

論文 高強度コンクリートの力学的特性が RC 梁のせん断耐力に及ぼす影響

高橋 弥成*¹・日比野 憲太*²・高木 宣章*³・児島 孝之*³

要旨:高強度コンクリートを用いた RC 梁の斜めひび割れ発生時の公称せん断応力度(f_{vcd})を明らかにするため、圧縮強度 30~110N/mm² のせん断補強筋を用いない RC 梁の載荷試験を行った。また、高強度コンクリートと同様に大きな脆度係数(f'_c/f_t)を有する、軽量骨材コンクリートについても同様に検討を行った。その結果、 f_{vcd} と脆度係数の間に相関性が確認され、この関係を利用して軽量骨材コンクリートから高強度コンクリートまで利用可能な斜めひび割れ発生荷重の算定式を提案した。

キーワード:高強度コンクリート, せん断耐力, 斜め引張破壊, 脆度係数

1. はじめに

コンクリート構造物の長大化・高層化が進む現在、構造用材料として用いられるコンクリートの高強度・軽量化は、自重の大幅な軽減、それに伴う部材断面の縮小化、コストダウンなどの観点から、有効な手法であると考えられる。

高強度および軽量骨材コンクリートを構造用材料として使用する場合、脆度係数が普通コンクリートと比較して一般に大きくなる。そのため部材の破壊が引張強度に支配される場合には、適切に脆度係数の影響を考慮しなければ部材耐力を危険側に推定する可能性がある。

現行の土木学会「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」の棒部材の設計せん断耐力算定式は、コンクリートの圧縮強度の適用範囲を $f'_{ck} \leq 80\text{N/mm}^2$ とし、軽量骨材コンクリート使用時は一律 70%の低減値を設けている。しかし、現状では、この適用範囲および低減値が、超高強度および高品質軽量骨材コンクリートの構造用材料としての使用を阻害する要因となっている。このため、構造用材料の特徴を生かした設計を行うには、コンクリートの力学的特性がせん断耐力に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

前田ら¹⁾は軽量骨材コンクリートのせん断補

強筋を用いない RC 梁のせん断耐力の低下を、脆度係数の逆数をパラメータとした低減式を用いることで表現した。そこで本研究では脆度係数に着目し、高強度コンクリートのせん断補強鉄筋を用いない RC 梁の載荷試験結果より、斜めひび割れ発生荷重の算定式の提案を試みた。さらに、高強度コンクリートから軽量骨材コンクリートまで一貫して利用可能な斜めひび割れ発生荷重の算定式の検討を行った。

2. 高強度コンクリート梁の載荷試験

2.1 実験概要

表-1 に実験要因を示す。コンクリートの目標圧縮強度は 40, 60, 80, 100, 120(N/mm²)の 5 水準とし、軸方向鉄筋(D16)は SD345, SD490 の 2

表-1 実験要因

供試体名	目標圧縮強度 (N/mm ²)	使用鉄筋
N-1	40	SD345
N-2	60	
N-3	80	
N-4	100	
N-5	120	
H-1	40	SD490
H-2	60	
H-3	80	
H-4	100	
H-5	120	

*1 立命館大学大学院 理工学研究科 (正会員)

*2 立命館大学大学院 理工学研究科 工修 (正会員)

*3 立命館大学教授 理工学部土木工学科 工博 (正会員)

種類とした。図-1 に供試体寸法および荷条件を示す。供試体寸法は 150×240×2,000mm とし、有効高さ 200mm の位置に軸方向鉄筋を 2 本配置した。セメントには早強セメントを使用した。供試体は打設 2 日後に脱型し、4 日間散水養生した後に、荷試験（材齢 7 日）まで気中養生した。荷は、油圧式荷試験機（容量：2000kN）を使用し、支持スパン 1,800mm の対称 2 点集中荷とした。せん断スパン有効高さ比(a/d)は 3.6 とした。測定項目として、供試体中央部たわみ（ダイヤルゲージ式変位計, 1/1000, 30mm）と鉄筋中央部ひずみ（2mm ゲージ, 1G3W）を計測した。

