

環境配慮型コンクリートの暑中環境下での 高速道路構造物への適用事例

今井 嵩 弓^{*1} 針 貝 貴 浩^{*2}白 根 勇 二^{*1} 小 西 兼 治^{*3}平 野 貴 也^{*3} 島 田 敏 英^{*4}

要 旨

2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、国内では環境負荷低減に関する取組みが加速している。著者らは、建設工事のCO₂排出量削減に貢献するため、高速道路のコンクリート製防護柵に環境配慮型コンクリートを適用した。適用にあたっては、結合材の貯蔵設備の制約により製造工場が限定されること、粉体量の増加に伴いコンクリートの粘性が高くなること、経時的な流動性の低下が大きくなる場合があり、特に暑中環境下ではその傾向が顕著になることが懸念された。

そこで、製造可能な工場を選定し、各結合材をプレミックスすることとした。また、運搬時間や暑中環境下におけるフレッシュ性状の変化を考慮して目標スランプを見直すとともに、流動性の保持性が高い化学混和剤を選定した。この結果、良好な施工を実現し、施工後1年の表層品質に問題は無く、有害なひび割れが無いことを確認した。さらに、本施工をモデルにCO₂総排出量を算出し、材料の調達から施工を考慮しても、適用した環境配慮型コンクリートがCO₂排出量削減に対して有効であることを示した。

キーワード カーボンニュートラル／CO₂排出量削減／環境配慮型コンクリート／低炭素型／高炉スラグ微粉末／フライアッシュ／暑中／プレミックス

目 次

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1. はじめに | 4. 各課題への対策 |
| 2. 環境配慮型コンクリートの適用の概要 | 5. 環境配慮型コンクリートの施工 |
| 3. 実構造物への適用に対する課題の整理 | 6. まとめ |

STUDY ON APPLICATION OF ENVIROMENT FRIENDLY CONCRETE IN HOT WEATHER

Takayumi IMAI
Yuji SHIRANE
Takaya HIRANO

Takahiro HARIGAI
Kenji KONISHI
Toshihide SHIMADA

Synopsis:

The purpose of this study is to construct concrete fence using environment friendly concrete in hot weather. When applying environmentally friendly concrete, one issue is that the number of manufacturing plants is limited due to constraints on binder storage facilities. In addition, fluidity of environment friendly concrete can decrease over time because it has a high viscosity, there are concerns that this decrease in concrete fluidity will be particularly noticeable in hot weather.

To address these issues, the authors premixed the binder to make it easier to select manufacturing plant. In addition, taking into account the decrease in fluidity due to transportation time and hot weather, the target slump was reviewed and a chemical admixture with high fluidity retention properties was selected. As a result, the workability and quality of the surface layer after construction was good.

* 1 本店 ICI テクノロジーセンター 施工革新グループ

* 2 本店 土木設計部 構造設計グループ

* 3 北陸支店 今庄・武生高架橋（その2）作業所

* 4 中日本高速道路(株) 金沢支社福井保全・サービスセンター

1. はじめに

2020 年 10 月に日本政府が 2050 年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを宣言¹⁾して以降、国内ではカーボンニュートラルに向けた様々な取組みが加速している。建設部門における CO₂ 排出量は、建設機械から直接排出される CO₂ だけでなく、コンクリートや鉄筋などの建設資材の製造や運搬の過程から間接的に排出される CO₂ が含まれ、全産業の約 1 割を占める²⁾ため、CO₂ 総排出量の削減に向けた具体的な取組みが期待されている。

コンクリートの分野では、原料の焼成により多くの CO₂ を排出するセメントを産業副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材に置換した低炭素型のコンクリートが開発されてきた。例えば、土木研究所からは、鉄筋コンクリートおよび無筋コンクリートでは高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等を含めた混和材の置換率を高炉セメント C 種の上限値以上（70%以上）とすることによって、材料製造時の CO₂ 排出量の大幅な削減を可能とした結合材を「低炭素型セメント結合材」と整理し（図-1.1 参照）、低炭素型セメント結合材を使用したコンクリートの実用化を目的として、品質評価方法や設計施工法を示したガイドラインを公表した³⁾。

また、NEXCO 中日本では、「環境配慮型コンクリート設計・施工管理要領（低炭素型コンクリート編）」（以下、NEXCO 指針という）を制定した⁴⁾。NEXCO 指針では、セメントの大半またはすべてを混和材に置換した環境配慮型コンクリートを「低炭素型」に分類し、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べ CO₂ 排出量削減率が 40%以上のものを対象としている。

