

アスファルト舗装の再生利用に 関する共同研究 報告書

平成 21 年 12 月

独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ舗装チーム
材料地盤研究グループ新材料チーム
社団法人日本アスファルト合材協会

Copyright © (2009) 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 Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事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、独立行政法人土木研究所理事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。

アスファルト舗装の 再生利用に関する共同研究報告書

土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム	上席研究員	久保 和幸
	主任研究員	加納 孝志
	研究員	川上 篤史
土木研究所材料地盤研究グループ新材料チーム	上席研究員	西崎 到
	主任研究員	新田 弘之
	主任研究員	佐々木 巖
社団法人日本アスファルト合材協会	技術部会 部会長	貫井 武
	技術部会 副部会長	海老沢 秀治
	技術部会 部会員	山本 富業
	同 上	向後 憲一

要 旨

近年、再生利用繰返し回数や改質アスファルト使用量の増大などにより再生骨材は低針入度化の傾向にあるが、低針入度発生材の再生利用には制限があり、利用先が限られている。このため、低針入度発生材の新たなリサイクル技術の確立が急務となっている。本共同研究では、低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の評価指標に関する室内試験、促進載荷試験などを実施して再生利用における耐久性を確認した。また、これらの試験結果をもとに、混合物による劣化度評価方法ならびに配合設計方法を提案している。本報告書は、これまでの一連の研究結果および提案をとりまとめたものである。

キーワード：アスファルト舗装、再生利用、針入度、劣化、圧裂試験、圧裂係数、配合設計

目 次

1. はじめに	1
1-1 目的	2
1-2 検討手順	3
2. 針入度に代わる新たな劣化度評価指標に関する検討	4
2-1 検討概要	4
2-2 劣化度評価法としての圧裂試験の適用性予備試験	5
2-2-1 評価指標および試験条件	6
2-2-2 針入度に代わるアスファルト混合物の劣化度評価指標	9
2-3 各種要因が圧裂係数に及ぼす影響	13
2-3-1 再生骨材(室内促進加熱劣化)の配合率	15
2-3-2 旧アスファルトの種類	18
2-3-3 再生骨材(屋外供用劣化)および新規素材の種類	19
2-4 まとめ	24
3. 再生骨材の評価方法の検討	25
3-1 検討概要	25
3-2 再生骨材の評価をするための試験方法	26
3-3 室内促進加熱劣化混合物の性状確認	31
3-4 再生骨材の性状確認	34
3-5 改質アス(型)再生骨材の性状確認	35
3-6 再生骨材の評価基準の検証	36
3-7 再生骨材での圧裂試験機および試験精度に関する検証	39
3-8 まとめ	43
4. 新たな再生加熱アスファルト混合物の配合設計に関する検討	44
4-1 検討概要	44
4-2 圧裂係数の適用範囲と基準値	44
4-3 再生混合物の評価基準に対応する試験方法	47
4-4 再生混合物での圧裂試験精度に関する検証	51
4-5 再生混合物の新たな配合設計手順	55
4-6 新たな再生混合物の配合設計例	58
4-6-1 設計圧裂係数への調整を再生用添加剤で行う場合	58
4-6-2 設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う場合	68
4-7 圧裂係数による各種再生混合物の再生骨材配合率の検証	77
4-8 旧アスファルトの針入度と再生骨材使用可能配合率の検証	81
4-9 まとめ	82

5. 現行配合設計手法による低針入度再生混合物の供用性評価	83
(実大舗装促進載荷試験)	
5-1 概要	83
5-1-1 目的	83
5-1-2 試験施工箇所	83
5-2 使用材料	84
5-3 加熱アスファルト混合物の配合および性状	86
5-3-1 比較工区に使用した新規混合物	86
5-3-2 低針入度再生骨材を使用した再生混合物	87
5-4 施工状況および品質管理試験結果	90
5-4-1 比較工区	90
5-4-2 低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物工区	95
5-4-3 まとめ	99
5-5 促進載荷試験結果	100
5-5-1 路面性状測定結果	100
5-5-2 車輪走行位置の切り取りコアの厚さ測定結果	105
5-6 低針入度再生混合物の供用性評価のまとめ	107
5-7 低針入度再生骨材利用の課題	107
6. おわりに	108

付録

- ・ 2章から5章の試験データ

CD-ROM

- ・ 本文電子データ
- ・ 本文図表電子データ
- ・ 付録電子データ
- ・ 付録図表電子データ

1. はじめに

アスファルトコンクリート塊（以下、アスコン塊）は、アスファルトコンクリート再生骨材（以下、再生骨材）として再資源化し、加熱アスファルト混合物や路盤材などの素材として用いられる。その再資源化率は 99%にも達しアスコン塊の最終処分量の減少に大きく寄与している。舗装材料の循環利用システムの普及にともない繰り返し使用されるアスファルト材料が増えると、長期間の繰り返し供用により劣化が進み低針入度化した材料が増加する。また、ポリマー改質アスファルトの利用拡大により、改質材が混入したアスファルト舗装発生材も増加しつつある。

舗装再生便覧(日本道路協会)では、再生骨材の品質規格の一つとして、ストレートアスファルト発生材を対象に針入度は 20 以上であることを定めている。しかし、本文中では「改質アスファルト混合物の発生材は(中略)旧アスファルトの針入度が 20 未満のもので再生骨材として利用することができるものがある。」とも記述されている。しかし、現在アスコン塊の中間処理施設では、ストレートアスファルトのアスコン塊と改質アスファルトのアスコン塊とが分別されずに混在して受け入れられている。

高い再資源化率を維持・向上させるためには、繰り返し再生され低針入度化したアスファルト発生材の有効利用や、ポーラスアスファルトをはじめとしたポリマー改質剤を含むアスファルトコンクリート塊の再生利用技術の確立といった技術的課題がある。

針入度に代わる劣化評価は、再生骨材のアスファルト混合物への利用可否の判定方法や繰り返し再生利用の対応としての評価方法として望まれている。その評価は、素材での評価よりもアスファルト混合物での評価のほうが性能規定化として合理的であると考えられている。

このような状況から、独立行政法人土木研究所は、「アスファルトの品質規格及び再生利用に関する研究」(平成 13~17 年度) ならびに「劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究」(平成 18~21 年度) の調査課題において、低針入度化した舗装発生材の有効利用について調査研究を行ってきた。再生利用を担う業界団体である社団法人日本アスファルト合材協会でも、再生材料の品質に関する調査や動向についての現況把握などを続けてきている。

これを有効かつ効率的に推進するため、土木研究所舗装チームおよび新材料チームならびに日本アスファルト合材協会の共同研究として、「アスファルト舗装の再生利用に関する共同研究」(平成 17 年 4 月 1 日~平成 21 年 3 月 31 日) を実施してきた。

本共同研究では、アスファルト混合物による針入度に代わる劣化評価指標の確立を目指し、圧裂試験を新たな評価指標として注目し、素材評価から混合物評価への移行、アスファルト混合物の配合設計の合理化およびアスコン塊の適切な再生利用に対する提案を目的として実験調査を進めてきた。また、舗装走行実験場を活用した実大舗装促進載荷試験では、現行の配合設計手法での低針入度再生骨材の適用性を確認することを目的に低針入度

骨材と新規骨材を使用した試験舗装を構築し、促進載荷試験を行って供用性状を確認し評価指標の適用性を検討している。

本報告書は、これらの共同研究の一連の成果をとりまとめたものである。本報告書がアスファルト舗装の再生利用のより一層の推進に役立てば幸いである。

1 - 1 目的

本研究では、再生骨材の合理的かつ簡易な品質評価方法の提案、ならびに改質アスファルト混合物発生材の有効利用の観点から、針入度に代わる再生骨材の利用の可否判断手法の提案を目的として、旧アスファルトの針入度とアスファルト混合物の性状との関連づけを明らかにし、溶剤回収による旧アスファルトの針入度評価の他に、混合物による劣化度評価を可能とするための技術的根拠を確認した。

また、旧アスファルトの劣化が進行したストレートアスファルト混合物の発生材を使用した再生混合物について、現行の配合設計手法での低針入度再生骨材の適用性を確認することを目的に、舗装走行実験場の走路において低針入度骨材と新規骨材を使用した舗装を構築し、促進載荷試験にて供用性状を確認した。

1-2 検討手順

本検討の手順は、図-1.1 に示すとおりである。

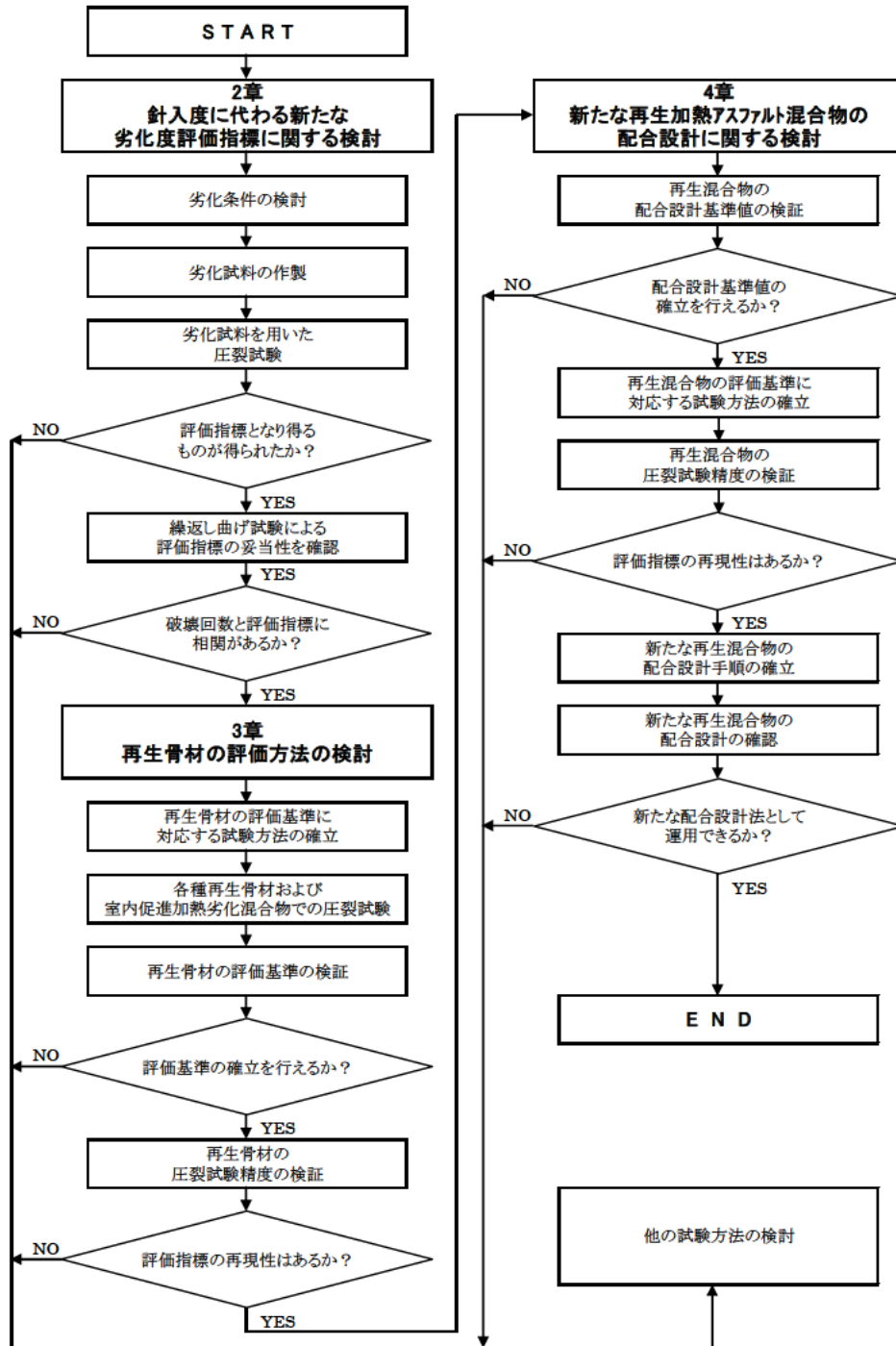


図-1.1 アスファルト混合物の劣化評価手法の検討フロー

2. 針入度に代わる新たな劣化度評価指標に関する検討

2-1 検討概要

アスファルト混合物の疲労破壊は、アスファルトの劣化により接着力が低下し、アスファルト混合物の引張り抵抗力が減少することに起因するものと仮定した。したがって、間接的に引張り力が作用する圧裂試験を、アスファルト混合物の劣化度を評価できる方法として取り上げて試用した（図-2.1）。

アスファルト混合物の疲労破壊抵抗性は、繰返し曲げ試験により求められた破壊回数で評価することが多い。これを、圧裂試験で得られた何らかの劣化評価指標との関係として、アスファルトの劣化レベルを介して結びつければ、間接的に推定することが可能となると想定した（図-2.2）。

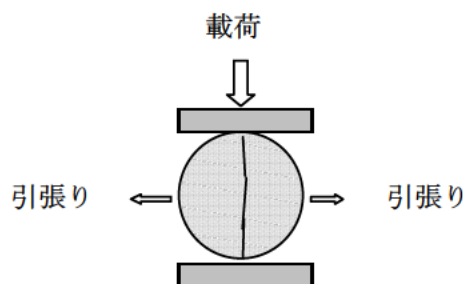


図-2.1 圧裂試験の概念図

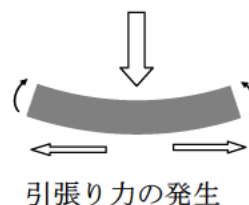


図-2.2 繰返し曲げ試験の概念図

針入度に代わるアスファルト混合物での劣化評価指標は、以下に示す基本的考え方により検討した。

(1) 素材での評価から混合物での評価

- ①再生骨材は素材の一つであり、仕様規定から性能規定化への移行を考慮すると、利用有姿となる混合物での評価が妥当である。
- ②改質系再生骨材・繰返し再生骨材を用いた再生混合物や新規混合物にも幅広く適用できる可能性がある。

(2) アスファルト回収および針入度試験の省略

- ①改質アスの回収針入度測定値の精度・信頼性に対する疑問を排除できる。
- ②有機溶剤を用いるアスファルト回収試験の省略により環境負荷の低減、試験作業の省力化が図れる。

(3) 圧裂試験法の試用

圧裂強度（引張強度）等の指標により疲労破壊抵抗性を間接的に評価できる可能性がある。

アスファルト混合所の試験設備(マーシャル安定度試験機)を活用できる可能性がある。

2 - 2 劣化度評価法としての圧裂試験の適用性予備試験

圧裂試験により混合物でアスファルトの劣化レベルや疲労破壊抵抗性を評価できるかどうか、まず予備試験を行ってその可能性を確認した。予備試験では、アスファルト混合物の劣化レベル(回収針入度)と圧裂試験での劣化評価指標値との関係を把握し、さらに疲労破壊抵抗性との対応を調べてその適用性を検討した。

予備試験に使用する混合物は、ストレートアスファルト 60～80(以下、ストアス)とポリマー改質アスファルト 型(以下、改質アス)を使用した密粒度アスファルト混合物(13)およびそれを室内促進加熱劣化させた混合物、再生改質アスファルト混合物として、国道 408 号で 12 年間供用されたポーラスアスファルトの切削材を、改質アスの混入した再生骨材試料として使用し、新アスファルトと再生用添加剤で調整した 2 通りの再生アスファルト混合物とした。

なお、密粒度アスファルト混合物の粒度は、図-2.3 に示すとおり、2.36mm および 4.75mm が粒度範囲の中央に、アスファルト量は 5.5% に設定した。

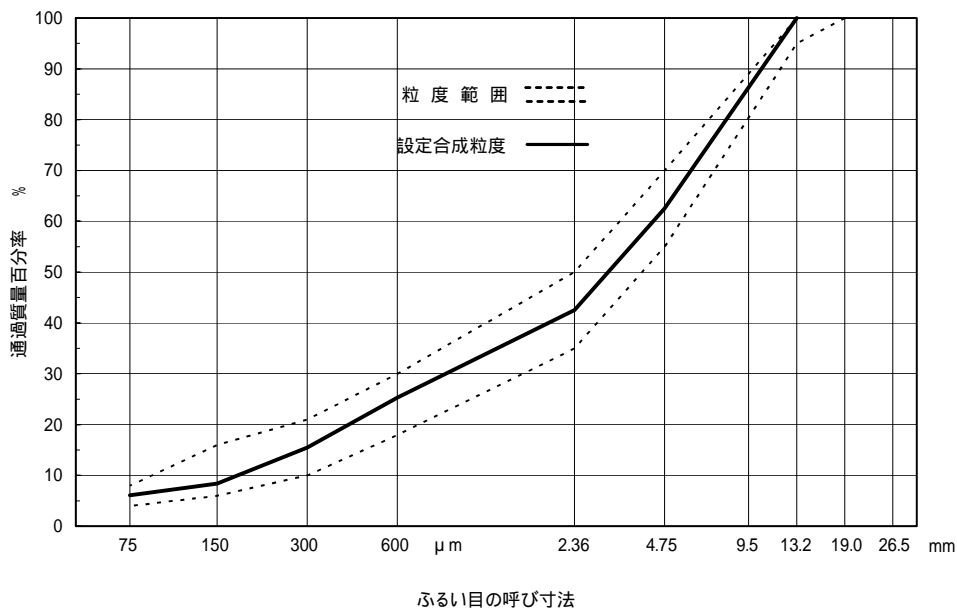


図-2.3 密粒度アスファルト混合物の粒度

2-2-1 評価指標および試験条件

(1) 評価指標

評価指標としては、最大荷重までの変位量、圧裂強度、圧裂係数、圧裂強度比および仕事を設定した。各指標の算出根拠は、式-2.1～2.4 および図-2.4 に示すとおりである。

$$\text{圧裂強度 } \sigma_t (\text{MPa}) = (2 \times P) / (\pi \times d \times \ell) \text{ ----- 式-2.1}$$

$$\text{圧裂係数 (MPa/mm)} = \sigma_t / x \text{ ----- 式-2.2}$$

$$\text{圧裂強度比} = \sigma_t(0^\circ\text{C}) / \sigma_t(60^\circ\text{C}) \text{ ----- 式-2.3}$$

$$\text{仕事量 } W (\text{N} \cdot \text{m}) = W_2 / W_1 \text{ ----- 式-2.4}$$

ここに、P：破断時の最大荷重 (N) d：供試体の厚さ(mm) ℓ：供試体の直径 (mm)

x：最大荷重までの変位量 (mm)

W₁：1N・mあたりの単位面積 (m²) W₂：各領域の面積(m²)

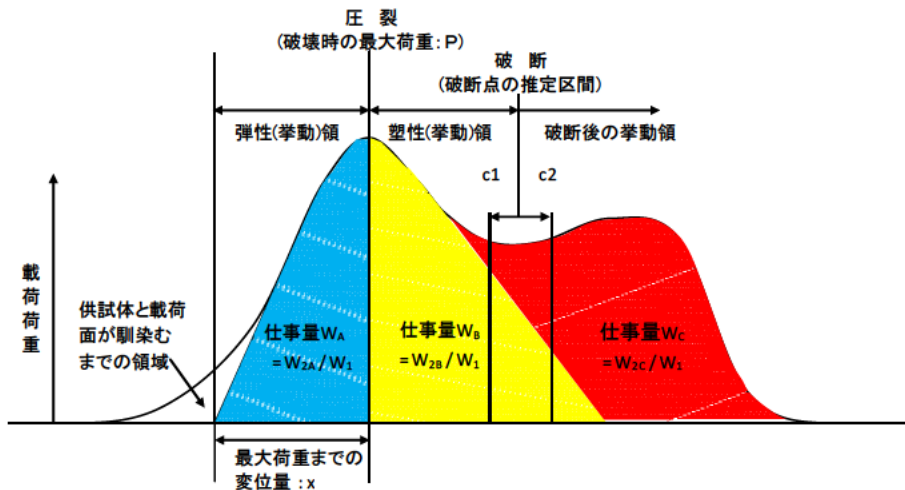


図-2.4 圧裂試験による測定項目と測定状況

(2) 圧裂試験等に供する試料の劣化条件

圧裂試験および曲げ疲労試験に供する試料は、室内促進加熱劣化させた四水準の劣化レベルの密粒度アスファルト混合物とした。図-2.5 に室内促進加熱劣化方法を示す。目標とした劣化レベル（回収針入度）までに要する室内促進加熱劣化時間を予備試験によって求めた。試験結果をストアスについては表-2.1 に、改質アスについて表-2.2 に示す。

なお、図-2.5 に示す突固め用養生は供試体作製時の再加熱を考慮して設定したものである。



図-2.5 室内促進加熱劣化方法

表-2.1 室内促進加熱劣化時間（ストアス）

劣化レベル (針入度)	乾燥炉(110)による 促進加熱劣化時間 (hr)	目標針入度 (1/100cm)
0 ~ 10	408	8
10 ~ 20	126	15
20 ~ 40	12	30
40以上	0	43
オリジナル	-	57

表-2.2 室内促進加熱劣化時間（改質アス）

劣化レベル (針入度)	乾燥炉(110)による 促進加熱劣化時間 (hr)	目標針入度 (1/100cm)
0 ~ 10	408	5
10 ~ 20	170	15
20 ~ 40	40	30
40以上	0	39
オリジナル	-	47

(3) 圧裂試験条件

供試体の作製は、マーシャル安定度試験用供試体(直径約 101.6mm 厚さ約 63.5mm)の作製方法「舗装調査・試験法便覧 B001」に準拠して行う。なお、供試体作製時の突固め回数は、両面各 50 回突きと 75 回突きの圧裂予備試験の結果(図-2.6)、両者はほぼ同等の性状を示すことから「マーシャル安定度試験による再生骨材の旧アスファルト性状判定方法」(舗装再生便覧)で適用されている両面各 75 回とした。また、供試体作製時の締固め温度は、同判定方法で規定している 165 とした。

圧裂試験は、「舗装調査・試験法便覧 B006」に準拠し、表-2.3 に示す条件で行った。

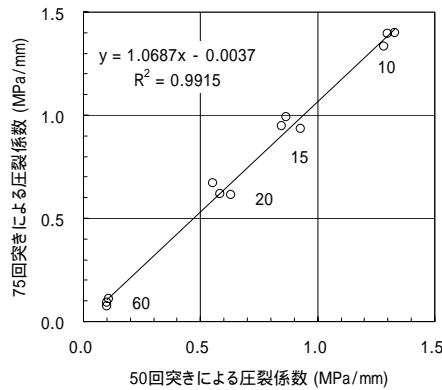


図-2.6 締固め回数の違いによる圧裂係数の予備検証

表-2.3 圧裂試験条件(オリジナルおよび室内促進加熱劣化混合物)

劣化レベル (針入度)	試験温度 ()	試験数量内訳	測定項目
0 ~ 10	-10, 0, 5 10, 15, 20, 60	5劣化レベル×7温度 計 35試料 (3個/試料)	最大荷重までの変位量
10 ~ 20			圧 裂 強 度
20 ~ 40			圧 裂 係 数
40以上			圧 裂 強 度 比
オリジナル			仕 事 量

(4) 曲げ疲労試験条件

曲げ疲労試験は、「舗装調査・試験法便覧 B018T」に準拠し、表-2.4 に示す条件で行った。

表-2.4 曲げ疲労試験条件(オリジナルおよび室内促進加熱劣化混合物)

劣化レベル (針入度)	試験温度 ()	制御方法	供試体寸法 (cm)	試験数量
0 ~ 10	0, 5, 10 15, 20	ひずみ 制御 400 μ	4 × 4 × 40cm (4面カット)	5劣化レベル×5温度 計 25試料 (3個/試料)
10 ~ 20				
20 ~ 40				
40以上				
オリジナル				

2 - 2 - 2 針入度に代わるアスファルト混合物の劣化度評価指標

アスファルト混合物試験による劣化度評価指標の適用性の検証として、アスファルトの劣化レベルと圧裂評価指標、疲労破壊抵抗性との関係を把握することを目的に行った予備試験結果を以下に述べる。

(1) 圧裂評価指標とアスファルトの劣化レベルとの関係

仕事量との関係は、図-2.7 に示すとおり、各エリア(図-2.4 参照)とも明確な関係が示されずアスファルト混合物の劣化度評価指標には適していないことが分かった。

その他の圧裂指標は、図-2.8 および図-2.9 に示すとおり、アスファルトの劣化レベルと正の相関もしくは負の相関がはっきりしており、高い相関関係にあることが確認できた。特に、試験温度 20 における圧裂係数は最も相関係数が大きく、針入度に代わるアスファルト混合物での劣化評価指標として適用できる可能性があると考えられる。なお、圧裂強度比は、試験法便覧に採用されている指標ではあるが、0 と 60 での試験が必要であり恒温設備や作業量を勘案すると管理試験としては不向きと考える。

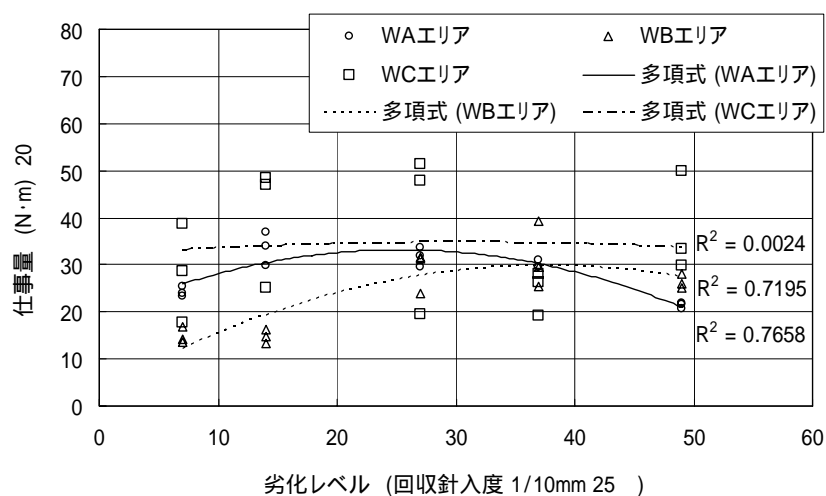


図-2.7 劣化レベルと仕事量

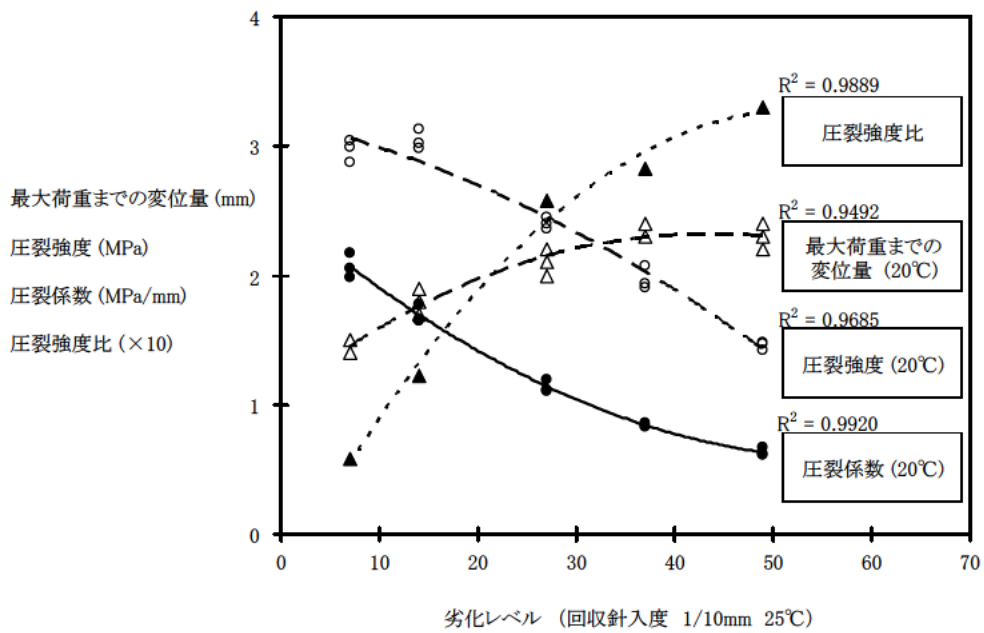


図-2.8 劣化レベルと劣化評価指標 (ストアス)

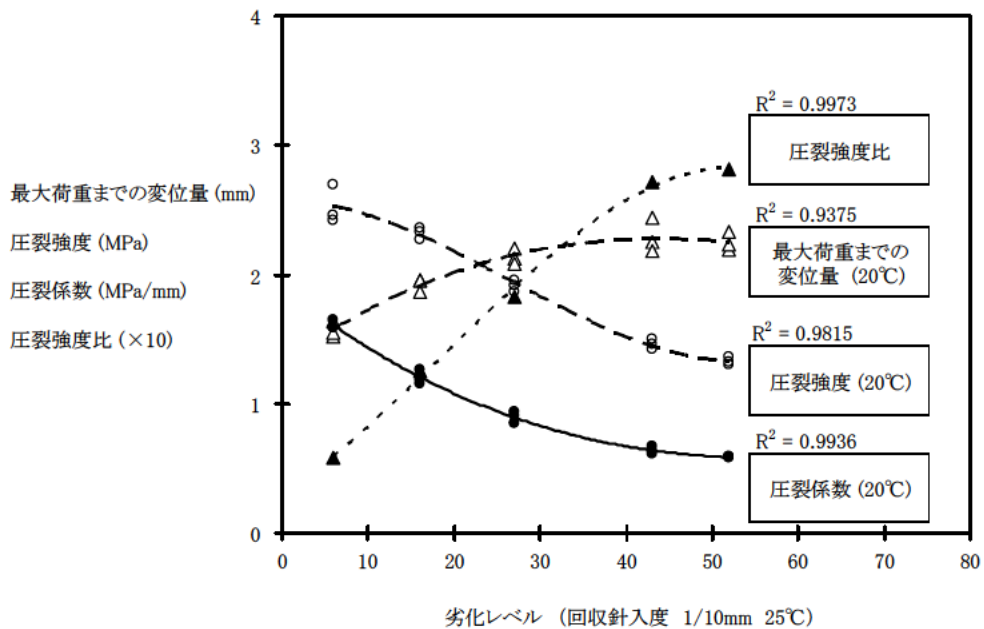


図-2.9 劣化レベルと劣化評価指標 (改質アス)

(2) 疲労破壊抵抗性とアスファルトの劣化レベルとの関係

アスファルト混合物の疲労破壊回数と劣化レベルを図-2.10 に示す。

この両者の関係より、次のようなことが言える。

劣化レベルと試験温度 20 における疲労破壊回数との間に高い相関が認められ、劣化が進行し針入度が低下(図中の と)するに従い疲労抵抗性は小さくなる傾向がみられる。

しかしながら、アスファルトの種類による疲労破壊回数の値の差は大きい。

つまり、改質アスは、劣化が進行し針入度が 20 未満となっても舗装の性能には優れていることがわかる。

改質アスを再生したアスファルト混合物(図中の と)は、両者の中間の疲労性状を示している。これらのことから、改質アスを含む再生アスファルト混合物は、針入度では適切に評価できないことが確かめられた。

