

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360190

研究課題名(和文)国際統一規格のためのセメント固化処理技術の調査・設計法の研究

研究課題名(英文)Quality Assurance and Control for Ground Improvement Techniques

研究代表者

北詰 昌樹 (Kitazume, Masaki)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70359230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円、(間接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：セメント固化処理土の品質管理などに関するアジアと欧州の基準の調査を行ったところ、土質特性、地域的・社会的条件、技術の発展の程度、施工事例数などによって、室内配合試験法と現地での品質検査法の方法と頻度が大きく異なっていることが分かった。また、室内配合試験法や現地の品質検査法は、対象土質、固化材の種類と添加量などによって試験結果が大きく異なり試験法や検査法の適否が見られた。改良土の脆性的特性を再現評価するため粒子法の一つであるSPH法を用いた数値解析手法を開発し、遠心模型実験結果と比較した。その結果、改良の余地はあるものの破壊形態や安定性の評価に全般に高い適用性があることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Many researchers and engineers have discussed the importance of QA/QC of the improved ground focusing upon the quality of deep-mixed soil. This is because the deep-mixed soil plays an important role in the engineering behavior of the ground and its quality depends upon many factors including the native soil conditions, the type and amount of binder. Regarding to the QA/QC, survey on the current standard and specifications of the deep mixing method was conducted. The standards reviewed well document and cover the basic items about execution and quality control and are very similar to each other in principle. However, the details of execution procedure. The international comparative laboratory tests revealed the properties of stabilized soil were considerably influenced by the molding technique. Numerical analysis by Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method were developed to investigate the failure behavior of stabilized ground and its applicability.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤工学 国際協力 安定処理土 試験法

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) セメント固化処理技術のインフラ整備への重要性

セメント固化処理技術は強固な地盤を短期間に造成できること、騒音・振動などが少なく周辺への環境負荷が少ないことなどの多くの利点を生かして、1970年代以降急速に発展し、東京羽田空港・関西国際空港・中部国際空港の建設、阪神大震災後の復旧工事などの大プロジェクトにも幅広く適用されている。海外でも、例えば米国ボストンの再開発やハリケーン・カトリーナの復旧工事にも適用され、セメント固化処理技術は今や世界のインフラ整備に必要不可欠な技術となっている。

### (2) セメント固化処理技術における国際統一規格の重要性

セメント固化処理土の特性は、対象土質の特性、セメントの種類と添加量、施工方法、養生方法などに大きく影響されるため、設計で規定された特性のセメント固化処理土を造成することは非常に難しく、最適な配合設計や現場での品質管理が非常に重要である。我が国では、室内配合試験のJIS規格化、設計・施工マニュアルの整備、現場での品質管理技術も確立されているため、非常に高品質のセメント固化処理が行われている。一方、世界では、室内・原位置試験や設計・施工に関する規格の整備が遅れ、劣悪な改良工事が行われているケースも散見される。平成21年に開催した国際シンポジウムにおいても、調査・設計・施工・施工管理の国際規格の重要性が認識され、優れた技術を有する日本への期待が表明された。セメント固化処理技術が国際的にさらに発展していくためには、各国・機関での調査・設計・施工・施工管理の違いを調査・比較し、その結果を基に各国・地域で独自に蓄積されたデータを再評価して調査・設計・施工・施工管理技術に関する国際統一規格を策定することが重要である。

### (3) セメント固化処理技術に関する日本主導の国際統一規格の策定へ

国際社会のグローバル化を迎え、建設分野でも国際統一規格への動きが加速している。セメント固化処理技術に関しても、欧州連合では、EuroSoilStabプロジェクトを行って、室内配合試験に関する統一規格の策定が進め(EuroSoilStab, 2002)、また施工・施工管理に関するユーロコードを策定して、域内だけでなく国際統一規格に向けた海外展開を図っている(北詰, 2003, 2006)。米国でも、連邦道路局が設計法の基準化に向け調査を進めており、世界的な主導権争いが始まっている。一方、我が国では、国内の規格化は進められているが、国際統一規格策定や海外展開への取り組みは遅れており、世界中のいかなる国よりも遙かに優れている我が国の技

