

# 木くず等の夾雑物を含む土砂を利用した地盤材料の 締固め特性

三反畑勇<sup>\*1</sup>・塩崎 功<sup>\*1</sup>・坂本 守<sup>\*1</sup>・弘末文紀<sup>\*2</sup>・砂山浩紀<sup>\*3</sup>

2011年3月11日の東日本大震災では、大規模な地震・津波によって太平洋沿岸部では多量の災害廃棄物および津波堆積物が発生した。これらの処理に関しては、できる限り被災地の復興事業への再利用が図られている。しかし、災害廃棄物を振動ふるい機等で分別した時に発生する土砂分は、木くず等の夾雑物が含まれ、有効利用にあたっては利用先の要求品質とのマッチング等が必要である。本報文では、そのような土砂分の有効活用を検討するため、災害廃棄物処理現場から採取した夾雑物を含む土砂について、物理・化学的性質や締固め特性を調べると共に、コンクリートがら破砕物や固化材と混合したときの締固め特性を室内試験によって確認した。その結果、木くず等の夾雑物を含む土砂にコンクリートがら破砕物を混合すると、締固め性が大きく向上すること、セメント混合処理する場合では一軸圧縮強度が2倍程度に増加すること等が分かった。

キーワード：2011年東日本大震災，津波堆積土砂，コンクリートがら，分別，締固め試験

## 1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災では、大規模な地震・津波によって太平洋沿岸部では多量の災害廃棄物および津波堆積物が発生した。これらの処理に関しては、環境省や国土交通省等から指針等が出され<sup>1)~6)</sup>、既往の基準類等<sup>7)~9)</sup>にも準拠しながら、被災地の復興事業への再利用が図られている。しかし、災害廃棄物を振動ふるい機等で分別した時に発生する土砂分は、木くず等の夾雑物を含むため、復興資材としての利用先とのマッチングが無ければ、そのままでは一般土木資材としての利用は難しい。また、復興資材として適正に管理された状態で有効利用する場合でも、利用用途の要求品質によっては、改質が必要となる。本報文では、そのような土砂分の有効活用を検討するために、宮城県岩沼市の災害廃棄物処理業務（亘理名取ブロック、岩沼処理区）の現場から採取した土砂分について、物理・化学的性質や締固め特性を調べると共に、コンクリートがら破砕物や固化材等と混合したときの締固め特性等を室内試験によって確認したので、その結果を報告する。

## 2. 岩沼処理区の処理概要と採取試料

岩沼市の震災現場および一次仮置場から二次仮置場に運び込まれた災害廃棄物・津波堆積物は、**図-1**のように分別・破砕・分級・焼却等の処理を行い、できる限り

再利用・再生利用が図られている。

室内試験に使用した試料は、**写真-1~4**に示したような、廃棄物混じり土砂を振動ふるい機（40mm）でふるい分けした時に発生した土砂分である。また、このふるい下の土砂と混合する材料として、**写真-5~7**に示すようなコンクリートがら破砕物（55mmふるい通過分）も採取した。なお、室内試験では、主にこれらの材料の9.5mmふるい通過分を使用した。以下、これらの試料を、「分別土」（9.5mm下）および「コンガラ」（9.5mm下）と呼ぶ。

