

東北地方整備局 河川部 河川工事課長補佐 二瓶 昭弘
河川工事課海岸係長 関 浩明

仙台湾南部海岸は、平成２３年３月１１日に発生した東日本大震災による大津波に襲われ、海岸堤防は決壊及び流失するなどの甚大な被害に見舞われた。国土交通省では宮城県知事から要請（平成２３年３月３０日）を受けた延長１７．８kmの権限代行区間と、既直轄区間と合わせて約３０kmの海岸堤防復旧を概ね５年で完成させるべく工事を進めている。これら堤防の復旧にあたっては、盛土材約１３０万 m^3 、碎石約１４万 m^3 など大量の資材が必要となり、その調達が課題だった。

国土交通省では、仙台市からの働きかけを受けて平成 23 年度末から震災がれきの有効活用について検討を実施し、平成 24 年 7 月から堤防盛土材として本格的な活用を開始した。これまで仙台市をはじめ名取市、山元町で計約 2 4 万 m^3 ※の震災がれきが海岸堤防の復旧に活用されている。

仙台市

南蒲生浄化センター

仙台東IC

仙台碧林JCT

今副IC

真山運河

名取市

名取IC

仙台空港

仙台空港IC

県南浄化センター

岩沼市

岩沼IC

名耳浄化センター

亘理町

亘理IC

山元町

山元IC

山元町

仙台電港

七北田川

仙台海岸深沼地区
[権限代行区間]

深沼漁港海岸
荒浜地区

関上漁港海岸
関上地区

名取海岸関上・北釜地区
[権限代行区間]

岩沼海岸相の釜地区
[権限代行区間]

岩沼海岸納屋地区
[既直轄区間]
(蒲崎工区)

荒浜漁港海岸
荒浜・鳥の海地区

亘理海岸 吉田浜地区
(農地海岸)

亘理海岸 須賀地区
(農地海岸)

山元海岸山元地区
[既直轄区間]
(笠野工区・中浜工区)

磯浜漁港海岸
磯浜地区

凡例

- ↕: 既直轄区間
- ↔: 権限代行区間
- : 代表的な重要施設
- 〃: 浸水域

図 1 仙台湾南部海岸の概要

2. 震災がれき活用要件

県や市では、環境省の助言¹に基づき、下記①～⑥の要件を満たす場合に再生材として活用を図ることができるとしている。ここで、②は土壤汚染対策施行規則別表第三及び第四に掲げる特定有害物質の種類に応じた要件を満たすことを、③は飛散流出・水質汚濁・ガスの発生などを生じるおそれがないことを意味し、①から⑤にある処置・処理については県市が、確認については発生自治体（市町）にて行っている。

- ① 災害廃棄物を分別し、又は中間処理したものであること。
- ② 他の再生資材と同様に、有害物質を含まないものであること。
- ③ 他の再生資材と同様に、生活環境保全上の支障を生じるおそれがないこと。
- ④ 復旧復興のための公共工事において再生資材として確実に活用されること。
- ⑤ ④の公共工事を行うものが定める構造・耐力上の安全性等の構造物が求める品質を満たしていること。
- ⑥ ④の公共工事を行う者によって、災害廃棄物由来の再生資材の種類・用途・活用場所等が記録・保存されること。

1 「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について」（H24.5.26 付環廃対発第 120525001 号・環廃産発第 120525001 号廃棄物行政主管部（局）長あて産業廃棄物課長通知）

3. 震災がれきの活用方法

海岸堤防の復旧にあたっては、震災がれきの内、津波堆積土とコンクリート殻が盛土材として活用できる可能性がある。前者は、細かい土粒子を多く含むことから所定の品質や施工性の観点からそのままの活用には問題がある。そこで、後者との混合を実施し活用を図るものと、後者については骨材化し被覆ブロックの裏込材等への活用について右のフローのとおり検討を行い、活用を図っている。

