

円形立坑における設計・施工と計測

Design, Construction and Measurement of a Circular Shaft

三浦 直哉*
Naoya Miura廣田 雅博**
Masahiro Hirota山根 淳**
Jun Yamane

要 約

関西電力株式会社発注の谷町筋管路新設工事のシールド発進立坑は、立坑内掘削深さが約60mと大深度である。このため、立坑は大深度掘削で変形および応力上有利となる円形形状とし、その構築には逆巻工法が採用された。土留め壁には地中連続壁（外径25m、壁厚1.3m、壁長88.2m）を用いている。本報では、大深度円形立坑の掘削・構築方法を述べ、設計方法を紹介するとともに、現場計測結果と設計値との比較をおこなった。立坑変位、作用土圧、曲げモーメントについて比較した結果では測定値は設計値と異なる傾向を示した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概要
- § 3. 施工順序
- § 4. 土留め壁の設計
- § 5. 計測管理
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

関西電力株式会社では、21世紀の高度情報化社会の進展に伴う大阪市内の電力需要の増大に対応するため、超高压50万V地中送電線の市内導入工事を進めている。

* 土木設計部設計課

** 関西(支)関電上二(出)

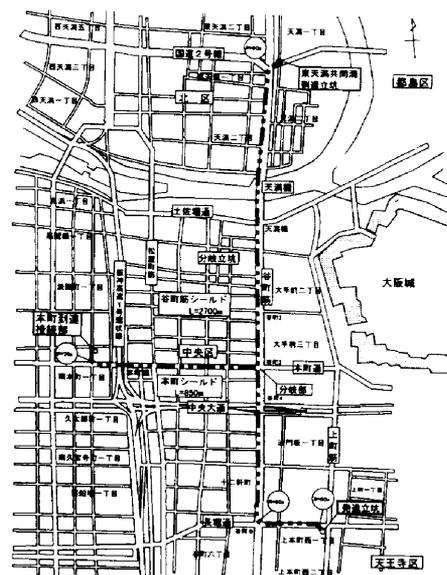


図-1 工事位置図

谷町筋管路新設工事は、50万V市内導入計画の一環として、上二立坑より発進し、長堀通り～谷町筋を経て国道1号線の共同溝東天満立坑に至るシールド工事である。図-1に工事位置図を示す。

