

ニューマチックケーソン工法による 大規模地下貯留施設の施工

小 滝 勝 美

現在、大阪府が推進している寝屋川流域総合治水対策事業は、地域住民の暮らしを洪水から守ることを目的として、河川の改修を行なうとともに遊水池や流域調節池などの貯留施設、地下河川の建設や流域対策など、河川と下水が一体となった総合的な治水対策として行なわれている。このうち、新家調節池や讀良立坑などの大規模地下構造物が、ニューマチックケーソン工法により施工されている。特に、新家調節池は世界最大級の円形ニューマチックケーソンであり、その施工技術が評価されて土木学会関西支部技術賞を受賞している。本報では新家調節池の施工内容を報告するとともに、現在も施工中の讀良立坑工事について紹介するものである。

キーワード：地下調節池，ニューマチックケーソン，無人化工法，世界最大級，大深度

1. はじめに

寝屋川流域はその大部分が低平地であり、流域の約3/4は雨水が河川に自然流下できない「内水域」である。このため下水道により雨水を集めてポンプで強制的に河川へ排水しているが、河川に集められた雨水の出口は寝屋川の京橋口にしかなく、排水ポンプ能力以上の降雨があった場合には、下水道管や水路から水が溢れ出る「内水浸水」が発生している。

こうした厳しい地形条件のなか、流域住民の暮らしを守るため、国、大阪府、流域関係11市が協力して「寝屋川流域総合治水対策協議会」が設立され、21世紀の安全で快適な街づくりをめざして、平成2年4月に「寝屋川流域整備計画」が策定された。

本事業はこの計画に基づき、河川や下水道の整備を進めるとともに、流域における保水、遊水機能を人工的に取り戻すために実施されているものである。

2. 新家調節池築造工事（本體工）

本工事は八尾市北西部における大雨による浸水被害の低減を図るため、流域下水道（柏原八尾幹線）の能力を上回る雨水を取水し、一時的に貯留するための地下調節池を構築したものである。

(1) 工事概要

本体となる調節池の築造は、世界最大級の円形



図一 寝屋川流域図

ニューマチックケーソン工法で施工し、工事概要は次に示すとおりである。

工事名：一級河川寝屋川新家調節池築造工事（本體工）
 工期：平成17年3月23日～平成20年11月30日
 場所：大阪府八尾市新家町5丁目
 発注者：大阪府八尾土木事務所
 施工者：大林・大本・みらい・ベクトル共同企業体

工事内容：

- ・調節池築造工（ニューマチックケーソン工法）1基
 外径 = 50.6 m / 高さ = 49.8 m / 貯留量 = 約 50,000 m³
- ・躯体構築工
 鉄筋 = 約 4,000 t / コンクリート = 約 38,000 m³
- ・沈下掘削工
 掘削量 = 約 101,000 m³
- ・最大作業気圧 = 0.38 MPa

図-2に一般構造図を示しているが、本ケーソンの底面積が2,016 m²と非常に大きく、通常のような単スラブで剛性を確保するとスラブ厚が大きくなり、初期掘削時の躯体重量が過大となる上に、第1ロットの施工量が非常に多くなることから、2重スラブ構造として2床版間を格子状の隔壁で連結させて剛性を確保する構造とした。

