

山王 2 号雨水調整池の設計・施工

— PC 壁体工法 —

左東 有次*1・下山 強美*2・中野 清*3・岡崎 洋*4

1. はじめに

平成 15 年 7 月、大宰府市を中心とした御笠川上流域に降った観測史上最大の豪雨（1 時間最大 104 mm）により、御笠川が溢水し、博多区では事業所・家屋など多大な浸水災害が発生した。とくに博多駅周辺では、地下空間に雨水が流入し、地下鉄が不通になるなど交通機関の混乱を招き、平成 11 年 6 月に続く 2 度目の甚大な被害となった。

また、近年の開発による農地・森林の減少や都市化の進展により、地下に雨水がしみこみにくくなり雨水流出量が増加し、浸水被害の大きな要因となっている。

以上のような経緯をふまえて福岡市では、博多駅周辺を三度浸水させないように総合的な浸水対策（レインボープラン博多）をすすめる、その事業の一環として山王 2 号雨水調整池を計画した（図 - 1）。

本調整池はプレキャスト組立式ラーメン構造の調整池であり、側壁には仮設の土留め壁を兼ねた PC 壁体を採用している。また、中間杭、梁、床版においてもプレキャスト部材を採用することにより、工期の短縮および工事費の削減を図っている。本稿では山王 2 号雨水調整池の設計、施工について報告する。

2. 工事概要

工事名：山王 2 号雨水調整池築造工事
 発注者：福岡市下水道局博多駅地区浸水対策室
 工事場所：福岡市博多区山王 1 丁目（山王公園内）
 工期：平成 16 年 12 月～平成 18 年 3 月

構造形式：プレキャスト組立式合成ラーメン構造
 構造寸法：縦長 79.100 m 横長 35.800 m 深さ 8.500 m
 計画貯留量：15 000 m³

3. 調整池の設計

3.1 設計概要

山王 2 号雨水調整池の構造一般図を図 - 2 に示す。また、主要部材の種別とコンクリート強度を表 - 1 に示す。本構造は上部工（プレキャスト梁、PC 板、場所打ち床版）、底板、側壁（PC 壁体）および中間杭から構成されている。

構造設計は、各部材の断面力を主要部材であるプレキャスト梁、PC 壁体、中間杭、底板から構成された平面フレームモデルで解析した。プレキャスト梁は、場所打ち床版との合成梁として設計しており、頂版部材は PC 板と場所打ち床版から構築される合成床版として設計した。

本構造は PC 壁体、中間杭を打設し、その上部に笠コン

表 - 1 主要部材の種別とコンクリート強度

部材	種別	コンクリート強度
側壁	PC 壁体 □700 C 種	60 N/mm ²
底板	現場打ち RC 構造	24 N/mm ²
笠コンクリート	現場打ち RC 構造	24 N/mm ²
中間杭	PHC 杭 φ 900 C 種	80 N/mm ²
梁	プレキャスト RC 梁 (合成梁構造)	30 N/mm ²
床版	PC 合成床版 (FC 18)	PC 板 50 N/mm ²
		現場打ち床版 24 N/mm ²



図 - 1 レインボープラン博多のイメージ図¹⁾

*1 Yuji SATO : (株) 富士ピー・エス 西日本支店技術部
 *2 Kyomi SHIMOYAMA : (株) 富士ピー・エス 西日本支店技術部
 *3 Kiyoshi NAKANO : 松鶴建設 (株) 東京支社
 *4 Hiroshi OKAZAKI : ジーアンドエスエンジニアリング (株) 本社

