

3次元有限要素法を用いた矩形立坑構造物に関する設計検討

(株) 復建エンジニアリング 正会員 ○金巻 哲史
(株) 復建エンジニアリング 正会員 勅使川原 敦
日本大学 理工学部 交通システム工学科 正会員 谷口 望
日本大学 理工学部 交通システム工学科 (研究当時) 佐々木 浩也

1. はじめに

矩形立坑の設計は、3次元の立体構造として解析することが望ましいが、実務設計上では設計の煩雑さや安全性を考慮して、3次元である構造物を2次元骨組みにモデル化して応答値を算定するのが一般的である。この手法の場合、一般的に安全側の結果が得られるが設計結果が過大(部材厚が大きい・鉄筋量が多い)になる側面もある。現在、安全性と並行して経済性についても設計業務にて要求されることがあるため、本検討では、安全性かつ経済的な構造物の設計の観点から3次元と2次元の解析結果を比較することを目的とする。なお、本検討では、トンネル開口を有する妻壁に着目する。

2. 検討方法

本検討では、3次元有限要素解析システム「DIANA」を用いて解析を行う。矩形立坑の各部材をシェル要素としてモデルを作成し、地盤の影響はモデル化せずに荷重(土圧)のみを考慮した。また、シールドトンネルと妻壁との接合部は、ピン結合と剛結合の2パターンにて解析し発生応力の傾向を把握する。

解析対象は、トンネル開口を有する妻壁とし、3次元解析で発生した最大主応力と2次元骨組みにモデル化して発生した応力を比較する。

3. 解析モデルの概要

矩形立坑の一般図を図-1、各部材の諸元を表-1に示す。対象とする矩形立坑は、幅14.1m、高さ20.4m、奥行き22.0mの矩形立坑であり、床版は、縦断方向スパンが横断方向スパンの0.4倍から2.5倍の範囲内のため二方向スラブと考えられる。側壁は、ソイルセメント鋼製地中連続壁を採用し、片側の妻壁のみシールドトンネルと接合する。荷重状態図を図-2に示す。なお、拘束条件は下床版下端を全面固定とする。

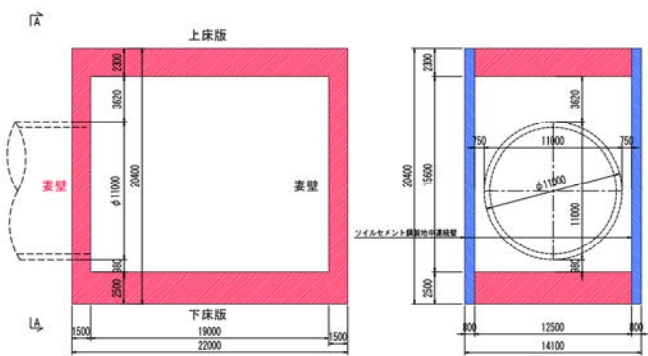


図-1 構造図(縦断図・横断図)

表-1 部材諸元

部材	部材幅	部材高	断面積	断面二次モーメント	変形係数
	b(m)	h(m)	A(m ²)	I(m ⁴)	E(kN/m ²)
上床版(RC)	1.000	2.300	2.300	1.014	2.8×10 ⁷
下床版(RC)	1.000	2.500	2.500	1.302	2.8×10 ⁷
妻壁(RC)	1.000	1.500	1.500	0.281	2.8×10 ⁷
側壁(鋼製)	-	-	0.0886	0.0103	2.8×10 ⁸

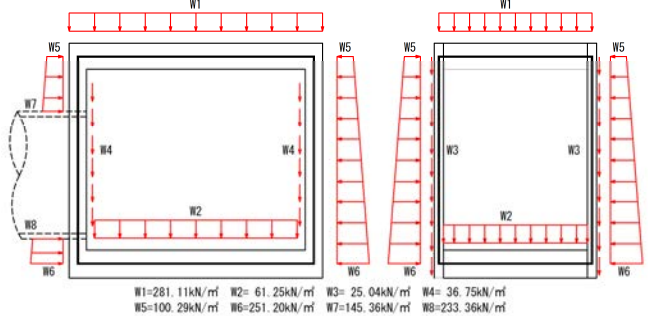


図-2 荷重状態図

4. 実務設計上の妻壁検討

実務設計における矩形立坑の構造解析においては、立坑を横断方向及び縦断方向に分離した全体系にてモデル化するが、シールドトンネル等と接続する開口部については、部材別モデルを用いて応答値を算定してもよい。トンネル開口部を有する妻壁は、面外荷重に対して図-3に示すように床版及び側壁を支点とした片持ち梁¹⁾にモデル化して解析する。本検討

キーワード 矩形立坑, 3次元有限要素法, 片持ち梁, 3次元効果
連絡先 〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1丁目11番地12
(株) 復建エンジニアリング TEL03-5652-8558

