

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3802号

土 木 研 究 所 資 料

アスファルト混合物の新しい
耐流動性評価手法の開発

平成13年 1 月

国土交通省土木研究所
道路部舗装研究室

Copyright©(2001) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

アスファルト混合物の新しい 耐流動性評価手法の開発

舗装研究室	室 長	吉 田	武
元 室 長	池 田	拓 哉 ¹⁾	
主任研究員	久 保	和 幸	
主任研究員	新 田	弘 之	
研 究 員	小森谷	一 志	
	梁	真 二	
元 交流研究員	坂 本	寿 信 ²⁾	
元 交流研究員	柄 澤	治 ³⁾	
元 交流研究員	江 向	俊 文 ⁴⁾	
元 交流研究員	市 岡	孝 夫 ⁵⁾	
交流研究員	越	健太郎	

要 旨

アスファルト舗装の長寿命化・高耐久化には、耐流動性の向上が重要であり、その評価試験として、ホイールトラッキング試験が広く普及している。しかし、最近ではホイールトラッキング試験の評価限界を超える性能のアスファルト混合物が開発されるようになり、これらの高耐流動性混合物も評価可能となる試験方法が必要となっている。

本資料は、新しい耐流動性評価手法として、主に米国SHRPで開発されたせん断試験機SST (SUPERPAVE Shear Tester) を利用した方法の検討結果をまとめるとともに、新しい試験方法の提案を行うものである。

キーワード：SST, RSCH 試験, ホイールトラッキング試験, 耐流動性評価, SHRP ジャイレトリコンパクタ, SDR 値, SHRP

- 1) 在職期間 (平成7年11月～平成11年7月)
- 2) 交流研究員在職期間 (平成8年4月～平成9年3月)
- 3) 交流研究員在職期間 (平成9年10月～平成10年3月)
- 4) 交流研究員在職期間 (平成10年4月～平成11年3月)
- 5) 交流研究員在職期間 (平成11年4月～平成12年3月)

はじめに

わが国において、アスファルト混合物の耐流動性評価は、一般的にホイールトラッキング（以下、WT）試験で行われてきた。しかし、この WT 試験には評価限界があり、高耐流動性混合物の評価は困難であった。近年、交通量の増大や車両の大型化などにより、耐流動性のさらなる向上が求められており、この評価限界以上の耐流動性混合物の開発も行われるようになっていく。このため、WT 試験の限界以上の高耐流動性混合物が評価可能な評価方法の開発が必要とされている。

そこで、土木研究所ではアスファルト混合物の新しい耐流動性評価手法の開発を目的として検討を行ってきた。本報告書は、WT 試験の見直しによる評価限界向上の検討や、米国 Strategic Highway Research Program(以下、SHRP)によって提案された SUPERPAVE Shear Tester(以下、SST)試験機を使った評価方法の検討、SST 試験機を改良した試験機による評価方法の検討などの結果をとりまとめたものである。さらに検討結果をもとにした新しい耐流動性評価試験方法（案）も併せて掲載している。これらの検討結果が今後の試験・研究などに役立てば幸いである。

目 次

はじめに

1. 背景と目的	1
1. 1 背景	1
1. 2 目的	1
1. 3 構成	2
2. WT 試験機の特 性	3
2. 1 概要	3
2. 2 WT 試験の問題点	3
2. 3 WT 試験機の適用限界に関する検討	5
2. 4 WT 試験機を使った新しい評価	7
2. 5 まとめ	8
3. 新しい試験方法の選定	9
3. 1 概要	9
3. 2 SST 試験装置	9
3. 3 SST 試験装置の各種試験モード	12
3. 4 SST 試験装置の各種試験モードと WT 試験結果の関係	22
3. 5 まとめ	35
4. SST 試験装置を用いた耐流動性評価	36
4. 1 概要	36
4. 2 供試体作製方法の検討	36
4. 3 温度調整方法の検討	40
4. 4 RSCH 試験モードを用いた耐流動性評価	49
4. 5 まとめ	60
5. RSCH 試験専用機を用いた耐流動性評価	62
5. 1 概要	62
5. 2 RSCH 試験専用機の概要	62
5. 3 供試体に関する検討	64
5. 4 試験精度	68
5. 5 基本的性能の確認	69
5. 6 耐流動性評価	72
5. 7 供用性評価	78
5. 8 まとめ	84
6. 結論	86
おわりに	87
参考文献	88
関連発表論文	88
資料 「RSCH 試験機によるアスファルト混合物の耐流動性評価試験方法 (案)」	

1. 背景と目的

1. 1 背景

近年、交通量の増大や車両の大型化によって、アスファルト舗装の破壊の大多数はわだち掘れが原因となっている。そこで、この流動対策として従来のストレートアスファルトに代わり、改質アスファルトや、さらに最近では高粘度アスファルトがアスファルト舗装に使用されている。

これらのアスファルト混合物の耐流動性評価としては、WT 試験が代表的である。WT 試験はその機構上、舗装のわだち掘れをシミュレートしており、今まで簡易に舗装を評価するのに用いられてきた。しかし、近年の舗装の耐流動対策により、従来 WT 試験の限界値と考えられてきた動的安定度(以下、DS ; Dynamic Stability)が 6,000 回/mm 以上の混合物が多く使用されるようになり、WT 試験ではこれらの混合物を正確に評価することが難しくなってきた。

このようなことから、従来の WT 試験に代わる、高耐流動性の混合物評価試験方法の開発が求められている。

1. 2 目的

本研究は、新しい耐流動性評価試験方法の開発を目的としている。新しい評価方法としては、アメリカ合衆国で 1987 年から 5 年間にわたって実施された SHRP 計画において提案されたせん断試験機、すなわち SST[®]を利用した方法を中心に検討している。この SST は6種類のせん断試験が可能であり、試験モードを選択することにより、様々な混合物性状が測定可能なものである。

SST は、日本では測定例がなかったため、本報告書においてはこの試験機の基礎特性から検討しており、様々な試験モードの中から耐流動性評価に向けた試験モードを選択し、検討を進め、試験機の改良まで行っている。

1. 3 構成

本報告書は図－1.1 に示す構成となっている。

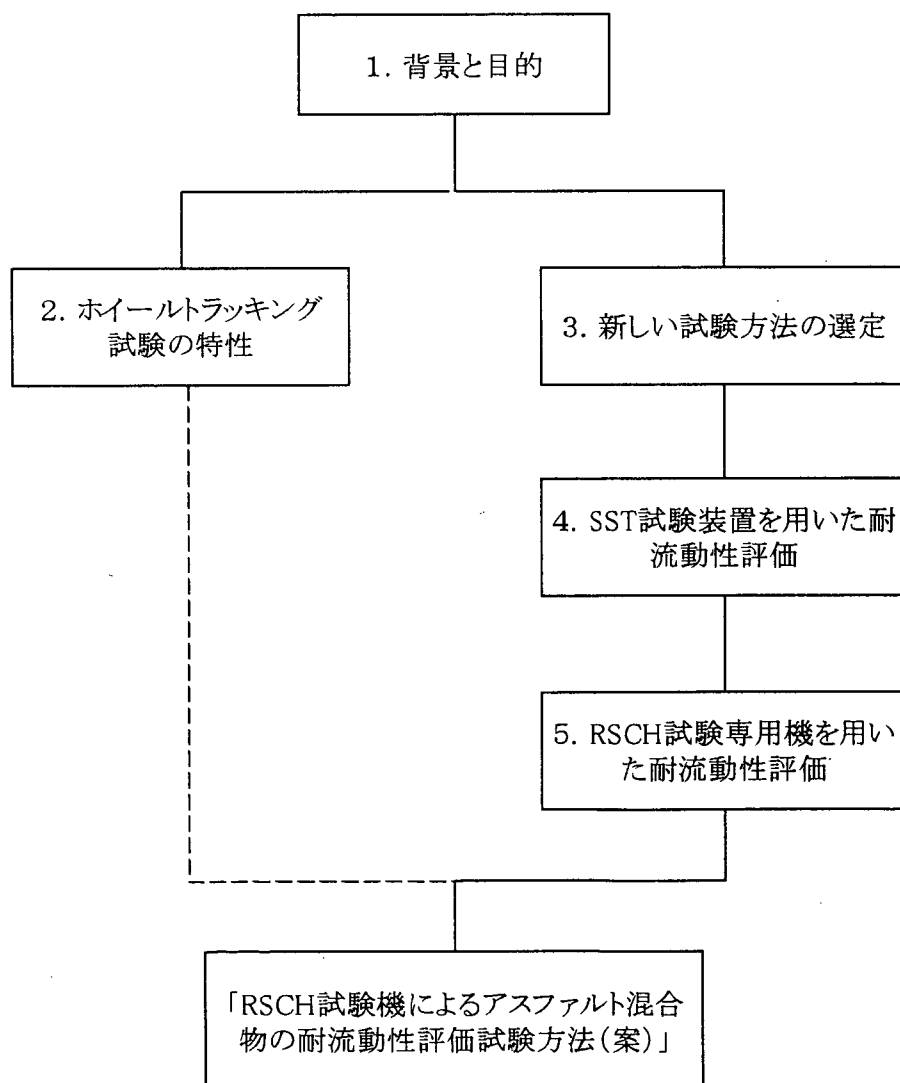
2.では WT 試験の検討を行い、適用限界の把握と、現状の試験方法のままで適用限界を向上させる方法について検討した。

3.では新しい試験方法として、SST 試験装置について基本的な調査を行い、耐流動性評価に可能性のある試験モードを選択した。

4.では3.で選定した試験モードにより、耐流動性評価を実験的に検討し、最も有効な試験モードにより評価を行った。

5.では試験モードの中で最も有効であった Repeated Shear Test at Constant Height(以下、RSCH)試験モード専用の試験機を作製して、さらに検討を進めた。

本検討をとりまとめ、最終的に「RSCH 試験機によるアスファルト混合物の耐流動性評価試験方法(案)」を作成し、巻末に掲載した。



図－1.1 本報告書の構成

2. WT 試験機の特徴

2. 1 概 要

現在のアスファルト混合物の耐流動評価試験としては、WT 試験が広く普及している。しかし、測定精度および評価方法等の問題から高耐流動性混合物の評価に対しては有効でないとの指摘も多い。そこで本検討では、WT 試験の適用限界の再確認を行うとともに DS に代わる新たな指標を提案することを試みた。

2. 2 WT 試験の問題点

WT 試験は、以下のような問題点があり、高耐流動性混合物の評価が難しいとされている。舗装試験法便覧においても DS の適用上の限界値を 6,000 回/mm と定めている。

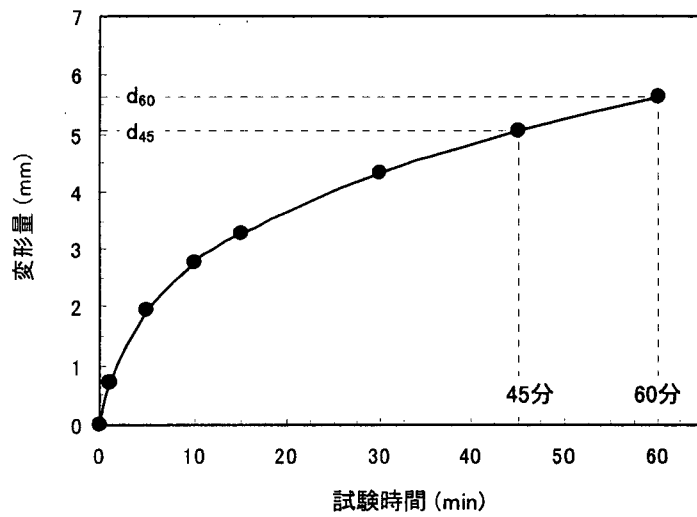
- ① WT 試験は、実際の走行車両のタイヤに比較して幅の狭いソリッドタイヤを用いており、タイヤの接地面積も非常に小さいことから、実路における供用状態と異なる。
- ② WT 試験では、図-2.1に示すような変位が起こり、DS は (1) 式によって算出される。高耐流動性混合物の場合には45分から60分の15分間の変形量($d_{60} - d_{45}$)が微小となるため、変形量の読み取りが± 0.01mm ずれただけでも図-2.2に示すように DS の変動幅が大きくなってしまふ。

$$DS = \frac{60-45}{d_{60} - d_{45}} \times 42 \quad \text{-----} \quad (1)$$

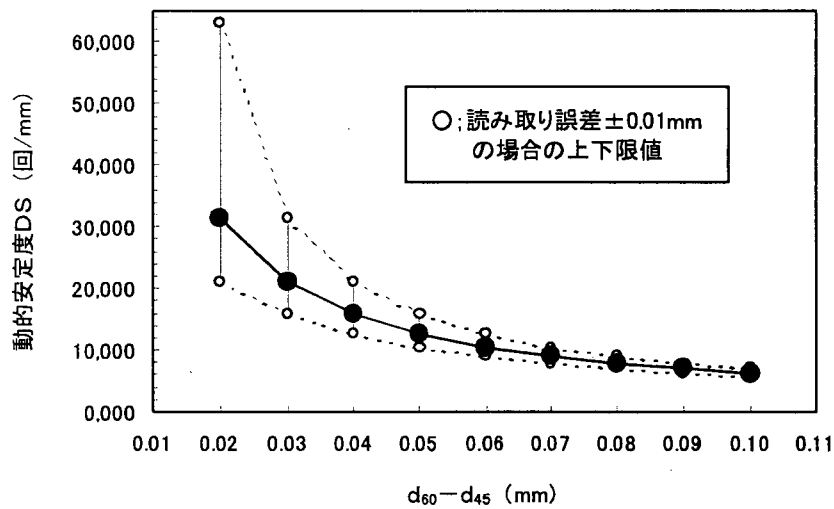
ここに、DS：動的安定度 (回/mm)

d_{45} ：45分における変形量 (mm)

d_{60} ：60分における変形量 (mm)



図－2.1 WT試験の評価方法

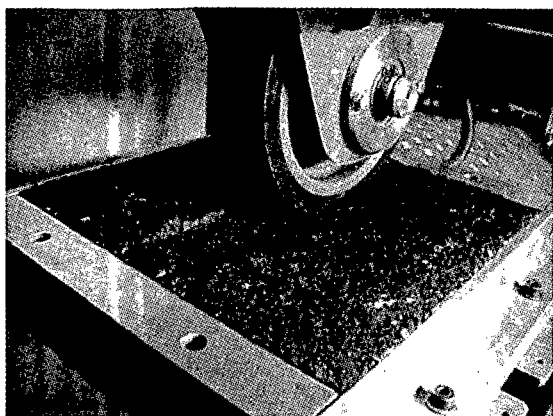


図－2.2 ($d_{60} - d_{45}$)とDSの変動幅の関係

2. 3 WT 試験機の適用限界に関する検討

2. 3. 1 試験方法

WT 試験は、舗装試験法便覧³⁾に準拠して行った。写真－2.1 に WT 試験機の試験状況を示す。また表－2.1 に試験条件を示す。



写真－2.1 WT 試験状況

表－2.1 WT 試験条件

項 目	条 件
上載荷重 (N)	686 ± 10
試験温度 (°C)	60 ± 0.5
走行回数 (回)	2520
走行方式	クランク式
走行速度 (回/min)	42 ± 1
走行距離 (mm)	230 ± 10
試験温度 (°C)	60 ± 0.5

2. 3. 2 試験要因と水準

アスファルト混合物の耐流動性を変化させる要因として、アスファルト量、締固め度およびアスファルトの粘弾性を選定し、これら各要因に対する DS の変化を調べた。表－2.2 に WT 試験の試験要因と水準を示す。

表－2.2 試験要因と水準

要 因	水 準	内 訳
アスファルト量 (%)	5	4.5, 5.0, 5.5(OAC), 6.0, 6.5
締 固 め 度 (%)	6	96, 97, 98, 99, 100, 101
アスファルトの粘弾特性 [改質材量 (%)]	7	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12

2. 3. 3 試験結果

(1) アスファルト量

アスファルト量を $OAC \pm 0, 0.5, 1.0\%$ に変化させた場合の WT 試験結果を図- 2.3 に示す。アスファルト混合物中のアスファルト量の減少にともなって DS は大きくなる傾向があるが、 $DS = 6,000$ 回/mm 付近を境界として曲線の傾きが変化し、バラツキも大きくなっていることがわかる。

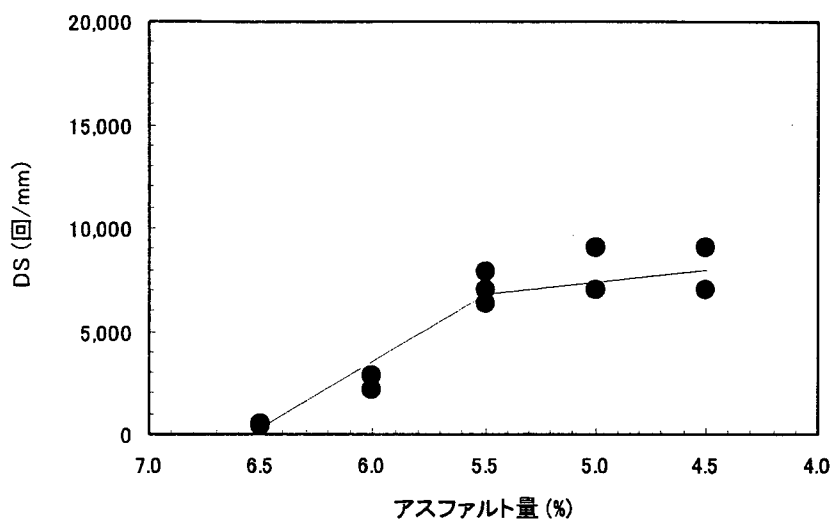


図- 2.3 アスファルト量と DS の関係

(2) 締固め度

図- 2.4 は、締固め度を変化させた場合の DS の変化を示したものである。図から、締固め度の増加にともなって DS が増加することがわかる。

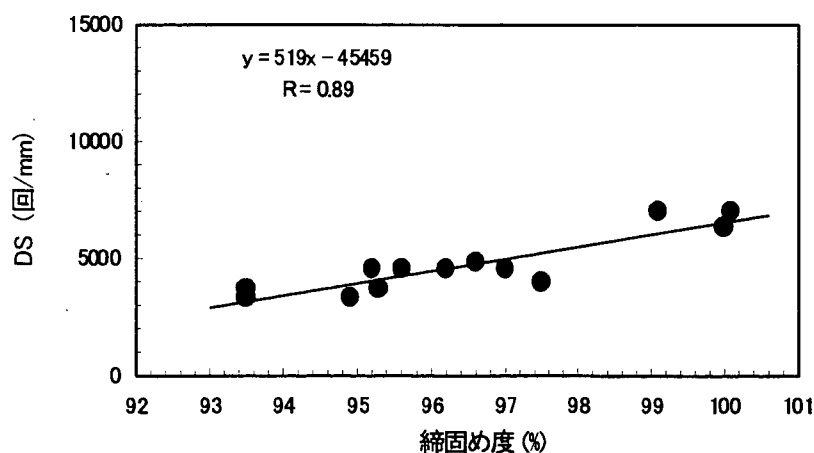
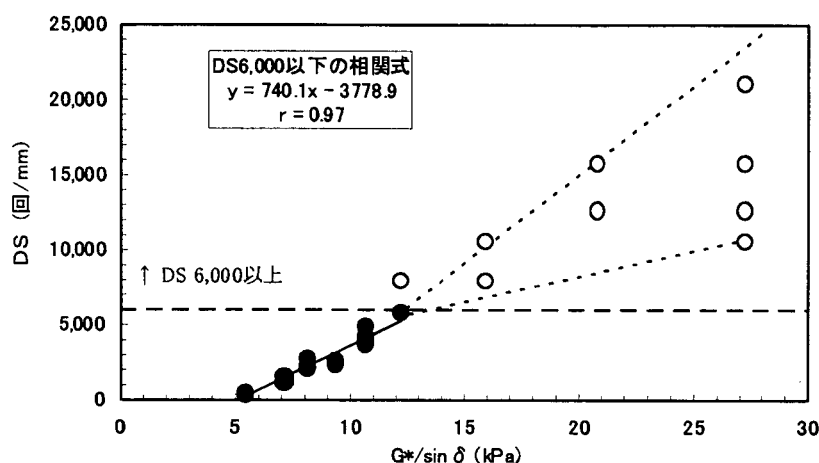


図- 2.4 締固め度と DS の関係

(3) 改質材添加量

改質材の添加量を 0 ～ 12% まで 2% ごとに変化させることにより作製した粘弾特性の異なるアスファルトで WT 試験を実施した結果を図－ 2.5 に示す。アスファルトの粘弾性は Dynamic Shear Rheometer (DSR) 試験³⁾で測定した弾性率 $G^*/\sin \delta$ を用いた。なお特性値は複素弾性率 G^* 、位相角 δ である。 $G^*/\sin \delta$ が高くなるにしたがって、DS は大きくなることがわかる。しかし、DS = 6,000 回/mm 付近を境に徐々にバラツキの範囲が拡大していき、有意性を示さなくなることがわかる。



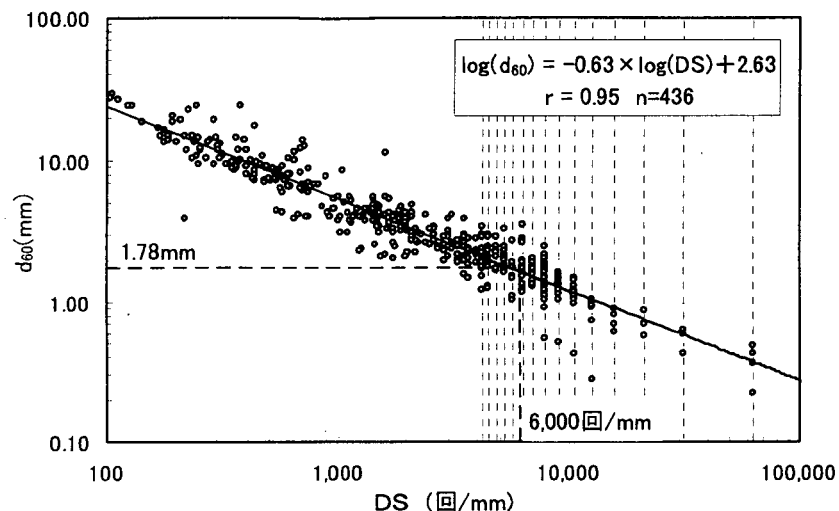
図－ 2.5 アスファルトの粘弾性と DS の関係

2. 4 WT 試験機を使った新しい評価

図－ 2.6 は、今回行った試験結果に過去の研究において行った試験結果を含めて DS と d_{60} の関係について検討した結果である。この試験結果は、アスファルト材料、粒度などは様々なものが含まれており現在あるアスファルト混合物種類をほぼ網羅している。図から以下のことがいえる。

- ① DS と d_{60} との間には、高い相関性がある。
- ② DS の値が大きくなるにしたがって DS のとりうる値の間隔が広がっていく。

このようなことから、WT 試験での評価限界である DS=6,000 回/mm 以上となる混合物に対しては、 d_{60} による評価の方が有効となる可能性がある。



図－2.6 DS と d_{60} の関係

2. 5 まとめ

(1) DS の適用限界について

アスファルトの粘弾性と DS について検討した結果、DS が 6000 を越えるとデータのバラツキが徐々に拡大していき有意性を示せないことから、DS = 6,000 回/mm 以上の高耐流動性アスファルト混合物に対しては、適用が難しいといえる。

(2) 新しい評価手法について

DS と d_{60} の間に高い相関関係が得られたことから、試験終了時点の変形量である d_{60} を用いることによっても、耐流動性が評価できる可能性が見いだされた。本検討結果には、グースアスファルトや高耐流動性アスファルト混合物など多くの種類の混合物が網羅されているため、混合物種類によらず高い相関があることが確認できた。

今後は、WT 試験機の機種の影響を確認する必要があると考えられるが、本成果により DS が 6,000 以上となる混合物に対しては d_{60} の値も併記することで、現状を簡便に改善できる可能性が高まった。

3. 新しい試験方法の選定

3. 1 概要

2章で述べた通り、WT 試験には評価における限界があり、高耐流動性混合物の評価には新たな評価法が必要である。一方、米国で行われた SHRP 計画により、アスファルト混合物の新しい試験法がいくつか提案されており、この中で耐流動性の評価に適したものがあると考えられた。そこで本章では、SHRP の方法の中から6つの試験が行える SST に注目し、その試験の特性の調査と耐流動性評価の可能性を検討した。

3. 2 SST 試験装置

米国 SHRP の研究成果の1つとして SUPERPAVE という名称の新しいアスファルト混合物の配合設計方法が提案されている。この新しい配合設計を実施するために開発された SST は、舗装体に荷重がかかった時の舗装体の挙動を6つの試験モードによってシミュレートできる試験機であり、また、非常に精密な機械で微小変位も読み取ることのできる機械である。

ここでは SST の概略と主な特徴を述べ、さらに SST で実施できる6つの試験について説明する。

3. 2. 1 試験装置の概要

試験装置は図-3.1に示すような装置で構成されている。また、以下に各装置の概略を記す。

(1) 操作部

操作部はコンピュータ本体、メインアンプ、環境装置アンプ、モニタ、プリンタで構成されており、試験装置の全てを統括、制御している。

(2) 試験チャンバ

供試体を設置し実験を実施する装置である。油圧システムにより圧縮、せん断荷重がかけられる。また、ストレージタンク 1、2 で蓄えた圧縮空気により、供試体側圧等に拘束圧をかけることができる。

(3) 環境チャンバ

試験装置内を設定温度にするため、空気を冷暖房して温度調整をする装置である。

(4) 除湿器

試験装置内の湿度を調整する装置である。

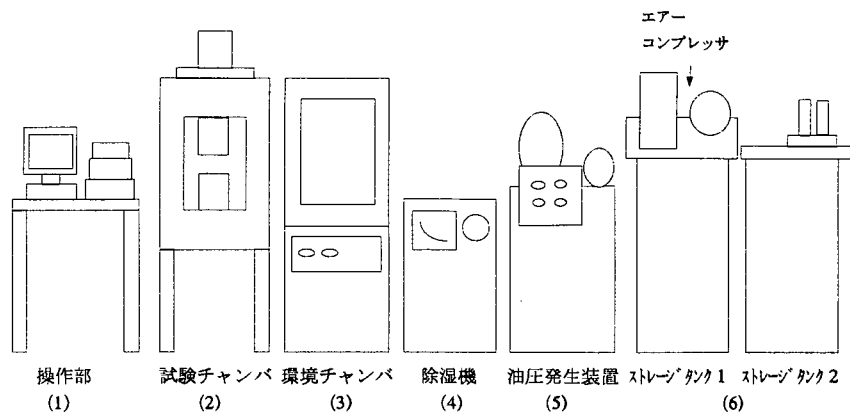
(5) 油圧発生装置

油圧の発生源である。ここで発生した油圧を制御し供試体に圧縮、せん断荷重をかける。

(6) エアーコンプレッサ、ストレージタンク 1、ストレージタンク 2

エアーコンプレッサによりストレージタンク 1、2 に圧縮空気を蓄え、円筒供試体に対

エアーコンプレッサによりストレージタンク 1、2 に圧縮空気を蓄え、円筒供試体に対する側圧等の安定した拘束圧を供給する。



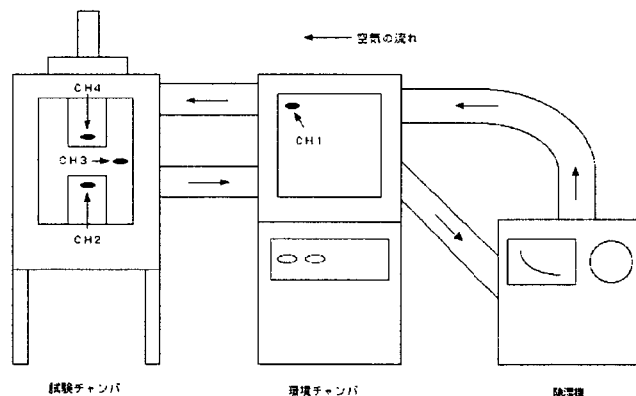
図－ 3.1 SST 試験装置の簡略図

3. 2. 2 空気循環システム

試験装置内の空気温度設定を行う空気循環システムを図－ 3.2 に示す。

空気循環経路としては、以下のようになっている。

環境チャンバ → 試験チャンバ → 環境チャンバ → 除湿機 → 環境チャンバ



図－ 3.2 空気循環システム

3. 2. 3 油圧システム

供試体に軸荷重、せん断荷重を与える油圧システムを図- 3.3 に示す。

油圧循環経路としては、以下のようにになっている。

油圧発生装置 → 油圧調整装置 → アクチュエータ → 油圧調整装置 → 油圧発生装置

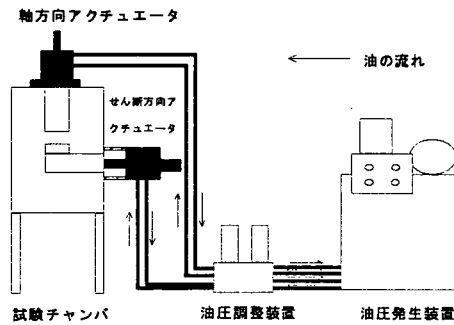


図- 3.3 油圧システム

3. 2. 4 SST 試験装置の主な能力

- (1) 試験温度の制御精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- (2) 試験温度の温度範囲 $-10 \sim 80^{\circ}\text{C}$
- (3) 鉛直荷重の範囲 $0 \sim 32\text{kN}$
- (4) 水平荷重の範囲 $0 \sim 32\text{kN}$
- (5) 拘束圧（空気圧）の範囲 $0 \sim 830\text{kPa}$
- (6) 鉛直方向の载荷ストローク $\pm 50\text{mm}$
- (7) 水平方向の载荷ストローク $\pm 50\text{mm}$
- (8) 供試体取付け変位計（フルスケール） . . . $\pm 0.05 \sim 0.5\text{mm}$ （周長変位計： $\pm 0.05 \sim 5\text{mm}$ ）
- (9) 荷重の測定精度は $\pm 0.1\%$ 以内
- (10) 荷重の分解能は $\pm 0.05\%$ 以内
- (11) 供試体取付け変位計の測定精度は、フルスケールの $\pm 0.1\%$ 以内
- (12) 供試体取付け変位計の分解能は、フルスケールの $\pm 0.05\%$ 以内

