

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22656201

研究課題名（和文）昆虫の骨格構造表面を模擬した土粒子非付着性材料の開発と重機への応用に関する研究

研究課題名（英文）Study on Development of non-cohesive material based on the structure of insect cuticle and its application for heavy machines

研究代表者

高橋 弘 (TAKAHASHI HIROSHI)

東北大学・大学院環境科学研究科・教授

研究者番号：90188045

研究成果の概要（和文）：

粗さの異なる表面を有する金属材料を複数用意するとともに、カブトムシ、タガメ、ゲンゴロウなどの昆虫を採取し、表皮表面の粗さと接触角を計測した。さらに付着量を計測する装置を作成し、粘土と材料表面との間の付着量を計測した。その結果、粗さの高さ方向の特徴平均パラメータである「とがり」が増えると付着量も増加するという強い線形関係が得られた。

研究成果の概要（英文）：

Roughness and contact angle were measured for several metal materials with various surface roughness and some insects such as beetles, lethocerus deyrollei, diving beetle were measured. Moreover, a device to measure the adhesion rate of soils were manufactured and the adhesion rate of soils was measured. In a result, it was found that the peak parameter which is the representative parameter in the vertical direction of roughness is a key factor, and the adhesion rate of soils increased with increasing this peak parameter.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	0	1,600,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：ネイチャーテクノロジー、非付着性材料、骨格構造表面、接触角、付着力、付着量、粗さ、とがり度

(1) 研究開始当初の背景

2003年に汚染土壌対策法が施行されて以来、汚染土壌修復工事の事例が年々増加している。修復工法には様々な方法が提案されているが、最も経済的で効果的な修復工事法は、汚染された土壌をパワーショベルなどで掘削し、その土壌を土質改良機に投入し、薬剤などと混合した後に埋め戻す方法である。この方法では、土壌が粘着力の小さい砂質土である場合、極めて高い作業効率が得られるが、

一旦、土壌が粘性土になると付着性が強くなるため、土塊になりやすいためだけでなく、パワーショベルのバケットに付着したり、土質改良機内の混合部に土壌が付着するなど著しい作業効率の低下を引き起こしている。そのため、スクリーンバケット(メッシュ状のバケット)で土塊をなるべく解砕して土質改良機に投入したり、事前処理で焼却灰などを混合し、含水比を下げ、粘着力を低下させるなどの工夫を施しているが、経費がかさむ割

には効果が上がっていない状況である。

そこで、本研究で注目したのが自然に学び自然の賢さを上手に活かすネイチャー・テクノロジーである。ネイチャー・テクノロジーは、従来型のアプローチと異なり、すでに地球史の中で限らない検証が繰り返された結果である自然の完璧な循環を科学の眼で観て、人間生態系にとって必要なものをリ・デザインすることにより、全く新しいもの作りや暮らし方を提案するものである。多くの昆虫は、付着性の強い粘性土壌の中でも容易に移動し、行動しているが、これは昆虫が、粘性土壌中でも土粒子が付着しない骨格構造表面を自然に作り出しているためであると考えられる。そこで、この自然の賢さを科学的に捉え、昆虫にならない土粒子が付着しない表面構造を有する材料を開発し、それを上述した建設機械・開発機械の作業ツール部分に適用できれば、土質状況に依存しない安定した施工を行うことができるばかりでなく、常に一定品質の修復土壌を得ることができ、かつ大幅な作業効率向上に貢献できるのではないかと考えたのが本研究の着想に至った経緯である。

(2) 研究の目的

本研究は3年間の研究期間を考えている。1年目は土壌中でも容易に行動する昆虫を実際に採取し、その骨格構造表面を調べ、なぜ土粒子が昆虫の体の表面に付着しないのかを科学的に探る。2年目は、1年目の成果を基に、昆虫の骨格構造表面を模擬した非付着性材料を開発する。そして3年目に開発した非付着性材料を建設機械・開発機械の作業ツール部分に適用し、作業効率の向上を検証する。

(3) 研究の方法

①平成22年度

- 1) 昆虫の骨格構造表面の粗さやぬれ性を表面粗さ計と接触角計で調べる。
- 2) 付着実験の装置を作製する。そして昆虫の外皮と金属を使って、付着実験を行う。

②平成23年度

- 1) 土が金属表面に付着する要因となるパラメータを実験データから検討する。
- 2) 前年度の実験結果をもとに、付着実験を引き続き行う。

③平成24年度

- 1) 昆虫の種類を増やし、骨格構造表面の粗さとぬれ性との関係について、さらに詳しく調べる。
- 2) 供試体の作製方法などの改良を試み、付着実験を引き続き行う。