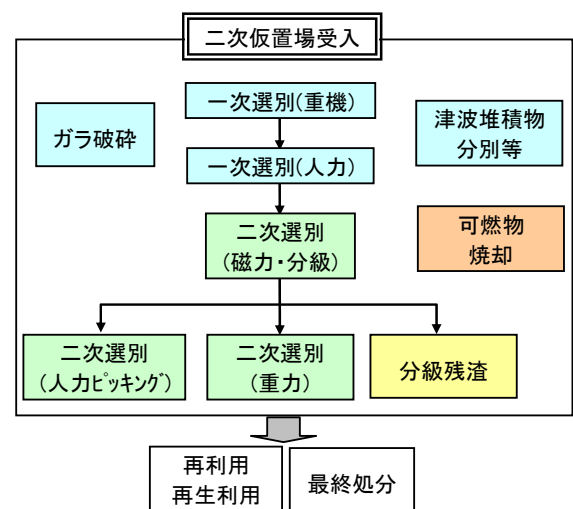


図-1 岩沼処理区の処理計画概要

\*1 技術研究所 \*2 環境部 \*3 東北支店



写真-1 廃棄物混じり土砂の処理状況



写真-5 コンクリートがらの破碎分別状況



写真-2 40mmふるい下の土砂分



写真-6 55mmふるい下のコンクリートがら破碎物

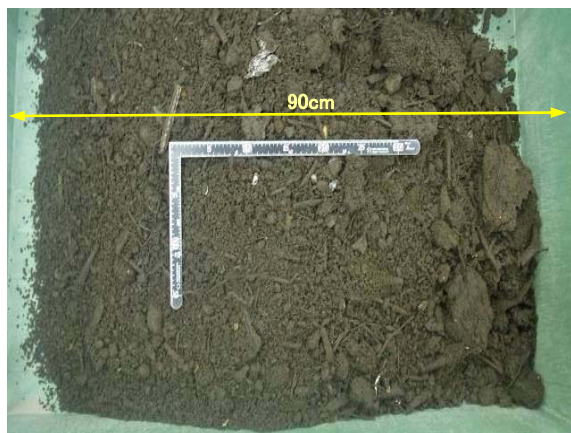


写真-3 試験に用いたふるい下の土砂分



写真-7 試験に用いたコンガラ(9.5mm通過分)



写真-4 ふるい下の土砂分から除去した夾雑物

### 3. 試験項目

試験項目を表-1に示す。試験は、「地盤材料試験の方法と解析」(地盤工学会, 2009.11.)に準じ、概ね1cm以上の夾雑物(写真-4)を手で取除き、主に9.5mmふるい通過分の試料で実施した。評価の目安となる品質基準の例<sup>5)</sup>を表-2に示す。



表-1 試験項目

区分	試験項目
物理試験	土粒子の密度
	土の含水比
	土の粒度
化学試験	土懸濁液の pH
	土懸濁液の電気伝導度
	土の強熱減量
安定化試験	突固めによる土の締固め
	締固めた土のコーン指数
変形・強度試験	土の一軸圧縮試験(固化材混合後)

表-2 再生資材の品質基準の例<sup>5)</sup>

要求項目	要求品質
最大粒径/粒度組成	300 mm 以下
強度 (コーン指数)	400 kN/m <sup>2</sup> 以上
塩化物含有量	原則 1 mg/g 以下
電気伝導度 (EC)	200 mS/m 以下
水素イオン濃度 (pH)	6 以上 9 以下
吸水膨張特性	膨張比 3%以下

## 4. 試験結果

### 4.1 物理試験結果

試験結果を表-3および図-2に示す。細粒分含有率は、分別土が約 20%、コンガラが約 15%であった。参考までに、一次仮置場で採取した農地撤去土(以下「農地土」と呼ぶ)の結果も示した。写真-8、写真-9は粒度試験に用いた試料である。なお、分別土から事前に除去した 1cm 以上の夾雑物(写真-4)の湿潤重量は、全体の約 7%に相当した。

表-3 物理試験結果

試験項目	分別土	コンガラ	農地土
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.61	2.73	—
含水比 (%)	全体	27.3	38.4
	9.5mm 残留分	46.1	73.6
	9.5mm 通過分	26.2	37.1
液塑性試験	NP	NP	—