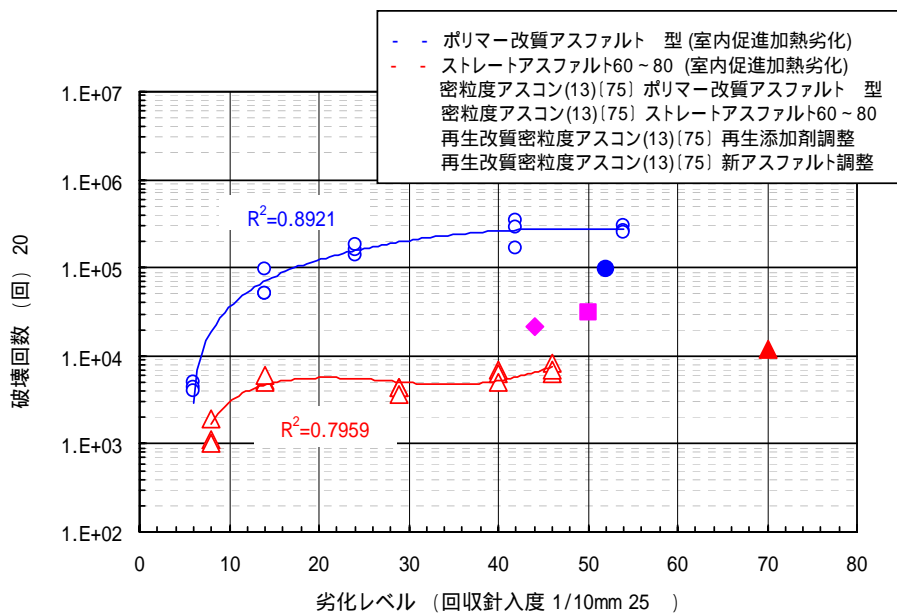


図-2.10 劣化レベルと破壊回数との関係

(3) 圧裂係数と破壊回数との関係

アスファルト混合物の圧裂係数と疲労破壊回数を図-2.11 に示す。

この両者の関係より、次のようなことが言える。

アスファルトの種類ごとに相関の傾きは異なるものの、疲労性能が低下した場合、圧裂係数が特定の値以上となることを見出せる。

つまり、アスファルトが劣化硬化して、たとえば 1.5MPa を超えると、疲労性破壊抵抗性が数千回を下回るようになることがわかる。

再生改質アスファルト混合物は、ストアスと改質アスの間に位置しており、疲労性状の低下を同じ圧裂係数の上限値で間接評価することができるものとみられる。

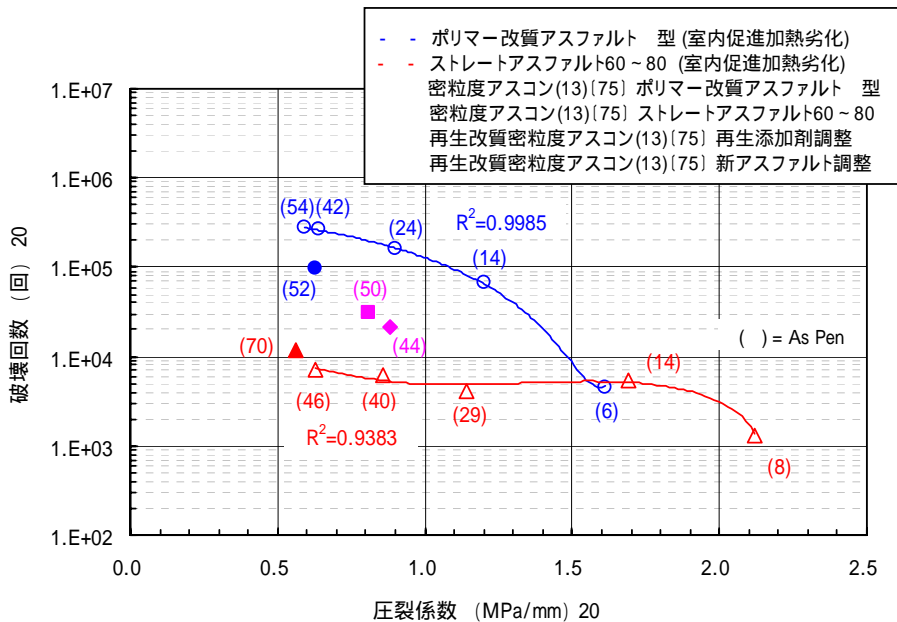


図-2.11 圧裂係数と破壊回数との関係

2 - 3 各種要因が圧裂係数に及ぼす影響

圧裂係数の適用の可能性が2 - 2項で確かめられた。本節では、その適用範囲の確認として、再生骨材の配合率、旧アスファルトの種類、屋外供用劣化再生骨材との差異などについて室内実験を行い確認した。

まず、予備試験と同様に室内促進加熱劣化させた再生骨材により、配合率の変化や針入度調整の有無による（表-2.5、図-2.12）再生アスファルト針入度と圧裂係数との関係を把握した。試験材料は、ストアスと改質アスを使用した密粒度アスファルト混合物（2 - 2項と同一素材）を使用した。なお、針入度調整を行う場合は、表-2.6 に示すオイル系の再生用添加剤を表-2.7 の条件に従い添加した。

表-2.5 再生骨材の種類と再生混合物の条件

室内促進加熱劣化による再生骨材の条件		再生混合物の条件					測定項目
旧アスファルトの劣化レベル (回収針入度)	アスファルト種	再生骨材の配合率 (%)	再生アスファルト量 (%)	設計針入度 (1/10mm)	再生用添加剤の有無	新規アスファルト種	
0 ~ 10 10 ~ 20 20 ~ 40	ストアス (60/80) 改質アス (型)	20 40 60 80 100	5.5 (75回突き) 5.8 (50回突き)	50 70	あり なし	ストアス40/60 ストアス60/80	圧裂強度 最大荷重までの変位量 圧裂係数 (試験温度20)

注：再生骨材配合率ごとの再生混合物の締固め温度は、配合率 100%：165、新規混合物（配合率 0%）での締固め温度から案分して決定した。

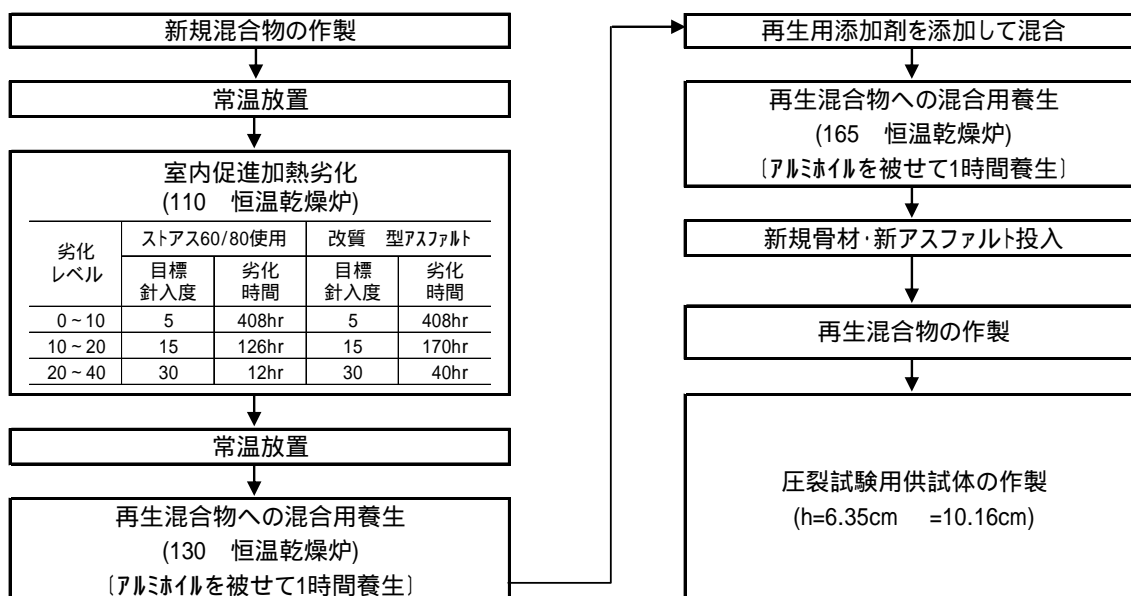


図-2.12 圧裂試験供試体作製の手順

表-2.6 再生用添加剤の性状

項 目	試験結果	規格値	試験方法	
密 度 (15) g/cm ³	0.9478	報告	JIS K 2249	
引 火 点 (COC)	240	200 以上	舗装調査・試験法便覧	
粘 度 (60) mm ² /s	97.91	50 ~ 300		
薄 膜 加 熱 後 の 粘 度 比 (60)	1.12	2 以下		
薄 膜 加 熱 質 量 変 化 率	%	-1.43		6.0 以下
組 成 分 析	レジン分	%		2.6
	飽和分	%		77.9
	芳香族分	%	19.8	
		報告		

表-2.7 再生骨材劣化レベルごとの再生用添加剤量

室内促進加熱劣化再生骨材に使用したアスファルトの種類	設計針入度	劣化レベル (回収針入度)	再生用添加剤量 (旧アスファルトに対する質量%)
ストアス (60/80)	50	0 ~ 10 (6)	39.2
		10 ~ 20 (18)	11.5
		20 ~ 40 (35)	3.9
	70	0 ~ 10 (6)	45.5
		10 ~ 20 (18)	15.3
		20 ~ 40 (35)	7.5
改質アス (型)	50	0 ~ 10 (6)	55.5
		10 ~ 20 (14)	20.7
		20 ~ 40 (24)	10.5
	70	0 ~ 10 (6)	64.3
		10 ~ 20 (14)	26.3
		20 ~ 40 (24)	15.4

2-3-1 再生骨材(室内促進加熱劣化)の配合率

(1) 針入度調整しない場合

図-2.13 および図-2.14 から以下のようなことがいえる。

- ①再生骨材配合率が高く、かつ劣化程度が大きい（針入度が小さい）ほど、圧裂係数は大きい傾向がある。
- ②ストアスと改質アスを使用したアスファルト混合物の圧裂係数の差は小さい。

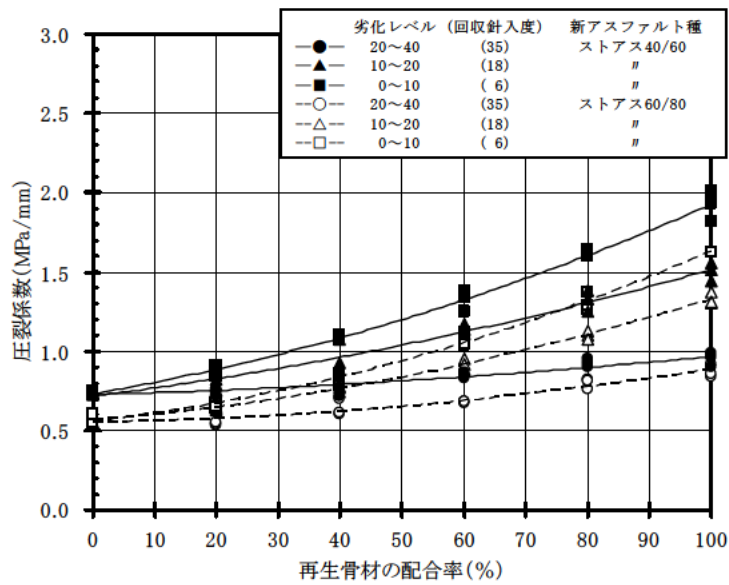


図-2.13 再生骨材配合率と圧裂係数との関係（再生骨材：ストアス）

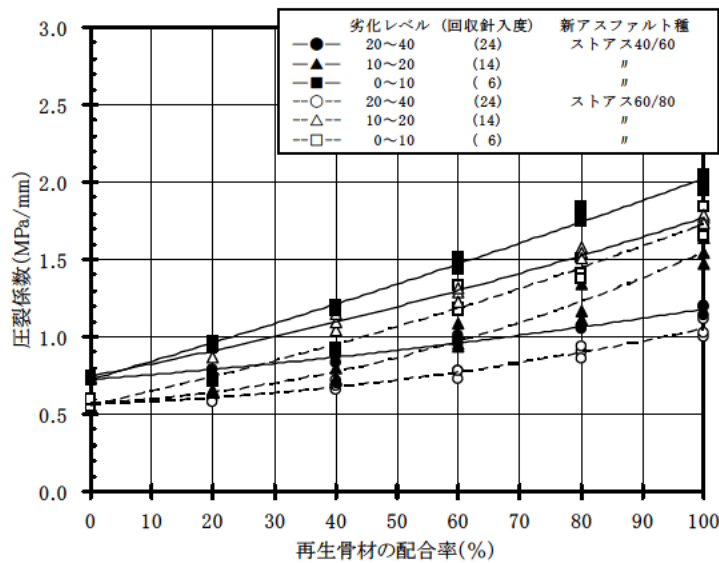


図-2.14 再生骨材配合率と圧裂係数との関係（再生骨材：改質アス）

(2) 再生用添加剤で針入度調整した場合

図-2.15～図-2.18 から以下のようなことがいえる。

旧アスファルトの劣化レベル 0～10 以外の再生骨材を再生用添加剤で針入度 50 および 70 に回復させた場合、圧裂係数は、再生骨材の配合率に関係なくストアス、改質アスとも同一針入度でほぼ一定の値（設計針入度 50 の場合：0.7MPa/mm、設計針入度 70 の場合：0.5 MPa/mm）を示す。

旧アスファルトの劣化レベル 0～10 の場合は異なった傾向を示す。これは、再生アスファルトに占める再生添加剤量の比率（旧アスファルトに対して 20～39%）が大きいことやアスファルトの針入度を回復させた結果として OAC に対して過剰となったアスファルト量が影響していると考えられる。過度に劣化したアスファルトに軽質な油を添加しても、バインダの性状バランスが著しく崩れて適正な性能を確保できなくなることが懸念される。

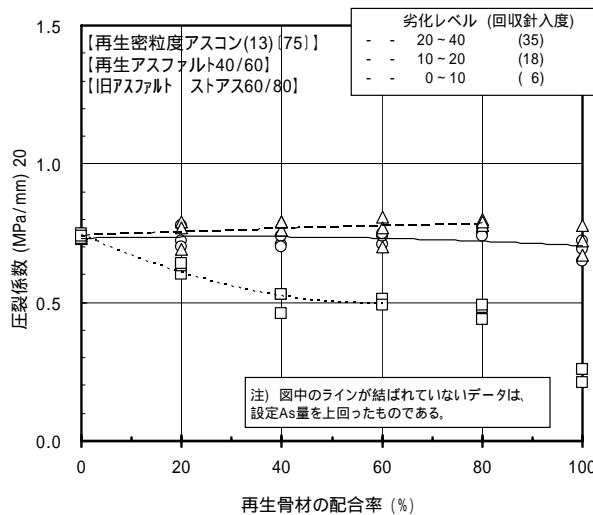


図-2.15 再生骨材配合率と圧裂係数との関係（ストアス再生骨材：Pen50）

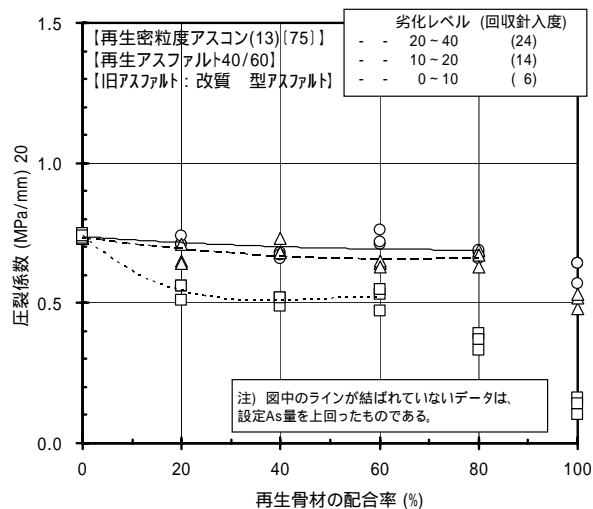


図-2.16 再生骨材配合率と圧裂係数との関係（改質型再生骨材：Pen50）

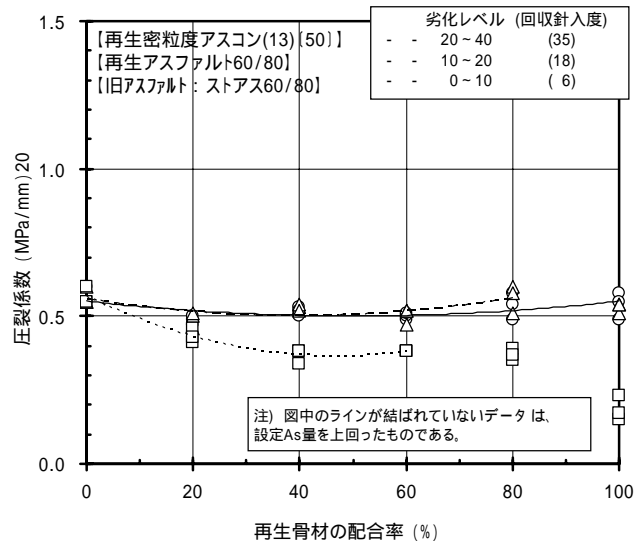


図-2.17 再生骨材配合率と圧裂係数との関係 (ストアス再生骨材 : Pen70)

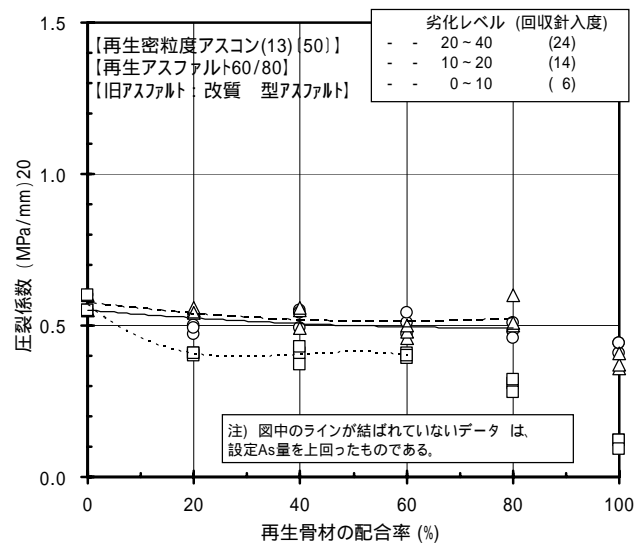


図-2.18 再生骨材配合率と圧裂係数との関係 (改質 型再生骨材 : Pen70)

2-3-2 旧アスファルトの種類

(1) 針入度調整しない場合

圧裂係数は、旧アスファルトの種類（ストアス、改質アス）および新アスファルトの種類（ストアス 40/60、60/80）を変化させた場合でも、再生アスファルトの針入度と高い相関が認められる（図-2.19）。

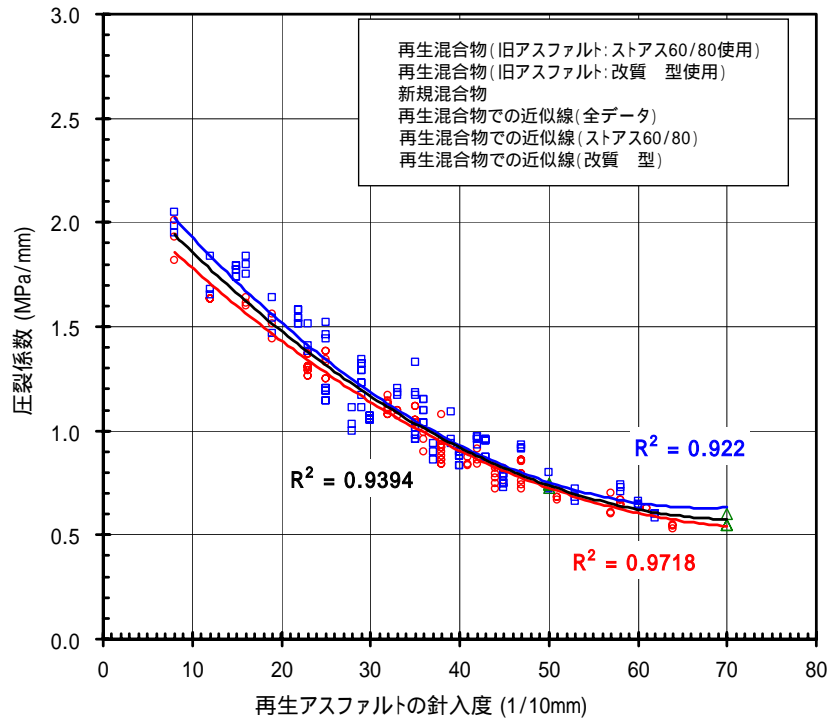


図-2.19 再生アスファルト針入度と圧裂係数との関係

(2) 再生用添加剤で針入度調整した場合

旧アスファルトの劣化レベル 0~10 以外の再生骨材を再生用添加剤で針入度 50 および 70 に回復させた場合、圧裂係数は、旧アスファルトの種類（ストアス、改質アス）および新アスファルトの種類（ストアス 40/60、60/80）に関係なく、同一針入度でほぼ一定の値（設計針入度 50 : 0.7MPa/mm、設計針入度 70 : 0.5 MPa/mm）を示す（図-2.15、図-2.16、図-2.17、図-2.18）。

2 - 3 - 3 再生骨材(屋外供用劣化)および新規素材の種類

(1) 混合所で使用されている材料

ここでは、(社)日本アスファルト合材協会(以下、日合協)の会員会社の 30 混合所で用いられている再生骨材を収集し、同一試験機関で再生密粒度アスファルト混合物の圧裂係数を確認した。再生骨材はアスファルト舗装発生材を破碎・分級したもので、室内促進加熱劣化再生骨材に対して屋外供用劣化再生骨材である。

再生骨材の旧アスファルトの針入度は、10 以上 20 未満が 9 混合所、20 以上 30 未満が 18 混合所、30 以上 40 未満が 3 混合所である(表-2.8)。再生骨材の配合率は 20%から 85%の範囲である。試験条件を表-2.9 に示す。

表-2.8 収集した素材の地区と針入度調整方法

地 区	混 合 所 数	混合物数(針入度調整方法)	
		再生用添加剤	新アスファルト
栃木県	2	0	3
群馬県	2	2	1
埼玉県	5	10	0
千葉県	4	8	0
東京都	2	4	0
神奈川県	4	8	0
山梨県	1	0	1
長野県	1	2	0
愛知県	3	2	2
岐阜県	3	2	2
三重県	1	0	1
山口県	2	1	2
合 計	30	39	12

注) 選定に当たっては、密粒13mmの適用が少ない北海道、東北を除いた。

表-2.9 試験条件

混合物種	試料提供機関	再生骨材配合率	設計針入度 (1/10mm)	測定項目
再生密粒度アスコン(13)	日合協会会員会社 30混合所	各社配合を 基本とする	50 70	圧裂強度 最大荷重までの変位量 圧裂係数 (試験温度20)

(a) 新アスファルトで針入度調整した場合

11 箇所の混合所で使用されている再生骨材を配合し新アスファルトで設計針入度に調整した密粒度アスファルト混合物の圧裂係数については、以下のようなことがいえる（図-2.20）。

- ①再生アスファルト等級 40/60 では、圧裂係数は 0.7MPa/mm 程度である。
- ②再生アスファルト等級 60/80 では、圧裂係数は 0.5～0.6MPa/mm 程度である。

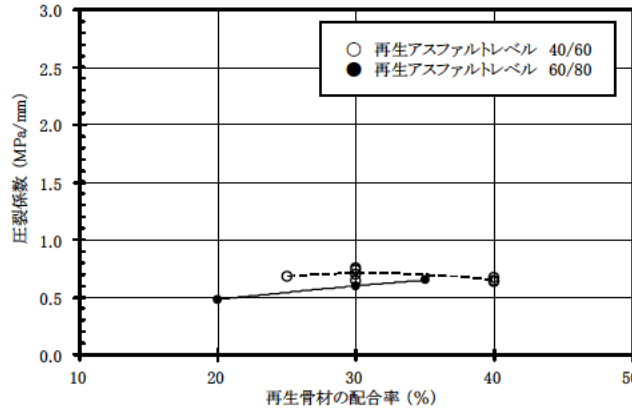


図-2.20 新アスファルトで針入度調整した場合での圧裂係数

(b) 再生用添加剤で針入度調整した場合

20 箇所の混合所で使用されている再生骨材および各混合所で使用されている再生用添加剤で設計針入度に調整した密粒度アスファルト混合物の圧裂係数は、以下のようなことがいえる（図-2.21）。

- ①再生骨材配合率が大きくなるにしたがって、圧裂係数も大きくなる傾向がある。
- ②再生アスファルト等級 40/60 の圧裂係数は、再生骨材配合率 30%の場合が 0.7MPa/mm 程度、80%の場合が 0.9MPa/mm 程度となった。
- ③再生アスファルト等級 60/80 の圧裂係数は、再生骨材配合率 30%の場合が 0.5MPa/mm 程度、80%の場合が 0.7MPa/mm 程度となった。

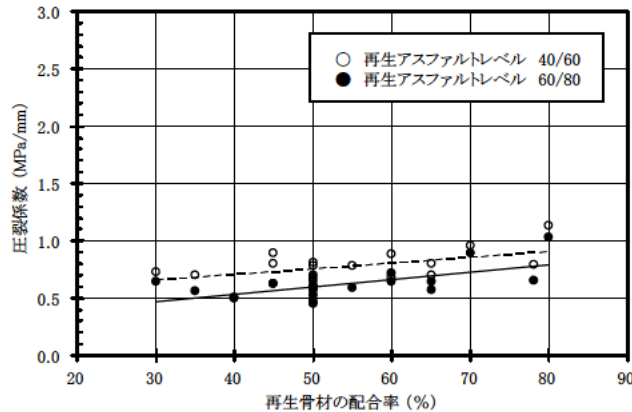


図-2.21 再生用添加剤で針入度調整した場合での圧裂係数

(2) 既設舗装から採取した低針入度再生骨材

土木研究所構内道路より採取した低針入度再生骨材等（針入度：15～18）を用いた再生密粒度アスファルト混合物の圧裂係数を確認した。

試験条件および再生密粒度アスファルト混合物の設定粒度は、表-2.10 および図-2.22 に、設計針入度に応じた再生用添加剤量の設定結果は、図-2.23 に示す。

表-2.10 試験条件

土研再生骨材13-0		再生混合物の条件					
劣化レベル (回収針入度)	配合率	再生骨材の 配合率 (%)	再生アスファルト 量 (%)	設計針入度 (1/10mm)	再生用添加剤 の有無	新規 アスファルト種	測定項目
15～18	土研産 (13-5) 35% つくば合材産 (13-0) 65%	20,40,60 80,100	5.5 (75回突き) 5.8 (50回突き)	50 70	あり なし	ストアス40/60 ストアス60/80	圧裂強度 最大荷重までの変位量 圧裂係数 (試験温度20)

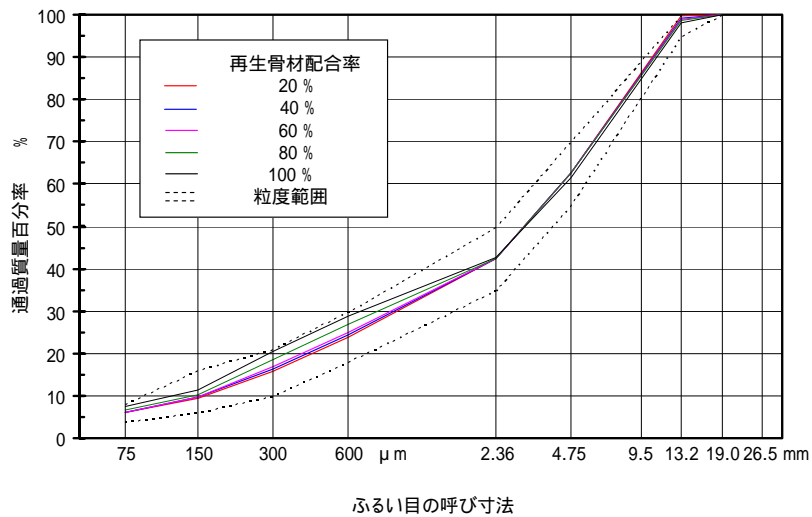


図-2.22 再生密粒度アスファルト混合物の合成粒度

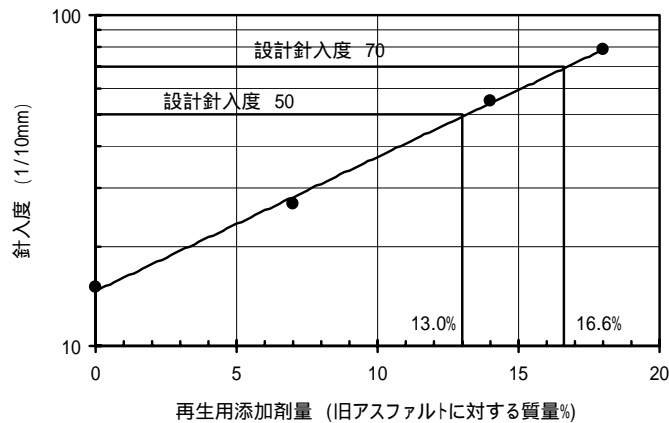


図-2.23 再生用添加剤による設計針入度調整結果

(a) 再生用添加剤で針入度調整しない場合

既設舗装から採取した低針入度（15～18）再生骨材を用いた混合物の圧裂係数は、以下のようなことがいえる（図-2.24）。

- ①再生骨材配合率が大きくなるにしたがって、圧裂係数も大きくなる傾向がある。
- ②新アス40/60の場合での圧裂係数は、再生骨材配合率0%の場合が0.7MPa/mm程度、100%の場合が1.2MPa/mm程度であった。
- ③新アス60/80の場合での圧裂係数は、再生骨材配合率0%の場合が0.5MPa/mm程度、100%の場合が0.9MPa/mm程度であった。

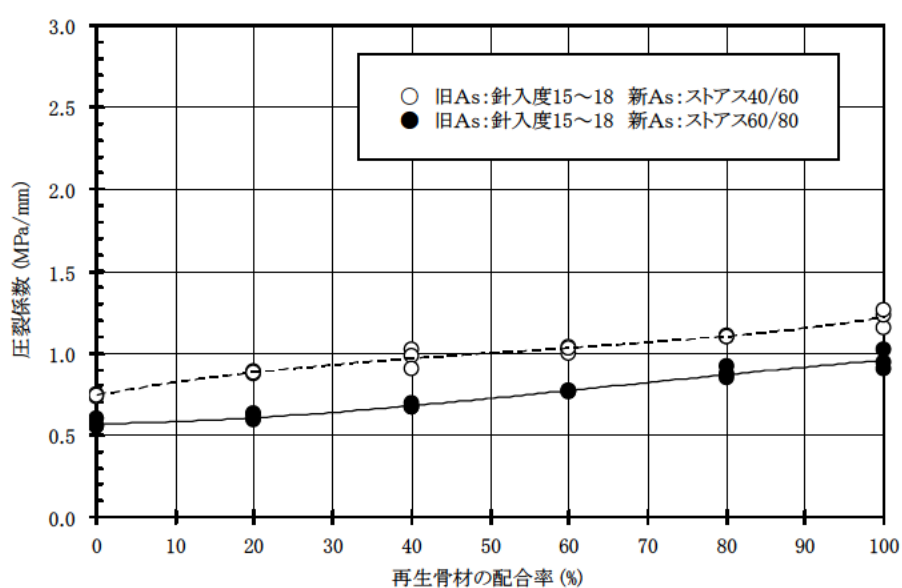


図-2.24 低針入度再生骨材配合率と圧裂係数

(b) 再生用添加剤で針入度調整した場合

低針入度（15～18）再生骨材の旧アスファルトを再生用添加剤で針入度 50 および 70 に回復させた場合の圧裂係数は、以下のようなことがいえる（図-2.25）。

- ①再生骨材配合率が大きくなるにしたがって、圧裂係数は小さくなる傾向がある。これは、再生骨材配合率が増すほどアスファルトの針入度を回復させるための再生添加剤量の比率が大きくなり、OAC に対して過剰となったアスファルト量が影響していると考えられる。過度に劣化したアスファルトに軽質な油を添加しても、バインダの性状バランスが著しく崩れて適正な性能を確保できなくなることが懸念される。
- ②再生アス等級 40/60 の圧裂係数は、再生骨材配合率 20%の場合が 0.7MPa/mm 程度、60%の場合が 0.7 MPa/mm 程度であった。
- ③再生アス等級 60/80 の圧裂係数は、再生骨材配合率 20%の場合が 0.5MPa/mm 程度、60%の場合が 0.5MPa/mm 程度であった。

