

## 71 木製土留工の機能に関する模型実験 (II)

農林水産省 森林総合研究所 ○梅田修史・林 寛

### 1. はじめに

木材は、単位質量当たりの強度が他の土木材料に比べて大きく、加工、入手等が容易であるため、古くから種々の土木的用途に用いられてきた。林道・作業道に施工される木製構造物は、主に作設費の軽減を目的に導入されてきたが、近年、景観保全をも考慮した工法として施工されることが多くなっている。しかし、経験的に施工されてきたものが多く、設計、施工規程がないのが現状である。

本報告は、上記の設計規程作成のための手がかりを得ることを目的に、盛土斜面に施工された木製ブロック工を例にして、控え材の効果、荷重作用位置と盛土の変形特性について、模型実験と有限要素解析を行って検討した。

### 2. 実験方法

図1 (a) (b) に実験装置を示す。盛土上部には、毎分1.25 mm でひずみ制御の出来るスクリージャッキを設置し、変位はロードセル (容量 500 kgf) を介して盛土上の加圧板 (100×600 mm) に加えられ、斜面内に圧縮領域を作り出す。この土槽中に、(d) のような形状、大きさの木製ブロックを一段積み上げて鬼怒川砂 (中央粒径 0.29 mm、比重 2.68) を自然落下して投入し、更に一段積み上げるという方法で四段まで積み上げ、のり勾配 1:0.3 の斜面を作成した。盛土高は、355 mm であり、盛土の平均乾燥密度  $\rho_d$  は、 $1.41 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  である。(a) の右側壁には、龍岡らの報告<sup>1)</sup>を参考にして、(c) のような側面摩擦低減層を設け、ラバーメンブレン (厚さ 0.5 mm) には 20×20 mm のメッシュを描き、盛土の変形によって生じるメッシュの変位の様子を経時的に写真撮影して後の解析に用いる。摩擦低減層に用いたのは、シリコングリース (ダウコーニング社製)、テフロンシート (厚さ 0.05 mm) である。また、これとは別に、滑り面の形成過程と位置を見るために土槽内に直接土を盛り、土とアクリル樹脂板 (厚さ 15 mm) の境に、50 mm 間隔で水平に色砂を敷いて線を引き、経時的に写真撮影をした。図2に、実験条件を示す。test 1, 2 は、控え材がある場合で、1 と 2 の違いは、荷重の作用位置が、1 では控え材上部に係り、2 では、控え材からはずれる。test

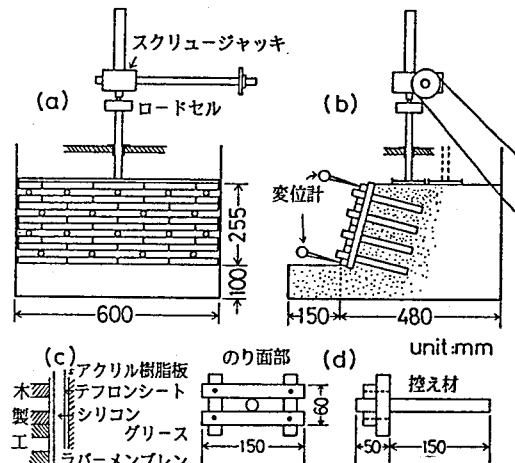


図1. 実験装置 (a) 正面図, (b) 側面図  
(c) 側面の摩擦低減部, (d) 木製ブロック

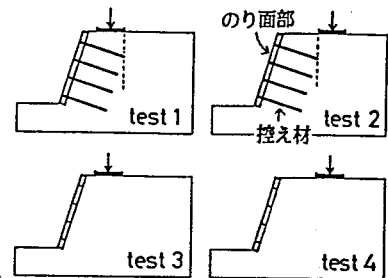


図2. 実験条件

test 1: 控え材あり, 控え材上部に荷重  
test 2: " , " 後方に荷重  
test 3: 控え材なし, test 1と同位置に荷重  
test 4: " , test 2 "

3,4 は、のり面部はあるが控え材のない場合で、荷重作用位置は、それぞれ test 1, test 2 と同じである。なお、木製ブロックののり面部は、噛み合わせるにより一体化する。実験は60分間継続し、この間、垂直荷重、のり面部の上端、下端での水平変位、土槽底面での土圧を連続的に計測し、また5分間隔で側面から盛土の変形の様子を写真撮影した。

なお、土槽底面土圧は、本報告では取り上げなかった。

有限要素法（以下、FEM）による解析は、盛土斜面を弾性体と仮定した。用いたパラメータを、表に示す。

|       | ヤング率<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 単位体積重量<br>(kgf/cm <sup>3</sup> ) |
|-------|--------------------------------|-------|----------------------------------|
| 砂     | 250                            | 0.33  | 0.0014                           |
| スギ間伐材 | 50000                          | 0.40  | 0.00035                          |

