

ベントナイト混合土製造システム「ミストブレンダー工法」の開発(その2)

久慈 雅栄*1・磯野 宗一*1・中本 雅也*1・飯島 健*2・清水 英樹*3

Development of “Mist-Blender Method” for Bentonite-Sand Mixture (part-2)

Masayoshi KUJI, Soichi ISONO, Masaya NAKAMOTO, Takeshi IJIMA, Hideki SHIMIZU

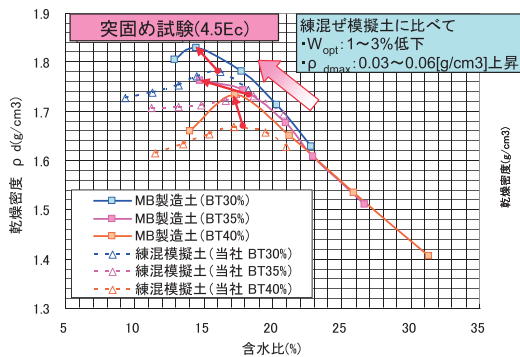


図-1 室内突き固め試験結果

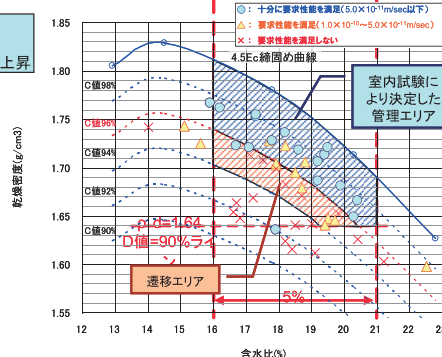


図-2 C値管理図の例



写真-1 実規模プラント全景



写真-2 転圧試験状況

研究の目的

放射性廃棄物処分場の人工バリア材や放射性汚染物質の仮置き・中間貯蔵施設の低透水層、一般廃棄物最終処分場の遮水層では、ベントナイト(以下、Be と呼称)と母材(砂)を混合し、含水比調整した Be 混合土の適用が検討されている。筆者らは、この Be 混合土の製造に全く新しい発想に基づいた製造技術「ミストブレンダー工法」を開発し、実規模プラントを製作している。

今年度の研究の目的は、以下の通りである。

- 1) 実規模プラントで製造した Be 混合土を用いて室内試験を実施し、基礎的な締固め・透水特性を把握
- 2) 上記の結果に基づいて、実規模大転圧試験を実施し、目標とする透水係数を満足する構築方法を確立
- 3) ミストブレンダー工法のさらなる品質向上

本報告では、これらの内容について報告する。

技術の説明

Be 混合土の製造方法として、従来の練混ぜ方式とは異なる全く新しいタイプの製造技術「ミストブレンダー工法」を開発した。本工法は、粉体混合部および加水部を分離してそれぞれ縦落し混合方式を採用することにより、Be 混合土製造時にせん断力を加えないため、ダマの発生がなく非常に均質で、かつ連続的に大量製造が可能であることが特徴である。

主な結論

実規模プラントで実際に製造した Be 混合土を用いた室内試験の結果、ミストブレンダー製造土は既存試験結果よりも締固めやすい材料であり、透水係数も同等以上を得られることが示された。

上記を踏まえ、実規模締固め試験を実施した。転圧機械として汎用機(7t 級タンデム振動ローラー)を用い、Be 添加率 30%、含水比 19%、撤出し厚 15cm の条件で、目標透水係数をクリアすることが示された。また、撤出しにアスファルトフィニッシャを用いることにより、大幅に施工能率を向上できることがわかった。さらに、施工管理において C 値締固め度が管理手法として有効である可能性が示された。

*1 本店 土木設計・技術部

*2 本店 技術研究所 知財グループ

*3 本店 土木設計・技術部 技術開発グループ

ベントナイト混合土製造システム「ミストブレンダー工法」の開発(その2)

久 慈 雅 栄^{*1} 磯 野 宗 一^{*1}
 中 本 雅 也^{*1} 飯 島 健^{*2}
 清 水 英 樹^{*1}

要 旨

放射性廃棄物処分場の人工バリア材や放射性物質に汚染された土壌・ガレキの仮置き・中間貯蔵施設の低透水層，一般廃棄物最終処分場の遮水層では，ベントナイトと母材(砂)を混合し，含水比調整したベントナイト混合土の適用が検討されている．筆者らは，このベントナイト混合土の製造に全く新しい発想に基づいた製造技術「ミストブレンダー工法」を開発し，実規模プラントにおいて高品質で大量・連続製造可能であることを報告している^{1)~6)}．

本報告では，次に示す目的のもと，研究開発を実施した内容について報告する．

- ① 実規模プラントで製造したベントナイト混合土を用いて室内試験を実施し，基礎的な締固め・透水特性を把握
- ② 上記に基づいて実規模締固め試験を実施し，目標とする透水係数を満足する構築方法を確立
- ③ ミストブレンダー工法のさらなる品質向上

キーワード 放射性廃棄物／ベントナイト混合土／締固め試験／透水試験／管理基準

目 次

- | | |
|------------------|------------|
| 1. はじめに | 5. 品質管理方法 |
| 2. ミストブレンダー工法の概要 | 6. 製造精度の向上 |
| 3. 室内試験 | 7. まとめ |
| 4. 実規模締固め試験 | |

DEVELOPEMENT OF “MIST-BLENDER METHOD” FOR BENTONITE-SAND MIXTURE (PART-2)

Masayoshi KUJI Soichi ISONO
 Masaya NAKAMOTO Takeshi IJIMA
 Hideki SHIMIZU

Synopsis:

Bentonite-sand mixture is considered to apply as the material for the artificial barrier or water shield layer in the radioactive waste disposal, general waste disposal, and radioactive soil & debris repository. The authors have developed the manufacturing system for bentonite-sand mixture with unconventional conception, called “Mist-Blender Method” in the previous report.

