

アスファルト混合物のローラ締固めに関する模型実験

室蘭工業大学 正員 新田 登
同 正員 小野 義孝

1. はじめに

安定かつ耐久性のあるアスファルト舗装体の研究が、種々の分野から行なわれている。アスファルト混合物が所望の機能を発揮するためには、十分に締固められることが必要であり、パフォーマンスの良好なアスファルト舗装の建設には、使用材料、舗装厚、配合設計における同様の、施工性、特に転圧状況に関する研究が必要であるものと思われる。しかしながらローラ転圧で締固められた混合物と同じ状態のものを室内で再現することがむずかしく、現在室内締固め法としては、

- (1) 静的荷重による締固め
- (2) 打撃による締固め
- (3) ニーディング作用を考慮した締固め
- (4) 荷重の振動による締固め

などが用いられているが、いずれも締固め機構に不明な点が多いようである。

そこで、ローラ転圧された混合物と同じものをつくるためには、締固め時の材料がどのような挙動をしながら締固められていくかというプロセスを知ることが必要であると考えられる。

本報告では、もっともローラ転圧に近いと思われる荷重の振動によって締固める場合の材料の挙動を調べたものである。同時にこのような挙動を把握しておくことにより、振動荷重による締固めの際の最適条件へのアプローチを試みたものである。

2. 実験要領

2-1. 実験試料

使用したアスファルト混合物は、サンドアスファルト混合物の粒度配合をもち(図-1)、バインダ含有量は9%である。アスファルトは80/100のストレート

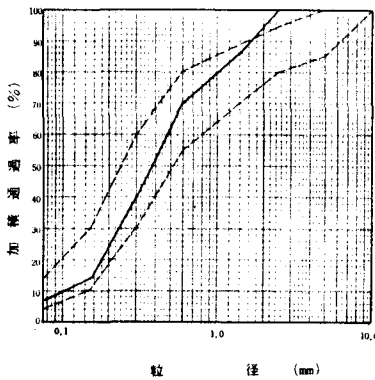


図-1 粒径加積曲線

アスファルトであり、室温にて締固め粘度 (7.0×10^3 センチポアズ) を確保するため、B重油でカットバックしたものを用いた。ストレートアスファルトおよびカットバックアスファルトの温度-粘度曲線を、図-2に示す。

2-2. 実験方法

使用した小型模型ローラは、為側々面がガラス張りになっている型枠 ($10 \times 14 \times 120$ cm) に試料を詰め、直径2.6 cmのローラドラムに回転板を添え、これを一方に振動させ

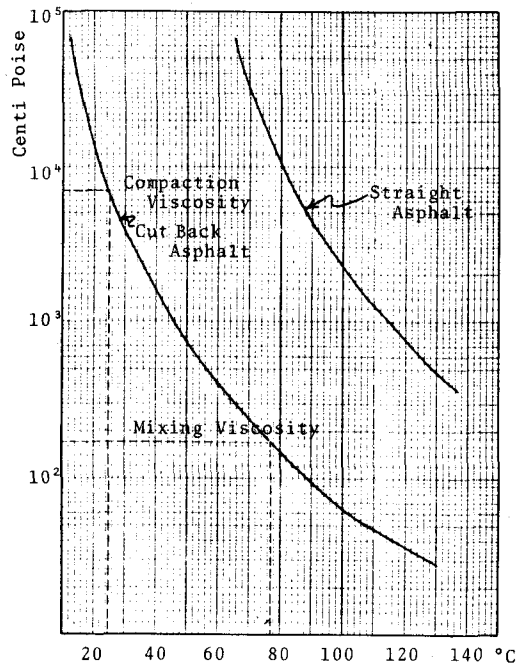


図-2 温度-粘度曲線

より精固めるものである。試料側面にはあらかじめ1cm間隔で水平方向に4.5本、鉛直方向に6層、計27本のピンを打ち込んでおき、荷重の変動に対するピンの挙動をメモーションカメラを用いて連続写真撮影し、ピンの動きが材料の動きを表わすものとして、精固め時の解析を行うものである。

