

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560668

研究課題名(和文)薬液注入による地盤内汚染物質の封じ込め効果と長期安定性の解明

研究課題名(英文)Study on Containment Method for Contaminated Soil Using Grouting Technology

研究代表者

小宮 一仁 (Komiya, Kazuhito)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：30234884

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：地下水の汚染対策は重要な問題であり、地下水の挙動や汚染の広がり方を予測するために、移流分散解析が用いられている。これらの解析のために必要なパラメータに透水係数と貯留係数がある。本研究では大深度地下での間隙水圧の計測結果と採取した土試料の土質試験結果を用いて大深度地盤の透水係数と貯留係数の予測法について基礎的な検討を行ったものである。また、汚染物質封じ込めのための薬液注入材料の物理的性質の評価法について基礎的な考察を行った。併せて、汚染物質封じ込め効果を確認するための移流分散解析プログラムの開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Pollution control is a very important issue, and numerical advection diffusion models are frequently used to predict groundwater behaviour and the spread of contaminants. Analyses using such models require parameters such as the coefficients of permeability and storage. In this study, a fundamental investigation was performed to predict the coefficient of permeability in deep ground using pore water pressure observation data and laboratory soil tests on samples collected from a field site. The estimation methods of the physical properties of grouting material and the numerical code are developed.

研究分野：土木工学

キーワード：地盤改良 汚染 封じ込め 環境影響 薬液注入 地盤

1. 研究開始当初の背景

研究代表者の小宮は、1998年から欧州委員会が Brite Euram Program として実施したプロジェクトに招聘研究者として従事し、地下工事における地盤変状及び地下水挙動の数値解析シミュレーションに関する研究成果を提供した。また2004年度と2005年度に科学研究費補助金・基盤研究(C)の研究代表者として、大深度地下建設工事(施工)時の短期間の地下水環境への影響評価手法を確立した。続いて2007年度から2009年度まで、科学研究費補助金・基盤研究(C)の研究代表者として、堆積地盤の大深度地下間隙水圧挙動の発生メカニズムを、千葉工業大学での大深度地下間隙水圧の観測、国内外の地下水挙動及び地質データの収集・分析及び数値解析の手段により明らかにした。

一方、小宮は、一般社団法人日本グラウト協会が2002年度から8年間にわたり実施した、薬液注入で改良した地盤の長期安定性確認のための実大実験に参画し、原位置で採取した試料の分析や室内実験によって、汚染物質が改良地盤から周辺に漏れ出し拡散するメカニズムを解明した。

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震により東京電力福島第一原子力発電所が被災し、事故後多くの放射性物質が地中に浸透したことが予測された。地盤内に存在する放射性物質や重金属といった汚染物質の拡散を防止するためには、地盤内に薬液を注入して汚染地盤を固化したり、汚染した地盤の外側に薬液で固化したカーテン状のバリアを構築する工法が有効と考えられている。しかし、このような方法を用いても汚染物質を完全に封じ込めることは不可能であり、地下水流等によって、長期的には周辺地盤に汚染物質が漏れ出し、周辺の環境に悪影響を及ぼす可能性がある。従来、長期間及び広域にわたる地下水の流れを考慮し、薬液注入による地盤内汚染物質の封じ込め効果や環境影響を科学的に明らかにした研究は非常に少ない。特に、我が国においては地盤の汚染が周辺地盤に及ぼす影響を示すデータが公開されることが極めて少ないため、様々な理論が提案されてもこれを実証する術がないことが、なおさら研究を難しくしている。しかし、東京電力福島第一原子力発電所事故により、薬液注入による汚染物質の地盤内への封じ込め効果及び長期安定性の解明、さらに環境影響評価法の確立が求められた。

2. 研究の目的

地盤内に存在する放射性物質等の汚染物質の拡散を防止するための薬液注入工法による汚染物質の封じ込めに関して、封じ込められた汚染物質が周辺に漏れ出すメカニズム、及び漏れ出した汚染物質が地下水流に乗って周辺へ拡散するメカニズムを科学的に解明し、封じ込め効果と長期安定性及び広域周辺地盤に及ぼす環境影響の評価法を構築す

ることを目的とする。評価法の合理性は、長期にわたり観測した広域地下水挙動、実大実験で観測された地盤内汚染物質拡散挙動の実測データを用いて検証する。

また、汚染物質封じ込めのための薬液注入改良地盤の透水性及び強度を評価するための基礎的研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 大深度間隙水圧の変動とその要因

千葉工業大学津田沼校舎において、従来に引き続き大深度地下間隙水圧の観測を行い、間隙水圧の挙動と変動要因の特定を行った。

(2) 広域大深度堆積地盤の透水係数の推定法の確立

本研究では Theis(タイス)が提案した非定常浸透理論を用いた。この方法では、非平衡状態の揚水量及び水位測定から、Theis の非定常浸透理論によって透水量係数(または透水係数)および貯留係数を求める次式から求めることができる。

