

論文 高炉セメントB種RCはりのせん断耐力に及ぼす初期高温履歴と廃瓦骨材の影響

藤山 堯大*1・Mwangi M. MACHARIA*1・小川由布子*2・佐藤良一*3

要旨: 水和熱を想定した高温履歴を受けた高炉セメント B 種 RC はりのせん断耐力に及ぼす廃瓦骨材の影響を検討した。W/C は 0.5, 0.35 とし, 廃瓦骨材の容積置換率は粗骨材と共に 10%, 細骨材はそれぞれ 12, 15% である。温度条件は最高温度 70°C の高温履歴と常温の 2 条件とした。この結果, 高温履歴を受けた RC はりのせん断耐力は常温下に比べて低下したが, W/C=0.5, 0.35 どちらも廃瓦粗・細骨材置換によりそのせん断耐力の低下を低減し, かつ W/C=0.35 の廃瓦細骨材置換の場合はせん断耐力が向上した。

キーワード: 高炉セメント B 種, 高温履歴, 廃瓦骨材, 内部養生, せん断耐力

1. はじめに

高炉セメントを使用したコンクリートは, 普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと比較して自己収縮が大きくなることが知られている。特に, マスコンクリートに使用すると, 水セメント比によらず高温履歴により 20°C 養生下と比べて自己収縮が 2 倍程度に増大する可能性があることが報告されている¹⁾。

一方, 高強度 RC はりでは, 自己収縮により引張鉄筋が圧縮され, これがひび割れとともに解放されることにより, せん断耐力が有意に低下することが明らかにされている²⁾。著者らはせん断耐力への自己収縮の影響を評価するために自己収縮によって増大する載荷前後の引張鉄筋ひずみは引張鉄筋比が小さくなると等価であるとする等価鉄筋比の概念を提案している³⁾。

屋根瓦の製造時に発生する年間約 15,000~20,000t の規格外瓦である廃瓦は, 適度な吸水率と比較的高い強度を有しており, 内部養生材として用いた研究が行われており, 収縮の低減, 強度増進および RC はりのせん断耐力の向上が報告されている^{4) 5)}。

また, 初期高温履歴を受けた高炉セメント B 種 RC はりのせん断耐力は常温下の場合と比べて低下することが報告されている⁶⁾。

以上のことから, 本研究では初期に高温履歴を受けると常温下に比べてせん断耐力が低下する高炉セメント B 種 RC はりに廃瓦骨材を適用し, その内部養生効果がせん断耐力に及ぼす影響の検討を行った。

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とその物理的性質を表-1 に示す。セメントには高炉セメント B 種を使用した。

細骨材には石英斑岩砕砂を使用し, 粗骨材には石英斑岩砕石を用いた。廃瓦骨材は 5-13mm 寸法のを廃瓦粗骨材, 1-5mm 寸法のを廃瓦細骨材として使い, 7 日以上吸水させたものを表乾状態に調整して使用した。

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, 単位水量を 170kg/m³ とした。細骨材率 (s/a) はそれぞれ 44.6, 40.3% とした。廃瓦粗骨材の置換率は 10vol.% 置換 (G10) とし, 廃瓦細骨材は廃瓦粗骨材の内部養生水量 (吸水量) と同程度になるようにそれぞれ 12, 15vol.% 置換 (S12) とした。配合名は, 表-2 に示すとおり, W/C=0.5 は 50BBC, 50G10, 50S12, W/C=0.35 は 35BBC, 35G10, 35S12 とした。目標スランプはそれぞれ 8±2, 18±2cm, 空気量はどちらも 4.5±1.5% とした。

2.2 温度条件

温度条件は, マスコンクリート内部の温度変化を模擬した温度履歴 (最高温度と相対湿度の目標値はそれぞれ 70±1°C, 一定の 90±5%) を与える高温履歴と常温の 2 条件とした。すべての試験体は打込み直後から打込み面をアルミ粘着テープ, 湿布, ラップフィルムの順で覆った。なお, アルミ粘着テープは側型枠上面に接着し極力水分逸散を防いだ。強度試験供試体以外は材齢 7 日に脱枠し, すべての面をアルミ粘着テープで封緘した。高温履歴では温度履歴終了後から, 常温では打込み直後から屋内に試験体を静置した。本論文では高温履歴を受けた試験体を High, 常温下の試験体を Normal と示す。図-1 に, 各配合・温度条件の円柱供試体 (φ100×200mm) 中の温度を示す。

