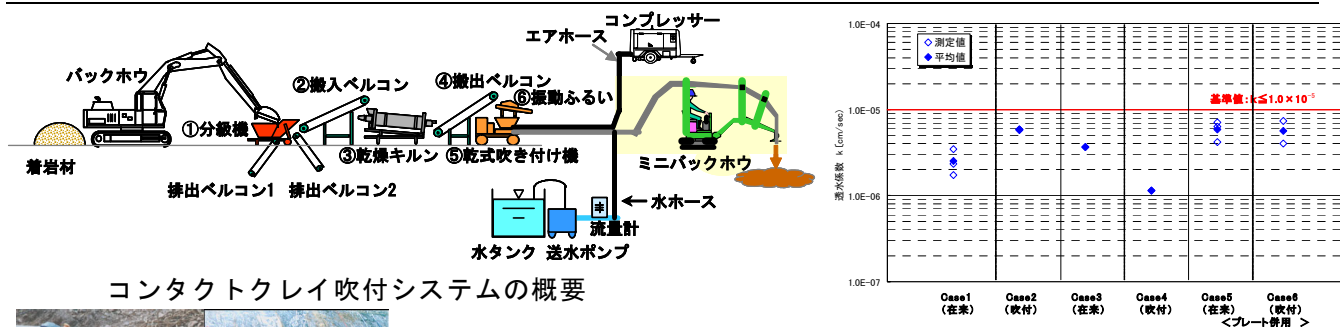


コンタクトクレイ吹き付け工法の現場適用に関する報告

野田 兼司・高木 亨・飯島 健・勝又 正治*¹

Account About Site Application Of A Spraying Method For The Filling Of Contact Clay Layer In Fill-Dam

Kenji NODA, Toru TAKAKI, Takesi IJIMA, Masaharu KATUMATA



コンタクトクレイの施工状況
左：従来施工
右：吹き付け工法

研究の目的

フィルダムにおける着岩部の盛立て施工時に行われるコンタクトクレイの張付時の施工品質の均一性を図る目的でコンタクトクレイ吹付工法が開発された。本工法は、ダム技術センターから技術審査証明を取得している。今回、東北地方整備局の新技术活用評価方式事前評価を経て現場での試行を行うよう通知を受けた。そこで今回試行現場を沖縄県大保脇ダムに選定し、試験施工を行い従来工法と同等性能であることを確認し、本施工の許可を受け現場試行を行い、本工法の技術的事項および経済性等の評価を行うこととした。

技術の説明

コンタクトクレイ吹付工法の施工は次の3つの工程に大別され、各々以下に示す特徴を有している。

(1) コンタクトクレイ材の分級

材料に含まれる異物やオーバーサイズを取り除くと同時にコンタクトクレイ材をある粒径の範囲（吐出口幅により調整可能）に粉碎する工程。これにより材料の定量供給が可能となり、施工品質を一定に保つことができる。

(2) コンタクトクレイ材の表面乾燥

分級機から搬送されてきたコンタクトクレイ材の表面を乾燥させ粒状化させる工程。これにより乾式吹付機から吹付口先端までの経路内で材料を詰まらせることなく圧送できる。

(3) コンタクトクレイ材への加水・吹付

乾式吹付機により表乾状態で圧送されてきたコンタクトクレイ材に吹付先端部の直前で加水し、材料を元の含水状態に戻す工程。加水により、材料を自然含水比に戻すだけでなく、吹付時に粒状化した材料をコーティングして接着効果を持たせる。

以上の各工程において主要な役割を果たす機械は、分級機、乾燥キルン、乾式吹付機であり、これらに搬送用ベルコン、送水ポンプなどを加えて一連のシステムが構成されている。

主な結論

密度・透水性について従来工法（エアタンパによる方法）と同等である。

重機との近接施工が無く、安全性が向上する。

土質性状や施工条件が施工能力・経済性に影響を及ぼす。

* 1 本店 技術部

コンタクトクレイ吹き付け工法の現場適用に関する報告

野 田 兼 司 高 木 亨
飯 島 健 勝 又 正 治^{*1}

要 旨

フィルダムにおける着岩部の盛立て施工は一般に、クラック処理として粘土、シルト分の卓越した土質材料をスラリー状にしてブラシ等で1～5mm程度の厚さに塗布した後、コンタクトクレイ材を5～10cmの厚さに張り付けるなどして行われる。このコンタクトクレイ材の施工は、人力による施工となり重機の走行等安全に注意し、施工品質についても人為差が生じないように管理しなければならない。そこで、コンタクトクレイ材の施工の機械化を図り、熟練工を要さずとも均一な品質を確保し、施工の効率アップと省力化の実現のためコンタクトクレイ吹き付け工法を開発した。本工法は、(財)ダム技術センターより、ダム建設技術・技術審査証明を取得している。

本報告では、大保脇ダムにおいて実施した、コンタクトクレイ吹き付け工法と従来工法の比較試験や本施工に適用した結果について報告する。

キーワード コンタクトクレイ吹き付け工法 / フィルダム / コンタクトクレイ / 現場施工 /

目 次

- | | |
|-----------|--------|
| 1．はじめに | 4．実験結果 |
| 2．システムの概要 | 5．まとめ |
| 3．実験概要 | 7．おわりに |

