

SRC 梁のせん断耐力に関する解析的研究

株式会社 国際建設技術研究所 正会員 ○日比野 憲太
北武コンサルタント株式会社 正会員 渡辺 忠朋

1. はじめに

鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）部材のせん断耐力の算定は、従来から累加強度方式が適用されているが、その方法では SRC 部材のせん断耐力が過小評価されるなどの問題がある。筆者らの一人は、SRC 梁のせん断耐荷要因の中から鉄骨が受け持つせん断耐力（ V_{sy} ）に着目した実験を行い、せん断スパン比（ a/d ）と鋼材比（ k ）をパラメータとした算定式の提案¹⁾を行っている。そこで本研究は、離散型要素の考え方に基づいた SRC 梁の 3 次元有限要素法解析を試み、上述の実験結果を参考として、本解析手法の妥当性および問題点に関する検討を行ったものである。さらにその結果を用いて、 a/d の変化が V_{sy} に与える影響に関して、解析的な検証を試みた。

2. 解析概要

(1) 解析対象

戸塚・渡辺により行われた SRC 梁の載荷試験¹⁾の中から、せん断スパン梁高さ比（ a/h ）の変化に関する検討を行った No.1, 2, 6 試験体を、解析対象として選択した。試験体寸法（mm）は 300 x 400 x 3,100（ $a/h = 3$ ）、2,300（ $a/h = 2$ ）、1,500（ $a/h = 1$ ）の 3 タイプで、軸方向鉄筋として D29（ $f_y = 447.2\text{N/mm}^2$ ）が有効高さ 350mm の位置に 3 本配置されている。また、鉄骨は上下フランジ（ $f_y = 318.7\text{N/mm}^2$ ）が 200 x 10（mm）、ウェブ（ $f_y = 383.4\text{N/mm}^2$ （ $a/h = 3, 2$ ）、 287.8N/mm^2 （ $a/h = 1$ ））が 200 x 4.5（mm）であり、試験体上面から 70mm の位置が上フランジの上面となっている。また、鉄骨両端部を梁端部に設置した鋼製プレートに溶接することにより、鉄骨の端部からの抜け出しを防止している。載荷試験は、対象 2 点集中載荷で単調増分により行われている。

(2) 要素特性

コンクリートは等方性・弾性材料として扱い、6 面体要素を用いて表現した。また、鉄骨は平面応力状態を仮定した四辺形要素を用いて表現し、その降伏基準には Tresca の基準を選択した。さらに、コンクリートに発生するひび割れおよび鉄骨とコンクリート間の付着特性は、接合面要素を用いて表現した。

ひび割れ面要素の法線応力は、ひび割れ開口時は引張軟化特性²⁾、閉口時は弾性挙動を示すものと仮定した。特にひび割れ閉口時には、ひび割れ幅が $-3 \times 10^{-3}\text{mm}$ （ひび割れ厚さを 1mm と仮定して -3000μ ）に達した段階を圧縮破壊基準として設定した。また、せん断応力は、ひび割れ開口幅の増加による軟化を考慮したせん断応力 - 変位関係、および最大せん断応力 - ひび割れ開口幅関係²⁾を仮定して適用した。付着面要素の付着応力は、 b_t を付着剛性とした弾性挙動（ $\tau = b_t \times \delta$ ）を仮定し、 b_t の変化が SRC 梁の耐力および変形に及ぼす影響を検討した。

(3) 解析モデル

図-1 に本解析で用いた要素分割を示す。要素数を少なくするため、対称性を考慮して試験体の 1/4 モデルとして解析を行った。鉄骨とコンクリート要素間の境界には、これらの材料間で生じる付着の影響を考慮するため離散型の付着面要素を挿入している。また、部材に発生する曲げおよびせん断ひび割れは、あらかじめひび割れ面要素を曲げおよびせん断スパンに配置することにより表現した。

境界条件として、コンクリートおよび鉄骨の対称面（図-1 中の CL）を x, y 軸方向、支点部を z 軸方向に固定した。また、荷重は実験と同様の位置に変位として与え、変位増分により解析を進めた。

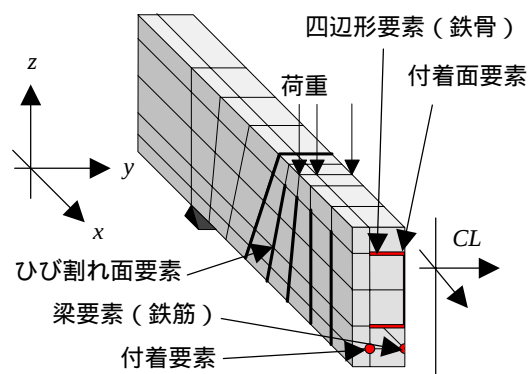


図-1 要素分割図

キーワード SRC, せん断耐力, 離散型要素, 有限要素法解析

連絡先 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通7丁目4-7 北武第2ビル (株)国際建設技術研究所 札幌営業所 TEL:011-851-3181

3. 解析結果およびその考察

(1) 鉄骨の付着特性の影響

$a/h = 2$ に関して, 鉄骨の付着剛性を $b_t = 1 \times 10^{-6}, 1 \times 10^0, 1 \times 10^2 \text{ (N/mm}^3\text{)}$ と変化させた場合での, 荷重 - 変位関係の変化を図-2 に示す. ただし, 図中の RC は鉄骨を考慮しない RC 梁の解析結果, 黒線 (SRC) は実験結果での最大荷重, 黒線 (RC) は二羽式の計算値を示している.

