

# フォームドアスファルト混合物用いた 表面遮水壁施工基盤層の施工

村木俊介<sup>1</sup>・渡部貴裕<sup>1</sup>・和田篤<sup>1</sup>・安部鐘一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 鹿島建設株式会社 北海道支店（〒044-0072 北海道虻田郡倶知安町字八幡 440-1）

<sup>2</sup>正会員 北海道電力株式会社 京極発電所建設所（〒044-0101 北海道虻田郡京極町字京極149）

京極発電所上部調整池は、最大出力60万kWの発電を行う純揚水式発電所の上部調整池をアスファルト表面遮水壁型フィルで建設するものである。上部調整池は北海道の中でも有数の豪雪地帯に位置し、標高900m地点に建設されるため、降雪の影響で年間の施工期間は6月から10月までの実質5ヵ月間に限定されている。そのため、工程短縮への取組みが必要であり、その一つとしてアスファルト遮水壁の施工基盤層にフォームドアスファルト混合物を採用した。

本報は、今回採用したフォームドアスファルト混合物の材料特性とこれまで実施してきた施工実績について報告するものである。

**キーワード：**アスファルト表面遮水壁、フォームドアスファルト混合物、  
施工基盤層、耐凍害性、平坦性

## 1. はじめに

京極発電所は、北海道電力㈱が建設を進めている最大出力 60 万 kW の発電を行う純揚水式発電所であり、当工事は、アスファルト表面遮水壁型フィルの上部調整池を建設するものである。上部調整池は1辺約 440m の隅角部を持つ正方形であり、掘削・盛立によるプールタイプの内面積 17.8 万 m<sup>2</sup> をアスファルト表面遮水壁により遮水するものである。

上部調整池は、2002 年～2009 年に調整池掘削、堤体盛立を、2009～2010 年で監査廊の構築を完了した。表面遮水壁工事は 2010 年に本格的に着手し、2013 年までに完了する予定である。

アスファルト表面遮水壁は 4 層構造であり、施工面積は 1:2.5 勾配の斜面部 62.7 万 m<sup>2</sup>、底面部 8.4 万 m<sup>2</sup>、総施工面積 71.1 万 m<sup>2</sup> である。遮水壁工事では工程短縮の対策として、遮水層の基盤となる施工基盤層に既地点の多くで用いられている加熱アスファルト混合物に代わり、降雨による施工の規制が少なく稼働可能日数の増加が期待できるフォームドアスファルト混合物を採用した。フォームドアスファルト混合物は、2005 年から施工を開始して 2010 年までに約 13 万 m<sup>2</sup> の施工が完了した。本報ではフォームドアスファルト混合物の材料特性とこれまでの施工実績につ



