

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検討

INVESTIGATION OF THE APPLICATION OF USING RECYCLED MATERIALS FOR EMBANKMENT CONSTRUCTION IN RESIDENTIAL-LAND-DEVELOPMENT TO FACILITATE RAPID RESTORATION AND REVIVAL FROM NATURAL DISASTER

扇本寛也*・橋場 浩**・伊藤民夫*
 Hiroya OGIMOTO, Hiroshi HASHIBA and Tamio ITO

Large volumes of waste debris were generated by the Great East Japan Earthquake on 11 March 2011. They present an obstacle to restoration and revival of urban land. A practical approach is to consider their effective use in reconstruction of residential land. We investigated the quantity, quality, applications and techniques for utilizing these materials. It was assumed that the tsunami had adversely affected the quality of any of these materials, so to stabilize them and satisfy environmental and construction standards, they needed to be put through a recycling treatment. We therefore developed new quality standards in addition to the regular standards demanded of embankment material. This paper reports the results of our investigation into the practical use of recycled disaster waste for constructing embankments in residential land development.

Keywords : the Great East Japan Earthquake, disaster waste, embankment material

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)は、大規模な津波の発生により約 2 万人の死者・行方不明者をもたらし、戦後最悪の自然災害となった。また、太平洋沿岸部の地域では、津波によって市街地が壊滅的な被害を受け、大量の災害廃棄物が発生し、復旧・復興の阻害要因となり、これらの地域を中心に、災害廃棄物の迅速な撤去、処理および有効活用が課題となっている。

宅地造成等においても、災害廃棄物を土木資材または建設資材として有効活用することが求められているところである。しかし、本検討を実施する段階においては、その活用法と適用性に関する技術的な知見が蓄積されておらず、早急に活用できる状態とは言い難い状況にあった。

弊社は、宅地造成盛土への災害廃棄物の活用法と適用性に関し、その発生量や性状等を把握したうえで、その有効活用に向けた検討を国土交通省都市局とともに取り組み、平成 24 年 3 月に「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」としてガイドラインを取りまとめた。

本稿では、災害廃棄物の概要と宅地造成盛土として活用対象となる材料、活用する際の盛土材料としての要求品質と集積された災害廃棄物の調査結果を中心に、ガイドラインの取りまとめに関する取組みを報告する。

2. 東日本大震災における災害廃棄物の概要

(1) 災害廃棄物の種類と割合

災害廃棄物の種類別にみると、「岩手県災害廃棄物処理詳細計画」によると不燃系混合物 26%、可燃系混合物 24%、コンクリートがら 21%、金属くず 15%、柱材・角材 12% となっている(図-1 左、表-1)¹⁾。また、「宮城県災害廃棄物処理実行計画(第 1 次案)」によると、粗大・混合ごみが 46%、木くず 28%、コンクリートがら 20% となっており、これら 3 種で全体の 94% を占めている(図-1 右、表-2)²⁾。

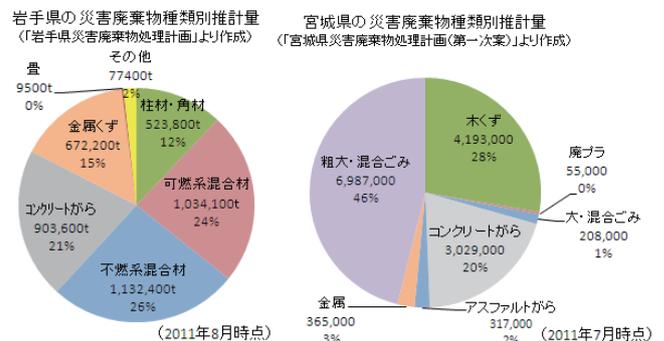


図-1 岩手県・宮城県の災害廃棄物の種類別推計量^{1), 2)}

* コンサルタント国内事業本部 流域・防災事業部 地盤環境部
 ** コンサルタント国内事業本部 社会システム事業部 都市・交通計画部

表－1 岩手県の災害廃棄物の種類別推計量¹⁾

(2011年8月時点)

