

土 木 研 究 所 資 料

第 1 1 8 2 号

アスファルト舗装機械に関する試験調査

— 第 1 報 —

アスファルト舗装の振動締固め実験(1)

昭和 51 年 11 月 25 日

建 設 省 土 木 研 究 所

要 旨

本調査は、アスファルト舗装の締固めに大形振動ローラを適用することにより、品質の向上と施工能力の増大を図るため、振動ローラ転圧の締固め特性の調査および適切な施工指針の作成を目標としている。

50年度は土木研究所千葉支所構内の試験舗装ピットにおいて、総重量6 tのタンデムタイプの振動ローラによる転圧実験を行い、振動ローラの締固め効果と表面の仕上がりについて調査した。また、表層の仕上りを比較するため、タイヤローラによる転圧も一部分で行った。

実験の結果、振動ローラは4回程度の少ない転圧回数で、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、シックリフト施工においても層厚15 cm程度までは十分に締固めることができた。また、表面の平坦性についても、アスファルト舗装要綱の合格判定値を満たす結果を得た。表層における振動ローラとタイヤローラの比較試験の結果では、締固め度および平坦性とも振動ローラが良好であった。

振動ローラの締固め効果は、振動数、振幅が一定ならば、(転圧回数)/(転圧速度)と混合物の温度の関数で表わせることが分った。

舗装機械に関する試験調査

— 第1報 —

アスファルト舗装の振動締固め実験(1)

施 工 研 究 室

千 田 昌 平

中 垣 光 弘

江 添 良 春

目 次

まえがき	1
1. 大形振動ローラの特徴と問題点	2
2. 調査の目的	4
3. 実験の方法	5
3.1 転圧実験の概要	5
3.2 締固め機械の仕様	5
3.3 試験条件	6
3.3.1 路 床	6
3.3.2 路 盤	7
3.3.3 基層および表層の混合物	7
3.3.4 締固め条件	9
3.4 測 定	10
3.4.1 密度測定	10
3.4.2 混合物の温度測定	11
3.4.3 転圧速度測定	11
3.4.4 平坦性測定	11
3.4.5 たわみ量測定	11
3.4.6 すべり抵抗測定	11
3.4.7 路面粗さ測定	12
3.4.8 地盤振動測定	12
4. 試験結果および考察	13
4.1 混合物の温度変化	13
4.2 転圧速度	15
4.3 締固め効果	16
4.3.1 厚層の深さ方向の締固め度	16

4.3.2	転圧回数と締固め度	18
4.3.3	転圧速度と締固め度	20
4.4	表面の仕上り	22
4.4.1	仕上り表面の外観	22
4.4.2	平坦性	23
4.4.3	路面粗さ	25
4.4.4	すべり抵抗性	25
4.5	たわみ量	25
4.6	地盤振動の測定結果	27
4.7	転圧実験の問題点	27
4.7.1	転圧時の混合物温度の管理	27
4.7.2	転圧速度の制御	27
5.	結 論	28
6.	今後の問題点	29
	あとがき	29

ま え が き

近年、道路舗装工事の規模の拡大に伴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施工能力の増大が図られたが、これに対応した締固め能力の増大が要望されている。また、舗装の修繕工事を急速施工するため、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機械が求められている。

これらの条件を満たすものとして、欧米諸国ではすでに大形振動ローラ（6～10 t）による舗装の締固めが行われている。一方、国内でもこの傾向をとらえて大形振動ローラによる舗装の転圧が注目されているが、まだ使用例が少なく、高速道路のアスファルト安定処理路盤や基層の転圧でタイヤローラと併用されている程度であり、表層にはほとんど使用されていない。しかし、近年、多様な大形振動ローラが多数輸入されるとともに、国内メーカーにおいても製作、販売を開始しており、その有効な活用が望まれている。

したがって、この課題の調査では、アスファルト舗装工事における大形振動ローラの適用性について検討するもので、50年度は総重量6 t級のタンデムタイプの振動ローラを用いて、土木研究所構内でアスファルト舗装の締固め試験を行い、締固め効果や表面の仕上りなどを調査した。この結果、締固め効果、表面の仕上り精度等については特に問題がなく、層厚10 cm程度までは十分な締固め能力を有することが分った。

この課題の調査としては、51年度も引き続き、大形振動ローラのアスファルト舗装への適応性について調査、試験を行い、その適切な施工指針を示すことを目標としている。したがって、この報告は前述の締固め試験を中心とした中間報告である。

1. 大形振動ローラの特徴と問題点

振動ローラには、車輪形式、駆動形式等が異なる多数の種類があるが、基本的には、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。そのため次のような特徴と問題点を持つといわれている。

- (1) 締固め効果が大きく、少ない通過回数（従来の締固め方法の1/2程度）で十分に締固めできる。
- (2) 転圧速度がロードローラより速く、タイヤローラと同等以上でも十分施工できるため、施工能力が大きい。
- (3) 動的な締固めであるため、深層まで締固め効果が及ぶ。10t級の振動ローラでは15cm厚程度のアスファルト混合物まで十分に締固めることができる。
- (4) 振動数、振幅、転圧速度を変えることにより、材料の性状に応じた締固めができる。特に温度の低い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。
- (5) 従来の一般的な施工方法ではロードローラとタイヤローラを併用する必要があるが、振動ローラでは1台で初転圧、2次転圧、仕上げ転圧が可能である。

したがって、大形振動ローラの使用が一般的になれば、各種のアスファルト舗装における施工上の問題を解決する有効な方策となる。たとえば、次のことが考えられる。

- (1) 大形のアスファルトフィニッシャの施工能力に対応するため、従来の締固め方法ではマカダムローラ2台＋タイヤローラ2台＋3軸タンデムローラ1台程度の組合せで施工されていたものが、振動ローラを採用すれば、振動ローラ1～2台、あるいは振動ローラ1台とロードローラ1台程度の締固め機械の組合せで十分に対応できる。
- (2) 修繕工事等の小規模な工事でも、少なくともロードローラとタイヤローラ各1台を必要としたが、振動ローラでは1台で施工できる。
- (3) 修繕工事では急速施工するため、シックリフト工法ができる。また、一般の舗装工事においても、シックリフト工法は施工能率を向上させる点では極めて有効である。
- (4) 自動車交通量の増大と車両の大形化による輪荷重の増大により、舗装の耐荷力が不足している。このため舗装厚の増加により対処しているが、これでは十分でなく、舗装体の支持力特性の向上が求められている。支持力特性の向上の方法としては、路盤および表層、基層を高密度に締固めることが有効である。したがって、在来工法より容易に高密度に締固めることが可能な大形振動ローラの活用が望まれる。

一方、大形振動ローラには次のような欠点が指摘されている。

- (1) 小波が発生しやすい。特に両輪振動の小形機種に多い。
- (2) ヘヤークラックが発生しやすい。
- (3) 碎石が割れやすい。

(4) タイヤローラのようなニーディング作用がないため、骨材の配列に問題があり、表面をアスファルトでシールする効果がない。

このような振動ローラの特徴と欠点は、国内における少ない施工実績より断片的に見出されたものであり、必ずしも確定的なものではない。したがって、振動ローラの特徴および問題点を早急に明らかにする必要がある。

2. 調査の目的

この課題の調査の目的は、前述の大形振動ローラの特徴と問題点を調査して、その特徴を十分に発揮させるための条件と、問題点に対しては、その解決方法を検討し、大形振動ローラをアスファルト舗装工事に適用する場合の施工指針を作成するための資料を得ることである。

そのために、本調査の全体計画として次のような調査、試験を行うこととした。

- (1) 振動ローラによる締固め試験を行い、アスファルト混合物の条件（骨材の粒度分布、アスファルト量、アスファルト針入度など）、機械的条件（形式、重量、振動数、振幅、転圧速度など）および施工条件（敷均し厚さ、転圧温度、転圧回数など）と舗装の品質（締固め度、支持力、平坦性、きめ深さ、すべり抵抗など）との関係を調査する。
- (2) 現場において、振動ローラの締固め試験を行い、振動ローラの施工性、施工能力および舗装の品質について調査する。
- (3) 前2項の試験結果あるいは、小規模な実験装置等により、アスファルト混合物の振動締固めの理論的考察を行う。
- (4) 以上の調査、試験の結果を解析して、次のことについて検討する。
 - ① アスファルト混合物の締固めに適した振動ローラの形式および仕様
 - ② アスファルト混合物の種類に応じた振動ローラの施工方法
 - ③ 振動ローラを用いた施工方法と在来工法との施工能力、舗装の品質等の比較を行い、振動ローラの評価を行う。