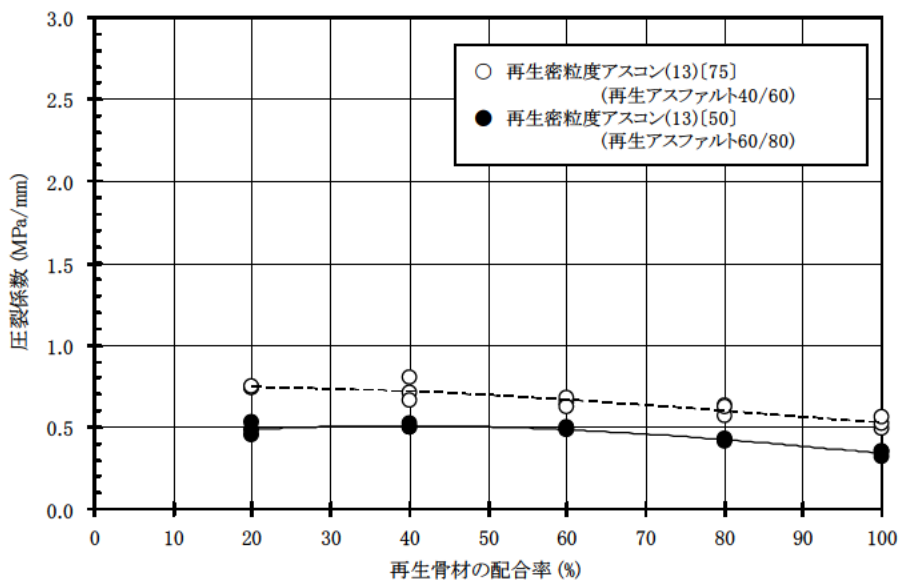


図-2.25 低針入度再生骨材配合率と圧裂係数

2 - 4 まとめ

針入度に代わるアスファルト混合物での劣化評価試験方法として、圧裂試験を取り上げ適用の可能性について予備検討を行った結果、20 における圧裂係数が劣化評価指標として適用できる可能性が高いことがわかった。

旧アスファルトの種類や劣化レベルが異なった場合でも、再生骨材配合率の調整や再生用添加剤または新アスファルトにより旧アスファルトの針入度を回復させることで、再生アスファルト混合物の圧裂係数は、1.5MPa/mm 以下となることが確認できた。これらのことから、圧裂係数により再生アスファルト混合物の評価を行うことで、現状では再生アスファルト混合物へ利用できない再生骨材を利用することが可能になるものと期待される。

ただし、過度に劣化したアスファルトを軟質の油等を過剰に添加することにより、成分バランスが崩れバインダとしての性能を満足できないような配合とならないよう、圧裂係数の下限値の設定を確認する必要がある。

3. 再生骨材の評価方法の検討

3-1 検討概要

2章では、針入度に代わるアスファルト混合物での劣化評価試験方法として、圧裂試験を取り上げ適用の可能性について予備検討を行った。その結果、アスファルトの劣化レベルと試験温度 20℃における圧裂係数との間に強い相関が認められ、圧裂係数が再生骨材に含まれるアスファルトの劣化評価指標として適用できる可能性が高いことがわかった。

アスファルトの劣化レベルと試験温度 20℃における破壊回数(図-3.1)の間にも強い相関が認められ、ストアス混合物の針入度が 20、改質アス混合物の針入度が 10 を下回ると破壊回数は急激に小さくなり疲労抵抗性が弱くなることを確認した。さらに改質アス混合物の針入度が 10 に低下してもストアス混合物の針入度 20 と同等以上の疲労抵抗性を有することもわかった。そのストアス混合物の針入度 20 と改質アス混合物の針入度 10 の圧裂係数(試験温度 20℃)は、劣化レベルと圧裂係数との関係(図-3.2)より、同等であることが明らかとなった。

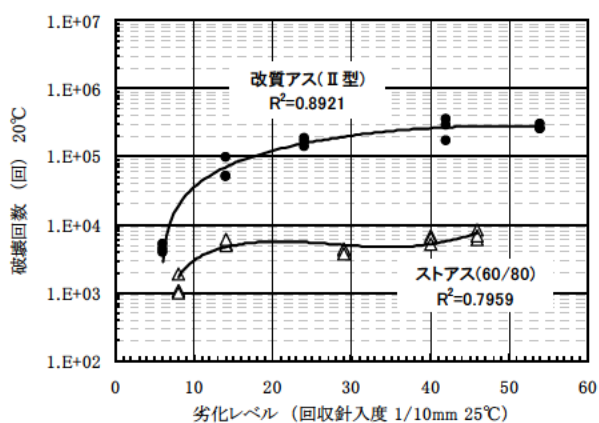


図-3.1 劣化レベルと破壊回数との関係

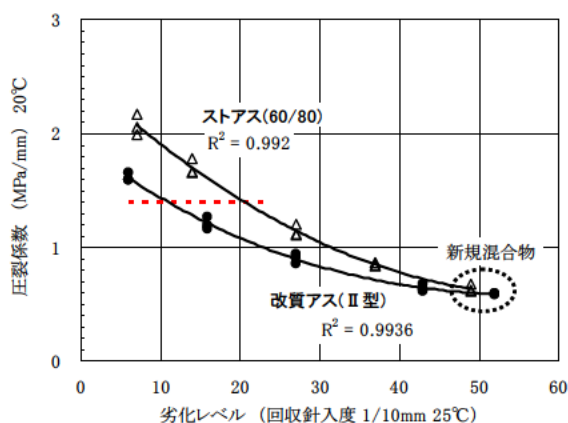


図-3.2 劣化レベルと圧裂係数との関係

以上の結果を踏まえ、ここでは再生骨材単体での評価をするための試験方法や再生骨材単体の品質規格である旧アスファルトの針入度(20以上)に代わる新たな評価基準を確立するための検討を行った。

具体的には、再生骨材単体での圧裂試験方法を確立し、その試験方法で室内促進加熱劣化混合物や日合協会会員会社の混合所で使用している再生骨材ならびに土木研究所内で屋外曝露した劣化混合物の圧裂係数と針入度との関係を検証し、新たな評価基準を設定したものである。

3 - 2 再生骨材の評価をするための試験方法

前項までの圧裂試験方法を基に、再生骨材の評価をするための再生骨材単体での圧裂試験用供試体の作製方法や試験方法を以下にまとめた。

(1) 目的

本試験方法は、再生骨材単体での評価基準に対応する圧裂係数を求めるために用いるものである。

(2) 試験器具

(a) 供試体作製器具

「舗装調査・試験法便覧 B001 マーシャル安定度試験方法」に用いる供試体作製器具と同一とする。

(b) 載荷装置

載荷装置は、載荷時に $50\pm 5\text{mm/min}$ の変位速度が得られるもので、最大荷重は 29kN 以上測定できるものとする。

本試験は、写真-3.1 に示すパソコン制御の試験機を使用した。



写真-3.1 圧裂試験機の例

(c) 載荷板

平滑な平面を持った金属製の板で、載荷中に変形を生じないもの。
載荷中に常に上下の載荷板を平行に保つことのできるものでなければならない。
図-3.3 に載荷板の例を示す。

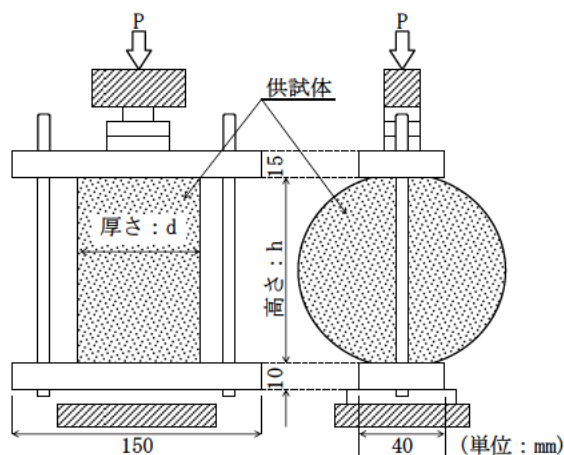


図-3.3 載荷板の例

(d) 測定記録装置

変位量および載荷荷重を測定する計器とそれらの測定値を記録する装置を持つことが必要である。

1) 変位測定用計器

供試体の最大荷重の点における変位量を測定するためのもので、最大荷重と変位量を自動計測する機能が内蔵されたもの(写真-3.1)あるいは自記記録装置に取り付け可能なダイヤルゲージが設置可能なものを使用する。計器の最小目盛は 1/100mm とする。

〔注1〕 載荷点における変位を直接測定できない場合、載荷板の偏心による測定誤差が生じないように変位計を設置する。

〔注2〕 最大荷重に達するまでの変位量が非常に小さく、その時の変位量を精度よく読みとる必要があるため、自記記録装置は高速記録(500mm/min 以上)ができるもの。

2) 載荷荷重測定用計器

載荷装置の載荷枠と載荷板の間に取り付けて荷重の大きさを測定するためのロードセル又は力計で容量は 29kN 以上、精度は 100N 以下とする。

(e) 恒温槽

供試体を試験前に養生する恒温槽で $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に保つことが可能なこと。

(f) ノギス

0.1mm まで測定可能なもの。

(3) 試験方法

再生骨材の圧裂試験の実施フローを図-3.4 に示す。

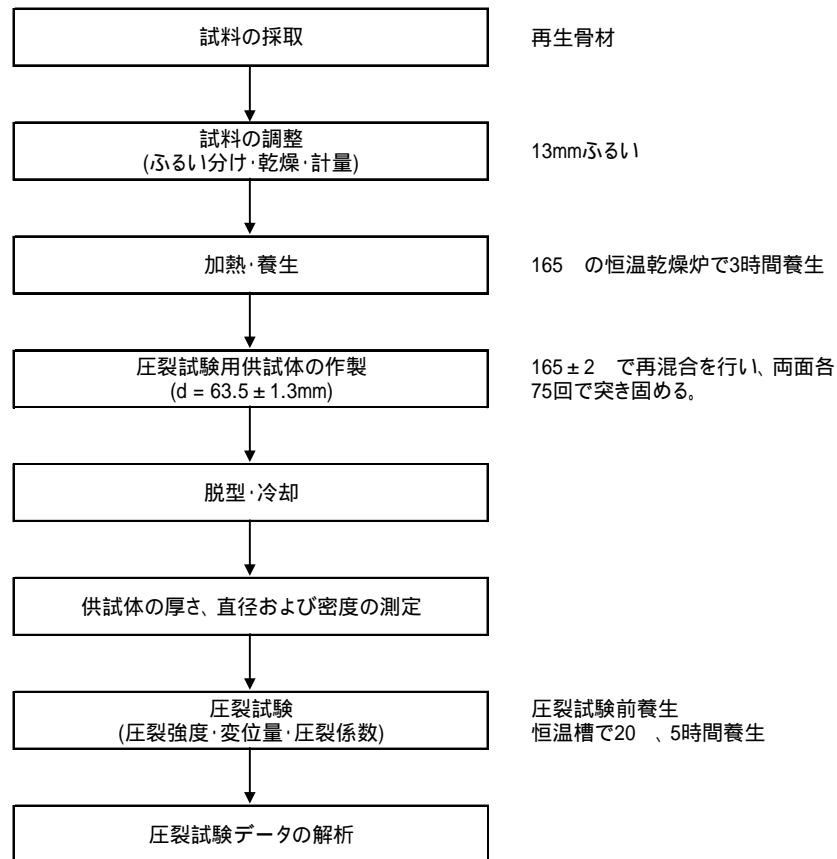


図-3.4 再生骨材の圧裂試験の実施フロー

(a) 試料の採取および調整

試料の採取は、試験対象のロットから少なくとも3箇所の異なった位置から13mmふるい通過分を1箇所当たり7kg以上採取する。採取した試料はバットに薄く広げて、室温にて3日以上水分を乾燥させる。

再生骨材の13mm以下が13~0mmあるいは13~5mm、5~0mm以外でふるい分けられている場合には、ふるい分け前の全試料から13~5mmと5~0mmをふるい取ってこれを対象に試験を行う。

〔注3〕 供試体ごとの測定誤差を極力小さくするため、採取した試料は13~5mmと5~0mmに一度ふるい分けて、元の試料の配合率に応じて合成し、1供試体分の試料とする。

(b) 供試体の作製

1) 個数

供試体の個数は5個を1組とする。

2) 加熱および混合

締め固めた供試体の厚さが $63.5 \pm 1.3 \text{mm}$ になるように、再生骨材を計量し 1 供試体分の試料とする。

計量した試料は、混合するために 165 の恒温乾燥炉で 3 時間養生する。

〔注 4〕試料を加熱するにはふたのできる容器を用いるか、またはアルミホイルなどで包み、直接熱風があたらない措置を講ずる。

乾燥炉より取り出した試料は、供試体作製前に混合する。このときの加熱作業は 1~2 分程度で終わるようにし、試料温度が締め固め温度の 165 から 5 以上高くないように気をつける。

3) 締め固め

締め固めは「舗装調査・試験法便覧 B001 マーシャル安定度試験方法」による。

このときの試料の温度は 165 ± 2 、突固め回数は両面各 75 回とする。

締め固めた供試体は、モールドのまま室温になるまで放冷したのち、供試体を供試体押し出し器で抜き取る。抜き取った供試体は注意深く取り扱い、端部などに付着している余分なモルタル分をパテナイフ等で除去する。その後、ノギスを用いて供試体の厚さおよび直径を 0.1mm まで計る。

(c) 供試体の養生

作製した供試体を恒温槽にて、 20 ± 1 で 5 時間以上養生する。

〔注 5〕水浸養生とする場合には、供試体が水に浸からないように、ビニール袋などに入れて養生する。

(d) 圧裂試験

試験に先立ち案内棒および載荷板の内面を十分に清浄し、案内棒には上側の載荷板が自由にすべるようにグリース等の油を塗る。恒温槽から供試体を取り出し、下側の載荷板に置き、上側の載荷板をかぶせて載荷装置に設置する。

50mm/min の一定な変位速度で載荷し、供試体が破壊するまでに示す最大荷重 (N) および最大荷重までの変位量 (mm) を記録する。

〔注 6〕載荷装置に供試体を置く場合、供試体の中心点の上下に 2 枚の載荷板を平行に置くことが重要で、中心からずれたり、平行でない場合には載荷が正しく行われないので注意が必要である。

供試体を恒温槽から取り出してから、最大荷重に達するまでに要する時間は 30 秒を超えてはならない。なお、最大荷重および最大荷重までの変位量は、小数点以下 2 桁まで読む。なお、最大荷重までの変位量は、図-3.5 に示すように立ち上がり部分の補正を行った値とする。

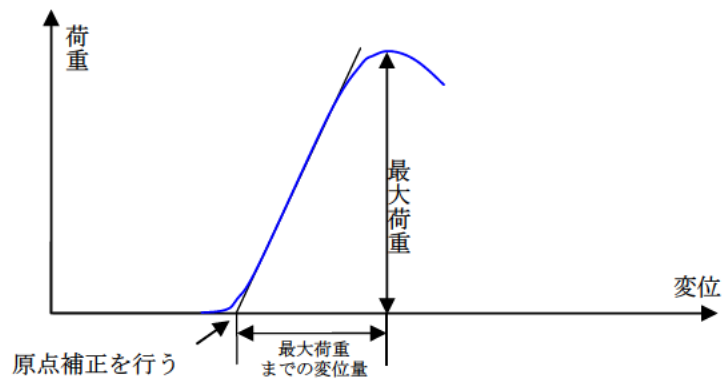


図-3.5 圧裂試験における荷重-変位量曲線

(4) 結果の整理

(a) 結果の算出

記録された荷重-変位量曲線より、最大荷重（破壊時）および最大荷重までの変位量を求め、式-3.1、式-3.2 より圧裂強度および圧裂係数を計算し、有効数字 3 桁まで求める。

算出した圧裂係数 5 個のうち、最大と最小となる数値をそれぞれ棄却し、残りの値の平均値を圧裂係数とする。

1) 圧裂強度

$$\sigma_t \text{ (MPa)} = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times \ell} \quad \text{式-3.1}$$

ここに、 P : 破壊時の最大荷重 (N)

d : 供試体の厚さ (mm)

ℓ : 供試体の直径 (mm)

2) 圧裂係数

$$\text{圧裂係数 (MPa/mm)} = \frac{\sigma_t}{x} \quad \text{式-3.2}$$

ここに、 σ_t : 圧裂強度 (MPa)

x : 最大荷重までの変位量 (mm)

(b) 報告事項

- 1) 圧裂強度 (MPa), 最大荷重までの変位量 (mm)
- 2) 圧裂係数 (MPa/mm)

3-3 室内促進加熱劣化混合物の性状確認

日合協会会員会社 6 社、42 混合所で用いられている再生骨材のアスファルト抽出骨材粒度や旧アスファルト量を基に配合を設定し、室内促進加熱劣化させた混合物の設定針入度におけるアスファルト量と圧裂係数との関係を確認した。なお、室内促進加熱劣化させた混合物の目標とする針入度は、ストアス使用で再生骨材の品質規格である 20 を、改質アス使用で 2-2-2(2)項で検証したストアスの針入度 20 と同等以上の疲労破壊抵抗性を有する 10 が得られる水準を設定した。

(1) 室内強制劣化混合物のアスファルト量と粒度の設定

日合協会会員会社 6 社、42 混合所で用いられている再生骨材の旧アスファルト量とアスファルト抽出骨材粒度との回帰(図-3.6)より、表-3.1 に示す設定アスファルト量と主だった粒径の通過質量割合を設定した。

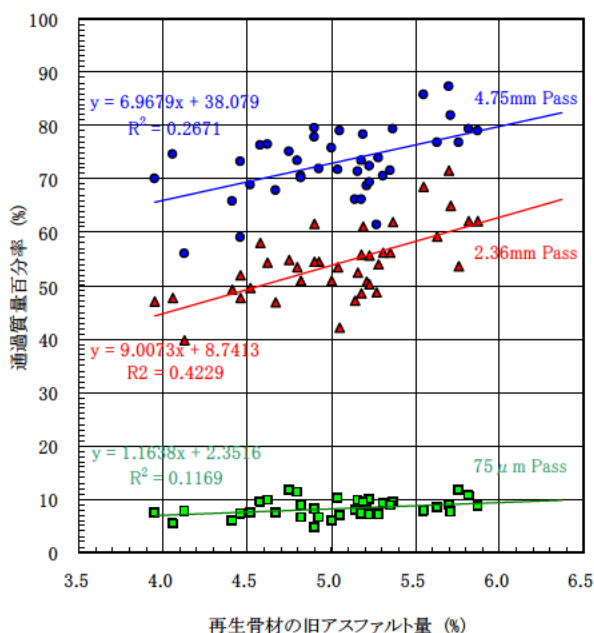


図-3.6 再生骨材のアスファルト量と抽出骨材粒度との関係

表-3.1 設定アスファルト量と粒度

設定アスファルト量 %	通過質量 %		
	4.75mm	2.36mm	75 μ m
4.0	66.0	44.8	7.0
4.5	69.4	49.3	7.6
5.0	72.9	53.8	8.2
5.5	76.4	58.3	8.8
6.0	79.9	62.8	9.3

(2) 室内促進加熱劣化混合物の配合割合の設定

前項で設定したアスファルト量と粒度との関係より、室内促進加熱劣化混合物の配合割合を表-3.2 に示すとおり設定した。

表-3.2 室内促進加熱劣化混合物の配合設定

アスファルト量 %		4.0		4.5		5.0		5.5		6.0	
配合割合 %	6号碎石	34.0	目標粒度	30.6	目標粒度	27.1	目標粒度	23.6	目標粒度	20.1	目標粒度
	7号碎石	22.9		21.6		20.5		19.4		18.3	
	粗砂	35.8		40.0		44.0		48.0		52.1	
	石粉	7.3		7.8		8.4		9.0		9.5	
通過質量百分率 %	19.0 mm	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-
	13.2	97.8	-	98.0	-	98.2	-	98.4	-	98.7	-
	4.75	66.0	66.0	69.4	69.4	72.9	72.9	76.4	76.4	79.9	79.9
	2.36	44.8	44.8	49.3	49.3	53.8	53.8	58.3	58.3	62.8	62.8
	600 μm	28.5	-	31.4	-	34.4	-	37.3	-	40.2	-
	300	18.5	-	20.3	-	22.1	-	24.0	-	25.8	-
	150	10.1	-	10.9	-	11.9	-	12.8	-	13.6	-
75	7.0	7.0	7.6	7.6	8.2	8.2	8.8	8.8	9.3	9.3	

(3) 室内促進加熱劣化混合物の作製

圧裂試験に供する室内促進加熱劣化混合物は、恒温乾燥炉で強制劣化させたストアス使用で四水準、改質アス使用で三水準の劣化レベル(針入度レベル)の密粒度アスファルト混合物とした。図-3.7 に室内促進加熱劣化方法および 110 強制劣化時間と針入度との関係を示す。目標とした針入度はストアス使用で 20、改質アス使用で 10 とし、110 劣化時間は前者が 20,50,85,120hr の 4 種を、後者が 150,225,300hr の 3 種を作製した。

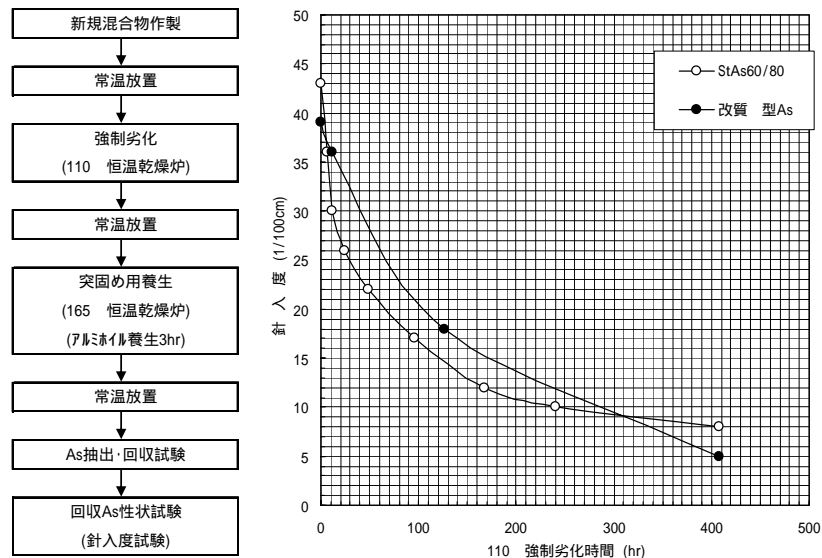


図-3.7 室内促進加熱劣化混合物の作製方法および

110 強制劣化時間と針入度との関係

(4) 室内促進加熱劣化混合物の性状確認

室内促進加熱劣化混合物の劣化水準を変えた圧裂試験結果より、ストアス使用混合物で針入度 20、改質アス使用混合物で針入度 10 に相当する試験温度 20 の圧裂係数を求めた。

回収アスファルトの針入度およびアスファルト量と圧裂係数との関係(図-3.8)より、以下のようなことがいえる。

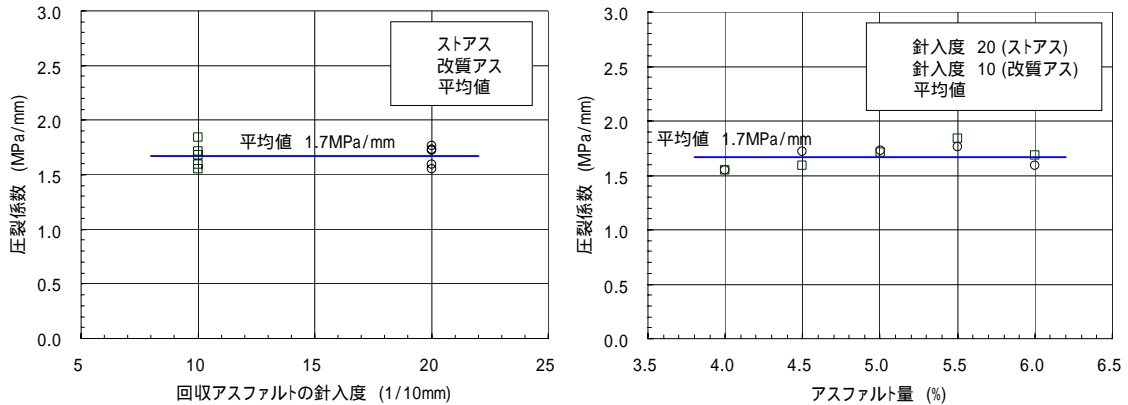


図-3.8 回収アスファルトの針入度、アスファルト量と圧裂係数との関係

圧裂係数は、ストアス使用で針入度 20 に調整した混合物と改質アス使用で針入度 10 に調整した混合物は共に平均で 1.7MPa/mm でありほぼ同等の値であることを確認した。

アスファルト量と圧裂係数との関係は、アスファルト量に関わらずストアス使用混合物と改質アス使用混合物とも同様な傾向を示すことを確認した。

前章の検証より、劣化レベルと破壊回数は高い相関があること、劣化レベルと圧裂係数にも高い相関があることを検証した。

その結果、ストアス混合物の針入度が 20、改質アス混合物の針入度が 10 を下回ると破壊回数は急激に小さくなり疲労抵抗性が弱くなることも検証した。

さらに改質アス混合物の針入度が 10 に低下してもストアス混合物の針入度 20 と同等以上の疲労抵抗性を有することも検証した。

以上のことから、圧裂係数は、改質アス使用混合物のように高い疲労抵抗性を有している場合は回収針入度が 10 であってもストアス使用混合物の針入度 20 と同等であり、疲労抵抗性を十分評価できることが確認された。

したがって、ストアス使用混合物の針入度を 20 に調整した圧裂係数 1.7MPa/mm 程度以下を満足できれば、針入度に関係なく疲労抵抗性を有しており、再生骨材としての使用が可能であると考えられる。

3 - 4 再生骨材の性状確認

日合協会会社 6 社、42 混合所で用いられている再生骨材を収集し、再生骨材の旧アスファルト量、アスファルト抽出骨材の粒度、回収アスファルトの針入度および圧裂係数を確認した。

再生骨材の旧アスファルトの針入度は、10 以上 20 未満が 9 混合所、20 以上 30 未満が 31 混合所、30 以上 40 未満が 2 混合所であった。

回収アスファルトの針入度および旧アスファルト量と圧裂係数との関係(図-3.9)より、以下のようなことがいえる。

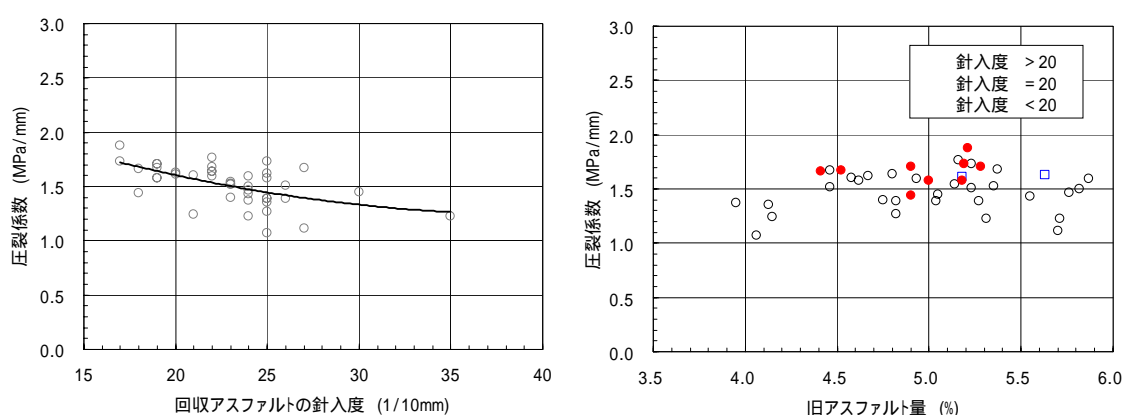


図-3.9 回収アスファルトの針入度、旧アスファルト量と圧裂係数との関係

圧裂係数は、回収アスファルトの針入度が高くなるほど低くなる傾向がある。また、再生骨材の品質規格である旧アスファルトの針入度 20 の再生骨材の圧裂係数の平均は 1.7MPa/mm であることを確認した。

旧アスファルト量と圧裂係数との関係は、前項の室内促進加熱劣化混合物による検証結果と同様、旧アスファルト量の影響は認められないことを確認した。

以上のことから、再生骨材の品質規格である旧アスファルトの針入度 20 に対応する圧裂係数は、1.7MPa/mm 程度であることが確認された。また、針入度 20 以上の再生骨材は、圧裂係数が概ね 1.7MPa/mm を下回ることがわかった。

3 - 5 改質アス(型)再生骨材の性状確認

土木研究所構内より採取した改質アス(型)使用の切削材(屋外供用劣化)および屋外曝露劣化材で、旧アスファルト量、アスファルト抽出骨材の粒度、回収アスファルトの針入度および圧裂係数を確認した。

回収アスファルトの針入度およびアスファルト量と圧裂係数との関係(図-3.10)より、以下のようなことがいえる。

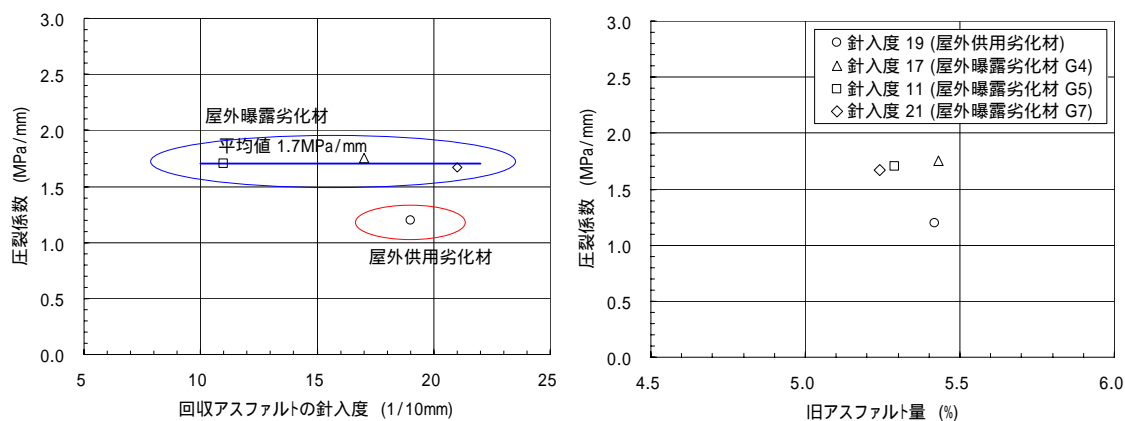


図-3.10 回収アスファルトの針入度、旧アスファルトと圧裂係数との関係

圧裂係数は、屋外曝露劣化材の平均で 1.7MPa/mm 付近、切削材ではそれ以下であることを確認した。

圧裂係数は、旧アスファルト量に影響されないことを確認した。

以上のことから、改質アス使用の再生骨材は、針入度が 10 以上であれば圧裂係数は概ね 1.7MPa/mm 以下であることが確認された。

3-6 再生骨材の評価基準の検証

前項までの室内促進加熱劣化混合物、日合協会員会社 6 社、42 混合所で用いられている再生骨材、土木研究所構内採取の改質アス(Ⅱ型)の切削材(屋外供用劣化)および屋外曝露劣化材、国道 408 号で 12 年間供用されたポーラスアスファルトの切削材等の圧裂係数とアスファルト量や針入度との関係(図-3.11 および図-3.12)や疲労破壊回数および圧裂係数と劣化アスファルトの針入度(図-3.13 および図-3.14)との関係より、新たな再生骨材の評価基準の検証を以下に行った。

