

3K133011

プラスチック等が混入した弾性廃棄物 地盤の力学及び環境特性に関する研究

Mechanical and Environmental Properties of Plastics-included Landfills with Resilient Behavior

平成28年3月11日

1

研究代表者 : 山脇 敦

所 属 : 公益財団法人 産業廃棄物処理事業振興財団

研究実施期間 : 平成25年4月～平成28年3月

累積予算額 : 50,163千円

1. 研究体制

研究項目	担当	主な実施事項
基本的力学特性の把握	大嶺 聖(長崎大学)	現場一面せん断試験、現場土圧試験
	山脇 敦(産廃財団 ^{注1})	平板載荷試験、とりまとめ
	川井晴至、島岡隆行(九州大学)	組成と強度に関する室内実験
支持力、沈下量、耐震性等の評価方法提案	山脇 敦(産廃財団 ^{注1}) 土居洋一(長野県短大)	沈下計測、注水-沈下実験、とりまとめ
	大嶺 聖(長崎大学)	振動台実験、繰返し三軸圧縮試験
	勝見 武(京都大学)	各種試験・解析支援
現場概略試験法の提案	土居洋一(長野県短大)	安息角試験、衝撃加速度試験(キャスポル)、同影響範囲把握試験、簡易組成分析
	山脇 敦(産廃財団 ^{注1})	現場空隙率試験、とりまとめ
環境影響の評価方法提案	川寄幹生(埼玉県環境センター ^{注2})	ガス・温度・水質測定
	山脇 敦(産廃財団 ^{注1}) 土居 洋一(長野県短大)	カラム注水-排水実験、とりまとめ
	川井晴至、島岡隆行(九州大学)	間隙水圧と強度に関する室内実験
廃棄物地盤利用の可能性の提案	山脇 敦(産廃財団 ^{注1}) 坂口伸也(前田建設工業(株)) 川寄幹生(埼玉県環境センター ^{注2})	利用事例調査、コンクリート版設置による実証実験(力学面:坂口、環境面:川寄、統括:山脇)
廃棄物地盤評価マニュアル案	山脇 敦(産廃財団 ^{注1})	とりまとめ

注1;公益財団法人 産業廃棄物処理事業振興財団

注2;埼玉県環境科学国際センター

2. 研究目的

本研究は、プラスチック等が混入した廃棄物地盤の力学特性や環境特性を調べ、その評価方法や、適切かつ経済的な廃棄物地盤の利用方法を提案することを目的とする。

斜面安定性研究で**高いせん断強度を有する**ことを確認

- 「**ふわふわの地盤で使えない**」との専門家の指摘
- 「**形質変更ガイドライン**」*への対応必要
- 重量構造物設置による利活用は進んでいない

*最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン

焼却灰地盤の力学的挙動等は土地盤に類似するが、**プラスチック等を含んだ廃棄物地盤には未解明事項が残る**

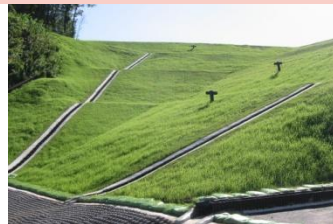
プラスチック等が混入した廃棄物地盤



産業廃棄物安定型処分場
[全国 1,164箇所]



産業廃棄物管理型処分場
[全国 753箇所]
注) 焼却灰主体でプラ少



不法投棄
支障除去
現場



災害廃棄物
仮置場



海外
Landfill

3. 研究開発方法

斜面安定研究 (H22～24) データ
9現場11箇所 (うち海外2現場3箇所)



**新たな現場
試験法の開発**
・現場空隙試験
・簡易組成分析



現場試験 10現場17箇所
安定型処分場；4現場8箇所
管理型処分場；3現場5箇所
不法投棄現場；2現場
海外Landfill；1現場



力学特性の把握
・標準的な強度定数
・沈下挙動
・耐震性
環境特性の把握
・水挙動
・ガスによる影響



補完実験
・振動台実験等
・注水-沈下実験
・各種ラム試験
・衝撃加速度試験



試験・評価法の提案
・概略評価&詳細評価



**廃棄物地盤の先進
利用事例調査**



地盤利用に関する実証実験
(コンクリート基礎設置による
不同沈下、環境影響の把握)



「プラスチック等が混入した廃棄物地盤の利活用のための
地盤評価マニュアル(案)」の作成

4. 研究により得られた成果

①廃棄物地盤の強度定数

現場試験(国内25箇所)により得られた主な強度定数の地盤区分別の平均値

組成、 サイズ		区 分	箇所	プラ 比率 (%)	湿潤 密度 (g/cm ³)	空 隙 率 (%)	極限 支持力 (kN/m ²)	変形 係数 (MN/m ²)	粘着 力 (kN/m ²)	内部 摩擦 角 (°)
プラスチックあり	10cm 超を含む	安定型処分場 (埋立1年未満)	4	10	1.3	37	490	5	12	42
		安定型処分場 (埋立1年超)	5	13	1.5	18	960	16	15	37
		不法投棄現場	4	11	1.0	---	----	----	3	49
	概ね 10cm 以下	管理型処分場	3	7	1.3	29	950	8	40	50
		災害廃棄物 (選別残渣)	1	0.4	1.1	---	----	----	11	47
プラなし	焼却 灰、燃え 殻等	管理型処分場	3	≒0	1.4	43	1600	41	58	19
		不法投棄現場	4	≒0	1.7	---	360	10	12	32
		一廃処分場	1	≒0	1.1	---	----	----	----	----



