

ミニショベルのバケットへの土砂付着防止技術に関する実験的検討

Experimental Study on Protection Method of Soil Adhesion to an Excavator Bucket

一井康二 Koji ICHII (関西大学社会安全学部)
黄 新華 Xinhua HUANG (元広島大学大学院)

建設重機に付着する土砂は、作業効率の低下や作業環境の悪化の一因となる。そこで、本研究では建設重機に付着する土砂の低減方法を検討する端緒として、ミニショベルのバケットへの土砂付着防止方法を検討した。まず、ミニショベルのバケットを模した鋼板への土砂付着の状況を繰り返し圧着試験により検討した。その結果、土砂の性質と鋼板の形状が土砂の付着量に大きな影響を与えることを確認した。そこで、土砂付着を低減できる鋼板形状を提案し、その効果を実験的に検証した。結論として、本研究で提案した圧着試験方法は、土砂付着のメカニズムの検討や付着防止技術の低減効果の検討に役立つといえる。

キーワード：ミニショベル，バケット，掘削，付着防止 (IGC : B12, D00, K04)

1. はじめに

建設重機に付着する土砂は、作業効率の低下や作業環境の悪化の一因となる。例えば、ある地点で使用した建設重機を他の地点に搬送する際、運搬時の振動により運搬経路上に重機に付着した土砂が散乱することは望ましくない。そこで、運搬のたびに建設重機を清掃することとなるが、いったん重機に付着した土砂ははがれにくく、作業量の増加となる。また、ミニショベルによる掘削作業時においても、土質条件によってはバケット内に土砂が付着し、作業効率が落ちる。一般のミニショベルのオペレーターであれば、バケットに土砂が付着した場合、バケットの開動作を極限まで行い、ガシヤンというリミッターに接触した衝撃によって付着した土砂を除去するという動作を行う。建設重機は堅牢なものであるため、この程度の衝撃により建設重機本体に問題が生じるとは考えにくい。掘削動作に余計な一動作が加わることで作業効率が落ちる。このように、建設重機に付着する土砂は様々な問題を生起する。

杭の周面摩擦など、構造物と土の相互作用の研究はこれまでに数多く行われている^{例えば, 1)}。また、杭に作用する負の摩擦などの観点から、構造物への土の付着現象も研究されており、付着を低減する材料の開発も熱心に行われている^{例えば, 2)}。しかし、建設重機に付着する土砂の軽減に関する研究は多くはない。例えば、王は振動による土壌付着の防止技術を研究している³⁾。また、掘削土砂をダンプにて搬送する際にダンプからスムーズに土砂が滑り落ちるような薬剤も開発されている⁴⁾。しかし、一般の建設機械に用いるには、振動機構の設置は煩雑であり、また薬剤は効果の持続性に疑問が残る。そもそも、土砂の付着メカニズムを観察し、対策効果を評価するための実験方法も一般化されていない。

すなわち、杭と地盤の相互作用などに関しては研究アプローチも確立されているが、建設機械への土の付着については、検討方法も手探りの状態であるといえる。そこで本研究では、簡単な繰り返し圧着装置を作製し、ミニショベルのバケットを模した鋼板を繰り返し地盤に圧着させることで地盤の付着特性を評価する方法を検討した。また、提案した繰り返し圧着試験により、地盤特性の違いと鋼板形状の違いが土砂の付着量に及ぼす影響を検討した。そして、土砂付着を低減できる鋼板形状について、その効果を提案した繰り返し圧着試験により評価した。

