

アスファルト

第17巻 第95号 昭和49年2月発行

石油危機の行方	1
アスファルト混合物のシックリフト工法 における内部温度降下の試算	北村幸治 2
〈道路技術者のアスファルト講座〉 第4回 アスファルトの粘弾性	阿部頼政 6
〈文献紹介・OECD Road Research Group〉 コンクリート橋床版の防水について・その1	牛尾俊介 13
アスファルト三軸圧縮試験用供試体 の成形法に関する実験	荻野正嗣 川上正史 吉本 彰 23
〈写真レポート〉 シックリフト工法による アスファルト安定処理路盤に関する試験舗装	28
リフレクション・クラックの防止 <AI."ASPHALT"より>	5

95

石油危機の行方

昨年10月、OAPEC諸国による原油供給削減が外電によって報ぜられた。対イスラエル戦争遂行の武器として石油を使うというのである。しかし、11月上旬をすぎても、現地での原油の船積は至極順調に行なわれていた。果して言葉通りのカットが行なわれるのかどうか疑う向きも多かった。アラブ諸国の決意と結束を軽くみていたわけである。ところが11月中旬に入るや、産油国の大命を受けて、メジャー各社は対日原油供給を大幅にカットする旨通告してきた。その内容は各社によってまちまちであったが、20～28%，平均25%強という驚くべき高率のカットであった。中でも日本資本のアラビア石油の生産する原油の対日カット率は50%に近いものであった。更にこれに追討ちをかけるように、12月以降も毎月5%づつカット率を強化する旨の宣言すら出されたのである。このような悲観的空気の中で、昭和48年度下期すなわち48年10月～49年3月の原油の総輸入見通しが、通産当局の手によって行なわれた。これによると下期通期で当初計画に対し20%減、特に49年1月～3月では28%減という推計となつたのである。

こんなことをいうと叱られるかも知れないが、たかがトイレットペーパー・や洗剤の不足ですら日本国内がひっくり返るような騒ぎになるお国がらで、この通りの原油供給カットが行なわれたとしたら、今頃は戦後最大の恐慌状態に陥り、全産業がマヒするだけでなく、自衛隊の保安出動すら必要とすような騒乱状態が発生していたことであろう。

幸いにも、事態は更に三転する。供給削減のしわよせが最も甚だしいと予想された12月の原油入着量は、初期計画に対しては程遠いとしても、カットのなかった10月並みの約2,500万升に達し、本年1月以降も非公式見通しでは、当初計画に対し1桁の%程度の減少に止まる見通しとなった。この間の経緯は49.1.30日付日経一石油危機の裏表一に詳述されているので省略するが、各精製会社が既成ルート以外の原油手当に必死に努力したことが主因と推定されている。これで、石油不足の峠は一応こしたことになる。

しかし、これで総てが終ったのであろうか。事実はそう簡単ではない。あとに残ったのは原油の高価格である。昭和49会計年度に原油輸入のため必要な外貨は160～200億ドルと推定されている。

これは本年度の総輸入金額の2分の1に達する巨額のものである。しかし、一部銀行筋によれば、有能で勤勉な日本の産業人が、相当の努力をしさえすれば、この程度の余分の外貨を稼ぎ出すことは、そう難しいことではないし、49会計年度では経常収支でトントン、50会計年度では長期資本収支の赤字すら大部分穴うめできると見通す向きもある。しかしこれはあまりにも楽観的に過ぎるのでなかろうか。

今回の値上げで産油国に流入する外貨は、年間で600～800億ドルと推定されている。これは西欧諸国の総手持外貨700億ドルに匹敵するものである。毎年、これだけの外貨が産油国に流入し、しかも、これを世界各国へ還流させる具体案は今のところまったく見当らない。せっかく日本の産業人が、高品質、低価格の輸出商品をつくり、世界各国もまたこれを買いたいと思っても、買うべき外貨がないのである。つまり狭いナショナリズムの中で各国が輸出入バランスの調整に狂奔しても世界的視野では何の解決策にもなっていないのである。産油国に蓄積された外貨を世界各国へ還流させるには相当手荒い政治的手段が必要となろう。悲観的な見方ではあるが、その過程で世界的な規模での政治危機を迎える、かつ再三の石油危機を伴うことはさけられそうもない。

6～10年先を考えれば、代替エネルギーの進出が石油不足を補って余りがあるであろう。現在の原油価格は考えられる代替エネルギーのコストを既に大幅に上回っているので、その交替は著しく促進され、かつ原油価格も低い方へ訂正されるに違いない。もともと貴重な石油を単に燃やすために使うのはもったいない話であり、わが田に水を引くようであるが、石油化学やアスファルトのような原材料として使用されるのが本来の姿である。

アスファルト混合物の シックリフト工法における内部温度降下の試算

北 村 幸 治*

1. まえがき

アスファルト混合物のシックリフト工法においては、リフト内部温度の降下が遅いためにその安定性が保たれず、交通開放までにかなり長時間を要し施工が手待ちになってしまふことがあること、温度が下がり切らぬうちに交通開放することによって、わだち掘れや波を生じて平坦性を悪くすることがある——ことなどが問題となつてゐる。

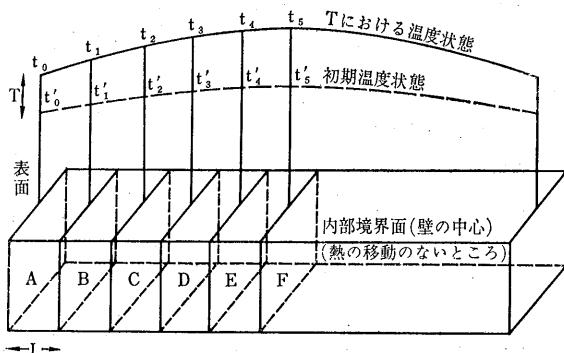
アスファルト混合物の内部温度変化の計算法はセメントコンクリートの場合と同様に、R. E. Glover 氏の厳密解法¹⁾が適用できるものと考えられるが、実際の舗装工事においてはその条件が複雑多岐にわたって理論計算の仮定に全く合致することが少なく、厳密解を行つてもその効果は疑問であり、R. W. Carlson 氏の簡易計算法²⁾で実用上十分その目的を達し得るものと考えられるので、ここにその紹介と試算例を示すものである。

2. アスファルト舗装における内部温度変化の簡易計算法

いま無限に拡がる壁が左右から対称に冷却されるものとし、その壁から単位面積を有するブリズムを取り出して考える。図-1 参照。したがつて熱の流れる方向は A F 方向のみで他の方向には熱の移動がないものとする。

スペースインターバル (L) の間の温度差を Δt とすれば、タイムインターバル (T) の間に逃げる熱量 (Q)

図- ブリズムの内部温度分布



* 世紀建設（株）技術部

$$\text{は、熱の伝導の式により } Q = k \cdot \Delta t \cdot a \cdot T / L \dots \dots (1)$$

温度差と面積 (a) に比例し、厚さ (L) に反比例する。比例常数 k は熱伝導率 ($\text{kcal} / m \cdot h \cdot ^\circ C$) といふ物質により温度により異なる常数である。 $\Delta t / L$ は温度勾配である。 a を単位面積にとると $Q = (k \cdot T / L) \cdot \Delta t \dots \dots (2)$ この熱量の移動によるある点の温度変化 ($\Delta t q$) は Q をアスファルト混合物の熱容量で除したものに等しい。

$$\Delta t q = Q / C \cdot W \cdot L = (k \cdot T / C \cdot W \cdot L^2) \cdot \Delta t \dots \dots (3)$$

$k / C \cdot W = h^2 (m^2/h)$ をその物質の熱拡散係数といふ、温度の下降(上昇)の量に関する常数である。 $C (\text{kcal} / kg \cdot ^\circ C)$ は比熱で、 $W (kg/m^3)$ は密度である。 Q は温度の減少する方向に流れるために (3) 式の右辺には負号をつける。 $\Delta t q = -(h^2 \cdot T / L^2) \cdot \Delta t \dots \dots (4)$

$$S = L^2 / h^2 \cdot T \text{ とおけば } \Delta t q = -\Delta t / S \dots \dots (5)$$

これに T 間の太陽ふく射熱による温度変化 $d\theta$ を加えると一般アスファルト混合物の温度変化を示す式となる。

$$\Delta t q = -\Delta t / S + d\theta \dots \dots (6)$$

いま F 面における温度差を求める

$$\frac{t_5 + t'_5 - t_4 - t'_4}{2} + \frac{t_5 + t'_5 - t_6 - t'_6}{2} \\ = 2 \left(\frac{t_5 + t'_5 - t_4 - t'_4}{2} \right)$$

なぜならば F 面は壁の内部境界面であるから左右対称であり $t_4 = t_6$, $t'_4 = t'_6$ であるからである。つぎに

(6) 式を F 面に適用すれば

$$\Delta t_5 = t_5 - t'_5 = -2 \times \frac{t_5 + t'_5 - t_4 - t'_4}{2 \cdot S} + d\theta \text{ 変形すれば}$$

$$-2t_4 + (2S+2)t_5 = 2t'_4 + (2S-2)t'_5 + 2Sd\theta = C_5$$

$$\text{ただし } C_5 = 2t'_4 + (2S-2)t'_5 + 2Sd\theta$$

$$t_5 = \frac{C_5 + 2t_4}{2S+2} = \frac{C_5}{2S+2} + \frac{t_4}{S+1} = L_5 + Z_5 t_4$$

$$\text{ただし } Z_5 = \frac{1}{S+1} \quad L_5 = \frac{C_5 Z_5}{2}$$

E 面に (6) 式を適用すれば

$$\Delta t_4 = t_4 - t'_4 = -\frac{t_4 + t'_4 - t_3 - t'_3}{2S} - \frac{t_4 + t'_4 - t_5 - t'_5}{2S} + d\theta$$

$$\text{変形すれば } -t_3 + (2S+2)t_4 - t_5 = t'_3 + (2S-2)t'_4 + t'_5 + 2Sd\theta = C_4$$

$$\text{ただし } C_4 = t'_3 + (2S-2)t'_4 + t'_5 + 2Sd\theta$$

$$t_4 = \frac{C_4 + L_5 + t_3}{2S+2-Z_5} = \frac{C_4 + L_5}{2S+2-Z_5} + \frac{t_3}{2S+2-Z_5} = L_4 + Z_4 t_3$$

$$\text{ただし } Z_4 = \frac{1}{2S+2-Z_5}$$

$$L_4 = (C_4 + L_5)Z_4$$

D面に(6)式を適用すれば
 $t_3 = L_3 + Z_3 t_2$

ただし

$$C_3 = t_2' + (2S - 2)t_3'$$

$$+ t_4' + 2Sd\theta$$

$$Z_3 = \frac{1}{2S+2-Z_4}$$

$$L_3 = (C_3 + L_4)Z_3$$

一般に $t_r = L_r + Z_r t_{r-1} \dots (7)$

$$C_r = t'_{r-1} +$$

$$(2S - 2)t'_r + t'_{r+1}$$

$$+ 2Sd\theta \dots \dots (8)$$

$$Z_r = \frac{1}{2S+2-Z_{r+1}}$$

$$\dots \dots \dots (9)$$

$$L_r = (C_r + L_{r+1})Z_r$$

$$\dots \dots \dots (10)$$

内部境界面においては

$$t_n = L_n + Z_n t_{n+1}$$

$$\dots \dots \dots (11)$$

$$C_n = 2t'_{n-1} + (2S - 2)t_n' + 2Sd\theta \dots \dots (12)$$

$$Z_n = \frac{1}{S+1} \dots \dots \dots (13)$$

$$L_n = \frac{C_n Z_n}{2} \dots \dots \dots (14)$$

したがって、舗装の厚さ、表面の温度状態、初期における内部の温度状態、熱拡散係数、太陽のふく射熱による温度上昇の量が解っているならば、その舗装体の温度状態を計算することができる。

LもTも細かくすればより正確な温度分布状態を求めることができるが、大略求めてプロットすれば大凡の状態を知ることができ、また十分満足できるであろう。

リフトの物質が異なる場合においても、ある時間内にAという物質から流れる熱量は、同一時間内にBという物質に流入する熱量に等しいという、熱の流れの連続性が成立する。そのときはLをつぎのごとく選定すると

$$\text{よい。} \quad \frac{L_B}{L_A} = \frac{k_B}{k_A} \quad L_B = \frac{k_B}{k_A} \cdot L_A$$

境界面におけるSは両物質の平均をとる。 $S_{AB} = \frac{S_A + S_B}{2}$
 まずLとTを決定し、Sを計算する。内部境界面について(13)式により Z_n を求め、他の点については(9)

表-1 溫度変化計算に使用した道路材料の熱特性

材 料 名	熱伝導率(k)	比 熱(c)	寄 度(ρ)	熱拡散係数(k^2)
アスファルト 混 合 物	0.90Kcal/m·h·°C	0.25Kcal/kg·°C	2,350kg/m³	0.0015m²/h
路 床 土	1.80 "	0.33 "	1,800 "	0.0030 "

表-2 ブルデプスアスファルト舗装のシックリフト工法における内部温度変化計算表

x	S	Z	t_r	1 H 後			2 H 後			3 H 後		
				C_r	L_r	t_r	C_r	L_r	t_r	C_r	L_r	t_r
0.20	1.67	0.194	105	249.70	64.30	65.27	186.87	50.10	51.07	5.0	↑	↑
0.15	1.67	0.194	105	340.70	81.80	94.49	291.35	71.40	81.30			
0.10	1.67	0.194	105	340.70	81.25	99.58	324.87	76.60	92.40			
0.05	1.67	0.193	105	340.70	78.00	97.20	307.48	69.90	87.75			
0	2.50	0.145	105	424.50	63.80	77.90	355.64	55.00	67.70			
-0.10	3.33	0.117	4.5	129.97	15.62	24.74	197.17	23.75	31.67			
-0.20	3.33	0.117	4.0	26.66	3.48	3.77	45.81	5.71	9.42			
-0.30	3.33	0.117	3.5	23.33	3.03	3.47	22.97	3.00	4.10			
-0.40	3.33	0.117	3.0	20.00	2.59	3.00	19.98	2.59	3.07			
-0.50	3.33	0.117	2.5	16.66	2.15	2.50	16.67	2.15	2.50			
-0.60	3.33	0.117	2.0	13.33	1.71	2.00	13.34	1.71	2.00			
-0.70	3.33	0.117	1.5	10.00	1.27	1.50	10.01	1.27	1.50			
-0.80	3.33	0.117	1.0	6.66	0.83	1.00	6.68	0.83	1.01			
-0.90	3.33	0.117	0.5	3.33	0.40	0.51	3.52	0.42	0.54			
-1.00	3.33	0.117	0	1.00	0.06	0.12	1.58	0.09	0.15			

式により、Z_rを求める。内部境界面を深くとすればZ_nは一定となるので(9)式より

$$Z_n = \frac{1}{2S+2-Z_n} \quad Z_n = (S+2) - \sqrt{S(S+2)}$$

となるが、(13)式よりZ_nを求め、遂次求めたZ_rが一定の値となった値に修正してもよい。内部境界面としては地下7~8mで地中温度が年平均温度に等しくなり熱の不動点と考えられるが、舗装体の日温度変化の検討としては、路床面下1mぐらいを境界面として差し支えないようである。

T=0における温度状態を定め、内部境界面を0°Cとなるように換算して計算する。

(12), (8)式によりC_rを求める。太陽のふく射熱による温度上昇は簡単のためには省略する。C_r, Z_rにより(14), (10)式よりL_rを求め(11), (7)式よりt_rを求める。

太陽のふく射熱による温度上昇については、日射量150kcal/m²·°Cという資料³⁾があり、混合物舗設開始時刻からの日射量によって、上昇温度を求め、計算に導入すればよい。しかし、天候と時刻とによって変化がはげしい。太陽のふく射熱によるアスファルト舗装表面の温度上昇の最大は、夏季最高温度+30°C程度がわが国

の実績である。

3. アスファルト混合物のシックリフト工法における内部温度降下の試算例

路床土上に、直接アスファルト混合物を20cm厚一層と30cm厚一層とを施工する場合について考えるものとし、20cm厚は真夏に、30cm厚は真冬に施工するものとする。

温度変化を計算するための道路材料の熱特性を表-1のごとく仮定するものとする。

時間間隔（T）を1時間とし、アスファルト混合物の厚さ間隔（L_a）を0.05mとすると、路床土の厚さ間隔

$$(L_e) \text{ は } L_e = \frac{k_e}{k_a} \cdot L_a = 0.10 \text{ m} \text{ となる。}$$

路床土の S_e = L²e / h²e · T = 3.33

アスファルト混合物の S_a = L²a / h²a · T = 1.67

路床土とアスファルト混合物との境界では

$$S_{ea} = \frac{S_e + S_a}{2} = 2.50$$

内部境界面では、Z_n = (S+1) - √S(S+2) = 0.117

Z_n 以降の計算例を表-2 に示す。C_r, L_r は内部境界面より表面に向って、t_r は表面より内部境界面にむかう順序で計算を進める。

計算結果を図-2, 図-3 に示す。

4. アスファルト混合物の熱特性

前述の計算を行なうためには、舗装体構成材料の熱伝導率、比熱などの熱特性が明らかでなければならない。セメントコンクリートやアスファルトコンクリートのような混合物の熱特性は、その構成材料のそれぞれの熱特性に各構成重量百分率を乗じた積の和をもって、その熱特性とすることができますが、空げきや水分などの影響によって、かなり大雑把な値となることはまぬがれない。また熱特性は温度によって若干変化するものである。

以下若干の資料による道路材料の熱特性を示す。

(1) Bitumen-Teere-Asphalt-Peché, 1969-5, (道路建設, 1970, 3月号, P.55 “熱の伝導からみたわみ性舗装の厚さ”, I. D. Papo.)

