

津波堆積土砂からの がれき分別と土砂の分級による 良質な建設材料の有効利用

(震災対応型技術開発公募 がれき処理対策:課題番号 第8号)



津波堆積物

津波堆積物



ごみ・がれき



分級砂

平成24年 10月 26日



東亜建設工業株式会社
TOA CORPORATION

(研究代表者 : 御手洗 義夫)

【概要】

課題名	『津波堆積土砂からのがれき分別と土砂の分級による良質な建設材料の有効利用』（課題番号：第8号）
実施期間	平成24年2月～平成24年9月末日（別途、実施工程表参照）
現場実証実験	宮城県気仙沼市にて平成24年5月中旬に実施
実施体制	東亜建設工業（技術研究開発センター，機電部，東北支店） （ご協力） ・宮城県気仙沼土木事務所……津波堆積物借用（350m ³ ） ・JX日鉱日石エネルギー……（実験用地借用）
産官学 テーマ推進委員会	平成24年4月，5月，8月に全体会議を開催 （産2名，官3名，学2名，社内2名の計9名で構成）

【 研究開発項目と目的 】

サイクロンや振動フルイなどの組み合わせ

自社開発, 実績有り

浚渫土砂からの礫, 砂, シルトの効率的な分級工法
(ソイルセパレータ・マルチ工法)

