

# 地盤の有効な支持力補強方法

名古屋工業大学 正会員 ○松岡 元  
五洋建設 " 高木 信宏  
佐藤工業 " 西井 正浩

2種径のアルミ丸棒積層体を用いて2次元粒状体地盤を作製し、和紙を補強材とするフーチングの模型実験を行って、有効な補強方法を模索した。その結果、一枚の和紙を用いて無補強の場合の支持力(=フーチング荷重、写真-1参照)の10~20倍の支持力が容易に得られる方法が見い出されたので報告する。

## 1. 2次元粒状体地盤の支持力補強試験の概要

φ1.6mmとφ3mm、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、模型地盤を作製した(間隙比 $e=0.23$ 、単位体積重量 $\gamma=G_s/(1+e)=2.69/1.23=2.2\text{gf/cm}^3$ )。そして、この模型地盤に種々の方法で和紙を挿入して補強し、フーチング荷重 $Q(\text{kgf})$ ~沈下量 $s(\text{mm})$ の関係を測定した。このとき、撮影された重ね撮り写真などから、支持力の発生機構についても考察した。

## 2. 支持力補強試験の方法

現在よく用いられている地盤の補強方法として、ネットなどの補強材を地盤表層付近に水平に配置する工法がある。そこで、アルミ棒からなる模型地盤に補強材としての和紙を地盤中に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(写真-2参照)。そのため、図-1に示す弾性応力解による最小主応力 $\sigma_3$ の方向にほぼ最小主ひずみ(最大引張ひずみ) $\epsilon_3$ が発生するものとして一引張補強材である和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和紙を円弧状に入れることを行ってみた(写真-3参照)。ところが、写真-3からわかるように、最初は和紙とアルミ棒の間の摩擦によって少し支持力が増加するが、やがて滑って載荷板の両脇にあふれ出てしまい、もうひとつ効果が上がらないことがわかった。そこで、図-2に示すように和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(写真-4参照)。この方法を用いると、支持力が急激に増加したので、以下この補強方法に基づいて種々の比較実験を行い、検討した。なお、支持力が飛躍的に増加した理由は、写真-1と写真-4の比較からわかるように、すべりゾーンの大幅な拡大からも理解できる。

## 3. 支持力補強試験結果と考察

まず、和紙で包まれた内部のアルミ棒を木に置き換えたもの(写真-5参照、木の側面に和紙を貼り付けた)と、和紙で包まれた内部のアルミ棒の前後面をガムテープで固定したもの(写真-6参照)を、通常の和紙内部がアルミ棒だけのもの(写真-4参照)と比較した。木で置き換えたのは、この場合が最大の支持力となるであろうとの予測からであった。ところが、図-3に示すように、むしろ通常の和紙内部がアルミ棒だけのもの(T-2)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。これは、写真-4、7からもわかるように和紙が側方にはらみ出して図-2に示す初期の $B'$ よりも大きくなること、アルミ棒の動きが自由であるので和紙を介した内・外部のアルミ棒のかみ合わせが良いこと等によると考えられる。次に、粘性土などのゆるい構造の地盤を想定して、和紙内部の間隙比を $e=0.23$ から0.28, 0.36と大きくした試験、さらに極端にゆるい構造として和紙内部を紙巻きタバコに置き換えた試験(写真-8, 9参照)を行った。図-4より、間隙を大きくする程、最大支持力を発揮する沈下量は大きくなるが、少なくとも無補強の場合の2倍程度

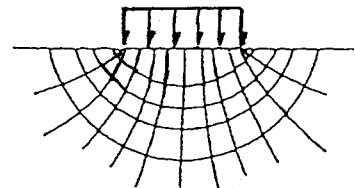


図-1 主応力線図

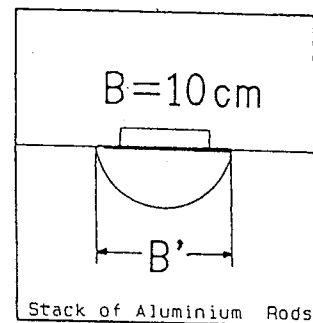


図-2 フーチング下の地盤の一部を包み込む補強方法(B:載荷板幅、 $B'$ :初期の補強材幅)

