

(Ⅲ－31) 東京都心部の大深度地下における多目的トンネルに関する調査研究(その6)

－円形立坑壁の三次元解析について－

(株)熊谷組 正会員 岩波 基
佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄
早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

大都市部において、掘削深度が50mより深く床付けが自立性の高い地盤まで達するような大深度の立坑は施工実績が少ない。このため、立坑壁に作用するに側圧や立坑壁の挙動に関する計測データもほとんどない状況にある。50mを超える大深度立坑では、その断面形状は円形が合理的と考えられるが、設計は中浅深度における円形立坑に対するそれを準用している現状にある。現在、円形立坑壁の設計は、立体的な円形立坑をその横断面方向と縦断面方向とに分け、前者は多角形のラーメン構造で、後者は梁構造でモデル化し、これに主働的および受働的荷重を作用させて弾性または弾塑性解析を行う場合が多い。円形立坑連壁の挙動を再現するには三次元シェルモデルが最も適していると考えられるが、三次元解析は解析データが膨大で計算時間と費用が掛かるためほとんど実施されておらず、今までの解析実績は円筒シェルを使用したもので、多角形の形状を考慮したモデルによる解析は実行された例がない現状にある。

本研究は連続地中壁工法による大深度円形立坑壁の挙動を表現することのできる解析モデルについて検討したものであり、特に連壁を薄板要素(平板薄肉シェル要素)からなる多角形の構造としてモデル化した三次元解析を行い、二次元モデルとの比較を行うことで、三次元効果を評価したものである。

2. 解析条件

本研究では、掘削深度が50mを超える大深度円形立坑の施工実績から、工事例の多い内径12.5mの立坑を解析例として選定した。以下に、今回実施した二次元解析と三次元解析の解析条件について述べる。

(解析モデル、物性条件)

解析に採用した立坑の構造諸元を表1に示す。

二次元解析では、立坑を水平に切ったときのコンクリート断面中央を通る線部材としてモデル化を行い、三次元解析では、二次元解析モデルを鉛直方向に伸ばした平板のモデルを採用した。

二次元解析に使用する要素は平面骨組要素であり、三次元解析には4節点からなる三次元の薄肉平板要素を用いた。また、山留め連壁のコンクリート

ートは泥水中施工で一般的に用される配合を想定した。モデル図を図2、3に、そして、解析条件を表2に示す。

(地質条件)

地質条件は、東京都と神奈川県に広く分布する自立性の高い土丹層に立坑壁が深く根入れするように設定した。また、地盤はウィングラバネとしてモデル化し、掘削する部分のバネは引張力が働くとき力を伝達しないノンテンションバネを用いた。地盤反力係数は「大深度土留め設計・施工指針(案)」(財)先端建設技術

表1 立坑構造諸元

	立坑構造
立坑形状	正六角形
立坑内径	12.5m
掘削深さ	72.6m
連壁長	97.2m
連壁厚さ	1.20m
リソク梁高	1.00m
リソク梁厚さ	1.00m

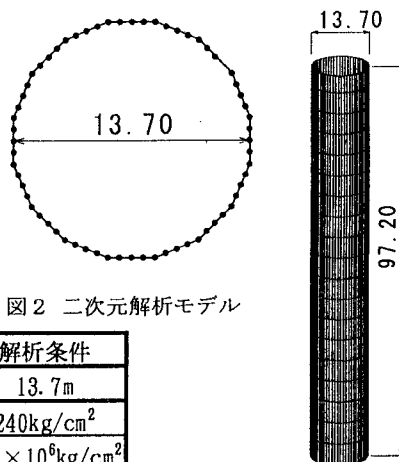


表2 解析条件

	解析条件
モデル立坑径	13.7m
連壁コンクリート設計基準強度	240kg/cm ²
連壁コンクリート弾性係数	2.5×10 ⁶ kg/cm ²
連壁コンクリートポアソン比	0.2

