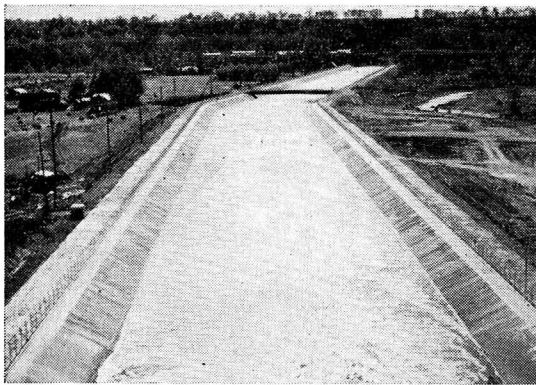


アスファルト・コンクリート・ライニング 開きょの設計と施工

正員 電源開発 K.K. 本別建設所長 木 村 稔

1. ま え が き

本別発電所の建設は、昭和 35 年 12 月着工以来きわめて順調に進捗し、当初の予定工期を 2 カ月短縮し、昭和 37 年 9 月 16 日営業運転を開始した。工事の概要ならびに計画の特色などについては、技術資料 (第 18 号) ですでに紹介したとおりであるが、本稿においては、その中からわが国で始めて使用された発電用アスファルト・ライニング・開きょ (写真-1) の設計と施工について詳述するとともに、今回



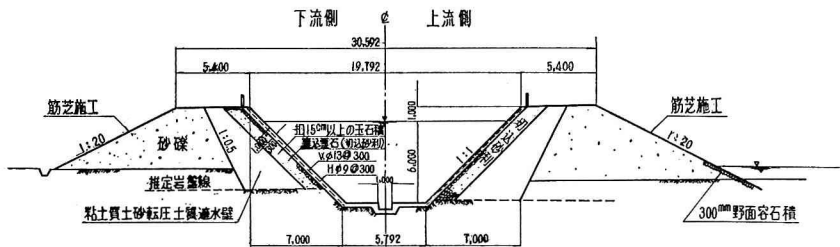
写—1 完成した2号開きょ (流量 90 m³/sec)

の経験を通じて今後のアスファルト開きょの設計上考慮せねばならぬ事項、施工上改良を要すべき事項、その他参考となることなどについても触れてみたい。

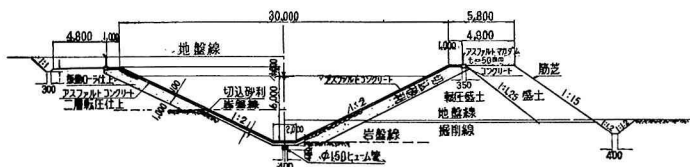
2. アスファルト開きょ採用の理由とその成果

本別発電所の導水路 10 km のうち、3 km 余りに開きょを使用したのは、主として経済性を確保するためであった、(当工事の場合開きょの m 当たり平均工事費は 158,000 円であり、トンネルのそれは 253,500 円でおおむね 60% 程度である。) 開きょの中でもその経過地が比較的掘削の多い 1 号および 3 号開きょは厚さ 30 cm のセメント、コンクリート、ライニングを採用したが、そのほとんど大部分が盛土部に築造される開きょは、慎重なる検討の結果、アスファルト・コンクリート・ライニングを使用することに変更された。原設計ならびに変更設計の構造と工事の概要の比較対照は図-1, 2, 表-1 に示すとおりである。アスファルト採用の理由ならびにその使用後成果の要約は次に述べるとおりである。

(イ) 本開きょは大部分が 3~5 m の盛土上のライニングであるが、築堤部の不等沈下に対しアスファルト材料を使用した場合は、その特有の可撓性により、クラックの発生を防止できる、アスファルト・コンクリートの可撓性につ



図—1 2号開きょ標準断面 (原設計)



図—2 2号開きょ標準断面 (変更設計)

表-1 開きよ工事概要対照表

名 称 (仕 様)	単 位	セメント・コンクリート開 きよ (原設計)	アスファルト・コンクリ ート開きよ (変更設計)
延 長 (舗 装 厚 さ)	m	750 (30 cm)	750 (10 cm)
構 造		敷幅 5.8 m, 高さ 7 m, 側壁 勾配 1:1 の梯形型	敷幅 2 m, 高さ 7 m, 側壁 勾配 1:2 の梯形型
舗 装 面 積	m ²	27,100	26,400
掘 削 土 砂	m ³	53,700	45,900
〃 岩	m ³	5,600	4,700
土質材料盛土	m ³	29,500	—
輾 圧 盛 土 (礫 80% 切込砂利20%)	m ³	—	39,000
普 通 盛 土 (礫 使 用)	m ³	—	26,600
砂 礫 盛 土 (利込砂利使用)	m ³	38,700	—
切 込 砂 利 (凍上防止用)	m ³	14,400	20,900
直接工事費 (含 材 料 費)	1,000 円	94,365	88,322

いては、昭和36年10月の現地試験舗装後の凍上現象の場合にも、最高34mmにもおよぶ舗装面の膨らみを生じたが、クラックの発生は全然認められなかった。

(ロ) 原設計においては、30,000 m³ におよぶ土質材料の盛土が伴うが、施工期間は天候・気象に支配されるので、工程の確保が困難である。ちなみに本別におけるアースダムの土質遮水壁の盛立て日数は昭和36年35日、昭和37年30日、計65日に過ぎなかった。

(ハ) 施工速度についても、構造物の規模乃至はプラントの設備などにより、一概に断ずるわけには行かないが、セメント・コンクリートの打設は、天候・段取り、養生期間など多くのファクターに影響されるが、アスファルト・コンクリートの舗設はこれらのうちで天候の制約を受けるだけであるので、セメント・コンクリートの場合に比較して施工能力では2倍、段取り・養生などを考慮すれば施工期間では1/2程度と思われる。このことはわが国のような雨の多い国—その中でも特に豪雪、厳寒地方のように施工期間の短い所では、非常に重要な意味を持つ。本別の開きよ工事において、比較的規模の類似した2号開きよ(延長750mのアスファルト・コンクリート構造)と3号開きよ(延長670mのセメント・コンクリート構造)の場合について、その施工実績の比較は表-2のとおりである。

(ニ) 水理上の特性—例えば透水係数は 10^{-8} 程度、粗度係数は0.015程度が期待できるので、この点に関してはセメント・コンクリートの場合を比較して差異がない。実測結果によれば、施工ジョイントのような特殊箇所を除いて、一般表層部の透水係数は大体において $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 程度、粗度係数は0.014程度で、当初の設計値を十分に満足している。

(ホ) 水理構造物として最も重要な水密性の保持上、最も弱点となる施工(横)、収縮(縦)継目を必要としない。この

表-2 開きよ施工実績比較表

項 目	2号アスファルト・コンクリ ート開きよ	3号セメント・コンクリ ート開きよ
施 工 面 積	26,400 m ²	18,700 m ²
施 工 期 間	昭和37.5~37.8 (延4ヵ月)	昭和36.7~37.11 昭和37.4~37.8 (延10ヵ月)
実働施工日数	86日	80日
月平均施工量	6,400 m ²	1,870 m ²
月最大施工量	10,428 m ² (昭和37.5)	3,883 m ² (昭和37.7)
日平均施工量	310 m ²	234 m ²
日最大施工量	616 m ²	238 m ²

ような特殊継目の透水試験の結果は $10^{-5} \sim 10^{-7}$ であり、セメント・コンクリートの場合に比較して非常に優れている。

(ヘ) 完成後の維持補修についても、非常に簡単な補修用器具を使用し、きわめて短時間でしかも容易に作業することができる。

(ト) 建設工事費はセメント・コンクリートの場合と比較して大差がない。当工事の場合は表-1のとおり多少安いのであるが、最初のケースでもあり、基盤の安定処理に今少しの考慮を払えば、一般にアスファルト・コンクリート・ライニングのほうが、経済的となるであろうことは疑いない。

