

Ⅲ-B172

大深度円形立坑に関する合理的な解析モデルに関する研究

早稲田大学 学生員 滝本 浩司*

(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

昨年には「臨時大深度地下利用検討会」の答申がなされ、今後、首都圏において大深度の地下利用計画が数多く立案されることが予想される。それに伴い地上とのアクセスとなる立坑への関心が高まってきている。大深度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、これを設計に用いるには、解析の手間や費用がかかりすぎる。一方で、通常設計に使用される二次元のリングモデルやはりモデルは立坑の三次元的な挙動をよく表現できるか否かの評価が明確になされていない。

本研究は最終的に円形立坑壁の三次元的挙動を忠実に表現できる二次元解析モデルの確立を目指すものであり、その第一段階として、三次元シェルモデルとリングモデルおよびはりモデルによる解析結果の比較を行い、それに検討を加えたものがある。

2. 解析条件

解析は建設省の首都圏外郭放水路第一立坑の山留め連壁を対象として行った。この立坑は内径 36.6m、掘削深度 72.1m、連壁長 130m、連壁厚さ 2.1m である。地盤条件を表-1 に示す。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)」¹⁾に従い算定し、側圧の 10%を偏圧として考慮した。立坑壁の物性は表-2 に示すとおりである。解析は掘削完了時について行った。また、リングモデルについては床付け位置となる深度 72m における荷重で解析を実施した。

3. 解析モデル

解析は三次元シェルモデルとリングモデルおよびはりモデルの三種類で実施した。図-1 に示すように、三次元の FEM 解析には薄肉シェル要素を用い、対称性を考えて 1/4 モデルで解析を行った。支持条件は壁下端で鉛直方向に拘束し、根入れ部の地盤ばねにより水平方向を支持した。

リングモデルは立坑半径 18.35m の円形にモデル化し、全周をノンテンションばねで支持した(図-2 参照)。はりモデルは、図-3 に示すようにリングばねと床付け以深の地盤ばねとを考慮した弾性床土のはりとしてモデル化した。なお、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」²⁾に従い次式より求めた。

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

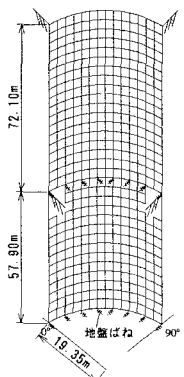


図-1 三次元シェルモデル

表-1 地盤条件

地盤記号	深度 (m)	単位体積重量 (γ) (N/m^3)	N値(平均値)	粘着力 (c) (N/m^2)	内部摩擦角 (ϕ) ($^\circ$)	変形係数 (λ) (N/m^2)	地盤反力係数 (K_p) (N/m^2)
Ac	-3.25	(14)	0	0	0	0	0
Aw	-5.5	(18)	9	(0)	(27)	(5000)	1795
Dc1	-12.6	(19)	15	(0)	(30)	9000	3232
Dc1	-16.7	17	21	30	27	(22000)	7899
Dc2	-18.8	17	50	(0)	(42)	(22000)	7899
Dc2	-21.3	17	36	(30)	(27)	59000	21180
Dc3	-29.4	(19)	50以上	(0)	(42)	41000	14720
Dc3	-35	17	50以上	170	29	(35000)	12570
Dc4	-49.1	(19)	50以上	(0)	(42)	52000	18670
Dc4	-62.4	18	30	220	3	(21000)	7540
Dc5	-60	(19)	50	(0)	(42)	49000	17590
Dc6	-64.7	(20)	50以上	(0)	(42)	(35000)	12570
Dc5	-75.6	(19)	50以上	(0)	(42)	58000	20110
Dc5	-81.85	17	34	370	8	(24000)	8618
Dc8	-88.75	(19)	41	(0)	(40)	54000	19390
Dc6	-95.4	18	45	420	6	(32000)	11490
Dc7	-96.35	18	—	—	—	58000	20110
Dc7	-100.15	18	37	300	7	(26000)	9336
Dc1	-107.5	(20)	50以上	(0)	(42)	(35000)	12570
Dc9	-110.3	(19)	50以上	(0)	(42)	(35000)	12570
Dc8	-119.7	17	42	350	8	52000	33030
Dc10	-122	(19)	50以上	(0)	(42)	(26000)	10060
Dc9	-130.05	18	37	410	9	(26000)	10060

