

九州大学工学部

正員

榎木 武

日本道路公団

〇

高倉 照正

1. 緒言 湧水問題は、トンネル工事における重大な関心事の一つであるが、この湧水に対処するための補助工法の一つとして、注入止水工法が広く採用されていることは周知のとおりである。本研究は、この注入止水工法の止水効果に関して、水理学的立場から検討を加え、その基本的特性を明らかにしたものである。

2. 解析概要 複線鉄道トンネルなどにみられるように、直径10mの半円形断面トンネルを想定した。これは湧水特性が、トンネル断面の形状はほぼ問題ではなく、むしろトンネル断面の大きさに大いに関係すること、及び大断面の方が小断面よりも湧水問題としてはより深刻であることを配慮したものである。また、地下水の水平方向の浸透領域はトンネル径の10倍程度と水が十分であるという著者の経験から、トンネル断面中心より120mほどとした。注入領域としては、トンネル半径の2倍、3倍、4倍の半径をもつ半円形領域を考え、それぞれタイプ1, 2, 3とする(図7参照)。また、地山内の透水性係数を基準値として注入後の透水性係数比 K が0.1, 0.3, 0.5, 0.7となる注入工法を想定せしめた。

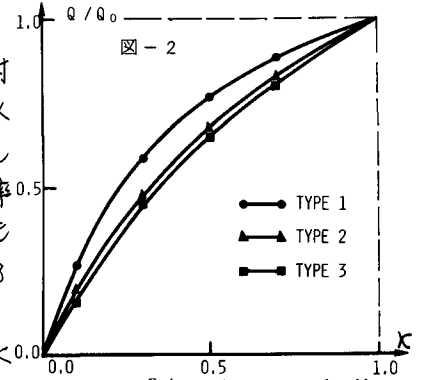
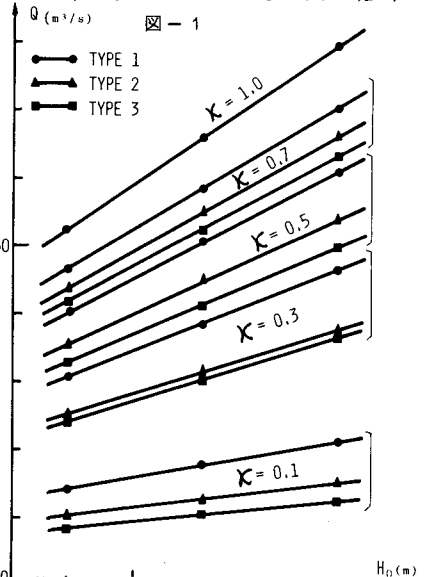
解析に当っては、著者が先に開発提案した還元有限要素法を用いた。これは本法がFEMの直接適用法に比し、演算上極めて有効であること、各断面での流量が合致し、流量算出の上でバスキが少なく、精度的にすぐれ、湧水量が最も重要である本題の解析目的に合うことなどにもとるものである。

