

大深度立坑におけるシールド開口部補強筋配置に関する基礎的研究

早稲田大学	学生会員	○小澤葉月
㈱熊谷組 土木事業本部	正会員	山口哲司
土木研究所	正会員	阿部広明
早稲田大学	正会員	岩波 基

1. 目次

筆者らはこれまでに大深度円形立坑における開口部周辺の挙動について 3 次元のシェルモデルを用いて解析で検討を行ってきた。その結果、開口による影響はその近傍周辺のみであり、開口による応力分布の変化はかまち梁と底版の間を解析領域とすれば適切に再現できることが判明した。そこで、本報告では、大深度立坑の開口部周辺の補強鉄筋の仕様に着目し、通常行われる弾性 3 次元ソリッドモデルの解析結果によって補強鉄筋を定めた場合の補強鉄筋の効果についてコンクリートおよび鉄筋の非線形性を考慮した 3 次元解析解析を行い、開口部補強鉄筋仕様の妥当性について検討した結果を報告する。

2. 解析条件

本研究では、妙正寺川発進立坑を想定した 3 次元ソリッドモデルを用いて検討を進める。本研究では立坑のシールド開口部周辺を対象とした検討を行うため、立坑のかまち梁から底版下端までの立坑の下部 25.9m をモデル化した。解析対象の立坑の縦断図を図 1 に、横断図を図 2 に、その解析モデルを図 3 に示す。また、解析に用いた物性値を表 1～4 に示す。本研究では材料が非線形的な挙動を示す範囲を考えるため、立坑下端の深さを 90m とした側方土圧と水压を立坑に作用させた。

表1 コンクリートの物性値

ヤング係数	E (N/mm ²)	25000
ポアソン比	ν	0.2
圧縮強度	f'_c (N/mm ²)	24
引張強度	f_k (N/mm ²)	1.91
単位体積重量	(kN/m ³)	24.5

表 2 鉄筋(SD345)の物性値

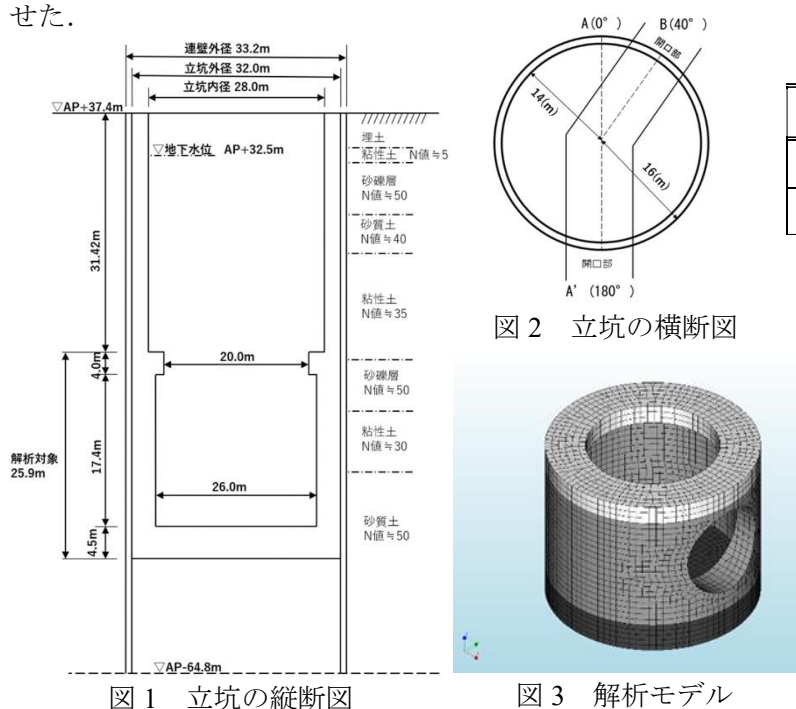
ヤング係数	E (N/mm ²)	205000
降伏応力	f (N/mm ²)	345

表 3 地盤に関する物性値

水平方向地盤反力係数	k_h (kN/m ³)	24000
法線方向地盤反力係数	k_h (kN/m ³)	24000
せん断方向地盤反力係数	k_h (kN/m ³)	8000

表4 側圧に関する物性値

静止土圧係数	K_0	0.5
単位面積当たりの 等分布上乗荷重	q (kN/m ²)	10
水中単位体積重量	γ' (kN/m ³)	9.9
土の湿潤単位体積重量	γ_t (kN/m ³)	19.7
地表面から土圧を 求める位置までの深さ	H (m)	90
水の単位体積重量	γ_w (kN/m ³)	9.8
水頭位置から水圧算出点	h_w (m)	85.1
等側圧荷重	(kN/m ²)	1284
偏側圧荷重	(kN/m ²)	128.4



キーワード 大深度円形立坑，シールドトンネル用開口，開口部補強筋，
連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学 西早稲田キャンパス TEL:03-5286-3402

3. 解析結果

現行の設計にて行うことが多い線形解析のコンクリートの鉛直応力コンター図を図 4 に示す. この解析結果から開口部に隣接したコンクリートの大きな鉛直引張応力に補強できる鉄筋の量を決定し, 引張強度を超えるコンクリート応力が発生した位置に配筋した. 表 5 に示すように必要な補強鉄筋を求めると, 両方向の補強鉄筋のピッチが 150mm で, D38 鉄筋が必要となった. その全体図を図 5 に示す.

