

# 災害廃棄物を地盤材料として有効利用するための選別・改質処理技術

○中島 典昭<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本国土開発 技術センター、主任研究員

東北地方太平洋沖地震(2011)による津波は、太平洋沿岸地域に甚大な被害をもたらすと共に、膨大な量の災害廃棄物を発生させた。現在、各地域で災害廃棄物を復興資材として有効利用するための処理・処分が行われているが、これまでに経験したことのない膨大な量と、木屑やがれき類が混在した不明瞭な性状の災害廃棄物の利用においては、現状、困難な状況である。

このような状況を踏まえ、回転式破碎混合工法を用いた災害廃棄物のがれき除去に関する検討を行ってきた。本報では、回転式破碎混合工法による災害廃棄物の選別・改質処理について報告する。

キーワード：災害廃棄物、選別、改質、有効利用、回転式破碎混合工法

## 1. はじめに

東日本大震災に係わる災害廃棄物処理においては、国、県が基本的な指針を策定し、復興資材として活用する取り組みが行われている。しかし、災害廃棄物は膨大な量であり、復興資材として選別した災害廃棄物由来の土砂の多くは、木屑やがれき類が混在した再生資材としては利用の困難なものも多く、現地では処理に苦慮している。

このような現状の中、地盤材料の細粒化と改質材料との均質な混合を可能にした回転式破碎混合工法（以下、「本工法」と称する。）を用いたがれき除去に関する検討を行ってきた。既往の文献<sup>1)2)</sup>では、がれき類に付着した土砂を叩き落して分離させると共に、土砂を解きほぐ

して細粒化し、同時にコンクリートがらや石灰などの改質材料を混合して選別機の振動による再団粒化を抑制し、粘性の大きい、あるいは含水比の高い津波堆積物においても廃棄物と土砂を効率よく選別し、粒度改善などして土質を改質することが可能な工法として報告されている。

本検討では、現地の状況を鑑み、再生資材として利活用可能となる地盤材料を目指し、選別後の災害廃棄物を本工法により改質材料を混合して改質し、19mm、9.5mmふるいを用いて選別することで小さな廃棄物を除去し、ふるい下の材料の高品質化を図る検討を行った。

