

丸太打設地盤のせん断補強効果についての小型模型実験による検討

農研機構 農村工学研究部門 正会員 ○正田 大輔
 飛鳥建設(株) 正会員 沼田 淳紀
 飛鳥建設(株) 正会員 村田 拓海

1. はじめに

昨今の豪雨により、ため池やその接続水路においても斜面崩落等で被害が生じている。このような被害に対して、古くから使用されている木材を利用した対策の事例が農業用水路等にもある(Fig.1)。丸太を用いた地盤補強工法として、鉛直の支持力や液状化対策に関する知見はまとめられているが、斜面对策を含めたせん断(水平)方向の支持機構についての研究事例は少ない。そこで、水路などの農地斜面安定のために丸太を打設した地盤(複合地盤)のせん断補強効果の検証のため、ここでは小型模型実験により検討を行った。

2. 実験の概要

模型実験に用いた土槽の寸法は、幅 78 cm×高さ 40 cm×奥行 28 cm で、地盤は幅 31 cm×高さ 35 cm×奥行 28 cm になるように作製した(Fig.2)。適用現場を想定すると、粘性土での実験条件が適当であるが、地盤と丸太の複合地盤の特性は未解明な点が多いため、本実験では現象を単純化するために豊浦砂を用いた。地盤は、含水比 1.5%を相対密度が 40%になるように質量を設定し、7 層(50mm/層)に分けて締め固めることで作製した。なお、使用した豊浦砂の物理特性は土粒子密度 $\rho_s 2.64 \text{ g/cm}^3$ 、最大間隙比 0.972、最小間隙比 0.616 である。本報告では 7 ケースの実験について結果の整理と考察を実施した。丸太模型は、長さ $L=200\text{mm}$ 、直径 $D=9\text{mm}$ で、乾燥した状態で使用した。

Fig.3 に、丸太模型の打設間隔が 10D(丸太模型の直径の 10 倍で 90mm)での丸太の打設位置を示す。丸太打設間隔は図中の壁からの位置や中心の打設を基本として、15D(同 135mm)、10D(同 90mm)、5D(45mm)とした。土槽の片側に上述の寸法で地盤を作製し、型枠内の地盤上に載荷して、土槽の反対側には反力として水を投入した。水位については 0 cm と 10 cm とした。反力の水は漏れないように、ビニールシートで覆った。反力が一定に保たれるように、水位が一定となる装置とした。壁の変位で水位が増大し、体積が減少すると、サイフォン形式でホースを通して水が移動し吐けるようにした。実験ケース間の、丸太打設間隔と水位の相違を Table 1 に示している。

水平方向の変位については、Fig.2 に示すようにレーザー変位形(キーエンス IL300、2 台)を木製の箱に設置したガイドに照射することで計測し、変位の状況を把握するために側面からカメラで撮影を行った。なお、水平移動する方向の箱の幅は、箱の端部分に引張力が作用せず、転倒しないよう計算により求めた。また、箱は極大摩擦を除去するため、テフロンシートで覆った。

なお、丸太の挿入は、地盤作製後に先端閉塞の鉄製の棒で先行掘りをした後にできた孔に、鉛直方向に打設可能なガイドを用いて所定の間隔をあけて打設した。また、打設の順序は土槽の外側から内部へ半時計周りに打ち込むこととした。丸太は、頭部が地表面から 50mm の位置になるまで打設し、地表面にできた孔は模型地盤と同じ砂で埋め戻した。

上載荷重には鉛玉($\phi 9\text{mm}$)を用いた。所定の区画に投入するため、金属製の枠(30.6 cm×27.8 cm)を地盤の上に設けた。地盤に均等に載荷できるように、上述の金属製の枠の底はビニールで地盤の変形に追従できるようにした。基本的な載荷方法について以下に記載する。①地盤上面が平らに鉛玉で敷き詰められるように、鋼製の枠内に 6kg まで鉛玉を投入した。②鉛の板(0.63kg/枚)を用いて、合計約 20kg になるまで段階的に載荷した。③その後は、1kg の鉛玉を 1 分おきに載荷させた。変位が増加する場合は変位が一定になったことを確認してから載荷を続けた。

