

III-374 不連続岩盤モデルにおけるロックボルトの変形特性に関する一考察

埼玉大学 正員 吉中 龍之進 阪口 聡
 (株)熊谷組 正員 清水 昭男 新井 元
 (株)熊谷組 正員○加藤 恵三

1. はじめに

不連続面のせん断に対するロックボルトの補強効果として軸力効果およびせん断効果が挙げられるが、これらはボルトの変形状態によって変化すると考えられる。このため、せん断によるロックボルトの変形を把握することは、不連続面におけるロックボルトの補強効果を考える上で重要な課題となる。

本研究では、ロックボルトの変形特性を明らかにするため、せん断試験による不連続岩盤中のロックボルトの変形挙動について観察および検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いた供試体の形状寸法を図-1に示す。実験パラメータとして、ロックボルト径(D10, 13, 16), ボルト設置角(45, 90, 135°), モルタル軸圧縮強度(150, 250 kg/cm²), 垂直応力(0~60 kg/cm²), 初期ダイレイタンス角(0, 10, 20°)を与えた。載荷は、平面ひずみ状態を保ち、不連続面の垂直応力が一定となるようにして行った。

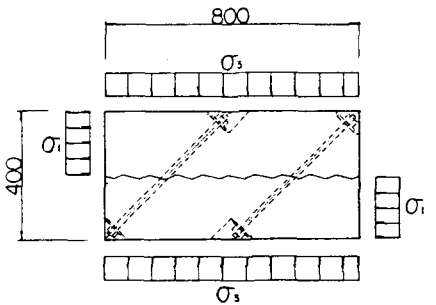
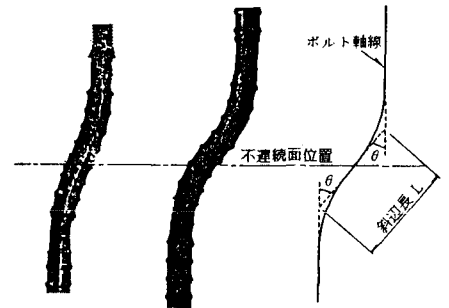


図-1 実験供試体

3. ロックボルトの観察

せん断試験後の供試体からロックボルトを取り出し、写真撮影および変形形状の測定を行った。図-2(a)に撮影したボルトの写真を、(b)に測定方法を示す。ボルトの形状を図のように3本の直線で表し、斜辺の長さL(以後斜辺長と称す)と傾斜角 θ (曲り角)を計測する。ここで、斜辺長はほぼボルトの最大曲率点間の距離を表し、曲り角は不連続面上でのボルトの曲り角度を表している。

図-2 (a)供試体から取り出したボルト
(b)ボルト変形の測定

4. 実験結果および考察

斜辺長に影響を及ぼす実験パラメータとして、ロックボルトおよびモルタル軸圧縮強度が得られた。図-3にそれぞれの相関を表すグラフを示した。左図より、ボルト径が太くなるに連れ斜辺長が長くなる傾向が見られる。このことはボルト剛性が大きくなるとともに、不連続面から最大曲率点までの距離が大きくなることを表している。同右図から、モルタル軸圧縮強度が大きくなると斜辺長は逆に小さくなることわかる。これは、一軸圧縮強度の増加に伴い変形係数も増加し、ボルトの変形を抑える働きが強くなるためと考えられる。これらの現象は、地盤に打ち込まれた杭の水平力に対する変形理論¹⁾と同様の傾向にある。すなわち、ボルトに相

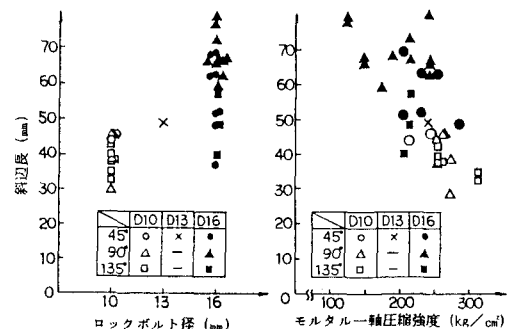
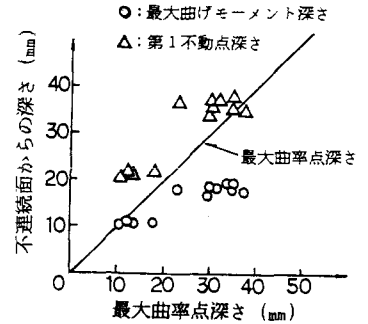