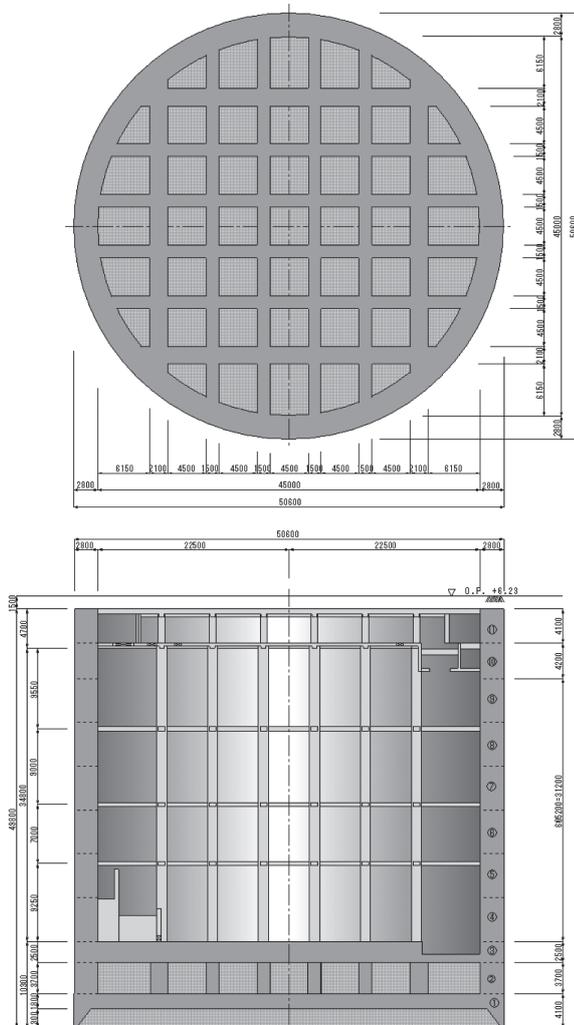


図-2 一般構造図

(2) 施工フロー

図-3に本工事の基本的な施工フローを示す。躯体構築は第1～第3ロットを先行して行ない、ケーソン沈設時の発生応力に対し十分な剛性を確保してから沈下掘削を開始した。また、初期沈下掘削時は過荷重状態が続くため、2重スラブ間の中詰コンクリートは、沈下荷重が不足気味となる第5～6ロット構築時に打設した。

