

上側のかぶりが断面高さの小さい RC はりのせん断耐力に及ぼす影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○中田 裕喜, 渡辺 健, 大野 又稔
(株) ジェイアール総研情報システム 大木 裕久

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 RC スレンダービームのせん断耐力算定式 V_y は修正トラス理論に基づいているが、その適用にあたって、示方書に明確には規定されていない項目が前提となっている場合がある。例えば、かぶりが大きい場合には圧縮鉄筋（上側鉄筋）は通常よりも引張側に位置し、従来圧縮弦材として想定した位置と異なり、せん断耐力が低下する可能性がある。本研究では断面高さが小さい RC はりを対象に、有限要素解析により上側のかぶりがせん断耐力に及ぼす影響について検討した。

2. 解析概要

汎用有限要素解析コード DIANA（Ver.9.6）を用いて、二次元非線形解析を実施した。図-1 に、解析に用いたモデル形状図の例を示す。解析対象は、単純支持条件下の RC はりとした。コンクリートおよび載荷・支承板は平面応力要素、鉄筋は埋込み鉄筋要素を用いてモデル化した。なお、鉄筋とコンクリートは剛結とし、ここでは鉄筋とコンクリートのすべりは再現していない。また、載荷・支承板は十分剛な弾性要素とし、載荷・支承板とコンクリートの境界には、鉛直方向のみの応力を伝達するように、インターフェイス要素を配置した。ひび割れモデルおよび構成則は表-1 に、材料諸元は表-2 に示す通りである。なお、コンクリートの圧縮・引張ともに破壊エネルギーを考慮し、圧縮側 G_{Fc} は中村のモデル、引張側 G_{Ft} は示方書に従い算出している。

解析パラメータは、断面高さ $h=200, 300, 400\text{mm}$ 、せん断補強鉄筋比 $p_w=0.15, 0.30, 0.60\%$ 、上側の芯かぶり $c'_u=30, 70\text{mm}$ とし、これらの組み合わせ全てに対して実施した。なお、いずれの解析ケースも、せん断スパン比 $a/d=3.0$ 、せん断補強鉄筋の間隔 $s=150\text{mm}$ 、下側の芯かぶり $c'_f=70\text{mm}$ 、で共通である。また、上側・下側鉄筋比 $p_t (=A_s/(b_w \cdot d), A_s: \text{上側または下側鉄筋の総断面積}, b_w: \text{断面幅}, d: \text{有効高さ})$ については、 $h=200\text{mm}$ のシリーズでは $p_t=2.49\%$ 、その他のシリーズでは $p_t=1.66\%$ とした。

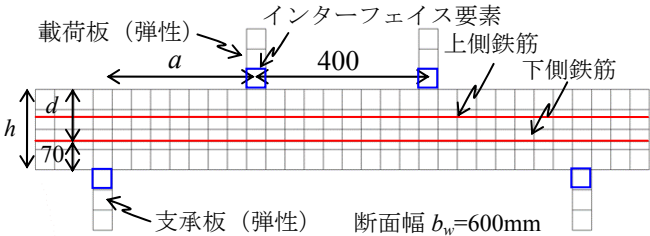


図-1 解析モデルの例 ($h=200\text{mm}$, $c'_u=70\text{mm}$)

表-1 ひび割れモデルおよび構成則

コンクリート	ひび割れモデル	固定ひび割れモデル
	圧縮側モデル	放物線モデル
	引張側モデル	Hordijk のモデル
	せん断伝達モデル	Al-mahaidi のモデル
鉄筋	バイリニアモデル (二次勾配は $1/100E_y$)	

表-2 材料諸元

コンクリート	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	27
	引張強度 f_t (N/mm ²)	2.07
	ヤング係数 E_c (kN/mm ²)	29.3
せん断補強鉄筋	降伏強度 f_{wy} (N/mm ²)	345
	ヤング係数 E_y (kN/mm ²)	210
軸方向鉄筋	降伏強度 f_{wy} (N/mm ²)	900
	ヤング係数 E_y (kN/mm ²)	210

図-2 に、 h と、 $c'_u=70\text{mm}$ と $c'_u=30\text{mm}$ の解析で得られたせん断力の最大値 V_{uana} の比 $V_{uana}(c'_u=70)/V_{uana}(c'_u=30)$ を示す。 p_w の違いによる影響はみられないものの、 h が小さくなるにつれて $V_{uana}(c'_u=70)/V_{uana}(c'_u=30)$ は小さくなり、 c'_u がせん断耐力に及ぼす影響が大きくなる結果となった。

図-3 に、曲げ耐力 $M_u^{(1)}$ 時の中立軸 x （圧縮縁からの距離）と c'_u の比 x/c'_u 、または有効高さ d と c'_u の比 d/c'_u に対する V_{uana}/V_y の比較を示す。 V_{uana} は解析で得られたせん断力の最大値である。図より、 x/c'_u または d/c'_u が小さくなる、すなわち c'_u が大きくなると V_{uana}/V_y は減少する傾向にあることを確認できる。な

キーワード：過大かぶり、上側かぶり、せん断耐力、小断面、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