写真-1 京極発電所上部調整池全景（2010年10月）

いて報告する。

## 2. 工事概要

### (1) 全体工事概要

工 事 名：京極発電所新設工事のうち土木本工事  
（第 1 工区）

発 注 者：北海道電力株式会社

施 工 者：鹿島・大林・飛島・伊藤組共同企業体

工事場所：北海道虻田郡京極町

工 期：2001. 3. 26～2014. 11. 20

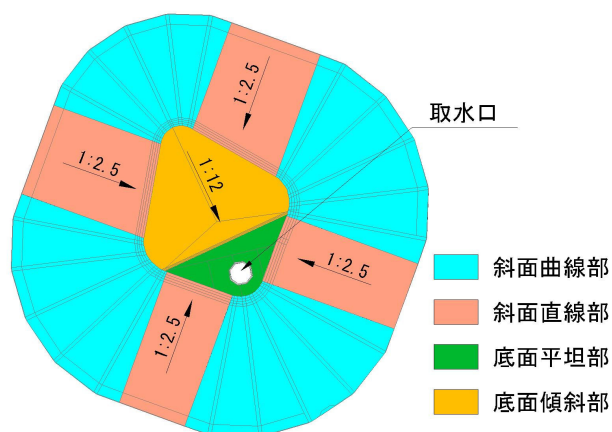


図-1 上部調整池平面図

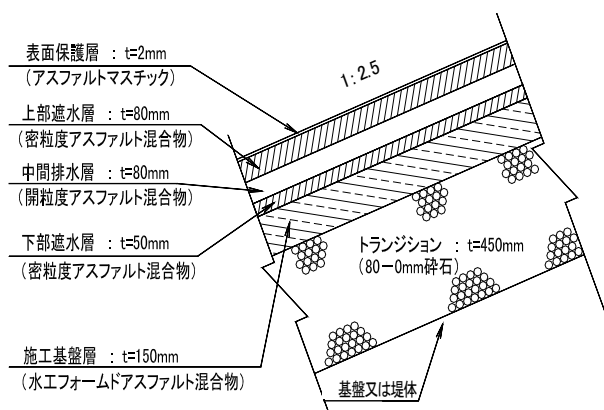


図-2 アスファルト表面遮水壁標準断面

#### 主要工事数量

- ・調整池掘削  $V=658.3 \text{ 万 m}^3$
- ・堤体盛立  $V=153.9 \text{ 万 m}^3$
- ・監査廊（延長）  $L=560\text{m}$
- ・取水口（コンクリート量）  $V=1,646\text{m}^3$

## (2) アスファルト表面遮水壁工事概要

### a) 形状

上部調整池の平面図を図-1に示す。調整池内は1:2.5の斜面部と底面部からなり、斜面は直線部と曲面部、底面は平坦部と1:12の勾配の傾斜部からなる。

### b) 構造

アスファルト表面遮水壁の標準断面を図-2に示す。また、遮水壁各層の持つ機能を表-1に示す。

## (3) 数量

施工数量を表-2に示す。

## (4) 施工方法

遮水層の施工はアスファルトフィニッシャで敷均

表-1 各層の機能

| 層名    | 機能                                                                                       |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 表面保護層 | ・空気、水、紫外線による劣化作用から上部遮水層を保護<br>・水雪の滑落による摩耗作用から上部遮水層を保護                                    |
| 上部遮水層 | ・貯留水を直接遮水                                                                                |
| 中間排水層 | ・上部遮水層からの漏水を検知<br>・漏水を監査廊へ導水し、調整池外へ排水                                                    |
| 下部遮水層 | ・上部遮水層からの万一の漏水を遮水するとともに、漏水を監査廊へ導水し調整池外へ排水<br>・堤体、地山からの湧水などを遮水                            |
| 施工基盤層 | ・遮水層の施工時における舗設基盤<br>・越冬時におけるトランジションの保護<br>・下部遮水層の層厚を確保するための不陸調整<br>・堤体材料と遮水壁材料の構造的連続性の確保 |

表-2 施工数量

| 層名    | 面積 (m <sup>2</sup> ) |        |
|-------|----------------------|--------|
|       | 斜面部                  | 底面部    |
| 施工基盤層 | 156,849              | 21,158 |
| 下部遮水層 | 157,385              | 20,576 |
| 中間排水層 | 155,837              | 21,468 |
| 上部遮水層 | 156,749              | 21,070 |



写真-2 施工状況

し、ローラで転圧を行う。ローラは鉄輪へのアスファルト混合物の付着を防止するために散水しながら転圧する。斜面部の施工は下から上へ機械を牽引して行う。アスファルトフィニッシャをメインウインチポータ、転圧ローラはサブウインチポータで牽引する（写真-2）。アスファルトフィニッシャは「新キャタピラ三菱製のトラクターに ABG 製のダブルタンパスクリッドを装着したもの」を採用し締固め能力の向上を図っている。

## (5) 工程短縮への取り組み

当工事のアスファルト表面遮水壁では、施工可能

表-3 施工基盤層の機能

| 機 能                  | 要求性能        |
|----------------------|-------------|
| 遮水層施工時における舗設基盤       | トラфикаビリティー |
| 下部遮水層の層厚を確保するための不陸調整 | 平坦性         |
| 越冬時のトランジションの保護       | 耐凍害性・耐水安定性  |
| 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 |