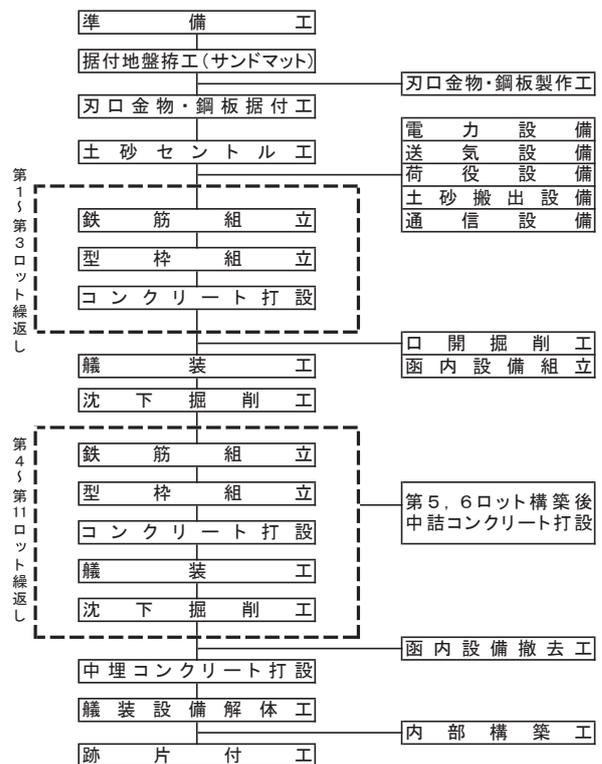


図-3 施工フロー図

(3) 主要設備

表-1に本工事における主要設備の一覧表を示す。また、図-4に主要設備の平面配置計画を示す。

表-1 主要設備一覧表

用途	機 械 名	規 格	等 単 位	数 量
送 気	空 気 圧 縮 機	定置式スクリー型	31 m ³ /min	台 8
	圧 縮 空 気 清 浄 機	処理量	1,100 m ³ /h	台 3
	レ シ ー バ タ ン ク	2.5 m ³		台 8
	ク ー リ ン グ タ ー	丸型冷却塔式	40 t/h	台 5
排 土	ク ー ラ ー ク レ ー ン	55 t吊×2, 85 t吊×2		台 4
	キ ャ リ ア	ABスケータ式	1.0 m ³	基 3
	土 砂 ホ ッ パ	30 m ³ 級		基 7
掘 削	潜 函 用 シ ョ ベ ル	天井走行式	0.15 m ³	台 14
	マ テ リ ア ル ロ ッ ク	φ1.8～1.9 m級	1.0 m ³	基 7
養 生	マ ン ロ ッ ク	立型	10～12人用	基 5
	ホ ス ピ タ ル ロ ッ ク	φ2.9 m長	6 m 12人用	基 3
救 急	エ ン ジ ン 式 空 気 圧 縮 機	18～19 m ³ /min		台 6
	発 動 発 電 機	150 kVA		台 1

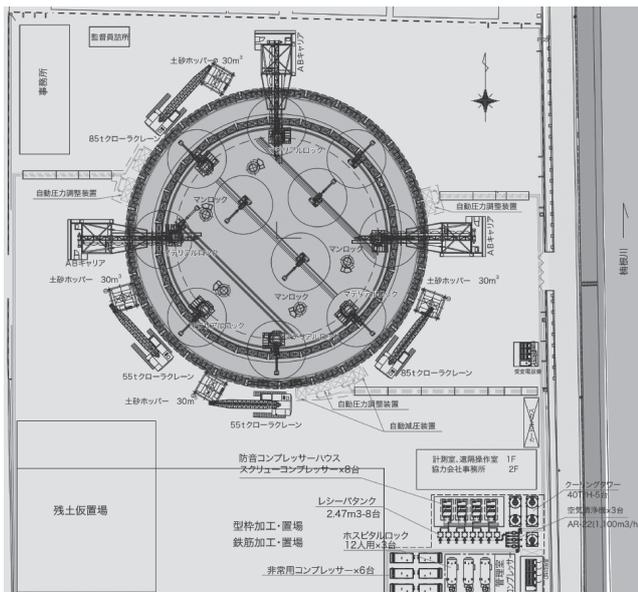


図-4 主要設備平面配置計画図

(4) 施工内容

本工事において実施した対策や施工内容については以下のとおりである。

①コンクリートのひび割れ制御対策

底版厚は1.8～2.5m、側壁厚が2.8mとマスコンクリートであり、耐久性上有害なひび割れの発生が懸念されたため、発注者との協議により躯体コンクリートのひび割れ制御の目標値を以下のとおりとした。

スラブ：ひび割れ指数1以上

側壁：推定ひび割れ幅が0.2mm以下



写真-1 コンクリート打設状況

温度ひび割れ制御対策については、セメントの種類をパラメータとした温度応力解析を実施した結果、第4ロット以降の側壁部については、養生による工程への影響を考慮し早強ポルトランドセメントを使用した。また、ひび割れ幅の制御対策としてひび割れ制御鉄筋を採用し、円周方向鉄筋を2倍にした。一方、第1～第3ロットでは沈下掘削前であり、躯体の養生工程に余裕があったため、低熱ポルトランドセメントを採用した。

なお、ひび割れ制御鉄筋(D38@200)の組立を省力化するため、H形鋼2本に鉄筋を溶接固定し、ユニット化することにより施工の合理化を図った。



写真-2 ひび割れ制御鉄筋建込み状況

②情報化施工(総合的沈設管理)

今回の施工では大型構造物を構築しながら沈設するため、躯体の鉛直精度や応力状態を確認して施工する必要があった。このため、ケーソンに各種計測機器を配置し、リアルタイムにその情報をオペレータに伝えることで、ケーソンの鉛直性を保ちながら沈設した。

また、姿勢制御だけでなくケーソンに作用する外力の大きさを把握し、それに対して発生する応力状態を確認することで、ケーソンの安全性・健全性も確認する総合的沈設管理を実施した。表-2に計測機器の種類と用途を、図-5に各計測機器の配置図を示す。