In this report, laboratory test results of compaction and permeability, full scale trial result for the compaction are described. An idea of control criterion for full scale compaction works is suggested as a conclusion.

* 1 本店 土木設計・技術部

* 2 本店 技術研究所 企画知財グループ

1. はじめに

原子力発電所などから発生する放射性廃棄物の処分場に用いられる人工バリア材、放射性物質に汚染された土壌・ガレキ等の仮置き・中間貯蔵施設の低透水層、一般廃棄物最終処分場の遮水層において、砂とベントナイト(以下、Be と呼ぶ)を混合した「Be 混合土」の適用が検討されている。筆者らは、Be 混合土の製造において、全く新しい発想に基づいた製造システム「ミストブレンダー工法」を開発し、高品質で連続・大量製造が可能なことを報告した^{1)~6)}。

本報では、実規模プラントで製造した Be 混合土を用いた室内試験、実規模締固め試験、およびさらなる品質向上対策等を実施したので、その内容について報告する。

2. ミストブレンダー工法の概要

図-1 に開発した Be 混合土の連続製造システム「ミストブレンダー工法」の概念図を示す。本装置は、母材(砂等)と Be を混合する「粉体混合部」と、目標含水比まで均質に加水調整する「加水部」から構成され、いずれも重力を活用した縦落し方式を採用している。加水部における含水比調整は水をミスト状に噴霧して行うことから、「ミストブレンダー工法」(以下、MB と呼ぶ)と命名した。

本装置の特徴は、Be 混合土の製造過程で材料を攪拌混練(練混ぜ)しないため、混練に伴い発現する Be 特有の粘性による Be 混合土の団粒化を抑えることができ、非常に均質な Be 混合土の製造が可能となることである。写真-1

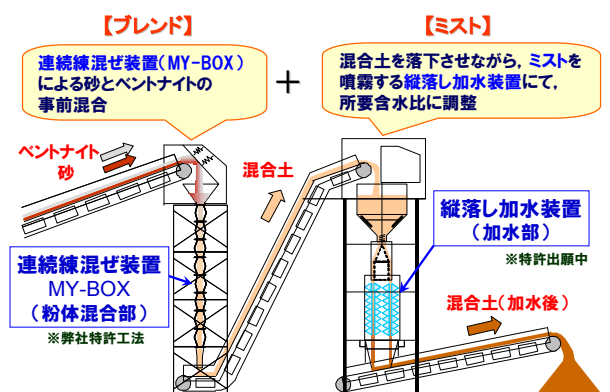


図-1 ミストブレンダー工法の概念図



(1) ミストブレンダー製造土 (2) 強制二軸ミキサー製造土
写真-1 ベントナイト混合土の比較

に同一配合で本工法、および一般的なコンクリート製造用の強制二軸ミキサーで製造した Be 混合土を示す。このように、見た目も含めて明らかに両者は性状が異なっている。

3. 室内試験

3.1 室内試験の目的

室内試験の目的は、実際に MB 実規模プラントで製造した Be 混合土(以下、MB 製造土と呼ぶ)の特性を把握することである。特性を把握する試験として、室内締固め(突固め)試験と透水試験を実施した。

3.2 試験に使用する材料

室内試験には、前述のとおり、MB 実規模プラントで製造した MB 製造土を用いた。

試験に用いる MB 製造土試料の Be 添加率は 4 水準(25, 30, 35, 40%), 含水比はそれぞれの Be 添加率にて最大乾燥密度 ρ_{dmax} を示す最適含水比 W_{opt} と最小透水係数 K_{min} を示す含水比 W_{kmin} を確認できるように 5 水準に設定した。なお、含水比 5 水準の試料を準備するに当たっては、実規模プラントにてその都度含水比を設定して製造した。なお、ここで使用する Be は Ca 型を用いている。

3.3 室内締固め(突固め)試験

室内締固め(突固め)試験では、締固めエネルギーを 4.5Ec に設定して実施した。

締固め試験結果を、横軸に含水比、縦軸に乾燥密度をとり、締固め曲線として図-2 に示した。一般的な土と同様に、MB 製造土の締固め曲線は上に凸の曲線となる。各 Be 添加率における締固め曲線のピーク位置を、最大乾燥密度 ρ_{dmax} と最適含水比 W_{opt} で評価し、表-1 に示す。

Be 添加率が高いほど、最大乾燥密度 ρ_{dmax} は小さく、最適含水比 W_{opt} は高くなるという傾向がある。一方、含水比が概ね 20%を超える範囲では、各 Be 添加率の締固め曲線はほぼ重なってくることから、含水比 20%以上の範囲では Be 添加率に関わらず乾燥密度は大きく変わらないことを示している。

