

地下調節池工事における 工期短縮計画と施工事例

A CASE STUDY OF EFFECTIVE PROJECT MANAGEMENT FOR AN UNDERGROUND RESERVOIR PROJECT

貫井 孝治^{1*}・根津 和近²・米田 慶太³・近藤 智浩⁴

Koji NUKUI^{1*}, Kazuchika NEZU², Keita YONEDA³, Tomohiro KONDO⁴

In recent years, frequent disasters caused by typhoons and downpour in concentrated areas have called for immediate improvements to the storm water infrastructure to prevent further catastrophic calamities. Kurome River-Kuromebashi detention pond (reservoir) construction project, as an integral part of flood control programs led by Tokyo Metropolitan Government (TMG) for small-to-medium sized rivers, is a project to construct an underground reservoir at the confluence of the Kurome River and Ochiai River that flow through Higashi-Kurume City, expected to temporarily store the excess water in the reservoir that will help decrease the chances of flood. This project consists of the construction of a third reservoir and associated intake along Kurome-River, to be utilized together amongst the existing first and second reservoirs with the intake along Ochiai River. A public bid process was utilized by TMG to select the constructor based upon the evaluation of "Best Valued" proposal for the Technical and Comprehensive aspects. Due to the urgency, TMG was concerned with the overall construction duration and therefore, the highest priority during the evaluation process was given to the presentation of how to shorten the construction period from the Engineer's estimated duration. TMG awarded this project to Obayashi who carefully and meticulously evaluated every element of the project and determined to employ the "Top-Down" method that would allow for many concurrent work activities, which would result in the most effective and efficient use of resources, thus a major reduction in construction duration could be achieved. This paper will present Obayashi's skillful implementation of Project Management practices as well as the cooperative involvement of TMG in the course of the construction and decision making process, in order to achieve this successful outcome.

Key Words : *Underground Reservoir(Underground Detention Pond),Reduction in Construction Duration,Top-Down Method, Self-Compacting Concrete,CIM(Construction Information Modering)*

1. はじめに

近年, 台風や局所的集中豪雨に伴う災害が多発しており, 各種の防災対策が急務の課題となっている。黒目川黒目橋調節池工事は, 東京都が進めている中小河川整備事業の一つであり, 東久留米市を流れる黒目川と落合川の合流点に, 洪水の一部を取水し水害を軽減する地下調

節池(全体貯留量221,000m³)を築造するものである。

平成4年10月から調節池工事(第一期分)に着手し, 1・2号池(貯留量159,400m³)と落合川取水堰は平成14年から供用を開始している。今回工事は, 平成23年から第二期工事として貯留量61,600m³の3号池(面積4,577m² 深さ24m)と黒目川取水堰を構築したものである。本工事の掘削・土留めと躯体構築について, 東京都が標

キーワード: 地下調節池, 工期短縮, 逆打ち工法, 高流動コンクリート, CIM

¹正会員 (株)大林組 東京本店土木事業部工事部

Construction Project Dep., Civil Engineering Construction Div., Tokyo Head Office, Obayashi Corp., (E-mail:nukui.koji@obayashi.co.jp)

²正会員 東京都 建設局第三建設事務所 3rd Construction Office, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government

³正会員 (株)大林組 東京本店土木事業部東京駅土木工事事務所

Tokyo-Station Construction Office, Civil Engineering Construction Div., Tokyo Head Office, Obayashi Corp.

⁴非会員 東京都 建設局北多摩北部建設事務所

Kitatama Hokubu Construction Office, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government

準的な開削工法で工期を試算したところ、平成27年度までかかる見込みとなった。そのため調節池の完成による治水安全の早期確保を第一目的として、「標準工法案による想定工期（1,077日）からの短縮日数」を唯一の評価項目とした入札時VE（技術提案型総合評価方式）として入札開示された。そこで、施工区域を分割することで複数工種が同時に施工でき、しかも仮設工事の大幅削減が可能な逆打ち工法を中心に計画し、標準工期を約45%に短縮した工期を提案することで工事獲得に至った。

