

ニューマチックケーソン工法による雨水調整池の施工

Construction of regulating reservoir for Pneumatic Caisson method

倉内信夫*1 藤本 修*2 友近宏治*3

概 要

市街地でのニューマチックケーソン工法を用いた雨水調整池を築造する上で配慮した、①周辺への騒音対策、②躯体コンクリートのひび割れ対策、③異種生コンプラント混用による品質管理、④軟弱地盤での過沈下防止対策および沈設精度管理について報告するものである。

key words : ニューマチックケーソン工法、騒音対策、温度応力解析、異種生コンプラント混用、過沈下、沈設精度

1. はじめに

埼玉県川口市では、近年ゲリラ豪雨などの大雨が降ると下水道管の能力を超えてしまい市内各所で道路冠水等、浸水被害が起きている。このような状況を改善するため並木元町公園に貯水量 5,800m³(直径 22.0m, 深さ 29.4m)の調整池を築造する工事である。

市街地の住宅地、老人介護ホーム等に近接した場所での施工であるため、構造物の施工時およびニューマチックケーソンの沈下掘削時の騒音に配慮する必要があった。

また、地質状況は、シルト・粘土・砂混じりシルトが主体のN値=0の軟弱地盤層が現況地盤より20m程度続くため、沈下掘削時の過沈下対策および沈設精度管理が要求された。その他、生コンの供給量と打設量の関係より、複数プラントから生コンを供給した場合の品質管理や躯体壁厚 2.0m のマスコンクリートとしてのひび割れ対策が課題であった。

本報告は、以上のような課題・問題点に対し、事前検討を行い、対策を実施した事例を紹介するものである。

2. 工事概要

工 事 名 : 並木元町雨水調整池築造工事

発 注 者 : 川口市

施工場所 : 埼玉県川口市並木元町地内

工 期 : 平成 26 年 9 月 25 日～平成 28 年 3 月 18 日

変更工期 : 平成 26 年 9 月 25 日～平成 28 年 10 月 31 日

工事内容 : 掘削 11,278m³

躯体コンクリート 4,761m³

中埋めコンクリート 717m³

型枠 4,942m² 鉄筋 492t

土砂セントル 718m³



写真-1 施工全景

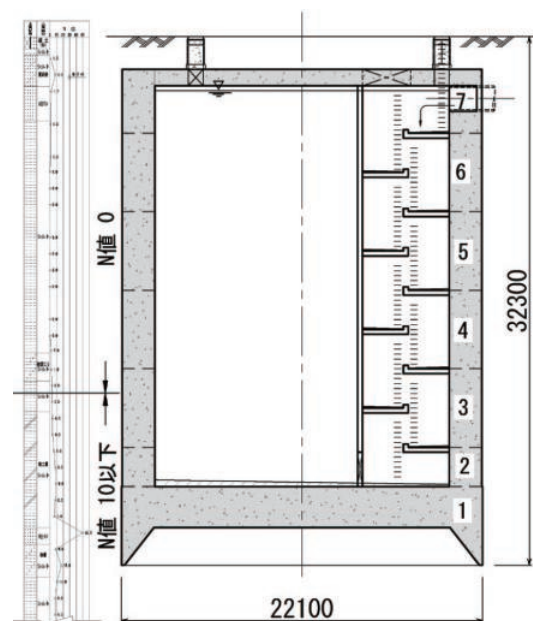


図-1 調整池構造図

*1 Nobuo KURAUCHI

東京支社土木支店土木部

*2 Osamu FUJIMOTO

東京支社土木支店土木部 作業所長

*3 Koji TOMOCHIKA

土木事業本部技術部 副課長

3. 騒音対策について

3.1 事前検討

市街地でのニューマチックケーソン工法を用いた調整池築造にあたり、事前に音響解析を実施し、騒音対策を検討した。音響解析に用いた工事箇所から発生する音源のパワーレベルを表-1に示す。

表-1 音源のパワーレベル

No.	音源名称	パワーレベル (dB)	高さ (m)	稼働数 (基)
1	トラックレーン	102	1	1
2	タンク 走行	102	1	1
3	マンロック	75	5	2
4	マテリアルロック	75	5	2
5	発電機	94	1	1
6	空気圧縮機※)	99	1	3
7	可動式空気圧縮機	99	1	2

