

鋼繊維補強軽量2種コンクリートRCはりのせん断耐力評価

九州大学大学院 正会員 ○崔智宣 山口浩平

九州大学大学院 フェロー 日野伸一 柴田博之

1. 目的

軽量2種コンクリート（以下、SL）は普通コンクリート（以下、N）より30%程度軽い、骨材自体の強度が小さいため、引張およびせん断強度が低下する。このような強度特性の改善方法として短繊維による補強が知られている。本研究では、各種補強繊維の中でも強度特性に優れる鋼繊維に着目した。鋼繊維補強軽量2種コンクリートを用いたRCはりのせん断耐力は、軽量化と鋼繊維混入の二つの要素があるため、現在の算定方法では対応できない。そこで、本研究では、鋼繊維補強軽量2種コンクリートRCはりの曲げせん断試験を行い、そのせん断耐力評価方法を検討した。既往の研究で提案されている算定式を基に、軽量化および繊維補強が考慮できる鋼繊維補強軽量2種コンクリートRCはりのせん断耐力の評価方法を確立することが目的である。

2. RCはりのせん断試験

表-1に供試体緒元、図-1に供試体概略図を示す。粗骨材および細骨材はNには碎石および海砂、SLには粗骨材および細骨材ともに人工軽量骨材のアサノライト、短繊維は繊維が直径0.62mm、長さ30mmのドラミックスのフックエンド型鋼繊維を使用した。圧縮強度が全供試体 40N/mm^2 と一定となるように設計配合した。パラメータはコンクリート種類、混入率とした。

同時に2次元非線形解析を行った。図-2に解析モデルを示す。解析プログラムはDIANAを用い、解析モデルは対称性を考慮した1/2モデルとした。コンクリートは4節点平面応力要素を用い、回転ひび割れモデルを適用した。図-3にコンクリートの材料構成則を示す。圧縮域は圧縮強度 f'_c までは材料試験の結果を用い、それ以降は線形で0まで低下するものとした。引張域は引張強度までは線形で増加するものとし、引張軟化域は切り欠きはりの3点曲げ試験結果を用いた逆解析結果より求めた引張軟化特性¹⁾を用いて算出した。表-2

に引張軟化特性モデル式の諸値を示す。これらを用いて軽量化および鋼繊維補強による影響を考慮した。鉄筋は2節点トラス要素を用い、降伏条件はVon Misesの降伏条件を適用した。主筋および圧縮筋はコンクリートとの境界部にインターフェース要素を用い、付着-すべり関係を定義した²⁾。

表-3に実験およびFEM解析による結果を示す。全ての供試体はせん断破壊であったが、N-00は斜め引張破壊、N-12、SL-00、SL-12はせん断圧縮破壊であった。以上より軽量化、繊維補強するほどせん断圧縮しやすくなることがわかった。FEM解析における破壊形式はSL-00の除外した実験結果と同様であり、せん断圧縮破壊した供試体と同様にタイドアーチによるひび割れ分布が確認されている。SL-00においては、実験でせん断圧縮破壊したのに対して、解析で斜め引張破壊したため、最大荷重も大幅に異なる。他のタイプにおいて、試験値と解析値を比は1.11~1.28となっており、解析で十分精度よく評価できた。

3. パラメータ解析

二羽らは文献より、実験により二羽式³⁾を、FEM解析に基づきディープビーム(DB)式⁴⁾が提案している。しかし、二羽式およびDB式はN、鋼繊維無補強を対象

表-1 供試体緒元

Type	コンクリート	a/d	鋼繊維混入率 (%)	強度(N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)
				圧縮	引張	
N-00	普通	4	0	41.2	3.18	28.0
N-12	N		1.2	41.0	3.82	30.6
SL-00	軽量2種		0	39.4	1.84	15.8
SL-12	SL		1.2	39.6	3.75	15.9

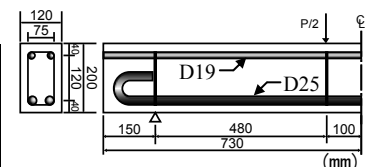


図-1 供試体概略図

表-2 引張軟化曲線モデル式¹⁾

Type	σ_{BP1}	W1	σ_{BP2}	W2	σ_{BP3}	W3
N-00	$0.5f_t$	0.4	0	3.2	—	—
N-12	$G_f f_t$	$G_f f_t$	$0.35f_t$	$G_f f_t$	$0.4f_t$	6W2
SL-00	$0.5f_t$	0.4	0	2.5	—	—
SL-12	$0.84f_t$	$G_f f_t$	$0.6f_t$	$G_f f_t$	$0.72f_t$	6W2

