

(77) 膨張型鋼管ボルトによる岩盤支保

(株) 青木建設

正会員 吉田 一 男

〃 土木本部設計部

正会員 河上 英 二

〃 技術開発センター

正会員 ○ 永井 哲 夫

1. はじめに

表1 システム諸元

ボルト本体	外 径	25.5mm (膨張前) 41.0mm (完全膨張後)
	肉 厚	2.0mm
	重 量	1.9kg/m
高圧水発生ポンプ	寸 法	32cm×30cm×12cm
	重 量	27kg
連 結 ホース	要 空 気 圧	5kg/cm ² 以上
	最大発生水圧	300kg/cm ²

近年、日本において山岳トンネル工法の主流としてNATMが普及され、さらには都市トンネル等にも応用されつつある。このNATMは、ロックボルトと吹付けコンクリート等を主たる支保部材とするものであるが、そのロックボルト工は、従来はモルタル、レジン等の定着材を必要とするために、施工性あるいは定着効果の発揮において、いくつかの課題をかかえている。それらの欠点を解消でき、定着材を用いることなく、迅速にかつ確実に全面で定着可能であるのが、膨張型鋼管ボルトを用いたロックボルトシステムである。

当システムは、スウェーデンで開発され、主に欧米を中心に鉱山およびトンネルで普及されてきているが、日本では導入をはじめた段階である。従来の定着材併用の全面接着方式のロックボルトとは全く異なる定着方式であるため、数々の利点を有するが、若干問題点もあるため適用限界を明確にする必要がある。

そこで、本論文では当システムの概要（構成、施工方法、特徴、定着機構）について述べ、次に現場実験の概要、結果、考察をまとめ、施工実例を挙げ、これらをもとに従来のロックボルトシステムとの比較検討を行い、最後に今後の岩盤支保への適用性についてまとめて報告する。

2. 当システムの概要

2.1 システムの構成

当システムは、ボルト本体、ベアリングプレート、打設ロッド、連結ホース、高圧水発生ポンプより成っている（図1および表1参照）。

2.2 施工方法

施工方法を図2に示す。

2.3 特徴

当システムの特徴をまとめると以下のようになる。

- ①打設後ただちにロックボルトとして岩盤支保効果を発揮する（即効性）。
- ②作業員の技量による定着効果の差異がなく、削孔壁にボルト自体が全面定着するため（従来のモルタル等注入不完全という問題もなく）、高い信頼性を有するロックボルト工が期待できる（信頼性）。

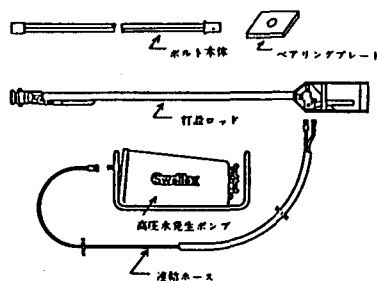


図1 システムの構成

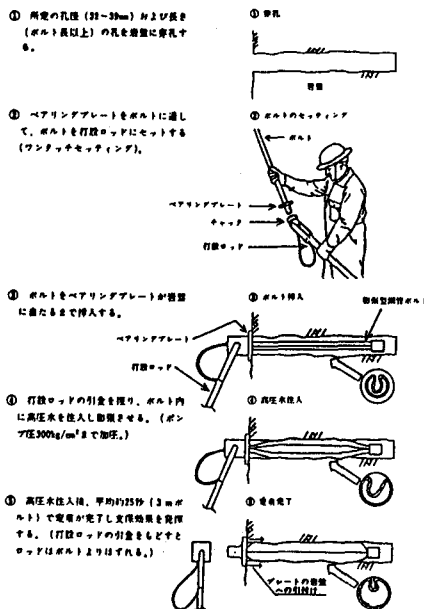


図2 当システム施工方法

- ③作業が簡単で迅速にできるため施工性が向上する（施工性）。
- ④定着材を必要としないため、作業環境が良く、湧水があっても即効性に変化がない。
- ⑤打設と同時にベアリングプレートの締め付けができる。

2.4 定着機構

前記の特徴を有するのは、次に述べるような従来のロックボルトとは異なる定着機構によるものである。

①削孔がボルトから内圧を受けて若干膨孔され、定着完了後に削孔中心方向に収縮する。このとき、ボルトは図3のように岩盤から収縮圧（ q ）を受けた状態でバランスする。この収縮圧によりボルトと岩盤との摩擦抵抗が増大し岩盤を拘束する。

②高圧水（300kgf/cm²）により厚さ2mmの鋼管ボルトを岩盤に圧着させるため、削孔壁の不規則な形状にある程度なじみ岩盤を拘束する（図4）。

③ボルトは図2に見られるように中央部から膨張を始め定着を開始する。その際、ボルトの溝のある側とその反対側とは伸び変形特性が異なるために弓なりに膨張する。そのためボルトは軸方向に若干引張軸力を受け、ベアリングプレートが岩盤に引きつけられる。

