

# きょうとにしきょうどうこう はっしんたてこう せこう 国道9号京都西共同溝 発進立坑の施工について ～目に見えない世界での工事～

宮本 厚<sup>1</sup>・河原 正彰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 京都国道事務所 (〒600-8234 京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)  
<sup>2</sup>株式会社フジタ 大阪支店 (〒530-0003 大阪市北区堂島2-1-16)

国道9号京都西共同溝において発進立坑をオープンケーソン工法にて施工した。

今回、オープンケーソン工法を実施したが、実際現場で直面する状況及び対処方法について検討し、今後のオープンケーソンの施工時に役立つものとしたと考えている。

キーワード 施工・安全、オープンケーソン、止水対策

## I. 京都西共同溝の概要

### 1. 京都西共同溝の概要

国道9号京都西共同溝事業は、京都市右京区西院南高田町地先～京都市西京区上桂東ノ口町地先間の国道9号道路下に、京都市の中心部と西部地域をつなぐ電力線、通信線、水道管の幹線を収容する共同溝を整備するものである。

共同溝を整備するにあたりシールド工法を採用している。その路線は発進立坑【西大路五条】～中間立坑【葛野大路五条】

1.2km、中間立坑～到達立坑【西京警察桂川庁舎前】1.6kmの全延長2.8kmの計画である。(図-1)



図-1 京都西共同溝位置平面図

発進立坑付近の路線詳細は、交通量約4万台/日、車線数が4～6車線であり、京都市内でも中心地に近い場所での施工である。沿線には商業施設やマンション等の住宅も近接している。

それぞれの立坑位置は、中間立坑、到達立坑は車道、発進立坑は歩道及び将来の植樹帯となる場所に整備する。中間立坑及び到達立坑は市道との交差点部でもあり、夜間施工を主体で交差点形状を変更した後、地中連続壁工法による開削工で施工する。

京都西共同溝の近接対象構造物としては、①国道9号及び地下埋設物②NTT 洞道③京都市下水道幹線④阪急電鉄京都線⑤西大橋⑥横断河川(天神川、桂川)がある。

また、線形上コントロールとなる将来計画構造物は①京都高速西大路線計画②京都西立体道路計画である。

発進立坑については、五条通りの拡幅計画用地(約1700m<sup>2</sup>)であり立坑ヤードとしては、比較的広いヤードが確保できることから、経済的に有利な圧入オープンケーソン工法が採用されている。但し、通常のケーソン工事において、2500m<sup>2</sup>程度は必要であるため、ケーソン工事としては狭小なヤードにおける施工であった。

### 2. ケーソンの形状について

ケーソンの形状は主に円形・矩形・小判型とあるが、一般的に円形の形状の場合は、下水道や雨水幹線等、流水を考慮しているものである。

今回の目的物は共同溝であるため、シールド工事で必要な断面積はシールドマシンの規模によって大きさが決まり、本事業においては、円形よりも余剰スペースが抑えられるより経済的な矩形が選択されている。

(表-1)

	円形断面(φ12.2m)	矩形断面(7.5m×11.5m)
概略図		
断面積	30m <sup>2</sup>	106m <sup>2</sup>
掘削・設置作業	・構造上、円形の方が有利であり、掘削作業を効率的に行うことが可能である。 ・ケーソンが掘削される際の形状は、ほぼ矩形となるので、掘削の効率は円形よりも優れる。 ・掘削の段階で中央部に掘削材を投入して掘削作業を効率的に行うことも可能である。	・余剰スペースを可能な限り取り除いた状態となるので、掘削・設置作業を効率的に行うことができる。 ・構造上、掘削の方が有利となるので、掘削・設置作業が優れる。 ・矩形の段階で中央部に掘削材を投入して掘削作業を効率的に行うことも可能である。 ・掘削の段階で、掘削材の掘削・設置が可能なため、掘削作業が円形よりも優れる。
施工性	・円形は掘削・設置作業が可能なため、掘削・設置の効率的な掘削作業が可能である。	・掘削・設置作業において、円形よりも掘削作業が優れる。
掘削・設置作業(掘削工事費)	約360万円(掘削1.0)	約360万円(掘削1.0)
評価	・掘削において、掘削費より若干劣る。	・掘削において、円形よりも掘削費が優れる。

