

PC タンクの海外工事報告

— スリランカにおける PC タンク普及・実証事業 —

瀬川 睦夫*1・宮島 朗*2・伊藤 朋紀*3・堅田 茂昌*4

筆者らはこれまでにスリランカにて案件化調査を行い、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た。その結果、水道施設の計画・工事において、建設費財源の不足、建設用地の確保が困難、建設労働者の低い安全意識などの課題があることが判明し、この解決策として、配水池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、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。本稿では海外（スリランカ）における PC タンク建設工事について報告する。

キーワード：PC タンク、海外工事、普及・実証事業、技術移転

1. はじめに

筆者らはこれまでに、スリランカ民主社会主義共和国（以下、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⁾。同調査結果を踏まえ、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。

これらの案件化調査および普及・実証事業の概要については、本誌（第 57 巻 5 号）にて報告した²⁾。本稿は、普及・実証事業のうち、PC タンク本体の建設工事についての報告である。

2. スリランカの現状と本工事の目的

2.1 スリランカの現状

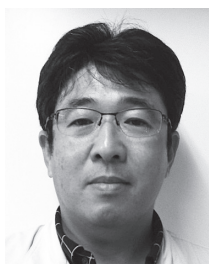
スリランカは後進国から中進国へと移行する時期を迎えており、都市部では交通渋滞と建築物の高層化が進んでいる。ライフラインは整いつつあるが、郊外では短時間の停

電がしばしば発生する。また、水道普及率は約 50 %であるが、水の供給が間に合わず、断水することが多い。交通網の整備は遅れており、電車よりバスでの移動が主な交通手段となっている。公用語はシンハラ語、タミール語および英語で、土木分野においては設計図書などに英語が多く使用されている。スリランカでは、これまでに日本の国際貢献を通じた多くのインフラ整備実績が評価されているため、日本の技術力に対しては厚い信頼が寄せられている。

2.2 本工事の目的

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・技術をも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 月までである。本工事の主な目標を以下に記す。

- 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。



*1 Mutsuo SEGAWA

(株) 安部日鋼工業
工事本部工事部



*2 Akira MIYAJIMA

(株) 安部日鋼工業
工事本部工事部



*3 Tomoki ITO

(株) 安部日鋼工業
技術工務本部容器技術部



*4 Sigemasa KATADA

(株) 安部日鋼工業
技術工務本部容器技術部

- 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、同地域の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バールワラ

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 $D = 16,000 \text{ mm}$ 、
有効水深 $H_e = 10,000 \text{ mm}$

鉛直方向 PC 鋼材：PC 鋼棒 $\phi 26 \text{ mm}$ B 種 2 号、90 本

円周方向 PC 鋼材：PC 鋼より線 $\phi 15.2 \text{ mm}$ 、64 段

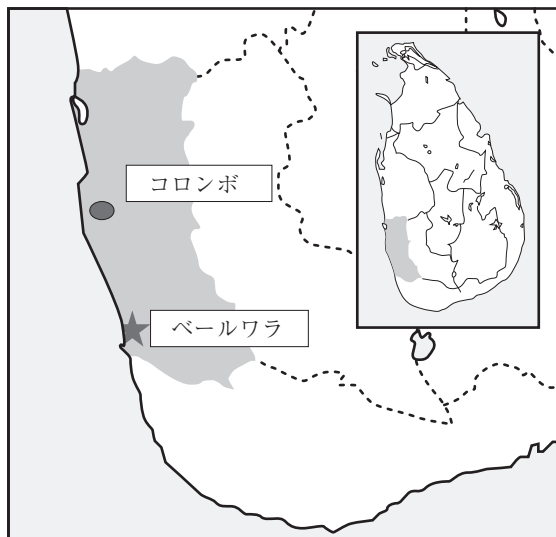


図 - 1 現場位置図 (★印が工事箇所)