このような背景の下、著者らは北陸自動車道の床版取替工事において、導入推進を目的に NEXCO 指針に従いコンクリート製防護柵に低炭素型の環境配慮型コンクリートを適用することとした。施工時期は 2024 年 7 月の暑期中で、場所打ちコンクリートとして施工した。

本稿では、暑中環境下での環境配慮型コンクリートの高速道路構造物への適用事例を報告するとともに、適用にあたっての課題と対策、工事における CO₂ 排出量削減効果について報告する。

2. 環境配慮型コンクリートの適用の概要

2.1 環境配慮型コンクリートの特性

コンクリート製防護柵には、既往の研究⁵⁾において前田建設工業らが開発した「スーパーグリーンコンクリート」（以下、SG コンクリートという）を使用した。図-2.1 に SG コンクリートの概念図を示す。SG コンクリートは、結合材に占めるポルトランドセメントの割合を JIS R 5211 に規定される高炉セメント C 種よりも小さい下限値 30% より下回るものとしており、材料由来の CO₂ 排出量の大幅な削減を可能としている。SG コンクリートは水和発熱量が小さいため、温度ひび割れ低減効果が高く、マスコ

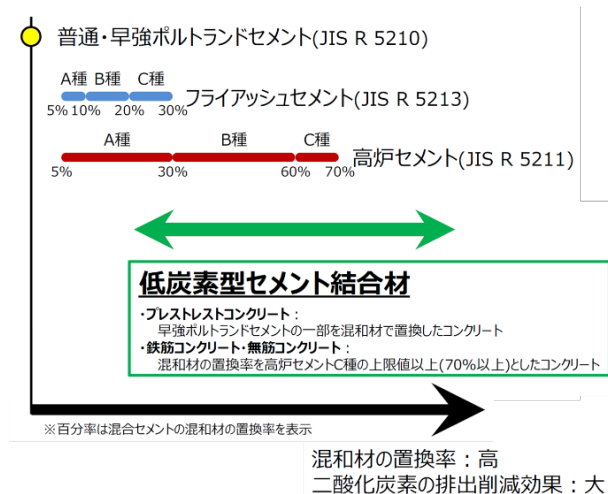


図-1.1 低炭素型セメント結合材の位置付け¹⁾

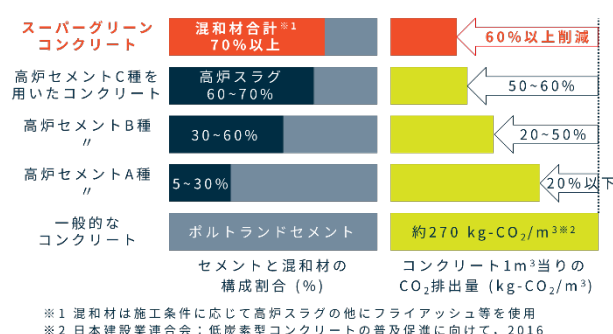


図-2.1 SG コンクリートの概念図

ンクリートへの使用にも適している。加えて、普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比べてアルカリシリカ反応や塩化物イオンの浸透に対する抑制効果を有する。一方、コンクリート中のアルカリ量が少ないため、中性化に対する抵抗性は同程度の水結合材比の一般的なコンクリートと比較して劣る傾向にある。

本検討で対象とした工事で適用した環境配慮型コンクリートは、工事現場から比較的近い位置に高炉スラグ微粉末 4000 およびフライアッシュ II 種の製造工場があったことから、結合材の一部にそれらを使用した 3 成分系とした。セメントには早強ポルトランドセメントを使用し、その割合は結合材全体の 25% とした。

2.2 環境配慮型コンクリートの適用工事

表-2.1 に、環境配慮型コンクリートの適用工事の概要を示す。本検討で対象とした工事は、高速道路の床版取替工事であり、環境配慮型コンクリートは本工事のうち阿久和川橋のコンクリート製防護柵に適用した。

図-2.2 に、阿久和川橋の標準断面図を示す。コンクリート製防護柵は長さ 25m の壁部材で、中央分離帯側と側道側の 2 か所あり、コンクリート総量は 19.2m³であった。阿久和川橋は、冬季に凍結防止剤を散布するため、従来のコンクリートを使用した詳細設計においてエポキシ樹