表-2 材料物性

設計基準強度(N/mm^2)	弾性係数(N/mm^2)	ポアソン比	部材厚さ(m)
24	2.5×10^4	0.2	2.1

ここで、 K は偏圧作用時における連壁のリングばね定数 (kN/m^3)、 p は側圧 (kN/m^2)、 Δp は側圧の偏圧分 (kN/m^2)、 r は立坑の半径 (m)、 A は立坑壁の断面積 (m^2)、 K_p は地盤反力係数である。

4. 解析結果

三次元シェルモデルとリングモデルとにより算出された、深度 72m における横断面方向変位の比較を図-4 に、深度 64m における横断面方向の曲げモーメントの比較を図-5 に示す。また、三次元シェルモデルとはりモデルとにより算出された、偏荷重の作用位置における縦断面方向の変位と曲げモーメントとを図-6、7 に示す。表-3 は最大曲げモーメントのそれぞれの解析結果を示したものである。

図-4 をみると、リングモデルによる横断面方向の最大変位が 22.8mm であるのに対して、三次元シェルモデルは、根入れ部からの拘束で変位量が 11.7mm に抑えられていることがわかる。また、曲げモーメントもリングモデルによる最大曲げモーメントが $2957\text{kN}\cdot\text{m}$ に対して、三次元シェルモデルでは $829\text{kN}\cdot\text{m}$ となった（表-3 参照）。一方、縦断面方向の解析結果は図-6 に示すように、床付けより深い部分では三次元シェルモデルとはりモデルとの変位量がほぼ一致したが、掘削深度が浅では両者の結果が大きく異なっている。また、曲げモーメントについても床付け付近で大きな差を生じ、

表-3 最大曲げモーメント

	横断面方向	縦断面方向
三次元シェルモデル	$829\text{kN}\cdot\text{m}$ (G.L.-64m)	$1477\text{kN}\cdot\text{m}$ (G.L.-107m)
はり(リング)モデル	$2957\text{kN}\cdot\text{m}$ (G.L.-72m)	$6557\text{kN}\cdot\text{m}$ (G.L.-72m)

最大値が三次元シェルモデルで $1477\text{kN}\cdot\text{m}$ であるのに対して、はりモデルでは $6557\text{kN}\cdot\text{m}$ であった（表-3 参照）。

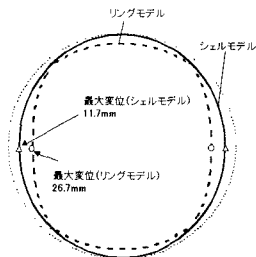


図-4 横断面方向の変位

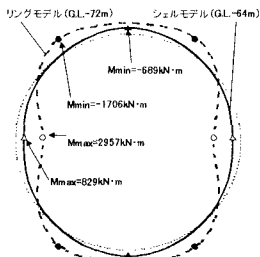


図-5 横断面方向の曲げモーメント

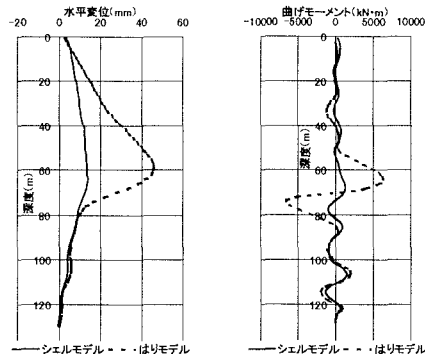


図-6 縦断面方向の変位 図-7 縦断面方向の曲げモーメント

5. まとめ

三次元シェルモデルとリングモデルとを比較すると、横断面方向の曲げモーメントの最大値の発生位置とその値に大きな差があることから、リング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。したがって、リングモデルを用いて設計上必要な解析精度を確保するためには、根入れ部の拘束を評価するばねを導入するか、根入れの影響範囲を検討して合理的な解析深度を決定する必要があると考えられる。

一方、はりモデルによる変位と曲げモーメントはシェルモデルと比べて非常に大きい。このことは、式(1)で評価したリングばねが過小評価となっていることを示している。本研究では掘削完了時のみに着目したが、今後は掘削過程まで考慮した逐次解析を行い、実設計における簡便で精度の高い解析モデルを検討していく予定である。また、連壁の継手や地盤条件、設計側圧、立坑規模などが異なる場合についても同様な検討を進めていく予定にしている。

【参考文献】1)先端建設技術センター：大深度土留め指針・施工指針（案），1994.10

2)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