

(3) 現場概略試験方法

1) 衝撃加速度試験（キャスポル）

a. 検討の目的

衝撃加速度試験（キャスポル^{12) 13)}は、土砂地盤を対象として国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所が開発した簡易支持力測定法で、試験器が軽量で持ち運びに便利で取り扱いやすく、反力を必要とせず、現場で即時に結果が判明する機械を求めるニーズに答え、「衝撃加速度法」に着目して開発されたものである（図 68）。

前段研究の斜面安定性研究^{1) 2)}で、廃棄物不法投棄現場等の現場内の締固め状況の比較のために使用することの有効性が確認されている。このため、廃棄物地盤の支持力評価にも有効である可能性があり、各試験現場でデータ収集した。

また、キャスポルの廃棄物地盤中での影響範囲（計測結果に影響を及ぼす水平及び鉛直範囲）を知ることは、試験の適用範囲を知るだけでなく、廃棄物地盤の特性把握にもつながるため、キャスポルの影響範囲の確認実験も行った。



図 68 キャスポル（左；測定器の本体と表示部 右；測定状況）

b. 試験結果

各現場で平板載荷試験や一面せん断試験場所の近傍でキャスポルで 5 点以上計測した衝撃加速度(Ia)の平均値は表 6～表 8 に示した。このうち、一面せん断試験結果と比較可能な、国内 18 箇所（廃棄物地盤；焼却灰地盤は含まず）でのキャスポルと一面せん断試験の結果をプロットしたものを図 69、図 70 に示す。

図 69 から、廃棄物地盤（焼却灰地盤は含まず）において、キャスポルにより得られる衝撃加速度(Ia)は、一面せん断試験による粘着力(c)と相関があることが分かり、その相関式は次のとおりである。この相関式により、キャスポルを粘着力の概略値を推定するために使用することが可能となる。

$$c=2.8 Ia-9.5 \quad \dots \dots \dots \text{式 5}$$

ここに、 c ；粘着力(kN/m²)、 Ia ；キャスポルによる衝撃加速度

なお、衝撃加速度と内部摩擦角の間に関係性は現れておらず（図 70）、廃棄物地盤では衝撃加速度（≒地盤の硬度）と内部摩擦角との間には直接的な関係は無いことが窺える。

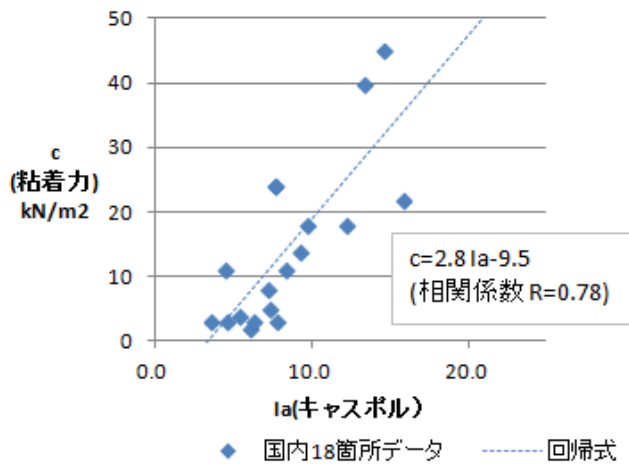


図 69 キャスポル(I_a)と一面せん断試験による粘着力(c)の関係
(安定型処分場等の国内 18 箇所での試験結果、焼却灰地盤は含まず)

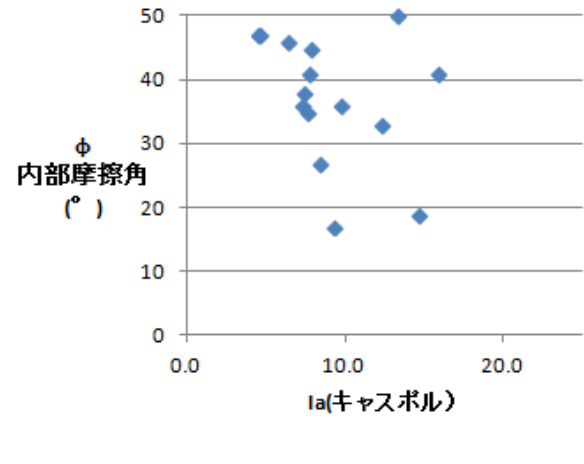


図 70 キャスポル(I_a)と一面せん断試験による内部摩擦角(ϕ)の関係
(安定型処分場等の国内 18 箇所での試験結果、焼却灰地盤は含まず)

c. キャスポルの影響範囲確認実験

キャスポルの影響範囲を確認するため、図 71、図 72 のように廃棄物層の水平方向、鉛直方向の寸法を変えて、影響範囲を調べた。

水平方向の影響範囲は、深さを 20cm(土砂地盤での影響範囲)に固定して、地盤中に 40cm×40cm から 10cm ピッチで 120cm×120cm までの穴を掘り (図 71)、各々廃棄物を一定密度で穴の中に充填し、キャスポルで計測した。

鉛直方向の影響範囲は、1m×1m×1m の土槽を用いて、一定密度の廃棄物の厚さを 10cm から 47cm まで変化させて、各々キャスポルで計測した (図 72)。

廃棄物試料には、10cm 以上のプラスチック等が混入した中部①現場 (安定型処分場) から採取した試料を用いた。



図 71 廃棄物充填用の穴
(90cm×90cm)



図 72 土槽内のキャスポル
(厚さ 10cm～47cm)

試験結果を図 73 に示す。図からキャスポル(I_a)の影響範囲は、広さ方向が直径で 110cm(土砂地盤は 13～24cm¹²⁾)、深さ方向が 40cm 程度あり(土砂盤は 9～22cm¹²⁾)、広さ方向の影響範囲が土砂地盤に比べ格段に広いことが分かった。

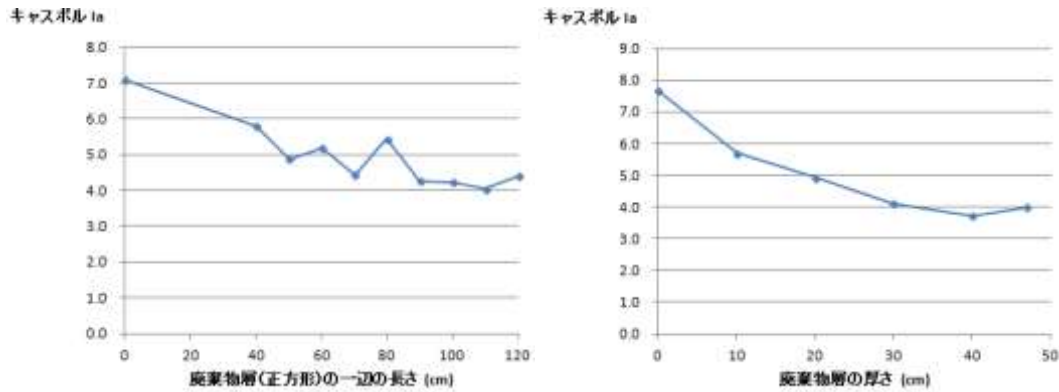


図 73 廃棄物地盤のキヤスポルの影響範囲確認実験結果 (左 ; 水平方向 右 ; 鉛直方向)
中部地方の安定型処分場からの採取試料による (10cm 以上のプラスチック等が混入)

d. キヤスポルによる衝撃伝搬画像確認実験

廃棄物地盤内の衝撃の伝搬の仕方を調べることを目的に、アクリル板付き土槽中でのキヤスポル試験で、錘の地盤衝突前後のビデオ画像 (図 74) を撮影し、アクリル面側の個々の廃棄物の動きを調べた。ビデオ画像上で廃棄物の変位 (動き) がスケールアップで確認できた範囲は水平方向 80cm、鉛直方向 35cm であった。実際のキヤスポル値への影響範囲 (力の伝搬範囲) は変位がスケールアップで確認できた範囲よりも広いと考えられるため、この結果は、図 73 による影響範囲 (水平方向 110cm、鉛直方向 40cm) と整合する。また、衝突後の廃棄物の動きは、廃棄物の堆積が水平方向に卓越しているなかで、動きが廃棄物間を伝播して主に水平方向に広がる様子が確認できた。

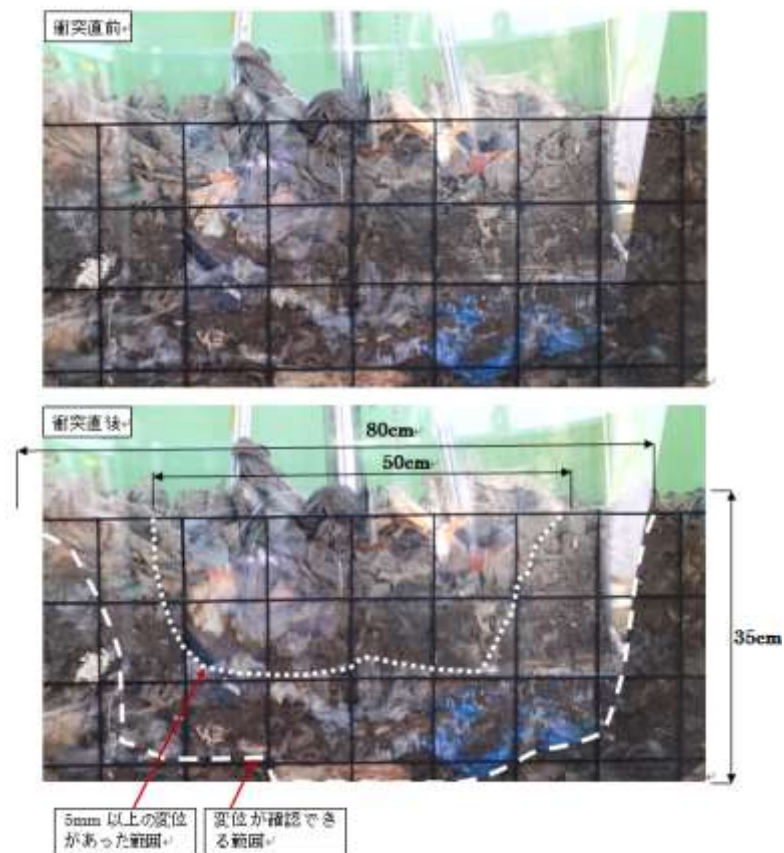


図 74 キヤスポルによる衝撃伝搬画像確認実験結果 (コマ間隔 0.034 秒)

2) 安息角試験

a. 検討の目的

廃棄物地盤での安息角試験は、前段研究の斜面安定性研究¹⁾²⁾で提案したもので、現場でバックホウ等の重機を用いて廃棄物を山状に積み上げ、その過程での斜面の角度を計測した値を「安息角」とするものである（**図 75**、**図 76**）。斜面安定性研究¹⁾²⁾により、斜面の安定勾配を把握できる他、一面せん断試験により求められる内部摩擦角(ϕ)と一定の関係があることが確認されている。

安息角試験により内部摩擦角との関係が明らかになれば、安息角試験が支持力の推定に結びつくため、各試験現場でデータ収集した。



図 75 安息角試験（中部①現場）
（プラスチック等の長尺物が混入）



図 76 安息角試験（東北②現場）
（燃え殻）

b. 停止安息角と限界安息角の決定方法

従来の研究¹⁴⁾で、安息角には限界安息角（critical angle of repose, α_c ）と停止安息角（repose angle after avalanching, α_R ）の二つがあり、限界安息角は、砂や礫などの粒状体から成る斜面が静止する最大の角度を、また、限界安息角を越える斜面では崩れが発生するが、その崩れが停止した時の斜面角を停止安息角と言っている。

廃棄物地盤を対象とした安息角試験では、廃棄物の法面勾配と廃棄物の高さを計測しグラフ化することで、限界安息角と停止安息角を把握することができる。

崩れが停止した時の斜面角である停止安息角の決定にあたっては、バックホウ・バケットの手前側（**図 75** の写真右側）の勾配をみることにした。これは、バックホウ・バケットで廃棄物を撒きごぼすとバケット手前側では廃棄物が滑り落ちやすいため若干勾配が緩くなることから、これを崩れの後の勾配とみることである。

また、これまでの試験結果で、容量 0.45m^3 バケットの場合では、バケット杯数（撒きごぼしの杯数）で3~4杯目以降に値が安定してくることを確認しているため、4杯目以降の値から決定することとした。

限界安息角は、同様にバケット手前側の4杯目以降の勾配で廃棄物が積み上がった斜面角（角度が大きくなったときの値）とした（以上、**図 77** 参照）。

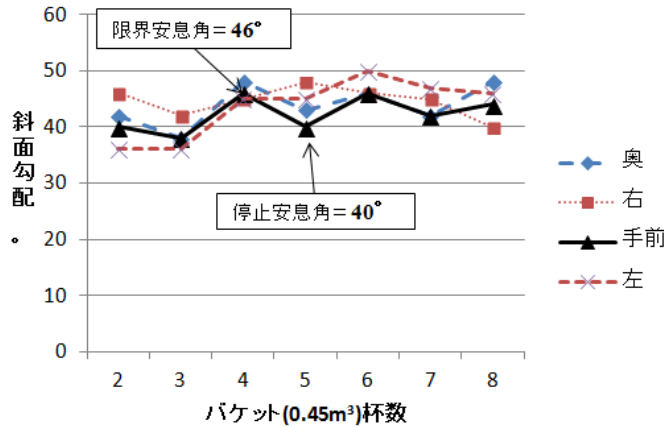


図 77 安息角試験結果（中部①現場 2 年経過地盤）

c. 試験結果

各現場で平板載荷試験や一面せん断試験場所の近傍で行った安息角試験結果は表 6～表 8 に示した。このうち、一面せん断試験結果と比較可能な、国内 17 箇所での安息角試験による停止安息角と一面せん断試験の内部摩擦角の関係をプロットしたものを図 78 に示す。

図 78 から、停止安息角は、一面せん断試験による内部摩擦角(ϕ)と相関があることが分かる。また、一面せん断試験で得られる粘着力(c)が $c < 5 \text{ kN/m}^2$ の範囲では、停止安息角と内部摩擦角がほぼ等しくなっているため、前に示したキャスポル試験から推定される粘着力が 5 kN/m^2 以下の場合は、停止安息角を内部摩擦角とみることができる。以上から停止安息角(α)と内部摩擦角(ϕ)の関係は次のように表せる。

- ・ $c < 5 \text{ kN/m}^2$ のとき、
 $\phi = \alpha$ 式 6 （式 7 の結果と比較して安全側の値を用いても良い）
 ここに、 ϕ ; 内部摩擦角($^\circ$)、 α ; 安息角試験による停止安息角($^\circ$)
- ・ $c > 5 \text{ kN/m}^2$ のとき、
 $\phi = 1.6\alpha - 28$ 式 7
 ただし、算定結果が $\phi > \alpha$ のときは、 $\phi = \alpha$

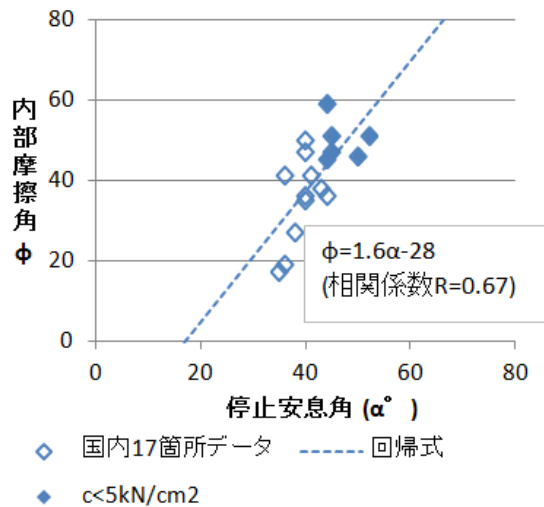


図 78 安息角試験による停止安息角(α)と内部摩擦角(ϕ)の関係
 （国内 17 現場のデータによる：焼却灰地盤は含まず）

d. 停止安息角と限界安息角から引張抵抗の推定

安息角試験のモデル図を図 79～80 に示す。図からプラスチック等の繊維状物が混入した廃棄物地盤では限界安息角と停止安息角の差は引張抵抗分と考えることができる。実際に、これまでの現場試験結果でも、表 17 のとおりに長尺のプラスチック等の繊維状物を含む現場の方が、限界安息角と停止安息角の差は大きくなっている。

引張抵抗は、式 8 に示す無限長斜面法で粘着力を無視 ($c \doteq 0$) したときの斜面安定計算式^{1) 2)} で、 ζ (引張抵抗角) として表される。

$$F_s = \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} + \frac{\tan \zeta \cdot \sin(1.5\theta)}{\sin \theta \cdot \cos \theta} \quad \dots \dots \dots \text{式 8}$$

ここに、 F_s ; 安全率

φ ; 内部摩擦角 (°)

θ ; 斜面勾配 (°)

ζ ; 引張抵抗角 (°)

ここで、式 8 で斜面勾配 (θ) が限界安息角 (α_c) のとき $F_s = 1.0$ であり、 $c \doteq 0$ としているので式 6 から内部摩擦角 (φ) \doteq 停止安息角 (α_R) とおくと、次のように引張抵抗角 (ζ) を概算することができる。

$$1.0 = \frac{\tan \alpha_R}{\tan \alpha_c} + \frac{\tan \zeta \cdot \sin(1.5\alpha_c)}{\sin \alpha_c \cdot \cos \alpha_c}$$

$$\tan \zeta = \frac{\sin \alpha_c \cdot \cos \alpha_c}{\sin(1.5\alpha_c)} \left(1 - \frac{\tan \alpha_R}{\tan \alpha_c} \right) \quad \dots \dots \dots \text{式 9}$$

式 9 から求めた引張抵抗を表 17 に示す。国内の概ね 10cm 以上のプラスチック等が混入した現場の ζ (引張抵抗角) の平均値は 7°、海外 (ジャカルタ、トルコの 2 現場) の平均は 11°である。海外の都市ごみ埋立地では $\zeta = 10 \sim 35^\circ$ とドイツの既往研究¹⁷⁾ に示されている。わが国の安定型処分場等では海外の都市ごみ埋立地に比べプラスチック等の混入量が少ないことから、表 17 の結果は既往研究と比較して妥当と考えられる。また、安息角試験と式 9 による引張抵抗角を用いて、式 8 や円弧すべり計算で斜面安定解析を行うことでより実態に近い斜面安定性評価が可能となる。

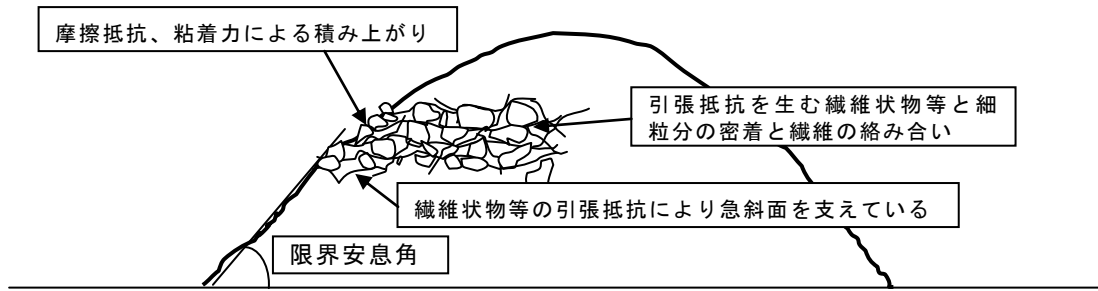


図 79 急勾配堆積斜面に働く引張抵抗と摩擦力の発現イメージ

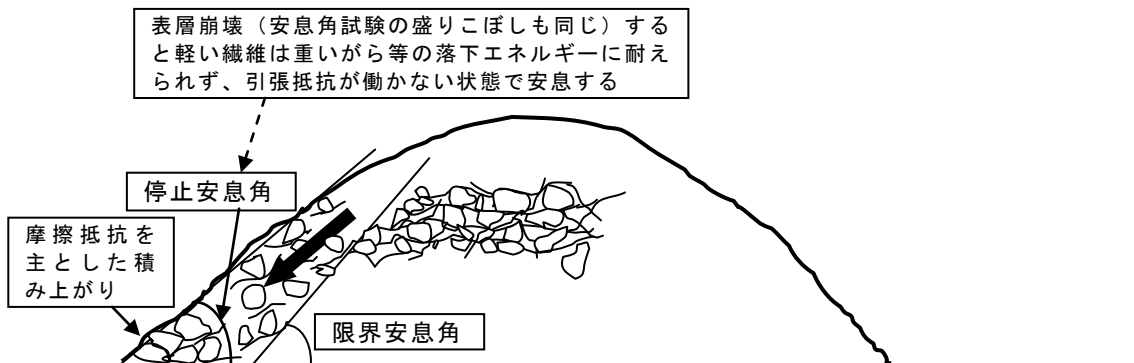


図 80 表層崩壊後の摩擦抵抗、粘着力による積み上がり（停止安息角）

表 17 現場区分別の停止安息角、限界安息角の試験結果と引張抵抗角算定結果

国内外	組成	プラスチック等のサイズ	現場種類	現場名	箇所数	安息角		$\alpha_c - \alpha_R$ (°)	引張抵抗角 ζ (°)
						限界安息角 α_c (°)	停止安息角 α_R (°)		
国内	プラ有り	含10cm超	安定型処分場	東北① 3.8年地盤	1	51	41	10	8.5
				中部① 埋立直後	1	51	40	11	9.2
				中部① 1年地盤	1	49	44	5	4.7
				中部① 2年地盤	1	46	40	6	5.8
				中部① 8年地盤	1	56	44	12	9.2
				中部① 15年地盤	1	51	43	8	7.0
				関東① 0.1年地盤	1	42	36	6	6.2
				関東① 15年地盤	1	46	40	6	5.8
				中国 0.3年地盤	1	46	38	8	7.5
				平均	9	50	42	8	7.3
				(既)関東①	1	60	50	10	7.7
				(既)中部①(プラ少)	1	53	45	8	6.9
				(既)中部①(プラ多)	1	58	52	6	5.1
	(既)中部②	1	55	45	10	8.1			
	平均	4	57	48	9	7.0			
計	13	51	43	8	7.1				
国内	プラ有り	概ね10cm以下	管理型処分場 平均	3	39	37	3	-----	
			震災廃棄物(選別残渣)	1	45	40	5	-----	
			計	4	41	38	3	-----	
国内	プラ無し	-----	管理型処分場 平均	3	39	36	3	-----	
			不法投棄 平均	3	43	38	5	-----	
			一般廃棄物処分場	1	40	36	4	-----	
			計	7	41	37	4	-----	
国外	プラ有り	含10cm超	海外 (Landfill)	ジャカルタ	1	55	36	19	13.1
			トルコ	1	47	36	11	9.7	
			海外計	2	51	36	15	11.4	

3) キャスポルと安息角試験から支持力の概略評価

土砂地盤の支持力は、通常、内部摩擦角(ϕ)と粘着力(c)を主なパラメータとした支持力公式(式10;「建築基礎構造設計指針」¹⁰⁾に示されている)により算定されている。

このため、キャスポルと安息角試験から回帰式(式5、式6、式7)で推定される c 、 ϕ を支持力公式に代入して、実際に平板載荷試験で求められている極限支持力と比較した(図81、表18)。

図81のとおり、平板載荷試験による極限支持力と、キャスポル、安息角試験による c 、 ϕ を支持力公式に代入して得られた極限支持力の間には、ばいじんが半固結状態で堆積した地盤(東北②現場)を除けば、一定の相関が見られ、概略評価法としての有効性が確認できた。

図81で、支持力公式による極限支持力は、平板載荷試験による値よりも大きめであるが、これは、平板載荷試験では試験時の載荷重が十分でなく極限支持力に達していない現場が4箇所ある(図81中の Δ)ことに加え、この他の現場でも試験中に地盤の崩壊現象が確認できないなかで載荷板径の10%の沈下量で極限支持力を決めていることから、概して平板載荷試験の極限支持力は小さめになっていることに起因していると考えられる。

また、キャスポルと安息角試験は、いずれも 1m^3 程度のディメンジョンを持つため、 $30\text{cm}\times 30\text{cm}\times 15\text{cm}$ の範囲で行う一面せん断試験よりも広い範囲の c 、 ϕ や支持力が得られていると考えられる。このため、検討初期等に概略的な支持力等を把握したいときには、これらは経済性も含めて極めて有効な試験法であると言える。

なお、ばいじん(焼却灰)地盤については、キャスポル・安息角試験・支持力公式による極限支持力と平板載荷試験による極限支持力との間に乖離があることに加え、近傍での平板載荷試験による極限支持力差が大きいこと(表11)、地盤が固結するなど他の廃棄物地盤とは強度発現メカニズムが大きく異なること、本研究による焼却灰地盤での現場力学試験は比較のために行った1現場のみであることから、焼却灰地盤でキャスポル、安息角試験等から支持力の概略評価を行うためには、今後、十分なデータを現場試験等により蓄積して、式5~7とは別途の関係式を定める必要がある。

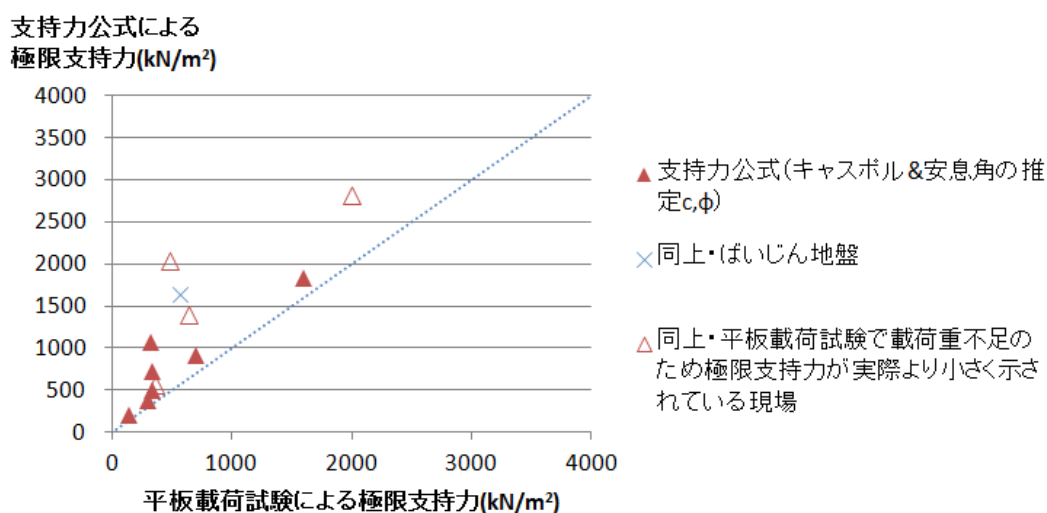


図81 平板載荷試験と支持力公式による極限支持力の比較

「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)¹⁰⁾」による支持力公式は、次のとおり。

$$q_u = i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_r \cdot \beta \cdot r_1 \cdot B \cdot \eta \cdot N_r \quad \dots \dots \dots \text{式 10}$$

q_u : 単位面積あたりの極限支持力度(kN/m²)

N_c, N_r : 支持力係数 c : 支持地盤の粘着力(kN/m²)

r_1 : 支持地盤の単位体積重量(kN/m³) α, β : 基礎の形状係数

i_c, i_r : 荷重の傾斜に対する補正係数 B : 基礎幅(m)

注) 上式は支持力公式の根入れ項を省略している。支持力公式の詳細は「建築基礎構造設計指針 (日本建築学会) ¹⁰⁾」を参照のこと。

表 18 キャスポル、安息角試験からの支持力算定結果と平板載荷試験結果との比較

現場種類	現場名	キャスポル	安息角試験	支持力公式による極限支持力					平板試験の	
		による c (kN/m ²)	による ϕ (°)	α	Nc	β	Nr	q_u (kN/m ²)	極限支持力 (kN/m ²)	
安定型処 分場	東北①	35	38	1.2	61.4	0.3	64.1	2,823	2,000	以上
	中部① 埋立直後	1	36	1.2	50.6	0.3	44.4	209	140	
	中部① 1年地盤	8	42	1.2	75.3	0.3	93.7	1,071	320	
	中部① 8年地盤	18	42	1.2	75.3	0.3	93.7	2,037	480	以上
	中部① 15年地盤	11	41	1.2	75.3	0.3	93.7	1,402	640	以上
	関東① 0.1年地盤	12	30	1.2	30.1	0.3	15.7	505	330	
	関東① 15年地盤	12	36	1.2	50.6	0.3	44.4	924	700	
	中国	14	33	1.2	38.9	0.3	26.6	727	340	
管理型処 分場	関東②	28	36	1.2	50.6	0.3	44.4	1,841	1,600	
	中部②	12	26	1.2	24.1	0.3	8.3	384	300	
	東北②【ばいじん】	44	30	1.2	30.1	0.3	15.7	1,644	565	
不法投棄	東北③	16	28	1.2	25.8	0.3	11.2	569	360	以上

4) 簡易組成分析

a. 検討の目的

組成分析は廃棄物の基本性状を知るうえで一番簡易であり、本来の姿を捕えることができる。従来、組成分析は一般廃棄物処理計画において、家庭から排出されるごみ質の調査に用いられてきた手法であり、収集・運搬車から直接試料採取を行い分類する手法である。