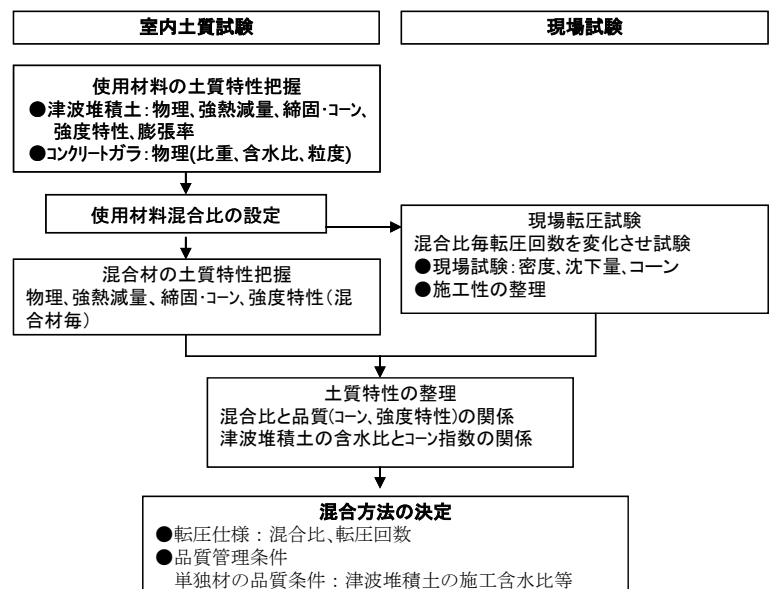


図2 活用方法検討フロー

なお、混合方法については活用土量の規模、特性と経済性や効率を勘案しいくつかの手法で実施している。

【堤防基本構造】

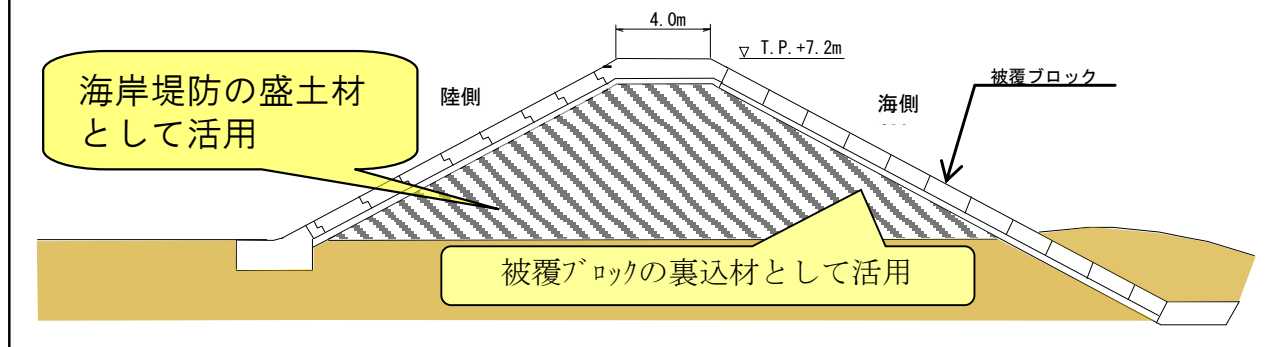


図3 津波堆積土活用模式図

活用した自治体及び施工箇所は下記に示す3市町で、以下に活用事例を記す。

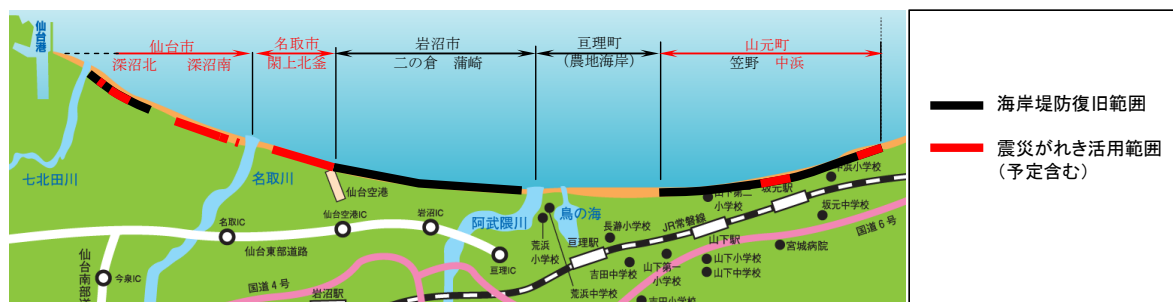


図4 活用箇所位置図

- ・活用にあたっては、所定の品質として下記を満足するものとした。
 - ① 締固め度 90%以上ですべり安定の計画安全率（地震時 $F_{sa} \geq 1.00$ ）を満足する土質（ C, ϕ ）
 - ② 施工性としてブルドーザーによるトラフィカビリティ（ $q_c = 800 \text{ kN/m}^2$ ）を確保。

1) 仙台市（深沼工区）：16.4万 m^3

予備調査として含水比が高い津波堆積土に碎石を3割混入し現地転圧試験を行った結果施工性が確保されなかったことから、コンクリート殻比率を3割を下限とし、細粒分と含水比が最も高い試料（ $W_{opt} + 4 \sim 5\%$ ）により重量混合比7：3、6：4、5：5にて品質・施工性の確認を行った上で現地試験を実施した。その結果、4回転圧で全ての混合比とも平均締固度は90%以上を満足するが、現場密度は殻の混入状況等でばらつき、満足しない点も確認された。これより、殻混入量が最も少ない津波堆積土（70%）：

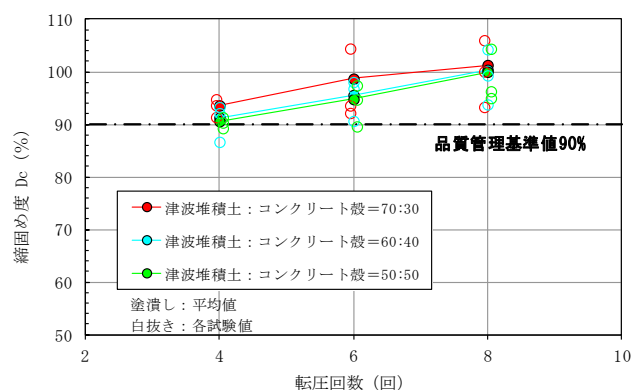


