アルカリ骨材反応で劣化した構造物の安全性評価の提案

PROPOSAL OF SAFETY EVALUATION OF THE STRUCTURE INDUCED ALKALI SILICA REACTION

松島 学*, 柴北 哲也**, 吉田 秀典*, 横田 優*** Manabu Matsushima, Tetsuya Shibakita, Hidenori Yoshida and Masaru Yokota

*博士(工学),香川大学教授,工学部安全システム建設工学科(〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

香川大学大学院生,大学院工学研究科安全システム建設工学専攻(〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20) *工博,四国総合研究所十木技術部,部長(〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109-8)

Concrete deterioration exerts a large influence on the endurance performance of a concrete structure. The present study inspects safety with respect to maintenance and management by conducting the deterioration progress forecast of alkali aggregate reaction that is one of the concrete deterioration factors. The target of the forecast is a real structure where alkali aggregate reaction ASR has been progressed. To evaluate the current and future situation of ASR the analytical method by which ASR is reproduced is employed. As a result of the analysis, it turned out that the targeted real structure was not in a serious condition not only for the current but also future situation.

Key Words: Alkali Aggregate Reaction, Deterioration Forecast, Finite Element Analysis, Safety Evaluation

キーワード:アルカリ骨材反応、劣化予測、有限要素解析、安全性評価

1. はじめに

コンクリートは、その優れた種々の性質によって、多 用されている建設材料の一つである¹⁾.しかしながら近年、 鉄筋コンクリート構造物においてアルカリ骨材反応を原 因とした劣化が多数報告されている.劣化性状はひび割 れ、かぶりコンクリートの剥離・剥落、さらには鉄筋の 降伏および破断にまで至り、これらはコンクリートの耐 久性に大きな影響を及ぼす.そこでアルカリ骨材反応劣 化の実態を調査するため、様々な研究が行われている.

久保ら²は、鉄筋等の拘束下にある内部コンクリートの 力学特性を明らかにすることとし、拘束レベルの異なる 構造物内部のコンクリートを模擬した供試体を作製し、 膨張収束後の供試体の一軸圧縮載荷試験を行い、その力 学特性について検討を行っている.その結果、実構造物 程度の拘束下にある内部コンクリートは顕著な強度低下 を生じないことを明らかにしている.だが、この文献で 使用している供試体は、拘束力を与えるためにプレスト レスト力を与えているが、RC構造物に対する評価は行わ れていない.

山城ら³は,デジタル画像の基本単位であるボクセルを 利用したイメージベースモデリングと有限要素法を融合 した解析手法であるボクセル有限要素法を求解法とし, アルカリ骨材反応の膨張挙動を再現している.ボクセル 有限要素法には、三次元 CAD により生成されたソリッ ド・モデルに対しボクセル分割を行う方法や、CT スキャ ンなどによる断面写真を重ね合わせることによりボクセ ルモデルを作成する方法などがある.山城らは、コンク リートを粗骨材、モルタル、およびこれらの界面より構 成される複合材料として取り扱い、コンクリートを三相 複合材料としてモデル化している.鉄筋および粗骨材は 破壊しないと仮定し、界面要素のみに膨張ひずみを与え て解析を行っている.鉄筋拘束効果を得るため、鉄筋端 部の拘束・無拘束の二種類のひび割れ進展シミュレーシ ョンを行った結果、特徴的なひび割れを確認している. しかし、50mm×50mm×192.5mm ほどの解析モデルの総要 素数が30000 以上,総自由度が100000 以上になっており、 実務レベルでの使用性に欠ける部分がある.

文献⁴では、アルカリ骨材反応を示唆する表面ひび割れ が確認されていない構造物と確認されている構造物をそ れぞれグループ1,2と分類し、現状の評価、今後の発生・ 進展、維持管理の面で検討を行っている.現状の評価、 今後の発生・進展については実構造物から採取したコア より測定される圧縮強度・静弾性係数・残存膨張量から 評価を行っている.維持管理の方向性として、定期的な 非破壊試験を実施し、急激な経年変化傾向が生じていな いか確認していくことを提案している.一例として,地 震時安全性の確認を主目的に, 脆性的な破壊モードであ る各部材のせん断破壊に対する解析評価も行っている. 解析では,変形の非対称性等を反映するため3次元フレ ームモデルを構築するとともに,アルカリ骨材反応部材 の応力状態をより正確に模擬するため,各部材には材料 非線形特性の設定を考えている.この解析によれば,耐 力上の評価は可能であるが,アルカリ骨材反応自体の劣 化予測を行うことができないのが現状である.

