

山岳トンネル止水注入時の湧水量と注入量について

鹿島建設㈱名古屋支店 正会員 関屋 徹

1. はじめに

山岳トンネル掘削時に湧水に遭遇した場合、その対処法としては「水抜き」または「止水」の二つに大別されるが、その湧水の供給源が無限大と考えられるような水底下のトンネルでは、止水注入工法によるほかはない。しかし、止水注入工法については青函、新関門をはじめ幾多の事例があるものの、経験的要素が強く、円滑、合理的に実施するためには多くの課題が残されている。

本文では、掘削断面積 $13\sim 17\text{m}^2$ で河床下約 50m （最少岩盤厚 約 20m ）を通過するトンネルでの止水注入実績から湧水量と注入量の関係について検討した結果を報告する。

なお対象としたトンネルの地質は中・新生代の砂岩・頁岩互層であり、河川敷からの調査ボーリング結果では RQD が $0\sim 45$ 、Lugeon 値が 66 以上、岩級は C_M 級主体で一部 C_L 級を含み、亀裂面は大部分が茶～茶褐色に変色した状態であった。掘削時の切羽観察結果も概ね同様であったが、調査ボーリングのできなかった河川中央部で長さ約 10m の破砕帯に遭遇し当該注入ブロックの再施工を行っている。注入工の施工長は 243m であり、注入材はゲルタイム 3分前後の LW 、注入圧力は $15\sim 30\text{kg}/\text{cm}^2$ である。

2. 止水注入実績からみた湧水量と注入量の関係

注入孔穿孔時の湧水量とそこへの注入量を図-1に示す。

従来、止水注入においては地山が受けなくなるまで注入するのが良いという見方もあり、両者の間にはあまり関係がないと考えられ、顧みられることがなかった。しかし、図-1から、両者はあまり関係のない部分と共に両対数紙上で高い相関性を示す部分が見受けられる。

これは図-2に示したように、対象岩盤が次の五つの領域に区分できると考える。

I. 湧水量が極めて少ないにもかかわらず、注入すれば注入材が結構入る領域で、注入孔により切られた亀裂系が独立した、あるいは極めて連続性の低い亀裂系、空隙であることが考えられる。しかし掘削に伴う緩みの進展により流路となっている亀裂系との連続化が考えられるため、注入にあたり軽視できるものではない。

II. 湧水量がある程度あっても注入すればそれ程注入材が入らない領域で、注入孔周辺の亀裂は流路となっている亀裂系との連続性が高い可能性はあるものの、亀裂幅が小さく湧水量も限られ、注入によりすぐに充填され易い状態であることが考えられる。

III. 湧水量が多量であっても注入量は比較的少ない領域である。これは注入孔周辺の亀裂密度が低く、か

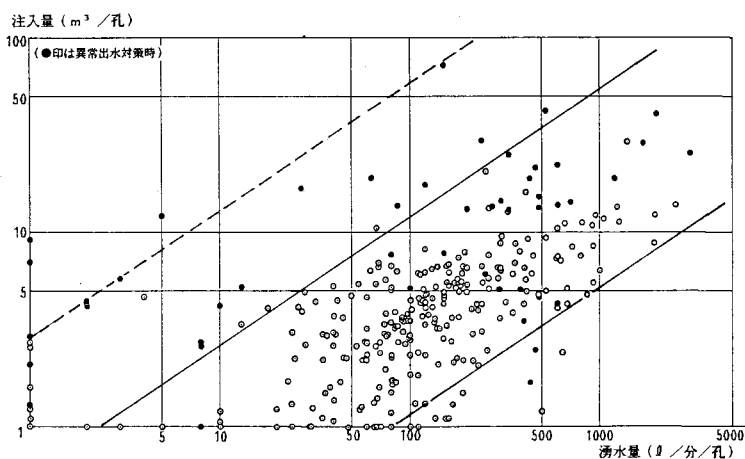


図-1. 注入孔の湧水量と注入量

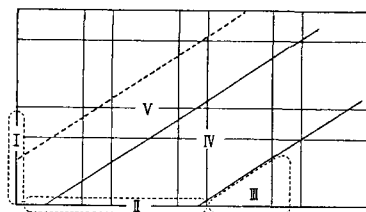


図-2. 湧水量と注入量の領域区分

つ亀裂幅が大きい状態で、幅の大きい間隙から多量の湧水があるものの、注入材が分散することなく集中的にその間隙を充填し固結化するためと考えられる。

Ⅳ. 湧水量と注入量が相関性を示す領域であり、大部分の点がここに集中する。この領域の上限と下限には注入量で1オーダー程度の幅があるが、透水理論上では間隙幅が2～2.2倍¹⁾の差で生じる幅である。