工事は平成23年10月に着手し、平成26年2月にしゅん功することができた。本稿では、地下調節池構築工事において工期短縮を実現するための施工計画と、施工時に実施した各方策の事例について報告する。

2. 東京都の治水対策と河川の概要

(1) 東京都の治水対策の現状

東京都では、1時間に50ミリの降雨に対する水害対策を進めてきた。しかし近年、現在の中小河川の目標整備水準である時間50ミリを超える豪雨が増加し、それに伴う水害が頻発していることから、流域・河川ごとの特性を踏まえた効果的な整備の進め方などについて検討を重ね、水害に強い高度な防災都市・東京の実現を目指しているところである。

(2) 黒目川流域と河川の概要

黒目川流域は、東京都北部と埼玉県南部にまたがるところにあり、扇のような形をした新河岸川流域の南部に位置している（図-1）。

黒目川は、小平市の湧水を水源として東久留米市の北部を東流し、都県境付近で落合川を合わせ、埼玉県朝霞市で新河岸川に合流する、河川延長約17km、流域面積約38km²の一級河川である。下流側約10kmの区間は埼玉県に位置している（図-2）。

落合川は、東久留米市を水源とし東久留米市内を東流して、都県境付近で黒目川に合流する河川で、流路延長



図-2 黒目橋調節池位置図

は3.4km、流域面積は6.8km²である。

黒目川流域の黒目川・落合川は、標高50～60mの武蔵野台地上を流れる川であり、流域は平坦な地形であるが湧水地点が多く、水源も豊富である。昭和57年度から1時間50ミリ規模の降雨に対応するための河川改修を進め、護岸整備については黒目川の一部（最上流部）を除いて既成している。しかし、下流部の埼玉県区間で河川改修が進んでいないことから、上流部で河床掘削が行えず、暫定河床となっている。黒目川黒目橋調節池の整備により、下流側の安全を確保しながら上流側の暫定河床の解消が可能となり、流域全体の治水安全度が確保される。

3. 工事の概要

工事名称：黒目川黒目橋調節池工事（その10）

発注者：東京都建設局

受注者：大林・前田・大本建設共同企業体

工事場所：東京都東久留米市大門町二丁目地内

～同市浅間町二丁目地内

工期：平成23年10月～平成26年2月

工事内容：地下調節池新設工事

主な工事数量：貯留量61,600m³ 掘削工114,300m³

3号池 コンクリート工38,150m³・鉄筋工4,770t

黒目川取水堰 構築工97.4m (図-3)



図-1 黒目川流域位置図



図-3 黒目橋調節池全体平面図



図-4 黒目橋3号調節池三次元構造図

調節池は地下3階構造となっており、その詳細は頂版、地下1・2階、地下3階（底版）である。そのうち地下1・2階は中床版（スラブ）のない梁柱構造である。外周部は第一期工事の際に築造された連続地中壁に沿った側壁と梁から構成されている。なお取水堰は、洪水時に黒目川からの河川水を取水し、減勢水路はその河川水を調節池へ流入させる役割を果たす（図-4）。

3号池の完成により、黒目橋調節池全体の貯留量は221,000m³となり、都内でも最大級の調節池となる。

4. 技術提案の概要

(1) 東京都の入札実施要領

本工事の入札には、価格および価格以外の性能、機能、技術に関する技術提案を受け入れる入札時VE（技術提案型総合評価方式）が適用された。この技術提案の評価項目は、公告時に参考として示された標準的な施工方法等に対し、これと異なる施工方法等による「工期の短縮日数」のみである。これは、流域全体の治水安全度を早期に確保することを最優先の目的としているからである。

(2) 主な提案内容と期待できる効果

工期を最大限に短縮するための基本方針は、3号調節池躯体工事と黒目川取水堰工事の同時施工可能化と、仮設工事の数量低減とした。その実現のため、3号池躯体構築工法を順打ち工法から逆打ち工法に変更することとした。以下に、主な提案内容と期待できる効果を挙げる。

a) 3号池の構築方法

①逆打ち工法を採用し、躯体を施工ブロックに分割することで、掘削工事と躯体構築工事を同時施工できる。また地上階は地下躯体の屋根に相当するため、下階築造工事では雨天による工程遅延リスクを低減できる。

