

香川大学大学院	学生会員	○柴北	哲也
香川大学工学部	正会員	吉田	秀典
香川大学工学部	正会員	松島	学
(株) 四国総合研究所	正会員	横田	優

1. はじめに

本研究は、アルカリ骨材反応（以下 ASR）により劣化した実構造物をひび割れ性状と鉄筋損傷に着目し、有限要素解析（以下 FEM 解析）を用いて劣化予測を行ったものである。

解析対象構造物は、香川県下に既存する橋脚 A の梁部である。骨材に反応性骨材の一種である安山岩系の砕石が使用されており、アルカリシリカゲルの滲出、主鉄筋方向に沿った水平方向のひび割れが確認され、静弾性係数は 6 割程度低下するなど ASR 劣化の特徴がみられた。また、促進膨張試験の結果、今後も ASR は進行するものと推測できる。

2. 数値シミュレーション手法

ASR を起因としたひび割れを FEM 解析で評価するため、等価ひび割れ要素を導入した。等価ひび割れ要素とは著者らが今まで提案してきたもので、ASR の膨張挙動を簡易的に再現するものである。等価ひび割れ要素は、コンクリートを均一材料とし、膨張する要素と膨張しない要素でモデル化することで、コンクリート構造物表面に形成されるマクロなひび割れを表現し、解析規模の縮小を図っている。膨張する要素は粗骨材率と同率とし、粗骨材配置の不均一性を考慮するために乱数を用いて配置した。コンクリートの含水率と ASR の膨張率には相関がある。そのため、乾燥しやすいコンクリート表面と内部では膨張量に差異が生じることを考慮し、等価ひび割れ要素の膨張要素にも外部と内部で膨張量の差を与えた。コンクリート表面要素の膨張量をコンクリート内部要素の膨張量の 1/10 と仮定した。ここでは、コンクリート表面要素を外部膨張要素、内部要素を内部膨張要素と定義した。解析モデルを図 1 に示す。この膨張要素に膨張ひずみを与えて解析を行った。

3. 等価ひび割れ要素による橋脚梁部の解析

構造物のひび割れスケッチを図 2、解析により得ら

れたひび割れ性状を図 3 に示す。ひび割れ分布を比較すると、内部の膨張ひずみが 1500μ 時で近いひび割れ分布を示している。橋脚より得られた残存膨張量 2900μ を現状の膨張ひずみ 1500μ に加算した膨張ひずみ 4400μ 時が本解析における ASR の膨張の終局時とし、その膨張ひずみに達するまでシミュレーションした。その結果、膨張ひずみの増加にともないひび割れ間隔が狭まり、終局時には全面に渡りひび割れが発生する可能性を呈した。

4. 鉄筋損傷の評価手法

曲げ加工部内側に発生する亀裂と脆化した金属材料の破壊挙動、ASR の膨張にともなう曲げ戻し変形

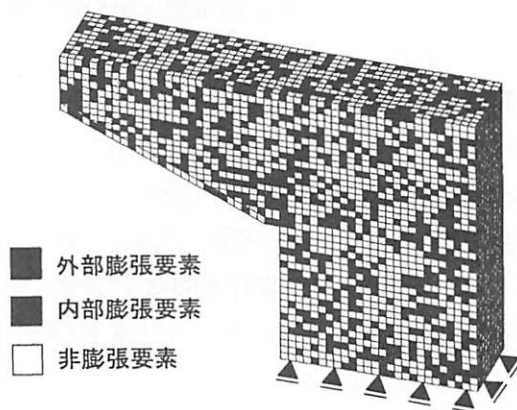


図 1 橋脚 A 梁部の要素配置

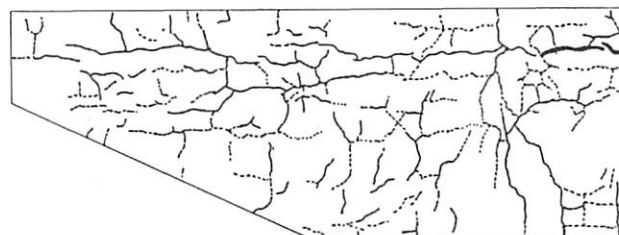


図 2 対象構造物のひび割れスケッチ

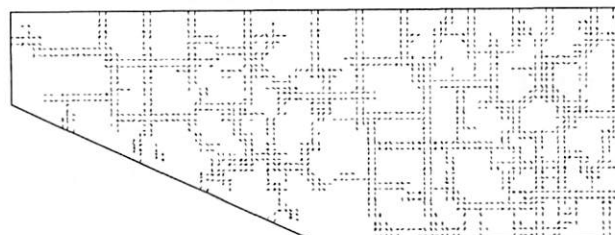


図 3 解析によるひび割れ性状（膨張ひずみ 1500μ ）

に着目し、鉄筋損傷にともなう鉄筋曲げ加工部の強度低下を検討する解析モデルを提案する。鉄筋曲げ加工部における損傷後の鉄筋強度を評価することで、等価ひび割れ要素で導入していない破断因子を補完し、双方の解析結果を基に鉄筋破断を解析できると考えた。

本研究では、曲げ加工部内側中心部に発生する初期亀裂をあらかじめ解析モデルに導入し、亀裂寸法にともなう鉄筋強度の低下の検討を試みた。曲げ加工部に作用する ASR の膨張圧は、1 つの粗骨材の膨張圧が曲げ戻し力に対して支配的になる場合を想定し、粗骨材の位置は曲げ加工部内側中心部において変化しないものとし、初期亀裂長を変えて解析を行った。解析は平面応力要素を用いた 2 次元弾塑性解析とした。この解析モデルを図 4 に示す。