ACCOUNT ABOUT SITE APPLICATION OF A SPRAYING METHOD FOR THE FILLING OF CONTACT CLAY LAYER IN FILL-DAM

Kenji NODA
Takeshi IJIMA

Toru TAKAKI
Masaharu KATUMATA

Synopsis:

Ability, which isolates the seepage water flow in full-dam, depends strongly on the manner of filling at the boundaries of the banking materials and bedrock. Therefore, we cannot help doing the majority of execution by human power in the present. So, the authors developed a spraying method for the filling of contact clay layer that realized reduction of labor and shortening of the construction schedule. In this paper, we report it about a spraying method for the filling of contact clay layer and a comparison test of conventional way of assemblage that I carried out in Taiho Waki Dam. As the result, the permeability and the hardening degree confirmed that it was conventional way of assemblage and equivalence.

* 1 本店 技術本部 技術部

1. はじめに

フィルダムにおける着岩部の盛立て施工は一般に、クラック処理として粘土、シルト分の卓越した土質材料をスラリー状にしてブラシ等で1～5mm程度の厚さに塗布した後、コンタクトクレイ材を5～10cmの厚さに張り付けるなどして行われる。このコンタクトクレイ材の施工は、基盤面の清掃後、天候に留意し速やかに行わねばならず、施工量を上げるには人手をかけて行う必要がある。また、材料運搬・転圧重機が頻繁に往来し、その中で施工になるため、重機の走行等安全に注意し、施工品質についても人為差が生じないように管理し施工しなければならない。そのためコンタクトクレイ材の施工には、省力化・省人化が求められてきた。ここで報告するコンタクトクレイ吹き付け工法は、コンタクトクレイ材の施工を機械化したものであり、熟練工を要さずとも均一な品質を確保し、施工の効率アップと省力化の実現のため開発した工法である。本工法は、平成10年3月に（財）ダム技術センターより、ダム建設技術・技術審査証明を取得している。本報告では、大保脇ダムにおいて実施したコンタクトクレイ吹き付け工法と従来工法の品質比較試験や本施工に適用した結果について報告する。

2. システムの概要

コンタクトクレイ吹き付け工法は、図-1に示す基盤面上のコンタクトクレイ材の施工を機械化したものであり、写真-1に示すように人力による作業（a）を吹き付け（b）により行うものである。

時間当たり14m³の施工能力を想定したコンタクトクレイ吹き付け工法に使用する機械の一覧を表-1に、図-2に吹き付けシステムの概要を示す。コンタクトクレイ吹き付け工法は、スクリーンバケット、分級機、乾燥キルン、吹き付け機を主体としたシステムで機械化施工を行

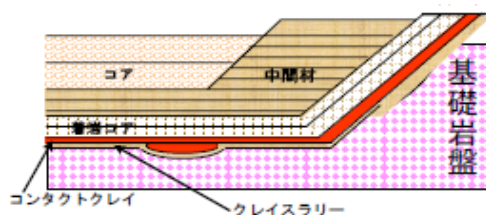


図-1 フィルダムの着岩部断面図



(a)コンタクトクレイの貼付 (b)コンタクトクレイの吹付け
写真-1 コンタクトクレイの施工

表-1 機械仕様

名称	仕様・能力	役割
バックホウ（投入）	0.3m ³ クラス	コンタクトクレイ材の投入
バックホウ（吹付）	0.03m ³ クラス	吹付ロボットとして
分級機	15m ³ /h	粒径調整・投入量の均一化
乾燥キルン	15m ³ /h(実測) (ドラム傾角1度、回転数15rpm)	コンタクトクレイ材の表面乾燥
乾式吹き付け機	21m ³ /h、 最大粒径25mm	吹き付け
コンプレッサー	吐出空気量 7.5m ³ /h	吹き付けエアの供給
振動フルイ	網目20mm	粒径調整・異物除去
送水ポンプ	最大16.9L/min	加水用
水タンク	1,000L	加水用の水の貯留
流量計	0.5～10L/min	加水量の調節
発電機	45KVA	電源
排出バケットA(1)	W=350	分級機からの材料排出
排出バケットA(2)	W=350	分級機からの材料排出
搬入バケットA	W=350	乾燥キルンへの投入
搬出バケットA	W=350	吹付機への投入

うものである。

図-3に本システムの施工フローを示す。

本工法では、バックホウにて分級機に材料を投入する。分級機では土塊を砕きながら次行程に移送する。次に、本システムの特徴である乾燥工程がある。コンタクトクレイ材をそのままホースで圧送する場合、材料に粘性があるのでホース内で閉塞するという不具合が生じる。そこで、表面を乾燥状態にすることで、ホース内での圧送がスムーズになり閉塞を防ぐことができる。表面を乾燥状態にしたものを乾式吹き付け機に移送し、吹き付け機にて圧送された材料をミニバックホウに取り付けた吹き付けホースで岩盤面に吹き付ける。圧送された材料は表面が乾燥状態であるためホース先端で加水し所定の含水比にする。なお、吹き付け圧は2kgf/cm²とし、吹き付け面と吹き付けホース先端の距離は60cmとした（過去の試験施工を参照した）。

