

## 竹製横断排水溝の強度について

○山口智・鈴木秀典・田中良明・井道裕史・加藤英雄・長尾博文（森林総研）・池田伸（関東森林管理局茨城森林管理署）

**要旨：**筆者らはこれまで横断排水溝を竹で製作する試みを行っており、これまでの施工試験の中で横断排水溝の上を総重量 20t と推定されるトラックが通行しても機能上の問題は発生しなかったことを既に公表している。しかし、具体的にどの程度の荷重まで耐えられるのかについて実験的に明らかにしていなかった。そこで、横断排水溝の一部を切り出した状態を想定した長さ 30cm の試験体を製作して、材料試験機を用いて圧縮試験を行った。使用された竹材は気乾状態であった。圧縮試験の結果、10～20kN の荷重が負荷されたときを中心に節が破壊され、車両が通ることによって竹材が一部で破壊されたが、輪重がかからない周辺部の弾性が働き機能は保たれることが明らかになった。また、竹材が圧縮されることで結束材料である帯鉄がゆるみ、破断しやすくなるため、タイヤパンクの原因となりうることから柔軟性や耐久性のある結束材料が必要であることがわかった。

**キーワード：**横断排水溝、竹、強度、圧縮試験

## I はじめに

人工林資源の循環的な利用を図りつつ、公益的機能を持続的に発揮する健全な森林を育成していくためには、間伐等の森林整備を計画的に実施していくことが重要である。林野庁では、林内路網を整備しつつ段階的に集約化施業への転換を図ることなどにより、間伐材の搬出・利用を進めることとしている(4)。そのために作られる路網の末端に相当する作業道は、低規格で作られ、開設コストは低く抑えられる(7)。舗装はされていないため、路面侵食が起りやすいが、これは管理上好ましくない。そのためには排水を密に行う必要があることから、その手段の一つとして、筆者らは竹製横断排水溝を提案している。これまでの施工試験の報告において、横断排水溝の上を総重量 20t（道路運送車両法の保全基準で輪荷重は 5 t (=49kN) 以下(1)）と推定されるトラックが上を通行した際に、結束に使用された帯鉄に破損はみられたが機能上の問題は発生しなかったことを発表している(6)。しかし、具体的にどの程度の荷重まで耐えられるのか、また、荷重を受けたときにどのような挙動を示すのかについて、実験的に明らかではなかった。そこで、横断排水溝の一部を切り出した長さ 30cm の試験体を製作して、材料試験機を用いて圧縮試験を行った。横断排水溝は一旦溝を掘ってから埋め込むという工法をとっているが、それによる影響の想定なども含めて結果を報告する。

## II 実験方法

1. **試験体** 竹丸太を、一旦 1m で玉切した後、昨年試作した横断排水溝と同様に割竹の幅が数 cm になるように竹割り機で割り、長さ 30cm に丸鋸によって裁断した後、竹丸太 3 本分をまとめて帯鉄で縛って試験体とした(図-1)。したがって、1m の竹丸太 3 本から 3 体の試験体ができる。この 3 体をひとつのグループとして密度・含水率のデータを適用する。

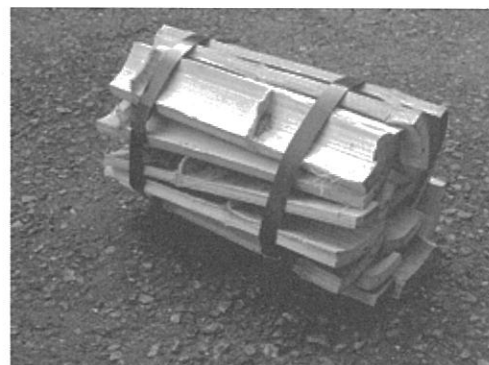


図-1. 試験体

使用した竹は昨年冬につくば市内で伐採された後、数カ月野外に置かれていたモウソウチクである。結束に使用された器具は、これまで使用されたものと同じ、幅 19mm、厚さ 0.5mm の帯鉄とシグノード社製の PF テンショナーと SRC シーラーである(6)。

