

混和材を用いたコンクリートに対する強度・耐久性能・環境性能の 相互関係に関する一考察

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 濱田 秀則
九州大学大学院 学生会員 池田 隆徳 高 鳴笛

1. はじめに

近年、種々の分野で環境性能が注目される中、コンクリート構造物においても環境性能を評価する動きが始まっている^{1),2)}。環境性能の評価指標のうち、最も代表的なものはCO₂排出量である。環境負荷低減型のコンクリートの一つとして、「同等の性能で比較した場合にCO₂排出量が小さいコンクリート」が考えられる。

コンクリート分野では、セメント製造時のCO₂排出量が圧倒的に大きい。よって、コンクリートのCO₂排出量を削減するために現段階で最も有効な策として考えられるのは、混和材の使用である。混和材を用いたコンクリートは、初期強度の低下、中性化速度の増大（水結合材比が一定の場合）などの短所を有する一方で、塩分浸透速度の低減、長期強度の増大などの長所も有する。本稿では、強度、耐久性能および環境性能の相互関係について検討を行った結果について示す。

2. CO₂排出量算定のためのインベントリデータ

本研究では、表-1に示すインベントリデータ¹⁾を使用し、コンクリートの構成材料に由来するCO₂排出量のみを考慮した。コンクリート構造物の建設においては、コンクリートの製造、材料やコンクリートの運搬、さらには施工の段階で生じるCO₂もあるが、本研究では検討対象外とした。また、海砂および化学混和剤のCO₂排出量はゼロとした。

表-1 コンクリート構成材料のCO₂排出量インベントリデータ¹⁾

材料	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)
普通ポルトランドセメント	766.6
天然粗骨材(砕石)	2.9
高炉スラグ微粉末	26.5
フライアッシュ	19.6

3. 実験結果

強度および耐久性に関するデータは、既往の実験結果³⁾等を用いた。コンクリートの示方配合を表-2に示す。配合は、結合材に普通ポルトランドセメントのみを使用し水セメント比を35%~60%に変化させた配合(N35~N60)と、セメントの一部を高炉スラグ微粉末4000(置換率30, 50, 70%)またはフライアッシュII種(置換率10, 20, 30%)で置換した配合である。単位細骨材量および単位粗骨材量が大きく変化しない範囲で、スランプ10.0±2.0cmおよび空気量4.5±1.0%が得られるよう、AE減水剤または高性能AE減水剤により調整した。

表-2 コンクリートの示方配合

配合	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			水 W	結合材B			細骨材 S	粗骨材 G
				セメントC	スラグ	フライアッシュ		
N35	35	43	145	414	－	－	753	1122
N40	40	43	150	375	－	－	761	1135
N50	50	44	170	340	－	－	769	1100
N60	60	44	170	283	－	－	789	1129
N50B30-4	50	43	170	238	102	－	748	1115
N50B50-4		43	170	170	170	－	746	1112
N50B70-4		43	170	102	238	－	744	1109
N50F10	50	41	160	288	－	32	730	1181
N50F20		41	160	256	－	64	726	1174
N50F30		41	160	224	－	96	722	1168

それぞれの配合について、28日強度(20℃水中養生)を求めた。また、促進中性化試験(40℃, 60%R.H.,

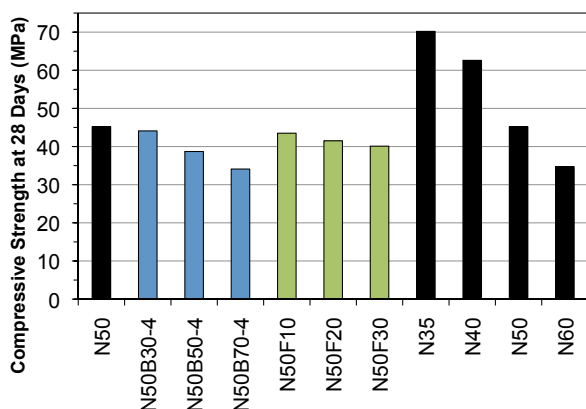


図-1 28日圧縮強度試験結果(20℃水中養生)

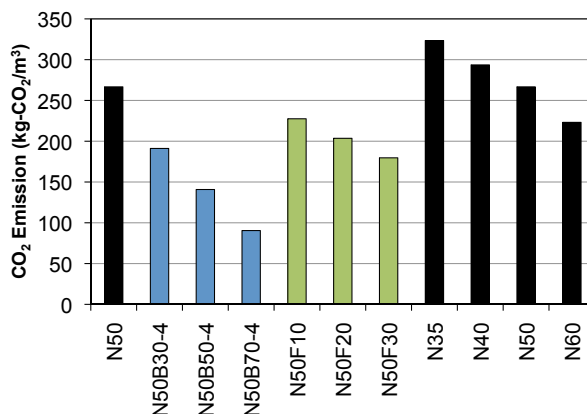


図-2 CO₂排出量算出結果(コンクリート1m³あたり)

CO₂ 濃度 7%) および塩水浸漬試験 (20℃, NaCl 濃度 10%) を行い, 中性化速度係数および硝酸銀水溶液噴霧による塩分浸透深さを求めた。

強度試験結果および CO₂ 排出量算定結果をそれぞれ, 図-1, 図-2 に示す。それぞれの図の左端には, 比較の基準となる N50 (水セメント比 50%) の値を示している。混和材置換率が大きいほど, CO₂ 排出量が小さくなるのが分かる。

