

鉄筋により補強された砂地盤の支持力特性Ⅱ

Bearing Capacity Performance of Sand Ground Reinforced With Steel Bars

龍岡 文夫*・三木 五三郎**・松尾 恵一***・児玉 秀文****

Fumio TATSUOKA, Gosaburo MIKI, Keiichi MATSUO and Hidefumi KODAMA

3. 伸張補強材による地盤支持力の増加

前に述べたように、曲げ剛性の小さい鉄筋を地盤補強材として用いる場合、その機能から大きく分類すると、(1)鉄筋に主に引張力が働く伸張補強材と、(2)鉄筋に主に圧縮力が働く圧縮補強材に分けられる。両方を用いた地盤支持力の改善に関する実験を別途系統的に行った。ここでは、まず前者の実験結果について述べる。

図8は、補強材がない場合のフーチングの表面載荷より地盤内にあらわれるすべり線の実測図である。Prandtl解を用いて $q_u = 3.1 \text{ kgf/cm}^2$ から内部摩擦角を逆算すると、

$$N_r = \frac{2q_u}{r_a B} = \frac{2 \times 3.1 \times 1000}{1.586 \times 5} = 782$$

から $\phi = 49^\circ$ になる²⁾。砂のダイレイタンスを無視すると、最小主ひずみ(伸び) ϵ_3 の方向はすべり面の方向と $45^\circ + \frac{1}{2}\phi = 70^\circ$ の方向をなしている。その方向を図8に矢印で示してある。この方向に補強材を配置すれば、砂の伸びが拘束され、最小主応力 σ_3 が増加し、その結果最大主応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_{\max} = (1 + \sin\phi)/(1 - \sin\phi)$ が増加し、それが支持力の増加をもたらす。今回の研究では、フーチングの下の地盤内に水平に鉄筋補強材を配置する

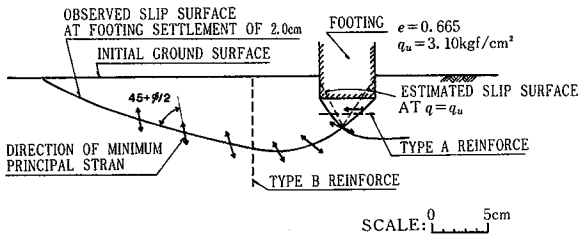


図8 地盤内に生ずるすべり面と最小主ひずみ ϵ_3 の方向

* 東京大学生産技術研究所

** 横浜国立大学

*** 大洋技術開発(株)

**** 広瀬鋼材(株)

ケース(タイプA)と、フーチングの両側の地盤内に鉛直に鉄筋補強材を配置するケース(タイプB)の2つの単純化したケースについて実験を行った。

3-1 水平に鉄筋補強材を配置した場合(タイプA) —実験結果—

図9に補強材として用いた針金(直径0.9mm)の配置方法を示す。模型地盤は、次のようにして作った。まず、補強材配置高さまで砂層を、砂粒子を空中に自由落

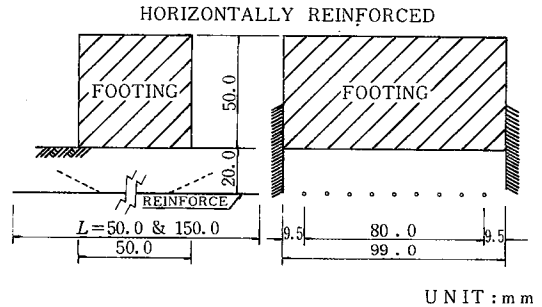


図9 水平伸張補強材の配置方法

表1 伸張補強材—タイプA—の実験方法 (実験回数)

補強材長さ L (cm)	補強材深さ d (cm)	補強材表面処理			
		無処理		処理*	
		緩+	密+	緩	密
5	2	1	2	2	1
	4	—	—	2	1
	6	—	—	1	2
	8	—	—	1	3
	12	—	—	1	2
15	2	2	1	2	1
	4	—	—	1	1
	6	—	—	1	2
	8	—	—	1	2
	12	1	1	1	1

