

◆ 特集 土砂災害を防ぐ ◆

樹木を残したのり枠工の樹木引張り現地試験

濱田 誠* 金子正則** 門間敬一***

1. まえがき

のり面・斜面の風化侵食、小崩壊を防止するための対策工法の一つであるのり枠工(コンクリートやモルタル製の格子枠状の構造物)は、がけ崩れ災害から国民の生命や財産を保全することを目的に実施する急傾斜地崩壊対策においてもよく用いられる。のり枠の施工によって生じた枠内裸地部の風化侵食防止には厚層基材吹付工などの植生工が用いられることが多い。この場合、植生工によって導入した植物や周辺から自然に侵入した植物が成長することによって、のり面・斜面の景観と環境の回復が図られる。これはのり枠工の特長の一つである。さらに近年では、のり枠工のこの構造的な特徴を活かし、既存の樹木を残したままのり枠工を施工する事例が多くなってきている(写真-1)。

植物の根は、土壌から養水分を吸収し物質を貯蔵するとともに、地上部を支持する働きを持っている。樹木の根系は、草本植物の根系と異なり、地上部に作用する外力に対する抵抗力が極めて大きい。しかし、台風等の強風発生時には、樹木が根系ごと転倒し倒木となるケースがよく見られる。これは、根系が有する抵抗力を上回るほどの強風による外力が、樹木地上部に作用した結果である。



写真-1 樹木を残したのり枠工の事例

Field experiment on pulling a tree growing in a space between the beams of the grid crib works.

一方、のり枠の枠内に存在する樹木が強風を受けたときには、樹木根系の分布範囲の直上に位置するのり枠が何らかの影響を受けると考えられる。しかし、このようなことを対象とした研究事例は存在せず、樹木がのり枠に与える影響は実務上考慮されていないのが実状である。そこで、のり枠の枠内に存在する樹木に外力が作用したときにのり枠が受ける影響を把握するために、樹木を残したのり枠工を施工した斜面において、枠内に存在する樹木に対して引張り試験を行った。

2. 試験概要

2.1 試験地と試験木

試験地は、千葉県佐倉市に位置する急傾斜地崩壊対策事業箇所の高さ約15m、平均勾配47°の斜面である(図-1)。土質は主に関東ローム及び砂質土からなり、一部、硬質粘土も存在している。

この斜面では、平成8年10月に急傾斜地崩壊防止施設として、のり枠工が施工された。こののり枠工は、格子状に配置した型枠にモルタルを吹付けたもので、吹付枠工と呼ばれているものである¹⁾。枠断面は高さ30cm、幅30cm、枠の間隔

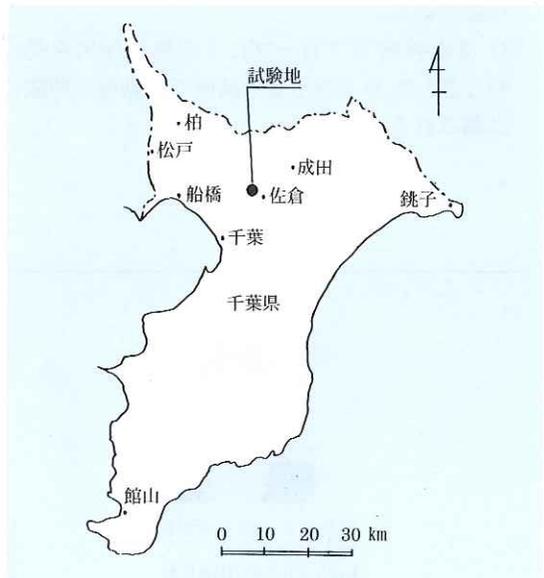


図-1 現地位置図

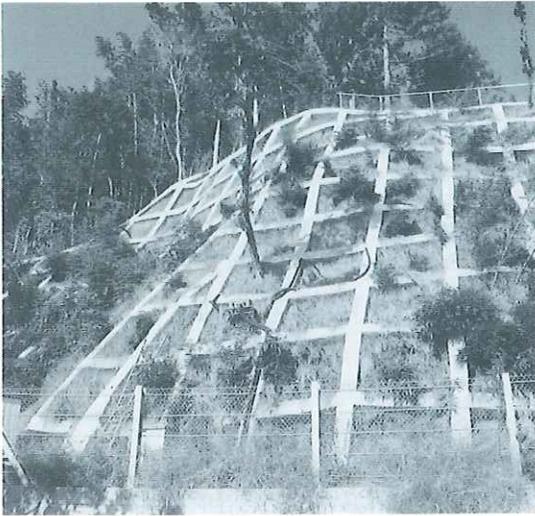


写真-2 試験地全景 (試験前)