材 料	熱伝導率(kcal/m·h·°C)
アスファルトコンクリート	0.90*
アスファルトマカダム	0.80
歴青安定処理	0.65
川砂利	1.20
凍上抑制層(砂利)	1.60
湿った粘土	1.80*

(* : 前述の計算に使用)

(2) Third International Conference on the

図-2 20cm厚を1層で夏季に施工した場合の内部温度変化

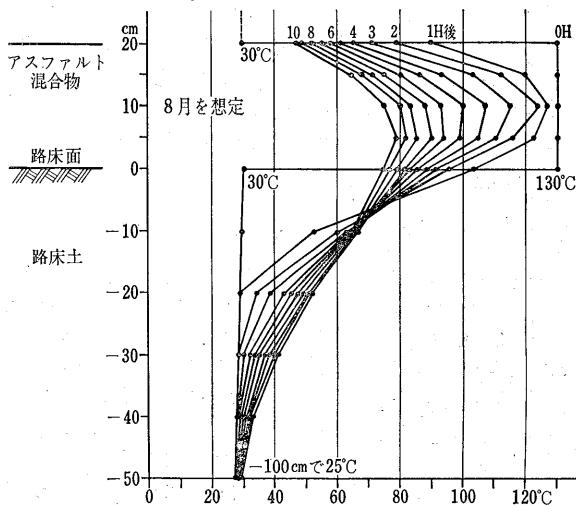
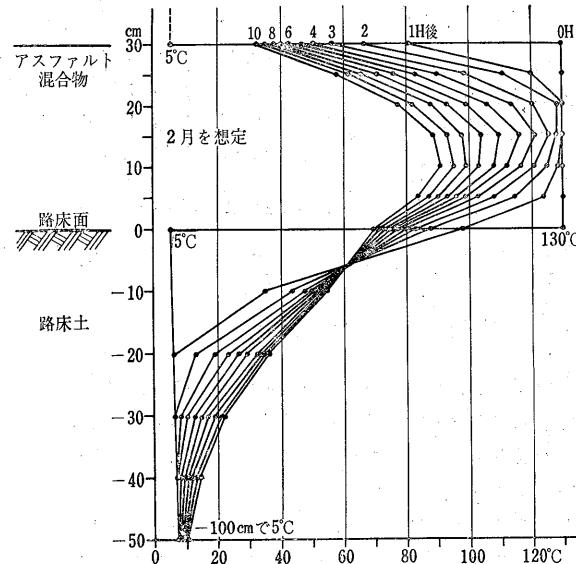


図-3 30cm厚を1層で冬季に施工した場合の内部温度変化



Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, P. 120. "German Experiences with the Replacement of Granular Frost Blankets by Other Types of Construction," H. Proksch.

材 料	密 度 (t/m ³)	熱伝導率 (Kcal/m·h·°C)
-----	----------------------------	-----------------------

アスファルトサーフェス 2.66 1.07~1.18

アスファルトバイインダー 2.72 0.91~1.05

アスファルトベース 2.55 0.72~0.80

(3) 土木試験所報告第26号, 昭和37年3月, 北海道開

発局土木試験所、『北海道における道路の凍上・凍結深さおよび置換率に関する研究』、伊福部宗夫

材 料	熱伝導率 (kcal/m·h·°C)	比熱 (kcal/kg·°C)	密度 (t/m ³)
アスファルト舗装	1.26	0.212	2.12
切込砂利	0.935~1.296	0.227~0.275	1.8 (含水比 0.075~0.14)
土	1.37~2.09	0.40~0.508	1.0~1.4 (含水比 0.30~0.45)

5. あとがき

アスファルト混合物は温度条件によって性状が大きく変化する料材であるにもかかわらず、その熱特性に関する実測資料の少ないことはまことに残念である。構造設計における弾性係数の推定にも、表層に近いアスファルト混合物の塑性変形に対する抵抗性の推定にも、さらには表層混合物の温度に対する敏感性にも関係し、特に凍

上の問題に対しては全面的に道路構成料材の熱特性にかかるものである。

かかる熱特性に関する基礎的な資料などの地道な整備が行なわれることを望むとともに、本稿のようなものでも舗装の温度条件の解明に、いくらかでも役立たせることができるとならば幸いなことである。

参考文献

- 1) Bureau of Reclamation Boulder Canyon Project Final Reports, Part VII, Bull. 3, "Cooling of Concrete Dams."
- 2) R. W. Carlson, "A Simple Method for the Computation of Temperatures in Concrete Structures." J. A. C. I. Nov. ~ Dec. 1937.
- 3) 第10回北海道開発局技術研究発表会、"アスファルト舗装体の温度変化について"、北海道開発局土木試験所、昭和42年2月

Stopping reflective cracking

リフレクション・クラックの防止

A. I. "ASPHALT" JULY 1973

舗装体に発生するリフレクションクラックは避けることの出来ないこととして、多くの技術者の頭痛の種であり、手作業ではなく機械施工で路盤が建設されるようになってから、リフレクションクラックは常につきまとつ問題であった。

ひび割れが入った舗装体の補修方法として、注入容器を使用した充填方法から、全面シール方法などを経て加熱アスファルトのオーバーレイ方法に至るまで、広範囲にわたる数多くの方法が知られている。しかし、最近まで、これらの方法ではクラックは、補修後さらに進行するのを完全に防止することは出来なかった。

またオーバーレイされた場合でも、旧舗装体のクラックが極端な場合には、数日間経過しただけで必ずオーバーレイ表面に表われてきた。

テネシー州で実験され、アルカンザス州で採用されたオーバーレイ方法は、発生するクラック 1つ当たりに 1 ドル払っても良いといわれるほど、信頼性のあるすばらしい結果を収めている。

このオーバーレイ方法は、かつて手作業で路盤が建設された時代を想起したものにすぎない。その当時の路盤施工では、路床に粗骨材を敷きスチームローラで締め固め、表面全体に加熱アスファルトを注入し、アスファルトで大きな空隙を埋め骨材を有効に固める方法がとられていた。この新しい方法では、当時使用された開粒度アスファルト混合物は、路床にかかる応力のくり返しの影響によく耐えうる事実を考え直し、オーバーレイに使用される混合物の組成に反映させたものである。

アルカンザス州道路部では開粒度混合物の概念を考慮し、20年経過した道路の徹底的な調査を近接州で行ないその後イボンからファリンデエルまでの 167号線13マイルのオーバーレイ工事仕様書を1970年に決定した。

最近行なわれた工事は、マッククリントンのファヤッティビル株式会社の手で行なわれ、アルカンザス大学が所在するファヤッティビル地区の国道71号線10マイルを使用し行なわれた。この国道71号線はこの州でもっとも交通量の大きい区間であり、理想的なオーバーレイ混合物を見い出すため現場実験が必要であった。

現在では古くなったアスファルトコンクリートやひび割れの発生したコンクリート舗装のオーバーレイ用混合物として、この大きな空隙率をもつ混合物は、舗装体にクラックの広がりをおさえるのに充分な機能を果すものとして評価されている。

〔下村敏男訳 シエル石油土木建設部〕

モデルの特徴をはっきりと理解しておく必要がある。

3. マックスウェルモデル

(1) 一定歪を与えた場合

いま、図-3(a)のマックスウェルモデルに一定歪 ε_0 を急激に与えて、そのまま保つ場合を考えよう。ダッシュボットは一種の制動機であるから、この急激な歪にはついていけず、バネが伸びることにより瞬間的なつりあいをたもつ(b)。

すなわち(d)図において、歪 ε_0 を与えられた時刻 $t=0$ で応力は瞬間に $\sigma_0 = E\varepsilon_0$ となる。その後、バネの張力によりダッシュボットが伸びはじめ、それに応じてバネにかかる応力はしだいに小さくなる。ダッシュボットの伸びる速度は応力に比例するため、応力が小さくなれば速度もゆっくりになる。したがってまたバネにかかる応力の減り方もゆっくりになる。この相互作用のくりかえしで応力は時間がたつにつれて限りなくゼロに近づいて行くわけである。この応力がしだいに(指指数関数的に)減っていく現象が“応力緩和(stress relaxation)”と呼ばれるものである。

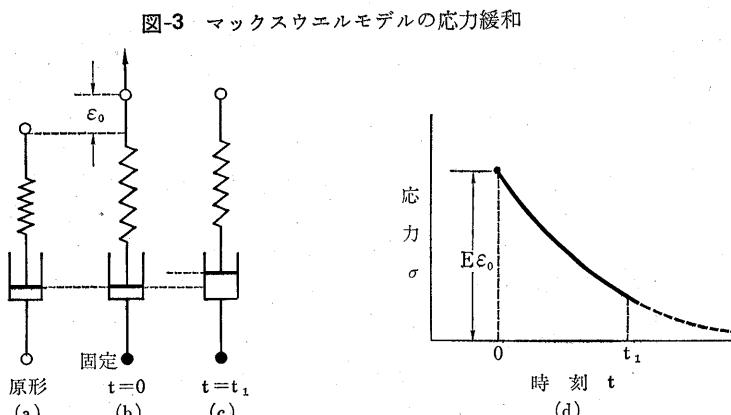
以上は、バネとダッシュボットをながめながら想像をまじえて考察したものであるが、次に式から応力緩和の現象をとらえてみよう。前に示した弾性変形と粘性流動の式をもう一度書きなおすと、

$$\text{弾性変形} \quad \varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E} \quad (3)$$

$$\text{粘性流動} \quad \frac{d\varepsilon_2}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} \quad (4)$$

ここで ε_1 、 ε_2 はそれぞれバネとダッシュボットの変形量であるが、マックスウェルモデルの全変形量 ε はこの二つの和としてあらわされる。すなわち

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (5)$$



両辺を時間 t で微分すると

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_1}{dt} + \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (6)$$

(3)式の両辺を t で微分すれば

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} \quad (7)$$

(4)と(7)を(6)に代入すると

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (8)$$

(8)式がマックスウェルの基礎方程式と呼ばれるものである。このように微分方程式の形で変形特性を書きあらわせるということは非常に学問体系の発達にとって重要なことであり、またモデルを仮定した意味もあるわけである。

これまで見てきた例のように、瞬間に一定の変形を与えて、そのままその変形を保たせる場合は、時間によって全体の変形量は変化しないから $\frac{d\varepsilon}{dt}$ はゼロである。したがって(8)式は次のようになる。

$$\frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta} \sigma = 0 \quad (9)$$

これは、微分方程式のなかでも最も簡単な部類に属する同次線形方程式で、初期条件($t=0$ で $\sigma=\sigma_0$)を考慮すれば(9)式の解は次のように与えられる。

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E}{\eta} t} \quad (10)$$

(eは自然対数の底)。

この式のあらわす σ と t の関係がすなわち図-3(d)の曲線となるわけである。ここで $\frac{\eta}{E}$ を τ_M と書くと

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau_M}} \quad (11)$$

いま、 $t=\tau_M$ とすると $\sigma = \frac{1}{e} \sigma_0$ とな

り、応力は最初の $\frac{1}{e}$ になる。すなわち τ_M は応力が $\frac{1}{e}$ になるまでの時間をあらわし、緩和時間(relaxation time)と呼ばれている。

ここで図-3(d)にもどり、時刻 t_1 で変形を与えていた外力をとりさった場合を考えてみる。バネは外力がなくなれば瞬間にもとの長さにもどってしまう。しかし、ダッシュボットの方は流動がとまるだけであって、もうもとの状態に戻ること

はない。つまり変形したままの状態でストップするわけである。これをエネルギーの面からみれば、変形を与えるために加えられた外力によるエネルギーは、ダッシュポットを動かした分だけ熱として消費されたことになる。

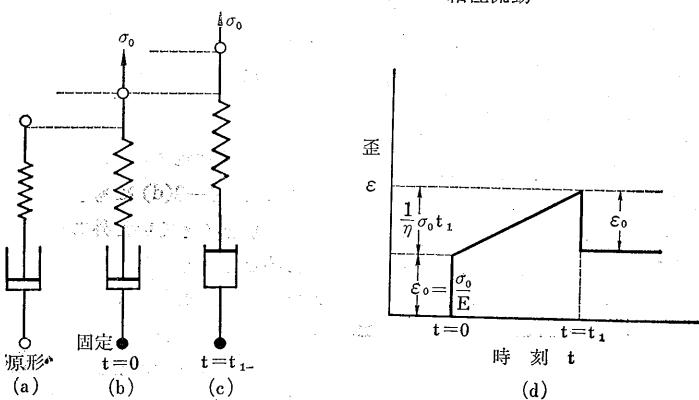
以上の考察をアスファルトにあてはめてみよう。常温または低温におけるアスファルトを想定してほしい。いま、このアスファルトを指で急激に押して一定量の変形を与えようとすると、押した瞬間、固体のような反力が指にかかる。これが瞬間弾性に相当する。しかし一定量変形させて、それ以上押すのをやめれば、反力はほとんど指に感じられなくなる。つまり応力が緩和されたことを示す。さらにその後アスファルトから指をはなしてみると、へこみが残るはずである。これがモデルでのダッシュポットの変形に相当するわけである。

以上のように比較してみると、アスファルトはたしかにマックスウェルモデルであらわされるような現象を示すことがわかる。しかし、これはアスファルトの性質の一端であってマックスウェルモデルでアスファルトの力学的性質が全部書き表わせるということではない。

(2) 一定応力を与えた場合

マックスウェルモデルに一定の応力を与えた場合について簡単に考察してみよう。図-4(a)のモデルに $t=0$ で応力 σ_0 を与え(b), 時刻 t でこの応力をとり去ったとする。(b)の場合、直列であるからバネにもダッシュポットにも σ_0 がかかるが、バネは瞬間に $\epsilon_0 = -\frac{\sigma_0}{E}$ だけ伸び、ダッシュポットは変形を示さない。しかし、その後ただちにダッシュポットの両端の伸びがはじまる。これは粘性流動であるから、変形は時間に比例して大きくなる。時刻 t_1 で応力が除去されると、バネはまたもとの長

図-4 マックスウェルモデルの粘性流動



さにもどり、ダッシュポットは動かなくなる。以上の様子を ϵ と t の関係で示せば図-4(d)のようになる。ここでもやはりダッシュポットの変形した $\frac{1}{\eta} \sigma_0 t_1$ という量は永久変形として残ってしまう。

このような現象がアスファルトでも見られることは言うまでもなかろう。

これまで急激に一定の応力や歪を与えた場合を考えたが、いざれにおいてもマックスウェルモデルは最初にバネの部分で瞬間に弾性的な挙動をとった。これは瞬間弾性といわれ、マックスウェルモデルの特徴の一つになっている。これを数式から考察するために、基礎方程式をもう一度書いてみると

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここで瞬間的な変形の場合に、 $\frac{d\sigma}{dt}$ にくらべて $\frac{\sigma}{\eta}$ が無視できるとすれば、(8)式は次のように書ける。

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} \quad \dots \dots \dots (9)$$

両辺を積分すると

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + C \quad (C \text{ は積分定数}) \quad \dots \dots \dots (10)$$

$\epsilon = 0$ のとき $\sigma = 0$ を代入すると $C = 0$ が得られる。したがって(10)式は次のようになる。

$$\sigma = E \epsilon \quad \dots \dots \dots (11)$$

これはフックの法則である。つまり、急激な変形に対してはマックスウェルモデルは弾性体の挙動をするわけである。

逆に緩慢な変形に対してはどうであろうか。この場合は(8)式で $\frac{d\sigma}{dt}$ が非常に小さく $\frac{\sigma}{\eta}$ にくらべ無視できるとすれば、

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} \quad \dots \dots \dots (12)$$

となる。これは粘性流動のニュートンの法則である。つまり、緩慢な変形に対して、マックスウェルモデルは液体のような挙動をするわけである。この場合は応力をとりはずさない限り変形は無限に続く。これも瞬間弾性とならんでマックスウェルモデルの特徴と言える。

4. フォークトモデル

(1) 一定応力を与えた場合

フォークトモデル

(図-5(a)) に一定応力を与えた場合をまず考えることにする。いま、時刻 $t = 0$ で一定の応力 σ_0 を加え、時刻 $t = t_1$ まで保って急に応力をとり去る。時刻 $t = 0$ で応力がかかるた瞬間、バネは伸びよ

うとするが、ダッシュボットと並列につながれているため、ダッシュボットに制動され、マックスウェルモデルのように瞬間的な弾性変形をすることはできない。一方、ダッシュボットの方は、応力 σ_0 がかかる瞬間から

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma_0}{\eta} \quad (16)$$

なる粘性流動を起そうとする。しかし、ダッシュボットが $\Delta\varepsilon$ 変形したときにはバネもそれにともなって伸びているため、応力の一部 $\sigma_1 = E \Delta\varepsilon$ は、バネが受け持つことになり、ダッシュボットにかかる応力 σ_2 は $\sigma_0 - \sigma_1$ に減少し、したがって、またダッシュボットの伸びる速度も減少することになる。この相互作用をくり返していくと、 σ_1 はしだいに大きくなって σ_0 に近づき、 σ_2 はしだいに小さくなつてゼロに近づいていく。これにともなつて、変形量 ε は $\frac{\sigma_0}{E}$ に限りなく漸近するわけである。この

様子を、(d)に示した。次に時刻 t_1 で応力 σ_0 をとりさると、バネはそれまでに伸びた分だけもともどろくとする。しかし、この場合もダッシュボットが制動機となり瞬間に回復するわけにはいかない。前と同じような相互作用をくりかえしながら変形量は限りなくゼロに近づいて、無限時間後にもとの状態にもどることになる。

