地下式雨水浸透貯留システムの開発

戸田建設(株)　正会員　○真鍋　啓輔
戸田建設(株)　正会員　丹沢　昭義
日本ヒューム(株)　新川　照雄

近年，台風や線状降水帯による洪水被害が頻出している．またゲリラ豪雨による都市型水害なども多数発生しており，その対応は喫緊の課題となっている．本報告は，戸田建設と日本ヒュームが共同開発した地下式雨水浸透貯留システムの考え方，構造，実証実験，期待効果，今後の課題を整理したものである．

対象となる社会課題は，都市化の進行と気候変動の影響によって顕在化している都市型水害である．都市部では建物の乱立や舗装面の増加によって雨水が地中へ浸透しにくくなり，短時間に大量の雨が地表面を流れる．その結果，下水道や河川の排水能力を超える流出が起こり，洪水や内水氾濫の危険性が高まっている．そこで，単に雨水を一時的にためるだけでなく，流出抑制，地下水涵養，利水を同時に実現する施設の必要性が高まっている．

1. 開発の背景と目的

従来の地下式雨水貯留施設は，都市部に降った雨水を一時的に地下へ貯め，ピーク流量を調整することで下水道や河川への負荷を低減する点においては有効であった．一方で，貯留した雨水の多くは最終的に下水道などを経由して河川へ放流されるため，地中へ雨水を戻す地下水涵養の面では十分とは言えなかった．また，貯めた雨水を施設の維持管理や地上部の緑化，散水などに有効活用しにくいという課題も残されていた．

そこで本システムは，既存の貯留機能を維持しつつ，壁体内部への貯留および浸透，上部利用，施工合理化を組み合わせ，環境面と経済面の双方で改善を図ることを目的として開発を進めている．

本システムの特徴は，従来のプレキャストコンクリート主体の貯留槽とは異なり，中空円管を壁体の主要構造材として採用した点にある（図-1，図-2）．中空円管を用いることで，施設自体をコンパクト化できるだけでなく，施工時には仮設土留めとしても機能させることができる．

このため，構造と施工を一体化した合理的な計画が可能となり，工事費の低減や工期短縮が期待される．さらに，貯留した雨水を散水などに利用し，環境面への貢献も併せ持っている．

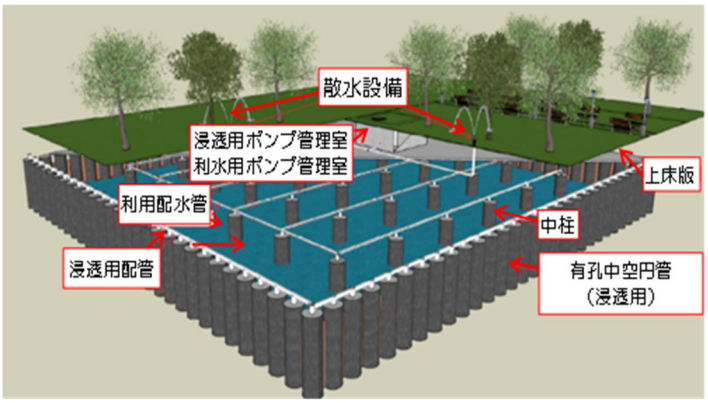


図-1 調整池イメージ図

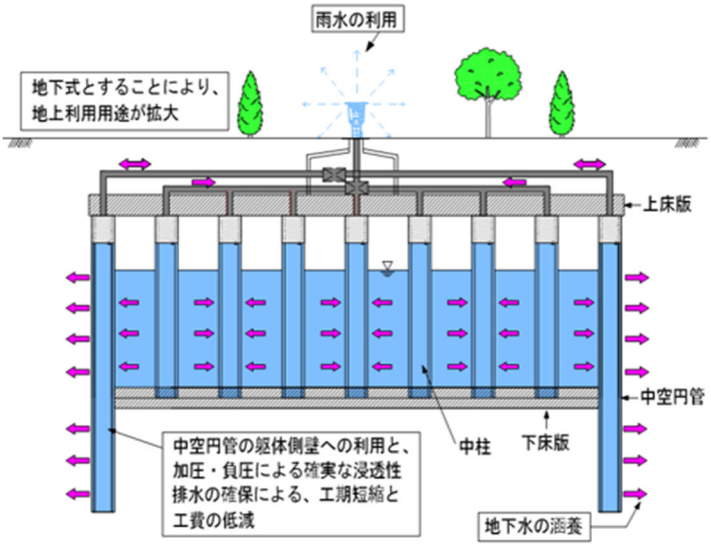


図-2 調整池機能説明図

キーワード　都市型水害　地下式調整池　中空円管　貯留浸透式　地下水涵養
連絡先　〒104-0031　東京都中央区京橋 1-7-1　戸田建設株式会社　土木設計技術 4 部設計技術 2 課　TEL（代）03-3535-1471

