

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

An Application of Foamed Asphalt Mixtures for the Asphalt Facing

北海道電力（株） 正会員 中井 雅司（Masashi Nakai）  
北海道電力（株） ○正会員 浅沼 芳雄（Yoshio Asanuma）  
北海道電力（株） 正会員 小林 仁（Hitoshi Kobayashi）  
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の採用を計画している（詳細諸元については、別途報告<sup>1)</sup>を参照）。

遮水壁の基盤を構成するレベリング・マカダム層は、トランジション層の保護と不陸調整、堤体材料と遮水壁材料の構造的な連続性の保持等の機能が要求され、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（以下、粗粒度アスコンという）が利用されてきた。

京極発電所上部調整池は、我が国有数の積雪寒冷地域にあり、年間施工可能期間が5月上旬から11月上旬に限定される立地環境下にあることから、トランジション層の施工時越冬対策が工程確保の観点から必要となり、在来型の粗粒度アスコンの採用には多くの難点がある。このため、レベリング・マカダム層の合理的設計・施工を行うために、道路の上層路盤材として用いられてきている常温舗設が可能で、省エネルギー型のフォームドアスファルト混合物（SKS工法<sup>2)</sup>による混合物）に着目し、これをベースにいくつかの改良を加えた混合物（以下、水工フォームドアスファルト混合物<sup>3)</sup>という）の採用を検討することとした。図-1に従来地点の遮水壁構造を、図-2に採用予定の遮水壁構造を示す。

本報告は、水工フォームドアスファルト混合物の分散性を検討し、さらに力学性状を粗粒度アスファルト混合物と比較して、水工フォームドアスファルト混合物の適用性について室内試験の観点から評価したものである（施工性評価については、著者らによる別途報告<sup>1)</sup>を参照）。

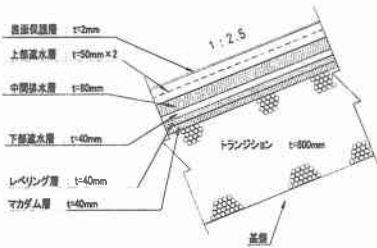


図-1 従来地点の遮水壁構造

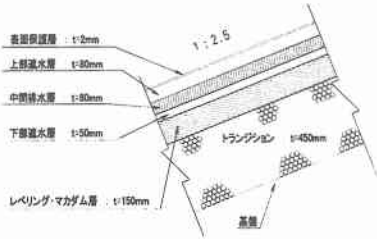


図-2 採用予定の遮水壁構造

2. 水工フォームドアスファルト混合物の概要

2.1 フォームドアスファルトの原理と混合物の製造プロセス

フォームドアスファルトの原理と製造プロセス<sup>4)</sup>を図-3に示す。高温のアスファルトに水と空気を吹き込むことによってフォームド化したアスファルトは、10~20 倍程度に体積膨張して粘度が低下するため、湿潤状態の骨材と常温で混合することが可能となる。フォームドアスファルトは、加熱アスファルト混合物のように粗骨材を完全には被覆しないが、細粒分に付着して締め固め後には粗骨材と固着して一体化する。

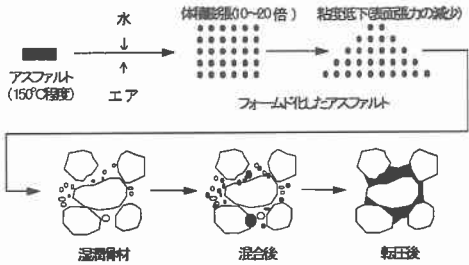


図-3 フォームドアスファルトの原理と混合物の製造プロセス

2.2 特徴と採用メリット

水工フォームドアスファルト混合物は、加熱混合物（粗粒度アスコン）に比べ力学性状面で多少劣るものもあるが、表-1に示すように遮水壁への採用による効果は大きい。

表-1 特徴と採用メリット

| 項目   | 内容                                                                                                       |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 特徴   | ・施工条件の制約を受けづらく、急速施工が可能<br>・常温施工であるため、環境への影響（CO <sub>2</sub> ）が少なく省エネルギー型<br>・現地発生材の有効利用が可能<br>・材料の仮置きが可能 |
| メリット | ・コスト低減（材料購入、運搬、施工費）<br>・全体工程の短縮<br>・廃棄アスファルト合材のリサイクル（工事用道路、仮設ヤードへの利用）                                    |