術が世界の中で埋没してしまう恐れが非常に高い。日本の技術は海外でも注目を集め、世界各国のインフラ整備にも活用されており、今や必要不可欠な技術となっており、日本の優れた改良技術を基にした国際統一規格を図ることが効率的であり、国家戦略上の意義も高い。

### (4) 国際共同研究の必要性

これまで、各国・地域でのセメント固化処理技術を個別的に紹介した書籍はいくつか出版されている。しかし、各国・地域での調査・設計・施工・施工管理法を全世界レベルで網羅的に調査・比較した例はほとんどない。また、国際統一規格は、地盤条件、改良目的や用途などの技術的な観点だけでなく、契約方式などの社会的条件などの観点からの検討も必要で、各国の事情を考慮した研究が必要である。そのため、国際統一規格の策定には、各国・地域の第一人者の研究者・技術者が共同で、各国・地域での調査・設計・施工・施工管理法の違い、契約方式などの社会的条件を網羅的に調査・比較・研究して、各国の事情も考慮しつつ進めることが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究は、科研費基礎研究「国際統一規格に向けた軟弱地盤対策工法の品質管理技術の研究(平成19年～平成21年)」の研究活動を発展させ、我が国の優れた技術を基にしたセメント固化処理技術の調査・設計技術の国際統一規格の策定を目指す。具体的には、各国・地域の大学・研究機関・コンサルタンツなどの研究協力者を通じて、各国・地域での調査・設計技術などを調査し比較する。その後、室内・原位置試験法や設計法に関して一斉試験や比較解析を行って改良土の評価への影響を調査し、世界中の多くの現場で適用できるような室内・原位置試験法や設計法を構築する。本研究の成果は、平成26年に米国で開催予定のセメント改良技術に関する国際会議で発表し、セメント固化処理技術に関する調査・設計技術の重要性を広め、各国での規格の策定を促し、国際統一規格の策定を目指す。

## 3. 研究の方法

研究では、各国の研究者と共同で、室内・原位置試験法ならびに設計法に関する国際調査を行う。とりまとめ、評価を踏まえ、一斉室内試験や原位置試験を行い、試験法による改良土の特性値への影響を調査する。一方、設計法に関しては、改良土の引っ張りクラックとブリットルな特性を再現する数値モデルの開発を行い、一斉解析によってその評価を行う。

平成22年度には、アジア・欧州・北米でのセメント固化処理技術の品質管理技術(室

内配合試験法、施工法・施工管理法など)の調査を行った(調査機関:港湾空港技術研究所,スウェーデン地質研究所,ローマ大学,コインブラ大学)。次に,強度特性に及ぼす土質特性,セメントの種類と添加量,攪拌方法,養生条件などの影響を検討するとともに,試料作成方法が強度特性に及ぼす影響に関して国内外の研究機関による一斉試験を行った。また,ウェットグラブサンプラーによる原位置改良土の品質管理法に関する現地実験を実施した。

平成 23 年度には,試料作成方法が強度特性に及ぼす影響に関する一斉試験結果の一次とりまとめた。また,ウェットグラブサンプラーによる原位置改良土の品質管理法に関する現地実験を実施した。

杭式改良地盤の安定性と破壊形態に関する遠心模型実験を実施した。

平成 24 年には,試料作成方法が強度特性に及ぼす影響に関する一斉試験に関して補足実験を実施した。

また,ウェットグラブサンプラーによる原位置改良土の品質管理法に関する現地実験を実施した。

改良土の脆性破壊特性を再現する数値解析法を開発すると共に遠心模型実験結果と比較して解析手法の妥当性を検討した。

平成 25 年度は,試料作成方法が強度特性に及ぼす影響に関する一斉試験結果ならびに補足実験結果をとりまとめた。

また,養生期間中の攪乱が改良土の特性に及ぼす影響に関する室内試験を実施した。

ウェットグラブサンプリングに関する現地試験を実施し,これまでの実験結果とあわせて,ウェットグラブサンプリングの適用性を検証し,とりまとめた。また,日本,シンガポール,ベトナム,中国ならびに欧州の施工と施工管理,品質管理に関する基準を比較し,基準の相違の背景に関して検討した。

