

油圧ショベルバケットの土付着抑制部材 「ジオドロップ®」 Soil Adhesion Control Components, “GeoDrop™,” for Hydraulic Shovel Buckets

粕谷 悠紀 Yuki Kasuya

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。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、近年実用化が進められている建設機械の自律運転システムにおいても発生する可能性がある。例えば、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、さらには、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ないため、作業が中断するため、施工効率の低下が懸念される。

そこで、フッ素樹脂と金属を直接接合した土付着抑制部材「ジオドロップ®」をバケット内の底面、側面に設置する技術を開発した（Photo 1）¹。本稿では、当該部材の概要、実証実験結果、現場実験結果、所要日数・コスト・CO₂排出量の定量的評価結果について述べる。

2. ジオドロップの概要

2.1 部材概要

ジオドロップは、フッ素樹脂と鉄板を直接接合した製品である（Photo 2）。土と接する滑面をフッ素樹脂のポリテトラフルオロエチレン（以下、PTFE）とし、Fig. 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、ナノレベルの酸化粒子を配置することによって、表面処理を行う。次に、レーザーを照射させて鉄板を加熱する。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。

2.2 仕様

Table 1 にジオドロップの仕様を、Fig. 2 にバケットの



Photo 1 ジオドロップを設置したバケット
Bucket Put on GeoDrop

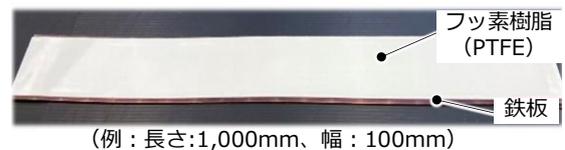


Photo 2 ジオドロップの構造
Structure of GeoDrop

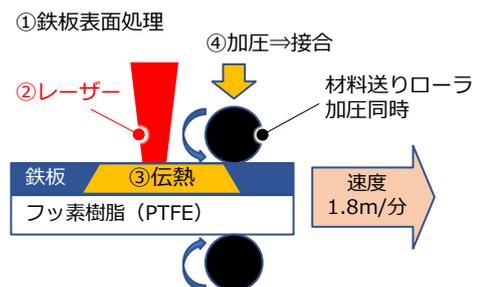


Fig. 1 フッ素樹脂と鉄板の直接接合の概要
Outline of Connection Fluoropolymer with Steel Plate

断面図を示す。バケットの底面（標準部）と側面はPTFEが1.0mm、鉄板が0.6mmの組合せとする。底面（湾曲部）は、設置箇所が曲線形状であるため、その形状に設置しやすい肉厚を選定しており、PTFEが0.5mm、鉄板が0.6mmの組合せとする。

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より算出している。バケットへは1枚ごとに半自動溶接して取り付ける。バケット入口箇所は連続溶接とし、それ以外の箇所は仮付け溶接とした。

2.3 特長

バケット内の底面と側面にジオドロップ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9割程度、重機の稼働時間も1割程度削減できる試算結果を得ている。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延命にも貢献できる。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

3.1 実験概要

バケットにジオドロップ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、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（ $w=75\sim 85\%$ ）を試料として使用した。油圧ショベルは、Photo 2 に示す型式 SH135X（バケット容量：0.45m³）を使用した。実証実験は、仮置き土に加水した後、10回バケットですくい、別の箇所を下ろす作業を行い、バケット内部を観察すると共に付着した残土質量を計測し、粘性土の付着抑制効果を検証した。

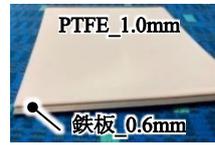
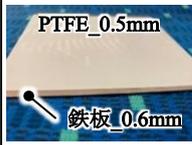
また、油圧ショベルから 10m、20m、30m 離れた場所で騒音計測を併せて行った。騒音計測は、通常の「バケット作業時」と「バケット揺動時」の2つの作業を対象に実施した。

3.2 実験結果

実験ケースは、ジオドロップの貼付け面積をパラメータとした。Fig. 3 に各ケースにおけるバケット内の残土質量測定結果を示す。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ジオドロップの貼付け面積を比率で表したものである。バケット内残土質量は、ジオドロップ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 となる結果であった。ジオドロップ同士のクリアランスが 13cm のケースではバケット底面に土が残るものの、クリアランスが 3cm のケースでは、バケット底面にほとんど土が残らないことを確認した。以上の結果より、ジオドロップの貼付け面積が増加するほどバケット内残土質量は低減することがわかった。

