

III-170 支保状態の違いによるトンネルの挙動に関する模型実験(その2)

(ロックボルトの支保効果に関する一考察)

東急建設 技術研究所 正会員 西岡 哲

" " ○広井 恵二

" " 前田 強司

1. はじめに

前報において¹⁾、固結度の低い地山を対象としたトンネル模型実験(実験Ⅰシリーズ)の結果を報告した。Ⅰシリーズの結果、ロックボルトの支保効果について次の結論を得た。①ロックボルトは、地山が塑性流動化するのを阻止する働きが認められる。②ロックボルトのベアリングプレートは、地山の残留強度を改善する上で重要な役割をはたしている。③吹付けコンクリートとロックボルトを併用する場合、おのおのの変形特性を合せる工夫をしないと、互いの効果を重ね合せるような効果は発揮されない。

本報では、Ⅰシリーズの結果をもとに、固結度の低い地山におけるロックボルトの支保効果を論じる上で、ベアリングプレートの存在(形状)が重要な役割をはたしていることに着目し、実験Ⅱシリーズとしてベアリングプレートの形状・ロックボルトの打設本数および長さを変えた一連の実験を行ない、本実験範囲内でロックボルトの支保効果に関する知見を得たので報告する。

2. 実験Ⅱシリーズの概要

Ⅱシリーズの実験方法は、Ⅰシリーズと同様、静水圧的荷重を受ける円形トンネルを想定してモデル化し実施した。実験は、2方向等圧載荷としトンネル軸方向変位を拘束し平面ひずみ状態で行なった。試験供試体の形状は、1200(縦)×1200(横)×300(高)mmであり、トンネル部半径(a)は150mmである。主要測定項目は、トンネル内空変位(η)とロックボルト頭部軸力である。ロックボルト頭部軸力は、試作小型ロードセル(容量20Kg)で測定した。地山相当部は、フライアッシュモルタルで作製し、ロックボルトはφ3mmの軟鋼の表面に細砂をエポキシ樹脂で接着し地山との付着が良くなるようにして使用した。表-1に実験Ⅰシリーズの一部とⅡシリーズの実験内容と地山強度特性の一覧を示した。

3. Ⅱシリーズの実験結果

図-1に、ⅡシリーズおよびⅠシリーズの無支保(I-O)とロックボルト支保(I-R)の荷重強度比(P_0/q_u)と内空変位率の関係を示した。ここで荷重強度比(P_0/q_u)とは、地山強度特性の影響を小さくする目的で荷重(P_0)を地山の軸圧縮強度(q_u)で除して無次元化したものである。図-1よりロックボルト打設本数が多くなるにしたがって内空変位率が低く押えられる傾向がみられる。Ⅰシリーズのロックボルト支保(I-R)と比較した場合、Ⅱシリーズの実験結果はいずれも内空変位が低く押えられていて、高い支保効果を示している。これはベアリングプレートの形状の違いが一因と考えられ

注目すべき点である。

図-2にロックボルト頭部軸力と内空変位率の関係を示した。ロックボルト頭部軸力は、ロックボルト打設本数・長さの違いにより異なっ

表-1 実験内容と地山強度特性

シリーズ	分類記号	支保型式	ロックボルト長さ(mm)	ロックボルト打設本数 総数=軸方向×周方向	ベアリングプレート形状(mm)	軸圧縮強度 $q_u(Kg/cm^2)$	弾性係数 $E_{50}(Kg/cm^2)$	粘着力 $C(Kg/cm^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$
Ⅰ	I-O	無支保	注) 素掘り状態のもの			2.60	357	0.93	19.1
	I-R	ロックボルト	150	80=5段×16方向	10×10	2.92	521	0.10	18.2
Ⅱ	Ⅱ-150-80	ロックボルト	150	80=5段×16方向	30×30	2.86	530	0.89	32.0
	Ⅱ-150-48	ロックボルト	150	48=4段×12方向	30×30	1.45	52	0.52	22.5
	Ⅱ-150-24	ロックボルト	150	24=3段×8方向	30×30	2.74	101	0.82	29.7
	Ⅱ-75-80	ロックボルト	75	80=5段×16方向	30×30	2.15	148	0.60	32.9
	Ⅱ-75-48	ロックボルト	75	48=4段×12方向	30×30	1.19	97	0.58	28.5
	Ⅱ-75-24	ロックボルト	75	24=3段×8方向	30×30	3.08	246	0.90	32.4

た傾向を示している。ロックボルト頭部軸力が降伏値に達する時の内空変位率は、長いボルトを数多く打設した方が小さくなっている。

4. 考察

図-3に示したように、ロックボルト打設本数の増加に伴ない支保効果も高くなっているが、ロックボルト長さの比較では、内空変位率が10%程度にならないと、有意差が認められない。