②各ブロック毎に仮設開口を設置することで、資機材の運搬動線が確保できるので、隣接ブロックに関係なく、各ブロックで独自の工種施工が可能となる。

b) 躯体構築工事

①本設柱を鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC造）にするこ

どで、逆打ち支柱を構真柱として本体利用できる。また柱の剛性向上に伴って鉄筋量を減らせるので、鉄筋組立日数を削減できる。

②水平打継ぎ面に目粗し処理シートを使用することで、作業性の悪い下面の水平打継ぎ処理が迅速に実施でき、打継ぎ部の品質も確保できる。

c) 仮設工事

①頂版完成後には仮設栈橋を縮小し、かつ頂版上へ降りるスロープを設置することで、頂版上を全て作業ヤードとして活用でき、作業効率が向上する。

②躯体本体の梁や床を支保工とするため、仮設の切梁や中間杭が不要となり、土留支保工の工程を大幅削減できる。なお3号調節池は大面積（短辺方向でも約50m）で不整形な多角形なので、鋼製切梁による土留支保工では変形や緩みを生じやすい。よって今回の本設躯体による支保工は、周辺地盤への影響を低減することにもなる。

③逆打ち支柱が栈橋杭を兼ねることで、仮設工事を削減できる。

5. 逆打ち工法について

(1) 逆打ち工法の概要

逆打ち工法は建物の地下部を構築する工法の一つであり、「掘削に先行して構築した1階梁・床躯体を土留支保工として用いる工法」である。地上階を構築後、順次下階へ向けて掘削と各階躯体工事を繰り返しながら地下躯体の構築を行う。図-5に逆打ち工法の概略ステップを示す。

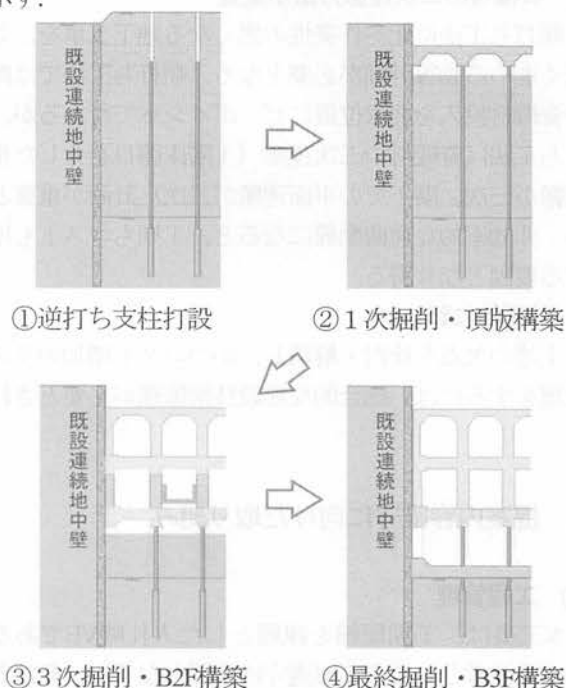


図-5 逆打ち工法概略ステップ図

一般的に逆打ち工法を採用する事例は、「大規模な地下階のある建築構造物」の工期短縮を目的とすることが多い。これは地下部分の完成を待たずに地上工事を開始できることが、順打ち（掘削・床付完了後に、地下最下階から上階へ順次躯体構築）に比べて工期短縮につながるからである。また、土木工事に逆打ち工法が採用される場合では、地上または上空部分に施工制限がある地下工事の場合が多い。

