

# ローラ機種の違いによる 締固め効果の検討

つばた 実\*  
坪田 実\*  
たまい あきのり\*\*  
玉井 昭典\*\*

キーワード：RI 密度計，締固め度，作業能率，振動ローラ，作業速度

最近の舗装用ローラの傾向として、振動ローラの普及が進み、その機能も多様化しており特に大型化が進んでいる。しかし、一般的な舗装工事において、その施工条件は複雑で同一性に欠けるため、各工事における品質管理試験結果をとりまとめても、路床支持力などの施工条件に大きな影響を受け、使用するローラの締固め特性を把握するまでには至らない。今回、路盤材とアスファルト混合物の締固めについて、7機種のローラを使用し、ほぼ同一の条件下で試験施工を行い、締固め効果の面から各ローラの特性を、比較検討した結果について紹介するものである。

## まえがき

従来、舗装工事の標準的締固め機械として、ロードローラーおよびタイヤローラーが広く使用され、振動ローラについては、人力施工および小型フィニッシャとの組み合わせ等による小規模施工が主体であった。しかし、最近では振動ローラの生産台数は増加しており、その機能も多様化され、特に大型振動ローラの普及が進み、施工規模、施工条件などによってその適用範囲が広がってきている。

一方、振動ローラ的大型化が進む中で、都市部およびその周辺では、振動騒音公害が問題化の傾向にある。

そこで新しいタイプとして、鉄輪を主に水平方向に振動させて締固めを行い、工事現場に隣接する家屋等に振動が伝わらないローラ、水平式振動ローラの開発もなされている。

昭和63年版「アスファルト舗装要綱」では、アスファルト舗装の締固め機械として振動ローラが追述されたことにより、四国地方においても大型振動ローラを組み入れた施工の実績が、着実に増加しているようである。しかし、その締固め性能、施工能力等については、まだ十分な把握がなされているとはいえず、設計への組入れも慎重であるといえよう。

このような背景から、今回、7機種のローラを選定し、粒状路盤および表層アスファルト混合物の締固め性能に関する試験施工を行い、転圧機種の違いによる締固め特性を比較検討したので、その結果について報告するものである。

\* 金亀建設㈱ 工事部  
\*\* " 技術部

## 1. 試験施工の概要

舗装におけるローラの締固め作業は、通常、路盤材とアスファルト混合物に分けられる。路盤工とアスファルト舗装工の施工要因はかなり異なるため、ローラの締固め効果は、その両面から検討する必要がある。

今回、平成2年7月、愛媛県松前町の自社アスファルトプラント構内の試験場（屋外）にて、各種ローラの特性を把握し、施工に反映することを目的として、路盤材およびアスファルト混合物の締固め試験施工を実施した。

### 1-1 路床条件

試験場の路床は、在来土の上に真砂土50cmを盛土し、さらに粒度調整碎石（M-25）を20cm敷きならし、十分に締め固めて構築した。路床完了後、全面ブルーフローリングを行い、支持力の均一性を確認した。なお、たわみ量の測定結果は、最大で2.4mmを示し、目標値3mmを満足するものであった。

### 1-2 気象条件

路盤工の施工は、4日間にわたって行われた。4日間の気象は表-1のとおりであり、気象による施工への影響はほとんどないものと思われる。

表-1 試験施工時の気象条件

日付	試験内容	天候	気 温			湿度 (%)	風 速		風 向
			9:00 (°C)	最高 (°C)	最低 (°C)		平均 (m/sec)	最大 (m/sec)	
7月23日	試験施工準備	晴	29	34	26	65	2.0	4.0	北 西
7月24日	路盤材の締固め	晴	28	34	26	67	2.0	4.0	西南西
7月25日	"	晴	28	33	26	64	1.9	4.1	西
7月26日	"	晴	28	32	26	65	2.0	4.4	西北西
7月27日	"	晴	29	33	26	67	2.2	4.1	北 西
7月28日	アスファルト混合物の締固め	晴	28	33	26	67	2.1	4.1	西北西

