

# 廃瓦骨材を活用した鉄筋コンクリートはりの性能評価

山口 克己<sup>1</sup>、木村 守<sup>1</sup>、Mwangi M. MACHARIA<sup>2</sup>、  
小川 由布子<sup>2</sup>、佐藤 良一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>浜田河川国道事務所工務課、<sup>2</sup>広島大学大学院工学研究院

水セメント比 (W/C)、廃瓦骨材 (PCA) 置換率およびPCAの粗骨材、細骨材の相違を検討要因とし、PCAの内部養生が高炉B種RCはりの曲げせん断特性に及ぼす影響の検討を行った。W/Cは0.5、0.35であり、W/C=0.5におけるPCA置換率は粗骨材置換0%、10%、20%、細骨材置換12%で、W/C=0.35の場合は粗骨材置換0%、20%、30%である。ひび割れ特性検討に用いたRCはりは有効高さ210mmで鉄筋比1.36%のもので、せん断に用いたのは有効高さ250mmで鉄筋比1.03%のものである。これらの検討によれば、RCはりの曲げひび割れ幅はPCAを用いることで小さくなり、せん断強度はW/C=0.5の場合同等以上で、W/C=0.35の場合は約20%低下した。

キーワード：高炉B種コンクリート、廃瓦骨材、内部養生、鉄筋コンクリート、曲げひび割れ、せん断強度

## 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種が実構造物に広く使用されている。高炉セメントB種を用いたコンクリート(BB)は普通ポルトランドセメントのみを用いたコンクリート (NC) よりセメントの水和反応が遅く、強度発現は、特に若材齢時の養生の影響を強く受ける<sup>1)</sup>。初期に乾燥を受けると、その後湿潤状態を保っても、強度発現が悪くなるとともに、耐久性の低下および乾燥収縮が増大することもある<sup>1)</sup>。このためBBの湿潤養生期間はNCの場合よりも長くする必要があるが、実構造物においては、養生が十分に行われない場合もある。

屋根瓦の製造時に発生する約10,000t/年のJIS規格外品石州瓦は、一部が路盤材として再利用されているが、大部分は未活用あるいは産業廃棄物として処分されており廃瓦の有効活用が望まれる。

これに対応するために、重松ら<sup>2)</sup>、佐藤ら<sup>3)</sup>は内部養生材として適度な含水率と比較的高い強度を持つ廃瓦に着目し、廃瓦粗骨材(PCCA)をBBに適用した結果、収縮低減および強度増進などの効果があることを報告した。

廃瓦骨材 (PCA) の破砕値は内部養生材として実績のある人工軽量骨材の半分程度で高い強度を有するが、天然砕石の倍程度と小さい。軽量骨材は、破砕値が大きいためそれを粗骨材全量置換すれば、RCはりのせん断強度低下をもたらすことが知られている<sup>4)、5)</sup>。また超高強度コンクリートを用いたRCはりの場合は、PCA20%粗

骨材置換であっても、せん断強度が低下することが報告されている<sup>6)</sup>。

本論文では既往<sup>2)、3)</sup>の研究に引き続き、PCAを高炉B種RCはりに適用し、その内部養生効果がRCはりの力学特性である曲げせん断特性に及ぼす影響の検討を行った。

なお、本研究の一部は中国地方整備局浜田河川国道工事事務所と広島大学工学研究院との包括的研究協力に基づいて実施したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

本研究において使用した材料を表-1に示す。セメントには高炉スラグ微粉末 40~45%置換の高炉セメントB種を使用した。

粗骨材は黒瀬町産石英斑岩砕石および江津産廃瓦、細骨材は黒瀬町産石英斑岩砕砂を用いた。廃瓦粗骨材は7日間吸水させたものを表乾状態で使用した。水セメント比は0.5および0.35とした。

コンクリートの配合を表-2に示す。水セメント比が0.5の場合、細骨材率 (s/a) を44.6%、単位水量を170kg/m<sup>3</sup>の一定とした。廃瓦粗骨材の置換率は、容積比で0%、10%および20%とした。廃瓦細骨材は、廃瓦粗骨材の内部養生水量 (吸水量) と同等となるよう調整し、容積比で12%置換した。

