

日本におけるロックボルトの現況

国鉄 新幹線建設局 工事第一課 正会員 金原 弘

1. はじめに

わが国におけるロックボルトは、外国特にアメリカが約35年の歴史を持つ、というのにくらべ、約15年の歴史しか持っていない。最初、日本ではアメリカ鉱山の非常な成功に刺激され、おもに金属鉱山や炭鉱で試験的に使用されたが、アメリカとは根本的に地質条件が異なる等の理由で、その普及率は低く部分的に使用されている程度であった。また土木のトンネル現場においても支保工は、ほとんど鋼アーチ支保工が使用されており試験的な実施例を除いて、ロックボルトはあまり採用されていなかった。その理由の1つに日本の地質がトンネル工事とする立場からみて非常に複雑で変化がはげしいことがあげられる。しかしながら今後、新幹線鉄道や高速道路の建設に伴って山岳トンネルは増加するであろうし、それらのトンネル建設工事の経済性や施工速度を高めるために、積極的にロックボルトを用いるべきではないかと考えられる。ここでは日本各所で行なわれたロックボルトに関する現場試験について解析を試みる。

2. ロックボルトの施工実績

表1 ロックボルトの施工実績

最近、わが国の鉄道、道路トンネルで使用された施工実績を表1に示す。いずれも安全性を考慮して比較的硬岩地帯のみに限定されているようである。しかしロックボルトを使うことによって、トンネル内の空間を広くと

トンネル名	地 質	ロックボルト 施工延長	型 式	ボ ル ト		間 隔	本 数	記 事
				直 径	長 さ			
西床T	流紋質凝灰岩	572 ^m	接着型	22 ^{mm}	2.0 ^m	12×125 ^m	5425	併用式
相生T	流 紋 岩	53	エクスパン型	—	—	10×12	583	
かし坂T	流紋質凝灰岩	142	エクスパン型	—	—	12×125	1,606	
赤穂T	—	53	接着型	—	1.7	—	500	
安芸T	花 崗 岩	126	エクスパン型	—	2.0	12×15	870	試験
福山T	—	330	—	—	—	—	2200	
備後T	花崗岩・粗板岩	25	—	—	—	—	165	
新庄T	花 崗 岩	128	接着型	—	—	—	400	
竹原T	花崗岩・緑岩	250	エクスパン型	—	—	—	450	
島田T	黒うみ正崗岩	23	接着型	—	—	—	1,620	
笹子T	花崗せん緑岩	30	エクスパン型	19, 22, 25	—	12×12	180	
恵那山T	花 崗 岩	—	接着型	22	1.9	2.0×1.5	126	試験
							70	
							119	
							63	試験
							12	
							12	試験

(注) ① すべて締付け式 ② 46.12.1現在

れること、使用材料が比較的少なくよいこと、覆工コンクリートが地山と密着できる等の利点があり、今後広く使用されるものと思われる。ロックボルトの種類は地山に及ぼす影響によって、①締付け式、②接着式、③併用式 に大別できる。①の締付け式はボルト先端を何らかの方法で地山にアコンカーさせ、ベアリングプレートとナットにより地山を締め付ける方式である。アコンカー型式としてウェッジ型、エクスパンション型、接着型、火薬型等があるが現在のところ主にエクスパンション型、接着型が使用されている。図1にその代表的設計図を示す。②の接着式はボルト全長にわたってセメントミルクや樹脂レジン等を充てんし、地山とボルトと一体化させようとするものである。この方式は一般に締付けは行なわれない。図1にその代表的設計図を示す。③の併用式は1と2を併用したもので地質条件によっては使用されると思うが 現在あまり使われていないようである。ロックボルトで

重要なポイントはそう入間かくと長さであるが、その決め方について一般に認められた標準的な方法ではなく、経験や実績により行なわれているのが現状である。土木学会のトンネル標準示方書では一定の目安として、そう入間かく及び長さについて次のように定めている。 $L \geq 2a$ ただし $a \leq 1.5m$
 L : ロックボルトの長さ、 a : そう入間かく

