

代替淡水貯槽（底版）コンクリート打設作業における生コンクリートの搬入時間の超過について

1. CR不適合の概要

本工事では、フレッシュコンクリート性状について「出来形・品質検査計画書〔図書番号：Q19-002-004-002〕（2021.7.7承認）」で、「搬入時間」（練混ぜから打設終わりまでの時間）の判定基準を「外気温 25℃を超える場合 90分」と定めていた（以下、この基準を“当初の判定基準”と記す）。土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕（2017年制定）」の「運搬・打込み・締固めおよび仕上げ」では、「搬入時間」の判定基準について「フレッシュコンクリートの品質の経時変化を事前に確認しておき、個々の工事に即した限度を設定するのがよい」と記載されているとともに、「一般の場合には、外気温 25℃を超える場合 90分以内を標準とする」と示されている。本工事の施工条件は、「一般の場合」を大きく外れるものではないと考え、同示方書による「標準」を“当初の判定基準”に採用していた。

2021年7月17日の代替淡水貯槽（底版）コンクリート打設作業時に、「搬入時間」の判定基準を超過した生コンクリート（生コン車2台分）が使用されたことを当社監理員が検知した（以下、この2台の生コンクリートを「当該生コンクリート」と記す）。その時点で、監理員はマネージャーに基準超過が発生したことを報告し、マネージャーは「判定基準を超過した生コンクリートを使用したこと」を品質管理上の不適合と判断したが、作業責任者にコンクリート性状試験結果と打設中の流動性の確認を行い、品質に与える影響がないことを判断したうえで、打設作業を継続させた。

上記処置において、「搬入時間」の“当初の判定基準”を超過した生コンクリートが品質に与える影響がないと判断した根拠は、打設中の流動性確認という定性的なものにとどまっていた。また、当初、「搬入時間」の判定基準は「一般的な場合の標準」を採用していたが、準備作業に時間を要する施工条件を考慮すると、「フレッシュコンクリートの品質の経時変化を事前確認しておき、個々の工事に即した（搬入時間の）限度を設定」した方が望ましかったと考えられる。

上記を踏まえ、[1]「当該生コンクリート」が品質に与える影響は無かったと判断した根拠の妥当性 [2]フレッシュコンクリートの品質経時変化に基づいて設定される“本工事に即した判定基準”の二つを検証するために、「フレッシュコンクリート性状試験」と「模擬試験体を用いた流動性・充填性試験（モックアップ試験）」を行った。

その結果、「当該生コンクリート」の性状は、定量的・客観的にも品質的に問題がないこと、および、「搬入時間」の“本工事に即した判定基準”は「外気温 25℃を超える場合 105分」が妥当であることを確認した。

以下、具体的な検討内容を記載する。

2. 「当該生コンクリート」の品質評価

「当該生コンクリート」は、図1及び図2（1層目）に示した箇所で使用しており、打設数量は生コン車2台分（約8m³）であり、全て高流動コンクリートである。

「当該生コンクリート」は、表1に示す受入検査を実施しており、「搬入時間」は“当初の判定基準”を満たしていないが、それ以外の検査項目はすべて判定基準に適合していることを確認した。