2.3 レベリング・マカダム層への適用に際しての要求性能

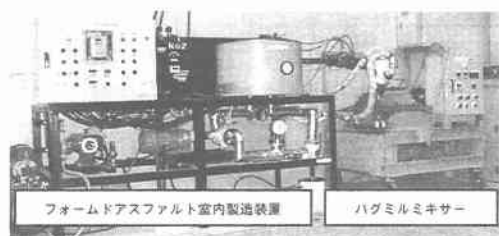
水工フォームドアスファルト混合物をレベリング・マカダム層に適用するにあたっては、以下に示す性能が要求される。

- ①所定の力学性状を有し、特に堤体の変形に対して十分な追従性を有すること……………【構造評価】
- ②堤体材料と遮水壁材料の構造的な連続性を保持する

- こと ..... 【構造評価】
- ③多様な現地発生材について、均一なアスファルトの分散性を有すること ..... 【材料評価】
- ④十分な凍結融解への抵抗性、長期にわたる耐水安定性を有すること ..... 【材料評価】
- ⑤主として斜面での施工に対応し、フィニッシャ等の特殊な舗設機械を必要としないこと 【施工評価】
- ⑥GPS、レーザー等を使った3D-MC（3次元情報化施工）にも対応可能なこと ..... 【施工評価】

### 3. 分散性の検討

従来から道路用の上層路盤材として用いられているフォームドアスファルト混合物では材料混合時の分散性が懸念されたため、以下に示す検討を行った。なお、フォームドアスファルト混合物は写真－1に示す室内製造装置により製造し、著者らが試作したバグミルミキサーを用いて混合して分散状況を確認した。



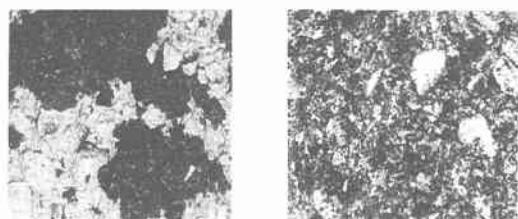
写真－1 フォームドアスファルト室内製造装置とバグミルミキサー

#### 3.1 骨材の違いによる分散性検討

水工フォームドアスファルト混合物に用いる骨材は、現地発生材を予定しており、掘削箇所の違いにより多種多様な岩種、岩質の使用が予想される。このため、骨材の違いによる分散性を評価するため種類の異なる骨材で分散状況を確認した。

使用した骨材は、通常加熱混合物に用いられる購入骨材（安山岩）と多少風化し粘土分の含まれている現地発生材（安山岩、頁岩、粘板岩）3種類を用いた。また、アスファルトの種類は St.As.80/100、合成粒度は 2.36mm 通過重量を 25%とした。なお、アスファルト量は 4、7%の 2水準で事前検討を行い、分散性が悪かった 7%で検討することとした。

分散状況の一例を写真－2に示す。購入骨材はアスファルトモルタル分が結合して大きな塊状になるのに対し、現地発生材はアスファルトモルタル分の塊が小さく均一に分散する結果となった。



購入骨材（安山岩） 現地発生材（安山岩）  
写真－2 分散状況

#### 3.2 分散性のメカニズム検討

前項の結果から、分散性には骨材細粒分のうち粘土粒子が関係しているものと考えられる。一般に粘土粒子は、構成元素の組合わせの変化によって多種多様の性状変化を呈する。特に水との関わりが深く、粘土粒子の周囲に吸着される水は含有される陽イオンの種類と量によって粘土の挙動に大きな差を及ぼし<sup>5)</sup>、それらの表面は負または正の電荷を持っており、反対符号の電荷をもったイオンを引き付ける等の働きをする。したがって、粘土は大きな表面積と表面機能によって様々な化学的・物理的挙動を示すと言われている<sup>6)</sup>。

以上のことから、分散性のメカニズム検討にあたっては、骨材細粒分（特に粘土粒子）に着目し、その含有量および性質（pH、粘性、粒度分布）が分散性に及ぼす影響を検討することとした。

##### （1）骨材細粒分の含有量が分散性に及ぼす影響

表－2に示す合成粒度（2水準）の購入骨材用いて分散状況を確認した。なお、アスファルトの種類およびアスファルト量は前項と同一とした。

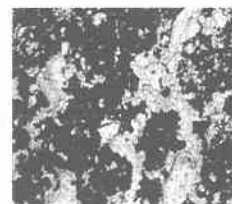
分散状況を写真－3に示す。2.36mm 通過重量 25%より 50%の方が若干分散性は良いが、水工フォームドアスファルト混合物として要求される分散性には至らない結果であった。したがって、粘土分の少ない購入骨材の細粒分の含有量は、分散性に大きな影響を及ぼさないものと考えられる。