3. アスファルト混合物の配合設計

3-1. 概 設

アスファルト材料を発電用水路に使用することは、わが国で始めての試みであるので、その基礎的研究を北大板倉教授にお願いし、あらゆる角度から詳細な検討を行なった。

表-3 各種試験結果一覧表

配 合	空 隙 率 (%)	凍結融解繰返試験 (-20°~+5°C)					高 温 フ ロー テ ス ト (60°C)	透 水 試 験		4 日 浸 水 安 定 度 試 験		
		クラック発生供試体数						透 水 係 数 (10 ⁻⁶ cm/sec)	浸 水 前 安 定 度 (kg)	4 日 浸 水 後 安 定 度 (kg)	残 留 率 (%)	
		サイクル 10	サイクル 30	サイクル 50	サイクル 70	サイクル 100						
A	4	0	0	3/4	3/4	3/4	0	(0)	573	567	99.0	
	6	0	0	0	0	0	(0)	(0)	314	300	95.5	
	9	0	0	0	0	0	(0)	2.04	286	227	79.4	
B	4	0	3/4	3/4	3/4	3/4	0	(0)	698	654	93.7	
C	4	0	0	1/4	1/4	1/4	0	(0)	526	502	95.4	
	6	0	0	0	0	0	(0)	(0)	250	238	95.2	
	9	0	0	0	0	0	(0)	7.35	178	154	86.5	

配合	空隙率 (%)	吸 水 試 験				摩 耗 試 験		
		4日浸水 吸水率 (%)	7日浸水 吸水率 (%)	14日浸水 吸水率 (%)	30日浸水 吸水率 (%)	7日浸水 後摩耗量 (g)	14日浸水 後摩耗量 (g)	30日浸水 後摩耗量 (g)
A	4	0.11	0.20	0.19	0.23	1.2	1.6	1.2
	6	0.31	0.22	—	0.94	1.4	—	—
	9	0.55	0.42	—	1.06	1.2	—	—
B	4	—	0.12	0.17	0.21	1.7	—	—
C	4	0.08	0.10	0.13	0.17	0.5	1.1	0.7
	6	0.25	0.34	—	0.59	1.1	—	—
	9	0.32	0.43	—	1.24	1.2	—	—

(注) 1. アスファルト: 40/60セミブローン, アスファルト(昭和化工製品), 砂利(札内産), 粗砂(広島産), 中砂(勇払産), 細砂(銭函産)

2. 配合	アスファルト (%)	石粉 (%)	砂利 (%)	砂 (%)
A	7.00	20.0	35.0	45.0
B	8.14	20.3	30.0	49.7
C	10.00	25.5	20.0	54.5

3. 3/4は供試体4箇の中3箇という意味

4. ()は推定値

表-4 試験結果総括表

	アス ファ ルト 率 (%)	マ ー ジ ャ ル 安 定 度 試 験								三 軸 試 験			透 水 係 数 (cm/sec)	スロー プ・フ ロー7 日60℃ mm
		密 度		空隙率 (%)	安 定 度		フロ-1/100in		浸水残 留強度 (%)	内 部 摩擦角 (60℃)	付着力 (kg/cm²)	最 大 傾斜角 (60℃)		
		実 際	理 論		標 準	凍結 融解	標 準	凍結 融解						
基層混合物	5.5	2.236	2.366	5.49	660		13.5							
	6.0	2.255	2.350	4.02	741		12.5							
	6.5	2.277	2.333	2.47	828		20.0							
	7.0	2.263	2.318	2.37	1,007	949	27.5	27.6	94.63	33°22'	1,763	40°23'	1.05×10 ⁻⁸	0.125
	7.5	2.251	2.301	2.37	770		37.0							
表層混合物	8.0	2.201	2.321	5.17	581		13.0							
	8.5	2.227	2.306	3.43	791		17.0		96.97	35° 0'	1,326	39°56'		
	9.0	2.236	2.290	2.38	851	858	21.0	24.0	95.03	31°24'	1,621	38° 4'	1.15×10 ⁻⁸	0.248
	9.5	2.211	2.274	2.77	627		27.5		96.57	28°40'	1,747	36° 2'		

紙面の都合上実験結果の総括表だけを表-3に示してある。さらに慎重を期して昭和36年10月、現地において試験舗設を実施し、その結果を基として引続き混合物の性状試験を実施した。その結果を総括して表-4に示す。

上記各種研究・試験の結果、アスファルト混合物を開きよのライニングとして十分使用できる見通しと確信を得たのであるが、工事の本格着工に当たり、これまでの試験資料を基礎として経済的な考慮の下に、最終的な配合を決定せんとするものである。

3-2. 配組設計に当たり考慮すべき事項

表層混合物の配合設計に当たっては、水利構造物としての必要条件である所要の水密性と安定性を同時に満足させることが主眼であるが、その他経済的な面からの考慮などより次の各項目について検討する必要がある。基礎混合物については、その性質上、それ程の性能を要求されない。

(1) 水密性

(イ) 経験上所要の水密性を得るためには、アスファルト混合物の空隙率は5%以下に押えれば十分である。(参考文献-5)

(ロ) 室内試験によれば、空隙率が6%以下では透水にまったく見られない。(試験水頭250m, 表-3)

(ハ) 空隙率2.4%程度のもものでは、透水係数は $1.05 \sim 1.15 \times 10^{-8}$ である。(試験水頭13m, 表-4)

(ニ) よって、空隙率の目標を5%以下とすればよい。

(2) 斜面上における安定性

(イ) 水密性を増すために、アスファルト量を多くすれば、本構造物のような1:2の斜面($\alpha=26^\circ 40'$)の場合、太陽熱にさらされた時にクリープを起こす可能性がある。

(ロ) アスファルト混合物の流動性を押えるためには、できるだけ大きな内部摩擦角をもつように骨材の配合を考慮せねばならない。(参考文献-5)

(ハ) 三軸試験の結果によれば、アスファルト量7および9%の混合では、内部摩擦角は 60°C において、それぞれ $33^\circ 22'$ 、 $31^\circ 24'$ である。(表-4)

(ニ) 高温(60°C)フロー試験の結果では、すべての場合10時間放置してもフローがなかった(表-3)。また7日後のフローはアスファルト9%で0.248mm、7%で0.125mmであった。(表-4)

(3) 浸水安定度と浸水圧縮強度

(イ) 構造物の長期浸水に対する抵抗性を調べるため行なうもので、骨材、フィラーおよびアスファルトの品質、構造物の締固めの程度などに影響されるが、一応の目安として参考までに実験値を以下に示す。

(ロ) 4日浸水安定度比はいずれも0.94以上(表-3ただし空隙率6%以下)、7日浸水圧縮強度比はすべて0.84以上(参考文献-5)であった。

(4) 凍結に対する抵抗性

(イ) 当地方は零下 30°C にも達する厳寒地であるので、特に凍結融解試験によって性状変化を観察した。

(ロ) 基盤的研究によれば、空隙率が4%程度で安定度の高いもの程、クラックが入りやすい。ゴム粉を3%程度混入することにより抵抗性を増大しうるのである。試験は $-20^\circ \sim +5^\circ\text{C}$ で100サイクル実施した。(表-3)

(ハ) $-26^\circ \sim +25^\circ\text{C}$ 、6サイクル試験については、ほとんど影響を及ぼさないものと推定される。(表-4)