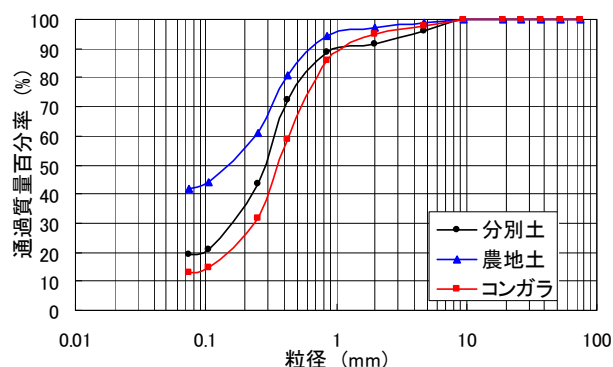


図-2 粒径加積曲線

### 4.2 化学試験結果

試験結果を表-4に示す。分別土とコンガラを乾燥質量比 1 : 1 で混合した試料 (9.5mm 下) の pH と電気伝導度も測定した。参考までに農地土も示す。

分別土の pH と電気伝導度は、表-2の品質基準を満たしているが、コンガラは pH が高い。

分別土の強熱減量は 7.1%であった。強熱減量を粒径範囲別に測定すると、図-3のように、2mm 未満では 5.6%であるが、それ以上の粒径では概ね 15%以上である。ただし、今回の分別土 (9.5mm 下) は、2mm 未満の粒径が約 90%を占める (図-2)。

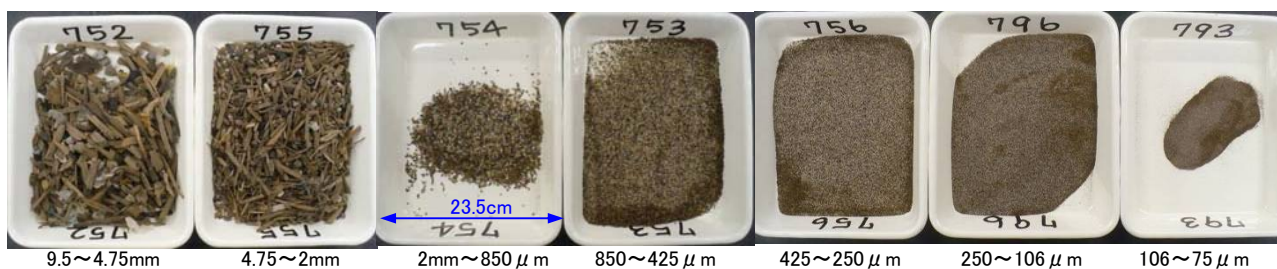


写真-8 分別土の粒径毎の乾燥試料

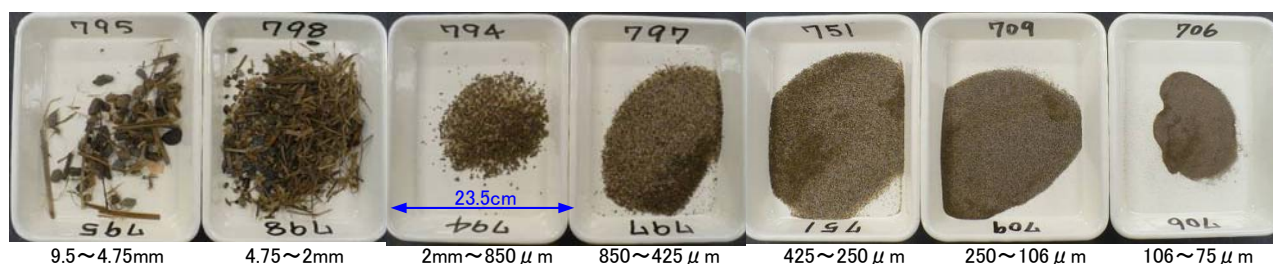


写真-9 農地土の粒径毎の乾燥試料

表-4 化学試験結果

試験項目	分別土	コンガラ	分別土+コンガラ	農地土
土懸濁液のpH	7.4	10.66	9.45	6.7
電気伝導度(mS/m)	144	34.5	95	71.6
強熱減量(%)	7.1	4.0	—	8.0
粒径別の強熱減量(%)	9.5mm以上	14.7	—	23.7
	9.5~4.75mm	18.1	4.8	—
	4.75~2.0mm	15.1		—
	2.0mm未満	5.6	4.0	—

