

近年の建築施工関連研究

高橋 弘

近年、地球温暖化をはじめ様々な環境問題が顕在化してきており、多くの分野で環境対策が施されてきている。建設施工も同様であり、排ガス対策、建設副産物の削減・再資源化など様々な環境対策が試みられている。さらに、安全対策、コスト縮減、品質確保などは今後の建設施工に欠かすことのできないキーワードである。本報では、主として著者らの研究室で取り組んでいる環境関連研究テーマを紹介し、近年の建築施工関連研究を概観する。

キーワード：建設副産物、情報化施工、環境ジオメカトロニクス、環境対応建機、環境地盤・リサイクル工学

1. はじめに

近年、地球温暖化をはじめ様々な環境問題に対して関心が高まってきており、種々の対策が施されてきている。建設施工も同様であり、現在では施工を実施するに当り、「環境問題」は避けて通れない状況にある¹⁾²⁾。それゆえ、これからの建設施工は、環境調和型である必要がある³⁾。さらに「環境問題」だけではなく、「安全対策」を施し、「コスト縮減」を達成し、かつ「品質を確保する」施工が強く望まれると考えられる。

このような状況を鑑み、大学における建設施工研究も社会のニーズに対応するものに変化しつつある。著者は平成15年4月に東北大学に新しく設立された大学院環境科学研究科に所属し、「環境と機械、環境と施工」をキーワードに研究を進めている。ここでは、主として環境と施工に関連した著者らの研究室における研究を紹介し、さらに今後、国内外の研究機関と共同研究を進めるべく計画中的である「月資源利用」研究について簡単に紹介する。

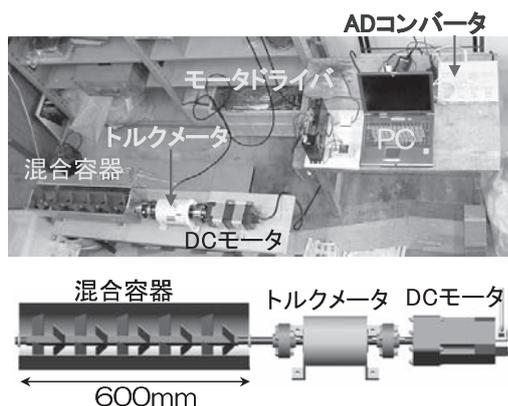
2. 建設副産物の再資源化

上述したように、現在、廃棄物問題は避けて通れない大きな環境問題の1つである。機械施工においても廃棄物を極力出さない施工法あるいは廃棄物を再資源化し、できるだけ最終処分しない施工法が望まれている。これは、機械施工における3R (Reduce, Reuse, Recycle) に他ならない。このうち、Reduce が最も

優先されるべきであるが、難しい課題でもある。そこで、当面は Reduce 技術に関する研究開発を進めるとともに、Recycle を広く実施し、最終処分場や地球環境に負荷を与えない環境調和型の施工法を確立していく必要がある。このためには、Recycle すなわち建設副産物の再資源化技術は必要不可欠な重要な技術である。著者らの研究室では、いわゆる建設副産物の「地産地消」を提案しているが、ここでは、主として掘削土砂や建設汚泥等の高含水比泥土のリサイクル技術について紹介する。

まず、掘削土砂（建設残土）は再生資源として位置付けられており、現場で比較的容易にリサイクル可能である。掘削土砂の再資源化処理に使用される建機が、いわゆる自走式土質改良機と呼ばれるものである。自走式土質改良機を用いた掘削土砂の再資源化処理では、掘削土砂は固化材と攪拌・混合されるが、攪拌・混合時の攪拌トルクについては、物理的に十分解明されているとは言えず、また自走式土質改良機に搭載できる動力は限られていることから、土砂の土質条件によっては、あるいは一度に大量の土砂を機械に投入するなどと言った工事のやり方によっては、土砂と固化材が十分に攪拌・混合されないという事態も発生してきている。土砂の状態に応じた攪拌トルクを理論的に求めることができれば、均一な攪拌・混合という条件を満足し、かつ最大の土砂投入量を決定することができ、最適施工や機械の最適設計などが可能になると考えられる。そこで、著者らの研究室では自走式土質改良機の攪拌トルクを算出するための物理モデルを導出

