

ISSN 0386—5878

土研資料 第1633号

土木研究所資料

アスファルト舗装の振動締固め実験

第 2 報

昭和56年3月

建設省土木研究所
機械施工部施工研究室

ま え が き

近年、道路舗装工事の規模の拡大に伴ない、アスファルトプラントおよびアスファルトフィニッシャーの増大が図られ、これに応じた能力の増大が要望されている。

また、舗装修繕工事の急速施工法としてシックリフト工法の採用が検討されているが、これに対応して厚い層でも十分に締固め可能な転圧機械が求められている。さらに、自動車交通量の増大と車輻の大型化に伴ない輪荷重の増大による路面のわだち堀れ現象防止対策として、基層、表層の高密度化が有効とされており、この要請にあった転圧機械が求められている。

これらの条件を満すものとして、欧米諸国ではすでに本格的に大型振動ローラが使用されているものの、我が国では欧米ほど普及しておらず、わずかに高速道路の安定処理路盤や基層においてタイヤローラと併用されている程度である。しかし今後は大型振動ローラによる施工がしだいに増加するものと予想される。

そこで、施工研究室ではアスファルト舗装工事における振動ローラの適用性について検討する目的で、実用機を用いた構内実験を始め、現場実験および実験用振動ローラを用いた室内実験を行ってきた。

この結果、締固め効果および表面仕上り精度等には従来工法と比較しても大きな問題がないこと、また、各締固め要因と締固め効果の関係についてある程度把握することができたので、ここに現在まで行なった調査についてまとめておく。

昭和56年3月

施工研究室 室長 千 田 昌 平
木 村 直 紀

目 次

まえがき	
1. 実験の目的	1
2. 振動ローラによるアスファルト舗装転圧の概況	2
2.1 振動ローラの種類と特徴	2
2.2 海外における振動転圧の概況	3
2.3 我が国における振動転圧の概況	4
3. 振動ローラによる締固め特性	5
4. 実用機による締固め実験	8
4.1 実験概要	8
4.2 振動ローラの仕様	8
4.3 路床, 路盤およびアスファルト混合物	8
4.4 実験条件	15
4.5 測定方法	18
4.6 実験結果および考察	20
5. 実験用振動ローラによる締固め実験	30
5.1 実験概要	30
5.2 実験用振動ローラの仕様	30
5.3 路床, 路盤およびアスファルト混合物	32
5.4 実験条件	37
5.5 測定方法	40
5.6 実験結果および考察	41
6. 締固めエネルギーと締固め度	48
7. 現場締固め実験	53
7.1 実験概要	53
7.2 実験結果および考察	54
8. 結 論	59
9. 今後の問題点	62
参考文献	63
付 表	64

1 実験の目的

振動ローラは自重と鉄輪の振動によるアスファルト混合物をより高密度に締固めるもので、これまでの施工実績、試験施工から次のような特長をもつと言われている。

- 1) 締固め効果が大きく、静的ローラに比べて少ない転圧回数ですむ。
- 2) 低温のアスファルト混合物や極端な粗粒の混合物でも十分に締固めることができる。
- 3) 動的な締固めであるため、深層まで締固め効果が及ぶ。したがって厚層の締固め（シックリフト工法）が可能である。
- 4) 1 台の振動ローラで初転圧から仕上げ転圧まで施工可能である。

一方、振動ローラによるアスファルト舗装には次のような問題点が指摘されている。

- 1) 小波やヘアークラックが発生しやすい。
- 2) アスファルトがはく離する恐れがある。
- 3) 砕石が割れやすく、骨材の配列に問題がある。
- 4) タイヤローラのようなニーディング作用がないためアスファルトでシールする効果がない。

これらの特長、問題点は我が国における少ない施工実績の中から断片的に見出されたもので必ずしも一般性があるものではない。

また、振動ローラによる締固め効果に影響を及ぼす要因は数多く、しかもそれらが複雑に関係合っているために締固め特性は十分に解明されていないのが実状である。このため現状においては必ずしもアスファルト混合物の締固めに適した方法で施工されているとはいえない。

以上のことから今後振動ローラをアスファルト舗装の締固め機械としてより有効に活用するためには次の点を明らかにしておく必要がある。

- 1) アスファルト混合物の条件、施工条件および振動ローラの機械的条件が締固め効果に与える影響。
- 2) 振動ローラを用いた施工方法と従来工法との施工能力および舗装の品質の差異。
- 3) 施工法の違いが舗装完成後および供用開始後の品質に及ぼす影響。

そこで、これらの点について調査し、さらに振動ローラによるアスファルト舗装の適切な施工法を確立することを目的として次の実験を行なった。

- 1) 実用機を用いた締固め実験
- 2) 実験用振動ローラを用いた締固め実験
- 3) 実用機を用いた現場締固め実験

2 振動ローラによるアスファルト舗装転圧の概況

2.1 振動ローラの種類と特徴

現在わが国で製作しているものおよび海外から導入している振動ローラは、その公称重量が0.3tの超小型のものから17.8tの大型に至るまで実に114種類にも及んでいる。

この内訳を重量別に整理したのが図2-1である。図に示すように、1t未満の小型のものが最も種類が多い。また、特に定義はないが、一般に振動ローラの場合に大型ローラといえは、ほぼ6t以上のものを指す。

図2-2は、振動ローラを構造形式によって分類したもので、このうち、アスファルト舗装の転圧用としては、道路維持補修用に小型のものが用いられるほか、新設の舗装には6~10tクラスのタンデム型およびタイヤローラと組み合わせたコンパインド型が用いられる。同じタンデム型にも両輪振動・両輪駆動型と片輪振動・片輪駆動型があり、これにコンパインド型が加わり、それぞれの適応性が論じられている。

例えば、C.S.Hughes²⁾による1974年の米国50州を対象にアンケート調査した結果から、米国の現状をみると以下のとおりである。

まず、振動ローラを表層仕上げまでに適用することについては、35の州が認めている。コンパインドローラについては、そのうち30の州までが使用を単に認めているが、申請によってそれを認可している。また、ニューヨーク州交通省ではコンパインド型の方を使用するようにしている。

さらに、このコンパインド型と両輪振動・両輪駆動型を比較した場合、コンパインド型にはけん引力が大きく、かつ表面がよく締め固まるという利点はあるが、ローラにアスファルトが付着したりタイヤマークが付くなどの欠点もあるなど、両者の比較では特に結論が出ていない。片輪振動・片輪駆動型と両輪振動・両輪駆動型とでは、一般に後者の方が前者の1/2の転圧回数で規定密度に達すると報じている。全体的には振動ローラは中間転圧（二次転圧）に多く用いられる傾向にある。

更に、同調査では米国主要ローラメーカー11社がアスファルト舗装用として製作している41種類の型式について次のような結果を得ている。

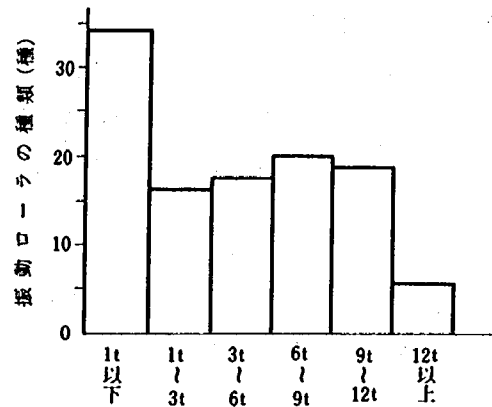


図2-1 振動ローラの重量と種類

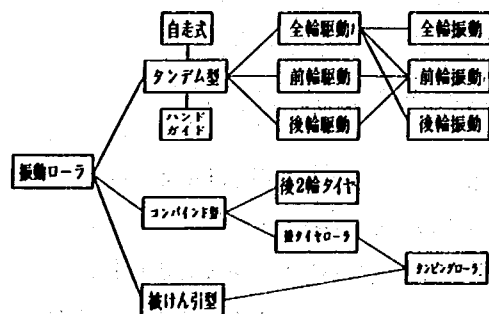


図2-2 振動ローラの分類

すなわち、41型式のうち29種が片輪振動・片輪駆動型で、12種類が両輪振動・両輪駆動型になっている。そのうち高速道路用が、前者に22種、後者に9種類ある。また、振動数は、大部分が1,000~1,200 vpmから2,200~2,400 vpmの範囲のもので、900~1,700 vpm, 2,200~2,500 vpm, および1,600~4,000 vpmのものが各1社ずつある。振幅については41種のうち23種が選択型になっている。

2.2 海外における振動転圧の概況

欧米各地では振動ローラをアスファルト舗装転圧に適用するに当って独自に数多くの試験転圧を行っている。その現況は1977年に米国テキサス州で行われたアスファルト舗装技術者協会会報などから、L. Forssblad³⁾によってまとめられている。その要点は以下のとおりである。

カリフォルニア州交通省では、何種類かの振動ローラと従来の静的ローラとタイヤローラを組み合わせた工法とを比較し、マーシャル法より高い密度が得られるニーデングコンパクタを用いた基準の95%を満足しているのは、振動ローラのみであるという結果を得ている。

WES(米国陸軍水路試験所)では従来工法と両輪振動・両輪駆動型およびコンバインド型振動ローラとの比較試験を行い、いずれの場合も振動ローラ転圧が優れた締固め性能を示すことを確認している。これによって、工兵隊では仕様書を変更して基層から表層までの締固めに振動ローラによる転圧を推奨している。

イリノイ州およびニューヨーク州でも上記の場合と同様の結果を得ており、アスファルト混合物の舗設後締固め完了まで従来工法よりも約1/3の時間で終了している。また、密度のばらつきも従来工法の約1/2になっていると報告している。

オランダでは、静的ローラとタイヤローラを組み合わせ用いた場合と振動ローラの場合とを舗装厚40mmの転圧で比較したところ、振動ローラのみが規定密度に達するといったデータを得ている。

フランスでは、基層厚10cm, 17cm, 22cmについて数多くの転圧試験を行なったところ、14tの振動タンデムローラが最も良好な結果を得ている。

スウェーデンでは、両輪振動・両輪駆動型ローラを用いて10tの静的三輪ローラと比べて2/3回の転圧回数で規定密度に達したことを報告している。

以上のほか、Forssbladのまとめでは、我が国の状況として、建設機械化研究所の各種性能試験の結果や土木研究所の実験結果も紹介している。

ここで再びC.S.Hughesによるバージニア州で行なったアンケート調査の結果から、米国の現況をみてる。まず、基層の転圧については、49の州のうち振動ローラの転圧を認めていないのは4州だけで、さらにこれを認めている45州のうち少なくとも23の州では技術者の認可を受けるか、または試験転圧を必要としている。

表層仕上げ転圧までに振動ローラを用いることには問題視しているところがあって、15の州ではそれを認めていない。また、これを認めている35の州のうち17の州では認可証または性能試験成績書を必要としている。

2.3 我が国における振動転圧の概況

一方我が国においては、昭和46年頃から舗装業者が発注側の了解のもとに振動ローラによるアスファルト舗装の転圧を試験的に行なってきた。表2-1および表2-2は、日本建設機械化協会の舗装機械技術委員会が昭和51年に舗装業者を対象として振動ローラの施工実績を調査したものである。

表2-1 アスファルト舗装振動ローラ転圧面積および振動ローラ保有台数

年 度	46年度	47年度	48年度	49年度	50年度
振動ローラ転圧面積(千m ²)	100	2,892	5,091	3,960	2,960
振動ローラ保有台数(台)	1	12	20	26	27

表2-2 わが国における大型振動ローラ使用実績

種 別	件 数	混合物 数 量 (千t)	転 圧 機 種 の 組 合 せ					
			VR	MR VR	VR TR	VR 3R	VR TR 3R	VR MR TR 3R
表 層	1	30					1	
基 層	8	244	1		3	1	2	2
路 盤 (Asベース)	7	695		1	4	1		
全 体	16	969	1	1	7	2	3	2

(注) VR:振動ローラ MR:マカダムローラ TR:タイヤローラ 3R:3軸ローラ

これからもわかるように、大部分が基層またはアスファルト安定処理路盤の締固めに用いられたもので、しかも他の機種と組合せて用いられているに過ぎなかった。しかしながら、アスファルト舗装要綱(日本道路協会編)の昭和53年度版では粗粒度アスファルトコンクリートの粗い混合物の締固め作業の初転圧に振動ローラを用いることをむしろすすめている。この舗装要綱ではまだ、海外のように表層の仕上げまで振動ローラを使用することは認めていないものの、今後、我が国においてもアスファルト舗装への振動ローラへの適用が増加していくものと思われる。

3. 振動ローラによる締固め特性

振動ローラは鉄輪を起振機で振動させて、自重および起振力による大きなエネルギーで締固めるものである。すなわち、振動ローラによる締固めは、動的繰返しによって混合物の粒子の移動性を高め、同時に静荷重に動荷重を付加することによって締固め効果を増加させるもので、目的、用途に応じた規格の選定が必要である。また、アスファルト舗装は土の場合と異なり高温状態において所要の締固めを行わなければならないことから、振動ローラをアスファルト舗装に適用する場合、各種条件による締固め特性をより的確に把握し、常に保証された品質が得られるようにする必要がある。

そこで、締固め効果を左右する要因をアスファルト混合物の材料条件、振動ローラの機械的条件、および施工条件に分けて整理したのが表3-1である。

表3-1 締固め効果に及ぼす要因

材料的条件	骨材の粒度分布、アスファルト量、アスファルト針入度、骨材の種類
機械的条件	重量、振動数、振幅、静線圧、動線圧、ドラム直径、ドラム幅、ばね上荷重とばね下荷重の比、ローラの形式（タンデム型、コンバイト型など）、振動輪（前輪、後輪、両輪振動）、駆動方式（前輪、後輪、両輪駆動）
施工条件	転圧温度、層厚、転圧速度、転圧回数

これらの条件に関しては一般的に次のようなことが言われている。まず、転圧温度については従来の静的ローラの転圧方法よりも、低温でも締固め可能である。また、転圧回数については従来の締固め方法に比べて同じ密度を得るには少ない転圧回数ですむ。

振動数については土の締固めの場合よりも高い振動数のとき良好な締固め効果が得られると言われており、Cechetini, Sherman⁴⁾によれば1,300vpmまでは静的ローラとほとんど差は認められず、2,200~3,300vpmに振動数を上げたとき急激に締固め効果が表われるということである。

振幅は振動ローラのばね系のはかに、転圧されるアスファルト混合物の弾性とダンピング効果によって決まるもので^{注)}転圧速度や振動数などのように容易に制御できるものではないが、Cechetini, Sharmanは経験的に振幅が1mmを越すと締固めたアスファルト表面に小波が発生する恐れがあることから、これを1mm以下にすることをすすめている。

次に、締固め効果と各要因の関係を定量的に表現する方法について述べる。

振動ローラの締固め効果には表3-1のように多くの要因が関係しているが、経験的に次式に示す要因が主として影響を与えるものと考えられている。

$$C_s = F(W, f, a, n, v, T, B) \quad \dots\dots (3.1)$$

ここで、 C_s : 締固め効果

W : ローラの重量

f : 振動数
 a : 振 幅
 n : 転圧回数
 v : 転圧速度
 T : 転圧温度
 B : 層 厚

である。

そして、これまでに締固め効果を表わす数多くの式が提案されてきた。その中でForsssbrad³⁾には次式を提案している。

$$C_s = a \cdot W \cdot f \cdot a \left(\frac{n}{v} \right) \quad \dots\dots (3.2)$$

ここで、 a : 定数である。

(3.2)式は締固め面のある地点に加えられる合計エネルギー量を表わすもので、次に示すTDM⁵⁾(Total Downward Movement)と同じ考えによるものである

$$TDM = f \cdot a \cdot t \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

ここで t : 加振時間 ($t = b \cdot \frac{n}{v}$)

b : ドラムの接地長さ

である。

この他、E.T.Selig, T.S.Yoo⁶⁾は次式を提案している。

$$C_s = f \cdot \frac{a}{v} \quad \dots\dots (3.4)$$

また、締固め効果と良い相関を示すものとして、締固めエネルギーの概念から谷本¹⁾ および、根本²⁾の次式がある。

$$E_v \text{ (谷本)} = 2a \left(W_v + \frac{F}{2} \right) \quad \dots\dots (3.5)$$

$$E_{\max} \text{ (根本)} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a \cdot \omega^2 \quad \dots\dots (3.6)$$

ここで、 E_v : $E_{\max}$: 締固めエネルギー

a : 片振幅

W_v : 振動体の重量

F : 最大起振力

m : 振動体の質量

ω : 角速度

である。

今回の実験用振動ローラを用いた実験結果では、締固め効果を表わす指標として次式を提案した。

$$C_s = \alpha \cdot E_p \cdot f \cdot n\% \cdot T \cdot \frac{1}{L} \quad \dots\dots (3.7)$$

ここで、 α : 定数 (Compactability)

L : ドラム幅

である。

この式は、ある締固めエネルギー $E_p (=2a(W_p + \frac{F}{2}))$ が、被振動体に単位時間当り f 回の割合で $n\%$ だけの加振時間作用したことを意味し、 T は温度による補正項で定数 α に組入れてもよいものである。

前注) 根本³⁾は振動ローラの振動系を下図に示す2自由度振動系としてモデル化し振幅を次式で表わしている。

$$a = \frac{F}{Z} = \frac{m_s \cdot r_s \cdot \omega^2}{\sqrt{(K_1 + K_2 - m_1 \omega^2 - \frac{K_2^2}{K_2 - m_2 \omega^2})^2 - C^2 \omega^2}}$$

ここで a : 片振幅 (cm)

F : 鉛直起振力 (kg)

Z : メカニカルインピーダンス

m_s : 起振機の偏心質量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}$)

r_s : 起振機の偏心量 (cm)

ω : 角速度 (rad/s)

K_1 : アスファルト混合物のばね定数 (kg/cm)

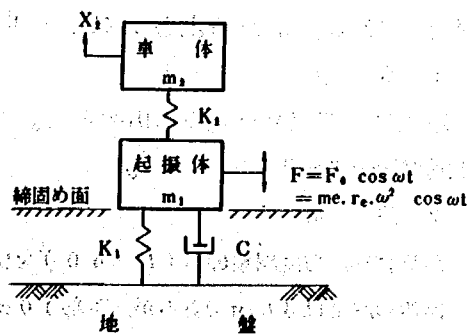
K_2 : 防振ゴムのばね定数 (kg/cm)

m_1 : 起振体 (ばね下) の質量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}$)

m_2 : 車体 (ばね上) の質量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}$)

C : アスファルト混合物の粘性減衰係数 ($\text{kg} \cdot \text{s/cm}$)

である。



2自由度系の強制振動

ブロックタイヤブラム

4. 実用機による締固め実験

4.1 実験概況

実験は、千葉支所構内の屋外舗装試験ビット（幅8.7m、長さ60m）を使用して、昭和50年11月と昭和51年11月に行なった。

主として、次の事項について調査した。

- (1) 転圧回数と締固め度の関係
- (2) 層厚と締固め効果および上・下層における密度分布
- (3) 転圧温度と締固め効果の関係
- (4) 舗装表面の仕上り状況

実験ヤードの築造はつぎの要領で行なった。

ビット底面の関東ロームより成る原地盤を、ブルドーザ（D50A）およびモーターグレーダ（G.P.31）で不陸整正して路床面とした。

路盤には、粒度調整碎石（M-40）を用い、ブルドーザとモーターグレーダで敷均し、振動ローラ（ダイナパックCC-41）とタイヤローラ（WP-15）で転圧して厚さ30cmに仕上げた。

混合物の敷均しは、昭和50年度は、アスファルトフィニッシャー（B.B.SB170）、昭和51年度は、アスファルトフィニッシャー（B.B.SA41）で行なった。

混合物の転圧は、タンデムタイプの振動ローラ（ダイナパック CC-20、CC-41、三菱VR-7）と従来工法との比較のために、タイヤローラ（渡辺WP-15）を使用した。

混合物は、基層用粗粒度アスコンと表層用密粒度アスコンの二種類を用いた。混合物の厚さは、基層で5、10、15cmの3種、表層で5cmとした。

4.2 振動ローラの仕様

混合物の締固めに使用した振動ローラとタイヤローラの主要諸元を表4-1～表4-2、および振動ローラの主要寸法を図4-1～図4-2に示す。

4.3 路床、路盤およびアスファルト混合物

(1) 路 床

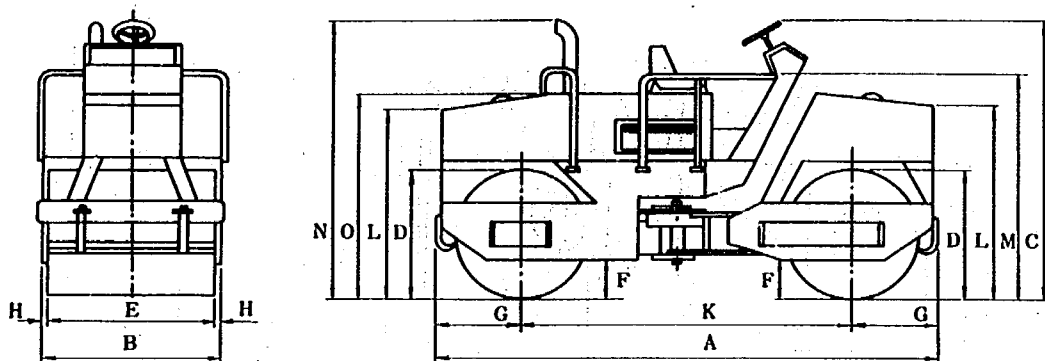
路床は、関東ロームの地山である。この土質試験結果を表4-3に示す。また、くり返し平板載荷試験結果を表4-4に示す。

(2) 路 盤

路盤材は、粒度調整碎石（M-40）を使用した。材料試験結果を表4-5に示す。

路盤の厚さは30cmであるが、下部10cmは試験ビットに残されていた試料番号2の材料を使用し、上部20cmは試料番号1の材料を使用した。

路盤の転圧は、振動ローラ（ダイナパックCC-41）とタイヤローラ（WP-15）で行なった。



(寸法はすべてmm 上段はCC-20 下段はCC-41)

A	4030 5000	D	1040 1220	G	665 780	L	1595 1885	O	1660 1860
B	1550 1810	E	1400 1675	H	75 100	M	1900 2240		
C	2300 2390	F	310 360	K	2700 3440	N	2900 2990		

図4-1 振動ローラ (CC-20, CC-41) の主要寸法

表4-1 振動ローラ主要諸元表

機 種		三菱 VR-7	ダイナパック CC-41	ダイナパック CC-20
形 式		タンデム型	タンデム型	タンデム型
機 構		後輪振動・後輪駆動	両輪振動・両輪駆動	両輪振動・両輪駆動
重 量 (kg)	自 重	6100	9200	5500
	総重量	6700	9800	6280
荷重寸法 (kg) (総重量のとき)	前 輪	2600	4900	3140
	後 輪	4100	4900	3140
車輪寸法 (mm) (直径 × 幅)	前 輪	1,100φ×675×2個	1200φ×1675	1040φ×1400
	後 輪	1,100φ×1450	1200φ×1675	1040φ×1400
静線圧 (kg/cm)	前 輪	18	30	22
	後 輪	30	30	22
振 動 数 (vpm)	高振動	0~2000	0~2500	0~3000
	低振動	0~3000	0~2500	0~3000
起 振 力 (t)	前 輪	6.1/6.1	10/5	5/3.75
	後 輪	6.1/6.1	10/5	5/3.75
走行速度 (km/h)		0~9	0~10	0~10

