

廃瓦骨材で内部養生した RC はりのせん断強度について

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、産業副産物である高炉スラグ微粉末を含む高炉セメント B 種(BB)が実構造物に広く使用されている。BB を用いたコンクリート(以下 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はり部材の力学特性に及ぼす影響の検討の一環として、せん断強度についての検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料,配合および RC はり供試体

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,呉市広町の石英粗面岩砕石・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,用いた鉄筋は高強度異形 PC 鋼棒 C 種 1 号の D22 である。コンクリートの配合を表-2 に示す。W/C は 0.5 で PCCA の置換率は,容積比で 0%,10%および 20%とした。PCFA は,PCCA の吸水率と同等となるよう調整し,容積比で 12%および 24%置換した。配合名の(QZ)は石英斑岩で,(LP)は石英粗面岩を用いたコンクリートを示す。RC はりの断面諸元は,図-1 に示すとおり,寸法 300x305x2300mm のもので,有効高さは 250mm,鉄筋比 1.03%とした。各供試体は材齢 7 日まで封緘その後載荷試験まで気中養生した。

2.2 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,鉄筋ひずみ,せん断変位を測定し,測定方法は図-1 に示す。

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それによる鉄筋位置のコンクリート応力,下縁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 の時の鉄筋ひずみを示す。配合名の長期とは,載荷試験材齢が約 200 日を意味している。

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,せん断強度

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)(QZ)	S	表乾密度2.58 g/cm ³ ,吸水率1.56%
	石英粗面岩砕砂(呉市広町宇蜘蛛取産)(LP)		表乾密度2.62 g/cm ³ ,吸水率1.94%
	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)(QZ)	G	表乾密度2.62 g/cm ³ ,吸水率0.59%
	石英粗面岩砕石(呉市広町宇蜘蛛取産)(LP)		表乾密度2.65 g/cm ³ ,吸水率0.63%
	廃瓦粗骨材 (江津産)	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 (°C)		
				W	BB	混合砂		混合砕石			
						S	DS	PCFA	G	PCCA	
50BBC(QZ)	0.5	4.5±1.5	44.6	170	340				977	-	14.0
50G10(QZ)						503	270	-	880	84	23.0
50G20(QZ)						781	170	-	870	15.0	
50G20(LP)						851	-	-	718	156	30.4
50S12(QZ)						441	236	85	977	-	24.0
50S24(LP)						684	-	157	909	-	30.9

