

スリランカにおけるPCタンクの設計施工を通して得られた知見

(株)安部日鋼工業 正会員 工修 ○伊藤 朋紀
(株)安部日鋼工業 正会員 堅田 茂昌

キーワード：PCタンク，スリランカ，海外工事，普及・実証事業

1. はじめに

筆者らはスリランカ民主社会主義共和国(以下、スリランカ)の水道事情および水道用PCタンクの需要を調査し、その結果、水道施設の計画・工事において、財源、用地、労働者の安全意識などに課題があることが判明した。この解決策として建設にかかる時間とコストの節約や用地の有効利用が可能で、かつ高品質であるPCタンクの導入が有効であり、同国の上水道の普及に貢献できると考えた。そこで、PCタンクの実用性を実証するために、スリランカで実際にPCタンクを建設した。本稿では、スリランカでのPCタンク建設に至る経緯と、スリランカにおけるPCタンクの設計および施工を通して得られた知見について、日本国内での設計手法や施工方法の差を踏まえて報告するとともに、今後の展望について述べる。

2. 普及・実証事業の概要

水道用PCタンクは日本国内では数多くの実績を有し、水道水の安定供給を支えている。日本での実績を踏まえ、海外の上水道が普及していない地域においても、PCタンクはその有用性を十分に発揮し、上水道の普及に貢献し得ると考え、PCタンクの海外普及を目指している。その取り掛かりとして、筆者らはこれまでに、スリランカを対象として、平成25年度外務省政府開発援助海外経済協力事業(本邦技術活用等途上国支援推進事業)委託費「案件化調査」(以下、案件化調査)により、スリランカの水道事情および水道用PCタンクの需要の調査を行った¹⁾。この調査結果を踏まえ、独立行政法人国際協力機構(以下、JICA)による平成25年度補正予算中小企業海外展開支援事業～普及・実証事業～(以下、普及・実証事業)に企画を提出し採択され、スリランカにて水道用PCタンクを建設する機会を得た。

普及・実証事業は、開発途上国の社会経済の課題解決につながる製品・技術を持った中小企業の海外展開に向けた普及活動および実証活動を対象とした、JICAの支援事業である。今回の事業は、案件化調査の結果を踏まえて選択したスリランカのバールワラにおいてPCタンクを建設し、PCタンクが同国の開発課題の解決に資することを実証し、同時に将来においてPCタンクの海外普及のための事業展開の戦略・計画を策定するものである。

事業の契約期間は2014年12月から2017年3月までで、本工事の主な目標は以下に記すとおりである。

- 1) スリランカにPCタンクを建設することで、PCタンクの優位性を実証し、PCタンクとそれに関わる技術が同国の開発課題の解決に貢献できることを示す。
- 2) 今後、同国でPCタンクを普及・展開するために必要な施工に関わる技術移転を行う。
- 3) PCタンクの建設により配水地域の給水能力を向上させ、住民の社会生活環境の改善に貢献する。
- 4) 今後の海外展開のために、海外業務の経験を積み、海外で通用する人材の育成とPCタンク普及に関わる経験と技術の継承を行う。

3. 工事概要

建設するPCタンクの構造概要は以下のとおりである。現場位置図を図-1に、PCタンクの一般図を図-2に示す。

工事場所：スリランカ民主社会主義共和国ベールワラ， 工事期間：2015年8月～2016年6月

構造形式：水道用PC円筒形タンク， 基礎形式：直接基礎

工事規模：有効容量 $V_e=2,000\text{m}^3$ ， 内径 $D=16.000\text{m}$ ， 有効水深 $H_e=10.000\text{m}$

鋼材：側壁鉄筋シングル配筋， 鉛直方向PC鋼棒 $\phi 26\text{mm}$ B種2号90本， 円周方向PC鋼より線 15.2mm 64段

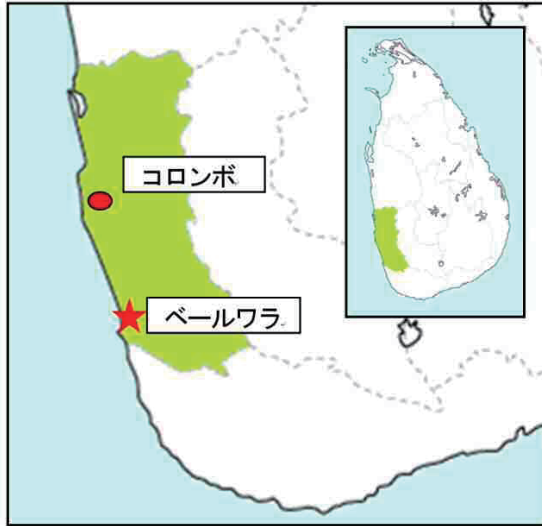


図-1 現場位置図(★印が工事箇所)

