

東日本大震災で発生した津波堆積土砂の浚渫と 再資源化に関する実施工事例

ACTUAL CONSTRUCTION ON DREDGING AND RECYCLING OF TSUNAMI
SLUDGE GENERATED BY GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE

高橋 弘¹・里見 知昭¹・柴田 聰²・森 雅人²

Hiroshi TAKAHASHI, Tomoaki SATOMI, Satoshi SHIBATA and Masato MORI

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

²(株)森環境技術研究所（〒996-0071 新庄市小田島町 7-36）

Key Words: tsunami sludge, recycling, dredging, landfill materials, fiber-cement-stabilized soil method

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、日本の観測史上最大のマグニチュード9.0を記録した。この地震により、場所によっては波高10m以上の津波が発生し、沿岸部に未曾有の被害をもたらした。大震災により発生したガレキの量は膨大であったが、着実に処理が進み、当初の予定通り2014年3月末ではほぼガレキ処理が完了した。また陸上に打ち上げられた津波堆積物も防潮堤や高盛土の幹線道路建設など再利用先が決まりつつある。

一方、津波は多くの河川を遡上し、河川底部に土砂を堆積させた。また港湾内部にも大量の土砂が堆積しており、これらの土砂は復興に際して障害となっている。特に宮城県内の河川では、津波堆積物により現河床が計画河床ラインよりも1.0m以上も高くなっている場所もあり、今後、台風等による大雨が頻発した場合には堤防の決壊や洪水等の二次災害に発展する可能性が懸念されるため早急な対策が必要となってきている。

ところで、著者らは建設汚泥やヘドロなどの高含水比泥土のリサイクル率の向上を目指し、泥土に古紙破碎物とセメント系固化材を混合して良質な土砂を生成する「繊維質固化処理土工法」を開発した¹⁾。本工法で生成される土砂、すなわち繊維質固化処理土は、固化処理土(セメント系固化材のみを用いる従来工法により生成される土砂)に比べて、破壊強度および破壊ひずみが大きく¹⁾、高い耐久性を有する²⁾など優れた特徴を有するため、既に360件、53万m³を超える実績(平成26年3月末)を有しており、さらに2004年に発生した中越地

震の際にも、芋川河道閉塞により発生した大量の軟弱泥土を原位置で処理し、迅速な災害復旧に貢献した実績がある³⁾。

以上のような実績を鑑み、著者らは三井物産環境基金「東日本大震災復興活動支援」や(一社)東北地域づくり協会の技術開発支援を受け、塩釜市、仙台市若林区、気仙沼市、名取市などで津波堆積物の再資源化に関する試験施工を実施し、その活動内容について第6回土砂災害に関するシンポジウムにて報告した⁴⁾。これらの試験施工は公開で実施しており、その後、複数の自治体から本工法の優位性が認められ、実施工にも採用されてきている。今回は、津波堆積物再資源化の実施工事例について紹介する。

2. 砂押川河道掘削工事

東北地方太平洋沖地震による大津波によって発生した津波堆積物は多賀市の砂押川にも大量に堆積し、河道を塞いだ。これら津波堆積物は海底からのヘドロを多く含んでおり、堤体材料としての利用は困難であったが、2012年9月に名取市広浦湾で実施した試験施工⁵⁾を通して、繊維質固化処理土工法で改良を施せば、河川の堤体盛土として再利用できる可能性があると判断されたことから、本工法が検討されることになった。その後、繊維質固化処理土の液状化抵抗率FLは一般的な盛土材(砂質土)のFL=0.12に比べてFL=1.5と13倍も液状化し難いことが確認され、かつせん断力も向上し、安定した土構造となるため、河川堤防や道路盛土以外にも、被災住民の集団移転先や新規の土地区画整理事