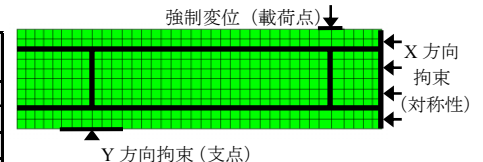
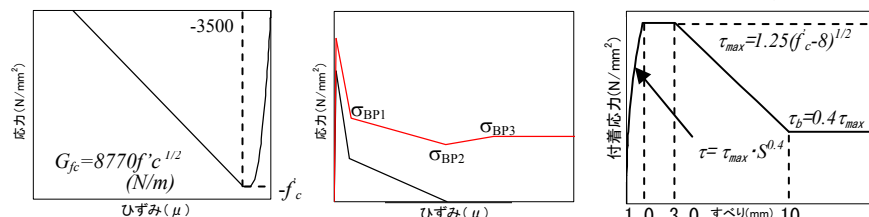


図-2 解析モデル



(a) 圧縮側

(b) 引張側

(c) 付着-すべり関係²⁾

図-3 コンクリートの材料構成則

キーワード 人工軽量骨材、軽量2種コンクリート、鋼繊維、RCはり、せん断耐力

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 Tel: 092-802-3392

表-3 結果

Type	実験値 (kN)	算定値(kN) 式(1) 式(2)	解析値 (kN)	実験値 /式(1)	実験値 /式(2)	実験値 /解析値	破壊形式
N-00	78.4 77.4	77.9	91.8 93.2	91.1	0.85 0.84	1.17	斜め引張 斜め引張
N-12	146 142	144	157 126	160	0.92 1.14	1.11	せん断圧縮 せん断圧縮
SL-00	74.8 72.2	73.5	58.3 79.1	44.5※	1.26 0.93	0.61	せん断圧縮 せん断圧縮
SL-12	131 111 131	124	155 155	159	0.80 0.80	1.28	せん断圧縮 せん断圧縮 せん断圧縮

※斜め引張破壊

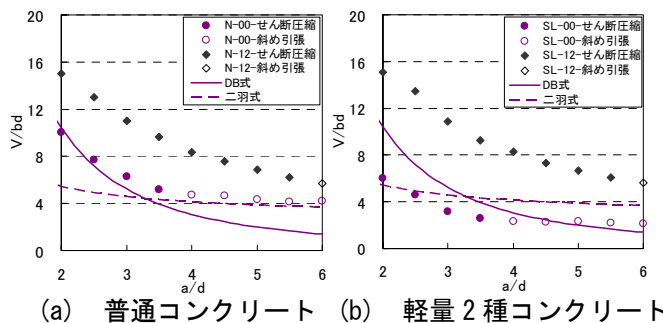


図-4 解析値と基準式による算定値の比較

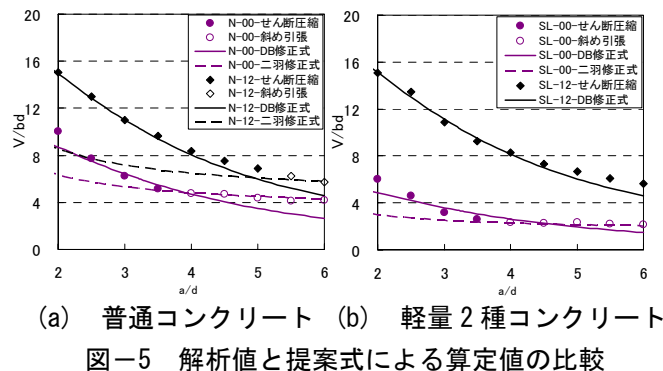


図-5 解析値と提案式による算定値の比較

としており、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートは適用できない。また、二羽式は斜め引張破壊か、 a/d が 3 以上のデータを、DB 式はせん断圧縮破壊を対象とし、 a/d が 2.5 以下データを用いている。一方、前述のように軽量コンクリートを用いる場合や繊維補強コンクリートを用いる場合、 a/d が 3 以上でせん断圧縮破壊する結果となり、基準式で適用できると言い難い。前述で実験と解析の結果がほぼ一致している結果が得られたため、本試験と同様な寸法を基準としパラメータ解析を行い、基準式の修正を行った。パラメータは以下のようにした。