(2) 逆打ち工法の特徴

順打ち工法と比較した場合の逆打ち工法の利点は、「4. (2) 主な提案内容と期待できる効果」で触れたので、省略する。その一方で、注意点には以下の項目が挙げられるが、技術的に十分対処可能と判断し採用した。

a) 逆打ち支柱（逆打ち支持杭）が必要

本設構造物としての設計や仮設計画が必要で、各部の納まりが変わることによる各種検討が必要になり、コスト増の要因にもなり得る。

b) 地下階に逆打ち打継ぎ箇所が発生

躯体下面での打継ぎ処理工事が必要となり、応力伝達や止水性での品質低下や、コスト増の要因にもなり得る。

c) 仮設開口の増加

1階より下階の床に地下掘削・躯体工事用の仮設開口を多く必要とし、後工程の作業が煩雑になる。

d) 施工体制の早期確立

着工後の早い時期に逆打ち支柱の施工を行うため、短期間に管理体制を確立し、工事の計画や必要な検討、資機材の発注を行う必要があり、工程上の制約が大きい。

e) 資機材の二次運搬方法が重要

順打ち工法に比べ作業性の悪くなる地下工事を、効率よく進める動線計画が必要となる。順打ち工法では掘削や資機材投入を要求位置にピンポイントで行えるが、逆打ち工法は資機材の二次運搬（1階床開口を介した垂直運搬が一次、階下での平面運搬が二次）計画が重要となる。非効率的な運搬動線になると、工期もコストも増大する要因となり得る。

f) 技術的に難しい

上述の欠点を検討・解消し、かつコスト増加のリスク管理をするには、総合的な建設技術監理が必要とされる。

6. 提案内容厳守に向けた取り組み

(1) 工程管理

本工事は、工期短縮を課題とした入札時VEであるため、受注者としての工程遵守は重要となるが、発注者としても早期の治水安全度向上を実現するためには、工事

の遅延防止に協力する必要がある。また工期遵守に向けた工程計画の検討や、技術的な諸問題の解決に向けて、発注者と受注者の協力体制は不可欠なものである。そこで両者がこれらを定例的に協議し、情報を共有する機会として、毎月1回程度「工程調整会議」を行った。

また発注者側には、品質や安全性を確保しながら技術的な諸問題の早期解決を図り、工程遵守に必要な技術助言を行うことや、入札時の提示条件以外の事象が原因で工期変更の可能性が生じた場合には、その妥当性を判定することを目的として、「施工監理委員会」が設置された。同委員会には、検討及び判定を円滑かつ合理的に執行することを目的として、「検討部会」も設置された。

こうして受・発注者が一体となって工事の進行管理に努めたことで、施工途中に生じた問題点は迅速に処理され、短縮提案した工程は実現することとなった。

(2) マスコンクリート対策

3号調節池は最大部材厚が2.0mのマスコンクリートであるが、外周部の壁・梁部は既設連続地中壁（第一期工事の際に施工済）に面的な拘束を受けるため、貫通ひび割れの発生が予想される。事前の温度応力解析では、基本条件図書による制限「ひび割れ指数1.0以上」を満足しない部位があった。

そこでマスコンクリートについて、工事工程に影響の少ない温度ひび割れ防止対策として、低発熱型セメント使用の有効性について検討した。低発熱型セメントとしては、一般の高炉セメントB種に比べて断熱温度上昇量や自己収縮量の小さい「低発熱・収縮抑制型高炉セメント MKC TypeIII（以下、MKCと表記）」を選定した。MKCは、JIS R 5211「高炉セメント」に適合するグリーン調達品である。

温度応力解析結果を条件の厳しい頂版～BIF付近に関して図-6に示す。当初設計の高炉セメントB種では側壁、水平梁はひび割れ指数1.0以上を満足していないが、セメント材料をMKCに変更したことにより、側壁ではひび割れ指数が2.0を超え、水平梁も1.0を十分上回るように改善した。