表-1 立坑形状比較表

II. オープンケーソン工法の施工について

1. オープンケーソン工法の施工手順

オープンケーソン工法とは、地上で作ったコンクリートの函（ケーソン）を地下に沈め縦穴形状の空間を作る工法である。

ここで、オープンケーソン工法の施工手順について説明する。

ケーソンを圧入するため圧入時の反力となるグラウンドアンカーを設置し、ケーソンを沈下させるために刃口金物を設置する。

函（ケーソン）を鉄筋とコンクリートで作成し、コンクリートの強度発現後、油圧ジャッキを用いて、グラウンドアンカーから反力を取りケーソンを圧入する。

圧入時には、ケーソンの中をクラムシェルバケットで掘削し、ケーソンを沈設していく。

当ケーソンは、深さ 40m と深く、地下水位も高いことから、ボイリングや盤ぶくれを防止するため、水中コンクリートを打設するまでの間、函内は周辺の地下水位と同じ高さまで水を張った状態で施工を行う。（図-2, 3）

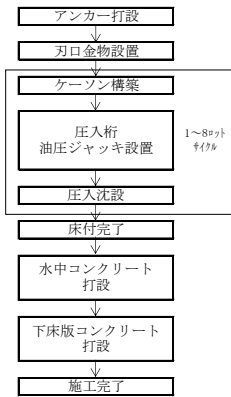


図-2 オープンケーソン工法施工フロー

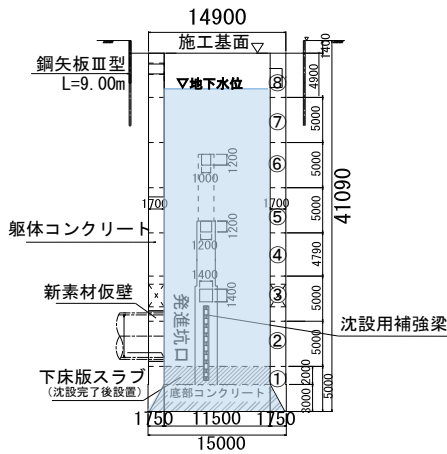


図-3 発進立坑と水位関係

また、本現場では、地上より 20m 以深が N 値 50 以上の砂礫を主体とした硬質地盤となっており、ケーソン沈設が困難となる事が予想されていた為、ケーソン施工前に予め刃口金物直下部を砂に置換える先行削孔砂置換工法が採用されている。

2. 実際の施工時の状況について

水を張った状態で施工を行うため、水中の掘削状況は

目視出来ない条件での施工となる。

ケーソン躯体内外の地下水位差に注意してクラムシェルにて水中掘削する。水深も深い為、目視確認が不可能で、オペレーターの熟練した技術が必要となる。

更に掘削時は、クラムシェルバケットで躯体壁を傷つけないように木材で養生する等の工夫が必要であった。

先行削孔砂置換工法を採用しているが、GL-25m 以下に土質柱状図に示されていない強固な硬質粘土層が出現したため、沈設出来なくなり、粘土盤をほぐす補助工法（突き矢）を併用して、掘削・沈設する必要があった。

