

構成材料レベルの劣化状態に着目した コンクリート構造物の統一的損傷評価手法の開発

Development of Damage Evaluation Technique of Concrete Structures Based on Deterioration of Constitutive Materials

プロジェクト代表者：牧 剛史（理工学研究科・准教授）
Takeshi MAKI (Associate Professor, Graduate School
of Science and Engineering)

1. 研究の背景と目的

コンクリート構造物は、その使用期間中に地震作用や風雪などの厳しい環境作用下に曝されるため、外的作用に対する構造物の性能低下を正確に把握し、適切かつ計画的な修復によって構造物の機能を維持する手法を確立することが重要である。構造物の機能低下は複数の構成部材の損傷（巨視的損傷）によって引き起こされるが、そもそも部材の損傷は、材料レベルの微視的損傷の集合体として部材レベルの巨視的損傷が生じる。この点は、損傷を引き起こす外的要因が物理的外力・環境作用の如何によらず同じである。

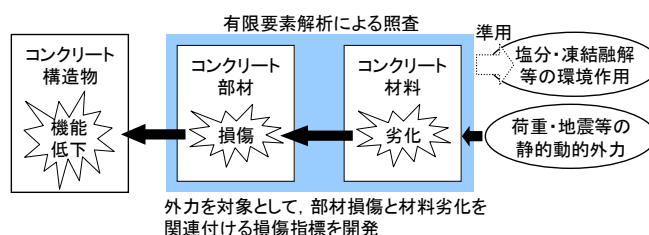


図-1 本研究のアプローチ

上記の背景に鑑み、本研究では荷重作用・環境作用に両方に対して同一の枠組みでコンクリート構造物の損傷を評価できる統一的手法の確立を目的とする。その第一段階として、部材の損傷（巨視的損傷）と構成材料の劣化（微視的損傷）とを関連づける損傷指標およびその限界値の開発を、2次元または3次元有限要素解析を用いて実施する（図-1）。有限要素解析は材料構成則に基づく手法であり、部材を構成する材料の損傷程度とその空間分布を得ることが可能である。これによって、物理的な外的作用を受けた構造物の機能低下度を詳細に評価可能になると共に、低下した機能を回復させる修復作業（作業の種類や程度、修復用材料の必要量など）を決定するための情報を得ることが可能となる。将来的には、構造物の供用期間中における荷重作用と環境作用を時間軸上で位置づける（時間の関数で表す）ことによって、将来的にはコンクリート構造物のライフサイクルにおける統一的照査手法への昇華も可能となり、適切な維持管理計画の策定にも大きく貢献する。

上記の背景に鑑み、本研究では荷重作用・環境作用に両方に対して同一の枠組みでコンクリート構造物の損傷を評価できる統一的手法の確立を目的とする。その第一段階として、部材の損傷（巨視的損傷）と構成材料の劣化（微視的損傷）とを関連づける損傷指標およびその限界値の開発を、2次元または3次元有限要素解析を用いて実施する（図-1）。有限要素解析は材料構成則に基づく手法であり、部材を構成する材料の損傷程度とその空間分布を得ることが可能である。これによって、物理的な外的作用を受けた構造物の機能低下度を詳細に評価可能になると共に、低下した機能を回復させる修復作業（作業の種類や程度、修復用材料の必要量など）を決定するための情報を得ることが可能となる。将来的には、構造物の供用期間中における荷重作用と環境作用を時間軸上で位置づける（時間の関数で表す）ことによって、将来的にはコンクリート構造物のライフサイクルにおける統一的照査手法への昇華も可能となり、適切な維持管理計画の策定にも大きく貢献する。

2. 荷重作用によるコンクリート部材の損傷指標と限界値の開発

鉄筋コンクリート部材の損傷状態を定量的に評価する指標とその限界値の開発を目指して、既往のRC梁の載荷実験を2次元有限要素解析によってシミュレートした。既往の実験は、形状寸法や鉄筋量、配筋、材料強度がなるべく広く分布するように合計15ケースを選定した。有限要素解析から得られた要素ひずみに基づき、ガウス点毎の偏差ひずみ2次不変量を空間平均化したひずみ量によって、RC梁のせん断損傷を定量的に追跡可能であることを示した。また、せん断補強筋や側方鉄筋の有無に応じて、部材のせん断破壊点に対応する損傷指標の具体的な数値を検討した結果、せん断補強筋を有しない部材に対しては 230μ 、せん断補強筋を有する部材に対しては 1350μ という損傷指標の限界値を提案した。

