建設重機の生産性向上・環境負荷低減に寄与する土付着抑制部材の開発

(株)大林組　　正会員　○粕谷　悠紀
大林道路(株)　　正会員　　光谷　修平
(株)ヒロテック　和鹿　公則
(株)ヒロテック　川渕　達巳

１．はじめに

土工事，地盤改良工事，杭工事などで油圧ショベルを使用して地山を掘削またはダンプトラックに積み込む作業を行う際，粘性土は特にバケットに付着しやすいため，作業効率が低下することが課題であった（**写真-1**，**写真-2**）．一般に，バケットに粘性土が多く付着すると揺動（付着した土を落とす作業）させたり，衝撃を与えたりして振り落とすため，大きな騒音や振動が発生するうえにバケットの接続部等が疲労・損傷しやすくなることも課題であった．

バケット内の付着残土による作業効率の低下は，建設機械の自律運転においても課題となる可能性がある．自律運転中にシステム側がバケット内の付着残土を逐次把握することは難しく，自律制御によってバケットを意図的に揺動させることも困難である．このため，自律運転を一定時間以上継続して行った場合には，自律運転を中断し，バケット内を清掃することになる．しかしながら，バケットの清掃は，作業員が建設機械に近づいて行わなければならず，作業が中断するため，施工効率の低下が懸念される．

これらの課題を解決するため，フッ素樹脂と金属を直接接合した土付着抑制部材をバケット内の底面，側面に設置する技術を開発した（**写真-3**）[1)]．本稿では，当該部材の概要について述べた後，屋外試験場での実証実験結果および長期的に現場で使用した場合の生産性向上，環境負荷低減効果，土付着抑制効果，耐久性に関する実験結果について述べる．加えて，実現場への適用事例や他建設重機に土付着抑制部材を設置した事例について，紹介する．最後に，所要日数・コスト・CO_2排出量の定量的評価結果について述べる．



写真-1　油圧ショベルの作業状況



写真-2　バケット内の土付着状況



写真-3　土付着抑制部材を設置したバケット

２．土付着抑制部材の概要

(1)部材概要

土付着抑制部材は，フッ素樹脂と鉄板を直接接合した製品である（**写真-4**）．土と接する滑面はフッ素樹脂の中で最も動摩擦係数が小さいポリテトラフルオロエチレン（以下，PTFE）とし[2)]，**図-1**に示す接合工程によりフッ素樹脂と鉄板を直接接合させる．まず，接合する鉄板面に対し，ナノレベルの酸化物粒子を配置すること

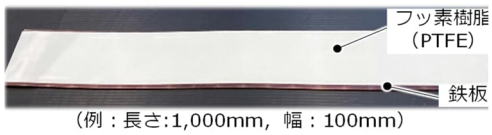


写真-4　土付着抑制部材の構造

キーワード　油圧ショベル，バケット，建設重機，土付着抑制部材，生産性向上，環境負荷低減
連絡先　〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640　(株)大林組 技術本部 技術研究所 地盤技術研究部　ＴＥＬ04-2495-1111

によって，表面処理を行う．接合面が下向きとなるように鉄板を設置し，レーザーを照射させて加熱する．伝熱によって接合界面を加熱させると同時に材料送りローラで加圧することにより，鉄板と PTFE を連続的に接合する．なお，光谷ら[3]が開発したダンプトラックの荷台に取り付ける土砂類付着抑制部材も同様な接合方法である．

(2)仕様

表-1 に土付着抑制部材の仕様を示す．バケットの底面（標準部）と側面は PTFE が 1.0mm，鉄板が 1.4mm の組合せとし，底面（湾曲部）は PTFE が 0.5mm，鉄板が 0.6mm または 1.4mm の組合せを基本とする．PTFE と鉄板との接合強度は，製造工場にて行ったはく離試験結果を整理して算出した．バケットへは 1 枚ごとに半自動溶接により仮付け溶接で設置している．

(3)特長

バケット内の底面と側面に土付着抑制部材を設置することにより，粘性土などが付着しづらくなるため，バケットの揺動・衝撃作業を削減できる．また，粘性土が付着しづらくなると，バケットの揺動・衝撃作業がほぼ不要となるため，騒音・振動の発生抑制やバケットの長寿命化にも貢献できる．加えて，自律運転による油圧ショベル作業の生産性向上にも貢献できる．

