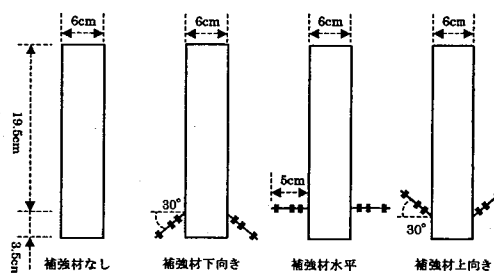


図2 補強材の設置方向

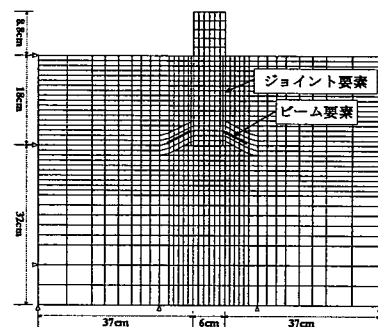


図3 解析メッシュの一例

表1 解析で用いた材料パラメーター

λ	0.008
κ	0.004
$N (e_{ac} \text{ at } p = 1.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ \& } q = 0 \text{ kgf/cm}^2)$	0.3
$R_{cs} (\sigma / \sigma_s(\text{comp.}))$	1.8
β	1.2
ν	0.2
a	1300

Deformation and Bearing Capacity for Reinforced-type Deep Foundation
 - 2D and 3D model tests and numerical analyses

A.Nishio, T.Nakai, M.Hinokio, T.Nishimura (Nagoya Institute of Technology)

しくするため杭から離れるに従い剛性を下げた。ここで、軸対称条件と平面ひずみ条件で補強材の付け根部の補強材剛性が等しくなるように調整をした。

3. 鉛直載荷時の平面ひずみ条件での比較と考察

図4, 5に引き抜きおよび押し込みにおける変位～荷重関係を示す。縦軸に引き抜きおよび押し込み抵抗力を、横軸に押し込みおよび引き抜き方向の変位をとって整理した。また図6に補強材が軟らかい場合の補強材の軸力分布を示す。引き抜き時については変位0.2cm時の、押し込み時は変位2.0cm時の様子を示す。縦軸に引張方向を正に軸力を、横軸に基礎からの距離をとって整理している。

引き抜き、押し込みともに解析結果は実験結果を定性的、定量的によく表現できている。軟らかい補強材の場合、引き抜き時は下向き、水平、上向きの順に大きな抵抗力を発揮した。押し込み時はごくわずかに上向きと水平で大きな抵抗力を示したが、補強材の向きによる抵抗力の差はほとんど無かった。また、補強材無しの場合と比較しても、抵抗力の違いはあまり無い。補強材の断面力は、押し込み・引き抜きともに曲げモーメントは働いておらず、軸力のみ働く。このことより補強材による抵抗力は補強材の軸力のみによって受け持たれると言える。しかし、押し込み時では軸力もほとんど働いておらず、このことから補強材による効果が発揮されないことがわかる。

硬い補強材の場合、引き抜き時は下向き、水平、上向きの順に大きな抵抗力を発揮した。押し込み時も下向きと水平で大きな抵抗力を発揮した。また、軟らかい補強材と比べると、補強材による抵抗力の増加は大きい。補強材には曲げモーメントも生じ、曲げ補強材としても機能しており、この分軟らかい補強材よりも大きな抵抗力を発揮したと考えられる。

表2 補強材の剛性・摩擦角

	硬い補強材(厚さ3mm)	軟らかい補強材(厚さ0.1mm)
補強材のEI (kgf/cm ²)	1.936×10^3	7.170×10^2
補強材のEA (kgf)	3.012×10^5	8.604×10^3
杭と地盤との摩擦角	14°	
補強材と地盤との摩擦角	20°	

