

水工フォームドアスファルト混合物のアスファルト遮水壁への適用性（その3）

Application of Foamed Asphalt Mixtures for the Asphalt Facing (Part 3)

北海道電力㈱ 京極水力発電所建設所 正会員 中井 雅司 (Masashi Nakai)
 北海道電力㈱ 京極水力発電所建設所 正会員 飯塚 一人 (Kazuto Iizuka)
 北電総合設計㈱ 〇正会員 若本 貴宏 (Takahiro Wakamoto)
 鹿島・大林・飛島・伊藤組共同企業体 理寛寺 由行 (Yoshiyuki Rikanji)

1. はじめに

京極発電所上部調整池は、掘り込み式のプールタイプで、遮水は調整池の内側全面をアスファルト表面遮水壁で覆う設計である。遮水壁の構造を図-1に示す。アスファルト表面遮水壁の基盤を構成する施工基盤層には、常温舗設が可能で環境への影響が少なく省エネルギー型のフォームドアスファルト混合物に改良を加えた水工フォームドアスファルト混合物を用いる計画である。これまで力学性状の把握、アスファルトの分散性の検討、ジャイレトリーコンパクトでの室内供試体作製条件の検討、低温時の混合性の検討ならびに貯蔵性の検討など室内における諸検討を実施してきた。また、現場においても過去3回にわたる平坦部舗設試験を実施しており、これらの検討成果は、既報^{1) 2) 3)}において報告してきた。

本報告は、遮水壁の大部分の面積を占める斜面部の舗設試験を実施して、IT施工管理システムを導入した施工機械による施工方法^{4) 5)}ならびに品質などを検証し、水工フォームドアスファルト混合物のアスファルト表面遮水壁への適用性を評価したものである。

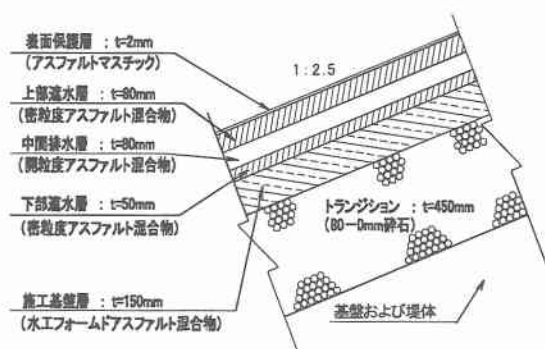


図-1 遮水壁構造

2. 施工基盤層の要求性能

水工フォームドアスファルト混合物を施工基盤層へ適用するにあたっては、表-1に示す役割と性能が要求される。

表-1 施工基盤層の役割と要求性能

役 割	要求性能	評価項目
・遮水壁施工時における舗設基盤 ・下部遮水層の層厚を確保するための不陸調整	トラフィカビリティー	変 形 量
・越冬時のトランジションの保護	耐凍害性 耐水安定性	損失質量 圧縮強度
・堤体から遮水壁までの構造的な連続性の確保	変形性能 応力伝達性能	変形係数 付着強度

3. 斜面部舗設試験の概要

水工フォームドアスファルト混合物の舗設試験は、上部調整池の底面を対象とした平坦部において、これまで3回にわたって約6,000m²の舗設を実施してきた。

斜面部舗設試験は、平成14年6月から9月の夏季に、上部調整池の斜面部を模擬した試験ヤードにおいて、実際の施工と同様に舗設を実施し、斜面部における施工方法の確認、本施工機械に対するトラフィカビリティー、IT施工の精度、品質の検証さらには品質管理方法の検討などを目的として実施したものである。

写真-1に斜面部舗設試験ヤードの全景を示す。



写真-1 斜面部舗設試験ヤードの全景

3.1 使用材料および配合

水工フォームドアスファルト混合物の骨材は、上部調整池の掘削時に発生する現地発生材（安山岩）を使用する計画であるが、これまで実施してきた舗設試験では、本体工事が未着手で、現地発生材の入手が困難であったことから購入骨材を使用してきた。

今回使用した現地発生材は、上部調整池から採取したものの、骨材破砕試験は行っておらず、破砕後の骨材性状を確認するに至らなかった。このため、斜面部舗設試験では、購入骨材 A、B（安山岩）を主体とし、現地発生材（安山岩）は参考値と位置付けた。