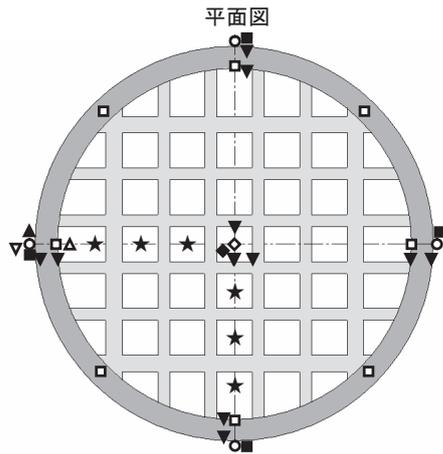
③沈下掘削

初期沈下掘削時のケーソン躯体重量は33,000tと過荷重状態にあったため、過沈下防止策として湛水による圧気の早期開始(図-6参照)や掘削開口率を調整して施工した。

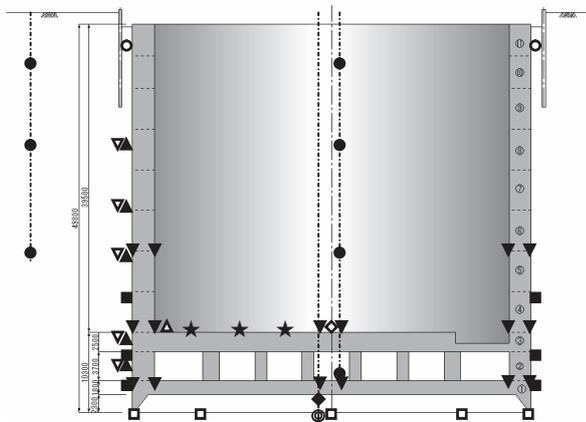
函内作業気圧が0.18MPaまでは作業員が掘削機に搭乗しての有人掘削を行なった。これは、0.18MPaまでは有人掘削の方が掘削能力が高いことと、ケーソンの姿勢制御にはより繊細な掘削管理が必要となったからである。0.18MPaからは無人掘削に切り替えて施工を行なった。本ケーソンでは潜函ショベル0.15m³

表-2 各種計測機器の種類と用途

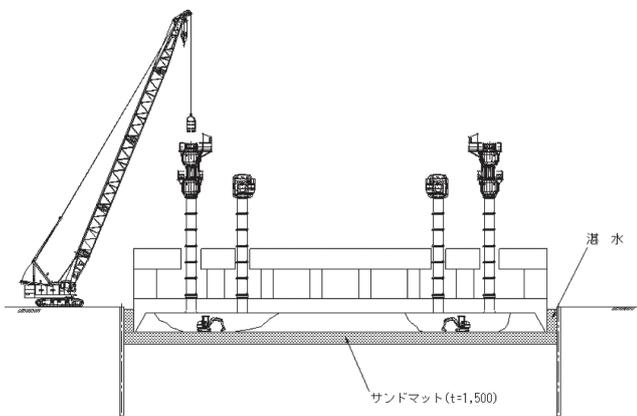
計測項目	計測機器	記号	単位	数量	計測目的			
					姿勢制御	沈設管理	強度管理	地盤管理
ケーソン傾斜	固定式傾斜計	◇	台	1	○		○	
ケーソン沈下量	ワイヤー変位計	○	"	4	○	○		
刃口荷重	刃口荷重計	□	"	8		○	○	
周面摩擦	周面摩擦計	■	"	12		○		
水荷重	水圧計	△	"	1		○		
函内気圧	気圧計	◆	"	1		○		
壁面土圧	土圧計	▲	"	5			○	
壁面水圧	水圧計	▽	"	5			○	
発生応力	鉄筋計	▼	"	88			○	
コンクリート温度	温度計		"	88			○	
スラブたわみ	固定式傾斜計	★	"	6			○	
層別沈下	層別沈下計	●	"	2				○
間隙水圧	水圧計	◎	"	1		○		



