HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of sustainable ground improvement methods using biochemical techniques [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Gamaralale Gedara, Nirmali Nisansala Amarakoon
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12467号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63419
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Gamaralale_Gedara_Nirmali_Nisansala_Amarakoon_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　Gamaralale Gedara Nirmali Nisansala Amarakoon

審査担当者　主　査　教　授　川﨑 了
副　査　教　授　石川 達也
副　査　教　授　藤井 義明
副　査　准教授　中島 一紀

学位論文題名

Development of sustainable ground improvement methods using biochemical techniques
(生物化学的手法による持続可能な地盤改良工法の開発)

人口の増加に伴って人間の活動範囲が拡大しており, これまで未開発であった地域の軟弱地盤に対して構造物を建設する機会が増加している。地盤の沈下対策や液状化対策などの地盤改良は建設工事の重要な部分を占めているため, 持続可能な建設工事という観点からは低環境負荷で従来技術の代替となる新たな地盤改良工法の開発に期待が寄せられている。本研究は, 持続可能な地盤改良工法の開発を目的としており, 生物化学的手法に着目している点に特徴がある。本論文は, 大きく 2 つの内容から構成されている。すなわち, リン酸カルシウム化合物 (CPC) による地盤改良と, 微生物由来の炭酸カルシウム ($CaCO_3$) 析出 (MICP) による地盤改良である。

第 1 章は, 本研究の背景, 目的, 新規性について示している。

第 2 章と第 3 章は,CPC 法 (CPC-Chem 法および CPC-Powder 法) について述べている。

第 2 章では, 地盤の液状化対策として CPC を用いた新しいグラウト (CPC-Chem 法) が期待されていることから, 異なる濃度の Ca 溶液と P 溶液を混合させ,CPC の析出条件について検討した。CPC で固化した豊浦砂供試体を 28 日間養生し, 一軸圧縮強さ (UCS) 試験を実施した。Ca/P=0.5 の時に最も UCS が大きい CPC の配合は, 酢酸カルシウム (CA)1.5 M:リン酸水素二カリウム (DPP)3.0 M と硝酸カルシウム (CN)1.5 M:DPP 3.0 M であり, それぞれ供試体の UCS が 144.65 kPa,143.60 kPa となった。さらに,pH 測定と走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察を行った結果, 時間経過に伴って pH が上昇し,CA:DPP=0.5 の時にウィスカー状の CPC 結晶が確認された。以上より,Ca/P=0.5 の時に最適な CPC の配合は CA 1.5 M:DPP 3.0 M であると判断された。

第 3 章では,CPC-Powder 法について述べている。CPC と市販の $CaCO_3$ 粉末 (CC) またはホタテ貝殻粉末 (SS) を豊浦砂供試体に添加し,28 日間養生後の UCS が 100 kPa 以上となることを確認した。なお,100 kPa とは地震時の液状化対策として必要な地盤の UCS である。CPC 以外に CC または SS を添加した供試体の UCS は,CPC のみで固化した供試体の UCS よりも大きくなり,100 kPa 以上の UCS を示した。加えて, 供試体の pH 測定, 密度測定, 微視的構造を調べるために SEM 観察を実施した。その結果,CPC 以外に CC または SS を添加した供試体の pH と密度が, 添加しない供試体よりも大きくなることがわかった。

第 4 章と第 5 章は,MICP 法について述べている。尿素加水分解を利用した MICP は複雑な生物化学反応過程であり, 特に地盤の力学的特性を改良するために土粒子間で生じる。この反応過程に

は多くの要因が関与している。

第 4 章では, これらの要因に関する検討をシリンジ固化試験により実施した。対象とした要因は, 微生物の濃度, 培養液の再注入, 砂の種類と粒径, 固化溶液の Ca 濃度, 固化溶液の注入間隔, 養生日数, 養生温度, 培養液の粘性である。得られた結果は, すべての要因が MICP 固化砂の針貫入試験より得られる推定 UCS に影響を与えることを示した。また, 固化した供試体で 3 MPa 以上の推定 UCS が得られ, 培養液を 7 日後に再注入した試験ケースで 10 MPa 以上の推定 UCS が得られた。これらの要因が推定 UCS(q_{eu}) に与える影響を詳しく把握するために重回帰分析を実施し,q_{eu} が 2 つの重要要因である固化溶液の Ca 濃度 C_{ca} と養生日数 D を用いて q_{eu}=13.99C_{ca}+0.37D–0.09 で表現できることを示した。

第 5 章では, 数 MPa の USC を有する均質な固化地盤を作製するため, 三河砂 (平均粒径 0.6 mm) と瑞浪砂 (平均粒径 1.3 mm) を用いた小型の模型地盤による固化試験を実施した。また, 模型地盤を対象として,UCS 試験,SEM-EDX 観察,X-CT 測定, 超音波速度測定,$CaCO_3$ 含有率測定, 色測定を実施した。その結果,14〜21 日間の養生後に縦 20 cm, 横 12.5cm, 高さ 9 cm の固化した供試体が得られ, その平均 UCS は 3.1〜4.4 MPa を示した。また,UCS(q_u) と $CaCO_3$ 含有率 (x) との間には高い相関があり, 両者の間に q_u=66.6x^2 + 3.5287x なる関係が存在することを示した。さらに, 瑞浪砂に関しては,q_{eu} と明度 L*の間に q_{eu}=0.7669L*–33.921 なる関係があることを見出した。

第 6 章では, 本研究で得られた成果をまとめており,CPC 法および MICP 法が新しい地盤改良工法として有望であることを結論付けている。

これを要するに, 著者は, 新たな生物化学的手法による CPC 法および MICP 法による砂供試体の最適な固化条件と強度向上の効果を確認すると同時に,UCS が 100 kPa(CPC 法)〜数 MPa(MICP 法) となる地盤改良工法を独自に提案しており, 環境地盤工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があるものと認める。