

III-11 二次覆工を有するシールドトンネルの軸方向解析モデルについて

日本工営 正会員 田中 弘
 NTT 正会員 山越重志
 中部電力 児玉守広
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

シールドトンネルの耐震性などを考える上で最も重要なことは、シールドトンネルの軸方向の構造特性を明らかにすることである。軸方向特性に関するこれまでの研究は、主にその主体構造である一次覆工のみのトンネルを対象としたものが多いが、実際のシールドトンネルは、二次覆工として現場打ちコンクリートを一次覆工の内側に巻くことが多く、シールドトンネルの耐震性を検討する場合にも、トンネル完成後の構造系である、二次覆工を有するトンネルの軸方向挙動特性を明らかにすることが必要である。

著者らは、鋼製セグメントを対象に、これに二次覆工コンクリート(無筋・有筋)を現場打ちした場合について、これまでに実物大模型を用いた一連の実験研究を実施している¹⁾²⁾。ここでは、両覆工を一体構造として取り扱う構造解析モデルを提案し、同時に実物大模型による載荷実験のシミュレーション結果を報告する。

2. 軸方向解析モデル

図1は継手部を有する鋼製セグメントならびに二次覆工(ひびわれ後の挙動を含む)を考慮したシールドトンネルの軸方向剛性を評価するために用いる立体構造解析モデルの一部を示したものである。一次覆工である鋼製セグメントリングは文献3)により立体骨組構造に、また二次覆工は、実物大模型の載荷実験結果に基づいて¹⁾²⁾ひびわれ発生位置をリング継手断面位置に想定した上で円筒シェル構造にそれぞれモデル化する。二次覆工のひびわれを想定した断面の剛性はばね部材で評価し、ひびわれ発生前はそのばね定数を数値計算上無限大とする。二次覆工ひびわれ後は、二次覆工コンクリートが軸

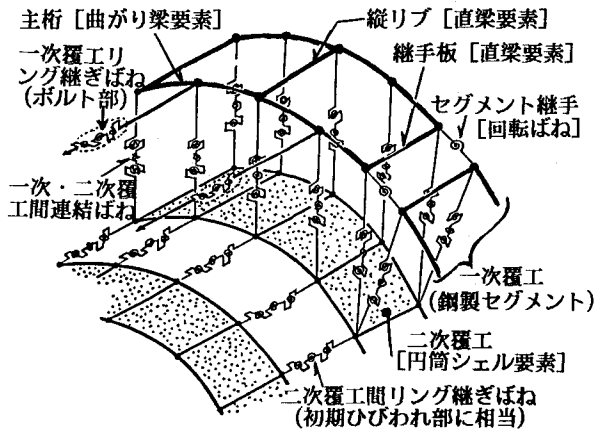


図1 立体構造解析モデル模式図

方向鉄筋を持つ有筋コンクリートの場合には、鉄筋とコンクリート物性値から推定するひびわれ部分の鉄筋自由長より評価する⁴⁾。無筋コンクリートの場合はこれを0とおく。また、一次覆工と二次覆工との結合性を表わすばねは両覆工間のせん断特性に基づいて定めるが、鋼製セグメントの場合はこれを数値計算上無限大として扱う。

この立体構造解析モデルによれば、シールドトンネル軸方向の変形特性を合理的に評価できるが、トンネル全体を対象とした解析は計算機の容量上の問題などから物理的に不可能である。図2にシールドトンネル全体を解析する際に用いる棒構造解析モデルを示す。一次・二次覆工を一体化させた合成リングを棒部材で、立体構造解析モデルで評価したリング軸方向変形特性をリング継手部ばね部材に、さらに、トンネルと周辺地山との相互作用を

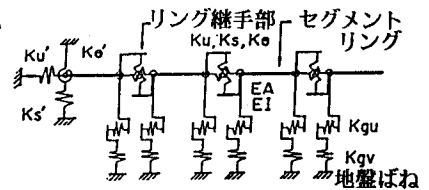


図2 棒構造解析モデル

地盤ばねで表わせば、トンネルが外力や強制変位を受けた時にトンネル内に発生する断面力やトンネルの変形などを解析的に求めることが可能となる。

3. 実験値との比較検討

提案した解析モデルの妥当性を確認するために、著者らが既に実施した実物大シールドトンネル模型（外径 1.8m、セグメント幅0.75mの実物鋼製セグメントを5リング組み立て、それに無筋コンクリートならびに軸方向鉄筋を有する有筋コンクリートを二次覆工として巻きたたてもの¹⁾²⁾）による載荷実験結果と本解析モデルによる解析値との比較を行なった。