脂塗装鉄筋を使用することとなっていた。環境配慮型コンクリートを適用するにあたり、凍結防止剤による鋼材腐食に対する照査を行ったところ、普通鉄筋では照査を満足しないことが明らかとなり、当初設計と同様にエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することとした。

3. 実構造物への適用に対する課題の整理

3.1 製造における課題

環境配慮型コンクリートでは、結合材にレディーミクストコンクリート工場が日常の製造で使用していない混和材を用いる場合が多くある。また、コンクリート1m³あたりの各結合材の使用量が計量器の精度に対して少なく、計量誤差を生じる場合もあり、製造設備の制約を受けることが懸念される。そのため、製造工場の選定が重要で、混和材を貯蔵するサイロの確保と計量精度の確保が課題として挙げられた。

3.2 施工における課題

環境配慮型コンクリートの施工にあたっては、コンクリート製防護柵に充填不良やコールドジョイントが生じないように、施工性を確保することが重要であった。環境配慮型コンクリートのように混和材を大量に使用したコンクリートは、一般的なコンクリートと比較して所要の強度を得るための水結合材比が小さくなるため、フレッシュコンクリートの粘性が高くなる傾向があり⁴⁾、型枠への充填性の低下が懸念された。また、コンクリート製防護柵の施工時期が7月の暑中期であったため、当日の天候によっては気温の上昇によるスランプの低下が想定以上に大きくなることが懸念された。

4. 各課題への対策

4.1 製造の課題への対策

本工事の近隣では、結合材を貯蔵できる空きサイロを保有したレディーミクストコンクリート工場を選定することができなかった。そのため、約30km離れたプレキャストコンクリート製品工場で環境配慮型コンクリートを製造し、現場まで運搬することとした。ただし、同工場は空きサイロを保有していたものの、指定する3種類の結合材の全てを保有することが困難であったため、各結合材をプレミックス材として使用することとした。

プレミックス材の製造は、特殊セメントの製造を行っているプレミックス材製造工場で行った。図-4.1に、プレミックス材の製造プロセスを示す。製造方法はバッチ生産方式で高速せん断ミキサを使用し、1バッチあたりの製造数量を2,000kgとして、合計7バッチを連続で製造した。製造されたプレミックス材は、バッチ毎にフレコンパックに梱包した後セメントバラ車に積み替えコンクリートの製造工場へ納入した。表-4.1に、プレミックス材の品質管理項目を示す。プレミックス材の品質管理はJIS

表-2.1 環境配慮型コンクリート適用部材の概要

項目	内容
工事名称	北陸自動車道（特定更新等） 今庄IC～武生IC 間床版取替工事 （その2）
施工対象	阿久和川橋（上り線） 橋長：25.0m
適用部材	コンクリート製防護柵 数量：19.2 m ³
設計基準強度	30 N/mm ²
施工時期	2024年7月
施工方法	場所打ちコンクリート （コンクリートポンプ車）
コンクリート種類	環境配慮型コンクリート 結合材：3成分 ・早強ポルトランドセメント ・高炉スラグ微粉末 4000 ・フライアッシュⅡ種

