プレキャスト PC 部材組立式地下貯水槽の設計・施工

古村 崇^{*1}・中山良直^{*2}・関東継樹^{*3}・山中修一郎^{*4}

概要 雨水流出による水害を回避するためのプレキャストコンクリート構造の地下貯水槽を開発した。本貯水槽の特徴は、屋根部材をプレストレストコンクリート（PC）構造とし、柱間隔を従来の鉄筋コンクリート（RC）構造の2倍以上の10 mに広げていることである。柱による阻害率が小さいため、経済的かつ効率的な施設を構築できるようになり、柱間隔が広く底版がフラットなため、維持管理が容易で重機による清掃が可能になった。また、プレキャスト部材同士の接合により、現場作業を省力・短期化でき、かつレベル2地震にも耐えられるピン結合方法を考案し、実物大実験で検証した。

キーワード：地下貯水槽，プレストレストコンクリート構造，プレキャスト構造，ピン接合，工期短縮，維持管理

1. はじめに

都市部や市街地では、建築物やアスファルト舗装された道路の割合が多いために、降雨が地面から地中に浸透する割合が小さく、大雨が降った場合には、雨水を一時的に貯留しておく設備が必要である。また、土地の有効活用や、貯留施設の構築における近隣対策（工期短縮，騒音・振動防止）も重要である。

そこで、雨水流出による水害を回避し、敷地形状に適

応した合理的・経済的な設計・施工を可能としたプレキャスト PC 部材組立式地下貯水槽「エコモール」を開発した。本論では、開発の過程で行った各種実験と、大分県杵築市の当社コンクリート工場敷地内に設置した地下貯水槽（容量：1 140 m³）の施工について報告する。

2. 構造概要・特徴

（1）特 徴

本貯水槽は、工場プレキャスト製の屋根部材（屋根梁・

図-1 構造概要図

*1 ふるむら・たかし／川田建設㈱ 環境事業推進部 部長
 *2 なかやま・よしなお／川田建設㈱ 環境事業推進部 技術課 課長
 *3 かんとう・つぐあき／川田建設㈱ 環境事業推進部 技術課 係長
 *4 やまなか・しゅういちろう／川田建設㈱ 環境事業推進部 技術課

図-2 プレキャスト部材の接合方法

屋根版）・壁部材・支持梁・中間柱と、場所打ちコンクリート製の底版によって構築される一層多径間構造である。構造概要を図-1 に示す。

本貯水槽の特徴は、

- ①柱による障害率が小さいので、経済的かつ効率的な施設を構築できる。
- ②屋根部材に 10 m の屋根梁と 5 m の屋根版があり、両者の組合せで計画貯水量や敷地に適合した形状に対応できる。
- ③部材同士がピン接合なので、短期間のうちに構築できる。
- ④柱間隔が従来工法よりも 2 倍程度大きいので、維持管理時の視界や作業性が良好である。

(2) ピン接合

プレキャスト部材同士の接合方法としては、図-2 に示すように、場所打ち工法や PC 圧着工法が一般的である。しかし、場所打ち工法の場合には、型枠の設置や生コンの打設・養生という工程が、PC 圧着工法の場合には、PC 鋼材の挿入やプレストレス工といった工程があり、現場の施工手間が生じる上に工期が長引く要因になる。

そこで、本貯水槽では、プレキャスト部材同士の接合をピン接合とし、現場における省力化と工期短縮を実現した（図-2）。アンカーバーと無収縮モルタルが接する部分には、弾性被覆材（スポンジ材）を被覆し、温度変化や乾燥収縮によって生じる若干の変位については拘束せず、地震のような大変位についてはせん断力が伝達す

表-1 プレキャスト部材同士の接合

箇所	プレキャスト部材	
	下側部材	上側部材
箇所-1	中間柱・壁柱	支持梁
箇所-2	側面壁	屋根版・屋根梁
箇所-3	支持梁	屋根版・屋根梁

図-3 接合部の施工手順

The Design and Construction of Underground Water Tank using Prestressed Precast Concrete

By T. Furumura, Y. Nakayama, T. Kanto and S. Yamanaka

Concrete Journal, Vol.44, No.4, pp.11~18, Apr. 2006

Synopsis The authors developed an underground water tank of precast concrete for avoiding floods by rain water outflowing. This water tank have few features: roof constructed with prestressed concrete, and each columns' span of 10 meters that is more than twice as long as a water tank constructed with usual reinforced concrete. Therefore, long span of each columns enables to build an economical and efficient institution. Long span of each columns and flat bottom slab enable to maintain an institution easily, and to clean by heavy industrial machines. Moreover, precast concrete method of construction enable to shorten terms of works on building site. The authors developed a pin joint method for junction of precast concrete members which bears an earthquake of level 2, and examined its method performance by an actual size experiment.

