

景観・樹木に配慮した自然斜面の安定工法 に関する基礎的研究

楠見 晴重¹・岩井 慎治²・福政 俊浩³・北村 善彦⁴

¹ 関西大学助教授 工学部土木工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail:kusumi@ipcku.kansai-u.ac.jp

² 関西大学大学院 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

³ 兵庫県洲本農林水産振興事務所 (〒656-0021 兵庫県洲本市塩屋 2-4-5)

⁴ 株式会社ダイカ 商事営業部 土木資材課 (〒541-0043 大阪市中央区高麗橋 2-3-9)

FUNDAMENTAL STUDY FOR THE STABILIZATION TECHNIQUE OF NATURAL SLOPE CONSIDERING LANDSCAPE AND TREES

Harushige KUSUMI, Shinji IWAI, Toshihiro FUKUMASA,
and Yoshihiko KITAMURA

The stabilization technique of natural slope which maintained landscape and trees have been proposed. However, this method's guidelines of design have not been established, because the mechanism of reinforcement is not clarified. In this paper, the laboratory and the in-situ test were carried out in order to obtain basic data of the "Unit Net" used by this method. As the results, it is clear that not fixing "Unit Net" at the intersection distributes the stress more widely than fixing "Unit Net". Besides, it is recognized that the distribution of the stress is depended on the location and number of the rock bolt.

1. はじめに

わが国における斜面災害は、国土の大半を占める山地の複雑な地質条件を反映して、日本全土にわたって広く見られる。特に第三紀層地すべりとして固有の分類名で呼ばれるように、泥岩や凝灰岩などのいわゆる軟岩から成る地域に多く分布することが知られている¹⁾。

従来、斜面安定工法は、のり面緑化工などによって環境や景観に配慮しているとはいえ、斜面を掘削し樹木を伐採した上で施工されるため、自然環境や生態系の破壊につながるものである。したがって、既存の自然環境をそのままの形で保存しながら、自然斜面の安定を図る新しい工法を考案する必要がある。

本研究では、補強材としてユニットネットとロックボルトおよび支圧板を併用し、対象斜面の掘削や整形、樹木の伐採などを行わない斜面安定化手法を提案した²⁾。しかし、本工法の定量的な補強機構の解明がなされていないため、本工法の設計指針は確立されていないというのが現状である。

そこで本工法の基本的な応力分散機構および補強機構を明らかにするため、室内試験および現場試験を行った。室内試験では、ユニットネットに関して各ユニット間の交点を鋼線によって固定する場合

(結束状態)と固定しない場合(非結束状態)に分け、結束状態と非結束状態の応力分散機構の違いについて比較・検討を行った。現場試験では、自然斜面におけるユニットネットの変形特性を把握するとともに、ユニットネットに作用する引張力分布からユニットネットによってロックボルトの頭部を連結したときの応力分散効果についての検討を行った。

2. 本斜面安定工法の概要

図-1は、本工法の概略を示したものである。本工法は、自然斜面上に縀り線ワイヤーで構成された正方形のユニットネットを接続して格子状に配列し、ユニットネットの交点部分にロックボルトの打設を行い、ユニットネットとロックボルトを支圧板で締付け固定することによって局部的に作用する荷重を広範囲に分散させ、複合的に斜面の安定性を高めようとするものである。本工法では、斜面の樹木を伐採することがないため、自然環境をそのまま残し森林の持つ各種機能を活用することができる。

ユニットネットは、7本の縀り線で構成されたワイヤー(径8mm, JIS G3537 SWRH62-A)を500×500mmの正方形ユニットとして整形したものである。図-2にユニットネットを示す。

