

## メチレンブルー吸着量を用いた土質遮水のベントナイト添加率管理手法の開発

木村 志 照      三浦 俊 彦  
諸 富 鉄之助

## Development of Bentonite Addition Rate Control Method for Impermeable Soil using the Amount of Methylene Blue Adsorption

Yukinobu Kimura    Toshihiko Miura  
Tetsunosuke Morotomi

### Abstract

To satisfy the required performance of impermeable soil, the bentonite addition rate is quite important during the production of bentonite mixed soil. Quality control is generally achieved by measuring the amount of methylene blue (MB) adsorption. However, this method has some limitations because it takes time to measure and requires high accuracy skill in visual judgment. We studied the optimization based on the adsorption photometry method. This method is applicable without pretreatment, and the measurement conditions can be optimized. In addition, even if the base material contained medium gravel, the measurement time was reduced to half while eliminating the error in MBC by removing and correcting the gravel. Therefore, it is possible to produce high-quality bentonite mixed soil.

### 概 要

最終処分場遮水層や汚染土封じ込めの遮水層に用いられる土質遮水の要求性能を満たすためには、製造時のベントナイト添加率管理が非常に重要であり、一般的にメチレンブルー吸着量で管理する事が多い。しかし、測定に時間がかかることや、判定が目視であり熟練度を要する課題があった。短時間かつ高精度な管理手法として比色法をベースに最適化を検討した。その結果、粉碎等の前処理をせず比色法を適用でき、測定条件を最適化することができた。さらに、母材に中礫を含んでいる場合でも、礫分を除去し、礫分補正することでメチレンブルー吸着量の誤差を解消しつつ測定時間が1/2以下となる手法となった。以上より、幅広い母材に適用可能であり、誰が測定しても、短時間かつ、高精度な製造の品質管理ができるようになった。これにより、高品質なベントナイト混合土の製造が可能である。

## 1. はじめに

廃棄物処分場や自然由来重金属の原位置封じ込めでは、有害物質等の漏洩を抑制するため遮水層の設置が求められる。遮水層としては、一般的に「シート遮水」、「土質遮水」、「アスファルトコンクリート遮水」などが挙げられる。このうち「土質遮水」には、現地発生土や購入砂を母材としたベントナイト混合土が用いられ、遮水土層の性能として、施工後の透水係数  $k=1.0 \times 10^{-8} \text{m/sec}$  以下が求められる。そのため実施工に先立ち使用母材(現地発生土または購入砂など)を用いたベントナイト混合土の室内配合試験を実施し、施工時に要求性能を満たすために要求性能の1/10( $k=1.0 \times 10^{-9} \text{m/sec}$ )以下となるようにベントナイト添加率を決定している。

現場施工では、1,000m<sup>3</sup>に1回程度透水試験を実施し、要求性能を満足することを確認しているが、試験日数が1か月以上必要となる。一方で、設計配合によって所定の締固め度以上であれば、要求性能を満たすことを確認している。そのため、密度管理により締固め度が規定以上であるかを重要な管理項目としている。なお、これは

ベントナイト添加率が配合以上であることが前提となっているため、製造時のベントナイト添加率管理が非常に重要となっている。

そこで本検討では、ベントナイト混合土製造時のベントナイト添加率の品質管理を「短時間・高精度」な管理とすべく、JIS Z 2451:2019<sup>1)</sup>に規定された比色法をベースにベントナイト混合土のメチレンブルー吸着量測定条件の最適化を検討した。

## 2. ベントナイト添加率管理方法の課題

ベントナイト混合土製造時の品質管理は、室内で定めたベントナイト添加率となっているかを1回/日程度の頻度で測定し添加率管理をすることで品質を担保している<sup>2)</sup>。品質管理手法としては、日本ベントナイト工業会の規格(JBAS-107-91)に準じたメチレンブルー(以下、MB)吸着量試験<sup>3)</sup>、電気伝導度<sup>4)</sup>、あるいはファンネル粘度によるベントナイト添加率管理を実施していることが多い。

電気伝導度は、現地発生土を母材とする場合、母材中の溶存塩(イオン)の影響を受けやすい課題がある。

ファンネル粘度は、ペントナイト泥水が漏斗を通過する時間をストップウォッチ等で計測するため人為的な差異が生じやすいこと、ペントナイト添加率が少ない場合、管理精度がやや低い課題がある。

MB吸着量試験は、ペントナイトがMB溶液を吸着する特性を利用し、「ペントナイト添加量≒MB吸着量」と見なすことができるため、定量性の高い測定手法として知られている。しかし、試料の前処理（ふるい、乾燥など）および吸着量測定に時間がかかる。また、吸着量の判定が目視判定（ろ紙法、Fig. 1）であり、測定者の熟練度に依存し、人為的な差異が生じやすい課題がある。