種類	推計量 (t)	割合 (%)
柱材・角材	523,800	12.0
可燃系混合材	1,034,100	23.8
不燃系混合材	1,132,400	26.0
コンクリートがら	903,600	20.8
金属くず	672,200	15.4
畳	9,500	0.2
その他	77,400	1.8
合計量	4,353,000	

表－2 宮城県の災害廃棄物の種類別推計量²⁾

(2011年7月時点)

種類	推計量 (t)	割合 (%)
木くず	4,193,000	27.7
廃プラ	55,000	0.4
大・混合ごみ	208,000	1.4
コンクリートがら	3,029,000	20.0
アスファルトがら	317,000	2.1
金属	365,000	2.4
粗大・混合ごみ	6,987,000	46.1
合計量	15,154,000	

(2) 災害廃棄物の発生量

環境省の「沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況」(H24.2.27時点)によると、岩手・宮城・福島3県の災害廃棄物の推定量は合計約2,253万トンである。県別にみると、宮城県で最も多く約1,569.1万トン、次いで岩手県で約475.5万トン、福島県で208.2万トンとなっている(表－3)³⁾。宮城県においては、平成21年度の一般廃棄物排出量は約79.5万トン程度であることから、約20年間分に相当する廃棄物が東日本大震災により発生したことになる⁴⁾。

また、「津波堆積物処理指針(案)」によれば、津波堆積物の発生推定量は、被災6県(青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉)全体で約1,200～1,920万m³(約1,300～2,800万トン)と推計されている⁵⁾。

表－3 災害廃棄物の推計量³⁾より作成

県	がれき推計量(万トン)
岩手県	475.5
宮城県	1,569.1
福島県	208.2
岩手・宮城・福島 3県合計	2,252.8

(3) 災害廃棄物の有効活用に関する動き

環境省の「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)」(以下、「マスタープラン」と呼ぶ)では、災害廃棄物を①可燃物、②木くず、③不燃物、④金属くず、⑤コンクリートくず、⑥家電・自動車、⑦船舶、⑧危険物・PCB廃棄物、石綿含有廃棄物等、⑨津波堆積物(元々水底や海岸に存在していた砂泥が津波により陸上に打ち上げられたものであり、木くず、コンクリートくず等と混然一体となっているもの)の9種類に分類しており、災害廃棄物を種類別に分別・処理することとし、再生利用が可能なものは極力再生利用することとしている⁶⁾。

