

アスファルト表面遮水壁における厚層舗設工法（その1）

An Application of Pavement with Thicklift Placing for the Asphalt Facing (Part 1)

北海道電力（株） 正 員 高野 準（Jun Takano）
 北海道電力（株） 〇正 員 飯塚 一人（Kazuto Iizuka）
 北海道電力（株） 正 員 中井 雅司（Masashi Nakai）
 北電興業（株） 正 員 若本 貴宏（Takahiro Wakamoto）
 鹿島建設（株） 正 員 向井 昭弘（Akihiro Mukai）

1. はじめに

北海道電力（株）は、虻田郡京極町に北海道初の純揚水式発電所である京極発電所（最大出力 60 万 kW、最大使用水量 190.5m³/sec、有効落差 369.0m）を建設準備中である。

京極発電所の上部調整池は、掘り込み式のプールタイプで計画しており、遮水は調整池の内側全面をアスファルト表面遮水壁（斜面部：156,180m²、底面部：20,990m²、計：177,170m²）で覆う計画である。

アスファルト表面遮水壁の設計に当たっては、我が国の水工用アスファルト表面遮水壁としては初めて、施工基盤層として水工フォームドアスファルト混合物を採用し、上部遮水層を 8cm×1層とする厚層舗設工法を採用する計画としている。

本報告は、厚層舗設工法の採用に当たり、室内試験結果に基づき実施した平坦部舗設試験の結果について述べるものである。

2. 厚層舗設工法の採用

(1) アスファルト表面遮水壁の構造

京極発電所の上部調整池で計画しているアスファルト表面遮水壁の構造を図-1に、またこれまでの代表例として、1973年に完成している電源開発（株）の沼原調整池の構造を図-2に示す。

京極発電所のアスファルト表面遮水壁の構造上の大きな特徴としては、

- ①これまでのレベリング層、マカダム層の代替として、施工基盤層に水工フォームドアスファルト混合物の採用¹⁾²⁾
- ②上部遮水層を 5cm×2層（以下、従来舗設工法という）ではなく、8cm×1層とする厚層舗設工法の採用

の2点である。

(2) 海外における厚層舗設工法の事例

これまで国内で建設されたアスファルト表面遮水壁で、上部遮水層に厚層舗設工法を採用した事例はなく、構造は1層

厚 4~6cm の 2~3 層構造となっており、上部遮水層の全層厚は 8~18cm となっている。

一方、海外においては、アスファルトプラントと舗設機械の能力と機械的信頼性が格段に向上した 1970 年代後半から、アスファルト表面遮水壁の先進国であるドイツ、オーストリアを中心として、上部遮水層を単層構造（層厚 6~10cm）とする厚層舗設工法が一般的に広く採用されてきており、主なものだけでも 30 箇所に達している。また、最近では、天荒坪ダム（中国）、ラムタコン調整池（タイ）、ルヌーン調整池（インドネシア）において、世界銀行の推奨により、厚層舗設工法が採用されており、海外では既に技術的に確立された工法とされている⁴⁾。

(3) 厚層舗設工法の採用理由

アスファルト表面遮水壁に求められる機能は、まず遮水性の確保であり、さらに堤体の沈下等の長期変形と地震による短期変形に対する追従性、温度応力に対する抵抗性などである。遮水壁の設計は、アスファルト混合物が温度とひずみ速度に依存するため、応力評価で行われるのではなく、解析上の最大ひずみと室内試験または舗設試験で得られる供試体の破壊ひずみを比較する方法が取られる⁵⁾。このため、施工時には厳密な品質・施工管理が求められるが、要求機能を十分に満足するのであれば、海外の事例と同様に厚層舗設工法を採用することが可能である。