本報告では、表-1に示すように転圧速度4.2 cm/secで、バインダー粒度 7.0×10^3 C.P.として、転圧線荷重の約4段階に変化させ、主として精固めにおける荷重の影響について調べた。尚、連続写真撮影は毎秒2コマの割合で行った。

表-1 実験条件

転圧線荷重	Kg/cm	2.4, 2.6, 2.8, 3.1
転圧速度	cm/sec	4.2
バインダー量	%	9.0
精固め粒度	センチメートル	7.0×10^3
ローラ状態	—	回転(トルクあり)
写真撮影速度	コマ/sec	2

2-3. 解析手法

フィルム上で混合物の挙動に影響を及ぼしているのは、ローラの位置であるから前記の要領で撮影したフィルムより0.5秒ごとのローラおよびピンの位置を座標値として求め、これよりピンの動きを調べる。ここでピンは、6層打ち込みであるが一層目のピンの示す挙動が他の層より卓越しているため、一層目のピンの示す挙動について調べてみた。

解析の手順は、図-3にフローチャートで示してあるが、まずローラおよびピンの座標値を求めるため、ミニコーピリーダを用いて、フィルムをほぼ実尺程度に拡大投影する。ミニコーピリーダのスクリーンに座標解析装置のセンサーを取り付け、ローラおよびピンの位置をスタイラスペンでプロットすることにより、座標値が整数値でデジタル表示される。この座標解析装置に、さらに入力インターフェイスを接続し、紙テープパンチャーで出力させる。この紙テープ上のデータを電算機で処理する関係上、ソフトディスクパックに媒体変換し、さらに入力インターフェイスにデータを別のディスクパックに入力しておく。解析に用いたデータはこの実尺に相当する座標値である。

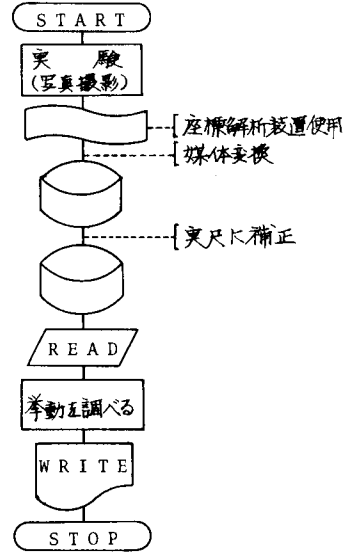


図-3 解析手順

3. 実験結果

3-1. 混合物の示す挙動について

前述の解析手法により得られたデータを用い、水平方向に対して鉛直方向の縮尺を10倍に拡大した図を描いてみる(X-Yプロッター使用)と、混合物はローラの進行に伴って図-4に示すような動きを示す。この図より混合物は荷重の移動により荷重直下で材料が沈下すると同時に、荷重の前方に大きな隆起をもつような形状をもって動き、他の条件が同一ならば荷重の移動によりほぼ同じような形状で精固めが行われるようである。そこで異なるローラ位置のそれぞれの図よりローラ位置と混合物の最大隆起点との水平距離 L_H 、ならびに隆起量 L_V を測定し、これらの測定値の母平均の信頼係数99%の