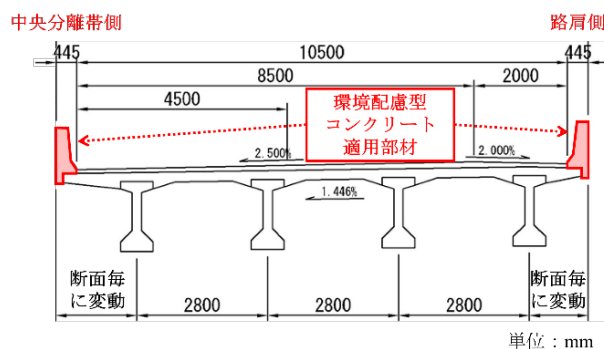


図-2.2 阿久和川橋の標準断面図

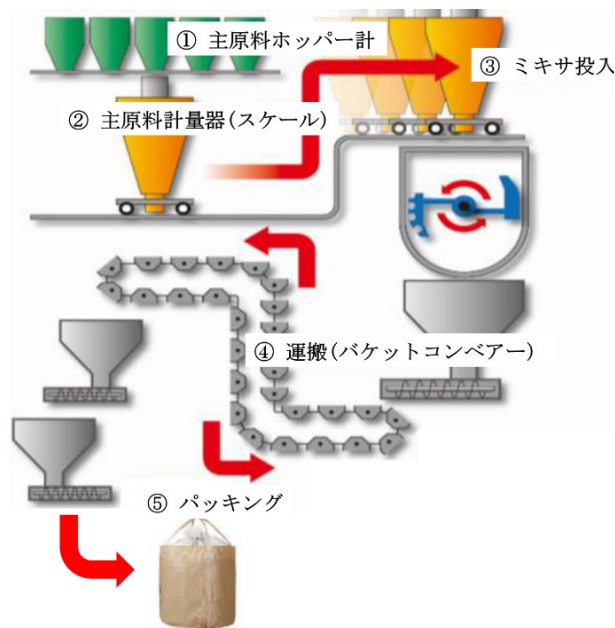


図-4.1 プレミックス材の製造プロセス

R5210に規定されるセメントの品質規格を参考にセメント圧縮強さ、凝結時間および密度について実施した。

表-4.2 に、プレミックス材製造時のバッチ間の品質変動を示す。圧縮強さの変動係数は 2.7~3.6%，凝結時間の変動係数は 3.5~5.6%であり、いずれも品質変動は小さいといえる。図-4.2 に、プレミックス材の圧縮強さの試験結果を示す。図-4.3 に、凝結時間の試験結果を示す。各図中の個別計量の試験結果は、プレミックスせずに各結合材を個別に計量して練り混ぜた試料のものである。図-4.2および図-4.3より、プレミックス材の圧縮強さおよび凝結時間は、バッチ間の差はほとんどなく、個別計量の試料の結果と比較しても差は認められない。したがって、今回適用したプレミックス材の製造方法は、妥当な製造方法と判断した。なお、図-4.2 および図-4.3 の破線は、適用したプレミックス材と混和材置換率が近い高炉セメント C 種の JIS 規格値を参考までに示している。プレミックス材の圧縮強さおよび凝結時間は、高炉セメント C 種の JIS 規格値の範囲内で、比較的似た傾向であった。

4.2 施工の課題への対策

表-4.3 に、当初計画されていたコンクリートと環境配慮型コンクリートの仕様を示す。前述のとおり、環境配慮型コンクリートは粘性が高くなる傾向にあること、暑中環境下においてスランプの低下が顕著になる可能性があったことから、当初計画では荷卸し時のスランプの目標値は $12 \pm 2.5\text{cm}$ であったが、 $18 \pm 2.5\text{cm}$ に変更した。また、運搬時間や暑中環境下の施工となることを考慮し、流動性の保持性が高い高性能 AE 減水剤を選定することとした。さらに、施工当日の天候によっては、大幅な気温上昇により想定外のスランプ低下が懸念されたことから、練混ぜ時の計量値の確認とフレッシュ性状の確認を行うことを前提に、必要に応じて練混ぜ時に用いる高性能 AE 減水剤を現場でアジテータ車へ後添加して流動性の回復を図る計画とした。これは、環境配慮という主旨からも適切に品質管理されたコンクリートの廃棄量を削減する目的で採用した対策である。

コンクリートの経時変化の確認、出荷時のフレッシュ性状の目標値の決定、高性能 AE 減水剤の後添加量の目安を確認することを目的に、施工の約 1 か月前に実機試験を実施した。練上がりから荷卸しまでの時間は、前述したプレキャスト製品工場から工事現場までの運搬時間と、荷卸し時の品質管理に要する時間を考慮し、60 分に設定した。また、コンクリートは 1 バッチの容量を 1.05m^3 として 2 バッチ分製造し、1 台のアジテータ者に積載して試験を行った。表-4.3 に、荷卸し時（経過 60 分）の目標スランプと目標空気量を示す。表-4.4 に、実機試験時のフレッシュ性状試験の結果を示す。試験時の気温は $22 \sim 23^\circ\text{C}$ で暑中環境ではなかったが、練上がりから 60 分後のスランプの低下は 2.0cm 、空気量の低下は 0.2% に留まり、