平板載荷試験

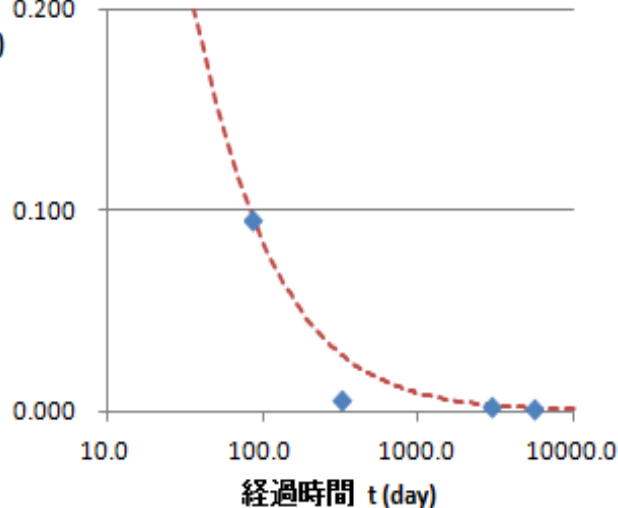


一面せん断試験

- 10cm超のプラスチック等の繊維状物等を含む地盤は、焼却灰等を主体とした地盤とは強度特性が大きく異なり、変形しやすく柔軟であるが、高いせん断強度や支持力を有する。
- 10cm以下のプラスチック等を含む管理型処分場では、上記2地盤の中間的な力学特性を有するが、搬入車両単位で廃棄物性状が大きく異なる場合が多く、力学評価にあたっては留意が必要。

②プラスチック等が混入した廃棄物地盤の沈下特性

沈下速度
s (mm/day)

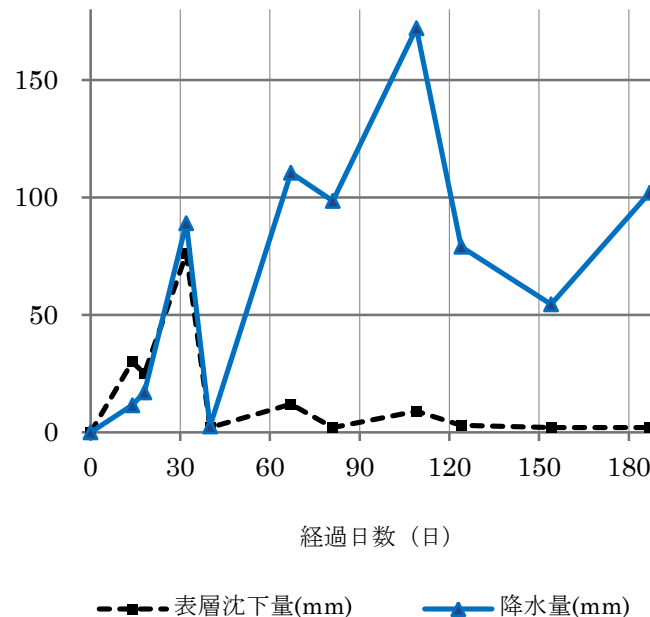


中部地方の安定型処分場(10cm以上のプラスチック等が混入)での沈下計測／平成26年4月～平成28年2月



埋立層毎に沈下板を設置

期間毎の表層沈下量、降水量



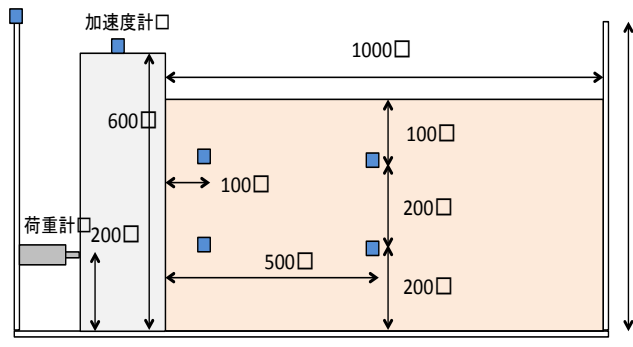
- 堆積層厚に比例して沈下が生じ、堆積後1～2年間に顕著な沈下が進むが、その後も双曲線状に長期間の沈下が生じる。
(図では層厚10mのとき堆積10年後で9mm/年の沈下)。
- 沈下は廃棄物自重によるプレロード効果による沈下が大きいが、降雨によっても沈下が生じる。(別途、注水-沈下実験(下写真)でも水による沈下を確認)