水セメント比0.35の場合、細骨材率 (s/a) を40.3%、単位水量を170kg/m<sup>3</sup>の一定とした。廃瓦粗骨材の置換率を容積比で0%、20%および30%とした。

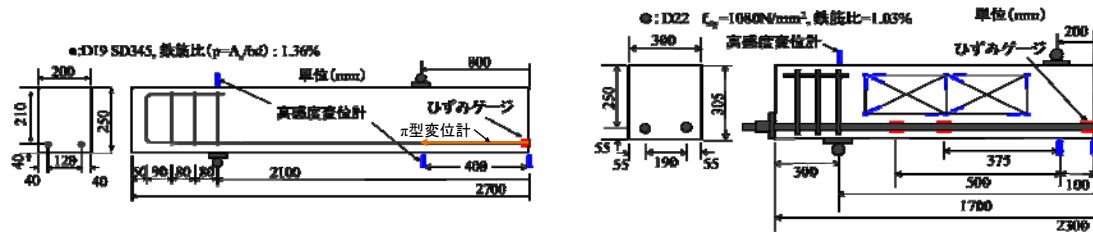
引張鉄筋として用いた鋼材は、曲げ特性の検討においてD19 (SD345) である。せん断特性においては呼び径がD22の鋼材で、曲げ破壊を防ぎ確実にせん断破壊を

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 <sup>3</sup> 、比表面積3760cm <sup>2</sup> /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 <sup>3</sup> 、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 <sup>3</sup> 、吸水率1.71%
	廃瓦細骨材（江津産）	PCFA	表乾密度2.29 g/cm <sup>3</sup> 、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 <sup>3</sup> 、吸水率0.59%
	廃瓦粗骨材（石州瓦）	PCCA	表乾密度2.26 g/cm <sup>3</sup> 、吸水率9.0%

表-2 配合表

配合記号	W/C	目標		s/a (%)	W	BB	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					AE 減水剤	打込み直前温度 (°C)	
		スランプ (cm)	空気量 (%)				混合砂			混合砕石				
							S	DS	PCFA	G	PCCA			
50BBC	0.5	8±2	4.5±0.5	44.6	170	340	503	270	-	85	977	-	0.90%	14.0
50BBC-G10											880	84		23.0
50BBC-G20											781	170		15.0
50BBC-S12											441	236		977
35BBC	0.35	18±2	4.5±0.5	40.3	170	486	423	226	-	-	977	-	1.20%	16.5
35BBC-G20											781	170		24.0
35BBC-G30											684	253		16.0



(a) 曲げ特性に用いたRCはり供試体概要

(b) せん断特性に用いたRCはり供試体概要

図-1 RCはり供試体概要

生じさせるため、高強度の異形 PC 鋼棒 C 種 1 号（記号：SBPD1080/1230）を使用した。

曲げ特性の検討に用いた RC はり供試体の寸法は、200×250×2700mm、有効高さは 210mm とした。一方、せん断特性の検討に用いた RC はりの寸法は、300×305×2300mm、有効高さ d を 250mm とした。鉄筋比はそれぞれ 1.36% および 1.03% とした。RC 供試体は、結果の信頼性を高めるため、各配合で 2 体ずつ作製した。

それぞれの RC はり供試体の断面と供試体の側面図を 図-1 に示す。

## 2.2 養生条件

養生条件は材齢7日まで封緘その後は屋内気中曝露したものであり、RC はりは、乾燥の影響が長手方向で一様になるよう、両端面にアルミ粘着テープを貼付し、水分の逸散を防止した。

## 2.3 検討項目

### 2.3.1 強度試験

強度試験として圧縮強度試験、割裂引張強度試験および静弾性係数試験を行った。各試験は、それぞれ JIS A 1108、JIS A 1113 および JIS A 1113 に準拠した。

### 2.3.2 破壊エネルギー試験および評価方法

破壊エネルギー試験は日本コンクリート工学会の試験法<sup>7)</sup> に準じて行った。また破壊エネルギーおよびひび割

れ発生強度に影響するとされている特性長さは、試験法と同様 JCI の方法により求めた。

### 2.3.3 RC はりの測定項目および載荷試験方法

RC はりの挙動を明らかにするために、図-1 に示す位置の鉄筋ひずみの経時変化を打込み直後から測定した。

曲げ特性 RC はりの測定はスパン中央と載荷点位置のたわみ、等曲区間における鉄筋位置でのひび割れ幅および鉄筋ひずみである。たわみは容量±50mm、精度 1/200mm と容量±25mm、精度 1/400mm の高感度変位計により、変位とひび割れ幅は標点距離 100mm、精度 1/1000mm の π 型変位計により、鉄筋ひずみはゲージ長 5mm のストレインゲージでそれぞれを測定した。