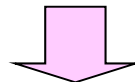
+

今回の実施範囲

がれきやごみの分別工程の追加



津波堆積土砂の分級、リサイクル技術の現地実証実験



目的: 津波堆積土砂の処分と有効利用技術の開発
良質な復興事業向けの建設用土質材料として適用

【 現場実証実験場所 】

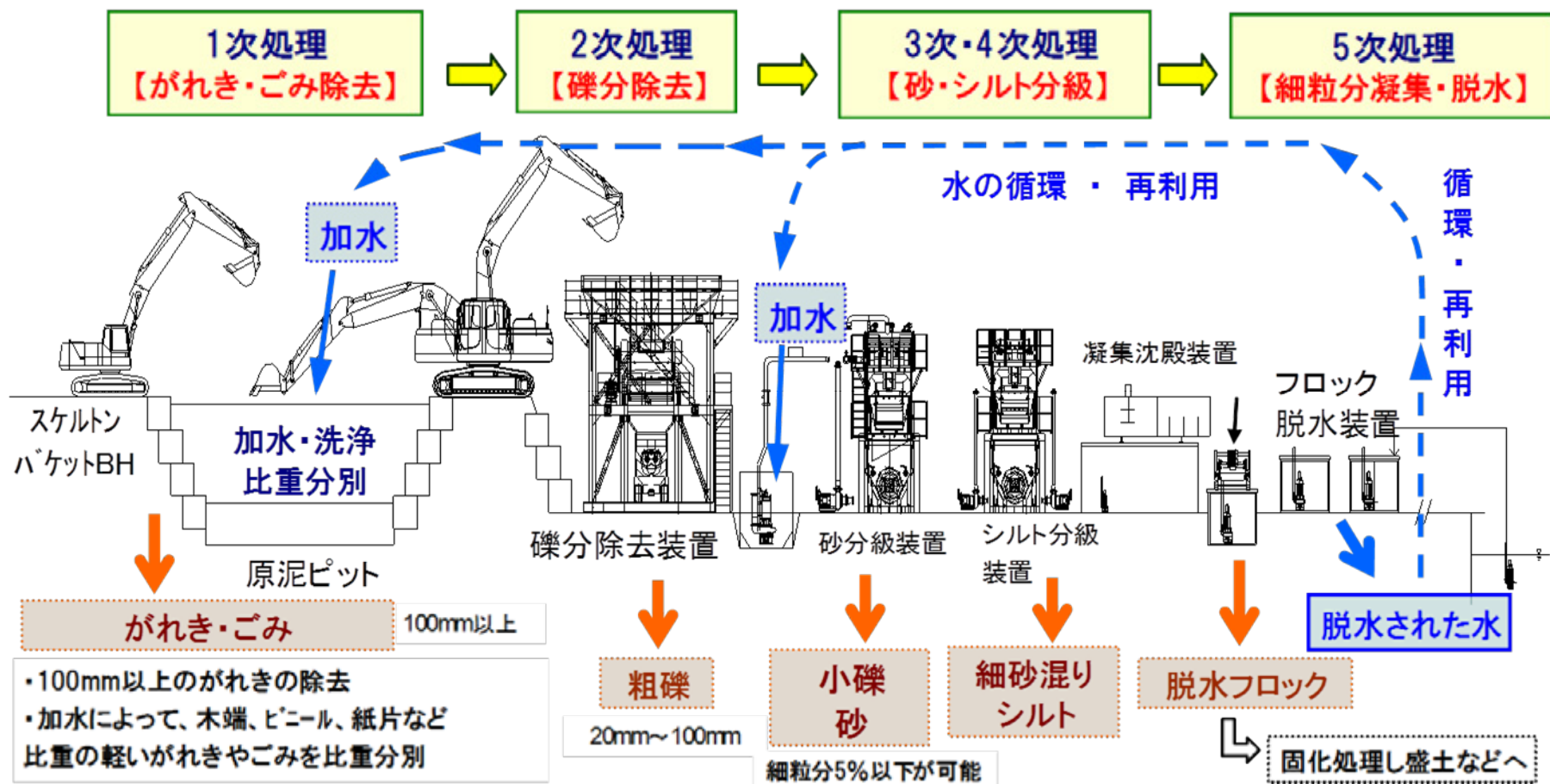
宮城県気仙沼市朝日町9 : JX日鉱日石エネルギー株式会社気仙沼油槽所内



【システムフロー】

ソイルセパレータ・マルチ工法を一部改良

→ ごみ・がれきの洗浄・比重分別を行う工程を追加



【本技術の特徴】

◎分級砂は、細粒分 $F_c=5\%$ 程度。

無筋コンクリート用細骨材にも十分に使用可能な良質なもの
($F_c=10\% \sim 15\%$ 程度に調整することも可能)。

◎がれきやごみは、加水・洗浄して比重選別とフルイ分けされる。

がれきやごみに付着した土砂が除去される。

その後の種別ごとの分類が容易であり、がれきのさらなる減容化が可能。

◎加水用の水は、システム全体で循環・再利用。

最終的な余水処理量が少ない。

◎細粒分泥水の凝集フロックも簡易脱水後、有効利用する

セメントなどで改質することで 盛土材料などに有効利用する

【処理システム全景】



気仙沼実証実験：20m³/hr級

別途、70～80m³/hr級を自社保有

【 機械システム構成と運転状況 】

【1次処理 がれき・障害物除去】



BH-0.7m³ スケルトンバケット仕様



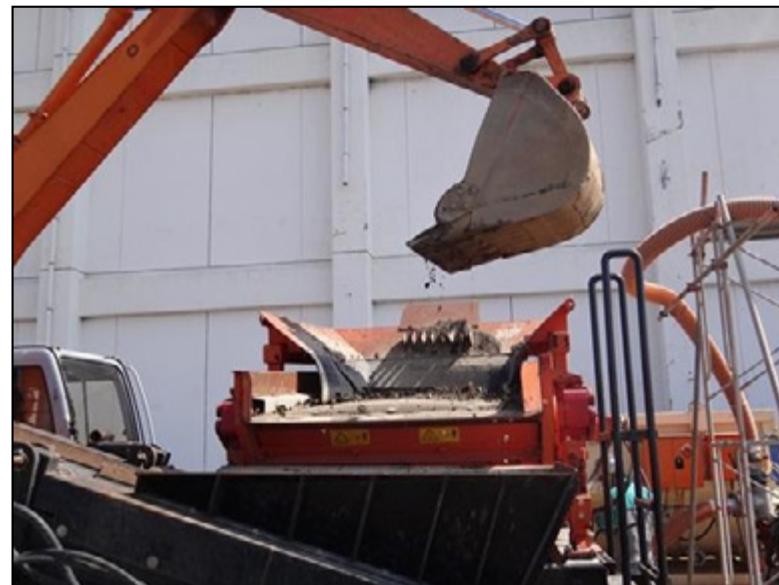
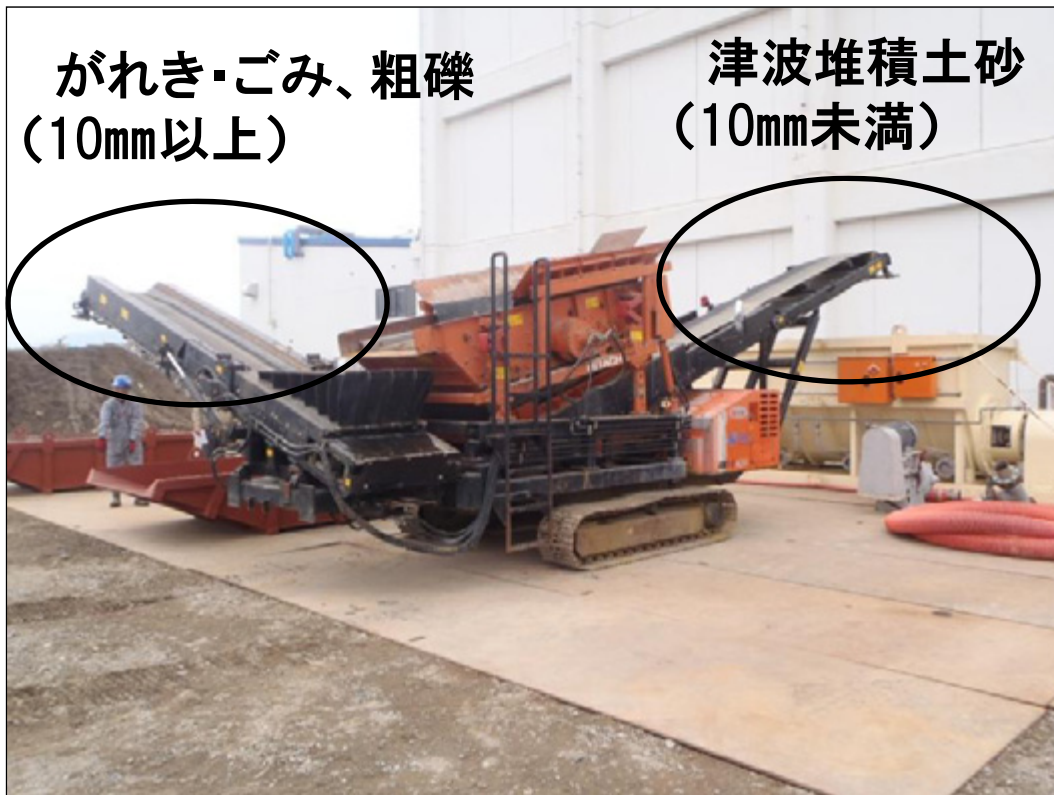
スケルトンメッシュ
100mm×150mm



【2次処理 礫分除去】

がれき・ごみ、粗礫
(10mm以上)

津波堆積土砂
(10mm未満)



スクリーンメッシュ
20mm

礫分除去装置
(自走式スクリーン)

【3次処理 加水、攪拌】



タンク内の樋に比重の軽いごみを越流させ、別途設けたメッシュにて除去・・・津波堆積物用の仕様

余水は、タンク内にリターンし、循環再利用する

【4次, 5次処理 砂分級, シルト分級】

分級点は、サイクロンやメッシュ寸法の変更で対応可能



砂分級装置

サイクロン + メッシュ(振動ふるい)



