

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656300

研究課題名(和文) 地球温暖化が地盤環境に及ぼす影響に伴う海成粘土の間隙再発達とメカニズムの検証

研究課題名(英文) Verification of void re-development of marine clay and its mechanism with the influence of global warming on ground environment

研究代表者

日野 剛徳 (HINO, Takenori)

佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・教授

研究者番号：20295033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：海成粘土中の間隙は、原初環境から2次的な地盤環境の変化を伴う過程で無変化・増加を伴う。結果として高鋭敏性・高圧縮性が生じ、地表面における種々の構造物に対して深刻な沈下・変形をもたらす、との仮説の立証にチャレンジした。

粘性土の初期強度発現過程ではシリカが支配的であり、シリカとカルシウムの反応には最適値が存在する。著しい初期強度発現には間隙の総量の変化のみならず、間隙径分布における直径の増加側への変化も関与している。このようなメカニズムで生み出される間隙が、原初環境から2次的な地盤環境の変化を伴う過程で無変化・増加を伴うことが示唆される、などの結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：The verification of the hypothesis that the voids of marine clay do not change or increase with the process of the secondary ground environment change from the original environment, and as a result, high sensitivity and high compressibility occurs, leading to serious subsidence and deformation to the various structures on the ground surface was challenged.

Silica is dominant in the initial strength development process of clayey soil, and the optimum value of silica exists in the reaction with calcium. The significant initial strength development is involved not only with the change of the total amount of voids, but also with the change to the increase side of diameter in pore size distribution. The voids produced by this mechanism suggest that the voids of marine clay do not change or increase with the process of the secondary ground environment change from the original environment.

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：地球温暖化 地盤環境 海成粘土 土構造 構成式

1. 研究開始当初の背景

我が国の海成粘土には、高鋭敏性・高圧縮性を示すものがある。有明海沿岸低平地域における海成粘土を対象に堆積環境の観点から研究を行ってきた結果、このようなユニークな性質を示すのは、塩分溶脱現象との関わりによるものであることがわかってきた。しかも、塩分溶脱現象のメカニズムには、最近数 10 年間の地下水揚水による影響が及んでいるのが定性的に明らかになってきた。他方、有明海沿岸低平地域の海成粘土には、未だ見逃されている性質がある。塩分溶脱の影響を受けているにも関わらず、間隙が高い状態に保たれていることである。一般の理解では、自然堆積した飽和かつ正規圧密粘土が塩分溶脱の影響を受けると、それまでの上載荷重を支えきれずに粘土中の間隙が低下する。なぜ、有明海沿岸低平地域の海成粘土の場合にはなおも高間隙状態を保てるのか。

近隣の事例に目を向けると、有明海沿岸低平地域を結ぶ地域高規格道路「有明海沿岸道路」の建設に際し、橋梁のケーソン基礎が予想外の沈下に見舞われて対策に迫られた。ケーソン基礎下における海成粘土層の塩分溶脱現象に伴う再軟弱化が原因とされたが、このメカニズムに関する明確な説明はない。他方、国際的な学术交流の結果、興味深い情報が得られた。カナダでは、これまでは安定していた堤防等の土構造物が突然に沈下・すべり破壊を起こすようになり、深刻に社会問題化している。例えば人間の骨粗しょう症のように、これまでは永久凍土として工学的に安定した海成粘土地盤を形成していたものが、地球温暖化に伴う気温の上昇により安定寄与粒子としての氷粒子が溶け、高間隙構造が再発して地盤の軟弱化が生じたことをうかがわせた。

カナダの抱える問題のメカニズムも未だ明確ではない。しかし、これにうかがえた仮説のように、有明海沿岸低平地域の海成粘土にも骨粗しょう症的なメカニズムが存在すると考えると、高鋭敏性・高圧縮性の発達からケーソン基礎の沈下までである一貫したストーリーで説明が可能になってくる。

2. 研究の目的

本研究では、迫り来る地球温暖化が地盤環境に及ぼす影響の予測と対策の一環として、地層の累重に伴う地盤の形成過程において、海成粘土中の間隙は上載荷重の増加に伴い減少の一途をたどるとの地盤工学的通説に反する仮説の立証にチャレンジしてみたかった。つまり、海成粘土中の間隙は原初環境から 2 次的な地盤環境の変化を伴う過程でむしろ変わらないか増加する。結果として高鋭敏性・高圧縮性が生じ、地表面における種々の構造物に対して深刻な沈下・変形問題を生じせしめる。このような大胆な仮説を立てて

