

バラスト地盤の支持力補強・変形抑制方法

名古屋工業大学 正会員 松岡 元
 鉄建建設 伊東 究
 名古屋工業大学 学生会員 植田 哲志
 " 学生会員 劉 斯宏

1. まえがき

鉄やコンクリートと比べれば、土は本来バラバラの土粒子から成るもので、こっぴみじんに破壊しているものと言えるかもしれない。土粒子間に働く力は、基本的には摩擦力だけである。したがって、土を包み込んで拘束すること（垂直力 $N \rightarrow$ 大）は、摩擦力を大きくする（摩擦力 $F = \mu N \rightarrow$ 大、 μ ：摩擦係数）ので、有効な方法と言えるであろう。

ここでは、“地盤の一部を包み込む”補強方法の発想からはじめて、フーチングの支持力補強模型実験結果や、鉄道枕木下のバラスト地盤の支持力補強・変形抑制模型実験結果を示す。この中には、いわば「敵を味方にする」逆転(?)の発想が入っていて興味深い¹⁾。

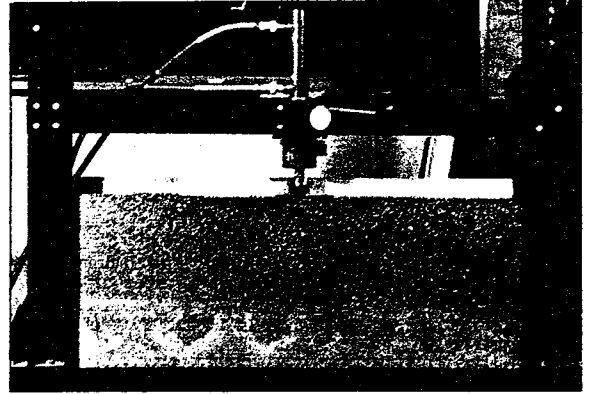


写真-1 支持力模型実験装置全景

2. “地盤の一部を包み込む”補強方法の発想¹⁾

写真-1は支持力模型実験装置の全景を示したものである。地盤の試料としては、直径1.6mmと3.0mm、長さ50mmのアルミ丸棒を混合して（混合重量比3：2）積み上げたものを用いた（間隙比 $e = 0.23$ 、単位体積重量 $\gamma = G_s / (1 + e) = 2.69 / 1.23 = 2.2 \text{ gf/cm}^3$ ）。これは、砂礫のような粒状体の2次元モデルである。このようなアルミ丸棒積層体は、アルミの比重 $G_s = 2.69$ と土粒子の比重 $G_s \approx 2.65$ が近い値であること、自立するので前後面を壁面で覆う必要がなく、壁面摩擦が皆無であること、粒子（アルミ丸棒の端面）にマジックインクなどで標線を描きやすいことなどの利点がある。このような模型地盤に補強材のモデルである紙を種々の方法で設置して補強し、荷重 $Q \sim$ 沈下量 S 関係を測定するとともに、粒子の挙動を観察して、補強のメカニズムについても考察した。

現在よく用いられている地盤の支持力補強法として、ネットなどの補強材を地盤の表層付近に水平に配置する工法がある。そこで、アルミ丸棒積層体の模型地盤の表層付近に補強材としての紙を水平に配置して支持力試験を行ってみたが、あまり効果がみられなかった。そのため、図-1に示す弾性応力解による最小主応力 σ_3 の方向にほぼ最小主ひずみ（最大引張ひずみ） ϵ_3 が発生するものとして引張補強材である紙は最大引張ひずみの生じる方向に入れるのが最も効果的であるので一紙を半円弧状に入れることを試みた（写真-2参照）。ところが、

写真-2からわかるように、最初は紙とアルミ棒の間の摩擦によって少し支持力が增加するが、やがて滑って載荷板の両脇にあふれ出てしまい、もう一つ効果が上がらないことがわかった。そこで、図-2に示すように紙の両端を長くして載荷板の下へ折りたたんで包み込む方法を思い付いた。この方法を用いると支持力が急激に増加したので、以下この地盤の一部を包み込む補強方法に基づいて種々の比較実験を行

Method of bearing capacity reinforcement and deformation control for ballast foundation: H. Matsuoka (Nagoya Institute of Technology), K. Itoh (Tekken Corporation), T. Ueda and S.H. Liu (Nagoya Institute of Technology).

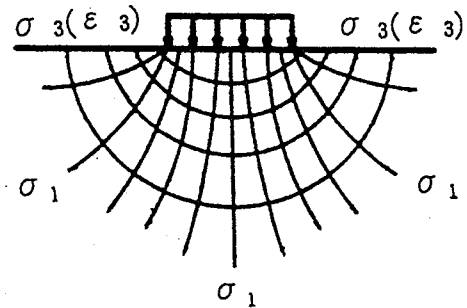


図-1 弾性応力解による主応力線図

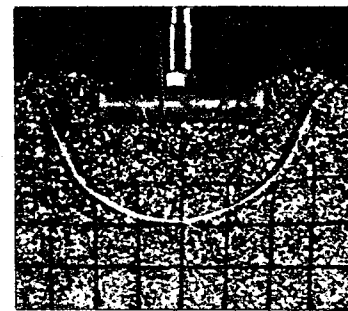


写真-2 半円弧状に入れた紙による補強 (載荷板の両脇を包み込んでいない場合)

