

災害現場で発生する軟弱泥土の連続式 回収処理システムに関する基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY ON CONTINUOUS RECOVERY SYSTEM FOR SOFT SLUDGE GENERATED AT DISASTER SITE

高橋 弘¹・高橋 研太¹・須藤 祐子¹

Hiroshi TAKAHASHI, Kenta TAKAHASHI and Yuko SUTO

¹東北大学 大学院環境科学研究科環境科学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-20)

E-mail: {htaka, fy04032, yuko}@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

Key Words: continuous recovery system, soft sludge, disaster sites, screw conveyor,

1. はじめに

近年, 2004年の新潟県中越地震や2005年の九州・四国地方での水害など, 深刻な自然災害が相次いで発生している。その際, 早期の災害復旧の妨げとなっているのが地震により液状化した泥土や地すべり・河道閉塞により発生した大量の軟弱泥土である。軟弱泥土の発生により災害復旧用の車両・重機が現場に進入するための通路が確保できずに, 迅速な復旧作業に支障をきたすことが多い。例えば, 2006年2月にフィリピン中部の南レイテ州(レイテ島)で発生した大規模な地滑り災害現場では, 大量の泥土が人の行手を阻み, 行方不明者の捜索も進まないという状況が報告されている¹⁾。

従来の泥土処理としては, 発生した泥土をパワーショベルなどの重機で取り除き, 新たに山砂などを敷き詰める方法が一般的である²⁾。取り除かれた泥土は, ダンプトラックなどで仮置き場まで搬送され, 天日乾燥やフィルタープレスにより脱水などの処理が施されるが, 天日乾燥には長時間を要し, また近年では仮置き場の確保も容易ではない。また山砂などの新材の購入にはコストがかかり環境破壊にもつながる。さらにダンプトラックによる搬送では, 幹線道路周辺住民への交通公害問題も指摘されている。またいずれの処理方法もシステム化されているとは言いがたく, 高効率かつ経済的な早期復旧作業はあまり行われていないのが現状である。そこで, 本研究では軟弱泥土の連続式回収処理システムを提案し, 上記の問題解決に資することを目的とする。

ところで, 2004年の中越地震では地すべりにより芋川河道閉塞が生じ, 大量の軟弱泥土が発生したが, この芋川河道閉塞緊急対策工事において繊維質固化処理土工法³⁾⁴⁾(ボンテラン工法)が採用され, 大量の軟弱泥土が改良処理された。改良土は資材運搬路, 国道291号線迂回路および仮設ヤードの地盤材料として再利用され, また仮設栈橋の橋台盛土部にも使用されるなど改良土の効果が確認されている。本施工では, パワーショベルの先端にミキシングバケットを設置し, 泥土と古紙破砕物の混合を行う, いわゆるバッチ式処理であったが, 施工の高効率化を考えると, 連続式が望ましい。

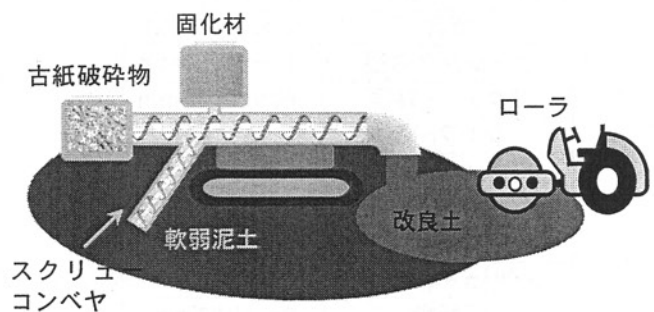


図-1 連続回収処理の概念図

そこで, 本研究では連続式回収処理を実現するための機械としてスクリュコンベアの使用を提案する。スクリュコンベアを使用した現場での回収処理の概略を図-1に示す。軟弱泥土をスクリュコンベアで回収し, 後方に搬送する際に, 管内で古紙破

碎物とセメント系固化材を混合処理することにより泥土を改良し、改良土を直ちに転圧してアクセス道路を建設するという考えである。本研究では、スクリーコンベヤによる泥土の回収についてのみ検討し、管内における古紙破砕物と泥土との混合については今後の検討課題とする。

