

両端固定支持された RC はりのせん断耐力算定式の提案

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○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(設計編)に示される設計せん断耐力算定式 V_{yd} , V_{wcd} , V_{dd} は, 単純支持された RC はりの実験結果に基づいている. 一方, RC ラーメン高架橋を構成する部材はその両端が固定されており, せん断スパン比 a/d が小さくなることも少なくない. この場合, 同一の断面の諸元であっても, 単純支持はりと破壊性状や耐荷機構が異なる. 本稿では, 両端固定支持された RC はりのせん断耐力算定式を提案する.

2. 両端固定支持された RC はりの破壊性状と耐荷機構

図-1 に, 既往の両端固定支持された RC はりの実験結果 V_{uexp} (例えば¹⁾) と, V_{dd} および V_{yd} による算定値の比較を示す. 材料試験結果を用い, V_{dd} は部材係数 γ_b を 1.0 とし, V_{yd} は示方書に従って γ_b を考慮している. なお, V_{yd} には, $p_w \cdot f_{wyd}/f'_{cd} = 0.1$ の上限を考慮している. V_{dd} は, $p_w \cdot f_{wyd}$ および a/d が大きくなるほど, V_{uexp} を過少に算定した. V_{yd} は, 全ての実験結果を包含するとともに, a/d が大きくなると V_{uexp}/V_{yd} は 1.0 に漸近する傾向にあった. これは, a/d が大きくなるほど支持条件の影響が小さくなることを意味している.

図-2~4 に, 両端固定支持 RC はりの実験結果¹⁾ および解析結果を示す. 解析は, 既往の検討²⁾ を参考に実施したものである. 実験結果において, a/d が小さくなると両端の圧縮縁を結ぶ斜めひび割れが発生するとともに, a/d が小さい場合においてもせん断補強鉄筋は降伏し, 補強効果が確認できる. また, 解析から得られた最小主応力分布から, a/d が小さいほど両端の圧縮縁を結ぶ圧縮ストラットが明確に形成されている.

3. 両端固定支持された RC はりのせん断耐力算定式

$a/d=1.0$ でもせん断補強鉄筋が降伏し, せん断補強鉄筋による効果を確認できたことから, 両端固定支持 RC はりの設計せん断耐力 V_{asud} は式(1)のとおり, 修正トラス理論を踏襲した. 修正トラス理論の補正項である V_{od} はせん断補強鋼材以外が受け持つ棒部材の設計せん断耐力とし, 図-5 に示すとおり, 両端を結ぶ圧縮ストラットの断面方向の幅 h_c や角度 θ_c をモデル化したものである. さらに, せん断力の最大値を表現するために, V_{od} に β_w を導入した. これは, $p_w > 0.15\%$ の実験結果から, また $p_w \cdot f_{wyd}/f'_{cd} = 0.1$ のときに $\beta_w = 1.0$ となるように定式化したものである.

$$V_{asud} = V_{sd} + V_{od} \quad (1)$$

ただし, $p_w \cdot f_{wyd}/f'_{cd} \leq 0.1$ とするのがよい

V_{sd} : せん断補強鋼材により受け持たれる棒部材の設計せん断耐力

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s\} z / \gamma_b \quad (2)$$

ここに, A_w : 区間 s_s におけるせん断補強鉄筋の総断面積, f_{wyd} : せん断補強鉄筋の設計引張降伏強度で $25f'_{cd}(\text{N/mm}^2)$ と $800(\text{N/mm}^2)$ のいずれか小さい値を上限とする, α_s : せん断補強鉄筋が部材軸となす角度, s_s : せん断補強鉄筋の配置間隔, z : 圧縮応力の合力位置から引張鋼材の図心までの距離で一般に $d/1.15$ とする, γ_b : 部材係数で一般に 1.1 とする.