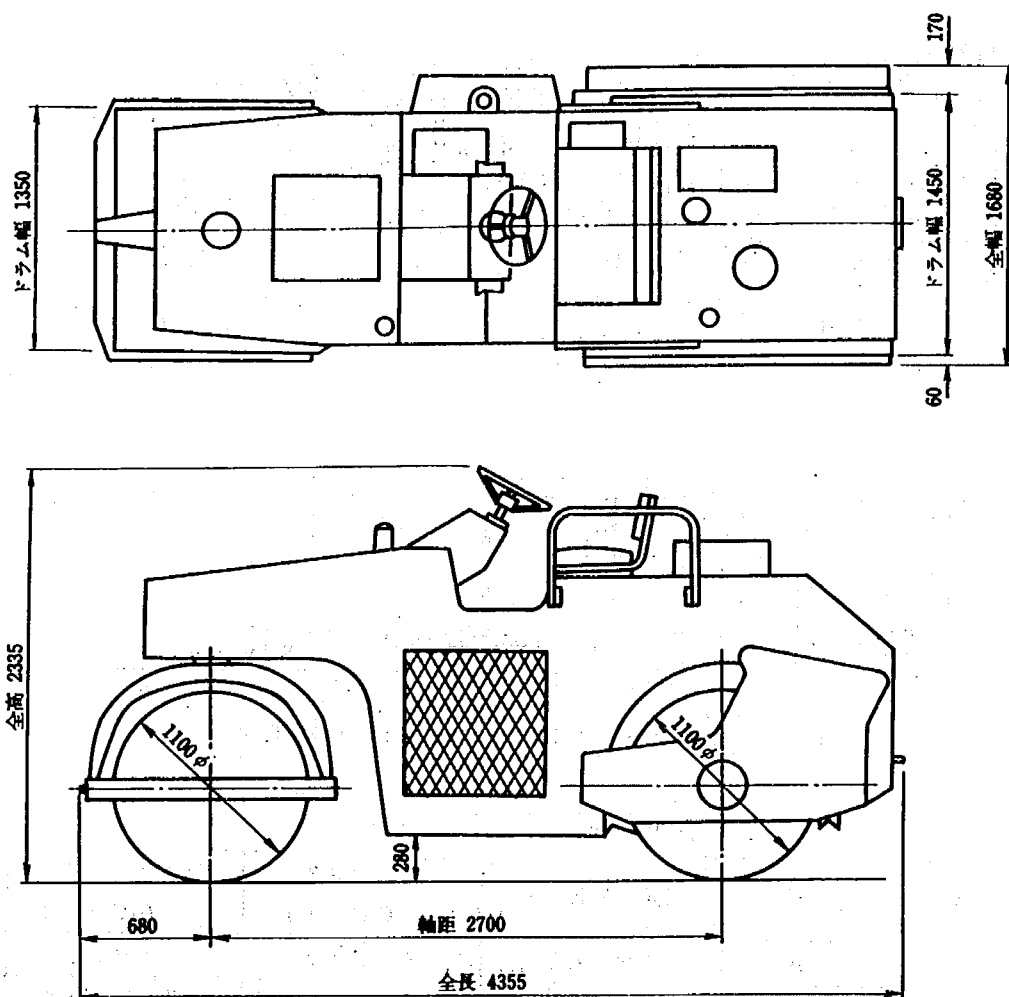


図4-2 振動ローラ (VR-7) の主要寸法

表4-2 タイヤローラの主要諸元表

重 量 (kg)		8,500~16,000	
車	車輪数 (本)	前 輪	後 輪
		5	6
輪	タイヤ寸法	8.25-20-12PR平滑	
	タイヤ空気圧	標準 5.75	
締 固 め 幅 (mm)		2,134	
走行速度 (km/h)		前後進共4段 3.4~21.8	

表 4-3 路床土の土質試験結果

試料 番号	自然含 水比(%)	比重 G S	粒 度 組 成 (%)			土 質 区 分	コンシステンシー限界(%)			CBR (%)
			砂分	シルト分	粘土分		L . L	P . L	P . I	
1	56.1	282	18	52	30	火山灰質粘性土 (関東ローム)	131.3	81.4	49.9	32
2	87.7	286	34	41	25	火山灰質粘性土 (関東ローム)	92.5	61.6	30.9	47

表 4-4 繰返し平板載荷試験結果

載荷重 強度 番号 (kg/cm ²)		變形係數 E _o (kg/cm ²)					
		路 床			路 盤		
		0.4	1.6	5.6	1.6	4.0	7.0
1		114	99	—	506	482	—
2		109	94	—	577	502	—
3		161	129	—	590	492	—
4		177	151	—	480	434	—
平均		140	118	—	538	478	—

表 4-5 路盤の材料試験結果

試料 番号	最適含 水比(%)	最大乾 燥密度 (g/cm ³)	修 正 CBR(%)	粒度 (加積通過重量百分率) %						
				40	20	10	5	25	0.42	0.074
1	55	2328	178	100	852	—	514	413	158	76
2	53	2385	173	100	839	—	394	317	154	74

繰返し平板載荷試験および現場密度試験、ベンケルマンたわみ量試験結果を、表4-4および表4-6に示す。

(3) 基層および表層のアスファルト混合物

基層および表層のアスファルト混合物として粗粒度アスコンおよび密粒度アスコンを使用した。配合試験結果を表4-7に、日常管理試験結果を表4-8に示す。また、粗粒度アスコンの骨材の合成粒度を図4-3～図4-6に示す。

表4-6 路盤の現場密度およびたわみ量試験結果

現 場 密 度				ベンケルマンビームによるたわみ量		
番 号	含水比(%)	乾燥密度(g/cm^3)	締固め度(%)	測定位置	測定箇所	復元たわみ量(mm)
1	4.5	2,237	96.1	右	11	3.06
2	3.7	2,233	95.9			
3	4.0	2,274	97.7			
4	4.2	2,253	96.8	中	11	2.89
5	4.3	2,277	97.8			
6	4.0	2,235	96.0			
7	3.8	2,259	97.1	左	11	2.93
8	4.4	2,246	96.5			
平 均	4.1	2,252	96.7	平 均	~	2.96

表4-7 アスファルト混合物配合表

種 類	骨 材 配 合 率 (%)							アスファルト		備 考	
	5 号	6 号	7 号	スクリーン メッシュ	粗目砂	細目砂	石 砂	アスファ ルト量(%)	針入度	層 別	年 度
密粒度		32	27	16	6	10	9	5.6	68	表 層	50
アスコン		34	25	15	8	8	10	5.7	70	表 層	51
粗粒度	21	31	21	9	6	5	7	4.6	68	基 層	50
アスコン	23	31	19	8	6	6	7	4.7	70	基 層	51

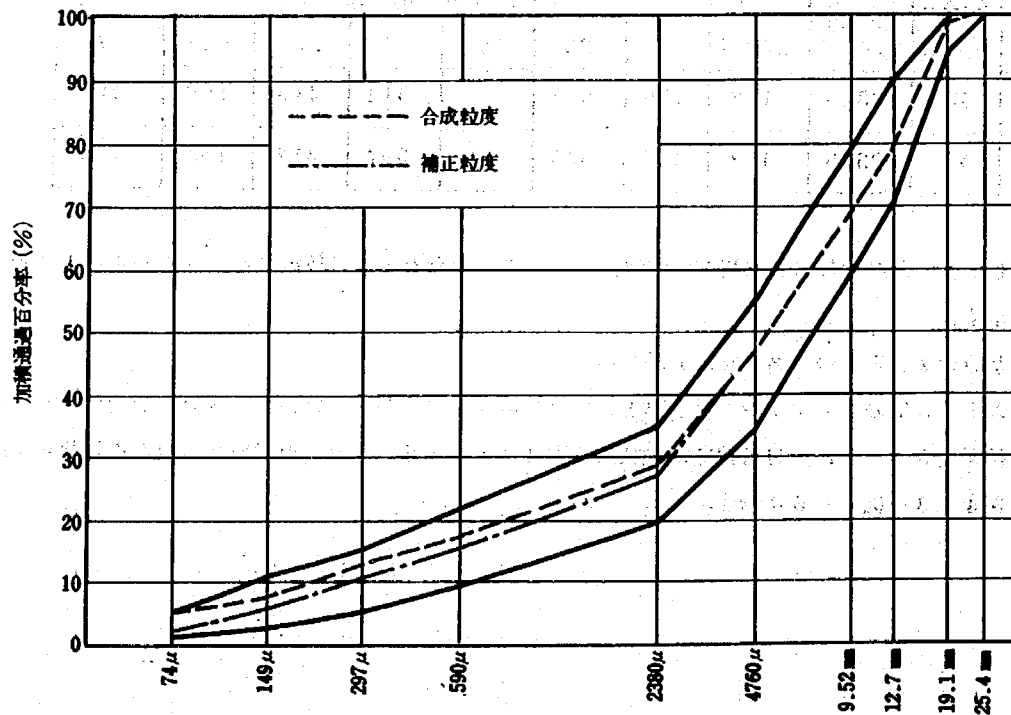


図4-3 粗粒度アスコン粒度曲線(昭和50年度)

表4-8 アスファルト混合物の日常管理試験結果

種別	舗設日時	骨材の通過重量百分率(%)									抽出アスファルト量(%)	マーシャル試験結果				
		25mm	20	13	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.075		密度(g/cm ³)	空隙率(%)	飽和度(%)	安定度(kg)	フロー値($\frac{1}{100}$ mm)
粗粒度アスコン	設計配合	100.0	98.8	79.2	47.0	28.0	16.4	11.8	6.7	3.6	4.6	2.435	4.2	72.0	1,110	22
	50. 11. 13 a.m	100.0	98.1	79.6	44.9	29.6	19.8	12.0	5.5	3.6	4.56	2.431	4.6	69.7	1,129	24
	50. 11. 13 p.m	100.0	98.7	81.3	43.2	27.3	18.4	11.2	6.5	4.1	4.62	2.428	4.6	70.1	1,101	24
	50. 11. 14 a.m	100.0	98.4	78.6	47.3	26.2	18.9	11.2	7.8	4.1	4.66	2.430	4.3	71.9	1,115	25
密粒度アスコン	設計配合		100.0	98.8	65.9	42.1	24.7	17.9	10.1	5.5	3.8	2.408	3.6	79.0	1,060	23
	50. 11. 14 p.m		100.0	98.9	69.7	44.8	27.3	19.6	9.4	6.3	5.73	2.408	3.4	79.9	1,087	25
	50. 11. 15 a.m		100.0	98.7	67.5	42.8	26.6	16.2	10.7	5.6	5.68	2.402	3.6	78.7	1,045	26
粗粒度アスコン	設計配合	100.0	99.1	78.6	47.0	29.1	17.5	11.6	6.4	3.7	4.7	2.453	4.2	76.0	1,115	26
	51. 11. 4 a.m		100.0	81.5	46.2	27.1	19.8	12.3	6.8	3.0	4.65	2.427	5.2	67.9	924	26
	51. 11. 4 p.m		100.0	85.4	45.3	28.0	19.7	12.3	7.2	3.8	4.63	2.430	5.1	68.3	887	24
密粒度アスコン	設計配合		100.0	99.1	66.1	42.1	24.4	16.9	9.6	5.5	5.7	2.425	3.6	79.0	1,050	24
	51. 11. 5 a.m		100.0	99.5	64.4	42.7	23.1	16.0	8.3	5.2	5.61	2.403	4.5	75.0	1,008	23
	51. 11. 5 p.m		100.0	99.3	66.5	43.1	24.9	15.5	7.9	5.0	5.64	2.408	4.4	75.1	1,031	23

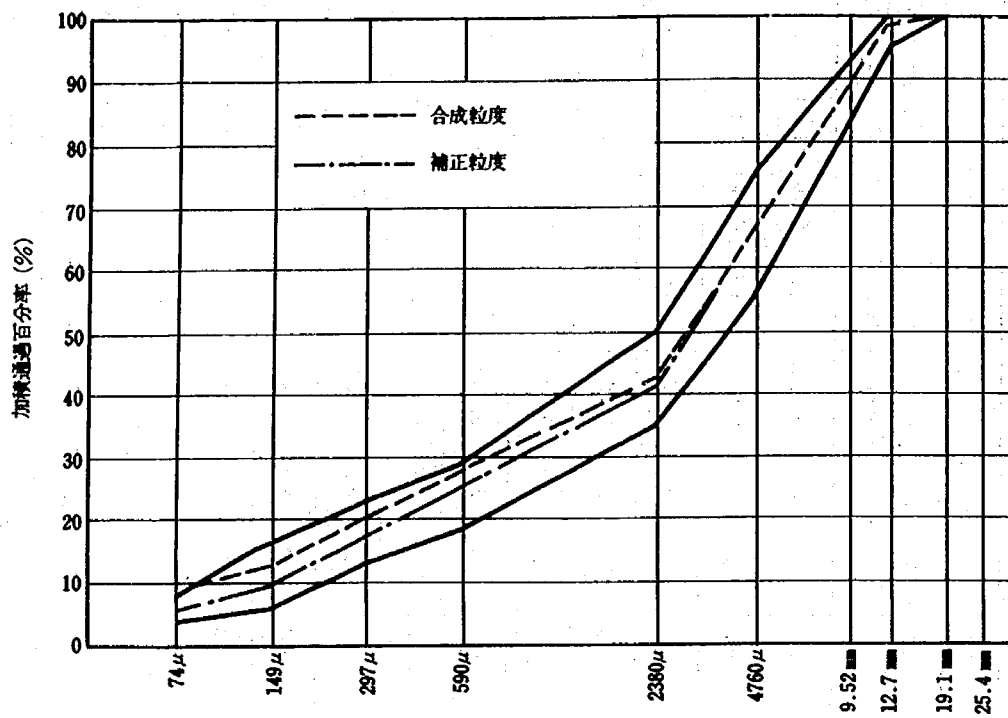


図4-4 密粒度アスコン粒度曲線 (昭和50年度)

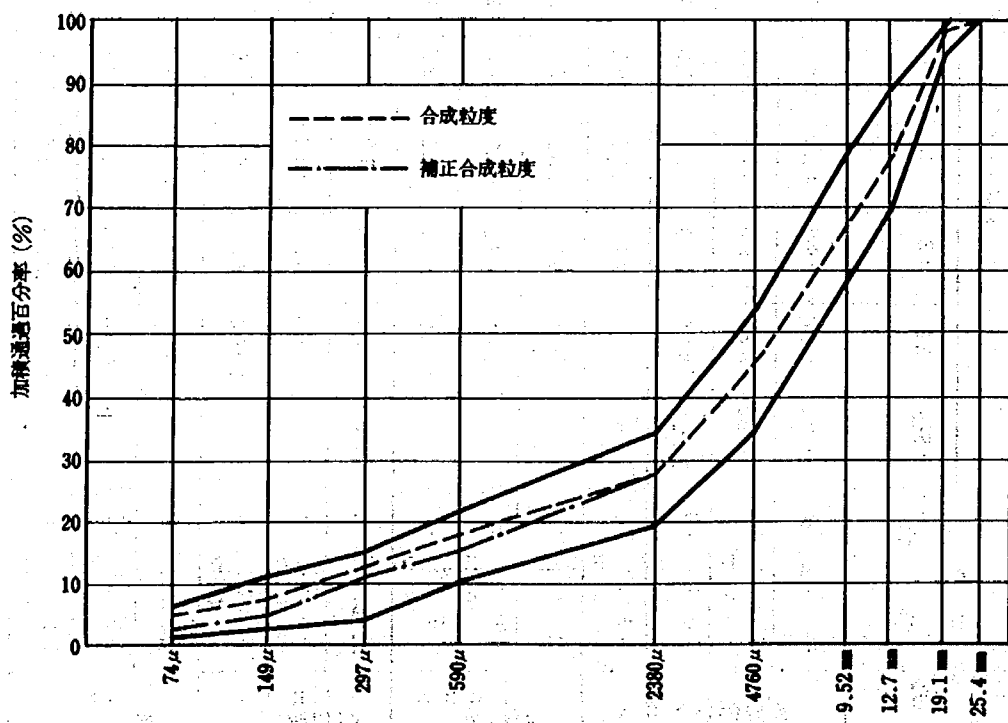


図4-5 粗粒度アスコン粒度曲線 (昭和51年)

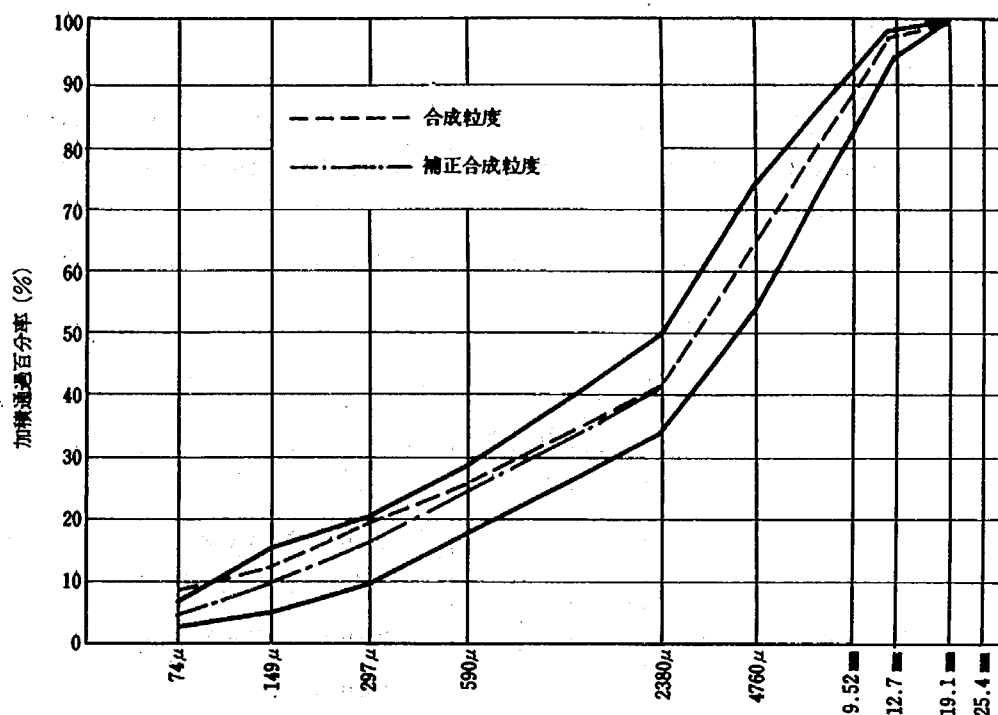


図4-6 密粒度アスコン粒度曲線(昭和51年度)

4.4 実験条件

(1) 混合物の種類

混合物の種類は、基層用として粗粒度アスコン、表層用として密粒度アスコンとした。

(2) 層 厚

基層の層厚は仕上り厚5, 10, 15cmとし、表層の層厚は仕上り厚を5cmとした。

(3) 転圧温度

転圧開始温度は、昭和50年度は130℃, 90℃の2種, 51年度は140℃, 120℃, 80℃の3種を設定した。

(4) 転圧速度

転圧速度は、基準速度を3km/hに設定し低速として1~2km/h, 高速として4~9km/hの範囲で機種に応じて設定した。

(5) 転圧回数

振動ローラについてはアスファルト混合物の敷均し後無振動転圧2回を行ない、引き続いて所定の転圧温度に達したとき振動転圧を行なった。

転圧回数の増加に伴う密度の上昇が把握できるよう転圧回数を2, 4, 8, 10回の4種類に設定した。

タイヤローラについては同じく振動ローラの無振動状態で2回転圧を行なったのち、8回、16回の転圧を行なった。

(6) 振幅、振動数

振幅は、大小2段の切換であるので実験条件に応じて設定した。振動数は、ダイナパックCC-20が0~3,000vpm, CC-41が0~2,500vpm, VR-7が0~3,000vpmで可変である。実験条件に応じて1,000~3,300vpmの範囲で設定した。

これらの実験条件をまとめて表4-9に示す。また、試験転圧舗装構成および条件配置を図4-7に示す。

表4-9 締固め条件

	機 種	層 厚 (cm)	混合物温度 (°C)	振 幅	転圧速度 (km/h)	振 動 数 (vpm)	転圧回数 (回)	年 度
基 層	CC-20	15 10 5	130 90	大	3 6	3,300	4,6,8,10	50年度
	CC-41	15	120	大	1 4	2,500	2,4,8	51年度
	VR-7	15	140 120 80	大 (小)	1 4	3,000 2,000 1,600 1,200	2,4,8	
	WP-15	15	120		6		8,16	
表 層	CC-20	5	130 90	大	3 6	3,300	4,6,8,10	50年度
	CC-41	5	120	小	2 5	2,500	2,4,8	51年度
	VR-7	5	140 120 80	小	2 5 9	3,000 2,300 1,500	2,4,8	
	WP-15	5	120		6		8,16	

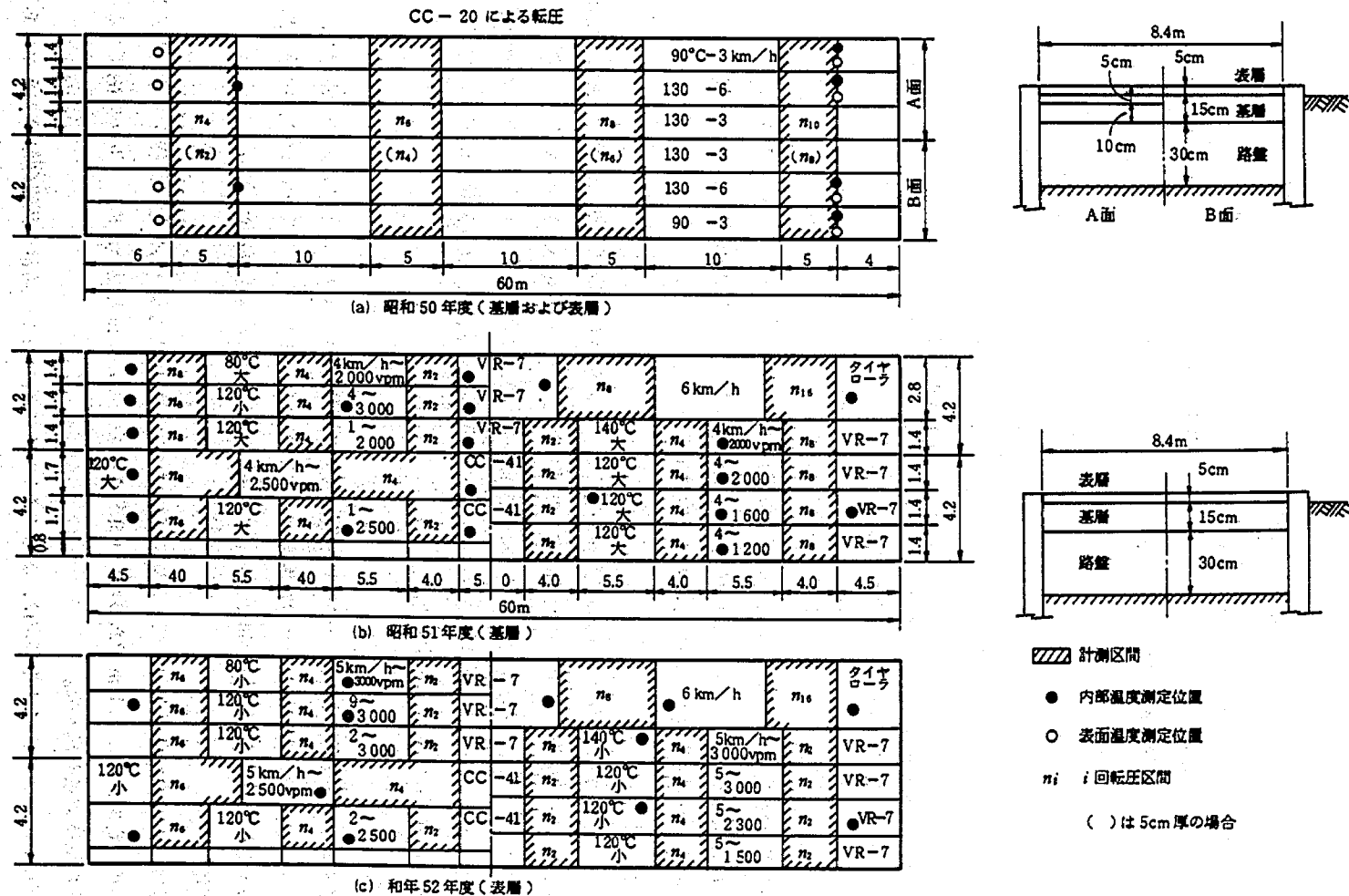


図 4-7 締固め実験の舗装構成および条件配置

4.5 測定方法

この実験における主な測定項目および測定要領を表4-10に示す。この他、振動ローラによって生じる地盤振動についても測定した。

表4-10 測定項目および測定要領

測定項目	測定方法	頻度	備考
締固め度	現場採取コアにする	3個/条件	アスファルト舗装要綱による
混合物温度	熱電対温度計、サーミスタ温度計	随時	
転圧速度	ストップウォッチ	各条件	
平坦性	直読式凹凸測定器 3mプロフィールメータ	各条件	アスファルト舗装要綱による
たわみ量	ベンケルマンビーム測定車	各条件	輪荷重5t
すべり抵抗	ポータブル・スキッド・レジスタンス・テスター	各条件	
きめ深さ	土研式自動路面粗さ計	3点/条件	

以下、各項目について測定方法を述べる。

(1) 密度

締固めた混合物の密度測定は、全層の締固め終了後各測定区毎に3個のコアを抜き取り、基層および表層の見掛密度をアスファルト舗装要綱に基づき測定した。なお、厚層のコアについては、深さ方向の密度の変化をみるため、5cm毎に分割して測定した。

(2) 温度

敷均し後の混合物の表面温度と内部温度を測定した。表面温度の測定は、サーミスタ温度計の感温部を表面より1cm程度混合物の中に入れ測定した。内部温度は、熱電対温度計で測定した。熱電対は、CC型（銅とコンスタンタン）を使用し、その感温部が、層厚に応じて表面から1, 4, 9, 14cmの深さになるように木片に固定して混合物の敷均し直後に埋設した。測定は、温度変化に応じて随時行なった。温度測定位置は図4-7に示した。

(3) 転圧速度

転圧速度を、実験条件で設定した速度に制御するため、既存のアスファルト舗装道路で走行し、目標速度となったときのアクセルレバーの角度をマークして設定速度とした。速度の測定は、白線で測定区間を設定し振動ローラの通過時間をストップウォッチで測定し速度を求めた。

(4) 平坦性

平坦性は、直読式凹凸計によって、全実験条件について計測区間の中心付近に測線を設けて測定した。通常の測定間隔は、1.5mであるが、1条件の計測区間が5mと短いため、7.5cm間隔で8点測定し、その標準偏差を求めた。