2. スクリューコンベヤの作成

粉粒体を対象にしたスクリーコンベヤの輸送機構に関する研究はいくつか見受けられるが⁹⁾¹⁰⁾、本研究で対象としている軟弱泥土のような高含水比泥土にスクリーコンベヤを適用した研究はほとんど見受けられない。そこで、本研究では図-2に示すようにスクリー外径の異なる2種類のスクリーを作成した。このスクリーをケーシングパイプ内に設置することによりスクリーコンベヤを構成する。理想的には、スクリー外径とケーシングパイプの内径を等しくし、クリアランスを0とするのがベストであるが、作成上の誤差などを考慮し、クリアランスを1mmとした。ここでは、スクリー外径16mm、ケーシングパイプ内径18mmのスクリーコンベヤをφ18と呼び、スクリー外径28mm、ケーシングパイプ内径30mmのスクリーコンベヤをφ30と呼ぶことにする。スクリーコンベヤのその他のパラメータを表-1に示す。

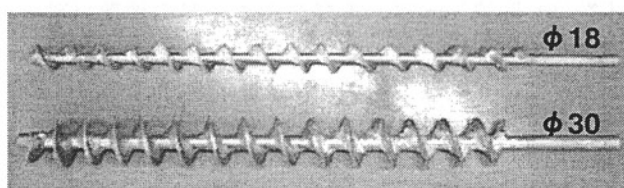


図-2 本実験で用いたスクリー

表-1 スクリューコンベヤのパラメータ

項目	φ18	φ30
ケーシング内径	18mm	30mm
スクリー外径	16mm	28mm
シャフト径	6mm	8mm
コンベヤ長さ	300mm	
スクリー羽根厚	1mm	
スクリーピッチ	22mm	
スクリー傾斜角	$\pi/2$ rad	
回転数	0~1700rpm	

3. 連続式回収処理装置を用いた軟弱泥土の回収実験

スクリーコンベヤによる泥土の回収性能は、対象となる泥土の性状に大きく依存すると考えられる。

また同一泥土でも土粒子の分散状態により回収性能は影響を受けると考えられる。そこで本実験では、一連の実験を一定条件の下で行うため、軟弱泥土として脱水ケーキを使用した。脱水ケーキを構成する土粒子の密度は2.71g/cm³、メジアン径は0.015mm、塑性限界および液性限界は、それぞれ21.8%および27.5%であった。液性限界以下の含水比状態の地盤では、比較的高いトラフィカビリティが得られると考えられるため、本研究では、実験対象の泥土の含水比を液性限界以上に設定した。含水比35%および40%の状態の泥土の様子を図-3に示す。

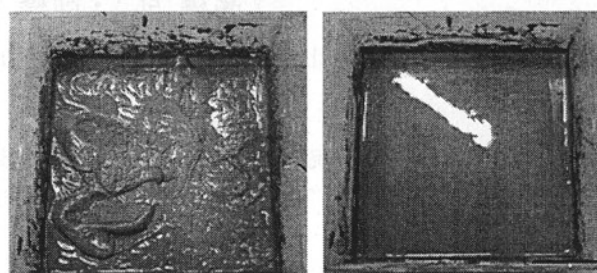


図-3 泥土の状態(左：含水比35%、右：含水比40%)

本実験で用いた装置の全体図を図-4に示す。モータ回転数は安定化電源の電圧制御で行っており、3Vで1000rpmとなっている。また再現性をより高めるためにスラッジケースに攪拌機を設置し、常に攪拌機で泥土を攪拌することにより、泥土の均質化を図った。また図-5に示したように、断面積が大きなスラッジケースを用いたので、泥土回収による液面高さの変化は無視できるとした。