これらのうち、昭和50年度は土木研究所構内における振動ローラ締固め実験を行い、次のことについて調査した。

- (1) 転圧回数、転圧速度と締固め効果
- (2) 転圧温度と締固め効果
- (3) シックリフトの場合の深さ方向の密度変化
- (4) 振動ローラの仕上り表面の平坦性と性状
- (5) 振動ローラの運転に伴う地盤振動の大きさ

3. 実験の方法

3.1 転圧実験の概要

転圧実験は、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 月に行った。

ビット底面の関東ロームの原地盤をブルドーザ（D50A）およびモータグレーダ（GP31）で不陸整正して路床面とした。

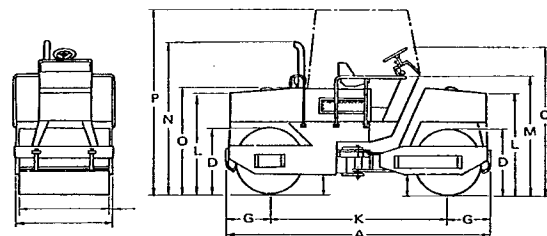
路盤には最大粒径 40mm の粒度調整碎石を用い、ブルドーザとモータグレーダで敷均し、振動ローラ（ダイナパック CC41、10t 級）とタイヤローラ（WP15）で転圧して、厚さ 30cm に仕上げた。

混合物の敷均しは、アスファルトフィニッシャ（パーバグリーン SB170）により敷均し幅 4.2m で自動調整装置を使用して行った。

混合物の締固めは、試験機としてタンデムタイプの振動ローラ（ダイナパック CC20）を使用して行った。また、表層の一部は振動ローラとの比較のため、タイヤローラ（WP15）を使用した。

3.2 締固め機械の仕様

混合物の締固め試験に使用した振動ローラとタイヤローラの主要諸元を表-1 と表-2 に示し、図-1 には振動ローラの主要寸法を示す。



寸法はすべてmm

A 4030	D 1040	G 665	L 1590	O 1660
B 1550	E 1400	H 75	M 1900 まで	P 2915
C 2300	F 310	K 2700	N 2900	

図-1 振動ローラの主要寸法

表-1 振動ローラの主要諸元表

重 量 (kg)		総重量		自 重		
		6,280		5,500		
荷重分布		前輪	3,140		2,750	
		後輪	3,140		2,750	
車 輪		種類	前 輪		後 輪	
			振動輪・鉄輪			
		寸法 (mm)	直 径		1,040	
			巾		1,400	
締固め巾		(mm) 1,400				
起振力(kg) at 3,000 vpm		振巾	前 輪		後 輪	
		高	5,000			
		低	3,750			
振 動 数 (vpm)		0 ~ 3,300				
走 行 速 度 (km/h)		前後進共 0 ~ 10				

表-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 巾 (mm)		2,134	
走 行 速 度 (km/h)		前後進共4段 3.4~21.8	

3.3 試験条件

3.3.1 路 床

路床は前述のように試験ビット内の原地盤を不陸整正したものである。路床の土質は関東ロームであり、その土質試験結果を表-3に示す。土質は試料番号1と2の2種類であるが試験区間のほぼ全域が試料番号1の土で、一部分に試料番号2の土が見られた。

表-3 路床の土質試験結果

試料 番号	自 然 含水 比 (%)	比 重 GS	粒 度 組 成 (%)			土 質 分	コンシステンシー限界値 (%)			CBR 値
			砂分	シルト分	粘度分		L.L	P.L	P.I	
1	56.1	2.82	18	52	30	火山灰質粘性土(関東ローム)	131.3	81.4	49.9	3.2
2	87.7	2.86	34	41	25	*	92.5	61.6	30.9	4.7

路床土の設計CBRは3.0%であり、良好な路床とは言えないが、試験施工にはあまり影響がないものとみなした。また、路床の支持力を繰返し平板載荷試験(日本道路公団の方法)で求めた。試験の結果は表-4に示す。路床の変形係数は載荷重強度 1.6 kg/cm^2 のとき $E_0 = 118 \text{ kg/cm}^2$ で

表-4 繰返し平板載荷試験結果

載荷重 強度 (kg/cm^2) 番号	変 形 係 数 E_0 (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	—

ある。この変形係数より地盤係数を算出すると $K_{30} = 6.7 \text{ kg/cm}^3$ となる。

3.3.2 路 盤

路盤は粒度調整砕石 (M-40) で造成した。路盤材料の材料試験結果は表-5に示す。路盤の厚さは30cmであるが、下部の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、新規に購入した試料番号1の材料を使用した。

表-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 値	粒度 (加積通過重量百分率) %						
				40	20	10	5	2.5	0.42	0.074
1	5.5	2.328	178	100	85.2	—	51.4	41.3	15.8	7.6
2	5.3	2.385	173	100	83.9	—	39.4	31.7	15.4	7.4

注 試料1は上部約20cmである。

路盤は前述のように10t級振動ローラと8~15t級のタイヤローラで締め固めたが、現場密度試験の結果は、含水比4.1%, 乾燥密度 2.252 g/cm^3 で、締固め度96.7%であった。

路盤の支持力試験として、繰返し平板載荷試験とベンケルマンビームによるたわみ量試験を行った。平板載荷試験の結果は表-4に示しているが、載荷重強度 4.0 kg/cm^2 のときの変形係数, $E_0 = 478 \text{ kg/cm}^2$ であり、この変形係数より地盤係数を算出すると $K_{30} = 27.0 \text{ kg/cm}^3$ となる。

また、たわみ量試験より得られた変形係数, $E_0 = 474 \text{ kg/cm}^2$ であった。

3.3.3 基層および表層の混合物

基層および表層のアスファルト混合物としては、最も一般的に使用されている粗粒度アスコンと密粒度アスコンを使用することとした。

粗粒度アスコンおよび密粒度アスコンの骨材の合成粒度は図-1, 2に示すように配合した。設計アスファルト量は、マーシャル試験により粗粒度アスコンで4.6%, 密粒度アスコンで5.6%と決定した。

試験に使用したアスファルト混合物の日常管理試験結果を表-6に示す。この結果より、設計配合にほぼ等しい混合物が得られたものとみなすことができる。

表-6 アスファルト混合物の日常管理試験結果

種 別	舗設日 時 間	骨材の通過重量百分率 (%)									マーシャル試験結果					
		25 mm	20	13	5	25	0.6	0.3	0.15	0.074	抽出ア 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 (L/100cm)
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	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	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