以上の経過のうちで、 σ_0 がかかっている場合の最終的変形量はバネだけが σ_0 を受け持ったときの変形量 $\frac{\sigma_0}{E}$ に等しく、 σ_0 を除去すれば最終的には変形量もゼロになることに注目してほしい。つまり、時間尺度を非常に長くとれば、マックスウェルモデルは弾性体と同じ挙動をするということである。ただ、ダッシュボットがあるためにある程度の時間的遅れを生ずるわけである。このような現象は瞬間弹性と比較して遅延弹性と呼ばれている。

次に基礎方程式からこれらの様子を考察してみよう。フォートモデルの場合、与えられた応力はバネとダッシュボットが分担して受け持つ。すなわち、それぞれの応力を σ_1 、 σ_2 とすれば

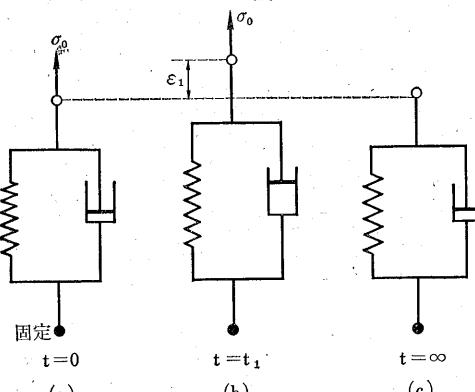
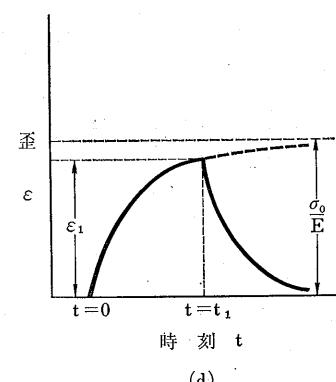


図-5 フォークトモデルのクリープ



$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$ (16)
また、 σ_1 、 σ_2 はそれぞれ、フックの法則、ニュートンの法則にしたがうから

$$\sigma_1 = E \varepsilon \quad (17)$$

$$\sigma_2 = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (18)$$

(17), (18)を(16)に代入すれば

$$\sigma = E \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (19)$$

これがフォートモデルの基礎方程式である。本例のように一定応力の場合には

$$\sigma_0 = E \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (20)$$

と書けて、 $t = 0$ で $\varepsilon = 0$ ゼロの場合、解は次のようになる。

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta} t} \right) \quad (21)$$

この式で $t = 0$ を代入すると $e^{-\frac{E}{\eta} t}$ が、1 となり、 $\varepsilon = 0$ である。つまり応力をかけた瞬間に変形がおこらない。

$t = \infty$ を代入すると $e^{-\frac{E}{\eta} t}$ がゼロとなり $\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E}$ が得られる。前にモデルで考察したように無限時間たってはじめて弾性変形が得られるわけである。(21)式のうち、 $\frac{\eta}{E}$ は緩和時間と対比して「遅延時間(retardation time)」と呼ばれ、記号 τ_F であらわされる。これを代入すると(21)式は

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_F}} \right) \quad (22)$$

となる。このように一定応力のもとにおける歪の時間的变化は一般にクリープ(creep)と呼ばれている。マックスウェルモデルの最大の特徴が応力緩和にあったのに対

し、フォーカトモデルの特徴はこのクリープで代表されるのである。

次に歪が ε_1 の状態からある瞬間に応力をとりのぞいてしまったとすると、(19)式に $\sigma = 0$ を代入して

$$E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} = 0 \quad \dots\dots\dots (23)$$

が得られる。これは(9)式と同じ形の微分方程式で解は

$$\varepsilon = \varepsilon_1 e^{-\frac{t}{\tau_F}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

となる。(なお、図-5(b)と一致させるためには、(21)式の t のかわりに $t-t_1$ を代入すればよい)この場合も歪は瞬間的にもともどるのではなく、指數関数的に減少していき、無限時間後に消滅することはいうまでもない。これをクリープ回復(creep recovery)と呼ぶ。

(2) 一定歪を与えた場合

フォーカトモデルに一定の歪を与えるようにしても、ダッシュポットが制動機の働きをするから、瞬間に与えることは不可能である。つまりフォーカトモデルは瞬間弾性を示さないのである。したがってまた応力緩和を考えることもできない。いま時刻 $t=0$ で応力をかけ始め $t=t_1$ で所定の歪 ε を得ようと一定応力をかけた場合は図-5(d)の経過をたどる。時刻 $t=t_1$ 以後、歪 ε_1 を一定に保つとすれば、応力はバネによる $E\varepsilon_1$ だけであり、時刻によって変動しない。つまり、一定歪に対してもそれに対応する応力も一定となる。言いかえれば、完全弾性体の挙動をするのである。

以上、粘弹性モデルでは最も基本的なマックスウェルモデルとフォーカトモデルの概要を説明した。応力や歪の条件を一定にしたのは簡単に考察できること、及び実

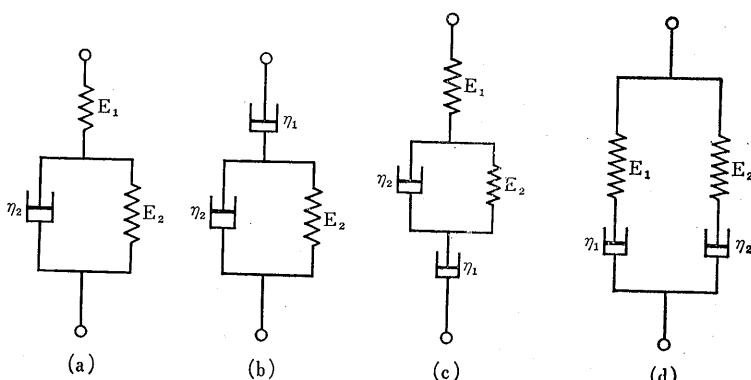
表-1 二要素モデルのまとめ

項目	種類	マックスウェルモデル	フォーカトモデル
Eと η の組合せ	直列	並列	
基礎方程式	$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta}$	$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$	
粘弹性の種類	液体的粘弹性	固体的粘弹性	
一定応力歪	{瞬間弾性 応力緩和}	{遅延弾性 クリープ}	
$\frac{\eta}{E}$	緩和時間 ($=\tau_M$)	遅延時間 ($=\tau_F$)	

際に粘弹性材料に対する実験は一定歪における応力緩和と一定応力のもとでのクリープを調べるのが主流になっているためである。もっとくわしい挙動を知りたければ、(8)(9)の基礎方程式を解いて考察すればよい。なお、マックスウェルモデルでは応力をとりさらないかぎり変形が限りなく続き、応力をとりさっても変形が回復しないので液体的粘弹性と呼ばれ、フォーカトモデルは外力をとり除けばもとの状態にもどることから固体的粘弹性と呼ばれている。すなわち、前者は粘性流動的な粘弹性、後者は弾性变形的な粘弹性を示すということである。これまで考察してきた両モデルの要点を表-1にまとめて示した。頭の中をこれで整理されるとよいであろう。

さて、実在の粘弹性物質がこれらのモデルと完全に一致するかというと、答は言うまでもなく「否」である。大部分の粘弹性物質はこれらのモデルの一方で説明できる一面を多少持っているが、このような単純なモデルすべてを近似することはできない。我々が問題とするアスファルトも例外ではなく、マックスウェル的、フォーカト的な性質を両方共持っていることが多くの研究者によって確かめられている。したがって、近似をよくするためににはさらに要素をふやし、三要素、四要素等のモデルが必要になるわけである。

図-6 三要素モデル(a)(b)と四要素モデル(c)(d)

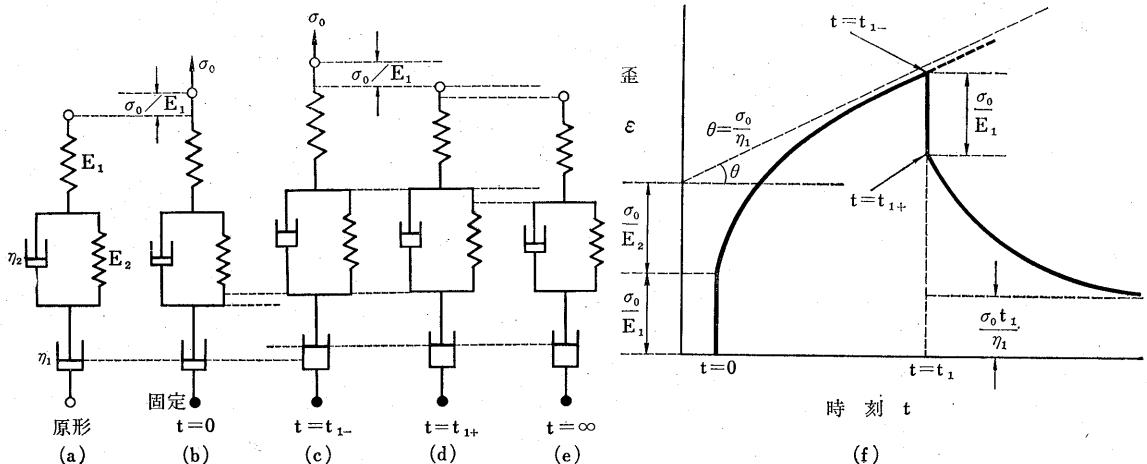


5. 三要素モデル、四要素モデル

バネとダッシュポットを三つ以上使用したモデルは、その組合せにより色々の形ができる。図-6にいくつかの例を示したが、アスファルトの性質を近似するには少なくとも四要素以上必要であると一般に言われている。

そこで図-6の例のうち、一番よく使用される(d)の四要素モデルについて考察していくことにする。なお、三要素モデルの(a)(b)はそれ

図-7 四要素モデルのクリープ



それ、(d)において E_1 のバネ、 η_1 のダッシュポットが、消滅したモデルとみなすことができる。すなわち、(d)の挙動がわかれば(a)(b)はその特殊な場合として簡単に考察できるわけである。また(d)のモデルは、これまで述べてきたマックスウェルモデルとフォーカトモデルを直列につないだものである。したがって、表-1にまとめた両者の特徴を兼ね備えた動き方をすることは当然予想されることであろう。

(1) 一定応力を与えた場合

図-7(a)のモデルにいま時刻 $t=0$ で一定応力 σ_0 を与えると、マックスウェルモデルの部分（マックスウェル要素という）のバネは、瞬間に $\epsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E_1}$ だけ伸びるが、ダッシュポット η_1 とフォーカト要素は伸びることができない(b)。しかし時刻が移ると η_2 もフォーカト要素も伸びはじめ $t=t_1$ では、 E_1 、 η_1 とフォーカト要素の伸びの合計が ϵ としてあらわれる(c)。この場合、フォーカト要素の伸びは一定値 $\frac{\sigma_0 t_1}{\eta_2}$ に限りなく近づくが、 η_1 は応力が働いているかぎり伸び続けるので全体の伸びは、(f)図の点線で示した斜線に漸近していくのである。

時刻 t_1 で一定応力 σ_0 を取り去ると次の瞬間($t=t_{1+}$)、 E_1 のバネはもとにもどる。時刻が移るとフォーカト要素がもとにもどりはじめ、無限時間後には、 η_1 による永久変形 $\frac{\sigma_0 t_1}{\eta_1}$ だけが残ることになる。以上のように、この四要素モデルでは、瞬間弾性、クリープ、クリープ回復等の現象が含まれる。

(2) 一定歪の場合

このモデルに一定歪 ϵ_0 を与えると、まずマックスウェ

ル要素の瞬間弾性により応力 $\sigma_0 = E \epsilon_0$ があらわれる。フォーカト要素は瞬間的な歪にはついていけないが、マックスウェル要素のバネ E_1 に引っぱられているため、一旦は伸びるが($\eta_1 > \eta_2$ の場合)、 E_1 の応力は η_1 によって次第に緩和されるため、フォーカト要素にかかる応力も減少し、最終的にはもとの状態にもどってしまう。したがって、応力が完全に緩和された後には η_1 の変形量 ϵ_0 だけが残ることになる。

以上、四要素モデルの概要を説明したが、アスファルトの性質とこのモデルがどのように結びつくのか、次に考えてみよう。アスファルトの力学的特徴は温度と歪速度に対して敏感なことにあることは、これまでたびたび述べた。まず温度についてモデルにあてはめてみると温度が非常に高ければ η_1 、 η_2 は小さくなる。外力がかかるとバネの変形よりもダッシュポットの変形がはるかに大きくなるが、 η_2 は E_2 によって拘束されているため、主に η_1 が全体の変形を支配する。すなわち、粘性流動が支配的になるわけである。これはアスファルトが高温では粘性流体としてあつかえることと対応している。逆に温度が低い場合は、 η_1 、 η_2 は非常に大きくなってしまいダッシュポットが容易に変形しないため、バネの変形が全体を支配する。この場合は、 η_2 が E_2 の変形を拘束するため、 E_1 の変形が主体となる。すなわち弾性変形である。これはアスファルトが低温では弾性体に近い挙動をすることと一致しているわけである。この両者の中間の温度では E_1 、 E_2 、 η_1 、 η_2 が同じように変形に対して寄与するため、粘性流動と弾性変形の両者を兼ね備えた挙動をすることになる。一方、歪速度について考えてみると、歪速度が非常に速い場合は、ダッシュポットの粘性抵抗が大きいため、変形は無視できる程小さく、全体の変形は主

としてマックスウェル要素のバネによって支配される。これは低温での現象と一致する。また、歪速度が非常に小さい場合は、粘性抵抗が小さいため、マックスウェル要素のダッシュポットの変形が主となる。すなわち、これは高温の場合に相当する。中間の歪速度ではフォークト要素が変形に寄与するため、中間温度の場合と同じく複雑な粘弾性現象を呈することになる。歪速度によるこのような変化がアスファルトの挙動と一致することはいうまでもない。

以上の考察のなかで、歪速度が速い場合は、低温での挙動に相当し、歪速度の遅い場合は高温での現象に相当することを示した。すなわち、アスファルトのような粘弾性材料に対しては、歪速度と温度はかなり密接な関係があるのである。これは有名な「時間温度換算法則」と呼ばれるものにつながるわけであるが、この法則については、後に稿を改めて紹介したいと思う。

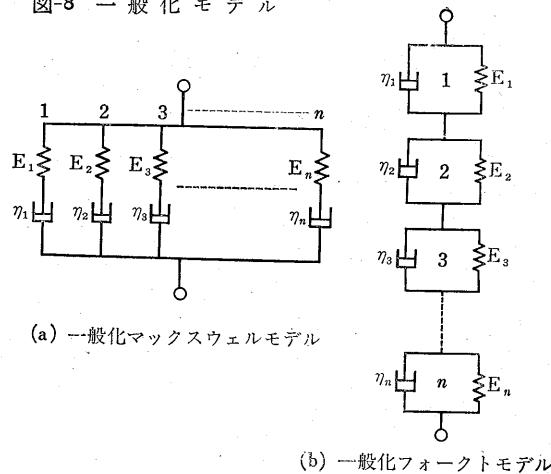
次に E と η の関係であるが高温では E が η に比べて非常に小さく、低温では η が非常に大きいことをもとにして考察を進めてきた。すなわちモデルで言えば $\frac{\eta_1}{E_1}, \frac{\eta_2}{E_2}$ が変形を左右したわけである。これらはそれぞれ、緩和時間 τ_M 、遅延時間 τ_F に相当する。一方、歪速度では実験における観測時間 t が問題になるが、式(1), (2)に見られるとおり、応力緩和、クリープ共、それぞれ $e^{-\frac{t}{\tau_M}}, e^{-\frac{t}{\tau_F}}$ の項が含まれる。すなわち、目的とする観測時間 t と τ_M, τ_F の比が全体を左右することになる。

以上のように考えてくると、緩和時間、遅延時間が持つ意味の重要性がわかるであろう。線形粘弾性論はこれらの τ_M, τ_F を中心に展開されるのである。

6. 一般化モデルとモデルの限界

普通の粘弾性現象は四要素モデルではあらわせると言われているが、それでもアスファルトの力学的性質と完全に一致するというわけにはいかない。しかし、だからと言ってモデルが悪いと決めつけるのは、親が子供に買ってきた洋服の寸法が合わないからといって子供を叱るようなもので、筋ちがいもはなはだしいことである。近似度をよくするには要素の数をふやせばよく、五要素六要素とふえるごとに近似度はよくなっていく。この極端な例が一般化モデルである。図-8(a)(b)に一般化マックスウェルモデルと、一般化フォークトモデルを示した。一般化マックスウェルモデルは、マックスウェルモデルを n 個並列にならべたもので、2番目以下を消去すればマックスウェルモデルになり3番目以下を消去すれば図-6(d)のモデルになる。また一般化フォークトモデルはフォークトモデルを n 個直列にならべたもので2

図-8 一般化モデル



番目以下を消去すればフォークトモデルになり、 η_1, E_3 と 4 番目以下を消去すれば、図-6(c)のモデルになることは言うまでもない。つまり、例にあげた二要素、四要素モデルは一般化モデルの特殊な場合に相当するわけである。このように要素の数をふやせば限りなく実験値に近づけることはできるが、ここで注意しなければならないのは、それだけ未知数が多くなるということで、ちょうど実験で得た曲線を複雑な式で近似するようになり、モデルの特徴を失ってしまうということである。モデルで考察する利点は、直感的に変形の様子を知れることであり、また簡単な方程式で書きあらわせるということにある。したがって、いくら近似度が良くなっても直感的にわからず式も複雑になってしまっては意味がない。アスファルトの場合も四要素モデルがせいいっぱいであろうと筆者は考えている。ここにモデル理論の限界があるわけであるが、これを解決する方法としてまたモデル理論の発展として登場したのが、緩和時間、遅延時間の分布を基礎概念とした線形粘弾性論なのである。これについて、アスファルト混合物の項で詳しく紹介したいと思う。

7. あとがき

実際のアスファルト舗装を施工するにあたっては、このような粘弾性現象をとらえてアスファルトの品質を云々するには手間がかかりすぎる。そこでアスファルト舗装要綱では、これらの現象を簡単にとらえられるような試験をもとにアスファルトの品質を規定している。これが規格試験と呼ばれるもので、次回以後の考察対象となる。

コンクリート橋床版の防水について・その1

"Waterproofing of concrete bridge decks" A report prepared by an OECD road research group, July, 1972.

