

ジオドレン材による盛土地盤強化と土壌浄化性能

今野雄太¹・巻内勝彦²・峯岸邦夫³

近年、建設工事による産業廃棄物として発生する汚染土が増加し、それに伴い対策工法も多様化している。

そこで、本来廃棄処理する建設発生土を盛土材等の建設材料に転用するために行う土壌浄化改良工法として、ジオテキスタイルをドレン材として使用し、排水とともにその汚染物質も同時に排出させることにより土壌浄化効果を排水補強効果とともに評価・検討した。

本研究では、試料土に関東ロームと川砂を使用し、汚染土とジオドレン材による室内土槽モデル試験を行い、粒径、上載荷重、ドレン材の敷設条件、試料土の種類、水頭等の諸条件を変化させ、着実な効果予測、より高い汚染除去能力を持つ諸条件の組み合わせを見出すための基礎的実験を行い考察した。

キーワード：ジオテキスタイル、土壌浄化、排水性能

1. 研究背景と目的

建設工事による発生土は近年増加の一途をたどっており、その適切な有効利用が求められている。建設発生土は建設リサイクル法により再利用すべき副産物として指定されているが、有害物質が基準値以上混入している汚染土の発見がここ数年、格段に増加傾向を示していることで、その調査・対策工事も同様の傾向を示している。しかし、現状では汚染物質の種類・形態による被害も様々であり、汚染の拡大する過程・現状土の状態等が十分に理解されていないことがある¹⁾。よって、既存の技術であっても効率的な効果の予測や低コスト技術への改良が必要である。そこで、汚染土壌のリサイクル、軟弱地盤の補強と言った観点から、新たにジオテキスタイルをドレン材として使用し、土壌内の余剰水ごと汚染物質を排出し土壌浄化を促す工法を検討してみた。本研究では、試料土に関東ローム、比較対象として透水係数の良い川砂、汚染物質として灯油、ドレン材として不織布ジオテキスタイルの厚さの異なるものを2種類使用して、汚染土とジオドレン材による室内土槽モデル試験を行い、上載荷重、敷設条件、試料土の種類等の諸条件を変化させ、効果予測やより高い汚染除去能力を求める実験を行った。

2. 試験方法

試料土として高含水比火山灰質粘性土（関東ローム）、比較対象として透水性の良い川砂を使用し、混入する汚染物質として室内実験で可能なものでかつ環境基準のあるものとして灯油を使用した。ドレン材にはスパンボ

ンド不織布S - 400（公称厚さ4.0mm、目付け400g/m²）とスパンボンド不織布S - 200（公称厚さ2.0mm、目付け200g/m²）を用いた。試験方法としては写真 - 1 に示す試験モデル土槽（内寸法40cm × 55cm × 25cm）にドレン材を水平敷設し、土槽上部から継続的に水を700cm³/minで流入させ、給水水位を一定に保った。そして排水量がほぼ安定した後に土とドレン材の複合体として図 - 1 に示すように面内方向通水量と垂直方向透水量、それと同様に面内方向と垂直方向の汚染物質排出量の測定試験を行った。

以下に本研究の試験項目および条件を示す。

- (1) 関東ロームは自然含水比（ $w_n = 110\%$ ）状態で湿潤密度 ρ_t を 0.9g/cm^3 になるように、所定の締め固めエネルギーで試料土を均一に8層分割して締め固める。川砂は絶乾状態で相対密度 D_r が50%になるよう同様に締め固めた。各試料土の透水係数は表 - 1 に示す。汚染物質は、その各層ごとに流入させた。また、流入量は湿潤状態の試料土質量に対して2%とした。
- (2) 載荷重を0, 5, 10, 15, 20kPaの5条件で試験を行ない、土被り圧の影響を調べた。また排水量を安定させるための時間として1載荷段階につき24時間とした。
- (3) ジオテキスタイルを図 - 2 のように分割3枚敷設して、この条件による排水・排出量を測定する。汚染物質排出量は、写真 - 2 に示すオイルシートの油分のみを吸収する特性を利用して、排水量を測定した後にそれを攪拌して表面上に浮かび上がる油分を測定する。オイルシートの質量を除いたものを汚染物質排出量として、その違いを比較検討した。
- (4) 排水試験によって得られた面内方向通水量と垂直方向透水量の割合および排水性能比を調べた。