2.3 検討項目

(1) 強度試験

強度試験は圧縮強度試験, 割裂引張強度試験およびヤング係数について行った。各試験は, それぞれ JISA1108,

*1 広島大学大学院 工学研究科社会基盤環境工学専攻 (学生会員)

*2 広島大学大学院 工学研究科社会環境空間部門助教 博士(工学) (正会員)

*3 広島大学大学院 工学研究院名誉教授 工博 (正会員)

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3.04g/cm ³ 、比表面積3760cm ² /g
細骨材	石英斑岩砕砂	S	表乾密度2.58g/cm ³ 、吸水率1.56%
	廃瓦細骨材	PCFA	表乾密度2.29g/cm ³ 、吸水率9.21%
粗骨材	石英斑岩砕石	G	表乾密度2.62g/cm ³ 、吸水率0.59%
	廃瓦粗骨材	PCCA	表乾密度2.26g/cm ³ 、吸水率9.20%

表-2 配合

配合名	W/C	PCFA 置換率 (%)	PCCA 置換率 (%)	Air (%)	s/a	単位量(kg/m ³)								
						W	C	Total S			Total G			
								計	S	PCFA	計	1505	2015	PCCA
50BBC	0.5	0	0	4.5	0.446	170	340	775	775	0	977	391	586	0
50G10								964	352	528	84			
50S12								764	680	84	977	391	586	0
35BBC	0.35	0	0	4.5	0.403	170	486	650	650	0	978	391	587	0
35G10								965	352	528	84			
35S12								639	555	84	978	391	587	0

JISA1113 および JISA1149 に準拠した。試験材齢は圧縮強度およびヤング係数の場合、1, 3, 7, 28, 91 日および RC はりの載荷時材齢で、割裂引張強度の場合は 7, 28, 91 日および RC はりの載荷時材齢とした。

(2) 自己収縮ひずみ

自己収縮ひずみは図-2 に示すとおり、後述の RC はりと同断面の寸法 200×320×1000mm の試験体の中心部に設置した熱電対内蔵型の埋込みひずみゲージにより測定した。

(3) 破壊エネルギーおよび特性長さ

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 7 に準じて実施した。また、コンクリート破壊の脆性度を表す特性長さは以下の式(1)で求めた。

$$l_{ch} = G_f \cdot E_c / f_t^2 \quad (1)$$

ここで、 l_{ch} :特性長さ、 G_f :破壊エネルギー、 E_c :コンクリートのヤング係数、 f_t :コンクリートの割裂引張強度

(4) RC はりの概要、計測項目および載荷試験方法

RC はり試験体の諸元を図-3 に示す。寸法は、200×320×2300mm、有効高さ (d) は 250mm とし、引張鉄筋比は 0.80% とした。また、RC はりの引張鉄筋は、曲げ破壊を防ぎ確実にせん断破壊を生じさせるため、高強度の異形鉄筋の D16 (降伏強度: 1062N/mm²) を使用した。せん断設計の基本となるせん断引張型の耐力を明らかにするため、せん断補強は行わなかった。RC はり試験体は、結果の信頼性を高めるため、各配合・養生温度条件で 2 体ずつ作製した。

鉄筋ひずみの経時変化を打込み直後から測定した。載荷は 2 点集中載荷とし、鉄筋ひずみはワイヤストレインゲージ (ゲージ長 5mm)、支間中央たわみおよび曲げせん断域のせん断変位を高感度変位計 (精度: 1/1000mm ~ 1/200mm) により測定した。載荷は、単調増加とし所定の荷重で計測を行った。

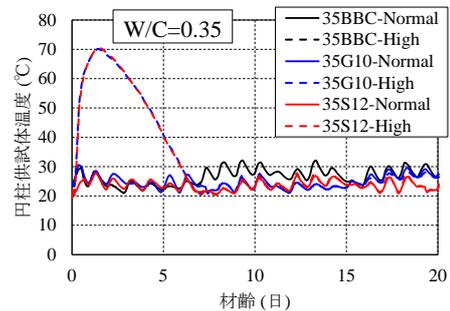
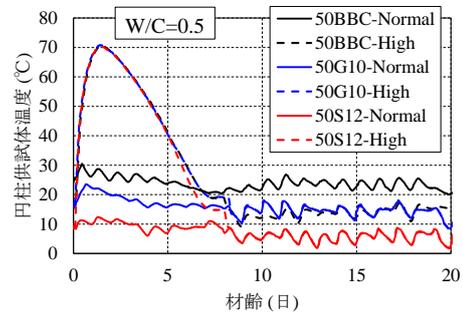