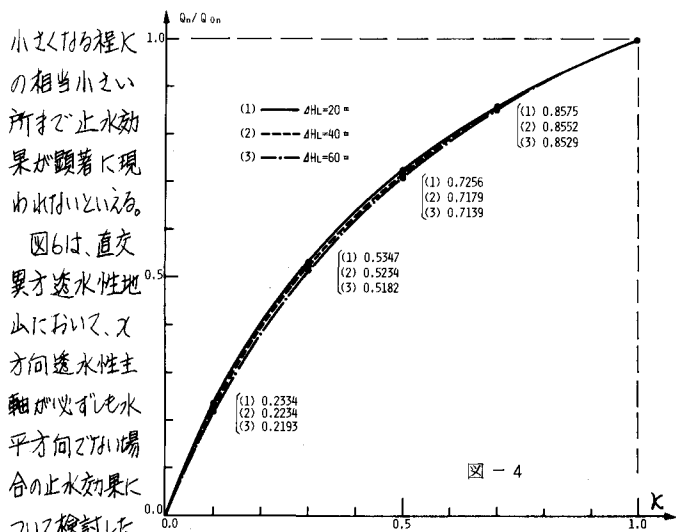
3. 解析結果および考察

3.1 等方透水性地山における止水効果 下部不透水性層がトンネル底と一致する場合を基本湧水状態とし、この場合の注入領域の範囲、注入領域と非注入領域との透水性係数比 K をパラメータに、湧水量と被圧水の水深との関係をプロットすれば図1のとおりである。また、非注入時の湧水量を Q_0 とし、これに対する注入地山の湧水量 Q の比 Q/Q_0 と、透水性係数比 K との関係を求めれば図2のとおりである。これらの図より明らかなように、タイプ1からタイプ2へ注入領域を拡大する際の止水効果の増加率は大きいが、タイプ2からタイプ3への拡大は差程大きな変化はなく、高々5%の止水効果の増加にとどまっている。したがって、注入領域としては、せいぜいトンネル半径の2倍程度で十分であり、それ以上の注入は差程意味がないといえる。また、 K が0.5より小さくなる項から止水効果の増大割合が大きいことも明らかであろう。

一般には、トンネル底と下部不透層は必ずしも一致しないが、そのような場合に対する止水効果について検討を加えれば図3のとおりである。図は基本湧水状態の湧水量に対する当該不透層位置地山の湧水量の比と不透層の位置との関係を示しているが、非注入地山の場合の湧水量増大率に対して、注入地山における増大率が大きくなることが分かる。また、 H_0/H_1 が2.0以上では Q/Q_0 がほぼ一定値に落ち着くので、その値は、非注入地山の場合で約1.6、 $K=0.1$ の注入地山の場合で約1.8である。止水効果に関しては、不透層が低下しても殆んど変るものではない(図4)。

3.2 直交異方透水性地山における止水効果 基本湧水状態に於いて、地山内鉛直方向透水性係数 k_y と水平方向透水性係数 k_x との比 k_y/k_x をパラメータに、 Q/Q_0 と K との関係を求めれば図5のとおりである。 k_y/k_x が1.0より小さい本例では等方性地山に比して止水効果は劣るものであり、また、 k_y/k_x が





ものである。すなわち、 $k_y/k_x=0.5$ とし、主軸の傾き θ をパラメータに Q/Q_0-K 曲線を描いたもので、 θ が大きくなる程止水効果は増大するが、その増大率は θ が大きくなる程小さくなり θ が 60° より大きい範囲では止水効果は数%程度の上昇に止まるに過ぎません。

以上は、直交異方透水性地山内において、等方透水性地山の場合と同様に半円形注入領域を採用した場合を述べたものである。これに対して、異方透水性そのものを考慮して注入範囲を定めるならば、止水効果に殆んど影響を与えることなく、注入面積の軽減をはかることが可能である。

すなわち、湧水理論の支配方程式から直交異方透水性地山を容易に等方化換算できるが、この概念を逆に活用すれば、等方透水性地山の円形領域は直交異方透水性地山では楕円形領域になる(図7)。そこで、たとえば $k_y/k_x=0.5$ でタイプ2の場合について、円形注入領域と、上述のようにしてえられる楕円形注入領域とを設定して、両者の止水効果を比較対照すれば図8がえられる。両者の差異は2~3%であり、ほとんど一致しているといえる。他方、注入領域に関しては本例では楕円形注入領域を考慮する場合が円形のそれを考慮する場合よりも約25%小さくなることになり、その

分注入量の節約ができることになる。

参考文献

- 1). 橋本, 楊: 還元有限要素法によるダム浸透流問題の解析, 大谷, 1977, PP73~82.
- 2). 橋本: トンネル力学, 共立出版, 1977, 0.5 PP242~281.
- 3). 橋本, 楊: 不圧流水の湧出点推定法 (第2報), 九大工学集報, 50巻2号, PP91~95.

