
人工地盤の構築による洪水調整池の高度利用

Advanced Utilization of a Flood-Regulating Pond by Constructing a Super Platform Structure

三好 弘高(Hirotaka Miyoshi) 泉 祐司(Yuji Izumi) 幕田 徹夫(Tetsuo Makuta)

要旨：

洪水調整池の上部に人工地盤を構築し、卸売団地を建設する試みは日本初である。エンジニアリング事業部では、この事業の計画、設計および施工を埼玉県南卸売団地協同組合より委任を受けて実施した。この結果は以下のとおりである。(1) 事業具現化の準備として関連する諸制度の解釈、運用を積断的に整理し、周辺環境に対する融和を図った。(2) 設計にあたっては、洪水調節機能を損なわぬように機構タイプの構造形式を採用し、その安定性と設計手法を確立した。(3) 施工にあたっては、特殊な工法を応用して水上から全作業可能にすると共に、人工地盤の杭芯と上屋柱芯を一致させる工法とシステムを開発した。この結果、本プロジェクトは予定どおり遂行することができた。

Synopsis：

It is the first case in Japan of constructing a super platform structure over an existing flood-regulating reservoir and of constructing Wholesale Housing complex buildings on this elevated steel platform. Engineering Division was entrusted with the development, design and construction of this project by the Wholesale Housing Complex Cooperative Association of Saitama Prefecture. The sequence of execution of the project are as follows: (1) In order to prepare for this project, interpretations and applications of the relevant legal matters were totally arranged, and harmonization with the environment was performed; (2) in the design stage, a pier-type elevated structure was adopted in order to preserve the function of flood control, and the safety control and design method of this structure were established; (3) in the construction stage, every construction work was done over a water-filled reservoir by adopting a special construction method and system. In addition, a system connecting the center column in line with the foundation pile was developed. As a result, this project was completed on schedule.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Advanced Utilization of a Flood-Regulating Pond by Constructing a Super Platform Structure



三好 弘高
Hirotaka Miyoshi
エンジニアリング事業
部 土木技術部土木技
術室長(部長補)



泉 祐司
Yuji Izumi
エンジニアリング事業
部 鉄構技術部鉄構開
発室 主査(課長補)



幕田 徹夫
Tetsuo Makuta
エンジニアリング事業
部 建築技術部建築技
術室

要旨

洪水調整池の上部に人工地盤を構築し、卸売団地を建設する試みは日本初である。エンジニアリング事業部では、この事業の計画、設計および施工を埼玉県南卸売団地協同組合より委任を受けて実施した。この結果は以下のとおりである。(1) 事業具現化の準備として関連する諸制度の解釈、運用を横断的に整理し、周辺環境に対する融和を図った。(2) 設計にあたっては、洪水調節機能を損なわぬように栈橋タイプの構造形式を採用し、その安全性と設計手法を確立した。(3) 施工にあたっては、特殊な工法を応用して水上から全作業を可能にすると共に、人工地盤の杭芯と上屋柱芯を一致させる工法とシステムを開発した。この結果、本プロジェクトは予定どおり遂行することができた。

Synopsis:

It is the first case in Japan of constructing a super platform structure over an existing flood-regulating reservoir and of constructing Wholesale Housing complex buildings on this elevated steel platform. Engineering Division was entrusted with the development, design and construction of this project by the Wholesale Housing Complex Cooperative Association of Saitama Prefecture. The sequence of execution of the project are as follows: (1) In order to prepare for this project, interpretations and applications of the relevant legal matters were totally arranged, and harmonization with the environment was performed; (2) in the design stage, a pier-type elevated structure was adopted in order to preserve the function of flood control, and the safety control and design method of this structure were established; (3) in the construction stage, every construction work was done over a water-filled reservoir by adopting a special construction method and system. In addition, a system connecting the center column in line with the foundation pile was developed. As a result, this project was completed on schedule.