ここでは、産業廃棄物最終処分場の安定性評価において、その廃棄物中に含まれるプラスチック類の含有量が地盤安定性に大きく寄与する点から、簡易に廃棄物組成(特に、プラスチック量)を知ることが可能な場合、その安定性評価の一つの指標になるものと考え、組成分析に代わる簡便な手法の検討を実施したものである。

実験では、写真を用いた画像処理を中心に組成分析結果との対比により簡易化を検討するものである。

b. 実験経緯

簡易な組成分析のイメージは、処分場等の廃棄物が露出している場所を写真撮影し、この画像からプラスチック量を算出する方法である。この表面に露出しているプラスチック量をある一定の容量に換算することが可能であるならば、非常に簡易に廃棄物中の組成を知ることが可能となる点が研究の原点となっている。

当初、廃棄物の表面温度の違いから廃棄物の材質の相違を把握することの可能性を検討した。これは、廃棄物表面温度を測定することにより、プラスチック類が他の廃棄物と異なる表面温度を示すと考えるならば、容易に把握することが可能であると考えた。

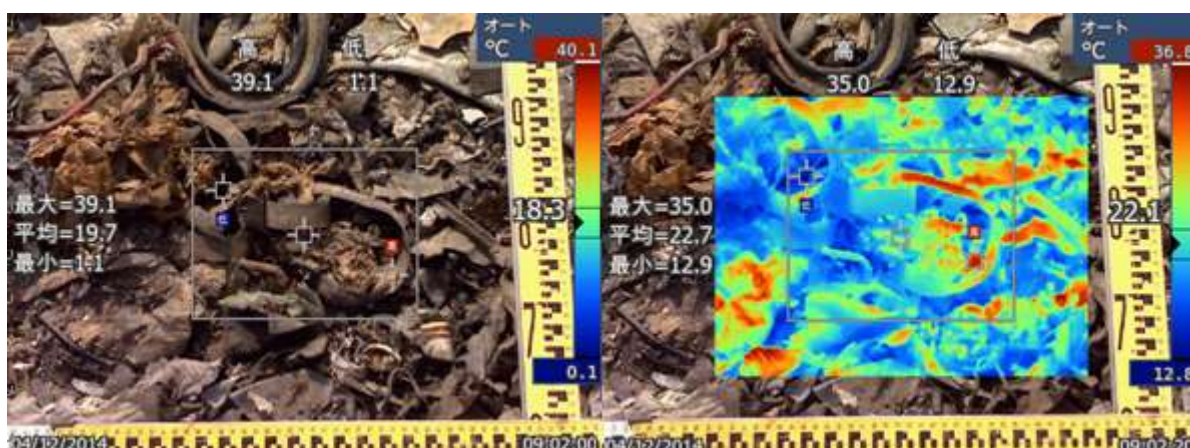


図 82 サーモグラフィーによる廃棄物正面の温度調査

図 82 にサーモグラフィー写真の事例を示した。写真の左右は同じ部分であるが、左は写真、右は表面温度の分布を示している。この比較写真から、同じ種類のプラスチック、更に同一廃棄物の場所によっても、太陽光の当たり具合や影により温度が異なっていることが理解できる。

このことは、サーモグラフィーの写真判断では外気の影響を強く受けることから、正確な判断が難しいものと考えた。

この結果、写真からの画像判断による判定処理方法の検討を主に実施した。

c. 実験方法

i 実験機材

- ・デジタルカメラ（Canon EOS M2）
- ・解析ソフト（Adob Photoshop CS6 extended Ver.13.0）

ii 現場実験

現場実験は以下の内容で実施した。

①測定個所の設定

産業廃棄物最終処分場では各種廃棄物の受け入れを行っており、基本的に埋め立て場所ごとの管理を実施しているが、確実にどのような廃棄物が埋め立てられているかの記録はなかなか保存されていないのが現状である。ここでは、処分場を踏査し廃棄物表面に土砂やプラスチック類が平均的に表れている箇所を実験現場とした。

②実験個所の決定

処分場表面は埋立直後の場合には雨風の影響を受けることなく埋立時の状況を維持しているが、時間経過とともに土砂分の流下や微細な廃棄物の飛散等が生じる可能性がある。このため、表層が新鮮な状況でない場合には、表面を漉きとる等の作業を実施して表層面の基盤とした。

③実験基盤の作製

実験基盤は写真撮影が実施可能な面であり、また同時に試料採取も行うことから、異常に水分が多いあるいは特定の廃棄物が偏って存在する等の状況を避け、均質な面が求められる。このため、決定した場所の表面を均一に均した。

④写真撮影

画像処理に用いる写真の撮影は、基本的に平面である面の最少寸法が 1m×1m 程度となるように設定し撮影する。撮影に際しては、撮影面の上下及び左右に歪みが生じないように三脚を用いて高さが 1m 以上となる位置から撮影した。

⑤試料採取

写真撮影を実施した廃棄物面で試料を採取した。試料採取は基本的に 5～10cm の厚みを想定し廃棄物を採取した。この際、長いプラスチックや大きな材に関しては、寸法内で切断、あるいは一部分のみの採取を行った。なお、試料は乾燥を防止することから密封状態で輸送した。

iii 室内実験

室内実験（廃棄物の組成分析）は以下の方法で実施した。

①採取試料の重量測定

組成分析を実施するに当たり分類重量を均一にする目的で、標準的な重量を決定した。各実験の採取試料の量によるがおおよそ 5kg を基本とした。

②荒分別の実施

最初に荒分別を実施した。ここでは、明らかに大きな（10～20cm 程度）廃棄物をまず選り分けた。また、金属やプラスチック容器等の明らかに素材が判別する廃棄物も分別した。

③篩分けの実施

篩分けの実施理由は、土砂分の選別が大きな目的である。ここでは、2mm 篩を用い土砂を分離した。

④水洗浄

篩分けで残留した廃棄物をプラスチック容器に投入し、水道水で洗浄した。この洗浄は土砂分を除去すること、および素材表面をある程度洗うことにより素材を明確にする目的がある。

⑤廃棄物の乾燥

水洗いした廃棄物は、大まかに水切を行いバットに入れ炉乾燥器により乾燥した。乾燥温度は、 $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ で設定し、24 時間実施した。

⑥乾燥廃棄物の分別

乾燥した廃棄物を以下の分類で分別を実施した。分別種類は、プラスチック類（硬質プラスチック、軟質プラスチック）、金属、ゴム、ガラス、陶磁器・石、木・竹、繊維、紙、土砂の 10 分類である。

⑦計量

分類後、各分別した廃棄物を計量した。

iv. 画像処理

①画像の選定

現場では撮影した $1\text{m} \times 1\text{m}$ の写真を正方形にトリミングする（図 83）。

②プラスチック類の決定

Adobe Photoshop CS6 の塗りつぶしツールを用いて、トリミングした写真の中からプラスチックと想定される部分を赤色で塗りつぶした（図 84）。

③プラスチック類のピクセル数の算出

自動選択ツールで塗りつぶした場所を選択し、ピクセル数を記録した。



図 83 撮影写真画像



図 84 ピクセル塗りつぶし画像

d. 実験結果

i 中部①現場試料

①採取場所

中部①現場（中部地方の産業廃棄物安定型処分場）

②廃棄物内容

採取場所により異なるが、プラスチック類を中心とした廃棄物が多い。

試料は、3 箇所（NO.1～NO.3）の表層、及びこの他の場所で GL-1m（表層から 1m 掘削した位置）、GL-3m（表層から 3m 掘削した位置）、また重機で掘削し山上にした試料（掘削廃棄物）から採取した。

③結果

表 19 に測定結果を示す。ここでは各採取試料の組成分析の結果及び画像処理のピクセル数を示した。

表 20 は表 19 の結果から、各採取場所の組成分析と画像処理から得られたプラスチックの割合を算出したのである。この表を見ると、組成分析と画像処理の値に大きな差が生じている。これは、画像処理は平面として断面を見ており、組成分析はこの平面と深度から構成されるブロックにおけるプラスチック割合を表しており、当然結果に差が生じるものとする。

表 19 測定結果一覧表

	組成分析 (%)					画像処理 (ピクセル数)	
	軟プラ	硬プラ	プラ類	その他	土砂	全体	プラ
No.1	9.4	11.1	20.5	39.2	40.3	160,000	66,464
No.2	12.7	15.8	28.5	41.9	29.6	174,435	73,763
No.3	11.1	9.4	20.5	34.1	45.4	178,504	72,706
GL-1m	6.0	13.3	19.3	31.1	49.6	184,875	8,882
GL-3m	3.3	12.4	15.7	28.2	56.1	218,088	9,784
掘削	5.5	8.9	14.4	29.9	55.7	281,400	49,313

表 20 組成分析及び画像処理におけるプラ類の割合 (%)

	組成分析	画像処理
No.1	20.5	41.5
No.2	28.5	42.3
No.3	20.5	40.7
GL-1m	19.3	4.8
GL-3m	15.7	4.5
掘削	14.4	17.5

ii 中国現場試料

①採取場所

中国現場（中国地方の産業廃棄物安定型処分場）

②廃棄物内容

採取場所により異なるが、建設廃棄物を中心とした廃棄物が多い。試料は、3 箇所（NO.1～NO.3）において、表層、GL-5（表層から 5cm 掘削した位置）、GL-10（表層から 10cm 掘削した位置）、GL-15（表層から 15cm 掘削した位置）から採取した。

③結果

表 21 に測定結果を示す。ここでは各採取試料の組成分析の結果及び画像処理のピクセル数を示した。

表 21 測定結果一覧表

		組成分析 (%)					画像処理 (ピクセル数)	
		軟プラ	硬プラ	プラ類	その他	土砂	全体	プラ
No.1	表層	14.0	3.9	17.9	78.2	3.9	6,937,920	1,784,990
	GL-5	0.8	5.2	6.0	79.6	14.4	6,064,448	511,742
	GL-10	2.6	10.5	13.1	84.4	2.5	5,531,328	830,335
	GL-15	0.9	10.8	11.7	69.6	18.7	4,844,160	252,977
No.2	表層	2.3	1.1	3.4	82.9	13.7	6,921,259	1,378,259
	GL-5	16.5	9.7	26.2	39.3	34.5	7,231,552	760,221
	GL-10	12.8	4.7	17.5	57.7	24.8	7,547,904	824,032
	GL-15	11.9	6.3	18.2	68.3	13.5	7,796,736	970,772
No.3	表層	15.3	2.1	17.4	73.1	9.5	4,923,776	840,760
	GL-5	14.0	4.5	18.5	68.3	13.2	5,719,360	482,892
	GL-10	21.2	5.3	26.5	51.2	22.3	6,400,320	915,547
	GL-15	18.2	3.6	21.8	71.6	6.6	6,205,440	757,116

図 85 に画像処理と組成分析の資料採取のイメージを示した。この図から、例として組成分析（表層）の結果は、画像処理の表層と GL-5 に挟まれていることがわかる。この位置関係から、単純に画像処理を平均し、組成分析と比較したものが、表 22 である。

表 22 より、画像の平均（各組成分析試料の上面及び下面）と組成分析のプラスチック量を比較（着色部分）すると、採取場所にもよるが、ほぼ同一の値を取るケースから数倍の差が生じているケースまで様々となっている。しかしながら、特別な場合（1 ケース）を除き 0.5～2 倍程度の関係に収まっている。この点から、画像処理と組成分析の関係が皆無であると判断すべきでは無いと考える。今後の試験数量の蓄積で明確にする考えである。



図 85 画像処理及び組成分析の位置関係イメージ

表 22 画像処理と組成分析の比較（プラスチック量） (%)

	NO.1			NO.2			NO.3		
	画像		組成	画像		組成	画像		組成
	画像	平均		画像	平均		画像	平均	
表層	25.7			19.9			17.1		
		17.0	17.9		15.2	3.4		12.8	17.4
GL-5	8.44			10.5			8.4		
		11.7	6.0		10.7	26.2		11.4	18.5
GL-10	15.0			10.9			14.3		
		10.1	13.1		11.7	17.5		13.3	26.5
GL-15	5.2			12.5			12.2		
		11.7			18.2				21.8

e. 考察及びまとめ

今回の実験では実験及び解析数量が少ないことから明確な結論を示すことは困難であるが、画像処理よりプラスチック量を算出することは、今後の手法の改良及び検討にて可能であると考えられる。今後の検討課題として、ピクセル選定方法の簡便化及び現場での簡易判定手法の開発等が必要と考える。

また、実験数量の積み重ねで、ある程度の精度まで向上させることが可能であると考えられる。

(4) 廃棄物地盤利用にあたっての環境影響評価方法

1) プラスチック等が混入した廃棄物地盤での試掘

プラスチックが混入した廃棄物層内部の帯水状況を調べることを目的に、中部①現場（中部地方の産業廃棄物安定型最終処分場）で試掘を行った。

15年間堆積した層厚約20mの廃棄物層上に、2014年4月～8月に高さ約10m（中間覆土3層計2mを含む）の埋立を行った現場であり（図86）、廃棄物組成は、プラスチック14%、土砂57%、がれき類25%、その他4%である。また、場内の地下水位は集水井戸等で埋立底面の1～3m上にあることが確認されている。

2014年7月31日に廃棄物層を表層から2.6mの深さまで（中間覆土層上面まで）試掘した（図87）。試掘後約6時間後に試掘底面に水が溜まりだし（図88）、試掘26時間後に水深17cmに達した。なお、当該地では、7月3日～11日に計82mm、同13日～17日に計8.5mm、同19日に1mmの降水量があったが、それ以降は試掘期間中を含めて降水量は0であった。

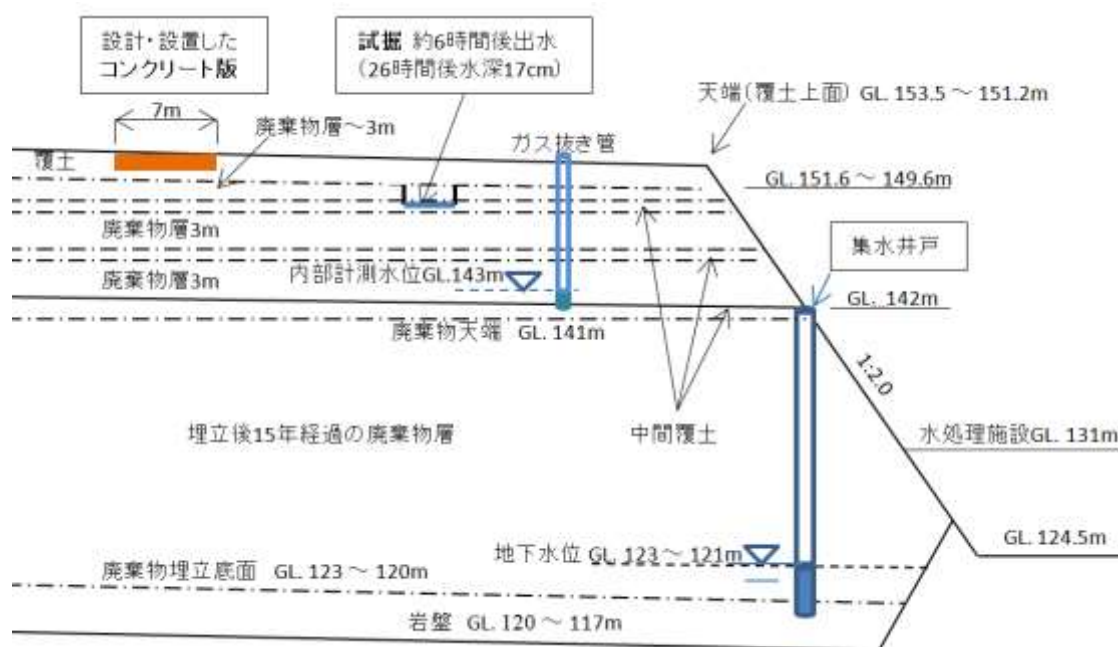


図 86 中部①現場(安定型処分場)の縦断面模式図



図 87 試掘終了時



図 88 約6時間後の内部水位より25m高い位置での出水

2) 水の貯留・排水性に関する実験（カラム注水排水実験）

a. 目的

試掘結果から、プラスチック等が混入した廃棄物地盤中には非常にゆっくりとした水の流れが存在することが確認された。また、当該現場では、透水性は極めて良いものの、数 10mm 規模の降雨があっても処分場末端の水処理施設に達するまでには 1 週間程度を要している。このため、プラスチック等が混入した廃棄物層中の水の流れは通常の土砂地盤とは異なることが推察され、地盤中の排水性、貯留性に着目したカラム実験を行った。

b. 実験方法

底面に排水口（φ5mm×15）を設けたドラム缶大の容器に現場表層と概ね同じ密度になるように廃棄物を充填し、雨量 50～100mm 相当を 30 分間で均等に注水し排水量を調べた（**図 89**、**図 90**）。実験は、中部①現場（産業廃棄物安定型最終処分場）からの採取試料と、関東①現場（産業廃棄物安定型最終処分場）から採取した試料を用いて行った。

注水は流量を調節したじょうろを用いて時間内に均等になるように行い、注水後約 1 時間後までは 1 分間隔で末端の排水バルブからの排水量を調べ、その後は計測間隔を広げて 6 ヶ月後まで計測した。なお、注水 6 時間以降は容器中の試料高さ計測時以外は、カラムを密閉して蒸発を抑えた。また、排水に含まれる細粒分重量と注水時以降の試料の沈下量も併せて計測した。



図 89 注水排水実験（注水状況）



図 90 注水排水実験（注水状況）

c. 実験ケース

実験は、**表 23** に示すケースで行った。中部①現場試料のケース 1 は注水無しのケース、関東①現場試料のケース 1 はゆる詰め試料である。ケース 4 は採取試料の篩い下試料で、中部現場試料が 10cm アンダー、関東現場試料が 2cm アンダーである。また、比較のため山砂を用いた同様の実験も行った。

d. 実験結果

i 廃棄物試料による実験結果

実験結果を**表 23** と**図 91～94** に示す。**表 23** の初期流下速度（試料高さを注水開始から排水開始までの時間で除した値）は 10^{-2} cm/s オーダーと非常に速く、廃棄物サイズが小さく空隙の大きい関東現場試料の方が速い。標準ケースの倍の注水をしたケース 3 は、ピーク排水量がカラム内に水のみを入れたときの排水量にほぼ等しく（**図 97**）、カラム内が飽和状態に達して流下速度が顕著に速くなったと考えられる。なお、わが国の既往最大の時間降水量は 187mm で、ケース 3 の 100mm/30min はそれを上回るものである。

表 23 カラムでの注水-排水実験ケースと実験結果

中部①現場(安定型処分場)からの採取試料 (プラ 14%, 土砂 57%, がれき類 25%, その他 4%; 30cm 超のプラ等を含む, 含水比 27.4%)					関東①現場(安定型処分場)からの採取試料 (プラ 13%, 陶磁器・石類 44%, 土砂等 38%, その他 5%; サイズ 15cm 内, 含水比 20.6%)				
ケ ー ス	試料	試料 容積 [空隙率]	注水量 (/30min)	6ヶ月間 排水量 [初期流下速度]	ケ ー ス	試料	試料 容積 [空隙率]	注水量 (/30min)	6ヶ月間 排水量 [初期流下速度]
1	現場採 取試料	176.9 ℓ [18.6%]	なし	0.0 ℓ [-----]	1	現場採 取試料	173.6 ℓ [68.4%]	12.6 ℓ (50mm)	9.7 ℓ [0.041cm/s]
2	現場採 取試料	169.6 ℓ [20.3%]	12.6 ℓ (50mm)	9.5ℓ [0.029cm/s]	2	現場採 取試料	172.1 ℓ [57.6%]	12.6 ℓ (50mm)	10.3ℓ [0.042cm/s]
3	現場採 取試料	170.1 ℓ [20.6%]	25.2 ℓ (100mm)	21.9ℓ [0.049cm/s]	3	現場採 取試料	168.8 ℓ [56.8%]	25.2 ℓ (100mm)	22.9ℓ [0.062cm/s]
4	10cm アンダー	167.3 ℓ [22.9%]	12.6 ℓ (50mm)	9.6ℓ [0.029cm/s]	4	2cm アンダー	172.4 ℓ [58.0%]	12.6 ℓ (50mm)	13.4ℓ [0.057cm/s]

次に、図 91、図 93 の経過時間と注水高、排水高（排水量を容器の高さに換算した値）の関係をみると、排水は 1 時間程度までがピークでその後はゆっくりと排水されている。図 93 の関東①現場の 2cm アンダー試料では、同じ 50mm を注入した現場採取試料に比べ、ピーク排水高が高くかつピークの時間が早くなっている。

図 92、図 94 のカラム内の貯留高（注水量(Qin)と排水量(Qout)の差の累積値を容器の高さに換算した値）と経過時間との関係をみると、各ケースとも水は 1~2 時間で大半が排水され、その後はゆっくりとした排水となり、3 時間以降の貯留高は廃棄物サイズが 2cm アンダーと小さい関東・ケース 4 を除いて、注水量に関わらず各ケースほぼ等しくなり、6 ヶ月後（4320 時間後）の貯留量は（表 23 で注水量と排水量の差）、中部現場試料で約 3ℓ、廃棄物サイズの小さい関東現場試料で約 2~3ℓ（ケース 4 は 0）となった。これらのことから、水の大半は大きな空隙を伝わって短時間で流下するものの、一定量は廃棄物の表面等に貯留され、その水はゆっくりと流下することが示され、この結果は、前項の試掘結果に符号する。この貯留能は、表面等に貯留可能な形状を持つプラスチック等のサイズや表面積等に関係し、廃棄物サイズが 2cm 以下のケースでは貯留能が著しく低下した。

ii 廃棄物と山砂の水の流れの比較

廃棄物層内の水の流れの特徴を明確にするために、同様の実験を山砂（購入砂：含水比 6.9%、カラム内空隙率 30.2%）でも行った。比較は、関東①試料と行い、注水量は 25mm/30min とした。実験結果を図 95、図 96 に示す。図 95 の時間-排水高曲線からは、廃棄物層は初期の 1~2 時間で大半の水は排水されその後はゆっくりと排水が進むのに対し、山砂は到達時間（初期流下速度）が廃棄物層より遅い反面、排水が始まると一定量の排水が継続することが分かる。図 96 の時間-貯留高曲線からは、廃棄物層では長時間に渡り少量の排水が継続するが、山砂では注水後 24 時間で吸水現象が生じて排水量が 0 に近づいている（実験で用いた山砂の含水比が 6.9%と低かったことも関係している）ことが分かる。

したがって、プラスチック等を含む廃棄物層内の水の流れは、山砂と比べると、透水性が極めて良く大半の水は短時間で排水されるが、一定量は廃棄物地盤中に残りその水は、砂のような吸水現象は生じずにゆっくりと排水されるという特徴を有することが読み取れる。

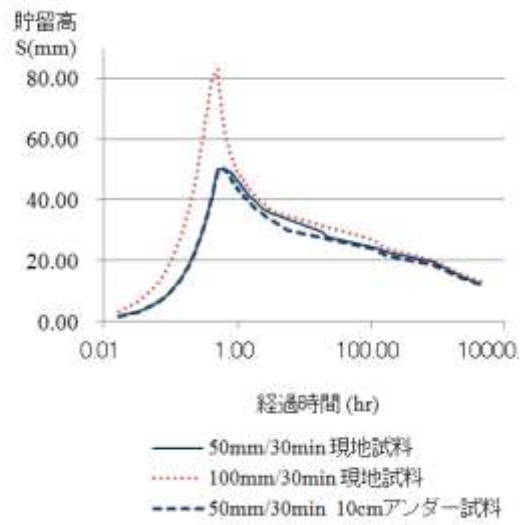
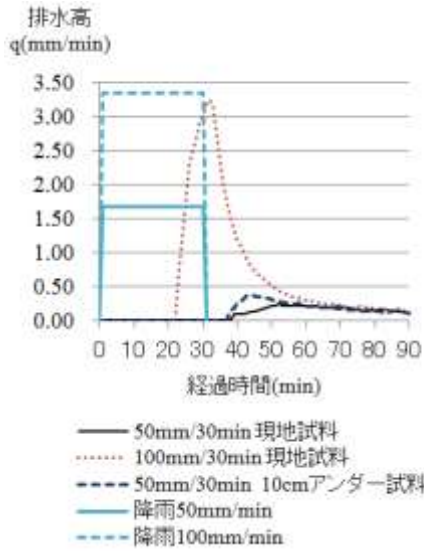


図 91 排水高(q)と経過時間(t)の関係 図 92 貯留高(S)と経過時間(t)の関係
(中部①現場からの採取試料)

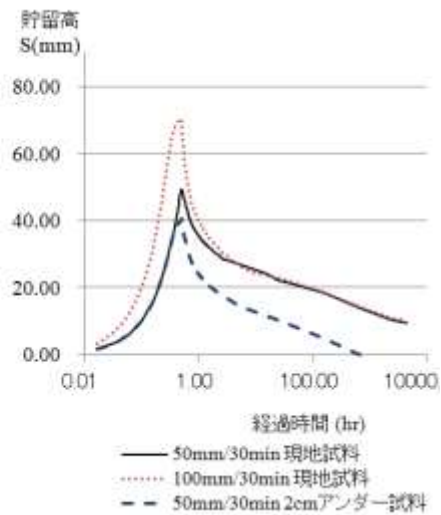
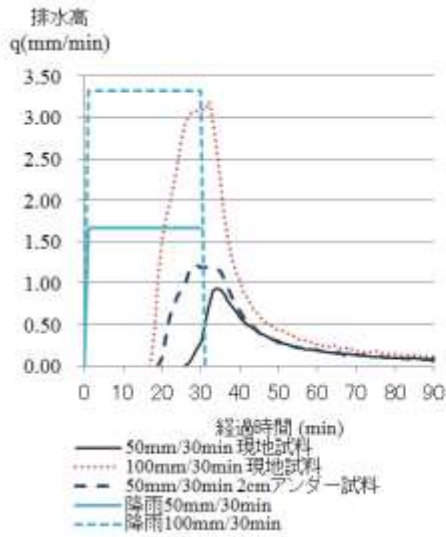


図 93 排水高(q)と経過時間(t)の関係 図 94 貯留高(S)と経過時間(t)の関係
(関東①現場からの採取試料)

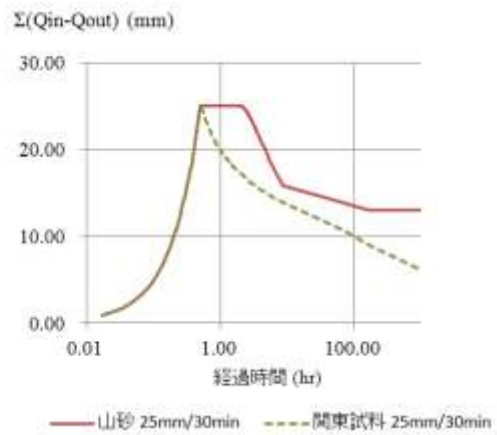
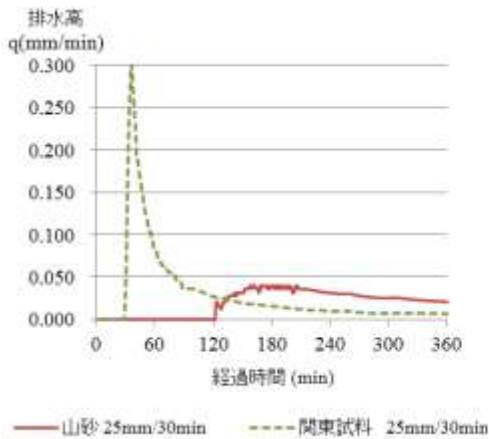


図 95 山砂と廃棄物の時間(t)－排水高(q)

図 96 山砂と廃棄物の時間(t)－貯留高(S)

iii 実験容器の排水性能と実験後の容器内の状態

実験容器に水のみを 100mm/30min 注水したときの排水量を図 97 に示す。実験容器は十分な排水性能を有しており、注水時には注水量と同量の排水があり、100mm/30min (25.6ℓ) の注水後、約 6 分でほぼ全量を排水している。なお、この排水量は、オリフィス式¹⁵⁾ ($Q=A(2gH)^{1/2}$ 、Q;排水量、A;開口面積、H;水位) で計算でき、図 97 にはオリフィス式による計算値も示した。

次に、図 98 は 100mm/30min 注水後約 6 ヶ月経過し少量の排水が継続している状態にあった実験容器 (残水量 3.3ℓ) をスリット状に切断したものである。図 98 から容器底部に水が溜まっている様子が分かる。また、スリットから取り出した廃棄物の含水比は容器上部が 21.9% (注水前 20.6%)、下部が 26.2% (同) で、下部の含水比が高いが、上部でも注水前よりは高い。

以上から、図 91～図 94 に示した長期間継続した排水は、容器底部に溜まった水による排水ではなく、層 (容器内) 全体から少しずつ流れ出している水によるものと判断できる。