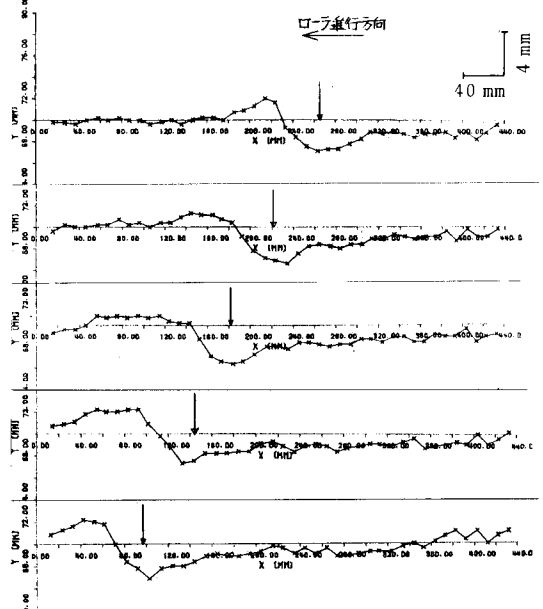


図-4 混合物の挙動

信頼区間をとってみると、この区間に入るデータの個数の割合は、表-2に示すようである。これらの値は、アスファルト混合物が示す挙動の値としては、まともなものと判断できる。これより混合物は、ローラ位置にかかわらず同一の挙動を示すものとし、同じPassの4〜5枚の図を、ローラおよび篩囲め前の混合物の位置を基準として重ね合わせ最確値となるような線を引き、これを振動荷重で篩囲めたときの混合物の挙動のパターンとした。

表-2 信頼区間に入るデータ個数の割合(荷重:2.4kg/cm)

Pass	L _H	L _V
1	85.7%	100.0%
2	66.7	77.8
3	61.8	63.6
4	85.7	85.7
5	77.8	66.7

図-5は、1〜5 Passと沈下量(累加量)の関係を示したものであるが、荷重2.6 kg/cm²において最もよく篩囲められている。また荷重2.4 kg/cm²、2.8 kg/cm²では4 Pass目あたりから沈下量が小さくなり、曲線は勾配がゆるやかになってくる。

図-6は、PassごとのL_H、L_Vの変化の様子を示したものである。1 Pass目は数値ばらばらの影響があるので、これを除いて考えると、Passの増加につれて、L_H、L_Vは減少していく傾向にある。すなわち、Passが増加するにつれて、最大隆起の生じる位置は、載荷点に近づき、かつ最大隆起量は小さくなっていく。Passが増加するにつれて、L_Hの荷重による変化は、あまり認められはれないが、2.6 kg/cm²、3.1 kg/cm²の荷重において、L_Vの減少の割合は大いである。そして、図-5に示した沈下量との間に関係がみられるようである。

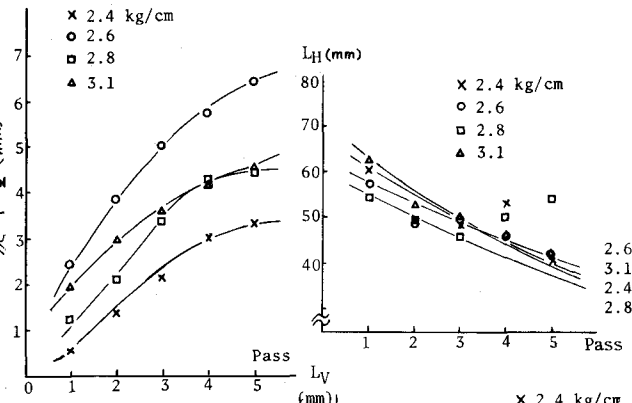


図-5 沈下量とPassの関係

また一層目のピンより下の混合物の厚さをとると、Passと h/L_H との関係を表わしたものが図-7である。この図において、荷重2.4 kg/cm²、2.8 kg/cm²の場合、5 Pass目、 h/L_H の値が減少している。そして、これらの荷重において、沈下量が小さいという相関がある。

