HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of Rigid Body Coupled Spring discrete model for simulation of cementitious composites and structural elements [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Saeid Mehrpay Moghaddam
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13999号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78358
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Saeid_Mehrpay_Moghaddam_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　Saeid Mehrpay Moghaddam

審査担当者　主　査　准教授　松本 浩嗣
副　査　教　授　松本 高志
副　査　教　授　佐藤 太裕
副　査　教　授　上田 多門　（深圳大学）

学位論文題名

Development of Rigid Body Coupled Spring discrete model for simulation of cementitious composites and structural elements
(セメント系複合材料および構造要素のシミュレーションのための剛体-バネ連成離散モデルの開発)

コンクリート構造物の数値解析手法としては有限要素法が最も一般的であるが、構造性能や耐久性に影響するひび割れや剥落などの現象を、このような連続体解析で再現するには限界があることが従来から知られている。この問題を解決するため、離散解析手法を用いたシミュレーション技術に関する研究開発が各所で進められているが、いまだ課題点が多いのが現状である。コンクリート構造物に対する離散解析手法の代表例として剛体-バネモデルが挙げられるが、材料構成則の定め方等には、確立された手法が存在しない。とりわけ、従来の剛体-バネモデルでは、ひび割れの要素依存性を低減するため、ランダム形状要素を採用するのが一般的であるが、バネの配置方向もランダムとなるため、材料のポアソン効果を正しく再現できないことが指摘されている。このため、経験則に基づきポアソン比とバネ剛性の関係を定式化するのが一般的であり、種々の材料の挙動を統一的に再現することが困難であった。

本論文は 6 章から構成されており、1 章では、研究の社会的背景と、関連する既往の研究とその課題点が説明されている。

2 章では、本研究で開発した剛体-バネ連成モデルが説明されている。要素に連結された複数のバネの連成を考慮することで、ポアソン効果により生じるあらゆる方向の変形が理論的に定式化され、数値解析アルゴリズムに実装された。また、ポストプロセスにおける応力の表示方法についても検討しており、複数のバネから主応力の大きさと方向を算定する手法を提案している。

3 章では、コンクリートの破壊プロセスに関して、開発した剛体-バネ連成モデルに用いるバネの構成則を示すとともに、その適用性が説明されている。コンクリートの一軸圧縮破壊、割裂引張破壊、一軸引張破壊それぞれに対して本研究で開発した解析モデルを適用した結果、従来の剛体-バネモデルでは不可能であったポアソン効果による荷重軸直角方向の変形を正しく再現可能であることが確認され、応力-ひずみ関係やひび割れ性状をより精緻に捉えることができた。とりわけ、ポアソン比が 0.3 以上の比較的大きいケースに対しても適用可能であったことは、モデルの汎用性を考えると、その意義は大きいものと思われる。また、新しく開発した応力表示方法により、すべての位置において主応力の大きさと方向を正しく示すことができることが確認されている。

4 章では、短繊維補強コンクリートの破壊プロセスに対して、開発した剛体-バネ連成モデルに用いるバネの構成則を示すとともに、その適用性が説明されている。短繊維補強コンクリートに対

するバネの構成則が提案されており、ひび割れ間で短繊維が負担する引張応力 (架橋応力) を通常のコンクリートの応力-ひずみモデルに足し合わせることにより、工学的に有用な簡易モデルを提案している。短繊維補強コンクリートの一軸圧縮破壊、曲げ破壊、直接せん断破壊に対して、開発した剛体-バネ連成モデルを用いた再現解析を実施した結果、いずれも実際の挙動を精度良く再現可能であることが示されている。

5 章では、開発した剛体-バネ連成モデルのさらなる適用性を検討するために実施した、プレキャストコンクリート接合部の破壊性状に対する再現解析が説明されている。接合部の鉄筋を簡易モデルで表現し、充填部とプレキャスト部の界面には引張強度とせん断強度を低減したモデルを採用した。接合部のせん断破壊実験を模擬した数値解析を行った結果、せん断キーの形状が耐荷力に及ぼす影響等、実験結果を精度よく再現可能であることが確認された。また、実験では得られていない接合部内の主応力分布に着目した結果、せん断キーの端部に形成される圧縮ストラットの存在が確認され、破壊メカニズムに大きく寄与していることが明らかになった。接合部のせん断問題に代表される多軸応力下における破壊挙動はポアソン効果の影響を大きく受けており、本研究で開発したモデルにより、初めて精緻に再現が可能になったものと思われる。

6 章では、主に 2 章から 5 章の内容から得られた結論が述べられているとともに、今後の課題等が示されている。

これを要するに、著者は、離散解析手法におけるポアソン効果等の新しいモデル化手法を提案し、各種材料および構造要素の破壊シミュレーションへの有用性について、セメント系材料および構造要素の変形・破壊性状を良好に再現できるという新しい知見を得ており、主にコンクリート工学、構造工学等の分野において、力学的性質や構造性能を明らかにすること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があるものと認められる。