図-1 円柱供試体温度 (上: 50BBC, 下: 35BBC)

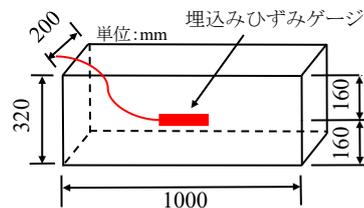


図-2 自己収縮ひずみの試験体概要

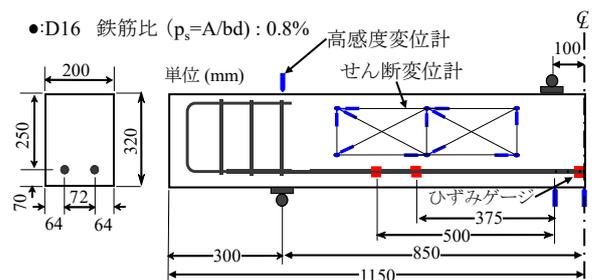


図-3 RC はりの試験体概要

表-3 コンクリートの力学特性および載荷時直前の鉄筋ひずみ

項目	材料試験材齢		RC載荷材齢		載荷時の力学特性						載荷時の鉄筋ひずみ	鉄筋位置のコンクリート応力=0の時の鉄筋ひずみ
	材齢 日	有効材齢 日	材齢 日	有効材齢 日	圧縮強度	割裂引張強度	ヤング係数	自己収縮ひずみ	破壊エネルギー	特性長さ		
					f_c N/mm ²	f_t N/mm ²	E_c kN/mm ²	ϵ_c ×10 ⁻⁶	G_f N/mm	l_{ch} mm	$\epsilon_{s,def}$ ×10 ⁻⁶	$\epsilon_{s0,def}$ ×10 ⁻⁶
試験体名												
50BBC-Normal A	119	154	118	153	43.3	3.55	38.9	-117	0.202	622	-89	-94
50BBC-Normal B			119	154							-87	-93
50BBC-High A	121	147	114	140	35.7	2.89	33.2	-147	0.174	694	-53	-57
50BBC-High B			115	141							-48	-51
50G10-Normal A	119	70	106	63	40.1	3.32	34.5	-39	0.171	535	-28	-30
50G10-Normal B			107	63							-35	-38
50G10-High A	119	92	104	84	37.1	3.01	31.9	-50	0.196	691	-8	-9
50G10-High B			105	84							-18	-20
50S12-Normal A	119	84	114	79	42.4	3.31	33.7	-116	0.198	606	-71	-76
50S12-Normal B			113	78							-68	-73
50S12-High A	119	107	112	100	36.2	3.34	33.4	-139	0.236	706	-28	-30
50S12-High B			109	97							-31	-34
35BBC-Normal A	129	158	134	162	58.4	3.77	37.2	-227	0.215	560	-212	-226
35BBC-Normal B			135	163							-199	-212
35BBC-High A	129	176	132	179	50.6	3.47	35.1	-273	0.210	613	-155	-166
35BBC-High B			133	180							-145	-155
35G10-Normal A	138	167	137	166	64.1	4.33	37.6	-249	0.190	381	-173	-185
35G10-Normal B			140	169							-163	-173
35G10-High A	138	185	135	182	58.9	3.82	34.0	-258	0.157	366	-159	-170
35G10-High B			136	184							-159	-170
35S12-Normal A	150	180	145	176	66.6	4.11	39.0	-212	0.181	417	-175	-186
35S12-Normal B			146	177							-173	-184
35S12-High A	150	201	141	193	59.7	3.70	36.4	-244	0.195	519	-171	-182
35S12-High B			142	194							-177	-188

3. 結果および考察

3.1 力学特性

材料試験および RC 載荷時の材齢および有効材齢、コンクリートの力学特性および載荷時直前の鉄筋ひずみを表-3 に示す。温度の影響を考慮した材齢である有効材齢は2012年制定コンクリート標準示方書設計編⁸⁾に従って求めた。