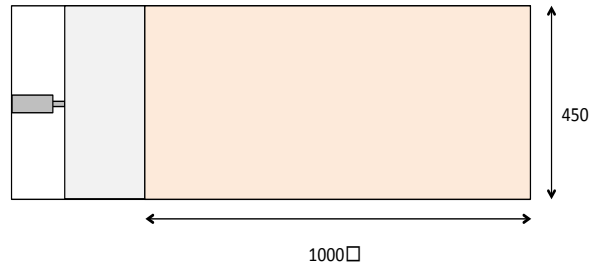
注水-沈下実験

③ プラスチック等が混入した廃棄物地盤の地震時挙動

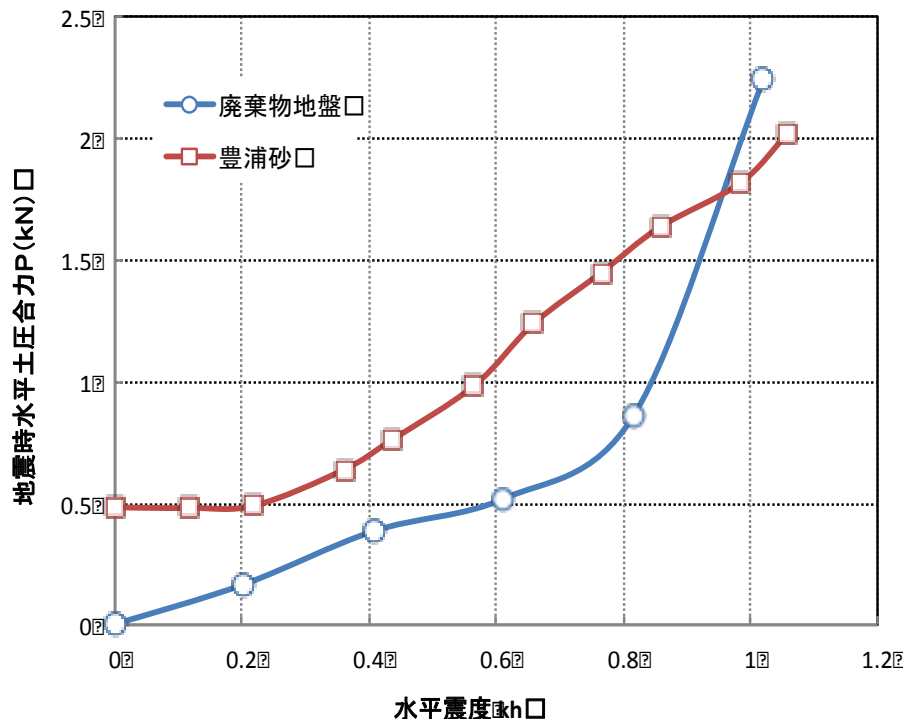
断面図□



平面図□



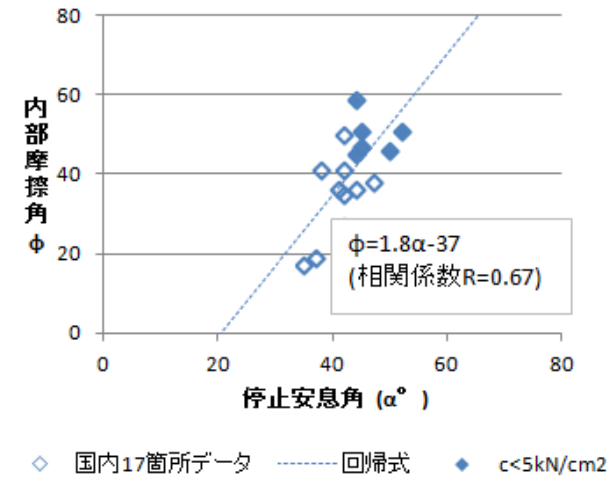
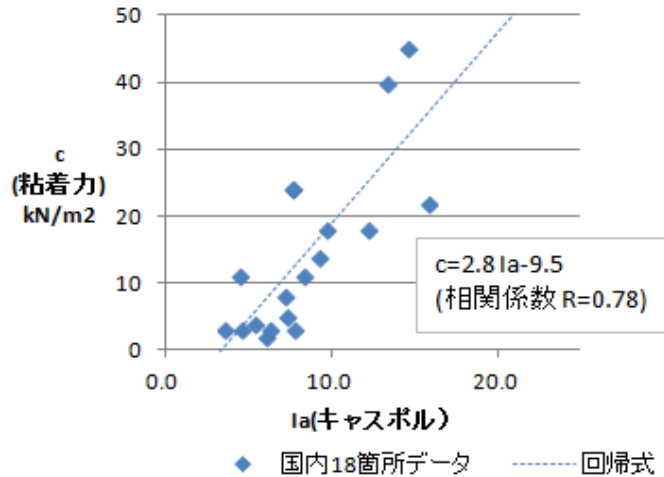
振動台実験装置の概略図と実験時のようす



中部現場試料による振動台実験結果
(10cm以上のプラスチックが混入)

- 10cm以上のプラスチック等が混入した廃棄物地盤では、水平震度が1を超えるような条件(通常の土木設計では0.12~0.24)で無い限り、地震時に擁壁等に作用する水平土圧は、土砂地盤より小さい。
- このような廃棄物地盤の地震時の斜面安定計算や擁壁等の安定計算においては、土砂地盤で用いられる震度法による安定性評価ができる。

④有効な概略試験法(キャスポル、安息角試験)