３．屋外試験場での実証実験

(1)実験概要

バケットに土付着抑制部材を設置した際の粘性土の付着抑制効果を把握することを目的として，屋外試験場で実証実験を行った．実験では関東ローム（自然含水比 w=45%程度）に加水したもの（w=75～85%）を試料として使用した．実証実験では，仮置き土に加水した後，**写真-5** に示す 0.45m³ 油圧ショベルで加水した土砂をすくい，別の箇所に下ろす作業を 10 回行った．作業後にバケット内部に付着した残土重量を計測し，粘性土の付着抑制効果を検証した．

油圧ショベルから 10m，20m，30m 離れた場所で騒音計測を併せて行った．騒音計測は，通常の「バケット作業時」と「バケット揺動時」の 2 つの作業を対象に実施した．

(2)実験結果

実験ケースのパラメータは，土付着抑制部材の貼付け面積とした．**図-2** に各ケースにおけるバケット内の残土重量測定結果を示す．貼付け面積比率とは，バケット底面と側面の面積の和に対する土付着抑制部材の貼付け面積を比率で表したものである．バケット内残

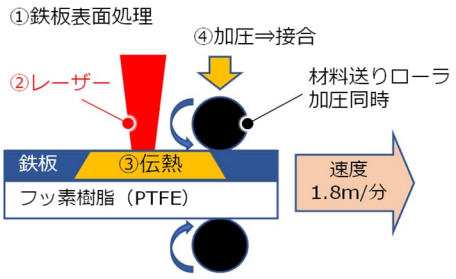
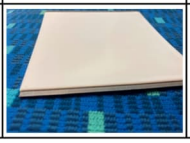


図-1　フッ素樹脂と鉄板の直接接合

表-1　土付着抑制部材の仕様

貼付け場所	底面（標準部）／側面	底面（湾曲部）	
バケットサイズ	0.04～2.0m³	0.04～0.44m³	0.45～2.0m³
仕様	PTFE_1.0mm 鉄板_1.4mm	PTFE_0.5mm 鉄板_0.6mm	PTFE_0.5mm 鉄板_1.4mm
接合強度※	4.2N/mm	2.4N/mm	
外観写真			

※はく離試験方法： ISO19095Type-C治具使用
試験片の寸法は20×250mm，接合範囲は20×160mm



写真-5　実証実験状況

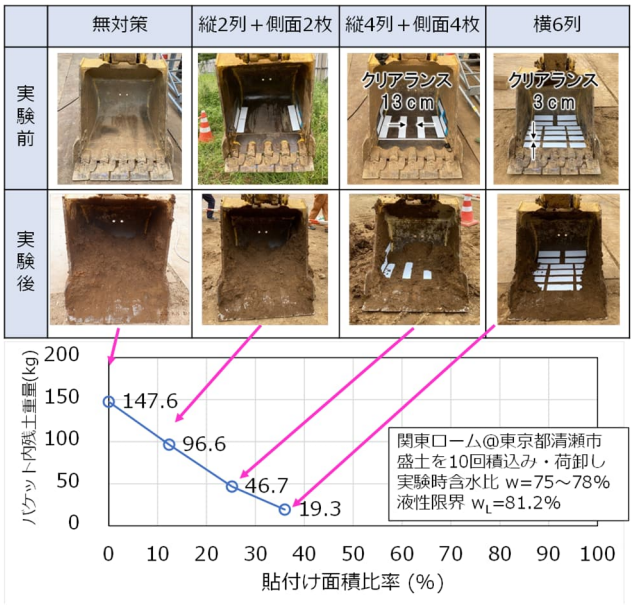


図-2　バケット内の残土重量測定結果

土重量は，土付着抑制部材の貼付け面積比率が 25%の場合は無対策の約 1/3 となり，貼付け面積比率が 36%の場合は約 1/7 となった．以上の結果より，土付着抑制部材の貼付け面積が増加するほどバケット内残土重量は低減することがわかった．

図-3 に騒音測定結果を示す．油圧ショベルから離れるほど騒音測定値は小さくなることを確認した．バケット作業時に生じた騒音測定値は，10m 地点で最大 70dB であった．一方，バケット揺動時に生じた騒音測定値は，10m 地点で最大 83dB であり，両者で約 12dB の差異がみられた．以上の結果より，揺動の作業は通常の掘削作業よりも騒音測定値が高いことから，土付着抑制部材を設置することにより土砂の付着が抑制され，バケットの揺動・衝撃作業を大幅に削減することができ，騒音低減効果が期待される．

