(35) 石炭鉱山における坑道の変形と支保について

九州大学工学部　正会員　松　井　紀久男
九州大学工学部　　一ノ瀬　政　友
九州大学大学院　　島　田　英　樹
九州大学工学部　正会員　後　藤　　研

Roadway Deformation and Support System in Underground Coal Mines

Kikuo　MATSUI , Kyushu University
Masatomo ICHINOSE , Kyushu University
Hideki　SHIMADA , Kyushu University
Ken　GOTOH , Kyushu University

Abstract

Gateroads, which are access roadways to longwall panels, are predominantly located along the solid ribsides of panels. Therefore gateroads are subjected to significant strata movement due to longwall working. A major factor affecting the efficiency and economy of longwall working is the stability or degree of deformation of gateroads.

This paper discusses the deformational behaviour of the gateroads during their life time and the performance of gateroad support sysytem.

1．緒　言

石炭鉱山における採掘の能率や経済性および安全性は、坑道の安定性、すなわち坑道の変形や破壊の程度に大きく依存している。掘削された坑道の変形や破壊挙動は、初期地圧や地質条件、掘削岩盤および周辺岩盤の力学的特性などの地山パラメータのみならず坑道掘削の方法や用いる支保システムに大きく関係している。近年安価な海外炭の輸入の増加、拡大に伴い、国内炭の採掘コストを削減し、できる限り国際価格に近づけるべく、国内の各石炭鉱山は多大の努力を払っている。坑道の掘進システムの見直しは、このような努力のひとつであり、坑道の掘進費と維持費を大幅に削減し、総合的に採掘コストの削減に寄与しようとするものである。

本論文は、筆者らが行った九州地区の石炭鉱山における多くの現場調査や計測、観察により得られた結果に基づいて、坑道の変形・破壊挙動を明確にし、より効果的で経済的な坑道支保システムについて考察、検討を加えたものである。

2．ゲート坑道の掘削と支保システム

ゲート坑道は、長壁式採掘において、通気や石炭、資材の運搬、作業員の通行などに利用されるきわめて重要な坑道であり、これをいかに経済的に、効果的かつ安全に掘削し、維持するかは、採掘コストの削減を図り、坑内保安を確保するうえできわめて重要な課題である。また、長壁式採掘パネルを計画、設計するうえで、可採鉱量とその品位の把握と確認、さらに地質条件、地山中の水やガスの賦存状態の把握が必要であ

り、そのために迅速な坑道掘進が要求される。

現在、大部分のゲート坑道の掘削にロードヘッダが用いられ、掘進速度は従来の穿孔・発破方式と比べて２倍程度に増大した。しかしながら、いくつかの問題点を抱えており、これらの改善を図らなければさらなる掘進速度の増大を期待することは困難である。とくに、支保システムとの適合が大きな問題となっている。図－１に示すような従来の鋼製アーチ枠や三ツ枠などによる建付け支保を用いる場合、機械掘削によっても同一の建付け規格を適用する限り、２倍程度の掘進速度しか得ることができず、機械掘削による経済的な効果は期待できない[1]。それゆえ、迅速な機械掘削に適合できる新たな支保システムの導入が必要とされる。このような支保システムとしては、ボルト支保を挙げることができる。近年、ドイツやイギリスの石炭鉱山において、従来の建付け支保に代わり得るものとしてボルト支保がゲート坑道に導入され、多くの成果を挙げている[2),3)]。今後この種の支保が石炭鉱山での坑道支保の主流を占めるものと思われる。