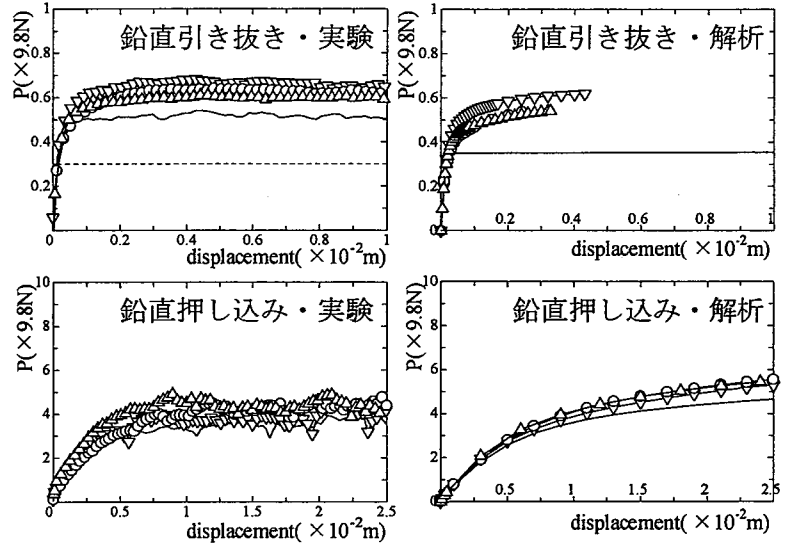


図4 軟らかい補強材・変位～荷重関係

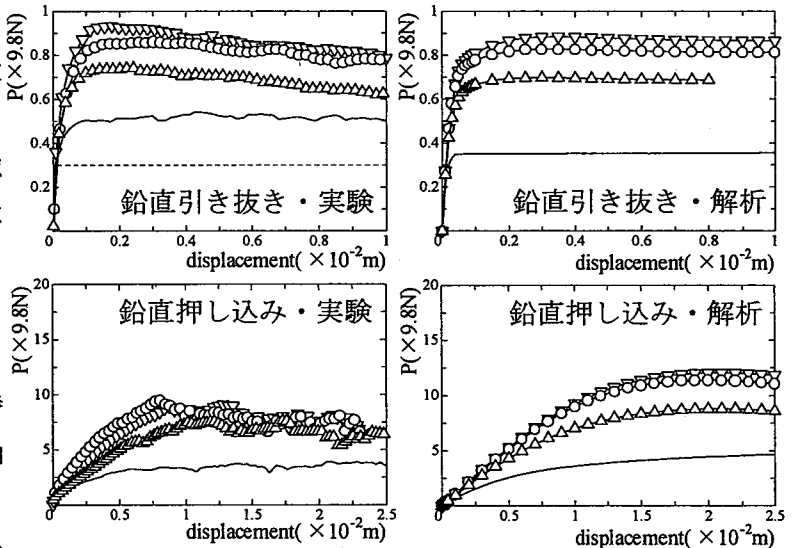


図5 硬い補強材・変位～荷重関係

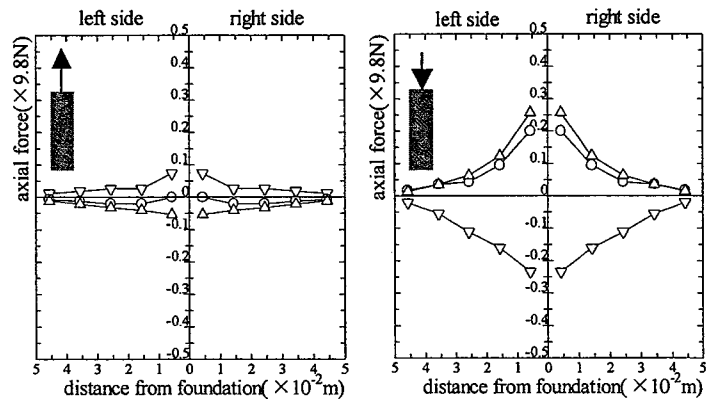


図6 補強材が軟らかい時の軸力分布

— 補強材なし ▽ 補強材下向き
 -○- 補強材水平 ▲ 補強材上向き

4. 傾斜載荷時の平面ひずみでの比較と考察

図7に傾斜引き抜き時の変位～荷重～回転角関係を示す。縦軸に載荷方向の引き抜きと反時計回りを正にとった基礎の回転角を、横軸に水平変位と鉛直変位の合計をとって整理した。解析結果はやや実験結果を過小評価しているが、向きによる抵抗力の違いは実験結果をと同じ結果を得た。補強材を下向きに設置したときに最も大きな抵抗力を発揮し、上向きと水平はほぼ同じ抵抗力となった。傾斜角を大きくしていくと補強材の設置角度の違いによる抵抗力の差は無くなっていく。また、傾斜角 30° では補強材の有無による抵抗力の違いも見られなくなった。