断面図



図一五 計測機器配置図



図一六 湛水による初期掘削状況図



写真一三 沈下掘削状況



中央管理室

函内掘削状況

写真一四 遠隔操作状況

級を14台配備し、それぞれの掘削機が干渉し合って衝突しないように、衝突防止システムを採用した。

④安全管理

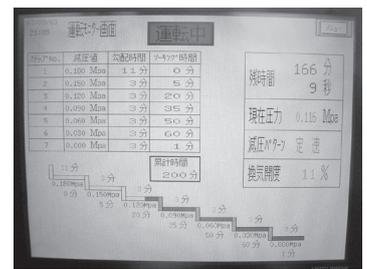
沈下完了時の最大作業気圧が0.38 MPaとなることから、高気圧障害（潜函病）の防止対策として入函管理システムの導入と、0.25 MPaからは酸素減圧を実施した。

入函管理システムとは、減圧時のヒューマンエラーを防止するもので、パソコンで作業室内の気圧と作業時間を管理し、適切な減圧テーブルに従って自動的に減圧を行なうものである。一方、酸素減圧とは高圧作業後の減圧時において、酸素呼吸を行ない窒素排泄を促進して減圧症リスクを低減する方法である。

今回の施工においては、高気圧作業に従事した作業員数は約1,000名であったが、高気圧障害は発生せず無災害で沈下を完了した。



自動減圧装置



自動減圧モニタ画面

写真一五 自動減圧システム



写真一六 酸素減圧状況

3. 讚良立坑築造工事

本工事は大阪府の総合治水対策の一環として、北部地下河川の最上流部（図-1参照）の立坑をニューマチックケーソン工法で築造するもので、本立坑は出水時の地下河川への放流と暫定貯留を目的として計画されたものである。

(1) 工事概要

本工事の概要は以下に示すとおりである。

工事名：寝屋川北部地下河川讚良立坑築造工事
 工期：平成21年6月1日～平成24年6月29日
 場所：大阪府寝屋川市讚良東町
 発注者：大阪府寝屋川水系改修工営所
 施工者：大本・中林・久本・家島特定共同企業体
 工事内容：

- ・立坑築造工（ニューマチックケーソン工法）1基
 外径 = 40.0 m / 高さ = 48.8 m / 底面積 = 1,256 m²
- ・躯体構築工
 鉄筋 = 約 4,000 t / コンクリート = 約 23,000 m³
- ・沈下掘削工
 掘削土量 = 約 63,000 m³
- ・最大作業気圧 = 0.38 MPa

図-7に一般構造図を示す。本立坑は新家調節池と比較して直径で約10mほど小さく、構築高さはほぼ同等である。作業室スラブは2.5mと多少厚めで、隔壁を設けることにより剛性を確保する構造としている。

(2) 施工フロー

本工事における基本的な施工フローは、新家調節池と同じであるため図-3を参照願いたい。ただし、構築は第1～2ロットを先行して行ない、十分な剛性を確保してから沈下掘削を開始した。また、沈下荷重