業等へ耐震性地盤材料としての利用が可能となる点が評価され、本採用に至った。発注者、工期および施工数量は表-1に示す通りである。

表-1 砂押川河道掘削工事

発注者	宮城県仙台土木事務所河川砂防第三班
工 期	平成 24 年 11 月～平成 25 年 3 月
施工数量	28,500m ³

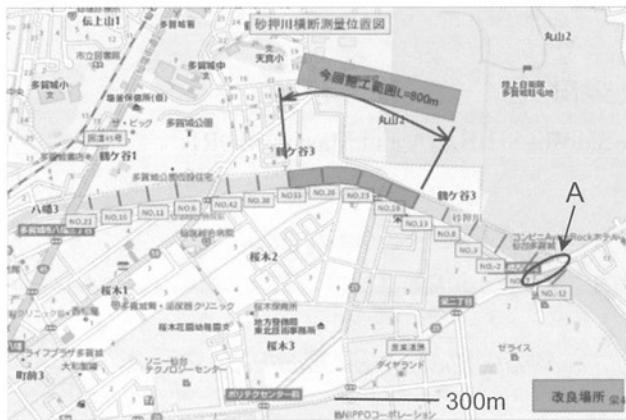


図-1 施工箇所平面図

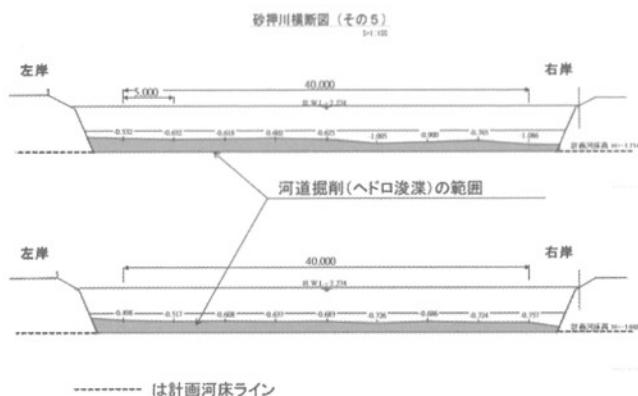


図-2 横断図の一例

図-1 に施工箇所の平面図を示す。全体計画では図中の右側の橋(図中の A)を起点に上流に向かって数万 m³ の浚渫・改良が計画されているとのことであったが、今回は図中央部分の施工となった。延長で 800m、浚渫土量としては 28,500m³ ほどであった。

図-2 に横断図の一例を示す。多いところでは計画河床ラインよりも 1.0m 以上も現河床が高くなってしまい、今後、台風等による大雨が頻発した場合には堤防の決壊や洪水等の二次災害に発展する可能性が懸念され、可及的速やかな事業の遂行が求められた。また、本工事の位置は砂押川水系でも下流域に位置しており、縦断勾配も上流に比べて緩く、堆積した津波堆積物がヘドロ的な性状であっても、降雨等による自然な海への流出は期待できないのが現状であった。

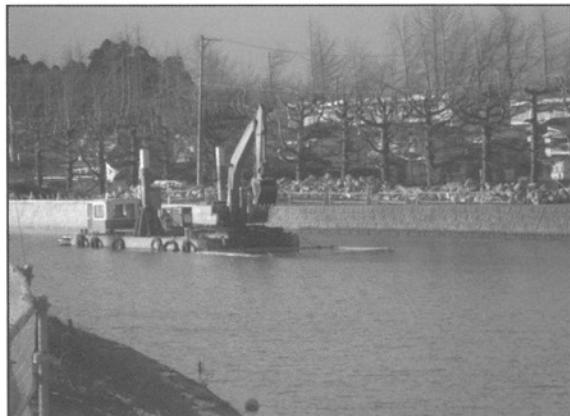


写真-1 バックホウ台船による浚渫状況



写真-2 土運船の曳航状況

写真-1 および写真-2 にバックホウ台船による浚渫状況および土運船による曳航状況を示す。砂押川は比較的市街地にあり、浚渫土を積んだ土運船を横付けできる場所が限られていたため、改良場所は図-1 の右下の場所が選定された。従って、改良場所まで浚渫土を曳航することになった。

