

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）

An Application of Foamed Asphalt Mixtures for the Asphalt Facing (Part 2)

北海道電力（株） 正会員 中井 雅司（Masashi Nakai）
北海道電力（株） ○正会員 村田 浩一（Kouichi Murata）
北海道電力（株） 正会員 飯塚 一人（Kazuto Iizuka）
北 電 興 業（株） 正会員 若本 貴宏（Takahiro Wakamoto）

1. はじめに

北海道電力（株）は、虻田郡京極町に純揚水式の京極発電所の建設を計画しており、上部調整池は、アスファルト表面遮水壁を採用することとしている（図-1 参照）。

遮水壁の基盤を構成する施工基盤層は、越冬時におけるトランジションの保護、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および堤体材料と遮水壁材料の構造的な連続性の確保などの役割がある。この層の材料としては、従来から粗粒度アスファルト混合物が利用されてきたが、京極発電所は年間施工可能期間が限定される立地環境下にあることから、工期短縮、工程確保の観点から、これに代わる材料が求められた。このため、道路の上層路盤材として用いられてきた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着目し、これに改良を加えた水工フォームドアスファルト混合物を開発し、施工基盤層への適用を検討してきている。

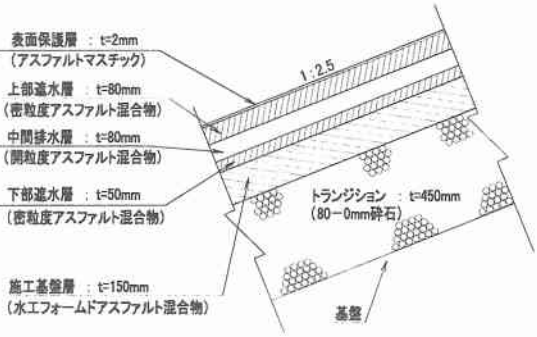


図-1 採用予定の遮水壁構造

これまで力学性状の把握、アスファルトの分散性の検討さらには試験舗装工事（舗設試験Ⅰ）を実施しており、これらの検討成果は、既報¹⁾²⁾³⁾⁴⁾において報告してきた。

本報告は、施工機械に対するトラフィカビリティーを評価するとともに現場密度（空隙率）を参考にジャイレトリコンパクタでの室内供試体作製条件の検討、低温時施工における混合物の諸性状さらには廃棄合材の減量を図るために材料の貯蔵性について検討を加え、水工フォームドアスファルト混合物の遮水壁への適用性について評価したものである。

2. 試験舗設工事

試験舗設工事は、これまで室内試験により検討を重ねてきた水工フォームドアスファルト混合物を実際のプラントで製造しアスファルトの分散性、混合性、施工性、トラフィカビリティー、現場密度および越冬による影響などを確認する目的で実施したものである。なお、これらの確認試験は、混合物の温度依存性が懸念されたことから、外気温

の異なる時期（10月、7月）にそれぞれ仮設ヤード表層（舗設試験Ⅰ：面積 1,300m²）と道路の路盤（舗設試験Ⅱ：面積 880m²）の基盤条件の異なる箇所で行った。

2.1 施工概要

施工は混合物をプラントで製造し、ダンプトラックで舗設箇所に運搬して、ブルドーザーで敷き均した後に 6t 級振動ローラーにより所定の転圧を行った。

2.2 使用材料および配合

実施工において使用する骨材は、上部調整池の掘削時に発生する現地発生材（安山岩）を予定しているが、試験舗設工事では購入骨材（安山岩）を使用することとした。なお、購入骨材の使用にあたっては、既報²⁾³⁾においてアスファルトの均一な分散性を得られないことが予想されたため、分散性改良剤（アルカリ系水酸化物）を添加した。試験舗設工事に用いた混合物の配合条件を表-1に、骨材の合成粒度を表-2に示す。

表-1 配合条件

項 目		舗設試験Ⅰ	舗設試験Ⅱ
用 途		仮設ヤード表層	道路路盤
施工時期		平成12年10月	平成13年7月
骨 材	岩 種	安山岩	
	最大寸法 (mm)	40	
	分散性改良剤添加率 (%)	1.0	
	含水比 (%)	5.8	
	As 量 (%)	4.0, 6.0	4.0, 5.0
As	種 類	St.As 80/100	
	W/As (%)	2.0	

