100m以上の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

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	学生会員	井上 晋太郎
長岡工業高等専門学校	正会員	岩波 基

#### 1. はじめに

近年,土かぶりが 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.このような立坑には平面形状が円形の立坑が採用されることが一般的である.これらの 円形立坑の仮設用土留め壁における設計では浅い円形立坑に用いる設計荷重と構造計算が用いられている.し かし,大深度立坑は自立性が高い地盤に構築され,また,その構造は構造的に3次元効果が大きい.そのため, 岩波らは,計測データと解析から自立性が高い地盤での荷重を提案<sup>11</sup>するとともに,3次元効果を表現できる 2リングばねモデルを提案<sup>21</sup>している.そこで,本報告では,大深度立坑の土留め壁の設計用に提案した荷重 と2リングばねモデルを用いた場合の試計算を行い,設計への影響を確認したものである.

#### 2. 検討条件

**表1**は検討対象となる立坑の地下連続壁(以下,連壁と称す)の基本的な構造条件である.なお,連壁内径は 井上らの研究<sup>3)</sup>で定まったものを使用する.**表2**の各地盤の物性値は品川区広町一丁目付近のデータを参考に して定めた.**表3**は立坑の材料条件である.**表4**は通常の土留め工の設計に用いる土圧係数と,今回提案して いる土圧係数の比較表であり,提案した土圧係数は岩波らの研究<sup>1)</sup>の結果に基づいて設定した.

表1 基本的な構造条件

	通常	提案	
連壁内径(m)	53.0	46.4	
掘削深度(m)	118		
根入れ長さ(m)	32		

表 2 地盤条件

層下端 深度 (m)	地質 記号	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	N値	地盤変形 係数 (kN/m <sup>2</sup> )	地盤反力 係数 (kN/m <sup>3</sup> )
20.4	Ac	17.5	1	2800	622
97.6	K <sub>m</sub>	18.0	50	140000	31107
※+ <b>中</b> に	711TI	+ 库版下端 =	での届	[を記載」ナ	

表3 材料条件

<b>&gt;.</b> /511L	設計基準強度 $(N/mm^2)$	48
コングリート	弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	28
鉄筋		SD345

表 4 通常の土圧係数と提案した土圧係数

	通常	提案
土圧係数	0.5	0.2

表5 側圧の比較

	通常	の側圧	提案した側圧		
	第一層	第二層	第一層	第二層	
層下端深度 h(m)	20.4	97.6	20.4	97.6	
N值	1.0	50.0	1.0	50.0	
土の単位体積重量	17.5	18.0	17.5	18.0	
$\gamma_t (kN/m^3)$	1,10	1010	1710	1010	
層下端強度	357.0	1756.8	357.0	1756.8	
$\gamma_t \cdot h(kN/m^2)$	337.0	1750.8	557.0	1750.8	
累加強度	357.0	2113.8	357.0	2113.8	
$\Sigma \gamma_t \cdot h(kN/m^2)$	357.0	2115.0	557.0	2115.0	
土圧·側圧係数	0.8	0.5	0.8	0.2	
$\mathbf{K}_0$	0.0	0.5	0.0	0.2	
層下端常時水圧		1162.5	196 5	1162.5	
$W_0(kN/m^2)$		1102.5	180.5	1102.5	
層下端静止土圧	295.6	1757	1264	100.2	
$P_0(kN/m^2)$	285.6	4/5./	136.4	190.3	
層下端側圧	202.6	1629.2	222.0	1252.9	
$P_1(kN/m^2)$	293.0	1038.2	322.9	1552.8	
偏側圧	57.1	05.1	27.2	20.1	
$\Delta P(kN/m^2)$	57.1	95.1	27.3	38.1	

※土丹については底版下端までの層厚を記載した.

キーワード 地下連続壁,円形立坑,2リングばねモデル

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

-317-

# 3. 検討方法

## 通常の設計方法

側圧は, 表4の土圧係数を用い, A<sub>c</sub>層では 土水一体, K<sub>m</sub>層では土水分離として算出し た.また, 偏側圧を静止土圧の 20%とした. その結果, K<sub>m</sub>層の底版下端となる掘削床付 け深度が設計上クリティカルな断面となっ た.構造解析は,引張剛性を無視した地盤反 力ばねを考慮した水平断面方向のリングモ デルによって行なった.荷重は,静止側圧と 偏側圧を載荷させた.