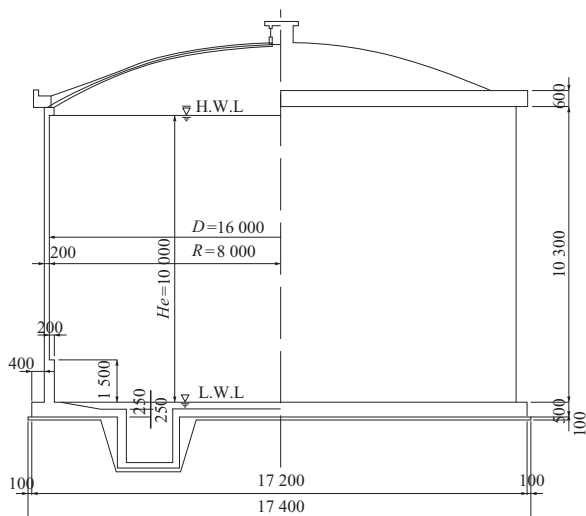


図 - 2 バールワラ PC タンクの一般図

4. 資機材の調達・輸送

4.1 資機材の調達

PC タンク建設用資機材の多くはスリランカ国内で調達できるが、以下の資材は、第三国または日本より調達する必要があった。

(1) 第三国調達資機材

PC 鋼材、定着金具および緊張とグラウトに関わる機材は、シンガポールに本社があり、スリランカに支店を置く、PC メーカーより調達した。

(2) 本邦調達資機材

鉛直方向の PC 鋼棒および円周方向のシースは前出の第三国 PC メーカーでは製造していないため、日本国内で調達した。また、本工事でドーム屋根築造工法として適用するエアードーム工法（空気膜型枠工法）に関わる資材（膜材、接着剤、支承材）は日本国内で調達し、空気圧コントロールシステムは日本国内で使用している装置を持ち込み、施工後に持ち帰った。

4.2 資機材の輸送

(1) 第 1 便

現場着手時に必要な資材と現地調達が難しい資材（シースや PC 鋼棒用のモルタルスパーサーなど）を、海上輸送の第 1 便（混載便）で輸送した。2015 年 7 月 7 日に名古屋港を出港、途中シンガポールに寄港し積み替えを行い、コロンボ港から陸送して、2015 年 8 月 12 日に現場へ搬入した。第 1 便の資材は、安全データシート（以下、SDS）や非該当証明書が必要な資材はなかった。輸送後、海運会社より資機材の原産地証明書の提出を求められたが、事後であったことにより、免除のレターをスリランカ税関に提出する対応を行った。また、船荷証券（以下、B/L）が現地に届いていないため荷物が引き取れない、という状況を回避するため、オリジナルの B/L なしで貨物を引き取ることのできるサレンダー B/L の形式をとった。

(2) 第 2 便

第 2 便の主な輸送資機材は、エアードーム工法用膜材、接着剤、鋼板、アンカーピンなどで、このほかに日本に返却する品物として、空気圧コントロールシステム、発電機などがあつた。第 2 便には危険品（接着剤やシンナーなど）に該当する品物があつたため、SDS を準備した。接着剤メーカーが SDS の英語版を所持していなかったため、英語版を作成し、海運会社へ提出した。また、発電機については、輸出貿易管理令対策として非該当証明書を取得した。

当初の予定では 2015 年 12 月 21 日に名古屋港を出港し、2016 年 1 月 13 日にコロンボ港へ到着する予定であつたが、海運会社より、トルエンを含む接着剤を輸出する際には輸出者が「麻薬等原料輸出業者業務届」を東海北陸厚生局に対して申請し、許可証をもっていなければならないとの通知があつたため、その対応のため出港予定を変更した。その結果、2016 年 2 月 13 日にコロンボ港へ到着することとなった。十分な余裕をもって輸送計画を立てていたため、この遅延は、現場の進捗には影響を及ぼさなかった。

5. 施 工

5.1 施工体制

表 - 1 に本工事の現地受注会社の施工体制および現場事務所に常駐する職員の役割分担を示す。なお、本事業では当社が発注者の位置づけであり、PC タンクの施工指導として当社の社員が1名常駐した。

表 - 1 職員の役割分担表

職名	役割
プロジェクトマネージャー	総指揮(対外関係の対応が主業務)
サイトマネージャー	監督(現場代理人に相当)
オフィスエンジニア	現場での書類作成業務のみ担当
サイトエンジニア	現場指導監督
アシスタントエンジニア(複数名)	上記の補佐的業務
ストアキーパー	資材調達と在庫管理
スーパーバイザー(数名)	各工種担当の専門技術者