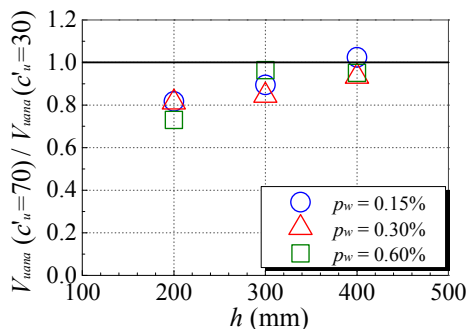
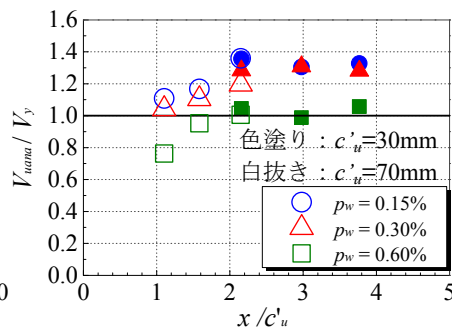
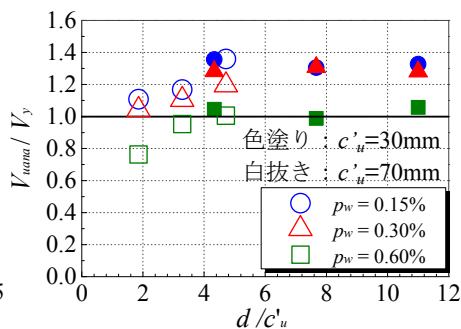


図-2 上側かぶりの違いによる
 V_{uana} への影響



(a) x/c'_u との関係



(b) d/c'_u との関係

図-3 上側かぶりとせん断耐力の関係

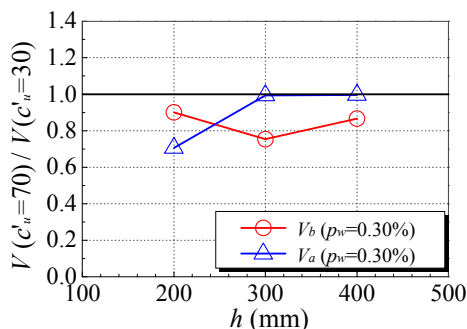


図-4 上側かぶりの違いによる
 V_b および V_a への影響 ($p_w=0.30\%$)

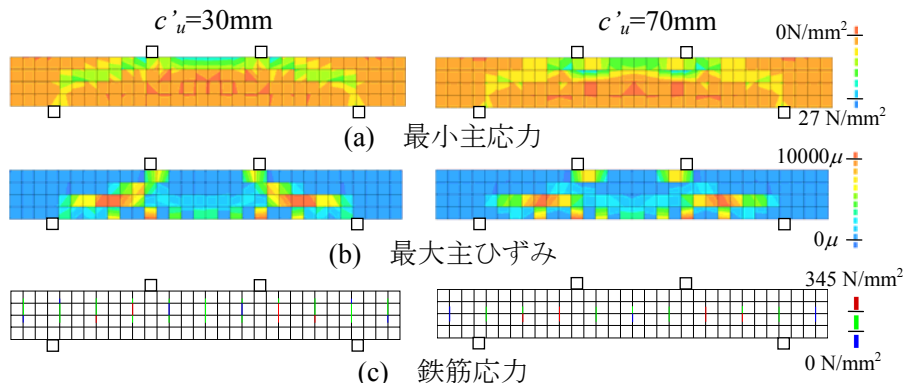


図-5 コンター図の例 ($h=200\text{mm}$, $p_w=0.30\%$, V_{uana} 時)

お、今回の解析では、 V_{uana}/V_y の減少の閾値は、 x/c'_u では 2 程度、 d/c'_u では 5 程度であったが、 f_c や p_b , s , f_{wy} など、その他の諸元により変化すると思われる。

次に、 V_{uana} をビーム機構とアーチ機構に分離した。分離方法については、文献 2) を参考としたが、コンクリートの引張力による貢献は小さいと判断し、ここでは考慮しないこととした。図-4 に、 $c'_u=70\text{mm}$ と $c'_u=30\text{mm}$ の解析結果における、ビーム機構によるせん断力 V_b の比と、アーチ機構によるせん断力 V_a の比の例をそれぞれ示す。 $V_b(c'_u=70)/V_b(c'_u=30)$ について、1.0 以下となったものの、 h による顕著な違いは認められなかった。一方、 $V_a(c'_u=70)/V_a(c'_u=30)$ については、 $h=200\text{mm}$ の場合に小さくなる結果となった。したがって、今回の解析では、かぶりが大きくなると V_a の低下によりせん断耐力が低下するものと考えられる。

図-5 に、 $h=200\text{mm}$, $p_w=0.30\%$ に対する V_{uana} 時におけるせん断補強鉄筋応力、コンクリートの最小主応力および最大主ひずみのコンターの例を示す。最小主応力は載荷板周辺で、かつ上側鉄筋位置で卓越していることが確認できる。したがって、 $c'_u=70\text{mm}$ のケースは、 30mm のケースと比較して圧縮合力位置が下がり、長手方向における圧縮合力位置と下側鉄筋の距離の変化の程度が減少したために V_a が低下したものと考えられる。また、鉄筋応力の降伏位置は最大主ひずみ分布に対応しており、せん断補強鉄筋間で最大主ひずみが大きくなった。今回の解析では $s=150(\text{mm})$ と大きい設定としたが、 $c'_u=30\text{mm}$ と 70mm のケースで斜めひび割れと交差するせん断補強鉄筋が限定的であり、またいずれのケースもそのせん断補強鉄筋が降伏したため、 V_b に顕著な違いがみられなかったと考えられる。

4. おわりに

今回の解析では、上側かぶりが大きくなるとアーチ機構によるせん断力の低下に起因してせん断耐力が減少することを確認した。なお、本研究の一部は、JSPS 科研費 (26289142) の助成を受けたものである。

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) 岩本ら：ビーム・アーチ機構に基づく RC はりのせん断抵抗メカニズムに関する一考察，土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)，Vol.73, No.1, pp.70-81, 2017.