

I-289

腐食をうけた異形鉄筋ばりの耐力に関する解析的研究

川田工業(株) 正会員 ○ 橋 吉宏
 川田工業(株) 正会員 前田 研一
 金沢大学工学部 正会員 堀川 康男

1. まえがき 鉄筋コンクリート構造物の維持管理を論ずる上で、鉄筋腐食が避けられない問題として挙げられる。特に、鉄筋腐食による耐力の低下は構造物の安全上無視することができない。このような問題が存在するにもかかわらず、鉄筋腐食による耐力低下の原因や腐食程度と耐力との相関関係はまだ不明の点が多い。そこで本研究は、耐力低下の原因として鉄筋付着劣化と錆の膨張圧とに着目し、別稿の腐食鉄筋ばりの載荷試験¹⁾について有限要素解析を行い、それらがはりの挙動に及ぼす影響を明らかにするとともに、有限要素解析結果に基づいた腐食異形鉄筋ばりの耐力算定を試みその考察を行ったものである。

2. 腐食異形鉄筋ばりの弾塑性有限要素解析

別稿に示す非腐食鉄筋ばりと10日間電食鉄筋ばりの載荷試験¹⁾について弾塑性有限要素解析を行い、鉄筋付着劣化と錆の膨張圧とに着目して腐食による劣化挙動の要因を数値解析により検討した。材料のモデル化および解析手法は前回に示した方法で行った。なお、図-1に解析対象を示す。

(1) 付着劣化の影響 鉄による付着劣化を表現するために、鉄筋とコンクリートとの境界に付着要素(Goodmanらの要素)を用い、その付着要素の特性を変化させて解析を行った。付着要素の剛性の評価法としては、付着試験の有限要素解析を行い腐食日数に対応する剛性を決定した。付着強度については鉄筋ばり中での強度である事を考慮²⁾して、付着試験から得られた強度の1/2の値を用いた。解析に用いた付着要素の特性を図-2に示す。解析結果として、荷重-スパン中央変位関係を載荷試験の結果とともに図-4に示す。解析結果から判断すると、付着要素の特性を変化させても荷重-変位関係はほとんど変化せず、腐食による付着劣化が異形鉄筋ばりの挙動に大きな影響を及ぼさないことが言えた。

(2) 錆の膨張圧の影響 次に、錆の膨張圧の影響を調べるために、コンクリート要素に初期応力を導入して解析を行った。初期応力は、鉄筋錆の膨張により鉄筋円周に引張力が発生することと、10日間電食の場合は鉄筋ばりの下面に錆による縦ひびわれを生ずることとを考慮し、図-3に示す斜線部の要素に軸直角方向の引張応力を導入した。導入した初期応力は15 kg/cm²とし、10日間電食に対応する付着特性で解析を行った。図-4に示すように、コンクリート内部に初期応力を導入した場合に、載荷試験で観察されたように腐食鉄筋ばりの剛性の低下が表現でき、また、図-5に示すように破壊形状も初期応力を導入したコンクリート要素に鉄筋軸に沿ってひびわれが生じており、10日間電食鉄筋ばりでみられた破壊形状によく対応していると言える。二通りの結果から、錆の膨張圧によって生ずる初

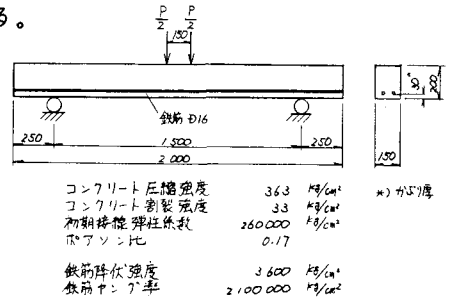


図-1 解析対象

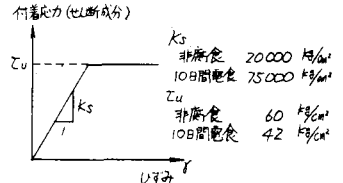


図-2 付着応力-ひずみ関係

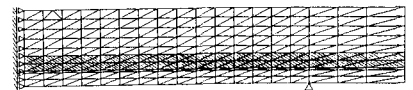


図-3 初期応力の導入要素

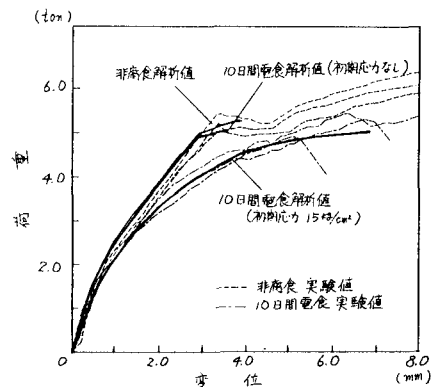


図-4 荷重-変位関係

期応力が、荷重-変位関係に大きな影響を及ぼすことが言えた。

3. 腐食異形鉄筋ばりの耐力の算定

有限要素解析の結果から、錆の膨張圧により生ずるコンクリートの内部応力がはりの腐食劣化挙動の支配的な要因の一つであることがわかり、また10日間電食ばりの載荷試験で見られた鉄筋軸に沿った10°~20°の傾きで生ずるひびわれの原因であるとも考えられる。本研究ではこの10°~20°のひびわれ発生時の荷重をはりの耐力と仮定し、その時のコンクリートの内部応力状態から算定される鉄筋付着応力と鉄筋のせん断力との関係式から、腐食異形鉄筋ばりの耐力算定を試みた。具体的に以下のように算定式を導出した。