し、土砂の攪拌・混合実験を通して、モデルの妥当性について検証した⁴⁾。図一1に、土砂の攪拌・混合実験に用いた小型のパドル式混合装置を示す。また図一2に土砂混合の様子を示す。トルク計算では、パドル位置に応じた「パドル上部における土砂の自重によるトルク」と「土砂のせん断抵抗によるトルク」を考え、物理モデルを構築している。モデルにはまだ改良の余地は残されているものの、計算値は実験値とほぼ一致しており、概ね妥当なものと考えている。



図一1 小型パドル式混合装置



図一2 パドル式混合装置における土砂混合の様子

著者らの研究室では、この他に(1)掘削土砂と固化材の混合シミュレータの開発(内容は後述する)⁵⁾⁶⁾、(2)処理量に及ぼす土質の影響⁷⁾、(3)処理量と攪拌トルクとの関係⁸⁾などに関する研究を実施し、最適操業条件の把握を目指した研究を進めている。

一方、高含水比泥土のリサイクルに関しては、これまでに下記のような工法が提案されている。

- ①天日乾燥
- ②機械式脱水処理
- ③焼成処理
- ④流動化処理工法
- ⑤気泡混合土処理工法
- ⑥安定化処理(固化処理)
- ⑦吸水性樹脂による処理

これらの工法の概要については、文献⁹⁾に記してあるので、そちらを参照して頂きたい。上述のように様々な高含水比泥土の再資源化工法が提案されているが、これらの工法で生成される土砂は破壊ひずみが小さく、乾湿繰り返しに対する耐久性が低いなど、必ずしも土砂の改良が十分に行われているとは言いがたい。そこで、著者らはこれらの問題を解決するために、高含水比泥土に古紙破砕物と高分子系改良剤を混合して良質な土砂に再資源化する「繊維質固化処理土工法」を開発した¹⁰⁾。本工法により生成される土砂は、破壊強度や破壊ひずみが大きく、乾湿繰り返しおよび凍結融解に対して高い耐久性を示す¹¹⁾ことから、既に200を越える施工実績を有する。繊維質固化処理土工法の原理および生成土の強度特性については、文献¹²⁾に詳しく記述されているので、そちらをご参照頂きたい。ここでは、最近の大規模な工事事例として、中国地方整備局殿ダム工事事務所発注の殿ダム建設第1期工事に採用された事例¹³⁾を紹介する。

殿ダムは鳥取県東部千代川水系袋川の上流に建設を進めている中国地方整備局初のロックフィルダム(堤高75m、堤体積約200万 m^3)である。現場付近の地質は軟質・層状の泥岩がその大部分を占めており、雨水浸透に対する抵抗性が低いため、ダム本体の基礎掘削時には降雨によって場内が泥土化していた。このため、長期間に亘る下流域への濁水流出や施工効率の低下等の課題を抱えており、泥土処理対策が急務となっていた。本工事では現地にて配合試験を実施し、繊維質処理土工法(ボンテラン工法(NETIS登録番号TH-020042-V))を採用した。配合試験では含水比が100%程度の場合、固化材のみによる改良では最低3日以上の上養生が必要であったが、繊維質処理土工法では改良後1時間程度で施工機械のトラフィカビリティを満足しており、日々変化する現場状況下での早急な対応工法として十分な効果を確認できた(図一3)。このことは、本工事のような泥土処理のみならず、特に土砂災害時の緊急・応急工法としての活用が期待できる。また、泥土を最終処分した場合と比較すると約4億円のコスト削減効果を得ており、コスト的にも優れていることが確認された。