¹学生会員，日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻，博士前期課程（〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1）

²個人会員，日本大学理工学部社会交通工学科，教授（同上）

³個人会員，日本大学理工学部社会交通工学科，助手（同上）

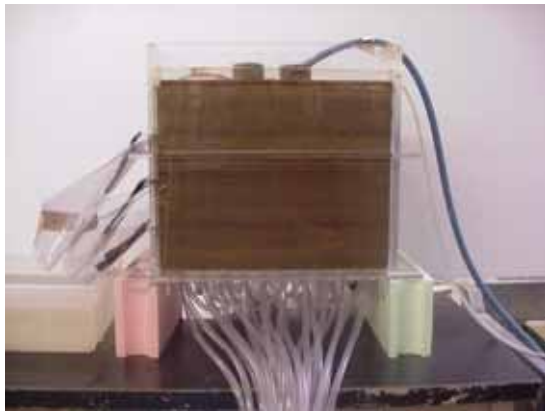


写真 - 1 室内土槽試験装置

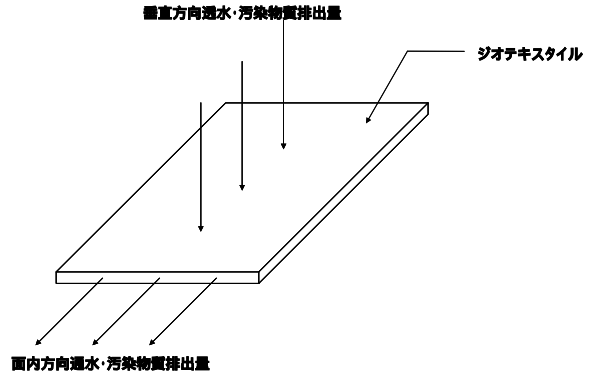


図 - 1 面内方向通水量・垂直方向透水量

表 - 1 透水係数

試料土	関東ローム	川砂
透水係数	4.94×10^{-4}	1.2×10^{-2}

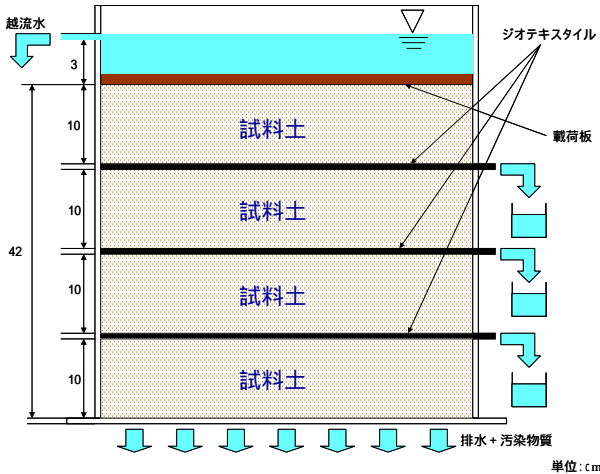


図 - 2 分割3枚敷設図

(5) 試験終了後に検知管を用いたガス吸引試験を行い、石油ナフサの残留濃度を調べた。

3. 室内土槽モデル試験結果と考察

図 - 3 ~ 図 - 6 は、試料土別・敷設条件別に排水量（面内方向通水・垂直方向透水量）・汚染物質排出量と載荷重の関係を示したもので、ジオテキスタイルを分割で3枚敷設した場合の条件である。

すべての試験結果から載荷重が 5 kPa, 10kPa, 15kPa, 20kPa と増加するにつれて排水量・汚染物質排出量が減少していくのがわかる。これは、関東ロームにおいては、載荷重が増加するにつれて土の密実化が進むことにより、透水係数が低下したと考えられ、またドレーン材の排水断面積の減少、目詰まりによる排水材の透水係数の低下といったことが原因として挙げられる。川砂においても、排水量は減少傾向を示すという結果になった。これには、ドレーン材や試料土の圧密作用による透水係数の低下な