表－2 合成粒度

| ふるい目    | 通過重量百分率 (%)              |                          |
|---------|--------------------------|--------------------------|
|         | 2.36mm 目標<br>通過重量<br>25% | 2.36mm 目標<br>通過重量<br>50% |
| 26.5mm  | 100                      | 100                      |
| 19.0mm  | 97.1                     | 98.9                     |
| 13.2mm  | 81.3                     | 85.8                     |
| 4.75mm  | 45.3                     | 65.4                     |
| 2.36mm  | 24.8                     | 47.5                     |
| 1.18mm  | 15.6                     | 30.0                     |
| 0.60mm  | 10.4                     | 19.1                     |
| 0.30mm  | 7.0                      | 12.3                     |
| 0.15mm  | 4.9                      | 9.2                      |
| 0.075mm | 3.9                      | 7.3                      |



2.36mm 通過重量 25%



2.36mm 通過重量 50%

写真－3 分散状況

##### （2）骨材細粒分の性質が分散性に及ぼす影響

細粒分の性質（pH、粘性、粒度分布）が分散性に及ぼす影響を評価するため分散性の異なる購入骨材（安山岩）と現地発生材（安山岩）を使用して表－3に示す試験を実施した。

表－4に液性・塑性限界試験結果を示す。なお、pH試験および粒度試験（沈降分析）結果については分散性に大きな影響を及ぼすデータは得られなかったことから、紙面の都合上割愛する。表－4から分散性が不良な購入骨材（安山岩）は液性・塑性限界が測定できなかったのに対し、分散性が良好であった現地発生材（安山岩）の骨材細粒分の粒径 0.425mm 以下は液性限界の測定が可能（ $W_L$  27.4%）であった。したがって、分散性に影響を及ぼす主要因は骨材細粒分の粘性

であると考えられる。

表－3 評価項目および試験方法

| 評価項目 | 試験方法       |
|------|------------|
| pH   | pH試験       |
| 粘性   | 液性・塑性限界試験  |
| 粒度分布 | 粒度試験（沈降分析） |

表－4 液性・塑性限界試験結果

| 骨材種別  | 液性限界 $W_L$ % | 塑性限界 $W_P$ % |
|-------|--------------|--------------|
| 購入骨材  | NP           | NP           |
| 現地発生材 | 27.4         | NP           |

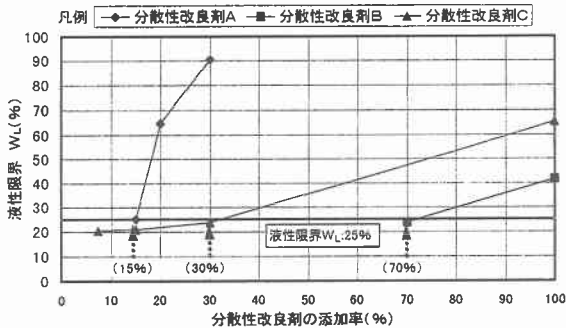
3.3 分散性改良剤の検討

分散性メカニズムの検討結果を踏まえ、分散性が不良であった購入骨材を対象に分散性改良剤の検討を行った。対象とした分散性改良剤は前項の結果を踏まえ細粒分の粘性に着目し、粘土鉱物 2 種類（分散性改良剤 A、B）と細粒分の界面活性に変化を与えると思われるアルカリ系水酸化物の 1 種類（分散性改良剤 C）とし、液性限界が測定可能（ $W_L$  25%以上）な添加率を実験により求めた。図－4 に液性限界試験結果（液性限界測定可能添加率）を示す。

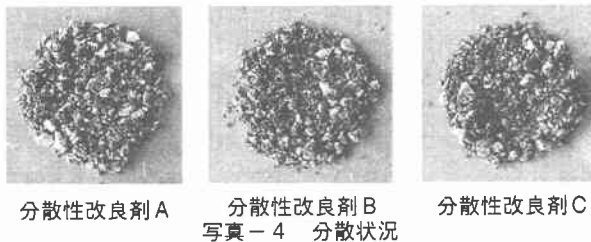
図から分散性改良剤 A は骨材細粒分の粒径 0.425mm（液性限界試験粒径）以下の重量に対して 15%、B は 70%、C は 30% を添加すれば液性限界  $W_L$  25% が得られる結果となった。次に上記で得られたそれぞれの添加率で混合物を混合し、分散状況を確認した。その結果は、写真－4 に示すとおりであり、すべての分散性改良剤について分散性は良好であった。