※)小防音ハウスにて囲う

対策をしない場合、老人介護ホーム敷地境界で 63dB の音圧レベルとなった。騒音の規制基準 60dB を超えるため、対策を検討した(図-2)。

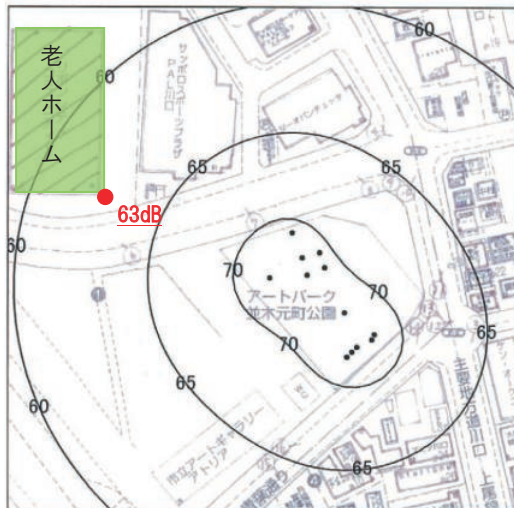


図-2 音響コンター図(無対策)

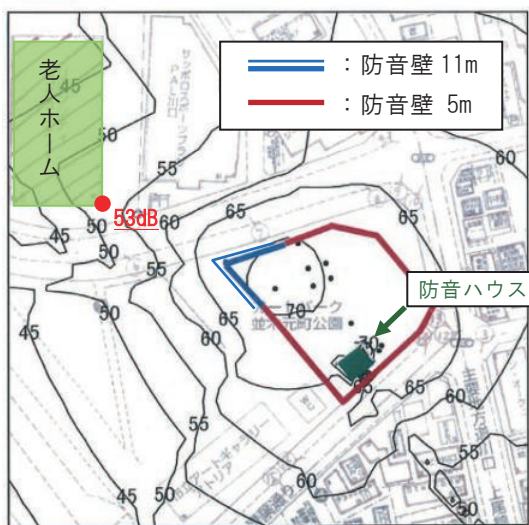


図-3 音響コンター図(対策後)

対策として、

- ①防音壁の高さを 5m とし、工事箇所周囲を囲う。
- ②老人介護ホーム側隅角部の防音壁高さを 5m から 11m に変更する。
- ③空気圧縮機を防音ハウスで囲う。

音響解析の結果では、これらの対策により、老人介護ホーム境界で 53dB まで音圧レベルを低減できることが解った(図-3、写真-2)。

また、ニューマチックケーソン工法では、設備特有の騒音が発生するため、騒音低減対策として次のような消音装置を取り付けることとした。

- ①マテリアルロック排気時の排気音抑制に排気マフラーの設置
- ②マテリアルロック送気時の送気音抑制に吐出口三連マフラーの設置
- ③ワイヤーボックスからの漏気音抑制にワイヤーボックス消音装置の設置
- ④マテリアルロックへバケット投入時の衝突音抑制にゴムライニング式バケットの採用



写真-2 防音壁設置状況

3.2 効果の確認

騒音対策の効果を確認するために、沈下掘削・残土搬出作業中に騒音測定を実施した。測定方法は JIS-Z-8731 に準じて行った。騒音規制法による評価手法である時間率レベル L_5 値 (90%レンジの上端値)の結果を表-2に示す。

表-2 騒音レベルの測定結果

調査地点	シャッター閉 L_5 (dB)	シャッター開 L_5 (dB)	暗騒音 L_5 (dB)	規制基準 (dB)
工事境界	65	70	65	60
境界から10m	65	68	66	

調査によれば、当初目標の規制基準 60dB を満足していない。これは、工事箇所が比較的交通量の多い 2 車線道路に隣接しており、昼間時間帯の暗騒音が 65dB と高かったことによるものである(暗騒音以下にはならない)。