### 3. 結果と考察

図3は、加圧板押し込み量と加圧板応力（左）、のり面部水平変位と加圧板応力（右）の関係をそれぞれ示す。test 3,4,2,1

（以下、t3,t4,t2,t1）の順に加圧板応力は大きくなり支持力が増加する（左図）。t1, t2 から、荷重の載荷位置により支持力は大きく異なり、荷重の作用点鉛直下に控え材が重なるように配置される方が効果的である。t3,t4 の控え材のない場合では、のり肩に近い程支持力は小さくなる。このような支持力の違いを、のり面部の水平方向の挙動から推察する。右図の t1 では、

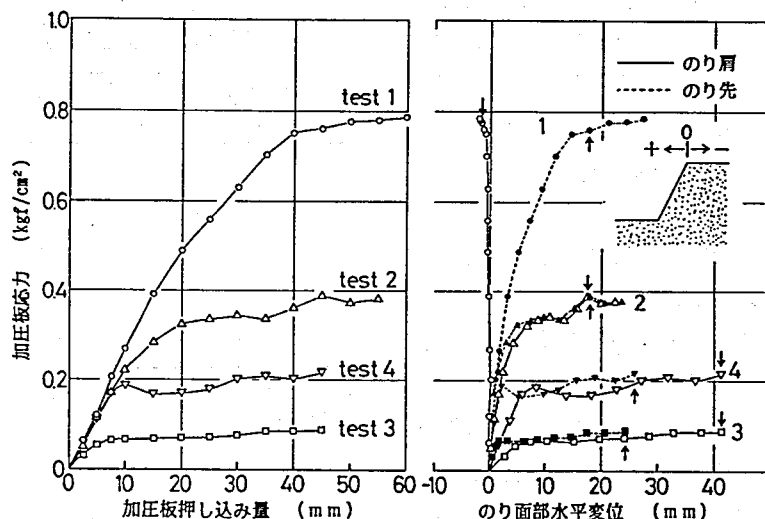


図3. 垂直、水平（のり面部）変位と加圧板応力との関係

のり肩部は地山側へ、のり先部は谷側へ変位し、全体としてのり肩部を中心に右回転する様な動きを示している。すなわち、最上段の控え材が上方からの圧縮で拘束され、かつ下方へ移動するため、のり肩部は地山側へ変位する。したがって、のり面部には、かなりな大きさの曲げ応力が発生しているものと推察される。t2 は、のり肩、のり先ともほぼ同じ動きをしており、控え材の挿入された部分が一体化して谷側へ押し出される。t3,t4 は、共に同じ動きをし、のり先の変位が肩の変位よりも小さなため、のり先部を中心に左回転する様な動きを示す。t4 と t3 の支持力の違いは、荷重作用点からのり肩までの距離（砂の量）の違いが原因と思われる。図中の矢印↑↓は、加圧板押し込み量が45mm のときののり先、のり肩の水平変位を示す。控え材のない場合（t3,t4）ののり肩の変位は、のり先に比べて大きく、控え材の効果は t1,t2 に認められるようにのり肩部が拘束されると顕著になる。

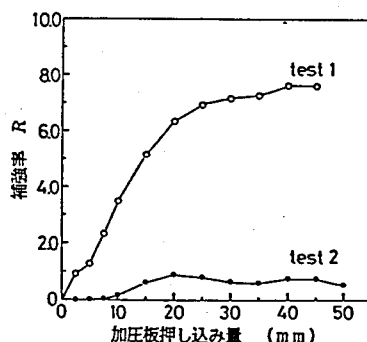


図4. 載荷位置の違いによる補正効果

図4は、加圧板押し込み量と補強率 $R^{3)}$ との関係を示す。ここで $R$ は、次式で表される。

$$R = (\text{補強土強度}) / (\text{無補強土強度}) - 1$$

図中の  $t1$  の  $R$  は、 $t3$  の押し込み量-応力の関係 (図3) を無補強土強度として算出した。同様に、 $t2$  は、 $t4$  (図3) を基準にした。 $t1$  では、控え材のない場合の約7倍となり、控え材とのり面部の両者が一体となって木材そのものがかなりの割合で荷重を支えていると考えられる。一方、 $t2$  では、約倍の値となった。 $t2$  では、 $t1$  のように砂を介して直接的に木部に荷重が垂直方向に作用するわけではなく、のり面部と控え材が挿入されている部分の砂が一体化して、斜面が谷側へ押し出されるのを抑止する、いわゆる山留め効果が発揮されたと考えられる。

図5は、 $t1, t2$  の側面変位の実験結果 (上) とFEMによる解析結果 (下) を示す。実験結果は、加圧板押し込み量 50 mm (この時の荷重 420 kgf( $t1$ ), 210 kgf( $t2$ )) の場合で、解析結果は、いずれも 300 kgfが作用した場合のものである。実験結果では、 $t1, t2$  ともに、変位ベクトルの水平方向成分が解析結果よりも浅い位置で発現しており、この結果、のり面部の肩の

