



放射性廃棄物の地下空洞型処分施設に用いる側部低透水層の転圧工法による施工品質の評価

山田, 淳夫
千々松, 正和
秋山, 吉弘
小峯, 秀雄
飯塚, 敦

(Citation)

土木学会論文集C (地圏工学) , 72(2):164-178

(Issue Date)

2016

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2016 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003481>



放射性廃棄物の地下空洞型処分施設に用いる 側部低透水層の転圧工法による施工品質の評価

山田 淳夫¹・千々松 正和²・秋山 吉弘³・小峯 秀雄⁴・飯塚 敦⁵

¹正会員 株式会社安藤・間 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1)

E-mail: yamada.atsuo@ad-hzm.co.jp

²正会員 株式会社安藤・間 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1)

E-mail: chijimatsu.masakazu@ad-hzm.co.jp

³正会員 元 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター (〒104-0052 東京都中央区月島1-15-7)

E-mail: akiyama@rwmc.or.jp

⁴正会員 早稲田大学教授 理工学術院創造理工学部社会環境工学科

(〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

E-mail: hkomine@waseda.jp

⁵正会員 神戸大学教授 自然科学系先端融合研究環 都市安全研究センター

(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: iizuka@kobe-u.ac.jp

余裕深度処分は、低レベル放射性廃棄物のうち比較的放射能レベルの高い放射性廃棄物を対象とする。同処分施設におけるベントナイト系材料を用いた低透水層には人工バリアとして放射性物質の移行抑制等の機能を期待されている。この低透水層の設計や施工方法の検討にあたり、原位置における実規模での施工性の確認と性能の確認を行うことが重要である。本報告では、ベントナイトによる側部低透水層を転圧工法にて構築することを目的とした施工試験と、性能を確認することを目的とした室内試験の結果を報告する。本試験では、トレンチ状の狭隘部に適合した施工システムの実現性を確認するとともに、施工後の品質として低透水層に求められる透水係数等の性能が確保可能なことを確認した。

Key Words : subsurface disposal, engineered barrier, bentonite, vibrating compaction, permeability, dry density

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物のうち、比較的放射能レベルの高い放射性廃棄物を対象とする余裕深度処分の方法として、地下にトンネルを掘削し処分施設を設置する地下空洞型処分施設の具体的な検討が行われている¹⁾。余裕深度処分とは、地下利用に十分余裕をもった深度（表層から50m以深）に廃棄物を処分するものである。これまで余裕深度処分施設の設計と品質管理の考え方は、土木学会²⁾等により検討されている。施設は複数の部材で構成されており、廃棄体、コンクリートピットおよび低拡散層を包み込むように低透水層が配置される計画である。本報告ではコンクリートピット・低拡散層の側壁部分とコンクリート部材である空洞内充てん材との間に設置される側部低透水層を対象としている。図-1に施設構成を

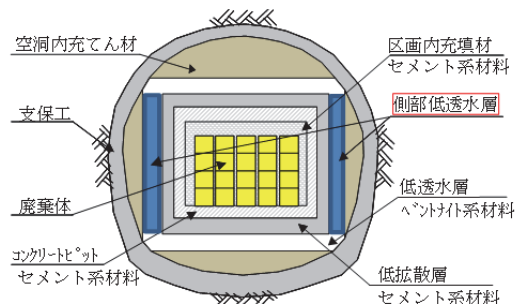


図-1 地下空洞型処分施設構成（土木学会²⁾より一部改変）

示す。

側部低透水層は写真-1に示すように、幅が狭く両側の壁が高い、トレンチ状の狭隘な空間内で施工する必要がある。このような空間での施工を対象にした既往の検討では、小型振動ローラによる転圧³⁾、ブロック定置によ

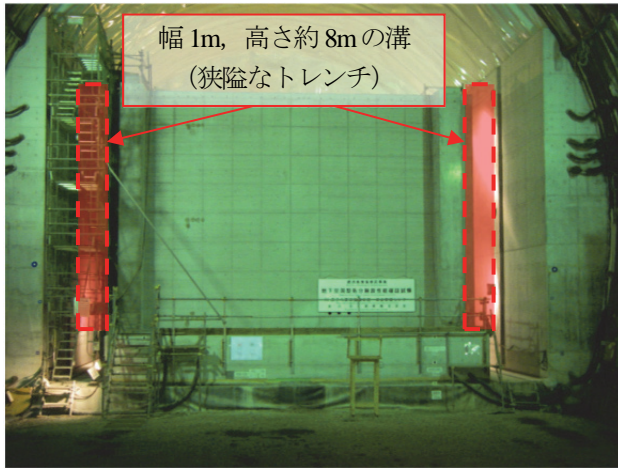


写真-1 側部低透水層の設置空間の例

る方法⁴⁾、粒状ベントナイトの充填による方法⁵⁾、ベントナイトを吹付ける工法⁶⁾が取り上げられている。これらの検討での施工規模は要素的な部分を取り出したような規模であり、どの程度の性能のものが構築可能かを探る試験として実施されてきたが、実際の地下空間の環境下での施工システムの実証性の確認と施工後の品質の確認が残された課題となっていた。本報告では、これらの工法のうち小型振動ローラによる転圧工法を対象とした、実際の地下空間の環境下での側部低透水層の施工試験と、性能を確認することを目的とした室内試験の結果について報告する。

2. 側部低透水層の概要と課題

余裕深度処分施設の部材毎の要求機能は、土木学会²⁾によりまとめられている。ベントナイト系材料で構築される低透水層の要求機能は、表-1に示すような建設操業段階においては、放射性核種の「閉じ込め」および「操業上の機能」のうち「確実な建設、操業が行われる空間、力学的安定性が確保されること」（以下、力学的安定性の確保）であり、埋戻し後の放射性核種の「移行抑制」である。これらの要求機能を確保するために求められる技術要件は、「閉じ込め」「移行抑制」に対するものとして「透水特性」があり、操業段階の力学的安定性確保に対するものとして「力学特性」がある³⁾。

側部低透水層においても、閉じ込めや移行抑制に関する機能は主要な機能であり、その技術要件は前述のとおり透水特性で、低透水性を満足する必要がある。低透水性を満足する可能性のある材料として、既往の研究⁸⁾でベントナイト原鉱石を粉砕した粒状ベントナイトが提案されている。著者らが実施した底部低透水層の試験⁹⁾でもこの粒状ベントナイトを使用しており、均質な人工バリアとしての低透水層を構築するため、本報告でも同じ

表-1 低透水層の要求機能²⁾

要求機能	段階	機能の内容	機能の可否
基本安全機能	閉じ込め	放射線物質の埋設施設外の環境への有意な漏洩を防止すること	●
		廃棄体を線源とする放射線に対して、十分な遮へいを有する環境を保つこと	—
	移行抑制	放射性核種の拡散による移動を抑制すること	—
		放射性核種を収着すること	—
		低透水性により、処分施設を通過する地下水流量の抑制を行うこと	●
		連続した地下水移行経路を形成しないこと	—
操業上の機能	離隔	離隔距離を確保すること	—
		容易な侵入を防止すること	—
	建設操業	確実な建設、操業が行われる空間、力学的安定性が確保されること	—※
		坑道の形状を維持すること	—

※側部低透水層では力学的安定性確保に関する機能は側部低透水層には要求されないため、土木学会²⁾から一部変更し、—とした。

材料を用いた施工試験および品質確認試験を行うこととした。次節で使用了材料の特性を示す。

(1) 使用した材料の特性

使用した材料（粒状ベントナイト）の材料特性を表-2⁸⁾に示す。表-2のデータは、母数が10～80点であり、「最小密度・最大密度」とは、粒状ベントナイトに「JIS A 1224 砂の最小密度・最大密度試験方法」を適用して測定した結果である⁸⁾。また、本報告で使用した粒状ベントナイトのふるい分け試験結果を図-2に示す。最大粒径は10mmである。図には製造時期の異なる3つのロットの結果を示した。若干のばらつきがみられるものの、概ね似たような粒度分布を示した。

本報告で選定した粒状ベントナイトと産地・材質が同じ粒状ベントナイトの透水係数を測定した既往研究^{10)~15)}の結果より得られる透水係数と乾燥密度との関係は、後述の図-22のような相関性を示し、著者らが実施した底部低透水層の試験⁹⁾では、施工後に回収した試料を用いた場合でも、室内で圧縮成型により作製した供試体でも、同様な傾向を示した。一般的な土質材料では、透水係数は含水比にも影響を受けるが、図-22で示したデータの含水比は15～28%程度の間に分布し、乾燥密度の違いが透水係数に支配的に影響を与え、含水比の違いによる影響は小さいと思われる⁹⁾。

地盤材料に同じ締固めエネルギーを与えて盛土などの構造物を構築する際、締固め曲線で表現されるように地盤材料の含水比によって、その締固め状態は変化する。

図-3に締固めエネルギー15Ec、4.5Ec、1Ecで行った粒状ベントナイトの締固め試験結果⁹⁾のうち、後述の「2. (2) 施工時の管理目標の設定」で示す乾燥密度 $1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$ に近い4.5Ecで実施した試験結果を示す。最大乾燥密度 $\rho_{\text{max}}=1.71 \text{ Mg/m}^3$ 、最適含水比 $w_{\text{opt}}=15.5\%$ であった。

この締固め曲線上の乾燥密度・含水比で締め固めた供試体を用いて透水試験を実施した。透水試験の方法については、後述の「6. (1) 透水試験の結果」で詳述する。含水比と透水係数の関係を図-4に示す。一般的な地盤材料^{10)~19)}よりも顕著ではないが、最適含水比よりも湿潤側の含水比条件で透水係数が最も小さくなるような傾向がみられた。

