

鋼殻桁によるオープンケーソン 水中コンクリート厚の削減

前田知就¹・宮嶋均²

¹正会員 工修 (株)大林組 東京本社土木本部都市土木技術部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)

²正会員 (株)大林組 神戸支店 (〒650-0001 神戸市中央区加納町4-4-17)

オープンケーソン工法における水中コンクリート（以下、水中コンと称す）は、一般に無筋コンクリートで施工されていた。また、ドライアップ時の下部からの揚圧力に対し、重量抵抗で圧力バランスを保っていたため、その厚さが厚くなり、ケーソン径が大きくなると水中コンの打設量が非常に多くなるという課題があった。そこで、当工事では、無筋の水中コンに替えて鋼殻桁（内部は水中コンを充填）を採用することによって、水中コンの打設数量、ケーソンの沈設深度および内部地盤の掘削数量の低減が図れ、全体工事費の縮減が可能となった。本報告は、当工事で実施したVE提案の概要、ケーソンと鋼殻桁との接続方法および計測結果をはじめとする施工実績について示したものである。

キーワード: オープンケーソン, 水中コンクリート, 鋼殻桁, 非接触継手, VE提案

1. まえがき

J R大阪駅から電車で20分、J R宝塚線川西池田駅すぐ南側の住宅密集地を流れる寺畑前川は、過去数回にわたり氾濫し、平成9年には床上・床下浸水が264戸発生し、早急な洪水対策が求められていた。

本工事は、寺畑前川の最上流部にて、貯留量が19,400m³の調節池を設け、豪雨時に増水した雨水を一時貯留することにより、大雨による水害を防止するための工事である。図-1に工事位置図を示す。

当現場の地層は、地表面から30m以深に、N値90以上の硬質砂礫層があり、また、被圧地下水位がGL+3.6mという特殊な条件であった。調節池の施工に際しては、バックホウ型水中掘削機を装備した自動化オープンケーソン工法が採用された（図-2）。

通常、オープンケーソンの施工は、地上でリング状に構築した躯体内部を、水中掘削しながら所定の深度まで圧入沈設を行い、仮設底版として水中コンを打設した後、内部地下水をドライアップし、本体底版を構築して完了するものである。水中コンの目的は、ケーソン内をドライアップした時、底部に作用する揚圧力に対し、圧力バランスの保持と止水であり、原設計ではその厚さは14mとされていた。この水中コンに関し、種々の制約条件を克服し、コストダウンを目的として今回新たに開発した「鋼殻桁によるケーソン水中コンの施工法」について述べる。



図-1 工事位置図

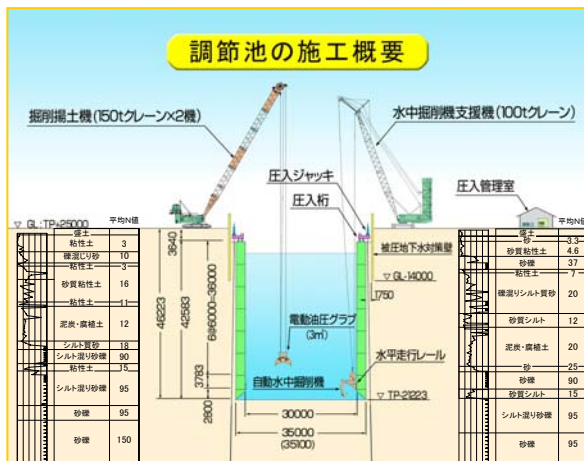


図-2 調節池の施工概要

2. 工事概要

以下に、工事概要を示す。

工事名：

(一) 淀川水系寺畑前川調節池整備工事（第1期）

発注者：兵庫県

施工者：大林・鴻池・大豊・新井特別共同企業体

施工場所：兵庫県川西市南花屋敷

工 期：平成16年3月10日～平成19年6月30日

工事内容：

調節池本体工 自動化オープンケーソン工法

(外径φ35.0m、内径φ30.0m、深さ46.2m)

側壁コンクリート 10,572 m³

水中コンクリート 5,236 m³

底版コンクリート 3,534 m³

取水施設 L=79.5m

河床切下げ L=56.5m

3. 施工における課題

水中コンには、水中不分離性コンクリートを使用した。一体性を確保するには、当現場では10,000m³強のコンクリートを間断なく搬入し、打設する必要があった。しかし、工事区域は閑静な住宅地にあり、生活環境の悪化を心配する地元住民の強い要望により、作業時間や現場への工事車両搬入台数の大幅な制約を受けることとなった。