図一 3 殿ダム建設工事現場における沈砂地堆積泥土再資源化の様子

また近年の研究により、繊維質固化処理土は従来の固化処理土や通常土に比べて動的強度が大きく、耐震性地盤材料として最適であることが確認されている¹⁴⁾。

ところで、この繊維質固化処理土工法は、脱水工程を施すことなく、高含水比泥土を良質な土砂へ再資源化することができる。換言すると、生成される土砂は大量の水分を含有していることになる。つまり、固化材を含まない非自硬性汚泥であれば、本工法により再資源化される土砂（繊維質処理土）は、保水性の高い植生基盤材として使用できる可能性がある。そこで、著者らの研究室では、屋上緑化用植生基盤材への適用を目指した研究を行っている。屋上緑化用植生基盤材に求められる性能としては様々なものがあるが、中でも重要視されるのが「軽量性」と「保水性」である。また植物の生育には通気性や保肥性なども重要であると考え、軽量性、保水力、保肥力、透水性、三相分布などの点から繊維質処理土の土壌物理特性を評価している。(財)都市緑化技術開発機構発行の「屋上緑化・壁面緑化のてびき」によると、湿潤時の比重が1.0以下の土砂を軽量、0.6以下を超軽量と定義している。また保水力に関しては、100～200 [l/m³] を標準、200 [l/m³] 以上を大と定義しているが、浄水汚泥を用いて作成した繊維質処理土は、湿潤時の比重が0.68、保水力が324 [l/m³] であることが確認された¹⁵⁾。市販の人工軽量土壌の中には超軽量土壌も存在するが、ほとんどの土壌の比重は0.7～0.8程度であり、保水力も100～200 [l/m³] の範囲内であり、超軽量かつ保水力大という人工軽量土壌はほとんど見当たらない。浄水汚泥を用いた繊維質処理土は超軽量とまでは至っていないが、かなり超軽量に近く、かつ極めて高い保水力を有していることが分かる。屋上緑化工事では、経費の大半が人工軽量土壌の購入費になるが、浄水汚

泥を用いた植生基盤材を利用すれば、工事費の大半を占める植生土壌を、今までは廃棄物として捨てていたものから生成できることになり、コスト的なメリットは計り知れない。今後、超軽量を達成すべく研究を進めるとともに、PFIを利用した浄水汚泥リサイクル事業を提案して行きたいと考えている。なお、浄水汚泥を用いた植生基盤材を利用して屋上緑化を行った施工例としては、大分市役所庁舎、広島市役所庁舎、仙台市茂庭浄水場などがある。図一4は大分市役所庁舎の屋上緑化の様子である。図中の破線の部分に浄水汚泥を用いた植生基盤材が使用されている。全体のイメージを砂浜に隣接した草地に見立て、流木を止まり木とした鳥が種子を運び、新しい生命が宿り続けることを表現するとともに、廃棄物から生成した植生基盤材を利用していることから資源の循環をメッセージとして表現している。



図一 4 大分市役所庁舎の屋上緑化の様子

3. 建設機械の自動化・情報化施工

国土交通省は、平成20年7月に情報化施工推進戦略を発表した¹⁶⁾。情報化施工とは、調査、設計、施工、維持管理という建設生産プロセスのうち「施工」に注目し、各プロセスから得られる電子情報を活用し、高効率・高精度な施工を実現しようとするものである。情報化施工に関するキーテクノロジーの1つにマシンコントロールがある。これはGPSやトータルステーションTSを用いて機械の位置座標を把握し、ブレードやバケットの位置をコントロールする技術であるが、この技術は既に実用化のレベルにある。情報化施工を推進するためには、上述したように各プロセスから得られる電子情報を活用しなければならないが、現時点では設計データをマシンコントロールに直接利用できない。今後は、各プロセス間のインターフェース

に関する研究が緊急の課題であると考えられる。

さらに、近未来の機械施工は自動化・ロボット化施工へと発展していくと思われる。著者らは近未来の自動化・ロボット化施工を目指し、「ジオメカトロニクス」という新しい研究分野を提案している¹⁷⁾。「ジオメカトロニクス」とは、機械工学（メカニクス）、電子工学（エレクトロニクス）および地盤工学（ジオメカニクス）を融合させた新たな造語であり、施工する地盤の状況をリアルタイムに機械自らが判断し、その地盤状況に合った最適な施工方法を機械自らが選択して施工を自律的に実施する技術の確立を目指した学問体系を意味する。このジオメカトロニクスが対象とする研究分野としては、