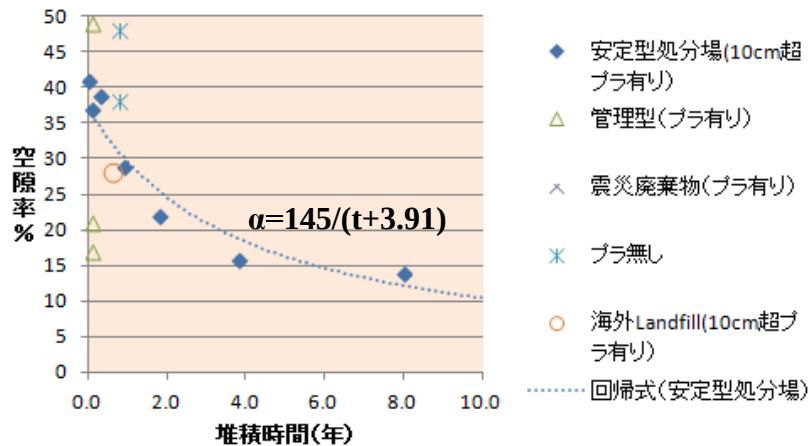
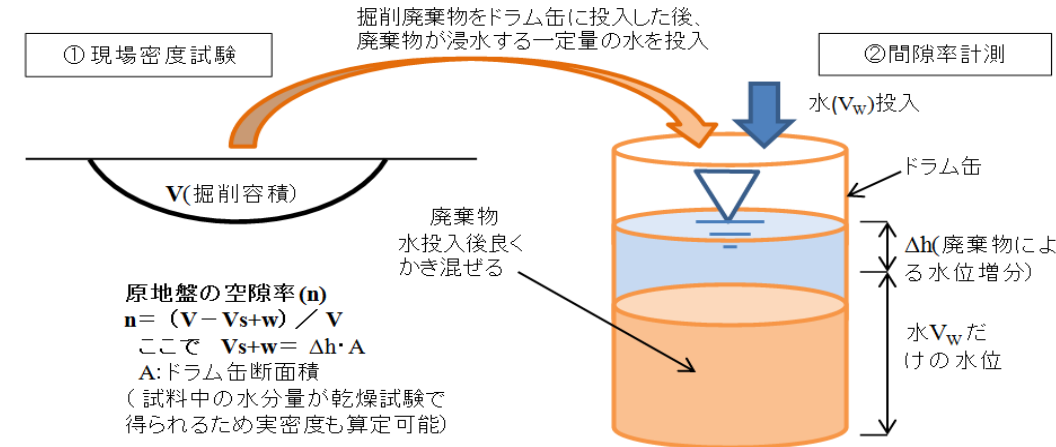
キャスポル
(衝撃加速度試験
／深度方向影響
範囲把握試験)



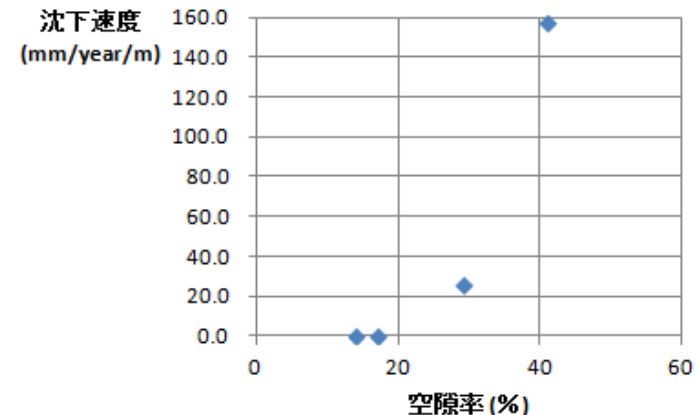
安息角試験

- キャスポルの計測値は、一面せん断試験による粘着力(c)と相関がある。
- 安息角試験による停止安息角(崩れ落ちた後の安息角)は、一面せん断試験による内部摩擦角(phi)と相関がある。
- いずれも簡易な試験法であり、地盤利用検討の初期の概略検討時に活用することで、地盤調査費用の大幅な抑制が期待できる。
- キャスポルの影響範囲は、10cm以上のプラスチックを含む廃棄物地盤での実験では、広さ方向が直径で110cm(土砂地盤は13~24cm)、深さ方向が40cm程度あり(土砂盤は9~22cm)、広さ方向の影響範囲が格段に広い。

⑤有効な概略試験法(現場空隙率試験)



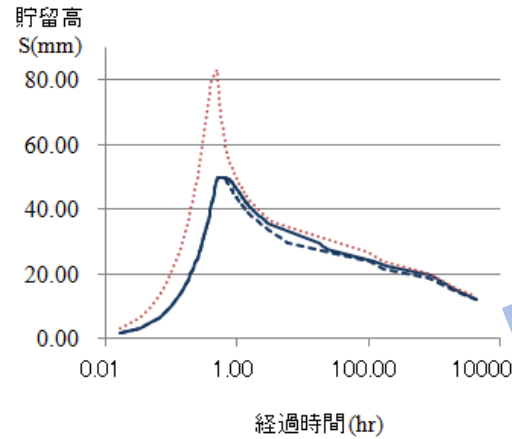
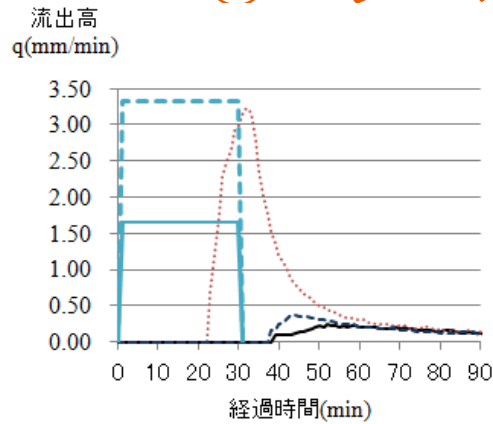
空隙率と堆積時間の関係
(安定型処分場等の13箇所での試験結果)



空隙率と沈下速度の関係
(10cm以上のプラスチックが混入した中部地方の安定型処分場)

●廃棄物地盤中の空隙率は埋立後に時間経過とともに減少していくことや(左図)、空隙率が高いほど沈下速度が速いことが確認されており(右図)、空隙率は地盤の締固まり状態や沈下量を推定するための指標となる。