4．実現場での長期実証実験

(1)実験概要

表-2 に長期現場実験の検証内容を示す．開削工事で発生した掘削土を 10t ダンプトラックに積み込む際に使用していた 0.7m³ 油圧ショベルを対象とした．評価項目は，生産性向上，環境負荷低減効果，土付着抑制効果，耐久性の 4 項目とした．耐久性の確認方法は目視とし，土付着抑制部材にめくれやはく離が生じていないかを確認した．

表-3 に長期現場実験の実施時期を示す．表中には地盤材料の土質と積込み対象土を併記した．実験初期は表層付近の掘削で発生した粘土（関東ローム）を対象としていた．3 か月経過時は，覆工板上部から場内運搬用の 4t ダンプトラックに積み込む実験条件であったため，「生産性向上」に関する検証実験は比較対象外とした．4 か月経過以降は，工事の進捗に伴い現場状況が変化し，場内運搬された集積土を 10t ダンプトラックに積み込む実験条件であった．

(2)実験結果

図-4 に 10t ダンプトラック 1 台あたりの平均積込み時間の比較結果を示す．無対策のバケットを用いた場合の平均積込み時間は 5 分 7 秒であったのに対し，土付着抑制部材（0 か月）を設置したバケットを用いた場合のそれは 4 分 36 秒であり，10%の生産性向上が期待できることを確認した．4 か月経過以降は，集積土から 10t ダンプトラックへの積込みとなり，平均積込み時間は 2 分 40 秒前後と速くなったため，参考値とし

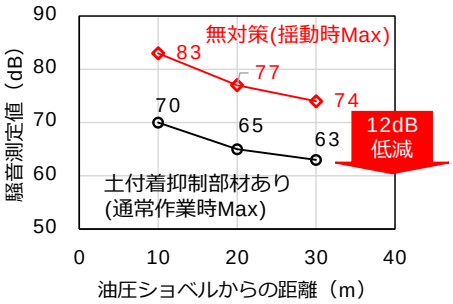


図-3　騒音測定結果

表-2　長期現場実験の検証内容

評価項目	比較対象	検証内容
生産性向上	無対策と対策（土付着抑制部材あり）	・1台あたりの10tダンプトラックへの平均積込み時間と平均積込み回数を比較
環境負荷低減効果		・1台あたりの10tダンプトラックへの平均揺動回数（積込み時＋待機時）を比較
土付着抑制効果		・地盤材料を20回すくって荷下ろした後にバケット内に付着した残土重量を比較
耐久性	－	・外観の変化（めくれ，はく離）

表-3　長期現場実験の実施時期

検証時期	土質	積込み対象土	生産性向上		環境負荷		土付着抑制効果	
			無対策	対策	無対策	対策	無対策	対策
0か月	粘土	地山	12台	21台	○	○	○	○
3か月後	砂	地山	－	－	－	－	－	○
4か月後	砂	集積土		12台				－
7か月後	砂	集積土		8台				○
9か月後	土丹	集積土		6台				○
12か月後	土丹	集積土		8台				○

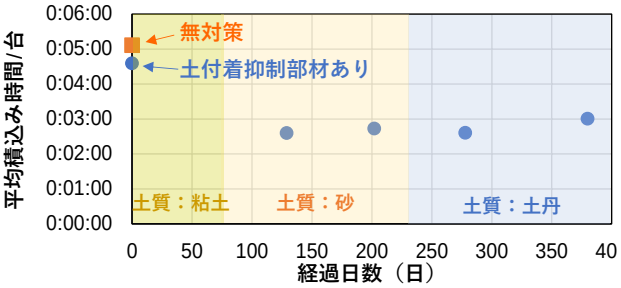


図-4　10t ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ 1 台あたりの平均積込み時間

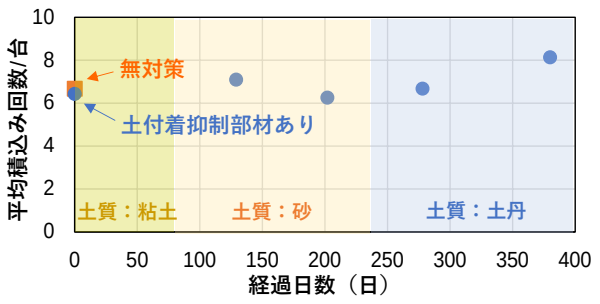


図-5　10t ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ 1 台あたりの平均積込み回数

た．

図-5 に 10t ダンプトラック 1 台あたりの平均積込み回数の比較結果を示す．土質や積込み対象土が変化しても平均積込み回数に大きな変化はみられないことを確認した．12 か月経過時は，乾燥した土丹を積み込んでいたため，積込み回数はいずれも 8 回以上とやや回数が多い傾向がみられた．