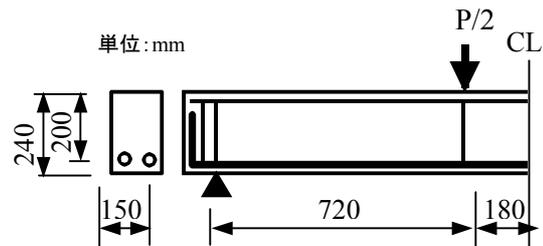


図-1 供試体寸法および荷条件

表-2 鉄筋の力学的特性

	降伏強度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び率 (%)
D16(SD345)	383	591	23.8
D16(SD490)	537	720	18.0

2.2 実験結果および考察

表-2 に鉄筋の力学的特性, 表-3 にコンクリートの力学的特性および荷試験結果を示す。すべての梁が斜め引張破壊した。表中の斜めひび割れ発生荷重の計算値 (P_{scr1}) は、土木学会コンクリート標準示方書のせん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力式の基になった式(1)を用いた。式(1)の f_{vcd} はコンクリートのせん断強度, β_d は寸法効果, β_p は軸方向鉄筋の影響を考慮するパラメータである。

$$P_{scr1} = 2f_{vcd} \beta_d \beta_p \{0.75 + 1.4/(a/d)\} \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

$$f_{vcd} = 0.23\sqrt{f'_c} \quad f_{vcd} \leq 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[3]{1/d} \quad (d : \text{m}) \quad \beta_d > 1.5 \text{ のとき } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100\rho_v} \quad \beta_p > 1.5 \text{ のとき } \beta_p = 1.5$$

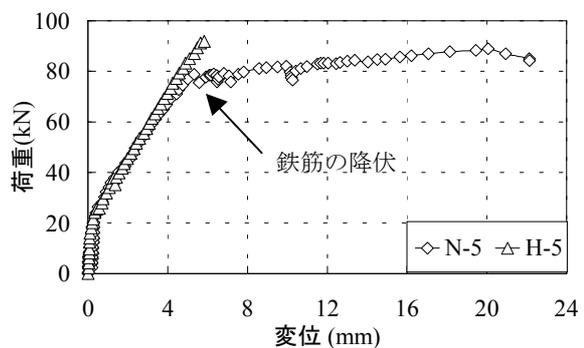


図-2 荷重-変位関係

ただし, a はせん断スパン, d は梁の有効高さ, b_w は梁幅, ρ_v は軸方向鉄筋比を示す。

一般にコンクリートの圧縮強度の増加に伴い、引張強度と曲げ強度の増加率は低下する。そのため、N-1 および H-1 供試体のコンクリートの脆度係数が 13 程度であるのに対し、N-4, N-5 および H-3~H-5 供試体の高強度コンクリートでは 21~24 となった。

図-2 に N-5 および H-5 供試体の荷重-変位関係を示す。N-5 供試体はせん断破壊が生じる

表-3 コンクリートの力学的特性および荷試験結果

供試体名	コンクリート強度			RC 梁荷試験結果					
	f'_c (N/mm ²)	f_t (N/mm ²)	f_c/f_t	P_{cr} (kN)	P_{scr} (kN)	P_{scr1} (kN)	P_u (kN)	P_{scr}/P_{scr1}	P_u/P_{scr1}
N-1	35.5	2.75	12.9	-	74.6	73.7	74.6	1.01	1.01
N-2	52.7	2.91	18.1	1.8	74.5	80.7	78.0	0.92	0.97
N-3	61.8	3.68	16.8	1.8	74.5	80.7	74.5	0.92	0.92
N-4	90.6	3.97	22.8	2.6	85.3	80.7	85.3	1.06	1.06
N-5	107.7	5.11	21.1	2.0	91.8	80.7	91.8	1.14	1.14
H-1	32.6	2.51	13.0	1.8	70.6	71.6	74.9	0.99	1.05
H-2	43.8	2.83	15.4	1.6	72.5	79.0	72.5	0.92	0.92
H-3	82.4	3.75	22.0	1.2	72.5	80.7	87.7	0.90	1.08
H-4	99.7	4.31	23.1	1.6	88.2	80.7	88.2	1.09	1.09
H-5	107.8	4.53	23.8	1.0	86.2	80.7	91.1	1.07	1.13

P_{cr} : 曲げひび割れ発生荷重 (実験値), P_{scr} : 斜めひび割れ発生荷重 (実験値)
 P_{scr1} : 斜めひび割れ発生荷重の計算値 (式(1)), P_u : 最大荷重 (実験値)