また、京極発電所は、国内有数の積雪寒冷地に位置しており、上部調整池アスファルト表面遮水壁の施工可能期間は、5~11月の良好な気象条件の期間に限定される。このため、アスファルト表面遮水壁の採用には、施工の効率化を図ることが絶対条件であり、施工時の手直しなども最小限とすることが必要である。従来舗設工法と比較し、同等以上の品質が確保されるのであれば、厚層舗設工法の採用により、工期の短縮、施工の効率化を図ることができる。施工時の手直しは、主に層間ブリスタリングの補修が行われるが、厚層舗設工法を採用した場合、理論上層間ブリスタリングは発生することではなく、外気温の低下によるアスファルト混合物の温度低下が小さくなり、従来舗設工法より確実に上部遮水層を均質で、信頼性の高いものにできることから、採用することとしたものである。

3. 厚層舗設工法の平坦部舗設試験

平成13年度10月から11月にかけて、上部調整池の底面部の施工を想定した平坦部舗設試験を実施した。舗設試験は、トランジションから上部遮水層まで実際の施工機械を使用した舗設を行い、舗設機械の能力・施工性を検証するとともに

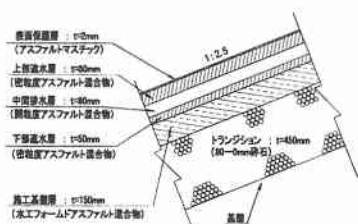


図-1 京極発電所上部調整池のアスファルト表面遮水壁の構造（斜面、底面共通）

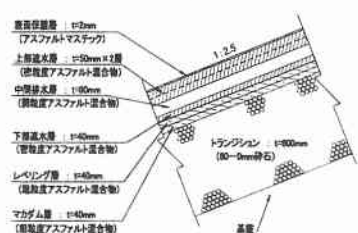


図-2 沼原調整池のアスファルト表面遮水壁の構造³⁾

に、各層の機能検証および施工・品質管理方法等の検討に資するものである。図-3に平坦部舗設試験のフローを示す。

今回の舗設試験では、まず室内試験で検討した各層の配合で試験練りを実施し、運搬時の材料分離とダレ防止のために添加する舗装用セルロース繊維の分散性、加熱アスファルト混合物の混合性と適切な混合時間を把握した。

舗設試験は、舗設試験Ⅰと舗設試験Ⅱの2段階に分けて実施している。

舗設試験Ⅰは、各層の現場配合の微調整部分の比較検討、敷き均しから転圧までのそれぞれの施工機械の調整と、転圧回数・転圧開始温度などの施工条件の決定およびジョイントの施工方法の検討を目的としている。

舗設試験Ⅱは、舗設試験Ⅰの結果に基づく最適条件の舗設を行い、従来舗設工法との比較検討、各層とジョイントの施工性の確認および品質管理方法の検討を目的としている。

(1) 舗設試験Ⅰ

a. 施工機械の調整

上部調整池のアスファルト混合物は、通常の道路用アスファルト混合物とは異なった配合となっている。このため、今回は厚層舗設工法用に、改良した合材の搬送装置と面圧調整機能を有する高性能スクリードなどを装備したアスファルトフィニッシャーを使用した。また新規開発したジョイントヒーターとジョイントタンパを搭載しており、ジョイントの施工方法の検討と合わせ、ヒーター高さの調整など装置の微調整を実施した。

舗設試験に使用したアスファルトフィニッシャーを写真-1に示す。



写真-1 厚層舗設工法用アスファルトフィニッシャー

b. 施工条件の設定

アスファルトフィニッシャーのスクリードは、均質で良好な表面状態の上部遮水層を舗設するため、合材の均一な敷き均しが可能で、高回転タンパによる締め固め機能を有している必要がある。舗設試験Ⅰでは、アスファルトフィニッシャーの敷き均し速度(0.8~1.2m/sec)とタンパ回転数(1,300~2,000rpm)を変化させ、舗設後表面状態の観察と舗設後採取した試料により均質性を確認した。

また、敷き均し後の転圧は、これまでの施工実績を参考に、一次、二次転圧に使用する振動ローラを選定(一次: BW100, 二次: SW350, SW500)し、転圧開始温度(一次: 150℃以上, 二次: 120℃, 100℃, 仕上げ: 60℃), 転圧回数(一次: 無振 2 パス, 二次: 有振 4 パス, 6 パス)を変化させた試験を実施し、舗設試験Ⅱに向け、最適な転圧条件を把握した。さらに、ジョイントの転圧方法(ジョイントの形状、ジョイントと振動ロー

