

Ⅲ-B152

室内試験によるケーブルボルトのせん断特性評価

大成建設（株） 正会員 中原史晴 伊藤文雄
山口大学工学部 清水則一

1. はじめに

近年、トンネルおよび地下空洞掘削時のロックボルトの代替材として、また掘削前の先行支保としてケーブルボルトが注目されている。しかし、ロックボルトと同様、ケーブルボルトの確立された設計手法がないのが現状である。特に軸部材のみではなく、せん断部材としても設計手法へ取り込むことができれば、より経済的な設計が可能となりコストダウンに大きく寄与できる。

今回は、人工亀裂を挟んだコンクリートにケーブルボルトを打設した供試体の一軸荷重によるせん断試験を行い、強度・変形特性について考察を加えた。また、支保材料としては、ロックボルトと通常の PC 鋼より線のケーブルボルトの他に、グラウト材との付着強度向上を目的として加工されたバルブ付ケーブルボルト（バルブストランド）を用いてその効果も検証した。

2. 室内せん断試験の概要

模擬岩盤のコンクリート供試体は、縦 100cm、横 70cm、奥行き 50cm とした。模擬岩盤中央には 45° の亀裂面を作成し、亀裂を横断するように $\phi 64\text{mm}$ の孔を設けた。コンクリート強度の発現を確認した後、グラウト材を孔に充填してロックボルトおよびケーブルボルトを打設した。グラウト材は、早強ボルトランドセメントによる $w/c=35\%$ のセメントペーストとし、材令 14 日でせん断試験を実施した。試験時の模擬岩盤とグラウト材の強度・変形特性を表-1 に示す。

今回実施した試験ケースとボルト部材の性質を表-2 に、せん断試験の概要を図-1 に示す。試験は 4 ケース実施しており、ボルト部材を打設しないモデルで亀裂および供試体下部の摩擦特性を評価している。載荷装置には 100ton の油圧ジャッキを用い、ジャッキ側の模擬岩盤は側方への変位を自由にするためにテフロンシートで摩擦を低減させ、他方の模擬岩盤は反力ブロックにより変位を固定し載荷を行った。

岩盤変位は亀裂に沿った 3 箇所、亀裂に垂直な成分と平行な成分を測定した。

3. 室内せん断試験結果

ボルト部材を打設した 3 ケースの荷重-変位曲線を図-3 に示す。荷重および変位は亀裂に平行なせん断成分で評価している。せん断試験により、ロックボルトとバルブストランドはボルト部材が破断に至ったが、プレーンストランドは付着切れが先行しボルト部材は破断に至ることなく一定荷重を保持して変形を続けた。

表-1 使用材料の強度・変形特性

種 類	比 重	圧縮強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	ヤング率 [GPa]	ポアソン比
コンクリート（模擬岩盤）	2.41	82.3	4.83	35.1	0.22
セメントペースト（グラウト材）	2.06	89.7	3.59	21.2	0.25

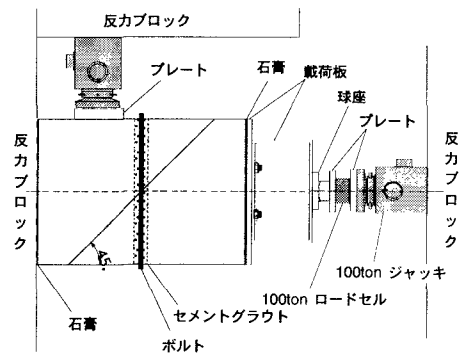


図-1 せん断試験概要

表-2 試験ケースおよびボルト物性値

試験ケース	ボルト材料物性値			備 考 (④のバルブ位置、バルブ長さ100mm)
	断面積 [mm ²]	引張強度 [N]	降伏強度 [N]	
Case①	ボルト部材なし			
Case②	プレーンボルト (TD24)	445.9	308.0	227.0
Case③	プレーンストランド (φ15.2mm)	138.7	261.0	222.0
Case④	バルブストランド (φ15.2mm)	138.7	261.0	222.0

キーワード：亀裂、ケーブルボルト、せん断試験、付着、せん断耐力、

連 絡 先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術研究所 TEL045-814-7237 FAX045-8147257

