

タイヤチップパックを用いた海面埋立処分場の底部粘土保護効果の解析的検討

福岡大学工学部 学生会員 鉄穴 佑輔 秋光 萌生  
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣  
 (株)IMAGEi Consultant 正会員 磯部 有作 Siavash Manafi Khajeh Pasha

1. はじめに 海面埋立処分場では、海底地盤に堆積している沖積粘土層を遮水層として利用することが多く、廃棄物投入時の衝撃で遮水層が損傷する可能性がある<sup>1)</sup>。著者らは、遮水層を保護することのためにタイヤチップパック(以下 TCP)を沖積粘土層上部に敷設して緩衝材としての効果について研究を行っている<sup>2)</sup>。本報告では、①室内モデル実験による緩衝効果についての検討と②解析による検討の両面から妥当性の確認について考察する。

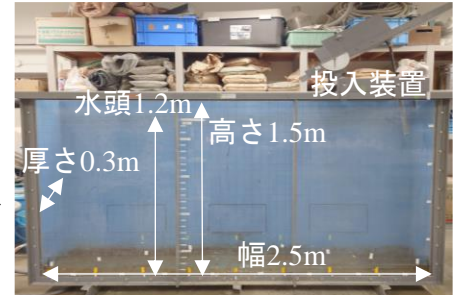


写真-1 大型水槽

2. モデル実験による緩衝効果の検討

2.1 実験装置の概要 本実験では、写真-1に示す海面埋立処分場に見立てた大型水槽(幅250cm、高さ150cm、奥行き30cm)の上部に取り付けた投入装置(投入角度30度、容積12150cm<sup>3</sup>)からモデル沈設物を投入する。

2.2 実験条件 モデル沈設物投入実験では、一般に投入される廃棄物が質量や形状が異なるものが同時に投入されることから、写真-2に示すボルトとナットの混合物(混合比率1:1)を使用した(表-1)。ここで、モデル沈設物の投入量は、傾斜型投入装置に入る最大容積量(35kg)とし、TCPの変形状況および緩衝効果を観察するため、単位質量の大きいステンレス製を使用している。また、水槽底部には、粘土層(カオリン粘土(表-2):含水比51%(液性限界)、層厚15cm)を水平に敷設し、緩衝材として縦30×横30×厚さ3cmのTCP(写真-2)を粘土層上部に敷設(標準配置)し、TCPによる底部粘土層の保護効果の検討を行った<sup>3)</sup>。ここで、標準配置とは、TCPを隙間なく、粘土層上に並べた配置である。実験は、投入装置の滑り距離30cm、投入角度30°、水深120cmの一定条件下で実験を行った。実験結果の評価では、TCPの損傷の度合いを数値化するため、沈降挙動をビデオカメラで撮影し、撮影した動画から表-3に示す評価方法(TCPの圧縮量ΔS、移動量ΔD、集中荷重値L)を設け、底部形状・配置ごとの損傷の度合いを比較・評価した<sup>2)</sup>。ここで、集中荷重値Lは、各TCPに堆積したモデル沈設物の堆積分布を計測し算出している。

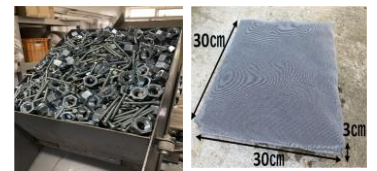


写真-2 混合物 写真-3 TCP

表-1 実験条件

TCP配置	沈設物	投入量(kg)	混合比率	粘土層形状
標準	ボルト+ナット	35	1:1	水平

表-2 カオリン粘土の物理特性

土粒子の密度(ρ/cm <sup>3</sup> )	2.731	液性限界(%)	51.7
強熱減量 lg-loss(%)	3.11	塑性限界(%)	34.3
細粒分含有率(%)	100	塑性指数	17.4