3. 実験結果

3.1 拘束圧無での荷重と変位の関係

Fig.4 に、荷重と水平変位の関係を示す。変位は変位計 2 台の平均値を示しており、水位 0 cm での、それぞれ



Fig.1 木柵による整備された水路法面

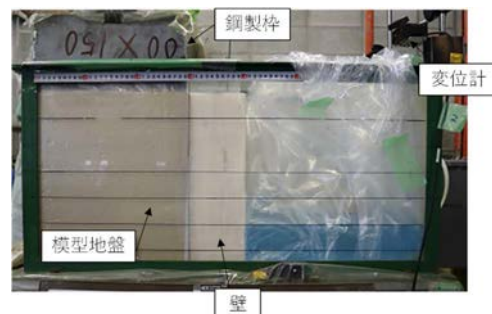


Fig.2 実験時の側面からの写真

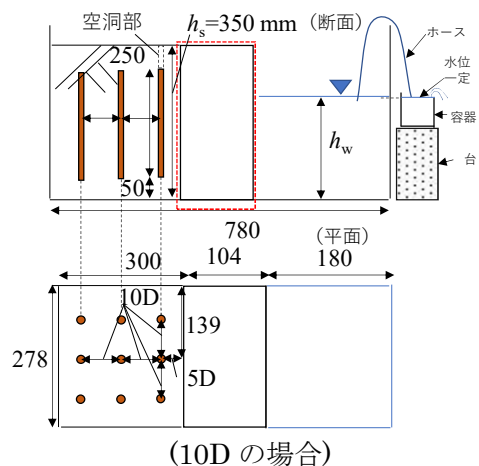


Fig.3 丸太の打設位置

れ対策無と対策有(15D、10D、5D)の結果を示している。この結果から、丸太による対策で、無対策と比べて終局の極限荷重が増加した。さらに、丸太の打設間隔が小さいほど、極限荷重は大きくなった。一方で、初期の剛性については、丸太打設による改良効果は本実験では見られなかった。**Table 1** に変位量ごとの上載荷重を示す。変位初期の 0.5 mm では上載荷重の大小に相違は見られなかったが、No.1~4 のように、丸太の打設間隔により極限荷重が大きくなることや、No.5~7 のように、拘束圧の効果により極限荷重も大きくなるのがわかる。

Fig.5 に、対策無と対策有(10D)における水位 0 cm のケースでの極限荷重到達後の写真を示す。写真右下の秒数は、極限荷重に到達してからの時間を示している。対策無(**Fig.5 (a)**)では、土槽下部から地盤内にクラックが生じ、2秒で水平方向の変形が生じ、3秒で地表面も鉛直方向に大きく変位していることがわかる。一方で対策有(**Fig.5 (b)**)では、6秒で水平方向の変位に伴いクラックが生じるが、丸太による対策効果で対策無に比べて変形が抑制されていることがわかる。**Fig.4**の極限荷重に達する変位量についても対策間隔が密なほど大きくなっていることがわかり、丸太が崩壊に対して抑制効果があることがわかる。

3.2 複合地盤の強度定数

極限時の上載荷重を σ_1 、水位 0 cm の σ_3 を 0 kPa とし、水位 10cm の σ_3 を 0.49kPa として、対策無、対策有 10D、15D で内部摩擦角と粘着力について検討を行った。その結果、対策無では、内部摩擦角・粘着力は $45.5^\circ \cdot 0.96\text{kPa}$ 、対策有 10D は $51.3^\circ \cdot 1.0\text{kPa}$ 、対策有 15D は $54.7^\circ \cdot 1.1\text{kPa}$ となった。定量的な評価は今後の検討課題であるが、丸太を打設することにより、せん断変形時の地盤強度定数が大きくなる結果となった。

3.3 丸太打設による密度の増加

丸太は地盤作成後に打設しているため、相対密度が密度は増加していることが考えられる。そこで、10D のケースについて丸太打設後に計測した地表面高さから地盤全体の体積を再計算し、丸太の体積と、地盤から丸太頭部までの空洞部(**Fig.3** 参照)の体積を上記の地盤の体積から差し引き、地盤の密度を再計算した。その結果、相対密度は丸太打設前 41.6%、打設後 41.1%でほとんど相違がみられなかった。