過去20年ぐらいの間に建設されたコンクリート橋の床版の悪化が各国において数多く報告されている。OECDの道路研究グループは、この状況に処して各国のコンクリート橋の床版に対する防水についての大規模な調査を行なった。この報告書は調査結果にもとづいてその状況を報告し、加えて今後のコンクリート床版の防水のあり方について述べたものである。

1. 導入

コンクリート床版の防水工法の必要性は最近富みに増しており、特に冬期間、融雪の目的で塩が定期的に散布される橋において必要とされている。

最近の傾向として設計上、床版が薄い構造になっている状況のもとで交通量は増大し、コンクリート、鉄筋に生ずる応力も大きくなっている。鉄筋コンクリート、プレストレスコンクリート構造物は被害を受けやすい状態にあり、何らかの対策が急務となっている。

防水のための一般の方法はコンクリート床版の上に不透水な材料を配置することと考えられている。その材料として瀝青系と非瀝青系があり、その厚さも0.2~20.0mmと多種多様である。便宜上その材料を分類してみると次のように考えられる。

- i) 瀝青防水層(ビッヂエポキシ等も含む)
- ii) プレハブシート(剛性、たわみ性)
- iii) 薄膜接着メンブレン(エポキシ、ポリウレタンを基材としたもの)

本報告書にこのような種類の材料について、現在の状況を分析し、これからあるべき方向を考察している。

2. 防水工に要求される条件

防水材料と防水工に要求される条件は次のようなものである。

文献中に用いられている Bitumen、Bituminousなる用語は、一般の瀝青材を意味する場合は、瀝青、瀝青材と訳し、いわゆるアスファルトと訳してさしつかえない場合には、アスファルトと訳して用いた。

1) 不透水性：表層材料の空隙中に含まれる水が交通荷重の伝搬により下部に浸透しようとする力、または床版に設けられているジョイントが動くことによって水が浸透しやすくなる現象に対して、十分な不透水性をもつていなければならない。

2) 防水層の機械的性質：交通荷重による垂直圧縮応力、水平せん断応力に十分安定性をもつていなければならない。また温度変化の影響を受けにくく、特に厚いものでも温度変化に対して安定性のあるものでなければならぬ。非瀝青系の材料が用いられる時には特に構造物との良好な接着が必要である。

3) 床版に生じたクラックに起因する破壊に対する抵抗力：連続桁とか片持ばかりのコンクリート床版に起こりやすいクラックが原因で防水工が影響を受けるとクラックが広がり疲労破壊を起こしやすくなる。そして塩とか水がそのクラックに浸透すると鉄筋の腐蝕が起こる。

4) 耐久性：使用される材料が老化により脆くなるようなものであってはならず、塩とか酸によって影響を受けないものでなくてはならない。金属性のメンブレンを用いる時には腐蝕に注意し、アルミニュームを用いる場合にはコンクリートの自由石灰(free lime)の影響に特に留意する必要がある。

5) 他の材料との相容性：コンクリート床版、各種防水材料、瀝青表層はお互いに物理的、化学的に相容性がなくてはならない。例えば表層混合物の施工温度(140°C~160°C)、シートの接着剤の加熱温度(240°C)に対する防水材の相容性は重要である。

6) 取り扱いが容易であること：工事現場の状況に合った取り扱いやすい材料、工法でなくてはならない。施工中損傷を受けにくく、特別な技術なしに幅広く用いことが出来ることが望ましい。

防水材料、防水工が以上の条件を満たすためには、その基礎になっているコンクリート床版の表面性状が非常に重要である。平坦に仕上げられており急な突起や変形がないこと、コンクリートの配合が正しくなされていて多孔質な個所とか蜂巣状の個所がないこと、溶剤とか油におかされにくいくこと等が要求されるが、不良な表面は何らかの方法で修正されなければならない。

3. 防水材料と防水工

防水材料としては瀝青系防水材料(加熱して用いる), プレハブシート, 薄膜接着メンブレンがあり, 防水工は次の順序で施工される。

プライマーを床版表面に施こす。

通気層 (Venting Layer) を設ける (ブリスタリング防止)。

接着層を施こす (防水層を床版に接着させる)。

防水層を施工する。

防水層の保護層を設ける (工事中の防水層破損の保護)。

排水設備を設ける。

縁石, パラペット, ジョイントと防水層との接続工。

以下防水材料, 防水工の主要な点について述べる。

3-1 ブリスタリング

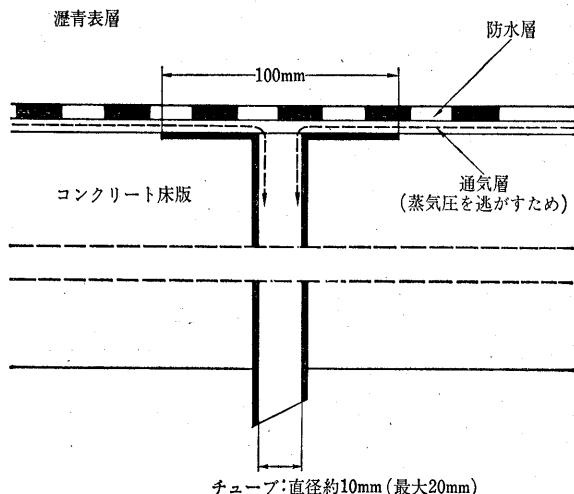
ブリスタリングは瀝青系防水工, プレハブシート工には良く発生するが薄膜接着メンブレンではまれである。ブリスタリングには防水工の加熱施工中におこる初期ブリスタリングと, 防水工終了後から表層工完了までの間におこる二次ブリスタリングとの2種類がある。前者は床版からの水分が加熱防水材料にふれて蒸気となって空気泡を生ずるもので, 後者は日中の温度変化が大きい時に床版からの水が既に施工された防水層の下面にたまり高い温度で接着不良の部分が上に持ち上げられる現象である。二次ブリスタリングは夏至の数週間前後に起こりやすく, 温度変化のくり返しにより広がる性質をもつ。ブリスタリングを防止する方法としては, 良く乾燥している床版上に防水工を行なうこと, 防水層と床版の接着が良好で均一であること, 通気層を設けて空気圧を逃がすこと, 最小50mmの厚さの保護層を設けること, 表層を3日以内で完成させること等が考えられる。

通気層 (Venting Layer)

通気層に床版からの空気圧とか蒸気圧によるブリスタリングを防ぐ目的で設けるもので瀝青系防水材, プレハブシートとともに用いられ, 薄膜接着メンブレンには用いない。通常の空気層は薄いグラスファイバーフェルト ($50 g/m^2$), 細かいグラスファイバーネット ($3 mm \times 5 mm$ mesh), または粒状石材を表面にくっつけた瀝青フェルト等を用いる。ドイツでは通気層からの空気圧を逃がすためは10~20mm径のチューブを用いている。(図-1)

しかし通気層を用いると防水材と床版の接着が悪くなるほか, 交通によって生ずる水平せん断応力に対する強度が減少する傾向があり, 急勾配, 加速地点, 停車帯等には用いるべきでない。したがって通気層がブリスタリングの防止に有効ではあっても, 常は成功するものとは

図-1 ドイツにおける通気層と通気口の例



限らず, 状況により考慮すべきである。

3-2 瀝青系防水層

1) グースアスファルト保護層を有するマスチックアスファルト防水 (ドイツの実績にもとづく)

コンクリート床版は平坦に仕上げられていることが重要で表面に水分があってはいけない。また通気層としては, 薄いグラスファイバーフェルト ($40 \sim 50 g/m^2$, 1m幅, 50~25m長) を用いる。そして床版の最も低い場所に垂直の10~20mm径のパイプを設けて空気圧がぬけるようにする。

マスチックアスファルト

通気層の上にマスチックアスファルトを8~10mm厚で仕上げる。ドイツのマスチックアスファルトの例を次に示す。

配合: アスファルト 13~16%

骨材 87~84%

$0 \sim 0.09 mm$	$> 30\%$
$2 \sim 5 mm$	$< 10\%$
$0.09 \sim 2 mm$	残り 100%

試験性状:

抽出アスファルトの軟化点 $49 \sim 65^\circ C$

マスチックアスファルトの軟化点

(DIN 1996/15) $90 \sim 120^\circ C$

フィラービーチュメンの軟化点 $85 \sim 90^\circ C$

舗設温度: $180 \sim 200^\circ C$

空気中および床版の温度 $> +5^\circ C$

保護層

マスチックアスファルトによる防水層は施工時に蒸気により急に穴があいたりすることがあるが, その穴は非

常に小さいので気がつかない場合が多く漏水の原因になる。この現象を防ぐためにマスチックアスファルト防水層の上にグースアスファルトの保護層を設ける。保護層は表層工の基層の役目も兼ねることができる。用いられるグースアスファルトは次のようなものである。

保護層の厚さ：30～35mm

配合：アスファルト 7～9%

骨材	93～91%
0～0.09mm	22～39%
(2～12mm)	>35%
0.09～2mm	残り

試験性状：

アスファルトの軟化点 55～65°C

グースアスファルトの貫入量 2～6mm

施工温度 220～240°C

2) Stone-filled asphalt 保護層を有するゴム入りマスチックアスファルト防水（スペインの実績による）

防水層に床版と表層の間の絶縁層の役目も兼ねさせる目的でゴム入りマスチックアスファルト防水層を用いることがある。即ち、交通荷重に対してこの層が緩衝体として働くのである。

プライマーの成功例：

ストレートアスファルト 80/100 50%

軽質ナフサ 50%

粒状ゴム 1%

ゴム入りマスチックアスファルトの配合例：

石灰石粉または他のフィラー 70～75%

アスファルト (60/80～80/100) 30～25%

ゴム 1.3～1.8%

この混合物のフィラーピチュメンの軟化点は 85°C～115°C で、ゴムを加えたものの軟化点は 90°C～125°C でなくてはならない。施工温度は 200～220°C である。3mm～5mm の厚さに仕上げられるが、ほとんどの場合、ブリスタリング防止の目的で通気層（グラスファイバーの網、50mm × 50mm mesh）を用いる。

ゴム入りマスチックアスファルト防水の表層としては開粒アスコンか、またはそれに近い表面性状をもつ基層の上に摩耗層をかぶせるのが良い。この時基層と摩耗層の合計厚は 50～70mm である。

3) マスチックアスファルト防水（イギリスの実績による）

使用アスファルトは針入度 (25°C) 25～50、軟化点 50～70°C の性状を有するもので、骨材としては粒径 3～0.6mm のものは石灰石、0.6～0.0075mm のものはフィラーが用いられる。

イギリスで用いられているマスチックアスファルトの

例を次に示す。

	1 (B S 988)	2 (B S 1097)
アスファルト	11.0～13.5%	12.0～15.0%
石灰石粉	62.5～77.0	67.0～84.0
石灰石	12.0～24.0	4.0～18.0
硬度 (25°C)	30～70	40～90

施工は各層 10cm の 2 層仕上げで行なうが、ジョイントは上層と下層で 150mm ずらさなければならぬ。施工中にブリスタリングが生ずる場合には手早くなおさなければならない。

3-3 プレハブシート防水（イギリスの実績による）

プレハブシート材料の種類には、次のようなものがある。

- (1) アスファルトシート（フェルト）
- (2) メタルホイールアスファルトシート
- (3) 合成ゴムシートまたはボンドラバー・フェルトシート
- (4) プラスチックシート
- (5) ピッチまたはアスファルトポリマーシート
- (6) 剛性アスファルトシート

施工

床版の表面はブラシをかけたり、ごく軽くたたいたりして適度な表面性状をもつようにする。そして揮発性の瀝青材によるプライマーを施す。プライマーが乾いたのち (12～24時間後) 瀝青接着剤をまいて巻状シートを力を加えながら転がして敷く。この時接着剤との間に空気をまきこまないように注意する。そのままくっつくシート (Self-adhesive sheet) もほぼ同様な方法で施工するが、加熱接着剤は必要としない。剛性アスファルトシートは加熱接着剤の上に敷設されるがシート相互のバットジョイントは接着剤でシールされる。加熱接着剤としてはプローンアスファルトとかゴム入りアスファルト等があるが軟化点 80～100°C、針入度 (25°C) 20～30 のものが適している。

施工中の損傷に対する保護

6mm より薄いプレハブシートを用いる場合には、施工中、または表層、基層工程で損傷を受ける危険があり、何らかの保護を必要とする。この保護の目的で 20mm 厚の加熱サンドアスファルトか小さな骨材を表面にくっつけたいわゆるアスファルトフェルト等による保護層が設けられる場合が多い。またスパイクタイヤによる表層の摩耗が大きい所では防水層を保護する目的でコンクリートによる保護層が用いられることもあり、50mm 厚の鉄筋コンクリートによる保護層が非常に有効であった例が報告

されている。春、夏の天候の良好な期間にシート工法を行なうとブリスタリングの発生が多く、通気層を用いる場合もある。

現在用いられているプレハブシートとその特徴を以下に述べる。

アスファルト/アルミニュームシート

(Bitumen/aluminume sheeting)

グラスファイバーで補強された軟質瀝青材からなる4~5mm厚のシートにアルミニュームシートを表面にくつつけたプレハブシートで、裏面を80~100°Cに加熱して敷設する。一般にはこのシートの上にはstone-filled asphaltが舗設される。

アスファルトフェルト (Bituminous felt)

麻、グラスファイバーまたはアスペストファイバーを用いているもので、その重さは3.8kg/m²以下であってはならず一般には2層仕上げである。

銅/アスファルトシート

(Copper/bituminous sheeting)

0.025mm厚の銅材をアスファルトシートで両面からサンドウイッチにしたもので、片面のアスファルトシートはガラス繊維で補強されている。重量は約3.5kg/m²である。

波状銅板シート (Dimpled copper sheeting)

約0.10mm厚の波状銅板の裏面にグラスファイバーで補強したアスファルトをくつつけたものであるが、銅が表面に露出しているため、きづつきやすい欠点があり、最近はあまり用いられていない。

ブチルゴムシート (Butyl rubber sheeting)

1.1mmと1.5mm厚のものがあるが後者の方が良い。大きな弾性伸びを有しないのでジョイントとかクラックの広がりに対して有効である。ブチルゴムは瀝青材との接着が悪いため、表層が変形したり、すべったりするのを防ぐためにプライマーかタックコートを施す。

ブチルゴム/アスファルトシート

(Butyl rubber/bituminous sheeting)

ブチルゴムをアスファルトフェルトの上にくつつけたもので1.5mmの厚さをもっている。このシートは同じような厚さのブチルゴムシートよりも強く、施工も簡単でブリスタリングを受けにくい。ブチルゴムの上にはタックコートが必要である。

ピッチ・ポリマーシート

(Pitch-polymer sheeting)

1.9mmの厚さの強い材料である。一般に短いより状纖維で補強されている。温度の変化に対してたわみ性を維持するために可塑物質(Plasticiser)を含んでいる。

アスファルト・ポリマーシート

(Bitumen polymer sheeting)

1.5mm厚で合成纖維で補強されており、どのような温度変化に対してもたわみ性を有する。

自着ポリプロピレンシート

(Self-adhesive coated polypropylene sheeting)

ポリプロピレン纖維からなる鋼状シートで接着を良くするためと防水の目的でゴム入りアスファルトで覆われている。

剛性アスファルトシート (Rigid bitumen sheeting)

グラスファイバーで補強された厚いアスファルトの板をガラス繊維からなる下層とアスファルトを浸みこませたアスペストフェルトの上層とでサンドウイッチにしたものである(1.8m×0.9m×12m)。表層が非常に薄いものである時以外は保護層を必要としない。

3-4 薄膜接着メンブレン(フランスの実績による)

床版に対して強い接着性を有するエポキシとかポリウレタンを基材とするメンブレンには次の2つの利点がある。

1. 床版に対する水の浸透防止に非常に有効である。接着が不良な防水材料(シート等)の場合には防水層と床版の間を水が伝って流れ、コンクリートの不良個所から浸入して鉄筋とかプレストレスケーブルを腐蝕させる危険があるが、薄膜接着メンブレンの場合はメンブレン自体の欠陥個所からのみ水が浸入するだけである。

2. 防水層と床版の接着が不良な場合には、接着方向の力(加速ブレーキ、遠心力)による表層のすべりが生じやすいが、薄膜メンブレンを用いた場合にはこの危険性が少ない。防水工が必要で、かつ傾斜、カーブ都市内道路(加速、減速が頻繁である)に特に有効である。

この種材料の採用にあたっては、実際に測った各種試験を行なって慎重に検討しなくてはならない。重要な試験としては次の如きものが考えられる。

接着性

力学的性質

クラックに対する抵抗性

温度変化に対する抵抗性

時間温度に関する性状の変化

施工

温度は高くてもさしつかえないが、床版がぬれていたり、雨が降っていたりする時は工事を行なってはならない。床版はサンドblastをかけるか、圧縮空気または水できれいに清掃する。メンブレンはブラシ、ヘラ等による手仕上げも可能であるが機械施工ではミキサーとス

