



# 津波堆積物の再資源化による人工地盤造成

## 宮城県名取市における施工事例

高橋 弘

東日本大震災で発生したガレキは、宮城県、岩手県および福島県の3県合計で約2,500万tと推定され、これとほぼ同程度の津波堆積物が生じていると言われている。これらの津波堆積物を全て埋め立て処分することは不可能であり、できるだけ再資源化し、有効活用することが望まれている。著者らは、既に開発した繊維質固化処理土工法（ボンテラン工法）を津波堆積物に応用し、耐震性の高い地盤材料に再資源化する試験施工を実施している。ここでは、宮城県名取市において実施した試験施工の内容について報告する。

キーワード：津波堆積物、再資源化、浚渫、人工地盤造成、耐震性地盤材料

### 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、日本における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以上の大津波が発生し、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は、宮城県、岩手県および福島県の3県合計で約2,500万tと推定され、これとほぼ同程度の津波堆積物（ヘドロ）が生じていると言われている<sup>1)</sup>。現在、可燃物は焼却処分し、金属類などは分別してリサイクルに回すなどの処理が行われているが、津波堆積物については処理が遅れているのが現状である。約2,500万tと推定される津波堆積物を埋め立て処分することはほぼ不可能であり、できるだけ有効活用することが望ましい。仙台市では、被災した東部地域の復興ビジョンとして、海岸に防潮堤や海岸防災林などによる防災公園緑地を整備し、その内側に高盛土の幹線道路を建設する骨子を発表しているが<sup>2)</sup>、高盛土の幹線道路建設などに津波堆積物を利用するなど、津波堆積物の積極的な再利用が期待される。ただし、津波堆積物を再利用するにしても、国土交通省「高速道路のあり方検討委員会」による緊急提言<sup>3)</sup>に見られるように盛土の耐震性は必要不可欠であると考えられる。

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、泥土に古紙破砕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（ボンテラン工法）」を開発した<sup>4)</sup>。本工法は、既に800件、50万m<sup>3</sup>を超え

る実績を有しており、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<sup>5)</sup>。

今回、東北建設協会の技術開発支援＜東日本大震災関連＞を受け、宮城県名取市において、広浦湾底部に堆積した津波堆積物を再資源化する試験施工を実施した。ここでは、その内容について報告する。

### 2. 名取市における津波堆積物の処理

名取市は仙台市の南に位置し、東は太平洋に面している。仙台市との境には閑上浜が広がり、そのすぐ脇に広浦湾があり、そこから岩沼市まで貞山堀が延びている。2011年3月11日の巨大地震により発生した大津波は、この広浦湾を横切る形で名取市内陸部まで押し寄せ、海岸から約3～4kmの位置にある仙台東部道路で停止した。

2012年9月の時点で、発生したガレキはほとんど選別所に集積され、選別作業が行われていたが、広浦湾や貞山堀の底部に堆積した津波堆積物に対しては、これから本格的に浚渫作業が始まり、処理が行われる状況であった。

そこで、名取市役所と協議を行い、名取市閑上の広浦湾底部に堆積した津波堆積物の一部を浚渫し、津波堆積物を再資源化する試験施工を2012年9月27日および28日に実施した。

### (1) 室内試験

室内試験の目的は、試験施工の際の古紙破砕物およびセメント系固化材の配合量を決定することである。これまで著者らは宮城県内の3箇所および岩手県内の1箇所で津波堆積物再資源化の試験施工を実施してきた<sup>6), 7)</sup>。配合量決定のための室内試験は、基本的に一軸圧縮試験としてきた<sup>6)</sup>が、岩手県大船渡市における試験施工では、コーン指数で評価した<sup>7)</sup>。その理由は、岩手県では復興資材活用マニュアル<sup>8)</sup>を発行し、震災廃棄物から分別された土砂及びコンクリートがらの活用について基準を設けており、そのマニュアルに従って試験施工を実施するためである。今回の名取市の試験施工では、これまでに宮城県内の3箇所で実施した試験施工にならい、配合量決定のための室内試験は一軸圧縮試験とした。すなわち、改良土の破壊強度および破壊ひずみについて改良目標を設定し、一軸圧縮試験結果から、目標値を満足する最適配合量を決定した。

強度については以下のように目標値を設定した。まず建設機械の走行に必要なトラフィカビリティを確保し、かつ第2種処理土を満足するため、コーン指数を $q_c = 800 \text{ kN/m}^2$ 以上とした<sup>9)</sup>。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攪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、コーン指数を $q_c = 800 \div 0.65 = 1,231 \text{ kN/m}^2$ 以上とした。さらに、コーン指数 $q_c$ と一軸圧縮強さ $q_u$ との関係を示す次式<sup>10)</sup>を用いて、一軸圧縮試験における強度の目標値を $123 \text{ kN/m}^2$ と決定した。

