HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	アスファルト混合物の熱応力試験に関する基礎的研究
Author(s)	森吉，昭博；水沢，隆
Description	V-7
Citation	土木学会論文集，384，137-141
Issue Date	1987-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40183
Type	journal article
File Information	moriyoshi_PJSCE384.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

【土木学会論文集　第384号／V-7　1987年8月】

アスファルト混合物の熱応力試験に関する基礎的研究

A RESEARCH ON A THERMAL TEST OF ASPHALTIC MIXTURES

森吉昭博*・水沢　隆**
By Akihiro MORIYOSI and Takasi MIZUSAWA

This paper describes the development of a thermal fracture test machine of asphaltic mixtures and the test results. Thermal fracture test is one of the most difficult tests to conduct test results are greatly influenced by the method for measuring load, the shape of end attachment of specimen. The authers have developed thermal fracture test machine that is capable of reducing the displacement of apparatus and thermal shrinkage to a minimum, the effects of various variables, rate of cooling, starting temperature, end attachment on stress-temperature relationships are examined. Test results indicate that the curve showing stress-temperature relationship shifts to lower temperature zone, accompanied with lower starting temperature and smaller rate of cooling. And the fracture temperatures of asphaltic mixtures correspond to brittle point temperatures obtained from bending test.

Keywords: *asphaltic mixture, thermal fracture test machine*

1. 緒　　言

1935年アメリカのRaderがアスファルト舗装に発生する横断亀裂現象を発見し，これが将来わだち掘れよりも深刻な問題になることをすでに予言している[1]．以来50年以上にわたりこの現象の解明について各国の研究者がしのぎを削っているにもかかわらずいまだこの現象の解明には至っていない[2)~4)]．これはこの現象が多種の因子に支配され複雑にからみあっているためと思われる[5]．この現象では特にアスファルト混合物の熱応力特性の把握が重要であると思われているため本研究ではできるだけ単純な形でこの現象を実験室内で再現する試験機の開発を試みた．過去においてこのような混合物の破壊に至るまでの熱応力特性を測定する試験機開発の試みは若干あるが[6),7)]，試験機の特性，特に治具の形状についてふれたものはまだ例がない．著者は数年来この試験法の開発に携わってきたが[8)]，近年ほぼ満足すべき結果が得られたのでここにその一部を報告する．従来の試験ではアスファルト混合物を拘束して，混合物の周囲の雰囲気の温度を変化させて，混合物中に発生する荷重を計測する[9),10)]．しかし，この試験機を開発する際問題となるのは次の3点であると考えられる．①温度制御の方法とその精度，②荷重計測の方法とその精度，③供試体の治具の形状．Monismithらは①について精度をよくするために2重の恒温槽を作り，実験している[11)]．一方重松らは空気槽よりは水槽の方が精度のよいことに注目し，水槽の中で実験している[12)]．いずれも温度精度は装置からみて著者は±0.2~0.3°Cくらいとみている．著者はこの点について過去の実験結果から考えて温度精度は水槽でも±0.1°Cを目標とした．荷重計測はMonismith，重松らの装置がひずみゲージを直接治具の金属に貼付していたが，熱応力試験ではできるだけアスファルト混合物の熱収縮だけを許し，かつ変形が全くない荷重計測器で測定するのが理想である．しかし彼らの方法では治具の形状からみて治具の動きがかなり大きそうであることから，著者は変形量をできるだけ小さく，かつ出力のできるだけ大きい荷重計を選定した．供試体接着部の治具は彼らの方法と著者の過去のデータより，突き合わせ接着は混合物の破壊強度が最大値で30 kgf/cm² (2.94 MPa) と小さいことから，端部を袋状の薄い鋼板で供試体を包みこむ方法を採用した．本研究はこのようにして得られた試験機の特性とこの試験機か

* 正会員　工博　北海道大学助教授　工学部土木工学科
（〒060　札幌市北区北13西8）
** フジヤ矢野科学(株)営業第2部
（〒065　札幌市東区北6東2総合卸センター2号館）

