

100m 以上の大深度円形立坑の本体側壁の合理化に関する試算

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○井上 晋太郎
 長岡工業高等専門学校 学生会員 Bat-Erdene Bolor
 長岡工業高等専門学校 正会員 岩波 基

1. はじめに

近年,土被りが 100m 程度のシールドトンネルの計画がある.そのため,100m を超えるような大深度円形立坑が必要となる.土留め壁を地下連続壁工法で

構築した場合,現在の設計方法によると土留め壁および本体壁は,今までに無いほど厚くなることが予想される.そこで,本体側壁を合理的な設計方法により薄くすることが強く望まれる.現在の設計方法は,本体立坑側壁を設計する際,土留め壁を無視した側圧を設計荷重としており,浮力に対する本体立坑の安定性でも土留め壁の重量を考慮していない.そこで,本報告では,大深度円形立坑の側壁を土留め壁の存在を考慮した荷重で設計するとともに,浮力に対して土留め壁の重量も抵抗するものとして試算を行い,設計結果への影響を確認したものである.

2. 検討条件

表 1 は検討対象となる円形立坑の基本的な構造条件である.表 2 の地盤条件は品川区広町一丁目付近のボーリングデータを参考に定めた.なお, K_m 層に介在砂層が多くあることがボーリング調査の結果から分かっている.表 3 は本体側壁の材料条件,表 4 は検討対象とした円形立坑の土留め壁の諸元である. Bat-Erdene Bolor らの研究¹⁾から通常の設計方法で求めた場合は連壁の壁厚が 3.5m,提案した設計方法で求めた場合の壁厚は 2.0m となった.なお,介在砂層による盤ぶくれに対しては地下水位低下工法で対応することを想定したが,偏水圧を土留め壁に作用させないことと,ディープウェルの位置をなるべく床付け位置から離すことから,連壁長は実績の最大の値を採用した.

3. 検討方法

(1) 通常の設計方法

設計用断面力は,水平断面方向のリングモデルを,引張剛性を無視した全周地盤ばねで支持したモデルを用いて算出した.また,着目した深度は,底版上面とした.荷重には,全周から作用する静止土圧と静水圧,および静止土圧の 20%の偏側圧を考慮した.浮き上がりに対する安定計算は立坑本体の死荷重を揚圧力で除した浮き上がり安全率が 1.1 を下回らないことを確認することとした.

(2) 提案した計算方法

提案する設計方法では土留め壁を強固な改良地盤として,立坑の供用期間中は自立するものとした.また,

キーワード 大深度,円形立坑,浮力

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 長岡工業高等専門学校 TEL 0258-32-6435

表 1 基本的な構造条件

底板上面の深度(m)	110.0
立坑内径(m)	40.0
立坑外径(m)	53.0
底版厚さ(m)	8.0
頂版厚さ(m)	3.7

表 2 地盤条件

層下端深度(m)	地質記号	単位体積重量(kN/m ³)	N値	地盤変形係数(kN/m ²)	地盤反力係数(kN/m ³)
20.4	A _c	17.5	1.0	2800	622
89.6 [*]	K _m	18.0	50.0	140000	31107

※土丹については底版上面までの層厚を表記した.

表 3 材料条件

コンクリート	設計基準強度 δ_{ck}	24N/mm ²
	単位体積重量	24.5kN/m ³
使用鉄筋		SD345

表 4 土留め壁の諸元

外径(m)	60.0	50.4
厚み(m)	3.5	2.0
連壁長(m)	150.0	

表 5 側圧の比較

	第1層 A _c	第2層 K _m
着目深度 h(m)	20.4	89.6
N値	1.0	50.0
土の単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	17.5	18.0
層下端強度 $\gamma_t \cdot h$ (kN/m ²)	357.0	1612.8
累加強度 $\sum \gamma_t \cdot h$ (kN/m ²)	357.0	1969.8
土圧・側圧係数 K_0	0.8	0.5
層下端常時水圧 W_0 (kN/m ²)		1082.5
層下端静止土圧 P_0 (kN/m ²)		443.7
層下端静止側圧 P_1 (kN/m ²)	293.6	1526.2
偏圧 ΔP (kN/m ²)	57.1	88.7

※土丹については底版上面までの層厚を表記した.