表-1 試験木の諸元

樹種	アラカシ
樹高	9.0m
胸高直径	21.4cm
根元直径	24.8cm
樹冠長	4.7m
樹冠幅	3.0m
地上部重量	183kg

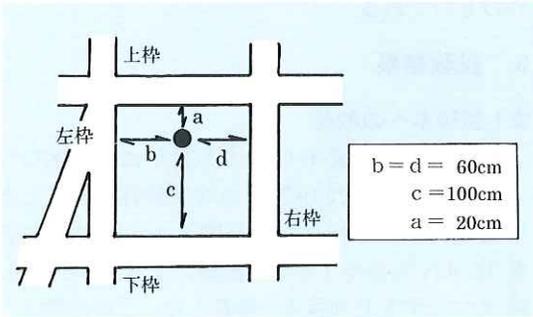


図-2 試験木の位置

は縦 2.0m、横 2.0m である。のり枠工の施工時に残された数本の樹木のうち、樹高 9.0m、胸高直径 21.4cm のアラカシを引張り試験の試験木に選定した(写真-2)。試験木の諸元を表-1 に、のり枠の枠内における試験木の位置を図-2 にそれぞれ示す。

なお、引張り試験終了後に、試験木の周囲の土砂を掘り返し、試験木の根系の分布状況を観察した。鉛直方向に伸張する根は少なく、斜面の表層において横方向に広がる根が多かった。

2.2 試験方法

自然の風は時々刻々風向・風速が変動するものであるが、これを現地実験で再現するのは困難である。したがって、本試験では既往文献^{2),3),4),5)}に基づき、静的な引張荷重を試験木に与えることとした。なお、安全性を確保するために、試験木を高さ約 2.0m に切断して試験を行った。

(1) 試験方法

試験木の高さ約 1.35m 付近と斜面下の平地部に配置した 1 台のバックホウにワイヤーロープを結びつけた。そのワイヤーロープの間に、荷重を載荷するためのチェンブロックと、荷重を測定するためのロードセルを接続した(図-3)。なお、このバックホウは載荷予定の荷重に対して固定端条件を満足させるものである。

試験木への載荷及び除荷はチェンブロックの巻き上げ、巻き下げによって行った。載荷は 1 分間に 1.0kN ずつの増加と、その荷重での 4 分間保持を繰り返すことによって段階的に行った。

(2) 計測項目と計測機器の配置

試験木に引張り外力を加えたときの試験木の変位及び、のり枠にかかる曲げ応力、のり枠の浮き上がり量を把握するために、表-2 に

示す計測機器を設置した。計測機器の配置については図-4 に示す。

試験木の引張り方向の変位を計測するため、試験木の根元部(地上高 0.0m)、切断部(地上高 2.0m)に変位計を設置した。

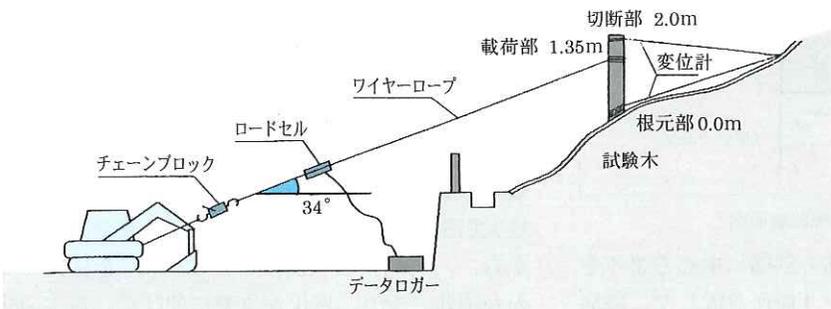


図-3 試験概略図(横断面)

