

アルミ棒積層体による直接基礎の鉛直支持力特性

金田 一広¹・須藤 友輔²・中井 照夫³

¹正会員 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)
E-mail: kazuhiko.kaneda@p.chibakoudai.jp (Corresponding Author)

²学生会員 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)
E-mail: s20b2057rp@s.chibakoudai.jp

³正会員 地域地盤環境研究所 名古屋事務所 (〒464-0856 名古屋市千種区吹上 1-1-8-706)
E-mail: nakai@geor.co.jp

直接基礎の鉛直支持力に関して Terzaghi の支持力式がよく用いられる。この支持力式は粘性土、砂質土項および根入れの項の和として表現される。日本建築学会の基礎構造設計指針でも同様な支持力式が提案されている。砂質土項には寸法効果が記載されているが、根入れ項では寸法効果は記載されていない。剛塑性有限要素法によるこれら寸法効果の検討はなされているが変形解析ではまだ十分に検討されていない。本研究ではアルミ棒積層体と数値解析を用いて基礎幅の異なる 3 つの基礎を用いて鉛直支持力の寸法効果について検討し模型実験レベルでの寸法効果のメカニズムについて検討した。さらに根入れのある鉛直支持力について数値解析を実施して、根入れの項にも寸法効果が存在することを明らかにした。

Key Words: Spread Foundation, Embedding Foundation, Size Effect, Aluminum Bar Stack, Subloading tij model

1. はじめに

直接基礎の鉛直支持力に関して Terzaghi の支持力式がよく用いられる。粘性土、砂質土項および根入れの項の和として表現される。例えば次式は日本建築学会から出ている建築基礎構造設計指針¹⁾(以下、基礎指針)に記載されている鉛直極限支持力である。

$$q_u = i_c \alpha c N_c + i_\gamma \beta \gamma_1 B \eta N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q \quad (1)$$

ここに、 q_u は支持力値 (kN/m²)、 $i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2$ 、 $i_\gamma = (1 - \theta/\phi)^2$ (傾斜荷重に関する補正係数)。ここで $\theta = \tan^{-1} H/V$ (°) で H 、 V は水平および鉛直荷重、 α 、 β は基礎の形状係数、 c は支持地盤の粘着力 (kN/m²)、 N_c 、 N_γ 、 N_q は支持力係数、 γ_1 、 γ_2 は支持地盤および根入れ部分の土の単位体積重量 (kN/m³)、 B は短辺の基礎幅 (m)、 $\eta = (B/B_0)^{-1/3}$ (B : 基礎幅、 B_0 : 1m) (寸法効果に関する補正係数)、 D_f は根入れ深さ (m) で、 ϕ は内部摩擦角 (°) である。

基礎指針では、式(1)のように N_γ 項に関して内部摩擦

角 ϕ の拘束圧依存性等の影響として、 η という基礎の寸法効果の考慮が示されている。ただし、 N_c 項、 N_q 項の寸法効果の記載はない。

N_γ 項や N_q 項の寸法効果について、著者らは剛塑性有限要素法について検討してきた²⁾。一方、アルミ棒積層体を用いた研究として例えば川田・西岡は水平交番荷重によって直接基礎の偏心荷重についての検討などはなされている³⁾。剛塑性解析は変形を無視した極限つり合いにもとづき、強度定数が必要なパラメータであるため設計としては使いやすい。しかし、実際は変形をしながら破壊へと推移するため変形解析を通して寸法効果のメカニズムを調べる必要があると考えている。しかし変形解析で直接基礎の寸法効果について述べられた論文は筆者の浅学ではあるが見当たらなかった。そこで本研究ではまずアルミ棒積層体による室内実験で直接基礎の寸法効果を確認する。アルミ棒積層体は砂などの摩擦材料に近い挙動を示し、繰り返し使用できる利点がある一方、後に示すが粒径が砂に比べて少ないため粒径の影響を受ける。次に、アルミ棒の 2 軸試験結果から弾塑性構成式 Subloading tij モデル⁴⁾によるパラメータの同定を実施して

アルミ棒積層体のモデル化を行う。この数値モデルを用いてアルミ棒積層体の直接基礎の変形解析を行い、実験と比較することで挙動のメカニズムを調べる。また、数値解析により、根入れの効果について引き続き検討する。

2. アルミ棒積層体による直接基礎の実験

(1) 実験の概要

図-1 にアルミ棒積層体の実験装置を示す。幅 1200mm の装置に高さ 460mm のアルミ棒積層体を設置する。その中央に図-2 には基礎幅 120mm の基礎を示すが、そのほかにも、80mm, 160mm の基礎を設置する。基礎の底面は紙やすりを添付し、基礎とアルミ棒との摩擦を確保している。アルミ棒は長さ 50mm で直径 1.6mm と 3.0mm の 2 種類を用いて重量比 3:2 で設置する⁹⁾。これは豊浦砂との相似な粒度分布を設定している。アルミ棒積層体は、アルミ棒を積み重ね隙間のないように上からアルミ板でつきながら間隙を埋め、地表面は木片で押しながら水平にした。基礎の中心を載荷速度 2.5×10^{-2} mm/s で、基礎幅で正規化したひずみで 6% まで載荷した。載荷中心は固定していない。載荷ロードにロードセルを設置し、基礎両端で変位計を用いて鉛直変位を測定した。以下に示すひずみは両端の変位の平均から求めている。