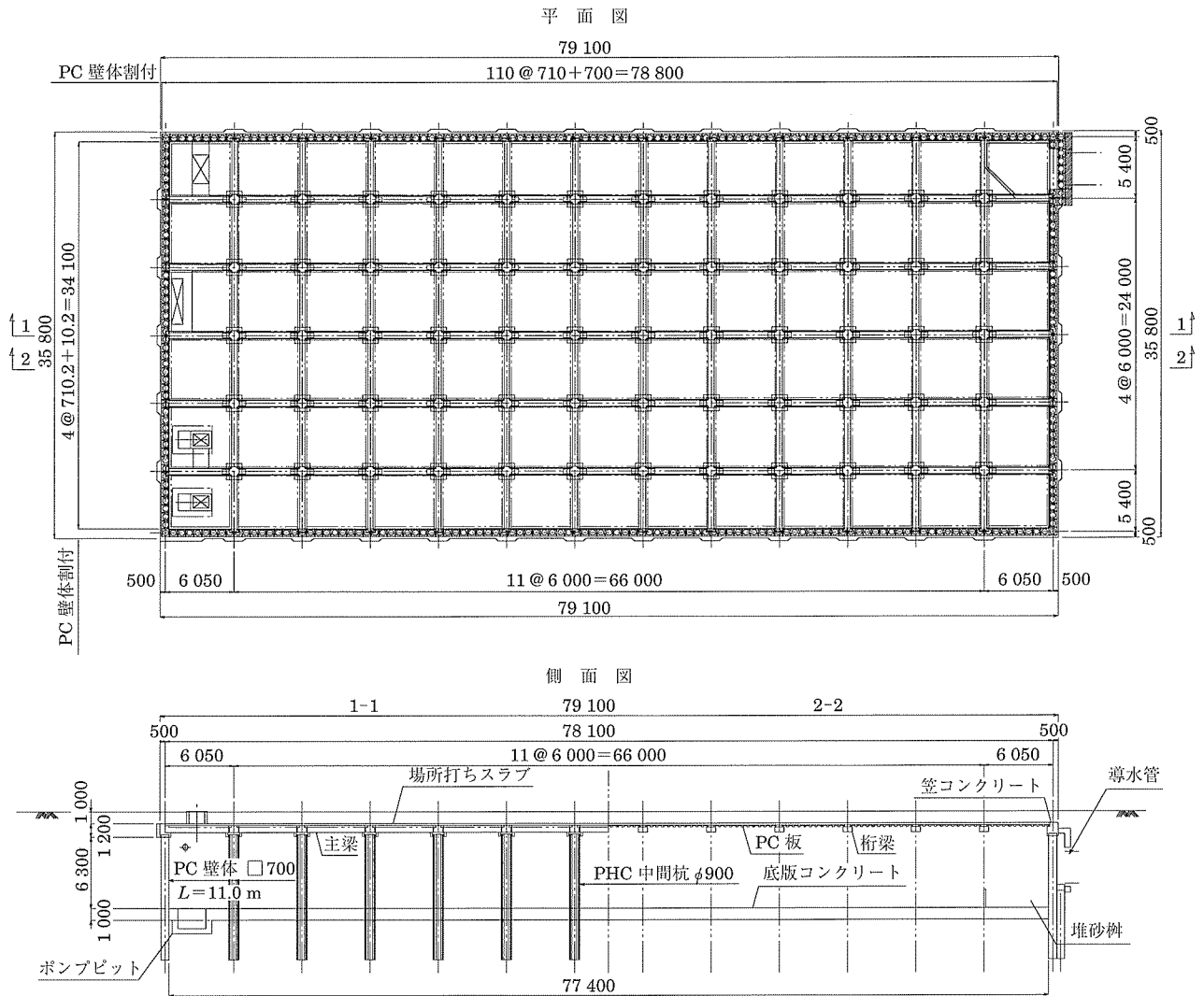


図 - 2 構造一般図

クリート施工後、プレキャスト梁を架設し、中間杭とプレキャスト梁を一体化した後に内部の土砂を掘削し、底板を施工する逆巻き工法であるため、構造系が施工により変化する。そのため、構造設計においては構造系が変化することを考慮して、断面力の重ね合わせを行った。

本構造で使用したPC壁体を写真-1、図-3に示す。

PC壁体は、土留め構造用の等辺角形のプレテンション方式による高強度プレストレストコンクリートパイプであり、遠心力締め固め工法により工場で製造される。

本工事では、このPC壁体を連続して壁体状に施工することにより、調整池の側壁を構築するものである。

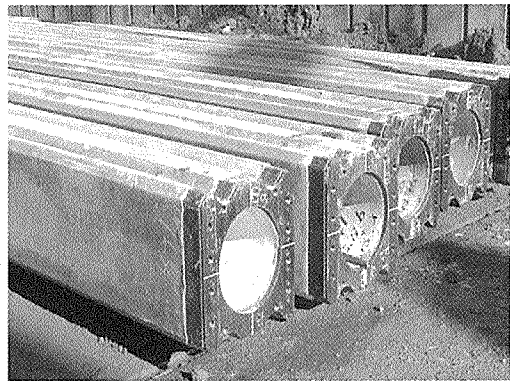


写真 - 1 PC 壁体

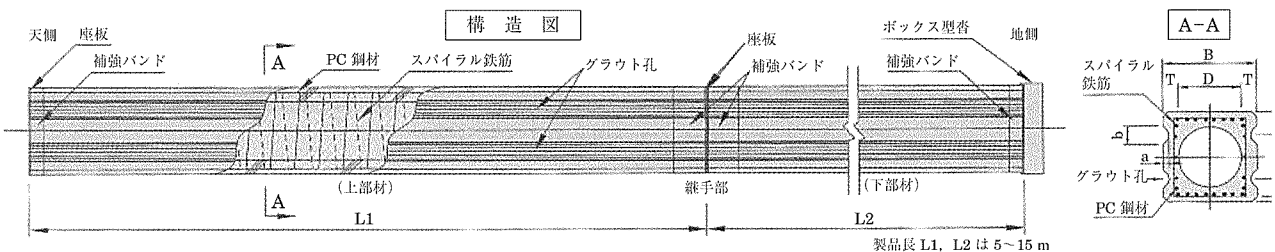


図 - 3 PC 壁体構造図

PC 壁体間の漏水対策は一般的には、壁体間に設けた2箇所のグラウト孔にグラウトモルタルを注入することにより行っている。

3.2 主要施工順序

構造設計で重要となる主要施工順序を図-4に示す。

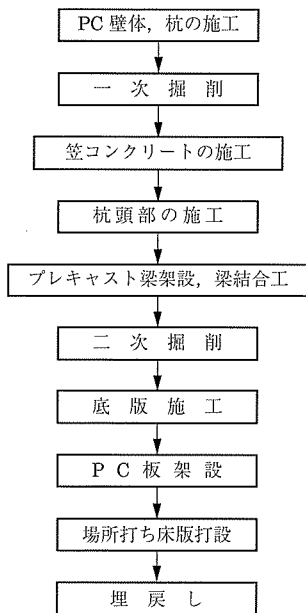


図-4 施工順序

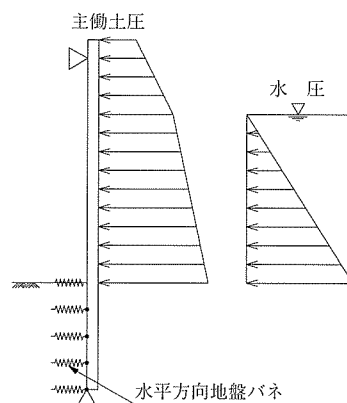


図-6 施工時解析モデル

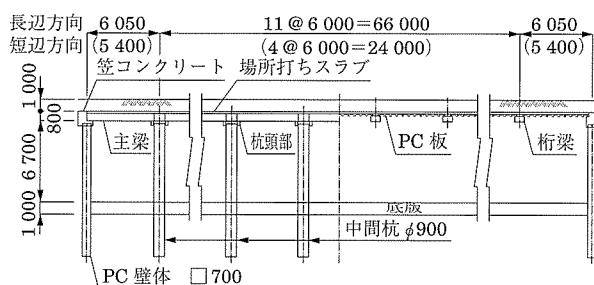


図-7 完成時構造図

3.3 解析モデル

本構造の設計は、施工時モデル（最終掘削時）および完成モデル（常時、地震時）で行っている。

施工時の構造図を図-5、施工時解析モデルを図-6に示す。この解析モデルは、底版施工時を想定し、プレキャスト梁をピン支点、最終掘削面以深を水平バネに置き換えたモデルである。荷重は、最終掘削面以浅に側圧（静止土圧、静水圧）を作用させ、フレーム解析によりプレキャスト梁反力およびPC壁体に作用する断面力を求めた。