せん断 RC はりは鉄筋ひずみ、支間中央たわみおよび曲げせん断域のせん断変位を、ワイヤストレインゲージ（ゲージ長 5mm）、π 型変位計（精度：1/1000mm）、高感度変位計（精度：1/1000mm～1/200mm）により測定した。

載荷は、2 点集中載荷で単調増加とし所定の荷重で計測を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 力学特性

図-2 および 図-3 に、W/C=0.5 および 0.35 のコンクリート基礎物性に及ぼす PCA の内部養生の影響を示す。これら

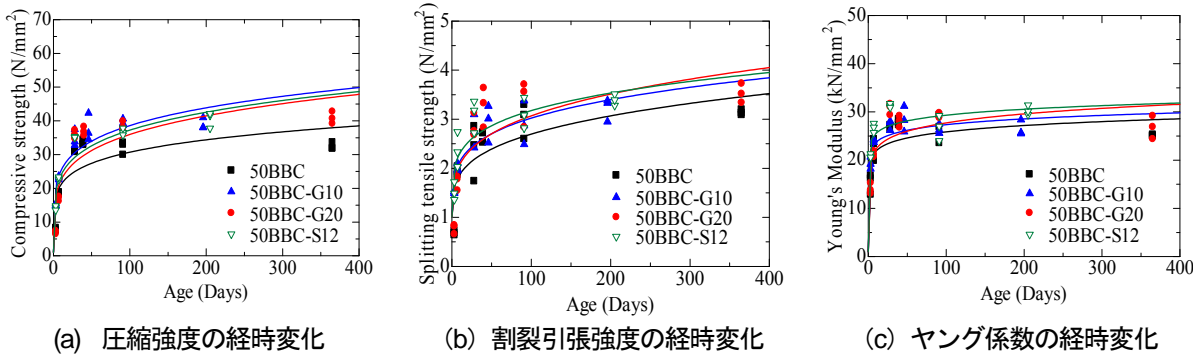


図-2 PCAがW/C=0.5のコンクリート基礎物性に及ぼす影響

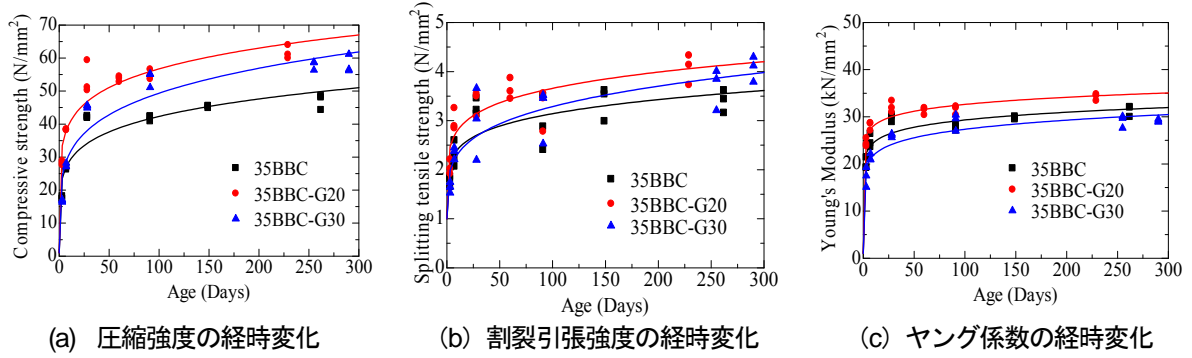


図-3 PCAがW/C=0.35のコンクリート基礎物性に及ぼす影響

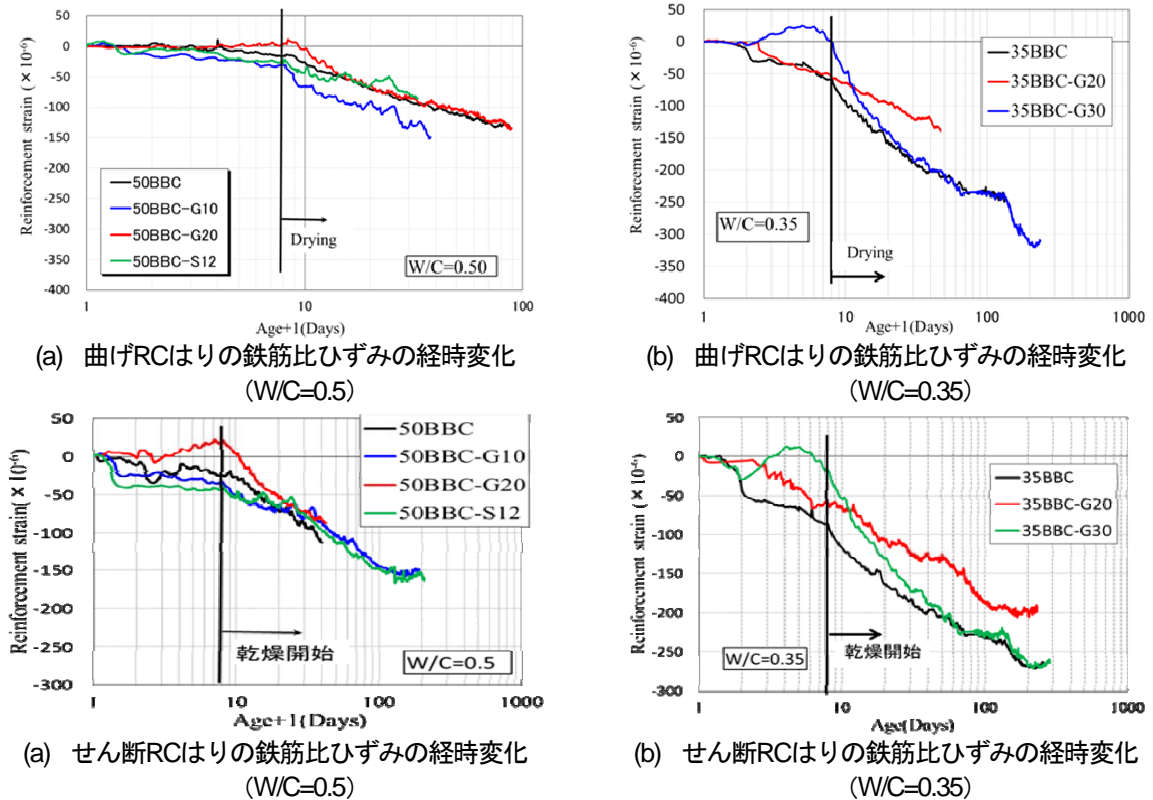


図-4 収縮による鉄筋ひずみの経時変化