写真 - 2 オイルシート

どが考えられるが粘性土と異なりジオテキスタイルへの目詰まりがない分、減少傾向は関東ロームに比べて小さいものだった。また図 - 6 から関東ロームにおける排水量・汚染物質排出量が、他の3条件と比べて顕著であることがわかる。このことから排水断面積が多い分、目詰まりの割合も多くなったことがわかる。表 - 2, 表 - 3 では各試料土における総排水量と総汚染物質排出量を示した。各試料土別の総排水量の減少率を見ても排水断面積が最小で目詰まりが起こりにくい川砂でジオテキスタイル 2mm の条件が最小、排水断面積が最大で目詰まりの起こりやすいのは関東ロームでジオテキスタイル 4mm の条件が最大となった。この2つの条件下では減少率の差が約 40%となり関東ロームのような目詰まりを起こしやすい粘性土における解決策を考えることが重要となる。

汚染物質排出量は図 - 3 ~ 図 - 6 からわかるようにこちらも排水量と同様にすべての条件で減少傾向を示した。また排水量よりも汚染物質排出量のほうが減少傾向が大

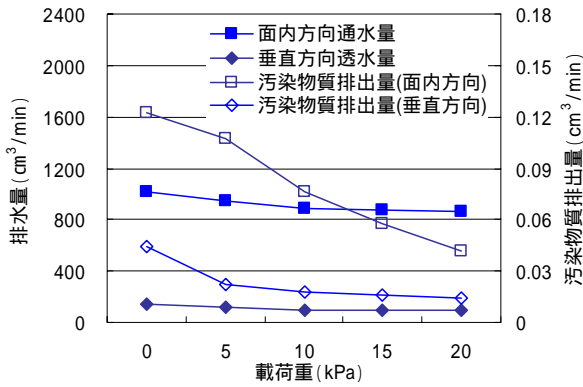


図 - 3 川砂における排水・排出量と載荷重に関する関係 (ジオテキスタイル2 mm)

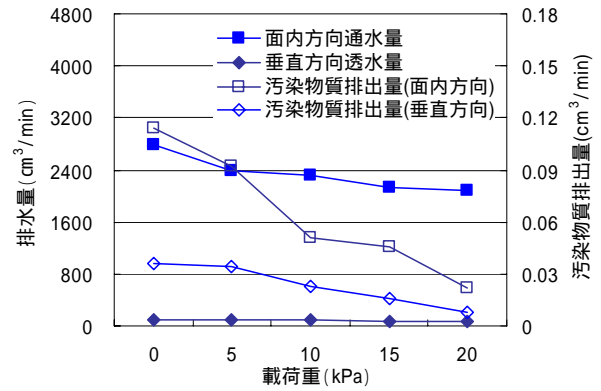


図 - 4 川砂における排水・排出量と載荷重に関する関係 (ジオテキスタイル4 mm)

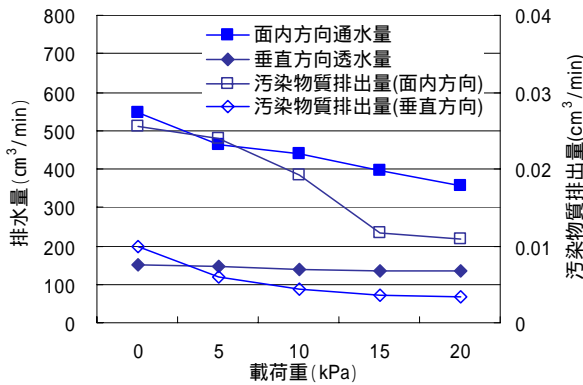


図 - 5 関東ロームにおける排水・排出量と載荷重に関する関係 (ジオテキスタイル2 mm)