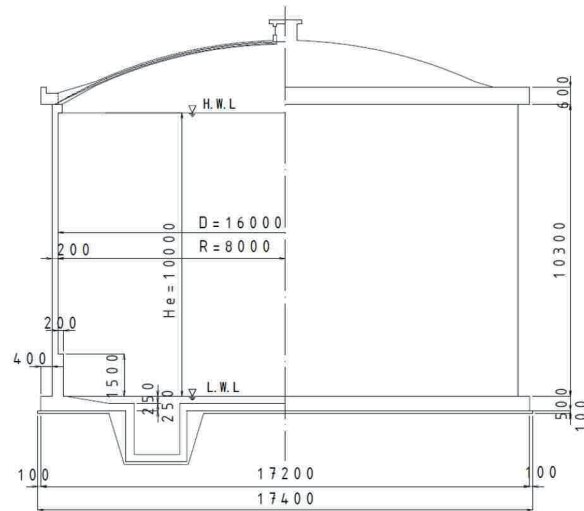


図-2 ベールワラPCタンクの一般図

4. 事業を通して得られた知見

4.1 設計について

スリランカでは、過去にイギリスの統治下であった影響から、構造物の設計が英国基準：British Standard (以下、BS) に基づいて行われている。ベールワラPCタンクは、物性値や荷重値をBSに従い設定し、日本の設計手法に準じて設計を行った。BSに基づいて貯水用コンクリート構造物を設計する場合に、日本国内の基準における考え方と比較してとくに異なる点は、「ひび割れに対する考え方」および「構造物の耐力に対する考え方」である。

(1) ひび割れに対する考え方

コンクリートにひび割れが発生する主な要因として、施工時の温度ひび割れや水圧などの外力が挙げられる。日本の指針類では水槽の水密性を高めるためには、できるだけひび割れの発生をおさえる旨の記述や、水密性に対するひび割れ幅の限界値の目安が示されており、貯水用PCタンクの設計においては、一般に使用時の外力に対してひび割れが発生しないように断面諸元を決定する。一方、BSにおいては鉄筋コンクリート(RC)構造の場合、幅 0.2mm までのひび割れは許容している。また、完成後の水張り試験時にひび割れから漏水した場合も、自己治癒(炭酸カルシウムの生成や未反応のセメントの水和など)により漏水が止まれば良いと考えられている。例えば、 0.2mm のひび割れに対しては21日間水を貯めている間に漏水が止まれば、水張り試験に合格と判断される。貯水用コンクリート構造物において、自己治癒によってひび割れを閉塞させるという考え方は、ほかの海外の文献にも見られる。例えば、図-3のような、水深 h と壁厚 d の比と自己治癒が期待できるひび割れ幅 W_{crit} についての研究もされている²⁾。

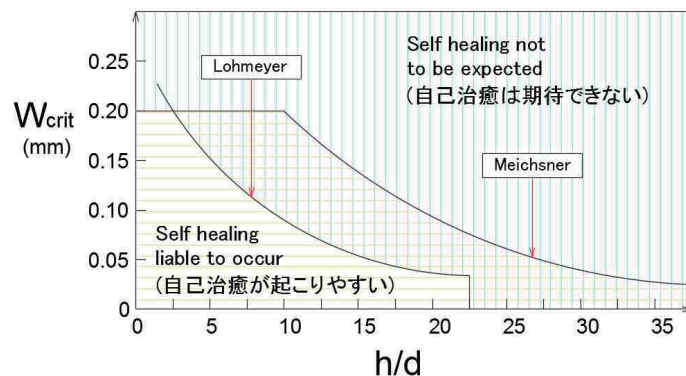


図-3 水深/壁厚と自己治癒が期待できるひび割れ幅の関係

(2) 構造物の耐力に対する考え方

日本のPCタンクの設計手法は、使用時の外力に対して許容応力度法にて設計を行う。すなわち、外力によってコンクリートに発生する応力が許容値以下となるように断面やプレストレスを決める。一方、BSに基づく設計は、終局限界状態に対して行う。設計荷重は、外力に部分安全係数 $\gamma_f (=1.4)$ をかけ合わせたものが与えられる。この場合、鋼材量は終局限界状態に対して決定される。