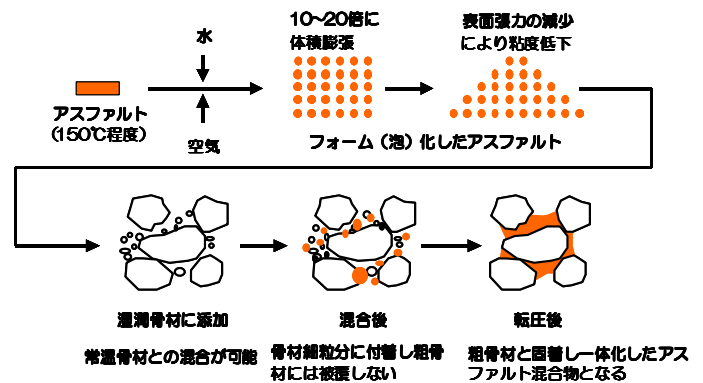


図-3 フォームドアスファルトの製造プロセス

表-4 フォームドアスファルト混合物と粗粒アスコンの相違

| 項 目    | 水工フォームド                        | 粗粒アスコン                            |
|--------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 混合方法   | 専用プラントでの混合(常温混合)               | 遮水層と同じプラントで混合(加熱混合)               |
| 施工方法   | トランジションと同じ施工機械(ブルドーザ、転圧ローラ)を使用 | 遮水層と同じ施工機械(アスファルトフィニッシャ、牽引ローラ)を使用 |
| 施工中止条件 | 2mm/h以上の降雨時                    | 施工中に降雨が予想される場合                    |
| 使用材料   | 現地発生原石を破碎、粒度調整                 | 購入碎石(単粒度碎石)を配合に基づき混合              |
| 層厚     | 150mm                          | 70~80mm程度                         |

期間が短いことから、既施工地点とは異なる施工方法を採用している。特徴的な項目を以下に挙げる。

- ① 層数を減少させるために、1層厚さを厚くする厚層舗設工法(50mm×2層→80mm×1層)を採用した。
- ② 施工基盤層の稼動日数を増やすために、降雨による施工の規制が少ないフォームドアスファルト混合物を採用した。フォームドアスファルト混合物は常温で施工可能なため、ブルドーザ、振動ローラで施工可能であるという利点がある。
- ③ 調整池内は、複数の曲面で構成されている。遮水壁は長方形のレーンに分割して施工するため、曲面部には機械施工の不可能な人力の施工箇所が発生していた。そこで、施工能率と品質向上を目的に、曲面部で機械施工を可能とするゲート式フィニッシャを開発した。

### 3. フォームドアスファルト混合物の採用経緯

遮水層の基盤である施工基盤層は、表-3に示す機能が求められている。既地点のアスファルト遮水壁では、施工基盤層(=レベリングマカダム層)に加熱アスファルト混合物の粗粒度アスファルト混合物(以下粗粒アスコン)を使用していた。しかし、当

工事では、越冬時のトランジション層の保護層としての役割から、同一年度に施工基盤層を施工する必要があり、トランジションと施工方法、施工機械が異なる粗粒アスコンでは同一年度に施工できないことが想定された。

そこで、通常道路の上層路盤材として使用されているフォームドアスファルト混合物の採用を検討した。粗粒アスコンとは、表-4に示すような相違があり、トランジション層と同一機械で施工ができ、同一年度に施工可能となる。また、粗粒アスコンに比べて降雨による施工の規制が少ないことから、稼動可能日数の増加も期待できた。さらに、法長方向の分割施工も可能であり、調整池掘削の進捗に合わせて施工可能であることから、採用の効果が大きいと判断した。そこで、フォームドアスファルト混合物に関して、施工基盤層としての要求機能に関する試験を実施した。

