

ホワイトセメントを使用したコンクリートの施工報告

Construction Report of Concrete Which Used White Cement

永田 強*

Tuyoshi Nagata

宮本 睦巳*

Mutsumi Miyamoto

山口 一寛**

Kazuhiro Yamaguchi

木村 仁治**

Yoshiharu Kimura

要 約

本工事では琉球石灰岩の色合いのカラーコンクリートが採用されている。原設計においては、生コンクリートおよびプレキャストコンクリートは普通ポルトランドセメント（以下普通セメント）に着色材を添加する仕様であったが、普通セメントでは黒味が残って琉球石灰岩の風合いにならないため、工事途中に生コンクリート、プレキャストコンクリートともに白色ポルトランドセメント（以下ホワイトセメント）に変更された。ホワイトセメントと着色材を用いたカラーコンクリートは、圧縮強度とフレッシュ性状（スランプ、空気量等）が普通セメントを用いた場合とは異なる可能性がある。沖縄県那覇地域では、ホワイトセメントを用いたコンクリートを生コンクリートとして出荷した実績がないため、生コン工場には配合強度式がなく、当然適切な混和剤の種類・混入量も把握できていない。また、発注者より「琉球石灰岩の色に近い化粧打放しコンクリート」という要求があり、色の調整が必須事項であった。本報では、カラーコンクリートの現場打ち部材とプレキャスト部材の施工計画及び結果について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. ホワイトセメントの性状と検討事項
- § 3. 室内試験練りおよび実機試験練りについて
- § 4. 色の調整について
- § 5. 現場打ちコンクリートの施工について
- § 6. PC の製作について
- § 7. まとめ

§ 1. はじめに

1-1 建物の概要

本建物は、那覇港臨港道路空港線沈埋トンネル上の両端に設置される換気塔であり、1階低層部は沖縄独特の城（ぐすく）をイメージした外観で、外部に面した部分2階より上部は現場打ちコンクリート部分、PCカーテンウォール、PCボックスともにカラーコンクリートで、25本の柱が地上約39mまで立ち上がった形状である。

〔空港側換気塔（図-1）〕

工事名：那覇港（那覇ふ頭地区）道路（空港線）空港側 換気塔上部工事

発注者：沖縄総合事務局 開発建設部

設計者：(株)日建設計シビル

構造種別：SRC 造、RC 造、PC 造

規模：地上4階、塔屋1階

敷地面積：8,841.66 m²

延床面積：4,132.49 m²

工期：平成20年3月8日～平成22年2月26日

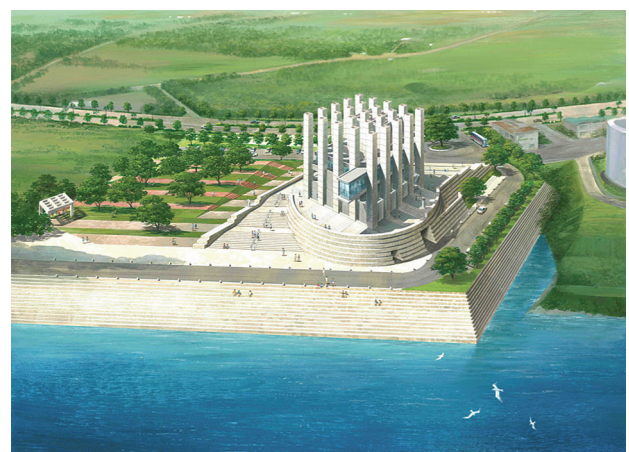


図-1 外観パース（空港側）

* 九州（支）那覇空港（出）

**九州（支）三重城（作）

〔三重城側換気塔（図一2）〕

工事名：那覇港（那覇ふ頭地区）道路（空港線）三重城側 換気塔上部工事

発注者：沖縄総合事務局 開発建設部

設計者：㈱日建設計シビル

構造種別：SRC 造，RC 造，PC 造

規模：地上 5 階

敷地面積：9,926.88 m²

延床面積：4,259.42 m²

工期：平成 20 年 3 月 8 日～平成 22 年 1 月 29 日



図一2 外観パース（三重城側）

§2. ホワイトセメントの性状と検討事項

2-1 ホワイトセメントの性状について

ホワイトセメントは、一般の普通セメントの呈色成分である酸化第二鉄（Fe₂O₃）および酸化マグネシウム（MgO）を少なくすることによって白色化したセメントであり、基本的な性質は普通セメントとほぼ同等といわれている。しかし、高性能 AE 減水剤の効き方が不明であることや、使用する骨材や外気温など条件によっては、普通セメントと異なるフレッシュ性状、強度発現性を示す可能性が考えられた。