表-2 計測項目と計測機器の一覧

計測項目		計測機器	箇所数	位置
①試験木の引張り荷重		ロードセル	1箇所	
②試験木の引張り方向の変位		変位計	2箇所	切断部(2.0m) 根元部(0.0m)
③のり枠の歪み	内部鉄筋に生じる歪み	鉄筋計	4箇所	試験木の周囲の左枠・上枠・右枠・ 下枠 各1箇所ずつ
	のり枠表面の歪み	歪みゲージ	5箇所	左枠 1箇所 上枠 3箇所 右枠 1箇所 下枠 1箇所
④のり枠の浮き上がり量		ダイヤルゲージ	1箇所	

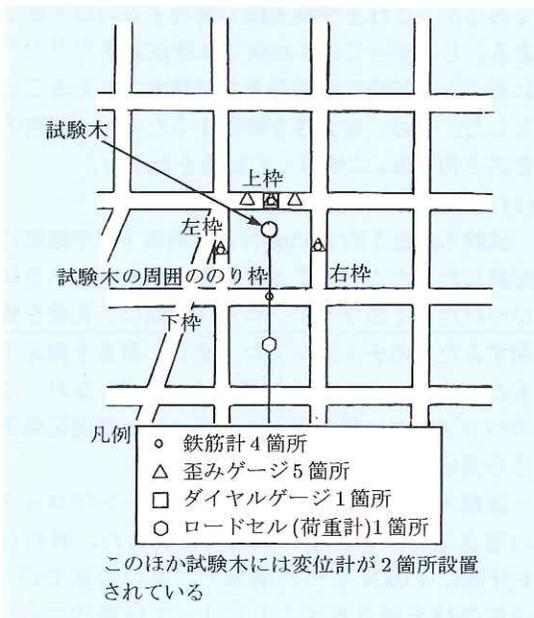


図-4 計測機器配置図(平面図)

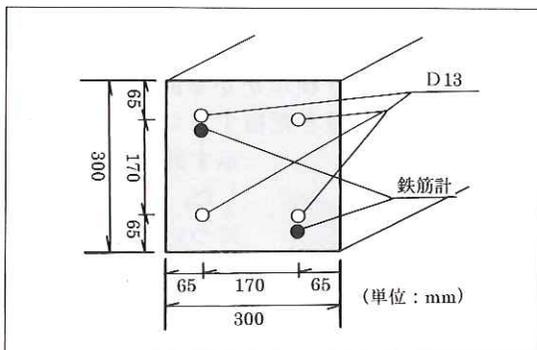


図-5 鉄筋計の配置断面図

試験木周囲ののり枠内部の鉄筋に生じる歪みを計測するために、鉄筋計を4箇所設置した。鉄筋計とは、異形鉄筋 D10 に歪みゲージを焼付加工し

作成したもので、のり枠工の吹付を行う前にのり枠内部の鉄筋に取り付けた(図-5)。のり枠内部の鉄筋に鉄筋計を設置し、鉄筋の歪みを計測するのは、計算によつてのり枠表面の曲げによる縁応力を求めるためである。鉄筋計に加え、のり枠の表面の歪みを直接的に計測するために、のり枠の表面に歪みゲージを5箇所設置した。

のり枠の浮き上がり量を計測をするために、ダイヤルゲージを試験木の周囲の上枠に設置した。

試験前に、のり枠の表面に認められるクラックの位置や幅や長さを記録した。これは、試験によつてクラックの拡大や新たな発生を確認するためのものである。

3. 試験結果

3.1 試験木への載荷

引張り載荷を図-6に示すとおり試験木に与えた。引張荷重 22.0kN を5分程度保持したときに根がポキッと折れた音が聞こえ、一時的に荷重 22.0kN を保持するのが困難になった。その後、図-6に示すとおり荷重を除荷した。この試験木への載荷に対する計測の結果を以下に記す。

3.2 試験木の変位

試験木の変位図を図-7に示す。試験木の切断部では引張荷重 2.0kN 以上になって変位が生じ、20.0kN まで徐々に変位速度を増加させながら変位している。引張荷重 20.0kN を超えて、最大引張荷重 22.0kN までは更に変位速度が早くなった。最大引張荷重 22.0kN で根の切れる音が聞こえてから、一時的に最大引張荷重 22.0kN を保持するのが困難になり、変位が急激に伸びた。最大引張荷重 22.0kN を保持している約 20 分間の間に約