### 4. フォームドアスファルト混合物の材料特性

フォームドアスファルト混合物は、図-3に示すように高温のアスファルトに水と空気を吹き込むことによりアスファルトをフォーム(泡)化させ製造す



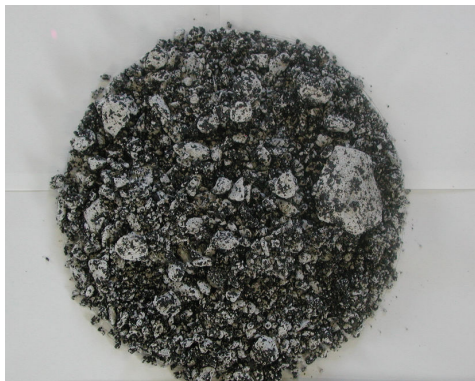


写真-3 アスファルトの分散性

るもので、フォーム化してアスファルトの粘度が低下するため、常温での混合や施工が可能となる。通常のアスファルト混合物が骨材を絶乾で使用するのにに対し、フォームドアスファルト混合物は湿潤状態でも使用可能という特徴がある。

室内試験より力学性状、混合性、耐凍害性、試験施工よりトラフィカビリティー、平坦性について、フォームドアスファルト混合物が施工基盤層としての要求性能を満足することを確認した。

力学性状は、堤体のクリープ変形に対する追従性が重要になることから、降伏ひずみと変形係数を確認した。試験の結果<sup>1)</sup>、降伏ひずみは粗粒度アスコンの1/3から1/50程度であったが、堤体変形に伴う変位量に対しては十分な安全性を有しており、変形係数は高温時で $1 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ と粗粒度アスコンの110倍程度で流動抵抗性が大きいことが確認できた。

混合性は、骨材が現地製造であり品質や粒度にばらつきがあるため、混合物内のアスファルトの分散が不均一となる懸念があった。そこで、分散性改良剤（消石灰）を添加することで、写真-3のようにアスファルトの分散性を向上させたフォームドアスファルト混合物を開発した。

耐凍害性は凍結融解試験を実施した結果、空隙率が20%以下では損失質量ならびに目視観察においても劣化が見られなかったことから、空隙率20%以下であれば、耐凍害性は満足していた。

平坦性は、試験施工により<sup>2)</sup>施工時のクローラ跡等の凹部は残るものの、ローラ転圧により $\pm 25 \text{ mm}$ 以内の誤差で施工できることが確認できた。また、トラフィカビリティーも、実施工機械を走行させた結果、変形量が2mm程度と十分なトラフィカビリティーを確保していた。

上記の材料特性からフォームドアスファルト混合物は施工基盤層の要求性能を満足し得る材料と判断し採用した。

表-5 石油アスファルトの品質管理基準

| 管理項目       | 単位                | 基準値        | 試験方法       | 頻度     |
|------------|-------------------|------------|------------|--------|
| 針入度(25℃)   | 1/10mm            | 80を超え100以下 | JIS K 2207 | 製造ロット毎 |
| 軟化点        | ℃                 | 42.0～50.0  |            |        |
| 伸度(15℃)    | cm                | 100以上      |            |        |
| トルエン可溶分    | %                 | 99.0以上     |            |        |
| 引火点        | ℃                 | 260以上      | JIS K 2265 |        |
| 薄膜加熱質量変化率  | %                 | 0.6以下      | JIS K 2207 |        |
| 薄膜加熱針入度残留率 | %                 | 50以上       |            |        |
| 蒸発後の針入度比   | %                 | 110以下      |            |        |
| 密度(15℃)    | g/cm <sup>3</sup> | 1.000以上    |            |        |