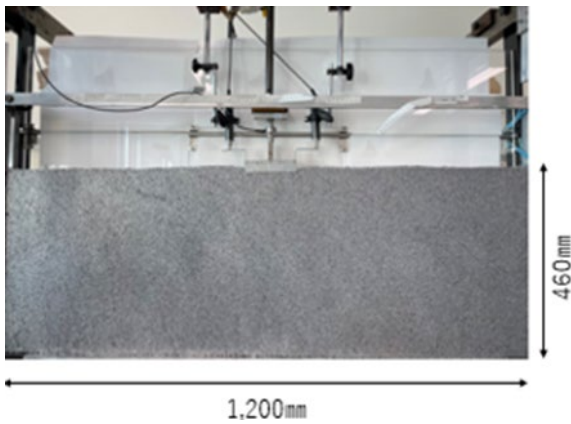


図-1 アルミ棒実験装置の概要

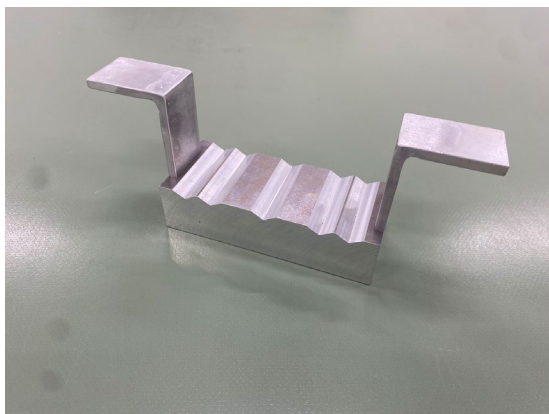


図-2 基礎の概要(120mm)

(2) 実験結果と考察

図-3 に基礎ごとの鉛直応力 σ とひずみ ε 関係を示す。鉛直応力はロードセルの値を基礎幅面積で割り、ひずみは変位を基礎幅で割って求めている。基礎幅 80mm と 120mm がひずみ 3% 程度まではほとんど同じだが、基礎幅が大きいほど応力 σ が大きくなっている。図-4 に $2\sigma/B\gamma$ で整理したグラフを示す。 σ は応力、 B は基礎幅(m)および γ はアルミ棒積層体の単位体積重量 $\gamma=20.4$ kN/m³ である。これは式(1)の第 2 項で $i_\gamma = 1$ 、基礎の形状係数は連続として $\beta=0.5$ としたとき ηN_γ で整理している。 $2\sigma/B\gamma$ で整理すると大きい方から基礎幅 80mm, 160mm, 120mm となっている。式(1)の第 2 項の η がなければ寸法効果がない状態であるが、図-4 の結果から $2\sigma/B\gamma$ で整理したときに各基礎幅で値が違っていることから寸法効果があることがわかる。なおそれぞれ実験は 2-3 回行っており、ピークなどのばらつきは見られたが上記の基礎幅における傾向は同じであることを確認している。

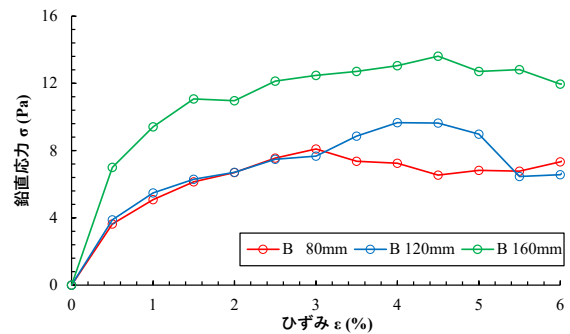


図-3 鉛直応力 σ とひずみ ε の関係

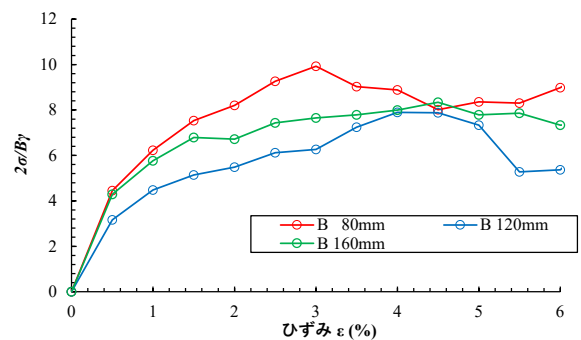


図-4 $2\sigma/B\gamma$ とひずみの関係

3. Subloading tij モデルによる直接基礎の再現解析

(1) パラメータの同定

中井らによって実施された 2 軸試験によるアルミ棒の実験⁹⁾を Subloading tij モデルを用いてパラメータの同定を行う。図-5 には 2 軸試験機を示す。Subloading tij モデルについてここでは詳しくは述べないが、簡単に特徴を述べておく。Subloading tij モデルは、Cam-clay model 型のパラ

メータにいくつかの材料パラメータを追加するだけで、Cam-clay model では説明できない地盤材料の力学特性を説明可能にした構成モデルである。次の3点が主な特徴である。① t_{ij} の概念を用いて、地盤材料の変形・強度特性に及ぼす中間主応力の影響を考慮している点。② 下負荷面(Subloading surface)の概念を用いて、地盤材料の変形・強度特性に及ぼす間隙比や拘束応力の影響を考慮している点。③ 降伏関数やひずみ硬化パラメータを増やすことなく、塑性ひずみ増分方向に及ぼす応力増分方向の影響を考慮している点。このように中間主応力や土の密度の違いなど考慮できるモデルである。さらに詳しい説明は参考文献を参照されたい⁴⁾。ここでは、拘束圧を19.6kPaにした時の側圧一定試験を図-6に、軸圧一定試験を図-7に示す。同時にSubloading t_{ij} モデルでのFitting結果も示す。青のプロットが実験、赤線がSubloading t_{ij} モデルの結果である。左の軸が応力比 R 、右の軸が体積ひずみ ϵ_v を示している。+が圧縮を示す。側圧一定試験では若干ピーク値がSubloading t_{ij} モデルの方が実験結果より大きく出ているが、初期勾配や体積ひずみの挙動は側圧一定、軸圧一定ともおおむね再現されている。特にアルミ棒積層体でも過圧密土のようにせん断初期は圧縮しており、せん断が進むと膨張している。表-1に同定したパラメータ群を示す。なお、次節に模型実験の再現解析を実施するが、このパラメータを用いており、模型の拘束圧に応じて間隙比を変化させている。Subloading t_{ij} モデル自体に拘束圧依存性を有しており、模型実験は小型のため低拘束圧ではあるがアルミ棒積層体の拘束圧に応じたせん断挙動を表現できる。2軸試験ではなるべく低拘束圧で行ってパラメータを同定した。