135mm 変位し、最後には変位量は 290.7mm にも達した。引張荷重を完全に除荷したときの、残留変位は 93.8mm であった。なお根元部の変位は欠測であった。

3.3 のり枠の歪み

計測されたのり枠の内部の鉄筋歪みを、以下の(1)式によりのり枠表面の曲げによる縁応力に変換した。その結果を図-8, 9 に示す。

$$\sigma = (\varepsilon_{上} - \varepsilon_{下}) / 2 \times h / (h - 2t) \times E_c$$

$$= (\varepsilon_{上} - \varepsilon_{下}) / 2 \times 30 / 17 \times E_c \quad (1)$$

σ : のり枠表面の曲げによる引張り縁応力 (MPa)

h : のり枠高さ (30cm)

t : 鉄筋かぶり厚 (6.5cm)

$\varepsilon_{上}$: 上側鉄筋計の補正歪み

$\varepsilon_{下}$: 下側鉄筋計の補正歪み

E_c : 吹付モルタルの弾性係数 (1.4×10^4 MPa)

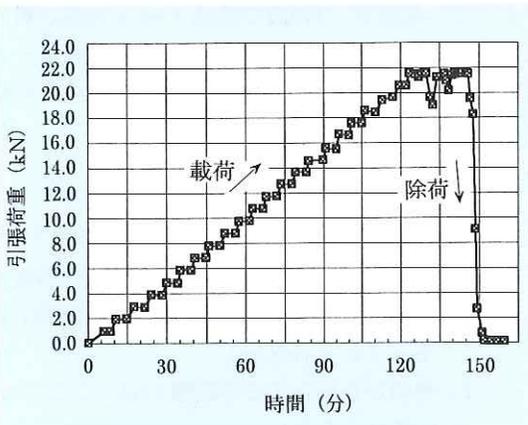


図-6 試験木への引張荷重載荷図

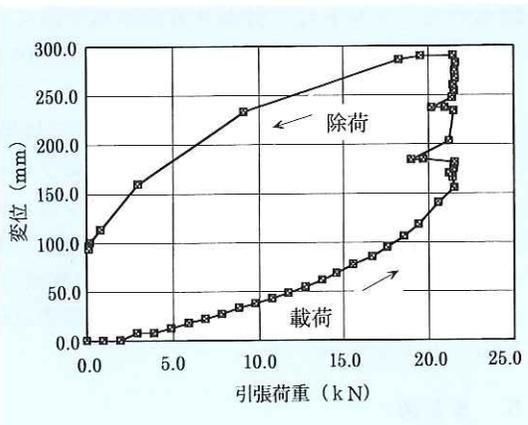


図-7 試験木の変位図 (切断部)

試験木の周囲の上枠は、載荷当初より上に凸の曲げによる縁応力が発生しており、最大引張荷重 22.0kN のときに、縁応力は 1.2MPa の値を示している (図-8)。一方、試験木の周囲の左枠、右枠と下枠では、曲げによる縁応力は極めて小さい値を示している (図-9)。

なお、のり枠の表面に設置した歪みゲージによる歪みの測定については、有効なデータが得られなかった。

3.4 のり枠の浮き上がり量

試験木の周囲の上枠の浮き上がり量を図-10 に示す。浮き上がりは、引張荷重 7.0kN 以上になって発生し、最大引張荷重 22.0kN のときに、最大の浮き上がり量 0.53mm を示した。荷重 22.0kN を保持している間に根が切れた音を確認した後では浮き上がり量の増加はみられなかった。浮き上がり量は荷重を除荷した後も残留し、残留

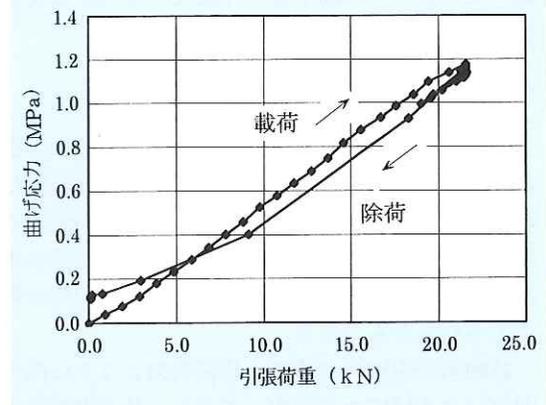


図-8 のり枠の曲げによる縁応力 (試験木の周囲の上枠)

