

かぶりにステンレス鉄筋を埋設した RC はりの曲げひび割れ解析

大成建設(株) 土木技術研究所 正会員 ○村田 裕志 武田 均

1. はじめに

RC 部材のかぶりに細径のステンレス鉄筋を埋設することで、曲げひび割れを分散させ、ひび割れ幅を大幅に低減できることがはり部材の曲げ載荷実験により確認されている¹⁾。本研究では、この実験を対象として非線形有限要素解析によって曲げひび割れの分散効果を再現することとした。解析において、コンクリート、普通鉄筋ならびにステンレス鉄筋をすべて3次元ソリッド要素でモデル化し、各鉄筋とコンクリートの界面には界面要素を配置して付着一すべり挙動を考慮した。

2. 解析対象とした実験の概要

図-1 に解析対象の試験体概要を示す。試験体は幅 370×高さ 900×長さ 5800mm の RC 梁であり、載荷スパンを 5200mm、せん断スパンを 1600mm、等曲げモーメント区間を 2000mm とした。主鉄筋の芯かぶりは 100mm、有効高さを 800mm とした。主鉄筋(普通鉄筋)は D32 SD390 を 125mm 間隔で 3 本配置し、引張鉄筋比は 0.80% となっている。表-1 に解析対象ケースを示す。解析対象は、比較用のステンレス鉄筋を配置しない通常の RC はり(以降、無補強と称す)²⁾、D10 のステンレス鉄筋を用いたケース(以降、SUS-D10 と称す)の 2 体とした。ステンレス鉄筋には SUS304-SD345 を用い、主鉄筋と同じ水平位置(125mm 間隔で 3 本)に純かぶり 30mm(芯かぶり 35mm)の位置に配置した。コンクリートの圧縮強度は 35N/mm² 程度であり、ケースによる相違はほとんどなかった。図-2 に主鉄筋ひずみが 1500×10⁻⁶ 相当となった時のひび割れ性状を示す。グレーの部分等曲げモーメント区間を示している。無補強と比較して SUS-D10 では明確にひび割れが分散し、最大ひび割れ幅は半分程度にまで低減しており、細径のステンレス鉄筋をかぶり部分に配置した効果が確認できている。

3. 解析概要

解析では、前章に示した実験のうち、等曲げモーメント区間のひび割れ間隔やひび割れ幅を再現することを試みた。解析コードは DIANA 9.4.4 とした。解析モデルを図-3 に示す。解析では等曲げモーメントが作用する部位のみを取り出し、幅方向は対称性を考慮して、主鉄筋間隔の 1/2 である 62.5mm とした。コンクリート、普通鉄筋ならびにステンレス鉄筋をすべて 3 次元 8 節点ソリッド要素でモデル化した。ただし、主鉄筋とステンレス鉄筋は円柱状とし、節は考慮していない。また、主鉄筋あるいはステンレス鉄筋とコンクリートの境界面には 4+4 節点の界面要素を配置し、飯塚らの τ - S 関係³⁾(図-4)を適用した。解析モデルの片端部(図-3 中の右側)は

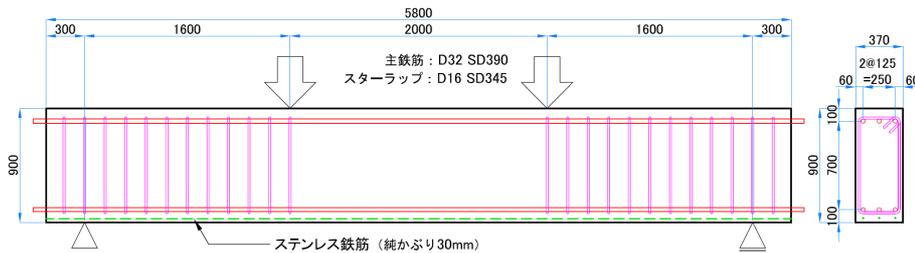


図-1 解析対象とした実験概要

表-1 解析対象の実験ケース

ケース名	ステンレス鉄筋の仕様
無補強	配置なし
SUS-D10	D10×3@125mm

※ステンレス鉄筋は SUS304-SD345
 ※主鉄筋は D32×3@125mm

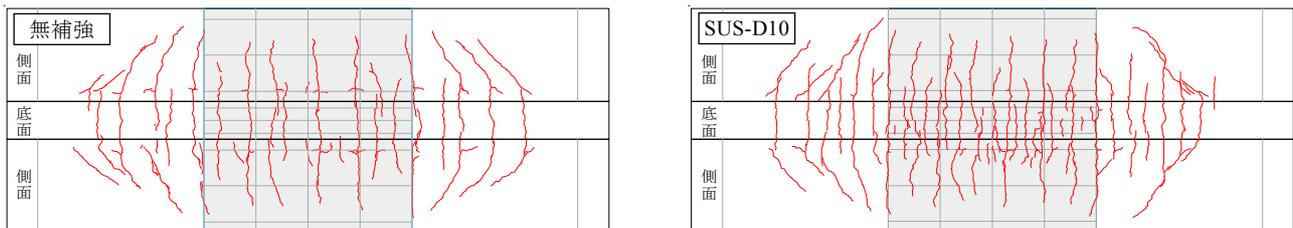


図-2 ひび割れ性状(主鉄筋ひずみ 1500×10⁻⁶相当時)

キーワード 曲げ, ひび割れ幅, ひび割れ分散, かぶり, ステンレス鉄筋

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7230

X 方向拘束とし、反対側（左側）の端面には剛体のシェル要素とビーム要素を配置して強制的に曲げモーメントを作用できるようにした。加力側端部のコンクリートは、加力による応力集中の影響を除去するために X 方向 100mm 分だけ弾性体とした。なお、X 方向の要素長は 10mm とし、コンクリートの引張軟化モデルは Hordijk モデルとした。この解析モデルに図-2 の状態と同様に主鉄筋に 1500×10^6 相当のひずみが発生するようにした。