プレイガンまたはその連動式機械が必要である。散布量および厚さは床版の表面状態によるが、ブラシを用いて $500\sim700\text{ g/m}^2$ で第一層の塗布を行なった後、スプレイガンを用いて $1200\sim1500\text{ g/m}^2$ で第二層目を散布する。第二層目は第一層目が完全に硬化する前に散布し終らなければならない。

単純桁のプレストレスコンクリートとか鉄筋コンクリートには 1 mm 厚、連續桁の鉄筋コンクリートには 2 mm 厚が適当である。第二層の散布が終了後、 $0.8/1.6\text{ mm}$ 粒径の砂を $0.8\sim1\text{ kg/m}^2$ 散布する。

この工法においては品質管理が特に厳重に行なわれなければならない。

3-5 パラペット、縁石、ジョイントとの接続

防水工とコンクリート施設との接続は極めて重要であり、図-2a, 2b, 2cはパラペット、図-3a, 3bは縁石、図-4a, 4bはジョイントの各々と防水工との接続の実例を示したものである。

3-6 防水層の排水

ほとんどの表層材は水の浸透を防止することが出来ないので防水層の排水は非常に重要である。図-5a, 5b, 5cは防水層の排水の例である。図-4bにもその例を見ることができる。

4. 各国における防水工の状況

OECDの調査結果にもとづく各国の防水工の状況をまとめると表-1の如くである。また防水工に関連して表層工、床版の仕上げの各々の状況を表-2、表-3に示す。

5. 防水材料と防水工の評価

使用される材料の種類、工法、性能評価は国によって異なるので比較評価は困難であるが、各々の長所の有用な指針を作るという意味で比較検討を試みる。

5-1 漆喰防水層

マスチックアスファルト防水とグースアスファルト

マスチックアスファルト防水では、床版の表面性状が重要である。ブリスタリングの発生を防止するためにグラスファイバーの通気層を用いるが、防水層と床版との接着性に問題を残している。マスチックアスファルトは適当な安定性をもち低温で脆くなってしまうではない。マスチックアスファルトは一層仕上げでは施工中損傷を受けたり、花状の穴(または初期ブリスタリング)を生じたりする場合があるので保護層が必要である。保護層としてはボイドが少なく不透水であること、転圧の必要がなく

マスチックが損傷を受けにくいなどの理由からグースアスファルトが用いられる。ロールドアスファルトとか鉄筋コンクリートを保護層として用いるのは不適である。天候がよく平均温度が 5°C 以上の時に施工したものに成功例が多い。

ゴム入りマスチックアスファルトと stone-filled asphalt 表層

床版表面は平滑できめが細かいことが重要である。ゴム入りマスチックアスファルトは製造が簡単で舗設が容易なものでなければならない。加熱しすぎるとゴムの分離が起こるので注意を要する。この工法は舗装構造を薄くして交通荷重に対する安定性に寄与するとされているが明確には確認されていない。

マスチックアスファルト防水

イギリスではこの工法に用いるマスチックアスファルトの配合が明確に規定されている。一般には手仕上げで施工され熟練者が必要である。機械化施工になると利点も多くなる。施工中に花状穴が生じて問題となったこともあったが、グラスファイバーの通気層を用いることによって解決された。保護層は必要としない。

5-2 プレハブシート防水

材料が工場生産であるため、厚さも一定で使いやすく便利なものである。床版は使用されるシートによって要求される表面性状を満たすことが必要である。人力によって簡単に施工できるので機械は必要としないが熟練者を必要とする。したがって施工能力が低いので大規模工事ではチームを編成する等の工夫がいる。この工法は施工中にブリスタリングが起こる可能性はまずないが、太陽光線が暑い時にシートを敷設してすぐ表層または保護層をかけると、二次ブリスタリング発生の危険性が増大する。この現象を防止する意味で通気層を用いる場合もあるが、シートと床版の接着が悪くなることに注意しなければならない。

5-3 薄膜接着メンブレン(エポキシ、ポリウレタン)

エポキシとポリウレタン基材による防水材料は非常に有効で耐久性のある防水層を作ることができる。メンブレンはスプレイにより散布され、完全に機械化施工であるが、混合、施工が正しく行なわれることが重要で熟練を要する。硬化時間が天候によって左右されるので普通の漆喰材に比して年間 $2\sim3$ カ月工事期間が短くなる。空気の混入により一層目にピンホールが生ずる場合があるが、硬化が始まる前に軽くブラシをかけることによって消滅する。エポキシ、ポリウレタン基材による防水メンブレンの見通しは非常に明るく、製造設備の拡張によ

図-2a パラペットと防水層の接続工の例(フランス)

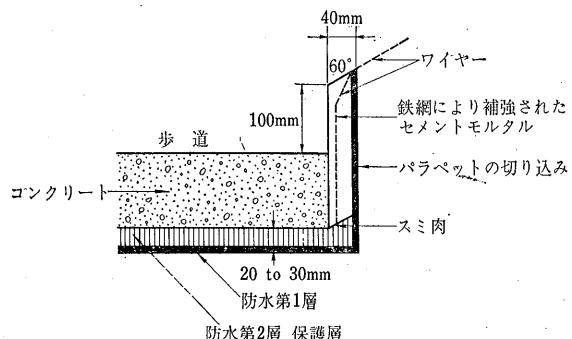


図-2b パラペットと防水層の接続工の例(イギリス)

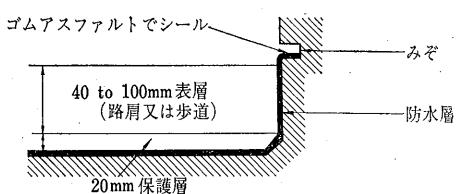


図-2c パラペットに於ける防水の例(ドイツ)

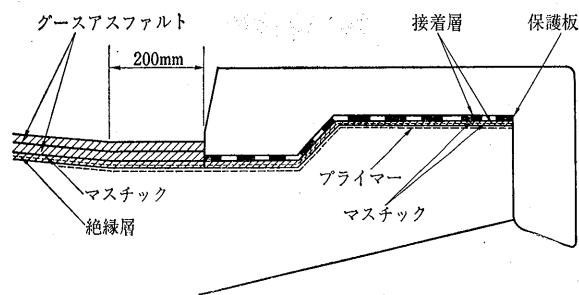


図-3a 防水と緑石(フランス)

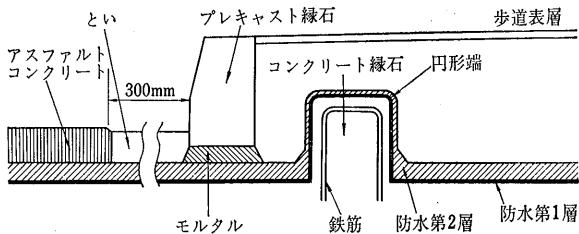


図-3b 防水と緑石(カナダ)

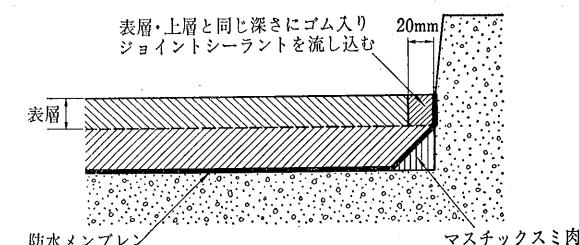


図-4a

表層が連続している場合のジョイント防水(イギリス)
(スパンが短い時にのみ採用)

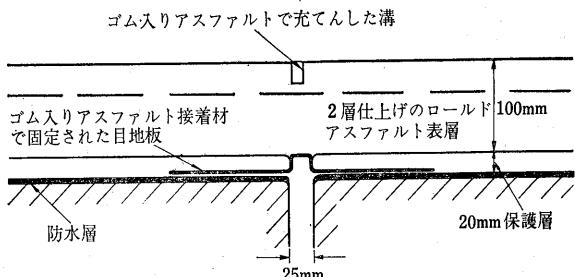


図-4b たわみ性シートによるジョイント防水(フランス)
(注:Slotted alminium drainage channel)

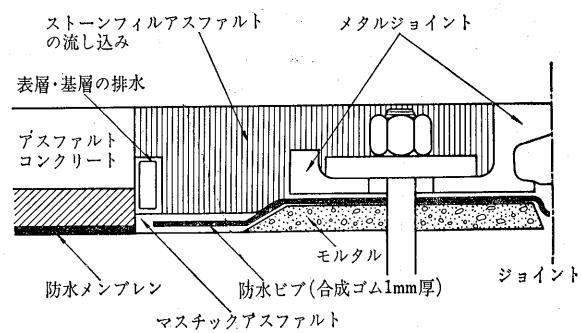


図-5a 防水層排水と表層排水溝との接続(ドイツ)

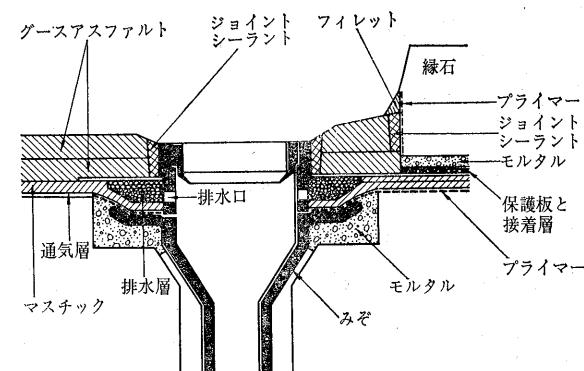


図-5b 表層、下層の排水チャンネルとして用いられるアルミニウム中空樋、下面から見た所(フランス)

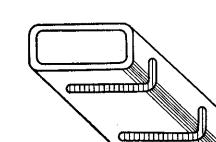
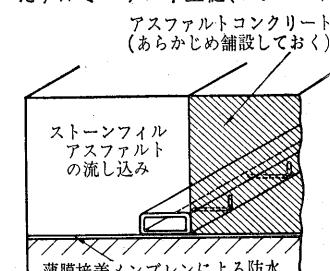


図-5c ジョイント端に用いられたアルミニウム中空樋(フランス)



表一 防 水 工

	瀝 青 材 料	プレハブシート	薄膜接着メンブレン (エポキシ, ポリウレタン又は類似材料)
日 本	アスファルト乳剤	麻とアスファルトの間にサンドウイッチにされたアルミニューム板。和硫されていないゴムシート、上に瀝青材料を舗設することによって加熱され和硫する。	
ルクセンブルグ		合成ゴム (120mmの鉄筋コンクリートの保護層を有する)	
オ ラ ン ダ	グラスファイバーの上にゴム入りアスファルトを注いで4~5mmに仕上げる。 (床版は瀝青プライムを施す)		コールタールエポキシ
スペイン	グラスファイバーの網に加熱マスチックを施し、5mm厚に仕上げる。 (5mmの保護層が設けられる) 10mmのサンドアスファルト 6mmの常温マスチックアスファルト (2層仕上げ)		2mmピッチエポキシ
ス ウ ェ ー デ ン	グラスファイバーの網上に10~12mmのマスチックアスファルトを舗設。10~15mmのアスファルトコンクリートの保護層を有する。	アスファルトシートを2層に仕上げ、その上に加熱アスファルトを散布する。50mm厚の鉄筋コンクリート保護層を設ける。	
ス イ ス	20mmグースアスファルト、ゴム入りマスチックアスファルト3~4mm(1層)又は4~5mm(2層)のマスチックアスファルト		タールエポキシ
イギリス	20mmマスチックアスファルト (BS 988, 1097) 2層仕上げで行なう。	麻を基材としたフェルト 銅板シート ピチルゴムシート ピッチポリマーシート (プライマーを施した上に敷設し、通常は20mm厚のサンドアスファルトの保護層を設ける。)	エポキシピッチとポリウレタン
ベルギー	グラスファイバーの上にアスファルトを注いで、15mm厚に仕上げる。(急勾配には用いない) (床版にプライマーを施した上に舗設し、流しこみアスファルト保護層を設ける)	アスファルトフェルト 350g/m ²	
カナダ	加熱ゴム入りマスチックアスファルト。 タックコートを施し、加熱混合物にアスベストファイバーを混入して不透水な表層を舗設する。 加熱流しこみゴム入りアスファルト。 床版に液体アスファルトをふきつける。 アスファルト乳剤とグラスファイバーの網。	ネオプレン 加硫そして半加硫のピチルゴム 半加硫エチレンプロピレンディエノノマー (EPDM)	評価 中 ポリウレタン 液状合成ゴム樹脂
フィンランド	カットパックアスファルトプライマー、 グラスファイバーで補強された加熱瀝青防水メンブレン (50mmコンクリート保護層を有する。)	グラスファイバーを補強されたアスファルトシートの二層仕上げ (50mmのコンクリートによる保護)	
フ ラ ン ス	流しこみアスファルトシール層の上にストーンフィルアスファルトを舗設 ゴムアスファルト上にストーンフィルアスファルトを舗設。	アスファルト / アルミニュームシート (流しこみストーンフィルアスファルトで保護)	ピッチエポキシ (ブライエポキシ)
ド イ ツ	グラスファイバーフェルトの上に8~10mmのマスチックアスファルトを舗設。 35mmのグースアスファルトの表層を有する。		
アイルランド	19mmマスチックアスファルト (BS 1097) 2層仕上げ麻で補強された瀝青乳剤	銅/アスファルトシート (350kg/m ²)	
イタリ ー	ゴム状物質で弹性を与えた瀝青材アスファルト		エポキシ樹脂

表層 青 漆

国	マックコート、プライ	防 水	保 護 層	基 層	摩 耗 層	表 層 の 合 計 厚
ベルギー	15mm流し込みアスファルト	流し込みアスファルト	60mm密粒層	30~50mm	30~50mm	90~110mm
カナダ	多種		38mm加熱混合物	38mm加熱混合物	76mm	
フィンランド	カットプライマー	アスファルト/グラスファイバー	50mm厚のコンクリート、上面にはカットパックアスファルト乳剤でプライマーを塗る。	30mm開粒アスコン	30mm密粒アスコン又はサンドアスファルト	60mm
フランス	漆青材料 ビッヂエボキン	8~10mmマスチック	30~35mmのグースアスファルト(保護層と基層の役目)	30~35mmアスコン又はベースアスファルト	30~35mmアスコン又はベースアスファルト	50~100mm(隣接道路と同じ)
ドイツ	グラスファイバーの膜	多種又はなし	—	—	—	60~70mm
アイルランド	—	ゴム状物質混入漆青物 エポキシ樹脂 漆青材料	—	40~60mm	30mm	50mmアスコン 38~50mmマスチックアスファルト
イタリア	—	—	—	35mm	30mm	70~90mm
日本	タックコート	合成ゴム	120mm鉄筋コンクリート	50mmとタックコート 35mm	30mm 40mm	80mm 75mm
ルクセンブルグ	—	特別な構造にのみ用い る。実験中。	—	0~150mm(1層又は2層)	35~50mm	40~50mm密粒アスコン 0~200mm密粒アスコントコングリート
オランダ	—	—	—	—	—	—
スペイン	プライマー	5mmマスチック 10mmサンドアスファルト 6mm常温アスファルト (2層) 2mmビッヂエボキン	5mm — — 砂	30mm 40mm 50mm開粒基層 40mm	25~30mm 30mm 10mmゴム入りアスファルト 30mm	50~60mm 70mm 60mm 70mm
スウェーデン	常温アスファルト グラスファイバー 通気層	アスファルトシート 10~12mmマスチック	50mm鉄筋コンクリート 10~15mm	35mm	40mm	75mm
スイス	プライマー 油紙	ゴム入りマスチック 流し込みアスファルト	6~10mmアスファルト 層	30~40mm	20~30mm	約70mm
イギリス	プライマー	多種	20mmサンドアスファルト	60~70mmロールドアス ファルト	30~40mmロールドアス ファルト	100mmロールドアス ファルト

表-3 コンクリート床版の仕上げ

国	仕 上 げ 处 理	修 正 仕 上 げ 处 理
ベルギー	表面はきれいで乾いていなくてはならない、コンクリートの配合不良、オイルとかグリースのしみがあってはならない。	でこぼこをみがいたり、けずったりして修正する又はレジンモルタルでくぼみを埋める。レイターンス、くず、配合不良部分はブラシか他の方法で取りさる。
カナダ	防水工の直前にレイターンスとか養生あかをとるためにサンドブラストをかけて圧縮空気で清掃する。	
フィンランド	清掃	凹凸はコンクリートによるパッキングで修正する。
フランス	アスファルト防水を行なうためにブラシ又は圧縮空気で清掃する。 コンクリートは防水工を行なう際、表面が乾いていなくてはならない。 薄膜接着メンブレンのためにブラシ又は圧縮空気、サンドブラストと水洗いで、表面を清掃する。	アスファルトの厚さが10mm以上になる個所の穴は450kg/m ³ のセメントと添加物によるセメントモルタルで充てんする。 くぼみ部分を充てんする。200mm定規で4mm以上の目だつ突出部を取り去る。 この場合、ブッシュハンマーとけずる機械からなる装置が用いられる。
ドイツ	油のしみは熱い石けん水で取り去るか又はアセチレン炎ではぎ取る。	基準値を越えた不陸はみがいて取り去る。
アイルランド	清掃と乾燥	
イタリー	10%濃度の塩酸をかけて数回洗うか、又はスチールブラシをかけるか、サンドブラストをかけて圧縮空気をふきつけて清掃する。	
日本	注意深く清掃する。	凹凸の突出した部分をけずったり又は酸化アスファルトで穴を充てんする。
ルクセンブルグ	ブラシで清掃 表層を最後に洗う。	コンクリート表面は約10mm厚に細かいモルタルでカバーすることによって平坦性を得る。 床版が正しく仕上っている場合にはモルタル層は必要ない。
スペイン	ブラシ又は圧縮空気で清掃	コンクリートの平坦性を得るための完全と思われる方法はない。必要に応じて安定した良品質の材料が表面を修正するのに用いられている。
スウェーデン	ブラシ又は空気のふきつけて清掃	ブッシュハンマーを用いるかエポキシ又はセメントモルタルによるくぼみの充てんにより平坦性を得る。
イギリス	ブラシをかけて清掃する。（細かいダスト粒子をくっつけるためにプライマーが使われる）コンクリート表面は乾いていなくてはならない。 養生あかはブラシ又は他の方法で取り去らなければならない。 エポキシ、メンブレンをかける前に酸による食刻を行なうことがたまにある。	モルタルによるパッキングが時々行なわれたが最近は用いられない。