図5 現地転圧試験結果（締固め度）

コンクリート殻（30％）と決定したものである。なお、4 回転圧時に過転圧前の現象が確認されたことから、 $W_{opt}+5\%$ とし含水比管理を行うものとし、また、津波堆積土の不均質さも懸念されるため、1 回/月の材料特性把握試験を実施し各月材料の品質管理値を作成し、施工管理を行うものとした。また、実施工では、生産量が多いことから、写真にある混合機にて混合を行い生産している。



写真1 震災がれき混合状況

2) 名取市（関上北釜工区）：3. 4 万 m^3

仙台市の津波堆積土の強熱減量は5～6％と盛土実績のある関東ロームの値に近いが、名取市のそれは最大11％と高く、強熱減量を抑えるため購入土を混合するものとした。仙台市の例を参考に、重量混合比を体積混合比に換算し、津波堆積土（30％）：コンクリート殻（10％）：購入土（60％）に決定し、3 種混合であるため、実施工は各材料を層状に巻きだしスタビライザー混合として生産した。

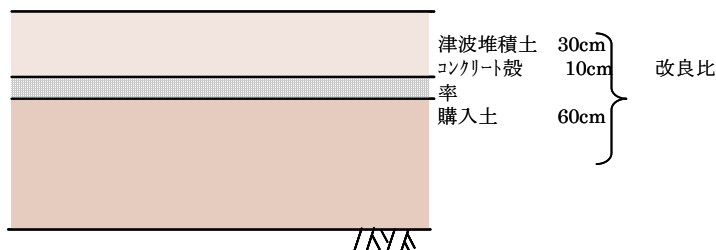


図6 混合材料巻きだしイメージ図



3) 山元町（中浜工区）：5. 1 万 m^3

山元町の津波堆積土は、石灰を混入した改良土であり、混合処理せず築堤材への活用が可能との結果を得たことから、一般的な盛土作業により施工を行うこととした。しかし、最適含水比（ W_{opt} ）より湿潤側になると泥濘化する可能性があり急激に施工性が劣ることとなる。このため、 $W_{opt}+4\%$ とし含水比管理を行うとともに、石灰混入量の不均質さも懸念されるため、1 回/月