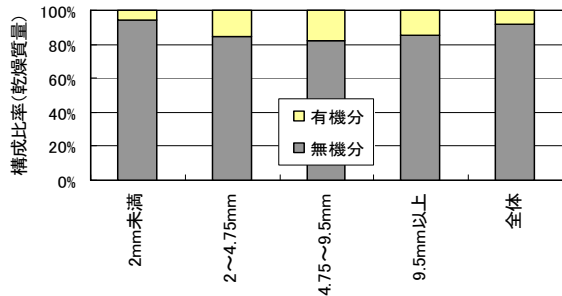


図-3 分別土の強熱減量(有機分)の粒径別比率

### 4.3 締固め試験結果

分別土(9.5mm下)とコンガラ(9.5mm下)、および両者を乾燥質量比1:1で混合した試料、さらに石炭灰(FA)を乾燥質量比で20%加えた試料、に対して、突固めによる土の締固め試験およびコーン指数試験を実施して、分別土の締固め特性を調べた。なお、夾雑物(写真-4)が混入したままの分別土、それにコンガラ(9.5mm下)を乾燥質量比1:1で混合した試料、および農地土、については自然含水比(試料採取時の含水比)での試験のみ実施した。夾雑物混じりの試料はB-c法(φ15cm)で、その他の試料はA-c法(φ10cm)で試験を行った。

まず、自然含水比での試験結果を表-4、図-4、図-5に示す。

夾雑物を含む分別土は、乾燥密度は1.44 g/cm<sup>3</sup>と小さいが、コーン指数は2000kN/m<sup>2</sup>以上と大きい。コーン指数が大きいのは、礫や木片等が混入している影響もあると思われる。コンガラ(9.5mm下)を混合すると、コーン指数、乾燥密度ともに増加する。

分別土(9.5mm下)とコンガラ(9.5mm下)は、コーン指数が800kN/m<sup>2</sup>以上で、単独でも比較的締固め性がよい材料であるが、両者を混合すると締固め性が大幅に向上し、コーン指数が2000kN/m<sup>2</sup>以上となった。さらに石炭灰を20%添加すると、締固め性はやや低下した。これは、試料が最適含水比よりも乾燥側になったためと考えられる。

表-4 締固めコーン指数(自然含水比)

試料名	密度 g/cm <sup>3</sup>		含水比 %	コーン指数 kN/m <sup>2</sup>
	湿潤	乾燥		
夾雑物混じり分別土	1.79	1.44	26.5	2,175
夾雑物混じり分別土+コンガラ	1.71	1.50	18.0	2,702
分別土(9.5mm下)	1.93	1.56	23.9	847
コンガラ(9.5mm下)	1.69	1.62	4.1	821
分別土+コンガラ	1.82	1.57	16.0	2,401
分別土+コンガラ+FA20%	1.76	1.57	11.8	2,275
農地撤去土(9.5mm下)	1.78	1.30	36.5	362

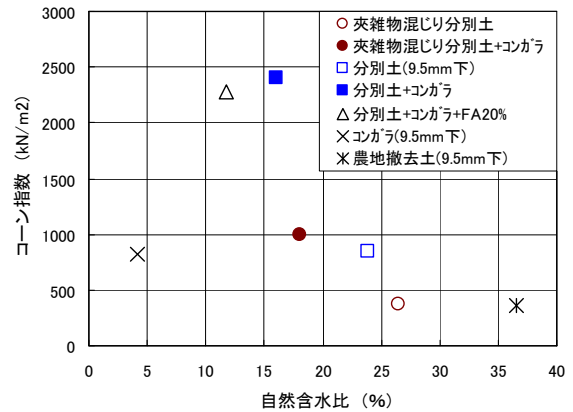


図-4 含水比とコーン指数の関係

次に、締固め曲線を図-5~図-7に示す。

分別土(9.5mm下)は、最大乾燥密度が1.48 g/cm<sup>3</sup>と比較的小さいが、コーン指数は含水比が15~27%で1400~2200kN/m<sup>2</sup>と大きな値を示した。