Satoshi YAMAGUCHI, Hidenori SUZUKI, Yoshiaki TANAKA, Hirofumi IDO, Hideo KATO, Hirofumi NAGAO  
(For. and Forest Prod. Res. Inst., 305-8687 Ibaraki, Japan)

Shin IKEDA (Kanto Regional Forest Office, Ibaraki Forest Office, 311-4344 Ibaraki, Japan)

Strength against pressure of cross drain made with bamboo

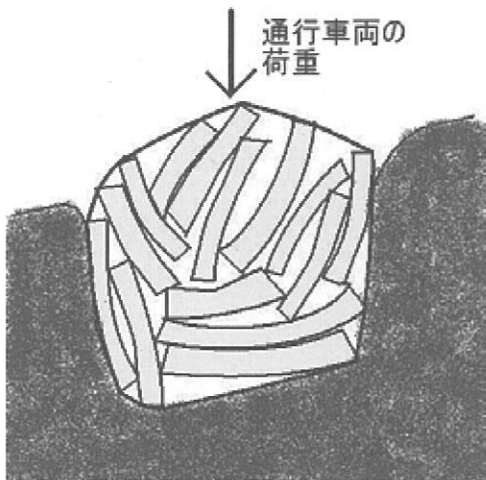


図-2. 横断排水溝断面図

2. 実験モデルの検討 竹製横断排水溝は設置にあたって上部が路面から見えるように埋設することで設置を行う。図-2 は横から見た断面図である。設置当初は周囲の土がほぐれているが時間が経過するほど締まって硬くなる。そのため、通行車両による荷重がかかる上部以外は地面によって力学的に拘束されている場合と、設置直後で土が柔らかい、もしくは、設置において浅めに設置したために上部や横面が力学的に拘束されない場合もありうる。これらの両方の場合を想定して圧縮試験を行うこととした。

3. 部分圧縮試験 部分圧縮試験は、森林総合研究所の木材試験用の材料試験機で行った。

タイヤの幅に近い幅を想定して幅 20cm のあて木を使用した。荷重レンジは 150kN とした。鉄筋とクランプの枠で固定しない場合(図-3 左)と、固定した場合(図-3 右)で 6 体ずつ試験した。前者は設置時には浅めに埋設されて変形がしやすい状態、もしくは、設置した直後で周囲の土が締まる前の状態、後者は設置時に深めに埋設され、かつ、土が締まったときを想定している。



図-3. 圧縮試験の様子(左: 枠なしの場合、右: 枠ありの場合)

4. 含水率・密度測定 含水率と密度は、部分圧縮試験のあとで測定した。原料の同じ 3 体のうち 1 体を解体して、荷重がかからないところを選んで密度を測定し、そ

れ以外の部位で含水率を測定した。原料の同じ 3 体をまとめて 1 グループとし、グループは A から D までの 4 グループある。竹は複雑な形状をしているため、体積は試験体の重量を測った後、錘のついた紐でくくりつけ、沈めた時の体積の増分で体積とした。含水率は全乾法によって求めた(2)。

### III 実験結果と考察

1. 含水率・密度測定 密度と含水率は表-1 のとおりで、グループによる極端な違いはみられなかった。どのグループでも含水率は気乾状態だった。また、密度は木材工業ハンドブックに記載された範囲内ではあるが平均値より低めだった(5)。

表-1. 試験体の含水率・密度

グループ	枠の有無	割竹の枚数	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)
A	なし	18	0.629	12.8
B	なし	13	0.629	13.3
C	あり	18	0.618	13.2
D	あり	16	0.665	13.3

強度には密度と含水率が大きく影響する(3)。今回の試験において、各グループで使用している竹には同じところで伐採されたモウソウチクという共通点はあるが、グループごとで使用している竹丸太は異なる。しかし、この結果より、部分圧縮試験を行うにあたってグループごとの材質による影響はないものと考えられる。