3mプロフィールメータによる測定は、表層のみについて行なった。通常の測定間隔は1.5mであるが、50cm間隔で9点読み取った。

(5) たわみ量

たわみ量はベンケルマンビームを用い、測定時の輪荷量を 5 t (空気圧 6.5 kg/cm²) で測定した。

(6) すべり抵抗

表層について路面のすべり抵抗をポータブル・スキッド・レジスタンス・テスターで測定した。この試験機による測定結果は、B.P.N (British Portable Number) として得られ、路面のすべり抵抗を直接表わすものではないが、各測定区間の比較が可能であるのでこの方法を採用した。

(7) 路面粗さ測定

路面粗さとして路面のきめ深さを土木研究所において開発した自動路面粗さ計により表層のみ測定した。ここで本測定器の測定要領を述べる。まず、図 4-8 に示すように測定器を路面に据付け、バ

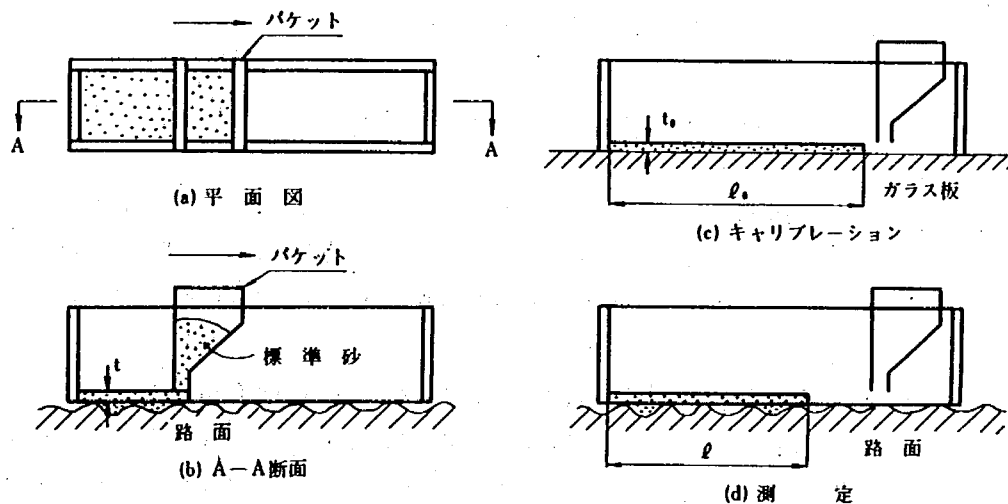


図 4-8 土研式自動路面粗さ計

ケットに標準砂 50 cm³ を入れる。そのバケットを電動モータで定速移動させ、幅 5 cm で砂を敷きひろげ砂がなくなったところでバケットを止め、砂のひろがり長さ l を計測する。一方、これと同様な操作をガラス板上で行ない、砂のひろがり長さ l_0 を計測しておく。路面に敷きひろげられた砂の平均厚さ t とガラス板上での厚さ t_0 は次式で計算される。

$$t = \frac{\text{砂の体積}}{\text{砂のひろがり幅} \times l} = \frac{50.000}{5.0 \times l} = \frac{10.000}{l} \text{ (mm)} \quad \dots\dots (4.1)$$

$$t_0 = \frac{10.000}{l_0} \text{ (mm)} \quad \dots\dots (4.2)$$

路面の平均きめ深さは、路面とガラス板上の層厚の差として次式で表わされる。

$$\text{平均きめ深さ} = t - t_0 = t_0 \cdot \left(\frac{l_0 - l}{l} \right) \text{ (mm)} \quad \dots\dots (4.3)$$

(8) 地盤振動

今回の実験は、一般の施工条件とは異なるコンクリート製のテストピット内の施工ではあるが、参考までに地盤振動を測定した。測定器は、公害用振動計 (ノード製, LP-2 型) を使用し、ピック

アップは、テストピットより9 m離れた地点に設置した。測定器の動特性はSlowとし鉛直振動のみを測定した。

4.6 実験結果および考察

実用機を使った限られた条件数のもとでの実験であるため、これまで報告されている諸条件および諸特性の中で、今後我が国の舗装に適用する場合に確認しておく必要があると考えられる事項のうち締固め度に対して主につぎの点を重点に実験を行なったものである。

- (1) 転圧回数および転圧速度の影響
- (2) 混合物温度の影響および適用温度範囲の確認
- (3) 層厚の影響およびシックリフト工法の可能性
- (4) 振動数および振幅の影響

なお、各条件毎に締固め度の測定結果をまとめて付表-1～付表-2に示した。

(1) 転圧回数と締固め度

この実験で得られた各機種の締固め度を図4-9に示す。この図ではVR-7の締固め度を一つの範囲で示した。CC-20は、一つの代表例で示しているがその締固め度は、VR-7とほぼ同じ範囲に重なっている。CC-41は、実験のとき機械が不調で予定どおりの転圧ができなかったが、6 t級の振動ローラより高い締固め効果が得られる。また、図4-9には転圧回数を1/2に縮小して、タイヤローラWP-15の締固め度を図示している。このように転圧回数を1/2にしたタイヤローラと、6 t級の振動ローラの締固め度はほぼ同じ値を示しており、振動ローラと同じ締固め効果を得るには2倍の転圧回数が必要である。言い換えると振動ローラはタイヤローラの約半分の転圧回数で良いことになる。

(2) 層厚と締固め度

図4-10は各機種について基層15 cm 1層転圧における深さ方向の締固め度の分布を示したものである。各機種とも中央部がよく締まっているのに対し、上部および下部の締固め度は中央部よりやや低い。これは締固め度の分布と後述する深さ方向の温度分布が同じ傾向を示していることから、転圧時のアスファルト混合物の温度が締固め効果に大きく影響しているものと考えられる。

機種別にみると、CC-20は上・中部がよく締まっているのに対し下部の締固め度が急激に下がっているのが特徴的である。また、タイヤローラWP-15は振動ローラの2倍以上の転圧回数を要するものの上・中・下部の密度差が比較的小さく、全体に良く締まっており、タイヤローラがシックリフト工法へも適用できることを示している。

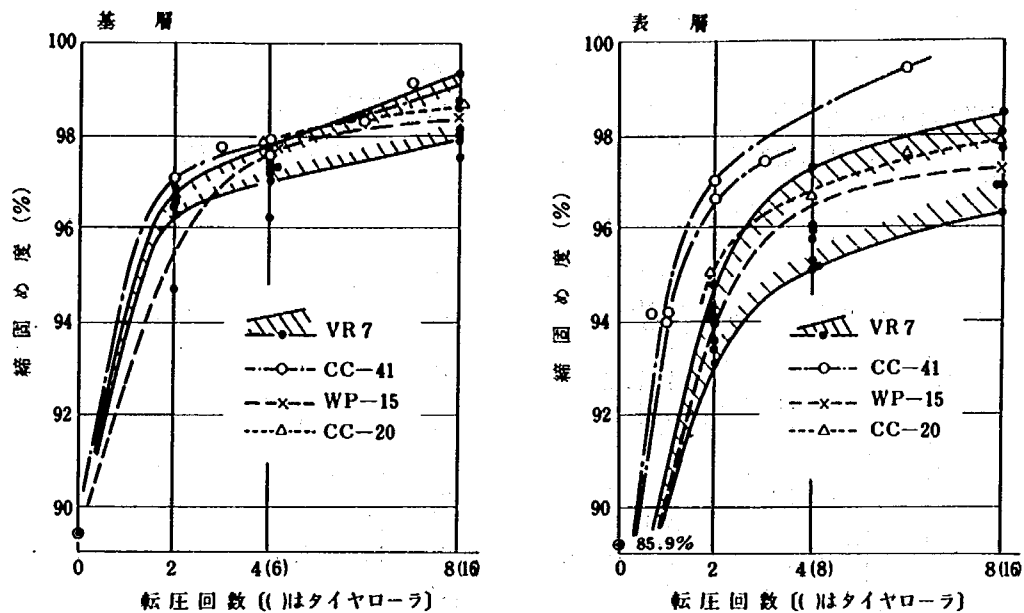


図4-9 転圧回数と締固め度

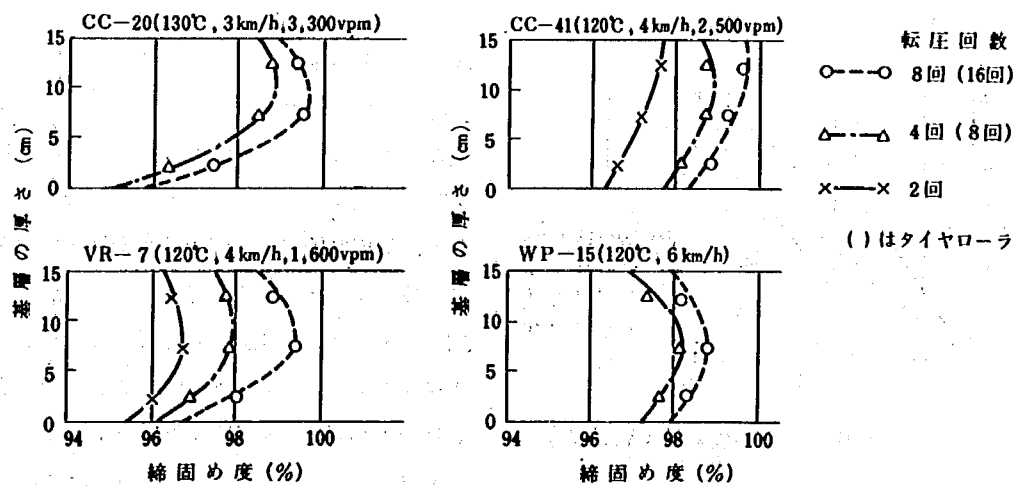


図4-10 深さ方向の締固め度の分布

(3) 転圧速度と締固め度

土を転圧する場合、ローラ通過時の荷重の移動が締固め効果を高めるとい説もあり、事実、土の締固め度は転圧速度にあまり関係なく転圧回数が大きく影響する。

アスファルト混合物の締固めの場合は、加振時間 (n/v) の関係で表わされ、CC-20とVR-7の締固め度を横軸に加振時間 (n/v) の対数で示したのが図4-11および図4-12である。

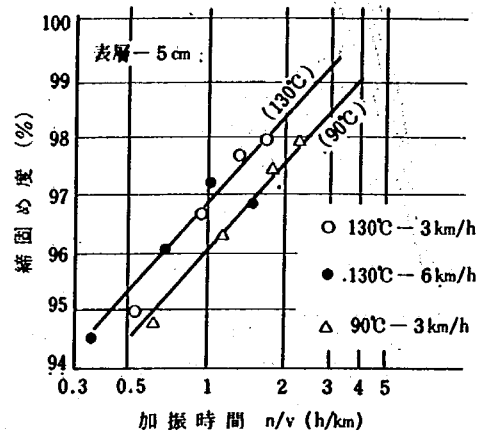
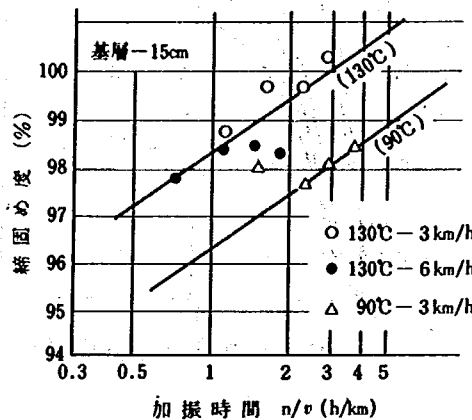


図4-11 転圧速度と締固め度 (CC-20)

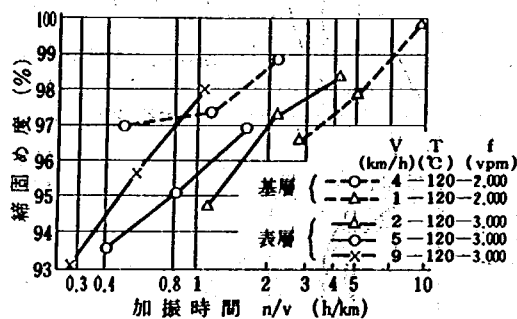


図4-12 転圧速度と締固め度 (VR-7)

図4-11の場合は、混合物温度その他の条件が同じで転圧速度だけが3km/h、6km/hと異なっている、それぞれの締固め度は、 $\log(n/v)$ を横軸にとれば一つの直線に乗る。すなわち、加振時間 (n/v) が振動締固め効果を示す指標となり得ることを示唆している。

図4-12は、転圧速度の条件のみをかえて他の条件を同じにしたものであるが、異なる転圧速度のものが同じ直線上に乗るとはいえない。

これは、VR-7が片輪振動であるため、無振

動の前輪の締固め効果が影響しているとも考えられる。

(4) 混合物温度と締固め度

1) 混合物の温度変化

今回の実験では、実験の温度管理を行なうことと、混合物の温度降下を調べる目的でサーミスタ温度計と熱電対温度計による測定を行なった。しかし、サーミスタ温度計による測定は表面だけに限られているので、熱電対温度計による測定結果について整理した。

図4-13はアスファルト混合物敷均し後の温度 (表面から深さ4cmの温度) 降下と経過時間の関係を示したものである。

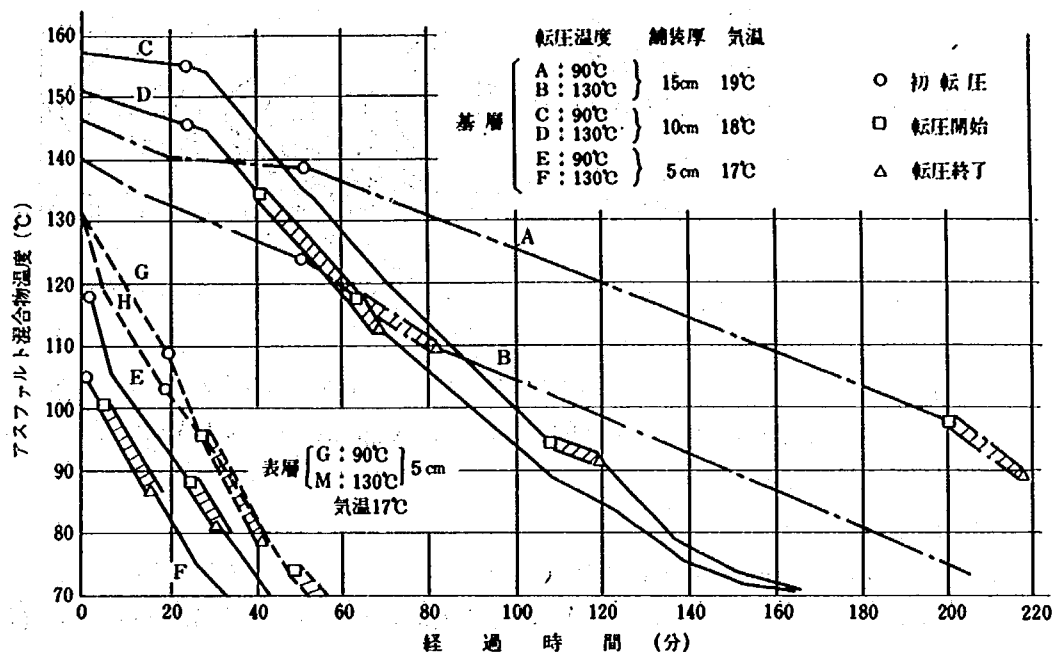


図4-13 敷均し後のアスファルト混合物の温度と経過時間

温度降下は、敷均し厚さが厚くなれば遅く、薄くなれば速くなる事が明確に表われており、敷均し厚の厚いものでは、初転圧後の温度降下が速くなっている。このことから空げき率の大きい方が保温力が大きく、温度が下がりにくいものと考えられる。

初転圧後の温度降下は近似的に経過時間に比例するとして、各層の温度降下速さ(℃/min)を求め、これと層厚の関係を片対数グラフで示したものが図4-14である。この実験の結果からは、層厚と温度降下速さの関係は次式で示すことができる。

$$y = -1.824 \log t + 2.447$$

ここで y : 混合物温度の降下速さ(℃/min)

t : 混合物の層厚(cm)

である。

混合物温度の垂直方向の変化をみた場合、薄層ではその差は小さいが、厚層では敷均し直後においてその差は大きい。図4-15は15cm厚の基層における垂直方向4点の敷均し後の代表的な温度変

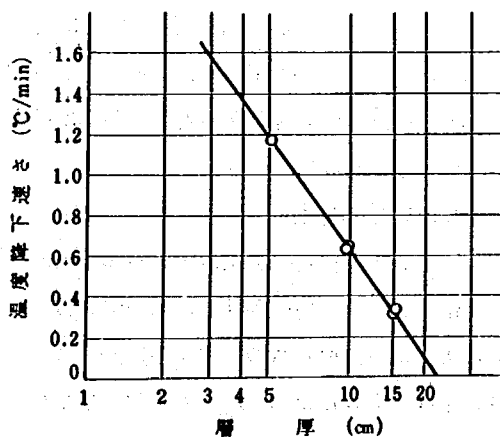


図4-14 温度降下速さと舗装厚の関係

$$\dots\dots\dots (4.4)$$

化を示したものである。路盤の温度の影響から下部の温度が急速に低下し、ついで空中へ放熱のため上部の温度が低下し、中間部が最も高い値を示している。しかし、時間の経過に伴って全体的に温度が低下するとともに垂直方向の温度差は小さくなる。

振動転圧の開始は、数均し層上部の温度が所定の温度条件に達した時に開始することにして

いたが、結果としては十分に調節することは困難であった。特に層厚5cmの基層および表層では、混合物温度の低下が速く予定温度よりもかなり低くなった。また、数均しに時間を要するため、数均し開始部と終了部ではかなりの温度差を生じ、各測定区間の温度を均一にすることは困難であった。

2) 転圧温度と締固め度

アスファルト混合物は、その温度が高いほど粘性が小さく過大な流動性をもたない限り高温の方が高い締固め度が得られると考えられる。図4-11では温度差により締固め度に有意差がみられ、混合物温度の高いほど、高い締固め度が得られることを裏付けている。しかし、図4-16は、混合物温度だけを变化させて他の条件をほぼ一定としたものであるが、締固め度に有意差はみられない。後述するように、室内実験結果では温度と締固め度は明らかに関係があるので、この結果にはいろいろな実験誤差が入って有意差が表われていないものと考えられる。

(5) 振動数と締固め度

図4-17は、振動数を1,200~3,000 vpmまで変化させ、その他の条件をほぼ一定に保ったものであるが、振動数の差による締固め度の有意な差は見出せなかった。また、建設機械化研究所が行なった平板によるアスファルト混合物振動締固め実験においても、振動数1,600~2,200 vpmの変化に対して締固め効果に有意な差はみられないとされており、今回の実験と同様な結果になっている。しかし、谷本によると土の表面振動実験において、1,200~1,800 vpmの間に最大締固め効果を表わす振動数があるとされている。¹⁾この観点からアスファルト混合物における振動特性について検討する必要がある。

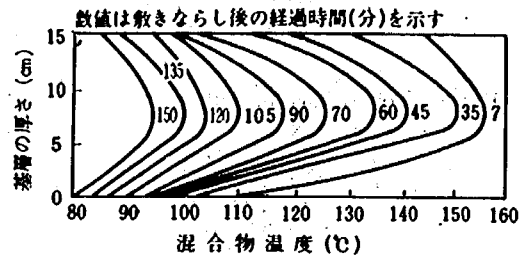


図4-15 混合物温度の垂直分布例

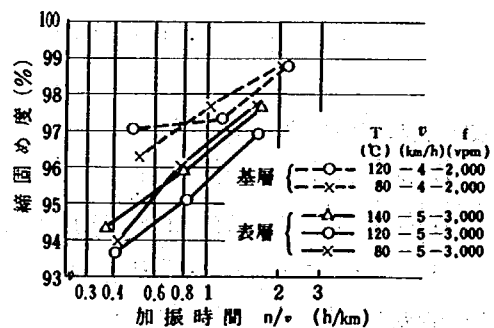


図4-16 転圧温度と締固め度

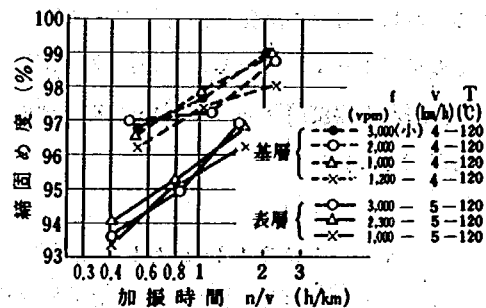


図4-17 振動数と締固め度

(6) 平坦性

アスファルト混合物を締固めることによって混合物は垂直方向と水平方向に変位を起こす。垂直方向の変位は密度の増加を伴うが、水平方向の変位は側方流動と称し、しばしば平坦性を阻害する。また、振動ローラによる転圧では小波が発生する恐れがあると言われている。このことから、タイヤローラと振動ローラによる平坦性の差異を見るために、直読式凹凸測定器および3mプロファイルメータにより平坦性を調査し、それぞれの結果を表4-11、表4-12に示した。

表4-11 直読式凹凸測定器による平坦性測定結果

測定位置	測定レーン		標準偏差 σ (mm)						備考					
			2回 転圧	4回 転圧	6回 転圧	8回 転圧	10回 転圧	平均						
基層 15cm	130℃-3km/h			1.05	0.70	0.70	0.88	0.83 (0.82)	※は2mm以上の測定値を除いたもの ()は最大転圧回のデータを除いた平均値					
	130 -6			0.88	0.70	0.53	1.19※	0.83 (0.70)						
	90 -3			1.75	0.88	1.05	1.23	1.23 (1.23)						
基層 10cm	130 -3			0.70	0.35	1.05	1.48※	0.90 (0.70)						
	130 -6			1.05	0.88	0.70	0.93※	0.89 (0.88)						
	90 -3			0.53	0.35	0.88	1.05	0.70 (0.59)						
基層 5cm	130 -3			1.40	1.23	0.53	1.05	1.06 (1.06)						
	130 -6			1.05	0.35	0.18	1.40	0.75 (0.53)						
	90 -3			1.05	0.35	0.18	0.18	0.44 (0.53)						
基層 5cm (B面)	130 -3			0.88	0.70	0.88	1.05	0.88 (0.82)						
	130 -6			1.05	0.35	0.35	0.88	0.66 (0.58)						
	90 -3			1.11	0.70	0.35	0.93※	0.78 (0.72)						
表層 5cm (A面)	振動ローラ	右					(平均) 0.53	0.47						
		中					0.35			0.35	(平均) 0.35			
		左					0.35			0.70	(平均) 0.53			
	タイヤローラ	右								0.70	0.35	(平均) 0.53	0.57	
		中									0.70	0.35		(平均) 0.53
		左										0.35		0.93

基層15cmと10cmの転圧回数10回および基層5cmと表層の転圧回数8回の測定区間の測定値が大きくでているが、これは転圧区間の末端に位置し、すり付の影響が表われているものと考えられる。

図4-18は、直読式凹凸測定器による測定結果から、平坦性と転圧回数との関係を示したものであるが、最大転圧区間のデータを無視すれば、転圧回数の増加に伴い平坦性も良くなる傾向を示している。表層におけるタイヤローラと振動ローラの平坦性は、振動ローラの方が平坦性が良い結果を得た。

表4-12 3mプロフィールメータによる平坦性測定結果

測定位置	測定レーン	測定距離 (m)	標準偏差 σ (mm)	平均 (mm)
表層 5 cm	90℃-3km/h	5.4	0.97	0.76
	130℃-6km/h	5.4	0.59	
	130℃-3km/h	5.4	0.72	
表層 5 cm	振動ローラ	左	3.3	0.54
		中	3.3	
		右	3.3	
	タイヤローラ	左	2.1	0.96
		中	2.1	
		右	2.1	