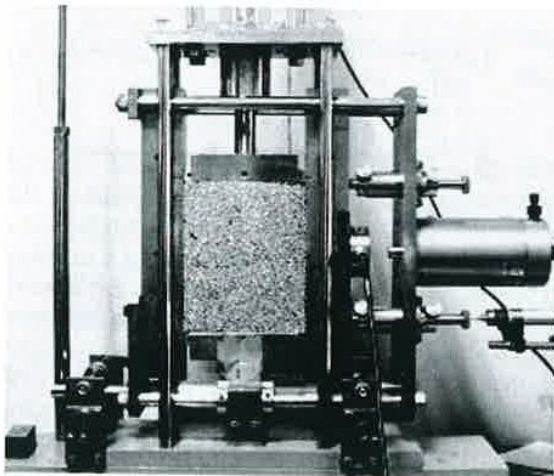


図-5 2軸試験機

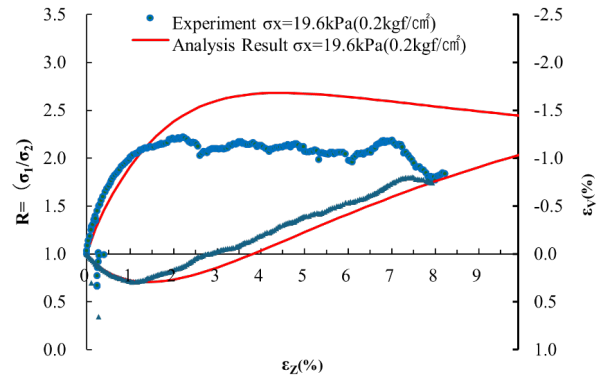


図-6 応力比 R 、体積ひずみ ϵ_v とひずみの関係 (側圧一定)

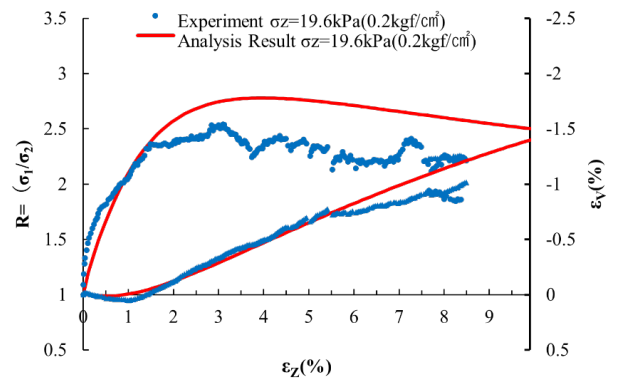


図-7 応力比 R 、体積ひずみ ϵ_v とひずみの関係 (軸圧一定)

表-1 Subloading t_{ij} モデルのパラメータ

単位体積重量 γ [kN/m^3]	20.4
圧縮指数 λ	0.008
膨潤指数 κ	0.004
R_s	1.80
N	0.3
ポアソン比 ν [-]	0.2
β	1.2
e_0	0.303
a	35.0
k_a	1.0

(2) 解析条件と解析結果

図-7 に解析メッシュを示す。寸法はアルミ棒の実験と同じで、460mm×1200mmとしている。底面は固定条件とし、側面は水平方向のみ固定とした。基礎幅に応じて節点に強制変位量を基礎幅の10%まで鉛直載荷を行う。荷重は各節点の反力を合計して求めている。

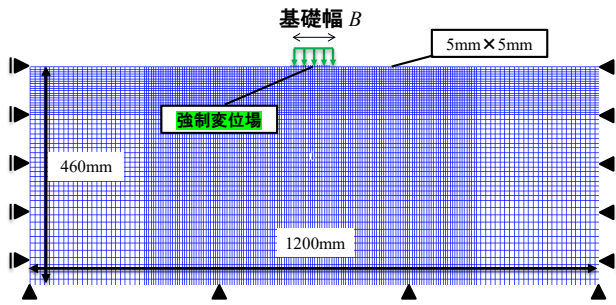


図-7 解析メッシュ

図-8 に鉛直応力 σ とひずみ ε 関係図を示す。実験と同様に基礎幅が大きいほど鉛直応力が大きくなっている。図-9 には $2\sigma/B\gamma$ で整理した結果を示す。基礎幅が小さいほど大きい値となった。

