

# せん断補強筋のないRCはりのせん断強度算定式に関する検討

住友建設 正会員 松元香保里 正会員 藤田 学

## 1. はじめに

2002年版コンクリート標準示方書[改訂資料]<sup>1)</sup>では、高強度材料を用いたRC部材においてははり高さが1m程度以上の場合、せん断強度は低い傾向にあり、寸法効果の再評価の必要性が指摘されている。一方、著者らは、これまで圧縮強度80N/mm<sup>2</sup>を超える高強度コンクリートを用いたせん断補強筋のないRCはりを対象としたせん断実験を行い、斜めひび割れ発生時の公称せん断応力度（以下、せん断強度）について、その寸法効果ならびに圧縮強度依存性は普通コンクリートのそれとは異なることを確認している<sup>2)</sup>。本研究ではこれまでの検討結果並びに既往の実験データに基づき、高強度コンクリートの領域まで適用可能なせん断補強筋のないRCはりのせん断強度算定式の提案を試みた。

表-1 検討データ

既往の研究	データ数	有効高さ d(mm)	引張鉄筋比 p <sub>w</sub> (%)	圧縮強度 f' <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
藤田ら <sup>2)</sup>	27	250~1000	1.36~1.53	33.7~103
土研 <sup>3)</sup>	6	300~900	1.19~1.35	20.6~27.3
土研P <sup>4)</sup>	6	350~950	0.55~1.19	55.1~87.2
松井ら <sup>5)</sup>	16	150~300	2.55~2.65	32.4~128
阿部ら <sup>1)</sup>	6	150~650	0.54~1.23	90.6~108
二羽ら <sup>6)</sup>	3	1000~2000	0.14~0.28	25.4~28.0
井畔ら <sup>7)</sup>	3	1000~3000	0.40~0.80	21.9~28.5
下野ら <sup>1)</sup>	10	400~690	0.67~2.32	75.7~125.4
土屋ら <sup>1)</sup>	7	260~1300	1.42~1.47	29.4~82.5
原ら <sup>1)</sup>	5	350	1.84	27.8~55.2

## 2. 既往の算定式の検証

検討対象データを表-1に示す。せん断補強筋のないRCはりのせん断強度算定式には以下の二羽式を適用し、 $f_{vc}=0.2f'_c{}^{1/3}$ の上限値は0.72、 $(1000/d)^{1/4}$ の上限値は1.5とした<sup>1)</sup>。

$$\tau_c = f_{vc} p_w^{1/3} (1000/d)^{1/4} (0.75 + 1.4/a/d) / \gamma_b \quad (1)$$

ここに、 $\tau_c$ ：せん断強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $a$ ：せん断スパン長(mm)、 $\gamma_b$ ：部材係数とする。ここでは $p_w=1.53\%$ とし、式(1)に基づき引張鉄筋比を補正した実験値と式(1)による計算値の比を図-1に示す。図-1より、実験値は $\gamma_b=1.3$ とすれば式(1)で概ね評価可能であるが、有効高さが小さい場合は過小評価となるのに対し、有効高さが大きくなるほど過大評価となる傾向が認められる。

## 3. せん断強度の算定式の提案

せん断強度の寸法効果はHillerborgらにより提案された特性長さ $l_{ch}$ (mm)を用いた評価が有効であることを既往の研究で確認している<sup>2)</sup>。また、著者らは圧縮強度35~145N/mm<sup>2</sup>のコンクリートを対象に破壊エネルギー試験を行い、圧縮強度と特性長さの関係式 $l_{ch}=30700f'_c{}^{-1.1}$ を得ている<sup>8)</sup>。これより特性長さは $f'_c{}^{-1}$ に比例すると仮定し、最小二乗法により次式を得た。

$$l_{ch} = 20000/f'_c \quad (\text{相関係数：0.95}) \quad (2)$$

本研究では、式(1)に基づき引張鉄筋比とせん断スパン比を考慮したせん断強度の補正値 $\tau_c^* = \tau_c / p_w^{1/3} (0.75 + 1.4/a/d)$ を $f'_c{}^{1/3}$ で正規化した $\tau_c^*/f'_c{}^{1/3}$ と、有効高さ特性長さの比 $d/l_{ch}$ から寸法効果の検討を行った。なお、特性長さは式(2)より求めた。結果を図-2に示す。図-2より、 $\tau_c^*/f'_c{}^{1/3}$ は $d/l_{ch}$ が小さい場合はほぼ一定値に近づき、 $d/l_{ch}$ が大きい、概ね $d/l_{ch}>1$ では $d/l_{ch}$ の累乗に比例する傾向が認められる。このことから $\tau_c^*/f'_c{}^{1/3} = (0.6 + d/l_{ch})^{-1/2}$ と仮定し、最小二乗法により係数 $\tau_c^*/f'_c{}^{1/3}$ を決定し、式(3)を求めた。

$$\tau_c^*/f'_c{}^{1/3} = 0.3(0.6 + d/l_{ch})^{-1/2} \quad (\text{相関係数：0.84}) \quad (3)$$

