

微視破壊要素に基づくコンクリート構成モデルの開発

学位論文内容の要旨

近年、日本でも新素材・新工法などの開発に対応するため、構造設計規準の性能規定化が進められている。それに伴い解析手法の必要性・重要性が増してきた。さらに、コンクリート構造物における終局耐力以降の破壊挙動を解析的に研究しようという試みが、「コンクリートの破壊力学」という一分野の確立とともに注目されてきている。

これまでに有限要素法などで使われているコンクリート構成則は、コンクリートの破壊試験などでみかけ上観察される平均応力-平均ひずみ関係などの物理量を基に作られた“現象学モデル”が多かった。しかし、コンクリートは内部非均質性のために複雑な非線形挙動を示し、その原因は骨材とモルタルマトリックス界面などに発生する微細なクラックによるので、コンクリートの力学挙動を再現するためにはこれらクラックの力学挙動を把握し、モデル化することが重要であると言える。そこで、微視クラックや不均一介在物などの微視構造要素の存在、あるいはその発生・成長を直接モデル化し、その挙動に支配された物体の巨視の力学挙動を解析する“力学的モデル”の開発が進められてきた。

このような背景から、本研究ではコンクリートのような準脆性材料の破壊挙動をシミュレートできる解析手法を開発することを目的とし、非均質な内部構造をよりの確に表現した連続体モデルとしてのコンクリート構成モデルを開発する。

本論文は、全4章から構成されている。各部分の概要は以下の通りである。

1章は序論である。研究の背景としてコンクリート破壊挙動の必要性を述べ、本論文の目的を明らかにした。また、既往の研究でコンクリート材料の破壊挙動、特に圧縮破壊を解析的にシミュレートしているモデルを紹介し、これらのモデルの特徴を分析した。

2章では、開発したコンクリート構成モデルの概略を詳述している。

コンクリートは内部非均質性のために複雑な非線形挙動を示すが、その原因は骨材とモルタルマトリックスの界面などに発生する微細なクラックによることから、コンクリートの力学挙動を再現するためにはこれらクラックの力学挙動を把握し、モデル化することが重要であると言える。開発したモデルでは、この微視クラックを円形のクラック

モデルとして仮定し、その力学挙動（マイクロメカニクス）は破壊力学のエネルギー平衡の概念に基づき定義されている。

このモデル化したクラックが解析対象の領域内に、様々な方向・大きさ・密度で分布しているコンクリートモデルを仮定し、平均化操作を行うことにより等価連続体としてのコンクリートモデルの構成関係を導いている。

3章では、実用的な連続体モデルとして利用するため、提案した応力-ひずみ関係を有限要素解析プログラムに組み込み、定式化の相違が巨視応答に及ぼす影響を広範な応力状態について検討した。一軸および二軸応力を受けるコンクリート部材の圧縮破壊解析応答は、既往の実験結果と概ね良好な一致を得ることが出来た。本モデルには材料の特性を定義付けるいくつかのパラメータがあるが、圧縮応力状態や引張応力状態にかかわらず、同一のパラメータで解析できることが特徴であり、その意味で複雑な応力状態・支持条件に対して対応できる構成モデルであることが確認された。

4章はまとめであり、本論文で得られた結果を要約し、更に残された課題を記している。

以上

学位論文審査の要旨

| | | | |
|----|-----|----|-----|
| 主査 | 教授 | 城 | 攻 |
| 副査 | 教授 | 石山 | 祐二 |
| 副査 | 教授 | 内山 | 武司 |
| 副査 | 教授 | 角田 | 與史雄 |
| 副査 | 助教授 | 後藤 | 康明 |

学位論文題名

微視破壊要素に基づくコンクリート構成モデルの開発

近年、構造物の設計法が仕様規定設計から性能規定設計へと移行する中で、構造物の弾性変形から終局破壊に至る全過程を忠実に追跡できる手法を用いる事によって、任意の性能レベルの設計が可能となるため、その手法の確立が強く求められている。脆性材料を主体とするコンクリート構造物の破壊性状の解析には、古くはコンクリートの応力-歪度関係における非線形性を取り込んだ断面解析法が用いられていた。続いて、計算機能力および有限要素法等の数値解析技術の発達に伴って、対象物を多数の要素に分割し、コンクリートの構成則には、コンクリート試験片の破壊時に観測される平均応力-平均歪関係を用いた現象学モデルを用いるのが一般的であった。しかし、コンクリートは引張強度が著しく小さい脆性材料であり、各種の大きさや形状を有する不均質な骨材とこれを取り巻くモルタルマトリックスとの界面等に発生する微細なクラックの進展が、複雑な非線形挙動を示す。このために、コンクリートの力学挙動を解析的に再現するためには、これらのクラックの挙動を破壊力学を用いて表現し、圧縮場やせん断場においても適用できる力学モデルを構築することが必要となる。

本研究では、コンクリートの様な脆性材料の破壊挙動を表現できる数値解析手法を開発する事を目的として、微視クラックの発生・成長過程を直接モデル化し、不均質な内部構造をよりの確に表すことのできる連続体モデルを用いたコンクリート構成則を開発している。

本論文は、全4章から成り、各章の成果は以下のように纏められる。

第1章は序論であり、コンクリート材料の破壊挙動に関する既往の研究を比較検討し、特に圧縮破壊の解析的扱い方の特徴を分析した結果から、コンクリート破壊挙動の合理的なモデル化の必要性を明らかにすると共に、本研究の目的と範囲を特定している。

第2章では、微視クラック進展モデルを用いたコンクリート構成式の定式化を述べている。コンクリートの破壊過程は、骨材とモルタルマトリックスの界面等に発生す

る微細なクラックの進展に依存することから、この微視クラックを2枚の円形平板に挟まれた力学モデルに置換し、その直径の拡大を破壊力学のエネルギー平衡の概念に基づいて定義し、破壊の要素として表現している。このクラック力学モデルを多数個用意して、解析対象とするコンクリート内に、その方向を3次元的にランダムに配置し、各種の密度に分布できる全体モデルを設定して、平均化操作を行うことにより等価連続体としてのコンクリート力学モデルの構成関係を導いている。

第3章では、前章で導いたコンクリート構成関係を用いて各種の応力状態を有するコンクリート構造体の破壊挙動を具現化するために、有限要素解析法の各要素内に組み込み、定式化の相違が巨視応答に及ぼす影響を検討している。この結果、1軸および2軸応力を受けるコンクリート部材の破壊解析値は、既往の実験値と良い対応を示し、本解析法の信頼性と実用性を明らかにしている。また、本力学モデルで用いる8つの材料定数は、応力状態が圧縮と引張およびその組み合わせに関係なく同一の定数で解析できる特徴があり、複雑な応力状態にも対応できる構成モデルであることを実証している。

第4章は、第1章から第3章を総括し取り纏めると共に、今後の研究方向を示している。

これを要するに、著者はコンクリートの応力-歪関係を規定することなく、微視クラックによる破壊要素と材料定数を用いることで、圧縮軟化性状を含むコンクリートの破壊過程を表すことの出来る新しい構成モデルを提案したものであり、コンクリート構造学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。