(4) 研究成果

①平成22年度

金属は鋼鉄、銅、アルミニウム、SUS304、SUS420J2の5種類を、昆虫はカブトムシ、ダンゴムシ、コガネムシ、フンコロガシの4種類を対象とした。なお、SUS420J2（マルテンサイト系）は表面粗さを4段階変えて検討した。その理由は、建設機械は一般にマルテンサイト系鋼鉄が使われており、水を使う付着実験に錆びにくいマルテンサイト系金属を採用したほうが管理しやすいと考えたからである。測定結果より、金属表面が粗くなるほどぬれ角は小さくなる、つまり濡れやすいことが分かった。一方、昆虫外皮は凸構造（フンコロガシ以外）であり、ぬれ角は全て90度以上（疎水性）であった。特にカブトムシは最も濡れにくい構造を有していることが確認された（表-1参照）。

表-1 昆虫外皮の接触角測定の結果

	接触角 (度)	
カブトムシ	105.4	(4.41)
コガネムシ	103.8	(1.41)
ダンゴムシ	98.5	(1.70)
フンコロガシ	96.1	(2.20)

*括弧内は、標準偏差

付着実験では粗さとぬれ性の測定結果をもとに、SUS420J2とカブトムシの外皮を用いた（図-1参照）。試料に笠岡粘土（塑性限界23.8%、液性限界53.4%）を使用し、含水比は30%、40%、50%に設定して付着力と付着量を測定した。SUS420J2では含水比が大きくなるほど付着力と付着量は増加した。特に含水比50%では表面粗さの影響が大きくなり、ぬれ角が大きくなるにつれて付着力は増え、付着量は減少する傾向であった（図-2参照）。一方、カブトムシの付着力は微小のため今回使ったロードセルでは測定できなかったが、含水比が大きいほど付着量は増える結果が得られた。ただし、今回の実験結果にばらつきが見られたことから、実験装置を改良して実験精度を向上する必要があることが明確となった。

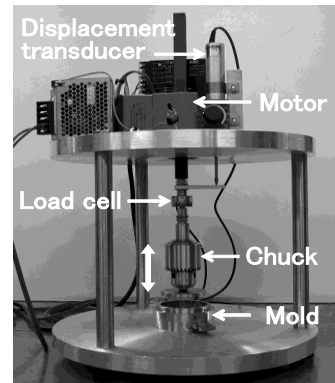


図-1 付着実験装置

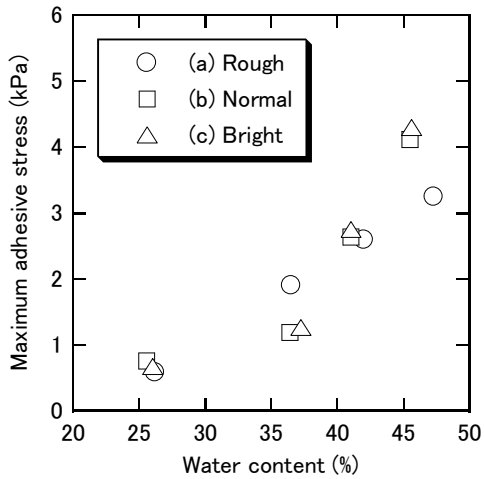


図-2 SUS420J2による付着実験結果

②平成 23 年度

縦方向および横方向の表面粗さパラメータ（算術平均粗さ，凹凸の平均間隔）を使って，表面形状を三角形と仮定した場合の粗さ指数を新たに求めた．そして，その表面粗さ指数と付着実験（SUS420J2，カブトムシの外皮，笠岡粘土を使用）の結果を総合的に検討した．付着実験の結果より，土が高含水状態となった場合は，表面粗さの影響を大きく受け，表面粗さ指数が大きくなると付着力は増え，付着量は減ることが確認された．カブトムシの外皮はくぼみ構造により，付着量はSUS420J2よりも大きくなったが，付着力はSUS420J2よりも小さくなることを推定することができた（図-3 参照）．今回の結果は，材料表面の接触角（ぬれ性）と関係しており，表面粗さ指数が大きくなると接触角は大きくなる（図-4 参照），つまり疎水性となることが確認された．以上より，材料表面の接触角（ぬれ性）は土と材料の付着特性を検討する際の重要なパラメータになることが分かった．