の図によれば、圧縮強度、割裂引張強度は、既往の研究<sup>2), 3)</sup>と同様、何れのW/Cにおいても内部養生効果が認められ、とりわけW/C=0.35の効果が顕著であった。W/C=0.5の場合には50BBC-S12、次いで50BBC-G10が効

果的であった。ヤング係数については、W/C=0.5の場合は無置換に比べて同程度であったが、W/C=0.35の場合は置換率の大きいと小さくなる傾向が見られた。

### 3.2 収縮による鉄筋ひずみ

図-4には打込み以降の曲げ特性およびせん断特性検討に用いたRCはりの鉄筋ひずみの経時変化を示す。W/C=0.5の場合は、測定期間に差があり試験体間で若干の差異が認められるが、その理由は考えにくく巨視的には内部養生効果が認められない挙動といえる。しかし、W/C=0.35の場合は、内部用養生を行った50BBC-G20の鉄筋ひずみが小さい。これは自己乾燥および乾燥曝露による細孔中の湿度低下を内部養生水で抑制したことによると考えられる。置換率の大きい50BBC-G30の場合は気中曝露前の自己収縮低減があるものの、曝露後は無置換と同程度の傾向を示した。これはPCAの小さいヤング係数により、乾燥収縮が大きくなったためだと考えられる。