前に軸方向鉄筋が降伏し、梁の変位が急激に増加した。その後、変位の増大に伴い荷重は少しずつ増加し、梁の曲げ耐力に到達する前に斜め引張破壊した。一方、H-5 供試体は鉄筋が降伏せず、斜め引張破壊した。また、鉄筋の降伏の有無に関わらず、破壊耐力に相違は見られなかった。図-3 にひび割れ状況図を示す。鉄筋降

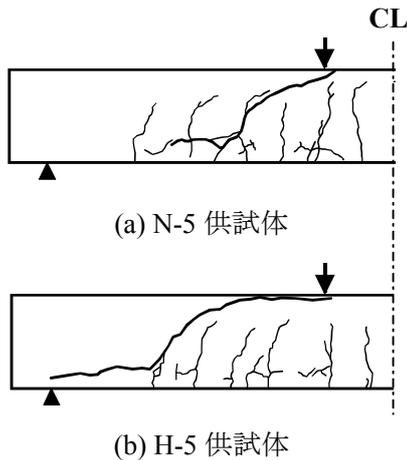


図-3 ひび割れ状況図

伏後に斜め引張破壊した N-5 供試体は、曲げひび割れが部材上面近くまで達している。

図-4 に斜めひび割れ発生荷重と圧縮強度の関

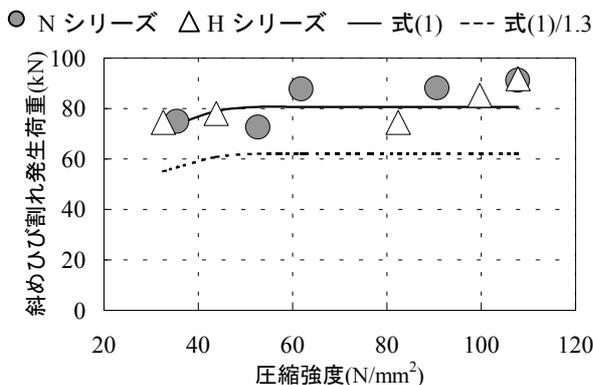


図-4 斜めひび割れ発生荷重と圧縮強度の比較

係を示す。式(1)は、コンクリートの圧縮強度が 40N/mm^2 程度では斜めひび割れ発生荷重を適切に算定しているのに対し、圧縮強度が $40\sim 80\text{N/mm}^2$ 程度では危険側に、それ以上の高強度レベルでは安全側に算定している。これは、式(1)が主に圧縮強度 40N/mm^2 以下の普通コンクリート梁に対して検討されていること、および

f_{vcd} の上限値の設定が適切でないため、このような結果になったと考えられる。 P_{scr1} を部材係数(示方書で規定される安全係数、 $\gamma_b=1.3$)で除した値は、すべてのシリーズで安全側に推定している。しかし、超高強度域においては斜めひび割れ発生荷重を安全側に推定し過ぎる傾向があるため、コンクリートの強度を有効に活用できる算定式の確立が望まれる。

3. RC梁の斜めひび割れ発生荷重の脆度係数に関する検討

3.1 概説

前田らは、軽量骨材コンクリートの斜めひび割れ発生荷重比 (P_{scr}/P_{scr1}) と脆度係数の逆数比(軽量骨材コンクリートの脆度係数の逆数/普通コンクリートの脆度係数の逆数)の相関性を明らかにした。そこで本研究では、脆度係数に関して検討することで、高強度・軽量骨材コンクリートについて、新たなせん断補強鉄筋を用いない RC 梁の斜めひび割れ発生荷重算定式を提案する。

3.2 RC梁の斜めひび割れ発生荷重算定式の誘導方法

コンクリートの品質に最も影響を受ける項として式(1)の f_{vcd} に着目し、脆度係数をパラメータとした検討を試みる。実験値の P_{scr} から得られる公称せん断応力度 $f_{vcd,exp}$ は、式(1)を変形した式(2)により求めた。ただし、 β_d と β_p の上限値は 1.5 とした。

$$f_{vcd,exp} = \frac{P_{scr}}{2\beta_d\beta_p\{0.75+1.4/(a/d)\}\cdot b_w d} \quad (2)$$