完成時の構造図を図-7、完成時解析モデルを図-8に示す。完成時は、上部工、PC壁体、中間杭および底版を一体とした構造モデルをフレーム解析し、各部材の断面力を求めた。

PC壁体と底版の接合部は、図-9に示すようにスタッドジベルでせん断力を負担させるピン構造となっている。しかしながら、止水を確実にを行うためPC壁体と底版の間に

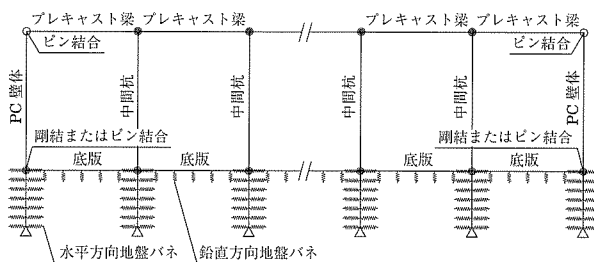


図-8 完成時解析モデル（常時・洪水時）

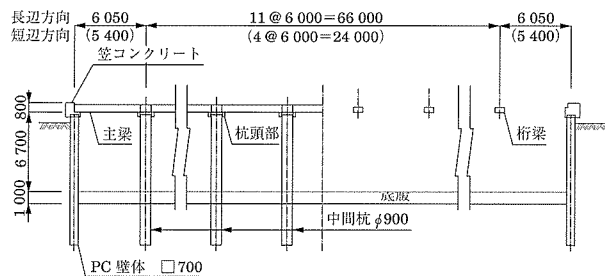


図-5 施工時構造図

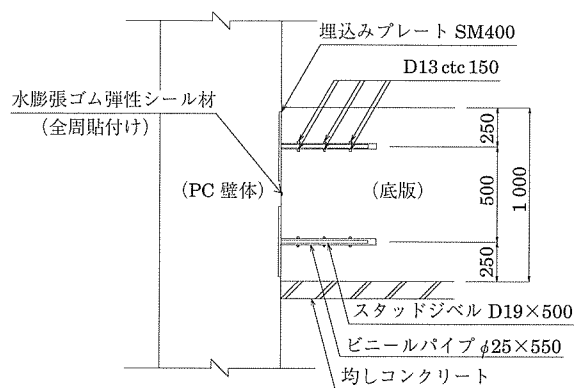


図-9 PC壁体と底版接合部

は、パッキン材等は設けていない。そのため、PC 壁体と底版の結合は、ピン結合と剛結合の中間的な構造となる。そこで、今回の設計においては、ピン結合モデルと剛結合モデルの断面力を比較し、安全側の断面力を使用し部材の検討を行った。

水平地盤バネは、常時および洪水時は PC 壁体と杭の根入部に適用し、地震時（レベル 1 地震動（以下、L 1）、レベル 2 地震動（以下、L 2））の慣性力に対しては、PC 壁体（片側のみ）の全長にわたって適用した。また、底版下面には鉛直方向地盤バネを考慮した。地震時の構造モデルを図 - 10 に示す。

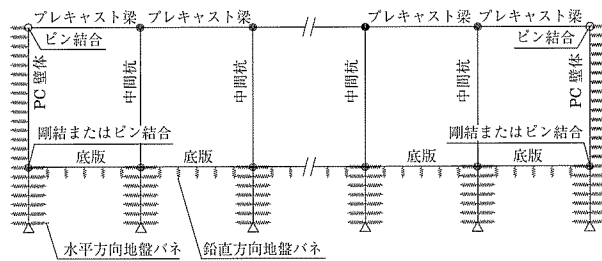


図 - 10 完成時解析モデル（地震時）

3.4 PC 壁体の設計

PC 壁体の設計フローを図 - 11 に示す。

PC 壁体の設計は、施工時モデル（最大掘削時）および完成時モデル（常時、洪水時、地震時 L 1 および L 2）について、フレーム解析で PC 壁体に作用する断面力を算出し、施工時、常時、洪水時および地震時 L 1 に対して応力照査を行い、地震時 L 2 に対しては耐力照査を行った。

PC 壁体の根入れ長は、図 - 12 に示す「道路土工 仮設構造物工指針」²⁾ で用いられている切梁を使用した矢板の設計法（慣用法）における主働土圧と受働土圧の釣合いにより PC 壁体長を求めた。

3.5 プレキャスト梁の設計

プレキャスト梁は、PC 板を支持する主梁と支持しない桁梁とがある。いずれの梁とも、プレキャスト梁と場所打床版の合成梁である。

プレキャスト梁の検討フローを図 - 13 に示す。プレキャスト梁の検討は、単純梁（梁自重）およびフレーム解析による断面力を、常時、洪水時および地震時 L 1、L 2 について集計を行い、最大設計断面力を求めた。

プレキャスト梁の断面設計は、算出した設計断面力を用いて、常時、洪水時および地震時 L 1 は曲げ応力度の照査を行い、地震時 L 2 は曲げ破壊耐力の照査を行った。なお、応力度照査時には、合成断面による影響を考慮した。曲げに対する検討を行った後、せん断に対する検討および場所打ち床版と梁との結合部の検討を行った。