の材料特性把握試験を実施し、各月材料の品質管理値を設定し管理している。

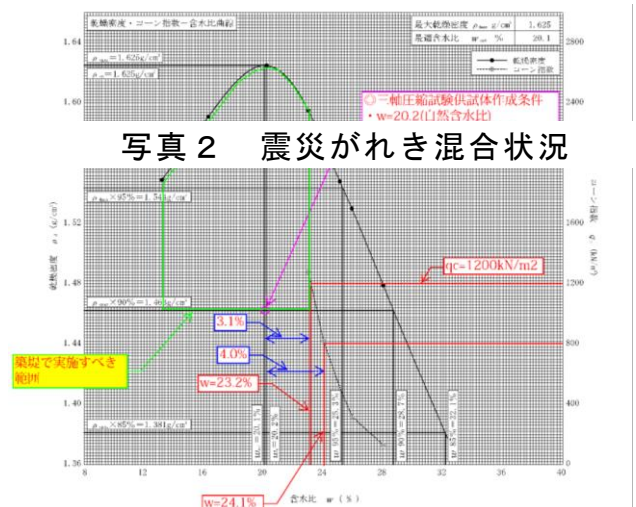


図7 乾燥密度・コン指数—含水比曲線

4. 津波堆積土活用上の課題

【津波堆積土の特徴】

① 津波堆積土には多数の有機物・異物が混入されている。

- ・ 木屑等が多く含有 ⇒ 微細有機物が含まれている。

※微細有機物：シルト・粘土に付着しやすい数 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下で、易分解性有機物を多く含む。

→ フルイ等による除去後も易分解性の有機物が残る。

② 易分解性有機物の分解に伴いガスが発生

- ・ 易分解性有機物は、加水により分解されその分子構造が小さくなり、最終的に無機化。
- ・ 分解の過程でガスの発生や減容化が生じる。

【課題】

土構造物へ利用を図る上で、有機物の分解等から盛土の減容化やガスが発生

- ・ 構造物の性能低下
- ・ 生活環境への影響

【活用時の留意点】

- ・ 地下水や雨水の影響を受ける場合は、影響を確認し必要に応じて対策を要する。
- ・ 環境省通知（H24.5.25）では、「ガスの発生等のおそれがないこと」と記載があり、当該有機物に対しての対策手法の一例は示されているものの、震災がれき泥がガスを発生するかについて判定する手法は示されていない。



