論文 混和材を用いた RC はりのせん断特性と環境影響評価

安田 瑛紀*1・小亀 大佑*1・河野 克哉*2・多田 克彦*3

要旨:混和材を使用した鉄筋コンクリートはりを作製し、そのせん断特性と環境への影響を検討した。配合選定の結果、混和材を使用する場合には同一の目標強度を得るために水結合材比を最大で 13%低減する必要があった。載荷実験の結果、いずれの配合も既往の計算式で概ね安全側にせん断耐力を評価できたが、高炉スラグ微粉末を使用した場合には収縮ひび割れ等の影響で曲げひび割れ幅が増加すると同時に部材の剛性が低下する傾向を確認した。混和材を使用しない場合にコンクリート作製時の CO2 排出量は増大する一方で、リサイクル利用の困難な資源の活用に有効であることが廃棄物評価指標によって示された。

キーワード: 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, せん断耐力, CO2排出量, 環境調和指標, 廃棄物評価指標

1. はじめに

ポルトランドセメントは製造過程で多くの二酸化炭素 (以下, CO₂)を排出し、その大部分は焼成工程における 熱エネルギーと石灰石の熱分解(CaCO₃→CaO+CO₂↑) に由来する。このため最近では、セメントの一部を高炉 スラグ微粉末等の混和材で置き換えた低炭素型コンクリ ートに関する研究が活発である。

セメント産業は多量の CO₂を排出する一方で、他産業から発生した廃棄物を原燃料として受入れている。このような貢献分も含めて、セメントが環境に与える影響を評価する目的で種々の手法が提案されている^{例えば、1)}が、いずれもセメント製造時の評価に留まっており、コンクリート構造物の製造・供用・更新までを包括的に考慮した評価方法は現状では確立されていない。

著者らはこれまで、低炭素型コンクリートの構造特性を検討しており、高炉スラグ微粉末を多量に含むコンクリートを使用することによって鉄筋コンクリート(以下、RC)はりのせん断耐力が計算耐力よりも下回る傾向にあることを示してきた²⁾。しかしながら、既往の検討においては試験水準によってコンクリート強度が異なり、またせん断スパン比が 3.0 と比較的小さいことからせん断破壊形態を明確に分類することが困難であるため、せん断耐力への影響を定量化するには至っていない。

そこで本研究では、混和材を使用しないコンクリートと、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを使用したコンクリートを同一材齢における圧縮強度が等しくなるように作製し、それぞれのコンクリートの材料特性および構造特性を実験により検討した。さらに、それぞれの配合が環境に与える影響をCO2排出原単位と土木学会が提案している「環境調和指標」を用いて、コンクリートが環境に与える影響を定量評価した。

2. 実験概要

2.1 実験ケース

本検討では、4 水準のコンクリートを用意した。実験 パラメータは、1) 混和材種類、2) 混和材置換率、3) 養 生条件である。実験ケースを表-1 に示す。コンクリー トの配合は、結合材として普通ポルトランドセメントの みを使用したもの、普通ポルトランドセメントの20%を フライアッシュで内割置換したもの,60%を高炉スラグ 微粉末で内割置換したものを用意し, それぞれの配合名 を OPC48, FA42 および BFS35 とした。配合名末尾の数 字は水結合材比に相当し、材齢 28 日における圧縮強度 の目標値を 45N/mm² とした。各混和材の置換率は, JIS における高炉セメントB種およびフライアッシュセメン ト B 種の上限値にそれぞれ該当する。養生条件は、材齢 1日で脱型を行い、その後7日まで湿潤養生を行い、さ らにその後は材齢 28 日まで気中養生を行うことを基本 とした。なお、BFS35 の場合は、試験材齢まで一貫して 湿潤養生を行う BFS35-Wet を試験水準として追加した。 これは、既往の検討 2)において、高炉スラグ微粉末を多 量に含有した場合, 湿潤養生を長期継続して行った場合 でも自己収縮ひずみが増加する傾向を確認したためであ る。養生は共通して室温 20℃, 相対湿度 60%の試験室に て行った。また,湿潤養生は湿布養生にて行った。

表-1 実験ケース

水準名	W/B	FA/B	BS/B	養生条件					
OPC48	48%	-	-	材齢 7 日まで湿潤養生					
FA42	42%	20%	-	⇒材齢 28 日まで気中					
BFS35	35%	-	60%	養生					
BFS35-Wet	35%	-	60%	材齢 28 日まで湿潤養生					