注 使用アスファルト60~80 ストレートアスファルト

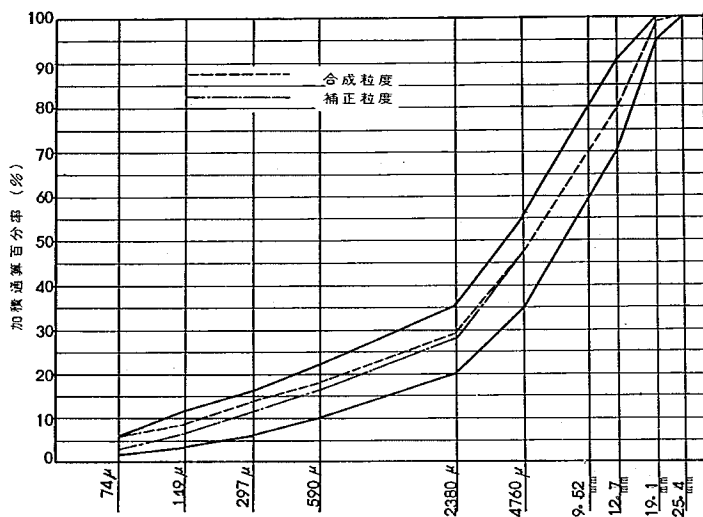


図-2 粗粒度アスコン粒度曲線

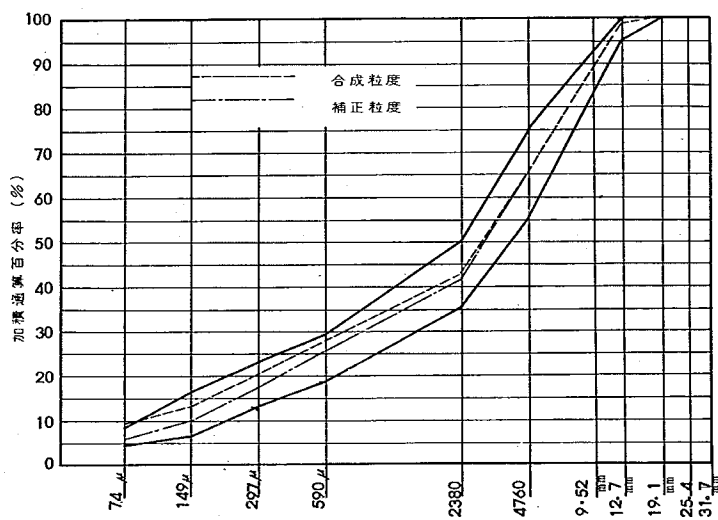


図-3 密粒度アスコン粒度曲線

3.3.4 締固め条件

振動ローラによる表層および基層の締固め条件を次のように設定することとした。

(1) 混合物の種類

混合物の種類は、前述のように基層は粗粒度アスコン、表層は密粒度アスコンとした。

(2) 層厚

基層の層厚はアスファルト舗装要綱に示されている範囲で、通常多く施工されている仕上り厚 5 cm の外に、厚層における締固め効果を調査するため、仕上り厚 10 cm および 15 cm を設定した。表層の層厚は仕上り厚 5 cm とした。

(3) 混合物温度

転圧開始時の混合物の温度は、ロードローラで転圧できる限界温度に近い 130℃とタイヤローラで通常施工されている 90℃に設定した。

(4) 転圧速度

転圧速度はアスファルト舗装要綱に示されているロードローラの転圧速度 2～3 km/h を考慮して 3 km/h と、振動ローラの特徴である速い転圧速度として 6 km/h に設定した。

(5) 転圧回数

転圧回数は、初期の密度上昇の傾向を把握し、かつ振動ローラで十分な締固めが期待できる転圧回数として層厚 5 cm の場合は 2, 4, 6, 8 回とし、層厚 10, 15 cm の場合は 4, 6, 8, 10 回とした。

この転圧回数とは別に、混合物の敷均し直後に初転圧として、また 8 回あるいは 10 回転圧完了後仕上げ転圧として、無振動状態でそれぞれ 1 回の転圧を行った。

なお、転圧回数 1 回は 1 通過回数である。

(6) 振幅、振動数

振動ローラ CC20 は前述のように振幅は高低の二段切換えであり、振動数は 0～3,300 v.p.m で可変である。しかし、試験の規模からこれらを異なる数種の条件に分けて行うことが困難であったので、この機械として最も高い締固め性能が得られると考えられる条件（振幅：大、振動数：3,300 v.p.m）に設定した。

これらの締固め条件を組合せて表-7 に示す試験ケース 1～4 とした。

表-7 締 固 め 条 件

試 験 ケ ー ス	1			2			3			4			5		
混 合 物 種 類	粗粒度アスコン(アスファルト量 4.6%)									密粒度アスコン(アスファルト量5.6%)					
仕 上 り 厚 さ (cm)	15			10			5			5			5		
混 合 物 温 度 (℃)	130	90		130	90		130	90		130	90		130		
転 圧 速 度 (km/h)	3	6	3	3	6	3	3	6	3	3	6	3	任 意		
測 定 転 圧 回 数	4, 6, 8, 10			4, 6, 8, 10			2, 4, 6, 8			2, 4, 6, 8			最終転圧回		
振 幅 , 振 動 数	振幅:大,			振動数: 3,300 v.p.m									任 意		

試験ケース5は振動ローラによる転圧面の平坦性を、より実際の施工に近い状態で調査すること、および振動ローラとタイヤローラの締固め効果と平坦性の差を見出すために、振動ローラとタイヤローラの転圧区間に2分して、それぞれ最適と考えられる方法でオペレータが任意に転圧した。

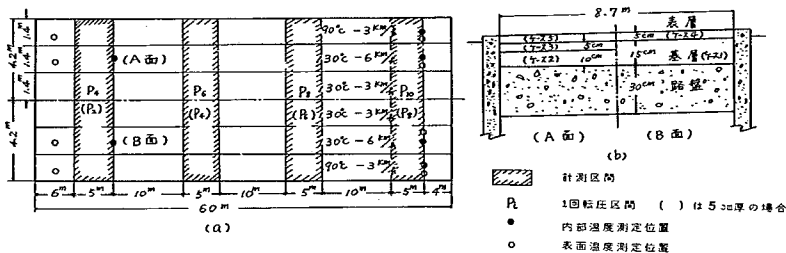


図-4 試験転圧舗装構成および条件配置

試験舗装の断面は図-3(b)に示すように、30cmの路盤の上に15cmの基層を施工し、さらにその上に5cmの表層を施工した。基層はA面では5cmと10cmの2層仕上げで、B面は15cmの1層仕上げである。その他の締固め条件は図-3(a)に示すように温度と速度の条件毎にA面、B面をそれぞれ3レーンに分け、さらに転圧回数の条件毎に各5mの測定区間が取れるように転圧した。

3.4 測定

この試験における主な測定項目および測定要領を表-8に示す。このほか、振動ローラによって生じる地盤振動および路盤内の土圧、加速度についても参考として測定した。

表-8 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	現場抜取りコアによる	3個/ブロック	アスファルト舗装要綱による
混合物温度	熱電対温度計埋設、棒状温度計	随時	
転圧速度	ストップウォッチ	全ケース	
平坦性	3m直線定規、3mプロファイルメータ	各ブロック	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	各ブロック	輪荷重5t
すべり抵抗	ポータブルスキッドテスト	各ブロック	
きめ深さ	土研式きめ深さ測定器	3点/ブロック	

以下、各項目について測定方法を述べる。

3.4.1 密度測定

締固めた混合物の密度の測定は全層の締固め終了後、図-3に示す走行レーンおよび転圧回数別の各測定区間毎に3個のコア（径10cm）を抜取り、表層および基層の見かけ密度をアスファルト

舗装要綱に基づき測定した。層厚 10, 15 cm の基層では深さ方向の密度の変化を調査するため、層厚 10 cm のコアーは上, 下 2 層に、層厚 15 cm のコアーは上, 中, 下 3 層に分割して測定した。

3.4.2 混合物の温度測定

敷均した後の混合物の表面温度と内部温度を測定した。表面温度の測定はサーミスタ温度計の感温部を表面より 1 cm 程度混合物の中に入れ、温度の上昇が止ったところの値を記録した。

内部温度は熱電対温度計で測定した。熱電対は C C 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, 14 cm の深さになるよう木片に固定して、混合物の敷均し直後に埋設した。

測定箇所は表面温度が 4 ケ所で、内部温度が 3 ケ所であり、測定位置を図-3 に示す。測定は温度変化に応じ随時行った。

3.4.3 転圧速度測定

振動ローラの転圧速度を、試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上で走行し、目標速度となった時のアルセルレバーの角度をマークしておき、それに合わせて転圧することとした。しかし、実際には、短い転圧区間で速度を一定に制御することは困難でかなりのばらつきを生じた。

速度の測定は転圧区間の走行に要した時間をストップウォッチで測定し、転圧速度を算出した。

3.4.4 平坦性測定

平坦性は直読式凹凸計によって、全試験条件について転圧回数別の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 1.5 m であるが 1 条件の計測区間が 5 m と短いため、75 cm 間隔で 8 点測定し、その平均値を求めた。

3 m プロファイルメータでは表層のみについて測定し、試験ケース 4 では 3 レーンにそれぞれ 1 測線を設けて測定し、記録された波形より転圧回数別の計測区間 5 m を 50 cm 間隔で 9 点測定した。試験ケース 5 では中央と左右に 3 測線を設け、54 m の転圧区間の始点から終点まで 1.5 m 間隔で測定した。

3.4.5 たわみ量測定

ベンケルマンビームによるたわみ量の測定を路盤と基層、表層について行った。測定方法は土研法で輪荷重は 5 トン (タイヤ寸法 10.00 × 20 - 14 PR, 空気圧 6.5 kg/cm²) である。

路盤のたわみ量は試験区間を 5 m 間隔で 11 点, 3 列, 合計 33 点測定した。基層では各試験ケースについて転圧回数別の計測区間で 1 点, 合計 4 点測定した。表層では試験ケース 4 と 5 について各々 4 点測定した。

3.4.6 すべり抵抗測定

表層について路面の摩擦特性をポータブル・スキッド・レジスタンス・テスターで走行レーンおよび転圧回数毎に 5 点測定した。使用したスライダーは合成ゴムのものである。

