

九州大学工学部 正会員 樗 木 武
九州大学工学部 学生員 楊 勲 得
九州大学工学部 学生員 高 倉 照 正

1. 諸言

トンネル掘削において、地山の崩壊問題とともに湧水問題に重大な関心があることは周知のとおりである。すなわち、トンネル掘削を安全かつ能率的に施工する上で、トンネル内への湧水量を予測し、その対策として注入工法の採否や、その止水効果を検討することがきわめて重要である。そこで、本研究では、水底トンネルにみられるように湧水上不利な被圧湧水問題をとり上げ、これに著者らが先に提案した還元有限要素法を適用し、注入工法の止水効果を解明することを意図とするものである。

2. 解析モデル及び解析手順

解析にあたっては、複線鉄道トンネルなどにみられるように、直径10 m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さほど問題ではなく、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倍程度とれば十分であるという著者らの経験から、トンネル断面中心より120 mまでとした。注入領域としては、トンネル半径の2倍、3倍、4倍の半径をもつ円形領域を考え、それぞれタイプ1、タイプ2、タイプ3とする。また、地山内の透水係数を基準値として、注入後の透水係数は k が0.1, 0.3, 0.5, 0.7となる注入工法を想定するものとする。(図1参照)

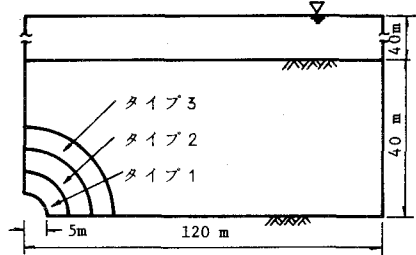


図 1

3. 解析結果及びその考察

(1). 等方透水性地山内トンネルの止水効果

注入領域の透水係数 k と、湧水量比 $\% (Q_0/Q: \text{注入前, 後の湧水量})$ との関係をまとめれば、図2のとおりである。この図で、たとえば、 $k=0.5$ の場合、タイプ1で約24%, タイプ2で約33%, タイプ3で約37%の止水効果が得られる。タイプ2とタイプ3では、わずか4%前後の止水効果の差異があるに過ぎないことから、これ以上注入領域を広げても、より有利な止水効果が期待できるものでないことがわかるであろう。

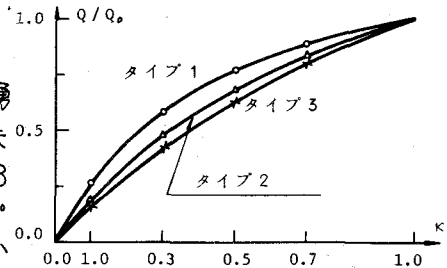


図 2

(2). 直交異方透水性地山内トンネルの止水効果

地山内の y 方向透水係数 k_y と x 方向透水係数 k_x との比を0.5にとる場合を想定する。注入領域の形状により次の2つの場合が考えられる。(1)で用いたと同様に円形領域に注入を行う場合と x 方向を基準にし、 y 方向を等方化換算することによって得た隋円形領域に注入を行う場合である。注入領域の透水係数 k が0.1, 0.3, 0.5のとき、両者の止水効果を比較すると、それぞれ2%, 2.4%, 1.1%ほどの違いが見られるに過ぎない。なお、 $k_y=0.5$ であるから $k=0.5$ 以上の値を考慮することは意味が

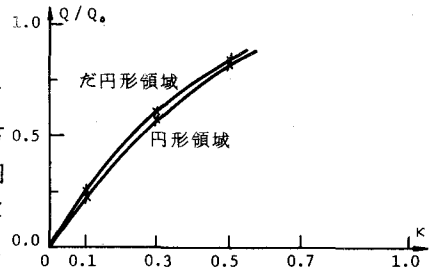


図 3

ないことは明白であろう。経験的に考えて、5%以下の止水効果の違いは無視できる値であり、従って、両者を同程度の止水効果をもつ注入工法だと判断できる。このとき、トンネル断面中心上で注入範囲を約30%削減した領域を注入処理することで、十分な止水効果を生ぜしめることが理解できる。(図3参照)