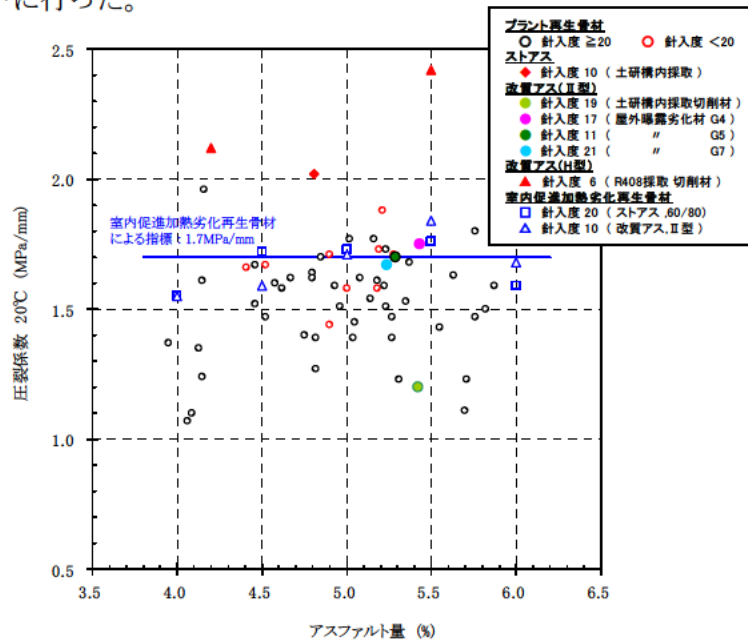


図-3.11 アスファルト量と圧裂係数との関係

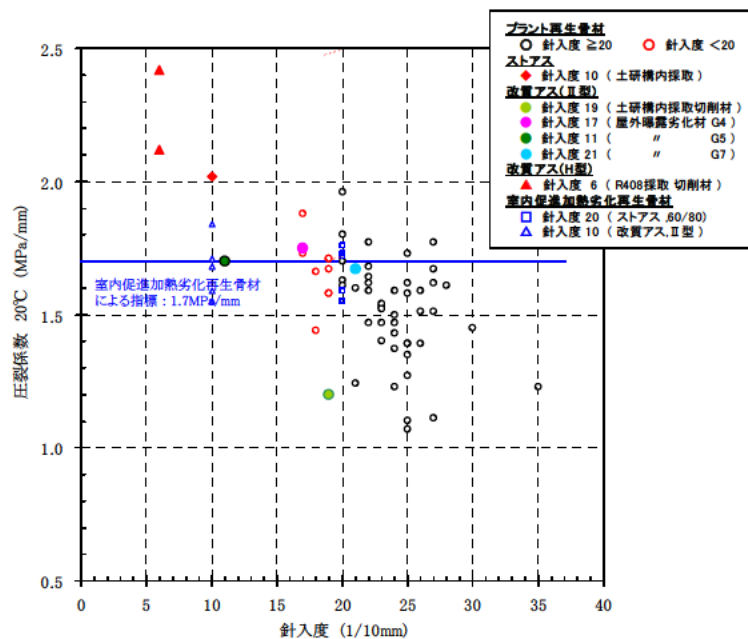


図-3.12 針入度と圧裂係数との関係

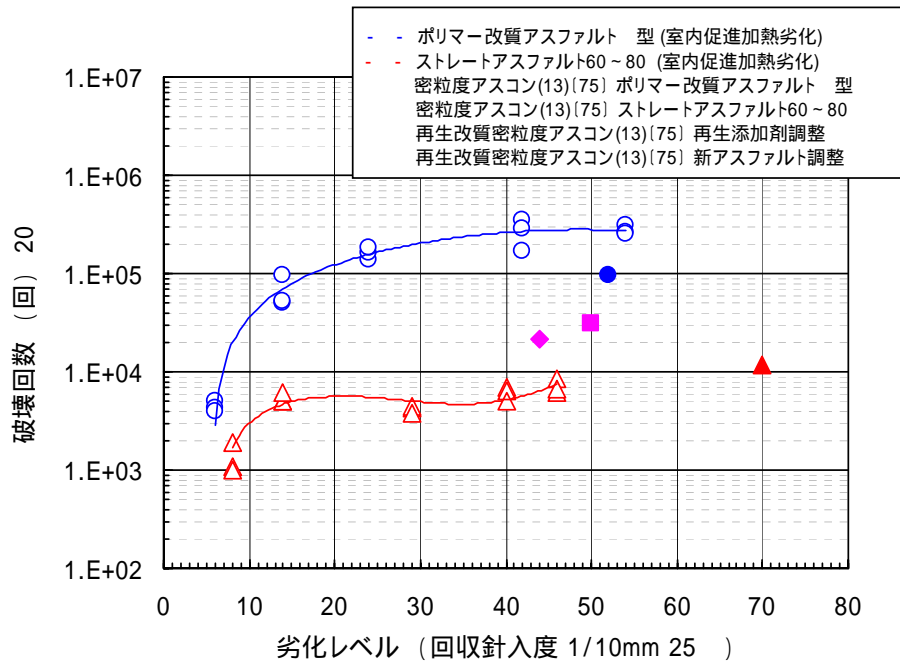


図-3.13 劣化レベルと疲労破壊回数との関係

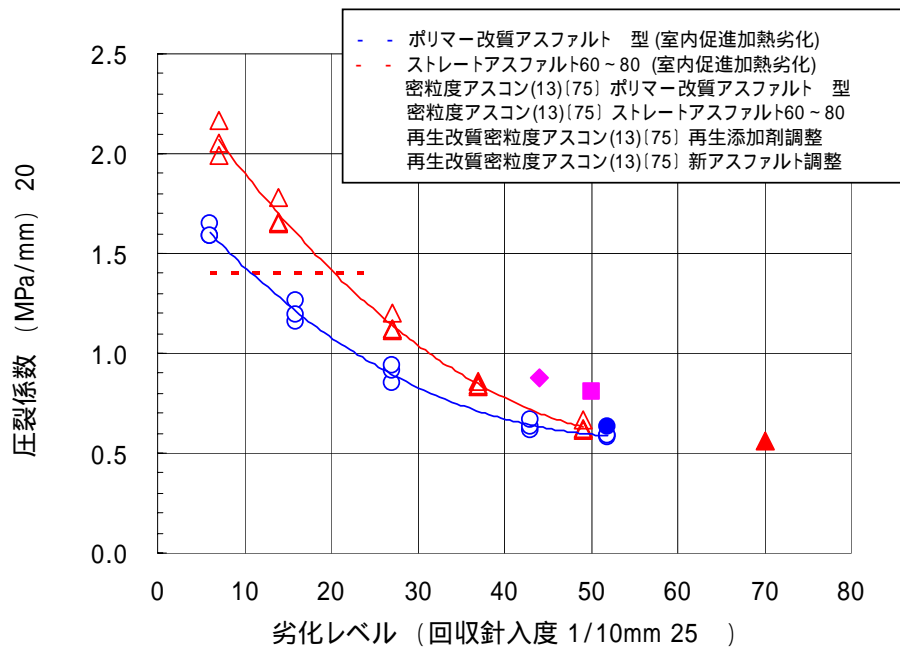


図-3.14 劣化レベルと圧裂係数との関係

劣化レベルと疲労破壊回数との関係(図-3.13)より、劣化レベルと試験温度 20 における疲労破壊回数との間に高い相関が認められ、劣化が進行し針入度が低下するに従い疲労抵抗性は小さくなる傾向がみられる。しかしながら、アスファルトの種類による疲労破壊回数の値の差は大きい。つまり、改質アスは、劣化が進行し針入度が 20 未満となっても舗装の性能には優れていることがわかる。また、改質アスを再生したアスファルト混合物は、両者の中間の疲労性状を示しており、疲労性状の低下を同じ圧裂係数の上限値で間接評価することができるものとみられる。

劣化レベルと圧裂係数との関係(図-3.14)より、ストアスの針入度 20 と改質アスの針入度 10 では同等の圧裂係数を示すことがわかった。

室内促進加熱劣化混合物の性状確認より、圧裂係数は、改質アス混合物のように高い疲労抵抗性を有している場合は回収針入度が 10 以上であれば、ストアス混合物の針入度 20 と同等以上であり、既存の再生骨材の疲労抵抗性を評価できることが確認された。さらに、再生骨材の品質規格である針入度 20 を下回っても、圧裂係数が約 1.7MPa/mm 以下を満足すれば十分な疲労抵抗性を有していることが認められた。

日合協会員会社で用いられている再生骨材の性状確認より、圧裂係数は、現行の品質規格である旧アスファルトの針入度 20 では 1.7MPa/mm 程度であった。また、針入度 20 以上の再生骨材は、圧裂係数が概ね 1.7MPa/mm を下回ることがわかった。

土木研究所構内より採取した改質アス(型)の切削材および屋外曝露劣化材の性状確認より、改質アス使用の再生骨材は、針入度が 10 以上であれば圧裂係数は概ね 1.7MPa/mm 以下であることが確認された。

以上のことから、室内で作製した促進加熱劣化混合物の針入度レベル(ストアス 20,改質アス 10)の圧裂係数の平均や再生骨材の品質規格である針入度 20 の場合の圧裂係数の平均は約 1.7MPa/mm であること、改質アス再生骨材の針入度 10~20 での圧裂係数は約 1.7MPa/mm 以下であることから、再生骨材の針入度レベルにおける圧裂係数との関係は近似している(図-3.11 および図-3.12)。従って、針入度 20 を下回っても圧裂係数が 1.7MPa/mm 以下であれば 2 章で検証したとおり十分な疲労破壊抵抗性を有していることから、再生骨材の新たな評価規格として試験温度 20 による圧裂係数 1.70MPa/mm 以下が妥当と考えられる。

3 - 7 再生骨材での圧裂試験機および試験精度に関する検討

再生骨材単体での圧裂試験精度の整合性を図るため、圧裂試験機の構造や試験機関の違いが圧裂指標に及ぼす影響を検討した。

圧裂試験精度の検討を実施した機関は、日合協会員会社 6 社および(社)日本道路建設業協会 道路試験所(以下、道建協)の 7 機関である。検討試験の条件は、以下に示すとおりである。

(1) 試験条件

(a) 混合物種

再生骨材 100% (作製方法は、3 - 2 - 2 に準拠)

(b) 圧裂試験機種と実施試験機関数

手動試験機による目視読取りタイプ (以下、手動目視タイプ) 写真-3.2 7 機関

手動試験機に電子ダイヤルゲージ、制御アンプ、自記記録式 XY レコーダを取りつけたタイプ (以下、手動 XY タイプ) 写真-3.3 1 機関

パソコン制御の試験機タイプ (以下、自動式タイプ) 写真-3.4 6 機関



写真-3.2 手動目視タイプの例



写真-3.3 手動 XY タイプの例



写真-3.4 自動式タイプの例

(2) 手動目視タイプの圧裂試験精度

手動目視タイプで実施した各機関の圧裂試験結果は、図-3.15 に示すとおりである。
この結果より、以下のようなことがいえる。

最大荷重および圧裂強度は、変動係数が 7.6~7.8%であり、相対的なばらつきが有るとされる 10%を下回っており変動は少なく再現性は高い。

最大荷重までの変位量は、機関相互の差が 1.5mm 程度、変動係数が 25%あり、相対的なばらつきが大きく再現性が低い。

圧裂係数は、機関相互の差が 1.0MPa/mm 程度、変動係数が 28%あり、相対的なばらつきが大きく再現性が低い。

以上のことから、手動目視タイプでは、最大荷重は適切に再現できるが、圧裂変位を再現しづらいことが確認された。この要因は、図-3.16 に示すように荷重がピークに達すると同時に供試体が割裂し、力計に溜まったひずみが一気に解放されることにより、フロー計を目視で読取りづらいことが考えられる。

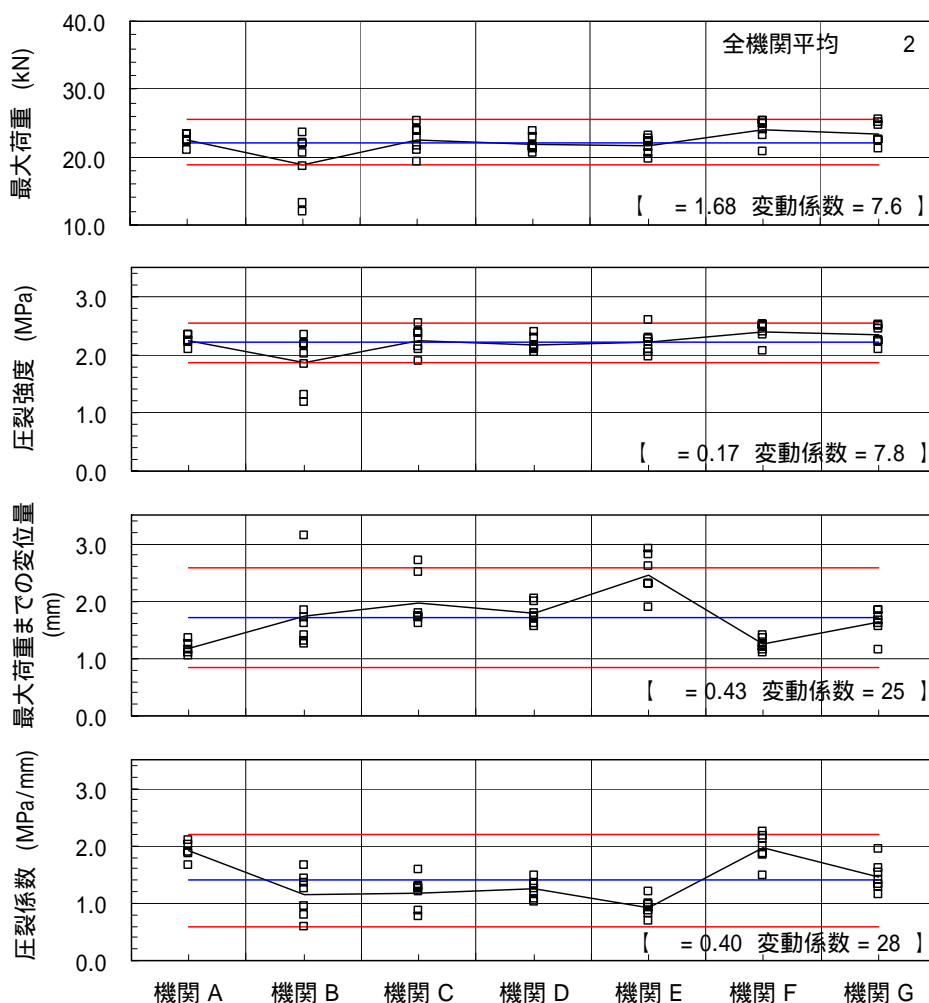


図-3.15 手動目視タイプによる各機関の圧裂試験結果

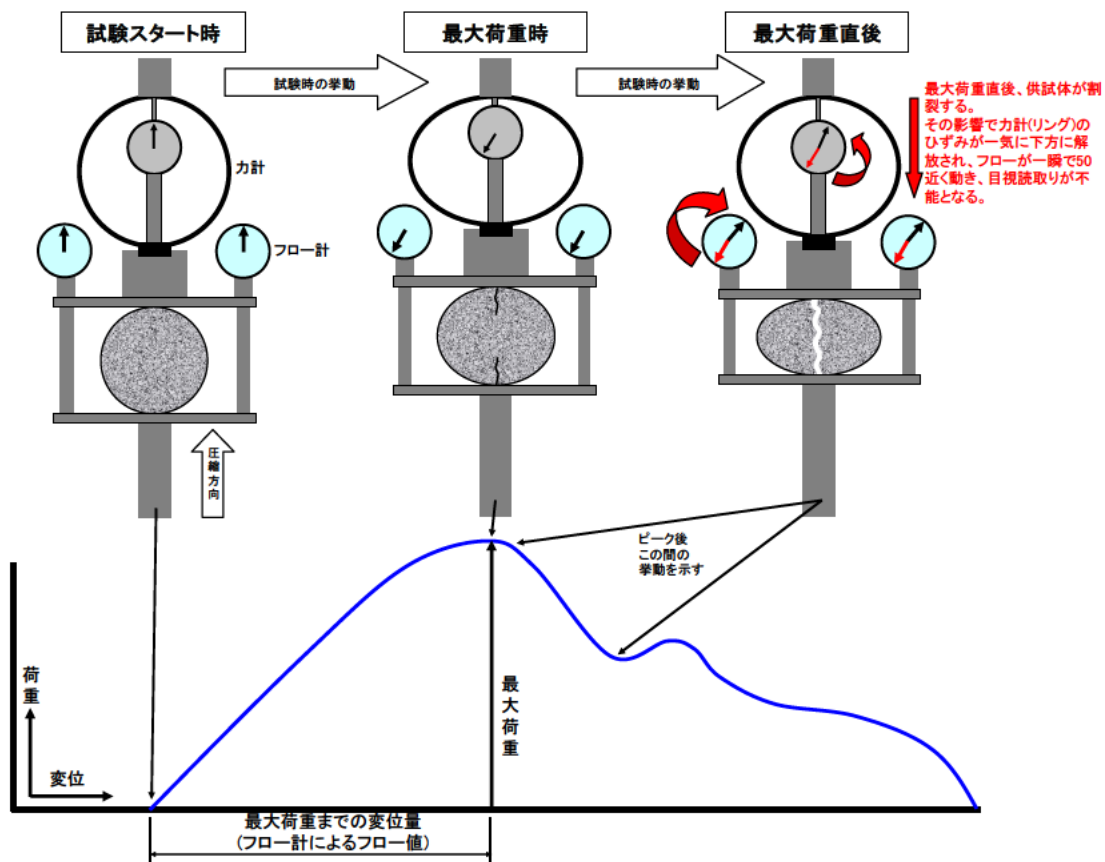


図-3.16 手動目視タイプによる圧裂試験の挙動

(3) 手動 XY、自動式タイプの圧裂試験精度

手動 XY、自動式タイプで実施した各機関の圧裂試験結果は、図-3.17 に示すとおりである。なお、試験機は、機関 A が手動 XY タイプ、機関 B～G が自動式タイプである。

この結果より、以下のようなことがいえる。

最大荷重および圧裂強度は、変動係数が 4.1～4.2%であり、相対的なばらつきがあるとされる 10%を大きく下回っており変動は少なく再現性は高い。

最大荷重までの変位量は、機関相互の差が 0.2 程度、変動係数が 6.6%であり、変動は少なく再現性は高い。

圧裂係数は、機関相互の差が 0.2KPa/mm 程度、変動係数が 4.6%であり、変動は少なく再現性は高い。

以上のことから、自記記録式もしくはデジタルデータで圧裂評価指標の圧裂係数を求めれば、相対的なばらつきは少なく再現性が向上することが認められた。

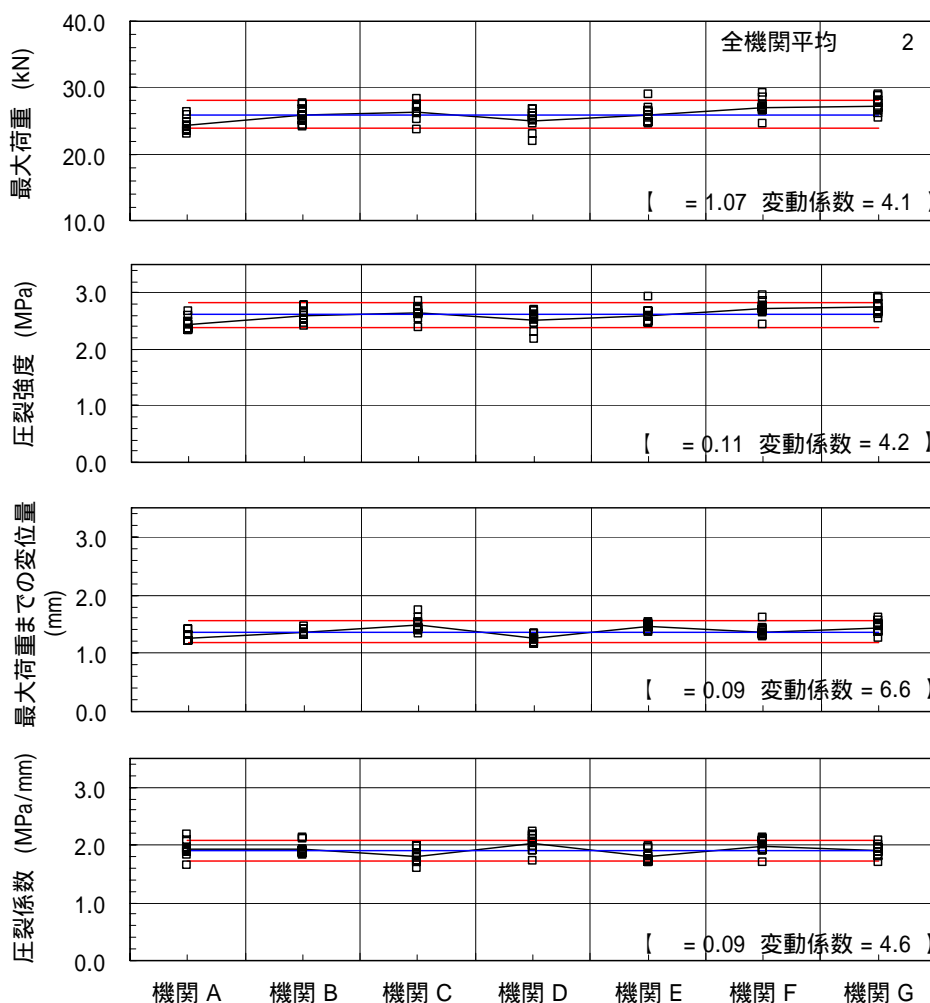


図-3.17 手動 XY、自動タイプによる各機関の圧裂試験結果

3 - 8 まとめ

針入度に代わる再生骨材の評価方法について検討を行った結果、各種再生骨材や室内で強制劣化させた混合物より、再生骨材の針入度レベルと圧裂係数との関係は近似しており、20 における圧裂係数が評価指標として適用できることがわかった。

圧裂係数は、現行の品質規格である旧アスファルトの針入度 20 に対応する各種再生骨材では 1.7MPa/mm 程度であることや、高い疲労破壊抵抗性を有する改質アス混合物では回収針入度が 10 でもストアス混合物の回収針入度 20 と同じ 1.7MPa/mm 程度を示すことから、アスファルトの種類にかかわらず 1.7MPa/mm 以下であれば十分な疲労破壊抵抗性を有していることが示された。したがって、針入度に代わる再生骨材の評価指標は、圧裂係数 1.70MPa/mm 以下が妥当である。

また、再生骨材単体での高い圧裂係数を求める場合の圧裂試験は、自記記録式を装備した試験機やデジタルデータを取得するタイプの試験機を適用すれば試験機間相互の変動は少なく再現性が向上することを確認した。

4 . 新たな再生加熱アスファルト混合物の配合設計に関する検討

4 - 1 検討概要

ここまでの検討で、再生加熱アスファルト混合物(以下、再生混合物)や再生骨材の劣化評価試験方法として、20 における圧裂係数が適用できる事が確認された。

ここでは圧裂係数による再生混合物の配合設計で適用する基準値の検討や、その評価基準に対応する試験方法の提案を行い、再生混合物の新たな配合設計の手順や配合設計例から、圧裂係数による配合設計の妥当性を検証する。

4 - 2 圧裂係数の適用範囲と基準値

2 章の検討で、アスファルト混合物の圧裂係数値で 1.5MPa/mm 以下が得られれば、必要な疲労破壊抵抗性を満足できることが、以下の結果から見いだされた。

疲労破壊抵抗性を満足する破壊回数を 5,000 回とした場合、圧裂係数は 1.5MPa/mm 以下が必要となる。

圧裂係数は、再生骨材配合率、旧アスファルトの種類およびその他の材料等の条件が変化しても、1.5MPa/mm 以下を満足する。

しかし、圧裂係数 1.5MPa/mm は、疲労破壊抵抗性を確保できる限界値であり、アスファルト混合物の配合設計の目標値として適切でないと考えられる。

図-4.1 から、設計圧裂係数の最適な範囲は、再生アスファルトの針入度によって定めることができると考えられ、その値は、一般用再生混合物(ストアス等級 40~60)で 0.60~0.90 MPa/mm、積雪寒冷地用再生混合物(ストアス等級 60~80)で 0.40~0.60 MPa/mm、北海道用再生混合物(ストアス等級 80~100)で 0.25~0.40 MPa/mm である。

この圧裂係数の適用範囲と基準値の妥当性を図るため、新規および再生混合物での圧裂試験を行った。結果は図-4.2~4.5 に示すとおり、圧裂係数は、一般用混合物が 0.60~0.90 MPa/mm の範囲を、積雪寒冷地用は 0.40~0.60 MPa/mm の範囲を満足することが確かめられた。したがって、この適用範囲における圧裂係数は、配合設計基準値として妥当であると考えられる(表-4.1)。

表-4.1 圧裂係数の適用範囲と設計基準値

適用範囲	設計圧裂係数 (MPa/mm)	ストアス等級
一般用	0.60 ~ 0.90	ストアス 40~60
積雪寒冷地用	0.40 ~ 0.60	ストアス 60~80
北海道用	0.25 ~ 0.40	ストアス 80~100

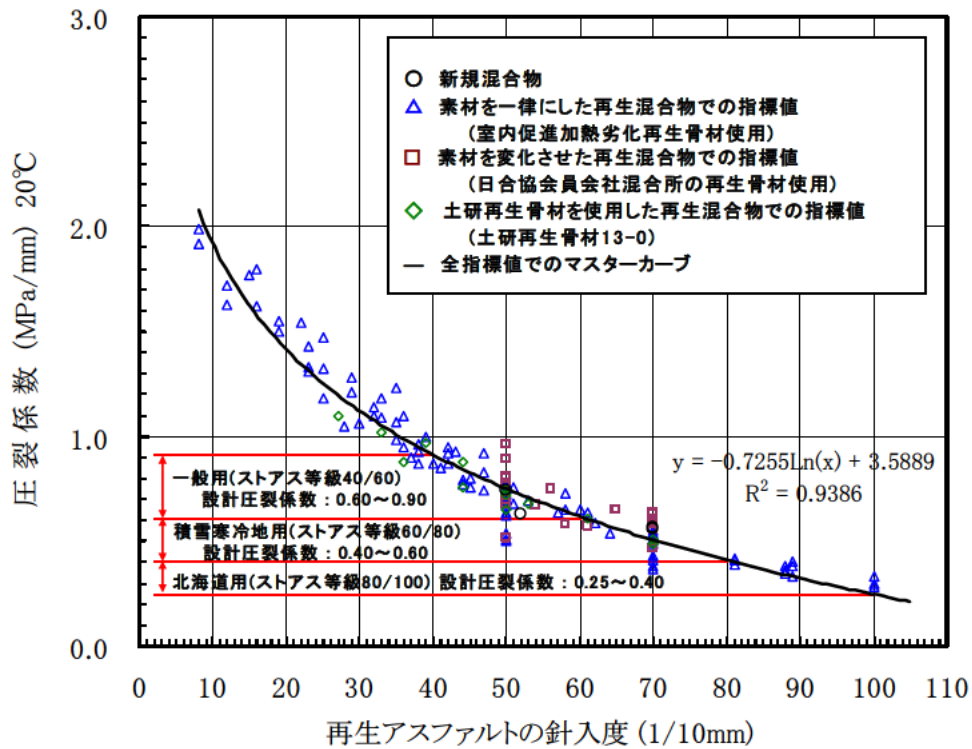


図-4.1 再生アスファルトの針入度に対応する圧裂係数

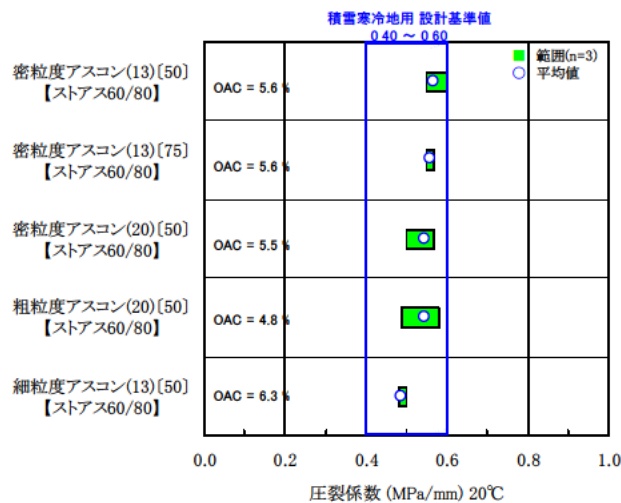


図-4.2 新規混合物(積雪寒冷地用)の圧裂係数

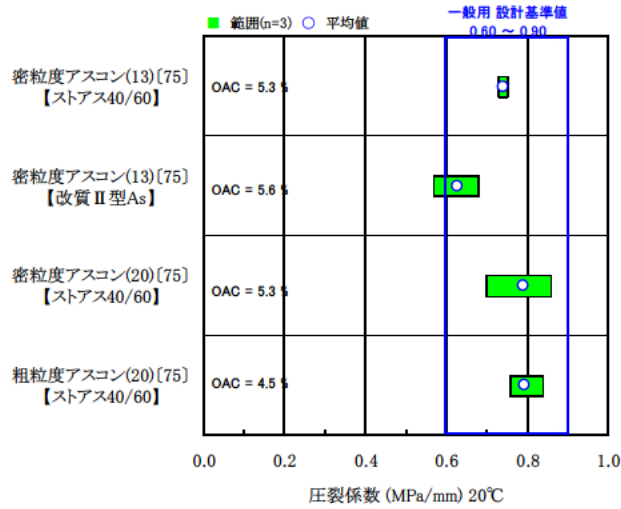


図-4.3 新規混合物(一般用)の圧裂係数

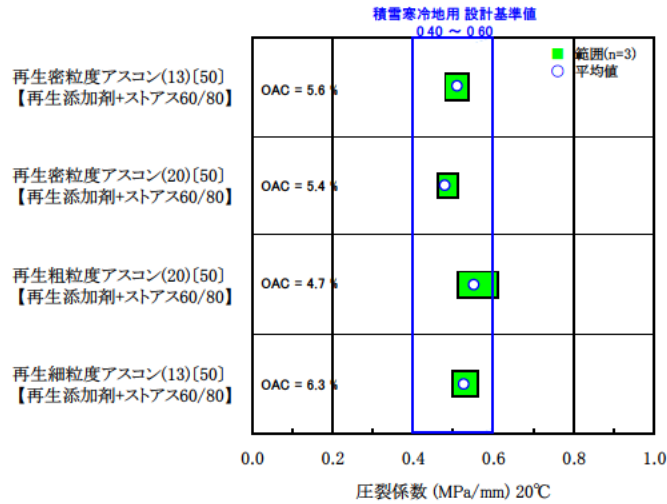


図-4.4 再生混合物(積雪寒冷地用)の圧裂係数

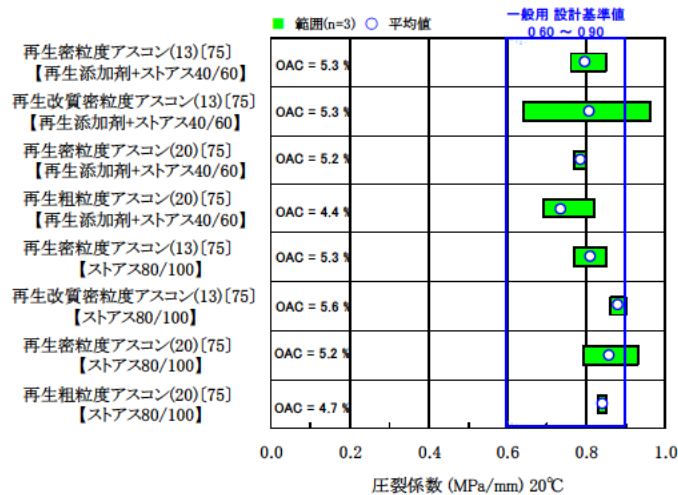


図-4.5 再生混合物(一般用)の圧裂係数

4 - 3 再生混合物の評価基準に対応する試験方法

再生混合物の評価基準に対応する圧裂試験用供試体の作製方法や試験方法を以下にまとめた。

(1) 目的

再生混合物の圧裂係数を求めるために用いる。

(2) 適用範囲

本試験方法は、再生混合物の配合設計において、再生用添加剤や新アスファルトを用いて設計圧裂係数への調整を行う場合に適用し、主に試験室において実施する。

(3) 試験器具

試験器具は、「3 - 2 再生骨材の評価をするための試験方法」と同一とする。

ただし、再生混合物による圧裂試験では、再生骨材と比べ、載荷荷重の増加が緩やかであることから、手動試験機(マーシャル安定度試験機)により最大荷重およびそこに達するまでの変位量を目視読取り方法でもよい。