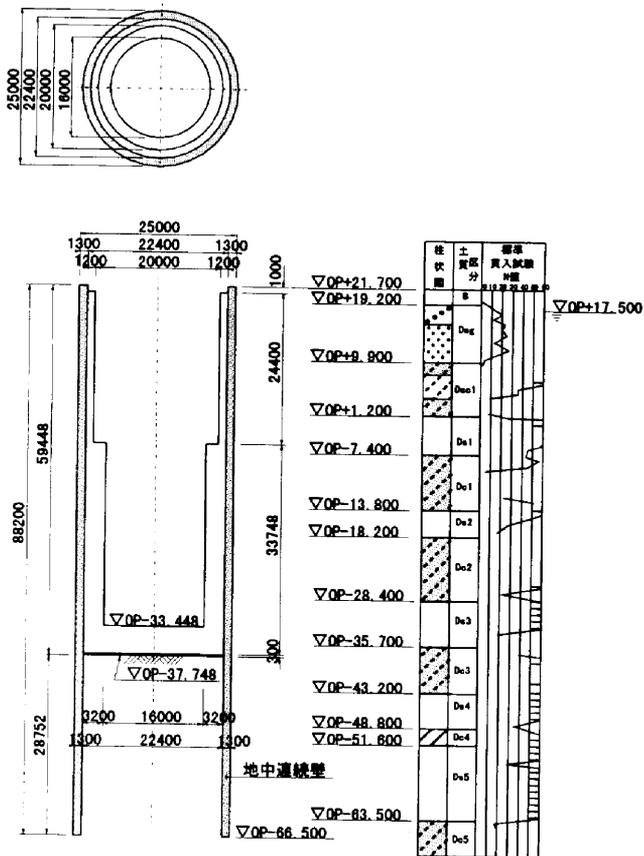


図-2 立坑構造一般図および土質柱状図

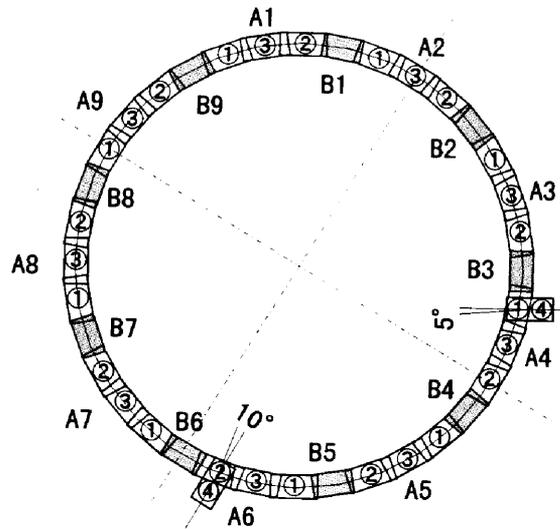


図-3 ガット割付図

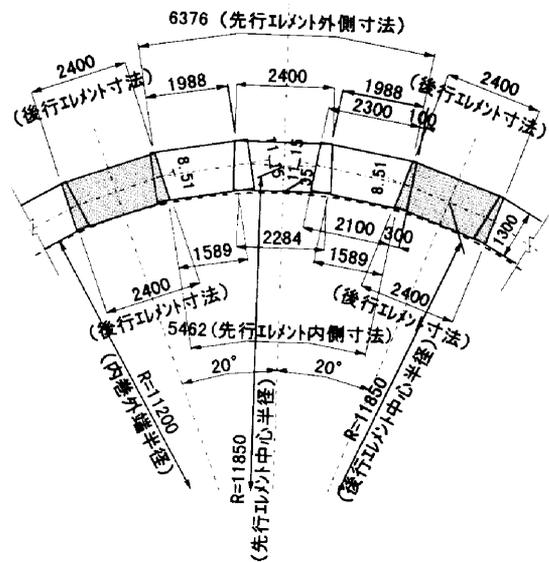


図-4 エレメント詳細図

本工事における発進立坑の形状は、掘削深さが約60mと大深度である事から、大深度掘削に有利な円形立坑を採用した。なお、土留め壁には地中連続壁を用いた。

本報告は、円形立坑の設計方法および掘削・構築手順を紹介し、掘削時の現場計測結果を基に設計値と計測値とを比較し、考察をおこなったものである。

§ 2. 概要

2-1 工事概要

工事名称：西亀岡上二線新設工事（地中）のうち谷町筋
管路新設工事

発注者：関西電力株式会社

施工場所：大阪府大阪市中央区上本町西1丁目1-8

工期：自平成6年5月9日

至平成12年9月30日

工事数量：地中連続壁工事 一式

壁厚 1.3m

掘削深度 88.2m

先行エレメント 9エレメント（3ガット）

後行エレメント 9エレメント

外径 25.0m（偏36角形）

立坑工事 一式

掘削 23400m³

内巻コンクリート 8800m³

2-2 土質概要

工事区域は、大阪城の南側に位置し、上町台地と呼ばれる洪積地盤からなっている。OP±0.00m以浅の上部地層は上町層と呼ばれ、砂礫層と粘土層が不整合に分布している。OP±0.00m以深の下部地層は大阪層群と呼ばれ、砂質土と粘性土の互層が背斜構造を呈している。地下水位はOP+17.50m（GL-4.10m）となっている。