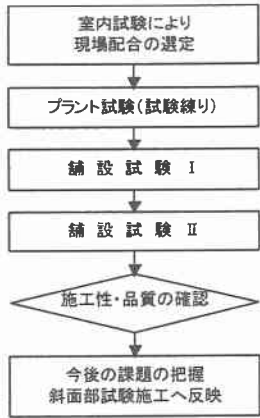


図-3 平坦部舗設試験のゼネラルフロー

ラの離隔距離など)についても、比較検討を行った。

舗設試験Ⅱに向けた施工条件は、舗設試験Ⅰの結果から、現場での施工状況、表面状態と断面形状、切り取り供試体による密度試験結果および施工機械の能力を考慮し、表-1に示すとおりとした。また、ジョイントの転圧方法は、施工の確実さを考慮し、図-4に示す方法を採用することとした。

表-1 舗設試験Ⅰで決定した施工条件

項目	施工機械	決定項目
敷き均し	アスファルトフィニッシャー	敷き均し速度 0.8m/sec
		タンパ回転数 2,000rpm
一次転圧	振動ローラ	転圧機種 BW100改(2.45t)
		転圧開始温度 150℃以上
		転圧回数 無振2パス
二次転圧	振動ローラ	転圧機種 SW350(2.78t)
		転圧開始温度 120℃
		転圧回数 有振6パス
仕上げ転圧	タイヤローラ	転圧機種 TS-160

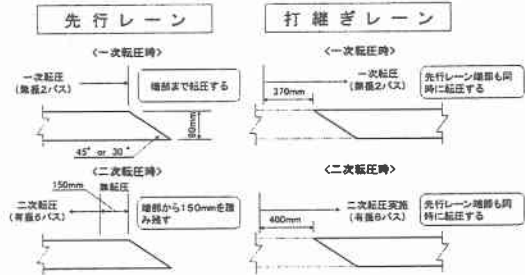


図-4 ジョイントの施工方法

c. 現場配合の決定

舗設試験Ⅰにおける上部遮水層の密粒度アスファルト混合物の配合は、骨材粒度で5ケース、アスファルト量2ケースの比較検討結果から、最も表面状態と施工状況が良好な配合に決定した。

なお、アスファルト量に関しては、舗設時の外気温により0.2%程度変えることで、品質を確保すべく検討中である。舗設試験Ⅰで決定した上部遮水層の配合と骨材の目標粒度曲線をそれぞれ表-2、図-5に示す。

表-2 上部遮水層配合

材料	配合率(%)
アスファルト (St. As. 80/100)	7.4~7.6
骨材	79.2~79.0
フィラー	13.2
舗装用セルロース繊維	0.2

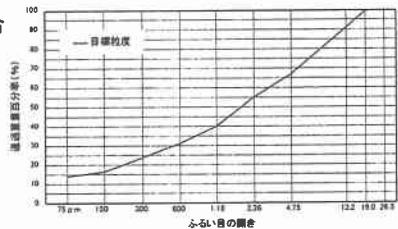


図-5 上部遮水層の骨材目標粒度曲線

(2) 舗設試験Ⅱ

舗設試験Ⅱは、舗設試験Ⅰの結果から決定した配合、施工条件に基づき、実際のアスファルト表面遮水壁の全体構造と同一の層構成で3レーン(1レーン延長:17.0m)を舗設した。