図-6 に 10t ダンプトラック 1 台あたりの平均揺動回数の比較結果を示す．無対策のバケットを用いた場合の平均揺動回数は 2.8 回であるのに対し，土付着抑制部材（0 か月）を設置したバケットを用いた場合のそれは 1.0 回であり，騒音・振動の環境負荷を 63%低減できることがわかった．

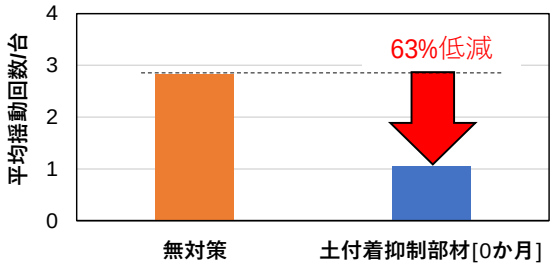


図-6　10tﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ1台あたりの平均揺動回数

表-4 に 20 回作業後のバケット内残土重量の比較結果を示す．4 か月経過時点では，底面のフッ素樹脂は 8 割程度めくれており，側面のそれは 3 割程度めくれていた．7 か月経過時点では全てのフッ素樹脂がめくれているものの，12 か月経過してもはく離した鉄板はなかった．

図-7 に 20 回作業後のバケット内残土重量の比較結果を示す．無対策では 20 回作業後のバケット内の残土重量は 36.7kg であった．設置直後（0 か月）の土付着抑制部材ありのバケットを使用した場合の残土重量は

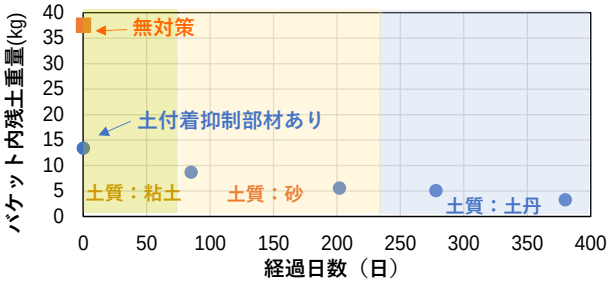


図-7　20回作業後のﾊﾞｹｯﾄ内残土重量の比較結果

表-4　土付着抑制効果および長期耐久性に関する検証実験結果

バケット	経過月(日)	実験前	実験後の付着状況	付着残土	残土重量(kg)	含水比(%)
無対策	0か月				36.7	56.0
土付着抑制部材あり	0か月				13.4	54.8
	3か月 (85日)				8.7※1	26.6
	4か月 (129日)					
	7か月 (202日)				5.6※1	30.8
	9か月 (278日)				5.1※2	32.3
	12か月 (380日)				3.3※2	30.4

※1　対象土質が粘土から砂に変化　　※2　対象土質が砂から土丹に変化

13.4kg であり，64%減少することを確認した．3 か月経過時点の土付着抑制部材ありのそれは 8.7kg であり，7 か月経過時点の土付着抑制部材ありのそれは 5.6kg と減少傾向であった．これは，現場の進捗に伴い掘削対象の土質が関東ロームから砂に変化した影響と推察される．9 か月経過時点の土付着抑制部材ありのそれは 5.1kg，12 か月経過時点のそれは 3.3kg と減少傾向であった．これは，8 か月経過時点から掘削対象の土質が砂から土丹に変化した影響も含まれていると考えられる．

図-8 に採取した試料の含水比の比較結果を示す．粘土の含水比は 55%前後であるのに対し，砂と土丹の含水比は 30%前後であった．この結果より，粘土で比較した場合は同一含水比でも土付着抑制効果があること，砂および土丹は含水比が 30%程度でバケット内残土重量も少量であることを確認した．ただし，今回の長期実証実験では，使用開始から 7 か月まではバケット内に土付着抑制部材のフッ素樹脂が残置された状態の結果であり，鉄板のみの状態で同様の効果が得られるかどうかを確約するものではない．