3. ロックボルトに関する試験

従来使われていた鋼アーチ支保工に代って理論的に異なるロックボルトを使用する場合に当然多くの試験が行なわれた。それらの試験結果について報告したいと思う。

3.1 ロックボルトの引抜き試験

締付け式のウエスタンカー形式がエクスパンション型と接着型ロックボルトについて、引抜き試験を各トンネルで行なったが、その試験内容を表2に試験結果を図2に示す。これからエクスパンション型と接着型とでは荷重-変位関係で大きな相異があることがわかる。地質や施工法にもよるがエクスパンション型は変位が大きく、荷重と変位は不安定である。その原因としては、①ボルトのセルと孔壁のすべり、②ボルトプラグの変形によるセルとのすべり、③セルが孔壁に食い込むことにより生じるセルとプラグとのすべり、④ボルト自体の伸び等が考えられる。一方接着型の場合は変位量も少なく5mm位の変位で10~15tの荷重と受けても破壊は生じない。しかし接着型の場合は、硬化時間が10分以内であるとわずかの荷重で抜ける場合が多い。ボルト径とさ、孔径の間隔はこれらの試験結果から次のような実験式となる。

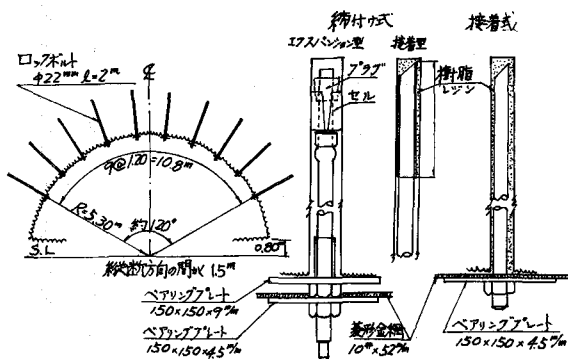


図1 ロックボルト標準設計図

トンネル	地質	エクスパンション型				接着型			
		孔径	セル径	セル厚	本数	孔径	セル径	セル厚	本数
相生T	赤紋岩	40	22	20	4	28	22	20	6
島田T	黒い花崗岩	38	40	17	20	28	30	22	20
箕子T	花崗岩	38	44	19	25	20	9	28	30
恵那山T	花崗岩	38	22	19	8	28	22	19	8

表2 引抜き試験内容 (締付け式)

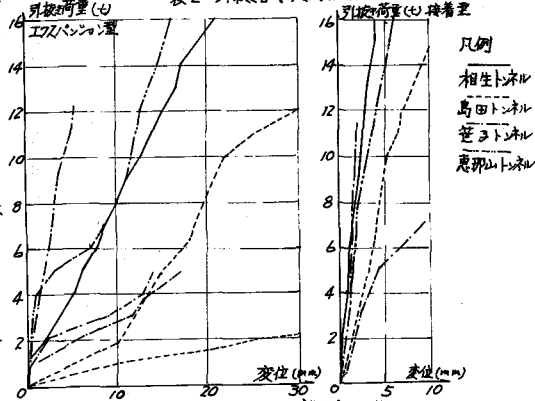


図2 引抜き試験結果

・エクスパンション型の場合

$$D = d_1 + (2 \sim 6) \quad \begin{matrix} D: \text{さ、孔径 (mm)} \\ d_1: \text{セル最大径 (mm)} \end{matrix}$$

次にエクスパンション型、接着型の施工法についてその特徴を述べてみる。

・エクスパンション型の場合

- ①そう入は簡単だが、そう入する際アンカー部が破壊しやすく定着性にバラつきがある。
- ②変位が大きく2~3tの荷重で大きくすべるので、4t以上の締付け力が必要である。