## 2. 試験概要

### (1) 回転式破碎混合工法の概要

図-1に本工法の概要図、図-2に本工法の改良イメージ

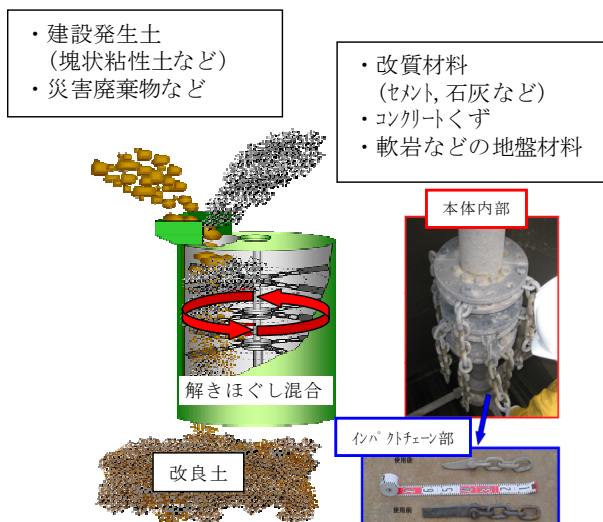


図-1 回転式破碎混合工法の概要図

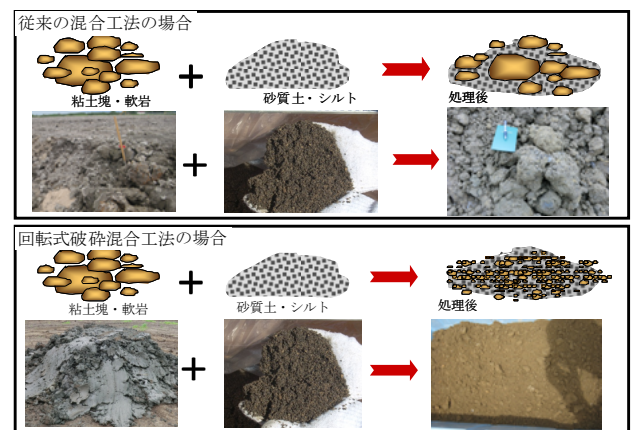


図-2 回転式破碎混合工法の改良イメージ

を示す。回転式破碎混合工法は、鋼製の円筒内で高速回転する複数本のフレキシブルなチェーンの打撃力で、地盤材料の解きほぐしと改質材料との均質な混合を同時に行うことのできる地盤改良分野では180万 $m^3$ 程度の実績を有するNETIS (KT-090048-V) 登録技術である。本工法の特長は、従来、均質な混合が困難であった塊状の発生粘性土を細かく解きほぐすと共に、セメント、石灰、土壌改良材、あるいは他の地盤材料などを改質材料として均質に混合し、低品質の材料を高品質の改良土に処理することにある。さらに、コンクリートくずや軟岩などを細粒化して混合することで、粒度改善をも可能にする。

また、選別機械（振動ふるい機、トロンメルなど）を併設し、土砂に含まれる根・茎などの有機物を選別することも可能である。本工法のプラントは、コンピュータ制御によりシステム管理され、連続大量施工においても一定の品質が確保される。

## (2) 使用材料の特徴

使用材料のうち災害廃棄物由来の土砂は、岩手県山田

地区において選別過程を経たふるい下40mmの災害廃棄物（津波堆積物を含む不燃・可燃系混合物(以下、「分別土」と称する。)）である。改質材料は、最大粒径150mmの災害廃棄物由来のコンクリートがらを破碎した9.5mmふるい下のコンクリートダストと、不溶化処理を考慮した高炉セメントB種である。表-1に分別土、およびコンクリートダストの物理特性、図-3に粒径加積曲線をそれぞれ示す。表-1に示す分別土の物理特性のうち、自然含水比は有姿材料を測定した値であり、土粒子の密度、粒度、コンシステンシー、pHは木片やがれき類を手作業で取除いた値である。強熱減量は、0.85mmふるいで分級したふるい下の木片等を取除いた値であり、関東ロームの強熱減量6%程度<sup>3)</sup>と同等の値を示す。

## (3) 試験内容

### a) 使用機械

改質処理する機械は、実機と同等の性能を有するベルトコンベアを併設した回転式破碎混合機を用い、選別する機械は床上型の振動ふるい機である。図-4 に試験イ

表-1 分別土、およびコンクリートダストの物理特性

項目	分別土	コンクリートダスト	
土粒子の密度 $\rho_s$ ( $g/cm^3$ )	2.644	2.719	
自然含水比 $w_n$ (%)	22~27	9.8	
粒度	最大粒径 (mm)	53.0	9.5
	礫分(%) (2~75mm)	31	67
	砂分(%) (0.075~2mm)	53	28
	シルト分(%) (0.005~0.075mm)	12	5
	粘土分(%) (0.005mm未満)	4	
	均等係数 $U_c$	36.8	22.3
曲率係数 $U'c$	2.09	1.41	
コンシステンシー	液性限界 $w_L$ (%)	54.2	—
	塑性限界 $w_p$ (%)	31.6	—
	塑性指数 $I_p$	22.6	—
地盤材料の分類名	シルト質礫質砂	細粒分まじり砂質礫	
分類記号	(SMHG)	(GS-F)	
化学	強熱減量 $L_i$ (%)	6.7	7.3
	pH	8.5	11.4