(4) 試験方法

再生混合物の圧裂試験の実施フローを図-4.6 に示す。

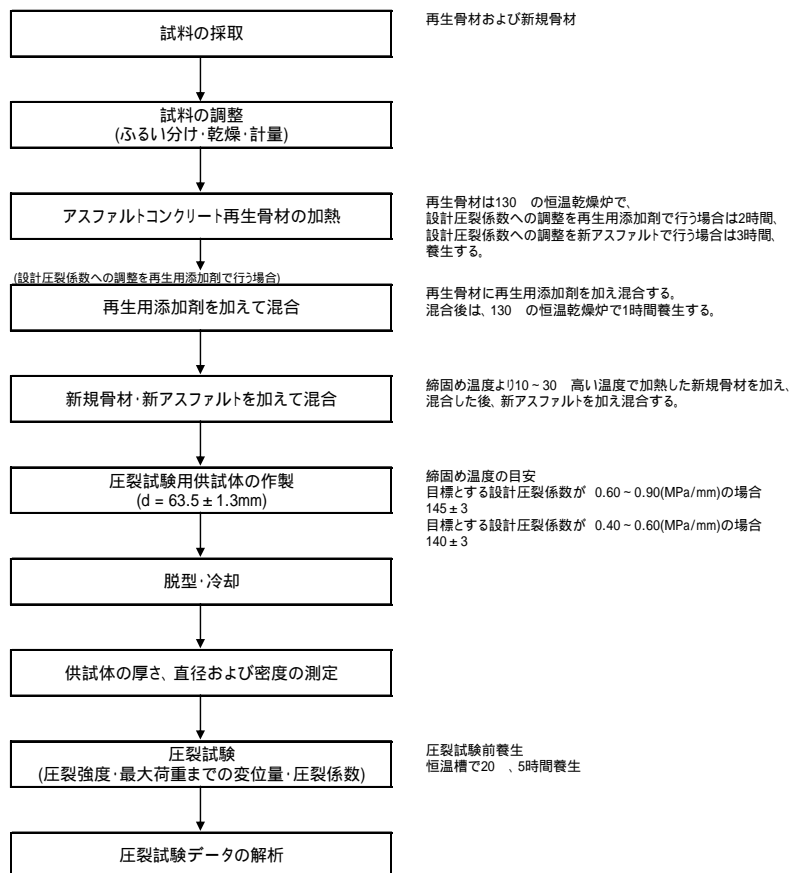


図-4.6 再生混合物の圧裂試験の実施フロー

(a) 試料の採取および調整

貯蔵所またはサージビンより代表的な再生骨材や新規骨材の試料を採取する。

(b) 供試体の作製

1) 個数

再生用添加剤量あるいは新・旧アスファルトの配合率の1つの組合せに対し、少なくとも3個の供試体を作製する。

2) 骨材の準備

新規骨材は105～110 で一定質量になるまで乾燥する。必要に応じて粗骨材19mm, 13.2mm, 4.75mm, 細骨材は2.36mmの各網ふるいを用いて、乾式でふるい分けておく。

再生骨材は、室内にて水分を乾燥させる。

締め固めた供試体の厚さが 63.5 ± 1.3 mmになるように、所要量の配合率に従って、新規骨材と再生骨材を別々の容器に分けて計量し、1供試体分の骨材とする。

3) 再生骨材の加熱

設計圧裂係数への調整に再生用添加剤を用いる場合

再生骨材は、混合する前に130 の恒温乾燥炉で2時間養生しておく。

恒温乾燥炉より取り出した試料に、所要量の再生用添加剤を加え、再生骨材が再生用添加剤によって十分被膜されるまですばやく混合する。このとき、必要に応じて再生用添加剤を加熱してもよい。

再生用添加剤を加えた試料は、130 の恒温乾燥炉で1時間養生する。

〔注1〕実際に使用する製造装置に合わせて、再生用添加剤を添加する方法を適宜調整してもよい。

設計圧裂係数への調整に新アスファルトを用いる場合

再生骨材は、混合する前に130 の恒温乾燥炉で3時間養生しておく。

〔注2〕実際に使用する製造装置に合わせて、再生骨材の加熱温度を適宜調整してもよい。

〔注3〕再生骨材もしくは再生用添加剤を加えた試料を加熱するにはふたのできる容器を用いるか、またはアルミホイルなどで包み、直接熱風があたらない措置を講ずる。

4) 混合および締め固め温度

再生混合物の供試体作製時の混合および締め固め温度は、再生アスファルトの動粘度より求めることが望ましいが、図-4.7に示す再生混合物の適用範囲に応じた作製温度の目安より設定してもよい(表-4.2)。なお、新アスファルトの加熱温度は、所要の混合温度の範囲内になければならない。

5) 混合

混合器に、130 で加熱した再生骨材と混合温度より約10 高く加熱した新規骨材を移して空練りし、すり鉢状に広げて、所要量の新アスファルトを加える。骨材が新アスファルトによって十分被膜されるまですばやく混合する。

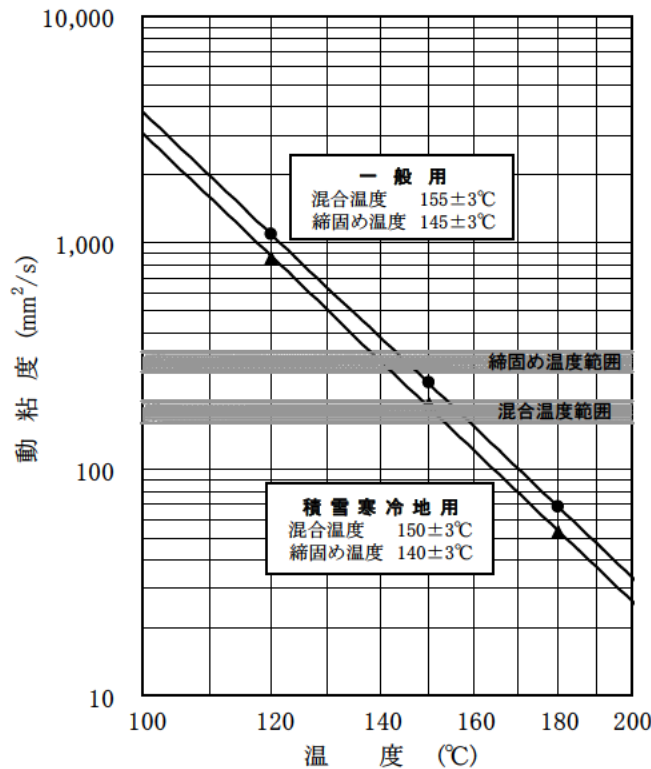


図-4.7 再生混合物の適用範囲に応じた作製温度の目安

表-4.2 再生混合物の混合および締固め温度の目安

適用範囲	設計圧裂係数 (MPa/mm)	混合温度 (°C)	締固め温度 (°C)
一般用	0.60 ~ 0.90	155 ± 3	145 ± 3
積雪寒冷地用	0.40 ~ 0.60	150 ± 3	140 ± 3

6) 締め固め

締め固めは「舗装調査・試験法便覧 B001 マーシャル安定度試験方法」による。
このときの突固め回数は、両面各 75 回とする。

締め固めた供試体は、モールドのまま室温になるまで放冷したのち、供試体を供試体押出し器で抜き取る。抜き取った供試体は注意深く取り扱い、端部などに付着している余分なモルタル分をパテナイフ等で除去する。その後、ノギスを用いて供試体の厚さ及び直径を 0.1mm まで計り、「舗装調査・試験法便覧 B008 アスファルト混合物の密度試験方法」に従って密度を測定する。

(c) 供試体の養生

作製した供試体を恒温槽にて、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ で 5 時間以上養生する。

(d) 圧裂試験

試験に先立ち案内棒および載荷板の内面を十分に清浄し、案内棒には上側の載荷板が自由にすべるようにグリース等の油を塗る。恒温槽から供試体を取り出し、下側の載荷板に置き、上側の載荷板をかぶせて載荷装置に設置する。

50mm/min の一定な変位速度で載荷する。

供試体が破壊するまでに示す最大荷重 (N) および最大荷重までの変位量 (mm) を記録する。

〔注4〕 載荷装置に供試体を置く場合、供試体の中心点の上下に2枚の載荷板を平行に置くことが重要で、中心からずれたり、平行でない場合には載荷が正しく行われないので注意が必要である。

供試体を恒温槽から取り出してから、最大荷重に達するまでに要する時間は30秒を目処とする。なお、最大荷重および最大荷重までの変位量は小数点以下2桁まで読む。最大荷重までの変位量は「3-2 再生骨材の評価をするための試験方法」と同様に立ち上がり部分の補正を行った値とする。

(5) 結果の整理

(a) 結果の算出

記録された荷重 - 変位量曲線より、最大荷重 (破断時) およびその時の変位量を求め、式-4.1、式-4.2より圧裂強度および圧裂係数を計算し、有効数字3桁まで求める。

1) 圧裂強度

$$t \text{ (MPa)} = \frac{2 \times P}{x \cdot d \cdot x} \quad \text{----- 式 4.1}$$

ここに、 P : 破壊時の最大荷重 (N)

d : 供試体の厚さ (mm)

x : 供試体の直径 (mm)

2) 圧裂係数

$$\text{圧裂係数 (MPa/mm)} = \frac{t}{x} \quad \text{----- 式 4.2}$$

ここに、 t : 圧裂強度 (MPa)

x : 最大荷重までの変位量 (mm)

(b) 報告事項

- 1) アスファルト混合物の種類
- 2) 空隙率 (%), 飽和度 (%)
- 3) 圧裂強度 (MPa)
- 4) 最大荷重までの変位量 (mm)
- 5) 圧裂係数 (MPa/mm)

4 - 4 再生混合物での圧裂試験精度に関する検討

再生混合物での圧裂試験精度の整合性を図るため、試験機関の違いが圧裂指標に及ぼす影響を検討した。

圧裂試験精度の検討を実施した機関は、日合協会員会社 6 社および道建協の 7 機関である。検討試験の条件は、以下に示すとおりである。

(1) 試験条件

試験条件を以下に示す。

(a) 混合物種および設計針入度への調整方法

混合物種および設計針入度への調整方法は、表-4.3 に示す。

表-4.3 混合物種および設計針入度への調整方法

混合物種	設計針入度への調整方法
再生密粒度アスファルト混合物 (13) (50)	再生用添加剤
再生密粒度アスファルト混合物 (13) (75)	
再生密粒度アスファルト混合物 (13) (50)	新アスファルト
再生密粒度アスファルト混合物 (13) (75)	

(b) 試験機種

試験機種は、手動試験機による目視読みタイプ(写真-4.1)とした。再生混合物による圧裂試験では、再生骨材と比べ、載荷荷重の増加が緩やかであることから、最大荷重およびそこに達するまでの変位量を力計のダイヤルゲージとフロー計の目視読取りとした。



写真-4.1 手動試験機による目視読取りタイプの例

(2) 圧裂試験精度に関する検証

各種再生混合物における各機関の圧裂試験結果を図-4.8 ~ 4.11 に示す。

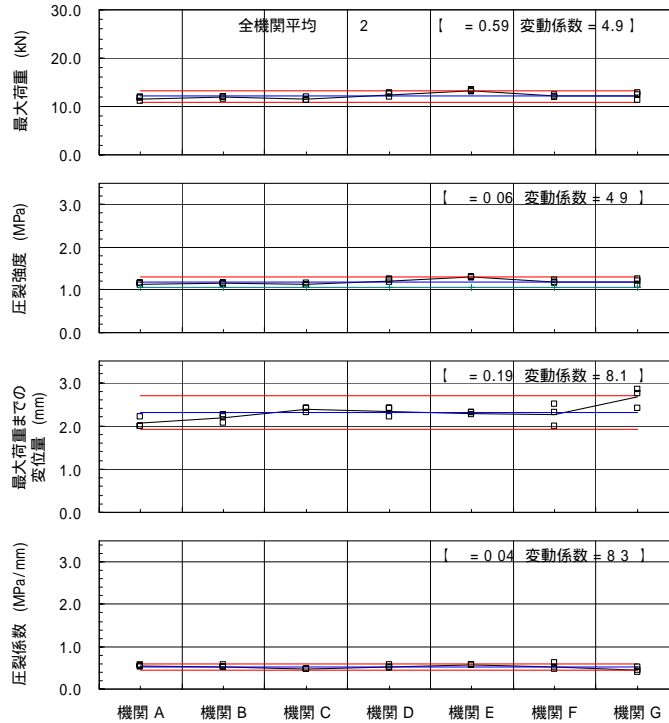


図-4.8 各機関の圧裂試験結果(再生密粒度アスコン(13)〔50〕再生用添加剤調整)

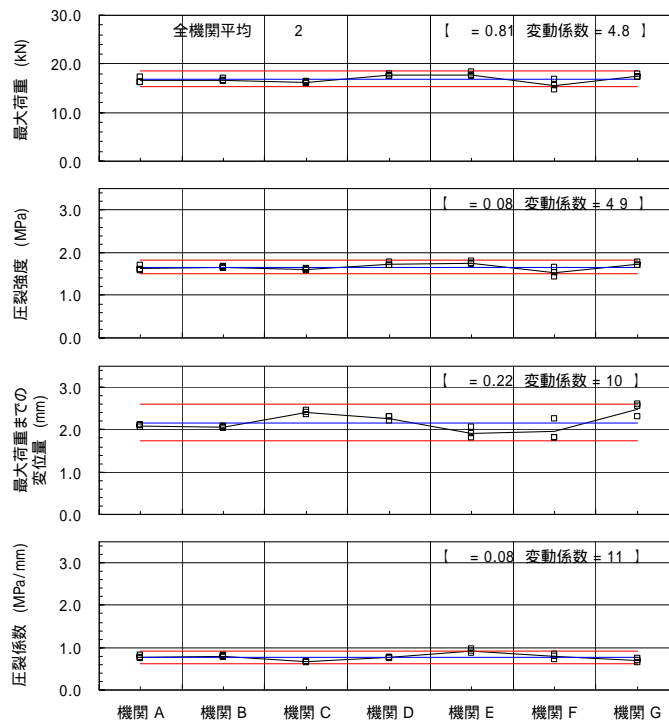


図-4.9 各機関の圧裂試験結果(再生密粒度アスコン(13)〔75〕再生用添加剤調整)

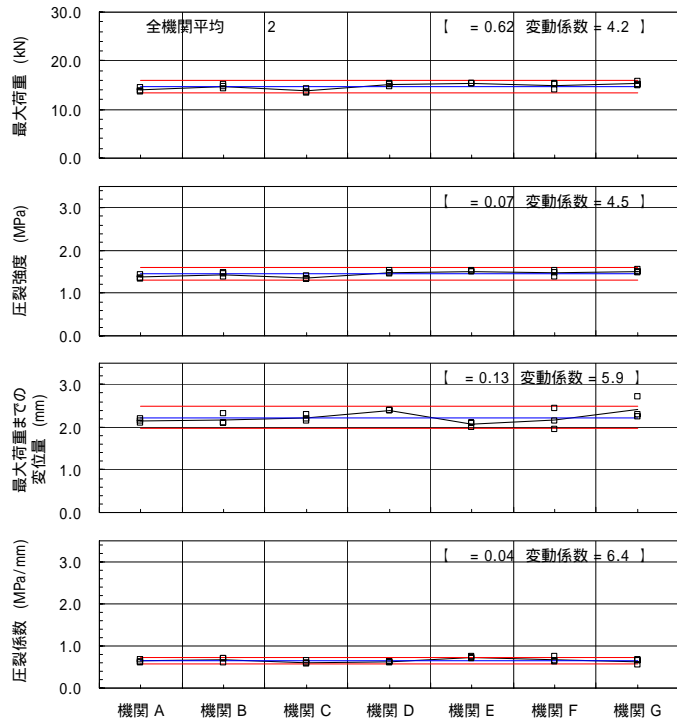


図-4.10 各機関の圧裂試験結果(再生密粒度アスコン(13) [50] 新アスファルト調整)

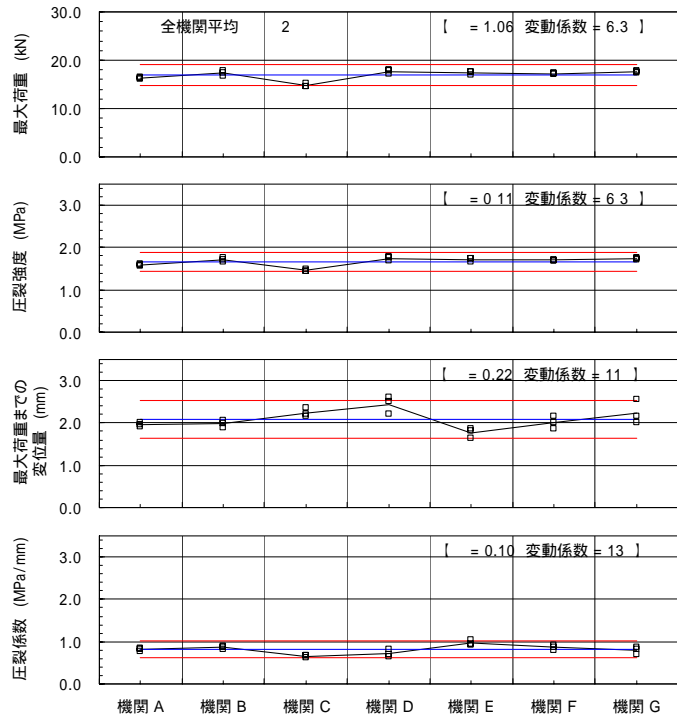


図-4.11 各機関の圧裂試験結果(再生密粒度アスコン(13) [75] 新アスファルト調整)

この結果より、以下のようなことがいえる。

各混合物の最大荷重の機関差は 1.56 ~ 2.96kN、標準偏差は 0.59 ~ 1.06 であり、機関相互のばらつきは小さい。また、変動係数は 4.2 ~ 6.3%の範囲にあり相対的なばらつきが有るとされる 10%を下回り、変動は少なく再現性が高い。

各混合物の圧裂強度の機関差は 0.16 ~ 0.29MPa、標準偏差は 0.06 ~ 0.11 であり、機関相互のばらつきは小さい。また、変動係数は 4.5 ~ 6.3%の範囲にあり変動は少なく再現性が高い。

各混合物の最大荷重までの変位量の機関差は 0.35 ~ 0.66mm、標準偏差は 0.13 ~ 0.22 であり、機関相互のばらつきは小さい。また、変動係数は 5.9 ~ 11%の範囲にあり、変動は少なく再現性が高い。

各混合物の圧裂係数の機関差は 0.12 ~ 0.32MPa/mm、標準偏差は 0.04 ~ 0.10 であり、機関相互のばらつきは小さい。また、変動係数は 6.4 ~ 13%の範囲にあり、一部の混合物で 10%以上を僅かに上回っており、再現性がやや低い。

以上のことから、一部の混合物においては評価指標である圧裂係数の僅かなばらつきがみられたが、ブランク供試体自体の許容誤差を考慮すれば問題のない値と考えられる。

したがって、試験機関の違いが圧裂指標に及ぼす影響は小さく、新たな評価基準である圧裂係数を十分再現できることを確認した。

4-5 再生混合物の新たな配合設計手順

前項までの結果より、圧裂係数は、旧アスファルトの劣化の程度や疲労抵抗性を十分評価できることを確認し、配合設計基準値として妥当であることを検証した。

ここでは、その圧裂係数を配合設計基準とした新たな配合設計方法の手順を示したものである。なお、本手順に記載されていない項目に関しては、「舗装設計施工指針」に準拠するものとする。

設計圧裂係数への調整を行う新たな配合設計フローは図-4.12 に、設計圧裂係数への調整を再生用添加剤で行う場合と新アスファルトで行う場合の配合設計手順を図-4.13、4.14 に示す。

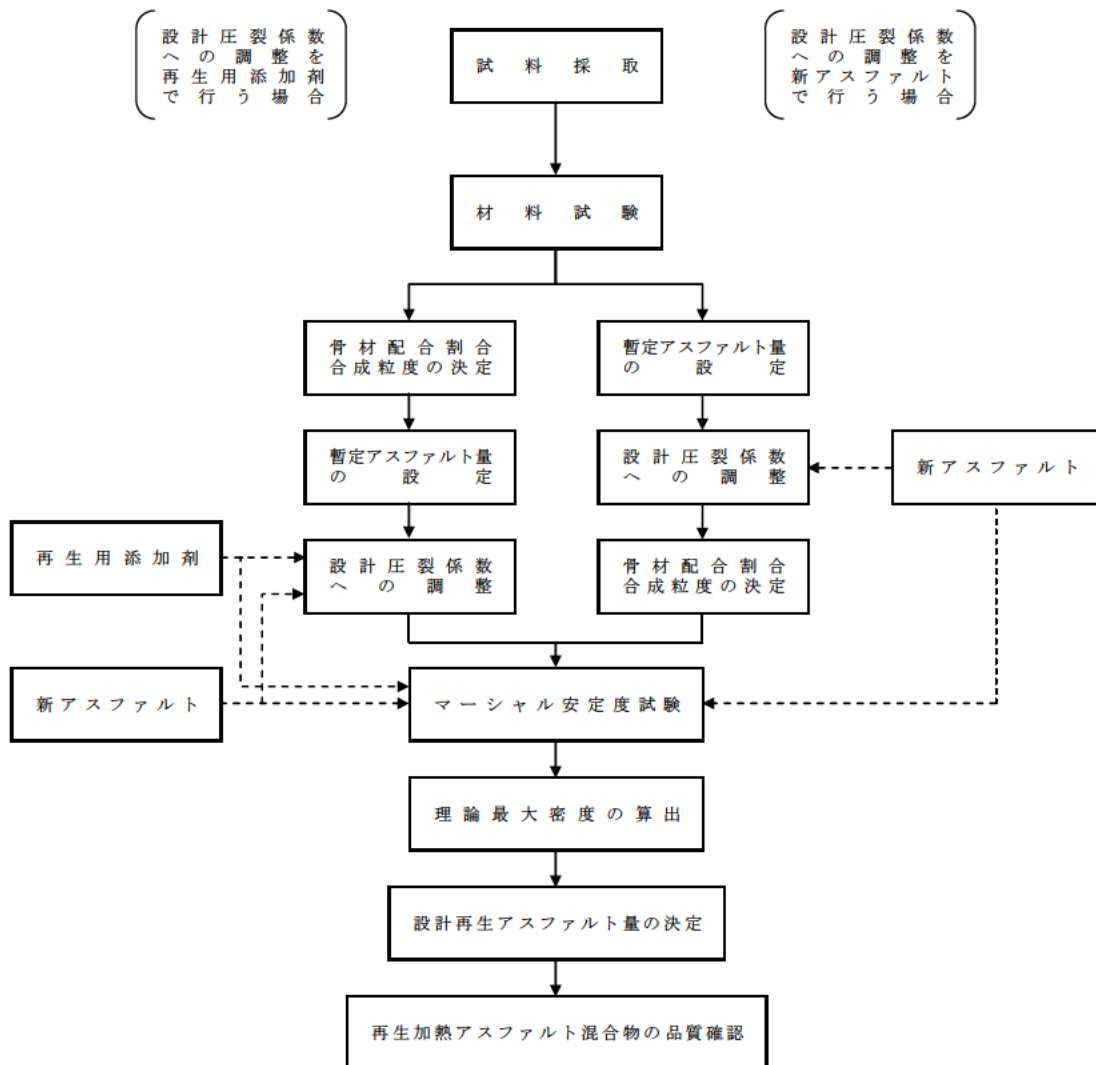


図-4.12 設計圧裂係数への調整を行う方法の新たな配合設計フロー

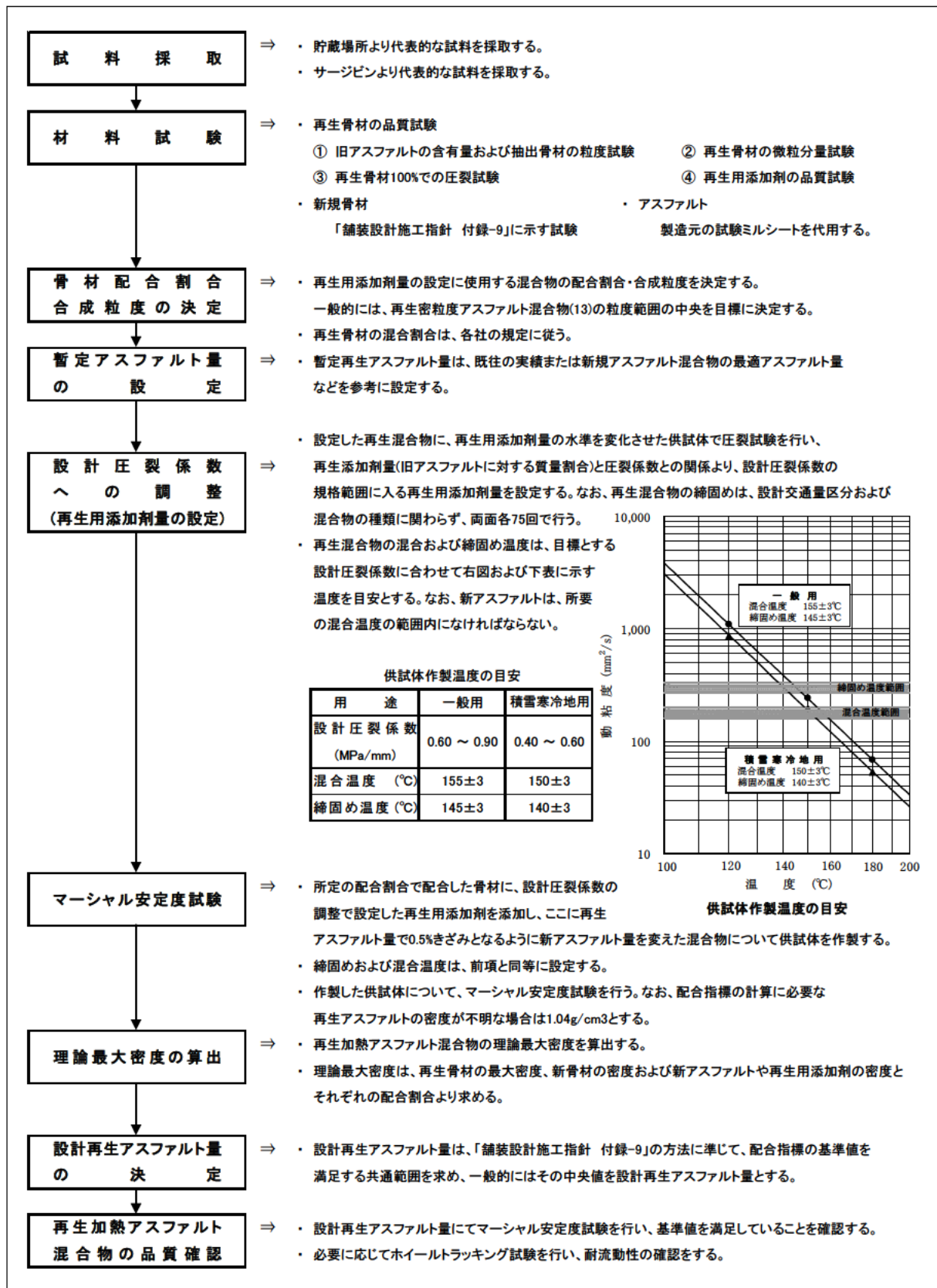


図-4.13 設計圧裂係数への調整を再生用添加剤で行う場合の配合設計手順

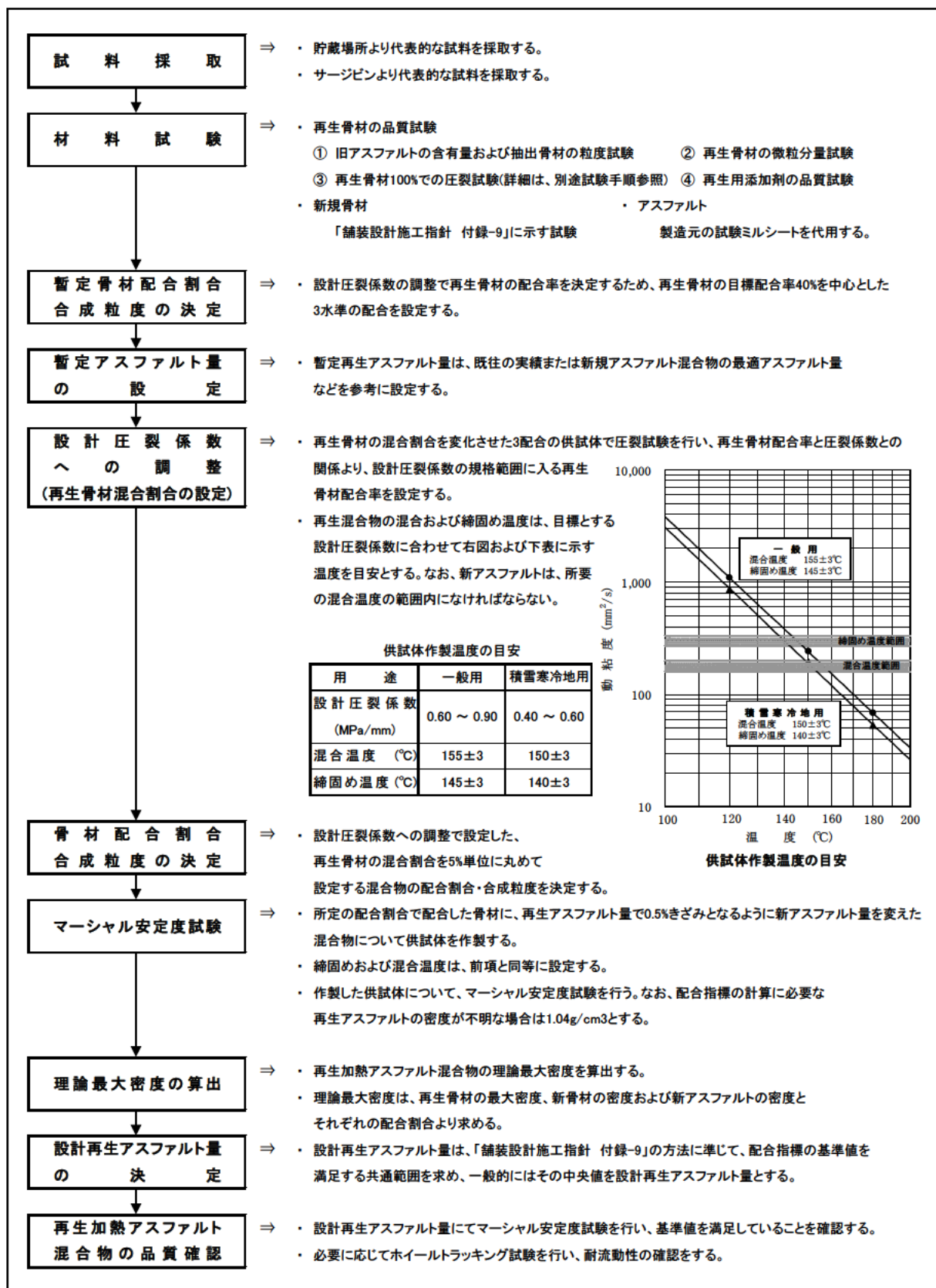


図-4.14 設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う場合の配合設計手順

4 - 6 新たな再生混合物の配合設計例

ここでは前項の配合手順に従い、設計圧裂係数への調整を再生用添加剤で行う場合と新アスファルトで行う場合の2種類の再生混合物の新たな配合設計例を示した。

4 - 6 - 1 設計圧裂係数への調整を再生用添加剤で行う場合

配合設計は、「設計圧裂係数への調整を行う方法の新たな配合設計フロー」図-4.2 および「設計圧裂係数への調整を再生用添加剤で行う場合の配合設計手順」図-4.3 に従い行った。なお、記載なき事項に関しては、「舗装設計施工指針」に準拠した。