プレキャスト梁の構造系、抵抗断面変化を図 - 14 に示す。また、主梁と桁梁の断面図を図 - 15 に示す。主梁は PC 板や場所打ちコンクリートの荷重を受けるため、桁梁より断面が大きく、鉄筋量も多い。

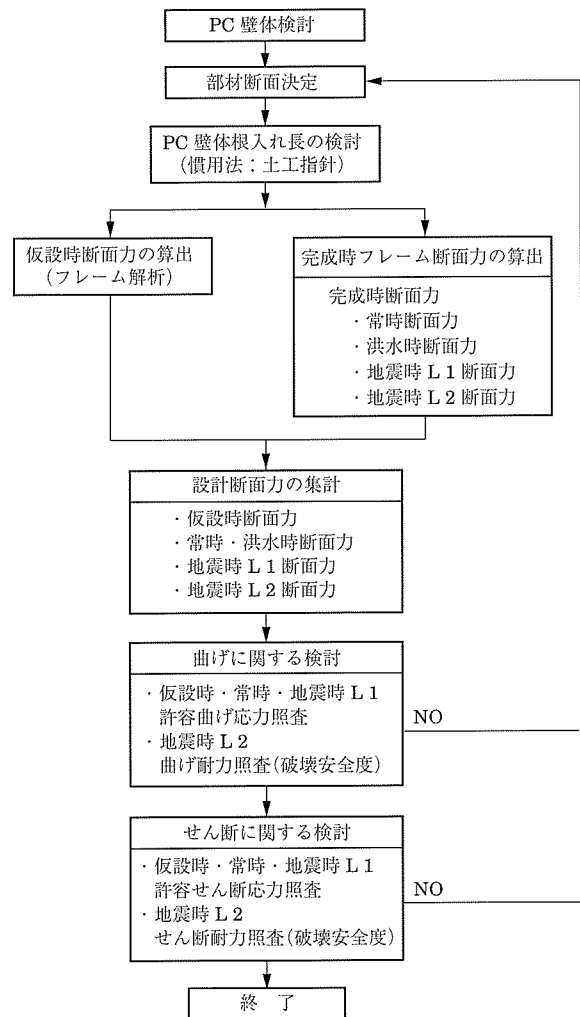


図 - 11 PC 壁体の設計フロー

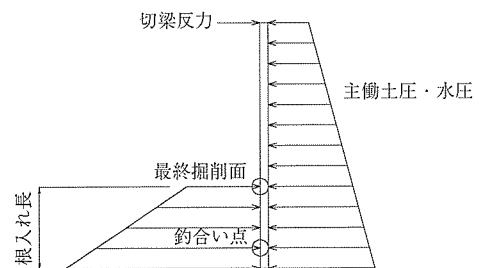


図 - 12 施工時の解析モデル

3.6 PC 合成床版の載荷試験

PC 合成床版の断面形状を図 - 16 に示す。PC 板は厚さ 18 cm のリブ付き板（床用 PC 板）であり、場所打ち床版は厚さ 17 cm の RC 構造である。今回使用した PC 板は従来の建築用 PC 板と異なり、製作や場所打ち床版の施工性を考慮し、床版上面をフラットとしている。また、床版上面の仕上げは、ほうき目仕上げとし、製作の効率化を図っている。ほうき目仕上げによる PC 板と後打ちコンクリートの一体性を検証するために、施工に先立ち合成床版の載荷試験を行い、安全性を確認した。