なお、購入骨材の使用にあたっては、アスファルトの均一な分散性が得られないと予想されたことから、分散性改良剤（アルカリ系水酸化物）を添加した¹⁾。また、今回使用の現地発生材は、厳密な粒度調整を行っていないほか、事前検討において細粒分に含まれる粘土分の影響によりアスファルトの分散性が不良であったことから、購入骨材と同様に分散性改良剤を添加することとした。

アスファルト量は、これまでの室内試験、平坦部舗設試験結果を踏まえ4.5%とした。

舗設試験工事に用いた混合物の配合条件を表-2に、

骨材の合成粒度を図-2に示す。

表-2 配合条件

骨 材	種 別	購入骨材 A 購入骨材 B 現地発生材
	岩 種	安山岩
	最大寸法 (mm)	40
	分散性改良剤添加率 (%) ※1)	1.0
	最適含水比 (%)	6.0 (購入骨材 A) 7.0 (購入骨材 B) 6.6 (現地発生材)
As	種 類	St.As.80/100
	As 量 (%)	4.5
	W/As (%) ※2)	2.0

※1) 骨材に対して内添けにて添加
※2) アスファルトをフォーム化するための水とアスファルトの質量比

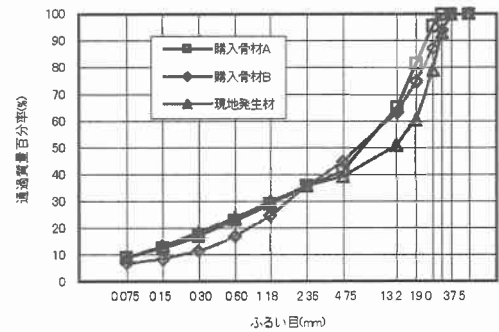


図-2 骨材の合成粒度

3.2 施工方法

水工フォームドアスファルト混合物の施工は、施工精度の向上および施工の効率化を図るため、IT 施工管理システムを導入した施工機械を使用する計画である。主な施工機械は、3D-MC ブルドーザ（トータルステーション）および斜面自走式振動ローラである。3D-MC ブルドーザは、3 次元設計データにもとづきブレードの自動制御が可能であり、設計図上での設計位置と現在位置との差を画面に表示する機能を付加した。また、斜面自走式振動ローラは、地盤反力式締固め管理装置を搭載した。なお、施工後の出来形管理においては、自動追尾のトータルステーションを用いて指定位置に誘導することができ、測量者 1 名で施工高さを測定することが可能な 3 次元位置誘導システム（3D-NAVi）を使用した。

施工フローおよび施工機械を図-3に、主要な施工機械を写真-2に示す。

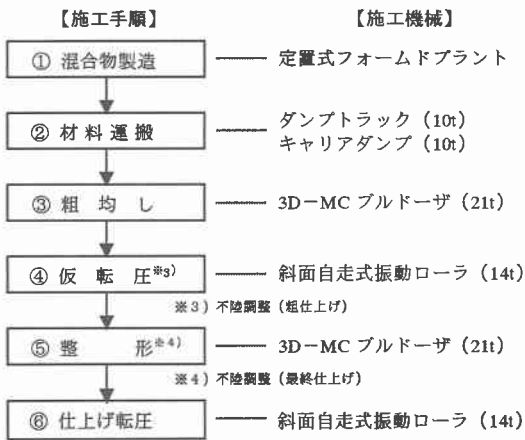
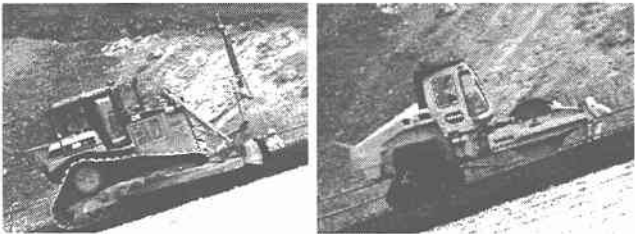


図-3 施工フローおよび施工機械



3D-MC ブルドーザ
斜面自走式振動ローラ
写真-2 施工機械

4. 斜面部舗設試験結果

4.1 施工方法の検証

施工方法の検証として、仕上げ転圧後の混合物の密度を測定し、斜面自走式振動ローラによる仕上げ転圧回数を設定した。また、施工基盤層には、遮水壁施工時における舗設基盤および下部遮水層の層厚を確保するための不陸調整としての役割が求められることから、トラフィカビリティー試験を行い評価することとした。さらには、IT 施工管理システムによる施工の精度を検証するため、舗設後の施工高さを測定するとともに、施工サイクルを把握して施工効率を評価した。