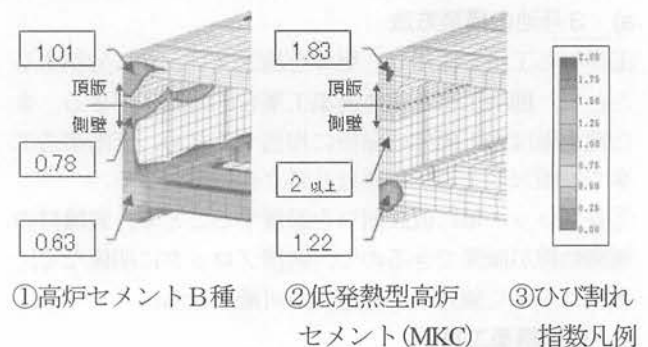


図-6 温度応力解析結果

なおこうした特殊セメントを使用するためには、生コンプラントとの協議が必要であるが、材料自体での温度ひび割れ防止対策は工事中も追加作業が発生しないため、工期短縮には効果的な対策と考えられる。

(3) 高流動コンクリート

逆打ち工法による躯体工事は、上層階から下層階へ順次構築するため、壁・柱部下階コンクリートの天端には上階コンクリート下面との打継ぎが存在し、ブリージングや沈下によって一体性を確保できないことが多い。また限定した投入口からの打設となるため、壁・柱過密配筋部の充填不良による欠陥発生リスクが高い。なお逆打ちコンクリートでは、打設時の上端打継ぎ部に取って隙間を許容し、後からグラウト充填する方法を選択する場合もある。しかし本工事では、構造物完成までの施工手順が増えるため工程面で問題が残る、不採用とした。

そこで壁・柱部の逆打ちコンクリートでは、品質確保と工程厳守の両面を満足するような配合と打設方法について、解決策を検討した。

a) 要求性能と配合の検討

壁・柱部の逆打ち部は過密配筋であること、またコンクリート投入口が限られ（延長方向6m間隔）十分な締固めが困難であることから、充填不良が懸念された。そこで充填を確実なものとするために、コンクリートの配合は増粘剤系高流動コンクリートを適用することを基本とした。さらに壁の下層部と上層部は、打継ぎ部での一体性確保、施工性、コスト低減および温度ひび割れ対策への配慮を加え、異なるコンクリート配合を使い分けることとした（図-8）。

壁部材では表-1の通り要求性能を定めた。

下層コンクリートは、直接の締固めは限定されるが型枠パイプレータ等による軽微な締固めは可能なことから、自己充填性ランク3（スランプフロー50cm）とした。

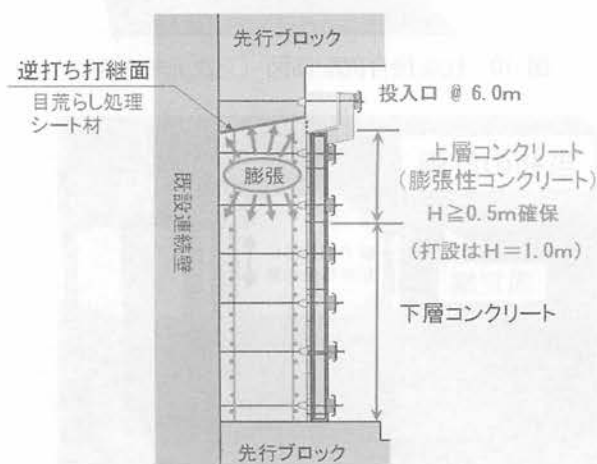


図-8 逆打ちコンクリート壁部の概要

表-1 壁部逆打ちコンクリートの要求性能

項目	配合	下層コンクリート 27-50-20 MKC	上層コンクリート 27-60-20 MKC
設計基準強度		$\sigma_{28} : 27\text{N/mm}^2$ 以上	
セメント量		350kg/m ³	420kg/m ³
スランプフロー		50±7.5cm	60±10cm
空気量		4.5±1.5%	
自己充填性*		ランク3	ランク2
自由膨張率		—	0%以上

*ランク2：「最小鋼材あきが60～200mm程度の鉄筋コンクリート構造物または部材において、自己充填を有する性能」

ランク3：「鋼材の最小あきが200mm程度以上で断面寸法が大きく、配筋量の少ない部材または箇所、無筋構造物において自己充填を有する性能」

上層は、下層の条件に加え先行ブロックとの狭隘箇所を充填しブリージング発生や沈下を防止するために、自己充填性ランクを2（スランプフロー60cm）とした上で膨張性を付与したコンクリートを適用した。