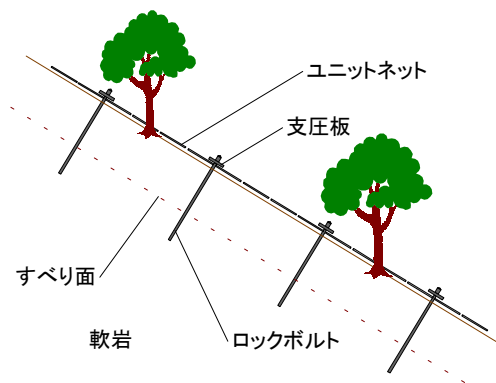


図 - 1 本工法概略図

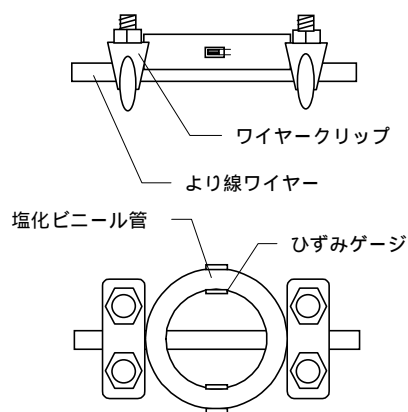


図 - 4 リング式ひずみ計

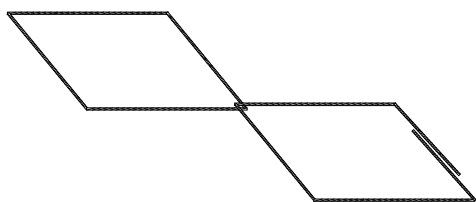


図 - 2 ユニットネット

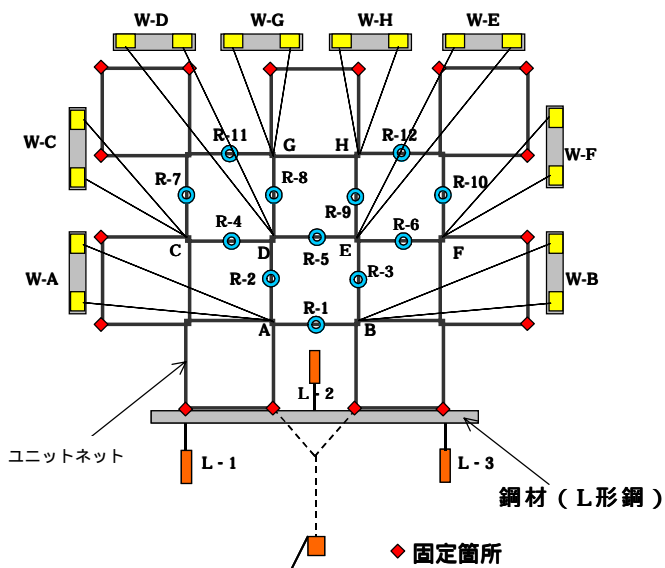


図 - 3 室内試験装置

3. 実験概要

室内試験装置は、10個のユニットネットを配列して各計測器機を取り付けた。載荷装置には最大16kN 載荷可能なチェーンブロックを使用し、荷重を左右均等に伝達させるため引張先端部に鋼材(L形鋼)を取り付けた。図-3に室内試験装置図を示す。

室内試験は、載荷初期段階(0~6kN)では1kN ずつ、その後の段階(6~15kN)では0.5kN ずつ荷重を

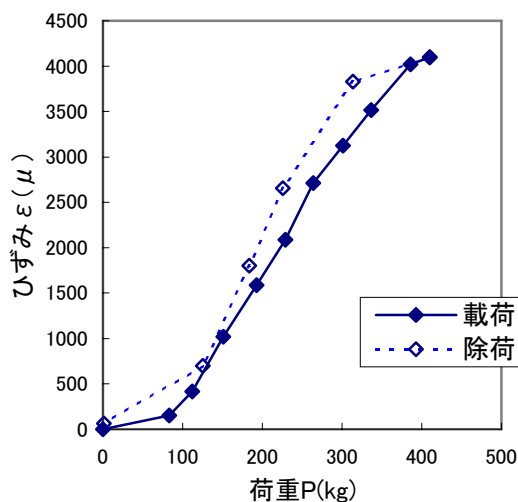


図 - 5 載荷・除荷試験

増加させて行った。ここでは、荷重のユニットネット全体への十分な伝達を考慮し、荷重を増加させてから5分間その状態を保持した後、次の段階の荷重を増加させるという方式をとった。実験データは載荷直後、1分後、5分後に計測を行い、実験結果には載荷5分後のデータを用いることとした。

