

西 松 建 設 ㈱ 正 員 〇 北 川 隆
 埼 玉 大 学 大 学 院 野 呂 頼 貞 隆, 阪 口 聡
 明 治 コ ン サ ル タ ン ト ㈱ 高 田 昌 美

1. はじめに 近年, トンネルをはじめエネルギーの地下備蓄や地下発電所などの大型地下空洞の建設において, 安全性が高く, 経済的に建設できるすぐれた工法としてロックボルトと吹付コンクリートによる工法が広く用いられるようになってきた。その中で主要な支保材であるロックボルトの実績も数多く報告されている。しかし, ロックボルトの作用効果を定量的に設計に取り込むことは非常に困難であり, 実際の施工にあたっては, 過去の施工例を参考にして設計を行い, 施工の段階で計測されたデータを設計にフィードバックさせる方法が一般にとられている。それはロックボルトを含む岩盤の強度特性および変形特性がきわめて複雑であることに起因している。本研究ではロックボルトの作用効果を定量的に求めるため, まず地下空洞の破壊性状およびロックボルトの施工状況について現地調査を行なった。その結果, これらの空洞における破壊はせん断破壊が主で, ロックボルトはせん断破壊の防止に有効に働いていることが確認された。この事実をふまえたうえで, 本研究ではひとつの要素実験として, 不連続面およびロックボルトを有する供試体を用いた室内せん断試験を行ない, ロックボルトを含む不連続面の変形特性を表わすための近似式および強度特性について若干の考察を加えた。

2. 調査・実験概要 調査地点は宇都宮市大谷町にある採石場で, ここでは主に節理のほとんどない均質な軟岩から, 建材としての大谷石が切り出されている。空洞形状および代表的破壊性状とロックボルト施工状況を模式的に Fig.1 に示す。ここでみられたロックボルトと破壊面との関係から, Fig.2 に示すような室内せん断試験のための供試体を作製した。母材はモルタル (1 軸圧縮強度 200 kgf/cm^2 程度) で, ロックボルトとして D10 の異形鉄筋 (SD24) を用い, 片端をナットで固定した。不連続面の粗さにはバートンの JRC に基づいて 2 次元の粗さをもつ供試体を作製した。実験方法は平面ひずみ状態とし, σ_1, σ_3 を等方的に載荷した後, 垂直応力 σ_n が一定のまません断応力 τ が増加するよう σ_1, σ_3 を変化させた。ロックボルトにはひずみゲージを取り付け軸力を測定した。加圧板と供試体との間の摩擦は, グリースとテフロンシート

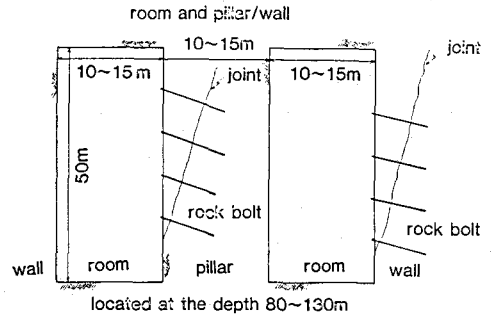


Fig.1 空洞, 破壊, ロックボルト

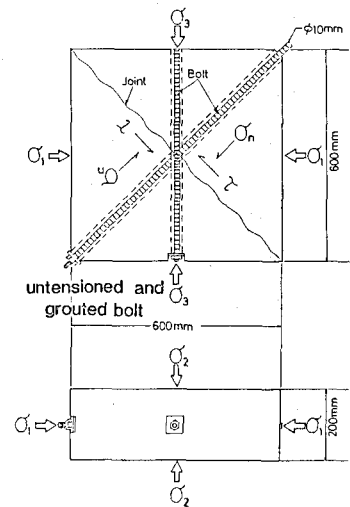


Fig.2 せん断実験供試体

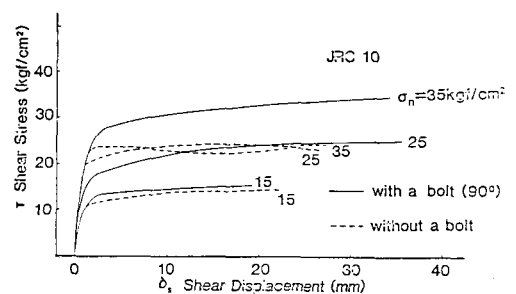


Fig.3 せん断変位~せん断応力関係

を用いて出来るだけでなくすよう努めた。実験のパラメータは JRC (0, 10, 20), ロックボルトと不連続面との角度 (45°, 90°) および垂直応力 σ_n (15, 25, 35 kgf/cm²) である。