3. 2. 5 試験装置の主な特性

- (1) SST は、集中制御システムを採用している。この集中制御システムは、コンピュータ、ソフトウェア、信号調整電気系統から構成され、MS-DOS 6.0/Windows 3.1™ もしくは、最新版上で動作するものである。
- (2) SST では、非常に小さい変位を読み取る変位計を使用し、荷重も油圧装置により供給されており、実験時はコンピュータによって制御できるようになっている。従って、供試体の微小変位量を読み取ることができる。また、供試体を非破壊的な状態となりうる微小なひずみまたは、微小な荷重で実験をすることが可能である。
- (3) SST は、載荷した時の荷重値や拘束圧、供試体の変位量を 0.1 秒ごとにコンピュータによって読み取り、供試体の変形量や供試体にかかる荷重を調整、制御することができるフィードバック機能を有している。
- (4) 温度制御も $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内という高い精度を有しており、制御範囲も $-10 \sim 80^{\circ}\text{C}$ までと、実際の現場における温度状況を作り出すことが可能である。

3. 3 SST 試験装置の各種試験モード

3. 3. 1 SST における各試験の概要

SST では 6 種類の実験が実施できる。以下にその概要を説明する。

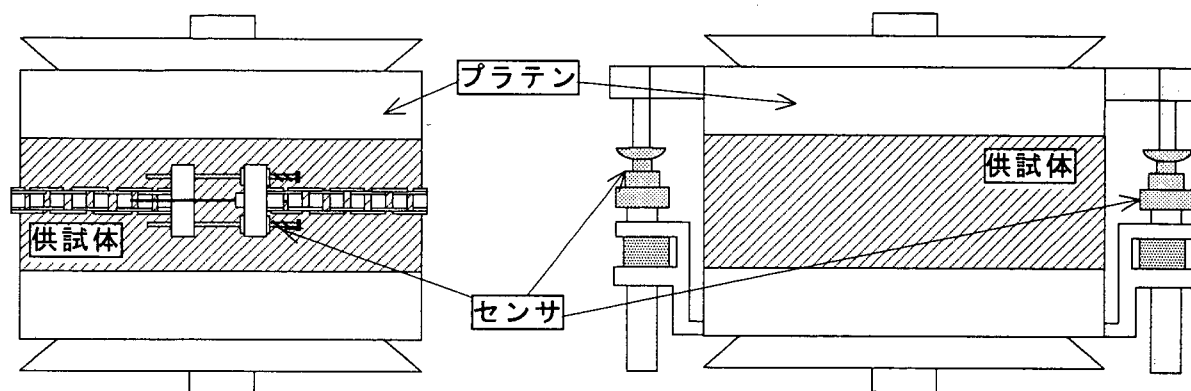
(1) Volumetric Strain Test (容積ひずみ試験、略記：VS)

①この試験は、一定の拘束圧を供試体に加え、そのときの供試体の周長ひずみや軸方向ひずみを計測する試験である。

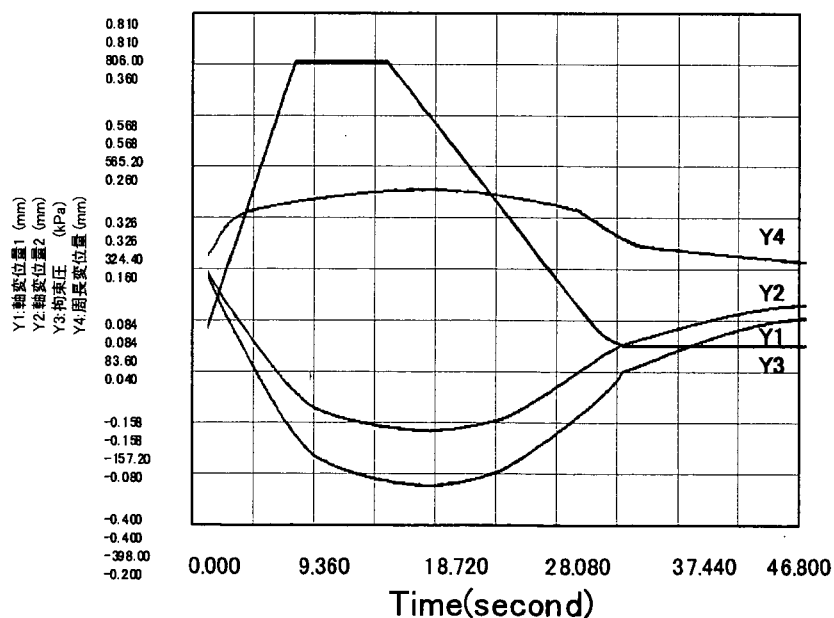
②この試験からの結果は、SUPERPAVE SOFTWARE によって解析される非線形弾性特性、Vermeer 塑性特性⁴⁾⁵⁾として用いられる。

③出力されるデータ

ϕ : 拘束圧、 δ_{v1} : 軸変位量 1、 δ_{v2} : 軸変位量 2、 δ_r : 周長変位量



図－ 3.4 VS Test 供試体



図－ 3.5 出力データ例 (VS Test)

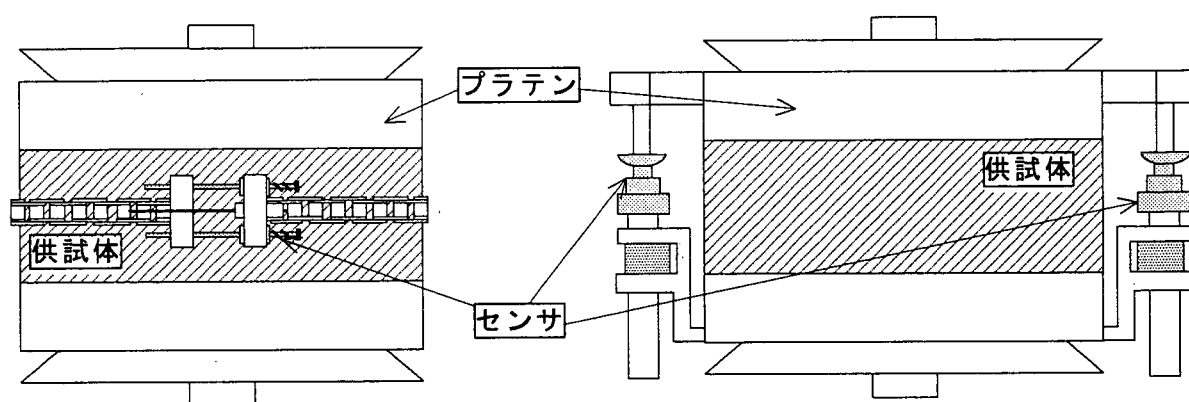
(2) Uniaxial Strain Test (一軸ひずみ試験、略記：US)

①この試験は、一定の軸応力を供試体にかけて行うもので、軸応力をかけると供試体は周長を増加させようとするので、周長を一定にするような拘束圧をかけながら行う試験である。

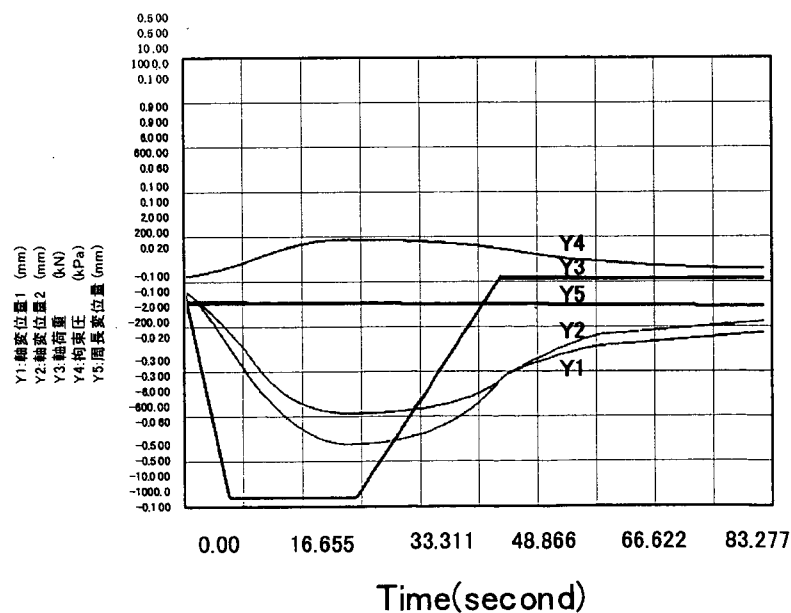
②この試験からの結果は、SUPERPAVE SOFTWARE によって解析される非線形弾性特性、Vermeer 塑性特性^{4) 5)}として用いられる。

③出力されるデータ

ϕ : 拘束圧、 P_v : 軸荷重、 δ_{v1} : 軸変位量 1、 δ_{v2} : 軸変位量 2、 δ_r : 周長変位量



図－ 3.6 US Test 供試体



図－ 3.7 出力データ例 (US Test)

(3) Simple Shear Test at Constant Height (一定高さでの単純せん断試験、略記：SSCH)

①この試験は、一定のせん断応力を供試体に 1 回かけて試験を行うもので、せん断応力を供試体かけると供試体は軸方向に変形するので、軸応力をかけて供試体の高さを一定に保つようにする試験である。

②この試験からの結果は、SUPERPAVE SOFTWARE によって解析される非線形弾性特性、Vermeer 塑性特性^{4) 5)}として用いられる。

③出力されるデータ

P_v : 軸荷重、 P_h : せん断荷重、 δ_v : 軸変位量、 δ_h : せん断変位量

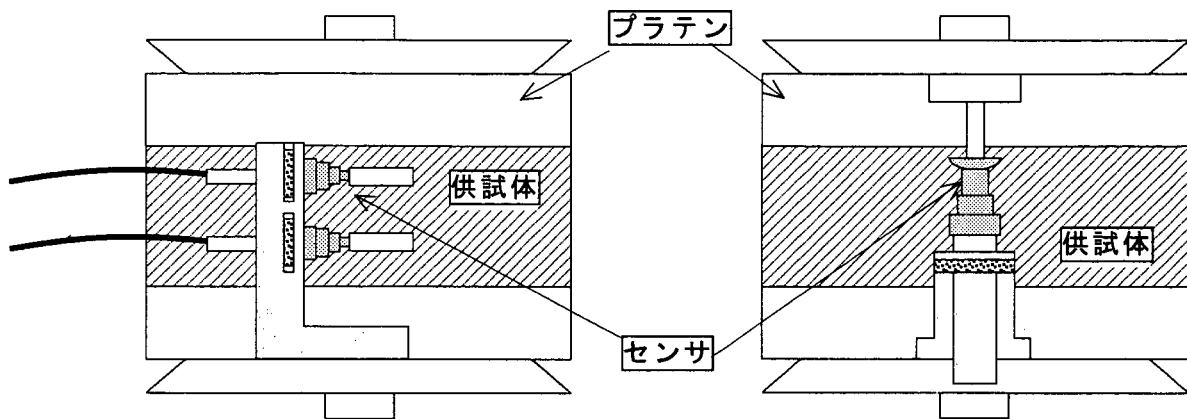


図- 3.8 SSCH 供試体

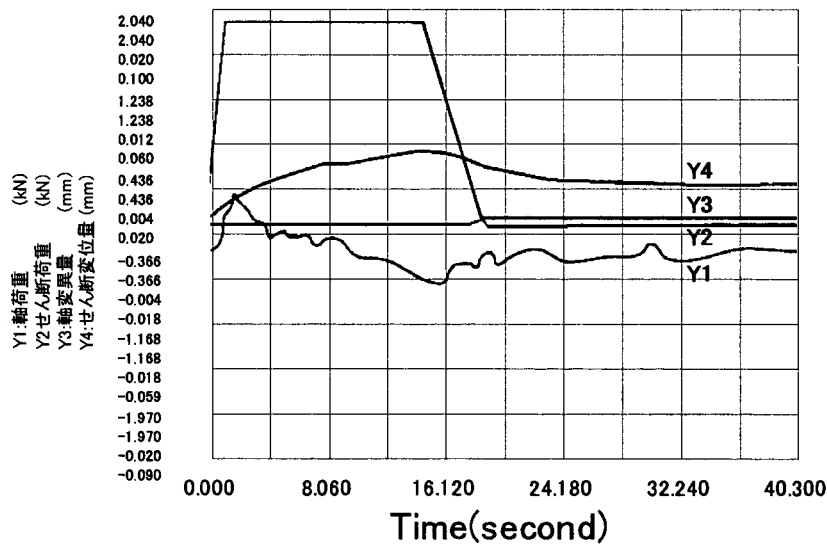


図- 3.9 出力データ例 (SSCH)

(4) Frequency Sweep Test at Constant Height (一定高さでの周波数掃引試験、略記：FSCH)

①この試験は、サイン波の繰返しせん断荷重を供試体に $\pm 0.005\%$ のひずみを生じるように制御してかけるもので、高さを一定にするように垂直荷重をかけながら行う試験である。

②サイクル数とデータのサンプル数等について表－3.1 に示す。

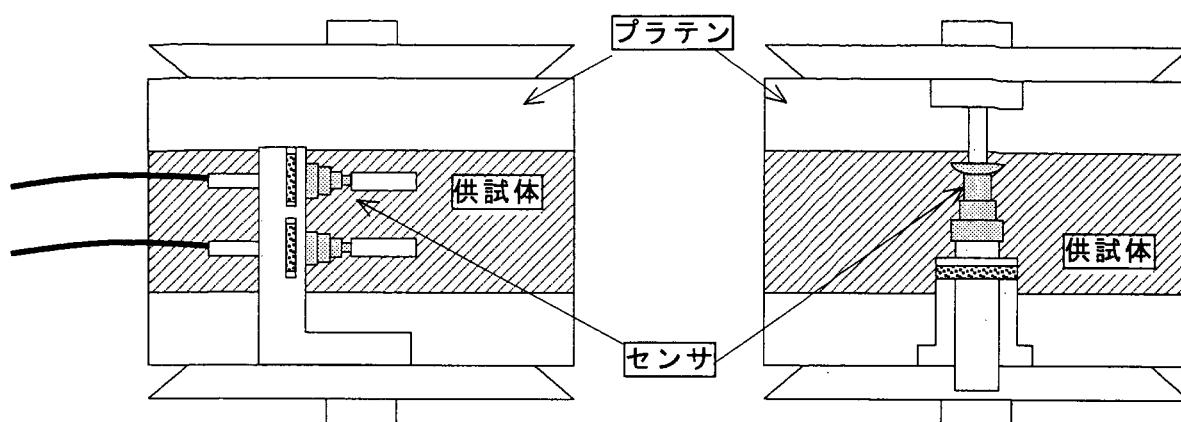
③この試験からの結果は、SUPERPAVE SOFTWARE によって解析される粘弾性特性、破壊特性として用いられる。

④出力されるデータ

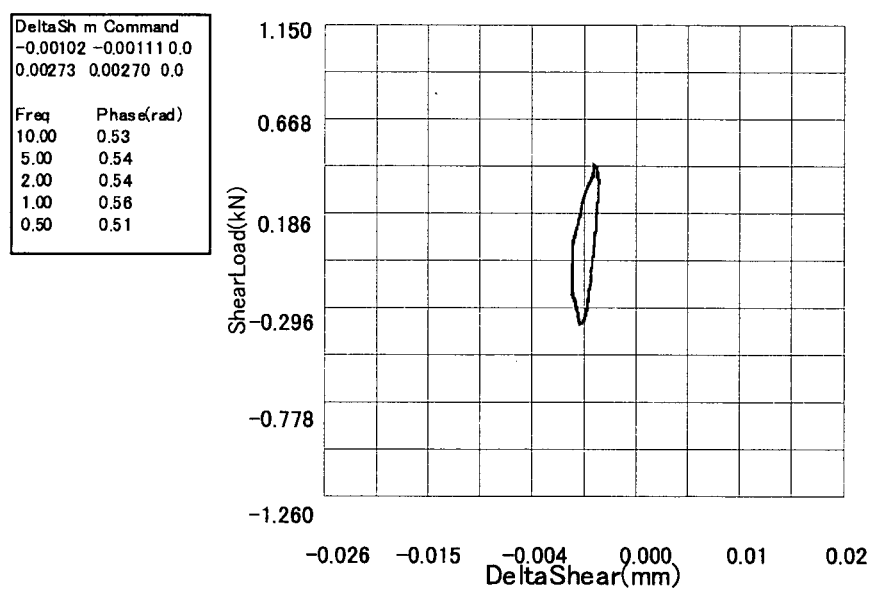
P_v : 軸荷重、 P_h : せん断荷重、 δ_v : 軸変位量、 δ_h : せん断変位量、 G^* : 複素弾性率、 G' : 残留弾性率、 G'' : 損失弾性率、 ϕ : 位相角

表－3.1 サイクル数とデータのサンプル数

周波数(Hz)	総サイクル数	サンプル サイクル数	1 サイクル中 のサンプル数	1 秒間の サンプル数
10	100	2	128	1280.0
5	100	2	128	640.0
2	20	2	128	256.0
1	20	2	128	128.0
0.5	7	2	128	64.0
0.2	7	2	128	25.6
0.1	7	2	128	12.8
0.05	4	2	128	6.4
0.02	4	2	128	2.6
0.01	4	2	128	1.3



図－ 3.10 FSCH 供試体



図－ 3.11 出力データ例 (FSCH)

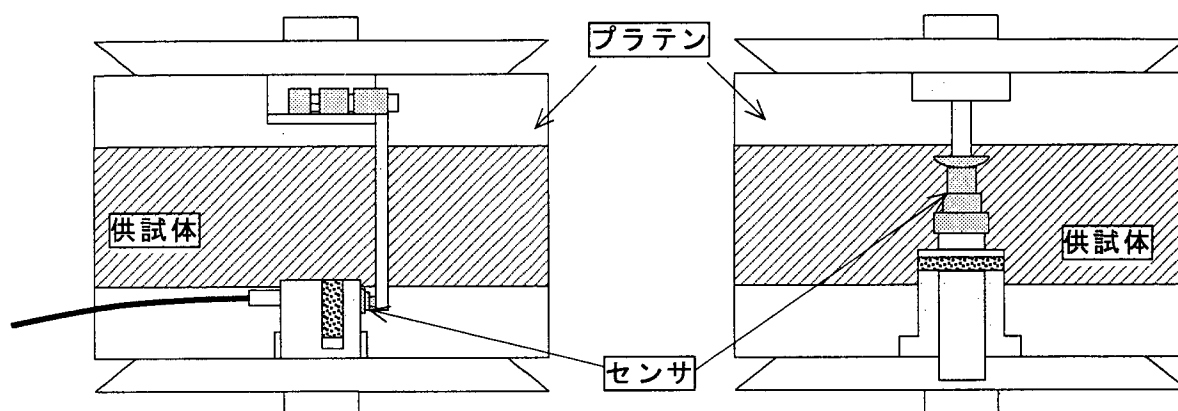
(5) Repeated Shear Test at Constant Stress Ratio (一定応力比での繰返しせん断試験 略記: RSCSR)

①この試験は、軸応力とせん断応力の比を 1.2 ～ 1.5 の範囲で一定に保ち、ハーバーサイン波の繰返しのせん断荷重をかける試験である。試験は、5000 回もしくは、そのせん断ひずみが 5 % に達するまで行われる。

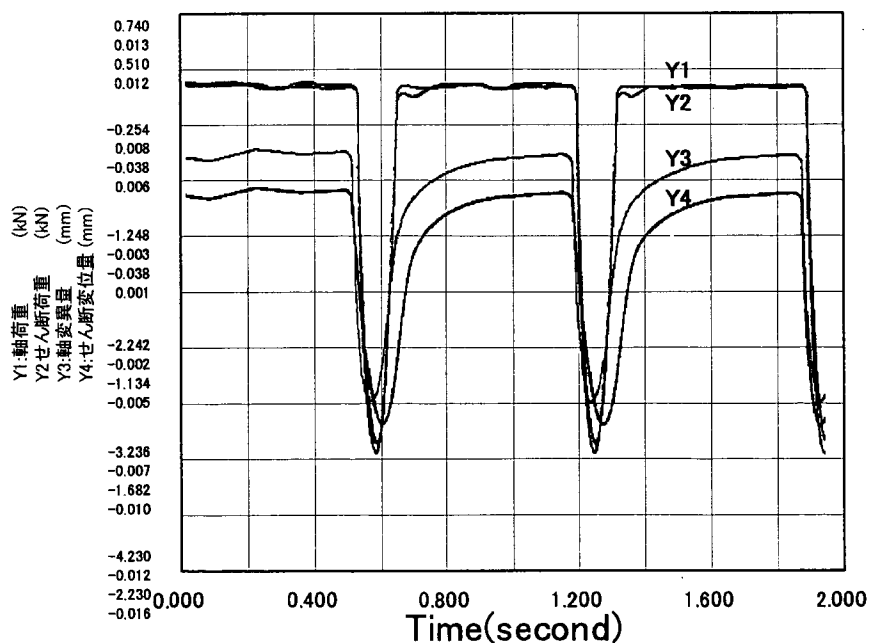
②この試験は、3 次流動²⁾を起こしやすい混合物をふるい落とすためのものであるとされている

③出力されるデータ

σ : 垂直応力、 τ : せん断応力、 δ_v : 軸変位量、 δ_h : せん断変位量



図－ 3.12 RSCSR 供試体

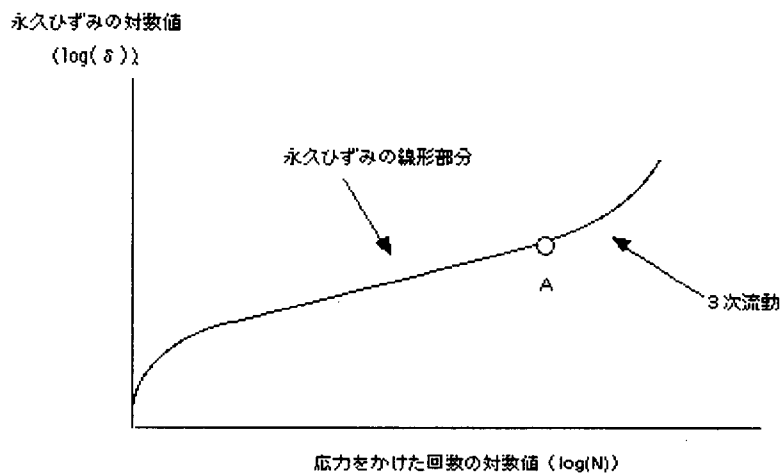


図－ 3.13 出力データ例 (RSCSR)

注)：3次流動の定義について

アスファルト混合物供試体の変形の例を図－ 3.14 に示す。図では、縦軸は永久ひずみの対数値を示し、横軸は繰返し応力の回数の対数値を示している。

何回かの初期荷重をかけ終わった後、A 点までの載荷回数までは、一般的に直線状の永久ひずみの累積が観察される。しかし、A 点を過ぎた後、混合物の材料や配合に問題がある場合、混合物は不安定な状態となり永久ひずみが回数の増加率に従って増大し始めることがある。このように、A 点を過ぎた後の混合物が示す流動状態を3次流動と SUPERPAVE では定義している。



図－ 3.14 アスファルト混合物供試体の変形の例

(6) Repeated Shear Test at Constant Height (繰返しせん断試験 略記: RSCH 試験)

①この試験は、供試体の高さを一定に保ちながら、設定応力が 68kPa または 70kPa のハーバーサイン波の繰返しせん断荷重を供試体にかける試験である。

②この試験は、わだち掘れ深さの予測に用いられる。

③出力されるデータ

σ : 垂直応力、 τ : せん断応力、 δ_v : 軸変位置量、 δ_h : せん断変位置量

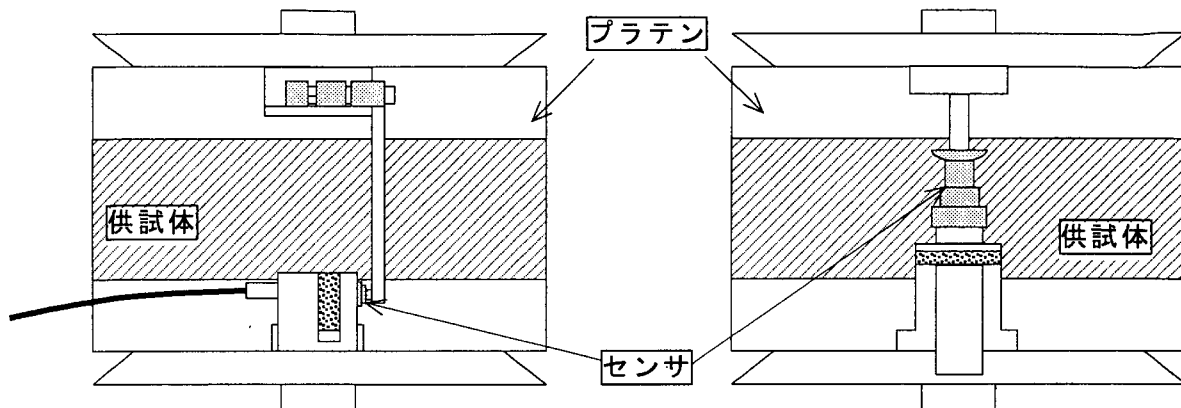


図- 3.15 RSCH 試験供試体

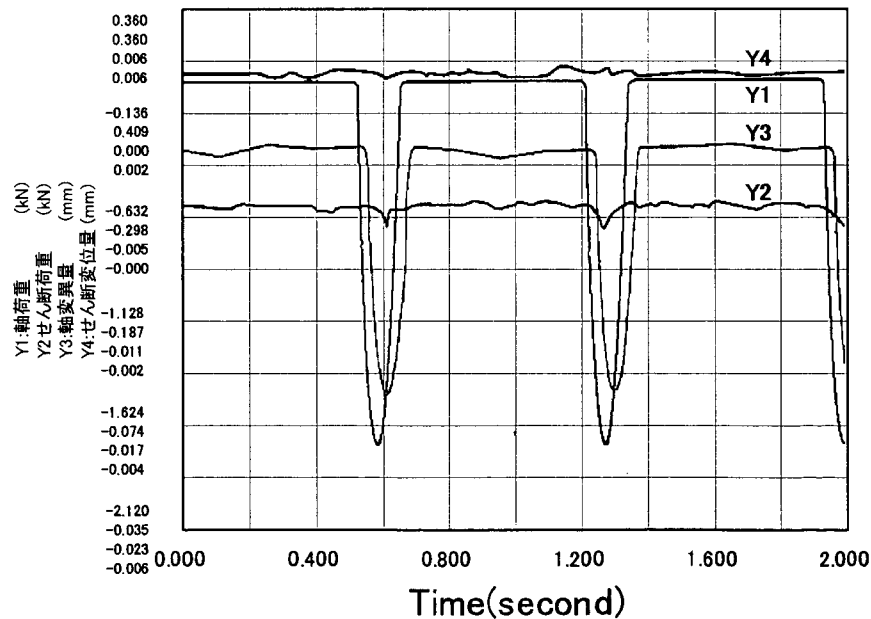


図- 3.16 出力データ例 (RSCH 試験)

3. 3. 2 SUPERPAVE における各試験の使用例

表－3.2 に SUPERPAVE 混合物解析において、各試験結果をどのように使用しているかを示す。なお、RSCSR と RSCH 試験は、付加的な試験とされておりその試験結果は、SUPERPAVE SOFTWARE での計算には使用されない。

表－3.2 SUPERPAVE 混合物解析試験

試 験	各試験から決定される物質特性	予測される破壊モード
容積ひずみ試験 (VS)	非線形弾性特性	わだち掘れと疲労クラック
一軸ひずみ試験 (US)	非線形弾性特性	
単純せん断試験 (SSCH)	Vermeer 塑性特性 ^{4) 5)}	
一定高さでの周波数掃引試験 (FSCH)	粘弾性特性 破壊特性	わだち掘れと疲労クラック
一定応力比での繰返しせん断試験 (RSCSR)	決定特性なし	わだち掘れによる3次流動のチェック
一定高さでの繰返しせん断試験 (RSCH)	決定特性なし	わだち掘れ深さの予測に用いられる

3. 4 SST 試験装置の各種試験モードと WT 試験結果の関係

SST では、全部で 6 種類の試験を行うことができるが、WT 試験に載荷状態が類似していると考えられる 3 種類のせん断試験 (SSCH, FSCH, RSCH) と WT 試験を実施し、各試験から出力されるデータを用いて DS との相関性の検討を行った。

3. 4. 1 研究の概略

目標 DS が表- 3.3 に示されるようなアスファルト混合物を用いて、SST で実施できる以下の 3 つのせん断試験を実施し、せん断試験と WT 試験の結果から、相関性を検討した。

- ① Simple Shear Test at Constant Hight (SSCH) (一定高さでの単純せん断試験)
- ② Frequency Sweep Test at Constant Hight (FSCH) (一定高さでの周波数掃引き試験)
- ③ Repeated Shear Test at Constant Hight (RSCH) (一定高さでの繰返しせん断試験)

表- 3.3 各混合物の目標 DS

アスファルト量	OAC-0.5%	OAC	OAC+0.5%
密粒度ギャップアスコン(13F)	700	500	300
密粒度アスコン(13)	1,100	800	500
密粒度アスコン(13) (改質Ⅱ型)	15,000	10,000	5,000

3. 4. 2 実験の進め方

実験の流れは、図- 3.17 に示されるような形で行った。

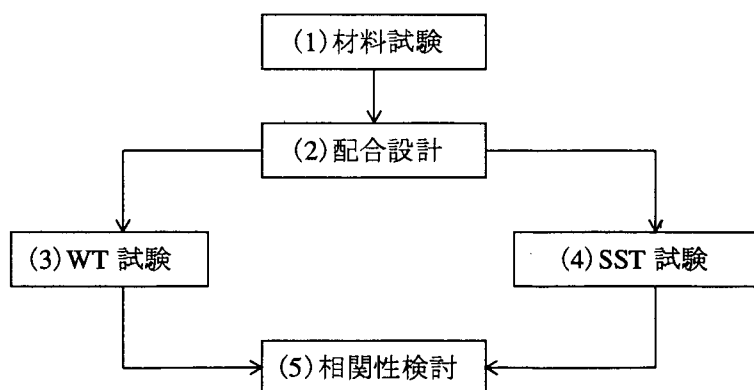


図- 3.17 各実験の流れ

※ 各アスファルト混合物については以下のように略記する。

密粒度アスファルト混合物(13) 密粒(13)

密粒度ギャップアスファルト混合物(13F) . . . 密粒G(13F)

密粒度アスファルト混合物(13) (改質Ⅱ型) . . 密粒改質(13)

