

Ⅲ-327 不連続面粗さとロックボルトの補強効果に関する実験的研究

埼玉大学 正員 ○吉中 龍之進 蟻坂 俊英

西条 信行

(株)熊谷組 正員 新井 元

1. まえがき

今日、ロックボルトは不連続性岩盤の主要な主要な支保部材として多用されている。しかし、その補強作用のメカニズムには不明な点が多い。不連続性岩盤の変形の大部分は、不連続面のせん断と開口・閉塞で生じる。本研究は、この様な不連続性岩盤の変形とボルトの相互作用の観点から、花崗岩割裂面を不連続面とした実験供試体に、複数のボルトを打設して直接せん断試験を行った。また、ダイレイタンスー挙動を含む岩盤のせん断過程のボルト変形を調べるために、すべての供試体から取り出したボルトについて詳細に観察し、不連続面付近で集中的に生じるボルトの変形を、いくつかのパラメータを用いて解明した。

2. 不連続面粗さの違いによる補強効果

筆者らは、ボルトの変形と補強効果を明確にするために、不連続面に平坦面を用いて実験を行ってきた。ここでは、実際の不連続性岩盤に適用するために、粗さを持った不連続面を用いて平坦面との比較実験を行った。実験に用いた不連続面は、花崗岩の割裂面であるが、個々の不連続面におけるせん断強度のばらつきを最小限にするために、あらかじめ総ての供試体を数回せん断させて、不連続面強度を残留強度に落としてからボルトを挿入して実験を行った。図-1は、ボルト補強効果実験を行う直前の各不連続面及び平坦面のせん断応力～せん断変位関係の一例である。

図-2は、上記の二種類の不連続面を持つ花崗岩供試体にボルトを挿入して、せん断試験を行った時のせん断応力～せん断変位関係の一例である。図-1において、無支保時の割裂面と平坦面の最大せん断力の差がわかる。ボルト挿入後のいずれのケースも、平坦面に比べて割裂面の方がボルト補強効果大きい。

これは割裂面のダイレイションにより、ボルトが最大軸力を発生させる方向、つまり最適敷設角方向に変形したためである。言い換えれば、不連続面のダイレイション角を i とすると、割裂面に打設されたボルトは、それぞれ $(45^\circ - i)$ 、 $(90^\circ - i)$ となり最適敷設角に近づいていることになる。

3. ボルトの変形

実験終了後、総ての供試体からボルトを取り出し、ボルトの破断面をつなぎ合わせ、その変形形状を写真に収

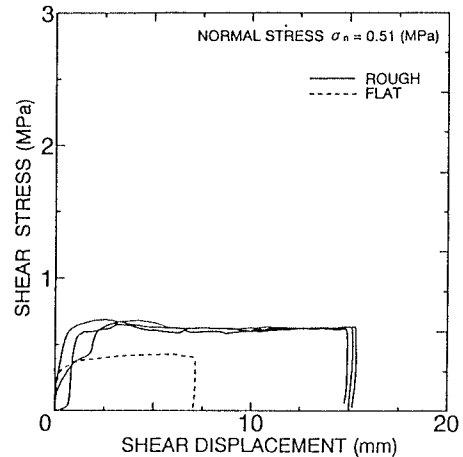


図-1 ボルト設置前のせん断応力～変位関係

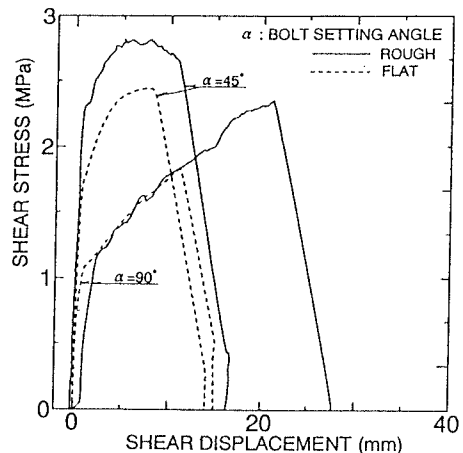


図-2 ボルト設置後のせん断応力～変位関係

め詳細に観察した。写真-1は、花崗岩供試体から取り出したボルトで、それぞれ不連続面が平坦面及び割裂面のものである。不連続面の形状の違いによって、ボルトの変形形状も大きく異なることが良く分かる。45°に打設したボルトの場合は、いずれのケースも引張りにより破断している。しかし、90°に打設したボルトの場合、平坦面のボルトは完全にせん断により破断し、割裂面のボルトもそれに近い破断形状である。