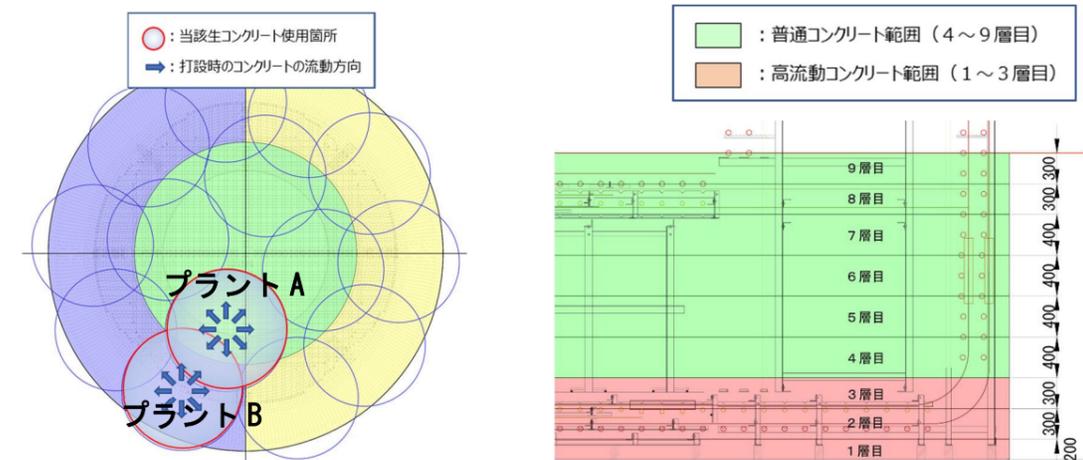


図1. 当該生コンクリート使用箇所図

図2. 底版コンクリートの施工手順(打設層図)

フレッシュコンクリート性状試験である「スランプフロー」、「空気量」、「単位水量」、「コンクリート温度」及び「塩化物イオン量（塩化物量）」は、構造物の性能確保という目的のための要求事項であり、土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編：検査標準〕（2017年制定）」の「レディーミクストコンクリートの検査」に織り込まれている。（スランプフロー試験は流動性の高い高流動コンクリートなどを対象とした試験であり、本工事では高流動コンクリートを用いているため、記載項目の「スランプ」は「スランプフロー」として読み込んでいる。）

一方、「搬入時間」は、同示方書の「施工の検査」のうち「運搬の検査」に記載されている項目であり、フレッシュコンクリート性状を確実にするためのプロセス要求事項という位置づけになる。

表1. 当該生コンクリートの受入検査結果及び打設実績一覧

検査項目	判定基準	プラントA	プラントB	判定	
打設中	スランプフロー	60.0cm~70.0cm	65.0cm	64.0cm	○
	空気量	3.0%~6.0%	4.3%	4.7%	○
	単位水量	160kg/m ³ ~190kg/m ³	177.2kg/m ³	182.0kg/m ³	○
	コンクリート温度	5°C~35°C	29.0°C	30.0°C	○
	塩化物量	0.30 kg/m ³ 以下	0.05kg/m ³	0.05kg/m ³	○
搬入時間	外気温25°Cを超える：1.5時間以内 外気温25°C以下：2時間以内	1台目 102分 (外気温26°C)	1台目 94分 (外気温26°C)	×	
打設後	圧縮強度 (材齢26日強度)	呼び強度：40N/mm ² (=設計基準強度) 1回の試験結果は呼び強度の85%以上 3回の試験結果の平均値は呼び強度以上	平均強度 50.6N/mm ²	平均強度 48.3N/mm ²	○

本報告では、「搬入時間」というプロセス要求事項が「当初の判定基準」を逸脱したものの、本来満たすべきフレッシュコンクリート性状の要求事項が満たされ、構造物の性能確保が実現できていることを定量的・客観的に確認するため、以下に示す2種類の事後再現試験により、「当該生コンクリート」の品質を評価した。併せて、事後確認になるが、本工事に使用したフレッシュコンクリートの品質の経時変化を確認し、「搬入時間」の“本工事に即した判定基準”を設定する。

- (1) 練混ぜ開始からの経過時間がフレッシュコンクリート性状に与える影響確認
- (2) モックアップによる底版コンクリートの充填性確認

(1) フレッシュコンクリート性状試験

1) 目的

フレッシュコンクリート性状のうち、練混ぜ開始からの経過時間から特に大きな影響を受けるのはスランプフロー（流動性）である。そして、経過時間に伴うスランプフローの低下はコンクリートの充填性の低下につながる可能性がある。本試験では、「当該生コンクリート」の「搬入時間」が、経過時間に伴うスランプフローの低下挙動の中で、検査の判定基準を満たしうる位置にあることを確認する。

