

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760313
 研究課題名 (和文) 時間軸を考慮したコンクリート構造物の性能評価に向けた
 構造解析システムの開発
 研究課題名 (英文) Development of an analysis system for performance evaluation
 of concrete structures under the service life
 研究代表者
 斉藤 成彦 (SAITO SHIGEHICO)
 山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授
 研究者番号：00324179

研究成果の概要：

高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物は、材料の劣化に伴う構造性能の低下が懸念されているため、本研究では、コンクリート構造物の建設時から長期にわたる性能の変化を定量的に把握するための構造解析システムの開発を目標とし、コンピュータシミュレーション技術における材料劣化のモデル化に関する検討、および開発したシミュレーション技術を利用して、材料劣化の生じた構造物の性能評価を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	0	2,100,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	300,000	3,400,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：コンクリート構造

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の設計時における性能照査では、時間軸という概念を明示的に扱っておらず、ある前提条件のもとに、構造物は設計供用期間中のいずれの時間においても要求性能を満足するものとしているのが現状である。例えば、耐久性の検討では、かぶり厚さのような構造細目を定めて鋼材の腐食を許容しないことにより、鋼材腐食の進展に伴う性能の変化のような時間の影響を無視した照査を行っており、また地震に対する安全性の照査では、材料特性の経時変化の影響を安全係数に考慮することで、初期の材

料特性値を用いた照査が行われている。

しかし一方で、高度経済成長期に建設された既存のコンクリート構造物の多くは、想定された寿命を待たずに劣化が進んでおり、コンクリート片の落下などの弊害とともに、大規模地震に対する耐荷性能の低下が懸念されている。したがって、環境作用による材料特性の経時的な変化を考慮し、既設構造物が保持する現有性能を正確に把握した上で、効果的な補修・補強方法を検討する必要がある。また、地震作用に対する要求性能として、近年、構造物の被災後に適切かつ迅速な補修・補強を要求する復旧性能が重要となってお

り、供用期間中の地震などの偶発作用に伴う性能の低下や修復による性能の回復といった荷重履歴による経時的な性能の変化を評価する必要がある。

2. 研究の目的

現状ではコンクリート構造物の設計に時間軸の概念がないために、新規に構造物を設計する場合の性能照査と、時間軸の概念が必須となる既設構造物の補修・補強などの維持管理における性能照査は区別され、別の体系で扱われている場合が多い。そこで本研究では、時間軸を考慮した性能照査体系の確立に向けて、図1に示されるような構造物の経時的な性能の変化を評価できる構造解析手法の開発を目指す。すなわち、環境作用に基づく材料特性の経時変化を考慮した構造解析手法を開発し、地震などの荷重履歴や材料劣化を受けた構造物の耐荷性能の評価を試みる。

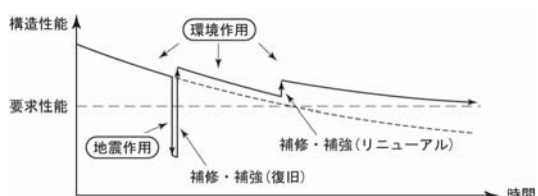


図1 時間軸を考慮した構造性能評価

3. 研究の方法

まず、コンクリート構造物における材料特性の経時的な変化を予測するための劣化シミュレーションモデルの開発を行う。これまでの研究により、コンクリート中の水分と塩分の移動を拡散現象として扱った物質移動解析プログラムが、申請者らの開発した離散型の構造解析手法である3次元 Spring Network モデルに導入されているので、供用開始からのコンクリート中の相対湿度分布と塩分濃度分布を予測することができる。そこで、鋼材の腐食をモデル化することにより、鉄筋位置で算出された塩分量を用いて構造物中の鉄筋の腐食量が算定できるようにする。これにより、鉄筋の経時的な腐食進展が予測できるので、鉄筋腐食量を材料特性値に反映させた構造解析を行うことにより、材料の劣化した(鉄筋の腐食した)構造物の性能評価が可能となる。ここで、水分の移動に基づいた収縮ひび割れ解析を併用することにより、コンクリートに生じた初期ひび割れがコンクリートへの塩分浸透に及ぼす影響についても検討することができる。ここでは特に、構造物の周辺環境の違いを想定して、構造物表面に設定する飛来塩分量(物質移動解析の初期値)に3次元的变化を持たせ、構造物中の鉄筋腐食の非一様性について検討を行う。この腐食の空間的な分布は、構造物