一連の研究結果は,平成 27 年(当初は平成 26 年度に開催予定であったが,1 年延期になった)に米国で開催予定のセメント改良技術に関する国際会議で発表し,世界各国の地域性・技術的・社会的背景を越えた相互理解を図り,我が国主導の国際統一規格策定を目指す予定である。

#### 4. 研究成果

(1) セメント固化処理技術の品質管理技術に関する国際調査・比較

日本,シンガポール,ベトナム,中国と欧州の施工と施工管理,品質管理に関する基準を調査・比較した。その結果,室内配合試験法,現地の検査方法と頻度が大きく異なっていること,その原因として対象土質特性の他に,地域的,社会的条件,技術の発展の程度,

施工事例数などが大きいことが分かった。

(2) 強度特性に及ぼす影響因子の検討

セメント固化処理土の強度特性に及ぼす試料作製方法と養生条件に関して,東京工業大学,港湾空港技術研究所,スウェーデン地質研究所,ローマ大学,コインブラ大学において,4 種の試験法による一斉試験を行った。その結果,強度ならびにそのばらつきの程度が試験法によって大きく異なる結果が得られ,対象土質,固化材の種類と添加量などによって試験法の適否が見られた。適否の判断指標として,攪拌混合直後の非排水強度と流動性を提案し,その適用性を検証した。

(3) ウェットグラブサンプラーによる現地試験

現地改良土のサンプリング方法を再現するために,ウェットグラブサンプラーを用いた現地試験を実施し,改良土のサンプリング方法の違いが現地改良土の強度特性に及ぼす影響を検討した。その結果,サンプリングの方法によって,改良土の特性が大きく異なることが分かった。施工方法(スラリー式とドライ式),採取後のモールドディング法による影響が大きいことが分かった。特に,ドライ方式の場合には改良土の流動性が低いために,ウェットグラブサンプリングの適用性が低いことが分かった。

(4) 改良土の脆性的特性を再現評価する数値解析手法の開発

粒子法の一つである SPH 法を用いた数値解析手法を開発して遠心模型実験結果と比較した。その結果,改良の余地はあるものの破壊形態や安定性の評価に全般に高い適用性があることが分かった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者,研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

北詰昌樹, Ground Improvement in Tokyo Haneda Airport Expansion Project, Ground Improvement, Vol.165, Issue G12, 査読有, 2012, pp.77-86

寺師昌明,北詰昌樹, QA/QC for deep-mixed ground: current practice and future research needs, Ground Improvement, Vol.164, Issue G13, 査読有, 2011, pp.161-177

北詰昌樹, Effect of Surface Improvement Layer on Internal Stability of Group Column Type Deep Mixing Improved Ground under Embankment Loading, 港湾空港技術研究所報告, Vol. 50, No. 1, 2011, pp.3-20

[学会発表](計 19 件)

牧野真大,竹山智英,北詰昌樹, Laboratory tests on the Influence of Soil Disturbance on

the Material Properties of Cement-treated Soil , Proc. of the 9th International Symposium on Lowland Technology , 2014.9.29-10.1 , 佐賀 (投稿中)

北詰昌樹 , Standardizations of execution and quality control of piling and deep mixing , Proc. of the DFI-EFFC International Conference on Piling and Deep Foundations , 2014.5.21-23 , ストックホルム

竹山智英, 吉田有希, 北詰昌樹 , Simulation of brittle failure of cement treated soil using smoothed particle hydrodynamics , Proc. of the DFI-EFFC International Conference on Piling and Deep Foundations , 2014.5.21-23 , ストックホルム

北詰昌樹 , Applicability of wet grab sampling to quality assurance of deep mixing method , Proc. of the DFI-EFFC International Conference on Piling and Deep Foundations , 2014.5.21-23 , ストックホルム