表-2 粒調路盤材料の突固め試験結果

採取日	最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)	摘要
7月24日	2.215	5.85	基準値
7月25日	2.211	5.90	
7月26日	2.218	5.95	

表-3 粒調路盤材料の施工区分と含水比測定結果

測定日	レーン 番号	転圧機種	含水比 (%)
7月24日	1	タイヤローラ 低速	4.67
	2	タイヤローラ 高速	4.32
	3	マカダムローラ 低速	4.79
	4	マカダムローラ 高速	4.39
7月25日	1	4tコンバインドローラ 低速	4.65
	2	4tコンバインドローラ 高速	4.85
	3	7tコンバインドローラ 低速	4.73
	4	7tコンバインドローラ 高速	4.80
7月26日	1	章動ローラ 低速	5.15
	2	章動ローラ 高速	4.97
	3	7tタンデム振動ローラ 低速	5.01
	4	7tタンデム振動ローラ 高速	4.53
7月27日	1	ハンドローラ 低速	6.21
	2	ハンドローラ 高速	6.23

### 1-3 使用材料の種類と性状

使用材料としては、路盤材料に粒度調整碎石 (M-25)、アスファルト混合物に密粒度アスファルト混合物 (13) を使用した。路盤材施工の4日間のうち、搬入は3日間であり、施工最終日は、施工量が少ないため、3日目に搬入した材料を使用した。路盤材の性状は表-2、表-3にそれぞれ示すとおりである。施工含水比は、少し乾燥側ではあるが、変動は少なく、試験結果に影響を与えるほどのものではないと考えられる。

### 1-4 使用ローラの種類と諸元

各種ローラの締固め特性を把握するためには、広い範囲でその特性を比較する必要がある。標準的締固め機種のロードローラとタイヤローラとの対比、大型および小型振動ローラとの対比、さらにタンデム型 (鉄輪) とコンバインド型との対比を目的とし、表-4に示すとおり、7機種のローラを使用した。なお、振動ローラは大型・小型に分けられるが、その基準を本文では6tとした。

表-4 使用したローラの種類とその諸元

職 種	車両形式	総重量 (kg)	締固め幅 (mm)	起振力 (kg)
マカダムローラ	R2H	12,600	2,100	—
タイヤローラ	T2	15,650	2,260	—
7tタンデム 振動ローラ	SW70	7,800	1,500	前輪 高振幅：6,000 後輪 低振幅：4,000
				前輪 高振幅：10,600 後輪 低振幅：5,400
章動ローラ	430N	6,900	1,450	—
7tコンバインド ローラ	TW70CH	6,450	1,450	前輪 高振幅：5,500 後輪 低振幅：3,700
				—
4tコンバインド ローラ	TW41	3,600	1,300	2,500
ハンドローラ	MDR-9D	950	700	2,500

## 2. 施工方法と調査項目

### 2-1 施工方法

今回の試験施工では、各ローラの標準的な転圧速度の範囲のうち、高速側と低速側の両方について目標速度を設定し、各々実施した。

#### 1) 路 盤

路盤材の敷きならしは、できるだけ均一な敷きならし密度が得られるようにベースペーパーを使用し、スクリーンは無振動の状態で行った。また、敷きならし厚さは、アスファルト舗装要綱に示される振動ローラを用いた場合の1層の仕上がり厚さを考慮して、30cmとした。

施工延長は、測定区間として10m、その前後に折返し区間として10mずつ、計30mとした。転圧回数は、往復8回 (測定点16回通過) まで行った。

#### 2) アスファルト舗装

アスファルト混合物の締固め作業は、初転圧、二次転圧、仕上げ転圧に分かれ、混合物敷きならし後の短時間での連係作業である。つまりアスファルト混合物の転圧は、ローラの組み合わせ施工であり、締固め度は混合物の温度にも大きく依存する。



写真-1 粒調路盤材料の敷きならし



写真-2 振動ローラによる転圧



表-5 表層に用いたアスファルト混合物の目標温度 (単位:℃)

