

# 立体トラスモデルを基にした RC 円柱のせん断耐力の比較

新日本技研 (株) 設計部 ○小菅 匠, 大淵 智弘, 五井 寛治

## 1. はじめに

これまで、橋梁の柱および杭には円形断面のRC部材が多用されてきた。RC部材のせん断破壊は、腹部に斜めひびわれが生じ、変形性能に乏しい極めて脆性的な破壊形態を呈する。今後、RC円柱部材の補強も多くなる背景の中、設計レベルにおいてせん断耐力を的確かつ合理的に算出することは重要である。

コンクリート構造物のせん断耐力の算定にはトラスモデルが広く採用されている。Eurocode 2では一般コンクリート構造物の長方形断面を対象としたせん断耐力の算定手法として、トラスモデルの圧縮斜材の角度を45°にした標準的方法と角度を変化させる方法がまとめられている。また、ドイツのDIN 1045-1では、圧縮斜材の傾斜角を考慮した長方形断面に対する設計手法が示されている。しかし、いずれの基準も円形断面については取り扱っておらず、DINでは解説(NABau)において長方形断面へ置換する方法が記されている。一方、道路橋示方書<sup>1)</sup>は、Eurocode 2の標準的方法と類似の方法をとっており、せん断耐力を円形断面の面積と等価な正方形断面に置き換えたトラス理論に従って計算することとしている。これらの基準は、いずれも平面トラスモデルを基本とした設計手法である。

Mark, P.ら<sup>2) 3)</sup>は、平面モデルを用いて算出したせん断耐力が過大に評価されることを、立体トラスモデルの耐荷メカニズムを用いて検証している。

本文では、せん断耐力の設計手法の比較と手法の違いが耐力に及ぼす影響を検討した結果を報告する。

## 2. 断面置換方法

円形断面を長方形断面に置換するには、高さと同幅を決定する必要があるが、それにはいろいろな方法がとられている。ここで比較の対象とした表-1に示す設計手法の具体的な断面置換方法を表-2に示す。

設計手法①は、断面の1/4の鉄筋を引張鉄筋とし、設計手法②と③は引張領域にある全ての鉄筋を引張鉄筋として取り扱っている。

## 3. せん断耐力算定法

### (1) 設計手法①による方法

せん断抵抗機構は図-1(a)に示す簡易な平面トラスモデルとしている。せん断耐力 $V_{Rd,sy}$ は、コンクリート負担分 $V_{Rd,ct}$ とスターラップの負担するせん断力 $V_{wd}$ を加算して求められる。 $V_{wd}$ は、圧縮斜材の傾斜角を $\theta=45^\circ$ と仮定したトラス理論に基づいており、軸力は簡略化のため影響を無視している。

### (2) 設計手法②による方法

せん断抵抗機構、せん断耐力 $V_{Rd,sy}$ の算出、圧縮斜材の傾斜角の取り扱いは設計手法①と同様である。軸力は $V_{Rd,ct}$ に $0.15\sigma_{cp}$ として加算される。

$$V_{Rd,ct} = [\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp}] b_w d$$

$$V_{Rd,sy} = V_{Rd,ct} + \frac{A_{sw}}{S_w} f_{yd} z$$

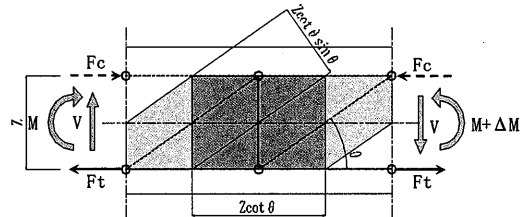
$$V_{Rd,max} = v f_{cd} b_w z / 2$$

表-1 設計手法

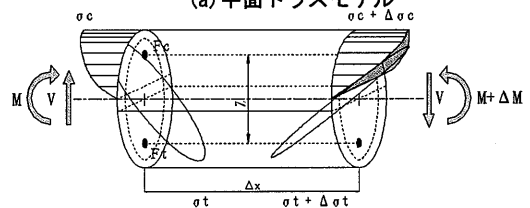
	内 容
設計手法①	道路橋示方書による方法
設計手法②	Eurocode 2による方法
設計手法③	断面置換方法はDIN 1045-1の解説に示される方法を採用
設計手法④	Mark, P.らによる方法

表-2 断面置換方法

設計手法	設計手法①	設計手法②	設計手法③
断面形状	等面積の正方形断面	長方形断面	長方形断面
有効高 $d$	置き換えた正方形断面の圧縮縁から引張鉄筋の重心位置までの距離	円形断面の圧縮縁から引張合力位置までの距離	円形断面の圧縮縁から引張合力位置までの距離
幅 $b_w$	正方形断面の一边長	圧縮または引張合力の作用位置での幅の小さい方を幅とする	ひびわれ摩擦による負担分算出時 $0.9D$ $D$ :直径 圧縮斜材の負担分算出時 $\alpha_s D$
内的な偶力アーム長 $z$	$d/1.15$ $d$ :有効高	$0.9d$ $d$ :有効高	合力間の距離