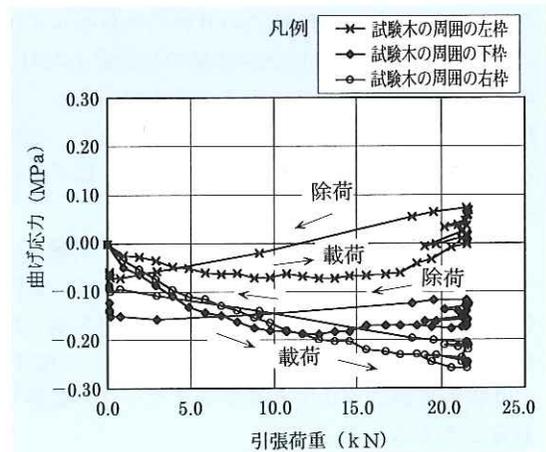


図-9 のり枠の曲げによる縁応力 (試験木の周囲の右枠、下枠、左枠)

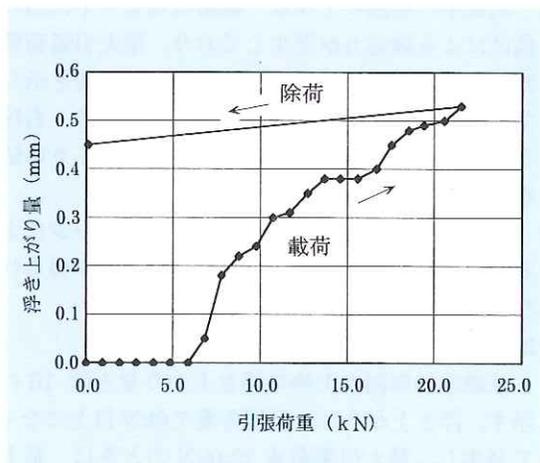


図-10 試験木の周囲の上枠の浮き上がり量

変位 0.45mm を示した。

3.5 のり枠のクラック調査

試験後に行ったクラック調査では、試験前に確認したクラックの幅や長さの拡大、ならびに新たに発生したクラックは認められなかった。

4. 考察

一般に樹木に横方向の強い外力が加わると、根返りが発生する。根返りとは、樹木の根元の周りの半球状の土塊が、樹木地上部とともに回転する運動である。本試験では、根返りが起こらずに根が切れたのは、のり枠があったために、回転が押さえられたからである。

試験木の周囲の上枠は、載荷当初より上に凸の曲げによる緑応力が発生しており、最大引張荷重 22.0kN のときに、緑応力も 1.2MPa の最大値を示した。これは、本試験地ののり枠の吹付モルタルの材令 28 日の引張強度試験結果の最低値 1.7MPa の 70% 程度の数値である。この最大緑応力が、長時間作用したものでないことを考慮すると、試験木への引張り載荷はのり枠を破壊させるほどのものではなかったと言える。

また、のり枠表面の歪みの測定では、試験木への載荷荷重を一定に保持しているときに、歪みゲージのデータが一定せずに不安定な値を示したために、有効なデータが得られなかった。これは、のり枠の表面に存在する微少なクラックの影響であると考えられる。

本試験では、試験木に最大引張荷重 22.0kN をかけた。この 22.0kN という荷重はどの程度の風

速の風が試験木に作用したときに生じるものなのかを、樹木が風から受ける外力に関する既往の知見⁶⁾をもとに試算してみる。

$$F = 1/2 \times C_D \times \rho \times V^2 \times S \quad (2)$$

F : 風速 V m/s の風から樹木が受ける外力 (kN)

ρ : 空気密度 (=0.125kg·s²/m⁴)
(=1.23N·s²/m⁴)

C_D : 抗力係数。樹種、樹形、風速によって変化する。風速 20~30m/s の時に、アカマツ 0.58、ヒノキ 0.72、スギ 0.72。風速 20m/s のときに、コノテガシワ 0.90、アカエゾマツ 0.65~0.69。ここでは 0.72 を用いた。