首都圏の大型の生コン工場では出荷実績があり、標準的な配合を把握しているところもあるが、沖縄県那覇地区の生コン工場は出荷実績はない状況であった。

また、琉球石灰岩（写真一1）の色合いにするために添加する着色材の種類、添加率を把握する必要もあり、次の検討を行った。

①室内試験練り

- ・3水準の水セメント比での強度発現性把握
- ・2種類の高性能 AE 減水剤によるワーカビリティの経時保持性把握
- ・2社の着色材製造所での色合い把握
- ・琉球石灰岩色になる着色材配合把握

②実機試験練り

- ・3水準の水セメント比での強度発現性と S 値の確認
- ・高性能 AE 減水剤によるワーカビリティの経時保持性確認
- ・実大モックアップへの打込みによる琉球石灰岩色になる着色材配合確認

2-2 生コンプラントの選定

高品質なレディーミクストコンクリートを受け入れるため、本工事に対する生コン工場の選定基準（運搬時間、出荷能力、品質管理・設備体制、有資格者、実績などを考慮して選定）を作成し、品質管理能力の高い生コン工場を選定した。運搬時間については、現場まで 30 分以内とした。有資格者は、コンクリート主任技士資格者が専任していることを条件とした。



写真一1 琉球石灰岩

§3. 室内試験練りおよび実機試験練りについて

3-1 試験概要

色彩状況及び強度性状を把握するため、室内試験練りによる検討を行い、基礎的な性状を検討した。

次に、室内試験練りの結果を踏まえて、実際の施工を想定した実機試験練りを実施し、フレッシュ性状及び硬化性状について検討した（以下、構造体実験と言う）。

併せて、3工場のうち、1プラントを選定し、現場にてモックアップ試験体を造り、色彩状況、リブ状況、施工性について検討を行った（以下、モックアップ実験と言う）。

3-2 試験結果

室内試験練りを行った結果、ホワイトセメントを用いたコンクリートは普通セメントを用いたコンクリートより圧縮強度が低くなる工場が認められること、着色材の添加では圧縮強度は低下しないこと、生コン工場が通常使用している高性能 AE 減水剤では単位セメント量が少ない配合では経時によるスランプ低下が顕著であることなどを確認した。ただし、使用したセメントは袋製品であり、バラセメントを用いる実機練りでは多少異なる可能性も考えられた。

また、ホワイトセメントを用いたコンクリートに着色材を混入しても添加率が単位セメント量の1%まででは材齢28日標準養生強度に大きな低下は認められなかった。フレッシュ性状については、高性能AE減水剤を改良しなければ、経時90分後まで確保できないことが分かった。

次に実機試験練りを行った。これらの生コンプラントでは事前に室内試験練りを複数回行い、高性能AE減水剤の改良を行ったが、実機試験練り開始直後はスランプおよび空気量が定まらず、練り直しが発生した。この結果からも、ホワイトセメントを用いる場合は、室内試験のみで実機試験練りコンクリートの性状を把握するのは困難と感じられた。

実機試験練りでは、練上りからの経過時間に伴うフレッシュ性状の変化を確認した。その結果、スランプの変動及び空気量の変動が確認され、実機試験前に室内試験練りで高性能AE減水剤を検討して、混和剤の改良を行ったが、その効果が大きくは見られなかった(表-1)。

