

榑 竹中土木 正員 米園 俊二 藤井 義文 武智 修
竹中技術研究所 正員 下河内隆文 浅井 勝稔

1. まえがき

都市の過密化・地価高騰などの要因により、現在大深度・大規模地下空間開発が注目を浴びている。従来比較的浅所のトンネル構築構法として発達してきたシールド工法も、都市部において飛躍的な発達を遂げてきたが、より一層大深度での施工が要求されるようになってきている。それにつれて、トンネル断面も従来の様な円形断面から、重合円・楕円などの特殊断面が採用されるようになってきており、大深度でのシールドの分岐拡径技術の開発に伴う設計上の諸問題が発生してくる。シールドトンネルの設計においても、従来トンネル横断面方向での二次元解析が行われていた(いわゆる慣用計算法)が、セグメントリングを構成するセグメント継手、リング相互を連結するリング継手およびセグメントリングを千鳥組にすることによる添接効果等の影響を考慮に入れた新しい設計手法が種々開発されてきている。しかし、実際の挙動にあったより詳細な設計を行う時、トンネル軸方向に実際のセグメントの形状に即したモデル化が必要になってくる。

筆者らはこのような観点から、シールドトンネルの縦断方向・横断方向の断面力を同時に算出でき、継手部の詳細設計が可能なシールドトンネルの三次元架構解析(円筒シェルモデル)システムを開発中であり、ここにその一部を報告する。

2. 本検討手法の概要とモデル化

シールドトンネルの設計にあたって、その設計外力をどのように設定するか、セグメント継手・リング継手をどう表現するかという問題があり、種々の研究が報告されている。現状では、それらの特性を実情に即した表現ができるモデルとして村上・小泉法が高い評価を得ている。これは、設計外力として慣用計算法の外力を与え、抵抗土圧を弾性バネに置き換えて構造系に取り入れている。更に、シールド横断方向のセグメント継手は回転バネに、縦断方向のリング継手はせん断バネに置き換えてセグメントの千鳥組効果も考慮できる設計手法である。

本研究においても、図-1の架構外力モデルを使用することとした。一方セグメントリングはその形状から薄肉円筒シェルモデルを採用し、縦断方向の千鳥組による添接効果を考慮できるように、図-2に示すような架構モデルによりシールドトンネルの三次元架構解析を行っている。

一般に、三次元解析を行う場合、トンネル軸方向を長くして端部境界条件の影響を低減する。軸方向に短い区間を取り出して三次元解析を行う場合、端部における境界処理方法が問題となるが、このような境界処理方法として、両端セグメントリングに平面ひずみの拘束を与える方法あるいは境界スカラーバネによる処理法が考えられる。

これらの方法は、トンネルの断面形状および荷重条件などを考慮して、総合的に評価されるべきである。本検討では、第一ステップとして単純な円形1リングモデルを用いて前述の境界処理方法の検討を行い、次ステップとして、円形3リングモデルの三次元架構解析を行った。

3. 解析検討事例

本検討手法の解析事例を以下に示す。なお、解析に用いた諸定数は、

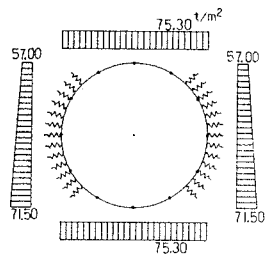


図-1 架構外力モデル

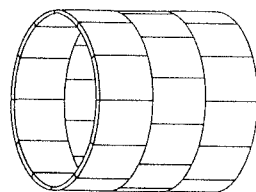


図-2 セグメント架構モデル

表-1に示したとおりである。

3-1. 円形1リングモデル(剛性一様リング)

本検討方法の妥当性を評価するため、慣用計算法および村上・小泉法との比較・検討を実施した。

以下に、検討結果の一例を示す。検討にあたって抵抗土圧は、慣用法ではWinklerの仮定に従う水平方向地盤反力バネを、村上・小泉法および本検討手法では法線方向の地盤バネを構造系の中に設定しており、本手法では両端セグメントリングに平面ひずみの拘束を与えている。