次に脆度係数に関する検討として、 f_{vcd} 中の定数 0.2 を α とし、 α と脆度係数の関係についての検討を行った。 α は式(3)に式(2)を代入することにより求めた。

$$f_{vcd,exp} = \alpha \cdot \sqrt[3]{f'_c} \text{ より } \alpha = f_{vcd,exp} / \sqrt[3]{f'_c} \quad (3)$$

そして、式(3)から得られた α と脆度係数の関係を定式化する。この定式化した α を式(4)に代入して得られた $f_{vcd,cal}$ を式(1)中の f_{vcd} に代入す

ることにより、脆度係数をパラメータとした斜めひび割れ発生荷重算定式の提案を行う。

$$f_{vd,cal} = \alpha \cdot \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

3.3 脆度係数に関する検討

(1) 使用データ

本研究で行った実験結果と既往の研究結果を参考にして検討を行った。表-4, 5に、既往の斜め引張破壊したせん断補強鉄筋を用いていないRC梁の載荷試験データを示す。本検討では、有効高さ $d=520\text{mm}$ 以下、鉄筋比 $p_v=2.0\%$ 以下のデータを採用した。

表-4 既往の研究結果

参考文献	試験体名	断面諸元		コンクリート		鉄筋比 p_v	鉄筋比 p_v	斜めひび割れ発生荷重 P_{scr}	斜めひび割れ発生荷重比 P_{scr}/P_{out}		
		有効高さ d	有効高さ d	圧縮強度 f'_c	引張強度 f'_t						
本実験	Hy-0	130	280	2.6	35.3	2.75	12.9	2.7	1.32	74.8	3.01
	Hy-00	130	280	3.6	32.7	3.94	18.1	2.7	1.32	74.5	8.92
	Hy-00	150	280	3.6	61.8	3.68	16.8	2.7	1.32	74.5	8.92
	Hy-100	150	280	3.6	90.6	3.97	22.8	2.7	1.32	85.2	1.06
	Hy-120	150	280	3.6	307.7	3.11	21.1	2.7	1.32	91.8	3.14
	H-40	130	280	3.6	32.6	3.34	13.6	2.7	1.32	70.8	8.99
	H-60	130	280	3.6	60.8	3.53	15.3	2.7	1.32	72.5	8.92
	H-80	150	280	3.6	82.4	3.75	22.0	2.7	1.32	72.5	8.92
	H-100	150	280	3.6	99.7	4.34	23.1	2.7	1.32	82.2	3.09
	H-120	150	280	3.6	307.8	4.53	23.8	2.7	1.32	86.2	3.09
	文献①	HM216	200	330	3.5	318.8	6.13	19.3	0.34	0.98	1.40
		HM25E	200	330	3.5	311.8	6.14	18.1	2.57	206.8	2.58
LM38D		200	330	3.0	38.1	3.79	14.1	1.23	100.8	3.13	
MM38D		200	330	3.0	91.3	3.36	17.6	1.23	100.8	3.13	
MM39A		200	330	3.0	90.1	3.42	16.6	0.34	146.8	3.12	
MM400		200	330	3.0	303.8	6.73	15.3	0.85	367.8	3.11	
MM48C		200	330	4.0	87.8	3.95	14.8	1.23	360.8	3.04	
文献②		HAS-1	150	230	3.0	315.8	6.20	18.3	1.5	305.8	8.99
		HAS-2	150	230	3.0	315.8	6.20	18.3	1.5	320.6	3.13
		LAS-1	150	230	3.0	301.8	3.79	17.7	1.5	318.4	3.11
		LAS-2	150	230	3.0	304.8	3.79	17.3	1.5	315.2	3.08
		L-23-3	150	230	3.0	37.8	3.05	12.4	2.6	1.520	86.3
	L-23-3	150	230	3.0	36.4	2.90	12.6	2.6	1.520	111.8	3.13
	L-23-3	150	230	3.0	36.4	2.99	12.6	2.6	1.520	112.3	3.14