鉄骨を平面応力状態を仮定した四辺形要素を用いて表現することにより, その最大荷重は鉄骨を考慮しない RC 梁の約 3 倍程度まで増加している. また, その部材耐力は実験結果に近い結果となっており, 本解析モデルが SRC 梁の耐荷機構をある程度モデル化できていることが確認できる. さらに, 鉄骨の付着剛性が大きくなるにつれ, 荷重が 500kN 以降に生じる剛性低下が小さくなる傾向が確認できるが, その影響は本検討の範囲内では小さい.

(2) a/h の影響

各 a/h における解析結果から得られた荷重 - 変位関係を図-3 に示す. ただし, 図中の黒線 ($a/h = 3, 2, 1$) は, 実験結果での最大荷重を示している. また, これらの最大荷重は, ひび割れ要素の圧縮破壊基準により決定している.

$a/h = 3, 2$ の場合には, 本解析手法を用いることにより, 比較的精度良く SRC 梁のせん断耐力を推定している. しかし, $a/h = 1$ 程度の試験体の形状がディープビームに近い場合には, 実験値に比べ解析結果が小さくなる結果となった. これは, 本解析では梁上縁部のひび割れ要素の圧縮破壊基準により部材の破壊が決定するケースが多いが, $a/h = 1$ のようなタイドアーチの影響が強いせん断圧縮破壊の場合には, その破壊基準を適切に表現できていないためであると考えられる.

(3) a/h の変化による鉄骨の主応力の変化

$a/h = 2, 1$ に関する, 最大荷重時の鉄骨ウェブの主圧縮力方向を図-4 に示す.

a/h の値が小さくなるにつれて, 鉄骨ウェブ内に形成される圧縮ストラッドの角度が大きくなる傾向が確認できる. これは a/h の変化により, V_{sy} によるせん断抵抗が変化する可能性を示唆しており, この結果は, 前述した算定式¹⁾に用いられているパラメータとも整合性が取れている.

4. 結論

- (1) 離散型要素の考え方に基いて, 鉄骨, コンクリートおよびその付着特性を, 各々の要素を用いてモデル化した 3 次元有限要素法解析を行うことにより, SRC 梁の力学的特性をある程度推定することが可能となった.
- (2) 鉄骨の主圧縮応力方向の検討から, V_{sy} は a/d によりその負担率が変化すると考えられる. また, この結果は, 筆者らの一人が提案した算定式¹⁾に用いられているパラメータとも整合性が取れている.

参考文献

- 1) 村田ら: 鉄骨鉄筋コンクリート部材のせん断耐力, 土木学会論文集, No.626/I-48, pp.207-218, 1999.7.
- 2) 日比野ら: 離散型要素を用いたせん断補強鉄筋を有さない鉄筋コンクリート梁の有限要素法解析, 土木学会論文集, No.739/V-60, pp.31-48, 2003.8.

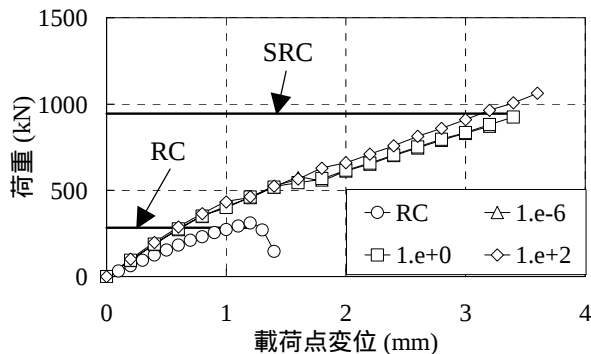


図-2 荷重 - 変位関係 (b_t の変化, $a/h=2$)

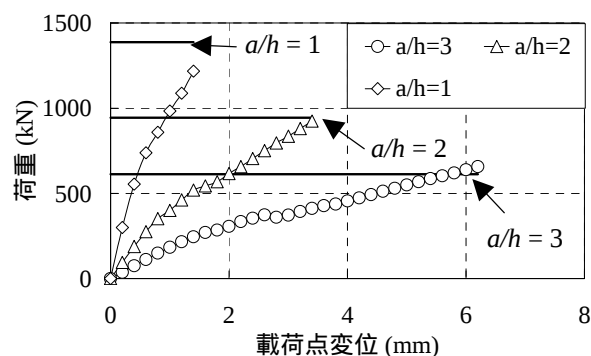


図-3 荷重 - 変位関係 (a/h の変化, $b_t = 1 \times 10^2 \text{ N/mm}^3$)

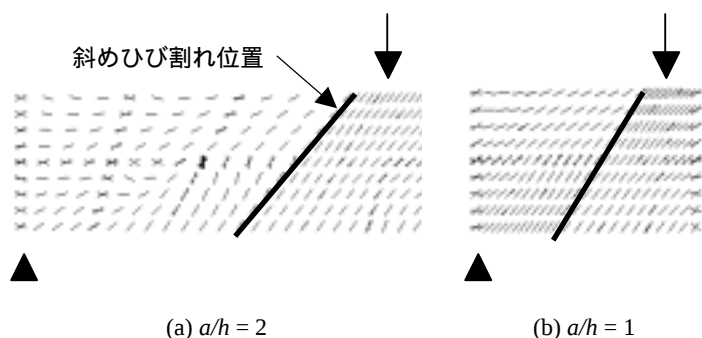


図-4 鉄骨ウェブの主圧縮応力方向 ($a/h = 2, 1$, $b_t = 1 \times 10^2 \text{ N/mm}^3$)