- 1) 対象地盤の特性評価
- 2) 地盤と機械系の相互作用の評価
- 3) 地盤特性を考慮した自動化・ロボット化技術

などが挙げられ、地球環境と社会基盤整備、災害対策・環境対策、機械と無人化施工などへの適用が期待される。

ジオメカトロニクスに関する研究例としては、振動ローラーによる締固め度の把握および地盤強度に応じた最適振動数の決定¹⁸⁾、パワーショベルによる自動掘削¹⁹⁾、ホイールローダの自律移動制御²⁰⁾や破碎堆積物自動掘削²¹⁾などがある。

今後は環境対応建機の知能化が期待される。例えば、上述した自走式土質改良機では、機械が投入された土砂の物性値を自ら判断し、その土砂に最適な稼働条件になるように自らを制御するような知能環境対応建機の開発に関する研究が期待される。

4. 数値シミュレーション

近年のコンピュータの発達は著しく、従来は大型計算機を使用しなければできないような計算がパーソナルコンピュータでも多少の時間をかければ計算可能になってきている。その結果、数値シミュレーションに関する研究が盛んに行われるようになってきている。シミュレーションモデルの開発には、有限要素法など多くの手法があるが、最近では個別要素法（Distinct Element Method, 以後DEM²²⁾と記す）を用いたシミュレーション研究が盛んに行われるようになってきている。著者らの研究室でも約10年前よりDEMによるシミュレーション研究を実施している。DEMは、土砂や岩石・コンクリートなどの対象物を数多くの要素の集合体から構成されていると考え、その個々の要素に対して運動方程式を立て、その運動方程式を時間領

域で解いて、対象物の挙動をシミュレートしようとするものである²³⁾。DEMは粒状体などの非連続体の挙動解析に適用されることが多いが、隣接する要素を結合状態とすることにより、岩石やコンクリートなどの連続体の挙動解析にも適用される。すなわち、DEMは連続体から非連続体まで連続してシミュレートすることが可能である。

一般に、DEMの計算では、図-5に示すようなモデルが用いられる。2つの要素が接する場合、法線方向および接線方向に弾性を表すスプリングと粘性を表すダッシュポットを設ける。さらに接線方向には摩擦を表すスライダも設ける。DEMの計算では、要素同士の重なりからスプリングによる反発力などを計算する。連続体の場合、要素間に働く力が破壊基準に達するまでは、圧縮にも引張りにも抵抗するが、要素間に働く力が破壊基準を超えると、その要素間の結合は切れ、圧縮には抵抗するが、引張りには抵抗しない、すなわち要素が離れた場合、要素間には引張力は作用しないとして計算を進める。

著者らの研究室でDEMシミュレーションに最初に取り組んだ研究例は、ホイールローダによる破碎堆積物のすくい取りである²⁴⁾。図-6は、DEMシミュレーションにより得られたバケットの動きに伴う破碎堆積物の挙動を示したものである。バケットに作用する抵抗力の実験結果とシミュレーション結果を比較し、両