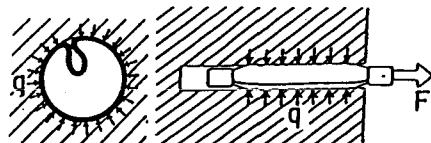


図3 岩盤からの収縮圧

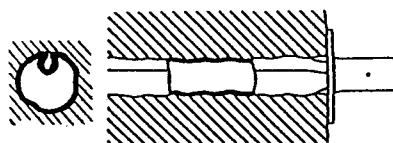


図4 削孔壁へのなじみ

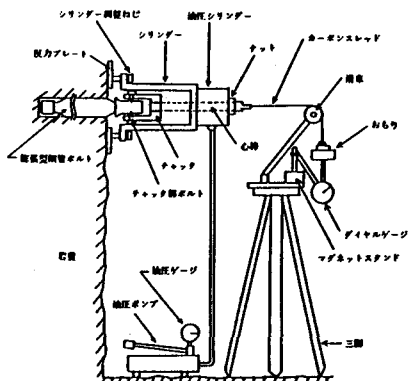


図5 引抜実験概要図

表2 引抜実験結果

試料	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	有効定着長 (m)	定着圧 (kgf/cm ²)	削孔径 (mm)	試験 結果	最終荷重の平均値 と標準偏差 (ton) および、データ数
硬 質 岩	1500	1.3	300	38	打設 直後	$\bar{x}=11.7, s=0.2$ $n=5$ (全て破断)
			250	38	打設 直後	$\bar{x}=11.2, s=0.4$ $n=3$ (1本破断)
			200	38	打設 直後	$\bar{x}=6.6, s=2.5$ $n=3$ (抜け出し)
			300	38	7ヵ 月後	$\bar{x}=11.4, s=0.6$ $n=6$ (全て破断)
		1.0	300	38	打設 直後	$\bar{x}=11.5, s=0.0$ $n=3$ (全て破断)
		0.5	300	38	打設 直後	$\bar{x}=10.2, s=0.7$ $n=3$ (抜け出し)
中 硬 質 岩	600 ~ 1000	2.0	300	32	24ヵ 月後	$\bar{x}=11.8, s=0.4$ $n=8$ (全て破断)
				36	打設 直後	$\bar{x}=11.8, s=0.4$ $n=8$ (全て破断)
		1.0	300	32	打設 直後	$\bar{x}=11.8, s=0.4$ $n=8$ (全て破断)
				36	24ヵ 月後	$\bar{x}=11.8, s=0.4$ $n=8$ (全て破断)

3. 実験

3.1 実験概要および結果

当システムの現場での岩盤支保への適用性を調べる目的で、各種岩盤において現場引抜実験を行った。対象とした岩盤は軟岩から硬岩まで（一軸圧縮強度60~1500 kgf/cm²）とし、実験方法としては、図5に示す装置を用いて実験条件（有効定着長、定着圧、削孔径、経時など）を変化させ、引抜荷重と変位を測定した。ここで得られた結果の一部を表2および図6に示す。

3.2 考察

これらの実験結果を総合すると次のようなことが考えられる。

- ①定着圧を300kgf/cm²以上、有効定着長を1.0 m以上、削孔径はビット径を32~38mm（実削孔径30~40mm）に施工管理すれば、ボルトは軟岩~硬岩（一軸圧縮強度60~1500 kgf/cm²）において十分な定着力を示す。
- ②打設が終了すると同時に十分な定着力を示し、定着力には経時変化がない（短期の経時変化）。
- ③一軸圧縮強度が約100kgf/cm²以下の軟岩の場合、周辺岩盤が膨張圧により影響を受け支保能力が十分発揮されないのではないかと懸念があったが、問題なかった。

4. 施工事例

海外では、ルーフボルトやロックボルトは主に仮設支保部材として取り扱われており、当システムも仮設支保部材として鉱山およびトンネル、地下空洞等に広く普及されている。

しかし、日本では鉱山以外のトンネル、地下空洞等でロックボルトを永久支保部材として取り扱う傾向があるので、鋼管構造のボルトを用いる当システムは腐食や材料強度の点で若干問題となり、仮設支保と考えられる場合に適用が限定されるのが現状である。

従って、鉱山での施工実績は増えつつあるが、トンネルでは先打ちボルトとして施工された例をはじめ2、3の実例ができたところである。そこで、先打ちボルトとして施工された例をここに示す。

