

高炉スラグ微粉末の多量使用が高強度 RC はりのせん断性状に与える影響

太平洋セメント（株） 正会員 ○安田 瑛紀, 正会員 森 香奈子, 正会員 河野 克哉, 多田 克彦

1. はじめに

コンクリート製造時の温室効果ガス削減の観点から、高炉スラグ微粉末等の混和材を多量に使用した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が必要である。また、これらのコンクリートに関する既往研究の多くはコンクリート単体の強度や収縮といった材料レベルでの検討にとどまっており、製品や部材に適用した際の構造特性に関する知見は少ない。そこで本研究では、高炉スラグ微粉末を高含有した高強度コンクリートを用いて鉄筋コンクリート（以下、RC）はり供試体を作製し、載荷実験によってせん断性状を検討した。

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 にコンクリート配合を、表-3 に実験ケースを示す。実験パラメータは、1) 高炉スラグ微粉末の置換率、2) 養生条件、3) 実験材齢とし、全 10 水準の実験を行った。コンクリートの配合は水結合材比 30%の高強度コンクリートとし、高炉スラグ微粉末の置換率が異なる 3 配合を用意した。材齢 7 日までは全水準で共通して湿布養生を行い、材齢 7 日から載荷実験までの養生条件は湿布養生と気中養生の 2 つを設定し、乾燥による影響を検討した。

2-2. 供試体形状および載荷実験方法

供試体は、せん断スパン有効高さ比 $a/d=3.0$ 、全長 1600mm、せん断スパン 600mm、断面幅 150mm、有効高さ 200mm、高さ 250mm の RC はりとした。主鉄筋には異形鉄筋 SD490（D25）を、組み立て鉄筋には丸鋼 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。

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
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
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%, 最大粒径：20mm, 実積率：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 コンクリート配合

配合	BS/B (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤量 (B×%)	
		W	C	BS	S	G	SP	DF
OPC	0	170	567	-	734	894	1.10	0.002
BFS	60		227	340	711		0.75	0.006
BFS'	70		170	397	707		0.65	0.006

B：結合材量 (B=C+BS)

表-3 実験ケースおよび実験結果

供試体	BS/B (%)	養生条件			コンクリート物性			載荷実験結果				
		材齢 7 日まで	材齢 7 日から	載荷材齢 (日)	f'_c (N/mm ²)	f_t (N/mm ²)	ϵ_c (×10 ⁻⁶)	V_c (kN)	V_{cal} (kN)	V_c/V_{cal}	V_{max} (kN)	破壊形態
OPC-Wet-28	0	湿潤養生	湿潤養生	28	94.7	6.40	−137	65.6	79.1	0.88	110.9	せん断圧縮
OPC-Dry-28			気中養生	28	92.1	5.54	−564	75.8	77.6	1.03	76.8	遷移型
OPC-Wet-91			湿潤養生	91	101	6.46	−145	65.5	82.8	0.86	88.2	遷移型
OPC-Dry-91			気中養生	91	93.7	5.50	−742	62.0	78.5	0.83	62.0	斜め引張
BFS-Wet-28	60		湿潤養生	28	79.6	5.90	−379	59.3	70.4	0.84	65.3	遷移型
BFS-Dry-28			気中養生	28	74.8	4.96	−656	55.8	67.5	0.81	70.2	遷移型
BFS-Wet-91			湿潤養生	91	95.4	6.20	−325	63.7	79.5	0.85	94.2	せん断圧縮
BFS-Dry-91			気中養生	91	84.4	5.80	−736	55.0	73.2	0.77	55.0	斜め引張
BFS'-Wet-28	70		湿潤養生	28	60.5	4.24	−188	49.5	64.3	0.77	53.0	遷移型
BFS'-Dry-28			気中養生	28	55.4	4.13	−547	55.0	62.5	0.88	74.7	せん断圧縮

BS/B：高炉スラグ微粉末置換率（質量比）、湿潤養生条件：温度 20℃、気中養生条件：温度 20℃、R.H.60%、 f'_c ：圧縮強度、 f_t ：割裂引張強度、 ϵ_c ：載荷実験直前の収縮ひずみ、 V_c ：斜めひび割れ耐力の実験値、 V_{cal} ：斜めひび割れ耐力の計算値¹⁾、 V_{max} ：せん断耐力の実験値

キーワード 混和材、高炉スラグ微粉末、高強度コンクリート、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

