

外受21-18

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

二次覆工を有するシールドセグメント
リングの挙動に関する研究

Behaviour of the shield-segment ring
with secondary lining

申請者

村上 博智

Hirotomo MURAKAMI

2001年 12月



理 2701 (3356)

我が国は、その国土の 86%が山地であり、残り 14%の平地が海岸沿いを縁取るように分布している。急峻な脊梁山脈から流れ出した雨水や雪解け水は、急流河川を形作り、それが平地に達すると大きな扇状地を形成し、ほどなく海に注いでいる。ほとんどの河川は長い中流部を持たず、極論すれば我が国の川は上流と下流とで構成されていると言つてもよい。このような国土の成り立ちから、多くの都市は若く軟弱で地下水位の高い地盤に立地している。

一方、ヨーロッパの多くの都市は大河川の長い中流部に沿って形成され、氷河によって十分に締め固められた良好でかつ地下水位もそれほど高くない地盤上に立地するものが多い。都市部の社会基盤を整備するにあたって、このような地盤条件の我彼の違いは、かなり大きな意味を持っているものと思われる。

シールド工法は河川を横断してトンネルを作る工法として誕生した。土砂地山中にトンネルを作るにはオープンカット工法か開削工法が一般的であるが、これらの工法はそれが河川や既設構造物の下を横断する場合には、流路の切り替えや構造物の移設など多くの困難をともなう。シールド工法はこのような状況を対象にして開発された工法であるが、我が国においてはその地盤条件や環境条件などから、都市部におけるトンネルの一般的な構築工法の 1 つとして戦後急速に普及し今日に至っている。

シールド工法にはセグメントと呼ばれる覆工部材が使われる。セグメントはプレキャスト部材であり、シールドと呼ばれる鋼殻の内部で一般にボルトなどによって組み立てられ、トンネルに作用する土圧や水圧などに抵抗する覆工構造体を形成する。セグメントには鉄筋コンクリート製のもの、鋼製のもの、ダクタイルタイル鉄製のもの、それらを合成したものなどがある。かつてはレンガや木製のものも使用された。セグメントによって形作られた覆工体には、シールドのテールを出るとただちに土圧や水圧などの定常的な荷重が作用する可能性が高い。このため、セグメントはそれらの荷重に抵抗する永久構造物として設計されている。セグメントによって形成された覆工体は一次覆工と呼ばれる。

シールド工法によって構築されるシールドトンネルには、一般に、この一次覆工の内側に現場打ちコンクリートの二次覆工が施工される。二次覆工は構造体として設計されることはないのであり、シールドトンネルの蛇行修正、防水、セグメントの防蝕、トンネル内の平滑性の確保、トンネルへの余剰強度の付与、浮力による浮き上がり防止、内部施設の設置、永久構造であるセグメントの摩耗防止、施設を分離するための隔壁、防振および防音、耐火など、そのトンネルの用途に応じていろいろな目

的で用いられる。シールド工法によって構築される都市トンネルには、上下水道、地下鉄道、電力洞道、通信用とう道、ガス管路、これら 2 つ以上を組み合わせた共同溝などがあり、最近では道路や地下河川、導水路、洪水時の水を一時的に貯留する地下貯留管などへの適用も増えてきている。しかし、従来から現在に至るまで、シールドトンネルの用途の 80~90%は下水道用である。下水道用のシールドトンネルでは、二次覆工は蛇行修正、防水、防蝕、内面の平滑化および余剰強度を主たる目的として用いられている。最近では、シールド機の方向制御が格段に発達し、自然流下を原則とする緩勾配の下水道トンネルであっても、さほど問題になるような蛇行は発生しなくなった。また、セグメントの継手部の防水に用いられるシール材も良質なものが開発され、トンネルへの漏水も飛躍的に少なくなってきた。しかし、下水道では硫化水素などの発生も考えられ、また、トンネルの耐久性に悪影響を与える化学物質が流れることもありうることから、現在の段階で二次覆工を省略することはできないが、工期の短縮、工費の削減を目指して、他の用途のトンネルでは、その要求性能に応じて二次覆工を省略する傾向が強くなりつつある。

