

V—15 車輛走行条件下におけるアスファルト混合物の
動的応答と疲労破壊性状について

北海道大学工学部

学生員 佐見 誠

坂本正明

正 員 上島 壮

正 員 菅原照雄

1. ま え が き

本研究はアスファルト混合物の動的応答と疲労破壊性状についての実験的研究の成果を取りまとめたものである。この研究の特徴として、動的応答と疲労破壊性状を求めるにあたり、

- a. 入力する応力波形として、実際に舗装に生ずる Bell Shaped Wave を用いたこと
- b. 車頭間隔を Rest Period として導入したこと
- c. 車輛の走行速度を加味したこと
- d. 入力条件の計算に SAS-B I S A R システムを利用したこと
- e. 試験に当たり Indirect Tension 法を用いた引張り試験法を用いたこと

等があげられる。

2. 意義と目的

アスファルト舗装の力学的な解析に当たっては、変形係数、ポアソン比、疲労性状などが欠かせない。これらのデータは、実際に舗装が遭遇するであろう温度領域、変形速度領域、載荷時間領域で求められる必要がある。従来これらに関しては非常に多くの研究が行なわれてきているが、実験の困難性、とくに研究設備面の制約が多く、実際の車輛の走行条件に合致させた形での実験研究の例は極めて少ない、とくに、車頭間隔、車輛の走行速度を実験条件に反映させた形での、動的応答、変形係数、疲労研究の例は過去に見られない。

しかし最近の解析法、とくに SAS-B I S A R システムによって、舗装の各部分に発生する応力が比較的簡単に計算出来ること、Indirect Tension 法によってマーシャル供試体で容易に引張り応力の測定が出来ること、コンピュータで作成した複雑な波形の応力を動的試験機に入力できる等の理由で、一種のシミュレーション試験として本研究のような実験が可能になった。

この種の研究としては、疲労試験としては Bell Shaped Wave を用い、Rest Period をも考慮した曲げ試験を採用した Monismith らの先駆的研究があり、我が国のものとしては笠原の研究がある。残念ながらこれらの研究は実験の困難性から、成果を得るために長期間を必要とし、限られた領域でのデータしか示されていない。しかし Kennedy らによって研究された Indirect Tension 法を応用することによって、これらの困難の多くのが解消されることになる。

3. 研究の方法

本研究は、変形係数の測定と、疲労性状の測定の二つの部分からなる。

変形係数は SAS-B I S A R システムによって計算された応力波形を使って測定し、また疲労試験にあたっては、前・後3軸によって発生する3つの波を1セットとして、車頭間隔を考慮して、ある時間間隔をもたせて反復載荷する方法を取った。

与える応力は Indirect Tension とした。図-1 に、実験装置の系統図を示す。用いた試験機は任意波形入力の可能な電気油圧サーボ機構の Instoron 1350 型動的試験装置である。

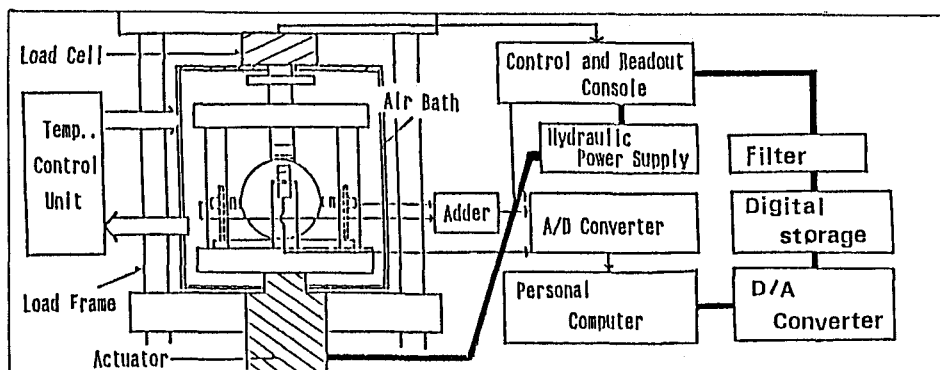


図-1 実験装置の系統図

応力波形の入力の手順はおおむね次の通りである。

- B I S A R プログラムから得られた応力-時間データを入力波形として用いる
- その場合に圧縮応力領域は応力 0 として処理する
- 応力データはパーソナルコンピュータを用いて荷重値に変換し、さらに Rest Period を設定する
D/A コンバータボードを通じて電圧出力し、デジタルストレージオシロスコープに記憶させる
- 記憶波形を周期的に出力し増幅器を通じて