	L-30-3	150	280	3.0	37.4	3.95	12.7	2.6	1.520	152.3	3.39
	L-30-3	150	280	3.0	36.4	2.90	12.6	2.6	1.520	157.3	8.95
	L-30-3	150	280	3.0	36.4	2.90	12.6	2.6	1.520	174.8	3.05
	M-23-3	150	230	3.0	68.8	3.90	17.6	2.6	1.520	302.8	8.96
	M-23-3	150	230	3.0	31.9	3.46	15.6	2.6	1.520	130.3	3.22
M-23-3	150	230	3.0	31.9	3.46	15.6	2.6	1.520	307.3	3.00	
M-30-3	150	280	3.0	69.4	3.92	17.7	2.6	1.520	174.8	8.97	
M-30-3	150	280	3.0	31.9	3.46	15.6	2.6	1.520	216.8	3.20	
M-30-3	150	280	3.0	31.9	3.46	15.6	2.6	1.520	226.3	3.28	
U-25-3	150	230	3.0	301.8	4.47	20.6	2.6	1.520	80.3	8.75	
U-25-3	150	230	3.0	92.9	4.94	18.9	2.6	1.520	112.3	3.05	
U-25-3	150	230	3.0	92.9	4.94	18.9	2.6	1.520	92.8	8.88	
U-30-3	150	280	3.0	302.8	4.59	22.2	2.6	1.520	172.3	8.96	
U-30-3	150	280	3.0	92.9	4.94	18.9	2.6	1.520	365.8	8.92	
U-30-3	150	280	3.0	92.9	4.94	18.9	2.6	1.520	395.8	3.08	
L-30-4	150	280	4.0	37.7	3.03	12.4	2.6	1.520	34.8	8.90	
L-30-4	150	280	4.0	36.4	2.90	12.6	2.6	1.520	369.3	3.13	
L-30-4	150	280	4.0	36.4	2.90	12.6	2.6	1.520	377.8	3.18	
M-30-2	150	280	3.0	69.3	3.91	17.7	2.6	1.520	196.3	8.92	
M-30-2	150	280	3.0	31.9	3.46	15.6	2.6	1.520	344.3	3.14	
M-30-4	150	280	4.0	69.2	3.94	17.7	2.6	1.520	362.3	3.00	
M-30-4	150	280	4.0	31.9	3.46	15.6	2.6	1.520	381.3	3.12	
U-30-2	150	280	3.0	302.8	4.67	21.8	2.6	1.520	211.3	8.99	
U-30-2	150	280	3.0	92.9	4.94	18.9	2.6	1.520	389.8	8.88	
U-30-4	150	280	4.0	304.8	4.81	22.8	2.6	1.520	345.3	8.89	
U-30-4	150	280	4.0	92.9	4.94	18.9	2.6	1.520	157.3	8.97	
U-30-4	150	280	4.0	92.9	4.94	18.9	2.6	1.520	368.8	3.03	
文献③	L-23-3	150	230	3.0	36.1	3.07	12.6	2.6	1.33	86.4	8.88
	L-30-3	150	280	3.0	36.1	3.07	12.6	2.6	1.33	136.2	8.96
	U-25-3	150	230	3.0	97.5	4.25	22.4	2.6	1.33	111.8	3.04
	U-30-3	150	280	3.0	97.5	4.25	22.4	2.6	1.33	172.8	8.96
	B-4	200	330	4.0	90.6	4.91	18.3	2.6	1.27	76.4	8.99
	M-3	200	330	3.0	95.3	3.36	17.8	2.6	1.23	388.2	3.19
	M-4	200	330	4.0	94.5	3.95	15.9	2.6	1.23	360.8	3.04
	M-6	200	330	3.0	82.5	3.42	17.1	2.6	0.54	147.8	3.13
	M-8	200	330	3.0	305.3	6.73	15.6	2.6	0.81	366.6	3.13

P_{scr} : 斜めひび割れ発生荷重の計算値 (式(1))