2. 模擬バケット鋼板の繰り返し圧着試験

2.1 ミニショベルのバケット形状と模擬プレート

ミニショベルのバケットに土砂が付着した状況の例を図-1に示す。このように、土質条件によってはバケットに多くの土砂が付着する。

このようなバケットへの土砂付着を検討するべく、バケットの形状から、バケットの部位を3つに分類した。

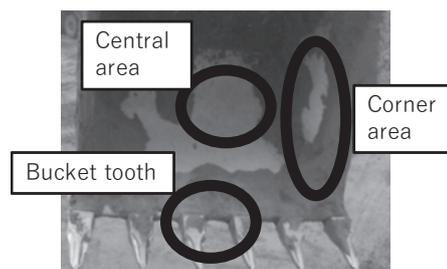


図-1 ミニショベルのバケットの部位の分類

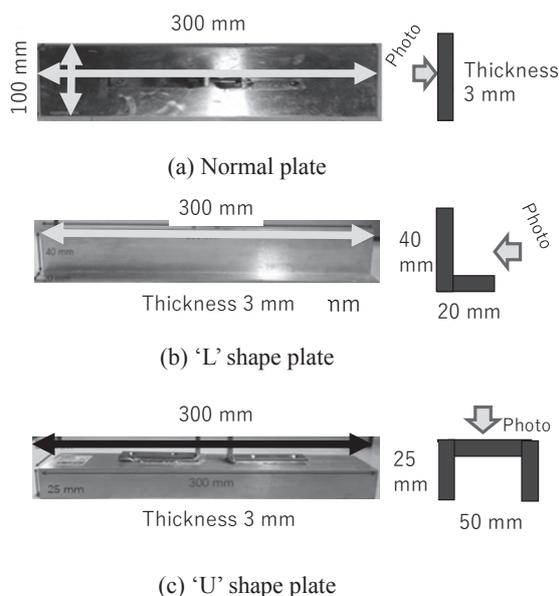


図-2 バケットを模擬した3種類のプレート

Central area はバケットの中央部であり、凹凸のない平面(曲面)を形成する。Corner area はバケットの側方部および(歯がない場合)下端であり、凹んだ角を形成している。また、Bucket tooth はバケットの下端に特有の掘削用の歯の間であって、U字型の形状を形成する。

上記の3か所の部位に対応し、バケットを模擬した鋼板(同様の表面を持つステンレス製)を図-2に示す3種類とした。(a)に示す Normal plate は平らな平板である。実際のバケットによる掘削動作ではめったに生じないが、平板がまっすぐ地面に接触する条件を想定した掘削動作ではなく、バケット(の外側面)を用いて地盤を平らに整地する際の動作ではよくみられる地盤との接触方法である。(b)に示す 'L' shape plate は、L字型の板であり、凸状の板が地盤に突き刺さるように接触する条件を想定している。土の付着の状況としてはバケットの Corner area に相当するが、地盤とバケットの実際の掘削動作における接触状況としては、バケット先端が地盤に貫入していく際の Central area への土の付着状況に近い。(c)に示す 'U' shape plate はU字型の板であり、Bucket tooth の地盤との接触に相当する。'L' shape plate 2枚が、狭い距離で同時に地盤に貫入する様子に近い。

2.2 プレートの繰り返し圧着試験の提案

掘削動作によりバケットが地盤に何回も接触する様子を模擬するべく、電動アクチュエーターを用いてプレートを地盤に何度も圧着させることとした。図-3に実験システムを示す。

鋼製枠で支えられたアクチュエーターの先端にプレートを取り付け、地面に置いた土槽内の地盤に圧着させる。アクチュエーターの制御は変位制御(2 mm/秒)で行い、地盤にプレートが十分にめり込んだ深さ(地盤の

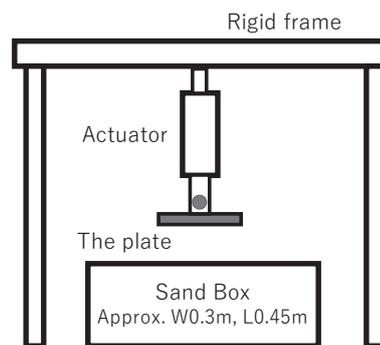


図-3 プレートの繰り返し圧着試験の試験システム

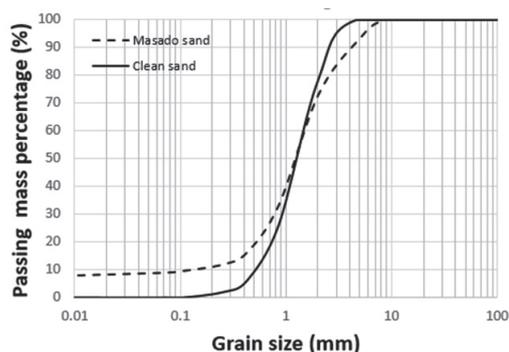


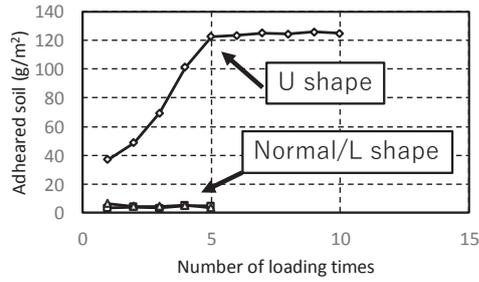
図-4 実験に使用したまさ土と山砂の粒径分布

高さが圧着により低下するため目視でプレート裏面が周辺地盤と同じ高さになったと判断できるところ)を規定量として制御することとしたが、実際にはアクチュエーターの載荷能力(カタログ値で1500N)が限界に達することが早く、一定時間(Normal plateで3秒、'L' shape plateで12秒、'U' shape plateで15秒)経過後そこでアクチュエーターの動作を反転させた。アクチュエーターの動作が反転すると付着した土砂を付けたままプレートが上昇するので、土槽とプレートが十分に離れた時点でプレートを取り外し、はかり上の治具にプレートを静かに設置して、付着した土砂の重量を測定した。実験では、土砂付着量が増加しなくなるまで、この一連の動作を繰り返した。なお、土槽内の地盤厚は0.1 mである。