このような経緯をもとに、再度、混和剤のタイプが経過時間に伴うフレッシュ性状に及ぼす影響について検討

表-2 室内試験練りでのフレッシュ性状

No.	W/C (%)	着色材(C%)		混和剤			フレッシュ性状				備考
		黄色	赤色	SP	AE剤	メーカー	経過時間	SL (cm)	Air (%)	C.T. (°C)	
1-1	49	0	0	1	0.005	P	0	22.5	4	26	○
2	49	0.2	0.02	0.9	0.006	P	0	22.5	4.9	27	○
3	49	0.2	0.02	0.9	0.002	G	0	21.5	3.6	27	○
4-1	49	0.4	0.04	0.9	0.004	P	0	21.5	4.2	27	×
							30	20.5	6	27	
4-2	49	0.4	0.04	0.9	0	P	0	22	2.8	27	○
							30	22	3.8	27	
							60	21	4.8	26.5	
							90	19	6	26	
5-1	49	0.4	0.04	0.9	0.001	G	0	22	3.8	27	×
							30	18	5.4	27	
5-2	49	0.4	0.04	1	0	G	0	22.5	3	27	○
							30	22.5	3.6	27	
							60	22.5	4.5	27	
							90	19	5.6	27	
6	45	0	0	0.9	0.006	P	0	22.5	4.3	26	○
7	45	0.2	0.02	0.8	0.004	P	0	22.5	3.9	27	○
8	45	0.2	0.02	0.8	0.002	G	0	21	3.3	27	○
9	45	0.4	0.04	0.9	0	P	0	23	2.7	27	○
							30	22.5	3.3	27	
							60	21.5	3.9	26.5	
							90	19	4.8	26	
10	45	0.4	0.04	1	0	G	0	22	2.5	27	○
							30	22	3.2	27	
							60	21	4	26.5	
							90	19.5	4.4	26	

表-1 室内試験練り結果

No	セメント種類	水セメント比 (%)	高性能 AE減水剤 (C×%)	着色材有無	フレッシュ性状					標準養生強度		
					経過時間 (分)	SL (cm)	Air (%)	C.T. (℃)	フレッシュ性状 良否	7日	28日	
1-1	白色セメント	48.9	0.7	無	0	20	4.3	28.5	○	—	—	
30					12.5	4.5	27	×				
0					20	4.2	26	○				
30					20	4.5	26	○				
1-2			0.8	無	60	19	5.1	24	△	—	—	
90					10	5.7	27	×				
0					20	4	27	○				
30					21.5	4	27	○				
1-3			0.85	無	60	20.5	4.6	27	○	—	—	
90					17.5	5.2	27	×				
0					21	4	27	○				
30					22.5	3.9	27	○				
1-4			0.9	無	60	22	4.1	27	○	28.4	38.1	
					90	21	4.7	27	○			
					後添加	105	19.5	—	—			△
					後添加	20	—	—	—			○
2-1			0.9	有	0	20.5	4.2	27	○	—	—	
					30	21	4.1	27	○			
					60	22	4.6	27	○			
					90	18	5.5	27	×			
2-2			0.95	有	0	21	3.9	27	○	28.9	38	
					30	22.5	3.9	27	○			
					60	23	4.3	27	○			
					90	21	5.3	27	○			
3-1			0.8	無	後添加	100	19.5	—	—	△	—	37.4
					後添加	20.5	—	—	—	○		
					0	20.5	3.6	27	○			
					30	19	4	26	○			
3-2			0.8	無	60	15	4.4	25	×	35	44.8	
					0	21.5	3.5	27	○			
					30	23	3.4	26	○			
					60	22.5	3.7	25	○			
4-1			0.9	有	90	20	4.2	24	○	36.5	47.5	
					120	10.5	—	—	×			
					後添加	23	—	—	—			○
					0	21	3.5	27	○			
5-1			0.8	有	30	23	3.2	27	○	41.2	49.2	
					60	23	3	27	○			
					90	22	3.6	27	○			
					後添加	115	14.5	—	—			×
6-1			0.8	無	後添加	21.5	—	—	—	○	41.2	50.3
					0	20	3.2	27	○			
					30	23	3.1	27	○			
					60	22	3.1	27	○			
5-1	40.0	0.8	有	90	19.5	3.5	27	○	41.2	49.2		
				後添加	105	12.5	—	—			×	
				後添加	22.5	—	—	—			○	
				0	22	3.5	25	○				
6-1	普通セメント	44.0	0.8	無	30	22	3.6	25	○	41.2	50.3	
					60	22.5	3.7	24	○			
					90	22	4.2	24	○			
					0	22	3.5	25	○			

