

廃棄物埋立地盤における地盤改良

Ground Improvement of Waste Landfill

嘉 門 雅 史 (かもん まさし)

京都大学教授 防災研究所

1. はじめに

産業・社会構造の変遷に伴って、廃棄物処理・処分の必要性が飛躍的に増大し、最終的には廃棄物の多くを地盤内に受け入れざるを得ないことから、その安全性・安定性に関する地盤工学的考察が必須となっている。しかしながら、新しい土地造成のために埋立を実施するという立場からは、環境保全の見地から山土を安易に掘削取得することが難しくなりつつある現状のもと、廃棄物も見方を変えればきわめて重要な埋立用材でもある。したがって、大都市部における土地需要に対する緊急の要請から、廃棄物によって埋め立てられた地盤を早期に安定化するための地盤改良技術開発と跡地利用の方策が、地盤工学上の大きな課題となっている。特に、環境地盤工学上の問題、例えば有害な浸出水の漏出防止や悪臭ガス・爆発性ガスの発生対策などが廃棄物埋立地盤の跡地利用の前提条件である。

更に、近年地盤環境が各種の物質によって汚染されていることが明らかになり、その対応に各方面からの取組みがなされている。汚染物質はカドミウムやクロムなどの有害な重金属をはじめ、従来は安価で安定な溶媒として多用されたトリクロロエチレンなどの人工化学物質等の、特性の著しく異なる有害物質が対象となっている。地盤改良の技術はこのような地盤環境汚染の対策としても用いることができる。

2. 廃棄物問題の現状と廃棄物最終処分場の構造基準

一口に廃棄物と言っても、その種別は千差万別であり、一般廃棄物と産業廃棄物とに2分される。廃棄物排出量は、一般廃棄物が平成元年に5 000万 tに

達し、産業廃棄物は約3億7 000万 tと推定される。我が国の廃棄物処理は「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(廃棄物処理法と略される)に基づいて実施される。廃棄物処理法では家庭から出るごみやし尿、事業所から出る紙ごみ等の一般廃棄物と、事業活動に伴うもので特定の種類の産業廃棄物とに区分され、更に、平成4年度から特別管理廃棄物として毒性・感染性・爆発性等から、より健康や生活環境に影響の与える恐れのある廃棄物の処理に関する規制強化が図られている。

このような廃棄物の処理施設の設置は年々困難となっており、廃棄物処理施設整備緊急措置法によって平成2年度までの第6次5か年計画に引続き、平成3年度から第7次5か年計画が総額2兆8 300億円の規模で進行中である。しかしながら最終処分場の残余容量は、現在のところ一般廃棄物で8年分、産業廃棄物で1.5年分とされている¹⁾。一般廃棄物は管理型処分場に処分され、産業廃棄物は安定型・管理型・遮断型の処分場に処分される。このような3種類の最終処分場の特徴を示すと表1のとおりである。処分場では浸出水の遮断が特に重要であるが、現状では必ずしも十分なものとはいえず、粘土層があればそれだけで遮断効果が得られるとしている。また地表面からの降雨流入についてはほとんど考慮の対象外であるし、発生ガスについての対策にも特別の基準が無い等、現在の遮断工法は地盤工学的にみて多くの問題発生の危険性を有している。処分場を埋め立てた後に有害な浸出水の域外への漏出事故が生じた場合、その漏出箇所の解明は電磁氣的測定法等の可能性が検討されているが現状ではほとんど不可能に近いし、このような処分場の修復等には莫大な時間と費用がかかるものである。厳格な環境保全が今後ますます求められることになるであろう

