



中部ミニフォーラム2016
優秀論文

堆積環境の違いが 沖積粘性土の地盤工学的特性に及ぼす影響

中部土質試験協同組合 ○清水 亮太 / 中部土質試験協同組合 坪田 邦治
元西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社 栗原 則夫 / 名古屋大学大学院 中野 正樹

1.はじめに

軟弱地盤上の高速道路盛土建設において、旧日本道路公団以来のNEXCOにより、設計・施工に関する各種技術が蓄積されている。一方、名古屋大学によって開発された水-土骨格連成有限変形解析コードGEOASIA¹⁾により、自然堆積粘土地盤上の盛土の長期沈下に関する検証解析が詳細になされており、これらを融合した新たな観測的設計施工法の構築が計画されている。本研究では、この計画の課題の一つである地盤の「堆積環境の違い」が地盤入力データに与える影響を調べるために、濃尾地盤(海成粘土)と上越地盤(高田平野, 非海成粘土)に対し、室内試験を通じて地盤工学的特性の比較を試みた。

2.濃尾地盤(海成粘土)と上越地盤(非海成粘土)

名古屋港地域の地質断面図²⁾は、名古屋港-木曽川に至る12kmの東西断面であり、本研究では、海成粘土として中部泥層(Amc層)の沖積層データを対象とした。一方、北陸道(大湊地区~上越IC)周辺では、No.24-24'の地質断面図が報告されている³⁾。標準的な高田平野の沖積層は上位のAc1層(N値=0~5)、下位のAc2層(N値=5~15)が汽水層となっており、これらを上越地盤の検討対象とした。

3.濃尾地盤と上越地盤の物理的特性の比較

各地盤の土粒子密度および自然含水比の深度分布を図-1に示す。濃尾地盤と上越地盤Ac2層は土粒子密度、自然含水比ともに似た傾向を示していることが見て取れる。一方、Ac1の浅層には自然含水比が100%を大きく超えるものが部分的に存在し、土粒子密度についても非

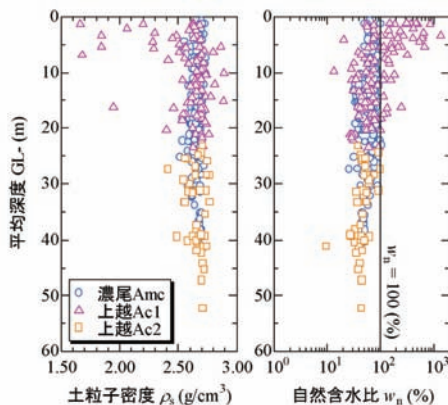


図-1 土粒子密度および自然含水比の深度分布

常に小さな値を示すものが存在することが分かる。これらの傾向からAc1層は部分的に有機物を含有していると推察される。また、非海成粘土は海成粘土に比べて安定した堆積環境が連続しないことが、上越地盤と濃尾地盤のデータのばらつきの差異に表れていると考えられる。そこで、土粒子密度が著しく小さい試料および自然含水比が非常に大きい試料を除外し、土質性状を典型的な粘性土に揃えて比較・分析を再度行った。各地盤の自然含水比と湿潤密度の関係を図-2に示す。図-2を見ると、上越地盤に飽和度のばらつきが見られるものの両地盤ともに概ね飽和状態であると考えられる。

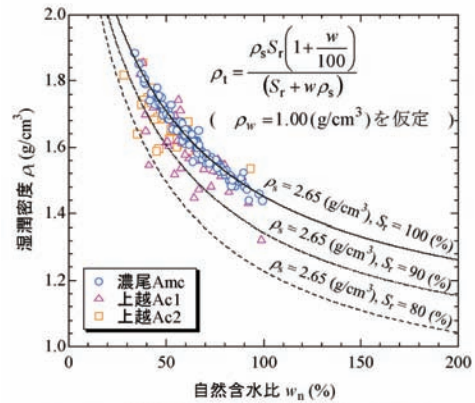


図-2 自然含水比と湿潤密度の関係

4.濃尾地盤と上越地盤の力学的特性の比較

前節で述べた土粒子密度および含水比による選別をした後のデータを用いて、力学的特性の比較を行った。まず、圧縮指数と液性限界の関係を図-3に示す。圧縮指数と液性限界との関係は、鋭敏比の小さい粘性土に対して式(2)に示すSkemptonの式⁴⁾が広く利用されている。