3. 災害廃棄物の活用検討

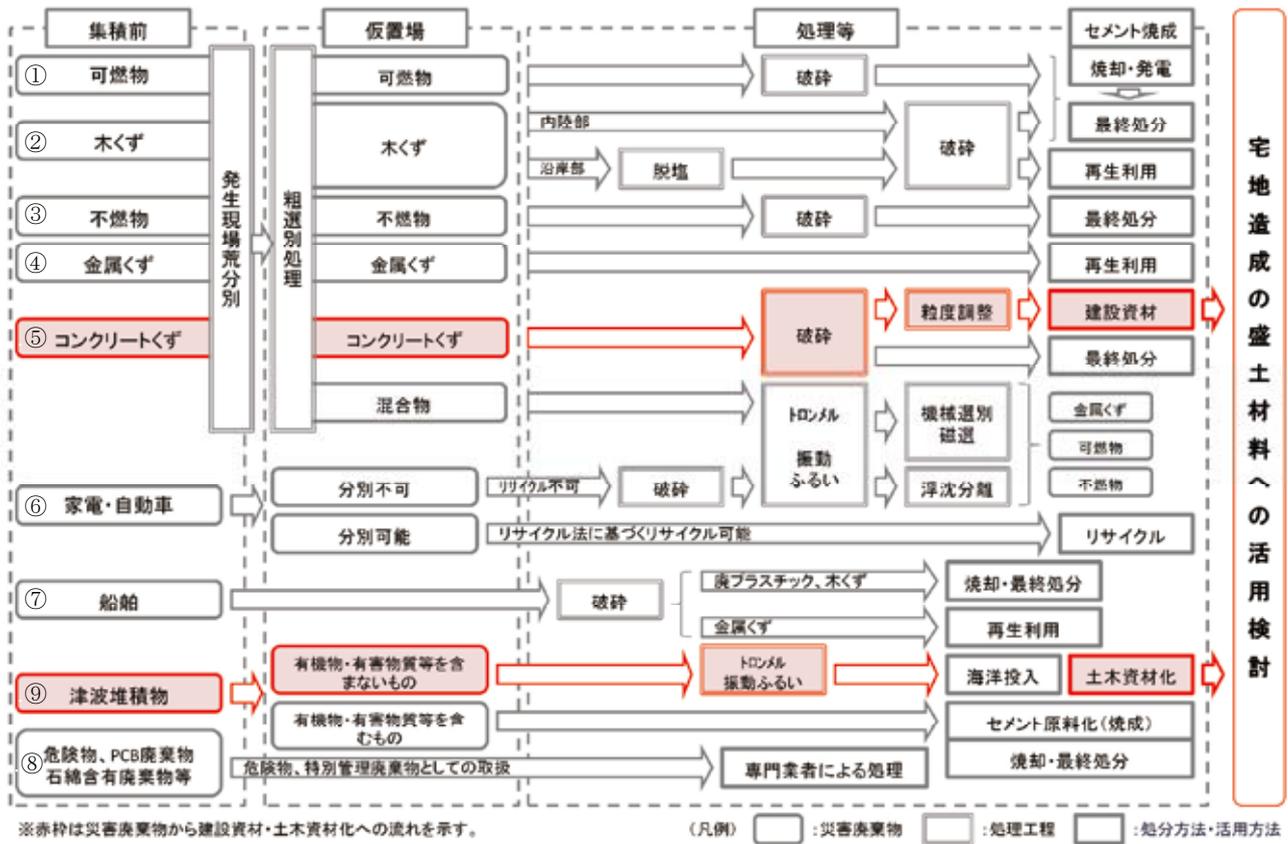
(1) 検討対象とする災害廃棄物の選定

「マスタープラン」では、災害廃棄物の分別処理を通じて、その処分方法や有効活用、建設資材化および土木資材化の方針が示されており、破碎・粒度調整を行ったコンクリートくずは建設資材として、また、有機物や有害物質等を含まない津波堆積物は、トロンメル(円筒形の回転式ふるい)、振動ふるい等で異物を除去した後、地盤沈下した場所の埋め戻し材としての利用や、土木資材化することを示している(図－3)⁶⁾。

これらの状況に鑑みて、宅地造成地の盛土材料への適用が可能であることを想定し、コンクリートくずおよび津波堆積物を検討対象とした。また、仮置場に集積された混合物は、津波堆積物と他の廃棄物が混在したものが含まれており、トロンメルや振動ふるい等により分級された土砂があることを現地調査等により確認した。このことより、混合物から分級された土砂についても、津波堆積物と同様に土木資材として検討対象とした(図－2)。



図－2 処理前後の災害廃棄物の状況



図－3 災害廃棄物の処理ルート図⁶⁾より作成

(2) 災害廃棄物の宅地への活用条件

宅地は、管理が個々の宅地所有者に委ねられ、公共用地に比べて維持管理を行うことが一般的に難しく、宅地上部の建築物や宅地所有者が変わることも起こりうる。そのため、盛土の安定性と周辺環境への安全性を継続的に保持させることが必要である。

また、宅地造成盛土は、その上に建設される構造物を支持することを目的に築造されるものであり、その機能を維持するため、管理・補修を必要とする土構造物である。そのため、将来にわたる維持管理には、盛土の安定性（のり面のすべり破壊、圧密沈下、条件によっては液状化現象）に関する機能の保持、土壌・地下水汚染に関する周辺環境への配慮等があり、これらを継続的に保持させることが必要であり、盛土材料として工学的に安定した資材を用いる必要がある。

これらのことから、災害廃棄物をそのまま活用することは、盛土の安定性および将来の維持管理においてトラブルの原因となりうるため、盛土材料としての活用の検討対象は、リサイクルされ資材として工学的に安定した資材（以下、「再生資材」と呼ぶ）とし、トロメルや振動ふるい等により分級され土木資材化された津波堆積物（以下、「再生土砂」と呼ぶ）、および、破碎、粒度調整されたコンクリートくず（以下、「再生コンクリートくず」と呼ぶ）を対象材料として検討を行った。