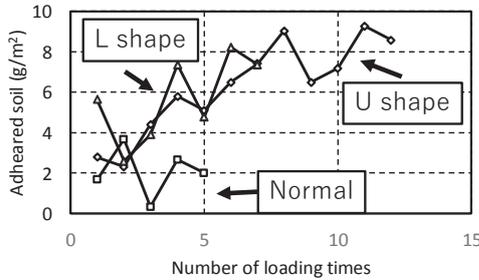
2.3 実験に使用した土砂の特性

本研究では、まさ土と山砂の2種類の土砂を実験で使用した。粒径分布を図-4に示す。一般に、粘着力の大きな細粒分を含む土砂の方がバケットへの付着が問題になることが多いと想定される。そこで、細粒分の少ない砂として山砂、すこし細粒分を含む土砂としてまさ土を用いた。さらに粘土分を多く含む土砂や、純粋な浚渫土砂などを想定した実験は今後の課題である。

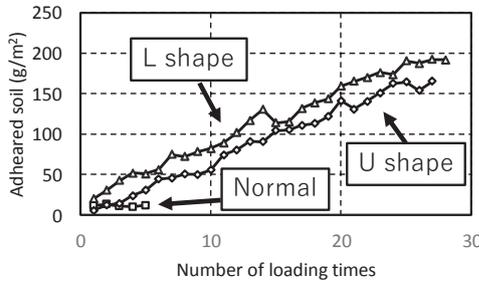
また、実験はそれぞれの砂について、含水比を何種類かに変えて行った。砂の密度は、圧着で変化するため、当初地盤は自然落下で作成し、密度管理は行っていない。



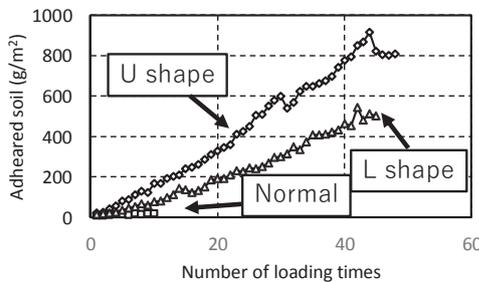
(a) Water content 10.0 %



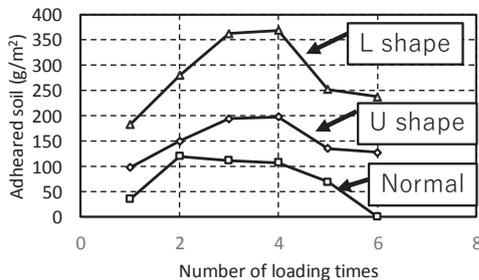
(b) Water content 13.5 %



(c) Water content 15.0 %



(d) Water content 18.5 %

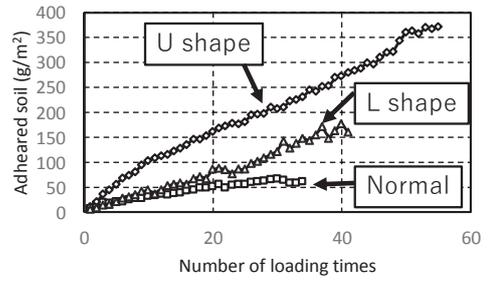


(e) Water content 20.0 %

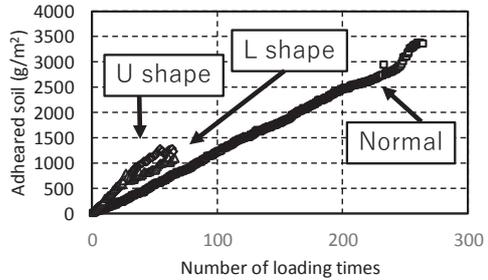
図-5 まさ土の繰り返し圧着試験結果

3. 繰り返し圧着試験結果

まさ土の繰り返し圧着試験結果を図-5 に示す。付着



(a) Water content 10.0 %



(b) Water content 15.0 %

図-6 山砂の繰り返し圧着試験結果

土砂量は、方向にかかわらず土と接触したプレートの面積で割り算し、単位面積当たりの付着土砂量として示した。圧着は、付着土砂量の増加がみられなくなった時点で停止したため、圧着回数がケースごとに異なっている。一般的な傾向として、圧着を繰り返すと付着土砂量は増加していく。Normal plate では、含水比を変えても付着土砂量の増加がみられない。また、'U' shape plate や'L' shape plate でも、含水比 10%や含水比 20%では、あまり付着土砂量の増加がみられない。