(a) 平面トラスモデル



(b) 立体トラスモデル

図-1 トラスモデル

(3) 設計手法③による方法

Mark, P.らは文献2)において、2方向からせん断力が作用する桁のせん断設計のために、立体トラスモデルを開発し、長方形から多角形へ、さらに文献3)で円形断面に発展させて、以下の耐荷メカニズムを考えている[図-1(b)参照]。

- a) DIN 1045-1によるせん断耐力の算定式を基本としており、 $V_{Rd,sy}$ には圧縮斜材の傾き $\cot\theta$ を算出することでひびわれ摩擦によるせん断力成分 $V_{cr}$ と軸力による影響が考慮される。
- b) 円形断面は、長方形に比して外形だけでなく、その特有な配筋においても区別される。
- c) この影響は、有効係数 $\alpha_k$ として次式より計算される。ここで、 $k_0$ および $k_c$ は、それぞれ図心から中立軸および圧縮合力の作用位置までの距離を円形断面の半径で無次元化した値である。

$$\alpha_k = \frac{\pi/4 + (\pi/2)k_0k_c - (1/2 + k_0k_c)\sin^{-1}k_0 + 1/4\sin(2\sin^{-1}k_0) - (k_0 + k_c)\cos(\sin^{-1}k_0)}{(1 - k_c)[1 - k_0 - k_c(1 - k_0)/2]}$$

この $\alpha_k$ は、円形断面のスターラップには長方形断面よりも約35%大きい応力が付加的に作用し、耐力が72~78%に減少することを示している。図-2に示すように $0.715 \leq \alpha_k \leq \pi/4$ の領域で変動するものだが、実用的な一定値としては $\alpha_k=0.72$ が提唱されている。

$$V_{Rd,cf} = 0.14\kappa(100\rho_l f_{ck})^{1/3} Dz - \lambda N_{Ed}, \quad V_{Rd,Sy} = \alpha_k \frac{A_{sw}}{S_w} f_{yd} z \cot\theta$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_k Dz \alpha_c f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

4. せん断耐力の比較

各設計法によるせん断耐力を比較するために、直径2.5m、高さ5.0mの円柱をモデルとして算出した結果を表-3に示す。表-3は、軸方向鉄筋をD51-48本、スターラップをD22@150で配置した断面の終局曲げモーメント時の状態を示している。設計法の比較のため、材料強度および安全率は設計手法①に合せている。

設計手法②と③では内的な偶力アーム長 $z$ と $\alpha_k$ により設計手法③が35%程度安全側となっている。また、設計手法③は①と比較しても23%程度安全側となっている。

5. おわりに

円柱のせん断耐力算定式は、国内外で異なった方法が提案されている。RC円柱の耐力を検討する機会が増えていくことが予想される今、これらの差異を十分に踏まえ、照査方法を確立することが重要と考え、その設計手法を整理した。

道路橋示方書により算出されるせん断耐力は、立体トラスモデルによる結果よりかなり大きく、過大に評価していることが伺える。従って、曲げ破壊型と評価されているものの中には立体トラスモデルでは、せん断破壊型になっている可能性が考えられる。

6. 参考文献

(1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 コンクリート橋編，耐震設計編，2002.3.  
 (2) Mark, P. : Stahlbetonträger mit zweiachsiger Querkraftbeanspruchung, Beton- und Stahlbetonbau(2004), H.9  
 (3) Bender, M., Mark, P. : Querkraftbemessung bei Kreisquerschnitten, Beton- und Stahlbetonbau(2006), H.2/5

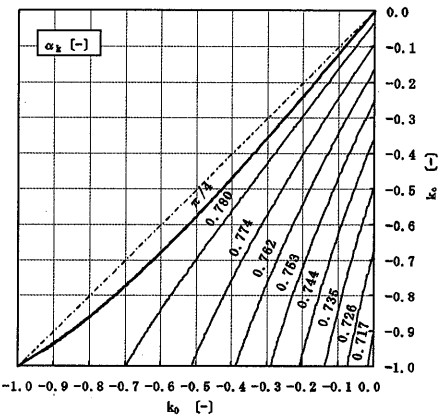


図-2  $\alpha_k$  関数

表-3 せん断耐力算定結果

		設計手法①	設計手法②	設計手法③
作用力		$M_u=35500kN \cdot m$ $N=6100kN$ $S=5000kN$		
断面寸法	$D$ m	2.500	2.500	2.500
	$d$ m	2.097	1.789	1.789
	$b_w$ m	2.216	1.690	2.250
	$z$ m	1.823	1.610	1.460
有効係数	$\alpha_k$	—	—	0.720
圧縮斜材の傾き	$\cot\theta$	1.000	1.000	2.222
	$\theta$ deg	45	45	24
圧縮斜材の耐力	$V_{Rd,max}$ kN	14870	16098	15048
引張斜材の耐力	$V_{Rd,sy}$ kN	5402	6341	4159
断面形状				