図3 三次元解析モデル

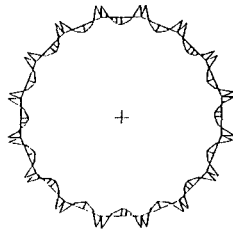
センター)に従って算定した。地質条件を表3に示す。

荷重も同様の基準に準拠して定め、掘削終了時の等分布荷重が採用するケースについて解析を実行した。

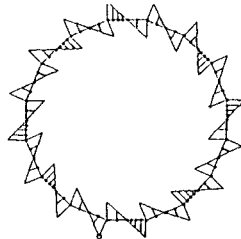
3. 解析結果

三次元解析結果における水平方向断面の断面力図（モーメント、軸力、せん断力）の一例を図4に示す。断面力は、どの深度でもほとんど同じ分布形状を示しており、代表として深度72.6mの値を図4に示した。また、三次元解析と二次元解析のそれぞれの最大変位、最大曲げモーメントを表4に示す。

曲げモーメント図

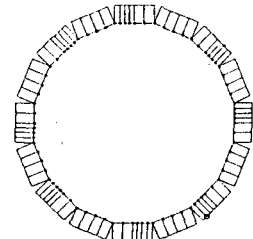


せん断力図



最大せん断力 98.4t

軸力図



最大軸力 49.3t

図4 三次元解析結果断面力図（深度72.6m）

表4 解析結果

深度 (m)	最大変位 (mm)			最大曲げモーメント (tf・m) (正)			最大曲げモーメント (tf・m) (負)		
	三次元	二次元	二次元/三次元	三次元	二次元	二次元/三次元	三次元	二次元	二次元/三次元
0.0	0.01	0.01	99%	0.17	0.26	155%	-0.46	-0.39	85%
14.4	0.18	0.23	125%	4.97	5.21	105%	-8.16	-7.79	95%
28.8	0.42	0.45	108%	9.74	10.43	107%	-16.81	-15.58	93%
38.4	0.56	0.61	108%	12.99	14.15	109%	-22.36	-21.15	95%
48.0	0.71	0.77	109%	16.11	17.88	111%	-27.76	-26.71	96%
57.6	0.85	0.92	108%	19.09	21.23	111%	-33.11	-31.72	96%
67.2	1.02	1.08	106%	24.91	24.95	100%	-42.18	-37.28	88%
72.6	0.98	1.13	115%	18.68	26.25	141%	-33.07	-40.07	121%
76.8	1.00	1.13	113%	21.94	26.25	120%	-37.77	-37.39	99%
86.4	1.01	1.13	112%	21.78	26.25	121%	-37.88	-37.39	99%
91.2	1.02	1.13	111%	21.82	26.25	120%	-37.85	-37.39	99%

注) 曲げモーメントは辺の中央に生じる内側への曲げを正とし、外側への曲げを負とする。

4. 三次元解析と二次元解析の比較

表4に示した解析結果のうち変位については、深度0mを除いて、二次元の値が10%程度大きくなっている。これは、三次元解析の場合、鉛直方向に変位が拘束されるので見かけの弾性係数が増加するためと推測される。曲げモーメントについては、正曲げモーメントでは二次元の値の方が大きく、負曲げモーメントは、浅い部分で三次元の方が大きく、深い部分ではほぼ同じ値となっている。また、三次元解析では床付け付近（深度 72.6m）での鉛直方向の応力伝達により、曲げモーメントの最大値が67.2mで生じている。

5. 終わりに

以上の結果から、山留め壁の変形挙動や床付け位置のような荷重状態が大きく変化する箇所の断面力を再現するのに三次元解析は有用であると考えられる。しかし、今回の解析モデルが実挙動を的確に説明できるかの正否は、あらゆる荷重ケースで解析を実施し、計測データとの検証を通して検討する必要がある。今後、掘削ステップを考慮した逐次解析と施工時偏荷重を作用させた三次元解析を実施していく予定である。

なお、この研究は、早稲田大学理工学総合研究センター、「大深度地下インフラに関する調査研究」プロジェクトの一環として行われたものであり、三次元解析の実施において（株）富士総合研究所の安藤氏、真鍋氏のご協力を頂いた。