岡田ら⁵は各種環境下におけるアルカリ骨材反応の進 展度調査を目的として6環境条件下におけるコンクリー ト試験体のクラック幅,長さ,膨張量,超音波伝播速度 等の諸計測を行っている.6環境条件下とは地上,地中, 半地中,半海水中,海水中,淡水中である.岡田らによ れば,各種環境条件の影響は,反応の発現度合の差はあ るものの,39ヵ月程度の経年の範囲内ではあまり明瞭で はないとしている.

以上を鑑みると、数値解析によりアルカリ骨材反応を 模擬した事例はあるが、それにより安全性評価を行った 事例はない.そこで本研究では、岡ら^{6,7)}が提案した解析 モデルを使用し、実構造物を対象とした数値シミュレー ションを行うことで劣化予測を行い、将来の安全性の評 価を行う.特にアルカリ骨材反応により劣化し、厳しい 環境条件の下でその影響が強いと思われる構造物を対象 とすることで、安全性の検討の一助となることを目的と する.

2. 対象構造物

2.1 対象構造物の劣化性状

解析の対象とした構造物は、香川県下にて供用中の分 水工Aである.分水工Aを図-1に示す.この分水工Aは



図-1 対象の分水工

図-2 分水工Aの上面ひび割れ性状

昭和43年から49年にかけて建設され、40年が経過している.図-1において青い線で囲った部分にひび割れが見られ、ゲル成分調査の結果、ひび割れの原因は「アルカリ骨材反応」であることが判明した.

分水工Aのひび割れ性状の特徴として、上面に発生し た1本の卓越したひび割れが挙げられる. 分水工A上面 のひび割れ性状を図-2に示す.この図からは、それほど 多くのひひ割れは発生していないように見えるが、図-1 を見て分かる通り、表面に塗装が施してあるため、実際 には発生しているが、確認できないひび割れも多数存在 している可能性がある. 図-2 のように卓越した一本のひ び割れが発生した原因として、分水工Aの配筋が考えら れる. 配筋概念図を図-3 に示す. 図-3 の赤い線が鉄筋で ある. なお、当時の設計図書には幅止筋についての記載 はなかったが、実際には組み立筋として幅止筋は配筋さ れ、ある程度の拘束を行っていると考えるのが妥当であ る.しかし、この幅止筋の鉄筋径は φ10 程度が妥当であ り、主筋やあばら筋に対して鉄筋径は小さく、鉄筋量は 少ないと思われる. そのため、主筋やあばら筋よりも拘 束力が極端に小さいため、本解析では考慮に入れていな い. この配筋を鑑みると、Z方向の拘束力がX方向Y方 向に比べて極端に弱くなり、その結果 Z 方向に割れ、X 方向の1本のひび割れが進展したものと類推される.過 去の研究^{8,9}からも、拘束力の強い構造物は、拘束方向へ 卓越したひび割れの発生が確認されている. また、上面 にはこのような卓越した1本のひひ割れが発生している が、側面には目視により確認できるひび割れは確認でき なかった.これは、分水工Aの断面は薄く、周りに常に 流水しているという環境下で使用されており, アルカリ 分が滲出したためと考えられる¹⁰.

2.2 促進膨張試験

使用骨材にアルカリシリカ反応性があれば、調査時に アルカリ骨材反応の兆候が発見されなくても、長期の供 用期間の後には膨張し、構造物に劣化が生じる可能性が ある. コンクリートが今後どのような速度で、また、最



終的にどの程度まで膨張するかについては、確実な測定 手法はないのが現状であるが、この目安として、対象と する構造物から採取したコアより測定される残存膨張量 がある¹¹⁾.測定の結果、分水工Aの残存膨張量は材齢6 ヶ月で約0.030%であった.膨張量の経時変化を図-4に示 す.残存膨張量を測定する方法はいくつかあるが、今回 行われた促進膨張試験はJCI-DD2法¹¹⁾である.この方法 では、基準値の0.1%を超えれば異常な膨張と判断される. 分水工Aはこの基準値を下回っていることから、アルカ リ骨材反応は収束に向かっているものと思われる.