特に、唯一の進入路となる JR の一本松踏切は、幅員が狭く、踏切開閉時間も短いことに加えて、車両のすれ違いができない市道を通るルートのため、現場に搬入できるコンクリート量が、1日に約250m³と予想された。また、図-1に示すように現場から500m離れた位置に生コン圧送基地を設けて、長距離圧送を併用したものの、1日の打設量として750m³が限界であり、一体性の確保に対する根本的な問題解決には至らなかった。

4. VE提案概要

前述の課題に対応するためとコストダウンの観点から、VE提案として、次の改善策を検討した。

当VE提案は、水中コン内部へ構造部材となる鋼殻桁を設置し、揚圧力によって発生する曲げ応力、せん断応力に対して抵抗させることで、水中コンの厚さを薄くすることであった。さらに、ケーソン全体の浮上りに対しては、表-1に示すように、自重に加え側壁に作用する周面摩擦力および圧入反力用アンカーによる浮上り防止の抵抗を考慮することにより、水中コンの厚さを14mから7mに削減した。これによって、ケーソン本体の深さも削減することができ、掘削量も削減することができた。また、鋼殻桁を格子状にすることで、一日当りの打設量制約もクリアすることができた。

図-3にVE提案概要図を示す。

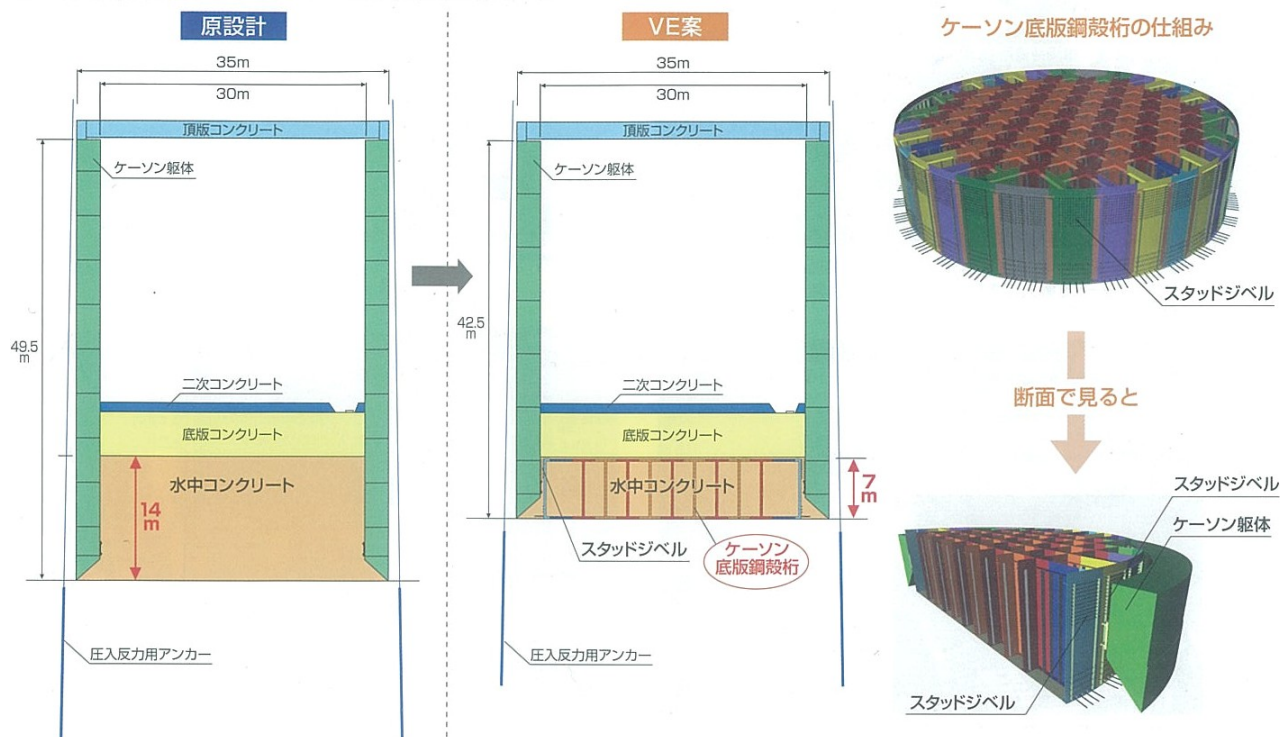


図-3 VE提案概要図

單位=kN

種別	原設計	VE 提案
ケーソン側壁	303, 071	259, 295
水中コン	234, 187	126, 798
周面摩擦力	—	45, 667 (平均 9. 9kN/㎡)
アンカー反力	—	48, 000 (3, 000kN×16 本)
抵抗力 W	537, 258	479, 760
揚圧力 U	535, 767	469, 766
安全率 W/U	1. 003 >1. 0	1. 021>1. 0