表 5 鉄筋必要本数の算出

コンクリート断面積	$A_c(\text{mm}^2)$	90000
コンクリート発生応力	$\sigma_{zzc}(\text{N/mm}^2)$	15.36
鉄筋降伏応力	$\sigma_{sy}(\text{N/mm}^2)$	345
鉄筋必要断面積	$A_s(\text{mm}^2)$	4006
D38 鉄筋断面積	$A(\text{mm}^2)$	1140
D38 鉄筋必要本数	(本)	3.514

次に, 開口部周辺に補強筋を配置した場合の非線形解析結果におけるコンクリートの鉛直方向応力コンター図を図 6, ひび割れ幅のコンター図を図 7 に示す. 解析で求められた最大ひび割れ幅は 0.434mm であり, コンクリート標準示方書[設計編: 標準]から求められるひび割れ幅の限界値 0.5mm を下回った. 一方で, ひび割れ幅をコンクリート標準示方書[設計編: 標準]に準じて, 最大鉄筋応力 176.8N/mm² から以下の式(1)により求めると, 表 6 に示すように 0.5mm を超え, 許容値を満たさないことがわかった.

$$w = \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \tag{1}$$

表 6 ひび割れ幅の算出

曲げひび割れ幅	$w(\text{mm})$	0.557
かぶり	$c(\text{mm})$	125
鋼材の中心間隔	$C_s(\text{mm})$	150
鋼材径	$\Phi(\text{mm})$	38
鉄筋応力	$\sigma_{se}(\text{N/mm}^2)$	176.8
ヤング率	$E_s(\text{N/mm}^2)$	205000
	ε'_{csd}	0.0001

4. 結論

本研究の対象である大深度の円形立坑の開口部近傍では引張領域のコンクリートは断面保持から成立しないため, 線形 3 次元ソリッドモデルの FEM 解析結果によって定めた補強鉄筋の仕様ではひび割れ幅の許容値を満たさない可能性がある. したがって, 補強鉄筋の配置を線形 3 次元 FEM 解析の結果から補強鉄筋を定める方法は, 必ずしも安全側の設計にはならないといえる.

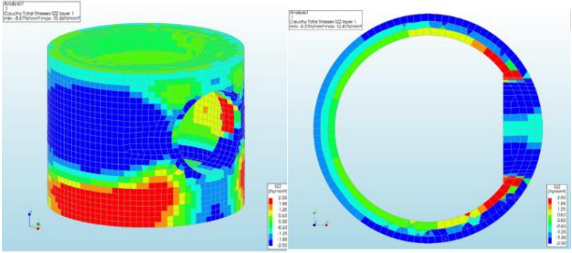


図 4 線形解析による解析結果
(左: 全体図, 右: 開口部中心高さの側壁)

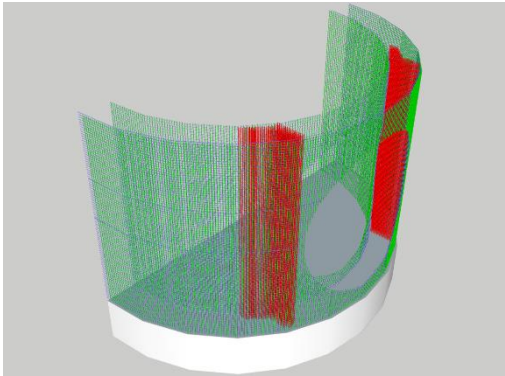


図 5 補強鉄筋の全体図

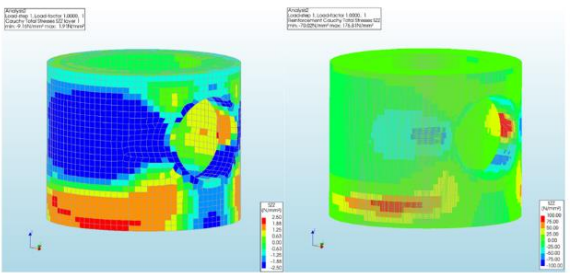


図 6 配筋後の非線形解析の結果
(左: コンクリート応力, 右: 鉄筋応力)

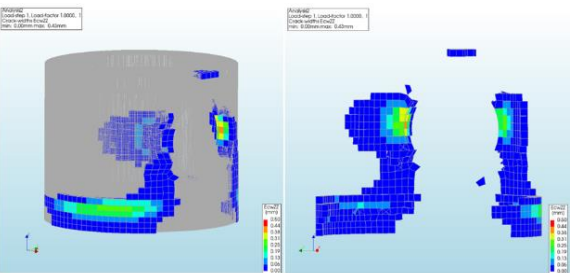


図 7 ひび割れ幅の解析結果