(ニ) しかしながら本開きよの場合は、極寒期には深夜といえども、常時使用水量以上の流量を流下せしめるなど、発電所の運用の面で凍結に対し特別の考慮を払っている。

(5) ウォーカビリチー

スリップ・フォームを使つての敷き均し、インパクト・ローラによる締固めが十分にできるようなウォカビリチーが必要である。

(6) 侵蝕に対する抵抗性

(イ) 流速の大きな水流、乱流および土砂流などに対する所要の硬度が要求される。

(ロ) 特殊の摩擦試験を使用しての実験結果では、アスファルト供試体の摩耗は非常に少なく、0.5m/secの速度で間断なく、圧力をもった土砂流が移動したとしても、1箇年の摩耗量は1mmにも達しないものと推算される。(参考文献-3)

(7) たわみ性 (Flexibility)

(イ) 沈下もしくは凍上による地盤の移動、あるいは地盤をとおして外側から作用する静水圧などによって生ずるクラックを、できるだけ少なくするような適度のたわみ性が必要である。

(ロ) たわみ性の試験は外国の文献(参考文献-5)によれば、小さなガラス玉の上に置かれた円形の供試体に静水圧を作用させ、下から徐々にガラス玉を除去しながら中心部の変形状態を測定する。実例によれば、直径50cmの供試体で、中心部が5cm沈下した場合すなわち10%のたわみを生じた時にも、漏水の原因となるようなクラックは生じなかった。

(ハ) 本開きよについていえば、昭和36年10月の試験舗装後の観測において、凍上による地盤の移動のため、最大34mmの膨らみを生じたが、クラックの発生は皆無であり、たわみ性については満足すべきものと思われる。

(8) 使用材料

アスファルト混合物に使用する材料—特に骨材は、経済的な見地からなるべく現地産のものを使用するように配合を考慮しなければならない。

3-3. 基本配合の決定

3-3-1 使用材料とその一般性状

混合物に用いる材料の規格は以下のように定める。また各種使用材料の粒度分布図ならびに物理的性質は一括して

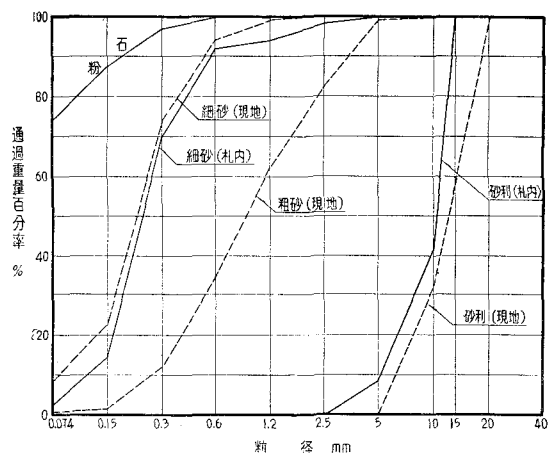


図-3 使用材料粒度分布図

表-5 使用材料の物理的性質

使用材料	鹿越産 石粉	現地産 細砂	札内産 細砂	現地産 粗砂	現地産 砂利	札内産 砂利
粒度 mm					100	
20						
15						100
10			100	100	31	42
5		100	99	98	1	9
2.5		99.8	98	83	0	0
1.2	100	98.8	96	63		
0.6	99.9	95.6	93	36		
0.3	98.1	73.6	70	12		
(%)						
0.15	88.4	22.9	15	2		
0.074	74.4	8.8	3	1		
比重	2.73	2.50	2.55	2.56	2.53	2.66
吸水率 (%)		3.60	2.25	2.64	2.89	1.60

図-3、表-5に示してある。

(1) アスファルト

水理構造物に適するアスファルトは、過去の経験からセミブローンしたものであることが知られていて、セミブローン・アスファルトを使用することとし、その規格ならびに使用アスファルトの一般性状は下記のとおりである。

	規 格	使用アスファルト (シェル石油製品)
針 入 度 (25℃)	60~70	67
伸 度 (25℃)	100 以上	150
軟 化 点	48℃ 以上	51℃
針入度指数 (P.I.)	-0.5 以内	-0.4

(2) 石 粉

精選された石灰石粉で、比重 2.6 以上、200 番フルイ (0.074 mm) 通過 70% 以上とする。

(3) 砂

細砂および粗砂の比重は、いずれも 2.5 以上とする。

(4) 砂 利

表層用は比重 2.6 以上、ロサンゼルス減量 30% 以下、基層用は比重 2.5 以上、ロサンゼルス減量 30% 以下とする。

3-3-2 骨材配合の決定

骨材の配合は次の方針にしたがった。

(1) 表層、基層ともに厚さは 5 cm であるが、その重要度に応じて骨材の最大寸法は表層で 15 mm 基層で 20 mm とする。(一般に仕上りの良いライニングの厚さは、骨材最大寸法の 1.25~2.25 倍といわれている)

(2) 経済的な面から、骨材はできるだけ現地産のものを使用する。

(3) 表層用の骨材配合は、なるべくアスファルト舗装要綱トベカ標準配合の範囲に収まるようにし、現地産細砂を使用する場合は材料の性質上、できるだけ量を少なくする。

(4) 基層用骨材配合は、なるべく Asbeck 氏推奨の 1''

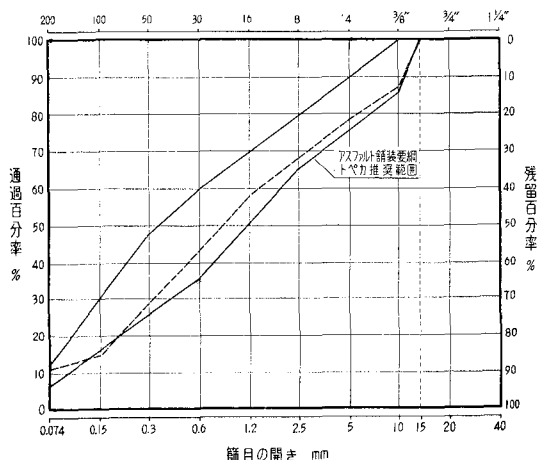


図-4 表層骨材合成粒度 (現地産細砂)

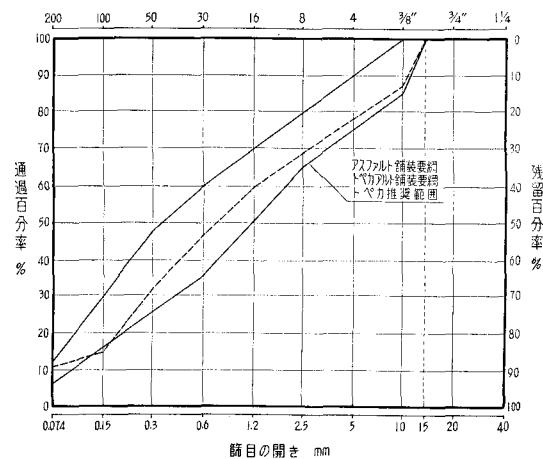


図-5 表層骨材合成粒度 (札内産細砂)

および 1/2'' 粒度曲線の範囲に収まるようにし、すべて現地の骨材を組合わせて使用する。

上記の方針にしたがって、各種の骨材を組合わせた場合の合成粒度（標準粒度）図表を図-4、5、6および表-6、7、8に例示する。

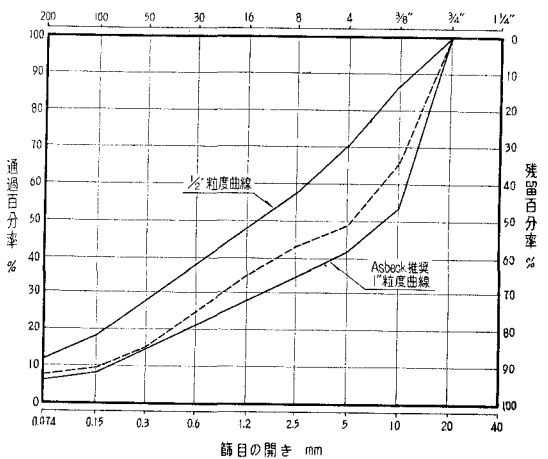


図-6 基層骨材合成粒度

表-6 表層用骨材合成粒度計算表 (其一)
(現地産細砂使用)