載荷時の材齢において、コンクリートの圧縮強度、割裂引張強度、ヤング係数は、W/C=0.5 および 0.35 のどちらの場合も廃瓦骨材の有無にかかわらず高温履歴を受けると常温下と比べて強度が低下する傾向となった。また、圧縮強度と割裂引張強度は、W/C=0.5 の場合には両温度条件で廃瓦粗・細骨材置換による影響はみられなかったが、W/C=0.35 の場合には廃瓦粗・細骨材置換により強度が増加しており、高温履歴を受けた場合においても廃瓦粗・細骨材置換により常温の無置換と同程度の強度が得られている。これは、既往の研究^{3), 4)}で報告されているように、廃瓦骨材の内部養生効果により硬化体組織が緻密化したためであると考えられる。しかし、ヤング係数は、W/C=0.5 の場合、廃瓦粗・細骨材置換により低下するが、W/C=0.35 の場合は、廃瓦粗・細骨材置換は無置換と同程度となっている。これは、W/C が小さくなり、セメントペースト量が増えてヤング係数が小さいと推定される廃瓦骨材の影響が小さくなったことに加えて、内部養生効果による圧縮強度の増加でヤング係数も増大したためであると考えられる。載荷時の自己収縮ひずみは、W/C および廃瓦骨材の有無にかかわらず、既往の研究¹⁾と同様に高温履歴を受けると常温下より大きくなる結果となった。しかし、載荷時の鉄筋ひずみは、W/C=0.5 の場合、高温履歴を受けると廃瓦骨材の有無にかかわらず常温下と比較して小さく、W/C=0.35 の場合、高温履歴を

受けると無置換および廃瓦粗骨材置換では常温下と比較して小さくなり、廃瓦細骨材置換は常温下とほぼ同程度となった。このように、自己収縮ひずみと鉄筋ひずみでは高温履歴を受けると異なる傾向を示した。この理由の説明は現時点では困難であるので今後の課題としたい。また、鉄筋ひずみは、廃瓦粗・細骨材置換により W/C=0.5 の場合には両温度条件で無置換より小さくなり、W/C=0.35 の場合には高温履歴を受けると廃瓦粗・細骨材置換により若干大きくなる傾向をとるが、常温下の場合には小さくなった。また、鉄筋位置のコンクリート応力=0 の鉄筋ひずみは、載荷以前のコンクリートの収縮を鉄筋が拘束することにより発生したコンクリートの引張応力を 0 とした場合の鉄筋ひずみを表している。鉄筋ひずみの負の値は、鉄筋に圧縮ひずみが生じていることを意味する。

3.2 RC はりのせん断耐力

図-4 に W/C=0.5 の RC はりの荷重-支間中央たわみ関係、破壊側のせん断力-せん断変位関係とせん断力-斜め方向変位関係の一例を示す。ここで、斜め方向変位は図中に示す通り、斜めひび割れと概ね直交する変位計で測定した斜め引張方向の変位である。斜めひび割れ発生荷重（ここではせん断耐力とする）はこれらの測定値および目視観察に基づいて定めた。図中の○印はせん断耐力を示す。図-5 は、図-4 と同様の方法で定めた W/C=0.35 の場合のせん断耐力を示す。表-4 には、これらにより得られたせん断耐力 ($\tau_{cr,exp}$) の一覧を示す。表中には、式(2)に示す二羽式⁹⁾で求めた計算値 ($\tau_{cr,cal}$) も合わせて示す。

$$\tau_{cr, cal} = V_{cr, cal} / bd$$

$$= 0.2f'_c{}^{1/3}(d/1000)^{-1/4}(100ps)^{1/3}(0.75+1.4/(a/d)) \quad (2)$$

ここで、 f'_c : コンクリートの圧縮強度、 d : 有効高さ、 p_s :

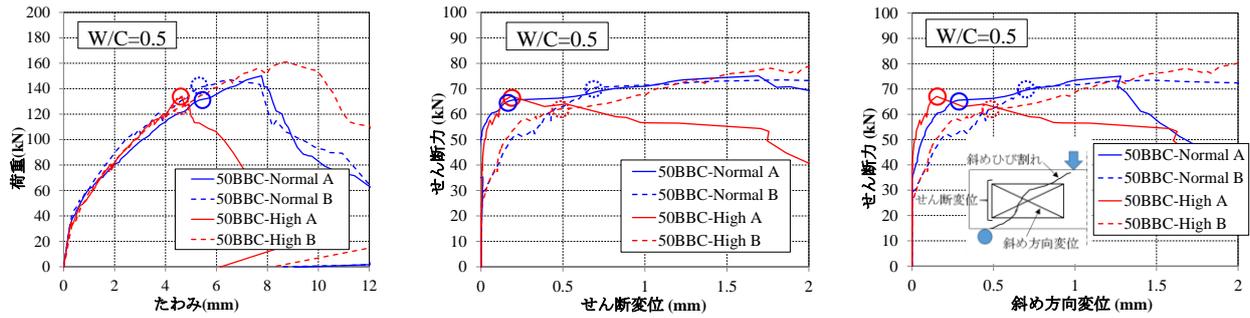


図-4 荷重-支間中央たわみ, 破壊側のせん断力-せん断変位およびせん断力-斜め方向変位関係 (W/C=0.5)