い、支持力補強のメカニズムについて考察するとともに、その様々な適用を試みた。

3. フーチングの支持力補強模型実験^{1), 2), 3)}

写真-3は、フーチング直下を半円弧状の紙で補強した場合の、地盤に発生するスベリ線の状況を示したものである(載荷板幅 $B=10\text{cm}$ 、初期の補強材幅 $B'=15\text{cm}$)。補強された半円弧状の部分が固くなり、あたかもフーチングと一体化したようになって、その下に大きなスベリ線が形成されているのが見られる。次に、 $B'=15\text{cm}$ の半円弧状の木製ブロックを作製し、フーチング($B=10\text{cm}$)直下に設置した実験や、 $B'=15\text{cm}$ の半円弧状の補強部分をゴムテープで接着・固定した実験を行った(写真-4,5参照)。図-3は、無補強の場合、半円弧状の紙で補強した場合、半円弧状の木製ブロックを設置した場合、半円弧状の紙で包まれた内部のアルミ棒の両端面(前後面)をゴムテープで接着・固定した場合の荷重 Q ~沈下量 S 曲線の実測値を示したものである。図-3より、木製ブロックで置き換えた場合が最大の支持力となるであろうとの予想に反して、紙でアルミ棒を包み込んだだけのものが最も大きな支持力を与えるという驚くべき結果を得た。紙で包み込むだけで、なぜこのような高い支持力が得られるのであろうか。写真-6は紙で包み込んだ部分の拡大写真を示している。写真より、当初の半円弧状の紙が左右にはらみ出して紙の間の最大幅が $B'=15\text{cm}$ より大きくなっているのが見られる。また、紙に包まれた内側の地盤が非常に固くなって載荷板と一体化するような強度を持つようになるのが観察された。なぜこのようなことが起こるのであろうか。これは、載荷重によって生じるダイレイタンスによって密な地盤は体積膨張しようとするが、紙で包まれているため紙から反力を受けて、紙の内部の有効応力 σ' が増加するためと考えられる。すなわち、 σ' が増加すればせん断強度 $\tau_c = \sigma' \tan \phi'$ より紙の内部の地盤の強度も増加して、紙の内部全体が根入れのある大きな基礎のように働いて支持力が飛躍的に増加すると考えられる(以上は、垂直力 N が増加すれば摩擦力 $F = \mu N$ も大きくなるという議論と同じである)。いわば地盤の「敵」である載荷重(外力)を利用して地盤の強化を図る一敵を味方にする一点が興味深い¹⁾。

次に、粘性土などのゆるい構造の地盤を想定して、紙の内部の間隙比を $e=0.23$ から、 0.28 、 0.36 と大きくした試験(実際には、紙の内部のアルミ棒を適当に引き抜いて間隙比を大きくした)、さらに極端に緩い構造として紙の内部を紙巻きタバコに置き換えた試験を行った。図-4より、間隙を大きくする程極限支持力を発揮する沈下量は大きくなるが、紙巻きタバコの場合でも無補強の場合の2倍程度の支持力が得られることがわかる($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$ の場合)。

さらに、紙で包み込む部分の幅 B' を大きくした試験を行った。図-5は載荷板幅 $B=10\text{cm}$ に対して初期の $B'=1.5B=15\text{cm}$, $2B=20\text{cm}$, $3B=30\text{cm}$ とした時の荷重 Q ~沈下量 S 関係を示している。図-6は $B=5\text{cm}$ に対して $B'=5B=25\text{cm}$ の場合を示している。支持力公式 $Q = q_u B L = \gamma B^2 L N_{\gamma} / 2$ が教えるように、無補強の場合の $Q=8\sim 9\text{kgf}$ ($B=10\text{cm}$ の時)、 $Q=2\text{kgf}$ ($B=5\text{cm}$ の時)のほぼ $(B'/B)^2$ 倍で支持力が増加しているのが見られる(図-5で最大約 $3^2=9$ 倍、図-6で約 $5^2=25$ 倍になっている!)。なお、厳密には上記の拡幅効果のほかに、包み込んだ部分が基礎の一部のように働いて根入れが深くなった効果—根入れ効果—もあるであろう。なお、図-5,6より、あまり紙で包み込む面積を大きくすると、極限支持力は確かに大きくなるが、その極限支持力が得られるまでの沈下量

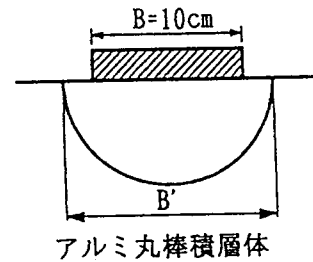


図-2 フーチング下の地盤の一部を包み込む補強方法(B :載荷板幅, B' :初期の補強材幅)

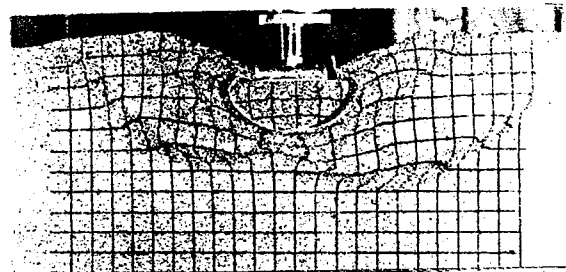


写真-3 半円弧状の紙で補強した場合の地盤全体のスベリ破壊状況($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

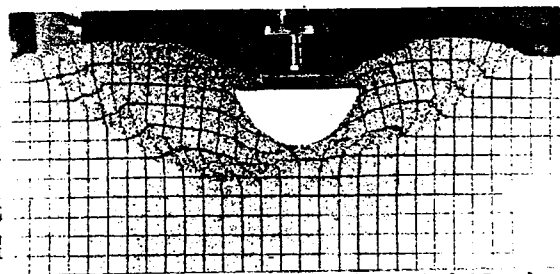


写真-4 半円弧状の木製ブロックを用いた場合の地盤全体のスベリ破壊状況($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

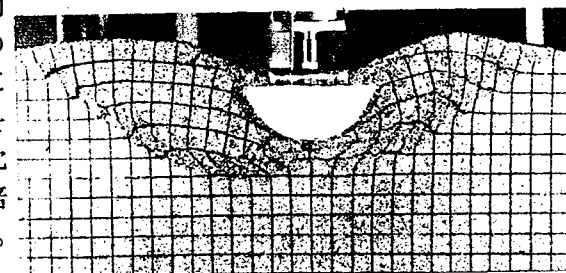


写真-5 半円弧状の補強部分をゴムテープで接着・固定した場合の地盤全体のスベリ破壊状況($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