表1に軸方向単位荷重が作用した時のセグメント各部位に生じる部材力を示す。各欄の上段が実験値、下段が立体構造解析モデルによる解析値である。無筋・有筋、圧縮・引張の各ケースともに実験値と解析値は概ね一致しており、トンネル各部材への力の分配が、立体構造解析モデルでうまく説明できている。

表1 軸方向単位荷重(tf)作用時の各部材力

	縦リブ	継手板	2次覆工コンクリート
引張	1次覆工(SM50) + 無筋2次覆工	15.8 12.1	14.3 7.8
	1次覆工(SS41) + 有筋2次覆工	11.8 12.6	8.2 8.1
	1次覆工(SM50) + 無筋2次覆工	10.4 12.9	7.0 8.4
	1次覆工(SS41) + 有筋2次覆工	11.0 12.9	7.6 8.4
圧縮	1次覆工(SM50) + 無筋2次覆工	10.4 12.9	7.0 8.4
	1次覆工(SS41) + 有筋2次覆工	11.0 12.9	7.6 8.4
	1次覆工(SM50) + 無筋2次覆工	10.4 12.9	7.0 8.4
	1次覆工(SS41) + 有筋2次覆工	11.0 12.9	7.6 8.4

※表上段…実験値
下段…計算値

単位: 縦リブ, 継手板, ……kgf
2次覆工コンクリート……kgf/cm²

図3に二次覆工ひびわれ後の軸引張荷重とリング継手部の目開き量との関係を示す。ひびわれが発生した後の二次覆工ひびわれ部の剛性を表すばね定数の評価法が無筋・有筋ともに妥当であることがわかる。

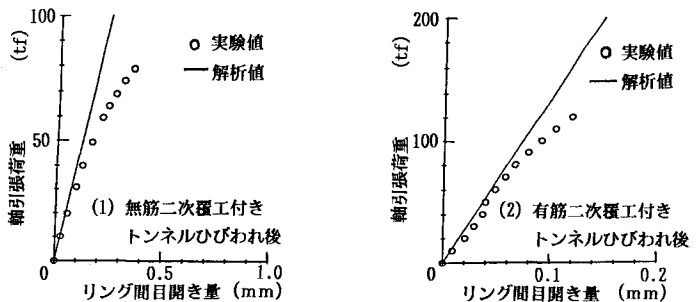


図3 軸引張荷重～継手部目開き量の関係（二次覆工ひびわれ後）

図4は二次覆工ひびわれ後の純曲げ載荷時のトンネルたわみ量（単位荷重当り）を、棒構造解析モデルで解いた結果である。トンネル全体系の変形挙動はこの棒構造解析モデルを用いてもうまく説明できることがわかる。

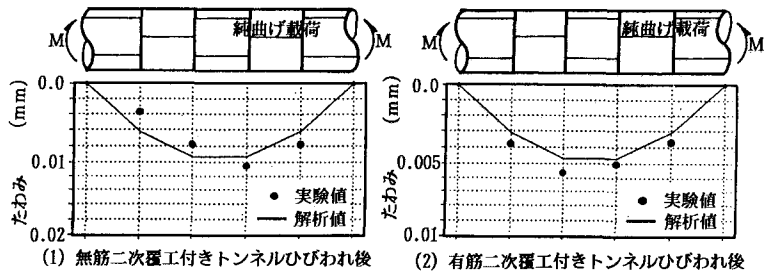


図4 二次覆工ひびわれ後のトンネルたわみ量（単位モーメント当り）

4. まとめ

トンネル完成後の構造系である鋼製セグメントリングに二次覆工を施したシールドトンネルの軸方向構造解析モデルを提案した。本手法では、解析に必要な定数が、二次覆工ひびわれ部分も含めて部材諸元・物性値からすべて事前に設定可能であり、シールドトンネルの耐震設計やその他の軸方向問題の検討に有効であると思われる。

【参考文献】1)例えば 滝 英治、依田 真、奥田康三、児玉守広、田中 弘、和田正樹：有筋二次覆工を考慮したシールドトンネルの軸方向剛性について、土木学会第44回年次学術講演会Ⅲ-20、1989 2) Tanaka, H., Yamada, K. & Taki, E: Logitudinal behavior of shield tunnel with secondary lining, 10th South-east Asian Conference on Geotechnical Engineering, R.O.C., Taipei, 1990 3) 小泉 淳、村上博智、西野健三：シールドトンネルの軸方向特性のモデル化について、土木学会論文集 第394号/Ⅲ-9、1988 4) 吉川弘道、田辺忠顕：鉄筋コンクリート部材の引張剛性に関する解析的研究、土木学会論文集第366号