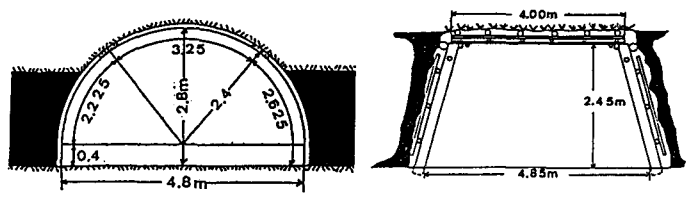

Fig.-1 Roadway support system

３．ゲート坑道の変形挙動

石炭鉱山における坑道、とくにゲート坑道は長壁式採掘パネルに隣接して設けられるために、採掘の影響を必然的に受け、一般に図－２に模式的に示すような変形挙動を示す。坑道は掘進後、時間の経過、あるいは掘進切羽の進行にともなって変形が進み、ある一定の変形量(VC_0) に落ち着く。その後最初の長壁式切羽による採掘により、坑道は再び変形し始め、採掘の影響が収まるとともに一定の値(VC_0+VC_1) に達する。さらにその後、隣接する次の長壁式切羽が進行、接近するにつれて坑道の変形が始まり、切羽通過時に最大変形量($VC_0+VC_1+VC_2$) に達して、ゲート坑道としての役割を終え、切羽後方に放棄される。地圧が大きい場合や地山が悪い場合には、採掘による変形に加えて時間的な変形も起き、時には無視できない程度になることもある。

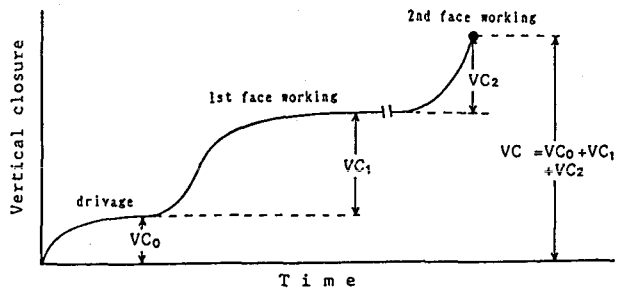

Fig.-2 General trend of vertical closure in gateroad during its life

ゲート坑道は、いま述べたように採掘パネルの採掘終了まで維持すれば十分なため、坑道に生じる変形や破壊が許容できる範囲内であれば、ほとんどなんらの対策も施すことなく使用することができる。掘削した坑道は安定であるか、あるいは用いた支保は妥当であるかは、坑道の変形量や変形速度の大きさによって評価することができる。

図－３に長壁式採掘において、ゲート坑道として用いられる坑道の掘進により生じる坑道の上下盤接近量VC_0と地山条件(P/(RMS/P)) との関係を示す。ここで、VC_0 は坑道建付け高さに

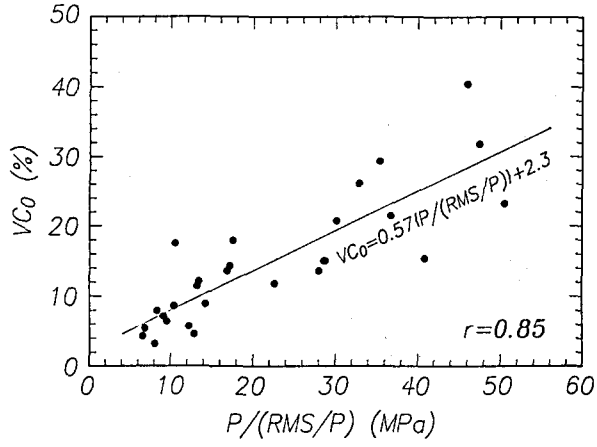

Fig.-3 Prediction of vertical closure due to roadway drivage

対する上下盤接近量の%表示である。また、RMS/P は地山強度比であり、RMS は地山の一軸圧縮強度、P は採掘の影響のない場合には土被り圧であり、採掘の影響のある場合には適当な数値計算により得られる地圧となる。なお、坑道支保は図－１に示したタイプの鋼製アーチ枠である。図－３に示すように、地山条件の評価ができれば、図中に示した回帰直線を用いて生じる上下盤接近量を予測することができる。地山条件は掘進切羽における地山観察や計測（変形速度など）により評価することができる。