(3) 「再生資材」の活用方法

「再生資材」のうち「再生土砂」は、津波により陸上に打ち上げられて残留した水底の堆積物がほとんどであり、その構成は「砂」と「細粒分（シルトおよび粘土）」が主である。そのため、「再生土砂」は土質材料としての扱いができることとし、「再生土砂」は、土質区分や材料特性に応じた適切な施工法により、宅地造成地の盛土材料に活用することが可能であるとした。

「再生コンクリートくず」は、コンクリートくずを破碎・粒度調整等をしたものであり、工学的に安定した資材として扱うことができるものの、既往の基準等においてコンクリートの盛土材料としての使用を示しておらず、適正な粒度まで破碎した場合には法尻やドレーン部における盛土材料（ドレーン材）等の限られた部位や用途での使用のみが示されている。

そのため、「再生コンクリートくず」を単独で使用する場合にはこれらの限られた部位や用途での活用が可能であるとした⁷⁾。

また、「総合的建設残土対策に関する報告書」によると、土砂にコンクリート塊等のガラが混入した「ガラ混じり土」で、ガラの最大粒径 30cm 以下かつ混入率（重量比）30% 以下のものについては、土質工学的には礫混じり土と同様に扱えるという知見が示されている⁸⁾。

このことから、「再生コンクリートくず」は「再生土砂」

と混合することにより土質材料の一部として扱い、盛土材料としての活用が可能とした（以下、「再生土砂」と「再生コンクリートくず」を混合した材料を「混合材料」と呼ぶ）。

ただし、「混合材料」は「再生コンクリートくず」を用いることから、造成盛土を再掘削した場合、「再生コンクリートくず」混じりの土砂が発生する。この「再生コンクリートくず」混じりの土砂は、土砂と「再生コンクリートくず」を分別し、ただちに次の工事に自ら利用する場合は資源として扱える一方、自ら利用せず外部に搬出する場合には、許可業者を介しての処理が必要な産業廃棄物として扱われることとなる。そのため、「混合材料」の使用においては、粒径の大きな材料が混入することによる構造物基礎の施工への影響と、再掘削における影響に留意して活用するものとした（表-4）。

表-4 「再生資材」の盛土材料への活用

災害廃棄物	再生資材	活用方法
津波堆積物	再生土砂	盛土材料
コンクリートくず	再生 コンクリートくず	ドレーン材等の 限られた部位や用途
津波堆積物 コンクリートくず	混合材料	盛土材料 (施工等への留意が必要)

(4) 盛土材料としての要求品質

盛土に用いる材料は一般に締固めが十分に行え、完成後の安定、沈下の問題がないことが求められる。また、あわせて土中構造物の腐食・劣化への影響が小さいことも必要とされる。そのため、盛土に使用する材料は、一般に締固めが十分に行え、完成後の安定、沈下の問題も少ない「粒度分布の良い（粒径幅の広い）礫質土や砂質土」が望ましい材料である。

本検討において対象とする材料は、津波堆積物、混合状態の災害廃棄物から分別した土砂、およびコンクリートくずをリサイクルしたものであり、木くず等の有機物や海底の堆積物が混在していること、津波（海水等）による化学的性質に偏りが発生していることなどを想定した。

そのため、盛土完成後の安定に関して留意すべき事項として、吸水膨張による強度低下、盛土材料の圧縮沈下による変形、および化学的性質による土中構造物の腐食・劣化を考慮し、既往の宅地造成における盛土材料の品質に関する基準・規定に加え、「吸水膨張比」、「強熱減量」、「塩化物含有量」、「電気伝導度」および「水素イオン濃度（pH）」に着目し、再生資材を盛土材料として活用する際の基準を検討し、表-5のとおり設定した。

4. 「再生資材」の品質調査

本検討において、岩手県、宮城県、福島県の3県の災害廃棄物仮置場の現地調査を行い、検討対象とした津波堆積物とコンクリートくずの集積および分別が行われていた岩手県・宮城県・福島県内の計11カ所の仮置場をサンプリング場所として抽出した。抽出した仮置場からサンプリングした津波堆積物とコンクリートくずは、表-5に示す試験項目と有機物の含有量の参考値を得ることを目的として、強熱減量試験を実施した（図-4）。

