

アルカリ骨材反応によるひび割れ発生モデルの提案

香川大学大学院	学生会員	○三浦 良輔
(株) 四国総合研究所	正会員	横田 優
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

1. はじめに

近年、アルカリ骨材反応による劣化が注目されている。劣化予測手法に関する研究は数多くされているものの、現象自体が非常に複雑であることに加え、骨材の供給事情、環境条件の差異が大きな障壁となり確立した手法は存在しない。アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化は、ひび割れ、剥離・剥落、さらには鉄筋の破断まで確認されており、劣化予測手法の構築が急務となっている。本研究は、実務レベルでの劣化予測を可能にする数値解析モデルを導入し、アルカリ骨材反応のひび割れ性状をシミュレートし、鉄筋の応力状態の把握を有限要素解析により行った。

2. 数値解析モデル

アルカリ骨材反応によるひび割れは、アルカリシリカゲルの体積膨張圧により微視的なひび割れが発生した後、内部欠陥や粗骨材の配置等の影響を受け進展し、コンクリート表面に巨視的なひび割れが発生する。本研究は、微視的なひび割れというミクロな挙動よりも、微視的なひび割れを含むコンクリート領域というマクロな挙動に着目した。マクロレベルで見たコンクリートは変形の局所化が起こっていると考えた。図1に示すようにコンクリートを膨張要素と非膨張要素に分け、

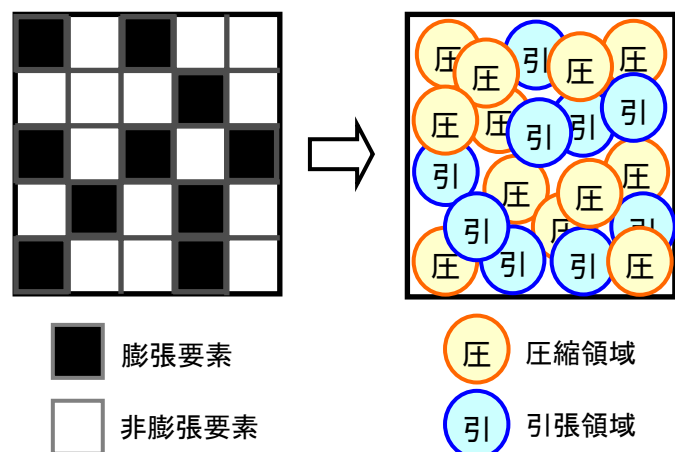


図1 等価ひび割れ要素

膨張要素に熱ひずみを与えることでコンクリートに圧縮領域と引張領域を形成させ、変形の局所化を表現する等価ひび割れ要素を導入した。等価ひび割れ要素の寸法は 100mm とし、膨張要素の割合は一般的なコンクリートの粗骨材率から 40% と設定した。粗骨材の不均一性を考慮し、膨張要素は乱数を用いて三次元的にランダムに配置した。対象構造物のコンクリート部材に膨張ひび割れを表現するソリッド要素を、鉄筋部材に軸力のみが作用するトラス要素を用いた。トラス要素はソリッド要素の節点を結ぶように配置した。全ソリッド要素にコンクリートの材料特性を持たせた。ソリッド要素に発生する引張ひび割れは破壊力学に基づき、ひび割れ発生に伴うひずみ軟化挙動を表すひずみ軟化モデルを用いた。

3. 膨張要素の設定

アルカリ骨材反応による膨張作用とコンクリートの含水率には相関がある。既往の研究より、コンクリート表面からの距離と、その位置における含水率は図2(a)のようになるため、乾燥しやすいコンクリート表面では膨張量が小さく、乾燥しにくいコンクリート内部では膨張量が大きくなると言える。本研究は、膨張要素に熱ひずみを与えることでアルカリ骨材反応による膨張を模擬しているため、膨張量の違いを熱膨張係数で表すことにした。そこで、コンクリート表面の要素を外部膨張要素、コンクリート内部の要素を内部膨張要素と定義し、外部膨張要素の熱膨張係数が内部膨張要素の 1/10 となる簡易的なモデルを設定した。

4. 解析の考え方

解析のフローを図3に示す。はじめに、数値解析と実構造物のひび割れ性状等を比較する。ひび割れモード、ひび割れ幅を再現しているのならば、コンクリート内部の応力状態を再現していると考えた (step1)。つまり、鉄筋の応力状態を評価できると考えた (step2)。

