

早稲田大学 学生会員 宗像研一*
 (株)熊谷組 正会員 岩波 基**
 早稲田大学 正会員 小泉 淳*

1. はじめに

大深度の立坑や LNG タンクの断面形状には、構造的に合理的な円形が用いられる。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、前者は円形のリングまたは多角形のラーメン構造で、後者ははり構造でそれぞれモデル化し、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く、一部三次元シェルモデルによる解析も実施されている。円形立坑用の連続地中壁（以下連壁と略称する）の挙動を表現するには三次元シェルモデルを用いるのが最も適していると考えられるが、通常、設計に使用するリングモデルやはりモデルについてはその立体的挙動を表現できるか否かがいまだ十分に確認されていない。

本研究は円形立坑壁の三次元挙動を忠実に表現できる二次元構造モデルの確立を目指し、まずその第一段階として、立坑形状を変化させて三次元シェルモデルとはりモデルとによる解析結果の比較を行い、それに検討を加えたものである。

2. 解析モデル

解析は三次元シェルモデルと二次元はりモデルで実施した。図-1 に示すように、三次元解析は薄肉シェル要素を用いて、その対称性から 1/4 モデルで行った。支持条件は壁下端で鉛直方向は拘束し、水平方向は地盤ばねにより支持した。掘削床付けより浅い部分の地盤ばねはノンテンションばねとし、根入れ部分では弾性ばねを用いた。はりモデルは、図-2 に示すようにリングばねと床付け以深の地盤ばねを考慮した弾性床上的はりとしてモデル化した。リングばねは、「地中送電用深部立坑、洞道の調査・設計・施工・計測指針」¹⁾に従い式(1)より求めた。

$$K = \frac{p + \Delta p}{\frac{pr^2}{AE} + \frac{\Delta pr^4}{12(EI + 0.0454K_p r^4)}} \dots (1)$$

ここで、Kは偏圧作用時における連壁のリングばねの値 (kN/m³)、pは側圧 (kN/m²)、 Δp は側圧の偏圧分 (kN/m²)、rは立坑半径 (m)、Aは立坑壁の断面積 (m²)、K_pは地盤反力係数 (kN/m³)である。

3. 解析条件

解析は、掘削深度が 50m より深い立坑の実績を念頭に置き、50m、60m、70m の 3 ケースの掘削深度を設定し、立坑直径は 20m、40m、60m とし、計 9 ケースを実施した。また、根入れ長を掘削深度と同じ値とし、連壁厚さは 2.0m とした。解析ケースと立坑形状を表-1 に、材料物性を表-2 に示す。

地盤条件は地表から連壁先端まで均一で N 値が 30 の砂質土とした。また、作用側圧および地盤反力係数は「大深度土留め設計・施工指針 (案)」²⁾に従い算定し、側圧の 10% を偏圧として考慮した。

地盤条件を表-3 に示す。なお、解析は掘削完了時について行った。

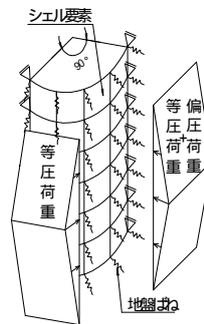


図-1 三次元シェルモデル

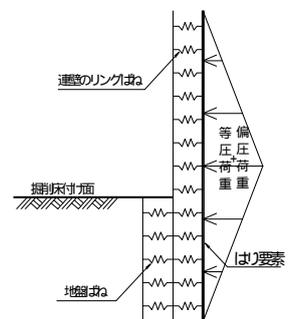


図-2 はりモデル

表-1 解析ケース 立坑形状

連壁形状	直径(m)	掘削深度(m)	連壁長(m)	連壁厚(m)
ケース番号				
CASE 1-1	20	50	100	2
CASE 1-2		60	120	
CASE 1-3		70	140	
CASE 2-1	40	50	100	
CASE 2-2		60	120	
CASE 2-3		70	140	
CASE 3-1	60	50	100	
CASE 3-2		60	120	
CASE 3-3		70	140	

表-2 材料物性

設計基準強度(N/mm ²)	24
弾性係数(N/mm ²)	2.5 × 10 ⁴
ポアソン比	0.2

表-3 地盤条件

地質記号	Ds
単位体積重量(kN/m ³)	19
N値(平均値)	30
粘着力(kN/m ²)	0
内部摩擦角(°)	30
変形係数(kN/m ²)	3830
地盤反力係数(kN/m ³)	23400

キーワード：大深度、円形立坑、3次元解析、構造解析モデル

* 〒112-0002 東京都新宿区大久保 3-4-1 51-1608 TEL 03-3204-1894 FAX 03-3204-1946

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

4. 解析結果

図-3 をみると CASE1-1 の縦断面方向の変位分布については、掘削部で三次元シェルモデルとはりモデルとの解析結果がほぼ一致するが、掘削部では三次元シェルモデルによる変位の方が大きな値となっていることがわかる。また、曲げモーメントの分布についても掘削深度で両者の結果に差が生じた(図4参照)。CASE1-1より立坑直径の大きなCASE3-1の場合には、図-5に示すように掘削部において三次元シェルモデルに比べはりモデルの方が小さい変位量となり、掘削深度で浅では逆に三次元シェルモデルによる値の方が大きくなった。