本規模の工事であれば、日本国内では職員3名程度の体制であるが、スリランカでは風習の違いにより、表 - 1 のとおり細かく作業を分担する分業制をとっている。そのため多くの管理者が存在し、相互の連絡や意思の統一が取りにくくなるとともに、責任の所在および責任感が希薄となる印象を受けた。

5.2 底版工事

(1) 足 場

底版の施工に先立ち、外周に足場を構築した(写真 - 1)。スリランカで入手可能な足場材は、日本国内で一般に使用されている枠組足場と比べて、部材の厚さが薄くフレームの重量が軽い。外見は日本のものと変わらないが、容易に変形したり溶接部が破断したりする。そのため、リース品として再利用することは難しく、ほとんどが使い捨ての扱いとなる。



写真 - 1 外足場組立て状況

(2) 鉄筋の組立て

鉄筋の組立て状況を写真 - 2 に示す。組立筋として写真 - 3 に示すクリップを広げたような形状の鉄筋を使用していた。日本国内では一般にコの字型の組立筋を使用する。クリップ型を使用することにより鉄筋の使用量は多くなるが、組立筋の下側を4点で支持しているため、安定感

が増している。広げれば高さは低くなり、現場で調整できるため、底版などの薄い部材に適していると思われる。



写真 - 2 鉄筋の組立て状況

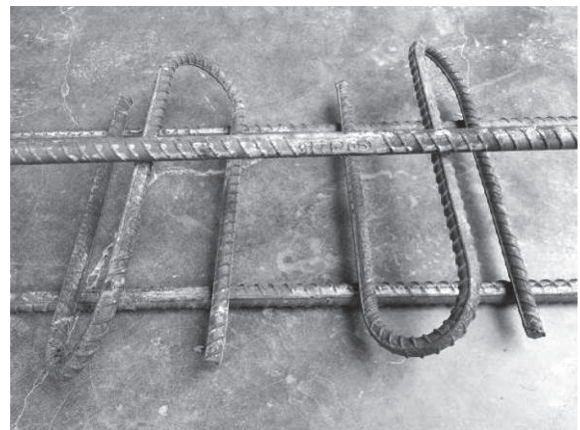


写真 - 3 組立筋

(3) コンクリートの打設

底版のコンクリート体積は78 m³で、使用するコンクリートは、設計基準強度35 N/mm²、スランプの規格値は12.5 ± 2.5 cmである。2015年11月28日に実施された底版のコンクリート打設作業では、運搬車1台目のスランプは12.0 cmと規格値内であったため打設を開始したが、2台目、3台目のスランプは20.0 cm以上で規格値外となり使用できなかった。また4台目のスランプは15.0 cmと規格値内であったが、続く5台目のスランプが20.0 cm以上で、同時刻にポンプ車の内部でコンクリートが詰まるトラブルも発生したため、打設を中止し、コンクリート撤去作業を行った。のちに調査した結果、ポンプ車の配管内に30%以上のコンクリートの詰まりと油圧ホースの破損が確認され、ポンプ車の整備不足が疑われた(写真 - 4)。これは、スリランカではコンクリート打設時にポンプ車を使用することは特殊な場合にかぎられており、ポンプ車のオペレーターへの教育や機械の日常整備なども実施されていないことが原因と考えられる。



写真 - 4 ポンプ車の配管内のコンクリート

2回目のコンクリート打設作業は1週間後の12月5日に実施された。プラントでは3回の試験練りを実施し、出荷したが、運搬車1台目と2台目のスランプは3.5～5.0 cmと非常に固く、3台目のスランプは20.0 cm以上となり、スランプが安定しなかったため打設作業を中止した(写真 - 5, 6)。



写真 - 5 スランプ試験結果 (3.5 cm : 不合格)



写真 - 6 スランプ試験結果 (20.0 cm 以上 : 不合格)

以上2回のコンクリート打設中止を踏まえ、コンクリートの配合の見直しを指示した。異なるメーカーの混和剤に

変更し、運搬車5台分(合計20 m³)のコンクリートを製造・運搬して確認試験を実施した。試験ではスランプおよび圧縮強度ともに規格値内の結果を得たため、12月16日に3回目の底版コンクリート打設を実施することとなった。3回目のコンクリートの打設作業では、スランプは安定し、無事、打設作業を終えることができた。底版コンクリート打設状況を写真 - 7 に示す。