混合温度	150~160
敷きならし温度	140~150
初転圧温度	140
2次転圧開始温度	120
2次転圧完了温度	70~90

本文では、標準的な機械構成である初転圧にマカダムローラ、二次転圧にタイヤローラの組合わせに対し、各種振動ローラの締固め効果を比較した。各種振動ローラの締固めは初転圧を無振とし、二次転圧を有振として行った。

敷きならしは、堅固で均一な支持力を有する路盤上に、アスファルト乳剤(PK-3)を散布して養生した後に、密粒度アスファルト混合物を仕上げり厚さ5cmとなるようにアスファルトフィニッシャを用いて行った。混合物の目標温度は、施工時期が夏期であることと、試験場がプラント敷地内で運搬距離が短いことなどを考慮して、表-5のとおりとした。

## 2-2 調査項目

### 1) 路 盤

#### ① ローラの作業速度測定

測定区間の前後に控え杭を設け、ローラの通過時点で合図を送り、ストップウォッチで測定した。

#### ② 路盤材の含水比測定

路盤材料敷きならし時に、各試験レーンごとに試料を採取し、含水比の測定を行った。

#### ③ 現場密度の測定

測定区間で、千鳥に5点選び、RI密度計により、往復の転圧回数が0回、1回、2回、4回、6回、8回の転圧完了時に測定した。また、最終の転圧完了後には、突砂法による現場密度試験を実施し、RI密度計の結果と比較した。

#### ④ 表面沈下量の測定

ローラの転圧が1往復完了ごとに、レベルにより、沈下量を測定した。測点箇所は、ローラ転圧幅の中心で、2m間隔で6箇所測定した。

#### ⑤ 騒音・振動の測定

騒音の測定は、路盤材締固め時に、騒音源より15m、地面より1.2mの地点で測定を行った。

振動の測定は、計器をローラ通過点より2m離して、地盤上に設置し、作業時の振動を測定した。

### 2) アスファルト舗装

#### ① 作業速度の測定

路盤と同様に、試験区間に控え杭を設置し、ローラが通過する時間を測定した。

### ② 温度—時間の測定

混合物の温度を、混合時温度・敷きならし時温度・初転圧時温度・二次転圧時温度・二次転圧完了時温度の5段階で測定し、同時に、測定時間も記録し、温度降下曲線を得た。

### ③ コアの密度測定

1ブロック当たり、5個のコアを採取して密度を測定し、各ブロック間および基準密度との比較検討を行った。

## 3. 調査結果と考察

### 3-1 路 盤

#### 1) 各種ローラの重量と作業速度

ローラの作業速度は、測定区間のローラ通過時間を転圧回数が、片道1回から16回まで各々測定し、その平均値より計算して求めた。試験施工時のローラの重量および作業速度の測定結果を表-6に示す。

#### 2) 締固め度と転圧回数

密度の測定は、ほぼ同じ箇所を繰り返して測定するため、作業の迅速性および非破壊の有利性からRI法を用いた。RI密度計は透過型で、線源棒のそう入深さは20cmとした。最終の締固め完了後に行った砂置換法(突砂法)との比較では、RI法の方が高い乾燥密度を示す傾向にあり、その差は、締固め度では1.0%の範囲内であった。

ローラ転圧速度を高速側および低速側とした場合の転圧完了後における締固め度の結果を表-7に示す。また、高速側と低速側の締固め度の平均値と、転圧回数との関係を示すと、図-1のようになる。

#### 3) 締固め特性

各種ローラの特性を締固め度の面から検討すると以下

表-6 ローラの実測重量と実測の作業速度

機 種	測定重量 (kg)	作業速度(km/h)	
		高 速	低 速
マカダムローラ	10,380	5.5	3.0
タイヤローラ	12,760	7.3	4.0
7tタンDEM振動ローラ	7,860	5.2	2.9
章動ローラ	6,880	6.2	2.8
7tコンバインドローラ	6,200	6.0	2.8
4tコンバインドローラ	3,600	5.7	2.8
ハンドガイドローラ	920	3.1	1.8

