

高周波振動を利用した土と異種材料間の摩擦低減技術に関する基礎的研究

九州大学工学部 学○白石和彦
九州大学大学院 F 落合英俊 正 安福規之
正 大嶺 聖 正 小林泰三

1. はじめに

昨今、土木構造物が大規模化・長大化し、土工作業の機械化が進む一方で、土-機械間あるいは土-異種材料間の摩擦が原因で作業効率が低下するような問題が多く、多くの土工現場で発生している。土と異種材料間の摩擦を低減することのできる技術が開発されれば、土を対象とする様々な施工技術において、コスト削減や作業の効率化に繋がる広範な応用を見込むことができる。これまでも企業を中心に、さまざまな摩擦低減のための技術開発が進められているが、従来の装置の模倣や経験、思いつきによるものが多く、摩擦低減のメカニズムに関する学究的、基礎的な研究としての性格は薄い。機械工学分野では、主に金属材料を対象として、物体同士の摩擦・磨耗潤滑現象の解明をテーマとした「トライボロジー (Tribology)」と呼ばれる学問が古くから体系づけられており、さまざまな分野でその応用技術が実用化されている。一方、土は、周知のように土粒子、水、空気からなる複雑な材料であり、異種材料との接触問題に関しては未解明な点が少なくない。土には粒状体ゆへの特有の性質があり、効果的な摩擦低減技術の確立を目指すには、学究的な基礎研究として「土のトライボロジー」の整備が不可欠である。高品質・高精度の施工技術が求められるようになった今、土と異種材料間の相互作用問題は、古くて新しい問題として、また、今後の省エネ型・循環型の施工技術を担う上で研究意義の高いテーマになると考えている。本研究では、土と接触する材料を高周波で振動させることによる摩擦低減技術を提案し、そのメカニズムの学究的解明を図るとともに、そのアイデアを応用した技術シーズの創出および実用化を目指す。

2. 振動ブレード引き抜き試験装置

本研究では、振動する剛体と土の間のせん断特性を把握するために、図1に示す実験装置を作製した。土槽の中心を高周波振動する鋼製ブレードが貫通しており、土槽を平行移動することによって、振動中の剛体と土の摩擦力が計測できる仕組みとなっている。ブレードには、一次元方向に振動するエアバイブレータ（起振器）が取り付けられている。なお、起振器の設置向きを変えることによってブレードの振動方向を任意にコントロールすることができる。ブレードには、3方向加速度計が設置されており、振動中の加速度が計測される。また、土槽の送り装置にはロードセルと変位計が設置されており、せん断時の荷重と変位の関係が求められる。本試験装置を用いた実験結果については、研究発表会当日にその詳細を紹介する。

