

東京大学生産技術研究所 ○ 藤岡文夫  
横浜国立大学 三木五郎  
大洋技術開発(株) 松尾恵一

筆者らは、水平鉄筋補強材により砂地盤の支持力  $q_u$ 、地盤鉛直反力係数  $K_{50}$  ( $q_u/2$  の時の、フーチング応力を、フーチング押し込み量  $S$  で除いた値) が増加する機構を説明するため、松尾ら(1981<sup>1)</sup>の図2に示す様な各種の比較実験を行った。即ち、a)通常の補強していない砂地盤でフーチングを表面載荷 ( $(q_u)_{SAND}$ ,  $(K_{50})_{SAND}$ )、b)水平鉄筋で補強した地盤でのフーチングの表面載荷 ( $(q_u)_{RF}$ ,  $(K_{50})_{RF}$ )、c)補強していない砂地盤で、フーチングを根入れして載荷 ( $(q_u)_{DF}$ ,  $(K_{50})_{DF}$ )、d)鋼鉄製の砂箱底盤を残してフーチングを表面載荷 ( $(q_u)_{SLW}$ ,  $(K_{50})_{SLW}$ )、の4ケースである。図1は、密な砂地盤でのデータである。横軸は、根入れ深さ  $D_f$ 、補強材深さ  $d$ 、底盤深さ  $H$  (あるいはフーチング幅  $B$  で除いた値)、縦軸は、図1では、 $(q_u)_{DF}$ ,  $(q_u)_{RF}$ ,  $(q_u)_{SLW}$  を同一の砂層密度に直す  $(q_u)_{SAND}$  で除いた値、図2では、 $(K_{50})_{DF}$ ,  $(K_{50})_{RF}$ ,  $(K_{50})_{SLW}$  を同一の砂層密度に直す  $(K_{50})_{SAND}$  で除いた値、図3では、地表面でのすべり領域の幅  $SL$  又は  $SL/B$  である。記号の横の数字は、実験数であり、平均値を示したものである。数字がないのは実験数1である。これらの図から次の事が分る。

(1) 支持力については、 $d=4\text{ cm}$  ( $d/B=0.8$ ) の時、最も鉄筋補強効果がある。(2)  $K_{50}$  については、 $d=2\sim6\text{ cm}$  ( $d/B=0.4\sim1.2$ ) の時、鉄筋補強効果が大きい。(3) 鉄筋の長さを  $L=15\text{ cm}$  ( $L/B=3$ ) にして、 $L=5\text{ cm}$  ( $L/B=1$ ) の時より補強効果は大して増加しない。即ち、今回の実験では、 $L=B$  の水平鉄筋を  $d=48$   $B$  の深さに配置した時、単位補強枚量あたりの補強効果が一番大きかった事になる。

水平鉄筋の地盤補強のメカニズムは、砂の水平変位を拘束して、地盤内での  $\sigma_3$  を増加し、 $(\sigma_1/\sigma_3)$  の増

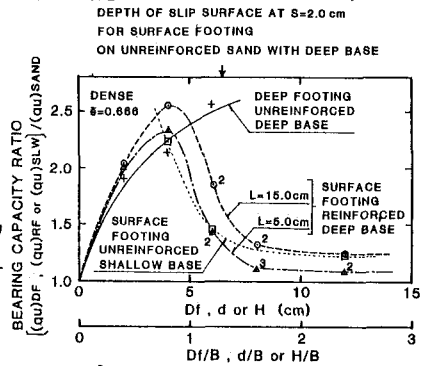


Fig-1 密な砂地盤での支持力増加率

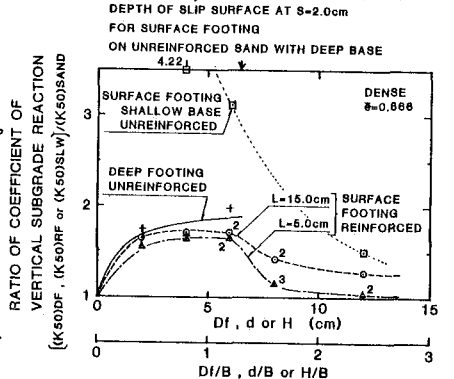


Fig-2 密な砂地盤での  $K_{50}$  増加率

SURFACE FOOTING UNREINFORCED DEEP BASE  
 $e=0.665 \quad q_u=3.10 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