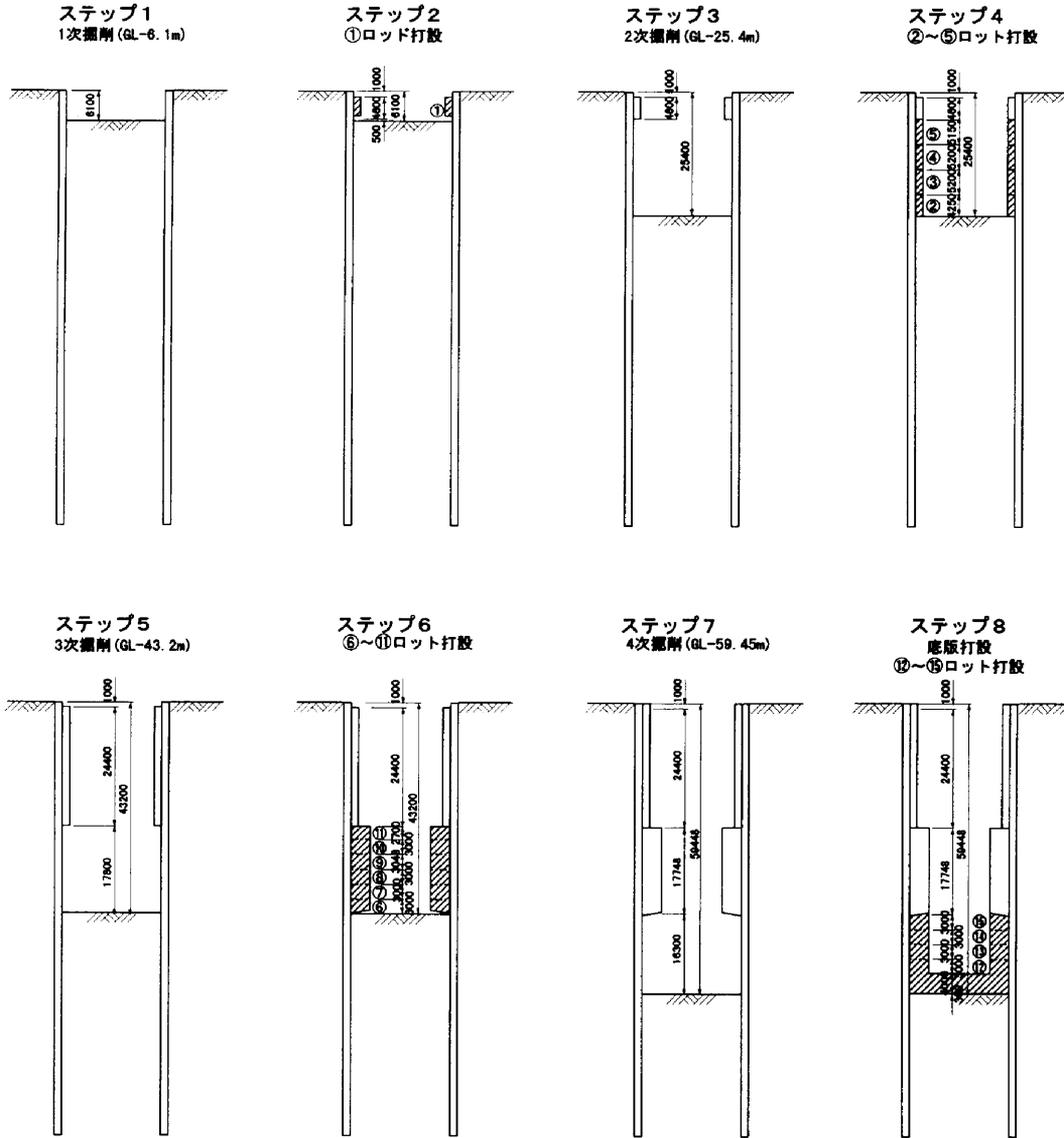


図-5 掘削・構築手順図

§ 3. 施工順序

図-2に立坑構造一般図および土質柱状図を、図-3、4に地中連続壁（以下、連壁と称す）のガット割およびエレメント割、図-5に施工順序を示す。

内巻壁の構築には、逆巻き工法を採用しており、掘削および内巻壁の構築の施工順序はつぎのとおりである。

- ・ 1次掘削 (OP+15.60m)、内巻壁①ロッド構築
- ・ 2次掘削 (OP-3.70m)、内巻壁②～⑤ロッド構築
- ・ 3次掘削 (OP-21.50m)、内巻壁⑥～⑪ロッド構築
- ・ 4次掘削 (OP-37.75m)、均しコンクリート、内巻壁⑫～⑮ロッド構築

§ 4. 土留め壁の設計

4-1 土質条件

解析に用いた土質定数を図-6に示す。

4-2 土留め壁根入れ長

(1) 根入れ長決定方法

根入れ長の計算は次の方法によりおこなった。

a) 土圧の釣り合いから決まる根入れ長

内巻コンクリートの下端を最下段支保工と考え、主働土圧および水圧と受働土圧との釣り合いにより求められる根入れ長。

b) 盤ぶくれに対する検討から決まる根入れ長

盤ぶくれに対する検討は、下式によりおこなった。盤ぶくれ検討モデルを図-7に示す。

標高 OP (m)	層厚 (m)	柱状 図	土質 区分	平均 N値	湿潤重量 γ_s (kN/m ³) (水中重量) γ' (kN/m ³)	内部 摩擦角 ϕ (度)	粘着 力 c (kN/m ²)	変形 係数 E_s (kN/m ²)	反力 係数 k_s (kN/m ²)	横 方 向 地 盤 反 力 係 数 K_h (kN/m ²)	静 止 土 圧 係 数 K_0
+21.7	2.50		粘土 B								
+19.2	9.30		粘土 B 砂 D _{ac}	17	19.5 (9.5)	33	0	12000	6300	0.5	
+9.9	8.70		粘土 砂 D _{ac1}	10	18.5 (8.5)	0	180	25000	13100	0.3	
+1.2	8.80		砂 D _{a1}	51	20.5 (10.5)	40	0	35500	18600	0.3	
-7.4	6.40		シルト質 粘土 D _{ac1}	14	16.5 (6.5)	0	220	31000	16300	0.3	
-13.8	4.40		砂 D _{a2}	51	20.5 (10.5)	40	0	35500	18600	0.3	
-18.2	10.20		シルト質 粘土 D _{ac2}	14	17.0 (7.0)	0	245	34500	18100	0.3	
-28.4	7.30		砂 D _{a3}	56	20.5 (10.5)	40	0	39000	20500	0.3	
-35.7	7.50		シルト質 粘土 D _{ac3}	20	17.5 (7.5)	0	235	33000	17300	0.3	
-43.2	5.60		砂 D _{a4}	59	21.0 (11.0)	40	0	41500	21800	0.3	
-48.8	2.80		砂 D _{a4}	32	19.0 (9.0)	0	285	40000	21000	0.3	
-51.6	11.90		砂 D _{a5}	57	21.0 (11.0)	40	0	40000	21000	0.3	
-63.5	6.90		シルト質 粘土 D _{ac5}	22	17.0 (7.0)	0	240	33500	17500	0.3	
-70.4											