当該工事における騒音レベルは防音壁設置により、暗騒音程度 (65dB) まで低減している。これは防音壁の遮音

効果により、工事騒音は外部に伝播していない結果であり、工事による周辺環境への影響はなかったと思われる。

4. 躯体コンクリートのひび割れ対策

4.1 事前検討

本構造物は台風、大雨等の非常時の流量調整を行う調整池であり、平常時は空水状態に保たれている必要がある。躯体コンクリート側壁は厚さ2.0mであり、コンクリート標準示方書によるとマスコンクリートとして取扱う部材寸法に相当するため、施工時の温度ひび割れの発生が懸念された。構造物の特性上、地下水の浸透(漏水)は許容されず、躯体外面に作用する地下水圧が最大0.3MPa程度に達することからも、躯体には高い止水性(水密性)が要求される。そこで、マスコンクリートとしての温度応力解析を実施した。

4.2 対策の検討

施工時期、施工条件等を勘案して解析を行った結果、高い確率(90%以上)でひび割れの発生が予想された。そこで対策として、補強鉄筋を追加することにより、ひび割れ幅を制御することとした。ひび割れ幅の制限値はコンクリート標準示方書に示された「一般の水密性を確保する場合の制限値0.2mm」とした。(調整池は円環構造であり、壁面に土圧が作用することで、軸力が導入され圧縮域が確保されることで、部材を貫通するひび割れは生じにくいと判断した。)

補強量は、側壁周方向に対し、2ロット(側壁最下部)にD19@150、以降3~7ロットはD13@150の追加とした。

4.3 施工結果

コンクリート打設後、出来形を確認した結果、0.2mmを超えるようなひび割れは見られず、微細なひび割れが散見する程度であった。ひび割れ抑制のために配置した補強鉄筋が有効であったと思われる。

5. 異種生コンプラント混用によるコンクリート打設

5.1 生コンクリート試験練り

当該工事では、コンクリート打設数量と生コン供給量の関係上、複数プラント(3社)から納入・打設する計画としていた。コンクリートの打設方法は、ポンプ車毎に打設区画、打設順序を予め設定し、各ポンプ車には1社の生コンクリートのみを連続供給することとした。ただし、隣り合う打設区画の境目では、2社のプラントの生コンが混ざり合う事になる。打設に先立ち実施した試験練りの圧縮強度試験(表-3)では、3社の結果に相違がみられたことから、本打設において影響がないか、生コンの混用・混合の可否について調査・検討することとした。

5.2 複数プラント混合生コンクリート試験練り

各社よりアジテータトラックで1.0m³運搬し、それぞれ現場試験(スランプ、空気量、塩化物含有量等)を行い、

試験結果が基準値以内であることを確認後、組合せ毎に混練りを行った。練混ぜ後、再度現場試験を行い、圧縮強度試験用供試体を各3本採取した。圧縮強度試験結果を表-4に示す。

強度の低かったC社との組合せの場合、強度低下傾向がみられるものの、いずれも管理値を満足する結果であった。

表-3 試験練り結果

納入工場	配 合			圧縮強度
	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	水セメント比 (%)	σ_{28} (N/mm ²)
A社	313	164	52.5	44.0
B社	310	161	52.0	46.1
C社	291	157	54.0	38.3

※:高炉セメントB種 $\sigma_{ck}=27\text{N/mm}^2$

表-4 混合生コン圧縮強度試験結果

組合せ	圧縮強度		備考
	σ_7 (N/mm ²)	σ_{28} (N/mm ²)	
A+B	30.2	43.2	
B+C	26.4	39.6	
A+C	26.3	39.4	
A+B+C	29.1	43.4	

5.3 混合コンクリートの打設

複数プラントの打ち分け部と境界部の混合部について、硬化コンクリートの状態には目立ったひび割れは無く、また色むら等も見られなかった。製造工場の異なる生コンの混用による影響(不具合等)は無いことが確認された。

6. 軟弱地盤に対する過沈下対策および沈設精度管理

ケーソン沈設部の地質状況は、GL-4.0m~GL-18.0m付近まではN値=0のシルト、粘土、砂混じりシルトが主体の非常に軟弱な地盤が続く(図-4)。ケーソン躯体ロット毎の打設量は、320m³~1,120m³と多く大きな沈下力が作用することから、沈下掘削時およびコンクリート打設時の過沈下が懸念された。

6.1 開口率の算出

ケーソンは底面掘削の進捗に伴い地盤の極限支持力よりも刃口反力が大きくなった場合に、地盤が崩壊し躯体が沈下する。開口率とは、ケーソンを沈下させないために必要な支持面積を確保する、作業室全面積に対する掘削面積の割合である(図-5)。

