

海面埋立処分場におけるタイヤチップパックの適用性

福岡大学工学部	学生会員	細井 直子	松尾 雅伸
福岡大学工学部	正会員	佐藤 研一	藤川 拓朗
(株)地層科学研究所	正会員	磯部 有作	古賀 千佳嗣

1. はじめに 著者ら^{1),2),3)}は、これまでに海面埋立処分場における廃棄物投入時の粘土遮水層上部の保護のためのタイヤチップパック(以降、TCP とする)の緩衝材について、その有効性と沈設状況について大型土層実験から明らかにしてきた。しかしながら、緩衝材としての TCP を敷設する際にも安定した投入が重要であり、TCP の沈降特性や沈降挙動について把握しなければならない。そこで本報告では、①TCP 投入時の初速に着目し、大型水槽を用いた TCP の投入角度、滑り距離の違いによる沈降・沈設特性、②TCP の自由沈降現象について解析的なアプローチを行った結果について報告する。

2. 大型水槽を用いた TCP 沈設実験の概要

2-1 実験装置及び試料 本実験は、アクリル製大型水槽(幅 250cm、高さ 140cm、奥行き 30cm)と水槽上部に取り付けた投入装置を用いて行った¹⁾。なお TCP の投入装置は、滑り距離、投入角度に応じた初速度を試料に生じさせることができる。TCP 内に入れる 3 種類のタイヤチップ((a)1.0<d<3.0mm, (b)3.0<d<4.0mm, (c)d=32mm)を写真-1 に示す。これらを網目の大きさが 1.0mm のポリエステル製ネットに包んで TCP を作成している。今回、水槽内には水道水を水深 120cm で満たしている。



写真-1 タイヤチップの外観

表-1 実験条件

チップ粒径 (mm)	TCPサイズ(cm)	投入角度 (θ°)	滑り距離 (cm)	重さ (g)
1~3	TCP-A 20×20	30 0	30 0	700
3~4	TCP-B 20×30			1050
32	TCP-C 20×40			1400

2-2 TCP の投入角度及び滑り距離の違いによる沈降・沈設状況の検討 表-1 に実験条件を示す。条件①：投入装置から投入角度($\theta=30^\circ$)、滑り距($L=30$ cm)で落下させた場合と、条件②：投入装置を使わず TCP を水面に直接置いた場合(投入角なし($\theta=0^\circ$)、滑り距離なし($L=0$ cm))の 2 つの条件により比較検討を行った。また、緩衝材となる 3 種類の TCP は、写真-2 に示すように TCP-A(20×20cm)、TCP-B(20×30cm)、TCP-C(20×40cm)としている。



写真-2 TCP の外観

2-3 CIP(Constrained Interpolation Profile Scheme)法を用いた TCP の自由沈降現象の解析的アプローチ 実際の処分場の現場における沈降・沈設状況の予測を行うために、まずは、室内土層実験での沈設現象を表現することが可能であるか、流体と剛体をモデル化した CIP 法という界面現象を捉えるのに有効な解析手法を用いて検討した。

表-2 沈設後の評価定義

○	△	×

3. 実験結果及び考察

3-1 TCP の投入角度及び滑り距離の違いによる沈降・沈設状況の検討 表-2 に沈設後の評価定義を示す。ここで、○：最終的な着底状況が水槽底面に横たわった様子、△：沈降はしたが、垂直に立った様子、×：沈降せずに水面に浮遊した様子と定義する。表-3 に沈設後の評価を示す。

表-3 投入角度・滑り距離の違いによる沈設後の評価

	チップ粒径	1~3mm	3~4mm	32mm
条件①	TCP-A	○	○	○
	TCP-B	△	○	△
	TCP-C	△	○	○
条件②	TCP-A	×	×	○
	TCP-B	×	×	○
	TCP-C	×	×	○

TCP に初速をつけず水面に着水させた条件では、チップ粒径 1~3mm, 3~4mm において TCP は沈降せずに水面に浮遊することを示した。またチップ粒径 32mm においては、手で TCP の面を下にして直接置くため垂直方向に落下し最終的な着底状況が水槽底面に横たわった。TCP の沈降には、パックの重さや大きさではなくチップ粒径の大きさと初速が影響因子となり得る可能性が示唆された。図-1 (a), (b)に条件①, ②の両条件において落下したチップ粒径 32mm の沈降速度分布を示す。チップ粒径 32mm ではチップ粒径が大きく、TCP 内の

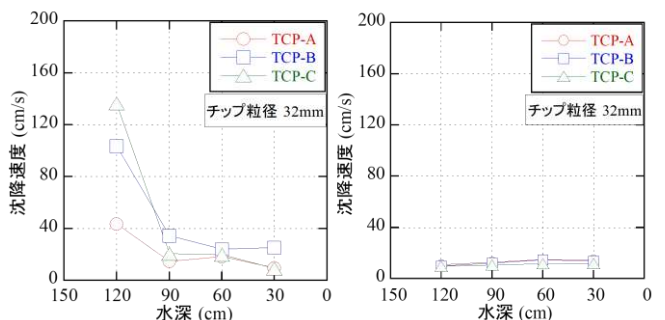
親水性が高いと考えられるため、沈設状況に初速は必要なく、沈降・沈設が出来ることが示された。また、沈降速度分布から TCP の大きさに関係なく、ほぼ同じである。これらのことから、チップ粒径の大きい TCP を実際に投入する際は、投入角度及び滑り距離に影響されることなく沈設が可能であることも明らかとなった。

