

繊維質固化処理土工法を用いた芋川河道閉塞 緊急対策工事について

URGENT COUNTERMEASURE CONSTRUCTION FOR IMOYAWA RIVER CHANNEL BLOCKAGE BY FIBER-CEMENT-STABILIZED METHOD

高橋 弘¹・森 雅人²・柴田 聡²・佐々木 和則³

Hiroshi TAKAHASHI, Masato MORI, Satoshi SHIBATA and Kazunori SASAKI

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@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

² (株) 森環境技術研究所 (〒996-0071 新庄市小田島町 7-36)

E-mail: metr@vega.ne.jp

³ (株) 廣瀬 (〒950-1188 新潟市善久 823)

E-mail: doboku@n-hirose.co.jp

Key Words: fiber-cement-stabilized method, river channel blockage, disaster recovery

1. はじめに

平成16年10月23日17時56分、新潟県中越地方で震度6強の地震が発生した。新潟県小千谷市・旧山古志村・川口町・長岡市・堀之内町などでは、大きな揺れや地すべり・斜面崩壊により、住宅や道路・鉄道・河川施設などで大きな災害が発生するとともに、土砂崩れ等により芋川河道閉塞が生じ、大量の軟弱泥土が発生した¹⁾。本現場に限らず、いずれの災害現場でも迅速な災害復旧作業には大型重機の使用が不可欠であるが、特に芋川河道閉塞のように大量の軟弱泥土が発生する災害現場では、大量の泥土が邪魔になり重機が現場に入り込まず、迅速な災害復旧作業の妨げになる場合が多い。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)で大規模な地すべりが生じ、大量の軟弱泥土が発生したが、この大量の泥土が現場へのアクセスを妨げ、災害復旧作業に支障が生じていることが連日のように報道された²⁾。このように大量の軟弱泥土が発生するような災害現場では、迅速な災害復旧作業のためには、泥土を如何に処理し、現場までのアクセス道路を確保するかが極めて重要である。

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³⁾。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泥土搬送では、幹線道路周辺住民への交通公害問題も指摘されている。

ところで、著者らは建設汚泥のリサイクル率の向上を目指し、古紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい再資源化処理工法である繊維質固化処理土工法(ボンテラン工法)を開発した⁴⁾。本工法により生成される処理土は強度特性および乾湿繰り返しに対する耐久性が高く、強度発現も早いなど様々な特徴を有する⁴⁾⁵⁾。従って、本工法を芋川河道閉塞緊急対策工事に適用すれば、改良土は直ちに転圧可能であり、改良土をそのままアクセス道路の地盤材料として再利用可能であると考えられる。

以上のような状況を鑑み、国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所では芋川河道閉塞緊急対策工事に本工法を採用し、工事を実施した。本工事では、土砂崩れ・河道閉塞等で発生した現地の軟弱土砂が原位置で改良され、改良土は資材運搬路・仮設ヤード・国道291号迂回路に再利用された。ここでは、繊維質固化処理土工法の原理と改良土の特性および芋川河道閉塞緊急対策工事への適用について報告する。

2. 繊維質固化処理土工法

繊維質固化処理土工法の原理を簡単に記述すると以下のようになる。

- ①高含水比泥土は、**図-1 (a)**に示されるように土粒子が自由水の中で自由に動くことができるため、若干の降伏応力を持っているが、流体としての挙動を示す。このため高含水比泥土の運搬はパイプラインかバキュームカー等によらなければならない。
- ②この状態の高含水比泥土に吸水性の高い新聞の古紙のような繊維質物質を混入すると、**図-1 (b)**に示すように土粒子の周りの自由水が繊維質物質に吸水され、見かけの含水比が低下する。繊維質物質の添加量は含水比に応じて変化させる。例えば含水比が100%の場合、添加する古紙破砕物の量は $50\text{kg}/\text{m}^3$ である。
- ③さらに高分子系改良剤を添加し攪拌すると、**図-1 (c)**に示すように水溶性高分子が溶解し、土粒子の表面に吸着する。土粒子間の架橋・吸着効果により団粒化構造の中に自由水を封じ込め、流動性を失わせ団粒状態となる。
- ④最後に助剤(無機系凝集剤)を混合し、攪拌機により泥土を攪拌してせん断を与えると、土粒子が団粒化して保水性の高い土砂が生成される。