ユニットネットは7本の縫り線ワイヤーで構成されているため、既存のひずみゲージを直接貼り付けて計測することが困難である。そこで、リング式ひずみ計を製作してユニットネットに作用する引張力の計測を行った。リング式ひずみ計は、硬質塩化ビニールパイプに4枚のひずみゲージを貼付したものをワイヤークリップでユニットネットに固定し、ユニットネットに作用する引張力をリング型受感部の変形として検出するものである。図-4にリング式ひずみ計を示す。

図-5は、リング式ひずみ計をユニットネット単体に取り付けて載荷・除荷試験を行った結果である。この結果から、リング部分のひずみを縫り線ワイヤー引張力に換算する較正係数を算出した。また、ユニットネット任意点における平面変位量をワイヤー

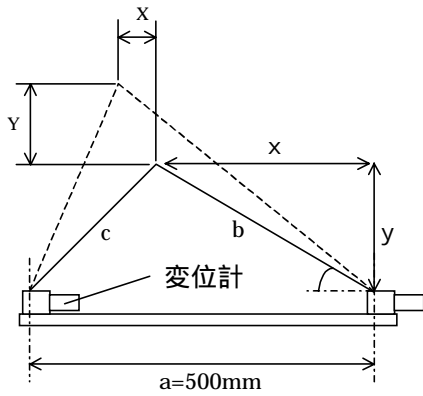


図 - 6 ワイヤー式変位計

式変位計により測定し，その値は次式(1)，(2)によって算出した．

$$x = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a} \quad \dots(1)$$

$$y = b \sin\left(\cos^{-1} \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right) \quad \dots(2)$$

図 - 6 にワイヤー式変位計を示す．

現場試験は，大阪府豊能郡の自然斜面(勾配 35° ~ 45°)で行った．実験に先立って，ユニットネット全体に生じている初期のゆるみを取り除くため，ある程度の荷重を加えてから 1kN ずつ荷重を増加させ，ロックボルト固定本数別に試験を行い，ユニットネットとロックボルトを接続したときの变形ならびに応力分散特性について検討を行った．

図 - 7 は現場試験装置の概要図を示しており，波線で囲まれた部分について各応力の計測を行った．ユニットネットを配列した全体の大きさは 6.0m × 6.0m であり，ロックボルトの位置は 2.0m 間隔の千鳥配置とした．また，図中にはワイヤー式変位計(W-1 ~ 10)の取り付け位置，ロックボルト(B-1 ~ 14)の打設位置を示した．図 - 8 に，リング式ひずみ計(R1 ~ 72)の取り付け位置を示す．

ユニットネットに関しては室内試験と同様，リング式のひずみ計によってユニットネットの引張応力計測を行った．また，各ロックボルト(長さ 3m，外径 24mm，丸鋼)にはひずみゲージを取り付けて軸力の計測を行った．ロックボルト本数と固定位置との関係は次のとおりである．

- ・ ロックボルト 4 本：B-1,5,13,14(四隅)
- ・ ロックボルト 7 本：B-1,5,7,8,11,13,14
- ・ ロックボルト 9 本：B-1,5,7,8,10,11,12,13,14
- ・ ロックボルト 14 本：B-1 ~ 14(全て)