また、比較検討のため、従来舗設工法についても2レーンを舗設した。

写真-2に舗設試験Ⅱヤードの全景を、図-6にレーン配置の断面を示す。



写真-2 舗設試験Ⅱヤード全景

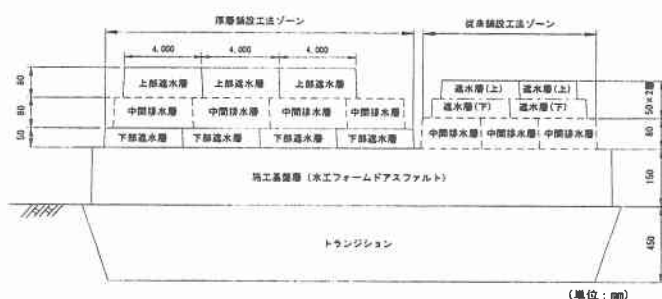


図-6 舗設試験Ⅱレーン配置断面図

※従来舗設工法のレーンでは、下部遮水層を省略した。

a. 施工性の評価

(a) ブリスタリング

ブリスタリングは、過大な蒸気圧の発生によって起こるいわゆる『水ぶくれ』で、アスファルト表面遮水壁では完全に発生を防止することはほぼはなはだ困難な欠陥である。ブリスタリングは、発生形態により層間ブリスタリングと層内ブリスタリングに大別される。

層間ブリスタリングは、層と層の間に混入した水分や空気が舗設時に高温となり、膨張することで発生するものである。従来舗設工法による上部遮水層では、2または3層構造であることから、密粒層と密粒層の間に層間ブリスタリングが発生する可能性があり、上層を舗設する際には、表面の水分の除去を完全に行うなど、厳密な管理を必要とする。またアスファルト表面遮水壁完成後も発生する可能性がある。

層内ブリスタリングは、主に施工時に、骨材に含まれている水分や敷均し時に混入した水分・空気などが層内で高温となり膨張して発生するものである。

京極発電所上部調整池のアスファルト表面遮水壁は、透気性の高い中間排水層の上部に上部遮水層を単層で舗設する構造であることから、今回の舗設試験では、層間ブリスタリングは全く発生しなかった。また、比較的透気性の高い水工フォームドアスファルト混合物を使用した施工基盤層と下部遮水層との間においても、全く発生しなかった。

一方、層内ブリスタリング

は、舗設レーン全体のうち5箇所が発生し、表面から1～2cmの深さで直径15cm程度の範囲が膨張して空洞化していた。この原因は、粗骨材に含まれていた水分が、プラントの予備加熱で完全に除去されずに、骨材中に残存したためと推定され、プラントにおける骨材管理や骨材の加熱方法を改善するなど品質管理の徹底を図ることにより、発生を防止できると考えられる。

ジョイントは、アスファルトフィニッシャに搭載したジョイントヒーターで十分な加熱を行いながら、打継ぎ部分を舗設したことから、ブリスタリングは全く発生しなかった。

(b) アスファルト混合物の温度低下

舗設試験Ⅱは、外気温が低い時期となり、敷均し中に外気温と風の影響から、アスファルト混合物の内部温度が著しく低下し、目標としていた転圧開始温度を下回る場合があった。アスファルト表面遮水壁の舗設は、アスファルトフィニッシャの敷均し速度に大きく依存するため、転圧までの温度低下

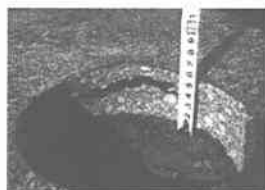


写真-3 層内ブリスタリングの状況

は避けられないものであり、アスファルト混合物同士の一体化（ニーディング作用）を考慮すると、可能な限り高温時に転圧を開始する必要がある。

厚層舗設工法では、従来舗設工法と比べて温度低下速度が緩やかになり、温度管理が比較的容易になると考えられる。

舗設試験Ⅱにおける温度の計測結果を図-7に示す。この時の外気温は15℃程度であったが、従来舗設工法では一次転圧終了後直ちに二次転圧を開始する必要があったが、厚層舗設工法では20～40分後に二次転圧開始温度となり、厳密な温度管理を行うことができた。

(c) 表面状態の評価

今回の舗設試験では、施工機械の調整や施工条件の設定に当たり、表面状態の評価が重要な指標であった。また、表面保護層と上部遮水層との間の層間ブリスタリングを防止する観点からも、良好な表面状態に上げることが必要である。表面状態の評価は、目視観察によらざるを得ず、観察者の主観性を極力排除するため、舗設試験Ⅰにおける十分な検討結果を踏まえ、表面状態に応じた5段階評価を行った。