の支持力は得られることがわかる(B=10cm、B'=15cmの場合)。最後に、和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=10cmに対して初期のB'=1.5B, 2B, 3Bとした時のフーチング荷重Q~沈下量s関係を示している。図-6はB=5cmに対してB'=5B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=10cmの時)、 $Q = 2 \text{kgf}$ (B=5cmの時)のほぼ(B'/B)<sup>2</sup>倍で支持力が増加しているのがみられる(図-5で最大約9倍、図-6で約25倍になっている!)。なお、図-5のT-9(B'=30cm)や図-6のT-11(B'=25cm)において、初期に沈下量sに対して支持力Qがあまり増加しない部分があるのは、写真-10(a), 11(a)より見られるように、B'がBと比較して大きいいため和紙内部でまず小さく滑って、その後和紙内部全体がひと固まりになって抵抗するためと考えられる。

では、なぜ補強材で地盤の一部を包み込むだけで、載荷幅がBからほぼB'に増大することになるのだろうか。これは、載荷重によって生じるダイレイタンスによって地盤は体積膨張しようとするが、和紙で包まれているため和紙からの反力を受けて、内部の有効応力 $\sigma'$ が増加するためと考えられる。すなわち、 $\sigma'$ が増加すればせん断強度 $\tau_i = \sigma' \cdot \tan \phi'$ より和紙内部の地盤の強度も増加して、和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(写真-4, 7参照)。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はかる点が興味深い。

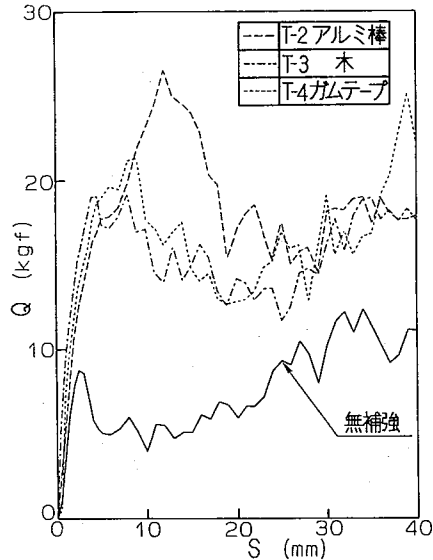


図-3 補強材で包まれた内部の変化に伴う支持力の変化(B=10cm、B'=15cm)

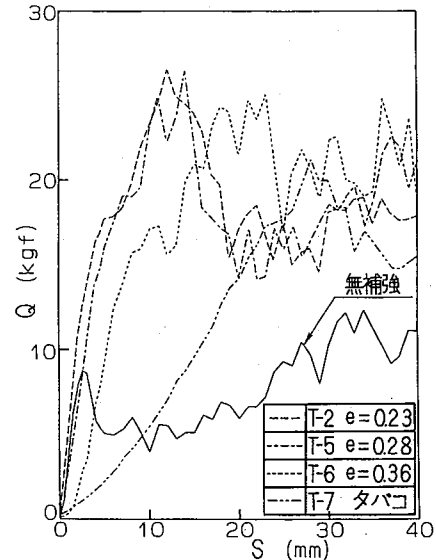


図-4 補強材で包まれた内部の間隙の増加に伴う支持力~沈下量関係の変化(B=10cm、B'=15cm)