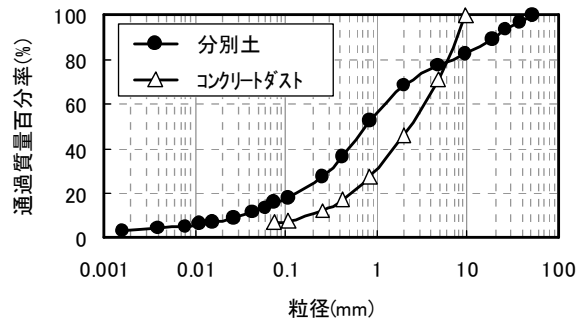


図-3 分別土、およびコンクリートダストの粒径加積曲線

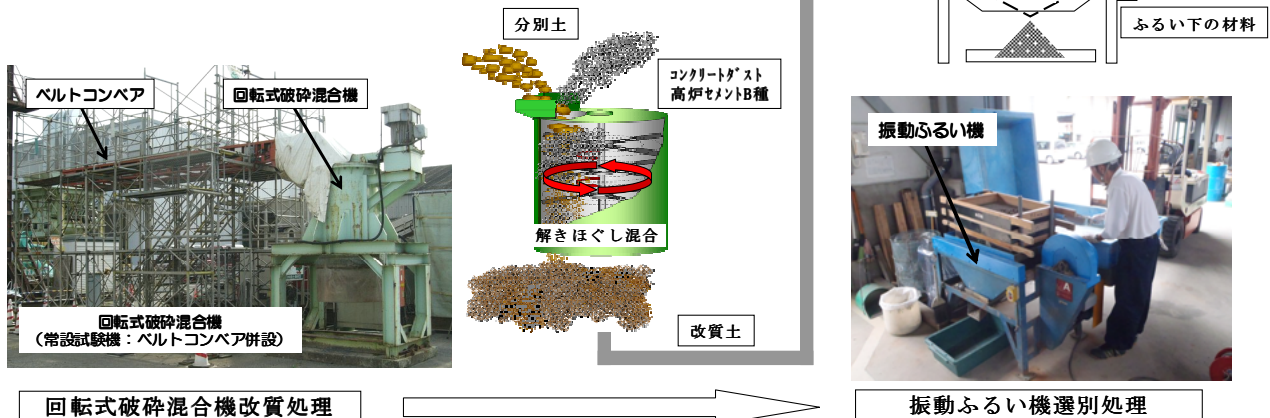


図-4 試験イメージ

メージを示す。

**b) 試験方法**

試験は、分別土、および分別土と改質材料を所定量計量して回転式破碎混合機で改質処理した後、19mmと9.5mmふるいを取付けた振動ふるい機で選別し、選別後のふるい通過質量を測定する。なお、1ケースあたりの試料質量は湿潤で50kg、振動ふるい機の選別処理時間は30秒とする。

**c) 試験ケース**

表-2に試験ケースを示す。ケースBは、回転式破碎混合機を使用せずに振動ふるい機のみで分別土を選別するものである。ケースT300、T500、T900は、回転式破碎混合機のチェーン回転数を300、500、900rpmの3回転数に変化させて分別土を処理した後、振動ふるい機で選別するものである。これら4ケースから、回転式破碎混合機の選別効果、およびチェーン回転数の選別効果を確認する。

次にケースT300、T500、T900から選別処理に適切と判断したチェーン回転数で、改質材料を混合するケースD20、C03、C05、C10を実施する。ケースD20は、改質材料としてコンクリートダストを採用し、分別土に対して湿潤質量比で20%添加する。ケースC03、C05、C10は、高炉セメントB種を採用し、分別土に対して湿潤質量比で3、5、10%添加する。これらのケースは、改質材料および添加率の違いによる選別効果の確認と、選別したふるい下の材料の改質効果を確認する。

選別効果は、選別率と称した指標を用いて評価する。選別率は、次式を用いて算出する。

$$\text{選別率 (\%)} = \frac{\text{ふるい通過量 (kg)} - \text{改質材料 (kg)}}{\left[ \text{ふるい残留質量 (kg)} + \text{ふるい通過量 (kg)} - \text{改質材料 (kg)} \right]} \times 100$$

上式の中で、改質材料はコンクリートダスト、セメントと共に最大粒径9.5mm以下のため、これら材料は全て9.5mmふるいを通過するものとして差引き評価している。改質効果は、選別したふるい下の材料を対象に、JIS