3.4 室内透水試験

室内透水試験に用いた試料は、締固め試験に使用した試料と同時に製造したものを用い、締固め試験により得られた乾燥密度と同じ密度となるように静的圧縮により調整して使用した。

室内透水試験結果を、横軸に含水比、縦軸に透水係数をとり、透水曲線として図-2 に示す。一般的な土と同様に、MB 製造土の透水曲線は下に凸の曲線となる。各 Be 添加率における透水曲線のピーク位置を、最小透水係数 K_{min} とその含水比 W_{kmin} で評価し、表-1 に示す。

Be 添加率 30%~40%での最小透水係数 K_{min} は、透水曲線のピークがやや不明瞭な形状を示すこともあって、 $3.5 \sim 5.9 \times 10^{-12} [m/sec]$ とほぼ同等程度と評価されるのに対し、Be 添加率 25%は $8.7 \times 10^{-12} [m/sec]$ とやや大きな値を示す。最小透水係数を示す含水比 W_{kmin} は、Be 添加率が高い

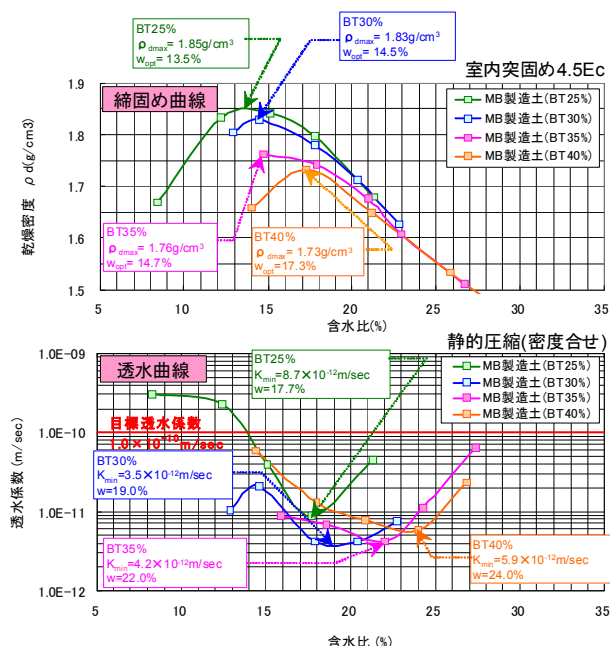


図-2 MB 製造土の室内試験結果

表-1 MB 製造土の室内試験結果一覧表

試験法	項目	ベントナイト添加率			
		25%	30%	35%	40%
締固め試験	最適含水比 W_{opt} (%)	13.5	14.5	14.7	17.3
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.85	1.83	1.76	1.73
透水試験	最小透水係数 K_{min} (m/sec)	3.7×10^{-12}	3.5×10^{-12}	4.2×10^{-12}	5.9×10^{-12}
	K_{min} の含水比 W_{kmin} (%)	17.7	19.0	22.0	24.0
	W_{kmin} と W_{opt} の関係	$W_{opt} + 4.2\%$	$W_{opt} + 4.5\%$	$W_{opt} + 7.3\%$	$W_{opt} + 6.7\%$

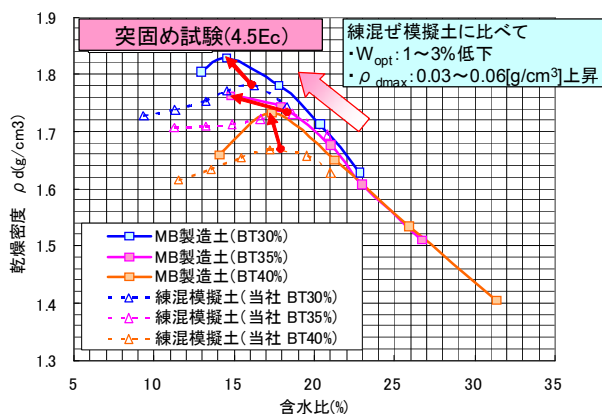


図-3 MB 製造土と練混ぜ模擬土の締固め曲線比較

ほど高くなる。また、Be 添加率 30~40%では透水曲線のピークが不明瞭な形状であることから、 W_{opt} から W_{kmin} 付近を含む広い含水比幅で透水係数の目標値 $1 \times 10^{-10} [m/sec]$ を十分に下回るとともに、 W_{kmin} 付近ではほぼ一定の低透水性を示すことが示された。

表-1 では、さらに最大乾燥密度 ρ_{dmax} を示す最適含水比 W_{opt} と最小透水係数を示す含水比 W_{kmin} との関係を $W_{kmin} = W_{opt} + \bigcirc\%$ で表現した。これより、 W_{kmin} は $W_{opt} + 4 \sim 7\%$ 程度を示し、一般的な土砂 ($W_{kmin} = W_{opt} + 2\%$ 程度) より両者の差がやや大きいと評価され、これが Be 混合土の特徴の一つと考えられる。

