

湧水がロックボルトの施工品質に与える影響について

株式会社 ケー・エフ・シー 正会員 ○井本 厚

株式会社 ケー・エフ・シー 田中 祐介

株式会社 ケー・エフ・シー 正会員 松尾 勉

1. はじめに

我が国では、山岳トンネルの支保部材であるロックボルトは変位抑制効果の高い全面定着型充填式ロックボルトが標準となっている¹⁾。これは硬岩から未固結地山まで適用範囲が広く経済的にも優れているためである。しかし、孔壁崩壊や湧水などが原因でその施工が困難になることが多いのも実状である。本稿では、特に湧水に着目し、湧水の圧力や量がロックボルトの施工品質に与える影響について実験を行って考察する。

2. 実験条件

実験に使用するロックボルトは長さ 3m のねじり棒鋼とし、定着材には通常の普通モルタルを使用した。模擬ボアホールは内部を観察するために内径 51mm の塩ビ管（透明）を使用した。模擬ボアホールの先端から 500mm と 1,500mm の位置にφ6mm の孔を 4 個設けて湧水発生箇所とし、口元の 1m 区間は砂を接着して地山の持つ摩擦を表現した(図-1)。引抜試験を行う模擬ボアホールは、内径 50.5mm の鋼管を用いた。

一定の圧力を保持した状態で湧水を供給するために湧水供給装置を作製した(図-2)。約 0.3MPa の水圧で装置に水を供給し、減圧弁で減圧して装置内を所定の圧力に保持した。湧水供給装置と模擬ボアホールは内径 6mm のナイロンホースで 8 箇所の湧水発生箇所に連結し、バルブで湧水量を調整し各条件を設定した。表-1 に模擬ボアホール設置角度、湧水圧、湧水量の設定条件を示す。

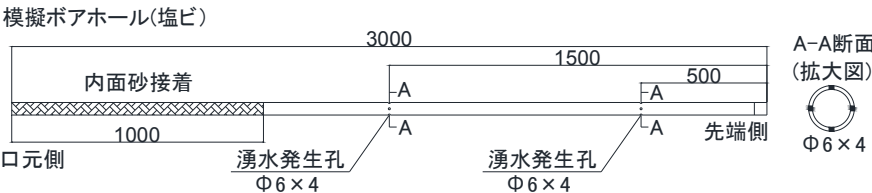


図-1 模擬ボアホール概要図

表-1 試験条件

模擬ボアホール角度(°)	上向き 45 , 90
湧水量(ℓ/min)	0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0
湧水圧力(MPa)	0.01, 0.05, 0.075, 0.1, 0.2

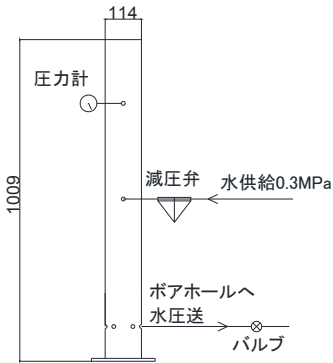


図-2 湧水供給装置図

3. 試験方法

湧水が供給された模擬ボアホールに、連続混練り圧送ポンプで混練りしたモルタルを充填し、30 秒後にボルトを挿入した。湧水量はモルタル充填前、ボルト挿入直後、挿入 3 時間後に計測した。測定終了後、水の供給を止めて養生した。

4. 試験結果

4-1 流出水量

設置角度上向き 45°で、ボルトを挿入 3 時間後の流出水量測定結果を表-2 に示す。設置角度上向き 45°の結果から湧水圧 0.075MPa 以上、湧水量 2.0ℓ/min 以上では、口元からの流出水量が 0 ℓ/min ではなく、完全充填は困難と判断し、設置角度上向き 90°については、湧水圧 0.05MPa 以下、湧水量 1.0 ℓ/min 以下で試験を実施した。結果を表-3 に示す。



写真-1 模擬ボアホール設置状況
(設置角度上向き 45°)

キーワード : ロックボルト 湧水 施工品質

連絡先 : 埼玉県加須市大桑 1-19 (株)ケー・エフ・シー技術部 0480-76-0095

表-2 ボルト挿入 3 時間後の流出水量(設置角度上向き 45°)

(単位:ℓ /min)