5. 解析結果

香川県下に既存する橋脚 A を解析対象とした。橋脚 A は左右対称の構造物であり、荷重条件も同じである。要素数の減少と解析時間短縮のため図 4 に示す拘束条件を用いて 1/4 にモデル化した。解析モデル下面は地中の基礎を考慮し、自由度を完全拘束し、解析を行った。膨張率を 0.20% から 0.30% まで 0.025% 毎増加させ、橋脚 A とのひび割れモードの比較を行った。数値解析では、橋脚 A 同様軸方向に沿ったひび割れが卓越し、その後軸方向のひび割れを結ぶように水平方向のひび割れが発生している。膨張率が 0.225% のとき最も類似した結果となった。膨張率 0.225% のときのひび割れ分布の比較を行った。多少の違いも見られるが、傾向は類似していると判断した。数値解析が橋脚 A のひび割れ性状を再現していると考え、鉄筋の応力状態を把握するためトラス要素の応力状態を調べた。鉄筋量の多い場所のほうが膨張に対する拘束力が強いため、応力は小さい傾向にある。現状では、鉄筋ひずみの大きい箇所でも 600μ 程度である。アルカリ骨材反応の膨張ひずみを 4000μ まで増加させても鉄筋ひずみは 1200μ 程度である。今後、膨張が進行しても橋脚 A の鉄筋

が降伏する可能性は非常に低い。

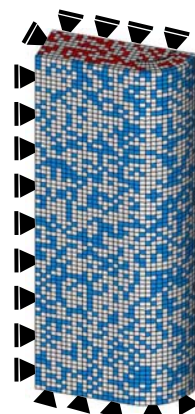


図 4 解析モデル

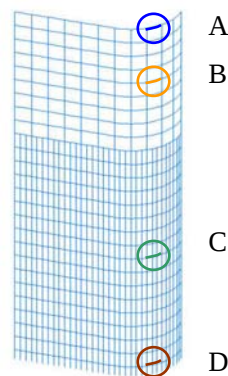


図 5 鉄筋採取箇所



図 6 ひび割れモードの比較 (膨張率 $\varepsilon = 0.225\%$)

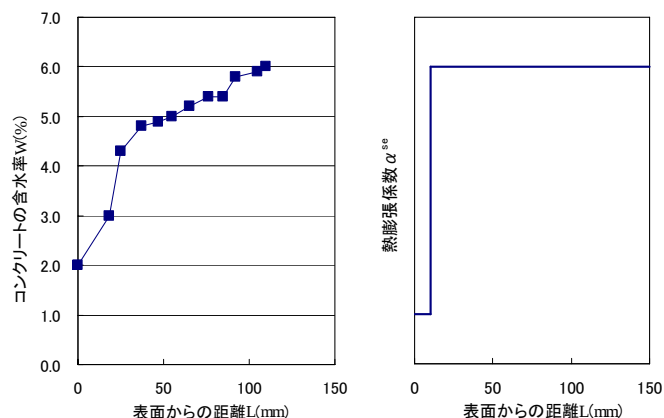


図 2 コンクリートの含水率と熱膨張係数

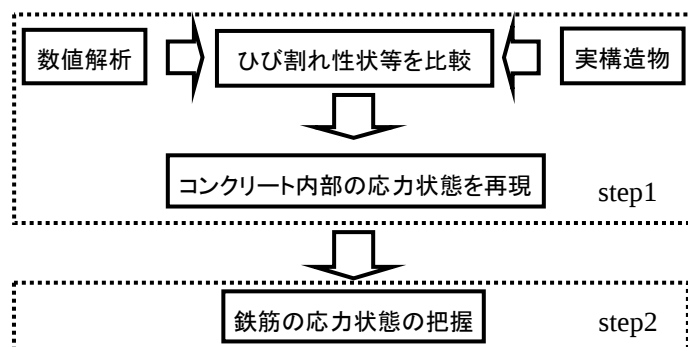


図 3 解析のフロー

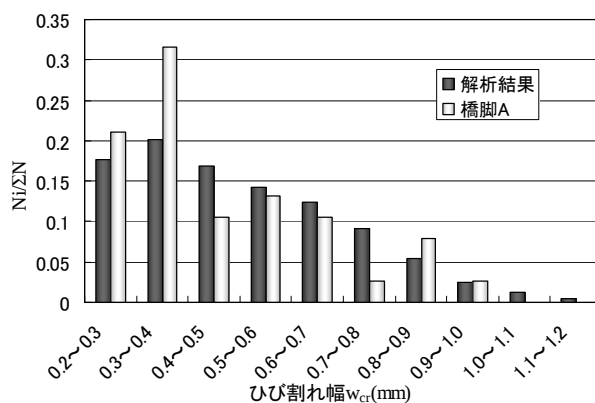


図 7 ひび割れ分布の比較

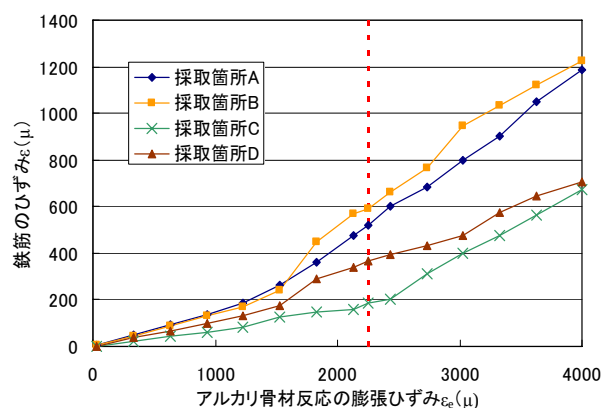


図 8 鉄筋の応力状態