次に、地震作用を受ける RC 柱を念頭に置き、繰り返し変形を受ける RC 柱に対する提案指標と限界値の適用性について検討した。まず、30cm 角の正方形断面を有し、側方鉄筋およびせん断補強筋を有する RC 柱試験体を作製して載荷実験を実施した。その際、試験体の最終的な破壊形式は曲げ降伏後のせん断破壊となるものとした。さらに、本実験を同様の解析手法によってシミュレートし、提案指標の適用性について検討した結果、提案指標および限界値は、RC 柱部材のせん断損傷をある程度定量的に評価可能であるものの、その限界値は繰り返し変形作用に伴う累積損傷の影響を受けることが明らかとなった。したがって、この累積損傷の影響を損傷指標に加味することが今後の課題である。

3. 荷重作用により損傷したコンクリート部材の補修に関する検討

実際のコンクリート構造物においては、ある程度の損傷が生じた部材に対して、修復を施して構造物の機能を回復させる必要が生じる。そこで、前章で開発した損傷指標に応じた修復作業を定量的に評価することを目的として載荷実験を行った。前章で実施した載荷実験試験体と同等の試験体を数体作製し、それぞれにおいて異なる損傷程度（変形レベル）まで載荷を行う。損傷レベルの異なるこれらの試験体に対して、ひび割れに対する樹脂注入を行った後に再び載荷実験を実施した。その結果、損傷程度の比較的小さい部材にひび割れ樹脂注入補修を施した場合は、初期の力学特性に比べて、耐力が若干低下する、剛性が低下するなどの影響が見られたが、損傷が大きな部材を補修した場合は、元々有していた以上の耐力を発揮することが分かった。これは、コンクリートよりも強度の高い樹脂使用量が多いことに起因する。今後は、補修試験体の載荷実験を前章と同様の解析手法でシミュレートすることによって、修復部材の力学性能を定量的に明らかにすると共に、提案した損傷指標を樹脂注入量などの工学的な指標と関連づけることが課題である。

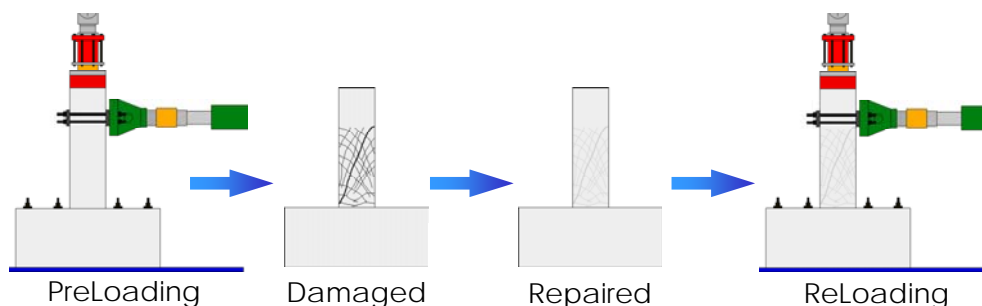


図-2 損傷を生じた RC 柱の樹脂注入による補修と再載荷実験

4. まとめ

本研究では、材料の損傷（劣化）に基づく構造部材の損傷程度の定量評価手法の確立を目指し、特に脆性的なせん断破壊を対象として、破壊に至るまでの損傷過程を定量的に評価可能な指標と、破壊点に対応した限界値を提案した。さらに、地震作用を念頭においた RC 柱の繰り返し載荷実験を行い、提案した損傷評価指標の適用性について検討した。繰り返し荷重を受ける部材への適用に際しては、累積損傷の影響を指標に加味することが今後の課題である。さらに、RC 柱に生じた損傷を、ひび割れ内部に注入する樹脂量によって定量的に評価することを試みた。将来的には提案した損傷指標を樹脂注入量のような補修における工学的数値と関連づけることによって、材料レベルの劣化状態に対応した損傷評価が可能となると考えられる。