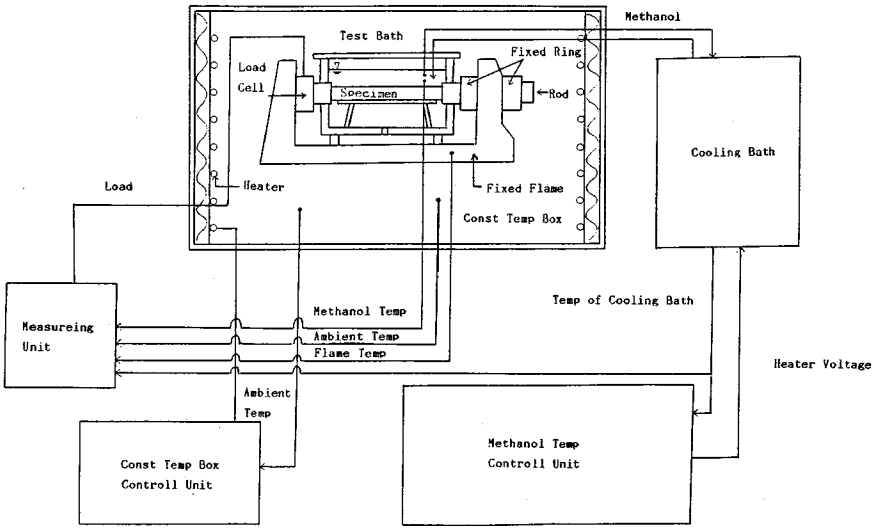


Fig. 1 System of equipment.

ら得られたアスファルト混合物の実験結果について報告する．

2. 試作機の概要

（1） 試作機のシステムおよび計測

試作機の系統図は **Fig. 1** に示す．ここで温度測定は以下のとおりである．温度は実験水槽内3か所，空気槽内の架台3か所，インバール製ロッド1か所，空気槽内2か所，室内温度1か所，冷却水槽内1か所，計11か所測定した．このうち架台1か所と空気槽内1か所，および冷却水槽内の各温度はアナログ記録とし，残りはすべてデジタル記録とし，前者は実験のモニター用とした．一方荷重はアナログとデジタルの併用とし，架台の温度1か所と荷重は同一アナログ記録計で記録しながらモニターした．このほか冷却水槽内のヒータ出力，供試体の表面温度，架台温度は上記の記録計とは別個に別系統でモニターした．荷重のデジタル記録は1～60分間隔とした．ここで計測器は実験が長期にわたることから長期安定性のあるものを選んだ．主な使用機器の性能は以下のとおりである．

- デジタルプログラム設定器（チノー製 DP 3型）設定出力精度±0.1％以内
- デジタル指示調節計（チノー製 DJ 型）設定精度入力スパンの±0.1％
- 恒温水槽(西独 Haake 製 N3-T 型)調節精度±0.01°C，水槽開口部 22.0×27.0 cm
- デジタルレコーダー（チノー製プロコスⅦ DR 030）30点入力可能
- プログラム設定器（チノー製 NP 263 型）
- 荷重計（共和製 LUH-ITE）容量1トン（9.8 kN），圧縮引張両用で変形量 33 mm/1 000/1 000 kg
- デジタル指示器（共和製 SDT-100 BS）デジタル出力 0.05％±1 数値

（2） 水槽，空気槽および架台の温度

冷却水槽は容量が25 *l* で，外部循環ポンプ付で－50°C まで冷却可能なものであり，温度変動は－10°C で±0.1°C 以下である．一方実験水槽（幅 22×長さ 32×深さ 14 cm）は内部に断熱材を挿入し，ステンレスで内側を防水加工したもので，温度変動は－10°C で±0.1°C 以下である．実験水槽は鋼製の架台の上に設置されているため，水槽内のメタノールが冷却すると水槽を通過した冷気で架台が収縮変形する．このため実験水槽と架台，鋼製壁および荷重計をともに恒温空気槽内に設