Fig. 4 に騒音計測結果を示す。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。ジオドロップを設置することにより土砂の付着が抑制されるため、バケットの揺動・衝撃作業を大幅に削減することで、騒音低減効果が期待される。

Table 1 ジオドロップの仕様

Specification of GeoDrop		
貼付け場所	底面(標準部)/側面	底面(湾曲部)
仕様	PTFE $t=1.0\text{mm}$ 鉄板 $t=0.6\text{mm}$	PTFE $t=0.5\text{mm}$ 鉄板 $t=0.6\text{mm}$
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

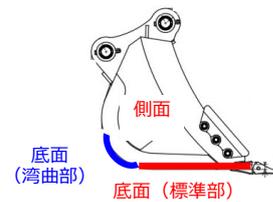


Fig. 2 バケットの断面図
Cross-Section of Bucket



Photo 2 実証実験状況
Field Test

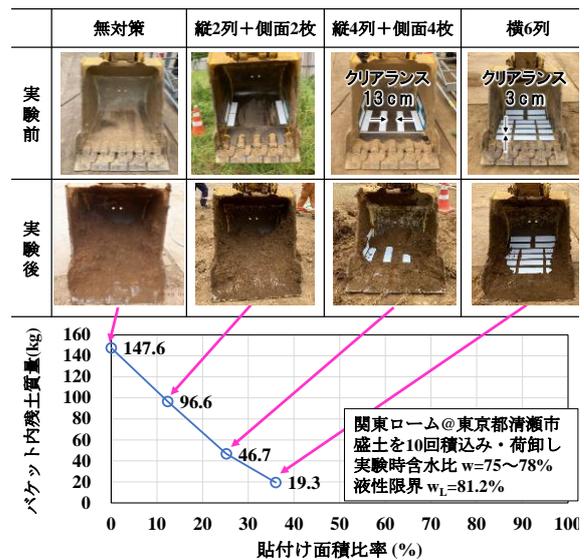


Fig. 3 バケット内の残土質量測定結果
Results of Measured Weights of Remaining soil in Bucket

4. 実現場での実証実験

4.1 付着特性に関する現場実験

東京都清瀬市の某造成現場で2台の0.45m³油圧ショベルが同時に掘削作業を行う機会があったため、そのうち1台にジオドロップを設置して両者を比較検証した。対象土質は自然含水比の関東ロームであった。ジオドロップを貼り付けた油圧ショベルと無対策のそれを約1時間、100m³程度の掘削作業で稼働させた。無対策時におけるバケット内の付着質量は50kg程度であったのに対し、ジオドロップを設置したバケット内のそれは15kg程度であり、7割程度低減したことを確認した (Photo 3)。

4.2 作業時間に関する現場実験

北海道空知郡の某土木現場でスリム型0.15m³バケットの油圧ショベルを用いて50mの掘削実験を行った。対象土質は、自然含水比の粘性土であった。掘削深さは60~70cm程度とし、ジオドロップの有無を実験パラメータとした。計測項目は、50m掘削に要する作業時間である。

Table 2に50m掘削実験結果を示す。無対策のバケットを使用した場合、掘削ごとに粘性土がバケット内に付着し、2~3回揺動しないと落下しなかった。この理由として、スリム型バケットは掘削時に粘性土が圧縮されやすいうえにサクション（吸引する力）が作用して落下しづらくなったと推察される。一方、ジオドロップを設置したバケットを使用した場合、ほぼ粘性土の付着はみられず、1回の荷卸し作業で落下した。揺動作業によるロスタイムがほとんどなかったため、所要時間は無対策と比較して3分短縮でき、13%削減される結果であった。

4.3 耐久性に関する現場実験

兵庫県神戸市の某盛土現場で0.7m³バケットの油圧ショベルを用いて、ジオドロップの耐久性に関する現場実験を行った。Photo 4にその検証結果を示す。

粘性土主体の掘削・積込み作業では、1.5か月後に底面の最前列の1枚が部分的にめくれ (PTFEのみはく離)が生じていた。砂質土主体では、1.5か月後ではめくれや剥がれ (鉄板ごとにはく離)は生じなかったものの、4.5か月後には4枚のめくれが生じ、その他底面が2枚、側面が1枚の計3枚剥がれる結果であった。その原因として、繰り返しのバケット作業によって繰返しせん断力が作用した結果、PTFEと鉄板の接合面がはく離してめくれ、鉄板側面に応力が集中して溶接箇所が剥がれたものと推察される。仮付け溶接でも4か月程度経過すると、局所的にめくれや剥がれが生じることがわかった。