検討では、掘削と沈下の関係を把握するために、各施工段階における地盤の極限支持力と刃口反力がバランスする開口率を算出した(図-6)。

検討の結果、2ロットおよび3ロットのコンクリート打設時に開口率を小さく(80%程度)する必要があった。N値=0の軟弱地盤層であり、沈設作業は慎重に対応することとした。

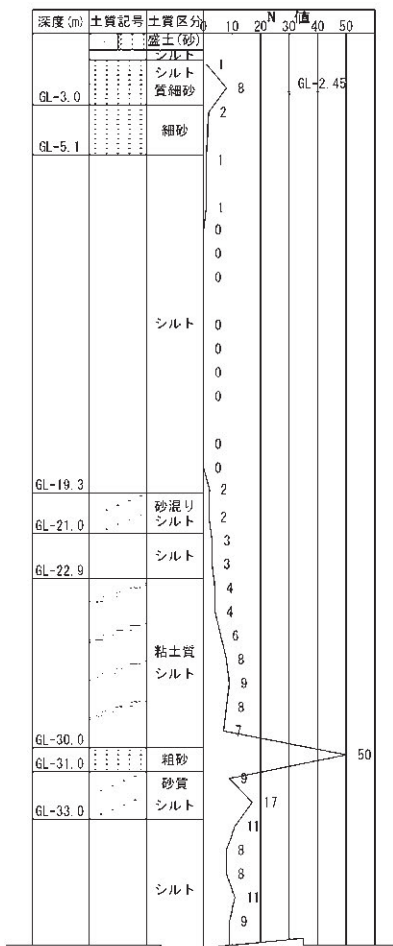


図-4 地質柱状図

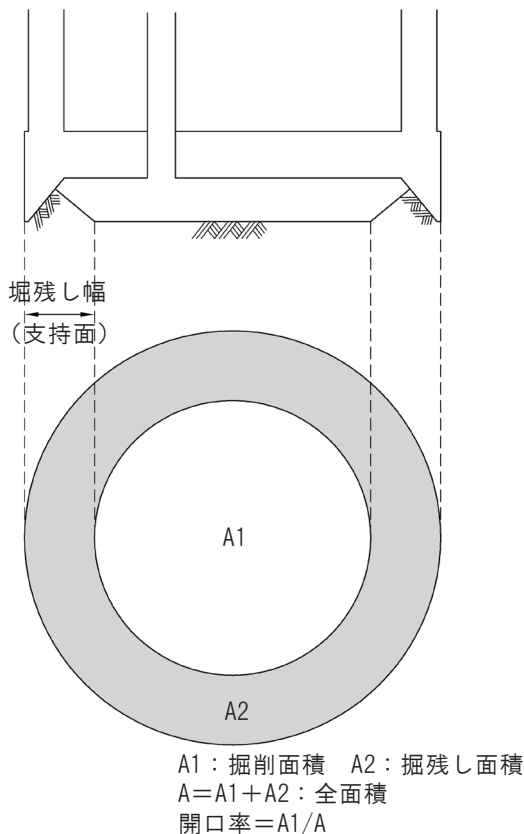


図-5 開口率の設定

STEP	施 工 状 態
①	1ロットコンクリート打設完了時
②	1ロット沈設完了時, 2ロットコンクリート打設前
③	2ロットコンクリート打設時
④	2ロット沈設完了時, 3ロットコンクリート打設前
⑤	3ロットコンクリート打設時
⑥	3ロット沈設完了時, 4ロットコンクリート打設前
~	繰返し
⑫	6ロット沈設完了時, 7ロットコンクリート打設前
⑬	7ロットコンクリート打設時

