

氏 名 ( 本 籍 )	瀬 古 繁 喜 (三重県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 授 与 番 号	甲第 396 号
学 位 授 与 日 付	平成 23 年 3 月 25 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	中性子線等による非破壊検査を主としたコンクリート施工管理技術の実用化 (Practical use of non-destructive test based on neutron detection for construction management)
学位論文審査委員	(主査) 准教授 小 林 孝 一 (副査) 教授 六 郷 恵 哲      教授 森 本 博 昭 教授 内 田 裕 市

## 論文内容の要旨

コンクリート工事における施工管理項目は、建築分野では日本建築学会の「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009」(以下、JASS5 と表記)に謳われており、土木分野では土木学会の「2007 年制定 コンクリート標準示方書 施工編」(以下、示方書と表記)に謳われている。

JASS5 の 11.5 レディーミクストコンクリートの受入れ時の検査では、「b.単位水量の管理が必要な場合の検査方法、判定基準は、特記による。単位水量の管理状態が適切でない場合の措置は、工事監理者の指示による。」次の内容が追加された。示方書においても、常に品質の安定したコンクリートを製造することがきわめて重要と指摘しており、これはすなわちコンクリートの単位水量の品質管理が重要な項目の一つであることを示唆するものである。

1995 年の阪神大震災では、多数の鉄筋コンクリート造構造物が倒壊したが、その原因の一つとしてコンクリートの充填不良箇所が挙げられた。JASS5 11.6 コンクリート工事の品質管理においてコンクリート充填状態の具体的な品質管理方法に関する記述がない一方で、11.9 構造体コンクリートの仕上がり部の検査において打込み欠陥部の検査が上げられている不都合がある。しかし、これまでは打込み締め固め作業に任意の充填不良箇所を発見することは技術的にほぼ不可能であった。

コンクリートは施工段階では半製品であり、一般的には型枠に打ち込まれてから 4 週間程度を経て所定の強度を発現する。しかし、工事においてコンクリートの圧縮強度の試験結果が得られて判定結果が不合格となった時点でコンクリート部材を作りなおすことはきわめて困難である。JASS5 では構造体コンクリートの圧縮強度の試験結果が不合格となった場合には、最終的に JIS A 1107 に基づいてコア供試体の圧縮強度試験が実施される。しかし JIS A 1107 では、採取したコアが十分な長さを確保できない場合に対して、圧縮強度の補正係数が ASTM C72 を参考として定められているが、40MPa を超える圧縮強度については補正係数に関するデータが十分でないため、補正係数を適用できない問題がある。

本論文では、コンクリート工事における重要な施工管理項目のうち、次の 3 つの分野について検討することを目的とした。それらはすなわち、(1)コンクリートの単位水量について合理的に試験・検査する方法について中性子線の減衰特性を利用した水分計を検討し、実用化すること、(2)コンクリート打ち込み中に型枠の外側から打ち込み欠陥の有無すなわち充填状態を検査する方法について高周波静電容量と測定対象の含水率との関係を利用した測定装置、および中性子線の減衰特性を利用した測定装置を検討し、実用化すること、(3)コア供試体による圧縮強度試験において、100MPa までの強度レベルの供試体高さ直径比が圧縮強度に及ぼす影響を検討し、適用可能な補正係数を提案することである。以下に本論文の構成を示す。

第 1 章では、研究の背景とコンクリート工事における施工管理の問題点を列挙するとともに、本研究の対象範囲を示した。

第 2 章では、コンクリート工事の施工管理における実施項目の現状と問題点と、中性子線等の原理を用いた非破壊検査技術の現状と問題点、およびコンクリートコア供試体の高さ直径比と圧縮強度補正係数の現状と問題点について整理し、本研究の目標を明確にした。

第 3 章では、速中性子線の減衰特性を原理とした透過型水分計について、フレッシュコンクリートの空気量測定容器を用いて、抜き取って採取した試料の単位水量を測定する手法を取り上げ、異なる単位水量のコンクリートにおいて測定精度と影響要因を検討した。

第 4 章では、同じく速中性子線の減衰特性を原理とした透過型水分計について、構造体に打ち込まれるコンクリート全量の単位水量をリアルタイムで測定することを目的として、コンクリートを圧送する輸送管に水分計を取り付ける方法を取り上げ、異なる単位水量のコンクリートにおいて測定精度と影響要因を検討した。また、コンクリートの圧送速度(圧力)を変化させた場合における測定精度を検証するとともに、実用的な校正係数の決定方法を検討し、最終的には実際の建設現場における実測を行って、コンクリート全量の単位水量測定の効果を確認した。

第 5 章では、第 3 章および第 4 章と同じ速中性子線の減衰特性を原理とした水分計を用いて、鋼製型枠内へ打ち込み中にコンクリートの充填状態を検査することを目的として、散乱型の水分計を取り上げ、速中性子線の到達する厚さ、空隙厚さと減衰割合の関係、空隙形状と水分計の位置関係が及ぼす影響等、各種影響要因の検討を行うとともに、空隙厚さの推定方法を提案した。

第 6 章では、木製型枠へ打ち込み中にコンクリートの充填状態を検査することを目的として、高周波静電容量測定装置を用いて、基礎的な影響要因の検討、測定深さの異なる 2 種類の測定センサーを用いることによる合理的な測定方法、および実際のコンクリート充填状態の判別方法を検討した。