表-5 既往の研究結果

参考文献	試験体名	断面諸元		コンクリート		鉄筋比 p_v	鉄筋比 p_v	斜めひび割れ発生荷重 P_{scr}	斜めひび割れ発生荷重比 P_{scr}/P_{out}			
		有効高さ d	有効高さ d	圧縮強度 f'_c	引張強度 f'_t							
文献①	A-1-1	183	300	3.0	34.8	2.79	30.8	1.38	98.6	1.02		
	A-1-2	183	300	3.0	34.8	2.29	30.8	1.26	58.2	0.98		
	A-2-1	178	300	3.0	27.2	2.28	12.8	1.254	164.6	0.97		
	A-2-2	178	300	3.0	27.2	2.28	12.8	1.254	302.9	1.28		
	A-3-1	258	430	3.0	20.4	2.00	30.3	1.218	494.2	0.98		
	A-3-2	258	430	3.0	20.4	2.00	30.3	1.218	46.0	0.75		
	B-1-1	183	300	3.0	25.7	1.99	11.9	1.26	46.0	0.75		
	B-1-2	183	300	3.0	25.7	1.99	11.9	1.26	46.0	0.75		
	B-2-1	178	300	3.0	25.7	1.99	11.9	1.254	196.1	1.18		
	B-2-2	178	300	3.0	25.7	1.99	11.9	1.254	172.5	1.07		
	本学実験	L-20	130	280	3.6	36.7	2.13	12.3	2.7	1.204	68.2	0.99
		L-20	130	280	3.6	30.3	2.44	12.4	2.7	1.204	73.3	0.98
L-20		130	280	3.6	29.1	4.32	6.7	2.7	1.204	61.3	0.89	
L-20		130	280	3.6	29.2	4.66	6.3	2.7	1.204	68.6	0.92	
L-20		130	280	3.6	27.7	3.79	10.1	2.7	1.204	77.4	1.07	
L-20		130	280	3.6	27.3	3.48	3.8	2.7	1.204	64.7	0.89	
L-20		130	280	3.6	25.8	3.70	7.8	2.7	1.204	68.6	1.00	
L-20		130	280	3.6	18.8	3.25	5.6	2.7	1.204	68.6	1.09	
L-20		130	280	3.6	35.1	3.85	6.5	2.7	1.204	64.7	0.98	
L-20		130	280	3.6	32.8	2.68	6.5	2.7	1.204	98.2	1.18	
文献②		LD15-3-6	130	280	3.6	36.5	3.14	25.2	0.81	132	2.8	0.8
		LD15-3-6	130	280	3.6	22.7	1.32	17.2	0.81	132	46.0	1.11
	L12-3-6	130	280	3.6	26.7	1.36	19.6	1.28	132	46.3	1.03	
	0446	200	330	3.0	38.1	2.90	36.9	1.88	160	211.0	0.79	
	0446	200	330	4.0	54.7	3.64	15.2	1.88	171	116.0	0.98	
	A1	200	300	3.5	18.7	2.04	9.2	1.18	177	38.6	1.08	
	B1	200	300	3.5	22.3	1.98	11.4	1.18	177	93.2	1.02	
	D1	200	300	3.5	20.2	1.96	10.2	0.88	177	63.2	0.74	
	A-1	200	300	3.5	15.3	2.06	7.4	1.18	177	32.2	1.08	
	A-2	200	300	3.5	22.4	2.25	10.8	1.47	177	101.4	1.14	
	B1	200	300	3.5	16.3	1.60	10.1	0.88	177	96.4	1.14	
	B-2	200	300	3.5	21.6	2.12	10.2	1.23	177	106.6	1.23	
B-5	200	300	3.5	27.8	2.36	14.8	1.23	177	128.0	1.13		
文献③	AM-4	130	165	3.0	37.3	3.83	30.3	0.83	160	48.8	1.08	
	ML3	150	165	2.1	39.7	3.67	14.7	1.62	160	63.2	1.08	
	ML4	150	165	3.0	42.7	2.77	15.4	1.62	160	68.1	1.28	
	TL4	130	165	3.0	31.9	3.01	16.9	1.92	160	78.6	1.32	
	L-1	200	330	3.4	34.2	3.77	19.3	1.28	134	38.6	0.78	
	U-48-308	200	300	4.0	31.2	3.69	18.5	0.83	138	173.0	0.98	
	48C-30C	200	300	3.5	47.8	3.04	15.6	0.81	177	194.2	0.92	
	48C-30C	200	300	3.5</								

大きく影響を及ぼしていることが確認できる。さらに両者の関係は、共にコンクリートの脆度係数が13程度の値を境に、2つの領域に区分できる。そこで、図-5に示す普通骨材および軽量骨材に関して、各々最小自乗法で直線近似することで得られた関係式を、普通骨材コンクリートに関しては式(5)、軽量骨材コンクリートに関しては式(6)に示す。