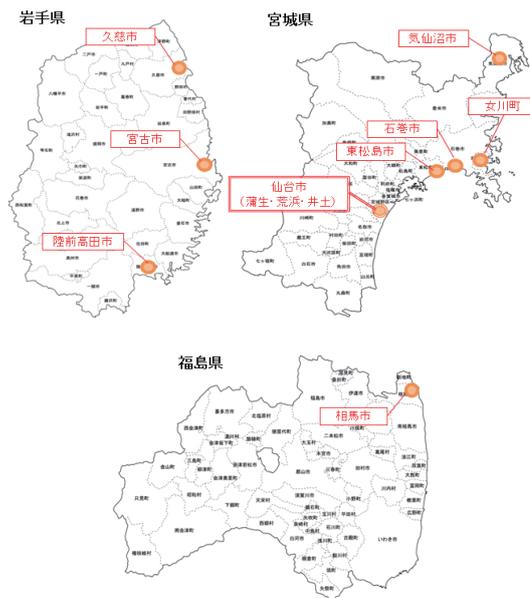


図-4 サンプリングを行った災害廃棄物仮置場

表-5 活用上の要求品質

項目	要求品質	試験項目	
最大粒径 および 粒度組成	最大粒径 (D _{max}) が 300mm 以下 仕上げ面から深度 5.5m 未満に用いる場合 ・最大粒径 (D _{max}) が 100mm 以下 ・粒径 37.5mm 以上の混入率が 40% 未満 仕上げ面から深度 5.5m 以上に用いる場合 ・適切な粒度範囲と成るよう粒度組成を調整	土粒子の密度試験 土の含水比試験 土の粒度試験 土の液性塑性限界試験	JIS A 1202 JIS A 1203 JIS A 1204 JIS A 1205
強度	コーン指数 (q _c) が 400kN/m ² 以上	土の含水比試験 コーン指数測定	JIS A 1203 —
塩化物含有量	塩化物含有量 (Cl ⁻) が 1mg/g 以下	土の水溶性分試験	JGS 0214
電気伝導度	電気伝導度が 200mS/m 以下	土懸濁液の電気伝導度試験	JGS 0212
水素イオン濃度	pH が 6 以上かつ 9 以下	土懸濁液の pH 試験	JGS 0211
吸水膨張特性	膨張比 3% 以下	吸水膨張試験 (CBR 試験)	JIS A 1211

なお、仮置場に集積されている災害廃棄物は、各仮置場により分別処理の進捗状況が異なっていたため、津波堆積物は手作業による分級処理を行ったものを試験試料とし、コンクリートくずは、一定の粒径で破砕処理されたものを試験試料として各種試験に用いた。

(1) 「再生資材」の物理特性

1) 「再生土砂」の物理特性

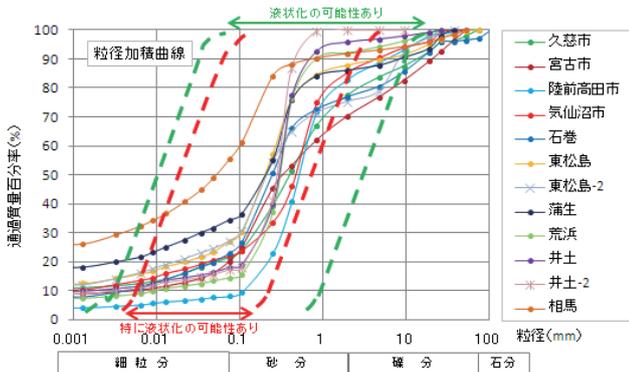
「再生土砂」は、11カ所すべての地点でサンプリングを行い、計 12 試料について物理試験を行い、そのすべてにおいて、最大粒径 100mm 以下相当となり、表-5 に示す要求品質を満足することが確認された。粒度組成は、砂分が 36.3 ~ 77.7% の範囲にあり、大半の試料が細粒分混じり砂 [SF] に分類されることが確認された (表-6、図-5)。

また、強度 (コーン指数) においては、仙台市内の仮置場で採取した 1 試料を代表に試験を行った結果、貫入不能の結果が得られ、要求品質を満足することが確認された (表-6)。