表—1 埋立処分場の構造基準

記号	最終処理場の種類	個 別 の 種 類
ア	遮断型処分場	(1) 埋立地の周囲には、地表水が埋立地の開口部から流入するのを防止することができる開渠その他の設備が設けられていること。 (2) 外周仕切り設備は、産業廃棄物投入のための開口部を除き、次の要件を備えていること。ただし、これと同等以上の効力を有する岩盤等がある部分については、外周仕切り設備は必要でない。 (ア) JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) により測定した一軸圧縮強度が 250kgf/cm² 以上のコンクリートで造られ、かつ 15cm 以上の厚さであること。ほかの材料による場合は、これと同等以上の遮断効力を有すること。 (イ) 自重、土圧、水圧、波力、地震力等に対して構造耐力上安全であること。 (ウ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐食防止が講じられていること。 (3) 内部仕切り設備は、次の要件を備え、一区画の面積がおおむね 50m² 以下、または埋立容量がおおむね 250m³ 以下になるように区画すること。 (ア) 一軸圧縮強度が 250kgf/cm² 以上のコンクリートで造られ、かつ 10cm 以上の厚さであること。ほかの材料による場合はこれと同等以上の遮断効力を有すること。 (イ) 自重、土圧、水圧、波力、地震力等に対して構造耐力上安全であること。 (ウ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐敗防止対策が講じられていること。
イ	安定型処理場 (3千m ³ 以上のもの)	擁壁等は、埋め立てる産業廃棄物の流出を防止することができ、次の要件を抑えていること。 (ア) 自重、土圧、水圧、波力、地震力等に対して構造耐力上安全であること。 (イ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐食防止措置が講じられていること。
ウ	管理型処理場 (1千m ³ 以上のもの)	(1) 擁壁等は、埋め立てる産業廃棄物の流出を防止することができ、次の要件を備えていること。 (ア) 自重、土圧、水圧、波力、地震力等に対して構造耐力上安全であること。 (イ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐食防止対策が講じられていること。 (2) 埋立地からの浸出液による公共の水域および地下水の汚染を防止するため、次に掲げる水域汚染防止措置が講じられていること。ただし、水域汚染防止措置を講じた産業廃棄物のみを埋め立てる埋立地については、水域汚染防止措置は必要ない。 (ア) 産業廃棄物投入のための開口部および集水設備（水面埋立地処分にあつては排水設備）の部分を除き、保有水等の埋立地からの浸出を防止できる遮水工を設けること。ただし、遮水工と同等以上の効力がある不透水性の地層の部分については、遮水工は必要ない。 (イ) 保有水等を有効に集めることができる堅固で耐久力を有する構造の集水設備（水面埋立地処分にあつては排水設備）を設けること。ただし雨水防止のための措置が講じられている埋立地（水面埋立処分を除く）については集水設備は必要でない。 (ウ) 集水設備により集められた保有水等（水面埋立処分にあつては、排水設備により排出される保有水等）にかかわる放流水の水質を「排水基準を定める総理府令第1条に規定する排水基準」に適合させることができる浸出液処理設備を設けること。この場合、放流水が 50m³/日以下であっても浸出液処理設備が必要である。ただし、これら保有水等を貯留するための十分な容量の耐水構造の貯留槽が設けられ、かつ貯留された保有水等が浸出液処理設備と同等以上の性能の水処理設備で処理される最終処分場にあつては、浸出液処理設備は必要でない。 (3) 埋立地の周囲には、地表水が埋立地の開口部から流入するのを防止することができる開渠その他の設備が設けられること。

(注) 最終処分場の種類は、令第7条第14号に掲げられている。

(ア) 「遮断型処分場」とは、有害な燃え殻、ばいじん、污泥、鉱さい、13号廃棄物を埋立処分するものをいう。

(令第7条第14号イ)

(イ) 「安定型処分場」とは、廃プラスチック類、ゴムくず、金属くず、ガラスくずおよび陶磁器くず、建設廃材、環境庁長官および厚生大臣が指定する産業廃棄物を埋立処分するものをいう。(令第7条第14号ロ)

(ウ) 「管理型処分場」とは、廃油（タールピッチ類に限る）、紙くず、木くず、繊維くず、動植物性残渣、動物のふん尿、動物死体および無害な燃え殻、ばいじん、污泥、鉱さい、13号廃棄物の埋立処分するものをいう。(令第7条第14号ハ)