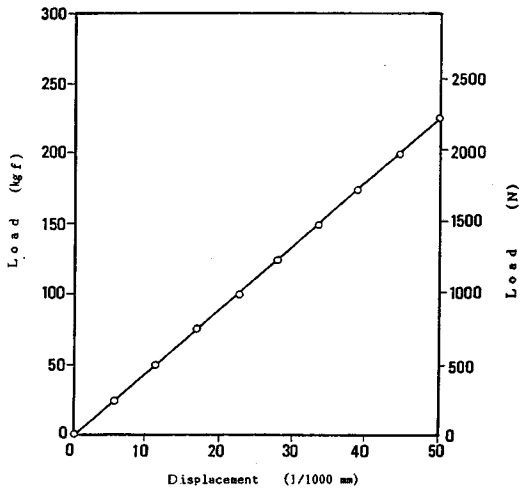


Fig. 2 Relation between Load and Displacement of this equipment at Constant Temperature.

置し，この空気槽の温度を±0.2°C 以下の温度幅に抑え架台等の変形をできるだけ少なくした．このため架台の温度変動による測定荷重の変動の影響は無視できる程度となった．

（3） 供試体の寸法

アスファルト混合物の供試体を熱応力試験にかけるとき，供試体の断面寸法は治具の動きや供試体内部と表面の温度差，混合物の骨材の最大粒径および作製上の理由などから 2.5×2.5 cm とした．一方供試体の長さは荷重だけ計測する場合長さとは無関係と思われるが，将来一端を固定し他端自由の供試体の伸縮量を測定することと，供試体作製上の理由で 26 cm に設定した．

（4） 試験機の剛性および熱収縮

熱応力試験機開発の最も重要な点であり，原則的には温度変化に伴う装置の収縮および荷重増加に伴う試験機の変形の量を最小限に抑えることとした．このため荷重計およびロッド部の変形量はできるだけ小さくなるように配慮し，また装置の熱収縮を小さくするため治具のロッド部はインバール製とした．また両端固定の鋼製壁および直径 4 cm のインバール製ロッドの治具，鋼製架台および荷重計等の荷重変化のみによるこれらの伸縮量は Fig. 2 に示す．この結果，試験機の剛性は著しく小さく抑えることができた．

（5） 供試体の治具

アスファルト混合物の熱応力試験においてその供試体と治具との接着は原則的にはエポキシ樹脂で強度上十分であると思われるが，過去のデータを参考にすると，供試体とインバール製治具を突き合わせ接着した場合混合物の破壊強度が 30 kgf/cm² (2.94 MPa) と力学試験から求めた 40～50 kgf/cm² (3.92～4.90 MPa) より若干小さい値となり[13]，かつ治具付近で破壊する現象が多発したため，今回種々の治具を試作検討し，幅 3 cm，長さ 4 cm，厚さ 0.3 mm の鋼板 4 枚と鋼製端子とを併用し，袋状の治具を新たに開発した．この治具を使用すると破壊箇所が供試体中央部で発生する確率がほぼ半分以上となり，力学試験の結果ともよく対応することが確認されたので，ほぼ実状に合った状態が再現されていると思われる（Photo 1）．

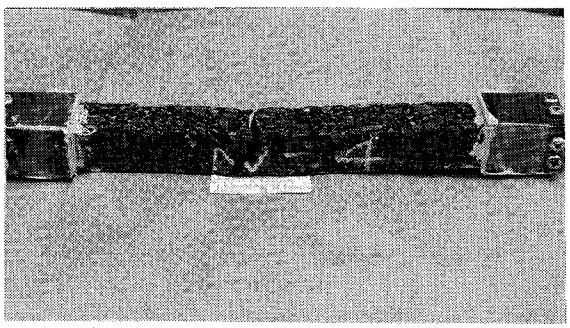


Photo 1　Failed Specimen and End Attachment.