注) せん断スパン比は全て3

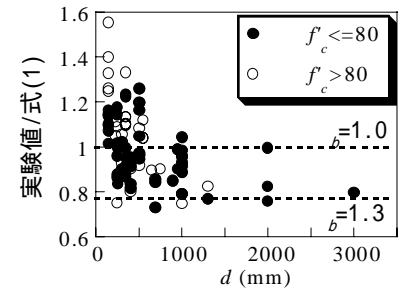


図-1 実験値と式(1)の比

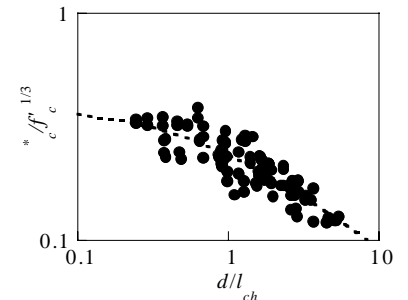


図-2 寸法効果の検討

キーワード：せん断強度、高強度コンクリート、寸法効果、特性長さ

連絡先：〒329-0432 栃木県河内郡南河内町仁良川 1726 (TEL：0285-48-2611 FAX：0285-48-2655)

図-2中の破線で示す式(3)と実験値は良く一致している。次に、圧縮強度の要因に着目するため、式(3)で  $n, m$  を係数として  $f_c^*/(0.6+d/l_{ch})^{-1/2} = n f_c^m$  と置き換え検討を行った。結果を図-3に示す。 $f_c^*/(0.6+d/l_{ch})^{-1/2}$  は、 $f_c^*$   $60\text{N/mm}^2$  では  $f_c^*$  の  $2/3$  乗にほぼ比例し、 $f_c^* > 60\text{N/mm}^2$  ではデータのばらつきはやや大きいが頭打ちとなる傾向が認められる。これより、 $f_c^*$   $60\text{N/mm}^2$  では  $f_c^*/(0.6+d/l_{ch})^{-1/2} = k f_c^{2/3}$  と仮定し、最小二乗法により係数を  $k=0.09$  と決定した。相関係数は  $0.90$  であった。一方、 $f_c^* > 60\text{N/mm}^2$  では  $f_c^*/(0.6+d/l_{ch})^{-1/2}$  の値は一定とし、 $f_c^* = 60\text{N/mm}^2$  における値とした。相関係数は  $0.45$  であった。図-3中の破線はこの関係を示し、関係式は実験値を概ね評価していることが分かる。

以上より、せん断強度の提案式として次式が得られる。

$$f_c^* \leq 60\text{N/mm}^2 : \tau_c = 0.09 f_c^{2/3} (0.6 + d/l_{ch})^{-1/2} p_w^{1/3} (0.75 + 1.4/a/d) \quad (4)$$

$$= 0.1 f_c^{2/3} (1 + d \cdot f_c^*/12000)^{-1/2} p_w^{1/3} (0.75 + 1.4/a/d)$$

$$f_c^* > 60\text{N/mm}^2 : \tau_c = 1.53 (1 + d \cdot f_c^*/12000)^{-1/2} p_w^{1/3} (0.75 + 1.4/a/d) \quad (5)$$

実験値と式(1)および提案式の比較を図-4に、実験値と提案式の比を図-5に、各式の算定精度を表-2に示す。図-4より、 $40 \leq f_c^* \leq 80\text{N/mm}^2$  かつ  $250 \leq d \leq 500\text{mm}$  の範囲において、式(1)は実験値を過小評価する傾向が認められる。一方、提案式ではこれが緩和され、高強度領域までせん断強度をより合理的に評価している。また、図-5より有効高さが大きい場合も同程度の精度でせん断強度の評価ができており、同様に表-2より、有効高さが  $500\text{mm}$  を超える範囲では式(1)は過大評価となっているが、提案式は有効高さに関係なく同程度の精度で評価できている。

