

## 鋼材破断を考慮した RC 梁の力学的特性の試算

Trial Calculation on the Mechanical Property of Reinforced Concrete Beams by the Considerate of the Braked Steel-Bars

株式会社 国際建設技術研究所 ○正会員 日比野 憲太 (Kenta Hibino)

北武コンサルタント株式会社 正会員 渡辺 忠朋 (Tadatomo Watanabe)

株式会社 国際建設技術研究所 正会員 葛目 和宏 (Kazuhiro Kuzume)

## 1. はじめに

RC 構造はコンクリートと鋼材の2つの異種材料から構成される複合構造であり、コンクリートと鋼材の複合耐荷機構により様々な外力に抵抗している。そのため、ASR により損傷した RC 構造において、内部に鉄筋が適切に配置されている場合、外観的な損傷は顕著であるものの、その耐荷性能に大きな低下は生じないとされてきた。しかし、近年、ASR により損傷を受けた橋脚内部の鉄筋の曲げ加工部が破断している事例が認められており、安全とされてきた RC 構造においても、複合耐荷機構が前提条件である鉄筋とコンクリートの一体性が損なわれ、著しい耐荷性能の低下を引き起こす可能性が生じている。

そこで本研究は、ASR による軸方向鉄筋の定着部ならびにせん断補強筋の曲げ加工部の破断に着目し、これらの損傷が RC 構造物の耐力、変形および破壊形式に及ぼす影響に関して、パラメトリック解析を試みたものである。

## 2. 解析概要

解析対象には RC 梁部材を選択し、部材寸法は  $150 \times 240 \times 2,000$  (mm)、軸方向鉄筋として D22 ( $f_y=350\text{N/mm}^2$ ) を有効高さ 200mm の位置に 2 本配置したものとした。加えて、せん断補強筋として D10 ( $f_y=350\text{N/mm}^2$ ) を間隔 200mm で配筋し、曲げ破壊先行型の諸元を想定している。また、載荷条件は支持スパン 1,800mm の対称 2 点集中載荷とした。

RC 梁部材の力学的特性の試算には汎用有限要素法解析コード「DIANA」を使用した。各構成材料は弾塑性体として扱い、その破壊基準として、コンクリートには Ducker-Prager、鉄筋には Von Mises を採用した。さらに、ひび割れの特性として、mode I には引張軟化特性、mode II にはせん断保持率を考慮した。加えて、軸方向鉄筋ならびにせん断補強筋はトラス要素を用いて表現し、接合要素型の付着モデルを介することにより、コンクリート要素の界面に接続している。

本解析では、鉄筋破断ならびに付着劣化による部材の力学的特性の変化を検討するため、図-1 に示すように、軸方向鉄筋の定着部ならびにせん断補強筋の上下部との接続（平面応力状態を仮定しているため、部材側面のせん断補強筋のみ考慮）は、各々の鉄筋を表現するトラス要素の端点とコンクリート要素間の節点を剛結することにより表現した。また、補強材とコンクリート間の付着特性は、劣化の進行により最大付着強度が低下するとの報告<sup>2)</sup>があるため、健全なコンクリートの付着応力-すべり関係 (N) として、最大付着応力 ( $\tau_{\max(N)}$ ) までを 3 次曲線、

それ以降を直線で表現したモデルを採用した。また、劣化時の付着特性は、劣化度 1 では健全時の最大付着応力の 0.3 倍 (D1)、劣化度 2 では 0.1 倍としたモデル (D2) を採用した。

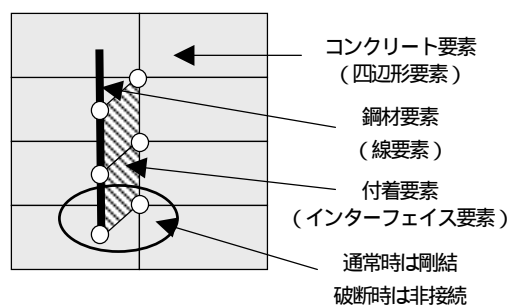


図-1 鋼材とコンクリート間の接続の詳細

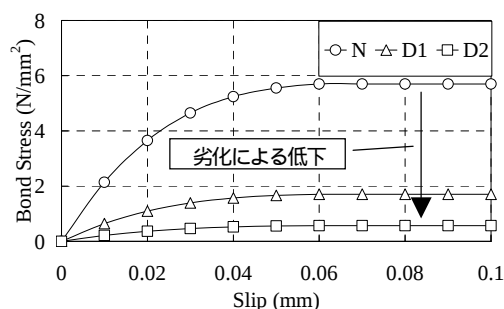
N：健全，D1：劣化度1 ( $N \times 0.3$ )，D2：劣化度2 ( $N \times 0.1$ )