4.2 施工について

スリランカにてPCタンクを施工する際に、日本国内の施工と比較してとくに異なる点は、「コンクリートの締固め方法」および「コンクリートの打継目処理方法」である。

(1) コンクリートの締固め方法

本PCタンクの側壁は1リフト高さ1.8mごとに築造し、1リフトのコンクリートは2～4層に分けて打ち重ねた。日本国内ではコンクリートを打ち重ねる場合には、バイブレータを下層コンクリートまで挿入し、振動を与えて上層と下層を一体化させる。また、コンクリートをいったん締め固めた後、再振動を実施する。再振動を適切な時期に行うと、コンクリートは再び流動性を帯びてコンクリート中にできた空隙や余剰水が少なくなり、コンクリート強度および鉄筋との付着強度の増加、沈みひび割れの防止などに効果がある。

一方、当現場のスリランカ技術者の間では、下層にバイブレータを挿入しないのが常識となっており、再振動の概念も持っていなかった。そのため、すでに打設している底版の側面に気泡が目立つことを取り上げ、日本の手法を実施することの同意を得て、締固めおよび再振動を実施した。側壁コンクリート打設時には実際にスリランカ技術者とともにコンクリートから不要なエアが抜けていくことを確認した。

(2) コンクリートの打継目処理

貯水池は高い水密性が求められ、とくに側壁コンクリート打継部のレイタンス処理には注意が必要である。側壁の打継処理はワイヤーブラシによる処理を提案したが、スリランカ技術者より、ワイヤーブラシのみでは不十分でチップング処理を提案された。本PCタンクでは、鉛直方向PC鋼棒のシースが565mm間隔で配置されており、チップングによりシースを傷つけると、次リフトのコンクリート打設時にセメントペーストが侵入する恐れがあるため、チップング作業は極力避けたかった。日本国内の実績により打継目はワイヤーブラシの処理だけで漏水に対して問題ないことを説明したが、理解を得られず、協議の結果、1リフト目、2リフト目は打継目にチップング処理を行うこととなった。チップング処理後の状況を写真-1に示す。

過度なチップングによる打継目処理は、健全なコンクリートに損傷を与え、骨材を緩める可能性があったため、チップング処理部の緩んだコンクリートや骨材などを入念に取り除き、コンクリートを打ち継いだ。3リフト目では、日本国内の健全な打継目処理例などの資料で再度説明して、ワイヤーブラシのみの処理を実施することとした。

その後、5リフト目ではスリランカ国内で入手可能な遅延剤を用いて、コンクリート打継部のレイタンス処理を行った。コンクリート打設後に遅延剤を散布し、翌日、高圧洗浄水でレイタンスを取り除いた結果を写真-2に示す。この手法により、さらにコンクリートの打継目処理の確実性が増加した。



写真-1 チッピングによる打継目処理



写真-2 遅延剤と高圧洗浄水による打継目処理

5. 結果と今後の展望

本稿では、貯水用コンクリート構造物の設計において、BSによる考え方と日本国内における考え方の違いの一例を紹介した。今後海外において貯水用コンクリート構造物を設計する際の参考となれば幸いである。また、日本国内においてもBSの考え方を取り入れた設計方針を採用するという方法もあると思われる。

今回、施工後の水張り試験にて、打継目の下側より水が滲んだところがあり、その原因は、高さ調整のために盛ったコンクリートの締固め不足により、脆弱部が形成されたものと考えられる。スリランカのコンクリート製配水池は、コンクリート打継目をハツリとり、接着剤の役目となるモルタルを敷きならした後に、コンクリートを打ち重ねている。現地のチップングによるハツリ作業が、水の滲んだ脆弱部を除去する処置に繋がっていると考えられ、鉄筋コンクリート構造物では有効な処置と思われる。PCタンクでは、チップング作業はPC鋼材などを損傷させる恐れがあるので、締固めの管理および再振動による代替が有効と考える。

スリランカにてPCタンクの設計・施工を進めるにあたり、スリランカの技術者は、基準や決まり事を順守する姿勢があるが、その背景や成り立ちへの理解が不足していることにより、踏み込んだ議論に至らないことがあった。そのような場合でも、根気よく協議を進めることが肝要である。

【参考文献】

- 1) 株式会社安部日鋼工業・株式会社かいはつマネジメント・コンサルティング共同企業体：平成25年度外務省政府開発援助海外経済協力事業（本邦技術活用等途上国支援推進事業）委託費「案件化調査」スリランカ民主社会主義共和国 途上国における経済的な水道施設に資するPCタンク普及のための案件化調査，2014
- 2) Nynke ter Heide：Crack healing in hydrating concrete, デルフト工科大学修士論文，2005年