処理土を植生土壌として再利用する場合、セメント系固化材を混入する必要はないが、盛土材として利用するため、ある程度の強度を必要とする場合は、目的とする強度に応じて、さらに必要量のセメント系固化材を添加する。

以上の工程により、高含水比泥土が繊維質固化処理土として再資源化される。

3. 繊維質固化処理土の強度特性および耐久性

2. で述べた工程により高含水比泥土から団粒化した土砂を生成することができることを確認したが、生成された土砂がどの程度の地盤工学的特性を有しているのかを調べるために、強度試験および劣化試験を実施した。

(1) 圧縮強度

初めに試験に使用する供試体を作成した。供試体の作成

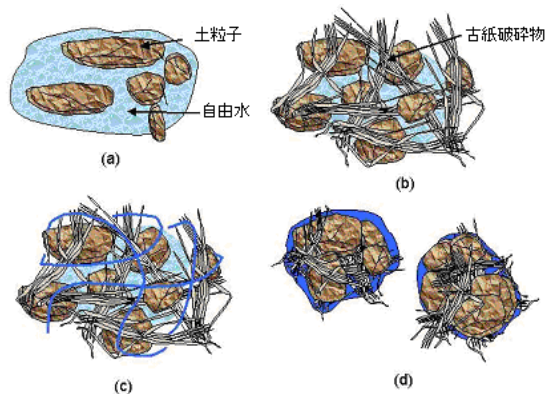


図-1 繊維質固化処理土工法の原理

には、模擬泥水を使用した。作泥方法は、粘土とシルトを40:60(乾燥質量比)で混合し、それに加水調整して含水比105%および150%の汚泥を作成した。供試体の作成は、「建設汚泥改良土の利用に関する基礎的研究⁶⁾」に準じた方法を用いた。その概要は以下に示す通りである。

- ① 粘土とシルトを40:60(乾燥質量比)で混合し、加水調整して含水比を調整する。
- ② 繊維質固化処理土の作成には、含水比を調整した汚泥に古紙破砕物、高分子系改良剤および助剤を加え、攪拌・混合する。さらに所定のセメント系固化材を加え、混合する。固化処理土の作成には、泥水にセメント系固化材のみを加え、攪拌・混合する。
- ③ 初期養生として、上述の処理土を容器に入れて密封し、 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ で3日間静置する。
- ④ 繊維質固化処理土は小さく団粒化するので、ときほぐしは不要であるが、固化処理土に対しては、初期養生後、処理土をときほぐし、その後、供試体を作成する。ときほぐしの工程を入れた理由は、現場での実施に対応させるためである。すなわち、固化処理土は大きな塊りの状態で固化するため、改良現場で固化処理土を使用する場合、固化処理土を掘削し、砕く作業が必要になり、この時、処理土の強度低下が生じる。この効果を室内実験で模擬的に行うことを想定し、ときほぐしの工程を考慮した。供試体作成には、直径5cm、高さ10cmのモールド(供試体作製容器)を使用した。一軸圧縮試験に使用する供試体の寸法は直径5cm、高さ10cmとし、また圧裂引張試験に使用する供試体の寸法は直径5cm、厚さ2.5cmとした。
- ⑤ 供試体から水分が蒸発しないようにモールドを密封材で被覆し、 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ で28日間養生する。

作成された供試体を材料試験機にセットし、一軸圧縮試験を実施した。**図-2**に一軸圧縮試験の結果の一例を示す。**図-2**の縦軸および横軸は、それぞれ圧縮応力および圧縮ひずみを示している。固化処理土の場合、荷重を増加させていくと圧縮ひずみも大きくなるが、1~2%の圧縮ひずみで圧縮応力は最大値を示し、破壊に至っていることが分かる。これに対して、繊維質固化処理土の場合、破壊ひずみ