### 3.3 曲げ特性に及ぼす廃瓦骨材の影響

表-3に気中養生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。表-3のとおり破壊エネルギーは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。部材の破壊の脆性度を表す特性長さは、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%の場合と同等で、PCCA30%においては低下が見られた。

図-5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-5より、W/C=0.5の場合、曲げひび割れ発生モーメントはPCCA置換率に関係なく同程度で

あったが、PCFA置換の場合は無置換より若干大きくなった。W/C=0.35の場合は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ためである。

図-6および図-7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。また、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-8に鉄筋応力度180N/mm<sup>2</sup>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、考慮した計算値も合わせて示している。図-8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。

$$W_{maxload} = W_{maxmeas} \cdot l_{maxmeas} \cdot \sigma_{ssh} / E_s \quad (1)$$

表-3 曲げはりの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		
	実材齢	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	単位	日	日	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm	mm	$\epsilon_{s,def}$ ×10 <sup>-6</sup>	$\sigma_{c,def}$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{s,def}$ ×10 <sup>-6</sup>	$\sigma_{c,def}$ N/mm <sup>2</sup>
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									
50BBC-G10-B		41	51	37.7	3.14	28.4	0.178	512	-134	0.68	-168	0.96
50BBC-G20-A		88	47									
50BBC-G20-B		89	47	38.4	3.37	29.4	0.208	609	-137	0.70	-170	0.98
50BBC-S12-A		32	42									
50BBC-S12-B		36	48	35.2	3.09	31.3	0.209	685	-75	0.39	-93	0.54
35BBC-A		135	122	45.3	3.38	29.8	0.178	465	-246	1.26	-288	1.76
35BBC-B		136	122									
35BBC-G20-A		52	62									
35BBC-G20-B		54	65	54.2	3.64	35.4	0.181	484	-135	0.70	-154	0.96
35BBC-G30-A		241	259									
35BBC-G30-B		245	262	57.5	3.69	29.1	0.175	374	-316	1.61	-371	2.26

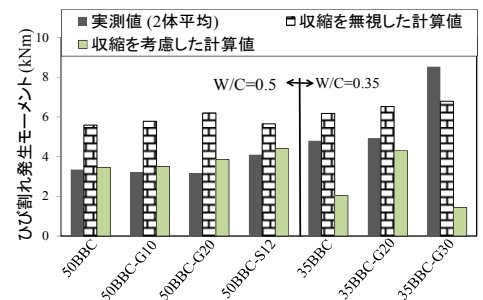


図-5 曲げひび割れ発生モーメント

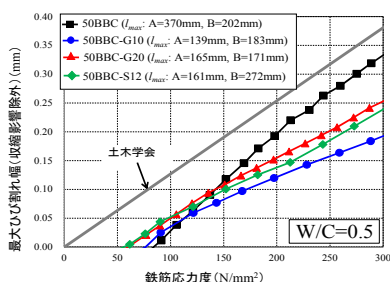


図-6 鉄筋応力度と最大ひび割れ幅の関係 (W/C=0.5)

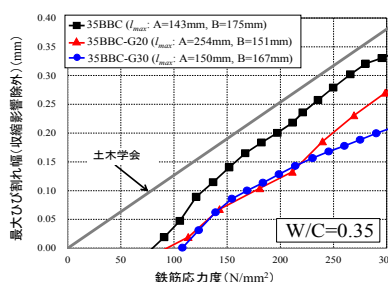


図-7 鉄筋応力度と最大ひび割れ幅の関係 (W/C=0.35)

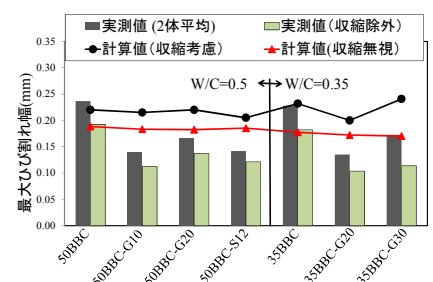


図-8 最大ひび割れ幅 (鉄筋応力度=180N/mm<sup>2</sup>)



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、 $\sigma_{ssh}$  : ゼロ応力状態における鉄筋応力、 $E_s$  : ヤング係数