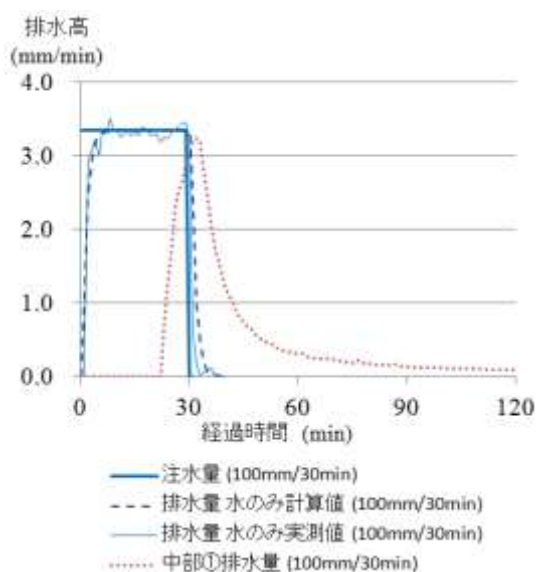


図 97 実験容器の排水性能



図 98 注水 6 ヶ月後の実験容器内 (中部試料、残水量 3.3ℓ、少量の排水継続中)

iv 排水に含まれる細粒分量と沈下量

排水中に含まれる細粒分量を図 99 のとおりに濾過器を用いて計測した。計測結果を図 100、図 101 に示す。注水 3 ヶ月後の排水中に含まれていた累積の細粒分量は、注水量との関係はみられず、中部①試料で概ね 3g、関東①試料で 3～6g であった。実験の試料高さは約 70cm であることから、単位層厚当たりの細粒分流量は 4～9g/m となる。層厚 30m の処分場では 120～270g/(50～100mm/3 ヶ月) となり、雨水による細粒分の流量は、空隙閉塞を生じさせるような量の流下は発生しにくいことが窺えた。



図 99 濾過器による細粒分量計測

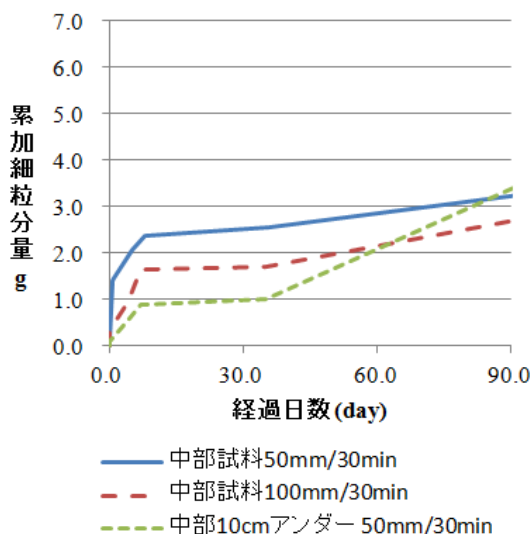


図 100 排水中の細粒分量（中部①試料）

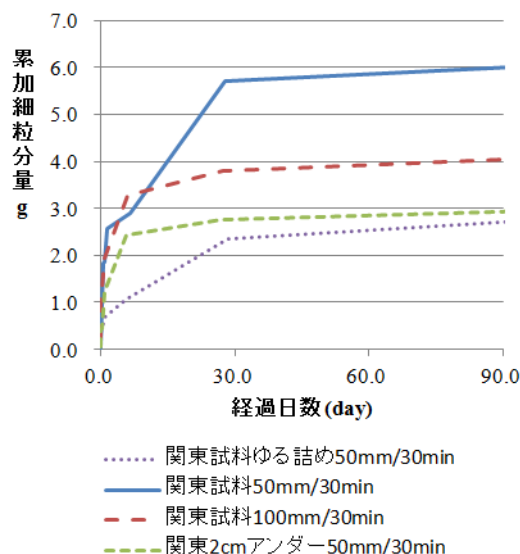


図 101 排水中の細粒分量（関東①試料）

次に、注水後の容器内の試料沈下量を表 24 に示す。表 24 から、容器内の沈下は概ね注水 30 分後（注水終了時）までに発生している、注水量の多少と沈下量との関係は明確でないが注水無しの場合では沈下が発生していない、関東①試料のゆる詰め試料の場合で顕著な沈下が生じている、ということが分かる。

図 102 は、排水中の細粒分量と沈下量の関係を示したものであるが、細粒分量と沈下量の間には関係が表れていない。

注水終了時までの沈下量が多いことや、注水無しのケースで沈下が発生していないことから、本実験による沈下は主に注水により発生していると言える。また、沈下発生要因としては、細粒分流出による影響では無く、水重等の他の要因が考えられる。

表 24 容器内の注水後の沈下量

ケース	初期 試料高 (cm)	沈下量		
		30分後 (cm)	3ヶ月後 (cm)	
中部① 試料	注水無し	71.4	0.0	0.0
	50mm/30min	68.5	1.0	1.1
	100mm/30min	68.7	0.5	0.5
関東① 試料	10cmアンダー50mm/30min	67.6	0.3	0.4
	ゆる詰め50mm/30min	68.7	1.1	3.3
	50mm/30min	68.2	0.0	0.1
関東① 試料	100mm/30min	66.8	0.1	0.3
	2cmアンダー50mm/30min	68.2	0.0	0.1

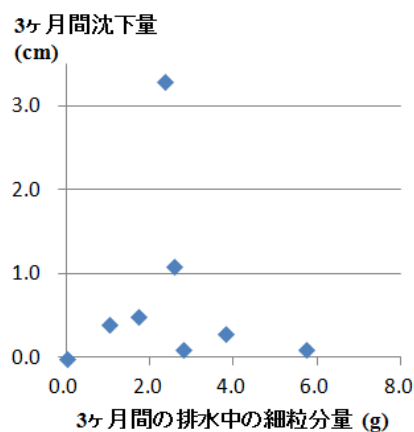


図 102 細粒分量と沈下量の関係

e. 廃棄物地盤中の水の流れについての考察

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、**図 103** のように、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と考えると、一連の実験結果を説明することができる。この場合、水の流れは、貯留関数¹⁶⁾による次式で表される。

$$S = K \cdot q^p \quad \dots \dots \dots \text{式 11}$$

$$dS/dt = q \quad \dots \dots \dots \text{式 12}$$

ただし、 $S > C$ のときは、

$$q = q_{in} \quad \dots \dots \dots \text{式 13}$$

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（ q が mm/hr のとき）

q ：排水量（排水高）（mm）

q_{in} ：注水量（注水高）（mm）

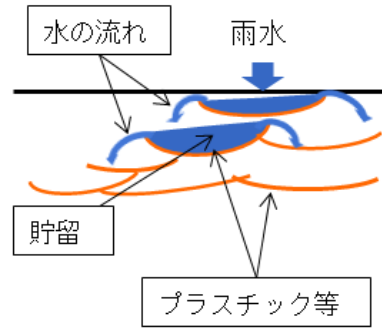


図 103 水の流れのイメージ

実験と**式 11**～**13** から得られる貯留高と排水定数(K)の関係を**図 104**、**図 105**に示す。図は、**式 11** の p (貯留関数の定数) を 0.2 (**式 11**～**13** による試算結果から設定) として求めたものである。両図とも注水量が 50mm/30mm と 100mm/30mm のケースで K が概ね一定になっている区間があり、このときの値が排水定数とみることができる（中部①： $K \approx 28$ 、関東①： $K \approx 20 \sim 22$ ）。なお、両図の貯留高が大きい領域で K が大きくなっているのは排水初期で水が横断面方向に十分に伝わっていないためとみられ、貯留高が小さい領域で K が大きくなっているのは貯留量の減少に伴う水の流れの遅延（遅滞時間）が生じているためである。

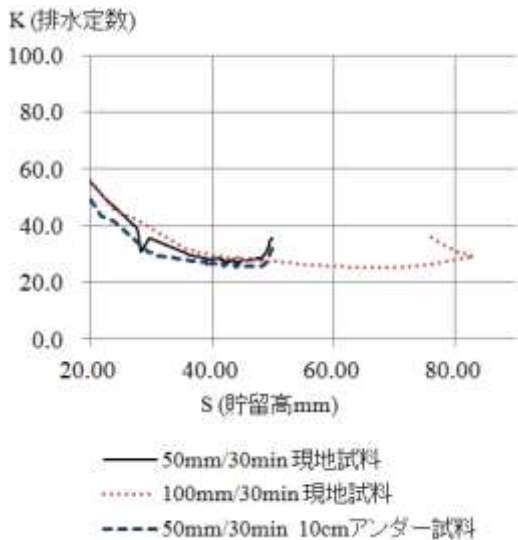


図 104 貯留量(S)と排水定数(K)の関係
（中部①現場試料、 $p=0.2$ のとき）

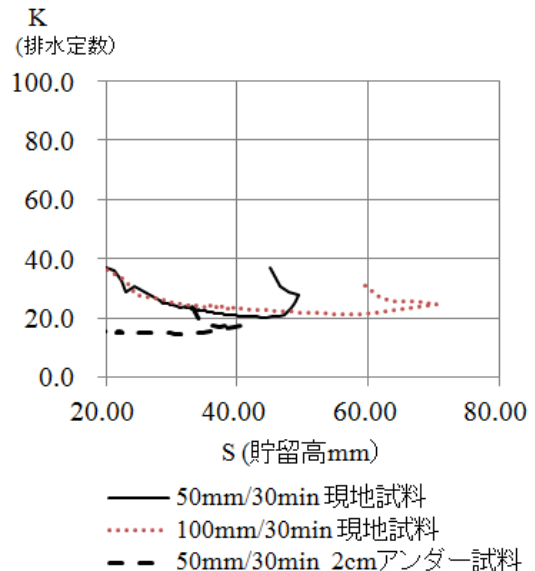


図 105 貯留量(S)と排水定数(K)の関係
（関東①現場試料、 $p=0.2$ のとき）

また、内部貯留可能高(C)は、**図 92**、**図 94** で、50mm/30min と 100mm/30min のケースの貯留高(S)が概ね等しくなったときの貯留高とみることができ、中部①試料では概ね 50mm、関東①試料

では概ね 45mm となる。

本実験の容器内の試料の高さは約 70cm であり、実際の安定型処分場等の埋立厚は一般にこの 20 倍以上あるため、層全体の貯留可能高は本実験の 20 倍程度以上ある（中部①現場では 50mm/0.7m×30m(埋立厚)≒2100mm)。このため、50～100mm の降雨があっても、層全体で見ると、水の流れが遅い領域での流れになり、それにより実現場での降雨の水処理施設までの到達時間は長くなる。概算で、中部①試料の排水ピーク後のゆっくりとした排水の速度について、**図 92** から 50mm/30min と 100mm/30min のケースの貯留高(S)が概ね等しくなったときの経過時間として 3 時間/70cm と読みと、埋立厚 30m では、3hr/0.7m×30m=126hr (5.4 日) となり、中部①現場での実際の降雨から流末の貯留槽での出水までに要する時間である 1 週間程度と合致する。

式 11～13 の検証のため、実験から求められたパラメータ (K 、 p 、 C) を用いて計算した排水高と、実測排水量（実験値）と比較したものが **図 106**、**図 107** である。カラム内の流下時間を中部試料で 8 分、関東試料で 4 分とすることで、**式 11～13** により実測排水量をほぼ再現できる。

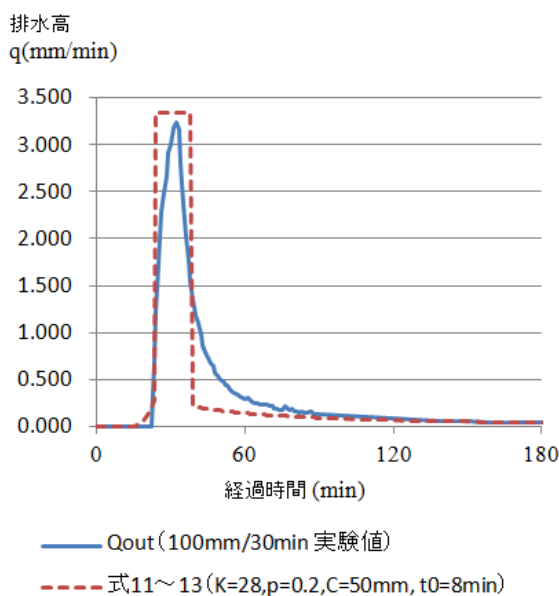


図 106 実験値と式 11～13 の排水高
(中部①試料, 注水量 100mm/30min)

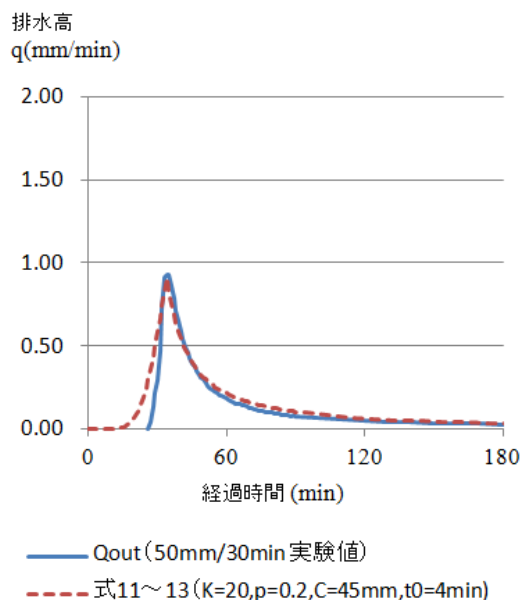


図 107 実験値と式 11～13 の排水高
(関東①試料, 注水量 50mm/30min)

g. まとめ

試掘結果と注水排水実験結果から、次のことが言える。

- ①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。
- ②この廃棄物地盤中の水の流れは貯留関数で説明が付き、貯留関数のパラメータを注水排水実験等で設定することで、安定型処分場等での降雨－排水量のシミュレーションが可能となる。
- ③貯留効果は廃棄物サイズに関係し、長尺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生まれ、処分場の水処理等のピーク対応量の抑制に結びつく。

3) トレーサー試験による廃棄物埋立地盤の平均間隙流速に関する室内実験

a. 目的

原位置でのトレーサー試験を行うための基礎的知見を得るため、カラムを用いた室内トレーサー試験を行い、廃棄物埋立地盤内の降雨による雨水の浸出経路および浸出速度を明らかにすることを目的とする。

b. 試験概要

内径 $\phi 30$ cm、高さ 100 cm のアクリル製円筒容器内に、関東地方の不法投棄現場から採取した埋立廃棄物およびまさ土を充填した（図 109）。カラム上端に設置した簡易降雨装置（図 108）に時間降水量 65 mm/h に相当する 2.0 l を一度に投入した。カラム底部からの浸出量が一定になるまでは純水を滴下させ、その後、濃度 4.0 % の塩化ナトリウム溶液を滴下させた。また、浸出経路を可視するため、市販されている紅墨墨液を 3% に薄めた溶液を、塩化ナトリウム溶液と同様の手順で滴下させた。

c. 試験結果

浸出完了（2.0 l を投入し底部から 2.0 l 浸出するまでの時間）に要する時間はまさ土で 48 時間、埋立廃棄物で 24 時間であった。また、まさ土の浸出水の塩分濃度は徐々に上昇したのに対し、埋立廃棄物の塩分濃度は滴下後 30 分で大きく上昇した。また、滴下開始から 3 時間程度でピークを示した後に減少した（図 110）。

紅墨墨液の滴下時の両試料のカラム側面の結果を図 111 に示す。まさ土は紅墨墨液の滴下に伴い、試料上部からほぼ均等に着色される様子が観察されたが、埋立廃棄物は不均一な着色が見られた。これらの結果より、まさ土に滴下させた溶液は、カラム内の残存水（純水）を押し出ししながら、徐々にカラム下部へ移動していると推測される。一方、埋立廃棄物は大きな間隙構造を有するため、滴下させた溶液の多くは、残存水（純水）を押し出すことなく、特定の経路を通じて短時間で底部から浸出したと考えられる。また、埋立廃棄物の浸出水の塩分濃度（ピークで 2.8%）が滴下させた塩分濃度 4.0% よりも小さな値を示した理由は、廃棄物表面やプラスチックなどに堆積している残存水（純粋）と混ざりながら浸出するためと考えられる。

本試験では、廃棄物埋立地盤中の浸出水の平均間隙流速を得るには至らなかったが、通常の地盤とは異なる浸出速度および浸出経路を有することが明らかとなった。



図 108 簡易降雨装置

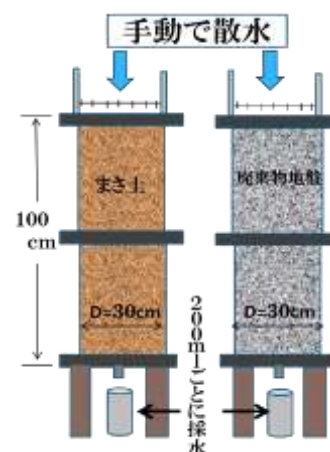


図 109 試験装置模式図

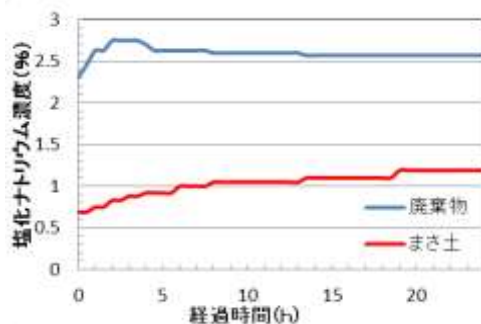


図 110 経過時間-塩分濃度の結果



図 111 紅墨墨液の滴下時のカラム側面
(左：まさ土、右：埋立廃棄物)

4) 内部水位が斜面安定性評価に与える影響

プラスチック等が混入した廃棄物地盤では、透水性が極めて高いことから廃棄物層内に水が溜まり内部水位が廃棄物層の高い位置まで上がることは、底部や下流側が締め切られていない限り考えにくい。

ところが、前項までに示したとおり、プラスチック等が混入した廃棄物地盤では廃棄物表面等に長期間貯留した水がゆっくりと流下していることから、ボーリング等でこの水を捉えて、内部水位と見誤る可能性がある。

この内部水位の差による斜面安定性計算に与える影響を調べるため、標準的なプラスチック等が混入した廃棄物地盤（堆積高 20m、斜面勾配 40°、 $\phi=40^\circ$ 、 $c=3\text{kN/m}^2$ 、 $\zeta=7^\circ$ ）で、内部水位（残留水位）の有無のケースで斜面安定計算（円弧すべり計算）を行った（図 112）。図 112 の内部水位を与えないケースでは安全率(F_s)は 1.2 を上回り斜面は安定しているとの計算結果を得ているが、図 112 右の内部水位を与えたケースでは安全率(F_s)がほぼ 1 になり、斜面安定性が危惧される結果となっている。また、引張抵抗(ζ)があると、図 112 右のようにすべり面は引張抵抗が働かない水平方向に近くなり大規模崩壊となる。これは、水分量が多い生ごみの埋立が主である東南アジア等の埋立地（沼状で内部水位が高い）で生じている大規模斜面崩壊に相当するが、わが国の廃棄物地盤ではこれまでに発生していないパターンの崩壊である。

したがって、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、斜面安定計算等で過大設計につながるので留意が必要である。

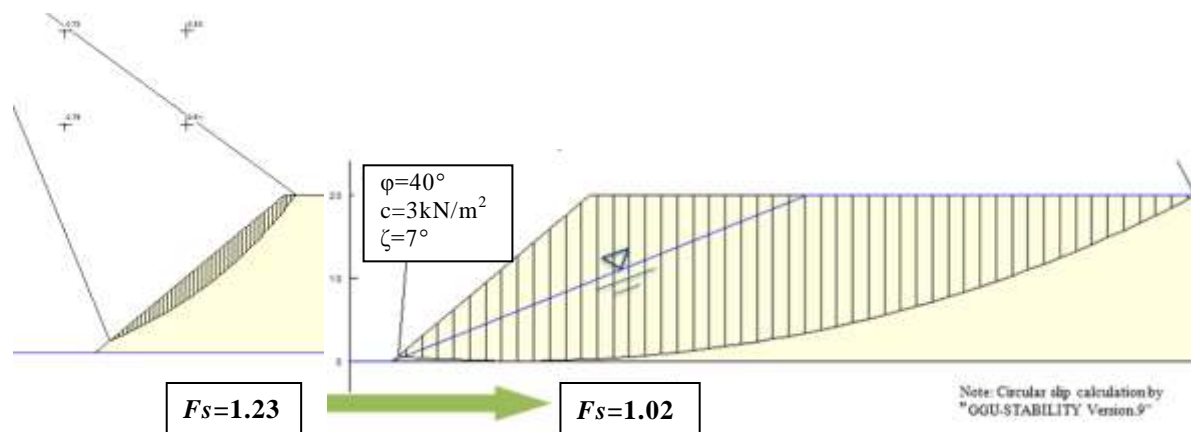


図 112 残留水位の与え方による斜面安定計算への影響

5) 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による影響

金属の腐食等を生じされる硫化水素ガスについて、プラスチック等が混入した廃棄物地盤（中部①現場・安定型処分場、関東③現場・不法投棄等現場）の地表部での調査を行った。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、ポリバケツで蓋をした（図 113）。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観察した（表 25）。また、観測井戸 E2 及び E4 の硫化水素ガス観測結果を示した（図 114）。

井戸脇に設置した純水は、一定放置後、酸性から弱酸性になった。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。

観測井戸 E2 と E4 は 10m 離れているが、図 114 からわかるように、硫化水素ガス濃度は異なっている。表 25 から、硫化水素ガス濃度が高い E2 井戸の方が、pH や EC（電気伝導度）の値が高く、周辺環境に与える影響が大きいことが推察される。



図 113 観測井戸脇（左図）及び地表部（中央図）に設置した純水ボトル及び放置状況（右図）

表 25 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)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)
138日間 7/17~12/1	井戸脇E2-1	4.5	2.49	0.50	0.28	0.21	<0.1
	井戸脇E2-2	2.7	76.7	94.2	0.20	<0.1	<0.1
	地表DE	5.3	0.34	0.14	0.27	0.55	<0.1
66日間 12/1~2/4	井戸脇E2-1	4.8	2.01	0.21	0.25	0.12	<0.1
	井戸脇E2-2	4.6	1.84	0.20	0.26	0.12	<0.1
	井戸脇E2-3	4.6	1.77	0.20	0.25	0.12	<0.1
	地表DE-1	5.7	0.14	<0.1	0.23	0.11	<0.1
	地表DE-2	5.8	0.14	<0.1	0.26	0.12	<0.1
	地表DE-3	5.7	0.14	<0.1	0.25	0.11	<0.1
77日間 2/4~4/22	井戸脇E4-1	5.9	0.91	0.59	0.18	<0.1	0.18
	井戸脇E4-2	5.5	0.80	0.73	0.17	0.25	0.19
	井戸脇E4-3	5.3	1.07	1.22	0.15	0.31	0.16
	地表DE-1	5.9	0.30	0.17	<0.1	0.10	<0.1
	地表DE-2	5.7	0.20	0.15	<0.1	0.11	<0.1
	地表DE-3	6.1	0.26	0.14	<0.1	0.08	<0.1

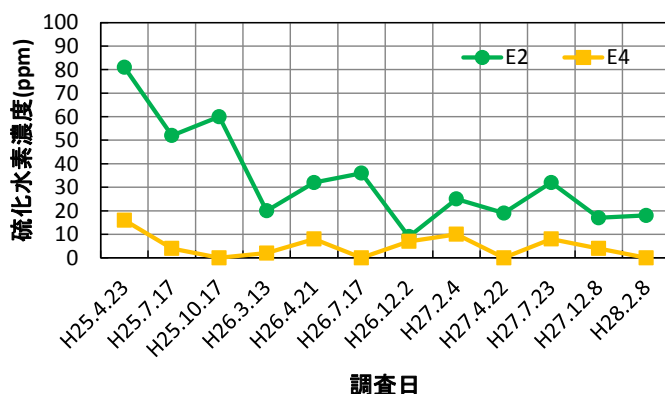


図 114 観測井戸 E2 及び E4 の硫化水素ガス濃度変化

6) 小型風力発電設備基礎に相当するコンクリート版の周辺ガス等の発生状況

a. 目的

実際の廃棄物地盤の利活用に当たっては、重力構造物の設置に伴うガス発生等の影響を調べる必要がある。実際にプラスチック等が混入した廃棄物地盤（中部①現場・安定型処分場）の表層覆土上にコンクリート版（径 7m、厚さ 1m、杭無し）を設置して、小型風力発電設備が建設されたときにコンクリートに働く偏心荷重を作用させた際のガス発生状況を調べた。

b. コンクリート版設置位置覆土掘削時調査

表層覆土掘削時にレーザーメタン計（アンリツ社製）及び GA2000 ランドフィルガスモニター（Geotechnical Instruments 社製）を用いて、表層から放出されるメタンガス等の測定を行った。

図 115 に調査風景を図 116 に調査位置の概要を示した。



図 115 レーザーメタン計を用いた表層上のメタン調査（左図）及び GA2000 を用いた表層中のガス調査

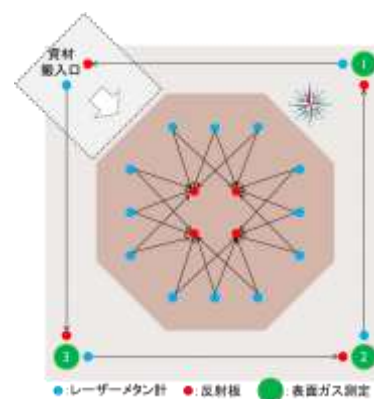


図 116 掘削場所調査位置概要

結果 1（レーザーメタン計による測定）

当初はレーザーを地面に向け、踏査することによって全面のスクリーニングを行ったが、濃度が高い地点を見つけることができなかった。そこで、反射板を用いて空間大気中のメタン濃度調査を行った。調査当日は風が強いため、全ての側線でメタンは検出されたが、非常に低濃度（0.5~4ppm）であった。

結果 2 (GA2000 による測定)

掘削土表層からの放出ガスを φ150mm のロートで簡易的に作成したチャンバーに集め (10 分間放置)、内部にたまるガスを測定した。三地点で測定したが、メタン、二酸化炭素、硫化水素ともに不検出であった。

c. コンクリート版への載荷試験時の周辺土壌ガス調査

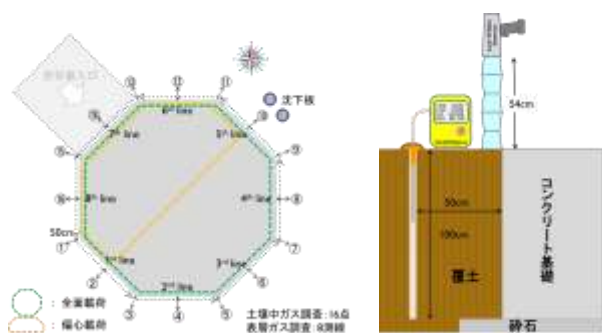


図 117 土壌中ガス調査地点 (左図) 及びガス調査方法 (右図)

コンクリート版への載荷試験前及び載荷時にコンクリート版周辺土壌ガスの発生状況を確認するために調査を実施した。土壌中ガス調査地点を図 117 左図に、ガス調査方法を右図に示した。

土中ガス調査：土中ガス調査は君津式で実施した。ボーリングバーを用いて、コンクリート版から約 50cm 離れた地点に深さ約 1m の穴を開けた。先端に細い孔を多数開けた φ5mm×長 500mm の土中ガス採取管を入れ、入り口を土で塞ぎ数時間放置した。

土壌中ガスの測定は GA2000 を用いて実施した。なお、土中ガス採取管は、載荷前に設置し、約一か月間放置し、測定を実施した。載荷前 (2015 年 12 月) 及び載荷時 (2016 年 1 月) に測定を実施したが、全ての調査地点で、メタン、二酸化炭素、一酸化炭素、硫化水素は不検出であった。

載荷前に土壌中のガスが検出されなかったため、載荷時はコンクリート版沿いのメタンガスをレーザーメタン計を用いて測定した。測定方法を図 118 に示した。メタン濃度測定は約 12cm 毎に移動しながら、1 秒毎に保存、測線の平均値としてメタン濃度を求めた。結果を表 26 に示した。

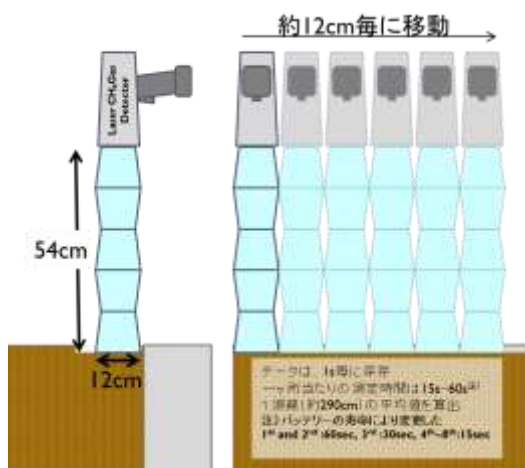


図 118 レーザーメタン計を用いた測定方法

表 26 各測線のメタン濃度 (平均値)

測線	メタン濃度(ppm)
1 st line	12±4.8
2 nd line	5.2±2.6
3 rd line	8.9±3.4
4 th line	9.9±3.4
5 th line	12±3.9
6 th line	14±7.5
7 th line	11±3.3
8 th line	8.8±3.6

コンクリート版沿いの全ての側線でメタンが検出された。偏心载荷時に荷重をかけた側（5th line~1st line）のメタン濃度が若干高い値であるが有意な差ではないと考えられる。