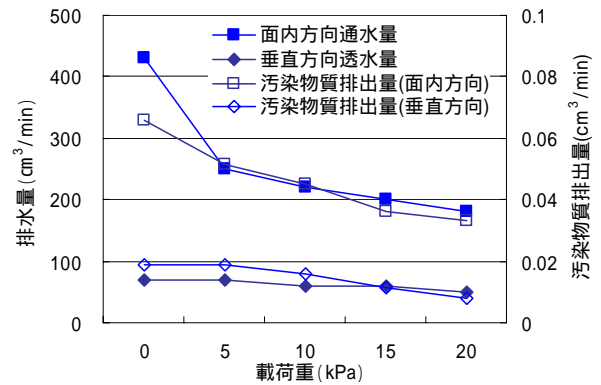


図 - 6 関東ロームにおける排水・排出量と載荷重に関する関係 (ジオテキスタイル4 mm)

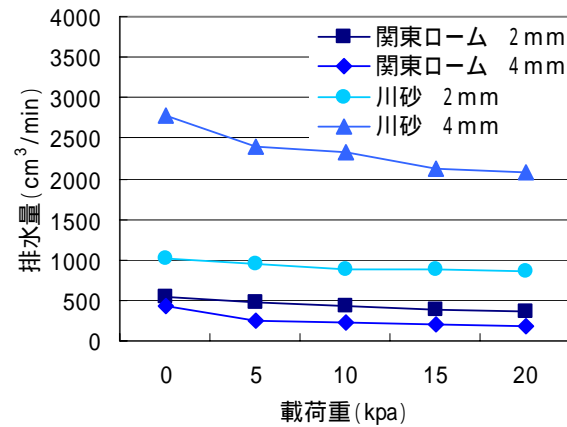


図 - 7 各試料土における排水量と敷設条件に関する関係

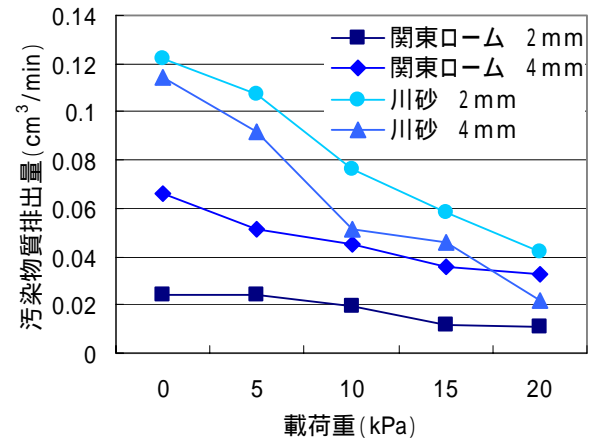


図 - 8 各試料土における汚染物質排出量と敷設条件に関する関係

表 2 ジオテキスタイル2 mm敷設条件における総排水量・総汚染物質排出量

試料土	排水量(cm³/min)	汚染物質排出量(cm³/min)
川砂	5129.4	2.595
関東ローム	2401.5	0.593

表 3 ジオテキスタイル4 mm敷設条件における総排水量・総汚染物質排出量

試料土	排水量(cm³/min)	汚染物質排出量(cm³/min)
川砂	12143.9	2.21
関東ローム	1590.4	1.523

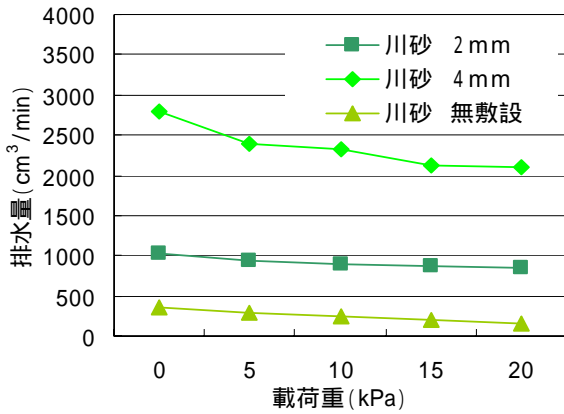


図 - 9 川砂における排水量と敷設条件の関係

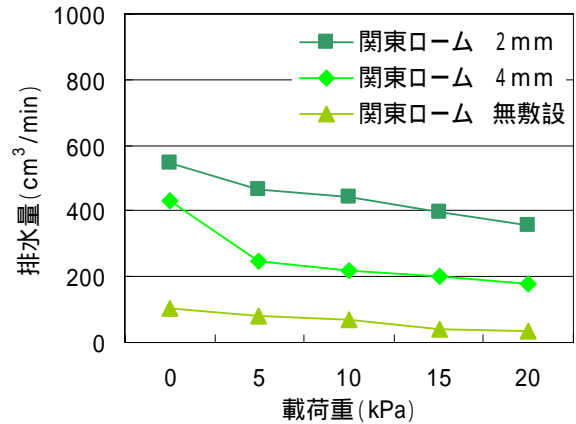


図 - 10 関東ロームにおける排水量と敷設条件の関係

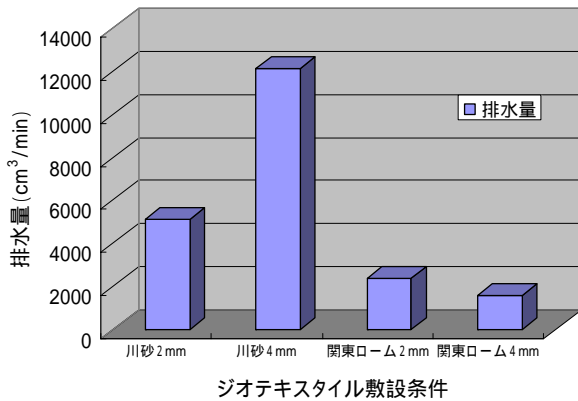