W/B: 水結合材比, FA/B: フライアッシュ置換率, BS/B: 高炉スラグ 微粉末置換率

^{*1} 太平洋セメント (株) 研究員 工修 (正会員)

^{*2} 太平洋セメント (株) 主席研究員 博(工) (正会員)

^{*3} 太平洋セメント(株) チームリーダー (正会員)

2.2 コンクリートの材料および配合

使用材料を表-2 に、コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-3 に示す。表-2 には、後述するコンクリート作製時の CO_2 排出量を計算する目的で、それぞれの材料の CO_2 排出原単位を記号 γco_2 で示しており、その値は文献 3,4 中のインベントリデータから引用した。スランプと空気量の目標値はそれぞれ 18 ± 2.5 cm および 2.5% $\pm 1.5\%$ とし、混和剤の添加量によって調整した。

2.3 コンクリートの材料試験

 ϕ 100×200mm の供試体を用いて、コンクリートの圧縮強度を JIS A 1108 に準じて、ヤング係数を JIS A 1149 に準じて測定した。また、 ϕ 100×100mm の供試体を用いて、割裂引張強度を JIS A 1113 に準じて測定した。

コンクリートの収縮ひずみは 100×100×400mm 供試体の中心部に設置した埋込みひずみゲージ(弾性係数 39N/mm²,標点距離 100mm)を用いて測定した。測定はコンクリートの凝結が始発に達した時点から開始した。

2.4 RC はりの載荷実験

(1) RC はり供試体概要

図-1 に供試体概要を示す。供試体は,せん断スパン比 a/d=4.0,全長 2000mm,断面幅 150mm,高さ 250mm の RC はりとし,各水準で 1 体の RC はりを作製した。主鉄筋に SD490(D25)を,組み立て鉄筋に SR295(ϕ 10)を,せん断補強鉄筋に SD295A(D10)をそれぞれ使用した。また,片側のスパン(非破壊誘導スパン)のみにせん断補強鉄筋を配置することで,反対側スパン(破壊誘導スパン)でのせん断破壊を誘導した。

(2) RC はりの測定項目と載荷方法

コンクリートの打込み後から載荷試験までの間,等曲 げ区間の主鉄筋に貼付したひずみゲージにより鉄筋ひず みを測定した。また、収縮によるひび割れの有無を確認するため、脱型後に標点距離 100mm の π 型変位計をはり下縁に貼付し、等曲げ区間を含む形で千鳥状に3 個設置することでひび割れ幅を計測した。

載荷は、油圧式 2000kN 耐圧機を用いて静的 4 点曲げ 載荷とした。載荷点の鋼板と供試体との間には石膏を塗 布して供試体コンクリート面の不陸を防止した。

載荷実験中の測定項目は、荷重、支点・スパン中央におけるたわみ、曲げひび割れ幅、主鉄筋ひずみ、コンクリートひずみとした。たわみは支点とスパン中央の変位を計測し、変位計は上縁から 50mm の位置に貼付した鋼板に設置した。曲げひび割れ幅ははり下縁に設置した π 型変位計により測定した。コンクリートのひずみゲージ貼付位置は上縁から 25mm とした。

表-2 使用材料

名称	記号	物性等					
水	W	上水道水,γ _{CO2} ³): 0.3kg-CO ₂ /t					
普通ポルトランドセメント	С	密度:3.16g/cm³,比表面積:3150cm²/g, у co2 ⁴): 768.1kg-CO ₂ /t					
高炉スラグ微粉末	BS	密度:2.91g/cm³,比表面積:6450cm²/g, γ co2³):35.6kg-CO ₂ /t					
フライアッシュ	FA	密度: 2.30g/cm³,比表面積: 3560cm²/g, γ co²³): 29.0kg-CO₂/t					
山砂	S	表乾密度: 2.55g/cm³, 粗粒率: 2.59, γ co2³): 4.9kg-CO2/t					
砕石	G	表乾密度:2.63g/cm³,最大粒径:20mm, γ_{CO2} 3:3.9kg-CO ₂ /t					
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系					
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール誘導体					
鉄筋	-	γ _{CO2} ³ : 1210.0kg-CO ₂ /t (高炉鋼) : 755.0kg kg-CO ₂ /t (電炉鋼)					