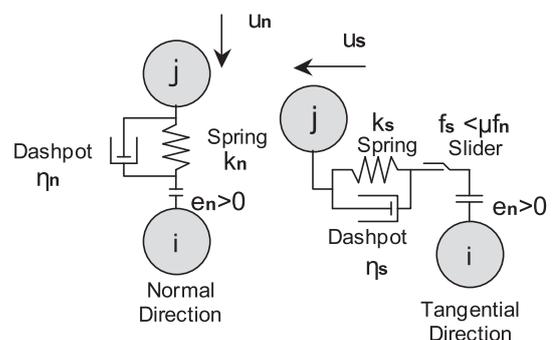


図-5 DEMシミュレーションで用いられる要素モデル

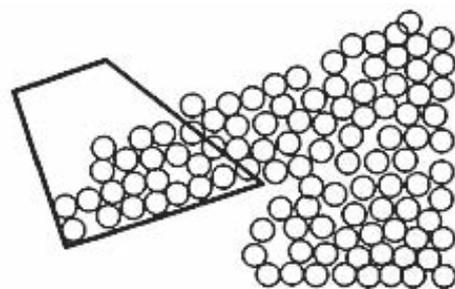
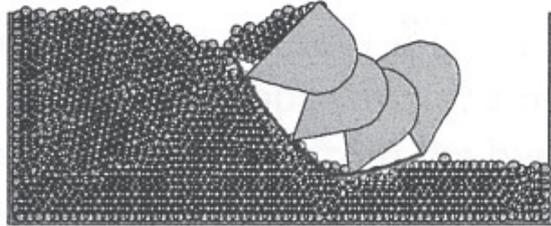


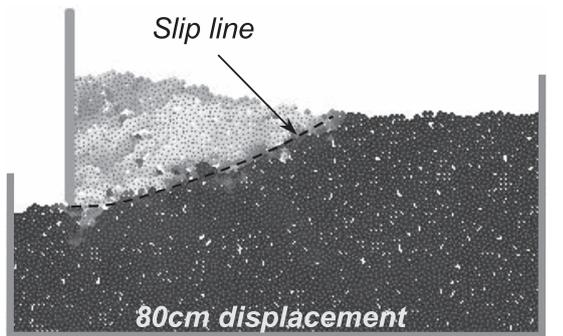
図-6 ホイールローダによる破碎堆積物のすくい取り

者はほぼ一致することを確認している。

図一七は、パワーショベルによる地盤掘削にDEMを適用した例である²⁵⁾。また同様に図一八は、ブレードによる地盤掘削にDEMを適用した例である²⁶⁾。



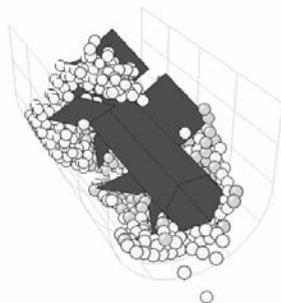
図一七 パワーショベルによる地盤掘削²⁵⁾



図一八 ブレードによる地盤掘削²⁶⁾

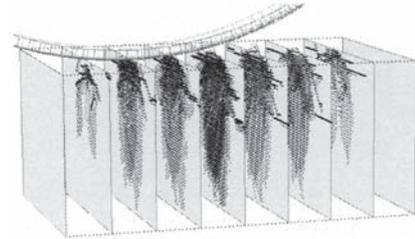
ところで、上述した土質改良機は掘削土砂と固化材を如何に効率よく、均一に混合できるかが極めて重要なポイントであるが、土砂と固化材の混合過程は機械要素のみならず土質の影響も受けるなど非常に複雑であるため、これらの影響を全て実験的に検討するのは非効率的であるばかりでなく非経済的でもある。そこで、著者らの研究室では、自走式土質改良機の最適設計を支援するため、コンピュータ上で土砂と固化材の混合過程をシミュレートできる土砂混合シミュレータを開発している(図一九)^{5) 6)}。

これらの研究により、掘削土砂と添加剤(薬剤)と



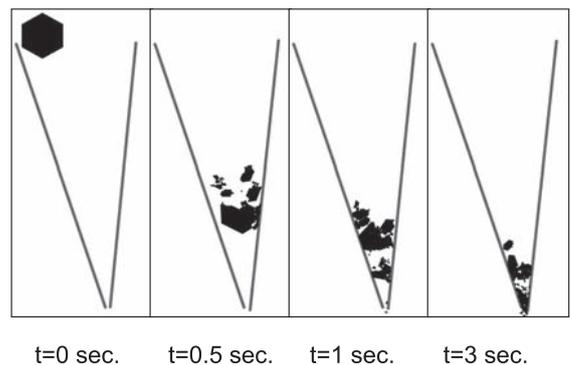
図一九 土質改良機による土砂と添加剤混合シミュレーション

の混合過程や混合性能に及ぼす機械要素・土砂物性値の影響をコンピュータ上でシミュレートすることが可能になってきている。この他にディスクカッターによる岩盤掘削(図一十)などのシミュレーションも実施している²⁷⁾。