3. 使用材料および供試体作製法

使用したアスファルトの針入度は 90，軟化点は 44°C，針入度指数は−1.2 でありこのときの配合表は Table 1 に示す．供試体作製法は以下のとおりである．加熱した骨材と 2 ポアズ相当の温度のアスファルトをミキサーで 3 分間混合し，これを鋼製型枠内に投入し，混合物の温度が 30 ポアズ温度に達したとき，ローラコンパクターを用いて線圧 18 kgf/cm (176.4 N/cm) で 24 回転圧する．その後トラバース機構を有するホイールトラッキング試験機を用いて温度 45°C，荷重 55.1 kgf (540.0 N)，トラバース移動速度 30 cm/6 分，トラッキング速度 42 回/分の条件で 1 時間供試体にこねかえし作用を与え冷却した後，ダイヤモンドカッターで六面カットして 2.5×2.5×26 cm の大きさに切り出す．

Table 1　Composition of Mixture.

Sieve Opening (mm)	Percent Passing (%)
13	100.0
10	88.4
5	67.0
2.5	48.5
1.2	34.4
0.6	28.5
0.3	17.7
0.15	8.9
0.074	7.2
Binder content	5.8

4. 実験条件

熱応力試験は初期温度 10°C を標準としてこの状態で 30 分養生した後，次の冷却速度で実験を行った．

冷却速度：−1°C/h，−3°C/h，−12°C/h，−30°C/h

このときの空気槽および鋼製架台の温度は 26°C の一定値とした．

5. 実験結果

（1） 過去のデータとの対応

従来の突き合わせ治具と新しい袋状治具とを使用し，初期温度 10°C，冷却速度−30°C/h で密粒度アスファルトコンクリートについて行った実験結果を Fig. 3 に示す．ここで転移点とは応力-温度曲線で曲線から直線へと移行する点と定義する．従来の方法から求めた応力-温度曲線は本方法と低温領域でのその勾配はほぼ同一であるが，従来の方法では応力緩和が期待できる領域から

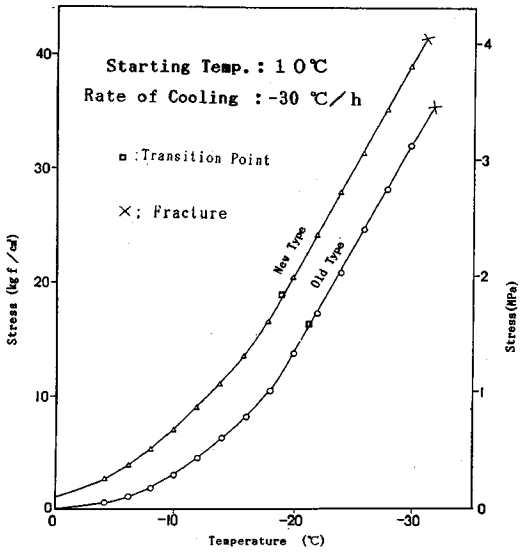


Fig. 3 Relation between Stress and Temperature.

弾性領域と思われる領域へ移行する転移点が若干低く，破壊温度は両者ほぼ同一である．このため破壊強度は従来の方法では 30 kgf/cm² (2.94 MPa) 程度であったが，本方法では 40 kg/cm²(3.92 MPa)程度である．アスファルト混合物の引張強度は脆性領域において 40～50 kgf/cm² (3.92～4.90 MPa) であることから，この破壊強度は引張強度とほぼ同じと考えてよいと思われる．また同じ温度において発生する熱応力は治具部付近の供試体の動きが少ないほど大きくなるので，突き合わせ治具より袋状治具を使用した方がよいと思われる．

(2) 冷却速度の影響

Fig. 4 は初期温度 10°C で冷却速度を－1°C/h から－30°C/h まで変化させた場合の応力と温度との関係を示す．これより一桁冷却速度が変化すると応力-温度曲線は 4°C 移動する．この移動量は曲げ試験における動きとほぼ同一と考えられる．転移点は冷却速度が小さくなるとともに低くなり，一方破壊強度は冷却速度に依存し，遅くなると小さくなる傾向にある．このように応力-温度曲線が冷却速度に依存し，この曲線の位置が変化するのは冷却速度が力学試験におけるひずみ速度に対応しているためと考えられる．

従来の突き合わせ治具を使用した場合，このような冷却速度の影響がほとんどみられなかったので，袋状治具の使用によりアスファルト混合物の熱応力特性の改善が図られたと考えてよいと思われる．