$$C_c = 0.009 (w_L - 10) \quad \dots \text{式(2)}$$

一方、全国の港湾地区の海成粘土に対する液性限界と圧縮指数の関係⁵⁾は式(3)に示すものが代表的である。

$$C_c = 0.015 (w_L - 19) \quad \dots \text{式(3)}$$

図-3に着目すると、濃尾地盤は比較的に式(3)と良い相関が得られており、高圧縮性を示す試料が多いことが分かる。一方、上越地盤はデータのばらつきの影響が大きく、式(2)との明瞭な相関が得られなかった。このことは、非海成粘土の圧縮指数は、地盤材料試験で確認することが重要であることを示唆していると考えられる。

次に、液性指数と一軸圧縮強度の深度分布を図-4に示す。濃尾地盤の液性指数は上越地盤と比較して大きな値で分布しており、浅層においてその特徴が顕著に見られる。また、一軸圧縮強度に着目すると、濃尾地盤の

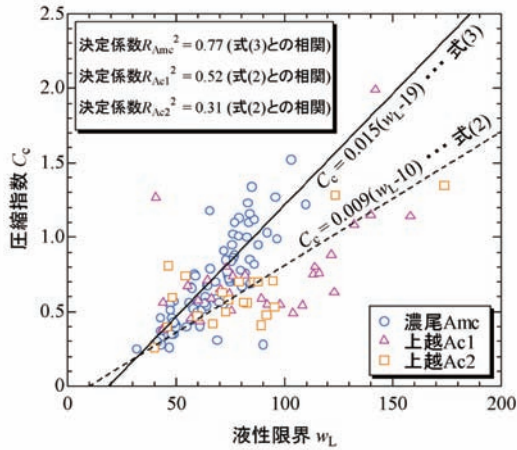


図-3 液性限界と圧縮指数の関係

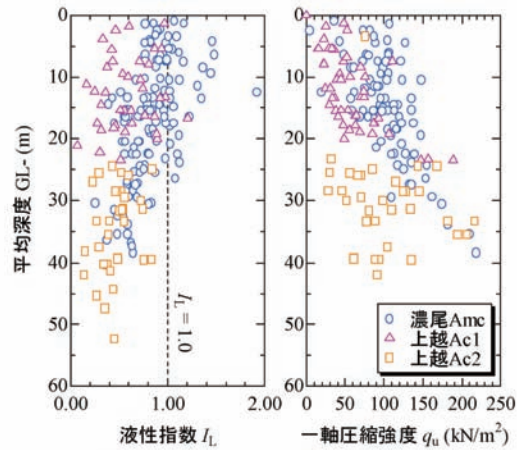


図-4 液性指数と一軸圧縮強度の深度分布

浅層部分は比較的に大きな値を有することが分かる。

このことから、濃尾地盤の自然含水状態は液性限界に近く、浅層部分に鋭敏な土が多く存在すると推察される。

次に、図-5に示す一軸圧縮強度と間隙比の関係を見ると、濃尾地盤は間隙比が大きいにも関わらず、比較的大きな一軸圧縮強度を示していることが分かる。このことから、濃尾地盤の土は嵩張った状態、いわゆる構造が発達した状態にあると考えられる。また、三笠の状態図⁶⁾を図-6に示す。三笠の状態図は、完全練返し状態を最低位と考える構造の評価法であり、鋭敏比が構造の定量化に用いられる。図-6に着目すると、濃尾地盤の鋭敏比が比較的に大きな値で分布していることが分かる。