3. 解析手法

3.1 アルカリ骨材反応による膨張挙動再現手法

アルカリ骨材反応による膨張挙動を FEM 解析で再現 するためには、粗骨材、界面、モルタルなどを忠実に再 現することが望ましい. しかしこれらを忠実に再現する と, 要素数が増大し, 難解なモデルとなるため, 実構造 物への適応が困難なものとなる. 文献のでは、アルカリ骨 材反応による膨張挙動を再現でき, かつ実構造物に適応 可能な解析手法を提案している. アルカリ骨材反応によ る膨張で発生したマイクロクラックは、粗骨材の配置や 内部欠陥により変形の局所化が起こり、限定されたひび 割れが進展・成長する. こうしたマクロなひび割れが形 成された際のコンクリートの応力状態は、圧縮領域と引 張領域が混在した状態と考えられる. 文献のの解析手法で は、こうした応力状態を再現するために、コンクリート を膨張する要素(膨張要素)と膨張しない要素(非膨張 要素)の2つの要素で考え、膨張要素には膨張ひずみを 与えることでアルカリ骨材反応にともなう膨張をモデル 化している. こうしたモデルに適切なパラメータを入力 することで、アルカリ骨材反応によるマクロなひび割れ を再現している.本研究では、アルカリ骨材反応による ひび割れ発生および進展解析をする必要があることから, この解析手法を用いることとした.



文献^のでは、この2つの要素を等価ひび割れ要素と総称 0.05 し、等価ひび割れ要素には最適寸法が存在するとしている. 解析結果と実構造物の比較事例より最適寸法は1辺80~100mmの正方形とある.本研究でも、極力この大きさになるように解析メッシュを作成する.

3.2 弾性係数の低減

アルカリ骨材反応により劣化したコンクリートは、圧 縮強度・静弾性係数が逓減すると言われている^{12,13}. 圧 縮強度は膨張量 3000µの範囲において大きな低下は認め られず、アルカリ骨材反応による膨張が圧縮強度に与え る影響は顕著でない.しかし、静弾性係数はアルカリ骨 材反応の初期段階で急激に低下すると言われている. 膨 張量 1000 µ 程度で約6割低下し、それ以降は緩やかに低 下する傾向を示すが、その程度は極めて少ない.解析で もこの膨張量による静弾性係数の変化を取り入れること が望ましいが、その変化割合などが不明であることから、 全ての力学特性は不変とした. 圧縮強度はアルカリ骨材 反応による影響が顕著でないため、一般的なコンクリー トの圧縮強度の値を用い、静弾性係数は一般的なコンク リートの静弾性係数の値が6割低下、つまり初期に対し て4割の値となるものと仮定して用いた.

3.3 材料特性

解析は3次元有限要素解析であるためコンクリート部 材には、8節点アイソパラメトリックソリッド要素を使用



図-5 コンクリートモデル形状

し、この要素にコンクリートの材料特性を入力すること により、コンクリート部材とした.コンクリートの材料 特性を表-1に示す.解析領域は実構造物と同じとした. コンクリート部材の形状を図-5に示す.図-5の(a)は側面 図、(b)は上面図である.鉄筋部材には、8節点アイソパ ラメトリックソリッド要素の節点と節点を結ぶようにト ラス要素を配筋し、このトラス要素に鉄筋の材料特性を 入力することで鉄筋部材とした.鉄筋の材料特性を表-2 に示す.鉄筋の材料特性には一般的な値¹⁴⁾を使用した. これは、実構造物から鉄筋の材料特性を得られなかった ためである.

有限要素解析における要素の形状やメッシュ数の制限 より,鉄筋位置・鉄筋本数を同じにすることができなか った.そこで,式(1)を用いて等価に置き換えるという手 法を用いて鉄筋を表現した.ここで,*As*:鉄筋の断面積, *As*':等価な鉄筋の断面積,*n*₁:実構造物の鉄筋本数,*n*₂: 数値解析モデルにおける鉄筋本数である.解析における 鉄筋の配筋状況と鉄筋径を図-6に示す.ここで,赤線は

$$As' = \frac{n_1}{n_2} As$$

(1)

表-1 コンクリートの材料特性

項目	設定値
低減後の弾性係数 $E_{\rm c}$ (N/mm ²)	8.00×10 ³
引張強度 f_t (N/mm ²)	3.00
引張ひび割れひずみ ε_{α}	5.00×10 ⁻⁴
压縮強度f _{ck} (N/mm ²)	3.00×10
ポアソン比 vc	0.20

項目	設定値
弹性係数 $E_{\rm s}$ (N/mm ²)	2.00×10 ⁵
降伏強度fy (N/mm ²)	3.45×10 ²
ポアソン比 vs	0.30

表2 鉄筋の材料焼性



図-6 解析モデルの鉄筋径と配筋箇所

D16, 緑線はD19, 青線はD22を表している.

