

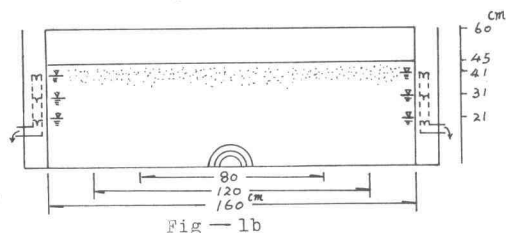
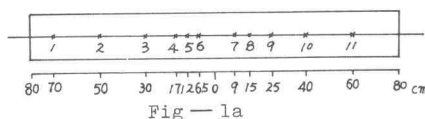
九州大学工学部 正会員 梶木 武
九州大学工学部 学生員 ○楊 勲得

1. まえがき

著者らはトンネルの定常及び非定常湧水の特性を定性的に把握するために湧水実験を行った。すなわち、定常湧水では、トンネル地山を砂モデルで作成し、トンネル直径 D と動水傾斜を種々変化させて地山内各点の水頭とトンネル孔よりの湧水量を測定した。また、非定常湧水の場合はHela-Shaw modelを用いて、トンネルの直径を一定とし、動水傾斜を変化させて、非定常状態の水頭変化、湧水量を測定した。これら実験結果から得られたトンネルの定常及び非定常の湧水特性をここに報告するものである。

2. 実験装置および実験方法

砂モデルについては、Fig-1bに示すように、長さ 180 cm 幅 20 cm 高さ 60 cm の前面アクリル板張りの鉄製水槽を作製し、滞水層の長さを最大 160 cm にできるように工夫した。また、滞水層の両側およびトンネル部分には 0.6 mm の金網を張った。底板にはFig-1aに示すように水頭値を測定するために総計11本のピエゾメータを配置した。砂の高さは 45 cm で 15 cm ずつ分けて詰め、透水係数になるべく一様になるようにバイブレータを用いて層毎に 10 cm の等間隔で各点10秒間の往復一回振動を行った。その後水締めを行った。



実験はFig-1bに示すように滞水層の長さを $2L=80\text{ cm}, 120\text{ cm}, 160\text{ cm}$ と変化せるとともに、トンネルの直径を $D=10\text{ cm}, 15\text{ cm}, 20\text{ cm}$ と変化させ、その各々のケースについて流入面の水位を $H_0=21\text{ cm}, 31\text{ cm}, 41\text{ cm}$ と変えて、各点の水頭とトンネル孔よりの湧水量を測定した。水の中に溶けている空気が金網を通るとき、金網に附着し、長時間経過すると次第に水が通りにくくなるため、全体の水頭が低下する。したがって、本実験ではまず滞水層に水を満たし、滞水層の中の水頭がすべて等しくなったとき、バルブを開けてトンネル内の水を抜き、この瞬間から測定を始め、1, 2, 3, 5, 10分経過時の水頭を測定した。その結果本モデルでは3分を経過した時点でほぼ定常な湧水状態になるものである。そこで水頭値と湧水量は3, 5, 10分の時点で測定した値の平均値を取り実験値とした。砂の透水係数は測定した湧水量と計算による湧水量から逆算したがその値はおおよそ $k=2.8 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 程度である。

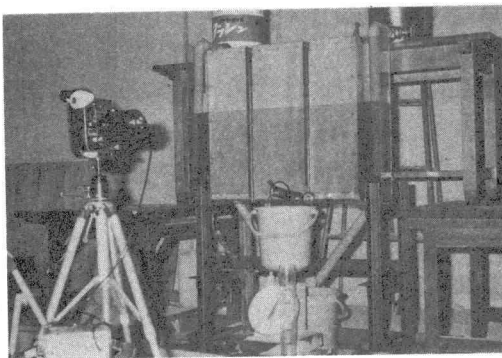


Photo-1

Hela-Shaw モデルについては、Photo-1に示すようにアクリルで作成した長さ 80 cm 高さ 60 cm 平板間隔 0.3 cm のモデルを作製し、トンネルの直径 D は 10 cm とし、両側の貯水槽の中に水頭を換えられる越流パイプを設けた。また、粘性液としてGear oil (20.4°C $\nu=5.416 \text{ cm}^2/\text{sec}$)を用いた。

実験は流入面の水位を $H_0=10, 20, 30, 40, 50\text{ cm}$ と変えて、その各々のケースについて、始めにトンネルの部分をふたで締め、貯水槽の中に油を入れ、油面を一定にしておいて、ふたを速かに取りはずして実験を行った。

実験開始直後、自由水面の変化と湧水量の測定は16mm撮影機を使用し、0.1秒の隔隔で60秒間連続的に撮影しておき、実験後にフィルムをAnalyzerで拡大して諸データを求めた。また、湧水量の測定は、水位が10cmと20cmの場合、mess-cylinderを用いたが、30cm、40cm、50cmの場合湧水量が大きいので計りを使用した。

3. 実験結果および考察

砂モデル実験によりえられたトンネルの湧水量 Q/L と動水傾斜 H_L (H: 流入面における既知ポテンシャル, L: 流入面と土厚間の距離)との関係をプロットすればFig-2に示すとおりである。図より明らかなようにトンネルの湧水量 Q/L は動水傾斜 H_L の変化により当然ながら増大するがその増え方は H_L が大きい程大きいといえる。図中各Lの値グループ間で多少差を生じているがこれは実験による砂モデルの透水係数の相違および便宜的なLの採用などに起因するものと考えられる。湧水層の長さ $2L=120cm$ の場合について、トンネル直径を換えてその湧水量と直径との関係をプロットすればFig-3に示すとおりである。トンネル直径を換えるとき砂モデルを作成しなおしたのでその透水係数が必ずしも一様ではないが、Fig-3からDの変化に対するQの変化の様子を把握することができる。すなわち、トンネルの直径に対する湧水量の変化量は直径が大きい程若干増えるものである。以上のモデルを著者らの手活すなわち、還元有限要素法により解析し、その演算結果と実験結果の一例とを対比すればFig-4に示すとおりである。図より明らかなように、トンネル地山内各点の水頭の理論値と実験値が極めてよく一致しているといえ、理論計算の妥当性を示すことができる。

・Hele-Shawモデル実験では、いずれのケースも、実験開始後30秒で水面の変化はなくなり定常状態になったので、この間の湧水量の減衰状況をプロットすればFig-5に示すとおりである。これより動水傾斜が大きければ大きい程初期集中湧水量が大きくなり、しかも、それ以降の湧水量の減少割合が大きいことがわかる。また、自由水面

の時間的変化はFig-6に示すとおりである。

参考文献

- (1) 修木 武, 揚 勲得, 松隈宣明: 還元有限要素法によるトンネル湧水の二次元定常解析 第31回土木学会年次講演会講演集Ⅲ. (2) 嶋 祐之: 渗透流に対するHele-Shawの実験の応用 土木学会誌 36-5 S. 26, 5.