Keywords : underground water tank, prestressed concrete structure, precast manufacture, pin joint method, shortening terms of on-site work, maintenance management

図-4 設計条件例

る機構とした。

プレキャスト部材同士の接合は、表-1 に示す 3 箇所で使用している。

プレキャスト部材を製造する際に、下側部材には、あらかじめアンカーバーを埋め込んでおき、上側部材には、アンカーバーを挿入するための貫通孔を設けておく。

中間柱と支持梁の接合部の施工手順を図-3 に示す。中間柱に埋め込まれたアンカーバーに、支持梁に設けた貫通孔を合わせて、支持梁を吊り降ろす。支持梁を中間柱の上に据付けた後は、貫通孔に無収縮モルタルを流し込むだけでよく、無収縮モルタルが硬化すれば、地震時に発生する水平力は、アンカーバーを介してせん断力として伝達される。

3. 設計条件・設計方法

(1) 設計条件

本貯水槽の設計条件の一例を、以下に示す (図-4)。地震時荷重は、「下水道施設の耐震対策指針と解説」(社団法人下水道協会：1997 年) に準拠した。

柱 高 さ： $H=5.0\text{ m}$

一辺長寸法： 100 m

基盤面の位置：地表面より -16 m

上 載 荷 重： 28 kN/m^2

(上載土： 1.0 m + 活荷重： 10 kN/m^2)

地震時荷重 レベル 1：応答速度 $=0.24\text{ m/s}$

レベル 2：応答速度 $=0.80\text{ m/s}$

(2) 常時の設計

常時の断面力の算出は、部材厚の中心線を通る骨組みモデルを用い、平面解析によって行う。屋根部材と側面壁・中間柱の結合条件はピン結合とし、支持条件は側面壁と中間柱の下端を鉛直固定とする (図-5)。

常時に考慮する荷重は、躯体自重・埋戻し土砂・水平土圧・地下水圧および地盤反力とする。

常時に対しては、許容応力度法によって設計する。したがって、各部材に発生する応力度が許容応力度以下であることを照査する。

図-5 常時荷重の解析モデル図

図-6 結合方法ごとの断面力図

照査断面は、屋根部材・側面壁・中間柱・底板等において、断面力が極大となる断面とする。プレキャスト部材同士の接合部については、アンカーバーに作用するせん断力を照査するとともに、アンカーバー埋込み部のコンクリートの縁端破壊についても検討する。

中間柱と支持梁をピン結合すると、図-6 に示すように、支間中央断面には、剛結合の場合よりも大きな断面力が発生する。この断面力に対しては、支持梁・屋根部材を PC 構造とすることで対処した。

(3) 地震時の設計

地下構造物は、みかけの重量が周辺地盤と比較して軽いもしくは同程度で、構造物の周囲が地盤で囲まれているために逸散減衰が大きく、地震によって生じた自己

図-7 地震時荷重の解析モデル図

振動がすぐに収まる。また、慣性力によって地下構造物が地盤の中で自由に振動することがなく、地盤の振動に追従した動きをする。したがって、地下構造物に生じる応力は、慣性力による影響よりも周辺地盤の相対変位によって生じさせられる。

本貯水槽の耐震計算は、地震時に生じる地盤の変位を強制的に構造物に与えて静的に計算する応答変位法を用いる。

地震時の断面力の算出は、常時と同様の骨組みモデルを用い、側面壁と底版を地盤バネで弾性支持した構造系として行う(図-7)。

地震の影響で考慮する荷重は、①地盤の水平変位による土圧、②躯体自重に起因する慣性力、③地盤のせん断変形による周面せん断力とする。

レベル1地震時に対しては、許容応力度法によって設計する。したがって、地震によって構造物全体としての力学的特性が弾性域を超えないことを照査する。また、レベル2地震時に対しては、限界状態設計法によって設計する。したがって、各部材が終局限界に達していないことを照査する。

(4) その他の検討

地下水位が高い場合には、貯水槽が浮き上がる可能性

(a) 中間柱

図-8 試験体切出しモデル

があるので、浮力に対する検討を行う必要がある。浮力に対する抵抗性が不足する場合の対策としては、①均しコンクリートの重量を増やすことで安定させる工法、②上部の土被り重量を増やすことで安定させる工法等がある。本施設の場合、浮力に対する抵抗性を増す必要があり、均しコンクリートを増厚して対応した。