### 3.4 せん断特性に及ぼすPCAの影響

表-4にはせん断はりの載荷時材料特性、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。

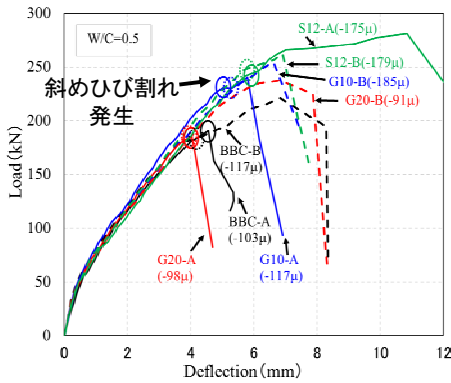
図-9にはせん断RCはりスパン中央のたわみに及ぼすPCAの影響を示す。図中の丸印は斜めひび割れ発生荷重を示している。図-9より、何れのW/Cにおいても荷重たわみ関係に対するPCAの影響ほとんど見られず、荷重が

低い段階の曲げ剛性も変わらないことが認められる。

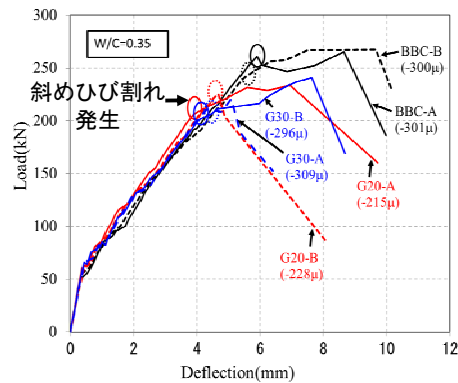
図-10にそれぞれのRCはりのせん断強度に及ぼすPCAの内部養生効果を示す。図中には土木学会式(2)で求めた値もおよび等価鉄筋比の概念<sup>7)</sup>により収縮の影響を考慮した二羽式による計算値も示している。表-5には斜めひび割れ発生荷重の実測値と計算値の比較を示す。図-10および表-5より、W/C=0.5の場合は載荷時材齢が無置換に比べて大きく異なる50BBC-G10および50BBC-S12のせん断強度が無置換に比べて大きく、載荷時材齢が同程度である50BBC-G20に比べて同程度である。佐藤ら<sup>8)</sup>は収縮が大きくなるとせん断強度が低下すると報告している。本研究でせん断強度が増加したRCはりにおける収縮に

表-4 せん断はりの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		材料試験材齢		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				
	実材齢	有効材齢	実材齢	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	下縁コンクリート応力=0の時の鉄筋ひずみ	下縁コンクリート応力	
記号	単位	日	日	日	日	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm	mm	$\epsilon_{s,def} \times 10^{-6}$	$\sigma_{c,def}$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{s0,def} \times 10^{-6}$	$\sigma_{c0,def}$ N/mm <sup>2</sup>
50BBC-A	43	22	39	20	33.0	2.70	27.8	0.168	638	-91	0.33	-103	0.52	
50BBC-B	46	23								-104	0.37	-117	0.59	
50BBC-G10-A	193	214	196	216	39.3	3.22	26.5	0.220	564	-147	0.52	-167	0.74	
50BBC-G10-B	198	217								-163	0.58	-185	0.82	
50BBC-G20-A	43	22	40	20	36.9	3.27	28.0	0.208	546	-87	0.31	-98	0.49	
50BBC-G20-B	45	23								-81	0.29	-91	0.46	
50BBC-S12-A	205	219	205	219	40.5	3.39	30.3	0.209	550	-156	0.56	-175	0.79	
50BBC-S12-B	209	221								-160	0.57	-179	0.81	
35BBC-A	250	263	262	272	47.0	3.50	31.4	0.200	513	-270	0.97	-301	1.36	
35BBC-B	254	267								-269	0.97	-300	1.35	
35BBC-G20-A	235	240	229	237	61.7	4.07	34.2	0.207	428	-194	0.70	-215	0.98	
35BBC-G20-B	234	240								-206	0.75	-228	1.04	
35BBC-G30-A	282	286	290	290	58.0	4.17	29.1	0.208	350	-275	0.99	-309	1.38	
35BBC-G30-B	285	288								-264	0.95	-296	1.33	