図-6 土質定数一覧

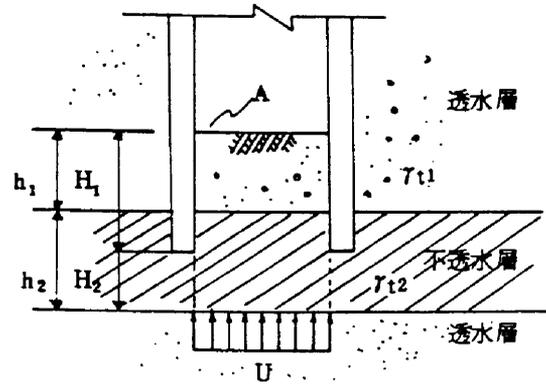


図-7 盤ぶくれ検討モデル

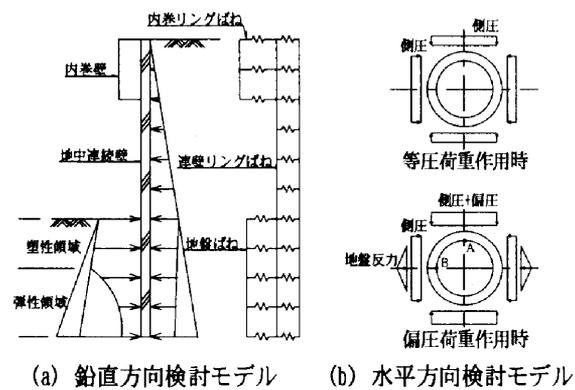


図-8 断面解析モデル

$$F_s = \frac{(\gamma_{t1} \cdot h_1 + \gamma_{t2} \cdot h_2) \cdot A + (c_1 \cdot H_1 + c_2 \cdot H_2) \cdot \ell}{U}$$

ここに、 F_s : 安全率 (≥ 1.2)

U : 透水層の揚圧力 (tf)

γ_{t1}, γ_{t2} : 土の湿潤重量 (tf/m³)

h_1, h_2 : 地層の厚さ (m)

c_1 : H_1 間の土留め壁との摩擦抵抗 ($c_1=1$ tf/m²)

H_1 : 土留め壁の根入れ長 (m)

c_2 : H_2 間の土の粘着力 (tf/m²)

H_2 : 根入れ先端から不透水層下面までの厚さ(m)

ℓ : 土留め壁の周長 (m)

A : 立坑内空底面積 (m²)

(2) 根入れ長検討結果

根入れ長の検討結果を表-1に示す。

以上の計算より、土留め壁先端はDc5層に約3.0m根入れさせることとし、土留め壁全長は $L=88.1$ mと決定した。

表-1 根入れ長検討結果一覧

	釣り合い検討結果	盤ぶくれ検討結果
根入れ長 (m)	18.5	28.8
土留め壁全長 (m)	78.0	88.1

4-3 断面解析方法

土留壁の設計は、深部立坑指針¹⁾にしたがい、鉛直・水平方向についてそれぞれおこなった。荷重ケースとしては、①等圧作用時および②等圧+偏圧作用時の2ケースを考えた。偏圧は、一般に設計で用いられる側圧の10%を考えた。

なお、本立坑は地中連続壁を仮設構造物と考え内巻壁と分離しており、本体構造物としては内巻壁のみを考えている。

a) 鉛直方向

地中連続壁鉛直方向の断面力および変位量は、地中連続壁を地中連続壁および内巻壁の円周方向のリングばねと周辺地盤の地盤ばねに支持された弾性床上(地盤は弾塑性体)の梁モデルとして逐次解析をおこない求める。鉛直方向解析モデルを図-8 (a)に示す。