(2) 施工時の管理目標値の設定

著者らは、底部低透水層の試験⁹⁾において、拡散場が形成されることが期待される低透水性の構築を目標とし、その目標値を透水係数で $5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ と暫定的に設定した。透水試験は時間を要し目標達成の判断を施工時に即時的に行うことは不可能なので、透水係数の代替特性として、透水係数と相関性が認められる^{10)~15)}乾燥密度を選択した。その目標値（以下、管理目標値）として $1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$ と設定した⁹⁾。本報告でも、低透水層の均質性を確保するためこれらの目標値を採用する。

図-4に示すような結果より、含水比が最適含水比よりも7%程度高い含水比（22%）でも、本試験の低透水層

の目標値である透水係数 $5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ を下回ることが分かる。底部低透水層の試験⁹⁾において、最適含水比よりも湿潤側の含水比で締め固めれば、乾燥密度のばらつきが小さくなることより、材料の含水比の管理目標値を $21 \pm 2\%$ として設定した。本報告では、図-4に示した透水試験結果や、締固め試験から得られる乾燥密度から推定される透水係数によると、この含水比でも透水性の目標値を満足できると考えられるので、含水比の管理目標値を $21 \pm 2\%$ とすることとした。

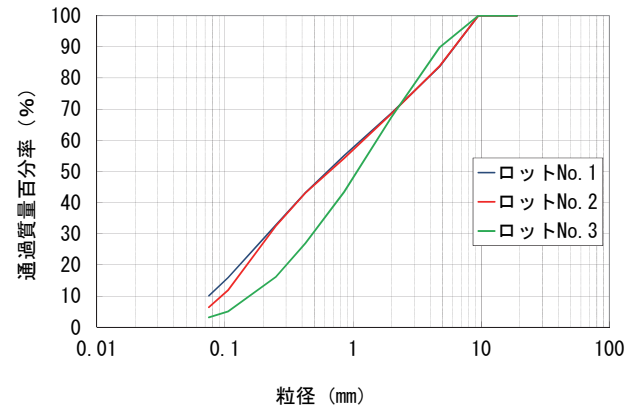


図-2 使用した粒状ベントナイトのふるい分け試験結果

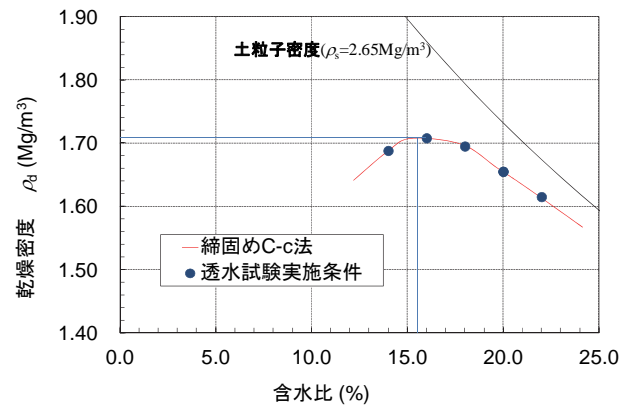


図-3 粒状ベントナイトの締固め試験結果

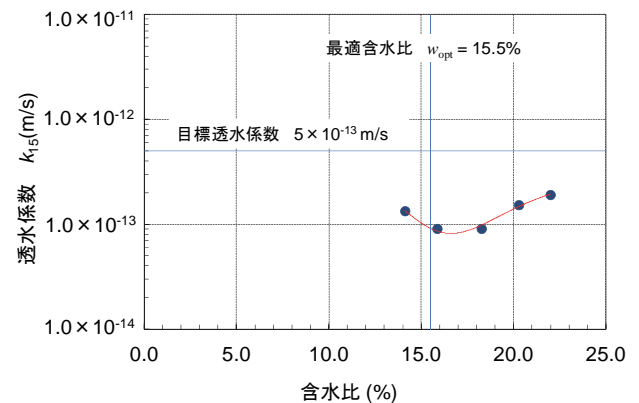


図-4 含水比と透水係数の関係

表-2 粒状ベントナイトの材料特性⁹⁾

項目	平均値	範囲 (平均値 $\pm 3\sigma$)
最小密度 (Mg/m^3)	1.191	1.185~1.197
最大密度 (Mg/m^3)	1.407	1.395~1.419
土粒子密度 (Mg/m^3)	2.650	2.599~2.701
含水比 (%)	7.06	6.67~7.45
液性限界 (%)	346.9	330~360
塑性限界 (%)	22.7	20.3~25.1
pH	10.0	9.9~10.1
メチレンブルー吸着量 (mmol/100g)	72.2	58.0~86.3
モンモリロナイト含有量 (%)	51.5	41.4~61.6
膨潤力 (ml/2g)	14.2	10.5~17.8
鉱物組成	モンモリロナイト、石英、ゼオライト、長石、方解石、黄鉄鉱	
陽イオン交換容量 (meq/100g)	65.6	55.2~75.9

表-3 低透水性の目標値および施工時の管理目標値

低透水性の目標値	透水係数	$5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$
施工時における管理目標値	材料の含水比	$21 \pm 2\%$
	乾燥密度	$1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$

低透水性の目標値および施工時における管理目標値を表-3にまとめる。

(3) 側部低透水層構築の施工上の課題

転圧工法による側部低透水層の施工上の課題としては、表-2および図-2～図-4に示すような材料を用いて、表-3に示す目標値を満たすことが、まず挙げられる。さらに、底部低透水層の場合とは異なり、空間的に制限されている箇所、低透水層を構築することが課題である。これらの課題を以下に示す。

a) 施工システムの選定

側部低透水層の施工箇所は、幅1m・高さ約8mの狭隘なトレンチ状の空間であり、実物の処分施設では奥行き方向に100m程度となることが予想される。このような空間的に制限されている箇所に適合した施工システムを検討し選定する必要がある。

b) 材料の撤出し・敷均し

材料の撤出し・敷均しが粗密で不均一であれば、その後工程でも粗密で不均一に締固められ、転圧後の乾燥密度にばらつきが生じる恐れがある。そのため、材料の撤出し・敷均しを均一に行うことは重要である。しかし、側部低透水層を対象にした施工システムを用いて撤出し・敷均しを実施した事例は皆無であり、またそのような施工システム自体も存在していない。そこで、検討対象とした施工システム（撤出し・敷均し）について、撤出し・敷均し後の品質を確認する必要がある。

c) 転圧条件に関する検討

側部低透水層の施工箇所を模擬して、地上で幅1mのトレンチ状のピットを製作して実施された既往の研究³⁾では、小型振動ローラを用いた転圧工法の施工を小規模で実施した結果、転圧後の乾燥密度 1.60 Mg/m^3 が確保されることが報告されている。このため、側部低透水層のような空間的に制限された箇所における施工も可能であることが予想される。

しかし、地下の狭隘空間での施工性および転圧条件と施工後の品質との関係に関する知見が少ないため、転圧幅、撤出し・敷均し厚さ等の転圧条件と仕上がり後の品質との関係について、実際に施工を行い確認する必要がある。

d) 施工後の品質確認

選定および検討した施工システムを用いた施工によって、表-3に示す目標値を満足できる側部低透水層を構築できるのかを確認する必要がある。

土木学会²⁾において、締固めたベントナイト系材料の乾燥密度と透水係数との相関性が示されている。粒状ベントナイトを用いた側部低透水層においても、このような乾燥密度との相関性が成立するのを確認する必要がある。

表-4 本試験の検討項目と実施内容

検討項目		実施内容
(1)	施工システムの選定	材料供給方法、撤出し・敷均し専用機械、転圧機械について、既往検討を参照し、必要に応じて開発を行い検討する。
(2)	材料の撤出し・敷均し	検討した材料供給方法、撤出し・敷均し専用機械で試験施工を行う。均質に撤出し・敷均しされたかの確認（品質確認）をかさ密度を測定して行う。
(3)	転圧による締固め	転圧条件を変更しながら施工し、乾燥密度のばらつきに関するデータを採取する。
(4)	施工後の品質確認	実際に施工した低透水層より採取した供試体を用いて室内試験を実施する。

前述のように、側部低透水層には施工上の課題および施工後の品質確認に関する課題がある。

これらの課題に対して、本報告での検討項目と実施内容を表-4に示す。これらについて次章以降で説明する。

3. 施工システムの選定

側部低透水層の施工箇所は、先述のとおり狭隘な空間であり、実物の処分施設では奥行き方向に100m程度となることが予想される。このような箇所では、撤出し・敷均しおよび転圧時の施工箇所の幅の制限のみならず、100m程度の奥行きや約8m程度の高低差を考慮した、施工箇所への材料の供給方法も課題となる。

本章では、材料の供給、材料の撤出し・敷均し、転圧に使用する施工機械について説明し、これらの施工機械を組み合わせた狭隘なトレンチ状の空間における施工方法について述べる。

(1) 材料の供給方法の選定

材料の供給方法とは、撤出し・敷均し箇所または撤出し・敷均し機械へ材料を供給するため、最大100m程度の距離をトンネル軸方向に輸送する方法のことであり、大きく2つの方法が考えられる。1つ目の方法はトレンチ状の空間の中で行う方法であり、図-5に示すようなマテリアルホースを使用した空気圧送の他、図-6に示すような幅1m未満のキャリアなどの自走する輸送機械による

方法が考えられる。もう1つの方法は、図-7に示すように、一旦材料をコンクリートピット上部に荷揚げし、キャリアなどの輸送機械で所定の箇所まで輸送し、撒出し・敷均し箇所または撒出し・敷均し機械へコンクリートピット上部から材料を供給する方法である。

