

(67) 夾炭層岩盤内に構築された坑道でのロックボルト施工例

室蘭工業大学大学院	○ 松本裕之
室蘭工業大学工学部 正会員	後藤龍彦
室蘭工業大学工学部 正会員	佐藤干城
太平洋炭礦(株)釧路鉱業所	碓 尚博

One Instance of Rock Bolting Applied to Roadways Constructed in Coal-Bearing Formation

Hiroyuki MATSUMOTO,	Muroran Institute of Technology
Tatsuhiko GOTO,	Muroran Institute of Technology
Tateki SATO,	Muroran Institute of Technology
Takahiro IKARI,	Taiheiyo Coal Mining Co., Ltd.

Abstract

Taiheiyo Coal Mining Co., Ltd. Kushiro Colliery has been operating in the Paleogene Harutori coal-bearing formation. In the colliery, steel arch sets have been mainly used as the in-seam roadway support system for the gateroads of the full-mechanized retreat longwall panel. However the roadways with steel archs are suffering from considerable deformation with deeper mining. Therefore, in order to stabilise roadways and increase driveage rate, rock bolting system widely used in Australia has been introduced to the colliery.

Measurement of roadway displacement with extensometer as a geotechnical investigation has been conducted to assess the application of rock bolting techniques. The result indicates the effect of rock bolting.

This paper describes the schematics of the procedure of development driveage with rock bolting, its equipments, measurement of roadway displacement, and the actual results.

1. 緒言

太平洋炭礦(株)釧路鉱業所は釧路市の東南に位置する海底炭鉱であり、平成4年度の予定平均採掘深度は海面下570m、年間の精炭生産量は215万t、採炭に必要な年間の沿層坑道掘進長は17,760mである。現在の採掘対象炭層は新生代古第三紀の春採夾炭層のうち、図-1に示す4番層(上層)、5番層(本層)、6番層(下層)の3層である。地質構造は単斜構造で走行は北西～南東を示し、傾斜は南西へ4°～6°である。主たる採掘方法は、ドラムシャラーと自走枠を組み合わせた長壁式機械化後退払(以降SDと呼ぶ)で、採炭パネルは切羽面と、その両端に作られ主として運搬、通気等をつかさどるメインゲート(以降ゲート)とテールゲート(以降風坑)の2本の沿層坑道によって構成されている。

当鉱では従来より沿層坑道掘進にコンティニアスマイナーとシャトルカ

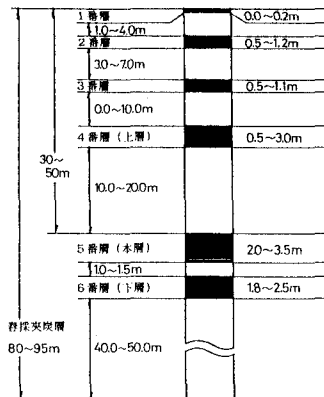


図-1 春採夾炭層の概略

一の組み合わせを採用し、支保には鉱山用I型鋼によるアーチ枠と矢木等の木材による裏込めを実施してきた。なおこの支保坑道は坑道掘進と採炭切羽通過まで維持されなければならない。しかしながら採掘フィールドの深部移行に従い、坑道の変形が激しくなり、そのつどアーチ枠の重量化(22.7kg/材材から28.7kg/材材や一部34.7kg/材材へ)や枠間の縮少(現在主に0.8mから0.5m)を試みてきているが、いぜんとして、下盤打ち、間枠入れ、拡大等の坑道維持作業が日常化しており、掘進能率の低下や、採炭パネル周辺の作業量の増加を招いており、坑道維持の根本的な改善が急務となっている。

そこでこれらの問題を解決するため、アメリカ・カナダ・オーストラリア等で実績のあるロックボルトシステムを導入することにした。しかし我国の炭鉱におけるロックボルト使用例としては過去に若干試みられた程度で、本格的な取り組みに関しては緒についたばかりであり、それゆえ当鉱への適応性や有効性に関しては未知の部分が多いが、以下のような特徴を有するオーストラリア式のロックボルト施工システムを導入することにした。