## (2) 提案した設計方法

大深度立坑の計測結果から,自立性が高い Km層だけでなく,深度 30m 程度の比較的軟 らかい粘性土層でも水圧が計測されていた<sup>1)</sup>. このことから,提案した設計方法では全ての 土層で土水分離の考え方によって側圧を算 定した.偏側圧は通常と同様に静止土圧の 20%とした.提案土圧係数には表4の値を用 いた.構造解析では,3次元効果を表現する ために2リングばねモデル<sup>2)</sup>で解析を行った.

表5に両方法で求めた荷重を比較して示す.

# 4. 側圧に対する必要壁厚の検討

通常の設計方法と提案した設計方法を用 いて算出した断面力と応力,許容応力度をま とめて表6に示す.全てのケースで全断面圧 縮となった.また,表7は今回の照査結果に より定まった連壁の壁厚と土留め壁の外径 をまとめたものである.

## 5. まとめ

提案土圧係数と土水分離の考え方を用い て算定した荷重を用い,構造解析に2リング

ばねモデルを使用して設計を行うことにより, 土留め壁の壁厚を 通常の3.5mから2.0mへ, 3分の2以下に合理化できることが判 明した.また,立坑内径が40m必要な立坑において,本体と連 壁全体を今回の提案した設計方法を用いることで連壁外径が通 常の60.0mから50.4mに低減できる可能性があることも判明した.

### 参考文献

- 1) 岩波基,板場建太:大深度円形立坑の地中連続壁における設計用土圧に関する一考察,土木学会論文集 F1 (トンネル工学)特集号 Vol.67, No.3, pp.95-108, 2011.11
- 2) 岩波基:施工時偏側圧が作用する大深度円形立坑の設計法に関する研究,早稲田大学博士学位論文,2003.3
- 3) 井上晋太郎, Bat-Erdene Bolor, 岩波基: 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計算