S : 風向に対して直交する平面への樹冠部投影面積 (m²)。

この F は樹木の風心 (樹冠に作用する風圧の中心) と呼ばれる位置に作用するものとしている。よって、勾配 θ° の斜面で風速 V m/s の風が斜面と平行に吹く場合、樹木の風心に作用するモーメントは次式で与えることができる (単純のため樹木は鉛直に生えていると考える)。

$$M = F \times \cos \theta \times l \\ = 1/2 \times C_D \times \rho \times V^2 \times S \times \cos \theta \times l \quad (3)$$

M : 勾配 θ° の斜面で風速 V m/s の風が斜面と平行に吹く場合、樹木の風心に作用するモーメント (kN·m)

l : 地面から風心までの距離 (m)。ここでは、6.65m とした。

一方、最大引張り荷重が与えられたときの試験木のモーメントは、引張り方向が水平面に対して 34° であることから 24.6 kN·m (=22.0kN × cos 34° × 1.35m) である。(3) 式を V について解くと、風速は 42m/s と求まる。ただし、 S は切断前の試験木の樹冠サイズの実測値を参考に 7.0m² を与えた。つまり、試験木に選定したアラカシの最大引張荷重 22.0kN の載荷は、風速 42m/s の風が当たったときの外力に相当する。この数値は、この試験地付近での 100 年再現期間の瞬間風速 40m/s とほぼ等しい⁷⁾。

5. まとめ

本試験は、樹木を残したのり枠を施工した斜面

において、枠内に存在する樹木を引張ったときのり枠工が受ける影響を把握するために実施したものである。枠間隔が縦 2.0m×横 2.0m、断面が高さ 30cm×幅 30cm のり枠工において、樹高 9.0m、胸高直径 21.4cm のアラカシに最大引張荷重 22.0kN を載荷した結果をまとめると以下のとおりとなる。

- ・ のり枠表面に発生した上に凸の曲げによる縁応力は、試験木の周囲の上枠が最大で 1.2MPa を表した。
- ・ 縁応力 1.2MPa は、吹付モルタルの材令 28 日の引張強度試験結果の最低値 1.7MPa の 70% 程度の数値である。

樹木を残したのり枠工に関して、樹木がのり枠に与える影響を明らかにすることを目的とした調査研究事例がなかったことを考えると、本試験により、単木樹木がのり枠に与える影響についての基礎的知見は得られた。しかし、樹木がのり枠に与える影響を一般的なものとするためには、残した樹木の寸法や樹種別の検討、樹木とのり枠の適切な位置関係の検討、または、複数本の樹木がある場合の検討等を今後行っていく必要がある。

本試験を行うにあたり、多大なるご協力を頂いた千葉県土木部河川海岸課、千葉県印旛土木事務所の関係者の皆様に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社) 全国特定法面保護協会：のり枠工の設計・施工指針, p.4, 1995.
- 2) 二見肇彦、藤平大、門間敬一：樹木根系を考慮した斜面安定評価手法の検討 (I) - 転倒実験と転倒計算結果の比較 -, 平成 7 年度日本緑化工学会研究発表会概要集, pp.103-106, 1995.
- 3) 野々田稔郎、林拙郎、川邊洋、本多潔、小藪一志：樹幹引き倒しによる根返りの発生機構, 日林誌, 78, pp.390-397, 1996.
- 4) 清宮浩：切土のり面侵入木の耐風強度に関する調査, 道路と自然, 第 16 卷 2 号 (第 62 号), pp.38-42, 1991.
- 5) 玉手三葉寿、櫻山徳治、笹沼たつ、高橋亀久松：立木引き倒し試験, 日林誌, 47(5), pp.210-213, 1965.
- 6) 疋住昇：樹木根系図説, 誠文堂新光社, 1979.
- 7) 伊藤学：風のはなし I, 技報堂出版, 1986.

濱田 誠*



(前) 急傾斜地崩壊研究室
交流研究員
Makoto HAMADA

金子正則**



建設省土木研究所砂防部
急傾斜地崩壊研究室研究員
Masanori KANEKO

門間敬一***



同 急傾斜地崩壊研究室長
Keiichi MONMA