表-3 圧縮強度試験結果

No.	水セメント比 (%)	標準養生強度 (N/mm ²)	簡易断熱養生強度 (N/mm ²)		
			28日	56日	91日
1	50	39.6	34.8	37.2	41.7
2	43	47.1	42.7	44.9	51.1
3	37	58.9	47.8	50.4	56.1
4	50	35.1	30.5	32.7	39.4
5	43	48.7	37.6	41.2	50.2
6	37	60.8	46.4	51.2	59.4
7	50	40.3	37.6	40.6	44.3
8	43	49.9	44.4	49.8	52.4
9	37	56.7	51.1	51.2	59.1
10	48.9	38.1	37.6	38.7	41.6
11	48.9	38	38.8	40.4	43.1
12	44	44.8	42.2	45.2	45.5
13	44	47.5	44.9	48.8	51.6
14	40	49.2	47.1	49.7	52.5

表-4 調合

Fc	△F	強度補正值	標準偏差	調合強度	W/C
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)
27	3	3	3.3	38.7	44.2
24	3	3	3	35.2	46.5

した。フレッシュ性状を表-2に、強度性状を表-3に示す。

以上の試験結果を基にカラーコンクリートの調合を表-4のように決定した。

カラーコンクリートの色、性状の統一を図るため、配合は、1設計基準強度に対して、1配合とし、3工場共通とした。そこで、3工場で算定した強度式を基に、最も安全側となる配合を採用した。

§4. 色の調整について

4-1 色合わせについて

琉球石灰岩の色に合わせるために、ホワイトセメントに着色材を添加して試験練りを行い色彩検討を行った。なお、色彩の数値化には、色彩色差計を使用した(写真—2)。

まず、現場打ちコンクリート部材について 30 cm 角試験体を使った室内試験練りを行った。その結果、材令の経過により明度が上がり、着色の色合いが薄くなることが分かった。

次に実機試験での色の確認を行ったが、2 プラントで、作製したサンプルは、試験練りのサンプルより黒っぽくなるケースが見られた。色の違いがなかったプラントの機構と他プラントの機構を比較することで、セメントサイロから計量瓶までの経路に普通セメントが混入する可能性があることが判明し、各プラントのセメントの搬送機構を空送に統一し、普通セメントの混入防止を図った。その結果、室内試験練りと遜色のない色の発現が確認された。

次に、モックアップ試験体(写真—3)を作製して、実機試験練りにより色彩検討を行った。実機練りのモックアップは、30 cm 角試験に比べて明度が高かったが、着色材の発色が薄い傾向にあった。なお、色合わせは琉球石灰岩のサンプルと試験体を目視で比較して行った。モックアップの仕上がりについては、表面のノロ分が抜けた部分が極端に黒くなった。コンクリートにホワイトセメントを使用しているため、型枠の隙間からノロが漏れた場合、細骨材があらわになるため、普通セメントを用いた場合よりも、あらわになった細骨材が黒く目立つ結果となった。

着色材の配合については、施工後3ヶ月程度おき、色が落ち着いた状態で、撥水材を塗布した後、若干躯体が濡れ色になることを考慮して、最終決定した。

§5. 現場打ちコンクリートの施工について

本工事では、現場打ちコンクリートの施工品質を確認するために以下の対策を実施した。

5-1 型枠の製作について

壁用と柱用の大板型枠の製作を現場で行った。ゴム型枠の製作に際して、最大 4,644×4,000 の大型パネルを作製した。15 回の転用を想定していたため、大型パネルの製作精度、耐久性を上げておく必要があった。そのため、ゴム型枠を貼り付ける合板ベニヤの厚みを 15 mm とした。また、型枠の目違い防止のために、合板ベニヤと型枠の栈木位置を 10 mm ずらした。そして、型枠パネルの隣り合う栈木同士を木ビスで縫いつけ、型枠同士の一体化を図った。