3.4 膨張要素と膨張量の選定

本研究は、コンクリート中の膨張要素を膨張させ、ア ルカリ骨材反応による膨張挙動を再現する.膨張要素の 割合は、文献^のの研究と同様に一般的な水セメント比から 計算したコンクリート全体積に占める粗骨材の割合であ る 40%を採用した.この膨張要素を3次元的にランダム に配置した.

文献⁶では、コンクリート表面と内部の含水率に着目し、 含水率の低い表面と含水率の高い内部では膨張量に差が あると考え、内部と外部とで膨張要素に与える膨張ひず みに差を与えている.この点について、本研究の対象構 造物である分水工Aは図-1より大部分が水に浸っている ため、含水率による膨張量は内部と外部において差はな いと考えられる.しかし、分水工Aの断面は薄く、また 常に流水しているという状況であるために、コンクリー ト表面からアルカリ分が滲出していると判断した.文献 ¹⁵によれば、セメント中のアルカリ分と膨張量には相関が あり、アルカリ量が増大にともなって膨張量も増大する としている.そのため、コンクリート表面と内部とでは 膨張量に差があると考えた.コンクリート縁からの距離 と膨張ひずみの関係を図-7に示す.コンクリート縁から



図-7 コンクリート縁からの距離と膨張ひずみの関係



図-8 膨張要素を配置した状況

表面までの膨張要素の膨張ひずみの比率を変えて感度解 析を行った. 中心の要素の膨張要素の膨張ひずみの比率 を1.0とし、表面の要素、その中間の要素の膨張要素の膨 張ひずみの比率を変えて行った. コンクリート表面から アルカリ分が滲出していると想定したため、表面の要素 の膨張要素の膨張ひずみは中心の要素の膨張要素の膨張 ひずみより小さくし,三角形分布,正規分布と仮定して 解析を行った. その結果、上面のひび割れ性状に大きな 違いは見られなかったが、側面のひび割れ性状に違いが 見られた.実構造物のひび割れ性状は上面にひび割れが 発生し、側面には発生していない. 本解析で用いた膨張 要素の膨張ひずみの比率は、その実現象に近いひび割れ 性状を示した 1.0-0.1-0.0 を本論文では考慮する. 設定した 膨張要素を配置したコンクリート部材を図-8 に示す. (a) に全体図、(b)に表面要素、(c)に中間要素、(d)に内部要素 を示す. 白い要素が膨張ひずみの比率が 0.0 の要素(b), 青い要素が膨張ひずみの比率が 0.1 の要素(c), 赤い要素が 膨張ひずみの比率が 1.0 の要素(d)である. これらの膨張 要素に膨張ひずみを与えて解析を行った.



(a) 内部膨張要素の膨張量 2900µ 時のひひ割れ性状



(b) 内部膨張要素の膨張量 3500µ 時のひび割れ性状図-9 ひび割れ図

4. 解析結果

4.1 解析によるひび割れ性状

解析では、内部膨張要素の膨張量 100µ 毎に分水工 A の 上面と側面のひび割れ性状を評価した.内部膨張要素の 膨張量の増加にともなうひび割れ性状、内部膨張要素の 膨張ひずみ 2900µ の時を図-9(a)に、3500µ の時を図-9(b) に示す.ひび割れ幅が 0.2mm 以下のひび割れは目視によ る確認は困難であると考え、解析により得られたひび割 れ性状も 0.2mm 以下のひび割れも除去している.膨張ひ ずみ 2900µ 時は側面にひび割れが発生した時点で、上面 には卓越した一本のひび割れが発生した時点で、上面 には卓越した一本のひび割れが発生している.膨張ひず み 3500µ 時は上面の卓越したひび割れは長手方向の全面 にわたっており、側面にも多少ひび割れが発生している.

4.2 ひび割れ比較

実構造物の現状の劣化度を評価するため、実構造物に 発生したひび割れと数値シミュレーションにより得られ たひび割れとの比較を行った. 比較はひび割れ性状,ひ び割れ長さ,ひび割れ幅について行った.