前者の方法のうち、マテリアルホースを使用した空気

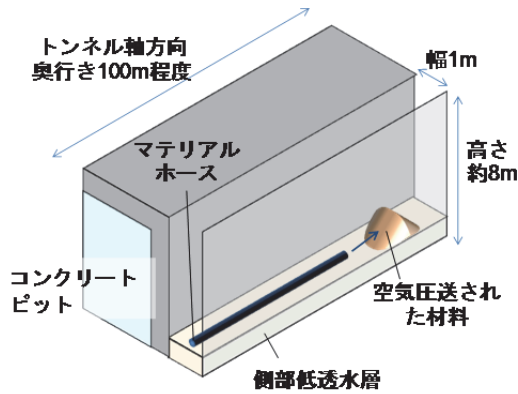


図5 マテリアルホースを使用した空気圧送

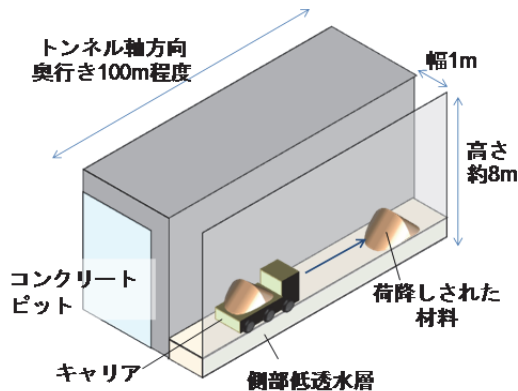


図6 トレンチ状の空間内を自走する輸送機械による方法

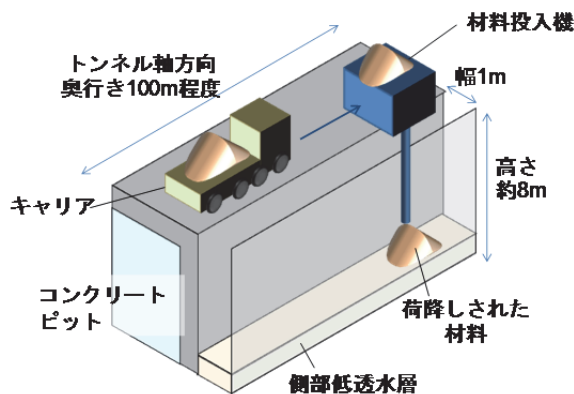


図7 コンクリートピット上部からの材料供給方法

圧送は、圧送距離が100m程度であり、材料の閉塞や摩耗などによるホースの破裂が懸念され、施工時の危険性が高くなることと、圧送中に材料の含水比が下がり品質面での不都合が生じることが考えられる。

また、トレンチ状の空間内を自走する輸送機械による方法は、幅員が1mと小さいことより、大型の輸送機械を用いることが困難であり、一度の輸送量が少なくなることが予想される。そのため、輸送機械の移動距離・移動時間と輸送量の関係を考慮すると、効率が低いことが考えられる。

後者の方法は、トンネル軸方向の材料の移動と、コンクリートピット上部から撒出し・敷均し箇所への供給は別作業にできるため、合理的な材料の供給が可能となる。

本報告では、後者の方法を採用することとした。コンクリートピット上部から撒出し・敷均し箇所または撒出し・敷均し機械へ材料を供給するための専用機械（以下、ベントナイト供給機）を製作した。ベントナイト供給機を写真-2に、ベントナイト供給機を用いた材料供給の概念図を図-8に示す。

ベントナイト供給機は、材料を受けるホッパと撒出し・敷均し箇所へ鉛直方向に材料を供給するシュート、これらの2つをつなぐベルトコンベア、レール上をトンネル軸方向に移動するためのモーターによる走行装置から構成される。

(2) 材料の撒出し・敷均し方法の選定と設計

材料の撒出し・敷均し方法は、人力による方法の他、



写真-2 ベントナイト供給機

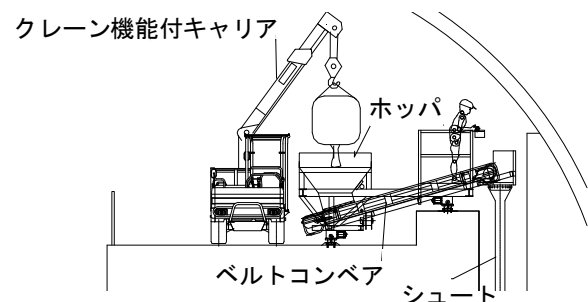


図8 ベントナイト供給機を用いた材料供給の概要

幅1mのトレンチ状の空間に適合した施工機械を用いる方法が考えられる。しかし、このような空間に適合した施工機械は無いのが現状である。

そこで、専用の撒出し・敷均し機械（以下、ベントナイト敷均し機）を製作した。ベントナイト敷均し機は、1)幅1mという狭隘な空間に収まること、2)コンクリートピット上部から供給される材料を受け取る機構を有すること、3)トンネル軸方向に任意の速度で移動できること、4)トンネル軸方向にある一定速度で移動しながら、横断方向に幅1mで、均一に材料の撒出し・敷均しを連続的に行うことが可能であること、5)任意の厚さで撒出し・



写真3 ベントナイト敷均し機

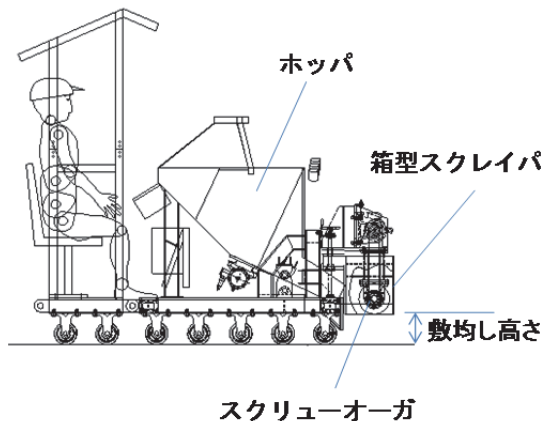


図9 ベントナイト敷均し機の構造の概要

表5 ベントナイト敷均し機の仕様

機体長	2,350mm
機体高	1,890mm
機体幅	980mm
機体質量	550kg
敷均し幅	980mm
敷均し厚	最大250mm
ウインチ牽引力	940kg
速度	1.1～3.0 m/min
最大積載量	約0.4m ³

敷均しできること、という5つの機能を有するものとして設計し、製作した。

ベントナイト敷均し機は、アスファルトフィニッシャーと同様に、材料を受取るホッパ、材料を横断方向に送り出すスクリーオーガ、敷均し厚さを調整するため上下動できる箱型スクレーパを基本構成とする。移動方式は施工試験領域のトンネル軸方向の延長が11m程度と短いため、自走機構は搭載せず、ウインチによる牽引方式とした。均一な材料の撒出し・敷均しを行うため、牽引速度とスクリーオーガの回転速度を制御できるようにした。写真-3にベントナイト敷均し機を、図-9にその構造の概要を、表-5に機械仕様を示す。

(3) 材料の転圧に用いる機械の選定

材料の転圧に用いる機械は、底部低透水層の施工試験において、壁際の転圧に用いた実績のある小型振動ローラを用いた^{3,8)}。機体幅が1m未満であり、幅1mのトレンチ状の空間に適合する。本報告においては、転圧幅を850mm、710mm、610mmにできるように、転輪を3種類用意した。ローラのサイド部分には防護材（クッション材）を貼付けている。写真-4に小型振動ローラを、表-6に小型振動ローラの仕様を示す。

(4) 狭隘なトレンチ状の空間における転圧方法

前節までに、狭隘なトレンチ状の空間に適合した施工機械について説明した。ここでは、これらの施工機械を組み合わせた施工方法（作業フロー）について説明する。



写真4 小型振動ローラ

表6 小型振動ローラの仕様

機体長	1,500mm
機体高	1,200mm
転圧幅	610mm～850mm
機体質量	1,548kg
起振力	80kN
周期	32Hz
振幅	2.1mm
エンジン	空冷2気筒ディーゼル
速度	1.2km/h
車輪幅	278×2～398×2
操作	リモートコントロール

図-10に側部低透水層の施工フローを示す。側部低透水層の施工において、底部低透水層の場合と異なる点は、撤出し・敷均しを行う際、先述のとおり施工機械に材料を供給する方法がコンクリートピット上部から行うことと、そのための専用の施工機械を用いることである。撤出し・敷均し後の転圧は、底部低透水層と同様に、無振動で行う「初期転圧」と振動を加えながら行う「本転圧」の2種類を行った。1層当たりの仕上がり厚さは、10cmを基本とした。施工手順は以下のとおりである。

- 1) 粒状ベントナイトの含水比調整を攪拌付回転容器型ミキサ²⁾を用いて行う。回転容器に自然含水比状態の粒状ベントナイトを投入し、所定の水量を添加した後混練し含水比調整する。混練後、含水比の管理目標値(21.0±2.0%)を満足しているか確認し、管理目標値を外れた場合、再調整する。
- 2) 含水比調整した粒状ベントナイトをフレキシブルコンテナに詰める。粒状ベントナイトを詰めたフレキシブルコンテナを施工箇所に運搬する。
- 3) 2tキャリアダンプ(1t吊クレーン機能付)を用いて、コンクリートピット上に荷揚げされたフレキシブルコンテナを開封し、ベントナイト供給機のホッパに粒状ベントナイトを投入する。
- 4) ホッパに投入された粒状ベントナイトを、ベントナイト供給機のベルコンを用いて、撤出し・敷均し箇所またはベントナイト敷均し機へ供給する(写真-5参照)。ベントナイト供給機のホッパ内への粒状ベントナイトの追加投入は、ホッパ内の粒状ベントナイトがなくなった時点で行う。
- 5) 人力またはベントナイト敷均し機で、所定の厚さになるように粒状ベントナイトの撤出し・敷均しを行う。
- 6) 小型振動ローラを用いて所定の転圧回数の初期転圧(無振動での転圧)を行う。
- 7) 小型振動ローラで転圧できない、手前部・妻部の端部の転圧をランマを用いて行う。
- 8) 小型振動ローラを用いて所定の回数の本転圧(振動転圧)を行う。
- 9) 測量による施工後の体積と投入質量から算出できる乾燥密度、コアドリルで回収したコアを用いた乾燥密度測定(以下、コア法とする)により、乾燥密度を測定し、管理目標値(1.6±0.1Mg/m³)を満足しているか確認する。所定の回数の転圧のみで管理目標値を外れた場合、乾燥密度を確認しながら追加で本転圧の転圧回数を増やしていくこととした。