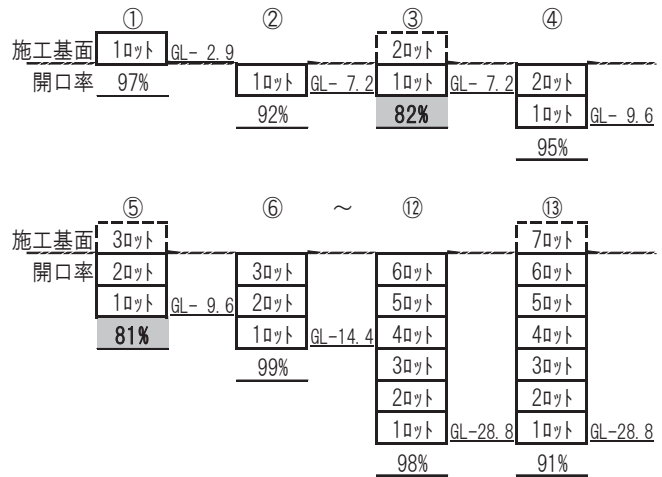


図-6 施工ステップ毎の開口率

6.2 沈下掘削作業

(1) 沈下掘削

1 ロット(作業室)の沈下掘削は、土砂セメントおよび細砂部の掘削のため、事前検討結果通り問題なく沈設した。

2 ロットのコンクリート打設に際し、函内掘残し範囲を30%程度(開口率70%)とし、 $\square 200 \times 200$ の角材を組上げたサンドル(支持面積:約 $4.0m^2$)を4箇所設置した。コンクリート打設完了時点で200mm程度の沈下が生じた。2ロットの掘削においては、 N 値=0のシルト質層であるため、サンドルを残置することにより過沈下を未然に防止した(写真-3)。

3 ロットのコンクリート打設時も2ロット同様、掘残し範囲の設定、サンドル設置により対応した。しかし、2ロットに比べコンクリート重量が2倍($320m^3 \rightarrow 640m^3$)となるため、打設数量が多くなるに従い沈下量が増大した。そこで、沈下抵抗力を大きくするため、函内圧を0.015MPa上昇(揚圧力増大)させて対応した結果、打設による最終沈下量は約500mmで収束した。

4 ロットのコンクリート打設までサンドルを設置することで過沈下を防止した。以降の沈下掘削・コンクリート打設時においては、沈下抵抗力が沈下力を上回る状態となり、沈下促進工として水荷重および滑材(ベントナイト)の注入を随時実施し、沈設作業を行った。



写真-3 サンドル設置状況



写真-4 遠隔操作状況



写真-5 函内掘削状況

(2) 無人化施工

4ロットの沈設残り 1.0m 付近(函内圧 0.153MPa)から、無人での沈下掘削を行った。潜函病に対する安全性の向上を図るため、一般的な 0.18MPa よりも浅部にて切替えている。掘削作業は、天井走行式掘削機を地上の遠隔操作室においてパソコンモニターを見ながら遠隔操作する方法を採用している(写真-4、5)。

無人掘削開始当初は、掘削能力が有人掘削よりも低下したが、オペレータの習熟度が増すにつれ、掘削量も変わらなくなった。

有人掘削の場合、バケット 2 台(土砂積込み+土砂搬出)の使用により掘削作業の効率化を図ることができるが、ニューマチックケーソン工法特有の高圧気下という環境条件では、深度が進むにつれ函内での作業時間が制限され施工能力は低下する。無人掘削の場合、バケット 1 台(土砂積込み、土砂搬出兼用)での掘削となるが、函内作業時間に制限が無いいため、施工能力は安定する。

6.3 沈設精度管理

ケーソンの沈下管理は、沈下量に対してはレーザー距離計、傾斜に対しては傾斜計を用いて行った。また、レベル測量を毎日実施することで沈下・傾斜を目視で確認した。傾斜計の数値(傾斜量)は、リアルタイムに函内の傾斜表示パネルおよび操作室モニターに表示され、潜函工(オペレータ)が確認できるようにした(写真-6、7)。