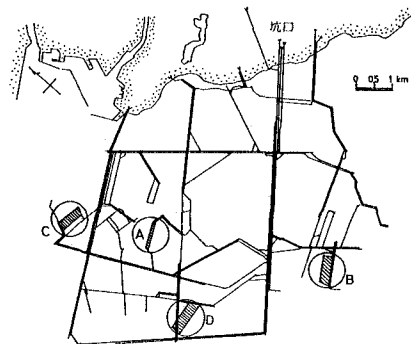
- ① コンティニアスマイナーによる掘進方法と良く適合している。
- ② 当鉱と類似の地質性状を有する国々での実績が多い。
- ③ 全面接着方式で、ボルトやレジンの強度が高く、また比較的低価格が安い。
- ④ 削孔からボルト打設までの一連の作業が効率良く実施できるよう機器類が工夫されている。
- ⑤ 支保効果を評価できる計測技術がある程度確立されている。

平成3年度よりこのシステムを導入し現場適用化の試験を実施してきたが、その結果坑道掘進速度への追従性ならびに、採炭技術に即した施工方法の確立に一定の目的が立ち、かつ多点式変位計測によりボルトの有効性がおおむね確認されたので、以下に報告したい。

2. ロックボルト施工方法

当鉱におけるロックボルト施工技術を確認するため、深度、面長および地質状況等の異なる4切羽を選定し、現場試験を実施した。図-2はこれらの切羽位置ならびに坑内の骨格構造を示したものであり、切羽の深度は海面下500mから690m、面長は80mから250mの範囲である。またこの4切羽の直接天盤から奥部へかけての地質柱状を示したものが図-3であり、コアボーリングを行い、回収コアから柱状を作成した。図からわかるように構成岩種は砂岩、頁岩、砂質頁岩等ではほぼ同じであるが、厚さや層順に関しては4切羽とも別々である。

これら条件の異なる4切羽の沿層坑道を対象にボルト、レジンの選択、ボルト施工性や掘進速度への追従



A 中央西6片0号SD B 中央東1期2号SD
C 知人西3片3号SD D 中央西9片3号SD

図-2 坑内骨格構造とボルト試験現場

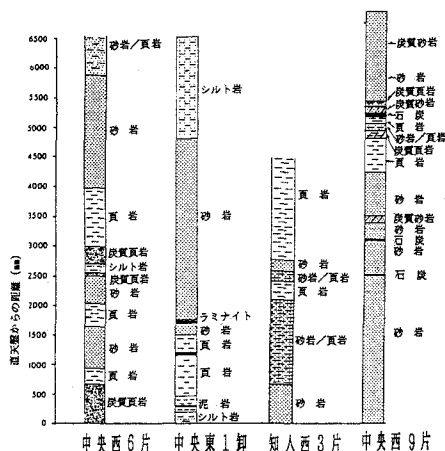


図-3 ボルト試験現場の天盤柱状図

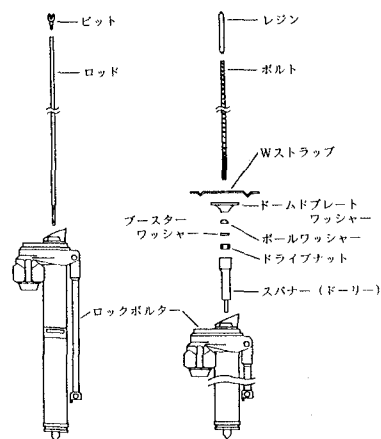


図-4 ロックボルト使用機材

性ならびに掘進や採炭に伴う岩盤挙動等の調査にもつき、使用機材、支保規格、支保手順を以下のように選定した。なおこれらのボルト施工坑道はすべて鋼枠と併用である。

2.1 ロックボルト使用機材

図-4に天盤にロックボルト

トを打設する際に使用する機材類を示した。薄い鉄板製のWストラップは直接天盤の岩石薄片の剥離、落下を防止するため、またドームドプレートワッシャーとボールワッシャーは斜めにボルトを打設する際の施工性とボルトに確実にプリテンションを与えるため、ブースターワッシャーはナット締め付け時の摩擦軽減のために用いられている。側壁用機器類もまた、天盤用とほぼ同じであるが、ドラムシャラーで切削可能なグラスファイバー製のボルトを使用する場合もある。使用レジンはポリエステル系で一つのカートリッジに主剤と硬化剤が別々に入っているタイプである。なおボルトやレジン等の諸元は後述の実績表にまとめて示した。図-4のロックボルターは可搬式でエア圧約 7kg/cm²で駆動し、孔径28mm、長さ2.4mのボアホールを1分以内で削孔可能であり、その一般的な諸元を示したものが表-1である。また側壁用としては同じエアー駆動のハンドドリルタイプも使用可能である。削孔はいずれも湿式である。当鉦では、従来より坑内で使用するエアー駆動機器へのエアー供給源は坑外に設置している大型コンプレッサーによって一括まかなわれてきたが、その供給圧は通常 4kg/cm²以下と低いため、ロックボルター用には適さず、可搬式コンプレッサーを新たに導入した。現在日本製とオーストラリア製の2種類が稼動中である。それぞれの諸元を示したのが表-2であり、性能等に関してはほとんど変わらない。