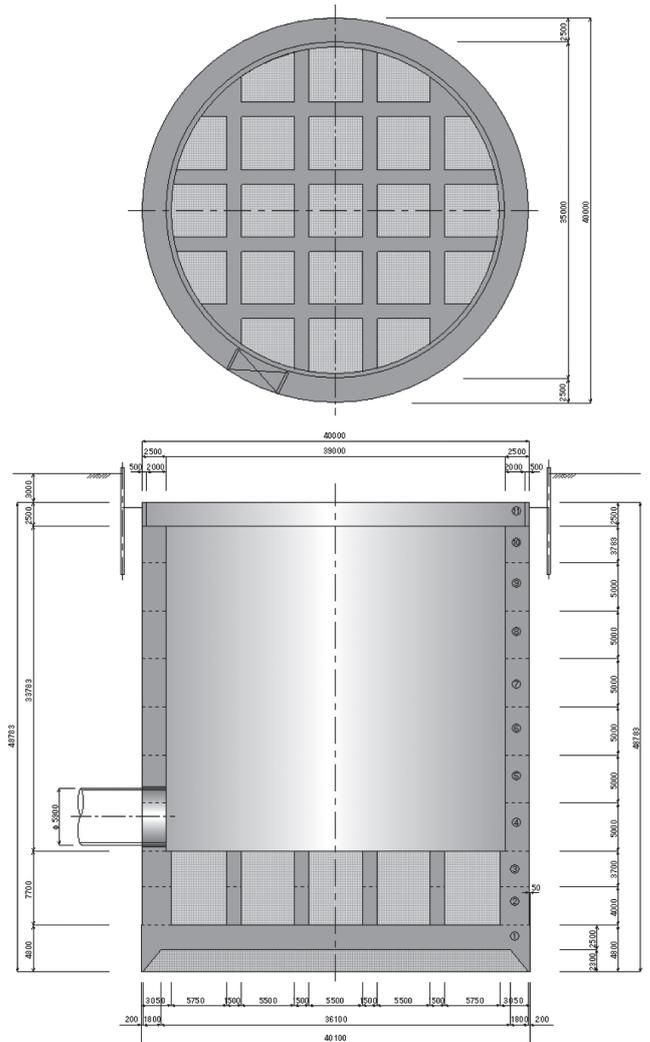


図-7 一般構造図

確保のため中詰コンクリート打設は第7ロット構築完了までに行なう予定である。

(3) 工事工程

表-3に工事工程表を示す。基本的な工程の流れは通常のケーソン施工と同じであるが、当該地区は讚

表-3 工事工程表

工 種 別	平成21年				平成22年				平成23年				平成24年											
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
準備工																								
仮設工	防護施設工 仮設迂回路工 防護尖板工他																							
	基地整備 立坑掘削他																							
文化財調査工	文化財調査工																							
工場製作工	刃口金物製作																							
ケーソン築造工	土砂セメントル 躯体構築																							
	掘削沈下他																							
ケーソン設備工	排土、籠装 掘削機械、送気 揚重機設備他																							
跡片付工	跡片付工																							

良郡条理遺跡に位置しているため、工程の途中で文化財調査を6ヶ月間行なった。

(4) 主要設備

表-4に本工事における主要設備の一覧表を示す。また、図-8には主要設備の平面配置計画を示す。

表-4 主要設備一覧表

用途	機械名	規格	等	単位	数量
送気	空気圧縮機	定置式スクルー型 31 m ³ /min	台		7
	圧縮空気清浄機	処理量 1,100 m ³ /h	台		3
	レシーバタンク	2.5 m ³	台		7
	クーリングタワー	丸型冷却塔式 40 t/h	台		4
排土	クローラークレーン	55 t吊	台		4
	キャリア	ABスケータ式 1.0 m ³	基		1
	土砂ホッパ	30 m ³ 級	基		5
掘削	潜函用ショベル	天井走行式 0.15 m ³	台		9
臙装	マテリアルロック	φ1.8~1.9 m級 1.0 m ³	基		6
	マンロック	立型 10~12人用	基		3
救急	ホスピタルロック	φ2.9 m長6 m 12人用	基		3
予備	エンジン式空気圧縮機	18~19 m ³ /min	台		6
	発動発電機	35 kVA	台		3
構築	タワークレーン	180 t・m	台		1

(5) 施工内容

現在の施工状況としては、躯体構築が第3ロットまでを完了し、沈下掘削がGL-7.0 mで掘削機に搭乗しての有人掘削を行なっている。(平成23年1月末現在)

なお、無人掘削への切り替えは作業気圧 0.18 MPa から行なう予定である。



写真-7 第3ロットコンクリート打設状況



写真-8 沈下掘削状況 (有人掘削)

