

明石市水道部

中部配水場PCタンクのリニューアル

(2004年4月掲載)

1. はじめに

明石市水道は、昭和6年の創設で、73年の歴史を刻んでいます。現在の事業規模は、給水区域は市域全域と隣接町の一部、給水人口29万2千人、普及率99.9%、年間給水量3,900万 m^3 、一日最大給水量12万1千 m^3 となっています。

施設的には、市域面積が49平方 km と狭いながらも平坦で海岸沿いに細長くひらけた地勢から、人口密度は比較的高く、配管整備などは効率的な面(総延長840 km)もありますが、一方では浄水場4箇所、配水場3箇所という非効率な形態を余儀なくされています。水源は地下水(53%)、河川水(26%)及び県水(21%)の3種類とし、地下水取水用源井63井、河川水取水場1箇所、貯水池(河道外貯留施設)2池、県水受水2地点などの施設をもって構成しています。

この内配水施設は、浄水場場内及び配水場に大小合わせて25池にわたるRC及びPCタンク(配水塔高架タンク含む)を保有していますが、このたび、PCタンク1基の天井ドーム部分が劣化したために架け替えを行うこととしました。

2. 中部配水場 PCタンク ドームコンクリートの劣化

当配水場は、2基のPCタンク(容量各12,000 m^3)と1基の配水塔(RC+PC造、高さ32.3 m 、容量1,520 m^3)を有する本市最大規模の配水場で、標高84メートルの高台から市中央部に位置するJR西明石駅周辺地域を含む広範囲な市街地に配水しています。

このたび改修したPCタンクは、昭和54年に築造したのですが、ドームコンクリートのかなりの部分において鉄筋の腐食が極度に進行し、タン

ク内に錆びた鉄筋やコンクリートの欠片が落下するなど、貯留水の水質への影響が懸念される事態となりました。これは、タンク内清掃時(3年に1回程度)に数年前から確認してきたものですが、原因としては、貯留水から発生した塩素ガスがドーム内面に結露した水滴に溶け込んで水道水中よりも高い塩化物イオン濃度となってコンクリート内部に侵入し、鉄筋表面に形成されていた不動態被膜を破壊して鉄筋の腐食を進行させたために、コンクリートのひび割れを助長し、次第に被りの剥離・剥落を誘引したものとみられました。

その後の調査から、塩素ガスによる劣化の進行過程はすでに加速期に入っており、このまま放置しておくで鉄筋及びコンクリートの断面欠損による耐荷力の低下、さらにはドーム全体の破壊という最悪の事態になりかねないと判断せざるを得なくなりました。

(本施設の仕様)

(1)形状

- ・有効容量 12,000 m^3
- ・内 径 45.0 m
- ・有効水深 7.55 m

(2)構造形式

- ・屋 根 球形ドーム(球面シェル)
鉄筋コンクリート構造(厚:150~200 mm)
- ・側 壁 円筒形プレストレストコンクリート構造(厚:300 mm)
- ・底 版 鉄筋コンクリート構造
- ・側壁下端 固定支持
- ・基 礎 直接基礎

(3)建設年次

- ・竣工年月 昭和54年12月

3. ドーム改修工法の検討

(1) 条件

本配水場は、配水タンクの点検、清掃及び修理等、維持管理面から同一規模のタンクを2基保有しています。その上、近年の水需要の減少傾向により、容量的にも比較的余裕(約17~8時間分)をもっている(平成18年以降は施設全般の効率化をはかるため、配水区域の拡大を計画している)ため、工事期間中の1基運転は可能と考えていましたが、リスク管理の観点から少なくとも需要期での1基運転は避けたいとしました。

本市の場合、沿岸部において海苔の養殖が盛んであり、その生産に際して洗浄用に多量の水道水を使用するため、近年は夏場よりむしろ冬場の方が継続的に多くの需要が生じるようになってきました。そういうことから、工事に際しての絶対的条件として、当タンクからの給水停止期間(他のタンク1基運転で給水できる期間)を、これら需要期を避けた9月初旬から年末前までのごく限られた期間に限定することとしました。

(2) 工法の検討

ドーム屋根タイプのPCタンクは、水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針によると、ドーム断面にはプレストレスによって圧縮応力が影響していることから、応力度の検討は軸圧縮応力度の検討のみでよいということになっていますが、実際には側壁とドームの接合部は、ドーム端部には、曲げ引張り応力度の発生が考えられるため、この部分を厚くし、複数を配置しています。