陸揚げした浚渫土は異物やゴミが多いため、一旦前処理槽にて除去作業を行った。異物除去後に浚渫土を繊維質固化処理土工法にて改良した。改良目標としては、建設機械の走行に必要なトラフィカビリティーを確保し、かつ第2種処理土を満足する「コーン指数 $q_c = 800 \text{ kN/m}^2$ 以上」とした⁶⁾。さらに現場施工と室内試験の強度比を考慮して室内試験で満足すべき強度を算出した。この強度比とは室内試験と現場施工における条件の違いを調整するもので、施工機械と室内試験用混合機械の搅拌性能による混合程度の相違、養生温度の相違に起因する強度の差および改良区域での土質のバラツキや含水比の相違による現場強度の変動をも含めて経験的にカバーするものである。ここでは、強度比を 0.65 とし、目標コーン指数を $q_c = 800 \div 0.65 = 1231 \text{ kN/m}^2$ 以上とした。本施工に先立ち、セメント系固化材の添加量を決定するために実施した室内試験結果を図-3 に示す。古紙破碎物の添加量は、これまでの試験施工を基に 25 kg/m^3 とした。

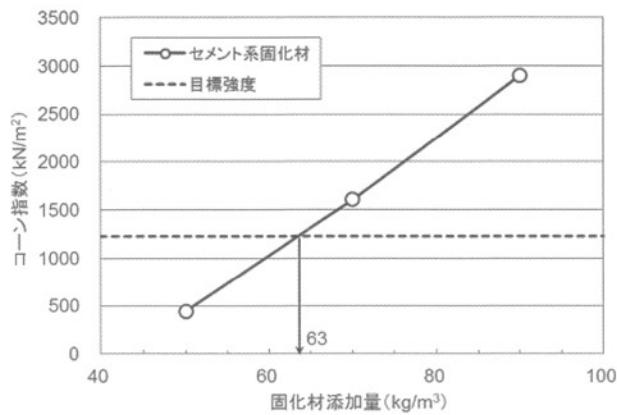


図-3 固化材添加量とコーン指標との関係



写真-3 繊維質固化処理土工法による改良の様子

浚渫土の平均含水比は 60% であり、室内試験の結果、上記の改良目標をクリアするセメント系固化材の添加量は $63\text{kg}/\text{m}^3$ と得られた。改良の様子を写真-3 に示す。

改良土は一定期間の養生後、タイヤローラー等で締固めた。施工終了後、コーン貫入試験を実施し、地盤強度を計測した結果、コーン指標 $1,200\text{kN}/\text{m}^2$ 以上であることが確認された。この現場では食品工場が近くにあったため、ブルーシートにより養生を行った。平成 26 年 3月末時点では、一部が既に樋門工事に再利用済みであったが、今後、改良土は堤体材料として復興工事に利用されることになっている。

3. 塩竈市寒風沢地区災害廃棄物処理業務

本業務は、第 6 回土砂災害に関するシンポジウムで報告した塩竈市中倉最終処分場における社会実験がきっかけとなって採用された案件である。寒風沢島は津波が島を突き抜ける形で襲い、大量の倒壊家屋等によるガレキは島全体に及んだ。塩竈市役所では休耕田や沼地に散乱したガレキ撤去のため、仮設道路造成を計画したが、離島である寒風沢島では山砂等の新材料の入手も困難であったため、沼地に堆積するヘドロ状の津波堆積物を繊維質固化処理土工法で改良することで、仮設道路の盛土材料に再利用することにした。改良対

象土は含水比が 300% 超と高く、固化材単体での改良は不可能であったが、繊維質固化処理土工法の採用により、迅速な施工が可能となり、概ね 1 ヶ月程度でガレキ撤去の作業も完了した。工事名、発注者、工期および施工数量は表-2 に示す通りである。

表-2 塩竈市寒風沢地区災害廃棄物処理業務

工事名	塩竈市寒風沢地区災害廃棄物処理業務
発注者	塩竈市産業環境部環境課
工 期	平成 23 年 11 月 1 日から同月 26 日
施工数量	$4,000\text{m}^3$