図一十 ディスクカッターによる岩盤掘削のシミュレーション

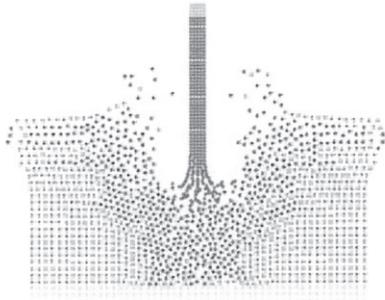
また現在は、モビルクラッシャーによるコンクリート塊破砕に関するシミュレータの開発を行っている。モビルクラッシャーによる破砕性能は、機械の要素のみならず、岩石・コンクリート塊などの物性値も影響を及ぼすため、最適な機械の設計や最適破砕条件を実験により把握するのは非効率的かつ非経済的である。そこで、破砕に及ぼす機械要素の影響や岩盤・コンクリート塊の物性値の影響をコンピュータ上でシミュレートできる計算機シミュレータの開発を行っている。図一十一はその一例であり、ジョークラッシャーの可動板の動きにより大岩が破砕されていく様子がシミュレートされている²⁸⁾。また可動板に作用する力を基に、破砕に必要なエネルギーの算出も行っており、実現場での効率的な機械稼働条件の把握も試みている。



図一十一 大岩破砕のシミュレーション結果

DEMでは、要素を剛体として計算を実施するが、流体要素を扱う手法としてSPH法(Smooth Particle Hydrodynamics)がある。SPH法とは、流体を要素の集合体とみなし、要素の挙動を計算することにより、流体の挙動をシミュレートしようとするものである。

図—12は、SPHを用いてウォータージェットによる岩盤掘削をシミュレートした結果を示している²⁹⁾。ウォータージェットが岩盤に衝突し、岩盤が掘削されている様子が再現されているが、2次元モデルでは掘削孔の大きさが実験による掘削孔の大きさよりもかなり大きくなっており、このような現象に対しては3次元モデルによるシミュレーションが必要であるとされている。



図—12 SPHを用いたウォータージェットによる岩盤掘削のシミュレーション

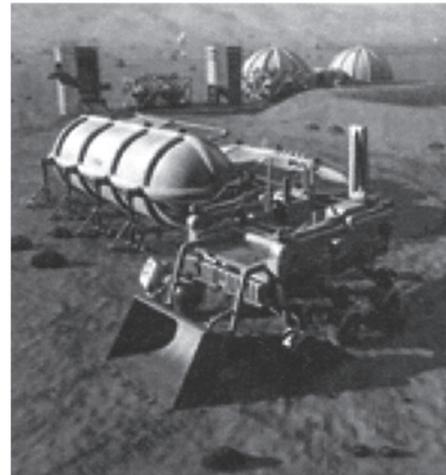
5. 今後の研究課題の一例：月資源利用

近年の宇宙開発に関する研究の進展はめざましく、放送衛星や気象衛星、GPS等にみられるように、宇宙は今日、童話やSFの世界から、人類の生活に欠くことのできないインフラストラクチャーの一部となっている。2007年9月に打ち上げられた我が国初となる本格的な月探査衛星「かぐや」は、新しい月探査時代の幕開けを飾る重要なミッションとして世界からの期待も高く、これに続く将来の無人・有人探査機の研究開発が世界中で急速に活発化してきている。

ところで、2005年4月に宇宙航空研究開発機構(JAXA)による長期ビジョン(JAXA2025)が発表されたが、特筆すべき事項として、旧来のJAXA中期計画と比べて新たに「月の探査と利用」という分野が創設されていることが挙げられる。そこでは、月資源利用(In-Situ Resource Utilization, ISRU)という概念が注目を浴びてきており、月を目指すひとつの大きな動機となっている。これは、月にある物質や環境を利用して、生命維持や燃料・工業製品、建設資材等の材料・製品を製造し、月面における人類の活動に役立てようとするのである。