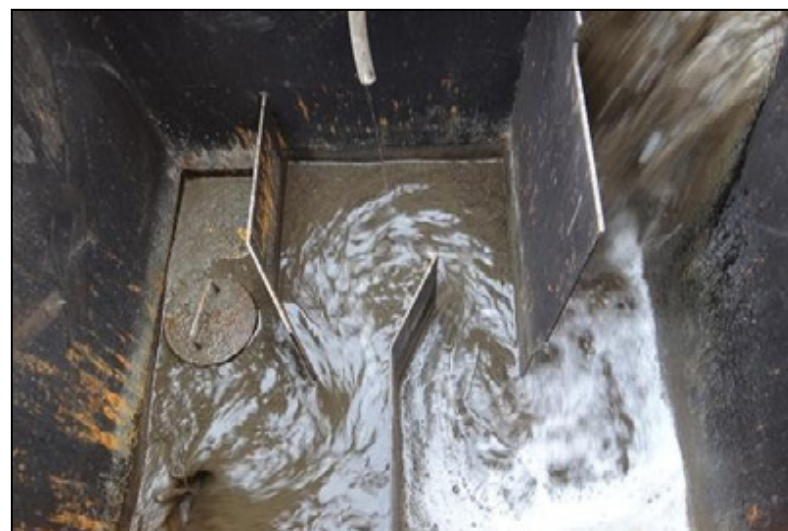
サイクロン: 分級点 $74 \mu\text{m}$

スクリーンメッシュ:
上段: $74 \mu\text{m}$, 下段: 3.5mm

【6次処理 細粒分凝集】



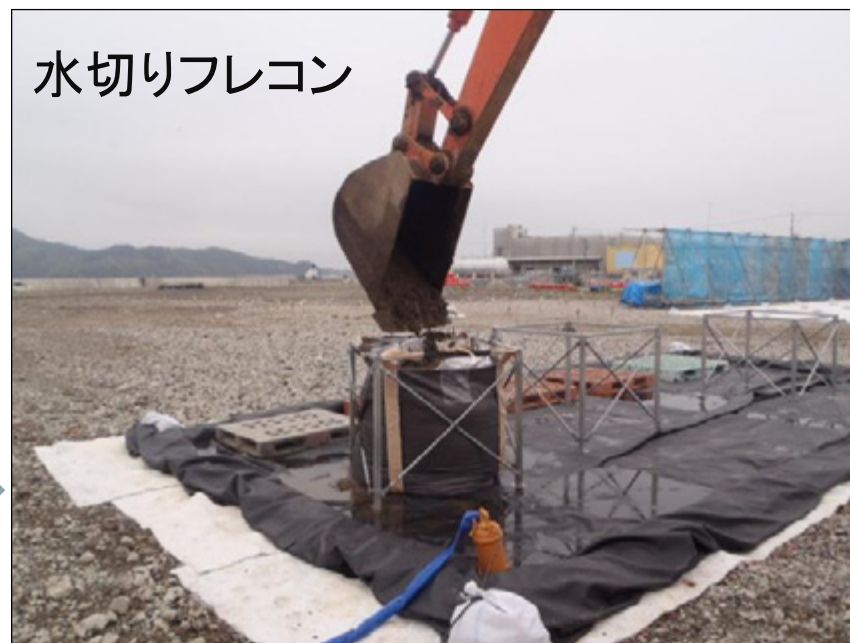
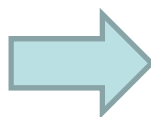
凝集装置



攪拌、水路通過状況

【7次処理 フロック回収、脱水】

フロック回収箱で自然脱水後、水切りフレコンにて、自重脱水。
→ 低コストな、簡易脱水方法を採用。余水は循環再利用。





津波堆積物(分別・分級前)



一次処理後のがれき・ごみ・礫
(スケルトンBH処理: 100mm以上)



分級礫(スクリーン処理、20~100mm)
がれき・ごみが若干混入

今回は**用地借用の都合上**, 1次および2次処理を乾式(無加水)で実施したため、ごみ・がれきや礫に土砂が付着している。

本来は1次処理段階から加水し、土砂洗浄やごみの洗浄と比重分別を行うことになる。



分級砂 (シルト・粘土5%以下)

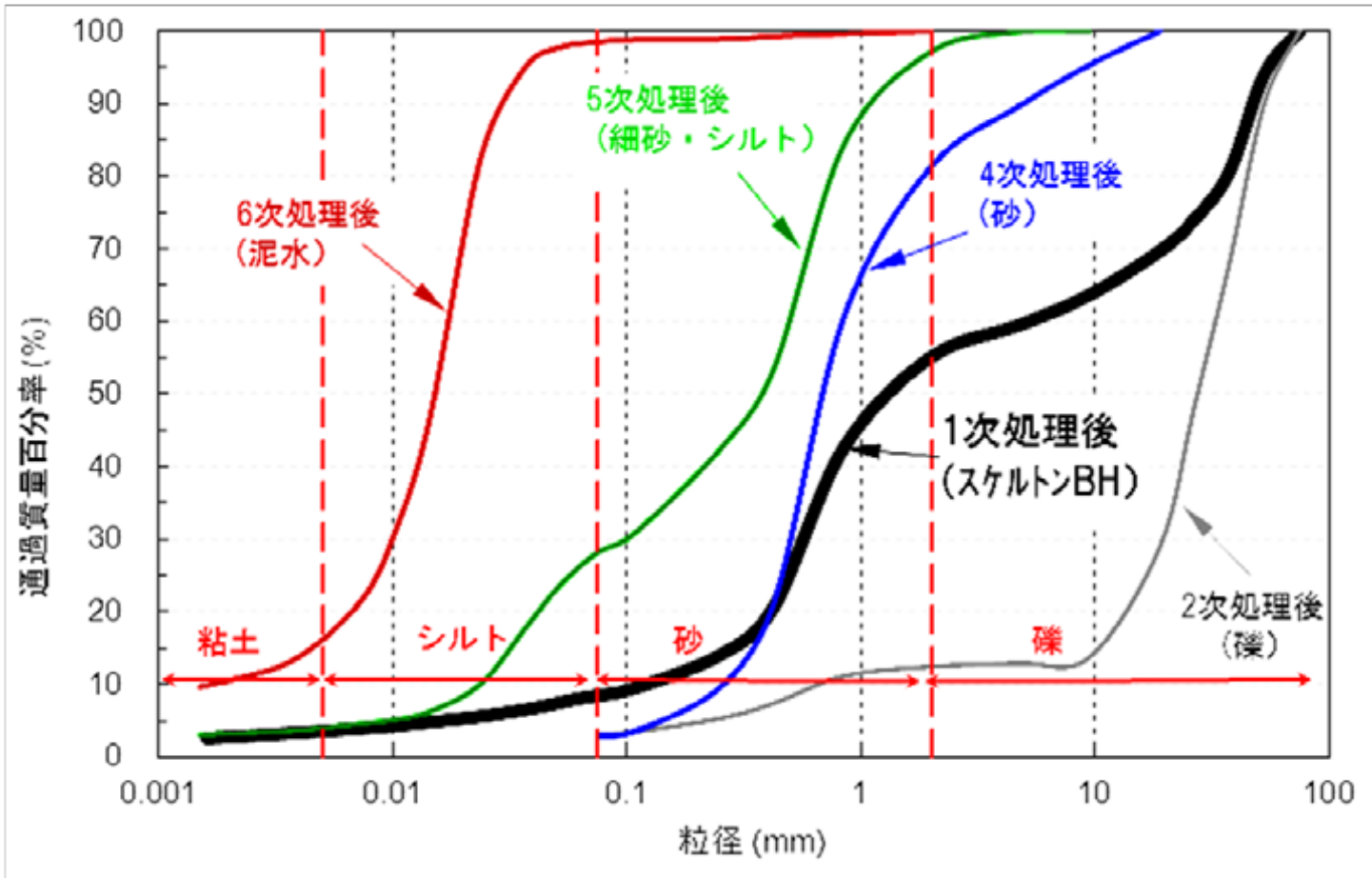


分級シルト(細砂・シルト)