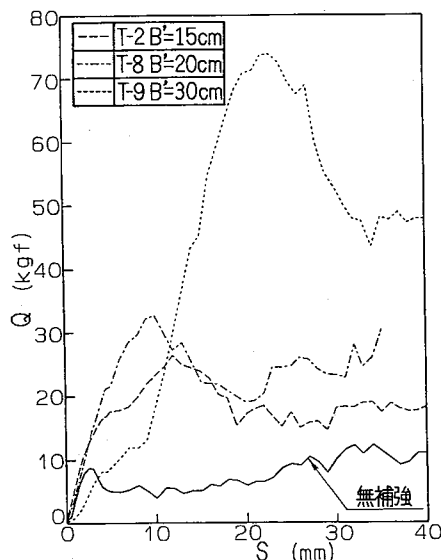


図-5 補強材幅B'の増大に伴う支持力の増大(B=10cm、B'=15cm, 20cm, 30cm)

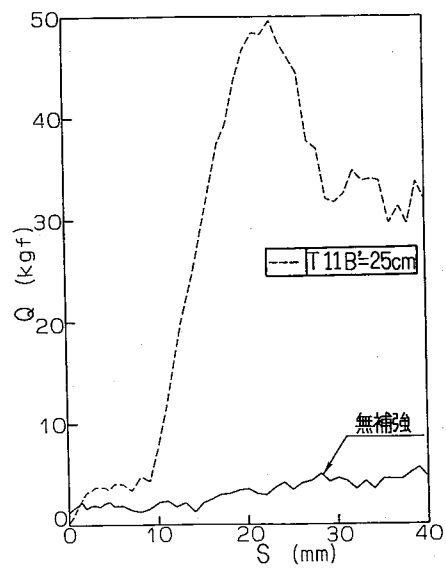
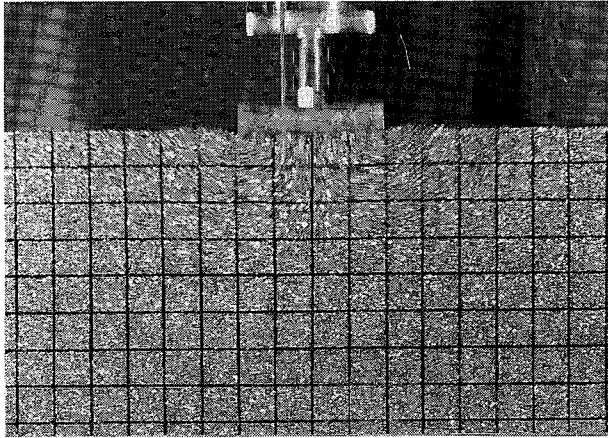
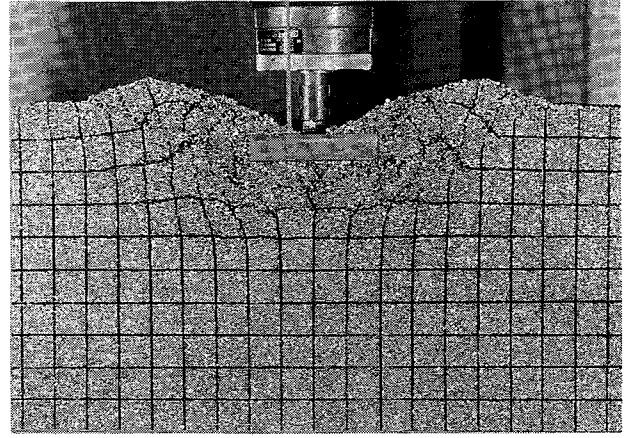


図-6 補強材幅B'の増大に伴う支持力の増大(B=5cm、B'=25cm)

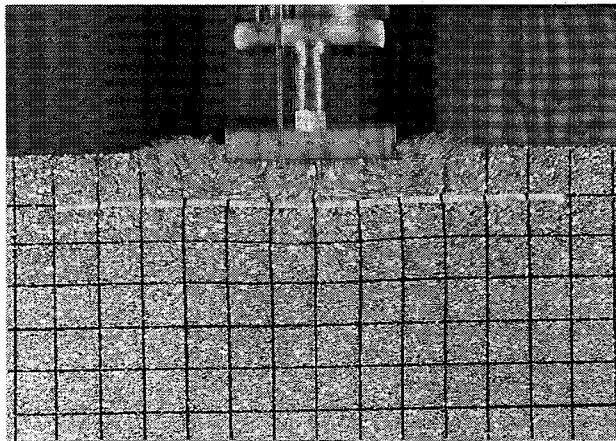


(a)  $s=0-5\text{mm}$  (重ね撮り写真)