3. 4. 3 各実験の詳細事項

(1) 材料試験

骨材、アスファルト、石粉は土木研究所の標準材料を使用した。使用材料は、以下のとおりである。

使用材料：6号砕石、7号砕石、粗目砂、細目砂、石粉、ストレートアスファルト 60-80、
改質アスファルトⅡ型

(2) 配合設計

- ①配合設計は、日本で行われているマーシャル法で行った。
- ②各設定を決める前に、試し突きを行い設定条件を検討した。
- ③アスファルト量は、配合設計により求めた。最適アスファルト量(OAC)、さらに OAC-0.5%、OAC+0.5% の供試体を作製した。これに対応する密度、空隙率等を求めた。

④各設定

粒度・・・・・・・・・・密粒 G(13F)、密粒(13)

配合割合・・・・・・・・粒度範囲内で、センター粒度より下限側に設定した。

設定アスファルト量・・・・・・・・密粒 G(13F) 5.5、6.0、6.5、7.0、7.5%
密粒(13) 4.5、5.0、5.5、6.0、6.5%

安定度試験・・・・・・・・標準マーシャル安定度（30 分水浸）

突き固め回数・・・・・・・・密粒 G(13F)は両面 50 回突き、密粒(13)は 75 回突きとした。

混合、締固め温度・・アスファルトの動粘度曲線より求めた。

混合物重量・・・・・・・・1 供試体の骨材重量を 1,120g 程度として試し突きを行い、供試体厚さが $63.5 \pm 1.3\text{mm}$ 以内となるようにした。

供試体個数・・・・・・・・設定アスファルト量で供試体を 3 個ずつ作製し、合計 15 個作製した。

(3) WT 試験

1) 供試体作製について

- ①強制練りミキサにより、60kg 程度のアスファルト混合物を練り、練ったアスファルト混合物を必要な量だけ均等に小分けし、モールドにアスファルト混合物をつめ、ローラーコンパクタによって締固めを行った。

②各設定

混合、締固め温度・・配合設計に準じた。

供試体個数・・・・・・・・各混合物とも 5 枚ずつ作製した。

締固め度・・・・・・・・配合設計より各混合物ごとに目標密度を決定し、その目標密度に対する締固め度として、規格を $100 \pm 1\%$ とした。

2) 試験実施について

①作製された供試体の中で、締固め度の規格を満足したものだけ試験を実施する。各混合物で5枚とも満足した場合は、5枚とも試験を実施した。最低でも、各As量とも3枚の供試体を試験するものとした。

②各設定

養生時間・・・・・・5時間以上とした。

試験温度・・・・・・60℃とした。

試験時間・・・・・・60分とした。

(4) SST 試験

1) 供試体作成方法

① SGC による供試体作製

SUPERPAVE においては、SST で使用する供試体は、SHRP Gyratory Compactor (以下、SGC) で作製しなければならないが、わが国では SGC を用いた配合設計が確立していないことから、現在一般に実施されているマーシャル法によって配合設計を行った。混合物の種類は密粒(13)とし、使用材料は土木研究所の標準材料を用いた。SSCH、FSCH については、2種類の試験と3種類の温度条件を1つの供試体で行う。この時の供試体数は5個ずつ行った。RSCH に関しては同じ供試体を繰返して試験ができないので40℃については4個、50℃は2個、60℃は1個で試験を行った。

②変位量測定器具の設置

変位量は変位量測定器具に取付けた差動トランス(LVDT)によって測定するが、試験条件によって変位量測定器具を交換する必要がある、それらの変位量測定器具の概要は図-3.18のとおりである。

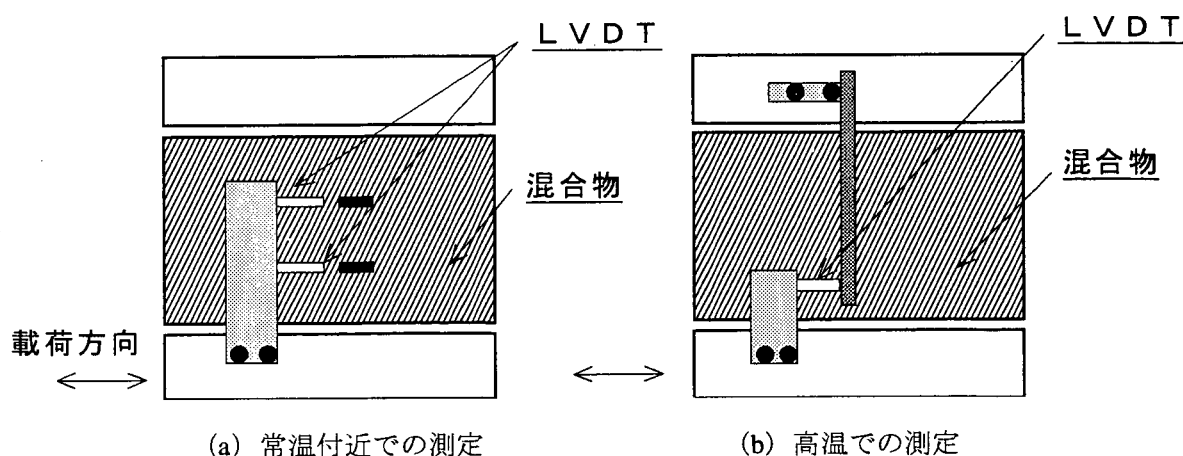


図- 3.18 変位量測定器具

2) SST 試験条件

① SSCH の試験条件

実験温度とせん断応力の設定条件を表－ 3.4 に示す。特性値は残留変形量と復元率である。

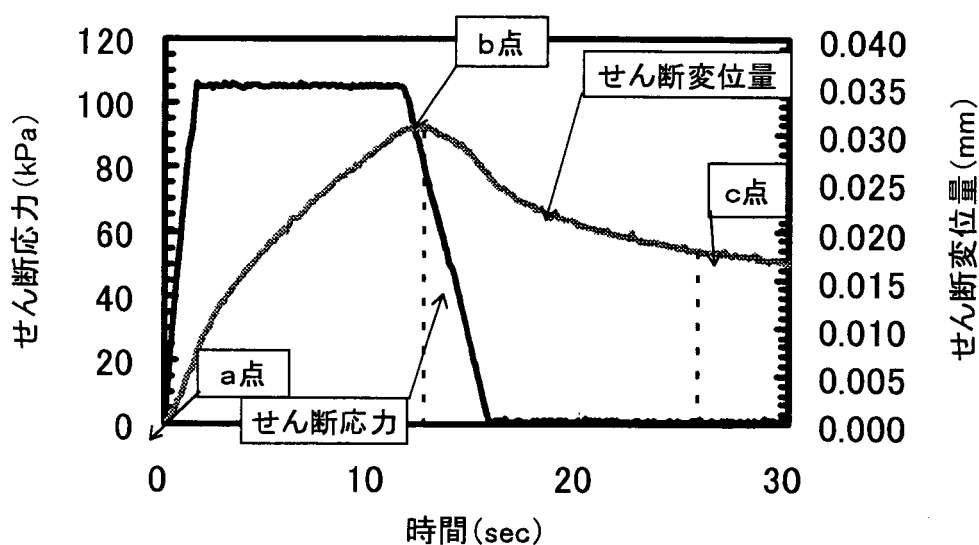
表－ 3.4 温度とせん断応力の設定条件

実験温度 (℃)	4	20	40
せん断応力 (kPa)	345	105	35

残留変形量と復元率を説明するために実験時の応力状態と供試体の変形状態の例を図－ 3.19 に示す。この試験は供試体に対してせん断を 1 回行うが、その際に供試体の高さが変化しないように圧縮あるいは引張りをかける。載荷速度は 70kPa / sec で目標のせん断応力に達した後、10 秒間せん断応力が一定に保たれる。その後、応力状態が 0kPa になるまで 25kPa / sec の割合で除荷して、10 秒間 0kPa の状態が保たれ試験が終了する。このような応力状態の時のせん断変位量を a 点～ c 点と定めて、残留変形量と復元率を式 (2) と (3) に定義する。

$$\text{残留変形量 (mm)} = \text{最終変位量 (c点)} - \text{初期変位量 (a点)} \quad \dots (2)$$

$$\text{復元率 (\%)} = \frac{\text{最大変位量 (b点)} - \text{最終変位量 (c点)}}{\text{最大変位量 (b点)} - \text{初期変位量 (a点)}} \times 100 \quad \dots (3)$$



a 点：初期変位量（載荷前の測定値のこと。必ずしも変位量は 0mm ではない。）

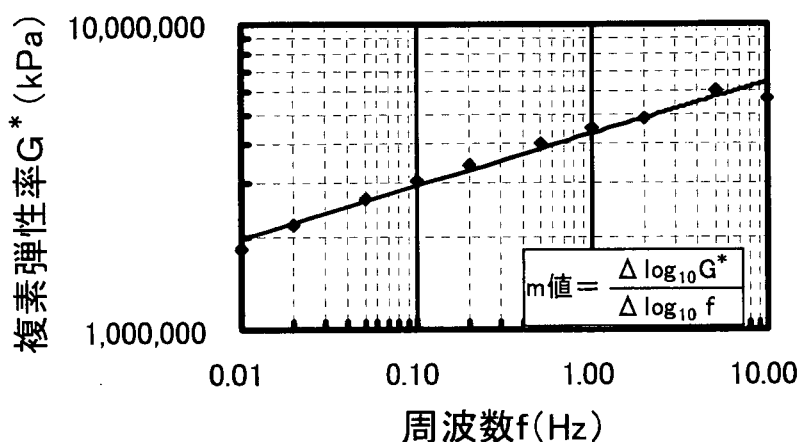
b 点：最大変位量（試験中で最も大きな水平方向変位量の値のこと。）

c 点：最終変位量（せん断応力が 0kPa になってから 10 秒後の変位量のこと。）

図－ 3.19 試験中の応力と変位量の例（実験温度；20℃）

② FSCH の試験条件

設定温度は 4、20、40℃とし、応力条件は SUPERPAVE に従う。なお m 値は、両対数グラフ上で縦軸に複素弾性率を横軸に周波数 f をとったときの傾きである。この例を図－3.20 に示す。



図－3.20 複素弾性率と周波数の関係例

③ RSCH 試験の試験条件

設定温度は 40、50、60℃とし、応力条件は SUPERPAVE に従う。この試験によって得られる特性値は、せん断ひずみ量である。本研究では供試体にかかる載荷回数が 5,000 回、またはせん断ひずみ量が 1%に達するまでとする。

3. 4. 4 実験結果

(1) 配合設計

配合設計の結果、アスファルト量は 5.5 %、このときの密度は 2.377 g/cm^3 となった。

次に DS の目標値を 6,000 回/mm 以下とし、4 種類の混合物を作るためにストレートアスファルト 60/80 に改質材を 1～4 %添加して、マーシャル供試体を作製し基準密度を決定した。このときの密度を表－3.5 に示す。

表－3.5 改質材の添加率と基準密度

添加率 (%)	0	1	2	3	4
基準密度 (g/cm^3)	2.377	2.375	2.375	2.373	2.374

(2) WT 試験結果

WT 試験の供試体数は 1 種類の混合物に対して 5 個とし、最大値と最小値を除いた 3 個の平均値をそれぞれの混合物の DS とした。添加率ごとの DS の平均値と変動係数を表－3.6 に示す。

表－ 3.6 改質材の添加率と DS

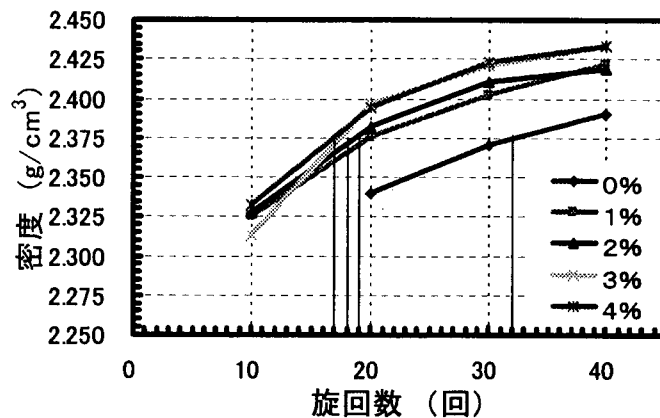
添加率 (%)	0	1	2	3	4
DS (回/mm)	787	1,571	2,362	3,086	6,708
変動係数 (%)	7.3	28.5	35.2	12.9	19.9

(3) SST 試験用供試体の作製

基準密度 (表－ 3.5) になるような SST 試験用の供試体を SGC で作製するために、SGC の回転数を 10、20、30、40 回として円柱状の供試体を作製した。この時の SGC の設定値を表－ 3.7 に示す。この供試体の上下を切断 (高さ 5cm) し密度を求めてマスターカーブを作成した (図－ 3.21)。このマスターカーブから目標とする密度が得られる SGC の回転数を求め (表－ 3.8)、この回転数で SST 試験用の供試体を作製した。

表－ 3.7 SGC の設定条件

締固め圧	回転角度	回転速度	モールド径
600kPa	1.25 度	30rpm	15cm



図－ 3.21 密度と回転数の関係

表－ 3.8 SGC の回転数

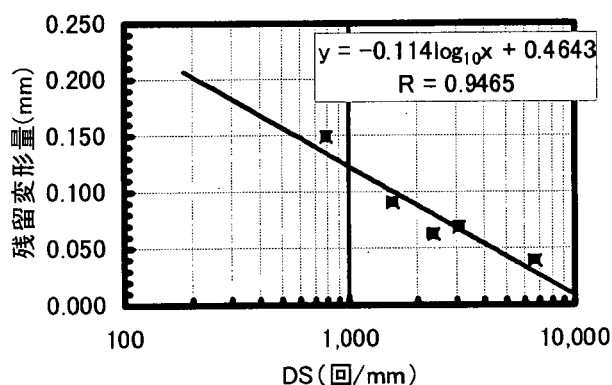
添加率 (%)	0	1	2	3	4
SGC 回転数 (回)	32	19	18	17	17

3. 4. 5 SST 試験結果と考察

(1) せん断試験から得られる特性値を用いた検討

①残留変形量と DS の関係について

SSCH 試験によって求めた残留変形量と DS の関係を図－ 3.22 に示す。相関係数は $R=0.9465$ と相関が高くなっている。

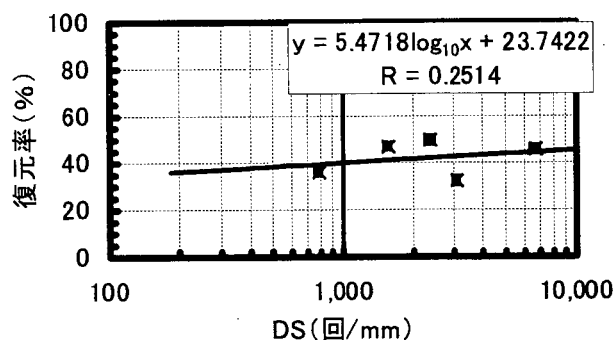


試験温度：40℃

図－ 3.22 残留変形量と DS の関係

②復元率と DS の関係について

復元率と DS の関係を図－ 3.23 に示す。DS が大きくなるにしたがって復元率は、大きくなる傾向にあるようであるが、相関係数は低い水準を示した。



試験温度：40℃

図－ 3.23 復元率と DS の関係

③繰返しせん断ひずみ量と DS について検討

繰返しせん断ひずみ量 (%) と载荷回数の関係の代表的なものを図－ 3.24 に示す。载荷回数を対数にすると、図－ 3.25 のようになるため、式(4)を用いて近似した。

$$Y = A \times \log_{10}(X) + B \quad \text{-----} \quad (4)$$

ここに

Y：せん断ひずみ量

X：载荷回数

A, B：定数

試験温度を 40、50、60℃と変化させて試験を行った時の定数 A、Y 切片 B と相関係

数の一覧を表- 3.9 に示す。1つの実験ごとに近似したそれぞれの相関係数は 0.9 以上であった。

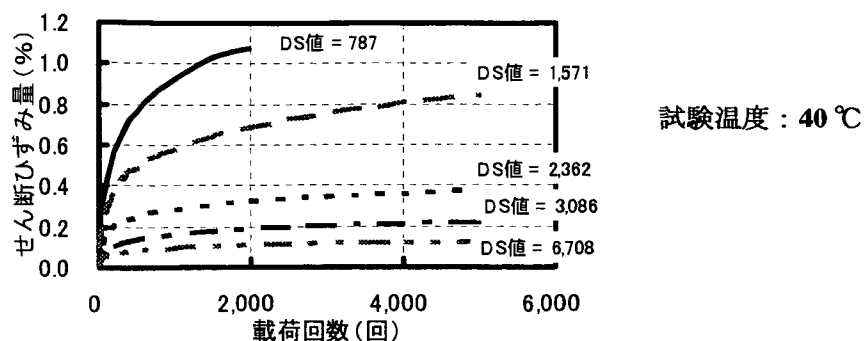


図- 3.24 せん断ひずみ量と载荷回数(回)の関係

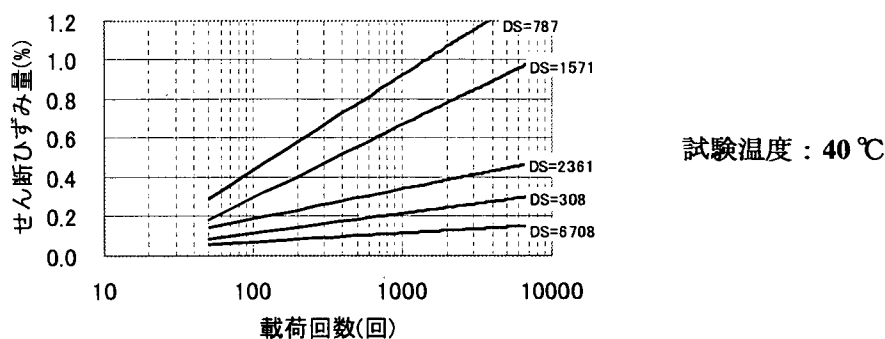


図- 3.25 せん断ひずみ量と载荷回数(対数)の関係

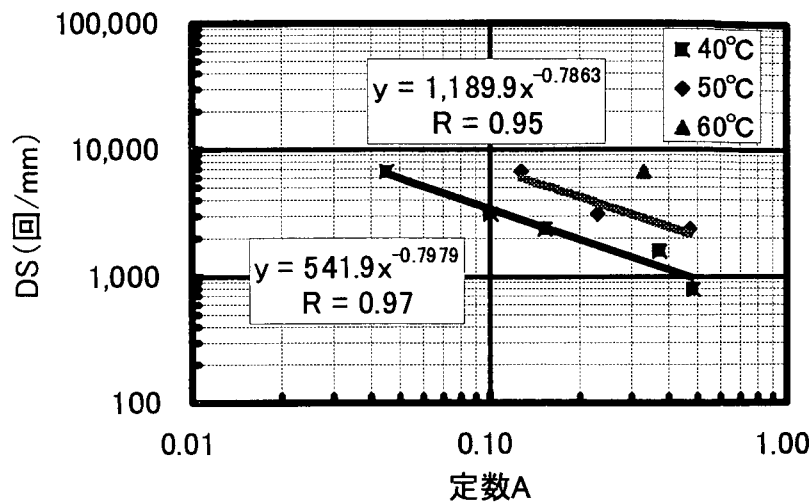
表- 3.9 回帰曲線のデータ一覧

実験温度 (°C)	DS (回/mm)	定数 A	y 切片 B
40	787	0.485	-0.533
	1,571	0.373	-0.450
	2,361	0.153	-0.118
	3,085	0.101	-0.087
	6,708	0.045	-0.019
50	2,361	0.470	-0.414
	3,085	0.230	-0.159
	6,708	0.128	-0.097
60	6,708	0.329	-0.162

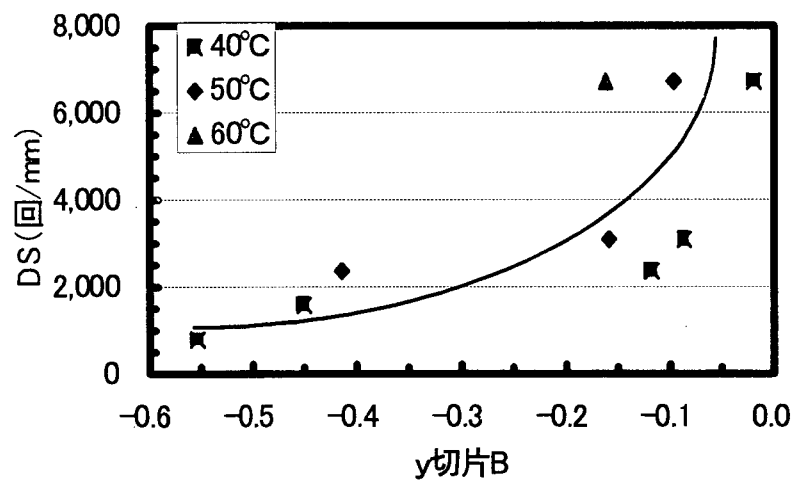
DS と繰返しせん断試験から得られる定数 A と DS との関係を図- 3.26 に示す。このグラフから DS が大きくなるにしたがって定数 A は小さくなっており、この傾向は試験温度 50 °C でも同様である。直線の傾きは、ほぼ同じであり平行にシフトしている。

また、相関係数は試験温度 40℃、50℃ともに 0.9 以上と高い。

次に Y 切片 B と DS との関係を図－ 3.27 に示す。Y 切片 B は、DS が大きくなるに従って大きくなる傾向が見られた。



図－ 3.26 DS と定数 A の関係

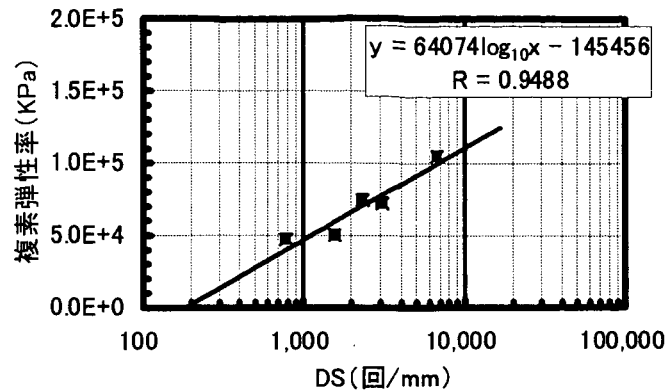


図－ 3.27 DS と Y 切片 B の関係

(2) 周波数掃引試験の特性値を用いた検討

① 複素弾性率と DS の関係

周波数 0.5Hz 時の複素弾性率と DS の関係を図－ 3.28 に示す。相関係数は、 $R=0.9488$ となり高い相関があった。



試験温度：40℃

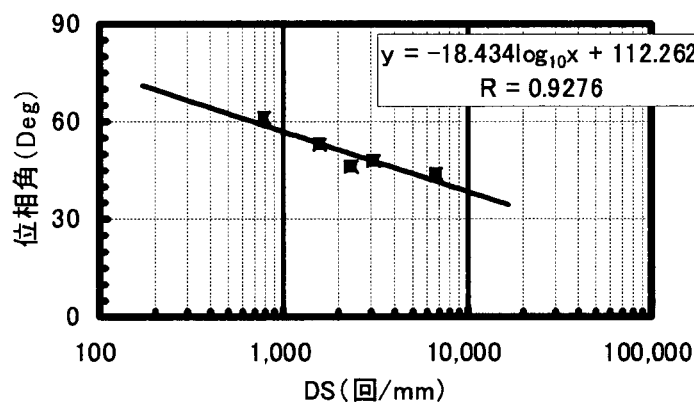
図－ 3.28 複素弾性率と DS の関係

② 位相角と DS の関係

位相角と DS の関係を図－ 3.29 に示す。

位相角は 0 ～ 90 度を示し、混合物が弾性体の性質であれば位相角は 0 度を示し、粘性体であれば 90 度を示す。DS が大きくなるに従って位相角が小さくなっている。

相関係数は $R=0.9276$ と高くなっている。



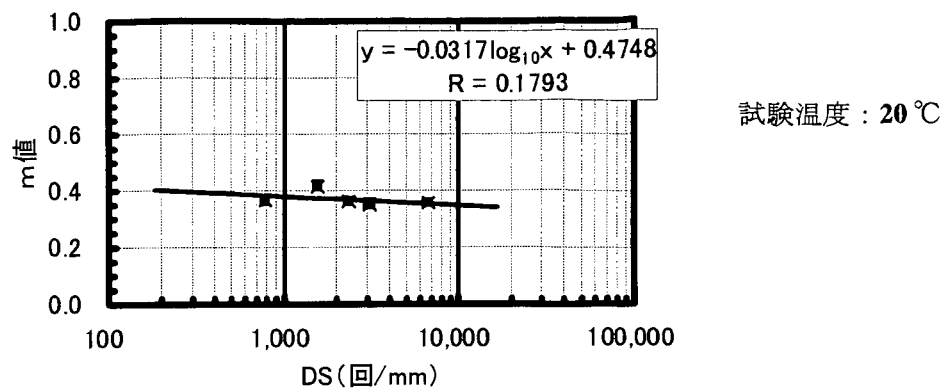
試験温度：40℃

図－ 3.29 位相角と DS の関係

③ m値と DS の関係

m値と DS の関係を図－ 3.30 に示す。

実験温度 40℃の時のm値は、データのばらつきが大きく、回帰曲線を引くことができなかったことから実験は 20℃で行った。m値は、両対数グラフ上での縦軸に複素弾性率と横軸に周波数をとったときの傾きであり、SUPERPAVE ではわだち掘れの予測、疲労クラックの増大の予測に使用されてることから DS ともよい相関が得られると考えられたが、m値は DS が大きくなっても変化が見られず、相関係数も小さい結果となった。

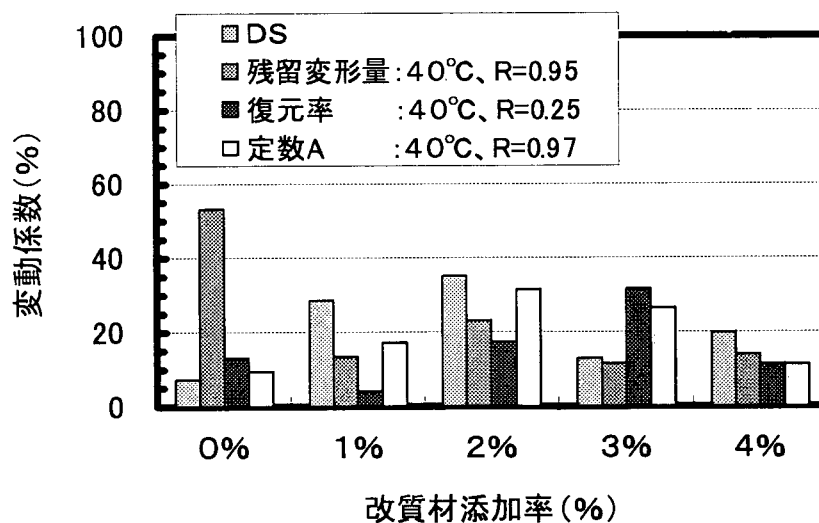


図－ 3.30 m値と DS の関係

(3) 試験値のばらつきに関する検討

本研究において DS との相関が高かった特性値は、試験温度 40 °C で行った時の残留変形量と複素弾性率、位相角であった。これらの特性値のばらつきについて検討を行った。

図－ 3.31 に各試験の変動係数を示す。変動係数が最も大きい特性値は、残留変形量で 31 ～ 77 % と非常にばらついているのに対して、変動係数のばらつきが小さい特性値は復元率であった。

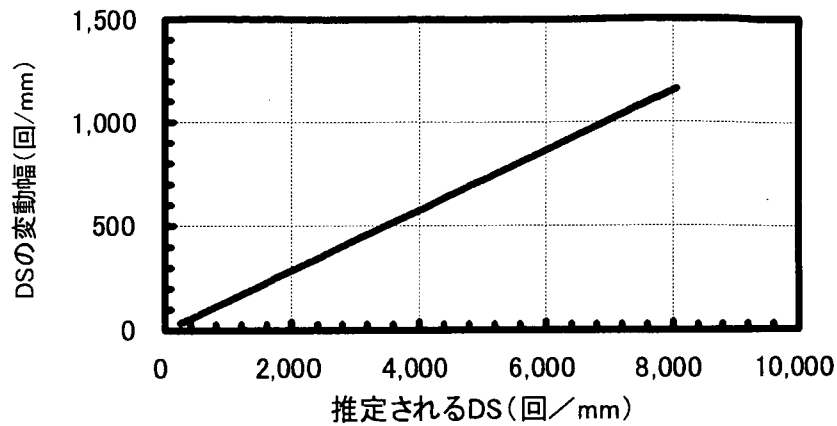


図－ 3.31 改質材添加率と変動係数の関係

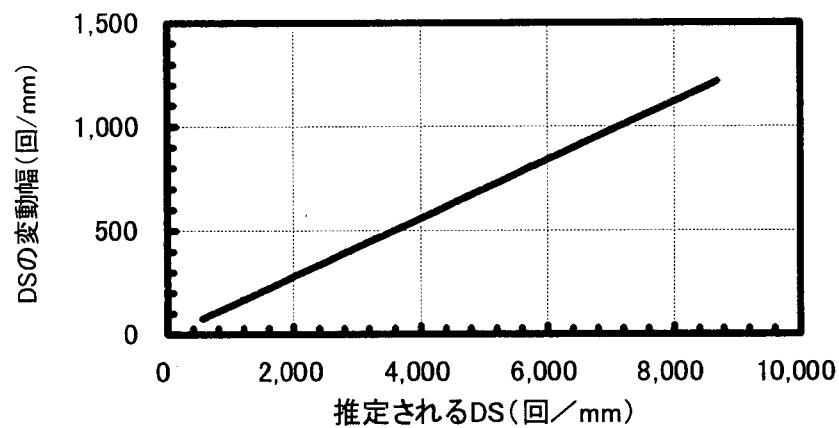
次に測定時に生じる変位計の誤差が DS にどの程度影響するかを検討した。SST では変位量の測定に差動トランス (LVDT) を利用している。この LVDT は試験時に選択したフルスケールレンジに対して $\pm 0.1\%$ の誤差がある。従って試験時のレンジを 0.5mm にすると、最大 0.0005mm ($0.5 \times 0.1\%$) の誤差が生じる可能性がある。こうして測定された特性値を回帰式に代入して得られた DS は誤差を含んでいることになる (各特性値の回帰式が正しいものと仮定する)。この DS と DS の変動値の関係を残留変形量、復元率、定数 A を (1) ~ (3) の順に図-3.32 に示す。