(a) 荷重-たわみ曲線(W/C=0.5)



(b) 荷重-たわみ曲線(W/C=0.5)

図-9 荷重-たわみ曲線に及ぼすPCAの影響

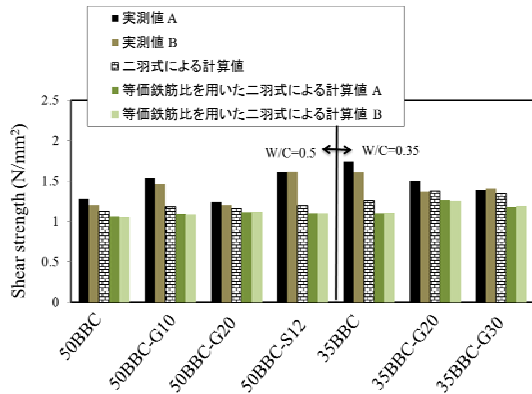


図-10 せん断強度に及ぼすPCAの影響

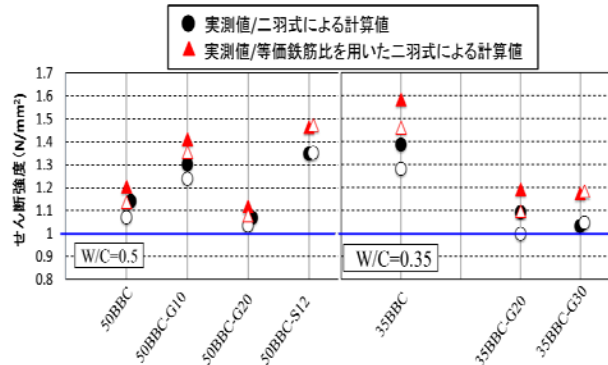


図-11 せん断強度実測値と計算値の比較

表-5 斜めひび割れ発生荷重の比較

項目	RC載荷材齢		斜めひび割れ発生強度												終局耐力		破壊形態			
			実測値			等価鉄筋比による収縮が0の時の $\tau_c$		二羽式による計算値		実測値/計算値		等価鉄筋比を用いた二羽式の計算値		実測値/計算値		収縮および圧縮強度の影響を考慮した実測値		実測値	実測値/計算値	
			$V_{c,m}$	$\tau_c$	比	$\tau_c$	比	$V_{c,cal}$	$\tau_{c,cal}$	$V_{c,m}/V_{c,cal}$	$\tau_{c,m}/\tau_{c,cal}$	$V_{c,m}/V_{c,cal}$	$\tau_{c,m}/\tau_{c,cal}$	$V_{c,m}/V_{c,cal}$	$\tau_{c,m}^*/\tau_{c,m}$	比				$P_{u,m}$
単位	日	日	kN	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>		kN	N/mm <sup>2</sup>	$V_{c,m}/V_{c,cal}$		$\tau_{c,m}/\tau_{c,cal}$		$V_{c,m}/V_{c,cal}$		kN	$P_{u,m}/V_{u,m}$			
50BBC-A	43	22	192	1.28	1.00	1.35	1.00	168	1.12	1.14	159	1.06	1.20	0.09	1.00	192	1.00	せん断引張破壊		
50BBC-B	46	23	180	1.20		1.28				1.07	158	1.05	1.14	0.08		220	1.22	せん断引張破壊		
50BBC-G10-A	193	214	231	1.54	1.21	1.67	1.25	177	1.18	1.30	163	1.09	1.41	0.10	1.18	240	1.04	せん断引張破壊		
50BBC-G10-B	198	217	220	1.47		1.60				1.24	162	1.08	1.36	0.10		254	1.16	せん断引張破壊		
50BBC-G20-A	43	22	186	1.24	0.98	1.30	0.97	174	1.16	1.07	166	1.11	1.12	0.08	0.94	186	1.00	せん断引張破壊		
50BBC-G20-B	45	23	180	1.20		1.26				1.03	167	1.11	1.08	0.08		226	1.26	せん断引張破壊		
50BBC-S12-A	205	219	241	1.61		1.75				1.35	165	1.10	1.46	0.11		281	1.16	せん断引張破壊		
50BBC-S12-B	209	221	242	1.62	1.30	1.76	1.34	179	1.19	1.35	164	1.10	1.47	0.11	1.25	262	1.08	せん断引張破壊		
35BBC-A	250	263	261	1.74	1.00	1.99	1.00	188	1.26	1.39	165	1.10	1.58	0.12	1.00	265	1.02	せん断引張破壊		
35BBC-B	254	267	241	1.61		1.83				1.28	165	1.10	1.46	0.11		268	1.11	せん断引張破壊		
35BBC-G20-A	235	240	225	1.50	0.86	1.64	0.82	206	1.37	1.09	189	1.26	1.19	0.09	0.75	234	1.04	せん断引張破壊		
35BBC-G20-B	234	240	206	1.37		1.51				1.00	188	1.25	1.10	0.08		225	1.09	せん断引張破壊		
35BBC-G30-A	282	286	209	1.39	0.84	1.58	0.83	202	1.35	1.03	178	1.18	1.17	0.09	0.77	241	1.16	せん断引張破壊		
35BBC-G30-B	285	288	211	1.41		1.59				1.05	178	1.19	1.18	0.09		220	1.04	せん断引張破壊		