4. 試験による検証

(1) 接合部実物大試験

本貯水槽は、プレキャスト部材同士をアンカーバーで接合して構築するため、接合構造部の性能が最も重要である。そこで、アンカーバーに作用するせん断力が最大となる「中間柱と支持梁」(アンカーバー径: $\phi 50$ mm)について、図-8のように、それぞれの部材に分けて実

(b) 支持梁

図-9 実験概要図

物大試験を行った。

実験の概要を図-9に示す。荷重は、油圧ジャッキの後部に配置したロードセルで測定し、アンカーバーの変位量は、試験体の上面に設置した変位計によって、設置位置と載荷治具背面との離れ量の増加分から求めた。

実物大試験の結果、中間柱・支持梁とも、レベル1地震時にはひび割れ等の変状は認められなかった。レベル2地震時においては、ひび割れが数本発生したが0.2mm以下であり、構造的に大きな損傷を受けた状態ではなく、設計において要求する構造耐力を有していることを確認できた(表-2)。

アンカーバーに載荷したときの、荷重と変位量の関係を図-10に示す。支持梁については、アンカーバーまわりに弾性被覆材を被覆しているために、載荷開始直後に1.5mm程度の初期変位が発生している。

中間柱と支持梁の両方において、荷重200kN程度までは、荷重と変位の関係は直線的で、弾性範囲内である。荷重が200kN以上になると、変位の伸び率が大きくなり、塑性的な状態となる。これは、コンクリート表面にひび割れが確認されたことと合致している。レベル2地震時に発生する680kNを載荷しても、ひび割れの伸展はあるものの、荷重を保持する機能を有しており、構造物が崩壊に至る状態ではないことを確認できた。終局時

表-2 接合部試験結果

	レベル1地震時	レベル2地震時	終局時
柱部材			
梁部材			

表中の数値は、ひび割れ発生時の載荷荷重(kN)

図-10 載荷時の変位量

の荷重は、柱部材で863kN、梁部材で925kNであるが、これは、部材が崩壊した状態ではなく、変位の伸び率が過大になって実験を中止したときの最大荷重である。

5. 施工紹介

(1) 工事概要

本工事は、大分県杵築市のコンクリート工場の敷地内に容量1140m³の貯水槽を設置した工事である。敷地内に降った雨水を一時的に貯留し、浄化して排水することが目的であるが、実施工規模での技術確認を兼ねたものである。

(2) 部材製作

プレキャスト部材の製作は、川田建設(株)九州工場で行った。部材製作数量を表-3に示す。

PC部材は、工場設備のプレテンションアバットを用い、ロングライン方式で製作した。PC部材・RC部材とも、蒸気養生を行い、打設の翌日に脱型した。

基本的に、PC構造の部材には、設計基準強度50N/mm²のコンクリートを用い、RC構造の部材には、30N/mm²のコンクリートを用いた。ただし、中間柱は、大きな軸圧縮力を受けるため、RC構造ではあるが50N/mm²のコンクリートを用いて製造した。

工事場所：大分県杵築市

構造：壁・柱部材 プレキャストRC造
屋根部材 プレキャストPC造
底板 場所打ちRC造

寸法：30.6m(長さ)×10.6m(幅)×5.47m(高さ)

貯水量：1140m³

構造一般図を図-11に示す。

(3) 施工手順

施工手順を図-12に示す。

(4) 壁部材・中間柱の設置

本工事では、プレキャスト部材の設置にトラッククレーンを使用した。

壁部材(側面壁・隅角柱・壁柱)および中間柱は、製造・運搬の際は横置きの状態になっており、架設クレーンによって搬入用トレーラーから一旦取り下ろし、吊り

表-3 プレキャスト部材製作数量

部材名称	構造		コンクリート強度(N/mm ²)	部材数(個)
	PC構造	RC構造		
側面壁(受台あり)		○	30	24
側面壁(受台なし)		○	30	8
隅角柱		○	30	4
壁柱		○	30	2
中間柱		○	50	2
支持梁	○		50	2
屋根版	○		50	3
屋根梁	○		50	32

図-11 構造一般図

図-12 施工手順

具を付け替えて建て起こした（写真-1）。

建て起こした壁部材・中間柱を設置位置まで吊り込み、所定の位置に設置した。壁部材は、その底版幅に対して部材高が高いため、均しコンクリートの微妙な不陸に対しても壁頂部での部材の通りに与える影響が大きい。そこで、壁部材の底版部に高さ調整ボルトを取り付け、このボルトを調節することによって、高さ・倒れを調整する方法を採用した。設置の際は、部材の水平方向の設置誤差を5 mm 以内とすることを目標として管理したが、その精度は容易に確保できた（写真-2、写真-3）。