1 はじめに

近年、地価の上昇は沈静化しつつあるというものの、そのレベルは依然として高く、特に大都市圏近傍においては限られた土地をいかに有効に利用するかは、社会的見地からも重要な課題の一つである。この事業は、湛水頻度の高い洪水調整池 (6.0 ha) の機能を維持したまま、その上部空間を有効に利用して卸売団地 (4.5 ha) を建設するもので (Fig. 1 および 2)、土地の高度利・活用という視点からも民間では日本初の試みである。

この構想は、事業者である埼玉県南卸売団地協同組合が、内外からの団地拡張の要望にに応えるべく、周辺に適地が無いという厳しい条件の中で考案したものである。当社はこれを具現化するための計画・設計・施工のすべてを委託され、検討開始から約 6 年経過した 1993 年 3 月に完工することができた (Photo 1)。

本論文は、この事業の開発計画、構造計画および施工 (計画) に関する主な特徴 (課題)、解決策およびこれを通して得た知見について述べるものである。

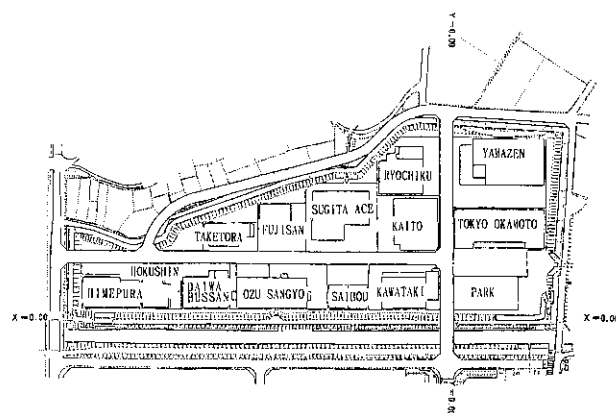


Fig. 1 Site plan

2 開発計画

前述のように、民間では初めての事例であったため、開発許可までに 3.5~4 年の期間を要したり。四つの基本コンセプトに基づいた解決すべき主な課題と対策は以下のようである。

(1) 治水計画との調和を図ること

* 平成 5 年 6 月 7 日原稿受付

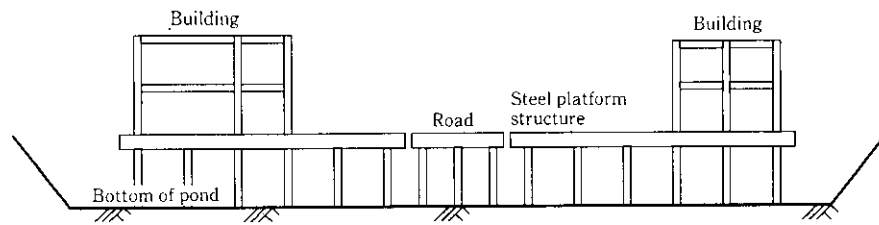


Fig. 2 Section of the platform

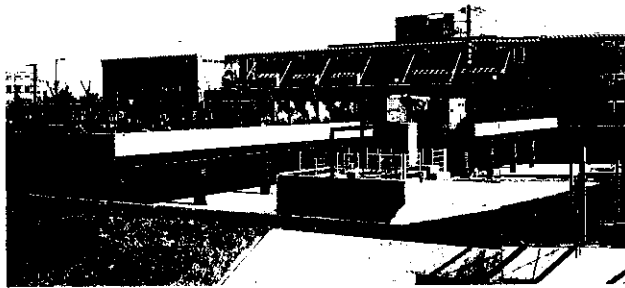


Photo 1 Ohmiya super platform structure

(a) 課題：人工地盤の施工中，および完成後において，洪水調整機能が従前と同等以上に維持できる計画を策定すること。

(b) 解決策：

- ①杭等による洪水調整容量減少分は，池底のグランド兼用エリアを掘削することによって担保する。
- ②池底の表層は地盤改良を施し，コンクリート舗装を行い，中央部に上下流の調整池と連結する水路を設置し，従前以上の集水流下能力を確保する。
- ③施工期間中，洪水調整容量を阻害しない工法を最大限採用する。

(2) 周辺都市環境との調和を図ること

(a) 課題：“区画形質の変更”は伴わないが，人工地盤の構築によって平面的には宅地化されるため“開発行為に該当する”という判断にもかかわらず，このような開発行為はいずれの法も予想しておらず，人工地盤上の公共施設の配置，許認可基準，帰属・管理の基準を具体的に設定する必要がある。

