

混和材の種類が RC はりのせん断特性に与える影響

太平洋セメント（株） 正会員 ○小亀 大佑 正会員 安田 瑛紀 正会員 河野 克哉

1. はじめに

温室効果ガス削減の観点から、フライアッシュや高炉スラグ微粉末等の混和材を多量に使用した低炭素型コンクリートの研究が活発化している。一方で、ポルトランドセメントは製造時に多量の廃棄物を原料や燃料の代替品として受け入れており、コンクリートの使用材料が環境に与える影響の判断には留意も必要である。これらのコンクリートに関する既往の研究では強度や収縮といった材料特性の検討がほとんどであり、製品や部材に適用した際の力学特性に関する知見は少ない。

そこで本研究では、混和材を使用した RC はりの力学特性に注目して実験的に検討した。

2. 実験概要

2-1. 使用材料および実験ケース

表-1 に使用材料を、表-2 にコンクリートの配合を示す。実験パラメータは、混和材の種類および置換率である。コンクリートの配合は、材齢 28 日で圧縮強度が等しくなるよう水結合材比を変化させた。結合材として普通セメントのみ使用したもの、普通セメントの 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。養生条件は、室温 20℃の環境で、材齢 1 日に脱型を行い、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った。

2-2. 供試体形状および裁荷実験方法

RC はり供試体の概要図を図-1 に示す。供試体は、

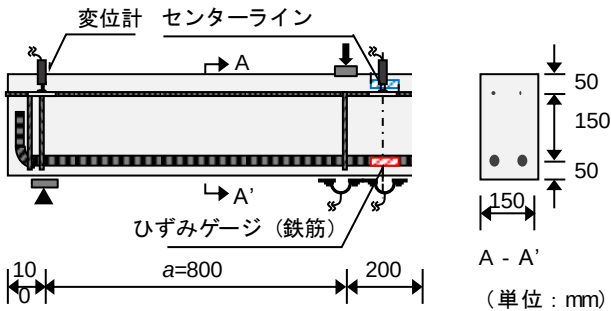


図-1 RC はり供試体の概要

表-1 使用材料

種類	名称	記号	物性等
練混ぜ水	水	W	上水道水
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3150cm ² /g
混和材	高炉スラグ微粉末	BS	密度：2.91g/cm ³ 比表面積：6450cm ² /g
	フライアッシュ	FA	密度：2.30g/cm ³ 比表面積：3560cm ² /g
細骨材	山砂	S	表乾密度：2.55g/cm ³ ，粗粒率：2.59 吸水率：2.14%
粗骨材	碎石	G	表乾密度：2.63g/cm ³ 吸水率：0.78%，最大寸法：20mm 実績率：59.4%
混和剤	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

表-2 コンクリートの配合表

配合	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
		W	B			S	G	SP (B×%)	DF (B×%)
			C	BS	FA				
OPC48	51.2	170	354	—	—	911	890	0.60	0.006
FA42	49.3	170	324	—	81	845	890	0.45	0.001
BFS35	47.4	170	194	291	—	784	890	0.45	0.004

※目標スランブを 18±2.5cm，空気量を 2.5%以下とする。

せん断スパン有効高さ比 $a/d=4.0$ ，全長 2000mm，断面幅 150mm，有効高さ 250mm の RC はりとした。主鉄筋には異形鉄筋 SD490 (D25) を，組立鉄筋には丸鋼 SR295 (φ10) をそれぞれ 2 本ずつ使用した。また，片側のスパンのみにせん断補強鉄筋を配置することで，反対側スパンでのせん断破壊を誘導した。

3. 実験結果

3-1. コンクリートの材料特性

実験結果の概要を表-3 に示す。コンクリートの圧縮強度は，45N/mm²±10%の範囲内となり，水結合材比を変化させることによりほぼ同一の強度が得られた。

角柱供試体 10×10×40cm の中心に設置したひずみ計から測定した材齢 28 日までのコンクリートひずみを図-2 に示す。配合による影響としては，収縮ひずみは BFS35 が全材齢を通じて最も大きく，材齢 28 日で 600×10⁻⁶程度となった。FA42 は水結合材比が OPC48 より小さいが，収縮ひずみは 400×10⁻⁶程度と OPC48 とほぼ同じであり，BFS35 と比べ 3 割程小さかった。