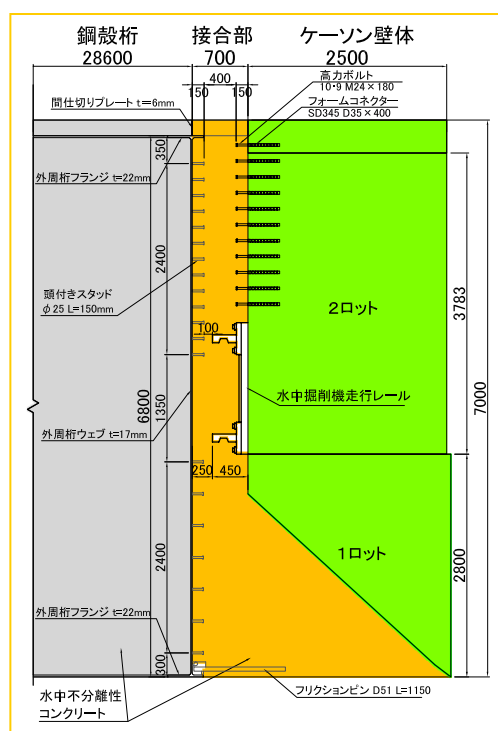


図-4 鋼殻桁外周部詳細図

5. ケーソン壁体と鋼殻桁の接合方法

鋼殻桁は、ケーソン内の水中に吊降して所定の位置に設置するが、図-4に示すように刃口直上には全周にわたって水中掘削機走行レールが配置されているため、ケーソン壁体と鋼殻桁との間には、すき間（接合部）が必要となる。接合部は、打継ぎを作らない構造とする必要があり、1日当りの打設量の制限から、その幅を700mmとした。

しかし、水深40m超におけるケーソン壁体と鋼殻桁間の応力伝達的手段として、鉄筋等にて直接的に接合することは困難である。そこで、写真-1のようにケーソン内壁と鋼殻桁外側に、ジベルをあらかじめ配置し、接合部の水中コンを介して、間接的にせん断抵抗力を伝達するという非接触継手方式を開発した。図-4に鋼殻桁外周部詳細図を示す。



写真-1 ジベル設置状況

6. 非接触継手の模型実験

本施工に先立ち、鋼殻側のジベルに発生したせん断力が、無筋コンクリートを介し、壁体側ジベルへ確実に伝達されるか否かを実証する目的で模型実験を行った。実験供試体は、継手高さと同周方向幅を縮小したが、鋼殻桁外面と壁体面の離れは原寸大の700mmとし、実験精度を上げるため2面せん断とした。なお、載荷重Pは破壊荷重とし、ジベルも実際に使用する材料を用いた。

図-5に実験供試体構造図を示す.

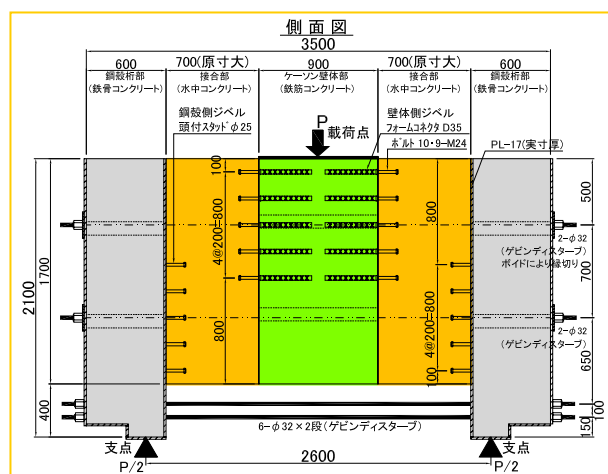


図-5 実験供試体構造図



写真-2 実験供試体（破壊後）

実験の結果、写真-2のように接合部に発生したせん断抵抗力が、無筋コンクリートを介し、斜め45°方向へ伝達されていることが確認できた。また、せん断耐力は、設計上見込んでいる許容値の4倍近い値を示した¹⁾。

