

ケーブルボルトのせん断補強効果に関する実験と数値解析

運輸省第四港湾建設局 正 ○ 成川麻里子
 山口大学工学部 正 清水 則一
 大成建設技術研究所 正 伊藤 文雄

1. はじめに

地下空洞の建設において、掘削前に先行して岩盤を補強し、掘削時の安定性を増し支保の軽減を図るために、緊張力を与えない全面接着型のケーブルボルト工法が注目されている。本研究では、室内一面せん断実験の数値シミュレーションを行い、実験結果と数値解析結果から、ケーブルボルトのせん断補強効果について検討を行う。なお、数値解析には個別要素法 (UDEC) を用いる。

2 一面せん断試験の数値シミュレーション - その 1 -

ケーブルボルトの打設角度による不連続面の補強効果の違いを検討するために、一面せん断試験の数値シミュレーションを行う。一面せん断試験の解析モデルを図-1に、打設角度 45° 、 90° 、 135° の解析結果を図-2に示す。図-2から、打設角度が $\alpha \geq 90^\circ$ の場合、不連続面のせん断変位によってケーブルボルトに引張軸力が発生し、不連続面のせん断強度が増加する。一方、打設角度が $\alpha < 90^\circ$ の場合、圧縮軸力が発生しせん断強度は減少することがわかる。これらのことから、ケーブルボルトが効果を発揮するために適切な打設角度があると考えられる。そこで、ケーブルボルトの適切な打設角度を検討するため、図-3にケーブルボルトの打設角と補強効果率の関係を示す。ここで、“補強効果率 (%) = (ケーブルボルトによる不連続面のせん断強度増加分) / (不連続面のせん断強度) × 100” である。図-3から、ケーブルボルトの打設角度は、 $\alpha = 90 \sim 120^\circ$ が適当であると示された。なお、同図には Jwell の実験結果¹⁾を合わせて示している。解析結果と実験結果の傾向はほぼ一致しており、UDEC による一面せん断試験の数値シミュレーションは概ね妥当と思われる。

3 一面せん断試験の数値シミュレーション - その 2 -

Stillborg による室内せん断実験²⁾に対する数値シミュレーションを行う。室内一面せん断実験の供試体を図-4に、解析モデルを図-5に、図-6に解析結果を示す。図-6から、実験値に比べ解析値が小さいことがわかる。この原因としてケーブルボルトのモデル化において、ケーブルのせん断抵抗を考慮していないことが考えられる。そこで、ケーブルボルトのせん断強度をモデルに導入するために、その効果を不連続面の仮想粘着力 C として与える。鋼材の引張応力 σ とせん断応力 τ の強度基準は、Von-Mises の降伏関数に従うものと考え、次の式で表される。

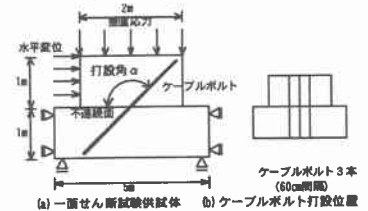


図-1 一面せん断試験の解析モデル

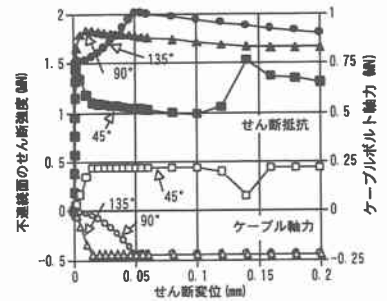


図-2 一面せん断試験の解析結果

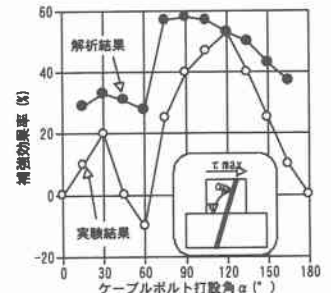


図-3 補強効果率

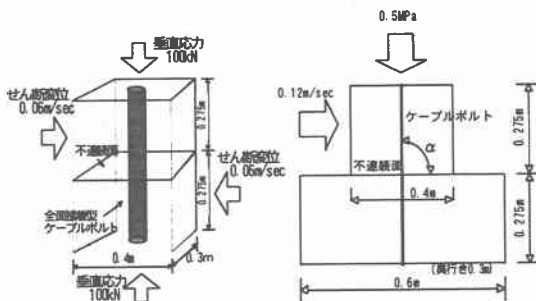


図-4 供試体²⁾

図-5 解析モデル

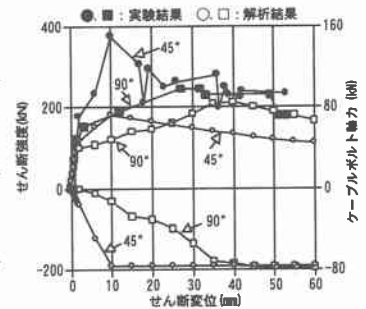


図-6 実験結果²⁾と解析結果

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_y^2 \quad \dots (1)$$

ここで、 σ_y ：鋼材の基準降伏点である。

ケーブルボルトも鋼材なので、式(1)の関係が成り立つと考えられる。一面せん断試験の数値解析において、ケーブルボルトに発生する最大の軸応力 σ がわかると、そのせん断強度 τ は式(1)から求めることができる。このせん断強度を τ_k とし、ケーブルボルトのせん断強度を数値解析において考慮するために、次のように不連続面の仮想粘着力 C を与える。

