

PCシャフト工法の開発と施工

三井住友建設株式会社 正会員 ○ 国広 俊夫
 飯野 健一
 水本 雅夫
 黒川 幸彦

1. はじめに

PCシャフト工法とは、あらかじめシースを埋め込んだコンクリート製のセグメントを組み立てた後、円周方向・鉛直方向にプレストレスを導入することにより一体化して人孔を、リング組立後、圧入しながら内部土を掘削し所定の深さまで沈設して立坑を構築する工法で、特徴は下記のとおりである。

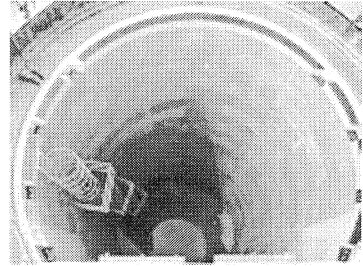


写真-1 月隈第6雨水幹線吐口人孔

- 1) 山留め壁を利用した鉄筋コンクリート人孔や場所打ちケーソン工法と比較して現場工期を短縮できる。
- 2) 軟弱地盤などにおいて、大きな断面力が作用する場合は従来工法に比べてコストダウンできる。
- 3) 継手はシール材を設置して、プレストレスにより圧縮力が作用するため優れた止水性が得られる。
- 4) 緊張側と固定側の定着体が一体となった鑄鉄製一体型定着体 (Xアンカー) により、緊張の作業性が向上し定着部の配筋が簡素化できる。
- 5) PC構造物部材のためRCに比べて部材厚を縮小できるとともに、ひび割れの発生を抑制できる。
- 6) 円周方向にはアンボンドPC鋼線を使用しているため、一時的に大きな荷重が作用してリングが変形しても継手に目開きが生じるが、除荷後は元の状態に戻る高い復元性を有する。

2. 性能試験

2.1 継手部曲げ試験

継手部の曲げに対する挙動、耐力および変形特性を確認するため継手部曲げ試験を行った (写真-2.1 参照)。接合面に接着剤を塗布しない場合、載荷重 $P=10\text{kN}$ 程度で変形が進み始め、荷重が導入緊張力 ($P=17.5\text{kN}$) を超えると荷重は一定となり、その後鉛直変位 $\delta=70\text{mm}$ で載荷を終了した。荷重を除荷するとセグメント間の目開きはほぼ0となり、変状もなく復元性が確認できた (図-2.1.1, 2.1.2 参照)。

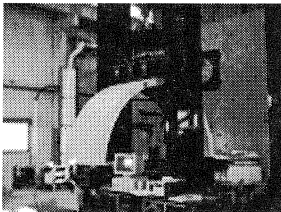


写真-2.1 載荷試験状況

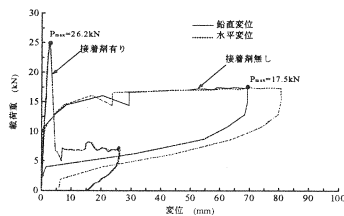


図-2.1.1 荷重変位曲線

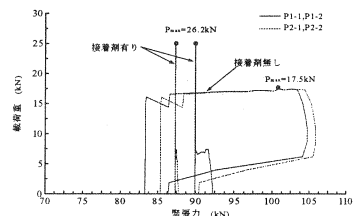


図-2.1.2 荷重と緊張力の関係

表-2.2 リング出来形

	リング内径 (mm)	
	緊張前	緊張後
1リング目	3,998	3,997
	4,002	3,995
2リング目	4,000	3,998
	4,001	4,000

2.2 水平仮組試験試験

施工性、出来形およびプレストレスの導入状況を確認するため水平仮組試験を行った。試験の結果、組立性に関してはセグメントの設置、円周方向の緊張作業において特に支障がないことを確認した (写真-2.2, 表-2.2 参照)。

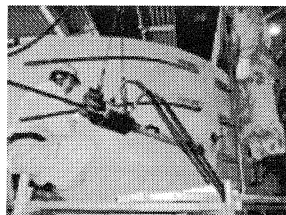


写真-2.2 緊張試験状況

2.3 リング偏芯載荷試験

沈設圧入時偏芯荷重が載荷された場合の健全性を検証するため、試験体の一部の支承を取除き、その位置で鉛直方向への載荷を行った(写真2.3参照)。1000kN(鉛直変位 $\delta = 2.3\text{mm}$)まで載荷した結果、セグメント本体のひび割れ等の発生は確認されなかった。また、セグメントピース間の目開きの増減は非常に低いオーダーで推移し、リング間においても同様の結果となった。これは、プレストレス導入の効果により継手の目開きの発生を抑制していることに起因するもので、偏芯荷重がかかる場合でもリング及びセグメントの一体性は確保されると考えられる(図-2.3参照)。