凝集フロック
(簡易脱水後 $w=150\%$)

【処理前後の土砂の粒度分布】



分級砂(4次処理後) : 細粒分含有率3%~4%
分級シルト(5次処理後) : 粘土分含有率4%~6%

【分別・分級の結果】

処理前: 津波堆積物		350 (m ³)		
処理後		(m ³)	小計	区分
1次	がれき・ごみ	30	80	廃棄処分
2次	礫・がれき・ごみ	50		
3次	小礫・砂	200	350	有効利用
4次	細砂・シルト	50		
5次	脱水フロック	100		

処理前後で同量の有効利用が可能な土砂が得られている。

→ フロックの簡易脱水による効果

= 短時間で低レベル脱水し、土量が減少しない方法を採用

→ 低コスト, 有効利用可能な土量の確保

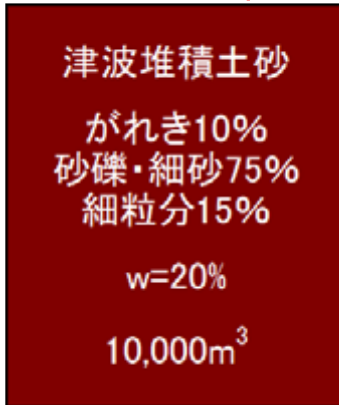
脱水フロックは、含水比150~200%程度(0.5日~1日程度自重脱水)

→ セメント固化(C=100~150kg/m³)で盛土材などで有効利用

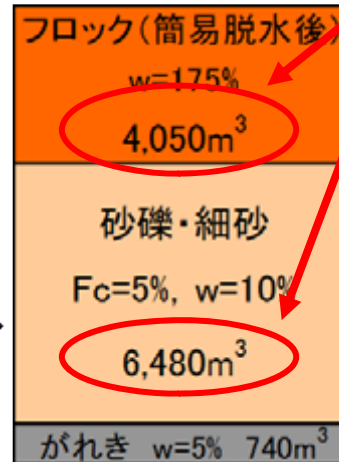
【処理前後の土量収支試算の例】

◆ケース1: 細粒分が少ない場合

津波堆積物 $10,000\text{m}^3$



がれき分別、分級、凝集・脱水後



有効利用 $10,530\text{m}^3$

改質後、建設材料として再利用

良質な建設材料として再利用

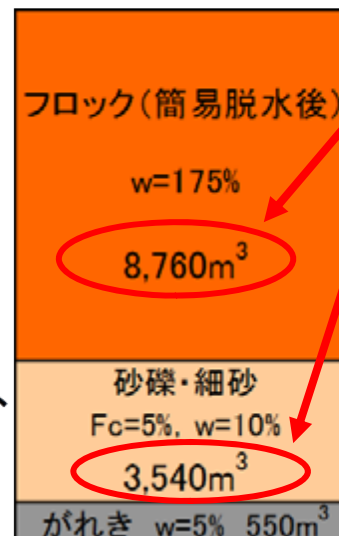
処分

◆ケース2: 細粒分が多い場合

津波堆積物 $10,000\text{m}^3$



がれき分別、分級、凝集・脱水後



有効利用 $12,300\text{m}^3$

改質後、建設材料として再利用

良質な建設材料として再利用

処分

【 処理後土砂の有効利用方法(案) 】

現在、復旧用の良質な土質資材が不足傾向にあり、
本技術で 処理後に得られた試料の有効利用方法は様々である。

1) 広域地盤沈下対策(地盤の嵩上げ)用、用地造成用

2) 被災した港湾構造物や海岸の復旧および補強用資材

- ・ケーソンなど構造物の中詰め材、海岸養浜用砂、地盤改良用砂
- ・護岸や防波堤など港湾構造物の構造強化用資材(コンクリートブロック用骨材)

3) 各種インフラ整備用資材

- ・道路・歩道や擁壁などの基盤材(砂礫)
- ・各種無筋コンクリート用製品用の骨材(砂礫)
- ・盛土や擁壁、排水路などのドレン材(砂礫)
- ・盛土の表層被覆材 (粘土分の凝集フロックの改質土)

コスト試算・比較結果

分級処理(直接工事費)の積算対象範囲:

設備設置・撤去, 分別・分級～凝集・簡易脱水まで

(場内・場外運搬, 試運転, メンテナンス費用は含まない)

【コスト比較】

ここでは、被災地において津波堆積土砂の分別処理で最も良く使用されている**トロンメルによる乾式分級(TRM)**と、当工法(**ソイルセパレータ・マルチ:SM**)の両者のコスト比較を行う。



トロンメルによる乾式分級(TRM)