V_{od} : せん断補強鋼材以外が受け持つ棒部材の設計せん断耐力(N)

$$V_{od} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_w \cdot f_{ocd} \cdot b_w \cdot h_c \cdot \tan \theta_c / \gamma_b \quad (3)$$

$$f_{ocd} = 17.4 f_{vcd}, \quad f_{vcd} = 0.2 \sqrt[3]{f'_{cd}} \leq 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}, \quad \beta_d = \sqrt[3]{1000 / d} \leq 1.5, \quad \beta_p = \sqrt[3]{100 p_c} \leq 1.5$$

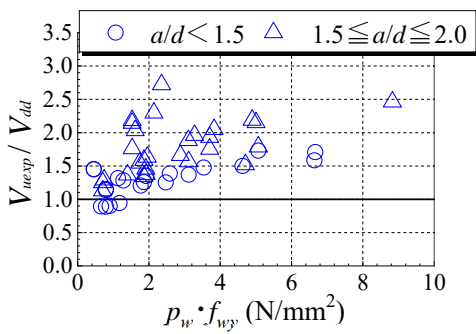
$$\beta_w = -30(p_w \cdot f_{wyd}/f'_{cd})^2 + 1.3 \quad \text{ただし, } \beta_w < 1.0 \text{ となる場合は } 1.0 \text{ とする.}$$

$$\tan \theta_c = h_c / L \quad \text{ただし, } L/h < 1.5 \text{ となる場合は } L = 1.5h \text{ とする.}$$

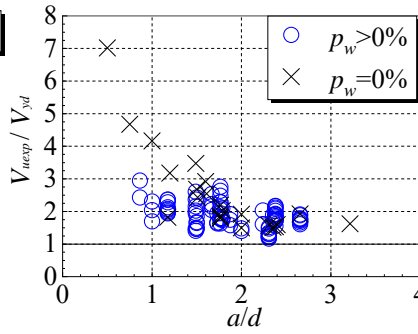
ここに, b_w : 腹部の幅(mm), h_c : 圧縮ストラットの断面方向の幅で $0.5h$ とする, f_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2), d : 有効高さ(mm), p_c : せん断引張鋼材比 ($p_c = A_s / (b_w \cdot d)$), A_s : 引張側鋼材の断面積(mm^2), h : 断面高さ

キーワード せん断耐力, 両端固定支持, 算定式, 圧縮ストラット, 修正トラス理論

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



(a) V_{dd} との比較



(b) V_{yd} との比較

図-1 両端固定支持 RC はりの実験結果 V_{uexp} との比較

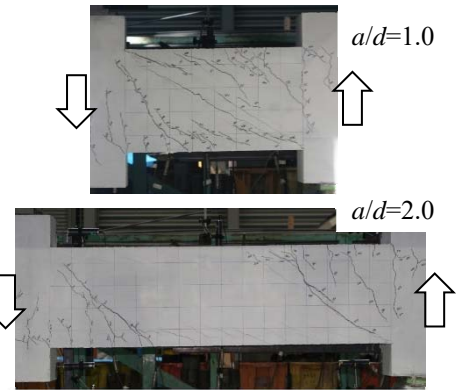
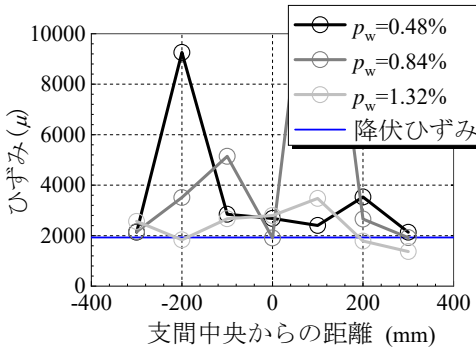
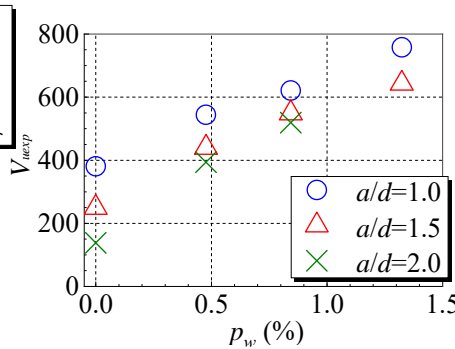


図-2 損傷性状 (V_{uexp})¹⁾



(a) せん断補強鉄筋ひずみ (V_{uexp})