b) 水平方向

多角形連続壁に内接する円環リングモデルを考える。水平方向解析モデルを図-8 (b)に示す。

4-4 断面解析結果

解析結果は図-9および表-2に示すとおりである。解

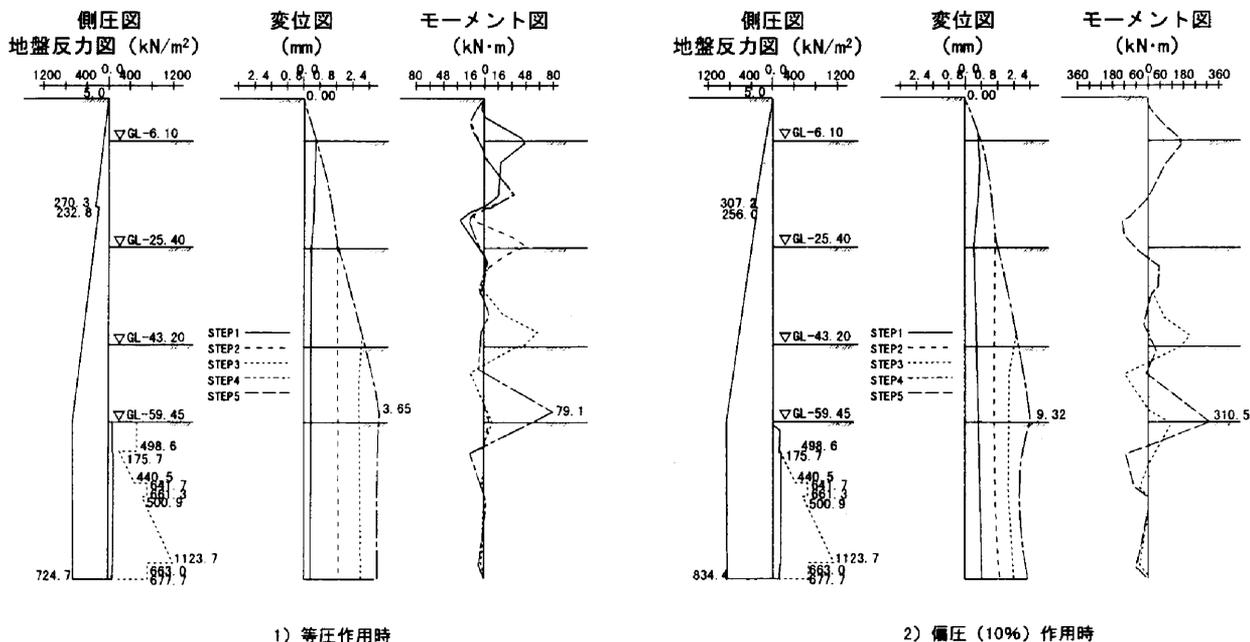


図-9 鉛直方向解析結果

析の結果、土留壁の断面は水平方向の断面力により決まり、壁厚を1.3mと決定した。

§ 5. 計測管理

5-1 計測計画

計測位置を図-10に計測項目を表-3に示す。

5-2 計測結果および設計値との比較

(1) 土留壁の変位

各深度ごとの土留壁変形量の計測結果を図-11に示す。最終掘削時の土留壁の水平変位は、地表面に近いほど変形量が大きく、最大±8mmであった。また、深さ40m付近以深では2mm以下であった。これに対して計算値は、深さが深いほど変形量が大きくなる傾向で、掘削底付近で約9mmであり、実測値と異なる結果となった。既往の円形立坑の計測事例報告^{2), 3), 4), 5), 6)}から、土留め壁の変形量および変形モードには、土留め壁剛性および立坑深さ(H)と掘削径(D)の比であるアスペクト比(H/D)が関係している事がわかっている。本立坑は、壁剛性が高く、アスペクト比が大きい為、3次元的挙動が大きくなったものと思われる。

(2) 作用土圧

図-12は計測された側圧と、その結果から理論水圧を

表-2 水平方向解析結果

		側圧	変位	A点断面力		A点断面力	
		(kN/m ²)	(mm)	M(kN·m)	M(kN)	M(kN·m)	M(kN)
等圧時	GL-20.4	190.8	-	0	2260	-	-
	GL-39.8	305.7	-	0	3620	-	-
	GL-59.4	578.9	-	0	6860	-	-
偏圧時	GL-20.4	209.9	±1.92	-43.3	2370	-136	2490
	GL-39.8	336.3	±2.37	-237	3810	-138	3990
	GL-59.4	636.8	±4.74	-328	7200	-290	7550