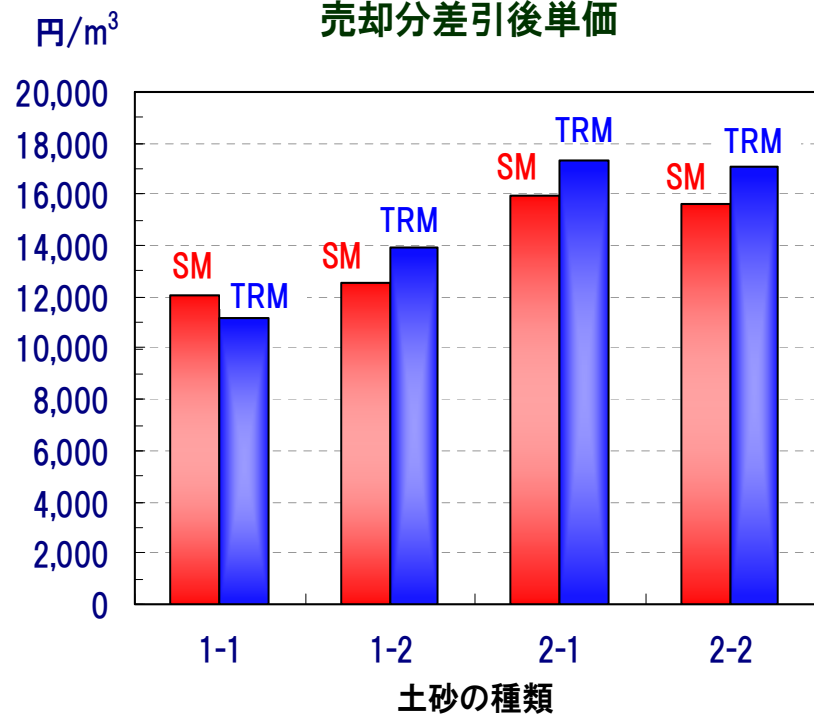
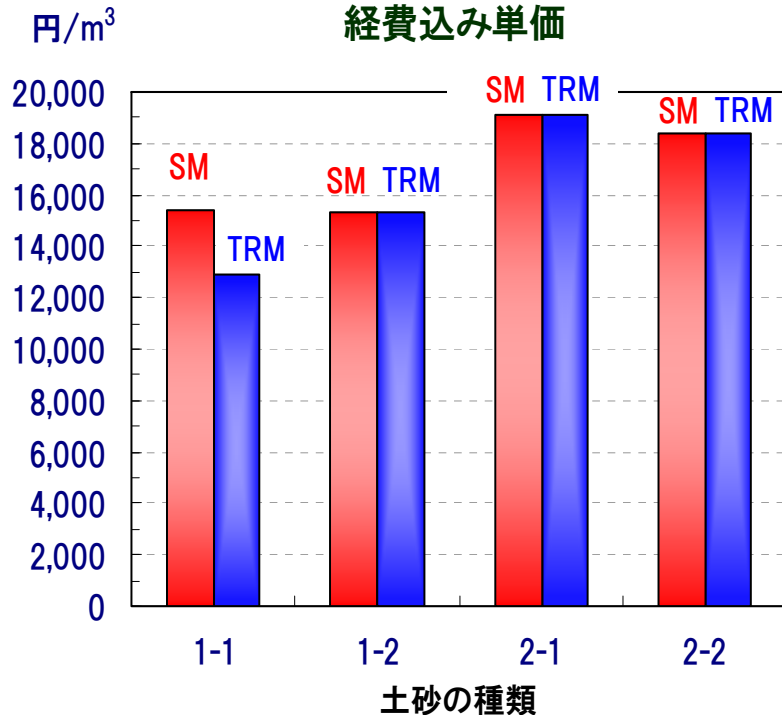
特徴

- 1) 乾式(加水なし)で分別・分級し、土砂を得る工法.
- 2) 被災地で最も多く使われている.
- 3) 分級後土砂には細粒分が含まれている. 一部は軟弱(要改質).
- 4) 分別されたごみ・がれきには土砂が大量に付着している.

【 比較条件 】

種類	ソイルセパレータ・マルチ(SM)による 湿式分別・分級	トロンメル(TRM)による 乾式分別・分級
イメージ		
(特徴)	<p>加水して分別・分級し、良質な砂礫を抽出 粘土分のフロックも固化処理して有効利用</p>	<p>乾式(加水なし)で分別・分級し、 細粒分を含んだ土砂を得る 被災地で最も多く使われている分級工法</p>
分級方法	<p>1次処理 : 加水＋スケルトンBH 2次～4次処理 : サイクロン, 振動フルイで分級 分級後の砂礫は細粒分含有率5%程度 (Fc5%砂礫) 5次処理 : 細粒分泥水の凝集沈殿, フロックの簡易脱水 (脱水フロックの含水比175%: 気仙沼実績)</p>	<p>1次処理 : スケルトンBH, 振動フルイ 2次処理 : トロンメル&風力選別機</p>

【コスト比較結果】



土砂1 : 土砂部分の細粒分16%~17% (1-1: がれき10%, 1-2: がれき25%)

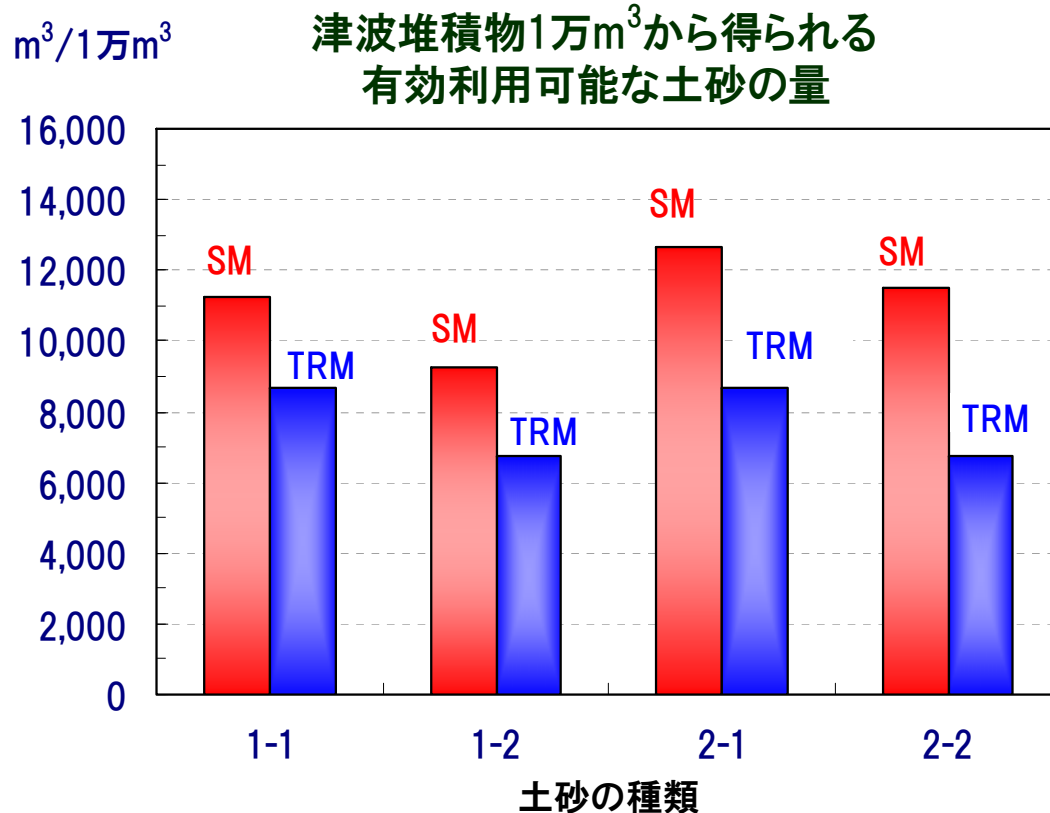
土砂2 : 土砂部分の細粒分39%~40% (2-1: がれき10%, 2-2: がれき25%)