の性能を大きく左右するものと予想され、既設構造物の性能評価を行う際の点検方法の選定に有用な情報を与えるものと考えられる。なお、本解析手法の特徴であるコンクリート中の物質の濃度分布やひび割れ進展性状などの情報は、3次元的な可視化を試みることで、解析結果の有効な利用に繋げていく。

開発した解析プログラムにより、供用開始から時間が経過した構造物中の材料特性の変化を評価できるため、こうした材料特性値の変化を反映させた構造解析により、構造物の経時的な性能の変化を評価する。まず、比較的シンプルな劣化状況を設定し、材料劣化による損傷を想定した鉄筋コンクリート部材の破壊実験を行い、実験結果と解析結果を比較検討することで、解析モデルの検証と改善を行う。部材実験では、コンクリートに予めひび割れや不連続面を導入したり、局部的に鉄筋断面積を減少させたりするなどして、材料の経時的な劣化を簡易にモデル化する。次に、劣化シミュレーションにより構造物に空間的な分布を有する劣化を与えた上で構造解析を実行し、種々の劣化状況が構造性能に及ぼす影響について検討を行う。

4. 研究成果

2007年度は、コンクリート構造物における材料特性の経時的な変化を予測するための劣化シミュレーションモデルの開発を行った。これまでの研究により、コンクリート中の水分と塩分の移動を拡散現象として扱った物質移動解析プログラムが、申請者らの開発した離散型の構造解析手法である3次元 Spring Network モデルに導入されているので、供用開始からのコンクリート中の相対湿度分布と塩分濃度分布を予測することができる。そこで、鋼材の腐食をモデル化することにより、鉄筋位置で算出された塩分量を用いて構造物中の鉄筋の腐食量を算定し、鉄筋の経時的な腐食進展を予測した。続いて鉄筋腐食量を材料特性値に反映させた構造解析を行うことにより、材料の劣化した(鉄筋の腐食した)構造物の性能評価を行った。鉄筋の腐食分布が耐荷性状に及ぼす影響について検討を行い、最大耐力および変形性状が概ね予測可能であることを示した。

2008年度は、前年度に開発した解析プログラムにより、供用開始から時間が経過した構造物中の材料特性の変化を評価できるため、こうした材料特性値の変化を反映させた構造解析により、構造物の経時的な性能の変化を評価を行った。まず、比較的シンプルな劣化状況を設定し、材料劣化による損傷を想定した鉄筋コンクリート部材の破壊実験を行い、実験結果と解析結果を比較検討することで、解析モデルの検証と改善を行った。部材実験では、コンクリートに予めひび割れや不

連続面を導入したり、局部的に鉄筋断面積を減少させたりするなどして、材料の経時的な劣化を簡易にモデル化した。次に、劣化シミュレーションにより構造物に空間的な分布を有する劣化を与えた上で構造解析を実行し、種々の劣化状況が構造性能に及ぼす影響について検討を行った。

ここでは、本研究機関で得られた成果のうち、鉄筋の腐食分布が RC はり部材の耐荷性状に及ぼす影響について、紹介する。

材料の劣化したコンクリート構造物の性能を定量的に評価する方法として、非線形構造解析の適用が考えられる。塩害などにより材料劣化の生じた構造物に対しては、詳細点検により鉄筋の腐食状態に関する情報が得られれば、それを入力値とした非線形解析によって現有する構造性能を精度良く把握できる可能性がある。しかしながら、構造物中の鉄筋の腐食程度は空間的なばらつきを有しており、供用中の構造物に対して鉄筋の空間的な腐食分布を正確に把握することは難しい。したがって、限られた情報を用いて構造解析を実施し、構造性能を評価するためには、鉄筋腐食のばらつきが構造性能にどのような影響を与えるのか、あらかじめ十分に認識しておく必要がある。既往の研究では、鉄筋腐食の生じた部材の耐荷性状を非線形解析により評価可能であることが示されているが、腐食のばらつきが耐荷性状に及ぼす影響についてはほとんど検討が行われていない。