(3) 初期温度の影響

初期温度が 10°C と－15°C の両者について冷却速度－3°C/h で実験した結果は Fig. 5 に示す．低温領域の曲線の勾配は両者よく似ており，初期温度の低い方が破壊温度も低い．また初期温度が 25°C の場合，初期温度が 10°C の場合の応力-温度曲線とほぼ同一の曲線が得られた．

(4) 他の試験法との対応

Fig. 6 は密粒度アスファルトコンクリートについてひずみ速度を 3.8×10^{-2}1/s から 3.8×10^{-7}1/s まで変化させて両端単純支持の中央集中荷重方式の曲げ試験を供試体寸法 3×3×25 cm について実施し，このとき得られる脆化点温度とひずみ速度との関係を示したものである[14]．低速度領域においてもこの両者は片対数紙上でほぼ直線関係にあるといえる．熱応力試験で混合物の線膨張係数の値が 2×10^{-5}1/s と仮定すると[15]破壊温度とひずみ速度との関係は Fig. 6 に示すごとく，脆化点とひずみ速度との関係と似たような関係となる．曲げ試験と引張試験の脆化点温度は両者ほぼ同一と考えられることから[16]，熱応力試験の破壊温度と曲げ試験の脆化点温度とは密接な関係にあるといえよう．

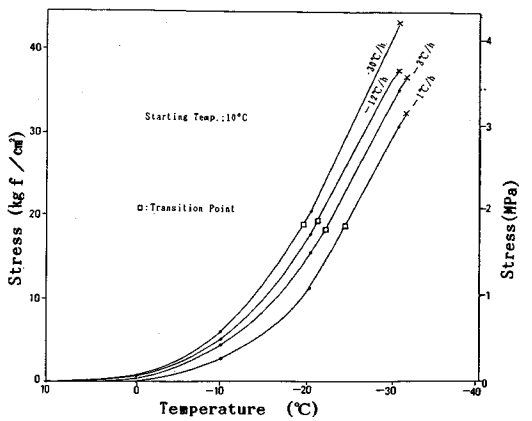


Fig. 4 Effect of Rate of Cooling on Stress～Temperature Relationship.

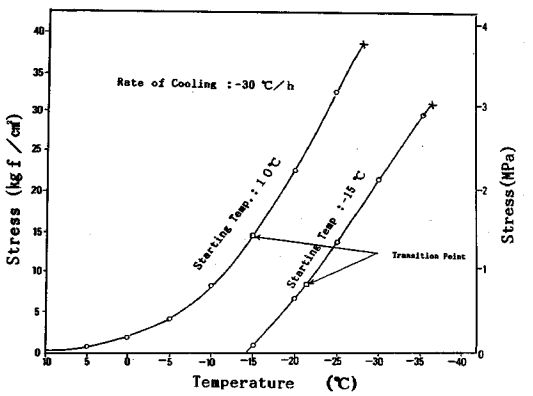


Fig. 5 Effect of Starting Temperature on Stress～Temperature Relationship.

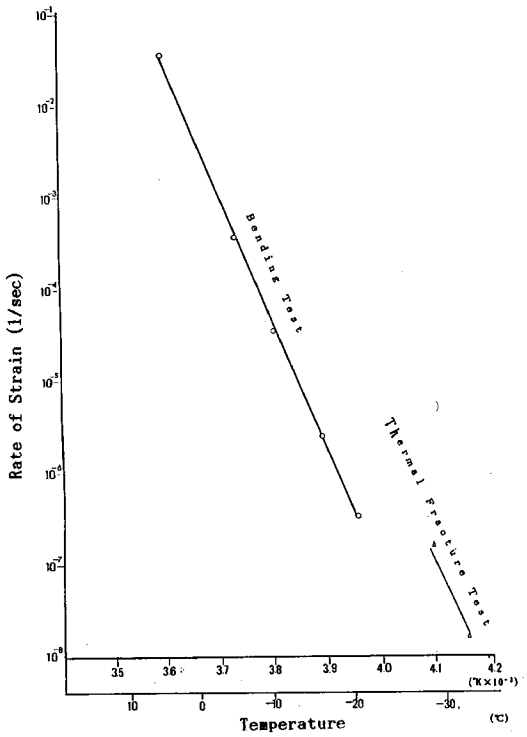


Fig. 6 Relation between Rate of Strain and Temperature.