荷重－変位曲線を図 - 17 に示す。載荷試験は、第 1 サイ

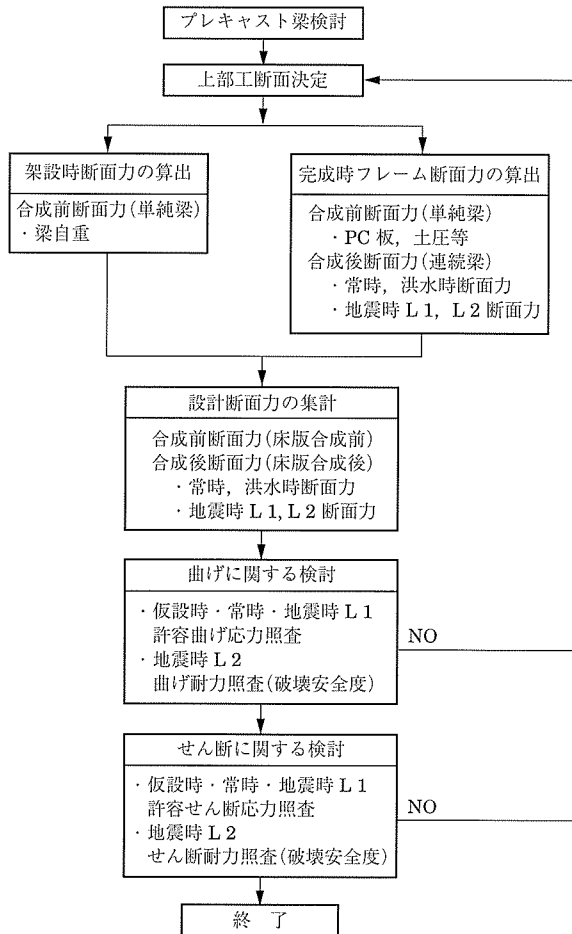


図 - 13 プレキャスト梁の設計フロー

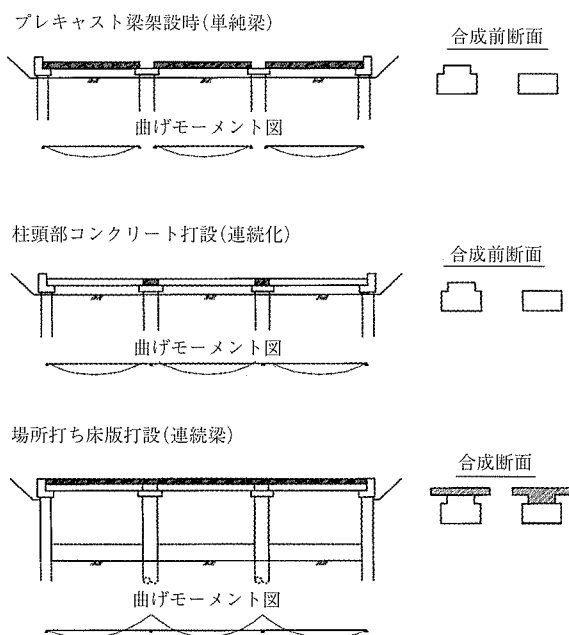


図 - 14 プレキャスト梁の構造系, 抵抗断面変化

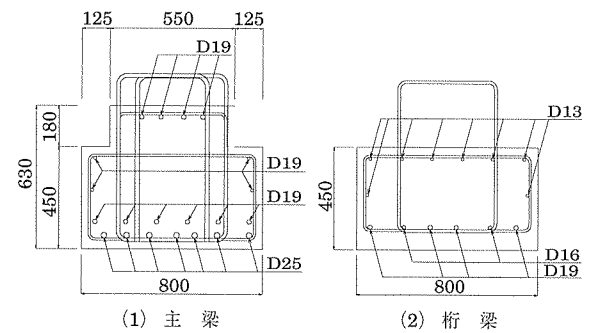


図 - 15 プレキャスト梁断面図

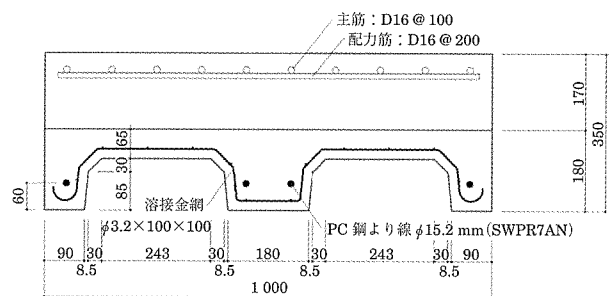


図 - 16 PC合成床版の断面図

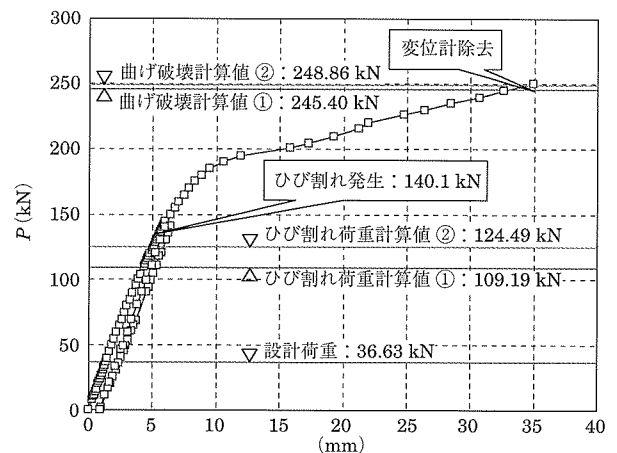


図 - 17 荷重-変位曲線

クルで設計荷重時 (荷重 36.63 kN) に試験体が健全であることを確認した後、ひび割れ発生荷重の 140.1 kN まで載荷した後、一度除荷し、第 2 サイクルで破壊まで載荷した。

図中の計算値①はコンクリートの圧縮強度を設計基準強度で算出した計算値、計算値②はコンクリートの圧縮強度を実強度で算出した計算値を示す。

ひび割れ発生荷重と破壊荷重を表 - 2 に示す。ひび割れ発生荷重は、実験値と計算値がほぼ一致している。破壊荷重は、実験値が計算値の 1.25 倍となり、安全側の結果を示した。また、破壊性状は床版上縁のコンクリートが圧壊し、破壊まではじん性に富んだ変形性能を示した。さらに、破壊まで、PC板と後打ちコンクリートの打継面にずれは発生しなかった。以上より、PC合成床版は設計条件に対して十分な耐荷性能を有していることが確認できた。