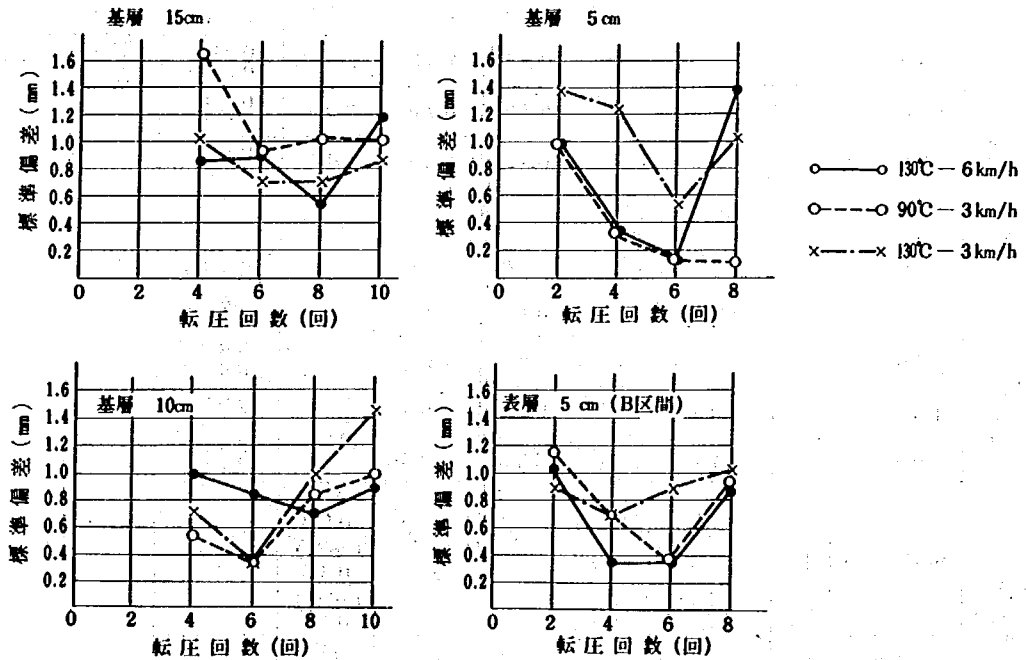


図4-18 転圧回数と平坦性の関係

(7) 路面粗さ

1) 仕上り表面の外観

本実験では懸念されていた小波やヘアークラックの発生はみられなかった。また、骨材の配列状態は抜き取ったコア断面を目視により観察した結果、振動ローラで転圧したものとタイヤローラで転圧したものとでは特に差異はみられなかった。

しかし、仕上げ表面を観察したところ、タイヤローで転圧した表面には粗骨材の鋭角部の突起が残っており、ニーディング作用によって路面全体がアスファルトで覆われていた。これに対して、振動ローで転圧した表面はカッタで切削したような表面になっていた。これを模式的に示したものが図4-19である。図のように振動ローによる転圧では、表面にある粗骨材の鋭角部が鉄輪によって

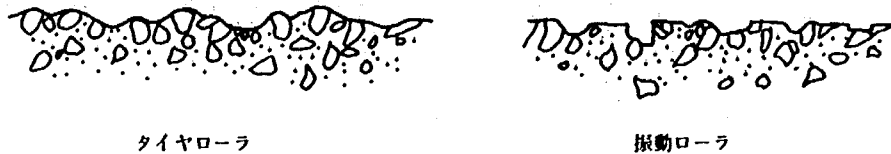


図4-19 ローラの種類による仕上がり面の相違

つぶされ、突起のない平坦な表面になったものと思われる。また、ニーディング作用がないためか、粗骨材のつぶれた部分や粗骨材間の空けは細骨材やアスファルトで十分に埋められておらず、全体に光沢もなく微視的には荒い表面になっていた。

2) 路面粗さ

振動ローおよびタイヤローで締固めた表層の路面粗さ(平均きめ深さ)の測定結果を図4-20のヒストグラムで示す。振動ローで締固めた路面の平均きめ深さは、平均値0.48mmに分布している。これに対してタイヤローで締固めた路面の平均きめ深さは、平均値0.77mmで測定値はかなりばらついている。これは、タイヤローによる転圧区間では粗骨材による凹凸があるのに対して、振動ローによる転圧区間では粗骨材の突起部がつぶれて平坦な表面になっているので、ガラス板のような平面を基準としてきめ深さを測定する自動路面粗さ計では当然の結果である。

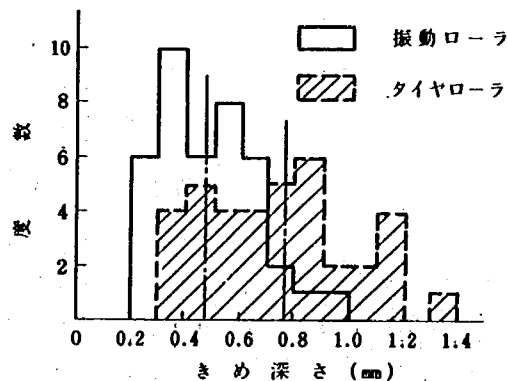


図4-20 仕上げ表面のきめ深さの比較

(8) すべり抵抗性

表層のすべり抵抗性は、ポータブル・スキッド・レジスタンス・テスターによって測定した。この測定値B.P.Nは、他のタイヤを用いた測定値と相関があるとは限らないが、ここでは狭い区間で測定する必要からこの方法を用いた。測定結果を表4-13に示す。この測定値は、6回測定の平均値である。

振動ローで締固めたB区間で転圧回数毎のB.P.Nを測定したが、転圧回数による差はなかった。A区間は、振動ローとタイヤローで締固めたものであるが、振動ロー転圧部のB.P.Nの平均で7.3であり、タイヤロー転圧部のB.P.Nの平均の6.7より大きくなっている。

表4-13 すべり抵抗の測定結果

測定位置	転圧回数(回)	B.P.N			平均
		測線			
		左	中	右	
B 区 間	2	6 8	7 5	7 3	7 2
	4	7 0	7 2	7 2	7 1
	6	6 9	7 1	7 2	7 1
	8	6 9	7 3	7 0	7 1
A 区 間	振動ローラ	7 2	7 5	7 6	7 3
	転圧部	7 3	7 1	7 2	
	タイヤローラ	6 6	6 7	6 3	6 7
	転圧部	6 7	6 9	6 7	

(9) たわみ量

ベンケルマンビームによるたわみ量試験の結果とこの結果から求めた変形係数を表4-14に示す。

表4-14 ベンケルマンビームによるたわみ量試験結果

測定面 転圧回数	基 盤	基 層			表 層		備 考
		15cm	10cm	10cm+5cm	B 面	A 面	
復元 たわみ量 (mm)	4回	—	1.66	1.62	1.22	0.86	(試験条件) 複輪荷重 5.0t タイヤ空気圧 6.5kg/cm ² タイヤ寸法 1000×20 -14PR
	6回	—	1.44	1.94	1.18	0.96	
	8回	—	1.36	1.84	1.40	0.92	
	10回	—	1.60	1.76	1.38	1.08	
	平均	2.98	1.52	1.79	1.30	0.96	
					0.91		
変形係数 E _{0.1} (kg/cm ²)		471	923	783	1,461	1,594	
					1,524		
測定時の路面 温度 (°C)		—	21	24	19	24	

今回の実験路盤は、現在の国道などの舗装に比べればずっと薄いものであり、十分な支持力を期待することはできない。したがって、今回の測定値を一般道路におけるたわみ量と直接比較することはあまり意味がない。そこで、基層および表層の支持力をみるために、上層のたわみ量(d_1)と下層のたわみ量(d_2)の比(d_1/d_2)を求めると表4-15のようになる。

この値は、国道における調査結果と比較すると、今回の値の方が大きく、表層、基層の支持力は良好であると考えられる。基層の15cm1層仕上げと、10cm+5cm2層仕上げの支持力を比較すると、たわみ量で0.22mm、 d_1/d_2 で0.33の差があり、2層仕上げの支持力がかなり大きい結果がでている。しかし、15cm1層仕上げの測定が舗装の翌日であり、2層仕上げでは、10cmを舗設した翌日に5cmを舗設し、つぎの日に測定を行なっていることから、測定時の基層内部の温度にかなり差が

表4-15 上層のたわみ量 (d_1) と下層のたわみ量 (d_2) の比 (d_1/d_2)

上 層 下 層		基 層			表 層
		1 0 cm	1 5 cm	(10+5) cm	5 cm
路 盤		1.6 6	1.9 6	2.2 9	3.2 7
基 層	(10+5) cm	—	—	—	1.5 1
	5 cm	—	—	—	1.5 8

あったことが推定されるので、この点を考慮する必要がある。表層のたわみ量は、基層、表層を3日間で施工した翌日に行なったが、表層、基層の内部温度が十分低下していないことが考えられるため、後日表層について再度測定した。その結果は、測定個数22でたわみ量の平均0.66mm 標準偏差 0.07 mmであり、この時の路面温度は11.5℃であった。

(10) 地盤振動

大型の振動ローラでは、振動の伝搬による振動公害が懸念されている。そこで、今回の実験においてコンクリート壁に囲まれた試験ピット内での転圧という特殊な条件下ではあるが、公害振動計により地盤振動を測定した。その結果、地盤振動の大きさは振動ローラの通過位置から約9mの地点で最大値64dB, L_{90} では59dBと小さいものであった。

今回の実験における振動ローラの振動数は、3,300vpm で地盤の固有振動数(約20Hz)よりはるかに高く、振幅も0.4~0.5mm程度といわれており極めて小さいものである。したがって、地盤振動は急速に減衰したものである。

5. 実験用振動ローラによる締固め実験

5.1 実験概要

52年度および53年度の締固め実験は、千葉支所構内の屋外舗装試験ビットにおいて前年度行った実験ヤードの上に、アスファルトフィニッシャー（新潟鉄工N.F220）により敷均しを行ない粗粒度アスコン10cmの断面構成で行なった。また、53年度以降の実験は、52年度に試作した実験用振動ローラの線圧が47kg/cmと大きいため、改良を加え、線圧を25kg/cmとした実験用ローラを使用した。

54年度の締固め実験は、千葉支所が筑波に移転した後、土工実験棟内実験ビットにて、CBR 5の砂質路床（一部高含水比のため石灰による安定処理を行なった）の上に粒度調整碎石（M-40）で厚さ30cmの路盤を築造し、さらに厚さ10cmのアスファルト安定処理路盤を設けて行なった。

実験用振動ローラによる締固め実験は、当初の実験目的の一つである振動締固めの理論的考察を行なうことを目的としているため、振動ローラの機械的特性を変化させ、その他の条件を一定に行なった。

5.2 実験用振動ローラの仕様

実験用振動ローラは、振動締固めにおよぼす振動ローラの機械的条件のうち振動数、起振力（偏心軸の位相差を可変とするもの）、線圧、転圧速度を可変できるように製作されている。

製作に先立って、現在アスファルト舗装工事に使用可能な既存の自走振動ローラについて調査を行なった。その結果、主要な仕様は表5-1に示す範囲にあった。

表5-1 既存の主な振動ローラの仕様範囲と目標仕様

項 目	仕様範囲	目標仕様
総重量 (t)	5.5 ~ 15.5	—
最大起振力 (t)	4.5 ~ 17.0	4.0
最大振動数 (vpm)	1,700 ~ 3,000	0 ~ 3,000
締固め幅 (m)	1.40 ~ 2.13	0.8 (1.2)
輪 径 (m)	0.80 ~ 1.52	1.0
軸 距 (m)	0.98 ~ 3.76	—
転圧速度 (km/h)	4 ~ 12	0 ~ 8
静 線 圧 (kg/cm)	21 ~ 33	最 小 20 ~ 25
動 線 圧 (kg/cm)	31 ~ 85	最 大 50

実験機は、これらの仕様の大部分をカバーできることも必要であるが、実験を効率的に実施するには、1条件当りの転圧面積を小さくするという観点から、ローラ幅を80cmとし表5-1に示すような目標仕様を決定した。

その他、基本的な機構として、振動輪のみを対象にし、タンデムタイプとはせず、案内輪は振動輪の転圧面の外に置くことにした。また、将来、室内の実験ビットによる締固め試験も行なうことから動力は電動モーターとした。

このような構想のもとに、関東技術事務所で設計、製作し、図5-1および表5-2に示す実験用振動ローラ（1号機）を製作した。

起振機は起振力を可変とするため、図5-2に示すように、偏心主軸のまわりに偏心調整軸を有する構造とし、7段可変とした。また、振動数については、起振機の動力が不足したため目標の3,000 vpm まで上げることができず、2,400 vpm となった。この結果、起振力も目標の4,000kgから、2,900kgとなった。

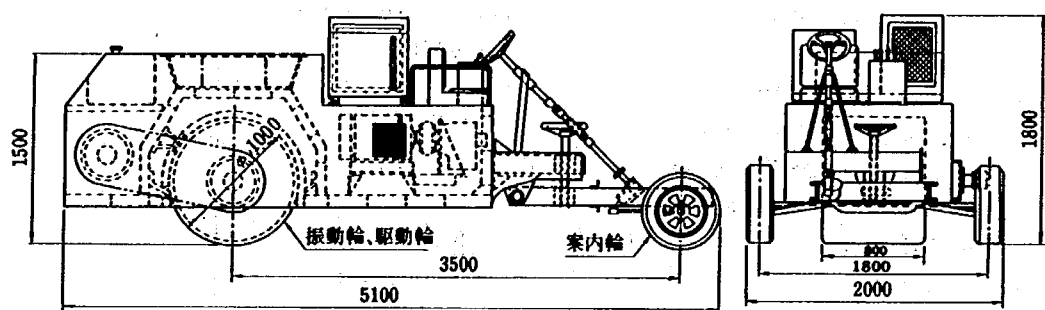


図5-1 実験用振動ローラ（1号機）

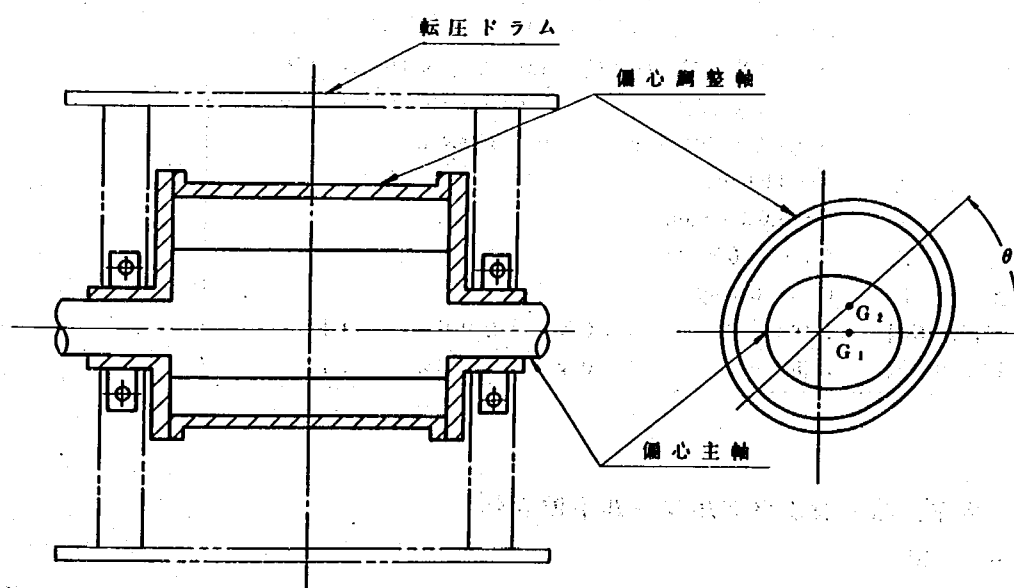


図5-2 起振機の可変装置

この実験用振動ローラ（1号機）を用いた昭和52年度の実験の結果、線圧の大きいことによる混合物の流動および速度、振動数調整の不安定な点が判明したため、つぎの点の改良を行なった。

- (1) 振動輪の静線圧を小さくする。
- (2) 起振力を上げ、振動数3,000 vpm を確保する。
- (3) 走行速度、振動数を設定安易な制御方式とする。

この結果、図5-3、表5-3に示す実験用振動ローラ(2号機)を製作し、昭和53年度以降はこの2号機を用いて行なった。

表5-2 実験用振動ローラ(1号機)の主な仕様

総重量	5,200kg	前輪	1,030kg	後輪	4,170kg
自重	4,780kg	前輪	1,030kg	後輪	3,750kg
前輪	タイヤ:案内輪 800mmφ×200mm×2個				
後輪	鉄輪:駆動輪, 振動輪 1,000mmφ×800mm×1個				
速度	前後輪とも無段変速 0~12km/h				
起振力	0~4,000kg				
振動数	0~3,000 vpm				
静線圧	47~52kg/cm				
動線圧	0~50kg/cm				
走行用機関	3相モータ	200V	30Kw	4P	
起振用機関	3相モータ	200V	15Kw	2P	

表5-3 実験用振動ローラ(2号機)の主な仕様

総重量	5,350kg	前輪	2,470kg	後輪	2,880kg
自重	4,880kg	前輪	2,000kg	後輪	2,880kg
前輪	鉄輪:案内輪, 振動輪 1,000mmφ×800mm×1個				
後輪	タイヤ:駆動輪 730mmφ×200mm×2個				
速度	前後進とも無段変速 0~8km/h				
起振力	0~4,500kg				
振動数	0~3,000 vpm				
静線圧	25~30kg/cm				
動線圧	0~60kg/cm				
走行用機関	3相モータ	200V	20Kw	4P	
起振用機関	3相モータ	200V	15Kw	2P	

5.3 路床、路盤およびアルファルト混合物

(1) 路 床

昭和52年および53年度の実験ピットの路床は実用機による転圧実験の路床と同じである。昭和54年度は、土工実験棟内の実験ピット(幅5m、長さ40m、深さ4m)の一部を使用した。路床に当る部分は、搬入土砂より成り日本統一土質分類でSCに分類されるものである。この土砂の土質試験結果を表5-4に示す。

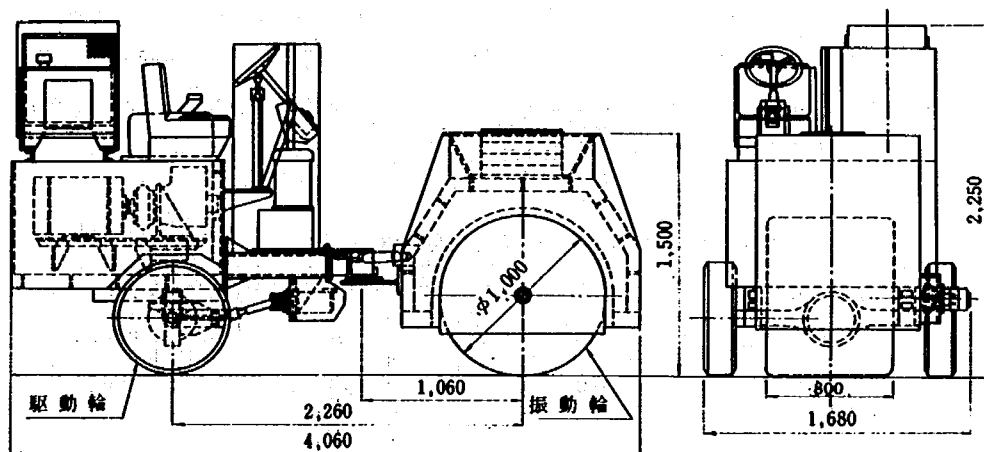


図 5-3 実験用振動ローラ (2号機)

表 5-4 路床土の土質試験結果

自然含水比 (%)	比重 Gs	粒度組成 (%)			土質区分 (日本統一 分類法)	コンシステンシー (%)			CBR (%)
		砂分	シル分	粘土分		L.L	P.L	P.I	
14.1	2.653	71	7	16	SG	-	-	-	5.4 (w=18.5%)

路床土は、含水比18%程度では、CBR5.4%と比較的支持力はあるが、一部高含水比の部分はタイヤローラ(12t)でこねかえし現象が生じた。したがって路床強度の均一性を高めるため、生石灰を土の乾燥重量に対して約4%添加し安定処理を行なった。表5-5の現場密度および平板載荷試験の値は、この安定処理路床についての測定値である。

表 5-5 路床土の現場密度および平板載荷試験結果

番号	現場密度		平板載荷 k ₀ 値 (kg/cm ²)
	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	
1	17.9	1.727	9.5
2	19.7	1.499	8.8
3	16.6	1.557	19.6
4	17.2	1.537	15.0
平均	17.9	1.580	13.2

(2) 路 盤

昭和52年および53年度の実験ビットの路盤は、実用機による締固め実験と同じである。

昭和54年度に用いた路盤材は、粒度調整砕石(M-40)を使用した。材料試験結果を表5-6に示す。路盤の厚さは30cmであり、15cm2層仕上げとしタイヤローラ(12t)で十分転圧を行った。現場密度および平板載荷試験結果を表5-7に示す。

表5-6 粒状路盤に関する試験結果

最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	修正CBR (%)	粒度(加積通過重量百分率)%					
			40	20	5	2.5	0.42	0.074
5.75	2.220	100.0	100	76.1	45.4	33.8	23.8	8.4

表-7 路盤の現場密度および平板載荷試験結果

番 号	現 場 密 度			平板載荷	備 考
	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	K30-値 (kg/cm ²)	
1	4.5	2.196	98.9	21.2	
2	4.7	2.270	102.3	23.5	
3	—	—	—	19.0	
4	—	—	—	17.0	
平均	4.6	2.233	100.6	20.2	

さらに、粒調砕石路盤の上に10cmのアスファルト安定処理路盤を舗設した。敷均しは人力で行ない、転圧は初転圧を小型振動ローラ(600kg)で4回、二次転圧をタイヤローラ(12t)で12回行なった。

使用した混合物の配合試験結果およびコア密度測定結果を表5-8に示す。

表5-8 アスファルト安定処理路盤に関する試験結果

粒 度 (%)				マ ー シ ャ ル 試 験 結 果						コア密度	
40	20	2.5	0.074	アスファルト量	密度 g/cm ³	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kg)	フロー値 (10cm)	個 数	締固め度(%)
100.0	84.3	32.5	4.0	4.0	2.361	6.2	59	998	25	3	98.2

(3) アスファルト混合物

実験には、基層用粗粒度アスコンを使用した。配合試験結果を表5-9に示す。

混合物の敷均しは、昭和52年および53年度は、アスファルトフィニッシャー(N.F220)を用いて行ない、昭和54年度は、各ブロック毎に人力により行なった。各舗設毎の日常管理試験結果を表5-10に示す。また、使用した骨材の合成粒度を図5-4～図5-6に示す。

表5-9 アスファルト混合物配合表

種類	年次	骨材配合率(%)							アスファルト	
		5号	6号	7号	スクリーニングス	粗目砂	細目砂	石粉	As.量(%)	針入度
粗ア 粒 度	52	21	31	22	8	7	7	4	4.7	74
	53	21	31	22	8	7	7	4	4.7	69
	54	21	31	21	9	8	6	4	4.7	74

表5-10 アスファルト混合物の日常管理試験結果

舗 設 日	骨材の通過重量百分率 (%)									抽出ア スファ ルト量 (%)	マーシャル試験結果				
	25	20	13	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.074		密 度 (g/cm^3)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kg)	フロー値 ($\text{L}/100\text{mm}$)
設計配合	100	99.1	79.3	46.4	27.8	18.0	12.2	5.8	3.5	4.7	2420	4.5	72.0	95.5	25
53.3.29		100	80.3	47.0	26.9	18.1	12.6	5.1	3.2	4.83	2419	4.5	71.3	-	-
53.3.29		100	82.6	48.2	28.5	19.1	13.8	6.0	2.9	4.84	2411	4.9	69.4	-	-
53.4.1		100	83.1	46.2	27.4	18.1	12.8	5.5	3.6	4.87	2439	3.7	75.3	-	-
53.4.1		100	82.2	47.2	29.2	18.6	13.1	5.3	2.6	4.85	2422	4.4	71.8	-	-
設計配合 53.1.28	100	98.9	72.3	43.6	26.4	18.2	11.0	5.7	3.1	4.64	2426	4.3	72.1	98.9	26
53.1.28		100	81.0	46.6	28.1	19.2	11.5	7.2	3.8	4.68	2423	4.5	71.2	98.0	25
53.1.29	100	99.2	79.4	45.6	27.8	19.3	12.4	6.2	3.3	4.73	2424	4.3	72.3	94.7	25
53.1.29	100	98.4	80.7	45.6	27.9	17.7	9.6	6.4	3.5	4.62	2426	4.4	71.4	98.5	26
設計配合	100	99.1	79.5	46.4	28.5	18.0	11.8	5.8	3.5	4.6	2440	3.8	74.0	103.5	23
54.1.12	100	96.5	85.7	49.2	30.6	21.1	14.0	6.8	4.4	4.68	2436	3.9	77.1	102.2	28
14	100	98.8	77.2	48.0	30.2	20.9	13.6	5.6	3.4	4.49	2435	4.2	71.8	118.5	25
15	100	97.2	75.3	45.1	29.4	18.7	12.9	5.1	3.2	4.46	2434	4.3	70.5	98.5	25
16	100	98.4	80.9	47.0	28.6	19.2	12.1	5.3	3.2	4.43	2446	3.9	73.1	109.7	30
19	100	99.2	77.5	46.5	29.0	18.6	11.8	5.0	3.2	4.50	2447	3.7	74.5	107.3	27
20	100	98.9	79.5	47.9	30.4	21.1	13.2	5.3	3.3	4.52	2436	4.1	71.3	110.6	28
21	100	98.3	75.1	46.1	29.8	19.2	13.7	5.7	3.7	4.55	2455	3.3	76.9	102.7	27
22	100	98.9	74.2	45.1	28.6	19.3	13.2	5.0	3.4	4.52	2445	3.8	74.0	104.5	26
26	100	97.4	76.3	44.7	29.9	20.0	14.2	6.4	3.9	4.53	2416	4.9	68.6	98.5	22
28	100	99.2	77.8	48.3	30.5	20.2	13.5	5.6	3.7	4.71	2449	3.4	76.9	109.2	25
29		100	82.8	47.2	29.8	20.3	14.0	5.8	3.3	4.70	2446	3.5	76.2	108.3	28
30	100	98.3	84.0	47.7	30.6	20.4	14.1	5.8	3.6	4.42	2421	4.9	68.2	100.3	26
12.3	100	98.0	77.1	46.3	28.4	19.1	12.5	5.5	3.5	4.46	2432	4.4	70.7	105.9	27
4	100	97.7	79.4	46.2	28.5	18.6	12.1	5.3	3.8	4.50	2447	3.7	74.5	108.3	27
5	100	98.1	78.7	47.6	29.2	18.8	13.2	5.8	3.7	4.37	2434	4.4	70.5	101.3	26
6		100	84.4	47.5	30.6	19.8	14.0	5.9	3.9	4.58	2446	3.7	74.7	105.0	26