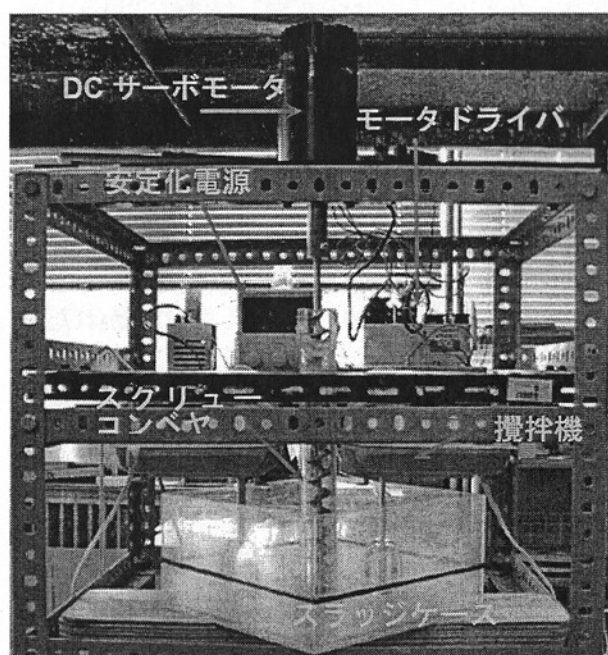


図-4 実験装置全体図

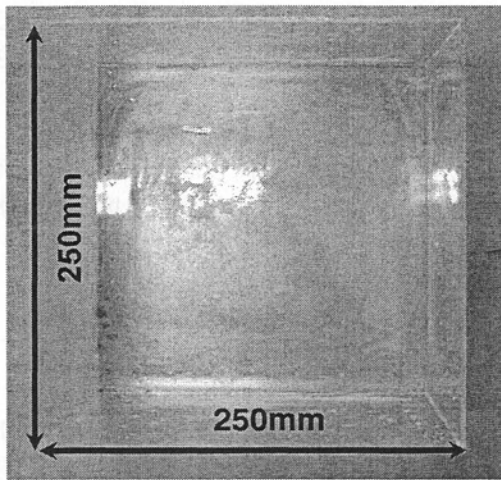


図-5 スラッジケース

本実験では、パラメータとして含水比、スクリー径、スクリー回転数、吸入口のスリット構造、スクリー傾斜角を考え、これら各種パラメータを変化させて泥土回収実験を行った。本実験では、単位時間あたりに回収された泥土の質量を測定し、スクリーコンベヤの性能を評価した。

(1) スクリュー回転数およびスクリー径の影響

スクリー回転数と回収泥土質量との関係を図-6に示す。本実験では、φ18とφ30の2種類のスクリーを用いた。それぞれのスクリーコンベヤに対して泥土の含水比を35、40、45および50%に変化させて泥土回収実験を行った。図中で黒塗りの実験点はφ18の結果を示し、白抜きの実験点はφ30の結果を示す。図-6よりスクリー径に拘わらず泥土の含水比 ω が小さいほど、低回転数で回収が可能であり、含水比 ω が大きいほど泥土回収には高い回転数が必要であることが分かる。これは含水比が高くなるにつれ泥土の粘性が小さくなり、スクリーコンベヤおよびケーシング内面と泥土の間で発生する摩擦が小さくなり、泥土が下方に流れやすくなるためと考えられる。また、いずれの含水比においてもスクリーの回転数と単位時間あたりの回収量には、ほぼ比例関係が見られる。

ところで、φ18とφ30の結果を比較すると、同じ含水比でもφ30の方が小さい回転数でより多くの量を回収できていることが分かる。この傾向は含水比が高くなるにつれ顕著に表れている。これはスクリー外径の増加により、泥土の流れ落ちる速度が減少することが大きな要因であると考えられる。すなわち、スクリーのピッチが同じ場合、スクリー外径の増加にともない、スクリーのねじれ角が減少し、それに伴いスクリー平均ねじれ角が減少するために、スクリー羽根面の押し側の傾斜が緩

やかになり、泥土の流れ落ちる速度が緩やかになるため、スクリー外径が大きくなるほど運搬能力が高くなると考えられるが、泥土の運搬能力をスクリーのねじれ角から考察するためには、同一径のスクリーでピッチの異なるスクリーを用いて泥土の回収量を比較すべきである。本研究ではこの比較検討まで至っておらず、今後、ピッチの異なるスクリーを作成し、実験を継続したいと考えている。

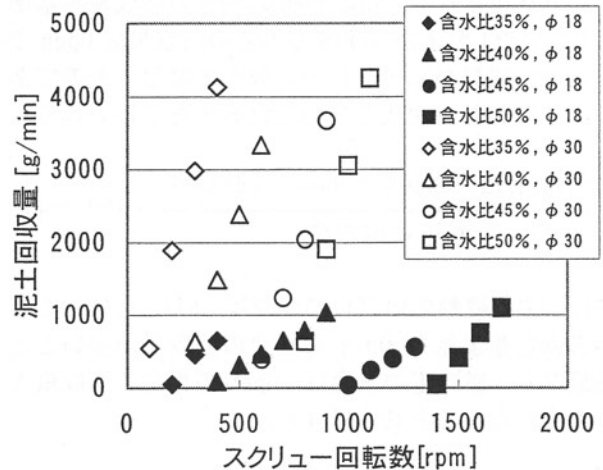


図-6 スクリュー径が回収量に及ぼす影響

(2) 吸入口のスリット構造の影響

実際の災害現場においては、泥土に木片や岩石など多種多様の異物が混入していることが考えられる。スクリーが異物を巻き込むと機械の破損・停止、回収効率の低下などが予想される。そこでこれらを防ぐ工夫として吸入口のスリット構造を考案した。スリット構造の設置によりスクリーコンベヤ内部に異物が入り込むのをある程度抑えることができると考えられる。ここでは吸入口の影響を評価するため図-7に示す2種類の吸入口のスリット構造を用いて泥土回収実験を行った。