2.2 支保規格

ロックボルト導入当初は従来用いられていたアーチ枠への適用を目指し、中央東1卸で試験施工を実施した。その時使用した支保規格が図-5の一番上のパターンであるが、ロックボルトの施工性の都合上、またコンティニアスマイナーの運転操作上からも、坑道断面を矩形に掘進する方が有利であるとの結果が得られた。そこで特別な場合を除いて断面を矩形とし、それに合致した変形鋼枠並びに鋼製三ツ枠を開発した。その基本的規格を示したものが図-5の真ん中と下であり、変形鋼枠は鋼製三ツ枠に比べ施工性が若干劣るが、鋼枠強度が高いため現場の採掘条件に合わせ選択される。通常、枠間とボルト間隔は共に同じとし、1.0mか1.2mを選択し、いずれもボルトは天盤 6本、両側壁 4本のパターンである。またボルト施工坑道での枠材はすべて22.7kg/mタイプである。写真-1には変形鋼枠を併用した代表的なロックボルト坑道を示す。

表-1 ロックボルター諸元

機種	ウツバット 1200-900
エアー圧力	6.2 kgf/cm ²
トルク	170~180 N/m
自由回転数	800 rpm
レック推力	ステージ 1 6.37 kN
	ステージ 2 4.73 kN
圧気消費量	60 L/s
重量	38 kg
最小機長	1370 mm
最大機長	3420 mm

表-2 可搬式コンプレッサー諸元

機種	Z555A	CS16-45
メーカー	三井精機工業	クラン・オーストラリア
型式	Zスクリーン型 油冷式、一段圧縮	スクリーン型 油冷式、一段圧縮
吐出空気量	8.0 m ³ /min	7.3 m ³ /min
吐出圧力	7.0 kgf/cm ²	7.5~8.2 kgf/cm ²
回転数	2895 rpm	2403 rpm
モーター出力	49 kW	49 kW
モーター電圧	400 V	400 V
総重量	2160 kg	2330 kg
長さ	3100 mm	3000 mm
奥行	1200 mm	1100 mm
高さ	1200 mm	950 mm

枠種	支保規格
C-545	
F-525	
M-545 (M-645)	

図-5 ボルト支保規格

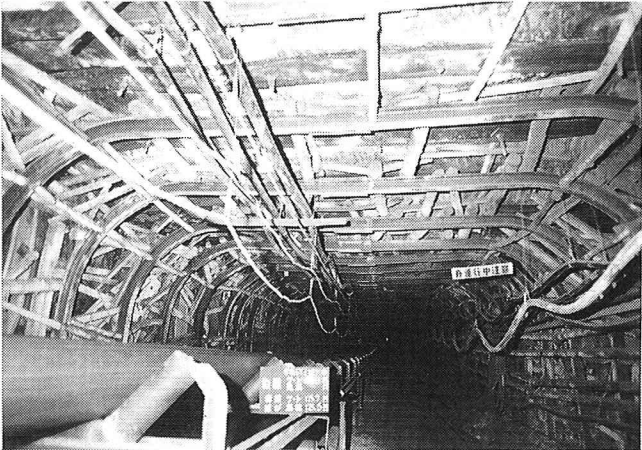


写真-1 ロックボルト支保坑道

2.3 支保手順

沿層坑道の掘進、支保は通常図-6のように、おおよそ以下の手順に従って実施される。

- STEP 1 : コンティニアスマイナーとシャトルカーで炭壁を支保間隔分だけ掘削する。
- STEP 2 : コンティニアスマイナーに搭載の施枠機で鋼枠を施工する。
- STEP 3 : 施枠機で切羽鏡面を抑え、コンティニアスマイナーのドラム両脇でそれぞれ2本ずつ計4本の天盤用ロックボルトを打設する。中央の残り2本はコンティニアスマイナー後方で打設する。側壁用ロックボルトは全数切羽元で打設する。