経費込み単価 : SMとTRMのコスト差は殆どない(経費:直工の40%)。

売却分差引後単価 : 上記から分別・分級後の土砂を有価として差引いた単価
両者は同等のコストまたはSMが若干低コストとなる。

【得られる土砂量の比較】



分別・分級によって得られる有効利用可能な土砂量は、
SM > TRM (約1.3倍から1.7倍)。

さらにSMで得られる土砂は、ごみやがれき類が混入していない良質なものである

【 本技術の特徴のまとめ 】

- (1) 得られた砂礫は、細粒分が5%程度. 無筋コンクリート用骨材などにも用いることが出来る良質なもの(細粒分10%~15%程度に調整することも可能).
- (2) がれきやごみは、加水・洗浄して比重選別とフルイ分けされる.
がれき・ごみ類に付着した土砂は洗い流されているため、その後の分別・処理が容易で、さらなる減容化が可能.
- (3) 加水用水は、システム全体で循環・再利用するため、最終的な余水処理量が少ない.
- (4) 細粒分泥水の凝集フロックも簡易脱水後、セメントなどで改質することで、盛土材料などに有効利用することが可能.
- (5) 分別・分級によって得られる有効利用可能な土砂は、
処理前の津波堆積土砂と比較して、同程度またはそれより多くの量となる.
- (6) トロンメルによる乾式分級工法と比較して、同程度のコストで良質で多くの建設用土質材料を得ることが可能.
最終的な、がれき処理量も減容化できる.

※上記、(3)-(4)は特許申請中.

【津波堆積物処理の現状と事業化における課題】

環境省の最新の発表によると、平成24年7月末時点で、災害廃棄物の処理・処分は全体の約28%、津波堆積物の処理は約5%にとどまっている(処理を要する全津波堆積物は約960トン)。

現在、津波堆積物の殆どは、トロンメルにて処理されている。この場合、処理後の土砂にはがれきやごみが混合された状態となり、処理方針が決まらない原因ともなっている。

建設用土質材料の不足、処分場建設費用、処理完了までの時間などの問題に対しても、現状でよいかを考えるべきである。

また、がれき処理は環境省の予算で執行されており、国交省や一部を除く各自治体の事業で、津波堆積物の処理を進めることが難しい状況にある。

【 事業化対象自治体など(案) 】

	自治体名称	対象事業	窓口	備考
宮城県	宮城県	港湾・漁港・河川復旧事業	土木部 事業管理課	
	仙台市	集団移転事業		
	仙台市	仙台湾南部海岸堤防復旧事業 (国交省直轄)		国交省と実証試験済
	山元町			がれき処理(亘理・名取ブロック)施工中
	東松島市	UR高台移転事業、他		
	女川町	UR高台移転事業、他		プロポーザル方式の業務が公告(7/20)
	南三陸町	UR高台移転事業、他		がれき処理(気仙沼ブロック)施工中
	気仙沼市	魚町・南町内湾地区復興事業		
岩手県	陸前高田市		建設部 都市計画課 建設課	
	釜石市			
	大槌町			
	山田町	UR高台移転事業、他	UR岩手震災復興支援局 宮古支援事務所	

ご清聴、ありがとうございました。

参考・補足説明用

【実施工程(概略)】

作業内容		2012年									
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	
準備	関係各所調整	JX(借地), 気仙沼(津波堆積物借用), 周辺関係者(ヨコレイなど)									
	現地踏査、土壌採取 現地測量など	借地契約締結									
	土壌分析										
実証実験	実験計画 資機材準備	室内配合試験方法の検討(凝集フロック)									
	現地準備工	整地, 表層保護, 土砂搬入 資機材搬入・設置・試運転									
	本実験										
	片付け										
	室内試験 (配合試験, 土壌分析など)										
机上検討	事業化検討	大型機の最終検討 分級後土砂の有効利用方法の検討 コスト試算・比較 東北地整備, 各自治体へのプレゼンなど フロック脱水法の改良									
	結果まとめ										
	報告書作成										
産学官テーマ推進委員会		設立準備 第1回(東京) 第2回(気仙沼) 第3回(仙台) 報告書チェック									

産官学テーマ推進委員会

委員会メンバー

カテゴリ	氏名	所属・役職	備考
官	原田 卓三 佐瀬 浩市	国土交通省 東北地方整備局 港湾空港部 港湾空港企画官	転勤により、第3回以降、 原田氏から佐瀬氏に交代
	遠藤 信哉	宮城県 土木部 土木部次長	
	渡部 要一	(独)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長	
学	高橋 弘	東北大学大学院 環境科学研究科 教授	委員長
	小峯 秀雄	茨城大学 工学部 都市システム工学科 教授	
産	片桐 雅明	株式会社日建設計シビル 地盤調査設計部 設計主管	計画系コンサル
	笠原 勉	いであ株式会社 国土環境研究所 生態解析グループ 技師長	環境系コンサル
社内委員	奥 信幸	東亜建設工業株式会社 土木事業本部 技術部 部長	元東北支店 技術部長
	泉 信也	東亜建設工業株式会社 土木事業本部 機電部 機械グループリーダー	

【試算条件】-1

① 運転条件

20m³/hrまたは70m³/h × 8時間運転/日

処理する津波堆積物の量: 10,000m³

② 対象とする津波堆積物(4種類)

土砂1: 土砂部分の細粒分16%~17%(砂礫分が83~84%と多い)

土砂2: 土砂部分の細粒分39%~40%(砂礫分が59~60%と比較的少ない)

それぞれ、がれき含有率10%よ25%の計4種類

③ 分級レベル: 砂礫の細粒分含有率2種

Fc 5% : コンクリート用細骨材 (シルト・粘土分含有率5%程度)

Fc 15% : 一般砂質土 (シルト・粘土含有率15%程度)

【試算条件】-2

④ 分級レベル:砂礫の細粒分含有率2種

Fc 5% :コンクリート用細骨材 (シルト・粘土分含有率5%程度)

Fc 15% :一般砂質土 (シルト・粘土含有率15%程度)

⑤ 簡易脱水ブロックの状態, 改質

- ・含水比175%と想定(気仙沼実績, 安全側)
- ・BH混合によるセメント固化・改質(2,500円/m³と想定).