・接着型の場合

$$D = d_2 + 6 \quad d_2: \text{ボルト径 (mm)}$$

・接着型の場合

- ①攪拌時間は回転速度100~180 r.p.mで30~60秒が適当である。
- ②硬化時間は10分以上必要である。
- ③締付け力は4t以上必要である。

3.2 締付け荷重の経時変化と地山のゆるみに対する拘束効果

締付け荷重の経日変化はエクспанション型、接着型とほとんど相異なかったが、いずれも締付け後の荷重低下がみられた。図3は3つのトンネルの締付け荷重経日変化を示したものであるが、締付け後2-3日後ある程度荷重が減り、その後は比較的安定している。各々の損失荷重は1t〜3tとなっている。(表3参照) さてこれらの荷重損失の原因として次のことがあげられる。

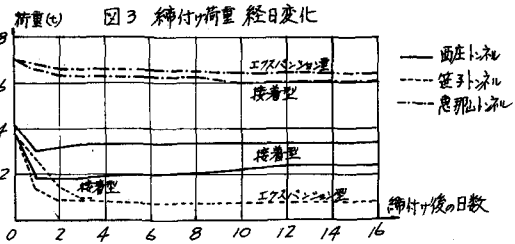


表3 各トンネル損失荷重

項目	西庄T	笹子T	鬼那山T
締付け荷重(t)	4	4	7
切羽 1/4m 距離 平均時	15	2	—
損失荷重(t)	1	3	1
備考	発破	発破	R.T.M

- ① 発破やさつ孔の振動により、生じる岩盤とベアリングプレートとのゆるみ
- ② 岩盤とベアリングプレートのなじみによるゆるみ
- ③ アンカー部のゆるみ

このうちさつ孔中の荷重変動について西庄トンネルで試験したが、8日によるさく岩機で切羽より18m離れの位置にて

±200kgの荷重変動があった。発破による振動は瞬時であるためそれによるゆるみは微少と考えられ、むしろさつ孔中の連続的な振動が大きな影響を与えるのではないかと考えられる。従って、振動等によってベアリングプレート等ゆるまないような改良が必要となるとくる。最近、その辺を考慮し、球面状のベアリングプレートやワッシャーが使用されている。

またゆるみによる拘束効果に関しては図4に示すように、ボルト設置位置より切羽までの距離が19.5m(掘さく後6日)になった時、地山変位量が最大となり、その時のロックボルト荷重は約0.5t増加している。これは明らかに拘束効果を現わしているものである。しかしながら比較的ゆるみから早く発生するような地質の場合、ロックボルトは切羽付近で取付けなければならぬが、さつ孔、発破の振動による影響が大きく、荷重が損失すればゆるみに対する拘束効果は期待できないであろう。従って、やはりベアリングプレート等の締付け部について研究を進めていく必要があると考えられる。

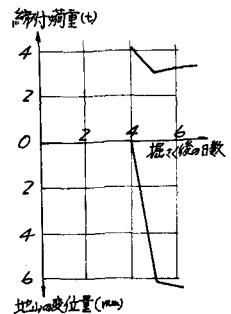


図4 ゆるみにお拘束効果

3.3 ロックボルトの地山に対する締付けの影響

ロックボルトを締付けることにより、地山にどのような影響を及ぼすか、次のような試験が鬼那山トンネルのトンネルボーリングマシンで掘さくした坑内で行なわれた。その試験方法は図5に示すようにトンネル側壁に多変伸縮計を設置し、これを中心にして十字状に30cm間かくで3本ずつ計12本のロックボルトをさそうし、図6に示すロックボルトの番号に従って1本ずつ順次に締付け、その時の地山の伸縮を測定しようとするものである。締付け荷重は才1回が7t、才2回が15tでボルトはφ22mmの接着型である。その結果大体的なことがいえる。

- ① 記録される伸縮量は極めて小さく最大0.12mm程度である。少ない理由は測定地質の割れ目は少なく、割れ目も密着してゐるためと考えられる。いま、地山の弾性係数を $5 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ 、平均応

力 30 kg/cm^2 が作用したと仮定すると、長さ 2 m の地山の伸縮は 0.012 mm となり、少なくとも弾性ひずみの 10 倍程度のひずみ量が地山に働いたことになる。