舗設試験Ⅱにおける3レーンのうちの1レーンでは、従来舗設工法と比較し、アスファルト表面に粗面やひきずりが多く発生し、全面的に電動タンバによる手直しが必要となった。この原因としては、以下の3点に関するものが考えられ、今後プラントの設計、施工機械の改良および品質管理方法の検討に反映させていく予定である。

- ①アスファルト混合物の配合
- ②骨材の粒度管理方法
- ③アスファルトプラントを含む施工機械

(d) ジョイントの施工

ジョイントの形状は、既往地点で採用されている45°と、より打継ぎレーンの付着面積が広がる30°のジョイント角度を比較検討した。ジョイントの施工は、前述のとおりアスファルトフィニッシャに搭載したジョイントヒーターにて、プレヒーティングを十分に行いながら打継ぎ部分を舗設した。

ジョイントヒーターの効果を確認し、加熱方法を検討するため、図-8に示すとおり先行レーンのジョイントに熱電対を埋設し、打継ぎレーン舗設時の温度変化を計測した。測定結果の一例を図-9に示す。先行レーンと打継ぎレーンの付着部分(⑦、⑧、⑨の熱電対)では、一次転圧を行う直前の温度は80℃程度となっており、打継ぎレーンの粗骨材が先行レーンの表面に入り込み、十分にニーディング作用が働くものと考えられる。

断面形状の比較検討の結果、ジョイント角度に依らずどのジョイントも完全に一体化しており、10箇所以上で実施した真空透気試験の結果、いずれも透気していないことを確認した。

なお、先行レーンの転圧は、法肩から15cmの離隔を取った範囲までとしたが、45°のケースでは転圧による側方流動

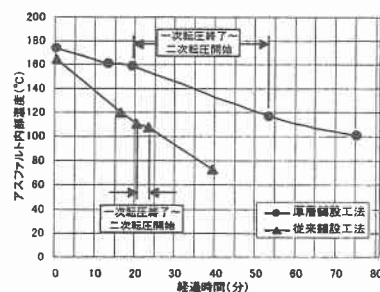


図-7 アスファルト混合物の温度低下の例

※接触型温度計により舗設表面から深さ2cmの位置にて計測した。

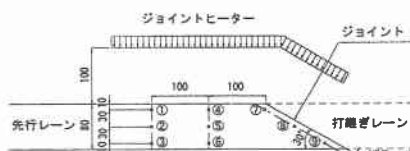


図-8 ジョイントにおける熱電対の設置位置

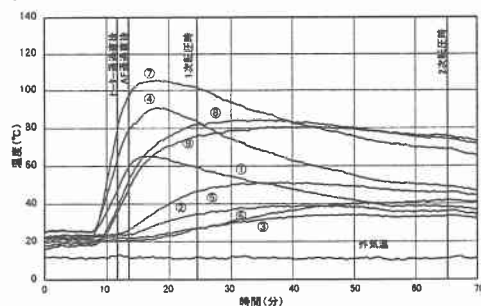


図-9 熱電対による計測結果



写真-4 ジョイントの断面状況の例

の影響で、ジョイントが急勾配に変化し、付着面積が小さくなることから、ジョイント角度は30°とすることとした。

b. 混合物の性状

舗設後、各層から供試体を採取し、室内試験により混合物の性状を確認した。試験の目的は、以下の4項目であり、これらの目的を満足するように、供試体の採取箇所、採取数および試験項目、試験数を決定した。

- ①厚層舗設工法と従来舗設工法
- ②レーン本体とジョイント
- ③上部遮水層の上部と下部
- ④舗設試験で採取した供試体と室内で作製した供試体

試験は、密度試験、曲げ試験、間接引張破壊試験、圧縮試験およびスプリット試験をそれぞれn=5で実施する計画である。特に密度試験は、力学試験の供試体でも実施しており、上部遮水層で200試料以上の試験を実施する計画である。