図-2 付着応力-すべり関係

## 3. 解析結果およびその考察

## 3.1 軸方向鉄筋の端部定着破壊と付着劣化

解析要因に、軸方向鉄筋の付着特性として図-2 に示す3種類の付着応力-すべり関係 (N, D1, D2)、ならびに端部定着の有無（定着有り：LN，定着無し：LR）を考慮した場合での、荷重-変位関係を図-3 に示す。また、図-4 に N および LN-D2 に関する終局時のひび割れひずみベクトル分布を示す。ただし、図-3, 5 に示す Block は等価応力ブロック法を用いて算出した曲げ耐力、Shear は二羽式を用いて算出したせん断耐力を示している。

軸方向鉄筋の端部定着を有する LN シリーズに着目すると、軸方向鉄筋の付着劣化が進行 (N, D1, D2) するにつれ、部材剛性ならびに最大荷重が低下する傾向が確認できた。また、LN-D1, D2 は、終局時まで軸方向鉄筋の降伏が生じない結果（軸方向鉄筋降伏前の曲げ破壊）となった。さらに、著しい付着劣化が生じた LN-D2 は、図-4 (b) に示すように軸方向鉄筋の定着部分に著しい引き抜け変形が生じ、部材の耐荷機構にタイドアーチの

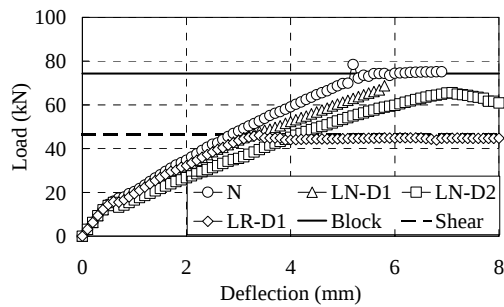
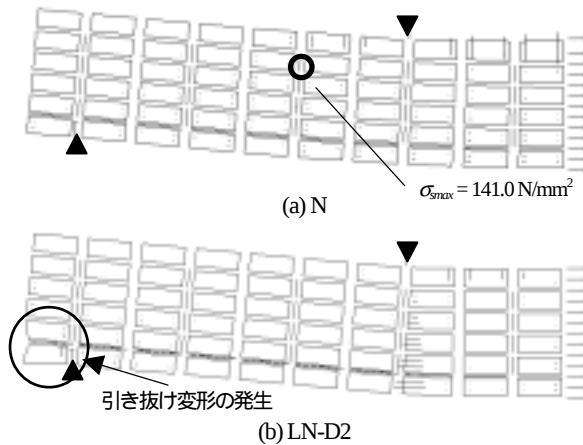


図-3 荷重 - 変位関係

図-4 終局時のひび割れひずみベクトル  
LN 軸方向鉄筋の定着破壊無し, LR: 定着破壊有り

影響が顕著に現れていることが確認できた。

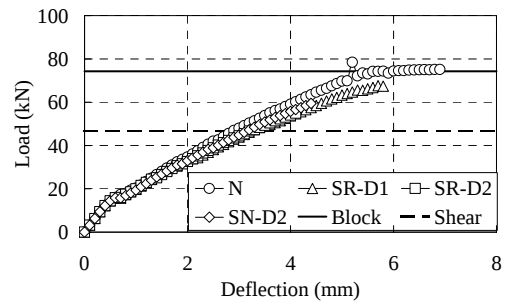
端部定着の有無 (LN, LR) に着目すると, 荷重初期段階では定着の有無による部材の力学的特性の相違は確認できない。しかし, 荷重レベルが高くなると, 軸方向鉄筋の付着劣化は同程度 (D1) であっても, 端部定着を有する場合 (LN-D1) には顕著な耐力および剛性の低下の生じなかったものが, 端部定着を失う (LR-D1) ことにより, 軸方向鉄筋の抜け出し破壊により最大荷重を迎え, 著しい耐力低下を生じる結果となった。