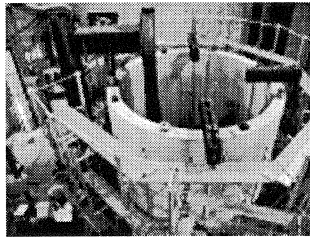


写真-2.3 載荷試験状況

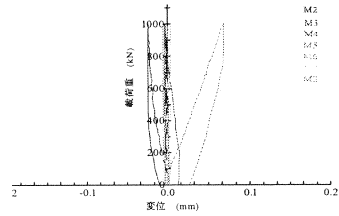


図-2.3 ピース間目開き

これは、プレストレス導入の効果により継手の目開きの発生を抑制していることに起因するもので、偏芯荷重がかかる場合でもリング及びセグメントの一体性は確保されると考えられる(図-2.3参照)。

3. 月隈第6雨水幹線築造付帯(吐口人孔)工事

3.1 工事概要

当工事は、福岡空港周辺の福岡市博多区半道橋や東那珂地区の浸水被害解消のために施工された雨水幹線の吐口人孔で、下部の管渠から雨水が流入し、上部の吐き口から流出するため内水圧が作用するのが特徴である。

構造寸法は、全高 $H=25.3\text{m}$ 、壁高 $H=22.8\text{m}$ 、内径 $\phi=8.2\text{m}$ 、壁厚 $t=0.45\text{m}$ である(図-3.1参照)。セグメントは据付時の挿入性を考慮して3cmのテーパが付いた台形形状とした。また、1リング当たりのセグメントを偶数分割することで1種類の型枠で製作可能である。

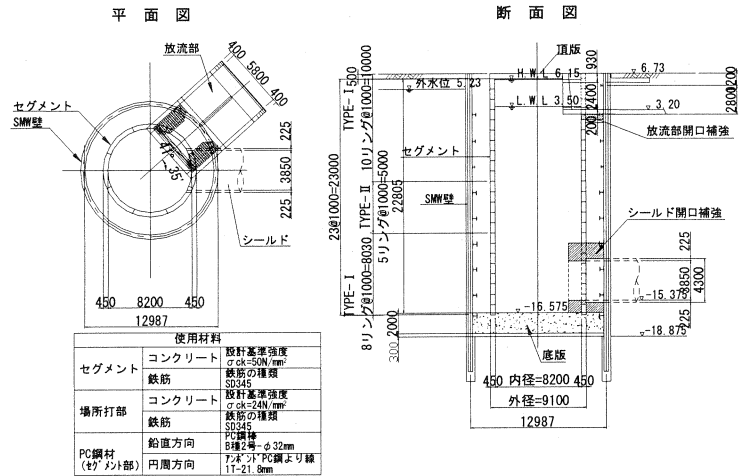


図-3.1 PCシャフト構造一般図

3.2 設計

本人孔の設計は、「下水道施設の耐震対策指針と解説」(日本下水道協会, 1997)等に準じて行った。常時の設計では、曲げモーメントおよびせん断力が生じないため、死荷重、静止側圧(静止土圧+静水圧)およびプレストレス力による軸圧縮力を考慮して設計を行った。以下に地震時の設計について詳細を述べる。

3.2.1 耐震設計法

耐震設計は応答変位法によりレベル1地震動について行った。応答変位法による断面力算定手順を示す。

- 1) 各深度における地盤の応答変位 (δ_1) および設計水平震度を算出する。
- 2) 応答変位荷重(地盤の応答変位に地盤バネ定数を乗じたもの)、躯体の慣性力、内水の動水圧を弾性床上の梁モデルに作用させ、鉛直方向の躯体の断面力と変位 (δ_2) を算出する。
- 3) 地盤と躯体の相対変位 ($\delta_2 - \delta_1$) による地盤反力を円環フレームモデルに作用させ、水平方向の断面力を算出する。