５．実現場への適用事例

(1)某シールド工事

某シールド工事において，掘削残土を 10t ダンプトラックに積み込む 1.4m³ 油圧ショベルに土付着抑制部材を使用した（**写真-6**）．残土が関東ロームでバケットに付着しやすい土質であったうえに，近隣に住宅が密接しており，騒音・振動を抑制したいというニーズに合致する技術として採用された．掘進期間中は常時積込み作業が発生するため，使用頻度は高い．土付着抑制部材をバケットに設置することにより，土の付着が抑制され，揺動回数の大幅な削減，積込み回数の最小化等により，掘削オペレーターのストレス軽減効果も得られた．

(2)某ニューマチックケーソン工事

某ニューマチックケーソン工事において，地中での遠隔掘削工事に使用した 12 台の 0.25m³ バケット全てに土付着抑制部材を設置した．**写真-7** に事前に実施した試験工事において，同じサイズのバケットに設置した状況を示す．揺動作業が困難な遠隔掘削において，通常のバケット作業と同様に土付着抑制効果が得られ，生産性向上が期待できることを確認した．今後，自動化施工や遠隔操縦の進展に伴い，更なる活用が期待される．

(3)海外の某開削工事

シンガポールの某開削工事において，粘土質の地山を掘削する 0.9m³ 油圧ショベルに土付着抑制部材を使用した（**写**

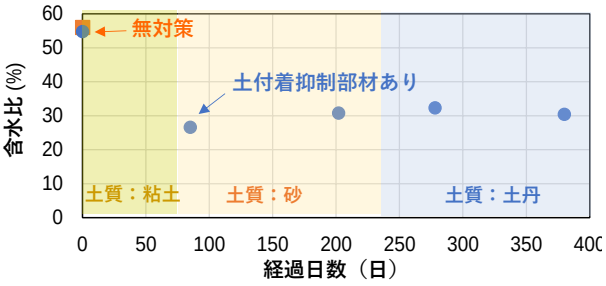


図-8　採取した試料の含水比の比較結果



写真-6　ダンプトラックの積込みに適用（1.4m³バケット）



写真-7　ﾆｭｰﾏﾁｯｸｹｰｿﾝの遠隔掘削に適用（0.25m³バケット，試験工事）



写真-8　海外工事の掘削工事に適用（0.9m³バケット）

真-8)．当該現場では，突然の大雨（スコール）が日常的に発生しやすい気候において，特に雨上がりはバケットに土が付着しやすいことに悩まされてきた．現地の担当者からは，土付着抑制部材をバケットに設置することにより，土の付着が抑制され，掘削効率が向上したとの報告を受けている．

６．他建設重機への適用拡大

(1)場所打ち杭工事のハンマーグラブに適用

某橋梁耐震補強工事において，高架橋下の場所打ち杭工事に使用するハンマーグラブの内側に土付着抑制部材を使用した（**写真-9**，**写真-10**）．ハンマーグラブの杭径は 1.2m である．ハンマーグラブで地上まで排土して地上で開閉する場合，地下水位より浅く粘土質な地盤ではハンマーグラブの内側に付着しやすいため，掘削土が落下しづらいケースがある．掘削機周辺で作業員が人力で落としたり，ハンマーグラブを落下させた振動で強制的に掘削土を落としたりする場合，作業効率が低下する．ハンマーグラブの内側に土付着抑制部材を設置することにより，掘削土が容易に落下したことから，生産性向上に貢献できた事例といえる．



写真-9　低空頭場所打ち杭のハンマーグラブ内側に設置



写真-10　土付着抑制部材のめくれ状況（1か月半後）

(2)地中連続壁工事のカッタードラムに適用

某鉄道駅新設工事において，地中連続壁工事の回転式掘削方式に使用するカッタードラムの外周に土付着抑制部材を使用した（**写真-11**，**写真-12**）．当該工事では，**写真-11（右）**に示すように，粘土層を掘削するとカッタードラム周辺に粘性土が大量に付着するため，水洗浄に多大な時間を要していた．洗浄時間が長くなると施工効率が低下するだけでなく，孔壁を保護する安定液の濃度が低下する．洗浄時間を検証した結果，カッタードラムへの付着が多い場合で平均 90 分から 70 分に，付着が少ない場合で平均 60 分から 45 分に短縮することができ，いずれも洗浄時間を 2 割以上短縮することができた．