⑥ 分級砂礫, 改質土の扱い

分級砂礫や改質土は、有価(売却可)な材料として取り扱うことができると考える

→ Fc5%砂礫 : 3,500円/m³ (無筋コンクリート用細骨材など)

Fc15%砂礫 : 3,000円/m³ (SCP用, ケーソン中詰め材など建設用砂質土)

改質土 : 2,000円/m³ (埋立用地盤材料など)

⑦ その他

ここで試算したコストには、土砂処分のための新たな処分場建設費用低減効果や、新材採取による環境への負荷低減効果など、更なるコスト縮減・環境影響低減の効果を考慮していない。

【試算結果】-1

津波堆積土砂処理:1万m³当り

土砂	津波堆積土砂の粒度 (%)				分級レベル	処理後の数量 (m ³ /1万m ³)				直工単価 (円/m ³)				単価 (円/m ³) (B) 間接経費込み (A)×1.40	売却分 (円/m ³) (C) 津波堆積土砂 1万m ³ 当り		売却分 差引後単価 (円/m ³) (B)-(C) 津波堆積土砂 1万m ³ 当り
	がれき 体積%	シルト 粘土	砂礫 細砂	土砂 部分の Fc		(a) がれき	(b) 砂礫	(c) フロック 改質土	有効利用 可能な 土砂量 (b)+(c)	分別分級 処理費	がれき 処分費	セメント 改質費	直工単価 小計 (A)		砂礫	改質土	
1-1	10	15	75	17%	Fc 15%	1,000	8,590	700	9,290	8,600	1,000	200	9,800	13,800	2,600	140	11,060
1-2	25	12	63	16%	Fc 15%	2,500	7,220	400	7,620	7,300	2,500	120	9,920	13,900	2,200	80	11,620
2-1	10	35	55	39%	Fc 15%	1,000	4,690	6,900	11,590	9,900	1,000	1,900	12,800	17,900	1,400	1,380	15,120
2-2	25	30	45	40%	Fc 15%	2,500	4,100	6,430	10,530	8,100	2,500	1,800	12,400	17,400	1,200	1,290	14,910
1-1	10	15	75	17%	Fc 5%	1,000	7,200	4,050	11,250	8,900	1,000	1,100	11,000	15,400	2,500	810	12,090
1-2	25	12	63	16%	Fc 5%	2,500	6,050	3,200	9,250	7,500	2,500	900	10,900	15,300	2,100	640	12,560
2-1	10	35	55	39%	Fc 5%	1,000	3,930	8,760	12,690	10,200	1,000	2,400	13,600	19,100	1,400	1,750	15,950
2-2	25	30	45	40%	Fc 5%	2,500	3,440	8,050	11,490	8,400	2,500	2,200	13,100	18,400	1,200	1,610	15,590

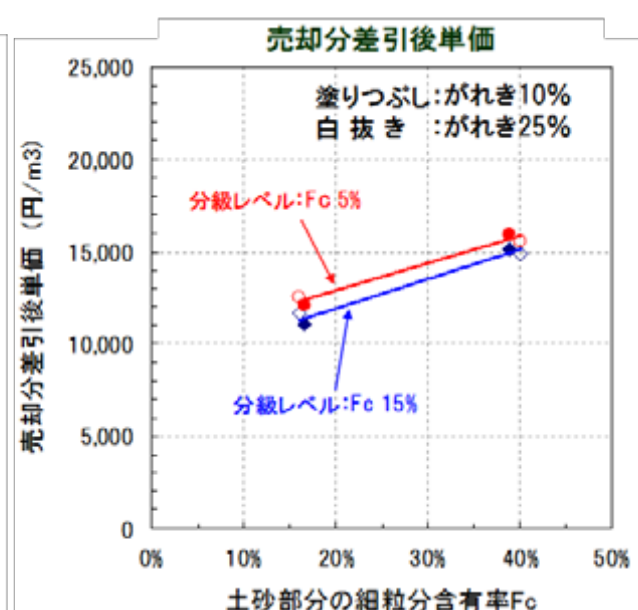
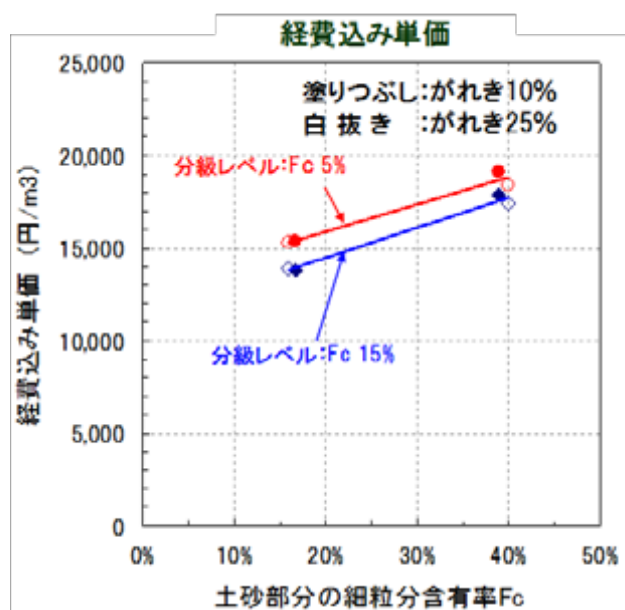
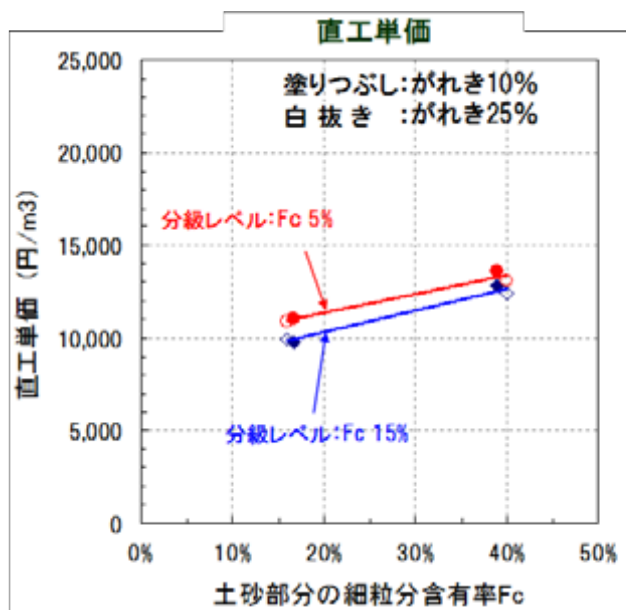
分別・分級で得られる有用利用可能な土砂の量

がれき含有量が多く、土砂部分における砂礫含有量が少ないもの(土砂1-2)では、比較的少ないものの、処理前の津波堆積土砂量と同等かそれ以上の量となっている。

→ 凝集フロックの脱水のコストや時間を最低限とすることで減容化を抑え、セメントなどで固化・改質し、より多くの有用な土質材料を得られるシステムとなっている。

【試算結果】-2

赤:分級砂礫Fc5%, 青:分級砂礫Fc15%



・今回の算出条件下での津波堆積物の処理単価

経費込み単価……………14,000円/m³～19,000円/m³程度.