⑥プラスチック等が混入した廃棄物地盤中の水挙動

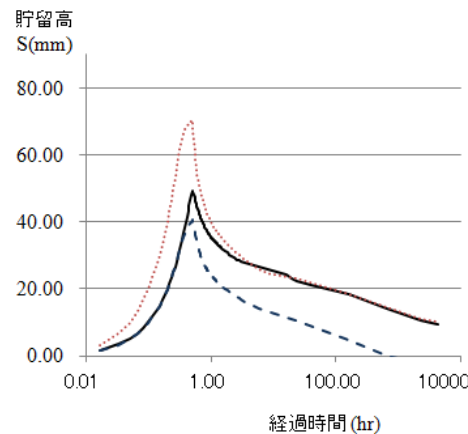
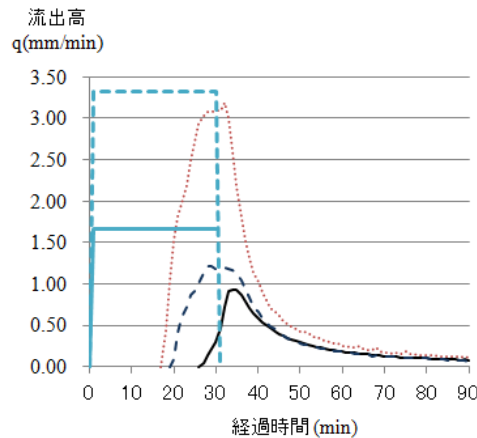


カラム注水-排水実験

中部地方の安定型処分場での試験



試掘(h=2.6m)終了 2014年7月31日 10:30



ゆっくりとした流れによる出水



出水 同日 16:50

6時間後の内部水位より
25m高い位置での出水

流出高(q)と経過時間(t)の関係

【中部地方の安定型処分場からの採取試料】

貯留高(S)と経過時間(t)の関係

流出高(q)と経過時間(t)の関係

【関東地方の安定型処分場からの採取試料】

プラスチック等が混入した廃棄物地盤中の水の流れ（水収支）は、実験結果から、次の貯留関数で表すことができる。

$$S=K \cdot q^p \quad \dots \dots \dots \text{式 1}$$

$$dS/dt=q \quad \dots \dots \dots \text{式 2}$$

ただし、式 1 で、 $S>C$ のときは、

$$S-C=q_1 \quad \dots \dots \dots \text{式 3}$$

$$C=K \cdot q_2^p \quad \dots \dots \dots \text{式 4}$$

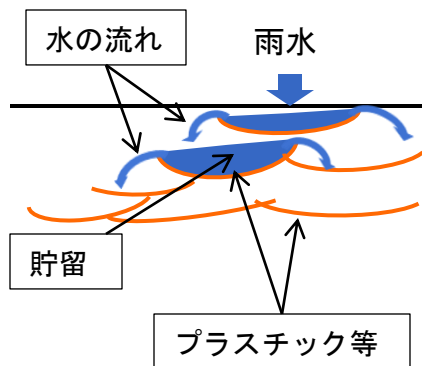
$$q=q_1+q_2 \quad \dots \dots \dots \text{式 5}$$

ここに、 S ：貯留量（貯留高）（mm）

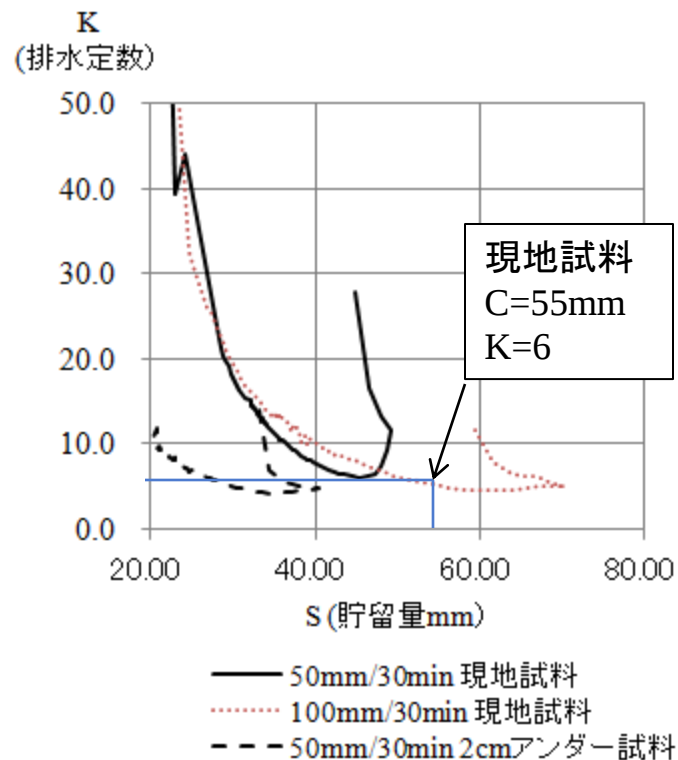
C ：内部貯留可能量（高）（mm）

K 、 p ：貯留関数の定数（排水定数）

q ：排水量（排水高）（mm）



水の流れのイメージ

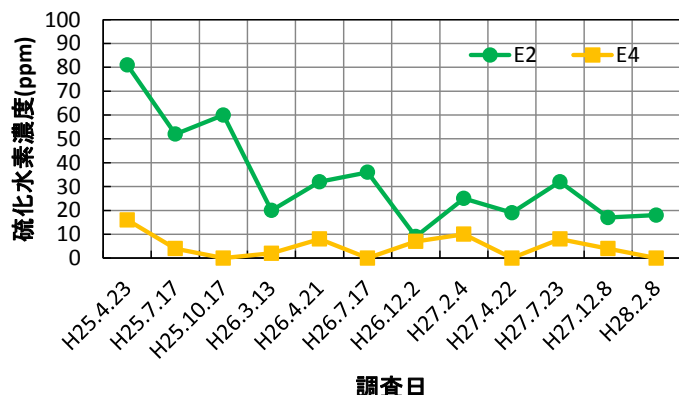


貯留量(S)と排水定数(K)の関係
(関東試料、 $P=1/2$ のとき)