表-2 試験ケース

選別機械	振動ふるい機	回転式破碎混合機+振動ふるい機						
		なし				コンクリートダスト	セメント(高炉B種)	
試験ケース	B	T300	T500	T900	D20	C03	C05	C10
コンクリートダスト(%)	0	0	0	0	20	0	0	0
セメント(%)	0	0	0	0	0	3	5	10

A1228に準拠してコーン指数試験にて評価する。

なお、コーン指数試験に用いる試料の許容最大粒径は、JIS規格で4.75mmと規定されているが、木屑が混入した状態を評価するため、本試験では9.5mmふるい通過下の最大粒径9.5mmの材料を対象に試験に供する。そのため、許容最大粒径は、規定の粒径と比べて大きくなることから、コーン先端に木屑等が貫入してコーン貫入抵抗値が大きくなることが想定される。従って、本試験で測定したコーン指数は概略値として捉え、測定した値は相対的に評価する。また、試験に供するふるい下の材料は、振動ふるい機のみでのケースB、コンクリートダストを添加したケースD20、高炉セメントB種を添加したケースC03、C05、C10である。

なお、チェーン回転数を変えたケースT300、T500、T900については、選別効果が認められた1ケースについてふるい下の材料を試験に供する。

**3. 試験結果**

**(1) 選別処理**

表-3に選別処理試験結果、図-5に選別率を示す。選別機械の選別効果は、回転式破碎混合機を用いることで振動ふるい機のみと比べて選別率は15%程度向上することが確認された。チェーン回転数による選別効果は、

表-3 選別処理試験結果

選別機械	振動ふるい機	回転式破碎混合機+振動ふるい機							
		なし				コンクリートダスト	セメント(高炉B種)		
改質材料	なし								
試験ケース	B	T300	T500	T900	D20	C03	C05	C10	
選別率(%)	9.5mmふるい	59.5	77.0	79.9	91.2	78.3	82.8	79.2	83.1
	19mmふるい	74.0	89.6	91.2	97.9	89.0	92.6	89.1	92.1

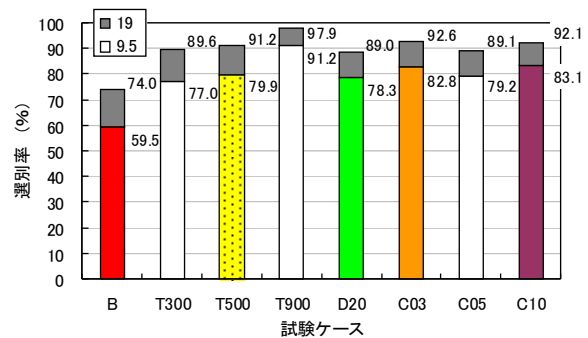


図-5 選別率

チェーン回転数の増大に伴い選別率は増加するものの、チェーン回転数 900rpm においては、木片やがれき類が破碎されて 19mm, 9.5mm ふりを通過してふるい下の材料に含有することが認められた。一方、300rpm, 500rpm は、部分的に木片は折れ、がれき類は大きく割れる程度でふるいに残留する。このことから、チェーン回転数 900rpm は、選別するには打撃エネルギーが過大であると判断し、改質材料を混合するケース D20, ケース C03, C05, C10 については、混合性を考慮してチェーン回転数 500rpm を選定した。

コンクリートダスト、セメントを添加したケースの選別率は、振動ふるい機のみと比べるとその効果はあきらかに向上している。一方、改質材料未添加の回転式破碎混合機を用いたケース T500 と比べると顕著な差は認められなかった。これは、災害廃棄物由来の土砂の性状や、廃棄物の種類や量によるものと推察される。その一方で、本工法の打撃効果は、改質材料未配合においても選別処理の向上に大きく寄与するものと考えられる。