^{*} γ co2:CO2 排出原単位 (1t の材料製造時に排出される CO2 量)

表-3 コンクリートの配合表

	- /-	単位量(kg/m³)						混和剤	添加量	フレッシュ性状		
配合	s/a (%)	(%) W	В		2	0	SP	DF	スランプ	空気量		
	(70)		С	BS	FA	5	G	$(B \times \%)$	$(B \times \%)$	(cm)	(%)	
0PC48	51.2	170	354	-	ı	911	890	0.60	0.006	17. 0	2.9	
FA42	49.3	170	324	1	81	845	890	0.45	0.001	19.0	3. 2	
BFS35	47.4	170	194	291	_	784	890	0.45	0.004	17. 0	2.4	

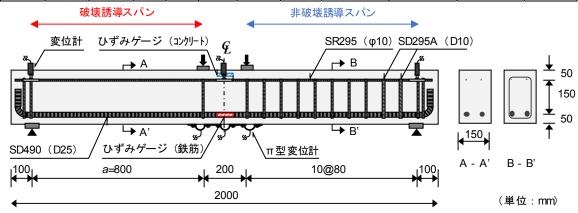


図-1 RC はり供試体および測定項目の概要

3. コンクリート構造の力学的性能評価

3.1 コンクリートの材料特性

載荷実験材齢 (28 日) におけるコンクリートの材料特性を表-4に示す。コンクリートの圧縮強度は、45N/mm ±10%の範囲内となり、水結合材比を調整することによりほぼ同一の強度が得られた。ヤング係数および割裂引張強度は概ね圧縮強度に応じて増減する傾向を示した。BFS35-Wet では湿潤養生によって BFS35 よりも 9%高い圧縮強度が得られた。

ひずみ計により測定したコンクリートひずみと鉄筋に貼付したひずみゲージにより測定した鉄筋ひずみの履歴を図-2 および図-3 に示す。配合による影響としては、材齢によらず収縮ひずみは BFS35 が最も大きく、FA42 と OPC48 はほぼ同程度であった。湿潤養生終了時の材齢7日時点において、BFS35が OPC48 および FA42よりも100×10⁻⁶以上大きくなった。湿潤条件下では乾燥を受けないため自己収縮の影響が支配的であったと考えられ、自己収縮ひずみは BFS35で最大になったと判断できる。また、乾燥の影響を受けた材齢28日におけるひずみも、BFS35で最大となった。湿潤養生を継続して行ったBFS35で最大となった。湿潤養生を継続して行ったBFS35で最大となった。湿潤養生を継続して行ったりま35-Wetの結果から、自己収縮ひずみは材齢28日時点で200×10⁻⁶程度であったと考えられる。鉄筋に生じたひずみはコンクリートひずみと同様にBFS35で最大

となったが、その増減は緩やかであり水準による差はコンクリートひずみよりも小さい。

3.2 鉄筋コンクリートの構造特性

(1) 曲げひび割れ幅・中立軸深さ

はり下縁に貼付した π ゲージにより、曲げひび割れ幅を測定した。貼付した3個の π ゲージのうち、最大のひび割れ幅を記録したもののグラフを**図**-4に示す。図中には許容ひび割れ幅の値を示している。許容ひび割れ幅として土木学会コンクリート標準示方書 9 より、かぶり厚の0.005倍の値を採用し、本実験では0.185mmに相当する。また、後述するように、BFS35においては載荷実験前に収縮ひずみよるひび割れが生じていたため、この初期ひび割れ幅は載荷直前の測定から0.93mmであった。BFS35においてのみ載荷初期から一定の勾配で曲げひび割れ幅が増加していることからも、初期ひび割れが生じていたことが確認できる。その結果、 $\mathbf{表}-4$ にも示すように、許容ひび割れ幅に到達する荷重は $\mathbf{BFS35}$ で最も小さくなる結果となった。

また, 等曲げ区間の鉄筋とコンクリート表面のひずみから計算した中立軸深さを, 荷重が 50kN と 100kN 時点において計算した。計算は以下の式(1)によって行った。