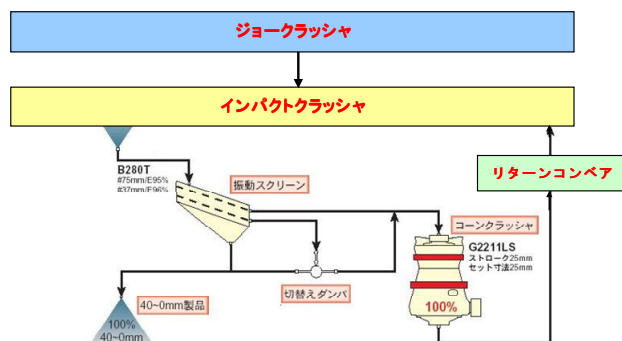


図-4 骨材製造システムフロー

表-6 骨材の基準粒度

| 粒度範囲<br>(mm) | 通過質量百分率(%) |        |
|--------------|------------|--------|
|              | 2.36mm     | 37.5mm |
| 40-0mm       | 30～40      | 95～100 |

## 5. 使用材料・配合・製造

### (1) アスファルト

石油アスファルトは、針入度 80/100 のストレートアスファルトを使用している。試験成績表による確認と、アスファルトタンクから採取した試料の試験によって、納入前から製造時までアスファルトの品質を管理できる体制となっている。表-5 に納入時における石油アスファルトの品質管理基準を示す。

### (2) 骨材

骨材は、現地で発生した安山岩を原石として、最大粒径 40mm で現地製造した。製造フローは図-4 に示すように、ジョークラッシャ、インパクトクラッシャおよびコーンクラッシャを配置した。破碎機はストックパイルの位置に合わせての移動が可能であること、越冬対策が不要となることから自走式クラッシャを採用した。自走式としたことで、定置式プラントに比べて設備の規模を簡略化することができた。

製造する骨材は、表-6 に示す骨材粒度規定があり細粒分が多い。細粒分製造量を増加させるために、

表-7 フォームドアスファルト混合物の示方配合

| 重量比率(%) |      |        | 含水比<br>(%) | 水アスファルト比<br>(W/As: %) |
|---------|------|--------|------------|-----------------------|
| アスファルト  | 骨材   | 分散性改良材 |            |                       |
| 4.5     | 94.5 | 1.0    | 7.0        | 2.0                   |



写真-4 プラント全景

表-8 プラントの仕様

|           |                                  |
|-----------|----------------------------------|
| 製造能力      | 250t/h                           |
| 骨材ホッパ     | 8m <sup>3</sup> ×4台 ベルトフィーダ80t/h |
| 添加剤サイロ    | 25t縦型×1基                         |
| 添加剤供給装置   | サージビン1.5t 供給能力:12t/h             |
| アスファルトタンク | 30t縦型×2基 電気ヒータ保温                 |
| フォームドユニット | フォームドポンプ                         |
|           | フォームド水ポンプ6.4L/min                |
| 加水ポンプ     | 220L/H                           |

リターンベルトコンベアとスクリーンを併用し、一定粒径以上であれば、コーンクラッシャとインパクトクラッシャを通して、再度クラッシングされる機構とした。その結果、細粒分の製造量が増加し、粒度基準を満たす骨材の製造が可能となった。

### (3) 配合

表-7 に示方配合を示す。含水比は転圧時の目標数値であり、製造時には施工日の天候等を考慮して加水量（OMC±3.0%）を調整しながら製造する。

### (4) 製造

フォームドアスファルト混合物は、専用の連続混練式フォームドプラントにて製造する。写真-4にプラントの全景、表-8にプラントの仕様を示す。

## 6. 施工手順

施工基盤層は遮水壁の一部であり供試体の採取ができないため、工法規定で施工をしている。試験施工によって、施工機械、施工フローを表-9、図-5に示すように決定した。

表-9 使用機械一覧

| 作業内容   | 使用機械                  |
|--------|-----------------------|
| 運搬     | 10tダンプトラック、10tキャリアダンプ |
| 敷均し    | 21t級ブルドーザ(TS-3D-MC)   |
| 転圧     | 14t級斜面自走式振動ローラ        |
| 仕上げ転圧  | 2.5t級コンバインドローラ        |
| 乳剤散布   | 斜面用スプレイヤ、ディストリビュータ    |
| 施工機械牽引 | (大型)サブウインチポータ         |