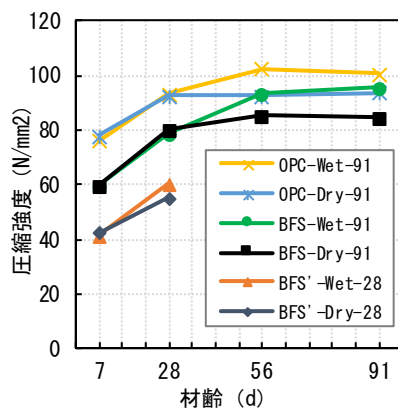
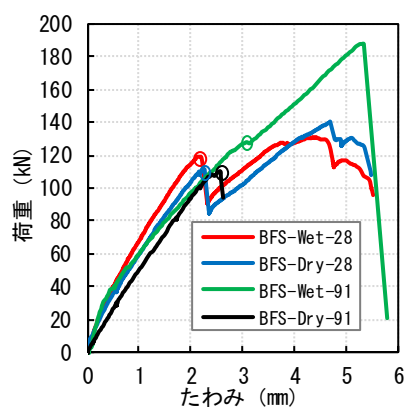
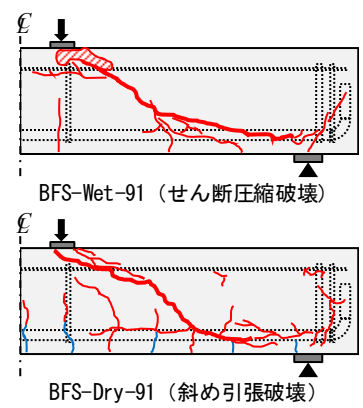


図-1 強度発現履歴 (抜粋)

図-2 荷重-たわみ関係 (抜粋)
(○: ひび割れ発生荷重)図-3 ひびわれ性状 (抜粋)
(赤線: 載荷時に発生, 青線: 載荷前に発生
斜線: コンクリートの圧壊部)

3. 実験結果

実験結果の概要を表-3に、コンクリートの圧縮強度発現履歴の抜粋を図-1に示す。コンクリート強度は、同一の材齢および養生条件であれば高炉スラグ微粉末の置換率の増加に伴い低下した。置換率を70%としたBFS'の強度は最も小さくなり、OPCと比較して28日強度は40%程度低下した。コンクリートの収縮ひずみ量は、気中養生を行った場合は乾燥の影響を受けて増加した。湿潤養生を行った場合でも高炉スラグ微粉末の使用によって増加する傾向を示し、BFSとBFS'ではOPCと比較して37～177%の範囲で増加した。OPC-Dry-91, BFS-Dry-28, BFS-Dry-91, BFS'-Dry-91では載荷実験前に幅0.1mm程度のひび割れを生じていた。これは収縮ひずみ量や圧縮強度に対する引張強度の比が水準により異なり、内部鉄筋がコンクリートの収縮を拘束することにより発生する引張応力が割裂引張強度を越えた際にひび割れが発生したものと考えられる。

載荷実験において、最大荷重に至るまでの破壊形態は以下の3つに分類された。1) 斜め引張破壊: 斜めひび割れの発生後、直ちに荷重が低下し破壊に至る、2) 遷移型破壊: 斜めひび割れの発生後荷重が低下するものの、載荷を続けると荷重が回復し、最終的には斜めひび割れの開口により破壊に至る、3) せん断圧縮破壊: 斜めひび割れ発生後も荷重がほとんど低下せず、最大荷重においてひびわれ近傍のコンクリート圧壊により破壊に至る。BFSを使用したRCはりの荷重-たわみ関係を図-2に示すが、同一の配合であっても最大荷重は破壊形態によって異なり、斜め引張破壊したBFS-Dry-91はせん断圧縮破壊したBFS-Wet-91に比較してせん断耐力が45%低下する結果となった。このとき、

RCはりのひび割れ性状の抜粋を図-3に示すが、遷移型破壊およびせん断圧縮破壊の供試体においては、斜めひび割れが発生後即座に上縁まで貫通することにはなかった。これにより、斜めひび割れ上部でのコンクリートによる抵抗力が保持され、タイドアーチ機構の発現により荷重に抵抗したものと考えられる。

また、斜めひび割れ発生耐力は同一の材齢および養生条件であれば高炉スラグ微粉末の添加により3～26%の範囲で低下した。これには第一にコンクリート強度による影響が考えられるので、既往の計算式¹⁾を用いて斜めひび割れ耐力の実験値と計算値の比を算出した。その結果、計算値に対する比も高炉スラグ微粉末の添加により低下する傾向を示し、BFSにおいてはOPCと比較して5～21%の範囲で低下した。これは前述のコンクリートの収縮による引張応力の発生やコンクリートの強度発現履歴の差がRCはりのせん断性状にも影響したためと考えられる。

4. まとめ

(1) 高炉スラグ微粉末の添加によりコンクリートの圧縮強度は低下し、同一の材齢および養生条件であればOPCに対して5～41%の範囲で低下した。

(2) 載荷実験において、斜めひび割れ発生後に耐荷力を保持する場合にはせん断耐力は増加した。

(3) 斜めひび割れ耐力は高炉スラグ微粉末の添加により低下する傾向を示し、斜めひび割れ耐力の実験値と計算値の比はOPCに対して最大で15%低下した。

参考文献

1) 二羽淳一郎, 山田一字, 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