フルイ目の 範囲 (mm)	砂利 札内産	粗砂 現地産	細砂 現地産	石粉 鹿越産	合 成 計 算	合成	累 計
15~10	58				$58 \times 0.23 = 13.3$	13.3	13.3
10~5	33	2			$33 \times 0.23 = 7.6$ $2 \times 0.52 = 1.0$	8.6	21.9
5~2.5	9	15			$9 \times 0.23 = 2.1$ $15 \times 0.52 = 7.8$	9.9	31.8
2.5~1.2		20	1		$20 \times 0.52 = 10.4$ $1 \times 0.12 = -$	10.4	42.4
1.2~0.6		27	3		$27 \times 0.52 = 14.1$ $3 \times 0.12 = 0.4$	14.5	56.7
0.6~0.3		24	22	2	$24 \times 0.52 = 12.5$ $22 \times 0.12 = 2.6$ $2 \times 0.13 = 0.2$	15.3	72.0
0.3~0.15		10	51	10	$10 \times 0.52 = 5.2$ $51 \times 0.12 = 6.2$ $10 \times 0.13 = 1.3$	12.7	84.7
0.15~0.074		1	14	14	$1 \times 0.52 = 0.5$ $14 \times 0.12 = 1.7$ $14 \times 0.13 = 1.8$	4.0	88.7
0.074 以下		1	9	74	$1 \times 0.52 = 0.5$ $9 \times 0.12 = 1.1$ $74 \times 0.13 = 9.7$	11.3	100.0
合 計	100	100	100	100			
配合 %	23	52	12	13			

表-7 表層用骨材合成粒度計算表 (其二)
(札内産細砂使用時)

フルイ目の 範囲 (mm)	砂利 札内産	粗砂 現地産	細砂 札内産	石粉 鹿越産	合 成 計 算	合成	累 計
15~10	58				$58 \times 0.23 = 13.3$	13.3	13.3
10~5	33	2	1		$33 \times 0.23 = 7.6$ $2 \times 0.44 = 0.9$ $1 \times 0.20 = 0.2$	8.7	22.0
5~2.5	9	15	1		$9 \times 0.23 = 9.0$ $15 \times 0.44 = 6.6$ $1 \times 0.20 = 0.2$	8.9	30.9
2.5~1.2		20	2		$20 \times 0.44 = 8.8$ $2 \times 0.20 = 0.4$	9.2	40.1
1.2~0.6		27	3		$27 \times 0.44 = 11.9$ $3 \times 0.20 = 0.6$	12.5	52.6
0.6~0.3		24	23	2	$24 \times 0.44 = 10.6$ $23 \times 0.20 = 4.6$ $2 \times 0.13 = 0.2$	15.4	68.0
0.3~0.15		10	55	10	$10 \times 0.44 = 4.4$ $55 \times 0.20 = 11.0$ $10 \times 0.13 = 1.3$	16.7	84.7
0.15~0.074		1	12	14	$1 \times 0.44 = 0.4$ $12 \times 0.20 = 2.4$ $14 \times 0.13 = 1.8$	4.6	89.3
0.074 以下		1	3	74	$1 \times 0.44 = 0.4$ $3 \times 0.20 = 0.6$ $74 \times 0.13 = 9.7$	10.7	100.0
合 計	100	100	100	100			
配合 %	23	44	20	13			

表-8 基層用骨材合成粒度計算表

フルイ目の 範囲 (mm)	砂利 現地産	粗砂 現地産	細砂	石粉 鹿越産	合 成 計 算	合成	累 計
20~10	69				$69 \times 0.5 = 34.5$	34.5	34.5
10~5	31	2			$31 \times 0.5 = 15.5$ $2 \times 0.4 = 0.8$	16.3	50.8
5~2.5		15			$15 \times 0.4 = 6.0$	6.0	56.8
2.5~1.2		20			$20 \times 0.4 = 8.0$	8.0	64.8
1.2~0.6		27			$27 \times 0.4 = 10.8$	10.8	75.6
0.6~0.3		24		2	$24 \times 0.4 = 9.6$ $2 \times 0.1 = 0.2$	9.8	85.4
0.3~0.15		10		10	$10 \times 0.4 = 4.0$ $10 \times 0.1 = 1.0$	5.0	90.4
0.15~0.074		1		14	$1 \times 0.4 = 0.4$ $14 \times 0.1 = 1.4$	1.8	92.2
0.074 以下		1		74	$1 \times 0.4 = 0.4$ $74 \times 0.1 = 7.4$	7.8	100.0
合 計	100	100	—	100			
配合 %	50	40		0			

3-3-3 アスファルト量の決定

(1) 考慮すべき事項

最適アスファルト量については、次の各項を考慮して、最終決定を行なうことにした。

(イ) 米国の開拓局 (Bureau of Reclamation) で、これまで建設されたアスファルト運河における事例によれば、アスファルト使用量は7~10% 程度である。フランスの palaminy 水路では7および7.5% である。(文献-5)

(ロ) アスファルト量の決定には、マーシャル方式を用い、比重、安定度、空隙率、フローなどについて測定を行ない、

それらを総合判断して決定する。

(ハ) とくに水路構造物の特性上、水密性を優先させることとし、空隙率は少なくとも5% 以下に押えるものとする。

(ニ) 基礎的研究によれば、最適アスファルト量は7~10 ±0.5% (文献-3)、舗装試験報告書によれば表層9%、基層7% (文献-4) が適当と思われる。

(2) 表層混合物のアスファルト量の決定

砂利:粗砂:細砂:石粉=23:52:12:13 の配合について、アスファルト量を7.5~9.5% に0.5% きざみに変化させてマーシャル安定度試験を実施した結果は、図-7、表-9のとおりである。これによれば安定度、比重が最大で、空隙率が3% 程度のアスファルト含有量9% の場合が適当と判断されるが、多少の余裕を見込んで9.5% と決定する。

(3) 基層混合物のアスファルト量の決定

砂利:粗砂:石粒=50:40:10 の場合についても、前項と同様にして、アスファルト量を7.5% と決定した。マーシャル安定度試験の結果を図-8、表-10に示す。

3-3-4 示方配合の決定

以上により、アスファルトの加熱混合物の規準となるべき示方配合を表-11のとおりに決定した。

3-3-5 混合ならびに転圧温度の決定

使用アスファルトに関するセイボルト粘度計による粘度測定結果から A.S.T.M. の規格にしたがって、混合ならびに転圧温度を決定した。混合ならびに転圧温度はそれぞれセイボルト・フロール粘度が85±10 秒、140±15 秒を示す温度が適当とされており、図-9に示すように本工事の場合は混合温度170°C、転圧温度150°C が標準であるが、実際の施工条件および舗装面の亀裂の発生を防止するため以下のとおり決定した。