一方で、'U' shape plate や'L' shape plate では、最適含水比 (16%程度) 付近で、圧着の繰り返すに応じて付着土砂量の増加がみられる。このように、鋼板への土砂の付着量は含水比や鋼板の形状の影響を大きく受けることがわかる。なお、含水比 10%時では'U' shape plate での土砂付着が他に比べて非常に多い。この理由は不明である。

山砂の繰り返し圧着試験結果を図-6 に示す。まさ土と同様に一般的な傾向として、圧着を繰り返すと付着土砂量は増加していく。Normal plate でも含水比 10%の時は付着土砂量が増加している。しかし、'U' shape plate や'L' shape plate の方が最初の付着土砂量は大きい。

4. 土砂の付着プロセス

圧着試験の各回で付着土砂の重量を測定すると同時に付着状況を撮影した。図-7 から図-9 にプレートの形状に応じた付着土砂の増加状況を示す。写真は、各プレートを裏側にして上方から撮影した画像である。

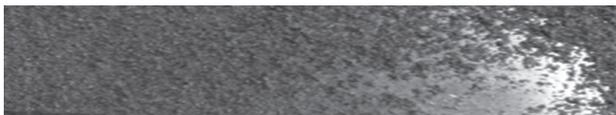
Normal plate では、まさ土では土砂付着が観察されな



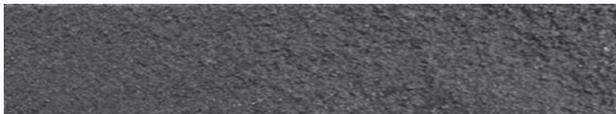
a) After the 1st loading (7.3 g/m²)



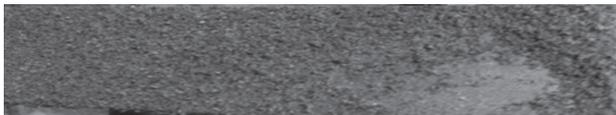
b) After the 49th loading (551.7 g/m²)



c) After the 99th loading (1206.0 g/m²)



d) After the 149th loading (1779.0 g/m²)

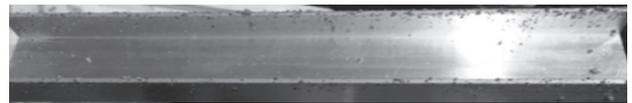


e) After the 199th loading (2447.7 g/m²)

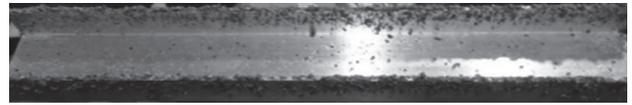
図-7 Normal plate の付着土砂量の増加状況
(山砂：含水比 15.0%)

かったが、図-7 の通り、山砂では均一に土砂が付着した。一方、図-8 および図-9 の通り、'U' shape plate や 'L' shape plate で地盤に貫入される側の鋼板上に多くの土砂が付着している。ここで、図-9 にはコーナー部と土砂付着が顕著に観察される範囲を示す 2 本の線を追加している。なお、'U' shape plate や 'L' shape plate でも、地表面に平行な鋼板には土砂付着がみられない。このことから、プレートのエッジ部分が地面に貫入されるときに、鋼板への土砂付着が発生するものと考えられる。

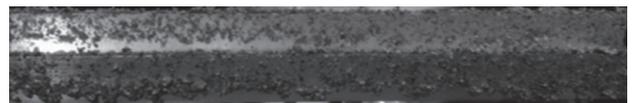
なお、山砂の含水比 15% のケースだけ、Normal plate においても多くの土砂が付着している。写真で見ると、表面にまんべんなく土砂が付着した後、重層的に土砂が付着していることがわかる。どうしてこのケースだけ、このような重層的な土砂付着が起きたのか、原因はわからない。ただし、このような重層的な土砂付着の場合、土砂は少しずつしか付着せず、図-6 (b) からわかるように、最初のうちは、'U' shape plate や 'L' shape plate の方が同じ圧着回数での付着土砂量が多い。



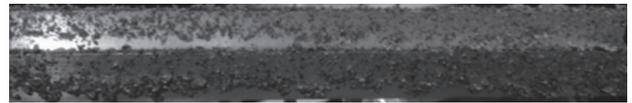
a) After the 1st loading (25.8 g/m²)