4. 材料の撤出し・敷均し

転圧後の乾燥密度のばらつきを少なくするため、材料の撤出し・敷均しを均一に行うことは重要である。実際

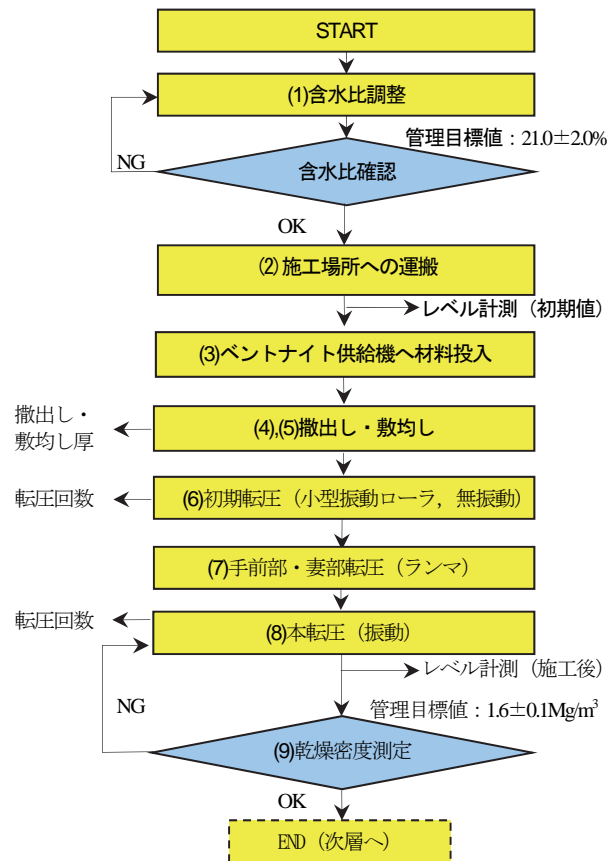


図-10 側部低透水層の施工フロー

の施工時において効率的に撤出し・敷均しをするためには機械による施工が必要である。本報告での実規模施工試験における側部低透水層の幅は 1.0m であり、そのため先述したようにベントナイト敷均し機を開発した。本章では、このベントナイト敷均し機で所定の厚さ・幅を確保しつつ均一に撤出し・敷均しの実施が可能か確認した。同時に人力による撤出し・敷均しの精度も確認した。

(1) 撤出し・敷均しの方法

撤出し・敷均しは基本的にベントナイト敷均し機を用いて行ったが、図-11の平面図のように、坑口側の機械の乗り込み口付近は人力にて行った。左側妻壁付近はベントナイトを吹付ける工法により低透水層の構築を行った箇所である⁹⁾。また、施工面の標高が上がると、ベントナイト供給機からベントナイト敷均し機に粒状ベントナイトの供給ができなくなったので、施工高さが6mに到達してからの撤出し・敷均しも人力のみで行った。

ベントナイト敷均し機の箱型スクレーパの下端の高さが材料の撤出し・敷均し厚さになるので、作業前に所定の高さに調整して固定した。箱型スクレーパ内部のスクリーオーガの回転数とウィンチの牽引速度を制御し、均一に撤出し・敷均しできるようにした。ベントナイト供給機への材料投入は、ホッパーから溢れ出さないように目視で確認しながら行った。



写真5 ベントナイト敷均し機への材料供給

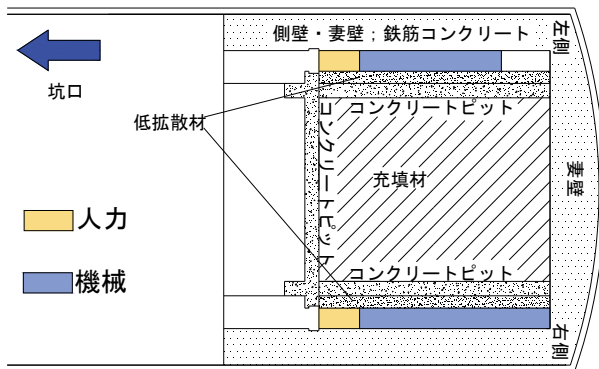


図-11 撤出し・敷均し方法の区分け平面図

人力で実施する場合の撤出し・敷均し厚さの管理は、レベル測量により目標高さを測定し、側壁にマーキングして行った。撤出し・敷均しはレーキ等を用いて行った。

(2) 撤出し・敷均しの結果

撤出し・敷均し完了時点での乾燥密度を確認するために、容積法によるかさ密度測定を行った。この方法は、各層において内径150mmの鋼製円筒を測定箇所へ挿入し、この円筒内部の粒状ベントナイトをスプーン・採取ゴテ等ですくい出して試料を採取し、採取箇所の内径および撤出し・敷均し厚さの平均値をノギスにより計測し容積を計算するものである。この容積と採取した試料の質量よりかさ密度を計算し、さらにかさ密度と含水比より乾燥密度を求めた。測定箇所は、ベントナイト敷均し機で行った箇所と人力で行った箇所から、1層あたり4点程度とした。

測定結果を図-12に示す。凡例の「人力」は撤出し・敷均しを人力で行った箇所にて、「機械」はベントナイト敷均し機で行った箇所にて測定したデータであることを示す。全体の乾燥密度は0.777～0.924 Mg/m³の間で分布

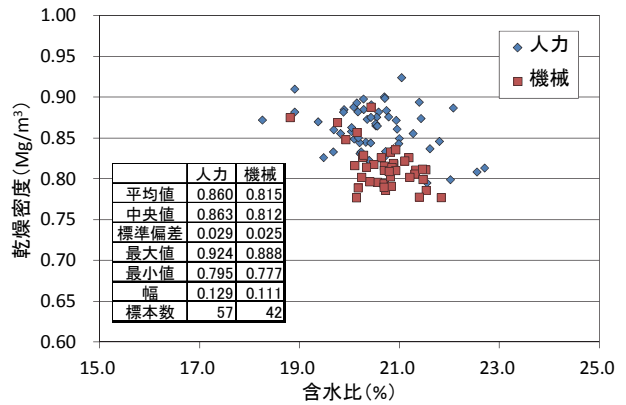


図-12 撤出し・敷均し後の乾燥密度と含水比の関係

し、機械で0.777～0.888 Mg/m³、人力で0.795～0.924 Mg/m³の間で分布した。分布幅は0.111 Mg/m³および0.129 Mg/m³で同程度あり、方法によらず同じようにばらつく結果となった。ただし、人力（平均値；0.860Mg/m³）に比べて機械（平均値；0.815Mg/m³）の方が相対的に密度が低くなった。これは、フレキシブルコンテナ内で粒子状の材料同士が密着した状態（団粒状）になっていたところを、機械による撤出し・敷均しを行うことにより材料が良くほぐれた状態となり、かさ密度が低くなったと考えられる。人力にて撤出し・敷均しを行った箇所では、団粒状のままの箇所が残る、相対的にかさ密度が高くなったと考えられる。また、密度のばらつきは、機械による敷均しの方が少なくなっていることがわかる。

撤出し・敷均し終了段階での乾燥密度のばらつきの程度を把握することができた。次章では、このような条件のもとで転圧を行った後の乾燥密度についてまとめる。

5. 転圧による締固め

転圧幅、撤出し・敷均し厚さ等の転圧時の施工条件と仕上がり後の品質との関係について、実際に小型振動ローラを用いて施工を行い確認した。本試験で採用した小型振動ローラを用いて行われた基礎的な試験結果³⁾によると、乾燥密度の管理目標値である1.6 Mg/m³は確保できるとしているが、同一層内でも鉛直方向の乾燥密度分布が生じたり、平面的な場所の違いにより転圧時の状況が変わり、仕上がり後の乾燥密度にばらつきが生じることが示されている。

本報告では、転圧時の施工条件を変化させ、施工後の品質、とりわけ乾燥密度のばらつきの程度に与える影響を把握することとした。まず転圧ローラの幅を変化させた場合の影響について調べた。次に同じ転圧幅でも撤出し・敷均し厚さを変化させた場合の影響を検討した。その後、同一条件で転圧した時の乾燥密度のばらつきの程