(1) 混合物種および設計圧裂係数

混合物種および設計圧裂係数を以下に示す。

(a) 混合物種

再生密粒度アスファルト混合物(13)〔50〕

(b) 設計圧裂係数

0.40 ~ 0.60MPa/mm(積雪寒冷地用)

(2) 使用材料の産地および性状等

使用材料の産地および性状等は、表-4.4 ~ 表-4.8 に示すとおりである。なお、使用した再生骨材の性状試験結果(表-4.5)に示した圧裂係数は、3章の「再生骨材の評価をするための試験方法」に準拠した。

表-4.4 使用材料の産地および納入業者

材 料 名	産 地	納 入 業 者	材 質
6 号 砕 石 7 号 砕 石	茨城県笠間市箱田	(株)オーリス	硬質砂岩
粗 砂	栃木県栃木市大光寺町	小川物産 (株)	川砂
細 砂	千葉県成田市前林	三信建設 (株)	川砂
石 粉	埼玉県秩父郡横瀬町	秩父石灰鉱業 (株)	石灰岩
再 生 骨 材	山梨県笛吹市八代町米倉	(株)NIPPO	R 13 - 0
再生用添加剤	東京都港区	新日本石油 (株)	RD-EC (オイル系)
アスファルト	東京都港区	新日本石油 (株)	ストレートアスファルト 60 ~ 80

表-4.5 使用再生骨材の性状試験結果

項 目	旧アスファルトの含有量 %	骨材の微粒分量試験で 75 μmを通過する量 %	圧 裂 係 数 MPa/mm
試験結果	5.68	1.8	1.65
規 格 値	3.8 以上	5 以下	1.70 以下

表-4.6 使用骨材の性状試験結果

骨材の種類 項目		新 骨 材				再生骨材
		S-13(6号)	S-5(7号)	粗砂	石粉	R 13 ~ 0
通過 質量 百分 率 %	19.0 mm	100				
	13.2 mm	93.4				100
	4.75 mm	0.1	100	100		84.6
	2.36 mm		8.1	99.5		64.8
	600 μm		1.1	58.5		37.7
	300 μm			31.2	100	26.8
	150 μm			9.2	93.0	18.7
	75 μm			2.8	82.6	13.9
密 度 g/cm ³	見 掛 け	2.682	2.686	2.708	2.718	-
	表 乾	2.664	2.662	2.584	-	-
	か さ	2.653	2.648	2.512	-	-
最 大 密 度 g/cm ³		-	-	-	-	2.481
吸 水 率 %		0.4	0.54	2.93	-	-
旧アスファルト含有量 %		-	-	-	-	5.68
圧 裂 係 数 MPa/mm		-	-	-	-	1.65
〔注1〕 再生骨材の通過質量百分率は、アスファルト抽出後の骨材粒度であり、最大密度は、旧アスファルトを含んだ値である。						

表-4.7 使用再生用添加剤の性状試験結果

項 目	試験結果	規格値	試験方法	
密 度 (15) g/cm ³	0.9478	報告	JIS K 2249	
引 火 点 (COC)	240	200 以上	舗装調査・試験法便覧	
粘 度 (60) mm ² /s	97.91	50 ~ 300		
薄 膜 加 熱 後 の 粘 度 比 (60)	1.12	2 以下		
薄 膜 加 熱 質 量 変 化 率 %	-1.43	6.0 以下		
組 成 分 析	レジン分 %	2.6		報告
	飽和分 %	77.9		
	芳香族分 %	19.8		

表-4.8 使用アスファルトの性状試験結果

試験項目	ストレートアスファルト 60～80	
	試験値	品質規格
伸度 15 cm	100 (+)	100 以上
引火点 COC	362	260 以上
動粘度 120 mm ² /s	889	-
150 mm ² /s	200	
180 mm ² /s	66.9	
軟化点	47	44.0～52.0
針入度 25 1/10mm	70	60を超え80以下
蒸発後の針入度比 %	103	110 以下
トルエン可溶分 質量 %	99.98	99.0 以上
密度 15 g/cm ³	1.039	1.000 以上
薄膜加熱 163 ,5Hr 質量変化率 質量 %	+0.07	0.6 以下
針入度残存率 %	69.9	55 以上

(3) 配合設計目標値

配合設計目標値は、表-4.9 に示すとおりである。

表-4.9 配合設計目標値

項目	目標値
旧アスファルトを含まない 再生骨材の配合率 %	40
設計圧裂係数 MPa/mm	0.40 ～ 0.60 (積雪寒冷地用)

(4) 骨材配合割合および合成粒度の決定

設計混合物の配合割合および合成粒度は、表-4.10 および図-4.15 に示すとおり、再生密粒度アスファルト混合物(13)の粒度範囲の中央を目標に決定した。

表-4.10 配合割合および合成粒度

骨 材	S-13 (6号)	S-5 (7号)	粗砂	石粉	再生 骨材 13-0 ¹⁾	各骨材のふるい目の 大きさ別配合割合 (A) × (B)				合成 粒度	予定 粒度	
						配合率 (A) %						
通過質量百分率 (B)	19 mm	100.0				31.5	13.0	15.5		40.0	100.0	100.0
	13.2 mm	93.4			100.0	29.4	13.0	15.5		40.0	97.9	97.5
	4.75 mm	0.1	100.0	100.0	84.6	0.0	13.0	15.5		33.8	62.3	62.5
	2.36 mm		8.1	99.5	64.8		1.1	15.4		25.9	42.4	42.5
	600 μm		1.1	58.5	37.7		0.1	9.1		15.1	24.3	24.0
	300 μm			31.2	100.0	26.8		4.8		10.7	15.5	15.5
	150 μm			9.2	93.0	18.7		1.4		7.5	8.9	11.0
	75 μm			2.8	82.6	13.9		0.4		5.6	6.0	6.0

(注1) 旧アスファルトを含まない骨材のみの配合割合

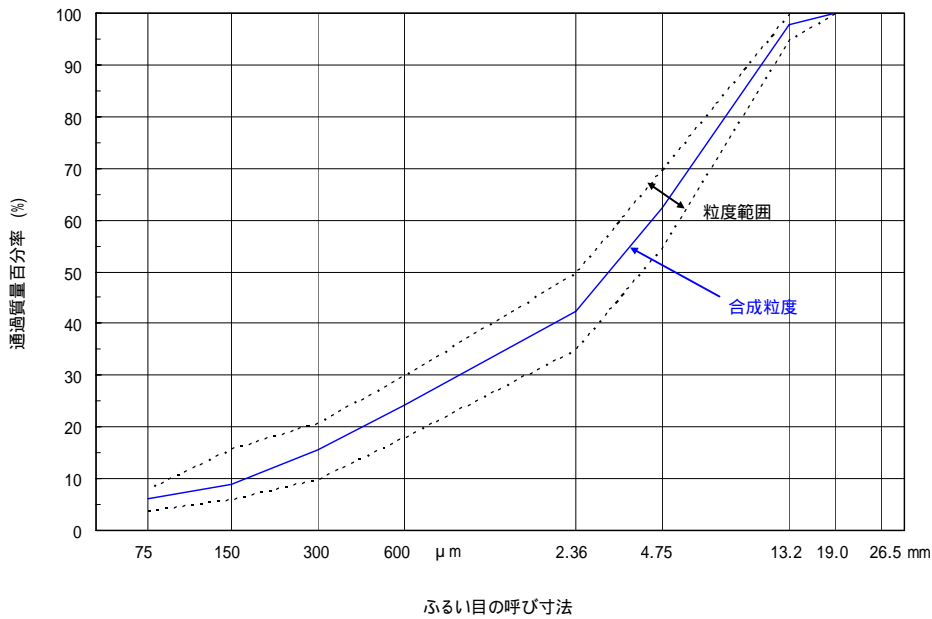


図-4.15 合成粒度曲線図

(5) 暫定アスファルト量の設定

設計圧裂係数の調整を行うにあたり、当該混合物の暫定再生アスファルト量は既往の実績と新規アスファルト混合物の最適アスファルト量を参考に以下のとおり設定した。

再生密粒度アスファルト混合物(13)〔50〕 5.6%に設定

(6) 設計圧裂係数の調整（再生用添加剤量の設定）

積雪寒冷地用再生密粒度アスファルト混合物(13)〔50〕に、再生用添加剤量の水準を変化させた供試体で圧裂試験(表-4.11)を行い、再生添加剤量(旧アスファルトに対する質量割合)と圧裂係数との関係(図-4.17)より設計圧裂係数の規格範囲に入る再生用添加剤量を設定した。なお、積雪寒冷地用の密粒度アスファルト混合物の突固め回数は両面各 50 回であるが、設計圧裂係数への調整では、設計交通区分および混合物の種類に関わらず、両面各 75 回で行う。

供試体作製時の混合および締固め温度は、再生アスファルトの動粘度より求めることが望ましいが、図-4.16 に示す設計圧裂係数による作製温度の目安より設定した。

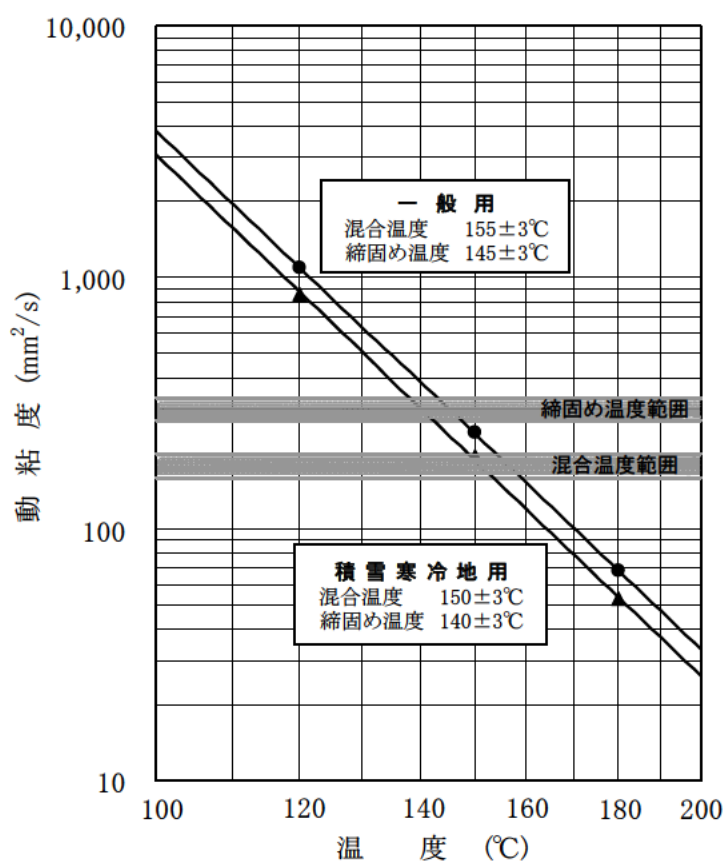


図-4.16 設計圧裂係数による作製温度の目安

表-4.11 設計圧裂係数への調整結果

再生密粒度アスファルト混合物(13)〔50〕			
新アスファルト：ストレートアスファルト 60～80			
設計圧裂係数：積雪寒冷地域用（目標圧裂係数 0.40～0.60MPa/mm）			
再生アスファルト量：5.6%			
再生添加剤量 旧Asに対する質量%	圧裂係数 MPa/mm	規格値に適合する 再生用添加剤量の範囲 旧Asに対する質量%	再生用添加剤の 設定量 旧Asに対する質量%
0	0.71	7.5～28.0	16.0
12	0.54		
17	0.50		
22	0.44		
40	0.35		

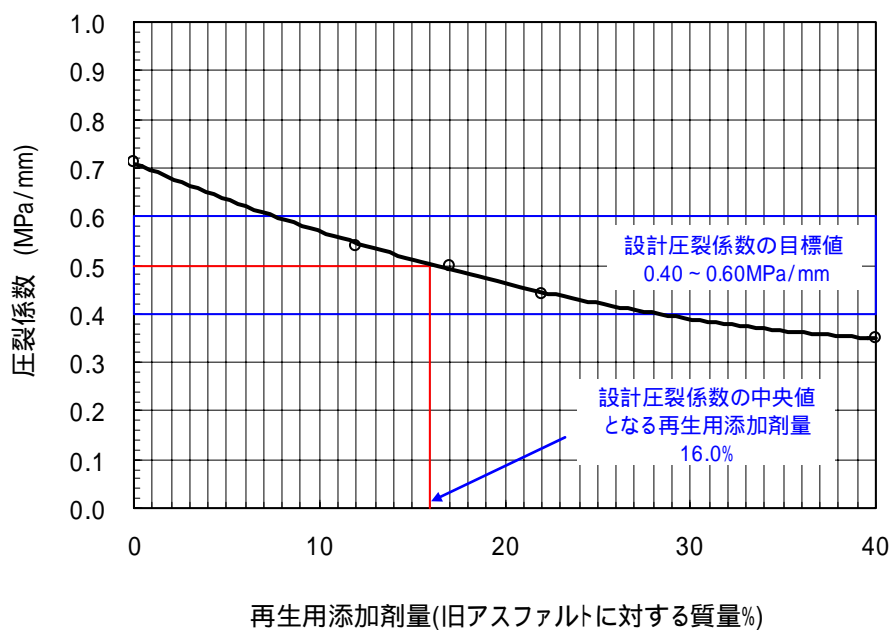


図-4.17 再生添加剤量の決定

(7) マーシャル安定度試験および理論最大密度の算出

所定の配合割合で配合した骨材に、設定圧裂係数への調整で設定した再生用添加剤を添加し、ここに再生アスファルト量で0.5%きざみとなるように新アスファルト量を変えた混合物について供試体を作製した。

骨材配合、新アスファルト添加量および理論最大密度の計算結果は、表-4.12～4.14に示すとおりである。なお、混合物の混合および締固め温度は、前項と同様に設定した。

表-4.12 骨材配合結果

骨材配合割合 %	骨材の種類	A (骨材のみ)	B (旧アスファルト含む)
	S - 13 (6号)	31.5	31.5
	S - 5 (7号)	13.0	13
	粗砂	15.5	15.5
	再生骨材 13 ~ 0	40.0	42.41
	計	100.0	102.41
設計圧裂係数		MPa/mm	0.40 ~ 0.60
旧アスファルト量 (外割 ¹⁾)		%	2.41
再生用添加剤量 (耐旧アスファルト量)		%	16.0
再生用添加剤量 (耐再生混合物) (外割 ¹⁾)		%	0.39
〔注1〕 外割とは、骨材とフィラーの合計を100とした場合の質量百分率をいう。			

表-4.13 新アスファルト添加量

再生アスファルト量	%	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
再生アスファルト量 (外割)	%	5.26	5.82	6.38	6.95	7.53
旧アスファルト量 (外割)	%	2.41				
再生用添加剤 (外割)	%	0.39				
新アスファルト量 (外割)	%	2.46	3.02	3.58	4.15	4.73

表-4.14 理論最大密度の計算

材料の種類	配合割合 %	計算に用いる密度 g/cm ³	/
S - 13 (6号)	31.5	2.682	11.745
S - 5 (7号)	13.0	2.686	4.84
粗砂	15.5	2.708	5.724
再生骨材 13~0	42.41	2.481	17.094
再生用添加剤	0.39	0.948	0.411
=	102.8	=	39.814

新アスファルト量 %	新アスファルトの密度 g/cm ³	/	+	理論最大密度 (+) / g/cm ³
2.46	1.039	2.368	39.814	42.182
3.02		2.907		42.721
3.58		3.446		43.260
4.15		3.994		43.808
4.73		4.552		44.366

(8) 設計再生アスファルト量の決定

設計再生アスファルト量は、「舗装設計施工指針 付録-9」の方法に準じて、配合指標の基準値を満足する共通範囲(図-4.18)を求め、その中央値を再生アスファルト量とした。

なお、配合指標の計算に必要な再生アスファルトの密度は、1.04g/cm³とした(表-4.15)。

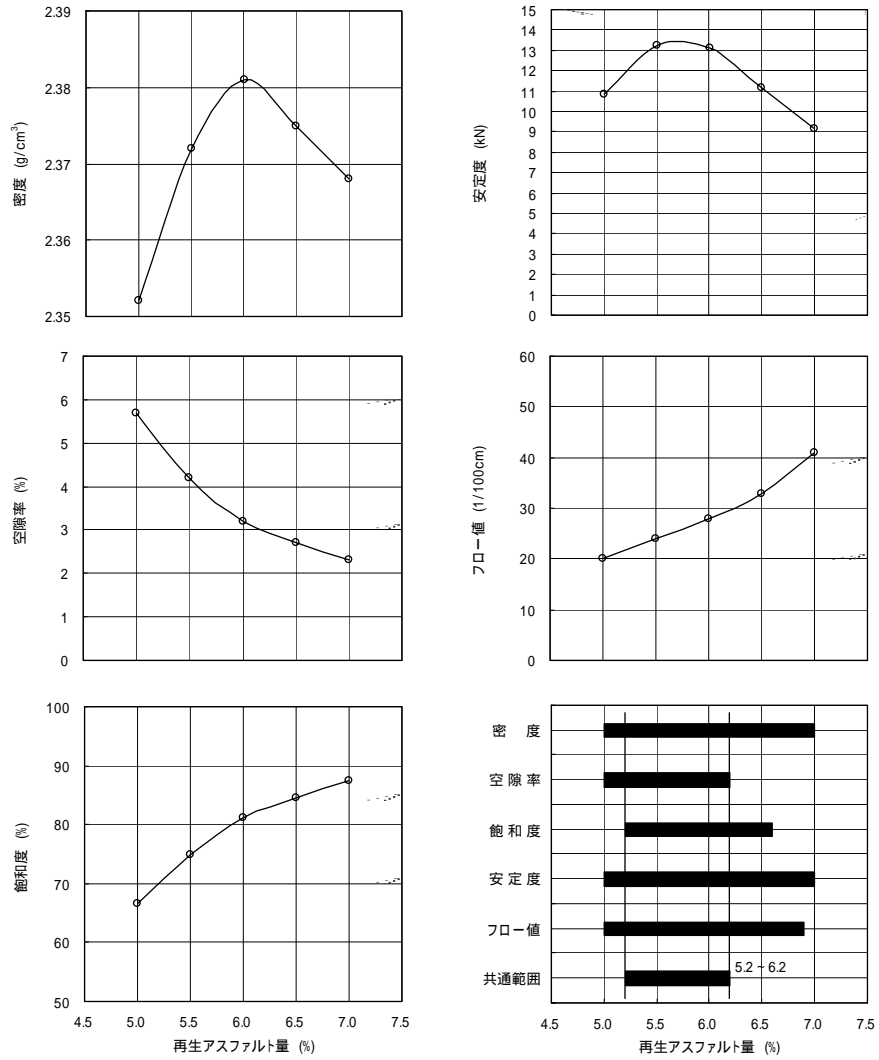


図-4.18 設計再生アスファルト量の決定

表-4.15 配合設計結果 (積雪寒冷地用)

混合物の種類 (最大粒径) [突固め回数]			再生密粒度アスファルト混合物(13)[50]							
再生アスファルトの種類			再生アスファルト 60~80 (積雪寒冷地用)							
新アスファルトの種類			ストレートアスファルト 60~80							
使用骨材の配合比				使用骨材の合成粒度						
骨材の種類		骨材のみ 配合比 %	旧アス含む 配合比 %	ふるい目	通過質量百分率 %	粒度範囲 %				
新 骨 材	S-13 (6号)	31.5	31.50	53 mm						
	S-5 (7号)	13.0	13.00	37.5 mm						
	粗砂	15.5	15.50	31.5 mm						
				26.5 mm						
				19.0 mm	100		100			
				13.2 mm	97.9		95 ~ 100			
再 生 骨 材				4.75 mm	62.3		55 ~ 70			
	R13-0 (旧アス量 5.68%)	40.0	42.41	2.36 mm	42.4		35 ~ 50			
				600 μm	24.3		18 ~ 30			
				300 μm	15.5		10 ~ 21			
				150 μm	8.9		6 ~ 16			
計		100.0	102.41	75 μm	6.0		4 ~ 8			
マーシャル安定度										
項 目				各配合結果				OAC	基準値	
全アスファルト量 (内割) %				5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	5.7	-
全アスファルト量 (外割) %				5.26	5.82	6.38	6.95	7.53	6.04	-
旧アスファルト量 (外割) %				2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	-
再生用添加剤量 (対旧アス) %				16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	-
再生用添加剤量 (外割) %				0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	-
新アスファルト量 (外割) %				2.46	3.02	3.58	4.15	4.73	3.24	-
特 性 値	かさ密度 g/cm ³			2.352	2.372	2.381	2.375	2.368	2.376	-
	理論最大密度 g/cm ³			2.495	2.477	2.459	2.441	2.424	2.470	-
	空隙率 %			5.7	4.2	3.2	2.7	2.3	3.8	3 ~ 6
	飽和度 %			66.5	74.9	81.1	84.6	87.4	77.4	70 ~ 85
	骨材間隙率 %			17.0	16.7	16.9	17.5	18.2	16.8	-
	安定度 kN			10.86	13.23	13.14	11.15	9.16	13.41	4.90 以上
	フロ-値 1/100cm			20	24	28	33	41	26	20 ~ 40
S/F			0.54	0.55	0.47	0.34	0.22	0.52	-	
全アスファルト量の共通範囲				5.20 ~ 6.20 %			設計全アスファルト量 (内割) 5.7 %			
設計全アスファルト量の内訳				旧アスファルト 2.27% + 再生用添加剤 0.37% + 新アスファルト 3.06%						
供試体作製混合温度範囲				150±3		供試体作製締固め温度範囲 140±3				

(9) 再生加熱アスファルト混合物の品質確認

設計再生アスファルト量におけるマーシャル安定度試験は、表-4.15 に示すとおり、配合基準値を十分満足する結果であった。

4 - 6 - 2 設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う場合

配合設計は、「設計圧裂係数への調整を行う方法の新たな配合設計フロー」図-4.11 および「設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う場合の配合設計手順」図-4.13 に従った。なお、記載なき事項に関しては、「舗装設計施工指針」に準拠した。

(1) 混合物種および設計圧裂係数

混合物種および設計圧裂係数を以下に示す。

(a) 混合物種

再生密粒度アスファルト混合物(13)〔75〕

(b) 設計圧裂係数

0.60 ~ 0.90MPa/mm (一般用)

(2) 使用材料の産地および性状等

使用材料の産地および性状等は、表-4.16 ~ 4.19 に示すとおりである。なお、使用再生骨材の性状試験結果(表-4.17)に示した圧裂係数は、3 章の「再生骨材の評価をするための試験方法」に準拠した。

表-4.16 使用材料の産地および納入業者

材 料 名	産 地	納 入 業 者	材 質
6 号 砕 石 7 号 砕 石	茨城県笠間市箱田	(株)オーリス	硬質砂岩
粗 砂	栃木県栃木市大光寺町	小川物産(株)	川砂
細 砂	千葉県成田市前林	三信建設(株)	川砂
石 粉	埼玉県秩父郡横瀬町	秩父石灰鉱業(株)	石灰岩
再 生 骨 材	山梨県笛吹市八代町米倉	(株)NIPPO	R 13 - 0
ア ス フ ェ ル ト	東京都港区	新日本石油(株)	ストレートアスファルト 80 ~ 100

表-4.17 使用再生骨材の性状試験結果

項 目	旧アスファルトの含有量 %	骨材の微粒分量試験で 75 μmを通過する量 %	圧 裂 係 数 MPa/mm
試験結果	5.68	1.8	1.65
規 格 値	3.8 以上	5 以下	1.70 以下

表-4.18 使用骨材の性状試験結果

骨材の種類 項目		新 骨 材				再生骨材
		S-13(6号)	S-5(7号)	粗砂	石粉	R 13 ~ 0
通過 質量 百分率 %	19.0 mm	100				
	13.2 mm	93.4				100
	4.75 mm	0.1	100	100		84.6
	2.36 mm		8.1	99.5		64.8
	600 μm		1.1	58.5		37.7
	300 μm			31.2	100	26.8
	150 μm			9.2	93.0	18.7
	75 μm			2.8	82.6	13.9
密度 g/cm ³	見 掛 け	2.682	2.686	2.708	2.718	-
	表 乾	2.664	2.662	2.584	-	-
	か さ	2.653	2.648	2.512	-	-
最 大 密 度 g/cm ³		-	-	-	-	2.481
吸 水 率 %		0.4	0.54	2.93	-	-
旧アスファルト含有量 %		-	-	-	-	5.68
圧 裂 係 数 MPa/mm		-	-	-	-	1.65
〔注1〕 再生骨材の通過質量百分率は、アスファルト抽出後の骨材粒度であり、最大密度は、旧アスファルトを含んだ値である。						

表-4.19 使用アスファルトの性状試験結果

試 験 項 目		ストレートアスファルト 80 ~ 100	
		試 験 値	品質規格
伸度 15	cm	100 (+)	100 以上
引火点 COC		362	260 以上
動粘度 120	mm ² /s	750	-
150	mm ² /s	177	
180	mm ² /s	60.8	
軟化点		45	42.0 ~ 50.0
針入度 25	1/10mm	89	80を超え100以下
蒸発後の針入度比	%	101	110 以下
トルエン可溶分	質量 %	99.98	99.0 以上
密度 15	g/cm ³	1.035	1.000 以上
薄膜加熱 163 ,5Hr	質量変化率 質量 %	+0.06	0.6 以下
	針入度残存率 %	68.2	50 以上

(3) 配合設計目標値

配合設計目標値は、表-4.20 に示すとおりである。

表-4.20 配合設計目標値

項 目	目 標 値
旧アスファルトを含まない 再生骨材の配合率 %	20 ~ 50
設 計 圧 裂 係 数 MPa/mm	0.60 ~ 0.90 (一般用)

(4) 暫定骨材配合割合および合成粒度の決定

設計圧裂係数の調整で再生骨材の混合割合を決定するため、再生骨材の目標配合率40%を中心とした3水準の配合を設定した。暫定3配合の骨材配合割合および合成粒度は、表-4.21~4.23 に示すとおりである。

表-4.21 暫定配合割合および合成粒度(再生骨材配合率 20%)

骨 材	S-13 (6号)	S-5 (7号)	粗砂	石粉	再生 骨材 13-0	各骨材のふるい目の 大きさ別配合割合 (A) × (B)					合 成 粒 度	予 定 粒 度
						配合率 (A) %						
配合率 (A) %	34.5	17.5	25.0	3.0	20.0 ¹⁾							
通 過 質 量 百 分 率 (B) %	19 mm	100.0				34.5	17.5	25.0	3.0	20.0	100.0	100.0
	13.2 mm	93.4			100.0	32.2	17.5	25.0	3.0	20.0	97.7	97.5
	4.75 mm	0.1	100.0	100.0	84.6	0.0	17.5	25.0	3.0	16.9	62.4	62.5
	2.36 mm		8.1	99.5	64.8		1.4	24.9	3.0	13.0	42.3	42.5
	600 μm		1.1	58.5	37.7		0.2	14.6	3.0	7.5	25.3	24.0
	300 μm			31.2	100.0	26.8		7.8	3.0	5.4	16.2	15.5
	150 μm			9.2	93.0	18.7		2.3	2.8	3.7	8.8	11.0
75 μm			2.8	82.6	13.9		0.7	2.5	2.8	6.0	6.0	

〔注1〕旧アスファルトを含まない骨材のみの配合割合

表-4.22 暫定配合割合および合成粒度(再生骨材配合率 40%)

骨 材	S-13 (6号)	S-5 (7号)	粗砂	石粉	再生 骨材 13-0	各骨材のふるい目の 大きさ別配合割合 (A) × (B)					合 成 粒 度	予 定 粒 度
						配合率 (A) %						
配合率 (A) %	31.5	13.0	15.5		40.0 ¹⁾							
通 過 質 量 百 分 率 (B) %	19 mm	100.0				31.5	13.0	15.5		40.0	100.0	100.0
	13.2 mm	93.4			100.0	29.4	13.0	15.5		40.0	97.9	97.5
	4.75 mm	0.1	100.0	100.0	84.6	0.0	13.0	15.5		33.8	62.3	62.5
	2.36 mm		8.1	99.5	64.8		1.1	15.4		25.9	42.4	42.5
	600 μm		1.1	58.5	37.7		0.1	9.1		15.1	24.3	24.0
	300 μm			31.2	100.0	26.8		4.8		10.7	15.5	15.5
	150 μm			9.2	93.0	18.7		1.4		7.5	8.9	11.0
75 μm			2.8	82.6	13.9		0.4		5.6	6.0	6.0	

〔注1〕旧アスファルトを含まない骨材のみの配合割合

表-4.23 暫定配合割合および合成粒度(再生骨材配合率 60%)

骨 材	S-13 (6号)	S-5 (7号)	粗砂	石粉	再生 骨材 13-0	各骨材のふるい目の 大きさ別配合割合 (A) × (B)				合成 粒度	予定 粒度	
						配合率 (A)	%					
	28.5	8.5	3.0		60.0 ¹⁾							
通過 質量 百分率 (B)	19 mm	100.0				28.5	8.5	3.0		60.0	100.0	100.0
	13.2 mm	93.4			100.0	26.6	8.5	3.0		60.0	98.1	97.5
	4.75 mm	0.1	100.0	100.0		84.6	0.0	8.5	3.0		50.8	62.3
	2.36 mm		8.1	99.5		64.8		0.7	3.0		38.9	42.6
	600 μm		1.1	58.5		37.7		0.1	1.8		22.6	24.5
	300 μm			31.2	100.0	26.8			0.9		16.1	17.0
	150 μm			9.2	93.0	18.7			0.3		11.2	11.5
75 μm			2.8	82.6	13.9			0.1		8.3	8.4	

(注1) 旧アスファルトを含まない骨材のみの配合割合

(5) 暫定アスファルト量の設定

設計圧裂係数の調整を行うにあたり、当該混合物の暫定再生アスファルト量は既往の実績と新規アスファルト混合物の最適アスファルト量を参考に以下のとおり設定した。

再生密粒度アスファルト混合物(13)〔75〕 5.3%に設定

(6) 設計圧裂係数の調整 (再生骨材割合率の設定)

前項で設定した再生骨材の混合割合を変化させた3配合の供試体で圧裂試験を行い、再生骨材配合率と圧裂係数との関係(表-4.24、図-4.20)より、設計圧裂係数の規格範囲に入る再生骨材配合率を設定した。なお、設計圧裂係数への調整での締め固めは、設計交通区分および混合物の種類に関わらず、両面各75回で行う。

供試体作製時の混合および締め固め温度は、再生アスファルトの動粘度より求めることが望ましいが、図-4.19に示す設計圧裂係数による作製温度の目安より設定した。

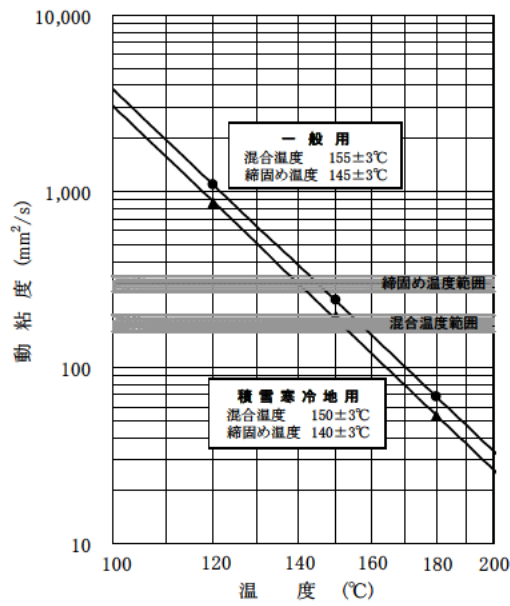


図-4.19 設計圧裂係数による作製温度の目安

表-4.24 設計圧裂係数への調整結果

混 合 物 種	再生密粒度アスファルト混合物(13)[75]		
新アスファルトの種類	ストレートアスファルト 80~100		
設計圧裂係数 MPa/mm	0.60~0.90 (一般用)		
再生アスファルト量 %	5.3		
再生骨材の配合率 %	20	40	60
圧裂係数 MPa/mm	0.59	0.93	1.39
目標値に適合する再生骨材配合率の範囲 %	20~38		
再生骨材の設定配合率 %	30		