3.2.2 鉛直方向の検討

断面力は、3.2.1.1)にて算出した断面力に常時荷重(死荷重、鉛直方向プレストレス力)による軸圧縮力

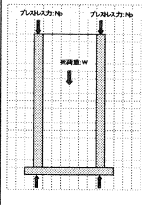
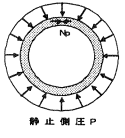
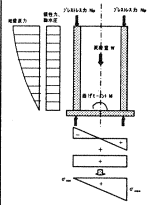
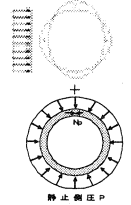
を加算し算出した。断面の照査方法は、コンクリートの圧縮応力度およびせん断応力度が許容値を超えないことに加え、円筒断面内に引張応力度が生じないことを照査するものとした。これは、円筒断面内に引張応力度が生じた場合、セグメント継手部に目開きが生じ、水密性が確保できないためである。

3.2.3 水平方向の検討

断面力は、3.2.1.3)にて算出した断面力に常時荷重(静止側圧、円周方向プレストレス力)による軸圧縮力を加算し算出した。断面の照査方法は以下の通りとした。

- 1) セグメント部 コンクリートの圧縮応力度、せん断応力度、鉄筋の引張応力度が許容値を超えないことを照査する。
- 2) 継手部 コンクリートの圧縮応力度が許容応力度を超えないことに加え、合力の作用位置が断面高さの中央2/3以内にあることを照査するものとした。これは、地震のような一時的な荷重に対して、ある程度圧縮領域があれば水密性は確保できるが、過度に偏心が生じた場合圧縮応力度が過大になることを考慮したもので、フーチングの転倒に対する安定の照査方法に準じて規定した。

表-3.2 人孔本体の設計の考え方

	常時		地震時	
	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向
荷重	・死荷重 ・鉛直方向プレストレス	・静止側圧 ・円周方向プレストレス	・死荷重 ・鉛直方向プレストレス ・応答変位荷重 ・躯体慣性力 ・動水圧	・静止側圧 ・円周方向プレストレス ・地盤反力
照査方法	・ $\sigma_{cmax} \leq \sigma_{ca}$ ※軸圧縮力のみ	・ $\sigma_{cmax} \leq \sigma_{ca}$ ※軸圧縮力のみ	・ $\sigma_{cmax} \leq \sigma_{ca}$ ・ $\sigma_{cmin} \geq 0$ ・ $r_c \leq r_a$	セグメント部 ・ $\sigma_{cmax} \leq \sigma_{ca}$ ・ $e \leq \sigma_{ca}$ ・ $r_c \leq r_a$ 継手部 ・ $\sigma_{cmax} \leq \sigma_{ca}$ ・ $e \leq h/3$
概要図				

3.3 施工

3.3.1 工程

施工フロー、主要工事工程を下記に示す。

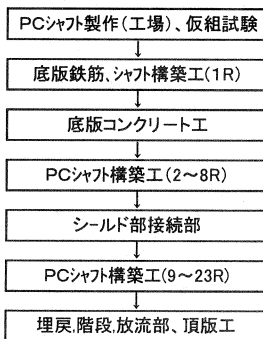


図-3.3.1 施工フロー

表-3.3.1 主要工事工程

工程	2002年		2003年					備考
	11	12	1	2	3	4	5	
セグメント製作工、仮組試験								仮組試験12/19,20
底版工(鉄筋、1R、コンクリート)				11				
PCシャフト構築工(2~8R)					7			足場含
シールド部接続工					18			
PCシャフト構築工(9~23R)						16		クレー外注入含
埋戻し、階段、放流部、頂版工							56	防音ハウス撤去含

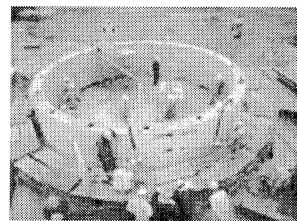


写真-3.3.1 仮組み試験

3.3.2 セグメント製作、仮組試験

PCセグメントは、型枠を2組用意し当社の三田川PC工場で作成した。セグメント組立に対して標準部及び開口部について仮組試験を実施し、円周方向プレストレス導入前後における内空変位、出来形精度、組立要領、PC材挿入、緊張時の作業性等の項目について確認した。