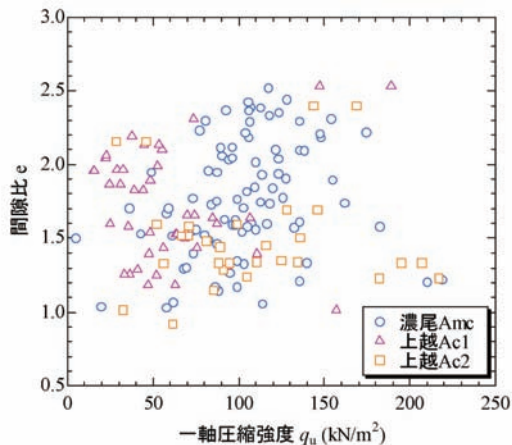


図-5 一軸圧縮強度と間隙比の関係

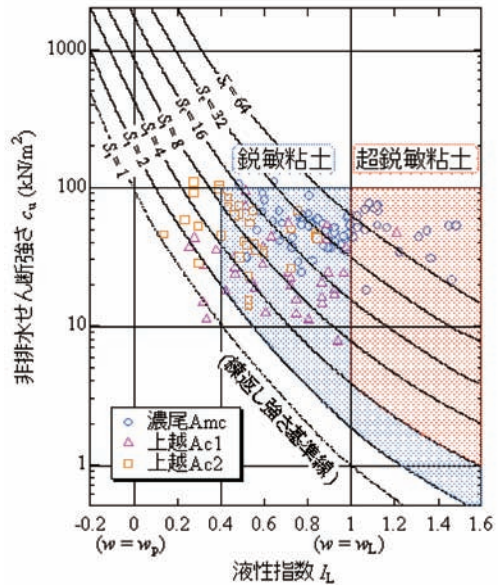


図-6 濃尾・上越地盤の三笠の状態図における分布

以上のことから、濃尾地盤は高圧縮性を有し、構造の発達した鋭敏な土が比較的に多く存在していると推定される。

5.結論

本研究では、堆積環境の違いが地盤工学的特性に及ぼす影響について、濃尾地盤(海成粘土)と上越地盤(非海成粘土)を例にとって比較を行った。その結果、海成粘土は非海成粘土に比べて高圧縮性を有し、構造が発達した鋭敏な土が多く存在していることが推定された。今後は、圧縮特性の実験データを整理することで、両地盤の構造の発達の程度を定量化することを計画している。

謝辞

本論文に使用したデータは、濃尾地盤では地盤工学会濃尾地盤研究会のデータを適用させて頂きました。また、上越地盤では、旧日本道路公団の地質調査報告書を適用させて頂きました。記して深謝の意を表します。

引用参考文献

- 1) Asaoka, A. and Noda T. :All Soils All States All Round Geo-analysis Integration, International Workshop on Constitutive Modelling – Development, Implementation, Evaluation, and Application, Hong Kong, pp.11-27, 2007
- 2) 牧野内猛ほか:濃尾平野における沖積基底礫層(BG)および熱田層下部海成粘土層の年代, 地質学雑誌, 第107巻, 第4号, pp.283-295, 2001
- 3) 新潟県地質調査業協会:「新潟県地盤図」および「新潟県地盤図説明書」, 断面図24-24', 2002.11
- 4) Skempton, A.W. and Henkel, D.J. Tests on London Clay from deep borings at Paddington, Victoria and the South Bank, Proc. 4th ICS MFE, Vol.1, pp.100-106, 1957
- 5) 地盤工学会:土質試験の方法と解説-第1回改訂版-, pp.372-37, 2000
- 6) 三笠正人:土質試験法(第二回改訂版), 6 編3章一圧縮試験,土質工学会,pp470-492, 1979