（写真-1, 2, 3, 4、図-4）



写真-1 掘削状況全景



写真-2 水中掘削状況



写真-3 硬質粘性土



写真-4 突き矢

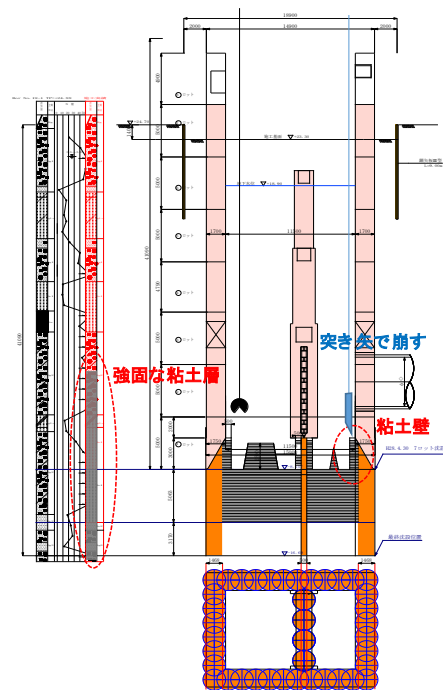


図-4 硬質地盤掘削イメージ図

また水中掘削土は高含水のため、そのままではダンプトラックによる運搬ができない。更に当初の処分地での受入は期間と土質が理由で事前に断られており、場内が狭隘で掘削土砂の抜気ヤードが確保出来ない為、一時水槽に預け、その中でセメント改良を行い改良土としてダンプトラックで民間施設へ運搬することで対応した。

躯体では、品質確保に寄与すべく①水平部の打継部型枠にもセメントペースト流出防止策②外防水③コンクリート養生時のパイプクーリングによる温度ひび割れの発生の抑制を実施している。

(写真-5)



写真-5 パイプクーリング状況

### 3. 水中コンクリート打設～揚水時について

ケーソンの沈設が完了すると、底部を水中コンクリートで閉塞し、水や土砂の底部からの噴出を防止する。水中コンクリート打設前には、刃口と水中打設したコンクリートの密着性を向上させるため、潜水土による刃口付近の付着土清掃及び止水シール材の設置を行う。

しかし立坑内の泥水は、高分子混合によりフロック化し、沈降させる事ができるが、夏場の施工が原因するためかコケが発生し水が緑色になり、更に水深が35mもある為、濁度と暗さで刃口付近の水中の視界は1mも無かった。

水中コンクリートは、設計で指定されている水中不分離性コンクリートを使用した。これは水に溶けにくく、通常のコンクリートよりも粘性が高い為、流動速度が遅くなり、施工性が極めて低くなる傾向が伺えた。360m<sup>3</sup>の実質打設時間は14時間を要した。(写真-6)



写真-6 水中コンクリート打設状況

その後、発進立坑内の水を揚水し、底版を施工するが、揚水中に立坑内へ地下水が流入してきていることが判明した。

### Ⅲ. 今回事象の要因分析

#### 1. 水中コンクリートで完全止水が困難な要因について

水中コンクリートで完全止水が出来なかった要因について、下記の2点が考えられる。

- ① 第1ロッド部は沈設するため刃口金物が先端にあり、ケーソンも沈設させやすいように小刀の刃先のような形状となっている。底部コンクリート打設時にケーソンの躯体が円形であれば角が無いためスライムが残りにくい為、矩形であるが為、コンクリートに押されたスライムが四隅に追い込まれ、ハンチ形状で矩形の場合、四隅が折れているため上手く抜けきれず隅角部に留ったと考えられる。この部分が弱点となり立坑内の揚水時に生じた立坑内外の水頭差でスライム混入部に水みちが形成された。(図-5)

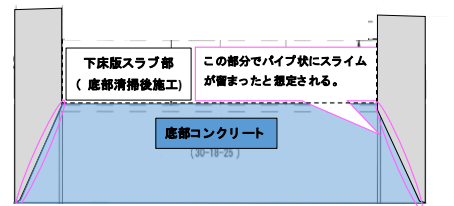


図-5 底部スライム滞留想定図

- ② 先行削孔砂置替工は全旋回工法の機械により施工している(ケーシング径直径 2.0m)。当然であるが、躯体壁厚(1.7m)より大きい為、壁の外側は砂に置き換わっている部分(躯体外側砂置換部)が存在することが水みちを形成しやすい要因だと考えられる。

(図-6)

