

廃瓦骨材で内部養生した高炉 B 種 RC はりのひび割れ幅について

広島大学大学院 学生会員
 ○MACHARIA・Martin・Mwangi

広島大学大学院 正会員
 小川由布子

国土交通省 中国地方整備局 非会員
 山口克己

広島大学大学院 フェロー会員
 佐藤良一

1. はじめに

環境負荷低減を目的に,建設リサイクル法やグリーン購入法が制定され,その一環として,高炉セメント B 種を用いたコンクリート(以下 BBC)が実構造物に広く使用されている. BBC は,初期材齢における湿潤養生の良否が硬化後の品質に大きな影響を及ぼすとされている¹⁾. そのため,適度な吸水率と人工軽量骨材より小さい破砕値を持つ廃瓦骨材(PCA)を内部養生材として使用し,水セメント比 (W/C) 0.5,乾燥開始材齢 3 日の BBC の圧縮強度,細孔容積が,材齢 28 日において改善されることが報告されている²⁾. 本研究では,PCA による内部養生が鉄筋コンクリート(RC)部材の力学特性に及ぼす影響の検討の一環として,曲げひび割れ特性についての検討を行った.

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料を表-1 に示す. 結合材は高炉セメント B 種を使用した. 粗骨材,細骨材には東広島市黒瀬町産石英斑岩砕石,砕砂を用いた. 廃瓦粗骨材(PCCA),廃瓦細骨材 (PCFA)は石州瓦の JIS 規格外品から製造し,7 日間吸水させたものを表乾状態で使用した. PCCA の寸法は 5-13mm であり,用いた鉄筋は D19SDA345 である.

2.2 配合と RC はり供試体

コンクリートの配合を表-2 に示す. W/C は 0.5 および 0.35 とした. W/C=0.5 の場合, PCCA の置換率は,容積比で 0%,10%および 20%とした. PCFA は,PCCA の吸水量と同等となるよう調整し,容積比で 12%置換した. W/C=0.35 の場合,PCCA の置換率は容積比で 0%および 20%とした. RC はりの断面諸元は,図-1 に示すとおり,全長 2700mm,スパン 2100mm,等曲げ区間を 800mm,幅 200mm,全高 250mm,有効高 210mm,鉄筋比 1.36%,かぶり 30.5mm とした.

2.3 測定項目と測定方法

材料特性の測定項目は圧縮強度(JIS A 1108),割裂引張強度(JIS A 1113),ヤング係数(JIS A 1149)および破壊エネルギーである. 破壊エネルギーは日本コンクリート工学協会の試験方法に準じて行った³⁾. RC はりでは支間中央たわみ,ひび割れ幅,鉄筋ひずみを測定し,測定方法は図-1 の記載通りである.

3. 実験結果と考察

表-3 には気中養生をした供試体の載荷時材料特性,載荷時直前の収縮による鉄筋ひずみと鉄筋位置のコンクリート応力および鉄筋位置のコンクリート応力=0 の時の鉄筋ひずみと下縁のコンクリート応力を示す.

キーワード 廃瓦骨材,内部養生,高炉 B 種コンクリート,RC はり,曲げひび割れ発生モーメント,最大ひび割れ幅
 連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 構造材料工学研究室 TEL:082-424-7787

表-1 使用材料

使用材料	種類	記号	物理特性
セメント	高炉セメントB種	BB	密度3.02 g/cm ³ 、比表面積3760cm ² /g
細骨材	石英斑岩砕砂 (広島県東広島市黒瀬町産)	S	表乾密度2.58 g/cm ³ 、吸水率1.56%
	石英斑岩乾式砕砂 (広島県東広島市黒瀬町産)	DS	表乾密度2.57 g/cm ³ 、吸水率1.71%
	廃瓦細骨材 (江津産)	PCFA	表乾密度2.29 g/cm ³ 、吸水率8.1%
粗骨材	石英斑岩砕石 (広島県東広島市黒瀬町産)	G	表乾密度2.62 g/cm ³ 、吸水率0.59%
	廃瓦粗骨材 (石州瓦)	PCCA	表乾密度2.26 g/cm ³ 、吸水率9.0%

表-2 配合表

配合記号	W/C	空気量 (%)	s/a	単位量(kg/m ³)							打込み 温度 (℃)			
				W	BB	混合砂			混合碎石					
						S	DS	PCFA	G	PCCA				
50BBC	0.5	4.5	44.6	170	340	503	270	-	977	-	14.0			
50BBC-G10						-	-	-	880	84	23.0			
50BBC-G20						-	-	-	781	170	15.0			
50BBC-S12						441	236	85	977	-	24.0			
35BBC	0.35	4.5	40.3	170	486	423	226	-	977	-	16.5			
35BBC-G20									-	-	-	781	170	24.0
35BBC-G30									-	-	-	684	253	16.0