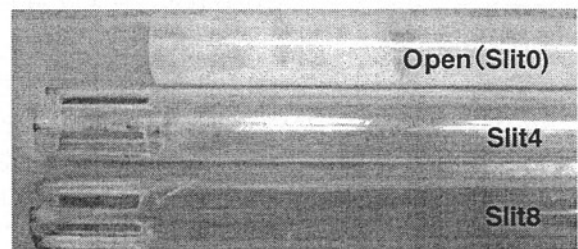


図-7 吸入口のスリット構造

なお、比較のためスリット構造のないケーシングパイプも用意した。本実験では異物は加えず、任意の含水比に調節した泥土を本実験装置で回収し、単位時間あたりの回収量を測定することにより吸入口

に設置するスリットの影響について考察した。吸入口が開放しているものを簡略のため以下 Open と記す。またスリットの数 が 4 個のものを Slit4、スリットの数 が 8 個のものを Slit8 と記す。なお、Slit4 と Slit8 では、開放部分の総面積がほぼ同じ値になるように作成した。

吸入口の種類をパラメータとした時の泥土回収量と泥土の含水比との関係を図-8 に示す。図-8 の横軸は含水比を示し、縦軸は Open の場合の回収量を基準とし、Slit4 および Slit8 の場合の回収量を Open の場合の回収量からのずれを百分率で表したものである。すなわち、次式で求められる値を示している。

$$\frac{(\text{Slit 構造の回収量} - \text{Open の回収量})}{\text{Open の回収量}} \times 100 (\%)$$

すなわち、縦軸の値が負の場合は、Slit を付けた場合の回収量よりも Open の場合の回収量が多いことを意味し、逆に正の場合は、Open の場合の回収量よりも多くなることを意味する。

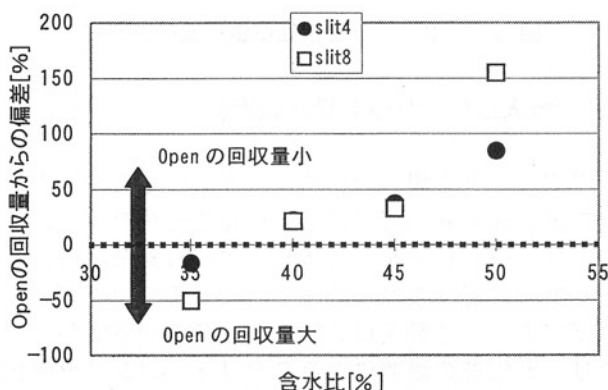


図-8 吸入口が回収量に及ぼす影響

図-8 より含水比 35%においては、Open が最も多くの量を回収していることが分かる。これは、Slit 構造にすることで吸入口に抵抗が発生するためであると考えられる。すなわち、含水比 35%では、泥土の粘性がかなり高いため、吸入口に抵抗があると泥土を吸い込みにくくなるためと考えられる。それを裏付ける結果として Slit4 と Slit8 の回収量を比較すると、Slit の開放面積は同じにも拘わらず吸入口での接触壁面の面積が多い Slit8 の回収量が小さくなっている。一方、含水比 40%の場合の結果と 45%の場合の結果を比較すると、逆に Open の回収量が最も小さくなっている。この理由として考えられるのは、含水比が高くなると泥土の粘性が低くなりスクリーンとケーシングパイプの間のクリアランスからの下部への流下しようとする泥土量が増加するが、逆に吸入口に抵抗が存在することにより、スクリー

ーコンベヤ内から吸入口を通して外部へ流出する泥土量が小さくなるためと考えられる。より高い含水比 50%を見るとその傾向がより顕著に表れている。また、図-8 より含水比 37.5%辺りで Open, Slit4, Slit8 の回収量がほとんど同じになるものと考えられる。つまり、本実験で用いた泥土の場合、含水比が 37.5%程度になると、泥土回収量に及ぼす吸い込み口の影響がほとんど無くなると考えられる。