インストロン試験機のコマンド波形とする
変形係数の測定は、 $-20, -10, 0, 10, 20^{\circ}\text{C}$ において実施し、疲労試験は 0°C で実施した。

4. 入力波形の決定

入力波形は従来のサイン波形のほかに、舗装表面に載荷した時の引張りの応力波形を用いた。この応力波形は3層構造の舗装体において、一般的な条件と考えられる第1層のアスファルト・コンクリート層の厚みが、 30 cm で、変形係数が $80,000\text{ kgf/cm}^2$ のときのものを選択した。車輛の大きさは、 20 トン の3軸車輛を想定したが、実際にはタイヤ当たり 2.5 トン で計算を行っている。

図-2 は想定した舗装の断面構成を示したものである。図-3 は応力計算のための車輪配置図を示す。なお応力波形としては、図に示す y 軸上に生ずるものを用いた。

図-4 は x' 軸方向の応力波形を示したもので、図-4-a は厚み 20 cm 、図-4-b は厚み 30 cm の場合を示す。 30 cm の場合には y 軸上の方が大きな応力を示す。一方、 20 cm では車輪直下での応力の方が大きい y 軸上の応力と余り

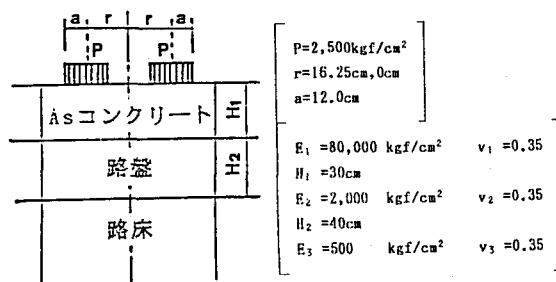


図-2 想定した舗装の断面構成

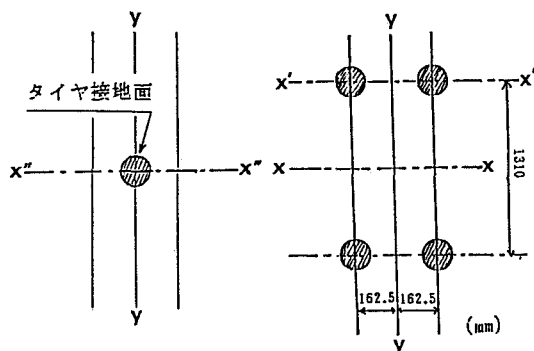


図-3 想定した車輪配置図

差はない。従って本研究ではY軸上の応力を試験に用いることとした。また図-5はY軸方向の応力波形を示す。図-5-aは厚み20cm, 図-5-bは厚み30cmの場合を示す。

変形係数の測定にあたってはアスファルト・コンクリート層の厚みがそれぞれ20, 30cmとしたときの層の下面に発生する応力を用いた。変形係数の測定に当たっては、後輪並びに前輪の双方を用いている。走行速度としては、20, 45, 100 km/hrを想定した。この速度の変化はSAS-BISARでのデータの取込み間隔として、デジタルメモリの出力速度の調整によって得ることが出来る。疲労試験にあたっては、前輪並びに後輪の3つの軸の荷重が作用するものとし、走行速度100 km/hr, 車頭間隔が50mと仮定し、これを

Rest Periodとして時間間隔で挿入し、これを反復載荷する方法をとった。

前輪をも含めたY軸上、すなわち道路の延長方向での引張り応力波形は 図-6 に示す通りである。

5. 試験の結果

a. レスポンス

図-7, 図-8 は表層の厚みが10cmの場合についての応力-ひずみ-時間関係を示したものである。図においてHDは水平変位を, V1D, V2Dは垂直変位を, Loadは荷重を示している。図-7 は弾性係数の高い樹脂コンクリートについての20℃におけるものであり