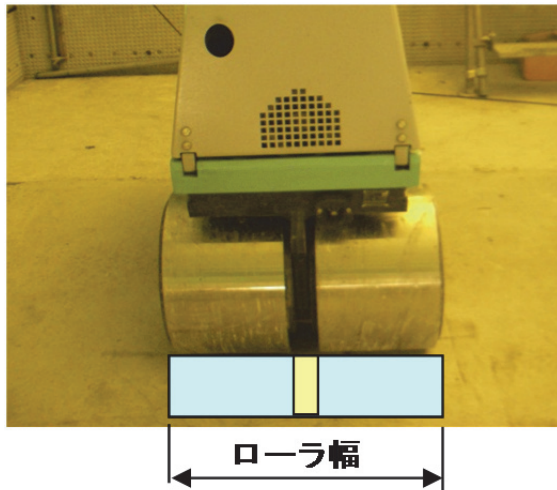


図-13 転圧時のローラ幅

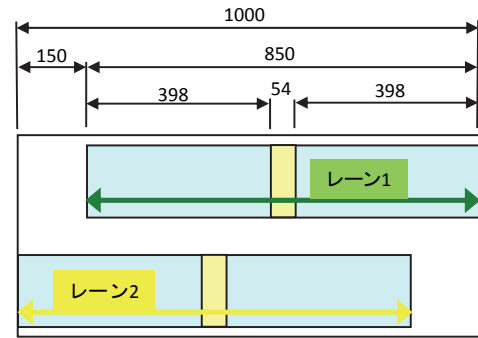
度や、平面位置の違いによる影響について検討した。以下に順次その結果について述べる。

(1) 転圧幅と走行レーン

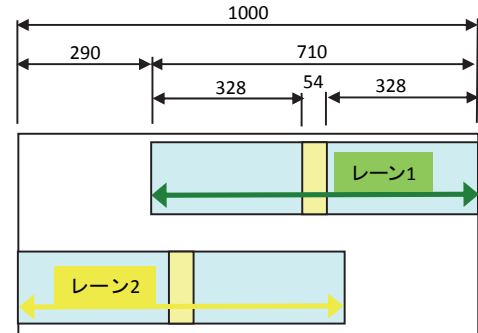
ローラ幅を850mm, 710mm, 610mmの3種類で検討を行った。図-13にローラ幅を示す。図-13中の水色の箇所が実際に転圧を行う部分であり、黄色の箇所はローラが接地していないため、転圧されない部分である。ローラ幅が1.0mに満たないため、また、図-13中の黄色の箇所のように一部ローラが接地していない部分があるため、単純に往復走行をしているだけでは転圧されない部分が1.0m幅の中でも生じてしまう。そのため、転圧時の走行箇所（以下、走行レーンとする）を変えて転圧する必要がある。図-14にローラ幅と走行レーンの関係を横断面図で示す。転圧幅850mmや710mmの場合には、走行レーンの数は2レーンで1.0m幅を不足なく転圧することが可能であるが、ローラ幅610mmの場合は3レーンが必要である。次節でローラ幅の影響についてまとめる。

(2) 転圧ローラの幅が施工後の乾燥密度に与える影響

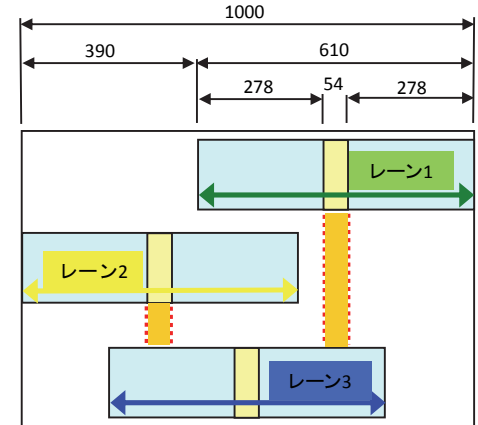
各ローラ幅で転圧した後、コア法で求めた乾燥密度を比較した結果を図-15に示す。比較は撒出し・敷均し厚さを200mm、転圧回数を1走行レーンあたり8回（4往復）という条件で行った。すなわち、ローラ幅610mmでは4×3往復、ローラ幅710mmと850mmでは4×2往復の転圧を行っている。コア法による乾燥密度の測定は、各層6か所を測定しているが、図-15にはこの6か所の平均値を用いている。いずれのローラ幅でも、乾燥密度の管理目標値 $1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$ を満足したが、ローラ幅が大きくなると各層の乾燥密度の平均値のばらつきが大きくなる傾向がみられ、ローラ幅が610mmと狭くレーン数が増え、ばらつきが小さくなった。各ローラ幅での全平均値を比較すると、ローラ幅610mmと710mmでは、乾燥密度はほ



(a) ローラ幅 850mmの場合



(b) ローラ幅 710mmの場合



(c) ローラ幅 610mmの場合

図-14 ローラ幅と走行レーンの関係

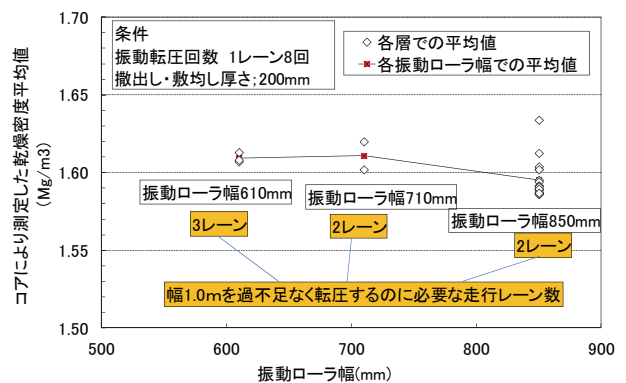


図-15 各ローラ幅で転圧した後の乾燥密度

んど変わらなかった。そのため、乾燥密度のばらつきは大きくなるものの、走行レーン数が少ない分、710mm

がより効率的といえる。710mmと850mmでは、走行レーン数は同じであるが、乾燥密度の全平均値は710mmの方が高かった。

次節では、走行レーン数が2レーンであるローラ幅710mmと850mmの二つの場合について、撒出し・敷均し厚さの違いの影響について検討する。

(3) 撒出し・敷均し厚さによる施工後の乾燥密度のばらつきの状況

撒出し・敷均し厚さを150mm, 200mm, 250mm, ローラ幅710mm, 850mmで転圧した結果を図-16および図-17に示す。転圧回数は、管理目標値である $1.60 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$ を満足できる回数とし、ローラ幅710mmの場合、敷均し厚さ150mmの時には4回、200mmの時は6回、250mmの場合は10回、ローラ幅850mmの場合、敷均し厚さによらず全て8回であった。図-16にローラ幅710mmで転圧した場合の、図-17にローラ幅850mmで転圧した場合の乾燥密度と含水比の関係を、それぞれ示す。乾燥密度測定はコア法で求めた。同一層内の深さ方向の密度分布とローラ幅の関係を調べるため、回収したコアを深さ方向に3等分(ローラ幅710mm, 撒出し・敷均し厚さ150mmのケースは2等分)して乾燥密度を測定した。図中の「上部」「中部」「下部」のうち、「上部」は転圧ローラと接する表面、「下部」は前施工層と接する底の部分であり、「中部」はその中間部分である。同一層内でも、転圧ローラと接する表面部分の乾燥密度が高く、底の部分の小さい傾向となった。このような同一層内の密度分布の傾向は、ローラ幅、撒出し・敷均し厚さの影響を受ける結果となった。

図-16および図-17を比較すると、ローラ幅710mmの場合の方が同一層内での密度分布が小さくなる傾向となった。また、撒出し・敷均し厚さが大きくなると、同一層内での密度差も大きくなる傾向がみられた。

これは転圧ローラの接地圧と締固めエネルギーの到達深さの関係が影響していると考えられる。ローラ幅が狭ければ接地圧が高くなるので、「狭く深く」転圧することが可能であり、転圧によって与えられる締固めエネルギーは深い部分にも到達するものと考えられる。また、撒出し・敷均し厚さが薄ければ、表面部分から底の部分まで、締固めエネルギーが到達しやすくなる。一方、転圧ローラから転圧箇所と与えられる締固めエネルギーはその転圧ローラの施工能力により決まり、上限値があるので、転圧後の乾燥密度もある値以上にはならず、漸近する。転圧中の同一層内の深い部分もこの上限となる乾燥密度に漸近するものと考えられ、結局、転圧回数を増やしても最大の乾燥密度の値が大きくなり、層内の密度差が小さくなっていくものと考えられる。接地圧が十分でなかったり、層厚が大きい場合、同一層内でも底の

部分にまで締め固めエネルギーが到達せず、転圧回数を増やしても底に近い部分は上限となる乾燥密度まで到達

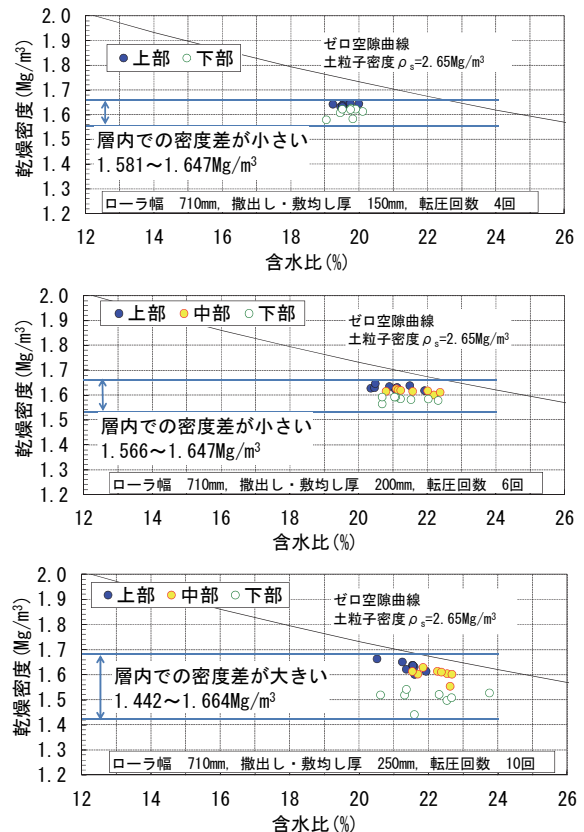


図-16 層内の乾燥密度の分布図(ローラ幅710mm)