3.5 既往試験結果との比較

室内試験のうち締固め(突固め)試験の結果について、過去に実施した練混ぜ模擬土(室内試験用に人力で製造した若干のせん断力に加えられた Be 混合土)の締固め曲線と比較して、図-3 に示す。両者の締固め曲線を比較すると、3 種類の Be 添加率の Be 混合土はいずれも、MB 製造土は練混ぜ模擬土に比べて ρ_{dmax} は $0.03 \sim 0.06 [g/cm^3]$ 程度大きく、 W_{opt} は $1 \sim 3\%$ 程度低い(乾燥側)ことがわかる。すなわち、同じエネルギーを与えた場合、MB 混合土はより密度が大きくなることから、「締固めやすい材料」とであると評価できる。

4. 実規模締固め試験

4.1 実規模締固め試験の目標と方針

(1) 実規模締固め試験の目標

実規模締固め試験では、締固めた材料が十分な低透水性を発揮するために、MB 製造土の特徴を生かした転圧施工方法を確立することを目標とした。

そのため、実際に実規模プラントで製造した MB 製造土を用い、実際の施工環境を想定してできるだけ実際の環境に近い状態で締固め試験を行い、その性状を評価することとした。

合わせて、転圧施工の効率化と品質向上も追及する。

(2) 実規模締固め試験の方針

上記の目標を踏まえ、実規模締固め試験の方針は、以下に示すように設定した。

- ・ 実規模プラントで製造した MB 製造土を用いて実規模締固め試験を実施
- ・ 目標透水係数は $1 \times 10^{-10} [m/sec]$ と設定し、Be 添加率、撒出し厚をパラメータとする
- ・ 転圧面積の広い一般部での転圧施工を想定し、汎用機械を使用
- ・ MB 製造土の特徴を生かした転圧施工方法を確立
- ・ 転圧施工の効率化、施工品質の向上を追求

4.2 実規模締固め試験結果

(1) 実規模締固め試験使用機械

実規模締固め試験に使用する転圧機械は、施工範囲の広い一般部での施工を想定して汎用機を用いることとし、写真-2 に示す 7t 級タンデム振動ローラーを用いて行った。機械主要仕様を以下に示す。

- ・ 選定機種 : 酒井重工 SW650
- ・ 種類 : タンデム振動ローラー
- ・ 運転質量 : 7100 [kg]
- ・ 起振力 : 37(low)/69(high) [kN]
- ・ 全幅 : 1615 [mm]
- ・ ローラー幅 : 1480 [mm]

(2) 実規模締固め試験の手順

事前試験の結果、MB 製造土は撤出し後にバックホーキャタピラによる初期転圧を実施することにより、十分な転圧が可能であることが確認された。



写真-2 7t 級タンデム振動ローラー

それを踏まえて実施した実規模締固め試験の手順を図-4 に示す。基盤層を構築後、2 層の転圧層を順次造成し、そのうち上層の 2 層目を試験等の対象層とした。

(3) 実規模締固め試験パラメータ

実規模締固め試験に用いたパラメータを表-2 に示す。

Be 添加率については、室内試験によっても Be 添加率 30%以上ではほぼ同等の低透水性を期待できるため、30%を基本とすることとした。

撤出し厚については、Be 添加率 30%の試料を用い 3 種類の撤出し厚(10cm, 15cm, 20cm)で実施した実規模締固め試験結果を、横軸に転圧ステップ、縦軸に層厚を初期撤出し厚さで基準化した平均仕上り率(=層厚/初期撤出し厚)で整理して図-5 に示す。図に示すように、撤出し厚 10cm と 15cm では転圧後の平均仕上り率は 47%程度を示すのに対し、撤出し厚 20cm では平均仕上り率は 55%程度とやや高く、10cm と 15cm に比べて転圧が不十分であることを示している。また、同じ仕上り率を示す 10cm と 15cm では、15cm の方が効率的であると評価される。

表-2 実規模締固め試験パラメータ

ベントナイト添加率	撤出し厚
30%	10cm
35%	15cm
40%	20cm

1. 1層目構築

基盤(基礎con30cm、基盤層(混合土)20cm)の上に1層目を構築

(1) 撤出し

実施工を模擬し、「重機(BH)+人力」による撤出し、かさ密度測定

(2) 初期転圧

ブル転を模擬し、BHキャタピラによる初期転圧

(3) 一次転圧

タンデムローラによる一次転圧(無振動)

(4) 本転圧

タンデムローラによる本転圧(起振力High)

各転圧毎に
レベル計測

2. 2層目構築

1層目構築完了後、(1)~(4)を繰り返し2層目を構築

3. 各種試験

2層目転圧完了後、各種試験実施(砂置換法、RI、コア採取)



(1) 撤出し



(2) 初期転圧



(3)&(4) ローラー転圧 ⇒ レベル計測



3. RI計測



砂置換

図-4 実規模締固め試験の手順

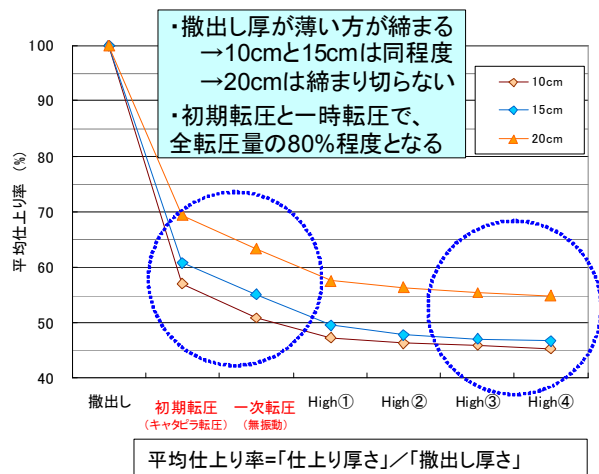


図-5 撤出し厚の違いによる平均仕上り率の違い
(ベントナイト添加率 30%)