このように、本施工法は、乾燥キルンによる強制乾燥と蒸発した水分はホース先端において流量計で調節し、加水することによって、最適含水比を中心とした一定幅内での施工を行うことができるシステムであることが特徴である。したがって、本施工方法で施工されるコンタクトクレイ材の最適含水比を決定するために加水量（L/分）と吹き付け後の含水比の関係を把握しておかなければならない。また、吹き付けられたコンタクトクレイ材

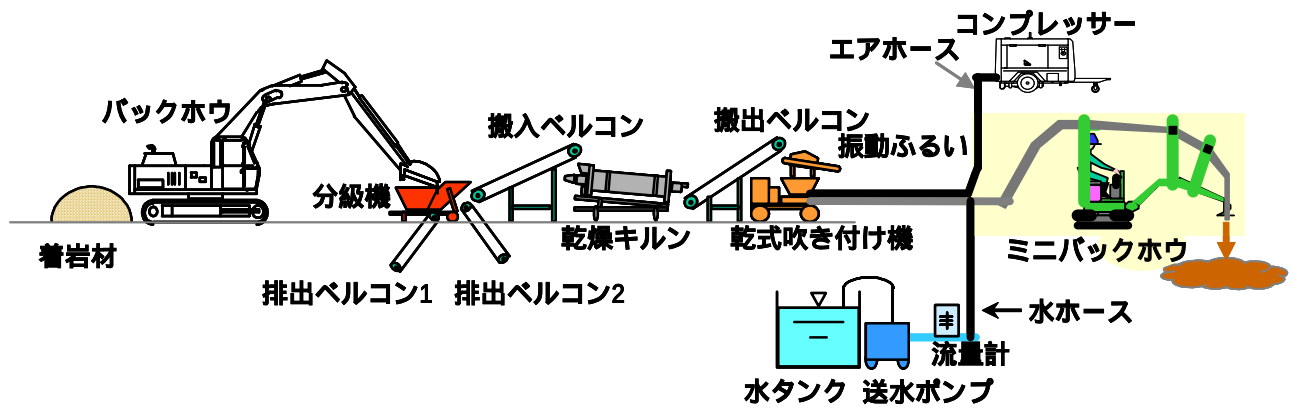


図-2 コンタクトクレイ吹き付けシステムの概要

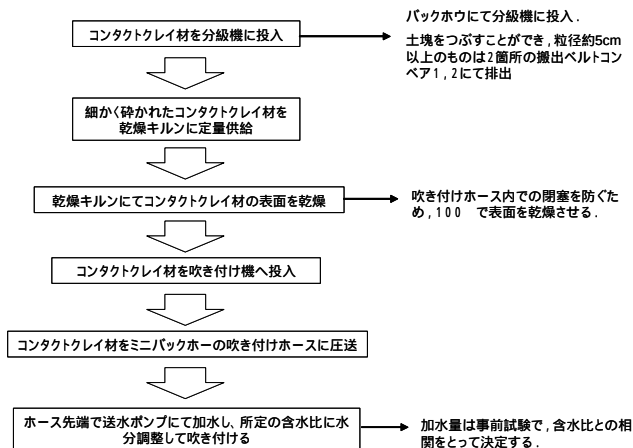


図-3 コンタクトクレイ吹付システムの施工フロー

の品質を原位置で迅速に確認し管理するために、吹き付けられた材料の含水比と土壌硬度指数（土壌硬度計の貫入量）の関係も把握しておく必要がある。

3. 実験概要

今回、大保脇ダムで実施したコンタクトクレイ吹き付け工法の現場適用では、試験施工において在来工法と吹き付け工法の比較試験を行い、在来工法と同程度の遮水性を有することを確認する。その結果を確認した後、本体工事内での本施工を行う。という流れで実施した。

3.1 試験施工

吹き付け工法および在来工法で施工したコンタクトクレイ材の施工品質が同等であることを確認する比較試験を実施する。比較する施工品質は、乾燥密度、透水係数である。透水係数については、コア材の施工管理基準を準用して $k=1.0 \times 10^{-5}(\text{cm/sec})$ 以下を要求品質とする。

表-2 に試験ケース一覧を示す。6 パターンにて在来工法および吹き付け工法の施工後の品質を比較する。実験はダム右岸天端に岩盤面を露出させ施工した。Case1 と Case2 を比較することにより在来工法と吹き付け工法で施工したコンタクトクレイ材の品質の差異を明らかにする。

表-2 試験ケース一覧表

試験名	施工方法	
Case1	50mm（エアタンバ）× 6層=300mm	在来工法
Case2	50mm（吹付）× 6層=300mm	吹付工法
Case3	50mm（エアタンバ）× 4層=200mm	在来工法
Case4	50mm（吹付）× 4層=200mm	吹付工法
Case5	50mm（エアタンバ）× 2層+100mm × 2層（プレート）=300mm	在来工法
Case6	50mm（吹付）× 2層+100mm × 2層（プレート）=300mm	吹付工法