水準	材料実験結果					載荷実験結果							
	コンクリート					許容ひび割れ幅	中立軸深さ (mm)		斜めひび割れ発生荷重				
	f'c (N/mm²)	E _c (kN/mm ²)	ft (N/mm²)	ε _c (×10-6)	ε _s (×10-6)	到達荷重(kN)	50kN 時	100kN 時	P _c (kN)	P _{ccal} (kN)	$P/P_{\rm ccal}$		
OPC48	44.8	28.2	3.46	-406	-66	70.2	83.1	80.5	113	105	1.07		
FA42	46.3	27.8	3.74	-408	-101	89.7	85.7	75.8	126	106	1.19		
BFS35	42.3	25.0	3.41	-623	-162	42.1	78.2	70.2	107	103	1.04		
BFS35-Wet	46.2	30.0	3.70	-203	-82	44.2	64.8	62.8	105	106	0.99		

表-4 コンクリートの材料実験および載荷実験の結果概要

f'c: 圧縮強度,Ec: ヤング係数,fi: 割裂引張強度, ϵ c: 材料 28 日時点のコンクリートひずみ(埋込みひずみゲージにより測定), ϵ s: 材料 28 日時点の主鉄筋 ひずみ(ひずみゲージにより測定), 許容ひび割れ幅: 0.005c=0.187mm,Pc: 斜めひび割れ発生荷重の実験値, Pccal: 斜めひび割れ発生荷重の計算値

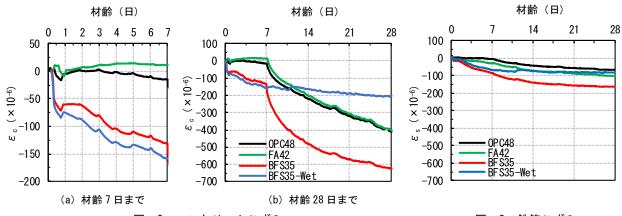


図-2 コンクリートひずみ

図-3 鉄筋ひずみ ϵ 。

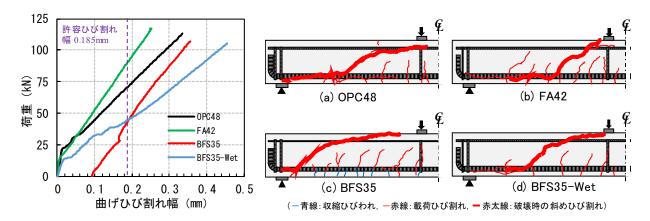
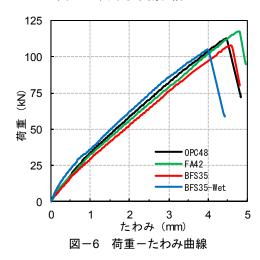


図-4 曲げひび割れ幅



$$(x - d'): (d - x) = \varepsilon_c : \varepsilon_s \tag{1}$$

ここに、x: 中立軸深さ (mm)、d': コンクリートひずみの計測位置深さ (mm)、d: 有効高さ、 ε_c : コンクリートひずみ、 ε_s : 鉄筋ひずみ

計算結果を表-4 に示すが、BFS35 および BFS35-Wet で小さくなる傾向を示し、これは先述したひび割れ幅に伴う鉄筋応力の増加等が影響しているものと考えられる。

(2) 荷重ーたわみ関係およびせん断破壊性状

載荷実験結果の概要を表-4 に示す。本検討では、いずれの水準も最大荷重において斜めひび割れが発生し、その後荷重が急落し、斜め引張破壊に至った。そのため本検討におけるせん断耐力は斜めひび割れ耐力に等しく、FA42>OPC48>BFS35>BFS35-Wet の順に小さくなった。

RC はりに生じたひび割れ図を図-5 に示す。図中では 載荷実験によるひび割れを赤線で、破壊に直結した斜め ひび割れを赤太線で示している。また、BFS35 において のみ、青線で示すように載荷実験前時点でひび割れが発 生しており、コンクリートの収縮が内部鉄筋に拘束され たためと考えられる。これは、BFS35 が最大の収縮ひず みを示していたこととも対応している。