標準混合温度: 170°C

標準転圧温度: 130°C

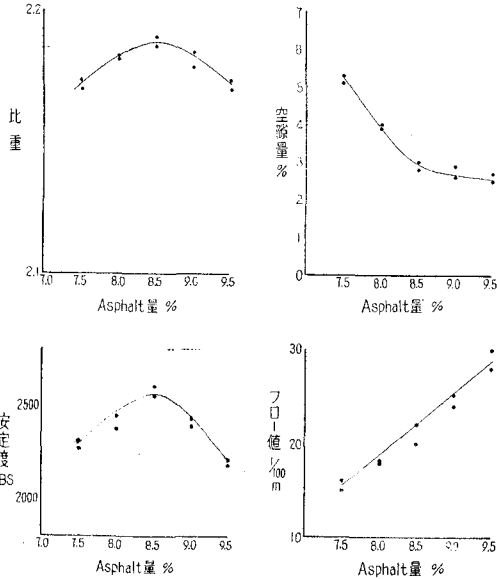


図-7 アスファルト量の決定 (表層)

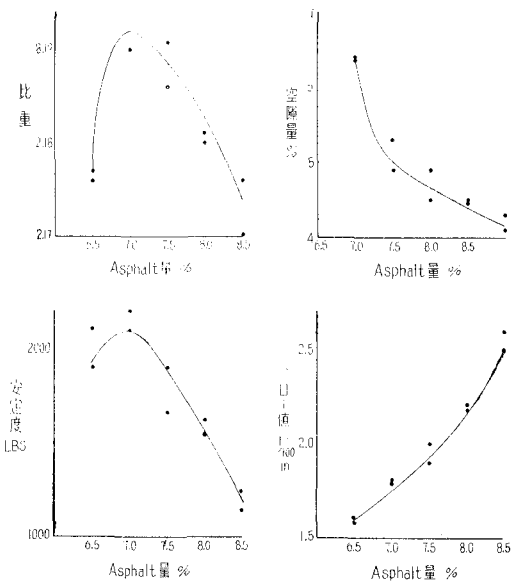


図-8 アスファルト量の決定 (基層)

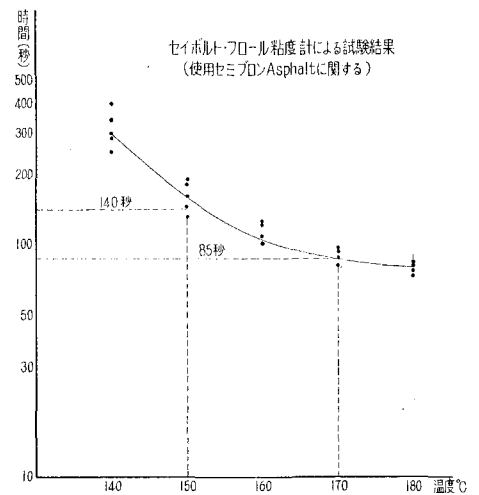


図-9 混合および転圧温度

表-9 アスファルト合材の性質計算 (表層)

混合温度 170℃ 軋圧温度 130℃			試験温度 60℃			記事 砂利:粗砂:石粉=23:52:12:13 砂利は丸内産, 粗砂は現地産, 細砂は現地産			昭和37年5月29日							
供試体 番号	A.C. %	厚サ mm	重量		容積 cc	比 重	容 積 %	全混合 単位重量	相関比率	安定度		フロー Q				
			空	中						ゲージ読	修正					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
					D-E	$\frac{D}{F}$		$\frac{B \times G}{AC}$	$\frac{100-G}{100-100H}$	$\frac{1}{1+J}$						
1	7.5	60.0	1097	598	499	2.198	2.321		5.3			1.09	165	2122	2313	16
2	"	61.9	1130	617	513	2.203	"		5.1			1.04	170	2186	2273	15
3	8.0	62.6	1140	625	515	2.214	2.306		4.0			1.00	184	2366	2366	18
4	"	63.4	1155	638	521	2.216	"		3.9			1.00	190	2443	2443	18
5	8.5	64.1	1164	640	524	2.221	2.290		3.0			1.00	202	2598	2598	22
6	"	65.1	1180	650	530	2.226	"		2.8			0.96	198	2546	2444	20
7	9.0	61.7	1138	625	513	2.218	2.275		2.6			1.04	179	2302	2394	24
8	"	64.5	1167	639	528	2.210	"		2.9			1.00	189	2431	2431	25
9	9.5	62.2	1134	618	516	2.198	2.260		2.7			1.04	165	2122	2207	30
10	"	64.6	1170	639	531	2.203	"		2.5			1.00	154	1980	1980	28

表-10 アスファルト合材の性質計算 (基層)

混合温度 170℃ 130℃			試験温度 60℃			記事			砂利：粗砂：石粉＝50：40：10 砂利は現地，産粗砂は現地産			昭和37年6月7日					
供試体 番号	A.C. %	厚サ mm	重 量		容 積 cc	比 重	容 積 %	空 隙 %	全 混 合	充 満 %	全 混 合 単位重量	相 関 比 率	安 定 度		フ ロー		
			空	中									ゲージ読	測 定 値		修 正	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
					D-E	$\frac{D}{F}$		$\frac{B \times G}{AC}$ の比重									
1	6.5	60.7	1103	596	507	2.176	2.329		6.4			1.09	80	1749	1906	16	
2	"	61.7	1130	611	519	2.177	"		6.4			1.09	89	1946	2121	16	
3	7.0	62.5	1146	625	521	2.200	2.313		4.9			1.04	93	2033	2114	18	
4	"	63.1	1150	625	525	2.190	"		5.3			1.00	101	2208	2208	18	
5	7.5	64.3	1178	639	539	2.186	2.298		4.9			1.00	76	1661	1661	19	
6	"	64.4	1154	628	526	2.194	"		4.5			1.00	87	1902	1902	20	
7	8.0	64.6	1173	635	538	2.180	2.283		4.5			0.96	73	1596	1532	22	
8	"	64.5	1156	626	530	2.181	"		4.5			1.00	74	1618	1618	22	
9	8.5	65.9	1198	647	552	2.170	2.268		4.3			0.93	56	1224	1138	25	
10	"	65.3	1160	627	533	2.176	"		4.1			0.96	59	1290	1238	26	

表-11 加熱混合物示方配合

フルイの寸法 (mm)	フルイ通過重量百分率 (%)	
	表 層	基 層
20	—	100
15	100	—
10	85~100	53~87
5	—	42~70
2.5	65~80	35~58
0.6	35~60	20~38
0.3	25~48	14~28
0.15	15~30	8~18
0.074	6~12	4~9
アスファルト量 %	9.5±1	7.5±1

注 表層の骨材粒度範囲はアスファルト舗装要綱トペカ標準配合、基層の骨材粒度範囲は Asbeck 氏の 1/2'', 1'' 粒度範囲である。

4. 施 工

4-1 掘削ならびに盛土

基礎掘削および盛土工事は昭和 36 年 1 月初旬に開始し、3 月には、あらかたの掘削を終了した。4 月より法面の掘削と底部の仕上げを行ない、7 月から切込砂利、転圧盛土、普通盛土などの施工を平行して実施した。厳寒期を迎え 11 月中旬に作業を中止し、37 年 4 月中旬に工事を再開した。法面よりの湧水は切込砂利層を通して底部の排水管に導いて処理した。排水管は直径 150 mm ヒューム管を使用し、底部の 40×40 cm の盲下水内に布設され、下流部の土砂吐に接続されてある。