- プラスチック等が混入した廃棄物地盤は空隙が大きく透水性は極めて良いが、雨水は廃棄物表面等に貯留しながら流下し、地盤中に一定の水が貯留されその水はゆっくりと流下する。
- 貯留効果は廃棄物サイズに関係し、10cm以上のプラスチック等が存在すれば、排水のピーク量抑制と到達遅延効果が顕著になり、処分場の水処理等のピーク対応量の抑制に結びつく。
- ボーリング等で内部貯留後のゆっくりとした流れの水を内部水位と見誤ると過大設計につながるので留意が必要。

⑦プラスチック等が混入した廃棄物地盤地表部での 硫化水素ガス発生状況とその影響

純水2Lが入ったボトルを観測井戸脇及び地表部に設置し(左写真)、ポリバケツで蓋をした。一定期間放置後、純水のpH、電気伝導度、硫酸イオン濃度等の変化を調べた(右表)。観測井戸E2及びE4の硫化水素ガス観測結果を示した(左図)。



硫化水素ガスの発生状況 (関東地方不法投棄現場)

廃棄物地盤地表部での発生ガスの影響

放置期間	設置場所	pH	EC (mS/m)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
66日間 H26/12/1～ H27/2/4 (関東地方)	井戸脇E2-1	4.8	2.01	0.21
	井戸脇E2-2	4.6	1.84	0.20
	井戸脇E2-3	4.6	1.77	0.20
	地表DE-1	5.7	0.14	<0.1
77日間 H27/2/4～ 4/22 (関東地方)	井戸脇E4-1	5.9	0.91	0.59
	井戸脇E4-2	5.5	0.80	0.73
	井戸脇E4-3	5.3	1.07	1.22
	地表DE-1	5.9	0.30	0.17

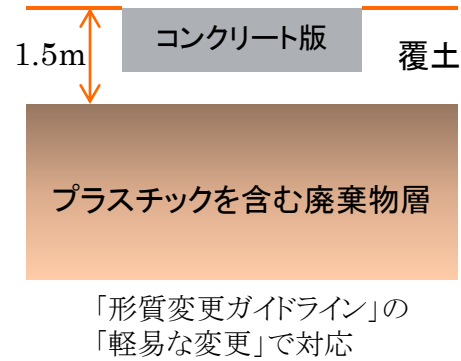
注) 放置期間の最終日にpH等を測定

●井戸脇に設置した純水は一定放置後、弱酸性～酸性になった。ポリバケツで覆っているため密閉空間であり、構造物の設置とは状況が異なるが、内部に廃棄物層がある地盤の上に構造物を設置する場合、局所的な弱酸性雰囲気形成される可能性は否めないため、このような現場では、硫化水素等の腐食性ガスによる構造物への影響を考慮する必要がある。

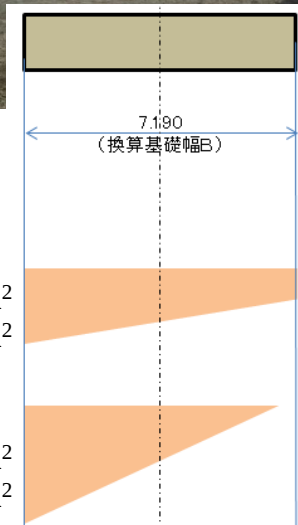
⑧コンクリート版設置による実証実験



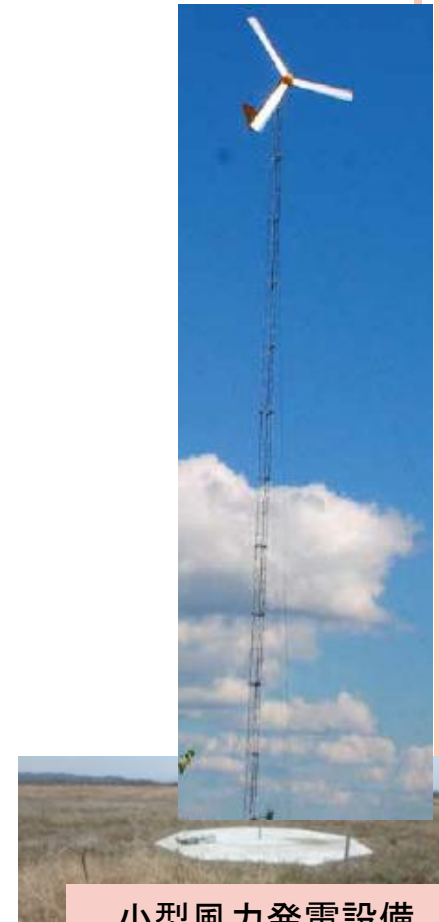
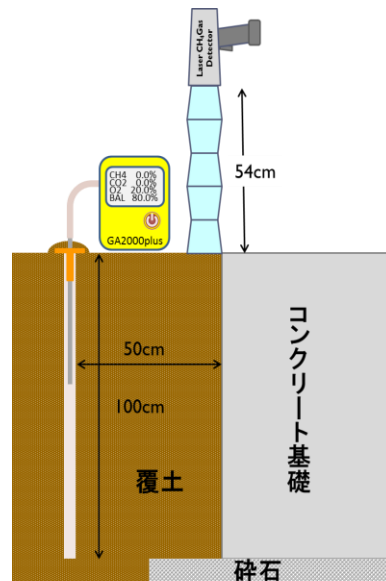
廃棄物地盤上のコンクリート基礎(径7m, 厚さ1m)