コンクリート版沿いで、メタンガスが検出されたため、赤外線カメラを用いてコンクリート版沿いの温度状況の確認を行った。図 119 に調査状況及び保存画像を示した。

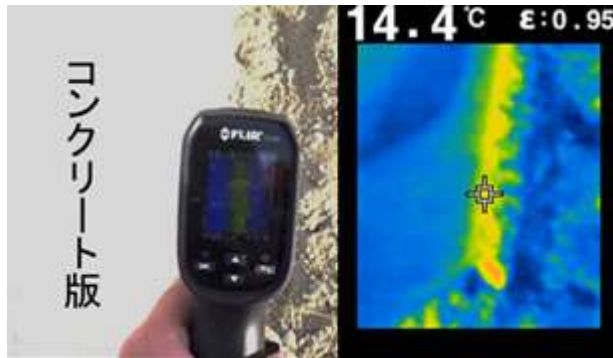


図 119 温度調査状況（左）及び保存画像（右）

保存画像からわかるように、コンクリート版沿いは赤～緑色を示しており、コンクリート版（青）や土壌（青～濃青）よりも高い温度になっていることが確認できた。

このように、レーザーメタン計及び赤外線カメラによる調査結果を考慮すると、コンクリート版沿いは、転圧が弱いため、低濃度であるがメタンガスが放出されていると考えられる。

d. ガス抜き管調査



図 120 ガス抜き管の配置

コンクリート版への载荷試験の影響を見るために、安定型処分場に設置されているガス抜き管の調査を実施した。主な調査対象ガス抜き管は、コンクリート版の周辺にある⑬、⑭、⑮及び下流側の⑨、⑩とした。調査項目は、GA2000 を用いたガス抜き管内のガス調査及び、ガス抜き管底部にたまっている水質調査を実施した。処分場内のガス抜き管の配置を図 120、ガス調査の結果を表 27、水質調査の結果を表 28 に示した。

コンクリート版近傍の⑬及び⑭では、载荷前後（2015年12月及び2016年1月）でメタンガス濃度が低下、下流側の⑨及び⑩では増加しているが、これまでの調査結果（2014年4月及び2015年3月）

を考慮すると、载荷の影響であると断定することはできない。

また、水質調査結果を見ても、载荷前後で著しい変化は見られなかった。一方、コンクリート版から十分に離れているため、载荷の影響を受けづらいと考えられるその他のガス抜き管においても、メタンガス濃度変化や水位変化等が見られる。これらのことから、ガス抜き管内のガス調査及び温度調査からコンクリート版への载荷の影響を評価することは、著しく顕著かつ、継続的な変化を伴う場合を除き、難しいと考えられる。

表 27 ガス抜き管の調査結果

井戸番号	調査日	温度 (°C)	水位 (管頭から)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	BAL (%)	H ₂	CO (ppm)	H ₂ S (ppm)
①	2014.4.11	27.2	-10.82	57.5	2.2	0.3	37.7	Low	0	2
	2015.3.9	24.4	-	15.8	5.6	0.3	78.2	Low	0	2
	2015.12.17	25.5	-9.91	10.0	8.1	0.3	81.5	Low	0	5
	2016.1.26	25.3	-10.16	36.4	7.0	0.3	56.7	Low	0	0
②	2014.4.11	27.2	-10.37	57.5	3.3	0.3	37.7	Low	0	7
	2015.3.9	25.2	-	29.5	3.6	0.3	67.9	Low	0	2
	2015.12.17	26.1	-9.42	30.1	3.3	0.3	66.3	Low	0	6
	2016.1.26	26.8	-9.66	51.4	2.6	0.4	45.4	Low	0	28
③	2014.4.11	25.0	-10.35	9.9	7.7	2.4	80.1	Low	0	9
	2015.3.9	25.4	-	10.3	9.6	0.3	79.8	Low	0	4
	2015.12.17	25.6	-9.68	9.2	11.3	0.3	79.2	Low	0	33
	2016.1.26	25.8	-9.92	17.0	9.8	0.4	72.9	Low	0	29
④	2014.4.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015.3.9	23.3	-	72.2	3.1	0.3	24.2	Low	0	2
	2015.12.17	25.9	-11.03	30.7	4.6	2.8	61.8	Low	0	0
	2016.1.26	26.6	-10.26	48.7	3.9	0.4	47	Low	0	0
⑤	2014.4.11	-	-14.58	9.8	6.5	0.3	83.4	Low	0	52
	2015.3.9	35.4	-	11.4	2.2	12.3	74.2	Low	0	0
	2015.12.17	33.3	-9.60	4.0	9.6	0.8	85.5	Low	0	8
	2016.1.26	32.4	-8.80	4.7	9.4	0.5	85.5	Low	0	7
⑥	2014.4.11	41.8	-14.48	23.1	5.1	0.5	71.4	Low	0	18
	2015.3.9	30.8	-	20.3	1.9	5.3	73.4	Low	0	0
	2015.12.17	30.6	-9.62	21.2	1.9	0.3	76.6	Low	0	60
	2016.1.26	31.5	-9.61	20.0	2.4	0.3	77.3	Low	0	26
⑦	2014.4.11	36.3	-11.14	34.5	5.4	0.2	60.8	Low	0	11
	2015.3.9	27.7	-	25.0	2.0	7.3	66.5	Low	0	0
	2015.12.17	31.6	-9.38	34.7	3.7	0.4	61.3	Low	0	9
	2016.1.26	32.9	-9.90	31.9	3.5	0.5	64.1	Low	0	8
⑧	2014.4.11	33.8	-10.87	9.0	8.6	1.4	81	Low	3	0
	2015.3.9	14.3	-	0.1	0.2	20.4	79.3	Low	0	0
	2015.12.17	29.4	-9.36	13.8	4.5	1.8	79.8	Low	0	0
	2016.1.26	30.8	-9.43	3.7	2.6	11.9	81.8	Low	0	0
⑨	2014.4.11	33.2	-10.98	50.4	2.6	0.4	46.6	Low	0	7
	2015.3.9	37.9	-	57.3	3.2	0.3	38.6	Low	0	15
	2015.12.17	34.9	-10.05	31.2	5.5	0.4	65.5	Low	0	0
	2016.1.26	35.7	-10.33	62.3	4.3	1.2	32	Low	3	0
⑩	2014.4.11	31.8	-10.96	66.1	4.1	0.3	29.3	Low	0	6
	2015.3.9	30.5	-	84.7	4.2	0.4	11.4	Low	0	9
	2015.12.17	32.7	-10.39	4.4	2.0	13.4	80.2	Low	0	0
	2016.1.26	33.9	-10.66	64.0	7.1	0.4	28.6	Low	0	12
⑪	2014.4.11	27.7	-11.22	82.2	3.0	0.2	14.6	Low	0	2
	2015.3.9	29.8	-	73.9	3.1	0.5	20.9	Low	0	3
	2015.12.17	30.2	-10.69	82.5	3.8	0.8	14.1	Low	0	7
	2016.1.26	32.3	-10.98	92.9	3.9	0.2	4.6	Low	0	1
⑫	2014.4.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015.3.9	22.5	-	15.1	4.6	0.7	79.5	Low	0	0
	2015.12.17	28	-10.89	13.8	5.3	0.8	80.1	Low	0	0
	2016.1.26	29.1	-11.22	18.2	3.4	6.4	71.8	Low	0	0
⑬	2014.4.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015.3.9	29.4	-	78.7	3.9	0.2	17.3	Low	0	18
	2015.12.17	33.8	-10.60	73.6	4.2	0.8	21.5	Low	0	10
	2016.1.26	32.2	-11.01	35.2	6.2	2	56.6	Low	9	0
⑭	2014.4.11	34.8	-7.23	1.0	11.6	0.1	87.3	Low	0	12
	2015.3.9	30.1	-	46.3	5.4	0.3	47.9	Low	0	12
	2015.12.17	35.1	-9.90	61.0	5.7	0.5	33.1	Low	0	17
	2016.1.26	35.4	-10.41	8.6	9.2	1.5	80.6	Low	0	0
⑮	2014.4.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015.3.9	27.1	-	19.0	1.5	0.3	79.1	Low	0	1
	2015.12.17	25.9	-10.06	23.4	1.0	0.2	75.4	Low	0	1
	2016.1.26	26.6	-10.50	20.3	1.2	0.4	78.1	Low	0	1
⑯	2014.4.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015.3.9	17.8	-	2.1	1.5	13.8	82.7	Low	0	0
	2015.12.17	25.1	-11.04	14.1	4.2	7.7	74.1	Low	0	0
	2016.1.26	25.6	-11.38	26.4	2.8	7.5	63.2	Low	0	0
⑰	2014.4.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015.3.9	25.3	-	28.9	5.1	0.3	65.7	Low	0	6
	2015.12.17	26.6	-11.50	23.5	6.0	0.4	70.1	Low	0	14
	2016.1.26	26.5	-11.51	40.5	5.3	0.5	55.1	Low	0	14
⑱	2014.4.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015.3.9	28.6	-	50.8	5.9	0.3	42.9	Low	0	6
	2015.12.17	28.4	-10.11	2.4	10.8	0.4	86.4	Low	0	10
	2016.1.26	27.8	-10.56	1.2	10.7	0.2	87.8	Low	0	9

表 28 ガス抜き管内の水質調査結果

井戸 番号	採水日	pH	EC (mS/m)	TOC (mg/L)	IC (mg/L)	TN (mg/L)
①	2016.1.26	7.9	178	31	137	17
②	2016.1.26	8.0	179	30	125	16
④	2016.1.26	8.1	165	28	117	16
⑥	2015.12.17	7.7	204	60	105	42
	2016.1.26	8.1	198	56	118	38
⑨	2015.12.17	7.4	109	22	70	10
	2016.1.26	7.6	99	17	49	6.0
⑩	2015.12.17	7.5	165	41	103	25
	2016.1.26	7.7	148	32	120	22
⑪	2015.12.17	7.5	162	40	102	25
	2016.1.26	8.1	158	40	125	26
⑬	2015.12.17	7.5	157	39	101	22
	2016.1.26	8.1	167	40	139	26
⑭	2015.12.17	7.5	152	37	99	21
	2016.1.26	7.9	128	29	84	18
⑮	2015.12.17	7.6	150	36	75	17
	2016.1.26	8.2	133	30	97	16
⑰	2016.1.26	8.0	132	25	80	17
⑱	2015.12.17	7.2	198	41	158	24
	2016.1.26	8.0	174	39	158	24

e. まとめ

コンクリート版に荷重的に最も厳しい暴風時荷重（風速 32m/s）に相当する偏心荷重の作用時において、ガスの発生に荷重による影響は確認できなかった。

ただし、コンクリート版と覆土の境界部では、若干の温度上昇と微量のメタン発生が確認されたため、構造物設置時等には境界部覆土等の対応が望ましい。

(5) 廃棄物地盤の利用・構築の可能性についての提案

1) 廃棄物地盤で想定される主な利用用途と必要検討事項

現状で想定される廃棄物処分場等の廃棄物地盤の利用用途と、力学面・環境面で必要となる主な検討事項を表 29 に示す。実際の検討にあたっては、力学面では構造物等毎に定められている設計指針類、環境面では「最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン」⁴⁾ や各種環境法令の遵守が必要になる。なお、廃棄物地盤では杭基礎構造物については、遮水シートや水・ガス等の影響への懸念があることから、表 29 には直接基礎で可能な構造物等を示した。

表 29 想定される廃棄物地盤の利用用途と必要検討事項

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

凡例 ●：検討必要 △：場合により検討必要 ×：基本的に検討不要

2) 海外での先進事例

海外文献^{18~23)}と聞き取り調査により、ドイツでいくつかの廃棄物地盤で風力発電設備等の設置がなされていることを把握した。調査の範囲で把握したドイツ国内で廃棄物地盤での風力発電設備の設置状況を表 30 に示す。

表 30 ドイツでの廃棄物地盤 (Landfill) での風力発電設備設置状況

場 所	埋立地タイプ	埋立期間	風力車数	ハブ高さ	発電容量	運用開始
Altenberge	MSW (都市ごみ)	1975-1992	1	height ca. 100m	1.5MW	2001
Karlsruhe-West	MSW (都市ごみ)	1959-2005	3		2x750kW, 1x 1.5MW	1999, 2000, 2003
München- Großlappen	MSW (都市ごみ)	1954-1987	1	height 99.8m	1.5 MW (Enercon E-66)	1999
Neu Wulmsdorf	MSW (都市ごみ)	-1986	3		3x 0.6MW	2000.2001
Hamburg- Georgswerder	MSW (都市ごみ)	1948-1979	3	height ca. 100m	3x 3.4MW (建替後)	1992(旧), 2004(新)

a. カールスルーエ(Karlsruhe-West²⁴)の例

カールスルーエの例（図 121）では、風力発電設備の全3基に不同沈下による傾き補正用のジャッキが装着されているが、設置後 17 年経過している現在までにジャッキによる補正（傾きが 8mm 以上になったときに補正する）は行っていないとのことである。また、風力発電設備が設置されている地盤面は現在でも年間数 cm 沈下している。



図 121 ドイツ・カールスルーエ エネルギーの丘 (Karlsruhe-West)

b. ハンブルグ(Hamburg- Georgswerder¹⁸)の例

ハンブルグ(Hamburg- Georgswerder)では、風力発電設備（図 122）に傾きを修正するための機能はつけずに、基礎全体の重量が基礎周りの廃棄物重量と同じになるように、コンクリート基礎上の埋戻し材に軽量材（ガラス質発泡材）を用いている（図 123）。基礎周辺の廃棄物地盤は現在も 2cm/年 程度沈下しているが、基礎底面位置での重量が周辺の廃棄物層と同じであることから、風力発電設備は周辺の廃棄物地盤と同様に沈下し、傾きが生じていない。

設計時のボーリングは、基礎（直径 23m）設置地点内の 2 箇所で行われた。設計上の最大の留意点は沈下対策で、ドイツの埋立地は生ごみも多く沈下が収まるまでに数十年かかるとのことである。風力発電設備は 20～25 年使用でき、7 年後に利益がでるとのことである。



図 122 ドイツ・ハンブルグ (Hamburg- Georgswerder)

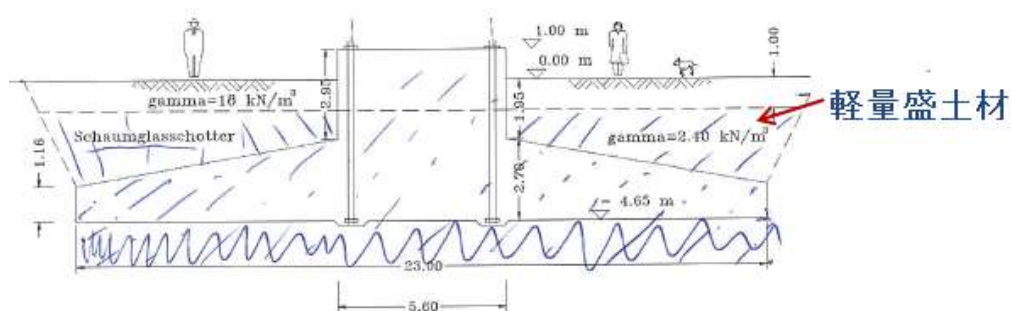


図 123 ハンブルグ (Hamburg- Georgswerder) フローティング式直接基礎¹⁸⁾

c. ドイツ・ノイス 人工スキー場

廃棄物地盤（グレーフラート埋立地、20年度程度前に埋立終了）上に、2000年～2002年に人工スキー場が建設されている（図 124）。生ごみや建設廃材等の雑多なものが埋立られており、形状は丘状である。当該埋立地も同様であり、ガス抜きは現在も行われている。



図 124 ドイツ・ノイス グレーフラート埋立地に建設されている人工スキー場

3) 廃棄物地盤の利用に向けた具体的検討

(中部①現場での風力発電設備設置に向けた具体的検討)

産業廃棄物安定型処分場等の廃棄物地盤の利用の可能性を具体的に探ることを目的に、中部①現場(安定型処分場)を対象として、風力発電設備の建設に向けた基本的な検討(行政との調整、地盤調査、基礎設計、基礎施工、不同沈下・ガス発生等の検証のための載荷実験)を行った。

a. 中部①現場で想定した風力発電設備

図125に示す小型風力発電設備を想定して建設に向けた一連の検討を行った。想定した風力発電設備は発電容量10kWの小型のものであるが、高さが30mあり比較的大きなモーメントが基礎に作用する。このため、この設備が設置可能であれば、大型(高さ60m超)の設備でも基礎径の拡大等の対応により設置に結びつくものである。

b. コンクリート版の形状、設置位置と行政との調整

風力発電設備の基礎を処分場内に設置するためには、「最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン(廃棄物最終処分場跡地形質変更に係る基準検討委員会)⁴⁾」に対応する必要がある。今回は、次のとおり、土地の形質の変更のうち「軽易な行為等」に該当するように、コンクリート版を設置することとした。

①コンクリート版の形状

厚さ1m、径7mの不同沈下計測用コンクリート版を、覆土層を50cm残し、その上に設置する。

②掘削深さ

天端盛土層と覆土層の厚さの合計が1.5mある場所で、表層から1m掘削して、コンクリートを打設する。このため、コンクリート版設置位置では、コンクリート版の下に覆土層が50cm残る(図126)。

③コンクリート版設置による荷重増加

施工後の荷重増加

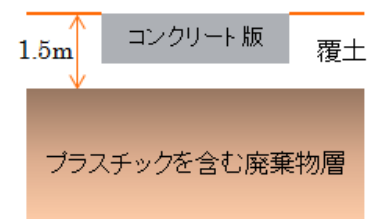
- ・コンクリート版(厚さ1m、鉄筋入り)の重量=24kN/m²
- ・掘削土砂(厚さ1m)の重量=18kN/m²
- ・捨てコンクリートの重量(厚さ5~10cm)
=2.3kN/m²(厚さ10cmのとき)
- ・増分=24kN/m²-18kN/m²+2.3kN/m²=8.3kN/m²<20kN/m²

④その他、安全性

コンクリート版設置箇所は法肩から30m程度離れ、表層に設置する水路や管理道路からも23m程度離れている。また、荷重の増分は8.3kN/m²(盛土層換算厚=8.3kN/m²/18kN/m²=46cm)で、この増分は当該地の法面端部の覆土層の余盛り量よりも小さく、コンクリート打設による法面等へ問題は生じないものと考えられる。



図125 想定した小型風力発電設備
h=30m (Excel10 by TenArrows)



「形質変更ガイドライン」の「軽易な変更」に対応

図126 コンクリート版位置

c. 小型風力発電設備基礎（コンクリート版）の設計

i. 設計条件

「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説、土木学会」³⁾等から以下のとおりとする。

①規模

風車規模	概要	
	タワー高	ブレード直径
10kW	30m	7m

②荷重

常時、暴風時、地震時について計算する（常時は長期、暴風時及び地震時は短期とする）。

風速 $V=32\text{m/s}$

水平震度 $K_h=0.20$

鉛直荷重はカタログより算出。風荷重及び地震時荷重は推定する。

③安定計算

転倒、滑動、支持力に対して検討する。

転倒に対する安全率-----常時=1.5、暴風時=1.0、地震時=1.0

滑動に対する安全率-----常時=1.5、暴風時=1.0、地震時=1.0

-----基礎と地盤との摩擦力 (μ) は 0.5 とする。(覆土上への設置のため通常の土の値を用いた)

許容支持力----100kN/m² を上限と考えるが (表 11 平板載荷試験結果の中部①現場・1年経過地盤の極限支持力 330kN/m² の 1/3)、不同沈下を考慮すると偏心載荷実験での最大載荷重 58.7 kN/m² (暴風時; 図 132) が実際の許容値の目安となる。

④使用材料

コンクリート $f_c = 24 \text{ N/m}^2$

鉄筋 SD345

⑤単位重量

鉄筋コンクリート $\gamma_c = 24.0 \text{ kN/m}^3$

上載土 $\gamma_s = 18.0 \text{ kN/m}^3$

ii. 安定計算結果

表 31 に通常の静的安定法による計算結果を示す。このケースでは、地震時よりも暴風時に必要地耐力が 50.9kN/m² と大きい。

表 31 安定計算結果

検討項目	常時		暴風時		地震時		判定	備考
	結果	許容	結果	許容	結果	許容		
安定計算	転倒に対する検討	10.99 > 1.5	3.66 > 1.0	23.51 > 1.0	OK			
	滑動に対する検討	74.00 > 1.5	24.60 > 1.0	4.99 > 1.0	OK			
	地盤地耐力に対する検討	32.7 kN/m ²	50.9 kN/m ²	27.9 kN/m ²	OK			
構造計算 (底版鉄筋)	下端鉄筋: D13 @250 被り= 100			上端鉄筋: D13 @250 被り= 100				

※ 常時: ある程度常時に風が吹いている状態を想定。当該計算では暴風荷重の1/3の水平力が作用すると考える。

iii 構造図

基礎は施工性等から八角形とし、構造計算を行って構造図を図 127 のとおりとした。

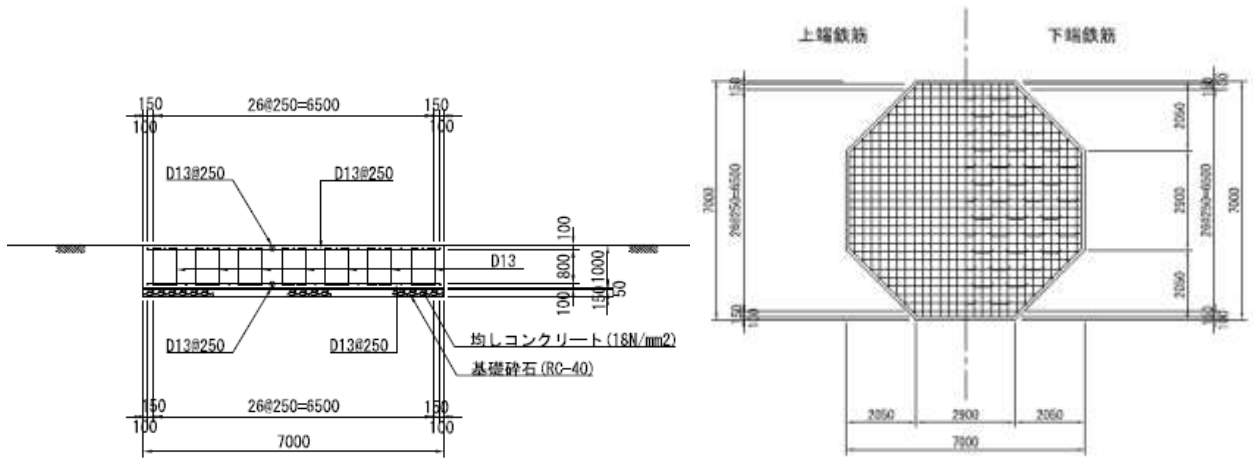


図 127 10kW 風力発電設備相当のコンクリート版の構造図

d. 設置予定場所での平板載荷試験

コンクリート版設置位置近傍のコンクリート版底面と等しい高さの覆土上(廃棄物地盤(図 130)上の覆土厚 50cm の高さ)で平板載荷試験を、埋立終了約半年後の平成 27 年 3 月 10 日に実施した(図 129)。平板載荷試験結果は図 128 で、暴風時設計荷重の 50.9kN/m² 載荷時の沈下量は 1.2mm で、極限支持力は表 11 の結果とほぼ同様に 450kN/m² 以上、地盤反力係数は 32MN/m² (載荷圧力 0~100 kN/m²)~2MN/m²(載荷圧力 200kN/m²~)である。

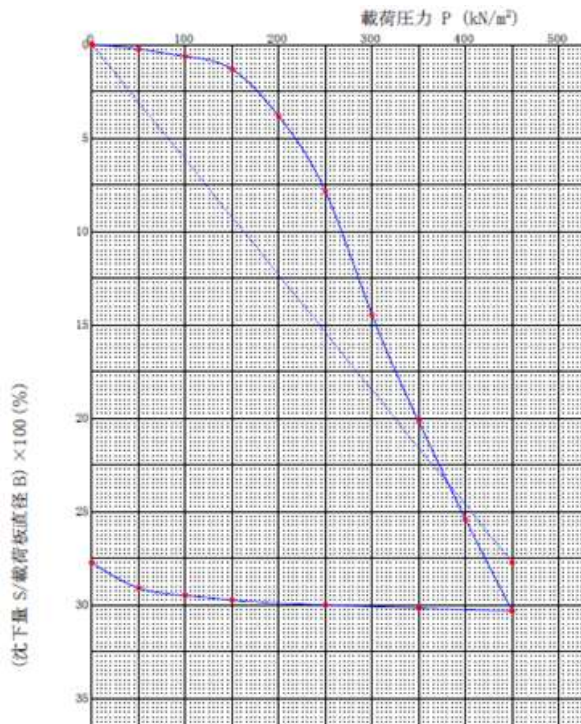


図 128 コンクリート版設置位置近傍での平板載荷試験結果(載荷板径 500mm) (極限支持力 450kN/m² 以上)



図 129 平板載荷試験 (廃棄物層上覆土厚 50cm の位置)



図 130 参考・覆土前の廃棄物層

e. コンクリート版の施工

構造図（図 127）に則って、図 131 のとおりに実際に廃棄物地盤上（覆土 50cm 上）に小型風力発電設備基礎に相当するコンクリート版を施工した。

なお、現地の覆土層は水はけが悪いことから、コンクリート版周辺には砕石を敷設した。



図 131 小型風力発電設備基礎相当のコンクリート版の施工

f. 風力発電設備設置時に働く荷重による偏心載荷実験

廃棄物地盤への重量構造物設置にあたっては専門家も不同沈下を懸念している。このため、小型風力発電設備が設置されたときに働く荷重をコンクリート版に作用させ、不同沈下の発生の有無を調べた（図 132、埋立終了約 1.5 年後、コンクリート版構築後載荷実験までの約 9 ヶ月間のコンクリート版沈下量は約 5cm で周辺地盤とほぼ同じ）。

実験は、大型土のうの積み上げによる常時荷重相当分を約 20 時間作用させ、その後、暴風時荷重から同 15% 増までの荷重を計約 2 時間作用させた。その結果、図 133 のとおり、沈下量は最大でコンクリート版の載荷側で 4mm、対面側で 3mm であり、ほぼ均一な沈下で、不同沈下の発生はなかった。また、コンクリート版端部から 6.5m 離れた地点でも、コンクリート版と同様の沈下履歴を示し最大で 3mm の沈下が計測された。除荷後はコンクリート版載荷側の沈下量が 1mm に回復しており、廃棄物地盤が弾性的挙動を示すことも確認された。

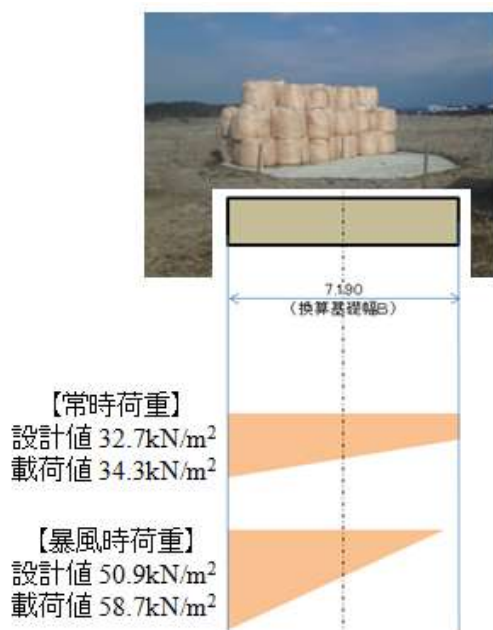


図 132 偏心載荷実験と設計/載荷 荷重

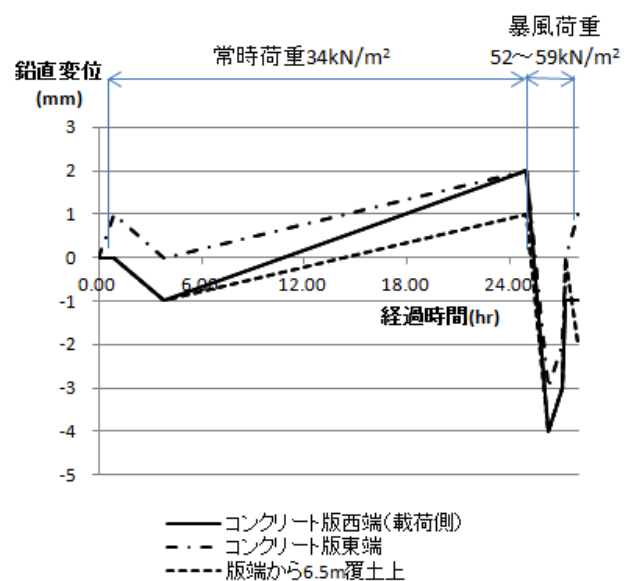


図 133 偏心載荷実験結果

g. 偏心載荷実験に関する考察

偏心載荷実験で不同沈下が生じなかった要因として、**図 134**のように、地盤中のプラスチック等の繊維状物の繋がりによって広い範囲で荷重を受けていることが考えられる。このことは、次の4つの実験結果から判断できる。①偏心載荷実験でコンクリート版端部から6.5m離れた地点でも同様に沈下した、②キャスポルの影響範囲確認実験でプラスチック等が混入した廃棄物地盤は水平方向の影響範囲が土砂地盤の5~10倍あった、③同試験の画像分析結果で衝撃による変位が廃棄物を伝搬して主に水平方向に広がることが確認された、④補完的室内実験結果でも繊維の繋がりによる補強効果が推察された。