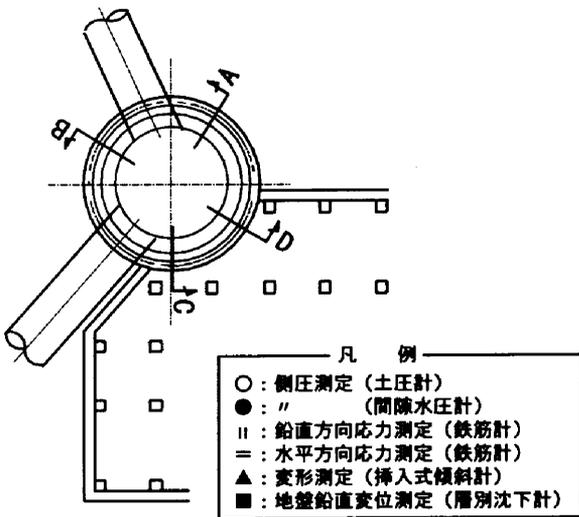
表-3 計測項目一覧

計測項目		計測項目	使用機器	
土留め壁	応力	水平方向	土留壁の応力(分布)の推移	鉄筋計
		鉛直方向	土留壁の応力(分布)の推移	鉄筋計
	土圧	土留壁に作用する土圧の変動	土圧計	
	水圧	土留壁に作用する水圧の変動	水圧計	
	変形	施工に伴う土留壁の変形の推移	挿入式傾斜計	
	リバウンド	リバウンド量の把握	層別沈下計	
内巻壁	側壁	水平方向	内巻壁の応力の推移	鉄筋計
		鉛直方向	内巻壁の応力の推移	鉄筋計
	底版応力	内巻壁の応力の推移	鉄筋計	
	被圧水頭	揚圧力の把握	水圧計	

引いた土圧をプロットしたものである。図には設計土圧を併せて示した。土圧は掘削床以浅では設計土圧と同等か大きい値を示し、掘削床以深では設計土圧に比べ小さい値を示している。

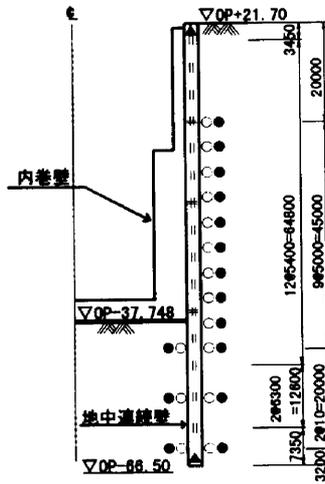
(1)

全体平面図



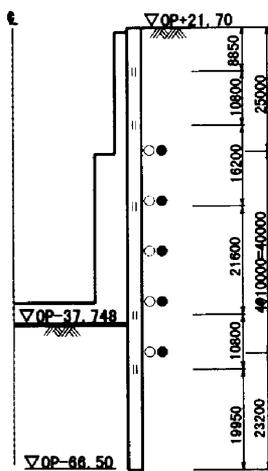
(2)

A断面



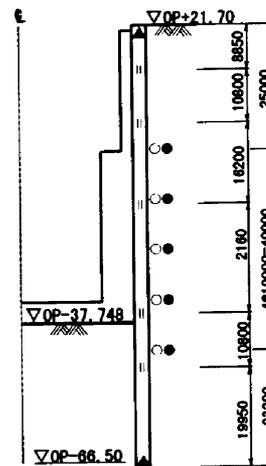
(3)

B断面



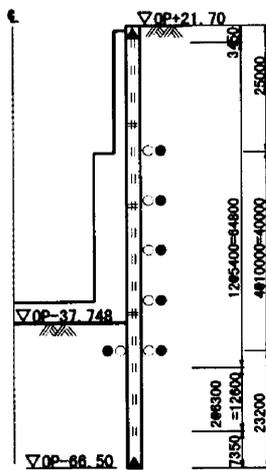
(4)

C断面



(5)

D断面



(6)

