両端固定支持条件下における RC 棒部材のせん断耐力に及ぼす軸方向圧縮力の効果の検証

（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　○松下　将士，中田　裕喜，渡辺　健，田所　敏弥

１．はじめに

土木学会コンクリート標準示方書（以下，示方書）等[1)]で示されるせん断耐力算定式は，単純支持条件下での実験結果に基づいたものである．一方，ラーメン高架橋の梁や柱のような両端固定支持 RC 部材は，単純支持 RC 部材とせん断耐荷機構やせん断耐力が異なり，また両端固定支持 RC はりのせん断耐力算定式が提示されている[2)]．本研究では，軸方向圧縮力を受け，両端の固定度が同一である RC 部材，すなわち逆対称曲げモーメントを受ける RC 柱を対象にした算定法の検証を行うことを目的とした．

２．せん断耐力に及ぼす軸方向圧縮力の効果の検証

(1)　検証に用いた実験結果について

検証にあたり，1989～2014 年において報告された両端固定支持 RC 柱の実験，および筆者らが実施した実験結果 6 体[3), 4)]を検討に含めた．供試体数は 149 体で，全て逆対称曲げモーメントを受ける RC 柱（一部については軸方向圧縮力無し）である．なお，いずれもせん断破壊したと報告された供試体であり，a/d≦2.0 に限定した．

表－1 に，軸力比（$=\sigma'_d/f'_c$）および $p_w \cdot f_{wy}/f'_c$ に関する実験諸元の分布および各諸元の範囲を示す．現行の鉄道標準に基づく標準的な鉄道 RC ラーメン高架橋柱では，一般に σ'_d/f'_c は 0～0.2，$p_w \cdot f_{wy}/f'_c$ は 0.1 程度であるが，収集した実験の諸元はそれよりも大きい供試体が多いといった特徴を有している．

(2)　従来の算定法による精度の検証

図－1 に，p_w と V_{uexp}/V_{dd} の関係を示す．V_{dd} は設計せん断圧縮破壊耐力であり，示方書の標準 3 編（解 2.4.1）を参考に，軸方向圧縮力の効果を β_n により考慮している．V_{uexp} は実験で得られたせん断力の最大値である．

a/d および p_w が小さいほど V_{uexp}/V_{dd}<1.0 となる傾向にある．これは，V_{dd} は a/d が小さくなるほど a/d に対する効果が顕著であること，p_w が大きい領域では p_w による効果が小さいことに起因する．すなわち，単純支持下の実験結果から導出された V_{dd} では，両端固定支持 RC 柱の実験結果を評価できないと考えられる．

(3)　M_0 法（β_n）による軸方向圧縮力の効果の検証

式(1)に，逆対称曲げモーメントを受ける RC はりに対するせん断耐力算定式 V'_y[2)]を示す．

$$V'_y = V'_c + V'_s \qquad 1 \leqq a/d \leqq 2.0 \qquad (1a)$$

$$V'_c = \{-0.75+4.0/(a/d)\} \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot f_{vc} \cdot b_w \cdot d \qquad (1b)$$

$$V'_s = p_w \cdot f_{wy} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot\theta \qquad (1c)$$

$$\cot\theta = \{0.44 \times (a/d) - 0.35 p_w + 0.58\} \qquad (1d)$$

ただし，$\cot\theta$>1となる場合は 1 とする．

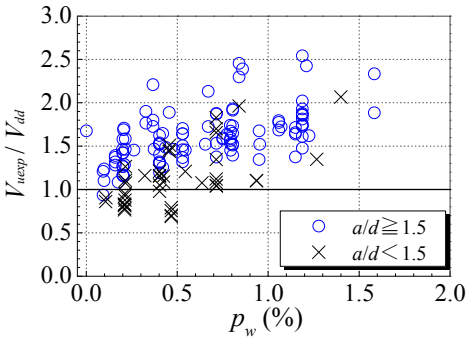
式(1)の特徴は，逆対称曲げを受ける RC はりの実験結果から導出した V'_c における a/d の項と，V'_s に圧縮ストラットの角度 θ を考慮している点である．**図－2** に，σ'_d/f_c と V_{uexp}/V'_y（式(1)）の関係を示す．なお，V'_y の算出にあたり，f_{wy}≦25 f'_c[1)]を考慮している．また，両端固定支持 RC 部材の側方鉄筋によるせん断耐