普通骨材コンクリート：

$$\alpha = 0.2 \quad (f'_c/f_t \leq 13)$$

$$\alpha = -0.0064 f'_c/f_t + 0.2906 \quad (13 < f'_c/f_t) \quad (5)$$

軽量骨材コンクリート：

$$\alpha = 0.155 \quad (f'_c/f_t \leq 13)$$

$$\alpha = -0.0049 f'_c/f_t + 0.2302 \quad (13 < f'_c/f_t) \quad (6)$$

図-6に、式(1)および提案式を用いて計算した斜めひび割れ発生荷重比 (P_{scr}/P_{scr1} or 提案式) と圧縮強度の関係を示す。式(1)の変動係数は、

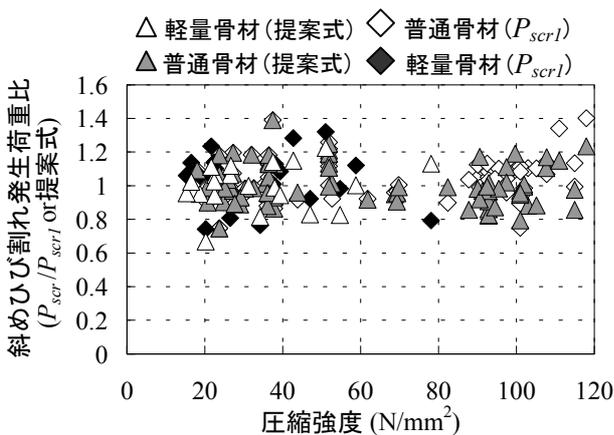


図-6 P_{scr1} と提案式の比較

軽量骨材コンクリートで13.0%、普通骨材コンクリートで12.8%、提案式の変動係数は軽量骨材コンクリートで12.5%、普通骨材コンクリートで12.2%となった。また、提案式(式(5)、(6))を用いた場合には、若干危険側に斜めひび割れ発生荷重を見積もる傾向にあった。しかし、変動係数は小さくなっており、斜めひび割れ発生荷重の算定にコンクリートの品質の影響を考慮する場合には、脆度係数をパラメータとすることが有効であると考えられる。

(3) 骨材種類が斜めひび割れ発生荷重に及ぼす影響

図-5に示す α と脆度係数の関係から、骨材種類の違いがRC梁の斜めひび割れ発生荷重に大きく影響を及ぼすことが確認できた。そこで、骨材種類の影響を表すパラメータとして骨材の密度に着目し、異なる骨材間での斜めひび割れ発生荷重の補正式の検討を行った。

図-7に、斜めひび割れ発生荷重比 ($P_{scr}/$ 提案式) と骨材密度の関係を示す。ここで、粗骨材

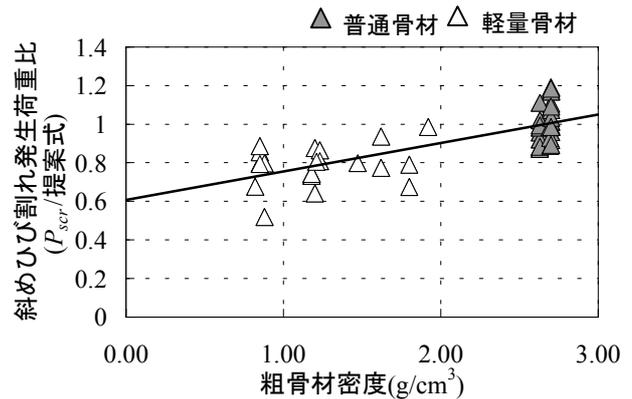


図-7 斜めひび割れ発生荷重比と骨材密度の関係

に軽量骨材と普通骨材が混合されている場合には、粗骨材全体での平均密度を用いた。図-7から、骨材密度が小さくなるに伴い、斜めひび割れ発生荷重比が低下し、骨材密度が斜めひび割れ発生荷重に大きく影響を及ぼしていることが確認できた。そこで、図-7の関係を最小自乗法で直線近似することにより、式(7)に示す骨材密度をパラメータとした斜めひび割れ発生荷重比の補正式を提案する。