図-3 斜辺長とロックボルト径およびモルタル強度の関係

当する杭の剛性が増大し、モルタル強度に相当する横方向地盤反力係数が減少すると、ボルトと同様杭の最大曲率点深さは大きくなる。このことは、杭の特性を表す剛性および特性値 β ($\beta = \sqrt[4]{kD/4EI}$, k = 横方向地盤反力係数, D : 杭径, EI : 杭の剛性) の式にあてはめて計算した値が、それぞれ斜辺長と正の相関を持つことから裏付けられる。さらに、杭の特性値 β から求めた最大曲げモーメント深さ ($\pi/4\beta$) および第1不動点深さ ($\pi/2\beta$) と最大曲率点深さとの関係を図-4に示す。計算によると、最大曲率点深さは最大曲げモーメント深さと第1不動点深さとの間に位置している。

次に、曲り角に影響を与える実験パラメータとして、せん断変位とボルト設置角が得られた。図-5にそれぞれの相関を表すグラフを示す。左図より、不連続面のせん断変位が増加するに連れ、ボルトの曲り角が大きくなる傾向が見られる。また同右図からは、ボルト設置角が大きいつき曲り角度が大きくなっていることがわかる。



5. ボルト変形のメカニズム

ロックボルトの変形を斜辺長と曲り角によって表現し、それぞれの変型パラメータに影響を与える実験要因について相関を調べ、考察を行った。ここでさらに、最大曲率点深さに着目し、曲り角との関係を調べた。図-6にそのグラフを示す。これによると、曲り角と最大曲率点深さには負の相関が見られる。すなわち、せん断が進行しボルトの変形が大きくなると、それに伴って曲り点の位置が不連続面に近づくことを示している。

図-4 最大曲率点深さ（実測値）と最大曲げモーメント深さおよび第1不動点深さ（計算値）の関係

これら一連の分析結果から推察されるボルトの変形過程の模式図を、図-7に示す。図中、せん断初期の段階においては杭の弾性理論を適用することができ、ボルトの曲げモーメントおよび変位は弾性解として得られる。せん断が進行すると、モーメント最大点においてボルトが降伏し、その近傍での塑性化が起こる。ボルトの変形に伴い周囲のモルタルが破壊され、不連続面付近でのボルト軸力が増大し、伸びが顕著に現れる。図に示すように、モーメント最大点が塑性ヒンジとなり、クランクの支点のような働きを示すようになる。ボルトの斜辺が回転運動をするとともに、斜辺が軸力によって伸ばされることから、モーメント最大点の軌跡は図のような楕円形を描くものと考えられる。

ここで紹介したボルト変形のメカニズムは実験結果から推察したものであるが、弾性論の範囲を越えているため理論的証明は困難である。本論文では塑性域を弾性域の延長と考え、ボルトの塑性変形挙動を解明しようと試みた。ボルトの変形特性を定量的に把握するためには、なお研究を深めていく必要があろう。

参考文献

- 1) 杭基礎の設計法とその解説，土質学会編，1985，p.406～p.411.

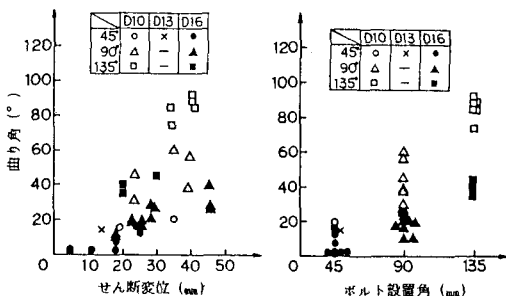


図-5 曲り角とせん断変位およびボルト設置角の関係

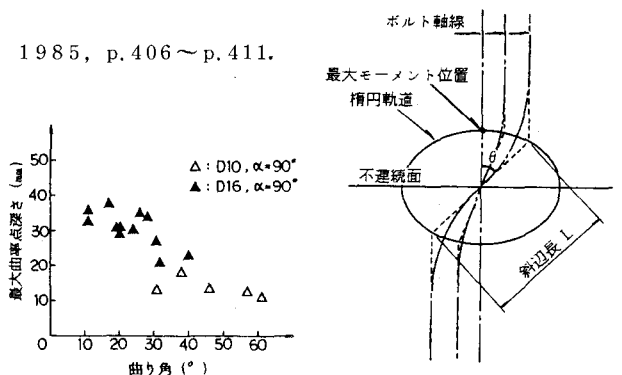


図-6 最大曲率点深さと曲り角との関係

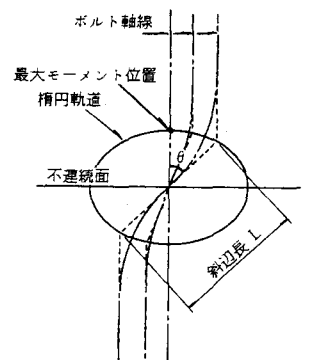


図-7 ボルトの変形過程