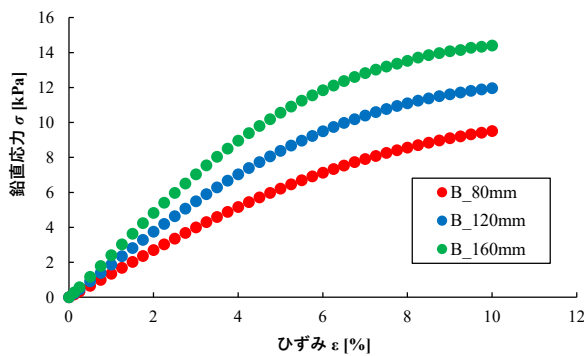


図-8 鉛直応力 σ とひずみ ε の関係

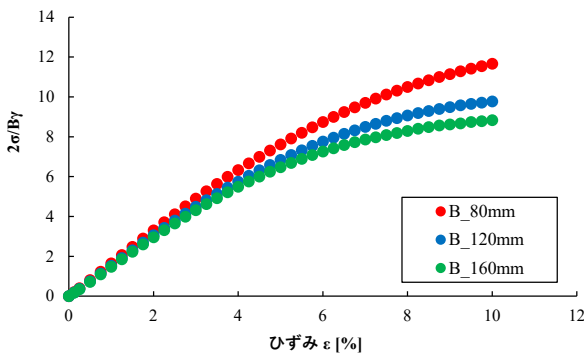


図-9 $2\sigma/B\gamma$ とひずみ ε の関係

(3) 実験結果と解析結果の比較と考察

まず $2\sigma/B\gamma$ とひずみの関係として図-4 と図-9 を比較する。実験、解析とも 80mm 基礎が一番大きくなり、実験では 160mm, 120mm の順となり、解析では 120mm, 160mm となった。80mm 基礎に関してピークの値はおおよそ実験と解析では一致しているが、その他の基礎は異なっていた。また実験ではピークを迎えて値が下がる傾向にあるが、解析では値が増加する結果となった。

実験も解析も式(1)の第2項について傾斜荷重を考えなければ基礎幅 $B(m)$, 土の単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$, 形状係数 $\beta(=0.5)$ および支持力係数 N_γ のみではなく、さらに基礎幅

に応じた係数が必要であると示された。この補正として日本建築学会の指針では $\eta=(B/B_0)^{1/3}$ と示されている。ここで $B_0=1m$ である。この係数を使って図-10 に実験結果を、図-11 に解析結果を整理した図を示す。解析結果は3つの基礎幅で一致している一方、実験結果では一致する結果にはならなかった。 $2\sigma/B\gamma$ とひずみの関係も実験と解析では一致していないが、この理由の一つに実験では基礎を押すロッドと基礎が固定されていないため、载荷中に基礎が若干傾いている影響が考えられる。

図-12 に両端で測った変位と基礎幅から回転角を求め回転角とひずみの関係を示す。基礎幅 120mm と 160mm においては3%程度までは2度程度の回転、80mm 基礎については4度程度の回転が生じている。1.6mm と 3.0mm の2種類の直径で実験をしている影響で基礎直下で载荷に伴ってアルミ棒の配列が変化していくときに隙間同士を埋めるときに空間が生じたりするためと考えられるが、基礎幅が小さいほどその影響が大きく生じている。これらの影響と基礎の回転や载荷によってアルミ棒の配列が変化していく影響などで図-4 と図-9 を比較した場合、実験結果と解析結果では 120mm 基礎と 160mm 基礎の逆転が生じ、実験ではひずみが大きいと軟化挙動が生じていると考えている。

実験と解析では载荷条件に違いがあるため直接比較はできないものの、寸法効果の影響はどちらも見られ、解析結果では日本建築学会で示されている補正 η の有効性が明らかとなった。

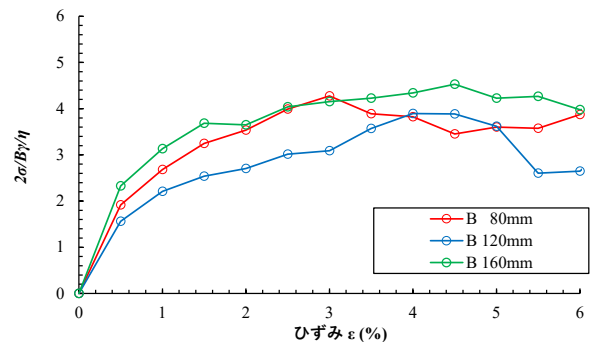


図-10 $2\sigma/B\gamma\eta$ とひずみ ε の関係 (実験)

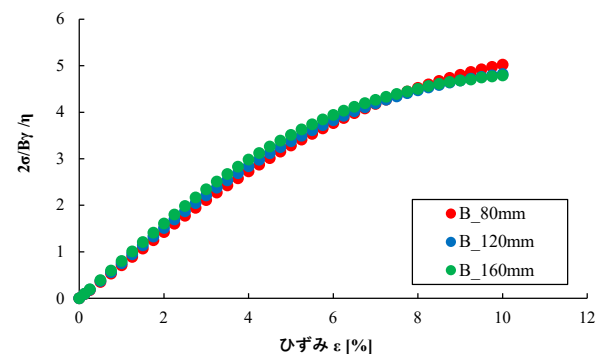


図-11 $2\sigma/B\gamma\eta$ とひずみ ε の関係 (解析)