2. システムの基本構成

システムは，側壁および中柱に用いる有孔中空円管，上床版・下床版，浸透用配管，利水用配管，ポンプ設備，管理用人孔などで構成される．中心となる部材は逆流防止弁付きの有孔中空円管であり，この部材は単なる構造体ではなく，雨水の貯留，浸透排水，地上部利水という複数の機能を担う．円管の孔には通水孔が設けられ，吸水孔と吐水孔の通水方向を一方向に制御することで，施設内外の水の出入りを管理する．施設に流入した雨水は，槽内に一時貯留されるだけでなく，側壁や中柱を構成する円管内にも保持されるため，限られた敷地条件でも貯留容量の増大と有効活用が図られる．

また，本システムは浸透用ポンプと利水用ポンプを備え，必要に応じて貯留水を地盤に浸透させたり，地上部へ送水したりできる計画となっている．これにより，豪雨時には流出抑制を重視し，平常時には散水や舗装冷却などの利水へ展開するという，多目的な運用が可能になる．都市部の雨水施設を単なる受け皿ではなく，環境インフラとして再構成しようとする点に本技術の意義がある．

3. 貯留槽の施工方法

施工手順は大きく三段階である（図-3）．

STEP 1：盤下げ後，有孔中空円管壁を連続的に打設し，掘削時の土留めとして利用しながら掘削を進める．

STEP 2：掘削完了後，その中空円管壁を本設の側壁として活用し，下床版，中柱，上床版を構築する．

STEP 3：配管，ポンプ，管理用人孔を設置し，上部を埋め戻して完成となる．

仮設材として使用した部材をそのまま本設構造材へ移行させることで，従来工法に比べて工程の重複を減らし，施工の合理化を図っている．

この考え方は，都市部で問題となる狭隘な施工条件や近接構造物への配慮にも有効である．仮設土留めと本設側壁を別々に設ける必要がなければ，資材搬入量や作業工程が抑えられ，施工ヤードの制約が大きい現場でも導入しやすい．また，円管自体が貯留と浸透の機能部材を兼ねるため，構造，設備，施工が個別に分離した従来型施設に比べ，計画全体を一体で最適化しやすい．この合理化が後述する工事費低減と工期短縮の主要因として位置づけられている．

