

首都圏外郭放水路の立坑とシールドトンネルへの 作用土圧について

The study of Earth pressure charged to Vertical Shaft and Shield Driven Tunnel on The Metropolitan Area Outer Discharge Channel

鴨下 由男¹⁾・酒井 学²⁾・石村 彰生³⁾

Yoshio KAMOSHITA, Manabu SAKAI, Akio ISHIMURA

On-going metropolitan area discharge channel is proposed to construct a underground river, which is 6.3 km length, and 60 meter depth under National Highway Route No.16, by underground pressure pipe method, for the purpose to flow flood river water of 200 m³/s to Edo river as the flood control of Naka river basin in Saitama Prefecture.

This facility consists of vertical shaft, which is 36 meter inside diameter and it's excavation up to 70 meter depth, and shield driven tunnel, which is 10.6 meter inside diameter and 50 meter earth cover, second lining neglected and pressure tunnel type tunnel and also very large-scale construction work..

We carry out measuring of deformation of shield tunnel segment due to large scale structure, of which experience is few in construction, and verify design method on large scale deep underground structure based on measured data.

This paper explains the results, of which design method on large scale vertical shaft was verified through measured data on shaft, and earth pressure charged to segment of tunnel for the short term period.

Key Words: Deep Underground Vertical Shaft, Large Diameter Shield Driven Tunnel, Measuring,

1. まえがき

現在建設中の首都圏外郭放水路は、埼玉県春日部市から北葛飾郡庄和町に至る間の中川流域の治水対策として、中川・倉松川・大落古利根川の洪水時河川水(200m³/sec)を江戸川に放流することを目的に、国道16号直下約50mに全長約6.3kmの地下水路圧力管方式で地下河川を建設するものとなっている。

主な施設として、各河川からの流入施設5箇所、立坑5基、トンネル4スパン、接続トンネル1スパン、排水機場などで構成されており、以下に示すとおり工事規模が大きく特色のある工事となっている。

○立坑部

円形立坑内径：φ29.1m～36.6m

立坑掘削深度：h=68.8m～73.5m

地下連続壁長：L=122.0m～140.0m

○シールドトンネル部

トンネル内径：φ10.6m

トンネル土被り：約50m

一次覆工構造：内圧対応二次覆工省略型

作用内水圧：約0.6MPa

このように過去に例の少ない大規模大深度地下構造物であることから、現在までに施工した第1～第4立坑および第1～第3工区シールドトンネルにおいて、構造物に作用する外圧および挙動等についての計測を実施し、得られた実測データを基に大規模大深度構造物の設計法について検証を進めている。

本稿では、立坑計測結果から大規模立坑の設計法について検証した結果、シールドセグメント計測では組立後20リング掘進までの短期間に作用した土圧について報告する。

1) 建設省 関東地方建設局 江戸川工事事務所 放水路課長

2) (財)先端建設技術センター 研究第一部主任研究員

3) " 研究第二部主任研究員

2. 立坑に作用する土圧

(1) 立坑構造

当立坑は、放水路の流入、メンテナンス施設としての役割とシールド発進到達の役割を担っており、RC地下連続壁(壁厚 2.10m、第4立坑のみ 1.70m)で築造している。本体壁(壁厚 2.50～3.30m)は、地上から約 50m までを逆巻工法で、残り 20m を順巻工法で施工した。地下連続壁と本体壁は独立しており地下連続壁は仮設構造物として設計されている。図-1 に最も深い第3立坑を例に断面図およびコンクリート打設順序を示す。

(2) 立坑計測

立坑計測は、表-1 に示すとおり、立坑に作用する外圧、立坑本体の応力および地震時の加速度について行い、図-2 に示す計器配置とし、図-3 のA～D の4 測線で行った。