なお，実際にはロックボルトに荷重が作用し，それに伴ってユニットネットに荷重が伝達される．しかし，このような現象を再現することは非常に困難

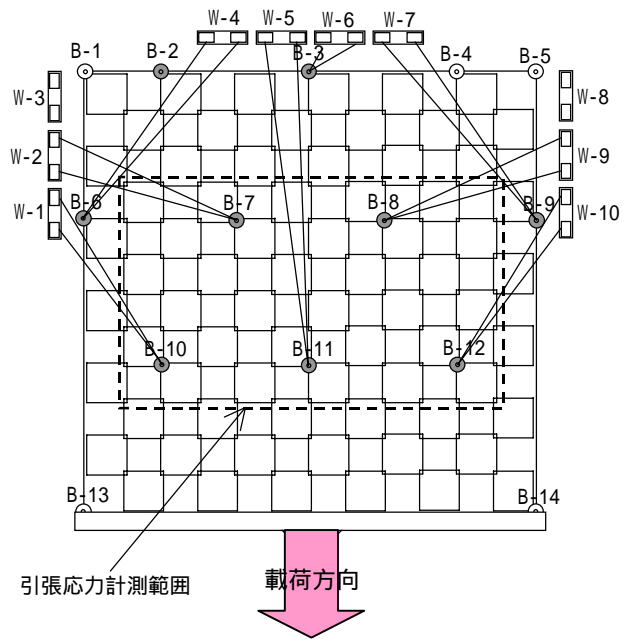


図 - 7 現場試験装置

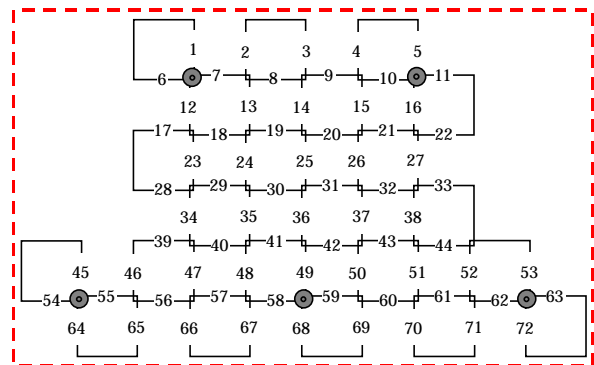


図 - 8 リング式ひずみ計取り付け位置

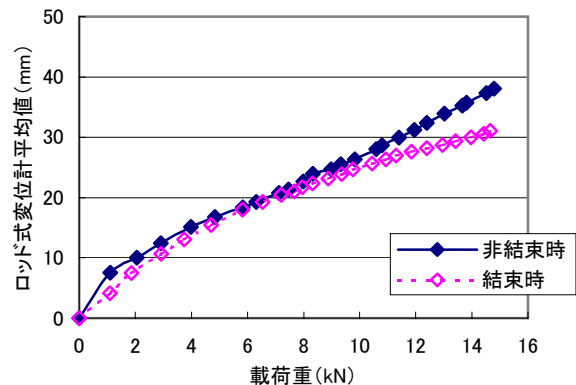


図 - 9 荷重量と全体変位量の関係

であるため，本研究ではユニットネット端部に直接引張荷重を加えることによって，ユニットネットの变形ならびに応力分散特性についての検討を行った．

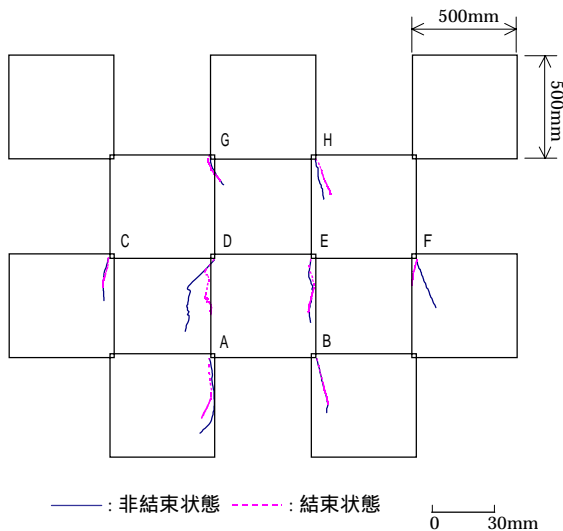


図 - 10 ユニットネット交点の変位量

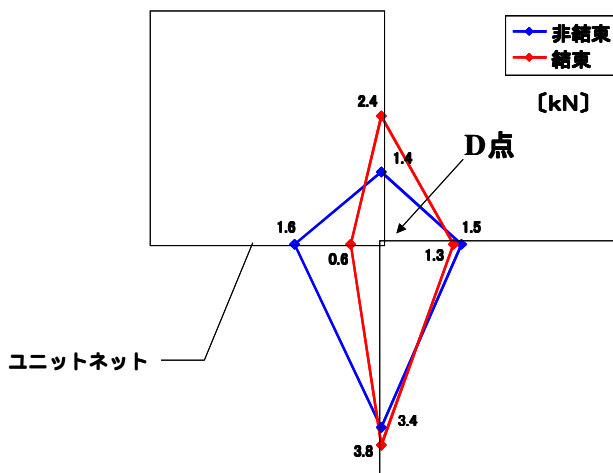


図 - 11 ユニットネットの引張力バランス

4. 実験結果

図 - 9 は、室内試験におけるユニットネットの結束状態と非結束状態について載荷量と全体変位量の関係を示したものである。ここでロッド式変位計平均値とは、ロッド式変位計(L-1~L-3)で計測した値の平均値である。