う状況からみて、後述のような米国型の構造基準の策定が緊急に必要と考えられる。

3. 廃棄物埋立地盤の地盤工学的諸課題と地盤改良工法

廃棄物を中心とした各種の埋立材料の特性をまとめると表—2 のようである。ここでは主として地盤としての特性と問題点について示しているが、一般の土砂材料と廃棄物との大きな差として、材料分解が生じることである。これが地盤として廃棄物を利用する際の不安定性の主原因である。また廃棄物は周辺環境へ種々の影響を及ぼすことにも留意しなければならない²⁾。

廃棄物埋立地盤の跡地利用に際しては、対象とす

る埋立地を構成する廃棄物材料の現況と将来の変化の予測を行うことが肝要である。従来の土質工学における調査手法や設計手法をそのまま廃棄物埋立地盤に適用することには疑問があるが、構造物を設計するためには地盤定数の決定が不可欠である。廃棄物埋立地盤の設計に際して、埋立用護岸とその後の跡地利用における構造物建設に当たって検討すべき諸点は以下のとおりである。

- (1) 埋立護岸構造……周辺環境への影響の防止への配慮
- (2) 土地利用計画の策定……埋立前に埋立跡地利用計画の策定
- (3) 埋立地盤定数の決定……一般の地盤における土質定数と同様な手法の適用性

表—2 埋立材の種類と地盤性状

埋立材の種類	埋立地盤の工学的性質	単位体積質量 空中(水中) t/m ³	地 盤 性 状	問 題 点
良質土砂、がれき類、金属類、ガラス類 鉋さい類	良質土砂を主体とした混合物は一般に単位質量が大きく、締固めによる密度増大、透水性改良効果大である。	1.8 (1.0)	沈下や支持力に関しても十分安定な地盤を造成することができる。	安定な地盤を造成できるので、構造物の建設上問題はない。粗大がれき類の捨込みは地域を定めて行うことが必要である。
灰 焼却残さ 石炭がら	各工場より排出される灰類および焼却場からの焼却残さである。粒度は細砂から礫程度である。単位質量が小さく一部浮遊することもあるが、透水性は良い。	1.2 (0.4)	十分に締固めを行うことによって、安定な地盤を造成することができる。締固めが不足すれば流動化をきたす。	1. 締固め程度により、基礎地盤としての判定を行う必要がある。 2. 焼却残さによる水質汚濁がある。
不良土 浚渫粘土	高塑性無機質粘土であり締固め性、透水性、強度など不良である。	1.45 (0.45)	沈下、強度とも不良であり、また圧密時間も非常に長く、不安定な地盤となる。1～2年放置後1m程度の覆土をすることにより、機材の搬入が可能である。	1. 軟弱土のみの場合、施工時トラフィカビリティが悪く、ほかの良質材と混合する必要がある。 2. 重量構造物に対しては沈下が著しいので、サンドドレーンなどの地盤改良が必要である。
紙くず、木くず、繊維くず わらくず、合成樹脂くず、動物性残さ、植物性残さ、雑ごみ	これらの廃棄物は一般に間隙が多く、単位質量小である。放置しておけば、次第に圧縮していくが、締固めは困難であることから、腐敗化によって断続的な沈下や水質汚濁を伴う。	1.0 (0.3)	完成後、最初の10年間ぐらいは、腐敗による沈下が著しく強度的にも不安定な地盤となる。また、構造物に対しては腐食を考えて設計を行う必要がある。	1. 跡地利用としては、緑地、公園、駐車場として計画できる。 2. 沈下安定後は軽量構造物程度の建設も可能である。 3. 発生ガスや浸出水などの対策を必要とする。

(4) 構造物の基礎形式……杭基礎の適用の必然性とその合理性の有無

(5) 設計支持力の推定……N値や載荷試験結果の適用性

(6) 施工管理……変形・沈下対策や発生ガス、浸出水の処理、腐食対策

上記の(1)および(2)は、新規埋立時に必ず考慮すべき事項であり、(3)以降は既存の廃棄物埋立地盤の跡地利用に際して適用すべき事項である。

最近では家庭からの生活廃棄物や下水汚泥などの産業廃棄物は、そのほとんどが焼却処分されるようになっており、廃棄物の減量化の点で飛躍的な向上がみられている。焼却に伴う重金属の浸出水中への溶出やダストの飛散の問題、飛灰中へのダイオキシンの混入等の課題が一方では生じているものの、総体として焼却灰は良好な地盤材料と言える。さらに、産業廃棄物のうちでも最も多量に発生する汚泥や建設廃材などについても、減量のための脱水や安定化の前処理を施して、なるべく良質な埋立材料にするための技術開発が今後の大きな課題である。廃棄物埋立における管理型・安定型のそれぞれの最終処分場について、将来の土地利用を想定した形での埋立、すなわち受け入れる廃棄物の種別を明確にして、土地利用区分ごとに埋立することが求められる。