1) ロックボルトとバルブストランドの相違点

ボルト部材破断時の荷重はロックボルトで 500kN、バルブストランドで 430kN、破断時の変位はロックボルトで 15.1mm、バルブストランドで 21.2mm である。付着切れに着目すると、ロックボルトは付着切れがほとんど発生していないのに対して、バルブストランドはバルブ部分までの付着切れが発生した後にバルブ部の付着のみで部材の破断まで至っていると考えられる。

2) プレーンストランドとバルブストランドの相違点

付着切れが発生してからの強度低下を見ると、プレーンストランドが約 23% 低下しているのに対して、バルブストランドは低下せず、耐力が大きくなる傾向を示した。これより、バルブの効果として付着強度向上と付着切れの進行を食い止める効果が確認できる。

4. 解析結果および考察

ここでは、せん断試験について個別要素法プログラム（UDEC）によるシミュレーション解析を実施して、室内試験結果との比較を行った。解析はプレーンストランドを打設した Case③について実施し、ケーブル・グラウトの力学特性は、事前に実施した引抜き試験より求めた値を使用した。表-3 に解析で使用した入力値を示す。

図-4 に、ケーブルボルトの付着破壊時の荷重・変位曲線を示す。解析値は実験値と比較して概ね傾向は再現しているものの、最大荷重で 3 割程度、付着破壊時の変形量で 5 割程度小さい。この要因として、付着切れの進行が異なること、破壊後のせん断抵抗を考慮していないことが考えられる。今後、この点についてのモデル化を行なうことがケーブルボルトのメカニズムを数値解析上に反映させる上で重要である。

5. まとめ

せん断試験よりバルブストランドの効果として、せん断強度を向上させる効果とグラウトの付着切れの進行を食い止める効果が確認できた。

また、個別要素法プログラム（UDEC）によるシミュレーション解析を行った結果、せん断試験においてボルト部材を軸力部材としてのみ取扱うとその挙動を再現仕切れないため、せん断抵抗を定量的に評価し設計に組み込む必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 谷卓也・伊藤文雄・清水一則：室内試験によるケーブルボルトの付着特性評価，第 34 回地盤工学研究発表会講演集，1999
- 2) 永井哲夫・張玉軍・小谷野康之：不連続性岩盤におけるトンネル掘削時の地山挙動に関する数値実験，トンネル工学研究論文報告集，vol.7，pp.105-111，1997

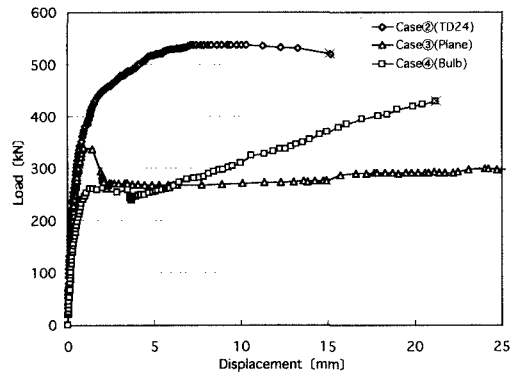


図-3 荷重-変位曲線

表-3 解析入力値

模擬岩盤物性値	弾性係数	(GPa)	35.1
	ポアソン比		0.22
	密度	(kg/m ³)	2400
不連続面物性値	垂直剛性	(MPa/m)	1.0×10^6
	せん断剛性	(MN/m)	1.0×10^3
	粘着力	(MPa)	0
	摩擦角	(°)	35
	引張強度	(MPa)	0
ケーブル・グラウト物性値	ケーブル弾性係数	(MPa)	2.0×10^5
	ケーブル引張降伏強度	(kN)	222
	グラウト付着剛性	(MN/m/m)	550
	グラウト付着強度	(MN/m)	0.28

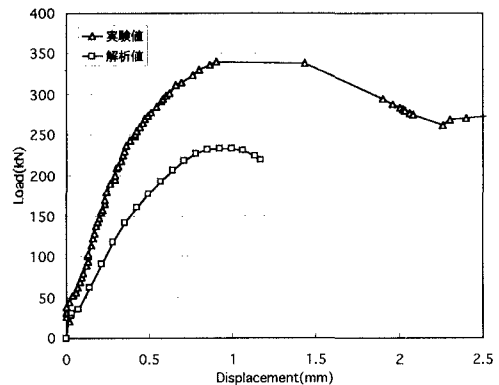


図-4 荷重-変位曲線（解析値比較）