

# 有限要素解析による鉄筋腐食を伴う鉄筋コンクリート構造物の耐荷性能評価

## 背景

電力施設における既設コンクリート構造物の中には経年劣化事象が懸念されているものがある。これらの構造物の健全性を合理的に評価するためには、経年劣化と構造性能の関係を明確にしていくことが重要な課題となっている。こうした場合には、有限要素解析に基づく詳細な方法が有効となるが、材料劣化をモデル化して、その影響を適切に考慮する必要がある。

## 目的

鉄筋腐食を伴う鉄筋コンクリート構造物の耐荷性能評価に用いる材料劣化の力学モデルを提案し、その適用性を検証する。

## 主な成果

### 1. 鉄筋腐食に伴う材料劣化の力学モデルの提案

本力学モデルでは、まず、鉄筋については、鉄筋断面積と鉄筋の降伏強度を腐食量に応じてそれぞれ低減することにより、腐食鉄筋の荷重変位関係とした。また、コンクリートと鉄筋の付着力低下をコンクリートの引張軟化曲線下の面積低減により考慮した(図1)。さらに、鉄筋腐食に伴う腐食ひび割れを考慮するために腐食膨張ひずみを作用させることとした。

### 2. 鉄筋腐食が生じた実規模鉄筋コンクリート構造物の載荷実験

載荷実験結果に基づいて、鉄筋コンクリート製(RC)ボックスカルバートでは、隅角部付近で鉄筋降伏や斜めひび割れなどの損傷が生じて、塑性ヒンジが形成され荷重が再分配されるので、局所的な鉄筋腐食が構造系の耐荷力に及ぼす影響は小さいことが分かった。

### 3. シミュレーション解析による適用性検証

上述の鉄筋腐食が生じたRCボックスカルバートの載荷実験結果に対して、腐食量に応じた構成則パラメータを設定した材料非線形解析コード(WCOMDver7.7)を用いて、シミュレーション解析を実施した。この結果、本解析は、実験で観察されたひび割れ発生ならびに損傷状況、荷重変位関係における最大荷重などを評価可能であった(図2)。

### 4. パラメータ解析による鉄筋腐食の影響評価

前項で適用性が検証された解析手法を用いて、腐食程度(主筋の平均腐食量:0~20%)や腐食箇所(側壁中間部、隔壁端部など)などが耐荷性能に与える影響を評価するために、海水管ダクト、取水路、取水ピットを対象として、パラメータスタディを行った。これらの結果、腐食程度の増加に伴って曲げ耐力よりもせん断耐力の低下割合が大きくなる傾向にあること、構造寸法が大きいほど腐食箇所はせん断耐力に与える影響が小さいことなどが明らかにされた(図3)。

本研究の一部は電力共通研究として実施したものである。また、本研究で得られた成果が「原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価ガイドライン」(土木学会、2008年7月刊行)に反映された。

主担当者 地球工学研究所 構造工学領域 主任研究員 松尾 豊史

関連報告書 「経年劣化した鉄筋コンクリート製地中構造物の構造性能評価に関する検討(その1)―鉄筋腐食に伴う材料劣化の力学モデルの提案―」電力中央研究所報告:N08002(2008年9月)  
「同(その3)―鉄筋腐食が生じたRCボックスカルバートの耐荷特性評価―」電力中央研究所報告:N08023(2009年3月)  
「同(その6)―鉄筋腐食を考慮した照査用限界値推定法の提案―」電力中央研究所報告:N08083(2009年4月)

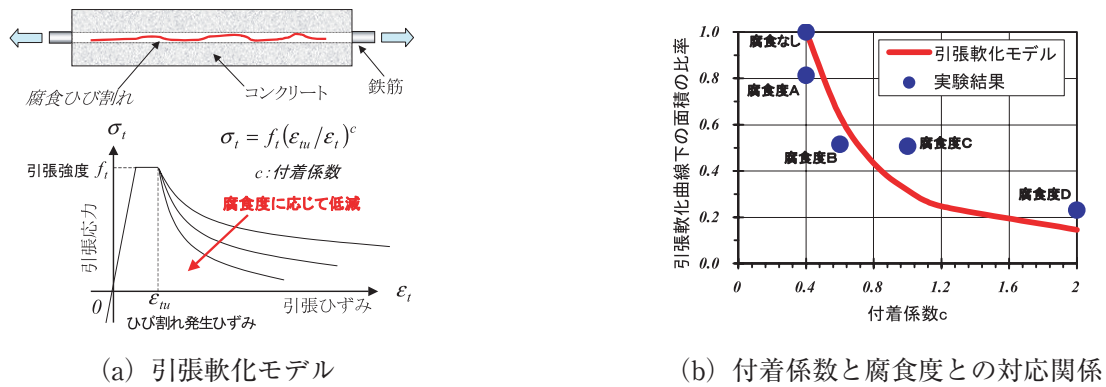


図1 鉄筋とコンクリートの付着劣化のモデル化

一般に、鉄筋腐食が生じると、鉄筋とコンクリートの付着力は低下する。本研究では、コンクリートと鉄筋の付着劣化については、コンクリートの引張軟化モデルにおいて、付着係数  $c$  により考慮することとした。数値が大きい方が引張軟化曲線下の面積は小さく、ひび割れ後に脆性的な挙動となる。