実稼働日数は、天候および公休などを考慮すればおおむね 20 日/月程度であった。

4-2 法面安定処理

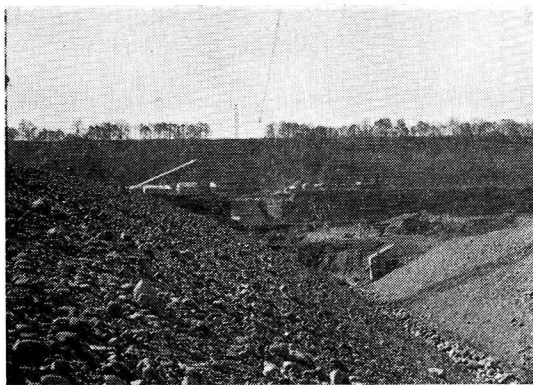
法面安定処理工事は 36 年 10 月の試験工事の結果、かなり困難であることが判明したので、種々検討の上施工は下記の順序、方法によった。

(1) 切込砂利表面の一次法切；転圧効果をあげるため、転圧切込砂利表面から 10 cm 以上の砂利を除去し、概略の法面整理を実施する。(写-2)

(2) 切込砂利表面の二次法切り；法面に水糸を張り不陸の補正を行なって正確に法面を仕上げる。平坦度の仕上げ目標は ±20 mm とする。(写-3)

(3) 切込砂利の含水比調整；切込砂利の最適含水比は、14~5% であるが、実際施工の際乾燥している場合は、転圧効果増進のためあらかじめその程度まで撒水する。

(4) 一次転圧；2.5t バイブレーション・ローラにより転圧回数 10 回を目標として転圧を行なう。転圧実績は最高 40 m/日、平均 20~30 m/日 (片側) であった。



写-2 基盤荒仕上げ状況



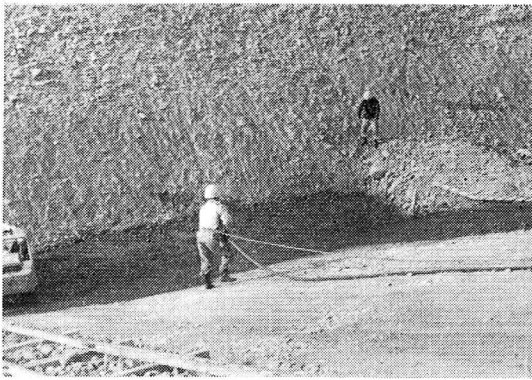
写-3 基盤整正完了

(5) 小砂利 (20 mm 以下) の補足；乳剤の浸透効果を上げるため、砂分の多い箇所には適当に小砂利を補足する。

(6) 二次転圧；2.5t バイブレーション・ローラにより 10 回を目標として、再転圧を実施する。転圧密度は原則としてプロクター (25 ブロー) 90% 以上を標準とし、密度検査は、1,500 m² ごとおよび必要と認めた箇所について行なう。

(7) 雑草の処理；雑草の成長しやすい条件の下で、施工する場合には、将来ライニングを突き破って雑草が生える危険性を伴うので、除草剤 (5% 塩素酸ソーダ) をスプレーで 3 ℓ/m² の割合に撒布する。

(8) カチオン乳剤の撒布；路盤材料が切込砂利であるため、アスファルト混合物の締固めが十分にできないので、安定処理する必要がある。そのために、前記除草剤を撒布してから 24 時間後に、60°C に加熱したカチオン乳剤をスプレーで 2~3 ℓ/m² の割合で撒布する (写-4)。または切込砂利層の表面 10 cm 程度を 5% 程度のセメントによって安定させるのも一方法であろう。とくに法肩を保護するため、法肩付近の 20~30 cm を乳剤で完全に浸透せしめる配慮が必要である。

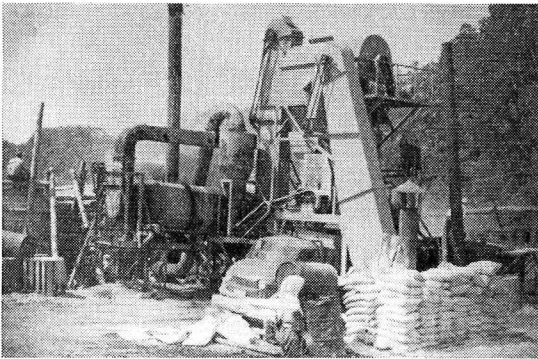


写—4 乳剤の撒布

4-3. アスファルト・ライニング

4-3-1 混合および運搬

(1) アスファルト・プラントの混合能力は15 t/h のものを設置した。骨材ピンは砂利2種、粗砂および細砂各1種計4箇所とした。(写真-5)



写—5 アスファルト・プラント

(2) 混合温度は170°C、ミキサー混合時間は50～60秒を標準とした。

(3) 混合物は2 t 積のバケットに入れられ小型トラック4台(予備を含む)で輸送された。

(4) 転圧温度は130°Cを目標とし、いかなる場合といえども90°C以下の転圧は絶対に認めない方針とした。

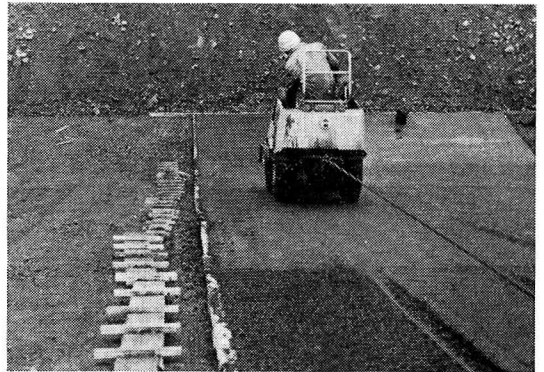
4-3-2 敷きならし

(1) 基層のアスファルト混合物の敷きならしには、鉄板製のシュートを使用した。堤頂上に設けられたクレーンにより、バケットを吊り上げ、できるだけ所望の敷きならし箇所に近づけ、シュートによりまき出した。基盤が切込砂利であるため、安定処理を行っても完全な平坦性が得られぬためフィニッシャが使用できないことと、基層の性質上、表層ほどの厳密な施工管理を必要としないので、シュートを使用した。この方法の欠点は作業人員および作業時間の増加と転圧温度の低下である。

(2) 表層用混合物の敷きならしには、主として傾斜面の

作業に適するように特別に製作されたフィニッシャを用いた。小型トラックで運搬されたバケットはトラック・クレーンで吊り上げられ、あらかじめ基層面上に置かれたフィニッシャのホップに混合物を移し、フィニッシャはクレーンに装置されてあるウインチによって、斜面に沿って移動する。混合物の敷きならし幅は2.5 mである。本フィニッシャの使用による敷きならし厚の調整、作業時間の短縮、骨材分離の防止などの効果は、顕著であった。混合物の敷きならし時、一部不陸を生ずる場合は、その都度レーキマンにより整正を行なった。

4-3-3 転圧 (写-6)



写—6 転圧状況 (インパクト・ローラ)

基層コンクリートについては、締固めにしろ、転圧にし、それ程の注意を必要としないのであるが、本工事では慎重を期して、表層の場合と特に区別は設けなかった。転圧の方法は以下のとおりである。

(1) 初期転圧は15 HPのウインチにより索引された1.7 t バイブレーション・ローラを使用し、転圧回数は4回を標準とした。

(2) 転圧後舗装表面に一部ヘアー・クラックを生じたこともあったが、その場合には自動転圧後バイブレーションを与えるなどの調整を行なった。

(3) 次に2.5 t バイブレーション・ローラにより2～3回転圧を行ない、最後に不陸整正仕上げの意味でさらに2回の転圧を実施する。

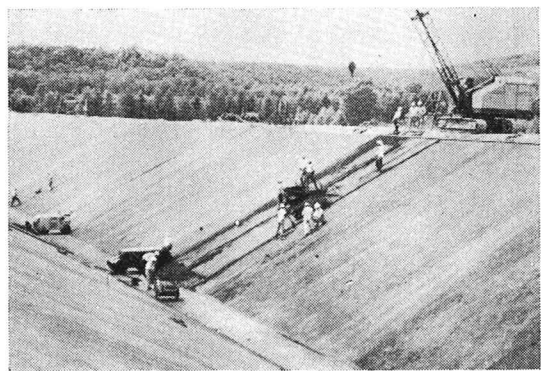
(4) 表層の場合は、以上のほかに混合物がある程度安定した後に、最終仕上げとして2.5 t ローラによる転圧を実施する。