図 134 プラスチック等が混入した廃棄物地盤の荷重分担のイメージ

平板載荷試験結果(**図 128**)から求められる 58.7kN/m^2 載荷時の沈下量は約 2mm であるのに対し、偏心載荷実験により 58.7kN/m^2 を載荷したときの最大沈下量は 4mm、除荷後の沈下量は 1mm であり、平板載荷試験によって鉛直荷重に対しおおよその沈下量が判断できることも確認できた。

f. 大型風力発電設備基礎の概略設計

偏心載荷実験で、暴風時で少なくとも 58.7kN/m^2 の地耐力があることが確認できたことから、発電量 2MW、高さ 60m の大型風力発電設備 (**図 135**) の場合に、どの程度の基礎が必要になるかについて、安定計算を行って試算した。

安定計算の結果 (**表 33**)、底版平均厚 1.2m で底版幅 24m の基礎で条件を満足できる。なお、地耐力は 58.7kN/m^2 以上ある可能性が高いものの、高さ 60m の大型風力発電設備の場合には動的解析が必要になる³⁾ことから、この結果は、おおよその目安である。

また、廃棄物地盤上では杭基礎は難しく直接基礎になるため上述のように基礎径 24m と大型になるが、工事費を概算した結果 (**表 32**) では、通常的地盤で杭基礎を選定した場合と、ほとんど同じ工事費となった。このため、風力発電設備の採算性は通常的地盤に設置する場合と同様に年間平均風速に依存し、年平均風速が 5~6m 以上あることが採算性の目安と言われている。

表 32 大型風力発電設備 (2MW 級、高さ 60m) の概算建設費

工 種	概算費用	備 考
風力発電機器費	395 百万円	送変電設備、運搬費含む
造成、基礎工事	25 百万円	基礎(径 24m、平均厚 1.2m) ※杭基礎の場合とほぼ同額
据付、電気工事	66 百万円	
工事経費、消費税	79 百万円	
合 計	565 百万円	

注)左表の他、設計費(動的解析等)、電力接続費、申請費用(形質変更、建築確認申請等)で、1億円程度必要。

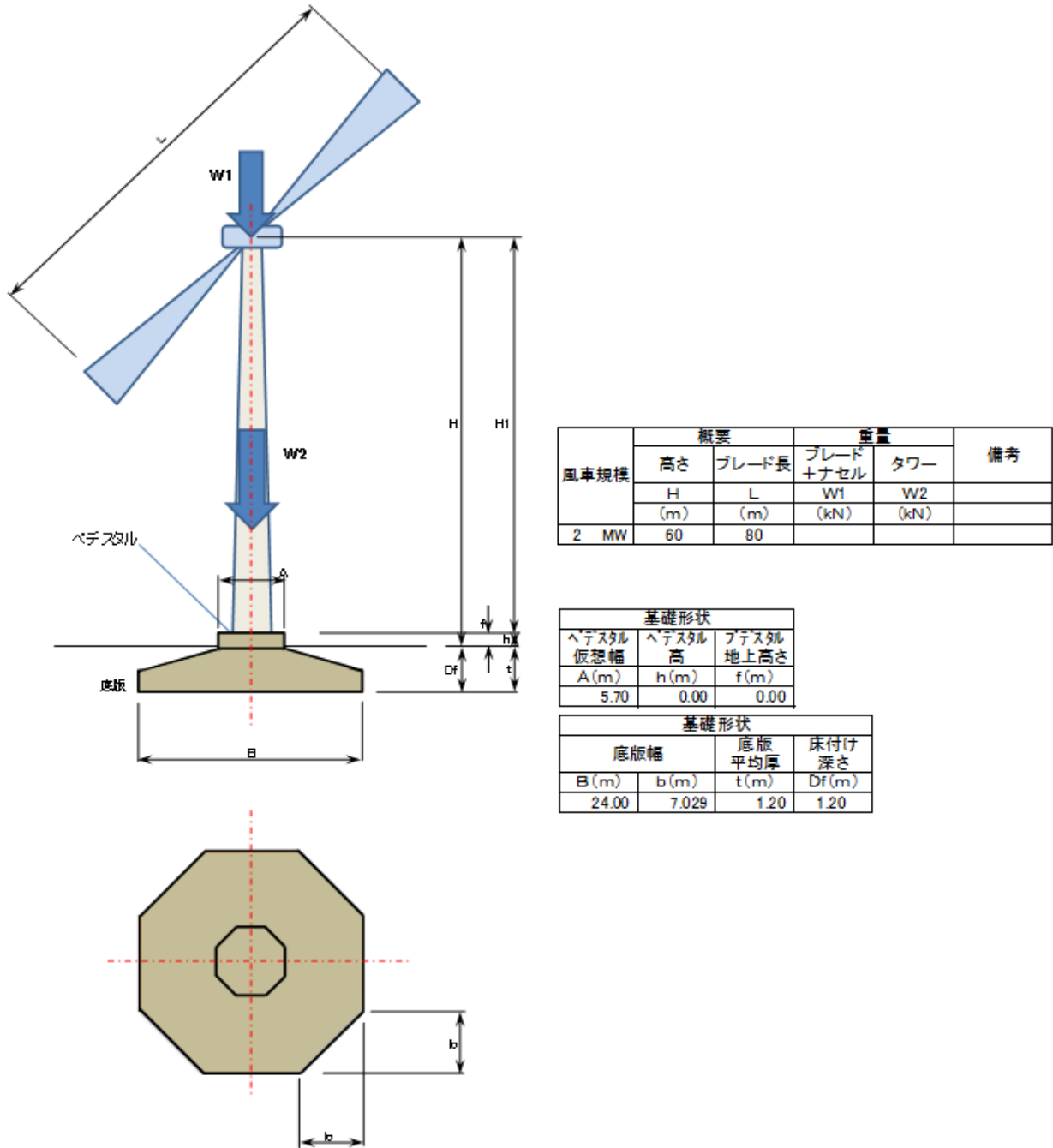


図 135 想定した 2MW 高さ 60m の風力発電設備と基礎形状

表 33 2MW 高さ 60m の風力発電設備基礎の安定計算結果

検討項目	常時		暴風時		判定	備考
	結果	許容	結果	許容		
安定計算	転倒に対する検討	12.23 > 1.5	4.99 > 1.0		OK	
	滑動に対する検討	57.74 > 1.5	20.42 > 1.0		OK	
	地盤地耐力に対する検討	44.1 kN/m ²		59.5 kN/m ²		

(6) 「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)」作成

(1)～(5)で得られた結果をもとに、「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)」を作成し、本報告書の巻末資料に示した。

廃棄物地盤では、個々の廃棄物が土粒子に比べ遙かに大きいこと等から、地盤の力学評価のためには大がかりな現場試験等が必要になり、試験費用も高額になる。このため、同マニュアル(案)では、廃棄物地盤の利活用の可能性を探るための概略評価方法と、具体的に構造物の設置等に向けた検討時等に行う詳細評価方法に分けて、その手順を示した。

また、プラスチック等が混入した廃棄物地盤の力学特性や排水性、ガスによる影響等も同マニュアル(案)に要約して示している。

(7) 結論

一連の現場試験、補足的室内力学実験、注水排水実験等の結果から、いずれもプラスチック等の繊維状物等の存在が力学特性や水挙動に大きな影響を与えていることが明らかになった。

概ね 10cm 以上の長尺のプラスチック等が混入している安定型処分場や不法投棄現場の力学特性は、柔らかく沈下が発生しやすいものの大きな摩擦抵抗や特有の引張抵抗を有して、斜面安定性が高く、支持力も風力発電設備等の設置には十分な値を持つ。また、時間経過とともに空隙が減少し支持力が増すことや、地盤強度は組成や空隙の他、埋立方法にも関係があることが分かった。

水挙動についてもプラスチック等のサイズが大きい程、水の貯留効果が大きくなり、排水のピーク流量の抑制や到達時間遅延の効果があることが分かった。

現場試験法については、平板載荷試験により廃棄物地盤の極限支持力計測や載荷時の沈下予測ができることを確認した他、簡易な試験法である衝撃加速度試験(キャスポル)、安息角試験によっても支持力推定ができることや、新規提案した空隙試験により強度や沈下予測が可能なが分かった。画像処理による簡易組成分析法に関しては、今後のデータ蓄積により精度向上が可能なが窺えた。

雨水排水特性については、注水排水実験による排水量を提案した貯留関数式によってシミュレートできたことから、現場レベルでの解析も可能となった。

発生ガス等の構造物への影響については、硫化水素ガス発生現場では考慮が必要なことや、構造物と表層覆土の境界面からのガス発生への留意が必要なことが分かった。

プラスチック等が混入した廃棄物地盤で小型風力発電設備基礎に相当するコンクリート版設置した実証実験では、廃棄物の不均一性等から懸念されている不同沈下の発生は暴風時の 15% 増の荷重に対しても無かったとともに、ガス、水にも明確な影響は確認できなかった。不同沈下が発生しにくい要因として、繊維状物等の繋がりにより土砂地盤よりも遙かに広い範囲で荷重を受けていることが複数の実験結果から推察された。

[巻末資料]

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)

1) 適用範囲

本マニュアル案は、産業廃棄物安定型処分場等で、プラスチック等の繊維状物等が混入した廃棄物地盤を主な対象として、その利活用に向けた地盤評価方法を示すものである。

焼却灰や燃え殻等による廃棄物地盤の強度特性は、土地盤に類似していることから従来の土質力学に基づいた評価が基本的に可能である。一方、概ね10cm以上のプラスチック等の繊維状物が多く混入している場合は、地盤の硬度は低下するものの、廃棄物相互の絡み合い等によって弾性的(resilient)で高いせん断強度を有するとともに、大きな空隙によって透水性が良いなど、特性が土地盤と大きく異なることから、利活用のための合理的な地盤評価方法を示すことを目的として本マニュアル案を提示するものである。

2) 評価手順

廃棄物地盤では、個々の廃棄物が土粒子に比べ遙かに大きいこと等から、地盤の力学評価のためには大がかりな現場試験等が必要になり、試験費用も高額になる。このため、廃棄物地盤の利活用の可能性を探るための概略評価方法と、具体的に構造物の設置等に向けた検討時等に行う詳細評価方法に分けて、その手順を示した(図1)。本マニュアル(案)では、図1右下の実施検討を除く部分について記載している。

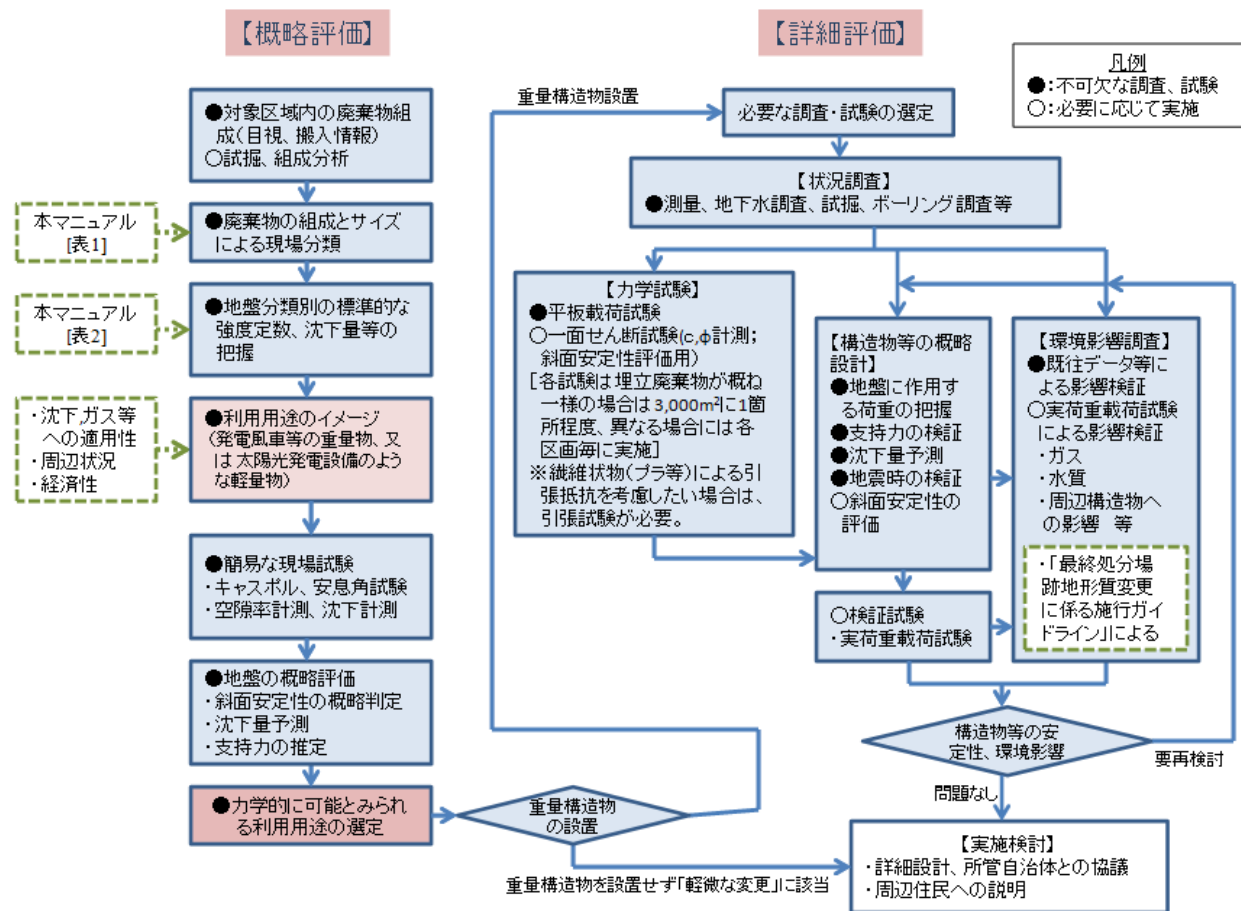


図1 廃棄物地盤の利活用に向けた地盤評価手順

3) 現場分類と判断方法

i 現場分類

廃棄物地盤は、力学特性の違いから、組成とサイズにより以下のように大別することができる。

- ① 概ね 10cm 超のプラスチック等の繊維状物等を多く含む地盤 (図 2)
- ② ふるい下等で 10cm 以下のプラスチック等を含む地盤 (図 3)
- ③ 焼却灰、燃え殻等が主でプラスチック等の繊維状物等をほとんど含まない地盤 (図 4)



図 2 ① 10cm 超のプラスチック等の繊維状物等を多く含む地盤 (左; 表層 右; 試掘断面)



図 3 ② ふるい下等で 10cm 以下のプラスチック等を含む地盤 (左; 表層 右; 試掘断面)



図 4 ③ 焼却灰、燃え殻等が主でプラスチック等をほとんど含まない地盤 (左; 表層 右; 試掘断面)

ii 廃棄物地盤で想定される主な利用用途と力学面、環境面での必要検討事項

現状で想定される廃棄物処分場等の廃棄物地盤の利用用途と力学面、環境面で必要となる主な検討事項を表 1 に示す。実際の検討にあたっては、力学面では構造物等毎に定められている設計指針類、環境面では「最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン」⁴⁾ や各種環境法令の遵守が必要になる。

なお、廃棄物地盤では杭基礎構造物については、遮水シートや水・ガス等の影響への懸念があることから、表 1 には直接基礎で可能な構造物等を示した。

表 1 想定される廃棄物地盤の利用用途と必要検討事項

利用用途	力学面の主な検討項目と留意事項				環境面の主な検討項目と留意事項		
	支持力 滑動 転倒	沈下	耐震性	斜面 安定	有害ガス 発生	内部温度 上昇	地下水
重量構造物	●	●	●	△	●	●	△
	・上部構造への影響等から過大な沈下は許容されない場合あり ・不同沈下の検討が必要				・有害ガス発生現場等では安全上必要な措置が必要		
風力発電設備 【直接基礎】	●	△	●	△	●	△	△
・不同沈下の検討が必要 ・高さ60m超の風力発電設備では地震時等での動的解析が必要				・ガスによる構造物への影響確認が必要			
太陽光発電設備	×	△	×	×	△	△	×
・悪い不同沈下が無ければ基本的に問題は無い				・ガス、温度、粉塵による影響確認が必要			
その他	×	△	×	×	△	△	×
	・沈下は舗装のひび割れの原因となる				・ガスによる影響確認やガス抜きが必要		
公園・緑地	×	×	×	△	△	△	△
・大規模盛土部の斜面崩壊には留意が必要				・人の立入地でのガス等による影響確認が必要			

凡例 ●：検討必要 △：場合により検討必要 ×：基本的に検討不要

iii 廃棄物地盤分類別の強度特性と評価方法の概要

廃棄物地盤分類別の強度特性と力学評価方法の概要を表 2 に示す。

表 2 廃棄物地盤の力学特性による分類と利活用のための力学評価方法の概要

地盤分類	主な廃棄物種類 【主な対象現場】	力学特性	力学評価方法	
			せん断強度	支持力、沈下
①概ね 10cm 超のプラスチック等の繊維状物等を多く含む地盤（目視で確認できない程度；重量比 1-2%以下は②）	廃プラスチック、がれき類、ガラス・陶磁器くず、金属類 【安定型処分場、不法投棄等支障除去現場】	比重の軽い埋立物が多く地盤が柔らかい（地盤反力係数、粘着力が小）が、廃棄物の噛み合わせ効果等により内部摩擦角は大きい。繊維状物等による引張抵抗を有し粘り強く弾性的（resilient）な強度特性を有し、地震時も 1000gal 超の強振動で無い限り土地盤よりも働く水平土圧は小さい。	〔概略評価〕 安息角試験、キャスボル 〔詳細評価〕 一面せん断試験、引張試験、引張を考慮した安定計算	〔概略評価〕 安息角試験、キャスボル 〔詳細評価〕 平板載荷試験、沈下計測、不同沈下確認載荷試験
②10cm 以下のプラスチック等を含む地盤	ふるい下、プラスチック等の破砕物、プラキヤップ等の小型物 【管理型処分場等】	①と③の中間的な力学特性を有する。噛み合わせ効果等により内部摩擦角や粘着力は大きい、繊維が短く引張抵抗は働かない。	〔概略評価〕 同上 〔詳細評価〕 一面せん断試験	同上
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 【管理型処分場、一般廃棄物処分場】	力学特性は土地盤に近く、①に比べ比重が重く、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	

4) プラスチックを含む廃棄物地盤の特性

i 廃棄物地盤分類別の強度定数の目安

廃棄物地盤分類別の強度試験結果（国内 19 現場、29 箇所）をもとに作成した地盤分類別の力学特性を表したレーダーチャートを図 5 に、地盤分類別の強度定数等の平均値を表 3 に示す。検討の最初期段階では、表 3 の値を用いて廃棄物地盤の利活用の可能性を探ると良い。

（表 3 から分かる地盤分類別の主な強度特性は表 2 に示した。）

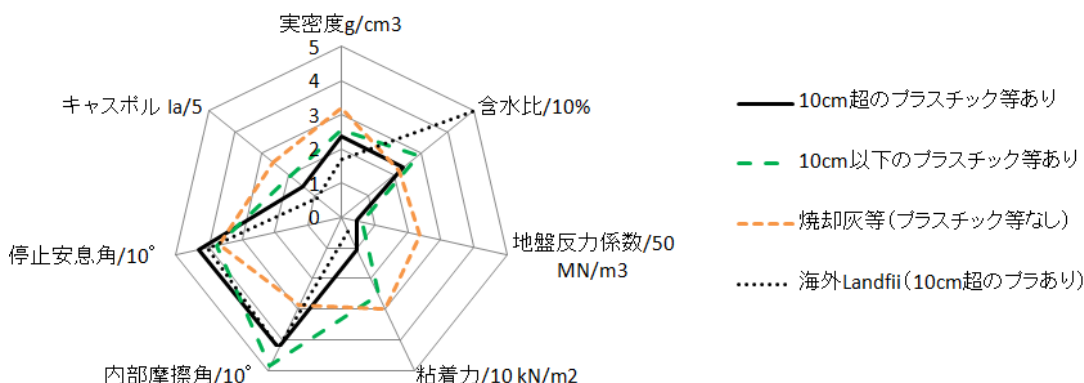


図 5 廃棄物地盤の分類別の強度特性（19 現場、29 箇所の試験結果による）

表 3 廃棄物地盤の地盤分類別の力学強度値の平均値と範囲（19 現場、29 箇所の試験結果のまとめ）

組成	廃棄物サイズ	区分	箇所数	堆積時間	含水比	湿潤密度	実密度	空隙率	極限支持力	地盤反力係数	粘着力	内部摩擦角	停止安息角	キャスボル
				年	%	g/cm ³	g/cm ³	%	kN/m ²	MN/m ³	kN/m ²	°	°	la
プラスチック混入	含10cm超	安定型処分場（埋立後1年未満）	4	0.3 (0~0.9)	20 (10~25)	1.3 (1.1~1.5)	2.4 (2.0~2.7)	37 (29~41)	283 (140~340)	8 (5~12)	12 (2~24)	42 (27~59)	40 (36~44)	6.5 (3.7~8.3)
		安定型処分場（埋立後1年以上）	5	8.7 (1.8~15.0)	28 (19~42)	1.5 (1.4~1.6)	2.4 (2.2~2.9)	18 (14~22)	955 (480~2000)	39 (8~111)	15 (5~24)	37 (35~41)	42 (40~44)	9.5 (7.2~15.8)
		不法投棄	4	6.5 (1.5~13.0)	21 (13~31)	1.0 (0.7~1.2)	----	----	----	----	3 (3~4)	49 (46~51)	48 (45~52)	5.0 (3.6~6.3)
		計	13	5.5	23	1.3	2.4	26	619	24	11	42	43	7.2
プラスチック混入	概ね10cm以下	管理型処分場	3	0.1 (0.1~0.1)	25 (19~31)	1.3 (1.1~1.5)	2.6 (1.5~4.1)	29 (17~49)	950 (300~1600)	30 (9~51)	40 (40)	50 (50)	37 (34~40)	11.3 (7.8~13.3)
		震災廃棄物（選別残渣）	1	0.2	40	1.1	----	----	----	11	47	40	4.5	
		計	4	0.2	29	1.2	2.6	29	950	30	26	49	38	9.6
焼却灰等・プラ無	概ね30cm以下	管理型処分場	3	4.5 (0.8~12.0)	27 (22~32)	1.4 (1.2~1.5)	3.2 (2.8~3.6)	39 (38~39)	565 (565)	179 (179)	58 (45~70<)	19 (19)	36 (35~36)	17.9 (14.6~20.0)
		不法投棄	4	7.9 (0.5~12.0)	21 (18~23)	1.7 (1.4~2.0)	----	----	360 (360~)	59 (59)	12 (3~18)	32 (17~45)	38 (35~44)	9.7 (7.8~12.2)
		一般廃棄物処分場	1	40.0	14	1.1	----	----	----	----	----	----	36	6.7
		計	8	10.6	22	1.5	3.2	39	463	119	30	29	37	12.8
合計			25	6.3	24	1.3	2.5	29	648	41	17	40	40	9.2
海外(Landfill) 10cm超のプラ有り			4	3.7 (0.2~7.0)	50 (39~72)	1.1 (1.0~1.2)	1.7 (1.7)	28 (28)	----	----	5 (4~6)	43 (33~43)	41 (36~45)	4.5 (3.7~5.8)

注) 箇所数は、同一現場内で区画等が異なり廃棄物種類や堆積年数や異なる箇所数（試験数）を含むもの。

ii 10cm 以上のプラスチック等が混入した廃棄物地盤の強度特性、沈下特性

(強度特性)

①地盤中に 10cm 程度以上の長尺のプラスチック等の繊維状物等が混入した現場では、そうでない現場に比べ斜面の安定勾配を表す安息角が顕著に大きい (図 6) など、粘り強い (resilient) 強度特性を有する。

②10cm 超のプラスチック等が混入した中部地方の安定型処分場では、堆積時間の経過とともに地盤中の空隙が少なくなり、地盤の極限支持力、地盤反力係数、キャスポル値(I_a)が顕著に増加した。地盤の極限支持力は、埋立終了後 1~2 年の間の強度増加が著しく、その後は緩やかに強度が増加した (図 7)。

(沈下特性)

③ 同上地盤では、堆積層厚に比例して沈下が生じ、とくに堆積後 1~2 年間に顕著な沈下が進んだが、その後も双曲線状に長期間の沈下が生じた (図 8、図の例では堆積 10 年後で層厚 10m のとき 9mm/年の沈下)。沈下量は埋立廃棄物の組成や埋立時の締固め状況により異なるが、10cm 以上のプラスチック等が混入した安定型処分場等で沈下量の目安をみるには図 8 を参考にすると良い。

④ 沈下は、埋立層毎の沈下計測結果から、上層埋立直後に顕著な沈下が生じることから廃棄物自重によるプレロード効果による沈下が大きいと言えるが、降雨 (特に埋立初期降雨) によっても沈下が生じる (図 9)。

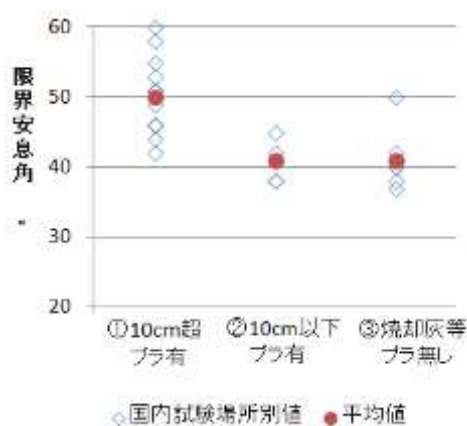


図 6 廃棄物地盤分類別の限界安息角

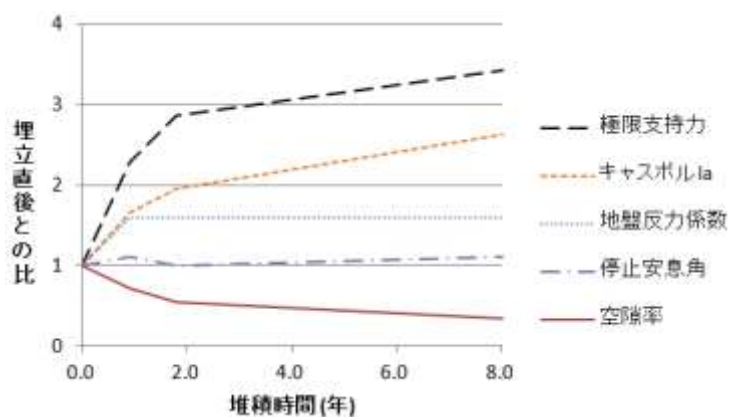


図 7 中部地方の安定型処分場での強度定数の経年変化

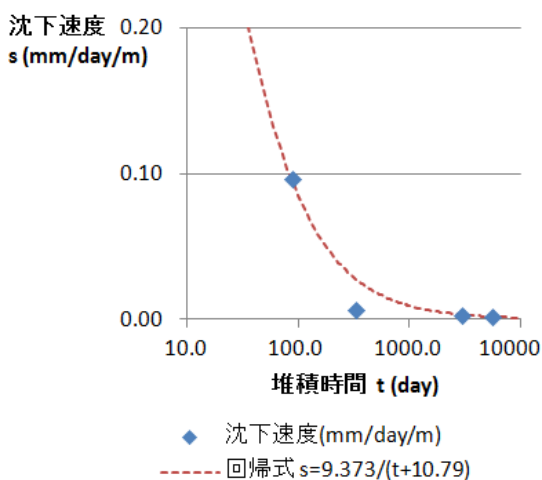


図 8 沈下速度と堆積時間の関係
(中部地方の 10cm 以上のプラスチックが混入した安定型処分場)

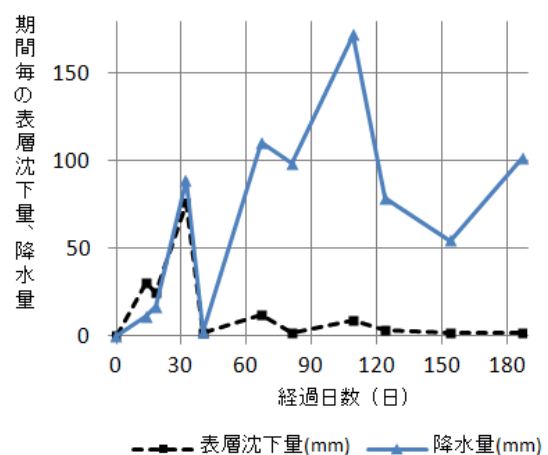


図 9 埋立終了後の沈下量と降水量の関係

iii プラスチック等が混入した廃棄物地盤中の水挙動

プラスチックが混入した廃棄物地盤では、大きな空隙を有することから雨水の透水性は基本的に極めて良い。しかし、地盤中では図 10 のように雨水はプラスチック等の表面等に貯留されながら流下し、一定量が流下した後の廃棄物表面等に貯留された水は極めてゆっくりと流下する。この流下量は地盤中の貯留量をパラメータとした貯留関数で表すことができる (式 1~3)。プラスチック等の表面等に貯留能力がある廃棄物が多い程、内部貯留可能量が大きくなり、ピーク排水量が小さく、ピーク到達時間が長くなる。このため、最終処分場ではプラスチック等の貯留能力の大きい廃棄物が多い程、水処理等のピーク対応量を抑制できる。

