

東急建設(株) 技術研究所 正員 福井 康
 正員 西岡 哲
 正員 広井 恵二
 ○正員 鄭 光司

1. はじめに

NATMは、硬岩から軟岩に至るまでの種々の地山に対して適用され、施工実績が数多く蓄積されており、一方、ロックボルトの作用効果に関しても、対象とする地山の性質や他の支保部材、例えば吹付コンクリートとの関連において、さまざまな実験・研究がなされている。ロックボルトは、その構造的特性により地山との相互作用が支保効果に大きく影響するものと考えられるが、既往の研究では地山とロックボルト間の力のやりとりを、主としてロックボルトの付着・せん断抵抗を介してとらえたものが多く、ロックボルト頭部での力の伝達作用、即ちベアリングプレート(以下プレートと呼ぶ)の影響を考慮したものは少ない。しかしながら実際のトンネルでは、プレートの損傷が少なからず見うけられ、また、模型実験においてもプレートの支保効果が大きいことが指摘されているなど¹⁾²⁾、プレートのより積極的な利用の可能性が示唆されている。本報では、上記のようなことから、プレートの地山安定に及ぼす効果に着目し、模型実験を行なったので報告する。

2. 実験の概要

実験は図-1に示すように、ロックボルトとプレートをセットした一辺250mmの立方体試体(フライアッシュモルタルで作製)を上部からラムスレーで加圧することにより行なった。ロックボルトとプレートの定着状態を図-2に、試体の強度・変形特性を表-1に示す。試体の面側方は剛な拘束板により変形が拘束されており、ロックボルト打設方向と載荷面のみ変形が可能である。ロックボルトとプレートは両面に同じく配置されており、そのパターンは一面あたり25本、16本、9本、4本、無支保の5種類とした。プレートの形状は、一辺の長さが3mm、2mm、1mmの3種類で、厚さ1mmのアルミニウム製正方形板である。ロックボルトは、φ3mmの全ねじのアルミニウム4棒である。載荷は変位制御方式とし、載荷速度は最大強度に達するまでは鉛直変位速度0.4mm/sec、最大強度以後は4.0mm/secで行なった。実験は表-2に示すようにロックボルト長、ピッチ(プレート配列)、プレートの大きさを変えて行なった。

3. 実験結果と考察

図-3に載荷応力-水平方向(ロックボルト打設方向)変位曲線を示す。図より、ロックボルトと同様にプレートも地山の最大強度および残留強度の増大に与える効果は顕著であり、降伏後の地山の変形係数も同様に、支保材の増加によって増大していることがわかる。また、5-3、5-2にみられるように、ロックボルト数が多く、かつプレートの形状が大きいときには最大強度以降、明瞭な強度劣化・軟化を示さず強度を維持することは興味深い。図-4にロックボルト打設パターンをパラメータとした場合の残留強度係数(

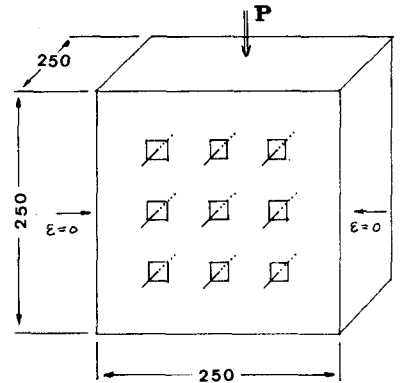


図-1 試体の概要

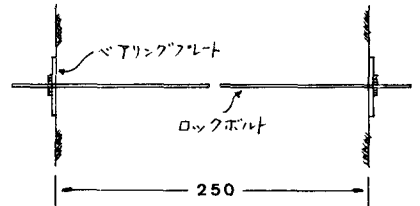


図-2 定着の状況

表-1 地山の物性値

一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
7.9	21	2.2	1020
?	?	?	?
8.4	32	2.9	1140