実構造物のひび割れ性状については、上面には卓越し た一本のひび割れの発生、側面にはひび割れが発生して いない、もしくは目視不可能なひび割れの発生という特 徴がある.解析においてこの特徴をほぼ再現できている と思われる膨張量を現在の劣化度を表す膨張量と仮定す る. 次に、実構造物と解析結果における上面のひび割れ 幅の比較を図-10(a)に示す.縦軸は上面ひび割れ幅の範囲, 横軸は内の膨張量としている.実構造物のひび割れ幅範 囲は0.3-3.5mmであり、実構造物のひび割れ幅の平均は 1.05mm であった. しかし、1.0mm 以上のひひ割れはアル カリ骨材反応以外の影響でひび割れ幅が増大していると 考えられる. 例えば、図-11 に示すようなひび割れの欠け や乾燥収縮、構造物の上面においては季節ごとの湿度変 化に伴い乾湿が繰り返され、ひび割れ幅が変動し、ケー スによっては大きくなったと考えられる. ひび割れ幅が アルカリ骨材反応以外の影響が大きいと考えられる. ま た、ひび割れ幅が 0.2mm 以下は目視困難であることから、 これら2つの条件を鑑みて0.2-1.0mmの範囲で評価し、 算出した平均値を推定平均値として図-10(a)に示す.推定 平均値を基に解析結果と現場データを比較したところ. 内部膨張要素の膨張量2700µの際に近い値を示している ことが分かる.

内部膨張要素の膨張量の増加にともなう側面のひび割 れ幅を図-10(b)に示す.縦軸は側面のひび割れ幅の範囲, 横軸は内部膨張要素の膨張量としている.解析上,ひび 割れの発生は内部膨張要素の膨張量が2800µに達するま で構造物の側面にはひび割れが確認されていない.この ことは構造物の側面にひび割れが発生していない,ある いは目視で確認できない程度のひび割れの発生であるこ とを意味する.いずれにせよ、実構造物における膨張ひ ずみは2800µ以下と考えることが妥当であろう.

内部膨張要素の膨張量の増加にともなう上面ひび割れ 長さを図-10(c)に示す.縦軸は上面のひび割れ幅の範囲, 横軸は内部膨張要素の膨張量としている.赤色の直線が 実構造物のひび割れ長さで2.2mである.解析結果から得 られたひび割れ長さを青い点で示す.図-11を見て分かる 通り,上面は塗装が施されており,目視不可能なひび割 れが存在すると思われる.そこで,解析により得られた 上面ひび割れ長さからひび割れ幅が0.2mm以下の割合を 除去した長さを解析結果としている.この解析結果と実



構造物のひひ割れ長さを比較すると、内部膨張要素の膨 張量 2700μで実構造物と近い値を示している.

4.3 現状劣化評価

以上のように、実構造物の現状劣化度を評価する内部 膨張要素の膨張量は 2700µ と仮定した.内部膨張要素の 膨張量 2700µ 時の解析モデルの上面、側面のひび割れ性 状を図-12 に示す.実構造物と解析結果を比較するため、 分水工Aにおける上面のひび割れ性状を図-13(a)に、膨張 ひずみ 2700µ 時における解析結果の上面のひび割れ性状 を図-13(b)に示す.図-13(b)と図-13(a)を比べると、どちら も長軸方向にひび割れが発生している.

実構造物と膨張ひずみ 2700μ 時における上面のひび割 れ幅分布を図-14 に示す.ここで、青い棒グラフが分水工 Aの現場データであり、赤い棒グラフが解析結果である. 縦軸は各ひび割れ幅のデータ数(M)を全データ数(∑M)で 除した無次元量 M∑M である.また、赤い破線が解析で 得られたひび割れ幅分布の平均値、青い破線が現場デー タから得た推定平均値である.なお、図-10(a)における評 価にて推定平均値を求めた場合と同様に、対象とするひ び割れ幅の範囲は 0.2-1.0mm の間とした.現場データと 解析結果を比較すると、現場では 0.3-0.4mm および 0.7mm と 0.9-1.0mm において出現率が多く、一方、解析では



実構造物上面の状況

図-11



0.2-0.8mm までに少々の差はあるまでも満遍なくひび割 れが出現している.つまり、両分布には違いがみられる が、現場のひび割れは乾燥収縮などアルカリ骨材反応以 外の影響があること、測定は目視であることを考えると、 ひび割れを詳細に捉えているとは考え難い.そのため、 両分布の詳細な比較ではなく傾向の比較を行うと、両分 布はある程度の似た傾向を示していると言える.上述し たことを総合的に考えると、分水工Aの現状劣化度を評 価する解析モデルの内部膨張要素の膨張量は2700µであ ると考えられる.