一方で、都市部における道路下の諸施設はすでに満杯状態にあり、中浅深度の地下に新たにトンネルなどの施設を構築する場合には、既設構造物との近接施工を余儀なくされる。この場合には二次覆工のもつ余剰強度が重要な意味を持つ。また、今後作られるトンネルに対しても、二次覆工の余剰強度を明らかにできれば、これを積極的に活用することも可能となる。余剰強度を正確に推定するためには、二次覆工を持つトンネル覆工体の耐荷機構を明らかにすることが不可欠である。

本研究は、以上のような背景から、二次覆工を持つシールドトンネルを対象に、その覆工体としての挙動を実験的に検討し、それを説明できる構造モデルを提示して、その耐荷機構を明らかにするものである。

論文は 5 章よりなる。第 1 章は序論であり、従来の研究実績、本論文の目的および概要を述べている。

第 2 章は模型セグメントリングを「いも繼ぎ」に組み立て、その内側に二次覆工を行ったものに関する研究であり、まず、セグメント模型および二次覆工模型の形状寸法、実験の概要、実験方法などを述べ、次に、その結果を説明する構造モデルを提示している。この構造モデルは大きく 3 通りに分けられ、1 つは、セグメントリングからなる一次覆工と後打ちの二次覆工とが重ねリング構造として挙動する場合を対象としたものであり、コンクリート平板形セグメントを想定している。2 つ目は両者が

合成リング構造と見なせる場合の構造モデルであり、鋼製セグメントの内側に二次覆工を行った場合やコンクリート平板形セグメントに非常に密にジベルを配置した場合を想定している。3つ目はその中間的な構造であり、ジベルがさほど多くない場合やセグメントの内側に凹凸などのずれ止め構造を採用した場合を考えたものである。結果として、提案したいずれの構造モデルもそれぞれに対応する実験結果をよく説明できた。

第3章は模型セグメントリングを「千鳥組」に組み立て、その内側に二次覆工を行ったものに関する研究であり、第2章と同じセグメント模型および二次覆工模型を用いている。まず、千鳥組の方法、実験の概要、実験方法などを述べ、次ぎに、その結果を説明する構造モデルを提示している。ここでは構造モデルを2つ提案している。1つは千鳥組したセグメントリングを等価な剛性を持つ1つのリングに置換した上で、第2章で述べたと同様な構造モデルを考えたものである。いま1つは千鳥組したリングを忠実に表現する、いわゆる、はり一ばね構造モデルを用い、その内側に二次覆工リングを接続させた構造モデルである。前者の構造モデルはその構成が比較的単純で、第2章で述べた構造モデルがそのまま適用できる利点がある。一方、後者の構造モデルはより複雑であるが現実に近い構造モデルと思われる。結果として、提案したいずれの構造モデルも実験結果をほぼ説明していることがわかった。

第4章は实物セグメントを千鳥組にして、その内側に二次覆工を打設した供試体についての実験の結果と、第3章で提案した構造モデルによる解析結果とを比較した章である。比較の対象とした実験は2つあり、1つは下水道用のシールドトンネルで、二次覆工によりトンネルを2分して隔壁を作り、一方には汚水を、他方には雨水を流すように計画されたものである。もう一つは電力用のトンネルであり、鋼製セグメントとコンクリート平板形セグメントの2種類のセグメントを用い、そのそれぞれに、鉄筋を入れた二次覆工と無筋の二次覆工とを打設した、合計4つの供試体が使われた。結果として、第3章で提案した構造モデルはいずれもこれらの実験結果をよく説明できた。とくに、はり一ばね構造モデルに二次覆工リングを接続した構造モデルは、複雑ではあるが実用性が高いことがわかった。

第5章は結論であり、第2章から第4章までに得られた知見をまとめている。

本論文で提案した構造モデルは、「2層リングはり一ばね構造モデル」として、すでにいくつかに設計や検討に用いられている。