MB吸着量試験の課題に対し、2019年3月に「ペントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法」としてJISが発行され、目視による判定方法が規格化された<sup>4)</sup>。また、目視判定の熟練度を要しない方法として、吸光度計を用いた機器分析（以下、比色法）が新たに規定された<sup>4)</sup>。ただし、測定対象は「ペントナイトなどの粉体」であり、砂等を含むペントナイト混合土は対象外である。これは、ペントナイト混合土を測定する際には、乾燥・粉砕など前処理の工夫等が必要であり、測定結果が母材の影響を受けること、また母材自体を規定することができないためJISには規定されていないものと考えられる。そのため、JISに準拠しつつ、前処理等を個別に工夫することが必要となる。

ペントナイト混合土を「短時間かつ高精度」で管理するためには、前処理を迅速に行いつつ、人為的な差異が生じないペントナイト添加率管理手法とすることが必要である。これにより、ペントナイト添加率を修正する機会が増え、高品質なペントナイト混合土を製造することができる。

### 3. 比色法の適用性確認

管理手法の検討に先立ち、珪砂1種を母材としたペントナイトを用いて、比色法のペントナイト混合土への適用性を確認した。なお、比色法はMB吸着量を機器（吸光度計）分析するため、測定者毎の判定誤差がなく精度を高くすることができると考え選定している。さらに、本章では品質管理の時間に係わる前処理の合理化のため、前処理方法が試験結果に与える影響を比較検討した。

#### 3.1 試験方法

**3.1.1 試料土** ペントナイト混合土として、7号珪砂にペントナイト（クニゲルV1、クミネ工業社製）を添加率5, 7, 10, 12, 15wt%（乾燥重量比）の5水準混合したものを、含水比12%に調整し作製した。また、ペントナイトを添加しない母材のみのケースも試験に用いた。

**3.1.2 試験条件** 作製したペントナイト混合土を用いて粉砕せずそのまま乾燥させた試料（以下、乾燥有姿試料）と、乾燥後に粉砕した試料（以下、乾燥粉砕試料）、そして湿潤状態のままの試料（以下、湿潤有姿試料）の

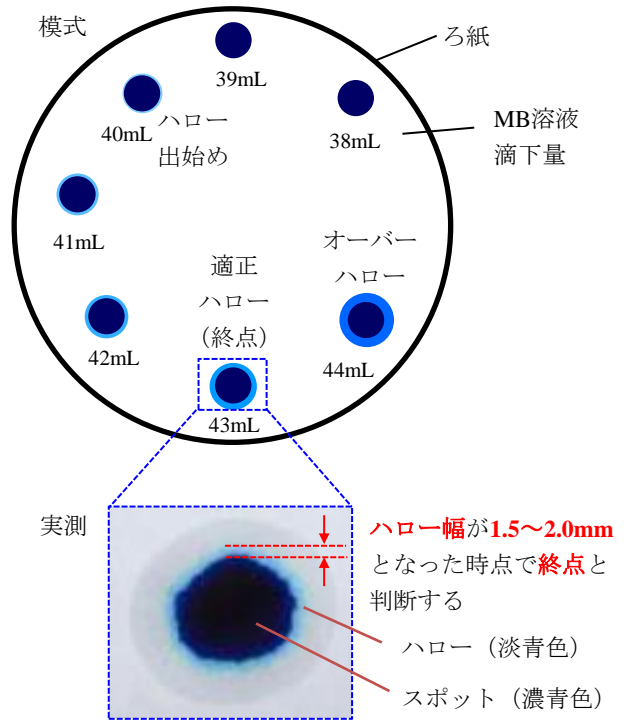


Fig. 1 目視判定（ろ紙法）の例  
Example of Visual Judgment

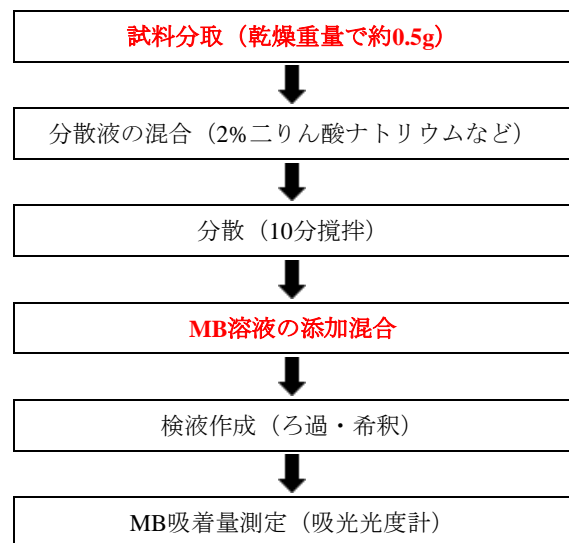


Fig. 2 比色法のMB吸着量測定フロー  
Methylene Blue Adsorption Amount Measurement  
Flow by Colorimeter Method