5. 鉄筋損傷モデルの解析結果

解析で発生した応力分布は、曲げ加工部内側から与えた曲げ戻し力により、曲げ加工部内側に引張場が、外側には圧縮場が形成される。この荷重の増加にともない、亀裂先端の応力集中も確認できた。引張応力の分布は、曲げ加工部内側で最大で外側につれて減少傾向を呈している。したがって、曲げ加工部内側より順次亀裂が進展すると想定できる。

初期亀裂寸法の増加にともない強度低下を検討する。降伏強度到達荷重値により強度比を求め、それを基に強度低下を評価した。初期亀裂長を鉄筋径で除した亀裂比と強度比の関係を図 5 に示す。亀裂比の増加にともない急激な強度低下を示しているのが分かる。この亀裂比と強度比の関係は指数関数により近似できると考えられるため、最小 2 乗法を用いて近似式を導出した。導出した近似式も図 5 中に示す。ここでは、道路標準示方書の規定値を基に旧鉄筋の節形状で行われた曲げ加工試験結果を参考に、亀裂比最大の 2.5% 時で考慮すると強度比は 6 割まで低下すると考えられる。

6. 鉄筋破断の検討

等価ひび割れ要素を導入した橋脚 A 梁部の鉄筋曲げ加工部に位置するトラス要素に発生したひずみと、鉄筋損傷モデルにより得られた損傷後のひずみを比較することで、鉄筋破断の検討と破断個所の推定を行った。鉄筋破断はスターラップが大半を占めるため、本研究もスターラップを評価対象とした。終局時まで

シミュレーションした結果、6 か所で鉄筋破断の可能性を呈した。その鉄筋破断個所を図 6 に示す。解析では梁部中央付近の鉄筋曲げ加工部において鉄筋破断の可能性を示唆した。実現象でも鉄筋破断が生じやすいと考えられている鉄筋比の異なる個所での鉄筋破断の可能性を呈しており、提案した双方の解析モデルを用いることで実現象における鉄筋破断個所の推定に関する有用性があると考えられる。

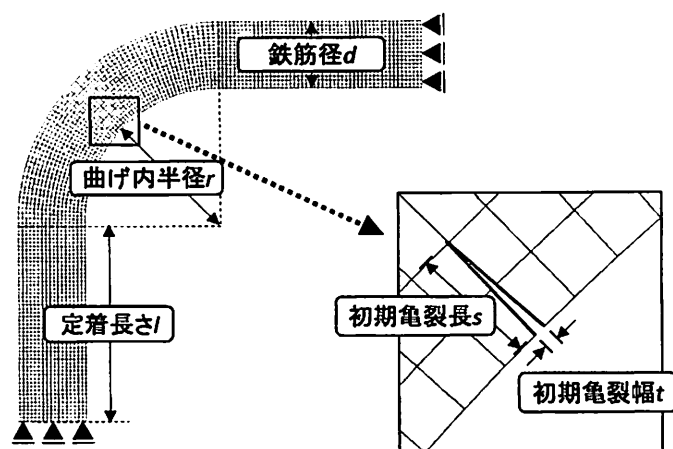


図 4 曲げ加工部の解析メッシュと亀裂の導入

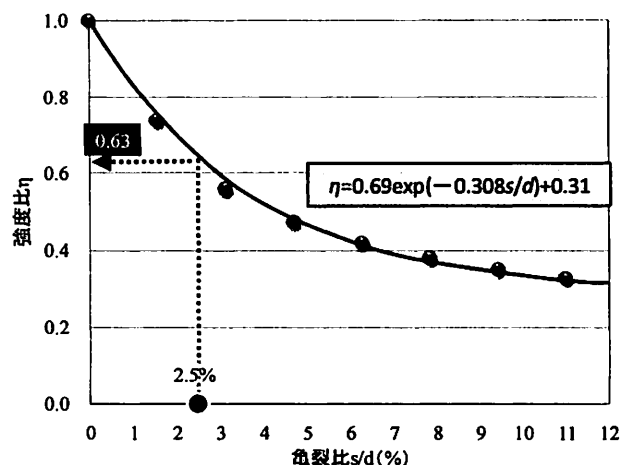


図 5 降伏強度到達時の強度比 - 亀裂比曲線

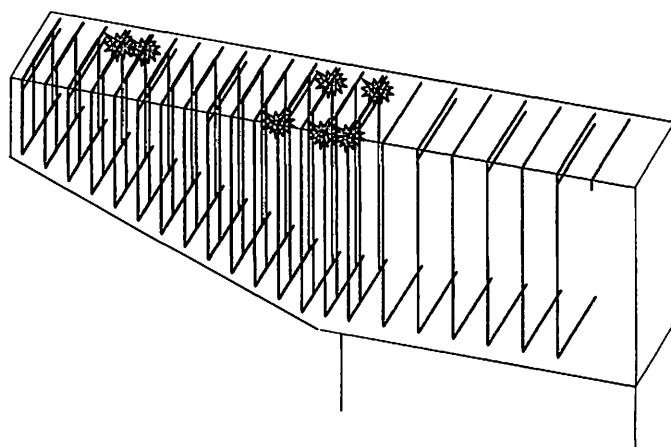


図 6 亀裂比最大時の破断個所（膨張ひずみ 4400 μ）