

凍土方式遮水壁における凍結融解を考慮した長期間安定管理技術の構築

(研究課題番号 26289156)

平成 26 年度~平成 28 年度  
科学研究費補助金(基盤研究(B))  
研究成  
果報告書

平成 29 年 3 月

研究代表者 伊藤 譲

(摂南大学理工学部教授)

## はしがき

福島第一原子力発電所において日々約 400 m<sup>3</sup>発生している汚染水は、廃炉事業における最も深刻な問題であり、その対策として凍土方式遮水壁による原子炉建屋を周辺地下水から遮断する工法が実施されつつある。本工法は世界でも前例がなく、しかも現場は砂岩と泥岩との互層で山側から海側へ大量の地下水が流れている。このような条件下で凍土遮水壁の施工が予定通りに完成するのか、また、凍土壁を長期間維持する過程において凍土壁の遮水性について問題は生じないのか懸念されている。本研究は、凍土方式遮水壁で起こりうるこれらの諸問題に対応できる長期間安定管理技術の構築を目指すものである。

本研究では、凍土壁の造成可能な地下水流速条件の正確な予測方法の提案を目指した。このため、模型実験と熱伝導・浸透流連成 FEM 解析を行い、既往の理論式との整合性を確認した。その結果、既往の理論式以上の精度で、様々な条件下における限界流速を予測可能であることが明らかになった。

次に、凍土遮水壁の融解時の透水係数について、凍結の方向や拘束条件の影響をそれぞれ目的に応じた新たな実験装置を開発して評価した。その結果、凍結融解土の透水係数を支配する要因は、上載荷重など拘束圧力の大きさ、凍結融解の繰り返し回数と地盤材料の凍上性の3点であり、従来から主張されていたアイスレンズの方向や量は透水係数に及ぼす影響は軽微であるが、変位拘束の条件は透水係数に影響を与えることが確認された。

さらに、凍土遮水壁の透水性を正確に求めるために、特殊な実験装置を開発して、凍土の透水特性を評価した。その結果、未凍土と同様に凍土においてもダルシー則が適用可能であり、0℃近傍では透水係数が大きくなり、低温になるに従い温度に依存する不凍水量に応じて透水係数は急激に小さくなることが確認できた。

## 研究組織

研究代表者：伊藤 譲（摂南大学理工学部・教授）

研究分担者：石川達也（北海道大学工学研究科・教授）

所 哲也（苫小牧工業高等専門学校・助教）

大西有三（関西大学環境都市工学部・教授）

## 研究経費

	直接経費	間接経費	合計
平成 26 年度	8,000	2,400	10,400
平成 27 年度	2,600	780	3,380
平成 28 年度	2,100	630	2,730
総計	12,700	3,810	16,510

（金額単位：千円）

## 研究発表

### (1) 学会誌等

Go Hirose, Yuzuru Ito : Experimental study on the permeability change of fine-grained soil by freeze-thaw effect, The 10th International Symposium on Cold Regions Development (ISCORD2016), Session 6, IC-013, 2016.

Jun Zhang, Da-hu Rui, Ying-fei Wu, Yuzuru Ito, Hong-bo Zhao : Freeze-thaw Effects on Soil Permeability and the Soil Flushing Remediation, The 10th International Symposium on Cold Regions Development (ISCORD2016), Session 4, IC-007, 2016.

Satoshi Akagawa : Frost Heaving –Still need further researches for correct understanding, The 10th International Symposium on Cold Regions Development (ISCORD2016), Keynote 5, pp.54-69, 2016.

Tetsuya Tokoro, Tatsuya Ishikawa, Satoshi Akagawa : Temperature dependency of permeability coefficient of frozen soil, Proceedings of GEO Vancouver 2016, Vancouver, 2016.

廣瀬剛・伊藤譲・石川達也・赤川敏・所哲也・大西有三・上田保司：飽和細粒土の凍結融解作用による透水係数変化のメカニズムに関する実験的研究，第12回地盤改良シンポジウム論文集，3-3，pp.123-130，2016.

伊藤譲・吉田聡志：我が国における地盤改良技術の変遷 5.人工地盤凍結工法とその展開，材料，第65巻，第12号，pp.883-889，2016.

廣瀬剛・伊藤譲：飽和細粒度の凍結融解によるアイスレンズ方向の透水係数変化－融解後の間隙比分布の影響－，融合科学研究所論文集，第2巻，第1号，pp.40-50，2016.

