

## 二国間交流事業 共同研究報告書

平成23年4月13日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 山口大学大学院理工学研究科

職・氏名 <sup>(ふりがな)</sup> 准教授 李 柱国 <sup>り ちゅうこく</sup>

1. 事業名 相手国（アメリカ合衆国）との共同研究 振興会対応機関（ NSF ）

2. 研究課題名 微視的アプローチによるフレッシュコンクリートの性状解明と数値解析法の開発

3. 全採用期間

平成21年 4 月 1 日 ～ 平成23年 3 月 31 日 （ 2 年 0 ヶ月）

4. 研究経費総額

(1) 本事業により交付された研究経費総額 4,920 千円

初年度経費 2,420 千円、 2年度経費 2,500 千円、 3年度経費 0 千円

(2) 本事業による経費以外の国内研究経費総額 0 千円

## 5. 研究組織

### (1) 日本側参加者

氏名 (ふりがな)	所属・職名	研究協力テーマ
李 柱国 り ちゅうこく	山口大学大学院理工学研究科・ 准教授	総括 間隙水圧とブリーディングの数値解析技術および粒子形状の評価技術の開発
三島 直生 みしま なおき	三重大学工学部建築学専攻・ 助教 (～2010年3月) 准教授 (2010年4月～)	フレッシュコンクリートの粒状体特性に関する考察
Li Jieyong り けつゆう	山口大学大学院理工学研究科・ 博士後期課程院生	フレッシュコンクリートの流動挙動の粒状体特徴および粒度・粒径の影響に関する考察
李 慶濤 り けいとう	山口大学大学院理工学研究科・ 博士後期課程院生	フレッシュコンクリートの粒状体特性に関する実験的考察
張 文博 ちやう ぶんはく	山口大学大学院理工学研究科・ 博士後期課程院生	粒子材料の粒子配列に関する実験的考察

### (2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名 Virginia Polytechnic Institute and State University(VT)・Professor・Linbing Wang

### (3) 相手国参加者（代表者の氏名の前に○印を付すこと）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
○ Linbing Wang	Virginia Polytechnic Institute and State University(VT) Associate Professor (～2010年7月) Professor (2010年8月～) (USA)	粒状体材料の粒子配列と粒子移動挙動の考察および粒子形状の評価技術の開発
Nicos S. Martys	National Institute of Standards and Technology(NIST), Physicist(USA)	粒子材料の視点からフレッシュコンクリートのレオロジー性質に関する解析的研究

## 6. 研究概要（研究の目的・内容・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

長寿命・高品質なコンクリート構造物を高効率で建造するためには、フレッシュコンクリートの性状を部材の構造と施工条件に適合する必要がある。近年、コンクリートの多様化、ポンプ圧送の高度・距離の増大、および RC 部材の鉄筋配置の高密度化に伴って、コンクリートの施工性能の設定は、従来の経験則や仕様書での対応が難しくなっている。そこで、施工と構造条件を考慮した流動シミュレーションによってフレッシュコンクリートの性能を設定・判定する施工設計法の確立が必要である。フレッシュコンクリートは粒径が数 mm から数十 mm までの固体粒子と水で構成され、流体性質と粒状体性質を共に持っている複雑な材料である。現在、その性能はまだ明らかになっておらず、ほとんどの場合、粘性流体として取り扱われる。

フレッシュコンクリート中の粒子配列および粒子のサイズと形状は、その流動と分離に大きな影響を与える。特に、粒子配列は材料の変形・流動に伴って変化するため、フレッシュコンクリートは、変形・流動過程では流体のように安定した性質を持っていない。したがって、粒度・粒形の影響および粒子挙動の解明は、フレッシュコンクリートの流動と分離性質の解明・モデル化と流動シミュレーション技術の開発に不可欠である。また、間隙水圧に起因するブリーディング（水の上昇）は過分に発生すると、硬化コンクリート性能が低下するため、過剰間隙水圧とブリーディングの予測技術の開発が望まれている。

上記の背景を踏まえて、フレッシュコンクリートの精密・汎用なレオロジーモデルを構築し、流動・分離の数値解析法を開発するための基礎研究として、その粒状体性質、せん断と振動下における固体粒子と間隙水の挙動を解明することを目標に、米国のバージニア工科大学および国立標準技術研究所との共同研究を行った。この研究プロジェクトによって実施した研究および得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) セメントペースト、フレッシュモルタル、標準砂、サイズが大きいガラス粒子とシリコンオイルの混合物、および果糖ぶどう糖液糖と砂を混合した高粘性材料を利用して、X 線イメージングや LAT (Laser-Aided Tomography) による振動とせん断状態の内部可視化実験を行い、フレッシュコンクリートの小せん断変形下の力学特性、ダイレイタンス特性およびこれらの特性に与える粒子形状と粒度分布の影響を明らかにするとともに、粒子配列を表す粒子接点角とその変化を計測し、その外力、変形、振動時間、振動加速度、粒径および粒度分布の依存性を定量的に調べ、モデル化した。これらの結果によって、粒子の噛み合い程度を粒子接点角によって表すことを提案し、フレッシュコンクリートの変形抵抗の応力状態による変化、ダイレイタンスおよび振動状態の液状化現象と密実化のメカニズムを解明した。

(2) 液体透過抵抗法と呼ばれる粒子形状の評価装置を試作した。さらに、砂の形状について、マイクロ X 線 CT に基づいた 2 次元粒子形状評価法による評価結果と液体透過法による評価結果と比較することによって、液体透過抵抗法は、骨材粒子の形状(Shape)およびとがった程度(Angularity)を総合的に評価できることを検証した。また、液体流動抵抗法によって細骨材の形状を評価し、粒子形状がフレッシュモルタルとコンクリートのレオロジー性質に与える影響を定量的に考察した。

(3) フレッシュコンクリートが粒状体として支持できるせん断荷重を理論分析によって考察した。また、前述した粒子接点角についての考察結果に基づいて、その静置状態と振動状態においては固体粒子が支持できる荷重とその変化を明らかにし、フレッシュコンクリートの過剰間隙水圧の数値計算方法を開発した。さらに、Kozeny-Carman 式を基に、過剰間隙水圧に起因したブリーディングの力学モデルを提案し、有限要素法を用いた解析予測方法を開発した。

(4) 粒子接点角に起因したダイレイタンスを拘束した場合に生じる垂直応力とせん断変位の関係を解明・モデル化し、また前述したフレッシュコンクリートの支持できるせん断荷重の理論式に基づいて、その間隙流動能力低下のメカニズムを明らかにした。さらに、間隙流動能力低下の予測方法およびこの予測に用いられる粒子接点角の測定方法を開発した。