荷重-たわみ曲線を図-6 に示す。グラフの勾配は BFS35 が最も小さいが、これはコンクリート強度による

図-5 ひび割れ図

影響に加えて、上述した初期ひび割れや中立軸深さの影響によりRCはりの剛性が低下したものと考えられる。

実験における斜めひび割れ発生荷重を計算値と比較し, 表-4に示す。計算には, 二羽らのの提案している式(2) を使用した。

$$P_{\text{ccal}} = 2 \times 0.2 f_{\text{c}}^{\prime 1/3} p_{\text{w}}^{1/3} \left(\frac{d}{1000}\right)^{-1/4} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d}\right) b_{\text{w}} d \quad (2)$$

ここに、 f_c' : コンクリートの圧縮強度(N/mm²), p_w : 主鉄筋比(%),d:有効高さ(mm),a:せん断スパン(mm), b_w : ウェブ幅 (mm)

計算の結果、概ねいずれの水準でも実験値を精度良く評価できた。BFS-Wet においては、湿潤養生によりコンクリート強度が増加したにも関わらず、斜めひび割れ発生荷重は最小となり、また計算値を 1%下回る結果となった。これには曲げひび割れの分布などが影響していると考えられるが、湿潤養生を行った場合に必ずしも部材耐力が向上しないことを示唆する結果となった。

4. 環境影響評価手法による環境性評価

4.1 CO₂ 排出原単位

各コンクリート配合を $1m^3$ 作製する場合の CO_2 排出量を式 (3) によって評価した。

$$M_{\rm co2} = \sum \gamma_{\rm kCO2} \times M_{\rm k} / 1000 \tag{3}$$

ここに、 $M_{co2}: 1 m^3$ のコンクリートを製造するのに排出される CO_2 量 $(kg-CO_2/m^3)$ 、 $\gamma_{kCO_2}:$ 材料 k の CO_2 排出原単位 $(kg-CO_2/t)$ 、 $M_k:$ 材料 k の単位量 (kg/m^2)

また、計算においては、コンクリートに加えて鉄筋に由来する CO_2 排出量を加味した場合の排出量も計算した。実験に使用した鉄筋の実質量を計測し、これと実験に使用したコンクリートの体積から鉄筋コンクリート 1 ㎡あたりに使用される鉄筋の単位量を算出した。計算はスターラップをせん断スパンに配置しない破壊スパンを対象とし、鉄筋量は $291 kg/m^3$ であった。鉄筋は高炉・電炉それぞれの場合で計算した。なお、混和剤由来の CO_2 量は

混和剤の使用量がコンクリート体積に対してきわめて小 さいために無視している。

計算結果を図-7 に示す。鉄筋を考慮しない無筋コン クリートにおいて 3 配合を比較すると、CO2 排出量は OPC48>FA42>BFS35 の順となり、BFS35 では OPC48 よりも40%低減する結果となった。これは無筋コンクリ ートにおけるCO2の排出起源はセメントが大部分を占め ることが主因である。高炉スラグ微粉末の CO₂排出原単 位は 35.6kg-CO₂/t と小さいが、これは高炉スラグ微粉末 は高炉鋼製造における副産物であるため、資源・燃料消 費における CO2排出が主製品の高炉鋼に計上されている からである。そのため高炉鋼の鉄筋ではCO2排出原単位 が 1210.0kg-CO₂/t と大きく, 電炉鋼でも 755.0kg-CO₂/t と なっている。これと鉄筋量を加味した鉄筋コンクリート 部材における計算結果も図-7に示している。これより、 鉄筋由来のCO2量はコンクリート由来の量とおよそ同等 かそれ以上に大きいことがわかる。本検討は縮小実験で あるために実際の鉄筋コンクリート部材よりも鉄筋の鉄 筋比・単位量が大きいことによる影響は無視できないが, 一般的な鉄筋の単位量を 150kg/m³ と見積もった場合で も, 鉄筋由来の CO₂ 量は高炉鋼で 180kg-CO₂/m³程度, 電 炉鋼で115kg-CO₂/m³程度と計算され,コンクリート由来 に対して少なくとも 40%以上の CO₂ が鉄筋に由来する。 4.2 土木学会の廃棄物指標評価指揮

土木学会の環境調和型コンクリート材料学に関する研究委員会報告書 7 では、環境調和指標中の廃棄物評価指標 (I_w) について式 (4) に示す評価式が提案されている。

$$I_{\rm w} = (U_{\rm r} - C_{\rm w})/(U_{\rm v} + U_{\rm r})$$
 (4)