表-3に密度試験結果の一部を示す。厚層舗設工法は従来舗設工法と同等の密度を有しており、室内供試体と比較しても同等の値を示している。また、空隙率については、暫定ではあるが、どの箇所においても2%を下回り、工学的不透水を満足していることを確認した⁶⁾。

表-3 密度試験結果 単位: g/cm³

室内供試体	厚層舗設工法				従来舗設工法			
	レーン本体部		ジョイント部		レーン本体部		ジョイント部	
	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部
2.373	2.382	2.376	2.373	2.374	2.341	2.368	2.359	2.368
(1.9)	(1.3)	(1.5)	(1.7)	(1.6)	(2.1)	(0.9)	(1.3)	(0.9)

※試験数n=3の平均値、ジョイント角度30°での試験結果を記載

※室内供試体は、ローラーコンパクタにより作製

※()内は暫定空隙率。使用した骨材の性状を確認したうえで空隙率を算出することとする。

遮水性については、暫定的な加圧式透水試験(圧力:5kg/cm², 保持時間:2時間)を実施した結果、透水は確認されなかったが、今後、3日間保持する試験を実施する計画である。

-20℃(上部遮水層の設計温度)における曲げ試験により求められた降伏ひずみを表-4に示す。舗設試験から採取し

た全ての供試体は、従来舗設工法または室内供試体と同等の降伏ひずみを有しており、上部遮水層として求められる力学性状を十分満足していると判断できる。

表-4 曲げ試験における降伏ひずみ結果 単位: μ

室内供試体	厚層舗設工法				従来舗設工法			
	レーン本体部		ジョイント部		レーン本体部		ジョイント部	
	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部
362	354	419	363	340	400	448	409	359

※試験数n=3の平均値、ジョイントは30°での試験結果を記載

※室内供試体は、ローラーコンパクタにより作製

※載荷速度は室内供試体:8mm/min,その他:10mm/minで実施

4. 厚層舗設工法の適用性

平坦部舗設試験結果から、厚層舗設工法と従来舗設工法の比較検討を実施したが、厚層舗設工法は従来舗設工法と同等以上の施工性を確保することが十分可能であると考えられる。室内試験については、全試験が終了しておらず、現在も鋭意実施中であるが、これまでの結果から混合物の性状は、室内試験と同等の結果となっており、技術的に十分適用可能であると考えられる。

現在、著者らは、近年におけるIT分野の急速な技術革新を施工に取り入れ、GPSやレーザー自動追尾装置などを利用した3次元位置誘導システムと3次元施工システムの検討を進め、さらなる施工の効率化と施工精度の向上を図る計画である。このIT施工の採用により、これまでと比較し、各層の舗設厚さの管理など格段に施工精度の向上が見込まれることから、厚層舗設工法の信頼性についても十分に確保できると考えている⁷⁾⁸⁾。

5. おわりに

北海道電力(株)では、次年度に斜面部の舗設試験を計画しており、今回の平坦部と合わせ、京極発電所上部調整池の



写真-5 舗設試験における各層の断面

アスファルト表面遮水壁の実施工に向けて、技術的課題の解決を図っていく計画としている。

最後に、アスファルト表面遮水壁の設計から今回の試験の計画・施工まで、全面的に御指導・御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)をはじめとする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回土木学会年次学術講演会概要集, V-66, 2000.9.
- 2)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(第2報), 第56回土木学会年次学術講演会概要集, 2001.10.
- 3)電源開発(株); 上池の設計と施工1・2, 発電水力, 沼原特集号, 1973
- 4)加形護, 菅原照雄; アジア・オセアニアのフィリダムアスファルト遮水壁工法, 電力土木, No.293, 2001.5.
- 5)伊藤金通; 八汐ダムの設計・施工と湛水時の挙動について, 大ダム, No.152, 1995.6.
- 6)栗津善文, 大久保秀男, 笹田俊治; アスファルト遮水壁における厚層舗設の適用性評価, 第56回土木学会年次学術講演会概要集, 2001.10.5
- 7)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, 土木学会北海道支部論文報告集(第58号), 2002.1.
- 8)菅原照雄; 水工アスファルトに関する最近の技術, 電力土木, No.296, 2001.11.