壁部材・中間柱の設置後、上部荷重が確実に基礎地盤へ伝達されるよう、部材の底版と均しコンクリートの天端との間にグラウトを注入した。

（5）壁部材の接合

壁部材同士は、目地の表面をポリマーセメントモルタルで目止めした後、接合面に設けた空隙にグラウトを注

写真-1 側面壁の建て起こし

写真-5 屋根梁の架設

写真-2 側面壁の設置

写真-6 横締 PC 鋼材の緊張

写真-3 側面壁の設置完了

写真-7 場所打ち底版コンクリートの打設

写真-4 壁部材接合部の目止め処理

写真-8 完成した貯水槽の内部

入して接合した。グラウトが硬化した後、一面となった壁体を PC ケーブルで緊張して一体化し、止水性能の向上を図った（写真-4）。

（6） 支持梁の架設

支持梁は、中間柱や壁柱とピン接合される。支持梁の支点部には、プレキャスト部材の製造段階でアンカー孔を設けておき、中間柱の天端にゴムパッドを敷設してから、中間柱に埋設されたアンカーバー上に落とし込むようにして架設した。アンカー孔とアンカーバーとの隙間部は、架設後に無収縮モルタルを流し込んで充てんし、地震時等の水平力を伝達できるピン接合とした。

（7） 屋根部材の架設

屋根部材も、支持梁と同様に側面壁や支持梁とピン接合する構造とした（写真-5）。

本工事では、屋根部材として支間 10 m の屋根梁と支間 5 m の屋根版の両者を組み合わせて使用したが、接合方法を簡素化し、壁部材の設置精度も容易に確保できたため、屋根梁・屋根版とも施工性は良好であった。

屋根部材の架設後、プレテンション方式の床版橋における間詰コンクリート施工と同様の要領で、屋根部材間に間詰コンクリートを打設した。本貯水槽の場合は、屋根部材の上を直接アスファルトで舗装し、場内運搬車両を通行させるため、屋根梁の支間中央および支間 1/4 の箇所に横締 PC 鋼材を配置し、屋根部材全体の一体化を図った（写真-6）。

（8） 場所打ち底版の施工

壁部材で囲まれた底版は、設計基準強度 24 N/mm² の場所打ちコンクリートで施工した。底版と壁部材・中間柱の継目部は、プレキャスト部材から機械式継手によって鉄筋を突出させ、RC 構造として連続化した。底版は、場所打ちコンクリート造なので、1% の排水勾配を付けたり、ピット部に導水するために中央部に排水溝を設けるなどの細工が容易に行えた（写真-7）。

場所打ち底版は、構造的に問題となるひび割れを回避するために、分割施工の打継目地を 10 m 間隔に設け、止水性を確保するために止水板を挿入した。打継部については、コンクリートの打設に先立って、打継目を目荒しするとともに、止水板のまわりをバイブレーターによって入念に締め固めた。

6. おわりに

本貯水槽の立地が臨海部であったため、地下水位が地表から 2 m 程度の位置にあった。そのために、常時水替えを行いながらの施工であったが、構造が完成して埋戻した後も、貯水槽内に地下水が浸入することもなく、実構造物での止水性も良好であることを確認することができた。貯水槽の内部は、写真-8 に示すように、重機による清掃が十分に行える空間が確保されていることも実証できた。

今回開発した地下貯水槽の技術は、平成 16 年 10 月に（財）土木研究センターの建設技術審査証明を取得しており、その構造特性、機能特性、施工特性が評価されている。

＜図書案内＞

コンクリート構造物の補強技術研究委員会報告書

コンクリート構造物の補強工法には、接着、増厚あるいは巻立て工法が適用されているといっても過言ではない。本報告書は、「コンクリート構造物の補強技術研究委員会」（委員長：上田多門 北海道大学大学院助教授）の活動において、上記 3 つの工法をレビューするとともに、コンクリート対コンクリート、鋼板対コンクリート、FRP 対コンクリート等の接着界面における挙動についての横断的な調査検討と、種々の評価・解析方法による補強構造物の構造特性の把握を行い、その成果を総合的に取りまとめたものである。

1. はじめに
 2. 補強工法の分類
 3. 各工法における局所付着特性の検討
 4. 局所付着特性を用いた要素レベルの応力伝達の解析的検討
 5. 各補強工法における部材特性の検討
 6. 補強材および補強効果の最適化
- 付録 増厚工法文献一覧、連続繊維文献一覧

A 4 判・234 ページ（2003 年刊行）／定価 6 300 円（税込）、会員特価 5 670 円（税込）／送料 390 円

●申込先：（社）日本コンクリート工学協会「書籍販売」係

〒102-0083 東京都千代田区麹町 1-7 相互半蔵門ビル 12 階／電話（03）3263-1573