改修に係る工法は、本施設を施工した企業を始めとして、複数の企業のご協力をいただきながら、次の3工法をもって検討しました。

① 断面修復及び内面防蝕表面被覆工法

本工法は、現況でみる限り、まだドーム端部(外側)にはひび割れの発生があまり生じていなかったことから、実際に発生している引張り応力度は小さく、構造的な問題にまでは進行していないと考えられる他、応力度の検討においても、断面欠損(約2cm断面が薄くなった場合)をきたしている場合において

もドームの応力度(圧縮)は許容曲げ圧縮応力度以下であるとみて、露筋の補修など内面防蝕と断面欠損部の修復だけでも当面の安全性は確保できると考えたものです。

② コンクリート増し打ち工法

本工法は、劣化コンクリート部の断面を無視し、既設ドームを型枠として利用し、その上に厚さ100mm程度のコンクリートを増し打ちすることにより、ドームの耐荷性を向上させるとしたもので、ドーム下面(内面)の劣化部については腐食している下筋の取替えはせず、簡易的な断面修復(露筋の補修含む)で済ませることとするものです。

しかしながら、ドーム屋根の根部については通常の状態では応力の余裕の範囲内で許容値を超えることはないと考えられますが、増し打ちコンクリートが所要強度を有するまでの間はその重量が新たな載荷重となるため、再計算して各部位の安全性の確認が必要であるとともに、側壁部については側壁下端の応力は許容値の範囲内で収まるものと考えられますが、ドームの自重増加に伴うドーム水平スラスト(側壁を水平方向に押す力)の増加に対しては、ドームリング部の応力を補うために、PC鋼材をドーム外縁部に配置(プレストレスを導入)する必要があると考えられました。

③ 架け替え工法

抜本的な改修方法としては、既存のRC製ドームを撤去し、架け替えるということになります。

この場合、既設どおりのRCドームとする方法と、アルミ合金製ドームとする方法が考えられるところですが、RCの場合は、タンク内全面に支保工が必要となる他、型枠、鉄筋、コンクリートの打設、養生、型枠支保等の解体、仕上げなど、少なくとも8ヵ月以上の工期を必要とするため工期的な面から不可としました。

(3) 工法の決定

各々の工法について、次のように考察し、アルミ合金製ドームへの架け替え工法に決定しました。

① 断面修復及び内面防蝕表面被覆工法の場合

簡易的な工法で、工期的にも工費的にも最も有利なものとなりますが、現時点でも耐荷力の確実な確認が困難であり、劣化の状態から本工法によって設計時の目標性能までの回復は難しいと考えられたため、今後とも絶えず構造的リスクを背負っていかざるを得ないこととなります。また、今後数年で再度劣化が現れる可能性が高く、ライフサイクルコスト(建設費+維持管理費)からみると必ずしも有利とは言えないと判断しました。

② コンクリート増し打ち工法の場合

内部支保工が不要であり、タンク内を空にしなければならない期間が最も少なく済みますが、工事期間中、既存ドーム自体に新たな載荷重に耐え得る応力度が保持できているのかどうか、現況調査において把握しきれない面があるとともに、①の場合と同じく、数年後にはまたメンテナンスの必要が生じる可能性が高いことなどの問題点が考えられました。

③ 架け替え工法(アルミ合金製ドーム)の場合

前2案に比較して、既存のドームコンクリートの取り壊し及び処分に伴う経済性、工事に際しての安全性及び工期面などに大きな負荷が伴うところとなりますが、内部支保が不要で、製品の組み立て上架など、比較的簡単確実な施工を見込むことができるため、条件工期を満足できる点と、既に劣化状態にある既存のコンクリートを全て撤去するという抜本的な解決のできる面が評価できました。また、実績面での評価に不安は残りましたが、少なくとも数十年はフリーメンテナンスが期待できるとするメーカーサイドの説明を信頼し、ライフサイクルコストの比較においても最も有利な工法と判断しました。

4. ドーム改修工事に係る仕様

(1)特記仕様

① ドーム屋根はアルミニウム合金製とする。

このドームは、構造等について、日本における公的認証(材質及び性能評価等)を得たもの

であり、材質はJIS H 4000相当品とする。

② ドーム屋根は水道施設に使用するものであることから、本体主材料の水道水に与える影響(水質における安全性)について公的認証(溶出試験等)を得たものとする。

(2)材料仕様

① アルミパネル (厚1.27mm)

- ・合金系統 Al-Mn系
- ・JIS記号 3003-H16

② 屋根骨

- ・合金系統 Al-Mg-Si系
- ・JIS記号 6061-T6

③ ボルト (φ12.7mm)