### 3.2 セン断補強筋の曲げ加工部の破断と付着劣化

解析要因に, セン断補強筋の付着特性として図-3 に示す3種類の付着応力 - すべり関係 (N, D1, D2), ならびに曲げ加工部破断の有無 (破断無し: SN, 破断有り: SR) を考慮した場合での, 荷重 - 変位関係を図-5 に示す。また, 図-6 に SR-D1, D2 および SN-D2 に関する終局時のひび割れひずみベクトル分布を示す。ただし, 図-4, 6 に示す  $\sigma_{max}$  は, 最大荷重時におけるセン断補強筋に作用する最大引張応力を示している。

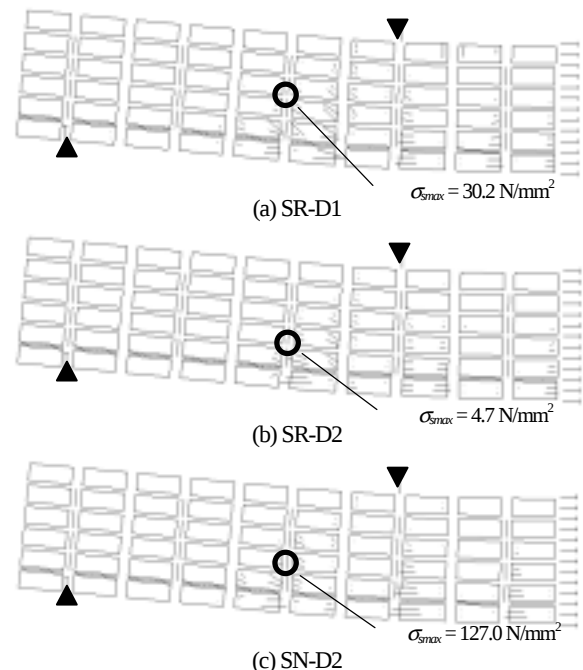
セン断補強筋の破断を有する SR シリーズに着目すると, セン断補強筋の付着劣化が進行 (N, D1, D2) するにつれ, それに作用する最大引張応力は減少する (N: 141.0 N/mm<sup>2</sup>, SR-D1: 30.2 N/mm<sup>2</sup>, SR-D2: 4.7 N/mm<sup>2</sup>)。また, 部材の破壊形式は曲げ破壊からセン断破壊に移行し, 最大荷重が低下する傾向が確認できた。

セン断補強筋の破断の有無 (SR, SN) に着目すると, それに破断が生じていない場合には, セン断補強筋に作用する最大引張応力は N に近い値 (SN-D2: 127.0 N/mm<sup>2</sup>) となっている。しかし, セン断補強筋の付着劣化が著しい場合 (D2) には, セン断補強筋の破断の有無に関わらず部材はセン断破壊し, その最大



SN: 破断無し, SR: 破断有り

図-5 荷重 - 変位関係



SN: セン断補強筋の破断無し, SR: 破断有り

図-6 終局時のひび割れひずみベクトル

荷重は著しく低下する結果となった。以上の解析結果から, セン断補強筋の付着特性は, 部材の破壊形式に大きく影響を及ぼすことが確認できた。

## 4. まとめ

本解析結果から, 以下の結論が得られた。

1. 軸方向鉄筋の付着特性は RC 梁の部材剛性や最大荷重に影響を与え, その端部定着の有無は梁の破壊形式に影響を及ぼすことが確認できた。
2. セン断補強筋の付着特性は, 曲げ加工部の破断の有無よりも, 梁の破壊形式に大きく影響を及ぼすことが確認できた。

## 参考文献

- 1) 例えば 小林和夫, アルカリ骨材反応を生じた部材や構造物の耐荷重性能 - はり部材, コンクリート工学, Vol.24, No.11, pp.70-78, 1986.
- 2) The Institution of Structural Engineers, Structural effects of alkali-silica reaction Technical guidance on the appraisal of existing structures, pp.17, 1992.