さて、廃棄物埋立地盤の跡地利用には、支持力が大きく、沈下量の少ない地盤への改良が求められる。廃棄物埋立地盤の改良のために次のような工法を挙

げることができる。

(1) 置換工法……良質砂と置き換える。

(2) プレロード工法……廃棄物層厚の2倍程度の盛土荷重で圧密する。

(3) 重錘落下締固め工法……10～40 tの重錘を高さ10～30mから落下させて、このエネルギーで締固める。

(4) サンドコンパクションパイル工法……締固めた砂杭を地盤中に打設して、埋立地盤を締固める。

(5) アスファルト注入工法……埋立地盤の空隙中にアスファルト等を注入して堅固な地盤とする。

上記の5種類の改良技術の廃棄物埋立地盤への適用性を比較して示すと、表—3のとおりである。それぞれ埋立処分地の条件に応じて採用されている。騒音・振動があまり問題にならない地域では、(3)の重錘落下締固め工法がよく用いられている。

4. 埋立材料としての廃棄物の特殊性

廃棄物を埋立材料とした場合の対処すべき課題として、構造物の腐食対策や浸出水の防止、ならびに発生するガス対策が重要である。

杭や構造物等に使用される鋼材やコンクリートは廃棄物中において化学的に劣化したり、腐食を生じたりする。鋼材の腐食対策としては電気防食や被覆によるものが中心となり、一方、コンクリートの劣化防止についても主として硫酸塩や酸性溶液からの

表-3 地盤改良工法の廃棄物埋立地盤への適用性

工 法 名	工 法 の 要 点	長 所	短 所	適用性
置換工法	廃棄物層を掘削・除去し、良質土と置き換える。	効果が確実 工期も短い	処分場確保が困難 大量の良質土を必要 掘削時の臭気公害	△
プレロード工法	廃棄物層厚の2倍程度の盛土による圧密	載荷時に約80%の沈下を終了 廃棄物層下部の粘性土の圧密促進効果あり	層厚が大きいと効果小 粗大物が多いと効果小 盛土用土砂の配分に留意	○
重錘落下締固め工法	10~30 tのハンマーを10~30mの高さから繰返し落下させて締め固める。 同一地点の打撃回数を高めると効果大	不均一な材料での埋立地盤に効果的 打設時のガス抜き効果大	振動・騒音対策が必要 ハンマー落下時の飛石に注意	◎
サンドコンパクションパイル工法	締め固めた砂杭を廃棄物層中に打設して、砂杭の強度と廃棄物の締め固め効果を得る。	空隙が大きいと効果大 改良が確実	振動・騒音対策が必要 がれき等が多いとき圧入困難	◎
アスファルト注入工法	加熱アスファルトを廃棄物中に注入する。	注入が確実だと効果大	空隙からの注入材の逸失大 全体の効果の割に工費大	△

隔離に努めることが求められる。浸出水の対策はとくに重要であり、粘土層やジオメンブレン等（ライナーと呼ばれる）による埋立処分場外への漏出防止が図られる。公有水面の埋立においては我が国の臨海部に一般的な沖積粘土層が有効な止水層とみなされ、従来は特別なライナーの設置を省略することが多かった。しかしながら、安定性の点から多重のライナーシステムを採用して耐久性の確保に努める必要がある。さらに、埋め立てられた廃棄物中に含まれる天然の有機物は、ごみ層内の微生物等によって分解され、様々なガスを発生する。温度、水分、pH、酸素濃度、基質栄養バランス、阻害物質の有無等の環境条件に大きく影響を受け、ガス発生の特性が異なる。発生ガスの対策のために、ガス抜きパイプ・砕石ドレーンパイプ等が用いられ、閉鎖空間中にガスを滞留させないことが重要である。

