

Ⅲ-B186 内水圧を受けるシールドトンネルの合理的な覆工構造に関する提案

早稲田大学	正会員	清水	幸範
早稲田大学		河野	麻紀子
早稲田大学	学生会員	江浪	亮介
早稲田大学	正会員	小泉	淳

1. はじめに

近年、東京や大阪などの大都市圏では、治水対策の一環として地下河川や地下調節池などが構築されている。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が、従来のものとは異なりその内部に高い内水圧が作用するため、現状では覆工構造に検討すべき課題が多い。一般に内水圧を受けるシールドトンネルの覆工構造は、作用する内水圧を①一次覆工のみで負担する構造、②一次覆工と二次覆工とで負担する構造、③二次覆工のみで負担する構造に大別できる。①は一次覆工の内側に高い内水圧が直接作用するため、覆工本体や継手部に高い引張強度と水密性が要求される。また乾湿の繰り返しや水質による腐食、流砂による摩耗などに対する処理が必要となるので、セグメント自体は相当に高価なものになると考えられる。②は外荷重と内荷重に対して両覆工を構造部材として評価するため、経済性に優れた構造であると考えられる。しかし、両覆工の荷重分担をどのように評価するかが問題であるとともに、二次覆工に適度な引張強度と水密性が求められる。③は比較的明確な構造であると考えられるが、二次覆工自体に高い引張強度と水密性が要求される。また、二次覆工を有筋あるいは無筋のコンクリートで構築する場合には、引張強度以上の引張力が作用すると貫通クラックが生じる。そのため内部の水が覆工間に流入するので、二次覆工の構造部材としての機能が失われてしまうと考えられる。

筆者らは、内水圧が作用するシールドトンネルの挙動を把握するために基礎的な模型実験とその解析を行うとともに、その結果を基に合理的な覆工構造とその設計法について検討した。本報告は、筆者らが提案する合理的な覆工構造の概要とそれを対象にして行った試算の結果について述べたものである。

2. 合理的な覆工構造

二次覆工を有するシールドトンネルに内水圧が作用するときの、両覆工の応力分担と内部の水の挙動を把握するために基礎的な模型実験とそれを対象にした解析を行った。得られた知見として、以下のことが挙げられる。①クラック発生前は、両覆工の剛性比に応じて内水圧を負担する。クラック発生後は、一次覆工のみで内水圧を負担する。②クラック発生後、内水圧と覆工間の水圧との挙動は一致し、残留水圧は生じない。③軸引張力が卓越しているときも、その挙動をはりばねモデルで評価することができる。

これらの結果から、図1に示すように一次覆工の内側に防水シートを敷設し、これを二次覆工で押さえる構造が現状では最も合理的なものであると筆者らは考えている。この構造の場合、防水シートがトンネル内外の水の移動を完全に遮断するため、覆工にひび割れや目開きが生じてもその機能に影響はないと考えられる。そのため、一次覆工は基本的に外力のみに対して安全であればよ