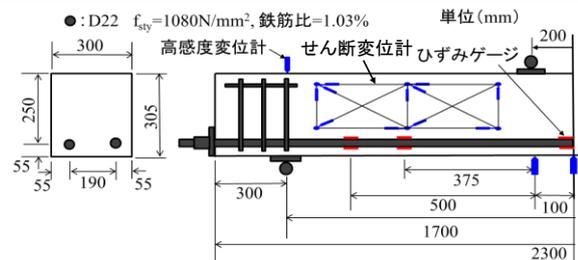


図-1 RC はり供試体概要

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				
	日	有効材齢	圧縮強度	引張強度	ヤング係数	破壊エネルギー	特性長さ	鉄筋ひずみ	鉄筋位置のコンクリート応力	鉄筋位置のコンクリート応力=0の時の鉄筋ひずみ	下縁コンクリート応力	
記号	実材齢	有効材齢	f _c	f _t	E _c	G _F	l _{ch}	ε _{s,def}	σ _{c,def}	ε _{s,def}	σ _{c,def}	
単位			N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm	mm	×10 ⁻³	N/mm ²	×10 ⁻⁴	N/mm ²	
50BBC(QZ)-A	43	22	33.0	2.70	27.8	0.168	638	-91	0.33	-103	0.52	
50BBC(QZ)-B	46	23						-104	0.37	-117	0.59	
50G10(QZ)-A	49	27	34.3	2.89	29.8	0.166	592	-70	0.25	-78	0.35	
50G10(QZ)-B	50	28						-67	0.24	-75	0.34	
50G10(QZ)-A(長期)	193	214	39.3	3.33	27.7	0.220	550	-147	0.52	-167	0.74	
50G10(QZ)-B(長期)	198	217						-183	0.58	-185	0.82	
50G20(QZ)-A	43	22	36.9	3.27	28.0	0.208	546	-87	0.31	-98	0.49	
50G20(QZ)-B	45	23						-81	0.29	-91	0.46	
50G20(LP)-A	34	56	46.7	3.75	31.5	0.176	394	-180	0.58	-178	0.81	
50G20(LP)-B	37	63						-146	0.53	-163	0.73	
50G20(LP)-C(長期)	221	205	51.9	4.13	31.9	0.200	373	-176	0.63	-198	0.89	
50S12(QZ)-A	49	28	33.5	3.08	29.7	0.175	549	-51	0.18	-57	0.26	
50S12(QZ)-B	51	29						-49	0.18	-55	0.25	
50S12(QZ)-A(長期)	205	219	40.5	3.67	30.3	0.220	495	-156	0.56	-175	0.79	
50S12(QZ)-B(長期)	209	221						-180	0.57	-179	0.81	
50S24(LP)-A	34	55	42.1	3.69	30.3	0.178	394	-110	0.40	-123	0.55	
50S24(LP)-B	33	55						-110	0.40	-123	0.55	
50S24(LP)-C(長期)	216	197	47.1	3.73	32.1	0.188	434	-149	0.54	-167	0.75	

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,破壊エネルギーが増加し,コンクリートの破壊の脆性を表す特性長さはいずれの場合も低下傾向を示した.

図-2 にせん断強度(2 体平均)に及ぼす PCA の影響を示す. せん断強度の実測値は図-1 に示すせん断変位計で測定したせん断変位および鉛直変位急増時のせん断力とした. 図中に RC 部材のせん断強度の土木学会の原式である二羽らの式(1)で求めた値および式(2)に示す等価鉄筋比の概念⁴⁾により収縮の影響を考慮した二羽式による計算値も示している.

$$V_c = 0.2f_c^{1/3}(d/1000)^{-1/4}(100p_s)^{1/3}(0.75 + 1.4/(a/d))bd \quad (1) \quad p_{s,e} = \epsilon_s p_s / (\epsilon_s - \epsilon_{s0,def}) \quad (2)$$

ここで, f_c :コンクリートの圧縮強度, d :有効高さ, p_s :引張鉄筋比, a :せん断スパン長, b :部材幅, ϵ_s :せん断スパン中央における斜めひび割れ発生直前の曲げ理論による鉄筋ひずみ, $\epsilon_{s0,def}$:鉄筋位置のコンクリート応力が 0 となる鉄筋ひずみ

図-2 によれば,W/C=0.5 の場合,無置換と比較すると,50G20(QZ)を除けば,いずれの場合もせん断強度が大きく,置換率 10%程度の効果が高い. 圧縮強度および等価鉄筋比の相違の影響を除いた結果を示す. 図-3 に無置換 RC はりのせん断強度で正規化した内部養生を行った RC はりのせん断強度を示す. 図中に圧縮強度と収縮の影響を除去するために式(3)を用いて実測値を正規化した値も示している. 図-3 に示すとおり 50G10(QZ-長期)および 50S12(QZ-長期)の場合は圧縮強度,収縮の相違を考慮しても無置換より大きく,両者の観点では内部養生効果を説明できないことがわかる.

