

RC はりのせん断耐荷機構におけるビーム機構の耐力予測式構築に関する試案

日本大学 正会員 ○山田 雄太

1. はじめに

国内外の設計指針における鉄筋コンクリート(RC)はり部材のせん断耐力予測式は、統計的回帰やマクロモデルを仮定することにより構築されており、実用上の予測精度は確保されているものの、統一的かつ合理的なせん断耐力予測式の構築には至っていない。一方で、Park らにより提唱されたせん断耐荷機構がアーチ機構およびビーム機構の和で与えられるとする考え方は数学的、力学的に合理的であるものの、各耐荷機構における耐力を予測する手法は確立されていない。

本研究では、せん断耐荷機構がアーチ機構およびビーム機構に分解可能(図-1)であることを公理とし、ひび割れ経路に着目した力学モデルを考慮することで、斜めひび割れ発生荷重と密接に関連するビーム機構におけるせん断耐力予測式の構築を試みた。

2. 静的載荷実験における各耐荷機構寄与分の導出

RC はりのせん断耐力はひび割れ経路に大きく依存すると考えられる。ひび割れ経路を制御するために、穿孔を有するはり試験体を作成し、静的載荷実験を行った。図-2 に試験体寸法の一例を示す。せん断スパン比は 3.0 であり、はり軸直角方向に有効高さの 1/10-1/5 程度の直径を有する穿孔を設けた。表-1 に実験ケースを示す。穿孔位置は、D 領域(鉛直応力卓越領域)および B 領域(鉛直応力非卓越領域)を基準に定めた。せん断補強筋を有するケースでは、せん断補強筋比を 0.47%とした。

実験結果から得られた鉄筋ひずみを用いて、耐荷機構を分解するために、図-3 に示す理論的手法を考案した。耐荷機構の寄与率を定義することで得られる常微分方程式を軸方向合力について解き、寄与率について整理することで以下の式を得た。

$$V_a = V \log \left(\frac{\xi_i \varepsilon(\xi_i)}{\xi_j \varepsilon(\xi_j)} \right) \tag{1}$$

$$V_b = V \log \left(\frac{\varepsilon(\xi_i)}{\varepsilon(\xi_j)} \right) \tag{2}$$

ここに、V：作用荷重、 V_a ：アーチ機構の荷重寄与分、 V_b ：ビーム機構の荷重寄与分、 ε ：引張主鉄筋のひずみ、

ξ_i, ξ_j ：鉄筋軸方向座標($i \neq j$)である。

図-4 に式(1)、式(2)により得られた荷重変位関係における

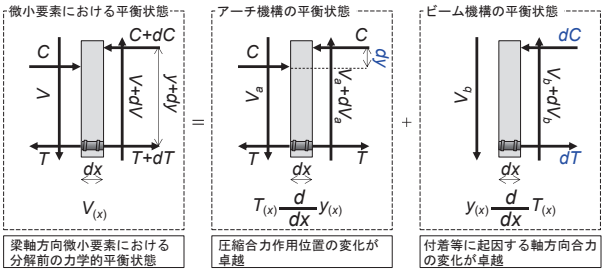


図-1 微小要素における各耐荷機構機構の平衡状態

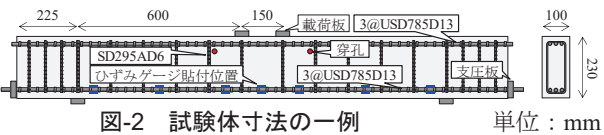


図-2 試験体寸法の一例

単位：mm

表-1 実験ケース

試験体名	せん断補強筋比(%)	穿孔径(mm)	穿孔位置
N	-	-	-
DL-L	0.00(無補強)	55	支点側 D 領域下部
DL-S		22	支点側 D 領域下部
BM-L		55	B 領域中央部
BM-S		22	B 領域中央部
DMI-L	0.47	55	載荷点側 D 領域中央部
RN		-	-
RDLI-S		22	載荷点側 D 領域下部
RDL-S			支点側 D 領域下部
RDUI-S			載荷点側 D 領域上部
RDU-S			支点側 D 領域上部
RBU-S		-	B 領域上部

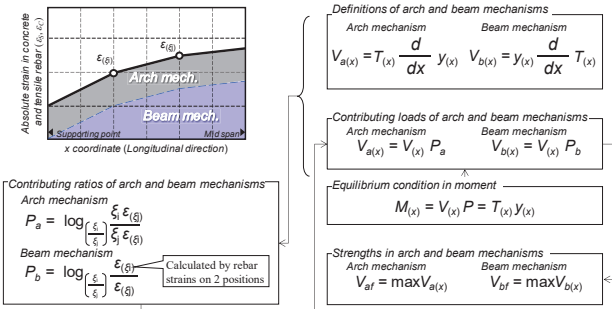
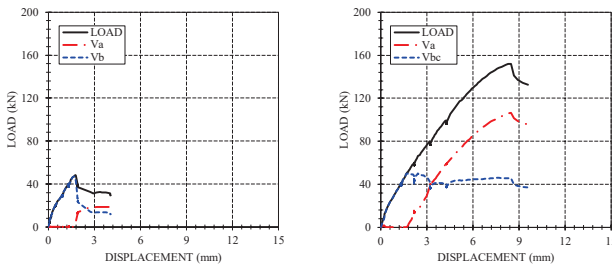


図-3 実験結果に基づく V_a および V_b の算出手法



(a) DL-S (b) RDLI-S
図-4 荷重変位関係における耐荷機構分解結果の例

る耐荷機構分解結果の例を示す。全てのケースに対し、概ね作用荷重がビーム機構の耐力(斜めひび割れ発生荷重)を超えた後、アーチ機構が卓越する、既往の知見と一致する結果が得られた。

