

V-183

鉄筋の腐食膨張挙動に関する弾塑性解析

オリエンタルコンクリート(株)	正 角 本 周
金 沢 大 学 工 学 部	正 梶 川 康 男
川 田 工 業 (株)	正 橋 吉 宏

1. まえがき

コンクリート中の鉄筋が腐食する際に腐食生成物の体積膨張に伴って発生する膨張圧は、コンクリートに応力やひびわれを生じさせるが、これらは鉄筋腐食による劣化要因の中でRC構造の挙動に影響を与える重要なパラメータと考えられる¹⁾。腐食膨張挙動をモデル化することは腐食劣化を受けた構造内部のひびわれ状況や応力状態を把握する有効な手段であり、耐荷力の推定や補修方法を検討する際において重要なデータを示すものと思われる。そこで、本研究では弾塑性有限要素解析を用いた腐食膨張挙動モデルを提示し、その適応性を検討した。

2. 腐食膨張挙動モデル

腐食膨張挙動モデルとしては、腐食生成物層をモデル化し、それに体積ひずみを与える方法を用いた。コンクリート中の鉄筋腐食問題において対象となる腐食量のオーダーは $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ g/cm}^2$ 程度で、腐食深さに換算すると $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ mm}$ と極くわずかである。このため腐食生成物をモデル化する要素は非常に薄いものとなり、通常の要素では数値的な不都合が生ずる。そこで、腐食生成物をモデル化するにあたり山田らの提案した接合要素²⁾に長軸方向の速度勾配を考慮に入れて拡張した要素を用いた。図-1にその概念図を示す。

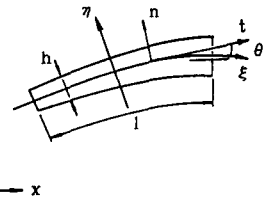


図-1 拡張した要素

3. 材料のモデル化 解析に用いたコンクリートモデルの一軸応力-ひずみ関係を図-2に、二軸応力空間における破壊規準を図-3に示す。引張側は、最大主応力が引張強度に達すると完全塑性状態となり、最大主ひずみが 200×10^{-6} に達するとひびわれが発生するものと設定した。ひびわれモデルとして、Smeared Cracking Modelを用いた。鉄筋、腐食生成物および付着特性は線形弾性と仮定し、付着要素には、Tension Cutoff を伴うMohr-Coulomb規準を破壊規準として設定した。

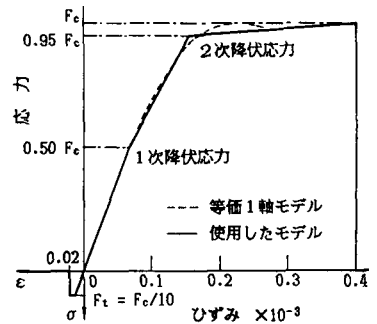


図-2 コンクリートの一軸応力-ひずみ関係

4. 解析およびその結果

図-4に対象とした鉄筋コンクリートモデルを示す。モデルは一边16.5cmの正方形のコンクリート中に、付着要素を介して直径2.5cmの鉄筋を配置したものであり、最小かぶり厚は7cmである³⁾。腐食生成物要素は解析対象の腐食重量減に応じた幅hで鉄筋部分の表面に組み入れた。