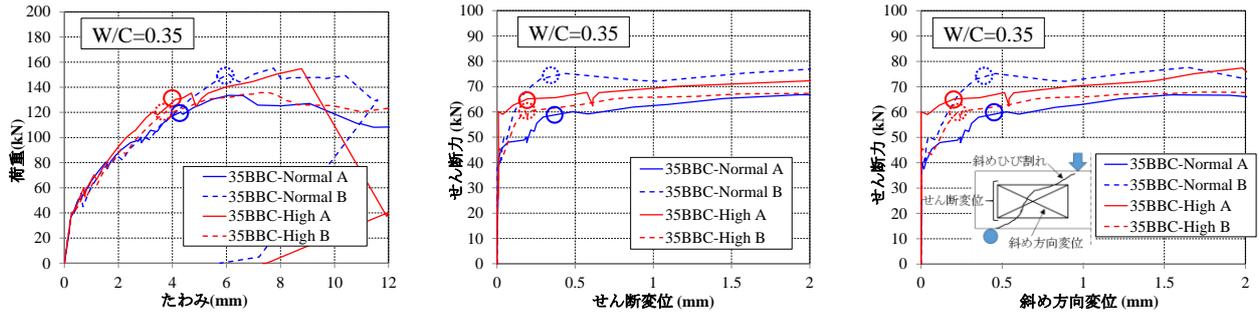


図-5 荷重-支間中央たわみ, 破壊側のせん断力-せん断変位およびせん断力-斜め方向変位関係 (W/C=0.35)

引張鉄筋比, a : せん断スパン長, b : 部材幅

図-6 にせん断耐力の計算値と実験値の関係を示す。この図から, 高温履歴を受けると, W/C に拘わらず, 実験値, 計算値ともに小さくなる傾向が認められる。高温履歴により表-3 に示すように, 圧縮強度が低下するが, これが式(2)で考慮されていることによる。ここで注視すべきことは, W/C=0.5 の場合, せん断耐力は計算値の 20% 程度以上であるのに対し, W/C=0.35 の場合は 0~20% の範囲にあることであり, 二羽式による計算値は概ね安全側での評価が可能であったが, 安全性は W/C=0.5 が高く, W/C=0.35 が低い結果となった。

図-7, 8 に W/C=0.5 および 0.35 のせん断耐力に及ぼす高温履歴と廃瓦骨材の影響を示す。高温履歴の影響は各配合の常温のせん断耐力を 1 とした時のせん断耐力比, 廃瓦骨材の影響は各温度条件の無置換のせん断耐力を 1 とした時のせん断耐力比, 常温の無置換(BBC-Normal)を 1 とした時のせん断耐力比を表している。この図より, 高温履歴の影響をみると, W/C=0.5 の場合は高温履歴を受けると廃瓦骨材の有無にかかわらず, せん断耐力が約 5~6% 低下している。W/C=0.35 の場合も同様に高温履歴を受けるとせん断耐力が約 4~7% 低下している。廃瓦骨材の影響をみると, W/C=0.5 および 0.35 のどちらの場合も, 廃瓦粗・細骨材置換により両温度条件でせん断耐力が向上している。特に, W/C=0.35 の場合において, 廃瓦粗・細骨材置換によるせん断耐力の向上が W/C=0.5 と比較して大きく, W/C=0.5 より内部養生効果^{3) 4)}が高くなっている。また, 廃瓦細骨材置換は廃瓦粗骨材置換よりせん断耐力が向上しており内部養生効果がより高いこと