表－1　供試体諸元の分布

検証範囲　a/d : 1.11~1.99, f'_c : 19~122 (N/mm^2), p_v : 0.49~1.47 (%), p_w : 0~1.58 (%), f_{wy} : 289~1773 (N/mm^2) d : 235~450 (mm)，軸力比 σ'_d/f'_c : 0.00~0.60

n=144		σ'_d/f'_c		
		0 ~ 0.2	0.2 ~ 0.5	0.5~
$p_w \cdot f_{wy}/f'_c$	0 ~ 0.1	26	57	2
	0.1 ~ 0.2	10	31	3
	0.2 ~	8	6	0

f'_c : コンクリート圧縮強度，p_v : 引張鉄筋比，p_w : せん断補強鉄筋比，f_{wy} : せん断補強鉄筋の降伏強度，d : 有効高さ，σ'_d : 作用軸応力



図－1　V_{dd}（部材係数考慮）による精度の検証

キーワード：せん断耐力，両端固定支持，軸方向圧縮力，M_0 法，せん断スパン比
連絡先　　：〒185-8540　国分寺市光町 2-8-38　（公財）鉄道総合技術研究所　TEL 042-573-7281

力への効果は必ずしも明確ではないことから[3]，ここでは考慮しないこととした．また，示方書を参考に $p_w \cdot f_{wy} / f'_c$=0.1 の上限の考慮の有無で分けて示した．図より，$p_w \cdot f_{wy} / f'_c$=0.1 の上限を考慮しない場合，$p_w \cdot f_{wy} / f'_c$ の大きさにより傾向が異なる．また，$p_w \cdot f_{wy} / f'_c$>0.1 の供試体は軸方向圧縮力の効果を考慮していないにもかかわらず，多くが V_{uexp}/V'_y<1.0 となった．一方，$p_w \cdot f_{wy} / f'_c$>0.1 の場合には，$p_w \cdot f_{wy} / f'_c$ = 0.1 の上限を考慮した場合，V'_y の過大評価が制御されていることが確認できる．

文献 3)では，式(1)に β_n を導入し，軸方向圧縮力の効果の考慮を試みている．本検討においても，β_n を用いて軸方向圧縮力の効果を考慮することした．**図－3** に，σ'_d/f'_c と V_{uexp}/V'_y（β_n 考慮）の関係を示す．軸方向圧縮力の効果を β_n で考慮することで，V_{uexp}/V'_y の平均値は 1 に近くなり，軸方向圧縮力の効果を合理的に考慮できると考えられる．

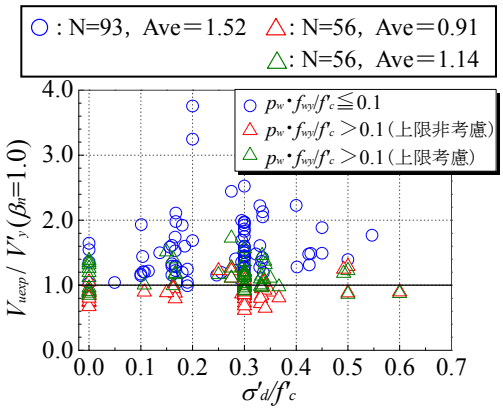
図－4 に，V_{uexp}/V'_{yd} の比較を示す．V'_{yd} は V'_y（β_n 考慮）に部材係数 γ_b を考慮したもので，V'_c に対し 1.3，V'_s に対し 1.1 とした．V_{uexp}/V'_{yd}<1.0 の供試体について，β_n<2.0 では 112 体のうち 12 体，β_n=2.0 では 37 体のうち 7 体であった．なお，V_{uexp}/V'_{yd}<1.0 となる供試体のうち，f_{wy} >400N/mm^2 となるものについて，β_n<2.0 の供試体では 7 体，β_n=2.0 の供試体では 7 体すべてであった．両端固定支持 RC 柱に対する f_{wy} や $p_w \cdot f_{wy} / f'_c$ の上限，軸方向圧縮力や側方鉄筋の効果など，それぞれ慎重に取り扱う必要があるが，本検討の方法による場合では，例えば f_{wy} <400N/mm^2 とすれば一定の安全度を確保した上で軸方向圧縮力の効果を考慮できると考えられる．