一方、鉄筋腐食の生じたコンクリート部材の構造性能に関する実験的研究が数多く実施されており、腐食の程度が大きくなるにつれ耐荷性能が低下することが確認されているが、腐食程度と耐荷性能との関係は研究によって異なっている。その最大の要因は、電食・曝露などの劣化促進手法を問わず、供試体内の鉄筋の腐食程度にばらつきがあるためであり、腐食のばらつきが耐荷性状に及ぼす影響については明らかにされていない。

そこで、曲げ破壊する鉄筋コンクリートはり部材の非線形構造解析を行い、鉄筋の腐食分布が耐荷性状に及ぼす影響について検討を行った。

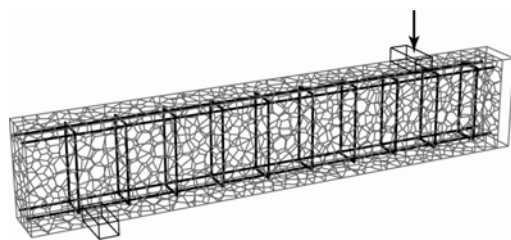


図2 解析モデル

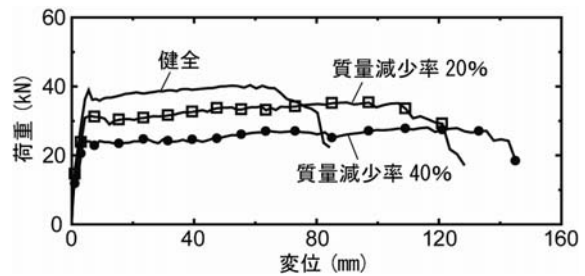


図3 解析より得た荷重－変位関係

図2は、鉄筋腐食の生じた RC 部材の解析モデルを示している。平均質量減少率に従って鉄筋断面積を一様に減少させて解析を行った結果、得られた荷重－変位関係を図3に示す。質量減少率が増加するほど、降伏荷重および最大荷重が低下することが確認できる。変形性能については、質量減少率が増大するほど低鉄筋比となるため、より大きな変形を生じていることが分かる。

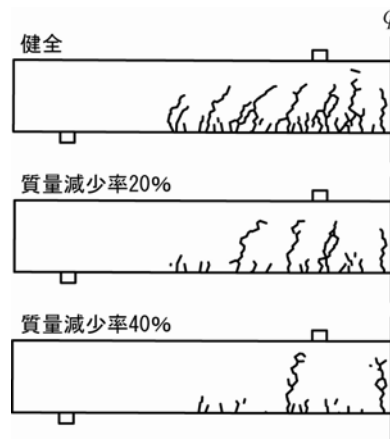


図4 ひび割れ性状

図4に、解析より得られたひび割れ性状を示す。鉄筋腐食量が増大するにつれ、付着の劣化程度も大きくなるため、ひび割れの分散性が悪くなっていることが確認できる。

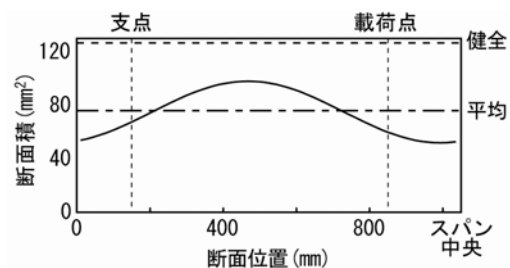


図5 仮定した鉄筋断面積の分布

鉄筋の腐食分布を考慮した解析を行うため、図5に示すように、サイン波で簡易に腐食分布を考慮したモデル化を行った。解析より得られた荷重－変位関係を図6に示す。一

様な腐食を仮定した結果に対して、腐食分布を考慮した解析結果は、降伏荷重および最大荷重が低下していることが確認できる。これは、局所的な腐食が RC 部材の挙動に影響していることを示している。また、腐食分布を考慮した解析では、付着劣化の分布もモデル化されており、変形性能が小さくなる結果となった。