この試験器による測定の結果は BPN (British Portable Number) として得られるが、路面のすべり抵抗を直接表わすものでない。しかし、他の試験方法では実施が困難なため、この方法を採用した。

3.4.7 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で開発した自動路面粗さ計により表層のみ測定した。測定は以下の方法で行う。まず、図-5に示すように試験器を路面に据付けバケットに標準砂 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所でバケットを止め、砂のひろがり長さ ℓ を

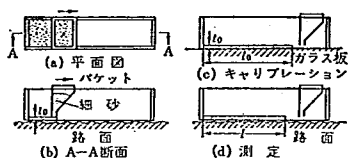


図-5 土研粗さ計による測定

はかる。一方、これと同様な操作をガラス板上で行い、砂のひろがり長さ ℓ_0 を測定しておく。路面に敷きひろげられた砂の平均層 t (mm) とガラス板上での t_0 (mm) は次式で計算できる。

$$t = \frac{\text{砂の体積}}{\text{スプレッダの内幅} \times \ell} = \frac{50000 (\text{mm}^3)}{50 (\text{mm}) \times \ell (\text{mm})} = \frac{1000}{\ell} (\text{mm}) \quad (1)$$

$$t_0 = \frac{1000}{\ell_0} (\text{mm}) \quad (2)$$

路面の平均きめ深さは次式で路面とガラス板上の砂層の厚さの差として表わされる。

$$\text{平均きめ深さ} = t - t_0 = \ell_0 \left(\frac{\ell_0 - \ell}{\ell} \right) (\text{mm}) \quad (3)$$

3.4.8 地盤振動測定

大形振動ローラの締固めにおける問題の1つとして、ローラの強力な加振による振動公害の発生が懸念されている。したがって、今回の実験においても、一般の施工条件とは異なるコンクリート製の実験槽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、ピックアップは実験槽より 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. 試験結果及び考察

4.1 混合物の温度変化

混合物の温度は、締固め効果と密接な関係がある。温度が高すぎる場合には混合物が流動し、十分な締固めができないばかりでなく、表面の平坦性も悪くなる。また温度が低すぎる場合には十分な締固め度を得られない。したがって、締固め作業は適当な温度範囲で行うことが必要である。そこで、混合物の温度降下を適確に推定することは、舗設作業の施工管理に有用であると考えられる。

今回の試験では、試験の温度管理を行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する。

図-6はアスファルト混合物数均し後の温度（表面から深さ4 cmの温度）降下と転圧作業の関係を示したものである。混合物の温度降下は数均し厚さが厚くなれば遅く、薄くなれば速くなることが明確に表われており、数均し厚の厚いものでは初転圧（無振動状態の振動ローラで2回通過）後の温度降下が速くなっている。

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（ $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ）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-7である。すなわち、この試験の結果

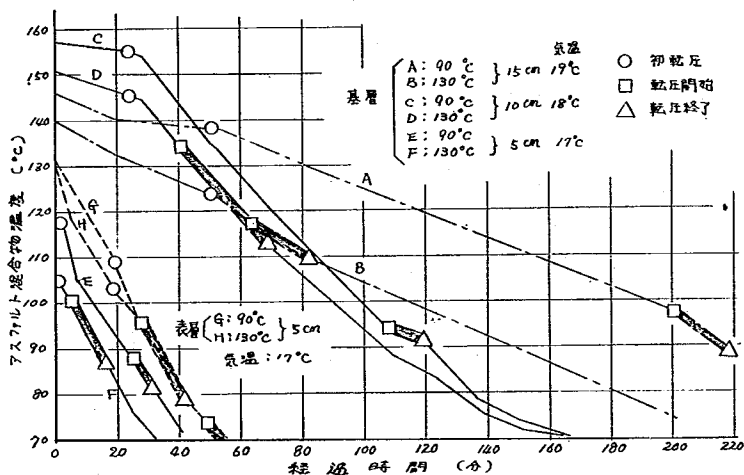


図-6 数均し後のアスファルト混合物の温度の降下

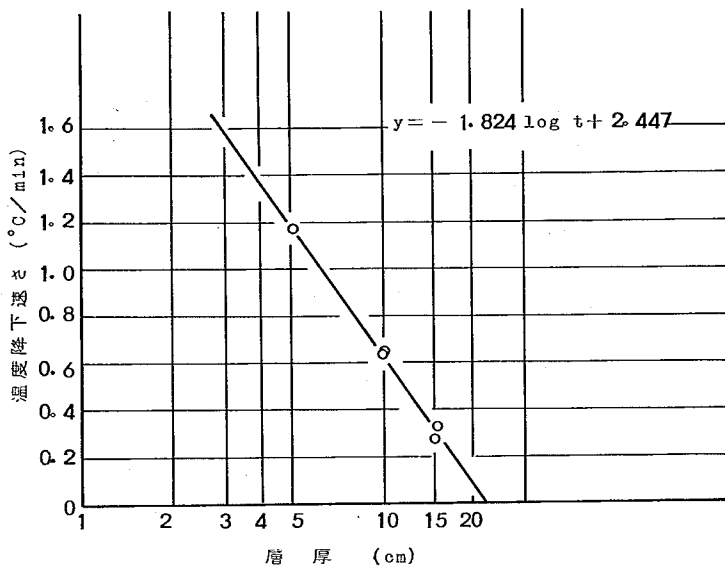


図-7 混合物温度の降下速さと層厚の関係

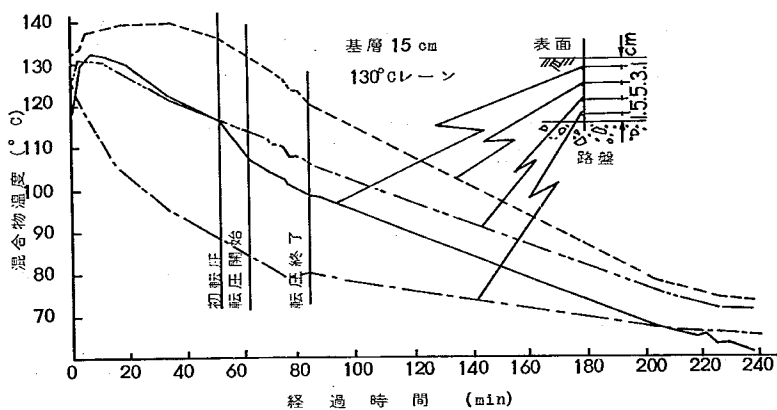


図-8 各層における温度降下

からは層厚と温度降下速さの關係は次式で示すことができる。

$$y = -1.824 \cdot \log t + 2.447 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 y : 混合物温度の降下速さ (°C/min)

t : 混合物の層厚 (cm)

混合物温度の垂直方向の変化を見た場合、薄層ではその差は小さいが、厚層では数均し直後においてその差は大きい。

図-8は15cmの基層における垂直方向4点の数均し後の代表的な温度変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、ついで空中への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が、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。

試験転圧(2次転圧)の開始は数均し層上部の混合物温度が温度条件(130°Cまたは90°C)に達した時に開始することとしていたが、結果的に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、予定温度よりかなり低くなった。また、層厚15cm、10cmの基層ではダンブトラック到着時の混合物温度にかなりの差があり、また数均しに時間を要するため、数均しの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。

各測定区間の試験転圧中の平均温度を求めた結果を表-9に示す。

4.2 転圧速度

転圧速度の制御はアクセルレバーの位置を定めて実施することとしていたが、測定結果ではかなり目標値と異なる転圧速度となった測定区間もある。

表-9に各測定区間の全通過回数の平均速度を示す。

表-9 各試験条件毎の平均温度と平均転圧速度

混の 合種 物別	測定値 転 圧 回 数(回)	平 均 温 度 (°C)					転 圧 速 度 (km/h)				
		P ₂	P ₄	P ₆	P ₈	P ₁₀	P ₂	P ₄	P ₆	P ₈	P ₁₀
粗 粒 度 ア ス コ ン	施工厚-温度-速度 15cm-130°C-3km/h		126	116	117	130		3.57	3.49	3.44	3.42
	15 - 130 - 6		126	116	117	130		5.29	5.15	5.36	5.33
	15 - 90 - 3		79	71	80	91		2.66	2.59	2.55	2.63
	10 - 130 - 3		95	111	113	116		5.10	4.63	4.46	4.28
	10 - 120 - 6		95	111	113	117		5.12	5.29	5.27	5.48
	10 - 90 - 3		76	74	91	92		2.44	2.60	2.58	2.56
	5 - 130 - 3	76	83	89	93		2.95	3.40	3.70	3.71	
	5 - 130 - 6	71	83	89	92		4.56	5.03	5.17	5.21	
密ア ス コ ン	5 - 90 - 3	70	70	76	83		4.15	3.84	3.82	3.77	
	5 - 130 - 3	81	80	83	84		3.81	4.14	3.34	4.60	
	5 - 130 - 6	82	80	83	84		5.67	5.52	5.72	5.64	
度ン	5 - 90 - 3	72	74	79	81		3.64	3.41	3.38	3.37	