以上STEP 1,2,3を繰り返すが、ロックボルトは掘進直後に施工されるのが最も効果的であるが、切羽元で天盤が脆い等の状況が発生した場合には、安全策を講じてSTEP2と3を入れ換え、ロックボルト全数を切羽元で打設する場合もある。

3. モニタリング

従来の28.7kg/mのアーチ枠を使用する代わりに、ロックボルトと22.7kg/mの軽量枠を枠間を広げて使用する、いわゆるボルト施工の場合には、以下のことを義務づけている。すなわち施工坑道掘進開始前にその周辺の地質状況を把握し、これまで実施してきたボルト試験施工現場と比較検討する。これを指針の一つとして支保規格の基本設計を行う。

さらに施工段階では、本設計の妥当性や支保効果を逐次評価できる判断基準が必要であり、これにより、場合によっては設計変更も考慮されなければならない。この判断材料を提供してくれるのが、切羽元での現場情報やボルト引き抜き試験等と、掘進、施工と同時に設置され、モニタリングされる多点式変位計のデータである。

多点式変位計は米国イラッド社製で、直径55mm、長さ約7.5mのボアホール内に最大20個までの測点数を任意間隔で設置できるが連続計測は現時点で無理である。図-7は、中央東1卸のゲート坑道のうちロックボルトを打設した箇所とそれに隣接する非打設箇所での、掘進に伴うエクステンソメータ計測結果の代表的1例を示した。図中、縦軸は天盤の深さで、各シンボルはアンカー位置を表しており、横軸は変位量を表している。ボルト打設箇所では掘進切羽が27m進行した時点、非打設箇所では30m進行した時点での天盤の沈下量を比較すると、前者が後者の約1/3となっており、ボルトの効果が確認された。両沿層坑道は、採炭切羽通過時まで、通気や運搬に支障のない断面が確保されておればよく、そのためある程度の坑道変形は許容されている。しかしながら、ロックボルト坑道の安全確保の観点から、計測結果を即現場の支保手順に反映させることが大切であり、当鉱では計測結果と現場の支保規格に独自の基準を設けて、安全管理に努めている。