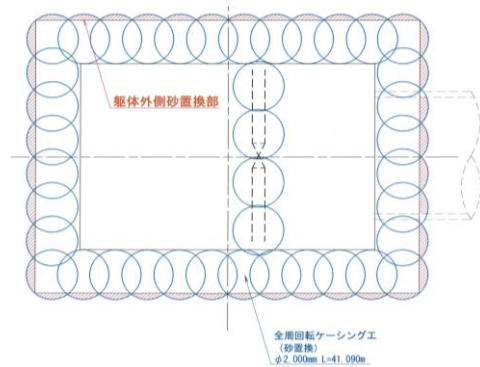


図-6 先行削孔砂置替工施工位置平面図



#### IV. 対策について

##### 1. 現地における対策工

このまま立坑内の揚水作業を継続すると、立坑内への地下水の流入に伴い、周辺地盤の沈下や崩壊をまねく危険性があり、止水対策をまず行い、揚水作業を再開する事とした。

検討の結果、坑内水を滞水させた状態で、長期耐久型かつ強度発現型の材料を用いた薬液注入工法を立坑底部周辺に施した。

潜水士による漏水箇所確認を行ったが、水がコケで緑色のため水中内の目視確認が出来ない。また、砂の堆積もあり、手触りで漏水箇所を見つけることは困難であった。よってスライムが残ってしまった事が予想される刃口金物周辺部を中心に立坑底部コンクリート直下に薬液注入を実施し、毎分当りの地下水の流入量を観測しながら、止水の効果の確認を行った。

薬液注入を施した結果一定の止水効果は見られたが、揚水作業完了後、突発的な再流入の危険性が残り、流入量を時間毎に確認しトラブル発生後即座に止水対応が出来るよう薬液注入設備を待機させ、慎重に揚水作業を行った。

揚水完了後、下床版スラブ鉄筋組立時の止水対策として底部コンクリート天端部全面に鉄板を配置し、隅間にモルタルを充填し突発的な水の流入を防止した。

(写真-7,8)



写真-7 立坑底部周囲  
薬液注入施工状況



写真-8 立坑底部  
鉄板補強状況

##### 2. 施工時における創意工夫

ケーソン工事は水中掘削による土砂の汚れが壁面に残り、壁面清掃を行う必要がある。通常は揚水完了後足場組立を行うが、この発進立坑は 35m 程度の足場が必要となり、組立及び解体の作業に費やす工程やコスト面で問題がある。

水の浮力に着目し、発泡スチロールにより浮き架台を作り、壁の清掃、クラック調査、クラック補修を揚水作

業と同時に出来るよう工夫した。また昇降設備を吊り階段として予め底部まで先行設置した事で水面がどの高さでも地上へ上がれる状態にした。(写真-9,10)



写真-9 浮き架台施工状況



写真-10 浮き足場・昇降設備

#### V. まとめ

今回、オープンケーソン工法で施工し、結果的に立坑内に水が流入してきたことは事実であるが、設計ミスなのか、施工不良なのかは判断が難しいところである。

オープンケーソン工法の事例について、圧入ケーソンの専門業者における H24 年までの実績を確認したところ全部で 61 件実績があった。そのうち今回施工と同じ形の矩形は 14 件、一番オーソドックスな形状は円形の 41 件であり、沈設長はいずれも 40m 以上であった。

当初設計は、経済性が優先され、水中コンクリートで底部コンクリートを打設し止水を行い、下床版コンクリートを打設する計画であったが、結果的に水中コンクリートで止水出来ず、止水対策を講じる必要があった。

周辺を考慮しなくても良い環境であれば、ディープウェル等で水位を低下させ底版コンクリートを打設することは可能だが、日交通量 4 万台を超える国道 9 号に面し、市街地の地盤沈下のリスクを考慮するとそれも不可能である。

当初設計では、計算上、止水対策をする必要が無いと判断している。

では、施工不良かと言うと、コンクリート構造物の品質コンテストで表彰されていることから出来映えも良い。また、水中コンクリート打設も適切な手順で施工されており施工不良とも言えない。