(3) スクリュー傾斜角の影響

実際の現場においては図-1 の概念図に示すようにスクリーンを傾斜して泥土を回収することも考えられる。ここではスクリーン傾斜角が回収量に及ぼす影響について実験的に検証した。図-9 にスクリーンを傾斜させた様子を示す。実機への適用を考えた場合、スクリーン傾斜角が小さくなるにつれてスクリーン長が長くなると考えられる。そこで、本実験では、スクリーの最大傾斜角を 45 度とし、傾斜角 90 度、75 度、60 度および 45 度の条件下で実験を行った。また傾斜により攪拌機による攪拌の条件が

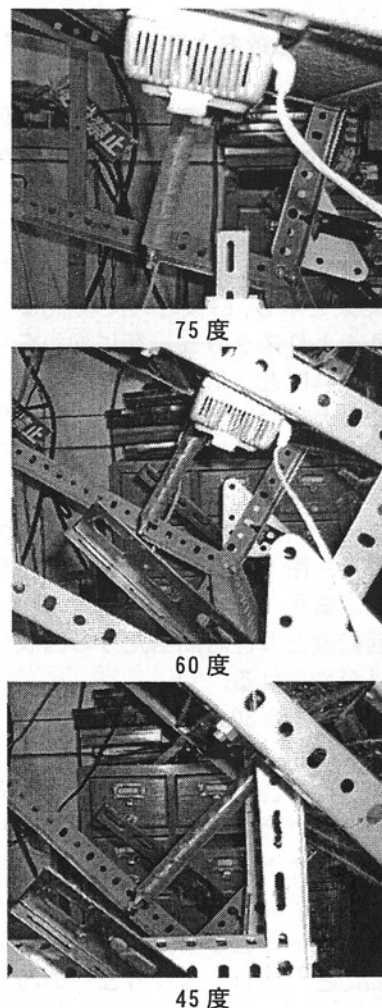
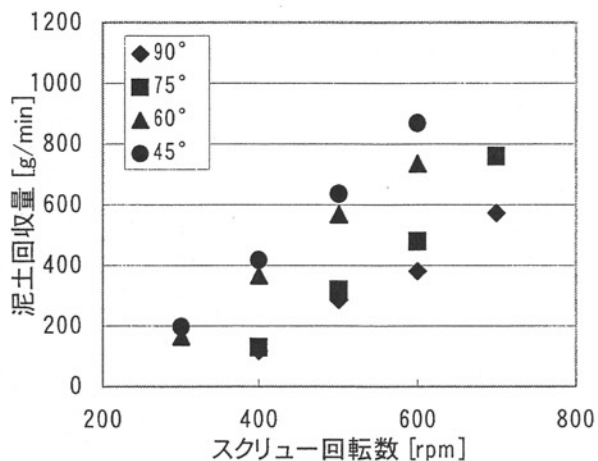


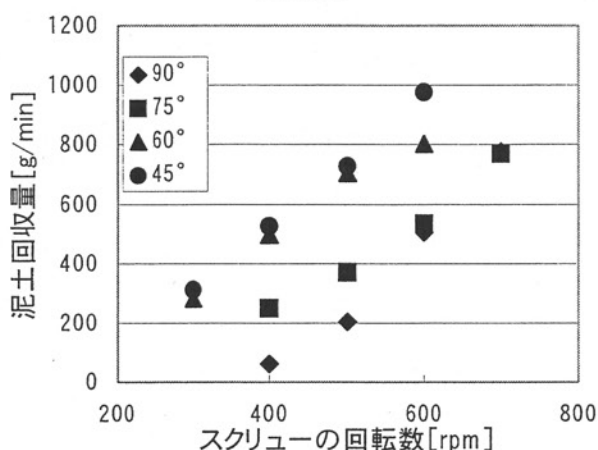
図-9 スクリューコンベヤを傾斜させて設置した状態

変わってしまうため、本実験においては攪拌機を使用せず、回収直前に十分にスラッジケース内の泥土を攪拌することにより土粒子の沈殿から生じる泥土の不均質の影響を防ぐように工夫した。

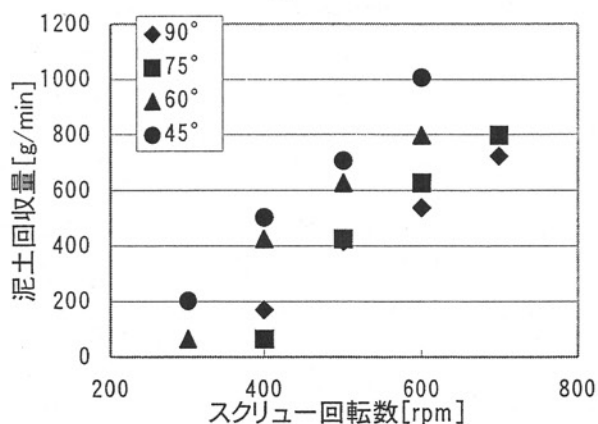
本実験はφ18についてのみ行い、吸入口としてはOpen・Slit4・Slit8の3種類を用いた。また泥土の含水比は実験の容易さから40%に設定した。図-10