また Case3 と Case4 の比較は付着面の透水性比較をメインとして実施され、岩盤亀裂の不均一性による透水性の差異をなくすためにコンクリートを着岩面としている。Case5 と Case6 は実際に大保脇ダムにおいて実施されている従来工法と同様な施工方法での比較である。コンタクトクレイ材の試験施工の概略図を図-4 に示す。

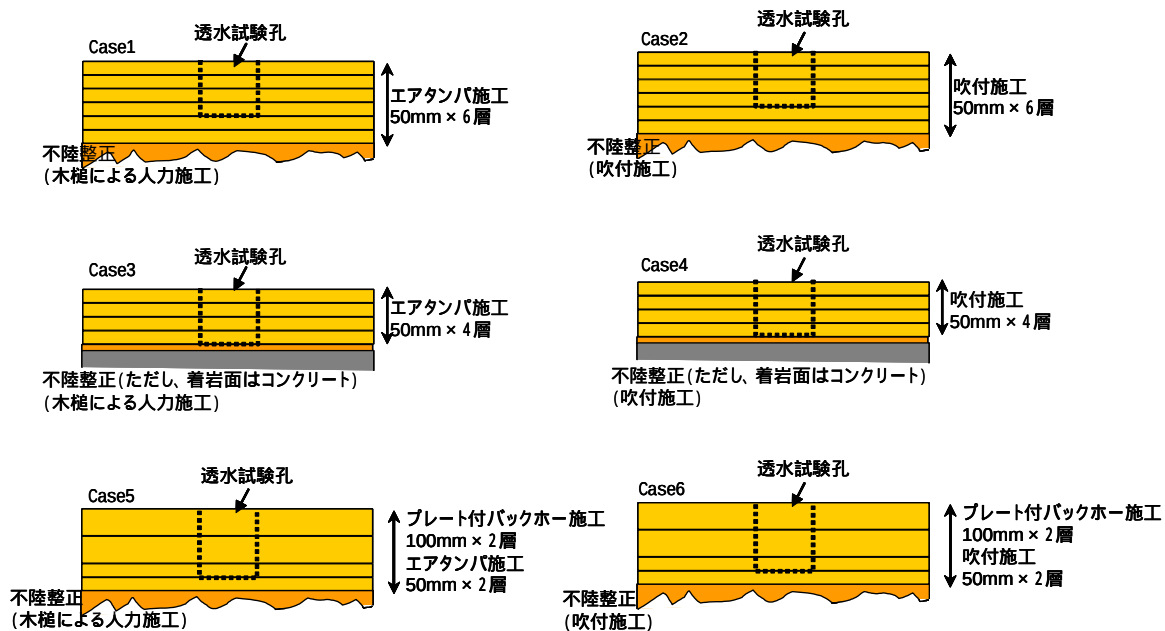


図-4 試験施工の概略図

3.2 本施工

堤体盛立て現場にて、吹き付け工法の技術的事項の確認およびデータの収集を実施するために行った。

本施工箇所は、左岸コア敷き EL50 付近で実施した。施工は、右岸側から左岸側に向けて幅 3 m の帯状の施工範囲を 50mm 吹き付けの後、プレート付バックホウにて着岩材の転圧を行い、標準コアまで撒きだし転圧後、次の施工範囲に移るとい施工方法で実施した。施工手順を図-5 に示す。

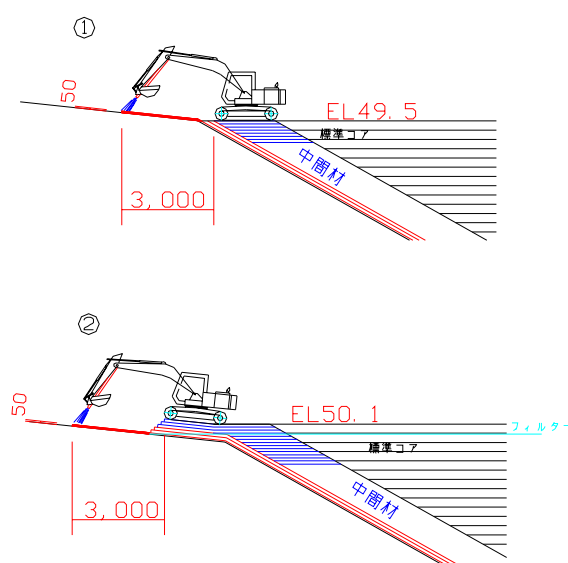


図-5 本施工施工手順

4. 実験結果

4.1 事前試験結果

(1) 室内材料実験

今回使用する土質材料を用い、材料物性の把握のために室内密度・透水試験等を実施した。

材料の諸物性を表-3 に示す。また、室内密度・透水試験結果を図-6、図-7 に示す。

これらの結果から、粒度規定 $F_c=70\%$ 以上、最大粒径 25mm を満足し、 $IP=45.4$ 、 $I_c=1.4$ ということから粘性に富み、安定な状態であることが分かる。また、土粒子の密度から判断すると、有機物の含有がないと思われる。締固め透水試験からは、含水比の基準値内 ($W_{opt}+1 \sim +4\%$) において十分透水性が満足されることが分かる。