月資源利用研究を遂行するためには、資源を探索する「センシング技術研究」、資源を掘削・採取する「ハンドリング技術研究」および資源から材料・製品を製造する「プロセッシング技術研究」が必要不可欠であ

る。ハンドリング技術研究では、国内外の大学・研究機関と連携して、月面地盤特性の評価、月面の削孔、月土壌の掘削や運搬などの研究が計画されている(図—13³⁰⁾)。このようにハンドリング技術研究は建設施工分野に密接に関連するものであり、地上での建設施工技術の応用が期待されている。本研究室でもハンドリング技術研究に参画し、月面の削孔技術開発を行う予定である。



図—13 月資源利用におけるハンドリング技術研究のイメージ³⁰⁾

6. むすび

本報では主として環境と施工に関連した著者らの研究室における研究を紹介し、さらに今後の研究として計画を進めている月資源利用に関する研究の一端を紹介した。本報は著者の力不足により必ずしも正確な「近年の建築施工関連研究」の報告原稿になっていない点もあるかと思うが、ご容赦頂ければ幸いである。また本報が読者にとって何らかの寄与するところがあれば、望外の喜びである。

JCMIA

参考文献

- 1) (社)日本建設機械化協会:建設施工における地球温暖化対策の手引き, 2003.
- 2) (社)日本建設機械化協会地球温暖化対策:省エネ運転マニュアル, 2003.
- 3) 高橋 弘:機械施工と環境問題,(社)日本建設機械化協会東北支部 平成19年度新技術情報交換会論文集, pp.1-11, 2007.
- 4) 高橋 弘, 酒井 康雄, 森 泰雄:土質改良機における土砂と添加剤の攪拌トルクに関する研究, 応用力学論文集, Vol.9, pp.679-687, 2006.
- 5) 高橋 弘, 渡嘉敷 憲一郎, 山中 勇人, 関野 聡, 橋本 久儀:掘削土砂リサイクル処理機械内土砂挙動解析用シミュレータの開発に関する基礎研究, J. of MMIJ (資源・素材学会誌), Vol.116, No.6, pp.502-508, 2000.
- 6) 高橋 弘, 山中 勇人, 関野 聡, 橋本 久儀:掘削土砂リサイクル処理機械における土砂と添加剤の混合に関する研究, J. of MMIJ (資源・