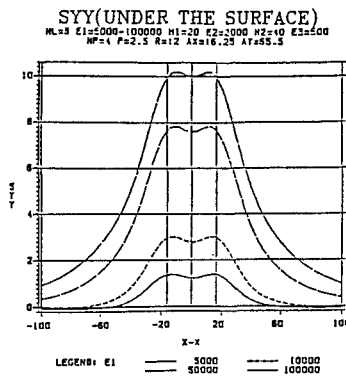


図-4-a X'軸上の応力波形
第1層の厚み 20 cmの場合

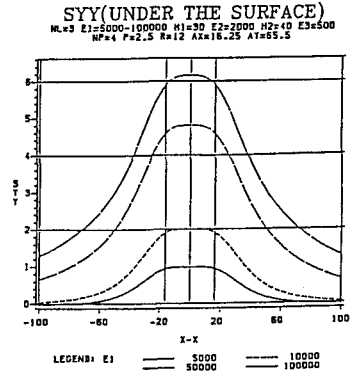


図-4-b X'軸上の応力波形,
第1層の厚み 30 cmの場合

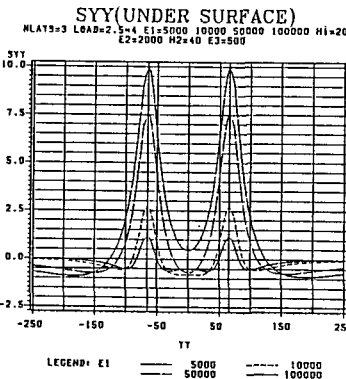


図-5-a Y軸上の応力波形
第1層の厚み 20 cmの場合

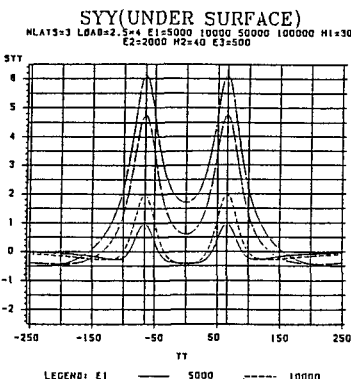


図-5-b Y軸上の応力波形
第1層の厚み 30 cmの場合



図-6 Y軸上の応力波形
(前後輪3軸の場合)

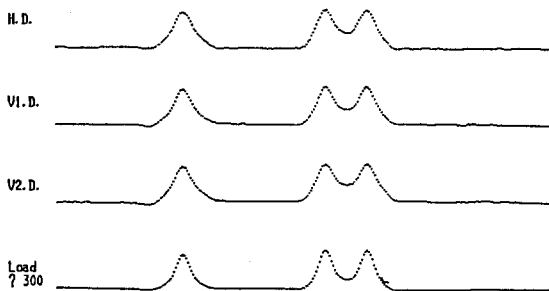


図-7 応力-ひずみ-時間の関係
(樹脂コンクリートの場合)

応力-ひずみ-時間関係はほぼ完全に弾性体としての挙動を示す。図-8-a, b, c. はそれぞれ、アスファルト・コンクリートについて、20km/hr の走行速度を想定した場合のレスポンスを示したものである。1ケの波は前輪を、2ケの連続した波は後輪を示す。後輪の2ケの波は、1輪の通過後も0には戻らず、実質的には2ケの波が重複したものと看做す。これは舗装のある深さでは荷重直下から離れた前後の部分にも応力が発生していることから当然である。図-8-a は20℃の場合、図-8-b は0℃の場合、図-8-c は-20℃の場合である。

この図を見るかぎりでは、アスファルト混合物は規則正しいレスポンスを示すように見える。低温の場合にはほぼ弾性体に近いレスポンスを示すが20℃では 図-8-a にみられるように、波形は若干ひずんだものになり、残留ひずみが示されている。

b. 変形係数

本研究ではシミュレーション波と同時に、サイン波をもって載荷時間を同一にとり、両者によって得られた変形係数の比較を試みた。変形係数は 図-7, 図-8 に見られる荷重・変形の時間経過をもとに、荷重のピークとその時の垂直・水平の変位から次の式によって解析した。

$$\begin{aligned} G_T(\%) &= 0.0596 \frac{P}{X} & \nu &= \frac{0.279DR - 1.3766}{-0.5DR - 0.0633} \\ E(\%) &= \frac{P'}{X'} (0.2576 + 1.0\nu) & \varepsilon &= X \left(\frac{0.0290 + 0.0722\nu}{0.1278 + 0.5\nu} \right) \end{aligned}$$

t : 供試体の厚み(cm)
P : 荷重(kg)
DR : 荷重P にいたるまでの垂直方向変位Y と水平方向変位X との比
P'/X' : 荷重-変位曲線において線形部分の荷重と水平方向変位との比(kg/cm)
(破壊試験で変形係数を求める場合の計算)
X : 全水平方向変位量(cm)

図-9 はその結果を示す。走行速度を 20, 45, 100km/hr と変化させたときの、各温度における変形係数の差を示している。低温、高速領域において変形係数は大きくなるが、250,000 kgf/cm² 以上の所では余り差は見られない。

図-9 には 10Hz の連続するサイン波による変形係数も示したが、これは 100 km/hr での変形係数とほぼ同じ値を示し、また20km/hr では

B:STU320C1.DAT
Specimen No.=SS14 Temp.(°C)= 20.0 Load(kg)=1372.5 Freq.(Hz)= 1.0
Height(cm)=5.973 Load/Volt= 500 Void(X)=3.05 Samp.Points= 300