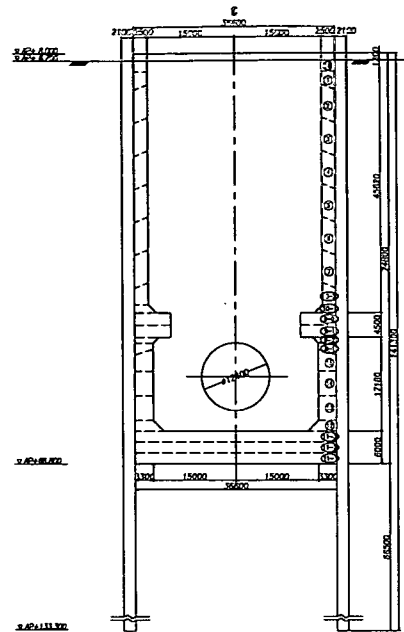


図-1 第3立坑断面およびコンクリート打設順序

表-1 計測項目および計測機器

計測項目		計測機器
側 圧		土圧計
間隙水圧		水圧計
鉄筋応力	鉛直方向	鉄筋計
	円周方向	
コンクリート応力		コンクリート 有効応力計
円周方向		
水平変位		挿入式傾斜計
地 震		加速度計

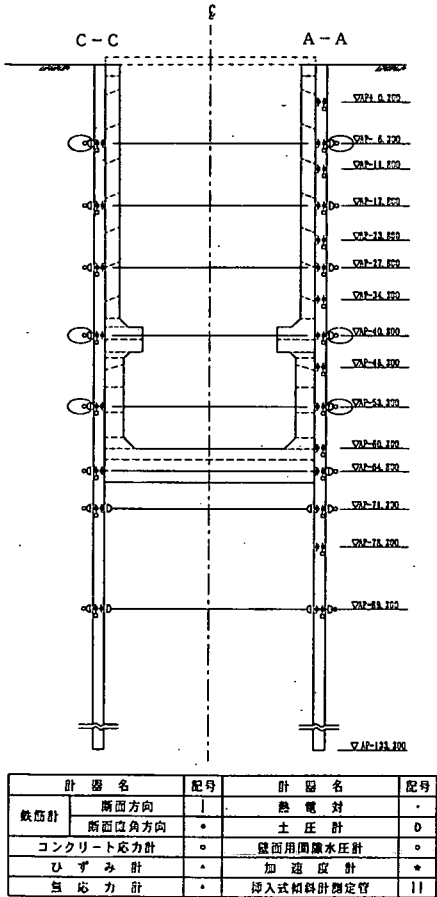


図-2 計測断面および計器の配置

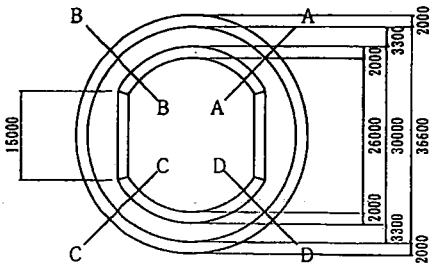


図-3 立坑計測線図(立坑平面図)

(3) 外郭放水路立坑設計計算方法および検証項目

立坑の設計は仮設構造物として扱い、計算モデルは横断方向モデル（リングモデル）と鉛直方向モデル（弾塑性法）の2つの計算モデルで行った。（図-4）

横断方向計算モデルに用いる作用側圧は、土圧を静止土圧とし上載荷重 q を加えて、

$P_o = K_o (q + \gamma H)$ で算出した。また、偏圧は静止土圧の20%として2方向から作用させた。

縦断方向計算モデルでは、地下連続壁と本体壁のリングバネを考慮し、逆巻きコンクリートの打設順序並びに掘削ステップ毎に弾塑性法により計算した。

立坑設計手法の検証項目として、「土圧係数 K_o 」と「偏圧」を設計値と実測値で比較し検討を行った。設計に用いた土圧係数 K_o を表-2に示す。

表-2 設計に用いた土圧係数 K_o

土質	N値による分類	土圧係数 K_o
砂・砂礫	$N < 50$	0.5
	$N \geq 50$	0.3
粘性土	$N < 10$	0.5
	$N \geq 10$	0.3