図 - 11 敷設条件別排水量の比較

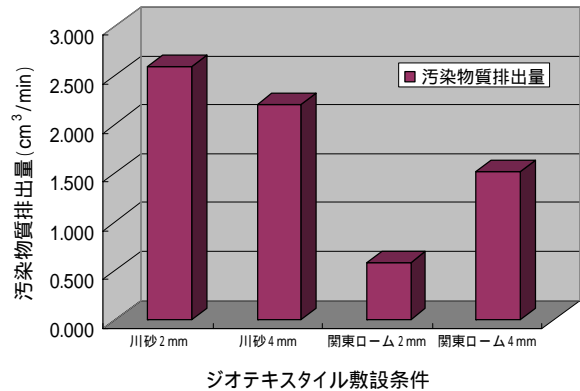


図 - 12 敷設条件別汚染物質排出量の比較

きい理由としては、水は常に流入され増加し続けているのに対して汚染物質の絶対量は排水とともに排出され減少していくことが原因と考えられる。

表 - 2、表 - 3より、川砂と関東ロームの総汚染物質排出量を見ると、川砂のほうが関東ロームに比べてジオテキスタイル 2mm条件で約1.5倍、ジオテキスタイル 4mm条件では約4.4倍となり、関東ロームの汚染物質排出量が非常に少ないことがわかる。原因として粘性土特有の性質である吸着作用が挙げられる。関東ロームに代表される粘性土を構成する粘土鉱物は、マイナスの電荷を帯びていることが一般的であり、粘性土の表面は陰イオンに荷電しており、陽イオンを吸着する性質を持っている²⁾。本実験で使用した石油系化学物質は、複数の有機物を含む³⁾ため、水に溶け出した陽イオンが土壤に吸着するものと考えられる。また試験前の予想では微量しか検出されないと考えていた川砂においては汚染物質排出量が予想に反して検出された。本来、水と油というものは相性が悪く、超越水として流れ出るものと考えていたが、灯油は粘性が低く、さらにある一定量を超えてしまうと水に溶けてしまう性質がある。これらの理由から今回のような結果となったと考えられるが、重油のような粘性が高いものの排水量と汚染物質排出量のメカニズムを知っておく必要はあると考えられる。