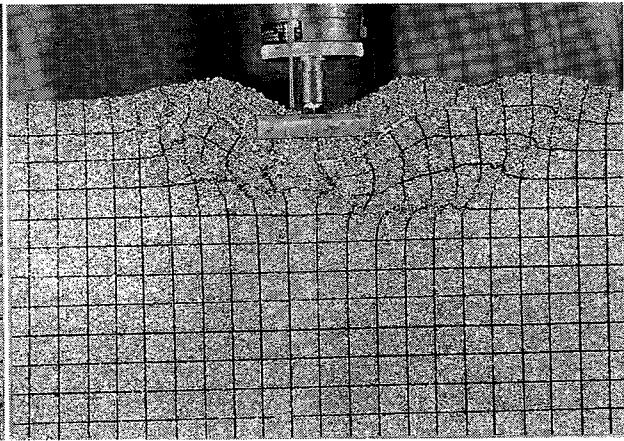


(b)  $s=40\text{mm}$

写真-1 無補強の場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況

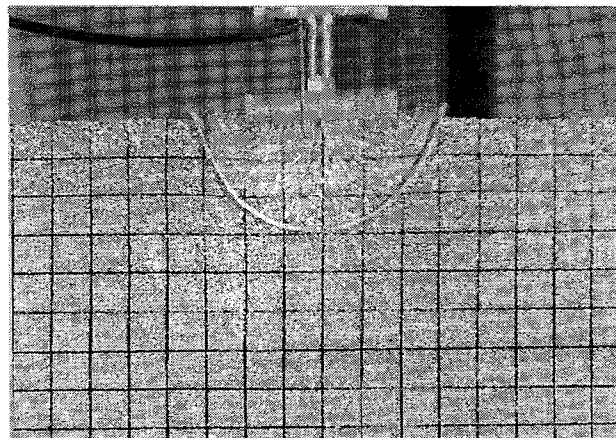


(a)  $s=10-15\text{mm}$  (重ね撮り写真)

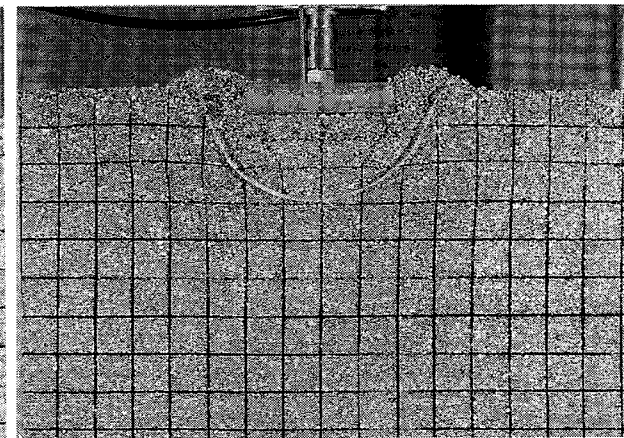


(b)  $s=40\text{mm}$

写真-2 和紙を水平に配置(深さ:25mm)した場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況

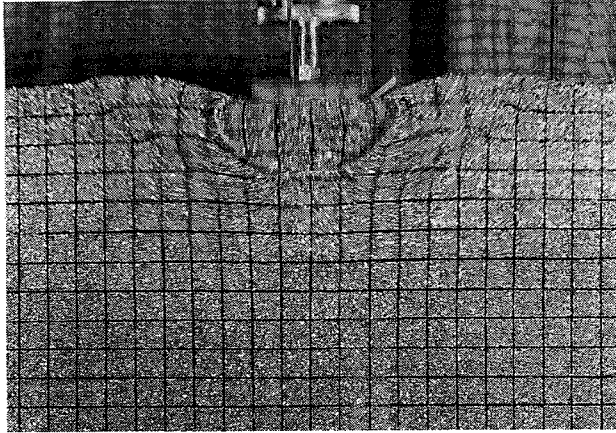


(a)  $s=0-5\text{mm}$  (重ね撮り写真)