写真—2 色彩色差計



写真—3 モックアップ試験体



写真—4 シリコンコーティングしたゴム型枠

5-2 ゴム型枠の使用

外壁にリブがあり、コンクリートから型枠が外れにくく、角欠けなどが生じる可能性が考えられたため、リブ目地部型枠にはゴムを使用した。モックアップ実験と実施工時に判明したことだが、ゴム型枠について、①コンクリートから型枠面に出た気泡が普通型枠と比較して残ること、②ゴム型枠の隙間埋めや補修に使用するパテが躯体面に残ることの2点が問題となった。そこで、ゴム型枠には、シリコン樹脂を塗布し、ゴム型枠の表面を滑らかにすることで、気泡が上部に抜けやすくなるようにした(写真—4)。ゴム型枠の表面がコーティングされることにより、パテを使用した部分が保護され、美観向上につながった。

5-3 剥離剤について

打ち放し面への影響を考慮して、水性の型枠剥離剤を使用することにした。油性の場合、水をはじくことから、コンクリート打設時に表面の水分が不均一になるおそれがあることにより、均質なコンクリート打ち放し面とならない恐れがあったためである。また、今回、ゴム型枠の使用に対し、相性など不明な点が多かった。水性の剥離剤の選定として、一般に使用されている水性マノールとゴム型枠メーカー推薦のモールド 870、ポゾリスのレオフィニッシュの3種類の剥離剤を試し、脱型性や仕上がり状態を確認した（写真-5）。

その結果、脱型性は、どの製品も遜色なかったが、気泡の発生について、レオフィニッシュが際立って少なかったため、採用した。

5-4 コンクリートの単位水量・スランプの管理

単位水量の管理体制として、設計図書に特記された他に、打設初期段階（出荷開始直後：1～5台）で頻度を高めた。

試験練り、実機試験練りにおいて、ホワイトセメントを使用したコンクリートのフレッシュ性状として、経過時間に伴いスランプが変動する傾向があったため、スランプ測定の高頻度を高めた。特に、 $F_c = 24 \text{ N/mm}^2$ で 50 m^3 に1回、 $F_c = 27 \text{ N/mm}^2$ で 30 m^3 に1回の頻度でスランプ試験を行い、出荷から1時間が経過したコンクリートについても、途中段階で、スランプ試験を行った。また、コンクリートには、いわゆる粘り気があったため、当初、技術提案でスランプの数値を 21 cm と設定していたが、リブ型枠への充填を図るために、現場としては、22 cm のスランプを目指した。なお、スランプの調整は、高性能 AE 減水剤の添加量で調整した。

5-5 密実なコンクリートの施工について

コンクリートの打設は、30φ バイブレータを 40 cm ピッチで内壁側を突き、1箇所当たり 10 秒程度とした。バイブレータ打設が完了した部分は後を追う形で、さらに竹棒（φ30 mm 程度）で突きジャンカの発生を防止した。当初は、突き棒として、塩ビパイプ（5 m、φ28 mm）を使用した。コンクリートを突くには、しなりが大きかったため、竹棒に変更した。棒で突く際には、先行して打設した部分と新たに打重ねた部分がよく交じり合うように、また、気泡が溜まりやすいであろうリブの出角部分を重点的に突くことで、コンクリートの充填を図った。気泡発生抑制を図るため、たたき棒、壁振動機の使用を禁止した。

また、コンクリートの打重ね時間間隔を厳守すると共に、後打ちコンクリートを打設する前には、必ず高周波バイブレーターをかけ、ワーカビリティが改善されてから打設を行うことで、コンクリートの打重ね部分のコールドジョイント防止とブリーディング水による色ムラ



写真-5 剥離剤の性能比較



写真-6 コンクリート表面に生じた色むら

の防止を図った。

5-6 コンクリートの色むらの防止について

打設高さが高い場合、コンクリート打設用のホースを落とし込み、自由落下高さを小さく抑え、コンクリートの分離の防止を行い、コンクリートの品質向上を図った。また、打設に際しては、筒先を外壁仕上げ側ではなく、内壁側に向けてコンクリートの流し込みを行った。先行して打設したコンクリートがゴム型枠表面に付着して、そのまま、早期に乾燥してしまった場合に、表面仕上がりには色むらが生じるためである（写真-6）。ポンプの筒先を追う形で、突き棒での突き作業を行った後は、ゴム型枠表面のコンクリートのふき取りを行った。