図8に補強材の軸力分布を示す。縦軸に軸力を引張方向を正に、横軸に杭からの距離をとって整理した。解析において、鉛直引き抜きでは杭の左右で等しく生じていたが、傾斜角を大きくしていくと、傾斜引き抜き荷重のかかる反対側でより大きな軸力が生じた。設置方向の違いによる軸力の方向は、下向きの時は引張方向、上向きで圧縮方向、水平ではほとんど軸力は生じない。

図9に補強材を下向きに設置した時の、変位 1.0cm 時の変位分布とせん断ひずみ分布を示す。変位については、杭の根入れ部で最も大きな変位をしており、ここを中心に分布は広がっている。また、変位の大きいところは引き抜き荷重がかかっている左側でより広く分布している。せん断ひずみ分布から、杭の右側で大きなせん断ひずみが生じていた。これらの結果より、引き抜かれる側では剛体としての変形が、反対側ではせん断変形が生じているとわかる。

5. 鉛直載荷時の平面ひずみ条件と軸対称条件の比較と考察

図10に鉛直載荷時の変位～荷重関係の平面ひずみ条件と軸対称条件の解析結果の比較を示す。載荷方向、補強材の剛性に関わらずどのパターンにおいても軸対称の方が大きな抵抗力を発揮した。これは軸対称では平面ひずみ条件と比べ補強材の面積が大きく、補強材と地盤との間の摩擦力が大きいことが理由として挙げられる。また、補強材の設置角度の違いによ