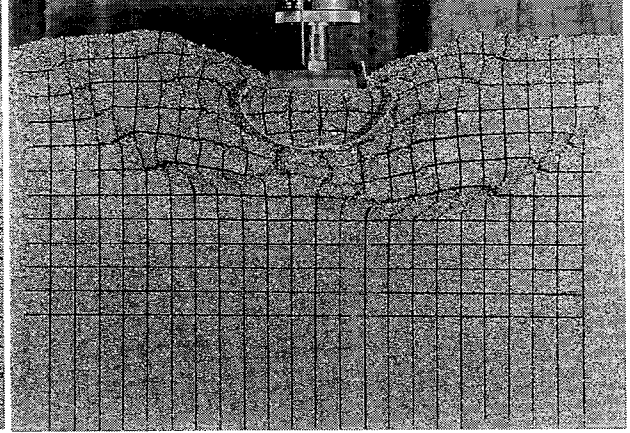


(b)  $s=15\text{mm}$

写真-3 和紙を円弧状に配置した場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況

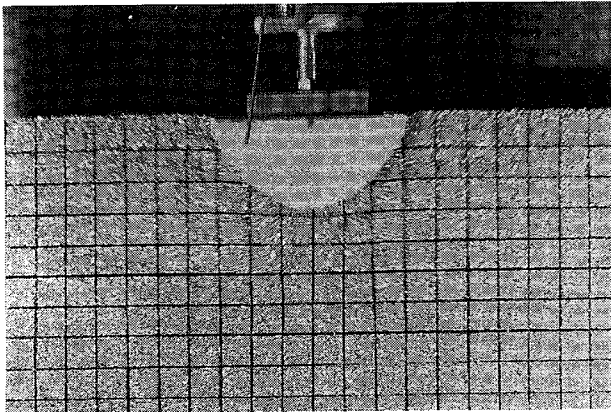


(a)  $s=10-15\text{mm}$  (重ね撮り写真)

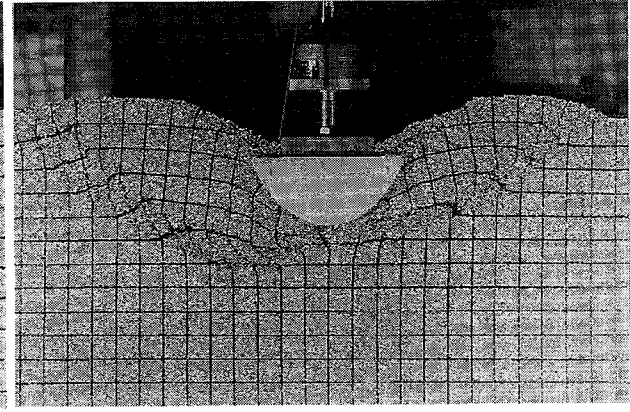


(b)  $s=40\text{mm}$

写真-4 和紙で円弧状に包んだ場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況

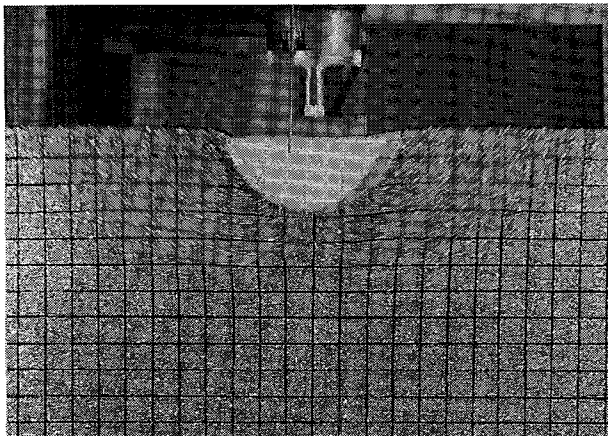


(a)  $s=0-5\text{mm}$  (重ね撮り写真)