売却分差引後単価………11,000円/m³～16,000円/m³程度.

・土砂部分の細粒分含有率Fcが多いほど、若干コストが上昇する.

・がれきの含有率の違い(10%と25%)によるコスト差は殆どない.

・処理レベルの違いによるコスト:Fc5%砂礫>Fc15%砂礫, 差は5%～10%程度.

【コスト比較結果】-1

上段 SM:ソイルセパレータ・マルチ工法による湿式分級

下段 TRM:トロンメルによる乾式分級

津波堆積土砂処理:1万m³当り

工法	土砂	津波堆積土砂の粒度 (%)				分級レベル	処理後の数量 (m ³ /1万m ³)				直工単価 (円/m ³)				単価 (円/m ³) (B) 間接経費込み (A)×1.40	売却分 (円/m ³) (C) 津波堆積土砂 1万m ³ 当り		売却分 差引後単価 (円/m ³) (B)-(C) 津波堆積土砂 1万m ³ 当り
		がれき 体積%	シルト 粘土	砂礫 細砂	土砂 部分の Fc		(a) がれき	(b) 砂礫	(c) 改質土 土砂	有効利用 可能な 土砂量 (b)+(c)	分別分級 処理費	がれき 処分費	セメント 改質費	直工単価 小計 (A)		津波堆積土砂 1万m ³ 当り		
																砂礫	改質土	
SM	1-1	10	15	75	17%	Fc 5%	1,000	7,200	4,050	11,250	8,900	1,000	1,100	11,000	15,400	2,500	810	12,090
	1-2	25	12	63	16%	Fc 5%	2,500	6,050	3,200	9,250	7,500	2,500	900	10,900	15,300	2,100	640	12,560
	2-1	10	35	55	39%	Fc 5%	1,000	3,930	8,760	12,690	10,200	1,000	2,400	13,600	19,100	1,400	1,750	15,950
	2-2	25	30	45	40%	Fc 5%	2,500	3,440	8,050	11,490	8,400	2,500	2,200	13,100	18,400	1,200	1,610	15,590
TRM	1-1	10	15	75	17%	がれき + 土砂	1,300	0	8,700	8,700	7,000	1,300	900	9,200	12,900	0	1,740	11,160
	1-2	25	12	63	16%	がれき + 土砂	3,250	0	6,750	6,750	7,000	3,250	700	10,950	15,300	0	1,350	13,950
	2-1	10	35	55	39%	がれき + 土砂	1,300	0	8,700	8,700	7,000	1,300	900	9,200	19,100	0	1,740	17,360
	2-2	25	30	45	40%	がれき + 土砂	3,250	0	6,750	6,750	7,000	3,250	700	10,950	18,400	0	1,350	17,050

土砂1: 土砂部分の細粒分16%~17%(砂礫分が83~84%)

- ・土砂1-1: がれき含有率10%
- ・土砂1-2: がれき含有率25%

土砂2: 土砂部分の細粒分39%~40%(砂礫分が59~60%)

- ・土砂2-1: がれき含有率10%
- ・土砂2-2: がれき含有率25%

・SMでは、Fc5%砂礫を作成する

・売却分: 分別・分級で得られた土砂を有価であるとする

【コスト比較】-3 (解説および比較条件)

種類	ソイルセパレータ・マルチ(SM)による 湿式分別・分級	トロンメル(TRM)による 乾式分別・分級
分級処理の 直工単価	7,500～10,200円/m ³	7,000円/m ³
分級処理の 積算対象範囲	設備設置・撤去, 分級～凝集・簡易脱水まで (場内・場外運搬, 試運転, メンテ費用は含まない)	設備設置・撤去, 分級・選別のみ (場内・場外運搬, 試運転, メンテ費用は含まない)
脱水フロックの セメント固化・改質 単価 (直工)	2,500円/m ³ 凝集フロック全数量を対象	2,000円/m ³ 分別・分級後の半数を対象(土質, 含水比による)
ガレキの状態 および 処分単価	加水・洗浄・分級方式(湿式)のため、 ガレキに土砂が付着しない ガレキ処分費 10,000円/m ³	乾式フルイなので、ガレキに土砂が付着する → ガレキ量 = 湿式分級の3割増 ガレキ処分費 10,000円/m ³
得られる土砂	砂礫 (有価で売れる) Fc5%砂礫 : 3,500円/m ³	砂礫は得られない
	フロックは固化・改質後、埋立材などで有効利用 (有価で売れる) 改質土 : 2,000円/m ³	分別された土砂は、埋立材などで有効利用 半数を固化・改質する(土質, 含水比による) 改質土 : 2,000円/m ³

【 津波堆積物処理の現状 】

2011年3月11日の東日本大震災による津波は、東北地方から関東地方の広範囲に大きな被害を及ぼし、津波浸水面積は約561km²(山手線内側の約9倍の面積)であったとされている。その結果、約2,200万トンの災害廃棄物が発生、また同時に推定約1,300~2,800万トンの土砂が陸上に運ばれたため、ごみやがれきと混ざって堆積、残留した¹⁾。

それらは“津波堆積物”と呼ばれ、この内、処理を要する津波堆積物の量は被災6県(青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉)で約960トンとされている²⁾。

環境省の最新の発表によると、平成24年7月末時点で、災害廃棄物の処理・処分は全体の約28%、津波堆積物の処理は約5%にとどまっております²⁾、復旧・復興の大きな課題のひとつとなっている。

1) 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)，平成23年7月5日

2) 環境省：東日本大震災に係る災害廃棄物の処理工程表，平成24年8月7日