では今回の事象は何故起こったのか検証してみた。

要因を探るに当たり、ポイントは 2 点考えられる。

1 点目は打設方法で、通常的水中コンクリートの打設方法はトレミー管を打設深さまで配管しコンクリートポンプ車にて打設を行う。トレミー管を通過したコンクリートは打設位置で円状に拡がる為、その拡がり重なるようにトレミー管を平面的に配置した。(図-8)

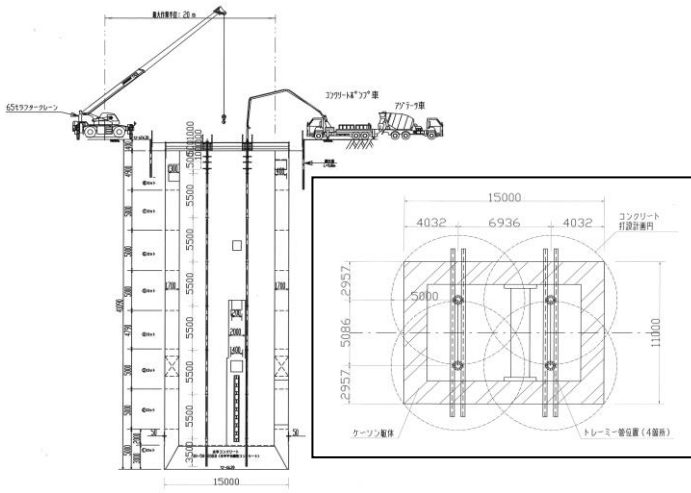


図-8 水中コンクリート打設計画図

しかし今回のケーソンの形状が矩形の為、刃口金物周辺の四隅へ底部コンクリートが十分に入りづらかったと想定される。

2 点目は水中コンクリート材料の性質である。今回採用したのは水中不分離性コンクリートであったため、通常の水コンクリートであれば水中でセメントが溶け出しスライムと混ざりやすく一定の強度が発現するが、水中不分離性コンクリートの場合は函（ケーソン）四隅に残されたスライムと馴染みにくかったと考える。打ち重ねの過程の中で逃げ切れ無かったスライムが留まり、十分にケーソン刃口金物周辺へのコンクリート充填が出来なかった。

これら2点の要因に対する改善案を次に示す。

矩形の場合、水中不分離性では無く通常の水コンクリートを使用する。

ケーソン躯体構築段階で、予めケーソン先端の刃口部分にコンクリート打設用のパイプを埋め込んでおき、水中コンクリート打設時にこのパイプを利用し、間詰め充填用コンクリートを四隅に充填する。この設備を取り入れることで、ケーソン矩形の弱点となる四隅に対し、確実にコンクリートが充填できる。（図-9）

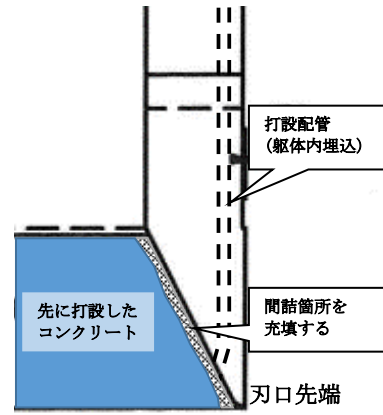


図-9 水中コンクリート刃口金物  
周辺四隅の打設イメージ

今回は、オープンケーソン施工時の現場施工における目に見えない世界における工事の問題点及び改善策について整理してみたが、実際今まで施工実績が多数あるにも関わらず、問題点が明るみになっている文献はほとんど存在しないと思う。やはり各企業において、現場で苦労したことは次の現場へ繋がる財産であるからだ。今回の発表により他の企業と財産を共有することになるが、この報告によって、今後同様の事象を繰り返すことなく、オープンケーソン工法によるコンクリート構造物の品質確保に寄与されることを祈念する次第である。

今回、本論文の作成に協力していただいた本対象工事の施工業者である株式会社フジタに敬意を表す。