## (2) 改質処理

表-4にコーン指数試験結果、図-6に改質された土の含水比とコーン指数の関係を示す。コーン指数は、振動ふるい機のみと回転式破碎混合機を比べると、回転式破碎混合機の方がやや小さくなっている。一方、ふるい下の材料の含水比は、振動ふるい機のみが29.3%、回転式破碎混合機が34.1%と回転式破碎混合機の材料の方が5%程度高い値を示す。一般に、コーン指数は含水比の影響を大きく受けるとされていることから、回転式破碎混合機の材料は含水比が振動ふるい機のみと比べて高いために、コーン指数は小さくなったと考えられる。

コンクリートダスト、高炉セメントB種を添加したケースのコーン指数は、改質材料未添加の振動ふるい機、回転式破碎混合機のケースと比べるとその効果はあきらかに向上している。また、コンクリートダストと高炉セメントB種のコーン指数は、コンクリートダストを添加した材料の方が大きい。コンクリートダスト、高炉セメントB種を添加した材料の含水比は、添加量の差はある

表-4 コーン指数試験結果

選別機械	振動ふるい機	回転式破碎混合機+振動ふるい機				
		なし	コンクリートダスト	セメント(高炉B種)		
改質材料	なし	なし	コンクリートダスト	セメント(高炉B種)		
試験ケース	B	T500	D20	C03	C05	C10
含水比 w(%)	29.3	34.1	26.0	28.4	27.9	26.2
コーン指数 qc(kN/m <sup>2</sup> )	2125	1989	5698	4500	4694	4751

もののその差は最大2%程度で、ケースB、ケースT500と比べると小さい。一方、改質材料の添加量は、コンクリートダストが20%であるのに対して、高炉セメントB種は最大で10%であり、この添加量の差がコーン貫入抵抗値に影響を及ぼしたと考えられる。

## 4. まとめ

本検討結果から、本工法の有する打撃効果が廃棄物と土砂を分離させ、土塊を細粒化させることによって選別効率を大きく向上させていることを確認した。また、改質効果においては、コンクリートダストなどを添加することにより、地盤材料としての強度向上が認められた。

以上から、回転式破碎混合工法を用いることで、今までは木屑等の混入により復興資材としての利活用が困難であったふるい下の材料から木屑等を効率よく除去して高品質化を図り、改質材料として現地で大量に発生するコンクリートくずを利用して、地盤材料としての強度を向上させることも可能にすることができ、今まで再生利用の困難な災害廃棄物を再生資材として利用可能な技術として期待される。

謝辞：本検討にあたり、名古屋大学中野正樹教授、並びに野々山栄人助教授、奥村組岡崎稔氏、並びに大塚義一氏をはじめ、共同研究者の皆様大変なご尽力を賜り、且つ、適切なアドバイスをいただきました。ここに、記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 栖原秀郎ら、破碎・混合技術による東北地方太平洋沖地震津波堆積物の有効利用、地盤工学ジャーナル、Vol.7, No.2, pp.399-408, 2012
- 2) 角脇三師ら、回転式破碎混合工法による津波堆積物の建設資材への再生利用について、地盤工学会東北支部「震災からの復旧・復興、住環境の再生に役立つ地盤技術」シンポジウム、pp.7-8, 2012.12
- 3) 地盤工学会編、土質試験の方法と解説—二分冊の1—、p340, 2009.

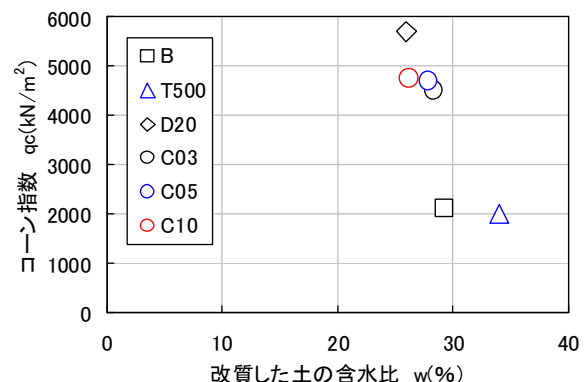


図-6 改質した土の含水比とコーン指数の関係