(1) 転圧回数の設定

斜面自走式振動ローラによる仕上げ転圧の施工条件を設定するため、転圧回数を 4, 6, 8 パスの 3 ケース設定し比較を行った。転圧方法は、上り方向を有振とし下り方向を無振で実施した。

評価は、密度測定値から算出される空隙率で行った。なお、供試体 (20×20×15cm) は、購入骨材 A を使用した箇所からコンクリートカッターにより切取った。

切取り供試体の空隙率は 17~19% 程度であり、仕上げ転圧回数の相違による差は認められなかった。これは、ブルドーザによる粗均し、斜面自走式振動ローラによる仮転圧など事前の締固めの効果が影響したものと考えられる。また、転圧回数が 6 パスを超えると表面にクラックが発生する傾向が認められた。したがって、仕上げ転圧回数は 4 パスが妥当であると判断した。なお、最終的な仕上げ転圧回数は、本施工までに粒度調整した現地発生材で再検討する必要がある。

(2) トラフィカビリティー

トラフィカビリティー試験は本施工を想定し、施工基盤層上においてダンパー車（混合物供給車）を走行させて、混合物の残留変形量を測定する方法とした。図-4に試験方法を示す。

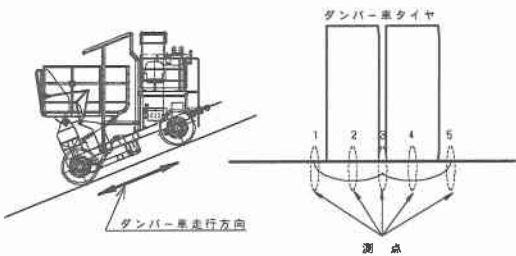


図-4 試験方法

試験では、最大積載時と空車時の 2 ケースの荷重条件を設定した。走行回数は、最大積載時および空車時の荷重条件ともに 15 回とし、走行回数 5 回毎に残留変形量を

測定した。ダンパー車の荷重条件を表-3に示す。

表-3 ダンパー車荷重条件

積 載 状 態			空車時	最大 積載時
総 重 量 (t)			7.7	17.7
輪 数			底面側：4 輪 堤頂側：2 輪	
荷重	底 面	軸 重 量 (t)	4.2	12.8
		1 輪 当 り (t)	1.05	3.20
	堤頂側	軸 重 量 (t)	2.9	3.7
		1 輪 当 り (t)	1.45	1.85
走 行 速 度 (m/min)			20	

最大積載時(走行回数 15 回)の残留変形量は、2mm 程度であり、十分なトラフィカビリティーを確保しているものと判断される。

(3) 施工精度

IT 施工の精度を確認するため、3 次元位置誘導システム(3D-NAVi)で施工高さの測定を行った。測定箇所は、施工面積約 2,500m²に対して 72 測点とした。

測定結果の一例を図-5に示す。

斜面部における計画高さとし上がり高さの差は平均で 1cm 程度(変動幅：±2cm)であり、施工基盤層として十分な施工精度が確保されているものと判断される。

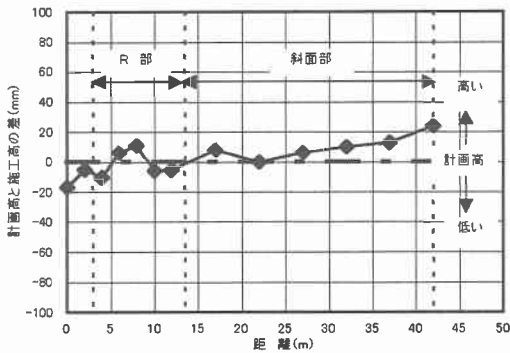


図-5 計画高さと施工高さの差

なお、斜面自走式振動ローラの履帯形状により舗設表面に凹凸(3cm 程度)が生じた。

このうち凸部は、後に舗設される下部遮水層の層厚に影響を及ぼすことが考えられたため、ウインチポータに牽引された振動ローラ(3t 級)を用いて再転圧することとした。

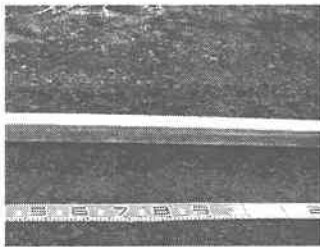


写真-3 舗設表面の凹凸

その結果、1cm 程度の凹部は残るものの、凸部は平滑になり(写真-3 参照)、下部遮水層の層厚は平滑面を基準に必要厚さを確保すればよいこととなる。

なお、施工の省力化を図るためには、斜面自走式振動ローラの履帯の形状を変更することが望ましいが、斜面における走行の安定性を考慮すると大幅な変更は難しいと判断される。