膨張性を付与するための添加剤はアルミニウム粉末（セルメックPコートタイプ；フローリック製）を用いることとし、実際に使用する生コンプラントでの試験練りにより上記性能を満足することを確認し、添加量（35g/m³）を決定した。

柱部材は、1.5m×1.5mの断面に対して投入口を2ヶ所設けることで壁部材に比較して締固めを容易としたため、自己充填性ランク3の1配合のみにした。

なおこれらのコンクリートには、セメントの水和反応時の温度上昇を抑制するため、単位セメント量を大きく増大させることなくコンクリートの流動性と分離抵抗性を確保できるような、増粘型高性能AE減水剤（マイティ3000V；花王製）を使用することとした。

b) 打設方法の検討

逆打ちコンクリートは、上部の投入口からコンクリートを打設する。今回採用した上層コンクリートの水平自己充填距離は既往の実績より半径3.0mの範囲であったため、投入口の間隔は6.0mとした（写真-1）。

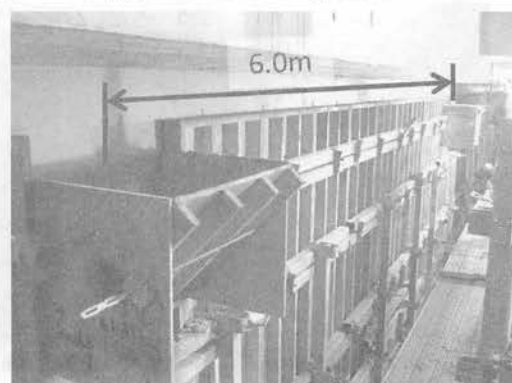


写真-1 壁部のコンクリート投入口

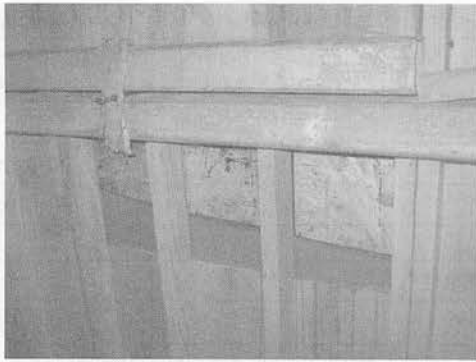


写真-2 透明型枠による充填確認

その上で、実際に打設中のコンクリートが隙間なく充填されているかを確認するために、透明型枠を投入口中間部に設置して目視点検を可能とした（写真-2）。さらに、天端高位置に約1.0m間隔でキリ孔を開けておき、そこからのペースト分漏出を目視することによる充填確認も実施した。

c) 打継ぎ部の処理について

柱や側壁の逆打ち部における先行構築躯体下面の水平打継ぎ面は、チッピング等による目粗しの作業性が悪いいため、打継ぎ面に目粗し処理シート材（リタメイト：三光製）を使用し、型枠解体後に高圧水によって骨材を洗い出すことで、より確実な打継ぎを行った（図-8、写真-3、写真-4）。



写真-3 目粗し処理シート設置



写真-4 高圧水による洗い出し

(3) CIM (Construction Information Modeling) の導入と活用について

a) 鉄筋工事の問題点

本調節池は、豪雨により増水した河川水を一時的に貯留することが目的であるため、各階とも壁・梁・柱による構造体であり床版がない（図-9）。

このため柱と梁は特に鉄筋量が多く、鉄筋間隔も小さい。そうした条件に加えて、柱の芯材にH鋼（逆打ち支柱）が存在するため、梁鉄筋が貫通できず、H鋼支柱に取り付けた接続プレートに梁鉄筋を溶接することで力を伝達する構造となっている（図-10）。