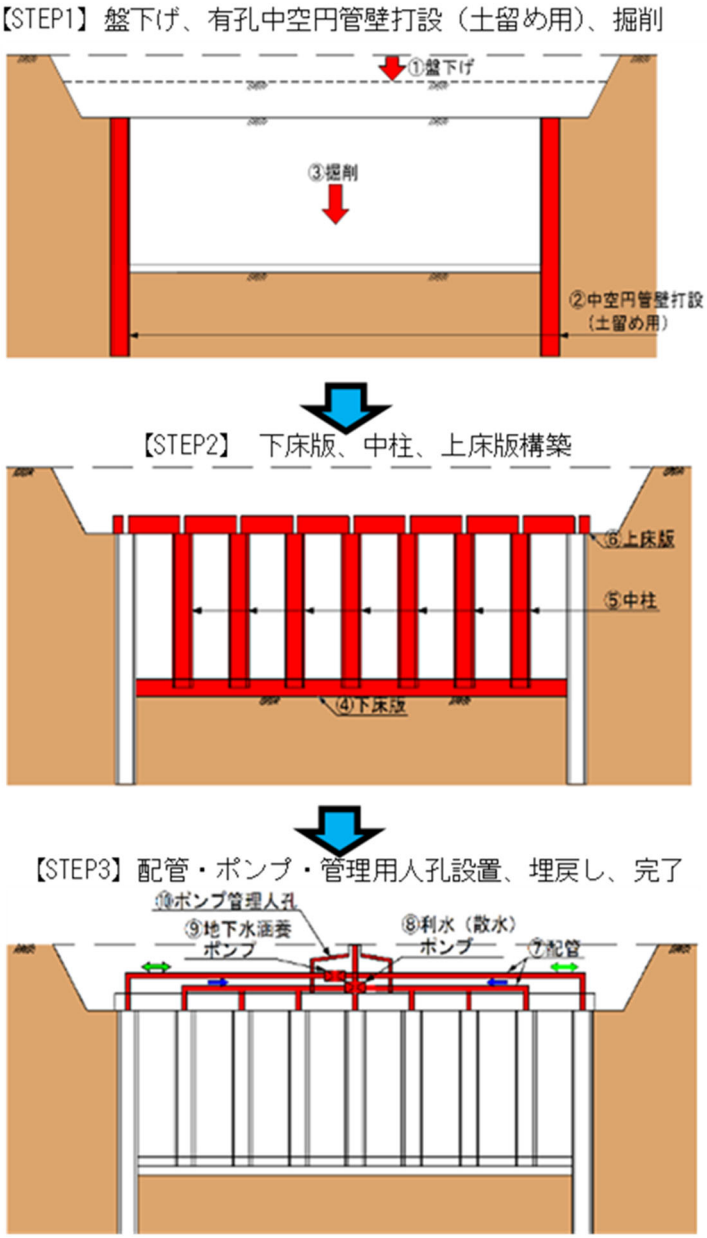


図-3 施工ステップ図

4. 浸透・利水のメカニズム

雨水の浸透排水メカニズムでは，槽内に流入して一時貯留された雨水が，側壁を構成する有孔中空円管の孔を通じて周辺地盤へ徐々に浸透する．孔には逆流防止弁が付いているため，施設内の水位が地盤水位より高いときには外部へ流出する一方，外側から施設内への逆流は抑えられる．この仕組みによって，従来は河川へ直接放流されていた雨水の一部を地中へ戻し，地下水涵養へ寄与させることができる．さらに，加負圧ポンプと配管を組み合わせることで，施設内外の水位差や圧力を制御し，より効率的な浸透促進が可能になると考えられている．

利水メカニズムでは，施設内部の中柱として配置された有孔中空円管に着目している．貯留された雨水は中柱の孔を通じてその内部にも貯留され，必要に応じてポンプアップすることで地上部へ供給できる．想定用途としては，樹木への散水，舗装面の冷却，施設周辺の維持管理などが挙げられている．本システムは，雨水をためる，浸透させる，使うという三つの役割を一つの施設内で連携させる点に独自性がある．単なる防災施設にとどまらず，平常時にも環境価値を発揮する施設として設計されている．

以上のように，構造部材としての中空円管に水理機能を持たせたことが本技術の核であり，施設をコンパクトにしながら，流出抑制，地下水涵養，利水を同時に達成しようとしている点が重要である．



写真-1 実験①_有孔中空円管曲げ試験状況

5. 技術整備状況（実証実験）

本システムの開発にあたり，前述の性能を担保する各要素技術について実証実験を行ってきた．

実験①：有孔中空円管の構造性能確認試験

（写真-1，表-1）

中空円管には通水孔を設けるため，通常の PHC 杭に比べて断面欠損による性能低下が懸念される．そこで，PHC 杭材に八箇所の通水孔を設けた試験体に対し曲げ載荷試験を実施した．その結果，無孔中空円管としての曲げモーメント設計値以上の性能を示し，孔を設けたことによる顕著な性能低下は確認されなかった．これは，本システムで中空円管を本体構造材として利用する前提を支える重要な成果である．

表-1 有孔中空円管曲げ試験結果

杭種	外径 D (mm)	厚さ t (mm)	種別	長さ L (m)	曲げモーメント(kN･m) ひび割れ 設計値 Mcr	ひび割れ 実測値 Mcr'	破壊 設計値 Mu	破壊 実測値 Mu'
PHC	1000	130	A	9.5	735.8	757.6	1104	1135.6