コンガラは、最大乾燥密度が1.79g/cm<sup>3</sup>と大きく、コーン指数も最大2000kN/m<sup>2</sup>であった。ただし、最適含水比は16%と、自然含水比4%よりかなり大きい。

分別土にコンガラを乾燥質量比1:1で混合すると、締固め性が向上し、最大乾燥密度は1.65g/cm<sup>3</sup>と分別土よりも0.17 g/cm<sup>3</sup>増大した。最適含水比は21%であるが、コーン指数は、自然含水比の16%付近で最大値2300kN/m<sup>2</sup>を発揮した。

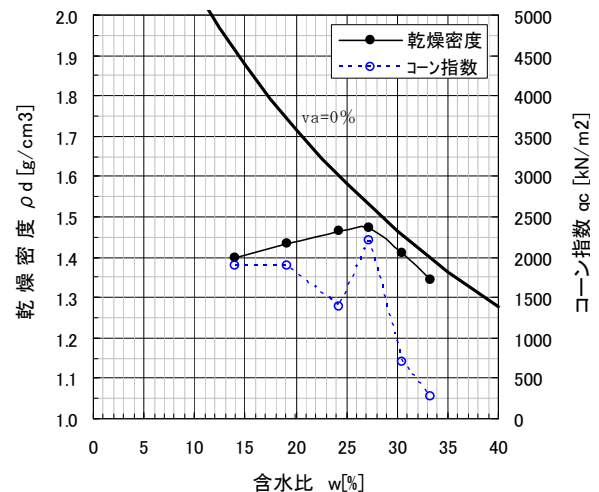


図-5 締固め・コーン指数(分別土:9.5mm下)

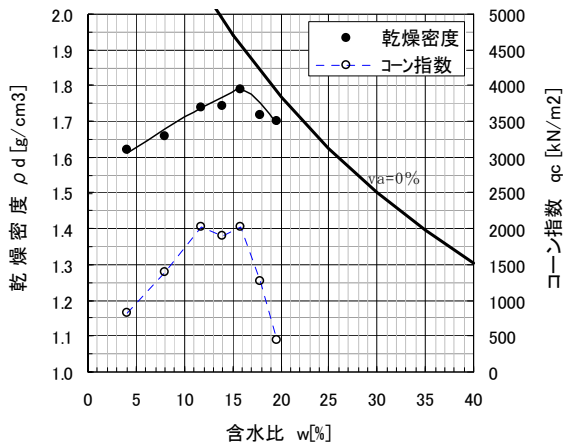


図-6 締固め・コーン指数 (コングラ: 9.5mm 下)

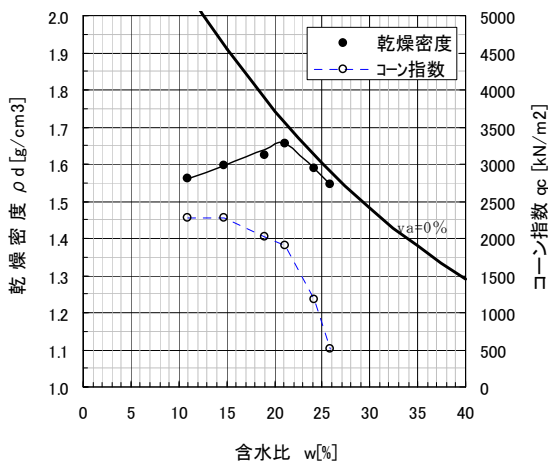


図-7 締固め・コーン指数 (土+コングラ: 9.5mm 下)