(5) いずれの場合も、ローラの転圧速度は15 m/minを標準とし、転圧中の急激な速度変化および急激なハンドル操作を行なわないような注意が肝要である。

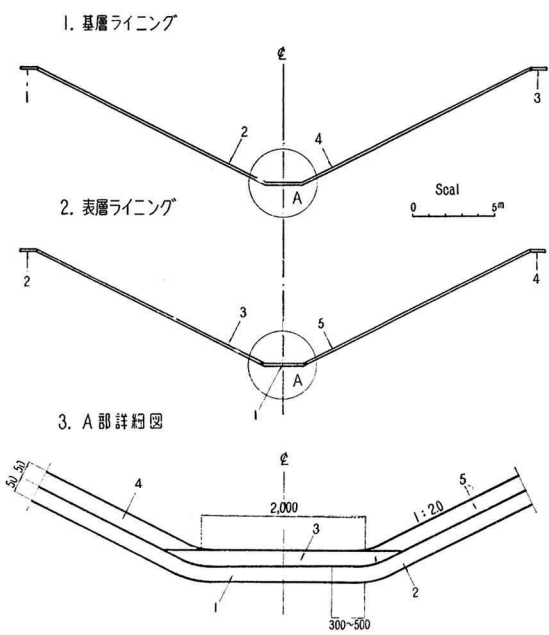
(6) インバートおよび法肩部の舗設は、道路の場合と同じ方法で実施した。インバートの水平部は法面と同様に、バイブレーション・ローラを使用し、法肩の水平部は0.75 t のインパクト・ローラを使用した。

(7) 舗設終了後、法肩または法尻に一部ヘヤー・クラックが発生したが、この部分をコー・カッターで切りとって調査した結果、クラックは表面だけで5~10 mm 程度であり、問題にするほどのものではないと判断されたが、大事をとり法肩および法尻幅 50 cm の間、水路全延長にわたってキャッチイ・ブロンもしくは乳剤によるシールコートを施した。

(8) アスファルト舗設の順序は図-10、工事用機一覧表は表-12 施工時の写真は 写-7 のとおりである。



写—7 フィニッシャによる舗設



図—10 アスファルト・ライニングの
 施工順序およびジョイント

表—12 主要工事用材機一覧表

使用箇所	名 称	仕 様	単位	数量	摘 要
プ ラ ン ト	アスファルトプラント	東京工機に ~15 t/h	基	1	
"	ウ イ ン チ	単胴 10 HP	台	1	骨材小運搬用
"	ベルトコンベヤー	長さ=7.0 m 1.3 HP	"	2	"
合 材 運 搬	小 型 四 輪 車	2.0 t 積	"	4	三 輪 車 含
"	バ ケ ッ ト	2.0 t 積世紀建設 K.K. 製	"	3	
"	ク レ ー ン	日立 U-106 ショベル	"	1	フィニッシャー
合 材 敷 均 用	スリップフォーム	容量 2.0 t, 幅 2.5 m	"	1	索 引 含
締 固 め 用	振 動 ロ ー ラ ー	自重 2.5 t 小松製作所	"	2	
"	"	自重 1.9 t ラサ工業	"	1	
"	"	自重 1.7 t ラサ工業	"	1	
"	"	自重 0.75 t 新和機械	"	1	
"	ホ ッ ト ロ ー ラ ー	自重 0.15 t 世紀建設 K.K. 製	"	1	
"	ア ス フ ァ ル ト コ ン パ ク タ ー	世紀建設 K.K. 型	"	1	
ローラー索引用	ウ イ ン チ	復胴 15 HP	"	3	
乳 採 撒 布 用	エンヂンスプレーヤー	3 HP	"	1	
撒 水 及 排 水 用	給 水 ポ ン プ	エンヂン式 5 HP	"	2	
動 力 設 備	ト ラ ン ス	20 kw	"	3	
"	"	15 kw	"	4	
"	"	10 kw	"	3	
"	電 線	高 圧	米	750	
"	"	低 圧	"	750	
資 料 採 取 用	エ ン ジ ン コ ア ー カ ッ タ ー	精機研究所製作	台	1	
連 絡 用	小 型 自 動 車		"	1	

4-3-4 施工経目

- (1) 基層ライニングの施工経目はバット・ジョイントを用い、表層ライニングはラップ・ジョイントを使用した。表層部の経目には、適度に加熱溶解したアスファルトを塗布した。
- (2) 基層および表層の施工経目は、同一箇所に集中しないように計画を行なった。

5-4. 施工実績

アスファルト開き工事の計画および実施工程の比較は図-11のとおりである。

本格着工を開始した昭和37年4月中旬から、工事完了を見た8月中旬までの、法面安定処理ならびにアスファルト・

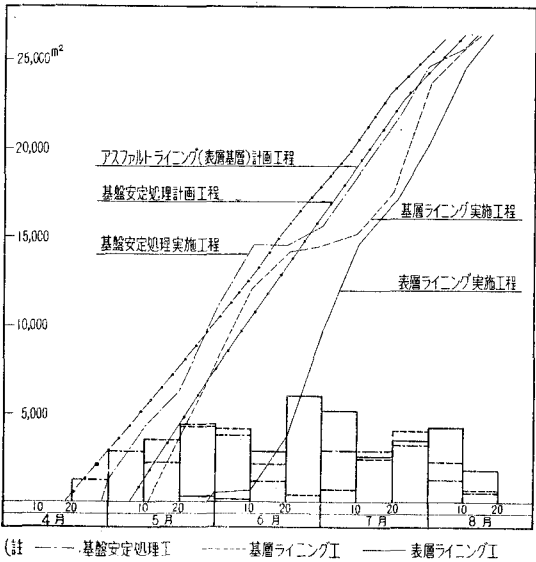


図-11 計画および実施工程

ライニング工の施工実績、作業員の配置表、歩掛りなどを今後の施工上、多少とも参考になると思われるので表-13, 14, 15に表示した。アスファルト・ライニングの施工量は次のとおりである。

日最大施工量	616 m ²
日平均施工量	310 m ²
月最大施工量	10,428 m ² (29 日)

表-13 施工実績ならびに稼働日数

工 事 名 期 間	法面安定処理工 (m ²)			アスファルト・ライ ニング工 (m ²)		
	一 次 転 圧	二 次 転 圧	乳 剤、 除草剤 撒 布	基 層 (5 cm)	表 層 (5 cm)	計 (10cmに 換 算)
昭和37年						
4 月	1,496	1,232	528			
5 月	9,240	9,328	8,800	7,128	528	3,828
6 月	7,392	5,016	5,104	6,512	8,888	7,700
7 月	6,512	9,064	9,152	9,944	10,912	10,428
8 月	1,760	1,760	2,816	2,816	6,072	4,444
計	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400

稼 働 日 数

工 種	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	計
一 次 転 圧	10	24	13	13	7	67
二 次 転 圧	5	25	12	15	4	61
乳 剤 撒 布	1	15	6	11	4	37
基層ライニング	—	17	11	14	5	47
表層ライニング	—	1	15	15	8	39