4.3 締固め効果

表層および基層の密度の測定結果をマースシャル試験密度に対する締固め度で表わしたものを表-10および表-11に示す。これらの測定結果は原則として3個のコアの平均値で表わしているが極端に低い結果のデータは省いた。

表-10 締固め度一覧

(単位: %)

合材の種類	施工厚 (cm)	転圧温度 (℃)	転圧速度 (km/h)	転 圧 回 数					備 考
				2	4	6	8	10	
粗粒 度 ア ス コ ン	15	90	3	—	97.4 (98.1)	97.0 (97.8)	97.7 (98.2)	97.9 (98.5)	マーシャル試験密度 2.428g/cm ³ ()は下層の値を除いた値
		130	3	—	97.9 (98.7)	98.4 (99.4)	98.7 (99.4)	99.0 (100.1)	
		130	6	—	97.1 (97.9)	97.2 (98.4)	97.5 (98.5)	97.6 (98.3)	
	10	90	3	—	96.5	97.7	98.0	98.5	マーシャル試験密度 2.431g/cm ³
		130	3	—	96.9	98.4	99.3	99.7	
		130	6	—	96.2	96.8	98.7	98.7	
	5	90	3	96.5	97.2	97.2	98.7	—	マーシャル試験密度 2.430g/cm ³
		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	—	マーシャル試験密度 2.408g/cm ³
		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 (free 区間)				マーシャル試験密度 2.405g/cm ³
		タ イ ヤ ロ ー ラ			96.7 (free 区間)				

表-11 深さ方向における締固め度一覧

(単位: %)

合材の種類	施工厚 (cm)	転圧回数	90°C-3km/h			130°C-3km/h			130°C-6km/h			備 考
			上	中	下	上	中	下	上	中	下	
粗粒度アスコン	15	4	97.6	98.5	96.1	98.8	98.6	96.3	97.6	98.1	95.7	マースシャル試験密度 2.428g/cm³
		6	97.6	97.9	95.6	99.4	99.3	96.4	98.2	98.6	94.7	
		8	97.9	98.4	96.7	99.3	99.5	97.3	98.2	98.8	95.4	
		10	98.3	98.6	96.9	100.3	99.8	97.0	98.1	98.5	96.2	
	10	4	96.7	—	96.3	98.0	—	95.8	97.2	—	95.3	マースシャル試験密度 2.431g/cm³
		6	97.8	—	97.5	99.0	—	97.8	97.8	—	95.7	
		8	97.4	—	98.5	99.5	—	99.0	99.8	—	97.6	
		10	98.6	—	98.4	100.1	—	99.2	98.9	—	98.4	

4.3.1 厚層の深さ方向の締固め度

基層15cmと10cmについて深さ方向の締固め度は表-11に示すように、基層15cmでは上中下の3層に、基層10cmでは上下の2層に分けて測定した。

図-9は基層15cmの上中下層の密と転圧回数の関係を示したものである。上層と中層の密度は中層がやや高い傾向を示しているが有意差は認められない。しかし、下層の密度は上、中層よりも

2～3%程度低い値を示しており、この傾向はどの締固めの条件（混合物温度、転圧速度）についても同じである。

図-10は基層10cmの上下層の密度と転圧回数の関係を示したものである。混合物温度が130℃（実際の平均温度は109℃）の条件のときには下層の密度は上層より1～2%程度低い値を示しているが、混合物温度が90℃（実際の平均温度83℃）の条件のときにはほぼ同程度の密度となっている。

4.1で述べたように厚層の場合、上部、中間部、下部でかなりの温度差が見られる。転圧時の混

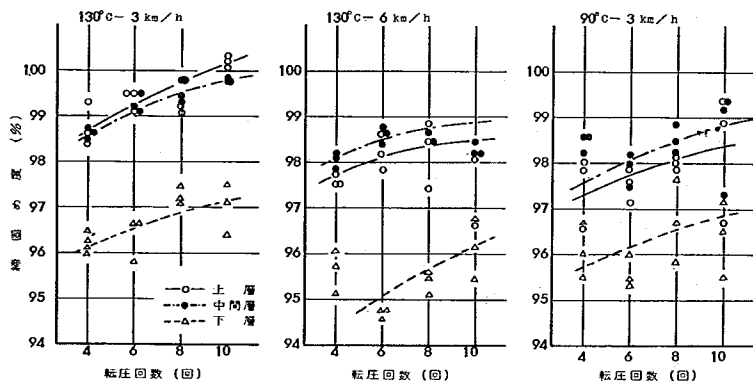


図-9 転圧回数と深さ別の締固め度（基層15cm）

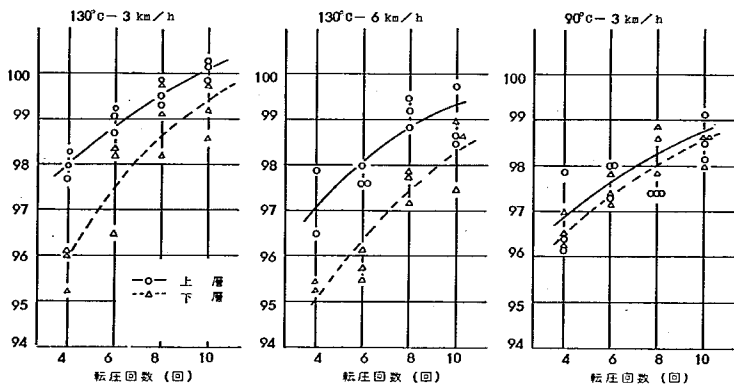


図-10 転圧回数と深さ別の締固め度（基層10cm）

合物温度の垂直分布の一例を示すと図-11のようになる。すなわち、高温で転圧する場合には上、中間部と下部ではかなりの温度差があるが、混合物温度が下って来るとその差は小さくなる。

厚層の締固め密度の垂直方向の差はこの温度分布の影響を強く受けているものと考えられる。基層15cmの場合に、130℃条件の転圧では、上部と中間部の平均温度は約115℃と120℃程度で中間部がやや高い程度で余り差はないが、下部の平均温度は約95℃程度でかなり低い。これと密

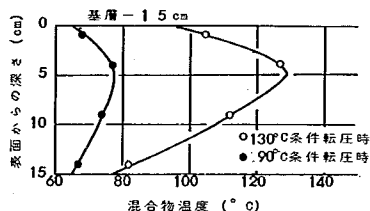


図-11 転圧時の混合物温度の垂直分布の例

度の垂直方向の差は同じような傾向を示している。しかし、90℃条件の転圧では上、中、下部の平均温度は約74℃、76℃、70℃程度で余り差はないが、下部の密度は上、中部よりもかなり低くなっている。このことは層厚15cmの場合には低い混合物温度のため混合物の粘性が増して振動効果が十分下部へ伝達されないためか、または路盤の影響が考えられる。

基層10cmの場合には、上、下部の温度差の大きい130℃条件のときには上、下部の密度差も大きい、上下部の温度差の小さい90℃条件のときには上下部の密度差はほとんどない。

以下の締固め効果の検討では、基層15cmの密度データとしては、下部の密度を省いた上部と中間部の平均値で示すこととする。

4.3.2 転圧回数と締固め度

転圧回数と締固め度の関係を転圧温度と転圧速度の条件別に図-12に示す。ただし、基層15cmは下部5cmを除いた10cm厚について示したものである。転圧温度は前に述べたように設定温度に十分調整できず、ばらついたので図中に()書きで転圧時の平均温度を示した。

