

東急建設機技術研究所 正員 〇 鄭 光司  
 熊本大学 工学部 正員 尾原 祐三  
 名古屋大学 工学部 正員 市川 康明  
 名古屋大学 工学部 正員 川本 暁乃

1. はじめに

ロックボルトの作用効果は対象とする地山の性質により異なると考えられるが、地山の3軸的な拘束効果を期待する場合、ロックボルトと注入されたグラウトおよび地山間の付着特性が重要な問題となる。ロックボルトの付着力は地山とロックボルト間の相対変形により発揮されるが、付着のメカニズムはロックボルト、地山およびグラウトの力学性状、鉄筋の形状効果、着目する変形量に支配されて極めて複雑である。しかし、付着効果を解明することはロックボルトのモデル化等を行なううえで極めて重要であると考えられる。このようなことから、以下に示すロックボルトの押抜き実験および有限要素法による解明を試みた。

2. 実験概要

実験は図1に示すような直径120mm、高さ200mmの円柱形岩石供試体(大谷石)の中央を穿孔し、ロックボルトを挿入してグラウト(セメントモルタル)で固め、ロックボルトを3軸セル内で頭部から押抜くことにより行なった。実験の種類として、鉄筋径(φ13, φ19)、鉄筋の形状(異形、丸棒)、岩石供試体のポアホール径、および岩石に作用させる拘束圧力(0~20 MPa)の4つのパラメータを変化させて行なった。鉄筋の押抜きには高剛性圧縮試験機(最大100t)を用い、変位制御により載荷した。なお、鉄筋下端はフリーな構造とし、自由に押抜けるようにした。

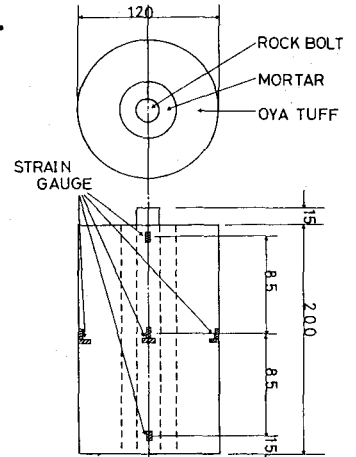


図1 供試体の概要

3. 実験結果

図2、図3、図4に、それぞれ岩石供試体の拘束圧力を変化させた場合のピーク強度、残留強度、平均せん断応力 $T_p$ の関係を示す。岩石のポアホール径はすべて27mmである。ここで $T_p = P / 2\pi r l$ である( $P$ :ピーク強度、 $r$ :鉄筋半径、 $l$ :ロックボルト長)。図2、図3より、拘束圧力に対するピーク強度および残留強度の増加率(曲線の増加率)が異形鉄筋と丸棒鉄筋とで異なり、鉄筋のふしにより鉄筋の拘束力がより大きく発揮されることも

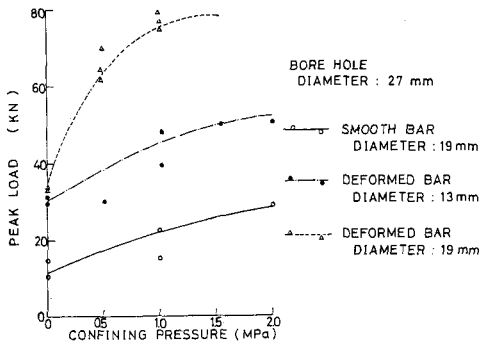


図2 ピーク強度と拘束圧の関係

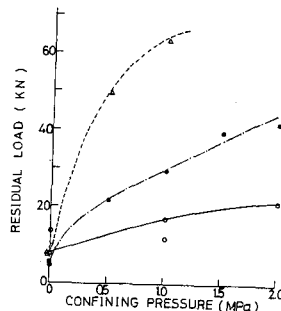


図3 残留強度と拘束圧の関係

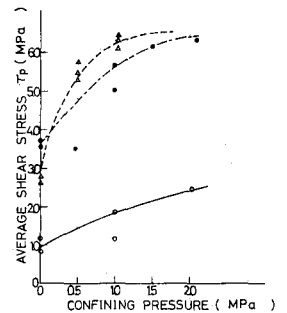


図4  $T_p$ と拘束圧の関係

に、鉄筋とモルタル間のせん断挙動が変化することが判る。また、図4より、拘束圧力に対する鉄筋のピーク強度時における平均せん断応力は鉄筋径によらないが、異形鉄筋と丸棒鉄筋とは全く異なる。このことは変形挙動に対しても言える。図5(a), (b), (c)は拘束圧力を0, 0, 20 MPaと変化した場合の荷重-鉄筋頭部変位曲線とそれぞれのピーク強度で正規化したものである。拘束圧力の増加に伴ないピーク強度時の鉄筋頭部変位量が異形鉄筋ではいずれも増加しているが、丸棒鉄筋では変化が小さい。ただし、いずれのケースにおいても拘束圧力の増加に伴ないピーク強度に対する残留強度の比が増加していることが認められる。以上のことから、異形鉄筋の付着特性は図6に示すような鉄筋のふしの下部に生ずるくさびのせん断による構造的なダイレイタニシーに大きく支配されることが考えられ、ロックボルトに強力な拘束力を与えることが予想される。このことは実験後の供試体の破壊状況からも観察され、ロックボルトの作用効果に大きな影響を与えていると思われる。