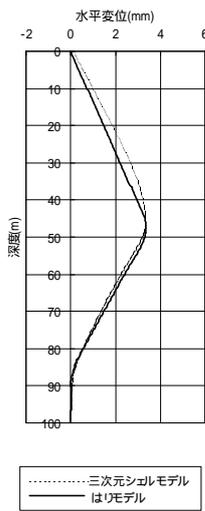


図-3 変位図
(CASE1-1)

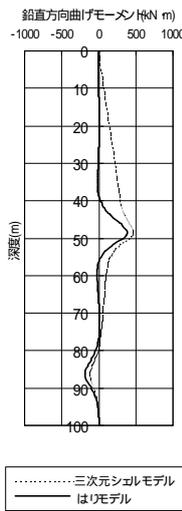


図-4 曲げモーメント図
(CASE1-1)

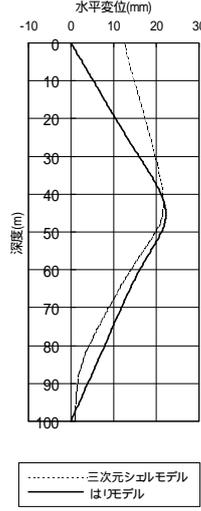


図-5 変位図
(CASE3-1)

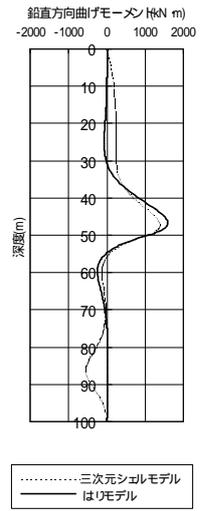


図-6 曲げモーメント図
(CASE3-1)

表-4 解析結果

	曲げモーメント(kN·m)				変位(mm)			
	三次元シェルモデル		はりモデル		三次元シェルモデル		はりモデル	
	最大値	発生深度(m)	最大値	発生深度(m)	最大値	発生深度(m)	最大値	発生深度(m)
CASE 1-1	462	48.75	380	48.50	3.3	45.50	3.4	47.50
CASE 1-2	523	58.25	396	58.50	4.1	54.50	4.1	57.50
CASE 1-3	870	67.75	412	68.00	4.8	61.00	4.8	67.00
CASE 2-1	906	47.75	1100	47.50	12.5	43.50	12.5	46.00
CASE 2-2	1003	57.75	1180	57.50	16.2	52.50	15.3	55.00
CASE 2-3	1160	67.25	1250	66.50	20.0	60.50	18.0	65.00
CASE 3-1	1380	47.25	1590	46.50	21.6	42.50	22.2	45.00
CASE 3-2	1550	56.75	1870	56.50	27.7	51.00	27.2	54.50
CASE 3-3	1290	67.25	2000	66.00	30.6	61.50	32.3	64.00

表-4 はこれらの解析結果の一覧表である。これを見ると最大変位量については、両者の結果がほぼ一致していることがわかる。一方、縦断面方向の曲げモーメントの最大値は、立坑直径が 20m の場合には三次元シェルモデルによる値の方がはりモデルによるものより大きな値となったが、40m と 60m のケースでははりモデルの方が大きい結果となった。

5. 考察

三次元シェルモデルとはりモデルとを比較すると、縦断面方向の最大変位はほぼ一致するが、曲げモーメントの最大値はその値に差があることから、はりモデルは円形立坑の挙動を忠実に表現していないものと考えられる。これは、床付位置で深でははりモデルによる変位が三次元シェルモデルより小さいことに対応しており、式(1)から算定したリングばねの値が過大評価となっていることによるものと思われる。また、このことは、三次元シェルモデルの解析結果では、床付位置で深での地盤反力の作用範囲が、式(1)で仮定している範囲の 1/2 程度であったことから確認される。

6. おわりに

今回の検討により現行のリングばねの算定式では円形立坑の三次元効果を表現できないことが確認できた。また、地盤反力の作用範囲を今後適切に考慮することでより合理的なリングばねの評価が可能となることがわかった。現在、立坑規模の異なる場合についても対処できるリングばねの評価式を検討している。また、連壁の継手や地盤条件、設計側圧などが異なる場合についても今後検討を行ってゆく予定である。

このほか、本研究では掘削完了時のみに着目したが、掘削過程まで考慮した逐次解析を行い、掘削完了時のみの解析結果との違いについても検討中である。

- 【参考文献】 1)日本トンネル技術協会：地中送電用深部立坑、洞道の調査・設計・施工・計測指針,1982.3
2)先端建設技術センター：大深度土留め設計・施工指針(案),1994.10