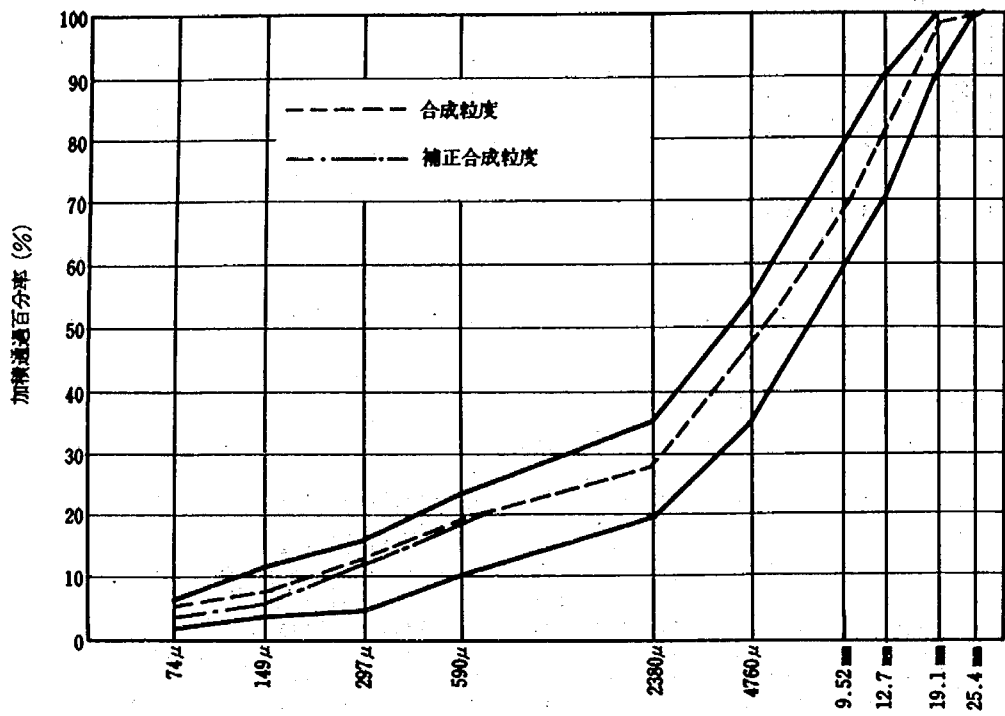


図5-4 粗粒度アスコン粒度曲線(昭和52年度)

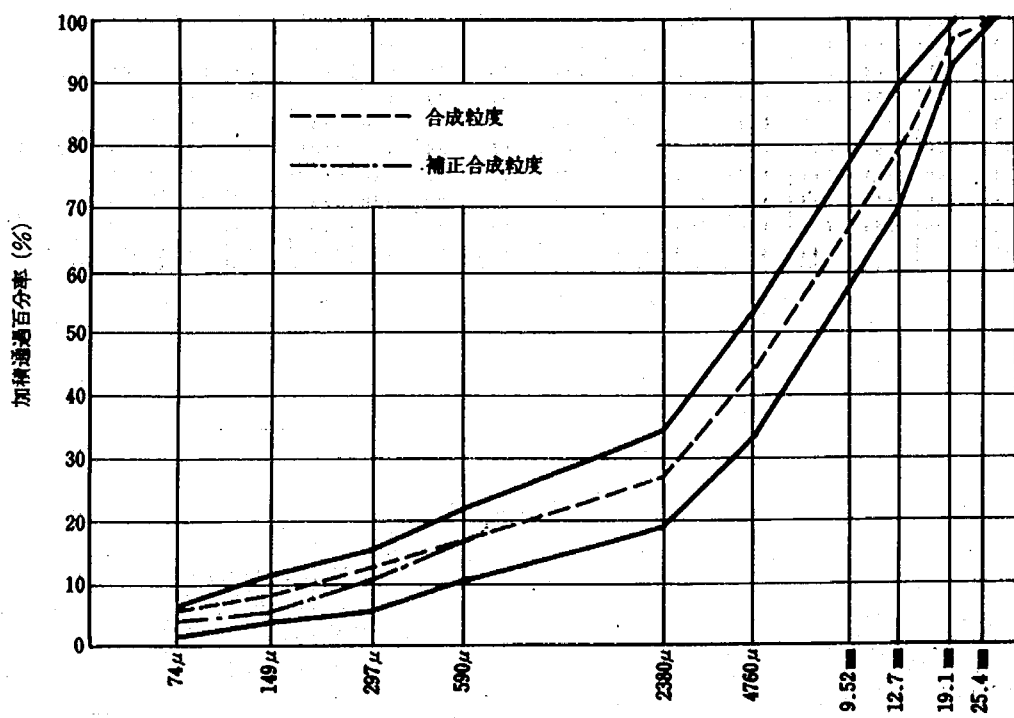


図5-5 粗粒度アスコン粒度曲線(昭和53年度)

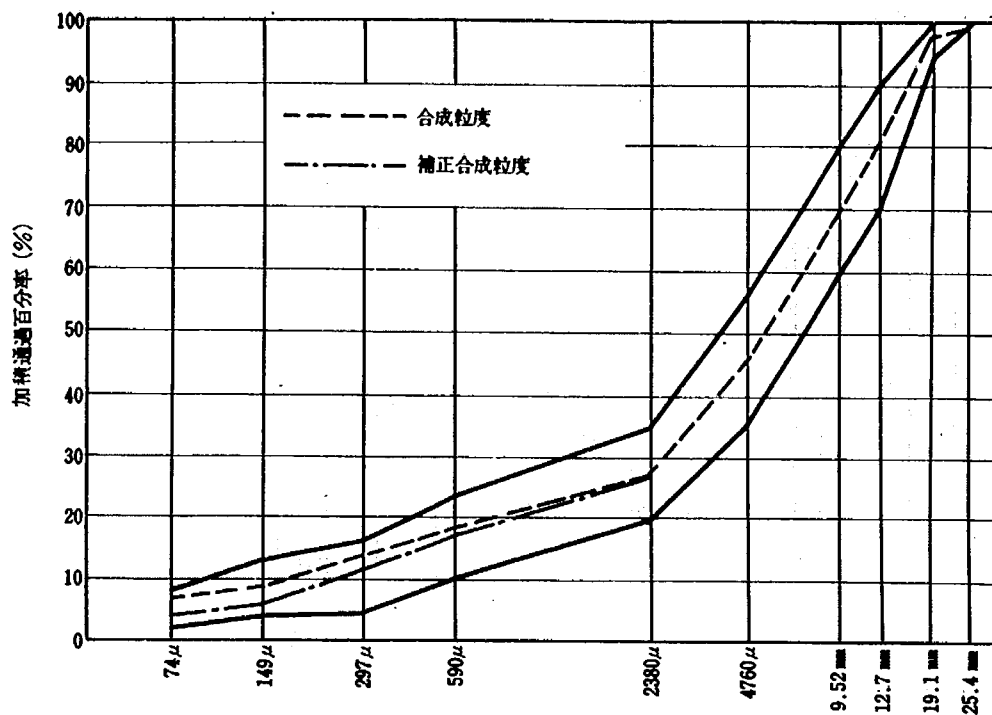


図5-6 粗粒度アスコン粒度曲線(昭和54年度)

5.4 実験条件

(1) 混合物の種類

混合物は、粗粒度アスコンを使用した。

(2) 層厚

層厚は仕上り厚10cmとした。

(3) 転圧温度

転圧温度は、転圧開始温度として60℃、80℃、120℃、140℃の4種を設定した。

(4) 転圧速度

転圧速度は、基準速度を3km/hとし、低速として1km/h、高速として5.5km/hに設定した。

(5) 転圧回数

昭和52年、53年度は転圧回数を2,4,8回とし、昭和54年度は実験用振動ローラを用いて無限回転圧による密度の収束状態を把握するため、16回、55回転圧を追加した。なお、実験では所定温度に達した後、無振動状態で2回の初転圧を行ない引き続いて所定の実験条件で転圧を行なった。

(6) 振動数

振動数は1000、2000、3000vpmに設定した。

(7) 起振力

起振力は偏心主軸と偏心調整主軸のなす角度(図5-2に示す θ)と振動数により決定される。昭和52年度は $\theta = 180^\circ$ 、昭和53年度は $\theta = 90^\circ$ 、 120° 、 150° 、昭和54年度は $\theta = 0^\circ$ 、 60° 、 60° 、 180° に設定した。

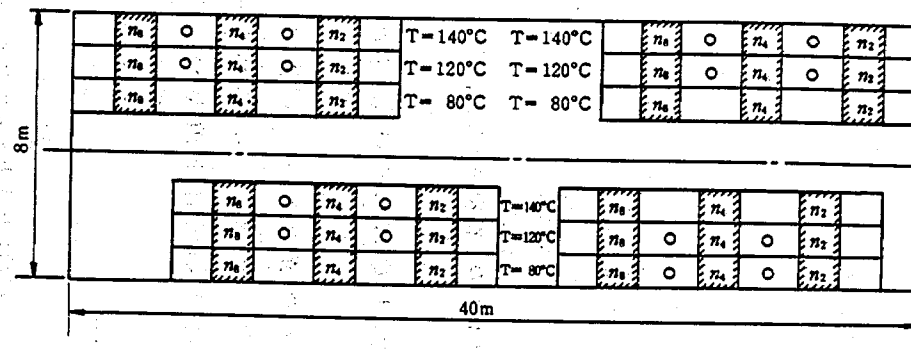
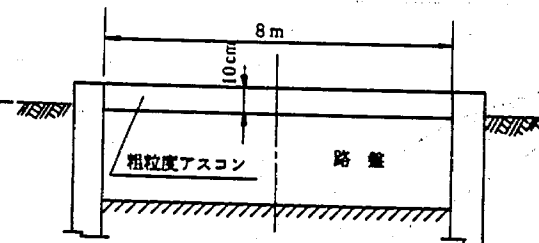


図5-7 舗装構成および条件配置(昭和52年度)



- 計測区間
- 温度測定位置
- 回転圧区間

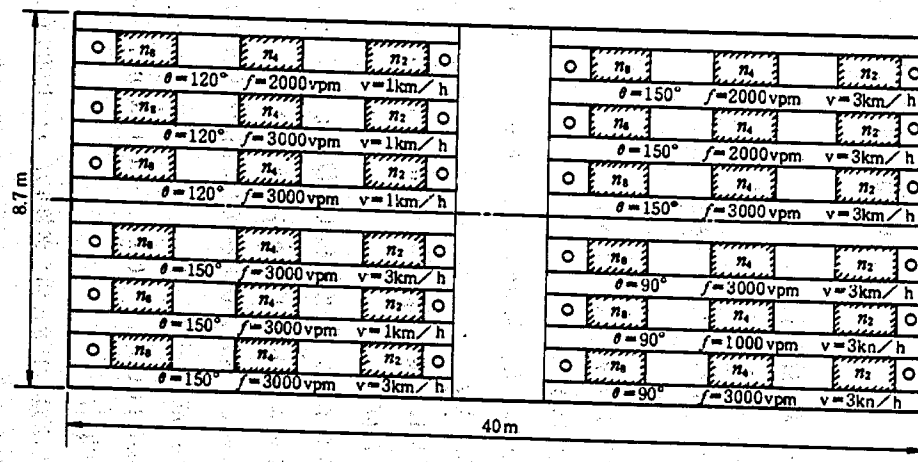
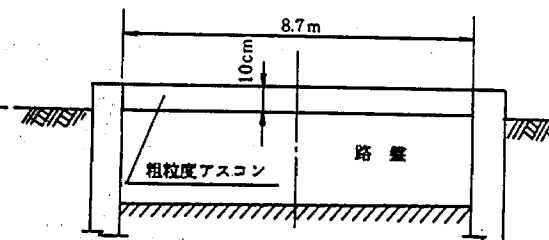


図5-8 舗装構成および条件配置(昭和53年度)



これらの実験条件をまとめて表5-11に示す。また、舗装構成および条件配置を図5-7～図-9および、表5-12に示す。

表5-11 実験条件

実験 年次	層厚 (cm)	混合物温度 (°C)	転圧速度 (km/h)	振動数 (vpm)	位相差 (°)	線圧 (kg/cm)	転圧回数 (回)
52	10	140	1	2,400	180	47	2
		120					4
		80					8
53	10	140	1	1,000	90	25.0	2
		120	3	2,000	120		4
		80		3,000	150		8
54	10	140	1	1,000	0	25.0	2
		120	3	2,000	60	27.5	4
		80		3,000	180	30.0	8
		60	5.5				16
							55

表5-12 昭和54年度実験配置

実験配置その1 $f=2,000$ vpm

θ T n	80				120				140			
	2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
1.5	×	×	×		×	×	×		×	×	×	
3.0	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	○
5.5						○	○	○		○	○	○

実験配置その2 $v=3$ km/h

f T n	80				120				140			
	2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
1000	×	×	×		×	×	×	○	×	×		
2000	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	○	○
3000	×	×	×		×	×	×	○	×	×		

実験配置その3 $v=3$ km/h $f=2,000$ vpm一定

θ T n	80				120				140			
	2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
180	○	○	○		○	○	○		○	○	○	
60		○	○	○		○	○	○		○	○	○
0		○	○	○		○	○	○		○	○	○

実験配置その4

		$v=3\text{km/h}$ $f=2000\text{vpm}$			
$n \backslash T$		60	80	120	140
4			○	○	○
8			○	○	○
16			○	○	○
55(∞)		○	○	○	○

T: 転圧温度 (°C)

n: 転圧回数 (回)

v: 転圧速度 (km/h)

f: 振動数 (vpm)

θ : 位相差 (°)

p: 線圧 (kg/cm)

○: $\theta = 0^\circ$

×: $\theta = 180^\circ$

実験配置その5 $T=120^\circ$ $f=2000\text{vpm}$ $v=3\text{km/h}$

$p \backslash T$		4	8	16
25.0		○	○	○
27.5			○	
30.0		○	○	○

5.5 測定方法

この実験における主な測定項目および測定要領を表5-13に示す。

表5-13 測定項目および測定要領

測定項目	測定方法	頻度	備考
締固め度	現場抜き取りコアによる	3個/条件	アスファルト舗装要綱による
混合物温度	熱電対温度計, サーミスタ温度計	随時	
転圧速度	ストップウォッチ	各条件	
振動数および加速度	加速度計	各条件	54年のみ測定

以下各測定項目について測定方法を述べる。

(1) 密度

締固めた混合物の密度測定は、各実験条件毎に3個のコアを抜き取り、上下5cm毎に分割して見掛密度をアスファルト舗装要綱に基づき測定した。ただし、昭和54年度のコアについてはパラフィンコートによるかさ密度の測定も行なった。

(2) 温度

数均した後の混合物の表面温度と内部温度を測定した。表面温度の測定は、表面型のサーミスタ温度計により測定し、内部温度は、熱電対温度計で測定した。熱電対は、CC型(銅とコンスタンタン)を使用し、その感温部が表面から3, 5, 8cm(54年度は3, 8cm)の深さになるように木片に固定して混合物の数均し直後に埋設した(54年度は数均し前にセットした)。測定箇所は図5-7~図5-9に示した。測定は、温度変化に応じて随時行なった。ただし、昭和54年度の内部温度の測定は、小型多点温度記録装置(横河電機製作所YODAC-8)を使用して自動記録方式をとった。

(3) 転圧速度

転圧速度の測定は、白線で測定区間を設定し振動ローラの通過時間をストップウォッチで測定し速度を求めた。

(4) 振動数および加速度

振動数および加速度は、測定器として歪ゲージ式加速度変換器（共和電業（株）製AS-B）を使用し、振動ローラ起振部に設置し測定した。

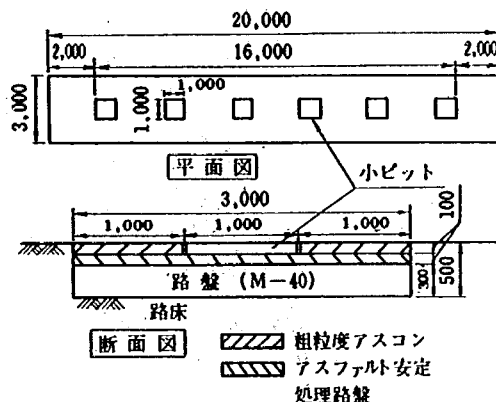


図5-9 舗装構成（昭和54年度）

5.6 実験結果および考察

実験用振動ローラによる実験は、実用機による転圧実験の結果では振動数、転圧速度および起振力と締固め効果の関係が必ずしも明確に表わせなかったため、これらの関係をより理想的な条件で実験を行ない把握するために行なったものである。各年度毎に測定値の信頼度に差があるが後述するように、昭和54年度の実験結果から締固めエネルギーの考え方から導かれる $E_v t = 2a(W_v + \frac{F}{2}) \cdot f \cdot \frac{n}{v} \cdot \frac{1}{L}$ の対数と締固め度が良い直線関係にあることがわかった。

なお、53年度までの実験結果の整理に使用したコア密度は見掛け密度であるが、より締固め度を正確に表現するため、コア表面の粗さの程度による試験誤差をなくするためパラフィンコートによるかさ密度を使った。したがって、52年、53年度のデータは、図5-10に示す54

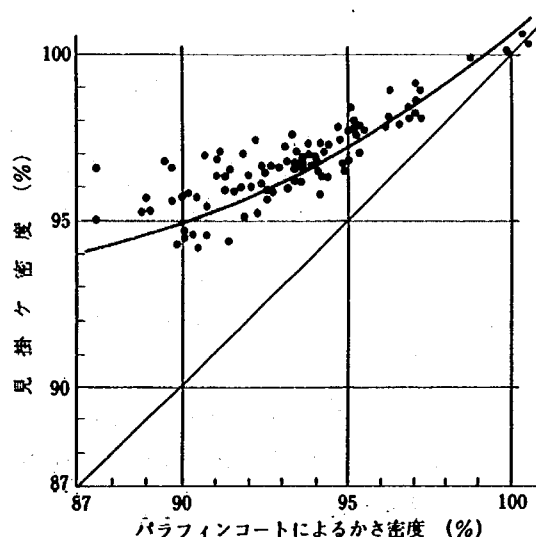


図5-10 見掛け密度とかさ密度の関係

4年度に測定した見掛け密度～かさ密度の関係から、かさ密度に換算したデータを使って整理した。

各条件ごとの締固め度測定の結果をまとめて付表-3～付表-11に示す。

(1) 転圧回数と締固め度

本実験で得られた転圧回数と締固め度の関係を図5-11に示す。昭和52年度および昭和53年度の実験では、ダンプトラックからの数均し時間の差異等によって、測定区間内における温度のばらつきが大きいなどのため、実験精度が劣ることから1つの範囲で表わしている。この測定結果には若干のばらつきはあるものの、密度上昇の傾向はこれまでに行なった実用機による締固め実験の結果とはほぼ同じであった。

図5-11から、昭和52年度および昭和53年度の締固め度は昭和54年のそれより全体的に高い値を示している。これは数均しの違いによる初期密度の差が密度上昇の傾向に影響を及ぼしている

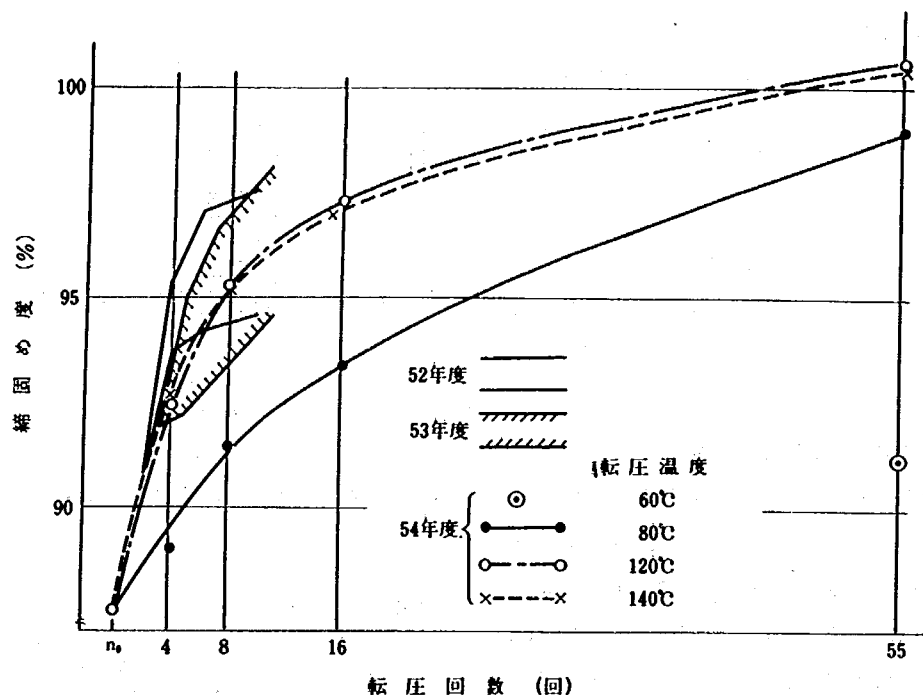


図5-11 転圧回数と締固め度

ものと考えられる。すなわち昭和52年度および昭和53年度はアスファルトフィニッシャーにより数均し、一方昭和54年度は人力で数均したため、初期密度は締固め度において7~10%の差があったためと思われる。

転圧回数の増加とともに締固め度も増加しており、転圧回数と締固め度の間には明らかに相関があると言える。ただし、相関関係は転圧温度が80℃の場合と、120℃および140℃の場合とは若干異なることがわかる。

また、今回は、特に締固め密度の収束状態を把握するために55回転圧を行なった。その結果、転圧回数55回において転圧温度が80℃以上になると締固め度が約99%以上出ており、おおよそ基準密度(マーシャル突固め試験において突固め回数両面75回)程度までは締固めることができる。しかし、転圧温度が60℃では締固め度が91%程度であり締固め効果は期待できそうにない。

そこで密度の上限を調べるためマーシャル突き固め試験の結果を表5-14および図5-12に示した。いま、両面150~200回程度突固めた時に究極的な締固め度が得られるものとするればその値は101~102%程度であろうと思われる。ただし、この時のアスファルト混合物の温度は145℃であった。本実験によると55回転圧した時の締固め度は100.4%であり、密度の上昇限界近くまで締固めるには55回かそれ以上の転圧が必要であろう。

図5-13は昭和54年度のデータ全体について、加振時間(n_s)の対数と締固め度の関係を示したものである。図より、実用機による締固め実験と同様に $\log n_s$ と締固め度の間には相関関係にあることがわかる。この場合の加振時間(n_s)と締固め度の関係は次式で表わすことができる。ただし、ここでは転圧温度が80℃の場合と120℃および140℃の場合に分けて計算した。

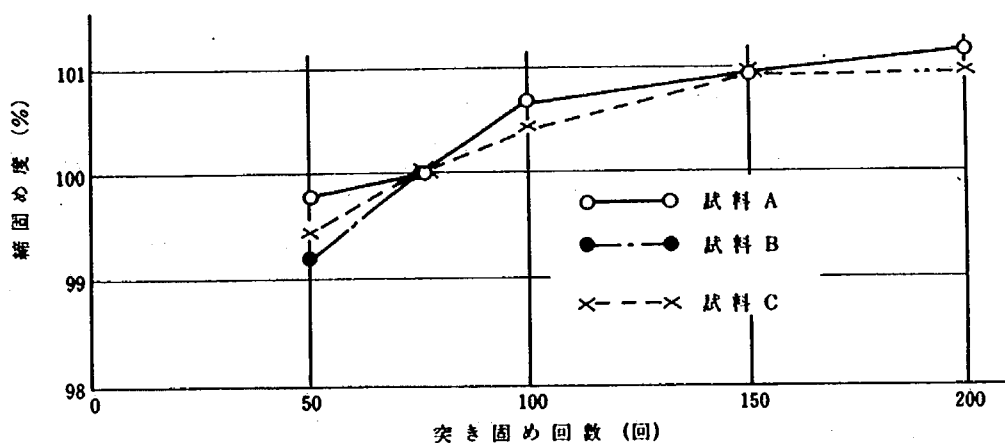


図5-12 突き固め回数を変えた場合の締固め度

表5-14 突き固め回数を変えた場合の密度

項目 試料		突き回数 (回)					As量 (%)
		50	75	100	150	200	
締 め 固 度	A	99.74	100.0	100.63	100.90	101.11	6.4
	B	99.2	100.0	—	—	—	6.5
	C	99.44	100.0	100.43	100.90	100.90	6.5