湧水量(ℓ/min) 湧水圧(MPa)	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0	2.0	3.0	4.0
0.01	0	0	0	0	0	2.0	0	4.0
0.05	0	0	0	0	0	2.0	3.0	4.0
0.075	0.1	0.25	0.5	0.7	1.0	2.0	—	—
0.1	0	0.27	0.45	0.7	0.5	2.0	—	—
0.2	0.05	—	—	—	—	—	—	—

表-3 ボルト挿入 3 時間後の流出水量(設置角度上向き 90°) (単位:ℓ /min)

湧水量(ℓ/min) 湧水圧(MPa)	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
0.01	0	0	0	0	0※1
0.05	0	0	0	0※1	1.0

※1 ボルト挿入までの間にモルタルが一部流出し模擬ボアホール内に空洞が発生した(写真-2)



写真-2 模擬ボアホール内の空洞
(設置角度上向き 90°，湧水圧 0.01MPa，湧水量 1.0 ℓ /min)

4-2 充填状況及び充填度

表-4 に、設置角度上向き 45°，湧水圧 0.1MPa でのモルタルの充填状況及び充填度を示す。充填度は、完全充填時のモルタル重量に対する実測したモルタル重量比とした。表で示すように、口元からの流出水量が 0 ℓ/min にならない場合には完全充填されていないことを確認した。

表-4 モルタルの充填状況及び充填度

湧水圧 (MPa)	湧水量 (ℓ/min)	充填度 (%)	湧水圧 (MPa)	湧水量 (ℓ/min)	充填度 (%)	湧水圧 (MPa)	湧水量 (ℓ/min)	充填度 (%)
0.1	0.5	58	0.1	0.7	49	0.1	1.0	39

4-3 引抜き試験

設置角度上向き 45°で設置した引抜き試験用鋼管にボルトを挿入し、24 時間以上養生後に引抜き試験を実施した。流出水量測定結果で完全充填されていないと判断した条件（湧水圧 0.075MPa 以上、または湧水量 2.0 ℓ/min 以上）にて試験を実施した。結果はすべて 240kN まで载荷可能であったが、完全充填されている場合と比べると変位量が大きくなった。図-3 に、完全充填が確認された湧水圧 0.05MPa，湧水量 1.0 ℓ/min と完全充填されていない湧水圧 0.1MPa，湧水量 0.7 ℓ/min のときの荷重変位曲線を示す。

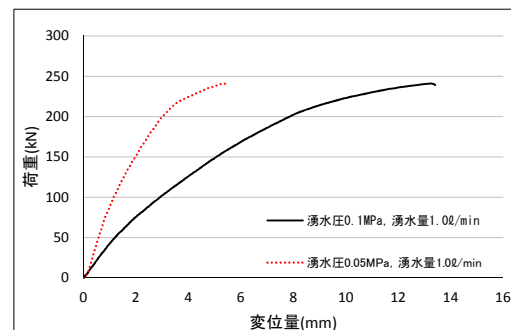


図-3 荷重-変位曲線

5. 考察とまとめ

設置角度上向き 45°の場合、湧水圧 0.05MPa で湧水量が 1.0 ℓ/min まではボルト挿入により流出水量が 0 ℓ/min となった。また、設置角度上向き 90°の場合は、湧水圧 0.01MPa で湧水量 0.7 ℓ/min，湧水圧 0.05MPa で湧水量 0.5 ℓ/min まではボルト挿入によって流出水量が 0 ℓ/min となり、これらの湧水条件ではモルタルの完全充填が可能であることを確認した。しかし、設置角度上向き 90°，湧水圧 0.01MPa で湧水量 1.0 ℓ/min のように、流出水量が 0 ℓ/min になったとしてもボアホール内に湧水が侵入して空洞が発生する場合も確認された。ボルト挿入後もボアホールから湧水が継続している場合には、湧水とともにモルタルが流出して十分な充填ができていない可能性が高く、施工管理試験で所定の引抜き耐力が得られても全面定着が確保されているとは言えない。本稿で設定した実験条件は限定的なものであり、すべての現場に適用できる結果ではないが、湧水がある場合の充填式ロックボルトの適用条件として、「ボアホールからの湧水量 0.5 ℓ/min 以下、かつ湧水圧力 0.05MPa 以下を目安とする」ことは、ロックボルトの施工品質を確保する上で有効と考えられる。

参考文献 1)土木学会：2006 年制定 トンネル標準施工方書 [山岳工法]・同解説, pp.81-83, 2006.