表-7 粒調路盤材料における転圧完了後の締固め度

作業速度	測定方法	締 固 め 度 (%)						
		マカダムローラ	タイヤローラ	7tコンバインドローラ	4tコンバインドローラ	7tタンDEM振動ローラ	章動ローラ	ハンドガイドローラ
低速	RI法	96.7	94.8	99.0	96.9	98.8	99.9	97.4
	AS法	96.3	94.3	98.0	97.1	99.1	99.6	99.1
高速	RI法	97.2	94.8	97.3	95.6	98.1	99.1	97.6
	AS法	97.8	94.4	97.5	94.5	98.5	98.5	96.3

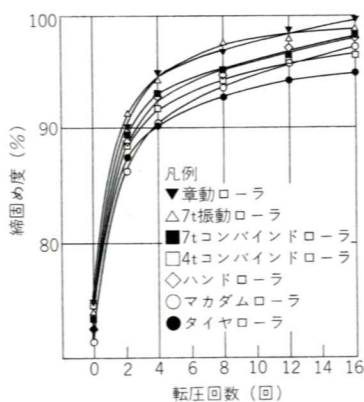


図-1 粒調路盤の締固め度と転圧回数との関係

に示すとおりである。

### ① タイヤローラとマカダムローラの締固め特性

図-1よりタイヤローラは初期締固めの段階では有効であるが、通過回数が4回以上になると、マカダムローラの方が締固め度は大きくなる。すなわち、初期転圧にタイヤローラ、仕上げ転圧にマカダムローラを使用することが、より効果的であると推定される。このことは、路盤工の一般的施工方法として、敷きならしはモータグレーダを使用し、その後タイヤローラで転圧しながら高さの調整をモータグレーダが行った後、仕上げ転圧をマカダムローラで行う施工方法が締固め効果の面からも適切であると確認できた。

締固め度と作業速度については、タイヤローラおよびマカダムローラともに、作業速度による締固め度への影響は、あまり見られない。したがって、タイヤローラおよびマカダムローラの締固め効果は、転圧速度より転圧回数に依存するものと思われる。

### ② 振動ローラの締固め特性

図-1より、振動ローラによる締固めは、より効果的で、特に前・後輪で振動する7tタンデム振動ローラ、水平式振動ローラが優れた結果を示した。

振動転圧の場合、振動によって締固めが増幅されるため、ローラの滞地時間が長くなれば、その作用も多く受ける。そのため、振動転圧の締固め特性は作業速度による影響が大きく、低速施工の方が高速施工より締固め効果は大きいという一般的な傾向<sup>1)</sup>と同様な結果が得られた。ただし、7tタンデム振動ローラの低速施工においては、転圧回数が多くなるにつれ、振動による浮石が生じて表面性状を乱す傾向を示したので、施工速度の選定に注意する必要がある。なお、4tコンバインドローラおよびハンドガイド式振動ローラの締固め効果は、敷きならし厚30cmの厚層の場合においても、低速側の作業速度で

16回程程度の転圧を行えば、おおむね97%以上の締固め度を確保できることが認められた。

### ③ 作業能力の計算

粒状路盤における締固め度は、アスファルト舗装要綱に示される抜取り検査による場合の品質の合格判定値を満足するように95%以上とし、目標値はそれより2~3%高めに設定するのが一般的である。ここでは、各機種単独の作業能力を対比するため、締固め度95%を得る転圧回数を求めて比較検討した。なお、作業能力は次式により算出し、その結果を表-8に示した。

$$A = \frac{W \times V}{N} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

A = 締固め度95%を得る1時間当たりの作業能力 (m<sup>2</sup>/h)

W = ローラの締固め幅 (m)

V = 平均作業速度 (m/h)

(ただし、高速側の作業速度と低速側のその平均値とした)

N = 締固め度95%を得る転圧回数 (回)