(4) 土圧係数(K_o)の検討方法

土圧計によって測定される側圧には、地下連続壁施工時

に発生する地盤の乱れ等による影響も予測されるが、計測値はこれらの施工要因を含めた実際に地下連続壁に作用している側圧（荷重）であると考え、有効土圧の実測値を「（土圧計の計測値）－（水圧計の計測値）」として算出し、設計に用いた土圧係数との比較検討を行った。

(5) 偏圧の検討方法

偏圧の実測値は、地下連続壁の変位と断面力（鉄筋応力度）から以下のような逆解析により算定した。

- ① 計測4断面の地下連続壁変位より立坑重心の変位方向を想定する
- ② 立坑重心の変位方向に偏圧が作用しているものと仮定

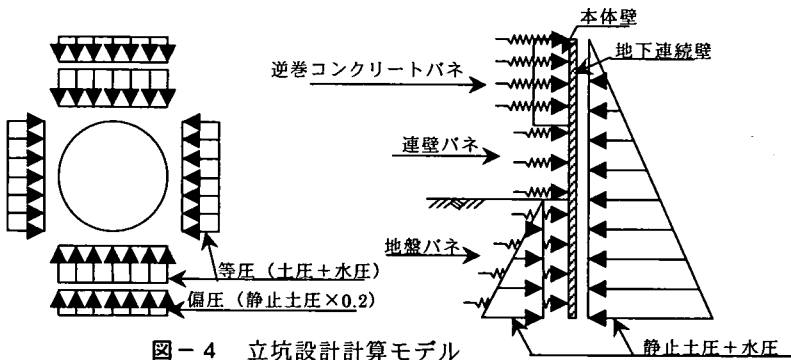


図-4 立坑設計計算モデル

図-5 土質および土圧係数

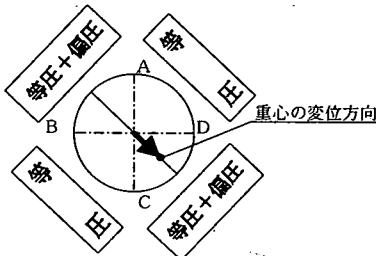


図-6 解析モデル図

する。

③ 図-6のような解析モデルにおいて、各計測断面で算出された断面力(鉄筋応力度からの算出)を発生させる荷重(等圧荷重と偏圧荷重)を逆解析する。

尚、等圧荷重 p 、偏圧荷重 q は次式により算出した。

$$p = \frac{\frac{N}{Rc} - q \cdot \sin^2 \theta}{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta}$$

$$q = \frac{4M}{Rc^2} \cdot \frac{1}{1 - 2\sin^2 \theta}$$

ここで、

Rc : 図心半径

M : 鉄筋に発生した曲げモーメント

N : 鉄筋に発生した軸力

θ : 測面からの変位重心方向

(6) 作用土圧の計測結果

図-7, 8 は、第1立坑および第3立坑を例に、それぞれ最終掘削時(9次掘削時)の実測値と有効土圧係数を0.2, 0.3, 0.5に設定した場合の計算上の有効土圧を併せて表した。

図-5に示したとおり、設計時の土圧係数は、第1立坑においては、地表面を除く大部分を0.3に設定しており設計値は実測値を上回っている。また、同様に第3立坑においても、設計時の土圧係数を上部の沖積層では0.5、それ以深

の良質地盤では0.3に設定しており、両者共に設計値が実測値を上回っていることから設計値が妥当であったと推察される。これらの結果は、第2立坑、第4立坑でも同様である。

(7) 偏圧の計測結果

各照査断面における鉄筋応力度の計測値から算出した偏圧値(実測値)は、設計に用いた偏圧値(設計値)より小さく、表-3のとおり設計上の有効土圧に対する実測値の偏圧の割合は20%以下となり、設計時に設定した偏