#### 4. 解析結果

図7にボアホール径が60mmの場合の軸対称弾塑性解析結果を示す。弾塑性モデルは供試体の三軸圧縮試験結果を用いた

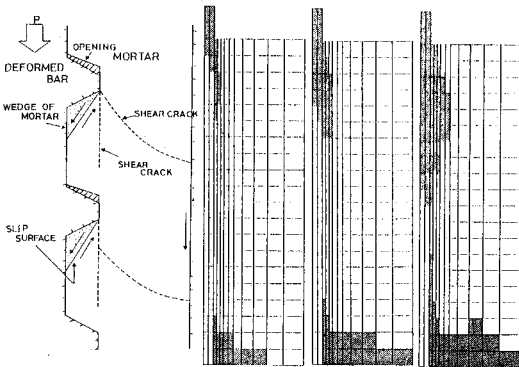


図6 ふしによる拘束効果

図7 塑性領域進展図

構成式を使用した<sup>1)</sup>。図より、グラウトの塑性域が鉄筋-グラウト境界に生じ、そこで卓越したすべりが生ずることがわかる。このようすべりは実験によっても観察された。図8(a), (b)に岩石の弾性係数を18,000 kg/cm<sup>2</sup>に固定し、グラウトの弾性係数を6,000, 32,000, 100,000 kg/cm<sup>2</sup>と変化させ、鉄筋頭部に4,000 kgfを作用させた結果を示す。ここで $\sigma_m$ は平均応力 $\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ 、 $\sigma_b$ は最大せん断応力 $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$ である。図より、グラウトが岩に比べて弾性係数が低いときには鉄筋全体にほぼ一様な力の伝達が見られ、並にグラウトが固いときにはせん断応力は鉄筋上端付近に集中する傾向がみられることがわかる。

#### 参考文献

1) 大橋市川, 尾原, 川本, 大谷の弾塑性挙動と三軸圧縮試験のシミュレーション; 第18回土質工学研究発表会講演集

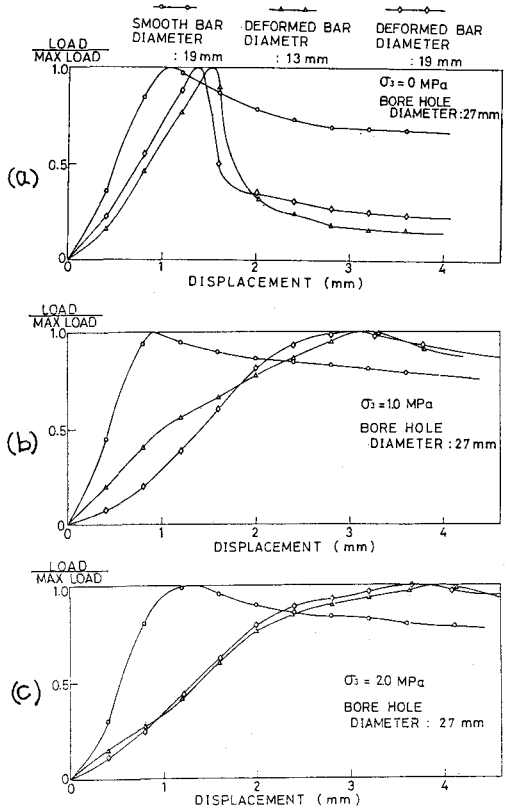


図5 荷重-鉄筋変位曲線の正規化した曲線

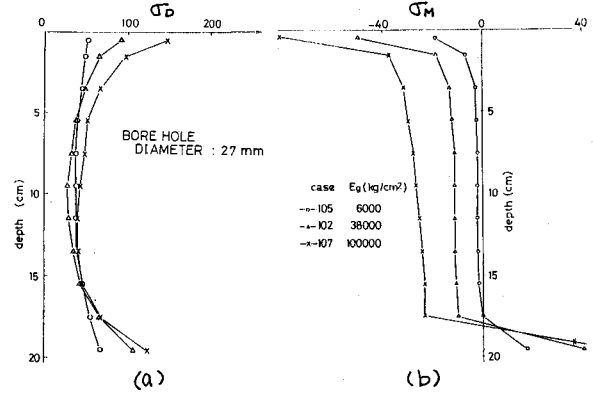


図8 平均応力 $\sigma_m$ と最大せん断応力 $\sigma_b$ の弾性解析結果

構成式を使用した<sup>1)</sup>。図より、グラウトの塑性域が鉄筋-グラウト境界に生じ、そこで卓越したすべりが生ずることがわかる。このようすべりは実験によっても観察された。図8(a), (b)に岩石の弾性係数を18,000 kg/cm<sup>2</sup>に固定し、グラウトの弾性係数を6,000, 32,000, 100,000 kg/cm<sup>2</sup>と変化させ、鉄筋頭部に4,000 kgfを作用させた結果を示す。ここで $\sigma_m$ は平均応力 $\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ 、 $\sigma_b$ は最大せん断応力 $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$ である。図より、グラウトが岩に比べて弾性係数が低いときには鉄筋全体にほぼ一様な力の伝達が見られ、並にグラウトが固いときにはせん断応力は鉄筋上端付近に集中する傾向がみられることがわかる。