表-3 材料物性一覧表

項目			値	
粒度分布	粒径 (mm)	150	通過百分率 (%)	100
		53		100
		19		99.7
		2		99.4
		0.074		80.4
自然含水比W n %				25.1
液性限界WL%				89.2
塑性限界Wp%				43.9
塑性指数Ip				45.4
液性限界IL				0.4
コンシステンシー指数Ic				1.4
土粒子密度ρs				2.74

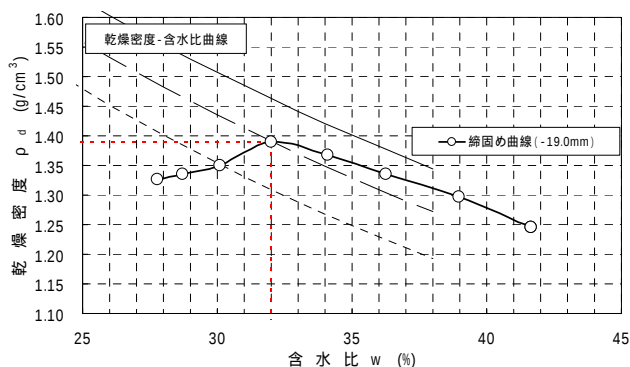


図-6 室内密度試験結果

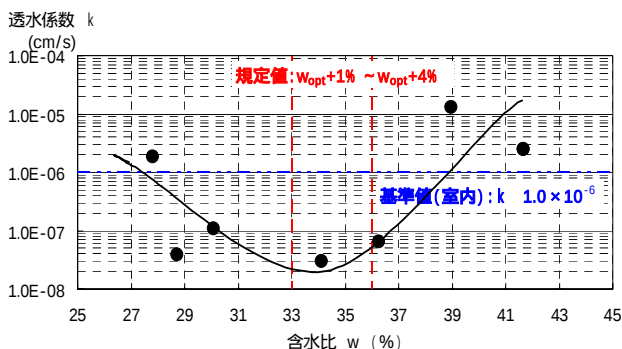


図-7 室内透水試験結果

(2) 含水比測定方法の検討

含水比を測定するのに通常は炉乾燥法により測定するが、含水比の結果を迅速に知するために電子レンジ法(JGS0122-2000)を用いることとした。そのため、炉乾燥法と電子レンジ法との相関を取り確認を行った。その結果を図-8に示す。図より1:1の相関を示し、同一と判断できることから、電子レンジ法の値をそのまま用いるものとする。

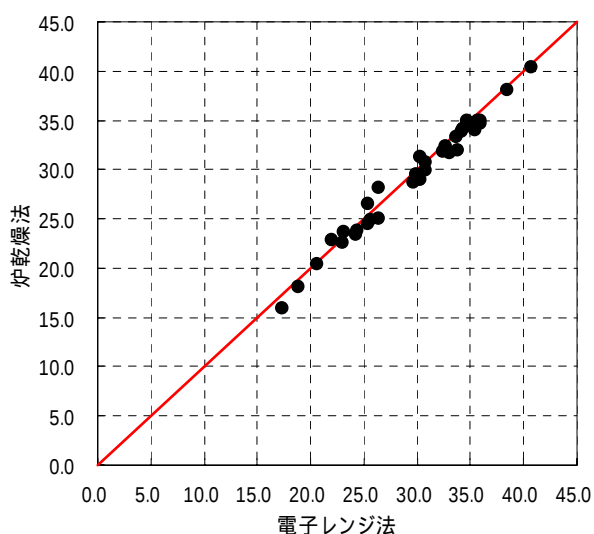


図-8 炉乾燥法 - 電子レンジ法相関図

(3) 適正加水量・土壌硬度指数のキャリブレーション結果

図-9にキルン温度100の場合の吹き付け機先端での加水量とコンタクトクレイ材の含水比について示す。含水比の基準値(Wopt+1%~4%)を満たすには、加水量は3.5~4.8L/minであることが示された。なお、加水量が大きいほど吹付の際のリバウンドが少なかった。

また、図-10に土壌硬度指数とコンタクトクレイ材の含水比について示す。含水比の基準値(Wopt+1%~4%)を満足する土壌硬度指数は20~23mmを示した。

以上の結果より、試験施工ではキルン設定温度を100とし、コンタクトクレイ材の含水比基準値を満足するための、原位置での迅速管理のため、土壌硬度指数を20~23mmで管理することとした。