中央部

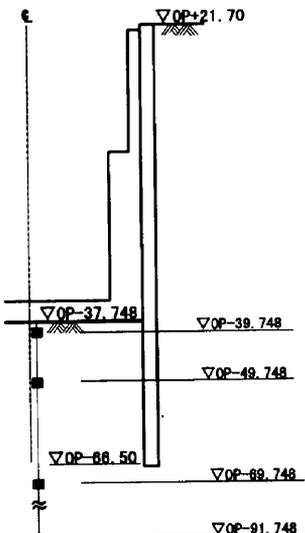


図-10 計測計画図

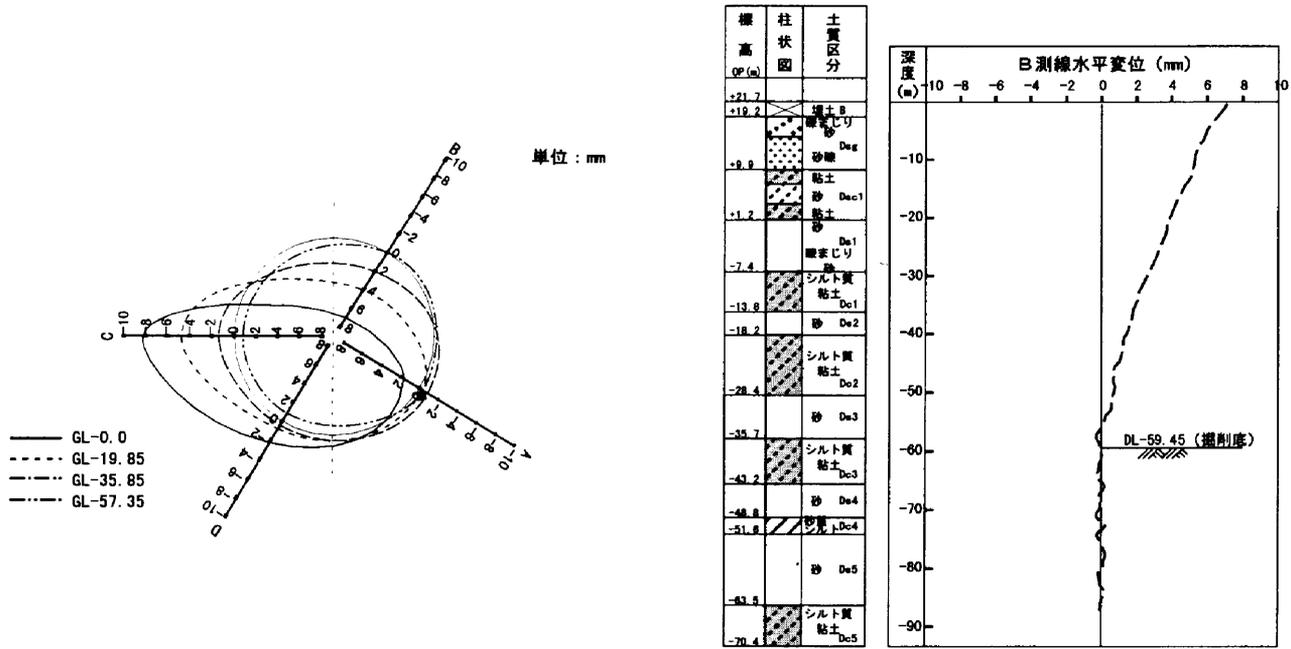


図-11 計測結果 (水平変化)

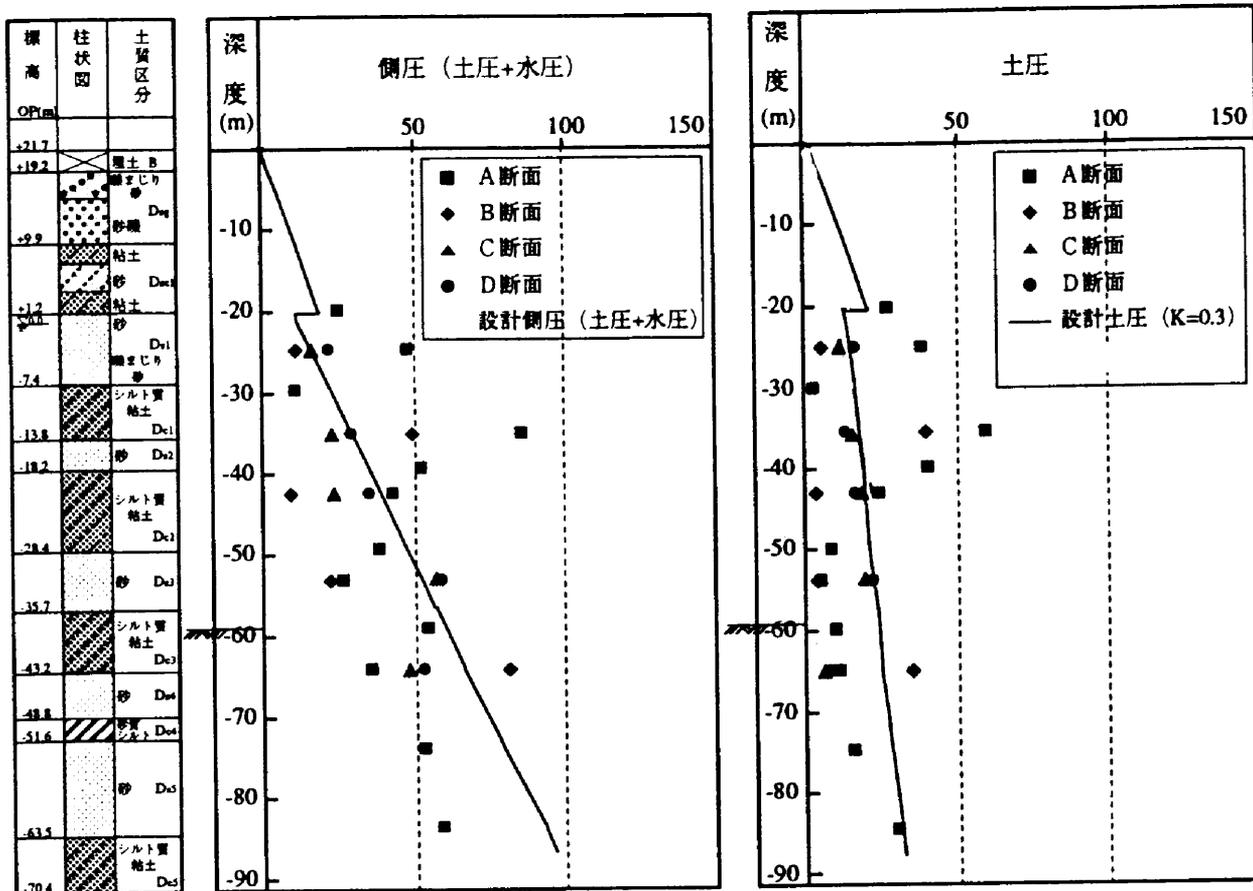


図-12 計測結果 (側圧)