図-3は、ボルトの曲がり深さ～せん断変位関係を示したものである。モルタル供試体により以前に示した時と同様に正の相関関係があることがわかる。

4. ロックボルトによる補強効果の推定

岩盤不連続面に打設したロックボルトの補強効果を推定する方法は、多くの研究者たちが提案している。ここでは、ボルトの強度をVon Missesの降伏基準で規定した、せん断強度式を用いて実験結果との比較を行った。Von Missesの降伏基準式は以下のとおりである。

$$\left(\frac{N}{\sigma_b}\right)^2 + \left(\frac{S}{\frac{\sigma_b}{\sqrt{3}}}\right)^2 = 1$$

$$N = \sqrt{\frac{1}{3 \tan^2 \frac{dv}{dh} + 1}} \sigma_b$$

$$S = \sqrt{\frac{\tan^2 \frac{dv}{dh}}{3 \tan^2 \frac{dv}{dh} + 1}} \sigma_b$$

$$\tan \beta = \frac{N}{S} = \frac{1}{\sqrt{3 \tan^2 \frac{dv}{dh} + 1}}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{\tan^2 \frac{dv}{dh}}{3 \tan^2 \frac{dv}{dh} + 1}} \sigma_b}{\sqrt{\frac{1}{3 \tan^2 \frac{dv}{dh} + 1}} \sigma_b}$$

$$= \tan \frac{dv}{dh}$$

$$\tau_p = \sigma_n \tan \phi + N(\cos \beta + \sin \beta \tan \phi) + S(\sin \beta + \cos \beta \tan \phi)$$

$$N = \sqrt{\frac{1}{3 \tan^2 \beta + 1}} \sigma_b \quad S = \sqrt{\frac{\tan^2 \beta}{3 \tan^2 \beta + 1}} \sigma_b$$

図-4 Von Missesの降伏基準

図-5は、最大せん断力～ボルト挿入角及び $(\alpha - \theta)$ の関係である。実線で示した二本のラインは、ボルトの最大引張り強度を490～630MPaと仮定した場合の計算値で、式中のせん断力の項を考慮した場合と無視した場合である。また、プロットした点は実験値である。

この図から、 $(\alpha - \theta)$ が大きくなるほど補強効果が減少している実験値と同様の結果が得られた。

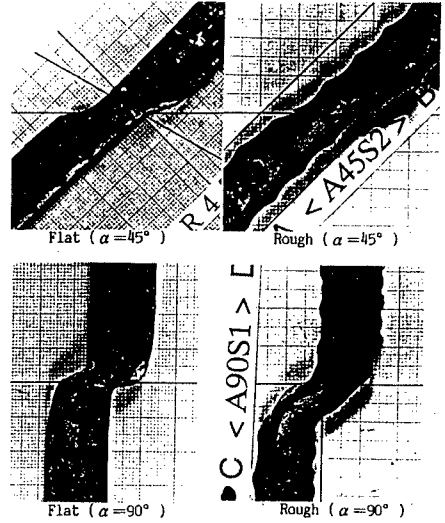


写真-1 ボルトの観察写真の一例

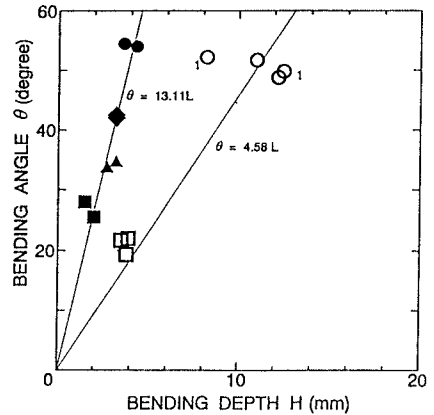


図-3 ボルトの曲がり角と曲がり深さの関係

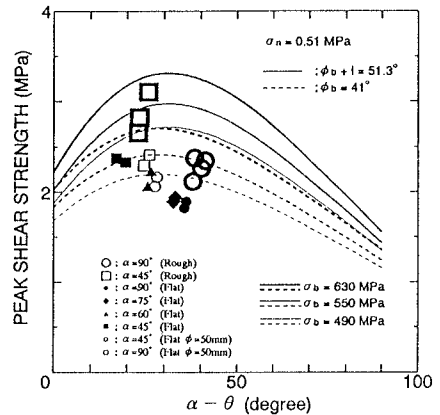


図-5 Von Missesの降伏基準による τ_p と $\alpha - \theta$ の関係