- ・合金系統 Al-Zn-Mg系
- ・JIS記号 7075-T76

(3)工事概要

① 工期

- ・平成15年6月12日～平成16年1月31日

② 撤去工事

- ・既設ドームコンクリート 270^m
- ・ドーム部以外 50^m

③ アルミ合金製ドーム設置工事

- ・形状寸法 直径 43.4 m
(パネル枚数:315枚)
- 高さ 9.470 m
- 重量 25.3 ton
- ・組立方式 ボルト接合タイプ
- ・架設方式 タンクの内部において組み立て(パネルの貼り付け含)後、手動ウインチによって吊り上げて架設する

④ 付帯工事

- ・防水工事 側壁及び底板部防水工
(エポキシ樹脂ガラスクロスライニング工法)
- ・場内整備 工事による影響部の復旧工事

5. 工事施工概要

工事の発注は、アルミドーム資材の工場製作には約3ヵ月を要すること及び9月1日をもってタンクを空(現地工事着手可)にすることの2点を前提として逆算し、6月としました。

工事は、当初予定していたとおりに進捗し、12

月末日には水張りを完了し、年明けから場内整備などの付帯工事を行い、工事期限内(平成16年1月31日)の竣工をみることができました。

(1)既設ドームコンクリートの解体撤去

本工事において最も懸案としていた既設ドームコンクリートの解体については、従来一般的に採用されていたウォールソー工法に変わり、ホッパー付特殊破砕機(特殊ニブラ)による解体工法をもって行うこととしました。

これは、解体時のドームの構造安定性、既存施設への影響などを考慮しながら効率よく解体撤去しようと請負企業が他社と共同開発したもので、大型クレーンにより吊り上げた特殊ニブラにより、コンクリートを10~30cmに圧砕(鉄筋の切断共)し、その粉砕ガラを本機に取り付けてあるホッパーにそのまま貯留し、タンク内部に落とすことなく搬出用ダンプトラックに直接積み込みできるとしたものです。

工事中の構造的安全性の確認については、あらかじめドームの中央部、中間部及び端部をモデル化して解体時における縁応力を解析(FEM)し、施工時の荷重(100kgf/m²)を考慮したうえで、縁応力が引張強度以下になるようにしました。そして、切断時の片持ち梁状態となる張り出し長さの影響を確認し、放射方向の切断長さを1.5m程度とする必要があるとしました。

施工に際しては、外気温の測定(3箇所)とともに、コンクリートのひずみ状態をゲージ(屋根7箇所、側壁2箇所)で常時計測し、解析検討に基づく許容応力(引張・圧縮)を管理値として応力度管理を行いました。

撤去に要した期間は9月12日から10月21日の39日間(実働33日間)で、タンク内へのガラの落下量は取り壊し総量の8%程度でした。

初めて使用した特殊工法に対する評価としては、工事期間については、ほぼ思惑通りに進めることができたものとみています。また、粉塵の測定結果も問題のない状況にありました。ただし、タンク内へのガラの落下量については、当初からある程度の落下を想定して底版を養生(コンクリートパネル敷き並べ)していたため、実害がなかったことから判断評価しがたい面が

ありますが、本工法をもって、配水タンクの稼働状態をもって工事を行うというところまでをめざすとなると、さらに工夫の余地があるものとみられます。

(2)ドームの組み立て及び架設

ドームの架設については、タンク外で本体を組み立てた後、巨大クレーンをもって吊り込み架設するという方法もありますが、用地スペースの問題や高台での風の影響などを考慮して、既設ドーム撤去後にタンク内において組み立て、完了後に周囲20箇所を設置した手動ウィンチをもって吊り上げ上架することとしました。