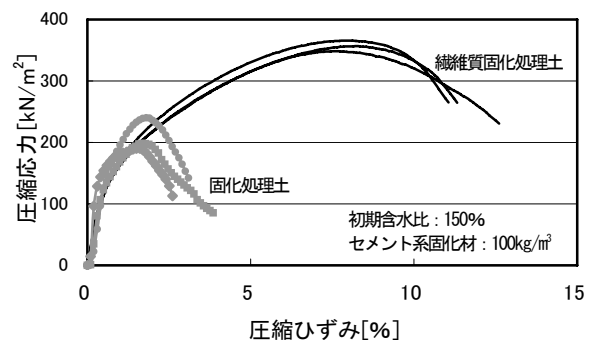
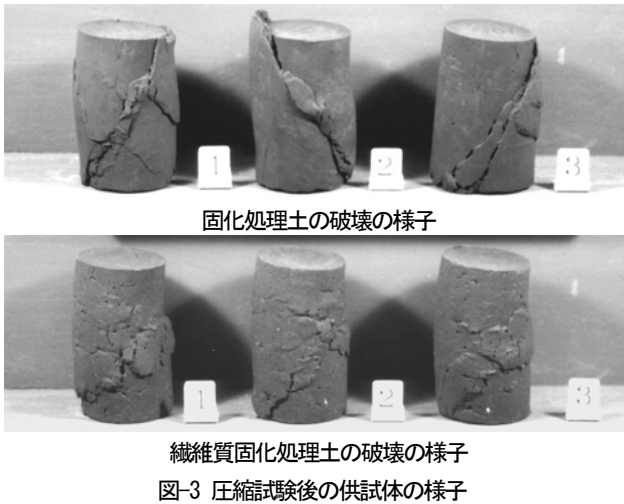


図-2 一軸圧縮試験結果の一例



は 7~8%と大きく、また破壊後も圧縮応力が急激に減少することなく、残留強度も大きいことが分かる。つまり、繊維質固化処理土は、セメント系固化材を用いた従来の固化処理土に比べて破壊に至るまでのひずみ量が大きく、残留強度が大きく粘り強い性質を示すことが大きな特徴である。

図-3 に試験後の供試体の破壊の様子を示す。固化処理土は明確な破壊面が現れており、岩石やコンクリートの破壊形態とよく似た形状を示している。これに対して繊維質固化処理土の場合、明確な破壊面が現れておらず、全体的に膨らんだいわゆる樽型変形を示している。これは、内部に繊維質物質を含むため、土粒子と繊維質が複雑に絡み合い、破壊を生じ難くしているのと同時に繊維質を通して応力が分散されるためであると考えられる。

(2) 乾湿繰り返し試験における耐久性

セメント系固化材による従来の固化処理土は乾湿繰り返しにより劣化することが報告されている⁷⁸⁾。そのため、固化処理土を実際に使用する場合は、乾湿の影響をなるべく受けないように、外部に暴露しないように山土などで被覆すべきであると報告されている。繊維質固化処理土に対しても乾湿繰り返しによる耐久性を評価するために、「建設汚泥の高度処理・利用技術の開発」に準拠して乾湿繰り返し試験を実施した。なお、この際、比較のため固化処理土も同時に作成し、乾湿繰り返し試験を実施した。試験では、40℃炉乾燥2日間、20℃水浸1日間の合計3日間を1サイクルとして10サイクル繰り返し、所定のサイクル毎に一軸圧縮試験を行い、一軸圧縮強度の変化を調べた。

図-4 にサイクル数と一軸圧縮強度との関係を示す。図中の▲および■印は固化処理土の結果を、また○、△、◇、□印は繊維質固化処理土の結果を示している。乾湿繰り返し実験を行うに当たり、初めに、固化処理土および繊維質固化処理土ともに12本の供試体を作成した。図中の値は、(一軸圧縮試験に供した供試体の数)/(一軸圧縮試験を行うに当たり現存していた供試体の数)を示している。すなわち、3/12とは、0サイクル時に12本の供試体が存在し、