この図から、同じ大きさの荷重を加えたとき、ユニットネット全体の変位量は結束状態よりも非結束状態の方が大きくなり、どちらの場合も荷重に対して一様な増加傾向を示すことがわかる。

図 - 10 は、ユニットネット各交点の変位量を、結束状態と非結束状態について示したものである。ここでは、それぞれの変位量がユニットネット全体の大きさに対して小さいため、変位量の大きさを10倍に拡大して表している。この図から、ユニットネットの各交点は結束状態よりも非結束状態の方

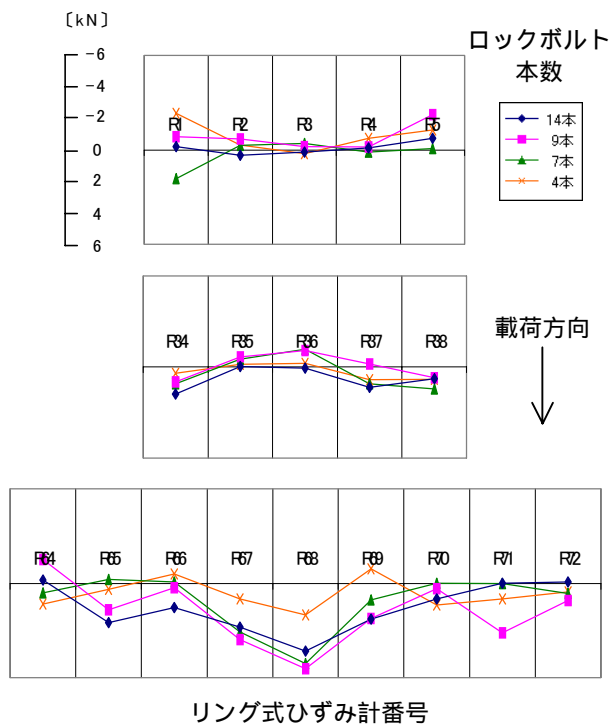


図 - 12 ユニットネットの引張力分布

が大きく移動し、特に非結束状態では載荷方向に対して直角方向にも著しい移動がみられることがわかる。

図 - 11 はユニットネット交点 D に作用する引張力のバランスを示したものであり、15kN 載荷したときの結束状態および非結束状態における引張力を比較したものである。この図からユニットネットに作用する引張力は、結束状態では主に載荷方向へ大きく作用し、載荷方向に対して直角方向にはあまり作用していないのに対し、非結束状態では載荷方向に加えて載荷方向に対し直角方向にも十分に作用していることがわかる。