3.3.3 底版工事

底版とPCセグメントは鉛直方向プレストレスを介して一体化される構造で、PCセグメントの一部

(195mm)が底版に埋め込まれる形状となっている。1リング目を底版のコンクリート打設前に構築し、リング形状を確保した後にコンクリート打設を行った。1リングはその後の22リング組立のベースとなるため精度管理に注意を払い鋼製架台を使用してセットした。

3.3.4 セグメント標準部の組立

1リングは8セグメントで構成され、1リング毎PCセグメント据え付け、PCケーブル(φ21.8 アンボンド鋼線)の挿入、緊張作業を行った。リング当たりの組立所要時間は4時間であった(表-3.3.2参照)。

表-3.3.2 1リング当たり標準サイクルタイム

時間(分)	60	120	180	240	備考
セグメント搬入・準備工	30				
セグメント設置		120			8セグメント
PC鋼線挿入			45		2本/リング
PC鋼線緊張				45	2本/リング

PCセグメントの据付けには50t吊りラフタークレーンを用い、外周部に十分スペースが取れないことからリング内を全面足場とし、組立作業はリング内部から行った。鉛直鋼棒をガイドとしてPCセグメントの吊り下ろしを行い、PCセグメントに2箇所設けたガイドキーにより据付けを行った(写真-3.3.2)。

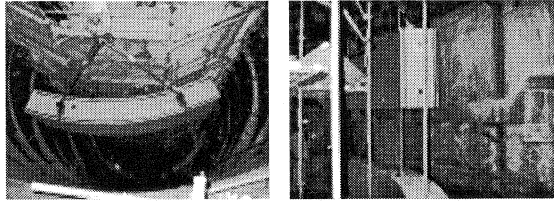


写真-3.3.2 PCセグメントの据付け

円周方向PC鋼材の緊張はリング外側で行う構造であるため緊張箇所近傍には外周足場による作業空間を確保したが土留め壁(SMW工法による)との間隔が1.2mと狭いため、PC鋼材の挿入には、省力化を目的としてPC鋼材引き込み装置を開発し、使用した。本装置はメッセンジャーワイヤーの送り出しと、そのワイヤーによりPC鋼材の引き込みを行う機能を有しており、本工事のように狭い空間で作業を行わなければならない場所では効力を発揮した(写真-3.3.3)。緊張は定着体の切り欠き部が深くなるため、緊張用ロッドを介して、SMジャッキ(住友電工スチールワイヤー(株))を用いて行った(写真-3.3.4)。

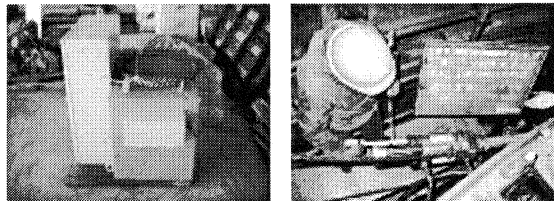


写真-3.3.3 PC鋼線引込装置 写真-3.3.4 PC鋼線緊張作業

3.4 計測について

施工時のセグメントの挙動を確認するため、セグメント組立開始から人孔外部埋戻しまでの間、計測を行った。計測項目は、セグメントの円周方向および鉛直方向のひずみと円周方向緊張材の軸力である。図-3.4に最下段セグメント円周方向ひずみの経時変化を示す。セグメント円周方向のひずみ量は緊張力導入直後わずかに低下し、以降は想定したひずみ量よりも大きな数値が計測された。緊張力導入直後の低下は接合面のシール材等のなじみにより、以降のひずみ増大はクリープひずみによるものと考えられる。埋戻し以降は、緊張材軸力を含めほとんど変動はなく、想定された範囲の挙動を示している。

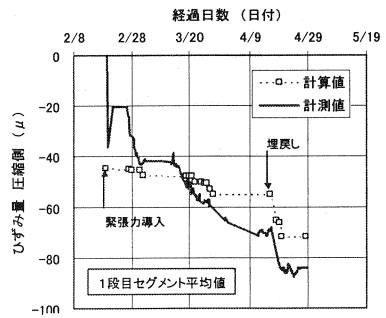


図-3.4 円周方向ひずみの経時変化

4. まとめ

今回の吐口人孔の施工では、リングの組立は1日当たり2リングで実施工日数は14日であった。RC人孔に比べて大幅に工期の短縮が図れるとともに、鉄筋、型枠組立等の複雑な作業を大幅に省略できるため、施工性、安全性に優れている。本工法は、大深度立坑の構築においてさらに優位性が発揮されると考える。