#### 4.4 室内配合試験結果 (固化材混合)

分別土 (9.5mm 下, 写真-8), 分別土とコングラ (9.5mm 下) を乾燥質量比 1:1 で混合, の 2 種類の試料について, セメント系固化材を混合したときの強度特性を把握するために表-5 に示す 17 ケースの配合試験を実施した。固化材には高炉セメント B 種を使用し, 単位セメント添加量が 40kg/m<sup>3</sup>, 80kg/m<sup>3</sup>, 120kg/m<sup>3</sup> の 3 ケースについて比較した。なお, 配合 No.④では有機質土用固化材 (タフロック 4) を使用した。また, No.11~17 では石炭灰や石膏を添加した配合について

も試験した。一軸圧縮試験用の供試体は, 事前に実施した締固め試験(A-c 法)で得られた湿潤密度の 95%程度を目標として, 写真-10 に示すようにハンマーで軽打して作製した。

試験結果を図-8~図-10 に示すが, 概ね以下のような傾向が考察される。

- 単位セメント量に応じて強度は増加するが, 7 日強度と 28 日強度の差は比較的小さい (図-8)。
- 有機土用固化材を用いても, 強度は高炉セメント B 種と同程度である (図-8 の①と④)。

分別土にコングラを混ぜると, 強度は 2 倍程度に増加する (図-9)。

表-5 室内配合試験ケースの一覧

No.	配合条件							
	混合重量比(乾燥)			固化材		石膏	加水量	単位水量
	分別土	コングラ	石炭灰	種類	kg/m <sup>3</sup>			
①	1			高炉B	40			395
②	1			高炉B	80			383
③	1			高炉B	120			376
④	1			TL4	40			395
⑤	1	1		高炉B	40			251
⑥	1	1		高炉B	80			245
⑦	1	1		高炉B	120			239
⑧	1	1		高炉B	80		29	275
⑨	1	1		高炉B	80		58	304
⑩	1	1		高炉B	80		87	333
⑪	2	2	1	高炉B	40			199
⑫	2	2	1	高炉B	80			194
⑬	2	2	1	高炉B	120			189
⑭	2	2	1	高炉B	80	25		191
⑮	2	2	1	高炉B	80	25	37	228
⑯	2	2	1	高炉B	80	25	73	265
⑰	2	2	1	高炉B	80	25	110	302

- 分別土のみでは締固め性が悪い (乾燥密度が 1.31~1.36g/cm<sup>3</sup> と小さい) が, コングラを混ぜると締固め性がよくなり乾燥密度は 1.50~1.58g/cm<sup>3</sup> に増大する (図-11)。
- 分別土とコングラを混合したときの最適な含水比は 16%程度である (図-10 の⑥⑧⑨⑩)。
- さらに石炭灰を加えると, 自然含水比での強度増加はあまり大きくないが (図-9), 適切に加水すれば強度が 2 倍程度になる (図-10 の⑪~⑰)。



φ5cm モールドとプランジャー類

プランジャーを用いた試料の締固め(5層、軽打して所定の密度に)