図－４はゲート坑道の掘進時における上下盤接近速度$\dot{V}C$(mm/day)の測定結果を示したものである。図に示すように地山条件の良い、すなわち断層や水分の影響のない場合（地山強度比RMS/P≧1.0）では、ロードヘッダ掘削による坑道は穿孔・発破方式による坑道と比べて変形速度はやや小さく、掘進切羽後方 50m程度でほとんど変形しなくなり、生じる変形量VC_∞ も10%以下となり、盤打ちや拡大などの保坑作業はほとんど必要としない。しかし、地山条件が悪くなるにつれ(RMS/P＜1.0)、変形速度は大きくなり、切羽後方 50m以上でも変形は進行し、変形量VC_∞ は10%を超え、ある程度の盤打ち作業を必要とする。断層破砕帯で、かつ軟弱な箇所(RMS/P≦0.5)では30%以上の変形量となる場合があり、坑道断面の維持は困難をきわめ、盤打ち、拡大および大きく変形した枠の建て替えが行われる。地山強度比RMS/P＜1.0では、掘削方法による坑道の変形挙動に大きな差異を見いだすことは困難となる。これは坑道上下盤、とくに下盤での水分による強度劣化にともなう激しい盤膨れに起因している。

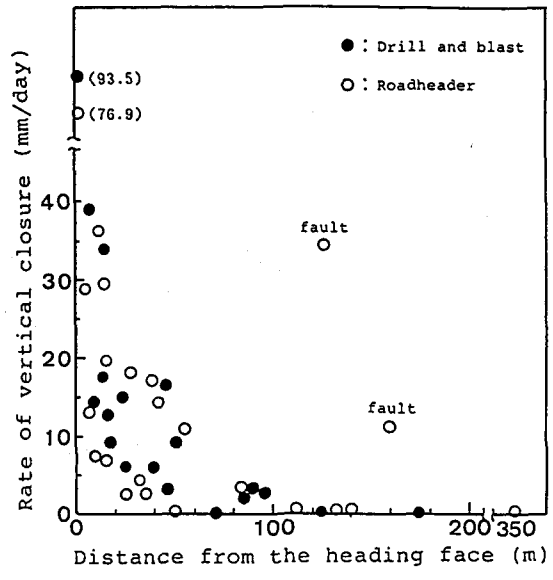

Fig.-4 Vertical closure rate during development

これらの結果から判断すれば、掘進された坑道の支保を含めた安定性の評価は、掘進切羽後方、すなわち掘進作業に影響されず、安全かつ確実に計測が行える地点での変形速度により可能であろう。実際的には切羽後方 50m程度の地点を挙げることができる。

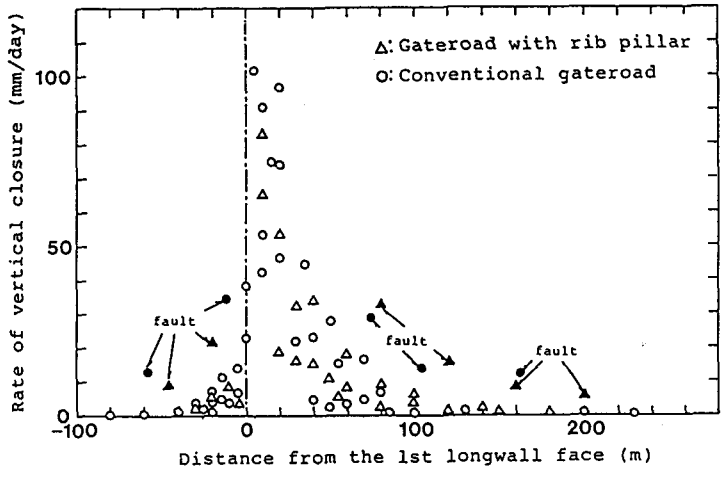

Fig.-5 Vertical closure rate due to the 1st retreat longwall mining

図－５に長壁式採掘に伴うゲート坑道の変形速度$\dot{V}C$の計測結果を示す。横軸は採掘切羽からの距離であり、－は切羽前方、＋は切羽後方を表す。計測は長壁式パネル間にピラーを残す場合のゲート坑道と採掘側に袖巻充填を行なう従来型のゲート坑道の２つについて行っている。図に示すように長壁式切羽の接近に伴い、坑道は採掘の影響を受け、切羽前方20～30m から変形を始め、切羽通過後急激に変形速度は増大し、切羽が遠ざかるにつれて低下し、切羽後方100m程度でほとんど変形しなくなる。このように採掘の影響によるゲー