第 7 章では、圧縮強度が 100N/mm<sup>2</sup> までの硬化コンクリートについて、1.0~2.0 までの異なる高さ直径比のコンクリートコアを採取して圧縮強度試験を実施した場合の強度補正係数について、統計的な検討を行うとともに、コア供試体の円周方向のひずみ分布を圧縮強度試験中に渡って測定し、コア供試体の破壊性状と圧縮強度補正係数の関係について検討した。

第8章では、第3章から第7章に渡って検討した、コンクリート工事での施工管理技術について、展開を進めていくための課題等を整理した。  
第9章では、本研究の成果を要約した。

### 論文審査結果の要旨

この論文では、コンクリートの施工を確実なものとするための管理技術の実用化を目的としている。コンクリートの単位水量を合理的に検査する手法として、中性子線の減衰特性を利用した水分計を実用化している。コンクリート打ち込み中に、型枠の外から内部の未充填箇所を検査する方法として、中性子線の減衰特性を利用した装置と高周波静電容量を利用した装置とを実用化している。構造物からコア抜きした高強度コンクリート供試体の圧縮強度に及ぼす供試体寸法の影響を明らかにし、補正係数を提案している。

この論文は、次に詳しく示すように重要な研究結果を含んでおり、新規性、有用性の点で優れている。したがって、審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

#### (1) 中性子線の減衰特性を利用したコンクリートの単位水量の計測に関する研究

速中性子線の減衰特性を原理とした透過型水分計について、フレッシュコンクリートの空気量測定容器を用いて、抜き取って採取した試料の単位水量を測定する手法を取り上げ、異なる単位水量のコンクリートにおいて測定精度と影響要因を明らかにしている。速中性子線の減衰特性を原理とした透過型水分計について、構造体に打ち込まれるコンクリート全量の単位水量をリアルタイムで測定することを目的として、コンクリートを圧送する輸送管に水分計を取り付ける方法を取り上げ、異なる単位水量のコンクリートにおいて測定精度と影響要因を明らかにしている。コンクリートの圧送速度（圧力）を変化させた場合における測定精度を検証するとともに、実用的な校正係数の決定方法を検討し、最終的には実際の建設現場における実測を行って、コンクリート全量の単位水量測定の効果を確認している。

#### (2) 型枠の外側からコンクリートの充填状態を検査する方法に関する研究

速中性子線の減衰特性を原理とした水分計を用いて、鋼製型枠内へ打ち込み中にコンクリートの充填状態を検査することを目的として、散乱型の水分計を取り上げ、速中性子線の到達する厚さ、空隙厚さと減衰割合の関係、空隙形状と水分計の位置関係が及ぼす影響等、各種影響要因の検討を行うとともに、空隙厚さの推定方法を提案している。

木製型枠へ打ち込み中にコンクリートの充填状態を検査することを目的として、高周波静電容量測定装置を用いて、基礎的な影響要因の検討、測定深さの異なる2種類の測定センサーを用いることによる合理的な測定方法、および実際のコンクリート充填状態の判別方法を提案している。

#### (3) 採取したコア供試体の高さ直径比が高強度コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響に関する研究

圧縮強度が  $100\text{N/mm}^2$  までの硬化コンクリートについて、 $1.0\sim 2.0$  までの異なる高さ直径比のコンクリートコアを採取し、圧縮強度試験を実施した場合の強度補正係数について、統計的な検討を行うとともに、コア供試体の円周方向のひずみ分布を圧縮強度試験中に渡って測定し、コア供試体の破壊性状を明らかにし、圧縮強度補正係数を提案している。

### 最終試験結果の要旨

#### (1) 公表論文

この論文の主要部分は、審査付き論文6編と国際会議論文1編として既に発表済みである。

この論文が学位論文として完成された内容を有することを確認した。

発表論文リスト（学位論文に直接関係する論文）

審査付き論文

- 1) 瀬古繁喜, 米澤敏男, 井上孝之, 熊原義文: RI 水分計によるフレッシュコンクリート中の単位水量測定に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.403-408, 1997年
- 2) 瀬古繁喜, 田村博, 鈴木一雄, 熊原義文: RI 水分計を用いたポンプ配管中のコンクリートの水量連続モニタリング, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.125-130, 1998年
- 3) 瀬古繁喜, 田村博, 鈴木一雄, 熊原義文: RI 水分計による単位水量連続測定方法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.343-348, 2000年
- 4) 瀬古繁喜, 三井健郎, 結城英恭, 中川裕巳: 型枠面での高周波静電容量測定によるコンクリート充填状態の判定に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.697-702, 2007年
- 5) 瀬古繁喜, 鈴木澄江, 鹿毛忠継, 伊藤康司: 高さ直径比が異なるコンクリートコア供試体の圧縮破壊挙動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.403-408, 2009年
- 6) S. Seko, S. Suzuki, Y. Ito and T. Kage: Effect of Fracture Behavior and Height-to-Diameter Ratio on High-Strength Concrete Core Specimens' Compressive Strength, Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, pp.724-729, Korea, May 2010
- 7) 井上孝之, 瀬古繁喜, 鈴木裕史, 中島智: ラジオアイソトープ水分計による単位水量連続測定技術の実施（耐震改修工事の例）, テクニカルレポート, コンクリート工学, Vol.48, No.11, pp.20-27, 2010年

#### (2) 修得単位

指定された単位を修得していることを確認した。

#### (3) 公聴会

公聴会を開催して審査を行った。学位審査委員会で審議の結果、最終試験に合格と判定した。