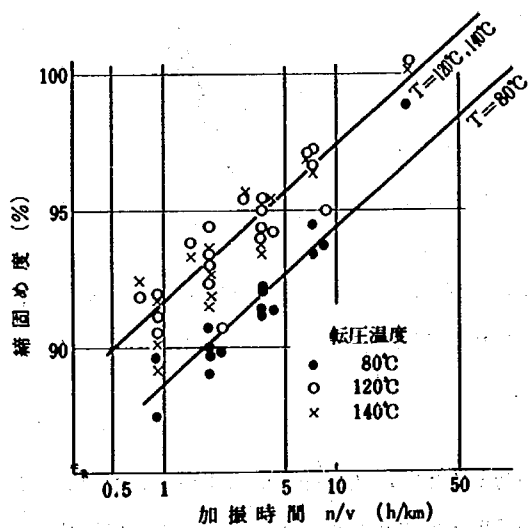


図5-13 加振時間と締固め度

$$\begin{aligned} \text{転圧温度が } 80^{\circ}\text{C} \text{ の場合} & \quad Cd = 5.90 \log \eta_v + 88.5 \\ \text{転圧温度が } 120^{\circ}\text{C} \text{ および } 140^{\circ}\text{C} \text{ の場合} & \quad Cd = 5.90 \log \eta_v + 91.5 \end{aligned} \quad \text{..... (5.1)}$$

(2) 層厚と締固め度

付表3～付表-11から読み取れるように、昭和52年および53年の実験では、上部5cmのコア密度の方が下部5cmのコア密度より締固め度で平均2.7%高い。一方、昭和54年度の実験では、上部より下部の方が締固め度で平均0.8%高い密度が得られている。これは、下層の支持力や温度条件、敷均し方法の違いによる初期密度の相違、あるいは実験ヤードの広さ(52, 53年度は4.35m×18mを一度にアスファルトフィニッシャーで敷均した。54年度は、1m角の広さに入力で混合物を敷均した。)が関連しているものと考えられる。

(3) 転圧速度と締固め度

図5-14は、転圧速度をパラメータに転圧回数と締固め度の関係を示したものである。当然のことではあるが、転圧速度の遅い方が同一地点を加振している時間が長い分だけ仕事量が多くなりよく締まっている。この関係をわかりやすくするために図5-14と同じデータを用いて加振時間(η_v)と締固め度の関係を片対数グラフで図5-15に示した。この両図に用いたデータは転圧速度以外の条件をすべて同一にしたもので、 $\log \eta_v$ 締固め度の間には直線関係あると見なせ、締固め度を加振時間の関数として表わすことができることを示唆している。

前述したように転圧速度が遅いほど密度増加は期待できるが、実際の施工においては転圧能力、目標締固め度および経済性などの関係から適正な転圧速度を定める必要があろう。

(4) 混合物温度と締固め度

1) 混合物温度の温度変化

昭和54年度の実験結果から、混合物温度の降下割合について代表的な例を経過時間と転圧回数との関係で図5-16に示した。この図からもわかるように転圧回数が増加するに従い混合物温度の降下割合が大きくなる。しかし4回転圧と8回転圧では有意な差はない。

2) 転圧温度と締固め度

転圧温度をパラメータとして加振時間(η_v)と締固め度の関係を先の図5-13に示した。また、マーシャル締固め試験による締固め温度と締固め度の関係を図5-17に示す。

この両図でわかるように高温部(120°C~140°C)では締固め度にあまり差は見られないが、それ以下になると温度の低下とともに締固め効果は期待できなくなる。また、図5-17より第6章で述べるように締固め度は締固め温度の関数として表わすことができる。

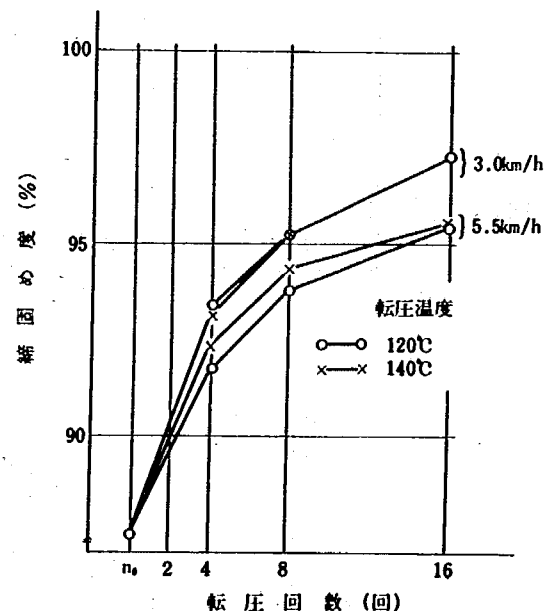


図5-14 転圧速度と締固め度

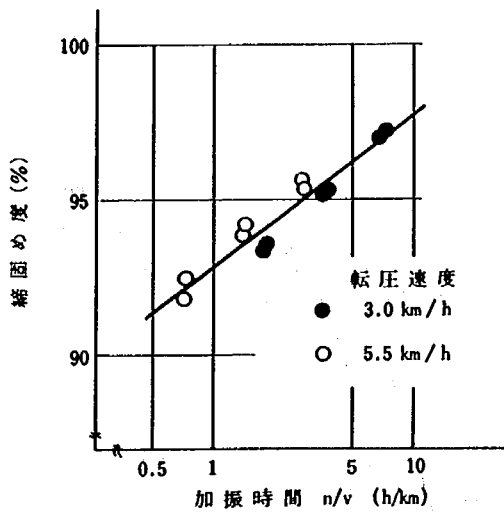


図5-15 転圧速度と締固め度

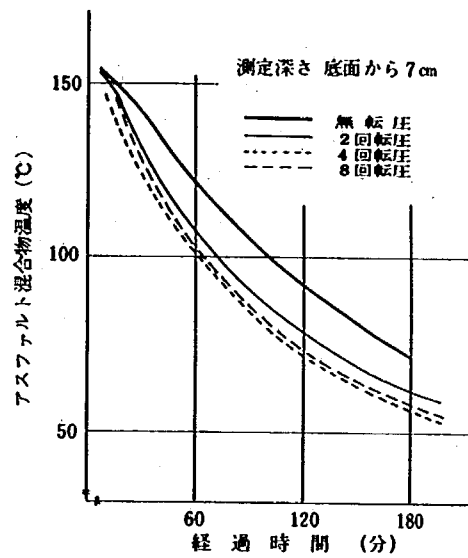


図5-16 数均し後のアスファルト混合物の温度と経過時間

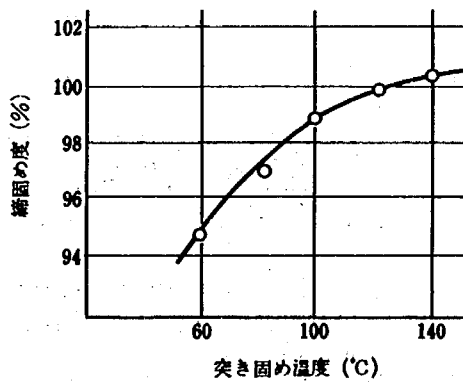


図5-17 突き固め温度と締固め度

(5) 振動数と締固め度

54年度の実験結果から振動数と締固め度の関係を図5-18に示した。この図は、転圧回数との関係を示したものであるが、振動数が大きいほど締固め効果が期待できそうである。しかし転圧回数が増加するにしたがい、2,000 vpmと3,000 vpmの差はなくなるようである。土の締固めの場合のように、最大締固め効果を示す振動数については、今回の実験で明らかにできなかった。むしろ、振動数そのものよりも温度や仕事量の方が締固め度に対する効果が大きいと思われる。

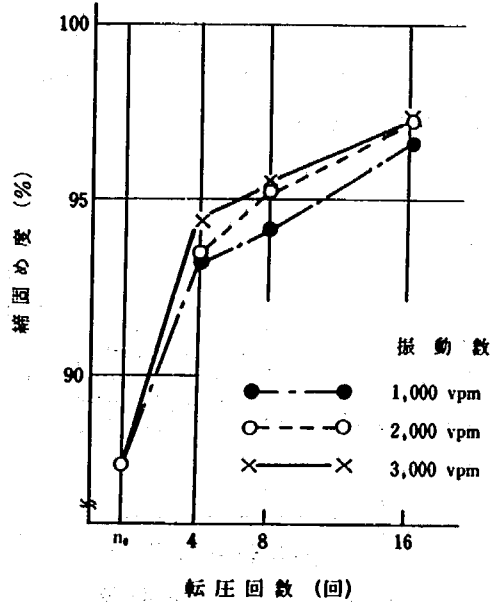


図5-18 振動数と締固め度

(6) 起振力と締固め度

54年度の実験結果から、起振力と締固め度の関係を図5-19に示した。これから、起振力の大きいほど締固め効果大きい。また、付表-5～付表-11から読みとれるように、混合物温度が低い場合は、起振力の大きさはそれほど影響していない。すなわち、温度の影響の方が締固め度に対しては大きく影響するためであろう。

(7) 振幅と締固め度

振動ローラの振幅が締固め効果に影響を与えることは容易に推定できる。しかしながら、現在のところ実働中の振幅を精度良く測定する方法が見当たらないため、ここでは加速度と締固め度の関係を調べることとした。

図5-20は、転圧中の加速度の時間的変化を示したもので、このように転圧中の加速度はほとんど変化していない。振幅が加速度に比例するものと仮定すると、転圧中の振幅はほぼ一定とみなすことができる。

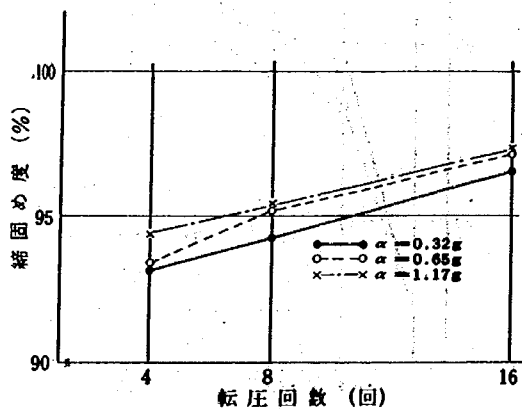


図5-21 加速度と締固め度

め効果はある程度期待することができると思われるが、アスファルト混合物の場合、小波の発生などの問題が生じるため最適振幅というものが考えられ、その値は0.4～0.8mmといった小さなものであると考えられる。

(8) 線圧と締固め度

54年度の実験結果から、線圧と締固め度の関係を図5-22に示す。今回の実験結果では線圧が

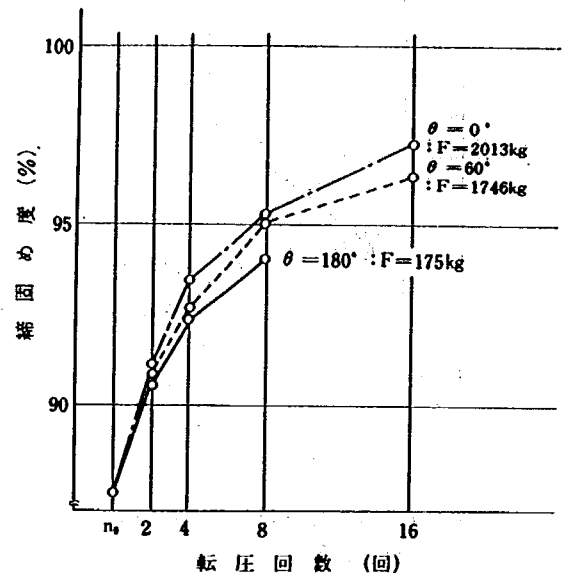


図5-19 起振力と締固め度

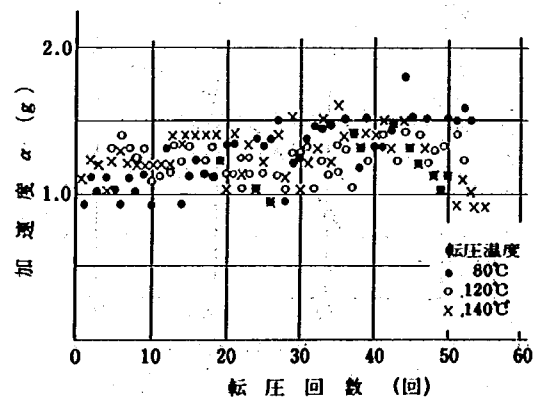


図5-20 転圧回数による加速度の変化

また、加速度と締固め度の関係を図5-21に示す。締固め度はわずかではあるが加速度の影響を受けているようである。

以上のことから、振幅を大きくすると締固

25.0kg/cm の場合の締固め度が大きく、線圧 27.5kg/cm および 30.0kg/cm ではほぼ同程度の締固め度が得られている。一般に、線圧が大きすぎると混合物の移動が生じやすく、ヘアークラックの発生とあいまって密度の増加が期待できない。また、ドラム径との関係で適正な線圧があるものと考えられ、今回の場合 25kg/cm か、もしくはもう少し小さな線圧が適当と考えられる。

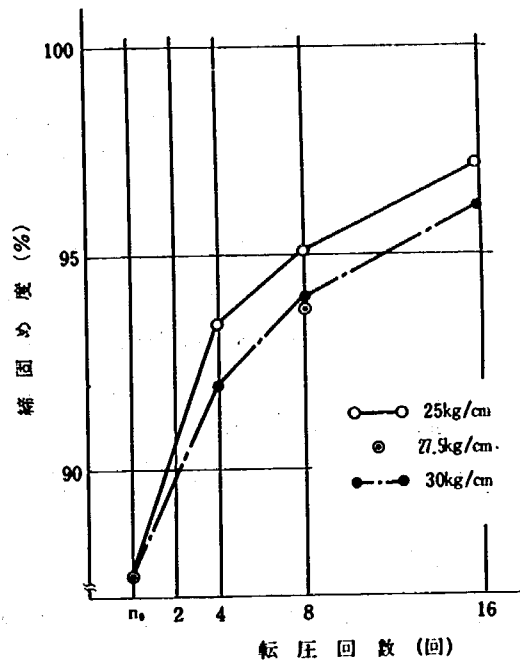


図5-22 線圧と締固め度

6. 締固めエネルギーと締固め効果

振動ローラによるアスファルト混合物の締固めにおいて、振動ローラがアスファルト混合物に与えるエネルギーとそれによって得られる締固め効果の期的な関係について考察する。

ここでは仕事量として(3・5)式に示した谷本のエネルギー式 $E_g = 2a(W_g + \frac{F}{2})$ を基本に総締固めエネルギー式を導入することにした。その理由として谷本のエネルギー式では起振機が1回振動するときの締固めエネルギーを表わしているのに対し、振動ローラで転圧を行なう場合には同一地点をローラが数回通過するため、締固め効果を表わすにはそれまでに与えた締固めエネルギーの合計で表わす方がより实际的と考えられるためである。すなわち、ここで導入した総締固めエネルギーとは1振動当りの締固めエネルギー(谷本のエネルギー式)が、アスファルト混合物に与えられる単位時間当りの締固め回数すなわち振動数(f)の割合で、加振時間(n/v)だけ作用した時の全仕事量を意味する。さらに、ドラム幅の長短によりアスファルト混合物の1点に加わるエネルギーは増減するため、この逆数を乗じることにした。

以上をまとめると締固めエネルギーは次式で表わすことができる。

$$E_{st} = 2a(W_g + \frac{F}{2}) \cdot f \cdot \frac{n}{v} \cdot \frac{1}{L} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

ここで、 E_{st} : 総締固めエネルギー ($\mathcal{G} \cdot \text{cm}/\text{cm}$)

a : 片振幅 (cm)

W_g : 振動体の重量 ($\mathcal{G}$)

F : 最大起振力 ($\mathcal{G}$)

f : 振動数 (c. p. s)

n : 転圧回数 (回)

v : 転圧速度 (cm/sec)

L : ドラム幅 (cm)

である。

次に総締固めエネルギーと締固め効果の関係について考えてみる。なお、締固め効果を表わす指標としてここでは締固め度を用いることにする。締固め度の増加の割合は転圧がすすむにつれ小さくなるものが容易に理解できることから、いま、ある時点における締固め度の増分 dCd に対応する締固めエネルギー dE_{st} がそれまでに費やされた総締固めエネルギー E_{st} に比例するものと仮定するとこれらの関係は次式で表わされる。

$$\frac{dE_{st}}{dCd} = dE_{st} \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

ここで d は定数である。

(6.2) 式を積分して次式が得られる。

$$Cd = d \ln E_{st} + C \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

ここで C は定数である。

そこで実験データより $\ln E_{st}$ と締固め度をプロットしたのが図6-1である。

図より $\ln E_{vt}$ と締固め度の間には明らかに相関関係があり、回帰式として (6.3) 式が有利なことが明らかになった。しかしながら実験データには多少のばらつきが見られ、このばらつきの原因として転圧温度による影響が大きいと考えられるので、先に示した図 5-17 から温度補正係数を求めることにした。図 6-2 は図 5-17 のデータを用いて温度 (T) の対数と締固め度の関係を表わしたものである。この図で $\ln T$ と締固め度の間には比例関係にあることがわかる。そこで直線式に回帰すると次式のようにになった。

$$Cd = 7.23 \ln T + 65.2 \quad \dots\dots (6.4)$$

ただしこの実験は締固め温度を 60℃～140℃の間で変化させたものであり、(6.4) 式が適応する温度範囲はほぼ 60℃～140℃である。

この結果から、以下では総締固めエネルギーを $\ln T$ により温度補正するものとし、 $\ln T \cdot \ln E_{vt}$ と締固め度の関係を図 6-3 に示した。なお、 E_{vt} および $\ln E_{vt}$ の計算結果を付表-5～付表-11 に合せて示している。

以上より総締固めエネルギーと締固め度の関係式として次式が得られた。

$$Cd = 0.464 \ln T \cdot \ln E_{vt} + 76.6 \quad \dots (6.5)$$

(相関係数 $r = 0.9190$)

次に図 5-12 の加振時間 (n/v) についても同様に温度補正を行なってみると、図 6-4 のようになり、関係式を求めると次式が得られた。

$$Cd = 0.497 \ln T \cdot \ln n/v + 91.0 \quad \dots\dots\dots (6.6)$$

(相関係数 $r = 0.7834$)

(6.5) 式、(6.6) 式の相関係数を比較することにより、加振時間 (n/v) をパラメータとするより、総締固めエネルギー (E_{vt}) をパラメータとする方が締固め効果を良く表わしていることが明らかになった。このことは単に振動数、振幅、起振力、転圧温度、転圧回数といった 1 つ 1 つの条件を取り上げて締固め効果を論議するより、振動ローラの機械的条件、転圧条件を (6.1) 式のように総合的に扱う方がより合理的な締固め効果の評価ができることを示唆している。

以上、締固め効果を示す一つの目安として締固めエネルギーの導入を提案したが、今後は実験データを蓄積し、締固め度の予測式といった定量的なものに発展させるとともに、総締固めエネルギーの考え方がアスファルト混合物の種類、層厚、初期密度、ドラム径、線圧などの異なる全てのアスファ

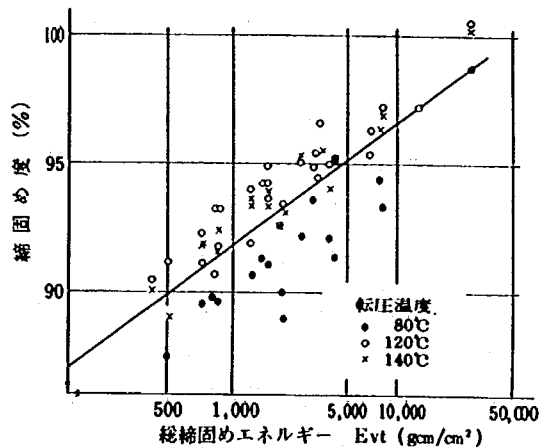


図 6-1 総締固めエネルギーと締固め度

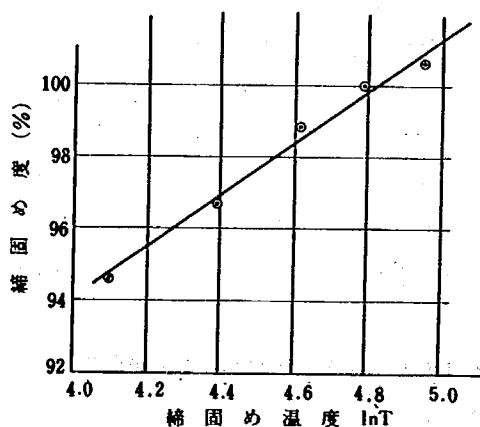


図 6-2 締固め温度と締固め度の関係

ルト舗装に適合できるよう検討する必要がある。

次に参考として今回用いた総締固めエネルギー (E_{st}) の算出手順を述べる。

(1) 振幅 a (cm)

実験中の振幅をとらえるよい方法が見当たらないため、実験では振動ローラに加速度計のピックアップを取り付け加速度を測定した。ここではこの加速度の振動波形を正弦波と仮定し、2回積分して得られる次の関係より振幅を求めることにした。

$$y = a_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (6.7)$$

$$y' = v = \frac{dy}{dt} = a_0 \omega \cos \omega t \quad \dots\dots\dots (6.8)$$

$$y'' = a = \frac{d^2 y}{dt^2} = -a_0 \omega^2 \sin \omega t \\ = -\omega^2 y \quad \dots\dots\dots (6.9)$$

今、最大片振幅 a のときの加速度を a とすると

$$a = \omega^2 a \quad \dots\dots\dots (6.10)$$

$$\therefore a = \frac{a}{\omega^2} \quad (\omega = 2\pi f) \\ = \frac{a}{4\pi^2 f^2} \quad \dots\dots\dots (6.11)$$

となる。

これより (6.1) 式は次のように変形することができる。

$$E_{st} = \frac{a}{2\pi^2 f} \left(W_0 + \frac{F}{2} \right) \cdot \frac{n}{v} \cdot \frac{1}{L} \quad (6.12)$$

なお、振幅は転圧がすすむにつれて密度の影響を受けて変化することが予測される。しかし、先に示した図 5-20 を見るかぎり、実験を行なった範囲では転圧中の加速度はほとんど変化しておらず、振幅もほぼ一定であるとみなすことができる。そこで、振幅は4回転圧時の平均加速度より求めることにした。

また今回は2本のゴムタイヤ上に振動輪を乗せ振動数と偏心軸の位相差 (θ) を変えて振動させた時の実振幅を三角紙により計測した。これと同じ条件で行なった締固め実験から4回転圧時の加速度 (a) を読み取り (6.11) 式に代入して振幅を求め、双方の振幅を図 6-5 に示した。図では多少のばらつきはあるが両者はほぼ同じ値とみなすことができる。したがって実際の計算にあたってはこのように事前に測定した振幅かあるいは振動ローラが持っている個有の振幅 (仕様に記されている振幅) を使用しても差し支えないであろう。

(2) 振動体の重量 W_0 (g)

本実験で使用了実験用振動ローラの振動体の重量は 1.35×10^6 g である。

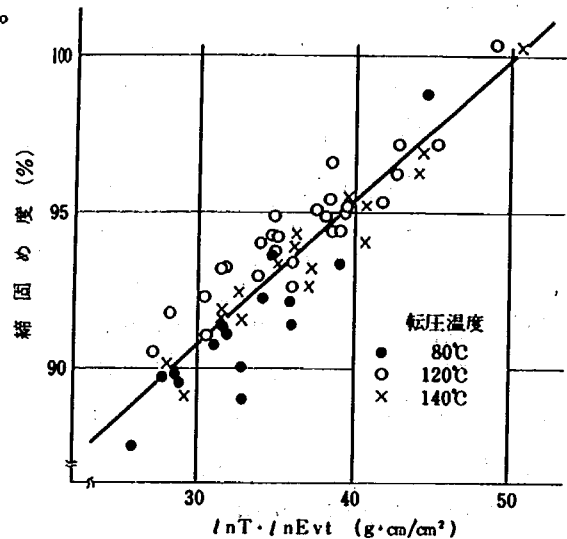


図 6-3 $\ln T \cdot \ln E_{st}$ と締固め度

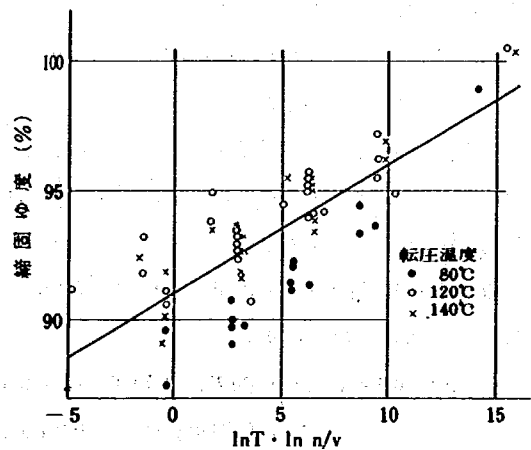


図 6-4 $\ln T \cdot \ln n/v$ と締固め度

(3) 最大起振力 $F(\text{g})$

本実験用振動ローラの起振装置は図5-2に示すように偏心重2コを有し、その位相差(θ)によって起振力を変える機構としており、これを模式的に表わすと図6-6のようになる。したがって最大起振力は F_1 と F_2 の合成力として次式で表わすことができる。