* 補強材周面にアラルダイトで豊浦砂粒子を付着

+ 砂層平均密度: [緩]は間隙比で約0.76, [密]は約0.67の砂地盤を意味する。

研究速報

下させる方法で作り、表面を水平にした後、間隔1 cmで9本の補強材を水平に設置し、引き続き同様な方法で地盤を所定の高さまで作製した。補強材の長さ、深さ、周辺摩擦係数、砂層密度などを表1に示すように種々変えた。補強材の表面での摩擦係数の効果を調べるために、全く処理しないものほかに、アラルダイトで豊浦砂を表面に附着させて摩擦係数を増加させたものについて実験した。

これらの実験の結果の中で密な砂地盤の場合を図10～14に示す。この図には、補強効果のメカニズムの研究のために実施した図15に示す(c)(b)のケースの結果も同時に示してある。すなわち、

(a) 補強していない砂地盤にフーチングを表面載荷

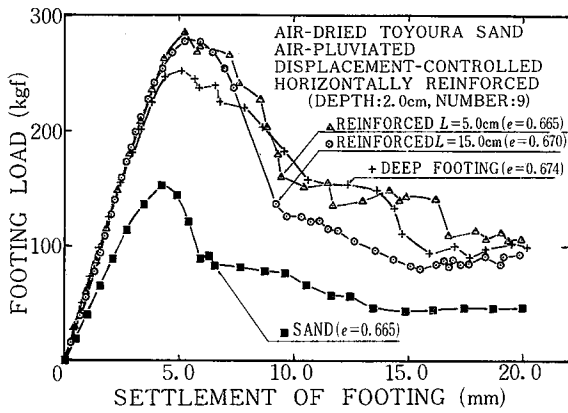


図10 フーチング荷重～フーチング沈下量関係、密な砂地盤 ($d=D_f=2\text{ cm}$)

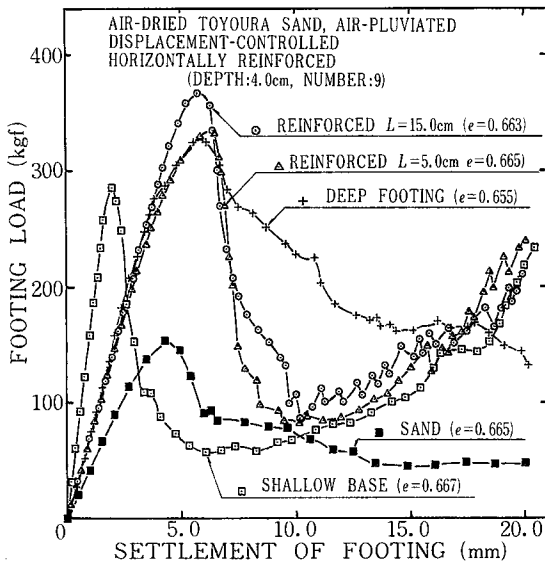


図11 フーチング荷重～フーチング沈下量関係、密な砂地盤 ($d=D_f=H=4\text{ cm}$)

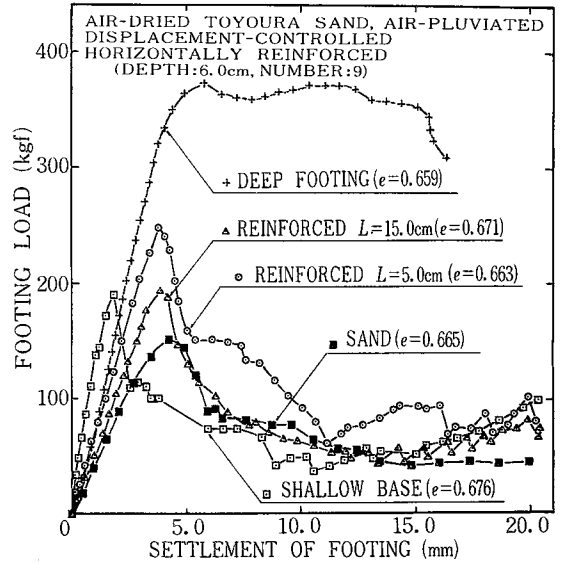


図12 フーチング荷重～フーチング沈下量関係、密な砂地盤 ($d=D_f=H=6\text{ cm}$)