脱型後の供試体

写真-10 配合試験における試料作製状況

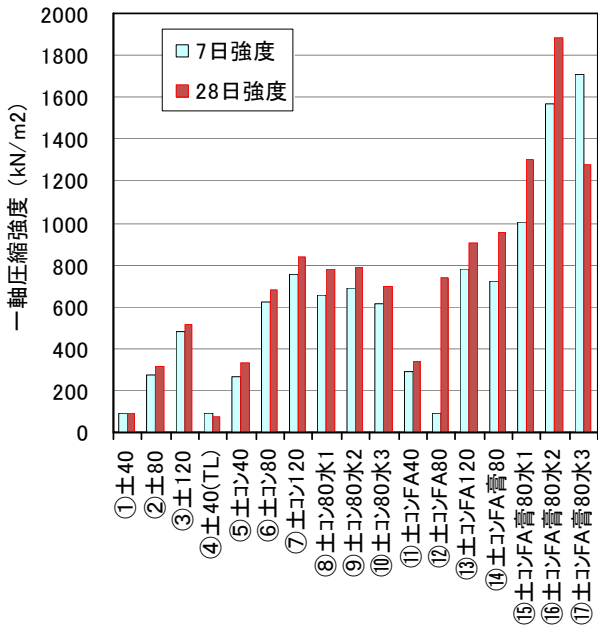


図-8 一軸圧縮試験結果

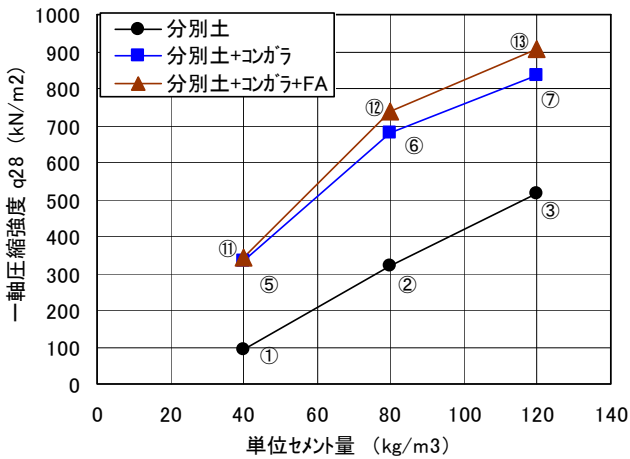


図-9 単位セメント量と強度の関係

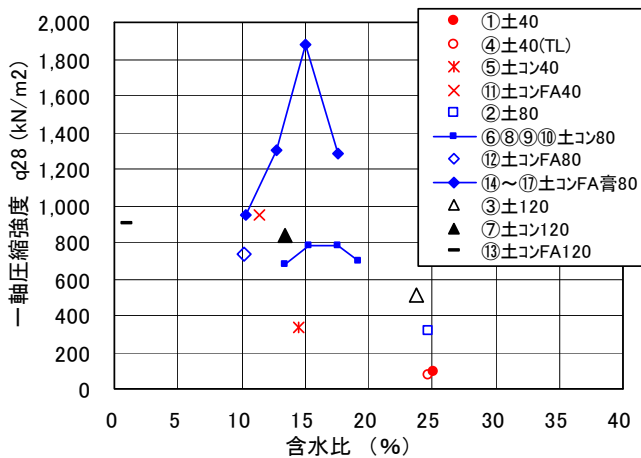


図-10 含水比と強度の関係

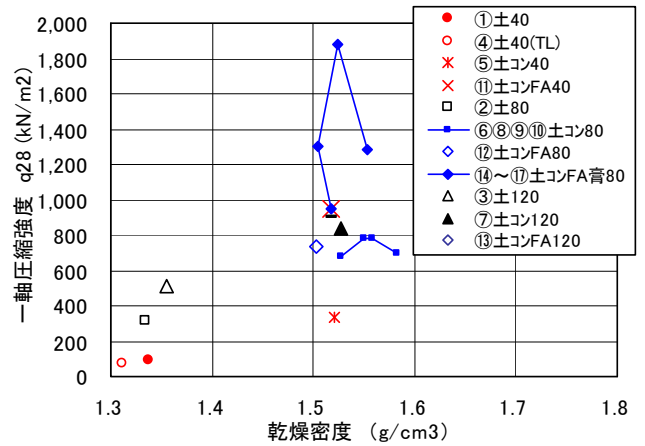


図-11 乾燥密度と強度の関係

なお、一軸圧縮試験後の供試体を用いて、重金属類の溶出試験を6ケース実施したが、結果は表-6のように、いずれも環境基準を満足した。なお、⑫、⑭で六価クロムが検出されたが、他の試料と比べて土砂分の構成比率が低いことや、含水比が10%と低いこと(図-10)等が溶出の要因として考えられる。

表-6 溶出試験結果(単位: mg/L)

No.	六価クロム	鉛	ふっ素	ほう素
①	0.01 未満	0.005 未満	0.54	0.1
②	0.01 未満	0.005 未満	0.46	0.1 未満
④	0.01 未満	0.005 未満	0.64	0.1
⑥	0.01 未満	0.005 未満	0.39	0.1 未満
⑫	0.04	0.005 未満	0.37	0.1
⑭	0.04	0.005 未満	0.24	0.1
環境基準*	0.05 以下	0.01 以下	0.8 以下	1 以下

