

立命館大学大学院理工学研究科 学生員○前田 拓郎 学生員 日比野憲太
立命館大学理工学部 正会員 高木 宣章 正会員 児島 孝之

1. はじめに

近年、新しい製造技術により絶乾密度が0.8～1.2g/cm³で吸水率が10%以下の高品質軽量骨材が開発された。密度の小さい軽量骨材は普通骨材に比較して骨材強度が小さいため、コンクリートの引張強度が低下し、斜め引張破壊するRCはりでは、せん断耐力の低下が予想される。本研究では、軽量コンクリートを用いた RC はりのせん断耐力に及ぼすコンクリートの単位容積質量の影響について実験検討した。

2. 実験概要

実験計画を表 1 に示す。コンクリートの目標圧縮強度は 24MPa とした。1 種軽量コンクリート(L シリーズ)には密度の異なる 2 種類の軽量粗骨材を用い、2 種軽量コンクリート(LL シリーズ)の粗骨材には密度 0.85g/cm³ のものを用いた。比較のために、軽量粗骨材と最大寸法が同じ砕石を用いた普通骨材コンクリート(N シリーズ)も作製した。供試体寸法は 150×240×2,000mm で、軸方向鉄筋には D16(SD345)を有効高さ 200mm の位置に 2 本配置した。せん断スパン有効高さ比(a/d)は 3 水準とし、支持スパン 1,800mm の対称二点載荷とした。水セメント比の大きい軽量コンクリートは、材料分離が生じやすい。そのため、石粉と高性能 AE 減水剤を用いて粘性を高めた。使用材料を表 2 に、コンクリートの示方配合および力学的特性を表 3 に示す。

表 1 実験計画

a/d	普通	L1.2	L0.85	LL0.85
2	N-2	L1.2-2	L0.85-2	LL0.85-2
3	N-3	L1.2-3	L0.85-3	LL0.85-3
3.6	N-3.6	L1.2-3.6	L0.85-3.6	LL0.85-36

表 2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm ³	
石粉	P	炭酸カルシウム, 密度: 2.70g/cm ³ , 比表面積: 4000cm ² /g
細骨材	NS	野洲川産川砂, 密度: 2.60g/cm ³ , F.M: 2.48
	LS1.0	原料: 真珠岩, 製造方法: 回転造粒型 絶乾密度: 1.00g/cm ³ , 表乾密度: 1.09g/cm ³ , 24 時間吸水率: 8.27%
	LS1.4	原料: 真珠岩, 製造方法: 非造粒型 絶乾密度: 1.21g/cm ³ , 表乾密度: 1.44g/cm ³ , 24 時間吸水率: 8.70%
	LG0.85	原料: 真珠岩, 製造方法: 非造粒型 絶乾密度: 1.23g/cm ³ , 表乾密度: 1.26g/cm ³ , 24 時間吸水率: 2.54%
粗骨材	NG	高機産硬質砂岩砕石, 密度 2.69g/cm ³ , F.M: 6.71, 最大寸法 15mm
	[人工軽量骨材]原料: 真珠岩, 製造方法: 回転造粒型 最大寸法 15mm	
	LG0.85	絶乾密度: 0.87g/cm ³ , 表乾密度: 0.88g/cm ³ , 24 時間吸水率: 2.11%
混和剤	N シリーズ	AE 減水剤: リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体 AE 助剤: アルキルアリルスルホン化合物系陰イオン界面活性剤
	L・LL シリーズ	高性能 AE 減水剤: ポリカルボン酸 Ca 塩 AE 助剤: アニオン系界面活性剤

表 3 コンクリートの示方配合および力学的特性

配合名	W/C (%)	s/a (%)	石粉置換率 (%)	単位量(kg/m³)						AE減水剤 [C%]	高性能 AE減水剤 [(C+P)%]	AE助剤 (A)*2	スラブ (cm)	Air (%)	圧縮強度	引張強度	曲げ強度	弾性係数	単位容積質量 (t/m³)	f _c /f _t
				W	C	P*1	S		G											
							LS1.0	LS1.4												
LL0.85	45.5	48	11.9	150	330	38	168	233	305	—	0.4	0.8A	12	5.5	26.5	1.14	1.89	12100	1.23	23.2
L0.85	57.1	46	30	165	289	106	797	317	—	0.8	2	17	5.3	22.7	1.32	2.34	16700	1.67	17.2	
L1.2	69.8	46	42.7	165	236	150	795	438	—	0.62	0.85	14.5	4.1	26.7	1.36	3.39	21300	1.79	19.7	
N	74.1	53.5	—	190	256	—	958	862	1	—	1.75	12.8	5.6	26.7	2.88	5.05	35500	2.36	9.3	

注) *1: 石粉, *2: AE 助剤は N シリーズでは 1%希釈溶液を、L シリーズでは 2%希釈溶液をセメント 1kg あたり 2cc 使用する時を 1A とする、強度の単位 (N/mm²)