写真 - 7 底版コンクリート打設状況

プラント関係者へのヒアリングの結果、変更前の混和剤はシンガポール製の混和剤をスリランカ国内で希釈して使用するもので、希釈方法に問題があったと推測された。変更前の混和剤を使用したコンクリートは、他現場でも不具合の情報があったことが確認され、1回目、2回目の不具合は混和剤の影響であったと判断された。

(4) コンクリートの養生

底版コンクリートの養生は、中央部は湛水養生、外周部はシート養生を行った。シートには、スリランカ国内でコンクリートの養生シートとして一般的に使用されている、ガニーバックと呼ばれる穀物などを入れる袋に使われる麻布を使用した。底版コンクリートの養生状況を写真 - 8 に示す。

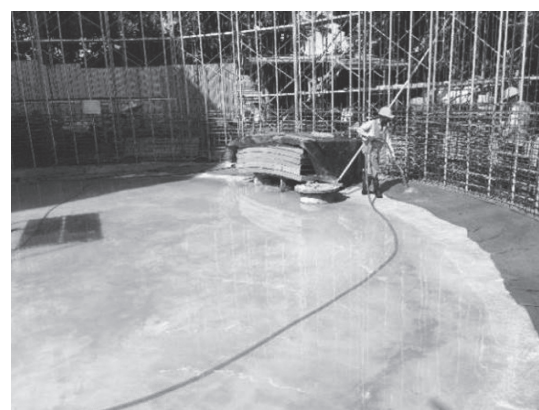


写真 - 8 底版コンクリート養生状況

側壁との打継目の処理は、当初、ワイヤーブラシでの施工であったが、実施のタイミングが遅れ、ワイヤーブラシでは施工できないくらい硬化したため、チップングにより処理を行った。

5.3 側壁工事

(1) 鉄筋および型枠の組立て

側壁は下端より 1.5 m の位置まで幅 400 mm、それ以上は幅 200 mm で、高さは 10.3 m である。1 リフトを 1.5 m とし、7 リフトに分けて施工した。

側壁の型枠は、壁厚が変化する最下段と最上段の内側のみ合板型枠を使用し、それ以外は、本 PC タンクの形状に合わせて現地受注会社が製作した鋼製型枠を使用した（写真 - 9、10）。



写真 - 9 型枠の設置（鋼製型枠）



写真 - 10 型枠の設置（合板型枠）

(2) コンクリートの打設

側壁コンクリートの打設状況を写真 - 11 に示す。

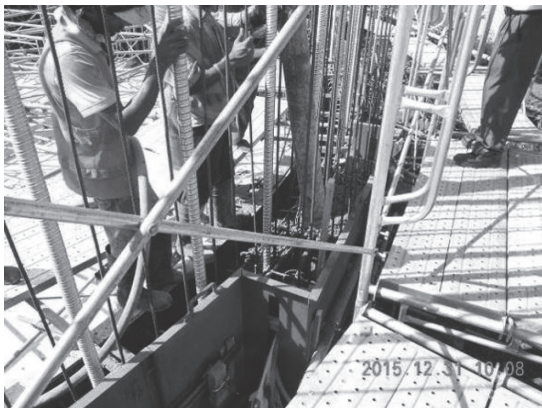


写真 - 11 側壁コンクリートの打設状況

側壁は 1 リフトのコンクリートを 2～4 層に分けて打ち重ねていくが、日本国内ではコンクリートを打ち重ねる場合には、パイプ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のち、適切な時期に再び振動を与える、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³⁾。一方、当現場のスリランカ技術者の間では、下層にパイプレータを挿入しないのが常識となっており、再振動の概念ももっていなかった。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、締め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。

(3) コンクリートの打継目処理

配水池は高い水密性が求められ、とくに側壁の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することを提案された。本 PC タンクでは、鉛直鋼棒のシースが 565 mm 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進入するおそれがあるため、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 - 12 に示す。



写真 - 12 過度のチップングによる打継目処理

写真 - 12 のような過度の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。そのため、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ぐ必要があった。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 - 13 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 - 13 遅延剤と高圧洗浄水による打継目処理