ただし、内部階段があることと、ドーム中央部における仮設足場を少なくするために施工ステップを6段階に分割して行いました。

各工程に要した期間は、組み立て及びパネル貼り付けに23日間(実働)、吊り上げ上架に約2時間、そして上架後端部パネルの貼り付けなど最終仕上げまでは15日間でした。

(3)その他工事

タンク内部(底版及び側壁)の防水層改修工事は、底版部以外についてはドームの組み立てに並行して行いました。

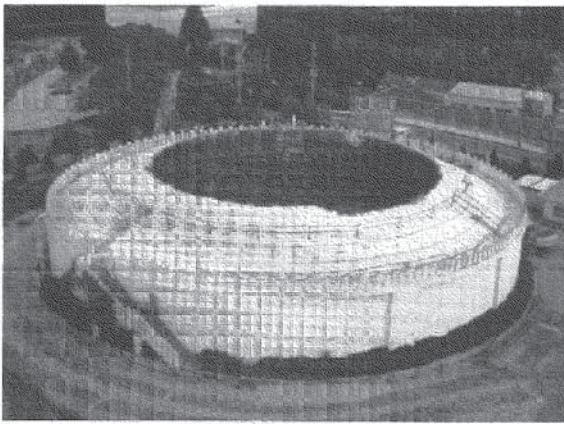
6. おわりに

このたび行ったPCタンクのリニューアルについては、水道事業にとって水道施設の老朽化対策のほんの一事例に過ぎませんが、既存の水道施設をさわる(改修・改善・更新など)にあたって共通して言える一番重要なことは、「いついかなる場合においても、安全・安心な水道水の安定供給を確実に確保する。」ということに尽きると考えます。老朽施設の更新は、老朽化の診断に始まり、施設の効率性を踏まえた機能レベルの再検討、更新時期の判断、工事期間中の供給体制を確保するための総合的な調整など、今まで行ってきた施設の新設以上の高度な技術的検討を要するものであり、そのためには企業を始めとする専門機関の技術援助も不可欠となります。

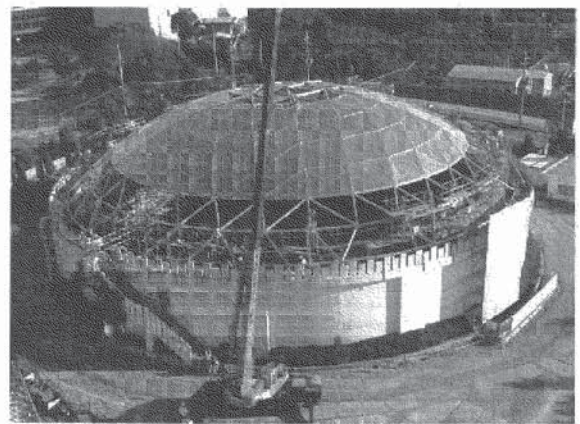
本市は、今までは、配水池の構造素材を一貫してコンクリートに求めてきましたが、現在建設を進めている東部配水塔(高さ34.3m、容量1,000・

1,600㎡)は、ステンレス(S S材との複合材)として
います。これは、施設が住宅地に隣接しているた
め、時代が求めている環境的配慮が最も期待でき
る工法と判断したものです。そして、今回のP C
タンク天井ドームのリニューアルについてはアル
ミ合金を採択しました。いずれにしてもまだ、全
国的に実施事例が少なく、その実績評価を検討の

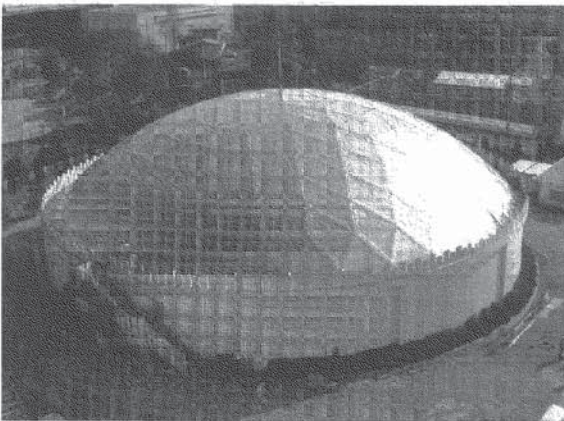
中に組み入れることができなかったために、採択
の決断にはやはり、勇気がいるところとなりました。
これからは、その実績を見極めながら事後評
価していく必要があると考えています。



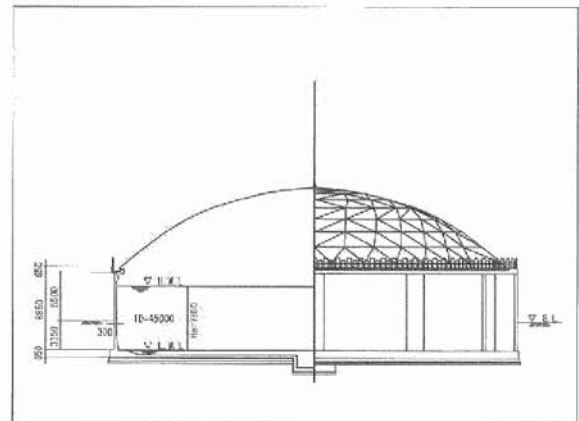
▲特殊ニブラによる解体



▲ドーム据付



▲竣工



▲一般構造図 (リニューアル後)