写真-11　地中連続壁の掘削機（左）と無対策時のカッタードラムへの粘性土の付着状況（右）



写真-12　土付着抑制部材の設置状況（左）とカッタードラムへの粘性土の付着状況（右）

(3)地盤改良工事のトレンチャーポスト部に適用

某高速道路工事において，地盤改良工事の中層混合処理工法で使用する掘削機のトレンチャーポスト部の側面に土付着抑制部材を使用した（**写真-13**）．当該工事では，**写真-14** に示すように，一日の作業終了時にトレンチャーに装備された攪拌翼およびポスト部に付着した固化材および地盤材料を水洗いしている．このポスト部に土付着抑制部材を設置することにより，土が付着しづらくなるだけでなく，水洗いで落下しやすいことから，洗浄時間を短縮することができた．

地盤改良工事では，同様な課題・ニーズがあると考えられるため，更なる活用を進めていく．

(4)土付着抑制部材の用途の整理

図-9 に土付着抑制部材の用途の内訳を示す．全体の 7 割以上が油圧ショベルバケットに適用していることがわかる．一方，手持ちショベルやクラムシェル（ハンマーグラブ含む）も 7～8%の割合で適用されている．その他，造成現場等で使用される法面バケット，ホッパー，自走式土質改良機などの用途も実績があることがわかる．

7．所要日数・コスト・CO_2排出量の定量的評価

(1)積算条件

土付着抑制部材を用いた場合の効果を把握するため，所要日数・コスト・CO_2排出量の定量的な評価を行った．**表-5** に国交省・施工パッケージ積算方式による品川地区の積算条件を示す．0.45m³ バケットによる 1 日あたりの作業量は 160m³ である．ほぐし率（掘削してほぐした後の土量の体積を，地山の土量の体積で割った値）L=1.20 を考慮すると，1 日あたりの積込み回数は 427 回となる．

図-10 に３．屋外試験場での実証実験(2)実験結果の無対策と土付着抑制部材（横 6 列）ありのバケット内平均残土重量の推測結果を示す．平均残土重量は，実証実験結果と作業回数ごとのバケットへの付着状況（10 回のバケット作業のうち，目視確認より初期のほうが粘性土は付着しやすい傾向）を考慮して推測した．無対策では 10 回の掘削で平均 105.5kg/回のロスが生じるのに対し，土付着抑制部材ありでは平均 13.8kg/回しかロスが発生しないと仮定した．

(2)所要日数・コスト・CO_2排出量の比較結果

表-6 に無対策と土付着抑制部材ありの積込み土量および稼働時間の比較結果を示す．積算上の積込み土量から平均残土重量を差し引いたところ，土付着抑制部材の日積込み土量が 241.7t であるのに対し，無対策のそれは 202.5t であった．無

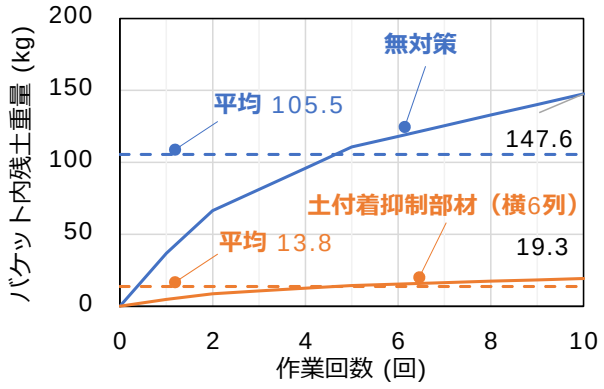


図-10　バケット内平均残土重量の推測結果



写真-13　中層混合処理工法の掘削機への設置状況



写真-14　土付着抑制部材を設置した箇所の水洗い状況

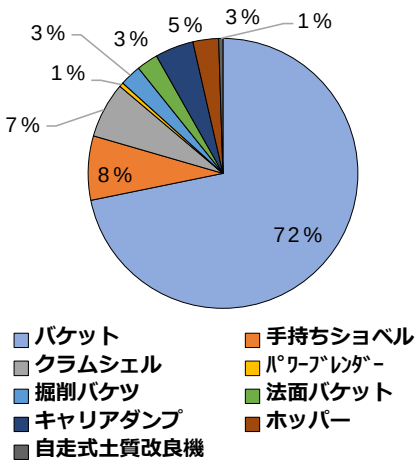


図-9　土付着抑制部材の用途の内訳

表-5　品川地区の積算条件

項目	内容
作業（対象土）	積込み（ルーズ土砂）
バケットサイズ	山積0.45m³ (平積0.35m³)
作業量	160 m³/日
ほぐし率L	1.20
積込み回数	427 回/日 (=160/0.45×1.20)

