

廃瓦粗骨材を用いた超高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度の評価について

広島大学 正会員 ○三谷 昂大
 極東興和株式会社 正会員 河金 甲
 国土交通省 非会員 丹後 浩一
 広島大学 フェロー会員 佐藤 良一

1. はじめに

近年、自己収縮が構造性能に及ぼす影響が検討されている。曲げ性能については、自己収縮により曲げ変形、曲げひび割れ幅が増大することが明らかにされている。せん断性能については、斜めひび割れ発生強度が低下し、自己収縮の影響を取り入れた斜めひび割れ発生強度算定式が提案されている¹⁾。一方、超高強度コンクリート(UHSC)の内部養生材として粗骨材の一部を置換した廃瓦は、高い収縮低減効果を発揮することが明らかにされた²⁾が、構造部材の性能は検討されていない。そこで本研究では、粗骨材全容積を廃瓦粗骨材で20%容積置換したUHSCを用いたRCはりの斜めひび割れ発生強度を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

本研究では、水結合材比（以下 W/B）の異なる2種類（W/B=0.23 および W/B=0.15）と収縮量の異なる2種類（自己収縮の大きいコンクリート：HAS、自己収縮を低減させたコンクリート：LAS）の計4種類の超高強度コンクリートを用いて、有効高さ d=250、500、1000mm の RC 供試体を作製した。以後、W/B=0.23 で有効高さ d=250mm の供試体を HAS23-25、LAS23-25 と表記し、他も同様に表記する。また、W/B=0.23 シリーズは有効高さごとに2体ずつ供試体を作製したので、HAS23-25A、HAS23-25B のように区別した。それぞれの配合を表-1 に、d=1000mm の RC はり供試体と載荷試験の概要を図-1 に示す。

なお、W/B=0.23 シリーズは載荷直前まで脱枠を行わないことで封緘状態を保持し、W/B=0.15 シリーズは実構造物を想定して材齢7日で脱枠、その後現場気中養生とする。

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)										混和剤	
			W	NC	HC	LC	SF	EX	S	G	G瓦	SRA	SP	D
HAS23	23	45.0	155	607	0	0	67	0	731	894	0	0	12.8	0.13
LAS23	23	45.3	155	0	0	567	67	40	740	894	0	6	11.1	0.11
HAS15	15	32.4	149	0	930	0	103	0	407	849	0	0	36.2	0.21
LAS15	15	34.0	149	0	0	920	103	10	425	679	148	6	18.4	0.21

B:結合材, NC:普通セメント, HC:早強セメント, LC:低熱セメント, SF:シリカフェューム, EX:膨張材
 S:細骨材, G:粗骨材, G瓦:廃瓦粗骨材, SRA:収縮低減剤, SP:高性能AE減水剤, D:消泡剤

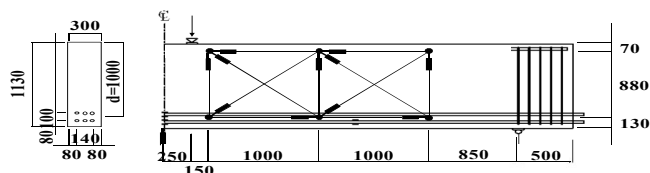


図-1 RC はり供試体と載荷試験の概要

3. 実験結果

3. 1 破壊エネルギー試験結果

図-2 に LAS23 と LAS15 の破壊エネルギー試験の結果例を示す。図中の矢印で示したようにコンクリートの引張軟化域で明らかな差が出ており LAS23 と比較して LAS15 の方がより脆性的な破壊を示している。これは、LAS15 は廃瓦粗骨材で総粗骨材容積の20%を置換しているため、廃瓦の骨材強度の低下による引張軟化域の骨材の架橋効果の減少が破壊エネルギーの低下を促したのではないかと考えられる。

3. 2 載荷試験結果

表-2 に結果の一覧を示す。載荷時におけるコンクリート圧縮強度は HAS23 が 117~123N/mm²、LAS23 が 116~124N/mm²、HAS15 が 155~157 N/mm²、LAS15 が 149~154 N/mm²であった。

W/B=0.23 シリーズにおいて、収縮低減の効果により斜めひび割れ発生強度の増加が見られたが、W/B=0.15 シリーズにおいては若干低下するという結果が得られた。この要因の一つとして、LAS15 において粗骨材全容積の20%を廃瓦粗骨材で置換したことによる破壊エネルギーの低下が考えられる。

キーワード 超高強度コンクリート, 内部養生, 自己収縮, 破壊エネルギー, 斜めひび割れ発生荷重

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1-A2-541 広島大学構造材料工学研究室 TEL 082-424-7786