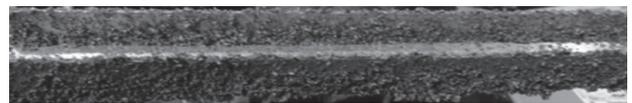
b) After the 9th loading (229.7 g/m²)



c) After the 19th loading (471.3 g/m²)



d) After the 39th loading (1026.8 g/m²)



e) After the 59th loading (1259.9 g/m²)

図-8 'U' shape plate の付着土砂量の増加状況
(山砂：含水比 15.0%)

また、図-9 の通り、'L' shape plate の地盤に平行な鋼板の上には多くの土砂が付着している。一方で、図-9 の通り、'U' shape plate では、地面に平行な鋼板はきれいなままで土砂付着がみられない。

'L' shape plate と 'U' shape plate の土砂の付着状況の違いをさらに詳細に分析する。図-10 に 'L' shape plate の形状の詳細を示す。A の範囲が側方の鋼板で地盤に貫入される部分、B の範囲が地面に平行な鋼板である。

それぞれ、地盤から作用する力が異なり、A の範囲は面に対して交差する移動になり、せん断方向の力が作用する。一方、B の範囲は面にまっすぐ接する移動となり、圧縮方向の力が作用する。

図-11 と図-12 に圧着 42 回目時点の土砂の付着状況の全景を示す。写真のうち、A の範囲の下方、地盤に貫入されるエッジに近い部分に多くの土砂が付着している。また、B の範囲にも若干の土砂が付着しているが、A と B の間には比較的きれいな部分が残っている。

同様に図-13 に 'U' shape plate の形状の詳細を示し、

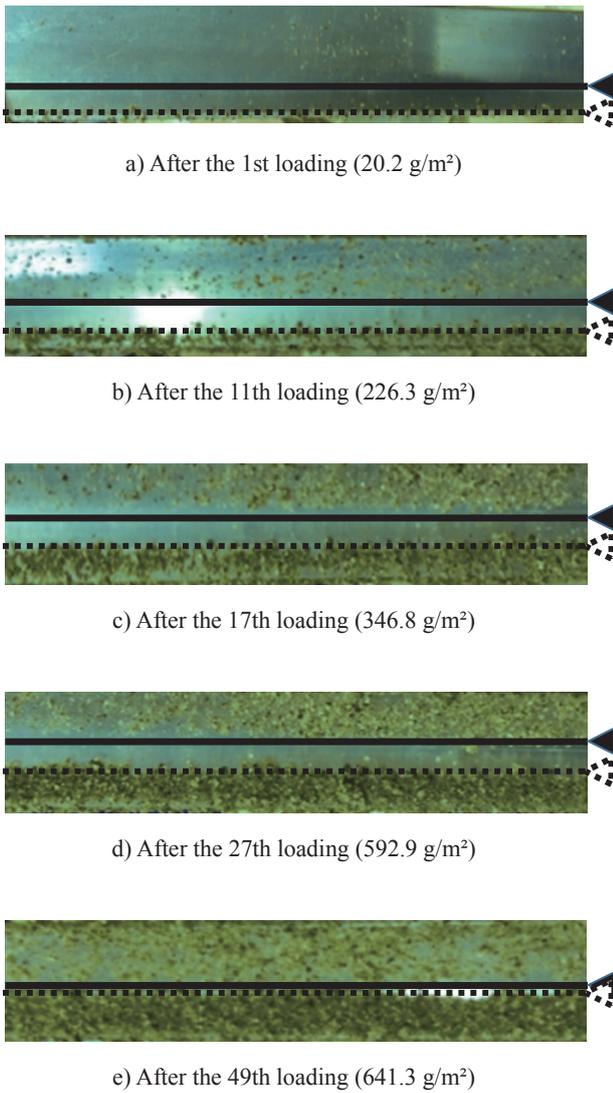


図-9 'L' shape plate の付着土砂量の増加状況
(山砂：含水比 15.0%)

図-14 と図-15 に圧着 35 回目時点の付着状況を示す。A の範囲が側方の鋼板で地盤に貫入される部分、B の範囲が地面に平行な鋼板である。A の範囲には多くの土砂が付着しているが、B の範囲はきれいなままである。