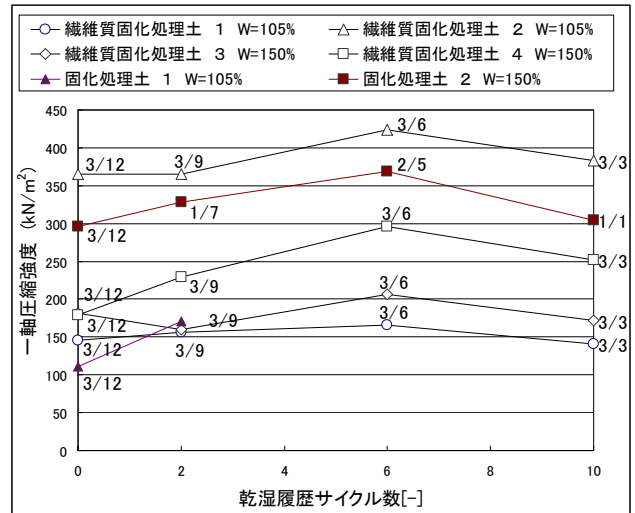


図-4 乾湿繰り返し試験におけるサイクル数と一軸圧縮強度との関係

そのうち3本を使用して一軸圧縮試験を行い、それらの平均値を図中にプロットしたことを意味する。つまり、繊維質固化処理土の場合、一軸圧縮試験には常に3本の供試体が使用され、分母の値も常に3ずつ減少している。これは10サイクルを通して常に供試体が崩壊せずに形状を保ち、一軸圧縮試験に供し得たことを示す。これに対して固化処理土は、初期含水比150%の場合、2サイクル終了した時点で7本しか供試体が現存せず、残り2回の試験で3本ずつ使用することを考え、1本のみ一軸圧縮試験に使用した。残りの6本でさらに乾湿繰り返し試験を続けたが、6サイクル終了時までには1本が崩壊し、5本のみ現存したため、最後の試験(10サイクル終了時)に3本使用することを考え、2本のみ一軸圧縮試験に使用した。10サイクル終了時には、1本のみ残っていたので、この1本を用いて一軸圧縮試験を実施した。初期含水比105%の場合、2サイクル終了までには11本の供試体が崩壊し、2サイクル終了した時点で形を留めていた供試体は1本であり、その1本を用いて一軸圧縮試験を実施したため、この時点で供試体がなくなり、以後、乾湿繰り返し試験を継続することは不可能であった。前述したように、過去の研究において固化処理土は乾湿繰り返しの影響を受け劣化すると報告されているが、本実験でも従来の結果と同様の結果が得られた。2サイクル終了時の強度が0サイクル終了時の強度よりも増加しているが、この原因としては、セメント系固化材による水和反応の進展も一因と考えられるが、12本中11本の供試体が崩壊し、1本の供試体だけが残ったことを考えると、作成した供試体自体に強度のバラツキが若干あり、強度の最も強い1本のみが最後まで残ったためとも推察される。しかし、いずれにせよ、固化処理土は乾湿繰り返しの影響を大きく受けて劣化し、供試体が崩壊してしまうことが再確認された。

一方、繊維質固化処理土は、乾湿繰り返しサイクル数が増加してもほとんど劣化せず、また一軸圧縮強度の低下も見られず、10サイクル終了時においても0サイクル時



2 サイクル終了後の固化処理土



10 サイクル終了後の繊維質固化処理土

図-5 乾湿繰り返し試験終了後の供試体の様子(初期含水比はともに105%, セメント系固化材添加量は100kg/m³)

の強度とほぼ同程度の強度を有していることが分かる。また10サイクル時の値は、3本の供試体を用いて測定しており、繊維質固化処理土は劣化せず、乾湿繰り返しに対して高い耐久性を示すことが実験的に確認された。このことは、固化処理土のように使用箇所を限定する必要がないことを意味する。なお、図-5に乾湿繰り返し試験終了後の供試体の写真を示す。