表-3 評価方法

損傷度	0	1	2	3	4
圧縮量ΔS (cm)	AS=0	0<AS≤1.0	1.0<AS≤2.0	2.0<AS≤3.0	AS<3.0
移動量ΔD (cm)	AD=0	0<AD≤1.5	1.5<AD≤3.0	3.0<AD≤4.5	AD<4.5
集中荷重L (%)	L=0	0<L≤20	20<L≤30	30<L≤40	L<40

圧縮量ΔS=(変形前のTCPの厚さ)-AS<sub>2</sub>(変形後のTCPの厚さ)  
 移動量ΔD=(AD<sub>1</sub>+AD<sub>2</sub>)/2  
 集中荷重L=(沈設量/全体量)×100

写真-4に水槽底部に実験後の堆積状況を示し、写真-5に荷重が集中したTCPの損傷状況を示した。堆積状況から標準配置によるTCPの圧縮量および移動量、集中荷重を確認できた。表-4に実験結果を示す。結果より、堆積が集中した箇所ではTCP両端の移動量が大きくなったことが示された。

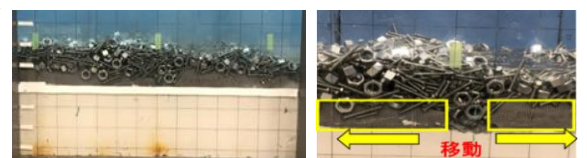


写真-4 沈設物の堆積状況 写真-5 集中堆積状況

表-4 実験結果

Pack	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
圧縮量	0	0	1	2	2	1	0	0
移動量(cm)	0	1	1	1	3	2	1	0
集中荷重(kg)	0	0	1	4	2	1	0	0

3. 解析による検討

3.1 解析方法 大型水槽模型実験による沈降実験を対象に3次元弾性FEM解析を実施した。図-1にFEM解析に用いた全体モデル、図-1右上にTCPの寸法を示す。底部粘土層には実験時と同様の粘土の材料特性を用いている材料特性を表-5に示す。地盤およびTCPモデルは、線形弾性体モデルとした。また、弾性係数は粘土層で $E=4000(kN/m^2)^3$ 、TCPで $E=390(kN/m^2)$ とし、ポアソン比を粘土層で $\nu=0.3$ 、TCPで $\nu=0.2$ と仮定した。解析フェーズは、粘土地盤の初期応力解析、TCPの敷設後、TCPに与える衝撃力による荷重を phase.2、衝撃後の沈設物自体の自重による荷重を phase.3 とした。

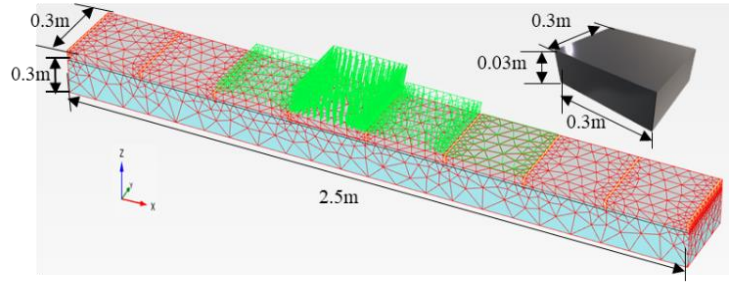


図-1 3次元FEM解析メッシュ図

3.2 荷重条件 1) 衝撃力を式(1)と(2)を用いて衝撃力を算出した。

$$V_t = \sqrt{2mg/\rho AC_d} \quad (1)$$

ここで、 $V_t$ :最大終端速度、 $m$ :質量、 $g$ :重力、 $\rho$ :水の密度、 $C_d$ :抵抗係数である。

また抵抗計数 $C_d$ は球体と考え0.5とした。

水中を自由落下している場合の沈設物の衝撃力は式(2)より求める。

$$F_{avg} = 1/2mv^2/s \quad (2)$$

ここで、 $F_{avg}$ :衝撃力、 $m$ :各 Pack に沈設した物体の質量、 $v$ :終端速度である。なお、TCP 個々は Pack と表現している。また、実験から落下物の落下角度は水平軸に対して80度としている。