以上から、せん断方向の力が作用する鋼板での土砂付着が顕著であり、地盤貫入時の鋼板と地盤の接触状況が付着土砂量に影響しているものと推察される。

次に、図-9 に示した圧着の繰り返しに伴う付着土砂の増加状況を詳細に分析する。写真の下端が地盤に最初に接触するエッジ部分であり、繰り返し圧着に伴い、エッジ部分から付着土砂が増加していることがわかる。おおよその付着土砂の範囲が破線、コーナー部を実線で示している。下端から破線までの範囲が付着範囲である。図からわかるように、徐々に下側から土砂の付着範囲が拡大している。17 回目には、コーナー部より上側の鋼板にも土砂が付着している。しかし、コーナー部より上の土砂の付着程度は下側の土砂付着部分より小さい。

以上から、地盤に貫入される鋼板のエッジ部分周囲の

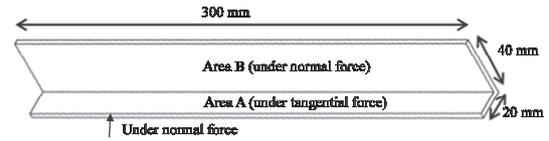


図-10 'L' shape plate の形状の詳細

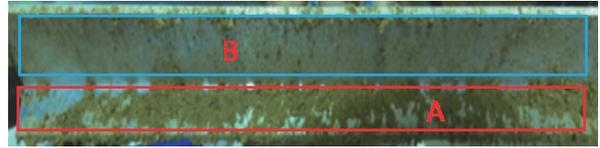


図-11 'L' shape plate の圧着 42 回目
(まさ土：含水比 18.5%)



図-12 'L' shape plate の圧着 42 回目
(山砂：含水比 15.0%)

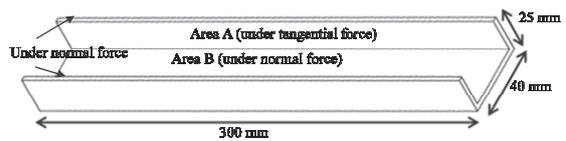


図-13 'U' shape plate の形状の詳細

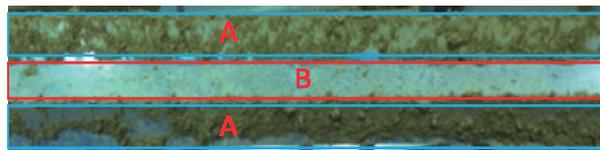


図-14 'U' shape plate の圧着 35 回目
(まさ土：含水比 18.5%)

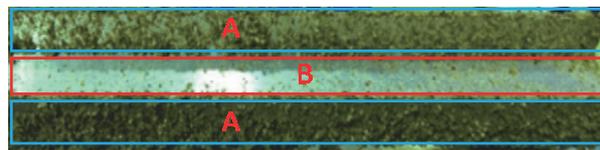


図-15 'U' shape plate の圧着 35 回目
(山砂：含水比 15.0%)