- ・ コンクリート種類：N, SL
- ・ 鋼繊維混入率 V_{sf} (%)：0, 0.4, 0.8, 1.2
- ・ せん断スパン比 a/d ：2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0
- ・ 圧縮強度 f'_c (N/mm²)：30, 40, 50
- ・ 引張鉄筋比 p_v (%)：2.5, 5.0
- ・ 載荷板の辺長と有効高さとの比 r/d ：0.25, 0.50, 0.75

その結果、 f'_c , p_v , r/d に及ぼすせん断耐力の影響は基準式のままで評価できることが確認できた。一方、 a/d による破壊形式の変化は N-00, N-12 それぞれ a/d が 4.0, 5.5 になる時から斜め引張破壊する結果となった。SL において、SL-00 は a/d が 4.0 になる時から斜め引張破

壊となり、SL-12 については全てせん断圧縮破壊した。この結果からも軽量化および繊維補強するほどせん断圧縮破壊しやすくなる結果と同様な傾向が得られた。図-4 に a/d による解析結果の関係の一部 (0, 1.2%のみ) を示している。なお、塗りつぶされているプロットはせん断破壊した供試体、塗りつぶされていないプロットは斜め引張破壊した供試体である。同図からいずれの基準式も評価できず、 a/d が 3~5 の範囲において二つの式の適用可能性は明確ではない。以上より、二羽式、DB 式の修正が必要であると考えられる。

4. せん断耐力評価

斜め引張破壊した供試体で二羽式の修正を、せん断圧縮破壊した供試体で DB 式の修正を行った。まず、基準式の定数の部分を K とおく。次に、解析結果と提案式 (式(1), (2)) の比、 $V_{FEM}/V_{cal}=1$ (平均) になるような各コンクリート、破壊形式で異なる K (平均値を用いる) を求めた。なお、DB 式の a/d 項は混入率によるばらつきを考慮し、 $1+(a/d)^2$ から $10+(a/d)^2$ と修正した。

提案式を以下式(1), 式(2)に示す。

- ・ 二羽修正式

$$V_C = K_{NorSL} \cdot f'_c \cdot p_v^{1/3} \cdot (d/1000)^{-1/4} \cdot (0.75 + 1.4/(a/d)) \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

$$K_N = -0.101V_{sf}^2 + 0.189V_{sf} + 0.232$$

$$K_{SL} = 0.401V_{sf} + 0.110$$

- ・ DB 修正式

$$V_C = K_{NorSL} \cdot f'_c \cdot (1 + \sqrt{100p_v}) \cdot (1 + 3.33r/d) \cdot b_w \cdot d / (10 + (a/d)^2) \quad (2)$$

$$K_N = -0.239V_{sf}^2 + 0.629V_{sf} + 0.571$$

$$K_{SL} = -0.522V_{sf}^2 + 1.186V_{sf} + 0.319$$

図-5 に各コンクリート、混入率、破壊形式別に解析結果と提案式での算定値の比較するため、せん断強度 (V/bd) と a/d の関係を示している。同図より DB 修正式と二羽修正式で精度よく評価できた。実構造物への設計の際には DB 修正式と二羽修正式で算定し、大きい値を設計式として良いと考えられる。

5. 結論

コンクリート種類、混入率に関わらず、軽量化、鋼繊維補強によりせん断圧縮破壊しやすい。軽量化および鋼繊維補強の影響を考慮した引張軟化特性を用いることにより、FEM 解析でも挙動および破壊形式の変化を再現できる。それを基としてパラメータ解析を用いて基準式の修正を行い、せん断耐力式を提案した。

参考文献 1) 崔智宣, 山口浩平, 日野伸一: 鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートの引張軟化特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, pp.1327-1332, 2009.7, 2) CEB-FIP Model Code 1990, Thomas Telford, 1990, 3) 二羽淳一郎, 山田一宇, 横沢和夫, 岡村甫: せん断補強鉄筋を用いない RC 梁のせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, 第 372 号/V-5, pp.167-176, 1986.8, 4) 二羽淳一郎: FEM 解析に基づきディープビームのせん断耐力算定式, 第 2 回 RC 構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, pp.119-126, 1983.10