5.4 PC 工 事

緊張ジャッキとポンプ、グラウトミキサーとポンプはシンガポールに本社をもつ PC メーカーより調達した。緊張管理は鉛直方向 PC 鋼棒、水平方向 PC スtrandとともに BS 8110-1 基準に従い、「PC 鋼材の計算伸びに対する、測定伸びと計算伸びとの差の比率 (δl)」と「計算圧力に対する、測定圧力と計算緊張圧力との差の比率 ($\delta \sigma$)」の差 ($\delta = \delta l - \delta \sigma$) が許容誤差 $\pm 6\%$ 以内になるように管理した。水平方向 PC スtrandについては試験緊張を行い、見かけのヤング係数と摩擦係数を算定し、緊張計算および管理限界の設定に反映した。鉛直方向 PC 鋼棒 90 本は、2 パーティで 1 日で緊張作業を終えた (写真 - 14)。また水平方向 PC スtrand 64 段 (2 本 $\times$ 64 段 = 128 本) は 1 段ごとに 2 本を同時に緊張し、2 日で作業を終えた (写真 - 15)。



写真 - 14 鉛直方向 PC 鋼棒の緊張状況



写真 - 15 水平方向 PC スtrandの緊張状況

グラウトに使用する混和剤は、現地で確保できる混和剤の特性が把握できず、本体コンクリートの品質が安定しなかったことも考慮して、日本製の低粘性型グラウト混和剤を輸送して使用することとした。そのため、グラウトの流動試験に使用する漏斗も国内より輸送した。懸念していた日本製の混和剤とスリランカ製のセメントとの相性も問題なく、安定した品質が得られた。なお、使用したグラウトミキサーはポンプが一体化されたものであった (写真 - 16)。



写真 - 16 グラウトミキサーとポンプ

5.5 屋根工事

(1) エアードーム工法の概要

配水池のドーム屋根は、エアードーム工法 (図 - 3) により施工を行った。本工法は、空気圧で膨らませた膜型枠 (シート膜) を配水池の屋根に使用することによって、従来工法で必要となる型枠・足場・支保工などの組立て解体作業が無くなり、工期を 1 ヶ月以上短縮できる。また、膜型枠は屋根コンクリート硬化後もそのまま残置するため、撤去作業は不要である。従来工法による配水池の屋根の建設は、高所・暗所での作業であり、危険性が高いが、本工法は、空気膜上の作業であり暗所での作業がない。高所作業である型枠・足場・支保工の組立て解体作業も無くなるため、墜落災害発生の心配もない。同工法の導入により、配水池

の建設作業でとくに注意が必要な屋根の作業の安全性を大幅に向上することができた。

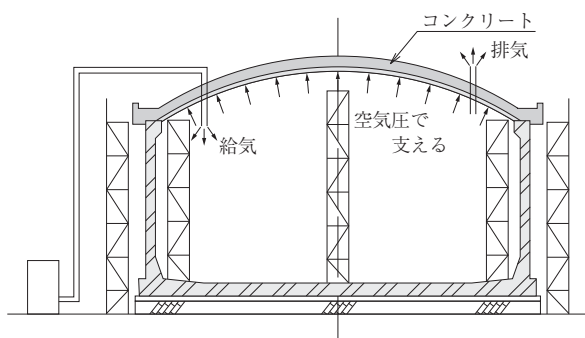


図 - 3 エアードーム工法概要図

(2) 膜材の展設と現場見学会

2016年3月22日にエアードームの膜材を展設した（写真 - 17）。

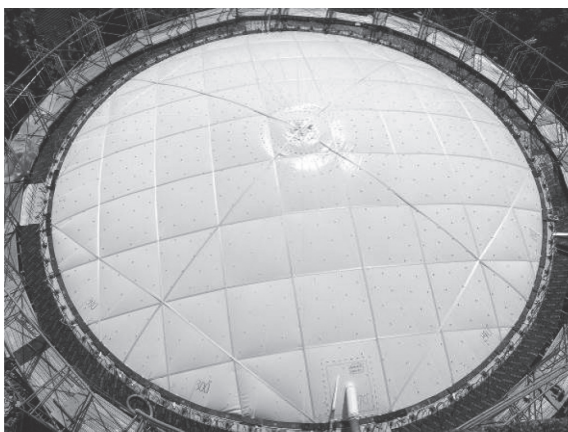


写真 - 17 エアードーム膜材の展設状況

膜材の展設に合わせて、現場見学会を実施した（写真 - 18, 19）。見学会には、スリランカ上下水道公社、JICA、日本貿易振興機構（JETRO）、現地の施工業者など、約100名が参加した。見学会では空気圧で支えられた型枠代わりとなる膜上へ乗り、膜の強度や膜上の作業の安全性の確認を行った。