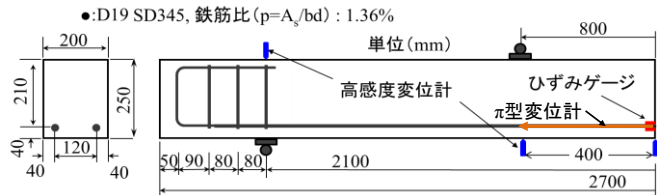


図-1 RC はり供試体概要

表-3 材料特性および鉄筋ひずみとコンクリート応力

項目	RC載荷材齢	コンクリートの強度						載荷時直前の収縮による鉄筋ひずみとコンクリート応力			鉄筋位置のコンクリート応力=0の時の鉄筋ひずみおよび下縁コンクリート応力	
		圧縮強度	引張強度	ヤング係数	破壊エネルギー	特性長さ	鉄筋位置のコンクリートひずみ	鉄筋位置のコンクリートひずみ	鉄筋位置のコンクリートひずみ	鉄筋位置のコンクリートひずみ	鉄筋位置のコンクリートひずみ	鉄筋位置のコンクリートひずみ
記号	実材齢	有効材齢	f _{ck}	f _{td}	E _c	G _r	I _{sh}	ε _{s,sh}	σ _{c,sh}	ε _{s,sh}	σ _{c,sh}	σ _{c,sh}
単位	日	日	N/mm ²	N/mm ²	kN/mm ²	N/mm	mm	×10 ⁻⁴	N/mm ²	×10 ⁻⁴	N/mm ²	N/mm ²
50BBC-A	85	44	32.2	2.99	26.6	0.168	659	-125	0.63	-158	0.89	
50BBC-B	89	46										
50BBC-G10-A	39	49	37.7	3.14	28.4	0.178	512	-134	0.68	-168	0.96	
50BBC-G10-B	41	51										
50BBC-G20-A	88	47	38.4	3.37	29.4	0.208	609	-137	0.70	-170	0.98	
50BBC-G20-B	89	47										
50BBC-S12-A	32	42	35.2	3.09	31.3	0.209	685	-75	0.39	-93	0.54	
50BBC-S12-B	36	48										
35BBC-A	135	122	45.3	3.38	29.8	0.178	465	-246	1.26	-288	1.76	
35BBC-B	138	122										
35BBC-G20-A	52	62	54.2	3.64	35.4	0.181	484	-135	0.70	-154	0.96	
35BBC-G20-B	54	65										
35BBC-G30-A	241	259	57.5	3.69	29.1	0.175	374	-316	1.61	-371	2.26	
35BBC-G30-B	245	262										

表-3 から,内部養生を行ったコンクリートはいずれの W/C において,圧縮・割裂引張強度,ヤング係数が増加し,破壊エネルギーは W/C=0.5 の場合は増加傾向を示し,W/C=0.35 では同程度であった.特性長さは W/C=0.5 の場合,PCCA 置換において,減少傾向を示し,PCFA 置換の場合は同程度であった.W/C=0.35 の場合は PCCA20%の場合は同等で,PCCA30%においては低下が見られた.

図-2 に RC はり 2 体の平均曲げひび割れ発生モーメントを示す. 同図には収縮を無視および考慮した計算値も示している. コンクリートの曲げひび割れ強度は,割裂引張強度を用い土木学会示方書に従い, RC はりの高さと同コンクリートの特性長さを取り入れて求めた. 曲げひび割れ発生モーメントは鉄筋ひずみ,ひび割れ幅,たわみから読み取った. 図-2 より,W/C=0.5 の場合,曲げひび割れ発生モーメントに及ぼす PCA の影響が PCCA 置換において認められなかったが,PCFA 置換の場合は若干大きくなった. W/C=0.35 の場合は表-3 に示すように載荷時材齢が異なり,収縮による下縁コンクリート応力も異なるものの,内部養生効果により,曲げひび割れ発生モーメントが大きくなる傾向が認められた. W/C=0.5 の収縮を考慮した計算値は無視した場合に比べて実測値に近くなったが,W/C=0.35 では実測値を過小評価した結果となった. これは実測曲げひび割れ強度が土木学会式に従って求めた曲げひび割れ強度より大きかったからである.