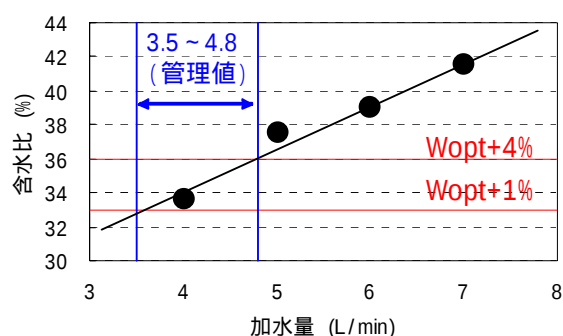


図-9 加水量とコンタクトクレイ材の含水比の関係

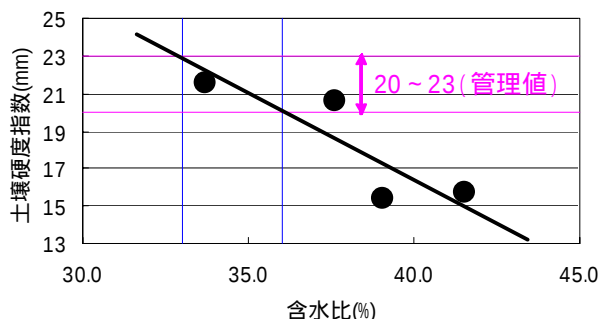


図-10 コンタクトクレイ材含水比と土壌硬度指数の関係

4.2 試験施工結果

図-11、図-12に現場密度・透水試験結果を示す。

Case1とCase2の比較から、在来工法と吹付工法の違いによるコンタクトクレイ材自身の締固め度・透水係数を比較すると締固め度は同等であり両工法とも透水係数の基準値(1.0×10^{-5} cm/sec 以下)を満足し、両者は同等の遮水性能を持つことを確認した。また、Case3とCase4の比較から着岩面の透水性についても同等程度であり、かつ透水係数の基準値を満足している。さらに、当現場での施工方法に合わせた場合の施工方法(Case5, Case6)でも同等の締固め度・透水係数を示し、透水係数の基準値を満足し、両者とも同等の遮水性能を持つことが確認