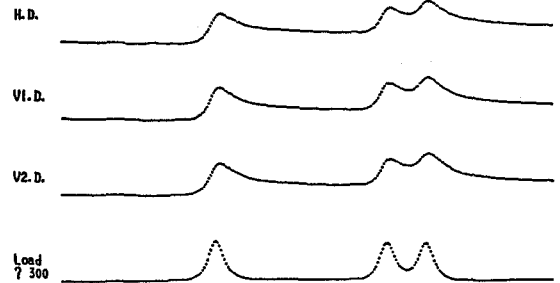


図-8-a 応力-ひずみ-時間の関係
(アスファルト・コンクリート, 20℃)

B:STU300Ca.DAT
Specimen No.=SS15 Temp.(°C)= 0.0 Load(kg)=2494.7 Freq.(Hz)= 1.0
Height(cm)=4.057 Load/Volt=1000 Void(X)=4.07 Samp.Points= 300

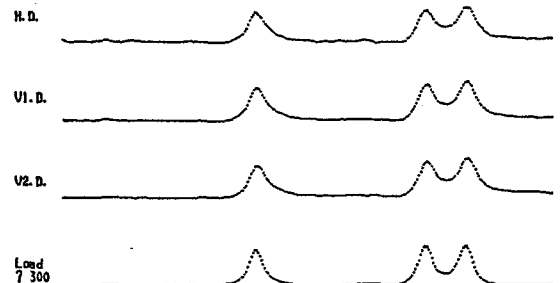


図-8-b 応力-ひずみ-時間の関係
(アスファルト・コンクリート, 0℃)

B:STU3H2AB.DAT
Specimen No.=SS14 Temp.(°C)= -20.0 Load(kg)=3579.8 Freq.(Hz)= 1.0
Height(cm)=5.973 Load/Volt=1000 Void(X)=3.05 Samp.Points= 300

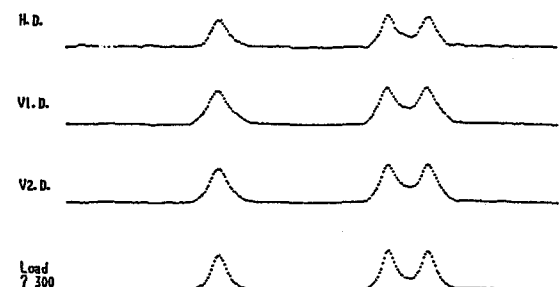


図-8-c 応力-ひずみ-時間の関係
(アスファルト・コンクリート, -20℃)

3 Hz でのサイン波による変形係数と近い値を示す。これらの結果はいずれの波形においても載荷時間が同じであれば、同じ変形係数が得られることを示しているとしても良いであろう。

変形係数は従来の研究結果から一般的には温度の高いところ、載荷時間の長いところで小さく、また温度の低いところ、載荷時間の短いところで大きくなる。従って走行速度の大きいことは変形係数の大きいことを意味しまた走行速度の小さいことは変形係数の小さいことを意味する筈であり、この実験研究の結果もまったく同様の結果を示した。

C. 疲労

大型車、走行速度100km/hr、車頭間隔50mを想定し（前・後輪3軸と Rest Period を合せて 0.5サイクル/秒）、次の構造についての入力波形を用い、応力レベルを種々変化させて疲労試験を行った。

$$\begin{aligned} E1 &= 80,000 \text{ kgf/cm}^2 & H1 &= 30 \text{ cm} \\ E2 &= 2,000 \text{ kgf/cm}^2 & H2 &= 40 \text{ cm} \\ E3 &= 500 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

さらに変形係数がそれに相当するサイン波（10Hz）での疲労試験を行い、両者の比較を試みた。この試験は 0℃において荷重レベルを変化させて行った。

疲労試験の場合は、150 ないし 200 秒間隔でデータをフロッピーディスクに取込み、SASを用いて解析した。

図-10 は疲労試験結果の一例を示す。ここではシミュレーション波の場合には車輛1台の通過を 2.5回（前輪 0.5回、後輪 1回と仮定）の載荷回数として換算し、横軸に疲労破壊回数を、縦軸に応力レベルをいずれも対数でとったものであり、通常の材料に見られる直線関係が示されている。疲労破壊の定義を載荷 1回当たりの垂直変形量の増加の割合が、直線区間の 2.5倍となる点を破壊点と決めるならば、上記の条件ではシミュレ