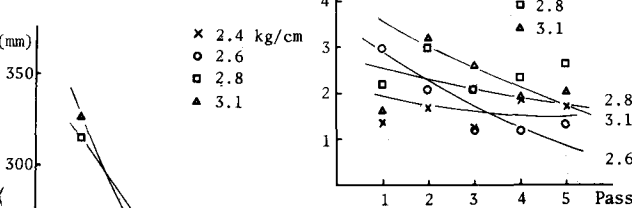


図-6 L_H、L_VとPassの関係

図-8は、パターン之最確値であるが、この図のS点とE点との水平距離をLとし、5 PassまでのLの変化を示したものが図-9である。この図より明らかになるように、荷重が増加するにつれて、波長は増大しPassの増加につれて波長は減少していくようである。また荷重2.4 kg/cm²、2.8 kg/cm²では、Passの増加につれて曲線の勾配が急になっており、2.6 kg/cm²、3.1 kg/cm²では、ゆるやかになっている。このことも沈下量と関連しているものと考える。

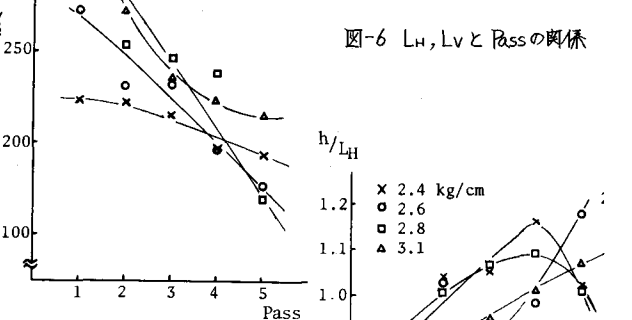


図-7 h/L_H とPassの関係

下量と関連しているものと考える。

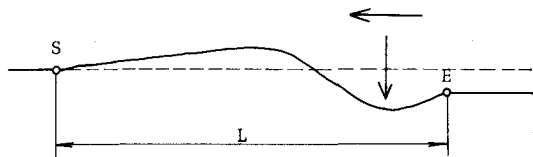


図-8 振動荷重による篩囲めパターン

3-2. 仕薬の一英のホウ挙動について

個々のピンは、すべて同一の挙動を有するものとみだし、各ピンについて0.5秒毎の位置を求め、この英をつらねてみる。その代表として7本のピンを選び、転圧前の位置を基準として重ね合わせて、曲線を描いてみると図-10 のようになる。これからわかるように転動荷重による締固めでは、混合物が単に下方移動するのではなく、一度隆起してからこれが沈下しはじめ、その後ローラ進行方向とは逆方向の上方に移動してくる。そして結果的には、ローラ進行方向斜め下方に移動する。これはローラ転圧に特有の Kneading Action によるものである。

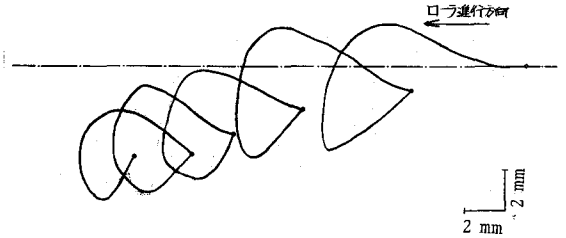


図-10 仕薬の一英の挙動

混合物の描いた軌跡長と Pass との関係を表わしたものが、図-11である。Passが増加するにつれ、軌跡長は減少している。そして Pass を重ねて締固められた状態になると混合物は、もはや移動しなくなるので軌跡長は短くなる。これより最適な荷重は、Pass の増加による軌跡長の減少割合の大きいものが有効であると思われる。