圧の割合が妥当であったと推察される。

また、設計に用いた側圧(有効土圧+水圧)に対する偏圧の割合を試算すると概ね2~6%と10%以下となり、従来から一般的に考えられている側圧(有効土圧+水圧)に対する偏圧の割合5~10%が妥当であるという結果が得られた。

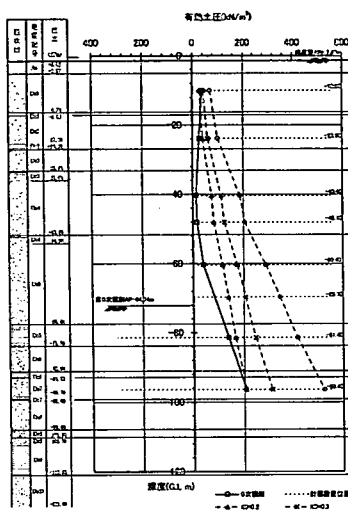


図-7 第1立坑有効土圧分布図

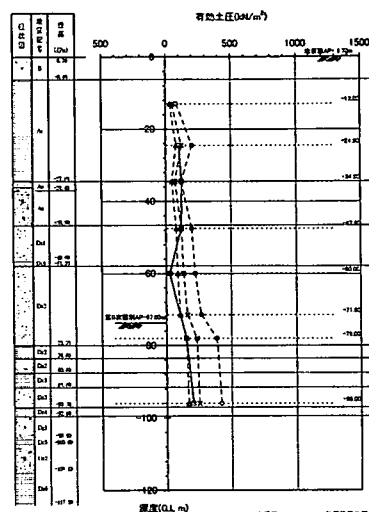


図-8 第3立坑有効土圧分布図

表-3 設計有効土圧に対する実測偏圧値の割合

	照査断面 (m)	設計有効土圧 (KN/m ²)	設計値		実測値	
			偏圧 (KN/m ²)	偏圧比 (%)	偏圧 (KN/m ²)	偏圧比 (%)
			A	B	C	C/A
第1立坑	AP-32.60	121.12	24.2	20	9.45	7.8
	AP-61.60	208.10	41.6	20	12.00	5.8
第2立坑	AP-35.40	116.30	23.3	20	0.79	0.7
	AP-56.40	177.97	35.6	20	12.28	6.9
第3立坑	AP-27.30	153.50	30.7	20	5.08	3.3
	AP-53.30	173.00	34.6	20	33.91	19.6
第4立坑	AP-43.50	128.80	25.8	20	-	-
	AP-55.50	164.80	32.3	20	20.83	12.6

3. シールドトンネルに作用する土圧

(1) セグメントの設計土圧および検証項目

本放水路トンネルは、洪水流入時に作用する内圧を一次覆工で負担する構造であるが、内水圧作用時には覆工の構造安全性に関して、設計鉛直土圧が小さいほど危険側となる。したがって、本放水路の設計にあたっては、最小鉛直土圧という考え方を採用し、トンネル周辺が比較的堅固な地盤(洪積層)であることを考慮して、0.175D (D：一次覆工外径)を最小鉛直土圧として設定した。

そこで、現在までに得られている計測データから一次覆工に作用している鉛直土圧と側方土圧について、それぞれ緩み高さと側方土圧係数(λ)を算出し、計測値と設計値との対比により検証を行った。

(2) セグメント計測

計測は図-9に示すとおり、計測セグメントを2リングとし1リング目(甲組)には作用荷重を計測するための土圧計と水圧計の圧力計を設置し、2リング目(乙組)には応力を計測するための鉄筋計とボルト計の応力計を設置した。