次に、円形領域に注入を行なうときの止水効果に対する透水軸の回転角 θ の影響を検討する。図4より θ が増大するほど、止水効果が高くなることがわかる。しかし止水効果の増加率は、 θ が大きくなるほど小さくなり、 θ の値が 60° より大きい範囲では、止水効果は2%ぐらいの上昇に過ぎない。

(3) 断層をもつ等方透水性地山内トンネルの止水効果

i). 断層の存在する位置の影響

断層の幅 ΔL を一定値10 mとし、断層の位置 l を25 m、35 m、45 mとして、 l が湧水量及び止水効果に及ぼす影響を検討する。注入工法を行う以前の湧水量 Q_0 と断層の位置 l との関係は、図6に示されている。 l の増大に伴い、 Q_0 は等方透水性地山の場合の湧水量に近づくが、その限界値は $l=45\text{ m}\sim 55\text{ m}$ 程度で、これ以上断層がトンネルから離れると、断層の存在は完全に無視できる。表1は $k=0.1$ の注入工法を行ったときの湧水量及び止水効果を表わしたものである。湧水量及び止水効果は3ケースともほぼ等しく、 Q_0 ほどの変動は見られない。このことは、注入効果が大きいことに起因するものと思われる。

ii). 断層幅の影響

l が小さいほど、断層の影響は大きいことは当然であるが、ここでは、 $l=25\text{ m}$ の場合を対象として、断層の幅と湧水量との関係を検討することにする。すなわち、図7は注入前の湧水量 Q_0 と断層幅 ΔL の関係を示すものである。 ΔL が15 m以上の値になると、湧水量 Q_0 はほぼ一定値となり、ほとんど増大しないことがこの図より読みとれる。また、本例では、注入後の止水効果には ΔL がほとんど影響ないことがわかるであろう。

ΔL (m)	Q (m ³ /s)	Q/Q_0	止水効果(%)
5	8.3706	0.1424	85.76
10	8.4152	0.1379	86.21
15	8.4333	0.1357	86.43
20	8.4360	0.1343	86.57

表2

参考文献

1). 榑木、楊、副島

浸透流問題の還元解析法 九大工学集報, 37巻1号, 1977

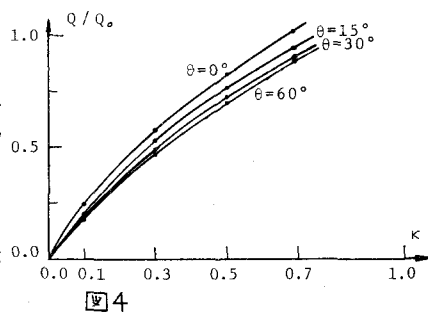


図4

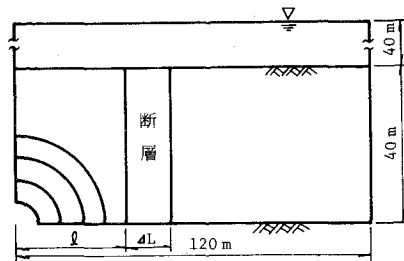


図5

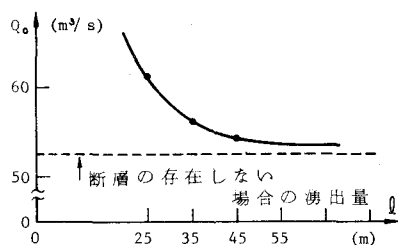


図6

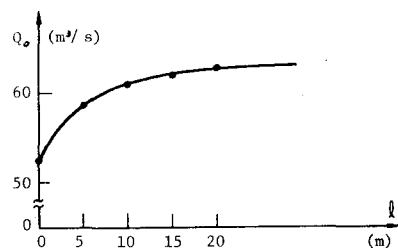


図7

l (m)	Q (m ³ /s)	Q/Q_0	止水効果(%)
25	8.4152	0.1379	86.21
35	8.3152	0.1483	85.17
45	8.2336	0.1527	84.73

表1