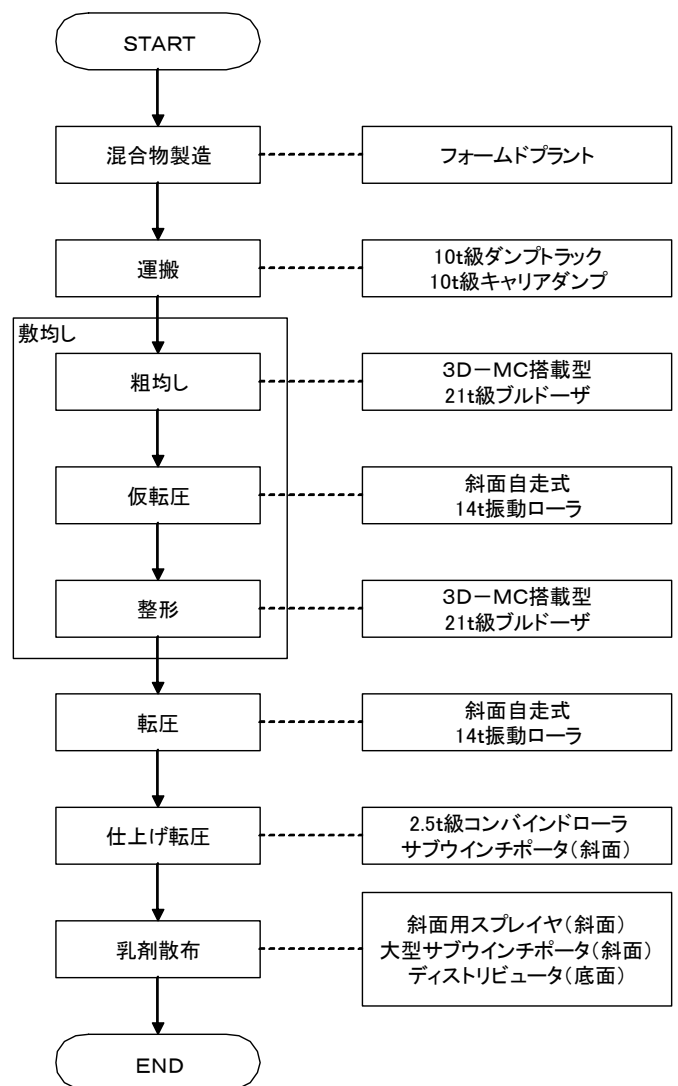


図-5 施工基盤層の施工フロー



写真-5 転圧状況



写真-6 3D-MCブルドーザによる敷均し

### (1) 運搬

プラントから施工箇所の法肩または法尻までは10 t 級ダンプトラックで運搬する。斜面部は法長が最長170m程度であり、材料分離が懸念されることからブルドーザ撤出し距離を極力短くする必要があった。そのため、10 t 級キャリアダンプにて撤出し位置付近まで二次運搬をする。

### (2) 敷均し（粗均し～整形）

施工範囲に材料を均一に行き渡らせるための粗均し、表面を抑えて整形時の作業性を向上させるための仮転圧（無振）、転圧後に所定の高さが得られる余盛厚とするための整形を行う。整形は、新たに材料を補足せずに、切仕上げにより所定の高さに仕上げる。

### (3) 転圧

転圧は写真-5に示す1:2.5勾配を自走で登坂可能な14 t 級斜面自走式振動ローラにて行う。転圧回数は、上りのみ有振を1パスとして4パス行う。

### (4) 仕上げ転圧

転圧の際に生じる履帯による凸部は、下部遮水層の層厚に影響を与える。この凸部を平滑にする目的で、2.5 t 級コンバインドローラによる仕上げ転圧を行う。

### (5) 乳剤散布

降雨・融雪水による洗掘防止および下部遮水層との付着性の向上を目的として、高浸透性アスファルト乳剤を散布する。散布量は $0.6\text{kg/m}^2$ 以上と定められており、斜面部においては、大型サブウインチポ