また、計測位置は現在まで施工されている第1～第3工区の3スパンにおいて、土質を考慮して各工区毎に図-10に示す位置に計測リングを計4箇所設置した。

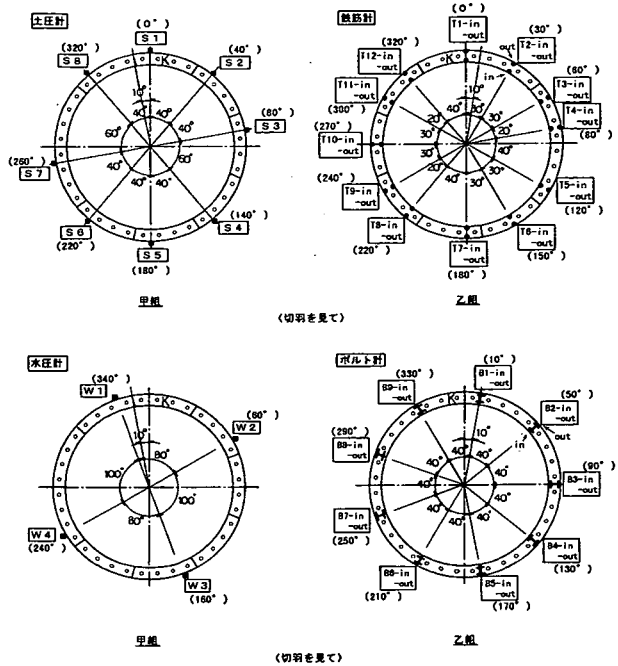


図-9 セグメント計測器配置図

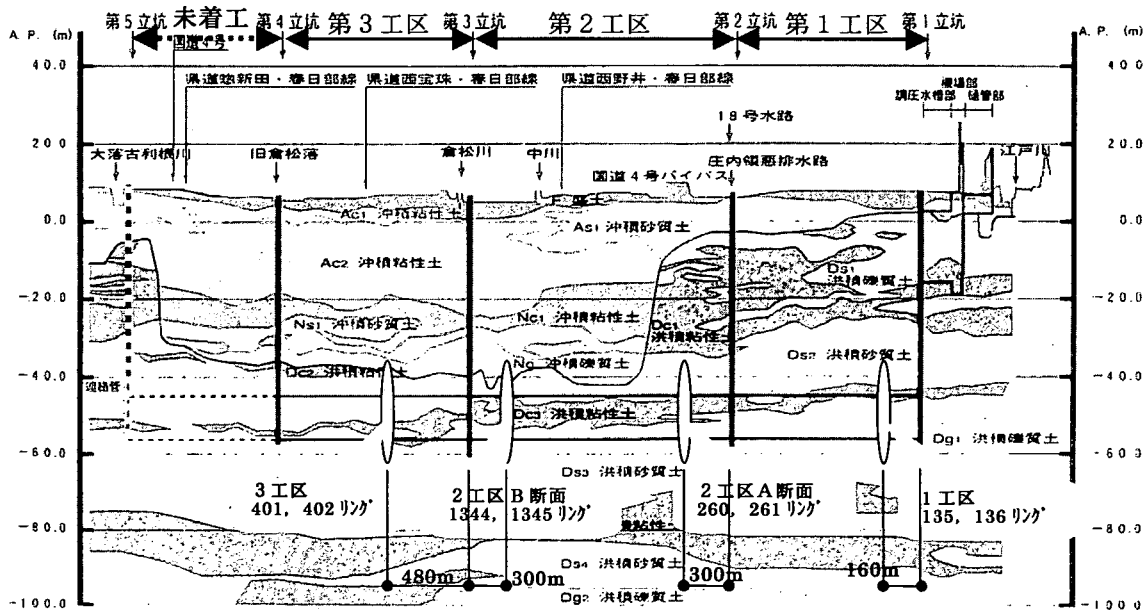


図-10 地質縦断面図および計測位置図

(3) 計測結果

本稿では、各工区で施工時期の違いがあるため全工区に共通である計測セグメント組立後 20 リングまでのデータについてまとめた。図-11,12 に第2工区B断面を例に土圧および水圧の実測値を時系列のグラフで表す。このグラフから、セグメントはテールブラシからの圧力を強く受けており(1~2 リング)、テールから抜けた時点で裏込め注入圧の影響を受け(3~4 リング)、その後土圧および水圧が作用しほぼ一定に向かう傾向を示している。