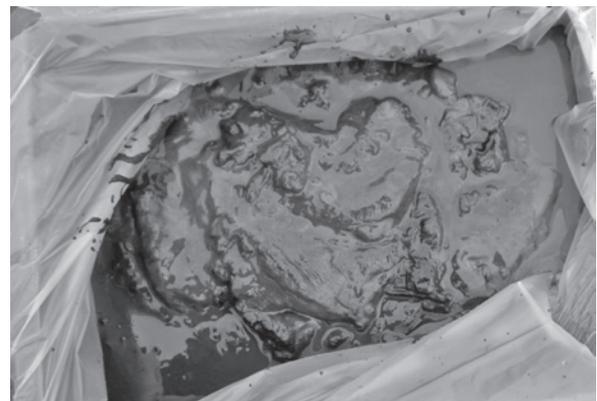
$$q_c = 10q_u \quad (1)$$

また破壊ひずみは従来の研究<sup>11)</sup>にならい、5%以上とした。

今回の試験施工では、広浦湾底部に堆積している津波堆積物の一部を浚渫し、繊維質固化処理土工法により地盤材料に再資源化することが目的であるため、試験施工に先立ち、広浦湾で津波堆積物のサンプリングを行った。写真—1に津波堆積物サンプリングの様子を示す。できるだけ広浦湾の中心部に近づき、柄の長いひしゃくで底部の泥土をサンプリングした。写真—2にサンプリングした津波堆積物を示す。砂質系



写真—1 津波堆積物サンプリングの様子



写真—2 サンプリングした津波堆積物

の津波堆積物が主体であり、これにヘドロ状の泥土が混合している状態であった。

津波堆積物には貝殻、枝葉などの雑物が混入していたため、大きめの雑物は手作業で除去した。雑物を除去した後の津波堆積物の含水比、湿潤密度、塩分濃度およびpHを表—1に示す。これまでの試験施工では、乾燥が進み含水比が20～30%程度になった津波堆積物に対しては、古紙破砕物を混合しやすくするために加水調整して試験施工を実施したが、今回の場合、含水比が約60%であり、加水の必要はないと判断し、このまま配合試験に供することにした。

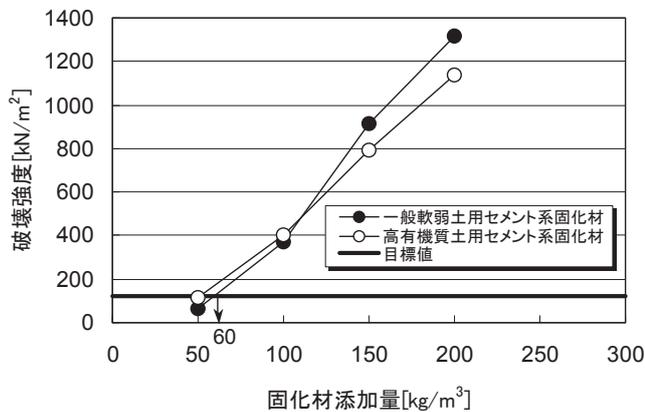
表—1 津波堆積物の物理特性測定結果

含水比 [%]	湿潤密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	塩分濃度 [%]	pH [—]
59.6	1.66	0	5.93

ところで、軟弱泥土を改良する固化材は、改良対象土によっては固化反応に大きな差が生じる。そこで、今回の配合試験では、一般軟弱土用セメント系固化材と高有機質土用セメント系固化材の2種類を用いた。含水比は60%程度であるため、これまでの試験施工

にならい<sup>6),7)</sup>,古紙破砕物の添加量は $25\text{ kg/m}^3$ とした。セメント系固化材については,添加量を $50, 100, 150$ および $200\text{ kg/m}^3$ の4種類に変化させて試料を作成し,一軸圧縮試験を実施した。試験の手順については割愛する。

図—1に一軸圧縮試験の結果を示す。一般軟弱土用セメント系固化材を使用する場合,セメント系固化材の添加量が $60\text{ kg/m}^3$ で目標値 $123\text{ kN/m}^2$ をクリアすることが分かる。一方,高有機質土用セメント系固化材では, $50\text{ kg/m}^3$ の添加量で目標値をクリアできることが分かる。そこで,本施工では経済性を考え,古紙破砕物の添加量を $25\text{ kg/m}^3$ とし,セメント系固化材は一般軟弱土用セメント系固化材を使用し,その添加量は $60\text{ kg/m}^3$ とした。なお,この配合条件では,破壊ひずみも5%以上であった。



図—1 一軸圧縮試験の結果

また試験施工に先立ち,サンプリングした津波堆積物に対して,土壤環境分析を行った。その結果,土壤環境基準全27項目に対して基準値をクリアすることが確認されたため,配合試験により決定された配合量に基づき試験施工を実施することにした。

## (2) 試験施工概要

上述したように,現地での試験施工は2012年9月27日および28日に実施したが,これは著者の都合によるものであり,広浦湾の水位が最も低くなる時期を選んだ訳ではない。今回の試験施工では,パワーショベルにより広浦湾底部の津波堆積物を浚渫する計画であったため,広浦湾の水位が最も低くなる時期を選んで予め津波堆積物を浚渫しておく必要があった。そこで,広浦湾の水位が最も低くなる9月14日にパワーショベルで津波堆積物の浚渫を行った。写真—3に浚渫の様子を示す。