# 表 6 通常と提案の断面力と応力,許容応力度の一覧表

通常の設計方法					
項目		Mmax時	Mmin時	Smax時	Nmax時
曲げモーメント(kN/m)		9740	-6500	2008	-6475
軸力(kN)		47581	49487	48306	49528
	せん断力(kN)	1.9	110.9	726.7	129.5
	壁厚(mm)	3500	3500	3500	3500
	有効壁厚(mm)	3300	3300	3300	3300
十分な	鉄筋径(mm)	22	22	22	22
土政肋	本数(本)	4	4	4	4
	圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )	19.8	11.4	15.7	11.4
<u>コンクリー</u> ト	許容圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )	24.0	24.0	24.0	24.0
コンクリード	δς/δςα	0.8	0.5	0.7	0.5
	判定	0	0	0	0
せん	<b>/断応力度</b> (N/mm <sup>2</sup> )	0.00	0.03	0.22	0.04
許容せ	たの あ た の た カ 度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.76	0.76	0.76	0.76
	τ/τα	0.00	0.04	0.29	0.05
		0	0	0	0
	提案した	設計方法			
	提案した 項目	設計方法 Mmax時	Mmin時	Smax時	Nmax時
曲	提案した 項目 デモーメント(kN/m)	設計方法 Mmax時 1887	Mmin時 -1244	Smax時 186	Nmax時 -712
曲(	提案した 項目 ゲモーメント(kN/m) 軸力(kN)	設計方法 Mmax時 1887 33042	Mmin時 -1244 33557	Smax時 186 33266	Nmax時 -712 33619
曲日	提案した 項目 fモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN)	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3	Mmin時 -1244 33557 -9.6	Smax時 186 33266 186.3	Nmax時 -712 33619 52.6
曲	提案した 項目 ゲモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm)	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000	Smax時 186 33266 186.3 2000	Nmax時 -712 33619 52.6 2000
曲	提案した 項目 ゲモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm)	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800	Nmax時 -712 33619 52.6 2000 1800
曲( 一 一	提案した 項目 ゲモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 鉄筋径(mm)	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 22	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22	Nmax時 -712 33619 52.6 2000 1800 22
曲 ( ) 主鉄筋	提案した 項目 ガモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 鉄筋径(mm) 本数(本)	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 22 4	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4	Nmax時 -712 33619 52.6 2000 1800 22 4
曲( 	提案した 項目 fモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 鉄筋径(mm) 本数(本) 圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4 22.9	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 22 4 16.9	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4 19.6	Nmax時 -712 33619 52.6 2000 1800 22 4 18.0
曲( 主鉄筋	提案した 項目 ガモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 兵物経(mm) 本数(本) 圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> ) 許容圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4 22.9 24.0	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 22 4 16.9 24.0	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4 19.6 24.0	Nmax時 -712 33619 52.6 2000 1800 22 4 18.0 24.0
曲! 主鉄筋 コンクリート	提案した 項目 ポモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) (MM) な数筋径(mm) 本数(本) 圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> ) 高な) ると(N/mm <sup>2</sup> ) (MM)	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4 22.9 24.0 1.0	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 22 4 16.9 24.0 0.7	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4 19.6 24.0 0.8	Nmax時 -712 33619 52.6 2000 1800 22 4 18.0 24.0 0.8
曲 主鉄筋 コンクリート	提案した 項目 ポモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) (MMA) 有効壁厚(mm) 全数筋径(mm) 本数(本) 正縮応力度(N/mm <sup>2</sup> ) 高なるに 判定	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4 22.9 24.0 1.0 0	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 22 4 16.9 24.0 0.7 0.7	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4 19.6 24.0 0.8 0.8	Nmax時   -712   33619   52.6   2000   1800   22   4   18.0   24.0   0.8   O
曲 ( 主鉄筋 コンクリート せん	提案した 項目 ガモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 方効壁厚(mm) 正縮応力度(N/mm <sup>2</sup> ) 許容圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> ) う るc/δca 判定 少断応力度(N/mm <sup>2</sup> )	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4 22.9 24.0 1.0 0 0 -0.01	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 222 4 16.9 24.0 0.7 0.7 〇 〇	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4 19.6 24.0 0.8 0.8 0 0.11	Nmax時     -712     33619     52.6     2000     1800     22     4     18.0     24.0     0.8     O     0.03
曲 <sup>1</sup> 主鉄筋 コンクリート せん 許容せ	提案した 項目 ポモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 数筋径(mm) 本数(本) 圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> ) 高なるたる 判定 が応力度(N/mm <sup>2</sup> ) たん断応力度(N/mm <sup>2</sup> )	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4 22.9 24.0 1.0 0.01 0.76	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 22 4 16.9 24.0 0.7 0.7 0 -0.01 0.76	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4 19.6 24.0 0.8 0.8 0.11 0.76	Nmax時     -712     33619     52.6     2000     1800     22     4     18.0     24.0     0.8     O     0.03     0.76
曲 主鉄筋 コンクリート せん 許容せ	提案した 項目 ポモーメント(kN/m) 軸力(kN) せん断力(kN) 壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 有効壁厚(mm) 方効壁厚(mm) 直線筋径(mm) 本数(本) 正縮応力度(N/mm <sup>2</sup> ) 态c/δca 判定 が断応力度(N/mm <sup>2</sup> ) たん断応力度(N/mm <sup>2</sup> ) たん断応力度(N/mm <sup>2</sup> ) たん断応力度(N/mm <sup>2</sup> )	設計方法 Mmax時 1887 33042 -11.3 2000 1800 22 4 22.9 24.0 1.0 0 -0.01 0.76 0.01	Mmin時 -1244 33557 -9.6 2000 1800 220 4 16.9 24.0 0.7 0.7 0 -0.01 0.76 0.01	Smax時 186 33266 186.3 2000 1800 22 4 19.6 24.0 0.8 〇 0.11 0.76 0.14	Nmax時     -712     33619     52.6     2000     1800     22     4     18.0     24.0     0.8     O     0.03     0.76     0.04

#### 表7 土留め壁の諸元

	通常の設計 方法	提案した設計 方法
壁厚(mm)	3500	2000
土留め壁外径(m)	60.0	50.4