

大深度円形立坑の開口部における合理的なモデル化方法に関する一考察

(株)熊谷組 土木事業本部 正会員 ○山口哲司
 早稲田大学 学生会員 板野貴大
 早稲田大学 正会員 岩波 基

1. はじめに

筆者らはこれまでの研究¹⁾で、シールドトンネル用開口を有する大深度円形立坑に関し、開口部周辺における現行の鉛直方向2次元梁モデルによる解析では、3次元モデルによる解析と比べて曲げモーメントが大きく算出され、また、その原因として欠円断面においてもリング効果が生じることに起因していると報告した。

本稿では、梁理論による理論解とリングばねを考慮した2次元の梁モデル、3次元モデルによる解析結果を比較することによって、リングばねを考慮することができる条件について検討を行ったので報告する。なお、本研究では、下式により算出されるリングばねを2次元の梁モデルに設けることによって、リング効果を2次元モデルに取り入れた。

$$k_r = EA/r^2$$

ここに、 k_r : リングばねのばね定数 (kN/m²/m)
 E : 立坑本体壁のヤング係数 (kN/m²)
 A : 本体壁の断面積 (m²)
 r : 立坑の半径 (m)

2. 現行の2次元モデル

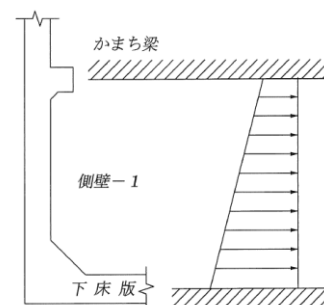
一般的な設計においては、2次元モデルで解析を行うため、主応力が発生する方向をモデル化することが多い。円形立坑の側壁においては、円形状によるリング効果から水平方向のリングモデルで解析を行う。一方、トンネルの構築に伴い断面欠損が生じる開口部周辺の立坑本体壁は、かまち梁や底版に支持される鉛直方向の梁にモデル化される。『トンネル標準示方書〔開削工法〕・同解説』²⁾等で示されている一般的な開口部周辺のモデル化方法を図-1に示す。

(a)側壁-1 は、面外荷重に対して図-1(a)に示すように、かまち梁と底版を固定とした両端固定梁にモデル化して解析を行う。

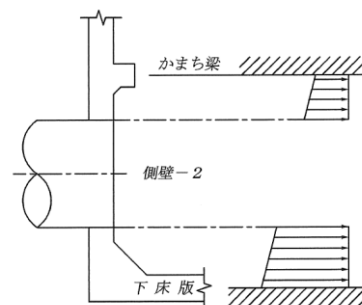
(b)側壁-2 は、面外荷重に対して図-1(b)に示すように、かまち梁または底版を支点とした片持ち梁にモデル化して解析を行う。

3. 欠円断面のリング効果の確認

筆者らはこれまでの研究¹⁾で、現行の鉛直方向2次元梁モデルと3次元モデルによる解析結果が大きく異なる原因として、欠円断面となる開口部区間においても開口がない円形断面と同様に、リング効果(3次元効果)が生じることに起因していると報告した。本研究では表-1に示す検討ケースについて、梁理論による理論解(以下、梁公式)とリングばねを考慮した2次元の梁モデル



(a) 側壁-1



(b) 側壁-2

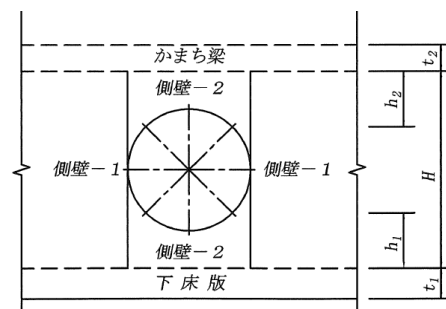


図-1 開口部周辺のモデル化方法

キーワード：大深度円形立坑，シールドトンネル用開口，モデル化，リングばね

〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 ・TEL 03-3235-8622 ・FAX 03-3266-8525

ル（以下、リングばねモデル），3次元FEMモデルによる解析結果を比較することによって，リングばねを考慮することができる条件について検討を行った．本稿では，側壁-1に関する検討結果を報告する．また，モデル化を簡単にするため，側圧を一定（ 100kN/m^2 ）とし，支持条件は単純支持と固定支持のそれぞれについて検討を行った．3次元FEM解析では図-2に示すように，シェル要素を用いて中心角が 10° ， 30° ， 60° ， 90° ， 120° ， 150° ， 180° ， 360° と幅方向に曲率を有する鉛直方向の梁モデルを作成した．