表-2に破壊領域 (R) と荷重強度比の関係を示したが、長いロックボルトを使用した方が破壊領域が小さくなることが解る。ここで破壊領域は、実験終了後のクラック発生領域と定義した。表-3に、ロックボルト頭部軸力が最大値に達した時の支保係数(地山塑性化後の $P_0/qu \sim U/a$ 曲線の勾配)を示した。支保係数は、ロックボルト長の影響は少なく、ボルト打設本数が主要因であると判断される。しかしボルト打設本数と比例関係はなく、打設本数が多くなると支保係数の増加率は低下する傾向にある。

これらのことから、ロックボルトの支保効果について次のように説明できる。長いロックボルトは、高い荷重強度比まで相対的に変形の小さな地山の領域に定着され、ロックボルトに作用する荷重(2次地圧+ゆるみ荷重)とロックボルトのせん断抵抗が釣り合いのとれた状態を維持する。釣り合い状態を維持している範囲内では、ロックボルトの支保効果の支配的要因はボルト打設本数となる。山本は釣り合い状態にあるロックボルト周辺の地山領域を「ブロック化効果」²⁾と定義している。組織的に打設されたボルトは、トンネル周辺に連続した「ブロック化効果」の領域を形成し、トンネルの安定を図ることになる。したがって、ボルト打設密度が粗であればロックボルトの支保効果は小さく、過密であれば支保効果の増加割合は鈍てくるとい結果になる。

ベアリングプレート大型(30×30mm)にした場合、トンネル壁面における地山の崩壊を防ぎ(三軸拘束効果)、1本あたりのロックボルトにより形成される「ブロック化効果」の領域を増大させる結果になると思われる。

5. まとめ

1. ロックボルト長は、ボルトに作用する荷重と釣り合いのとれるせん断抵抗が得られる長さが必要である。2. ロックボルトは、トンネル周辺に連続した「ブロック化効果」の領域が形成される密度で打設する必要がある。3. ベアリングプレート形状は、ロックボルトの支保効果の主要因の一つであり、大型のベアリングプレートは、1本あたりのロックボルト周辺に形成される「ブロック化効果」の領域を増大させる。

参考文献 1) 西岡・広井・前田:「支保状態の違いによるトンネル挙動に関するトンネル模型実験」36回土木学会大会

2) 山本:「ロックボルトの作用効果について」土木学会論文報告集 第277号

表-2 最大荷重 $P_{0\max}$ と破壊領域

分類記号	$P_{0\max}$ (kg/cm ²)	$U/a=10\%$ 時の P_0/qu	破壊領域 R (mm)	$R/P_{0\max}$ qu
II-150-80	17.0	11.0(推定)	—	—
48	17.0	8.3	240	20.5
24	16.0	2.9	325	55.7
II-75-80	15.0	6.0	230	33.0
48	13.0	5.2	315	48.2
24	11.0	2.9	260	72.8

表-3 支保条件別の支保係数

ロックボルト本数(本)	80		48		24	
ロックボルト長(mm)	150	75	150	75	150	75
支保係数 P_0/qu	0.769	0.650	0.528	0.660	0.509	0.330
本数別支保係数	0.710		0.594		0.320	
24本に対する 支保係数比	2.22		1.86		1.00	

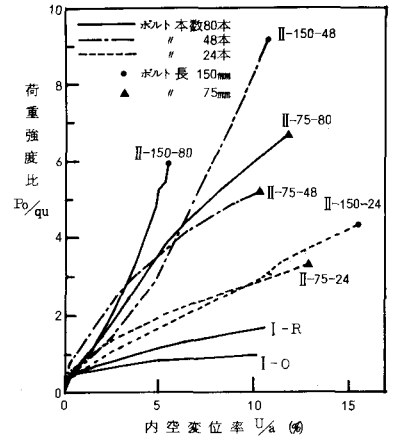


図-1 IIシリーズ実験結果

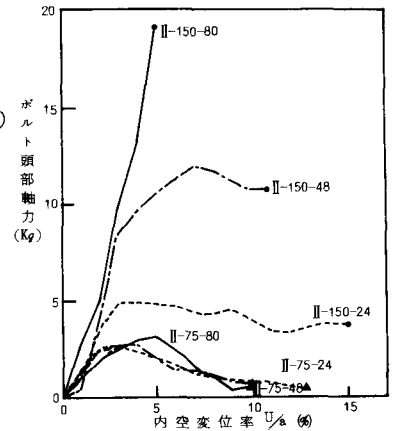


図-2 ボルト頭部軸力と内空変位率の関係

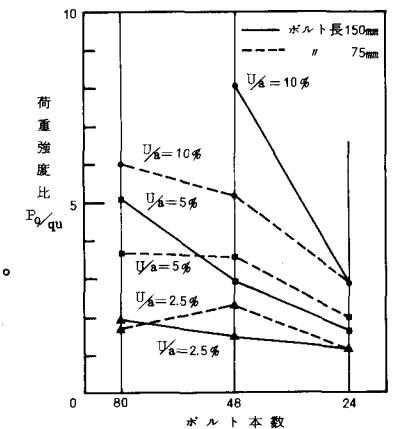


図-3 ロックボルトの支保効果