表-8より、水平振動ローラあるいは7tタンデム振動ローラは、マカダムローラおよびタイヤローラをそれぞれ単独で用いた場合の作業能力の1.6~1.7倍であり、7t級振動ローラの締固め効果はかなり大きいことが確認できた。また、4tコンバインドローラは小規模工事、ハンドガイド式振動ローラは、端部や狭小部等の締固めに適することがわかる。

なお、本試験施工ではベースペーパーによる敷きならし厚さを30cmで行ったが、転圧回数16回完了後の仕上げり厚さは、おおむね22.5~24.0cmの範囲であった。

## 3-2 アスファルト舗装

### 1) 締固め特性

各施工ブロックより採取したコアの密度測定結果から、室内試験で得られた基準密度(2,313g/cm<sup>3</sup>)に対する締固め度を求めた。各ローラの締固め度と締固め回数の関係

表-8 各種ローラの作業能力(路盤)

機 種	締固め幅 (m)	平均作業速度 (m/h)	転圧回数 (回)	95%締固め作業量 (m <sup>2</sup> /h)	作業能率*
タイヤローラ	2.26	5,650	17	751	1
マカダムローラ	2.10	4,250	12	744	0.99
4tコンバインドローラ	1.30	4,250	10	553	0.74
7tコンバインドローラ	1.45	4,400	8	798	1.06
重動ローラ	1.45	4,500	5	1,305	1.74
7tタンデム振動ローラ	1.50	4,050	5	1,215	1.62
ハンドローラ	0.70	2,450	9	191	0.25

注) \* : タイヤローラを1としたときの作業能率の比率



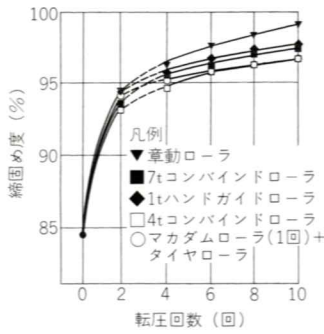


図-2 アスファルト表層の締固め度と転圧回数との関係

は図-2に示すように、初転圧では振動ローラの無振転圧とマカダムローラを比較しても大きな違いは見られない。しかし、二次転圧以降は、タイヤローラと振動ローラ(有振転圧)の差が表れており、振動ローラの方が締固め効果は大きく、一般的な傾向を示した。

## 2) 作業能力の計算

実際の施工では、気象条件、混合物の搬入時間、温度、フィニッシャの敷きならし幅、路面の勾配、曲率など、数々の現場条件によりローラの締固め効果は大きく左右される。

また、締固め密度だけで締固め終了の段階を判断することに問題はあるが、ここでは、締固め度と通過回数の関係から各ローラの作業能力を求めることにした。

マカダムローラ(2回転圧)およびタイヤローラ(8回転圧)の組み合わせによる標準施工の締固め度は、96.6%を示した。これを基準に、図-2より各振動ローラの締固め度96.6%に対する通過回数を求め、路盤の場合と同様に、締固め幅、作業速度、通過回数から、1時間当たりの作業能力を算出して対比した(表-9)。

なお、ローラのラップ転圧、折返し等による時間損失(稼働低下率)を0.8とし、フィニッシャについては、ダンプ搬入時における時間損失を0.9とした。

また、各ローラおよびフィニッシャの作業速度は、今回の試験施工の実測値を用いた。

表-9から、フィニッシャの敷きならし幅2.5~4.5mに対する作業能力は、340~610m<sup>2</sup>/hの範囲となる。マカダムローラ、タイヤローラの組み合わせ施工では、各々2,800m<sup>2</sup>/h、860m<sup>2</sup>/hであり、フィニッシャの作業能力を上回っている。

これに対して、4tコンバインドローラ、7tコンバインドローラ、水平式振動ローラの作業能力は、それぞれ340m<sup>2</sup>/h、420m<sup>2</sup>/h、540m<sup>2</sup>/hとなり、施工幅員によってフィニッシャの作業能力を下回る場合が生じてくる。

したがって、作業能力だけで判断すると、7tコンバイ

表-9 各種ローラの作業能力(アスファルト舗装)