以上より、Be 添加率 30%，撤出し厚 15cm を標準転圧仕様とすることとした。なお、含水比については、できるだけ低い透水係数を実規模締固め試験の目標とするため、Be 添加率 30%での Wkmin である $w=19\%$ とする。

(4) 実規模締固め試験結果

実規模締固め試験において、標準転圧仕様で転圧した転圧層から採取した試料を用いて、乾燥密度と透水係数を測定した。その結果を、横軸に含水比、縦軸にそれぞれ乾燥密度と透水係数を用いて、図-6 に示す。なお、図中の青実線は同一条件での突固めエネルギー4.5Ec における室内締固め試験の締固め曲線と透水曲線であり、青破線は締固め曲線における C 値締固め度(後述)に相当する。この結果、標準転圧仕様で転圧した転圧層の透水係数は全て目標透水係数 $1E-10[m/sec]$ を下回る結果を示し、標準転圧仕様で転圧を行うことにより目標透水係数を満足できる可能性が示された。また、乾燥密度は C 値締固め度で概ね 96%以上を示していることが明らかとなった。

(5) 施工の効率化、施工品質の向上

実規模締固め試験を実施するに当たり、特に Be 混合土の撤出しは、ここまでの実験では「バックホー+人力」で実施したが、いくつかの課題が挙げられた。主なものを以下に示す。

- ・撤出し厚、撤出し密度の不均質
- ・撤出し施工性の向上

そこで、これらの課題を解決し、さらなる効率化と施工品質の向上を達成するために、Be 混合土の撤出しにおいて、アスファルトフィニッシャーを用いた機械施工の適用性を確認した。

撤出し試験に用いたアスファルトフィニッシャーの主な仕様を以下に、外観を写真-3 に示す。

- ・選定機種 : VOGELE Super 1803-2
- ・駆動方式 : ホイール式(前輪 2 軸、後輪 1 軸)

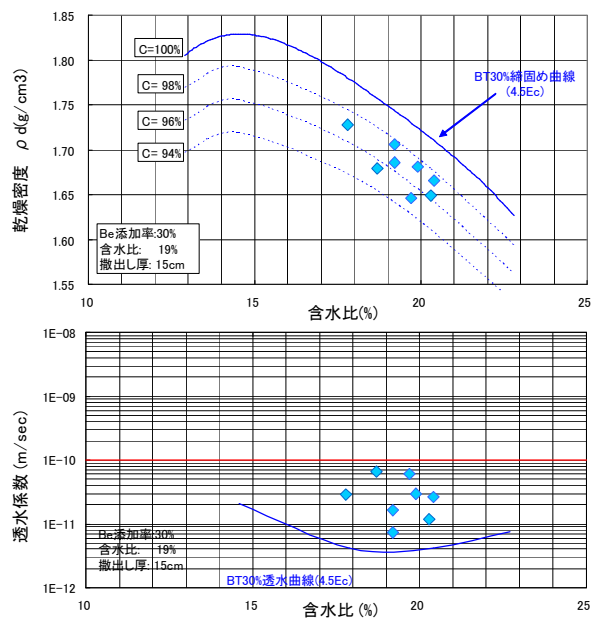


図-6 実規模締固め試験結果



写真-3 アスファルトフィニッシャー

- ・全長 : 6.0m
- ・全幅 : 2.55m (完全縮小時)
- ・撤出し幅 : 2.55~5.0m

MB 製造土の撤出しにおけるアスファルトフィニッシャーの適用性に関しては、いくつかの留意事項はあるものの、基本的には問題なく施工できることが確認された。

MB 製造土をアスファルトフィニッシャーで撤出した際の初期乾燥密度を、「バックホー+人力」による初期乾燥密度と比較し、図-7 a) に示す。アスファルトフィニッシャーでの初期乾燥密度は $0.94[g/cm^3]$ 程度を示し、「バックホー+人力($0.80[g/cm^3]$)」の 1.1~1.2 倍程度で、より高い密度での撤出しが可能であることがわかった。

また、撤出し厚については、図-7a)と同様に「バックホー+人力」と比較して図-7 b) に示す。なお、撤出し設定厚は「バックホー+人力」の 15cm に対して、アスファルトフィニッシャーは密度増加を考慮して 12.5cm としている。この結果、両者ともに平均撤出し厚は設定厚よりやや厚くなっているものの、アスファルトフィニッシャーでの撤出し厚のバラツキが非常に小さいことが確認された。