この図ではどの条件においても転圧回数4回程度でアスファルト舗装要綱の締固め度の合格判定値96%に達しており、振動ローラの締固め能力がかなり大きいことが分る。

また、転圧時の混合物温度の高いものがより高い締固め度になっており、転圧時の混合物温度が締固め度に影響することが分る。混合物温度130℃条件において、基層15cmの締固め度が高いのは厚層のため保温力が大きく混合物温度が他のものに比較して高いためと思われる。曲線の立上り勾配の違いは、混合物温度が数均しの進行にしたがって冷却したための温度差の影響が原因となっているものと考えられる。すなわち、混合物の数均しを転圧回数の少ない区間から多い区間に向かって行ったため、転圧回数の多い区間では転圧回数の少ない区間より高い温度で転圧したことになる。したがって、冷却速度の速い、薄い層厚のものにこの傾向が強く現われている。

基層の層厚による締固め度の差は混合物温度の差が小さい90℃の条件でみる限り余りないようである。

層厚5cmの密粒度アスコンと粗粒度アスコンと比較するとどの条件においても混合物の温度はほとんど差がないのに、締固め度では0.5～1%程度粗粒度アスコンがよく締まっている。

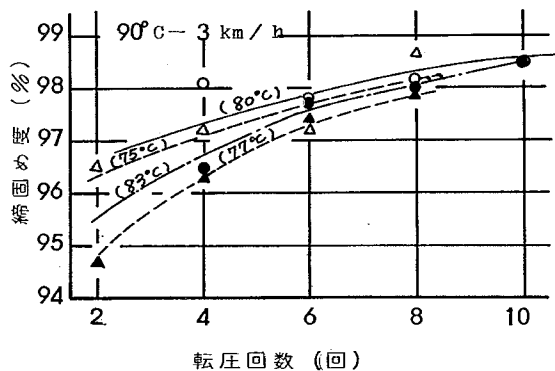
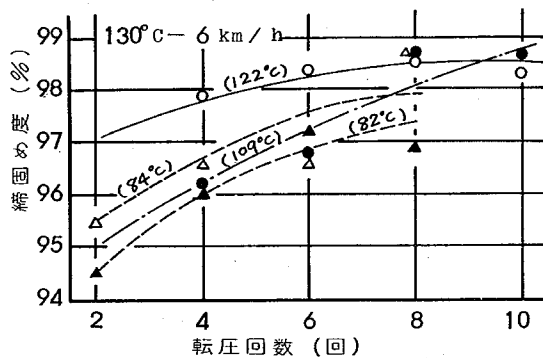
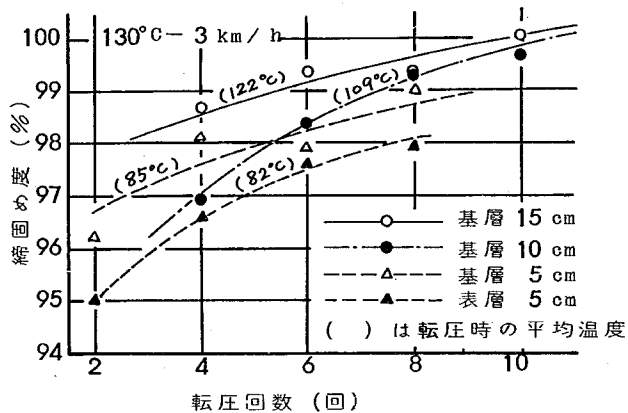


図-12 条件別転圧回数と締固め度

4.3.3 転圧速度と締固め度

振動ローラの締固め効果は次式に示すような要因に主として影響されと考えられる。

$$C_e = F(W, f, a, P, v, T) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 C_e : 締固め効果

W : ローラの重量

f : 振動数

a : 振幅

P : 転圧回数

v : 転圧速度

T : 転圧時の混合物温度

(5)式に示した要因のうち、 W , f , a は振動ローラの機械的条件として与えられるものであり、今回の実験ではこれらのものは一定として行った。したがって、今回の実験に関しては P , v , T を変数として締固め効果を表わすことができる。

静的ローラの場合には締固めエネルギーは主としてローラの移動によって締固め対象物に加えられるものであるから、締固め効果には転圧速度はあまり関係なく、転圧回数 P が大きく影響する。しかし、振動ローラの場合には締固めエネルギーはローラの移動によるほか、主としてローラの振動によって対象物に加えられるものであるから、締固め効果には加振時間が大きく影響することが考えられる。

そこで、ローラの通過回数だけでなく、ローラが載っているトータル時間、すなわち(転圧回数) / (転圧速度) (滞地時間と呼ぶ)と締固め度の関係を取りあげ、片対数グラフにプロットすると図-13のようになる。

図-13によれば、密度の上昇傾向にばらつきのみられる基層5cmを除いて、混合物温度の条件別にグループ分けができ、そのグループの締固め度は滞地時間の対数と直線関係が見られる。すなわち、温度条件が一定のときの密度増加を考えた場合、速い速度で多数回転圧しても、逆に遅い速度で少ない回数転圧しても滞地時間すなわちトタルの加振時間が同じであれば同一の締固め効果が得られるということになる。

しかし、層厚の条件によって締固め度の上昇の傾向に差があり、基層15cmでは比較的ゆるやかなのに対して、基層10cm, 5cm, 表層5cmではかなり急である。これは前述のように混合物温度の区間によるばらつきが影響していると思われる。また、温度条件によって締固め度に明瞭に差が現われているが、混合物温度が締固め度にどの程度効果を与えるのかが問題である。

そこで、今回の実験に関しては、前述のように締固め効果は P , v , T を変数として表わされることから、締固め度は滞地時間の対数と直線関係で表わされるものとし、締固め度と混合物温度の関係はまだ求められていないが、比例すると仮定すれば、締固め度は次式で表わすことができる。

$$C_r = a \log (P/v) + bT + c \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 C_r : 締固め度(%)

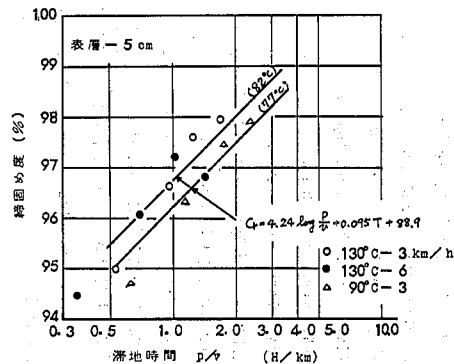
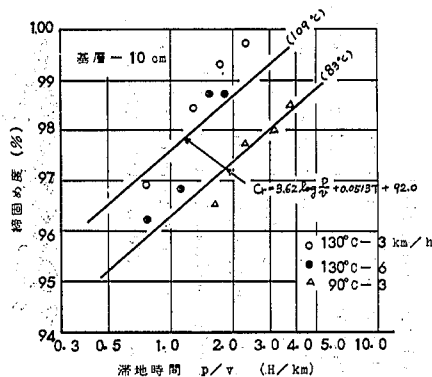
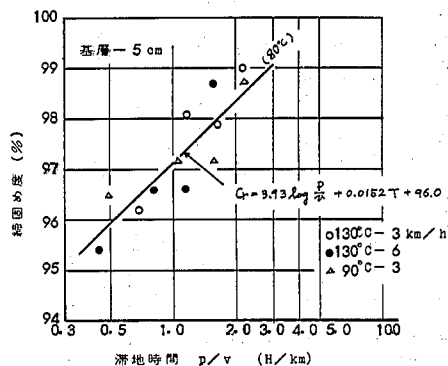
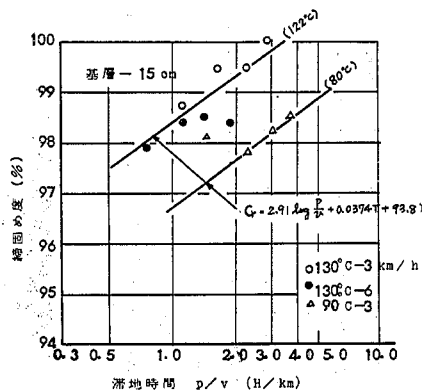


図-13 滞地時間と締固め度

P : 転圧回数

v : 転圧速度 (km/h)