4. 芋川河道閉塞緊急対策工事への適用

上述したように本工法により生成される土砂は強度特性および耐久性にも優れていることから、本工法は国土交通省の直轄工事をはじめ200以上の実績を有する。そこで、芋川河道閉塞により発生した大量の軟弱泥土処理に本工法を適用し、改良土を地盤材料として再利用する提案を行った結果、本提案が採用に至り、平成16年12月より東竹沢地区において対策工事を実施した。その概要を以下に



図-6 災害現場の全景

表-1 泥水の含水比と古紙添加量の関係

泥水の含水比(%)	古紙添加量(kg/m ³)
80	45
100	55
200	70
300	80

示す。はじめに、図-6に災害現場の全景を示す。破線で囲まれた箇所で河道閉塞が生じていることが分かる。

上述したように泥土を繊維質固化処理土工法により改良するためには、泥土の含水比を知る必要がある。これは、泥土を団粒化させるために必要な古紙破砕物の最適添加量が泥土の含水比の関数になっているためである。そこで、現場の泥土をサンプリングし、含水比を計測した結果、86~91%の範囲内の値であった。著者らは既に泥水の含水比と最適な古紙破砕物添加量の関係として表-1に示す値を得ている⁴⁾。そこで、本施工では表-1を考慮し、古紙破砕物の添加量を50kg/m³とした。またセメント系固化材の添加量は、改良土が第2種処理土の基準をクリアすることを考え、本工法の積算基準を記したマニュアル⁹⁾に従い、70kg/m³とした。

なお、本施工では、高分子系改良剤は使用しなかった。2.で述べた繊維質固化処理土工法の原理では、古紙破砕物を混合した後、高分子系改良剤を添加する手順が示されているが、この高分子系改良剤は即時運搬が可能になるように土砂を小さく団粒化させるために添加するものである。十分な仮置き場がなく、改良土を直ちに運搬しなければならないような工事では、この高分子系改良剤の添加は必要不可欠であるが、本施工のように改良土を直ちに運搬する必要がない場合は、高分子系改良剤を加える必要はない。さらに高分子系改良剤はセメント系固化材の固化作用を妨げる結果も得られており¹⁰⁾、即時運搬の必要性がない場合は、むしろ高分子系改良剤を添加しない方が望ましく、かつ施工コストも安くなる。以上のことから、本施工では、添加材は古紙破砕物とセメント系固化材のみとした。

現場施工の様子を図-7に示す。図-7(a)は施工前の高含水比状態の泥土を示している。図-7(b)はミキシングバケットにより、原位置で泥土を古紙破砕物を混合している様子を示す。繊維質固化処理土工法では、第2種処理土の基準をクリアするためには、セメント系固化材の添加は必要不可欠であるが、処理の過程で古紙破砕物を混合することから、古紙の繊維質と土粒子が複雑に絡み合うため、古紙破砕物だけでもかなりの強度を発現する。古紙はセメント系固化材のような水和反応を必要としないので、改良後1日でローラによる転圧が可能であり、養生期間を必要とせず、工期の短縮が可能である。また図-7(c)に示すように転圧後、すぐにダンプトラックの載り入れが可能であり、災害復旧現場においても施工性に優れていることが確認された。なお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た。



(a) 高含水比状態の泥土



(b) 古紙破砕物を泥土と混合している様子



(c) 転圧後、ダンプトラックの進入が可能

図-7 現場での施工の様子

本施工後、約180日を経過した時点で、仮設ヤードの地盤からコアをサンプリングし、三軸圧縮試験を実施して地盤の強度を計測した。その結果、粘着力 52.7kN/m^2 、内部摩擦角 45.3 度、圧縮強度 1120kN/m^2 、変形係数 373MN/m^2 の値が得られ、含水比約 90% 程度の軟弱泥土が非常に良く改良されていることが確認された。ただし、本施工では転圧後の地盤上を重機が長時間稼働しており、これら重機の締固めの影響も含まれていると考えられる。