(b) p_w と V_{uexp} の関係

図-3 両端固定支持 RC はりの実験結果¹⁾

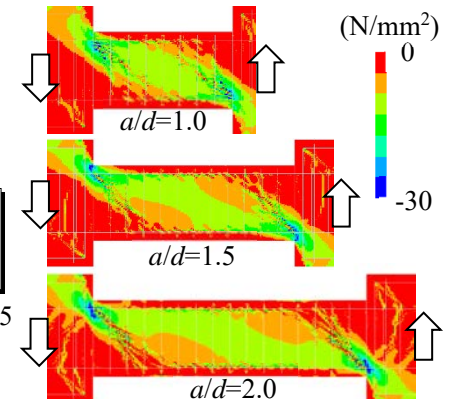


図-4 最小主応力分布 ($p_w=0.48\%$)

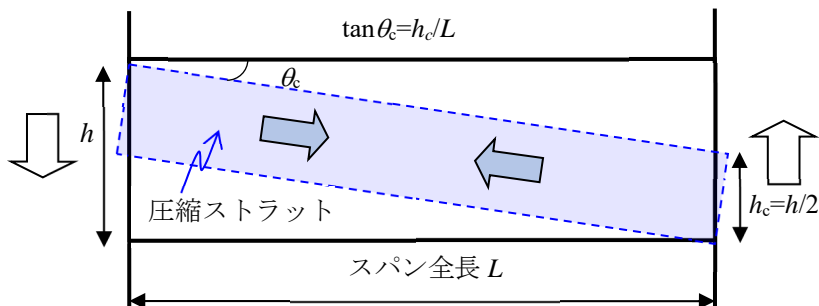


図-5 圧縮ストラット (V_{od}) のモデル化

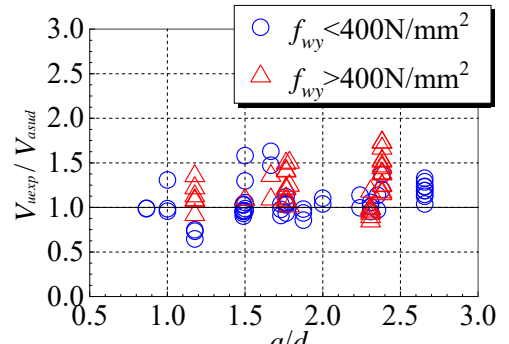


図-6 提案式 V_{asud} の精度

(mm), L : 部材長さ(mm), p_w : せん断補強鉄筋比 ($p_w = A_w / (b_w \cdot s_s)$), γ_b : 部材係数で一般に 1.3 とする。

図-6 に, V_{asud} と V_{uexp} の比較を示す。 V_{asud} は, V_{dd} と比較して精度よく算定できることがわかる。 矩形中実断面であり, p_w は 0.15% 以上, 曲げモーメント分布が概ね逆対称であること等が前提となる。

なお, V_{yd} は全ての実験結果を包含し, V_{asud} は両端を結ぶ圧縮ストラットの影響が大きくなる a/d の小さい領域で精度よく算定可能である。 また, 各算定式と対応する限界状態は, a/d の大きい領域ではトラス機構におけるせん断補強鉄筋の降伏 (V_{yd}) または圧縮斜材の破壊 (V_{wcd}) であり, a/d が小さくなると両端を結ぶ圧縮ストラットが卓越し, 限界状態は圧縮ストラットの破壊 (V_{asud}) になると考えると, 設計せん断耐力は V_{asud} と V_{yd} (V_{wcd}) で算定される値の大きいほうとすればよいと考えられる。

4. おわりに

両端固定支持 RC はりで形成される圧縮ストラットをモデル化したせん断耐力算定式を提案した。

参考文献

- 1) 渡辺健, 田所敏弥, 谷村幸裕, 黒川浩嗣: 逆対称曲げが作用したディープビームの破壊性状に関するせん断スパン比の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.691-696, 2007.
- 2) 米花萌, 渡辺健, 二羽淳一郎: 逆対称曲げ RC ディープビームの破壊性状に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 2, pp. 661-666, 2010.