(a)Open



(b)Slit4



(c)Slit8

図-10 スクリュー傾斜角が回収量に及ぼす影響

にスクリュー傾斜角をパラメータとした場合のスクリュー回転数と泥土回収量との関係を示す。図-10より本実験の範囲内では、スクリュー傾斜角が小さくなるにつれ回収量が大きくなっていることが分かる。これはスクリューコンベヤが傾くことにより壁面と泥土との間の摩擦が増大することにより、スクリューとケーシングのクリアランスからの泥土の下部への流下量が小さくなるためであると考えられる。Slit4 および Slit8 についても同様の結果が得られた。また、今回の実験では Slit8, Slit4, Open の順に回収量が小さくなったが、これは図-8の結果と一致している。そのため、スクリュー傾斜角に関しては吸入口の影響はほとんどなかったと考えられる。

4. むすび

地すべりや河道閉塞など大量の軟弱泥土が発生する災害現場では、発生した軟弱泥土によって重機の進入が妨げられ、災害現場の復旧が遅れているのが現状である。すなわち、迅速な災害復旧作業を行うためには、泥土の早期処理が極めて重要となってきている。そこで本研究では、従来はパワーショベルなどで断続的に行われていた軟弱泥土の処理を、連続的に行うことのできるシステムを提案し、泥土回収量に及ぼす各種機械要素の影響について検討した。本研究で得られた結論をまとめると以下のようになる。

- 1) 泥土回収量はスクリュー回転数にほぼ比例して増大する。
- 2) 泥土の含水比が高くなるほど泥土回収には高いスクリュー回転数が必要である。これは、含水比が高くなるほど粘性は低くなり、摩擦が小さくなるためであると考えられる。
- 3) 本実験の範囲内では、スクリュー径を大きくすると泥土回収量は増大した。これは、スクリュー径を大きくするとスクリュー羽根面の押し側の傾斜が緩やかになり、泥土の流下する速度が緩やかになるためであると推察される。ただし、本実験では、スクリュー径が2種類のみであり、断定的なことは言えないため、今後、さらなる検討が必要である。
- 4) 含水比が低く粘性が高い泥土では吸入口における抵抗が小さい Open のほうが泥土回収量は大きくなる。逆に含水比が高く粘性が低い泥土では吸入口における抵抗が大きい Slit 構造のほうが泥土回収量が大きくなる。
- 5) スクリュー傾斜角が小さいほうが、泥土回収量は大きくなる。これは、ケーシングと泥土との間の摩擦が大きくなるため、泥土が流下する速度が緩

やかになるためであると考えられる。

今後は、より大きなスクリー径で泥土回収実験を行うとともに、実際の災害現場で発生した泥土をサンプリングし、泥土回収実験を行いたいと考えている。さらに回収した泥土を後方で管路輸送する間に古紙破砕物とセメント系固化材を混合し、改良土を排出する機構について検討する予定である。

参考文献

- 1)朝日新聞 2006年2月20日付け朝刊 4ページ, 2006.
- 2)地盤工学会: 軟弱地盤対策工法—調査・設計から施工まで—, pp. 317-318, 2001.
- 3)高橋弘・森雅人・熊倉広治・大谷雅之・石井知征: 高含水比泥土の再資源化を目指した軽量繊維質固化処理土の生成に関する研究, 素材物性学雑誌, Vol. 16, No. 1, pp. 21-26, 2003.
- 4)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, 資源・素材学会誌, Vol. 119, No. 4-5, pp. 155-160, 2003.
- 5)吉川忠男: 土木機械用スクリーコンベヤの諸特性, 日立造船技報, Vol. 62, No. 1, pp. 49-55, 2001.
- 6)吉川忠男: シールド掘進機用スクリーコンベヤ内土砂の圧力降下, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 62, No. 599, pp. 411-414, 1996.
- 7)吉川忠男: シールド掘進機用スクリーコンベヤ内土砂の圧力降下に及ぼす諸条件, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 62, No. 599, pp. 415-419, 1996.

(2006. 5. 19 受付)