したがって、分散性の不良な骨材に対し、分散性改良剤を液性限界  $W_L$  25% が得られる所定量を添加すれば分散性は改善されるものと考えられる。また、本検討の範囲内において、分散性改良剤は分散効果、経済性および利便性等を考慮すれば、分散性改良剤 C（アルカリ系水酸化物）が最適である。

なお、アルカリ系水酸化物以外の各種界面活性剤の検討も行ったが、分散性改善効果は顕著ではなかった。



図－4 液性限界試験結果（液性限界測定可能添加率）



写真－4 分散状況

4. 力学性状の検討

水工フォームドアスファルト混合物に要求される力学性状は、前述した要求性能から変形係数、破壊ひずみおよび圧縮強度が特に重要となる。

以下に SHRP 試験法に独自の改良を加えた間接引張試験法<sup>7)</sup>により変形係数および破壊ひずみを算出し、水工用として施工実績の多い粗粒度アスコンと力学性状比較を実施してアスファルト遮水壁への適用性評価を行った。

4.1 使用材料および配合

水工フォームドアスファルトの配合は、変形特性および経済性を勘案し、細粒分 2.36mm 通過重量 40%程度、アスファルト量 4~6%とした。

なお、使用した骨材は分散性改良剤 C を添加した購入骨材（安山岩）と分散性改良剤無添加の現地発生材（安山岩）とした。表－5 に配合条件を、表－6 に合成粒度を示す。

表－5 配合条件

| 混合物の種類  | 骨 材        |           | アスファルト         |            |          |
|---------|------------|-----------|----------------|------------|----------|
|         | 骨材種別       | 最適含水比 (%) | アスファルト種類       | As 量 %     | W/As 比 % |
| 水工フォーム  | 購入骨材（安山岩）  | 5.8       | St. As. 80/100 | 4.0<br>6.0 | 1.4      |
|         | 現地発生材（安山岩） | 6.7       |                | 4.0<br>6.0 |          |
| 粗粒度アスコン | 購入骨材（安山岩）  | —         |                | 5.0        | —        |

表－6 合成粒度

| ふるい目    | 通過重量百分率 (%)      |            |         |
|---------|------------------|------------|---------|
|         | 水工フォーム・アスファルト混合物 |            | 粗粒度アスコン |
|         | 購入骨材（安山岩）        | 現地発生材（安山岩） |         |
| 31.5mm  | 100              | 100        | 100     |
| 26.5mm  | 93.4             | 94.7       | 100     |
| 19.0mm  | 80.7             | 85.3       | 98.5    |
| 13.2mm  | 71.0             | 76.8       | 81.6    |
| 4.75mm  | 51.5             | 55.8       | 43.2    |
| 2.36mm  | 41.4             | 42.1       | 23.2    |
| 1.18mm  | 27.9             | 30.7       | 17.0    |
| 0.60mm  | 18.3             | 22.5       | 14.6    |
| 0.30mm  | 13.1             | 15.7       | 8.7     |
| 0.15mm  | 9.7              | 10.1       | 6.0     |
| 0.075mm | 7.3              | 6.8        | 5.2     |

4.2 供試体の作製条件

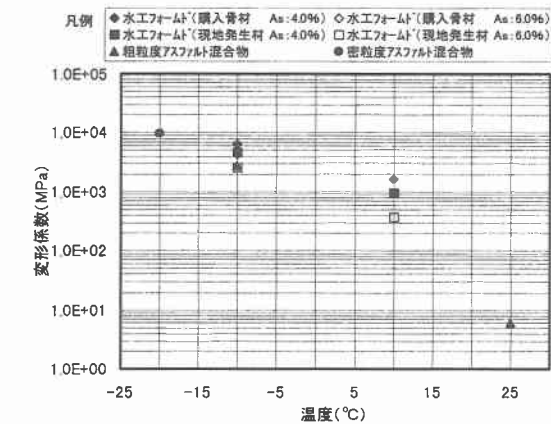
水工フォームドアスファルト混合物の供試体は、ジャイレトリコンパクトにて作製することとし、作製条件は力学性状試験が可能な供試体かどうか懸念されたことから、密度のバラツキが極力少なくなるように粗粒度アスコンの作製条件（ここでは締め固め圧力 700kPa、旋回回数 25 回）を参考に締め固め圧力 700kPa、旋回回数 50 回とした。