Ⅴ. 破碎帯に遭遇、異常出水に見舞われ切羽閉塞、再施工を行った際の一部データがこの領域に位置する。この領域の上限とⅣの領域の下限には注入量で50倍程度の幅があるが、上記と同じく間隙幅が3.8～4倍¹⁾の差で生じる幅である。

3. 注入諸量予測の試み

前項で大部分の点がⅣの領域にあることが示された。そこで、注入にあたり最初に行なわれるパイロット孔（以下P孔と略す）と注入ブロックの注入量に着目しグラフ化したものが図-3, 4である。

図-3はP孔湧水量と、注入ブロックの総注入量を注入孔総延長で除した値、即ち注入ブロックのボーリング単位長あたりの注入量の関係を示したものである。

両者は片対数紙上で高い相関関係が認められる。

P孔の単位長あたりの注入量と、注入ブロックの総注入量をブロック長で除した値、即ち注入ブロックの単位長あたりの注入量の関係を示したものが図-4である。

この両者の間にも両対数紙上で高い相関関係が認められる。これらの関係から、図-5に示したようにP孔の穿孔、注入段階で当該注入ブロックのボーリング数量、注入数量の大略が定まり、概略工程、工費の見通しをたてることが可能となるほか、本文で示した湧水ならびに注入諸量が、施工にあたっての管理基準値として利用できる可能性のあることがうかがえる。

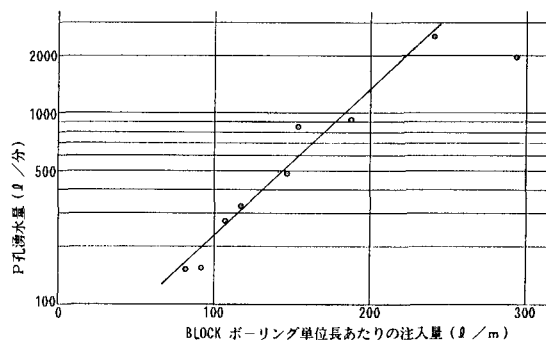


図-3. ボーリング単位長あたりの注入量とP孔湧水量

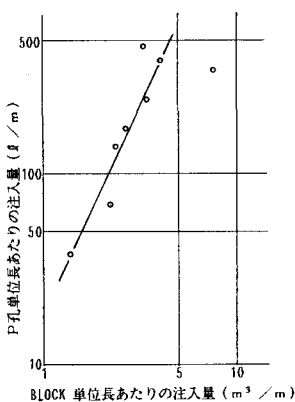


図-4. P孔とブロックの単位長あたりの注入量

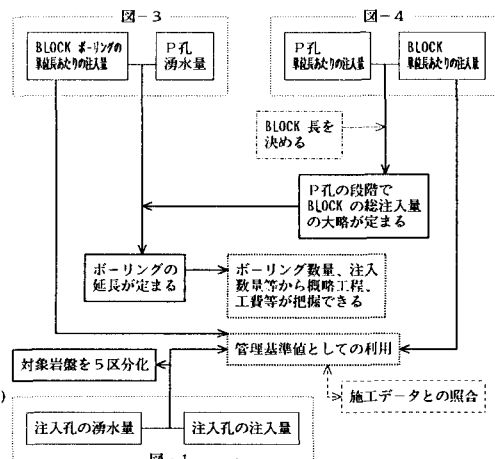


図-5. 注入諸量予測のしくみ

4. おわりに

対象地質、諸条件等、限られた一事例からではあるが、止水注入時の湧水量と注入量から対象岩盤を五つの領域に区分し、両者の関係の大部分がその中の一つの領域に現われ、相関性があることを示した。また初期の段階で、注入諸量、工程、工費が予測できる可能性、ならびに管理基準として利用できる注入諸量があることを示した。

この種の、過去あるいは今後のデータ収集、解析により合理的な止水注入施工が可能となれば幸である。