

埼玉大学工学部 正会員 佐藤 邦明
 : : 渡辺 邦夫
 : 学生員 〇小田部 淳

はじめに

トンネル掘削における水理学上の問題は、いろいろあると思われるが、その一つは工事の設計、施工、保安に関する湧水量の推定、さらに他は止水工法等に関するトンネル周辺の水圧の問題と考えられる。前者では水理地質、先進ボーリング、水理計算などにより推定され、後者では、トンネル周辺の局所的な水理解析手法（ポテンシャル解析、有限要素法など）が試みられている。筆者らは、こういった解析の基礎となるトンネル周辺の水圧分布をまず把握することが重要であると考え、今回これに関する実験を行なったのでここに報告する。

1 実験装置と実験方法

1) 基礎実験の場合

まず、トンネル周辺の流れの挙動を把握するための一つの手段として次のような基礎実験を行なった。実験装置は、図-1に示すように、定水頭装置と放射流実験用コンテナよりなり、コンテナはアクリル製の扇形（中心角 30° 、半径 75cm 、透水体長 60cm 、厚さ 5cm ）でマンメーターコック9箇所配置してある。今回は周辺から中心に向うConverging flowについて実験するため大気圧の効果を受けない放射流の場合（図-3の(Ⅰ)実験条件Ⅰ）とトンネル内部の大気圧を考慮した場合（図-3の(Ⅱ)実験条件Ⅱ）で行い、両者を比較することにした。コンテナと水平との傾斜角を順次（ $4^\circ \sim 90^\circ$ ）変化させ、かつそれぞれの場合に対応し動水勾配を変化させ、各点の水頭をマンメーターで測定した。今回用いた充填物3体は、豊浦標準砂（ $d_{50}=0.19\text{mm}$ ）、ガラスビーズ（ $d_{50}=24.8\text{mm}$ ）である。

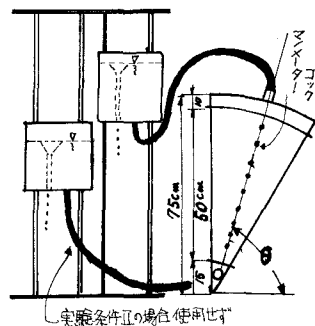
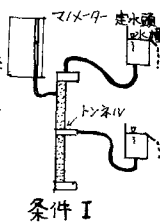


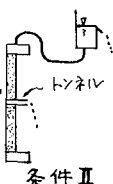
図-1 基礎実験装置

2) トンネル模型による実験の場合

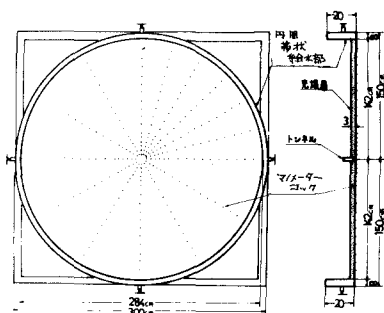
基礎実験では、コンテナが扇形体であるため接線方向の流れを考慮できないので図-2に示す円形実験装置を使用した。装置は水頭調整部と円形の充填層（半径 142cm 、幅 3cm ）及び境界条件を無限大と想定するための円周帯状給水部からなっている。トンネル模型は、充填層の中心に位置し、トンネル径は二種類（直径 $D=3\text{cm}$ 、 10cm ）である。水頭調整用マンメーターコックをトンネル中心から放射状に240（ 15×16 ）箇所配置してある。実験条件は図-2(Ⅱ)に示すように基礎実験の場合に準じトンネル内部が水で満たされている場合（実験条件Ⅰ）と大気圧の場合（実験条件Ⅱ）とした。



条件Ⅰ



条件Ⅱ (a) 実験条件



(b) 実験装置詳細

図-2 トンネル模型による実験装置

今回用いた充填物3体は、利根川川砂（ $d_{50}=0.5\text{mm}$ ）と洗

淨したものをを用い、平均透水係数 $K=1.07 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 、間ゲキ率 $n=0.271$ であり、全水頭は一定(トンネル中心より 190cm)とした。