7. 施工実績

(1) 鋼殻桁組立

鋼殻桁(外径28.6m桁高6.8m重量966t)は、運搬上の制約から、全体を112ピースに分けて搬入し、地上にて1方向の継手を連結し、1本の桁として地組を行った。地組した桁を、150t級クローラクレーンを用いてケーソン上へ順に架設し、鋼殻桁端部に張出した受架台により、ケーソン天端に設置した。

一方、桁間の継手に関しては、ケーソン上にてボルト接合を行った。鋼殻桁の底には、鉄板を設置した。写真-3～4に鋼殻桁組立状況を示す。

(2) 鋼殻桁吊降し

鋼殻桁組立完了後、8台のジャッキを用いて一旦吊上げ、受架台を撤去した後、吊降し作業を開始した。吊降しジャッキの各ストロークを、コンピュータ制御によって同調させながら、鋼殻桁を水平に保ちつつ、43m下の掘削底面まで吊降した。途中、水深40m地点で、ケーソン内壁の水平レールと鋼殻桁外縁との離隔が100mmとなる区間も問題なく通過することができ、最終的には、設置精度は、平面誤差最大45mmであった。

写真-4～6に鋼殻桁吊降し状況を示す。



写真-3 鋼殻桁組立中



写真-4 鋼殻桁組立完了（吊降し開始）



写真-5 鋼殻桁吊降し状況



写真-6 鋼殻桁吊降し完了

(3) 水中不分離性コンクリート分割打設

鋼殻桁の桟目内部を 9 日間、およびケーソン内側壁面と鋼殻桁の間の接合部を 1 日の合計 10 日間に分割して水中不分離性コンクリート（水中設計基準強度 24-55~60-20H）を打設した。鋼殻桁内部については、桟目ごとに、クレーンにて打設用配管を吊り込み、ポンプ車ブームを直結し、水中コンを打設した。水中不分離コンクリートの製造にあたっては、現場に添加剤攪拌専用のミキサー車を配置して、生コンクリートとスラリー状の添加剤の混合を行った。