- ② ロックボルトの締付け荷重を増加すると地山の伸縮量も増加する。
- ③ ロックボルトアンカー付近の地山の伸縮量が比較的大さい。
- ④ ロックボルトに近い地山ほど伸縮量は大さい。
- ⑤ ロックボルトから 60 cm 程度離れたところから締付けの影響が出る。

ロックボルトを締付けるとき地山に一樣な応力を与えることにより、締付けの最大の効果が得られるものと考えられる。今回の試験では地山に必ずしも一樣な応力が発生したのとは考えられない。今後同様の試験を数多く行い、ロックボルト締付けによる地山がどのような挙動をするか調査研究する必要がある。

3.4 ロックボルトの長さを決定する地山のゆるみ量

ロックボルトの長さの決定は地山のゆるみ深さを算定することが困難なため、トライアルで適切な寸法を決めていくのが現実である。しかし、今後ロックボルトを使用するにあたり、そのアンカー部と地山のゆるみ範囲内にとどめるか、範囲外にまで到達させるか、地山の強度、岩塊の強度、き裂、トンネルの大きさ等の状況でその長さを的確に決めていく必要がある。地山のゆるみ量を知る方法として、島田トンネルでは弾性波探査により山のゆるみ範囲と約 1 m とし、その範囲外に定着させる必要上ロックボルトの長さを 2 m としている。地山は新鮮でギレツの少ない黒雲母花崗岩からなり、ゆるみ部分の弾性波は $1.0 \sim 1.5 \%$ 、基盤では $5.0 \sim 5.7 \%$ あった。一般的にトンネル中以上のゆるみ量が発生する地山には、経済性、施工性からロックボルトは使用できないので必ずからその長さも限られてくるものと考えられる。

4. おわりに

以上、ロックボルトに関する試験結果について述べたが、今後さらに岩盤のゆるみ量、締付けによる岩盤のひずみの変化と岩盤のゆるみに対する拘束効果等の因果関係と理論的、実験的に追求していく必要があると思う。 以上

参考文献

1. 土木学会 トンネル標準示方書
2. 日本道路公団 トンネル工事のロックボルト工に関する調査試験報告書（昭和44年3月）
3. 高速道路調査会 ロックボルト工の現地における調査試験報告書（昭和45年2月）
4. 鉄道技術研究所 他4名 ロックボルトの効果に関する実験的研究
5. 滋谷 他4名 島田トンネルにおけるロックボルトの実験

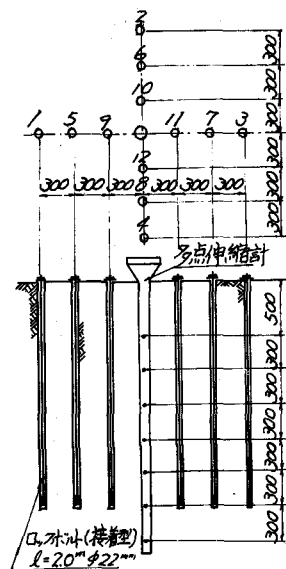


図5 測定方法

The Rock-Bolting System in Japan

Hiroshi Kimbara

Japanese National Railways

Mountain tunnels are being constructed on an unprecedented scale throughout Japan. And supports used in the tunneling works are mostly steel arch type ones.

There are few cases where rock-bolts are employed, and even these cases on an experimental basis.

One reason why rock-bolts have not been used in Japan, is that geological conditions are extremely complicated and fluctuate in respect to tunneling operations.

However, it is desirable that rock-bolts are used more positively to speed up construction schedules, and to decrease construction costs, for coping with the enormous amount of tunneling works in the near future.

In recent years, rock-bolts are being used at some railway, highway and waterway tunnels together with the coordinative tests. When rock-bolts which are theoretically different from steel arch supports, are to be used in place of steel arch supports, it is reasonable that a number of tests should be conducted.

The former half of this paper describes the actual application of the rock-bolt method in Japan, and the latter half the results of various tests carried out by several research institutes for its practical use.