

三次元解析モデルの簡略化に関する一考察

長岡技術科学大学 学生員 阿久根光徳 正会員 杉本光隆

日本シビックコンサルタント株式会社 正会員 小野雄一郎 正会員 団 昭博 正会員 斎藤正幸

1. はじめに

シールド工事では、シールド機の掘進に伴って現状の設計では考慮されていない様々な荷重（施工時荷重）がセグメントに作用し、場合によっては悪影響を及ぼすことが知られている。三次元的に分布する施工時荷重がセグメントに及ぼす影響を有限要素法で評価するためには、二次元モデルではセグメント幅に対する局部荷重を考慮できないため、三次元モデルで解析する必要がある¹⁾。

一方、三次元モデルではセグメントの継手や地盤とセグメントの相互作用を適切にモデル化することは、非常に困難である。そこで、施工時荷重がセグメントへ及ぼす影響について、簡易な二次元モデルにより施工時荷重の影響を評価することを最終目的として、今回、三次元モデルと二次元モデルを用いた基礎的な検討を行った。

2. 解析モデル

二次元モデルは図 1(1)に示すように梁モデルとし、三次元モデルは図 1(2)に示すシェルモデルを採用した。シェルモデルの要素分割は、セグメント幅方向を 0.1m 間隔で 15 分割、弧長方向を 1.5 度間隔で 30 分割とした。また、端部の境界条件は一方をヒンジ、他方を水平ローラーとした。セグメントの形状寸法ならびに物性値を表 1 に示す。

3. 数値解析

(1) 二次元モデルと三次元モデルの比較

図 1 に示す二次元モデルと三次元モデルに対して、セグメント中央から左右 1 要素（弧長方向に合計 3 度）、セグメント幅 1.5m に線荷重に相当する等分布荷重を 100kN/m、300kN/m および 500kN/m で作用させ、セグメント中央で発生するそれぞれの最大曲げモーメント解析値 (M_{2D} , M_{3D}) を比較することにより、両モデルの差異を確認した。なお、要素は線形弾性体とした。

表 2 に最大曲げモーメント一覧を示す。これより、各解析モデルに同一荷重を作用させたことにより、2%の誤差が発生することがわかった。これは、二次元モデルでは考慮していないポアソン比を、三次元モデルでは考慮しているためと考えられる。また線荷重を変化させても、曲げモーメントの三次元解析結果と二次元解析結果の比 M_{3D}/M_{2D} が一定となるのは、線形弾性解

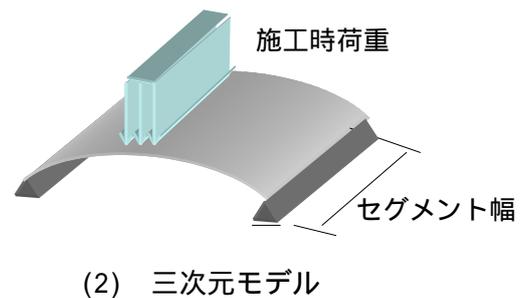
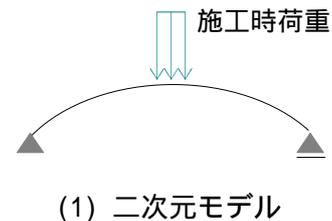


図 1 解析モデル

表 1 セグメント形状寸法・物性値²⁾

セグメント外径	5200mm
セグメント内径	4800mm
分割数	8 分割($\theta = 45^\circ$)
セグメント幅	1500mm
セグメント厚さ	400mm
ヤング率	39 (kN/mm ²)
ポアソン比	0.17

表 2 最大曲げモーメント（線荷重相当）

荷重 (kN/m)	二次元モデル M_{2D} (kN・m/m)	三次元モデル M_{3D} (kN・m/m)	曲げモーメント比 M_{3D}/M_{2D}
500	111.464	113.863	1.02
300	66.880	68.318	1.02
100	22.293	22.773	1.02

キーワード：シールド工法，セグメント，施工時荷重，数値解析

連絡先：〒940-2136 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学環境・建設系 TEL/FAX0258-46-6000/9600

析なので当然である。誤差が2%程度であることから、両モデルの差異は僅少であると判断し、本モデルを用いて構造解析を行うこととした。

(2) 局部荷重の作用による影響

図1(2)に示す三次元モデルにセグメント中央から左右1要素（弧長方向に合計3度）、セグメント端部からセグメント幅方向に載荷幅を変化させて、荷重の合計が150kNとなる等分布荷重を作用させた。

