

## 材料強度および寸法の異なる RC はりのせん断強度に対する特性長さをを用いた考察

広島大学大学院 学生会員 ○佐々木 優 阪本 祐人 川井 菜緒  
 広島大学大学院 正会員 半井 健一郎

## 1. はじめに

鉄筋コンクリートはり (RC はり) のせん断強度算定には、現在、普通強度コンクリートを対象とした二羽式<sup>1)</sup>をもとにした式が広く用いられている。しかし、高強度域は対象外であり、コンクリート強度の上限が設定されている。一方、RC はりのせん断強度に影響を及ぼす要因のひとつとして破壊特性が挙げられ、Gustafsson & Hillerborg は、せん断強度を引張強度で除した $\tau_c/f_t$ と有効高さを破壊特性の指標となる特性長さで除した $d/l_{ch}$ の指数関数には線形関係があると報告している<sup>2)</sup>。高強度 RC はりのせん断強度の評価においては、コンクリートの脆性的な破壊特性の考慮が必要とされており、この考慮によって、広範な強度範囲での統一的な算定式構築の可能性があると考えられる。

そこで本研究では、 $\tau_c/f_t$ と $d/l_{ch}$ の関係を参考に、強度や寸法の異なる RC はりのせん断強度評価に関して特性長さをを用いた考察を行うこととした。特に今回は基礎的検討とし、二羽式に等価引張鉄筋比の概念を導入したせん断強度評価式(以下、等価式)によって収縮の影響を考慮したうえで、式中に $d/l_{ch}$ を導入し、評価精度の変化を議論する。

## 2. 実験概要

## 2.1 RC はり供試体

本研究では、普通強度RCはりのデータ<sup>3), 4)</sup>および高強度RCはりのデータ<sup>5)</sup>を引用するとともに、検討におけるデータの拡充を行うため、新規にRCはりの載荷試験を行った。今回の検討に用いる対象は、有効高さが0.25m, 0.50m, 1.00m, 圧縮強度は30~120N/mm<sup>2</sup>の範囲におけるRCはりとした。新たなRCはりは、引張鉄筋比 $p_s$ を0.76~1.60%、せん断スパン比( $a/d$ )を3、水結合材比を50%の普通強度レベルとした。また、引用したデータは、鉄筋比0.76~1.59%、せん断スパン比( $a/d$ )は3となっている。検討に用いた全ての供試体の諸条件を表1に示す。また、供試体概要を図1に示す。

## 2.2 供試体概要

すべての載荷試験は、2点集中載荷で行い、せん断耐力、荷重、たわみ、せん断変位、ひび割れ進展等の記録を行い破壊に至るまでの経過を把握した。また、打込み直後から載荷時期に達するまで、収縮がせん断強度に及ぼす影響を評価するために供試体の鉄筋ひずみを経時計測した。

## 2.3 材料特性試験

RCはりの作製に用いたコンクリートの材料強度を把握するため、載荷時材齢で圧縮強度、割裂引張強度を測定した。また、JCI規準(切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法)に従い、100×100×400mmの角柱試験供試体を用いてコンクリートの破壊エネルギーを算出した。ただし、切欠きの深さは50mmとした。

表1 各供試体諸条件

コンクリート分類	水結合材比 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	有効高さ (m)	鉄筋比 (%)	a/d	出典
石英粗面岩使用コンクリート	50	30~45	0.25	0.79~1.59	3	本実験
高収縮骨材使用コンクリート	50	30~45		1.03~1.06		
	35	40~60	0.50			
石英粗面岩使用膨脹コンクリート	50	40~55	1.00	0.79~1.59		
高強度コンクリート	23	100~120		1.53~1.59		文献4

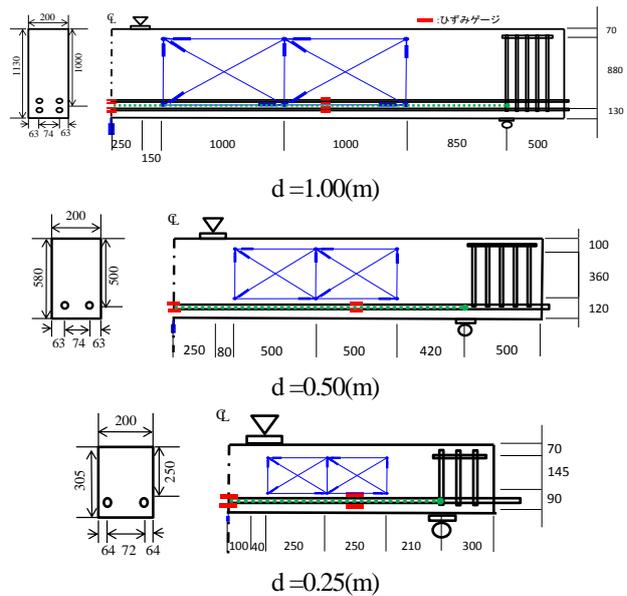


図1 RC 供試体概要 (単位: mm)