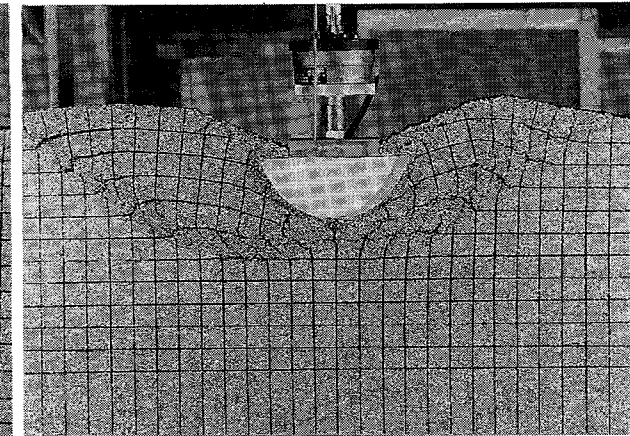


(b)  $s=40\text{mm}$

写真-5 円弧状の木製ブロックを配置した場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況



(a)  $s=5-15\text{mm}$  (重ね撮り写真)



(b)  $s=40\text{mm}$

写真-6 和紙で円弧状に包まれた内部のアルミ棒の前後面をガムテープで固定した場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況



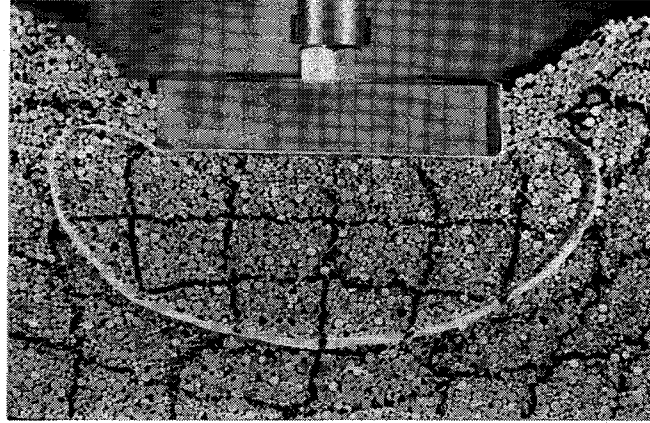
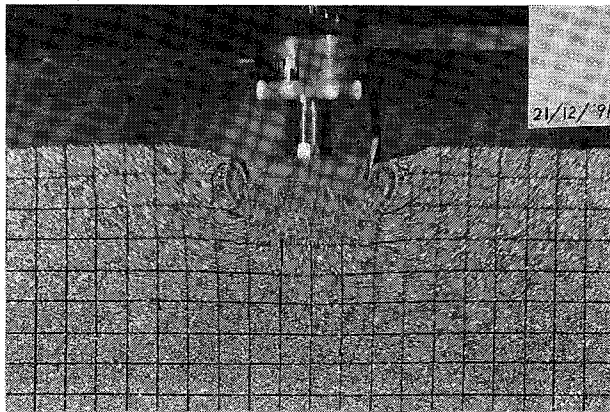
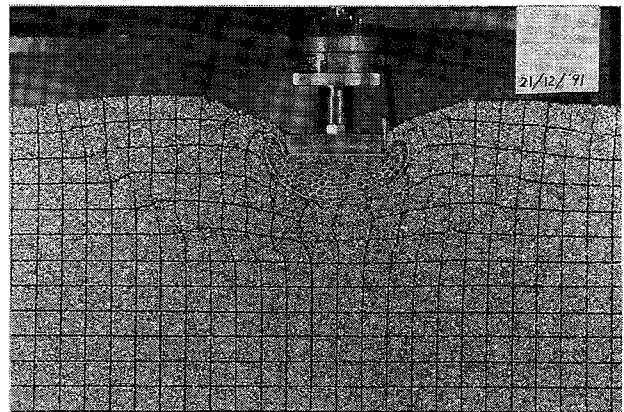