米国では廃棄物処分場として二重ライナーシステムがEPA（環境保護庁）から義務付けられている。

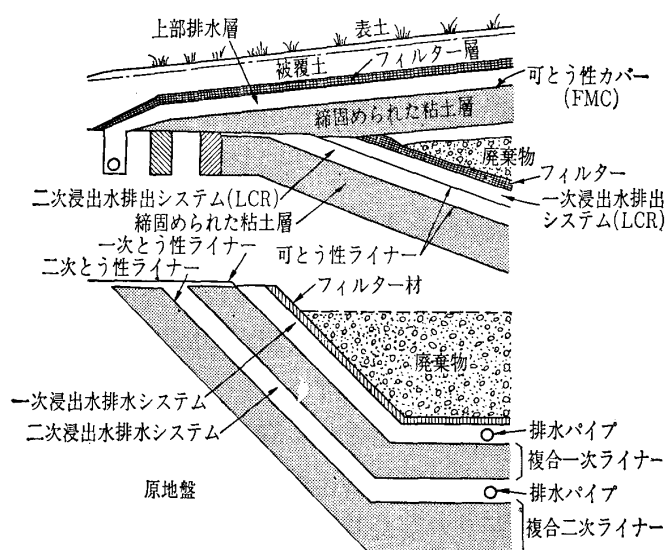


図-1 米国で使用されている二重ライナー構造と表面被覆構造の例

図-1 は二重ライナーシステムの例³⁾を示したものであり、処分場の表面被覆の仕方まで詳しく定めている。二重ライナーとして少なくとも90 cm厚さの粘土層上に1層の可とう性ライナー（FML）の敷設を求めている。FMLとしては一般に高密度ポリエチレン（HDPE）の使用が求められているが、もしそれが破断しても最低でも30年間は浸出水が管理区域外へ流失しない断面構造としている。浸出水への降雨の影響がきわめて大きいことから、図のように処分場の表面を完全にジオメンブレンで覆うことを標準としている。発生するガスは速やかに換気する構造となっていることにも留意する必要がある。表面の被覆に用いるジオメンブレンとしては、地表沈下への追従性から低密度ポリエチレン（LDPE）の効果が大きいとしている。

また、最近の材料としてベントナイトなどの粘土とジオテキスタイル材料とを合成したジオシンセチック粘土ライナーが開発されている。図-2にその例を3種類示した。このようなジオシンセチック粘土ライナーの透水係数は $10^{-9} \sim 10^{-10}$ cm/sであり、相互の重ね合わせ部分として75~150 mmとすると十分な止水効果のあることが知られており、更に本体のジオメンブレンに25~75 mmの直径の穴が開いた場合にも粘土ライナーによって止水することが可能であるという報告がなされている⁴⁾。

地中におけるジオメンブレンやジオテキスタイルの長期安定性に影響する要因として、化学的・生物的環境下での安定性や基礎地盤の不同沈下や斜面安定による影響、材料そのものの耐久性や接合部の安定性等が考慮されねばならない。これらに関する統一的な試験方法や設計施工法や管理法等について今後の整備が必要であるが、上述のような厳密な管理