3種類を測定試料とした。JIS Z 2451 : 2019<sup>4)</sup>の規定を参考とし、Fig. 2に示す方法でMB吸着量を測定した。

各試料0.5gを秤量し、二りん酸ナトリウム溶液（20g/L）50mLを加え、10分間攪拌し、分散処理を行った。分散後、MB溶液（10mmol/L）を液固比（試料重量に対するMB溶液量の比のこと。以下、L/S）15の割合で添加し、30分攪

拌混合した。攪拌後、上澄みを0.22 μmメンブレンフィルターにてろ過し、検液を作成し、MB濃度を測定した。

MB吸着量は、以下に示す(1)式で算出し、固相試料100g当りの物質質量に換算している。

$$MBC = \frac{(C_0 - C) \times (V/10^3)}{(S/100)} \quad (1)$$

ここで、

- MBC : MB吸着量 (mmol/100g)
- C<sub>0</sub> : 初期添加MB濃度 (mmol/L)
- C : 上澄み(未吸着)のMB濃度 (mmol/L)
- V : 添加MB量 (mL)
- S : 試料土量 (g)

なお、L/S=15は、使用したペントナイトのMB吸着量(87mmol/100g)に対し、通常の土質遮水のペントナイト添加率の最大範囲と考えられるペントナイト添加率15wt%におけるMB吸着量(13mmol/100g = 87mmol/100g × 15wt%)をやや超える15mmol/100g相当のMB溶液量として設定した。

### 3.2 試験結果

Fig. 3に試料の状態によるMB吸着量の測定結果を示す。どの試料の状態においても、ペントナイト添加率とMB吸着量は高い比例関係を示していた。その中でも、乾燥粉碎試料が最も高い決定係数R<sup>2</sup>=0.9945を示した。

一方、乾燥有姿試料の決定係数はR<sup>2</sup>=0.9892、湿潤有姿試料の決定係数はR<sup>2</sup>=0.9883であり、いずれも非常に高く、定量性が高い結果となった。

いずれの試料の状態においても測定精度に影響を及ぼすことはないが、本検討の目的である「短時間で測定する」観点から、乾燥や粉碎の前処理をせずに、湿潤有姿試料で測定することが好ましいと判断し、以降の最適化検討では湿潤有姿試料で検討することとした。

## 4. 比色法の最適化検討

処分場の土質遮水の母材として適用される粒度分布の範囲でペントナイト混合土を作製し、品質管理手法の最適化検討を行った。

Fig. 2に示す比色法の試験フローの内、測定時間および測定精度に関わる「試料土量」、「L/S」および「攪拌(反応)時間」の3点について最適化を検討した。

### 4.1 模擬母材を用いたペントナイト混合土の作製

4.1.1 模擬母材 ペントナイト混合土の母材として各種珪砂を用いて、Table 1およびFig. 4に示す母材A、BおよびCの3種類を作成した。なお、Fig. 4の網掛け部は、一般的にペントナイト混合土の母材に適用される粒度範囲を示しており、その粒度分布範囲の下限として母材Aを、上限として母材Cを、その中間の粒度として母材Bを設定している。

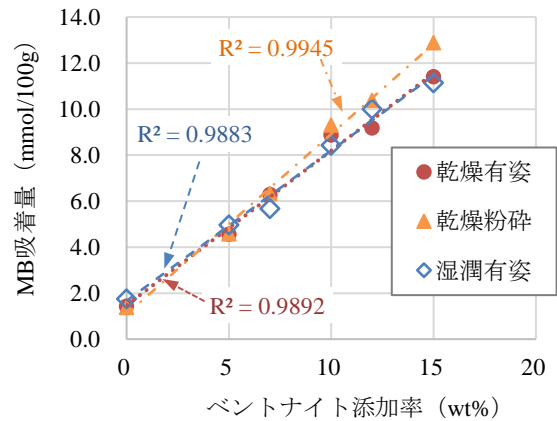


Fig. 3 試料の状態によるMB吸着量の測定結果の比較  
Comparison of Measurement Results of Methylene Blue Adsorption Amount by Sample Conditions

Table 1 模擬母材  
Simulated Base Material

母材	D10 mm	D30 mm	D60 mm	D <sub>max</sub> mm	均等 係数 U <sub>c</sub>	曲率 係数 U' <sub>c</sub>
A	0.035	0.07	0.15	1.18	4.29	0.80
B	0.045	0.17	0.45	2.36	10.0	1.43
C	0.053	0.32	1.00	4.75	18.97	1.93