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cos \theta} \quad \dots\dots (6.13)$$

$$F_1 = \frac{W_n}{g} \cdot r \cdot \omega^2 = 0.00112 \cdot W_n \cdot r \cdot N^2 \quad (6.14)$$

$$F_2 = \frac{W_f}{g} \cdot r \cdot \omega^2 = 0.00112 \cdot W_f \cdot r \cdot N^2 \quad (6.15)$$

ここで F :起振力(g)

F_1 :主軸起振力(g)

F_2 :調整軸起振力(g)

W_n :主軸偏心荷重(g) $\dots\dots 18.650(\text{g})$

W_f :調整軸偏心荷重(g) $\dots\dots 22.200(\text{g})$

r :偏心量(m) $\dots\dots 0.011(\text{m})$

N :振動数(rpm)

θ :可変装置位相差($^\circ$)

である。

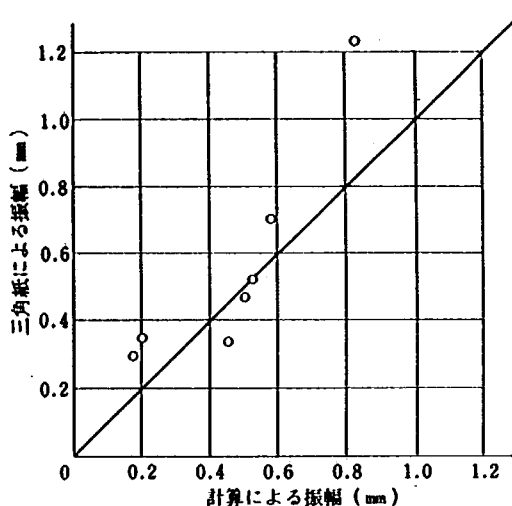


図6-5 計算と実測による振幅の比較

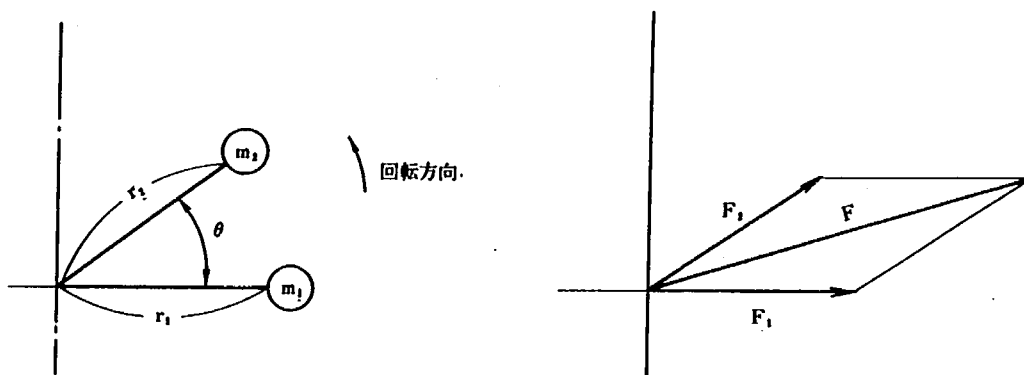


図6-6 起振力可変機構の模式図

(6.13)式より求めた振動数と起振力の関係を図6-7に示す。

(4) 振動数 f (cps)

振動数は実測値を用いることとし、起振体に取り付けた加速計により各実験条件毎の振動波形の山を読み取る方法で求めた。なお、計算には4回転時の実振動数を用いた。

(5) 回転速度 ω (cm/sec)

回転速度は実測値を用いた。

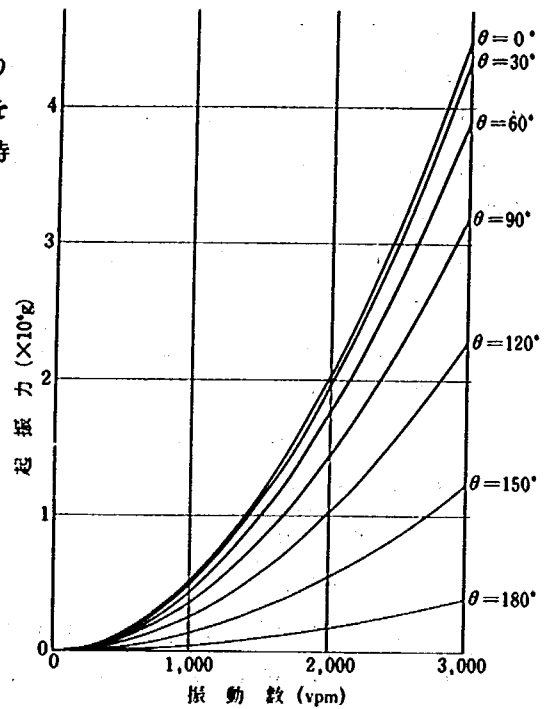


図6-7 振動数と起振力の関係

7 現場締固め実験

7.1 実験概要

振動ローラ転圧では、路面の平坦性の低下、ヘアークラックの発生、表面の骨材の破砕などが懸念されているが、これらについては実施工に近い規模の試験施工によって確認する必要がある。このような目的で昭和51年度に千葉県白井町の国道16号線拡市工事の一部で基層および表層を6t級振動ローラだけで転圧する締固め実験を行なった。

実験は延長100m、幅8.05mであり、舗装構成はアスファルト安定処理路盤の上に粗粒度アスコン15cmの基層と密粒度アスコン5cmの表層である。その配合を表7-1に示した。

表7-1 アスファルト混合物配合表

	骨材配合率 (%)						アスファルト		層別
	5号	6号	7号	粗目砂	細目砂	石粉	アスファルト量 (%)	針入度	
密アスコン 粒度	18	26	18	22	10	6	5.4	50	表層
粗アスコン 粒度	20	34	20	14	7	5	4.7	50	基層

中央分離帯

至 千葉	C_r	試験機	B_r		A_r	(追越車線)	G_r	至 柏
	P_s-2	$VR-7$	P_s-2		P_s-2			
	P_v-6		P_v-8		P_v-10			
	C_l	試験機	B_l		A_l	(走行車線)	G_l	
	P_s-2	$CC-20$	P_s-2		P_s-2			
	P_v-10		P_v-8		P_v-6			
157	156	155	154	153	152	150	149	
試験施工区間 100m				比較区間(従来工法) 100m				

	試験施工区間	比較区間
基層15cm (粗粒度アスコン)	1層仕上げ 転圧回数上図に示す	3層仕上げ 転圧回数 マカダム2回 タイヤ12回
表層5cm (密粒度アスコン)	P_s-2 , P_v-6 , P_s-2 以上	転圧回数 マカダム2回 タイヤ12回 3軸タンDEM2回

(注) P_s : 振動ローラ静転圧 A_l, B_l, C_l, G_l : 区間記号
 P_v : 振動ローラ振動転圧 A_r, B_r, C_r, G_r

図7-1 現場締固め実験の区間割り

振動ローラは追越車線に三菱VR-7を使用し、走行車線にダイナパックCC-20を使用した。基層は15cm1層仕上げとし、振動転圧回数が6回、8回、10回の3区間に分けた。表層は表面仕上りを調べるため、転圧回数約6回で全区間平均に転圧した。

図7-1に現場試験施工の区間割りを示す。この試験施工区間が工事完了の昭和52年3月末より供用されたので、その後1年間にわたり計6回舗装の表面性状を中心として追跡調査を実施し、従来工法と振動転圧区間の比較を行なった。追跡調査の測定項目とその測定方法を表7-2に示す。なお、現場締固め度を付表-12に示す。

表7-2 追跡調査測定項目

項 目	試 験 方 法	測 定 頻 度
すべり摩擦抵抗	高速すべり試験車	20, 40, 60km/h各3回
縦断凹凸量	3mプロファイルメータ	走行追越車線 各3測線
わだち掘れ	3m定規	各区画 3断面
路面粗さ	土研式自動路面粗さ計	各区画 9点

7.2 実験結果および考察

(1) すべり抵抗

すべり抵抗の測定は、高速すべり試験車を用いて、速度20km/h、40km/h、および60km/hで各3回の測定を行なった。この結果を図7-2に示す。

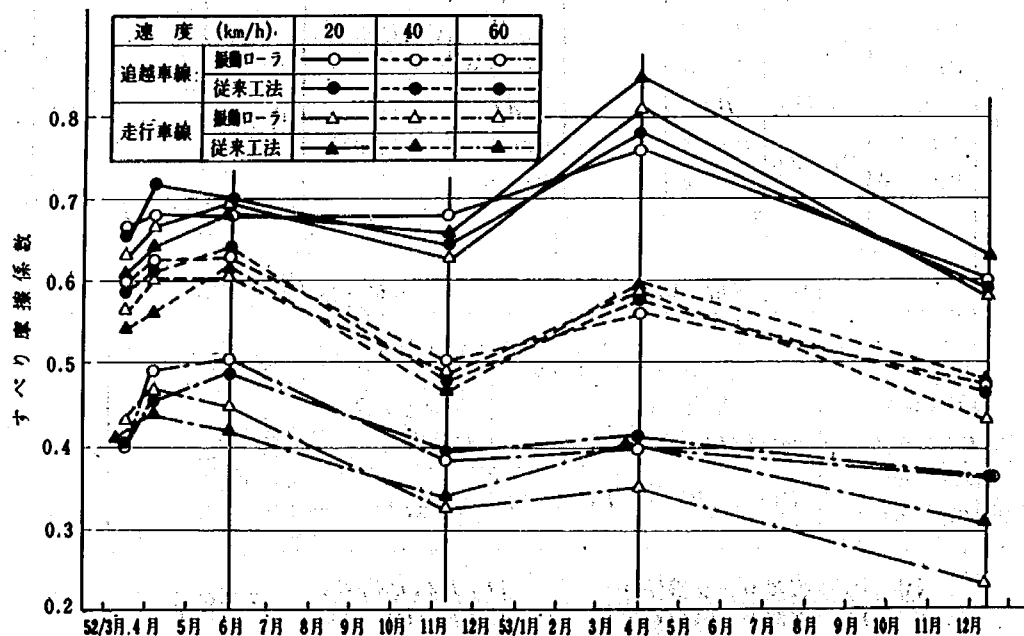


図7-2 すべり摩擦係数の経時変化

振動ローラ転圧区間のすべり摩擦係数は、基層の転圧方法の差の影響は当然のことながらみられない。また、従来工法と振動ローラによる工法にも有意な差はない。

(2) 平坦性(縦断形状)

平坦性は3mプロフィルメータにより各車線3測線について測定し、各区间ごとに標準偏差 σ を求めた。その結果を図7-3に示す。

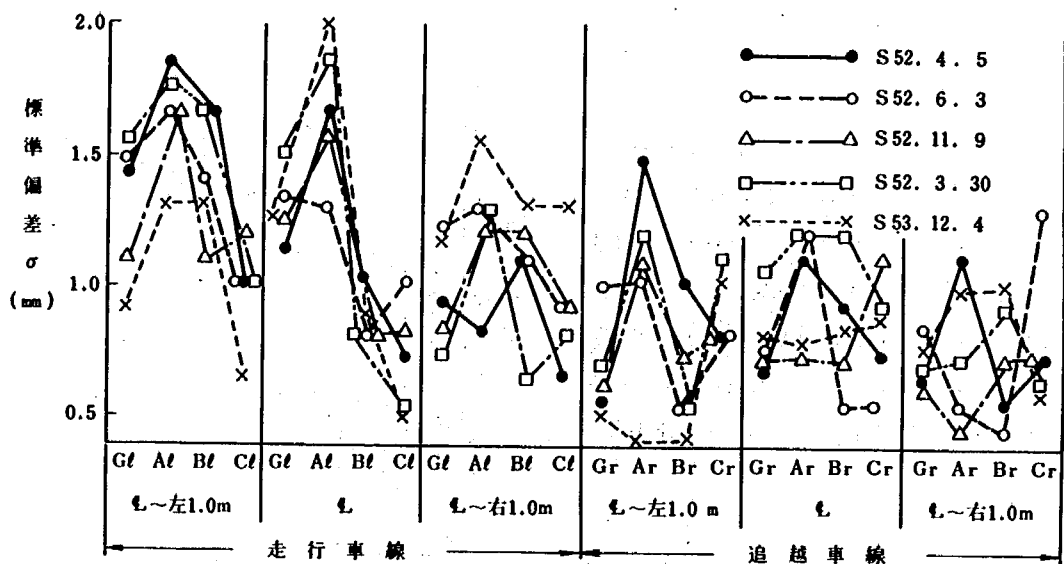


図7-3 平坦性の経時変化

振動ローラ転圧区間の一部は 従来工法区間より悪い部分もあるが、逆に良い部分もあり、平均的にはあまり差はない。また、平坦性の経時変化も図7-3をみるかぎり、従来工法と振動ローラ転圧工法の間に有意な差はない。

(3) わだち掘れ(横断形状)

わだち掘れ深さは3m定規を用いて路面の横断形状を測定し、これを基にわだち掘れ量を求めた。各区間のわだち掘れ深さは3断面の左右わだちの6点の平均値で表わした。図7-4に昭和52年度の当該地点の交通情勢調査結果より推定した1車線当り大型交通量を横軸にとり、平均わだち掘れ深さの変化を示す。従来工法区間と振動ローラ転圧区間を比較すると、振動ローラ転圧区間のわだち掘れがやや大きい傾向にあるが、明確な差があるとは言えない。

また、供用開始1年9ヶ月後のわだち部の密度は2.5%程度増加しており、これに伴う表層、基層の圧縮量は約5~6mmと換算されるが、実測のわだち掘れ量は9~11mm程度となっている。このことから、わだち掘れの主な原因として車輪走行に伴う、アスファルト混合物の圧縮のほか、摩耗、塑性流動や骨材とアスファルトの分離なども考えられる。

なお、わだち掘れの原因として上記原因のほか、路盤以下の圧縮についても考えねばならないが、これらの寄与度については、今回の調査では明らかにできなかった。

(4) 路面粗さ

土研式自動路面粗さ計を用いて測定した各区間9点のきめ深さの平均値を経時変化について示したのが図7-5である。

従来工法区間と振動ローラ転圧区間の平均きめ深さは、供用開始初期には差異は認められないが、それ以降は振動ローラ区間に比較して振動ローラ転圧区間は、きめ深さが同等かもしくは小さな値を示している。

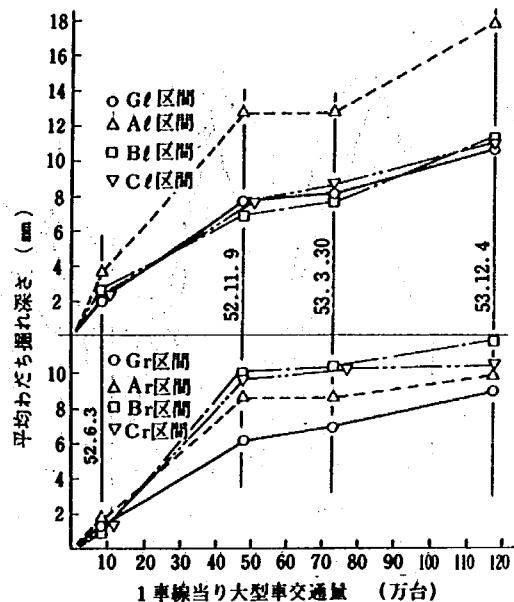


図7-4 大型車交通量と平均わだち掘れ深さ

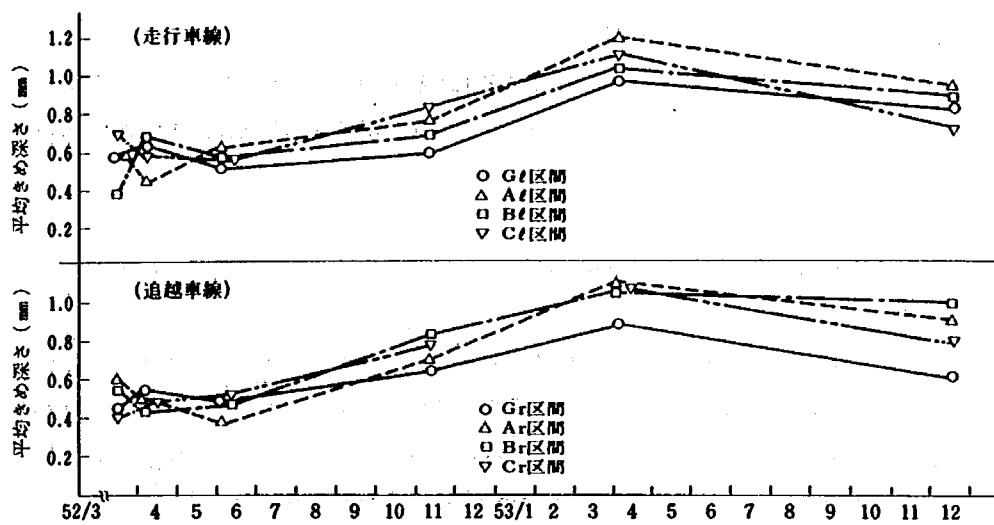


図7-5 平均きめ深さの経時変化

(5) アスファルト混合物の密度変化

基層と表層の密度は施工直後および供用開始後の最もわだち掘れの大きい部分について測定した。この結果を付表-12 および図7-6, 図7-7に示す。

これらの結果から施工直後の基層の密度についてはVR-7転圧, CC-20転圧とも振動転圧6回程度で従来工法と同等な締固め度が得られており表層については従来工法と振動ローラ転圧工法はほぼ同じ締固め度が得られた。また、深さ方向の密度分布を見ると振動ローラ転圧部ではこれまでの実験と同様に上、下層に比べ中央が良く締まっている。これに対して従来工法は上、中、下層の締固め度の差が比較的少なく振動ローラ転圧に比べ深さ方向に均一なものとなっている。これは振動ローラが1.5cm1層仕上げで転圧を行なっているのに対し、従来工法は1層5cmを3層で仕上げているためと考えられる。供用開始後の密度変化を見ると、振動ローラ転圧区間の路線は大型交通量がかかり多く、1年および1年9ヶ月経過後の締固め度は従来工法区間および振動ローラ区間と

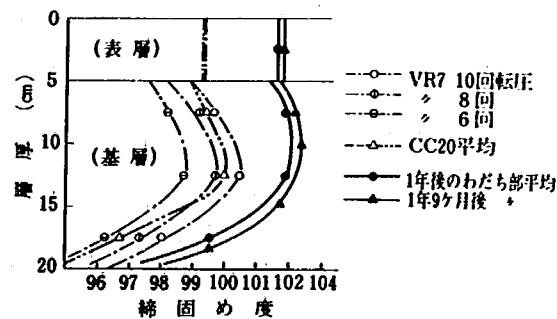


図7-6 深さ方向の締固め度の比較

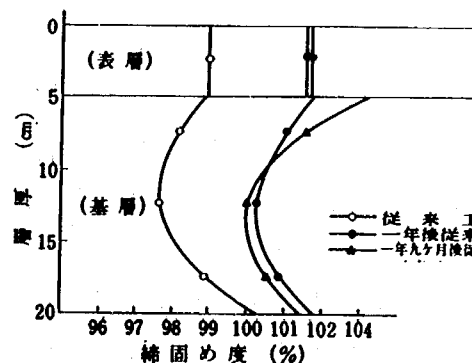


図7-7 一般工法の深さ方向の締固め度

もに大幅に上昇して100~102% 程度になっており、供用開始後約1年で限界の密度に近づいたと思われる。

このように、アスファルト混合物の密度について従来工法と振動ローラを比較すると、基層については6回転圧程度で従来工法と同等な締固め度が得られており、振動ローラは従来工法より少ない転圧回数で済むことが明らかとなった。

(6) 路面の観察

振動ローラ転圧工法区間では、ヘアークラックの発生や表面の骨材の破碎などが懸念されたが、転圧試験面での発生はなかった。

また、アスファルト舗装をタイヤローラで締固めた表面は、ニーディング作用とアスファルトで表面をシールする効果のため、ち密なきめを持ち、光沢のある面となるが、振動ローラで締固めた表面は、カッタで切削したような光沢のない面になっている。しかし、供用開始後3ヶ月もすると表面のアスファルトは無くなり、骨材が摩耗してきて外見上の差は見られなくなってくる。

8. 結 論

本課題では振動ローラによるアスファルト舗装の振動締固めについて実用機による締固め実験、実験用振動ローラによる締固め実験、および現場締固め実験を行ない、主として締固め効果に影響を及ぼす要因と表面性状について調査した。これらの結果から次のような結論を得ることができた。

(1) 振動ローラによる転圧では4～6回程度の転圧回数でアスファルト舗装要綱の合格判定値である締固め度96%以上に締固めることができる。また、今回の実用機による締固め実験および現場実験では、振動ローラの機種や振動機構に関係なく、従来工法（マカダムローラ2回、タイヤローラ12回程度）に比べて少ない転圧回数で同程度の締固め度を得ることができる。

(2) アスファルト舗装要綱によると従来工法ではアスファルト混合物の温度が110℃以上で締固めなければならないといっているが、振動ローラによる転圧ではそれ以下の温度で転圧しても十分に固まる。また、転圧開始温度の下限値は80℃程度と推定され、60℃以下では転圧による密度上昇は望めない。

なお、振動ローラを用いる場合でも従来工法と同じく、できるだけ高い温度で転圧することが望ましいが120℃以上であれば温度の影響をあまり受けず同程度の密度が得られる。

(3) 締固め効果に影響を及ぼす主な要因が締固めエネルギーであるものとして締固め度との関係を把握することができた。すなわち、基層10cmのアスファルト混合物を実験用振動ローラで締固めた場合、 $E_{vt} = 2a W \left(u + \frac{F}{2} \right) \cdot f \cdot \frac{\pi}{v} \cdot \frac{1}{\ell}$ で表わされる総締固めエネルギーと締固め度の間には良い相関にあり、その関係は温度補正を行なうことにより $Cd = 0.464 \ln T \cdot \ln E_{vt} + 76.6$ として表わすことができた。ただし、この式が適応する温度範囲はほぼ60℃～140℃である。

上式がアスファルト混合物の種類、層厚、初期密度、その他ドラム径、線圧などの異なる全ての振動ローラに適合しうるかどうかについては今後の検討を要するが、現時点においては一応の目安になるものと思われる。

なお、上式からわかるように締固め効果を上げるためには締固め温度と締固めエネルギーを高くすることが望ましいが、実施工においては表面仕上げあるいは経済性などを考慮して、施工条件、機械的条件を設定する必要がある。

(4) 実用機による実験結果では混合物温度が120℃以上のとき10回転圧程度で締固め度100%が期待できそうである。このことから振動ローラでアスファルト舗装を効率よく締固めるにはシックフト工法が有利と思われる。しかし6t級の振動ローラでは層厚15cmの場合、下層の締固めは十分であるとはいえない場合がある。なお、混合物の温度降下速さ y (℃/min)と層厚 t (cm)の関係は

次式で表わすことができ、シックリフト工法における混合物温度の持続性について確認できた。

$$y = -1.824 \log t + 245$$

(5) 転圧直後の仕上り表面の状態については、タイヤローラを中心とした従来工法とは異なっているが、供用開始後3ヶ月も経つと双方とも同じ状態におちつく。また、平坦性、路面粗さなどの点については供用開始後約2年間を見るかぎり基層の転圧から表層の仕上げにいたるまで、振動ローラによる転圧を行なった区間と従来工法区間の差は見られず、しかもアスファルト舗装要綱に示す合格判定値を全て満足しており、実用上問題となるような点は見られなかった。

(6) 振動ローラによるアスファルト舗装の転圧施工指針(案)

これまでの研究成果および現状の技術をとりとめ、振動ローラによるアスファルトの締固めの標準的な施工法を以下に示す施工指針(案)としてまとめた。

1) 概説

この施工指針(案)は、加熱混合物を6t級以上の振動ローラによって締固める方法について規定する。

2) 締固め作業

初転圧は、混合物が変位を起こしたりヘアークラックを生じないかぎり、できるだけ高い温度で行なう。二次転圧は初転圧に引き続いて行なう。仕上げ転圧はローラマークを消せるうちに行なう。振動ローラの速度は3~8km/hが適当である。

締固め作業の順序はつぎに示すとおりである。

(I) 継目転圧

(II) 初 転 圧

(III) 二次転圧

(IV) 仕上げ転圧

(I) 継目転圧

振動ローラによる継目転圧は、一般には既設舗装側から振動をかけて行なう。ただし、舗設側から100~200mm重複させて振動による転圧方法を採用してもよい。

(II) 初転圧

初転圧は、無振動で駆動輪を前にして1~2回転圧を行なう。

転圧温度は、100℃~140℃の範囲で行なう。

(注-1) 初転圧温度の最低値は80℃程度まで許容できるが、この場合所定の密度を得るためには相当転圧回数を増加させねばならない。

(III) 二次転圧

二次転圧は初転圧に引き続き行なう。

① 二次転圧は振動をかけて転圧する。ただし、方向転換、停止および発進時は無振動で行

なう。転圧回数は試験施工により決定するのが望ましい。一般には4～6回で十分である。

転圧終了温度は、70℃～80℃以上とする。

② 一般的な振動条件は、つぎのように設定するとよい。

層厚	振幅	振動数
薄層(3～5cm)	小	大(2,000～3,000vpm)
厚層(5～15cm)	大	小(1,500～2,000vpm)