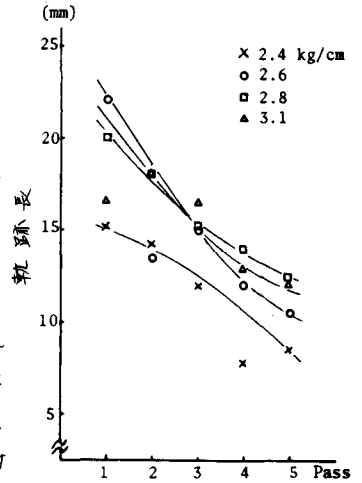


図-11 軌跡長と Pass の関係

次に、各 Pass 終了後の混合物の位置を示したのが、図-12 であるが、これより転動荷重による締固めにおいて、混合物は、ローラ進行方向斜め下方にほぼ直線的に変化している。そして混合物が十分に締固められると、もはや鉛直方向には変位し得なくなり、さらに Pass を増加していくならば、ローラの駆動力により混合物は、水平方向のみ移動するものと思われる。したがって、図-12 の曲線は十分に締固められるにつれて、次第に勾配がゆるやかになり、ついに水平になってしまうものと思われる。以上より有効な転圧とは各 Pass 終了後の混合物の位置をつらねた曲線において、初期にはできるだけ勾配が急つく、鉛直方向に十分変化した後に、できるだけ少ない転圧回数で曲線が水平になるものであると思われる。本報告で行なった条件では、荷重 2.6 kg/cm で締固めを行なった場合に最もよい締固めが得られているが、5 Pass 程度では、まだ曲線が水平になるような締固めは行なわれていないようである。

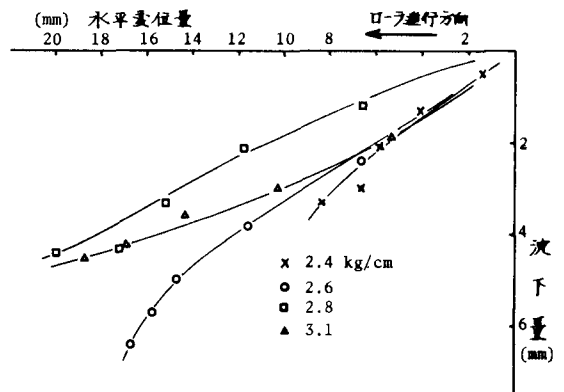


図-12 各 Pass 後の混合物の位置

3-3. 締固めパターンの定量化について

先述述べたように転動荷重による締固めパターンは、図-8 のようになっていた。図-8 において S 英から E 英までの間、混合物は動いている。S 英は締固め前の混合物がローラの進行につれ、いままでに挙動を始めたようとしている英であり、E 英はローラが通過してしまっただけの状態になったばかりの英である。そして、この挙動は、ローラの進行速度でローラと共に進行する。そこで、このパターンを一種の進行波であるとみなすと、S 英から E 英までの水平距離は進行波の波長に、また最大隆起英と最大沈下英との鉛直距離は波高に、相当するものである。

次に図-8の転圧時のパターンを近似式を用いて定量的に表現して
みる。このような複雑な形をした波は、波高、周期の異なるいくつ
かの正弦波、余弦波の和として近似的に表現することが出来る。近似式
として(1)式に示すフーリエ級数を用い、調和分解によつてその係数を
決定してやることにより、この波を定量的に表現することが出来る。

$$l(\theta) = A_0 + A_1 \cos \theta + A_2 \cos 2\theta + \dots + A_n \cos n\theta \\ + B_1 \sin \theta + B_2 \sin 2\theta + \dots + B_{n-1} \sin(n-1)\theta \quad \dots (1)$$

ここでは分割を24分割としているので、(1)式において $n=12$
である。(1)式において係数 A_0 は、各分割点において基準線から曲線
までの距離を平均したものである。

$A_0 < 0$ であれば、Compaction部分がDecompaction部分より大きく
 $A_0 > 0$ であれば、Decompaction部分がCompaction部分より大きいこと
を示している。 A_0 の値と荷重との関係を表したものが図-13である。
図より荷重が増大するにつれ、転圧パターンはCompaction部分より、
Decompaction部分が、大きくなるようである。

また、曲線の大きさを支配する項は、第一調和項であるから、第一調
和項の係数とPassとの関係について図示すると図-14のようになる。
尚、ここで用いている係数 α_1 とは、三角関数の合成公式を用いて(1)
式を変形した(2)式における係数である。

$$l = \alpha_0 + \alpha_1 \cos(\theta - \beta_1) + \alpha_2 \cos(2\theta - \beta_2) + \dots + \\ + \alpha_m \cos(m\theta - \beta_m) \quad \dots (2)$$