2) 試験方法

フレッシュコンクリート性状試験の試験条件および試験項目を表2に示す。

表2. フレッシュコンクリート性状試験項目一覧

試験項目	練混ぜ開始からの時間					
	60分後	75分後	90分後	105分後	120分後	135分以降
スランプフロー	○	○	○	○	○	○
空気量	○	△	○	○	○	△
コンクリート温度	○	△	○	○	○	△
U型容器充填高さ	○	△	○	○	○	△

※ 練混ぜ開始からの各時間において、試験を実施した項目に「○」を記載。

※ 試験は、各プラントで、生コン車1台を対象に1回実施。

※ 90分後及び105分後のスランプフロー試験は、各プラントで、生コン車4台を対象に4回実施。

前出の表1に示した「当該生コンクリート」の「搬入時間」を踏まえ、各プラント1台の生コン車を対象に、練混ぜ開始からの時間60分後から15分ごとに試料を採取し、表2の「○」記載項目の試験を実施した。このうち、105分後が「当該生コンクリート」の再現に相当する。105分後の試料については、圧縮強度試験（材齢26日（「当該生コンクリート」の検査条件と同じ）も実施した。

また、練混ぜ開始から90分後と105分後のスランプフロー試験は、各プラントで4台の生コン車を対象に4回実施した。全ての試験において、外気温が26°C以上であることを確認して実施した。

3) 試験結果

試験結果を図3に示す。スランプフロー値は、プラントA,Bともに、練混ぜ開始からの時間が120分程度までは65cm程度を維持している。また、プラントBの練混ぜ開始から105分においてスランプフロー値はばらつきがあるものの、各プラント4台全てのデータが検査判定基準範囲内にあることが確認された。また、時間経過に伴うスランプフロー値の低下挙動は、120分以降に顕著になることが認められた。

なお、スランプフロー値以外の他の試験項目についても、練混ぜ開始から120分後まで判定基準値内にあることを確認した。表3は、圧縮強度試験結果である。練混ぜ開始からの時間105分後の試料は設計基準強度（ $f_{ck} = 40\text{N/mm}^2$ ）以上であることが確認された。

以上より、「当該コンクリート」は、高流動コンクリートの代表的な管理値であるスランプフロー値が検査判定基準内であり、構造物として要求される強度も確保されていることから、品質上問題ないと評価できる。