表-4.1 プレミックス材の品質管理項目

試験項目	試験方法	備考
強さ試験	JIS R 5210	全 7 バッチで実施
凝結試験		
密度		1,4,7 バッチ目で実施

表-4.2 プレミックス材製造時のバッチ間の品質変動

品質項目		平均	標準偏差	変動係数 (%)
圧縮強さ (N/mm ²)	3d	11.3	0.3	2.7
	7d	22.4	0.8	3.6
	28d	47.9	1.7	3.5
凝結 (min)	始発	301	17	5.6
	終結	372	13	3.5
密度 (g/cm ³)	No.1,4,7 バッチ	2.76	0.02	0.7

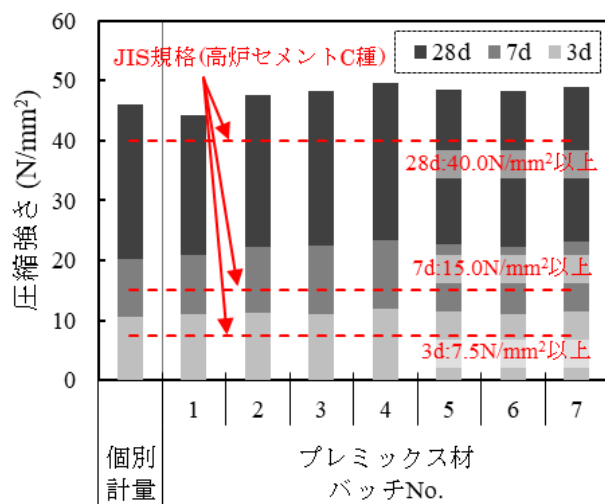


図-4.2 圧縮強さの試験結果

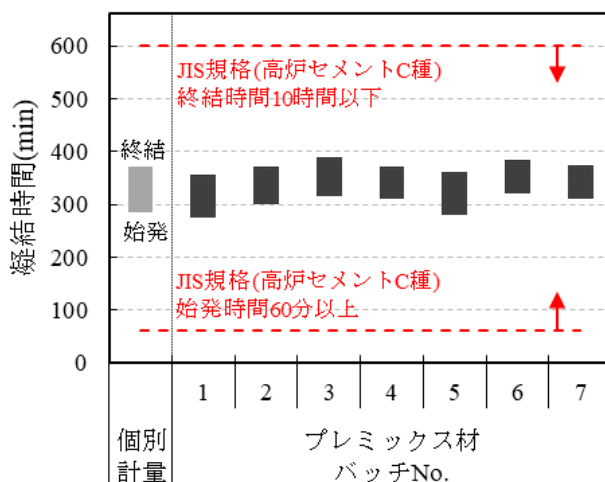


図-4.3 凝結時間の試験結果

60 分経過後でも目標とするフレッシュ性状を得られることを確認した。そのため、練上がり時の目標スランプは $21 \pm 2.5 \text{ cm}$ 、目標空気量は $4.5 \pm 1.5 \%$ に設定することにした。さらに、単位結合材量に対して高性能 AE 減水剤を 0.05% の割合で後添加することでスランプが 2.5cm 回復することを確認した。なお、圧縮強度はベースコンクリートと高性能 AE 減水剤を後添加したコンクリートを比較しても大きな差はなかった。

5. 環境配慮型コンクリートの施工

5.1 施工状況

表-5.1 に、施工時のフレッシュ性状試験の結果を示す。出荷から受入れまでの所要時間は出荷時の品質確認を行ったため 50 分程度で、受入れ場所の環境は、外気温が 33°C 、コンクリート温度が $30 \sim 33^\circ\text{C}$ であったが、受入れ時のスランプは目標値内に収まり、良好な流動性を保持していた。このため、高性能 AE 減水剤の後添加によるスランプ回復は行わなかった。

写真-5.1 に、施工中における筒先のコンクリートの性状と仕上げ状況を示す。筒先においても適切なワーカビリティを保ち、良好な打込みと締固め作業を行うことができた。粘性も過度とならず仕上げ作業も容易であった。

5.2 施工後調査の結果

写真-5.2 に、コンクリート製防護柵の完成状況を示す。コンクリート表面は空気泡が少なく、ブリーディングによる色むらなども見られず、良好な充填性を確保できた。また、コンクリート表面にひび割れは生じていたものの、有害なひび割れは確認されなかった。