図-3は、これら3つの検討手法によって求められた曲げモーメントを比較したものである。

これによると、剛性一様モデルでは村上・小泉法と良く一致しており、慣用計算法が、若干大きめの値を示している。これは、抵抗土圧の構造系での設定法の違いによるものと思われる。ここでは、曲げモーメントのみ示したが軸力、セン弾力についても良好な結果を得ている。

3-2. 円形1リングモデル(セグメント継手有り)

セグメント継手を考慮する場合、セグメント継手を回転バネとして構造系に取り入れる。また、本手法ではまえがきで述べたような大深度での諸問題を考慮し、継手部分の軸力の伝達とセグメント間の摩擦力をそれぞれ、軸バネ、セン断バネで評価している。図-4は、村上・小泉法との曲げモーメントの比較図であるが、ここでも両者は良く一致している。

3-3. 円形3リングモデル

図-5, 6は、セグメント継手、リング継手を考慮した円形3リングモデルの曲げモーメントの比較図、図-7は、本手法によるセグメントリングの変形図を、図-8は、変形の両者の比較である。断面力としての曲げモーメントについては同等の結果が得られているが、本手法での変形の発成状況がやや大きめの値として得られた。また、ここでは示していないが、各リングの断面力の発生状況は両手法でほぼ良好な結果が得られている。

本手法では薄肉円筒シェルモデルを採用していることから、セグメント内部での応力の分布状態が把握し易く、継手部分のより詳細な設計の一助となるものと思われる。

4. 今後の課題

種々の条件でシールドトンネル三次元解析における端部境界条件を検討するとともに、断面形状特性に応じたセグメント継手、リング継手の影響を検討し、最適な継手方法及び位置の検討を行っていく予定である。

表-1 解析に用いた諸定数

断面二次モーメント	3.43×10	cm^4
ヤング係数	3.50×10	kg/cm^2
回転バネ定数	2.387×10	kgcm/rad
セン断バネ定数	1.00×10	kg/cm
地盤反力係数	1.00	kg/cm^2

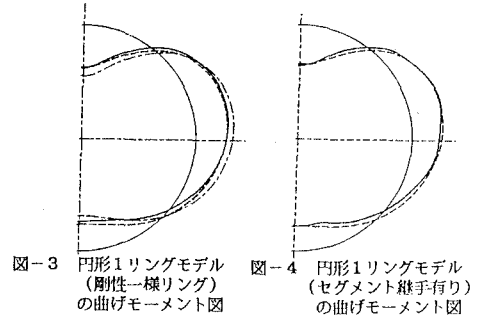


図-3 円形1リングモデル(剛性一様リング)の曲げモーメント図
 図-4 円形1リングモデル(セグメント継手有り)の曲げモーメント図

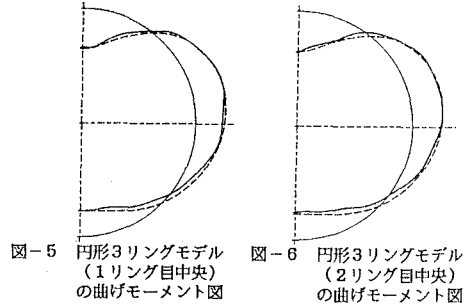


図-5 円形3リングモデル(1リング目中央)の曲げモーメント図
 図-6 円形3リングモデル(2リング目中央)の曲げモーメント図

—— 本手法 - - - - 村上・小泉法 ····· 慣用計算法

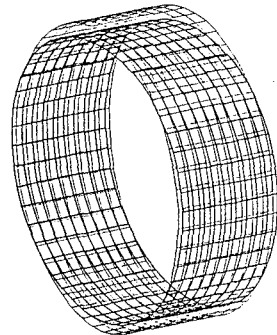


図-7 本手法による変形図

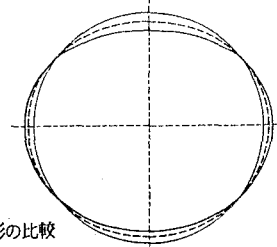


図-8 変形の比較