図-3 および図-4 には W/C=0.5,0.35 のそれぞれの鉄筋応力度と最大ひび割れ幅の 2 体の平均関係を示す. 本研究では RC はりの載荷材齢が異なるため,図中の実測最大ひび割れ幅は式 (1) を用いて収縮の影響を除外した. 図中の凡例にはそれぞれの RC はりの最大ひび割れ間隔も示している.W/C=0.5 の場合は,内部養生を行った RC はりは同一鉄筋応力度において無置換に比べて最大ひび割れ幅が小さくなり,PCCA10%が最も小さくなる結果となった. W/C=0.35 の場合も, 同一鉄筋応力度において内部養生を行った 35BBC-G20 および 35BBC-G30 の最大ひび割れ幅は 35BBC に比べて小さくなった. これは内部養生によって強度が増加し,付着剛性が大きくなったからである.

図-5 に鉄筋応力度 180N/mm² 時のそれぞれの配合の最大ひび割れ幅の平均値を示す. 図中にも式 (1) を用いて実測値から収縮の影響を除外した値,さらに,収縮を無視,考慮した計算値もあわせて示している. 図-5 より,何れの W/C においても内部養生を行った RC はりの最大ひび割れ幅が無置換に比べて小さく,内部養生効果が認められた. なお,計算値に比べて内部養生を行った RC はりの実測値は小さく,土木学会式によれば安全側での評価ができる可能性を示した.

4. 結論

廃瓦骨材の内部養生効果は,何れの W/C において圧縮・割裂引張強度,破壊エネルギーに認められた. 曲げひび割れ発生モーメントは W/C=0.5 の場合,廃瓦骨材の有無によらず概ね同等であったが,W/C=0.35 の場合は,内部養生効果により大きくなる傾向が認められた. 最大ひび割れ幅は何れの W/C=0.5 においても内部養生効果により,小さくなる傾向が認められた. 廃瓦骨材の内部養生効果は W/C=0.35 において顕著であった.

参考文献: 1) 土木学会: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針,1996,2) Sato et al., Improvement of Properties of Portland Blast Furnace Cement Type B Concrete by Internal Curing Using Ceramic Roof Material Waste, JMCE, ASCE, Vol. 23, Issue 6, June 2011, pp. 777-782.,3) 社団法人日本コンクリート工学協会: コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書,2001.

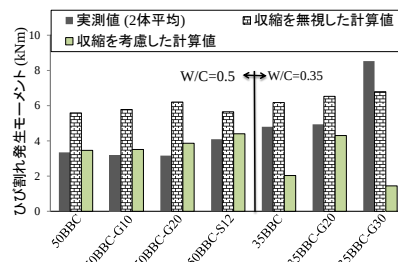


図-2 曲げひび割れ発生モーメント

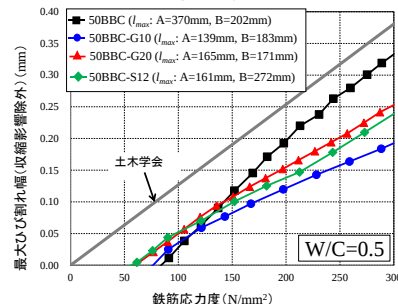


図-3 鉄筋応力度と最大ひび割れ幅の関係

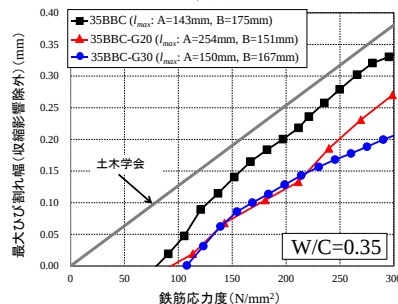


図-4 鉄筋応力度と最大ひび割れ幅の関係

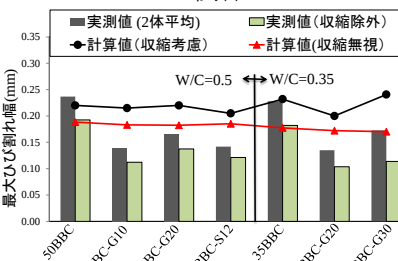


図-5 最大ひび割れ幅(鉄筋応力度=180N/mm²)

$$W_{max,load} = W_{max,meas} - l_{max,meas} \sigma_{s,sh} / E_s \quad (1)$$
 ここで, $W_{max,meas}$: 実測最大ひび割れ幅, $l_{max,meas}$: 実測最大ひび割れ間隔, $\sigma_{s,sh}$: ゼロ応力状態における鉄筋応力, E_s : ヤング係数