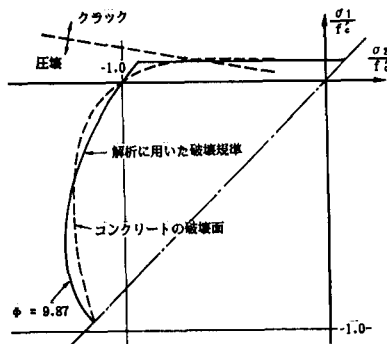


図-3 コンクリート破壊曲面のモデル化

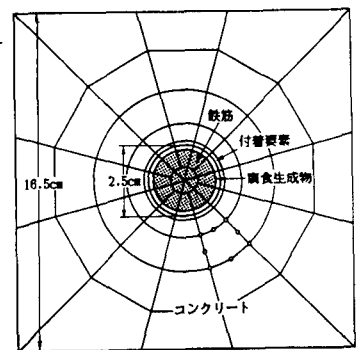


図-4 有限要素モデル

図-4のような対称形の解析対

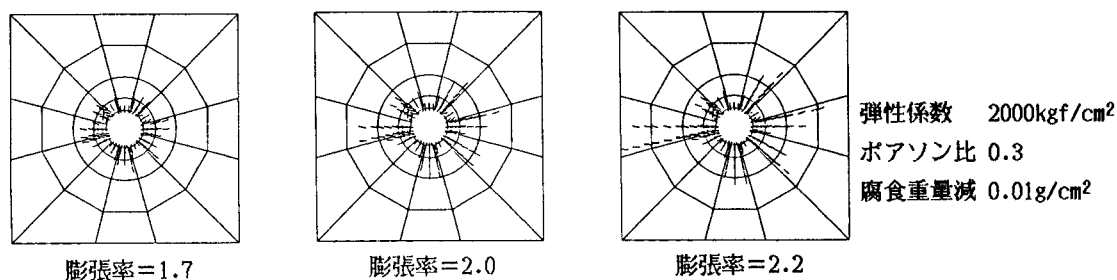


図-5 各膨張率におけるひびわれ状況

象に対して腐食生成物要素幅を均一に設定すると隅角部方向への応力が若干卓越し、その方向へクラックが進展するため、実際の挙動を表現しえない。実際の腐食において腐食量は全周にわたって均一ではないことから、本解析では腐食生成物要素の幅を0から平均腐食幅の2倍までのランダム関数で設定した。解析は設定した腐食重量減に対して膨張率を順次増加させて行った。なお、解析において、コンクリートの圧縮強度 350kgf/cm²、弾性係数を 2.79×10^5 kgf/cm²と設定した。

図-5に解析結果の一例として、腐食生成物の弾性係数を2000kgf/cm²、ポアソン比 0.3、腐食重量減0.01g/cm²と設定した場合の各膨張率におけるひびわれ状況を示す。腐食膨張率 2.2でひびわれがコンクリート表面に達している（以下、縦ひびわれ発生）。図-6は平均腐食重量減と縦ひびわれ発生時の膨張率の関係を示したものである。腐食生成物の膨張率を 2.5と仮定した場合、縦ひびわれ発生時の腐食量は0.009g/cm²となり、関らの実験³⁾と比較的良好一致する。

また、解析において腐食生成物の弾性係数が縦ひびわれ発生時の膨張率に与える影響はわずかである。縦ひびわれ発生時の膨張率はせん断変形を伴うため、静水圧的な圧力としては評価し得なかった。そこで、鉄筋の拘束応力として評価することとした。図-7は、図-5で示したケースにおける膨張率 2.0と2.2の際の鉄筋表面より0.6mmの位置における鉄筋表面に対して鉛直方向のコンクリート応力分布である。両者の分布の間に大きな差はなく、平均応力で約90kgf/cm²となっており、膨張圧もこの程度であると思われる。

このように、本報告で示した腐食膨張挙動モデルは、実際の腐食膨張挙動を比較的良好に表現しており、今後、さらに本モデルの適用を考えていきたい。

参考文献

- 1) 橘・前田・梶川：腐食を受けた異形鉄筋ばりの耐力に関する解析的研究、土木学会第41回年次学術講演会講演概要集、1986。 2) 山田・江沢：接合要素法とその有限要素解析における応用、生産研究、31巻、6号、1979。 3) 森川・関・奥村：鉄筋の腐食膨張によるひびわれの発生機構に関する基礎的研究、土木学会論文集、第378号、1987。

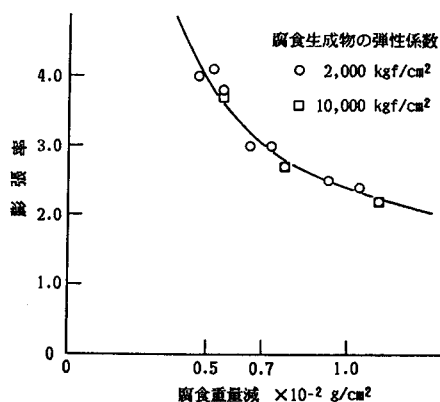


図-6 平均腐食重量と縦ひびわれ発生時の膨張率との関係

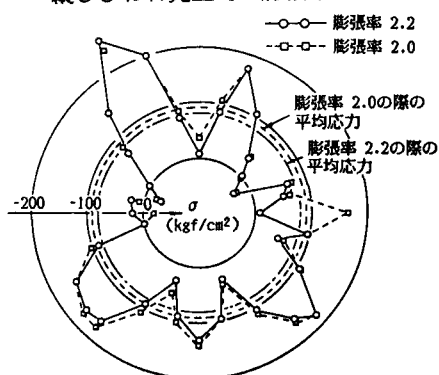


図-7 鉄筋表面付近におけるコンクリートの応力分布