3. 実験結果および考察 せん断変位～せん断応力関係の一例を Fig. 3 に示す。これは JRC=10 で 90° のロックボルトとロックボルトが無い場合を比較したものである。降伏までは、ロックボルトの効果はあまりみられず、降伏後顕著である。ロックボルトが無い場合、降伏後せん断強度がほぼ一定あるいはやや減少の傾向を示すに対して、ロックボルトがある場合はせん断強度の増加がみられる。このことは、全般的に認められることである。Fig. 4 および Fig. 5 はそれぞれ降伏点、最大せん断強度における強度関係を示す。Fig. 4 すなわち降伏強度においては、ロックボルトの効果はあまりみられず、初期せん断剛性にも明確な効果は現われなかった。また、ロックボルトとせん断面との角度 (45°, 90°) の影響についても、Fig. 6 に示すように同様である。しかし、せん断変位によるロックボルトの軸力の発生機構はロックボルトの角度により異なり、45° の場合が 90° の場合よりせん断変位の小さな値で、より大きな軸力を発生した。

前述のせん断変位～せん断応力の関係は、ロックボルトが無い場合について、一般に双曲線近似が可能であり、式(1)で示されている²⁾

$$\tau = \frac{\delta_s}{a + b \delta_s} \quad (1)$$

ここに、 τ : せん断応力, δ_s : せん断変位,

$a = 1/K_{si}$, K_{si} : 初期せん断剛性,

$b = 1/\tau_{ult}$, τ_{ult} : 終局せん断応力

そこで、 $\delta_s \sim \delta_s / \tau$ について実験結果を整理した一例を Fig. 7 に実線で示す。他の場合も同様な関係がみられた。このことから、式(1)の双曲線近似が可能であることが確認できた。また、ロックボルトがある場合についても同様な関係が成立つ。その一例が Fig. 7 の破線である。以上のことから、ロックボルトの有無にかかわらず、せん断変位～応力関係は、双曲線近似が可能であることが明らかになった。すなわち、ロックボルトを含む不連続面の变形特性の関係式として、式(1)が適用できる。今後、ボルトの効果を取り込んだ関係式および初期せん断剛性 K_{si} を明らかにすることより、式(1)との組み合わせから、ロックボルトを含む不連続面のせん断変形特性が明らかになるものと思われる。

参考文献 1) N. Barton and V. Choubey: The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice, 2) R. Yoshinaka et al.: Experimental and Numerical Studies on Discontinuous Rock Mass.

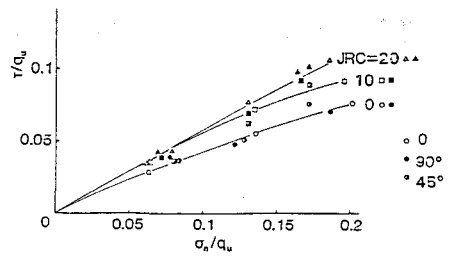


Fig. 4 降伏点における応力関係

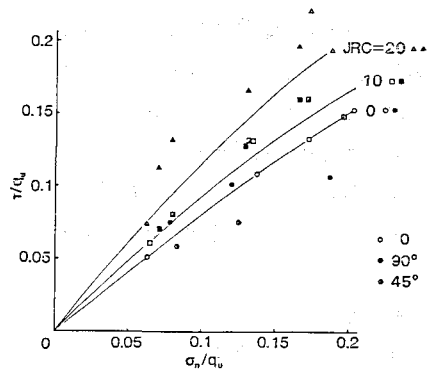


Fig. 5 最大せん断強度における応力関係

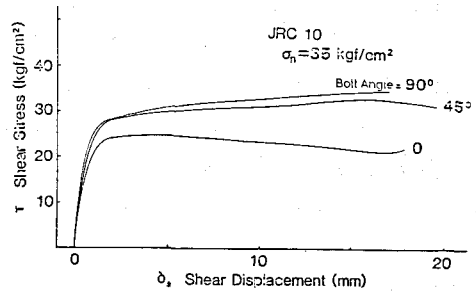


Fig. 6 ロックボルトの角度によるせん断変位～せん断応力関係

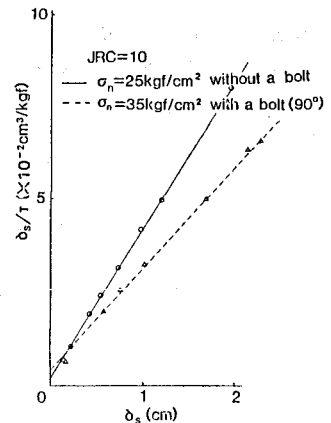


Fig. 7 $\delta_s \sim \delta_s / \tau$ 関係