2. 部分圧縮試験 荷重レンジ上限まで荷重をかけて部分圧縮試験を行ったが、1 体だけ帯鉄破断のため、106.6kN で中断した。

10~20kN になった頃を中心に、節の破壊が発生していた(図-4)。節の破壊の発生は平均して 5.08 回発生した。このとき、荷重が一時的に減少するので、その事象が起こったときの荷重と変位を度数分布で表したのが図-5 である。なお、枠なしの場合の試験体としてグループ A と B の計 6 体を、枠ありの場合の試験体としてグループ C と D の計 6 体を用いた。

これによると、枠なしの場合(グループ A・B)において、破壊発生は 10~20kN に特に集中しているのに対して、枠ありの場合(グループ C・D)には破壊発生は 50kN 以下において比較的まんべんなく発生していた。これには有意差があるのか、二標本 t 検定を行った。

$$n_{A \cdot B} = 32$$

$$n_{C \cdot D} = 29$$

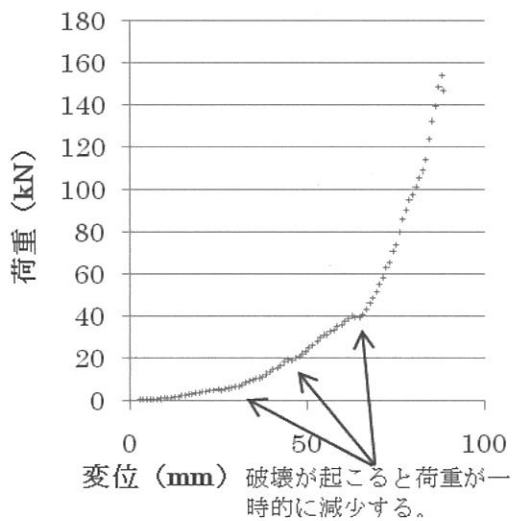
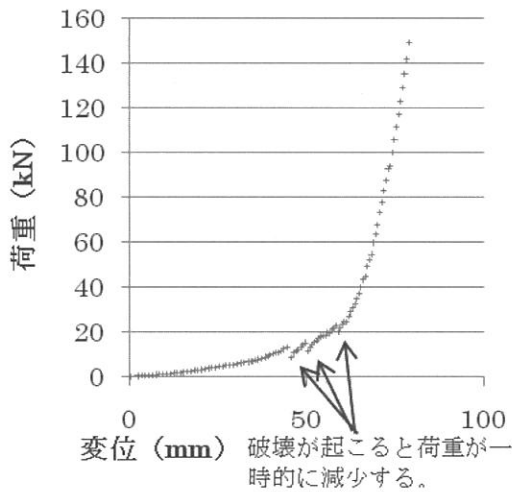


図-4. 荷重-変位の関係 (上: 枠なしの場合の例, 下: 枠ありの場合の例)

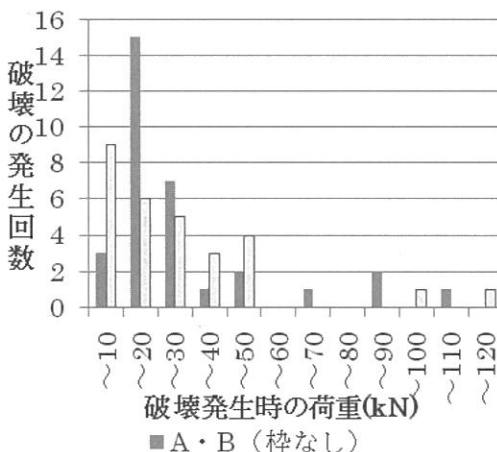


図-5. 部分圧縮試験における試験体破壊発生時の荷重と発生回数との関係

よって、自由度は  $32+29-2=59$

$$\begin{aligned} \bar{x}_{A \cdot B} &= 27.74 \\ \bar{x}_{C \cdot D} &= 26.18 \\ \frac{\bar{x}_{A \cdot B}}{\bar{x}_{C \cdot D}} &= 1.56 \end{aligned}$$