写真2 ガス発生状況

- ・ 易分解性の有機物は低温で燃焼され減容し易い性質（目安 IL300； 300°C での燃焼量）。

・一方、難分解性の有機物は高温で燃焼され減容し易い性質（目安 IL750 : 750℃での燃焼量）。

上記の性質からガス発生判定方法として、IL 比（強熱減量比）

（IL300/IL750）（燃焼温度）の特性を利用することでガス発生リスクの判定を容易にできるものとする。

（参考）下図の安定した泥の IL0.3～0.4 以下の水準でガス発生リスクは低い。

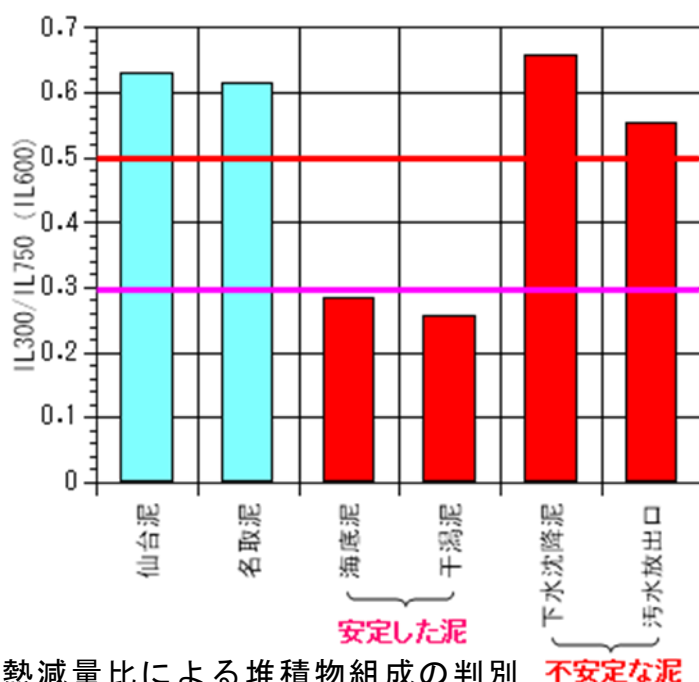


図8 強熱減量比による堆積物組成の判別

5. おわりに

今回の海岸堤防復旧における津波堆積土活用を通じて感じたこととして以下の2点を述べたい。

1点目は、がれき処理は発災後3箇年での終了を目指し、一方復興工事は発災後5箇年での完成を目途に実施しており、限られた時間内でいかに早くマッチングと共に利用者側の求める性能を把握できるかが大切と感じた。特に利用者側の必要性能は処理を図る上でも必要以上の処理を行わずに時間とコストの両面で効率化に繋がることから特に重要と感じられた。

2点目は、仙台湾の海岸工事における資材調達は市街地を経て山から海へ運ばねばならず、安定供給・運搬時のトラブルが課題となりやすいため、海岸の現場に隣接したのがれき処理場から資材調達することは有利性が高いと感じた。

今回の震災がれきの活用にあたって、仙台市、名取市、山元町、宮城県および広島大学大学院日比野准教授など多くの皆様にご協力をいただいたことに感謝します。

おわりに、地域との連携調整により震災がれきが有効に活用され、復興が進むことを切に願う。

- 参考文献： ①不安定な有機物を含んだガレキ泥の再資源化手法の確立
広島大学大学院 准教授 日比野 忠史
- ②海岸堤防復旧工事での盛土材調達の調達の取組み
国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所 海岸課

港湾施設の災害復旧と震災がれきの活用

東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所前任建設管理官 青木伸之
(前 東北地方整備局港湾空港部港湾事業企画課専門官)

1.はじめに

東日本大震災における災害廃棄物の発生量は岩手県・宮城県・福島県の3県合計で約2,600万トンと推定されている。これらのがれきは主に津波によって発生したものであり、これまでの阪神・淡路大震災や新潟県中越地震等による震災がれきと違い、沿岸部に集中している。これらのうち、津波によってもたらされた津波堆積土砂が推定で約1,000万トンあり、この活用も課題となっている。

災害廃棄物をリサイクルによって建設資材として活用することは、結果的に災害廃棄物の最終処分全体量を減らすことになり、公共工事において積極的な活用が望まれている。特に、沿岸部における災害復旧工事で可能な限り活用していくことで、処分量の削減を図ることが可能となることから、港湾の災害復旧工事における活用方策について検討した。

2.民間技術の公募

2.1 公募の概要と技術の選定

これらの課題に対し、港湾空港部では民間にどういった活用技術があるのか、それらが港湾工事で活用可能なかを検討するため、震災がれきを活用する民間技術の公募を行った。公募の期間は24年6月19日から7月5日までの17日間で、24の企業・グループから36件の応募があったほか、本コンソーシアムからも多数の技術提案があった。

これらの技術の中から、港湾工事での活用が考えられるものについて選定を行い、20技術を選定した。現在行われている災害復旧工事においては、被災した防波堤や岸壁の復旧が多いため、材料となるコンクリートブロックの製作やケーソン中詰材への活用が考えられることから、活用する震災がれきはコンクリートがらと津波堆積土砂の2つとし、表-1のとおり分類した。