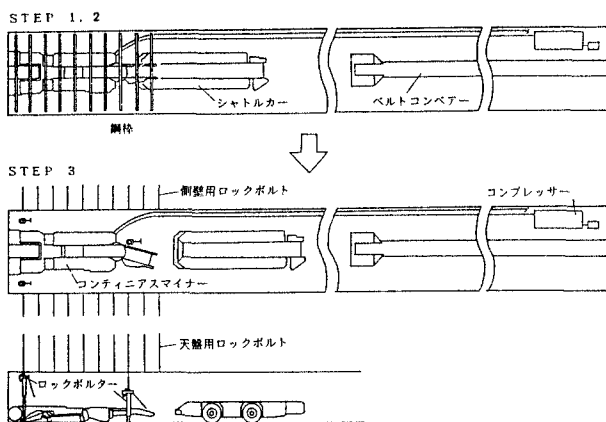


図-6 ロックボルト支保手順

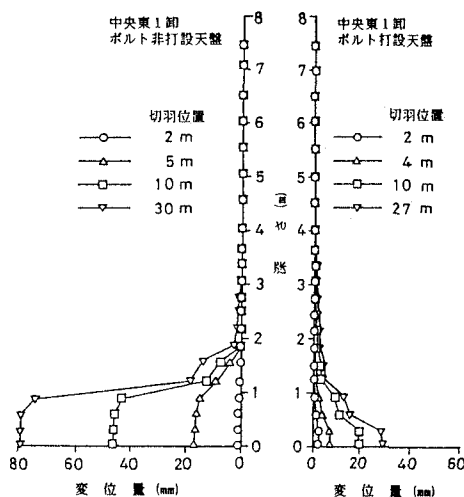


図-7 多点変位計の計測結果

表-3 ロックボルト実績

現場名	中央東1部西1片2号SD2号ゲート	知人西3片3号SD6号ゲート	中央西9片3号SD9羽面/6号ゲート/5号風坑
深 度	SL -620m～-630m	SL -500m～-640m	SL -640m～-690m
棒 種	22.7kg/m I 型钢によるアーチ棒 (C-545)	22.7kg/m I 型钢による変形鋼棒 (F-525) 及び鋼製三ッ棒 (M-545)	22.7kg/m I 型钢による変形鋼棒 (F-525) 及び鋼製三ッ棒 (M-545, M-645)
施工距離	67m + ルー航道20m	約450m	約1900m
棒 間	1.0m	1.0m ～ 1.2m	1.0m
ロック棒間隔	1.0m	1.0m ～ 1.2m	1.0m
天盤用ボルト	形状及び本数	24mm φ × 2400mm × 6本	24mm φ × 2400mm × 6本
	削孔径	ウツパ ット 27mm φ	ウツパ ット 27mm φ
	ボルト降伏荷重	スチール棒 22.4t	スチール棒 22.4t
	レジソ	25mm φ × 1200mm ケムフィックス 非発泡 オーストリア	25mm φ × 1200mm ケムフィックス 非発泡 オーストリア
	座 金	Wストラップ (2800mm × 280mm × 1.9mm/厚) + ドーナツプレート (100mm × 100mm × 10mm/厚)	Wストラップ (5000mm × 280mm × 1.9mm/厚) + ドーナツプレート (100mm × 100mm × 10mm/厚)
側壁用ボルト	形状及び本数	24mm φ × 1200mm × (2+2)本	24mm φ × 1500mm × (2+2)本
	削孔径	カブネル 27mm φ	カブネル 27mm φ
	ボルト降伏荷重	グラスファイバー棒 6.3t、スチール棒 14.8t	グラスファイバー棒 6.3t、スチール棒 14.8t
	レジソ	25mm φ × 1100mm ケムフィックス 非発泡 オーストリア	25mm φ × 1000mm ケムフィックス 非発泡 オーストリア
	座 金	Wストラップ (1800mm × 280mm × 0.7mm/厚) + ドーナツプレート (130mm × 130mm × 3mm/厚)	Wストラップ (1800mm × 280mm × 0.7mm/厚) + 合板 (200mm × 200mm × 15mm/厚)
実績	* 日延平均 (m/d)	8.6	13.4
	日延最大 (m/d)	12.0	19.2
	方延平均 (m/s)	2.9	4.5
	方延最大 (m/s)	4.0	8.4
			21.4 (33.0)
			3.2 (3.0)
			8.0 (14.0)

* 実績にはベルトコンベア延長等の準備作業、故障等の支障時間の全てを含む。

** カッコ内の数字は平成3年度掘進全体の実績を示す。

4. 実績

ロックボルト支保の導入に際しては、坑道維持、掘進用資材量削減、採炭作業の簡素化等の他、掘進能率の向上が重要な案件の一つであった。表-3にロックボルト支保導入当初からの掘進実績を現場別に示した。これによれば、鋼棒とロックボルトの併用にもかかわらず、従来のアーチ支保による掘進と同等もしくはそれを上回る掘進能率を達成することができた。しかも掘進、採炭を通じて坑道は良好に維持され、また鋼棒の軽量化、施棒間隔の拡大、坑道維持の向上により、運搬資材量の減少が達成されると共に、採炭時の鋼棒取扱いおよび解体・回収作業に改善が見られた。

またコストの面では、鋼棒の施棒間隔が1.2m以上であれば、鋼棒との併用でも従来の掘進と同等の資材費で運営が可能である。

5. 結言

太平洋炭礦(株)釧路鉱業所では、平成3年度より、軽量の鋼棒を併用したロックボルト施工システムを沿層坑道掘進に導入し、坑道掘進速度への追従性ならびに、採炭技術に即した施工方法がえられ、かつ多点式変位計測によりボルトの有効性がある程度確認される等、当初期待した成果を挙げることができた。しかしながら、当鉱の自然条件により合致した最適なロックボルト支保の設計・施工の完成にはまだ到っておらず、またボルトー搭載型コンティニアスマイナーの導入を含め、可搬式ロックボルトーの使用にも改善の余地がある。さらに、坑道交差部や断層・岩脈等天盤不良箇所でのケーブルボルト、トラスボルトの使用も考慮し、安全で効率的な炭鉱におけるボルト支保技術の確立をめざしたい。

参考文献

- 1) Gale, W. J.: Strata Control Utilising Rock Reinforcement Techniques and Stress Control Methods in Australian Coal Mines, The Mining Engineer, pp.247-253, Jan., 1991
- 2) 松井紀久男・一ノ瀬政友・島田英樹・後藤研: 石炭鉱山における坑道の変形と支保について、土木学会第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.166-170, (1992)
- 3) 松本裕之・後藤龍彦・出口剛太: 太平洋炭鉱におけるボルト支保、資源・素材学会平成4年度秋季大会分科研究会資料、B-1, pp.1-4, (1992)