

III-2

異形セグメントを用いるシールドトンネルの三次元架構解析

柳竹中土木 正会員 ○脇田 一 藤井義文
竹中技術研究所 正会員 浅井勝稔

1. はじめに

大都市の高機能化に伴う社会基盤整備を進める上で地下空間の有効利用は重要な課題となっている。都市部におけるトンネル施工法としてのシールド工法は、軟弱地盤から礫混じり地盤まで幅広い土質条件に対して安全かつ合理的に地下空間を構築できる施工法であるため、地下空間開発の主要建設技術として今後さらにその適用範囲を拡大していくことが期待されており、施工のハイテク化・合理化に向けての技術開発が現在各方面で進められている。シールド工法に用いられるセグメントには、従来形のA・B・Kの3種類を組み合わせてトンネルリングを閉合するタイプがあるが、製作・管理・組立作業の省力化、自動化等を考えた場合、セグメントの種類を少なくすることが非常に有効である。このため、台形・六角形等、種々の形状の異形セグメントが考案されており、このような異形セグメントの形状効果を考慮できる設計・解析手法の確立が待ち望まれている。本報告は、このような異形セグメントを用いるシールドトンネルにおいて、セグメント形状効果を考慮することが可能な解析手法として現在開発中である、シールドトンネル三次元架構解析システムの概要と解析事例の一部を報告するものである。

2. 本検討手法の概要

セグメントの設計・解析手法としては、従来の剛性一様リングを用いた慣用計算法や、セグメント間継手・リング間継手を各種のバネでモデル化し、継手部の剛性低下や、リング間の千鳥組による添接効果が考慮できる設計手法として評価の高い村上・小泉法があるが、これらの解析手法ではセグメントを梁でモデル化しているため、図-1のような異形セグメントを用いたシールドトンネルの実際の挙動を評価することは困難である。したがってこのような異形セグメントの解析を行うには、実際のセグメント形状に即したモデル化を行うことが必要と考えられる。そこで、本検討手法では異形セグメントの形状効果を考慮するために、図-2に示したようにセグメントを薄肉円筒シェルでモデル化し、セグメントの接触面には圧縮力および摩擦力を伝える接触要素、セグメント間継手位置には半径方向・トンネル軸方向のせん断バネ、トンネル軸方向廻りの回転バネおよびボルト軸方向のバネ（引張りのみ）、リング間継手位置には半径方向・円周方向のせん断バネおよびボルト軸方向のバネ（引張りのみ）、地盤反力には半径方向のバネ（圧縮のみ）を配置したモデルを採用した。また、架構外力には土圧・水圧および施工中のセグメントの挙動を検討する場合に重要になると考えられる推進ジャッキ推力や裏込め注入圧等の施工時荷重を考慮できるようなシールドトンネル三次元架構解析手法とした。