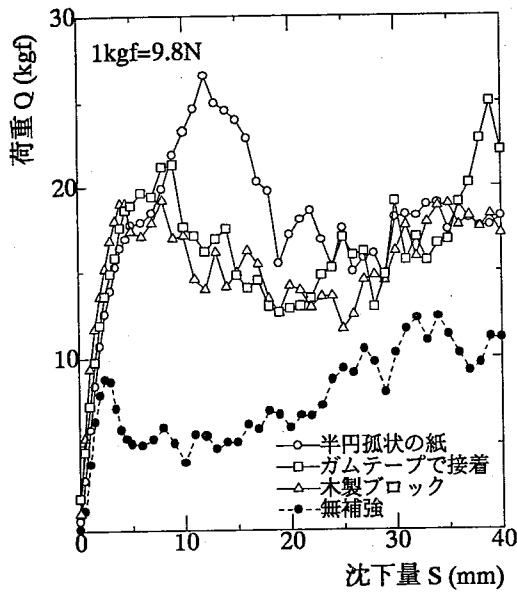


図-3 補強材で包まれた内部の違いによる荷重 Q ~ 沈下量 S 関係の変化 ($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

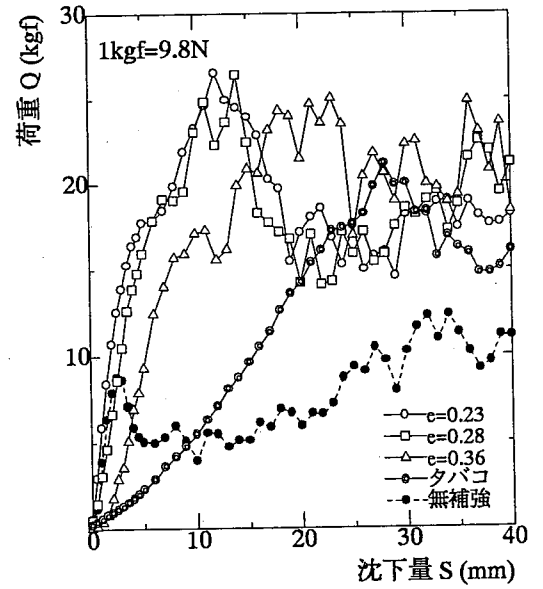


図-4 補強材で包まれた内部の間隙の増加に伴う荷重 Q ~ 沈下量 S 関係の変化 ($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

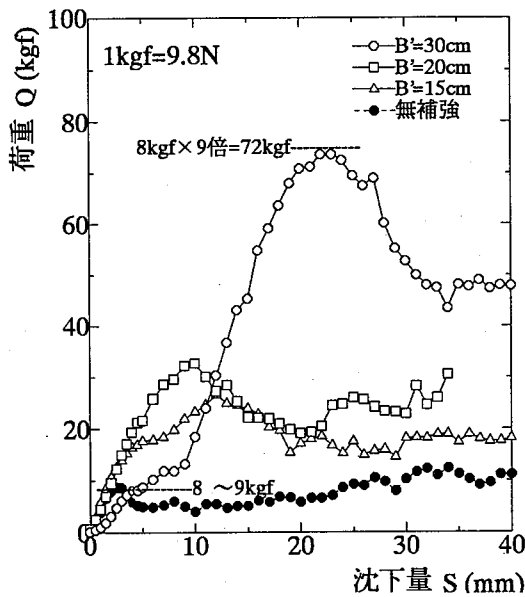


図-5 補強材幅 B' の増大に伴う支持力の増加 ($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$, 20cm , 30cm)

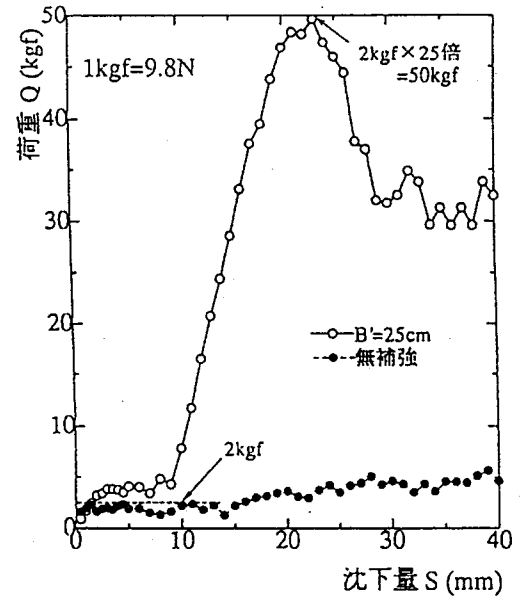


図-6 補強材幅 B' の増大に伴う支持力の増加 ($B=5\text{cm}$, $B'=25\text{cm}$)

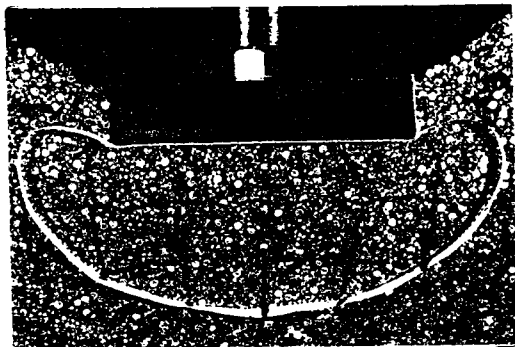


写真-6 紙で包み込んだ部分の拡大写真

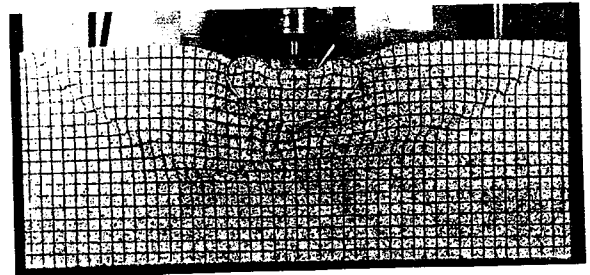


写真-7 載荷板の両脇で紙が膨れ上がる状況 ($B=10\text{cm}$, $B'=30\text{cm}$)