その立証を試みた。

3. 研究の方法

SIGMA・ALDRICH 社製・試験用試薬のカオリン粘土粉末 500g に対し、20g/L の濃度になるように分取した塩化ナトリウム (NaCl) 粉末、および 50g/L、100g/L、150g/L、200g/L の濃度になるように分取した炭酸カルシウム (CaCO_3) 粉末を加え、カオリン粘土自身の液性限界の 1.5 倍になるように蒸留純水で含水比を調整した。当該試料の含水比は 65% であり、試料 A と呼ぶ。試料 A の条件にさらに、50g/L の濃度となるように分取したケイ酸ナトリウム (Na_2SiO_3) 粉末を加えたものを試料 B と呼び (調整含水比は試料 A と同様に 65%)、両試料を以後の検討に供した。JGS 0821-2000 に従い、市販の直径 50mm×高さ 100mm のプラモールドを用いて供試体を作製した。室内で 1 日、7 日および 28 日恒温養生後の供試体に対し、ASTM に従う室内ベーンせん断試験 (ベーンの直径 20mm×高さ 40mm、回転速度 6°/min) を行った。その後、同供試体の底部における試料を分取し凍結乾燥の後、水銀圧入型ポロシメーター試験および走査型電子顕微鏡観察を行った。

上記の検討を中心として、有明海沿岸低平地域の海成粘土における既往の土構造に関する知見の整理を行い、この物理化学的挙動および力学挙動について検討した。

4. 研究成果

(1) 室内ベーン強さに関する検討 カオリン粘土に NaCl および CaCO_3 を添加した場合、 CaCO_3 の濃度差による室内ベーンせん断強さ τ の変化はほとんど生じなかった。また、養生期間の差による同強さの変化も認められなかった。図 1 および図 2 に、試料 B に関する室内ベーンせん断試験結果を示す。 Na_2SiO_3 が加わることで、養生日数 7 日までは CaCO_3 の添加量が多いほど τ も増加した。他方、養生日数 28 日における結果の場合、50g/L および 100g/L の濃度からなる CaCO_3 添加の場合の τ は増加したのに対し、150g/L および 200g/L の濃度からなる CaCO_3 添加の場合の同強さにはほとんど変化が認められなかった。これらのことから、本検討で認められるカオリン粘土の初期強度発現はシリカが支配的といえ、かつシリカとカルシウムの反応には最適値が存在することが考えられる。

(2) 微視的土構造に関する検討 養生日数 28 日において室内ベーンせん断強さ τ が最も増加した試料 B・ CaCO_3 濃度 100g/L の条件に着目し、この 0 日養生および 28 日養生における各間隙径分布の結果をまとめたのが図 3 である。まず、 CaCO_3 添加のみの場合