図-4 はせん断強度の実測値を二羽式ならびに等価鉄筋比を用いた二羽式で求めた計算値で除した比を示している. この図に示すように程度の差はあるものの,いずれの RC はりにおいても実測値が計算値より大きい. 特に 50G10(QZ-長期)および 50S12(QZ-長期)の場合は,実測値は計算値よりかなり大きい. そこで,破壊力学の観点からの評価を式(4)⁵⁾に即して行い,50S12(QZ)を一例として,その結果を図-5 に示す. 図-5 から,内部養生により増加した f_i と PCA の大きい破砕値⁶⁾により小さくなったと推察される l_{ch} の 1/4 乗の積は, f_c の 1/3 乗に比べて実測せん断強度に近づくことがわかる. 他の RC はりに対してもこの破壊力学的アプローチによる検討を行い,PCA で内部養生した場合のせん断強度の評価法の確立を目指したい.

4. 結論

PCA の内部養生効果は,圧縮・割裂引張強度,破壊エネルギーに認められたが,特性長さは小さくなった. せん断強度は内部養生効果によって増加し,PCA 置換率 10%程度で最も効果が見られた. また,せん断強度の計算値は実験値より小さく,特に PCA 置換率 10%程度の RC はりに対してはかなり過小評価し,従来の方法では説明できなかったが,破壊力学的アプローチによれば予測精度を向上できる可能性が認められた.

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.,4)Sato, R. and Kawakane, H. :A new concept for the early age shrinkage effect on diagonal cracking strength of reinforced HSC beams, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.6, No.1,pp. 45-67, 2008., 5)Gustafson, P. J., Hillerborg, A., 1988. Sensitivity in Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Beams to Fracture Energy of Concrete, ACI Structural Journal, May-June, pp.286-294, 1988., 6)佐藤良一,小川由布子:廃瓦コンクリート,コンクリートの今日的課題と展望,PP.61-69,2013

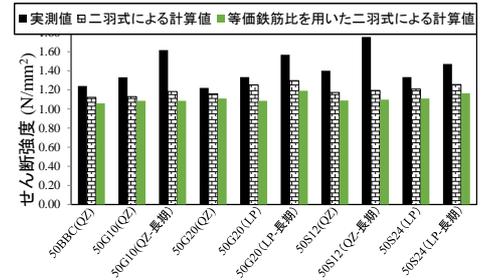


図-2 せん断強度まとめ

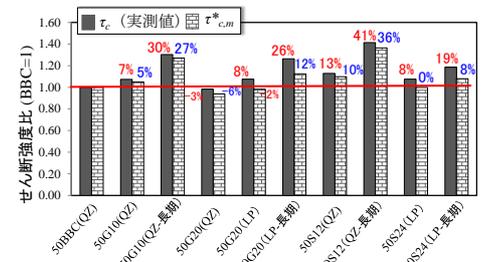


図-3 正規化した実測せん断強度の比較

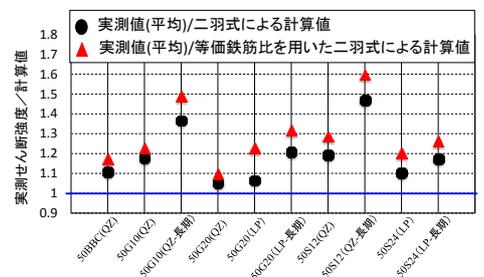


図-4 せん断強度実測値と計算値の比較

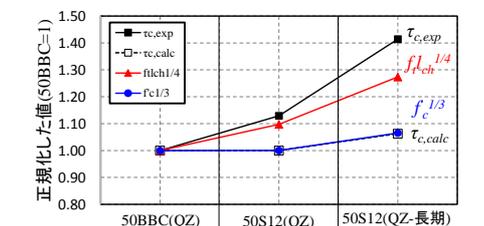


図-5 引張強度と特性長さがせん断強度に及ぼす影響

$$\tau_{c,m}^* = \frac{\tau_c}{f_c^{1/3} \times (100 p_{s,e})^{1/3}} \quad (3)$$

ここで, τ_c :実測せん断強度, f_c :圧縮強度

$$\tau_c / f_i \propto (d/l_{ch})^{-1/4} \quad (4)$$

ここで, f_i :引張強度, d :有効だかさ,

l_{ch} :特性長さ