表-2 骨材の合成粒度

ふるい目	通過重量百分率 (%)
53.0mm	100
37.5mm	99.9
31.5mm	96.8
26.5mm	90.4
19.0mm	78.3
13.2mm	69.0
4.75mm	50.3
2.36mm	40.6
1.18mm	27.8
0.60mm	18.6
0.30mm	13.5
0.15mm	10.3
0.075mm	8.1

2.3 トラフィカビリティー

施工基盤層は、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あり、施工機械に対するトラフィカビリティーの確保が要求される。

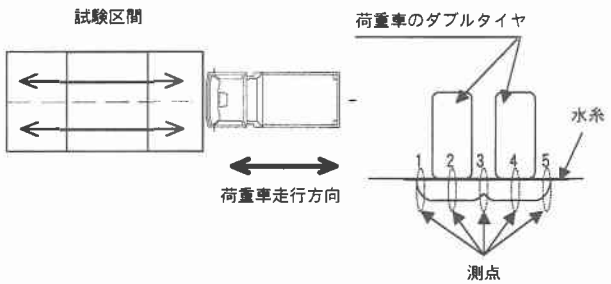
土質系材料におけるトラフィカビリティーの評価は、コーン指数を用いるなどその評価方法は、ある程度標準化されているが、材料特性の観点から水工フォームドアスファルト混合物に適用することは困難である。このため、試験舗設工事において独自の試験法によりトラフィカビリティーの評価を行った。

試験は、実施工に用いる施工機械を想定し、輪荷重が同一になるように荷重調整した荷重車を走行させ混合物の変形量を測定する方法を採用した。（図-2 参照）

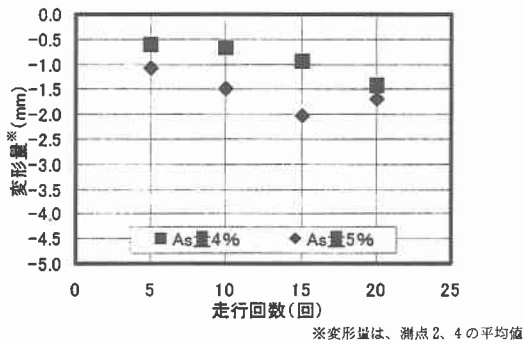
走行回数は、実施工において想定される走行回数の2倍

程度（20 回）とし、5 回毎に変形量を測定した。

なお、水工フォームドアスファルト混合物のトラフィカビリティーの評価は、変形量が大きくなると予想される舗設試験Ⅱ（7 月）で行った。図－3 に変形量の測定結果を示す。



図－2 トラフィカビリティーの試験方法



図－3 走行回数と変形量

走行回数 20 回時の変形量は 1.5mm～2.0mm 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と判断される。

2.4 現場密度および空隙率

試験舗設工事にてコア採取、切取り供試体、砂置換法、突き砂法などにより混合物の密度測定を行い、評価として最も適切と思われる切取り供試体の密度を現場密度とした。

密度（かさ密度）および空隙率の算出結果を表－3 に示す。

表－3 密度および空隙率

		舗設試験Ⅰ	舗設試験Ⅱ	室内供試体 (仮設定)
As 量 4.0%	密度 (g/cm ³)	2.20～2.15 (2.17)	2.24～2.20 (2.24)	2.27
	空隙率 (%)	13.9～15.9 (15.0)	10.9～12.6 (12.4)	11.0
As 量 5.0%	密度 (g/cm ³)	—	2.26～2.13 (2.22)	—
	空隙率 (%)	—	11.5～13.3 (11.7)	—
As 量 6.0%	密度 (g/cm ³)	2.19～2.12 (2.15)	—	2.32
	空隙率 (%)	11.8～14.6 (13.5)	—	9.2

() 内の値は平均値を示す

舗設試験Ⅰにおける空隙率は 13～15%、舗設試験Ⅱの空隙率は 11～13%程度であった。舗設試験ⅠとⅡを比較すると空隙率は、2%程度の差が認められ、基盤条件の違いが影響しているものと考えられる。また、試験舗設工事で得られた空隙率は、室内供試体（仮設定）に比べ 1～4%程度小さい値を示した。