バイオ浄化によるVOCs および油汚染土壌の修復技術の検討

応用地質(株) ○浅野 裕一 / 沼野 浩祐

1.はじめに

揮発性有機塩素化合物(以下、VOCs)は、1950年頃から主に機械部品の脱脂剤として用いられてきたが、1989年に規制されるまで特別な管理なく使用されてきたため、油とともに地下浸透し多くの工場等で土壌・地下水汚染を引き起こした。VOCs用途の性質上、VOCs汚染と油汚染は混在することが多く、双方の汚染に対し工場の操業に影響しないバイオ浄化を適用することへの期待は大きい。

しかし、VOCsの浄化には嫌気性微生物、油の浄化には好気性微生物と、分解に寄与する微生物の性質が相反するため¹⁾、微生物の活性化剤や地盤環境など、浄化の施工条件が異なる。

本試験では、VOCsと油の複合汚染に対してバイオで浄化の可能性を判断するため、現地の汚染土壌を用いて、油とVOCsのそれぞれのトリータピリティ試験(以下、TB試験)を行い、バイオ浄化の適用可否を検討した。

2.現地の概要

現地は、斜面を造成した丘陵地にあり、砂質土や砂礫を主体とする洪積台地上に立地している。A工場は、深度2m付近まで盛土層、深度2m~6m付近に地山の粘性土が分布し、この粘性土上面に宙水を確認した。深度6m以深は砂~砂礫層で、第一帯水層に該当する。

A工場では図-1に示すように土壌・地下水がVOCsと油で汚染されている。土壌・地下水の汚染物質の測定結果を表-1に示す。

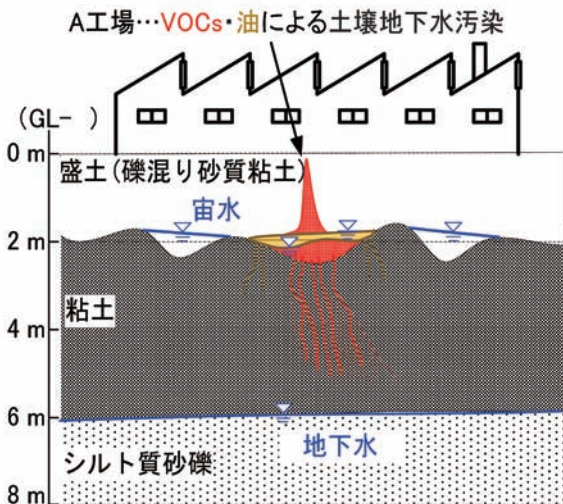


図-1 A工場の土壌地下水汚染概要図

表-1 A工場の土壌・地下水測定結果

対象物質	区分	土壌 (mg/L)	宙水 (mg/L)	地下水 (mg/L)	基準値 ^{※1} (mg/L)
トリクロロエチレン		0.10	0.66	0.002 未満	0.03
シス-1,2-ジクロロエチレン		1.3	36	0.14	0.04
クロロエチレン		0.31	5.4	0.32	0.002 ^{※2}
油(潤滑油)		23000 (mg/kg)	170	—	—

※1: 土壌は環告第18号土壌溶出量基準、宙水および地下水は環告第17号地下水環境基準

※2: 環告第10号地下水の水質汚濁に係る環境基準(塩化ビニルモノマー)

3.TB試験の方法

(1)嫌気性微生物によるVOCsの分解

試料として、盛土と宙水およびその下部の粘性土を採取した。採取した土壌は空気に触れないようにあらかじめ汲み上げた現地の地下水に浸漬させて、密閉状態で混合し、粒径2mm以下にろ過した後(固液比1:4)、炭酸水素ナトリウムでpH7に調整した。この調整試料2kgをアルミニウムバッグに分注し、試薬(トリクロロエチレン)を加えて濃度を1.0mg/Lに調整した。表-2に示す試験条件で活性化剤(炭素源:植物油からなる活性化剤A、窒素源:穀物からなる活性化剤B)を添加し、密閉状態のまま20°Cで培養した。