一方、逆打ち工法のデメリットの一つに「施工の難しさ」がある。鉄筋工事のそれは、上層階鉄筋が施工済なので下層階の鉛直方向鉄筋（壁・柱の縦方向鉄筋）に施工上の自由度がないことである。つまり上端固定の中で下階鉄筋に高精度な施工が求められる（図-11）。

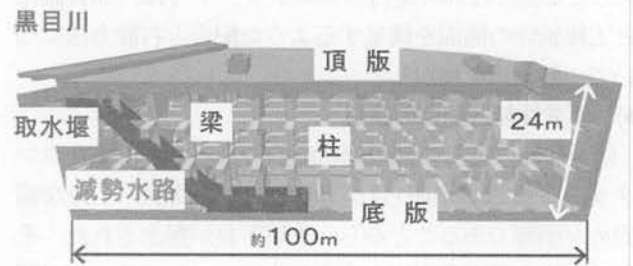


図-9 3号池断面図（三次元モデル）

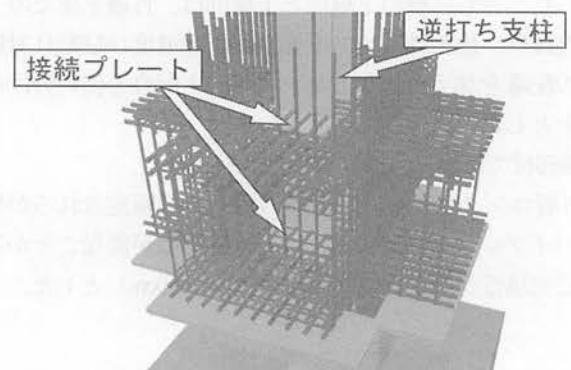


図-10 柱梁接合部配筋図（三次元モデル）

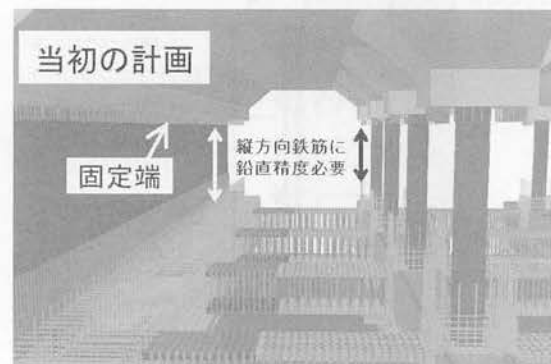


図-11 当初の地下1階施工計画

また過密配筋部では、相互干渉などの問題点を事前に把握することも肝要である。設定工期の厳しい本工事においては、こうした複雑な鉄筋工事の施工精度向上と手戻り防止が不可欠で、高度な施工計画と管理を実現する必要があった。

b) CIMによる施工手順の検討

このような条件下での施工計画では、従来のような二次元CAD図では問題点が把握しにくい。しかし配筋図を三次元モデル化（図-10）し、さらに時間軸を加えて四次元化した動画を用いて検討会を実施したところ、イメージの共有化が進み、「気づき」や「発想の転換」によって新しい改善案が生まれた。例えば柱や壁の縦方向鉄筋は、高所作業車で下階梁より先に施工することである（写真-5）。そうした検討の結果、当初計画（図-11）から変更した手順を採用し、手戻りのない工程消化につなげることができた（写真-6、写真-7）。



写真-5 柱筋組立状況（高所作業車使用）



写真-6 実際の地下1階鉄筋組立



写真-7 柱・梁接合部の実配筋状況

7. 結果と評価

(1) 工期内での工事しゅん功

上述した様々な対策に加え、発注者である東京都建設局の絶大な指導・協力のもと、大幅に工期短縮した提案を実現することができた（写真-8、写真-9）。

(2) マスコンクリート対策について

マスコンクリートの温度ひび割れ防止対策として、セメント材料に低発熱・収縮抑制型高炉セメント（MKC）を使用した。コンクリートの仕上がりは概ね良好である。ただし、ひび割れ指数が1.0を大きく超えた頂版や側壁でもひび割れが発生している箇所があり、その原因については今後検討する必要がある。