$$C = (\tau_k \times A_c) / (b \times b) \quad \dots (2)$$

ここで、 A_c ：ケーブル断面積、 b ：ケーブルボルト打設間隔である。

式(1)、(2)で求めたケーブルボルトのせん断強度と仮想粘着力 C を表-1示す。ケーブルボルトのせん断強度を考慮したモデルの解析結果を図-7および図-8に示す。両図から、式(2)から求めた仮想粘着力 C を与えると、実験で見られた供試体の強度の増加が表されることがわかる。しかし、その程度は実験で見られる供試体の強度増加の程度より大きく、仮想粘着力 C を式(2)で得た値の1/2とするとほぼ一致する。

4. 一面せん断試験の数値シミュレーション

-その3-

次に、文献³⁾の室内せん断実験に対する数値シミュレーションを行う。実験の概要を図-9に、解析モデルを図-10に、図-11に解析結果を示す。図-11から、前節と同様に、ケーブルボルトのせん断強度を考慮すると解析値が実験値に近づくことがわかる。本ケースでは仮想粘着力 C を式(2)から求められる値の1/3程度とすると、解析値と実験値がほぼ一致する。

5. まとめ

ケーブルボルトのせん断強度を考慮すると、実験結果が説明できる。ただし、ケーブルボルトのせん断強度として与えた仮想粘着力を直接解析に入力するとケーブルボルトのせん断強度を過大評価することになる。今回の解析では、求められるせん断強度の1/3～1/2程度を与えると実験値にほぼ一致することがわかった。一般に、ケーブルボルトのせん断抵抗を期待しないことが多い。しかし、実験と数値シミュレーションの結果から実際にはせん断抵抗を示すものと考えられる。その結果を定量的に評価することは今のところできないが、今後この点を明らかにすることで現行より経済的な設計を行える可能性がある。

表-1 ケーブルボルトのせん断強度と仮想粘着力 C

	打設角	断面積 (mm ²)	ケーブル 降伏基準 σ_y (MPa)	ケーブル 発生軸力 σ (MPa)	τ (MPa)	C (MPa)	$C/2$ (MPa)
steel wire	90°	668	1321	287	744	1.24	0.62
	45°	668/2				1.76	0.88
steel strand	90°	138.7	1637	552	744	0.308	0.154
	45°	138.7/2				0.433	0.217

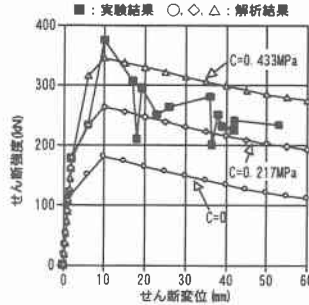


図-7 $\alpha=45^\circ$ の結果

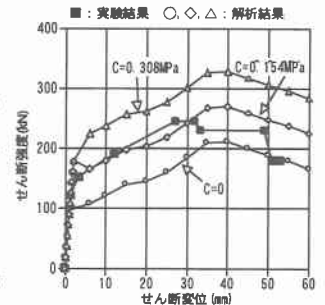


図-8 $\alpha=90^\circ$ の結果

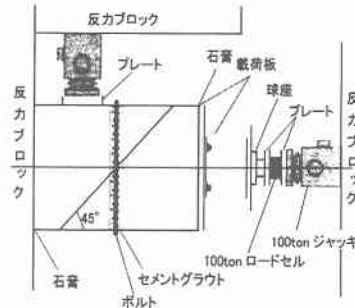


図-9 実験の概要³⁾

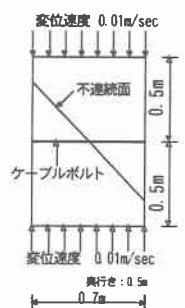


図-10 解析モデル

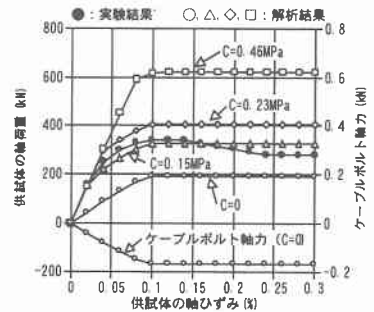


図-11 実験結果³⁾と解析結果

参考文献

- (社) 土質工学会：補強土工法，土質基礎ライブラリー 29，pp.30,1986.
- Stillborg, B. : Expenrimental investigation of steel cables for rock reinforcement in hard rock, Doctoral Thesis 1984:33 D, Lulea University of Tecnology, 1984.
- 中原史晴，伊藤文雄，清水則一：室内試験によるケーブルボルトのせん断特性評価，土木学会第 54 回年次学術講演会概要集第 3 部門 B，pp.304-305，1999.