特性値に関わらず DS が大きくなるにしたがって変動幅は、大きくなる傾向にある。この傾向は WT 試験と同様である (図-3.2)。そこで同一の DS ($8,000 \text{ 回/mm}$) の時の変動幅を比較すると、WT 試験 ($2,000 \text{ 回/mm}$ 程度) > 残留変形量 ($1,200 \text{ 回/mm}$ 程度) > 復元率 ($1,100 \text{ 回/mm}$ 程度) > 定数 A (120 回/mm 程度) の順となった。以上の結果から定数 A の値に誤差が含まれていても DS に与える影響は少ないことがわかった。

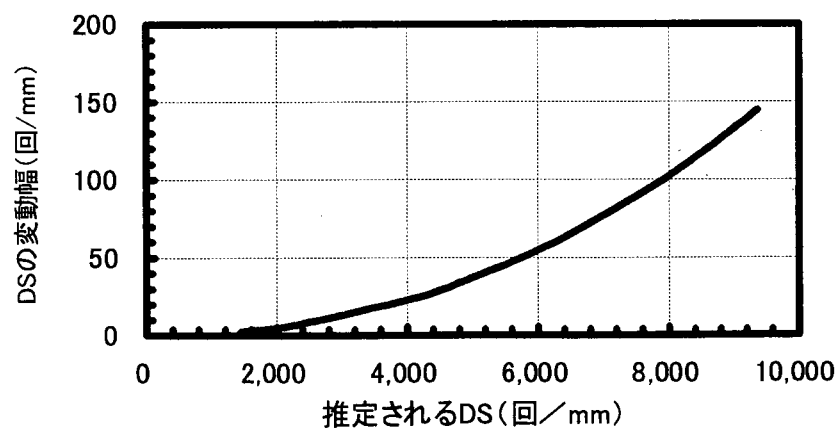
(1) 残留変形量からの推定値



(2) 復元率からの推定値



(3) 定数Aからの推定値



図一 3.32 推定される DS と推定される DS の変動幅の関係

3. 5 まとめ

(1) 変形量と DS の検討について

SSCH 試験の特性値である残留変形量と DS は、相関が高いことが分かった。また復元率と DS は相関が低いことが分かった。また、1 回の載荷であるために誤差が出やすいようである。

(2) RSCH 試験の特性値と DS の検討について

RSCH 試験の特性値である定数 A と DS は、非常に高い相関が得られ温度が高くなるにつれて相関性が高くなることが分かった。

(3) 周波数掃引試験の特性値と DS の検討について

複素弾性率、位相角と DS との相関は見られた。また m 値については相関が得られなかった。

(4) 変動係数と測定誤差について

相関係数が高かった特性値について変動係数と測定誤差について検討した結果、WT 試験の変動係数と同程度の特性値は定数 A (10 ~ 30 %) で、変動が小さいのは復元率 (5 ~ 10 %) であった。同じ DS を示す時の DS の変動幅が小さい特性値は、定数 A であった。よって RSCH 試験からの特性値である定数 A で混合物の耐流動性を評価できる可能性があることが分かった。

4. SST試験装置を用いた耐流動性評価

4. 1 概 要

3章の検討により、SSTは耐流動性混合物の評価に有効であることがわかり、6つの試験モードの中でもRSCH試験が最も可能性が高いことが分かった。そこで本章ではRSCH試験を中心にして耐流動性評価の検討を行った。なお、SSTについては、これまでほとんど知見がないため、まず供試体作製方法の検討や温度調整方法の検討を行った上で、耐流動性評価の検討を行った。

4. 2 供試体作製方法の検討

アスファルト混合物の配合設計にはマーシャル安定度試験が広く用いられているが、マーシャル安定度試験供試体のようなランマで突き固めて作製した供試体は、実際の舗装のようなローラで転圧したものと締固め機構に違いがあることから、混合物の配合設計や品質管理の手段としての利用にとどめておくべきであるといわれている。これに対してSGCは、現場の転圧状況をよりよく再現できる締固め方法として期待されており、わが国においても舗装試験法便覧（別冊）³⁾に取り上げられている。

SUPERPAVEではSSTを使用して実験を行うためには、SGCで供試体を作製することになっており、本検討においてもSGCを用いて供試体を作製することにした。SUPERPAVEの規定では締固めた円柱状供試体を中央で切断して2つの供試体を得る方法がとられているが、上部側と下部側とで密度の差が生じてしまうことが考えられることから、供試体の作製方法について混合物の投入方法と供試体の切り出し個数について検討した。

4. 2. 1 試料投入方法

混合物の投入方法の違いが、SGCで作製した供試体の密度に影響を与えているかを調べる。比較のデータとして、ランマにより突き固めて供試体を作製する方法（以下、マーシャル法）も行った。

(1) 実験方法

混合物の投入方法（記号のa、b、c）はSGC（記号：G）、マーシャル法（記号：M）ともに以下の3種類とした。

- ・ a 法：混合物を4方向より投入し、モールド外周側15回、中央部10回突き表面中央部に丸みをつける。（「3-7-1 マーシャル安定度試験方法」に準拠²⁾）
- ・ b 法：4方向より投入し表面中央部に丸みをつける。
- ・ c 法：1度に投入し表面中央部に丸みをつける。

供試体作製者は2人（記号；A、B）とし、供試体数は各4個ずつ作製した。使用する材料は、土木研究所で標準的に使用している骨材とストレートアスファルト（StAs60/80）とした。混合物の種類は密粒度アスファルト混合物（13）とし、アスファルト量は（舗装試験法便覧²⁾に準拠、50回／両面）5.5%とした。混合物の混合方法は人的誤差をなくするために機械練りとし、1度に混合してから必要量を小分けして用いた。SGCの設定は

表－ 4.1 の条件とした。

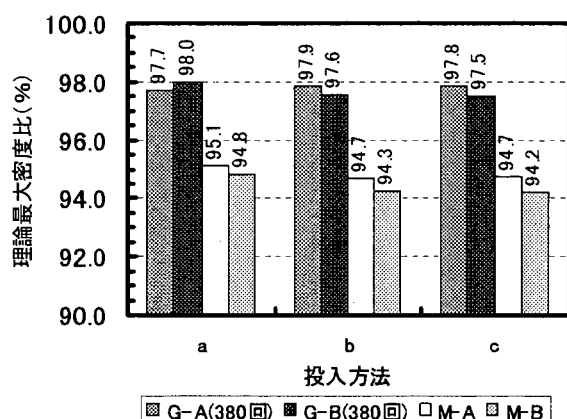
表－ 4.1 SGC の設定条件

締固め圧	旋回角度	旋回数	旋回速度	モールド径
600kPa	1.25 度	380 回	30rpm	10cm

(2) 結果と考察

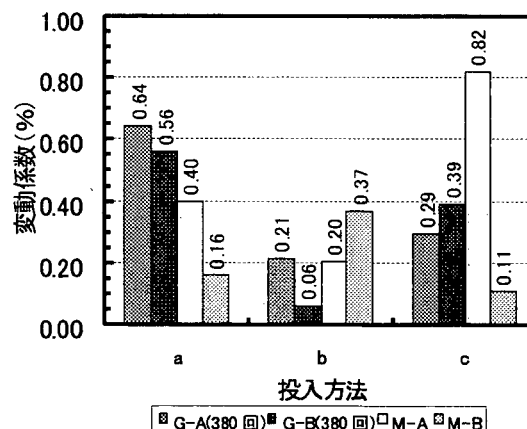
理論最大密度比（実測供試体密度／理論最大密度× 100）と投入方法の関係を図－ 4.1 に示す。投入方法による密度比の違いとして同一の締固め試験機間における最大値と最小値の差でみると、SGC（記号；G）の作製者 A では 0.2 %、作製者 B で 0.5 % であり、マーシャル法（記号；M）で作製した時理論最大密度比の差は作製者 A が 0.4 %、B が 0.6 % となった。一般的には同一条件で締固めた混合物の個々の許容誤差は 1 % 以下であることとされている。よって投入方法による違いは見られないと判断できる。

次に理論最大密度比の変動係数を図－ 4.2 に示す。この図から変動係数が小さくなる投入方法は、SGC では b 法で、マーシャル法では a 法と b 法が同程度となった。今回の結果からは、b 法で供試体を作製するとばらつきの少ない供試体を作製できることがわかった。しかし、供試体数が少ないことや作製者によって傾向が異なること、測定誤差が予想されること、また作業上の不慣れによる誤差が予想されることから今後検討が必要であると考えられる。



記号；締固め機械（G、M）－作製者（A、B）

図－ 4.1 理論最大密度比と投入方法の関係



記号；締固め機械（G、M）－作製者（A、B）

図－ 4.2 変動係数と投入方法の関係

4. 2. 2 供試体の切り出し方法と密度

SUPERPAVE に従って SST を用いて試験を行うためには、SGC で円柱状の供試体を締固めて作製（直径 15cm で高さ 14cm の供試体）し、コンクリートカッターで高さ 5cm の供試体が 2 個得られるように切断し、これらの供試体で試験を行うことになっている。しかし、予備実験で供試体の上部側と下部側で密度が異なる結果となったことから、SST の実験結果にも影響を与える可能性が考えられた。そこで、SGC で作製した円柱状供試体から 2 個

切り出したものにどの程度の割合で差が生じるのかを検討し、切り出し個数を1個（中央）に変えた場合との違いについても検討した。

（1）実験方法

SGCで作製した供試体（高さ5cm）の上部側と下部側の密度の差を検証する。

①混合物の種類

混合物の種類は下の3種類で、アスファルト量はOAC、OAC ± 0.5%の3種類とした。

- ・密粒度アスファルト混合物(13) (StAs60/80) …………… 以下、密粒 (13)
- ・密粒度アスファルト混合物(13) (改質Ⅱ型) …… 以下、密粒改質 (13)
- ・密粒度ギャップアスファルト混合物(13 F) …… 以下、密粒G (13 F)

②SGCの条件

SGCによる供試体作製の条件はのとおりとした。

表－4.2 SGCの設定条件

締固め圧	旋回角度	旋回速度	モールド径
600kPa	1.25 度	30rpm	15cm

表－4.3 供試体作製時のSGCの旋回数

	密粒 (13)	密粒改質 (13)	密粒G (13 F)
OAC - 0.5 %	35	37	37
OAC	35	38	33
OAC + 0.5 %	28	24	29

③切断方法

切断方法は SUPERPAVE の規定による方法（高さ14cmの円柱状供試体を作製して高さ5cmの供試体を2個切り出す方法）の他、高さ9cmの供試体を作製し1個切り出す方法の2種類を行った。

（2）結果と考察

①分散分析

切断した供試体の上部側と下部側の密度を分散分析で検討した。結果を表－4.4示す。上部側と下部側に有意差があったものは9種類中6種類であった。よって円柱状供試体から2個切り出す方法は、誤差が生じやすいことが確認できた。

表－ 4.4 分散分析の結果一覧

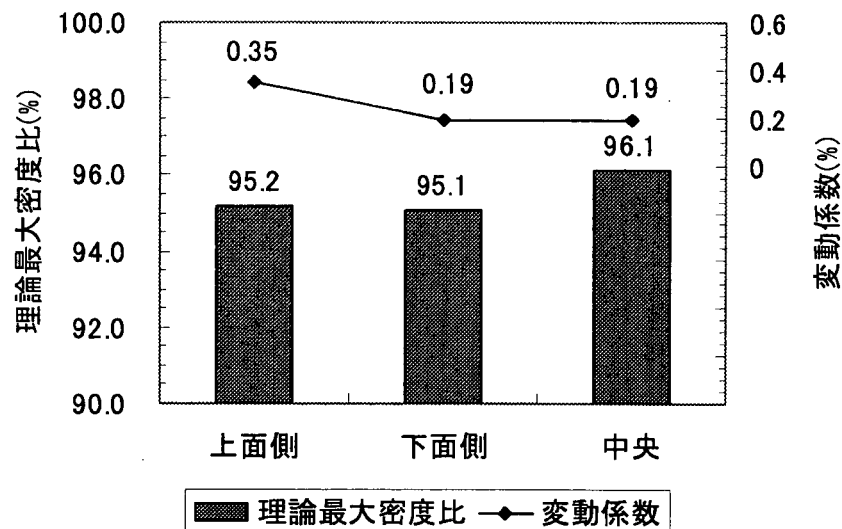
	密粒 (13)	密粒改質 (13)	密粒 G (13F)
OAC-0.5	*	なし	**
OAC	なし	なし	*
OAC+0.5	*	*	*

※) * : 危険率 5 % で有意差あり、** : 危険率 1 % で有意差あり

②理論最大密度比と変動係数

供試体の切り出し位置ごとの理論最大密度比と変動係数のグラフを図－ 4.3 に示す。上面側と下面側の理論最大密度比に違いはないが、変動係数では上面側が大きい結果となった。また、中央から 1 個切り出した供試体の変動係数は、下面側と同じ値となった。2 個切り出した供試体と中央の供試体とを理論最大密度比で比べると中央の方が 1 % ほど大きくなっている。これは、円柱状供試体を作製する時に高さ 14cm の供試体の場合と同じ回転数 (35 回) としたためと考えられる。

以上の結果から円柱状供試体から 1 個切り出す方法は、誤差が少ないことが確認できた。



図－ 4.3 切り出し位置ごとの理論最大密度比と変動係数の関係

4. 3 温度調整方法の検討

アスファルト混合物は、温度依存性が非常に高いため、実験における供試体の温度は実験結果に大きく作用する。従って、実験時における供試体の温度を一定にするためには、どの程度の養生時間が必要であるかを供試体を用いて調査した。

4. 3. 1 SST 環境装置に関する概略

(1) 環境装置の能力

- ① 試験温度の測定分解能・・・0.25℃以下
- ② 試験温度の制御精度・・・・・・・・± 0.5℃
- ③ 試験温度の温度範囲・・・・・・・・－10～80℃
- ④ 試験温度の変化率・・・・・・・・最低でも15℃/h

(2) 温度計の設置箇所

SST の環境装置には温度計測端子が4個ついており、それぞれCH 1、CH 2、CH 3、CH 4となっている。

- ① CH 1 は、空気温度を冷暖房して目標温度にする環境チャンバ内の温度計測端子に接続されており、環境チャンバ内の温度を示している。
- ② CH 2 は、試験装置内の下部载荷ヘッドに温度計測端子が接続されており、下部载荷ヘッドの温度を示している。
- ③ CH 3 は、試験チャンバ内に温度計測端子が接続されており、試験チャンバ内の温度を示している。
- ④ CH 4 は、試験チャンバ内の上部载荷ヘッドに温度計測端子が接続されるが、通常は使用しない。
- ⑤ 温度設定はコンピュータによって制御されており、CH 1～3で選択した場所の温度を設定温度になるように、環境チャンバ内の空気を冷暖房して温度調節を行うシステムになっている。

4. 3. 2 SUPERPAVE、AASHTO で提案されている養生時間

(1) AASHTO で提案されている供試体養生時間

SUPERPAVE では、以下のようになっている。これは、AASHTO の試験規格であるTP 7とTP 9から得られている値であるとされている。

- ① 最初の供試体養生時間・・・・・・・・・・2～4時間
- ② 供試体セット後の養生時間・・・・・・・・25±5分

(2) SUPERPAVE で提案されている供試体養生時間

SUPERPAVE では、養生時間に関する実験を実施し、その結果から供試体の養生時間を提案している。表－4.5 に SUPERPAVE での供試体養生時間の提案値を示す。

表－4.5 SUPERPAVE で提案している供試体養生時間

試験	試験温度 (℃)	養生 (1回目) (分)	供試体の設置 、装置の調整 (分)	養生 (2回目) (分)	合計時間 (養生 ～ 試験開始) (分)
VS US	4	一夜または 120	45 以内	60	225
SSCH FSCH	20	一夜または 60	45 以内	30	135
RSCH	40	一夜または 60	45 以内	60	165
RSCSR	63 以内	90	45 以内	60	195

注) 試験の VS ～ RSCSR の意味については、第2章を参照

4. 3. 3 養生時間を考慮した実験方法

養生時間を考慮した実験は、以下の (1)、(2) に示す2つの方法で行った。

- (1) 1つの供試体で、4℃の試験、続いて20℃、40℃の試験を実施し、1つの供試体で全ての温度の測定をした後に、次の供試体の測定を行う方法。
- (2) いくつかの供試体（通常6個程度）を環境チャンバ内、または試験チャンバ内で設定温度に養生しておき、まず、4℃で養生した全ての供試体の実験を行い、次に20℃で、そして40℃で、という形式で実験を行う方法。

4. 3. 4 実験概要

(1) 供試体について

養生温度計測用の供試体は直径 150mm とし、SGC を使用して作製した。図－ 4.4 に示すように、供試体の側面にドリルで穴を開け、熱電対温度計の線（計測端子）を差込み、穴の間にアスファルトモルタルをつめている。

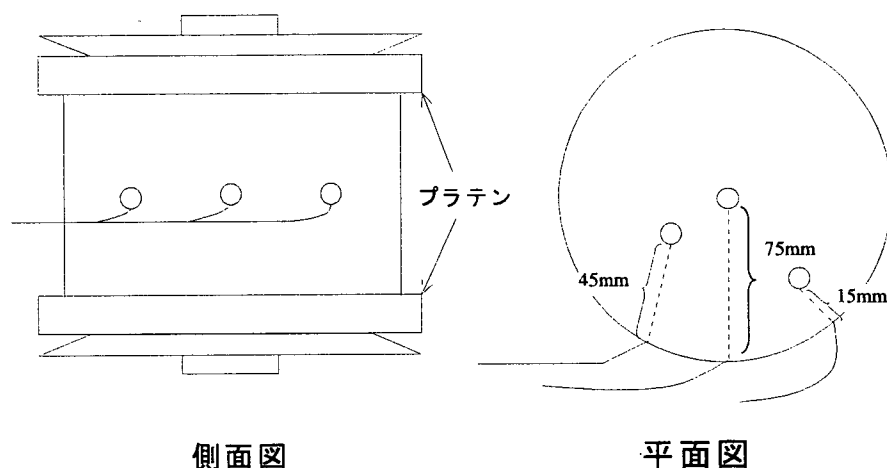
供試体の空隙率によって、温度の伝達が変わることも考えられるので今回は、空隙率が違う 2 つの供試体を作製し、実験を行った。以下に、供試体の仕様について記す。

①混合物種類・・・密粒度アスファルト混合物(13)

②アスファルト量・・・6.0 %

③空隙率・・・・・・供試体 No 1 は、5.5 %

供試体 No 2 は、0.8 %



図－ 4.4 供試体概略図

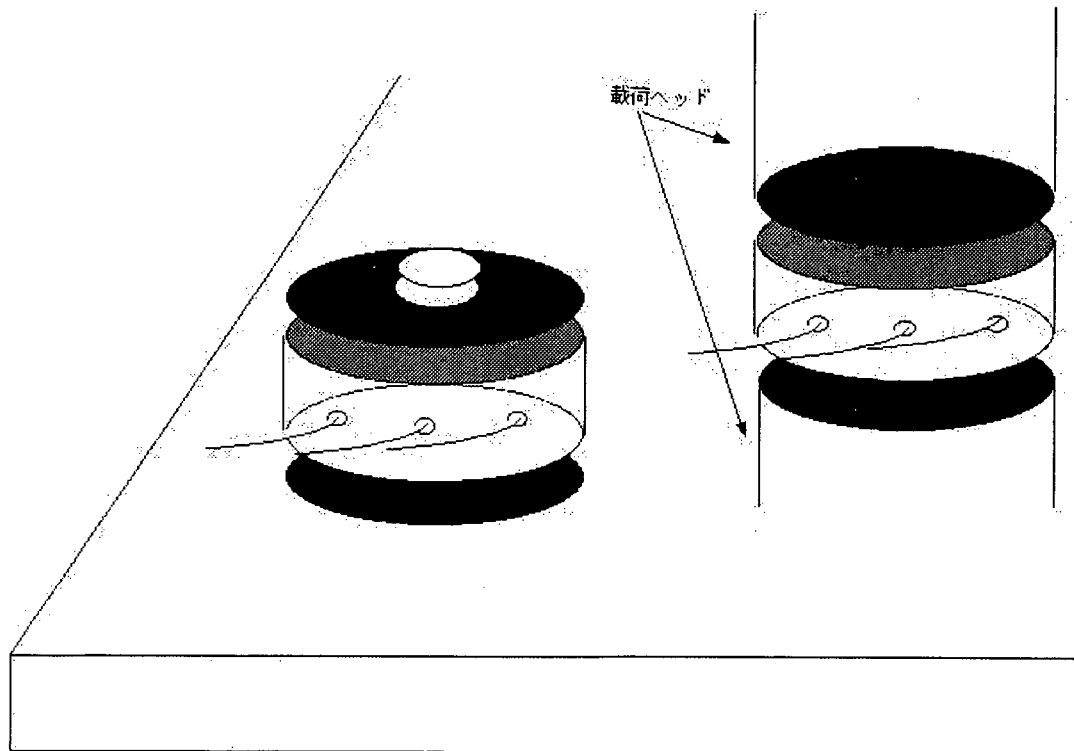
(2) 実験方法

① 実験 1－1、1－2について

実験 1－1、1－2では、前述の 3. 4 の（1）の方法で供試体の養生を行い、供試体が目標温度に達する時間を測定した。表－ 4.6 に設定条件を示す。また、供試体の設置状況を図－ 4.5 に示す。

表－ 4.6 設定条件

	実験 1－1	実験 1－2
温度制御	CH3（試験チャンバ内空気温度）制御	実験 1－1 に同じ
供試体 No.1	試験チャンバ内テーブル上に設置	載荷ヘッドに取付けて設置
供試体 No.2	載荷ヘッドに取付けて設置	試験チャンバ内テーブル上に設置



図－ 4.5 供試体設置状況

② 実験 2 について

実験 2 では、前述の 3. 4 の (2) の方法で供試体の養生を行い、供試体を载荷ヘッドに取付けてから目標温度に達するまでの時間を測定した。

以下に設定条件を示す。

a. 温度制御・・・CH 3（試験チャンバー内空気温度）制御

b. 使用供試体・・・供試体 No. 1

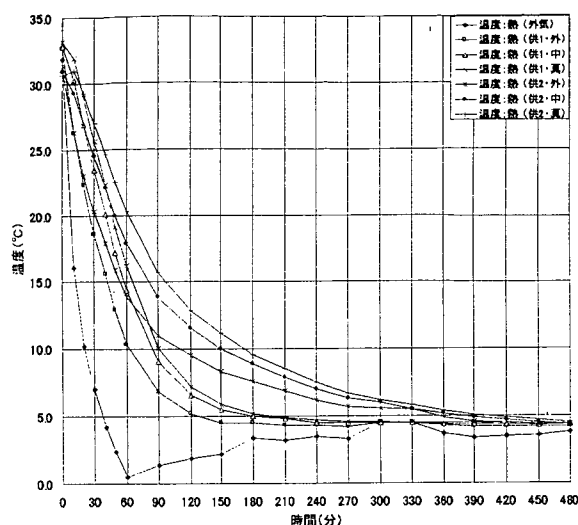
c. 供試体 No. 1 を各目標温度に養生しておき、供試体をセットする時間を 30 分として、30 分間試験チャンバの扉を開放する。その間に供試体を载荷ヘッドに取付けておき 30 分*経過後、扉を閉め目標温度に達する時間を測定する。

※ここで開放時間を 30 分としているが、これは、実際、供試体の取付けにかかった時間である。ある程度、取付けに習熟すれば、30 分程度の時間で誰でも供試体を载荷ヘッドに取付けることができると考えられる。

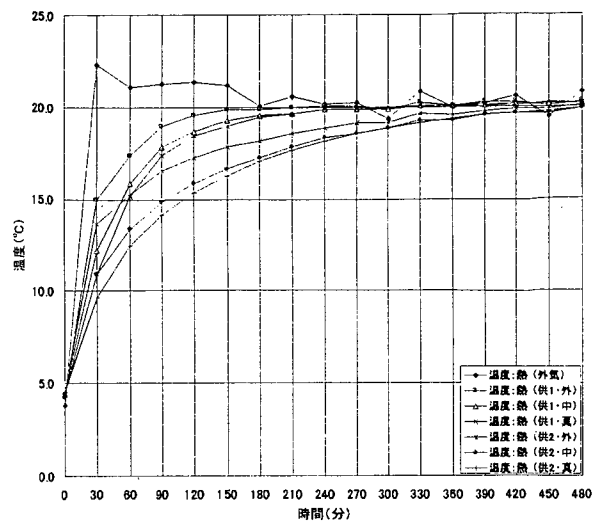
4. 3. 5 実験結果

実験 1.2 の実験結果を図－ 4.6 ～図－ 4.8 に示す。

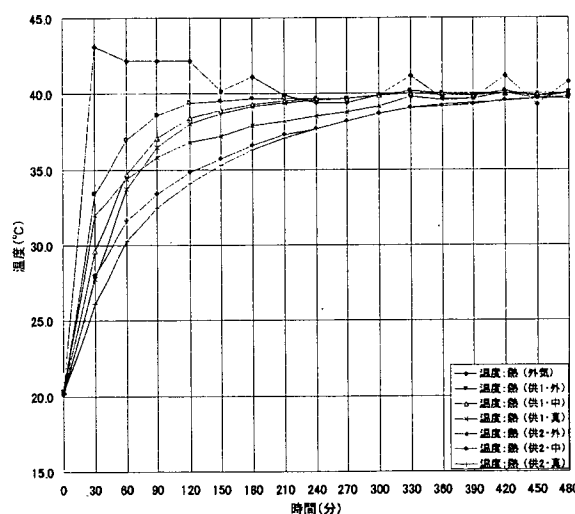
(1) 実験 1 - 1 での各温度での温度変化のグラフを示す。



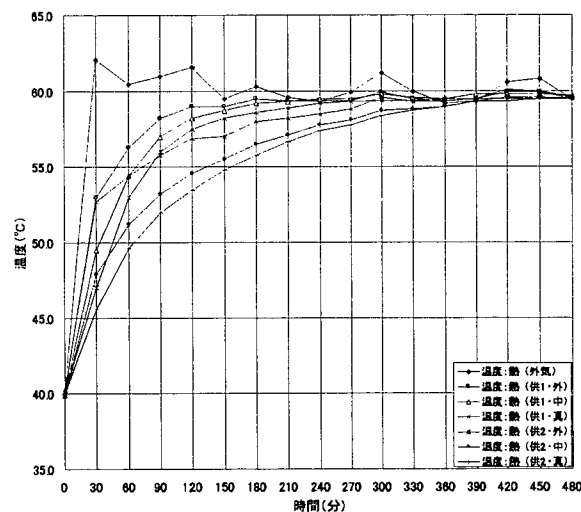
① 31°C → 4°C への温度変化



② 4°C → 20°C への変化



③ 20°C → 40°C への温度変化



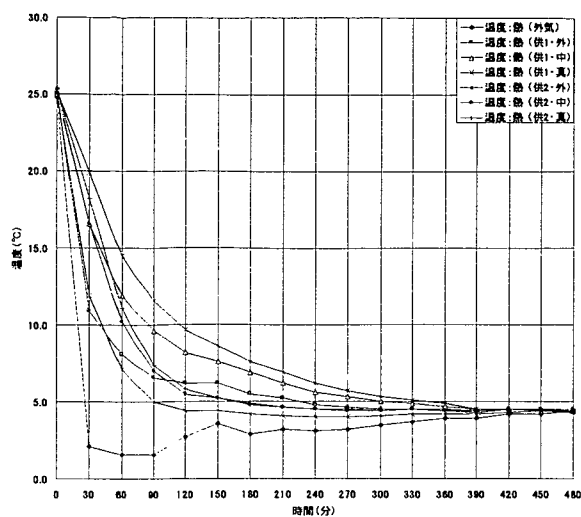
④ 40°C → 60°C への変化

※凡例の中の略記の意味は以下のよう。

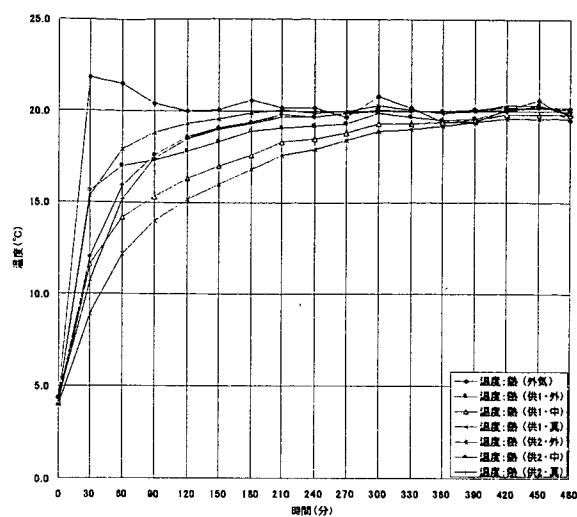
- ①温度：熱(外気)・・・熱電対温度計で計測した試験チャンバ内空気温度
- ②温度：熱(供1・外)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 15mm の位置の温度
- ③温度：熱(供1・中)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 45mm の位置の温度
- ④温度：熱(供1・真)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 75mm の位置の温度
- ⑤温度：熱(供2・外)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No2 の外周から 15mm の位置の温度
- ⑥温度：熱(供2・中)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No2 の外周から 45mm の位置の温度
- ⑦温度：熱(供2・真)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No2 の外周から 75mm の位置の温度