打込みから 3 か月および 12 か月後にコンクリート製防護柵（側道側）の任意の 7 箇所（車道側 3 点、外側 4 点）で表層透気試験（トレント法）を実施した。測定箇所は、ひび割れや表面気泡、段差などがなく、それらの変状から 150mm 以上離れた位置とした。表層透気試験から得られる透気係数の評価方法は、文献⁷⁾を参考に $0.001 \sim 100 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 間を優～極劣の 5 段階に分けて評価した。

図-5.1 にコンクリート製防護柵の表層透気試験の結果を示す。透気係数は、施工後 3 か月の時点で概ね $0.01 \sim 0.1 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ の「良」評価、施工後 12 か月の時点で $0.1 \sim 1 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ の「一般」評価となり、環境配慮型コンクリートで施工したコンクリート製防護柵の表層品質に問題がないことが確認された。

5.3 CO₂ 排出量削減効果

環境配慮型コンクリートを適用したプレキャスト床版取替工事の CO₂ 排出量の削減効果を評価するため、文献³⁾を参考に、資材の数量、運搬距離、および施工に係る数量に CO₂ 排出原単位を乗じて積算する積み上げ法により、施工段階の CO₂ 総排出量を算定した。コンクリート 1 m^3 当

表-4.3 コンクリートの種類と仕様

項目	当初計画の コンクリート	環境配慮型 コンクリート
呼び強度	30	30
結合材種類	H	プレミックス材
粗骨材最大寸法	20mm	20mm
荷卸し時の 目標スランプ	$12 \pm 2.5 \text{ cm}$	$18 \pm 2.5 \text{ cm}$
荷卸し時の 目標空気量	$4.5 \pm 1.5 \%$	$4.5 \pm 1.5 \%$

表-4.4 実機試験時のフレッシュ性状試験の結果

測定時期	SL	Air	CT	AT
	(cm)	(%)	($^\circ\text{C}$)	($^\circ\text{C}$)
1 バッチ目	22.0	4.6	24.0	22.0
2 バッチ目(0 分)	22.0	4.8	25.0	22.0
30 分後	20.0	5.1	26.0	22.0
60 分後	20.0	4.6	27.0	23.0
90 分後	18.5	4.2	27.0	23.0
後添加後	21.0	3.5	27.0	23.0

※ SL：スランプ，Air：空気量

CT：コンクリート温度，AT：外気温

表-5.1 施工時のフレッシュ性状試験の結果

台数	時刻 (h:mm)	SL (cm)	Air (%)	CT ($^\circ\text{C}$)	AT ($^\circ\text{C}$)
1	出荷 9:15	20.0	4.5	29.0	28.0
	受入 10:06	18.0	4.4	31.0	33.0
2	出荷 9:45	19.5	4.5	29.0	27.0
	受入 10:33	18.5	4.3	30.0	33.0
3	出荷 10:15	17.5	5.3	30.0	28.0
	受入 11:07	15.5	4.9	32.0	33.0
4	出荷 10:45	20.5	5.2	29.0	28.0
	受入 11:32	17.0	4.8	33.0	33.0
5	出荷 11:15	20.0	5.0	29.0	28.0
	受入 12:00	19.5	4.7	33.0	33.0



(a) 筒先の性状

(b) 仕上げの状況

写真-5.1 環境配慮型コンクリートの施工状況



写真-5.2 コンクリート製防護柵の完成状況

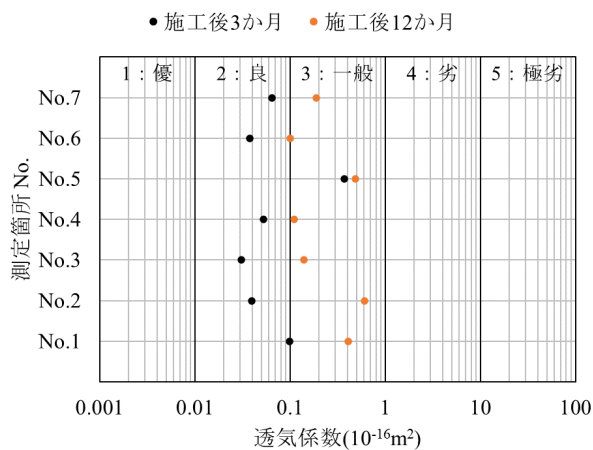


図-5.1 表層透気試験の結果

りの CO₂ 排出量は、コンクリートの配合の各材料の単位量に CO₂ 排出原単位を乗じたものの総和とした。

表-5.2 に検討ケースとコンクリートの種類を示す。Case1 は、実際の施工に適用した環境配慮型コンクリートで、結合材の割合は、早強ポルトランドセメントを 25% とし、高炉スラグ微粉末とフライアッシュをブレミックスしたものである。Case2 は、一般的な施工を仮定した普通コンクリートで、早強ポルトランドセメントのみを使用したものである。