図-6に水中コン打設分割図を示す。

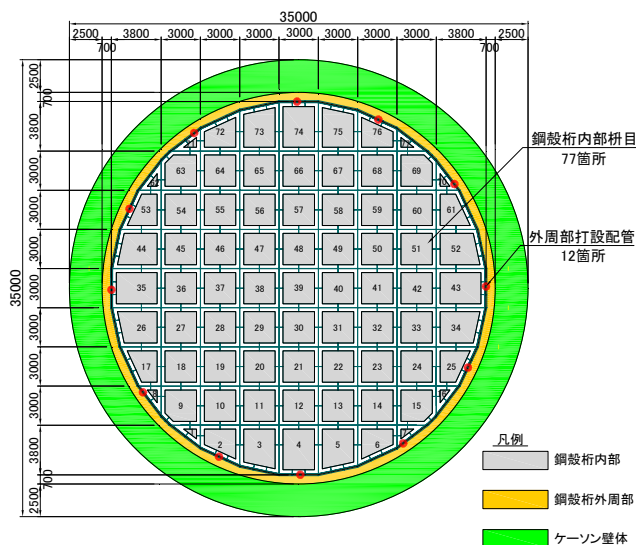


図-6 水中コン打設分割図



写真-7 鋼殻桁内部水中コン打設状況

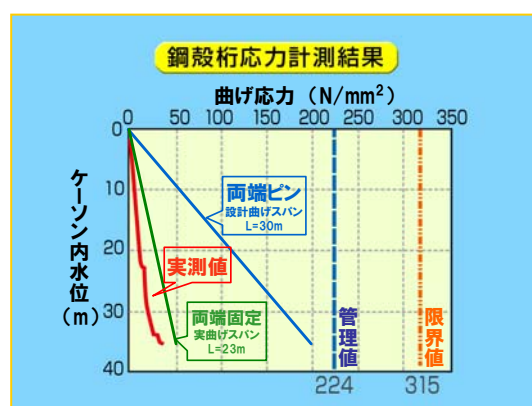


図-7 鋼殻桁曲げ応力計測結果

(4) ドライアップ時の計測

ドライアップによるケーソン内水位低下に伴って増加する揚圧力に対し、①鋼殻桁に発生する曲げ応力②鋼殻桁とケーソン側壁の接合部におけるせん断伝達（鋼殻側ジベル応力・接合部コンクリートの発生応力）③ケーソン全体の変位量④ケーソン周囲の被圧地下水位についての計測を行った。

図-7に鋼殻桁曲げ応力計測結果を示す。

設計値として、鋼殻桁の曲げスパンをケーソン内径30mとして端部支承条件を両端ピンとした場合、予測値として、水中コンの厚さを考慮した実曲げスパンを23mとして、両端固定で解析を行った結果を示す。なお、限界値は、鋼殻材料SM490の降伏応力、管理値は、仮設時許容応力の80%とした。

鋼殻桁曲げ応力の実測値は、設計値（両端ピン）と比べて十分に小さく、両端固定よりも小さい結果となった。これは、設計上では、鋼殻桁の入った水中コンクリート版を鉄骨構造としてモデル化を行っていたが、実際は鋼殻桁と水中コンの一体化による合成構造としての効果もあったと考えられる。

一方、ケーソンと鋼殻桁の接合部においては、応力の伝達方向が実験結果と異なり、鉛直方向にせん断破壊面が形成されることが懸念された。そのため、計測では、コンクリートの主応力方向の変化に着目したが、鉛直に近いせん断破壊モードは発生しなかった。また、ジベルに発生した応力も管理値に比べて非常に小さかった。この理由としては、ドライアップに伴いケーソン側壁が内側に変形することによって、接合部に軸力が導入されたことによるせん断抵抗力の増加や接合部における水中コンと鋼殻あるいは壁面との付着力がせん断抵抗力に付加されたことなどが考えられる。なお、この付着力は、泥水中におけるコンクリートの打設であったため、設計上は考慮していなかった。

ケーソン全体の変位計測では、ドライアップ中のケーソン隆起は生じず、浮上り防止用の圧入ジャッキへの負荷はなかった。したがって、実際は重量不足分は全て周面摩擦力（平均18kN/m²相当）で負担できたと考えられる。

(5) ドライアップ完了後の状況について

水中コンからの漏水量は非常に少なく，問題なくドライアップを完了することができた．特に，鋼殻桁内部については，底に鉄板を設置していたため，十分な止水性が確保できていた．

一方，接合部においては，ジベル等の障害物による水中コン充填不足やスライム混じりの脆弱層に起因する破壊や漏水が懸念されていたが，入念なスライム除去および壁面清掃とともに，接合部を1ブロックとし，適切なピッチに打設配管を設置したことにより，水中コンの充填が確実にできたと推察する．

写真-8～9にケーソン内ドライアップ状況を示す．



写真-8 ドライアップ開始時

8. まとめ

オープンケーソンの水中コン内部に，構造部材となる鋼殻桁を設置することで，その厚さを原設計14m から7m に削減し，契約後 VE 提案として，約1億1,400万円のコストダウンを図ることができた．

課題であったケーソン側壁と鋼殻桁の接合方法については，実証実験の結果を確認して¹⁾，ジベルによる非接触継手を採用したが，揚圧力に対して十分なせん断強度を発揮し，その有効性を確認することができた．接合部の止水性についても，入念なスライム除去や水中コンクリートの適切な施工方法により，十分確保できることがわかった．

また，ケーソンの浮き上りに対する安定計算において，道路橋示方書²⁾では，原則として考慮しない周面摩擦力の効果を，実施工にて確認することができた．

今後，住宅密集地などでコンクリート日打設量に制約を受ける場合だけでなく，大深度・大口径立坑の構築に当工事での実績が参考になれば幸いである．



写真-9 ドライアップ完了

参考文献

- 1) 田中，喜多，宮嶋，前田：オープンケーソンと水中コンクリート底版との接合部のせん断耐力確認実験，土木学会第62回年次学術講演会概要集，第V部門，2007.9
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編・IV下部構造編）同解説 平成14年3月