図- 4.6 実験 1 - 1 での温度変化

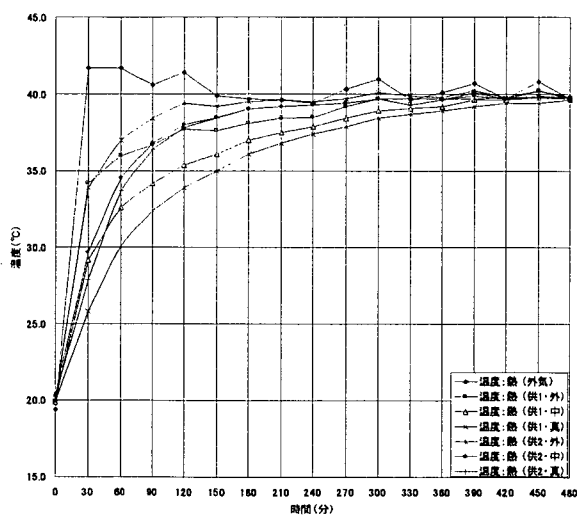
(2) 実験 1 - 2 での各温度での温度変化のグラフを示す。



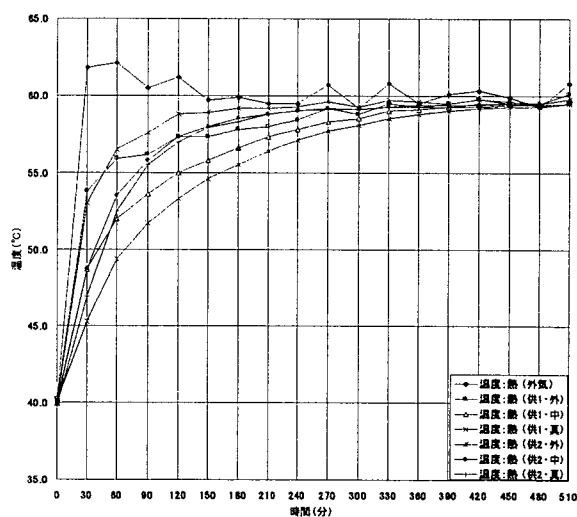
① 25℃→4℃への温度変化



② 4℃→20℃への変化



③ 20℃→40℃への温度変化



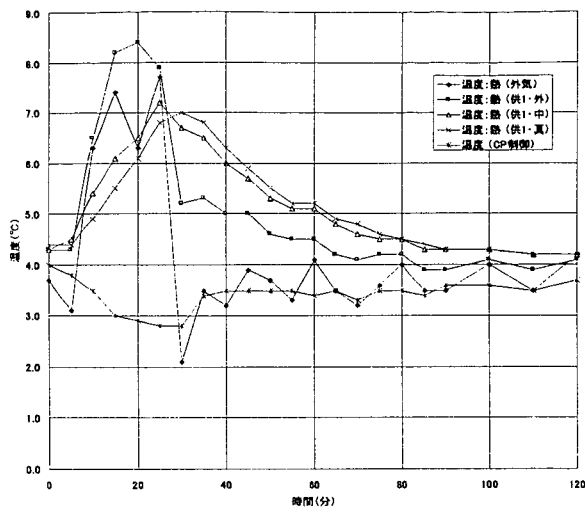
④ 40℃→60℃への変化

※凡例の中の略記の意味は以下のよう。

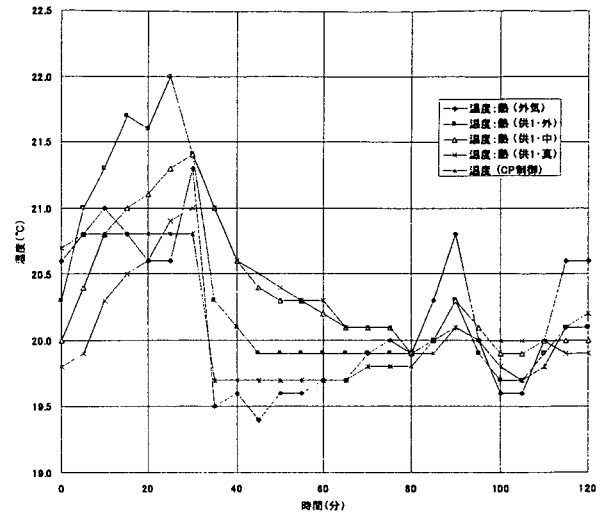
- ①温度:熱(外気)・・・熱電対温度計で計測した試験チャンバ内空気温度
- ②温度:熱(供1・外)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 15mm の位置の温度
- ③温度:熱(供1・中)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 45mm の位置の温度
- ④温度:熱(供1・真)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 75mm の位置の温度
- ⑤温度:熱(供2・外)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No2 の外周から 15mm の位置の温度
- ⑥温度:熱(供2・中)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No2 の外周から 45mm の位置の温度
- ⑦温度:熱(供2・真)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No2 の外周から 75mm の位置の温度

図- 4.7 実験 1 - 2 での温度変化

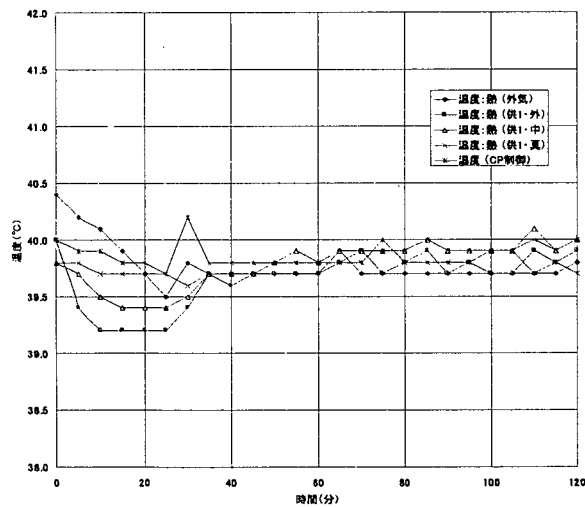
(3) 実験 2 での各温度での温度変化のグラフを示す。



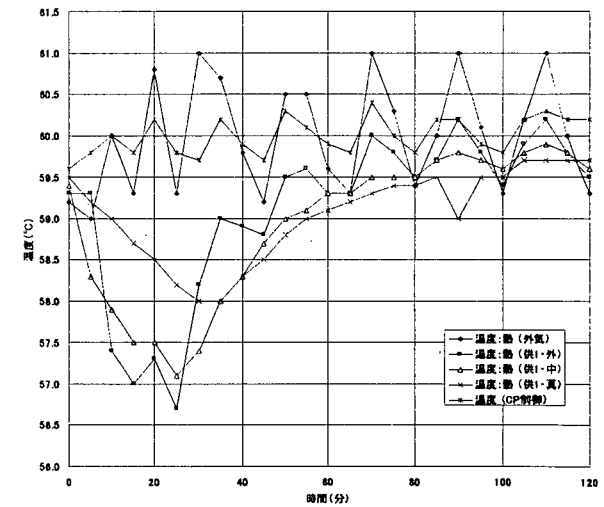
① 供試体取付けからの温度変化 (4 °C)



② 供試体取付けからの温度変化 (20 °C)



③ 供試体取付けからの温度変化 (40 °C)



④ 供試体取付けからの温度変化 (60 °C)

※凡例の中の略記の意味は以下のよう。

- ①温度：熱(外気)・・・熱電対温度計で計測した試験チャンバ内空気温度
- ②温度：熱(供1・外)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 15mm の位置の温度
- ③温度：熱(供1・中)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 45mm の位置の温度
- ④温度：熱(供1・真)・・・熱電対温度計で計測した供試体 No1 の外周から 75mm の位置の温度

図－ 4.8 実験 2 での温度変化

4. 3. 6 考察

(1) 実験 1-1、実験 1-2 から得られた目標温度に達する時間を、それぞれ、表-4.7、表-4.8 に示す。

この結果より以下のことが考察される。

- ① 载荷ヘッドに取付けしない場合(実験 1-1 供試体 No 1 および実験 1-2 供試体 No 2) は、最初の温度差や、各温度によって差はあるが、4～5 時間程度で目標温度に達する。
- ② 载荷ヘッドに取付けた場合(実験 1-1 供試体 No 2 および実験 1-2 供試体 No 1)は、7～8 時間程度で目標温度に達する。
- ③ 供試体の密度差による養生時間の差(実験 1-1 供試体 No 1 と実験 1-2 供試体 No 2 の比較、または実験 1-1 供試体 No 2 と実験 1-2 供試体 No 1 の比較)は、それほど大きなものではなく、密度差による養生時間の差は、考慮しなくてもよいと考えられる。
- ④ 载荷ヘッドに取付けた供試体の養生時間が長くなる原因として、温度コントロールされている载荷ヘッドに装着することにより、空気との接触面積が減ることが大きく影響していると考えられる。

表-4.7 目標に達する時間 (実験 1-1)

	31℃→4℃	4℃→20℃	20℃→40℃	40℃→60℃
供試体 No 1	6 時間00分	3 時間30分	4 時間30分	4 時間30分
供試体 No 2	8 時間00分	6 時間30分	7 時間30分	7 時間30分

表-4.8 目標に達する時間 (実験 1-2)

	25℃→4℃	4℃→20℃	20℃→40℃	40℃→60℃
供試体 No 1	6 時間30分	7 時間00分	8 時間00分	8 時間00分
供試体 No 2	4 時間00分	3 時間30分	5 時間00分	5 時間00分

(2) 実験2から得られた目標温度に達する時間を表-4.9に示す。

この結果より以下のことが考察される。

- ① 供試体を載荷ヘッドに取付けた後、目標温度に達する時間は、4℃、60℃では、1時間程度必要であり、20℃、40℃では、20分程度必要である。
- ② 20℃、40℃で目標温度に達する時間が短いのは、試験チャンバの扉を開けている間の外気温が30℃前後であったため供試体に対して試験チャンバの外の気温の影響が少なかったためであると考えられる。

表-4.9 目標に達する時間 (実験2、供試体N o 1使用)

温度	供試体セット時間	養生時間
4℃	30分	55分
20℃	30分	20分
40℃	30分	5分
60℃	30分	55分

(3) 総合的検討

各実験の結果より、1つのサンプルごとに4、20、40℃と温度を変えていく方法では、供試体の養生時間に5～8時間程度もかかってしまうため多くの供試体の試験を行う場合、非常に多くの時間を費やすことになる。また、1つの温度ごとに全てのサンプルの測定を行う方法では、供試体を載荷ヘッドに取付けてからの養生時間は、5分～1時間程度で済み、多くの供試体の試験を行う場合、サンプルごとに温度を変える方法より短い時間で実験を終了させることができると考えられる。

以上のことから、これから SST を使用する実験においては、いくつかの供試体を目標温度に養生しておき、その目標温度での実験を行ってしまってから、次の温度での実験を行っていくという方法で行っていくべきであると考えられる。

4. 4 RSCH 試験モードを用いた耐流動性評価

3 章の結果では、DS に代わる耐流動性の評価値として、RSCH 試験での定数 A を適用できる可能性が見い出された。

残された検討課題としては、

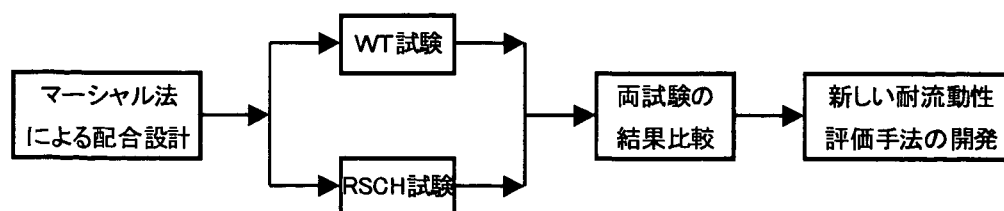
- (1) 試験結果に影響を及ぼす試験要因と水準が少ないデータでの評価であったことから、それらの要因と水準を増やして試験を行う。
- (2) RSCH 試験の試験条件は、SUPERPAVE に規定されている試験条件をそのまま適用したが、試験精度の向上の観点から適切な設定を見いだす。

が挙げられる。

WT 試験および RSCH 試験を行い、DS と定数 A の相関関係を比較し、定数 A で耐流動性を評価する試験方法および試験条件などの検討を行う。混合物、骨材およびバインダなど試験に影響する要因と水準を表－4.10 に示す。また研究フローを図－4.9 に示す。

表－4.10 試験要因と水準

要 因	混 合 物	骨 材	アスファルト	
水 準	密粒度アスファルト混合物(13)	A	タイプⅠ	ストアス60～80 + 改質材 ① (添加量 0,2,3,4,5%)
				ストアス60～80 + 改質材 ② (添加量 0,1,2,3,4%)
			タイプⅡ	セミブローンアスファルト
				改質アスファルト a
				改質アスファルト b
				改質アスファルト c
			タイプⅢ	高粘度アスファルト
	Stone Mastic Asphalt	B	タイプⅠ	ストアス60～80 + 改質材 ① (添加量 0,2,3,4,5%)
	細粒度キャップアスファルト(13F)	C		
		A		



図－4.9 研究フロー

4. 4. 1 配合試験

WT 試験および RSCH 試験に先だって、混合物の基準アスファルト量や基準密度など、基本的な値を求めるために配合試験を行った。以下に使用材料および配合試験結果を示す。

表－ 4.11 使用材料

材 料	材 料 名	材質など	産地、製造会社
バインダ	ストアス60～80	ストレートアスファルト60～80	A
	セミフローン	セミフローンアスファルト	B
	改質a	改質アスファルト	"
	改質b	改質アスファルト	"
	改質c	改質アスファルト	"
	高粘度	高粘度改質アスファルト	"
添加材	改質材①	SBS系改質材	C
	改質材②	クロワレ系改質材	D
	繊維	植物繊維	E
骨 材	6号碎石 A	硬質砂岩	茨城県石岡市
	" B	"	東京都八王子市
	" C	安山岩	山梨県大月市
	7号碎石 A	硬質砂岩	茨城県石岡市
	" B	"	東京都八王子市
	" C	安山岩	山梨県大月市
	粗目砂	川砂	鬼怒川右岸、結城市小森地内
	細目砂	川砂	千葉県佐原市
	石粉	炭酸カルシウム	栃木県安蘇郡

SUPERPAVE の規定によれば、SST に使用する供試体の配合設計は、SGC を用いて行うことになっている。しかしわが国では、SGC を用いた配合設計方法が確立していないことから、SUPERPAVE の規定によらずマーシャル安定度試験で行い、基準アスファルト量および基準密度を求めた。マーシャル安定度試験は、舗装試験法便覧²⁾に準拠して行った。

表- 4.12 マーシャル安定度試験結果

混合物	骨材	アスファルト	改質材添加量 (%)	OAC (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kgf)	フロー値 (1/10mm)
密粒13 A	A	ストアス60~80 + 改質材①	0	5.6	2.377	3.7	77.8	1250	27
			2		2.376	3.8	77.4	1294	27
			3		2.375	3.8	77.1	1340	28
			4		2.374	3.8	77.2	1432	28
			5		2.374	3.8	77.1	1604	29
		ストアス60~80 + 改質材②	1	5.7	2.375	3.7	77.6	1447	24
			2	5.7	2.375	3.8	77.5	1353	25
			3	5.8	2.373	3.7	77.8	1457	26
			4	5.8	2.374	3.7	77.9	1717	27
		セミフロー	0	5.6	2.366	4.0	76.3	1620	30
		改質a		5.3	2.382	3.9	76.0	1870	28
		改質b		5.3	2.382	3.8	76.5	1810	27
		改質c		5.5	2.378	3.8	76.9	1970	30
		高粘度		5.6	2.365	4.1	75.9	1400	26
密粒13 B	B	ストアス60~80 + 改質材①	0	5.9	2.372	4.0	77.1	1180	29
			2		2.372	4.0	77.3	1246	28
			3		2.372	4.0	77.4	1338	30
			4		2.371	4.0	77.2	1442	31
			5		2.370	4.0	77.0	1600	28
密粒13 C	C	ストアス60~80 + 改質材①	0	5.8	2.327	3.8	77.4	1230	27
			2		2.326	3.9	77.1	1304	27
			3		2.324	3.9	76.8	1402	27
			4		2.323	3.9	76.8	1526	28
			5		2.322	4.0	76.6	1752	28
SMA(13)	A	ストアス60~80 + 改質材①	0	5.8	2.388	3.1	81.2	670	33
			3		2.387	3.1	81.3	788	31
			4		2.386	3.1	81.0	954	33
			5		2.384	3.2	80.9	1122	32
			6		2.382	3.3	80.4	1282	33
細粒G13F	A	ストアス60~80 + 改質材①	0	6.9	2.355	3.8	80.3	810	30
			3		2.355	3.8	80.4	910	30
			4		2.353	3.9	80.2	990	30
			5		2.350	3.8	80.3	1134	30
			6		2.350	4.0	79.8	1320	31

4. 4. 2 WT 試験

WT 試験は、定数Aと比較する DS を得るために行った。試験は、舗装試験法便覧に準拠²⁾して実施した。WT 試験用供試体の作製条件は以下のとおりである。

- 1) 混合温度、締固め温度は配合設計時と同様とした。
- 2) 1 種類の混合物につき、5 個の供試体を作製した。
- 3) 混合方法は、オイルバス式の縦型 2 軸ミキサを使用して、1 供試体ごとに混合した。
- 4) 転圧は、ローラコンパクタを使用した。

試験結果は表- 4.13 に、アスファルトと DS との関係は図- 4.10 に示す。

各混合物の DS は供試体 5 個の平均値である。舗装試験法便覧²⁾で規定されている DS の変動係数は 20 % 以内であり、ほとんどの混合物で規定値内であった。変動係数が 20 % 以上ある場合は、平均値より逸脱している DS を除外し、変動係数が 20 % 以内になるようにした。

表－ 4.13 WT 試験結果

混合物	骨 材	アスファルト	改質材添加量 (%)	アスファルト量 (%)	締固め度 (%)	DS (回/mm)	d60-d45 (mm)	変動係数 (%)
密粒13 A	A	スト7ス60～80 + 改質材①	0	5.6	99.6	350	1.81	5.4
			2		99.9	952	1.76	4.2
			3		99.9	3155	0.20	5.0
			4		100.0	5169	0.12	3.5
			5		99.6	7525	0.08	6.4
		スト7ス60～80 + 改質材②	1	5.7	100.5	1571	0.40	28.5
			2	5.7	100.4	2362	0.27	35.2
			3	5.8	100.0	3086	0.20	12.9
			4	5.8	100.3	6708	0.09	19.9
		セグロートン 改質a 改質b 改質c 高粘度	0	5.6	100.1	5159	0.12	16.6
				5.3	99.4	3883	0.17	15.1
				5.3	99.3	4750	0.13	9.1
				5.5	99.9	8010	0.08	13.8
				5.6	99.9	10200	0.06	6.6
密粒13 B	B	スト7ス60～80 + 改質材①	0	5.9	99.3	419	1.53	8.2
			2		99.3	1291	0.49	12.3
			3		99.2	3215	0.20	16.2
			4		99.4	5070	0.13	18.4
			5		99.4	7470	0.09	15.6
密粒13 C	C	スト7ス60～80 + 改質材①	0	5.8	99.3	546	1.16	7.7
			2		99.3	1739	0.37	10.8
			3		99.5	3458	0.18	14.9
			4		99.5	6825	0.09	26.1
			5		99.6	7975	0.08	12.6
SMA13	A	スト7ス60～80 + 改質材①	0	5.8	100.4	670	0.96	18.2
			3		100.4	1457	0.43	2.2
			4		100.6	1966	0.33	19.0
			5		100.7	4227	0.15	8.9
			6		100.7	5895	0.11	10.8
細粒G13F	A	スト7ス60～80 + 改質材①	0	6.9	99.3	116	5.49	9.6
			3		99.5	1021	0.63	14.9
			4		99.3	1764	0.34	15.4
			5		99.4	4630	0.14	12.5
			6		99.7	8719	0.07	20.3

なお網掛け部は変動係数が 20 % 以上で、DS が平均値より逸脱している、除外対象値

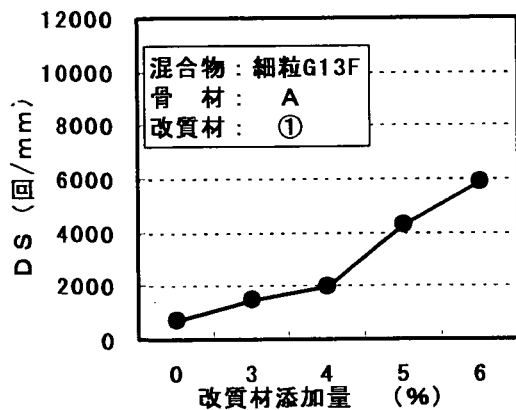
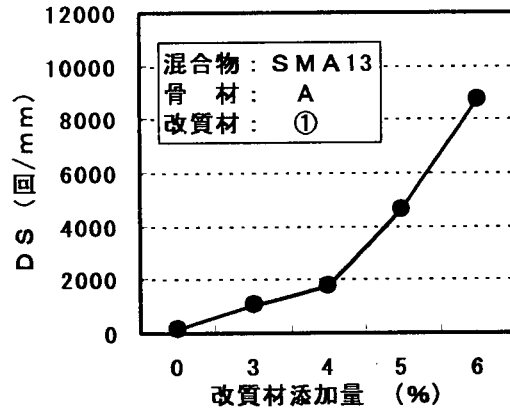
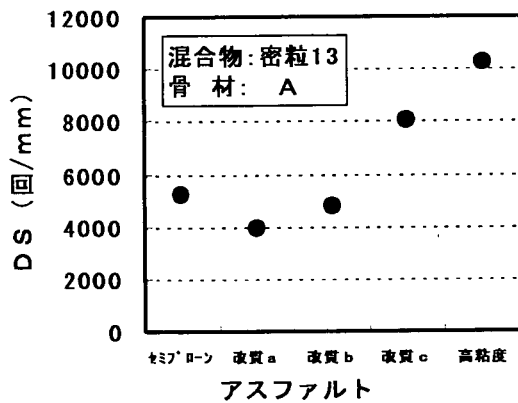
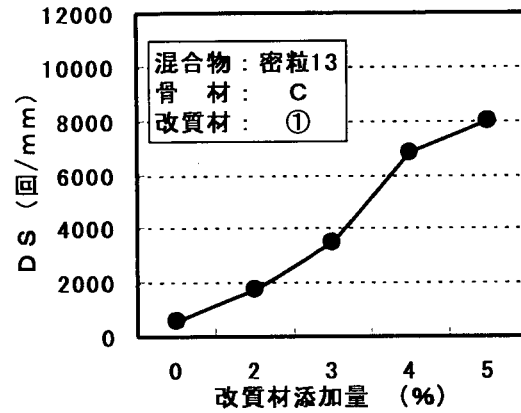
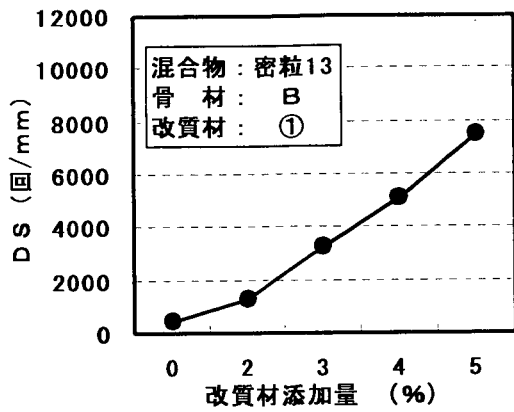
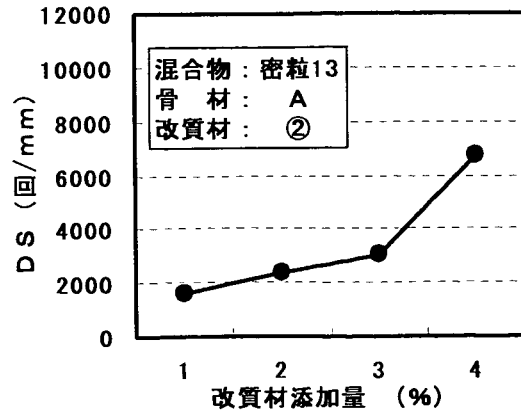
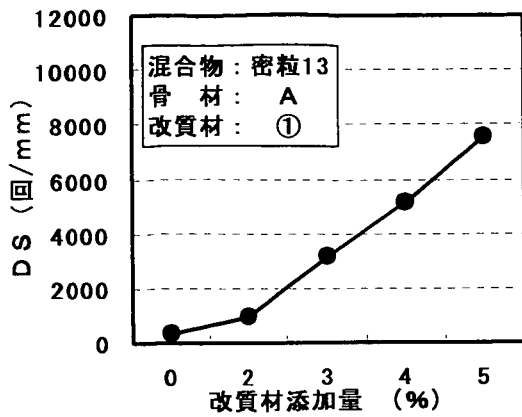


図-4.10 アスファルトとDS との関係

WT 試験結果では、改質アスファルトタイプ I を使用した密粒 13 の DS は、各骨材とも同じような傾向を示した。

4. 4. 3 RSCH 試験

RSCH 試験は、DS と比較する定数 A を得るために行った。

(1) 供試体作製

RSCH 試験は、SUPERPAVE に準拠して実施した。RSCH 試験用供試体の作製条件および試験条件を以下に示す。

1) 予備試験

RSCH 試験の供試体は、SGC で表－ 4.14 に示す設定条件で作製した。混合物を締固める時には、各混合物の基準密度になる回転数が必要になるため、回転数は以下の手順で求めた。

- ① SGC の回転数が 10、20、30、40、50 回転の円柱状供試体を作製する。
- ② 作製した供試体の密度を求めて、回転数と密度の関係を表したマスターカーブを作製する。
- ③ マスターカーブより、配合設計時の基準密度とほぼ同等な密度が得られる回転数を求める。

以上により、求められた各混合物の SGC の回転数を表－ 4.15 に示す。

表－ 4.14 SGC の設定条件

締固め圧	回転角度	回転速度	モールド径
600kPa	1.25°	30rpm	15cm

2) 供試体作製方法

供試体の作製方法は以下の手順で行った。

- ① 混合方法は、オイルバス式の縦型 2 軸ミキサを使用して 20kg 程度の混合物を作り、それらを必要量（約 3,800g）ずつ均等に小分けして SGC モールドに投入した。投入方法は 4 方向より投入し表面中央部に丸みをつける方法とし、突き入れは行わなかった。
- ② SGC の設定は表－ 4.14 に従い、表－ 4.15 に示す回転数で締固めた。
- ③ 混合温度、締固め温度は配合設計時と同様とした。

表－ 4.15 SGC の旋回数

混 合 物	アスファルト	改質材添加量 (%)					
		0	2	3	4	5	6
密粒13 A	ストアス60～80+改質材 ①	26					－
	ストアス60～80+改質材 ②	－	19	18	17	17	－
密粒13 B	ストアス60～80+改質材 ①	34					
密粒13 C		23					
密粒13 A	セグロソ	22					
	改質A	40					
	改質B	40					
	改質C	21					
	高粘度	19					
SMA13	ストアス60～80+改質材 ①	19					
細粒G13F		24					

3) 供試体の整形および貼り付け

- ① SGC によって作製された厚さ約 9cm の供試体は、厚さが $50 \pm 2\text{mm}$ になるように上部と下部を均等にコンクリートカッタで切断した。
- ② 切断した供試体はよく乾燥させ、かさ密度を測定した。
- ③ 表－ 4.16 に従って、プラテンと供試体を接着させた。

表－ 4.16 接着方法

接着剤		接着圧力	養生時間
製品名	主剤：硬化剤		
エポキシ系接着剤	7 : 3	0.14MPa (20PSI)	120分以上

4) 試験条件

この試験は SUPERPAVE の Full Mix Design の配合設計で必要に応じて行われ、わだち掘れ量の推定に用いられる。試験方法は、供試体に最大せん断応力が 68kPa (0.69kgf/cm^2) になるハーバーサイン波の荷重を 0.7 秒（载荷時間 0.1 秒、休止時間 0.6 秒）のサイクルでかける。供試体はせん断応力がかかると、膨張あるいは収縮変形を起こそうとするが、SST は高さが一定になるようにフィードバック制御で圧縮力または引張力をかける。载荷回数は 5,000 サイクルまたは永久せん断ひずみが 1 % に達するまでである。

試験温度¹⁾は、SUPERPAVE の規定では年間の最高路面温度から 7 番目に高い路面温度の時の路面から 50mm の深さの舗装温度で実施することとしているが、今回の試験では 40°C の 1 水準に固定した。この温度以外に 50°C および 60°C での試験も行ったが、1 ～数回の载荷で供試体が破壊してしまうので、試験温度としては不適当と判断した。試験条件を表－ 4.17 に示す。

表－ 4.17 試験条件

	試験温度	せん断応力	せん断载荷サイクル		载荷波形	载荷回数	供試体数
			载荷時間	休止時間			
予備载荷* 1	40℃	7kPa (0.07kgf/cm ²)	0.1sec	0.6sec	ハーバーサイン	100	4個/混合物
本試験		68kPa (0.69kgf/cm ²)				5000*2	

*1) 治具やロードセルのガタツキをなくするために本試験前に行う

*2) 载荷回数5000回、または永久せん断ひずみが1%に達したら試験終了

(2) 試験結果

RSCH 試験の結果を表－ 4.18 に示す。また、DS と定数 A の関数を図－ 4.11 に示す。

表－ 4.18 試験結果

混合物	骨材	アスファルト	改質材添加量 (%)	アスファルト量 (%)	定数A
密粒13 A	A	スチアス60～80 + 改質材①	0	5.6	0.5454
			2		0.4326
			3		0.3374
			4		0.2536
			5		0.2244
		スチアス60～80 + 改質材②	1	5.7	0.373
			2	5.7	0.153
			3	5.8	0.101
			4	5.8	0.045
		センプローン	0	5.6	0.2609
		改質a		5.3	0.2559
		改質b		5.3	0.1899
		改質c		5.5	0.2043
		高粘度		5.6	0.1242
密粒13 B	B	スチアス60～80 + 改質材①	0	5.9	0.5293
			2		0.4553
			3		0.3466
			4		0.3015
			5		0.2283
密粒13 C	C	スチアス60～80 + 改質材①	0	5.8	0.5502
			2		0.4865
			3		0.3036
			4		0.2600
			5		0.2059
SMA13	A	スチアス60～80 + 改質材①	0	5.8	0.6483
			3		0.2934
			4		0.2389
			5		0.2011
			6		0.1654
細粒G13F	A	スチアス60～80 + 改質材①	0	6.9	0.5892
			3		0.1600
			4		0.1250
			5		0.1178
			6		0.1049