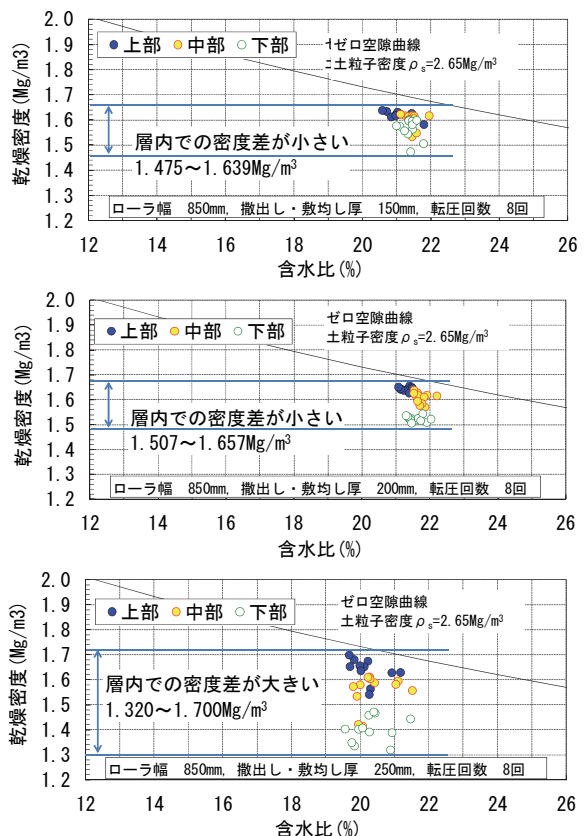


図-17 層内の乾燥密度の分布図(ローラ幅850mm)

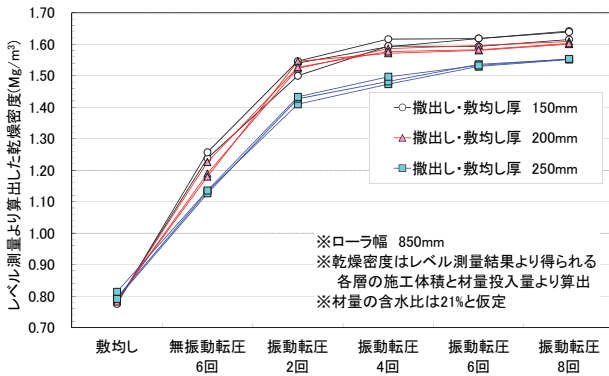


図-18 転圧回数と乾燥密度の関係 (ローラ幅850mm)

することができないものと考えられる。

ここで、「転圧ローラから転圧箇所を与えられる締固めエネルギーはその転圧ローラの施工能力により決まり、上限値があるので、転圧後の乾燥密度もある値以上にはならず、漸近する」ということを図-18に示す。図-18は乾燥密度と転圧回数の関係である。図-18の乾燥密度は、レベル測量による施工後の体積と投入質量から算出したものであり、その層の平均的な乾燥密度を求めている。転圧回数が大きくなるにしたがい、乾燥密度も大きくなるが、ある値(上限値となる乾燥密度)に漸近していく傾向がみられる。このような傾向からも裏付けられるように、接地圧と締固めエネルギーの到達深さの影響により、層内での乾燥密度差が生じるものと考えられる。

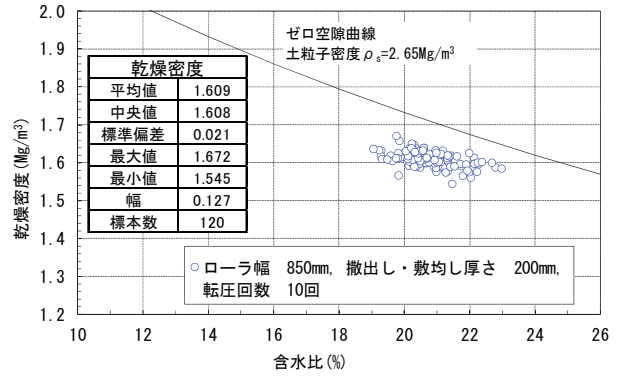
(4) 同一条件で転圧した後の乾燥密度のばらつきの状況

管理目標値を満足することができる転圧回数を把握した後、ローラ幅、撤出し・敷均し厚さ、転圧回数の条件を一定とし、複数の層を施工した時の乾燥密度のばらつきの状況を確認した。

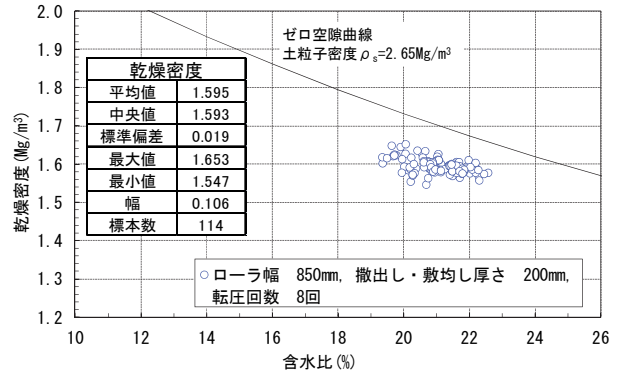
図-19にコア法で求めた乾燥密度と含水比の関係を示す。撤出し・敷均し厚さは200mm、ローラ幅と転圧回数は850mmの場合は10回と8回、710mmの場合は6回と4回の、計4ケースについて検討した。

各ケースとも、管理目標値である $1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$ を満足している。分布幅は管理目標値の幅よりも狭く 0.1 Mg/m^3 程度($\pm 0.05 \text{ Mg/m}^3$ 程度)であった。さらに、ローラ幅が850mmのケースよりは710mmのケースの方が若干ではあるが、この分布幅は小さくなった。また、転圧回数の違いによる差異はほとんどみられなかった。

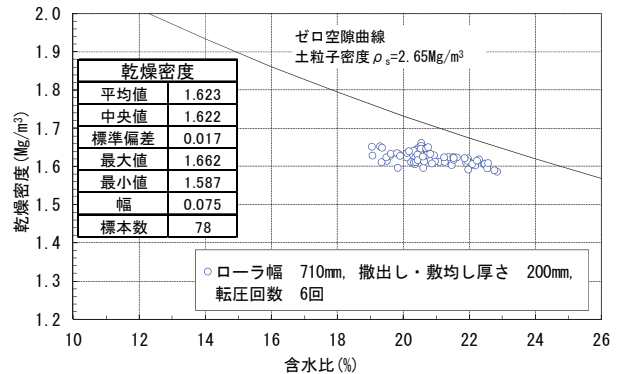
含水比と乾燥密度の関係は、締固め曲線に沿うように分布することが予測されたので、締固めエネルギーを変えながら突固めによる土の締固め試験(以下、室内締固め試験)を実施して確認した。図-20に室内締固め試験と施工試験結果との比較を、含水比と乾燥密度の関係をを用いて示す。室内締固め試験は1Ec, 4.5Ec, 15Ec相当



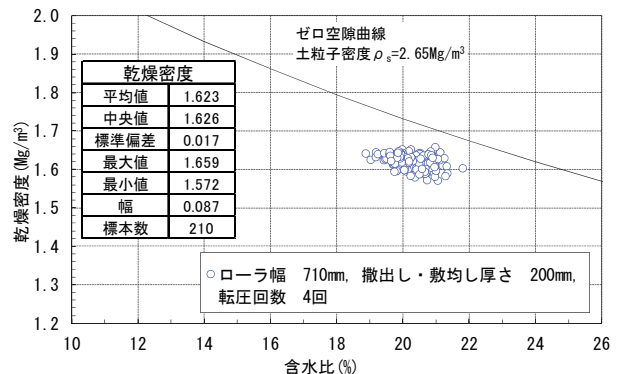
(a) ローラ幅850mm, 転圧回数10回



(b) ローラ幅850mm, 転圧回数8回



(c) ローラ幅710mm, 転圧回数6回



(d) ローラ幅710mm, 転圧回数4回

図-19 含水比と乾燥密度の関係

(1Ec=550 kJ/m³)のエネルギーで締固めた結果を、施工試験結果の代表例として、ローラ幅710mm、撤出し・敷

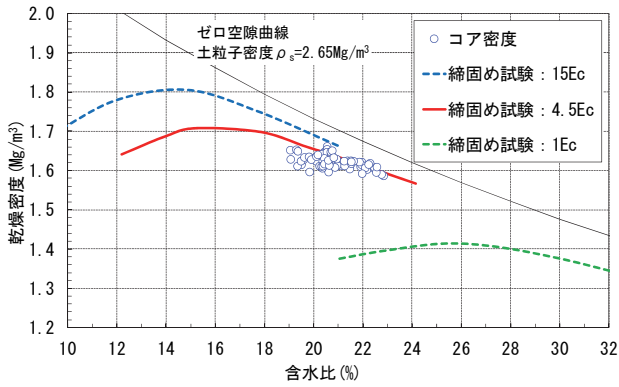


図-20 締固め曲線と施工試験の比較

均し厚さ200mm, 転圧回数6回で転圧したケースのコア法による乾燥密度を示した。施工試験結果は, 含水比が小さくなると, 乾燥密度は大きくなるように, あるばらつきの幅を持って締固めエネルギー4.5Ec相当の締固め曲線に沿うような形で分布していることが確認できた。