SRC 造で、壁上に鉄骨梁があるために、壁の内側に向けてコンクリートを流し込めない場所については、外壁ゴム型枠にコンクリートが付着しないように、シート養生を施し、ゴム型枠が汚れないように、コンクリートを流し込んだ（写真-7）。

5-7 打設後のコンクリートの養生について

コンクリート打設後、急激な乾燥をさけるための最適な養生（①打設後：ミストによる散水、②翌日以降：散水+外壁面のビニルシート養生）を行い、乾燥収縮によるひび割れ低減を図った。ビニルシート養生については、

保湿性が高く、コンクリートにとって、望ましい養生方法ではあったが、SRC 造であるため、先行施工している鉄筋、鉄骨からの錆がシートの内側に回り付着・放置すると、躯体が汚れてしまうことから、長期間の養生を避けた。

§6. PC の製作について

6-1 PC 製作プラントについて

プラント保有のセメントサイロを使用した場合、普通ポルトランドセメントがホワイトセメントに混入する恐れがあるため、ホワイトセメント専用のサイロと計量ビンまでのセメント搬送用スクリーコンベアを新規に設け、ミキサーに投入する方法とした。

6-2 現場打ちと PC の色あわせについて

PC 部材の製作についての問題点として、①現場打ちコンクリートと色が合うか、②PC 部材の仕上げ面が縦打ちとなる PC ボックスとベッド打ちとなる PC カーテンウォールの色が合うか、の2点が懸案事項であった。

①については、試験練りの際、製作した 30 cm×30 cm のサンプルで現場打ちと PC のものを比較したところ、若干、PCの方が白色が強くなったものの概ね同色であった。

また、実物大 PC 試験体と現場打ちモックアップ（写真—8）を比較したところ、概ね同色であったため、ホワイトセメントの量（重量）に対して着色材の量を決めることで、色彩には問題はなかったと考える。

問題点②については、30 cm 角サンプルで比較したところ、コンクリートの細骨材が沈降することで、ベッド打ちしたサンプルの方が若干黒味がかった色となっていたが、実物大の PC カーテンウォールを製作したところ、色の違いも少なくなっており、細骨材が沈降による色への影響は、少なかったと考える。

§7. まとめ

本工事により、ホワイトセメントを用いたコンクリートに着色材を混入した時の強度性状および色彩状況を把握することができた。また、実機試験練りの必要性についても改めて認識することができた。実機試験練りでは、スランプの変動及び空気量の変動が確認され、混和剤のタイプによる経時変化を把握するために実験を繰り返し行う必要が生じた。

今回、ホワイトセメントを使用してのコンクリートについて、沖縄でのホワイトセメントの流通がない状態であったため、沖縄の生コン組合、プラント、セメント商社をねばり強く説得することから始まった。生コンクリートについては、使用する材料の地域性もコンクリート



写真—7 筒先部分のゴム型枠面シート養生状況



写真—8 実物大 PC 試験体とモックアップの色比較

の性状に影響するため、各プラントの使用材料の統一、セメントの流通経路の確保、セメント保管状態による強度への影響の確認を行い、初めてコンクリートが作れる状態になった。それからの室内試験練り、実機試験練りによる色、性状確認を繰り返し行い、現場へ納品できるようになった。

実際、現場でこの生コンクリートを使用した場合、スランプは、21 cm 前後確保されていても、粘り気があるため、想定している以上に打設が捗らず、白セメントは普通セメントよりも高性能 AE 減水剤の効きが悪いことから、流動性・施工性が落ちるのが早く、打ち回しの回数を増やすなど、施工中のスランプ及び打設時間の管理に工夫することで、美観および高品質の化粧打放しカラーコンクリート躯体を実現した。

謝辞. 半年間、空港・三重城の両現場で合計 40 回にわたって、ホワイトセメントを使用したカラーコンクリートの躯体を施工できたのも、生コンプラントをはじめとする製作側と現場で施工を行った多くの作業員の方の真剣な努力の賜物であります。また、本件の検討にあたり、本社技術研究所をはじめとする幾多のご協力を頂いた。関係者各位に厚くお礼申し上げます。