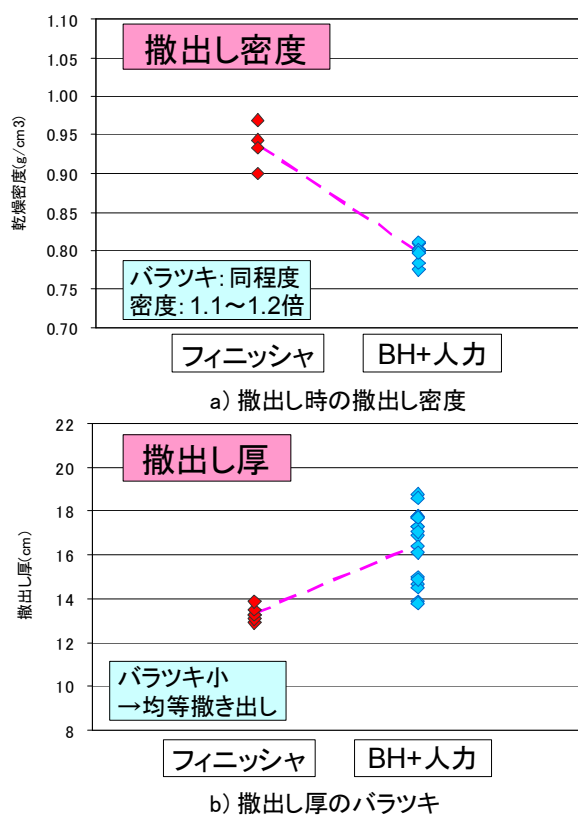


図-7 撒出し品質の比較

さらに、アスファルトフィニッシャを用いた撒出し層は、初期撒出し密度が高く凹凸も小さいため、バックホーキャタピラによる初期転圧を実施する必要がなく、いきなりタンデム振動ローラーでの転圧作業に移行できることが確認された。

このように、MB 製造土の撒出しにアスファルトフィニッシャを適用することで、品質向上が図れることが示された。また、アスファルトフィニッシャを用いた撒出し層の透水係数は目標値を満足することを確認している。

施工効率についても、「バックホー+人力」の試験における実績に対して、2.5 倍程度の効率化が図れることが明らかになった。

5. 品質管理方法

5.1 品質管理の位置づけ

施工対象としている Be 混合土の目標品質は、転圧作業後の転圧層の透水係数として与えられる。これを管理基準とした場合、現場での転圧作業終了後に転圧層からサンプリングし、それを用いた透水試験の結果により品質管理が行われることになる。しかしながら、 $1\text{E-}10[\text{m/sec}]$ 程度の低透水材料の透水試験は、試験開始から結果を得るまでに 1 ヶ月程度の時間を要する。したがって、もし試験結果が目標品質を満足していないことが判明した場合、現場では 1 ヶ月間で相当に施工が進んでいるため、

かなり大規模なやり直しが発生する可能性がある。これは、工期・工費を圧迫するだけでなく、他の健全な転圧層にも大きな影響を与えることになり、転圧層全体の品質をも低下させる可能性がある。

このため、現場締固め施工においては、迅速で簡便かつ確実な施工管理指標が求められる。

ここでは、図-6 に示す実規模締固め試験の結果が締固め度 C 値 96%以上を示したことをヒントにして、「締固め度」と「含水比」に注目した管理基準の考え方を提案する。

なお、ここで締固め度については 2 種類の指標(D 値と C 値)を用いることとする。図-8 に概念図を示す。

D 値：試料の乾燥密度 ρ_{d1} と、締固め曲線の最大乾燥密度 ρ_{dmax} との比 $D = \rho_{d1} / \rho_{dmax}$

C 値：試料の乾燥密度 ρ_{d1} と同じ含水比に対応する締固め曲線の乾燥密度 ρ_{d2} との比

$$C = \rho_{d1} / \rho_{d2}$$

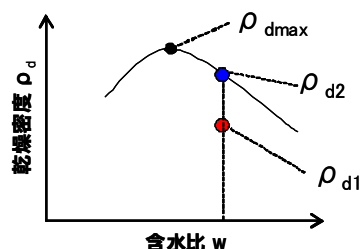


図-8 締固め度の概念図

5.2 管理基準の提案

図-9 に今回実施した実規模締固め試験結果に加え、あえて高透水となる条件で実施した実規模締固め試験結果も加えて、横軸に含水比、縦軸に透水係数をとって透水試験結果を整理した。なお、Be 添加率 30%の条件で検討を進める。

これより、透水係数に基づいて、試験結果を次の 3 種類に層別した。

◎：十分に目標性能満足 $5.0\text{E-}11[\text{m/sec}]$ 未満

●：目標性能満足 $5.0\text{E-}11 \sim 1.0\text{E-}10[\text{m/sec}]$

×：目標性能未達 $1.0\text{E-}10[\text{m/sec}]$ 以上

図-10 は横軸に含水比、縦軸に乾燥密度をとり、図-9 で示した層別結果を落とし込んだ。

この結果、締固め度 C 値 $\geq 96\%$ 、かつ含水比 W_{kmin} ($W=19\%$) $\pm 2\%$ 範囲が特徴的な領域として扱うことができると考えられる。この範囲には、透水係数が高く目標性能に達していないケース(×)は分布していない。さらに、十分に透水係数の目標性能を満足するケース(◎)が多く分布していることがわかる。すなわち、施工時にこの範囲を満足するように施工管理を実施することにより、転圧層の透水係数は目標値を満足するものと考えられる。