ところで,繊維質固化処理土工法による泥土改良で



写真—3 津波堆積物浚渫の様子



写真—4 土砂ピットの掘削

は,改良現場にピット(水槽)を設置し,その中で改良作業を行うのが基本であるが,今回の施工では,上述したように予め所定の量の津波堆積物を浚渫しておく必要があった。そこで,今回は写真—4に示すように土砂ピットを掘削し,その中に浚渫した津波堆積物を貯えておくことにした。

写真—5に,浚渫土をクローラダンプで運搬している様子を示す。また写真—6に土砂ピットに浚渫土を投入している様子を示す。写真—7は,浚渫が完了し,土砂ピットが浚渫土で埋まった状態である。今回の浚渫では,約 $110\text{ m}^3$ の津波堆積物を浚渫した。

試験施工では,写真—8に示すように土砂ピットに投入した改良対象土に対して, $25\text{ kg/m}^3$ の添加量になるように古紙破砕物を添加し,攪拌・混合を行った。古紙破砕物と津波堆積物がほぼ均一に攪拌・混合された後,固化材を混合するが,今回の試験施工では,写真—9に示す土質改良機を用いて固化材の攪拌・混合を行った。土質改良機上部のホッパーに固化材を入れ,室内実験で決定した添加量( $60\text{ kg/m}^3$ )になるように,供給量をセットした。古紙破砕物が混合された津波堆積物はパワーショベルにより土質改良機のフィーダーに投入され,機械内部で固化材と混合し,ベルコンを介して外部に排出される。写真—10は改



写真一五 クローラダンプによる浚渫土の運搬



写真一九 土質改良機による固化材の混合



写真一六 土砂ピットへの浚渫土の投入



写真一〇 改良土の排出



写真一七 土砂ピットへ貯えられた浚渫土



写真一一 パワーショベルによる改良土の転圧



写真一八 古紙破砕物と浚渫土の混合



写真一二 造成された盛土

良土を排出している様子である。改良土は、耐震性の地盤材料として活用可能であり、名取市役所に対して活用場所の提案も行っているが、協議の結果、試験施工場所に一旦仮置きし、後日再利用することになった。写真—11に改良土をパワーショベルで転圧している様子を、また写真—12に造成された盛土を示す。

盛土の大きさは、底面が14 m × 8.4 m、上面が10 m × 5.6 m、高さ1.25 mであり盛土体積は約110 m<sup>3</sup>であった。

### (3) 品質管理

施工終了後7日目にコーン貫入試験を行い、造成した地盤強度を計測した。5 cm、7.5 cm および10 cmの貫入深さにおける値の平均を求めた結果、コーン指数は3,138 kN/m<sup>2</sup>以上であり、これはコーン指数の目標値である1,231 kN/m<sup>2</sup>以上を満足することが確かめられた。

## 3. おわりに

名取市広浦湾における試験施工を通して、湾の底部に堆積した津波堆積物に対しても、繊維質固化処理工法が適用可能であり、生成された改良土を用いて人工地盤を造成できることが確認できた。本試験施工の結果を広く情報発信し、迅速な復旧・復興に貢献したいと考えている。

### 謝 辞

本試験施工は、東北建設協会「技術開発支援〈東日本大震災関連〉」を受けて実施した施工であることを付記し、謝意を表す。また試験施工に関してご協力頂いた名取市役所の関係各位に謝意を表す。

J C M A

### 《参考文献》

- 1) 6月1日付け環境新聞, 2011.
- 2) 仙台市: 仙台市震災復興ビジョン(案) 骨子, [http://www.city.sendai.jp/311jishin/\\_icsFiles/afieldfile/2011/05/23/vision\\_kossi.pdf](http://www.city.sendai.jp/311jishin/_icsFiles/afieldfile/2011/05/23/vision_kossi.pdf)
- 3) 高速道路のあり方検討有識者委員会: 東日本大震災を踏まえた緊急提言, [http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw\\_arikata/teigen/t01.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/teigen/t01.pdf)
- 4) 森 雅人・高橋 弘他: 古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, Vol.119, No.4-5, pp.155-160, 2003.
- 5) 高橋 弘・森 雅人・柴田 聡・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.
- 6) 高橋 弘: 津波堆積物の再資源化による人工地盤造成, 建設の施工企画, No.743, pp.22-29, 2012.
- 7) 高橋 弘: 繊維質固化処理土工法による津波堆積物の再資源化, 建設機械, Vol.48, No.6, pp.41-50, 2012.
- 8) 岩手県: 復興資材活用マニュアル, <http://www.pref.iwate.jp/view.rbz?cd=39813>
- 9) (独)土木研究所: 建設汚泥再利用マニュアル, p.58, 2008.
- 10) 同上, p.186.
- 11) 森 雅人・高橋 弘・熊倉 宏治: ベ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, J. of MMIJ, Vol.122, No.6-7, pp.353-361, 2006.

### 【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  
教授