5. 劣化予測

5.1 劣化予測手法

本研究での劣化予測システムの概要を図-15 に示す.ま ず,対象構造物からひび割れ性状やひび割れ幅などの現 場データを採取する(図-15 の A 点).数値解析によりシ ミュレーションを行い,現場データから採取したひび割 れ性状とひび割れ幅の分布を再現し,シミュレーション における膨張量を算出する(図-15 の B 点).現場から得 たコンクリートコアを促進膨張させることで残存膨張量 を求め,シミュレーション上のコアの膨張量に加算する ことで,対象構造物の終局時との定義する(図-15 の C 点). さらにシミュレーションでは定義した終局時の膨張量ま で膨張させ,終局時のひび割れ性状やひび割れ幅分布を 予測する(図-15 の D 点).以上の流れを今回の分水工A に当てはめて劣化予測を行う.



図-14 内部膨張要素の膨張量 2700µ時のひび割れ幅分布

5.2 ひび割れ予測

2.2 で示した通り、分水工 A の現場コアデータから得 られた残存膨張量は平均で約300µである.また,4.3で 定義した分水工Aの現状劣化度を評価したコアの膨張量 は2700µであった.そのため、分水工Aの終局膨張量は 3000 であると仮定する. ここで 3000 時のひひ割れ性 状を図-16に示す、上面のひび割れ性状は、卓越した一本 のひひ割れがほぼ全面にわたり発生しているのが確認で きる. また, 側面にもひび割れが多少発生するが, ひび 割れ幅は小さく目視による確認が困難な程度である. ま た、現状と将来のひび割れ幅分布の比較を行い、そのひ び割れ幅分布を図-17に示す.青い棒が数値解析により定 義した現在のひび割れ幅分布、赤い棒が数値解析により 定義した将来のひび割れ幅分布である.将来のひび割れ 幅分布は、現状と比べ分布の山がなだらかになるが、よ り大きなひび割れ幅ヘシフトしている. これは現在の小 さなクラックが一様に進展するのではなく、一部のひび 割れは進展、また一部のひひ割れは進展しないというよ うな現象を生じることを意味していると考える.

5.3 鉄筋軸ひずみ

次に,鉄筋に発生する軸ひずみについての考慮を加える.鉄筋に発生した軸ひずみが降伏ひずみに達していな



いか、または将来達する可能性があるかを調べることで、 補修の必要があるかどうかの検討を行うことができる. 膨張ひずみの経時変化にともなう鉄筋軸ひずみの関係を 図-18 に示す.ここで、縦軸を鉄筋軸ひずみ、横軸を膨張 ひずみとしている.赤い線は水平方向に配筋した鉄筋に おいて最大値を示した箇所における軸ひずみ分布であり、 青い線は鉛直方向に配筋した鉄筋において最大値を示し た箇所における軸ひずみである.図-18(a)に評価箇所の鉄 筋位置を示す.鉄筋降伏ひずみは1750µであるが、現在 の膨張量 2700µ時は、鉄筋軸ひずみは 1000µ にも達して



おらず,終局時と定義した膨張量 3000µ まで膨張させた 場合も,鉄筋降伏ひずみである 1750µ に達しなかった. これより,分水工Aの鉄筋は,終局時にでも降伏に至る ことはないと推察できる.

6. まとめ

本研究は、アルカリ骨材反応による劣化を受けた実構 造物の将来の安全性を検証するために、簡易的な解析モ デルを使用して数値解析を実施することで劣化予測を行 ったものである. 本研究で明らかになったことを以降に 示す.