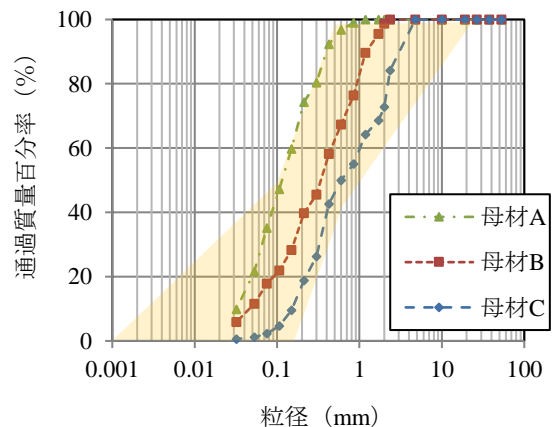


Fig. 4 模擬母材の粒径加積曲線  
Particle Size Addition Curve of Simulated Base Material

4.1.2 ペントナイト添加率 ペントナイト添加率は3章と同様に5、7、10、12、15wt%(乾燥重量比)の5水準とした。

## 4.2 試料土量の最適化検討

まずは一般的な母材粒度分布の中間に位置し、この粒度分布範囲において傾向を掴みやすい母材Bで試料土量の最適化を検討した。

**4.2.1 試験方法** 試料土量を0.5gと、その10倍の5.0gの2パターンとした。試料土量のイメージをFig. 5に示す。

分散方法、L/Sおよび攪拌時間は3章と同様L/S=15、30分の一定とした。

MB濃度測定も同様に実施し、MB吸着量を求めた。なお、MB吸着量はペントナイト添加率毎に5試料ずつ測定し、最小値と最大値以外の3点のMB吸着量を平均し、各ペントナイト添加率のMB吸着量としている。

**4.2.2 試験結果** 試料土量におけるペントナイト添加率とMB吸着量の測定結果をFig. 6に示す。

土量5.0gでは決定係数は $R^2=0.9810$ 、土量0.5gでは $R^2=0.9951$ とともに非常に高い結果となった。なお、MB吸着量の分散値は、土量5.0gで $0.0\sim 0.6(\text{mmol}/100\text{g})^2$ 、土量0.5gで $0.1\sim 1.9(\text{mmol}/100\text{g})^2$ であった。

粗粒分混入によるサンプリング誤差の発生防止を考慮すると実施工時の最小試料土量は5g程度と想定される。母材中の粗粒分混入によるサンプリング誤差を小さくする観点から試料土量は5.0gとすることとした。

## 4.3 MB溶液と試料土量の液固比の最適化検討

4.2節と同様に母材BでL/Sの最適化を検討した。

**4.3.1 試験方法** L/Sを15と25の2パターンとし、試料土量は4.2節で決定した5.0gとした。攪拌時間は同様に30分一定とし、その他の条件も同様とした。また、MB吸着量は4.2節と同様に求めた。

**4.3.2 試験結果** MB溶液と試料土量のL/Sにおけるペントナイト添加率とMB吸着量の測定結果をFig. 7に示す。

L/S=15では決定係数 $R^2=0.9810$ と非常に高かった。一方、L/S=25では $R^2=0.9023$ と高いものの、ペントナイト添加率10wt%において、ペントナイト量が増加しているにもかかわらず7wt%と同程度のMB吸着量となっていた。また、同様に0wt%と5wt%でMB吸着量に差はなかった。なお、MB吸着量の分散値は、L/S15で $0.0\sim 0.6(\text{mmol}/100\text{g})^2$ 、L/S25で $0.4\sim 3.6(\text{mmol}/100\text{g})^2$ であった。

L/S=15の条件は3.1.2項に記載のように必要なMB吸着量と設定しているが、L/S=25では必要以上の過剰なMB溶液を添加混合している。この過剰なMB溶液量に起因しているものと推察する。

以上のことから、L/Sは15とすることとした。

## 4.4 攪拌時間の最適化検討

4.2節と同様に母材BでMB溶液との反応時間である攪拌時間の最適化を検討した。

**4.4.1 試験方法** 攪拌時間を30分および1時間とし、試料土量は5.0g、L/S=15の条件で攪拌し、MB吸着量を測定した。なお、その他の測定条件は4.2節と同様である。

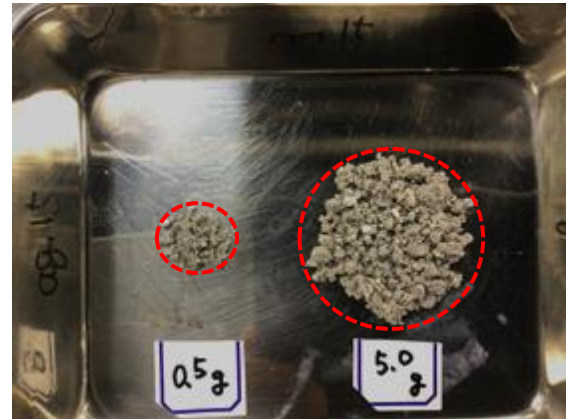


Fig. 5 試料土量のイメージ  
Image of Sample Soil Amount

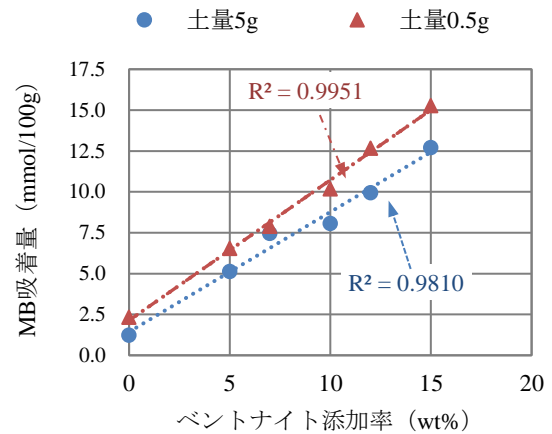


Fig. 6 試料土量によるMB吸着量の測定結果の比較  
Comparison of Measurement Result of Methylene Blue Adsorption Amount by Soil Amount