そこで、C 値と含水比の指標に、一般的な盛土の管理基準値 $D \geq 90\%$ を加え、管理基準(管理エリア)とすることを一例として提案する。締固め度 $94\% \leq C \leq 96\%$ となる遷移エリアについては、目標性能を満足しているケース(●)が多く含まれるものの、未達のケース(×)も含まれることから、慎重な扱いが必要である。今後も検討ケースを増やして検証を進める予定である。

なお、今回のケースは、前述のように Be 添加率 30% かつ Ca 型 Be を使用する条件での検討ケースである。これらの条件が異なる場合については、管理基準の条件については、改めて検討・確認が必要である。

6. 製造精度の向上

6.1 製造精度の指標

既往報告時から製造精度・製造品質の向上対策をいくつか行っている。その効果の検証を行った。

実規模プラントでの製造精度の指標として、材料の供給精度と製造土の品質の目標値との乖離幅とバラツキに注目し、長時間運転時の品質の確認を行った。

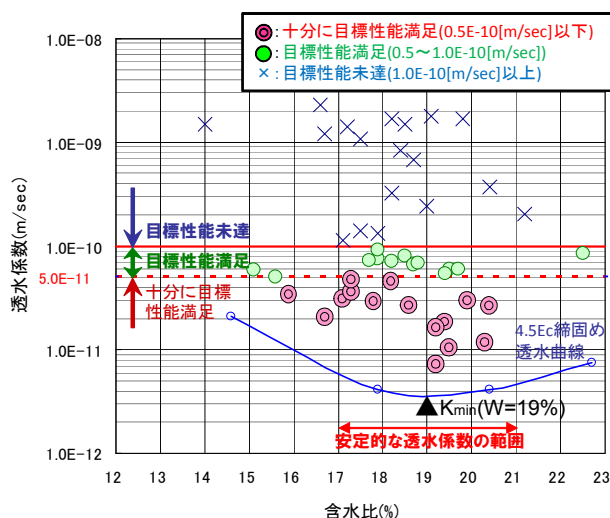


図-9 透水試験結果の層別

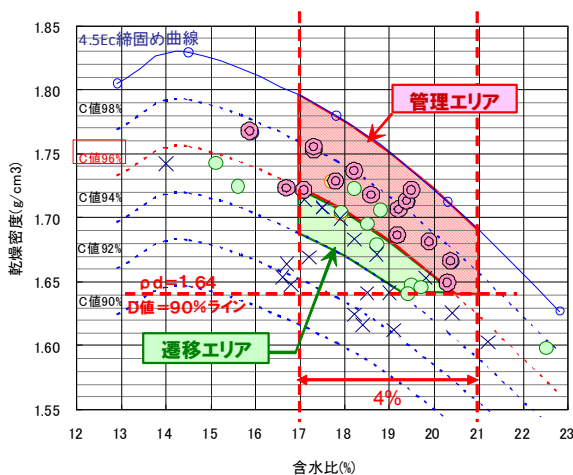


図-10 管理エリアの設定

6.2 材料供給精度

実規模プラントの製造精度を左右するポイントの一つは、使用する材料(砂および Be)の供給精度と考えられる。そこで、実規模プラントを長時間(50 分程度)連続運転した際の材料供給精度を測定したので、その実測例を図-11に示す。

図に示すように、砂および Be ともに運転開始 2 分程度で安定供給状態となり、長時間(50 分程度)連続運転しても供給精度は概ね 1%以内のバラツキに収まっていることが示された。

6.3 製造土の品質

実規模プラントの製造精度として、実際の MB 製造土の含水比と Be 添加率に注目し、それぞれの目標値に対する乖離とバラツキについて検証した。材料供給精度の検証と同様に、実規模プラントを長時間(50 分程度)連続運転し、MB 製造土を 5 分毎にサンプリングして含水比と Be 添加率の測定を行い、その平均値とバラツキを確認す