よる鉄筋ひずみは、無置換に比べて大きい。この理由は内部養生効果によるコンクリートの強度増加と考えているが、精査および検討する必要がある。W/C=0.35の場合は内部養生を行った35BBC-G20および35BBC-G30のせん断強度が無置換に比べて何れの場合も約20%低下した。Walraven<sup>4)</sup>は軽量骨材を用いたRCはりは骨材の噛み合いによるひび割れ面においてせん断伝達能力が低下し、せん断強度が低下すると指摘している。この考え方が本研究で適用できるならば、ここで見られるせん断強度の低下はPCAの大きい破砕値による影響であると考えられる。

$$V_c = 0.2 f_c'^{1/3} (d/1000)^{-1/4} (100 p_s)^{1/3} (0.75 + 1.4(a/d)) b d \quad (2)$$

ここで、 $f_c'$ : コンクリートの圧縮強度、 $d$ : 有効高さ、 $p_s$ : 引張り鉄筋比、 $a$ : せん断スパン長、 $b$ : 部材幅

図-11にせん断強度の実測値を二羽式で求めた値で割った強度比の比較を示している。図中にも等価鉄筋比を用いた二羽式による計算値で割った値の比較も示している。図-11によれば、いずれのRCはりにおいても実測値が計算値より大きく、安全側での評価が可能であることがわかる。また、等価鉄筋比を用いた二羽式による計算値との比によれば、同様の傾向が見られた。

#### 4. 結論

本研究の範囲内で明らかになったことを以下に示す。

1. 廃瓦骨材の内部養生効果が水和反応を促進することで、圧縮強度、割裂引張強度、破壊エネルギーが増大することが確認できた。しかし、大きい破砕値によると思われる特性長さの低下が見られた。
2. はりのひび割れ発生モーメントは、W/C=0.5の場合内部養生の影響をあまり受けないが、W/C=0.35の場合は内部養生により増大する傾向が見られた。
3. 廃材骨材で内部養生することでコンクリートの強度が増加し、高まったと思われる付着剛性により、はりの最大ひび割れ幅が減少傾向を示した。
4. 廃瓦骨材を用いたRCはりのせん断強度はW/C=0.5の

場合は無置換に比べて同等以上であり、W/C=0.35の場合は約20%低下した。しかし、実測値は土木学会式で求めた計算値よりも大きく、安全側での評価が可能であることが確認された。

#### 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、Vol.17、No.5、pp.87-95、1979.5
- 2) 重松 明、温品達也、木村 守、佐藤良一、廃瓦粗骨材の内部養生による高炉 B 種コンクリートの性能向上について、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.205-210、2009.7
- 3) 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.
- 4) Walraven J.C, Size effects: Their Nature and their Recognition in Building Codes, Size Effect in Concrete Structures, JCI International Workshop, Oct.23-Nov.2, 1993, pp.295-314.
- 5) 土木学会：人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル、No.56、1985
- 6) 三谷 昂大、大賀 琢麻、佐藤 良一、実大規模超高強度 RCはりにおける収縮低減とせん断挙動について、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.2、pp.667-672、2010.7
- 7) 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
- 8) 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.