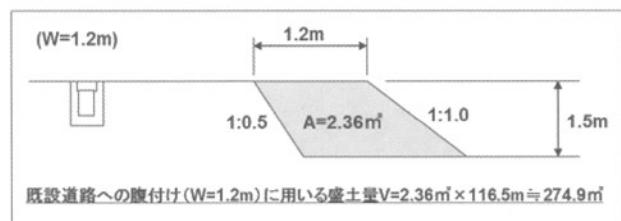


図-4 施工箇所位置および計画断面

図-4 にヘドロが堆積していた場所の位置と改良土の再利用場所の一例および計画断面を示す。津波堆積物によるヘドロを繊維質固化処理土工法で改良した後、図-4 中央部の道路を改良土にて拡幅し、工事用道路として再利用する計画とした。また、この他の改良土も全てガレキ撤去用仮設道路の盛土材として再利用することとなった。

写真-4 は倒壊家屋のガレキの状況を示す。この写真では分かり難いが、写真奥にも大量のガレキが散乱していた。ガレキの下に堆積するヘドロの含水比は 300% を超え、固化材単体での改良では改良が困難であることから、繊維質固化処理土工法が採用され、迅速なガレキ撤去作業が可能となった。

本施工でも改良目標としては、「コーン指標 $q_c=800\text{kN}/\text{m}^2$ 以上」とした⁶⁾。本来、含水比から見れば古紙添加量は $100\text{kg}/\text{m}^3$ が標準であるが、予算の関係上、古紙添加量は $25\text{kg}/\text{m}^3$ とし、固化材添加量は室内試験の結



写真-4 沼地に堆積したガレキ



写真-5 原位置搅拌工法による改良状況



写真-6 仮設道路築造-締固め（立会い確認）

果から $131\text{kg}/\text{m}^3$ と決定された。なお、固化材としては高有機質土用固化材を使用した。

写真-5 に原位置搅拌による改良の様子を示す。また写真-6 に塩竈市の担当職員より改良の配合や施工について立合い・確認を受けている様子を示す。改良土は、上述したように所定の養生後に仮設の工事用道路として再利用した。なお、施工終了後、コーン貫入試験を実施し、地盤強度を計測した結果、目標値 $800\text{kN}/\text{m}^2$ 以上をクリアしていることが確認された。

4. 早川東海岸外災害復旧工事

本工事は震災で被害を受けた早川東海岸外の災害復旧工事であり、改良土量は $1,500\text{m}^3$ と少なかった

が、松島湾の主力産業である牡蠣の種付け時期に間に合わせなければならないという条件付きであり、速やかな浚渫・改良が求められた。工事名、発注者、工期および施工数量は表-3 に示す通りである。

表-3 早川東海岸外災害復旧工事

工事名	早川東海岸外災害復旧工事
発注者	宮城県仙台地方振興事務所農村整備課
工 期	平成 25 年 7 月 8 日から同月 25 日
施工数量	$1,500\text{m}^3$

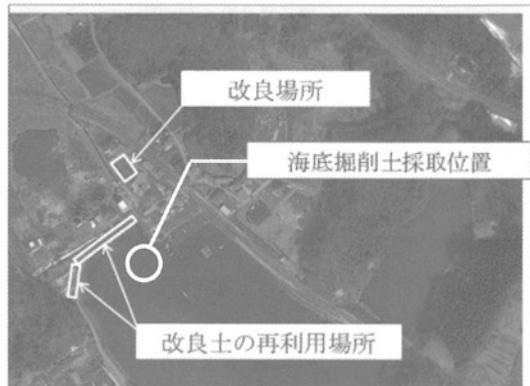


写真-7 松島市早川東海岸内の施工位置図



写真-8 バックホウによる津波堆積物の浚渫の様子

写真-7 に松島市早川東海岸内の施工位置図（浚渫箇所）を示す。同じ事業の中で大型機械（パイルドライバ）を使用する工区があったが、従来の購入土（山砂）では粘着力が不足していたため、転倒の危険性があった。そこで粘着力および内部摩擦角とともに高い纖維質固化処理土の特徴が評価され、浚渫土を改良し、纖維質固化処理土を重機の下地材として再利用することとなった。