大きくなってしまふのが見られる。これは、写真-7に見られるように載荷板の両脇で紙が膨れ上がり、紙で包み込まれた部分が固くなるまでに大きな沈下量を要するからである。このことは、一般に望ましいことではないので、次にこの問題を考えよう。

図-7は、 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ ($=225\text{cm}^2$) の正形状に紙で包み込んだ場合と、それと同面積の補強部分を6段に分割した場合 ($15\text{cm} \times 2.5\text{cm} \times 6\text{段} = 225\text{cm}^2$) の荷重 Q ～沈下量 S 曲線の比較を示したものである。写真-8,9は、その2つの場合のスベリ線の発生状況を示している。写真-8に示す1個の大きな正方形の場合には、まず正方形の内部でスベリ破壊を起こした後に、ダイレイタンスー現象によって正方形内部が固くなり、 $B=10\text{cm}$ のフーチングと正方形部分が一体化して、今度は正方形部分の下にもう1つの大きなスベリ線が形成されるのが見られる。これが図-7中の $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ の場合の荷重 Q ～沈下量 S 曲線が“2段”になることの原因である。しかし、同面積を6段に分割して包み込むと、ダイレイタンスーをいち早く抑え込み、荷重 Q ～沈下量 S 曲線の初期の立ち上がり dQ/dS を大きくすることができる。このことは、補強部分を分割して包み込むことが効果的であることを示している。そこで、 $15\text{cm} \times 5.9\text{cm}$ ($\approx 88\text{cm}^2$) の長方形の補強部を同面積、同じ横幅になるように3個に分割 (地表層に2個、その直下層中央に1個、 $7.5\text{cm} \times 3.9\text{cm} \times 3$ 個 $\approx 88\text{cm}^2$) すると、図-8に示すように予想に反してほぼ同じ高い支持力が得られた。これより、補強部を分割しても、極限支持力が下がるなどのマイナス面はあまり生じないことがわかる。そこで、「土のう」のようにさらに細かく分割することを思い付く。図-10は、図-9に示す細かく分割した「土のう」のような補強材の配置状況のもとでの試験結果を示している。図よりわかるように、「土のう」の個数が多いほど極限支持力が高くなるが、すべての配置について比較的良好的な結果が得られた。したがって、「土のう」の配置については、さほど神経質にならなくても良さそうである。「土のう」のような補強材内部に適当な粒状体を詰めて、構造物基礎下に多数配置する補強方法が考えられる。

以上は、2次元粒状体モデルを試料とした場合であるが、次に乾燥砂および乾燥粘土粉末を地盤試料として、円形載荷板下の「土のう」方式による支持力補強模型実験 (土槽寸法 $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm}$) を行った³⁾。載荷板は直径 8cm の円形とし、「土のう」は図-11に示すように配置した。(「土のう」を2層 (2段) に配置した場合もある)。「土のう」としてチャック式ビニール袋 (約 $6\text{cm} \times 4\text{cm} \times 1\text{cm}$) を、中詰め材として乾燥砂および乾燥粘土粉末を用いた。写真-10に実験の状況、図-12に乾燥粘土地盤の場合の荷重 Q ～沈下量 S 曲線を示す。この実験結果より、無補強と比較すれば、中詰め材や「土のう」の配置によらず、いずれも約2倍程度の支持力増加の効果があることがわかる。なお、補強した場合の載荷板の実効断面積を補強部のほぼ内接円程度 (直径 12cm) と考えると、載荷圧力 (載荷重/実効断面積) ～沈下曲線が無補強の場合と補強した場合ではほぼ一致することがわかっている (図省略)。すなわち、本模型実験によれば、図-11のように補強した場合は直径 12cm の円形載荷板とほぼ同じ効果を期待できると考えられる。

4. 鉄道枕木下のバラスト地盤の支持力補強・変形抑制模型実験^{4), 5)}

レールに平行な方向の鉄道枕木下の道床バラスト粒子の移動が、枕木の有害な沈下の主たる原因であるといわれ

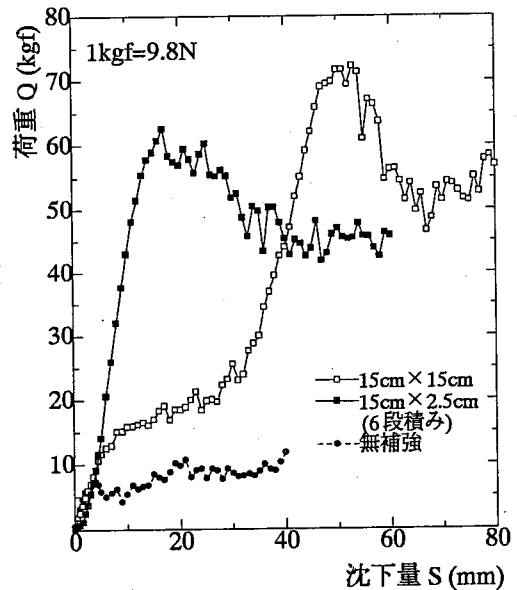


図-7 補強部の分割による荷重 Q ～沈下量 S 関係の変化(補強部全体を同面積とする)($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

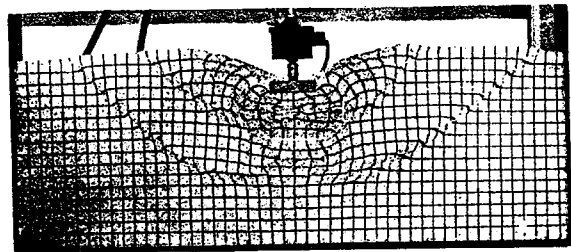


写真-8 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ の正形状の紙を配置した場合の地盤全体のスベリ破壊状況($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

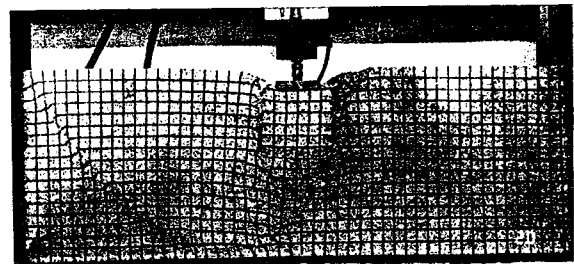


写真-9 $15\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ の長形状の紙を6段積み配置した場合の地盤全体のスベリ破壊状況($B=10\text{cm}$, $B'=15\text{cm}$)