なお、地盤中には長期間雨水の一部が貯留され、極めてゆっくりと排水が進むことから、ボーリングや試掘により、このゆっくりとした流れの水を捉えて、その水位を地下水位 (安定計算で残留水圧を与える水位) と見誤ることがあるので、斜面安定計算時等には留意が必要である。

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、注水排水実験結果 (図 9 等) から、次の貯留関数式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、 $S>C$ のときは、

$$q=q_m \quad \dots \dots \dots \text{式 3}$$

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 (q が mm/hr のとき)

q : 排水量 (排水高) (mm)

q_m : 雨水浸透量 (雨水浸透高) (mm)

廃棄物の表面等に貯留された水によるゆっくりとした水の流れは、図 12 のように、集水井戸で確認されている内部水位より 25m 高い地点での試掘で、試掘後 6 時間後に湛水し始めた例からも確認できる。



図 12 内部水位より 25m 高い地点での試掘後 6 時間後の湛水 (中部地方の安定型処分場)
(左: 試掘時 右: 試掘 6 時間後の湛水)

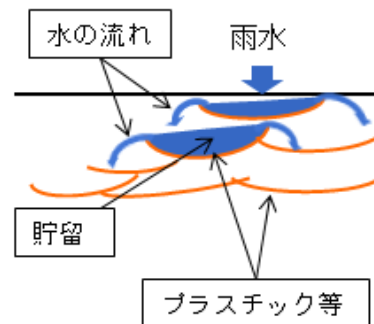


図 10 廃棄物地盤中の水の流れのイメージ

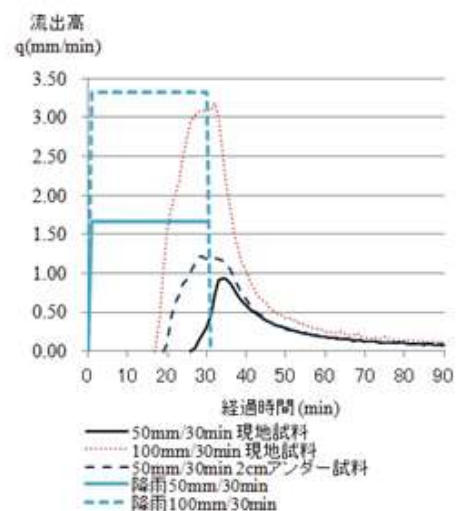


図 11 注水排水実験結果

(関東地方の安定型処分場からの採取試料)

iv 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の発生状況

金属の腐食等を生じられる硫化水素ガスについて、プラスチック等が混入した廃棄物地盤（関東地方の不法投棄等現場）の地表部での調査を行った。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、ポリバケツで蓋をした（図 13）。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観察した（表 4）。

井戸脇に設置した純水は、一定放置後、酸性から弱酸性になった。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。



図 13 観測井戸脇（左図）及び地表部（中央図）に設置した純水ボトル及び放置状況（右図）

表 4 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)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)
138日間 7/17~12/1	井戸脇E2-1	4.5	2.49	0.50	0.28	0.21	<0.1
	井戸脇E2-2	2.7	76.7	94.2	0.20	<0.1	<0.1
	地表DE	5.3	0.34	0.14	0.27	0.55	<0.1
66日間 12/1~2/4	井戸脇E2-1	4.8	2.01	0.21	0.25	0.12	<0.1
	井戸脇E2-2	4.6	1.84	0.20	0.26	0.12	<0.1
	井戸脇E2-3	4.6	1.77	0.20	0.25	0.12	<0.1
	地表DE-1	5.7	0.14	<0.1	0.23	0.11	<0.1
	地表DE-2	5.8	0.14	<0.1	0.26	0.12	<0.1
77日間 2/4~4/22	井戸脇E4-1	5.9	0.91	0.59	0.18	<0.1	0.18
	井戸脇E4-2	5.5	0.80	0.73	0.17	0.25	0.19
	井戸脇E4-3	5.3	1.07	1.22	0.15	0.31	0.16
	地表DE-1	5.9	0.30	0.17	<0.1	0.10	<0.1
	地表DE-2	5.7	0.20	0.15	<0.1	0.11	<0.1
	地表DE-3	6.1	0.26	0.14	<0.1	0.08	<0.1

注) 平成 26 年 7 月～平成 27 年 4 月。放置期間の最終日に pH 等を測定

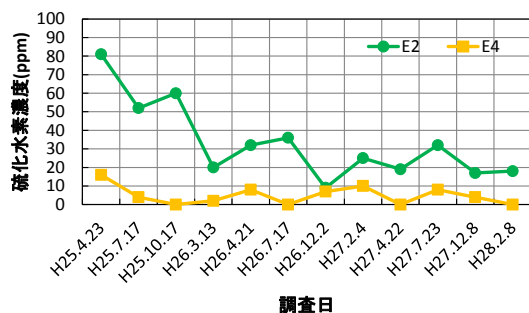


図 14 観測井戸 E2 及び E4 の硫化水素ガス濃度変化

観測井戸 E2 と E4 は 10m 離れているが、図 14 からわかるように、硫化水素ガス濃度は異なっている。表 4 から、硫化水素ガス濃度が高い E2 井戸の方が、pH や EC（電気伝導度）の値が高く、周辺環境に与える影響が大きいことが推察される。

v 小型風力発電設備基礎に相当するコンクリート版の沈下状況と周辺的气体等の発生状況

実際の廃棄物地盤の利活用にあたっては、重量構造物設置時の不同沈下や重量構造物設置に伴うガス発生等の懸念を指摘されることが多い。このため、実際にプラスチック等が混入した廃棄物地盤（中部地方の安定型処分場）の表層覆土上にコンクリート版（径 7m、厚さ 1m、直接基礎；杭無し）を設置して（図 16）、小型風力発電設備（図 17 を想定）が建設されたときにコンクリート版に働く偏心荷重を作用させて（図 18）、不同沈下の状況やガス発生状況を調べた（図 19）。その結果、荷重的に最も厳しい暴風時荷重（風速 32m/s）の 15%増に相当する偏心荷重を作用させても不同沈下は生じず（図 20）、ガス発生にも変化は生じなかった。

概ね 10cm 以上のプラスチック等が混入した廃棄物地盤では、鉛直方向の荷重が繊維状物等の繋がりにより水平方向に広く分散され（図 15）、不同沈下は生じにくい。ただし、管理型処分場等で搬入ダンプ単位等毎に組成が大きく異なる場合は、不同沈下に対する詳細な検討が必要になる。

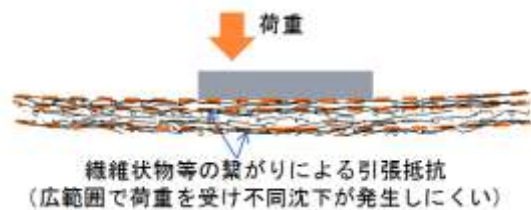


図 15 プラスチックが混入した廃棄物地盤の荷重分担イメージ



図 16 廃棄物地盤上に設置したコンクリート基礎（径 7m、厚さ 1m）

注）コンクリート版の設置は、廃棄物埋立終了の9ヶ月後、載荷実験は、同 18～19ヶ月後。



図 17 想定した小型風力発電設備
h=30m
(Excel10 by TenArrows)

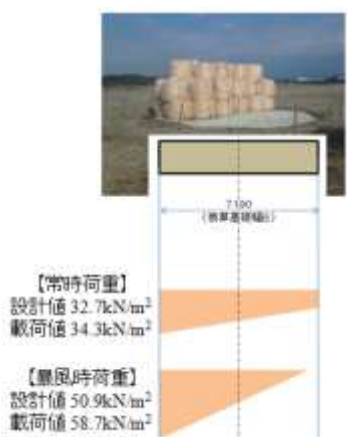


図 18 偏心載荷実験



図 19 発生ガス調査

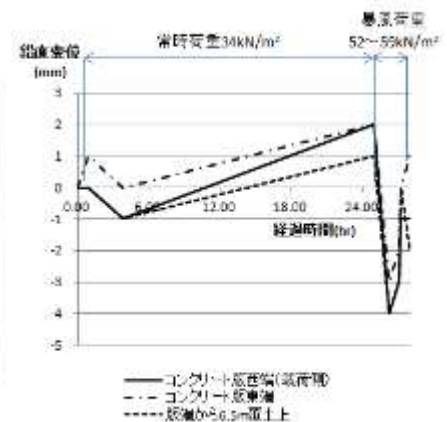


図 20 偏心載荷実験での鉛直変位

5) 概略評価方法

a. 簡易な現場試験法

i 地盤の概略評価時に用いる簡易な現場試験

重量構造物の設置の可能性等を把握するための概略評価時には、高額な試験費用を要しない簡易な現場試験を行って先ず概略的な評価を行うことが合理的である。本研究で、以下に示す簡易な現場試験法の有効性を確認している。

① 衝撃加速度試験 (キャスポル^{12,13)})

キャスポルにより得られるインパクト値(I_a)は、地盤のせん断強度を評価するための粘着力(c)と相関がある。

② 安息角試験

安息角試験による停止安息角(α)は、地盤のせん断強度を評価するための内部摩擦角(ϕ)と相関がある。

③ 沈下計測

表層の沈下量を一定期間計測することにより、将来の沈下量を推定することができる。

ii 衝撃加速度試験 (キャスポル) の方法と試験結果の利用方法

衝撃加速度試験 (キャスポル^{12) 13)} により、現場の部分的な強度の高低や不安定な場所を特定することが可能である。

また、衝撃加速度試験 (キャスポル) の結果(I_a)は地盤のせん断強度を評価するための粘着力(c)と相関があることを確認しており、衝撃加速度試験 (キャスポル) は粘着力(c)を概略的に知るために活用できる。

キャスポルから得られるインパクト値(I_a)の影響範囲は、土地盤では広さ方向が直径で 13~24cm、深さ方向が 9~22cm である¹²⁾のに対し、10cm 以上のプラスチックを含む廃棄物地盤では、広さ方向が直径で 110cm、深さ方向が 40cm 程度あり、特に広さ方向の影響範囲が格段に広く、キャスポルは廃棄物地盤の概略評価に適している。

① 試験の目的と方法

簡易に廃棄物地盤の強度定数を推定するために、運搬が容易で試験が簡単な衝撃加速度試験を適用することが可能である。衝撃加速度試験法とは、加速度計を内蔵したランマー (重錘) を一定の高さから地盤上に自由落下させ、そのランマーが地盤に衝突する際に得られる衝撃加速度の最大値を地盤反力係数などと相関させる方法である。

② キャスポル試験器の概要

キャスポル試験器は、近畿地方整備局近畿技術事務所が開発した簡易支持力測定器で、試験器が軽量で持ち運びに便利で取り扱いやすく、反力を必要とせず、現場で即時に結果が判明する機械を求めるニーズに答え、「衝撃加速度法」に着目して開発されたものである。キャスポル測定器は簡易な測定器であり、衝撃加速度と地盤定数との相関関係を利用して、CBR、粘着力(c)、内部摩擦角(ϕ)、コーン指数(q_c)、道路の平板載荷試験から得られる地盤反力係数(k_{30})等の測定を目的とするものである。

③キャスポル測定器の構造

キャスポル測定器は本体部（落下試験の装置部分）と表示部（結果を表示する機械部分）から構成されている。直径 50mm、質量 4.5kg のランマー（重錘）を高さ 45cm から自由落下させ、ランマーに内臓の加速度計で衝撃加速度を測定し、その最大値を検出して結果をインパクト値（ Ia ）に換算して表示する。また、そのインパクト値から関係式を用いて求めた CBR 値等も測定器に表示することができる。図 21 にキャスポル測定器を示す。

④衝撃加速度（キャスポル）の試験方法

ア) 測定位置の選定

測定位置は、平坦な箇所を選ぶ。なお、そのような箇所が見当たらない場合には、地盤面を出来るだけ乱さないようにハンドスコップ、直ナイフなどで平らに整形するか、または試験用砂を薄く散布して平坦に仕上げる。

イ) 測定器の設置

ランマーが測定地盤に対して鉛直に落下するように、測定器を設置する。

ウ) 表示部及び出力部の準備

電源を入れ、表示部及び出力部が正常に機能することを確かめる。

エ) 測定

- 1.ランマーを所定の位置まで引き上げ、ストッパーに固定する。
- 2.ストッパーを解除して、ランマーを自由落下させる。
- 3.測定結果をデータシートに記入する。

オ) 試験箇所数

試験は、短時間で実施できることから、法肩付近等の崩壊の危険性が高いと思われる場所を主に、20～30m 程度間隔で実施することが望ましい。なお、1 箇所あたり 20cm 程度の間隔で 5 回測定する。図 21 右に測定状況を示す。

注) 試験方法の詳細は「簡易支持力測定器による試験方法（近畿地方建設局近畿技術事務所）」¹²⁾ を参照。



図 21 キャスポル（左；測定器の本体と表示部 右；測定状況）

⑤廃棄物地盤での試験結果の利用方法

本来キャスポルは一般的な盛土工事等の施工管理等に用いるものであり、多くの測定結果を元にインパクト値から相関関係式を用いて各種の値が算出できるようになっている。ただし、キャスポルで精度よく測定できる土質の範囲として、最大粒径が 37.5mm 以下、10mm 以上の礫を 30%以上含まない土質材料と言われ

ており、廃棄物地盤ではこの条件に合致しないことがほとんどであるうえに、長尺な繊維状物等も混入しており、「簡易支持力測定器（キャスポル）利用手引き」¹³⁾に示されている相関式による粘着力等の推定はできない。

廃棄物地盤については、国内 18 箇所でのキャスポルと一面せん断試験の結果から以下のように、衝撃加速度(I_a)と粘着力の間に相関が見出されており（式 4、図 22）、キャスポルを粘着力の概略値を推定するために使用することが可能である。

$$c=2.8 I_a-9.5 \quad \dots \dots \dots \text{式 4}$$

ここに、 c ；粘着力(kN/m²)、 I_a ；キャスポルによる衝撃加速度

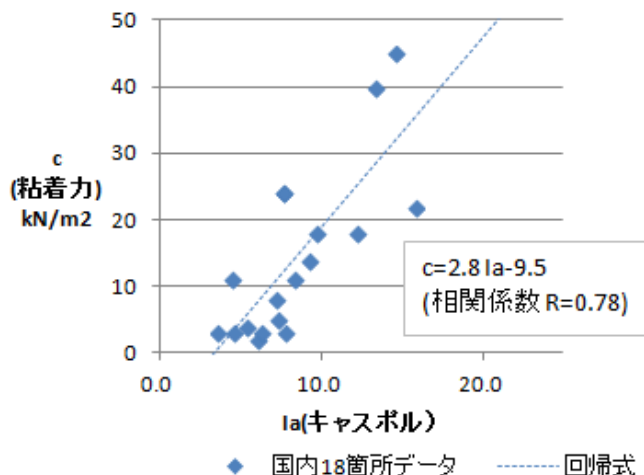


図 22 キャスポル(I_a)と一面せん断試験による粘着力(c)の関係
(安定型処分場等の国内 18 箇所での試験結果)

⑥廃棄物地盤でのキャスポルの影響範囲

10cm 以上のプラスチック等が混入した中部地方の安定型処分場から採取した試料を用いて、広さ方向と深さ方向のキャスポル(I_a)の影響範囲を調べた結果、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(土砂地盤は 9~22cm)、広さ方向の影響範囲が格段に広い。

iii 安息角試験の方法と試験結果の利用方法

廃棄物地盤の斜面の安定性を確認・評価する方法として、安息角試験が有効である。

また、安息角試験による測定される停止安息角は、斜面の安定勾配の目安になる他、地盤のせん断強度を評価するための内部摩擦角(ϕ)や引張抵抗角(ζ)を概略的に知るために活用できる。

安息角試験は、バックホウ等の重機を用いて廃棄物を山状に積み上げ、その過程での斜面の角度を計測した値を「安息角」とするものである。

①安息角試験の考え方

粉末を対象にした安息角試験例は多く報告されているが、土質分野や廃棄物を対象にした安息角試験の基準は存在しない。土質工学では、安息角を「砂や礫などの粘着力のない土の斜面がまきこぼし状態で安定を保ち得る最も急な傾斜角」と示されている。結論的には、「上方から落下させたときにできる円錐の山の斜面角度」である。

従来の研究で、安息角には限界安息角 (critical angle of repose ; α_c) と停止安息角 (repose angle after avalanching ; α_R) の二つがあり、限界安息角は、砂や礫などの粒状体から成る斜面が静止しうる最大の角度を、また、限界安息角を越える斜面では崩れが発生するが、その崩れが停止した時の斜面角を停止安息角と言っている¹⁴⁾。

②廃棄物の安息角の試験方法

試験の手順と留意点は次のとおり。試験の実施例を図 23 に示す。

ア) バックホウのバケットにより廃棄物を撒きこぼし、山を形成する。撒きこぼす際には、落下高さを同一（1.0～2.0m 程度）とし、廃棄物を常に山の頂上から同程度距離を持った高さから垂直に、かつ塊で落下しないようできるだけゆっくり落下させる。

注) バックホウ・バケットは大きすぎると落下幅が広がるため、 0.45m^3 級またはそれ以下が適当。

イ) 形成する廃棄物の山の寸法（高さ）は、廃棄物の形状と大きさ（廃棄物の最大寸法）を考慮して、必要な最低高さ（1.0～1.5m 程度）を得るように実施する。実施後、形成された廃棄物の法面勾配をスランートルール等で測定する。

ウ) 使用する廃棄物は、試験直前に掘削したものをを用い、廃棄物の水分量が変化しない状況で実施する。

エ) 同一廃棄物を用いて試験する場合は、ごみ同士の付着や微細粒子の欠落等の問題から最大2回までの繰り返し使用に限定する必要がある。

オ) 廃棄物の山を形成するために、目標となる位置を定める目的で、地表面に定規を作製し設置することが望ましい（図 23 上左）。

カ) 重機が持ち込めない現場では、人力で図 23 下右のように2本の三脚間に吊した土嚢袋（30袋分程度以上）の底面をカッターで切ることによって積み上げる方法でも安息角の計測が可能である。

キ) 試験の実施は、概略調査段階では、試験掘（ $3,000\text{m}^2$ に1箇所程度）で掘削された廃棄物を利用して、試験場所毎に実施すると、効率的でかつ堆積状況に応じた安息角が得られる。

③安息角の測定

計測は図 23 上右に示すように、廃棄物斜面を直接計測し値を把握する。

④停止安息角と限界安息角の決定

安息角試験では、廃棄物の法面勾配と廃棄物の高さを計測しグラフ化することで、限界安息角と停止安息角を把握することができる。

崩れが停止した時の斜面角である停止安息角の決定にあたっては、バックホウ・バケットの手前側（図 23 上左の右側斜面）の勾配をみるのが基本になる。これは、バックホウ・バケットで廃棄物を撒きこぼすとバケット手前側では廃棄物が滑り落ちやすいため若干勾配が緩くなることから、これを崩れの後の勾配とみることができるためである。



図 23 安息角試験

（上左；重機による撒きこぼし 上右；安息角の計測）
（下左；高さの計測 下右；人力による安息角試験）

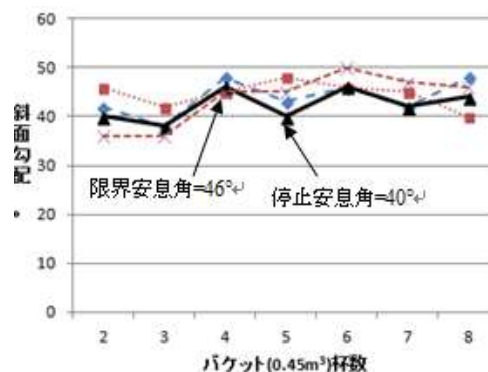


図 24 安息角試験による停止安息角と限界安息角（中部地方の安定型処分場での実施例）

また、これまでの試験結果で、容量 0.45m^3 バケツの場合では、バケツ杯数（撒きこぼしの杯数）で 3～4 杯目以降に値が安定してくることを確認しているため、4 杯目以降の値から決定すると良い。

限界安息角は、同様にバケツ手前側の 4 杯目以降の勾配で廃棄物が積み上がった斜面角（角度が大きくなったときの値）とすると良い。（以上、**図 24** 参照）

④安息角試験結果の利用方法

7) 廃棄物斜面の安定勾配

安息角試験で得られた停止安息角は、基本的に廃棄物斜面の安定勾配とみることができる。

停止安息角は、廃棄物を撒きだすことで形成される山が斜面勾配の最大角度を超え、滑ることにより安定した状況を示している。現場では、長期間安定することが必要であり、この停止安息角を斜面安定性の指標として用いることが良い。

1) 内部摩擦角

これまでの国内 17 箇所での試験結果（**図 25**）から、安息角試験による停止安息角と一面せん断試験による内部摩擦角には、以下の関係が見出されており、安息角試験を内部摩擦角の概略値を推定するために使用することが可能である。

- ・ $c < 5\text{kN/m}^2$ のとき、

$$\varphi = \alpha \quad \dots \dots \dots \text{式 5} \quad (\text{式 6 の結果と比較して安全側の値を用いても良い})$$

ここに、 α ; 安息角試験による停止安息角 ($^\circ$)

- ・ $c > 5\text{kN/m}^2$ のとき、

$$\varphi = 1.6\alpha - 28 \quad \dots \dots \dots \text{式 6}$$

ただし、算定結果が $\varphi > \alpha$ のときは、 $\varphi = \alpha$

1) 引張抵抗角

図 26、**図 27** に示すとおりプラスチック等の繊維状物が混入した廃棄物地盤では限界安息角と停止安息角の差は引張抵抗分と考えることができる。実際に、これまでの現場試験結果でも、**表 5** のとおりに長尺のプラスチック等の繊維状物等を含む現場ほど、限界安息角と停止安息角の差は大きくなっている。

引張抵抗は、**式 7** の無限長斜面法による粘着力を無視したときの斜面安定計算式¹²⁾で、 ζ (引張抵抗角) として表される。

$$F_s = \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} + \frac{\tan \zeta \cdot \sin(1.5\theta)}{\sin \theta \cdot \cos \theta} \quad \dots \dots \dots \text{式 7}$$

ここに、 F_s ; 安全率

φ ; 内部摩擦角 ($^\circ$)

θ ; 斜面勾配 ($^\circ$)

ζ ; 引張抵抗角 ($^\circ$)

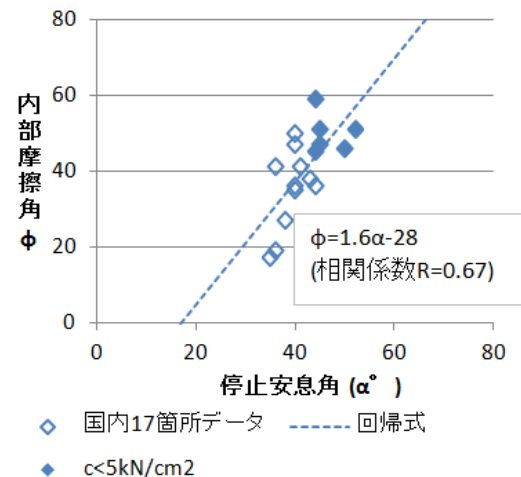


図 25 停止安息角と一面せん断試験による内部摩擦角 (φ) (安定型処分場等の国内 17 箇所での試験結果)

ここで、斜面勾配(θ)=限界安息角(α_c)のとき $F_s=1.0$ で、式7から、内部摩擦角(ϕ)=停止安息角(α_R) とおくと、次のように引張抵抗角(ζ)を概算することができる。表5に現場毎に式8により計算した引張抵抗角の平均値を示す。

$$1.0 = \frac{\tan \alpha_R}{\tan \alpha_c} + \frac{\tan \zeta \cdot \sin(1.5\alpha_c)}{\sin \alpha_c \cdot \cos \alpha_c}$$

$$\tan \zeta = \frac{\sin \alpha_c \cdot \cos \alpha_c}{\sin(1.5\alpha_c)} \left(1 - \frac{\tan \alpha_R}{\tan \alpha_c}\right) \quad \dots \dots \dots \text{式 8}$$

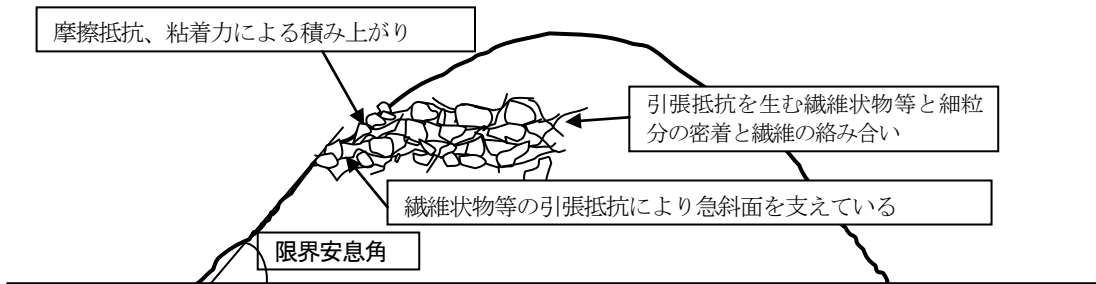


図 26 急勾配堆積斜面に働く引張抵抗と摩擦力の発現イメージ

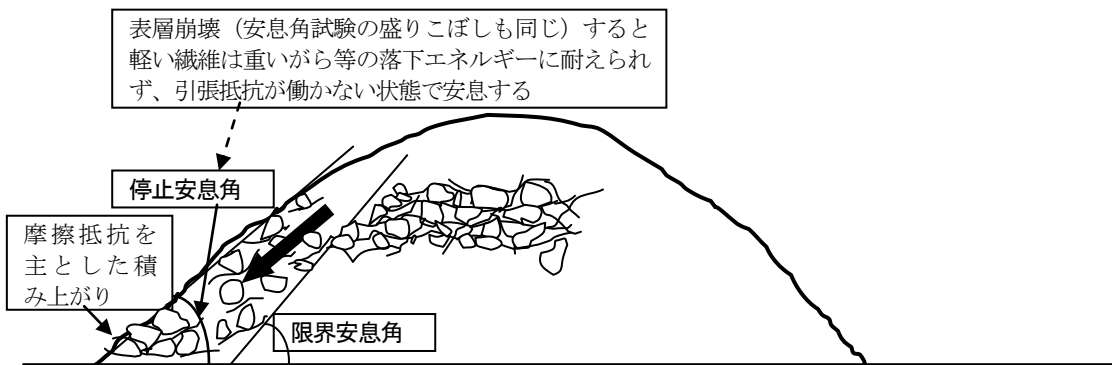


図 27 表層崩壊後の摩擦抵抗、粘着力による積み上がり（停止安息角）

表 5 現場区分別の停止安息角、限界安息角の試験結果と引張抵抗角算定結果
(各現場で得られた値の平均値)

プラスチック等のサイズ	箇所数	限界安息角	停止安息角	$\alpha_c - \alpha_R$ (°)	引張抵抗角 ζ (°)
		α_R (°)	α_c (°)		
含10cm超	13	51	43	8	7
概ね10cm以下	4	41	38	3	-----
プラスチック無し	7	41	37	4	-----

注) プラスチック等がサイズが10cm以下の場合には限界安息角と停止安息角の差が小さく、引張抵抗を計上していない。

iv 空隙率試験の方法と試験結果の利用方法

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、空隙率が大きい程、沈下速度が速いことが確認されており、空隙率は地盤の締まり状態や沈下量を推定するための指標となる。

廃棄物地盤中の空隙率は、水置換による土の密度試験 (JGS 1612-2003)⁵⁾の実施後に、現場でドラム缶大の容器に廃棄物を水浸することで容易に調べることができる。

①試験の目的と方法

空隙率試験は、次のとおり、地盤中の空気空隙率を現場試験により調べるものである。

- ア) 廃棄物地盤上で、**図 28** 左図のように水置換による土の密度試験 (JGS 1612-2003)⁵⁾を行って、掘削容積 (地盤に掘った穴の容積) と、掘削廃棄物の重量を調べる。

- イ) 掘削容積を調べた穴の近傍から採取した試料を試験室の乾燥炉に入れて含水比を調べる (土の含水比試験; JIS A1203:2009)⁶⁾。

- ロ) 土の密度試験での掘削廃棄物の全量を、容積を計量できる水を入れた容器に投入し (このとき、棒等で十分に攪拌し試料中の空気を抜く)、廃棄物投入前後の水位の増分を計測し、容積の増分を計算する。掘削容積からこの容積の増分 (廃棄物の実容積) を差し引いた容量と掘削容積の比が空隙率となる。また、試料の実容積から試料の実密度も計算できる。

注 1) 廃棄物投入後に一定量の水 (150 リットル程度) を容器に投入する方法を採れば、試験の過程で、試料のほぐし後のふけ率、注水による廃棄物の容積減少も併せてみる事ができる。