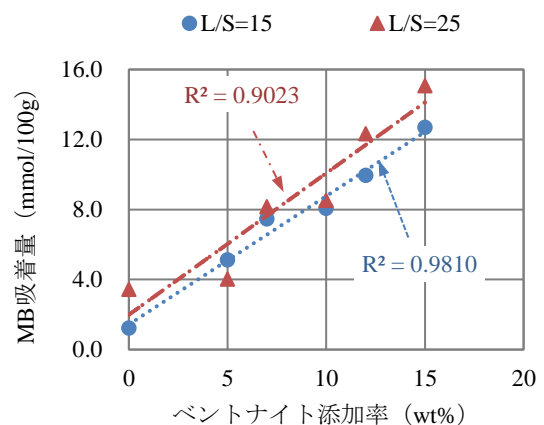


Fig. 7 L/SによるMB吸着量の測定結果の比較  
Comparison of Measurement Result of Methylene Blue Adsorption Amount by Liquid-Solid Ratio (L/S)

4.4.2 試験結果 攪拌時間におけるペントナイト添加率とMB吸着量の測定結果をFig. 8に示す。

攪拌時間30分で $R^2=0.9810$ 、1時間で $R^2=0.9920$ とどちらも高い決定係数となった。なお、MB吸着量の分散値は、攪拌時間30分で $0.0\sim 0.6((\text{mmol}/100\text{g})^2)$ 、攪拌時間1時間で $0.4\sim 3.6((\text{mmol}/100\text{g})^2)$ であった。

本検討の目的である「短時間」を勘案すると試験時間が短い方が目的に合致する。以上のことから、攪拌時間は30分とすることとした。

4.5 粒度の異なる母材での適用確認

4.2~4.4節で中粒の母材Bを用いて選定した「試料土量5.0g」「L/S=15」「攪拌時間30分」の条件が、その他粒度の母材Aおよび母材Cにおいて、適用可能か確認した。

4.5.1 試験方法 各試料において、試料土量5.0g, L/S=15, 攪拌時間30分の条件で4.2節と同様にMB吸着量を求めた。

4.5.2 試験結果 各母材のペントナイト混合土におけるMB吸着量測定結果をFig. 9に示す。細粒の母材Aでは $R^2=0.9917$ 、粗粒の母材Cでは $R^2=0.9902$ と中粒の母材Bの $R^2=0.9810$ と同様に高い結果となった。なお、MB吸着量の分散値は、母材Aで $0.0\sim 0.2((\text{mmol}/100\text{g})^2)$ 、母材Cで $0.0\sim 0.1((\text{mmol}/100\text{g})^2)$ であった。

このことから、処分場等で用いられる土質遮水の一般的な母材粒度範囲における比色法でのMB吸着量試験の測定条件は、「試料土量5.0g」「L/S=15」「攪拌時間30分」が測定時間を短くすることを目的とした場合の最適な条件であり、精度も高く適用可能であることがわかった。

5. 礫混じり母材への適用拡大検討

4章でペントナイト混合土を対象とした比色法を用いたペントナイト添加率管理について、3種類の模擬母材を用いて検討し、最適な条件を得た。用いた母材の最大粒径は4.75mmと土質区分で「細礫」に分類される粒径までを対象としていた。一方で、現地発生土を母材として使用する場合は粒径の大きな礫を含んでいる。

製造時は、前処理として母材（現地発生土）のふるい分けを実施していることが多いが、ふるい目は最小で20mm程度である。そのため、Fig. 5に示す一般的な粒度分布範囲外とはなるが、一定量の中礫（粒径4.75~19mm）が母材に含まれていることが想定される。