- (1) 上面のひび割れ長さ,上面のひび割れ幅分布を基に, 解析結果と実構造物の比較を行った.ひび割れ幅が 0.2mm以下のひび割れは目視による確認が困難であ り,ひび割れ幅が 1.0mm 以上のひび割れは季節ごと の湿度変化に伴い乾湿が繰り返されるなど,アルカ リ骨材反応以外の影響が強いと想定される.そのた め,対象とするひび割れは,ひび割れ幅が 0.2-1.0mm のひび割れとした.その結果,解析結果は現場の現 況に近いひび割れ性状を再現した.
- (2) 推定した現状の膨張量に現場コアデータから得られた残存膨張量を加算することで、対象構造物の終局状態と定義した.現状から終局時まで膨張要素に随時膨張ひずみを与えてシミュレーションを行った.その結果、上面のひび割れば進展し、側面にも目視可能なひび割れが若干発生する可能性を呈した.ひび割れ幅・長さともに残存膨張により進展するが、終局時でも顕著な劣化には至らないことが明らかとなった.
- (3) 数値解析での鉄筋の最大軸ひずみについて検討した結果,現状・終局時ともに降伏に至らないことが 判明した.

本研究で分水工を対象に現状・将来劣化評価を行い, 将来の安全性を検証した.その結果,解析ではアルカリ 骨材反応による劣化の終局時でも重度な危険性を示さな かった.提案した評価手法は簡易的に劣化評価を行うこ とを主眼としており,細かい点においては現象を詳細に 再現できるものではなく,かつ,現象のメカニズムを解 明するようなスタンスにはない.しかしながら,現状及 び将来における鉄筋コンクリート構造物のアルカリ骨材 反応現象による劣化状況を簡易的に評価するということ に関しては,十分に有用であると考える.本来であれば, 構造物の安全性等を評価するには,アルカリ骨材反応に よる劣化を前提とした耐震性能等を評価する必要がある が,本研究では劣化評価に主眼を置いているため,地震 等も含めた評価は今後の課題としたい.



内部膨張要素の膨張量_ε(μ)

1000

2000

3000

200 0

0

参考文献:

- 田中輝明:鉄筋コンクリート構造設計の基礎,理工
 図書, pp.1-8, 2000
- 久保善司,渡邊悠輔,森寛晃,小川彰一:ASR 膨張 が内部コンクリートの強度特性に与える影響,コン クリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.1071-1076, 2008
- 山城建樹,富山潤,伊良波繁雄,神田康行:アルカ リ骨材反応によるひび割れ挙動に関する研究,コン クリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.77-82, 2006
- 4) 建築研究振興協会:アルカリ骨材反応に関する鉄筋 コンクリート構造物の健全性評価及び維持管理方 法検討会報告書,pp.1-14,2008
- 5) 岡田清,近藤茂,藤田哲満,岡本潤二:各種環境下 におけるアルカリ骨材反応の進展について,コンク リート工学年次論文報告集, Vol.10, No.2, pp.773-778, 1988
- 6) 岡孝二,吉田秀典,松島学,横田優:アルカリ骨材 反応によるコンクリートのひび割れ発生モデルの 構築と解析手法の提案,土木学会論文集 A, Vol.63, No.4, pp.744-757, 2007
- 7) 松島学,横田優,吉田秀典,岡孝二:アルカリ骨材 反応によるコンクリートのひび割れ幅の数値解析 モデル,コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.744-757,2008

- 小林一輔:コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ2 アルカリ骨材反応の診断,森北出版, pp.27-34, 1991
- 9) 中部セメントコンクリート研究会編:コンクリート 構造物のアルカリ骨材反応,理工学社,pp.155-161, 1990
- 10) 小野鉱一,川村満紀,田村博,中野錦一:コンクリ ート構造物の耐久性シリーズ,アルカリ骨材反応, 技報堂出版, p.63, 1986
- 11) 日本コンクリート工学協会:コンクリート診断技 術'03[基礎編],報光社, pp.177-178, 2003
- 12) 土木学会 コンクリート委員会:アルカリ骨材反応 対策小委員会報告書-鉄筋破断と新たなる対応-, 土木学会, pp.II-81-II-89, 2005
- 13) 野村倫一,松田好史,葛目和宏: ASR の影響を受け た構造物におけるコンクリートの力学的特性,コン クリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1273-1278, 2009
- 14) 吉川弘道:鉄筋コンクリートの設計,丸善株式会社, pp.21-44, 1997
- 15) 王鉄成,西林新蔵,中野錦一,吉野公:ASRによる コンクリートの膨張に及ぼすアルカリ量の影響,コ ンクリート工学年次論文集, Vol.16, No.1, pp.1067-1072, 1994