3-2 CIP(Constrained Interpolation Profile Scheme)法を用いた TCP の自由沈降現象の解析的アプローチ 流体

と剛体をモデル化した CIP 法は、界面付近の急激な物理量の変化を捉えるのに有効な解析手法であり、主に移流拡散問題へ適用されている⁴⁾。この手法は、刻々と変化する流体の物理量の空間分布を精度よく表現することができ、特に自由境界面において高い精度で時間発展計算を行うことが可能である。ここでは、室内実験結果をモデル化するために、図-2 に示す解析モデルと表-4 に示す条件を設定した。今回は、TCP の密度の違いによる沈降速度の変化を把握するために、TCP のおよそその密度である 1.1t/m^3 から既往の研究³⁾の礫混合 TCP のおよそその密度である 1.5t/m^3 までで検討を行った。なお、TCP は剛体としてモデル化し、親水性の無いものと仮定している。その結果、TCP 密度 $1.1\text{t/m}^3 \sim 1.3\text{t/m}^3$ については、解が収束しなかった。そのため、TCP 密度 1.4t/m^3 と 1.5t/m^3 の違いによる沈降速度の変化について報告する。図-3(a), (b)に(a)の時間的変化による沈降速度分布と(b)水深変化による沈降速度分布に示す。解析結果から TCP 密度の違いにより沈降速度の違いがみられた。いずれの TCP 密度においても同じような沈降を示すが、一旦、速度が落ちて再び上昇する挙動を示すのは、TCP の沈降方向が変わる瞬間ではないかと考えられる。しかしながら、室内土層実験においては図

-4 の CIP 法による TCP の沈降の様子に示すように、沈降方向が変わることはなかった。実際の TCP は、剛体と異なり水を通すため TCP の沈降挙動の表現をすることが難しいと考えられる。次に、図-5 に水槽実験で行った礫混合 TCP の沈降速度分布を示す。この結果と図-3(b)を比較すると、TCP 密度がほぼ等しく礫混合 TCP の終端速度はほぼ同じであり解析結果と整合性がとれていることが分かる。今後の課題として、TCP の初速、投入角度及び体積について詳細に検討することで精度の高い解析が可能と考えられる。

4. まとめ 1) TCP は、初速の有無やチップ粒径の大きさにより沈設後の状況が変化することが示された。2) CIP 法による検討により、TCP の終端速度をある程度表すことができること示された。また、CIP 法では密度の設定や初速など検討をする必要がある。今後、この工法の実現に向けて、解析により TCP の沈降着底・衝撃性や実規模の解析について検討する予定である。



(a) 初速あり ($\theta=30^\circ$, $L=30\text{cm}$) (b) 初速なし ($\theta=0^\circ$, $L=0\text{cm}$)

図-1 TCP の沈降速度状況

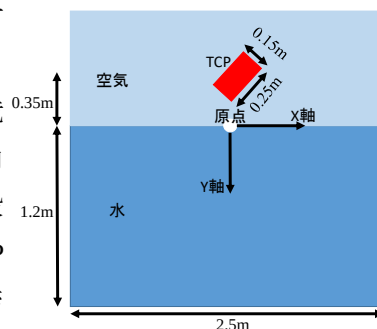
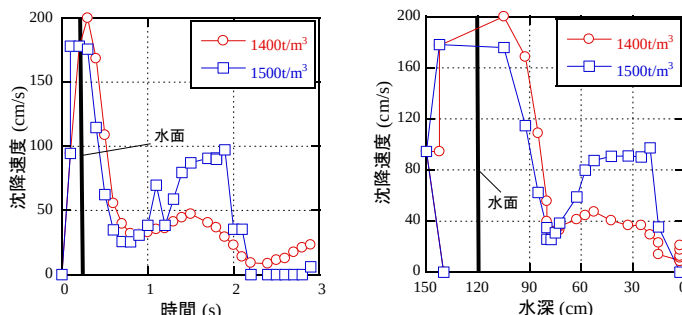


図-2 CIP 法による単粒子沈降の解析モデル図

表-4 CIP 法の解析パラメータ

	TCP	水	空気
密度 (t/m^3)	1.1 1.2 1.3 1.4 1.5	1	0.00125
粘性係数	1000	0.001	0.000018
メッシュサイズ	$x=0.01, y=0.01$		
メッシュ数	30×150		
重力加速度	9.81m/s^2		
CFL基準	0.005		



(a) 時間的変化による沈降速度分布 (b) 水深変化による沈降速度分布
図-3 沈降速度分布

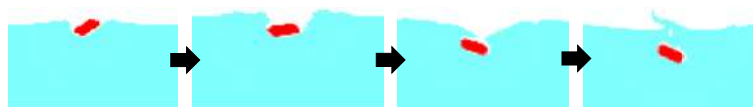


図-4 CIP 法による沈降の様子

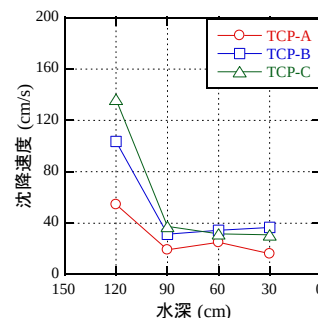


図-5 礫混合 TCP の沈降速度分布

【参考文献】1) 相原ら：海面埋立処分場におけるタイヤチップ敷設手法の検討，平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会，III-98，pp.447-448，2018. 2) 山本ら：海面埋め立て処分場におけるタイヤチップを用いた遮水層保護手法の検討，平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会，III-99，pp.447-448，2018. 3) 島田：海面埋立処分場におけるタイヤチップパックの投入方法及び沈降特性の検討，平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会，III-103，pp.445-446. 4) 矢部孝：固体・気体・液体の統一解法を目指す CIP 法，ながれ(日本流体力学学会誌)，Vol.15，pp.367-375.