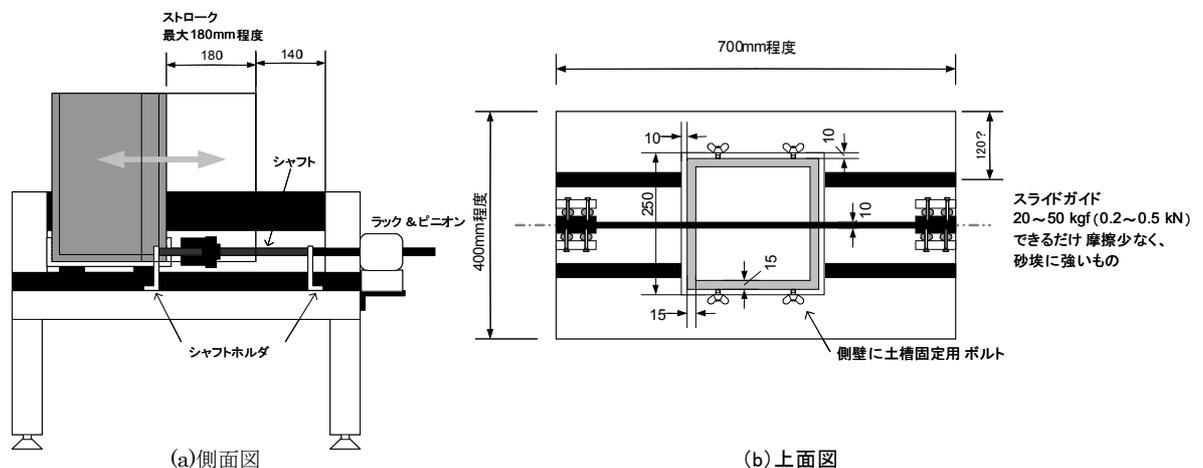


図1 実験装置イメージ

3. 振動中の土の内部摩擦角

振動する土のせん断特性に関するメカニズムについての学術的研究例は少なく、未解明の点が多い。体系的な研究例としては、1950年代に最上¹⁾や Barkan²⁾ が、振動中の土の摩擦特性に関する研究を行なっている。Barkan は、1959年に砂の内部摩擦角に対する振動の影響を調べるために振動台上で一面せん断試験を行なっている。せん断箱に砂をつめ、これを振動台上において 0.5kg/cm^2 の垂直圧力で振動によって締め固め、その後、所定の垂直応力下で振動せん断を行っている。本実験では、振動数と振動の加速度を制御し、図2の実験結果を得た。同図は、加速度比 η と振動中の内部摩擦角 ϕ の関係を示したものである。ここに、 η は、振動の加速度を重力加速度 (9.8 m/s^2) で除した値である。この図から、加速度比が大きくなると $\tan\phi$ が小さくなる、つまり振動が大きくなると摩擦力は減少することが分かる。しかし、同研究では、振動中の土の摩擦低減のメカニズムについては言及しておらず、その解明には至っていない。

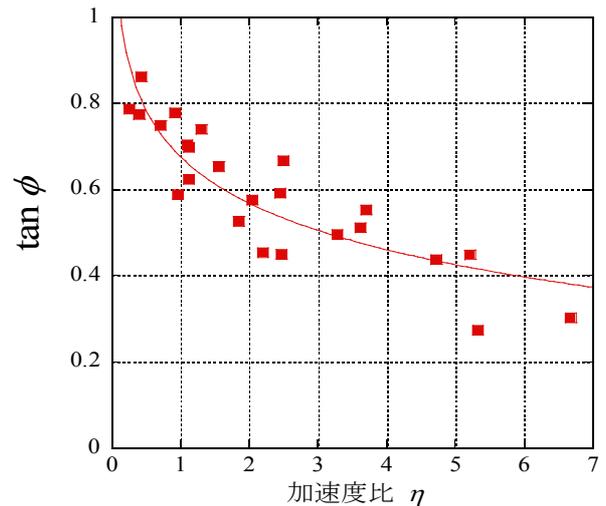


図2 摩擦係数 $\tan\phi$ と加速度比 η の関係

4. 摩擦低減のメカニズム

前述のとおり、乾燥土では振動で摩擦低減することが確認されている。この結果を受け、乾燥した土と異種材料との摩擦も低減すると考えた。一方、飽和した地盤では振動で有効応力が低下して境界面で摩擦低減が起こる。よって飽和した地盤では乾燥地盤より効果的な摩擦低減が期待できる。ここで飽和土と材料との摩擦メカニズムから摩擦低減の手法を提案する。高周波の微振動で土と材料の境界面に液状化した水膜を生成させることによって摩擦を低減する技術である (図3)。

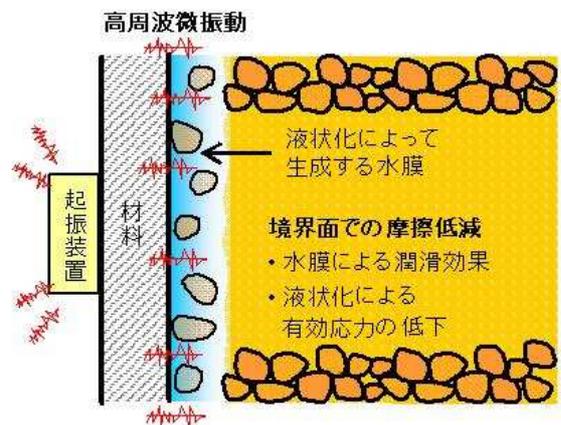


図3 摩擦低減のアイデア

5. 本研究の有用性

効果的な摩擦低減技術が確立されれば、杭基礎や矢板の圧入、掘削、ブルドーザやバックホウ等での土のハンドリングが容易にできるようになる。施工効率の向上による大幅なコスト削減のみならず、固体 (矢板など) の再利用や作業機械の劣化防止につながる。また、ここに提案する技術はシンプルな着想に基づくものであるが、高い効果が期待できるので、汎用性・発展性の観点からも、新たな技術革新につながる意義深い研究といえる。

6. 今後の展開

本研究の具体的な段階としては、1)土と異種材料間の摩擦メカニズム (土のトライポロジー) の解明とモデル化、2)新たな摩擦低減方法の提案と基礎的実験による低減効果の評価、3)地盤への剛体貫入や土の掘削時における摩擦低減技術の実用化の3つがあるが1)、2)の基礎研究を経て、最終的に3)に示すような実問題への実用化を図る。

【参考文献】

- 1) 最上武雄: 第6章 土の動的性質, 土質力学, 技報堂, pp696-697, 1969. 2) BARKAN: II-1, EFFECTS OF VIBRATIONS ON RESIDUAL SOIL SETTLEMENTS, DYNAMICS OF BASES AND FOUNDATIONS, Mc Graw-HILL, pp54-68, 1962.