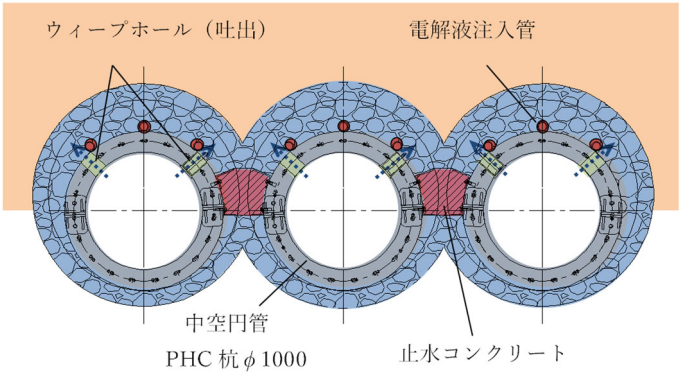


図-4 実験②_フィールド試験断面図

実験②：実地盤でのフィールド施工試験

（図-4，写真-2）

PHC 杭を用いた有孔中空円管三本を並列に構築し，施工性と構築後の浸透機能を確認した．施工では，表層部にスタンドパイプを建て込み，高吸水性ポリマー安定液を用いたアースドリル工法で掘削し，掘削後に中空円管を建て込み，根固めコンクリート，外周砕石，止水コンクリートを順次施工している．

完成後には透水試験を行い，その後に電解液を循環させたうえで再度透水試験を実施して，循環前後の透水量

を比較した．

結果として，電解液循環後には透水量の改善が確認され，施工により一時的に阻害された透水性が自然状態に近い形で回復し得ることが示唆された．



写真−2 実験②_フィールド試験断面図

6. 導入による期待効果

期待効果の評価は，周辺地盤の透水係数を 1.0×10^{-5}m/s（砂質土相当），施設規模を 10,000 ㎥程度と仮定して実施している．

(1) 環境への効果

第一に地下水枯渇対策としては，側壁からの浸透によって雨水貯留量の概ね 10%に相当する約 1,000 ㎥を地盤へ浸透させることができ，地下水涵養に寄与すると整理されている．第二に利水面では，中柱内に最大約 100 ㎥，すなわち総貯留量の約 1.0%に相当する雨水を保持でき，樹木散水や舗装散水などへ活用できる．従来施設では河川放流が中心であった雨水を，地盤と地上利用の双方へ配分できることが本システムの環境的な価値である．

(2) 施設規模の縮小効果

側壁および中柱を構成する有孔中空円管そのものに雨水が貯留されるため，既往のプレキャスト貯留槽に比べて約 11%のコンパクト化が可能となる．さらに，側壁から周辺地盤へ浸透する量を考慮すると，必要な貯留容量を約 10%縮減（参考値）できるため，両者を合わせて合計約 21%の施設規模縮小が期待される．これは敷地利用の効率化（公共施設以外への土地利用の増大）にも直結し，都市部での導入可能性を高める要素となる．

(3) 経済的効果

工事費については，外壁となる有孔中空円管を仮設土留め壁として兼用できるため，別途仮設土留めを設置する必要がなくなる．その結果，同一施設規模で比較した場合，従来のプレキャストコンクリート工法に対して約 18%の工事費低減が見込まれる．さらに，参考値としての浸透機能による約 21%の施設規模コンパクト化まで織り込んだ場合，工事費は最大約 40%低減できると試算している．

(4) 工期に対する効果

工期面でも同様に，仮設土留め利用による施工効率向上で約 25%の短縮，施設規模縮小を考慮した場合には最大約 40%の短縮が期待される．これらより本技術は，環境配慮型の雨水対策であるだけでなく，経済性と施工性の両面でも優位性を持つ可能性がある．

7. 今後の展望

実用化に向けては解決すべき課題も多くある．まず，中空円管を基礎杭以外の本体構造部材として本格的に用いた実績が乏しいため，構造的信頼性を担保する追加実験と設計手法の整備が必要である．維持管理面では，通水孔の耐久性評価，交換時期の設定，交換方法の標準化が重要になる．

総じて，本システムは都市型水害対策施設に対し，流出抑制のみならず，地下水涵養，地上部利水，構造・施工の合理化という複数の価値を付加する提案である．実証実験では，構造性能，施工性，浸透機能などについて一定の裏付けが得られており，今後，設計法と維持管理法の整備を進めることで，都市部の雨水貯留施設をより環境配慮型かつ経済的なインフラへ転換する有力な技術として展開できると考えている．