(b) 解決策：

- ①人工地盤上の道路，公園は構造体と，その投影線上の池底（底地）を地方自治体に帰属させる。
- ②一般の開発行為と同等の条件を遵守し，周辺の環境と調和した計画とする。

(3) 建築物の建設が可能であること

(a) 課題：上記と同じように，建築基準法上での人工地盤の取扱い，安全・避難の考え方を具体的に設定する必要がある。

(b) 解決策：

- ①人工地盤は上屋と一体の“建築物”として取り扱う。現行法では人工地盤上の建物の建設を可能にする方法の一つである。
- ②建築面積・床面積の算定において“人工地盤の下部空間は建築的用途に使用しない”ことを条件として，人工地盤の面積をその対象から除外する。また，階数にも算入しない。これによって，通常的地盤上と同等の計画が可能となる。

(4) 登記・分譲が可能であること

(a) 課題：不動産登記法上での人工地盤の取扱い，分譲する際の権利設定を明確にする必要がある。

(b) 解決策：現行法では上屋のみが登記の対象となる。したがって，人工地盤は“上屋の付属物”として分譲を可能にした。上屋のない敷地部分は登記できないために，人工地盤単独では分譲できない。

3 構造計画

3.1 概要

構造形式決定上での特記すべき事柄は“人工地盤完成後のみならず，施工中でも洪水調整機能を阻害しない工法が可能な構造”を選定することであった。

そのために従来の建築物とは異なった，港湾の栈橋に類似した構造を採用した。つまり，地中梁やフーチングを設けず鋼管杭を地上に突出させ，人工地盤の梁と直結した鉄骨ラーメン構造を基本としたものである。Fig. 3にその概要を示すが，主な仕様は次のとおりである。

- (1) 人工地盤構造体は各テナント敷地間，道路との境界においてエキスパンションジョイントを設け，各々独立した構造物とする。
- (2) 杭の間隔は6.0 mを標準とし，6 m×6 mの基本平面形で上屋の建築計画を調整する。上屋の柱荷重は直接人工地盤の杭で

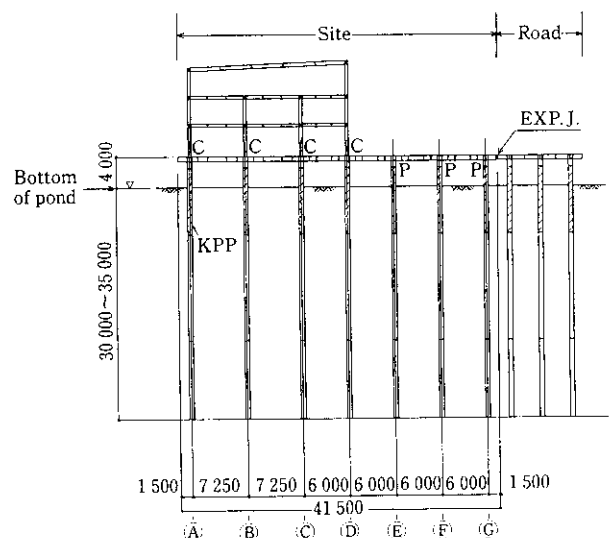


Fig. 3 Framing elevation

支持する構造とする。

- (3) 鋼管杭はGL-30~35 mの支持層まで貫入させる。その諸元は各テナントの荷重条件によって異なるが、外径は $\phi 508 \sim 800$ mmの範囲である。
- (4) 鋼管杭の上杭はKPP杭（ポリエチレン被覆鋼管杭）を使用し、また桁および格点部の材料は耐候性鋼材を使用し、メンテナンスフリー化を図る。

3.2 耐震安全性の検証

上述のような人工地盤構造においては、施工中の重機や車輛荷重等に対する安全性の検討は当然必要であったが、最も重要な検討は耐震安全性の検証であり、以下にその概要を述べる。

3.2.1 土質条件ならびに基礎データの把握

土質条件は、池底から-20 mまでが N 値0~4 (qu値0.4 kg/cm³程度)の軟弱なシルト層、-20~40 mが N 値20~50の砂層と粘土層の互層になっている。