表-4 せん断耐力のまとめ

項目	せん断耐力					二羽式による計算値 $\tau_{cr,calc}/\tau_{cr,calc}$
	$\tau_{cr,exp}$ N/mm ²	平均 N/mm ²	実験値			
			(High/Normal)	(G10orS12/BBC)	(BBC-Normal)	
50BBC-Normal A	1.31					1.17
50BBC-Normal B	1.41	1.36	1.00	1.00	1.00	1.12
50BBC-High A	1.34	1.29	0.95	1.00	0.95	1.05
50BBC-High B	1.24					1.18
50G10-Normal A	1.49	1.39	1.00	1.02	1.02	1.09
50G10-Normal B	1.28					1.18
50G10-High A	1.31	1.32	0.95	1.02	0.97	1.06
50G10-High B	1.33					1.26
50S12-Normal A	1.48	1.41	1.00	1.04	1.04	1.11
50S12-Normal B	1.34					1.21
50S12-High A	1.26	1.33	0.94	1.03	0.97	1.19
50S12-High B	1.39					1.32
35BBC-Normal A	1.20	1.33	1.00	1.00	1.00	1.24
35BBC-Normal B	1.46					1.18
35BBC-High A	1.30	1.26	0.94	1.00	0.94	1.11
35BBC-High B	1.21					1.02
35G10-Normal A	1.35	1.41	1.00	1.06	1.06	1.28
35G10-Normal B	1.46					1.14
35G10-High A	1.30	1.30	0.93	1.04	0.98	1.24
35G10-High B	1.30					1.05
35S12-Normal A	1.36	1.46	1.00	1.10	1.10	1.29
35S12-Normal B	1.56					1.21
35S12-High A	1.45	1.40	0.96	1.12	1.06	1.25
35S12-High B	1.36					1.09

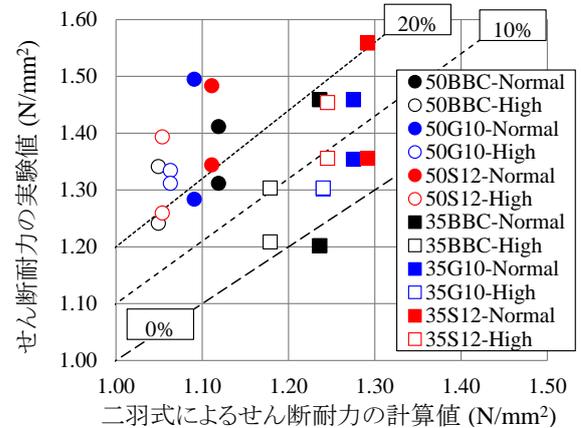


図-6 せん断耐力の計算値と実測値の関係

がわかる。常温の無置換(BBC-Normal)を基準とした場合では, W/C=0.5 においては高温履歴により低下したせん断耐力が廃瓦粗・細骨材置換により低下が低減されてい

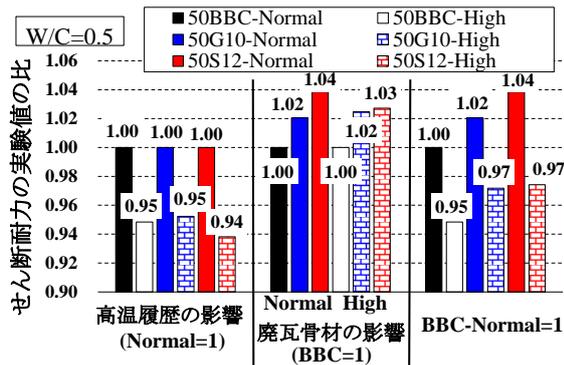


図-7 セン断耐力に及ぼす高温履歴と廃瓦骨材の影響 (W/C=0.5)

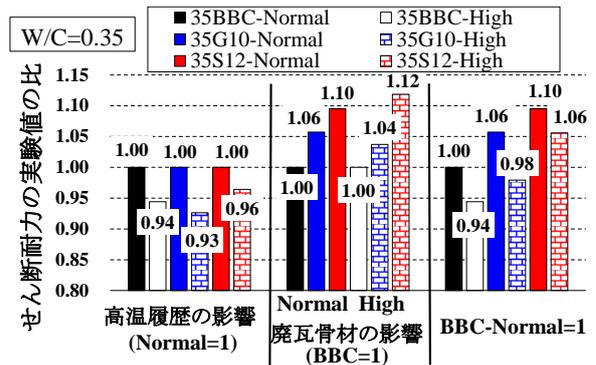


図-8 セン断耐力に及ぼす高温履歴と廃瓦骨材の影響 (W/C=0.35)