また、「搬入時間」の“本工事に即した判定基準”は、「外気温25°Cを超える場合105分」が妥当であると判断される。

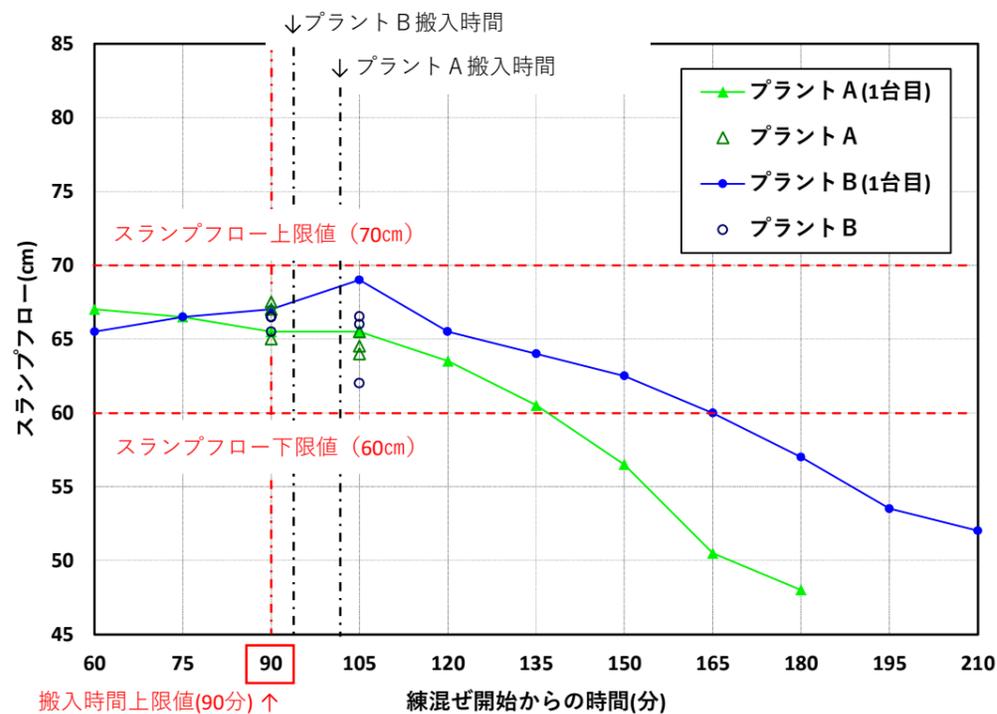


図 3. スランプフロー試験結果

表 3. 圧縮強度試験結果一覧

※強度の単位は全て N/mm²

施工箇所	貯水槽底版打設 (当該生コンクリート)				フレッシュコンクリート性状試験 (105分後の試料)			
	プラント A		プラント B		プラント A		プラント B	
	強度	平均強度	強度	平均強度	強度	平均強度	強度	平均強度
σ26	50.3	50.6	48.6	48.3	55.4	55.0	53.6	54.4
	52.7		47.9		55.1		54.4	
	48.8		48.5		54.6		55.3	

(2) モックアップ試験

1) 目的

上記(1)の結果より、「当該生コンクリート」は、構造物性能を確保するためのフレッシュコンクリート性状の要求事項を満たしていると評価されたが、「当該生コンクリート」を打設した底版は、太径鉄筋や組立鋼材が密に組まれていることを踏まえ、充填性への影響が無かったかどうか確認の必要があると考えた。このため、コンクリートの充填性に影響を及ぼす施工条件を再現したモックアップ試験を行い、「当該生コンクリート」が密実に充填されていることを確認する。

2) 試験方法

モックアップ試験の試験条件を表 4 に、モックアップ A, B の計画平面図および全景写真を図 4・図 5 に示す。ここで、モックアップ A, B はそれぞれ、図 1 に示したプラント A, B の打設箇所を再現したものである。また、コンクリートの「搬入時間」は、1 台目は 105 分とし、2 台目以降の打設間隔は施工実績どおり（いずれも 90 分以下）とした。

本試験では、コンクリート打設中の流動性や材料分離の有無を目視確認するとともに、打設後の供試体から採取したコアにより充填性確認および圧縮強度試験を実施した。なお、図 4 及び図 5 に示すように、充填性確認用のコアの採取位置は、コンクリート投入箇所からの距離や鉄筋量、鋼材量に基づき、充填性に対して厳しい箇所を選定した。圧縮強度試験用のコアの採取位置は、無筋部から選定した。

表 4. モックアップ試験 試験条件比較表

条件項目	当該生コンクリート打設時		モックアップ試験	
	プラント A	プラント B	プラント A	プラント B
外気温	26°C	26°C	26°C以上	26°C以上
練り混ぜ開始からの時間 (1台目)	102分	94分	105分	105分
打設間隔	当該生コンクリート打設実績に合わせる			
鉄筋量 (充填性確認範囲)	3730kg	3592kg	3738kg	3625kg
鋼材量 (充填性確認範囲)	161kg	113kg	179kg	148kg