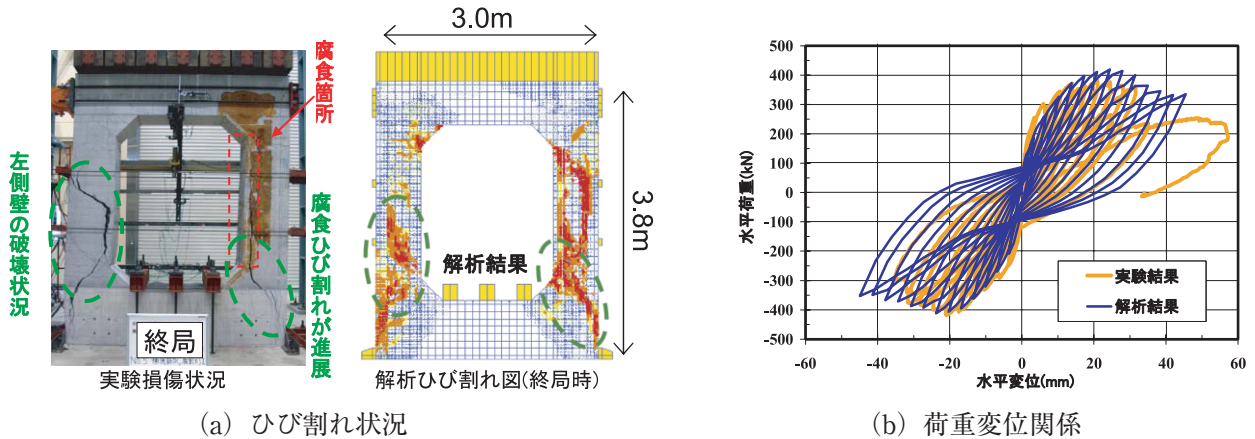


図2 シミュレーション解析結果の一例

腐食箇所は、実際に生じる可能性のある箇所を想定して、側壁中間部内側とした。実験では、腐食ひび割れが進展して荷重低下したが、急激には低下せず、最大荷重に達した後に漸減し、鉄筋腐食してない左側壁が最終的な破壊位置となった。解析結果によるひび割れ状況は実験と概ね同様であり、解析の荷重変位関係も実験結果と概ね良好に対応している。

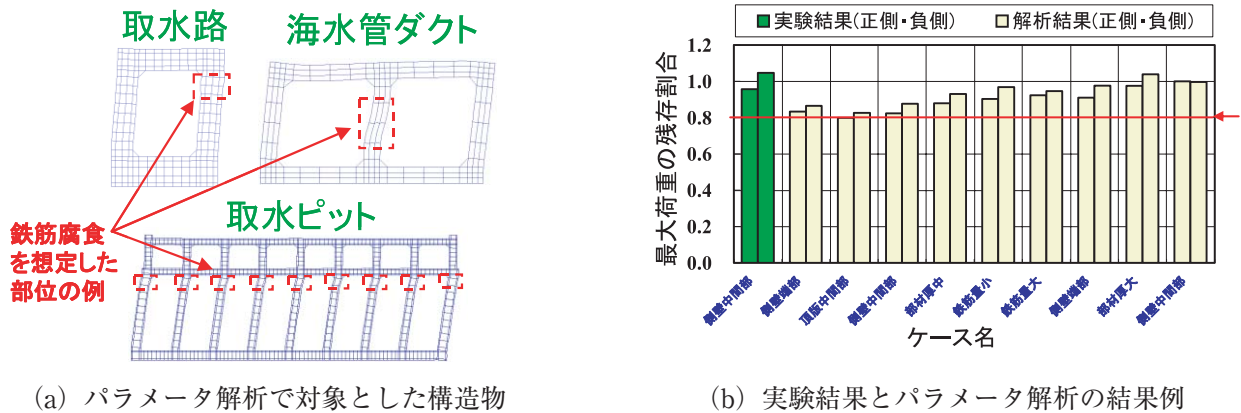


図3 鉄筋腐食を考慮したパラメータ解析の概略

パラメータ解析では、海水管ダクト、取水路、取水ピットを対象とし、地震時を想定した正負漸増荷重を行った。劣化条件は、腐食程度や腐食箇所をパラメータとした。例えば、検討の対象とした腐食程度の範囲、すなわち、塩害環境下の劣化進行過程における加速期では、せん断破壊する取水路における最大荷重の残存割合は最小で0.8となった。