3. 室内供試体作製条件の検討

施工基盤層の役割から要求性能としては、越冬時における耐凍害性、施工機械に対するトラフィカビリティーが特

に重要であるが、強度特性、堤体と遮水壁の変形性能および施工中の堤体変形に対する追従性に関しても確認しておく必要がある。これら要求性能を評価するための指標としては、凍結融解試験による質量減少率、トラフィカビリティー試験による変形量、破壊強度（圧縮、引張）、変形係数および破壊ひずみが妥当であると考えられる。

評価指標のうち、変形係数、破壊ひずみおよび破壊強度は、ジャイレトリーコンパクタで作製した供試体を用いて SHRP 試験法に独自の改良を加えた間接引張試験⁵⁾を実施して算出することとした。

試験に用いる供試体の密度は、実施工における密度と同レベルであることが前提となるが、水工フォームドアスファルト混合物は新材料であり、実施工での密度が未知であったことからこれまでの検討においては、締固め条件を仮設定（ラム圧 700kPa、旋回回数 50 回）して供試体を作製してきた。今回、試験舗設工事を実施し現場密度が概ね把握できたため室内供試体作製条件を改めて検討することとした。

なお、検討にあたっては、斜面部における締固め効果を考慮した場合、施工方法および施工機械の制約上、平坦部に比べて斜面部は密度が小さくなることが予想されるため、設計上の安全性を考慮し現場空隙率（11～15%）の上限値に相当する 15%を目標空隙率として設定した。

3.1 使用材料および配合

配合条件を表－4 に示す。

骨材の最大寸法は、実施工においては 40mm を採用する予定であるが、室内混合装置の混合性を考慮して 30mm とした。また、骨材の最大寸法を変更したことから骨材合成粒度およびアスファルト量に補正を加えた。なお、水工フォームドアスファルト混合物は室内フォームドアスファルト製造装置およびバグミルミキサーを用いて製造した。

表－4 配合条件

項 目		仕 様
骨 材	岩 種	安山岩
	最大寸法 (mm)	30
	分散性改良剤 添加率(%)	1.0
	含水比(%)	5.8
As	種 類	St.As. 80/100
	As 量*(%)	4.0、6.0
	W/As(%)	1.7

※骨材最大寸法 40mm に換算した値

3.2 検討結果および考察

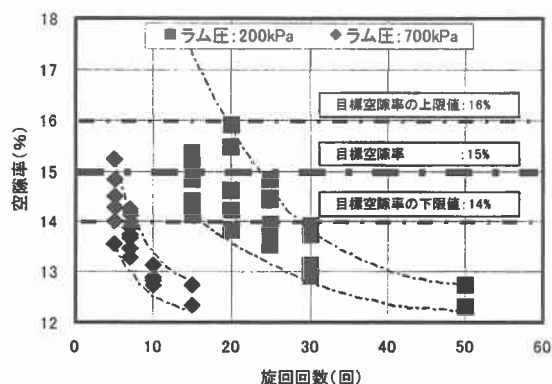
ジャイレトリーコンパクタによる供試体作製条件は、実施工における転圧機械を想定するとともに、これまで検討してきた密粒度アスファルト混合物と粗粒度アスファルト混合物の作製条件を勘案し、200 kPa と 700kPa の 2 水準を設定し、旋回回数を変化させた場合と旋回回数を固定しラム圧を変化させた場合との 2 水準を選定した。