③ 転圧時のオーバーラップ幅は、150mm程度として転圧する。

(Ⅳ) 仕上げ転圧

仕上げ転圧は無振動で行なう。なお、特に必要な場合は三軸ローラを使用する。

9. 今後の問題点

以上、述べてきたように振動ローラをアスファルト舗装に適用する場合、締固め効果に及ぼす要因は数多くあり、今回の調査では振動ローラ自体の特性について少々の検討を加えたにすぎない。したがって、まだ残された問題がありその主な事項は次のとおりである。

(1) 振動ローラの機械的条件

- ① ローラの種類の違いによる締固め効果について明らかに必要がある。

今回はある限られた機種の効果について調査を行なったが他の機種、特にコンパインド型の特性についての調査が必要と考えられる。

- ② 振動ローラの機械的条件と締固め効果についてより多くのデータを集め、最適振動数、最適振幅、最適振幅を見出すとともに適正な施工法の確立および振動ローラ開発の資料とする必要がある。

特に駆動方式、ローラ径、ローラ幅、線圧などが締固め効果に及ぼす影響の確認が必要である。

(2) アスファルト混合物の条件

- ① アスファルト混合物の種別が締固め効果に及ぼす影響について確認する必要がある。

- ② アスファルト混合物の厚さと振動ローラの振動条件（振幅、振動数その他）の関係について確認する必要がある。

(3) 総締固めエネルギーについて

今回の実験より総締固めエネルギー（ E_{vt} ）と締固め効果に相関があることが明らかになり、締固め度（ C_d ）と $\ln T \cdot \ln E_{vt}$ の関係式を表わすことができたが、今後は舗装厚、ローラ径、初期密度、アスファルト混合物の種類などを加味することにより、最終的に得られる締固め度を予測する式が提案できるものと思われる。これにより機械的条件と施工条件の最適な組合せを容易に求められるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 千田昌平「振動ローラによるアスファルト舗装転圧の概況と振動転圧実験」, 舗装,
昭和55年9月
- 2) C.H.Hughes "Vibratory Compaction of Bituminous Concrete-
Where does it stand?" Annual Meeting of the Association
of Asphalt Paving Technologists, 1977, U. S. A
- 3) L. Forssblad "Vibratory Compaction of Asphalt Pavements-
Experiences from Different Part of the World" 1st National
Conference of the Institute of Asphalt Technology, England,
1978
- 4) J. A. Cechetini and G. B. Sherman "Asphalt Compaction in
California" VIBRO TEKNIK NO11, 1975
- 5) 永盛, 山川「コンクリート舗装の機械化施工法に関する研究報告書」土木研究所資料,
昭和33年3月
- 6) E. T. Selig, T. S. Yoo "Fundamental of Vibratory Roller
Behavior" Proc 9th International Conf on Soil Mechanics
and Foundation Engineering, JPN, 1977, PP375-380
- 7) 村山朔郎, 谷本喜一, 松野三郎「側方拘束土の振動締固めに関する実験的研究」土木学会論文集
第43号 昭和32年2月
- 8) 根本忠「振動ローラの締固め特性」建設機械化研究所創立10周年記念論文集, 昭和49年10月

付表1 締固め度一覧表 (昭和50年度)

混合物 の種類	層 厚 (cm)	転圧 温度 (℃)(km/h)	転圧 速度	転 圧 回 数 (回)					備 考	
					2	4	6	8		10
粗 粒 度 ア ス コ ン	15	90-3	上		97.6	97.6	97.9	98.3	()は下 層の値 を除い た値	
			中		98.5	97.9	98.4	98.6		
			下		96.1	95.6	96.7	96.9		
			平均		97.4 (98.1)	97.0 (97.8)	97.7 (98.2)	97.9 (98.5)		
		130-3	上		98.8	99.4	99.3	100.3		
			中		98.6	99.3	99.5	99.8		
			下		96.3	96.4	97.3	97.0		
			平均		97.9 (98.7)	98.4 (99.4)	98.7 (99.4)	99.0 (100.1)		
		130-6	上		97.6	98.2	98.2	98.1		
			中		98.1	98.6	98.8	98.5		
			下		95.7	94.7	95.4	96.2		
			平均		97.1 (97.9)	97.2 (98.4)	97.5 (98.5)	97.6 (98.3)		
	10	90-3	上		96.7	97.8	97.4	98.6		
			下		96.3	97.5	98.5	98.4		
			平均		96.5	97.7	98.0	98.5		
		130-3	上		98.0	99.0	99.5	100.1		
			下		95.8	97.8	99.0	99.2		
			平均		96.9	98.4	99.3	99.7		
		130-6	上		97.2	97.8	99.8	98.9		
			下		95.3	95.7	97.6	98.4		
			平均		96.2	96.8	98.7	98.7		
		5	90-3		96.5	97.2	97.2	98.7		
			130-3		96.2	98.1	97.9	99.0		
			130-6		95.4	96.6	96.6	98.7		
密 粒 度 ア ス コ ン	5 (B面)	90-3		94.7	96.3	97.4	97.9			
		130-3		95.0	96.6	97.6	97.9			
		130-6		94.5	96.0	97.2	96.8			
	5 (A面)	振動ローラ	97.5							
		タイヤローラ	96.7							

付表2 締固め度一覧表 (昭和51年度)

混合物の種類	層厚 (cm)	転圧機械	転圧温度 (℃)	転圧速度 (km/h)	振動数 vpm (振幅)	転圧回数 (回)						備考
						0	2	4	6	8	16	
密粒度アスコン	5	VR-7	80	5	3,000(1)	平均 85.9	94.0	96.0	—	97.7	—	()内の数値は実転圧回数
				2	1,500(1)		94.8	97.3	—	98.4	—	
				5	2,300(1)		93.4	95.1	—	96.3	—	
					3,000(1)		94.1	95.2	—	96.7	—	
			120	5	3,000(1)		93.6	95.1	—	96.9	—	
				9	3,000(1)		93.1	95.7	—	98.0	—	
				5	2,500(1)		94.3	95.9	—	97.8	—	
					2,500(1)		94.0(0)	96.6(2)	97.4(3)	—	—	
		CC-41	120	2	2,500(1)		94.1(0)	97.0(2)	99.4(6)	—	—	
				5	—		—	—	—	96.5	97.3	
粗粒度アスコン	15	VR-7	80	4	2,000(大)	上	96.5	97.4	—	98.6	—	()内の数値は実転圧回数
						中	96.0	97.9	—	98.9	—	
						下	96.4	96.4	—	96.9	—	
						平均	96.3	97.2	—	98.1	—	
				1	2,000(大)	上	97.0	98.0	—	100.0	—	
						中	96.1	97.9	—	99.6	—	
						下	96.7	97.3	—	98.4	—	
						平均	96.6	97.7	—	99.3	—	
			120	4	1,200(大)	上	96.4	97.4	—	98.4	—	
						中	96.2	97.5	—	97.9	—	
						下	96.3	97.9	—	97.3	—	
						平均	96.3	97.3	—	97.9	—	
				4	1,600(大)	上	96.5	97.7	—	98.8	—	
						中	96.8	97.9	—	99.3	—	
						下	95.9	96.8	—	98.0	—	
						平均	96.4	97.4	—	98.7	—	
			140	4	2,000(大)	上	96.9	97.1	—	96.0	—	
						中	97.2	97.4	—	96.3	—	
						下	98.7	98.8	—	96.5	—	
						平均	96.7	97.0	—	98.0	—	
				4	3,000(大)	上	96.6	97.4	—	98.6	—	
						中	96.8	97.8	—	99.3	—	
						下	97.0	96.8	—	97.8	—	
						平均	96.8	97.3	—	98.6	—	
		CC-41	120	1	2,000(大)	上	94.4	96.0	—	97.8	—	
						中	94.4	96.5	—	97.8	—	
						下	95.3	96.2	—	96.9	—	
						平均	94.7	96.2	—	97.5	—	
				4	2,500(大)	上	97.2	97.8	99.4	—	—	
						中	98.4	98.1	99.6	—	—	
						下	97.4	97.5	99.1	—	—	
						平均	97.7(3)	97.8	99.3	—	—	
		T.R	120	6	—	上	97.5	98.8	—	99.6	—	()内の数値は実転圧回数
						中	97.0	98.8	—	99.1	—	
						下	96.6	98.1	—	98.6	—	
						平均	97.0	98.6	—	99.7(7)	—	
				6	—	上	—	—	—	97.3	98.3	
						中	—	—	—	98.3	98.7	
						下	—	—	—	97.7	98.3	
						平均	—	—	—	97.8	98.4	

付表-3 締固め度一覧表 (昭和52年度)

混合物 の種類	層厚 (cm)	転圧 機械	転圧温 度(℃)	転圧速 度(km/h)	振 動 数 (vpm)	転 圧 回 数 (回)					備 考	
							0	2無	2	4		8
粗 粒 度 ア ス コ ン	10	実 験 用 振 動 ロ ー ラ	80	1	2,400	上	92.1	—	95.3	96.7	97.3	2無, 無 振動2回 転圧
						下	91.5	—	93.1	93.9	97.5	
						平均	91.8	—	93.9	95.4	97.1	
			上				—	94.3	97.3	98.4		
			下				—	94.5	96.9	97.5		
			平均			91.8	—	94.7	96.6	97.5		
			上				—	96.7	96.9	98.6		
			下				—	94.5	97.0	92.9		
			平均			91.8	—	95.0	96.6	97.5		
			上			92.2	—	96.4	95.3	96.2		
			下			91.5	—	93.5	93.1	94.5		
			平均			91.9	—	94.7	93.9	94.5		
			上				—	94.5	94.8	98.6		
			下				—	94.5	97.5	98.5		
			平均			91.9	—	94.3	96.0	98.1		
			上				—	95.4	97.0	98.0		
			下				—	94.5	96.4	98.1		
			平均			91.9	—	95.0	96.0	97.6		
			上			91.9	—	93.5	93.8	95.9		
			下			92.9	—	93.5	93.5	96.0		
			平均			92.4	—	93.1	93.1	95.5		
			上				—	92.9	94.8	93.8		
			下				—	92.0	94.1	93.3		
			平均			92.4	—	92.2	94.1	93.1		
			上				—	94.3	94.3	96.4		
			下				—	93.8	95.7	96.6		
			平均			92.4	—	93.7	94.7	96.2		
			上			93.0	92.0	94.8	95.7	96.4		
			下			91.7	90.8	92.9	93.8	95.2		
			平均			92.4	90.4	93.5	94.5	95.4		
			上				92.2	94.5	95.5	96.9		
			下				92.7	93.8	95.4	96.4		
			平均			92.4	91.9	93.7	95.2	96.3		
			上				—	96.6	95.9	96.0		
			下				—	92.2	96.0	96.0		
			平均			92.4	—	94.3	95.7	95.9		

付表-4 締固め度一覧表 (昭和53年度)

混合物 の種類	層厚 (cm)	転圧 機械	転圧温 度(℃)	転圧速 度(km/h)	振動数 (vpm)	転圧回数 (回)					備 考			
							0	2	4	8				
粗 粒 度 ア ス コ ン	10	実 験 用 振 動 ロ ー ラ	80	1	3,000	上	90.7	95.3	95.3	96.9				
						下	89.4	92.7	94.5	95.2				
						平均	90.0	94.1	95.0	96.0				
						120	1	3,000	上	—		95.7	96.0	96.6
									下	—		92.5	94.1	94.8
									平均	90.0		94.3	95.2	95.7
			140	2,000	上				—	95.0		95.3	95.5	
					下				—	91.6		92.9	93.3	
					平均				90.0	93.3		94.1	94.5	
					80	3	3,000	上	92.0	95.7		96.4	97.3	
								下	91.3	92.7		94.5	97.0	
								平均	91.6	94.3		95.4	97.2	
			120	1				3,000	上	—		96.4	97.6	97.6
									下	—		94.5	95.2	95.0
									平均	91.6		95.4	96.4	96.4
					140	3	3,000		上	—		95.9	97.2	97.6
									下	—		95.0	96.9	96.4
									平均	91.6		95.4	97.0	97.0
			80	3				3,000	上	90.7		94.5	96.6	96.4
									下	90.8		92.5	93.3	95.0
									平均	90.7		93.6	95.0	95.7
					120	1,000	上		—	95.7		96.4	97.6	
							下		—	93.8		95.0	97.3	
							平均		90.7	94.8		95.7	97.5	
			140	2,000			上	—	96.6	97.0		96.9		
							下	—	93.1	94.8		97.8		
							平均	90.7	95.0	96.0		97.3		
					80	3	3,000	上	91.1	96.2		96.9	97.8	
								下	90.6	93.1		94.8	96.6	
								平均	90.9	94.8		95.9	97.2	
			120	1,000				上	—	95.9		97.6	96.6	
								下	—	91.0		95.0	95.5	
								平均	90.9	93.7		96.4	96.0	
					140	3,000	上	—	94.1	95.3		96.7		
							下	—	93.1	93.1		95.2		
							平均	90.9	93.7	94.3		96.0		

付表-5 締固め度一覧表 (昭和54年度)

実験配置その1

($f=2000\text{rpm}$, $\theta=0^\circ$)

温度 (T) °C 転圧回数 (n) 回 転圧速度 (v) km/h			80				100				120			
			2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
1.5	締固め度 (%)	上部												
		中部												
		平均												
	Evt (gcm/cm)													
	$\ln T \cdot \ln Evt$													
3.0	締固め度 (%)	上部		89.0	91.7	93.0		93.0	94.9	96.6		92.7	94.7	
		中部		89.0	91.2	93.7		93.9	95.6	97.9		93.7	95.7	
		平均		89.0	91.4	93.3		93.4	95.2	97.2		93.2	95.2	
	Evt (gcm/cm)			2019	4038	8076		2019	4038	8076		2019	4038	
	$\ln T \cdot \ln Evt$			333	364	394		364	398	431		376	410	
5.5	締固め度 (%)	上部						91.7	93.6	94.6		91.8	94.0	
		中部						91.9	93.9	96.1		93.0	94.5	
		平均						91.8	93.8	95.4		92.4	94.3	
	Evt (gcm/cm)							803	1607	3213		803	1607	
	$\ln T \cdot \ln Evt$							320	353	387		331	365	

付表-6 締固め度一覧表 (昭和54年度)

実験配置その1

($f=2000\text{rpm}$, $\theta=180^\circ$)

温度(T)℃ 転圧回数(n)回 転圧速度(v)km/h		80				100				120			
		2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
1.5	締固め度(%)	上部	89.6	91.5	93.7		90.1	95.0	94.2		90.1	91.1	92.7
		下部	90.0	91.1	93.6		91.3	93.5	95.6		89.7	89.7	94.2
		平均	89.8	91.3	93.6		90.7	94.2	94.9		89.9	90.4	93.6
	Evt. (gcm/cm)		754	1507	3015		754	1507	3015		754	1507	3015
	$\ln T \cdot \ln Evt$		29.0	32.1	35.1		31.7	35.0	38.4		32.7	36.2	39.6
3.0	締固め度(%)	上部	89.8	90.9	92.2		89.9	91.7	93.7		89.7	91.1	92.9
		下部	90.7	91.7	93.2		91.2	92.9	94.3		90.6	92.3	93.8
		平均	90.3	91.3	92.7		90.5	92.3	94.0		90.1	91.7	93.4
	Evt. (gcm/cm)		320	640	1279		320	640	1279		320	640	1279
	$\ln T \cdot \ln Evt$		25.3	28.3	31.3		27.6	30.9	34.3		28.5	31.9	35.4
5.5	締固め度(%)	上部											
		下部											
		平均											
	Evt. (gcm/cm)												
	$\ln T \cdot \ln Evt$												

付表-7 締固め度一覧表 (昭和54年度)

実験配置その2

($v=3.0\text{km/h}$, $\theta=0^\circ$)

温度(T)℃ 振動数(f)rpm 転圧回数(n)回			80				100				120			
			2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
1000	締固め度(%)	上部						92.3	93.5	95.8				
		下部						94.1	94.8	97.4				
		平均						93.2	94.2	96.6				
	Eut (gcm/cm)							819	1639	3277				
	$\ln T \cdot \ln Eut$							32.1	35.4	38.8				
2000	締固め度(%)	上部		89.0	91.7	93.0		93.0	94.9	96.6		92.7	94.7	95.9
		下部		89.0	91.2	93.7		93.9	95.6	97.9		93.7	95.7	96.7
		平均		89.0	91.4	93.3		93.4	95.2	97.2		93.4	95.2	96.3
	Eut (gcm/cm)			2019	4038	8076		2019	4038	8076		2019	4038	8076
	$\ln T \cdot \ln Eut$			33.3	36.4	39.4		36.4	39.8	43.1		37.6	41.0	44.5
3000	締固め度(%)	上部						93.9	95.3	97.1				
		下部						95.0	95.5	97.3				
		平均						94.4	95.4	97.2				
	Eut (gcm/cm)							3343	6685	13370				
	$\ln T \cdot \ln Eut$							38.8	42.2	45.5				

付表-8 締固め度一覧表 (昭和54年度)

実験配置その2

(v=3.0km/h, $\theta=180^\circ$)

温度(T)℃ 振動数(f)rpm 圧入回数(n)回			80				100				120			
			2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
1,000	締固め度(%)	上部	89.5	90.8	92.4		90.6	92.3	94.4		92.1	93.0	94.8	
		下部	89.7	90.5	91.9		91.6	93.5	95.7		91.5	94.2	95.8	
		平均	89.6	90.7	92.2		91.1	92.9	95.1		91.8	93.6	95.3	
	Evt.(gcm/cm)		64.4	128.8	257.5		64.4	128.8	257.5		64.4	128.8	257.5	
	LnT・LnEvt		28.3	31.4	34.4		31.0	34.3	37.6		32.0	35.4	38.8	
2,000	締固め度(%)	上部	89.8	90.9	92.2		89.9	91.7	93.7		89.7	91.1	92.9	
		下部	90.7	91.7	93.2		91.2	92.9	94.3		90.6	92.3	93.8	
		平均	90.3	91.3	92.7		90.5	92.3	94.0		90.1	91.7	93.4	
	Evt.(gcm/cm)		32.0	64.0	127.9		32.0	64.0	127.9		32.0	64.0	127.9	
	LnT・LnEvt		25.3	28.3	31.3		27.6	30.9	34.3		28.5	31.9	35.4	
3,000	締固め度(%)	上部	87.6	90.2	91.9		91.3	92.6	94.3		89.3	91.2	93.3	
		下部	87.4	89.2	91.1		92.4	93.9	95.5		89.0	92.0	94.5	
		平均	87.5	89.7	91.1		91.9	93.2	94.9		89.1	91.6	93.9	
	Evt.(gcm/cm)		40.1	80.3	160.6		40.1	80.3	160.6		40.1	80.3	160.6	
	LnT・LnEvt		26.3	29.3	32.3		28.7	32.0	35.3		29.6	33.1	36.5	

付表-9 締固め度一覧表 (昭和54年度)

実験配置その

(v=30km/h, f=2,000rpm)

温度(T)℃ 位相差(θ)・ 振圧回数(n)回 (起振力(F)kg)			80				100				120			
			2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
180 (175)	締固め度(%)	上部	89.8	90.9	92.2		89.9	91.7	93.7		89.7	91.1	92.9	
		下部	90.7	91.7	93.2		91.2	92.9	94.3		90.6	92.3	93.8	
		平均	90.3	91.3	92.7		90.5	92.3	94.0		90.1	91.7	93.4	
	Evt (gcm/cm)		320	640	1279		320	640	1279		320	640	1279	
	lnT・lnEvt		25.3	28.3	31.3		27.6	30.9	34.3		28.5	31.9	35.4	
60 (1746)	締固め度(%)	上部		89.8	92.0	94.1		92.0	94.7	96.0		92.2	93.7	95.8
		下部		90.2	92.1	94.6		93.2	95.3	96.5		92.9	94.3	96.7
		平均		90.0	92.1	94.4		92.6	95.0	96.3		92.6	94.0	96.3
	Evt (gcm/cm)			1953	3906	7813		1953	3906	7813		1953	3906	7813
	lnT・lnEvt			33.2	36.2	39.3		36.3	39.6	42.9		37.4	40.9	44.3
0 (2013)	締固め度(%)	上部		89.0	91.7	93.0		93.0	94.9	96.6		92.7	94.7	95.9
		下部		89.0	91.2	93.7		93.9	95.6	97.9		93.7	95.7	96.7
		平均		89.0	91.4	93.3		93.4	95.2	97.2		93.2	95.2	96.3
	Evt (gcm/cm)			2019	4038	8076		2019	4038	8076		2019	4038	8076
	lnT・lnEvt			33.3	36.4	39.4		36.4	39.8	43.1		37.6	41.0	44.6

付表-10 締固め度一覧表 (昭和54年度)

実験配置その4

($v=3\text{km/h}$ $f=2,000\text{rpm}$ $\theta=0^\circ$)

温度(T)℃			60	80	120	140
転圧回数(n)回						
4	締固め度(%)	上部		89.0	93.0	92.7
		下部		89.0	93.9	93.7
		平均		89.0	93.4	93.2
	$Evt(\text{gcm/cm})$			2019	2019	2019
	$\ln T \cdot \ln Evt$			333	364	37.7
8	締固め度(%)	上部		91.7	94.9	94.7
		下部		91.2	95.6	95.7
		平均		91.4	95.2	95.2
	$Evt(\text{gcm/cm})$			4038	4038	4038
	$\ln T \cdot \ln Evt$			36.4	39.8	39.8
1.6	締固め度(%)	上部		93.0	96.6	95.9
		下部		93.7	97.9	96.7
		平均		93.3	97.2	96.3
	$Evt(\text{gcm/cm})$			8076	8076	8076
	$\ln T \cdot \ln Evt$			39.4	43.1	44.5
55	締固め度(%)	上部	91.4	98.8	100.0	100.0
		下部	90.9	98.8	100.8	100.7
		平均	91.1	98.8	100.4	100.3
	$Evt(\text{gcm/cm})$		27761	27761	27761	27761
	$\ln T \cdot \ln Evt$		41.9	44.8	49.0	49.0

付表-11 締固め度一覧表 (昭和54年度)

実験配置その5

($T=120^{\circ}\text{C}$ $v=3\text{km/h}$ $f=2,000\text{rpm}$ $\theta=0^{\circ}$)

線圧(p) kg/cm 転圧回数(n) 回 4 8 16			4	8	16
25.0	締固め度 (%)	上 部	93.0	94.9	96.6
		下 部	93.9	95.6	97.9
		平 均	93.4	95.2	97.2
	Evt (g/cm ³)		2019	4038	8076
	lnT · lnEvt		50.6	41.0	43.1
27.5	締固め度 (%)	上 部		93.7	
		下 部		93.9	
		均 均		93.8	
	Evt (g/cm ³)			4038	
	lnT · lnEvt			39.8	
30.0	締固め度 (%)	上 部	91.6	93.5	95.6
		下 部	92.3	94.7	96.8
		均 均	92.0	94.1	96.2
	Evt (g/cm ³)		2019	4038	8076
	lnT · lnEvt		36.4	39.8	43.1

付表-12 現場締固め実験の締固め度一覧表

走行車線	区 間		G _l	A _l	B _l	C _l
	表 層		99.1/101.5	99.1/101.6	100.1/100.9	98.9/101.4
	基 層	上	98.0/ -	99.6/ -	99.4/101.3	99.3/101.6
		中	98.2 -	100.2/ -	100.2/101.3	99.5/100.9
		下	99.0 -	96.6/ -	96.5/ 99.6	96.6/ 98.7
		平均	98.4/100.9	98.8/101.4	98.7/100.7	98.5/100.4
追越車線	区 間		G _r	A _r	B _r	C _r
	表 層		99.7/101.9	98.6/102.1	100.2/101.5	99.3/101.5
	基 層	上	98.2/ -	98.2/101.5	99.6/102.3	99.2/102.5
		中	97.1/ -	98.7/101.8	99.7/103.0	100.4/102.3
		下	98.7/ -	96.2/ 99.2	97.3/101.3	98.0/ 98.8
		平均	98.0/100.2	97.7/100.8	98.9/102.2	99.2/101.2

(注) /の上段は舗装直後の、下段は53年3月30日における締固め度

アスファルト舗装の
振動締固め実験—第2報—

土木研究所資料第 号
昭和56年3月 (1981年)

建設省土木研究所施工研究室
千田昌平, 木村直紀

キーワード 建設機械, アスファルト舗装, 締固め, 振動ローラ

要旨

振動ローラをアスファルト舗装の締固めに使用した場合,
締固め度および表面性状において現在の品質規定を十分に
満足する良好なものであることが判明した。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡

豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

施工研究室 御中

No. 49

配布先氏名

配布先住所



No. 49

土木研究所資料第1633号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印