適用されたのは砂岩を源岩とする雲母片岩が主体をなす道路トンネルであり、到達側坑口付近の断層破碎帯で切羽の安定のための補助工法として当システムが用いられた(図7および図8参照)。

この施工例では、先打ちボルト工として要求される即効性、施工性、信頼性という条件を従来のロックボルトシステムよりも満足しており、当システムの持つ永久支保部材としての問題点の影響がなかったことが興味深い結果であった。

5. 従来のロックボルトシステムとの対比

ここでは、従来のロックボルトシステムとして全面接着方式のものを取り上げ当システムとの対比を行った結果をまとめて示す。(ロックボルトの定着方式としては、先端定着方式、全面定着方式、併用方式の3通りがあるが、全面接着方式が一般によく用いられる。)これらのシステムの対比を施工観点から行った結果を簡単にまとめると表3のようになる。

次に、ロックボルトとしての岩盤支保効果という観点から行った結果について述べる。ロックボルトは、地山中に定着されるため、地山との相互作用が複雑で、支保効果を検討する上で種々の問題がある。しかし、トンネル周辺岩盤に対する支保効果

表3 施工観点からの対比

システム	セメント型	樹脂型	セメント・樹脂型	新システム
定着材	セメント	樹脂	セメント・樹脂	—
ロックボルト	鋼管 材料 規格 JIS S55C 17.6 長さ (mm) (225)	ワイヤメッシュ 規格 JIS B5501 21.1 (1924)	金網 規格 JIS B5501 25.3 (225)	鋼管 規格 JIS S55C 17.6 (225)
10mm 引張耐力 発揮時間 (時間)	耐圧: 4~6 引張: 7~9	3~4	3~4	瞬時
施工性	スクリュー ドリル で 打設	スクリュー ドリル で 打設	—	—
注入設備	セメントポンプ	—	専用注入装置	専用ポンプ
打込アダプタ	専用	専用	専用	—
施工性	不良	普通	不良	良好
経済性	普通	高い	高い	普通
安全性	普通	不良	普通	高い
信頼性	普通	低い	高い	高い

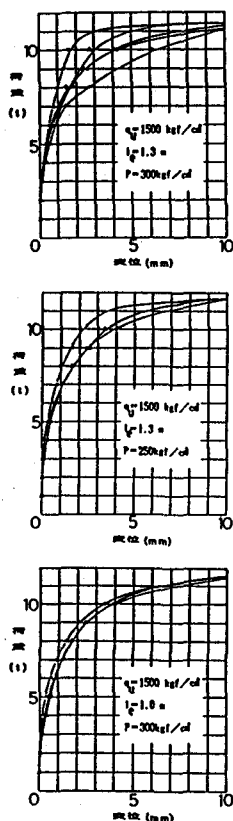


図6 実験結果

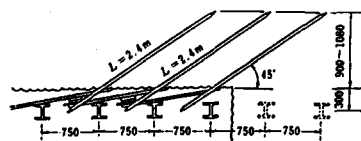


図7 先打ちボルト施工縦断面図

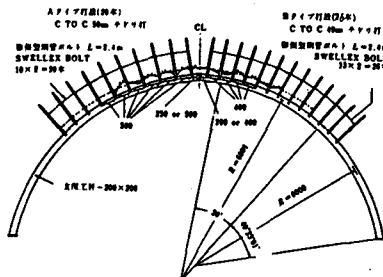


図8 先打ちボルト施工横断面図

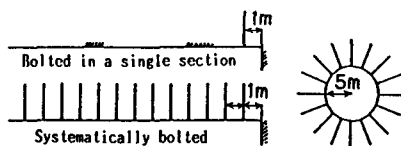


図9 対比の対象モデル

果は、拘束圧を付加して、せん断強度を増加させることにあると考えられる。そこで、ここでは拘束圧を壁面に作用する内圧に置き換えて、従来のロックボルトシステムと当システムの対比を行った。対象とした岩盤は図9に示すように直径10mの円形トンネルである。まず両者のボルト材料の極限強度から算出したパターンボルティングの壁面に与え得る圧力 (p_i) を求めると、図10に示すようである。次に定着材の硬化時間により圧力 (p_i) が時間的变化を伴うことを考慮すると、壁面に与える圧力 (P_i) は次式で得られる。

$$\text{従来システム: } P_i^0 = p_i \left[1 - e^{-\frac{\log(1-0.01x)}{t_1} t} \right] \quad (1)$$

$$\text{当システム: } P_i^n = p_i \quad (2)$$

ここに、 p_i : 使用するロックボルトが壁面に与え得る圧力、 t : 時間、 x, t_1 : 使用するロックボルト材料の極限強度の x % に相当する定着力を発現するまでの時間 t_1 である。ただし、従来システムでは定着材の施工が十分満足できるものであるとして考えた。