表-14 人 員 配 置 表

職 種	場 所					
	事 務 所	プ ラ ント	運 搬	舗 設	乳剤、除草 剤 撒 布	安 定 処 理
主 任	1					
技 術 者	2					
同 上 補 助	1					
事 務 員 (女)	1					
舗 装 工		2 (計 量)		6	1	
同		1 (ケツトル)				
人 夫		2 (骨材ピン)		8		4 (不陸均し)
同 (女)		3 (同)			2	6 (同)
同 (女)		2 (石 粉)				
特殊運転工				2 (ロ ー ラ)		2 (ロ ー ラ)
運 転 手	1 (連絡車)		4 (小型四輪)	3 (ウインチ クレーン)		1 (ウインチ)
炊 事 婦	2					

表—15 歩 掛 り 表 (100 m² 当たり)

工 事 名	職 種								
	世話役	舗装工	大 工	人 夫	機械工	電 工	鍛冶工	運転工	特 殊 運転工
準 備 工	0.06		0.15	0.88	0.09	0.02	0.01	0.01	0.01
法 面 安 定 処 理 工	0.22		0.02	5.74	0.01	0.03	0.02	0.32	0.61
ライニング工 (基層)	0.15	1.60		2.02	0.18			0.94	0.41
ライニング工 (表層)	0.14	1.37		2.78	0.19			0.99	0.55
計	0.57	2.97	0.17	11.45	0.47	0.05	0.03	2.25	1.58

注 1. 準備工は仮設ならびに跡片附共

2. 法面安定処理工は一次、二次転圧、除草剤・乳剤散布までとし、玉石除去などの荒仕上げは含まない。

試 験

工事に行なった各種管理試験の結果を要約して記す。

(1) 基盤の単位重量試験 (砂置換法)

5月から7月にかけて、13回測定した結果、基盤の締固め度はいずれも91.5～99.9%であった。

(2) 安定度、密度、空隙率 (マーシャル試験法)

表層 68, 基層 48 の試料による試験結果は以下のとおり。

安定度: 表層 1,410 lbs (平均値)

17.7% (変動係数)

基層 1,314 lbs (平均値)

26.1% (変動係数)

密 度: 表層 2.187 (平均値)

1.33% (変動係数)

基層 2.175 (平均値)

1.53% (変動係数)

空隙率: 表層 1.7～6.3% (68 試料中 5% を超えたものは 5 個)

上記のとおり安定度自体の数字としては、満足すべき値であるが、基層については変動係数がやや多すぎる。密度に関する試験結果は非常に良好であり、したがって空隙率も十分に満足すべき値といえる。

(3) アスファルト (含有) 量

アスファルト抽出試験 (試料数: 表層 32, 基層 20) の結果は次のとおり良好な成績を示している。

表層: 9.67% (平均値), 4.96% (変動係数)

基層: 7.54% (平均値), 3.85% (変動係数)

(4) 混合温度

アスファルト・プラントにおける標準混合温度は170°Cと規定してあるが、544 試料について実際に測定した温度は次のとおりきわめて優秀な管理が実施されたことを物語っている。

166°C (平均値), 10% (変動係数)

(5) 転圧温度

標準転圧温度は130°Cであるが、実際に測定された転圧

温度は、かなりのバラツキを示した。その原因は基層混合物の敷きならしにシュートを使用したため、転圧にかかるまでに相当の時間の経過があったためである。フィニッシャを使用した表層では、そういう懸念はなかった。2,556 回の測定を行なった結果は次のとおりである。

116.1°C (平均値), 14% (変動係数)

(6) 透水係数

33 箇所について測定を行なった結果、一般表層では大体において 10^{-7} ～ 10^{-8} , 21 箇所について行なった表層のラップ・ジョイント部では 10^{-8} ～ 10^{-7} の値を示し、十分満足すべき結果を示した。

(7) 粗度係数

トランジスター微流速計とプライス流速計を使用して測定した結果は表-16 のとおりである。設計値 0.015 に対して、実測値は大体において 0.014 程度とみなして大差がないものと思われる。

表—16 粗 度 係 数

項 目	流 量 計	
	トランジスター 流 量 計	プ ラ イ ス 流 量 計
水 深 (m)	5.16	5.22
流水断面 (m ²)	63.571	64.937
潤 辺 (m)	25.072	25.345
径 深	2.536	2.562
勾 配	1/12.000	1/12.000
平均流速 (m/sec)	1.179	1.201
流 速 (m ³ /sec)	74.950	78.501
粗度係数 (n)	0.0144	0.0141

む す び

以上本別発電所第 2 号開きょの設計と施工について述べたのであが、開きょに始めてアスファルトを採用した試みは、十分に満足すべき成果をあげ得たものと確信している。ことに筆者は同時にセメント・コンクリート開きょを施工

した経験からも、卒直にいてあらゆる面でアスファルト開きょの卓越性を認めざるを得ない。今回の工事を振りかえって、今後の設計・施工に当たり参考となるべき諸事項を列挙して置きたい。

(1) 基盤材料となる切込砂利の品質は、よく吟味をして排水効果を阻害せしめないよう注意が肝要である。本別の場合、シルト分を5%以下に抑えたが、場所によってはシルト分の多い所もあり、排水機能に支障を与える傾向や、排水管自体が詰まる懸念が見られた。

(2) 排水管はなるべく径の大きな、強度をもったものを使用すべきである。コンクリート管では転圧その他の工事中にこわれるおそれがあるので、鉄管に穴をあけて使用したほうが良い。あまり径が小さいとすぐに土砂や泥でつまってしまう懸念がある。

(3) 基層アスファルト・コンクリートは、その役割からいてその配合や施工を、もっと割り切って表層と区別したほうが良さそうである。その場合にはプラントの使用計画、舗設順序と舗設方法などについて、あらかじめよく検討をして置かねばならない。フランスの palaminy 水路に使用した基層混合物の配合は次のとおりである。アスファルト2.8~3%、骨材(5~15mm)98%、フィラー2%で、砂は全然使用しない。

(4) いかなる構造にせよ、開きょはなるべく断水をしなことが原則であるが、その使用目的によっては毎日充・断水を繰り返さざるを得ない。そういう場合に対処するため、開きょの末端付近に簡単な門扉設備を設けて、少なくとも1m位の水位を保持せしめ完全断水状態を極力回避するような考慮も必要である。

(5) また、インバートには30~50mピッチに、地下水もしくは浸透水の水脈が存在する可能性がある場合はその部分に集中的に、チャツキ・バルブを埋め込むことを忘れてはならない。地下水位の比較的高い所においてはとくに然りである。

(6) 水路内の清掃乃至は断水時間の調節などに対応できるように、開きょの末端付近に排砂門を設置することも必要である。とくに水路の延長が長い時には有効である。

本開きょ工事は所期の目的を果して、昭和37年8月に通水をすることができたのであるが、これは偏えに基礎的研究以来引続き御指導をいただいた板倉教授をはじめ、工事の全期間を通じ終始熱烈な建設意欲と、旺盛な責任観念に徹して昼夜を分たず建設に従事された鹿島建設と世紀建設の業者の方々ならびに当建設所の従業員各位の御協力の賜であり、ここに深甚の謝意を表明する次第である。今後この種アスファルト混合物が、ますます水理構造物の分野に進出利用されるであろうことを切望して、本稿を終わることに致したい。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱。
- 2) 技術資料(18号)：本別発電所工事について。
- 3) 板倉：アスファルト水路覆工に関する基礎的研究報告書。
- 4) 世紀建設(株)：第2号開きょ舗設試験報告書。
- 5) 木村 稔：開水路のアスファルト・コンクリート・ライニング(発電水力 No. 58)。
- 6) 本別建設所試験室：2号開きょ、アスファルト試験について。