- 素材学会誌), Vol.116, No.10, pp.839-846, 2000.
- 7) 高橋 弘, 安藤 真和: バドル混合式土質改良機の処理能力に及ぼす土質の影響, 建設機械, Vol.44, No.5, pp.37-41, 2008.
 - 8) H.Takahashi and M.Ando: Study on Effect of Soil Properties on the Performance of Paddle-Type Soil-Recycling Machine, Proc. of the 16th Int. Conference of ISTVS, pp.245-249, 2008.
 - 9) 高橋 弘: 掘進工事にもなう掘削排土対策の現状と今後の課題, 月刊推進工事, Vol.20, No.4, pp.3-8, 2006.
 - 10) 森 雅人, 高橋 弘, 逢坂 昭治, 堀井 清之, 片岡 勲, 石井 知征, 小谷 謙二: 故紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい高含水比泥土リサイクル工法の提案と繊維質固化処理土の強度特性, J. of MMIJ (資源・素材学会誌), Vol.119, No.4-5, pp.155-160, 2003.
 - 11) 森 雅人, 高橋 弘, 熊倉 宏治: 繊維質固化処理土の乾湿繰り返し試験による耐久性に関する実験的研究, J. of MMIJ (資源・素材学会誌), Vol.121, No.2-3, pp.37-43, 2005.
 - 12) 高橋 弘: 古紙破砕物を用いた建設汚泥の新しい再資源化工法, 建設機械, Vol.42, No.8, pp.50-56, 2006.
 - 13) 岩田 輝貴: 工事現場における高含水比汚泥処理について, 平成 20 年度中国地方建設技術開発交流会講演集, pp.34-37, 2008.
 - 14) 高橋 弘, 高橋 研太, 森 雅人, 繊維質固化処理土の動的強度に関する実験的研究, 第 4 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.1-5, 2008.
 - 15) 森 雅人, 山崎 淳, 高橋 弘: 高含水比泥土リサイクルの新たな展開と応用, 日本混相流学会誌, Vol.21, No.1, pp.22-28, 2007.
 - 16) 情報化施工推進戦略 HP: <http://www.mlit.go.jp/common/000020669.pdf>
 - 17) 深川 良一, 建山 和由, 高橋 弘: ジオメカトロニクスの提案と展望, 土木学会論文集, No.700 / VI -54, pp.1-14, 2002.
 - 18) 藤山 哲雄, 建山 和由: 振動ローラの加速度応答を利用した転圧地盤の剛性評価手法, 土木学会論文集, No.652 / III -51, pp.115-123, 2000.
 - 19) 高橋 弘, 齋藤 泰: パワーショベルによる斜面掘削作業時における抵抗力解析, 応用力学論文集, Vol.7, No.2, pp.787-796, 2004.
 - 20) H.Takahashi and Y.Konishi: Path Generation for Autonomous Locomotion of Articulated Steering Wheel Loader, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol.16, No.3, pp.159-168, 2001.
 - 21) 皿田 滋: ホイールローダによる積み込み作業を対象とした自律作業システム, 建設の施工企画, No.705, pp.75-79, 2008.
 - 22) P.A.Cundall and O.D.L.Strack: A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies, Geotechnique, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979.
 - 23) 伯野元彦: 破壊のシミュレーション-拡張個別要素法で破壊を追う-, 森下出版, pp.10-55, 1997.
 - 24) 高橋 弘: 鉋石のすくい取り作業時におけるバケットに作用する抵抗力の個別要素法解析, Vol.12, No.1-2, pp.19-26, 1999.
 - 25) T.Koizumi, N.Tujiuchi, Y.Tomita and H.Andou: Evaluation Process of Digging Performance for Hydraulic Excavator using DEM, additional paper of 16th Int. Symposium on Earth Science and Technology 2008, 2008.
 - 26) H. H. Bui, 小林 泰三, 田茂井 憲, 深川 良一: 個別要素法による土の切削メカニズムのシミュレーション, テラメカニクス, 第 24 号, pp.141-146, 2004.
 - 27) 高橋 弘, 佐藤 達起, 金子 勝比古: ディスクカッタの圧入による岩盤破砕に関する数値シミュレーション, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.12, pp.69-76, 2002.
 - 28) H.Takahashi and M.Ando: DEM Simulation of Boulders by Mobile Crusher, Proc. of 16th Int. Symposium on Earth Science and Technology 2008, pp.299-306, 2008.
 - 29) 篠原 寿充, 岡部 啓一, 中山 司: ウォータージェットによる固体切断の数値シミュレーション, 中央大学理工学研究論文集, 第 10 号, pp.21-32, 2004.
 - 30) NASA-JSC Mr. Jerry Sandes 提供

[筆者紹介]

高橋 弘 (たかはし ひろし)
 東北大学大学院
 環境科学研究科環境科学専攻
 教授



平成 20 年度版 建設機械等損料表

■内 容

- 国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- 各機種の燃料消費量を掲載
- わかりやすい損料積算例や損料表の構成を解説
- 機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- 各種建設機械の構造・特徴を図・写真で掲載
- 日本建設機械化協会発行「日本建設機械要覧」参照頁を掲載

■ B5 判 約 600 ページ

- 一般価格
7,700 円 (本体 7,334 円)
- 会員価格 (官公庁・学校関係含)
6,600 円 (本体 6,286 円)
- 送料 沖縄県以外 600 円
沖縄県 450 円 (但し県内に限る)
(複数お申込みの場合の送料は別途考慮)

社団法人 日本建設機械化協会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>