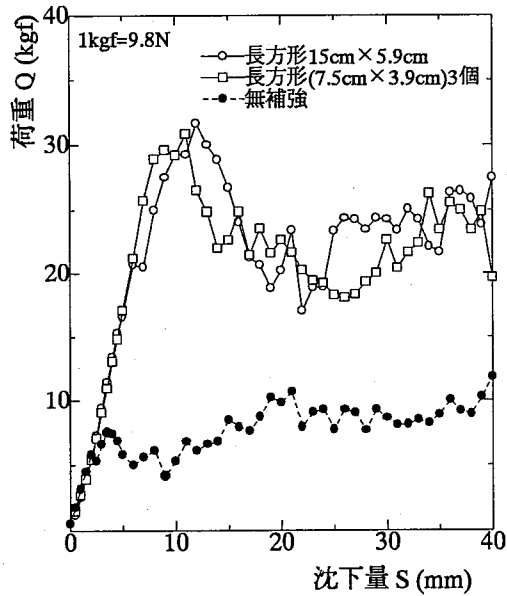


図-8 補強部 $15\text{cm} \times 5.9\text{cm}$ ($\approx 88\text{cm}^2$)
 によると 3個に分割された $7.5\text{cm} \times 3.9\text{cm} \times 3$ 個 ($\approx 88\text{cm}^2$)の荷重
 $Q \sim$ 沈下量 S 関係の比較($B=10\text{cm}$,
 $B'=15\text{cm}$)

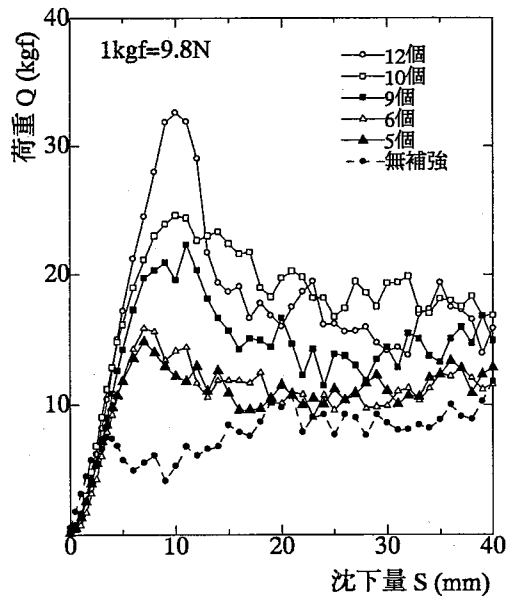


図-10 細かく分割する補強方法による
 荷重 $Q \sim$ 沈下量 S 関係の差異(図
 -9と対応)($B=10\text{cm}$, $B'=12\text{cm}$)

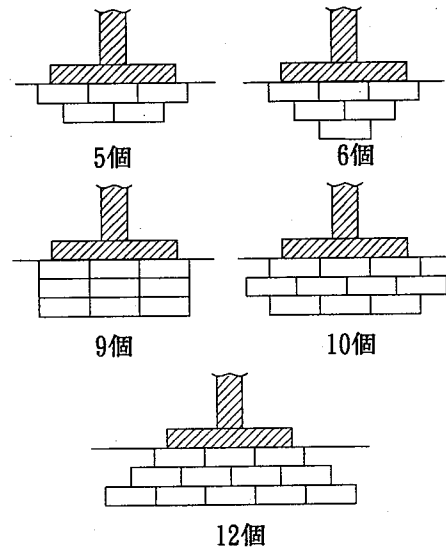


図-9 細かく分割した補強材(「土のう」)
 の配置状況($B=10\text{cm}$, 地表での
 $B'=12\text{cm}$)

ビニール袋 (約 $6\text{cm} \times 4\text{cm} \times 1\text{cm}$).

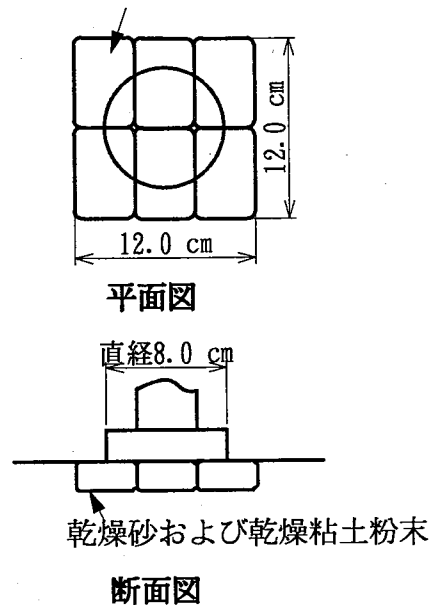


図-11 「土のう」の配置状態(1層配置の
 場合)

ている。そこで、図-13に示すように、実際の枕木(3号)断面の $1/2$ のスケール(幅 12cm 、高さ 8.7cm)のアルミ製の模型フーチングを用いて、ここで提案している粒子を包み込む「土のう」式の補強方法が有効かどうかを、アルミ丸棒積層体の地盤に対して検討した。道床部の厚さは実際の寸法の $1/2$ のスケール($8.7\text{cm}+12.5\text{cm}$)とし、 $\phi 5\text{mm}$ と $\phi 9\text{mm}$ 、長さ 50mm のアルミ丸棒積層体(混合重量比 $3:2$)を用いた。また、その下の路盤部の厚さは 15cm とし、 $\phi 1.6\text{mm}$ と $\phi 3\text{mm}$ 、長さ 50mm のアルミ丸棒積層体(混合重量比 $3:2$)を用いた。なお、対象地盤の横幅は 60cm とした(実際の鉄道の枕木間隔は 60cm である)。なお、アルミ丸棒積層体地盤は自立するので、前後面を透明板などで支える必要がなく、壁面摩擦はゼロで、粒子移動も観察しやすい。