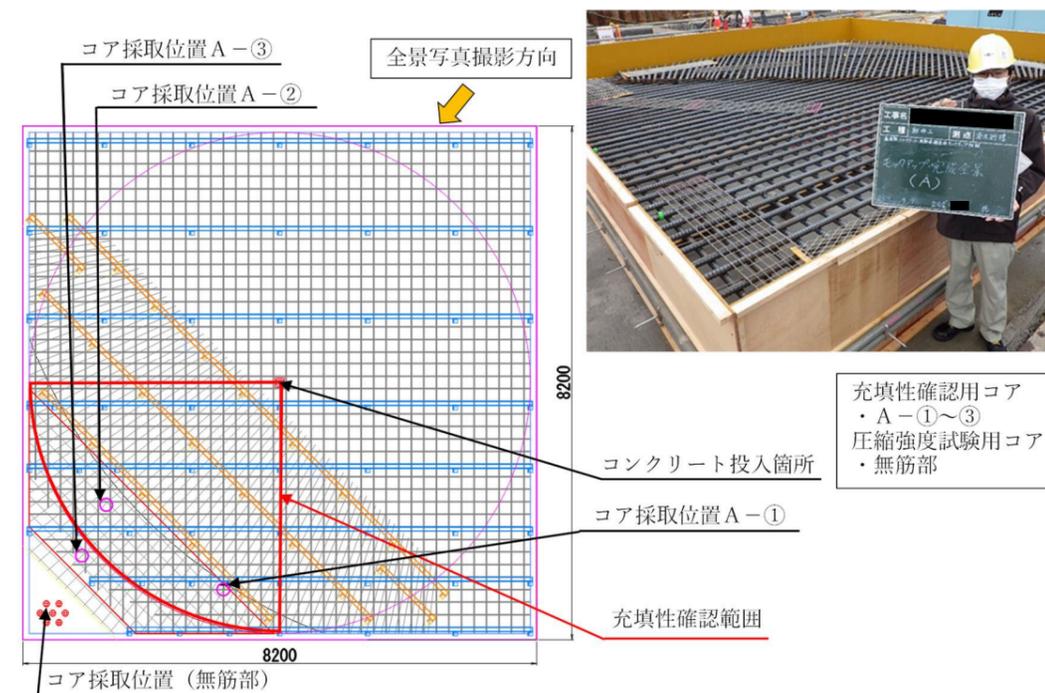


図 4. モックアップ A 計画平面図および全景写真

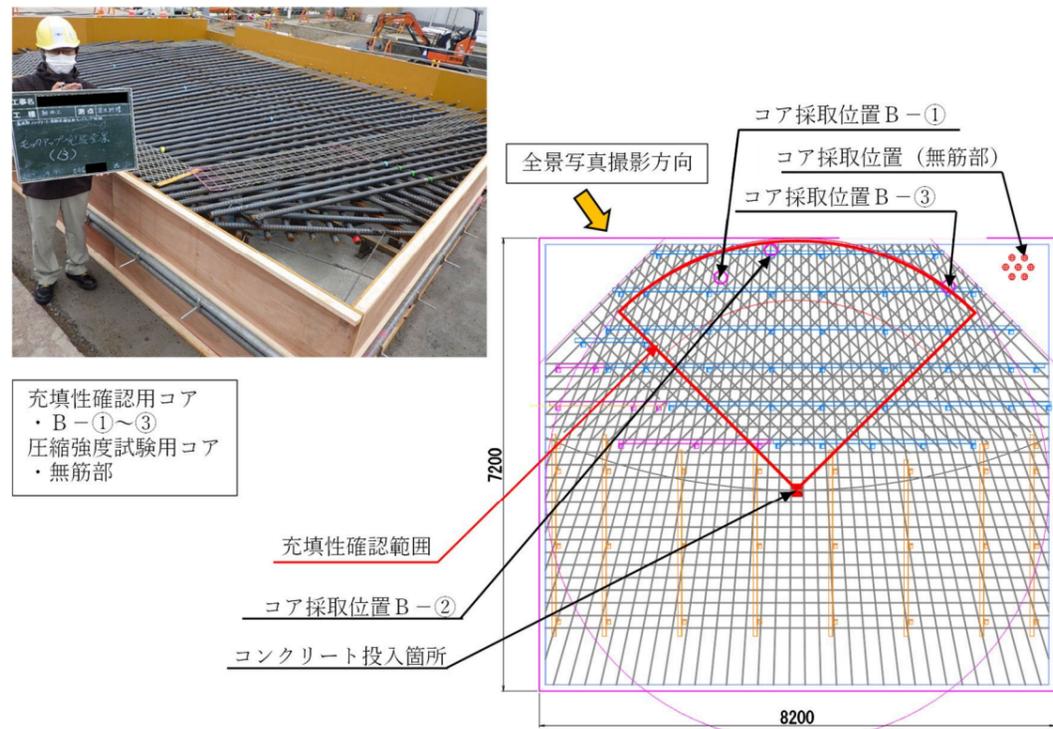


図5. モックアップB計画平面図および全景写真

3) 試験結果

図6にモックアップ内のコンクリート流動・充填状況を、図7にコア（モックアップA-①）の充填確認記録、表5に圧縮試験結果を示す。

打設中の流動性・充填性確認試験は、105分後のコンクリートが流動性を失わずにモックアップ内を拡がる状況や、コンクリートが材料分離せずに流動し、鉄筋配筋過密部を通過して充填する状況を目視にて確認し、打設中の流動性・充填性ともに異常は確認されなかった。

打設後の充填性確認試験は、サンプリングしたコア6本全てで充填不良箇所は認められず、鉄筋同士（または鉄筋と鋼材）が交差する狭隙部や鋼材の背面にも密実に充填されていることが確認でき、異常は確認されなかった。外気温は、モックアップ試験のコンクリート打設中は常に26℃以上（試験開始時：28℃、終了時：26℃）あることを確認した。

圧縮試験結果は、設計基準強度（ $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ ）以上であることが確認され、設計より求められる構造物性能を確保するうえで問題ないと評価できる。