土砂の挙動が土砂付着に大きく影響していることがわかる。

そこで、観察結果から鋼板への土砂付着プロセスを推定し、模式的に表したものが図-16 である。まず、鋼板

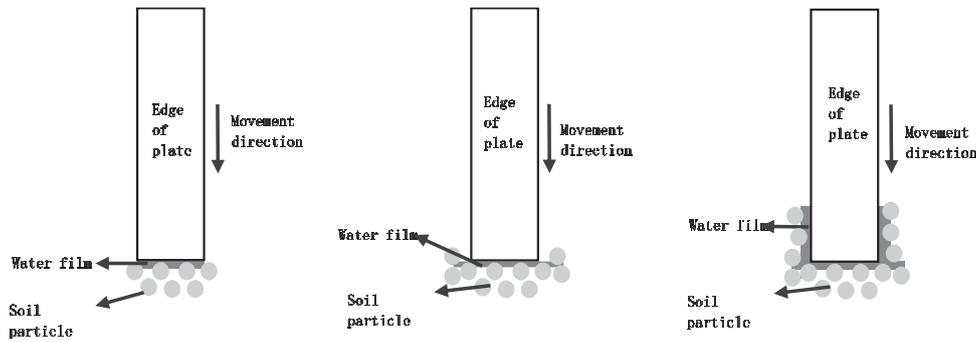


図-16 エッジ部分からの土砂付着プロセス（推定）

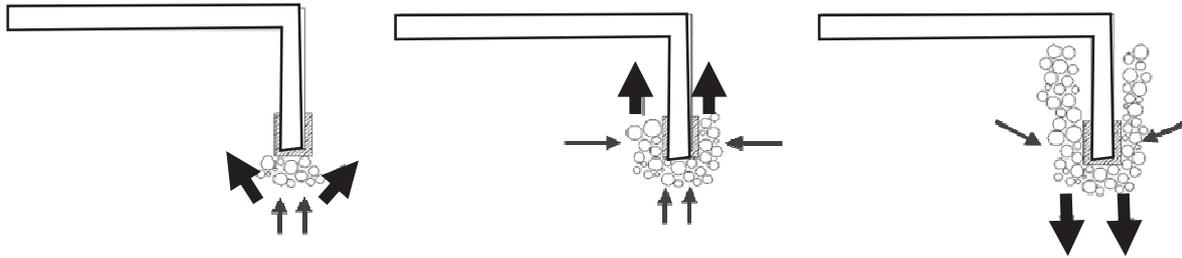


図-17 エッジ部分の改良による土砂付着防止技術の提案

が地盤に圧入されると接触した地盤が圧縮され、鋼板との接触面に水膜が発生する。この水膜とともに、土が鋼板に沿って上方に移動し、鋼板に付着する。こうして付着した土砂が、徐々に上方に移動し、付着範囲が増大して土砂付着量が増加する。

上記の土砂付着プロセスは、現時点ではまだ推定の域を出ていない。しかし、図-9 から図-15 に示した結果から想定される有力な仮説であると考えている。

5. 土砂の付着防止方法の提案と検証

上記の土砂付着プロセス（推定）にもとづき、エッジ部分の改良による土砂付着防止技術を検討した。

図-17 にその概要を示す。エッジ部分にキャップ状の部材を追加することで、エッジから上方に移動する土砂と鋼板の間に隙間が生じ、付着土砂が上方に移動しづらくなるというメカニズムである。矢印は土の動きを示しており、太い矢印はプレートと接触してからの土の動きを強調したものである。

提案した土砂付着防止技術の効果を繰り返し圧着試験により評価した。改良は、'L' shape plate のエッジ部分に厚さ 1 mm のアルミ板を図-18 のように装着した。

山砂の含水比 10%および 15%の実験結果を、本ケースでは同じ形状のプレートを使用しているため、土砂付着の総量で図-19 に示す。それぞれ、before が改良前、after が改良後である。改良の有無にかかわらず、圧着回数とともに付着土砂量は増加する。しかし、含水比 15%のケースでは、改良により付着土砂量は概ね半減している。含水比 10%のケースでは、もともとの付着量

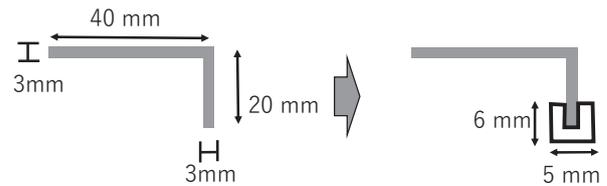


図-18 改良した'L' shape plate（アルミ製キャップ）

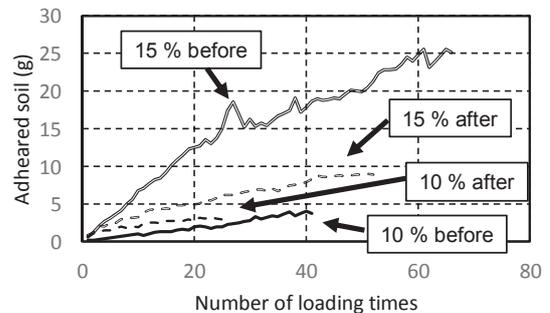


図-19 改良前後の土砂付着量の比較
(山砂：含水比 10% 及び 15%)

が小さいこともあり、あまり効果がみられない。

実際の土砂の付着状況を図-20 に示す。図-9 に示した改良前の土砂付着状況と同様に、エッジ部分から土砂付着が進展していることがわかる。しかし、図-20 と図-9 を比較すると、付着土砂の密度は低く、改良後の試験結果では土砂の付着がまばらとなっている。また、改良前は土砂付着領域の上端（破線）から鋼板の下端まで隙間なく土砂が付着しているのに対し、改良後の図-20 では鋼板下端付近に土砂が付着していない部分がある。