図-14は、2段積みの場合の「土のう」の配置図を示す。「土のう」としては、ユボ紙と呼ばれる水に濡れても破れない紙で輪を作りセロテープで補強したものを用いた。なお、「土のう」2段の高さを、枕木下の道床部の厚さ

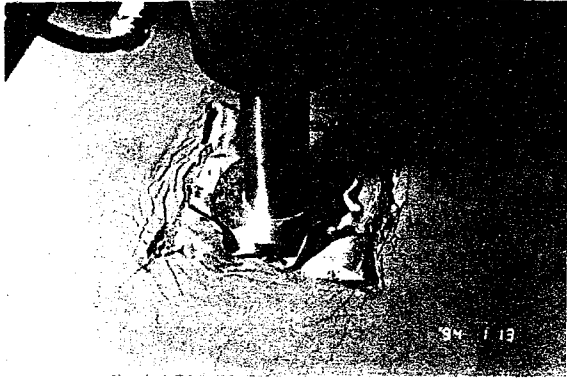


写真-10 乾燥粘土粉末を試料とした「土のう」式支持力模型実験の状況

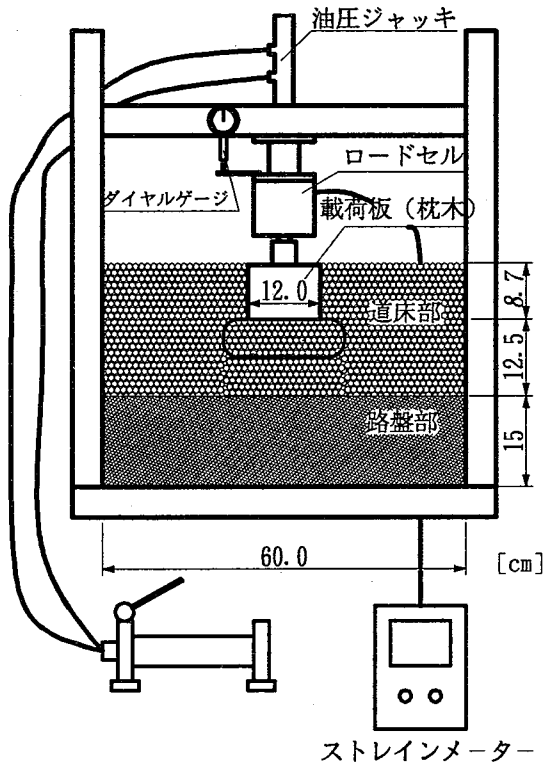


図-13 枕木直下に「土のう」式補強を用いた支持力試験

12.5cm に一致するようにした。写真-11(a)は図-14(a)の配置の場合の粒子の移動状況(沈下量 $S=15\sim 20\text{mm}$)を、写真-11(b)は図-14(b)の配置の場合の粒子の移動状況($S=20\sim 25\text{mm}$)を重ね撮り写真で示したものである。図-15はこの場合の荷重 $Q\sim$ 沈下量 S 関係の実測値を示したものである。(無補強)とは「土のう」を入れなかったもの、(15cm+20cm)とは図-14(a)、(20cm+30cm)とは図-14(b)の「土のう」配置のものを指す。すでに述べたように、「土のう」内部は粒状体のダイレタンスー効果によって極めて高い強度を発揮し、あたかもフーチングの一部ようになって一体化する。したがって、図-15の実測極限支持力は、「土のう」がフーチングの一部として働くと仮定してフーチング幅と根入れ深さが増加するとして算定した支持力公式の計算値とほぼ一致することを確認している(単位体積重量 $\gamma=2.2\text{gf/cm}^3$ 、 $c'=0$ 、 $\phi'=25^\circ$)。なお、▲、△印のプロットは図-14(a)、(b)に示す地盤中の長形状の紙の輪の中へ後か

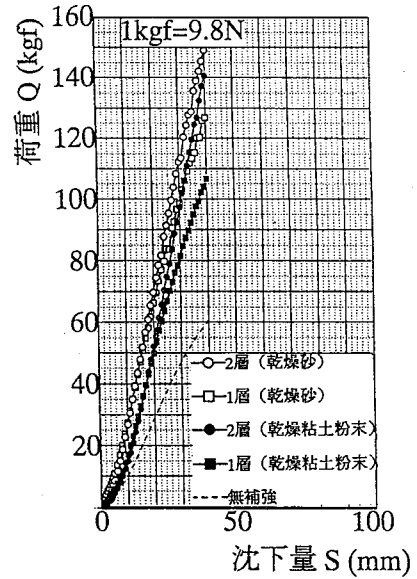


図-12 乾燥粘土地盤の場合の「土のう」式補強方法による荷重 $Q\sim$ 沈下量 S 関係の比較(カッコ内は中詰め材を示す)