図6. モックアップA内のコンクリート流動・充填状況（撮影動画より抜き取り）

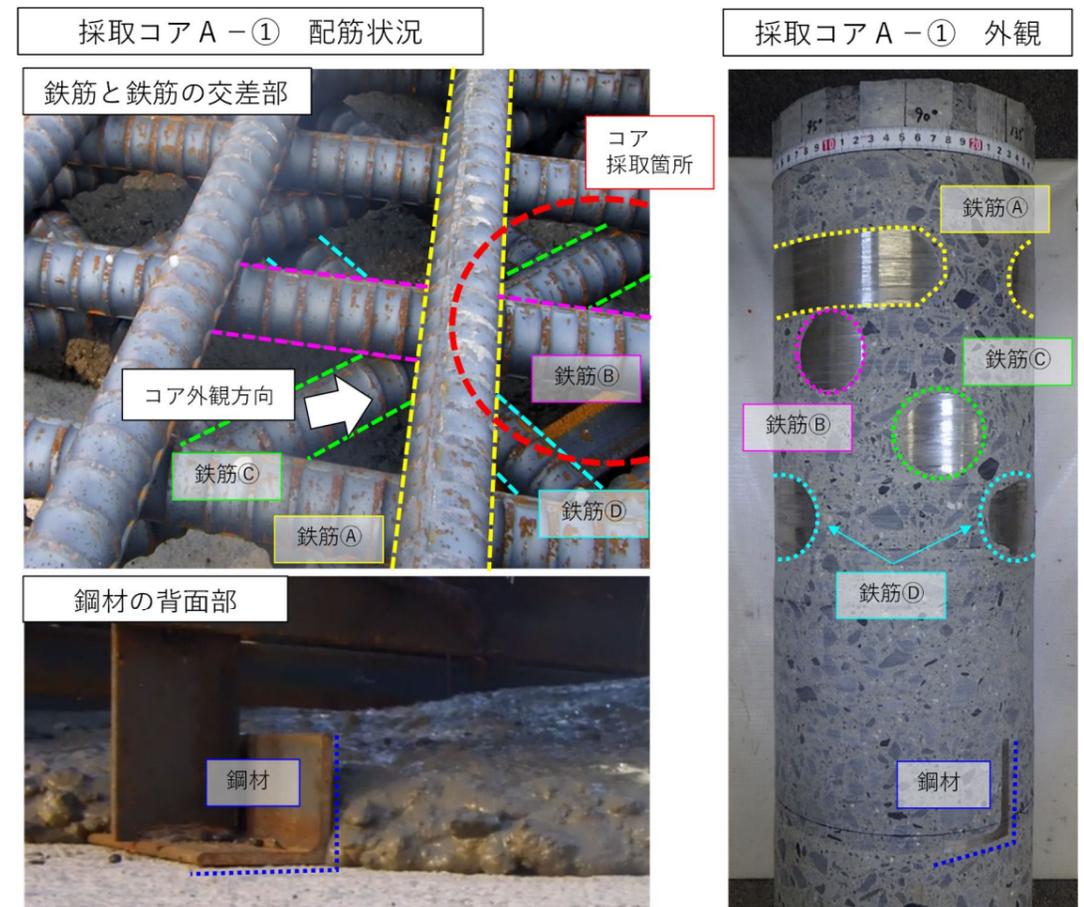


図7. モックアップA コアA-①箇所の配筋状況および採取コア外観写真

表5. 圧縮強度試験結果一覧

※強度の単位は全て N/mm^2

施工箇所	貯水槽底版打設 (当該生コンクリート)				モックアップ試験 (モックアップからの採取コア)			
	プラントA		プラントB		プラントA		プラントB	
	強度	平均強度	強度	平均強度	強度	平均強度	強度	平均強度
σ_{26}	50.3	50.6	48.6	48.3	54.1	52.8	49.8	52.2
	52.7		47.9		50.7		53.0	
	48.8		48.5		53.6		53.7	

(3) 「当該生コンクリート」の品質評価

上記(1)(2)の結果より、「当該生コンクリート」は「搬入時間」というプロセス要求事項の“当初の判定基準”を逸脱したものの、本来満たすべきフレッシュコンクリート性状の要求事項が満たされており、構造物の性能確保が実現できていると評価できる。

また、試験結果に基づいて設定される「搬入時間」の“本工事に即した判定基準”は、「外気温25°Cを超える場合105分」が妥当であると判断できる。ただし、この判定基準はあくまで、プラント A および B における本工事と同配合の高流動コンクリートについてのみ適用できるもので、他プラント、他のコンクリート種類・配合に適用できることを保証するものではない。

3. 本事案の処置

以上の検討結果から、「当該生コンクリート」は品質上問題がなかったことが定量的・客観的にも確認された。

また、フレッシュコンクリート性状試験結果をふまえ、「出来形・品質検査計画書 [図書番号: Q19-002-004-002] (2021.7.7 承認)」の「搬入時間」の判定基準を“当初の判定基準”から“本工事に即した判定基準”に改訂する。

改訂後の判定基準では、「当該生コンクリート」の搬入時間は基準内と判定され、代替淡水貯槽の底版コンクリートは全て合格と判定される。

4. 再発防止対策

本工事では、「搬入時間」について、「一般の場合の標準」が適用できると判断し、“本工事に即した判定基準”を事前に設定していなかった。

今後のコンクリート打設作業においては、「搬入時間」の設定について以下のとおり定めた。

- ✓ 施工条件として準備作業に時間を要することが想定されるなど、「コンクリート標準示方書」の「標準」搬入時間を満たすことの困難が予想される場合には、同示方書の要求に即し「フレッシュコンクリートの品質の経時変化を事前に確認して、“個々の工事に即した判定基準”を設定」する。
- ✓ 上記内容を「QMS 規程：工事要領書作成手引き」に反映・改正し、所内の土木工事に水平展開する。

以 上