静的および動的な土質試験のほか、現場において実大杭を用いた水平載荷試験（1方向、交番載荷）を実施し、水平地盤反力係数の確認と実杭の変形性能の確認を行った。あわせて、杭の自由振動実験を行い、得られた固有値や減衰定数を動的応答解析時の地盤定数を定める上での参考とした。

3.2.2 動的応答解析

本人工地盤のように軟弱地盤において杭をそのまま地上に突出させて柱とし、なおかつ地中梁を設けない構造形式では、地震時にお

ける自然地盤と構造体（杭）との相互作用が問題となり、通常の建築物とは異なる地震挙動を示すものと考えられ、以下のような手順で解析・検証を行った。

- (1) まず動的地盤調査により得たせん断弾性係数等の諸定数を用い、一次元波動理論解析により地表面で25 cm/sに到達する基盤（GL-60 m）入力波のレベルを求めた。
- (2) 次にこの基盤入力波を用いた二次元 FEM 解析により自然地盤と構造体との連成系応答解析を行った。連成系応答解析は人工地盤単体ならびに各々1層、2層、3層の上屋付人工地盤の計4種類について行い、以降のパラメータ解析は連成系応答解析と同等の応答を示すように調整された地表上のスウェイモデルに置換して行った。これは各テナントの計画により上屋の規模、層数、人工地盤ならびに上屋の剛性・質量が種々に変化することが予想され、各々の構造に対して実施設計段階での応答解析を実施するのは困難であることから、設計手法を一本化する目的で行ったものである。パラメータ解析では、予想され得る人工地盤の質量・剛性、上屋の層数・質量・剛性を種々に変化させることによって、静的設計に適用し得る地震入力の見解を得た。応答解析のフローを Fig. 4 に示す。

3.2.3 静的設計

上述のような実験と解析により、ここで採用した構造形式は、建築基準法上必要とされる以上の優れた変形性能を有していることが確認された。本来人工地盤と上屋は一体の建築物として設計を行うものであるが、人工地盤は一面で造成工事としての性格を有してお