いま、腐食鉄筋ばりにおいて鉄筋軸に沿ったコンクリート要素に作用する応力を2次元的に考えると、図-6のような状態であり、このような応力により10°~20°のひびわれが発生するものと考えられる。モールの応力円より、ひびわれ発生時のせん断応力は次式であらわされる。

$$\tau_{xy} = \sqrt{4a/(2+4a)} \cdot (\sigma_1 - (\sigma_x + \sigma_y)/2) \quad \text{----- (1)}$$

$\tau_{xy}, \sigma_x, \sigma_y$: 図-6に示す応力 σ_1 : コンクリート引張強度

$a = \tan^2 \varphi$ φ : 主応力方向(ひびわれ方向)

この時に生ずる付着応力は、鉄筋ばりの断面で決定され次式となる。

$$u = \tau_{xy} \frac{D+B}{\phi} \quad \text{----- (2)}$$

u : 付着応力 D : 鉄筋径 B : 有効鉄筋間隔

したがって付着応力とせん断力との関係から最大せん断力は次式で求める。

$$S_{max} = u \cdot \Sigma O \cdot z \quad \text{----- (3)}$$

S_{max} : 最大せん断力 ΣO : 鉄筋間隔の総和

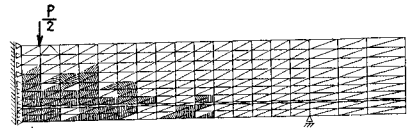
z : コンクリート圧縮合力作用点から鉄筋位置までの距離

式(3)により求められる耐力を図-7に示す。同時に、道路橋示方書の方法による曲げ耐力算定法により算出された耐力についても示しておく。

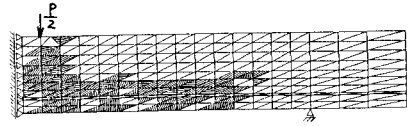
これらの結果より、錆の膨張圧により生ずる内部応力がある限度までは曲げ破壊を呈し内部応力のいかにかわる耐力は一定であるが、内部応力がある限度をこえると破壊形式は曲げ破壊から付着割裂破壊へと移行し、また耐力も低下することがわかった。このような傾向は、腐食異形鉄筋ばりの載荷試験結果と一致するものである。

【考察】本研究による算定手法により腐食異形鉄筋ばりの耐力低下の機構を推定することができた。さらに定量的に耐力低下の推定を行うためには、膨張圧による応力度や曲げによる応力度の確定的な値を求める必要があり、それがなされれば、本手法が腐食鉄筋ばりの耐力算定法の一つとして用いることも可能であると思われる。

4. まとめ 有限要素解析と付着せん断ひびわれ発生時のコンクリート応力状態に着目した下界解析により、腐食異形鉄筋ばりの劣化挙動の支配的な要因の一つが錆の膨張圧であると推測され、また膨張圧による内部応力で耐力の低下とある程度表現できた。本研究では異形鉄筋ばりについての検討であるが、実際の鉄筋コンクリート構造物の場合にも膨張圧が腐食劣化の原因の一つであると考えられ、その安全性を評価する上で錆の程度の把握と膨張圧の正確な推定が今後必要になってくるものと思われる。



非腐食(P=4.5ton)



10日間電食(初期応力 15kg/cm², P=4.5ton)

図-5 破壊形状

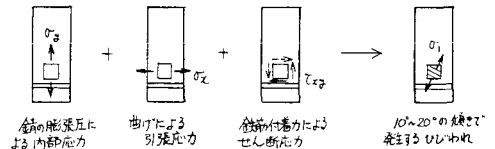
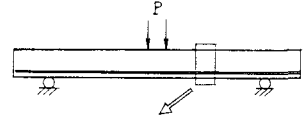


図-6 腐食鉄筋ばりの内部応力状態

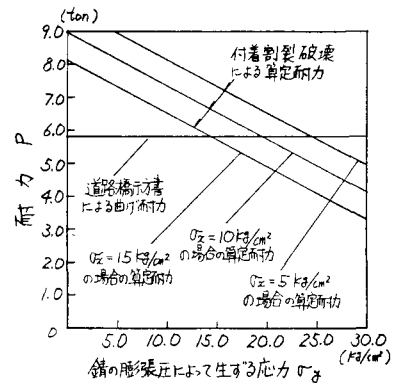


図-7 腐食異形鉄筋ばりの耐力算定 ($\phi=110^\circ, \sigma_1=33\text{kg/cm}^2$)

【参考文献】 1) 本, 根川, 稿「腐食劣化をうける鉄筋コンクリート部材の挙動について」第41回年次学術講演会, 1986 2) 稿, 前田, 根川「有限要素法による腐食鉄筋単軸ばりの挙動解析」第40回年次学術講演会, 1985 3) P.M. Ferguson, R.D. Turpin, J.N. Thompson "Minimum Bar Spacing as a Function of Bond and Shear Strength", J. of ACI, 1954 4) 高沢, 作田, 前田, 根川「RC床版梁型中の腐食鉄筋の電位測定法に関する基礎実験」第41回年次学術講演会(Ⅱ), 1986 5) 前田, 根川, 前田「鉄筋錆の膨張によるコンクリートの挙動について」第40回年次学術講演会, 1985