り費用も軽減できる。

6. 結論

- (1) コンクリート床版の防水は必要である。
- (2) 防水層には不透水性、優れた力学的性質、クラックに対する抵抗性、耐久性、床版とか表層材料に対する物理的、化学的な相容性、施工が簡単で損傷を受けにくい等の性質が要求される。
- (3) 床版の保護の観点から次の防水層が有効である。
 - a. stone-filled asphalt を表層としたゴム入りマスチックアスファルト防水層
 - b. 排水吐けをもったグラスファイバーフェルトの通気層と2層仕上げのマスチックアスファルト防水層
 - c. サンドアスファルトを保護層としたプレハブシート防水、またはstone-filled asphaltを表層としたアスファルト/アルミニュームシート防水
 - d. エポキシまたはウレタン樹脂を基材とした薄膜接着メンブレン防水
- (4) 新しい防水材料と工法は実用化に先だって、現場試験、室内試験により、慎重に検討されなければならない。また実用化の後には定期的な管理試験により厳重に品質のチェックが行なわれなければならない。
- (5) 床版の仕上げは、防水工の要求に従って正しく行なわなくてはならない。不良な床版は修正が必要である。
- (6) 施工中に損傷を受けやすい防水材には保護層が必要である。



アスファルト排ガス処理用焼却炉

テキサス州 Texaco 社のアスファルトプラントは従来白煙と悪臭を出していたが、2つのガス燃焼式焼却炉を設置することにより、これらをなくして市の規制に合致するようになった。大気中の空気は加熱されたアスファルトコンバータに移されると、悪臭の炭化水素を含む排ガスが生じ、従来は500°Fでスクランバを通して200ftの煙突から排出されていた。

これを1組の熱酸化式焼却炉でこのガスを燃焼するようになった。1,200°Fで運転され、1,750万BTU/hの燃料を使う。炉は自動的に運転制御され、問題が生じたときは運転員に警報が出る。

Chem. Process (Chicago) 35 [13] 54(1972)

(7) ブリスタリングの防止の目的で通気層が設けられる場合が多いが、長所、欠点を慎重に考慮した上で用いるべきである。

- (8) 防水層には必ず排水設備が必要である。
- (9) 防水層とパラペット、縁石、ジョイントの接続工は重要な要素である。
- (10) 防水工の費用は橋の建設費の1~5%が普通である。

なお今後の課題として

1. エポキシ、ウレタン基材による防水材料の要求性状の明確化
2. 通気層の有効利用
3. 防水層の機械的性質（交通荷重、温度変化に対する）
4. 種々の材料、工法の効果に関する調査比較
5. 管理試験
6. コンクリート床版の表面性状

等に関するより深い研究が必要である。

今回は紹介文献の本論について述べたが、以下に示す付録に関しては次号に紹介する。

付録A：防水材料の機械的性質

付録B：防水材料の試験

付録C：防水材料の規格

付録D：橋梁車道の連続打設コンクリート舗装

[シェル石油(株)土木建設部 牛尾俊介]

アメリカでの最近の出版物3点の紹介

(1) ASTM Standards Part 11

1973年版 ASTM Standards on Construction Materials が出版され、1102頁、272項目にわたっている。主な内容は Highway Construction Materials, Waterproofing and roofing materials, Bituminous fiber Pipeなどのほか、試験法など多岐にわたっている。

(2) AAPT報告書(第41巻)

1972年 Cleveland でひらかれた AAPT の年会の報告書が出版され、764頁、15ドルである。

(3) ASTM の特別出版物 (STP 508)

Fatigue of Compacted Bituminous Aggregate Mixture という題目で、アスファルト混合物の疲労抵抗につき、混合物の設計法、室内試験、実用評価などについて述べている。

(Asphalt Institute, News Letter, 12 No. 4 (1972)
13 No 3 (1973).)

アスファルト三軸圧縮試験用供試体の成形法に関する実験

荻野正嗣*
川上正史**
吉本彰***

1. まえがき

アスファルト混合物の試験方法として、最近最も広く用いられているのはマーシャル試験である。この試験方法は操作が割合簡単で、しかも比較的信頼度の高い結果がえられるという利点があるため、アメリカ陸軍技術部隊がこの方法による配合決定法を確立して以来、アスファルト混合物試験方法の代表的なものとなっている。しかし、舗装としてのアスファルト混合物の諸性質を調べるには、マーシャル試験方法よりも三軸試験方法の方がはるかに秀れている。

筆者らはこの点に着目して、数年前からアスファルト三軸試験を思い立ったが、実施にあたってはまず試験方法そのものについて検討を加える必要があった。試験時の温度、側圧の大きさなど幾つかの問題点があるが、まず最初に検討を迫られたのは供試体の成形法であった。アメリカではかなり以前からアスファルト混合物の研究に三軸試験が用いられているが、試験方法についての詳細な規定はなく、供試体の成形法も研究者によってまちまちである。筆者らはできるだけ操作が簡単で、しかも十分な密度をもった供試体の成形方法について検討を加えてきた。一応満足し得る方法を見出すことができたのでここに報告して参考に供したい。

2. 従来の供試体成形方法

まず、三軸圧縮試験に関するこれまでの論文のうちから、代表的な供試体成形法を3つ紹介しておこう。

(1) K. E. Secor と C. L. Monismith の方法¹⁾

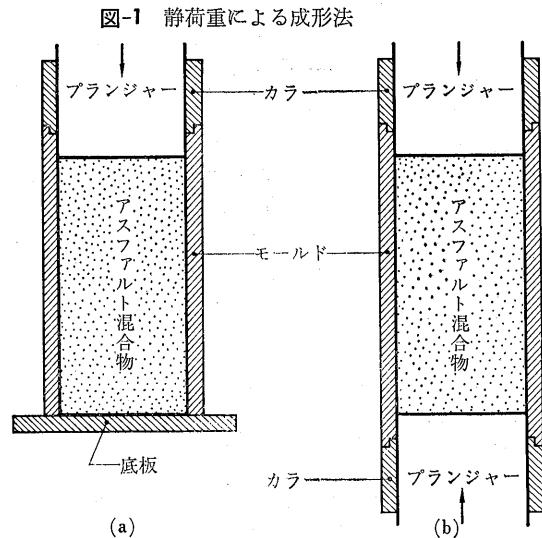
供試体($\phi 7.1 \times 16.3\text{cm}$)を作成するにあたり、まず、ニーディング締固め法(kneading Compaction)によりモールド中にアスファルト混合物(121°C)を5層に入れ、各層25回ランマーで突固める。表面はさらに25回余分に突固める。この場合の突固め圧は 35kg/cm^2 である。最後に供試体の表面に 35kg/cm^2 なる静荷重を加えて表面を平らにならす。

(2) J. C. Oppenlander と W. H. Goetz の方法²⁾

* 大阪産業大学工学部 助教授

** (株) 鴻池組技術研究所

***山口大学工学部 教授



供試体($\phi 10 \times 20\text{cm}$)を作成するにあたり、モールド中に開粒度(open-graded)のアスファルト混合物(材料の加熱温度:骨材=149°C, アスファルト=135°C)を4層に入れ、各層を25回ずつ $\phi 20\text{mm}$ 、重さ635gの鉄製丸棒で突固める。つぎに2重プランジャー法(double-Plunger method)で供試体の上下面に 152kg/cm^2 の静荷重を1分間持続させて成形する。図-1(a)のように底板つきモールドに試料をつめ、上部のみから圧力を加えたのでは、試料とモールド側面との間に摩擦が働くことで圧力が試料の下部まで伝達されない。2重プランジャー法というものはこの欠点をある程度とり除くため、(b)のように上面と下面とにプランジャーをおき、上下両面から圧力をかけて締固めようとするものである。

(3) Y. H. Huang の方法³⁾

この供試体($\phi 5 \times 10\text{cm}$)は寸法が小さくアスファルトモルタル用である。まず、モールド中へアスファルト混合物(153°C)を2層に入れ、2重プランジャー法で成形した。すなわち、まず下部プランジャーを設置し、モールドは2本の鋼棒で仮に支えておく。こうしておいて混合物を2層につめ、各層を小さな突棒で25回ずつ突く。つぎに、上部にプランジャーをのせる。プランジャー間の混合物に 10.5kg/cm^2 の静荷重を加え、モールドに軽い

側圧を発生させてモールドが落下しないようにした後、モールドの支持棒を取り去り、上下両面から 210 kg/cm^2 の静荷重を2分間かけて成形する。

これらの例からも明らかなように、従来の供試体成形法は巨視的にみてつぎの2つに分類することができる。

(a) 動的方法…………まず、アスファルト混合物を数層に分けてモールドにつめ、ランマーを用いて各層一定回数ずつ突固める。

(b) 静的方法…………アスファルト混合物を軽く突固めながらモールドにつめ、これに上下面から一定の静荷重をかけて締固める。

これらの2つの方法を作業面からみると、一長一短がある。たとえば、動的方法ではマーシャル試験用の突固め装置が使用できる可能性があるが、作業能率は悪い。これに反し、静的方法では特別の装置を必要とするが、前者より遙かに能率が良い。作業面からみて致命的な欠陥というものは動的、静的方法の何れにも見出せない。三軸試験用としては品質的に申分のない供試体が成形できるならば、いずれの方法に従っても良いと考えられる。ところで、前述の3つの成形法で品質的に十分な供試体が作れたかどうか、これを判定しうる資料は見当らない。

3. 筆者らが成形法決定の際に用いた基準

成形された供試体が品質的に満たされなければならぬ条件は次の3つであろう。

- (1) 供試体の密度が実際の舗装のそれに等しいこと。
- (2) 締まり方が均一で、供試体の何れの部分をとっても密度が等しいこと。
- (3) 打継目の影響があらわれないこと。

筆者らは、動的と静的の2つの方法で上述の3つの条件を満たす供試体を成形しようと試みた。まず最初は動的方法を実施してみたが、打継目の影響を除去することができなかつたため、静的方法に切りかえて成形を試みた。その詳細は、6、7および8節に順を追って説明する。

4. 実験に用いた供試体

供試体は $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 、使用した粗骨材は最大寸法13mmの硬質砂岩の碎石で比重2.271、吸水量1.20%である。細骨材は川砂で、その比重は2.664、吸水量1.63%である。アスファルトは針入度92のストレートで、比重1.027である。フィラーは石灰岩粉末で、比重2.714である。

使用した骨材の粒度は図-2の通りであるが、このうち13~5mmの部分は碎石、5~2.5mmは碎石と川砂が半々、2.5~0.15mmの部分は川砂だけからなり、0.15

図-2 使用した骨材の粒度曲線

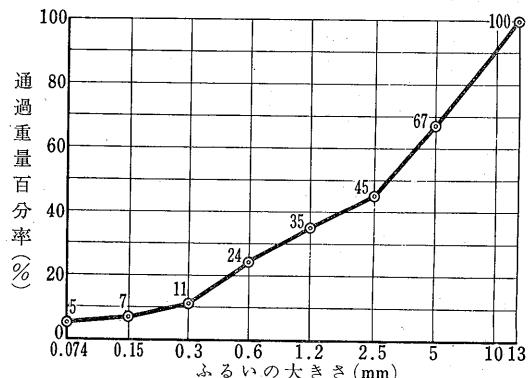


表-1 各種の成形法による供試体の密度

マーシャル 用供試体	三軸試験		
	マーシャル 用供試体	動的方法 (ランマー 突固め)	静的方法 (上下面に 20トン荷 重を30秒)
個々の供試体の 見掛け密度 (g/cm^3)	2.32 2.32 2.33 2.31 2.32	2.35 2.33 2.33 2.35 2.34	2.33 2.32 2.32 2.32 2.33
見掛け密度の平均 (g/cm^3)	2.32	2.34	2.32
供試体の密度 理論最大密度 %	96.6	97.5	96.6

mm以下の部分はほとんどがフィラーでこれにごく僅かの天然砂が混じっている。

混合物のアスファルト量は7.5%とした。

5. 密度の基準値

3節で述べたように、成形された供試体の密度は、成形法の適否を判定するための重要な鍵の1つである。

供試体の密度は実際の舗装のそれとほぼ同一でなければならない。舗装の密度は混合物の配合によって変わることから、厳密に考えれば実験に用いたものと配合のほぼ等しい舗装について、実際の密度を調べることが必要となる。本実験ではマーシャル試験用供試体が実際の密度を与えるものとみなし、マーシャル供試体と同一の密度が得られるような成形法を探すこととした。なお一般的には舗装体の密度は理論最大密度の96~98%といわれている。本実験に用いた混合物の理論最大密度は $2.40 \text{ g}/\text{cm}^3$ であるから、この基準によると、成形した供試体の密度は $2.30 \sim 2.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ であれば良いことになる。これも締まり具合を判断する際の1つの目安にできよう。

6. 動的方法による成形

前に述べたように、最初に手がけたのは動的方法で、

写真-1 [左] 正常破壊 [右] 打継目が破壊

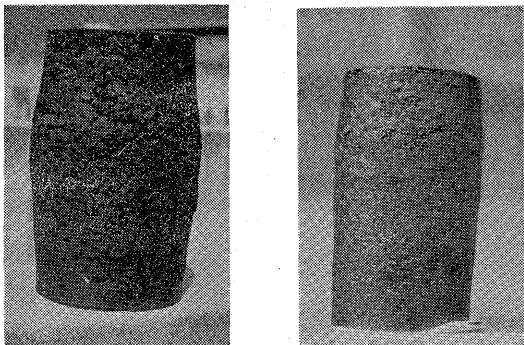


表-2 動的および静的方法によって成形された供試体の三軸試験強度
(試験温度 35°C, 側圧 2kg/cm²)

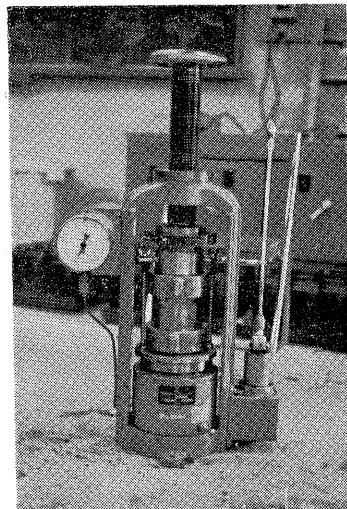
	動的方 法 (ランマー突固め)	静的方 法 (上下面に20t荷 重を30秒かける)
個々の供試体の強度 (kg/cm ²)	4.9 4.7 7.8 8.8 5.5	10.3 12.5 10.2 12.0 11.4
平均強度 (kg/cm ²)	6.3	11.3
標準偏差 (kg/cm ²)	1.65	0.91
変動係数 (%)	26	8

マーシャル試験用供試体の成形に用いる手動ランマーを用いて供試体の成形を試みた。130°Cに加熱したアスファルト混合物を4層に分けて $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の鉄製モールドに入れ、4.5kgのランマーを各層につき50回ずつ45cmの高さより落下させて供試体を成形した。この際、打継目ができるのを防ぐ意味で各層50回突固めが終った後、その表面をかきほぐしてつぎの層の試料を入れ、再び突固めるようにした。この方法によって、成形された供試体全体の平均密度は表-1に示してあるように $2.34\text{g}/\text{cm}^3$ で、理論最大密度の97.5%あった。一方、同一の混合物について成形したマーシャル試験用供試体の平均密度は $2.32\text{g}/\text{cm}^3$ であったから、目標以上の密度がえられたことになる。しかし、この供試体の密度は全体にわたって均一となっていない。アスファルトカッターで供試体を上、中、下の3部分に切断し、その密度を調べると

上部 $2.33\text{g}/\text{cm}^3$
中央部 $2.33\text{g}/\text{cm}^3$
下部 $2.36\text{g}/\text{cm}^3$

となっており、下部が他の部分よりもよく締まっている。しかも、この方法で成形した供試体は写真-1の右に示すように、三軸試験実施中に打継目から破壊することが多かった。表-2はこの方法による場合と後に述べる静

写真-2 供試体の成形に用いた加圧機 (容量 20トン)



的方法による場合の強度の試験値を比較したもので、試験温度35°C、側圧 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ の場合の値である。これによる動的方法の場合の強度は静的方法のそれに比べて著しく低い。これは打継目からの破壊が原因と考えてよいであろう。また動的方法の場合の強度の変動係数は26%であり、静的方法の場合の8%に比べて著しく大きい。このばらつきの大きいのも打継目からの破壊が原因と考えられる。密度が均一でないことも無視できない現象であるが、打継目の影響があらわれることは成形方法として致命的な欠陥といわなければならない。この打継目の影響を除去するには、材料を一層につめ一度に成形することが必要である。そこで写真-2に示す容量20トンの加圧機を用いて静的に締固めることを試みた。