(4) 施工効率の検証

水工フォームドアスファルト混合物は常温混合物であり、施工温度の制約が少ないことから急速施工が可能で

ある。

水工フォームドアスファルト混合物の日施工量は、今回の試験施工結果では概ね 2,000m²程度であり、従来材料(粗粒度アスファルト混合物)に比べて施工時間の短縮が期待できる。また、IT 施工管理システムを用いることにより、これまでの施工方法と比較して、より一層の施工性の向上が図られる。

4.2 品質の検証

施工基盤層には、施工期間中の越冬時において、トラランジションを保護する機能が求められる。トラランジションを保護するためには、施工基盤層が健全な状態を維持しなければならない。このため、耐久性のうち特に越冬時における耐凍害性の確保が重要になると考え、空隙率を指標に耐凍害性および力学性状の評価を行った。

(1) 耐凍害性

耐凍害性を評価するために、別途、空隙率(10,15,20%)およびアスファルト量(4.5,6.0%)を変化させた供試体で現地曝露による凍結融解試験を実施中である。設置してから 1 シーズン経過後の損失質量ならびに表面性状の目視観察結果においては劣化は認められず、健全な状態が維持されている。したがって、空隙率が概ね 20%以下(20%以上は未確認)であれば耐凍害性は確保されるものと推察される。このため、耐凍害性を空隙率により間接的に評価することとした。使用骨材は、購入骨材 A、B および現地発生材を対象とし、このうち現地発生材においては、施工ジョイント部さらには、含水比を最適含水比より 1.5%程度少ない 5.0%とした場合についても実施した。

空隙率の算出結果を図-6に示す。

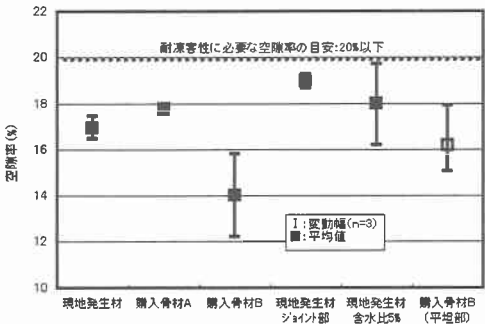


図-6 空隙率

空隙率は、いずれも 20%以下となり、また、施工方法の異なる平坦部施工と比較しても同水準であることから、斜面自走式振動ローラによる締固め効果は十分に期待でき、耐凍害性は確保されるものと考えられる。

一方、耐凍害性を確保するためには、アスファルトの分散性も必要不可欠である。著者らのこれまでの研究¹⁾によると分散性には、骨材細粒分に含まれる粘土分が影響を及ぼすことがわかっている。今回使用した現地発生材は、粒度調整などを厳密に行っていなかったため、分散性改良剤を添加したが、一部(特に含水比 5%の箇所)において粘土分の塊が生じ分散性の不良箇所が確認された。この箇所においては、下部遮水層の転圧時に、斜面方向および横断方向に対して境界面付近で滑動する現象

が見られた。これは、粘土分の塊が原因で下部遮水層との付着力が低下していたために生じたものと考えられる。したがって、本施工時には骨材細粒分の粒度およびアスファルトの分散性の管理を厳密に行う必要があるものと思われる。

(2) その他の性状

施工基盤層には、トラフィカビリティー、耐凍害性以外にも、変形性能および応力伝達性能などが要求され、これらは、変形係数および付着強度で評価される。

これらの力学性状は、これまでの室内試験および舗設試験で把握¹⁾されており、空隙率に依存することが確認されている。今回得られた空隙率の範囲内では、物性値に大きな違いがなく要求される力学性状は十分満足するものと判断される。

4.3 品質管理方法の検証

本施工時における品質管理方法として採用を検討している RI による密度測定法の適用性を評価するために、切取り供試体による密度および空隙率と比較検討することとした。測定は、散乱式を用い切取り供試体の採取箇所と同位置で実施し、測定回数は 1 箇所あたり 3 回行った。切取り供試体による密度と RI による湿潤密度の関係を図-7 に、密度を空隙率におきかえて表わしたものを図-8 に示す。