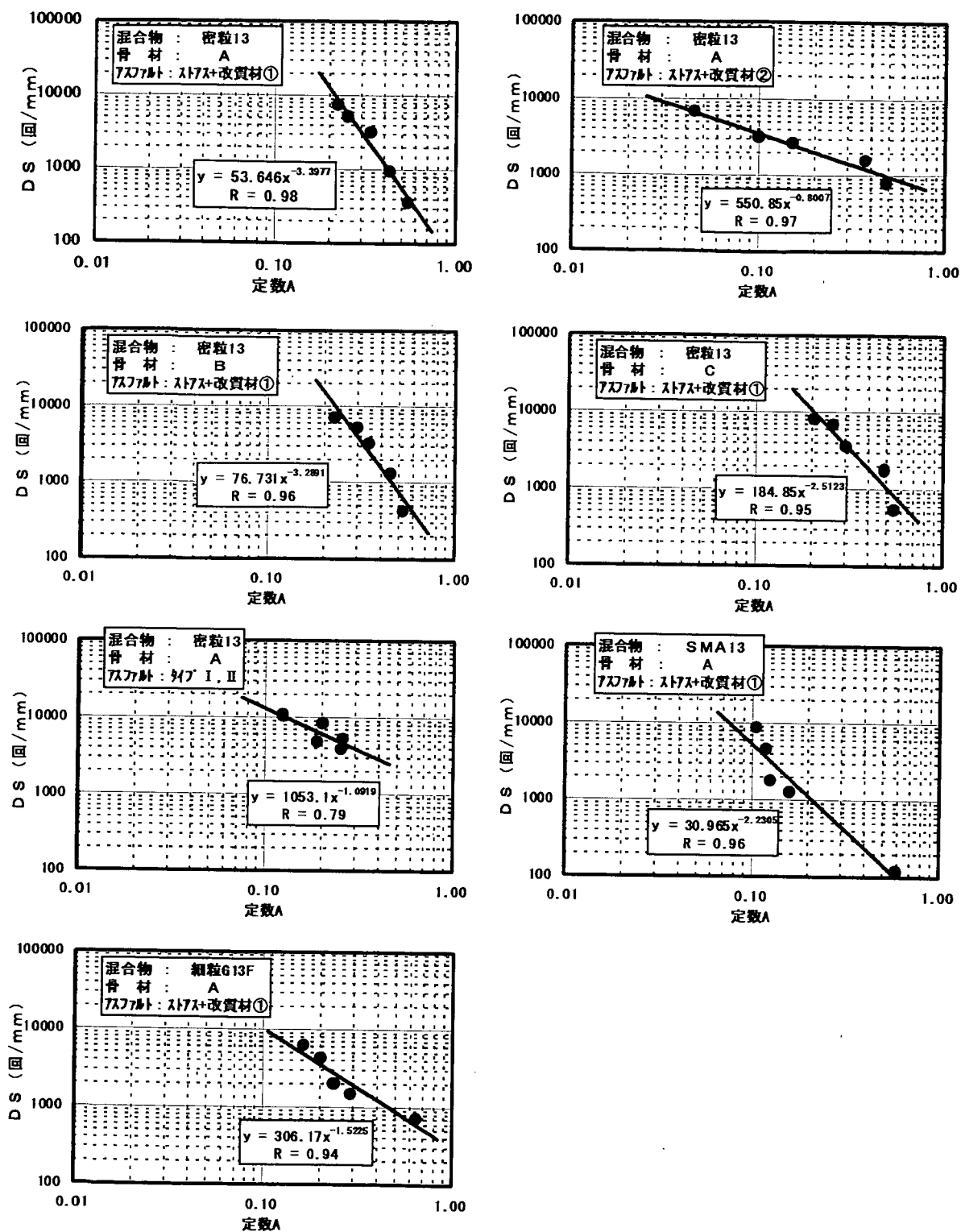


図-4.11 RSCH 試験結果

4. 4. 4 各種要因別に見た相関性

(1) 骨材種類による影響

骨材の岩質、形状の違いによる DS と定数 A の関係を図-4.12 に示す。図より DS と定数 A の相関係数は 0.9 以上あり、相関は高いといえる。

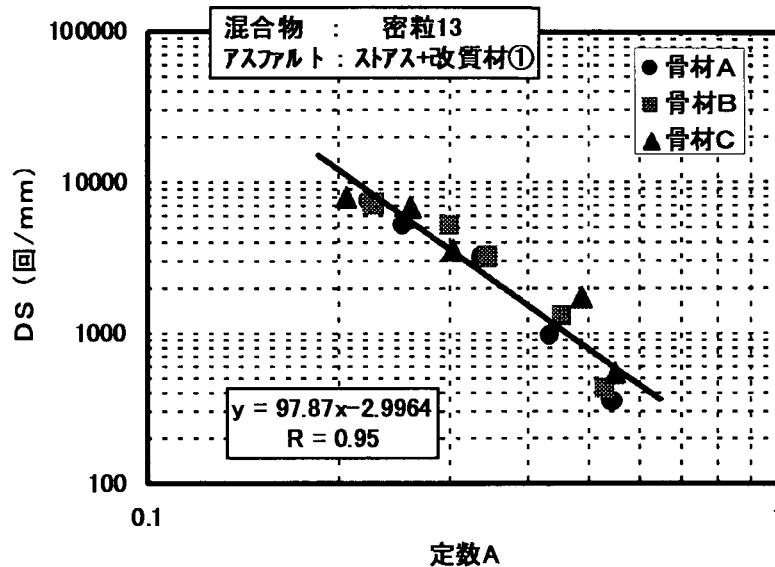


図-4.12 骨材の違いによる DS と定数 A の関係

(2) 混合物種類による影響

混合物の違いによる DS と定数 A の関係を図-4.13 に示す。図より各混合物の回帰直線は、相関係数は 0.9 以上あり相関は高いが、それぞれの傾きや切片は異なることがわかる。

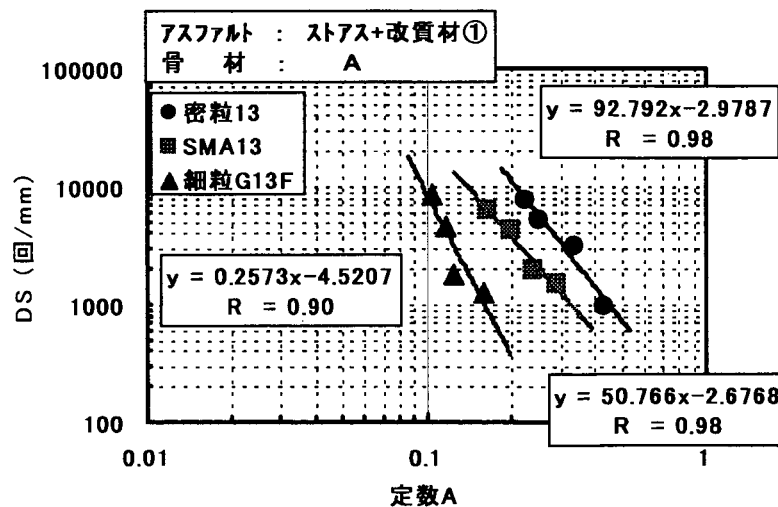
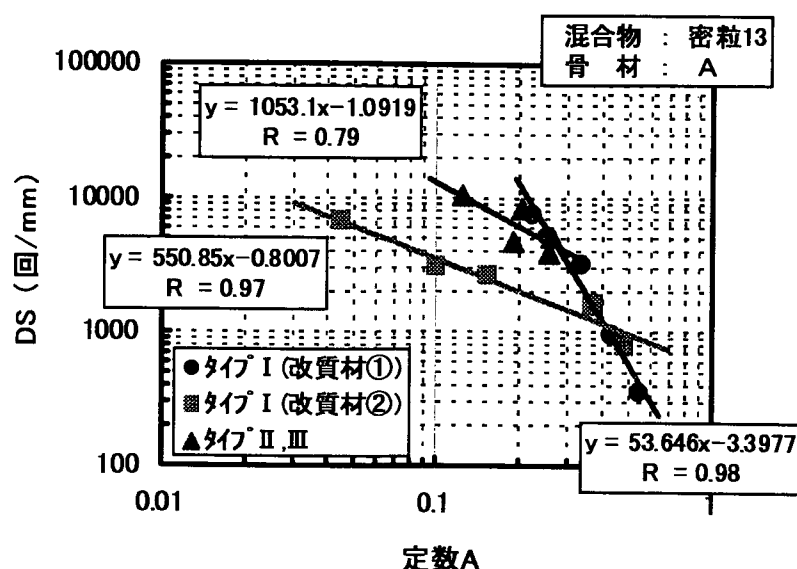


図-4.13 混合物の違いによる DS と定数 A の関係

(3) バインダ種類の影響

バインダの違いによる DS と定数Aの関係を図－ 4.14 に示す。図より同じタイプ I でも改質材が違ふことにより回帰直線の傾き、切片が違ふことがわかる。またタイプ II、IIIの相関係数は 0.79 とタイプ I より低い。



図－ 4.14 バインダの違いによる DS と定数Aの関係

4. 4. 5 考察

(1) 骨材種類による影響

DS と定数Aの相関係数は 0.9 以上であり、同じ混合物であれば骨材による影響は少ないことがわかった。

(2) 混合物種類による影響

混合物ごとの DS と定数Aの相関は高いが、回帰直線の傾きおよび切片は混合物ごとに異なり、混合物の何らかの特性が傾きおよび切片の違いに現れているものと考えられる。

(3) バインダ種類による影響

同じタイプ I でも改質材が違ふことにより、回帰直線の傾きが違ふことがわかる。またプレミックスのタイプ II、IIIも回帰直線の傾きが異なり、DS と定数Aの相関係数は 0.79 と低い。

これらの傾向は、試験温度が WT 試験 (DS) は 60 °C と RSCH 試験 (定数A) は 40 °C の結果であり、バインダの粘弾性が 40 °C と 60 °C では違ふことが影響していると考えられる。特にタイプ II、IIIの改質アスファルトは、それぞれ改質材、製造方法が違ふため、温度によるバインダの粘弾性の傾向が異なり、相関係数が低くなったと考えられる。

従って RSCH 試験の試験温度を WT 試験の試験温度にあわせて実施し、両者の関係を再検討することが必要である。

4. 5 まとめ

(1) 供試体作製方法の検討

①試料の投入方法について

作製者によって供試体の密度に変動を与えない投入方法は、SGC では 4 方向より投入し表面中央部に丸みをつける方法であった。

②切り出した供試体の上面側と下面側の密度のばらつきについて

上面側と下面側の密度を分散分析で検討した結果から、危険率 5 % で有意差が認められた混合物は 9 種類中 6 種類であった。また、密度比と変動係数について調べたところ上面側と下面側の密度比に違いはないが、変動係数は上面側で 0.35 %、下面側で 0.19 % であった。

中央から 1 個切り出した供試体の変動係数は 0.19 % で下面側と同じ値を示し、ばらつきにくいことがわかった。これらの結果から切り出し個数を 1 個にすることによってばらつきの小さい供試体が作製できることが確認できた。

(2) 温度調整方法の検討

SST においては、以下のような温度調整を行うとよいことが分かった。

①試験前日の作業

試験を行う前日に供試体を試験チャンバもしくは環境チャンバに入れ、目標温度で養生する。この時、供試体の載荷ヘッドへの取付けまでに 5 時間以上の養生時間がとれることを確認する。

②試験当日の作業

試験当日は、まず最初に供試体を載荷ヘッドに取付け、その後、表-4.19 に示す養生時間が過ぎたのち試験を行う。ここで、供試体の取付けに 30 分以上の時間がかかってしまった時は、表-4.19 に示す養生時間に 10 分または 20 分程度の時間を加えて養生した後に試験を行うようにする。

また、この方法で試験を行う場合、試験室内の空気温度が大きく関係してくると考えられるので室内温度には十分注意し、温度差が大きくなるようであれば、前述の養生時間に 10 分または 20 分程度の時間を加えて養生する必要があると考えられる。

表- 4.19 供試体取付け後の養生時間

設定温度	4 °C	20 °C	40 °C	60 °C
養生時間	60 分	30 分	30 分	60 分

(3) 耐流動性評価

骨材、混合物およびバインダなど、試験に影響する要因の水準を増やして DS と定数 A の関係を検討したが、混合物ごとの DS と定数 A の相関は高く、耐流動性を定数 A で評価できる可能性は高まった。

SST による検討では、RSCH 試験の 60℃での測定が困難であったため、40℃での測定を元に考察を行っている。このため、粘弾性状の異なる状態での定数 A と DS の比較となってしまった。これが、混合物種類の違いやバインダ種類の違いを検討した際に影響を及ぼしていると考えられる。従って粘弾性状を同じにするため、RSCH 試験を WT 試験と同じ温度で行い、DS と定数 A の相関を検討する必要があることがわかった。

SST では、60℃の測定が困難であるため、60℃での RSCH 試験が可能な RSCH 試験専用機を試作することとした。試作にあたっては、高さ制御が、フィードバック制御では安定しないため、機械的に高さを一定に制御する方法に変更した。

5. RSCH 試験専用機を用いた耐流動性評価

5. 1 概要

4 章までの検討で、SST 中の RSCH 試験モードが耐流動性評価に有効であることが分かったが、現在の SST では、WT 試験と同じ温度条件で RSCH 試験を行うことが困難であり、それが試験結果にも影響を及ぼしていた。SST による RSCH 試験での検討で、DS と定数 A の相関性に違いが出たのは、①試験温度の違い、②フィードバック方式の高さ制御、③応力が過大、が原因と考えられる。

そこで、これらの原因を考慮して試験機の構造等を改良し、新たに RSCH 試験専用機を試作した上で、耐流動性評価の検討を行うこととした。

5. 2 RSCH 試験専用機の概要

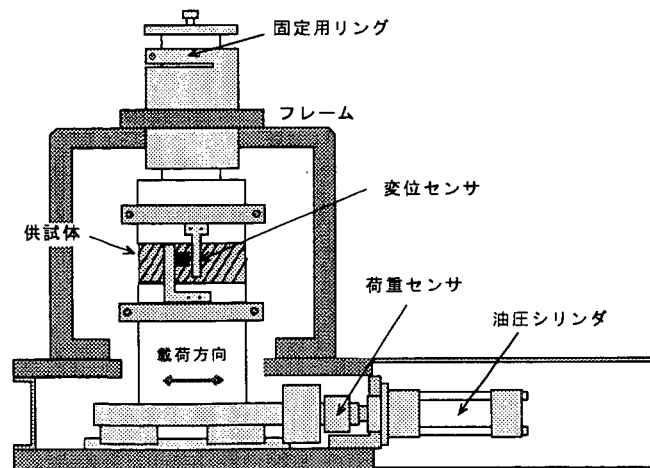
5. 2. 1 RSCH 試験専用機の試作

SST に改良を加え RSCH 試験に機能を限定した試験機を試作した。以下に改良方針を示す。

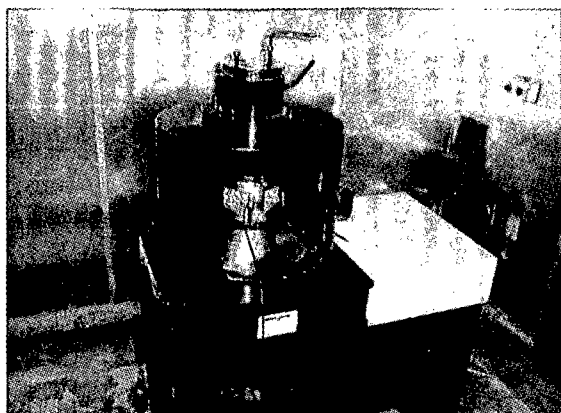
- (1) RSCH 試験専用のシンプルな構造とする。
- (2) 試験結果に影響を与えていた上下方向の変動を固定用リングで完全に固定することにより抑制する。
- (3) RSCH 試験向きに測定可能変位量を大きくする。

5. 2. 2 試験機の概要

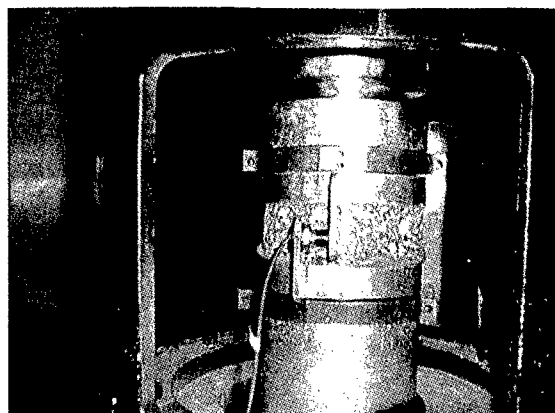
今回試作した RSCH 試験専用機は、水平方向にせん断力を加えることにより発生する上下動を固定用リングで完全に抑制したものである。そのため、従来の SST と比較して試験機本体の構造を大幅に簡素化することが可能となった。RSCH 試験専用機の概要図を図－ 5.1 に示す。また、外観および供試体の取付け状態を写真－ 5.1、写真－ 5.2 に示す。また、RSCH 試験の試験条件を表－ 5.1 に示す。



図－ 5.1 RSCH 試験専用機の概要図



写真－ 5.1 RSCH 試験専用機



写真－ 5.2 供試体取付け状態

表－ 5.1 試験条件

項 目		条 件
載 荷 方 式		荷重制御方式
載 荷 応 力		60kPa
サ イ ク ル		載荷 0.1sec , 休止 0.6sec
載 荷 波 形		ハーバーサイン波
載荷回数	予備載荷	30 回
	本 載 荷	5,000 回
変 位 測 定		渦電センサ (測定範囲± 2.5mm) (分解能 0.001mm)
供試体サイズ		直径 15cm , 厚さ 5cm
試 験 温 度		60 ± 0.5 °C
養 生 時 間		5 時間以上 24 時間未満

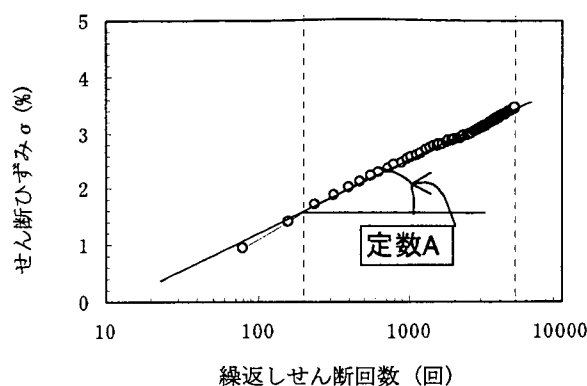
5. 2. 3 評価方法に関する検討

RSCH 試験の評価方法として以下の 2 種類の方法について検討した。評価方法を図－ 5.2, 図－ 5.3 に示す。またそれぞれの評価法による計算方法を示す。

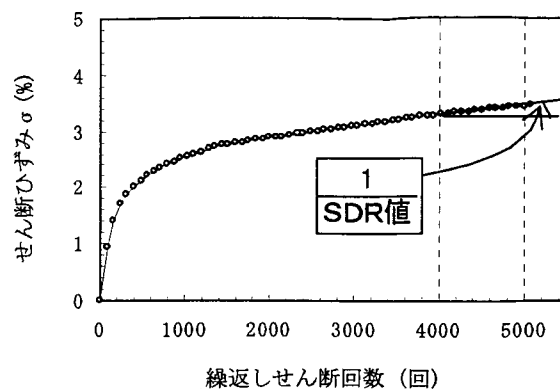
①繰返しせん断回数の対数に対してせん断ひずみをプロットし、繰返し回数 100 から 5,000 回までの近似曲線の傾きを指標とする方法。(定数 A)

②繰返しせん断回数に対してせん断ひずみをプロットし、繰返し回数 4,000 回から 5,000 回までの近似曲線の傾きの逆数を指標とする方法。(SDR 値 ; Shear Deformation Rate)

これまでの検討においては、評価方法として①の方法を用いていた。しかし、①の方法は計算式より流動抵抗性の高いアスファルト混合物ほど定数 A は小さくなる特性をもっている。現在の WT 試験結果の指標である DS は、流動抵抗性の高いアスファルト混合物ほど値は大きくなることから、DS の考え方に準拠している②の方法が適当と思われるため、これ以後は評価方法②を標準とした。



図－5.2 評価方法①



図－5.3 評価方法②

[計算方法]

$$\text{① 定数 A} = \frac{\sigma_{5,000} - \sigma_{100}}{\log_{10}(5,000) - \log_{10}(100)}$$

$$\text{② SDR 値} = \frac{5,000 - 4,000}{\sigma_{5,000} - \sigma_{4,000}}$$

5. 3 供試体に関する検討

SST 用供試体の作製方法として、以下の 3 種類について検討した。

①高さ 9 または 14cm の SGC 供試体を作製し、中央部付近から 1 または 2 個の供試体を切り出す方法

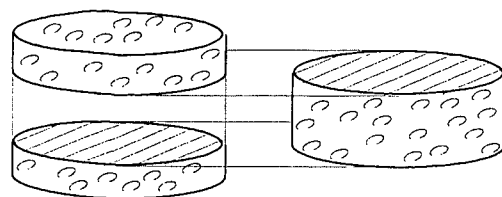
この方法は、SGC で高さ 9 および 14cm の供試体を作製し、中央部付近から高さ 5cm の SST 用供試体を切り出す方法である(図－5.4 参照)。なおこの方法は SHRP において提唱されている方法であり、4 章まで行ってきた方法である。

②高さ 5cm の SGC 供試体を作製し、そのまま SST 用供試体とする方法

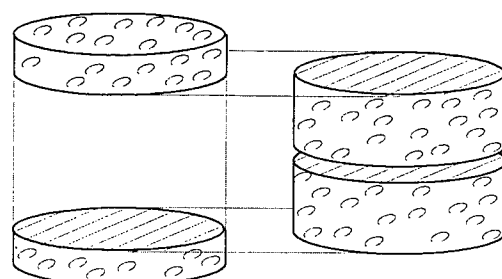
この方法は、SGC で高さ 5cm の供試体を作製し、そのまま SST 試験用供試体とする方法である(図－5.5 参照)。カッティング作業が不要で非常に簡易な方法ではあるがあらかじめ高さと密度の両方を同時にマーシャル基準密度にあわせるために密度(締固め度)と供試体量の関係を求めておく必要がある。

③ 30 × 30 × 5cm の WT 用供試体の中央部付近から、直径 15cm の供試体を切り出す方法。

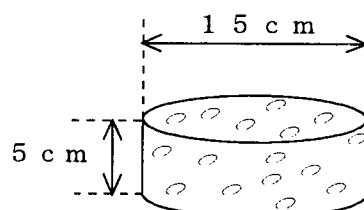
この方法は、30 × 30 × 5cm の WT 供試体の中央部付近から RSCH 用供試体を直径 15cm のコア Cutter で抜取る方法である(図－5.6 参照)。WT と同様の方法で作製した供試体であるため供試体の作製方法の違いによる誤差が少ない。また、ローラコンパクタによる締固めは、ニーディング作用が働き最も現場における締固め状態に近いとされている。



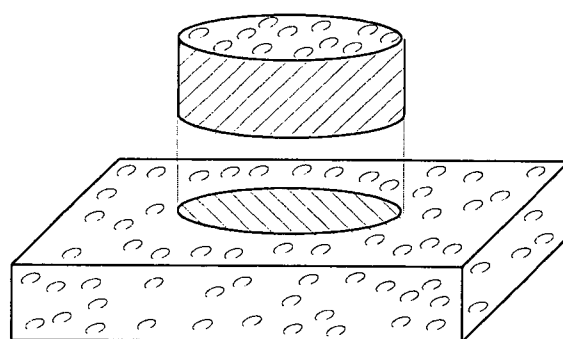
図－ 5.4 供試体準備方法①



図－ 5.5 供試体準備方法②



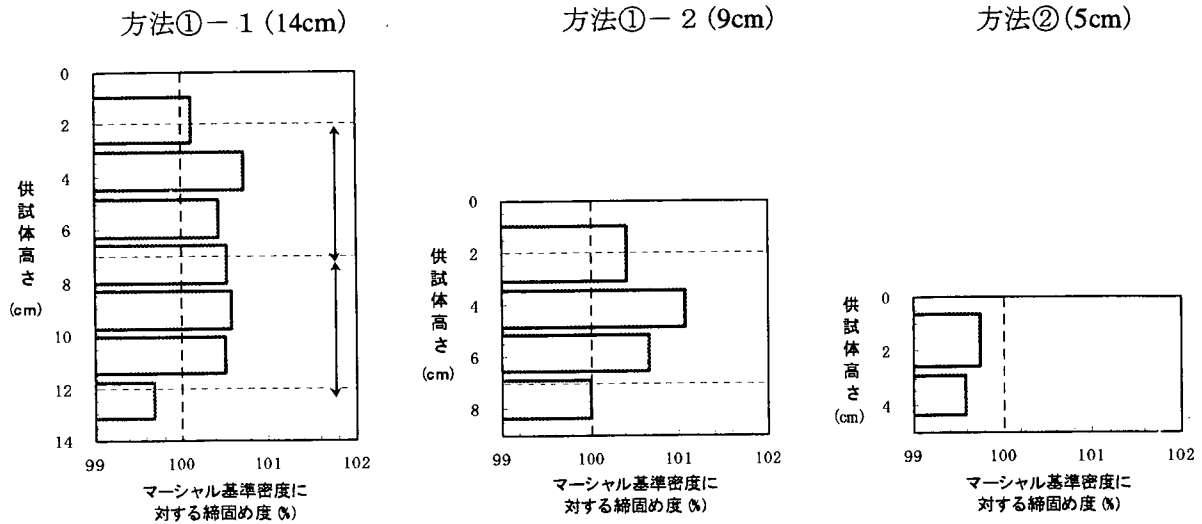
図－ 5.6 供試体準備方法③



(1) 高さ方向の締固め密度分布の検討

SGC の締固め特性を把握するため、一層の締固め厚さを 14cm, 9cm および 5cm とした供試体の上下部の密度の差を求めた。SGC で同一回転数(30 回転)で締固めた各高さの供試体を、約 1.5cm 厚さで数枚にカッティングし、それぞれのかさ密度を測定することにより高さ方向の密度分布を確認した。結果を図－ 5.7 に示す。

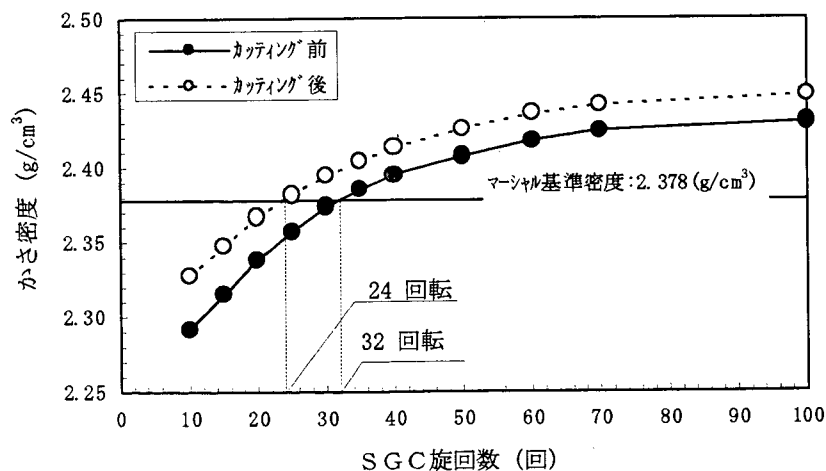
図から、SGC の締固め特性として、供試体の中央部付近が最も締まりやすく、上下部特に下部が締固まりにくい傾向にあるといえる。また、高さ 5cm の場合は、回転数 30 回転では基準密度に達しないことがわかる。



図－ 5.7 SGC 供試体の密度分布図

(2) カッティング前後による密度差

図－ 5.8 は、9cm 供試体のカッティング前後における密度差を求めたものである。上下面をカッティングすることにより切断面が平滑になるため、かさ密度が増加することがわかる。そしてマーシャル基準密度と同一の密度を得るためには、カッティング前で 32 回転、カッティング後で 24 回転必要なことがわかる。今回の検討に際しては、カッティング前の密度をマーシャル基準密度にあわせることとした。



図－ 5.8 カッティング前後における密度差

(3) キャリブレーションカーブ

SGC で高さ 5cm の供試体を作製する方法(②の方法)では、密度(締固め度)と高さを同時に満足する供試体を作製しなければならないため、図- 5.9 に示すようなキャリブレーションカーブが必要となる。このキャリブレーションカーブは、混合物の種類等によって異なることが予想されるため、それぞれ異なるキャリブレーションカーブを用意する必要がある。

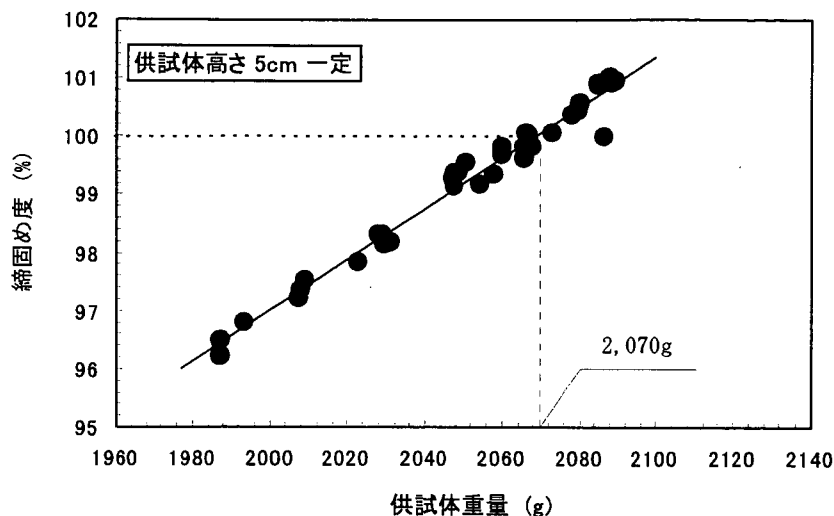


図- 5.9 供試体重量と締固め度の関係(高さ 5cm 一定)

(4) 供試体の準備方法の違いによる SDR 値の検討

上記の①～③の供試体準備方法の違いが SDR 値に及ぼす影響を確認した結果を図- 5.10 に示す。図から、高さ 5cm の供試体をそのまま使用する方法で試験を行った場合には、SDR 値が約 1.7 ～ 1.9 倍になることがわかる。これは、SGC の締固め特性に起因するものと思われる。