VOCs濃度の推移は、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)にて測定した。

表-2 嫌気性TB試験条件(VOCs対象)

条件	植物油由来 炭素源	穀物由来 窒素源	リン	カリウム
	水1000Lあたり配合量(kg)			
ブランク	0	0	0	0
ケースA	0.5	0.5	0.8	0.8
ケースB	0.5	0.5	0	0
ケースC	0.25	0.25	0	0

(2)好気性微生物による油の分解

試料として、盛土とその下部の粘性土を採取した。採取した土壌は現地の地下水に浸漬させて攪拌混合し、粒径2mm以下にろ過した(固液比1:4)。その後送気ポンプで酸素飽和させ、培養容器(250mLガラスビン)に200mLずつ分注した。表-3に示す試験条件になるように活性化剤(リン酸水素二アンモニウム、リン酸二水素カリウム)を添加し、大気開放状態のもと20°Cで培養した。

培養中は、油の分解過程で生成される二酸化炭素(以下、CO₂)を測定することで、油分解の傾向を把握した²⁾。CO₂濃度は、培養容器にキャップをして1時間振とうし、5時間静置した後、ヘッドスペースガスをTCD検出器付ガ

表-3 好気性TB試験条件(油対象)

試験条件	炭素(C) (mgC)	窒素(N) (mgN)	リン(P) (mgP)	カリウム(K) (mgK)	炭素(油)100に対し 窒素:リン:カリウム
ブランク	128	0	0	0	100 : 0 : 0 : 0
ケース1	128	12.8	1.28	0	100 : 10 : 1 : 0
ケース2	128	12.8	1.28	1.28	100 : 10 : 1 : 1
ケース3	128	12.8	2.56	0	100 : 10 : 2 : 0
ケース4	128	12.8	2.56	1.28	100 : 10 : 2 : 1
ケース5	128	25.6	5.12	0	100 : 20 : 4 : 0
ケース6	128	25.6	5.12	1.28	100 : 20 : 4 : 1
ケース7	128	12.8	5.12	0	100 : 10 : 4 : 0
ケース8	128	12.8	5.12	1.28	100 : 10 : 4 : 1

スクロマトグラフで測定した。

試験開始時およびCO₂発生の収束後には、GC-FIDにより油分(TPH)濃度を測定した。

4.TB試験の結果

(1) VOCsの分解状況

VOCsを対象とした嫌気性TB試験結果を図-2に示す。トリクロロエチレンの分解生成物であるシス-1, 2-ジクロロエチレン、クロロエチレンも全て分解したのは、活性化剤に加えリン・カリウムを添加したケースAのみであった。環境基準を下回るまで110日間を要した。

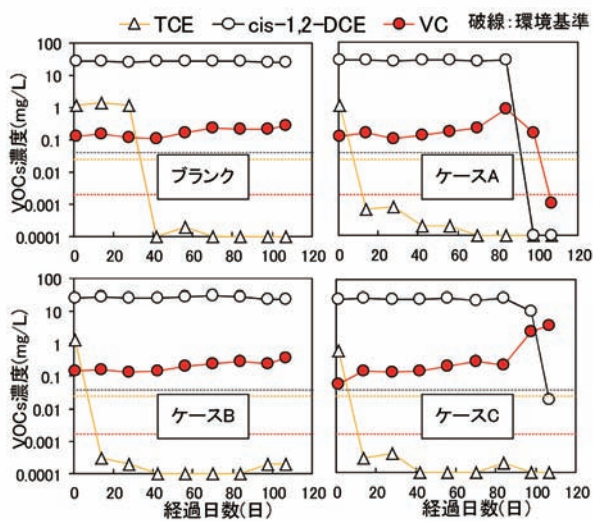


図-2 VOCsを対象としたTB試験結果

(2) 油の分解状況

CO₂濃度の測定結果を図-3に示す。試験開始20日目からCO₂の発生が認められ、71日目で濃度が最も上昇し、その後86日目に全てのケースでCO₂発生が収束した。CO₂の発生量はケース6が最も多かった。