2 実験結果とその考察

1) 基礎実験の場合

実験結果の整理は、図-3 (a) に表わす記号を用い、条件Ⅰ、Ⅱと比較すると、条件Ⅰの場合は図-3 (b) に示すように通常の放射流となる。他方条件Ⅱの場合(図-3(c))では、放射流と異なる現象がみられる。軸の負の値の傾向は、動水勾配の減少に従って拡大することからわかる。これは重力の影響と思われる。また、条件Ⅱで傾斜角 $\theta=48^\circ$ の場合を図-3 (d) に示すが、この図からも同様な傾向がみられ、他の θ の場合も同じ傾向が見られた。そこで傾斜角 θ をパラメーターにして、動水勾配と重力影響領域と整理したものが図-3 (e) であり、 $r/R \sim I$ は直線関係にあり傾きはほぼ同じであるが、切迎の値が $\theta=35.5^\circ$ の時が最大値となる。この図から動水勾配をパラメーターとして、トンネルを含む断面を想定し整理したのが図-3 (f) である。この図からわかるように、重力の影響領域は、ほぼトンネルを中心に上部がつぶれた同心円状となり、動水勾配の減少にともなう領域の拡大がみられる。

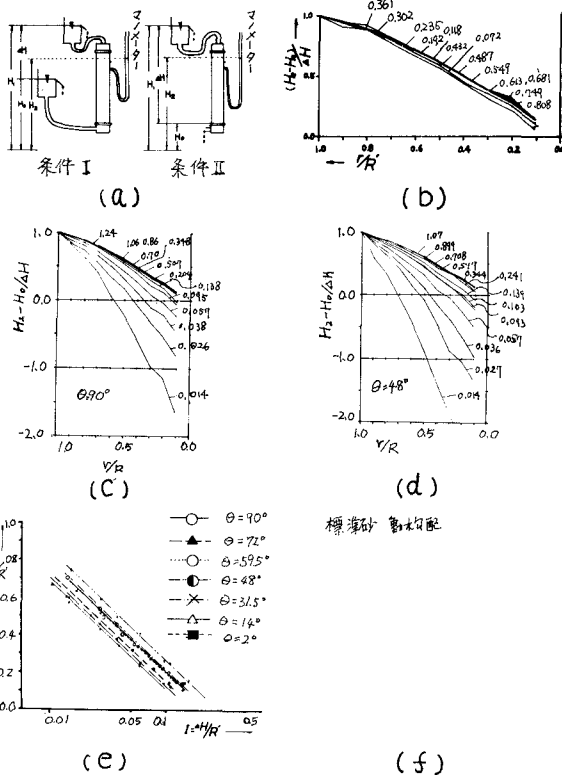


図-3 基礎実験の条件及び結果

2) トンネル模型による場合

基礎実験の場合に対象とした流れは半径方向のみであり、接線方向の流れを考慮する必要があり、さらに円形の実験装置で接線方向の流れの影響も含めて実際に近い状態にした場合の結果の一例を図-4 に示す。図-4 は、その点の静水圧と間隙水圧の比が無次元表示したもので、図-4 (a) はトンネル直径 3cm で細線が実験条件Ⅱを本線がⅠを示す。この場合湧水量が多く、ほぼトンネル断面の殆ど以上を水が満すため明らかな差違はみられないが、0.4 ~ 0.6 の部分が基礎実験の図-3 (f) の形状に近いように思われる。一方トンネル直径 10cm の場合では、トンネル径の拡大による間隙水圧の低下がみられ、0.2 ~ 0.3 の形状が図-3 (f) に近いことがわかる。図-5 はトンネル中心を含む鉛直断面での静水圧分布と間隙水圧分布を表わしたもので、この図よりトンネル上部では、実験条件によって差違がみられこれは重力の影響と考えられる。

結論

トンネル上部での重力の影響が明らかになり従来のポテンシャル理論で、井戸理論に準じたトンネルの周辺で境界条件を与える考えは不十分であるという重要な知見を得たと思う。今後条件等を変え実験を進めたいと考えている。

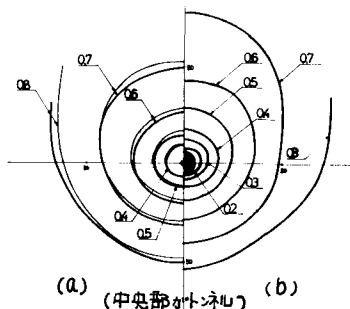


図-4 間隙水圧/静水圧

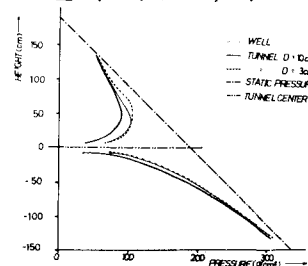


図-5 水圧分布(鉛直断面)