注 2) 水温による試料の体積変化 (例: ポリエチレン線膨張率⁷⁾ = 100~200/10⁶K⁻¹) 等は求める精度に比べ小さく無視している。

②試験結果の利用方法

図 29 に 13 箇所での堆積経過時間と本試験法による空隙率の関係を示す。堆積年数別のデータが得られている安定型処分場では、空隙率は埋立後に時間経過とともに一定の関係で減少している。また、**図 7** に示したとおり中部地方の安定型処分場では、時間経過とともに空隙率が減少し各種強度定数が増加しているとともに、空隙率が大きいほど沈下速度が速いことも確認している。このため、各現場で空隙率と強度定数、沈下量のデータを蓄積し、これらの関係を把握することで、将来の強度や沈下量を推定することも可能になる。

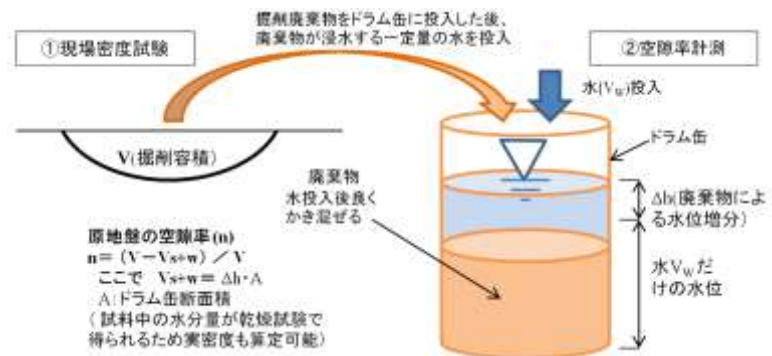


図 28 空隙率試験の方法

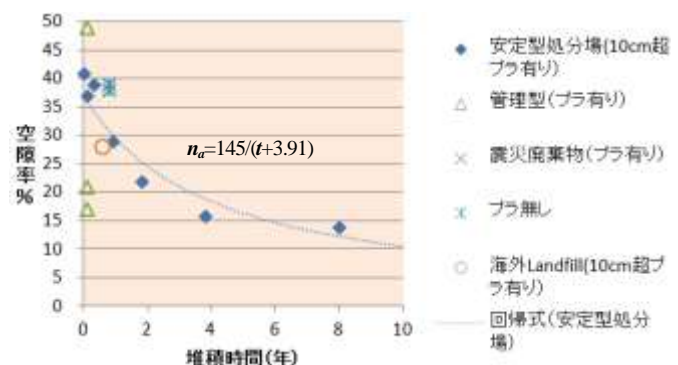


図 29 空隙率と堆積時間の関係
 (安定型処分場等の 13 箇所での試験結果)

b. 廃棄物地盤利用のための概略地盤評価方法

i 支持力の概略評価

廃棄物地盤の利用検討の初期段階等には、キャスボルによる I_a 値から推定される粘着力(c)と、安息角試験の停止安息角から推定される内部摩擦角(ϕ)を用いて、「建築基礎構造設計指針」¹⁰⁾に示された支持力公式によって極限支持力の概略値を知ること、地盤利用の可能性を探ると良い。

「建築基礎構造設計指針」¹⁰⁾に示された支持力公式は、土砂地盤を対象に旧来から定められているものであるが、**図 30**に示すように、廃棄物地盤で平板载荷試験により得られた極限支持力と、キャスボル I_a 値から**式 4**により推定した粘着力と、安息角試験の停止安息角から**式 5**、**式 6**により推定した内部摩擦角を支持力公式(**式 9**)に代入して得られた極限支持力の間には相関が見られることから、検討の初期段階では、平板载荷試験が高価な試験であることも含めて、キャスボルと安息角試験による c 、 ϕ を用いて極限支持力の概略を把握することが合理的である。なお、ばいじん（焼却灰）地盤については、両者の間に隔たりがあり（**図 30**）、現状ではこの方法での推定は難しい。

図 30で、支持力公式による極限支持力は、平板载荷試験による値よりもやや大きめであるが、これは、平板载荷試験では試験時の载荷重が十分でなく極限支持力に達していない現場が4箇所ある（**図 30**中の Δ ）ことに加え、この他の現場でも試験中に地盤の崩壊現象が確認できないなかで载荷板径の10%の沈下量で極限支持力を決めていることから、概して平板载荷試験の極限支持力は小さめになっていることに起因していると考えられる。

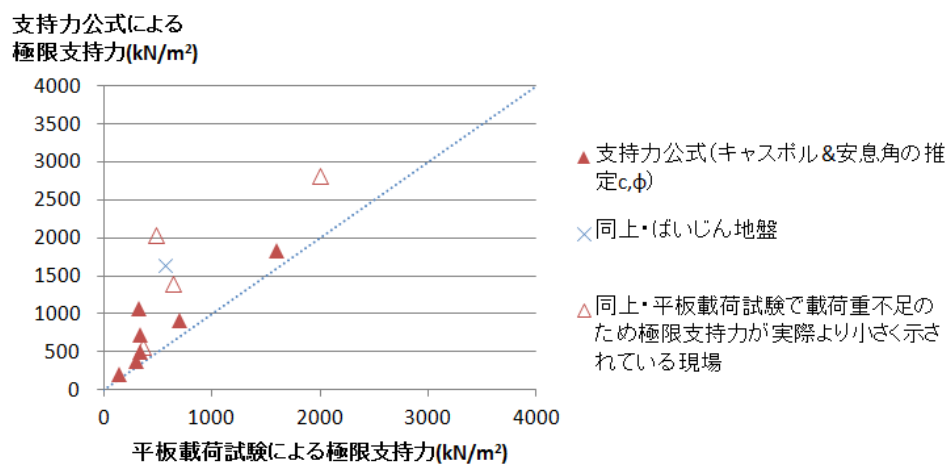


図 30 平板载荷試験と支持力公式による極限支持力の比較

「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」¹⁰⁾による支持力公式は、次のとおり。

$$q_u = i \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_r \cdot \beta \cdot r_l \cdot B \cdot \eta \cdot N_r \quad \dots \text{式 9}$$

q_u : 単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m^2)

N_c 、 N_r : 支持力係数 c : 支持地盤の粘着力 (kN/m^2)

r_l : 支持地盤の単位体積重量 (kN/m^3) α 、 β : 基礎の形状係数

i_r : 荷重の傾斜に対する補正係数 B : 基礎幅 (m)

注) 上式は支持力公式の根入れ項を省略している。支持力公式の詳細は「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」¹⁰⁾を参照のこと。

ii 沈下量の概略評価

プラスチックが混入した廃棄物地盤では、埋立終了後 1～2 年の間に急激に沈下し、その後は長期間にわたってゆっくり（数 cm/年程度）と沈下が進む。

沈下量の予測は、継続的な沈下計測を行って、プロット図から回帰式等により予測する方法が精度が高いが、検討の初期段階では、既存の類似した組成を有する廃棄物地盤の計測結果（図 8、図 29）から推察する方法が簡単である。

なお、沈下が急激に進む埋立終了後 1～2 年の間に廃棄物地盤の利用を考える場合には、沈下に対する十分な検討が必要である。また、この間は地盤中の空隙が大きく廃物地盤強度が十分に発現していないことにも留意が必要である。

概ね 10cm 以上のプラスチックが混入した廃棄物地盤の沈下傾向を見るには、図 8 に示した中部地方の安定型処分場の沈下計測結果を参考にすると良い。

iii 斜面安定性の評価

既刊の「不法投棄等現場の堆積廃棄物の斜面安定性評価マニュアル(案)」(斜面安定性評価グループ、平成 25 年 12 月 3 日)¹²⁾による。

なお、本マニュアル(案)の 4) iii に示したとおり、プラスチック等が混入した廃棄物地盤では長期間雨水の一部が貯留され、極めてゆっくりと排水が進む。このため、ボーリングや試掘により、このゆっくりとした流れの水を捉えて、その水位を地下水位（安定計算で残留水圧を与える水位）と見誤ることがあるので、斜面安定計算時等には留意が必要である。

iv 力学的に可能とみられる利用用途の選定

廃棄物地盤上へ設置される重量構造物としては風力発電設備や水処理施設（老朽化した既存施設の更新時）等が想定されるが、その際に必要となる地盤支持力は通常は最大でも 100kN/m²程度^{注)}であり、極限支持力の目安はその 3 倍（建築基準法施行令による）の 300 kN/m²程度となる。

沈下については、廃棄物地盤では長期間沈下が継続（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の例では堆積 10 年後で層厚 10m のとき 9mm/年の沈下）することを念頭に用途を選定する必要がある。不同沈下については、詳細評価で、利用予定場所の廃棄物組成を詳細に調べて力学試験を行うことが必要になるが、10cm 以上の長尺物が多く、廃棄物の搬入元が一定しているなど設置検討地内の廃棄物種類に違いが無い場合には、プラスチック等の繊維状物の繋がりにより土砂地盤よりも遙かに広い範囲で荷重を受けるため、不同沈下は発生しにくい。

注) 例えば、2MW 級の大型風力発電設備では荷重が大きくなるが基礎径を 20m 規模にすることで、上述の極限支持力があれば安定計算上は設置可能になる。

6) 詳細評価方法

a. 詳細評価の基本事項

詳細評価は、実際に廃棄物地盤上に重量構造物等の設置を検討する際に、設計のために地盤強度等を得るために実施するものである。詳細評価は次の手順で行う。

- ①必要な調査・試験の選定
- ②現場調査・試験（測量、ボーリング調査、地下水調査、試掘等）
- ③現場での強度試験（平板載荷試験、一面せん断試験等）
- ④全調査結果に基づく詳細評価

詳細評価で行う調査・試験の選定は、概略評価結果や設置を検討する構造物等の設計基準類に従って定める必要がある。参考に、現場分類別に実施の検討が必要と考えられる調査・試験と現場調査等の留意事項を表 6 に示す。

表 6 詳細評価時に想定される調査・試験と留意事項等

現場分類	想定される調査・試験	備考
共通事項 (現場調査・試験)	<ul style="list-style-type: none"> ・測量 ・追加試掘 ・ボーリング調査 ・地下水調査 (・非破壊調査) 	<ul style="list-style-type: none"> ・概略評価時に懸念された事項を念頭にして実施事項や試験の実施数を検討する ・現場規模に応じ調査方法を選定する（詳細は、「支障除去のための不法投棄現場等現地調査マニュアル」²⁵⁾ 参照) ・非破壊調査（高密度表面波探査等）は層内部の密度や大型異物の有無を知ることは現状では困難。原地盤面の位置把握や、ボーリング調査等の位置決めには活用できる
1) 地盤支持力の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・平板載荷試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・現状では、設計時に廃棄物地盤の支持力を内部摩擦角や粘着力から算定することは危険であり、載荷試験の実施は不可欠
2) 摩擦抵抗等の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・現場一面せん断試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物地盤上に構造物基礎を設置する場合には、滑動評価のために摩擦抵抗を知る必要があり、設計時に精度の高い摩擦抵抗が求められる場合は一面せん断試験が必要 ・廃棄物層斜面の斜面安定性評価が必要な場合も一面せん断試験が必要
3) 斜面安定性の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・引張試験 ・斜面安定解析 	<ul style="list-style-type: none"> ・法面の近傍（円弧すべり計算等による想定すべり面の範囲内）に構造物を設置する場合に検討が必要 ・引張試験は引張抵抗の有無が斜面安定性評価への影響大のときに実施すると実態的な評価が可能になる
4) 沈下量の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・沈下計測 	<ul style="list-style-type: none"> ・継続的な沈下計測データによる将来沈下量の予測
5) 地震時の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・震度法による解析 	<ul style="list-style-type: none"> ・プラスチック等が混入した廃棄物地盤では従来から用いられている震度法により安全側の評価が可能
6) 不同沈下の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・高密度の平板載荷試験の実施 ・現地実証実験 	<ul style="list-style-type: none"> ・プラスチック等が混入した地盤では、不同沈下は発生しにくいですが、廃棄物地盤では異物混入や局所的に廃棄物組成が極端に異なることがあり得るため、不同沈下による影響が大きい構造物の場合には高密度の平板載荷試験の実施が必要 ・キャスポルで平板載荷試験の実施地点間を補間すれば経済的
7) 構造物設置時のガス等への影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ・偏心載荷実験時のガス等の測定 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物地盤上の構造物設置時には「最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン」⁴⁾に従う必要があり、設計荷重の載荷時のガス発生等の影響を調べる事が求められる

b. 地盤の平板載荷試験

廃棄物地盤の内部摩擦角や粘着力から支持力を推定することは可能であるが、廃棄物地盤上の重量構造物設置を具体的に検討するとき（直接基礎設計時等）には、現状では平板載荷試験の実施が必要になる。とくに、不同沈下による影響が大きい構造物の設置を検討する際には、建設予定地内で複数の平板載荷試験の実施が必要になる。また、廃棄物地盤は土砂にくらべ個々の構成物が大きいことと、できるだけ深い位置までの廃棄物を反映した支持力を得るために、試験時にはできるだけ大きな径の載荷板を用いることが望ましい。

地盤の平板載荷試験（JGS1521-2003、**図 31**、**図 32**）は、「地盤調査の方法と解説（地盤工学会）」⁵⁾に試験方法の詳細が示されており、廃棄物地盤においても同書に従って実施することが基本である。

廃棄物地盤での留意点は、プラスチック等の繊維状物を含む場合は、非常に粘り強い（resilient）挙動を示すことから、載荷による沈下の進みが早い（地盤反力係数が小）が、極限支持力や降伏荷重を知るためには相当な載荷圧力が必要となる。沈下量が大きいと、ジャッキや変位計のストロークも必要になる。

一方で、載荷のための反力を得るには重機を利用することが簡単であるが、重機の重量には限りがあるため、むやみに大きな沈下板を用いることもできない。ただし、廃棄物地盤上への設置が想定される風力発電設備や水処理施設（老朽化した水処理施設の廃棄物地盤上への移転等）の載荷重はそれほど大きくはなく、その場合は、極限支持力で 300kN/m^2 程度あることの判断で足りる。したがって、想定する構造物から求められる必要な支持力（許容支持力）と、極限支持力（許容支持力の3倍とされる⁵⁾）を求め、現地を得ることのできる反力（重機重量等）を踏まえて可能な範囲で最大の載荷板径を用いるのが良い。

例) バックホウ（バケット 0.7m^3 級）の場合、16t 程度の反力をとることができ、この場合は、載荷板径を 600mm とすれば、約 500kN/m^2 までの載荷が可能になる。

なお、土砂地盤では「平板載荷試験によって求められる支持力特性は、載荷板直径の1.5倍～2.0倍程度の深さの地盤が対象になる⁵⁾」とされるが、プラスチックが混入した廃棄物地盤では、キャスポルの影響範囲実験で深さ方向に土砂地盤の2倍程度の影響範囲があったことから、平板載荷試験でも載荷板直径の3～4倍程度の深さまでの地盤が対象になっていると考えられる。



図 31 廃棄物地盤上での平板載荷試験
(載荷板径 1000mm)

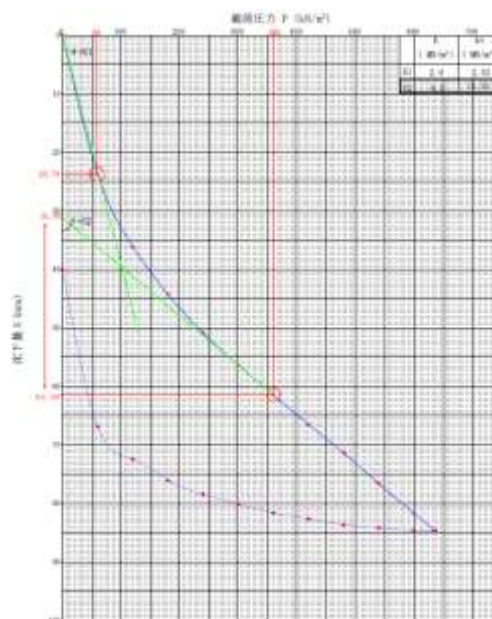


図 32 平板載荷試験結果例
(中部地方安定型処分場 8 年経過地盤)
[載荷板径 1000mm 極限支持力 $>640\text{kN/m}^2$]

c. 一面せん断試験

廃棄物地盤上に構造物基礎を設置する場合には、滑動評価のために摩擦抵抗を知る必要があり、設計時に精度の高い摩擦抵抗が求められる場合は一面せん断試験が必要になる。

また、設置する構造物が法面に近く、斜面安定性評価が必要な場合も一面せん断試験が必要になる。

安定型処分場や不法投棄現場等で、埋立物が雑多でも、雑多な状態で一定している場合には、 c (粘着力)、 ϕ (内部摩擦角) を求める際の「垂直応力-せん断強度」の関係が直線状になり、適切に c 、 ϕ を求めることができる。一方、管理型処分場など、埋立物が処分場内の近距離の範囲内で極端に異なることがある場合には、「垂直応力-せん断強度」の関係が乱れるため、こうした場合には現行の試験法では、数多くの試験を行うなどして適切な「垂直応力-せん断強度」の関係を求める必要がある。



図 33 廃棄物地盤での一面せん断試験

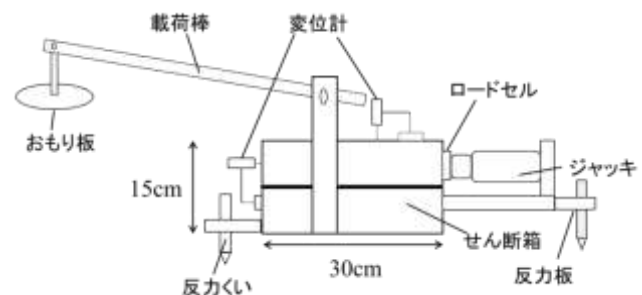


図 34 一面せん断試験機

具体的な試験方法は、「不法投棄等現場の堆積廃棄物の斜面安定性評価マニュアル(案)」（斜面安定性評価グループ、平成 25 年 12 月 3 日）¹²⁾に示している。

埋立物が処分場内の近距離の範囲内で極端に異なる場合は、図 36 のように「垂直応力-せん断強度」の関係が乱れるため、このような場合に、構造物設置予定地の適切な c 、 ϕ を知るためには、予定地内で一面せん断試験を多く実施することにより「垂直応力-せん断強度」図のプロット数を多くして評価するなどの対応が必要になる。

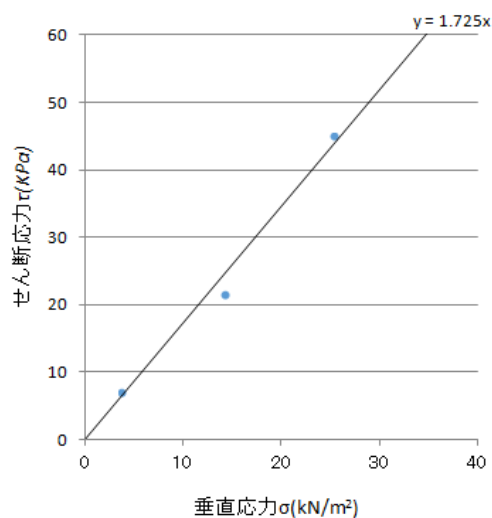


図 35 垂直応力-せん断強度
(中部地方安定型処分場 1 年経過地盤)

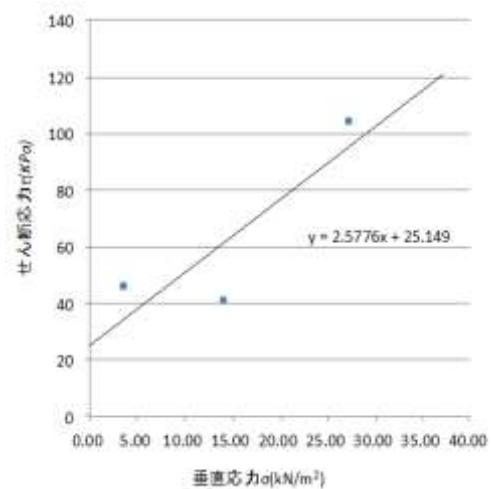


図 36 垂直応力-せん断強度
(関東地方管理型処分場埋立直後地盤)

d. 沈下量の評価

重量構造物等を設置を検討している廃棄物地盤の将来の沈下量を把握するためには、1～2年程度の継続的な沈下量計測を行って評価する必要がある。

プラスチック等が混入した廃棄物地盤では双曲線状に緩やかな沈下が継続することから、沈下量計測結果をもとに経過時間－沈下量（又は沈下速度）の関係を回帰式等により求めることにより、将来のおおよその沈下量を把握することができる（4）、ii 図8参照）。

沈下量を調べるための方法として、図37のように沈下板を設置して、水準測量により沈下量を方法がある（「沈下板を用いた地表面沈下量測定方法」(JGS1712-2003)⁵⁾）。



図 37 廃棄物地盤上への沈下板の設置

e. 地震時の検討

振動台実験により、10cm以上のプラスチック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で無い限り、地震時に擁壁等に作用する水平土圧は、土地盤より小さいことを確認している。このため、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、土地盤で用いられる震度法による解析を行うことにより安定性を評価することができる。

固定壁に作用する地震時水平土圧について、粘着力のない乾燥豊浦砂（相対密度90%）と10cm以上のプラスチックが混入した廃棄物地盤の振動台模型実験の比較を行った。廃棄物地盤は見かけ上の粘着力を有し、静止時には自立して水平土圧が作用しない状態であった。水平震度が大きくなると地震時水平土圧は徐々に大きくなるが、廃棄物地盤では、水平震度が1を超えるような加速度で無い限り、地震時に擁壁等に作用する水平土圧は、土地盤より小さくなる（図38）。

注) 渡辺健治ほか「模型実験による地震時土圧に関する一考察」第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.745-728, 2001年¹¹⁾

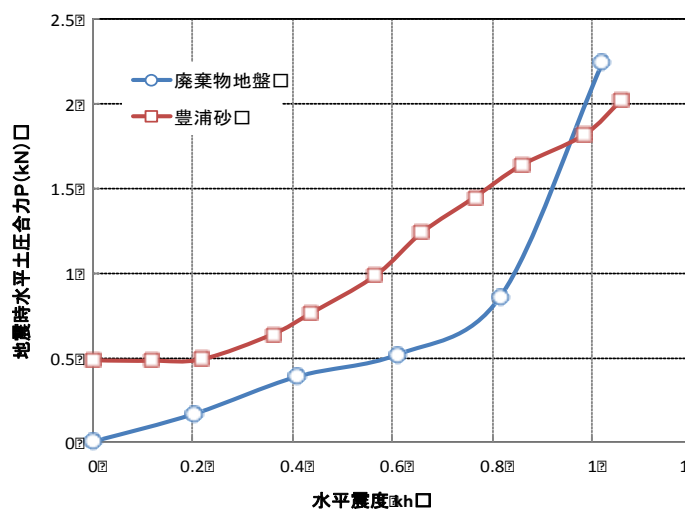


図 38 振動台実験による廃棄物層に作用する水平土圧（豊浦砂との比較¹¹⁾）

f. 不同沈下の検討

プラスチック等が混入した地盤では、不同沈下は発生しにくいですが、廃棄物地盤では異物混入や局所的に廃棄物組成が極端に異なることがあり得るため、不同沈下による影響が大きい構造物の設置を考える際には、詳細な検討が必要である。平板載荷試験を多く実施して(キャスポルや安息角試験を併用することが経済的)、載荷圧力-沈下量の関係に差が無いことを確認する方法がある。可能な場合には、**4)**、**V**に示した現場実証実験により検証する方法もある。

不同沈下の発生の有無を検討する方法として、平板載荷試験で、できるだけ大きな載荷板(1000mm 径等)を用いて、構造物設置場所の中央部や端部で実施して、載荷圧力-沈下量の関係に差が無いことを確認する方法がある。廃棄物地盤では載荷による影響範囲は、キャスポルの影響範囲実験の結果から、土砂地盤に比べ、深さ方向で2~4倍、広さ方向で5~10倍程度広いことを確認している。このため、不同沈下の検討をする際には土砂地盤の検討時よりは間隔を広げられると考えられるが、廃棄物地盤には種々あり一概に測定間隔は決められない。

平板載荷試験は大がかりな試験であるため、多数実施すると非常に高価になる。経済的に検討する方法としては、支持力と相関があることが確認されているキャスポル(衝撃加速度試験)や安息角試験を補間的に用いる方法がある。キャスポルを多数実施し地盤強度の概要を把握した上で数カ所の平板載荷試験を実施して、平板載荷試験結果とキャスポル試験結果の関係を調べて、平板載荷試験地点間の支持力はキャスポルや安息角試験結果から推定すれば経済的になる。また、確実に不同沈下の発生の有無を確認する方法として、**4)**、**V**に示したようにコンクリート版等の版を設置して偏心載荷実験を行う方法がある。小型風力発電施設基礎等の小型の基礎であれば、基礎の施工費用はそれほど高額ではないため(**4)**、**V**の例では200万円程度)、平板載荷試験費用と比較して実施の検討をすると良い。

g. 現場実証実験等による載荷時の発生ガス等の確認

廃棄物地盤上に重量構造物を設置するためには「最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン」⁴⁾に従う必要があり、想定する構造物等が設置された際のガス発生等による影響を調べることが求められる。

重量構造物設置時のガス発生等への影響は数値解析で説明することは現状では簡単では無く、実証的に把握する方が現実的と考えられる。実証的に把握する方法としては、**4)**、**V**に示したように設計荷重に相当する重量物(大型土のう、土砂盛土、大型重機等)を一時的に設置してガス発生等を計測するがある。

以下に、荷重載荷による影響があり得ると考えられる悪臭及び可燃性ガスについて、その計測方法を「形質変更ガイドライン」⁴⁾を参考にまとめた。

i 悪臭

形質変更ガイドラインには、「廃棄物の締固めに伴うガスの発生の可能性が無い表層利用の場合のみの土地の形質の変更においては対象外とする。なお、人家が近隣にないなど生活環境に支障が生じない場合、この限りではない。」と記されている。ただし、悪臭ガスの中には硫化水素ガス等の腐食性のある空気より重い毒ガスも含まれるため、作業時及び廃棄物地盤利活用時における十分な配慮が必要である。

①悪臭ガスの防止の目安

悪臭発散防止措置は、当該工事を行う場所近隣に適用される悪臭防止法に基づき都道府県知事が定める規制地域ごとの基準を満足することを目安とする。

②臭覚による臭気の判定

臭気の有無は、掘削を行う場所において、ガスの発生しやすい状況時に、掘削前は少なくとも1回、掘削中は毎日判定することが望ましい。臭気の判定は臭覚によることとする。臭覚により臭気がある

と判断された場合は、臭気物質の分析を行う。

臭気の程度は表7に示す6段階臭気強度表を参考にする。悪臭防止法の規制濃度は、臭気強度2.5～3.5の範囲で定められているので、規制地域ごとに定められた規制基準に該当する臭気強度を基準として、簡易的には認知閾値濃度(何の臭いであるかわかる弱い臭い)を目安として評価する。

ii 可燃性ガス

廃棄物が露出するような場合、可燃性ガス等は発生しやすい状況にある。可燃性ガス等の発生が予測される場合は、可燃性ガス等による火災、爆発、及び酸欠・中毒を含む労働災害防止を配慮することが必要である。

①可燃性ガス等の防止の目安

「形質変更ガイドライン」に示されている可燃性ガス等の発生基準の目安一覧を表8に示した。当該ガイドラインでは労働災害防止の観点から、可燃性ガス等が発生しないという条件の目安としてまとめている。

②可燃性ガス濃度の判定

可燃性ガス濃度の判定は、表8に示した発生基準値に従う。事前調査で発生基準値を超えた場合、可燃性ガス等にたいする対策を講ずる必要があり、作業環境濃度の監視及び換気対策を行う必要がある。しかし、事前調査で対策を不要とした場合でも、局所的な有毒ガスの滞留が存在する可能性もあり、突発的な可燃性ガス等の発生に対しては注意が必要である。

③地表面における可燃性ガス等の確認方法

観測井のような特定地点の測定では把握できない場合、表層及び地表面から発生するガスの有無を把握する必要がある。図39に静置式チャンバー法による地表面発生ガス採取方法模式図及び解析例を示した。このように地表面発生ガスを採取・分析することにより、地表面からのガスの発生を把握することができる。

表7 6段階臭気強度表示法

臭気強度表示法	においの程度	臭気指数*1	臭気濃度*2
0	無臭		
1	やっと感知できるにおい(検知閾値濃度)		
2	何の臭いかわかる弱い臭い(認知閾値濃度)		
2.5		10～15	10～32
3	らくに感知できる臭い	12～18	15～63
3.5		14～21	26～126
4	強い臭い		
5	強烈な臭い		

*1: 臭気指数=10×log(臭気濃度)

*2: 臭気濃度: 三点比較式臭袋法を用いて測定した臭気濃度

表8 可燃性ガス等の発生基準の目安一覧

物質名	発生基準値	摘要
メタンガス	1.5%以下	爆発限界の30%以下
酸素	18%以上	労働安全衛生規則第585条
炭酸ガス	1.5%以下	同上
硫化水素ガス	10ppm以下	同上