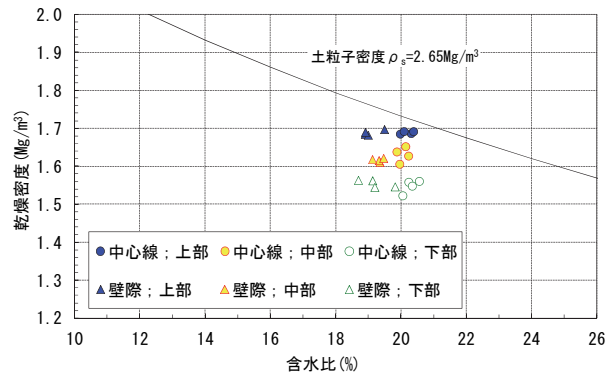
本報告で採用した施工方法は, 室内締固め試験における締固めエネルギーは4.5Ecに相当すると考えられ, 前節で示したとおり, 乾燥密度はこの締固めエネルギーに応じた上限値に漸近すると考えられる。

(5) 平面位置の違いによる影響

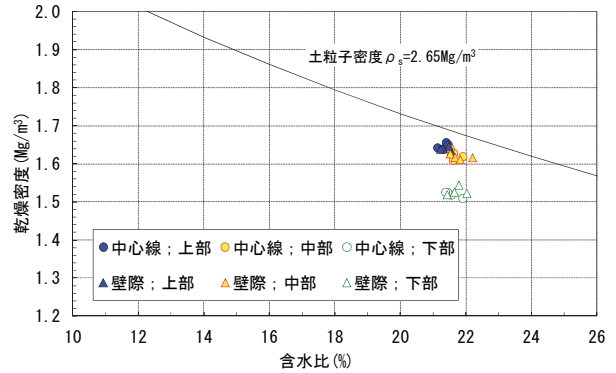
走行レーンに沿う方向では, 走行スピードが一定であれば, 転圧状況に違いが生じることは少ないと考えられるため, 本節ではその影響は考慮しない。走行レーンと直行する横断方向では, 走行レーンを変更させる時に生じる, 規定回数以上に転圧をしているオーバーラップ箇所と壁際とでは, 転圧状況が異なることが予想されるので, 平面位置の違いによる影響は, 横断方向で異なる箇所から採取したコアを用いた, コア法による乾燥密度の違いにより検討することとした。

図-21に3分割したコアを用いて測定した含水比と乾燥密度の関係を示す。転圧時の条件は, 撒出し・敷均し厚さは200mm, ローラ幅と転圧回数は850mmの場合は10回と8回, 710mmの場合は6回と4回の, 計4ケースである。図中の「中心線」とは, 壁際から0.5mの箇所から, 「壁際」とは, 壁際から採取したコアを採取して測定した結果であり, 「上部」「中部」「下部」とは, 図-13と同様, 「上部」は転圧ローラと接する表面, 「下部」は前施工層と接する底の部分であり, 「中部」はその中間部分である。

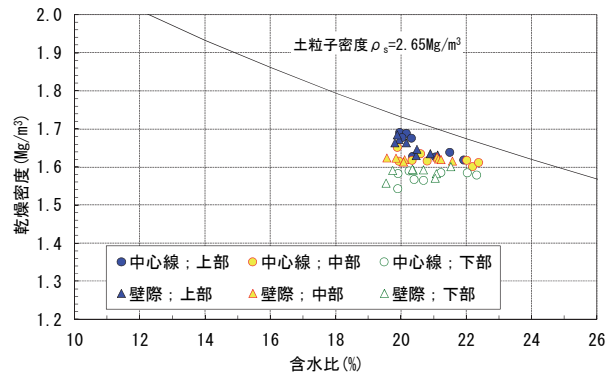
「上部」「中部」「下部」の順に乾燥密度が大きくなるのは図-17と同様の結果であるが, 横断方向の平面位置の違いによる差がみられないという結果となった。走行レーンを変えることによって, 幅1.0mの転圧箇所に満遍なく締固めエネルギーが到達し, その締固めエネルギーに応じた乾燥密度の上限値に漸近していることが分



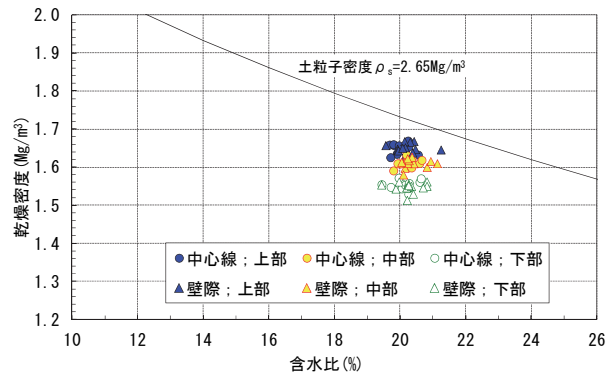
(a) ローラ幅850mm, 転圧回数10回



(b) ローラ幅850mm, 転圧回数8回



(c) ローラ幅710mm, 転圧回数6回



(d) ローラ幅710mm, 転圧回数4回

図-21 3分割コアを用いた含水比と乾燥密度の関係 (横断方向の違いによる影響)

かる。

本章では、転圧ローラの幅を変更した場合、撤出し・敷均し厚さを変更した場合、同一条件で転圧した時の乾燥密度のばらつきの程度、平面位置の違い、そのそれぞれの影響について調べ、転圧ローラの接地圧によって締固めエネルギーが到達する深さが変化することを確認し、走行レーンを変えることにより壁際を含む横断方向にも満遍なく締固めエネルギーを与えられることを確認した。また、本報告で選択した施工方法では、締固めエネルギーは4.5 Ec相当 ($1 \text{ Ec} \approx 550 \text{ kJ/m}^3$) であると推定される。

さらに、同一条件で施工を繰り返した結果、含水比調整、撤出し・敷均し方法も含め、本報告で選択した施工方法によれば、転圧後の乾燥密度は、ある分布幅(ばらつき)を持つが、施工管理目標の値の範囲内に収めることが可能であることがわかった。

次章では、施工時の管理目標値の範囲内であった場合、低透水性を満足するための目標値を含めた、性能値がどの程度であるのかを確認した結果について述べる。

6. 転圧後の品質確認

転圧後の品質を確認するため、室内試験を実施した。本報告では、低透水性の目標達成度を確認するための透水試験と、膨潤圧の測定を実施した。ここで、膨潤圧とは、定体積状態のベントナイト系材料に給水した時に発生する膨潤による圧力のことである。膨潤圧は、施設の閉鎖に伴う再冠水後の、施設全体の応力状態を把握するために必要である。

(1) 透水試験の結果

施工後に回収した直径100mmのコアを厚さ方向に3分割し、直径60mm、高さ10mmになるように成形して、3個の供試体を作製した。成形した供試体をステンレス製の剛壁試験セルに押し込んでセットした。この時、試験セルより若干大きめの直径で成形した。これにより、供試体の側壁部分を削りながら押し込むこととなり、試験セル内壁と密着させることができる。試験は差圧型の定圧透水試験とし、給水側と排水側に0.2MPa程度の圧力差をつけ、供試体には背圧を50kPa程度かけた。透水試験の結果より、透水係数と乾燥密度の相関性確認した。

図-22^{10)~15)}に試験結果を示す。

注水開始後約50日後から排水側でも通水が確認され、約70日で透水係数の値が安定した。粒状ベントナイトを対象に取得された既往の知見における透水係数の値^{16)~21)}と同様に、乾燥密度と透水係数の相関性が見られる。図中の近似式は、これまで得られている透水係数のうち、底部低透水層のデータ²¹⁾を除いたものから得られた近似式で、今回の結果を含まないものである。今回の試験結

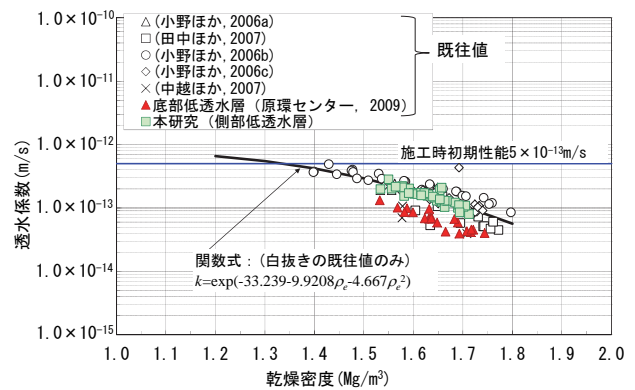


図-22 粒状ベントナイトの透水係数と乾燥密度の関係^{10)~15)}
(原環センター¹⁵⁾に加筆)

果は、既往のデータと良く整合した結果である。

また、側部低透水層から採取した供試体の試験結果と、既往知見による室内成型供試体を用いた試験結果とが、同様な乾燥密度と透水係数との相関性をもつことを確認できた。このことから、室内成型で作製した供試体を用いた透水試験の結果も、実際の地下環境下で施工される処分施設の設計・建設時の検討材料として活用できると考えられる。

(2) 膨潤圧測定試験の結果

膨潤圧測定試験は、供試体を定体積状態となるように試験装置にセットし、浸潤させることにより発生する荷重を測定するものである^{10), 21)}。膨潤圧測定試験に用いる供試体も、透水試験の場合と同様に、施工後に採取した直径100mmのコアを厚さ方向に3分割し、直径60mm、高さ20mmになるように成形して作製した。成形した供試体をステンレス製の剛壁試験セルに押し込んでセットした。この時、試験セルより若干大きめの直径で成形した。これにより、供試体の側壁部分を削りながら押し込むこととなり、試験セル内壁と密着させ、体積変化が生じないようにできる。鉛直方向に変位しないようにした圧密試験機を用いて給水後に発生する圧力を測定した。

これまでにも粒状ベントナイトを対象にした膨潤圧測定試験は実施されており^{10), 21), 22)}、その結果と今回の測定結果の比較を図-23に示す。同図の近似式は、これまで得られている膨潤圧のうち、底部低透水層のデータ²²⁾を除いたものから作成された近似式であり、本報告で得られた結果を含まない。