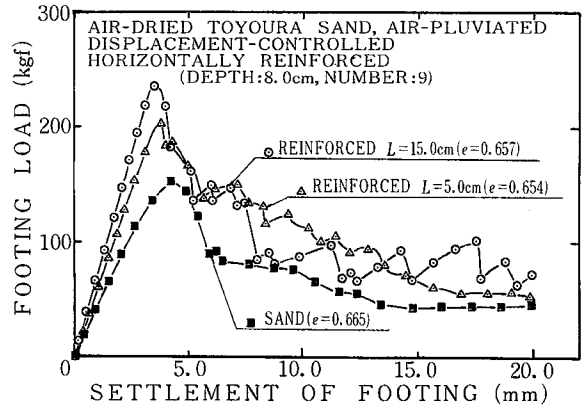


図13 フーチング荷重～フーチング沈下量関係、密な砂地盤 ($d=8\text{ cm}$)

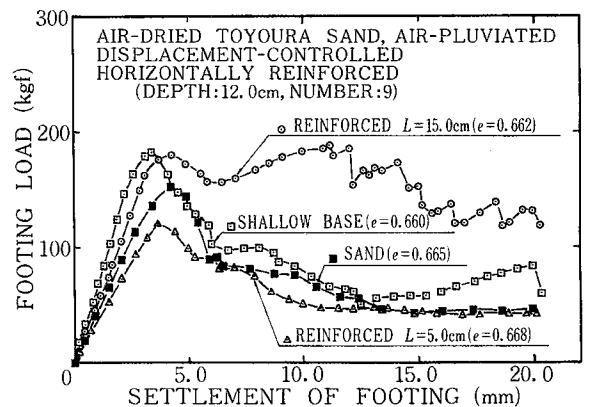


図14 フーチング荷重～フーチング沈下量関係、密な砂地盤 ($d=H=12\text{ cm}$)

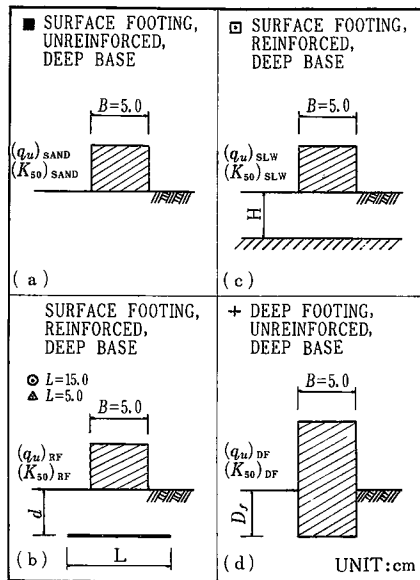


図15 各種フーチング支持力実験の模式図

した場合、および、

(b) 補強してある砂地盤にフーチングを表面載荷した場合、に加えて、

(c) 補強していない砂地盤にフーチングを表面載荷するが、底盤を浅くしてある場合、と

(d) 補強していない砂地盤に根入れしたフーチングを載荷する場合である。

(c)と(d)の場合の実験を行った理由については後に述べる。図10~14を見ると、適切な深さにこのような細い針金を9本水平に配置しただけで、支持力、地盤反力係数ともに大幅に増加することが分かる。実際の場合でフーチング幅が5mとモデルフーチングの幅5cmの100倍の場合を考え、模型実験の補強材の直径・間隔も100倍にしたのが実際の場合とすると9cm径の鉄筋を1mごとに配置することになる。これは実際に十分施工可能な仕様である。厳密に相似則を考察すると、上記のように単純な計算は成り立たないかも知れない。このことについては、別途研究が必要である。

図16、17は、補強材の表面処理の有無による差を示すものである。今回の実験では、砂粒子を附着させて摩擦係数を増大させても、無処理の場合よりも若干支持力・地盤反力係数が増加しただけであった。深さ $d=12$ cm、補強材長さ $L=15$ cm の場合においても同様であった(図18)。鉄筋コンクリートで鉄筋附着強度を増加させるために異形鉄筋を用いるように、伸張補強材を用いる場合も、一般には、補強材周囲の摩擦係数が大きいほど砂粒子の変位を拘束し、補強効果が増加するものと考えら

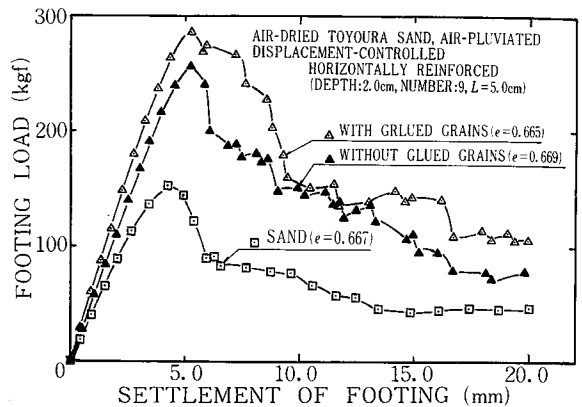


図16 補強材表面処理の効果(密な砂地盤)

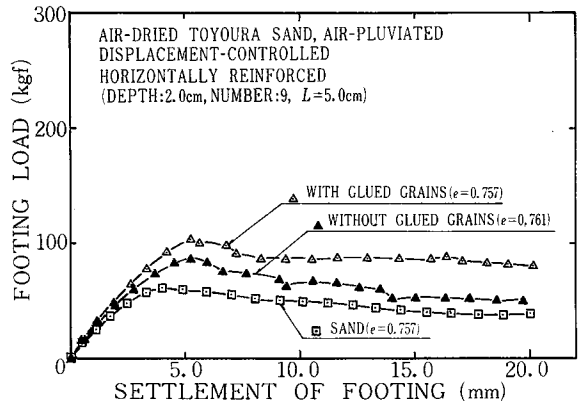


図17 補強材表面処理の効果(ゆるい砂地盤)

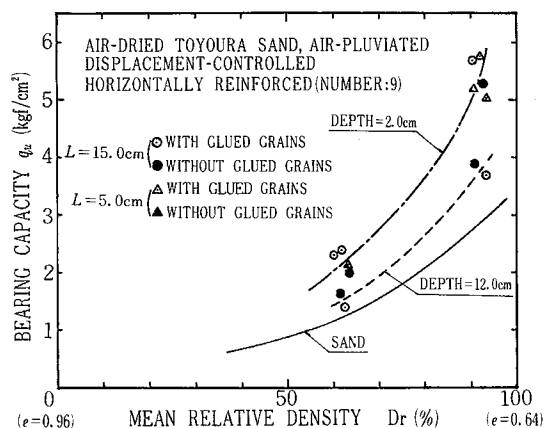


図18 補強材表面処理の効果(支持力~相対密度関係)

れる。今回の場合は、無処理でも十分に地盤拘束力を発揮しているようであるので、補強材の本数を減らすなどとして、より極端的状況にすれば、補強材表面処理の有無による差が出るかも知れない。後に示すように三軸圧縮試験を用いた基礎実験では、上記の差が明瞭に出た場合