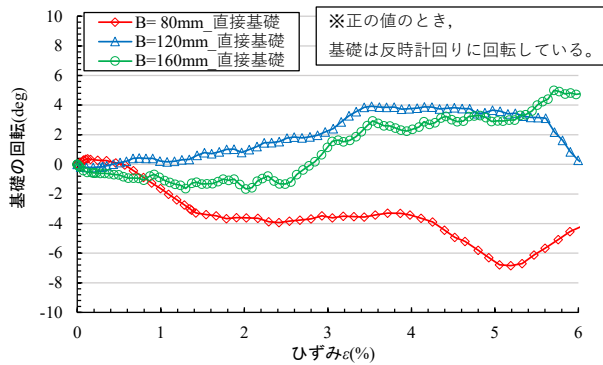
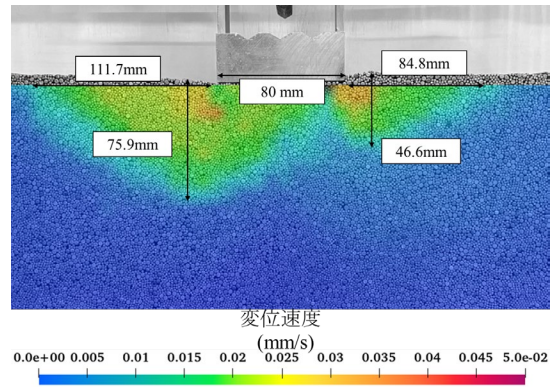


図-12 基礎の回転とひずみεの関係

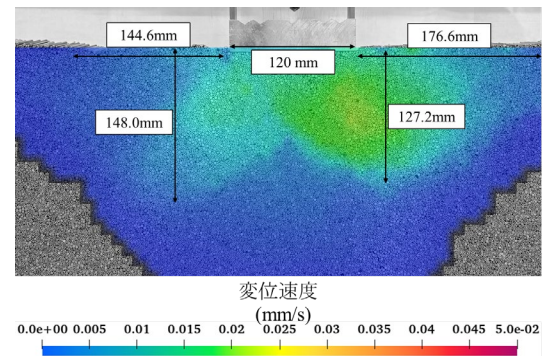
さて、この寸法効果についてせん断面の領域から調べてみる。図-13には、基礎幅(a) 80mm, (b) 120mm および(c) 160mm でひずみが4%におけるPIV解析による変位速度(mm/s)を示す。PIVで用いた画像は荷重する前のものと4%の時の画像を用いている。つまり4%までの変形全体を反映した結果となっている。解析したソフトはFlow-PIVである。図で確認できる0.01mm/s以上の領域を図のように基礎中心からの距離と最大深さを調べた。先に説明しているように基礎が傾いているために左右差が生じている。それぞれを基礎幅で正規化したときの左右平均についてまとめたものを表-2に示す。基礎が傾いている影響も含んでいるが、基礎幅で正規化した場合せん断領域の発生割合が、基礎幅が小さいほど大きくなっていることが分かる。ただ、基礎120mmについてはむしろ一番大きな結果となった。画像解析の処理はすべて同じように行っているが、撮影した写真の影響などによって考えている。模型実験レベルではあるが、このせん断領域が発生する影響によって寸法効果が発生する一つの要因であると考えられる。図-14には基礎幅(a) 80mm, (b) 120mm および(c) 160mmにおける10%時におけるせん断ひずみ分布の解析結果を示す。なお、基礎に応じて変位量が異なるためひずみのレンジは異なっている。図は基礎の長さが同じになるように調整し、せん断ひずみが出ている部分をトリミングしている。分かりやすいように80mm, 120mm, 160mm基礎でそれぞれ0.03, 0.045, 0.06で分けて表示している。基礎幅が小さいほどせん断ひずみの領域が大きくなっていることが分かる。実験でも解析でも同様な結果が得られている。

この結果は、アルミ棒積層体による模型実験も数値解析も拘束圧依存による非線形性の影響でせん断面が深くならず浅く広く発生することによって考えられる。日本建築学会の基礎構造設計指針で示されているηは基礎幅によって与えられているが、基礎幅が大きいほど深部までせん断面が発生していかないことを示唆している。模型実験規模でのスケールでの検討であったが、今後は実大規模の基礎に対しての解析的検討も必要である

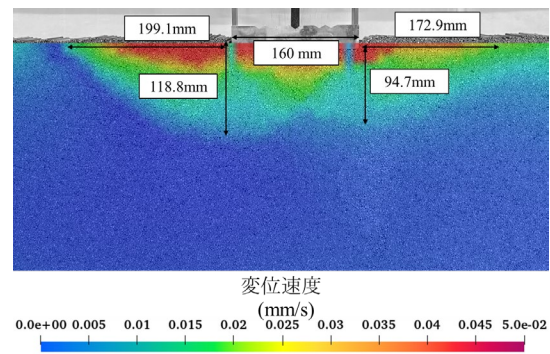
と考えている。



(a) 基礎80mm, ひずみ4%時



(b) 基礎120mm, ひずみ4%時



(c) 基礎160mm, ひずみ4%時

図-13 せん断領域の様子

表-2 せん断領域と基礎幅

基礎幅	寸法(mm)	正規化	左右平均
80mm基礎	水平左	111.7	1.40
	水平右	84.8	1.06
	鉛直左	75.9	0.95
	鉛直右	46.6	0.58
120mm基礎	水平左	144.6	1.21
	水平右	176.6	1.47
	鉛直左	148.0	1.23
	鉛直右	127.2	1.06
160mm基礎	水平左	199.1	1.24
	水平右	172.9	1.08
	鉛直左	118.8	0.74
	鉛直右	94.7	0.59

