

Ⅲ-B98

内水圧を受けるトンネルの挙動に関する基礎的研究(その2)

ー内水圧を受けるトンネルの模型実験に関する解析と考察ー

早稲田大学 学生員 江浪 亮介

早稲田大学 学生員 清水 幸範

早稲田大学 学生員 林 淳平

早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

近年東京都や大阪府などの都市河川流域部では、急激な都市化に伴い降雨時の洪水や浸水の被害が増加している。このような都市型水害の対策として地下調節池や地下河川を根幹とした治水対策が行われているが、大都市部では既設構造物が集積しているため、これらの構築にはシールド工法が最も有効であると考えられる。しかし従来のトンネルとは異なり内部に高い内水圧が作用すると予想されるため、覆工構造には検討すべき課題が多い。筆者らは二次覆工を有するシールドトンネルを想定し、覆工間に流入する水のメカニズムとそれに伴う両覆工の挙動を把握するため、基礎的な模型実験とその解析を行った。本報告はこれらのうち、模型実験に関する解析結果と解析モデルについて検討を加えたものである。

2. 実験の概要

実験には外径 300mm、厚さ 20mm のアクリル円筒内部に厚さ 40mm のモルタルを打設した実験模型を用い、模型内部に内水圧を負荷した。模型実験の概要と結果は別報¹⁾に述べたとおりであり、以下に実験から得られた知見を再記する。①クラック発生前は主に二次覆工で内水圧を負担し、クラック発生後は一次覆工で内水圧を負担している。②モルタルの内縁に生じた圧縮ひずみは、切り欠きの影響によって生じた曲げモーメントが原因だと思われる。③クラック発生後の覆工間の水圧と内水圧は同じ挙動を示し、残留水圧は生じないと考えられる。

3. 解析の概要

構造モデルには①はりばねモデルおよび②円筒モデルを用い、上述のとおりクラック発生前後の挙動には明確な違いがあるので、クラック発生前は両覆工で発生後は一次覆工のみで内水圧を負担すると仮定した。①では図1に示すように両覆工を剛性一様リングでモデル化し、一次覆工リングと二次覆工リングとの覆工間の相互作用は、接線方向ばね K_u と法線方向ばね K_v で評価した。 K_u は法線方向における両覆工間のせん断変形域を各々の覆工厚と仮定し、 K_v は両覆工の圧縮有効厚さを各々の覆工厚の 1/2 と仮定して定めた。また境界条件は中心角 90° 間隔で接線方向と回転を拘束する仮想支点を設けた。表1に解析に用いた諸量を示す。②では円筒の厚さを考慮しない薄肉円筒モデルと、厚さを考慮する厚肉円筒モデルの2種類を用い解析した。薄肉円筒モデルでは接線方向の応力分布を一定と見なした二重円筒を想定し、両覆工の接線方向変位が等しいと仮定して、応力および変位を求めた。また厚肉円筒モデルでは円筒内の微小要素に法線方向の弾性変形、および初期締め

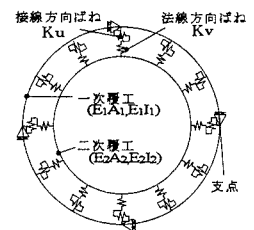


図1 はりばねモデル

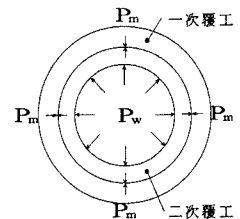


図2 円筒理論モデル

表1 覆工間ばねのばね定数

法線方向 K_v (kgf/cm ²)		接線方向 K_u (kgf/cm ²)		支点ばね		
圧縮方向	引張方向	Ky 圧縮時	Ky 引張時	接線	法線	回転
2.44×10^4	0	3.66×10^3	0	fix	free	fix

キーワード：シールドトンネル、内水圧、地下河川、模型実験

連絡先：東京都新宿区大久保 3-4-1 電話(03)3204-1894 FAX(03)3204-1946 早稲田大学小泉研究室

付け力による軸方向の弾性変形に伴うポアソン効果を考慮し、覆工間における接線方向のひずみが等しいと仮定して、覆工間に生ずる応力 P_m を求めた。図2のように一次覆工の内圧と二次覆工の外圧はいずれも P_m に等しいものとして、応力および変位を求めた。また作用させたこれらの荷重は、すべてトンネルの接線方向に一様に分布するものと考えた。