なお、現場の泥土を再度サンプリングし、室内で含水比、古紙添加量およびセメント系固化材の添加量の配合を変えた試料を作成し、三軸圧縮試験を実施した結果、砂防ダム本提中詰め材として十分使用可能であることを確認しているが、本結果については紙面の関係上割愛する。

ところで、本工事における仮設迂回路設置にともない、



(a) 繊維質固化処理土の転圧



(b) 橋台盛土部の完成



(c) 完成した仮設栈橋

図-8 仮設栈橋設置施工の様子

仮設栈橋の設置が必要となった。通常、仮設栈橋の設置には橋台や橋脚として支持杭(H型鋼)を打込み、その摩擦力や底面支持力により必要地耐力を得るが、現場は震災地域であり、支持杭の打込み機械などが入り込めないため、橋台部分の地耐力を繊維質固化処理土工法により必要強度まで高め、仮設栈橋設置工事を行った。図-8に工事の様子を示す。図-8(a)は繊維質固化処理土をローラにより転圧している様子であり、図-8(b)は完成した橋台盛土部を示す。災害復旧現場における繊維質固化処理土の再利用にあたり新しい試みとして注目される

5. むすび

繊維質固化処理土工法は、当初、建設汚泥のリサイクル率向上を目指して開発されたものであるが、建設汚泥のみならず、様々な高含水比泥土の再資源化に寄与してきている。繊維質固化処理土工法が災害復旧現場に適用されたの

は今回が初めてであるが、繊維質固化処理土は強度特性に優れ、強度発現も早いことから、災害現場で発生した大量の泥土を原位置で改良処理し、改良土を現場で仮設ヤード、迂回路の路床に利用できるなど、本工法による改良土の効果が大きいと発揮されている。

大量の軟弱泥土が発生する災害現場では泥土の処理に苦慮することが多いが、本工法を用いれば、現場の泥土を良質な地盤材料に改質でき、現場のアクセス道路や迂回路の地盤材料にそのまま利用可能であることから、泥土を仮置き場まで搬送する必要がなく、また山砂などの新材を購入する必要もない環境配慮型の復旧工事が可能となり、迅速な災害復旧作業に大いに貢献すると考えられる。今後は本工法の新たな適用箇所を探るとともに、泥土の連続式回収・処理装置の開発を行い、作業効率のさらなる向上に努めたいと考えている。

参考文献

- 1) 例えば、第2回芋川河道閉塞対策検討委員会議事概要、<http://www.sabopc.or.jp/yuzawa/2kisya.pdf>
- 2) 例えば、朝日新聞2006年2月20日付け朝刊4ページ、2006.
- 3) 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.

- 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) 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、資源・素材学会誌、Vol. 121, No. 2, 3, pp. 37-43, 2005.
- 6) 建設省土木研究所(現 独立行政法人土木研究所)、財団法人先端建設技術センター及び民間22社：建設汚泥の高度処理・利用技術の開発(盛土グループ)共同研究最終報告書、pp. 77~85, 1997.
- 7) 小川 伸吉・飽本 一己・藤崎 勝利・椿 雅俊：建設汚泥改良土の利用に関する基礎的研究(その9) —乾湿繰り返しによる性状変化—、第31回地盤工学研究発表会発表講演集、pp. 303-304, 1996.
- 8) 松原 榮一・矢田 義輝・朝日 章弘・後藤 年芳・清水 和也・垣本 泰臣・須田 清隆・小野 正樹：ため池堆積土を用いた軽量地盤材料の特性、軽量地盤材料の開発と適用に関するシンポジウム論文集、pp. 183-186, 2000.
- 9) ボンテラン工法研究会：ボンテラン工法積算資料、p. 5, 2003.
- 10) 森雅人・高橋弘・熊倉宏治：ペーパーラッジを用いた繊維質固化処理土の強度特性および乾湿繰り返し試験における耐久性に関する実験的研究、資源・素材学会誌、Vol. 122, No. 6-7, 2006 掲載決定.

(2006. 5. 19 受付)