表 - 2 実験値と計算値の比較

	計算値 (kN)	実験値 (kN)	実験値 / 計算値
ひび割れ発生荷重	124.49	140.01	1.12
破壊荷重	248.86	310.03	1.25

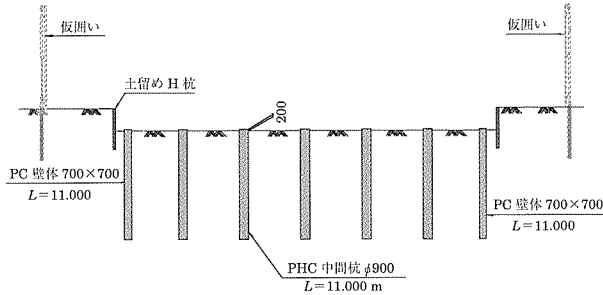
4. 施工概要

4.1 施工順序

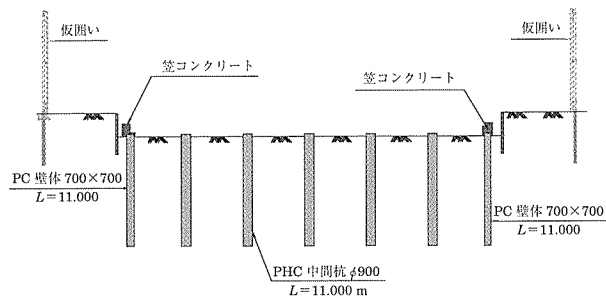
地下調整池の施工順序を以下に示す。

- ① PC 壁体・PHC 杭の設置
- ② 壁体頭部工 (笠コンクリート) の施工
- ③ PHC 頭部工 (杭頭部) の施工

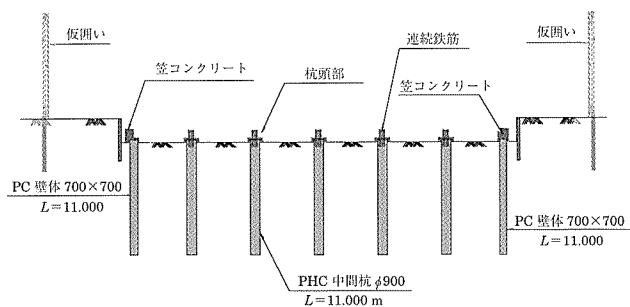
① PC 壁体・PHC 杭の設置



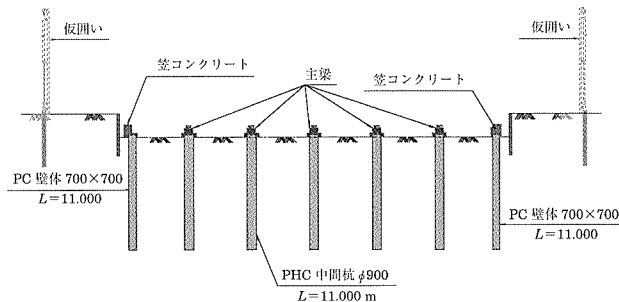
② 壁体頭部工 (笠コンクリート) の施工



③ PHC 頭部工 (杭頭部) の施工



④ 主梁の架設



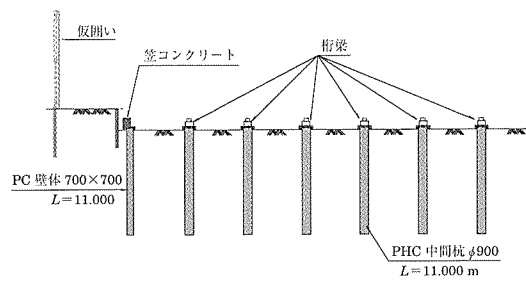
- ④ 主梁の架設
- ⑤ 桁梁の架設
- ⑥ 主梁・桁梁の結合, 掘削
- ⑦ 底版工・PC 板の架設
- ⑧ 場所打ち床版・防水工・盛土完成

4.2 施工内容

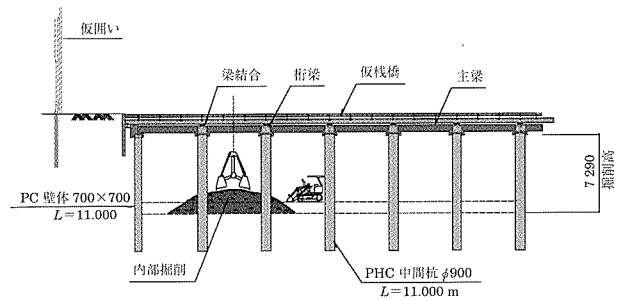
(1) PC 壁体の施工

本工事では、PC 壁体基部が N 値 50 以上の硬質岩盤であるため、SDA 型ドーナツオーガー工法併用セメントミルク工法により施工し、外側ケーシングの直径を $\phi 1100$ mm とし連結掘削を行った。PC 壁体幅 700 mm を確保するため、掘削径で 350 mm ラップさせて掘削した。計画深度、壁体設置数の掘削を完了した後、スクリー先端部のヘッ

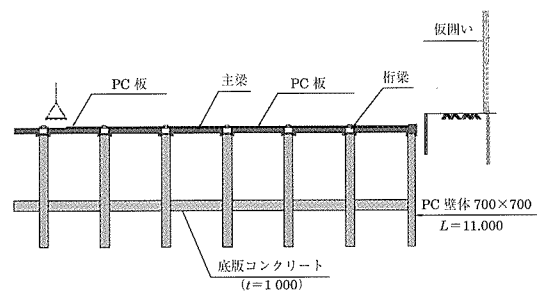
⑤ 桁梁の架設



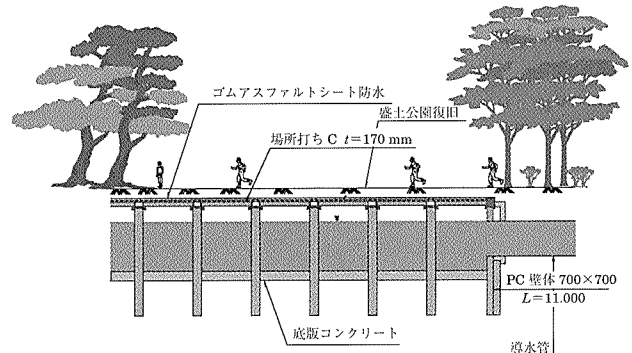
⑥ 主梁・桁梁の結合, 掘削



⑦ 底版工・PC 板の架設



⑧ 場所打ち床版・防水工・盛土完成



ドよりセメントミルクを注入し、ケーシングスクリーユの引き上げを行った。注入目的は、PC 壁体の周面摩擦力の確保および止水のためである。掘削完了後、クローラークレーン（65 t 吊り）にて PC 壁体を吊り込み、掘削した連続孔に挿入し連続壁を構築した。壁体の設置作業は、2 セットの機械設備で施工した。PC 壁体の施工状況を写真 - 2、3 に示す。