4. 解析結果および考察

表-2 に実験および解析での等曲げモーメント区間底面でのひび割れ間隔とひび割れ幅を示す。また、図-5 に X 方向のひずみ分布を示す。図中ではひずみに X 方向の要素長を乗じたひび割れ幅相当の値として表示している。これらより、解析においてもかぶりへのステンレス鉄筋の配置によりひび割れ幅が低減されていることが分かる。また、SUS-D10 のケースでは、図-2 と同様にメインのひび割れの間小さなひび割れが追加で発生する様子が再現できている。しかし、いずれも定量的に再現ができていない。ひび割れ幅の低減効果は、実験では 1/2 程度となっているのに対し、解析では 2/3 程度に留まっている。また、解析ではコンクリートを均質な材料として取り扱っているため、解析の方が平均値と最大値の差が小さい。本解析では、付着応力-すべり関係として $\tau-S$ 関係を用いたが、 $\tau-S-\epsilon$ 関係を用いれば各鉄筋からその周囲のコンクリートへの応力伝達メカニズムがより精度の良いものとなり、再現性が向上するものと考えられる。ひび割れ幅のばらつきに関しては、例えば 3 次元 Delaunay 分割によるランダムなメッシュ分割とすれば再現できるものと考えられる。

5. まとめ

付着応力-すべり関係を考慮し、各鉄筋も含めすべて 3 次元ソリッド要素でモデル化した非線形有限要素解析により、RC はりのかぶりへのステンレス鉄筋配置によるひび割れ幅低減効果のある程度再現することができた。しかし、定量的な再現とはなっていないため、解析モデルの改良が必要である。

謝辞

本研究にあたりご指導いただいた長岡技術科学大学 下村匠教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 村田裕志, 武田均 : RC 構造のかぶりへのステンレス鉄筋の埋設による曲げひび割れ幅低減効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, 2016 (投稿中).
- 2) 村田裕志, 福浦尚之 : RC 梁のかぶりへの CFRP の埋設による曲げひび割れ幅低減効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.439-444, 2014.
- 3) 飯塚敬一, 檜貝勇, 斎藤成彦, 高橋良輔 : かぶり厚の影響を考慮した異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.2, pp.280-296, 2011.

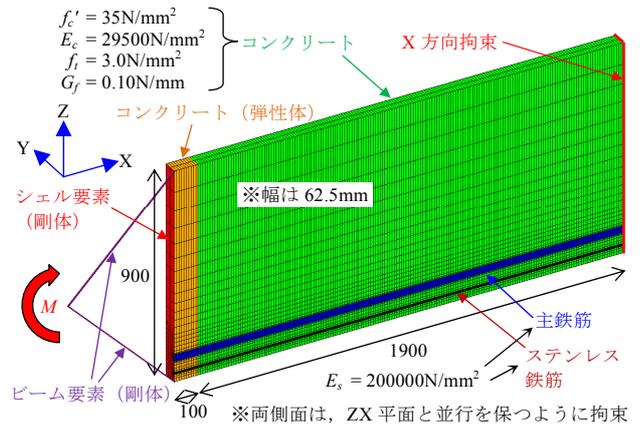


図-3 解析モデル (SUS-D10)

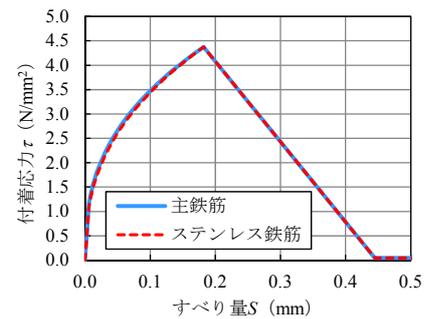


図-4 $\tau-S$ 関係³⁾

表-2 ひび割れ間隔とひび割れ幅

	ひび割れ間隔 (mm)		ひび割れ幅 (mm)	
	実験	解析	実験	解析
無補強平均	229	280	0.32	0.41
無補強最大	379	320	0.65	0.48
SUS-D10 平均	113	199	0.15	0.25
SUS-D10 最大	238	250	0.30	0.33

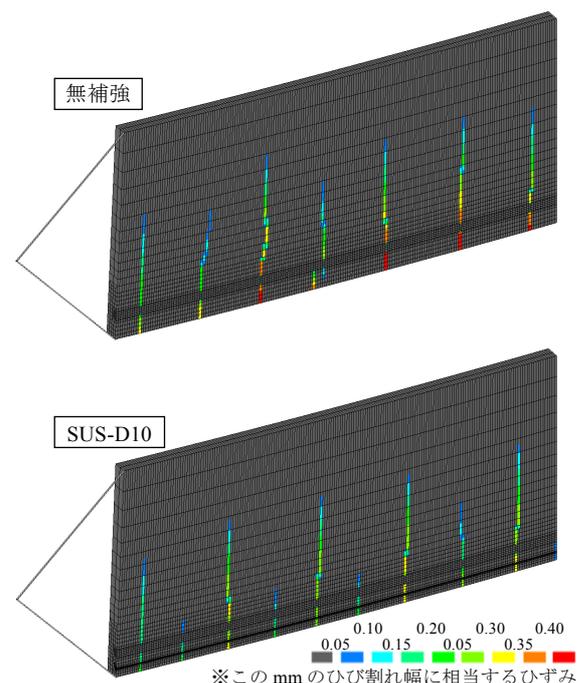


図-5 X 方向ひずみ分布 (ひび割れ性状)