写真-7 和紙で包まれたアルミ棒の変形状況



(a)  $s=25-30\text{mm}$  (重ね撮り写真)



(b)  $s=40\text{mm}$

写真-8 和紙で円弧状に包まれた内部を紙巻きタバコに置き換えた場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況

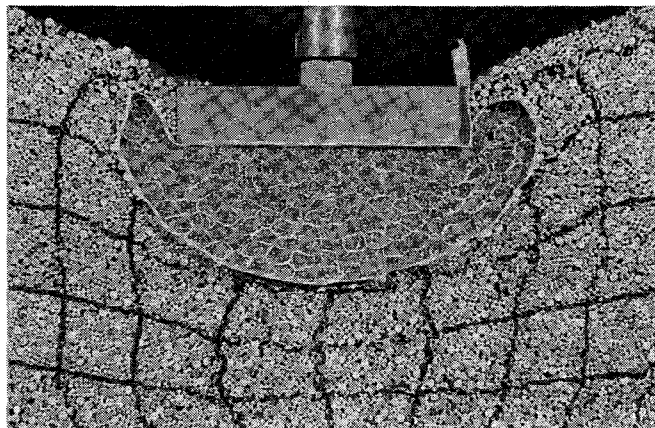
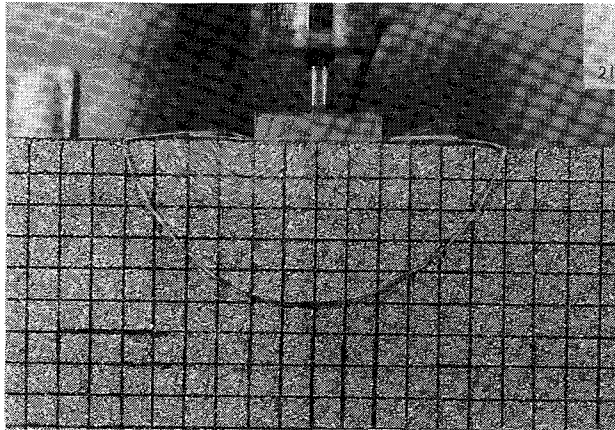
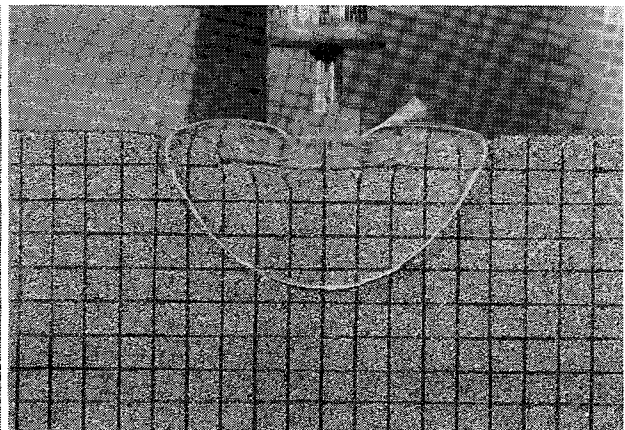