表-5 セン断耐力に及ぼす各要因の影響

項目 試験体名	せん断耐力			圧縮強度の1/3乗		影響要素等価鉄筋比の1/3乗		引張強度と特性長さ	
	実験値			比		比		比	
	$\tau_{cr,exp}$ N/mm ²	平均 N/mm ²	比 (BBC-Normal)	f'_c ^{1/3} N/mm ²	比 (BBC-Normal)	$(100\rho_w)^{1/3}$ -	比 (BBC-Normal)	$f_{t, ch}$ ^{1/4} N/mm	比 (BBC-Normal)
50BBC Normal A	1.31	1.36	1.00	3.51	1.00	0.910	1.000	17.7	1.00
50BBC Normal B	1.41					0.911			
50BBC High A	1.34	1.29	0.95	3.29	0.94	0.915	1.005	14.8	0.83
50BBC High B	1.24					0.916			
50G10 Normal A	1.49	1.39	1.02	3.42	0.97	0.919	1.008	16.0	0.90
50G10 Normal B	1.28					0.918			
50G10 High A	1.31	1.32	0.97	3.34	0.95	0.922	1.011	15.4	0.87
50G10 High B	1.33					0.920			
50S12 Normal A	1.48	1.41	1.04	3.49	0.99	0.913	1.003	16.4	0.93
50S12 Normal B	1.34					0.913			
50S12 High A	1.26	1.33	0.97	3.31	0.94	0.919	1.009	17.2	0.97
50S12 High B	1.39					0.918			
35BBC Normal A	1.20	1.33	1.00	3.88	1.00	0.896	1.000	18.4	1.00
35BBC Normal B	1.46					0.898			
35BBC High A	1.30	1.26	0.94	3.70	0.95	0.902	1.007	17.3	0.94
35BBC High B	1.21					0.904			
35G10 Normal A	1.35	1.41	1.06	4.00	1.03	0.902	1.006	19.1	1.04
35G10 Normal B	1.46					0.903			
35G10 High A	1.30	1.30	0.98	3.89	1.00	0.903	1.006	16.7	0.91
35G10 High B	1.30					0.903			
35S12 Normal A	1.36	1.46	1.10	4.05	1.04	0.902	1.005	18.6	1.01
35S12 Normal B	1.56					0.902			
35S12 High A	1.45	1.40	1.06	3.91	1.01	0.902	1.005	17.6	0.96
35S12 High B	1.36					0.901			

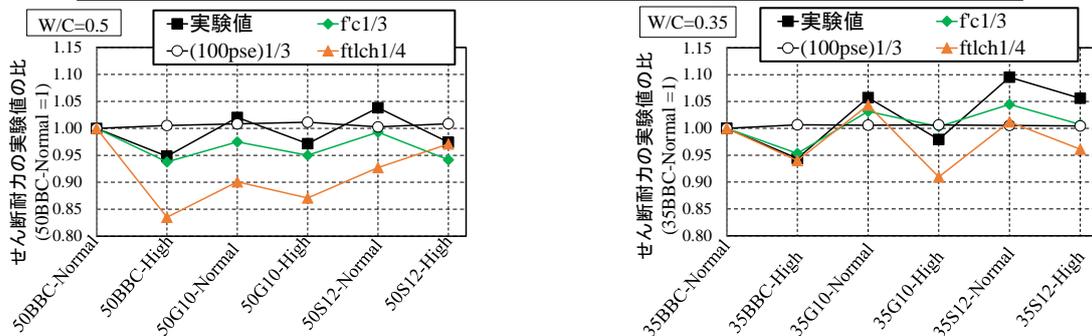


図-9 セン断耐力に及ぼす各要因の影響 (左: 50BBC, 右: 35BBC)

る。W/C=0.35においても高温履歴によりせん断耐力が低下するが、廃瓦粗・細骨材置換により低下が低減され、なおかつ廃瓦細骨材置換の場合には向上する結果となった。せん断耐力に及ぼす影響要因を調べるために、常温の無置換を1とした時の圧縮強度、等価鉄筋比(式(3)に示す)および Gustafsson ら¹⁰⁾が提案する引張強度と特性長さの影響を表-5と図-9に示す。二羽式においてはコンクリートにかかわるせん断抵抗を圧縮強度の1/3乗(f'_c ^{1/3})で表現し、鉄筋比の影響も1/3乗で考慮している。ここでは、既往の研究²⁾で提案されている収縮の影

響を考慮した等価鉄筋比の1/3乗(p_{se} ^{1/3})の影響を考慮する。破壊力学の観点から、式(4)に基づいて、引張強度と特性長さ($f_{t, ch}$ ^{1/4})の影響も考慮する。

$$p_{se} = \left\{ \varepsilon_s / (\varepsilon_s - \varepsilon_{s0, def}) \right\} p_s \quad (3)$$