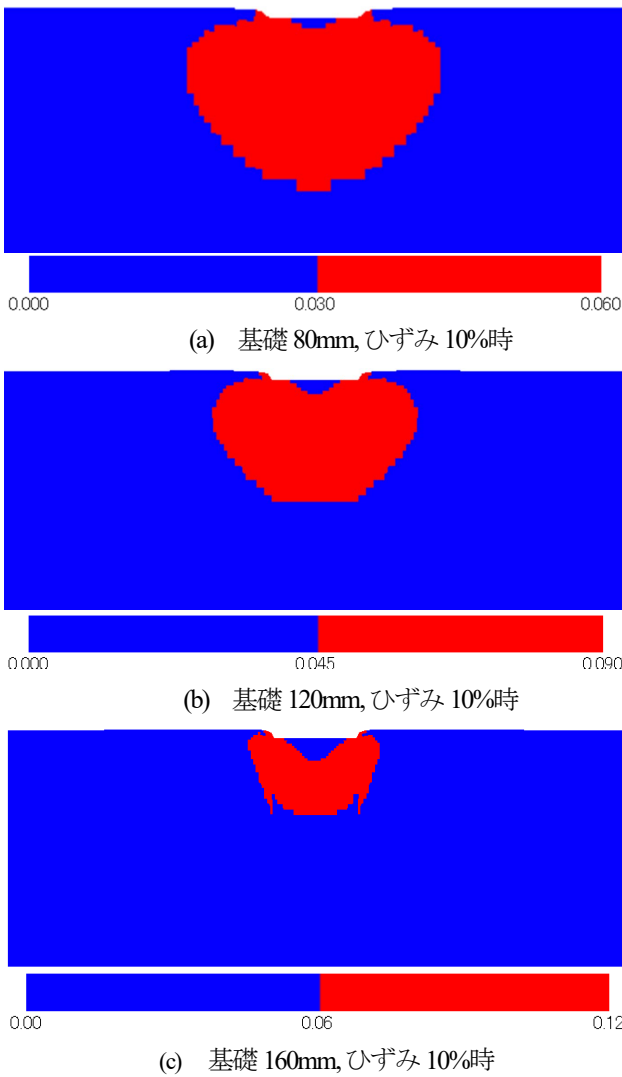


図-14 せん断領域の様子

4. 数値解析による根入れ基礎の検討

(1) 解析条件

ここでは根入れ基礎の影響について数値解析で検討する。図-15 に解析メッシュを示す。根入れ部分を実際の土でモデル化せず、根入れ部分を基礎以外の左右に上載圧として作用させることとする。これは式(1)から根入れ部分を基礎以外の地盤の上載荷重と扱っているためである。根入れ部分の単位体積重量はアルミ棒と同じ値 $\gamma=20.4 \text{ kN/m}^3$ としている。上載圧を載荷した後に、基礎部分に強制変位を基礎幅の 10%作用させる。根入れは 10mm, 20mm および 30mm とした。

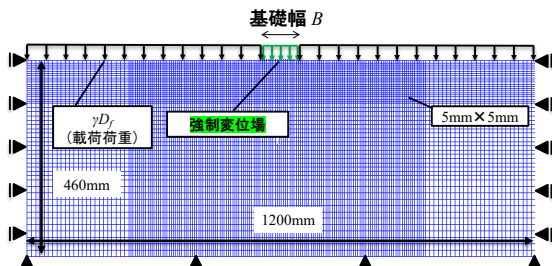


図-15 解析メッシュ

(2) 解析結果と考察

図-16 に鉛直応力 σ とひずみ ε の関係を示す。凡例に D_f と示してあるものが根入れ深さの値となる。基礎幅が大きいほど、根入れ深さが深いほど鉛直応力は大きくなる。次に根入れのある鉛直応力から根入れのない直接基礎の値(図-8)を引いて根入れだけに着目する。式(1)を参考に N_q に相当する $\sigma - \sigma(D_f=0) / \gamma D_f$ で整理した図を図-17 に示す。この結果からもし式(1)が正しければ根入れ深さ D_f によらず一定になるはずであるが、解析結果はそうではなく根入れ深さ D_f が小さいほど大きな値となっている。剛塑性解析を用いて検討している参考文献²⁾でも根入れ深さが小さいほど支持力が大きくなる結果が得られており、本研究で行った変形解析も同様な結果が得られている。これは拘束圧が高くなるほど剛性が大きくなる地盤の拘束圧依存に起因すると考えられる。

さて、道路橋示方書⁹⁾の N_q 項のみを示すと式(2)となる。

$$Q_u = A_l \kappa q N_q S_q \quad (2)$$

ここで Q_u は荷重の偏心・寸法効果を考慮した極限支持力(kN), A_l は有効載荷面積(m^2), κ は根入れ効果に対する割増係数, N_q は荷重の傾斜を考慮した支持力係数, S_q は支持力係数の寸法効果に関する補正係数である。ここで補正係数は $S_q = (q/q_0)^{-1.3} = (\gamma D_f / 10)^{-1.3}$ となっている。 γ は根入れ部の単位体積重量(kN/m^3)である。割増係数を 1 とし道路橋示方書に従って S_q を導入した場合の結果を図-18 に示す。支持力式第 2 項の N_q ほど一致はしないが 4% 程度までは収斂して基礎幅や根入れの影響が少なくなってきた。道路橋示方書の N_q における寸法効果 S_q も変形解析を実施したところよい対応性があることが分かった。

