

関西大学大学院 学生員○赤川 丈弘  
関西大学大学院 学生員 岩井 慎治  
株式会社ダイカ 北村 善彦

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重  
兵庫県洲本農林水産振興事務所 福政 俊浩

1. はじめに

現在、我々は樹木の伐採を伴わない斜面安定化工法を提案し<sup>1)</sup>、その基礎研究として模型試験を行っている。模型試験では、模型地盤内に補強材としてロックボルトを設置し、地表面にはロックボルト頭部と固定したユニットネットを設置し、移動層に強制変位を与えることによって、本工法による補強機構の検討を行っている。しかし、模型試験ではロックボルトおよびユニットネットの変形特性の把握に留まっており、模型地盤内における不可視な挙動については未解明である。そこで本研究では、模型試験を基に作成した FEM モデルを用いて実験と同様の模型地盤を解析対象として、ロックボルトおよびユニットネットによる補強効果の検討を行った。

2. 解析条件

本研究では模型地盤を対象として、Mohr-Coulomb の破壊基準を用いた完全弾性体による解析モデル化を作成した。図-1 は模型試験の解析モデルを示している。模型地盤については、せん断面を境に移動層と不動層に分け、移動層には 5mm ずつ合計 15mm まで変位を与え、不動層はその境界部分を xy 軸固定とした。ロックボルトについては、地盤のせん断に伴って発生する引張および曲げの力を考慮し、梁要素とした。またユニットネットについては、ロックボルトの変位に伴う引張力を考慮し、ボルト要素とした。せん断面には、極めて強度の低い層(弱層)を用いて砂地盤の連続的なせん断挙動を表現する場合と、内部摩擦力を考慮したジョイント要素を用いて不連続的なせん断挙動を表現する場合の 2 ケースで解析を行った。図-2 は解析メッシュ図を示し、要素数は 1160、節点数は 3578 である。図-3 はユニットネットのみの解析モデルを示す。ユニットネットは、各ロックボルトから伝わる引張および曲げの応力を考慮して梁要素とした。そして、ロックボルト位置に

50kN、100kN の荷重を 2 段階に分けて与え、ネットに伝わる応力の分布特性を検討した。なお、模型試験結果からユニットネットに伝わる応力は、ほぼロックボルト頭部の変形に依存することから、各ロックボルト位置に荷重を与え、ユニットネットに伝わる応力分布を表現した。表-1 は解析に用いた要素の物性値を示している。

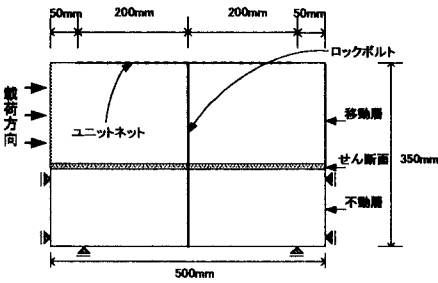


図-1 解析モデル図

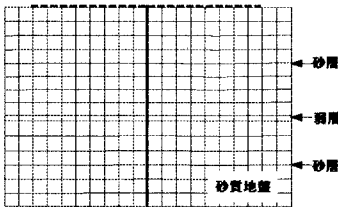


図-2 解析メッシュ図

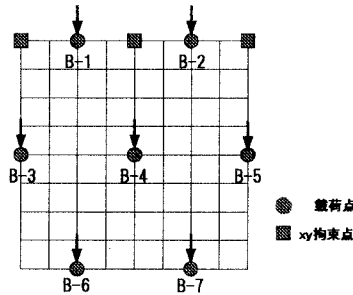


図-3 解析モデル図

表-1 解析定数一覧

| 材料定数    | ヤング率<br>E (MPa)   | ポアソン比<br>$\mu$ | 単位体積重量<br>$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | せん断強度<br>(Pa) | 摩擦角<br>(°) |
|---------|-------------------|----------------|-----------------------------------------|---------------|------------|
| 砂質土     | 100               | 0.3            | 26.5                                    |               |            |
| 梁要素     | $2.1 \times 10^5$ | 0.3            | 77.0                                    |               |            |
| ボルト要素   | $2.1 \times 10^5$ | 0.3            | 77.0                                    |               |            |
| 弱層要素    | 1.0               | 0.3            | 26.5                                    |               |            |
| ジョイント要素 |                   |                |                                         | 0             | 15         |