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(\lambda) \dots\dots\dots (1)$$

$$\lambda = \frac{Sr^2}{4Tt} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

s : 地下水位低下量

t : 時間

r : 揚水井からの距離

S : 貯留係数

T : 透水量係数 (= k D)

D : 帯水層の厚さ

Q : 揚水量

W(λ) : 井戸関数

である。

さらに、透水係数と貯留係数をタイスとヤコブの方法及び回復法を用いて推定した。ここでは、間隙水圧観測結果と2004年、2005年のそれぞれ船橋市(G.L.-80m)と柏市(G.L.-403m)の農業揚水データを用いた。

(3) 薬液注入地盤の透水係数及び強度改良効果の評価

本研究では、地盤に薬液を注入した際に、薬液が地盤内にどの程度浸透するかを一次元薬液注入試験を行い確認した。実験には模擬地盤として、東北6号砂を直径50mm、長さ1000mmの亚克力パイプに入れたものを使用した。注入する薬液は、材料の種類・配合量・SiO₂濃度・薬液のpHを変えたものを7

種類使用した。試験の方法は、作成した模擬地盤にコンプレッサー、加圧タンクを取り付け、薬液を入れ、コンプレッサーで 0.05MPa 圧力をかけながら注入する。そして、注入した薬液が模擬地盤にどの位浸透したかを測定し、薬液の浸透性を調べた。

薬液を注入した地盤に注入後、どの程度の強度が発現するかを調べるために、一軸圧縮試験を JISA1216 の規格に沿って行った。供試体は、一次元薬液注入試験で用いた模擬地盤に薬液を注入してから 28 日間養生し、6 等分したものを使用した。続いて薬液の浸透状況を調べるために薬液が固結した地盤に水を浸透させ比較した。実験で用いた供試体は、一次元薬液注入試験で用いた模擬地盤に薬液を注入してから 28 日間養生したものを使用した。強度試験の供試体を作成する時に、薬液を注入したアクリルパイプを 6 等分し、模擬地盤の下部、中部、上部の供試体として透水試験を行った。この実験で用いる供試体は薬液を注入したものなので、透水係数が薬液を注入していない地盤よりも小さいと考えられる。よって、JISA1218 の規格にある変水位透水試験を行った。

さらに薬液を注入した地盤の強度発現性を調べるために、一軸圧縮試験を JISA1216 の規格に沿って行った。供試体は、一次元薬液注入試験で用いた模擬地盤に薬液を注入してから 28 日間養生し模擬地盤の下部、中部、上部の供試体として試験を行った。

(4) 移流分散数値解析プログラムの開発
汚染物質の封じ込め効果を確認するための移流分散数値解析プログラムの開発と精度の確認を行った。

4. 研究成果

(1) 大深度間隙水圧の変動とその要因

図-1 は気圧の影響を取り除いた、G.L.-80m と G.L.-402m の観測結果である。図-1 から、大深度地下の間隙水圧は夏季に減少し冬季に上昇する傾向にあることがわかる。また、G.L.-80m と G.L.-402m の間隙水圧は、3 ヶ月ほどの周期の遅れがみられる。

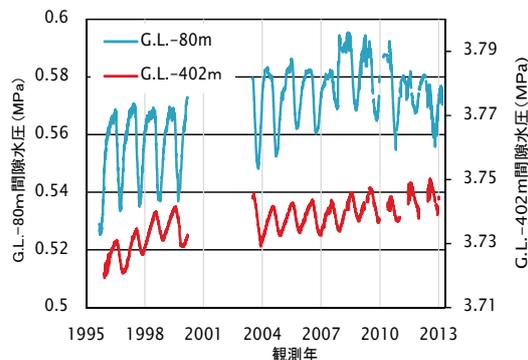


図-1 間隙水圧挙動

図-2 は 2005 年の柏市と船橋市の月別農業揚水量である。このような夏期の農業用揚水は、両市の他、千葉市、八千代市等で行われており、この揚水が大深度地下間隙水圧の季節変動に影響する要因であるとわかっている。また G.L.-80m と G.L.-402m の間隙水圧挙動の周期の差がみられるのは、観測地点を含む広域の地層構成から、観測地点の G.L.-80m の間隙水圧は船橋市、G.L.-402m の間隙水圧は柏市の揚水の影響を受けると考えられ、周期の差は観測地点と両市との間の距離の差によって生じているものと考えられる。

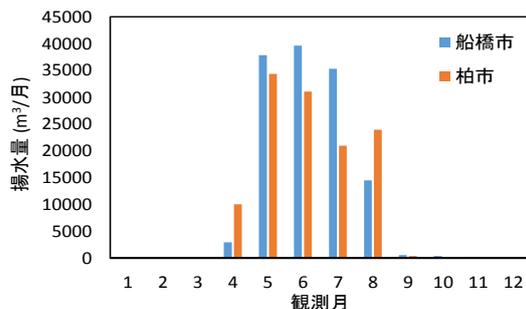


図-2 月別農業用揚水量

以上のデータと有限要素法解析による変動要因の定量的評価を行った結果である。この結果から、観測地点 G.L.-402m の間隙水圧に柏市の農業用揚水が季節変動を及ぼすことを定量的に明らかにした。また、観測地点 G.L.-80m の間隙水圧に船橋市の農業用揚水が季節変動を及ぼすことも定量的に明らかになった。