表-5.3 に、各分類に係る CO₂ 排出原単位の一覧を示す。資材に係る CO₂ 排出量は、コンクリートに使用する材料の他に、補強材としてエポキシ樹脂塗装鉄筋も考慮した。運搬に係る CO₂ 排出量は、各資材の生産地から施工場所までの運搬の他に、環境配慮型コンクリートのブレミックス材の製造工場とコンクリートの製造工場の経路による運搬も考慮した。コンクリート製造工場から工事現場までの運搬距離は、Case2 では近隣の JIS 認証工場での製造と仮定し 10km としたが、Case1 では前述のとおりプレキャストコンクリート製品工場からの 30km とした。また、ブレミックス材の製造に係る CO₂ 排出量は、材料購入後の混合であったため、施工に係る CO₂ 排出量に加算した。

図-5.2 に、コンクリート 1m³ 当りの CO₂ 排出量を示す。Case1 の環境配慮型コンクリートは、Case2 の普通コンク

表-5.2 検討ケースとコンクリートの種類

検討ケース	コンクリートの種類
Case1	環境配慮型コンクリート (結合材はブレミックス材を使用)
Case2	普通コンクリート (早強ポルトランドセメントを使用)

表-5.3 CO₂ 排出原単位の一覧

分類	項目	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /**)		引用
		数値	(**)	
資材	ポルトランドセメント	788.6	t	8)
	高炉スラグ微粉末	26.5	t	9)
	フライアッシュ	19.6	t	
	骨材	3.7	t	
	地下水	0.245	t	10)
	化学混和剤	350	t	11)
運搬	エポキシ樹脂塗装鉄筋※1	469	t	12)
	トラック	積載量 17t	0.0750	
		積載量 10t	0.102	
	アジテータ車	1.66	km・台	
施工	コンクリート製造※2	0.319	m ³	
	コンクリートポンプ車	0.419	m ³	
	高周波発電機	2.98	h・台	

※1 鉄筋 1t 当りに塗布されるエポキシ樹脂 (塗膜厚: 200 μm) の重量にエポキシ樹脂単体の CO₂ 排出原単位¹³⁾を乗じ、鉄筋の原単位に加算した。

※2 Case1 の原単位を示す。Case2 の練混ぜ時間は Case1 の 2 倍 (90 秒) としたため、CO₂ 排出原単位は Case1 の 2 倍とした。

リートと比較してその削減率は 65.1%であった。表-5.4 に、施工段階における CO₂ 総排出量を示す。コンクリートに係る CO₂ 排出量は、Case2 の 5.203t に対して Case1 は 1.816t となり、資材全体ではこれらの値にエポキシ樹脂塗装鉄筋の製造過程で排出される CO₂ 排出量 1.411t が加えた値となる。Case1 の運搬に係る CO₂ 排出量は、ブレミックス材の運搬による CO₂ 排出が加算されたことにより Case2 と比べて多くなった。Case1 および Case2 の施工に係る CO₂ 排出量は、いずれも 0.02t 程度であり CO₂ 総排出量に対する割合は小さく、Case1 および Case2 の間にも大きな差はなかった。これは、本算定において考慮した施工に係る CO₂ 排出量が、他の段階における CO₂ 排出量と比べて小さかったためである。

また、Case2 に対する Case1 の施工段階の CO₂ 総排出量の削減率は 40.6%となり、運搬および施工を考慮しても環境配慮型コンクリートの適用が施工段階の CO₂ 総排出量の低減に対して効果的であることが明らかであった。