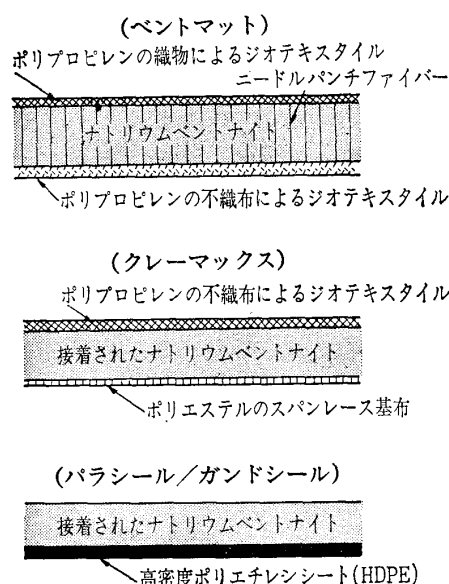


図-2 粘土とジオテキスタイルとの複合遮断材料

の行える廃棄物処分場の整備が求められる。

5. ごみ埋立地盤の特性と地盤改良

廃棄物で埋め立てられた地盤の特性は、材料としての廃棄物特性に大きく左右されるので統一的な評価は極めて難しい。ここでは既存の廃棄物埋立地盤において一般的である生ごみによる埋立地盤特性について概要を述べよう⁵⁾。

大口径のボーリングコアサンプリングによって採取された、生ごみ埋立地盤の単位体積重量の測定結果では、埋め立てられたごみの多様性から、地盤定数のばらつきが極めて大きいものである。ごみ層の単位体積重量は $\gamma_t = 0.3 \sim 1.2 \text{ tf/m}^3$ の範囲に分布し、平均的には $0.7 \sim 1.0 \text{ tf/m}^3$ とみなされる。また、原位置での支持力試験結果としての N 値の分布は廃棄物の組成に起因するばらつきが著しく、大きな建設廃材などに当たると N 値は極端に大きくなり、また時代とともに分解が進むと N 値は小さくなる。特に、5～10年経過の埋立地盤の N 値の減少量が著しく、安定化までには約20年を要するとされている。このように廃棄物が分解することによって土質工学的特性が劣化することは、特に留意しておく必要がある。

沈下特性としては、廃棄物の分解によって総量の約40%の減少をきたす。廃棄物の圧密係数は一般の沖積粘土の約1000倍以上であり、通常の盛土では載荷中に一次圧密が終了する。このような圧密特性から明らかなように、ごみ埋立地盤の改良には、バー

チカルドレーンのような脱水による工法は全く無力であり、圧縮による工法（例えばサンドコンパクションパイル工法、重錘落下締固め工法、プレロード工法など）の適用性が高い。

6. 地盤環境の汚染対策への地盤改良技術⁶⁾

地盤環境の汚染は明治20年代からの足尾鉍山の鉍毒問題がその始まりといえるであろう。神通川流域のカドミウム汚染によるイタイイタイ病に代表されるような農用地の汚染問題は、客土などに基づく対策でほぼ対応がとられているが、市街地における重金属汚染は工場跡地の再利用の際などで明らかとなり、例えば、東京都六価クロム鉍毒汚染など二次汚染が生じないような安全対策が求められる。また、最近では PCB やダイオキシン、トリクロロエチレン (TCE) など人工化学物質による地盤や地下水の汚染が深刻になっており、環境の汚染が人の健康に影響を及ぼしかねない事例が発生している。このような地盤環境の汚染に対して、従来の固結工法のような地盤改良の手法がそのまま適用しうるし、さらに有害物質を高度に分解したり固定したりする技術の開発が、地盤改良工法の延長線上で取り組まれている。しかしながら、これらの重金属や人工化学物質の種類は千差万別であり、地盤中での挙動も異なっている。したがって、汚染対策には汚染物質の種類に適合した新しい発想に基づいた手法開発も求められており、また対策後におけるモニタリングについても必ず実施して、汚染物質の除去や固定効果を十分確認しなければならない。

さて、地盤汚染対策技術をまとめると以下のとおりである。

(1) 固結工法

汚染された土に固化材を混合して有害物質を固定化する方法である。固化材料として、石灰・セメント系材料やエポキシなどの有機系材料がある。対象汚染物質としては種々の重金属・石油スラッジ等があるが、室内試験等で溶出試験等を行って耐久性を十分確認してから実施する必要がある。