図 - 7、図 - 8は各試料土における敷設条件別に見た排水量と汚染物質排出量を示したもので、図 - 7より川砂ジオテキスタイル 4mm敷設条件が最も排水効果があったことがわかる。このことから、特に透水係数の良い砂質土においては、排水量はドレーン材の排水断面積に最も依存するといえる。また図 - 8において、試料土別に汚染物質排出量を比較した場合、無載荷状態では汚染物質排出量に大きな差があったのに対して、20 kPaにおける汚染物質排出量にはほぼ同値となっている。これは粘性土では汚染物質が吸着することで土槽内に残留する汚染物質の残留量が多いのに対して、砂質土では吸着しないため少ない。この残留量の差が時間の経過とともに大きくなり、この差がこのような結果になった原因として考えられる。

図 - 9、図 - 10では各試料土における無敷設条件と敷設条件を比較したもので、敷設した場合のほうが無敷設条件に比べて川砂で3倍から13倍、関東ロームにおいては3倍から11倍となっている。このことから地盤補強効果が確認されたといえる。

図 - 11、図 - 12は試料土別・敷設条件別に見た総排水量と総汚染物質排出量との関係を示したものである。この図から見てもやはり川砂のほうが排水性能が良いことがわかる。しかし、試料土別に排水量、汚染物質排出

量を見ると関連性があまりないといえる。灯油の浸透性や土粒子の性質、また载荷重による排水断面積などが大きく関係していると考えられる。

4. ガス吸引試験結果と考察

本実験では、排水・排出性能試験を行った後、油の残留濃度を調べるために写真 - 3 に示すガス吸引試験機を用いたガス吸引試験を行った。ガス成分の対象は、石油ナフサである。測定箇所は図 - 9 に示す通り9箇所の排水孔付近に設定し、土中においてガス吸引試験を行った。試験結果を表 - 4、表 - 5 に示す。

表 - 4、表 - 5 に示すように敷設条件別に見てみると、ジオテキスタイル2mm敷設条件のほうが残留濃度が若干高いが、それほど大きな差は見られなかった。これは表 - 2、表 - 3の汚染物質排出量の値に大きな変化がなかったことからジオテキスタイルの厚さは2mmと4mmでは汚染物質排出量にあまり影響を及ぼさないと考えられる。試料土別に見ると関東ロームのほうが明らかに石油ナフサが残留していることがわかる。これは前述したように、関東ロームのような粘性土は表面に汚染物質が吸着しやすいという性質が関係しているからと考えられる。界面活性剤を混ぜるなどして土粒子と汚染物質の吸着を抑える解決策を考えていくことが必要となる。

また測定箇所別に見ると全条件において図 - 9 における1, 2, 3の数値が中段、下段と比べて非常に低いことがわかる。これは灯油の比重が水よりも大きいため油分が上へ上昇し超越水と一緒に流出してしまったことや、上段においてはガスの成分が揮発してしまったことが原因と考えられる。また関東ロームにおいて図 - 9 の6, 9において検出された数値が低いことがわかる。この2箇所は図 - 9 からわかるように排水孔付近であり水の流れが強く、吸着する前に汚染物質が排水とともに押し流されたためと考えられる。灯油の場合は粘性が低かったためにこのような結果となったが、重油のような粘性の高い汚染物質の場合は今回の結果以上に残留してしまうと考えられる。

5. 結論

以上の結果より今回得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 上载荷重を段階的に増加させていくと、全条件において排水量、汚染物質排出量は減少していく。これは排水断面積の減少や透水係数の低下、ジオテキスタイルへの目詰まりなどが原因と考えられる。
- (2) ジオテキスタイルの厚さが2mmと4mmの場合、川砂においては4mm、関東ロームにおいては2mmの条件が総排水量が多かった。これは粘性土の場合、排水断面積が大きいほど、その分ジオテキスタイルに