本検討において確認した結果を「建設発生土利用技術マニュアル」の土質区分基準と照らし合わせると、「第 2b 種」に相当し、宅地造成にそのまま使用が可能な強度であるといえる⁹⁾。一方、「再生土砂」の粒径加積曲線を見ると、ほとんどの試料が粒度分布は砂分に偏りがある「粒度分布の悪い (粒径幅の狭い) 砂質土」であり、締固め管理に留意が必要で、かつ、液状化を生じやすい材料であるといえる。

表-6 「再生土砂」の物理試験結果

項目	内容	試験結果
土粒子密度	ρ_s (g/cm ³)	2.595 ~ 2.754
含水比	W _n (%)	4.1 ~ 37.3
最大粒径	D _{max} (mm)	9.5 ~ 106
粒度組成	礫分 (2mm ~) (%)	0.0 ~ 29.6
	砂分 (74 μ m ~ 2mm) (%)	36.3 ~ 77.7
	細粒分 (~0.074mm) (%)	8.1 ~ 55.5
コーン指数	q _c (kN/m ²)	貫入不能



※図中破線：液状化の可能性のある土の粒度範囲¹⁰⁾

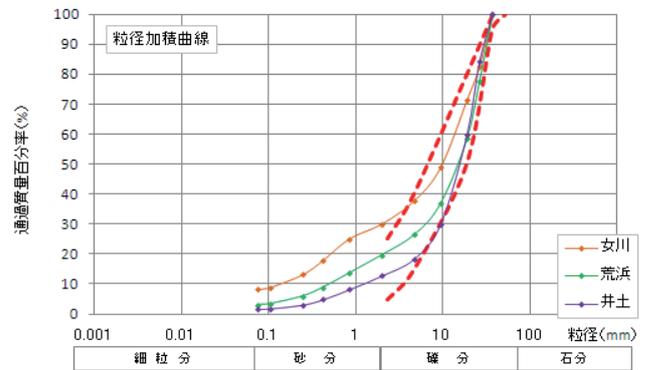
図-5 「再生土砂」の粒径加積曲線

2) 「再生コンクリートくず」の物理特性

「再生コンクリートくず」は、仮置場において破砕・粒度調整が行われている 3カ所でサンプリングを行い、その結果、各仮置場の試料に大きな差はなく、盛土材料の要求品質に対しても満足することが確認された (表-7、図-6)。

表-7 「再生コンクリートくず」の物理試験結果

項目	内容	試験結果
最大粒径	D _{max} (mm)	53 ~ 106
粒度組成	石分 (75mm ~) (%)	0.0 ~ 4.1
	礫分 (2mm ~ 75mm) (%)	76.6 ~ 87.7
	砂分 (74 μ m ~ 2mm) (%)	10.6 ~ 17.0
	細粒分 (~0.074mm) (%)	1.7 ~ 6.4



※図中破線：RC40 の粒度範囲¹¹⁾

図-6 「再生コンクリートくず」の粒径加積曲線

(2) 「再生土砂」の化学特性

1) 室内試験による結果

サンプリングした津波堆積物のうち、宮城県内 3カ所で採取した 5 試料を試験室に持ち帰り、所定の試験・分析を行った。その結果、塩化物含有量 (Cl⁻) は 0.64 ~ 1.23mg/g で、5 試料のうち 1 試料で表-5 に示す要求品質を超える値が確認され、pH は 3.5 ~ 8.2 で、内 1 試料で強い酸性を示し要求品質を満足しない結果が確認された。また、電気伝導度は 73 ~ 120mS/m で、すべての試料で要求品質を満足することが確認された (表-8)。

表-8 「再生土砂」の化学試験結果

項目	試験結果	要求品質
塩化物含有量	0.20 ~ 1.23	1mg/g 以下
電気伝導度	73 ~ 120	200mS/m 以下
水素イオン濃度 (pH)	3.5 ~ 8.2	6 以上 9 以下

2) 現地測定による結果

電気伝導度と水素イオン濃度 (pH) について、簡易計測機を用いて現地測定を実施した。現地測定は、岩手県、宮城県、福島県内の 11 カ所の仮置場を対象に、ヤードに集積された津波堆積物を対象に計測を行った。