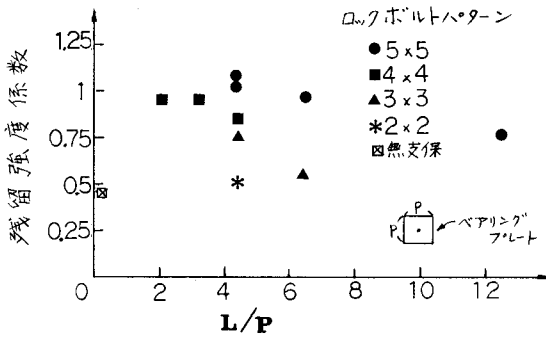


図-4 残留強度係数とL/Pの関係

水平方向に供試体が2%変位したときの残留強度と最大強度との比)とL/P(ロックボルト長Lとプレート寸法Pとの比)の関係を示す。ロックボルト数が多ければ、残留強度係数が大きいのは当然のこととして、地山塑性後の強度保持は、ロックボルト長のみならず、プレートの寸法との関連を同時に考慮する必要があることを示唆しているものと考えられる。図-5に、荷重強度比(最大荷重 P_0 と地山の一軸圧縮強度 σ_u と除した値)とL/ δ (δ :隣接するプレートの総間隔)の関係を示す。硬岩におけるLongらの実験では、L/ δ が2~3以上必要との結果を得ているが、本実験のように塑性流動が問題となるような地山の場合においても、L/ δ の増加に伴い地山強度の増大がみられることは、軟岩の領域におけるプレートの有効性を表わしていると思われる。図-6にプレート面積とロックボルト頭部軸力の関係を示す。傾向としてプレート面積が大きい程、頭部軸力が増大し、地山に対する三軸拘束効果が、より発揮されることがわかる。このことは、プレートの存在によってロックボルト自身の支保挙動が変化することを意味していることを示しているが、その例として図-7にプレートの面積を変化させたときのロックボルト軸ひずみ分布を示す。図は、地山の变形量が同一である箇所のひずみを示しているが、プレート面積が大きくなるに伴い、軸ひずみエネルギーの増大と、ゆるみ領域の位置が供試体の壁面から75mmから50mmに変化していることがわかり、プレートがロックボルトの支保効果をより良好に発揮させることが認められる。

参考文献 1)西畑・広井・前田:「支保状態の違いによるトンネル挙動に関する模型実験」37回土木学会大会 2)安井:「粘土中のロックボルトの補強効果に関する実験結果と考察」建設機械新報社セミナー 3)土屋:「システムロックボルトの岩盤補強効果に関する基礎的実験」同上

表-2 実験の内容

供試体名	ボルト数	ボルト径	プレート形状
無支保	なし	なし	なし
2-3	2×2	12.5mm	3cm×3cm
3-3	3×3	12.5	3×3
4-3	4×4	12.5	3×3
5-0	5×5	12.5	なし
5-1	5×5	12.5	1×1
5-2	5×5	12.5	2×2
5-3	5×5	12.5	3×3
4-3-6	4×4	6.0	3×3
5-0-9	5×5	9.0	なし
5-3-9	5×5	9.0	3×3

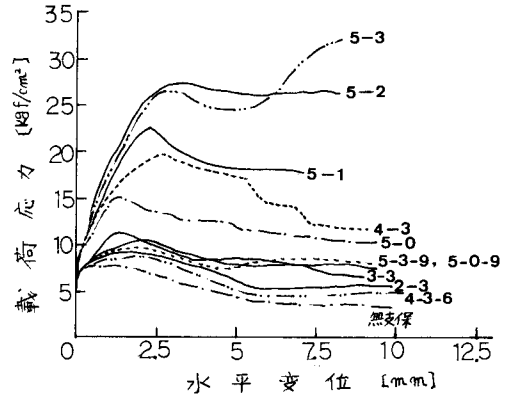


図-3 載荷応力-水平変位曲線

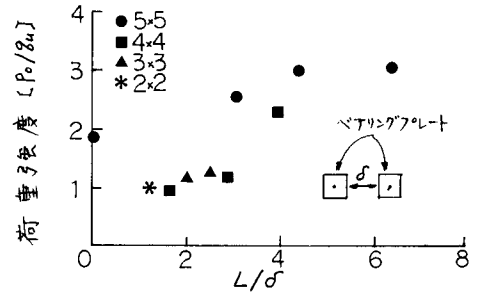


図-5 荷重強度比とL/δの関係

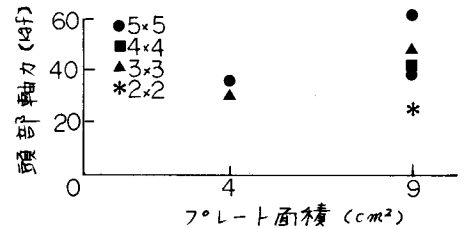


図-6 頭部軸力とプレート面積の関係

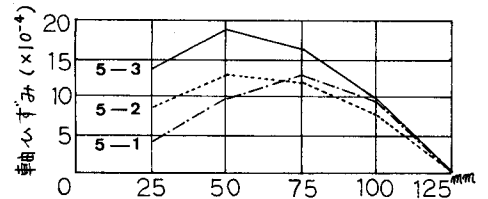


図-7 ロックボルト軸ひずみ分布