写真 - 2 PC 壁体設置孔掘削状況

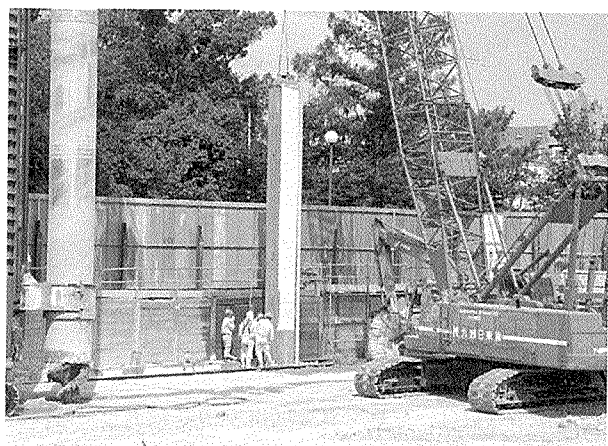


写真 - 3 PC 壁体建込み状況

(2) PHC 杭の施工

PHC 杭の施工は、SDA 型ドーナツオーガー工法併用先端根固め工法により施工した。この工法は、内側スクリーユ、外側ケーシングとそれぞれ独立した掘進機構をもっており、セットピンの着脱により内、外の掘進機を別べつにあるいは同時に作動させ削孔作業を行うことができるため、スクリーユ・ケーシング先端で土砂を圧密することが無く高い掘削能力を有している。

当工事においては、直径 ϕ 1 100 mm のケーシングで掘削を行い、計画深度まで掘削が完了した後、先端部にセメントミルクの注入を行いながらケーシングおよびオーガースクリーユを引き上げた。次に、掘削孔に PHC 杭をクレーンにより建込み施工を完了した。写真 - 4 に PHC 杭の施工状況を示す。



写真 - 4 PHC 杭の建込み状況

(3) 壁体頭部工（笠コンクリート）の施工

PC 壁体設置完了後、PC 壁体頭部にプレキャスト梁を設置するための RC 構造の笠コンクリートを施工した。

笠コンクリートと PC 壁体の接合部は、PC 壁体の中空部を鉄筋コンクリートで補強した。笠コンクリートの施工状況を写真 - 5 に示す。

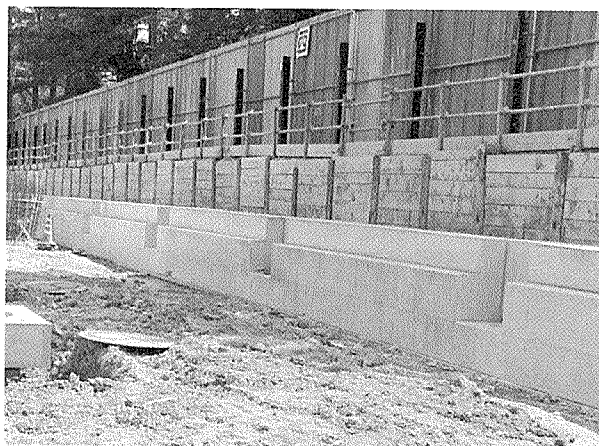


写真 - 5 笠コンクリート施工状況

(4) PHC 頭部工（杭頭部）の施工

PHC 杭頭部とプレキャスト梁の接合部は、PHC 杭の中空部を鉄筋コンクリートで補強した。また、杭頭部には、プレキャスト梁を設置するための、工場で製作した鉄筋コンクリート製の梁受け台を設置した。杭頭部の施工状況を写真 - 6 に示す。

(5) プレキャスト梁の架設

プレキャスト梁の架設は、笠コンクリート・杭頭部施工完了後に行った。プレキャスト梁の架設に先立ち、笠コンクリート上はゴム沓とアンカーボルトを設置した。PHC 杭との接合部には、PHC 杭内部に連結鉄筋を設置し、プレキャスト梁架設後に連結部のコンクリートを打設した。プレキャスト梁の架設は主梁、桁梁の順番に行った。梁の架設は、調整池の奥からトラッククレーンを移動させながら順次行った。

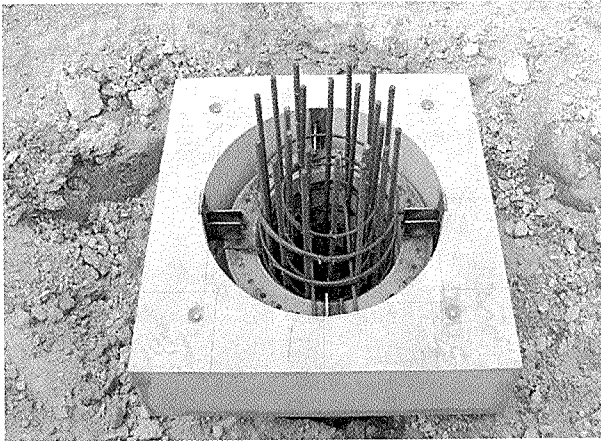


写真 - 6 杭頭部の施工状況

プレキャスト梁の架設要領図を図 - 18、架設状況を写真 - 7 に示す。

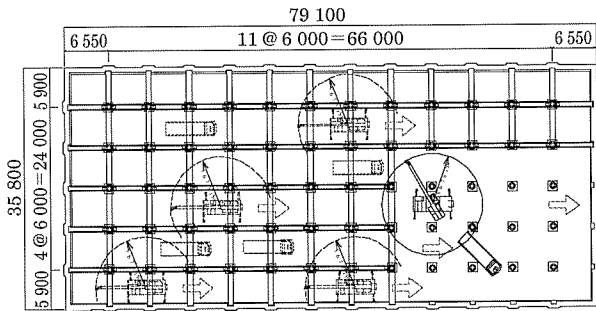


図 - 18 プレキャスト梁の架設要領図

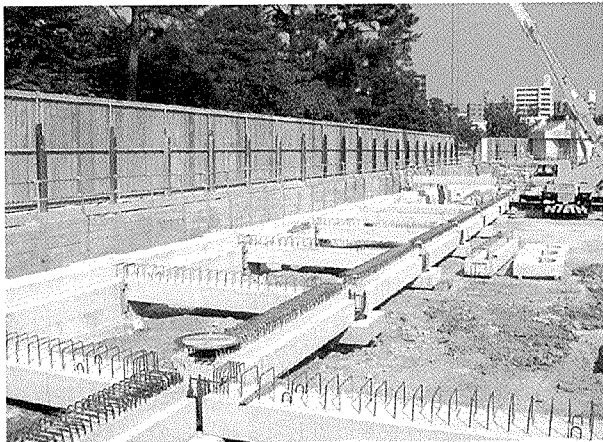


写真 - 7 プレキャスト梁架設状況

(6) 掘 削

調整池内の掘削は、調整池内に入れた小型の油圧ショベルと棧橋上に設置したロングブームの油圧ショベルで行った。また、調整池内基部の硬質岩盤の掘削はブレイカーを使用して行った。調整池内の掘削状況を写真 - 8 に示す。