簡易測定による結果では、電気伝導度、水素イオン濃度 (pH) とともに半数程度は要求品質を満足するものの、残りが要求品質を満足しない結果となった (図-7、図-8)。

とくに、水素イオン濃度 (pH) については、全体的に酸性に偏りがあり、pH3 ~ 4 の強酸性を示すものも確認された。



図-9 津波堆積物からのオイル等の染み出し

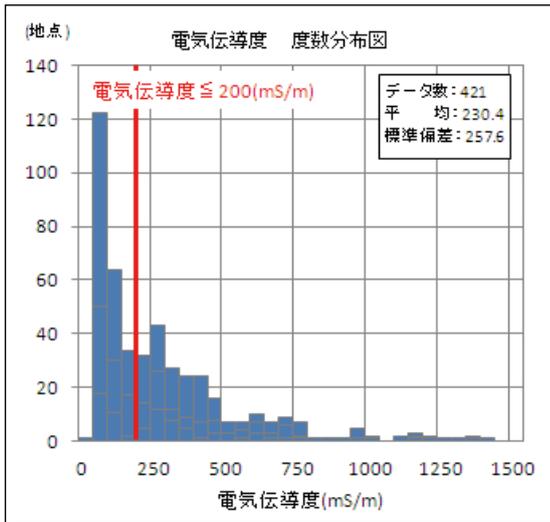


図-7 電気伝導度の簡易測定結果

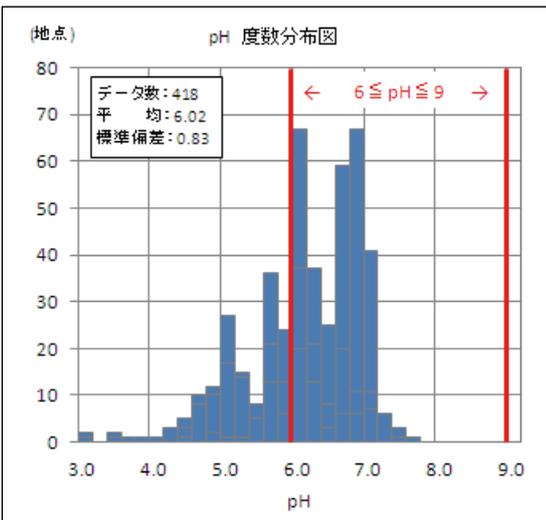


図-8 水素イオン濃度 (pH) の簡易測定結果

3) 要求品質を超過する原因

要求品質を超過するものは、津波により流出した石油等の化学製品や海底に堆積するパイライト等が津波堆積物に付着した状態で陸上に打ち上げられ、分別されることなく災害廃物の仮置場へ集積されたことが原因と思われる (図-9)。

(3) 「再生土砂」の吸水膨張特性

「再生土砂」の膨張比は、仙台市内の仮置場で採取した 5 試料を代表に試験を行った結果、- 0.9 ~ - 0.02% となり表-5 に示す要求品質を満足することが確認された (表-9)。

表-9 「再生土砂」の吸水膨張試験 (CBR 試験) 結果

地点	締固め度	膨張比 (%)
仙台市 (荒浜)	85%	- 0.019
	95%	- 0.446
仙台市 (井土)	85%	- 0.026
		- 0.024
	95%	- 0.361
		- 0.914
膨張比の要求品質		3.0

「再生土砂」の強熱減量試験を行った結果、強熱減量は 4% ~ 10% であることが確認された (表-10)¹⁰⁾。

吸水膨張特性の評価の参考とすることを目的として強熱減量試験を実施したが、試験を実施した試料の強熱減量は 3.2 ~ 4.2% と採取した試料の中でも比較的少なく、有機物含有量と吸水膨張特性の関係性を確認することはできなかった。

表-10 「再生土砂」の強熱減量試験結果

県	地点	強熱減量 (%)
岩手県	久慈市	5.6
	宮古市	3.6
	陸前高田市	4.1
宮城県	気仙沼市	3.3
	石巻市	5.5
	東松島市	5.1 ~ 6.4
	仙台市 (蒲生)	10.1
	仙台市 (荒浜)	4.2
福島県	仙台市 (井土)	3.2 ~ 4.2
	相馬市	10.5