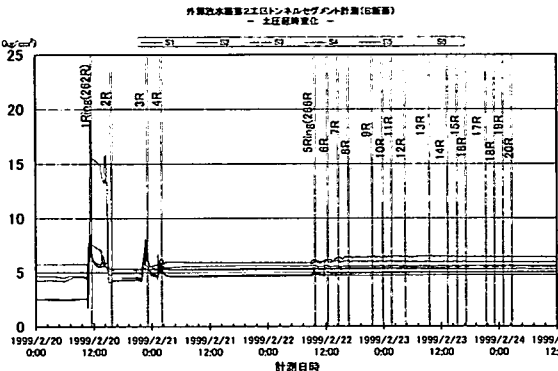


図-11 2工区(B断面)土圧経時変化図

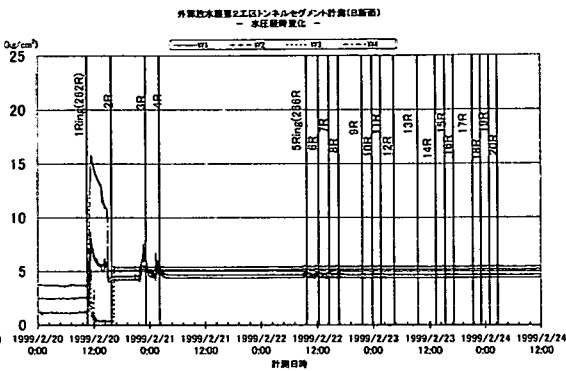


図-12 2工区(B断面)水圧経時変化図

(4) 比較検討結果

計測値と設計値の比較は有効土圧で行い、このトンネルに作用する鉛直土圧および側方土圧は、有効土圧として「土圧測定値－水圧測定値」により算出した。
鉛直土圧については緩み高さを算出し、側方土圧については側方土圧係数(λ)算出し、それぞれ設計値と比較した結果を表-4,5 に示す。

比較検討の結果、計測値は、設計で設定した最大鉛直土圧よりも小さく、最小鉛直土圧よりも大きいことが確認された。したがって、空水時（最大鉛直土圧を考慮）および内水圧作用時（最小鉛直土圧を考慮）のいずれにおいても、鉛直土圧の設定が適切であったことが確認された。また、計測された側方土圧係数(λ)は 0.1~0.3 となり、設計値の 0.4~0.5 を下回っており、大深度の洪積地盤では設計値よりも小さいことが確認された。

表-4 計測値と設計値のゆるみ高さの比較

		2 工区		3 工区
		A 断面	B 断面	
計測値	鉛直土圧(kN/m²)	41	39	35
	緩み高さ	4.1m 0.34D	3.9m 0.33D	3.5m 0.37D
設計値	最大鉛直土圧	1.5D	全土被り	1.5D
	最小鉛直土圧	0.175D	緩み高さ	0.175D

表-5 計測値と設計値の側方土圧係数(λ)の比較

		2 工区		3 工区
		A 断面	B 断面	
計測値	鉛直土圧(kN/m²)	94	92	88
	鉛直土圧(kN/m²)	23	12	27
	側方土圧係数(λ)	0.2	0.1	0.3
	側方土圧係数(λ)	0.5	0.5	0.4

4. おわりに

立坑およびシールドに作用する土圧等は施工時の不確定要素に起因するところが大きく、施工状況などを含めた適切な計算モデルの設定が重要であると考えている。

本計測は現在も継続して行っており、立坑については地震時計測を含めて大深度立坑の挙動について解析を進めていく予定である。また、シールドトンネルの計測では鉄筋計の計測結果からセグメントの実際の挙動を解析し、現行の覆工設計法で総断面力の 50%を占める自重による断面力や施工時の影響を把握して、大深度・大口径セグメントの合理化を検証していく予定である。