そこで、本章では4章で検討した比色法の最適化条件をベースに中礫を含むペントナイト混合土へ適用し、その試験方法の最適化について検討した。

5.1 礫を含む母材への比色法の適用性確認

3章で決定した「試料土量5.0g」「L/S=15」「攪拌時間30分」の条件で、中礫を含む母材2種類で適用性を確認した。

5.1.1 模擬母材 母材Bをベースに中礫として7号

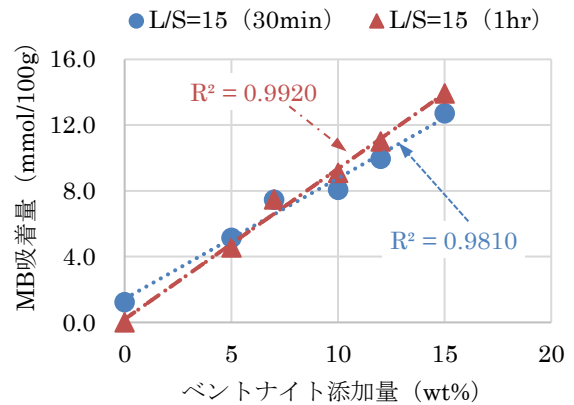


Fig. 8 攪拌時間によるMB吸着量の測定結果の比較

Comparison of Measurement Result of Methylene Blue Adsorption Amount by Stirring Time

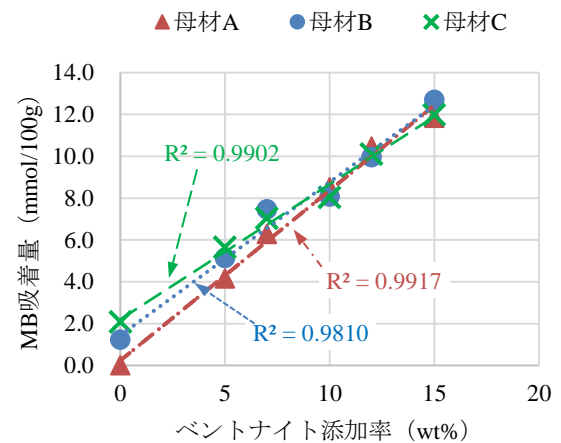


Fig. 9 母材粒度によるMB吸着量の測定結果の比較

Comparison of Measurement Result of Methylene Blue Adsorption Amount by Base Material Particle Size

Table 2 中礫混じりの模擬母材 Simulated Base Material Mixed with Medium Gravel

母材	D10 mm	D30 mm	D60 mm	D <sub>max</sub> mm	均等 係数 U <sub>c</sub>	曲率 係数 U' <sub>c</sub>
D	0.032	0.106	0.6	10	18.75	0.59
E	0.032	0.15	0.85	26.5	26.56	0.83

碎石(粒径4.75~10mm)および5号碎石(粒径10~26.5mm)を加えたものを2種類作製した。Table 2およびFig. 10に粒度特性および粒径加積曲線を示す。

母材Dは7号碎石を母材の5wt%、母材Eは7号碎石を母材の5wt%、5号碎石を母材の5wt%含んでいる。なお、混合割合は全て乾燥土量換算である。

**5.1.2 ベントナイト添加率** ベントナイト添加率は3章および4章と同様に、5、7、10、12、15wt% (乾燥重量比)の5水準とし、ベントナイトを添加しない母材のみのケースも試験に用いた。

**5.1.3 試験方法** 4.5節と同様の条件で各ベントナイト混合土のMB吸着量を測定した。

**5.1.4 試験結果** Fig. 11に母材DのMB吸着量の測定結果を、Fig. 12に母材EのMB吸着量の測定結果を示す。

母材Dは、決定係数 $R^2=0.9983$ と高く、比例関係にあった。一方、母材Eは、決定係数 $R^2=0.9751$ と高いものの、ベントナイト添加率10wt%と12wt%のMB吸着量が8.5と8.4mmol/100gと逆転する結果となった。なお、MB吸着量は同配合試料を5つ測定し、その平均をMB吸着量として算出している。

原因は、母材Eは母材Dよりも粒径の大きな碎石が含まれていること、サンプリングの試料土量(5.0g)に対し、碎石1粒が占める重量が大きくなるためと考えられる。つまり、碎石分のサンプリングの程度によって同じ試料間で母材とベントナイトの割合が異なることに起因するものと推察される。

今回の結果では、ベントナイト添加率10wt%ではベントナイトの割合が多く、12wt%では、母材のうち粒径の大きい礫分の割合が多くなっていったものと考えられる。

**5.2 礫を含む母材に対する比色法試験方法の検討**

母材Eの最大粒径(Table 2)のように、粒径が20mm程度と大きな粒子を母材に含む場合、4章で決定した試験条件では、サンプリングにより誤差が生じる可能性が示唆された。

そこで、サンプリング誤差を解消し、定量性を確保しつつ、短時間で実施可能な測定方法を検討した。

**5.2.1 礫分補正の検討** 5.1節より礫分がサンプリング誤差を生じさせる原因であると推察されたため、製造されたベントナイト混合土を多く採取することで、サンプリング時の誤差をまず解消することとした。

試料土量を多くすることでMB吸着量の測定誤差は小さくなるが、L/Sは一定のため、多量のMB溶液が必要となり、頻度は多くできない。そこで、誤差の原因である礫分をふるい分けにより除去し、砂分以下の粒径を試料土とすることで、試料土量5.0gでもMB吸着量の誤差が生じにくくなる考えた。