写真 - 18 エアードーム見学会の状況 (1)



写真 - 19 エアードーム見学会の状況 (2)

(3) コンクリートの打設

屋根にはドーム状の勾配があるためコンクリートのワーカビリティを安定させることが重要となる。打設後のコンクリートは、ドーム全体の形状は保たれ性能的には問題はないが、コンクリートの品質にばらつきが見られたことや左官技術が未熟であったことにより、表面の仕上がりが美観的に劣ったものとなった（写真 - 20）。



写真 - 20 屋根コンクリートの打設状況

6. 課題と対応

スリランカでは重機の費用に比べ人件費が安価なため、たとえば鉄筋の荷降ろしや小運搬には、クレーンは使用せず、人力で行われた。そのため、過酷な労働条件となる傾向にあった。筆者の主観であるが、作業員の能力は日本と比べて1～2割低い程度で、大きな差は無いように感じた。進捗が順調でないのは、作業員の能力よりむしろ、建設業者の段取り不足や使用工具類が粗悪ですぐに故障することなどが主な原因であり、作業員の能力を十分に活用できていないと思われる。構造物の品質の向上や工期の短縮を図るためには、現場管理者の教育を最優先に実施すべきと思われる。

コンクリートの品質については、経験を重ねることで向上していくものと思われる。また、今後、スリランカにお

いても景観性が重要視されるようになり、技術者や作業員のなかに、美しい物を造ろうとする意識が高まっていけば、技術力も向上するものと思われる。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。

本工事を実施するにあたり、日本国内での PC タンクの施工経験に基づき、スリランカにおける PC タンクの施工マニュアルを作成した。これを本現場で利用しつつ、工事を通して得られた知見を盛り込み、スリランカの実情にあった実務に役立つ施工マニュアルとすべく随時改訂していった。本マニュアルを PC タンクの施工に関わる技術移転の一助とする予定である。

7. おわりに

スリランカにおける PC タンク工事の概要について報告した。当初、2016 年 4 月の第 1 週に PC タンク本体の工事を終える予定であったが、前述の底版コンクリートの品質のトラブルなどにより、合計で 33 日の遅延が発生した。完成写真を写真 - 21 に示す。

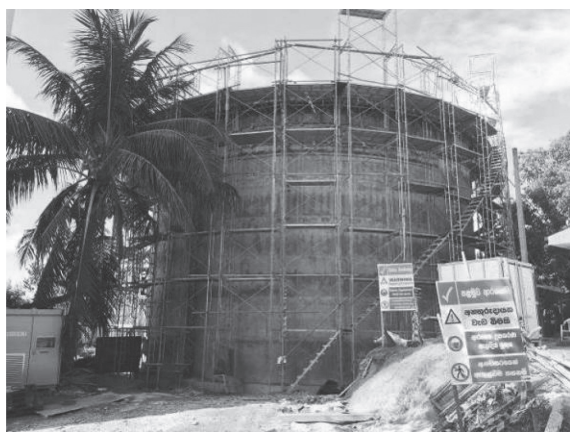


写真 - 21 完成写真

本事業は事業者を株式会社安部日鋼工業とし、外部人材として、株式会社かいはつマネジメント・コンサルティングならびに、水のいのちものづくり中部フォーラム（名古屋市上下水道局、中日本建設コンサルタント株式会社、一般社団法人名古屋環未来研究所）にご協力いただき、実施している。皆様のご協力のもと、PC タンク本体工事を無事故無災害で完了できましたことをここに感謝致します。

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) 河合真樹，堅田茂昌，宮島朗，西尾浩志：PC タンクの海外普及に向けてースリランカにおける PC タンク普及・実証事業ー，プレストレストコンクリート Vol.57, No.5, 2015
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編，2012 年 制定

【2016 年 9 月 1 日受付】



刊行物案内

PC 津波防災シンポジウム講演論文集 「津波防災のための PC 構造物の可能性を探る」

平成 27 年 8 月

定 価 3,600 円／送料 300 円

会員特価 3,000 円／送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会