\*環境基準: 環境省告示第46号(平成3年8月23日)の別表の「環境上の条件」

## 5. おわりに

震災災害廃棄物を処理する際に発生した夾雑物を含む土砂分の地盤工学的な特性を把握するため、主に9.5mmふるい通過分の試料を用いて各種の室内試験を実施した。その結果、分別土に比較的乾燥した状態(含水比4%)のコンガラを混合すると締固め性が大きく向上した。また、分別土をセメント混合処理する場合でも、コンガラを混合すると一軸圧縮強度が2倍程度に増加することが分かった。ただし、盛土材として実際に利用するには、9.5mm以上の礫分や夾雑物が入った状態での室内試験や現場試験施工を実施して締固め性等を確認する必要がある。また、木くず等の有機物の腐食による問題(沈下、安定性の低下、ガス等の発生)、分別土自体のバラツキ(粒度、含水比、夾雑物の含有量等)やコン

ガラの高 pH への対応, 有害物質の混入の懸念等も課題となる。なお, 今回使用した岩沼処理区の分別土は, 砂質土系で締め固め性も比較的良好, 有害物質の混入がないので, 岩沼市復興事業「千年希望の丘」の盛土中詰め材としての利用が計画されている。

#### 参 考 文 献

- 1) 環境省: 東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針(マスタープラン), 2011.5, [http://www.env.go.jp/jishin/attach/haiki\\_masterplan.pdf](http://www.env.go.jp/jishin/attach/haiki_masterplan.pdf)
- 2) 環境省: 東日本大震災津波堆積物処理指針, 2011.7, <http://www.env.go.jp/jishin/attach/sisin110713.pdf>
- 3) 廃棄物資源循環学会: 津波堆積物処理指針(案), 2011.7, <http://eprc.kyoto-u.ac.jp/saigai/archives/001427.html>
- 4) 国土交通省: 東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針, 2012.3, [http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10\\_hh\\_000097.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000097.html)
- 5) 国土交通省: 迅速な復旧・復興に資する再生資材の宅地造成盛土への活用に向けた基本的考え方, 2012.3, <http://www.mlit.go.jp/common/000208618.pdf>
- 6) 岩手県: 岩手県復興資材活用マニュアル, 2012.07, <http://www.pref.iwate.jp/download.rbz?cmd=50&cd=39813&tg=3>
- 7) 国土交通省: 発生土利用基準について, 2006.8, <http://www.mlit.go.jp/tec/kankyuu/hasseido/060810kiyun.pdf>
- 8) 土木研究センター: 建設工事で遭遇する廃棄物混り土対応マニュアル, 2009.10.
- 9) 国土交通省: 建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版), 2010.3, [http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/recyclehou/manual/sizenuraimanyu\\_zantei\\_honbun.pdf](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/recyclehou/manual/sizenuraimanyu_zantei_honbun.pdf)

---

---

### Compaction Property of Recycled Soil Materials Mixed with Foreign Bodies Like Pieces of Wood Caused by Great East Japan Earthquake

Isamu SANDANBATA, Isao SHIOZAKI, Mamoru SAKAMOTO, Fuminori HIROSUE and Hiroki SUNAYAMA

At the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011, large area around the northeastern Pacific coast was covered by huge volumes of disaster waste and tsunami deposits. We are straggling to recycle these materials as much as possible. However, the classified soils from these materials using vibrating screen contain foreign bodies like pieces of wood, so we have to adequately consider the adaptability of the soils to required qualities at each construction site. In this report, physical, chemical, and compaction properties of the soils sampled at a disaster waste disposal treatment facility are tested in order to study effective use of the soils. Moreover the properties of blended soil materials with debris of concrete are tested, and cement treatment effects are investigated. As a result, the compaction property of the blended materials improves greatly, and the unconfined strength is doubled up by the cement treatment.