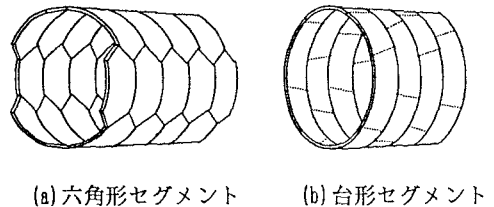


図-1 異形セグメントの例

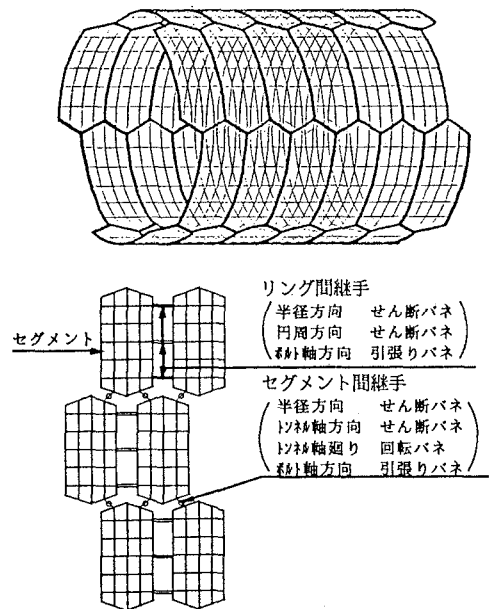


図-2 三次元シェル架構モデル

3. 解析検討事例

以下に、本検討手法を異形セグメントの検討に用いた解析事例を示す。解析モデルは、図-2のような6リングモデル（分割数は6）とし、セグメント形状は六角形および台形とした。解析に用いた諸定数は表-1¹⁾に示した値とし、架構外力には図-3のような軸対称の荷重、偏荷重およびトンネル軸方向のジャッキ推力を与えた。境界条件は、ジャッキと反対側の端部においてトンネル軸方向、一部円周方向を拘束とした。また、今回はセグメント形状特性の評価を目的としているため、地盤反力は考慮しなかった。図-4、5は六角形セグメント、台形セグメントの斜辺の傾斜角 θ を変えて解析を行なった時の変形図を示したものであるが、六角形、台形どちらの場合でも θ が大きい場合に変形量も大きくなっており、セグメント形状が変形量に影響を及ぼしていることが確認できた。図-6、7は同様の場合について1リング当たりの平均モーメント図を示したものであるが、 θ の値が変化してもモーメント図はほぼ同じになった。しかし、セグメント内部における発生モーメントの分布はセグメント形状によって異なっており、異形セグメントを用いる場合、設計時にこの事を考慮する必要があると考えている。ここでは変形図と曲げモーメント図だけを示したが、他の応力（せん断力、軸力）についてもセグメント形状が変化すると発生応力が異なっており、これらについても検討の必要があると考えている。また、異形セグメントの場合、 θ の値が変化すると図-8に示したようなクサビ効果によって、セグメントリング間に発生するトンネル軸方向応力の分布も変化すると考えられるが、今回の解析結果からもこの現象を確認している。

このように、異形セグメントを用いるシールドトンネルにおいて本検討手法を用いれば、形状効果を考慮したセグメントの検討が可能であると考えている。

4. 今後の課題

今回の報告では、セグメントおよび継手剛性等の入力定数（各種バネ定数等）を従来手法に用いる値として検討を行ったが、今後は、本検討手法に用いるこれらの入力定数を継手モデル実験等から設定する必要があると考えている。さらに本検討手法による解析結果の妥当性を実験等による実測結果から確認したうえで、異形セグメントの形状特性を評価し、セグメント形状に応じた最適な継手方法の検討を行なっていく予定である。

表-1 解析に用いた諸定数

断面2次モーメント	$1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^4$
ヤング係数	$3.5 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$
せん断バネ定数	$1.0 \times 10^4 \text{ tf/m}$
回転バネ定数	$2.5 \times 10^3 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}$

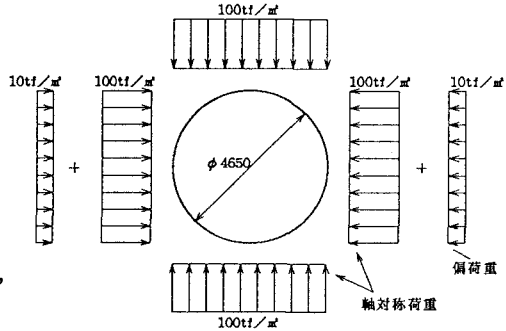


図-3 架構外力

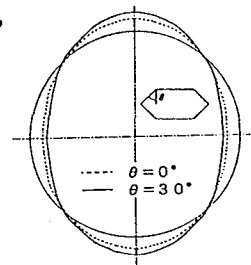


図-4 変形図
（六角形）

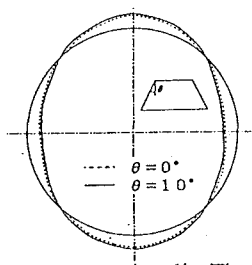


図-5 変形図
（台形）

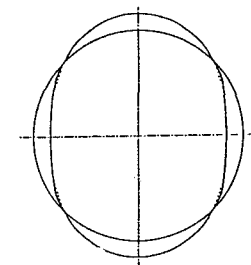


図-6 モーメント図
（六角形）

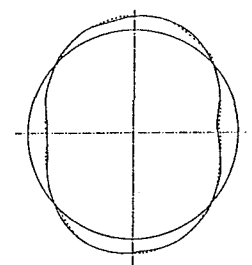


図-7 モーメント図
（台形）

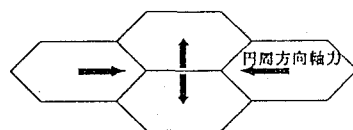


図-8 セグメント形状によるクサビ効果

【参考文献】 1) 塚田 章他：シールド工法の実際，鹿島出版会