4. 強度と CO₂ 排出量の関係

本研究では, 既往の研究⁴⁾を参考にし, CO₂ 排出量を 28 日圧縮強度で除した値を求めた。この値は, 単位強度 (1N/mm²) を得るために排出される CO₂ の量と考えることができる。算出結果を図-3 に示す。

混和材を使用した場合, 置換率が大きいほど 28 日強度は低くなるものの, 強度の低下割合よりも CO₂ 排出量の低下割合の方が大きいため, CO₂ 排出量/圧縮強度の値は N50 よりも小さくなった。また, N35~N60 を比較すると, N40~N60 では水セメント比の低下とともに CO₂ 排出量/圧縮強度の値は小さくなったが, N35 では N40 と同等の値となり, 頭打ちの傾向を示した。

5. 中性化・塩分浸透性状と CO₂ 排出量の関係

中性化速度係数や塩分浸透深さが大きいほど, コンクリートの耐久性能は低いと考えることができる。そこで, CO₂ 排出量に中性化速度係数または塩分浸透深さを乗じた値を評価の指標とした。それぞれの算出結果を, 図-4, 図-5 に示す。

CO₂ 排出量×中性化速度係数を N50 のものと比較すると, 図-4 に示すように, 高炉スラグを用いた場合には置換率の増加とともに小さくなり, フライアッシュを用いた場合には置換率の増加とともに大きくなった。また, 図-5 に示すように, CO₂ 排出量×塩分浸透深さを N50 のものと比較すると, 混和材を用いた場合には全て同等以下となった。本研究では中性化速度係数または塩分浸透深さの値を CO₂ 排出量に単純に乗じて指標としたが, 耐久性能と環境性能を比較するための指標については, 更なる検討が必要であると考えられる。

6. まとめ

- (1) コンクリートの CO₂ 排出量は, 混和材置換率が高いほど小さくなる。
- (2) 「CO₂ 排出量/28 日圧縮強度」および「CO₂ 排出量×塩分浸透深さ」の値は, 水結合材比一定 (W/B=50%) の場合, 混和材置換率が高いほど小さくなる傾向となる。
- (3) 「CO₂ 排出量×中性化速度係数」の値は, 高炉スラグ微粉末の置換率が大きいほど小さくなり, フライアッシュの置換率が大きいほど大きくなる。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針 (試案), コンクリートライブラリー125, 2005.11
- 2) 日本コンクリート工学協会：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研究委員会報告書, 2010.7
- 3) 内藤哉良, 松下博通, 鶴田浩章, 佐川康貴, 福田諭士：各種混和材を混入したコンクリートの中性化に関する検討：土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 第 V 部門, pp.25-26, 2003.9
- 4) 松家武樹, 福留和人, 坂本守, 斉藤栄一, 堺孝司, 鈴木康範：フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたローカーボンコンクリートに関する研究, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集 (DVD-ROM), 第 V 部門, pp.969-970, 2010.9

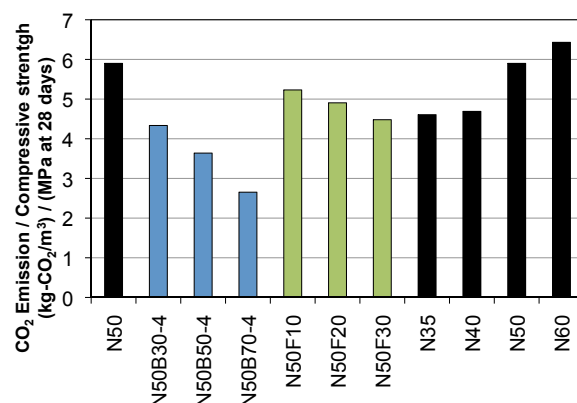


図-3 CO₂ 排出量/圧縮強度

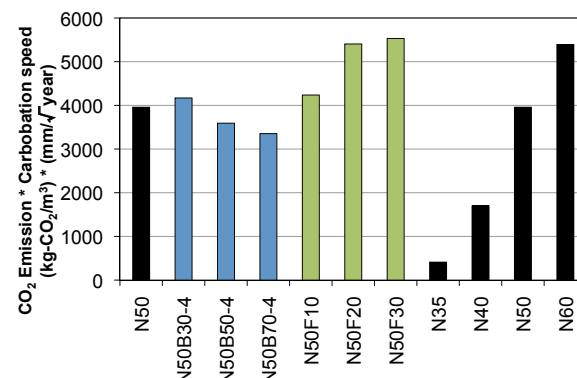


図-4 CO₂ 排出量×中性化速度係数

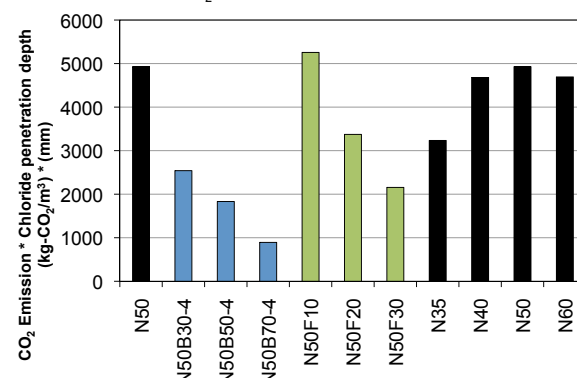


図-5 CO₂ 排出量×塩分浸透深さ