写真-6 函内傾斜表示パネル

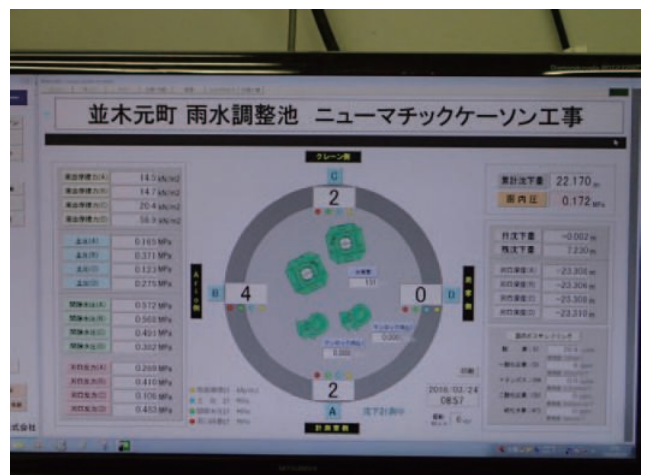


写真-7 操作室モニター

沈設途中、6 ロット残り 500mm 付近 (GL-28.3) で西側に残置 RC 杭 (φ400mm) が出現した。西側の傾斜が徐々に大きく (高く) なってきていたため、刃口まで掘削し露出させたことで確認できた (写真-8)。

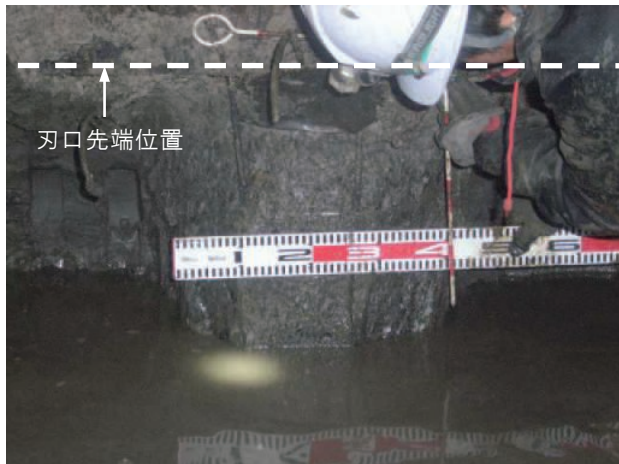


写真-8 出現した RC 杭

7 ロットの沈下掘削は杭周りを露出させ、掘削機で杭を揺動させながら沈下させた。最終沈設時の状態は、西側 (+24mm)、南側 (+21mm)、北側 (+3mm)、東側 (0mm) であった。鉛直精度は 1/1200 であり、非常に精度よく管理できた。また、偏心は北東方向に 100mm であり、僅かなずれで沈設完了した (許容値 300mm 以内、社内基準 240mm 以内)。



写真-9 施工全景 (沈設完了)

7. まとめ

市街地でのニューマチックケーソン工法による雨水調整池の施工にあたり、得られた知見を以下に示す。

①周辺環境への配慮として、事前に実施した音響解析をもとに計画した騒音対策は、実施工において効果が確認された。音響解析時に、当該箇所の暗騒音を考慮していれば、より効果的・経済的な対策が実施できたものと思われる。

- ②マスコンクリートとなる躯体側壁のひび割れ対策として温度応力解析を実施した。検討により配置したひび割れ制御鉄筋 (補強鉄筋) は、有効に作用したと思われる。ひび割れはほとんど見られなかった。沈設を終えた現時点 (平成 28 年 7 月) においても、漏水等の不具合はほとんど生じていない。沈下促進工として注入した滑材 (ベントナイト) が微細なひび割れに目詰まりし、間接的に止水効果として現れたことも考えられる。
- ③大型工事が多くなったことによる日打設量の増加、生コン協同組合の共同販売体制等により、複数生コン工場からの納入事例は一般的になっているが、生コン混用による影響の有無を実施工において検証した事例を紹介した。調査・検討の結果、生コンの混用による影響はほとんどないことが確認された。
- ④軟弱地盤でのケーソン沈設にあたり、事前検討により施工状態における開口率を算出した。検討結果を踏まえ、計画的に過沈下対策 (サンドル設置、函内圧の調整等) を立案し、実施工に反映させることで、沈設精度向上に繋がったと思われる。

最後に、この報告により市街地特有の条件のもと、施工した事例を紹介した。異常気象が囁かれる今日、今後もこのような雨水調整池の計画が予想される。その際、この報文が参考となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 土木学会 : 2012 年制定 コンクリート標準示方書 設計編, 2013. 3
- 2) 総合土木研究所 : わかりやすいケーソン基礎の計画と設計, 1998. 11
- 3) セメント・コンクリート No. 573 : 製造工場の異なる生コンの混用, 1997. 11