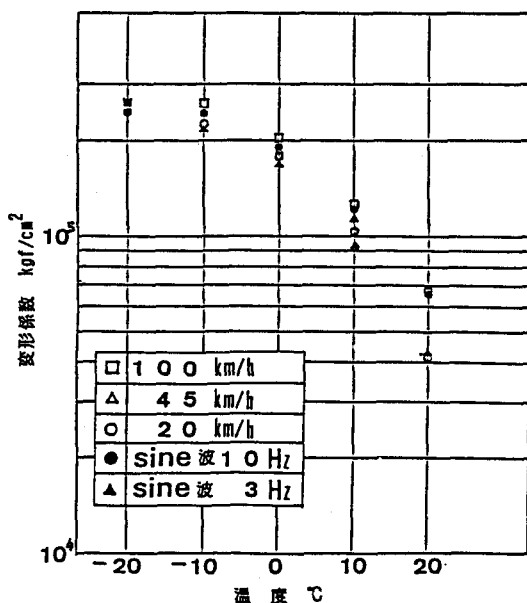


図-9 変形係数と温度との関係

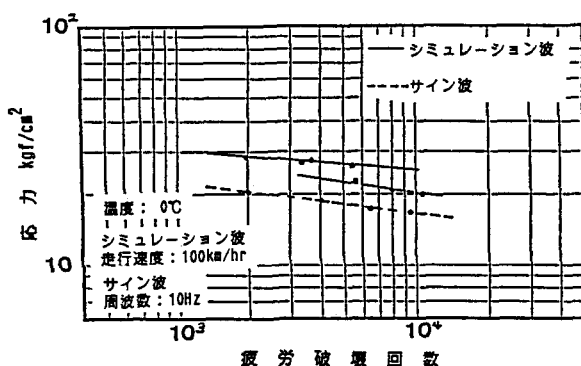


図-10 応力と疲労破壊回数の関係

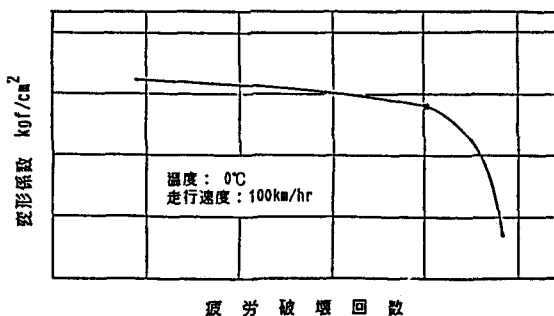


図-11 繰返し載荷に伴う変形係数の低下

ーション波の場合にはサイン波に比べて疲労破壊回数が極めて大きくでている。これは Rest Period を挿入することによりひずみが回復する為と考えられる。実際の道路ではリバウンドがあって、このひずみのかなりの部分は回復する。この試験では側方での拘束がないため、このひずみは単純に累積される。従ってこの試験では疲労の累積が実際の道路より、少ない破壊回数で示されると考えたほうが良い。しかし材料の特性としての相互の比較には十分利用が可能と思われる。また図-11 は変形係数が、繰返し載荷によって変化する状態を示したものである。図から明らかなように、累積載荷によって供試体の変形係数は次第に低下し、ある回数に至って急激な低下を示し、破壊に至る。

6. 結 論

車輛走行により、実際にアスファルト・コンクリート層下面に生ずる応力波形を使用して変形係数の測定並びに疲労性状について検討を行い、変形係数は、温度と載荷時間によって決り、波形には余り影響を受けないこと、また疲労試験においては Rest Period が大きな影響を与えること等を明らかにした。

本研究では入力波形は1つのみとしたが、SAS-BISARシステムを使用することにより、構造（各層の厚みと変形係数）や荷重の異なる、いろいろな条件での実験が可能になる。

この研究は広い範囲での疲労抵抗性を求めるべく現在なお続行中であり、追って詳細を発表する機会を得たい。

参 考 文 献

1. Monismith, C.L., Secor, K.E., and Blackmar E.W., Asphalt Mixture Behavior in Repeated Flexure, Proc. Assn. Asphalt Paving Tech., 1961
2. Kennedy, T.W., Characterization of Asphalt Pavement Materials Using the Indirect Tensile Test, Proc. A A P T, Vol 46, 1977.
3. 笠原 篤, 岡川秀幸, 菅原照雄, アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用, 土木学会論文報告集, 第 254号, 1976, 10.
4. 山田裕之, 上島 壮, 菅原照雄, インダイレクト・テンション法によるアスファルト混合物の変形係数簡易測定法に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, (41), 622(1985)
5. 小笠幸雄, 上島 壮, 加藤恒太郎, 層構造プログラムBISAR のSAS への組込みとその応用, 土木学会北海道支部論文報告集, (41), 640(1985)