ここで、 ε_s : せん断スパン中央断面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、 $\varepsilon_{s0, def}$: 引張鉄筋位置のコンクリート応力が0となる鉄筋ひずみ

$$\tau_{cf} \propto (d/l_{ch})^{1/4} \quad (4)$$

ここで、 τ_c : せん断耐力、 f_t : 引張強度、 l_{ch} : 特性長さ

図-9より、W/C=0.5および0.35いずれの場合も収縮

の影響を考慮した等価鉄筋比の 1/3 乗の影響は、高温履歴および廃瓦骨材による影響は特にみられなかった。これは、載荷時直前の鉄筋ひずみの差が各試験体間でさほど大きくなかったためである。W/C=0.5 の場合、高温履歴の影響として各配合別にみると、廃瓦骨材の有無にかかわらず圧縮強度の 1/3 乗は低下し、廃瓦細骨材置換を除いて引張強度と特性長さは低下した。廃瓦骨材の影響として各養生別にみると、温度条件によらず廃瓦粗・細骨材置換による圧縮強度の 1/3 乗は大きな影響はみられないが、引張強度と特性長さの影響は常温下の場合には低下、高温履歴を受ける場合には向上している。W/C=0.35 の場合、高温履歴の影響として各配合別にみると、廃瓦骨材の有無にかかわらず圧縮強度の 1/3 乗および引張強度と特性長さは共に低下した。廃瓦骨材の影響として各養生別にみると、両温度条件で廃瓦粗・細骨材置換により圧縮強度の 1/3 乗は向上し、引張強度と特性長さも若干向上する傾向にある。

全体として、せん断耐力の実験値の傾向と圧縮強度の 1/3 乗および引張強度と特性長さの傾向は概ね一致する。しかし、引張強度と特性長さの影響度は実験値から離れる傾向にあり、実験値には圧縮強度の 1/3 乗の方が近くなる傾向であった。しかしながら、圧縮強度の 1/3 乗だけでは説明できないところもあり、高温履歴および廃瓦骨材置換した場合は圧縮強度の 1/3 乗および引張強度と特性長さの影響度が異なるのか、あるいは高温履歴を受ける場合ではセメントペーストと骨材の線膨張係数の違いによる骨材周りの微細ひび割れの発生¹¹⁾、廃瓦骨材置換の場合は廃瓦骨材の普通骨材と比べて大きい破砕値などの他の影響要因がせん断耐力に影響していると考えられるので今後検討したい。

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) 初期高温履歴を受ける高炉セメント B 種 RC はりのせん断耐力は常温下と比較して低下した。しかし、W/C=0.5 および 0.35 のどちらにおいても高温履歴により低下したせん断耐力が廃瓦粗・細骨材置換によりその低下が低減されており、なおかつ W/C=0.35 の廃瓦細骨材置換の場合には向上した。
- (2) W/C=0.5 および W/C=0.35 どちらの場合も高炉セメント B 種 RC はりのせん断耐力の実験値と比較して、引張強度と特性長さは離れる傾向にあり、圧縮強度の 1/3 乗の方が近くなる傾向であった。しかし、圧縮強度の 1/3 乗だけでは説明できないところもあり、高温履歴および廃瓦骨材置換した場合は圧縮強度の 1/3 乗および引張強度と特性長さの影響度が異なる、あるいは他の影響要因が RC はりのせん断耐

力に影響していると考えられるので、今後検討する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 25630187 (代表：佐藤良一) の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 宮澤伸吾, 佐藤良一, 杉山淳司: 高温履歴を受ける高炉セメントコンクリートの自己収縮予測式, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.465-470, 2008
- 2) 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
- 3) 鈴木雅博, 丸山一平, 川畑智亮, 佐藤良一: 廃瓦粗骨材を用いた超高強度コンクリートの変形と拘束応力に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.651-656, 2007
- 4) 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
- 5) Mwangi M. MACHARIA, 小川由布子, 山口克己, 佐藤良一: 廃瓦骨材を活用し RC はりのせん断強度, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.481-486, 2014
- 6) Mwangi M. MACHARIA, 藤山堯大, 小川由布子, 佐藤良一: 高炉セメント B 種 RC はりの曲げせん断特性に対する初期高温履歴の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.241-246, 2015
- 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) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編], p.107, 2013.3
- 9) 二羽淳一郎, 山田一宇, 横沢和夫, 岡村甫: せん断補強筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, V-5, pp.167-176, 1986
- 10) Gustafsson, 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
- 11) 田澤栄一, 南和孝, 影山智, 渡辺恭史: 高温の影響を受けるコンクリートの力学的性質に及ぼす骨材種類の影響, コンクリート工学年次論文報告集, 第 9 巻-1, pp.13-17, 1987