6. 結　　言

以上で述べたことを要約すると以下のとおりである．

（1） 本試験機は従来のものより実状に合った状態を再現できるようになったと思われる．

（2） 熱応力試験における破壊強度は引張試験における脆性領域のそれとほぼ似た値となる．

（3） 熱応力試験における冷却速度変化に伴う転移点の動きは曲げ試験における脆化点の動きとほぼ同様である．

（4） 冷却速度が遅くなると破壊強度は小さくなる傾向にある．

（5） 初期温度が低くなると破壊温度は低くなる傾向にある．

熱応力試験は今後現地の舗装材料について亀裂の有無との関係について数多くの実験を行うとともに，舗装体内部の温度と舗装材料との対応についてさらに詳細に検討する必要がある．また低温亀裂と舗装構造との関係等についても検討しているのでいずれ発表する予定である．この研究を遂行するにあたり電気工学科 深井一郎教授はじめ上島　壮，高橋　将各氏の貴重なご助言をいただいた．ここに感謝の意を表する．

参 考 文 献

1) Rader, L. F. : Investigation of the Physical Properties of Asphaltic Mixtures at Low Temperatures, Proc. ASTM, 35, part Ⅱ, pp. 559～580, 1935.
2) Canadian Good Roads Association Ad Hoc Committee on Low Temperature Behavior of Flexible Pavements; Low Temperature Pavement Cracking in Canada the Problem and its Treatment, Convention Proc. Canadian Good Roads Association, pp. 69～96, 1970.
3) Haas, R. C. G. : A Method for Designing Asphalt Pavements to Minimize Low-Temperature Shrinkage Cracking, The Asphalt Institute Research Report 73-1 (RR-73-1), pp. 69～96, Jan. 1973.
4) Young, F. D., Deme, I., Burgess, R. A. and Kopvillem, O. : Ste. Anne Test Road Construction Summary and Performance After Two Years Service, Proc. of 14th Annual Conference of C. T. A. A., pp. 50～109, 1969.
5) Monismith, C. L. et al. : Symposium Non-Traffic Load Associated Cracking of Asphalt Pavement, Proc. A. A. P. T. Vol. 35, pp. 239～357, 1966.
6) Arand, W. : Entwicklungstendenzen in der Strassenbautechnik, Strasse und Autobahn, H 11/1982, pp. 431～437.
7) Haas, R. C. G. and Anderson, K. O. : A Design Subsystem for Response of Flexible Pavements at Low Temperatures, PAAPT, Vol. 38, pp. 179～223, 1969.
8) 森吉昭博・菅原照雄：アスファルト混合物の破壊に関する研究（第5報)—主として一定温度勾配の熱応力試験の力学性状について—，第34回土木学会年次学術講演会講演概要集，第5部，pp. 267～268.
9) Monismith, C. L., Secor, G. A. and Secor, K. E. : Temperature induced Stresses and Deformation in Asphalt Concrete, PAAPT, Vol. 34, pp. 248～284, 1965.
10) 重松和男・楢原　健・内藤　匠：アスファルトフェーシング工法の開発研究（その4）フィルダム表面アスファルト遮水壁の温度応力について，鹿島建設技術研究所年報，第21号，pp. 27～42.
11) 9) ibid.
12) 10) ibid.
13) 森吉昭博・野坂隆一：アスファルト合材の破壊強さに関する研究—特に引張強度について—，第26回土木学会年次学術講演会講演概要集，第5部，pp. 313～314.
14) 菅原照雄・上島　壮・森吉昭博：アスファルト混合物の低温領域における破壊時のレオロジー挙動，土木学会論文報告集，第234号，pp. 131～141，1975年2月.
15) National Cooperative Highway Research Program Report 39 : Factors involved in the Design of Asphaltic Pavement Surfaces. Highway Research Board, pp. 40, 1967.
16) 13) ibid.

(1987. 1. 21・受付)