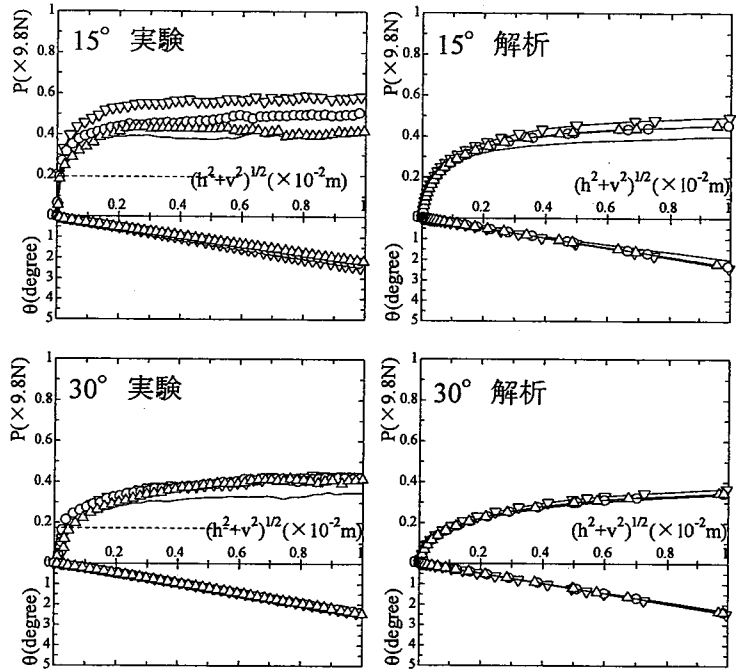


図7 傾斜載荷時の変位～荷重～回転角関係

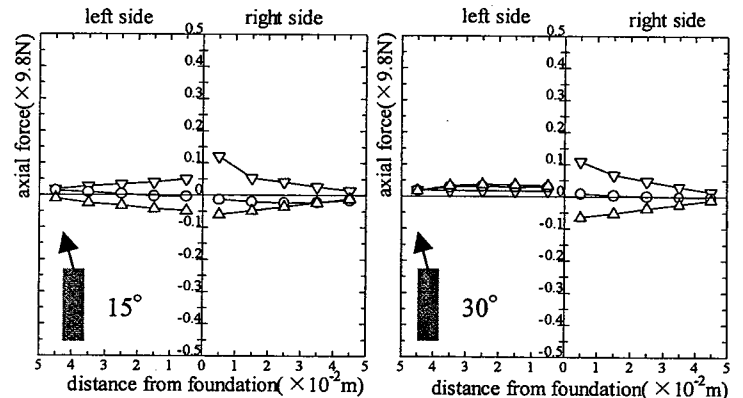


図8 傾斜載荷時・軸力分布

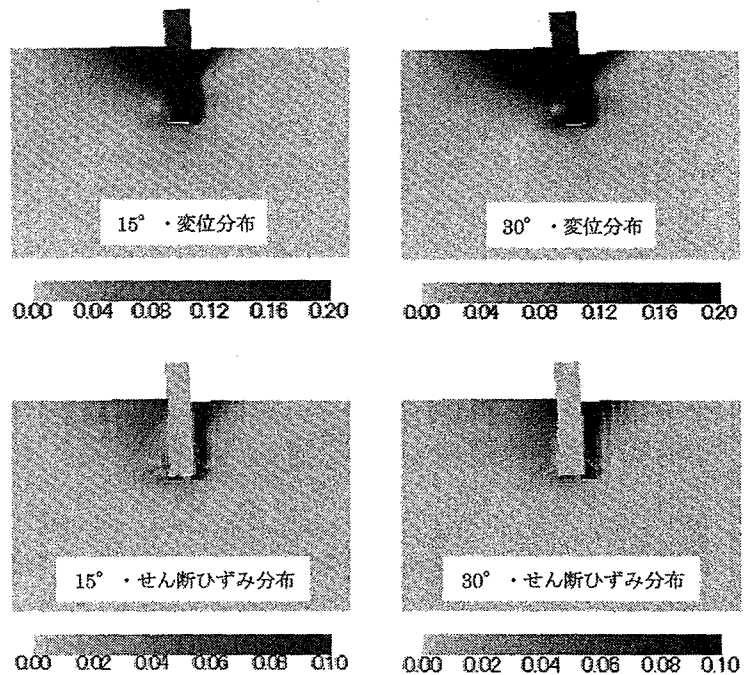


図9 変位分布とせん断ひずみ分布

る抵抗力の違いも顕著となった。引き抜き荷重は剛性によらず下向きで最も大きな抵抗力。押し込み荷重は軟らかい補強材の場合は上向きで大きな抵抗力となる。また押し込み荷重で硬い補強材の場合、補強材の面積が増加することにより拡底杭のような効果が得られたため支持力が増大したと考えられる。

曲げモーメント、軸力ともに軸対称になり全体として大きな値となり、また補強材方向による違いも顕著となった。

解析における地盤の変形については、荷重方向に関わらず、変位分布、せん断ひずみ分布ともに軸対称条件ではそれらの分布範囲は小さくなった。特に、押し込み荷重では平面ひずみ条件の時は杭体の真下を中心に側方へ広く分布していたが、軸対称条件の時は変位の分布が杭の周りで抑えられている。図11に軟らかい補強材を下向きに設置した時のせん断ひずみ分布の平面ひずみと軸対称の比較を示す。

6. 結論

1. 今回、平面ひずみ条件下で行った解析は、実験結果で得られた各荷重方向における支持力特性を、定性的・定量的に表すことができた。
2. 鉛直引き抜きでは補強材の剛性に関わらず、補強材を下向きに設置した時に最も大きな抵抗力を発揮した。鉛直押し込みでは硬い補強材の場合、下向き補強材で、軟らかい補強材の場合、水平と上向きの補強材で最も大きな抵抗力を発揮した。
3. 傾斜引き抜き時では、補強材の軸力は片側でしか働かず補強効果は小さい。傾斜角が大きくなると補強材と地盤との間の摩擦力の低下により、どの設置角度でも補強材の効果は発揮されず、引き抜き抵抗力も小さくなり、傾斜角 30° では補強材無しの引き抜き抵抗力とほぼ等しくなった。
4. 軸対称条件では、平面ひずみ条件よりも補強材の効果が増大し、ならびに補強材と地盤との間の摩擦力も増大した。また、設置角度の違いも顕著になった。