膨潤圧試験に関しても、側部低透水層から採取した供試体を用いた試験結果での乾燥密度と膨潤圧との相関性と、既往知見で得られている室内成型の供試体の乾燥密度と膨潤圧との相関性が同様であることを確認できた。すなわち、室内成型で作製した供試体を用いた膨潤圧測定結果も実際の施設の設計・建設時における検討材料として活用できると考えられる。

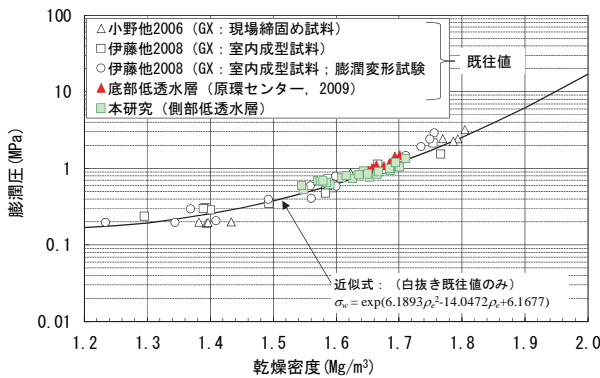


図-23 膨潤圧の測定結果の既存値^{10),21),22)}との比較
(原環センター²¹⁾に加筆)

7. おわりに

比較的放射能レベルが高い低レベル放射性廃棄物の処分方法として検討が進んでいる地下空洞型処分施設の設計と建設に向け、地下空洞を利用し、処分施設を模擬した施工試験が実施をしてきた^{15),21),23)}。本報告は人工バリアの一つである側部低透水層について検討したものである。

本報告で得られた知見は、以下のとおりである

- 1) 幅1m・高さ約8mの狭隘なトレンチ状の、空間的に制限されている箇所にも適合した施工システムを検討した。幅1mの箇所でも撒出し・敷均しができるベントナイト敷均し機、ピット上部からベントナイト敷均し機に材量を供給するベントナイト供給機、小型振動ローラを組み合わせることによって、高品質な側部低透水層を構築することができた。
- 2) 転圧ローラの幅を変更した場合、撒出し・敷均し厚さを変更した場合、同一条件で転圧した時の乾燥密度のばらつきの程度、平面位置の違い、そのそれぞれの影響について確認した。その結果、転圧ローラの接地圧によって締固めエネルギーが到達する深さが変化すること、走行レーンを変えることにより壁際を含む横断方向にもまんべんなく締固めエネルギーを与えられることを確認した。
- 3) 異なる締固めエネルギーで室内締固め試験を実施し、複数の締固め曲線を取得した。これらの締固め曲線と転圧後に測定した含水比と乾燥密度の関係を比較した結果、本報告での施工条件（小型振動ローラを用いた転圧工法、撒出し・敷均し厚さ200mm、転圧回数4~6回）では、締固めエネルギーは4.5Ec相当（1Ec≒550 kJ/m³）であると推定される。
- 4) 同一条件で施工を繰り返し実施し、転圧後の乾燥密度のばらつきの程度を確認した。その結果、含水比調整、撒出し・敷均し方法も含め、本報告で選択し

た施工方法によれば、転圧後の乾燥密度は、ある分布幅（ばらつき）を持つが、施工管理目標の値の範囲内に収めることが可能であることがわかった。

- 5) 実際に施工した側部低透水層から試料を採取し透水試験と膨潤圧測定試験を実施した。その結果、本研究で得られたデータは、室内で圧縮成型された供試体を用いた既往知見の結果と近い結果であることを確認した。そのため、既往の検討も含め、室内で圧縮成型された供試体を用いた試験で得られたデータも実構造物の設計・評価に用いることが可能であることがわかった。

謝辞：本報告は、経済産業省からの委託である平成22年度～平成24年度「管理型処分技術調査等委託費（地下空洞型処分施設性能確認試験）」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 坪谷隆夫，寺田賢二，松村勝秀，大沼和弘，窪田茂：地下空洞型処分施設性能確認試験—計画概要—，土木学会第62回年次講演会，CS5-073，pp.305-306，2007。
- 2) (社)土木学会：余裕深度処分の地下施設の設計，品質管理および検査の考え方，2009。
- 3) 村上利一，谷智之，中越章雄，千々松正和，吉越一郎：余裕深度処分における側部ベントナイト層の現場施工に関する検討，土木学会第62回年次学術講演会概要集，CS05-003，pp.165-166，2007.9。
- 4) 吉越一郎，千々松正和，中越章雄，庭瀬一仁，谷智之：ベントナイトブロックの製作・施工に関する検討，土木学会第62回年次学術講演会概要集，CS05-006，pp.171-172，2007.9。
- 5) 藤原斉郁，石井裕泰，五十嵐孝文，石原輝行，山本卓也：粒状ベントナイト充填による狭隘部人工バリア施工の検討その1—室内試験による施工法の検討—，日本原子力学会「2008年春の年会」，I33，2008。
- 6) 中嶋誠門，田中俊行，小林一三，戸井田克，福田勝美，佐藤竜郎，野中克美，矢部順一，神津圭輔：高密度ベントナイト吹付け工法の開発（その1）—高品質なベントナイト構築のための材料供給方法の検討—，土木学会第62回年次学術講演会概要集，CS05-009，pp.177-178，2007.9。
- 7) 戸井田克，田中俊行，中嶋誠門，小林一三，福田勝美，佐藤竜郎，野中克美，矢部順一，神津圭輔：高密度ベントナイト吹付け工法の開発（その2）—密度のばらつきと施工方法の検討—，土木学会第62回年次学術講演会概要集，CS05-010，pp.179-180，2007.9。
- 8) 伊藤弘志，千々松正和，村上利一：ベントナイト層の現場施工用材料の開発，第62回年次学術講演会概要集，CS05-001，pp.161-162，2007.9。
- 9) 山田淳夫，千々松正和，藤原斉郁，矢田勤，秋山吉弘，小

- 峯秀雄, 飯塚敦: 放射性廃棄物の地下空洞型処分施設に用いる底部低透水層の転圧工法による施工品質の評価, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.71, No.3, pp.147-162, 2015.7.
- 10) 小野文彦, 庭瀬一仁, 谷智之, 中越章雄, 千々松正和: 現場締固め工法における締固め層境での透水係数測定結果, 第 61 回年次学術講演会概要集, CS05-059, pp.323-324, 2006.9.
- 11) 田中幸久, 中村邦彦, 工藤康二, 廣永道彦, 仲神元順, 庭瀬一仁, 小松進一: 地盤統計学手法により不均一性を考慮した締固めたベントナイト地盤の透水性評価, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.1, pp.207-223, 2007.2.
- 12) 小野文彦, 庭瀬一仁, 谷智之, 中島均, 石井卓: ベントナイト原鉱石の高速透水試験—プレス飽和法—, 日本原子力学会「2006 年秋の大会」, p.108, 2006.9.
- 13) 小野文彦, 庭瀬一仁, 谷智之, 中島均, 石井卓: ベントナイト原鉱石の高速透水試験—締固め施工した供試体の乾燥飽和法—, 日本原子力学会「2006 年秋の大会」, p.109, 2006.9.
- 14) 中越章雄, 千々松正和, 庭瀬一仁, 谷智之: ベントナイトブロックの隙間の密度均一化に関する検討 (その 2) —透水性に関する検討—, 第 62 回年次学術講演会講演概要集, CS5-008, pp.175~176, 2007.9.
- 15) 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター: 平成 20 年度管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確認試験報告書, p.3-275, 2009.3.
- 16) 社団法人地盤工学会: 土質試験の方法と解説 第 6 編第 2 章 土の透水試験, pp.334-347, 2000.
- 17) 公益社団法人地盤工学会: 地盤工学・実務シリーズ 30 土の締固め, pp.10-13, 2012.4.
- 18) 三国英四郎: フィルダム遮水材料の性質と締固めに関する研究 (その 1), 土と基礎, Vol.10, No.1, pp.4-12, 1962.
- 19) 浅尾格: 御母衣ダムについて, 第 8 回国際大ダム大会課題第 31 関係論文, 大ダム, No.27, pp.4-12, 1964.
- 20) 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター: 平成 22 年度管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確認試験報告書, pp.7-11~7-12, 2011.3.
- 21) 伊藤裕紀, 庭瀬一仁, 鈴木康正, 千々松正和: ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験 (その 1) 膨潤挙動に関する検討, 第 63 回年次学術講演会講演概要集, CS05-014, pp.195-196, 2008.9.
- 22) 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター: 平成 20 年度管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確認試験報告書, p.3-279, 2009.3.

(2015. 11. 13 受付)

CONFIRMATION TESTS OF CONSTRUCTION METHOD AND INITIAL PERFORMANCE QUALITY FOR LOW PERMEABLE ENGINEERED BARRIER IN SIDE PART OF RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FACILITIES

Atsuo YAMADA, Masakazu CHIJIMATSU, Yoshihiro AKIYAMA,
Hideo KOMINE and Atsushi IIZUKA

As for the low permeable layer, important functions are expected as an engineered barrier of radioactive waste disposal for low-level waste with comparatively high radiation levels. On examining the construction methods of this low permeable layer, it is important to confirm the possibility of the construction in the conditions similar to the actual constructed conditions with a true scale size. Therefore, the construction examination for the side part of the low permeable layer by bentonite and the performance check test of the low permeable layer were carried out. The result of the construction examination showed that the possibility of the construction were confirmed, and the result of performance check test showed that it was possible to ensure the required performance of the low permeable layer, such as hydraulic conductivity.