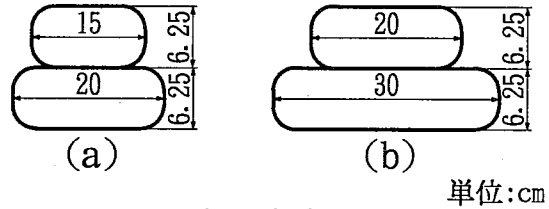


図-14 2段積みの場合の「土のう」の配置図

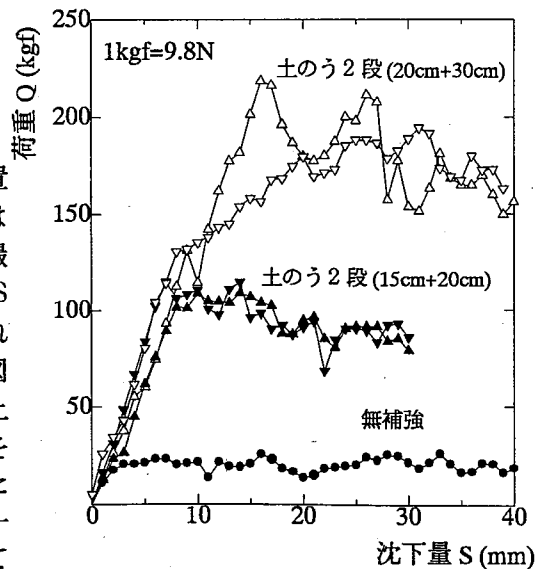


図-15 2段積み「土のう」の場合の荷重 $Q\sim$ 沈下量 S 関係

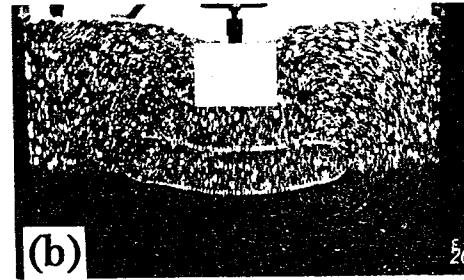
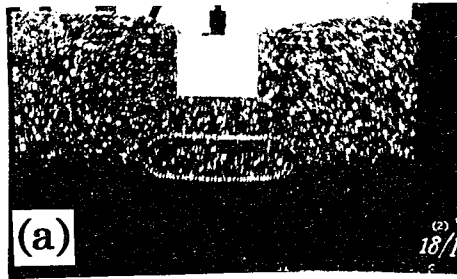


写真-11 2段積み「土のう」の場合の支持力試験時の粒子の移動状況:(a)15cm+20cm、
沈下量 $S=15\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 、(b)20cm+30cm(沈下量 $S=20\text{mm}\sim 25\text{mm}$)

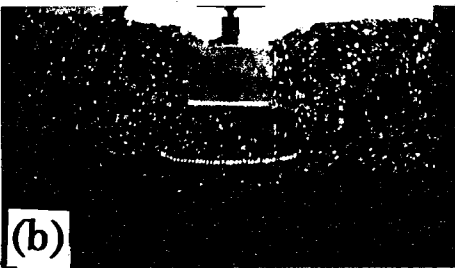
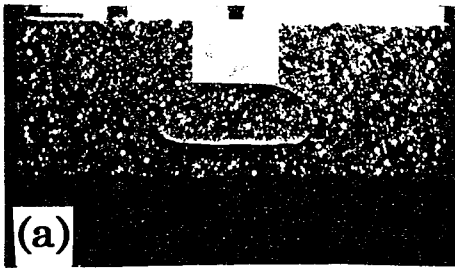


写真-12 「土のう」1個の場合の支持力試験
時の粒子の移動状況:(a)沈下量 $S=0\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 、(b)沈下量 $S=25\text{mm}\sim 30\text{mm}$ 、(c)
沈下量 $S=40\text{mm}\sim 45\text{mm}$

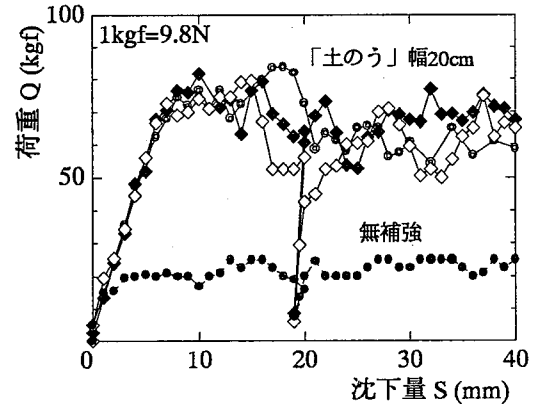


図-16 「土のう」1個の場合の荷重
 $Q\sim$ 沈下量 S 関係

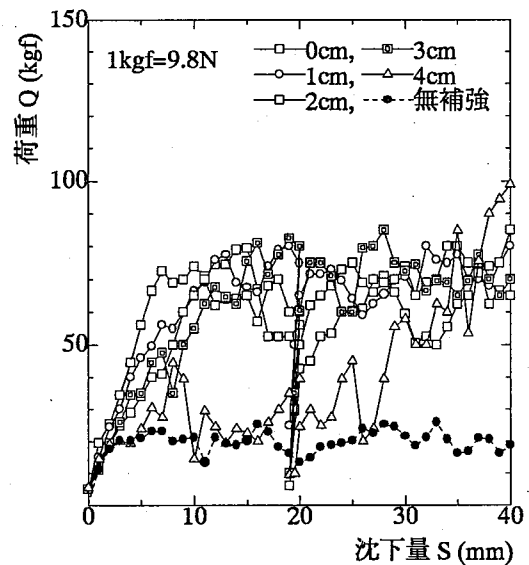


図-17 枕木と「土のう」の間にアルミ
丸棒積層体を入れた場合の荷重
 $Q\sim$ 沈下量 S 関係

ら粒子を入れたため、少しゆる詰めとなった場合、▼、▽印のプロットはあらかじめ別の所で紙の輪の中へ粒子を入れて安定させたもの(楕円形状となる)を積んだ場合を示している。図-15の結果から、2段積みの場合の支持力の増加は十分すぎるとの考えに達し、次に「土のう」1個の場合を対象とした。写真-12(a)、(b)、(c)は、幅20cm、高さ6.25cmの「土のう」1個の場合の状況を示したものである。

図-16は「土のう」1個(幅20cm、高さ6.25cm)を入れた場合と、「土のう」を入れない無補強の場合の荷重 $Q\sim$ 沈下量 S 関係の実測値を示したものである(再現性を見るために、「土のう」1個を入れた3回の支持力試験結果のプロットを示している)。特に3回の内の2回については、沈下量20mmにおいて一度除荷し、再載荷時の荷重 \sim 沈下曲

線のシャープな立ち上がり（大きな変形係数）に着目した。すなわち、「土のう」を入れて極限支持力を高めると共に、再載荷時の大きな変形係数の部分を用いれば、支持力の増大と沈下の抑制をはかることができると考えられる。