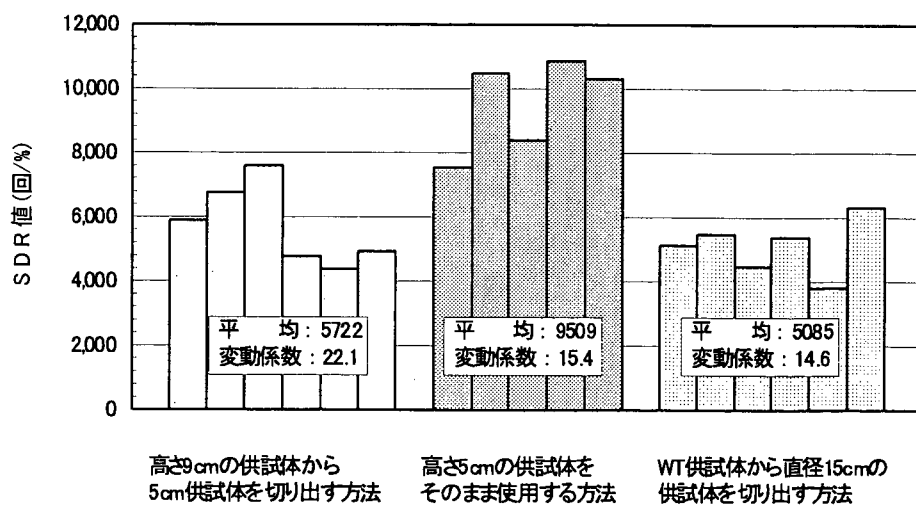


図- 5.10 供試体作製方法別 SDR 値

(1)～(4)の検討結果から本研究においては、WT 供試体の中央部付近から直径 15cm の供試体を切り出す方法[方法③]が、WT 試験との相関性を検討する上で効率性の面からも最も有利であることから、この方法を標準とした。

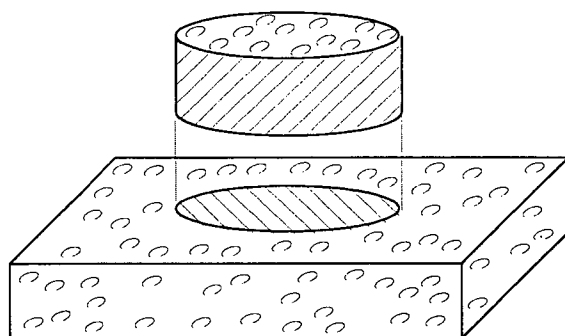
5. 4 試験精度

これまでの試験結果から、RSCH 試験と WT 試験との相関性が確認されて、耐流動性評価試験として十分適用できることがわかった。しかし、RSCH 試験は WT 試験と比較して試験精度が向上しているのか明確になっていない。そこで RSCH 試験の試験精度の検証を行うとともに、試験精度向上のための供試体作製方法の検討も行った。

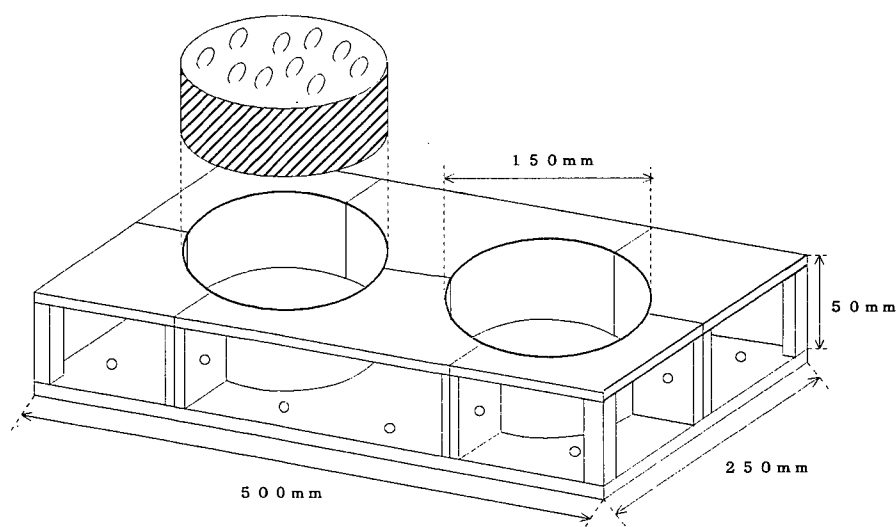
試験は WT 試験と供試体作製方法を変えた RSCH 試験を行い、変動係数を比較した。なお、検討に用いた混合物は、密粒度アスファルト混合物 (13) でアスファルトは高粘度改質アスファルトを使用した。RSCH 用供試体は以下の 2 つの方法で作製した。

① WT 供試体から切り取った ϕ 15cm 供試体 (図－5.11)

② RSCH 試験専用供試体作製型枠を用いて作製した ϕ 15cm 供試体 (図－5.12)



図－5.11 RSCH用供試体①



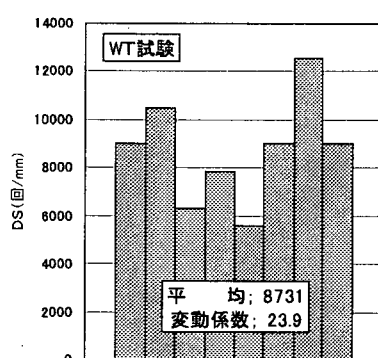
図－5.12 RSCH用供試体②

図－ 5.13 ～図－ 5.15 に試験結果を示す。

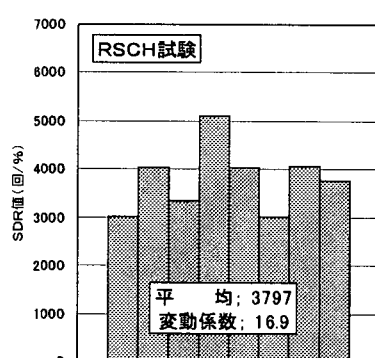
図－ 5.13 に示すように、WT 試験では DS が 9,000 回/mm に近い混合物のため、バラツキも大きく変動係数も 20 % を越える値となっている。

図－ 5.14 に示すように、RSCH 試験でも作製方法①では、変動係数が WT 試験よりは小さいものの、約 17 % と少し変動が大きい。これは、作製方法①の供試体は WT 試験用の供試体 (30 × 30 × 5cm) から φ 15cm の供試体を切り取って使用しているため、切り取り位置等の影響により多少バラツキが出るためと思われる。

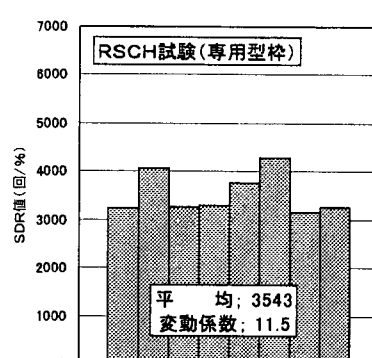
図－ 5.15 に示すように、専用型枠を用いると変動係数は 11% 台になり、WT 試験と比較して変動の幅は大きく改善された。このため RSCH 試験を行う場合は可能であれば専用型枠を用いることが望ましいと思われる。



図－5.13 WT試験結果



図－5.14 RSCH試験①



図－5.15 RSCH試験②(専用型枠)

5. 5 基本的性能の確認

今回試作した RSCH 試験専用機が耐流動性評価試験機としての基本的性能を満足しているか適用性に関する検討を行った。表－ 5.2 に試験要因と水準を示す。

表－ 5.2 試験要因と水準

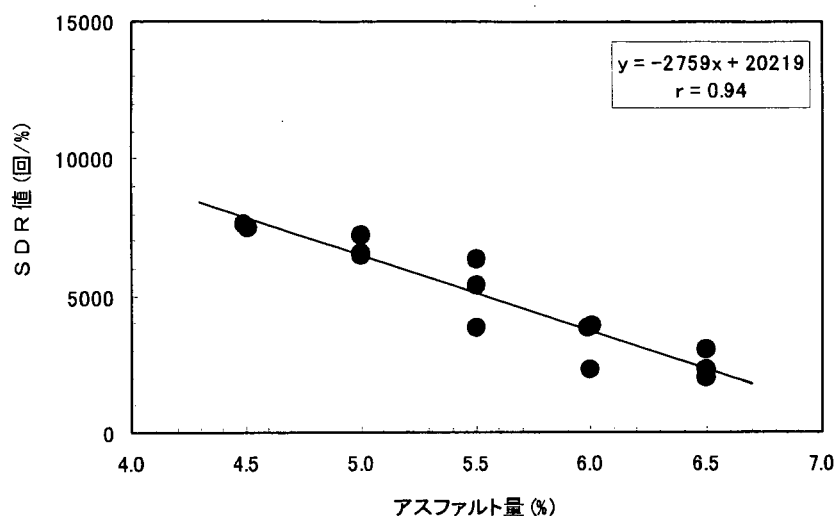
項 目	水 準
アスファルト量 (%)	4.5, 5.0, 5.5 (OAC), 6.0, 6.5
締 固 め 度 (%)	96, 97, 98, 99, 100, 101
改質材添加量 (%)	2, 4, 6, 8, 10, 12

(1) アスファルト量

一般的にアスファルト混合物は、最適アスファルト量(以下、OAC)以上だと耐流動性が減少

し、OAC からマイナス方向にアスファルト量を変化させると耐流動性は向上する。このようなアスファルト混合物の基本的性質に対して、RSCH 試験専用機による耐流動性評価を行った。結果を図－5.16 に示す。

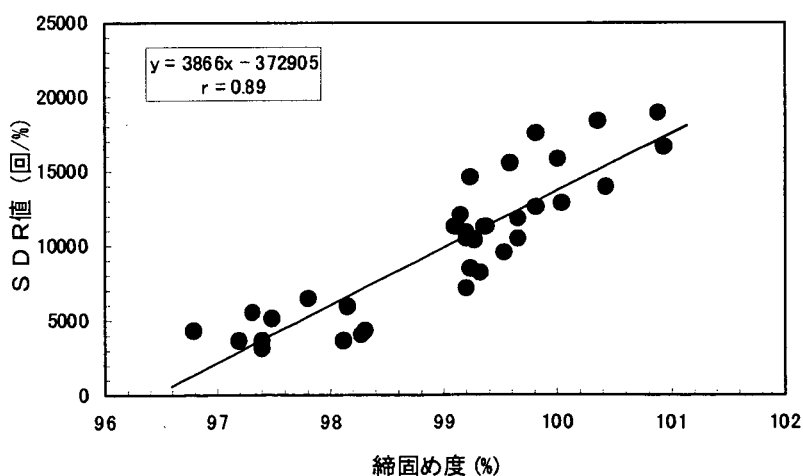
図からアスファルト量の変動に対して、広い範囲で耐流動性の評価が可能であることがわかる。



図－ 5.16 アスファルト量と SDR 値の関係

(2) 締固め度

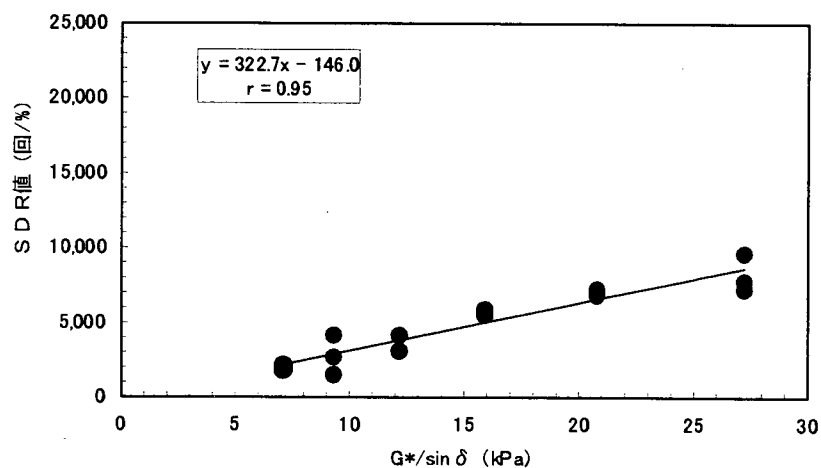
図－ 5.17 は、供試体の締固め度を変化させた場合の SDR 値の傾向を求めたものである。図から、締固め度が増加するにしたがって SDR 値は増加していることがわかる。従って、アスファルト混合物の耐流動性評価試験に関する基本的性状を満足しているといえる。



図－ 5.17 締固め度と SDR 値の関係

(3) 改質材添加量

粘弾性状の異なるアスファルトに対して SDR 値の変化を求めた結果を図－ 5.18 に示す。アスファルトの粘弾性は DSR (Dynamic Shear Rheometer) から求めた弾性率 $G^*/\sin \delta$ を用いた。図から、アスファルトの $G^*/\sin \delta$ が増加するのにもなって SDR 値も増加することがわかる。さらにバラツキの範囲も比較的少ないことから、広い粘弾性領域に対して耐流動性を評価可能であるといえる。



図－ 5.18 アスファルトの粘弾性と SDR 値の関係

5. 6 耐流動性評価

5. 6. 1 試験概要

(1) 使用材料

本研究では土木研究所の標準骨材およびアスファルトを使用し、骨材配合およびアスファルト量はこれまでの配合設計に準拠した。

①骨材

本研究に使用した骨材の主な性状を表－5.3に示す。

表－5.3 骨 材 の 性 状

		6号碎石	7号碎石	粗 砂	石 粉
産 地		茨 城 県 石 岡 市	茨 城 県 石 岡 市	茨 城 県 結 城 市	栃 木 県 安 蘇 郡
石 質		硬質砂岩	硬質砂岩	川 砂	炭酸カルシウム
通 過 質 量 百 分 率 (%)	19.0 mm	100.0			
	13.2	91.7			
	9.5	51.6	100.0		
	4.75	2.2	96.0	100.0	
	2.36	0.3	5.1	97.1	
	0.60		2.9	65.0	100.0
	0.30			27.1	99.9
	0.15			6.9	95.5
	0.075			2.2	81.1
比 重	表 乾	2.671	2.651	2.557	
	か さ	2.658	2.630	2.487	
	見 掛	2.693	2.686	2.675	2.760
吸 水 率 (%)		0.50	0.80	2.83	
すり減り減量 (%)		17.0			
偏 平 率 (%)		0.0			
軟 石 率 (%)		0.8			

②アスファルト

本研究において使用したアスファルトの性状を表－ 5.4 に示す。

表－ 5.4 アスファルトの種類および性状

アスファルトの種類	ストレートアスファルト 60/80	改質アスファルトⅡ型	高粘度アスファルト
製造会社	A	B	B
針入度(25℃) (1/10mm)	71	58	69
軟化点 (℃)	46.0	59.5	90.5
伸 度(15℃) (cm)	100+	100+	100+
タフネス (N・m)	5.6	34.9	25.0
テナシティ (N・m)	1.5	29.8	21.4
密度(15℃) (g/cm ³)	1.038	1.034	1.027
60℃粘度 (Pa・s)	307	1,360	100,000+

③改質添加材

本研究において使用した改質材の代表的性状を表－ 5.5 に示す。

表－ 5.5 改質材の性状

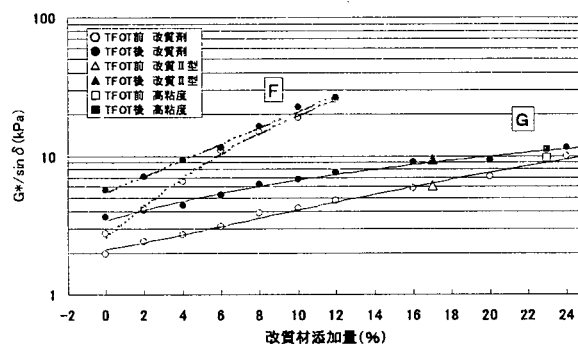
種 類	改質材 F	改質材 G
主 成 分	SBS ブロック共重合体	熱可塑性エラストマー
外 観	エマルジョン	ペレット状
全固形分 (%)	50	100
p H	10	—
エマルジョン比重	0.98	—
固形分密度 (g/cm ³)	0.96	0.96

(2) 改質アスファルトの粘弾性状

改質材をストレートアスファルトに添加した場合の粘弾性状の変化を測定した。試験条件を表－ 5.6、試験結果を図－ 5.19 に示す。なお、改質材の粘弾性の指標としては、供用中のわだち掘れに関係が深いとされる DSR (Dynamic Shear Rheometer) によって求めた弾性率 $G^*/\sin \delta$ を用いた。またプラントでの混合による劣化状態を再現するため薄膜加熱劣化試験 (TFOT : Thin Film Oven Test) 前後における粘弾性状の変化についても確認した。なお、改質材は混合物中のアスファルトに対して内割り重量百分率で添加した。

表－ 5.6 試験条件

	項 目	条 件
薄膜加熱	試験温度 (°C)	163
	試験時間 (時間)	5
	試料重量 (g)	50
D S R	試験湿度 (°C)	60
	載荷方法	ひずみ制御
	試験槽タイプ	気 槽
	設定ひずみ (%)	10
	測定周波数 (rad/sec)	10
	供試体	直径 (mm)
		厚さ (mm)
		25
		1



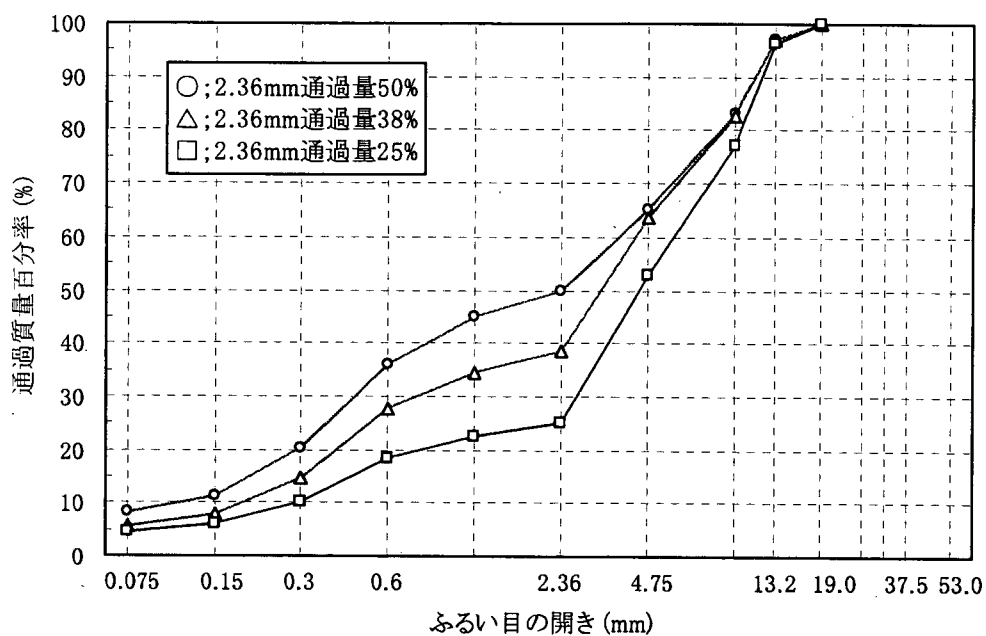
図－ 5.19 改質材添加量と粘弾性の関係

(3) 混合物の配合

本研究において使用した骨材配合と粒度曲線を表－ 5.7 および図－ 5.20 に示す。

表－ 5.7 骨材配合(%)

2.36mm 通過量	6 号	7 号	粗砂	石粉
38% (密粒)	41	21	32	6
25% (粗粒)	47	29	19	5
50% (細粒)	35	15	41	9



図－ 5.20 粒度曲線

(4) 要因と水準

表－ 5.8 に試験の要因と水準を示す。

表－ 5.8 要因と水準

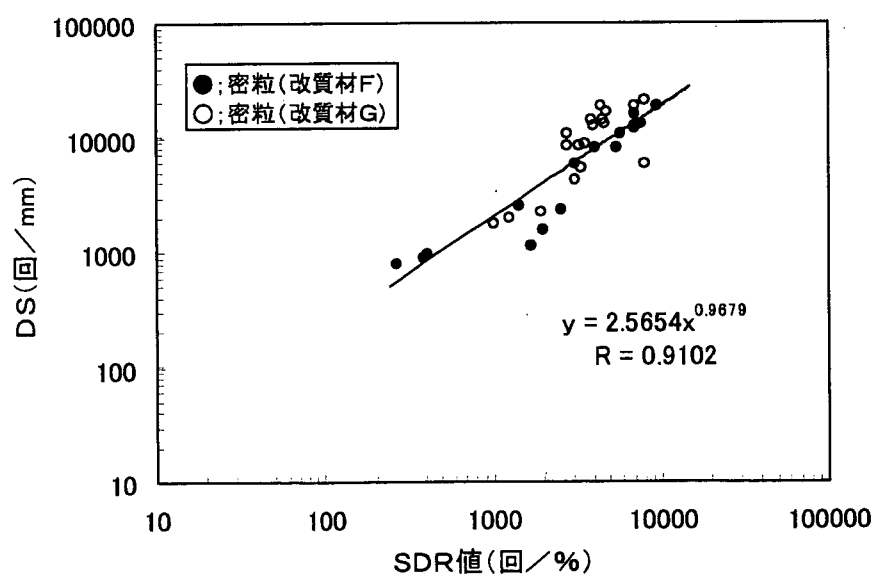
要 因	水準	内 訳
混合物の種類	4	密粒、粗粒、細粒
改質材の種類	2	F、G
添加量(%)	7	F ;0,2,4,6,8,10,12 G ;0,4,8,12,16,20,24

5. 6. 2 RSCH試験結果と WT 試験結果の関係

RSCH 試験結果と WT 試験結果から DS と SDR 値との関係を検討した。

(1) バインダ種の影響

2 種類の異なる改質添加材を使用した混合物の DS と SDR 値との関係を図－ 5.21 に示す。
図から、2 種類の混合物の相関係数は 0.9 以上であり、相関は高いといえる。従って、SDR 値はバインダの種類による粘性の違い等の影響は少なく、耐流動性を評価できるものと思われる。



図－ 5.21 SDR 値と DS との関係

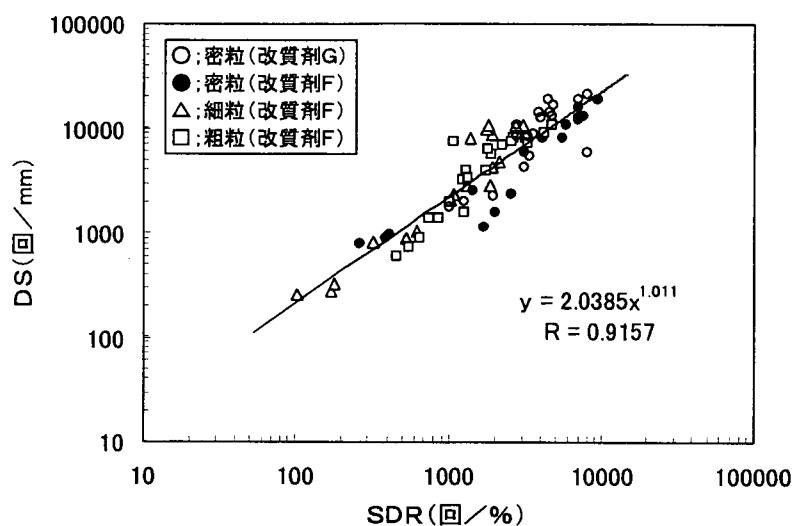
(2) 混合物種の影響

図－ 5.22 は図－ 5.21 に粒度の異なる混合物（細粒、粗粒）の DS と SDR 値との関係を加えた図である。

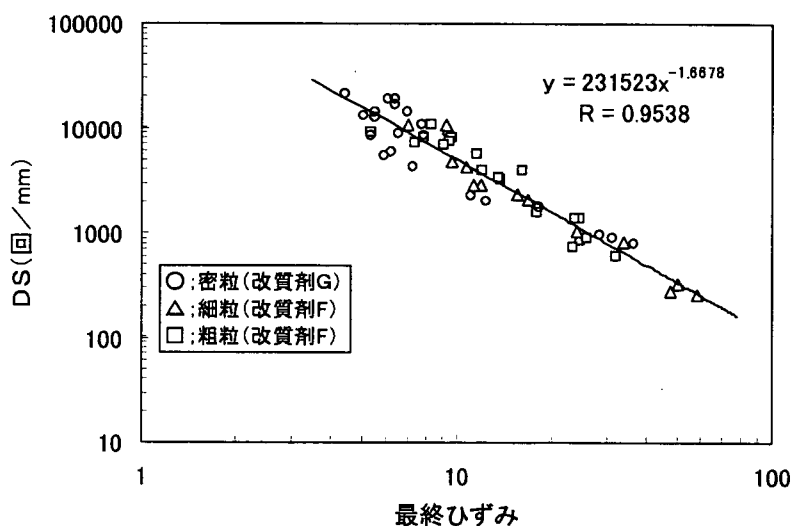
図から混合物の種類による影響はほとんど見られず、DS と SDR 値は高い相関性が認められる。また、相関式から、現在の設定では SDR 値は DS の約 1/2 の値で表されていることがわかる。

従って、密粒等の混合物においては、SDR 値は耐流動性の評価指標として十分有効であるといえる。

また、図－ 5.23 は最終ひずみと DS との関係である。2 章で述べたように WT 試験の DS と d_{60} との間には高い相関性があったが、RSCH 試験の最終ひずみにおいても同様に高い相関性が確認できた。従って、最終ひずみにおいても耐流動混合物の評価は可能であるといえる。



図－ 5.22 各混合物における SDR 値と DS との関係



図－ 5.23 各混合物における最終ひずみと DS との関係

5. 7 供用性評価

供用路面のコアを用いて RSCH 試験でその性状を評価することができれば、将来的に舗装寿命の評価の可能性が見いだせる。そこで土木研究所構内の舗装走行実験場において行われた促進載荷試験前後の現場切り取り供試体について RSCH 試験を行い供用性評価の検討を行った。

5. 7. 1 試験概要

(1) 走行条件

促進載荷試験は舗装走行実験場の中ループの試験工区で、自動大型荷重車を走行させて行った。走行条件を表－5.9 に、試験状況を写真－5.3 に示す。

表－5.9 促進載荷試験走行条件

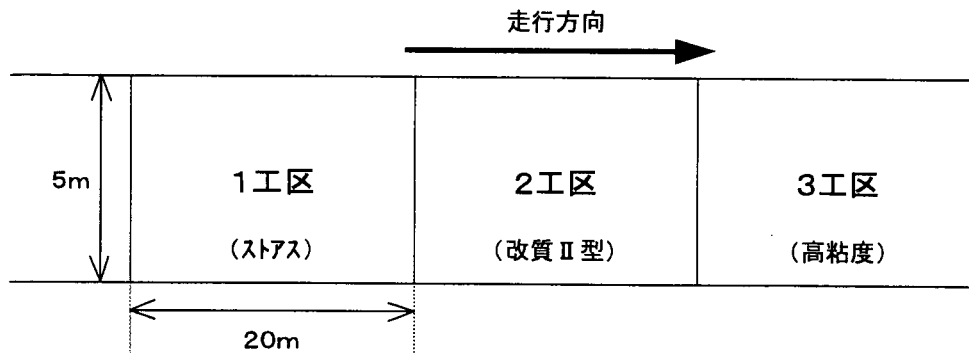
項 目	条 件
試験走路	中ループ (628 m/周、R=100m)
走行周	72,500周 (5t輪換算15万輪相当)
荷重車数	3台
軸重	6t
相当交通量区分	A交通
相当年数	10年
載荷期間	H.12.9～H.12.12



写真－5.3 載荷試験状況

(2) 試験工区

試験工区を図－ 5.24 に示す。1 工区から 3 工区は密粒度アスファルト混合物で、DS を変化するためにアスファルトはストレートアスファルト、改質Ⅱ型アスファルト、高粘度改質アスファルトの 3 種類を使用した。



図－ 5.24 試験工区

(3) 舗装構成

各試験工区の舗装構成を図－ 5.25 に示す。表層以下の舗装構成は各工区とも同一とした。

	1工区	2工区	3工区	
表層	密粒度アスファルト混合物 (ストアス)	密粒度アスファルト混合物 (改質Ⅱ型)	密粒度アスファルト混合物 (高粘度)	5cm
基層	粗粒度アスファルト混合物			5cm
上層路盤	M-30			25cm
下層路盤	C-40			40cm

図－ 5.25 舗装構成

(4) 表層用アスファルト混合物

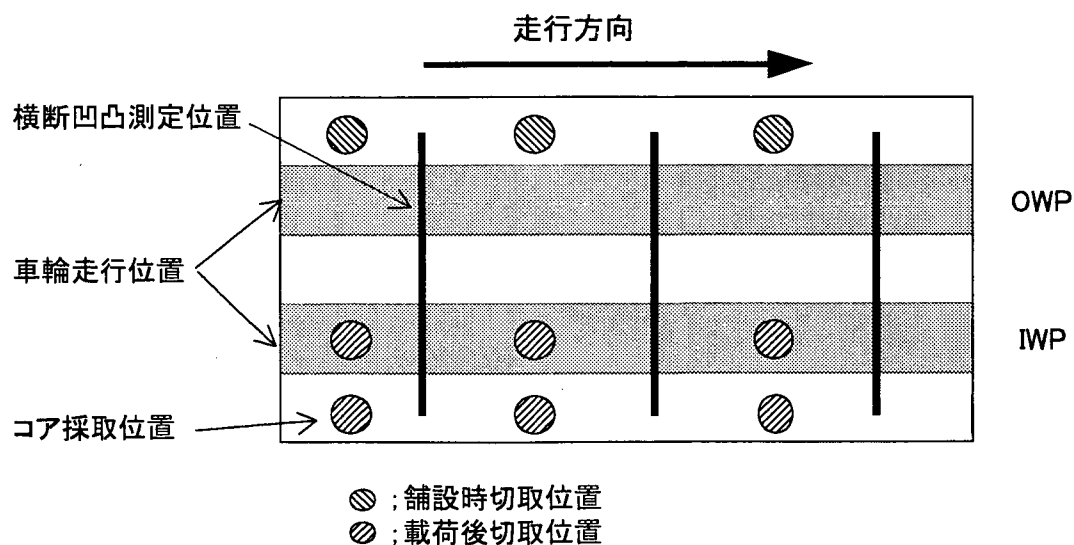
使用したアスファルト混合物の配合および性状を表－ 5.10 に示す。

表－ 5.10 配合および混合物性状

項 目		配 合 種	密粒(13) (ストアス)	密粒(13) (改質Ⅱ型)	密粒(13) (高粘度)
配 合 割 合 %	6 号 砕 石		37.0	37.0	37.0
	7 号 砕 石		17.0	17.0	17.0
	粗 砂		26.0	26.0	26.0
	細 砂		15.0	15.0	15.0
	石 粉		5.0	5.0	5.0
最適アスファルト量		%	5.7	5.5	5.6
特 性 値	見掛密度	g/cm ³	2.365	2.375	2.358
	空 隙 率	%	3.7	3.5	4.0
	飽 和 度	%	78.0	78.4	76.6
	安 定 度	kgf	11.2	12.9	13.2
	フロー値	1/100cm	31	31	28
	動的安定度	回/mm	984	7,000	12,600