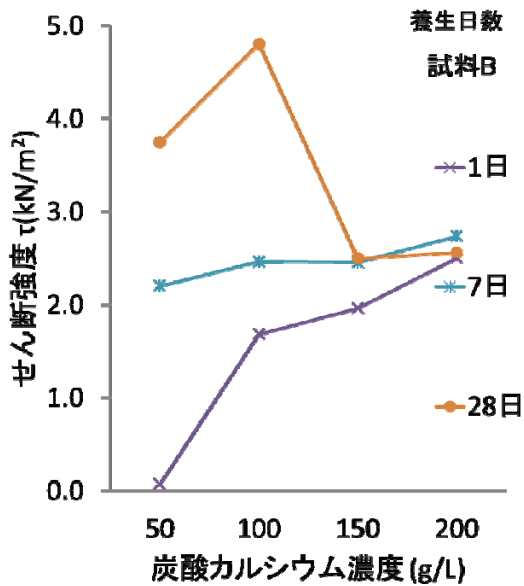


図 1

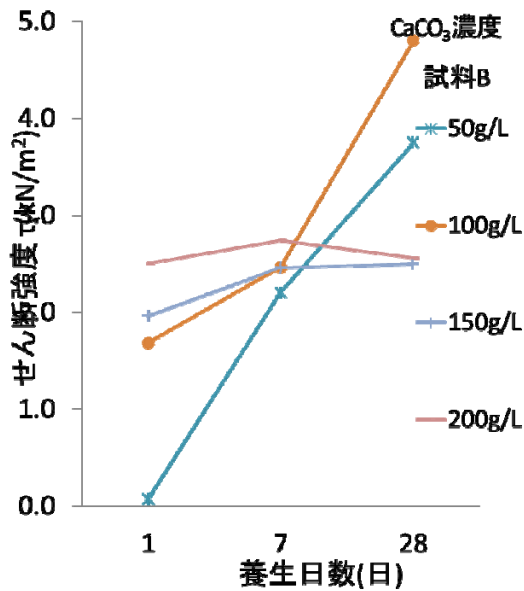


図 2

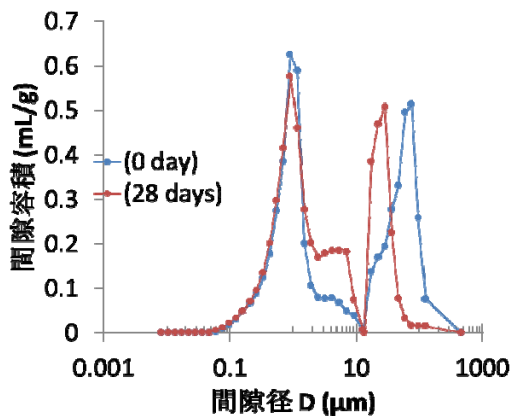


図 3

の間隙径は、メゾポア (1~10 μm) の領域を中心とする 1 ピーク型の分布を示す。Na₂SiO₃の添加により、間隙径はメゾポアの領域およびマクロポア (>10 μm) の領域を

中心とする 2 ピーク型の分布を示すようになる。さて、図 3 から、28 日養生後の供試体は、マクロポアの領域に認められるピークがメゾポア側に明瞭に遷移しているのが認められる。この傾向は、試料 B・CaCO₃濃度 50g/L の条件でも同様であった。他方、τ の変化が認められなかった試料 B・CaCO₃濃度 150g/L の条件では、前述したピークの変化はほとんど認められなかった。この傾向は、試料 B・CaCO₃濃度 200g/L でも同様であった。以上のことから、カオリン粘土の初期強度発現が著しいほど微視的土構造の変化も著しいといえ、前者の初期強度発現に伴う間隙ピークの移行のメカニズムには、供試体内部に生じたセメンテーション物質の生成が関与していると考えられる。後者の間隙ピークの未変化は、シリカやカルシウムは間隙内部にイオン状態のままとどまっていることを示唆し、結果としてτの変化が認められなかったのではないかと考えられる。

(3) 生石灰と珪藻遺骸を用いた初期強度発現の加速化・明瞭化と間隙径分布 初期強度発現の加速化および明瞭化を図るために、CaCO₃の代わりに生石灰 (CaO) を、Na₂SiO₃の代わりに無定形シリカの一種である珪藻遺骸を添加して同様の検討を行った。得られた結果は試料 B・CaCO₃濃度 100g/L および Na₂SiO₃濃度 50g/L の傾向と同様であったが、珪藻遺骸の添加量の増加に伴う初期強度発現は右肩上がりの傾向を示し、300~1,400kN/m² の数値を示した。間隙径分布は図 3 と同様の傾向を示し、珪藻遺骸の添加量が多いほどメゾポアの領域に認められるピークはマクロポアの領域に偏り、マクロポアの領域に認められるピークはほとんど変わらないとの結果を得た。これらの電子顕微鏡観察の結果、初期強度発現の著しいものほど珪藻遺骸の原形をとどめていないことが示唆された。

(4) まとめ 以上の検討から、粘性土の初期強度発現過程ではシリカが支配的であり、シリカとカルシウムの反応には最適値が存在する。著しい初期強度発現には間隙の総量の変化のみならず、間隙径分布における直径の増加側への変化も関与している。間隙ピークの遷移が著しい場合はセメンテーション効果が示唆され、未変化の場合は物質のセメンテーション化が認められないことが示唆される。このような微視的土構造の変化に対応可能な構成式の存在を認識して地盤の沈下・変形に関する諸問題に取り組む姿勢の検討が必要と考える、などのことがわかってきた。以上のようなメカニズムで生み出される有明海沿岸低平地域における有明粘土の間隙が、原初環境から 2 次的な地盤環境の変化を伴う過程でむしろ変わらないか増加する。結果として高鋭敏性・高圧縮性が生じ、地表面における種々の構造物に対して深刻な沈

下・変形問題を生じせしめるとの仮説の立証に近づくことができた。本研究で得られた以上の知見を確証に導くための課題として、今後は原初環境（低鋭敏性・低圧縮性）および2次的な変化を伴う環境（高鋭敏性・高圧縮性）に属する有明粘土を入手し、既往の鋭敏性・圧縮性に関する検討手法とともに、珪藻遺骸に代表される無定形シリカおよびセメンテーション物質の定量、存在形態を評価することが重要なこともわかった。

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 7 件)