水圧は、土留め壁に対して長期的に完璧な止水性を求めることが困難であるため、荷重として本体側壁に作用すると考えた。なお、土留め壁と本体側壁との間に地下水が侵入した場合には打継ぎ面の全体にはく離が生じると考えて、水圧は均一に静水圧で作用するとした。また、設計荷重である側圧が小さくなるため、側壁が薄くなり、水の浮力により立坑の浮き上がりが懸念される。そこで、本体底版と土留め壁を鉄筋で結合し、浮力への抵抗力を確保するものとした。

4. 側圧に対する必要壁厚の検討

表5は地下水位G.L.-1.75mで算定した本体側壁に作用する設計側圧の比較表である。この側圧と浮力について検討すると、通常的设计方法では、立坑本体の自重のみで浮力に対する安定性を確保するた

めに壁厚が6500mm必要である結果となった。また、提案した設計方法では、側圧に対して必要な耐荷力からのみ側壁厚が定まるので3200mmとなった。通常的设计方法と提案した設計方法での断面力と応力、許容応力度を表6にまとめて示す。

5. 浮力の検討

通常的设计方法による壁厚と提案した設計方法によるそれについて、浮力に対する安定性の検討結果をまとめたものが表7である。立坑本体の自重のみで浮力に対する安定性を確保するには側壁厚が6500mm必要であることから、表7に示すように提案する設計方法による壁厚3200mmでは、浮力に対して461495kNが不足する。この重量の不足分を補うために底版と土留め壁を一体化して土留め壁も浮力に抵抗するようにする。下式でD51の鉄筋の一本あたりの許容せん断伝達力を求めると119.8kNであった。

$$Q_d = 9.4d^2 \sqrt{\sigma_{ck}} \quad [\text{N}]$$

このことから、3853本でせん断に抵抗することができ、水平方向に150mmピッチで4段配筋することで浮力に対する安定性を確保できると言える。表8に鉄筋のせん断伝達力の計算結果の概要を示す。

6. まとめ

今回の試計算により、土留め壁が供用時も土圧を保持できることと、その重量が浮力への抵抗力となることを仮定することで、立坑本体の側壁厚を半分にすることができ、可能性を持っていることが判明した。なお、今回、シールドトンネルの施工で内空が必要であることを想定して立坑径を変えなかった。

参考文献

- 1) Bat-Eldene Bolor, 井上晋太郎, 岩波基: 大深度円形立坑の地下連続壁への2リングモデルの適用効果に関する試計算

表6 通常と今回の断面力と応力、許容応力度の一覧表

項目	単位	通常的设计			提案した設計		
		壁厚 6500mm			壁厚 3200mm		
		外側引張	内側引張	せん断max時	外側引張	内側引張	せん断max時
曲げモーメント	kN・m	-12236	12235	1	0	0	0
軸力	kN	37768	35661	36714	25168	25168	25168
せん断力	kN			1054.7			0.0
部材幅	mm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
部材高	mm	6500	6500	6500	3200	3200	3200
主鉄筋	鉄筋径	mm	29	29	29	29	29
	本	4	4	4	4	4	4
コンクリート	圧縮応力度	N/mm ²	4.1	7.2	5.7	7.9	7.9
	許容圧縮応力度	N/mm ²	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	δ_c/δ_{ca}		0.5	0.9	0.7	1.0	1.0
	判定		○	○	○	○	○
せん断応力度		N/mm ²		0.16			0.00
許容せん断応力度		N/mm ²		0.39			0.39
τ/τ_d				0.42			0.00
判定				○			○

表7 通常と今回の比較自重と安全率、不足重量

		壁厚6500mm	壁厚3200mm
頂版自重 W_T	RC単位体積重量 (kN/m ³)	24.5	24.5
	側壁厚(m)	6.5	3.2
	立坑外径(m)	53.0	46.4
	頂版厚(m)	3.7	3.7
頂版自重(kN)		199990.5	153282.9
頂版上載土 重量 W_s	埋土層単位 体積重量 (kN/m ³)	18.0	18.0
	上載土厚(m)	1.5	1.5
	頂版上載土重量 (kN)	59567.0	45655.1
底版自重 W_B	底版水平断面積 (m ²)	2206.2	1690.9
	底版厚(m)	8.0	8.0
	底版自重(kN)	432412.0	331422.4
側壁自重 W_w	側壁水平断面積 (m ²)	949.5	434.3
	側壁高さ(m)	110.0	110.0
	側壁自重(kN)	2559025.3	1170420.7
死荷重(kN/m ²)		3250994.8	1700781.2
揚圧力(kN/m ²)		2564688.3	1965705.4
安全率		1.3	0.9
判定		○	×
安全率が1.1を超えるために 必要な側壁自重(kN)		1631916(以上)	
壁厚が3.2mのときの 側壁自重(kN)		1170421	
不足分の側壁自重(kN)		461495	

表8 鉄筋のせん断伝達力の計算概要

鉄筋	D51
鉄筋一本あたりの 許容せん断伝達力(kN)	119.8
必要な鉄筋の本数(本)	3853
配筋する鉄筋の本数(本)	3884
せん断伝達力(N)	465214