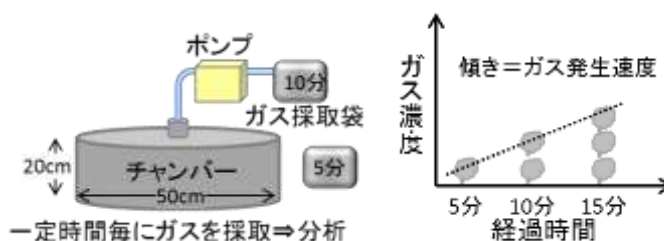


図39 静置式チャンバー法による地表面発生ガスの採取方法模式図及び解析例

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) プラスチック等が混入した廃棄物地盤の力学特性の把握

本研究により、未解明であったプラスチック等が混入した廃棄物地盤の力学特性全般の把握ができた。

焼却灰を主体とした廃棄物地盤については、一般廃棄物最終処分場の研究ニーズが大きいことや力学的挙動が土砂地盤に類似していることなどからその力学特性の解明は進んでいる。一方で、産業廃棄物安定型最終処分場等のプラスチック等が混入した廃棄物地盤の力学挙動については、前段研究の斜面安定性研究により高いせん断強度を有することは確認できたものの、支持力等のその他の力学特性については未解明であった。

本研究により、長尺（概ね 10cm 以上）のプラスチック等が混入した廃棄物地盤は、土砂地盤に比べ柔らかく（地盤反力係数が小）、沈下も長期間生じるものの、土砂地盤のような地盤の崩壊現象は生じにくく、十分な支持力を有するとともに、不同沈下も発生しにくいという粘り強い特性(resilient)を有することを、長期間の沈下計測や現場実験により確認できた。不同沈下が発生しにくい等の粘り強い強度特性を有する主因として、長尺のプラスチック等の繊維状物の繋がりによって土砂地盤よりも荷重を遙かに広い範囲で受けていることが、複数の実験結果から確認できた。また、地盤強度は組成や空隙の他、埋立方法にも関係していることを確認できた。

プラスチック等が混入した廃棄物地盤の沈下メカニズムについては、埋立初期に大きな沈下が発生すること、沈下に伴って地盤中の空隙率が減少すること、沈下量は層厚に比例することを現場計測により確認したことから、沈下の主体は廃棄物自重等によるプレロード効果によるものであることが把握できた。また、沈下は降雨によっても進むことを現地計測結果や、現場での注水実験から確認できた。特に埋立直後の初期降雨による沈下が大きいことや、雨水は地盤中の廃棄物表面に貯留されることから、水による沈下の主要因は水重による効果と推察される。

2) 貯留、排水特性の把握

プラスチック等が混入した廃棄物地盤の貯留・排水特性について、ドラム缶大のカラムを用いた注水排水実験により確認した。

産業廃棄物安定型処分場等のプラスチック等が混入した廃棄物地盤では、現場経験的に廃棄物地盤表面の透水性は極めて良いものの、雨水が水処理施設等まで流下するまでには透水性が良い割には長時間を有することが知られていた。本研究で行った注水排水実験により、このような地盤では、雨水は大きな空隙を伝わって、プラスチック等の表面等に貯留されながら流下し、一定量が流下した後の廃棄物表面等に貯留された水は極めてゆっくりと流下することが確認できた。この貯留・排水特性は提案した貯留関数式で再現することができたことから、現場レベルでの雨水排水解析が可能となった。

プラスチック等の表面等に貯留能力がある廃棄物が多い程、内部貯留可能量が大きくなり、ピーク流下量が小さく、ピーク到達時間が長くなる。このため、最終処分場ではプラスチック等の貯留能力の大きい廃棄物が多い程、水処理等のピーク対応量を抑制できることが分かった。

なお、地盤中には長期間雨水の一部が貯留され、極めてゆっくりと排水が進むことから、ボーリングや試掘により、このゆっくりとした流れの水を捉えて、その水位を地下水位（安定計算で

残留水圧を与える水位)と見誤ることがあるため、斜面安定計算時等には留意が必要であることが分かった。

3) 廃棄物地盤の支持力等に関する新たな現場試験法の提案

廃棄物地盤の力学試験法は確立されていないなかで、廃棄物地盤の支持力等の強度評価に適した試験法として、キャスポル（衝撃加速度試験）、安息角試験、空隙試験等を新たに提案できた。

廃棄物地盤では、焼却灰等を除けば土砂に比べ個々の廃棄物（土砂の場合は土粒子）が遙かに大きいことから、土砂地盤で規定されている各種の強度試験法をそのまま適用できないことが多い。また、個々の廃棄物サイズと試験規模を考えると、室内で適切に力学試験を行うためには相当大規模な試験が必要になることが容易に想定できる。

本研究では、廃棄物のサイズ等の特性に配慮して、なおかつ実現場での導入が容易になるような経済的な試験法を模索することを念頭にして、試験法の開発を行った。20箇所程度の現場試験結果から、キャスポルにより得られる衝撃加速度(Ia)は粘着力(c)と相関があること、安息角試験により得られる停止安息角は内部摩擦角(ϕ)と相関があること、それらの相関式から得られた c 、 ϕ を土砂地盤の支持力公式に代入することにより、大規模な平板載荷試験によって得られる極限支持力に近い値が得られることが確認できた。

また、沈下量予測等に用いることができる空隙率の試験法についても、現場で、水置換による土の密度試験（JGS1612-2003）⁵⁾と組み合わせることで安価に実施できる試験法を開発した。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、呼応して支持力等が高まることや、空隙率が大きいほど沈下速度が速いことを確認しており、空隙率は地盤の強度変化や沈下量を推定するための指標となり得ることが分かった。

(2) 環境政策への貢献

1) 未利用廃棄物地盤の利活用の促進

これまでは廃棄物地盤が高いせん断強度を有するとの認識が無かったこと等から、処分場等の跡地利用は、公園等の平面的な利用や太陽光発電設備等の軽量物の設置が主になっている。本研究で現場実験を行ったプラスチック等を含む安定型処分場等の廃棄物地盤では、埋立後1年未満の地盤を除けば、重量構造物設置のために十分な強度を有する。また、処分場の管理者側も跡地利用を課題として挙げることが多い。こうした中で、本研究では研究成果として廃棄物地盤の試験・評価法を示した「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)」を提示した。同マニュアル(案)では、廃棄物地盤の利活用の可能性を探るための概略評価方法と、具体的に構造物の設置等に向けた検討時等に行う詳細評価方法に分けて、その手順を示した。これにより、検討の初期段階に廃棄物地盤の利活用の可能性を安価な試験で知ることができ（概略評価）、具体的に構造物の設置等に向けた検討時等には廃棄物地盤に適した合理的な試験により基礎形状の設計等のための地盤調査が可能になる。

また、廃棄物地盤の利活用の際には「最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン」⁴⁾を遵守する必要があるが、本研究では、実物規模の実証実験により風力発電設備の設計荷重を作用させた時の影響を調べ、ガス発生等に影響が無いことを確認した。実際の事例でも類似した確認方法により同ガイドラインを遵守した廃棄物地盤の利活用が可能になる。

本マニュアル(案)により、プラスチック等が混入した廃棄物地盤上での風力発電設備や水処理施設等の重量物の安全で合理的な設置が可能になり、未利用廃棄物地盤の有効活用が促進されることが期待できる。

2) マニュアル(案)を活用した地盤調査等の経済的な実施

プラスチック等が混入した廃棄物地盤の有効利用を考える場合の支持力等の現地調査法や安定解析法は確立されていない状況にあるなかで、廃棄物地盤の安定性評価や跡地利用にあたっては、現場が実験フィールドのようになり、種々の現場試験や解析がやみくもに実施されている状況にある。「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)」に提示した、衝撃加速度試験(キャスポル)、安息角試験、空隙率試験、平板載荷試験等の試験や解析評価が適切に行われるようになることで、経済的な現場調査・解析が可能になる。

概略評価法として提示したキャスポル(衝撃加速度試験)、安息角試験は非常に安価な試験法であるものの、これまでは廃棄物地盤への適用性が未確認であった。本研究により、これらの試験結果と支持力との関係を見出すことができたことから、経済的に廃棄物地盤の利活用の可能性を把握できるようになった。

3) 産業廃棄物最終処分場や不法投棄等現場の合理的な監視等

産業廃棄物安定型処分場は全国に約 1,200 箇所、同管理型処分場は約 750 箇所存在する。また、不法投棄等現場は全国に未だ約 1,600 万ト残留しており、行政にはこうした現場の斜面崩壊や有害物流出・拡散等による生活環境保全上の支障が生じるおそれについての監視や必要に応じた対策が求められる。こうした現場の多くはプラスチック等が混入した現場であり、本研究によりこのような現場での水の排水特性や、沈下特性、発生ガスによる影響等を提示できたことにより、合理的な監視、対策に結びつく。また、行政にはこうした現場の安全性についての迅速な見極めが必要になることがあるため、空隙率試験法等の現場簡易評価法を提案することで、行政による迅速な監視、対策に貢献できる。

4) 最終処分場の合理的な設計・管理への貢献

産業廃棄物最終処分場の管理者は、処分場の力学的な課題として、適切な埋立形状やえん堤の安定性の評価を挙げることが多い。プラスチック等を含む廃棄物層は弾性的(resilient)で、大きなせん断抵抗を有し斜面崩壊が極めて生じにくい。地震時についても、本研究により擁壁等に作用する土圧は土砂地盤よりも小さいことが確認された。

従来の埋立断面評価法では、プラスチック等を含む廃棄物層が有する引張抵抗が加味されていないことや、過大に地下水位が高く設定されている可能性がある。本研究で提示した「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)」により、適切な地盤評価を行うことにより、合理的な埋立断面(埋立高、斜面勾配)や擁壁等の設計に結びつく可能性があり、わが国の処分場容量確保のための一助になることが期待できる。

また、地盤強度には埋立方法が影響することも把握できたことから、今後、より高密度、高強度な埋立を可能とする埋立方法の確立に結びつく可能性もある。

5) 震災廃棄物、災害廃棄物のリサイクル促進

東日本大震災で発生した膨大な廃棄物等の災害廃棄物については、自治体の他、学識経験者、産業界等からリサイクルを一層促進すべきとの意見が多くある。本研究により、土砂にプラスチック等の繊維状等物が入ることにより、せん断強度が高まることや、地盤の破壊現象が生じにくくなることなど独特の力学特性を確認しており、プラスチック等の繊維状物等の混入と力学・環境特性の関係を研究することで、震災廃棄物や今後も発生が想定される災害廃棄物の適材適所の利用等、一層のリサイクル促進に寄与することが期待できる。

6) アジア地域等への技術移転

アジア地域の埋立地では、多雨や生ごみ主体の埋立により過度の水分が廃棄物地盤に含まれること等から、度々大規模な斜面崩壊が生じている。また、現状では埋立地でメタンガス利用等の活用が進められているものの、将来的な跡地利用は課題になっている。こうした中、アジア地域の埋立地管理者から本研究に関する問い合わせが寄せられており、実際にトルコの埋立地でデータ比較と国際連携を目的とした現場実験を行った。このようなことから、本研究でわが国の廃棄物地盤の力学評価方法等を提示することで、アジア地域への技術移転が期待できる。

<行政が既に活用した成果>

1) 静岡県内の不法投棄現場での低コスト支障除去対策の実施

中部地方の斜面崩落のおそれのあった不法投棄等現場にて、本研究で検討を進めている安息角試験法を実施して、当該地での安定勾配を行政に提示することにより、行政による低コスト支障除去対策が実施できた。本事案では、行政は数百万円の地盤調査費を計上して現場調査を実施したうえで、対策を検討するつもりであったが、安息角試験法で地盤評価を行うことによって、行政の負担は試験用の重機調達費用のみの10万円程度で済んだ。さらに、適切に安定勾配を設定できたことから対策も小規模になり、地元の廃棄物処理業協会のボランティアな協力を得ることができ、行政は無償で対策が実施できた。(参考資料：第36回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 pp.343-345))

<行政が活用することが見込まれる成果>

現在、特になし。(今後、「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)」を周知することにより、行政での活用を推進する。)

6. 国際共同研究等の状況

1) トルコ共和国・埋立地管理会社との共同研究の実施

トルコ共和国、イズミット (Izmit) に位置するソラクラ埋立地 (Solaklar Landfill) でのオルタドグ・エナジー社 (ORTADOGU ENERJI) と共同現場実験を実施 (2014年8月9日～11日) し、当該埋立地の斜面安定性評価及び将来の跡地利用の可能性検討を行った。

(2014年度、現場実験参加者：山脇敦、大嶺聖、土居洋一、川寄幹生)

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 川井晴至, 島岡隆行, 坂口伸也, 山脇敦: 廃棄物埋立地盤中の軟プラスチックが有する補強効果に関する基礎的研究, ジオシンセティックス論文集, 第29巻, pp.169-176, 2014.
- 2) 川井晴至, 島岡隆行, 坂口伸也, 山脇敦: 廃棄物埋立地盤中の軟プラスチックが有する補強効果に関する基礎的研究2, ジオシンセティックス論文集, 第30巻, pp.125-132, 2015.
- 3) Seiji Kawai, Takayuki Shimaoka and Shinya Sakaguchi, Behavior of soft plastic in illegally dumped solid waste according to effective stress changes, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (15ARC), 2015.11(掲載予定、査読済み)
- 4) K. Omine and S. Sigimoto, Simple estimation method of in-situ strength of sedimentary solid waste ground, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, (2015.11)
- 5) S. Miyamoto and K. Omine, Strength evaluation of solid waste material included various fibrous materials, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, (2015.11)
- 6) Atsushi Yamawaki, Kiyoshi Omine, Yoichi Doi and Mikio Kawasaki, Slope Stability of Solid Waste Layers in Japan and Asia, Modern Environmental Science and Engineering, Volume2, Number1, January 2016, pp.23-30

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 山脇敦, 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(中間報告), 産廃振興財団 NEWS NO.75 (2014, 7), p.17-19
- 2) 山脇敦, トルコ共和国～現地との共同実験報告～(廃棄物斜面安定性評価等の研究), 産廃振興財団 NEWS NO.76 (2014, 11), p.14-18
- 3) 山脇敦, 廃棄物堆積現場の低コスト斜面安定対策事例, 産廃振興財団 NEWS NO.78 (2015, 5), p.15-17
- 4) 山脇敦, 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(中間報告・その2), 産廃振興財団 NEWS NO.79 (2015, 7), p.7-10
- 5) 山脇敦: ISWA 国際会議に参加して～国内外の廃棄物地盤の斜面安定性に関する研究発表～, 産廃振興財団 NEWS NO.80 (2015, 11), p.24-26

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) Kiyoshi Omine, Atsushi Yamawaki, Mikio Kawasaki, Yoichi Doi, Satoshi Sugimoto, and Banri Nagaura, Development of in-situ direct shear and earth pressure tests for estimation of strength of solid waste materials, Proc. of the 13 Global Joint Seminar on Geo-Environmental Engineering, p.151-155, Sapporo, (2014, 5)
- 2) 川井晴至, 島岡隆行, 坂口伸也, 山脇敦: 廃棄物埋立地盤に含まれる軟プラスチックの挙動に関する研究, 平成24年度研究討論会,(2014.5) (ポスター)

- 3) 長浦 万理, 大嶺 聖, 杉本 知史, 亀井 耀平, 山脇 敦 : 堆積廃棄物地盤の現場強度の簡易推定法, 第 49 回 地盤工学研究発表会, 北九州, (2014, 7)
- 4) S. Miyamoto, N. Yasufuku, R. Ishikura, K. Omine, S. Kawai, A. Yamawaki : In-situ Shearing Response and Shear Strength of Various Solid Waste Ground Focused on Fibrous Materials Composition, The International Symposium on Geomechanics from Micro to Macro, Cambridge, (2014. 9)
- 5) 川井晴至, 島岡隆行, 坂口伸也, 山脇敦, プラスチックを多く含む廃棄物埋立地盤の土粒子の密度試験, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 広島,(2014, 9)
- 6) 川井晴至, 島岡隆行, 坂口伸也, 山脇敦 : 廃棄物埋立地盤中の有効応力変化に伴う軟プラスチックの挙動に関する研究, 第 25 回廃棄物資源循環学会, 広島, (2014, 9), p.455-456
- 7) 山脇敦, 島岡隆行, 大嶺聖, 土居洋一, 川井晴至 : プラスチック等を含む廃棄物地盤の空隙測定と沈下特性等に関する一考察, 第 25 回廃棄物資源循環学会, 広島, (2014, 9), p.457-458
- 8) 土居洋一, 山脇敦, 川寄幹生, 小林優子 : 篩分け堆積廃棄物の安息角試験結果を用いた斜面安定性評価 の検討, 第 25 回廃棄物資源循環学会, 広島, (2014, 9), pp459-460
- 9) Kiyoshi Omine, Atsushi Yamawaki, Mikio Kawasaki, Yoichi Doi, Satoshi Sugimoto, and Banri Nagaura : Estimation of Strength of Solid Waste Materials by In-Situ Direct Shear and Earth Pressure Tests 7th International Congress on Environmental Geotechnics, Australia, (2014,11)
- 10) 山脇敦, 土居洋一 : 廃棄物堆積現場の斜面安定性評価法と低コスト対策事例, 第 36 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, (2015, 1), p.343-345
- 11) 川井晴至, 島岡隆行, 坂口伸也 : 廃棄物埋立地盤の物理組成が圧縮強度の発現に及ぼす影響, 第 11 回 環境地盤工学シンポジウム発表論文集, (2015,7), p.153-160
- 12) 山脇敦, 土居洋一, 川寄幹生, 小林優子 : プラスチック等を含む廃棄物地盤の沈下と水挙動に関する現場及びカラム実験, 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 福岡, (2015, 9), 講演原稿集 pp491-492
- 13) Atsushi Yamawaki, Kiyoshi Omine, Yoichi Doi and Mikio Kawasaki : Slope Stability of Solid Waste Layers inside and outside of Japan, ISWA15 World Congress Antwerp, ベルギー, (2015,9)
- 14) Kiyoshi Omine, Atsushi Yamawaki, Yoichi Doi and Mikio Kawasaki : Simple testing method for evaluating in-situ strength of solid waste materials by horizontal resistance of short piles (ポスター) , ISWA15 World Congress Antwerp, ベルギー, (2015,9)
- 15) Kiyoshi Omine, Satoshi Sugimoto and Atsushi Yamawaki, In-situ tests for slope stability of solid waste deposit, Proc. of 2nd Japan-India Workshop in Geotechnical Engineering - Geotechnics for Resilient Infrastructure – Fukuoka, (2015.11)

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般向け技術展示会「EE 東北'15(Engineering Exhibition Tohoku '15)」(主催: EE 東北実行委員会(国土交通省東北地方整備局等、来場者数: 約 1 万人)への出展

2) インターネット上での研究成果の継続的な発信

研究成果を公益財団法人産業廃棄物処理事業振興財団のホームページ「産廃情報ネット」に掲載するとともに、同機関誌「財団ニュース」に掲載。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

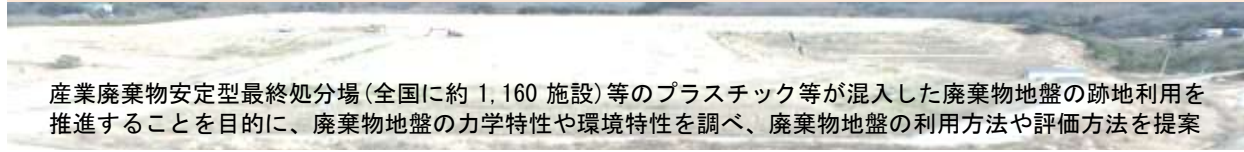
- 1) 山脇敦、島岡隆行、勝見武、大嶺聖、川寄幹生、土居洋一、柴暁利、川井晴至、坂口伸也：平成 24 年度環境研究総合推進費補助金研究事業総合報告書 不法投棄等現場の堆積廃棄物の斜面安定性評価, 2013 年 3 月
- 2) 不法投棄等の斜面安定性評価研究グループ：不法投棄等現場の堆積廃棄物の斜面安定性評価方法 (大成出版社)、2013 年 12 月
- 3) 土木学会：風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2010 年版]、2011 年 1 月
- 4) 廃棄物最終処分場跡地形質変更に係る基準検討委員会：最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン
- 5) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、2004 年 6 月
- 6) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説、2009 年 11 月
- 7) 国立天文台：平成 26 年理科年表、平成 25 年 12 月
- 8) 地盤工学会：土質試験から学ぶ土と地盤の力学入門、2005 年 6 月
- 9) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針, 2012 年 4 月改訂
- 10) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、第 2 版、2001 年 10 月
- 11) 渡辺健治ほか：模型実験による地震時土圧に関する一考察、第 26 回地震工学研究発表会講演論文集、pp.745-728、2001 年
- 12) 近畿地方建設局近畿技術事務所：簡易支持力測定器による試験方法, 1996 年 5 月
- 13) 近畿地方整備局近畿技術事務所：簡易支持力測定器(キャスポル) 利用手引き, 2005 年 6 月
- 14) 松倉公憲, 恩田裕一：安息角 定義と測定法にまつわる諸問題, 筑波大学水理実験センター報告, No.13, pp27~35, 1989
- 15) 土木学会：水理公式集 平成 11 年版、1999 年 11 月
- 16) 日本河川協会：河川砂防技術基準(案) 調査編、平成 24 年 6 月改訂
- 17) Florian Koelsch：Toolkit Landfill Technology, Chapter 4.6, Static Stability of Landfills, German Geotechnical Society(DGGT), July, 2009
- 18) Klaus-Peter Salomo: Schwimmende Gruendung von Windkraftanlagen auf Deponien am Beispiel der Deponie Georgswerder in Hamburg

- 19) Klaus-Peter Salomo, Detlef Krüger, Dirk Fischer: Großbrahmenscherversuche auf der Deponie Wernsdorf, Oktober 2001
 - 20) Stefan Melchior: Remediation and Future Use of the Hamburg-Georgswerder Landfill, IBA HAMBURG 2013
 - 21) I.R.Fleming, B.F.Sparling and J.S.Sharma: Waste Mechanics Study Proposed Wind Turbine Foundation on Municipal Waste Landfill, October, 2011
 - 22) Tilman Wolfsteller: Construction and Operation of Windmills and Solar Power Plants on Landfills
 - 23) Herrn Thomas Müllerschön: Windkraftanlage auf der Deponie West, Karlsruhe, August 2012
 - 24) 松田雅央：カールスルーエ・エネルギーの丘見学、2015年9月
 - 25) 財団法人産業廃棄物処理事業振興財団：支障除去のための不法投棄現場等現地調査マニュアル、2006年12月
- (その他の参考文献)
- 26) 地盤工学会：斜面の安定・変形解析入門、1995年6月
 - 27) 地盤工学会：地盤工学数式入門、2011年5月
 - 28) 日本道路協会：道路土工 盛土工指針、2010年4月
 - 29) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編、改訂版、2012年3月
 - 30) 東京都港湾局：東京港のごみ埋立地盤の安定化調査について、2001年5月
 - 31) 平田登基男、花島正隆、松藤康司、柳瀬龍二：プラスチックフィルムを混入した焼却灰の土質力学特性、1988年8月
 - 32) 阿部廣史：不飽和土の膨潤とコプラス、2011年4月
 - 33) 烏山暁司：締固め土の水浸沈下について、Bull. Fac. Life Env. Sci. Shimane Univ., 8:81-86, Dec. 2003
 - 34) Michael L.Leonard and Kenneth J.Floom: Estimating Method and Use of Landfill Settlement
 - 35) I.Towhata, Y.Kawano, Y.Yonai and F.Koelsch: Laboratory Tests on Dynamic Properties of Municipal Waste, Aug.2011

[研究概要図]

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

代表研究者：山脇 敦



産業廃棄物安定型最終処分場(全国に約 1,160 施設)等のプラスチック等が混入した廃棄物地盤の跡地利用を推進することを目的に、廃棄物地盤の力学特性や環境特性を調べ、廃棄物地盤の利用方法や評価方法を提案



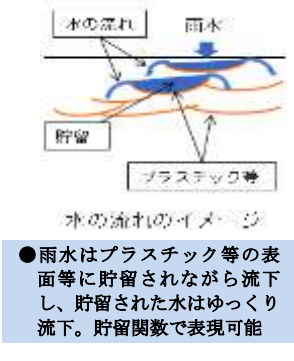
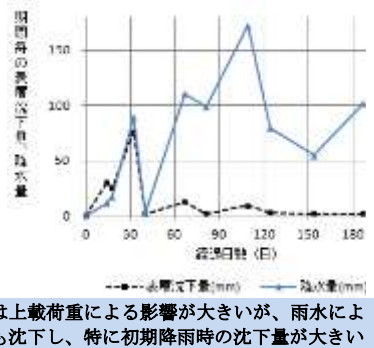
分類	主な廃棄物種類	力学特性	力学評価方法		透水、排水性	環境影響評価方法
			せん断強度	支持力、沈下		
①10cm 超のプラスチック等を多く含む地盤	廃プラスチック、がれき類、ガラス・陶磁器等、金属類	沈下しやすいが、内部摩擦角が大きく、繊維状物等による引張抵抗を有し粘り強い。地震時水平土圧も小	1) 概略評価; 安息角試験、キャスポル 2) 詳細評価; 一面せん断試験、引張試験	平板載荷試験、沈下計測、不同沈下確認載荷試験	透水性が良い。廃棄物表面の貯留効果により排水ピークが減少	1) 概略評価; 表層ガス測定、ガス抜き管等を利用したガス、水質測定 2) 詳細評価; 「形質変更ガイドライン」への対応
②10cm 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、プラ等小型物	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 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

概略評価法 **詳細評価法**

支持力公式による極限支持力(MN/m²)

● 支持力をキャスポル試験と安息角試験から概算可能となった
● 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

平板載荷試験とキャスポル&安息角による極限支持力



振動台実験

● 水平震度<1 のとき地震時水平土圧は土地盤より小さいことを確認

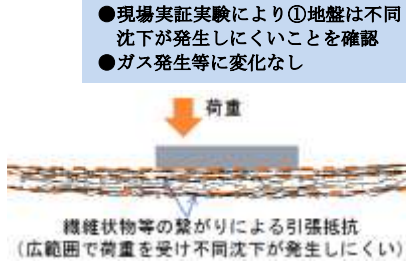
現場実証実験

● 現場実証実験により①地盤は不同沈下が発生しにくいことを確認
● ガス発生等に変化なし

● 想定した小型風力発電設備 h=30m Excel10 by TenArrows

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
水処理施設等 [直接基礎]	●	●	●	●	●	△
風力発電設備 [直接基礎]	●	△	●	●	△	△
太陽光発電	×	△	×	△	△	×
駐車場(舗装)	×	△	×	△	△	×
公園・緑地	×	×	×	△	△	△



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)

[英文概要]

Study on Mechanical and Environmental Properties
of Plastics included Landfills with Elastic Behavior

Principal Investigator: Atsushi YAMAWAKI
Institution: Japan Industrial Waste Management Foundation
2-6-1 Kajicho, Chiyoda-ku, Tokyo, JAPAN
Tel: +81-3-3526-0155/ Fax: +81-3-3526-0156
E-mail: yamawaki@sanpainet.or.jp

Cooperated by: Nagasaki University, Nagano Prefectural College, Kyushu University,
Kyoto University, Center for Environmental Science in Saitama, Maeda Corporation

[Abstract]

Key Words: Plastics included landfill, Mechanical assessment, Bearing capacity,
Settlement of waste ground, Impact acceleration test (CASPOL), Repose angle test,
Porosity measurement, Flat board loading test, Water behavior, Full-scale eccentric load test

The purpose of this research project is to clarify the mechanical and environmental characteristics of plastics-included landfills, to propose methods to assess these characteristics, and to discuss the feasibility of environmentally sound and economical use and improvement of such landfills (for example, as a site for wind power generation).

On-site strength tests such as flat board loading test, direct shear test, etc. were conducted at 19 places of 12 sites (11 sites in Japan, 1 site in Turkey). And supplementary indoor test such as shake table experiment, various column test were conducted.

By on-site tests, we confirm the availability of repose angle test, impact acceleration test (CASPOL) and porosity measurement (new development) for plastics-included landfill.

Plastics (about more than 10cm) - included solid waste grounds generally demonstrate greater strength characteristics than soil grounds, and the results show that it is stable from the mechanical point of view that heavy-weight structures and the like can be installed on them. It should be noted however that the strength depends on so many parameters such as composition, size, deposit time, voids and water content that as of this moment a mechanical assessment needs to be made through site-specific methods in accordance with the characteristics of the site and the intended type of land utilization.

Behavior of water inside the solid waste layer is one of the key factors in both mechanical and environmental assessments. We have found that water in its most part runs down through big voids and is drained out rather quickly, but a certain portion is retained on the surface of the solid waste pieces and elsewhere and is drained slowly over a long period of time.

Envisaging installation of a small wind power generation unit, we designed a concrete slab and installed. Then we conducted a full-scale eccentric load test on the slab. The result showed that no uneven subsidence was observed. In addition, the gasification at the time of the loading experiment did not have the change.

“Mechanical assessment methods for solid waste grounds” is presented through this research. To set of wind-generated facilities or others in Japan and to lead to technology transfer initiatives to Asian countries are expected.