$$\beta_g = 0.1474 \rho_g + 0.6082 \quad (7)$$

ただし、 β_g は粗骨材のかみ合わせに関する低減係数、 ρ_g は粗骨材密度を示す。

表-6に、式(1)と提案式に式(7)に示す補正式を乗じた、骨材密度により補正した斜めひび割

表-6 変動係数の比較

	普通骨材	軽量骨材	全体
提案式	0.128	0.092	0.109
式(1)	0.083	0.152	0.118

れ発生荷重の計算値の変動係数を示す。普通骨材コンクリートでの変動係数は式(1)に劣るものの、軽量骨材コンクリートおよび全体での変

動係数は幾分小さくなった。以上の結果から、斜めひび割れ発生荷重の算定にコンクリートの品質の影響を考慮する場合には、コンクリートの脆度係数および骨材密度をパラメータとする補正を行うことが有効であると考えられる。

4. 結論

本研究は、せん断補強鋼材を用いない RC 梁の斜めひび割れ発生荷重への脆度係数の影響について検討を行い、高強度コンクリートから軽量骨材コンクリートまで利用可能な斜めひび割れ発生荷重算定式の提案を試みた。

本研究で得られた結論を以下に要約する。

- (1) 斜め引張破壊したせん断補強筋を用いない RC 梁においては、鉄筋降伏強度は最大耐力に影響を及ぼさない。
- (2) 斜めひび割れ発生荷重は、コンクリートの脆度係数の影響を受けることが確認された。そこで、公称せん断応力度 f_{vcd} に脆度係数をパラメータとした提案式を用いることにより、斜めひび割れ発生荷重の推定精度が向上した。
- (3) 斜めひび割れ発生荷重は、骨材種類の影響を受けることが確認された。骨材密度を考慮した補正式(式(7))を用いることで、異なる骨材を用いた RC 梁の斜めひび割れ発生荷重を精度よく推定可能となった。

参考文献

- 1) 前田拓郎ほか：高品質軽量骨材を用いた RC はりのせん断特性，コンクリート工学年次論文報告集，vol.23，No.3，pp.913-918，2001
- 2) 伊藤堅生ほか：超高強度材料を用いた腹鉄筋のない RC はり部材のせん断特性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.22，No.3，pp.967-972，2000
- 3) 伊藤友司ほか：高強度コンクリートを用いた RC はりのせん断挙動に及ぼす収縮の影響，コンクリート工学論文集，Vol.23，No.3，pp.763-768，2001

- 4) 藤田学ほか：高強度コンクリートを用いた RC はりのせん断強度と寸法効果，土木学会論文集 No.711/V-56,161-172,2002.8
- 5) 藤田学ほか：高強度コンクリートはり部材の寸法効果に関する実験的研究，コンクリート工学論文集，Vol.20，No.3，pp.349-354，1998
- 6) 阿部祐規ほか：超高強度材料を用いたせん断補強筋のない RC はり部材のせん断耐力に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.21，No.3，pp.181-186，1999
- 7) 普通コンクリート，建設省土木研究所土木研究資第 3426 号
- 8) 滝本邦彦ほか：高強度フライアッシュ人工骨材を使用したコンクリート梁部材のせん断耐力について，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集，V-440，2001.10
- 9) 川口哲生ほか：超軽量人工骨材を使用した普通強度 RC はりのせん断耐力，コンクリート工学年次論文報告集，vol.22，No.3，pp.595-600，2000
- 10) 川口哲生ほか：超軽量骨材と普通骨材を混合した RC はりのせん断耐力，コンクリート工学年次論文報告集，vol.23，No.3，pp.931-936，2001
- 11) X. Ritthichauy, Worapatt and et.al.: Shear Tests on Reinforced Lightweight Aggregate Concrete Beams without Web Reinforcement, コンクリート工学年次論文報告集, vol.23, No.3, pp.937-942, 2001
- 12) 三井雅一ほか：超軽量人工骨材コンクリートはりのせん断挙動，コンクリート工学年次論文報告集，vol.24，No.2，pp.1465-1470，2002
- 13) 横田弘ほか：せん断補強のない高性能軽量コンクリートはりのせん断耐荷機構，港湾航空技術研究報告書，第 40 巻，第 3 号，pp.17-35，2001.9
- 14) 前堀伸平ほか：高性能軽量骨材を用いたプレストレストコンクリートはりのせん断耐荷性状，太平洋セメント研究報告書，第 137 号，1999