2) 沈設物の自重 式(3)、(4)を用いて自重による荷重を算出した。

$$W=(\rho_{obj}-\rho_{water})*(m/\rho_{obj})*9.81 \quad (3)$$

ここで、 $W$ :水中重量、 $\rho_{obj}$ :廃棄物の密度、 $\rho_{water}$ :水の密度である。

$$\text{水中重量の分布荷重}=(W/A) \quad (4)$$

ここで、 $A$ : Pack の断面積である。

3-2 解析結果 図-2(a)~(c)に解析結果による変形図および水平変位、鉛直変位を示す。結果として、変形図においてはモデル実験同様 pack4 の左方に大きな変形が見られ、変位量のコンター図から TCP の変形の特徴を確認できた。また表-6 に phase.2 および phase.3 における各 TCP の水平変位および鉛直変位の解析結果を示す。結果として、解析において両端の pack の鉛直変位は限りなく0に近いことがわかる。また、より荷重のかかった中央の鉛直変位においても差異はあるがモデル実験同様の傾向が得られた。

表-5 材料物性値

材料	粘土層	TCP
モデル	線形弾性体	線形弾性体
飽和単位重量(kN/m <sup>3</sup> )	16	11
ヤング係数(kN/m <sup>2</sup> )	4000	390
ポアソン比(-)	0.3	0.2

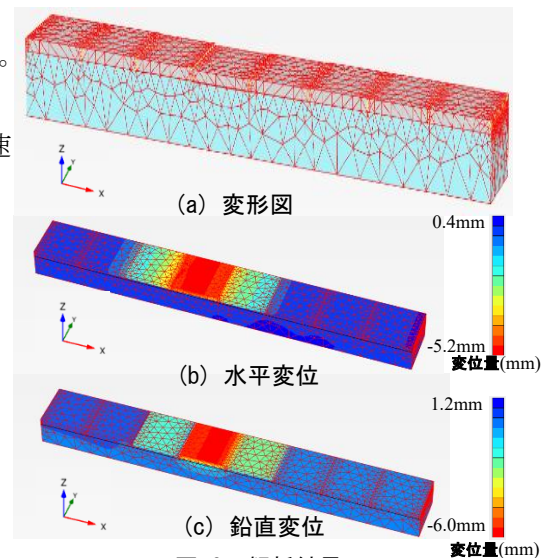


図-2 解析結果

表-6 解析結果  
解析結果 phase. 2

	Pack1	Pack2	Pack3	Pack4	Pack5	Pack6	Pack7	Pack8
水平変位	-0.0001	-0.0013	-0.0046	-0.0050	-0.0035	-0.0008	-0.0001	0.0000
鉛直変位	0.0000	0.0003	-0.0018	-0.0057	-0.0032	-0.0005	0.0000	0.0000

解析結果 phase. 3

	Pack1	Pack2	Pack3	Pack4	Pack5	Pack6	Pack7	Pack8
水平変位	0.0000	-0.0008	-0.0019	-0.0018	-0.0001	-0.0002	0.0000	0.0000
鉛直変位	0.0000	0.0001	-0.0007	-0.0013	-0.0002	-0.0001	0.0000	0.0000

4. まとめ TCP 敷設による底部粘土層保護効果に関する大型水槽模型実験および数値解析により、TCP の保護効果、緩衝性の指標となる変形の傾向について検討した結果、解析において若干鉛直変位が実験値と乖離したものの水平変位を精度よく評価できることが示された。

【参考文献】 1) 環境省：一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令, 2016. 2) 橋元ら：海面埋立処分場におけるタイヤチップパックの底部粘土層保護効果の検討, 土木学会西部支部研究発表会, III-054, pp.377-378, 2021. 3) 武井ら：タイヤチップパックを用いた海面埋立処分場における最適な保護工法の検討, 土木学会西部支部研究発表会, III-43, pp.355-356, 2022. 4) 浦野ら：粘土地盤を対象とした十字型改良体の鉛直支持力特性に関する三次元 FEM 解析, III-474, pp.947-948, 2009.