ここに、 $I_{\rm w}$: 廃棄物に関わる環境貢献指標、 $U_{\rm r}$: リサイクル資源使用量、 $C_{\rm w}$: 廃棄物発生量、 $U_{\rm v}$: バージン資源(天然資源)使用量、ただし $U_{\rm r} < C_{\rm w}$ のとき、 $I_{\rm w}$ =0

久我ら¹⁾は,式(4)を各廃棄物のリサイクル率を反映

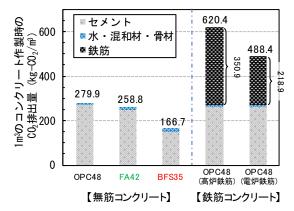
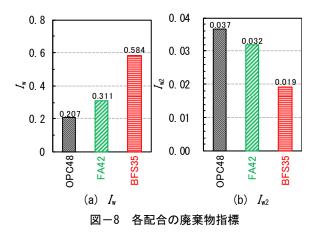


図-7 各コンクリートの CO₂排出原量の比較

表-5 リサイクル材料の種類と γ_k および w_k

	リサイクル資源材料 ⁸⁾	リサイクル率 ¹⁾ (%)	γk	ſ	$\gamma_{\mathbf{k}} \times w_k$ (kg)					
				ポルトランドセメント	コンクリ	- ŀ 1m³ 当	たり	コンクリ・	- ト1m³当	たり
				1t 当たり ⁸⁾	OPC48	FA42	BFS35	OPC48	FA42	BFS35
セ	フライアッシュ	100	0	0	0	81	0	0.000	0.000	0.000
\ \times \	高炉スラグ	100	0	0	0	0	291	0.000	0.000	0.000
	石炭灰	98	0.02	126	44.7	40.9	24.48	0.893	0.818	0.490
ン	汚泥、スラッジ	78	0.22	50.7	17.9	16.4	9.84	3.948	3.614	2.164
F	副産石こう	100	0	35.7	12.6	11.6	6.93	0.000	0.000	0.000
製	建設発生土	88	0.12	30.7	10.9	10.0	5.96	1.305	1.195	0.715
造	燃えがら、ばいじん、ダスト	24	0.76	25.5	9.02	8.26	4.94	6.856	6.275	3.757
時	非鉄鉱滓等	92	0.08	12.6	4.45	4.07	2.44	0.356	0.326	0.195
の	木くず	79	0.21	10.7	3.78	3.46	2.07	0.793	0.726	0.434
廃	廃プラスチック	54	0.46	10.3	3.66	3.35	2.01	1.685	1.542	0.924
棄	鋳物砂	52	0.48	6.79	2.41	2.20	1.32	1.154	1.057	0.633
物	鉄鋼スラグ	98	0.02	6.73	2.38	2.18	1.31	0.048	0.044	0.026
IJ	廃油	39	0.61	5.38	1.91	1.74	1.04	1.162	1.064	0.637
サ	廃白土	52	0.48	4.77	1.69	1.54	0.92	0.810	0.741	0.444
1	再生油	52	0.48	3.24	1.15	1.05	0.63	0.550	0.504	0.302
・ ク	ガラスくず	52	0.48	2.34	0.83	0.76	0.45	0.398	0.364	0.218
ル	廃タイヤ	91	0.09	1.15	0.41	0.37	0.22	0.037	0.033	0.020
1	肉骨粉	52	0.48	0.95	0.34	0.31	0.18	0.161	0.147	0.088
	RDF,RRF	52	0.48	0.58	0.21	0.19	0.11	0.099	0.090	0.054
	その他	52	0.48	7.28	2.58	2.36	1.41	1.24	1.13	0.678
	計 (Ur)	-	-	342	121	192	357	-	-	-
	バージン資源使用量 $(U_{ m v})^4$		-	1310	464	424	254			



してリサイクルの困難な資源の活用を重み付けして評価 する形で式(5)を提案している。

$$I_{w2} = \{\sum (\gamma_k \times w_k) - C_w\} / (U_v + U_r)$$
 (5)

ここに、 γ_k : (100-リサイクル資源 k のリサイクル率 (%)) /100、 w_k : リサイクル資源 k の使用量。

式(4) および(5) を用いて、本検討で使用した3配合を対象として計算した。計算は結合材B(セメント+混和材)のみを対象に行った。本検討において水および骨材は天然資源(バージン資源)を使用していることから、水および骨材における I_{w2} はゼロと仮定し、混和剤は使用量がきわめて小さいために無視している。