4.3 力学性状試験結果および考察

(1) 変形係数

温度と変形係数の関係を図－5 に示す。  
アスファルト遮水壁の設計に重要となる低温時（設

計温度 $-10^{\circ}\text{C}$ )の変形係数は、 $2500\sim 6500\text{MPa}$ 程度であり、粗粒度アスコンより多少大きな値を示した。なお、低温時の上部遮水層の変形係数は $1\times 10^4\text{MPa}$ (設計温度 $-20^{\circ}\text{C}$ )オーダー、トランジションは $1\times 10^3\text{MPa}$ オーダーであり、水工フォームドアスファルト混合物の変形係数は、上部遮水層とトランジションの間に位置するためレベリング・マカダム層の要求性能の一つである「構造の連続性」は確保され、要求性能を満足しているものと思われる。なお、変形係数評価の前提条件となる上下層との付着性は、別途実施している試験で評価済である。

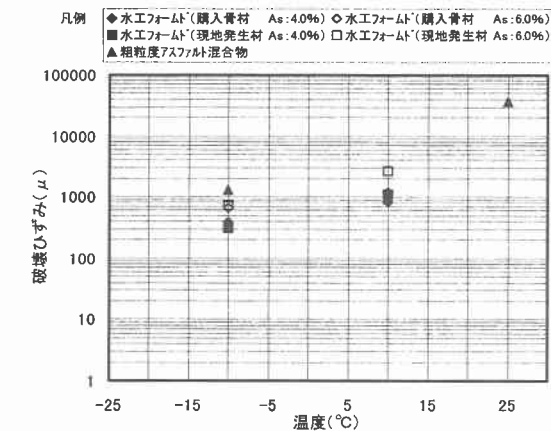


図－5 温度と変形係数の関係

## (2) 破壊ひずみ

温度と破壊ひずみの関係を図－6に示す。

$-10^{\circ}\text{C}$ における水工フォームドアスファルト混合物の破壊ひずみは $300\sim 750\mu$ 程度であり、粗粒度アスコンの破壊ひずみの半分程度であるが、発生が予想される堤体の変形量を許容する値であり、十分な変形追従性を有している。



図－6 温度と破壊ひずみの関係

## 5. まとめ

以下に検討結果の要約を列挙する。

- ①分散性に影響を及ぼす主要因は骨材細粒分に含まれる粘土分の性質である。
- ②分散性の不良な骨材に対し、分散性改良剤（液性限界 $W_L25\%$ が得られる所定量）を添加すれば分散性は良好となる。
- ③分散性改良剤は分散効果、経済性および利便性等

を考慮すれば、分散性改良剤C（アルカリ系水酸化物）が最適である。

- ④低温時（ $-10^{\circ}\text{C}$ ）の変形係数は、粗粒度アスコンに比べて多少大きな値を示すが、要求性能の一つである「構造の連続性」は確保される。
- ⑤破壊ひずみは、粗粒度アスコンの半分程度であるが、発生が予想される堤体の変形量を許容する値であり、十分な変形追従性を有している。

以上より、水工フォームドアスファルト混合物はアスファルト遮水壁のうちレベリング・マカダム層へ用いる材料として実用可能であると考えられる。

## 6. おわりに

水工フォームドアスファルト混合物は地球環境にやさしく、省エネルギー型の材料で、アスファルト遮水壁のコスト低減、全体工程の短縮等への効果があり、所定の要求性能も確保されることから実用化にあたっての見通しが得られた。

今後は、試験舗設結果<sup>1)</sup>から得られた条件で供試体を作製し力学性状試験（圧縮強度含む）を実施するとともに凍結融解抵抗性、長期にわたる耐水安定性等、耐久性に係る諸試験を実施していきたい。また、施工時期（温度による材料特性の変化）および施工箇所を考慮した詳細配合を検討する予定である。

なお、本論は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について報告したものであるが、この材料は、アスファルト遮水壁以外に道路用路盤、仮設ヤードの基盤、簡易舗装、さらには廃棄物処分場等幅広い分野での利用が可能であると思われる。

最後に本研究を進めるにあたりご指導・ご協力を頂いた北海道大学菅原照雄名誉教授、試験装置を始めフォームドアスファルトに関する各種資料を提供して頂いた鹿島道路(株)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,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
- 2) 鹿島道路(株)：SKSプラントミックス工法（技術パンフレット）
- 3) 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
- 4) 海老澤秀治,五伝木一：フォームドアスファルトを使用した安定処理（セメント・瀝青安定処理）工法について,アスファルト,pp9-14,2000年4月
- 5) 社団法人土質工学会：粘土の不思議,p11,1986年
- 6) 白水晴雄：粘土鉱物学－粘土化学の基礎－,p36,1988年
- 7) 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