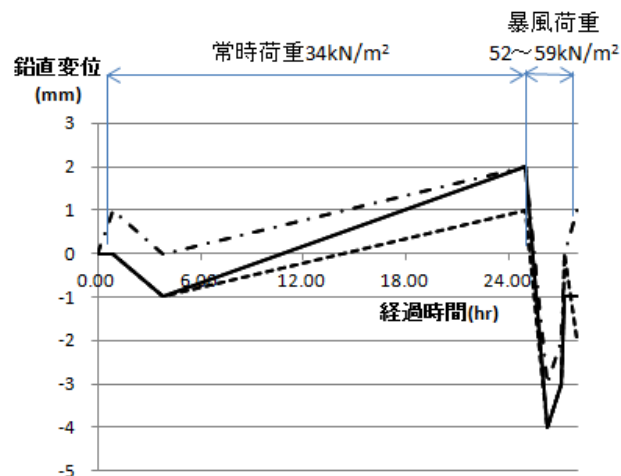
1) 偏心載荷実験



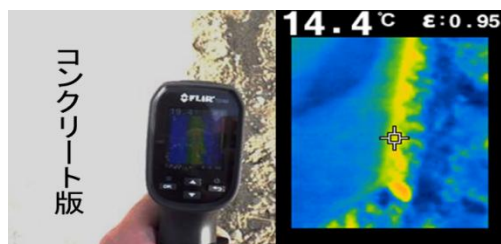
2) 発生ガス調査



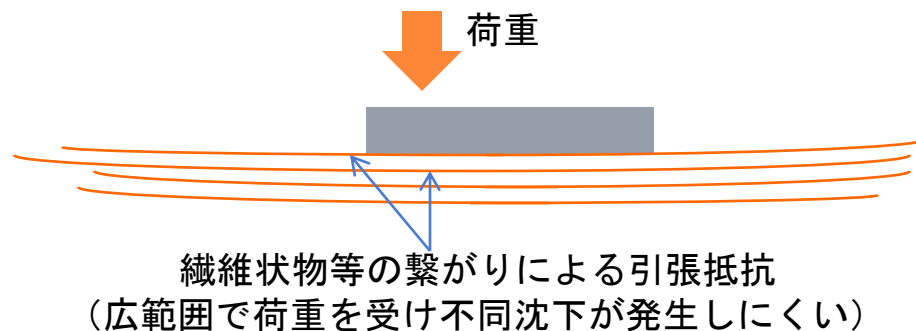
小型風力発電設備
h=30m
(Excel10 by TenArrows)



偏心載荷実験によるコンクリート版及び周辺の鉛直変位



コンクリート版と覆土の境界部の温度
 (境界部は2~3°C 周辺より高い)