各機種	稼働低下率	締固め幅(m)	速度(km/h)	回数	1時間当たりの作業能力(m <sup>2</sup> /h)	摘要	
標準施工	マカダムローラ	0.8	2.26	3.1	2	2,800	組合わせ施工
	タイヤローラ	0.8	2.10	4.1	8	860	
章動ローラ	無振	0.8	1.45	3.0	2	540	単機施工
	有振			2.7	4		
7tコンバインドローラ	無振	0.8	1.45	2.9	2	420	"
	有振			2.9	6		
4tコンバインドローラ	無振	0.8	1.30	3.1	2	340	"
	有振			3.3	8		
1tハンドローラ	無振	0.8	0.70	2.4	2	220	"
	有振			2.4	4		
フィニッシャ(W=2.5~4.5)		0.9	2.50		1	340	
			4.50	0.15		610	

締固め度96.6%時の

A: 1時間当たりの作業能力

L: 稼働低下率

N<sub>1</sub>: 無振の回数

N<sub>2</sub>: 振動の回数

V<sub>1</sub>: 無振時の速度

V<sub>2</sub>: 有振時の速度

W: 締固め幅

$$A = L \times \frac{N_1 \times V_1 + N_2 \times V_2}{(N_1 + N_2)^2} \times W$$

ンドローラは施工幅員3.0m程度、水平式振動ローラは4.0m程度までの締固めに単独で適用可能と考えられる。

## 3) 表面性状

舗設面の表面性状を切り取り供試体等も参考にして観察した結果、タイヤローラで締め固めた路面は粗骨材の凹凸があり、その間隙に細粒分が充填されて緻密な状態を呈していた。一方、各振動ローラの場合は、粗骨材が平滑に並んでおり、粗骨材間にはモルタル分がタイヤローラの場合ほど十分に充填されていない状態であった。このような表面性状の差は、砂拡散器による路面の粗さ試験結果にも表れており、タイヤローラの場合ではキメ深さが0.6mmであったのに対し、振動ローラの場合は0.15~0.35mmの値を示した。

したがって、振動ローラを単独で用いた場合の表面性状が供用性にどのような影響を及ぼすかについては、実路での調査が必要と思われる。

なお、平坦性については、施工延長が短かったため、今回の試験施工で評価するまでには至らなかった。

## 4. まとめ

今回の試験施工より得られた結果は以下に示すとおりである。

- ① 路盤の締固め方法として、初期の締固めにはタイヤローラ、仕上げ転圧ではマカダムローラを使用する一般的な施工方法が、締固め効果の面からも効果的であることが分かった。

- ② 振動ローラの締固め特性として、低速施工の方がより効果的な締固めを得られることが確認できた。
- ③ 路盤材の締固めには、振動ローラが有効であり、施工の省力化・合理化につながる。特に、作業能力の面より、大型振動ローラは効果的であることが認められた。
- ④ 水平式振動ローラは、他の大型振動ローラと比較し、振動時の隣接地域への影響が少ないこと、作業能力が大きいこと等から、市街地の急速施工等に有効であると思われる。
- ⑤ 施工幅員が3 m程度の規模のアスファルト舗装においては、混合物の締固め効果だけで判断すると、水平式振動ローラ・7tコンバインドローラの単機種での施工も可能である。

## あ と が き

今回の試験施工では、主に各種ローラの締固め効果から、厚層の粒状路盤工およびアスファルト表層工の作業能力を評価することができた。これらの成果のうち路盤工については、施工条件に応じたローラの配置計画などに役立てたいと考えている。また、施工規模の制約から、アスファルト表層工の出来形に関する十分なデータが得られなかった点については、今後の検討課題としたい。

最後に、今回の試験施工で御助力いただいた酒井重工業(株)技術研究所の土井清徳氏および岡部幹夫氏に誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

## 〔参 考 文 献〕

- 1) 千田：振動ローラによるアスファルト舗装の転圧、舗装(1980.9)
- 2) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱、昭和63年版