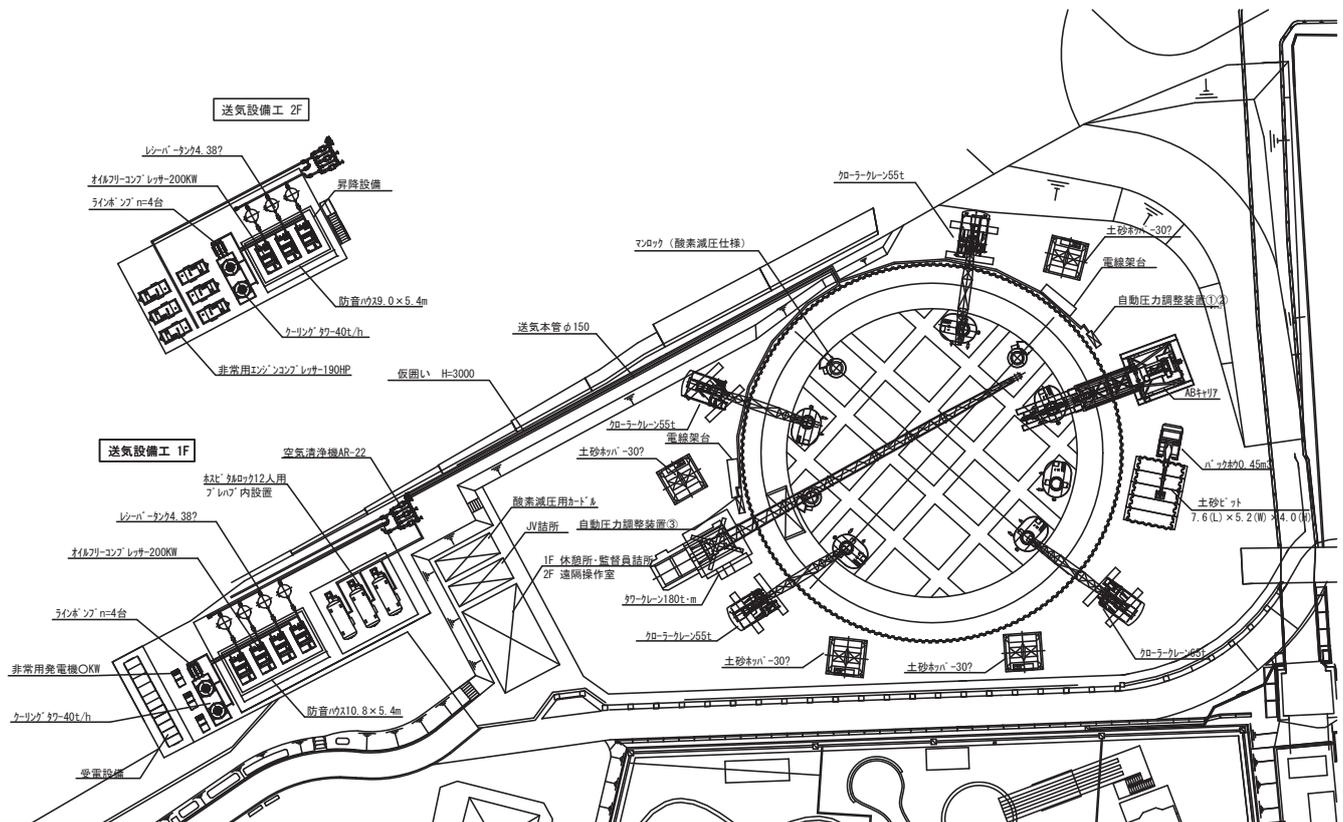


図-8 主要設備平面配置計画図

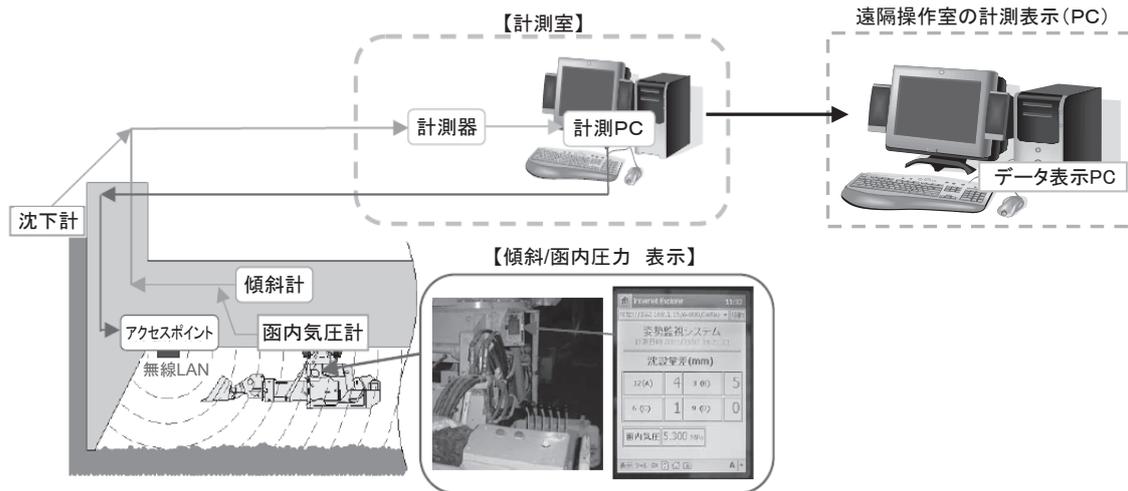


図-9 ケーソン傾斜管理システム

①コンクリートの温度ひび割れ制御対策

本ケーソンの躯体部材厚が大きく、温度ひび割れの発生が懸念されたため、事前に温度ひび割れ解析を実施して以下のような対策を行なっている。

- ・低熱ポルトランドセメントの採用
第2～3ロットに使用（部材厚3.0m）
- ・コンクリート温度の上昇抑制
セミドライフォグを用いた施工
- ・コンクリート内部温度計測とその対応

②止水対策

シールド発進立坑と暫定貯留施設としての施設性能確保のため、止水対策として以下のような対策を行なっている。

- ・反応接着型止水板の採用
- ・打継部止水材の使用
- ・打継部処理剤の使用
- ・塗膜防水の施工

③ケーソン傾斜対策

初期沈下掘削時の傾斜対策としては、ケーソン躯体に配置された各種計器のリアルタイムデータを基に、傾斜や刃口反力を作業室内の掘削機に搭載したポケットPCへ表示し、荷重バランスの変化や傾斜の傾向を沈設管理者と掘削機オペレータが共有して傾斜修正を早期に実施している。

④漏気防止対策

周辺環境への影響を考え、漏気を発生させないため以下のような管理を実施している。

- ・刃口部の間隙水圧値を利用した気圧管理
- ・送気流量計による送気管理

- ・電気式自動圧力調整装置の使用

- ・函内水位監視システムの採用

また、万が一漏気が発生した場合の対策として、漏気回収装置を設置するとともに、防護鋼矢板外周にブローホールを設け、漏気が検出された場合には真空ポンプによる強制回収を実施する。なお、漏気監視にはブローホール水位・函内水位・送気流量などの異常を検出して警報を発する漏気検出システムを構築している。

4. おわりに

新家調節池は八尾土木事務所のご指導の下、無事故で無事に工事を完了することができた。今回の施工データが今後も益々大型化・大深度化するであろうニューマチックケーソンの施工技術向上の一助となれば幸いである。

一方、讚良立坑は現在も施工中であり、これから最盛期を迎えようとしている。誌面の関係上、施工の詳細については報告できなかったのですが、今後、機会があれば報告したいと考える。

JICMA

[筆者紹介]

小滝 勝美 (こだき かつみ)

㈱大本組
技術本部
技術企画部長