T : 転圧時の混合物温度 (°C)

a, b, c : 定数

図-13に示した滞地時間と締固め度とさらに表-9に示した測定区間毎の平均温度を用いて、各層について最小2乗法により(6)式の定数 a, b, c を求めると次のようになる。

$$\text{基層 15 cm : } Gr = 2.91 \log (P/v) + 0.0374T + 93.8 \dots\dots\dots(7-1)$$

$$\text{基層 10 cm : } Gr = 3.62 \log (P/v) + 0.0513T + 92.0 \dots\dots\dots(7-2)$$

$$\text{基層 5 cm : } Gr = 3.93 \log (P/v) + 0.0152T + 96.0 \dots\dots\dots(7-3)$$

$$\text{表層 5 cm : } Gr = 4.24 \log (P/v) + 0.0950T + 88.9 \dots\dots\dots(7-4)$$

$\log (P/v)$ の比例定数 a は各層によってあまり大きな差はなく、3~4程度となっており、滞地時間が2倍になると締固め度は0.9~1.2%程度上昇することが分る。また、混合物温度の比例定数 b は0.015~0.095まで差があるが、基層5cm、表層5cmは混合物温度の全体の差が小さいので、混合物温度の測定および推定の誤差が大きいことを考えれば(7-3)式および(7-4)式の b 定数の信頼性は低い。混合物温度による締固め度の影響は(7-1)式および(7-2)式の定数0.037, 0.051から推定して、混合物温度10°Cの上昇に対して締固め度0.4~0.5%程度上昇することになる。

4.4 表面の仕上り

4.4.1 仕上り表面の外観

今回の試験では懸念されていた小波やヘヤ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取ったコアの断面を目視により観察しただけではあるが、振動ローラで締固めたものと、タイヤローラで締固めたものに特に差違は見出せなかった。

振動ローラによる締固めでは一部で骨材の破砕が懸念されていたが、今回の実験では抜取ったコアを目視で観察したところ、内部では特に骨材の破砕は認められなかった。しかし、表面に出た粗骨材の鋭角部は鉄輪によってつぶれた形になっている。

タイヤローラで締固めた表面は粗骨材の鋭角部の突起が残っており、ニーディングにより路面全体がアスファルトで覆われている。これに対して、振動ローラで締固めた表面は粗骨材の鋭角部が

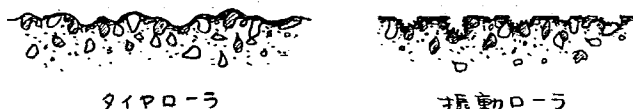


図-14 ローラの種類による仕上り面の相違

つづされ突起のない平坦な路面となっている。また、振動ローラによる締固めではニーディング作用がないためか、粗骨材のつづれた部分はアスファルトで覆われていない、粗骨材間の空けきはアスファルトや粗骨材で十分には埋められていない。そのため、全体に光沢がなく、微視的には荒い表面となっている。

振動ローラおよびタイヤローラで締固めた路面の断面は模式的に示すと図-14のようになる。

4.4.2 平坦性

直読式凹凸測定器および3mプロフィールメータによる平坦性の測定結果を表-12と表-13に示す。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回の測定区間の平坦性の測定値が大きくてでているが、これは試験施工区間の末端に位置し、試験舗装のすり付けの影響がでたものと考えられる。

表-12 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	
基層 15cm	130℃-3km/h		1.05	0.70	0.70	0.88	・米は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米	
	90 -3		1.75	0.88	1.05	1.23	
基層 10cm	130 -3		0.70	0.35	1.05	1.48米	
	130 -6		1.05	0.88	0.70	0.93米	
	90 -3		0.53	0.35	0.88	1.05	
基層 5cm	130 -3	1.40	1.23	0.53	1.05	1.05	
	130 -6	1.05	0.35	0.18	1.40	0.75	
	90 -3	1.05	0.35	0.18	0.18	0.44	
表層 5cm (B面)	130 -3	0.88	0.70	0.88	1.05	0.88	
	130 -6	1.05	0.35	0.35	0.88	0.66	
	90 -3	1.11	0.70	0.35	0.93米	0.78	
表層 5cm (A面)	振動ローラ	右	0.70	0.35		(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	
		中		0.70	0.35	(平均) 0.53	
		左		0.35	0.93	(平均) 0.64	

図-15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任意転圧区間の平坦性は、表-12および表-13に示すように、振動ローラ転圧の方が平坦性が良い結果を得た。これらの値はいずれも直読式で1.75mm、3mプロフィールメータで2.4mmのアスファルト舗装要綱の合格判定値を共に十分満たすものである。

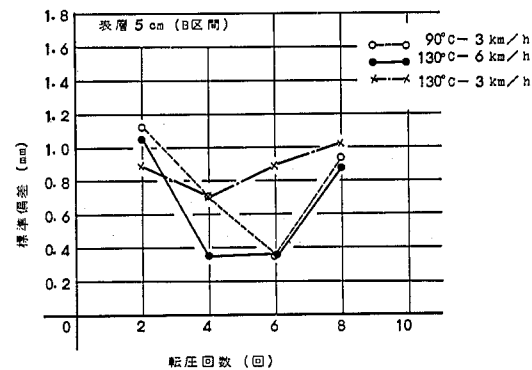
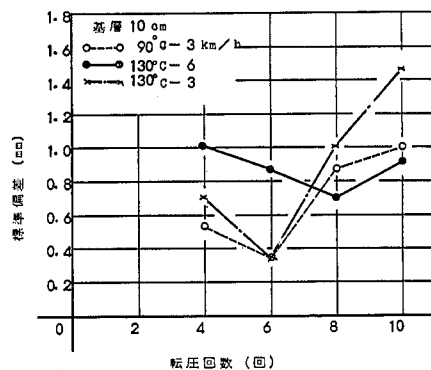
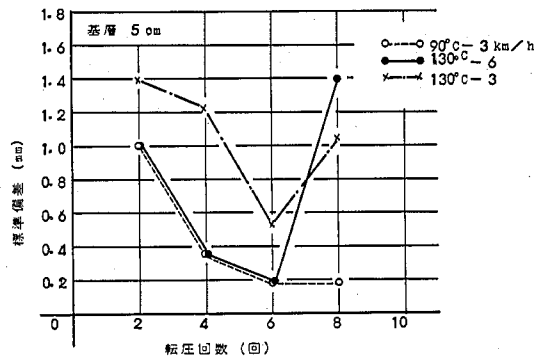
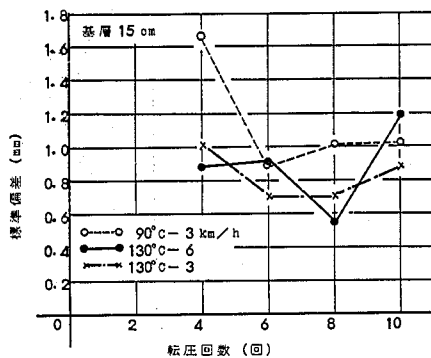


図-15 振動ローラ転圧における転圧回数と平坦性の関係

表-13 3mプロファイルメータによる平坦性試験結果

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	54	0.97	0.76
	130 -6	54	0.59	
	130 -3	54	0.72	
表層 5 cm (Free)	振動ローラ	左	33	0.54
		中	33	
		右	33	
	タイヤローラ	左	21	0.96
		中	21	
		右	21	

4.4.3 路面粗さ

振動ローラおよびタイヤローラで任意に施工した表層の路面粗さ(きめ深さ)の測定結果を図-16のヒストグラムで示す。振動ローラで締固めた路面の平均きめ深さは平均値0.48mm付近に分布している。これに対して、タイヤローラで締固めた路面の平均きめ深さは平値0.77mmで、測定値はかなりばらついている。

これは、タイヤローラによる施工区間では粗骨材による凹凸があるのに対して、振動ローラによる施工区間では粗骨材の突出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計る自動路面粗さ計では当然の結果である。

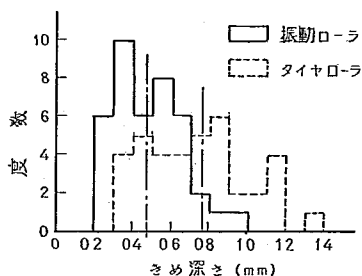


図-16 仕上げ表面のきめ深さの比較

4.4.4 すべり抵抗性

表層のすべり抵抗性はポータブル・スキット・レジスタンス・テスターによって測定した。この測定値BPN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、狭い測定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-14に示す。この測定値は1点について5回の平均をとったものである。

振動ローラで締固めたB区間で転圧回数毎のBPNを測定したが、転圧回数による差はなかった。A区間では振動ローラとタイヤローラで任意に締固めたものであるが、振動ローラ転圧部のBPNの平均は73であり、タイヤローラ転圧部のBPNの平均67よりかなり大きくなっている。