PTFEのめくれや鉄板の剥がれを抑制するためには、鉄板を内側に折り曲げた「ヘミング加工」とバケット入口箇所の「連続溶接」が効果的と考えられる。加工コストを抑えながら適用現場に随時導入する。

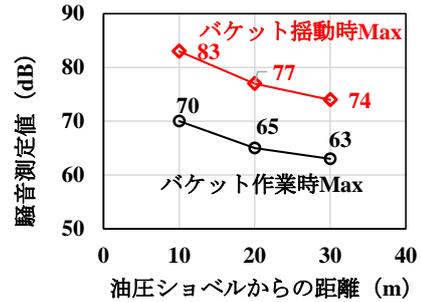


Fig. 4 騒音測定結果
Results of Noise Measurement



Photo 3 1時間掘削作業後のバケット内の付着状況
Adhesion into Bucket After One Hour of Excavation Work

Table 2 50m掘削実験結果
Results of 50-meter Drilling Field Test

項目	無対策	ジオドロップ設置
所要時間	23分	20分 ▲3分, 13%削減
揺動回数	2~3回/掘削	なし
外観		



Photo 4 耐久性に関する検証結果
Verification Results Regarding Durability

5. 所要日数・コスト・CO₂排出量の定量的評価

5.1 積算条件

ジオドロップの効果を把握するため、所要日数・コスト・CO₂排出量の定量的な評価を行った。Table 3 に国交省・施工パッケージ積算方式による品川地区の標準積算条件を示す。Fig. 3 で示した実証実験と同様の山積 0.45m³ のバケットによる 1 日あたりの作業量は 160m³ である。ほぐし率 L を考慮すると、1 日あたりの積込み回数は 427 回となる。

Fig. 5 に 3.2 の実験結果のうち、無対策とジオドロップ（横 6 列）のバケット内平均残土質量の推測結果を示す。平均残土質量は、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、初期のほうが粘性土が付着しやすい傾向）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、ジオドロップでは平均 13.8kg/回しかロスが発生しないと仮定した。

5.2 所要日数・コスト・CO₂排出量の比較結果

Table 4 に無対策とジオドロップ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質量を差し引いたところ、ジオドロップの日積込み土量が 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、ジオドロップ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。

Table 5 に稼働率が向上した際の 5,000m³ あたりにおける所要日数、コストおよび CO₂ 排出量の比較結果を示す。Table 3 から得られた稼働率 19%向上（稼働時間 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、CO₂ 排出量のいずれも 16%程度削減できる結果が得られた。本技術の活用により、掘削・積込み作業の生産性向上および環境にやさしい施工現場の実現に貢献できることがわかった。

6. 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「ジオドロップ」をバケット内の底面、側面に設置する技術を紹介した。屋外試験場での実証実験で土付着抑制効果と騒音抑制効果を確認し、実現場での実証実験で付着特性、作業時間の短縮に伴う生産性向上、耐久性等を確認した。今後は、耐久性の向上に加え、油圧ショベル以外の重機への活用方法を検討する予定である。

Table 3 品川地区の標準積算条件

Standard Estimated Conditions of Shinagawa Area	
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 0.45m ³ （平積 0.35m ³ ）
作業量	160 m ³ /日
ほぐし率 L	1.20
積込み回数	427 回/日（=160/0.45×1.20）

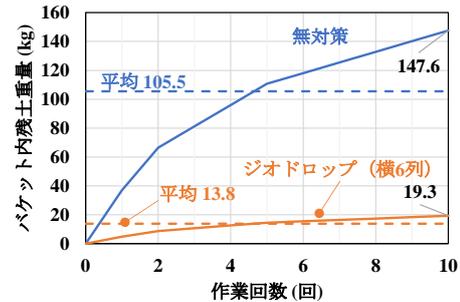


Fig. 5 バケット内平均残土質量の推測結果
Average Estimated Weights of Remaining Soil in Bucket

Table 4 積込み土量および稼働時間の比較結果
Comparison of Loading Soil Volume and Operating Time

項目	積算上	ジオドロップ	無対策
関東 ローム ρ _t	w=80% 1.546g/cm ³	—	—
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)	—

Table 5 所要日数、コスト、CO₂ 排出量の比較結果
Comparison of Number of Days, Cost and
Carbon Dioxide Emissions

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
ジオドロップあり	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

参考文献

- 1) 粕谷, 他: 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 回土木学会年次学術講演会, VI-880, 2024.9