(3) 逆打ちコンクリートについて

逆打ちコンクリートの壁部および打継ぎ部は、コンクリートを確実に充填できているため、再充填など工程遅延につながるような不具合は発生しなかった。ただし、生コンクリート材料が自己充填性を有していても目視等による充填確認をあわせて行い、確実性を高めることが重要であったことは言うまでもない。

(4) CIMの効果について

施工計画時の懸案事項のうち「鉄筋工事の問題点」は、

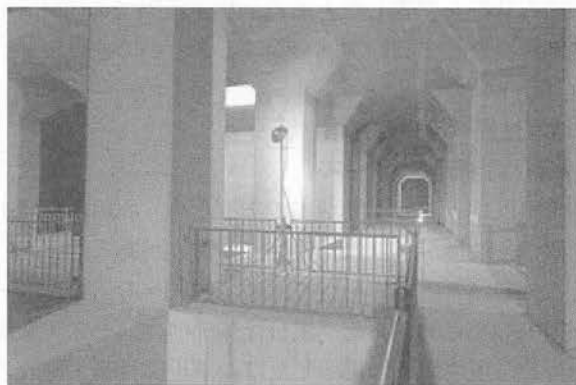


写真-8 3号調節池（地下1階）



写真-9 黒目川取水堰（通常時）



図-12 コンクリート配合別の三次元モデル

三次元モデル活用による改善策の実行で解決することができた。また躯体コンクリートを配合別に表現したモデル（図-12）は、各種の協議や打設計画立案に役立った。

これは三次元化で「見える化」が進み、発注者や受注者だけでなく、協力会社を含めた各々の立場での施工イメージの共有や判断の迅速化という効果によるところが大きい。さらに不具合の事前把握による「想定外事象」の減少にもつながり、手戻り防止の効果が非常に大きかったものと評価している。

平成25年2月には、（一財）日本建設情報総合センター（JACIC）等、11の関係団体で構成されるCIM技術検討会の現地調査会が当現場で開催された。その会で上記の取組み状況を報告したところ、施工段階でのCIM活用の先例現場として高い評価を受けることができた。

(5) 地域住民への情報発信

a) 黒目橋調節池ニュース

本工事は地下での作業が主であるため、周辺からは工事の様子や進捗が判りにくいという特性がある。

そこで発注者の協力を得て、地域住民への工事理解・情報提供等を目的とした「黒目橋調節池ニュース」を毎月発行し、現場周辺に掲示したほか、近隣世帯・施設の約130世帯以上へ配布した。掲載内容は、当月の工事内容や現場で働く受注者や発注者の職員紹介等が好評を博し、工事に対する住民理解の向上に大きく貢献した。

b) 見学会の開催

工事期間中は、河川事業への理解を深めていただくため、地域住民・地元商工会・地元市役所・所轄消防署を対象とした見学会を開催した。見学会開催にあたっては、発注者と受注者が相互に意見を出し合い、安全対策の徹底やわかりやすい事業説明を行ったほか、本工事でのCIMの取組み状況や、最先端の土木技術を紹介した。参加者の感想は好評であり、河川事業への理解を深める有意義な機会となった（写真-10）。



写真-10 地域住民見学会の様子（取水堰内部）

8. おわりに

地下土木構造物に逆打ち工法を適用できる条件は限定されることが多い。しかし、今後さらに大深度化し複雑な制約条件が増えるであろう地下空間の有効利用に際し、逆打ち工法の適用可能性は広がるものと期待できる。

なお、しゅん功後の平成26年10月に関東地方に接近・上陸した台風の際には、増水した河川水が取水堰より調節池内に流入し、早くも防災機能を発揮している。本工事を通して、流域の治水安全への貢献を実感できることは、安全で安心な国土を築くためのインフラ整備に携わる土木技術者として、感慨に堪えない。

今回の工事においては、東京都建設局からの絶大な協力をいただいたことや、関係各位の皆様方から多くの貴重なご意見や指導をいただいたことをここに記して、深く感謝の意を表する次第である。



写真-11 3号調節池（地下3階）