7. 静的方法による成形 (その1)

まず、つぎのような方法で静的に締固めを試みた。

(1) $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の寸法に成形した際、供試体の密度がマーシャル供試体の密度 $2.32\text{g}/\text{cm}^3$ に等しくなるように1パッチ分の材料を計量する。

(2) この1パッチ分の材料を加熱混合し、 $\phi 10\text{cm}$ のモールドにつめる。上部にプランジャーを設置し、供試体の高さが20になるまでプランジャーを押込む。この際の混合物の温度は 130°C とした。

前述のように加圧機の容量は20トン(供試体の単位面積当たり $255\text{kg}/\text{cm}^2$)であったが、20トンではプランジャーが所定の位置まで下らず、供試体を所定の密度まで締固めることができなかった。そこで、20トンの荷重を繰返しあげてみたが、やはりプランジャーを所定の位置まで下げるとは不可能であった。荷重が20トンで押えられた場合、残された方法は混合物の成形温度を上げること

とである。

成形温度を少しづつ高めて20トンの繰返し載荷を繰返した結果、155°Cで目標の密度を確保することができた。この成形法を詳しく述べるとつぎのようである。温度155°Cの混合物に荷重を加え、20トンに達したら1分間そのまま持続させておく。1分経過した後、荷重を0にもどして、再び20トンまで加圧する。この操作を4回繰返すとプランジャーは所定の位置までそう入され、供試体の密度は目標とするマーシャル供試体のそれと等しくなった。また、この方法で成形した供試体の密度は上、中および下の3部分でほぼ等しく、供試体全体にわたって均一であるとみなすことができた。

8. 静的方法による成形（その2）

前節の方法で、一応品質的に満足しうる供試体が作製できるようになったので、筆者らはこの方法で供試体を成形して三軸圧縮試験を実施してきた⁴⁾。しかし、この方法では一定重量の材料を一定容積になるよう成形するため、1バッチに供試体1個しか計量できない。これは極めて能率が悪い。1バッチの材料としては2個以上を計量したいところである。また、成形温度が155°Cというのは高すぎる。操作に注意力を欠くとアスファルトを変質させる危険性も大きく、加熱作業も楽でない。これらの欠点を除去するために、その後も引き続いてより秀れた静的成形法の研究を続け、以下に述べるような方法を開発した。

まず、130°Cのアスファルト混合物を4層に入れ、φ16mmの鉄製突棒で各層25回ずつ突固める。φ16mmの突棒で突いたのは、モールドにつめた試料の容積をある程度減少させてプランジャーの挿入を容易にするためである。つぎに7節で述べた方法と同様、供試体の上面から20トンの荷重を加える。この場合、ただ1回の加圧ではなく、4回繰返し加圧する。このようにして成形した供試体の密度は2.32g/cm³（5個平均）であった。前に述べたようにマーシャル試験用に成形した供試体の密度は2.32g/cm³であるから、この締固め方法で目標とする密度がえられたわけである。ところが、この方法で成形した供試体の密度は全体にわたって均一とならない。アスファルトカッターで供試体を上、中および下の3部分に切断し、その密度を調べた結果はつぎのようである。

上 部	2.35 g/cm ³
中央部	2.33 "
下 部	2.27 "

これは上部から加圧した際、アスファルト混合物が側方

表-3 成形した供試体の密度

供試体全体 の密 度	(a) 上下面に10 屯荷重を2 回ずつ加え た場合	(b) 上下面に10 屯荷重を3 回ずつ加え た場合	(c) 上下面に15 屯荷重を2 回ずつ加え た場合	(d) 上下面に20 屯荷重を1 回ずつ加え た場合	(e) 上下面に20 屯荷重を2 回ずつ加え た場合
	g/cm ³				
2.31	2.32	2.32	2.32	2.32	2.35
上 部	2.31	2.32	2.32	2.32	2.35
中 央 部	2.30	2.32	2.32	2.32	2.34
下 部	2.31	2.32	2.32	2.32	2.35

表-4 ソックスレーによる抽出後の骨材粒度

ふるいの寸法 (mm)	ふるい通過量 (%)		
	配合粒度	供 試 体	
	上 部	中央部	下 部
13	100	100	100
5	67	68	66
2.5	45	47	45
1.2	35	36	34
0.6	24	25	23
0.3	11	12	11
0.15	7	7	6
0.074	5	5	4

に膨張し、混合物とモールドとの摩擦によって十分下側まで力が伝わらないためと考えられる。7節の方法でこのような不都合が生じなかったのは成形温度が高かったからであろう。このように考えてくると、つぎにはY.H. Huang³⁾の2重プランジャー法にならって、上下から締め固めることを試みるのが順序であろう。しかし、この方法を実施するには、新しくモールドと加圧板を作成しなければならない。その労を省くため、筆者らは上部から加圧成形したのち、上下面を逆にして再び加圧してみた。加圧荷重は10トン、15トンおよび20トンの3種を用い、いずれの場合も30秒間一定荷重に保った。これらの成形結果を示すと表-3の通りである。この表によると密度は上部から下部までほぼ均一になっている。すなわち、2重プランジャー法を用いなくとも上部と下部とから別々に加圧することによって供試体を確保できるのである。ところで、マーシャル試験の供試体密度2.32g/cm³とほぼ同じ密度となっているのは表-3(b), (c)および(d)であって、(a)は密度不足であり、(e)は密度過大である。したがって、(b)～(d)のうちの何れかの方法で成形すれば良いことになる。また、成形圧20トンで作成された供試体の強度変動は、すでに表-2に示しておいたように、試験温度35°C、側圧2kg/cm²の場合の変動係数が8%であるから、この成形法によった場合、試験値

のばらつきは十分満足しうる範囲内に収まると考えられる。表-4は念のため20トンで成形した供試体各部の骨材粒度を調べた結果である。当然のことながら、骨材粒度は供試体全体にわたって一様とみなしてよい。

9. 答者らの推奨する成形法

以上 実験結果にもとづいて、アスファルト三軸試験用供試体 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$) の成形方法として、答者らはつぎの方法を推奨したい。

(1) アスファルト混合物の温度を 130°C とする。この際、モールド自身も加熱しておき、成形時にもこの温度を下廻らないようにする。

(2) アスファルト混合物は4層に分けてモールドにつめる。モールドに試料をつめる際、各層は鉄製の丸棒で軽く25回ずつ突いておく。

(3) 試料をつめ終ったら、上下面から加圧成形する。まず、上面から加圧しておき、荷重が20トンに達したら荷重を30秒間そのままとした後、荷重を0に戻す。つぎに供試体面を逆にして、上と同様の操作を行なう。

(4) 加圧機の容量の関係で20トンの荷重を用いること

ができるないときは、15トンあるいは10トンの荷重を用い、上下の各面についてそれぞれ2回あるいは3回の繰返し載荷を行なえばよい。

参考文献

1. K. E. Secor and C. L. Monismith, Analysis of Triaxial Test Data on Asphalt Concrete Using Viscoelastic Principles, HRB, Proc., 1961
2. J. C. Oppenlander and W. H. Goetz, Triaxial Testing of Bituminous Mixture at High Confining Pressure, HRB, Proc., 1958
3. Y. H. Huang, Deformation and Volume Change Characteristics of a Sand-Asphalt Mixture Under Constant Direct and Triaxial Compressive Stresses, HRR, No. 178, 1967
4. 川上正史、荻野正嗣、吉本彰、アスファルトコンクリートのレオロジー・モデルについて、土木学会関西支部年次学術講演会、昭和47年6月1日

(昭和48年10月1日 土木学会年次学術講演会発表 投稿)

海外ニュース

フルデプス-アスファルト試験舗装（ドイツ）

市街地でのフルデプス舗装の技術的および経済的可能性を検討した。200m試験区間に、標準構造(総厚74.0~104cm)と32.0~37.0cm厚のオーバーレイとを比較した。アスファルトオーバーレイ法は標準法に比べて7.1~18.6%安価である。

W. J. Kawohl & D. R. Moche

Bitumen, Teere, Asphalte, Peche

24. #8 : 331-37 (Aug. 1973)

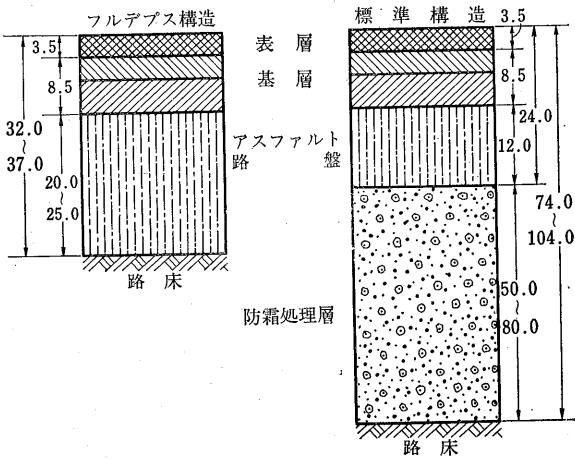
マスチックアスファルトとエボキシを組合せの橋面舗装

鋼床版の橋面舗装に、改質アスファルトの代りにエボキシ樹脂を用いた処方は、耐食性、とくに塩分による腐食防止に有効であった。

K. H. Conrad

Bitumen, Teere, Asphalte, Peche

24. #10 : 416 (Oct. 1973)



ゴムアスによる道路舗装

イタリヤのE.N.I.は1969年来、合成ゴム-アスファルト混合物を道路の表層に施工し、試験結果は良好である。舗装面積は750,000ft²。

(Hydrocarbon Process 52 #7 : 9 (July 1973))

[海外ニュース担当: 増永 緑 (日本石油)]

シックリフト工法によるアスファルト安定処理路盤に関する試験舗装

土木研究所舗装研究室

1. 目的

シックリフト工法によるアスファルト安定処理路盤を設計ならびに施工する場合の問題点として、次のことが指摘できる。

- (1) シックリフト工法によるアスファルト安定処理路盤の層の支持力効果はどうか。
- (2) アスファルト混合物層温度と表面たわみ量との関係は、どのようにあるか。（主として舗装完成後の経年変化）
- (3) 混合物層温度と塑性変形量との関係はどうか。（施工直後）
- (4) 混合物の締固め度、空隙率と塑性変形量との関係はどうか。（(3)に関連して考える）

舗装研究室では、これらの問題点の解明のために、ピットを利用した試験舗装を計画実施し、実際の施工段階で支持力試験を中心に調査した。

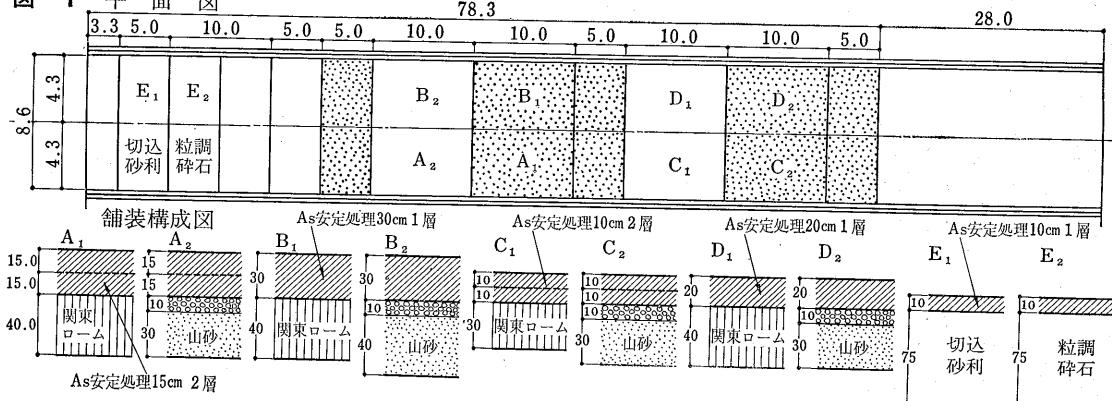
2. 試験舗装の概要

試験舗装は土木研究所の屋外ピット（幅 8.6m、長さ 100m）を利用して、ここに 1 区間 4.3m × 10.0m の試験路盤を表-1 に示す因子と水準の組合せで合計 10 種類設けた。試験舗装の舗装構成ならびに平面的なわりつけは図-1 に示すとおりである。

(1) 路床工 試験舗装では関東ローム原地盤上に、関東ローム、山砂+切込碎石層よりなる新たな上部路床を設けた。関東ロームによる上部路床は仕上り厚 40cm の施工とした。山砂+切込碎石による上部路床は山砂 30cm 切込碎石 10cm の仕上り厚とした。

(2) 材料 路床に使用する材料は表-2 に示す関東ローム、山砂および切込碎石とした。

図-1 平面図



(3) 敷均し転圧 関東ローム区間はブルトーザー（接地圧 0.2~0.3kg/cm²）で敷均し、料をみださない範囲で十分締固めを行った。山砂区間はブルトーザーで敷均した後、初期転圧を振動ローラ、二次転圧および仕上げ転圧をタイヤローラで行った。切込碎石区間はタイヤローラにて締固めを行った。

(4) アスファルト安定処理路盤工 アスファルト安定処理路盤工は、路盤工 A, E, C, D, E の 5 工区とした。型枠は舗設厚が 10cm, 15cm, 20cm, 30cm になるよう正しく路盤に固定し、敷均し、転圧など施工中に狂わないよう設置した。30cm 厚についてはコンクリート用型枠を利用した。

(5) 材料 アスファルト安定処理に使用する材料は表-3 のとおりとした。アスファルト安定処理の最大骨材粒度は 30mm とした。

(6) 配合 アスファルト安定処理の配合は表-4 を標準とするが、骨材配合比については、仕様粒度範囲の中央値を目標粒度として配合調整を行なった。その結果アスファルト量は 4.5% とした。

(7) 敷均し、転圧 敷均しはブルドーザーと人力によって行なった。ローラの組み合せは、初期転圧をタンデムローラ、2 次転圧をタイヤローラ、仕上げ転圧をマカダムローラで行なった。転圧終了後、路面の温度勾配を調べるために、表面型温度計で 9 点/1 層・区間の割合で一定時間毎に表面温度を測定した。アスファルト安定処理路盤の最上層は、施工時の各種試験終了後 20 回まで転圧を行なった。転圧段階 (5, 10, 15, 20 回) に応じてベンケルマンたわみ量試験、縦断凹凸量試験、横断凹凸量試験を行なった。

今回の試験舗装の工事は日本舗道(株)が行なった。

表-1

因 子		水 準
A	アスファルト 混 合 物	A 切碎+スクリーニングス
B	施 工 厚	B ₁ 2層仕上り厚 10cm B ₂ 20cm B ₃ 30cm
C	仕 上 げ 厚	C ₁ 1層仕上げ C ₂ 2層仕上げ
D	路 床 条 件	D ₁ 関東ローム路床 D ₂ 山砂+切込碎石路床

施工 転圧はマカダム+タイヤ+タンデムの組合せ
締固め温度を一部変化させる。

表-2

関東ローム	自然含水比100~120% P I 20以下 qc 7以上	機械施工可 能なもの
山 砂	0.074mm通過量 10%以下	
切込 碎 石	現場発生品	

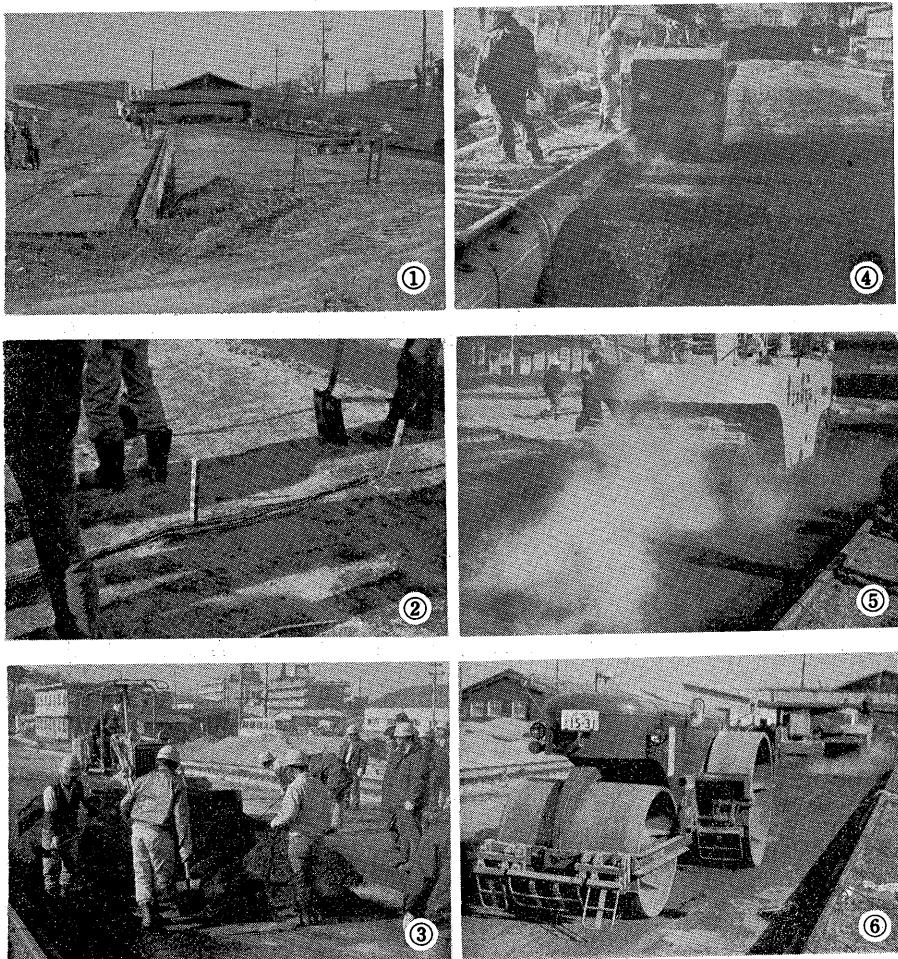
表-3

使 用 材 料	材 料 の 種 類
アスファルト	針入度 80~100
粗 骨 材	4号, 5号, 6号, 7号
細 骨 材	山砂
スクリーニングス	5.0~0mm