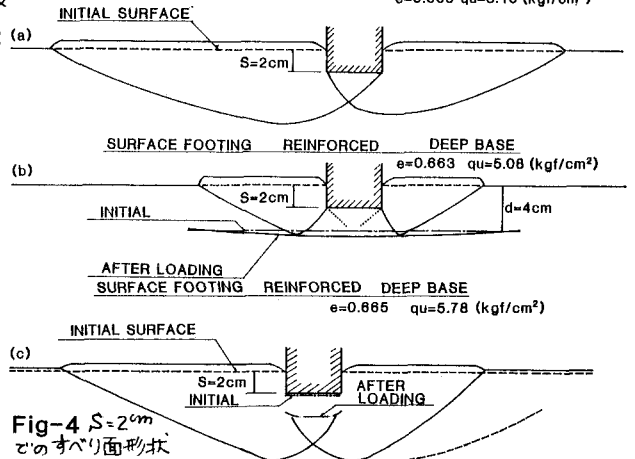


Fig-4  $S=2\text{ cm}$  でのすべり面形状

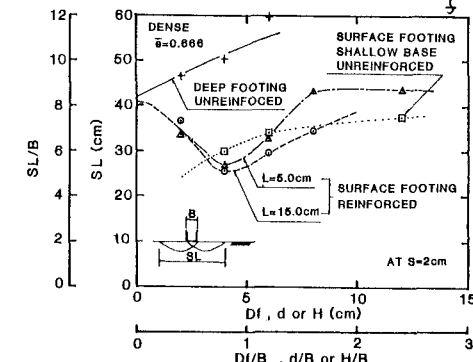


Fig-3 地表面でのすべり域長さ  $SL$

加, 即ち, 支持力を増加させる事にある。地盤内のすべり破壊の発生仕方から見ると, 次の2つのケースがある。即ち, 1) 鉄筋深さ  $d$  が比較的小さい, フーチング底面と水平補強鉄筋の間の砂層の水平変位が強く拘束され, 水平補強鉄筋の下砂層内ですべり破壊が生ずる。図4(c)の場合がこれに当る。これは, フーチングの根入れが増大した事と同じ効果を考えらるるので「根入れ効果」と呼ぶことにする。2) 鉄筋深さ  $d$  が大きくなると, フーチング底面と水平補強鉄筋の間の砂層も変位しやすくなり, 水平補強鉄筋の下砂層も深くなり破壊しにくくなるから, フーチング底面と水平補強鉄筋の間の砂層内ですべり破壊が生じようとする。図4(b)の場合がこれに当る。これは底盤が残った時の現象と似ているので「底盤効果」と呼ぶことにする。一般的には, 同一の鉄筋深さに対して, フーチング押し込み量  $S$  が小さい程, 「根入れ効果」が「底盤効果」より卓越し,  $S$  が大きくなると, 後者の方が卓越してくる様である。例として, 松尾<sup>1)</sup>の図4で,  $d=4\text{cm}$ の鉄筋補強地盤の挙動は,  $S < 0.5\text{mm}$ までは, フーチングを根入れした場合とよく似ており,  $S > 0.7\text{cm}$ になると, 底盤(鋼鉄製)が残った場合の挙動に似てくる。又, 図2を見ると,  $(K_{50})_{RF}$  は,  $d=6\text{cm}$ まで,  $(K_{50})_{DF}$  と似た値であるが,  $(g_u)_{RF}$  は,  $d=4\text{cm}$ まで(か)  $(g_u)_{DF}$  と似ていない。しかも,  $d=4\text{cm}$ の時の  $(g_u)_{RF}$  は,  $H=4\text{cm}$ の時の  $(g_u)_{SLW}$  と似た値であり,  $(g_u)_{RF} = 1$  に関しては「根入れ効果」と「底盤効果」のどちらが主要なものであったか判別できない。すべり面の形成は, 支持力を発揮した後と思われるが, すべり面の形状は, 図3を見て分かる様に,  $d=2\text{cm}$ で既に根入れしたフーチングの場合と異っており,  $d=4\text{cm}$ では,  $H=4\text{cm}$ の底盤が残った時の形状と類似している。以上の事は, 砂の変形特性を考慮しないと理解できない。

ゆづめの砂地盤での実験結果のまとめを図5, 6に示す。水平鉄筋で補強された地盤の  $g_u, K_{50}$  の  $d$  に対する特性は, 密な地盤の場合と似かよっているが, 若干補強効果率が低い様である。

(注: 補強による  $g_u, K_{50}$  の増加の絶対量は, 密な地盤の場合よりはるかに小さい。) しかし, 次の点に着目した特徴がある。1)  $d=0 \sim 5\text{cm}$  にわたる  $(g_u)_{RF}, (K_{50})_{RF}$  は,  $D_f=0 \sim 5\text{cm}$  にわたる  $(g_u)_{DF}, (K_{50})_{DF}$  より大きい。  $g_u$  に関しては, この傾向が密な地盤でもやや見られる(図1)。即ち, フーチング底面と水平補強鉄筋の間に剛体と置き換えたのと等価なフーチングを根入れした場合の方が  $g_u, K_{50}$  共に小さくなる場合があった。2) 又,  $H=4\text{cm}$ の時の  $(g_u)_{SLW}$  は,  $d=4\text{cm}$ の時の  $(g_u)_{RF}$  より小さい。これは水平補強鉄筋の下砂層を剛体と置き換えた方が  $g_u$  が小さくなる事があった事を示している。この様な現象は一見不可解であるが, 現在の筆者にとっては単純な実験誤差とは考えにくい。砂の圧縮・せん断に関する変形特性, 応力集中の問題, 等により解釈すべきであろうが, 現在の筆者ではうまく説明できない。

まとめ 砂の地盤の鉛直支持力を改善する方法として, フーチングの幅の8割程度の所にフーチングの幅の長さの鉄筋を水平に配置すると支持力は2倍以上,  $K_{50}$  は1.5倍以上増加する。フーチング幅の4割程度の深さでも十分な効果を発揮する。ハンドブックに記されている以上に, 実際の根入れによる  $g_u$  の増加は大きいと考えらる事と, 又水平鉄筋補強により, 容易にフーチングの根入れを増加したのと同様の効果を発揮するの2, 水平補強鉄筋の地盤補強効果が予想以上に大きかったであろう。

謝辞: 実験に必要な部品の製作は東大生研 試作工場で行った。又, 左藤鋼材(株) 児玉・党両氏, 法政大学4年生(当時) 小川氏, 日本大学4年生(当時) 山本氏の協力も得ている。関係諸氏に末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献: 1) 松尾・龍岡・児玉(1981)「水平鉄筋で補強した砂地盤の模型支持力実験-その1-」第36回工学会年次学術講演会 第5部

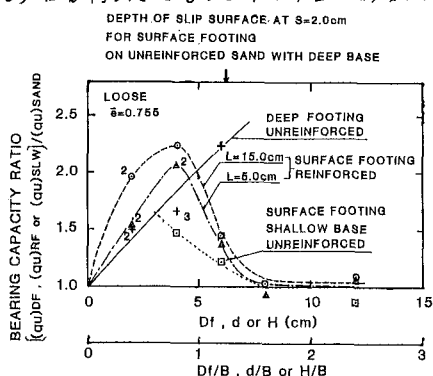


Fig-5 ゆづめの砂地盤での支持力増加率

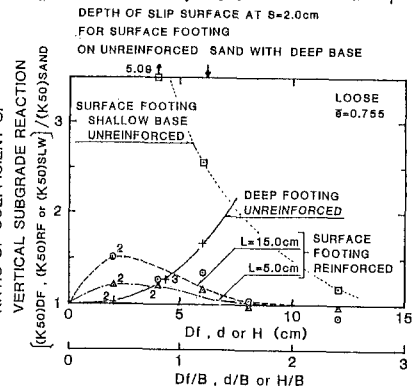


Fig-6 ゆづめの砂地盤での  $K_{50}$  増加率