計算に使用したリサイクル資源と各項目の値を表-5に示す。セメント製造時のリサイクル率は文献 11 の値を,リサイクル資源の使用量はセメント協会が公開している「セメント業界における廃棄物・副産物使用量」 81 から 2016 年度実績の値を使用した。また,各コンクリート配合における 21 分に、混和材の単位量を加えた値となる。リサイクル資源の総使用量は 21 000に,混和材の単位量を加えた値となる。リサイクル資源の総使用量は 21 000にが多源使用量はセメントの 21 1000にが多源が多点である。エメント製造時の廃棄物発生量 21 000に、セメント製造時の廃棄物発生量 21 000に、セメント製造時の廃棄物発生量 21 000に、セメント製造時の廃棄物発生量 21 00にでする。

各配合における廃棄物指標の計算結果を図-8に示す。図には I_w と, I_w にリサイクル率を反映した I_{w2} を示している。計算の結果, I_w と I_{w2} ではその大小関係が逆転しているが,これは,セメント製造時に原燃料としてリサイクル率の低い資源を多く活用していることに起因する。リサイクル資源の単純な使用量では BFS35 が最も大きくなるが,混和材を使用しない OPC48 の方が処理困難なリサイクル資源を多量に再利用している。その結果 I_{w2} は OPC48 で最大となり,リサイクル困難な資源を活用して資源循環を促進する観点では混和材を使用しない方が環境への貢献が高いものと考えることもできる。

5. まとめ

混和材を使用した RC 部材を対象に、構造特性と環境

影響を評価した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 混和材を使用しないものと、フライアッシュと高炉 スラグ微粉末を B 種上限値まで混合したコンクリ ートを用意した場合、同一の目標強度を得るために は水結合材比を最大で13%低減する必要がある。
- 2) 高炉スラグ微粉末を結合材に対して 60%置換した 場合には、水結合材比を低減した影響もあり、コン クリートの収縮ひずみが 200×10⁻⁶以上増加する。
- 3) 許容ひび割れ幅に到達する荷重と中立軸深さは,高 炉スラグ微粉末を 60%置換した場合に減少し,RC はりの剛性が低下する。
- 4) 混和材を使用した場合においても、既往の計算式を 用いてせん断耐力を精度良く評価できる。一方で、 高炉スラグ微粉末を使用した場合には湿潤養生を 継続してもせん断耐力の増加は確認されなかった。
- 5) 混和材の使用によって,無筋コンクリートの CO2 排 出量は削減でき、その比率は概ね混和材置換率に等 しい。一方で、RC 部材の製造時における鉄筋由来 の CO2 排出量は,鉄筋量によってはコンクリート由 来の CO2 排出量よりも大きくなる。
- 6) 廃棄物評価指標にリサイクル率を反映した場合,混 和材を使用しない方が環境への負荷は小さいもの と評価され,資源循環を促進する場合には混和材を 使用しない方が有効であるものと考えられる。

参考文献

- 1) 久我龍一郎,平尾 宙,田中敏嗣,河合研至,ポルトランドセメント製造による廃棄物・副産物の資源 化をあらわす環境指標に関する検討,セメント・コンクリート論文集, Vol.68, No.1, pp.510-515, 2015.3
- 2) 安田瑛紀,河野克哉,森香奈子,多田克彦:高炉スラグ微粉末を多量に使用したRCはりのせん断特性,プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, Vol.27, pp.311-316, 2018.11
- 3) コンクリートの環境テキスト (案) [改訂版], 日本 コンクリート工学会, pp.129-141, 2016.6
- 4) セメントの LCI データの概要,セメント協会, p.7, 2018.2
- 5) 土木学会: 2017 年制定 コンクリート標準示方書 【設計編】, p.p.149-150, 2017
- 6) 二羽淳一郎,山田一宇,横沢和夫,岡村 甫:せん 断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再 評価,土木学会論文集, V-5,第 372,pp.167~176, 1986
- 7) 土木学会:環境調和型コンクリート材料学の創造に 関する研究委員会成果報告書, pp.6-9, 2011.8
- 8) セメントハンドブック, セメント協会, p.5, 2018.6