4.5 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-15に示す。

今回の試験の路盤は、現在の国道等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

表-14 すべり抵抗性の測定結果

測定位置	転圧回数 (Pass)	B. P. N			
		測 線			平 均
		左	中	右	
B 区 間	2	68	75	73	72
	4	70	72	72	71
	6	69	71	72	71
	8	69	73	70	71
A 区 間	振動ローラ 転 圧 部	72	75	76	73
		73	71	72	
	タイヤローラ 転 圧 部	66	67	63	67
		67	69	67	

表-15 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	路 盤	基 層			表 層		備 考	
		15 cm	10 cm	10cm+5cm	B 面	A 面		
復元たわみ量 (mm)	4 回	—	1.66	1.62	1.22	0.86	0.76	(試験条件) 複輪荷重 5.0 t タイヤ空気圧 65kg/cm ² タイヤ寸法 10.00×20 -14PR
	6 回	—	1.44	1.94	1.18	0.96	0.80	
	8 回	—	1.36	1.84	1.40	0.92	0.98	
	10 回	—	1.60	1.76	1.38	1.08	0.90	
	平 均	2.98	1.52	1.79	1.30	0.96	0.86	
変形係数 E ₀ 1(kg/cm ²)	471	923	783	1,079	0.91 1,461 1,594 1,524			
測定時の 路面温度(℃)	—	21	24	19	24			

表-16 上層のたわみ量(d_1)と下層のたわみ量(d_2)の比(d_2/d_1)

上 層		基 層			表 層
下 層	路 盤	10 cm	15 cm	(10+5) cm	5 cm
		1.66	1.96	2.29	3.27
基層	(10+5) cm	—	—	—	1.51
	5 cm	—	—	—	1.58

待することはできない。したがって、今回の試験舗装のたわみ量は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_2/d_1)を求めると表-16のようになる。この値は国道において調査された値に比較すると今回の試験の値の方が大きく、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_2/d_1 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設の翌日であり、2層仕上げでは10cmを舗設した翌日に5cmを舗設し、次の日に測定を行っていることから、測定時の基層内部の温度にかなりの差が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。

表層のたわみ量測定は、基層、表層を3日間で施工した翌日に行ったが、表層、基層の内部温度が十分に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0.07mmであり、この時の路面温度は11.5℃であった。

4.6 地盤振動の測定結果

大形の振動ローラでは振動の伝搬による振動公害の発生が懸念されている。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ビット内での転圧という特殊な条件下ではあるが、公害用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地点で最大値63dB、 L_{90} では59dBと小さいものであった。

今回の試験における振動ローラの振動数は3,300 vpmで、地盤の固有振動数よりはるかに高く、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ため、地盤振動は急速に減衰するものと思われる。

4.7 転圧実験の問題点

4.7.1 転圧時の混合物温度の管理

転圧開始時の混合物温度を130℃と90℃に設定することを目標としていたが、薄い層の場合は混合物温度の低下が速く、目標温度より低くなり層厚5cmのものでは高温条件と低温条件の温度差が10℃程度以下と小さくなってしまった。一方、転圧開始までの数均し後の経過時間の相違により試験区間の温度差は大きく、1レーンが同一温度条件とみなすことに問題がある。

厚層の温度も均一にできなかった。これは到着時の混合物温度にばらつきがあり、その温度差が数均し後も影響している。

今後の試験では、混合物の到着時の温度をできるだけ均一にするとともに、温度の高い方から順に敷き均すなどの配慮をして均一な温度条件が得られるようにするとともに温度測定箇所を増し、温度のばらつきを適確に把握する必要がある。

4.7.2 転圧速度の制御

今回の実験では、混合物温度とともに、転圧速度を実験条件として3km/hと6km/hに設定していたが、試験の結果は十分に制御できなかった。そのためかえて転圧速度の締め効果への影響が大きいことが明らかになったので、今後の実験ではより転圧速度を一定となるよう制御するとともに、転圧速度条件の設定範囲を大きくする必要がある。

5. 結 論

今回の実験は多種多様な大形振動ローラのうちでも小さい方に属する、総重量61のタンデムタイプの両輪振動、両輪駆動の振動ローラについて実験をしたものであり、また、実験条件も試験舗装の大きさが限られていたため、転圧時の混合物温度と転圧速度をそれぞれ2段階に変えたのみである。したがって、今回の実験だけで、大形振動ローラ一般の転圧性能を論ずることはできないが、これまで明らかとなった事項をとりまとめてみる。

- (1) 混合物温度が80℃程度以上であれば、4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。
- (2) シックリフトで施工する場合、上、中層に比べて下層の温度低下が速いことから、下層の締固め度が上、中層に比べて1~3%低くなる。このことは機械的条件、すなわち機械総重量、振幅、振動数、起振力によると考えられる。
- (3) 混合物温度が70℃でも十分に締固められており、60℃程度までは締固めが可能と思われる。しかし、混合物温度が高い時の方が良く締まっており、混合物温度が120℃以上で転圧速度3km/h程度の時には10回の転圧で締固め度100%に達している。したがって、振動ローラでアスファルト舗装を効率よく、高密度に締固めるためには、混合物温度の持続性の良いシックリフト施工が有利であると考えられる。
- (4) 振動ローラの締固め効果は滞地時間、すなわち、(転圧回数)/(転圧速度)の関数で表わされる。したがって、必要な締固め効果が得られる滞地時間が決定されれば、主に表面の仕上りと運転技術の面から適切な転圧回数と転圧速度が決定される。
- (5) 表面の平坦性は短区間における測定値であるが、基層および表層とも全ての締固め条件でアスファルト舗装要綱の合格判定値1.75mmを満たしている。転圧回数と平坦性の関係では、転圧回数が増えれば平坦性が良くなる傾向が見られる。混合物温度、転圧速度、層厚と平坦性には今回の実験では特に関連は見出せなかった。
- (6) 任意転圧区間における振動ローラとタイヤローラの比較では、振動ローラの方が締固め度および平坦性ととも勝ちていた。
- (7) 振動ローラで転圧した表面はマクロ的には平滑であるが、ミクロ的には粗い。これに対しタイヤローラで転圧した表面はマクロ的には粗いが、ミクロ的には滑らかであるといえる。表層のきめ深さの測定結果では振動ローラの方が小さい結果がでたが、これは測定器の特性として、マクロ的な粗さが測定結果に影響するためと思われる。
- (8) 振動ローラの仕上り表面では、ヘアークラックや小波は発生しなかったが、粗骨材の小さな突出部が鉄輪で砕かれて、アスファルトで被覆されないまま表面に露出していること、また、転圧回数の少ない区間では表面に粗骨材間の空けが多くみられる。そのため、雨が降った時、表面が乾きにくく、将来、剝離現象を起す危険性が懸念される。

6. 今後の問題点

今回の実験は限られた条件での実験であり、今後に残された問題も多く、また、今回の実験によって見出された問題もある。以下、これらの主なものをあげてみる。

- (1) 振動ローラの機械的条件は、今後の実験ではほとんど検討していないので、振動数、振幅と締固め効果の関係を検討する必要がある。また、高密度締固めおよび厚層の下部の締固め度を上げるために総重量が10t以上の振動ローラの締固め効果を検討する必要がある。
- (2) 今回の実験で滞地時間と締固め効果が関係することが明らかとなったので、より広い滞地時間の条件を得るため低速度転圧を行って、その締固め度と表面仕上りについて検討する必要がある。
- (3) 今回の実験では混合温度の範囲が狭いことおよび測定箇所が少なかったことのため、混合物温度と締固め度の概略の傾向が分っただけであるので、今後、広い範囲の温度条件を設定して、混合物温度と締固め度の関係を知る必要がある。
- (4) 表面の平坦性については、短い区間の測定結果では評価できないので、実際の現場における試験施工が必要である。また、路面のすべり抵抗性、粗さ、耐久性などについても、実際の現場における試験施工と交通開放による経年変化を把握することが必要である。

あ と が き

以上に述べたように、振動ローラをアスファルト舗装に適用する場合に、締固め効果に影響する要因はあまりにも多く、今回の実験ではその中の局部的条件を確認したに過ぎない。しかし振動ローラがアスファルト舗装の締固めに有効な機械であることは、今回の実験結果によっても明らかであり、良質な舗装を効率的に得るための施工条件を見出すため今後なお試験を重ねる必要があると考える。

ローラの種類、特にコンパインド型の特性、アスファルト混合物のアスファルト量による締固め効果の差、およびオペレータの技量による影響等も、これまであまり取上げられずに残されている問題である。

この試験に関しては、日本建設機械化協会より試験機械を借受けるとともに、同協会の舗装技術委員会のご指導を得た。ここに厚く謝意を表します。