次に、TPHの測定・油分の観察結果を図-4に示す。

油臭・油膜は、86日目のケースのみ認められなかった。

試験開始時のTPH濃度は410mg/Lであった。CO₂の発生が収束した86日後の測定では、ブランク118mg/Lに対し、ケース6は15mg/L(ブランクに対して87%減少)、その他は19~59mg/Lであった。

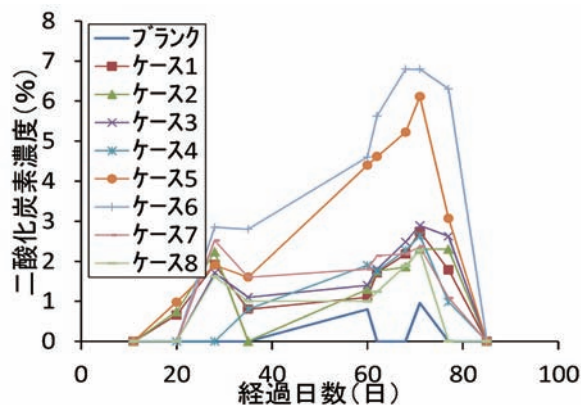


図-3 二酸化炭素濃度の測定結果

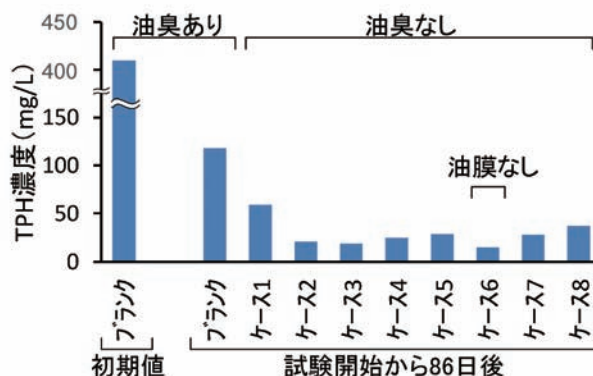


図-4 TPHの測定・油分の観察結果

5.まとめ

現地のVOCs汚染土壌を用いて、嫌気状態で有機質の活性化剤添加量の違いによる浄化効果の確認、およびリン・カリウムがVOCs分解に及ぼす影響を確認した。その結果、リン・カリウムはVOCsの分解を阻害せず、高濃度シス-1, 2-ジクロロエチレン(36mg/L)を含むVOCsを110日間で無害な物質まで分解できた。

現地の油汚染土壌を用いて、好気状態で窒素・リン・カリウムの添加量の違いによる浄化効果を確認した。その結果、現地に適した活性化剤の割合は、油の炭素100に対して窒素:リン:カリウム=20:4:1であることがわかり、410 mg/Lの油(潤滑油)を86日間で15 mg/Lまで分解できた。また、油膜・油臭ともに無くなったことを確認した。油分解の傾向は、煩雑なTPH試験によらず、油の分解により生成するCO₂濃度の測定で把握できた。

A工場のような還元環境の地盤では、VOCsの分解に他方の活性化剤による浄化の阻害はなく、それぞれに適した活性化剤の条件により地盤環境を整えることで浄化の進むことが示唆された。現地での本施工にあたっては、地盤の環境ごとにあらかじめTB試験を実施し、適切な設計条件を求めることが重要である。

引用・参考文献

- 1) 片山新太:有機塩素化合物の微生物分解, 地球環境, Vol.1, No.1, pp.45-53, 2009.
- 2) 岡村和夫・田崎雅晴・黒岩洋一:地中CO₂による油汚染土壌の簡易モニタリング技術の開発, 清水建設研究報告, Vol.83, pp.19-24, 2006.