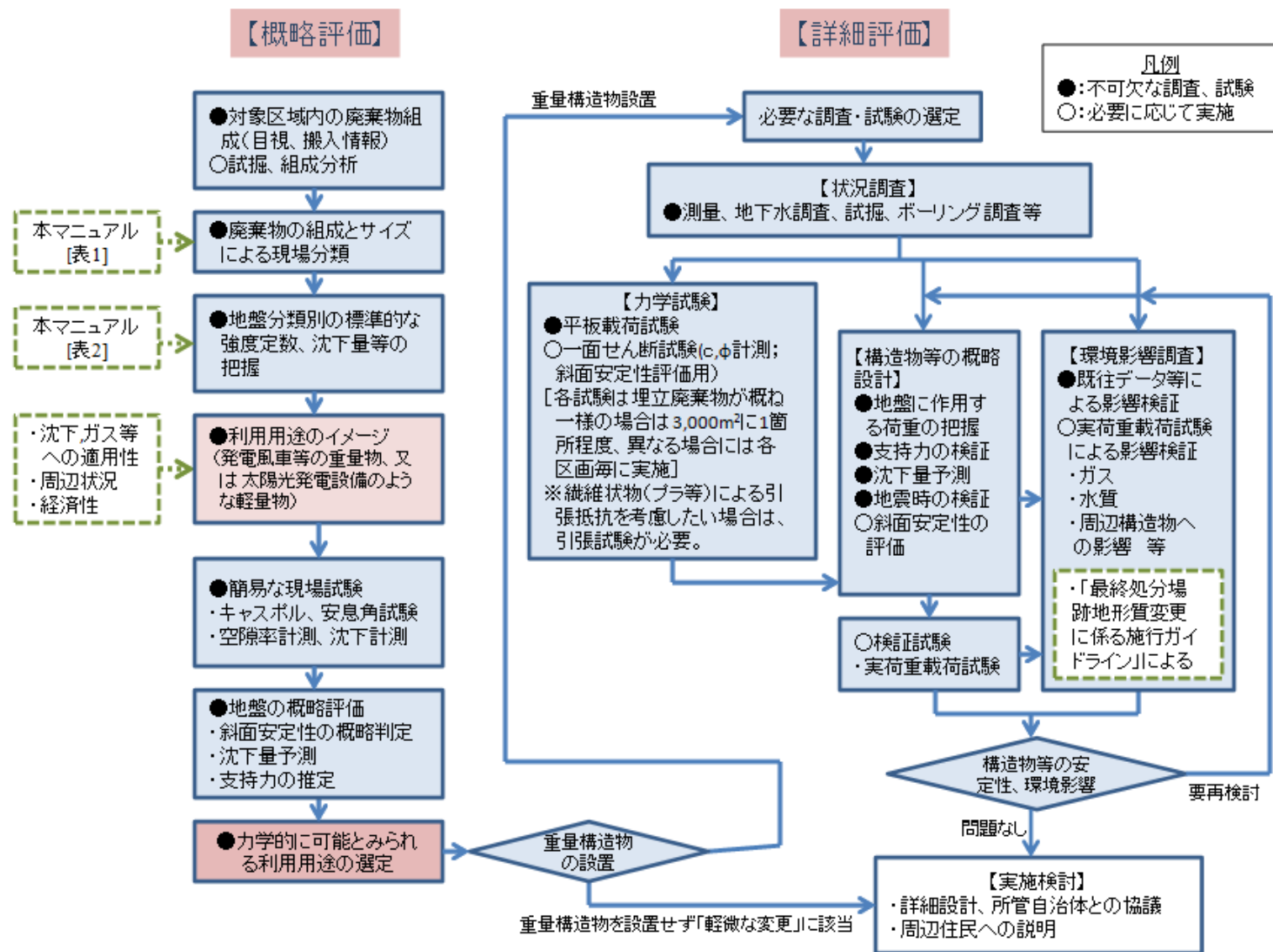


発生ガス計測結果

計測時	計測位置	メタン	二酸化炭素	硫化水素
表層掘削時 (版設置前)	掘削面 表層	不検出	不検出	不検出
載荷実験時	版端から50cm の位置(土中ガス採取管)	不検出	不検出	不検出
	版-覆土境界	5~14ppm	-----	-----

- 設計暴風時荷重の1.15倍の偏心荷重を与えても不同沈下の発生なし。プラスチック等によって土地盤よりも遙かに広い範囲で荷重を受けているためと考えられる。
- 実験で与えた荷重から逆算すると、2MW級(高さ60m)の風力発電設備でも基礎径が24mあれば安定する。
- 載荷試験の前後でガス発生に変化は認められなかったが、コンクリート版と覆土の境界から微量のメタンが発生しており、構造物設置時等には境界部覆土等の対応が望ましい。

⑨プラスチック等が混入した廃棄物地盤の利活用のための 地盤評価マニュアル(案)



プラスチック等が混入した弾性廃棄物地盤の力学及び環境特性に関する研究

産業廃棄物安定型処分場(全国に約1,100施設)等のプラスチック等が混入した廃棄物地盤が対象

19現場28箇所の現場試験結果から

基本的力学特性の把握

支持力等の力学評価方法の提案

環境影響の評価方法提案

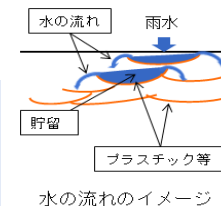
分類	主な廃棄物種類	力学特性	力学評価方法		透水、排水性	環境影響評価法
			せん断強度	支持力、沈下		
① 10cm 超のプラスチック等を多く含む地盤	廃プラスチック、がれき類、ガラス・陶磁器くず、金属類	変形しやすいが、内部摩擦角が大きく、繊維状物等による引張抵抗を有し粘り強い。地震時水平土圧も小。	1) 概略評価；安息角試験、キャスポル試験 2) 詳細評価；一面せん断試験、引張試験	平板載荷試験、沈下計測、不同沈下確認載荷試験	透水性は良いが、廃棄物表面の貯留効果により排水ピークが減少。	1) 概略評価；表層ガス測定、ガス抜き管等を利用したガス、水質測定 2) 詳細評価；「形質変更ガイドライン」への対応
② 10cm 以下のプラスチック等を含む地盤	篩い下、プラスチック等の破砕物、プラキャップ等の小型物	①と③の中間的な力学特性。繊維が短く引張抵抗は働かない。	1) 概略評価；安息角試験、キャスポル試験 2) 詳細評価；一面せん断試験	同上	貯留効果は①より小	
③ プラスチック等をほとんど含まない地盤	焼却灰、燃え殻	力学特性は土地盤に近く、比重が重く、固い地盤（粘着力大）が形成される。	既往土質工学手法で評価可能		①より透水性、貯留効果が小	既往研究で対応可能

廃棄物地盤利用の可能性の提案

利用用途		力学面の主な検討項目			環境面の主な検討項目		
		支持力 滑動転倒	沈下	耐震性	有害ガス発生	内部温度上昇	地下水
重量構造物	水処理施設等 [直接基礎]	●	●	●	●	●	△
	風力発電設備 [直接基礎]	●	△	●	●	△	△
その他	太陽光発電	×	△	×	△	△	×
	駐車場(舗装)	×	△	×	△	△	×
	公園・緑地	×	×	×	△	△	△

現場概略試験法の提案

- キャスポル計測値は、粘着力(c)と相関。
- 停止安息角は、内部摩擦角(ϕ)と相関。
- いずれも簡易な試験法であり、検討初期の概略検討時に活用することで、地盤調査費用の大幅な抑制が可能。



現場実証実験



小型風力発電設備 h=30m
(Excel10 by TenArrows)

現場実証実験により
①地盤では不同沈下は極めて発生しにくいことを確認

荷重

繊維状物等の繋がりによる引張抵抗
(広範囲で荷重を受け不同沈下が発生しにくい)

プラスチック等が混入した廃棄物地盤の利活用のための地盤評価マニュアル(案)