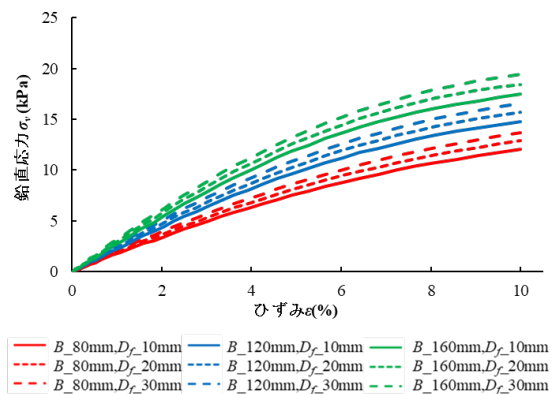


図-16 鉛直応力 σ とひずみ ε の関係

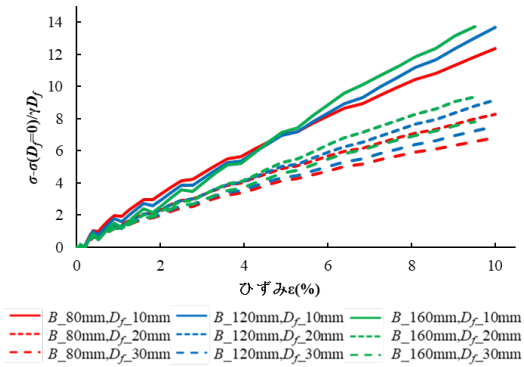


図-17 $\sigma-\sigma(D_f=0)/\gamma D_f$ とひずみ ε の関係

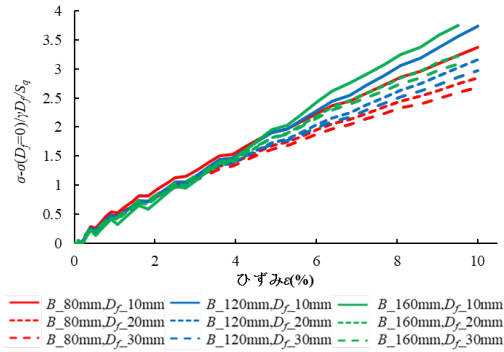


図-18 $\sigma-\sigma(D_f=0)/\gamma D_f/S_q$ とひずみ ε の関係

次に直接基礎と根入れ基礎の違いについてせん断ひずみ分布から調べる。図-19には基礎幅 120mm の直接基礎 ($D_f=0$ mm)および $D_f=30$ mm のひずみ 4,8,10%時のせん断ひずみ分布を示す。4%時では相違は見られないが、8%時には基礎両端直下にせん断ひずみが卓越して、10%時には左右のせん断ひずみがつながった状態に移行する。直接基礎と比べて根入れ基礎は根入れに伴う拘束圧が上昇することで発生するひずみ量が小さくなっていることが分かる。

最後に、直接基礎の考察と同様、実地盤では模型実験と比べて拘束圧が大きくなる。今回の模型実験の根入れ D_f は高々30mmであり、実際は数 m の根入れもあり相似則からすれば数百になる場合も想定される。剛塑性解析による検討では実地盤レベルでの検討を行っているが、本解析で用いている Subloading tij モデルは拘束圧依存に対応した構成モデルであり、変形解析においても今後検討する必要があると考えている。