Go Hirose, Yuzuru Ito : Experimental Estimation of Permeability of Freeze-Thawed Soils in Artificial Ground Freezing, Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG 2017), Saint Petersburg, Russia, 2017. (投稿中)

Takuto Inoue, Yuzuru Ito, Hideo Sakabe, Rui Dafu : Remediation of Contaminated Fine-Grained Soil by Freezing and Ion Exchange Effect, Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG 2017), Saint Petersburg, Russia, 2017. (投稿中)

廣瀬剛・伊藤譲・石川達也・赤川敏：凍結融解土の透水係数の実験的予測方法，土木学会論文集，2017. (投稿中)

廣瀬剛・伊藤讓・石川達也・赤川敏・所哲也：凍結融解作用による透水係数の変化とアイスレンズ痕跡との関係，材料，2017。（投稿予定）

## (2) 口頭発表

高橋優紀・山添稜也・石川達也・所哲也：砂質土凍土壁の遮水性に及ぼす凍結条件の影響，第49回地盤工学会研究発表会，427，pp.853-854，2014.

久門義史・松岡啓次・上田保司：地下水流が凍土壁造成に及ぼす影響把握のための二次元熱差分解析法，第49回地盤工学会研究発表会，pp.855-856，2014.

高橋優紀・石川達也・所哲也・木次谷一平・浦崎拓人：凍結融解作用を受ける地盤の透水性に及ぼす凍結方法及び凍上性の影響，第55回地盤工学会北海道支部技術報告会，pp.167-172，2015.

山添稜也・石川達也・高橋優紀・浦崎拓人：凍土壁を有する地盤の浸透流予測に対する連成解析手法の適用，第55回地盤工学会北海道支部技術報告会，pp.211-214，2015.

廣瀬剛・伊藤讓・石川達也・赤川敏・所哲也・大西有三：飽和細粒土の凍結融解前後における熱流直角方向の透水係数変化に関する実験，平成27年度土木学会関西支部年次学術講演会，Ⅲ-13，2015.

伊藤讓・石川達也・赤川敏・所哲也・大西有三・上田保司・廣瀬剛：過圧密粘土の凍結融解による透水係数変化に関する実験，第50回地盤工学会研究発表会，448，pp.895-896，2015.

山添稜也・石川達也・伊藤讓：凍土壁造成における限界流速に関する基礎的実験・解析，土木学会第70回年次学術講演会，Ⅲ-276，pp.551-552，2015.

所哲也・石川達也・赤川敏・伊藤讓・佐々木飛翔・大西有三・廣瀬剛，上田保司：飽和凍土の透水係数の温度依存性，土木学会第70回年次学術講演会，Ⅲ-279，pp.557-558，2015.

廣瀬剛・伊藤讓・石川達也・赤川敏・所哲也・大西有三：飽和細粒土の凍結融解前後におけるアイスレンズ面方向の透水係数変化に関する実験，土木学会第70回年次学術講演会，Ⅲ-281，pp.561-562，2015.

久門義史・松岡啓次・上田保司：地下水流および熱移動量が凍土壁造成に及ぼす影響解析，

第 50 回地盤工学会研究発表会, pp.897-898, 2015.

山添稜也・石川達也・伊藤譲：凍結方法の違いによる凍土壁造成時の限界流速についての検討, 第 56 回地盤工学会北海道支部技術報告会, pp.279-284, 2016.

井上拓人・伊藤譲・廣瀬剛・阪部秀雄：凍結融解とイオン交換反応を利用した汚染土壌の洗浄技術, 平成 28 年度土木学会関西支部年次学術講演会, III-25, 2016.

廣瀬剛・伊藤譲・石川達也・赤川敏・所哲也・大西有三：凍結融解繰り返しによる飽和細粒土のアイスレンズ面方向の透水係数について(1), 土木学会第 71 回年次学術講演会, III-314, pp.627-628, 2016.

伊藤譲・廣瀬剛・石川達也・赤川敏・所哲也・大西有三：凍結融解繰り返しによる飽和細粒土のアイスレンズ面方向の透水係数について(2), 土木学会第 71 回年次学術講演会, III-315, pp.629-630, 2016.

井上拓人・伊藤譲・廣瀬剛・阪部秀雄・芮大虎：凍結融解とイオン交換を利用した洗浄技術の特性について, 第 71 回土木学会年次学術講演会, III-78, pp.155-156, 2016.

廣瀬剛・伊藤譲・井上拓人・阪部秀雄：凍結融解現象と陽イオン交換を利用した汚染土の洗浄に関する実験, 第 51 回地盤工学会研究発表会, pp.2159-2160, 2016.

久門義史, 松岡啓次, 上田保司：地下水流下における凍土造成に及ぼす施工条件の影響解析, 第 51 回地盤工学会研究発表会, pp.863-864, 2016.

木村洸太, 所哲也, 石川達也：凍土の透水性に及ぼす不凍水量の影響, 第 51 回地盤工学会研究発表会, pp.867-868, 2016.

木村洸太, 所哲也, 石川達也：凍土の透水性に及ぼす間隙比の影響, 第 57 回地盤工学会北海道支部技術報告会, pp.43-48, 2017.

#### 工業所有権の出願・取得状況

なし