本論文では高強度コンクリートの領域までせん断強度を合理的に評価可能な算定式の提案を試みた。本提案式は限られた実験データに基づくものであり、特に、有効高さが大きな範囲あるいは圧縮強度が高い範囲におけるデータ数は十分とはいえず、算定精度の向上のためにはさらにデータの蓄積および詳細な検討が必要であると考えられる。

【参考文献】 1)土木学会：2002年版コンクリート標準示方書[改訂資料]，pp.20-27, 2002. 2)藤田ら：RC梁のせん断強度の寸法効果に及ぼす破壊エネルギーの影響，コンクリート工学年次論文報告集，vol.23, No.3, pp.751-756, 2001. 3)土木研究所資料第3426号，1996. 4)建設省土木研究所：整理番号第122号，1995. 5)松井ら：超高強度コンクリートを用いたRCはり部材のせん断耐力に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.17, No.2, pp.655-660, 1995. 6)二羽ら：せん断補強筋のないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，No.372/V-5, pp.167-176, 1986. 7)井畔ら：等分布荷重下における大型鉄筋コンクリートはりのせん断強度に関する実験的研究，土木学会論文集，No.348/V-1, pp.175-184, 1980. 8)松元ら：高強度コンクリートの材料特性および破壊エネルギーに関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.24, 2002. (投稿中)

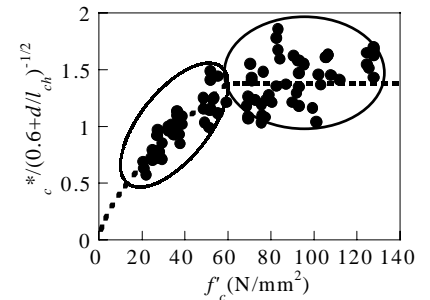


図-3 圧縮強度の要因

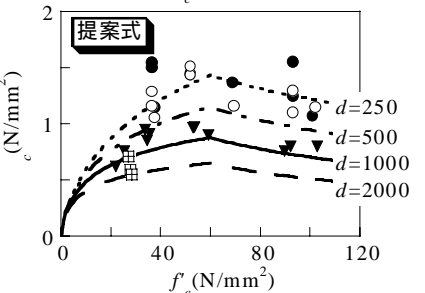
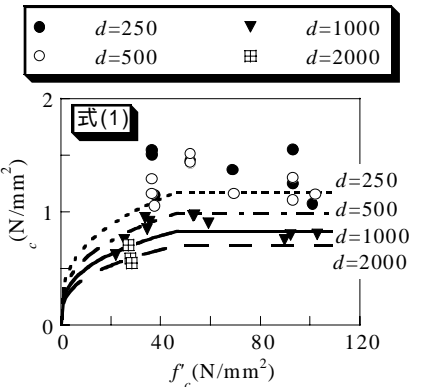


図-4 実験値と計算値の比較

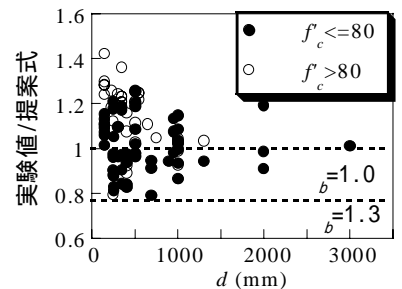


図-5 実験値と提案式の比

表-2 せん断強度の算定精度 (  $b=1.0$  )

実験値 / 計算値	$f_c^* \leq 80$		$f_c^* > 80$		平均値	C.V.		
	平均値	C.V.	平均値	C.V.				
式 (1)	$d = 500$	1.03 [38]	13.3%	1.08 [23]	17.4%	1.05 [61]	15.3%	
	$d > 500$		0.89 [20]	10.3%	0.90 [8]	14.7%	0.90 [28]	11.8%
			0.99 [58]	14.6%	1.04 [31]	18.5%	1.00 [89]	16.2%
提案式	$d = 500$	1.13 [38]	12.6%	1.28 [23]	12.9%	1.19 [61]	14.2%	
	$d > 500$		1.10 [20]	9.8%	1.21 [8]	10.7%	1.14 [28]	11.1%
			1.13 [58]	11.7%	1.26 [31]	12.5%	1.17 [89]	13.5%

注) [ ]内は対象データ数を，C.V.は変動係数 (=標準偏差/平均値)を表す。