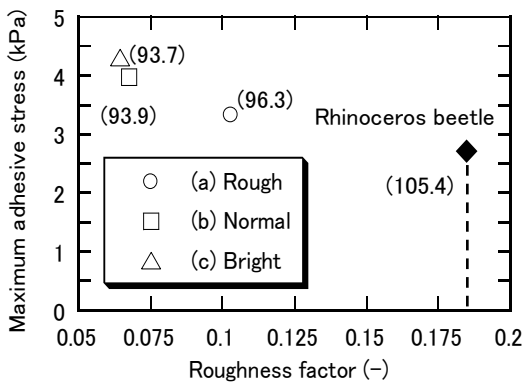


図-3 粗さ指数と付着力との関係（カブトムシの付着力は推定値）

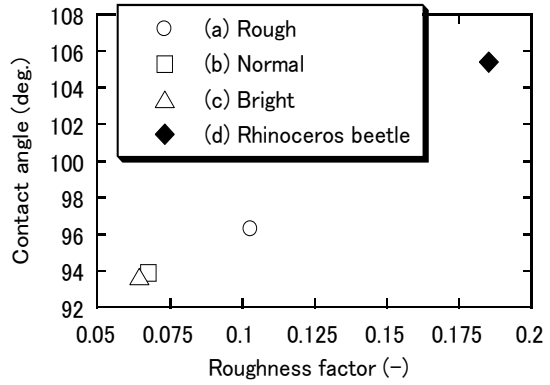


図-4 粗さ指数と接触角との関係

なお，本研究では粘性土と材料の付着特性を実験的に検討してきたが，実験装置に粘土と材料をセットするときの影響によって，実験結果にばらつきが見られた．そこで，結果のばらつきを抑えるため，材料が粘土から引き離すときに初めて力がかかるような装置に改良した．その結果，以前の装置よりも安定した実験結果を得ることができ，これまで得られた結果と同じ傾向を確認することができた．

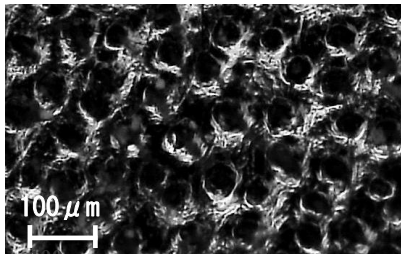
③平成 24 年度

昆虫表皮の持つ表面特性を応用することで，固体表面の表面形状を土の付着しにくい構造に改良することを目的とし，昆虫表皮と土の付着特性を実験的に検討した．

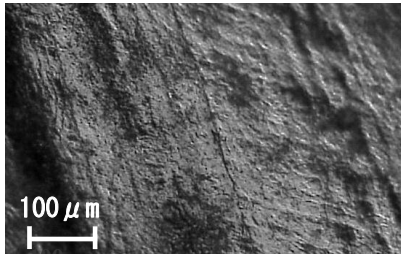
実験サンプルとして主に土の中に生息している昆虫および生物を選定し，顕微鏡で表面観察を行った．その結果，二つの共通する構造を確認した．具体的には，カブトムシ，ゲンゴロウ，タガメは羽の表面に共通するくぼみ構造を持ち，タニシとオオタニシからは一方向の縞模様を有することが分かった（図-5 参照）．

次に，材料表面のぬれ性を評価するために接触角測定を行った．その結果，くぼみ構造を有するものは疎水性表面を，縞模様を有するものは親水性表面を示した．さらに，粗さ測定を行って表面粗さパラメータを算出し，表面粗さパラメータと接触角との関係を考察したが，付着しにくい表面構造を構成するための明確な関係を見出せなかった．

さらに，表皮の付着実験を行った．粘性土と表皮が確実に接着させるため，湾曲のできるだけ少ない羽の部分を対象に付着量を測定した．その結果，全サンプルにおいて土の含水比が増えると付着量も増大した（図-6 参照）．