以上から、提案方法により土砂の付着量を低減できる

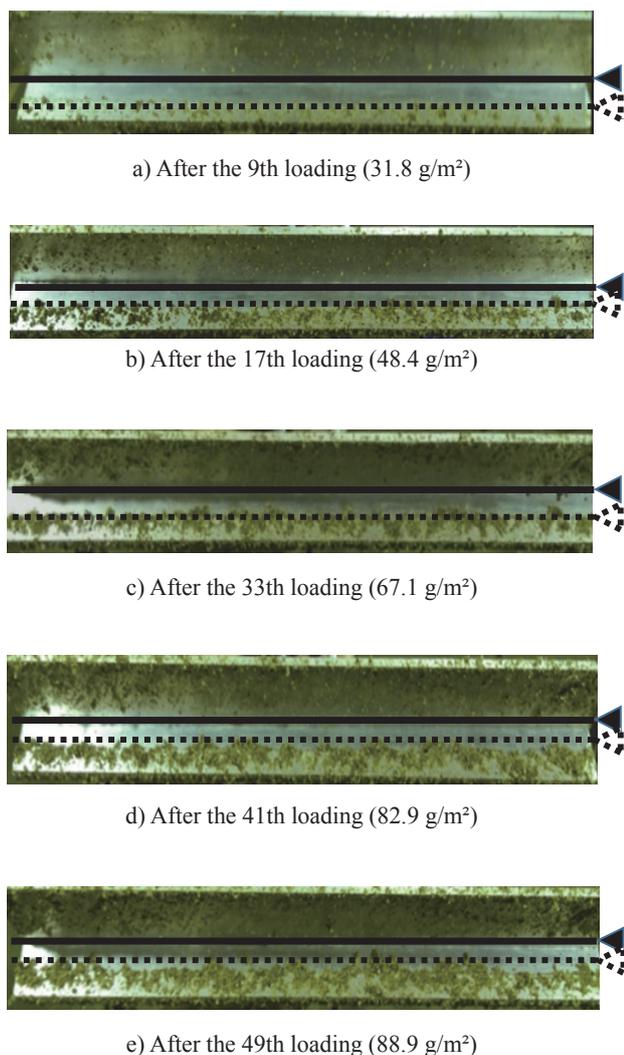


図-20 改良後の土砂付着プロセス
(山砂：含水比 15%)

ことを確認した。実際の付着防止効果の検証は、さらに多種多様な土砂を想定した実験が必要であるが、本研究で提案した繰り返し圧着試験法により土砂付着の防止効果を評価できることが明らかとなった。

6. まとめ

本研究では、ミニショベルのバケットを模した鋼板への土砂の付着特性を評価する方法を検討した。また、土砂付着を低減できる鋼板形状を提案し、その効果を提案した繰り返し圧着試験により評価した。得られた結論を下記に記す。

- (1) 掘削動作によりバケットが地盤に何回も接触する様子を模擬する繰り返し圧着試験方法を提案した。
- (2) 繰り返し圧着試験により、地盤の物性とプレートの形状によって土砂の付着量が異なることを明らかにした。

- (3) L字型やU字型で、地盤に先端が貫入される形状だと土砂の付着量が多いことがわかった。また、繰り返し圧着することにより土砂付着量が増加していくことがわかった。
- (4) L字型のプレートの場合、地盤に貫入するエッジ部分から上方に向かって付着した土砂が移動していく。そして、このメカニズムにより土砂付着量が繰り返し圧着により増加していくことが分かった。
- (5) エッジ部分から進展する土砂付着のメカニズムを踏まえて、エッジ部分の形状を変化させる土砂付着低減方法を提案した。そして、その低減効果を繰り返し圧着試験により検証した。本研究の山砂（含水比 10%）のケースでは、改良前に比べて土砂付着量を半減させることができた。

今後の課題としては種々の地盤を対象に提案した土砂付着低減方法の効果を検証すること。さらには、実際の掘削機械のバケットにおいて提案方法の有効性を検証することなどが挙げられる。また、本研究で試行した改良方法は、バケットのコーナー部として側方端および下端を想定しているが、実際のバケットの下端には歯があるため、そのままの適用は難しい。さらに、キャップ上方の凹部に土砂が付着することも危惧されるため、実際のバケット形状に応じた詳細な改良案を検討する必要がある。

謝辞

本研究は、国土技術センターの研究助成により実施しました。また、コベルコ建機株式会社と国立大学法人広島大学との共同研究として実施しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 富永眞生, 木村保, 塩田啓介, 深谷建雄: 周面摩擦測定試験による杭の挙動予測, 土と基礎, pp.43-48, 1987.
- 2) 岡本功一, 梅崎健夫, 服部晃: 地中埋設体の付着力及び周面摩擦力を低減する吸水性高分子材料の開発, 土木学会論文集 C(地圏工学), vol.67, No.4, pp.407-421, 2011.
- 3) 王秀崙, 市川眞祐, 田尻功郎, 野呂明美: 振動による土壌付着の防止に関する研究(第1報), 農業機械学会誌, 55(4), pp.41-46, 1993.
- 4) テクニカ合同株式会社: 土砂付着防止剤(液体型) マッドスベール L, <http://www.technica-goudou.co.jp/products/function/799.html>(参照 2018.6.17).

(2018年6月18日 受付)