(4) せん断スパン比に対する 2 つの算定式の連続性の検証

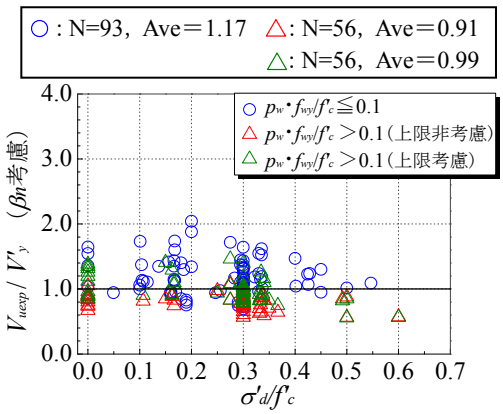
示方書の考え方を踏襲すれば，実験結果により検証できた 1.0<a/d<2.0 では V'_{yd} により，a/d≧2.0 では示方書の標準 3 編（解 2.4.1）の V_{yd} によりせん断耐力を算定できる．**図－5** に，a/d に対する連続性の検証結果の例を示す．鉄道ラーメン高架柱で想定される諸元の範囲で検証した結果，a/d=2.0 における V_{yd} に対する算定値の差異は，従来法（V_{dd}）と比較して，V'_{yd} を用いることで小さくなり，a/d に対する連続性を確保できていることがわかる．

3．おわりに

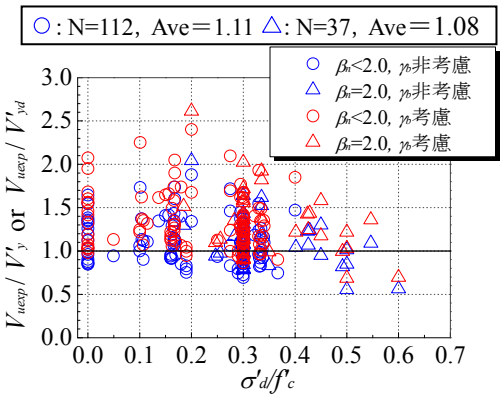
せん断補強鉄筋比の上限および降伏強度を考慮した上で，M_0 法（β_n）を適用した式(1)を用いても，軸方向圧縮力により増加する RC 棒部材のせん断耐力の平均値を概ね評価できた．そして，従来と同等の安全係数を用いることで，実験値を包含できることを確認した．また，提示した算定式におけるせん断スパン比 a/d に対する連続性についても検証した．



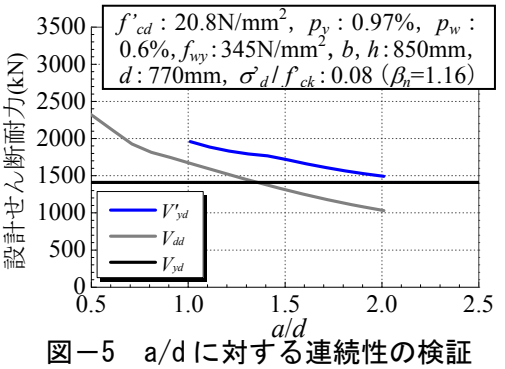
図－2 V_y'（β_n=1.0）との比較



図－3 V_y'（β_n考慮）の精度の検証



図－4 V_{yd}'（β_n考慮）との比較



図－5 a/d に対する連続性の検証

参考文献
1)土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書（設計編），2013.3.，2)前田ら：せん断スパン比の小さい鉄筋コンクリート梁のせん断耐力に関する支持条件の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.3, pp.799-804, 2008, 3)松本ら：逆対称曲げを受けるせん断スパン比が小さい RC 柱のせん断耐力に及ぼす鉄筋配置の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.2, pp.733-738, 2011.，4)谷村ら：せん断スパン比の小さい RC 部材の変形性能評価，鉄道総研報告，Vol.18, No.4, pp.5-10, 2004.