(2) 広域大深度堆積地盤の透水係数の推定法の確立

タイスの理論と間隙水圧観測結果から透水係数を求めたところ、船橋市～観測点 G.L.-80m の透水係数は 1.32×10^{-2} (cm/s)、柏市～観測点 G.L.-402m は 7.74×10^{-3} (cm/s) となった。

表-1 はタイス、ヤコブ及び回復法を用いて求めた透水係数と貯留係数の推定値である。異なる方法で求めた透水係数及び貯留係数の値が比較的近い値を示したことから、広域大深度地下のこれらのパラメータを従来提案されている方法で推測可能であると考えられる。

表-1 透水係数と貯留係数の評価結果

推定方法	透水係数(m/s)		貯留係数	
	G.L.-80m	G.L.-402m	G.L.-80m	G.L.-402m
タイス	1.06×10^{-4}	0.695×10^{-4}	2.60×10^{-1}	7.76×10^{-1}
ヤコブ	2.63×10^{-4}	1.81×10^{-4}	1.08×10^{-1}	6.59×10^{-1}
回復法	2.46×10^{-4}	0.847×10^{-4}		

(3) 薬液注入地盤の透水係数及び強度改良効果の評価

一次元薬液注入試験より、使用した7種類の薬液全てで、模擬地盤内を途中で詰まることなく浸透した。透水試験では、同じ薬液を使用した供試体では、上部、中部、下部で透水係数にあまり違いはなかった。改良地盤の強度は、浸透距離の短い下部の供試体の強度が高く、浸透距離の長い上部の供試体は低くなる結果となった。また、酸性の薬液よりもアルカリ性の薬液の方が強度が高くなった。さらに、結合材を含まないSiO₂濃度の低い薬液を用いた改良地盤は、結合剤を含んでいるものよりも強度が低くなった。同じ材料を用いてシリカ濃度を変化させた実験の結果、シリカ濃度を変化させても改良後の強度に大きな違いは見られなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

(1) Kazuhiro Komiya, Kirika Kawanami and Munehito Endo, Estimation of the coefficient of permeability in the deep ground, Proceedings of the 6th Japan-China Geotechnical Symposium、査読有、Japan Geotechnical Society & China Civil Engineering Society、2015 (掲載決定)

(2) Kazuhiro Komiya, Junichi Yamanobe, Munehito Endo and Takuya Shiozawa, Fundamental study on strength characteristics of soil-cement mixtures using accelerated curing method, Proceedings of the 6th Japan-China Geotechnical Symposium、査読有、Japan Geotechnical Society & China Civil Engineering Society、2015 (掲載決定)

(3) Kazuhiro Komiya, Takaaki Onishi, Akira Hayashida, Takuya Shiozawa and Munehito Endo, Fundamental study on the neutralization effect of grout using the carboxylate ester reactant, Proceedings of the 6th Japan-China Geotechnical Symposium、査読有、Japan Geotechnical Society & China Civil Engineering Society、2015 (掲載決定)

〔学会発表〕(計5件)

(1) 大西貴明・小宮一仁 (4番目) 他、スラグ系薬液注入材改良地盤における注入材含有量測定方法の検討、(公社)地盤工学会、第50回地盤工学研究発表会、2015年09月01日～2015年09月03日、北海道科学大学(北海道)

(2) 小宮一仁 (1番目)・他4名、促進養生されたソイルセメントの強度特性に関する研究、(公社)地盤工学会、第50回地盤工学研究発表会、2015年09月01日～2015年09月03日、北海道科学大学(北海道)

(3) 大西貴明・小宮一仁 (4番目) 他、炭酸カ

ルシウム含有地盤対応高耐久性溶液型注入材に関する研究、(公社)地盤工学会、第49回地盤工学研究発表会、2014年07月15日～2014年07月17日、北九州国際会議場(福岡県)

(4) 塩澤拓哉・大西貴明・小宮一仁・林田晃、水ガラス系薬液注入地盤におけるシリカ含有量調査の検討、(公社)土木学会、関東支部第41回技術研究発表会、2014年03月13日～2014年03月14日、長岡市まちなかキャンパス長岡(新潟県)

(5) 鈴木雅人・大石貴明・林田晃・小宮一仁、コロイダルシリカを混入した酸性シリカゾル注入材の物性に関する研究、(公社)地盤工学会、第48回地盤工学研究発表会、2013年07月23日～2013年07月25日、富山国際会議場(富山県)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小宮 一仁 (Komiya Kazuhito)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：30234884