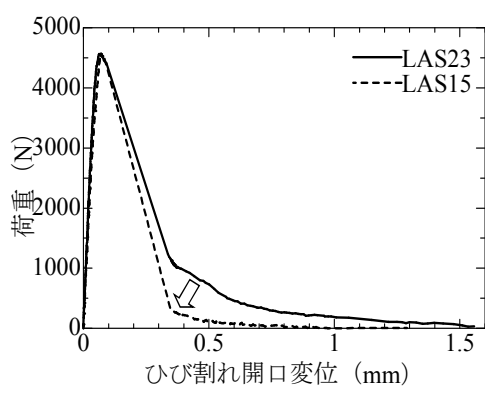


図-2 破壊エネルギー試験一例

表-2 載荷試験結果

供試体名		コンクリート材料特性					鉄筋ひずみ	実験結果		破壊形態
		f_c' N/mm ²	f_t N/mm ²	E_c kN/mm ²	G_f N/mm	l_{ch} mm	$\epsilon_{s,sh}$ ×μ	V_c kN	V_u kN	
HAS23-25	A	120.9	6.9	46.4	0.201	196	-227	118	136	斜め引張破壊
	B	120.9	6.9	46.4	0.201	196	-242	127	127	斜め引張破壊
HAS23-50	A	117.2	6.7	47.3	0.231	243	-310	177	180	斜め引張破壊
	B	117.2	6.7	47.3	0.231	243	-310	182	182	斜め引張破壊
HAS23-100	A	123.4	6.7	51.4	0.216	247	-293	254	254	斜め引張破壊
	B	123.4	6.7	51.4	0.216	247	-296	240	467	せん断圧縮破壊
HAS15-25	A	157.0	5.2	48.9	0.194	355	-383	116	116	斜め引張破壊
HAS15-50	A	153.3	4.8	50.3	0.194	418	-353	151	151	斜め引張破壊
HAS15-100	A	157.0	5.2	48.9	0.194	355	-308	286	286	斜め引張破壊
LAS23-25	A	116.6	6.7	46.5	0.211	219	-59	128	239	せん断圧縮破壊
	B	116.6	6.7	46.5	0.211	219	-50	132	181	せん断圧縮破壊
LAS23-50	A	123.9	7.4	48.0	0.225	197	-69	197	219	斜め引張破壊
	B	123.9	7.4	48.0	0.225	197	-77	214	303	せん断圧縮破壊
LAS23-100	A	124.1	7.6	50.7	0.209	183	-36	396	647	せん断圧縮破壊
	B	124.1	7.6	50.7	0.209	183	-41	311	677	せん断圧縮破壊
LAS15-25	A	149.4	4.3	45.1	0.149	358	-72	113	167	せん断圧縮破壊
LAS15-50	A	154.0	5.6	45.6	0.149	221	-102	172	172	斜め引張破壊
LAS15-100	A	149.7	5.3	46.2	0.149	246	-89	264	626	せん断圧縮破壊

f_c' :コンクリートの圧縮強度, f_t :コンクリートの引張強度, E_c :コンクリートのヤング係数
 G_f :破壊エネルギー, $\epsilon_{s,sh}$:載荷時の引張鉄筋ひずみ
 V_c :斜めひび割れ発生せん断力, V_u :終局耐力

4. 斜めひび割れ発生強度に及ぼす破壊エネルギーの影響の検討

公称引張鉄筋比およびせん断スパン比の項で正規化した斜めひび割れ発生強度 τ_c^* と有効高さの関係を図-3 に、収縮の影響を等価鉄筋比 $p_{s,e}^{(1)}$ の概念を用いて正規化した斜めひび割れ発生強度 $\tau_{c,e}^*$ と有効高さの関係を図-4 に示す。図-4 に示すように等価引張鉄筋比を用いて正規化した斜めひび割れ発生強度によれば、 $W/B=0.23$ シリーズでは収縮を考慮することにより斜めひび割れ発生強度はほぼ統一的に評価できるのに対し、LAS15 の強度は HAS15 に比べ 12~17%低下している。このことは、収縮低減効果の影響以上に破壊エネルギー低下の影響が大きいことを意味すると思われる。

そこで、その妥当性が高強度コンクリートで検証されている $\tau/f_t \propto d/l_{ch}$ ($l_{ch}=E_c G_f / f_t^2$: 特性長さ)に従って実験値を整理すると図-5 のようになる。これは、図-4 に示す HAS15 と LAS15 の斜めひび割れ発生強度の差が引張強度および破壊エネルギーの差で説明できることを意味するとともに、図-3 に示すように LAS15 の斜めひび割れ発生強度が収縮低減により増加しなかった理由の一つとして、破壊エネルギーの低下が考えられる。

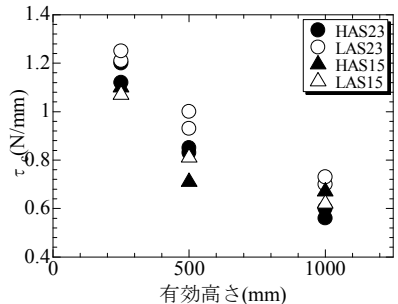


図-3 斜めひび割れ発生強度

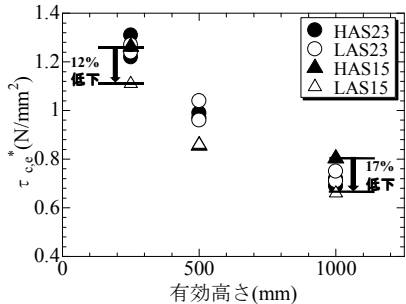


図-4 収縮を考慮した斜めひび割れ発生強度

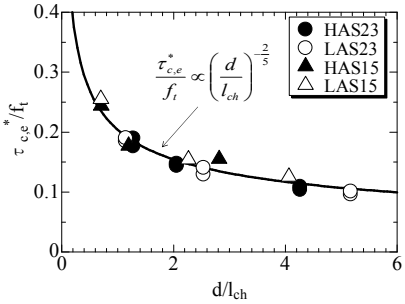


図-5 $\tau_{c,e}^*/f_t$ と d/l_{ch} の関係

5. まとめ

廃瓦粗骨材を 20%容積置換することにより、破壊エネルギーが 23%低下したことが、斜めひび割れ発生強度が低下した要因の一つと考えられる。一方、等価引張鉄筋比、割裂引張強度、有効高さ、および特性長さの影響を考慮することにより、収縮の大きさに拘わらず、斜めひび割れ発生強度とその寸法効果(有効高さの -2/5 乗)を統一的に評価できると考えられる。

【参考文献】

1) 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. (Invited paper)
2) 鈴木雅博ほか : 「超高強度 RC プリズムの自己応力低減に関する検討」、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.1、2008