3. 実験結果および考察

RC はりのせん断試験結果を表 4 に示す。せん断耐力の計算は、式(1)より行った。

$$V_{cr} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot f_{vc} \cdot \left(0.75 + 1.4 \frac{d}{a}\right) b_w \cdot d \quad (1)$$

$$f_{vc} = 0.20 \sqrt{f'_{cs}}, \beta_d = \sqrt[4]{1/d} (d: m), \beta_p = \sqrt{100 p_w}, p_w = A_s / (b_w \cdot d)$$

d: 有効高さ, b_w: はり幅, A_s: 引張側鋼材の断面積

コンクリートの圧縮強度が同じであっても軽量骨材を使用すると、引張強度、曲げ強度、弾性係数は低下する。2 種軽量コンクリートの脆度係数は、圧縮強度がほぼ同じ普通骨材コンクリートの約 2.5 倍であった。土木学会「コンクリート標準示方書(設計編)」のせん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力式は式(1)から誘導されており、普通骨材コンクリートを用いた RC はりを対象にしている。普通骨材コンクリートを用

表 4 セン断試験結果

供試体名	曲げひび割れ発生荷重(kN)		斜めひび割れ発生荷重	せん断破壊荷重(kN)		P_{u1}/P_{u2}	破壊形式
	実験値 $[P_{cr1}]$	計算値 $[P_{cr2}^*]$	実験値 $[P_{ver}]$ (kN)	実験値 $[P_{u1}]$	計算値 $[P_{u2}]$		
LL0.85-2	9.80	12.9	42.0	94.6	85.2	1.11	せん断圧縮
LL0.85-3	4.90	8.59	39.2	80.9	71.5	1.13	せん断圧縮
LL0.85-36	7.35	7.16	37.8	37.8	66.9	0.57	斜め引張
L0.85-2	9.80	15.8	63.7	125	80.9	1.55	せん断圧縮
L0.85-3	2.45	10.6	54.9	54.9	67.9	0.81	せん断引張
L0.85-36	7.35	8.8	49.0	49.0	63.5	0.77	斜め引張
L1.2-2	19.6	23.1	61.8	61.8	85.4	0.72	せん断引張
L1.2-3	14.7	15.4	44.1	54.7	71.7	0.76	せん断引張
L1.2-36	14.7	12.8	48.5	48.5	67.1	0.72	斜め引張
N-2	34.3	35.3	73.5	95.7	85.4	1.12	せん断引張
N-3	29.4	23.5	71.1	88.2	71.6	1.23	せん断引張
N-36	22.1	19.6	68.6	71.1	67.0	1.06	斜め引張

* $P_{cr2}=2I_g \cdot f_y / (y_t \cdot a)$

いた N シリーズでは、 a/d にかかわらず、せん断破壊荷重の実験値は計算値より大きい。 $a/d=3.6$ の供試体はいずれも、斜め引張破壊した。軽量コンクリートは、圧縮強度が普通骨材コンクリートとほぼ同程度であっても引張強度が小さいため、斜め引張破壊あるいはせん断引張破壊した RC はりの実験値は計算値の約 70～80% になった。また、脆度係数が最も大きい 2 種軽量コンクリートを用いた RC はりでは、実験値は計算値の約 60% とかなり危険側の値となった。せん断圧縮破壊した供試体では、骨材強度がせん断耐力に及ぼす影響は少ない。そのため、実験値は計算値を上回った。

a/d が同じで斜め引張破壊あるいはせん断引張破壊する供試体では、コンクリートの単位容積質量が小さくなるとせん断破壊荷重は低下する。土木学会「コンクリート標準示方書（設計編）」では、せん断補強材を用いない棒部材の設計せん断耐力式を軽量コンクリートに適用する場合には、一律 70% に低減することが規定されている。しかし、軽量骨材を用いた RC はりがせん断引張あるいは斜め引張破壊する時のせん断破壊荷重は、コンクリートの単位容積質量に依存して変化する。そのため、コンクリートの単位容積質量に応じた低減係数をせん断耐力算定時に適用することが合理的であると考えられる。

$$\eta_t = 0.40 + 0.60 \cdot \rho / \rho_0, \quad \rho_0 = 2200 \quad (2)$$

最新の fib Recommendation では、軽量コンクリートを用いたとき式(2)より定まる係数をせん断耐力算定式に乗じている。図 1 に斜め引張破壊あるいはせん断引張破壊した RC はりの(実験値/計算値)と単位容積質量の関係を示す。実験値と計算値の比は単位容積質量に依存しており、fib の考え方に近い結果となった。また、式(2)中の ρ_0 を大きくすると実験値に近づくものの、2 種軽量コンクリートでは実験値は予測値をかなり下回る結果となった。

4. 結論

せん断引張破壊あるいは斜め引張破壊をする RC はりのせん断耐力は、コンクリートの単位容積質量に依存する。そのため、軽量コンクリートを用いた RC はりのせん断耐力を求めるときには、単位容積質量を考慮した低減係数を用いることが推奨される。

参考文献 1) 二羽、岡本、前堀：高品質軽量コンクリートの構造部材への適用、コンクリート工学 Vol. 38 No. 12. pp. 3-9, 2000

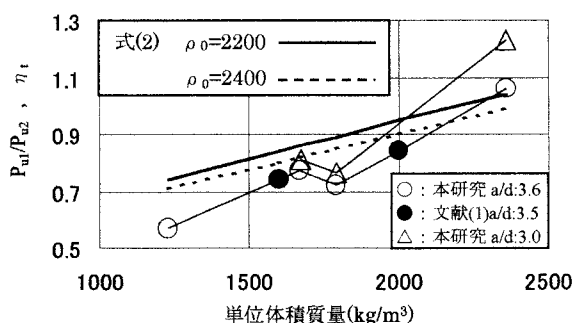


図 1 fib Recommendation の提案式と実験結果