写真 - 3 ガス吸引試験機

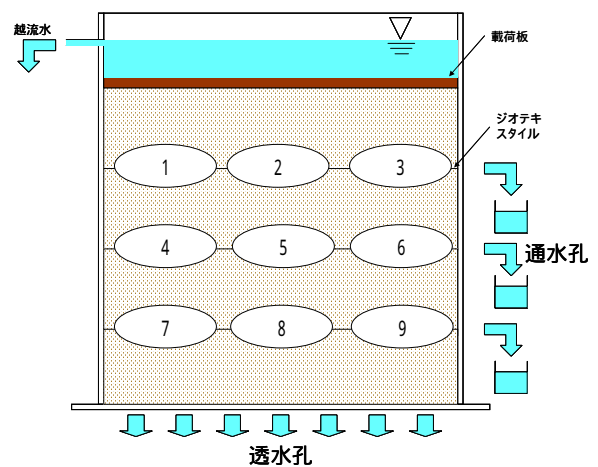


図 - 9 ガス吸引試験測定箇所

表 - 4 ジオテキスタイル2mm敷設条件におけるガス吸引試験結果

測定箇所	川砂(mg/l)	関東ローム(mg/l)
1	1.4	1.8
2	1.2	2.1
3	1.3	2.2
4	1.6	2.9
5	1.8	3.2
6	1.8	2.1
7	1.8	2.6
8	1.9	2.5
9	1.8	2.1

- 目詰まりを起こすためと考えられる。
- (3) 粘性土の場合、汚染物質が土粒子に吸着してしまうため、川砂と比較して汚染物質排出量は少なく、石油ナフサの残留濃度は高かった。
- (4) 粘性の低い汚染物質の場合は水の流れと同様にそのまま汚染物質は流れていく。
- (5) ガス吸引試験から、砂質土においては土壌浄化が確認できたが、粘性土の場合は界面活性剤などを用いて、吸着の問題を解決する必要がある。

5. 今後の課題

本研究では汚染土壌で構築された盛土や擁壁などの地盤構造物を対象に室内モデル土槽試験を行いジオテキスタイルを水平ドレーン材として適用したときの面内方向通水性と垂直方向透水性の相互作用または相関性および、土とジオテキスタイル複合体としての浄化作用について調べたが、土槽や解析にはまだ検討すべき余地があり、以下に今後の課題を示す。

- (1) 排水材を変えることで地盤浄化により優れているものを検討する。
- (2) 界面活性剤などの分散剤を使用して土粒子と汚染物質の吸着を抑制する。
- (3) 粘性の高い汚染物質での試験を行う。
- (4) 排水材の敷設条件を検討し、より効率的な敷設条件を見出す。

表 - 5 ジオテキスタイル4mm敷設条件における
ガス吸引試験結果

測定箇所	川砂 (mg/l)	関東ローム (mg/l)
1	1.4	1.8
2	1.5	1.7
3	1.4	1.6
4	1.3	2.5
5	1.5	2.5
6	1.5	1.9
7	1.5	2.7
8	1.5	2.9
9	1.5	2.2

参考文献

- 1) 平田健正監修：土壌汚染の対策と実務，（社）土壌環境センター，2001
- 2) 竹内均監修：地球環境調査計測事典，（株）フジ・テクノシステム，2002
- 3) 日本地盤環境浄化推進協議会編：土壌・地下水汚染の実態とその対策，（株）オーム社，2000

謝辞

本研究を進めるにあたって、元本学学生の増田貴之、江口雄治、石川恵美の各氏の協力を得た。また、前田工織（株）にジオテキスタイル試料の提供を得た。ここに記して感謝の意を示します。

Drainage and Soil-Purification Performance using Geodrain Materials

By Yuta KONNO, Katsuhiko MAKIUCHI and Kunio MINEGISHI

A number of counter - measures methods for soil - remediation of construction waste are being developed in recent years. In this study the process and effect of soil purification were examined and evaluated by exhausting contaminant at the same time by using geotextiles as drain material installed in soil embankment, soil fill ,etc.

Laboratory experimental model tests were carried out to investigate the effects of kind of soil, water head and installation condition of geotextiles on drainage and soil purification.

Key words: Geotextile, Soil remediation , Drain performance