対策の場合，同じ仕事量を行うには 509 回の作業が必要になることから，土付着抑制部材を使用することによって稼働時間が約 16%削減できることがわかった．なお，本試算ではバケットに付着した残土を 10 回ごとに振り落とすことを想定して算出した．無対策時では特に揺動作業に時間を要するため，稼働時間の削減率は 16%より高くなることが期待できる．

表-7 に土砂 5000m³ あたりの土付着抑制部材の有無による所要日数，コストおよび CO_2 排出量の比較結果を示す．**表-6** から得られた稼働率が 19%向上（稼働時間が 16%削減）と仮定した比率を用いて国交省・施工パッケージにて積算した結果，所要日数，コスト，CO_2 排出量のいずれも 16%程度削減できる結果が得られた．なお，土付着抑制部材の材料費と設置費を考慮しても 13%程度削減できることを確認している．本技術の活用により，掘削・積込み作業の生産性向上と環境にやさしい施工の実現に貢献できることがわかった．

表-6　積込み土量および稼働時間の比較結果

項目	積算上	土付着抑制部材あり	無対策
関東ロームρ_t	含水比w＝80%　1.546g/cm³		
積込み土量	0.580 t/回（=0.45/1.20 *1.546）	0.566 t/回（=0.580-0.0138）	0.474 t/回（=0.580-0.1055）
日積込み土量（427回）	247.4 t（100%）	241.7 t（97.7%）	202.5 t（81.9%）
同じ仕事量（509回）	–	–	241.4t（97.6%）
稼働時間	–	約16%削減　（=1-(427/509)）	
稼働率	–	約19%向上　（=0.566/0.474）	

表-7　所要日数，コスト，CO_2 排出量の比較結果

項目	所要日数	コスト	CO_2排出量
無対策	43.8 日	1,520 千円	3,731 kg
土付着抑制部材あり	36.8 日	1,278 千円	3,135 kg
差	▲7.0 日（16%削減）	▲242 千円（16%削減）	▲596 kg（16%削減）

※ 5.000m³あたり

８．おわりに

本稿では，フッ素樹脂と鉄板を直接接合した土付着抑制部材の概要，屋外試験場での実証実験結果，実現場での長期実証実験結果，実現場への適用事例，他建設重機に土付着抑制部材を設置した事例および所要日数・コスト・CO_2 排出量の定量的評価結果について述べた．以下に得られた知見を示す．

・土付着抑制部材の貼付け面積が増加するほどバケット内残土重量は低減することがわかった．

・揺動の作業は通常の掘削作業よりも騒音測定値が高いことから，土付着抑制部材を設置することにより土砂の付着が抑制され，バケットの揺動・衝撃作業を大幅に削減することができ，騒音低減効果が期待される．

・バケットに土付着抑制部材を設置することにより，10%の生産性向上，平均揺動回数の低減による騒音・振動の抑制効果，64%の土付着抑制効果を有することを確認することができた．ただし，各評価は土質および施工条件の影響を受けるため，適用条件に応じた検証が必要である．

・シールド工事，ニューマチックケーソン工事，海外の開削工事に加え，場所打ち杭工事のハンマーグラブ，地中連続壁工事のカッタードラム，地盤改良工事のトレンチャーポスト部など，土が付着しやすい建設重機を扱う工種であれば，設置箇所によって生産性向上や環境負荷低減に寄与できることがわかった．

・本技術の活用により，掘削・積込み作業の生産性向上と環境にやさしい施工の実現に貢献できることがわかった．

参考文献

1) 粕谷ら：環境にやさしい油圧ショベルバケットの土付着抑制部材の開発，第 79 回土木年次学術講演会，VI-880，2024

2) 日本弗素樹脂工業会：ふっ素樹脂製品取扱マニュアル，改訂 11 版，pp.4-6，2021

3) 光谷ら：レーザー技術によるフッ素樹脂ライニングと土砂類付着抑制技術，第 35 回日本道路会議，No.4011，2023