作製地盤時に締固めを行ったことで地盤が蜜な状態になっていたことや、地盤全体の体積で評価を行ったことから、丸太を打設した地盤近傍で密になる効果が見られなかった。これにより、本実験では、初期剛性が対策有と無で相違がほとんどなかったことの要因と考えられる。

4. まとめ

丸太を打設した地盤(複合地盤)のせん断補強効果の検証のため、ここでは小型模型実験により検討を行った。その結果以下の結論を得た。(1) 丸太を打設した地盤は、無対策と比べて極限荷重が増加した。さらに、この効果は丸太の打設間隔が小さい大きくなった。(2) 丸太を打設することにより、せん断変形時の地盤強度が大きくなることが示唆された。(3) 相対密度は丸太打設前 41.6%、打設後 41.1%でほとんど相違がみられなかった。

参考文献 1 たとえば沼田ら (2007) : 大型振動実験による丸太打設の液状化対策効果、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 71, No. 4 (地震工学論文集第 34 巻), I_274-I_283.

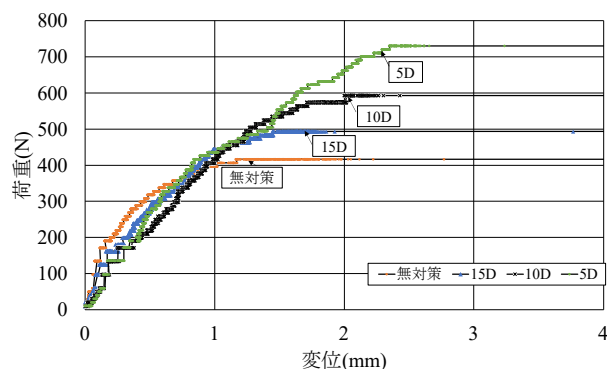
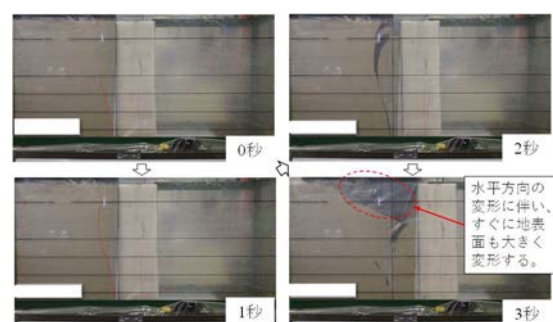


Fig.4 拘束圧無での荷重と水平変位の関係

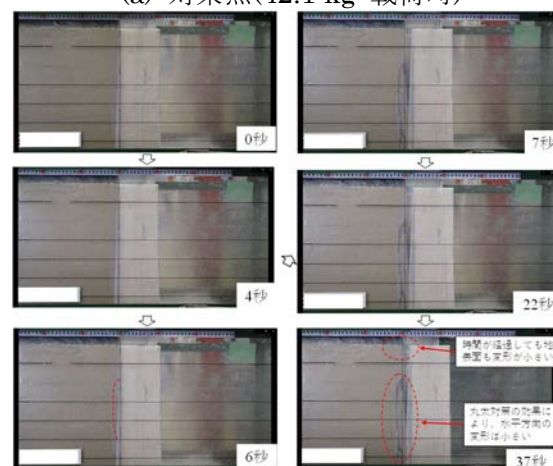
Table 1 変位量ごとの荷重

No.	打設間隔	水位 (cm)	最大上載荷重 (N)	上載荷重 (変位2mm時) (N)	上載荷重 (変位1mm時) (N)	上載荷重 (変位0.5mm時) (N)
1	無	0	416	416	396	308
2	15D	0	493	493	434	272
3	10D	0	593	583	426	229
4	5D	0	731	652	426	293
5	無	10	682	655	514	419
6	15D	10	819	568	372	195
7	10D	10	1008	689	515	332

※打設間隔 5D、水位 10cm のケースは試験途中で打ち切ったためここでは掲載していない



(a) 対策無(42.1 kg 載荷時)



(b) 対策有(10D) (60.3 kg 載荷時)

Fig.5 拘束圧無のケースでの破壊時の写真