図-3，図-4にCase1における曲げモーメント図を，図-5にCase1の最大曲げモーメントに関する中心角と3次元FEM／梁公式の関係（左縦軸・実線），および，中心角とリングばねモデル／3次元FEMの関係（右縦軸・破線）を示す．図-3，図-4示すように，単純支持，固定支持ともに中心角が 10° から 360° に広がるにつれて，曲げモーメント図は梁公式からリングばねモデルに近づくことが確認できる．また，図-5の実線で示すように現行の梁公式による設計では過大な設計になっている可能性があり，また，中間立坑のようにシールド開口を2つ以上有する円形立坑においても中心角が $120^\circ \sim 150^\circ$ 程度以上あれば，リング効果が現れることから，リングばねモデルを適用することが可能であると考えられる．

表-1 検討ケース

	立坑内径 (m)	壁厚 (m)	開口径 (m)	適用構造物
Case1	26.0	3.0	14.0	道路・地下河川
Case2	11.0	1.6	7.0	鉄道
Case3	8.0	1.2	4.0	下水

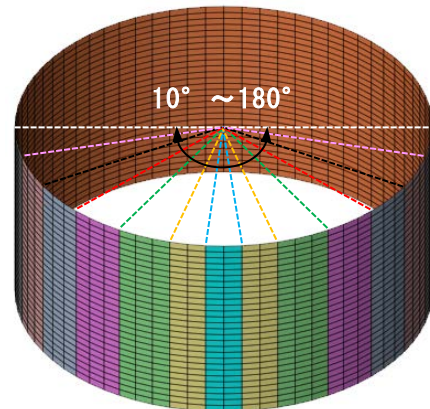


図-2 3次元FEMモデル（Case1）

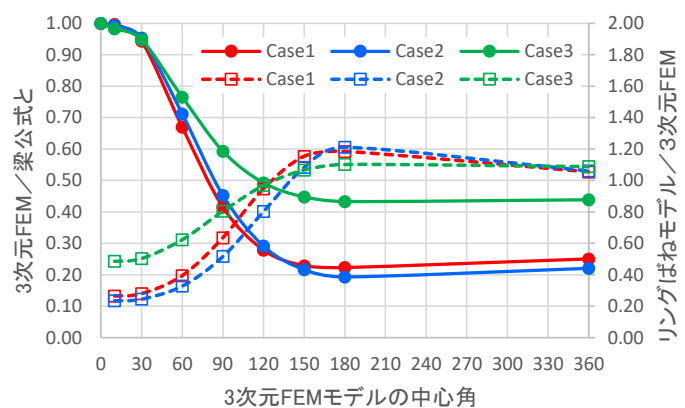


図-5 梁公式，リングばねモデルとの比較

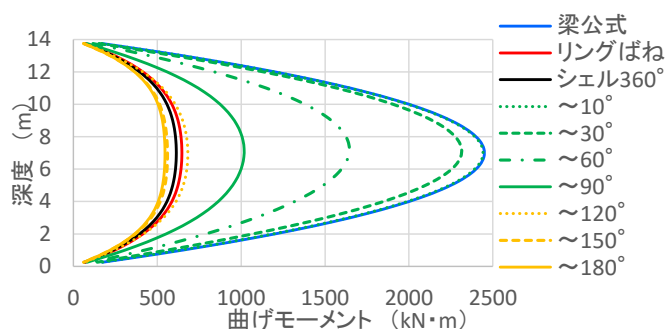


図-3 Case1_曲げモーメント図（単純支持）

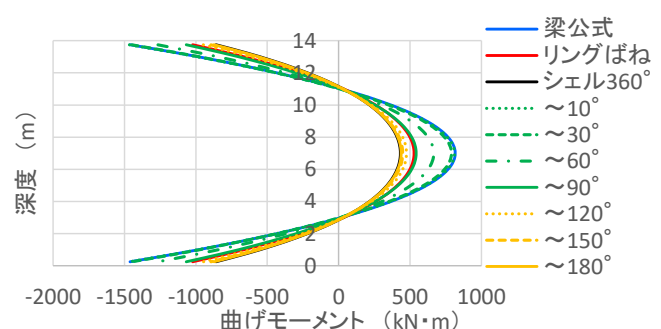


図-4 Case1_曲げモーメント図（固定支持）

4. まとめ

- ・側壁-1に関し，梁公式を用いる現行の設計方法は，過大な設計になっている可能性がある．
- ・側壁-1においては，リングばねモデルを用いることで3次元効果を考慮することが可能である．
- ・開口と開口の中心角が $120^\circ \sim 150^\circ$ 程度以上あれば，十分なリング効果が期待できる．

【参考文献】1) 山口ら：シールドトンネル用開口を有する大深度円形立坑の構造解析手法の提案，土木学会論文集F1（トンネル工学）（掲載予定）

2) 土木学会：トンネル標準示方書〔開削工法〕・同解説，2015．