### 3. 解析結果および考察

図-4は、弱層要素およびジョイント要素を用いた場合のロックボルトとユニットネット併用時の変形図を示している。この図から、せん断面に弱層要素を用いた場合、地表面ではロックボルト位置を境に、高低差が生じ、ロックボルトについては、せん断面付近において緩やかな変形状を示していることがわかる。また、せん断面にジョイント要素を用いた場合、移動層が変位方向にほぼ直線的に移動し、ロックボルトはせん断面で塑性変形していることがわかる。図-5は、弱層要素およびジョイント要素を用いた場合のロックボルトとユニットネットに作用する軸力分布を示している。この図からユニットネットに作用する応力は、ロックボルト位置を境に、引張と圧縮力がほぼ対称的に作用していることがわかる。またロックボルトに作用する応力については、せん断面に弱層要素を用いた場合、深さ方向に圧縮力が増加していることがわかる。しかし、せん断面にジョイント要素を用いた場合、5mm 変位後では、せん断面付近で著しい軸力の減少が見られ、10mm 変位後では、せん断面を境に上部で引張力が作用していることがわかる。以上の結果から、ユニットネットに作用する応力については、各せん断面共にほぼ同傾向の応力分布を示し、ロックボルトに作用する応力については、せん断面にジョイント要素を用いた方が、地盤内でせん断力を受けたロックボルトの応力分布性状をよく表現できていると考えられる。図-6は、各ロックボルト位置に 50kN 載荷した時のユニットネットの変形図を示している。図より、ユニットネットは載荷方向に一樣に変形していることがわかる。また、ユニットネットに作用する応力分布については、ロックボルト位置(B-3~5)を境に、載荷方向側に圧縮力が作用し、反対側には引張力が作用していることがわかる。この結果を模型試験結果と比較すると、ほぼ類似した応力分布を示していることがわかった。

(弱層要素)

(ジョイント要素)

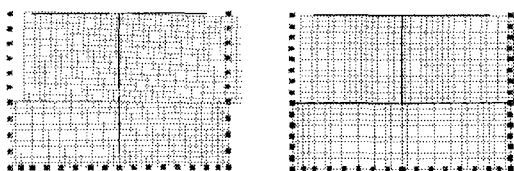
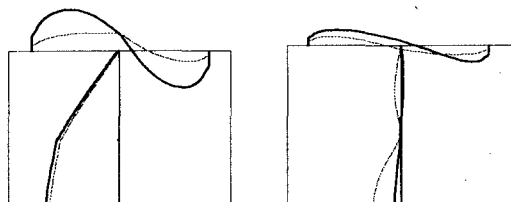


図-4 変形図

10.0 (mm)

(弱層要素)

(ジョイント要素)

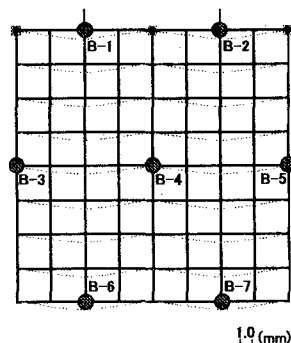


..... 5mm変位後  
—— 10mm変位後

50.0 (MPa)

↑ 応力(正方向)

図-5 軸力分布図



1.0 (mm)

図-6 変形図

### 4. まとめ

ロックボルトの解析に関して、せん断面にジョイント要素を用いた場合、せん断面付近において応力の減少が確認され、模型試験結果と類似した応力分布を示すことがわかった。ユニットネットの解析では、ロックボルト位置を境に圧縮・引張応力が対称的に作用し、模型試験結果と類似した結果を得た。以上の結果から、ロックボルトに作用する応力や、ロックボルトからユニットネットに伝わる応力の分布性状を把握することが可能であり、本解析モデルの弾性域における有用性が示された。今後は、モデル斜面を作成し、有限要素解析が実務設計に適用できるよう検討していきたい。

### 参考文献

- 1) 楠見晴重, 岩井慎治, 福政俊浩, 北村善彦: 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, 第11回岩の力学国内シンポジウム, I-08, 2002.