4. 解析値と実験値の比較

クラック発生前後にアクリルに生じる応力を図3および図4に、またその変位を図5および図6に示す。モルタル内縁に生じた圧縮応力は本解析では評価できないので、アクリルの応力および変位のみを示す。また円筒モデルの解析結果は厚肉円筒モデルの場合を示す。まずクラック発生前では図3からアクリルに発生する応力の実験結果は解析結果に比べ非常に大きいことがわかる。これは切り欠きの影響によりモルタルに曲げモーメントが発生し、アクリルが弾性変形して、アクリル内縁に引張応力が生じたためと思われる。また両覆工の剛性を考慮するとアクリルの挙動はモルタルの挙動に左右されると思われるので、いずれの解析モデルもアクリルの挙動を十分に評価していないと考えられる。一方クラック発生後においては図4から実験結果と解析結果はほぼ一致することがわかる。特に厚肉円筒モデルが内外縁の応力差も表現できているので、最も妥当だと思われる。このことからクラック発生後は主に一次覆工で内水圧を負担していることが確認される。なお内圧レベルが低いほど実験結果は解析結果に比べて小さくなっており、クラック発生後も内水圧の低いレベルでは二次覆工がある程度内水圧を負担しているようである。一方アクリルの変位は、図5および図6に示すように実験結果にばらつきがあるが、どの解析モデルも実験結果を評価できていることがわかる。

5. おわりに

本解析から得られた知見をまとめると、①クラック発生前の二次覆工の応力は切り欠きの影響が顕著であり、この影響は一次覆工の断面力にも及ぶ、②クラック発生後の一次覆工の挙動は厚肉円筒の理論で評価できる、③変位の挙動はいずれの解析モデルでも十分評価できる、なお、④厚肉円筒理論は覆工厚と半径の比がある程度小さくなれば薄肉円筒理論の値と同様になる。

現状のはりーばねモデルでは十分に実験結果を評価できないので、今後次の項目について検討を行う予定である。①切り欠き部には偏心距離を持つ集中荷重を作用させ、より実際の状況に近いと思われるモデル化をする。②覆工間のばね定数を再検討する。具体的には覆工間のばね定数の算定には村上・小泉の理論を用いるとともに、物性値の試験を行い算定するばね定数を詳細に検討する。またFEMを用い切り欠きを考慮した二次覆工の応力解析を行う。

【参考文献】

- 1) 林，清水他：内水圧を受けるトンネルの挙動に関する基礎的研究（その1），第52回年次学術講演会，Ⅲ部門，1997.9

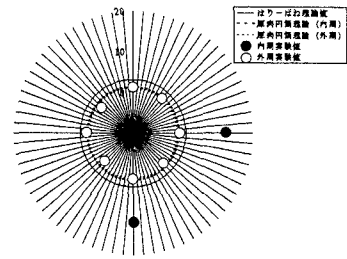


図3 クラック発生前の応力 (6kgf/cm²)

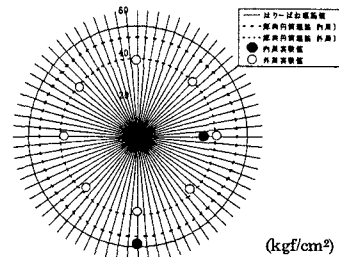


図4 クラック発生後の応力 (7.5kgf/cm²)

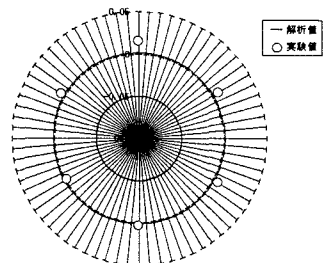


図5 クラック発生前の変位 (6kgf/cm²)

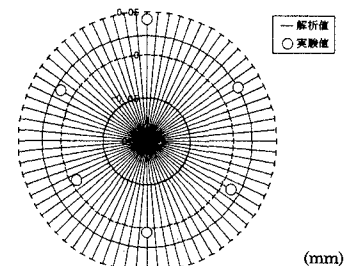


図6 クラック発生後の変位 (7.5kgf/cm²)