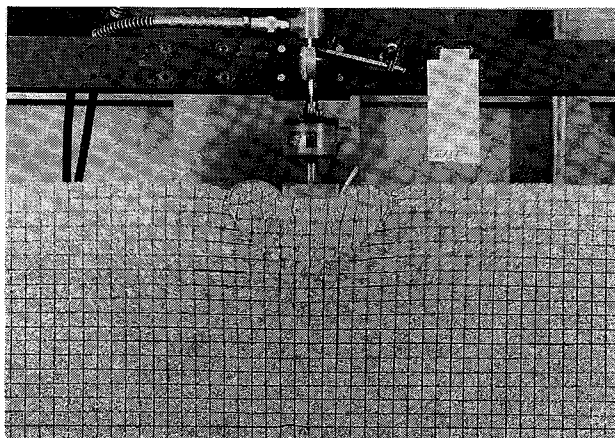
写真-9 和紙で包まれた紙巻きタバコの変形状況



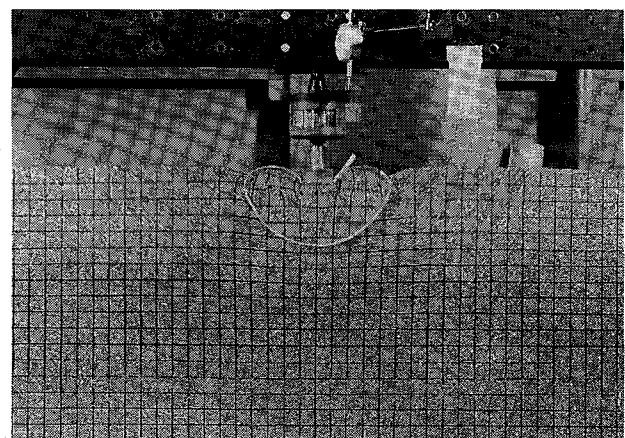
(a)  $s=0-5\text{mm}$  (重ね撮り写真)



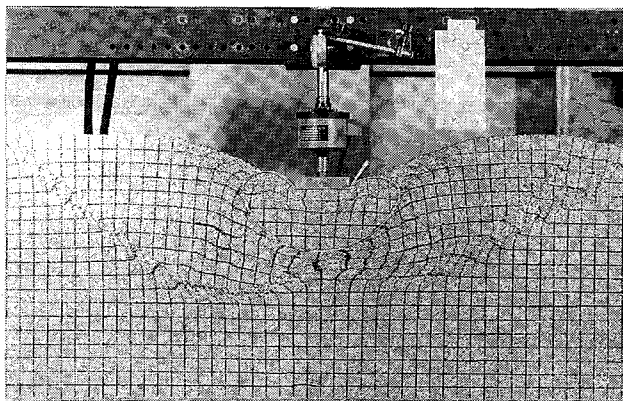
(a)  $s=5-10\text{mm}$  (重ね撮り写真)



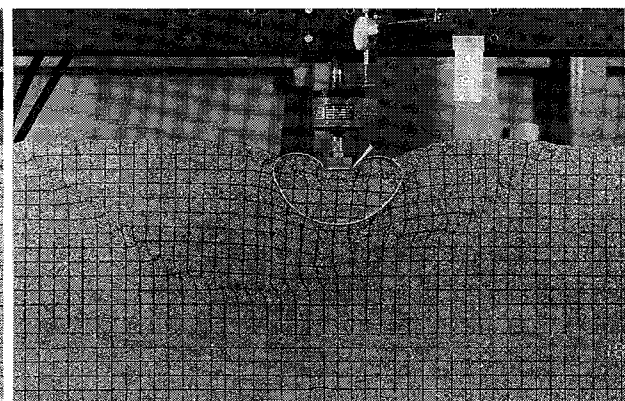
(b)  $s=20-25\text{mm}$  (重ね撮り写真)



(b)  $s=20-25\text{mm}$  (重ね撮り写真)



(c)  $s=40\text{mm}$



(c)  $s=40\text{mm}$

写真-10 和紙で円弧状に包んだ場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況( $B=10\text{cm}$ 、 $B'=30\text{cm}$ )

写真-11 和紙で円弧状に包んだ場合のアルミ棒の移動状況とスベリ破壊状況( $B=5\text{cm}$ 、 $B'=25\text{cm}$ )