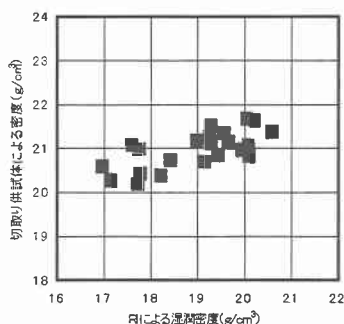


図-7 切取り供試体の密度と RI による湿潤密度の関係

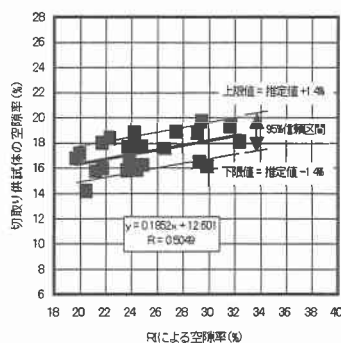


図-8 切取り供試体の空隙率と RI による空隙率の関係

切取り供試体と RI の密度および空隙率には相関が認められる。RI による空隙率から推定される空隙率のバラツキの変動幅 (95%信頼区間) は、推定値 $\pm 1.4\%$ であり、推定される空隙率は 15~20%の範囲内である。

施工基盤層の要求品質を満たす空隙率は、耐凍害性で概ね 20%以下、また、その他の力学性状では 15~20%を上回る範囲であり、推定される空隙率はこれらの範囲内

であることから、RI は品質管理方法として適用可能であると判断される。なお、透過式 RI による測定についても別途実施しており、測定数が少ないものの測定値のバラツキは小さい結果が得られていることから、その適用性について検討を進めて行きたいと考えている。

5. まとめと今後の課題

以下に、検討結果の要約を列挙する。

〈まとめ〉

- ・ 残留変形量は、ダンパー車の最大積載時で 2mm 程度であり、十分なトラフィカビリティーが確保される。
- ・ IT 施工を用いた施工基盤層の施工は、十分な精度が確保される。
- ・ 水工フォームドアスファルト混合物は、従来から使用されてきた粗粒度アスファルト混合物に比べて日施工量が多く、施工時間の短縮が期待できる。
- ・ 空隙率は、20%以下であることから、耐凍害性および要求される力学性状は十分満足する。
- ・ 切取り供試体と RI の密度および空隙率には相関が認められ、RI は品質管理手法として適用可能である。

〈今後の課題〉

- ・ 仕上げ転圧回数は、本施工までに粒度調整した現地発生材で再検討する必要がある。

6. おわりに

水工フォームドアスファルト混合物は、施工基盤層へ用いる材料として適用可能であると判断される。今後は、現在試験を実施中の耐凍害性、水浸安定性の評価、これから実施予定である骨材の破碎試験の結果を踏まえ施工時期および施工箇所を考慮した詳細配合の検討、さらには施工・品質管理基準の策定を行う計画である。また、品質については、本試験施工の結果から要求を満たす範囲内にあることが確認されたため、品質管理試験を実施せず工法規定が可能と考えられ、今後データの蓄積を図りながら検証していきたい。

最後に、アスファルト表面遮水壁の設計から斜面舗設試験の計画・施工まで全面的にご指導、ご協力頂いている北海道大学菅原照雄名誉教授、舗設試験の施工に携わった鹿島道路(株)、(株)トプコンの関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中井雅司, 浅沼芳雄, 小林仁, 若本貴宏: 水工フォームドアスファルト混合物のアスファルト遮水壁への適用性, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 57 号, V-47, pp936-939, 2001 年 2 月
- 2) 中井雅司, 村田浩一, 飯塚一人, 若本貴宏: 水工フォームドアスファルト混合物のアスファルト遮水壁への適用性 (その 2), 土木学会北海道支部論文報告集, 第 58 号, V-49, pp912-915, 2002 年 2 月
- 3) 高野準, 飯塚一人, 中井雅司, 若本貴宏, 向井昭弘: アスファルト表面遮水壁における厚層舗設工法 (その 1), 土木学会北海道支部論文報告集, 第 58 号, V-52, pp922-925, 2002 年 2 月
- 4) 菅野義人, 向井昭弘, 飯塚一人, 江藤隆志: 大規模アスファルトフェーシングダム工事への情報化施工 (IT 施工) の適用, 第 57 回土木学会年次学術講演会概要集, VI-432, 2002 年 9 月
- 5) 菅野義人, 太田一広, 高野準, 江藤隆志: アスファルト表面遮水壁への情報化施工 (IT 施工) の適用性, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 59 号, 2003 年 2 月