なお、供試体サイズは直径を 15cm、高さ 8cm 程度を目標に、混合材料を 3,200 g 程度使用した。

(1) 旋回回数と空隙率の関係

図－4 にラム圧を 200、700kPa に設定し、旋回回数を変化させた場合の旋回回数と空隙率の関係を示す。

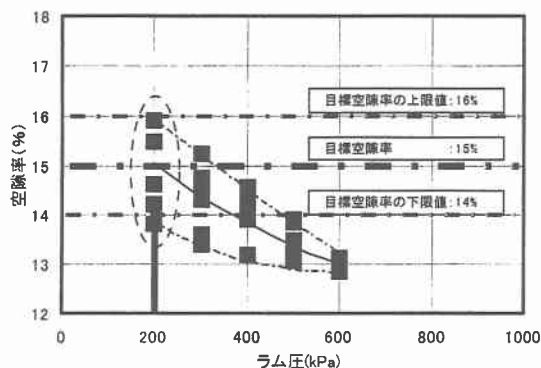
空隙率は、旋回回数の増加とともに減少傾向を示し、バラツキも小さくなる。したがって、旋回回数が少ない場合には密度のバラツキによる試験精度が懸念されるため、実施工での締固め特性および密粒度アスファルト混合物の作製条件（ラム圧 200kPa、旋回回数 15 回）などを総合的に勘案すると旋回回数は 20 回程度が妥当である。



図－４ 旋回回数と空隙率(As 量：4%)

(2) ラム圧と空隙率の関係

図－５は、旋回回数を 20 回に固定し、ラム圧を変化させた場合のラム圧と空隙率の関係を示したものである。ラム圧は、試験舗設工事における現場密度に対応する空隙率 15% を目標に選定すると 200kPa が妥当である。なお、As 量 6% についても同様の検討を実施したが、As 量 4% の場合の供試体作製条件と大差がなかったことから、供試体作製条件は As 量 4% と同一とした。



図－５ ラム圧と空隙率(旋回回数：20 回 As 量：4%)

(3) 供試体作製条件の決定

試験舗設工事から得られた現場密度を目標にジャイレトリコンパクタによる供試体作製条件を検討した。その結果、ラム圧 200kPa、旋回回数 20 回の条件で供試体を作製し各種室内試験を実施することにより、実施工で得られる混合物の力学性状が推定できるものと考えられる。

4. 低温時施工における混合物の諸性状検討

水工フォームドアスファルト混合物は常温舗設混合物であり、加熱アスファルト混合物のように温度依存性が顕著ではないと考えられるが、可能な限り施工期間の延長化を図るために低温時施工における混合物の諸性状を確認することとした。このため、低温時混合によるアスファルトの分散状況確認、低温の混合物を使用して作製した供試体の密度（空隙率）試験および力学試験を実施し、低温時施工に伴う混合物の諸性状評価を行った。

4.1 使用材料および配合

配合条件のうちアスファルト量は、4.0、5.0、6.0% の 3 水準設定し、骨材は実施工で使用を予定している多少風化し粘土分の含まれている現地発生材（安山岩）を使用することとした（分散性改良剤は無添加）。

その他の配合条件は表－４と同一とし、骨材の合成粒度

は表－５に示すとおりである。

表－５ 骨材の合成粒度

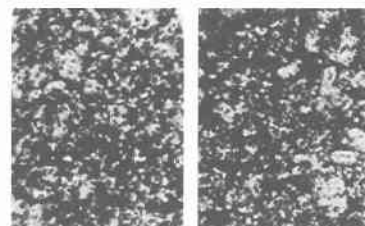
ふるい目	通過重量百分率 (%)
31.5mm	100
26.5mm	93.6
19.0mm	83.0
13.2mm	73.4
4.75mm	51.1
2.36mm	37.2
1.18mm	27.1
0.60mm	19.9
0.30mm	13.8
0.15mm	8.9
0.075mm	6.1

4.2 アスファルトの分散性

骨材温度は、想定される施工期間の外気温を考慮して 5、25℃ の 2 水準設定し、アスファルトの分散状況を確認した。アスファルトの分散状況を写真－１に示す。

骨材温度 5℃におけるアスファルトの分散状況は、25℃と同様に良好な分散性を呈した。

5～25℃の骨材温度範囲内においてアスファルトの分散性に大差はなく、実施工においても均一な混合物が製造できるものと考えられる。



骨材温度：5℃ 骨材温度：25℃
写真－１ 分散状況 (As 量：4%)

4.3 密度および空隙率

低温時施工における混合物の締固め特性を評価するため、ジャイレトリコンパクタにより供試体を作製し、密度および空隙率を測定した。なお、骨材温度、締固め温度は 5、25℃の 2 水準とした。密度および空隙率の算出結果を表－６に示す。