★ 参考文献 ★

- 1) Matsuo, M. and Ueno, M. 1989. Development of ground reinforcing type foundation. *Proc. 12th ICSMFE* 2: 1205-1208.
- 2) Behavior of reinforced foundation under uplift and push-in loadings-model tests and analyses.
- 3) Nakai & Hinokio (2002): *Proc. of IWS-Calgary*, 3-16.
- 4) Nakai, T., 1985. Finite Element Computations for active and passive earth pressure of retaining wall. *Soil and Foundations* 25(3): 98-112.

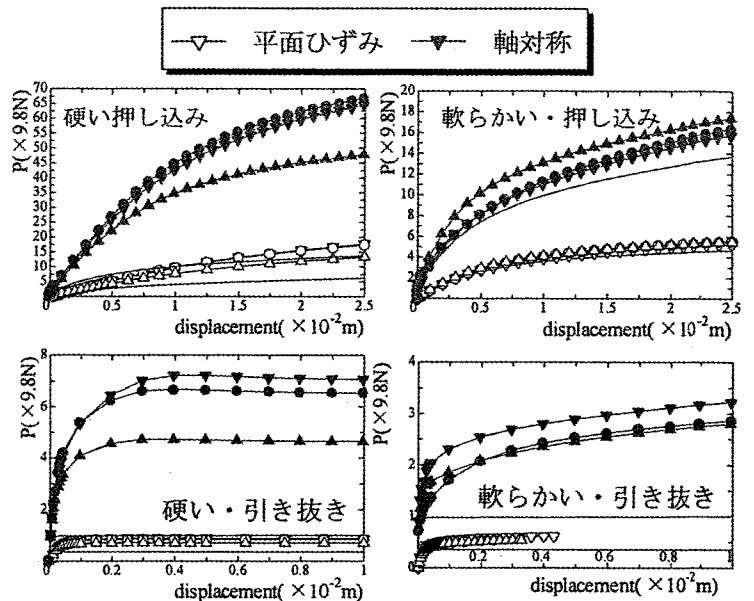
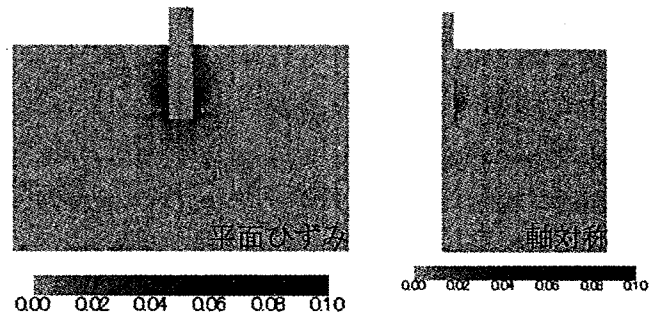
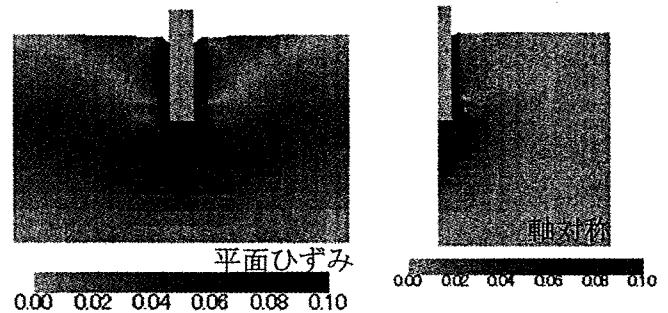


図10 変位～荷重関係 平面ひずみと軸対称の比



(a)鉛直引き抜き時 (変位 0.2cm)



(b)鉛直押し込み時 (変位)

図11 せん断ひずみ分布 平面ひずみと軸対称の比較