両者の合成分散の平方根は、

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{s_{A \cdot B}^2 (n_{A \cdot B} - 1) + (s_{C \cdot D}^2 n_{C \cdot D} - 1)}{n_{A \cdot B} + n_{C \cdot D} - 2}} \\ &= 25.26 \end{aligned}$$

平均値の差を標準化すると、

$$t = \frac{1.56}{25.26 \sqrt{\frac{1}{32} + \frac{1}{29}}} = 0.2406$$

自由度 59, 有意差  $\alpha=0.05$  における  $t$  値 ( $t_{0.05}$ ) は 2.001 であることから、

$$P(|t| \geq 0.2406) \geq P(|t| \geq 2.001)$$

$$\therefore P \geq 0.05$$

よって、統計的に有意差は見られなかった。

ところで、荷重を開放すると圧縮によって生じた変形が戻った。そこから、この働きにより横断溝内において隙間が改めて生じ、通水性などの機能は確保できたと考えられる。実際、現場において設置していた横断溝において割竹に破壊箇所がでたが、通水機能や堆砂機能などの機能において問題はなかった (7)。

以上、設置以降のライフサイクルにおける 2 つの状況に分けて破壊状況の有無を検証した。その結果、両方において破壊自体は起こるが統計的には異なるものではなく、機能上における問題は破壊試験後の竹材を観察する限りでは両方とも発生しないことが確認できた。

ところで、枠ありの場合、帯鉄に張力は発生せず、緩む結果となり、荷重がかかるあて木に帯鉄が掛かっていると帯鉄に折れ目が生じた (図-6)。なお、図-6 の手前 3 枚の竹板は帯鉄に拘束されていたところから引き出したもので節の部分が潰されていることがわかる。ただし、破壊が発生するほどの荷重がかかったとはいえ、粉碎されたわけではない。

現場で設置した際には帯鉄が破断した事例が発生しているが (6), 発生したところは深めに設置されたところであり、この事例に合致する。

そこから、帯鉄断裂の原因はこの現象、すなわち、竹の上を車輛が通った際には帯鉄に緩みが生じるが、緩んだところで同時に帯鉄の上を通過することで帯鉄が折られて破断が起こる現象が、実際起こったものと考えられる。

横断排水溝の製作と設置された作業道への影響，関東森林研究 61 : 249-252.



図-6. 部分圧縮試験後の試験体

#### IV おわりに

水分条件が今回は気乾状態だったため、現場に設置されていた排水溝の竹材の含水率を調べた上で改めて試験を行ってみたい。腐朽の進行は現場によって一様とは考えにくいですが、それも重要な要因であると考えられる。また、何度もトラックが通ることを考えたとき、繰り返し載荷試験も考える必要がある。帯鉄は断裂が起こりやすいことから、柔軟性と耐久性を兼ね備えた結束材料への転換が必要である。

#### 引用文献

- (1) 国土交通省 Web サイト，道路運送車両の保安基準 (<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S26/S26F03901000067.html>) 参照日 2010 年 10 月 21 日，オンライン。
- (2) 日本木材学会（編）（2000）木質科学実験マニュアル，280pp，文永堂出版．東京。
- (3) 日本木材学会（編）（2007）木質の物理，301pp，文永堂出版．東京。
- (4) 林野庁（編）（2010）森林・林業白書，145pp，林野庁．東京。
- (5) 森林総合研究所（監修）（2004）改訂 4 版木材工学ハンドブック，1221pp，丸善．東京。
- (6) 山口智・梅田修史・鈴木秀典・池田伸（2009）竹製横断排水堆砂溝の試作，日林講 120 : Pb1-40。
- (7) 山口智・梅田修史・鈴木秀典・池田伸（2010）竹製