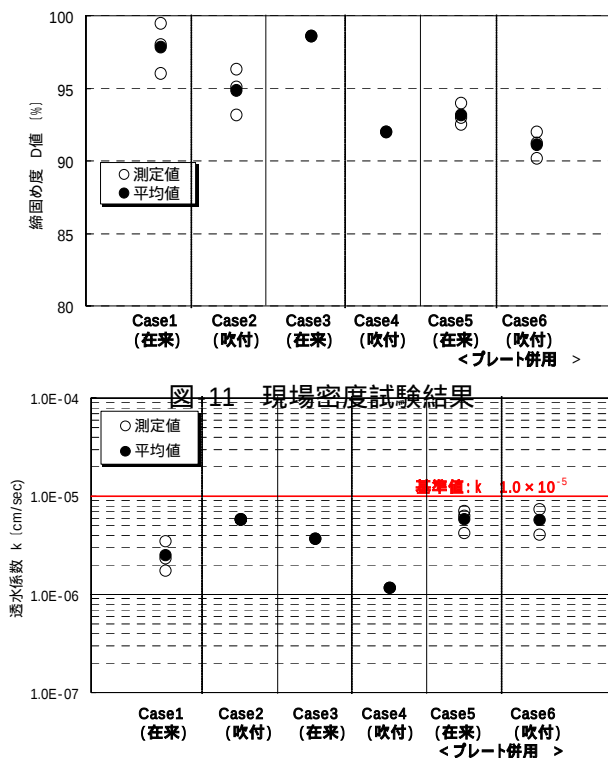


図-12 現場透水試験結果

できた．これにより，本施工への適用が認められることとなった．

4.3 本施工結果

本施工については，以下の施工区分に示すように No.23+3～No.21 の区間で約 3 m × 3 m を一施工区分として 4 5 に区分けした．

吹付施工は，右岸側から順次一列ごとに行い，それぞれの施工区分を 2 回（例：施工区分 1 の場合は 1 - 1 と

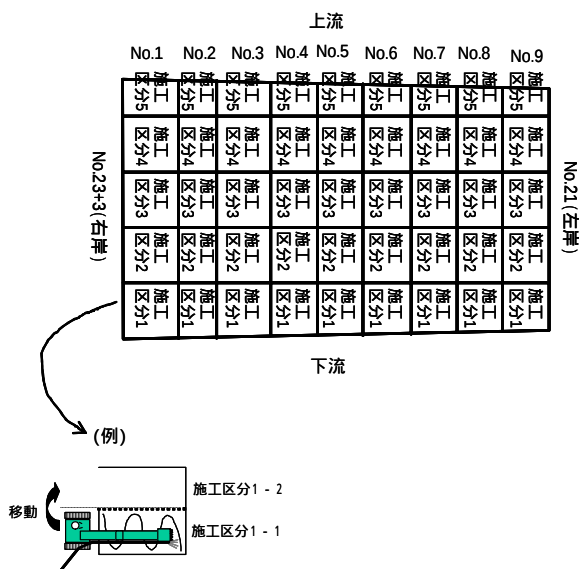


図-13 本施工施工区分

1 - 2) に分けて施工した．

施工中の土壌硬度指数の測定結果と含水比結果を図-14，

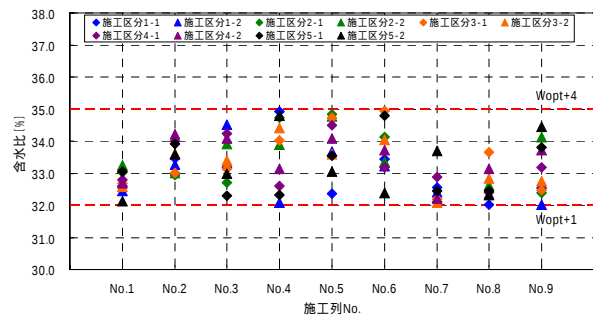


図-14 施工中の含水比結果

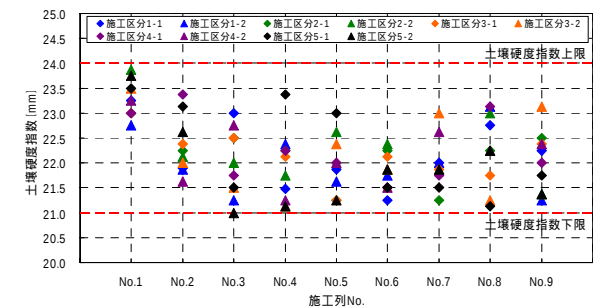


図-15 施工中の土壌硬度指数

図-15 に示す．

含水比のグラフにはそれぞれの施工区分における 2 回の施工中に採取した含水比を示す．

吹き付けたコンタクトクレイ材の土壌硬度指数を管理基準範囲内で施工することにより材料の含水比を基準値内で施工することができた．

なお，本施工にあたりシステムの移動・再設置，材料の採取位置の変更による材料の最適含水比（Wopt）の変動等があったため，再度，最適加水量・土壌硬度指数のキャリブレーションを行い，含水比の基準範囲 32%～35% を満足する土壌硬度指数の管理範囲を 21mm～24mm と設定した．土質については再分析の結果，同等のものであると判断した．

本施工時に測定した施工時間から今回のコンタクトクレイ吹付工法の施工能力を表-5 に示す．平均の施工能力は 1.31m³/h であった．なお，試験施工時に測定した在来工法(エアータンパでの施工)は 1.24m³/h であったため，同等程度の能力は確保できていることがわかる．

表-5 施工能力

施工日	施工面積 (m²)	施工量 (m³)	施工時間 分	時間当り 施工量 (m³)
H17.11.19	30.00	1.50	105	0.86
H17.11.22	39.25	1.96	90	1.31
H17.11.23	39.25	1.96	94	1.25
H17.11.24	39.00	1.95	79	1.48
H17.11.24	38.75	1.94	81	1.44
H17.11.25	38.50	1.93	107	1.08
H17.11.28	37.50	1.88	75	1.50
H17.11.28	37.50	1.88	73	1.55
平均	37.47	1.88	88.0	1.31

しかしながら，過去に実施した実証実験の結果から，7.5m³/h の処理能力が確認された例もあり，今回の施工能力では経済性に問題がある．

施工能力が上げられなかった原因として考えられるのは，施工条件としてあげられている含水比の基準値範囲が問題であると思われる．今回使用した材料の塑性限界は 44%程度である．施工時の自然含水比が 34%程度で，含水比の基準値範囲（Wopt+1%～4%）が 32～35%であると，塑性限界よりかなり低い状態での施工となる．そのため，過乾燥の場合はキルン排気口から粉塵が発生し，さらに吹き付け時にリバウンドが生じる現象が発生する．逆に加水量を多くすると上述した含水比の基準値範囲を超えてしまうため，非常に含水比管理が難しい材料であり，施工能力を上げられない大きな要因になっていた．よって，結果的に在来工法と同等の施工能力になったと考えられる．

このように本工法は，土質性状，施工条件等により施工能力は大きく変化する．他地点でのコンタクトクレイ吹き付け工法での試験施工実績は塑性限界よりも高い含水比で実施し，在来工法に対し 3 倍以上の能力を発揮している．また，表-7 に示すように，日本でのコンタクト