ータにて牽引される斜面用スプレイヤにより底面から上方へ向かって散布し、底面部においてはディストリビュータにより散布を行う。

## 7. IT施工システム

当工事においては、設計・施工・施工管理の様々な過程を一連のシステムで管理することができるIT施工システムを導入しており、詳細については、既往の報文等にて報告している<sup>3)・4)</sup>。今回は、施工基盤層の施工に際して導入しているIT施工システムについて記述する。

### (1) 3次元施工システム（3D-MCブルドーザ）

ブルドーザによる敷均し、整形は3D-MCにより管理している。3D-MCはブルドーザの位置誘導、排土板の高さやチルトの自動制御（油圧制御）および方向指示を行うものである。施工基盤層では仕上がり精度の向上のため、GPSではなくトータルステーション（TS）により制御している。TSは自動追尾機能を有しており、ブルドーザの任意の位置において、適切な高さおよび形状を指示することが可能である。（写真-6参照）

### (2) 締固め管理システム（14 t 級振動ローラ）

転圧管理は締固め管理システムで行っている。締固め管理システムはRTK-GPSによる3次元位置データをもとに、走行軌跡や転圧回数などの施工状況をオペレータが連続的に把握することにより、視覚的に所定の転圧回数で施工が行われていることを確認することができるシステムである。



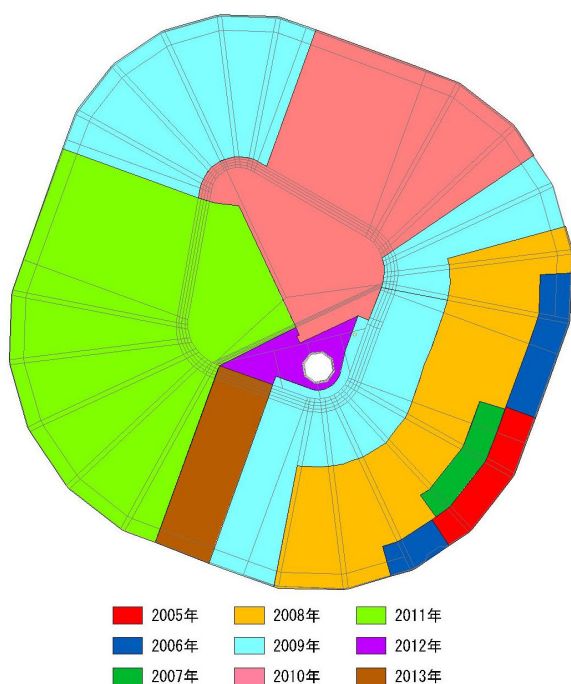


図-6 施工基盤層の各年度施工範囲

表-10 各年度施工数量

| 施工年度  | 数量(m <sup>2</sup> ) | 摘要   |
|-------|---------------------|------|
| 2005年 | 3,400               | 実績数量 |
| 2006年 | 4,878               |      |
| 2007年 | 2,794               |      |
| 2008年 | 26,331              |      |
| 2009年 | 45,457              |      |
| 2010年 | 45,228              |      |
| 2011年 | 50,200              | 予定数量 |
| 2012年 | 3,191               |      |
| 2013年 | 5,057               |      |
| 合計    | 186,536             | 設計数量 |

### (3) 出来形計測

出来形は自動追尾機能の TS を用いて計測している。TS に設計データを持ったパソコンを接続することで、任意の計測点における設計高さと実測高さをその場で比較することができるため、現場において出来形管理が可能となった。

## 8. 施工実績

### (1) 各年度施工範囲

施工基盤層の施工は、掘削の進捗に合わせて2005

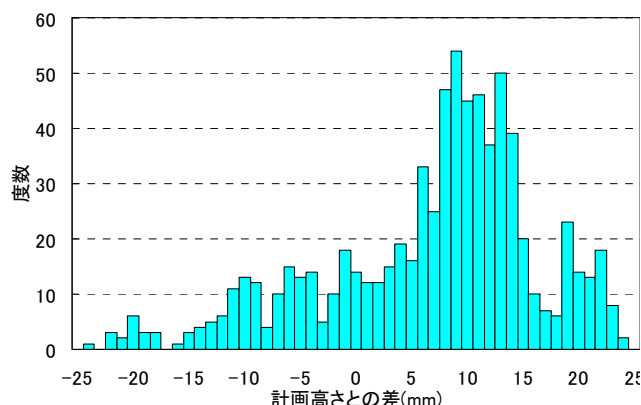


図-7 施工基盤層の出来形分布

年から開始した。2010年終了時において71%の進捗となっており、2011年終了時点においては、約95%の進捗予定となる。図-6に施工基盤層の各年度施工範囲を、表-10に施工数量を示す。2005～2010年は実績施工範囲、2011～2013年は今後の予定施工範囲である。

施工日数は、降雨量が2mm/hr以下の日数が平均8日/年程度あり、粗粒アスコンによる施工と比較して施工日数は多く確保できた。また、越冬後の調整池斜面の状況にも大きな問題はなく、トランジション保護の役割は果たしていると考えられる。

### (2) 施工歩掛

フォームドアスファルト混合物は含水比が保たれている間は、製造後と変わらない性状を保つことが確認されている。そこで、運搬～仮転圧範囲と切り仕上げ～転圧範囲にゾーンを分けて施工をすることで、施工機械を効率的に稼働させ、施工歩掛を向上した。

法面長および形状によって施工歩掛は変化するが、1日当りの施工面積は、1,500～2,000m<sup>2</sup>/日とすることができた。日当たりの施工面積は粗粒アスコンと同等以上であった。

### (3) 施工精度

図-7に昨年度までに施工された施工基盤層の出来形精度分布を示す。試験施工から許容値は±25mmとされており、これまでの施工では全て基準値以内で、平坦性は確保されていた。

### (4) 品質管理試験

品質管理試験は、分散性、含水比、アスファルト

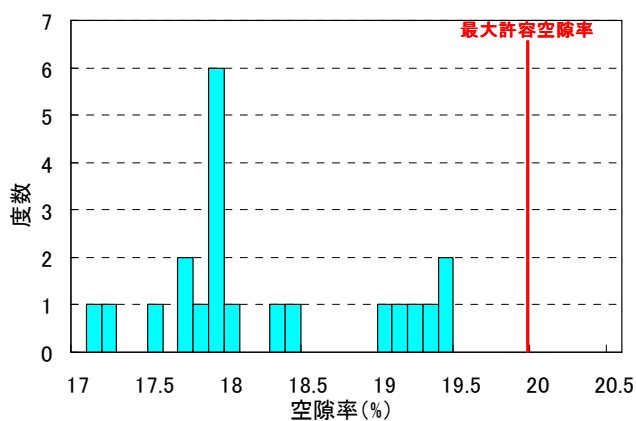


図-8 空隙率測定結果

量，空隙率について管理をしており，全項目について良好な結果が得られている．このうち，空隙率の結果を図-8に示す．空隙率は20%以下を満足しており，耐凍害性についても十分であることが確認できた．

## 9. おわりに

施工基盤層は，これまでに様々な改善を行いなが

ら，6年間施工を行い，進捗率は71%に達した．2011年終了時には95%以上の進捗となる見込みである．

京極発電所上部調整池工事も残り4年間となり，2014年の運転開始に向けて，安全，品質に万全を期し，鋭意施工を行っていく所存である．

## 参考文献

- 1) 楠原和典ほか：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)，土木学会年次学術講演会概要集，V-066，2000年9月
- 2) 中井雅司ほか：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)，土木学会北海道支部論文報告集，第59号2003年2月
- 3) 増田智士ほか：京極発電所上部調整池におけるIT施工・施工管理の取り組み，電力土木5月号，2005年5月
- 4) 堀川明広ほか：北海道電力純揚水式京極発電所上部調整池建設工事への情報化施工(IT施工)システムの導入と実績について，日本建設機械化協会，2005年1月