(5) 試験項目

試験工区において最大わだち深さの測定を行った。最大わだち深さと RSCH 試験供試体用コア採取位置を図－ 5.26 に示す。



図－ 5.26 測定およびコア採取位置

5. 7. 2 試験結果

(1)最大わだち深さ

各試験工区について横断プロファイルメータにより最大わだち深さの測定を行った。測定結果を表－5.11 に示す。

載荷時期が秋期だったためか、わだちはさほど進行していないが、各工区においては混合物による差が現れている。IWP(inner wheel path)よりOWP(outer wheel path)の測定値が大きいのは、試験走路が周回路のため遠心力が働いたと思われる。

表－ 5.11 最大わだち深さ測定結果

工 区		1 (スト7ス)	2 (改質Ⅱ型)	3 (高粘度)	備考
項 目 最大わだち深さ (mm)	IWP	3.2	2.7	1.9	15万輪終了時
	OWP	7.9	5.0	2.0	

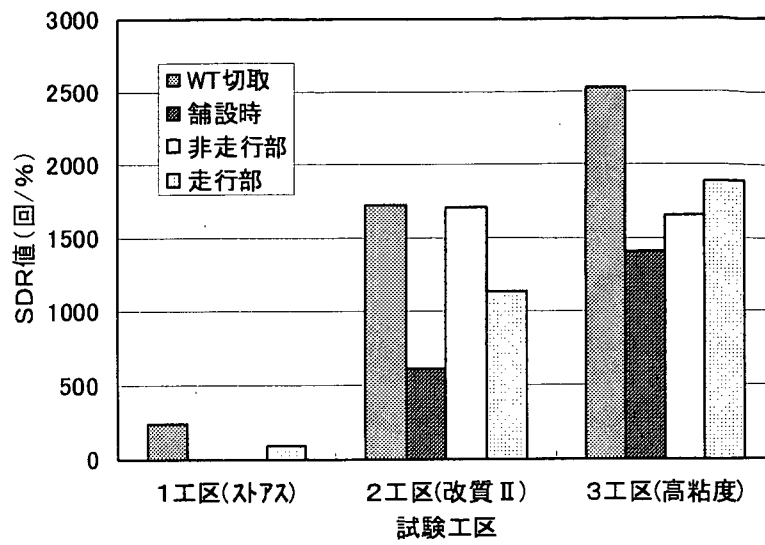
(2)RSCH 試験

各工区から採取したコアを用いて RSCH 試験を行った。試験結果を図－ 5.27 に示す。なお、図中の「初期」は舗設時の混合物で WT 供試体を作製し、その供試体から RSCH 試験用供試体を切り取り、試験を行ったものである。その他の供試体は舗設路面からコアカッタを用いて切り取った供試体で試験を行った。供試体切り取り位置は図－ 5.3 に示すとおりである。

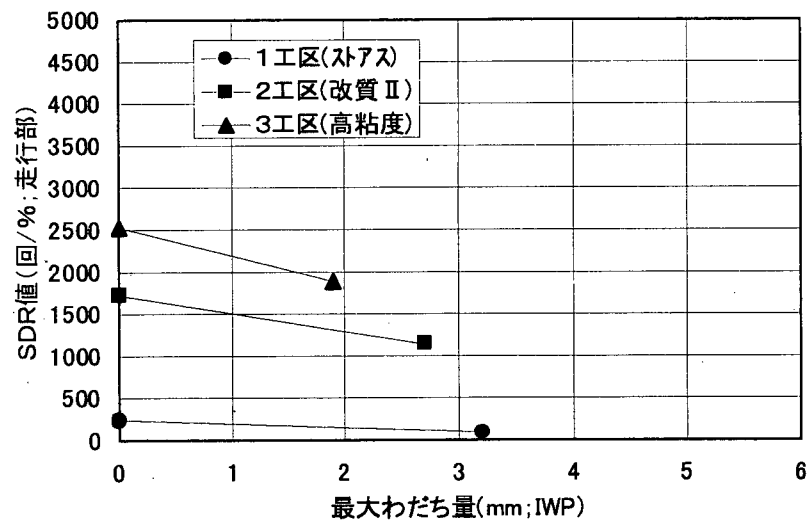
結果を見ると、混合物のアスファルト粘度が大きくなるほど SDR 値も全体的に増加傾向であるため、現場における耐流動混合物の評価は RSCH 試験でも十分可能であると思われる。しかし、「初期」の SDR 値と比較して、同時期に採取した舗設時の現場コア供試体の SDR 値は全体的に小さく、また非走行部と走行部についても明確な傾向は現れていない。これは WT 切り取り供試体と比較して現場コア供試体の方が採取位置による混合物のばらつきが大きいものと思われる。このことを検証するためにも、今後も継続的にデータ採取を行い検討する必要があると思われる。

1 工区の現場コア供試体は、ほとんどの供試体が測定中に破壊してしまい測定不可であった。これまでの実験では、1 工区と同様のストレートアスファルトを使用した密粒度混合物の WT 切り取り供試体は、SDR 値は低いながらも測定は可能であったため、現場コア供試体は WT 切り取り供試体と比較すると SDR 値が小さくなる可能性がある。

WT 切り取り供試体を初期値としたときの、わだち量に対する SDR 値の関係を図－ 5.28 に示す。この図から、各工区でわだち量が増加するに従い、SDR 値は減少している。今回の測定ではわだち量が少なく明確な結果は得られないが、今後継続測定を行い、わだち量の増加にともなう SDR 値の減少傾向が確認できれば、舗装寿命の推定要因に使用できる可能性がある。

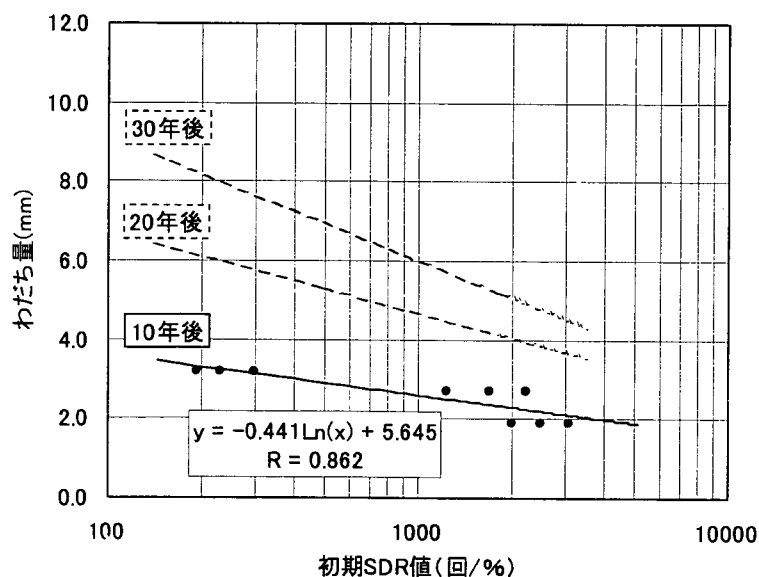


図一5.27 各工区のRSCH試験結果



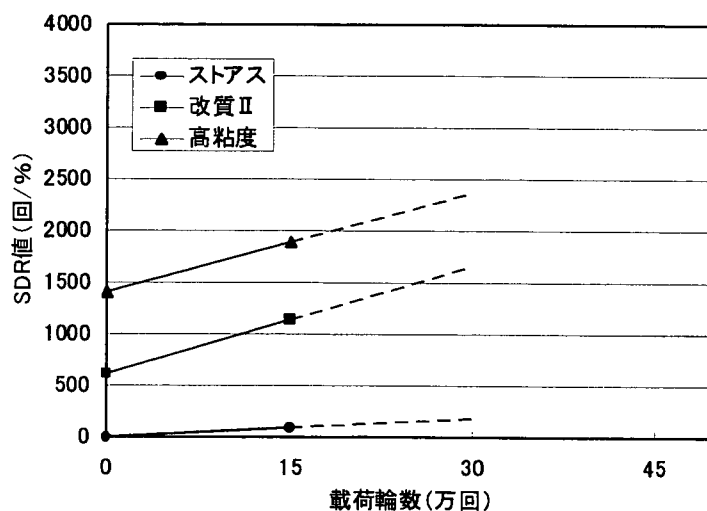
図一5.28 各工区の最大わだち量とSDR値の関係

初期 SDR 値（WT 供試体から切り取った供試体から求められた値）とわだち量の関係を図－ 5.29 に示す。この図から、初期の SDR 値を測定することにより、将来のわだち量のある程度推定することができる。現時点ではデータが少なく推定図としては成り立たないが、将来データを蓄積することにより、舗装寿命評価の一手法として有効なものになると思われる。



図－5.29 初期SDR値とわだち量の関係

載荷輪数と SDR 値の関係を図－ 5.30 に示す。現時点では、載荷輪数が増加していった時の SDR 値の推移はまだ予想できないが、データを蓄積して載荷輪数に対する SDR 値の推移を把握することにより、供用中の混合物の状態をある程度予測することが可能となると思われる。



図－5.30 載荷輪数とSDR値の関係

5. 8 まとめ

(1) 試験機の試作について

- ・今回試作した RSCH 試験専用機は、SST のフィードバック方式による高さ制御から、機械式固定方式に変更したため構造が簡素化でき、データのバラツキの原因となっていたと思われる試験中に発生する上下方向の微小な変形を抑制することが可能となった。

(2) 供試体の作製方法について

- ・SHRP では基本的に SST の供試体作製にあたっては SGC を使用するように推奨しているが、SHRP の方法と今回考案したローラコンパクタによる方法では SDR 値の違いが見られないことなどから、WT と同一のローラコンパクタによる方法によって締固めた供試体で試験を行う方が適していると考えられる。ただし、より精度を求めるのであれば専用型枠で作製した供試体を用いるのが望ましい。

(3) 評価指標について

- ・評価指標については定数 A、SDR 値、最終ひずみ等が有効であった。

(4) 各要因の変化に対する SDR 値の傾向について

- ・アスファルト量・締固め度およびアスファルトの粘弾性を変化させて RSCH 試験を実施した結果、各要因の変化に対して耐流動性評価試験として基本的な性状を満足するものであり、かつ WT 試験では、評価が困難な高耐流動性アスファルト混合物 ($DS \geq 6,000$ 回/mm) の評価も可能であった。

(5) WT 試験との相関性について

- ・連続粒度のアスファルト混合物であれば、混合物やアスファルトの種類に影響されず DS との相関性が高い。
- ・これまで WT 試験では評価不可能であった高耐流動性領域の評価も可能であることがわかった。

(6) 供用性の評価

- ・現場コア供試体のアスファルト粘度が大きくなるほど SDR 値も全体的に増加傾向であるため、RSCH 試験は現場における耐流動混合物の評価も十分可能である
- ・現場コア供試体で RSCH 試験を行うことができるが、室内試験時と比較すると SDR 値が小さくなる傾向がある。
- ・現場コア供試体の SDR 値は室内試験時と比較すると変動が大きい。
- ・現時点ではまだデータが少なく推定式を見いだすことができないが、将来データを蓄積するこ

とにより、わだち量の推定や供用路面の混合物性状評価等が可能になり、舗装寿命評価の一手法として有効なものとなる可能性がある。

6. 結論

今回、高耐流動領域のアスファルト混合物評価試験方法の開発として、WT 試験の精度確認や SST を用いてその評価手法を検討した。その結果、以下のようなことが分かった。

- ① WT 試験は DS=6000 回/mm 程度以上では、読みとり誤差が大きくなり、試験精度が低下する。耐流動性混合物を WT 試験での評価を行う場合は、 d_{60} などを併記するなどをする必要がある。
- ② SST は 6 つの試験モードがあり、耐流動性評価に有効とされる 3 つの試験モード(SSCH、FSCH、RSCH)を調査したところ、それぞれ評価ができる可能性があったが、特に RSCH 試験モードが最も精度良く評価が行えると判断した。
- ③ SST による RSCH 試験では、耐流動性評価の可能性が見いだされたが、高温域(60℃)での試験が困難であったため、試験機の改良が必要であった。
- ④ RSCH 試験専用機での検討により、耐流動性混合物の評価が可能であることが確認できた。
- ⑤ 供試体作製においては、SUPERPAVE では SGC による作製を推奨しているが、骨材の並び方等からローラコンパクタによる作製がより良いと判断した。さらに、専用型枠を用いることにより、精度の向上が図れることが分かった。
- ⑥ 現場の切り取りコアを用いることにより、現場の性状評価も可能なことが分かり、今後の調査により供用性予測への利用に可能性を見いだせた。

おわりに

アスファルト舗装の耐流動対策はここ十数年で大きく改善されている。それにもかかわらず、これに対応する評価試験機は、数十年ほとんど進歩していないのが実状である。本報告書は高耐流動混合物評価手法の1つの可能性を示したが、まだ様々な耐流動性の混合物を評価する上での問題が多く残されている。今後は今回の評価手法を改良、発展させて、さらにデータの積み重ねを行い、評価手法を確立していきたい。

研究の実施にあたっては、多くの皆様にご協力を頂いた。この場を借りて、御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis : FHWA-SA-95-003 ,1995
- 2) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧, pp.539-555, 1995.
- 3) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧別冊（暫定試験法）,pp.163 ～ 173, 1996
- 4) Performance Prediction Models In the Superpave Mix Design System,SHRP-A-699,pp24 ～ 28,1994
- 5) Vermeer,P.A.and de Brost ,R. (1984),” Non-Associated Plasticity for Soils,Concrete,and Rock,” HERON Journal,Delft University of Technology,Delft,The Netherlands, Volume 29,No.3,pp.1-64.

関連発表論文

- 1) 池田、坂本：アスファルト混合物の耐流動評価のための新しい試験方法に関する研究，第 22 回日本道路会議論文集(1997)
- 2) 柄澤、久保、池田：SUPERPAVE せん断試験機による耐流動性評価に関する研究，土木学会第 53 回年次学術講演会(1998)
- 3) 江向、池田、小森谷：アスファルト混合物の新しい耐流動評価試験に関する検討，第 23 回日本道路会議論文集(1999)
- 4) 市岡、新田、小森谷、吉田：高耐流動性アスファルト混合物の評価試験に関する検討，土木学会第 55 回年次学術講演会(2000)

資 料

RSCH 試験機によるアスファルト混合物の耐流動性評価試験方法(案)

「RSCH試験機によるアスファルト混合物の耐流動性評価試験方法（案）」

RSCH (Repeated Shear Test at Constant Hight) (高さ制御の繰り返しせん断試験)

1. 目的

RSCH試験機を用いて、加熱アスファルト混合物の耐流動性を評価する。

2. 適用範囲

重交通路線における耐流動性アスファルト混合物に対し配合設計および品質管理を目的として行う。通常は室内で作製された供試体について試験を行うが、現場で切り出した供試体での評価も可能である。

3. 試験器具

(1) RSCH試験機

1) 荷重装置

荷重制御方式、荷重応力 70kPa 程度かけられるもの。荷重 0.1sec, 休止 0.6sec でハーバーサイン波をかけられるもの。(図-1)

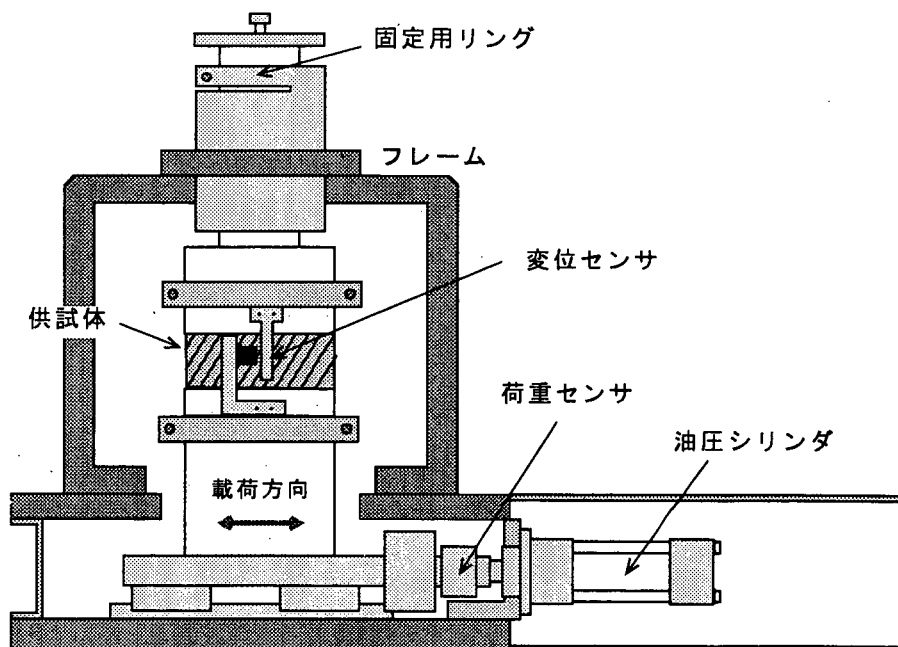


図-1 RSCH 専用試験機の概要図

2) 試験治具

試験治具は直径 152mm の金属製平行円盤を用いる。(図-2、写真-1)

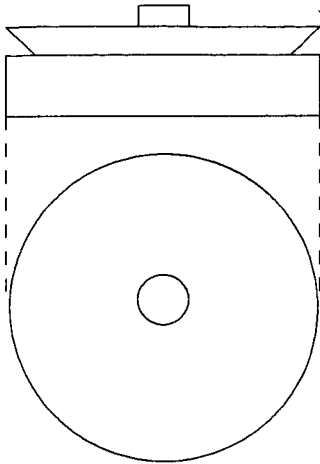


図-2 試験治具図

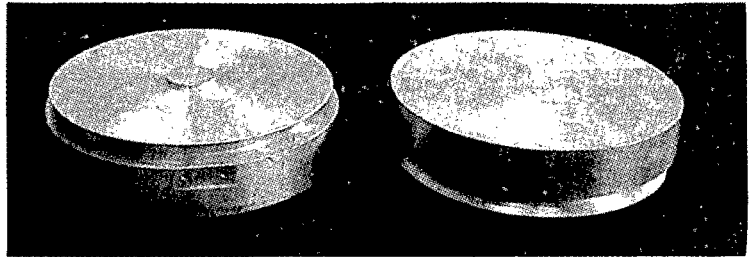


写真-1 試験治具の例

3) 変位センサ

測定範囲 5mm 程度で分解能が 0.001mm 以上のもの。

(2) 記録装置

記録装置は自動記録装置を用い、変位量データをパソコンに取り込み解析できるもの。

(3) 恒温室

R S C H 試験機が収容できる大きさを持つもの。供試体温度を $60 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に温度管理できるもの。

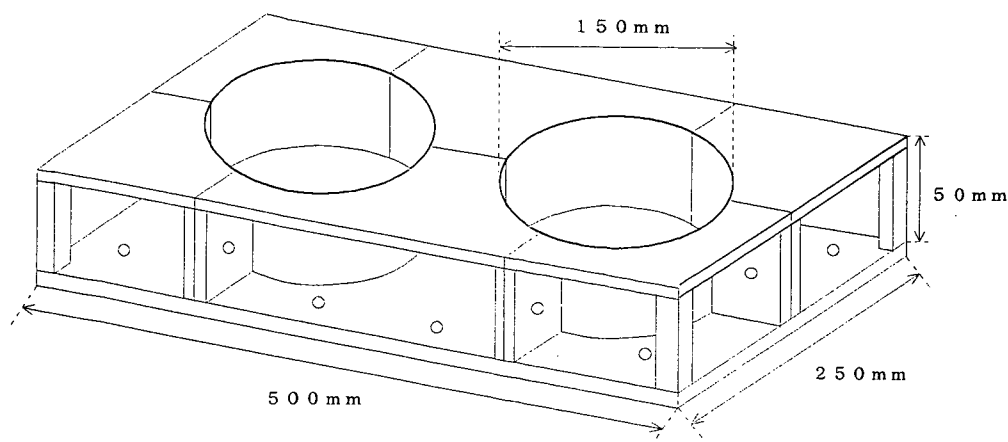
(4) 供試体作製器具

1) 供試体を室内で作製する場合の器具

i) 型枠

① 専用型枠を用いる場合

直径 150mm、厚さ 50mm の円柱供試体を締め固めることが出来るもの。材質は鋼製またはアルミ製。(図-3)



図－3 R S C H試験供試体作製専用型枠の例

②ホイールトラッキング試験供試体用型枠を用いる場合

通常のホイールトラッキング試験供試体作製用型枠 (300 × 300 × 50mm)

ii) その他の器具

ローラコンパクタ、加熱装置、混合機等ホイールトラッキング試験供試体作製時と同様のもの。

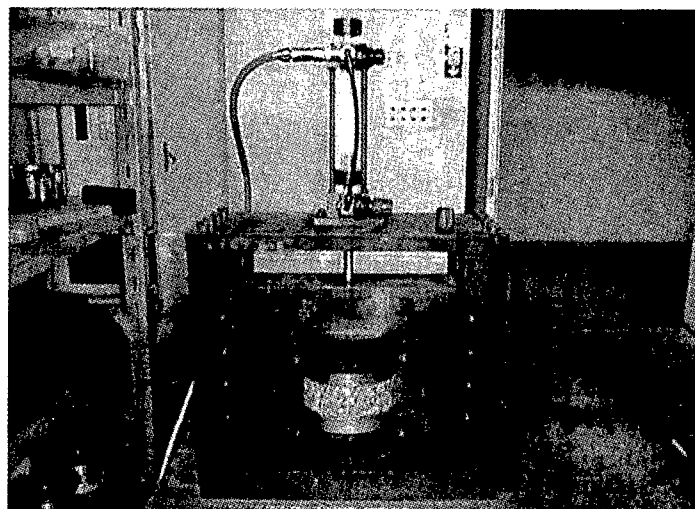
2) 現場切取り供試体を作製する場合の器具

i) アスファルト混合物採取用のコンクリートカッタ。(φ150mm)

ii) アスファルト混合物整形用のカッタ。

(5) 圧着機

上下に試験治具を固定でき、垂直方向に圧力をかけられるもの。(写真－2)



写真－2 圧着機の例

(6) 接着剤

供試体と試験治具の接着に用いる。エポキシ系のもので、本試験の条件でひずみを生じないもの。

4. 試験方法

(1) 試験回数

試験回数は1種類の加熱アスファルト混合物に対して3回以上とする。

(2) 治具取付け

φ150×50mmの供試体の上下に載荷試験用治具を接着剤で貼り付ける。このとき上下の治具は平行であるものとする。

取け方法は、治具と供試体の接触面に接着剤を塗布した後、圧着機で接着剤が硬化するまで圧着させる。(写真-2)

(3) 供試体の養生

供試体は上下を治具で固定した後、試験開始5時間以上前に、あらかじめ $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ に保った恒温室で養生する。養生時間は24時間を超えないようにする。

(4) 試験手順

1) 変位センサのセット

供試体の上下の治具に変位センサをセットする。(図-4)

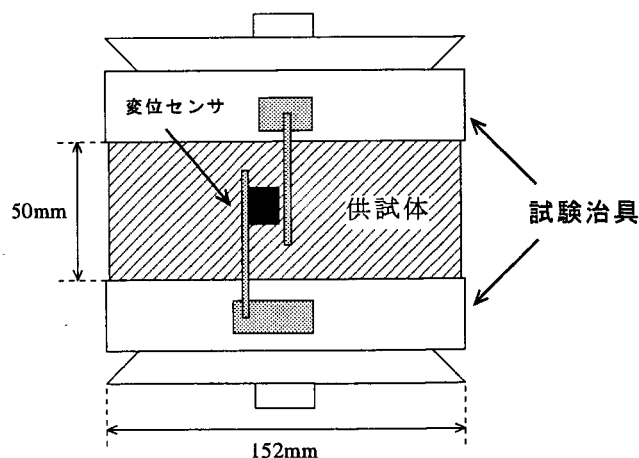


図-4 センサと供試体のセット

2) 供試体のセット

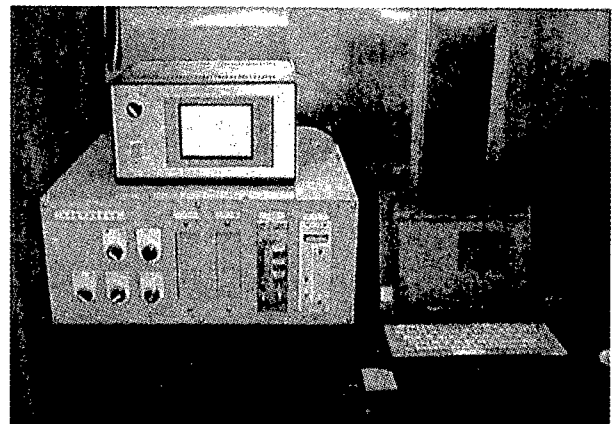
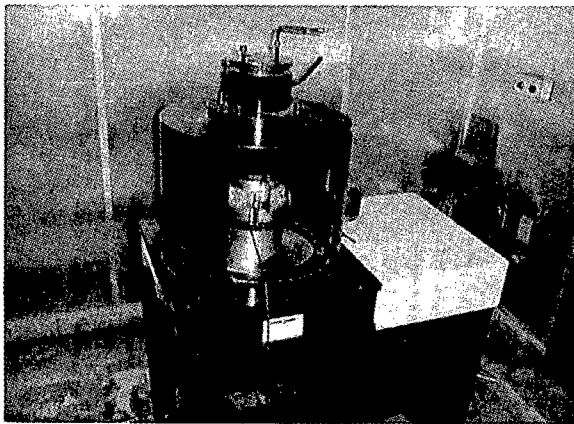
治具で固定された供試体を載荷装置内に置き、上下を固定リングで固定する。

3) 載荷条件

載荷条件は以下のとおりである。

- ①. 載荷応力・・・60kPa
- ②. サイクル・・・載荷 0.1sec, 休止 0.6sec
- ③. 載荷波形・・・ハーバーサイン波
- ④. 試験温度・・・ $60 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$

載荷回数については載荷直後の応力が安定しないため、載荷開始から 30 回を予備載荷としその後の 5000 回を本載荷とする。したがって、合わせて 5030 回以上の載荷を行う。

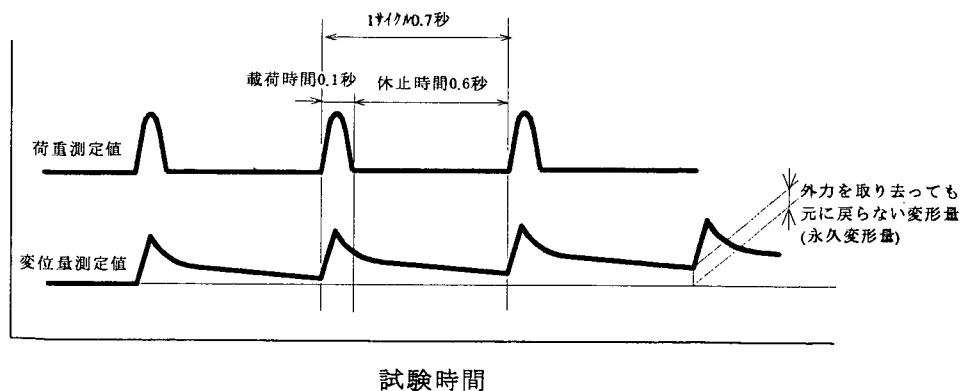


写真－3 RSCH試験機の例

5. 結果の整理

(1) 結果の算出

- ①試験中は載荷荷重および変位をモニターし、荷重載荷後の変位量の最大値を継続的にパソコンに取り込む。荷重と変位の概念図を図－5に示す。



図－5 荷重と変位の概念図

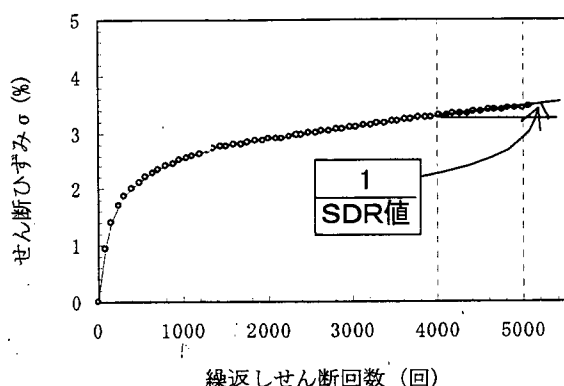
②取り込んだ変位量からせん断ひずみ（永久ひずみ）を計算する。

③ SDR 値は（１）式から計算する。この SDR 値は繰返しせん断回数に対してせん断ひずみをプロットし、繰返し回数 4000 回から 5000 回までの近似曲線の傾きの逆数である。（図－６）

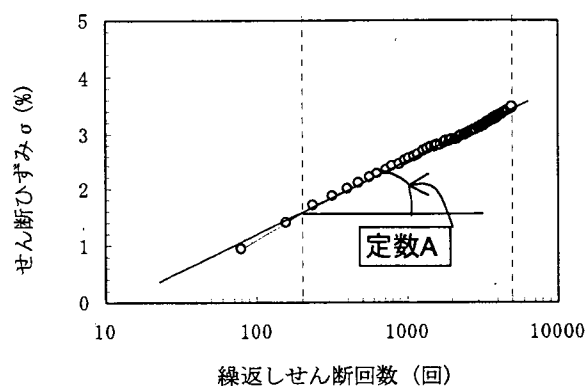
$$\text{SDR 値} = \frac{5,000 - 4,000}{\sigma_{5,000} - \sigma_{4,000}} \quad \text{-----} \quad (1)$$

④定数 A は（２）式から計算する。この定数 A は繰返しせん断回数の対数に対してせん断ひずみをプロットし、繰返し回数 100 から 5,000 回までの近似曲線の傾きである。（図－７）

$$\text{定数 A} = \frac{\sigma_{5,000} - \sigma_{100}}{\log_{10} 5,000 - \log_{10} 100} \quad \text{-----} \quad (2)$$



図－６ 評価方法（SDR 値）



図－７ 評価方法（定数 A）

（２）報告事項

- １）アスファルト混合物の種類
- ２）アスファルトの種類
- ３）SDR 値、定数 A、最終変位量および最終ひずみ

注意事項

- ・供試体転圧方向に対して荷重がかかるようにする。
- ・現場切り取り供試体を整形するときは、上下面が極力平行になるように留意する。
- ・通常の評価であればホイールトラッキング試験用供試体から切出した供試体で、十分評価出来る。試験精度が求められる場合は、専用型枠を使用するのが望ましい。
- ・専用型枠で供試体を作製するときは、材料が分離しやすいため材料投入時は注意が必要である
- ・現在のところホイールトラッキング試験との相関は連続粒度の混合物でしか確認されていない。今後排水性混合物にも適用できるようデータの蓄積が必要である。