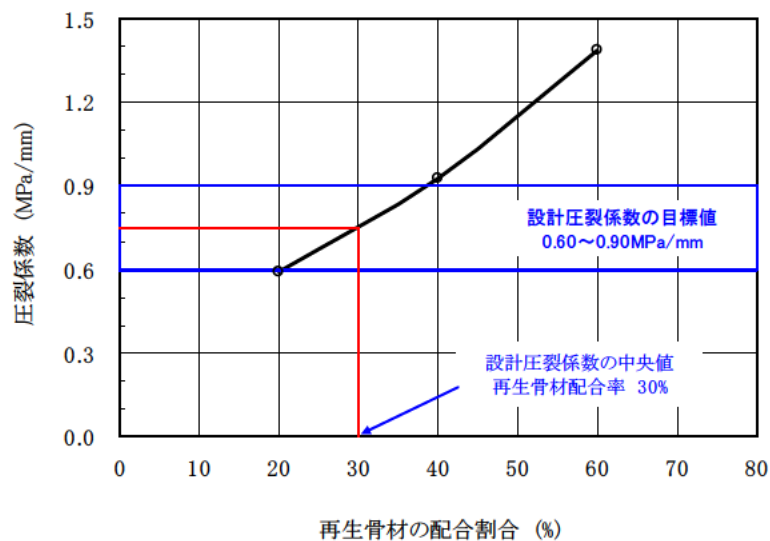


図-4.20 再生骨材配合率と圧裂係数の関係

(7) 骨材配合割合および合成粒度の決定

前項で設定した再生骨材配合率(30%)で、再生密粒度アスファルト混合物(13)の粒度範囲の中央を目標に骨材配合割合を決定した。

決定した配合割合は表-4.25 に、合成粒度曲線は図-4.21 に示すとおりである。

表-4.25 決定配合割合および合成粒度

骨 材	配合率 (A) %	①	②	③	④	⑤	各骨材のふるい目の 大きさ別配合割合 (A) × (B)					合成 粒度	予定 粒度		
		S-13 (6号)	S-5 (7号)	粗砂	石粉	再生 骨材 13-0	①	②	③	④	⑤				
		33.0	15.0	20.5	1.5	30.0 ¹⁾									
通 過 質 量 百 分 率 (B)	19 mm	100.0					33.0	15.0	20.5	1.5	30.0	100.0	100.0		
	13.2 mm	93.4				100.0	30.8	15.0	20.5	1.5	30.0	97.8	97.5		
	4.75 mm	0.1	100.0	100.0		84.6	0.0	15.0	20.5	1.5	25.4	62.4	62.5		
	2.36 mm		8.1	99.5		64.8		1.2	20.4	1.5	19.4	42.5	42.5		
	600 μm		1.1	58.5		37.7		0.2	12.0	1.5	11.3	25.0	24.0		
	300 μm			31.2	100.0	26.8			6.4	1.5	8.0	15.9	15.5		
	150 μm			9.2	93.0	18.7			1.9	1.4	5.6	8.9	11.0		
75 μm			2.8	82.6	13.9			0.6	1.2	4.2	6.0	6.0			

[注1] 旧アスファルトを含まない骨材のみの配合割合

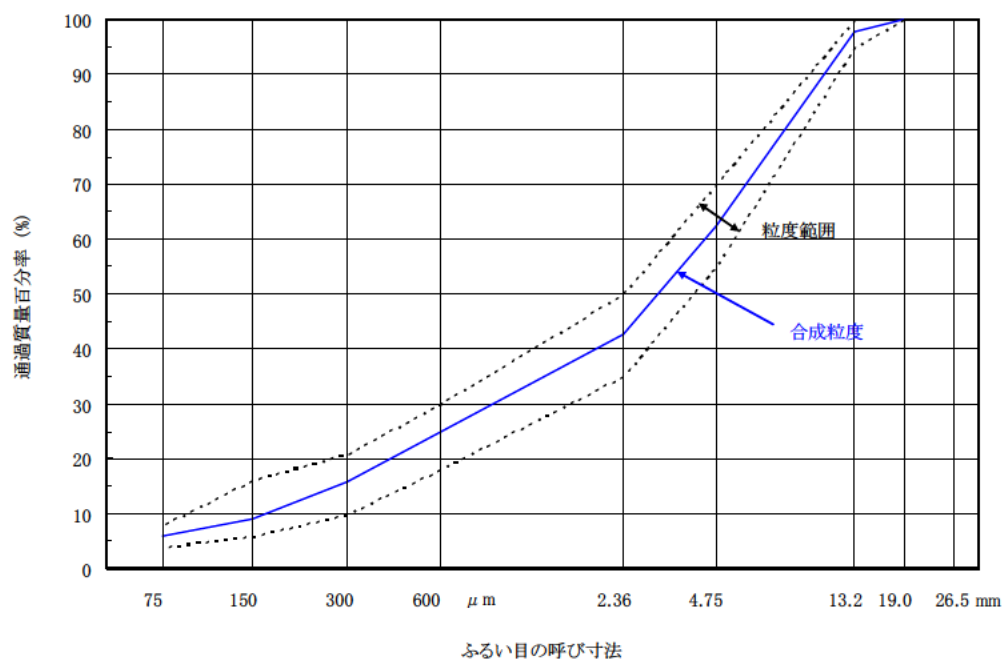


図-4.21 決定合成粒度曲線図

(8) マーシャル安定度試験および理論最大密度の算出

所定の配合割合で配合した骨材に、再生アスファルト量で 0.5%きざみ(4.5~6.5%)となるように新アスファルト量を変えた混合物について供試体を作製した。

骨材配合、新アスファルト添加量および理論最大密度の計算結果は、表-4.26~4.28に示すとおりである。なお、混合物の混合および締固め温度は、前項と同様に設定した。

表-4.26 骨材配合結果

骨材配合割合 %	骨材の種類	A (骨材のみ)	B (旧アスファルト含む)
	S - 13 (6号)	33.0	33
	S - 5 (7号)	15.0	15
	粗砂	20.5	20.5
	石粉	1.5	1.5
	再生骨材 13~0	30.0	31.81
	計	100.0	101.81
設計圧裂係数 MPa/mm			0.60~0.90
旧アスファルト量 (外割) %			1.81
新アスファルト量 (外割) %			3.79

表-4.27 新アスファルト添加量(一般用)

再生アスファルト量 %	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
再生アスファルト量 (外割) %	4.71	5.26	5.82	6.38	6.95
旧アスファルト量 (外割) %	1.81				
新アスファルト量 (外割) %	2.90	3.45	4.01	4.57	5.14

表-4.28 理論最大密度の計算(一般用)

材料の種類	配合割合 %	計算に用いる密度 g/cm ³		/
S - 13 (6号)	33.0	2.682		12.304
S - 5 (7号)	15.0	2.686		5.585
粗砂	20.5	2.708		7.57
石粉	1.5	2.718		0.552
再生骨材 13~0	31.81	2.481		12.821
	= 101.81			= 38.832
新アスファルト量 %	新アスファルトの密度 g/cm ³	/	+	理論最大密度 (+)/ g/cm ³
2.90	1.035	2.802	38.832	41.634
3.45		3.333		42.165
4.01		3.874		42.706
4.57		4.415		43.247
5.14		4.966		43.798

(9) 設計再生アスファルト量の決定

設計再生アスファルト量は、「舗装設計施工指針 付録-9」の方法に準じて、配合指標の基準値を満足する共通範囲(図-4.22)を求め、その中央値を再生アスファルト量とした。

なお、配合指標の計算に必要な再生アスファルトの密度は、 1.04g/cm^3 とした(表-4.29)。

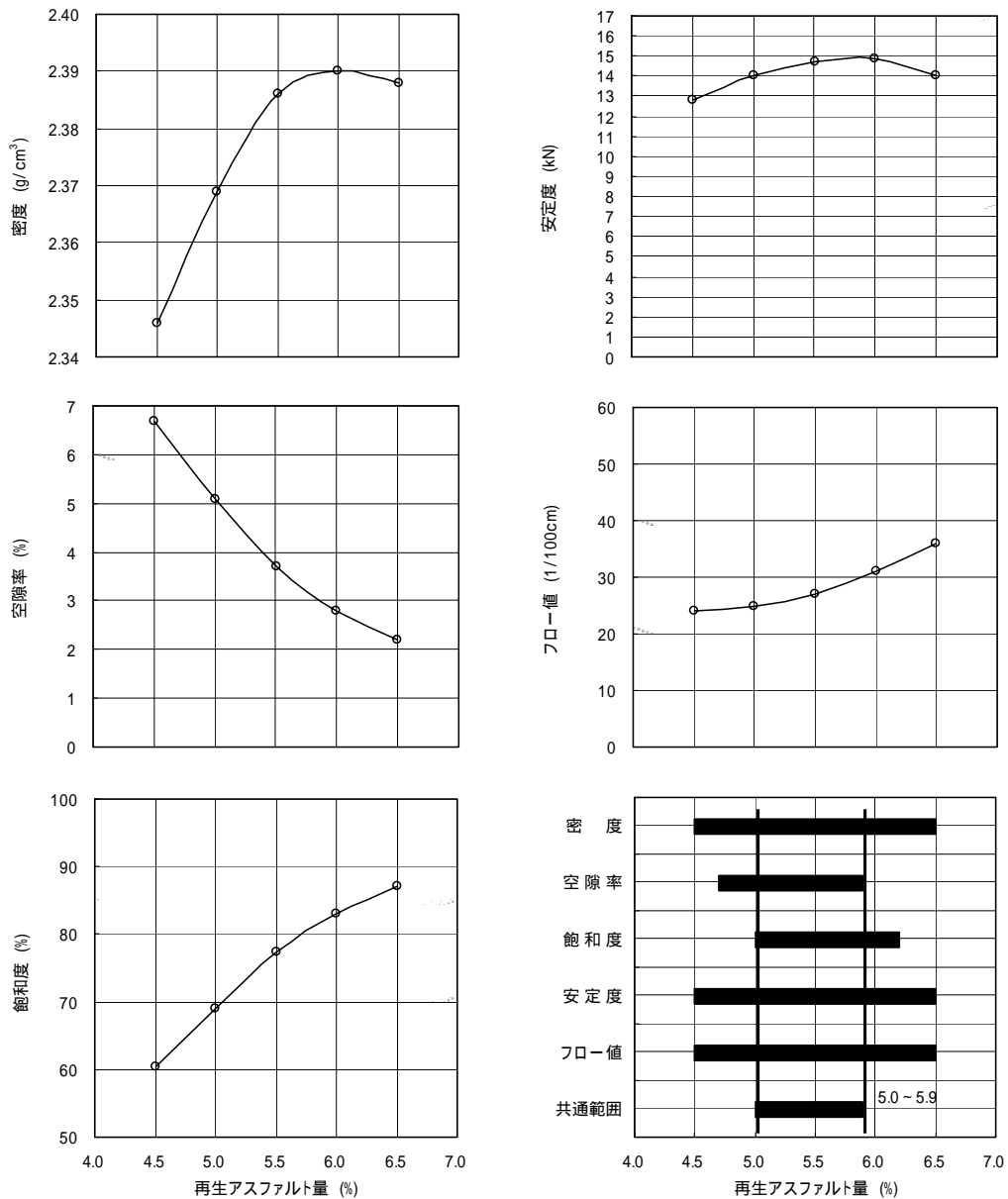


図-4.22 設計再生アスファルト量の決定

表-4.29 配合設計結果

混合物の種類 (最大粒径) [突固め回数]			再生密粒度アスファルト混合物(13)[75]							
設計圧裂係数			0.60~0.90MPa/mm (一般用)							
新アスファルトの種類			ストレートアスファルト 80~100							
使用骨材の配合比				使用骨材の合成粒度						
骨材の種類		骨材のみ 配合比 %	旧アス含む 配合比 %	ふるい目	通過質量百分率 %		粒度範囲 %			
新 骨 材	S-13 (6号)	33.0	33.00	53 mm						
	S-5 (7号)	15.0	15.00	37.5 mm						
	粗砂	20.5	20.50	31.5 mm						
	石粉	1.5	1.50	26.5 mm						
				19.0 mm	100		100			
			13.2 mm	97.8		95 ~ 100				
			4.75 mm	62.4		55 ~ 70				
再 生 骨 材	R13-0 [[旧アス量 5.68%]]	30.0	31.81	2.36 mm	42.6		35 ~ 50			
				600 μm	25.0		18 ~ 30			
				300 μm	15.9		10 ~ 21			
				150 μm	8.9		6 ~ 16			
計		100.0	101.81	75 μm	6.0		4 ~ 8			
マーシャル安定度										
項 目				各配合結果					OAC	基準値
全アスファルト量 (内割) %				4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	5.5	-
全アスファルト量 (外割) %				4.71	5.26	5.82	6.38	6.95	5.82	-
旧アスファルト量 (外割) %				1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	-
新アスファルト量 (外割) %				2.90	3.45	4.01	4.57	5.14	4.01	-
特 性 値	かさ密度 g/cm ³			2.346	2.369	2.386	2.390	2.388	2.386	-
	理論最大密度 g/cm ³			2.515	2.496	2.478	2.460	2.442	2.478	-
	空隙率 %			6.7	5.1	3.7	2.8	2.2	3.7	3 ~ 6
	飽和度 %			60.4	69.1	77.3	83.1	87.1	77.3	70 ~ 85
	骨材間隙率 %			16.9	16.5	16.3	16.6	17.1	16.3	-
	安定度 kN			12.78	13.99	14.75	14.86	14.02	14.75	7.35 以上
	フロ-値 1/100cm			24	25	27	31	36	27	20 ~ 40
S/F			0.53	0.56	0.55	0.48	0.39	0.55	-	
全アスファルト量の共通範囲				5.00 ~ 5.90 %					設計全アスファルト量 (内割) 5.5 %	
設計全アスファルト量の内訳				旧アスファルト 1.71 % + 新アスファルト 3.79 %						
供試体作製混合温度範囲				155±3		供試体作製締固め温度範囲 145±3				

(10) 再生加熱アスファルト混合物の品質確認

設計再生アスファルト量におけるマーシャル安定度試験は、表-4.29 に示すとおり、配合基準値を十分満足する結果であった。

4 - 7 圧裂係数による各種再生混合物の再生骨材配合率の検証

設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う配合設計においては、使用するアスファルトの種類(針入度等級の違い)により再生骨材の配合率が代わる。ここでは、各種再生混合物の再生骨材の配合水準を変化させた供試体で圧裂試験を行い、一般用設計圧裂係数の目標値に入る再生骨材配合率の検証を行った。

(1) 混合物種および使用アスファルト

混合物種は表-4.30 に示す一般用再生混合物の 4 種を、新アスファルトは針入度等級が違う 2 種を使用した。

表-4.30 混合物種および使用アスファルト

混 合 物 種	新アスファルトの種類
再生密粒度アスファルト混合物 (13) (75)	ストレートアスファルト 80 ~ 100
再生密粒度アスファルト混合物 (20) (75)	
再生粗粒度アスファルト混合物 (20) (75)	ストレートアスファルト 150 ~ 200
再生細粒度アスファルト混合物 (13) (75)	

(2) 使用材料および性状

使用材料および性状は、表-4.31、表-4.32 に示すとおりである。

新規骨材は前項の配合設計例で使用したものと同一品である。

表-4.31 使用再生骨材種および性状

再 生 骨 材 種		戸田合材	山梨合材
回収後の針入度 (1/10mm)		22	20
抽出後のアス量 (%)		4.56	5.68
抽出骨材粒度	19.0 mm		
	13.2	100.0	100.0
通過質量百分率 %	4.75	71.5	84.6
	2.36	45.4	64.8
	600 μm	30.3	37.7
	300	22.9	26.8
	150	14.1	18.7
	75	9.9	13.9

表-4.32 使用アスファルトの性状

試 験 項 目		ストレートアスファルト 80~100	ストレートアスファルト 150~200
伸度	15 cm	100 (+)	100 (+)
引火点	COC	330	324
動粘度	120 mm ² /s	816	-
	150 mm ² /s	180	-
	180 mm ² /s	59.6	-
軟化点		46	40
針入度	25 1/10mm	93	194
蒸発後の針入度比	%	98	-
トルエン可溶分	質量 %	99.96	99.96
密度	15 g/cm ³	1.035	1.025
薄膜加熱 163 ,5Hr	質量変化率 質量 %	0.01	-
	針入度残存率 %	68.8	-

(3) 配合割合および合成粒度

設計圧裂係数の調整で再生骨材の配合率を決定するため、再生骨材の目標配合率40%を中心とした3水準の配合を設定した。暫定3配合の配合割合および合成粒度の代表例として表-4.33 に再生密粒度アスファルト混合物(13)〔75〕の設定結果を示す。

表-4.33 配合割合および合成粒度(再生密粒 13)

混 合 物 の 種 類		再生密粒度アスファルト混合物 (13)〔75〕			
再 生 骨 材 の 種 類		戸田合材			
再 生 ア ス フ ェ ル ト 量		5.3%			
項 目		配 合 1	配 合 2	配 合 3	粒 度 範 囲
骨 材 配 合 割 合 %	5号砕石	-	-	-	-
	6号砕石	32.0	26.5	20.5	
	7号砕石	16.0	10.0	4.5	
	粗 砂	28.0	21.5	15.0	
	石 粉	4.0	2.0	-	
	再生骨材	20.0	40.0	60.0	
合 成 粒 度	26.5 mm				
	19.0	100.0	100.0	100.0	100
	13.2	97.9	98.3	98.6	95 ~ 100
通 過 質 量 百 分 率 %	4.75	62.3	62.1	62.4	55 ~ 70
	2.36	42.2	42.4	42.5	35 ~ 50
	600 μm	26.6	26.8	27.0	18 ~ 30
	300	17.3	17.9	18.4	10 ~ 21
	150	9.1	9.5	9.8	6 ~ 16
	75	6.1	6.2	6.4	4 ~ 8

(4) 再生骨材の混合割合の設定

前項で設定した再生骨材の配合率を変化させた 3 配合の供試体で圧裂試験を行い、再生骨材配合率と圧裂係数の関係より、設計圧裂係数(0.60～0.90MPa/mm)の目標値に入る再生骨材配合率を設定した。代表例として表-4.34 に再生密粒度アスファルト混合物(13)〔75〕の設定結果を示す。

表-4.34 再生骨材の混合割合の設定(再生密粒 13)

混合物の種類	再生密粒度アスファルト混合物(13)〔75〕						目標値
再生骨材の種類	戸田合材産						
新アスファルトの種類	ストレートアスファルト150～200						
再生骨材の配合率 %	20	40	60				
再生アスファルト量 %	5.3	5.3	5.3				5～7
かさ密度 g/cm ³	2.388	2.384	2.396	2.394	2.389	2.384	-
	2.372		2.393		2.380		
	2.391		2.392		2.382		
理論密度 g/cm ³	2.478	2.476	2.475				
空隙率 %	3.8	3.3	3.7				3～6
圧裂係数 MPa/mm	0.54	0.54	0.76	0.75	1.03	0.93	0.60～0.90
	0.52		0.75		0.87		
	0.55		0.74		0.89		

規格値に適合する再生骨材の配合率 25～56%

再生骨材の配合率と圧裂係数との関係

(5) 再生骨材の混合割合の検証

各種再生混合物の一般用の設計圧裂係数範囲を満足する再生骨材の配合率をまとめると図-4.23、4.24 に示すとおりである。

この結果より、以下のようなことがいえる。

混合物種、再生骨材種、再生骨材の劣化度および新アスファルト種の違いで設計圧裂係数を満足する再生骨材配合率は変化する。

新アスファルトの針入度等級を考慮して使用すれば、再生骨材は概ね 40～50% 配合できることがわかった。

以上のことから、設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う混合所では、事前に混合物種ごとの再生骨材の混合割合と圧裂係数との関係を把握することが望ましい。

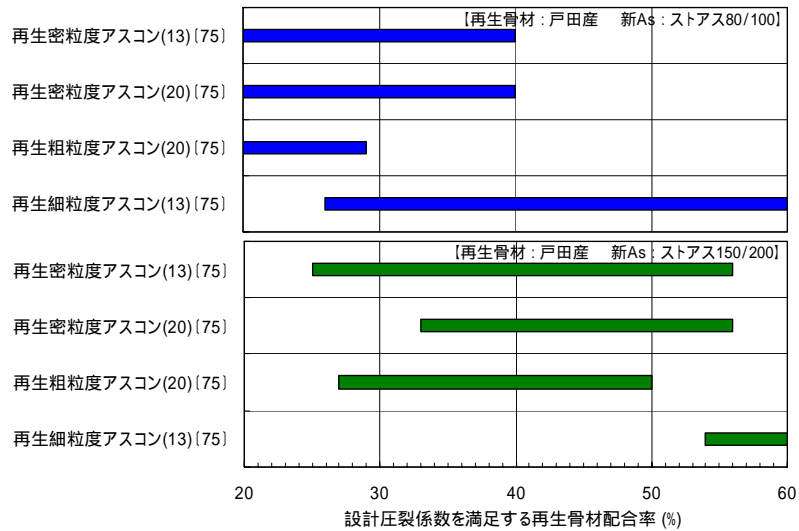


図-4.23 設計圧裂係数を満足する再生骨材配合率 (戸田再生骨材)

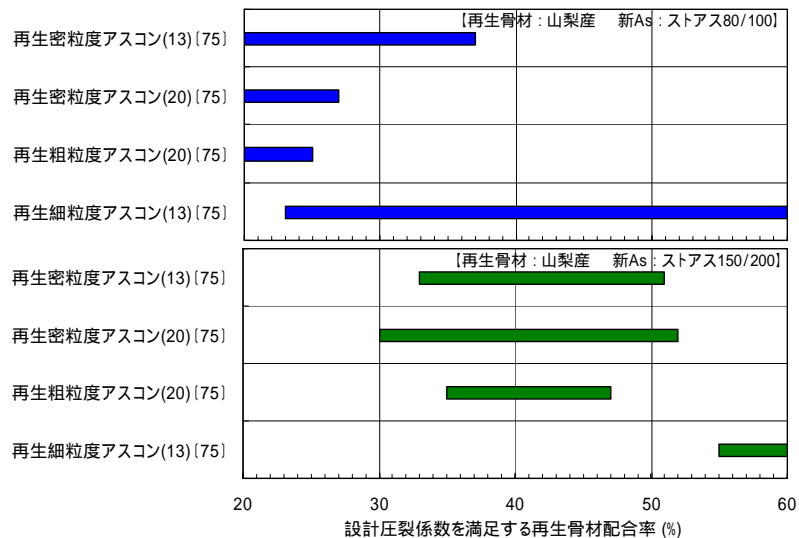


図-4.24 設計圧裂係数を満足する再生骨材配合率 (山梨再生骨材)

4-8 旧アスファルトの針入度と再生骨材使用可能配合率の検証

アスファルト混合物としての品質は、設計圧裂係数に加えマーシャル特性値を満足することが必要である。そこでここでは、圧裂係数およびマーシャル特性値を満足する再生骨材配合率と旧アスファルトの針入度との関係を検証した(表-4.35、図-4.25)。

この結果より、以下のようなことがいえる。

- ① 旧アスファルトの針入度が 20 の場合は、圧裂係数およびマーシャル特性値を共に満足する再生骨材配合率の上限値が 60%となり、併設加熱混合方式の標準最大配合率 60%と一致する。
- ② 再生骨材針入度 20 未満の場合は、再生骨材の配合率を低下させることで圧裂係数およびマーシャル特性値を共に満足することができる。

ただし、再生骨材の使用可能配合率は、混合物の種類や設定アスファルト量に依存するため、本検証データは参考として取扱う必要がある。

表-4.35 再生骨材の配合率と旧アス針入度との関係

旧アスファルトの種類	旧アスファルトの針入度 (1/10mm)	再生混合物の種類	再生骨材の使用可能配合率 (%)	
			再生用添加剤なし	再生用添加剤あり
ストアス (60/80)	35	一般用	78 △	100 ○
	18		33 △	63 ○
	6		25 △	26 ○
ストアス (60/80)	35	積雪寒冷地用	34 ▲	86 ●
	18		20 ▲	55 ●
	6		19 ▲	40 ●
改質アス (II型)	24	一般用	47 △	70 ○
	14		17 △	53 ○
	6		17 △	20 ○
改質アス (II型)	24	積雪寒冷地用	20 ▲	70 ●
	14		17 ▲	46 ●
	6		11 ▲	35 ●

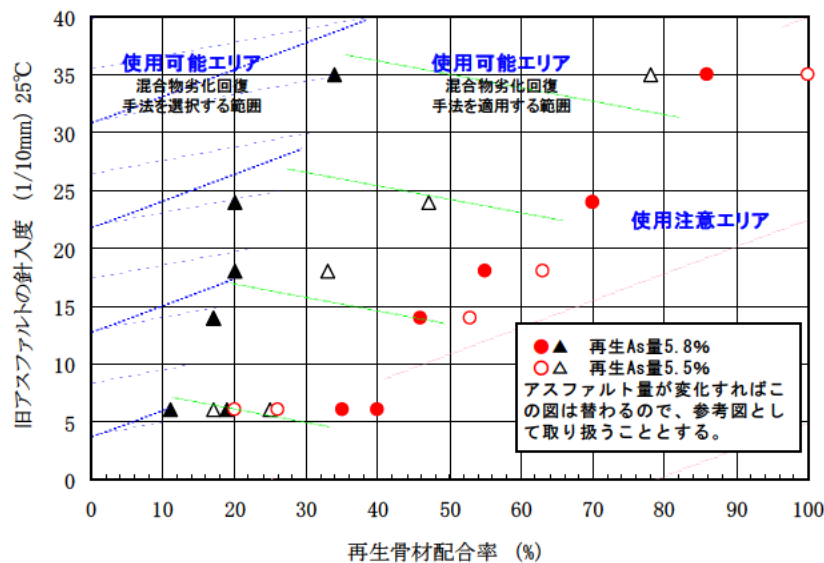


図-4.25 再生骨材の配合率と旧アス針入度との関係

4 - 9 まとめ

新たな再生混合物の配合設計について検討を行った結果、各種再生混合物や室内促進加熱劣化させた混合物より、再生混合物の針入度レベルと圧裂係数との関係は近似しており、20における圧裂係数で再生用添加剤の添加量の設定や、新アスファルト調整による再生骨材の混合率の設定に適用できることがわかった。

設計圧裂係数の最適な範囲は、再生アスファルトの針入度によって定められ、その値は、一般用(ストアス等級 40 ~ 60)で 0.60 ~ 0.90MPa/mm、積雪寒冷地用(ストアス等級 60 ~ 80)で 0.40 ~ 0.60MPa/mm、北海道用(ストアス等級 80 ~ 100)で 0.25 ~ 0.40MPa/mm である。

この設計圧裂係数の適用範囲と基準値の妥当性を図るため、新規および再生混合物での圧裂試験を行った結果、圧裂係数は、一般用混合物は 0.60 ~ 0.90MPa/mm の範囲を、積雪寒冷地用は 0.40 ~ 0.60MPa/mm の範囲を満足することが認められ、この適用範囲における圧裂係数は配合設計基準値として妥当であることがわかった。

この評価基準に対応する試験方法を提案し、圧裂試験精度を確認した結果、各機関の評価指標の再現性に問題はなかった。また、新たな再生混合物の配合設計手順に従い配合設計を行った結果、設計圧裂係数の基準値を適用すれば、マーシャル特性値を満足することが確認できた。

なお、設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う場合は、再生骨材の劣化度や新アスファルトの針入度等級により再生骨材の混合率は変化するため、この調整法で行う混合所では、事前に混合物種ごとの再生骨材の配合率と圧裂係数との関係を把握することが望ましい。

5. 現行配合設計手法による低針入度再生混合物の供用性評価（実大舗装促進载荷試験）

5-1 概要

5-1-1 目的

ストアス混合物由来の低針入度再生骨材（以下、低針入度骨材）の適用性および配合率の上限を確認することを目的に、土木研究所の舗装走行実験場の走路において低針入度骨材と新規骨材を使用した舗装を構築し、促進载荷試験にて供用性状を確認した。

5-1-2 試験施工箇所

低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の施工箇所および各工区の断面を図-5.1、5.2 に示す。

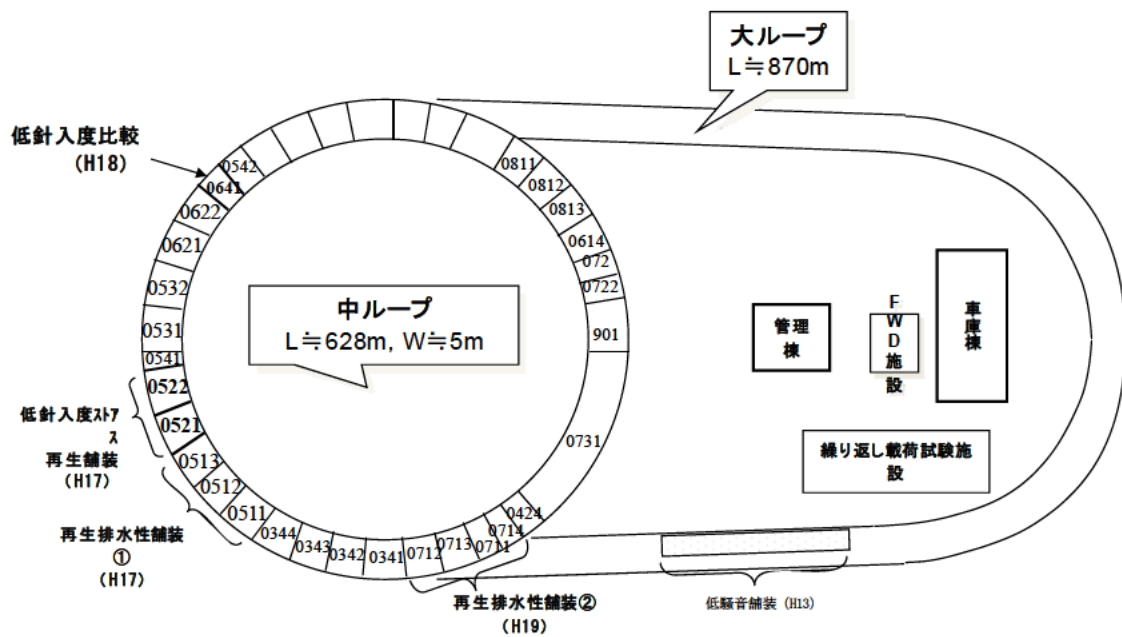


図-5.1 試験施工位置図

再生密粒度(13) 再生骨材100%	再生密粒度(13) 再生骨材60%	密粒度(13)	5cm
再生粗粒度(20)	再生粗粒度(20)	再生粗粒度(20)	8cm
M-30	M-30	M-30	17cm
C-40	C-40	C-40	40~45cm

図-5.2 各工区の断面

5 - 2 使用材料

使用材料の一覧を表-5.1 に、各材料の性状を表-5.2～5.4 に示す。なお、当初、再生骨材は土木研究所構内より採取した再生骨材を 13-5mm および 5-0mm に分級して利用する予定としていたが、再生アスファルト混合物の配合を検討した結果、再生骨材 13-5mm の数量が不足することが判明したため、補足材として、つくば市内より発生した再生骨材を用いることとした。