ト坑道の変形量VC_1としては、地山条件や支保条件が良い場合には10%程度であり、ほとんど枠の変形もなく、盤打ちや拡大などの仕繰り作業を必要としない。しかしながら、断層帯や軟弱岩盤の影響を受ける場合には大きな変形速度を示し、切羽後方100mを超えてもなお変形が進行し、坑道断面の維持はきわめて困難な状況になり、VC_1は40%以上にもなる場合がある。このように、長壁式採掘の影響を受けるゲート坑道の安定性の評価もまた、変形速度を計測することにより可能であり、計測位置としては切羽後方100m程度の地点が適当である。

4．ゲート坑道へのボルト支保の適用例と問題点

最近の新しいゲート坑道の支保システムとして、従来の建付け支保と併用してボルトを用いるというものがある。

図－6はロードヘッダにより掘削され、I形鋼と坑木による三ツ枠（図－1参照）とボルトで支保されたゲート坑道の上下盤接近量の計測結果である[4]。ケミカルレジンボルトの打設は、坑道掘削後直ちに行うのではなく、採掘を開始した隣接の採掘切羽面位置より数10m 先行して行われた。この計測結果より、坑道は切羽の接近・通過に伴い大きく変形することがわかる。とくに、地山条件が悪い箇所では坑道の変形はきわめて大きなものとなっている。このような箇所では、必要坑道断面を確保するために盤打ち作業を実施している。しかし、このように大きな変形を生じた箇所においても、天盤ボルト打設により従来から問題となっている金梁の曲げやねじれなどの変形、天盤亀裂の発生や崩落もほとんど防止されている。一方、側壁ボルトによる炭壁の坑道内への崩壊とこれに伴なう枠脚の折損の防止については不完全であり、このひとつの原因と考えられる盤膨れを抑制する必要がある。このような実績から、地山条件の良いとことでは、ボルト支保のみでも十分にゲート坑道を維持できる可能性が大きいと考える。

今後、我が国の石炭鉱山においても、ボルト支保がゲート坑道における支保システムとして主要な位置を占めるものと思われるが、最適なボルト支保を行うには、以下の問題点について十分に考慮する必要がある。

1）建付け支保との関連：従来から用いられている鋼製支保は、大きな変形に対処でき、またその変形状態から坑道周辺の地圧現象の状況をある程度判断できる利点がある。したがって、現段階では建付け枠とボルトを併用し、枠間を徐々に拡大して行き、ボルト支保の実績を蓄積した上で、最終的に坑道支保の無枠化を目指すべきであろう。

2）ボルト打設の時期：現在、ボルトの打設は坑道掘進時ではなく、坑道の変形が既にある程度生じた時点で行っている。これは坑道掘削システムとボルト打設システムが適合していないからである。現在ゲート坑道の掘進はロードヘッダによる場合が一般的になってきているが、掘削後の速やかなボルト打設には、持ち運びできる小型の穿孔機、掘進機に搭載可能な穿孔機あるいはクローラタイプの小型の穿孔機が必要である。坑道天盤や側壁が比較的堅固で、掘削後も安定であるならば、掘進機の後方あるいは長壁式採掘の影響が及ぶ前

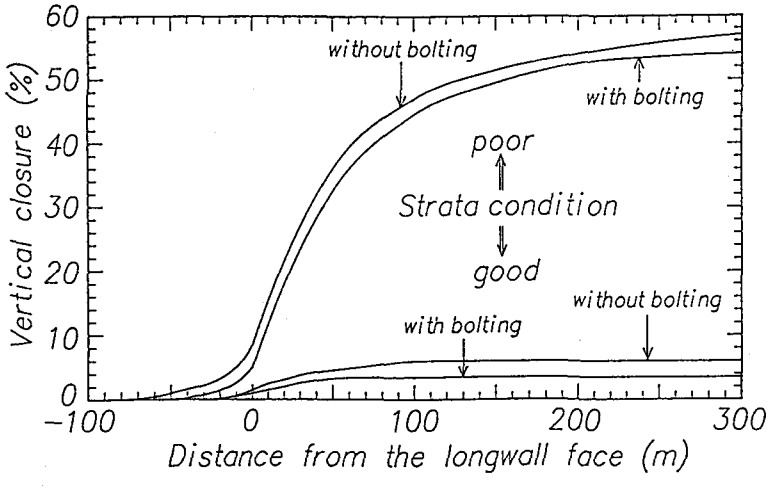

Fig.-6 Vertical closure due to the adjacent longwall mining

にボルトの打設を行うことができる。しかしながら、対象となる坑道周辺の夾炭層岩石や石炭の強度特性は本来それほど大きなものではなく、また湧水や坑内水により簡単に劣化し得る特性を有することに留意すべきである。

3）ボルト打設基準：ボルトの種類、ボルト径、ボルト長、打設密度は坑道の安定性にきわめて大きな影響を及ぼす。これらのパラメータをどのように決定するかは、今後の実績に大きく依存している。しかしながら、外国の打設基準を参考にすることは可能であろう。とくに、ボルト支保においては十分な経験を有しているフランス[5]あるいはオーストラリア[6]の基準は十分に利用できると考えられる。

4）ボルト支保効果の評価：ボルトが完全に岩盤に固定されていることは、ボルト支保の効果を得るうえで是非とも必要である。ボルトの支保効果のメカニズムについては依然不明な点も多く、打設ボルトや周辺岩盤の挙動について十分なモニタリングが必要である。

5）盤膨れに対する効果：天盤や側壁ボルトにより盤膨れを抑制できるかは、どのような原因で盤膨れが生じているかをまず理解する必要がある。一般に盤膨れは、軟弱な下盤の坑道内への流動、比較的硬い層状下盤の坑道内への折込みや支保枠の下盤への貫入などにより生じる。天盤ボルトは坑道天盤の破壊を抑制し、その結果枠に作用する荷重を低減する。これにともない枠の下盤への貫入は防止され、盤膨れは抑制される。それ以外のタイプの盤膨れに対しては、別の対策をとる必要がある[7]。

6）作業員の教育：建付け支保からボルト支保へのスムーズな移行は、現場作業員の理解と協力がないときわめて困難になる。そのためにはボルト支保の原理やメカニズムを教育し、理解してもらう必要がある。また、ボルト支保による効果や実績を十分に示す必要があろう。そのためにはボルト支保適用後のみならず、適用前のモニタリングもぜひとも必要である。

5．結　言

長年にわたる九州地区における石炭鉱山での多くの現場調査や計測、観察により得られた結果に基づいて、ゲート坑道の変形・破壊挙動について明確にし、より効果的で経済的な坑道支保システムについて考察、検討した。今後、建付け支保に併用して天盤および側壁ボルト支保を行う方法が普及していくものと思われるが、機械掘削システムに適合した合理的なボルト支保システムを確立することが必要である。また、地山の力学的特性や地圧、地質状態を精度よく把握する方法についての検討も必要であろう。

謝　辞

現場調査および計測に当たって、多大のご理解とご協力を頂いた関係各位に紙上を借りて謝意を表する。

参　考　文　献

1)Wild, H. W.: Glückauf, 353-359, Nr.5, 1986
2)Sykes, G.: The Mining Engineer, 240-248, Dec., 1989
3)Nyga, J.: Glückauf, 123, Nr.9, 528-530, 1987
4)松井 他 : 資源･素材学会九州支部秋季例会講演要旨集, 16-18, Nov., 1990
5)Newson, S. R.: The Mining Engineer, 281-288, Jan., 1986
6)Tague, D. et al : The Mining Engineer, 336-342, March, 1990
7)Matsui, K.: Proc. of MMIJ/IMM joint symp., Kyoto, 271-277, Oct., 1989