5. 「再生資材」の活用方針のまとめ

「再生資材」を盛土材料として活用する場合、盛土完成後の安定に関して留意すべき事項として、①吸水膨張による強度低下、②盛土材料の圧縮沈下による変形、および③化学的性質による土中構造物の腐食・劣化がある。

本検討において、盛土材料に関する既往の基準等、および、災害廃棄物に関する調査結果から「再生資材」の活用方針を以下のとおりとした。

(1) 吸水膨張による強度低下に関する品質

盛土材料が吸水膨張することにより、盛土の強度が低下することが考えられるため、ベントナイトや腐植土などの吸水膨張の大きい材料は用いることができない。また、有機物を多く含む場合は吸水膨張が大きくなる原因となる。そのため、木くず等の有機物が含まれていることを想定した「再生土砂」においては、盛土材料の品質として吸水膨張特性を確認し、所定の品質を満足する「再生土砂」を活用できることとした。

(2) 盛土材料の圧縮沈下による変形に関する品質

粘性土やスレーキングのおそれの強い材料を使用する場合には、盛土の圧縮沈下が起きることを想定した。そのため、これらを用いる場合には、安定処理や入念な締固めなどの対策を講じることが必要であることとした。

さらに、混合状態の災害廃棄物から分別した土砂には、木くず等の有機物が残存している可能性がある。盛土材料に有機物が含まれる場合、これらが腐敗することにより盛土の圧縮沈下の原因となることがある。そのため、過剰な有機物が残存している材料は、盛土材料として選定しないこととした。

なお、土中の有機物の腐敗による盛土材料の圧縮沈下は、土をよく締め固めることで、有機物が腐敗するには不利な条件となり、有害な変形を防止できる。

しかし、現時点での知見では、盛土材料に含まれる有機物量と沈下量の関係を定量的に評価することは困難であり、今後、盛土材料に含まれる有機物量と沈下量の関係を定量的に評価する方法の確立が望まれる。

(3) 化学的性質による構造物への影響を考慮した品質

盛土材料が、塩化物等を含有している場合や、酸性またはアルカリ性に偏っている場合は、土中構造物の腐食・劣化が生じやすくなる。そのため、津波等の影響により塩化物等の海成成分を含有していることを想定した「再生土砂」および「再生コンクリートくず」は、盛土材料の品質として、塩化物含有量、電気伝導度、および水素イオン濃度 (pH) を確認し、所定の品質を満足するものを活用できることとした。

6. おわりに

本検討では、災害廃棄物のうち津波堆積物とコンクリートくずを対象に、宅地造成における盛土材料としての活用方策の検討を実施し、盛土材料としての要求品質、および、「再生資材」を活用する際の留意事項等について検討し、「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」としてガイドラインとしてとりまとめた。

本検討においてとりまとめたガイドラインが、東日本大震災により発生した災害廃棄物の削減と、迅速な復興の一助となればと考えている。

謝辞：本稿は国土交通省都市局が実施した「迅速な復旧・復興に向けたがれきの活用方策等に関する検討」業務成果の一部を紹介したものです。本稿の掲載および情報の使用についてご許可いただいた国土交通省都市局関係者各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 岩手県：岩手県災害廃棄物処理詳細計画、2011.8.30
- 2) 宮城県：宮城県災害廃棄物処理実行計画（第1次案）－災害廃棄物処理の基本的考え方－、2011.7
- 3) 環境省：沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況（H24.2.27時点）、2012.2.27
- 4) 宮城県：宮城県ホームページ < <http://www.pref.miyagi.jp/> >、2011.4.24 更新、2011.11.20 参照
- 5) 一般社団法人 廃棄物資源循環学会：津波堆積物処理指針（案）、2011.7.5
- 6) 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）、2011.5.16
- 7) ぎょうせい：宅地防災マニュアルの解説（第二次改定版）、2007.12.5
- 8) 総合的建設残土対策研究会：総合的建設残土対策に関する報告書、1990.6
- 9) 独立行政法人 土木研究所：建設発生土利用技術マニュアル第3版、2004.9.1
- 10) 社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、2007.9
- 11) 独立行政法人 都市再生機構：基盤整備工事共通仕様書・施工関係基準、2004.7