6. まとめ

本稿は、暑中環境下において環境配慮型コンクリートを実構造物に適用するための検討内容と、実際に施工した結果について述べた。以下に本検討で得られた知見を示す。

- ・ 複数の結合材を使用したプレミックス材が適切に混合されているかを確認した結果、バッチ混合方式で製造したプレミックス材の圧縮強さ、凝結時間および密度は、バッチ毎のばらつきは認められず安定した品質であることが確認された。
- ・ 環境配慮型コンクリートの施工上の課題を整理し、不具合が生じないように、運搬時間や暑中環境下におけるフレッシュ性状の変化に対する対策を検討した。適切なスランプを設定するとともに、流動性の保持性が高い高性能 AE 減水剤を選定することで、コンクリート製防護柵の施工では良好な充填性を確保することができた。
- ・ 想定以上に気温が上昇しスランプの低下が大きい場合に、廃棄コンクリート削減の目的を含め、高性能 AE 減水剤の後添加を行うことを検討し、実機試験においてその有効性を確認した。
- ・ 施工後の表面観察では、コンクリートの表面気泡は少なく、ブリーディングによる色むらも認められなかった。また、施工後3か月および12か月の時点で実施した表層透気試験の結果、良好な表層品質を形成していることを確認した。
- ・ 環境配慮型コンクリートを適用した本工事におけるCO₂排出量の削減効果について、資材、運搬および施工を考慮して評価した結果、プレミックス材の運搬やコンクリートの製造によるCO₂排出量の増加を考慮しても、施工段階のCO₂総排出量の削減に効果があることを明らかにした。

参考文献

- 1) 内閣府 HP：第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説，2020.10
- 2) 土木研究所，プレストレスト・コンクリート建設業協会，大林組，大成建設，前田建設工業，戸田建設，西松建設，鐵鋼スラグ協会，電源開発：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（I），第471号，2016.1
- 3) 国土技術政策総合研究所，土木学会：社会資本のライフサイクルをとらえた環境評価技術の開発に関する報告，2012.2
- 4) 中日本高速道路：環境配慮型コンクリート設計・施工管理要領（低炭素型コンクリート編），2023.11
- 5) 土木研究所，大成建設，前田建設工業：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（IV），第474号，2016.1

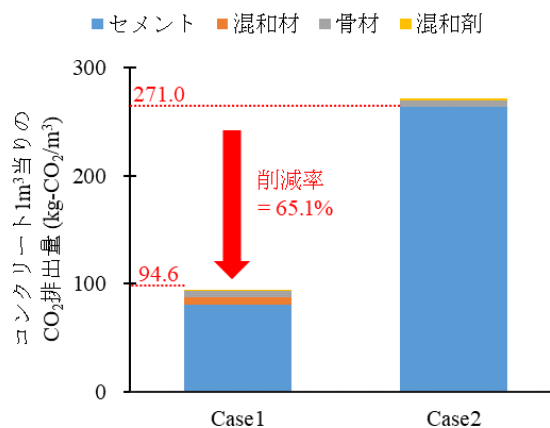


図-5.2 コンクリート 1m³ 当りの CO₂ 排出量

表-5.4 施工段階における CO₂ 排出量

項目		CO ₂ 排出量 ^{※1} (t-CO ₂)	
		Case1	Case2
資材	コンクリート	1.816 [43.5%]	5.203 [74.0%]
	エポキシ樹脂 塗装鉄筋	1.441 [34.5%]	1.441 [20.5%]
運搬		0.898 [21.5%]	0.371 [5.3%]
施工		0.024 [0.6%]	0.017 [0.2%]
CO ₂ 総排出量		4.180	7.032
Case2 に対する CO ₂ 総排出量の削減率 ^{※2}		40.6%	

※1 [] 内の数値は、同一ケースの CO₂ 総排出量に対する割合(項目/CO₂ 総排出量×100)を示す

※2 (Case2-Case1)/Case2×100

- 6) 土木学会：混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー，No.152，2018.9
- 7) 半井健一郎，Roberto J. TORRENT：表層透気試験（トレント法）の実務展開，コンクリート工学，Vol.52，No.7，2014.7
- 8) セメント協会：セメントの LCI データの概要，2023.2
- 9) 土木学会：コンクリート技術シリーズ62 コンクリートの環境負荷評価（その2），2004.9
- 10) 東京都水道局：環境報告書2023，2023.11
- 11) 日本コンクリート工学会：コンクリートセクターにおける地球温暖化物質・廃棄物の最小化に関する検討委員会報告書，2010.7
- 12) 日本コンクリート工学会：セメント・コンクリートの環境影響評価に関する研究委員会報告書，2024.9
- 13) 産業技術総合研究所：カーボンフットプリント制度試行事業用 CO₂換算量共通原単位データベース，2009.8