図 - 12 は、現場試験において全体に 10kN 載荷したときのユニットネットに作用する引張力の分布状況を、ロックボルトの固定本数別に示したものである。この図から、引張力は斜面下段のユニットネットでは比較的大きく作用しているが、上段のユニットネットでは引張力の値が小さくなっていることがわかる。

図 - 13 は、ロックボルトに接続されたユニットネットに関して、作用する引張力をロックボルトの固定本数別に示したものである。この結果から、載荷位置に近いロックボルトに接続されたユニットネットでは大きな引張力が作用しており、載荷位置から離れたロックボルトに接続されたユニットネットでは、作用する引張力は小さくなっていることがわかる。また、ロックボルトの固定本数が少なくなると、ロックボルトに接続されたユニットネットに作用する引張力は大きくなるという傾向が認められる。

したがって、ユニットネットに作用する引張力は

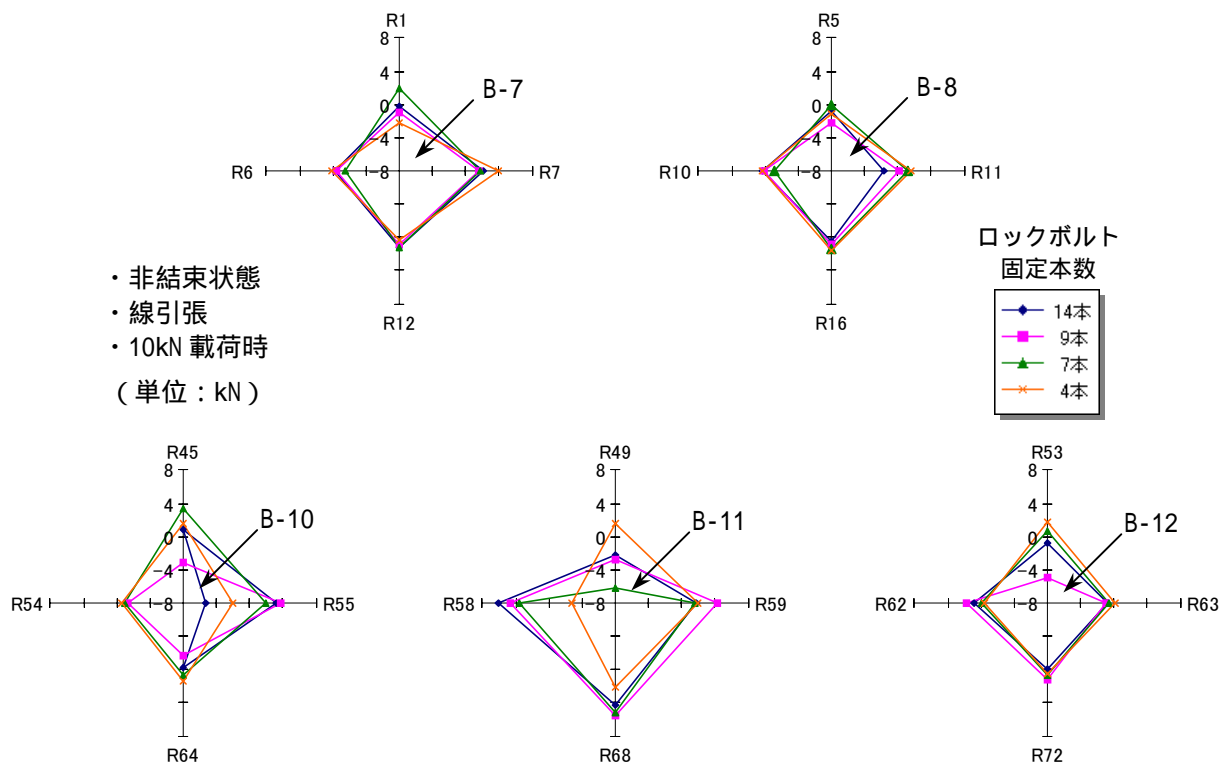


図 - 13 ロックボルト周囲のユニットネットに作用する引張力

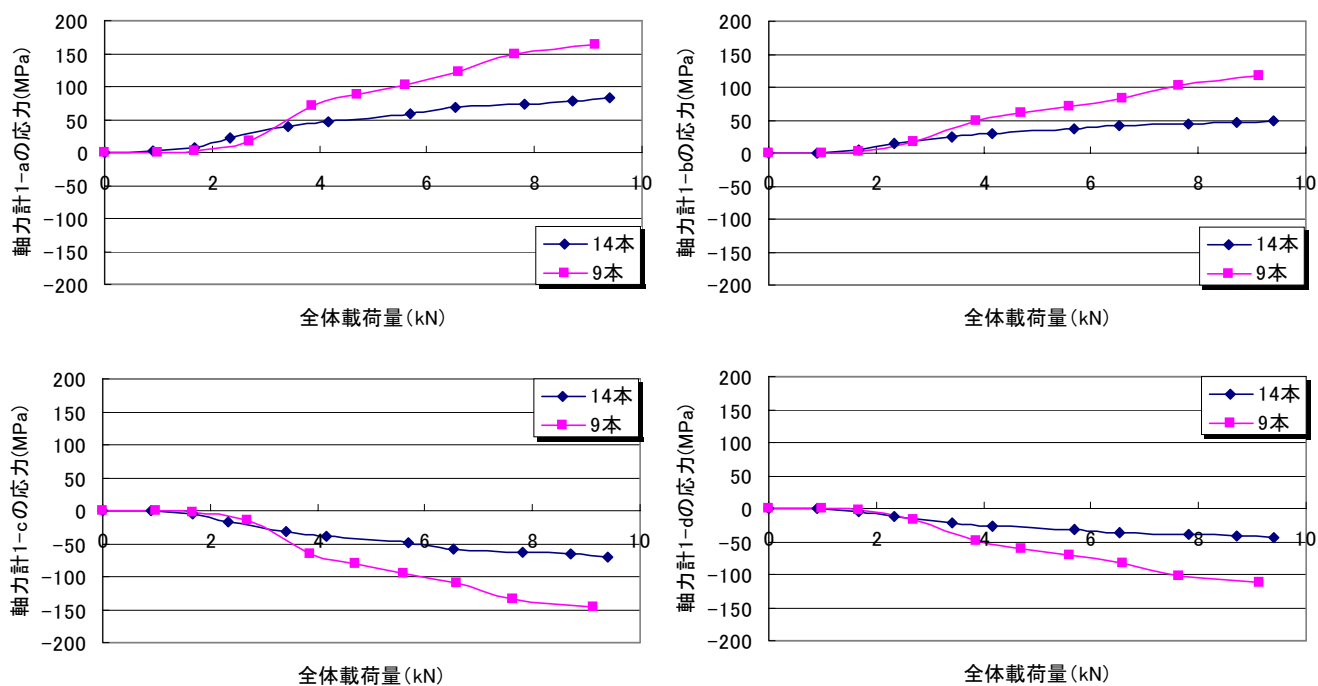
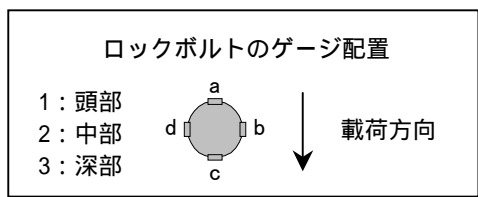


図 - 14 ロックボルトの軸力 (B-12)