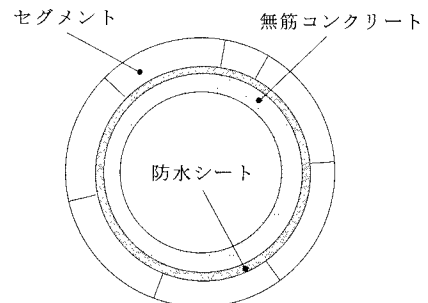


図1 防水シートを用いる構造

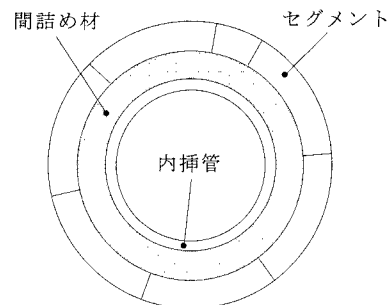


図2 内挿管を用いる構造

キーワード：シールドトンネル、内水圧、防水シート、内挿管

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

く、内水圧に対して特別な配慮は必要ない。また二次覆工の役割は、防水シートの固定、粗度係数の低減、セグメントおよび防水シートの摩耗防止であるため、有筋にする必要はなく無筋コンクリートで十分である。この構造は二次覆工を行う必要があるものの、経済性にも施工性にも優れている構造であると考えられる。一方、作用する内水圧が相当に高い場合には、図2のように二次覆工として鋼管や ERPM 管などを用い、これと一次覆工との間に間詰め材を打設する構造を採用せざるを得ない。この構造では、一次覆工は基本的に外力のみを負担し、二次覆工は内水圧のみを負担するので設計上は比較的明確である。しかし間詰め材には十分な水密性と内挿管の変形を十分吸収できる性能が要求される。間詰め材に水密性が期待できない場合には、トンネル外部から侵入する水はこれらの内挿管に圧力として作用することから、適切な座屈強度を付与してやる必要がある。一方内挿管には耐食性や耐摩耗性が要求される。

3. 合理的な覆工構造を対象にした試算

合理的な覆工構造、特に防水シートを持つ構造を検討するために、内水圧が作用するシールドトンネルを対象にした試算を行った。模型実験の解析結果から二層構造のはり一ばねモデルを用いると覆工の挙動を十分評価できることがわかっているため、計算にはこれを用いた。なお覆工構造の安全性の照査は、セグメントの鉄筋の許容応力度との照査を行うとともに、セグメントのひび割れ幅および継手部の目開き量で行った。また検討には、RC 平板形セグメントを用いた内径 12.5m(外径 13.7m)のシールドトンネルを想定した。地盤は東京層群の砂、砂礫、シルトからなる N 値 50 以上の良好な地盤とした。一方、荷重は一般的には土圧を大きく水圧を小さく評価する方が覆工にとって安全側であるが、内水圧が作用するトンネルの場合には、必ずしも安全側とは限らないため、表1のようなケースについて検討した。

はり一ばねモデルの数値解析から得られたセグメントの軸力を図3に、曲げモーメントを図4に示す。これらを見ると、内水圧が作用するときには、断面の一部あるいは全断面が軸引張状態になることがわかる。また、内水圧が増加しセグメントの外荷重による軸圧縮力が減少すると、曲げモーメントが増加してゆくことがわかる。セグメントには貫通ひび割れが発生したが、その幅は 0.5mm 以下であり、継手部の目開きも 1mm 以下であった。またセグメントの鉄筋も十分に配筋できる範囲内にあった。これは防水シートが損傷するほどのひび割れ幅ではない。これらのことからセグメントの断面や継手の形状は、すべてのケースにおいて許容応力度法により照査が可能であることが確認された。

4. おわりに

本報告では内水圧を受けるシールドトンネルの合理的な覆工構造を提案した。防水シートを用いる構造あるいは内挿管を用いる構造の両者に共通な最大の利点は、トンネル内外への水の移動が完全に遮断されることであり、これによりトンネル本体の劣化に対して高い抑制効果が期待できる。

今後、これらの構造を実用化するにあたり、より合理的な防水シートの施工方法および二次覆工の打設方法、内挿管や間詰め材の施工方法とその材質などについて検討する必要があると考えられる。

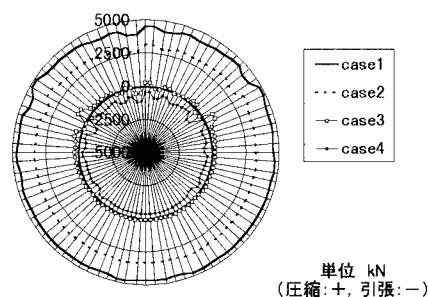


図3 軸力図

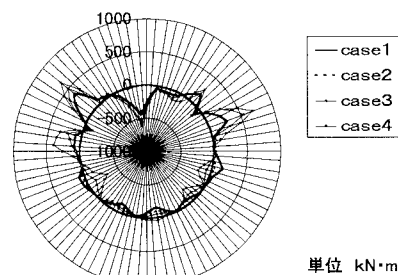


図4 曲げモーメント図

表1 解析ケース

ケース名	土圧		水圧		内水圧		上載荷重	
	1.5D	0.175D	高	低	有	無	有	無
case1	○		○		有		○	
case2	○			○		○	○	
case3	○			○	○		○	
case4		○		○	○			○