(a) カブトムシの羽根部分



(b) オオタニシの表面
図-5 表面形状の一例

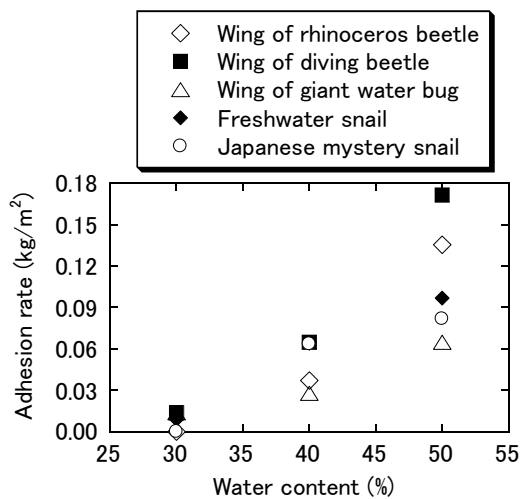


図-6 昆虫外皮の付着実験結果

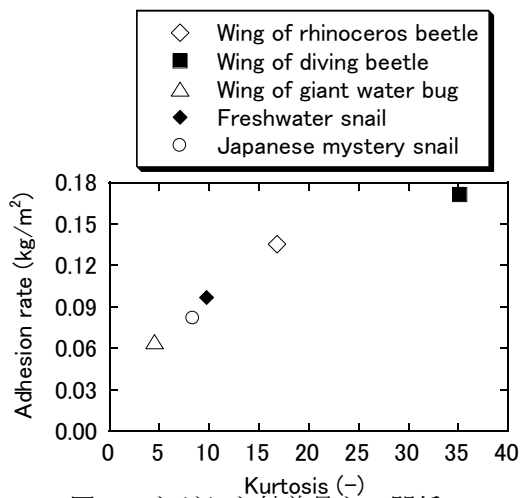


図-7 とがりと付着量との関係

さらに、表面粗さと付着量との関係を検討したところ、粗さの高さ方向の特徴平均パラメータである「とがり」が増えると付着量も増加するという強い線形関係が得られた。ゆえに、「とがり」は土が付着しにくい表面形状を構成するパラメータのひとつとなり得る可能性があることが確認された (図-7 参照)。

昆虫表皮だけではなく昨年度と同様、金属材料 (SUS420J2) と粘性土との付着特性も実験的に検討した。具体的には供試体の作製方法を改良し、金属材料と粘性土との圧着強度を変えて、土の凝集力と金属材料に対する土の付着率を測定した。その結果、圧着強度が増えるにつれて、土の凝集力は増えるものの、付着率は低くなる、つまり土が付着しにくくなることが確認できた。

(5) 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① T.Satomi, H.Nihe and H.Takahashi, Investigation on Characteristics of Soil Adhesion to Metallic Material Surface and Soil Animal's Cuticle, Proc. of the 15th International Conference on Experimental Mechanics, 査読無, 1 巻. CD-ROM 2012 年
- ② Tomoaki Satomi, Haruya Nihei, Hiroshi Takahashi, Experimental Investigation on Characteristics of Soil Adhesion to Metallic Material Surface, Proc. of International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 査読有, 1 巻. 2011 年, 95-100
- ③ Tomoaki Satomi, Haruya Nihei, Hiroshi Takahashi, Experimental consideration on adhesion properties between clay-rich soil and metallic material surface, Proc. of the 12th Conference on Science and Technology, 査読有, 1 巻, 2011 年, CD-ROM
- ④ Akito MORITA, Hiroshi TAKAHASHI, Yuko SUTO and Tomoaki SATOMI, Study on Development of Small Diameter Drilling Machine for Geo-Environmental Investigation, Proc. of the International Symposium on Earth Science and Technology, 査読無, 1 巻, 2010 年, 209-214

[学会発表] (計 6 件)

- ① Tomaki Satomi, Haruya Nihei and Hiroshi Takahashi, Investigation on Characteristics of Soil Adhesion to Metallic Material Surface and Soil Animal's Cuticle, The 15th

International Conference on Experimental Mechanics, 査読無, 1巻. CD-ROM, ポルト・ポルトガル 2012年

- ② Tomoaki Satomi, Haruya Nihei, Hiroshi Takahashi, Experimental Investigation on Characteristics of Soil Adhesion to Metallic Material Surface, International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 2011年12月7日福岡
- ③ Tomoaki Satomi, Haruya Nihei, Hiroshi Takahashi, Experimental consideration on adhesion properties between clay-rich soil and metallic material surface, The 12th CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2011年10月28日, ベトナム・ホーチミン
- ④ 二瓶晴哉, 里見知昭, 高橋弘, 金属材料および昆虫外皮に対する土の付着性に関する基礎的研究, 資源・素材学会東北支部春季大会, 2011年6月24日, 仙台
- ⑤ Akito MORITA, Hiroshi TAKAHASHI, Yuko SUTO and Tomoaki SATOMI, Study on Development of Small Diameter Drilling Machine for Geo-Environmental Investigation, The International Symposium on Earth Science and Technology, 2010年12月7日, 福岡
- ⑥ 森田 光飛, 高橋 弘, 須藤 祐子, 里見 知昭, 曲進可能な無排土小型掘進機械の開発に関する研究, 第4回オーガナイズド・テラメカニックス・ワークショップ in 東根, 2010年10月28日, 東根

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www2.kankyo.tohoku.ac.jp/htaka/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 弘 (TAKAHASHI HIROSHI)
東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号：90188045

(2) 研究分担者

石田 秀樹 (ISHIDA HIDEKI)
東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号：10396468

須藤 祐子 (SUTO YUKO)

東北大学・大学院環境科学研究科・助教
研究者番号：70344687

(3) 連携研究者

()

研究者番号：