研究速報

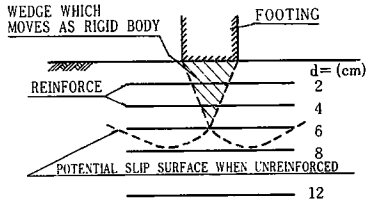


図19 補強材がないときの剛体くさび・すべり面の位置と水平伸張補強材位置との関係

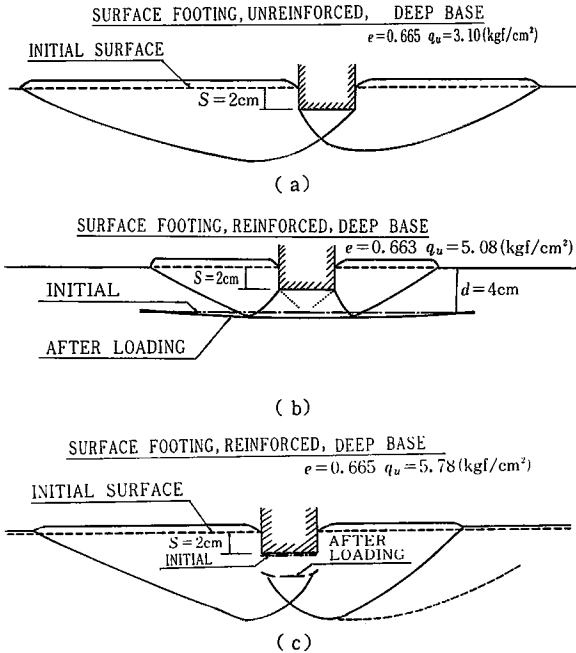


図20 補強材があるときとないときのすべり面形状の相違

があったので、今回の模型実験結果だけから、補強材表面の摩擦係数の効果についての一般的結論は出せないものと思われる。

図10, 11に戻ってみよう。まず非常に興味深いことは補強材の長さ $L=5\text{cm}$ と 15cm で補強効果にはほとんど差がないことである。これはフーチング幅 $B=5\text{cm}$ より外側にある部分の補強材は全く地盤補強の働きをしていないことを意味する。図8を見ても分かるように、フーチング幅より外側では、 ϵ_3 の方向は水平ではなくなるので、その部分に水平に補強材を配置しても地盤の変位の拘束をしないからである。

次に興味深いことは、補強された地盤にフーチングを表面載荷したときの支持力特性は、水平補強材の深さ d と同一の根入れ深さ D_f を持つフーチングを補強していない地盤にフーチングを表面載荷したときの支持力特性と、全く類似であることである。 $d=D_f=4\text{cm}$ のときは、

フーチング荷重が最大値になるときまでについて、このことが言える。これは、フーチング底面と水平補強材の間の砂の水平変位が拘束され、少なくともフーチング最大荷重までは、剛体のごとくふるまい、あたかもフーチングの根入れが増加したのと同じような現象が生じたためであろう。

図12, 13, 14を見てみよう。この場合、水平補強材の深さは、水平補強材がない場合にフーチング底の下にあらわれる剛体くさび(図19)の三角形の頂点の深さ6cmか、すべり面底のすぐ下側の $d=8\text{cm}$ か、さらに深い12cmである。このように深くなるとフーチング底面と水平補強材の間の砂に対する拘束力は弱まり、その砂は剛体のごとくふるまうことなく、その内部にすべり面が発生しやすくなる。図20は、実測されたすべり面であり、(b)のケースでは、水平補強材の上部で、(c)のケースでは、その下部にすべり面が発生している。水平補強材の下部よりも上部ですべりが生じやすいならば、それは、あたかもより剛な基盤が浅くなったときの支持力のメカニズムに似た現象が生じてくる。非常に興味深いことは、深さ $d=8\text{cm}$, 12cm に水平補強材を配置した場合、図19に示すように水平補強材はすべり領域の完全に外側に位置しているにもかかわらず、特に $L=15\text{cm}$ の場合は、支持力が少なからず増加していることである。このことは、支持力はすべり面の形状と、すべり面上のせん断強度の分布だけから決まるのではなく、さらに広い領域の変形性に強く規定されていることを意味しているであろう。すなわち、すべり面より下の砂の水平変位が拘束されれば、すべり面上の垂直応力の増加、したがって、せん断強度の増加をもたらすのであろう。類似な事実は、すでに、底盤を浅くした支持力実験によって報告されている^{2), 4)} すなわち、剛な底盤が、仮に底盤が十分に深いときに生ずるすべり面の位置よりもやや深くとも、密な砂ほど、支持力の増加をもたらす。今回の実験でも、図14に示すように実験結果が得られている。

(1981年8月12日受理)

参考文献

- 2) Chen, W-F, 1975, "Limit Analysis and Soil Plasticity," Table 6.9, pp. 264~265, Elsevier Scientific Publishing Company.
- 3) Meyherhof, G. G.; Ultimate Bearing Capacity of Footings on Sand Overlying Clay, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, No 2, May, 1974, pp. 223~229.
- 4) Pfeifle, T. W. and Das. B. M.; Bearing Capacity of Surface Footings on Sand Layer Resting on a Rigid Rough Base, Soils and Foundations, Vol. 19, No 1, Mar. 1979.