表3に最大曲げモーメント一覧を示す。ここで、最大曲げモーメントがセグメントへ与える影響を比較しやすくするため、得られた最大曲げモーメントを単位幅当りに換算した曲げモーメント M_{3D} を用いた。また、局部荷重の作用範囲が最大曲げモーメントへ与える影響を比較するため、各最大曲げモーメントを、載荷幅がセグメント幅の場合の最大曲げモーメントで正規化した補正係数も併せて示す。この補正係数と載荷幅の関係を図2に示す。

これらの図表より以下のことがわかる。

- 1) 同一の荷重が、二次元的にセグメント幅全体に作用する場合と、セグメント幅の1/15(0.1m幅)に作用する場合には、補正係数は2.04となった。これは、同一荷重でも荷重が集中してかかると、セグメントに大きな影響を与えることを示している。
- 2) 載荷幅がセグメント幅1.5mに近づくにつれて、補正係数は2.04から1.00に近づく。これは、セグメントに局部荷重が作用している場合には、二次元モデルを用いた解析では、施工時荷重のセグメントへの影響を過小評価することになることを示している。

4. まとめ

本研究では、予備的な解析として、解析モデルをセグメント1ピースとし、その中央に局部荷重を載荷し、線形弾性FEM解析を行った。この結果、セグメントに局部荷重が作用している場合、二次元解析結果は、施工時荷重のセグメントへの影響を過小評価することになることがわかった。したがって、三次元的に分布する荷重を二次元モデルで簡易に評価する方法としては、二次元解析と三次元解析を行うことにより、上記のような補正係数をあらかじめ求め、二次元解析結果に補正係数を乗じて、局部荷重のセグメントへの影響を評価するといった方法が考えられる。

セグメントを構造解析するにあたっては、継手を考慮したリングモデルで解析すること、境界条件が地層毎に変化することなど、実際はより複雑な条件での解析が必要である。さらに、施工時荷重によるセグメントへの影響を解析するためには、施工時荷重の作用位置、作用範囲あるいは作用方向を設定し、さらに目違いや目開きといったセグメントの組立精度を考慮に入れる必要がある。したがって、今後様々な条件を想定した数値解析を行い、データを蓄積していく必要がある。

参考文献

- 1) 田嶋仁志, 岸田政彦, 深井直光, 斉藤正幸: 三次元FEMモデルを用いたシールドトンネルの施工時荷重に関する検討, トンネル工学報告集, 第14巻, pp.353-360, 2004.
- 2) 土木学会: トンネル標準示方書〔シールド工法編〕・同解説, 土木学会, p.63, 1998.7.

表3 最大曲げモーメント（局部荷重，150kN）

幅方向載荷幅 (m)	M_{2D} (kN・m/m)	M_{3D} (kN・m/m)	補正係数
0.1	22.293	46.480	2.04
0.3		40.907	1.80
0.5		36.346	1.60
1.0		28.350	1.25
1.5		22.773	1.02

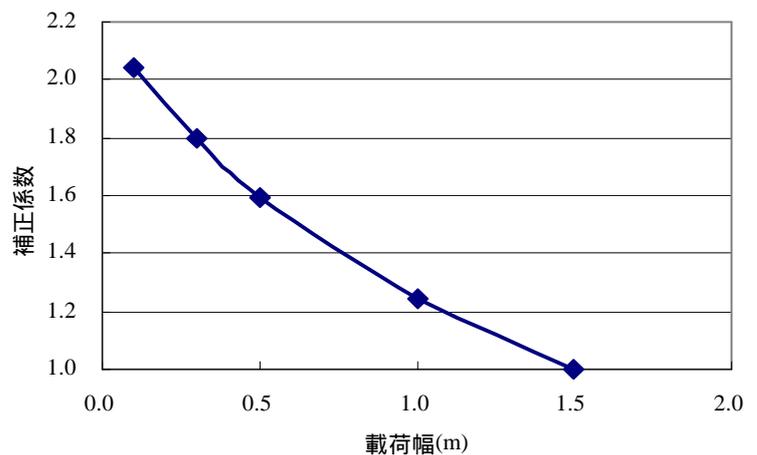


図2 載荷幅と補正係数の関係