(7) 底 版 工

掘削完了後、基盤面の整正を行い、底版を施工した。コンクリート打設は、施工面積が約 2 600 m² と広く、コンク



写真 - 8 調整池内掘削状況

リート量も約 2 600 m³ と多いため、3 分割で施工とした。また、底版厚が 1 m と厚く、施工面積も広いので、養生シートによる湿潤養生を十分に行った。底版の施工状況を写真 - 9 に示す。

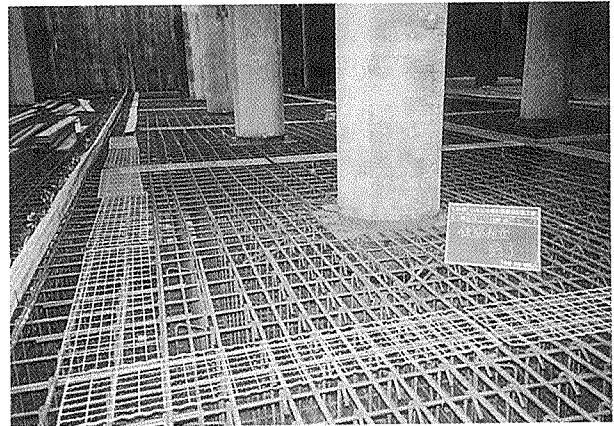


写真 - 9 底版施工状況

(8) PC 板の架設

PC 板の架設は、写真 - 10 に示すように設置した仮棧橋上からトラッククレーンにより行った。仮棧橋は、PHC 杭と笠コンクリートに支点を設けて、プレキャスト梁には荷重が作用しない構造とした。

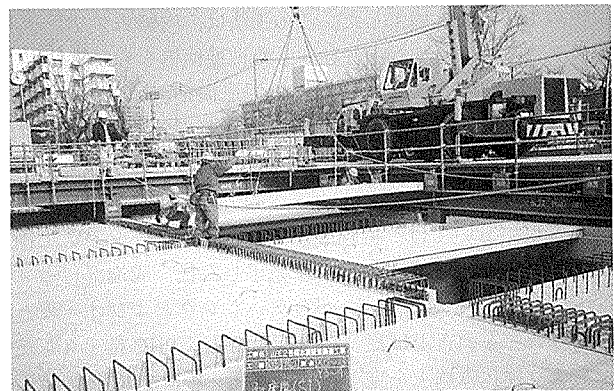


写真 - 10 PC 板架設状況



写真 - 11 床版防水完成

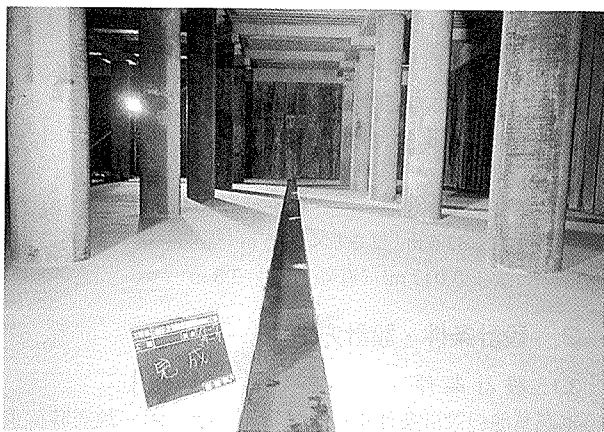


写真 - 12 完成

(9) 場所打ち床版・防水工・埋戻し

PC 板架設完了後、PC 板上面に場所打ち床版を施工した。場所打ち床版は施工面積が約 2 600 m² と広いので、3 分割で施工とした。また、ひび割れ防止のため、被膜養生剤を使用し、湿潤養生を十分に行った。

場所打ち床版施工後、床版上面に防水工を施し、その後厚み 1 m の埋戻しを行い、その上に公園を復旧した。

防水工を完了した床版上面の状況を写真 - 11 示す。

完成した調整池の内部を写真 - 12 に示す。

5. おわりに

山王 2 号雨水調整池では、PC 壁体をはじめ、PHC 杭、プレキャスト梁、PC 板等多くのプレキャスト部材を用いたことにより、現場工期の短縮が図れ、平成 18 年 3 月に無事完成した。その後、梅雨や台風時期を経験したが、雨水調整池は当初の浸水防止対策として有効に機能している。

本工事で使用した PC 壁体を用いるプレキャスト組立式の雨水調整池は、建設用地が制限される都市部の浸水対策などでは有効であると考えられる。

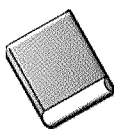
本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事の設計、施工にあたってご助言・ご指導いただいた福岡市下水道局、PC 壁体工業会の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福岡市下水道局パンフレット
- 2) 日本道路協会：道路土工一般仮構造物工指針，1999.3

【2007 年 7 月 27 日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート技士試験 講習会資料

平成 19 年度 PC 技士試験講習会

資料のほか、過去 3 年間の試験問題、正解および解説が掲載されています。

(平成 19 年 6 月)

頒布価格：会員価格 5,000 円 (送料 500 円)

：非会員価格 6,000 円 (送料 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会