表－６ 密度および空隙率

骨材温度 (°C)		5		25	
締固め温度 (°C)		5	25	5	25
密度 (g/cm³)	As 量 4.0%	2.01	2.11	2.02	2.14
	As 量 5.0%	1.99	2.08	1.98	2.13
	As 量 6.0%	1.97	2.05	1.92	2.20
空隙率 (%)	As 量 4.0%	20.9	16.9	20.3	15.9
	As 量 5.0%	20.6	16.8	21.0	14.9
	As 量 6.0%	20.1	16.6	22.1	14.4

表から、骨材温度の相違による空隙率への影響はほとんど認められないが、締固め温度においては約 4～8% の差が生じる結果となった。

水工フォームドアスファルト混合物は、加熱アスファルト混合物のようにアスファルトが骨材を完全に被覆しないが、締固めることにより骨材間のアスファルトモルタル分と骨材とが付着して固着する。このため、締固め時の温度が 5℃程度と低い場合においては、25℃と比べアスファルトモルタル分の粘性が低下し、十分な締固め効果が得られないものと推察される。

4.4 低温時締固め特性の検討

低温時の締固め特性を向上させるためには、実施工においてローラの転圧回数を増加させる方法と材料面でアスファルトモルタル分のレオロジー特性を改善する方法が考えられる。ここでは、ジャイレトリコンパクタのラム圧を 200kPa に固定し、旋回回数を 35、50 回に増加した場合とアスファルトを独自の手法により軟化 (pen150～200 程度) させた場合で低温時締固め特性の改善検討を実施した。表－７に密度および空隙率の算出結果を示す。

旋回回数を増加した場合およびアスファルトの種類を変更した場合いずれも空隙率は 1～3% 小さくなるものの、締固め特性を大きく改善する結果には至らなかった。

表－7 密度および空隙率

アスファルトの種類		St.As. 80-100	St.As. 80-100		改質 As pen (150-200)
骨材、締固め温度 (℃)		5	5		5
旋回回数 (回)		20	35	50	20
密度 (g/cm ³)	As 量 4.0%	2.01	2.06	2.08	—
	As 量 5.0%	1.99	2.02	2.06	2.00
	As 量 6.0%	1.97	1.98	1.98	—
空隙率 (%)	As 量 4.0%	20.9	18.7	18.1	—
	As 量 5.0%	20.6	19.3	17.5	19.9
	As 量 6.0%	20.1	19.3	19.6	—

4.5 力学性状

水工フォームドアスファルト混合物の力学性状のうち、間接引張試験（載荷速度 12.5mm/min）を実施し、今回は破壊強度（引張）のみを比較した。なお、試験温度は施工期間中（越冬時）における施工基盤層の最低設計温度－10℃で実施した。算出結果を表－8に示す。

表－8 間接引張破壊強度

骨材温度 (℃)		5		25	
締固め温度 (℃)		5	25	5	25
破壊強度 (kPa)	As 量 4.0%	910	1360	1010	1490
	As 量 5.0%	890	1270	1100	1580
	As 量 6.0%	930	1280	730	1370

表から、締固め温度が 5℃の場合の間接引張破壊強度は、25℃に比べて若干小さな値を示す結果となった。これは前項の締固め特性と同様に締固め温度が 5℃程度と低い場合においては、25℃に比べアスファルトモルタル分の粘性が低下したことがその要因と考えられる。

5. 貯蔵性の検討

実施工時においては、雨天時および急激な外気温低下などにより施工を中止することが考えられる。このため、製造した混合物の有効活用、すなわち廃棄合材を減量させる目的で貯蔵性の検討を行った。

5.1 使用材料および配合

使用材料および合成粒度は低温時施工における混合物の諸性状検討（4.1）と同一とした。

5.2 密度および空隙率

貯蔵温度は、締固め温度と同様に 5、25℃の 2 水準とした。なお、前項の検討結果より、混合時の骨材温度の違いはアスファルトの分散性に大きな影響を及ぼさないことから 25℃の 1 水準とした。また、貯蔵期間は、施工時において想定される工事中止期間を考え 5 日間とした。