表-1 港湾工事で考えられる震災がれきの活用方法

活用する資材	活用先	活用方法	課題
コンクリートがら	被覆・消波・根固ブロックの製作等	コンクリート用骨材として活用	強度の確保・重量の確保
津波堆積土砂	ケーソンの中詰材等	分級・重量調整の上、中詰材として活用	重量の確保・海洋環境への配慮

選定にあたっては、港湾工事での適用の可否、施工実績の有無、実施にあたっての課題の有無を評価した。また、機材の設置・運転が大がかりなものを用いる技術等、港湾工事のロットを考慮して選定を見送ったものもある。なお、これら選定を見送った技術についても、港湾工事以外での活用が考えられるものもあることから、提案者に公表の了承を得たものについては全ての技術を港湾空港部ホームページ上で公表した。

2.2 実証実験の実施

今回の技術公募案件の中で、根固ブロック等の無筋コンクリートブロックの製作を行う技術の中から3件を抽出し、当局が実験フィールドを提供して実証実験を行っている。以下に既に成果が出ている相馬港で行った実証実験の結果を示す。

2.2.1 震災コンクリートがら等と海水練りコンクリートを使用した港湾構造物築造技術（提案者：(株)大林組、東北大学、東京工業大学）

相馬港本港地区防波堤(沖)(災害復旧)消波外工事のフィールドを提供し、図-1の方法でブロックを製作した。

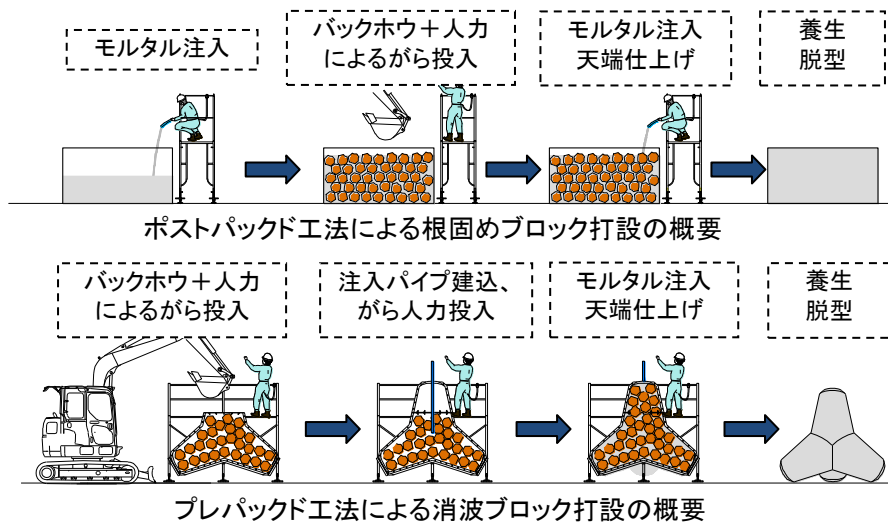


図-1 実験用ブロック製作方法

表-2 に実験ケースと結果を示す。25t 消波ブロック1基の製造で約14tのコンクリートがら（コンクリート1m³あたり1.4tのがら）を活用でき、有効利用が図れるほか、圧縮強度は設計基準強度を十分に上回っていた。真水練りに比べ海水練りのほうが、各材齢とも圧縮強度が高く、特に材齢7日での差が顕著であった。

プレパッキング供試体はコア供試体よりも圧縮強度が高かった。これはコア供試体の場合、コア径に対してがらが大きいため、コアに占めるがらの割合や位置が影響していると考えられる。