においても部材別モデルを用いて応答値を算出する。

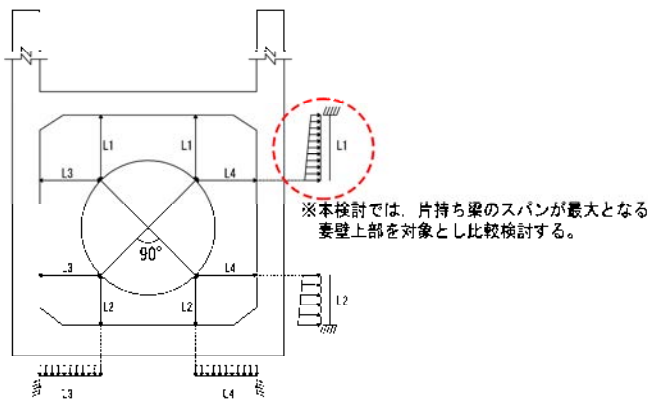


図-3 開口部を有する妻壁の解析モデル例

片持ち梁によって算出した曲げモーメント値は、1771.73 (kN・m) であり、3次元解析の結果と比較するため下式により変換する。

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

ここで σ : 応力(kN/m²) I : 断面二次モーメント (m⁴), M : 曲げモーメント(kN・m), y : 部材厚(m)

5. 解析結果・比較

3次元解析結果の最大主応力コンター図を図-4 及び図-5 に、3次元解析によって得られた最大主応力と片持ち梁にて算出した応力値を表-2 に示す。妻壁の最大主応力は、最大となる妻壁上端の中央部の要素から抽出した。

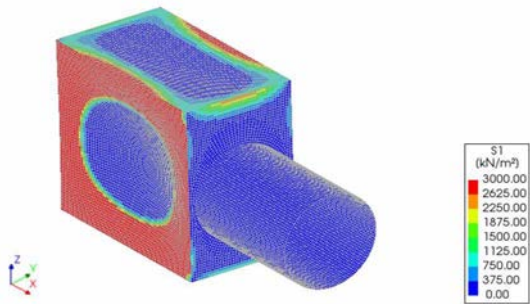


図-4 最大主応力（シールド・妻壁ピン結合）

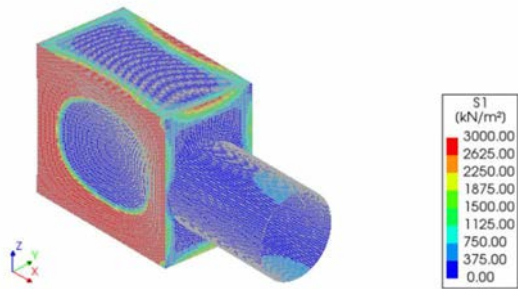


図-5 最大主応力（シールド・妻壁剛結合）

表-2 応力比較

結合条件	3次元解析結果 (a)	片持ち梁 (b)	比 (a/b)
ピン結合	2574.6(kN/m ²) (M=965.48kNm)	4724.6(kN/m ²) (M=1771.73kNm)	0.64
剛結合	3034.3(kN/m ²) (M=1137.86kNm)		0.54

3次元解析（ピン・剛結合）と片持ち梁によって算出した曲げモーメントより、妻壁に必要な引張鉄筋量を表-3 に示す。

表-3 妻壁の引張鉄筋量の比較

解析手法	妻壁に用いる引張鉄筋
3次元解析 ピン結合・剛結合	D29-1 段（計 8 本） As=5139.2mm ²
片持ち梁	D25-2 段（計 16 本） As=8107.2 mm ²

6. まとめ

矩形立坑のトンネル開口を有する妻壁に対して 3次元解析と片持ち梁にて応力比較を行った結果、3次元解析の結果は、片持ち梁にて算出した応力の 0.5 から 0.6 程度であった。片持ち梁の結果より応力が減少した要因は、妻壁以外の部材効果（3次元効果）によるものと考えられる。妻壁上部の中央部分に最大応力が発生しており、左右の端部に近づくにつれ応力が減少していることがコンター図よりわかる。また、シールドトンネルと妻壁の接合条件の違いによる発生応力の比較では、剛結合の方が大きい結果となった。妻壁の引張鉄筋量においても、応力が減少したことから 0.7 から 0.8 程度に抑えることが可能となる。上記より、片持ち梁による設計手法は、従来の考え方と同様に安全側の結果を示すことができたが、3次元解析の結果と大きな乖離が生じることがわかった。

7. おわりに

トンネル開口を有する妻壁において、3次元解析と片持ち梁との結果に大きな乖離があったため、今後は 3次元効果を考慮した最適な片持ち梁のスペン長を提案することが望ましい。また、立坑の平面寸法によっても応力分布に大きな影響を与えることから、長スペンと短スペンの比による応力の分布傾向の把握、発生応力の差を整理し、安全性と経済性を両立した矩形立坑構造物の設計手法を確立していきたい。

参考資料

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・開削編，pp.182-186, 2021.