3-2. RC はりの力学特性

本検討では，いずれの水準も最大荷重においてひび割れが発生し，その後荷重が急落し，斜め引張破壊に至

キーワード 混和材，フライアッシュ，高炉スラグ微粉末，収縮，RC はり，せん断

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3893

表-3 コンクリートの材料実験および載荷実験の結果概要

水準	材料実験結果				載荷実験結果		
	コンクリート				斜めひび割れ発生荷重		
	f'_c (N/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	f_t (N/mm ²)	ε_c ($\times 10^{-6}$)	P_c (kN)	P_{cal} (kN)	P/P_{cal}
OPC48	44.8	28.2	3.46	-406	113	105	1.07
FA42	46.3	27.8	3.74	-408	126	106	1.19
BFS35	42.3	25.0	3.41	-623	107	103	1.04

f'_c : 圧縮強度, E_c : ヤング係数, f_t : 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: $0.005c=0.187\text{mm}$, P_c : 斜めひび割れ発生荷重の実験値, P_{cal} : 斜めひび割れ発生荷重の計算値

材齢 (日)

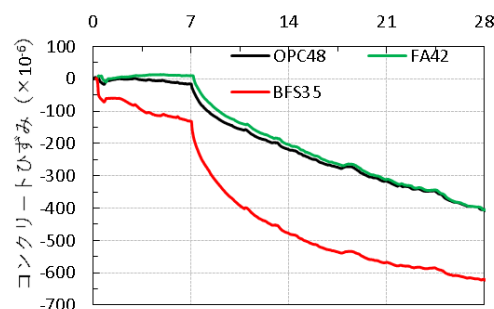


図-2 コンクリートひずみ

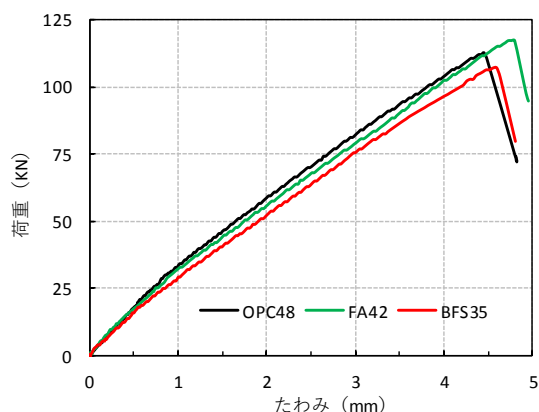


図-4 荷重—たわみ曲線

った。せん断耐力は $\text{FA42} > \text{OPC48} > \text{BFS35}$ の順に小さくなった。

RC はりに生じたひび割れ図を図-3に示す。図中では載荷試験によるひび割れを赤線で、はりの破壊に直結した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の時点でひび割れが発生しており、これはコンクリートの収縮が内部鉄筋に拘束されたことによるものと考えられる。また、BFS35 はコンクリートの収縮ひずみが最も大きかったこととも対応している。

RC はりの荷重—たわみ曲線を図-4に示す。FA42 が最も大きい耐力を示している。コンクリートの圧縮強度が同一であっても、収縮の影響で RC はりに引張応力が発生していたことが関与したものとする。

実験における斜めひび割れ発生荷重を計算値と比較

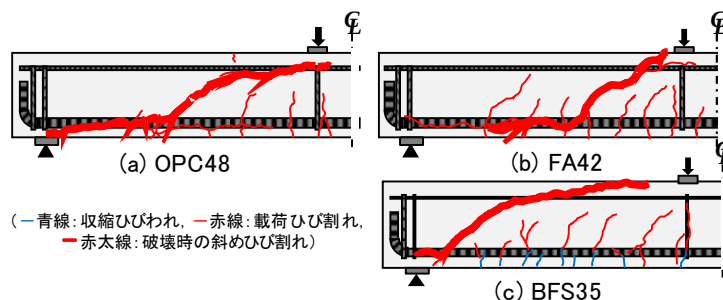


図-3 ひび割れ図

し、表-3に示す。計算には、二羽らの提案している式(1)を使用した。

$$P_{cal} = 2 \times 0.2 f'_c{}^{1/3} p_w^{1/3} \left(\frac{d}{1000} \right)^{-1/4} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d} \right) b_w d \quad (1)$$

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)

この計算の結果、OPC48 ならびに BFS35 では実験値を精度よく評価できたものの、コンクリートの収縮が小さかった FA42 では計算値よりも実験値の方が 2 割ほど高くなった。

4. まとめ

- 1) 混和材を使用しない場合に対して、フライアッシュもしくは高炉スラグ微粉末を用いた場合には、同一の圧縮強度を得るための水結合材比はそれぞれ 6%, 13% 低減する必要がある。
- 2) 混和材を使用した場合において、既往の計算式を用いてせん断力を評価した場合、BFS35 では計算値と実験値は概ね一致していたのに対し、FA42 では実験値のほうが 2 割ほど高くなり、より安全側に評価できる。

参考文献

- 1) 二羽ら：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