砂分以下のMB吸着量に対して、ふるいを通過した試料土量とふるいに残留した礫分の比率に応じて、元のベントナイト混合土のベントナイト添加率に換算することで誤差を解消できると考えた。

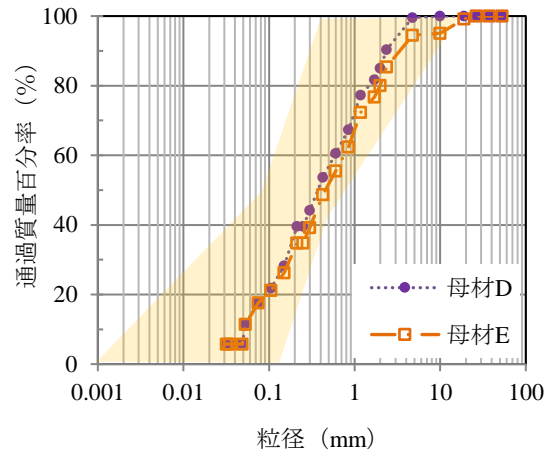


Fig. 10 中礫混じりの模擬母材の粒径加積曲線  
Particle Size Addition Curve of Simulated Base Material Mixed with Medium Gravel

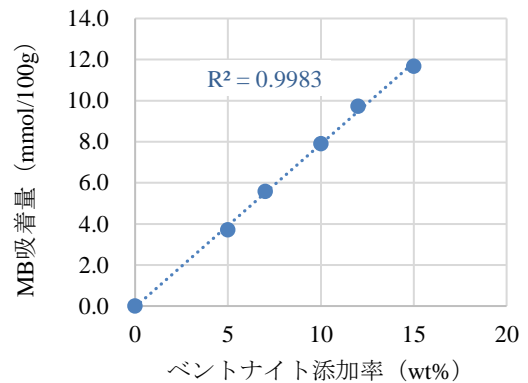


Fig. 11 母材DのMB吸着量測定結果  
Measurement Result of Methylene Blue Adsorption Amount for Base Material No. D

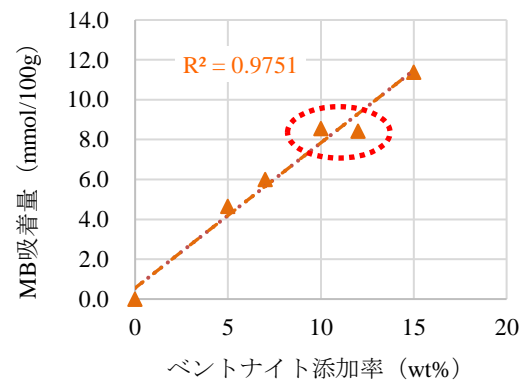


Fig. 12 母材EのMB吸着量測定結果  
Measurement Result of Methylene Blue Adsorption Amount for Base Material No. E

Fig. 13に中礫を含む母材に対するMB吸着量測定フローを示す。混合土500g程度をサンプリングし、電子レンジで15分乾燥する。乾燥後、ふるい（目開き2.0mm）でふるい分けを行う。なお、湿潤状態のベントナイト混合土では、ふるいに付着し、ふるい分け効率の低下およびベントナイトの付着による誤差が生じるため、先に乾燥させることとした。ふるい目開きは、礫と砂以下の粒径に分ける目的で設定している。

ふるい通過分の試料土とふるい残留分の試料土の乾燥質量を正確に測定し、ふるい通過後の試料土に対し、4.5節と同じ方法でMB吸着量を測定する。

そのMB吸着量と先に測定したふるいの通過分および残留分の試料土の乾燥質量割合から (2) 式に示す補正式により、元の礫を含むベントナイト混合土のMB吸着量を算出する。

$$MBC = MBC(2) \times \frac{S_1}{(S_1+S_2)} \quad (2)$$

ここで、

MBC : ベントナイト混合土のMB吸着量 (mmol/100g)

MBC(2) : S<sub>1</sub>の試料土のMB吸着量(mmol/100g)

S<sub>1</sub> : ふるいを通過した乾燥質量 (g)

S<sub>2</sub> : ふるい残留分の乾燥質量 (g)

5.2.2 礫分補正の適用性の考察 母材Eにおいて、礫分補正を考慮し測定ケースと補正を考慮せず測定したケースでMB吸着量を比較した。Fig.14にベントナイト添加率に応じたMB吸着量試験結果を、Fig. 15にベントナイト添加率毎に各5回測定したMB吸着量に対する分散を示す。

礫分補正を考慮し測定した結果、決定係数R<sup>2</sup>=0.9837と高い値が得られた。さらに、補正を考慮せず測定した場合で生じたベントナイト添加率とMB吸着量の逆転は生じず、比例関係となった。