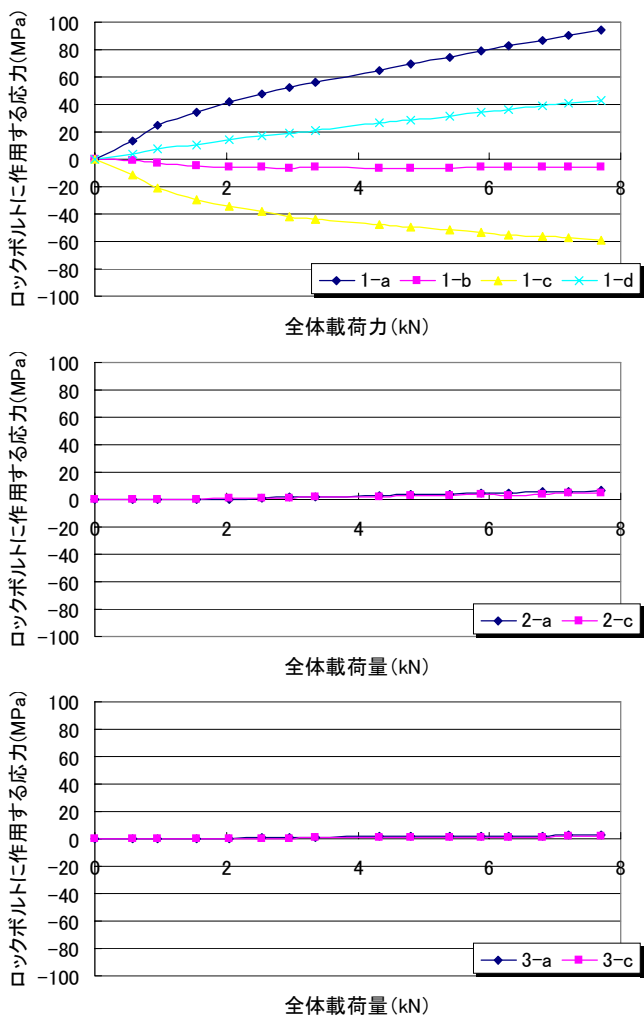


図 - 15 ロックボルトの深さ別軸力 (B-7)

載荷位置に近い方が大きくなり、ロックボルトが固定された位置より上段では、荷重がロックボルトで負担されるためユニットネットに作用する引張力は小さくなるが、載荷力が大きくなるにつれて荷重の伝達範囲は広がっていくものと考えられる。

図 - 14 は、ロックボルト (B-12) の頭部付近に作用する応力をロックボルト固定本数別に示したものである。この結果から、ユニットネットとロックボルトとの固定本数が少なくなるにしたがって、ロ

ックボルト 1 本あたりに作用する応力は増加することがわかる。また、ロックボルトに作用する応力は載荷位置に近い方が大きくなり、ロックボルトが固定された位置より上段にあるロックボルトにはあまり作用しないことが確認されたが、載荷力が大きくなるにつれて作用していくものと考えられる。

図 - 15 は、ロックボルト B-7 に対して 8kN まで直接載荷を行ったときの応力分布を示したものである。この図から、ロックボルト頭部付近には大きな応力が作用しているが中部および深部にはほとんど作用しておらず、今回の実験荷重ではロックボルト頭部のみ応力が増加し、深部まで応力を作用させるには至らなかったといえる。しかし、載荷力が大きくなるに従ってロックボルト中部および深部でも応力が増加すると考えられる。

5. まとめ

ユニットネットを各交点で固定しない方が、全体としての変形は大きくなるが荷重をより広範囲に伝達・分散できると考えられる。

ユニットネットに加わった荷重は主として載荷位置に近いユニットおよびロックボルトに伝達され、ロックボルトの固定本数によって各ユニットへの応力分散状況が異なるということが確認できた。

あるユニットネットに加わった荷重は、減衰しながら他のユニットネットへ伝達され、ユニットネットによって分散された荷重がロックボルトに加わると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：軟岩 「調査・設計・施工の基本と事例」, p.223, 1984.
- 2) 楠見晴重, 岩井慎治, 福政俊浩, 北村善彦：景観および樹木に配慮した自然斜面の安定化工法に関する研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会, -A191, 2001.