5. 結論

アルミ棒積層体を用いて複数の基礎を用いた直接基礎の載荷実験を行った。その結果、支持力係数 N_y に相当

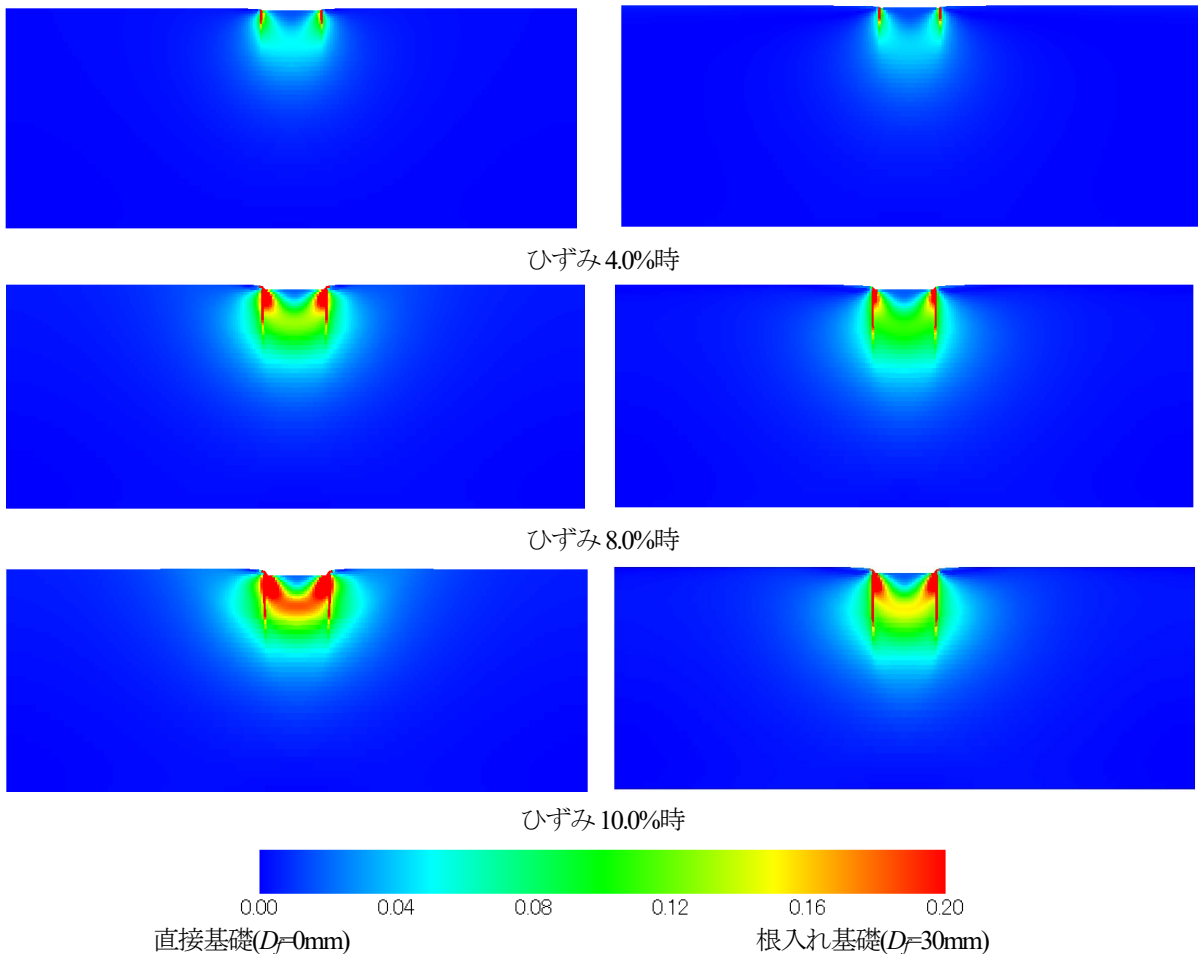


図-19 120mm 基礎のせん断ひずみのコンター図

する $2\sigma/B\gamma$ で整理すると基礎幅が小さいほど $2\sigma/B\gamma$ が大きな値となる傾向であった。ただ基礎を載荷方向に対して固定していないため回転の影響が含まれている。

アルミ棒積層体の 2 軸試験から Subloading t_{ij} モデルによるパラメータの同定を行い、アルミ棒積層体の再現解析を実施した。 $2\sigma/B\gamma$ で整理すると基礎幅が小さいほど $2\sigma/B\gamma$ が大きな値となり、寸法効果が確認された。また、日本建築学会基礎構造設計指針で示されている寸法効果の補正係数 $\eta=(B/B_0)^{-1/3}$ を用いると解析結果は基礎幅によらず一致して、良い対応が示された。

数値解析で根入れ基礎に関する補正係数について検討した。支持力係数 N_q に相当する $\sigma\alpha(D_f=0)/\gamma D_f$ で整理すると、解析結果では根入れ深さが小さいほど $\sigma\alpha(D_f=0)/\gamma D_f$ が大きい値となった。根入れに関する項についても補正係数が必要であることがわかり、道路橋示方書で示されている $S_q=(\gamma_2 D_f/10)^{-1/3}$ がよい対応であることも分かった。なお、本研究では模型実験での検討であり実大規模での寸法効果については今後検討する必要があると考えている。

謝辞：本研究で用いたプログラム FEM t_{ij} は t_{ij} 研究会で開発されたものです。またアルミ棒の実験は千葉工業大学 2025 年 3 月卒業の当時 4 年生の相崎良介氏、桑田蓮氏によって実施されたものです。合わせて謝意を表します。

REFERENCES

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.112-136, 2019.[Architectural Institute of Japan: Recommendations for Design of Building Foundations, , pp.112-136, 2019.]
- 2) 金田一広・青木正路：非線形構成式を導入した剛塑性有限要素法による根入れ砂地盤の支持力解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 75 巻 2 号, 2019.[Kazuhiro Kaneda, Masamichi Aoki : Bearing capacity analysis of embedded spread foundation using rigid plastic finite analysis with non-linear constitutive equation, *Applied mechanics, Proceedings of the Japan Society of Civil Engineering*, Vol, 75, No.2, 2019.]
- 3) 川田草貴・西岡英俊：砂地盤上橋脚模型の水平交番載荷実験に基づく地震時における直接基礎の極限支持力および残留沈下量の評価方法の検討, 土木学会論文集 79 巻 13 号, 2023.[Soki Kawada and Hidetoshi Nishioka: A study on failure envelope and residual settlement based on horizontal reciprocal loading test on pier model of shallow foundation on sand, *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineering*, Vol, 79, No.13, 2023.]
- 4) Nakai, T., Shahin, H. M., Zhang, F., Hinokio, M., Kikumoto, M., Yonaha, S. and Nishio, A. (2010): Bearing capacity of reinforced foundation subjected to pull-out loading in 2D and 3D conditions, *Geotextiles and Geomembranes* 28(3): 268-280.
- 5) Shahin H.M., Nakai T., Hinokio M., Kurimoto T. and Sada T. (2004): Influence of surface loads and construction sequence on ground response due to tunneling, *Soils and Foundations*, 44(2), 71-84.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（IV 下部構造編）.pp.204-211,2017. [Japan Road Association: *Dorokyo-shihosyo & Doukaisetsu IV Kabukouzo-hen*, pp. 204-211, 2017.]

(Received June 20, 2025)

(Accepted November 30, 2025)

VERTICAL BEARING CAPACITY OF SPREAD FOUNDATIONS BY LAMINATED ALUMINUM RODS

Kazuhiro KANEDA, Yusuke SUDO and Teruo NAKAI

Terzaghi's bearing capacity formula is often used for the vertical bearing capacity of spread foundations. It is expressed as the sum of the clayey soil, sandy soil and embedment terms. A similar bearing capacity formula is proposed in the Architectural Institute of Japan's Guidelines for Foundation Design. The sandy soil term includes the size effect, however the embedment term does not. These size effects have been examined using the rigid-plastic finite element method, however have not yet been fully examined in deformation analysis. In this study, we used aluminum rod laminates and numerical analysis to examine the size effect of vertical bearing capacity using three foundations with different foundation widths, and investigated the mechanism of the size effect. Furthermore, we performed a numerical analysis of the vertical bearing capacity with embedment and clarified that the size effect also exists in the embedment term.