(1)、(2) 式で示されるような両システムの拘束力発現に関する相違がトンネルの支保にどのような影響を与えるかを検討する。切羽周辺のトンネルの安定は、縦断面での半ドーム作用と横断面でのリング作用により保たれている。半ドーム作用は、切羽の進行に従い急激に減少する(図11)。従ってリング作用のみでは安定を保てない場合、半ドーム作用の発揮されている間に適切な支保工を施し、リング構造物としての安定を計らねばならない。吹付けコンクリートが岩盤に与える内圧効果も従来のロックボルト同様に効果発現の時間的变化があることを考慮すると、ロックボルトとしては、簡単に、早く施工でき瞬時に拘束力を発揮できる当システムの方が従来のシステムより有効であると思われる(図12)。

6. おわりに

以上、膨張型鋼管ボルトを用いたロックボルトシステムの概要、実験、施工実例をまとめ、施工および作用効果という観点から従来のロックボルトシステムとの対比を行った。これらのことから、高圧水発生ポンプの作動圧および削孔径を管理すれば、仮設支保として軟岩から硬岩まで広く適用でき、腐食対策を行えば永久支保として有効に適用できるようになると思われる。当システムは従来のシステムにはない概念を応用したものであり、その施工性、即効性、信頼性などを考慮すると今後これらを有効に生かした用途ならびに応用した技術を検討する必要がある。

参考文献

- (1) 畠, 谷本, 木村; トンネル切羽周辺の岩盤の変形とロックボルトの作用効果, 第12回岩盤力学シンポ, 1980.
- (2) 長野, 高木; ロックボルトの引抜試験, トンネルと地下, 1982年11月.
- (3) 小関, 浜岡; 膨張型鋼管ボルトの試験施工, トンネルと地下, 1985年11月.
- (4) 大沢, 佐藤, 永井; 先打ちボルト工を駆使して破碎帯を突破, トンネルと地下, 1986年10月.

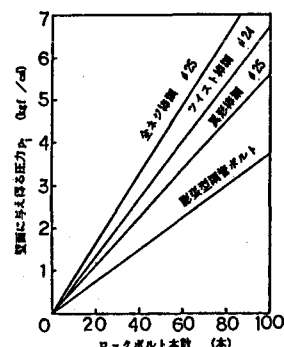


図10 ボルトの内圧

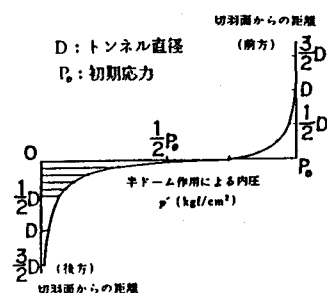


図11 切羽の半ドーム効果

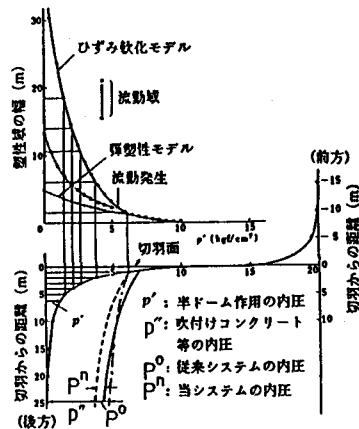


図12 各支保の内圧効果

(77) SUPPORT OF ROCK MASS BY SWOLLEN ROCKBOLTS

Kazu^o YOSHIDA

Eiji KAWAKAMI

Tetsuo NAGAI

Aoki Corporation

ABSTRACT

Recently in Japan, New Austrian Tunnelling Method (NATM) becomes widespread as the main current of tunnelling method. 'Rockbolting' and 'shotcrete lining' are applied as the main supporting members in NATM. And there are some problems awaiting solution about the working ways and the effects of grouting in the usual fully-bonded rockboltings. The new rockbolting system with swollen rockbolts gives immediate support over their full length without the use of grouts (mortar or chemicals). This was invented in Sweden and is getting popular as one of the members of European and American mining and tunnelling supports. It has many advantages and few defects, so we need to clear up the applicable extent.

In this paper, we report as follows.

- The outline of this new rockbolting system (composition, working way, special features and working mechanism)
- One of the outlines, results and consideration of the field experiments
- An example of its applications in Japan
- The comparison about the working ways and the working effects as one of the main members of tunnelling supports between the usual rockbolting systems and this new system
- The applicability as the main member of supporting rock mass in the future

Finally, from soft rock to hard rock (unconfined compression strength 60~1500kgf/cm²), this new rockbolting system is widely applicable except to the permanent supporting by controlling the pressure of the high pressure water pump and the borehole diameter. It must be considered to be a most promising concept within the field of reinforcement techniques. It is likely that the new and often unique features of it will considerably influence the whole manner in which rock bolts are used in the future.