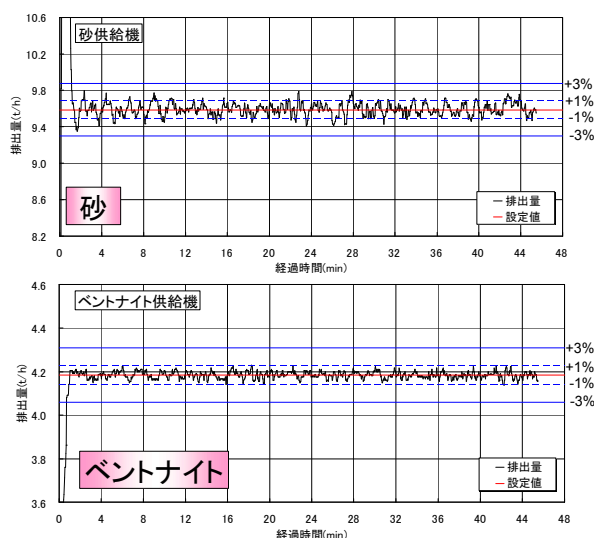


図-11 材料供給精度

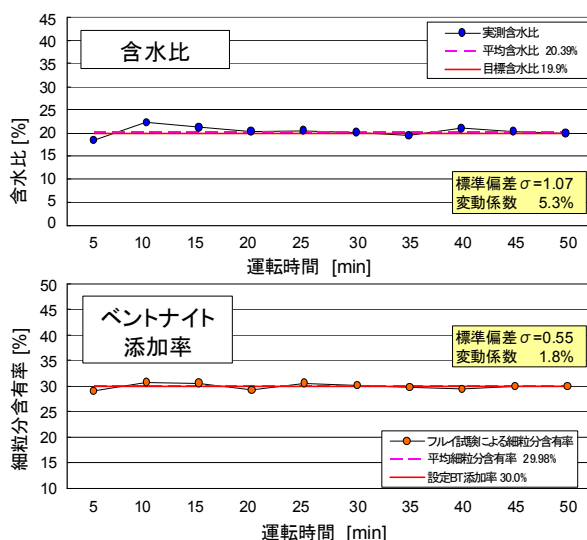


図-12 製造土の品質

る方法で実施した。なお、Be 添加率は、使用する砂(母材)の細粒分含有率が 0.4%程度と小さいことから、MB 製造土の細粒分含有率試験 (75 μ m メッシュのふるいで水洗いする方法)により測定した。

図-12 に測定結果を示す。長時間運転時においても、含水比および Be 添加率ともに平均値は設定した目標値からの乖離が小さく、かつそのバラツキは概ね 2%以内と十分に小さいことを確認した。

以上より、実規模プラントは非常に高い精度を持っていることが示された。

7. まとめ

Be 混合土の製造方法として縦落し混合・加水装置「ミストブレンダー工法」を開発し、実際に実規模プラントで製造した Be 混合土の室内締固め(突固め)・透水試験、実規模締固め試験を実施した。その結果を以下にまとめる。

①室内試験結果(締固め試験、透水試験)

- ・ 通常の土と同様に、ピークを有する締固め・透水曲線を示す
- ・ 透水係数は W_{kmin} を中心に広い含水比幅で $1E-10[m/sec]$ を下回る
- ・ 練混ぜ模擬土と比べて「締固めやすい材料」であると評価される

②実規模締固め試験結果

- ・ Be 添加率 30%, 撒出し厚 15cm を標準転圧仕様とし、汎用機で転圧を実施することで、目標透水係数を満足
- ・ 撒出しにアスファルトフィニッシャを適用することで、撒出し品質が向上し、施工効率も改善することが可能

③締固め度 C 値, D 値と含水比に注目した管理エリアを設定することにより透水係数を満足する可能性が示され、施工管理方法として提案

④実規模プラントの材料供給精度や製造土品質は、50分程度の長時間連続運転においても非常に安定

本工法で製造される高品質遮水材は、放射性廃棄物処分場のバリア材や放射性物質で汚染された土壌やガレキ等の仮置き・中間貯蔵に用いられる低透水層、一般廃棄物最終処分場の高品質遮水層等にも適用できるものであり、今後は更に幅広い様々な社会のニーズに応じていく予定である。

参考文献

- 1) 前田和亨, 武部篤治, 南浩輔, 藤山哲雄: ベントナイト混合土の製造に対する縦落とし式混合装置の開発(その 1)ー縦落とし式混合装置の概要ー, 第 66 回土木学会年講, CS3-031, 2011.
- 2) 武部篤治, 前田和亨, 南浩輔, 藤山哲雄: ベントナイト混合土の製造に対する縦落とし式混合装置の開発(その 2)ープロトタイプ試験装置による検証試験結果ー, 第 66 回土木学会年講, CS3-032, 2011.
- 3) 久慈雅栄, 福田淳, 南浩輔, 前田和亨, 磯野宗一: ベントナイト混合土の製造に対する縦落とし式混合装置の開発(その 3)ーミストブレンダー工法の実規模プラント概要ー, 第 67 回土木学会年講, CS13-012, 2012.
- 4) 福田淳, 久慈雅栄, 南浩輔, 前田和亨, 磯野宗一: ベントナイト混合土の製造に対する縦落とし式混合装置の開発(その 4)ーミストブレンダー工法によるベントナイト混合土の品質ー, 第 67 回土木学会年講, CS13-013, 2012.
- 5) 久慈雅栄, 福田淳, 南浩輔, 前田和亨, 磯野宗一: 縦落し混合方式によるベントナイト混合土の製造技術の開発ーミストブレンダー工法の概要ー, 日本原子力学会「2012 年秋の大会」, B34, 2012.
- 6) 久慈雅栄, 福田淳, 前田和亨, 南浩輔, 磯野宗一, 武部篤治: ベントナイト混合土製造システム「ミストブレンダー工法」の開発, 前田技術研究所報, Vol.53, 2012.
- 7) 久慈雅栄, 磯野宗一, 中本雅也, 飯島健, 清水英樹: ベントナイト混合土の室内試験による締固め・透水特性ー縦落し混合・加水装置「ミストブレンダー工法」で製造した混合土の事例ー, 第 68 回土木学会年講, CS11-008, 2013.
- 8) 久慈雅栄, 磯野宗一, 中本雅也, 飯島健, 清水英樹: ベントナイト混合土の転圧試験における締固め・透水特性と施工管理手法の提案ー縦落し混合・加水装置「ミストブレンダー工法」で製造した混合土の事例ー, 日本原子力学会「2013 年秋の大会」, O55, 2013.
- 9) 久慈雅栄, 飯島健: 放射性廃棄物人工バリア材(高品質ベントナイト混合土)連続大量製造システム「ミストブレンダー工法の開発」, 電力土木(投稿中), 2013.