また、同じベントナイト混合率の試料を5試料採取し、MB吸着量を測定しているが、補正を考慮せず測定した場合、ベントナイト添加率12wt%で分散が大きくなっており、Fig. 12の結果と整合している。一方で、礫分補正を考慮し測定した場合、どのベントナイト添加率においても分散が小さく、同一のベントナイト添加率の試料においてサンプリングに起因する誤差は、ほぼ生じていないことが示された。

このことから、礫分補正を行うことにより精度が高いベントナイト添加率管理を行うことができると考える。

5.2.3 礫分補正を考慮した品質管理時間の試算 礫分補正を考慮し測定した場合の品質管理頻度の概算を行う。なお、概算時間は、Fig. 13の測定フローをベースに、ベントナイト混合土採取以降を試算している。乾燥は15分、ふるい分け、質量測定および試料土 (5.0g) の計量は



Fig. 13 礫分補正によるMB吸着量測定フロー  
Methylene Blue Adsorption Amount Measurement Flow by Gravel Correction

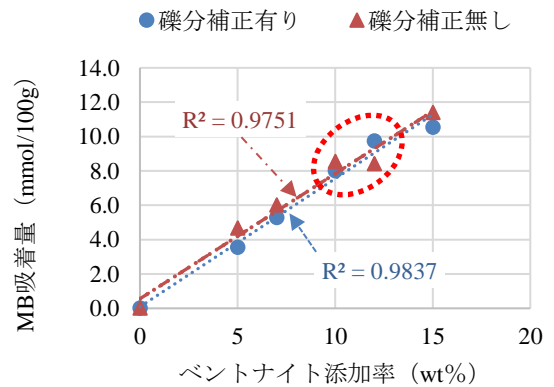


Fig. 14 礫分補正の有無によるMB吸着量の測定結果の比較  
Comparison of Measurement Result of Methylene Blue Adsorption Amount with and without Gravel Correction

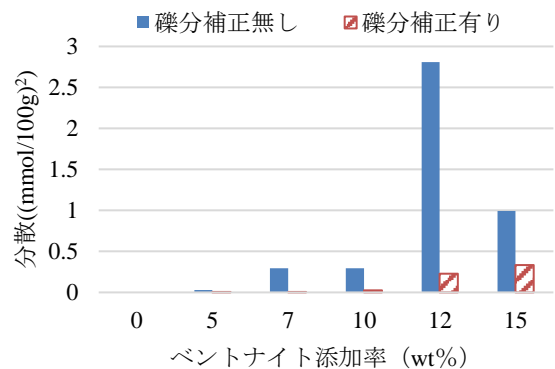


Fig. 15 礫分補正の有無による同一試料内の分散の比較  
Comparison of Dispersion within the Same Sample with or without Gravel Correction

5～10分となる。MB吸着量測定は、3章およびFig. 2のフローと同様であり、分散10分、MB吸着反応（攪拌時間）30分、それぞれの溶液計量に5分とし、ろ過および検液作製に5～10分、吸光度の測定に5～15分とした。

礫分補正にかかる計算時間は特段考慮しないこととし、品質管理時間としては、1～1.5時間程度となる。

従来の目視判定である「ろ紙法」にかかる時間は、熟練度および試料によって差があるが、これまでの実績では、最短でも3時間程度を要している。

つまり、従来のろ紙法に比べて品質管理時間は1/2以下に低減でき、少なくとも2倍以上の頻度で品質管理が可能な手法である。以上のことから目的である「短時間で品質管理を行う」ことができる手法であると言える。

## 6. まとめ

MB吸着量を用いたベントナイト混合土のベントナイト添加率管理手法を検討した結果について、以下に得られた知見を示す。

- 1) ベントナイト混合土の粉砕等前処理を行わず、比色法が適用できる。
- 2) 試料土量5.0g、L/S=15および攪拌（反応）時間30分が、短時間での測定を目的とした場合、最適なMB吸着量試験条件である。
- 3) 中礫以上を含む場合、礫分を先に除去した試料土でMB吸着量を測定し、礫分補正を考慮し測定することで誤差が少なく精度が高い添加率管理手法となる。

- 4) 測定時間は半分以下となり、2倍以上の頻度の品質管理が可能である。

以上の結果から、「短時間」かつ「高精度」なベントナイト添加率管理により、高品質なベントナイト混合土の製造が可能になると考える。今後、20mmを超える粒径の大きな礫を含んだ場合など、本検討で実施していない現場製造のベントナイト混合土を用い、適用性を検証していく。

## 謝辞

本検討を進めるに当たり、アキュテック株式会社 谷内氏に貴重なご意見を賜りました。ここにお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) JIS Z 2451:2019 ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法
- 2) 廃棄物最終処分場遮水システムハンドブック, pp. 107-132, 2008.1.25
- 3) 日本ベントナイト工業会：日本ベントナイト工業会標準試験法 ベントナイト（粉状）のメチレンブルー吸着量測定方法（JBAS-107-91），1977
- 4) 稲元裕二他：ベントナイト混合土電気伝導率試験法の研究，第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 955-957, 2003