写真-8 にバックホウによる津波堆積物の浚渫状況を示す。津波堆積物はヘドロ状で微細粒子であり、一旦濁ると牡蠣に付着し、場合によっては死滅させる恐れがあるため、慎重な作業が求められた。浚渫したヘドロ状の津波堆積物は泥土ピットに集積した。

本施工でも改良目標としては、「コーン指数 $q_c=800\text{kN}/\text{m}^2$ 以上」とした⁶⁾。泥土の平均含水比は 200% であ

り、室内試験の結果、改良目標をクリアする添加量として、古紙添加量 $25\text{kg}/\text{m}^3$ および固化材添加量 $90\text{kg}/\text{m}^3$ の値を得た。なお、固化材は一般軟弱土用を用いた。写真-9に改良の様子を示す。品質確認の結果、 $1,500\text{kN}/\text{m}^2$ を早期に超え、強度としては少し出過ぎたが、これは改良が地盤を掘削した土砂ピットで行われたため、泥土中の水分が地下に浸透し、改良時の含水比がかなり低くなつたためではないかと推察される。



写真-9 改良の様子



図-5 改良土の再利用場所

改良土は、図-5に示すように、大型重機(パイルドライバ)の下地材として再利用された。再利用前に三軸圧縮試験を実施し、粘着力と内部摩擦角を計測した結果、それぞれ $13.9\text{ kN}/\text{m}^2$ および 37.6 度であり、必要品質である内部摩擦角 30 度以上をクリアするとともに、高い粘着力も示したため、パイルドライバの下地材として再利用可能であると判断され、本施工に使用された。

5. 平成 24 年度石巻漁港西港浚渫工事

東北地方太平洋沖地震の大津波によって運ばれた大量の津波堆積物は、石巻漁港内の航路を塞ぎ、地域の基幹産業である水産加工業にも大きな打撃を与えた。また石巻漁港は荒天時の船舶の避難場所にもなっており、港湾内の浚渫は喫緊の課題となつていたが、浚渫された津波堆積物は腐敗臭のするヘドロ

状の泥土であり、セメント単体での改良では運搬性が確保できないため、当初は下記のような計画で処理することになつていた。

- 写真-10に示す浚渫場所でヘドロを浚渫。
- 浚渫されたヘドロは土運船で一旦港湾外に出て、引き船で曳航されながら、写真-10に示す災害廃棄物石巻処理区(雲雀野)まで曳航。
- 災害廃棄物石巻処理区(雲雀野)から陸揚げし、500mほど陸送したあと、天日乾燥、その後、セメントによる固化処理を実施。
- 固化処理された改良土は所定の強度発現を待つて、再利用場所に運搬し、再利用する。

以上の工程で浚渫土を処理する計画だったが、繊維質固化処理工法で浚渫土に改良を施せば、写真-10 の浚渫場所から改良直後に運搬が可能となることが配合試験結果から確認されたため、本工法の採用に至つた。工事名、発注者、工期および施工数量は表-4に示す通りである。

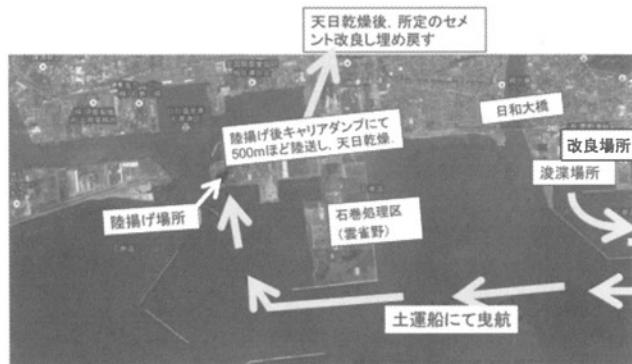


写真-10 当初の計画と施工箇所位置図

表-4 平成 24 年度石巻漁港西港浚渫工事

工事名	平成 24 年度石巻漁港西港浚渫工事
発注者	宮城県東部地方振興事務所産漁港部
工 期	平成 25 年 11 月 1 日から同月 25 日
施工数量	$5,000\text{m}^3$