表-4

仕様	30	20	13	5	2.5	0.4	0.074
粒度	100	100	90	50	60	35	10
範囲	~50	~50	~45	~20	~20	~10	~2

写真説明



- ①試験舗装全景；静的、動的平板載荷試験機を移動できるレールを備えた幅8.6m、長さ100mの試験舗装全景。
- ②温度計；温度計、記録計の結線が終った状態。このあとサーミスターが倒れないようにして合材が搬入される。
- ③合材敷き均し；ダンプで搬入された合材はブルトーザ(2.5トン)で連続的に行なった。
- ④初期転圧；レーキで整止められた後、初期転圧を2トンタンデムローラで行なった。
- ⑤2次転圧；2次転圧はタイヤローラで行なった。
- ⑥仕上げ転圧；マカダムローラで行ない、一部、鉄輪のマークが残ったところはタンデムローラで消した。

別冊「アスファルト」をおわけしております

☆頒価 各号とも 200円（郵便切手にても可）
☆ハガキ（あと払い）のお申込みはご遠慮下さい。

☆申込先 日本アスファルト協会 別冊係
105 東京都港区芝西久保明舟町12 和孝第10ビル

号 数	内 容	執 筆 者
別冊 No.11 昭和42年9月発行 (第16回アスファルト ゼミナー)	アスファルト舗装の各種設計方法について アスファルト混合物の施工について 最近のアスファルト舗装の2, 3の問題点 東名高速道路の舗装について	菅 原 照 雄 松 野 三 朗 岸 文 雄 石 田 季 久
別冊 No.12 昭和43年12月発行 (第17回アスファルト ゼミナー)	最近の各国のアスファルト舗装設計について アスファルト舗装の検査と品質管理 アスファルト乳剤安定処理実績調査 東名高速道路の安定処理工法 簡易舗装の現状	植 下 協 松 野 朗 岩 濑 正 近 藤 正 高 見 博
別冊 No.13 昭和44年11月発行 (第18回アスファルト ゼミナー)	中国地建管内のアスファルト舗装について 最近の舗装用材料について アスファルト舗装施工上の問題点 岡山県の乳剤安定処理工法 簡易舗装について	和 気 功 昆 布 竹 工 谷 郎 坂 藤 忠 南 出 康 雲 貞 人 高 夫
別冊 No.14 昭和45年11月発行 (第19回アスファルト ゼミナー)	アスファルト舗装工事共通仕様書について アスファルト乳剤の動向と問題点 福岡県の簡易舗装概況報告 土木建設における最近のアスファルトの利用	南 雲 貞 夫 福 島 文 朗 谷 啓 輔 物 部 保
別冊 No.15 昭和46年6月発行 (第21回アスファルト ゼミナー)	アスファルトの流通について スタビライザー工法の実状と趨勢 アスファルト舗装の施工上の問題点 アスファルト舗装の設計の推移と現状	石 井 賢 一 稻 埴 健 三 埴 原 弥 夫 南 雲 貞 夫
別冊 No.17 昭和47年2月発行 (第23回アスファルト ゼミナー)	積雪寒冷地の高速道路の舗装について アスファルト舗装の破損とほく離現象 札幌市における防塵処理 アスファルトの供給について	瀬 戸 薫 南 雲 貞 出 来 謙 山 本 三 岡 高 英
別冊 No.18 昭和47年7月発行 (第24回アスファルト ゼミナー)	アスファルトの生産について 本四連絡橋と国土開発の構想 四国の道路整備について アスファルト舗装の施工上の問題点 アスファルト乳剤による表面処理	古 田 純 福 井 彦 藤 井 明 物 部 保 檜 埠 彦
別冊 No.19 昭和48年2月発行 (第25回アスファルト ゼミナー)	湿潤時作業可能な舗装補修材料の開発研究 くらしの道路 積雪寒冷地のアスファルト舗装の問題点 アスファルト舗装要綱のその後の問題点	萩原 浩・阿部 順政 鳥 居 敏 彦 西 野 徹 郎 藤 井 芳 芳
別冊 No.20 昭和48年7月発行 (第26回アスファルト ゼミナー)	市町村道舗装の現状と今後の問題点 アスファルト舗装の現状と今後の適用 道路舗装破壊の要因分析と維持補修計画 中国地建管内の舗装の実態と問題点	三 野 四 藤 井 治 弘 山 本 延 正 松 延 夫 義

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
〔メーカー〕		
アシア石油株式会社	(100) 東京都千代田区内幸町2-1-1	03(506) 5649
大協石油株式会社	(104) 東京都中央区京橋1-1	05(562) 2211
エッソスタンダード石油(株)	(105) 東京都港区赤坂5-3-3	03(584) 6211
富士興産株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-4-3	03(580) 3571
富士興産アスファルト(株)	(100) 東京都千代田区永田町2-4-3	03(580) 0721
富士石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-2-3	03(211) 6531
出光興産株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内3-1-1	03(213) 3111
鹿島石油株式会社	(105) 東京都港区芝琴平町38	03(503) 4371
共同石油株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-11-2	03(580) 3711
極東石油工業株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-7-2	03(270) 0841
丸善石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-5-3	03(213) 6111
三菱石油株式会社	(105) 東京都港区芝琴平町1	03(501) 3311
モービル石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-7-2	03(270) 6411
日本鉱業株式会社	(105) 東京都港区赤坂葵町3	03(582) 2111
日本石油株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
日本石油精製株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
三共油化工業株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-4-1	03(216) 2611
西部石油株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-2-1	03(216) 6781
シェル石油株式会社	(100) 東京都千代田区霞が関3-2-5	03(580) 0111
昭和石油株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-7-3	03(231) 0311
昭和四日市石油株式会社	(100) 東京都千代田区有楽町1-11	03(211) 1411
谷口石油精製株式会社	(512) 三重県三重郡川越町高砂	0593(65) 2175
東亜燃料工業株式会社	(100) 東京都千代田区一ツ橋1-1-1	02(213) 2211
東北石油株式会社	(983) 宮城県仙台市中野字高松238	02236(2) 8141
ユニオン石油工業株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-4-2	03(211) 3661

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
----	----	----

[ディーラー]

● 北海道

アサヒレキセイ(株) 札幌支店	(064) 札幌市中央区南4条西10-1003-4	011 (521) 3075	大	協
(株) 南部商会札幌出張所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7587	日	石
株式会社ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (261) 7469	丸	善
(株) 沢田商行北海道出張所	(060) 札幌市中央区北2条西3丁目	011 (251) 0833	札	丸
(株) トーアス札幌営業所	(064) 札幌市中央区南15条西11	011 (561) 1389	共	石
萬井石油株式会社	(060) 札幌市中央区北5条西21-411	011 (611) 2171	丸	善

● 東 北

アサヒレキセイ(株) 仙台支店	(980) 宮城県仙台市中央3-3-3	0222 (65) 1101	大	協
(株) 木畑商会仙台営業所	(980) 宮城県仙台市中央2-1-15	0222 (22) 9203	共	石
中西瀝青(株) 仙台営業所	(980) 宮城県仙台市中央2-1-30	0222 (23) 4866	日	石
(株) 南部商会仙台出張所	(980) 宮城県仙台市中央2-1-17	0222 (23) 1011	日	石
有限会社男鹿興業社	(010-05) 秋田県男鹿市船川港船川字化世沢178	01852(4) 3293	共	石
竹中産業(株) 新潟営業所	(950) 新潟市東大通1-4-2	0252 (46) 2770	シエル	

● 関 東

アサヒレキセイ株式会社	(104) 東京都中央区八丁堀3-3-5	03 (351) 8011	大	協
アスファルト産業株式会社	(103) 東京都中央区八丁堀4-4-13	03 (553) 3001	シエル	
富士鉱油株式会社	(105) 東京都港区新橋4-26-5	03 (432) 2891	丸	善
富士油業(株) 東京支店	(106) 東京都港区西麻布1-8-6	03 (478) 3501	富士興産アス	
関東アスファルト株式会社	(336) 浦和市岸町4-26-19	0488 (22) 0161	シエル	
株式会社木畑商会	(104) 東京都中央区八丁堀4-2-2	03 (552) 3191	共	石
国光商事株式会社	(165) 東京都中野区東中野1-7-1	03 (363) 8231	出	光
極東資材株式会社	(105) 東京都港区新橋2-3-5	03 (504) 1528	三	石
三菱商事株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-6-3	03 (210) 6290	三	石
三井物産株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-2-9	03 (505) 4952	極東	石
中西瀝青株式会社	(103) 東京都中央区八重洲1-2-2	03 (272) 3471	日	石
株式会社南部商会	(100) 東京都千代田区丸の内3-4-2	02 (212) 3021	日	石
日本輸出入石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-2-3	03 (211) 6711	共	石
日東石油販売株式会社	(104) 東京都中央区銀座4-13-13	03 (543) 5331	シエル	
日東商事株式会社	(162) 東京都新宿区矢来町61	03 (260) 7111	昭	石
瀝青販売株式会社	(103) 東京都中央区日本橋2-16-3	03 (271) 7691	出	光
菱東石油販売株式会社	(101) 東京都千代田区神田6-15-11	03 (833) 0611	三	石
菱洋通商株式会社	(104) 東京都中央区銀座4-2-14	03 (564) 1321	三	石
三徳商事(株) 東京営業所	(101) 東京都千代田区岩本町1-3-7	03 (861) 5455	昭	石
株式会社沢田商行	(104) 東京都中央区入船町1-7-2	03 (551) 7131	丸	善
新日本商事株式会社	(101) 東京都千代田区神田錦町2-7	03 (294) 2961	昭	石
昭和石油アスファルト株式会社	(140) 東京都品川区南大井1-7-4	03 (761) 4271	昭	石

社団法人 日本アスファルト協会会員

名	住	所	電	話
住商石油株式会社	(101)	東京都千代田区神田美土代町1	03 (292) 3 9 1 1	出光
大洋商運株式会社	(100)	東京都千代田区有楽町1-2	03 (503) 1 9 2 1	三石
東光商事株式会社	(104)	東京都中央区京橋1-6	03 (274) 2 7 5 1	三石
株式会社トーアス	(100)	東京都千代田区内幸町2-1-1	03 (501) 7 0 8 1	共石
東京富士興産販売株式会社	(105)	東京都港区芝琴平町34	03 (503) 5 0 4 8	富士興産アス
東京レキセイ株式会社	(141)	東京都品川区西五反田8-12-10	03 (493) 6 1 9 8	富士興産アス
東京菱油商事株式会社	(160)	東京都新宿区新宿1-10-3	03 (352) 0 7 1 5	三石
東生商事株式会社	(150)	東京都渋谷区渋谷町2-19-18	03 (409) 3 8 0 1	三共・出光
東新瀝青株式会社	(103)	東京都中央区日本橋2-13-5	03 (273) 3 5 5 1	日石
東洋アスファルト販売株式会社	(107)	東京都港区赤坂5-3-3	03 (584) 6 2 1 1	エッソ
東洋国際石油株式会社	(104)	東京都中央区八丁堀3-3-5	03 (552) 8 1 5 1	大協
梅本石油株式会社	(162)	東京都新宿区新小川町2-10	03 (269) 7 5 4 1	丸善
宇野建材株式会社	(241)	横浜市旭区笛野台168-4	045 (391) 6 1 8 1	三石
ニニ石油株式会社	(105)	東京都港区西新橋1-4-10	03 (503) 0 4 6 7	シエル
渡辺油化興業株式会社	(107)	東京都港区赤坂3-21-21	03 (582) 6 4 1 1	昭石
横浜米油株式会社	(231)	横浜市神奈川区金港町7-2	045 (441) 9 3 3 1	エッソ

● 中 部

アサヒレキセイ(株)名古屋支店	(466)	名古屋市昭和区塩付通4-9	052 (851) 1 1 1 1	大協
ビチユメン産業(株)富山営業所	(930)	富山市奥井町19-21	0764 (32) 2 1 6 1	シエル
千代田石油株式会社	(460)	名古屋市中区栄1-24-21	052 (201) 7 7 0 1	丸善
富士フロー株式会社	(910)	福井市下北野町東坪3字18	0776 (24) 0 7 2 5	富士興産アス
名古屋富士興産販売(株)	(451)	名古屋市西区庭町2-38	052 (521) 9 3 9 1	富士興産アス
中西瀝青(株)名古屋営業所	(460)	名古屋市中区錦町1-20-6	052 (211) 5 0 1 1	日石
三徳商事(株)名古屋営業所	(453)	名古屋市中村区則武町2-7	052 (452) 2 7 8 1	昭石
株式会社三油商行	(460)	名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7 7 2 1	大協
株式会社沢田商行	(454)	名古屋市中川区富川町1-1	052 (361) 7 1 5 1	丸善
新東亜交易(株)名古屋支店	(453)	名古屋市中村区広井町3-88	052 (561) 3 5 1 1	三石
静岡鉱油株式会社	(424)	静岡県清水市袖師町1575	0543 (66) 1 1 9 5	モービル
竹中産業(株)福井営業所	(910)	福井市大手2-4-26	0776 (22) 1 5 6 5	シエル

● 近畿

アサヒレキセイ(株)大阪支店	(550)	大阪市西区北堀江5-55	06 (538) 2 7 3 1	大協
千代田瀝青株式会社	(530)	大阪市北区此花町2-28	06 (358) 5 5 3 1	三石
富士アスファルト販売株式会社	(550)	大阪市西区京町堀3-20	06 (441) 5 1 5 9	富士興産アス
平和石油株式会社	(530)	大阪市北区宗是町1	06 (443) 2 7 7 1	シエル
平井商事株式会社	(542)	大阪市南区長堀橋筋1-43	06 (252) 5 8 5 6	富士興産アス
関西舗材株式会社	(541)	大阪市東区横堀4-43	06 (271) 2 5 6 1	シエル
北坂石油株式会社	(590)	堺市戎島町5丁32	0722 (32) 6 5 8 5	シエル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話	
毎日石油株式会社	(540) 大阪市東区京橋3-11	06 (943) 0351	エッソ
株式会社松宮物産	(522) 彦根市幸町32	07492 (3) 1608	シエル
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市東淀川区塚本町2-22-9	06 (301) 8073	丸善
三菱商事(株)大阪支社	(530) 大阪市北区堂島浜通1-15-I	06 (343) 1111	三石
中西瀬青(株)大阪営業所	(532) 大阪市東淀川区中島町3-261	06 (303) 0201	日石
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市大淀区豊崎西通2-7	06 (372) 0031	富士興産アス
大阪菱油株式会社	(541) 大阪市東区北浜5-11	06 (202) 6371	三石
三徳商事株式会社	(531) 大阪市東淀川区新高南通2-22	06 (394) 1551	昭石
(株)沢田商行大阪支店	(542) 大阪市南区鶴谷西之町50	06 (251) 1922	丸善
正興産業株式会社	(662) 西宮市久保町2-1	0793 (34) 3323	三石
(株)シェル石油大阪発売所	(530) 大阪市北区堂島浜通1-25-1	06 (343) 0441	シェル
新川崎物産株式会社	(650) 神戸市生田区江戸町98	078 (391) 6511	昭石・大協
梅本石油(株)大阪営業所	(550) 大阪市西区新町北通1-17	06 (351) 9064	丸善
山文事横株式会社	(550) 大阪市西区土佐堀通1-13	06 (443) 1131	日石
横田瀬青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨南細江995	0792 (35) 7511	共石
アサヒレキセイ(株)広島支店	(730) 広島市大手町3-3-8	0822 (44) 6262	大協
● 四国・九州			
アサヒレキセイ(株)九州支店	(810) 福岡市中央区鳥飼1-3-52	092 (77) 7436	大協
畑礦油株式会社	(804) 北九州市戸畠区牧山新町1-40	093 (871) 3625	丸善
平和石油(株)高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255	シェル
入交産業株式会社	(780) 高知市大川筋1-1-1	0888 (73) 4131	富士・シェル
株式会社カンド	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5111	シェル
九州菱油株式会社	(805) 北九州市八幡町山王1-17-11	093 (66) 4868	三石
丸菱株式会社	(812) 福岡市博多区博多駅前1-9-3	092 (43) 7561	シェル
西岡商事株式会社	(764) 香川県多度津町新町125-2	08773 (2) 3435	三石
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131	富士興産アス
(株)シェル石油徳島発売所	(770) 徳島市中州町1-10	0886 (22) 0201	シェル

☆編集委員☆

阿部頼政	木畠 清	藤井治芳
石動谷英二	高見 博	原 薫哉
印田俊彦	多田宏行	増永 緑
牛尾俊介	南雲貞夫	松野三朗
加藤兼次郎	萩原 浩	山野一郎

アスファルト 第95号

昭和49年2月発行

社団法人 日本アスファルト協会

東京都港区芝西久保明舟町12 TEL 03-502-3956

本誌広告一手取扱

株式会社 広業社

東京都中央区銀座8の2の9 TEL 東京 (571) 0997(代)

ASPHALT

Vol. 17 No. 95

FEBRUARY 1974

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION