

軟弱岩盤中の坑道の支保システムに関する解析的検討

九大・院 井上雄輔, 九大・工 島田英樹・久保田士郎・松井紀久男

1. はじめに

地下に空洞を掘削した場合、その維持のために何らかの支保が用いられる。特に本報告で取扱うような軟弱岩盤中に空洞を掘削する場合には、空洞維持のために支保の設置が必要不可欠となる。従来より、トンネルや坑道のような地下空洞の支保として、鋼製枠やコンクリート覆工、あるいはロックボルトが一般的に用いられてきた。近年においては、掘進後直ちに設置可能であり、また掘進速度が著しい増大にも追従でき、その上経済的であることから、ロックボルトを用いた支保が多用されてきている。しかし、地山条件に対応したロックボルトの総合的な支保システムの確率という意味では、未だ不十分な点も多い。

本報告では、軟弱岩盤中におけるロックボルトを用いた坑道支保システム確立のための基礎的な知見を得るために、種々のボルト打設パターンについて2次元有限要素数値解析により検討した結果について述べる。

2. 解析条件

図1に解析モデルを示す。本モデルは、厚さ3mの炭層に、幅4.5m、高さ3mの矩形坑道が30m間隔で4本掘削されると想定したものである。なお、直接天盤(4m)および下盤(3m)はシルト岩、これらの上部および下部は砂岩であると仮定した。また、長壁式採炭法の払跡の影響を考慮するため、坑道Dより30m離れた箇所には払跡が存在し、この払跡では天盤が厚さ6mにわたって崩落しているとした。本解析に用いたボルト支保様式ならびにボルト支保パラメータをそれぞれ図2および表1に示す。また、表2に解析に用いた炭層や岩盤の力学的特性値および各種パラメータを示す。なお、破壊基準には次式で与えられるHoek-Brownの式を採用し、解析には2次元有限要素解析コードPhase²を用いた。

$$\sqrt{\quad}$$

地圧条件としては、炭層深度を200mから500mまで変化させ、水平方向の地圧の影響についても考慮するために、側圧係数を0.75から1.5に変化させた。また、Pre-tension、Load Split およびボルトの打設位置によるボルト打設効果についても検討した。

3. 結果および考察

図3にボルトの有無による坑道周辺の破壊状況を示す。この図より、天盤にロックボルトを打設することにより、直接天盤における破壊領域自体の減少は認められないものの、堅固な天盤までボルトを打設すれば、破壊領域全体を堅固な領域に固定することができ、その結果として、直

接天盤の崩落を抑制することが可能であることが判る。また図4より、採掘深度の増加に伴って天盤における破壊領域が拡大していることから、打設するロックボルトの長さも採掘深度の増加に伴い長いものが必要となる。

次に、近接する採掘箇所の影響について図5に示す。この図より、炭層の採掘に伴い、坑道周辺のせん断破壊領域が減少する一方、天盤の引張破壊領域が増加し、また天盤の沈下量も増加していることが分かる。これは、炭層の採掘によって応力の再配分が生じたためであり、その影響は払跡に近い坑道ほど顕著である。

Pre-tension を与えた時の解析結果を図6に示す。この図より、Pre-tension を与えることによって沈下量の変化は認められないが、天盤の引張り破壊の減少が認められる。また図7より、Pre-tension を与えるほどボルトに作用する荷重も大きくなっていることが分かる。このことから、Pre-tension を与えることにより、天盤にかかる鉛直方向の応力が抑制され、引張り破壊を減少させることが出来るため、ロックボルト支保がより効果的に作用することが分かる。

Load split を変化させた場合の解析結果を図8に示す。この図より、ボルト打設前における応力の解放が少ないほど、天盤の沈下量および引張り破壊領域が減少していることが判る。また図9より、ボルト打設前において応力の解放が少ないほど、ボルトにかかる荷重が大きくなっていることが判る。これらのことから、ボルト打設前の応力の解放が少ないほど、つまり、坑道採掘後迅速にボルトを打設することにより、効果的な支保が行えると考えられる。

側壁にボルトを打設した場合の解析結果を図10に示す。この図より、側壁へのボルト打設により天盤の沈下量および破壊状況は変化しないが、側壁のせん断破壊ならびに引張り破壊が抑制され、変位量が減少していることが分かる。したがって、側壁にボルトを打設することによって側壁の変位、破壊ならびに剥離を抑制することが出来る。

4. まとめ

本報告では、坑道の維持にロックボルト支保を用いる場合、周辺の応力状態ならびに予想される破壊領域に応じて、適切な支保能力および長さを有するボルトを選択する必要があることを示した。また、ボルトへのPre-tensionの付加や坑道掘進後速やかな打設、さらには天盤だけでなく側壁にもボルトを打設することにより、ボルトによる支保効果を高めることができることを示した。

参考文献

- 1) E・フック&E・T・ブラウン：岩盤地下空洞の設計と

表 1 ロックボルトの打設様式および力学的特性値

表 2 解析に用いた岩盤の力学的特性値および各種パラメータ

図 1 解析モデル

図 2 解析に用いたロックボルトの打設様式

図 3 ロックボルト打設の有無による坑道C周辺岩盤の破壊状況 (深度=200m、側圧係数=1.0)

図 4 深度の違いによる坑道C周辺岩盤の破壊状況の変化 (側圧係数=1.0)

図 5 掘削坑道の位置の違いによる岩盤の破壊状況の変化 (深度=200m、側圧係数=1.0)

図 6 Pre-tension の変化に伴う天盤沈下量の変化(坑道 C、深度=200m、側圧係数=1.0)

図 7 Pre-tension の変化に伴うボルトに作用荷重の変化 (坑道 C、深度=200m、側圧係数=1.0)

図 8 Load Sprit の変化に伴う天盤沈下量の変化 (坑道 C、深度=200m、側圧係数=1.0)

図 9 Load Sprit の変化に伴う天盤沈下量の変化 (坑道 C、深度=200m、側圧係数=1.0)