## 3. せん断強度算定の検討

まず、等価式を用いたせん断強度の算定値と実験値を比較することにより、特性長さを考慮せずに収縮の影響を考慮した場合の評価精度を、普通強度域と高強度域で検討した。等価式を式(1)、(2)に示す。

$$\tau_{c,cal} = 0.20 f_c'^{\frac{1}{3}} p_{s,e}^{\frac{1}{3}} d^{-\frac{1}{4}} \left( 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \right) \quad (1)$$

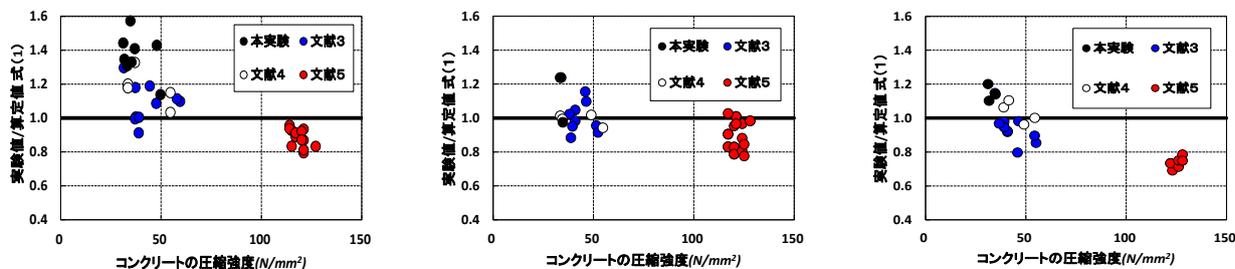
$$p_{s,e} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s - \varepsilon_{s0,def}} p_s \quad (2)$$

ここで、 $\tau_{c,cal}$ : 等価式により算定されるせん断強度、 $f_c'$ : コンクリートの圧縮強度、 $p_{s,e}$ : 等価引張鉄筋比、 $d$ : 有効高さ、 $a$ : せん断スパン、 $\varepsilon_s$ : 曲げ理論を用いて求めた斜めひび割れ発生時引張鉄筋ひずみ、 $\varepsilon_{s0,def}$ : コンクリート応力がゼロ状態になる時の引張鉄筋ひずみとする。

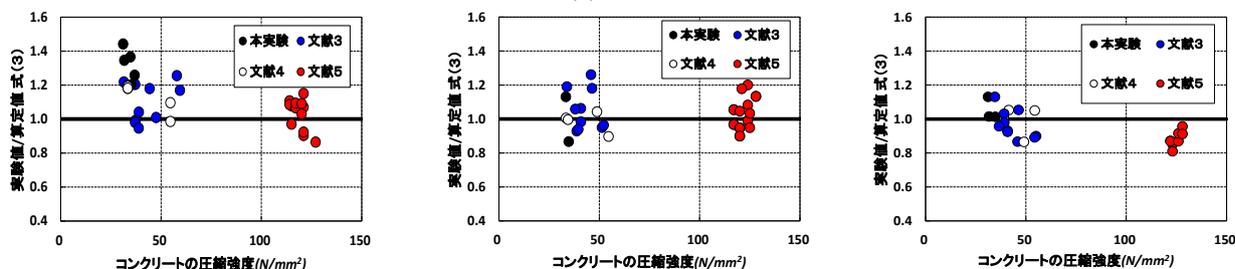
等価式を用いた場合の実験値と算定値の比 $\tau_{c,exp}/\tau_{c,cal}$ とコンクリートの圧縮強度の関係を図2に示す。ここで、縦軸の $\tau_{c,exp}/\tau_{c,cal}$ が1.0に近いほど精度が高いこととなる。

キーワード せん断, RC はり, 等価引張鉄筋比, 破壊エネルギー, 特性長さ

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1-A2-522 広島大学構造材料工学研究室 TEL 082-424-7786



(a) d=0.25(m) (b) d=0.50(m) (c) d=1.00(m)  
 図2 特性長さを考慮しない等価式(式(1))の評価精度とコンクリートの圧縮強度の関係