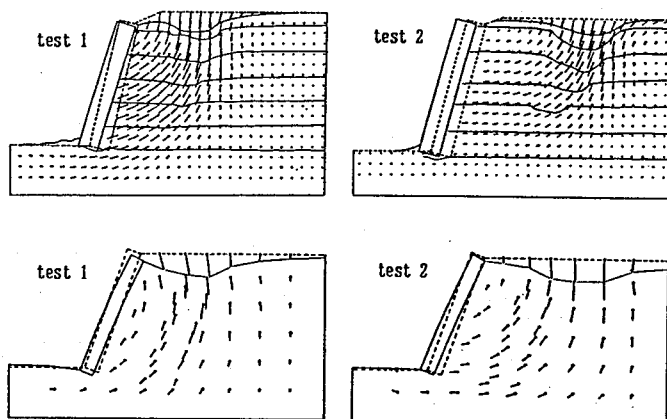


図5. 実験とFEMによる変位 (test 1, test 2 の場合、上: 実験結果、下: FEM解析結果) 上図中の実線は、色砂による変位

変位が大きくなり、実験と解析結果とは若干の不一致を生じている。しかし、 $t1, t2$  の変位方向の相違は、両結果でほぼ同じ傾向を示している。すなわち、 $t1$  の変位の水平方向成分が、 $t2$  のそれに比べて深い位置で発現している。ベクトルの方向と色砂の鉛直方向の変位 (実験結果) から推定される破壊面は、 $t1$  で底部破壊といわれる深いすべりとなり、 $t2$  では、斜面先破壊といわれる浅いすべりになると考えられる。

図6は、FEMによる変位の水平方向成分の等値線図である。木製工のない場合、谷側 (プラス) 方向の変位の最大値は、荷重位置によらずのり面かその近傍に生ずる。一方、木製工のある場合には、谷側方向の変位の最大値は木製工下部、地山側方向 (マイナス) は、荷重位置の直下に生じている。これは、木材の存在が変位の水平方向成分を下方へ押しやり、理論的には、控え材には引

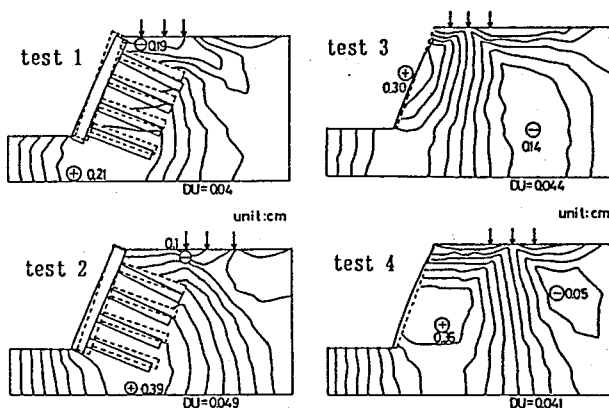


図6. 変位の水平方向成分の等値線図 (FEM)

張り応力が生じると考えられ、控え材の表面摩擦を大きくすると効果的であると考えられる。

#### 4. おわりに

本報告では、盛土斜面に施工された木製工の支持力と変形特性について検討した。今回の実験、解析から次のような結果を得た。

(1) 模型実験の結果から、支持力は載荷位置によって大きく異なり、控え材のない場合の1～7倍になる。また、控え材は、荷重作用点鉛直下に重なるように配置される方が効果的である。この場合、のり面部には、大きな荷重が作用すると推察される。したがって、防腐処理をしていない材で10年以上経過したもの（強度的にはゼロとみなされる<sup>4)</sup>）では、のり面部の荷重分担は期待できなくなる。

(2) test 1, test 2, test 3, 4 の各条件での実験から、のり面部の挙動は、t1は、回転型（時計回り）、t2は押し出し型、t3, t4は、転倒型（反時計回り）の三種に分類できる。また、破壊形式からは、それぞれ、底部破壊、斜面先破壊、斜面内破壊の形式をとる。

(3) 変位についてのFEMの解析結果と実験結果とは、細部については不一致な面はあるが、t1とt2の違いは、両結果でほぼ同じ傾向を示した。したがって、変位に関する概略的な予測は可能である。

#### 参考文献

- (1) 龍岡文夫 他(1983)：模型砂地盤の支持力実験における砂箱側壁面摩擦の影響Ⅰ～Ⅶ．生産研究
- (2) 田中俊成 他(1988)：超音波、弾性波によるスギ実大腐朽材の強度性能評価．38回日本木材学会研究発表要旨集：122
- (3) 土質工学会編(1990)：補強土工法．東京，pp.40～52，
- (4) 梅田修史 他(1992)：木製土留工の腐朽に関する実態調査（Ⅰ）．103回日林論：605～606