次に、この再載荷時の大きな変形係数の部分を用いようとすると、1)多数回の列車荷重を受けて沈下が生じた後に、沈下量を回復させる保守作業をする方法、2)あらかじめ上げ越された軌道を大きな振動荷重のもとで締め固めることによって沈下させ、所定の高さに調整する方法などが考えられる。1)の方法の中の沈下量を回復させる保守作業としては、①レールと枕木の間パットを入れる、②「土のう」の下にバラストを入れる、③枕木と「土のう」の間にバラストを入れる、等が考えられる。③が従来通りの保守作業方法によって可能であり、最も簡単であるので、ここでは、枕木と「土のう」の間に粒子を入れた場合の支持力試験を実施した。

図-17は、枕木と「土のう」の間に0cm、1cm、2cm、3cm、4cmの厚さのアルミ丸棒積層体を入れた場合の荷重 Q ~ 沈下量 S 曲線を、「土のう」を入れない無補強の場合と比較したものである。アルミ丸棒積層体の厚さ3cm位（粒径の数倍程度）までは支持力としてはかなり高くなるのが見られる。しかし、厚さ4cmになると支持力も急に低くなり、沈下量も大きくなっているのが見られる。写真-13(a)~(e)は枕木と「土のう」の間に0cm、1cm、2cm、3cm、4cmの厚さのアルミ丸棒積層体を入れた場合の支持力試験時（沈下量 $S=5\sim 10$ mmの時）の粒子の移動状況を示したものである。写真13(a)に示すように厚さ（0cm）の時には「土のう」はその内部の試料のダイレクシー効果によって拘束圧 σ' が増大し、せん断強度 $\tau_c = \sigma' \tan \phi'$ も大きくなり、あたかも枕木の一部のように挙動しているのがみられる。しかし枕木と「土のう」の間隔が粒径の数倍程度を越えると、枕木と「土のう」の間のアルミ棒の横方向移動が急に顕著となり（特に写真-13(d)参照）、沈下量の増大につながる事がわかった。したがって、枕木と「土のう」の間にバラストを入れるとしても、バラストの平均粒径の数倍程度の厚さにとどめるべきであろう。

5. あとがき

ここでは、「地盤の一部を包み込む」補強方法の発想からはじめて、フーチングの支持力補強への適用、その1つの現場適用例として鉄道枕木下の道床バラスト地盤の支持力補強・変形抑制への適用について論じてきた。道床バラスト地盤は固すぎても乗り心地や騒音などの問題が生じるので、ここでの道床バラストの一部を「土のう」で包み込む補強方法は適度なフレキシビリティを保つ有用な方法と考えられる（もし都合が悪くなければ、「土のう」を破れば元の状態に戻る）。

土砂崩れ災害時などの報道写真や映像を見ると、「土のう」を積み上げた上に鉄板を敷き、ダンプ・トラックや建設機械を導入しているのをよく目にする。これらは、何となく「現場の知恵」として行われているものであろうが、ここで述べてきたように学問的にも理にかなっているものである。今後、本来バラバラの粒子の集合体である土を包み込む補強方法は、様々な分野で有効に利用されると思われる。

謝辞：実験をともに行い、様々な議論をし合った本学卒業生高木信宏、西井正浩、奥田 信、岩井慎一郎、小野哲治、瀧澤剛、佐伯 務の各氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 松岡・高木・西井(1992)：粒状体地盤の有効な支持力補強方法、土木学会第47回年次学術講演会、Ⅲ-577、pp.1194-1195.
- 2) 奥田・松岡・岩井(1993)：地盤の一部を包み込む支持力補強方法に関する一考察、土木学会第48回年次学術講演会、Ⅲ-544、pp.1142-1143.
- 3) 小野・松岡・瀧澤(1994)：各種基礎形状の支持力試験と「土のう」式支持力補強試験に関する考察、土木学会第49回年次学術講演会、Ⅲ-392、pp.774-775.
- 4) 松岡・伊東・植田・佐伯・劉(1996)：鉄道枕木の支持力補強方法に関する基礎的研究、第31回地盤工学研究発表会、1274、pp.2547-2548.
- 5) 伊東・松岡・植田・佐伯・劉(1996)：鉄道枕木の「土のう」式支持力補強法に関する基礎的研究、土木学会第51回年次学術講演会、Ⅲ-B308、pp.616-617

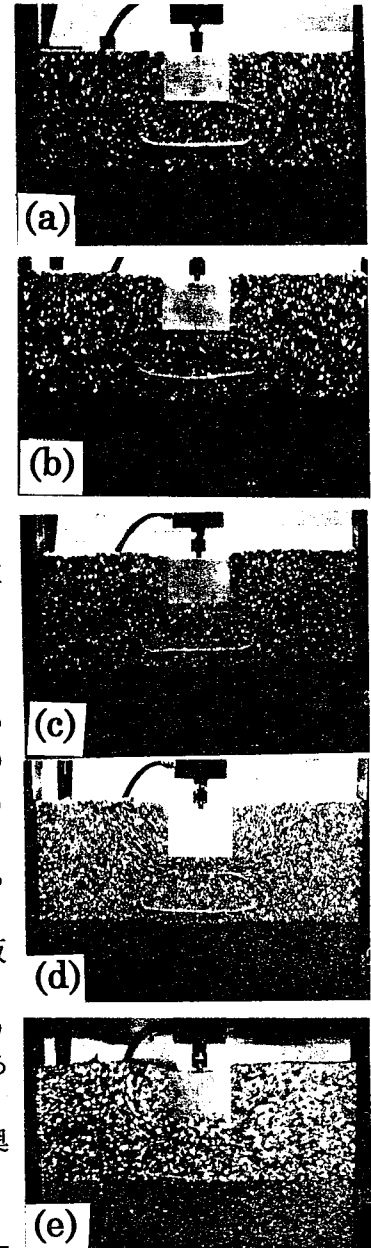


写真-13 枕木と「土のう」の間にアルミ丸棒積層体を入れた場合の支持力試験時の粒子の移動状況：(枕木と「土のう」の間隔：0cm、(b)1cm、(c)2cm、(d)3cm、(e)4cm)