ここで $\alpha_0 = A_0$, $\alpha_s = \sqrt{A_s^2 + B_s^2}$, $\beta_s = \tan^{-1} \frac{B_s}{A_s}$

図より顕著な傾向はみられないが、おおむねPassの増加につれ、係
数 α_1 の値は減少し、荷重が増加するにつれ α_1 の値は増加するが、Pass
の増加による α_1 の値の減少は、荷重が大きいほど、大きくなってくる
ようである。

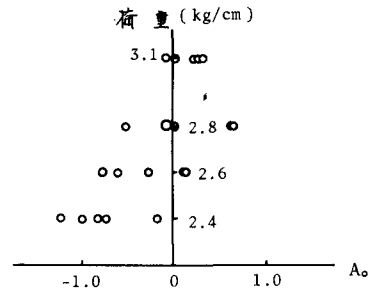


図-13 荷重による A_0 値の変化

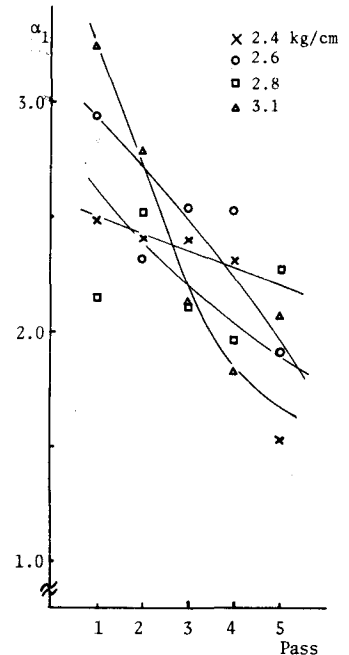


図-14 α_1 とPassの関係

4. まとめ

以上の実験結果より次のことが、結論づけられる。

- ① 転動荷重によるアスファルト混合物の締固め挙動をとらえるため、座標値を用いてあらわすことは、有効である。
- ② 転動荷重で締固めを行つると、荷重直下では混合物は沈下し、同時に荷重前方に大きな隆起をもつような形状となり、荷重の進行に伴つてこの形状が続いて起こる。
- ③ 最大隆起の生ずる点と荷重との水平距離 L_H および最大隆起量 L_V は、荷重、Passにより変化する。
- ④ 転動荷重によつて混合物は、スパイラル状の軌跡を描きながら締固められるという挙動が明白となった。
- ⑤ 各Pass後の混合物の位置をたづねた曲線によつて、締固めの程度が判断できるようである。そして、単に荷重が大きければよく締固められるというわけではなく、最適荷重というものが、存在するものと思われる。本報告では、最適荷重として2.6 kg/cmが得られた。

尚、本報告中の計算は北海道大学大型計算機センターFACOM230-75並びに、室蘭工業大学附属情報処理教育センターFACOM230-28Kより行った計算を付記します。

参考文献

- ① 松野三郎, 南重貞夫, 三浦裕二, 山之口 浩: アスファルト舗設に関する試験(建設図書, 昭和47年11月)
- ② 新田 登: ローラコンパクタに関する2.3の試験(土木学会第28回年次学術講演会講演概要集, 第5部, 昭和48年10月)
- ③ 新田 登: アスファルト舗設の軟圧性状について(石油学会誌 第16巻 第16号 1973年)
- ④ 新沼正博, 新田 登: 軟動荷重下におけるアスファルト混合物の変形(土木学会第30回年次学術講演会講演概要集 1975年10月)
- ⑤ 新沼正博, 新田 登: アスファルト混合物の施工性に関する一考察(土木学会北海道支部論文報告集, 1976年2月)
- ⑥ 中野猿人: 潮汐学(古今書院)