(a) d=0.25(m) (b) d=0.50(m) (c) d=1.00(m)  
 図4 特性長さを導入した等価式(式(3))の評価精度とコンクリートの圧縮強度の関係

高強度域である圧縮強度が 100N/mm<sup>2</sup> 以上の範囲においては、等価式では自己収縮の影響が考慮されることで二羽式よりも算定値が小さくなるが、それでもせん断強度を過大に評価した。その傾向は、寸法が増大につれて顕著である。これはコンクリートが高強度域において脆性化するため、特性長さをを用いて説明できると考えられる。特性長ささとコンクリートの圧縮強度の関係を図3に示す。強度が増加するとともに特性長さは低下する。

そこで、特性長さをを用いてこの脆性化の影響を考慮するため、Gustafsson & Hillerborg が報告した線形関係を参考に、式(3)に示すように、等価式の寸法の項において  $d/l_{ch}$  を導入することによってせん断強度を算定した。

$$\tau_{c,cal} = 0.04 f_c^{1/3} p_s e^{1/3} \left(\frac{d}{l_{ch}}\right)^{-1/4} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d}\right) \quad (3)$$

ここで、普通強度域での算定精度を等価式と同等とするため、図3より検討データにおける普通強度の範囲における特性長さの平均値0.45mを基準とし、本式の係数0.04(=0.2×0.45<sup>-1/4</sup>)を求めた。

式(3)を用いた場合の実験値と算定値の比  $\tau_{c,exp}/\tau_{c,cal}$  とコンクリートの圧縮強度の関係を図4に示す。また、式(1)および式(3)を用いた場合の  $\tau_{c,exp}/\tau_{c,cal}$  の平均値  $\mu$  とその変動係数 C.O.V(%) を、有効高さ別に表2に示す。式(1)と比べた式(4)による算定値は、すべての寸法において、普通強度域における評価精度を保持した上で、これまで適用範囲外であった高強度域における評価精度を向上させた。

#### 4. まとめ

有効高さ 0.25, 0.50, 1.00m, 鉄筋比 0.76~1.60%, 圧縮強度が 30~120N/mm<sup>2</sup> の RC はりのせん断強度について、等価式により収縮の影響を考慮したうえで、特性長さをを用いることによる評価精度の変化を検討した。その結果、特性長さをを用いることで高強度域を含めた広範な強度域における評価精度を向上できることが示された。今後、詳細な検討を行い、統一的評価式の構築に向けた研究を深めていきたい。

表2 (実験値) / (算定値(式(1),(3)))  
 平均値  $\mu$  および変動係数 C.O.V (%)

		d=250(mm)		d=500(mm)		d=1000(mm)		全体	
		$\mu$	C.O.V(%)	$\mu$	C.O.V(%)	$\mu$	C.O.V(%)	$\mu$	C.O.V(%)
普通強度	式(1)	1.21	13.64	1.05	13.10	0.99	11.27	1.10	14.82
	式(3)	1.16	11.88	1.04	10.77	0.99	8.45	1.07	12.67
高強度	式(1)	0.88	5.28	0.90	8.51	0.74	2.80	0.96	19.48
	式(3)	1.03	8.59	1.07	11.86	0.99	5.09	1.05	12.63
全体	式(1)	0.85	15.36	0.97	12.94	0.92	16.68	1.01	18.10
	式(3)	1.11	12.02	1.06	11.14	0.95	9.06	1.05	12.61

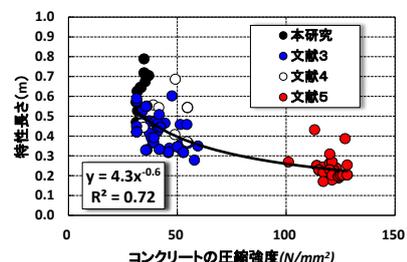


図3 圧縮強度と特性長さの関係

#### 参考文献

- 1) 二羽淳一郎ほか：せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度算定式の再評価，土木学会論文集，No.372/V-5, pp167-176, 1986.8
- 2) Gustafsson, P.J. and Hillerborg, A. : Sensitivity in Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Beams to Fracture Energy of Concrete, *ACI Structural Journal*, Vol.85, Issue 3, pp.286-294, 1988
- 3) 三谷昂大ほか：収縮による普通強度 RC はりのせん断強度低下とその評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.2, pp.721-726, 2011
- 4) 笹田航平ほか：寸法および鉄筋比の異なる膨張RCはりのせん断強度評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, No.2, pp.445-450, 2014
- 5) 河金甲・佐藤良一：高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度に及ぼす収縮の影響評価，土木学会論文集 E, Vol.65, No.2, pp.178-197, 2009