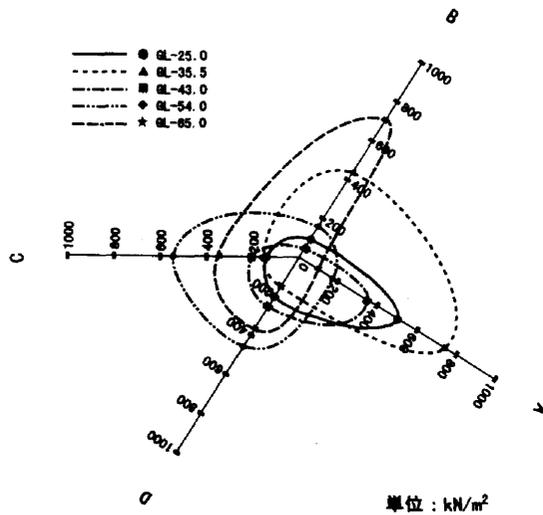


図-13 計測結果（偏圧）

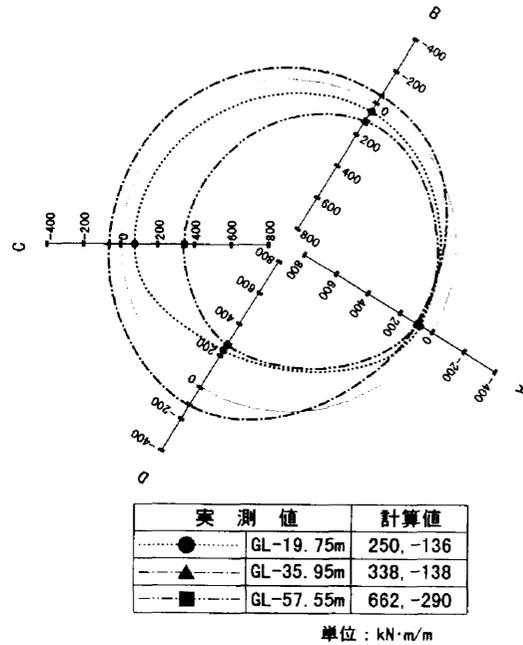


図-14 計測結果（曲げモーメント）

(3) 偏土圧とその他の事象

偏土圧は円形立坑の断面を決定する大きな要素である。図-13は計測された土圧の円周方向分布である。計測結果によれば、土圧の最大値と最小値の比はいずれも2～4と大きく、設計で採用している10%程度の偏土圧とは全く異なる。

これに対して円周方向の曲げモーメントを図-14に示す。曲げモーメントは各断面とも設計値に比べ小さい。

§ 6. おわりに

立坑変位、作用土圧および偏土圧ほかに着目して設計値と計測値とを比較した結果、それらには大きな差異が生じていることが明らかとなった。これは、円形立坑の設計に3次元的挙動が十分に反映できていないためと考えられる。

円形RC連続壁工法については、設計上の定数および解析手法に関して、今後の観測結果の収集と解析的な検討が必要である。

最後に、本解析および施工をおこなうにあたり、ご指導をいただいた関係者各位に深く感謝いたします。

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
- 2) 窪田敬昭，他：円形立坑の土留計測結果について，土木学会第46回年次学術講演会講演集，pp.950～951,1990
- 3) 中原邦昭，他：東電富津火力発電所建設工事におけるLNG地下式貯水工事の連続地中壁，基礎工，pp.34～42,1983
- 4) 竹田俊明，他：白鳥大橋主塔基礎における大深度地中連続壁の動態計測と設計値との対比，土木学会構造工学論文集vol.38A，pp.1343～1352
- 5) 坂文男，他：大深度立坑掘削における連壁および周辺地盤の挙動，土質工学会・大深度地下利用に関する地盤工学研究委員会 都市地下空間における大深度地盤に関するシンポジウム発表論文集，pp.173～181,1993
- 6) 富澤弘・横沢敬康・深田和志・竹中計行・森川淳司：深い円形立坑の掘削時の挙動検討（2），第30回土質工学研究発表会講演集，pp.1697～1698,1995