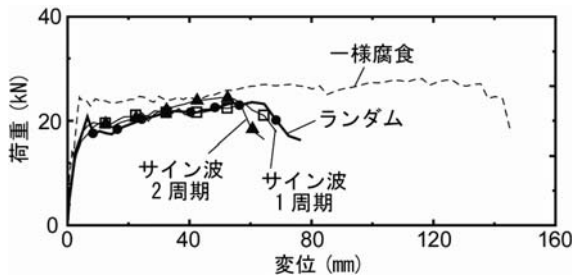


図6 鉄筋の腐食分布を考慮した解析結果

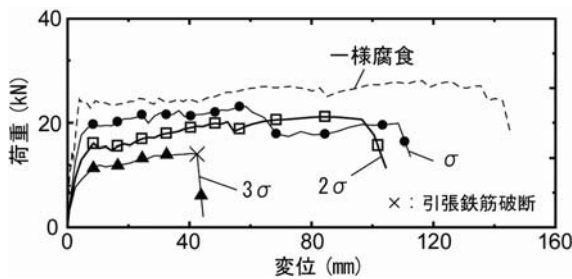


図7 解析より得た荷重—変位関係

鉄筋の腐食分布を考慮することにより、耐力低下のばらつきを評価できることが確認できたが、実験と同程度の耐力低下を再現するため、局所的な断面減少を考慮した解析を行った。解析より得られた荷重—変位関係を図7に示す。局所的な腐食量が増大するにつれ、最大荷重は減少する傾向にあるとともに、変形性能も小さくなっているのが確認できる。また、局所的な腐食量が大きい場合には、引張鉄筋の破断が生じ、変形性能が著しく失われる結果となった。このとき、付着劣化の分布も大きな変動を有しており、付着劣化を適切に考慮することにより、鉄筋の破断に伴う耐荷力および変形性能の低下を精度よく評価できることが確認された。

鉄筋の腐食分布を考慮した検討を重ねることにより、最終的に図8に示される耐力比と平均質量減少率との関係を得ることができた。局所的な腐食量を考慮することにより、実験で観察される腐食分布をモデル化することができ、耐力の低下傾向を比較的精度よく予測することが可能であることが示された。

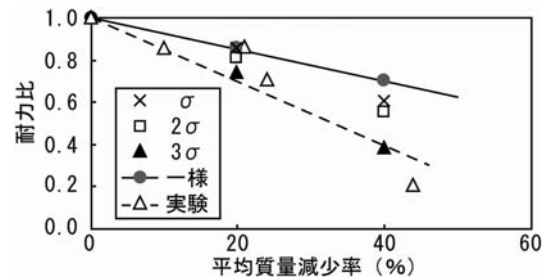


図8 耐力比—平均質量減少率関係

この研究より得られた知見は、次のとおりである。

(1) 鉄筋腐食の生じた曲げ破壊する RC はり部材の降伏荷重や最大荷重は、最小断面積の大きさに影響を受ける。一方、変形性能は腐食程度が大きくなると向上する傾向にあるが、付着劣化状態の影響を大きく受ける。特に、局所的に腐食が生じている場合のように付着劣化領域が狭い場合には、鉄筋の変形が局所化するために破断が生じ易くなり、最大荷重や変形性能はともに著しく低下する恐れがある。

(2) 腐食量が正規分布に従うものと仮定した場合、降伏荷重や最大荷重のばらつきは、一様腐食を仮定した場合の結果と最大腐食量が平均値から 3 だけ離れた場合の結果との間にほぼ収まる。したがって、腐食量の平均値と変動係数が得られれば、鉄筋腐食の生じた RC はり部材に対し、曲げ耐力のばらつきの範囲を概ね推定することができる。

(3) 最小断面積の位置によって、降伏断面の位置や降伏荷重は変化するが、最小断面積が作用曲げモーメントが最大の位置にある場合に降伏荷重は最小値となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 齊藤成彦、高橋良輔、檜貝 勇、鉄筋の腐食分布が RC はりの部材の曲げ耐荷性状に及ぼす影響、土木学会論文集 E、Vol.64、pp.601-611、2008、査読の有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 成彦 (SAITO SHIGEHICO)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：00324179