Hoang-Hung Tran-Nguyen, 北詰昌樹 , 大谷順, 植山陽治 , Applying Soil Cement Shallow Mixing to Construct Rural Roads in The Mekong Delta: Field Experimental Study , Proc. of the International Conference on Geotechnics for Sustainable Development - Geotec Hanoi 2013 , 2013.11.28-29 , ハノイ

Hoang-Hung Tran-Nguyen, 北詰昌樹, 大谷順, Bich T. Luong, Tuyet T. Bui and Du N. Nguyen , Applying Soil Cement Shallow Mixing to Construct Rural Roads in the Mekong Delta, Vietnam: Laboratory Study , Proc. of the CIGOS-2013 Conference , 2013.4.11-12 , ホーチミンシティ

北詰昌樹, 竹山智英, Centrifuge model tests on influence of slope height on stability of soft clay slope , Proc. Geo-Congress 2013 , 2013.34-6 , サンディエゴ

吉田有希, 竹山智英, 北詰昌樹 , Centrifuge Model Tests on Failure Pattern of Cement Treated Ground , Proc. of the 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering , 2013.3.1-2 , 東京

北詰昌樹 , Influence of specimen preparation on unconfined compressive strength of cement-stabilized Kaolin clay , Proc. of the International Symposium on Recent Research, Advances & Execution Aspects of Ground Improvement Works, Vol.2 , 2012.5.30-6.1 , ブリュッセル , pp.385-393

北詰昌樹 , Laboratory Testing on Stabilized Soil for Ground Reinforcement , Proc. of the 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering , 2012.3.3-4 , 東京

北詰昌樹, 西村 聡 , An application of wet grab sampling to quality assurance of wet type cement stabilized soil , Proc. of the 4th

International Conference of Grouting and Deep Mixing, Vol. 1 , 2012.2.16-18 , ニューオーリンズ , pp. 427-436

北詰昌樹 , Keynote lecture: Current practices in ground stabilization in Japan , Proc. of the Korean Geotechnical Society Symposium on Recent Developments in Soft Ground Engineering for Overseas Projects , 2011.11.11 , ソウル , pp.3-63

北詰昌樹 , Application of Cement Stabilization Methods to Earthquake Disaster Mitigation , Proc. of the 9th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia , 2010.10.13-14 , 神戸 , CD

北詰昌樹 , 丸山憲治 , 表層処理層を有する杭式深層混合処理地盤の破壊挙動に関する遠心模型実験 , 日本材料学会 , 第 9 回地盤改良シンポジウム , 2010.11.18-19 , 京都 , pp.11-16

北詰昌樹 , 森川嘉之, 高橋章市, 中村弘典 , セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究-材齢 1 年結果報告- , 土木学会 , 第 65 回土木学会年次学術講演会 , 2010.9.1-3 , 札幌 , CD

牧野真大, 竹山智英, 北詰昌樹 , 乱れを受けたセメント改良土の材料特性に関する室内試験 , 地盤工学会関東支部第 10 回関東支部研究発表会 , 2013.10.4 , 東京

吉田有希, 北詰昌樹 , 竹山智英, 関 栄 , セメント改良土の破壊挙動に関する遠心模型実験と SPH 法による解析 , 地盤工学会 , 第 48 回地盤工学研究発表会 , 2013.7.23-25 , 富山

山上晶子, 竹山智英, 関 栄, 辻 拓也 , 北詰昌樹 , 杭式深層混合処理による斜面の安定性に関する遠心実験 , 地盤工学会 , 第 47 回地盤工学研究発表会 , 2012.7.14-16 , 八戸

北詰昌樹 , 丸山憲治 , Centrifuge model tests on DM improved ground with surface improvement layer , Proc. of the 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1 , 2011.5.24-26 , 香港

〔図書〕(計 1 件)

北詰昌樹 , 寺師昌明 , The Deep Mixing Method , CRC Press, Taylor & Francis Group , 2013 年 , 410p.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6．研究組織

### (1) 研究代表者

北詰 昌樹 (KITAZUME MASAKI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：70359230

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者