写真-11に港湾内での浚渫状況を示す。浚渫されたヘドロはタイヤショベルにて泥土ピットに投入された(写真-12)。本工事では、再利用よりもまず運搬性を確保することが求められたため、改良目標は運搬性(フロー値 $\phi = 130\text{mm}$ 以下)および $q_c = 200\text{kN}/\text{m}^2$ 以上とした。ヘドロの含水比は 67% であり、室内試験の結果から、上記の改良目標を満足する古紙破碎物および固化材の添加量として、それぞれ $37.5\text{kg}/\text{m}^3$ および $100\text{kg}/\text{m}^3$ を得た。上述した他の施工事例と比較すると、古紙破碎物の添加量がやや大きくなっているが、これは本施工では即時運搬性の確保が求められ、改良目標値であるフロー値 $\phi = 130\text{mm}$ 以下を満足するためには、古紙破碎物の添加量を大きくする必要



写真-11 港湾内のヘドロ浚渫の様子



写真-12 土砂ピットへのヘドロの投入



写真-13 ヘドロに古紙破碎物を混合している様子



写真-14 改良翌日の敷均し・締固め状況

があつたためである。

写真-13に土砂ピット内のヘドロに古紙破碎物を投入し、攪拌している様子を示す。ヘドロは改良前には流動性を呈していたが、改良直後に塑性状態に変化し、即時運搬可能となった。写真-14に示すように、運搬された改良土は翌日には21t級バックホウで敷均し・締固めが可能になった。もちろん、「即時運搬可能」および「翌日には重機による締固めが可能」といった改良効果が全ての津波堆積物に対して現れるとは限らないが、少なくとも固化材単体で改良を施した場合に比べ、古紙破碎物と固化材の組み合わせで改良を施した場合は、上述した改良効果が明らかに確認されており、事前の配合試験等により適切な古紙破碎物および固化材の添加量を求められれば、浚渫土を良質な地盤材料に再資源化することが可能であると判断される。

6. むすび

河川や港湾に堆積しているヘドロ状の津波堆積物を浚渫し、浚渫土を再利用する実施工が増えてきている。本報では、津波堆積物再資源化の試験施工を通じて本採用に至った実施工例を紹介した。浚渫土は一般に含水比が高く、再資源化し難いが、繊維質固化処理土工法を適用すれば脱水を施すことなく良質な地盤材料に改良することが可能である。本実績を広く発信し、被災地の復興に貢献して行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 森 雅人・高橋 弘他：故紙破碎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 MMJ, Vol.119, No.4-5, pp.155-160, 2003.
- 2) 森 雅人・高橋 弘・熊倉 宏治：ペーパース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, J. of MMJ, Vol.122, No.6-7, pp.353-361, 2006.
- 3) 高橋 弘・森 雅人・柴田 聰・佐々木 和則：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, 第3回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.19-24, 2006.
- 4) 高橋 弘, 里見 知昭, 森 雅人：津波堆積物の再資源化による人工地盤造成, 第6回土砂災害に関するシンポジウム論文集, Vol.1, pp.7-12, 2012.
- 5) 高橋 弘, 里見 知昭, 柴田 聰, 森 雅人：宮城県名取市における津波堆積物の再資源化と人工地盤造成, 日本実験力学会講演論文集 2013 年度年次講演会, No.13, pp.211-215, 2013.
- 6) (独)土木研究所:建設汚泥再利用マニュアル, p.58, 2008.

(2014. 5. 9 受付)