- ① 日野剛徳, 柴錦春: 5.海面変動が地盤環境に及ぼす影響と評価, 講座「地球温暖化がもたらす地盤の環境変化と災害」, 地盤工学会誌, 地盤工学会, Vol.62, No.1, Ser.No.672, pp.53-59, 2014. (査読有)
- ② Usman, F., Hino, T., Jia, R. and Negami, T.: Influences of calcium carbonate, sodium silicate and salt on clay structure, Proceedings of the 5th Young Geotechnical Engineers' Conference -5th iYGEC 2013 (Qui et al. Edited), Paris, France, The authors and IOS Press, pp. 463-466, doi:10.3233/978-1-61499-297-4-371, 2013. (査読有)
- ③ Jia, R., Chai, J.-C. and Hino, T.: Interpretation of coefficient of consolidation from CRS test results, Geomechanics and Engineering, Techno-Press, Vol.5, No.1, pp.57-70, 2013. (査読有)
- ④ Chai, J.-C., Jia, R. and Hino, T.: Anisotropic consolidation behavior of Ariake clay from three different CRS tests, Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials (ASTM), Vol.35, No.6, pp.1-9, DOI:10.1520/GTJ103848, 2012. (査読有)
- ⑤ Usman, F., Hino, T., Negami, T., Harianto, T. and Jia, R.: Basic study of the fundamental behavior of Ariake marine clay, Proceedings of the 8th International Symposium on Lowland Technology ISLT 2012, Bali, Indonesia, International Association of Lowland Technology (IALT), pp.75-81, 2012. (査読有)
- ⑥ Hino, T., Jia, R., Sueyoshi, S. and Harianto, T.: Effect of environment change on the strength of cement/lime treated clays, Frontiers of Structural and Civil Engineering, Higher Education Press & Springer, Vol.6, No.2,

pp. 153-165, DOI: 10.1007/s11709-012-0153-y, 2012. (査読有)

- ⑦ Hino, T., Igaya, Y., Chai, J.-C., Jia, R. and Sueyoshi, S.: Interpretation of Quaternary Research and countermeasure of problematic lime-based deep mixing solidification in Ariake Sea coastal lowlands, Proceedings of the International Symposium on Sustainable Geosynthetics and Green Technology for Climate Change (SGCC), Bangkok, Thailand, Asian Institute of Technology, International Geosynthetics Society-Thailand, CD-ROM, pp.307-316, 2012. (査読有)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 海崎大輝: 粘性土の初期強度発現過程と微視的土構造におけるシリカ・カルシウムの役割に関する基礎的研究, 土木学会西部支部 2013年3月9日, 熊本大学.
- ② 相賀康介: 佐賀平野に堆積する粘性土の物理化学的性質と微視的土構造, 土木学会西部支部 2013年3月9日, 熊本大学.
- ③ 聶集祥: 有明粘性土の圧密異方性と微視的土構造に関する実験的研究, 土木学会西部支部 2013年3月9日, 熊本大学.
- ④ Usman, F.: Effect of dissolved silica and salt in kaolinite strength, 地盤工学会, 2012年7月14日~16日, 八戸工業大学.
- ⑤ 聶集祥: 有明海地域における軟弱な粘性土の圧密異方性と微視的土構造に関する研究, 地盤工学会 2012年7月14日~16日, 八戸工業大学.
- ⑥ 浪瀬智史: カオリン改良土に及ぼす溶存シリカ量の影響と初期強度発現過程における強度の変化, 土木学会西部支部, 2012年3月3日, 鹿児島大学.
- ⑦ 末吉聖次: 改良土の初期強度発現過程における強度・溶出特性の基礎的検討, 地盤工学会, 2011年7月5日~7日, 神戸国際会議場.
- ⑧ 日野剛徳: 地球温暖化が有明海沿岸低平地域における海成完新統の土構造と土質特性に及ぼす影響に関する一考察, 地盤工学会 2011年7月5日~7日, 神戸国際会議場.

[図書] (計 0 件)

[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〕（計 1 件）

- ① 陶野郁雄, 中村裕昭, 日野剛徳：近未来と地盤環境～複合的災害と地球環境に対する理学と工学の融合～, 第 10 回環境地盤工学シンポジウム特別セッション講演・資料集, 地盤工学会, 日本大学文理学部, 38p, 2013.

6. 研究組織

(1)研究代表者

日野 剛徳 (HINO, Takenori)
佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・教授
研究者番号：20295033

(2)研究分担者

柴 錦春 (CHAI, JinChun)
佐賀大学・工学系研究科・教授
研究者番号：20284614

加 瑞 (JIA, Rui)
佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・研究機関研究員
研究者番号：60598845