3. ひび割れ経路の追跡による耐力予測手法の妥当性

ビーム機構における耐力予測式を構築するため、ひび割れ経路を包含する自由体の平衡状態を考慮することで導かれる耐力予測手法を提案した。図-1 に示したビーム機構の平衡状態を微小領域から特定の領域に拡大して考えれば、図-5 に示す自由体の平衡状態が導かれる。特定の領域として、B 領域に着目すれば、梁理論における仮定が適用可能となる。B 領域は、弾性理論に基づき、支点および載荷点から有効高さの 1/2 離れた距離を基準に定めた。自由体全体の平衡状態と、ひび割れ経路により分断された部分の平衡状態から得られた式を連立することでビーム機構の耐力を求めた。軸方向合力の増分(δC)は、引張強度とせん断強度のはり軸方向成分をひび割れ経路上で線積分することにより得た。ひび割れ経路は、弾性解から数値計算により算出した(図-5)。

図-6 にひび割れ経路の数値解と実験におけるひび割れ分布を示す。数値解とひび割れ分布はよく一致していることから、弾性解を用いてもひび割れ経路の追跡は可能であることを確認した。図-7 に実験により得られたビーム機構における耐力の実験値と提案した手法による予測値の比較を示す。限定的なケースに対してではあるが、実験値と予測値は概ね一致していることから、提案した手法の妥当性が確認された。

4. ビーム機構における耐力予測式の構築

提案した手法では、ひび割れ経路を数値計算により求める必要があったが、穿孔の無いはりにおいては、荷重の対称条件および弾性解から、中立軸とせん断スパン中央における鉛直線との交点がひび割れ発生の起点であると考えられる。さらに、ひび割れ発生の起点を原点に選べば、ひび割れの形状を表す関数(形状関数)は、奇関数であること等を考慮すると、形状関数として、以下の関数を与えるのが妥当であると考えられる。

$$L_{(x,h)} = A_{(h)} \arctan\{B_{(h)}x\} \quad (3)$$

ここに、 x : はり軸方向座標、 h : はり高である。 $A_{(h)}$ 、 $B_{(h)}$ は、弾性解から得られるひび割れ経路と形状関数に対し、最小二乗法を用いることで求めた関数である(図-8)。

3と同様に平衡状態を考慮し、ひび割れ経路に沿う線積分を施せば、ビーム機構の耐力は以下の式で示される。

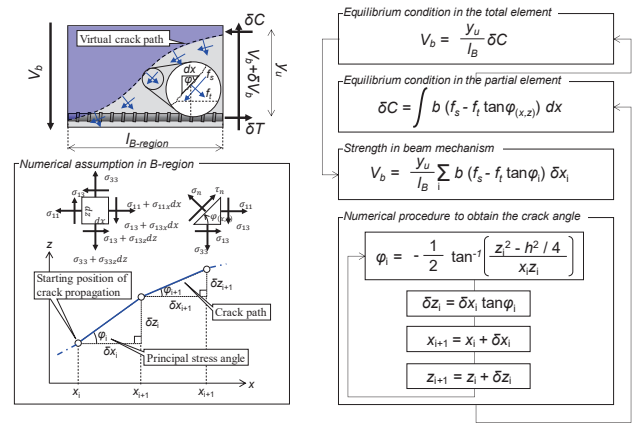


図-5 ビーム機構の耐力予測手法

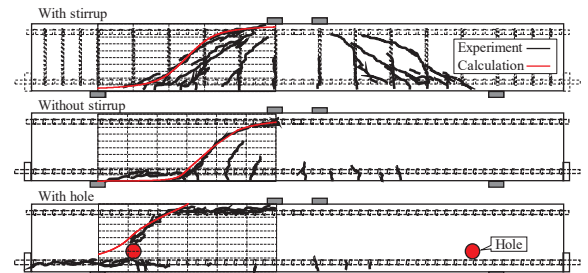


図-6 ひび割れ経路の数値解とひび割れ分布の比較

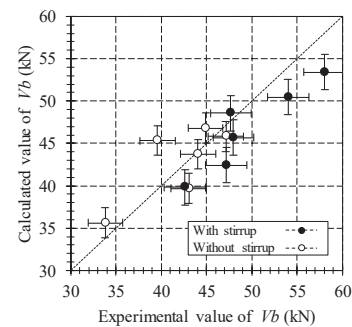


図-7 ビーム機構の耐力に対する予測結果

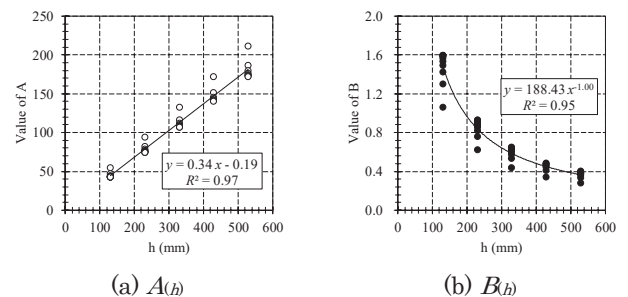


図-8 数値算定結果に基づくひび割れ形状関数の決定

$$V_{bf} = \frac{b y_u}{l_B} \left\{ f_s l_B - 2 f_t A_{(h)} \arctan \left(B_{(h)} \frac{l_B}{2} \right) \right\} \quad (4)$$

ここに、 b : はり幅、 y_u : 終局時の断面モーメントアーム長、 l_B : B 領域長、 f_s : コンクリートのせん断強度、 f_t : コンクリートの引張強度である。

N および RN の実験値に対する式(4)を用いたビーム機構の耐力予測値の比はそれぞれ、0.87, 0.94 であった。

参考文献

1) Park, R., Paulay, T.: Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, New York, 1975.