(2) 薬液等による化学処理工法

汚染された地域の土を、有害な廃棄物を生じることなく洗浄あるいは安定化する工法である。掘削した土をプラント処理によって浄化する場合と、掘削

はせずに原位置で浄化する場合の二つの方法がある。揮発性・半揮発性有機物、石油炭化水素、PCB、種々の重金属等へ適用されている。

(3) 真空抽出工法

TCE などの揮発性の有機塩素化合物で汚染された地盤を物理的に浄化する工法である。浄化には、真空抽出のみを利用した Vacuum Extraction 工法、真空抽出に空気注入を併用した Soil Vapor Extraction (SVE) 工法、真空抽出に加熱蒸気注入を併用した Vacuum Extraction/Steam Injection 工法がある。これらの内 SVE 工法は米国において実績があり、TCE などの揮発性有機塩素化合物 (VOC) の除去に有効な原位置浄化システムである。抽出井からのガスの吸い出しと、汚染域内および汚染域外に設けられた注入井を通じて正常な空気（または窒素ガス）を送り込むことにより、土中の VOC を抽出するものである。

(4) 生物処理工法

微生物による人工化学物質の生物分解は、毒性のある化学物質を環境から除去するために、比較的安価で有効な方法である。地盤中から有毒な化学物質を除去するために、バイオ技術によって作られた微生物を利用する「バイオリメディエーション」が、単独で、あるいは他の物理的、化学的処理とあわせて用いられる。ガソリンや原油等の石油系炭化水素の除去が可能であり、殺虫剤や塩素溶剤、ハロゲン芳香族炭化水素や PCB 等の処理にも有効である。

(5) 電気溶融処理工法

有害な重金属や人工化学物質による汚染土の原位置電気溶融処理は、高価な手法であるが、将来的には有望と考えられる。PCB やダイオキシンのような処理が難しい人工化学物質も破壊することができる。電気溶融処理工法は、汚染土を掘り起こさずに土中に挿入した電極に通電・加熱するだけで、土をガラス状に溶融・固化するものである。溶融した地盤の中心温度は 1600~2000℃ にも達するが、溶融が進む周辺部では 1200℃ 程度であり、そこから 30 cm 離れると 100℃ 以下に低下し、少し離れた周辺

地盤への熱的影響はほとんど起こらない。米国での実施例では、溶融処理土の圧縮強度は 3 tf/cm² 程度、引張り強度は 300 kgf/cm² 以上となる。また、25~40% の体積収縮によって、大規模な陥没穴が形成されるが、この穴は客土され通常の地盤と同じように有効利用できる⁶⁾。

土中の有害化学物質の多くは 1600~2000℃ の高温によりほぼ完全に分解される。有害重金属はガラス固化体中に均質に分散し、1千年から1万年の間安定に閉じ込められると考えられている⁷⁾。

7. おわりに

廃棄物埋立地盤の早期跡地利用に関する研究や、地盤環境汚染問題に対する浄化技術開発に関する研究等は、その緊急性・重要性から首都圏や近畿圏ではマスコミ等でもしばしば取り上げられている。いよいよ過密化する地球で生きて行くためには、このような環境の維持や汚染処理に高度な技術開発が必要であり、逆にそのために、廃棄物を含めた地盤環境保全の分野への積極的な参入を目指すことによって地盤改良技術は今後大きく発展していくものと予想される。

参考文献

- 1) 環境庁編：環境白書各論一平成4年版，大蔵省印刷局，pp.329~330，1993.
- 2) 嘉門雅史：地盤の環境—一般廃棄物・建設残土の有効利用—，平成2年度土木学会関西支部講習会テキスト，pp.63~79，1990.
- 3) EPA: Geosynthetic Design Guidance for Hazardous Waste Landfill Cells and Surface Impoundments, 1986.
- 4) Estornell, P. and Daniel, D.E.: Hydraulic Conductivity of Three Geosynthetic Clay Liners, Jour. Geotech. Eng., ASCE, Vol.118, No.10, pp.1592~1606, 1992.
- 5) 清水恵助：東京圏に見る地盤の高度利用，3.3ごみ地盤の利用，土と基礎，Vol.39, No.4, pp.81~84, 1992.
- 6) 土質工学会編：環境地盤工学入門，p.270. (1994刊行予定)
- 7) 金子直哉・井手隆裕：新しい環境修復技術としての原位置ガラス固化技術，いんだすと，Vol.7, No.4, pp.68~73, 1992.

(原稿受理 1993.9.8)