表-7 他地点でのコンタクトクレイ材含水比基

No.	名 称	発注者	材料の品質管理基準	施工方法	施工管理基準
1	琴河江 (1990年 竣工)	建設省 東北地方 建設局	・最大粒径...50mm ・含水比...ω opt+3～10%	・エアタンパー（16kg 級） ・パイプローラー	・撤き出し厚...50mm ・転圧速度...3分/m ² 以上 ・転圧回数...3回 ・撤き出厚...50～100mm ・転圧回数...4回以上
2	三国川 (1992年 竣工)	建設省 北陸地方 建設局	・最大粒径...50mm ・74μm...30%以上 ・含水比...ω opt+3～10% ・透水係数...5×10 ⁻⁴	・エアタンパー	・撤き出し厚...50mm ・仕上げ厚...200mm (50mm×1層+75mm×2層)
3	底原 (1990年 竣工)	沖縄開発庁 沖縄総合 事務局	・最大粒径...20mm ・74μm...40%以上 ・含水比...自然含水比 盛立場にて含水量・粒度を 1回/日測定	・エアタンパー	・撤き出し厚...100mm ・転圧時間...3分/m ²
4	瑞慶山 (1994年 竣工)	沖縄開発庁 沖縄総合 事務局	・最大粒径...25mm ・74μm...60%以上 ・含水比...ω opt+3～10%	・エアタンパー	・撤き出し厚...50mm ・転圧回数...4回
5	新鶴子 (1990年 竣工)	農林水産省 東北農政局	・含水比...40～60%	・エアタンパー (空気圧5kg/cm ² 以上)	・撤き出し厚...100mm (仕上げ厚...200mm) ・転圧時間...3分/m ²
6	蒲郡 (1996年 竣工予定)	豊川総合 用水農業 水利事務所 西部支所	・最大粒径...20mm ・含水比...ω opt+1～8%	・木棧、足踏み等（不陸 部分） ・エアタンパー (平坦部)	・仕上げ厚...50mm ～100mm
7	奈良保 (1998年 竣工)	水資源開発公 団	・最大粒径...30mm ・含水比...ω opt+5～20%	・メカニカルタンパー	・撤き出し厚...100mm (×3層=300mm) ・転圧時間...3分/m ²
8	四時 (1984年 竣工)	福島県	・含水比...自然含水比 (32～41%)	・エアタンパー	・撤き出し厚...50mm ・転圧時間...2～3分/m ²
9	高瀬 (1978年 竣工)	東京電力㈱	・最大粒径...20mm ・含水比...30～40% (ω x=60～70% ω opt=28%)	・エアタンパー	・撤き出し厚...100mm ・転圧時間...3～5分/m ²
10	玉原 (1982年 竣工)	東京電力㈱	・最大粒径...100mm ・含水比...自然含水比 (平均17%)	・エアタンパー	・撤き出し厚...100mm
11	今市 (1984年 竣工)	東京電力㈱	・最大粒径...50mm ・含水比...60～70% (閉固め及び透水試験の結果 より設計透水係数を満足する 含水比)	・エアタンパー	・撤き出し厚...100mm ・転圧回数...3回
12	葛野川 (1999年 竣工)	東京電力㈱	・最大粒径...50mm ・含水比...80～180% (LL～PLの範囲内) 室内突固め試験(IEC)による乾 燥係数 α _d と透水係数 α _w ならび に粒度分布(全粒径)を測定	・エアタンパー (不陸部分) ・油圧機械式(平坦部)	・撤き出し厚...100mm ・転圧時間...3分/m ²
13	手取川 (1979年 竣工)	電源開発㈱	・含水比...ω opt+3%以上 (ω opt=約16%)	・エアタンパー	・撤き出し厚...50mm (×6層=300mm)

クレイ材の含水比基準値範囲の上限は最適含水比（Wopt）に対しかなり高い値が採用されている．よって，今回の大保脇ダムでの施工含水比基準値範囲はまれであると考える．

最適含水比よりも高い状況で施工ができれば，在来工法よりも処理能力はアップし，経済的メリットも出てくると思われる．

本工法の安全性については，定性的ではあるが表-7 に示すような特徴があり，コンタクトクレイ吹き付け工法は在来工法に比べ安全性は高いと言える．

表-8 安全性比較表

項目	コンタクトクレイ吹き付け工法	在来工法
材料搬入	システム脇にダンプトラックで搬入し、フィールドへは圧送となるため、施工フィールド内でのダンプトラックとの接触はなくなり、安全に施工ができる	施工フィールド脇にダンプトラックで搬入するため、人と接触する危険性が考えられる
施 工	バックホーによる施工のため、施工フィールド内には人が介在せず安全である	バックホウを用いて材料をフィールド内にまき出すため、バックホウと接触する危険性があるエアタンパを保持する人とこれを誘導する人とのペアでフィールド内に入って施工するため、施工フィールド内でエアタンパと接触する危険性がある

5. まとめ

試験施工の結果から在来工法，吹き付け工法は同等の遮水性能を示すことが確認できた．そのことよりコンタクトクレイ吹き付け工法は，大保脇ダムにおいて本施工に適用できた．また，本施工の結果から，施工能力は在来工法と同程度にとどまっており，過去の実験より劣っていた．それは，土質性状と施工条件との関係が施工能力に影響していると考えられた．また，安全性については吹き付け工法が優れている結果というが得られた．

6. おわりに

土質性状や施工条件が施工能力にどのように影響を与えるか更に究明するとともに，その結果をもとに適用土質の判定方法を確立する必要があると考える．また，ダム現場以外の適用現場（処分場遮水層築造）を見据え，システムについてもユニット化等の合理化について検討していきたいと考えている．

謝辞：今回のコンタクトクレイ吹き付け工法の現場試行に当たり，大保脇ダムの土屋所長ならびに吉岡副所長以下職員の皆様に多大なるご協力を頂きました．この場をお借りして厚く御礼申し上げます．

参考文献

- 1) 伊東，勝又他：コンタクトクレイ吹き付け工法の開発（システムについて），第 32 回地盤工学研究発表講演集，pp.2647～2648，1997．
- 2) 村山，安井他：コンタクトクレイ吹き付け工法の開発，前田建設技術研究所 Vol.39，pp.133～140，1998．