出来ばえについては図-2のとおり、海水・真水を問わずプレパッキング工法で施工したブロックにはほとんどアバタは見られず、ひび割れも発生していない。

表-2 実験ケースと試験結果

構造物	打設方法	練混ぜ水	設計基準強度	がら寸法	製作個数	数量(m3)	圧縮強度(N/mm2)	
							7 日	28 日
消波ブロック 25t 型	プレパックド	真水	モルタル	300mm	1	5	16.5	24.6
		海水	40N/mm2		1	5	22.4	29.9
	コンクリート (比較用)	海水	18N/mm2	普通骨材 25mm	1	10	27.7	39.3
根固ブロック 40t 型	ポストパックド	真水	モルタル	300mm	1	9	13.8	17.8
		海水	40N/mm2		1	9	17.7	26.0
(比較用)ケーソン モデル	コンクリート	真水	24N/mm2	40mm	1	6.6	19.9	30.1
		海水			1	6.6	26.8	34.0
				普通骨材 25mm	1	6.6	33.4	38.9



図-2 モルタル注入の様子と完成した消波ブロック

2.2.2 八戸港・宮古港での実証実験

八戸港においては(株)奥村組による「コンクリート廃材を原料として現地で再生コンクリートを製造し、港湾建設資材として再生する地産・地消型技術(リ・バースコンクリート)」、宮古港においては東洋建設(株)・東洋大学・九州大学による「コンクリート殻と充填コンクリートからなるリサイクルコンクリート」の実証実験を行い、いずれも再生コンクリートの圧縮強度等に良好な結果が出ている。相馬港をはじめ、これらの実証実験実施の際には報道発表者向けの見学会を併せて行い、震災がれきの有効活用についてPRすることができた。実証実験見学会の様子を図-3に示す。



図・3 報道関係者向け見学会の様子（宮古港）

3.まとめ

港湾における震災がれきの活用は、沿岸域のがれき処分量削減に寄与する。

例えば、八戸港北防波堤災害復旧に伴うケーソンの中詰に、八戸市の津波堆積土砂全量を活用しており、結果として八戸市で最終処分すべき津波堆積土砂がなくなった。

特に、コンクリート等の資材が不足していることもあり、そのような場合は震災がれきの活用を中心として資材の調達を考えていく必要がある。

また、応募技術は施設の老朽化による再生に応用が可能であり、国土強靱化を踏まえた技術の活用について、更なる研究が必要である。

なお、今後の活用に向けての課題は以下のとおりである。

○コスト

実証実験では現地に既にあるがれきを使用しており、運搬費用がほぼゼロである。

活用にあたり、がれきの運搬費をどれだけ削減できるかがポイントとなる。

○マッチング

実際に得られるがれき由来の資材は、必要とする性能を満たさない場合が多い。

必要な性能を十分に把握した上で、がれき由来資材の性状、規格を把握する必要がある。

最後に、本コンソーシアムをはじめ、震災がれきの活用技術に応募頂いた企業各社及び震災がれきの実証実験にあたりご協力頂いた企業各社にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

がれき処理コンソーシアムの活動に感謝

佐々木 源 宮城県出納局次長（前 環境生活部次長）

●平成26年3月12日 最後のダンプトラック運搬が終了した。

気仙沼ブロックで「がれき」を焼却した飛灰を大和町にある最終処分場へ搬入する作業が遂に終わったのである。東日本大震災の発生から実に3年1日目であった。

宮城県内の各市町で発生した「災害廃棄物」は1,800万ト、その内県が受託した量は970万トにも及んだ。1万人もの尊い犠牲。仮橋も仮設住宅も進捗未しの頃。被災地の復旧は「がれき処理」から始まった。倒壊した建物・家屋、コンクリートの塊、異臭を放つ水産物、津波に打ち上げられた大量の砂礫と汚泥、船舶、なぎ倒された防潮林、立ち枯れた塩害木、絡みつく漁網、発火する混合廃棄物。瓦礫は産業活動そのもの、人々の生活・歴史・思い出がいっぱい詰まっていた。各市町が集積する一次仮置き場は160ヶ所を超えた。復旧・復興そして快適で安心な生活のためにも3年以内、平成26年3月末までの業務完了が至上命題となった。