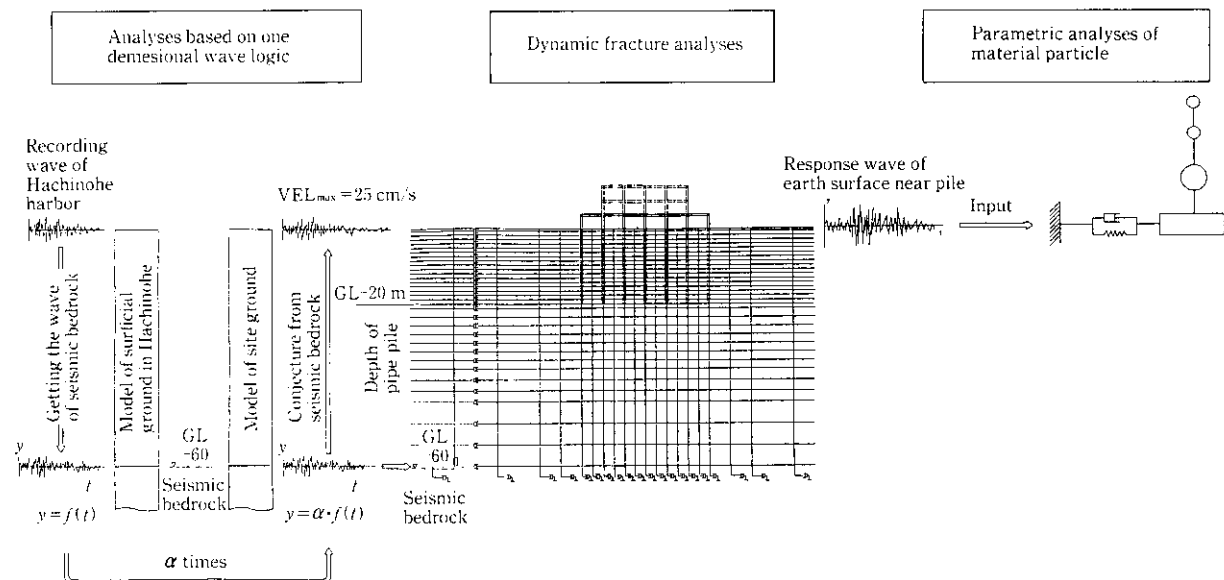


Fig. 4 Flow of response analyses

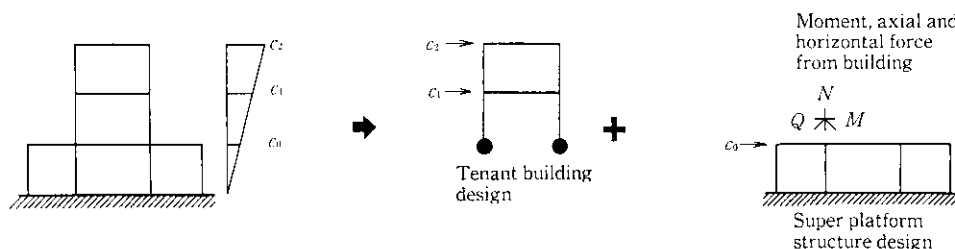


Fig. 5 Super platform structural design ($c_1 \sim c_3$: Shear force coefficient)

り、上屋よりも人工地盤の設計・施工を先行させねばならないという問題があった。そのため静的設計においては、上屋の荷重を考慮したうえでこれを分離し、人工地盤単体としての設計を先行して行う手法を採用した。種々の検討の結果、上下一体として設計した場合と実用上の差はほとんどないという知見を得た (Fig. 5)。人工地盤単体で設計を進めたことにより、工期を大きく短縮することができた。

4 施工

4.1 概要と特徴

工事規模の指標となる工事数量を Table 1 に、全体工程を Fig. 6 に示す。特筆すべき特徴は下記の2点である。

- (1) 2および3章で述べたように、施工中の洪水調整機能を阻害しないために、全て水上から施工可能な工法を検討し採用した。
- (2) 3.1章の(2)で述べたように、上屋の柱荷重は直接杭で支持される構造となっているため、杭芯を上屋の柱芯に合わせるための特殊な矯正装置と工法を開発した。

以下に各々について概説する。

4.2 調整池機能の確保

4.2.1 STEP工法の採用

過去の満水頻度・満水期間に関するデータから、通常の3点式杭打機のみでは工期内完工は不可能であることが明らかであったため、水上からの杭打ちと桁架設が可能なSTEP工法^{2)~4)}を併用することとした。これは手述べ工法の一つで、Fig. 7に示すように、自走機能を有する特殊な装置を、既設杭および桁の上を前進させることによって、順次構造物を完成させる工法である。施工中、数回にわたり台風等の大雨の影響で調整池は満水したが、本工法はいかなる威力を発揮し、施工を続けることができた。

4.2.2 杭の連続打設に関する安全性検証システム

重機に対する安全性検証の中では、特に走行・移動する装置荷重に対して打設直後の杭の支持力をいかに迅速に把握し、作業をスムーズに進行させるかが重要な課題であった。

本工事では打ち込み後24時間で装置の全荷重が杭に作用する。このときの最大荷重は計算上122tf (1.2×10^6 N)であり、これに対する杭支持力をリアルタイムに検証しながら装置を前進させる必要があった。ところが、従来、杭の支持力確認方法は杭打ち込み24時間後の載荷試験を実施したり、周面摩擦測定試験 (FMT) 結果による多層系地盤の非線形プログラム解析⁹⁾によるものであり、これらでは実質的な施工に反映するのは精度上問題であった。そこで、ここでは波動理論を応用したPDA (pile driving analyzer)

Table 1 Major quantities

Area of super platform structure	
Tenants	37 114 m ²
Road	6 081 m ²
Park	1 805 m ²
Total	45 000 m ²
Improvement of reservoir bottor (gutter, landscaping)	59 694 m ²
Steel pipe piles (φ 508~800mm)	1 583 Nos. (9 186 t)
Steel pile head and beam (weather proof steel)	5 036 t
Concreat (RC slab)	12 000 m ³
Concreat (bottom of reservoir)	5 000 m ³