密度および空隙率の算出結果を表－9に示す

表－9 密度および空隙率

貯蔵日数 (日)		0		5	
貯蔵温度 (℃)		—	—	5	25
締固め温度 (℃)		5	25	5	25
密度 (g/cm ³)	As 量 4.0%	2.02	2.14	2.05	2.08
	As 量 5.0%	1.98	2.13	2.00	2.07
	As 量 6.0%	1.92	2.20	1.98	2.05
空隙率 (%)	As 量 4.0%	20.3	15.9	19.3	17.9
	As 量 5.0%	21.0	14.9	20.1	17.2
	As 量 6.0%	22.1	14.4	19.6	16.5

貯蔵した場合の供試体空隙率は、貯蔵しない場合と比較すると若干大きくなるものの大差がないことから、5 日間程度の混合物の貯蔵は問題ないものと判断される。

なお、分散性改良剤を添加する混合物においては、経時変化とともにアスファルトモルタル分の粘性が低下する傾向にあると推測されるため、別途検討が必要である。

5.3 力学性状

貯蔵後における混合物の力学性状を確認するため、間接引張試験（載荷速度 12.5mm/min）を実施し、破壊強度（引張）を比較した。なお、試験条件は、前項と同一とした。算出結果を表－10に示す。

表－10 間接引張破壊強度

貯蔵日数 (日)		0		5	
貯蔵温度 (℃)		—	—	5	25
締固め温度 (℃)		5	25	5	25
破壊強度 (kPa)	As 量 4.0%	1010	1490	880	1120
	As 量 5.0%	1100	1580	830	1140
	As 量 6.0%	730	1370	670	1040

貯蔵した場合の間接引張破壊強度は、貯蔵しない場合と比較すると若干小さくなる傾向にあった。

6. まとめ

以下に検討結果の要約を列挙する。

- ①水工フォームドアスファルト混合物は施工機械に対し、十分なトラフィカビリティーを確保している。
- ②ジャイレトリーコンパクタによる供試体作製条件は、ラム圧 200kPa、旋回回数 20 回が妥当である。
- ③5～25℃の骨材温度範囲内において、アスファルトの分散性は良好で、実施工においても均一な混合物が製造できるものと考えられる。
- ④水工フォームドアスファルト混合物は、5 日間程度の貯蔵は問題ないものと判断される。ただし、分散性改良剤を添加する場合は別途検討が必要である。

7. おわりに

水工フォームドアスファルト混合物は、今までの検討成果から施工基盤層への用いる材料として実用可能であると判断される。なお、本報中では報告していないが、斜面部を対象とした舗設試験も実施しており、この舗設試験では作為的に降雨時施工も行っている。その結果、雨による細粒分の侵食、流出および泥濘化現象などは認められず、土質材料に比べて耐水性に優れていることが確認され、水工フォームドアスファルト混合物は低温時施工と併せて評価すると施工条件に対する制約が少ない材料であるといえる。

今後は、今回得られた供試体作製条件にて混合物の力学性状（変形係数、破壊ひずみおよび破壊強度）を把握し、施工箇所および施工時期ごとの詳細配合の検討、耐凍害性の評価さらには本工事における施工・品質管理基準の策定を行う計画である。

本報をとりまとめるにあたって御指導頂いた北海道大学菅原照雄名誉教授、主に舗設試験にご協力頂いた鹿島グループ他関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 楠原和典, 高野準, 中井雅司: アスファルト表面遮水壁へのフォームドアスファルトの適用 (第 1 報), 第 55 回年次学術講演会概要集, V-066, 2000 年 9 月

2) 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, 2001 年 2 月

3) 中井雅司, 浅沼芳雄, 高野準, 若本貴宏: アスファルト表面遮水壁へのフォームドアスファルトの適用性 (第 2 報), 第 56 回年次学術講演会概要集, 2001 年 10 月

4) 楠原和典, 高野準, 若本貴宏: 水工フォームドアスファルト混合物の試験舗設工事について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 57 号, 2001 年 2 月

5) 中井雅司, 高野準, 菅原照雄: 間接引張試験を用いた水工アスファルト混合物の低温時力学性状評価, 第 55 回年次学術講演会概要集, V-067, 2000 年 9 月