宮城県はこれら市町の内、仙台市等を除く沿岸部12市町から委託を受け「災害廃棄物」いわゆる「がれき」の処理を行ってきた。国・市町と密に協議しながら、事業予算の確保・進行管理。平成23年9月の石巻ブロックから24年5月の気仙沼ブロックまで、8処理区をプロポーザル方式により特定業務共同企業体（JV）を選定し、契約、業務開始してきた。最終契約額合計3,700億円の空前の処理業務がスタートした。処理量は災害廃棄物642万ト、津波堆積物321万ト 合計963万ト。日本有数の建設企業やメーカーを代表とする共同企業体（JV）と契約締結した。懸命に業務を遂行して頂いた。敷地造成、処理プラント建設、搬入、分別、破碎、焼却、リサイクル、最終処分、環境モニタリング、地域振興、雇用、労働安全衛生等 JVの業務は多岐にわたっている。マネジメントに優れたゼネラルコントラクターの面目躍如といったところである。

●「がれき処理コンソーシアム」との連携は、まさに、処理業務と同時進行で行われてきた。産学官の連携として、私たち県環境サイドも、平成24年6月のコンソーシアム発足以来、2年間、全体会議・シンポジウムには積極的に参加してきた。また、試験材料提供と実証試験等についても、前向きに対応してきた。リサイクルに関しては、再生コンクリート碎石、分級土（再生土）と、焼却主灰がメインである。それぞれ、500万ト、200万ト、40万ト 計800万ト近く生成された。この内、再生コンクリート碎石については需要良好であるが、分級土も主灰も公共事業サイドはこれまで利用に慎重であった。重金属と放射線量の取扱いが課題、未知との遭遇であった。2013年6月「技術情報集」が発刊された。270ページもの大冊である。既存技術から発災直後の技術開発等の豊富な事例が紹介されている。平成25年1月に県環境生活部、平成25年12月に県土木部において各々「災害廃棄物由来の再生資材活用に関する受入れ基準」等を定め、施行している。直轄の「南部海岸」防潮堤工事や岩沼市「千年希望の丘」の試験施工などを始めとして、平成25年度末までに、各処理区では、漁港・公園の復旧、港湾埋立などにおいて、本格的に分級土や造粒固化の利用がなされている。また、「ふるい下」と呼ばれる不燃残渣物についても亘理町で「アップサイクルブロック」や気仙沼ブロックで「固化処理」により活用が始ま

ったが、これは「コンソ」の研究活動や過去4回の全体会議の提言に負うところが大きかった。コンソーシアム代表である久田真東北大学教授、国環研や大学等研究者、コアメンバー等参画企業である産業界からなる「がれきコンソ」と国・県・市町の「行政機関」とのアロケーションの賜物である。これまでの「コンソ」の活動に深く感謝する次第である。

●平成26年から県は「再生期」として本格的な復興段階に入る。膨大な盛土の一部にストック材を供給または活用していくことは、「がれき」のリサイクルを推進してきた環境サイドの責務である。全体会議を通して提言された復興資材としての「ストックヤード」については、至急協議した結果、市町公有地、県有地などを確保している。再生資材に含まれる有害物質のトレーサビリティ、モニタリング調査も重要である。

●将来の更なる「大規模な激甚災害」発生時において、がれきの再生処理、利用拡大の局面の際は、将来の「コンソ」代表は、今回の3.11東日本大震災の活動の記録を、広く発信すると同時に、以下のような視座に立って行動して欲しい。

国も県も市町村も、震災「がれき」に関しては「排出者」である。単に従来からの規制と指導だけの「許認可権者」になってはならない。

「排出者」としての震災廃棄物をリサイクルし有効利用する視点を忘れてはならないと思う。「2011.3.11あの時はこのように行動したのだ。」と「コンソ」としても行政側に呼びかけ続けて欲しい。

改めて申せば、キーワードは「マテリアル」への回帰・復権だと思う。土質・コンクリート環境分野の融合。ともすれば計画と施工に重きを置いてきた建設行政であるが、そもそも、どんなインフラストラクチャーの建設においても、「材料」という原点を忘れてしまっただけは元も子もなくなる。

今後も、産学官、市町村との連携は重要であり、「コンソ」の連携と発信には大いに期待している。県はその仲介役を今後も果たして行かなければならないと考えている。