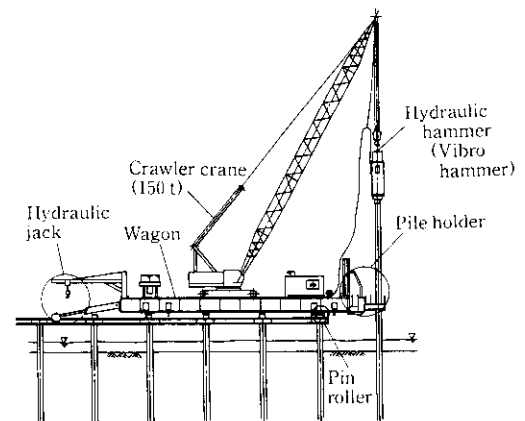


Fig. 7 STEP (super travel elect pile) equipment

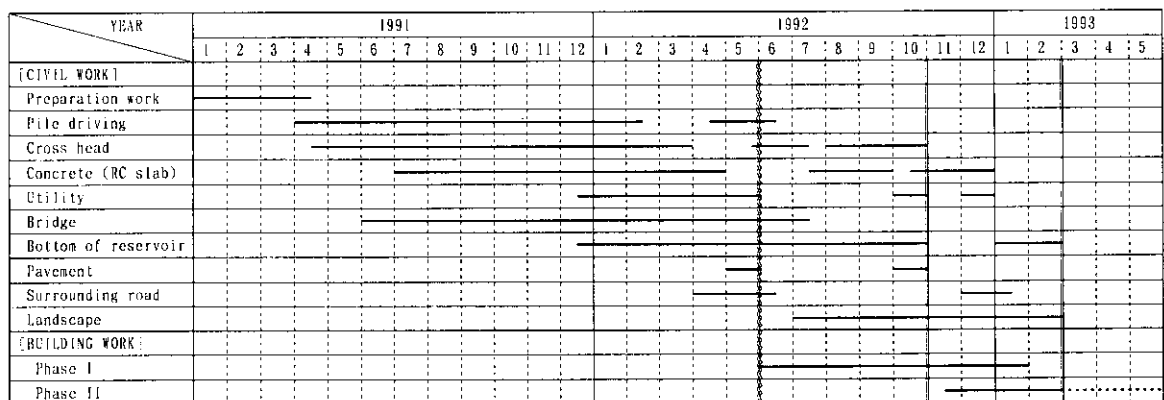


Fig. 6 Actual execution of construction

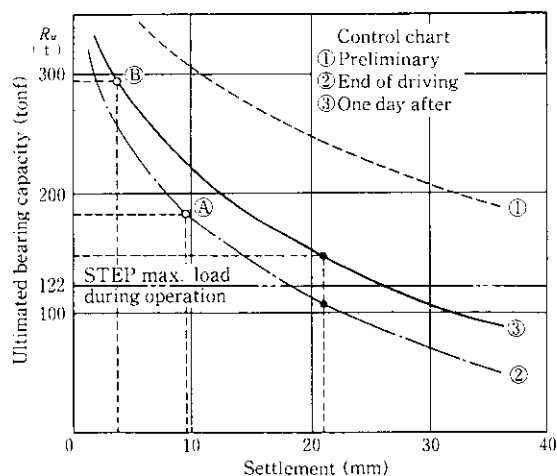


Fig. 8 Bearing capacity control chart

による動的支持力管理システム⁶⁾を導入することとした。この支持力確認手法を略説すると次のとおりである。①まず WEAP (打撃中の杭の挙動を予測する波動理論プログラム) による事前解析を行う。②次に実杭の打撃データについて PDA 計測を行う。③ CAPWAPC 解析結果から得られるパラメータを入力データとして WEAP による支持力管理曲線を補正、杭の貫入量と動的貫入抵抗力の関係図 (支持力管理図) を作成し、1 日放置後の杭の支持力を高精度で推定する。これらの支持力管理フローにしたがって作成された管理図の一例を Fig. 8 に示す。この工事では、WEAP で作成した支持力仮管理グラフ①に対し、PDA からの解析値②・③と地盤特性パラメータを WEAP の設定値として入力し、初日打止め/再打撃時の管理グラフ②、③を作成した。

以上の方法によって、打設後の杭の支持力を迅速かつ精度よく推定できるシステムを開発し、STEP 工法の採用を可能にした。

4.3 杭打設精度の向上

前述のように人工地盤の基礎杭は、格点を介して上屋柱と直結する構造となっている。格点部で杭と柱とのずれはある程度吸収する工夫がなされているものの、杭芯と柱芯を可能な限り一致させることが構造上は最も理想的な状態となる。

さらに、桁の架設においてブロックのプレファブ化を図り、フィットアップをスムーズに進めるための加工および施工上の要求からも杭打精度向上が不可欠の条件であった。この問題を解決するために Fig. 9 に示すような杭芯の位置出し機能と、X、Y 方向それぞ

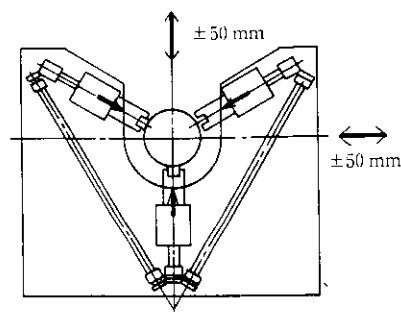


Fig. 9 Pile holder

れ ± 50 mm の矯正機能を有するパイルホルダーを開発し、STEP 装置に搭載した。これにより、下杭の位置決め、打設中の芯ずれに容易に対応でき、柱芯と杭芯をオートマティカルに一致させることが可能にした。この杭芯位置出し機能による高い杭打精度と、その矯正機能により事実上の杭打誤差は極めて小さく納めることができ、工期短縮にも大きく貢献した。

5 まとめ

洪水調整池上に、その機能を堅持しながら大規模な人工地盤を構築し、その上部空間を卸売団地として活用、分譲するのは日本初の事例である。

この構想を実現するまでには幾多の課題を克服しなければならなかったが、プロジェクトが成功した主なポイントを整理すると以下のとおりである。

- (1) 関連する諸制度の解釈・運用を横断的に整理し、現行法規内で周辺環境に融和した開発手法を確立することができた。
 - (2) 施工中および完成後の洪水調整機能を維持しつつ、人工地盤上における建築物の建設を可能とするために、従来の建築物では見られない棧橋形式の構造を提案し、その安全性を検証するとともに一連の設計手法を確立することができた。
 - (3) 基本コンセプトを厳守し、かつ設計面からあたえられる条件を満足するために、水上作業可能な STEP 工法を併用し、かつ杭芯と上屋柱芯を一致させうる工法とシステムを確立した。
- おわりに、事業者である埼玉県南卸売団地協同組合の皆様方および本プロジェクトの計画・設計・施工にあたって懇切なる御指導と多大なる御協力を頂いた関係者の皆様方に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 江口 齊, 泉祐 司, 藤田徹夫, 梅宮良之: 「遊水池上の人工地盤」, 第 4 回アーバンインフラテクノロジー推進会議, (1993)
- 2) 柳 豊和, 三好宏高, 高部良二: 「調整池上における人工地盤構築工事—STEP 工法による杭打工事—」, 建設の機械化, No. 510 (1992), 11-19
- 3) 福若雅一, 土肥宏一郎, 新宮和周, 尾関史洋: 「埼玉県南卸売団地人工地盤構築工事における STEP 工法」, 基礎工, No. 230 (1992), 42-50
- 4) 土肥宏一郎, 新宮和周, 能瀬隆宏, 尾関史洋: 「人工地盤構築における STEP 工法適用例」, 土木学会第 47 回年次講演会講演集, 第 6 部, VI-187, (1992), 396-397
- 5) 中田茂之助, 奥村一郎, 土肥宏一郎, 大橋保夫: 「打込鋼管杭の周囲摩擦力の回復度について」, 第 25 会上質工学研究会, (1990)
- 6) 福若雅一, 橋本修身, 脇屋泰士, 沖 健, 四宮秀夫, 尾関史洋: 「波動理論による杭の支持力管理システム」, 川崎製鉄技報, 24 (1992) 3, 201-208