表-5.1 使用材料一覧

使用材料名	製造会社名	産 地	材 質
再生骨材13-5mm	製造:前田道路(株) 分級:大成ロテック(株)石岡工場	土木研究所内	切削材(分級)
再生骨材5-0mm	製造:前田道路(株) 分級:大成ロテック(株)石岡工場	土木研究所内	切削材(分級)
再生骨材13-0mm	(株)NIPPO つくば合材工場	茨城県つくば市内	アスファルト発生材
6号砕石	塚田陶管(株)	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩
7号砕石	塚田陶管(株)	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩
砕 砂	塚田陶管(株)	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩
粗 目 砂	相鉄興産(株)	茨城県下館市	洗い砂
石 粉	太平洋セメント(株)	栃木県葛生町	石灰岩粉末
再生アスファルト	(株)NIPPO つくば合材工場	茨城県つくば市	pen15～18
ストレートアスファルト	新日本石油(株)	神奈川県横浜市	pen40～60
アスファルト乳剤 PK-3	(株)NIPPO つくば合材工場	茨城県つくば市	
アスファルト乳剤 PK-4	(株)NIPPO つくば合材工場	茨城県つくば市	
路盤材 C-40	塚田陶管(株)	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩
路盤材 M-30	塚田陶管(株)	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩
再生用添加剤	新日本石油(株)	神奈川県横浜市	軟化剤
再生密粒度 アスファルト混合物(13)	(株)NIPPO つくば合材工場	茨城県つくば市	低針入度再生骨材100%(表層用) 低針入度再生骨材60%(表層用)
再生粗粒度 アスファルト混合物(20)	(株)NIPPO つくば合材工場	(株)NIPPO つくば合材工場	基層用混合物
密粒度 アスファルト混合物(13)	(株)NIPPO つくば合材工場	茨城県つくば市	比較工区 表層用混合物

土木研究所再生骨材5-0mmは、旧As量が多く粒度が細かいため使用していない。

表-5.2 使用骨材の性状

試験項目		低針入度 再生骨材 13-5mm (土研)	低針入度 再生骨材 5-0mm (土研)	低針入度 再生骨材 13-0mm (つくば市内)	6号 碎石	7号 碎石	砕砂	粗砂	石粉
通過 質量 百分率 %	19.0 mm	100		100	100				
	13.2	99.9	100	97.2	93.9	100		100	
	4.75	50.4	97.2	67.4	2.7	88.2	100	99.4	
	2.36	28.9	72.6	50.2	0.7	4.5	89.5	86	
	0.600	21.2	48.2	32.8		0.6	31	42.6	
	0.300	14.5	27.6	23.5			19.5	19.6	100
	0.150	8.1	16.3	13			11.3	7	99.4
	0.075	4.4	6.9	9.2			3.9	1.6	83.4
旧アスファルト含有量 (%)		3.73	7.44	5.28	-	-	-	-	-
旧アスファルト針入度 (1/10mm)		15	15	18	-	-	-	-	-
最大密度(g/cm ³)		2.514	2.456	2.516	-	-	-	-	-
密度 (g/cm ³)	表 乾	-	-	-	2.648	2.646	2.6	2.58	-
	絶 乾	-	-	-	2.626	2.609	2.564	2.527	-
	見掛け	-	-	-	2.683	2.709	2.661	2.669	2.719
吸水率 (%)		-	-	-	0.81	1.42	1.43	2.12	-
すり減り量 (%)		-	-	-	18.3	-	-	-	-
安定性試験 (%)		-	-	-	2.8	3.25	3.39	2.96	
偏平・細長含有量 (%)		-	-	-	2.2	-	-	-	-
軟石含有量 (%)		-	-	-	0	-	-	-	-

表-5.3 使用アスファルト(pen40/60)の性状

項 目	ストアス40/60		
	性 状	JISK 2207 規格	
針入度(25)	1/10mm	50	40を超60以下
軟化点(環球法)		50	47.0 ~ 55.0
伸 度(15)	cm	100(+)	10以上
薄膜加熱質量変化率	%	0.07	0.6以下
薄膜加熱後の針入度残留率	%	70	58 以上
蒸発後の針入度比	%	102	110以下
引火点(COC)		362	260以上
トルエン可溶分	%	99.99	99.0以上
密 度(15)	g/cm ³	1.043	1.000以上
動粘度 cSt(mm ² /s)	120	1100	
	150	236	
	180	75.7	

表-5.4 再生用添加剤の性状

項目	性状	JIS K 2249 規格
薄膜加熱質量変化率 %	-1.29	-3以上～3以下
薄膜加熱後の粘度比(60)	1.1	2以下
引火点(COC)	242	230以上
密度(15) g/cm ³	0.9473	報告
動粘度 cSt(mm ² /s)	40	365.9
	60	96.5
組成分析 mass%	飽和分	77.2
	芳香族分	19.9
	レジン分	2.9

5 - 3 加熱アスファルト混合物の配合および性状

5 - 3 - 1 比較工区に使用した新規混合物

比較工区に使用したアスファルト混合物の配合試験結果を表-5.5 に示す。

表-5.5 比較工区用アスファルト混合物の配合試験結果

配合種	密粒度 A s (13)		再生粗粒度 A s (20)		
	粒度範囲・基準値		粒度範囲・基準値		
骨材配合 %	5号砕石	-	-	19.0	-
	6号砕石	38.0	-	25.0	-
	7号砕石	18.5	-	12.0	-
	砕砂	20.0	-	4.0	-
	粗目砂	9.0	-	4.0	-
	細目砂	9.0	-	4.0	-
	再生骨材13-0mm	-	-	30.0	-
	石粉	5.5	-	2.0	-
通過質量百分率 %	26.5mm	-	-	100.0	100
	19.0	100.0	100	98.4	95～100
	13.2	98.3	95～100	81.0	70～90
	4.75	62.1	55～70	46.9	35～55
	2.36	43.2	35～50	29.5	20～35
	0.600	25.7	18～30	17.4	11～23
	0.300	17.3	10～21	12.9	5～16
	0.150	9.3	6～16	6.7	4～12
0.075	5.8	4～6	4.5	2～7	
設計再生アスファルト量 %	5.6	5～7	4.8	4.5～6	
密度 g/cm ³	2.364	-	2.387	-	
理論密度 g/cm ³	2.460	-	2.487	-	
空隙率 %	3.9	3～6	4.0	3～7	
骨材空隙率 %	-	-	-	-	
飽和度 %	76.5	70～85	73.3	65～85	
マニヤル安定度 kN	10.86	4.90以上	11.71	4.90以上	
フロー値 1/100cm	31	20～40	30	20～40	
残留安定度 %	-	75以上	-	75以上	
動的安定度 回/mm	-	-	-	-	

注1: 再生粗粒度混合物は, NIPPO筑波合材工場の標準配合

5-3-2 低針入度再生骨材を使用した再生混合物

(1) 骨材配合

低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の骨材配合を表-5.6、図-5.3に示す。

表-5.6 低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の骨材配合と合成粒度

混合物種		密粒密粒(13) 再生骨材100%	密粒密粒(13) 再生骨材60%	目標値および 基準値
骨材配合率 %	再生骨材13-5(土研)	35.0	21.0	-
	再生骨材13-0(つくば)	65.0	39.0	
	砕石6号	-	15.0	
	砕石7号	-	6.0	
	砕砂	-	8.5	
	粗砂	-	8.5	
	石粉	-	2.0	
通過質量百分率 %	19.0mm	100.0	100.0	100
	13.2	98.1	98.0	95~100
	4.75	61.5	61.5	55~70
	2.36	42.7	42.9	35~50
	0.600	28.7	25.5	18~30
	0.300	20.4	17.5	10~21
	0.150	11.3	10.3	6~16
	0.075	7.5	6.6	4~8

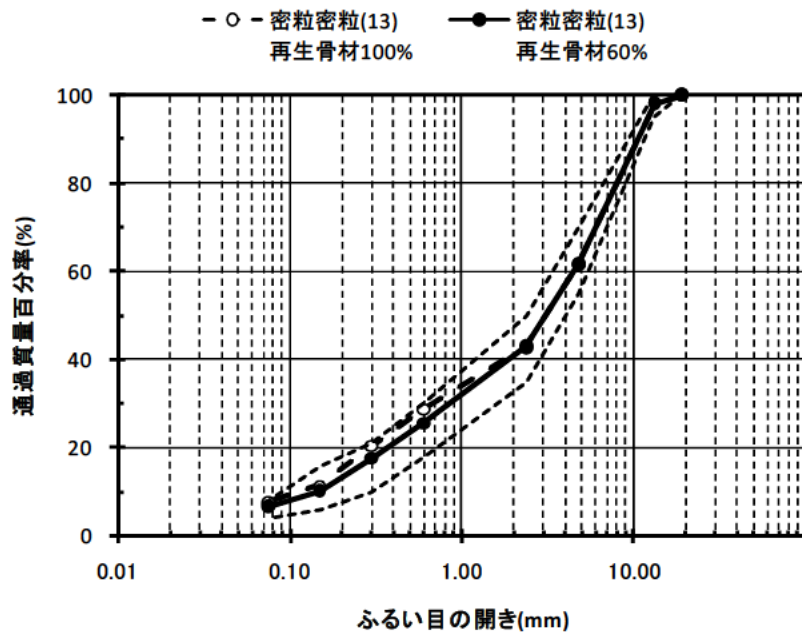


図-5.3 低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の合成粒度

(2) 配合試験結果

マーシャル安定度試験結果を表-5.7、図-5.4に示す。その結果、再生骨材配合率 60%の再生アスファルト混合物の最適アスファルト量は 5.5%となった。

表-5.7 マーシャル安定度試験結果

混合物種	As量(%)				密度 g/cm ³	理論密度 g/cm ³	空隙率 %	飽和度 %	安定度 kN	フロー値 1/10mm
	合計	旧As量	新As量	再生用添加剤						
密粒(13) 再生骨材100%	5.3	4.69	—	0.61	2.401	2.490	3.6	77.2	14.8	36
密粒(13) 再生骨材60%	4.5	2.85	1.28	0.37	2.355	2.514	6.3	61.8	13.0	26
	5.0	2.83	1.80	0.37	2.375	2.495	4.8	70.4	14.3	29
	5.5	2.81	2.32	0.37	2.388	2.477	3.6	77.8	13.9	34
	6.0	2.80	2.83	0.37	2.386	2.459	3.0	82.1	12.4	40
	6.5	2.79	3.35	0.36	2.377	2.442	2.7	84.7	11.0	48

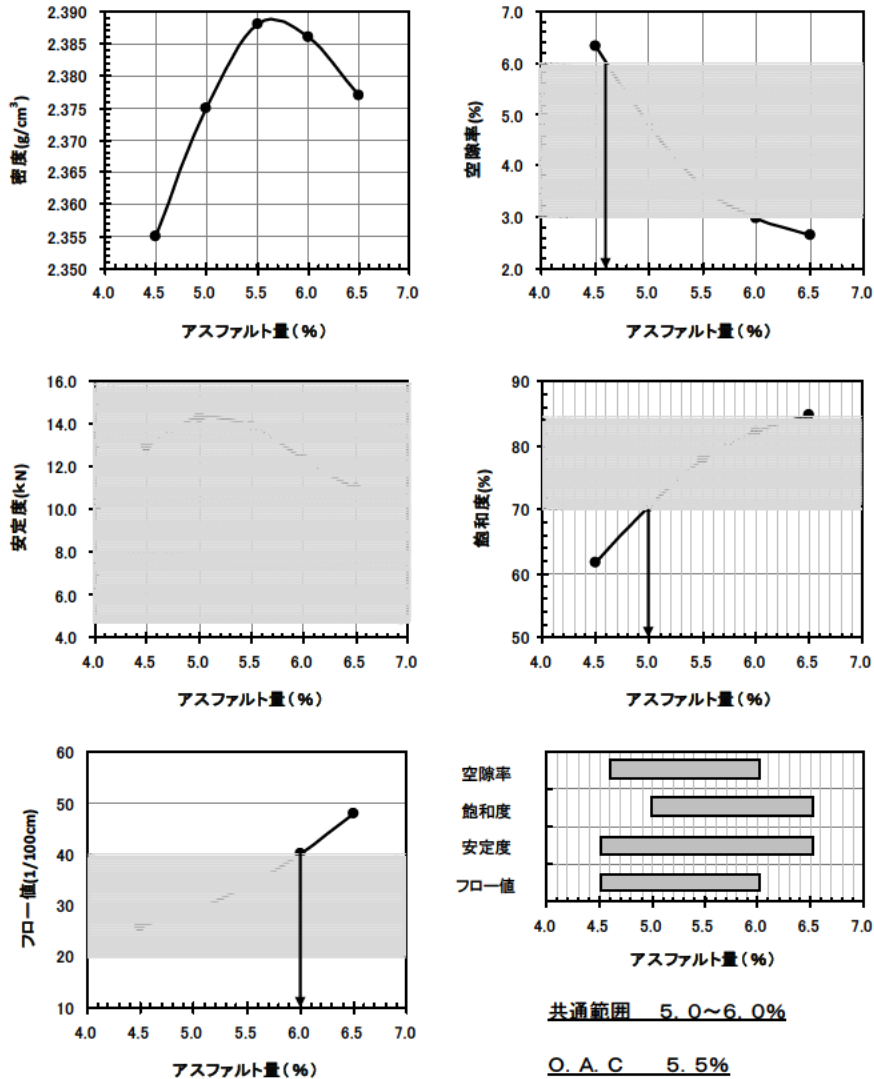


図-5.4 再生骨材配合率 60%の再生アスファルト混合物の配合試験結果

(3) 混合物性状試験結果

低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の混合物性状試験結果を表-5.8 に示す。

表-5.8 低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の混合物性状試験結果

		密粒度(13)		目標値および基準値
		低針入度再生骨材100%	低針入度再生骨材60%	
骨材配合率	再生骨材13-5(土研)	35	21	
	再生骨材13-0(つくば)	65	39	
	砕石6号	-	15	-
	砕石7号	-	6	
	砕砂	-	8.5	
	粗砂	-	8.5	
	石粉	-	2	
合成粒度	19.0 mm	100	100	100
	13.2	98.1	98	95 ~ 100
	4.75	61.5	61.5	55 ~ 70
	2.36	42.7	42.9	35 ~ 50
	600 μm	28.7	25.5	18 ~ 30
	300	20.4	17.5	10 ~ 21
	150	11.3	10.3	6 ~ 16
	75	7.5	6.6	4 ~ 8
As量(%)	旧アスファルト量	4.69	2.81	
	再生用添加剤量	0.61	0.37	
	新アスファルト量	-	2.32	
	合計	5.3	5.5	
	突固め回数	75	75	-
マシナル特性値	密度 g/cm ³	2.401	2.388	-
	空隙率 %	3.6	3.6	3 ~ 6
	飽和度 %	77.2	77.8	70 ~ 85
	安定度 kN	14.78	13.89	7.35kN以上
	フロー値 1/10mm	36	34	20 ~ 40
圧裂特性値	圧裂強度 MPa	1.46	1.5	-
	最大荷重までの変位量 mm	2.19	2.23	-
	圧裂係数 MPa/mm	0.67	0.67	-

5 - 4 施工状況および品質管理試験結果

5 - 4 - 1 比較工区

(1) 使用機械

使用機械を表-5.9 に示す。

表-5.9 使用機械一覧

機械名称	仕様	台数(のべ)	用途
バックホウ	0.4m ³	1	掘削
ブルドーザ		1	路盤敷きならし
モーターグレーダ	3.1m級	1	路盤敷きならし
マカダムローラ	10t	2	初期転圧
タンデムローラ	7t	2	路盤転圧, 仕上げ転圧
タイヤローラ	8~12t	2	路盤転圧, 2時転圧
ハンドガイドローラ	1t	2	端部転圧
プレート		1	端部転圧
アスファルトフィニッシャー	6.0m	1	As敷きならし
タイヤショベル	0.5m ³	3	積み込み

(2) 施工手順

施工手順を図-5.5 に示す。

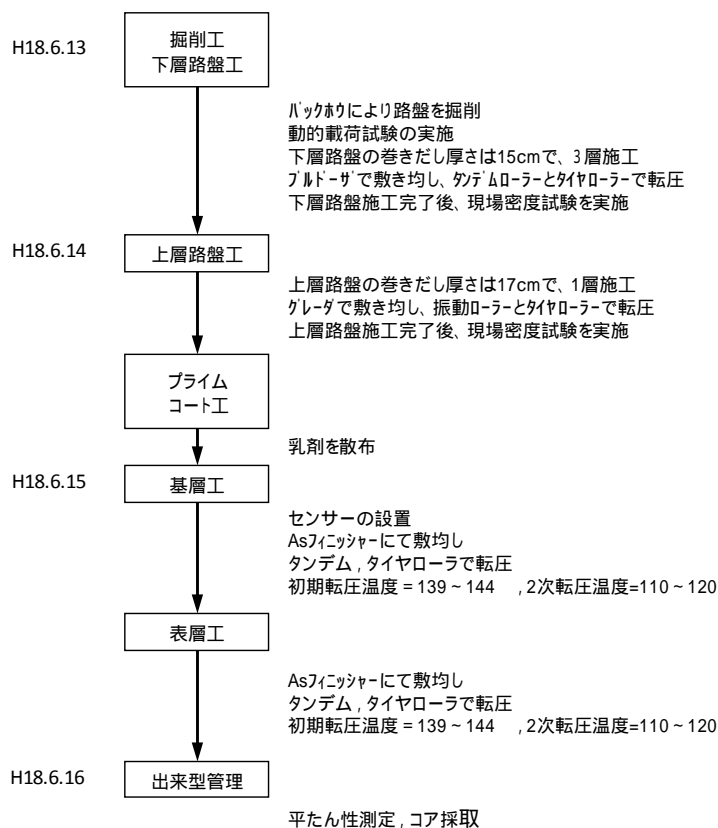


図-5.5 施工手順

(3) 路床の支持力(動的平板載荷試験結果)

路床面の動的平板載荷試験結果を表-5.10 に示す。表から、比較工区の CBR は、3.5% と推察された。

表-5.10 既設路床面の動的平板載荷試験結果

項目	測定No.		
	1	2	3
最大沈下量 s(mm)	2.391	2.493	2.326
	2.403		
動的変形係数 Evd(MN/mm ²)	9.4	9.0	9.7
	9.4		
推定 K ₃₀ (MN/m ³)	57	53	60
	57		
推定 K ₇₅	26		
推定CBR (%)	3.5		

推定 CBR の算出手順を以下に示す。

: E_v (静的変形係数) = $600 \times \ln(300/300 - E_{vd})$

「動的平板マニュアルより」

$K_{75} = E/49.48$

$K_{30} = 2.2 \times K_{75}$

「鉄道構造物設計標準・同解説」

: $K_{30} = 10.496 \times E_{vd} - 41.421$

「 、 、 からの相関式」

CBR と K_{75} の関係から、CBR を推定

「舗装試験法便覧」

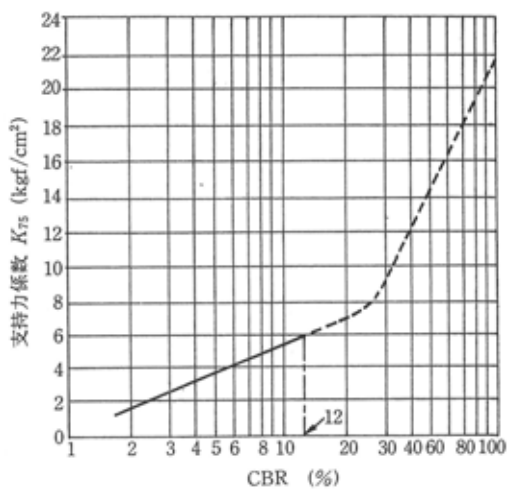


図-5.6 CBR と K_{75} の関係



写真-5.1 動的平板載荷試験状況

(4) 路盤工

上層・下層路盤の施工状況を写真-5.2～5.5に示す。また、上層・下層路盤の出来形および現場密度測定結果を表-5.11、5.12に示す。出来形および現場密度を測定した結果から、目標とした路盤を概ね構築できたものと判断した。



写真-5.2 敷きならし状況(上層路盤)



写真-5.3 転圧状況(上層路盤)



写真-5.4 転圧状況(上層路盤)



写真-5.5 現場密度試験(上層路盤)

表-5.11 出来形測定結果

低針入度ストアス再生工区(0521.0522工区)

	左部						中央部						右部											
	基準高(下がり)			厚さ			基準高(下がり)			厚さ			基準高(下がり)			厚さ								
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差						
上層路盤	h3	-	130	-	t2	170	170	0	h3	-	125	-	t2	170	180	10	h3	-	130	-	t2	170	175	5
下層路盤	h2	300	300	0	t1	450	450	0	h2	300	305	5	t1	450	445	-5	h2	300	305	5	t1	450	445	-5
路床	h1	750	750	0	-	-	-	-	h1	750	750	0	-	-	-	-	h1	750	750	0	-	-	-	-

比較工区(0641工区)

	左部						中央部						右部											
	基準高(下がり)			厚さ			基準高(下がり)			厚さ			基準高(下がり)			厚さ								
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差						
上層路盤	h3	-	100	-	t2	200	205	5	h3	-	100	-	t2	200	195	-5	h3	-	100	-	t2	200	200	0
下層路盤	h2	300	305	5	t1	450	445	-5	h2	300	295	-5	t1	450	455	5	h2	300	300	0	t1	450	450	0
路床	h1	750	750	0	-	-	-	-	h1	750	750	0	-	-	-	-	h1	750	750	0	-	-	-	-

表-5.12 現場密度試験結果

	締固め度 (%)	乾燥密度 (g/m ³)	含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/m ³)	最適含水比 (%)	締固め度合否判定値 (%)
上層路盤	98.7	2.284	4.5	2.314	4.7	96.5以上
下層路盤	99.3	2.191	3.8	2.206	3.6	97.0以上

(5) 表・基層工

表・基層の施工状況を写真-5.6～5.8に示す。また、品質管理結果を表-5.13～5.16に示す。品質管理試験結果から、目標とした表・基層を構築できたものと判断した。



写真-5.6 敷きならし状況



写真 - 5.7 初期転圧状況



写真-5.8 2次転圧状況

表-5.13 アスファルト混合物の温度管理結果

混合物	台数	測定温度()				
		アスファルト	出荷	現着	初期転圧	2次転圧
再生粗粒(20)	1台目	159	158	155	143	121
	2台目	159	158	156	143	119
再生密粒(13)	1台目	160	156	156	144	120

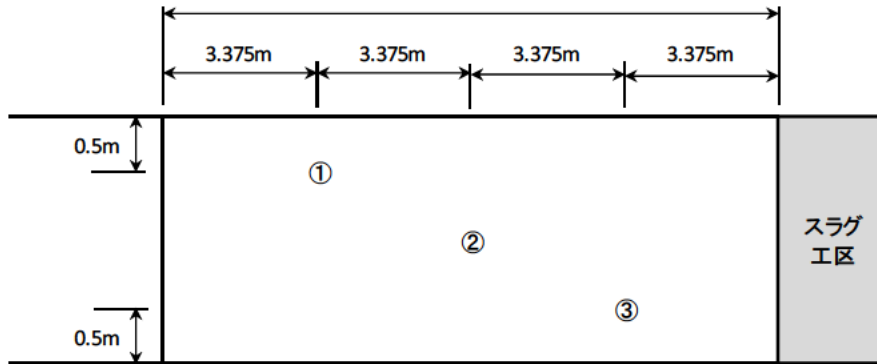


図-5.7 切り取りコアの採取位置

表-5.14 切り取りコアの密度測定結果

混合物	厚さ(cm)				密度(g/cm ³)				基準密度 (g/cm ³)	締固め度(%)			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均		1	2	3	平均
再生粗粒(20)	8.0	8.2	8.1	8.1	2.372	2.379	2.383	2.378	2.398	98.9	99.2	99.4	99.2
密粒度(13)	5.6	5.1	5.5	5.4	2.359	2.359	2.362	2.360	2.375	99.3	99.3	99.5	99.4

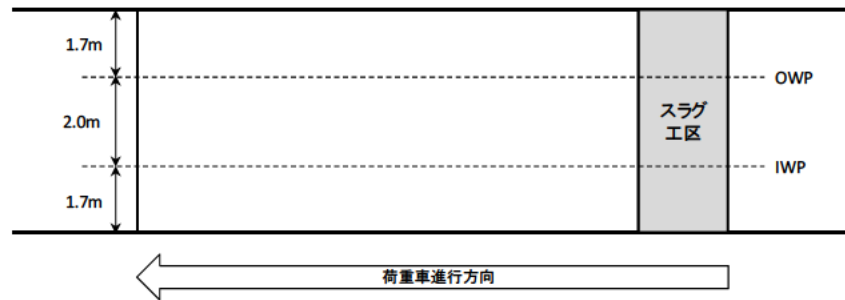


図-5.8 平たん性測定位置

表-5.15 平たん性測定結果

平たん性 σ mm		備考
OWP	IWP	
1.4	1.33	L=13.5m

表-5.16 抽出試験結果

		再生粗粒(20)		密粒(13)	
		出荷時	設計	出荷時	設計
抽出アスファルト量(%)		4.92	4.80	5.45	5.60
通過 質量 百分 率 %	26.5mm	100.0	100.0	100.0	100.0
	19.0	100.0	98.4	100.0	100.0
	13.2	83.2	81.0	95.2	98.3
	4.75	45.7	46.9	56.8	62.1
	2.36	33.1	29.5	41.6	43.2
	0.600	20.1	17.4	24.8	25.7
	0.300	14.8	12.9	15.3	17.3
	0.150	9.0	6.7	8.2	9.3
	0.075	5.5	4.5	5.2	5.8

5 - 4 - 2 低針入度再生骨材を使用した再生アスファルト混合物工区

(1) 使用機械

使用機械を表-5.17 に示す。

表-5.17 使用機械一覧

機械名称	仕様	台数(のべ)	用途
切削器	切削幅2m	1	切削
ロードローラ	10～12t	1	転圧
タイヤローラ	8～12t	1	転圧
デストリビュータ	1000～1500	1	乳剤散布
アスファルトフィニッシャ	2.4～5m	1	As敷きならし
ダンプトラック		1	運搬
散水車		1	散水

(2) 施工手順

施工手順を図-5.9 に示す。

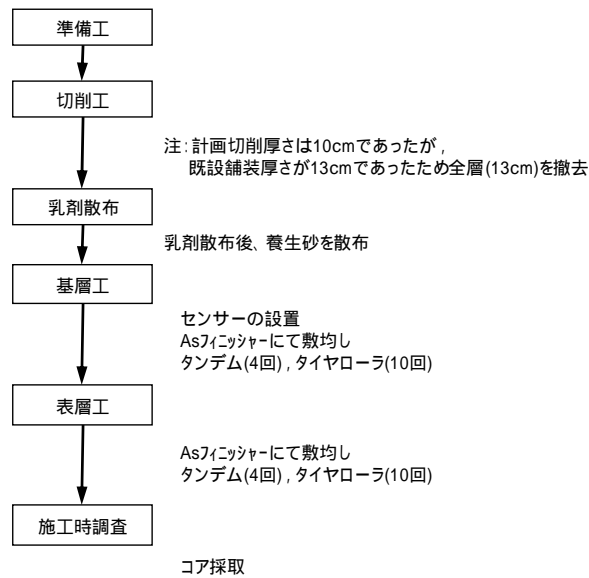


図-5.9 施工手順

(3) 表・基層工

表・基層の施工状況を写真-5.9～5.15に、品質管理結果を表-5.18～5.21に示す。品質管理試験結果から、低針入度再生骨材混入率60%の再生混合物は、アスファルト量が設定値に比べ約0.4%多くなったが、その他の項目については概ね目標通りとなった。



写真-5.9 敷きならし状況



写真-5.10 初期転圧状況



写真-5.11 2次転圧状況



写真-5.12 表面のキメ(再生 100%)-1



写真-5.13 表面のキメ(再生 100%)-2



写真-5.14 表面のキメ(再生 60%)-1



写真-5.15 表面のキメ(再生 60%)-2

表-5.18 アスファルト混合物の温度管理結果

	密粒度(13) 再生骨材100%	密粒度(13) 再生骨材60%	目標温度
出荷温度()	165	163	160以上
到着温度()	158	159	155以上
敷均温度()	152	152	145以上
初期転圧()	141	140	130以上
二次転圧()	123	125	110以上

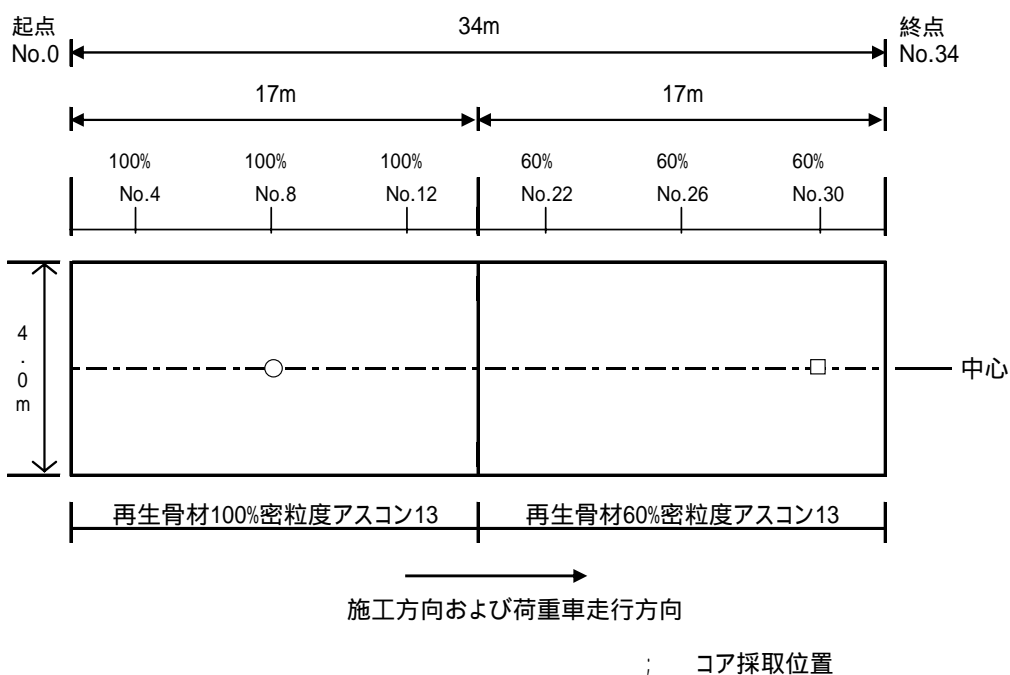


図-5.10 調査位置図

表-5.19 切り取りコアの密度測定結果

調査位置	再生骨材100%		再生骨材60%		目標値
	密度 (g/cm ³)	締め固度 (%)	密度 (g/cm ³)	締め固度 (%)	
右	2.363	98	2.386	99.6	96.5%以上
中	2.366	98.1	2.362	98.6	
左	2.344	97.2	2.338	97.6	
平均	2.358	97.8	2.362	98.6	

表-5.20 抽出試験結果

試験項目		アス量 (%)	粒度 (通過質量百分率 %)							
			19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
再生骨材 100%	加熱骨材粒度	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	抽出試験	5.38	100	99.6	69.3	48.1	29.6	20.6	12.5	7.7
	配合設計時	5.3	100	98.1	61.5	42.7	28.7	20.4	11.3	7.5
再生骨材 60%	加熱骨材粒度	-	100	98.4	60.5	42.9	27.3	19.8	11	6.7
	抽出試験	5.89	100	98.6	66.5	48	26.8	18.9	12.4	7.6
	配合設計時	5.5	100	98	61.5	42.9	25.5	17.5	10.3	6.6
粒度範囲(%)			100	95~100	55~70	35~50	18~30	10~21	6~16	4~8

表-5.21 混合物性状試験結果

		突固め回数(回)	ア入量 (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	最大荷重 (kN)	圧裂強度 (MPa)	最大荷重までの変位量 (mm)	圧裂係数 (MPa/mm)
再生骨材 100%	施工時	75	5.3	2.412	3.1	79.9	11.35	36	11.41	1.12	2.68	0.42
	配合設計時		5.3	2.401	3.6	77.2	14.78	36	-	-	-	-
再生骨材 60%	施工時	75	5.5	2.395	3.3	79.4	11.14	35	13.05	1.28	2.67	0.48
	配合設計時		5.5	2.388	3.6	77.8	13.89	34	-	-	-	-
基準値		-	5~7	-	3~6	70~85	7.35以上	20-40	-	-	-	-

5 - 4 - 3 まとめ

混合物性状の一覧を表-5.22 に示す。

表-5.22 混合物性状一覧

混合物種		再生粗粒(20)		新規密粒(13)		再生密粒(13)100%		再生密粒(13)60%		目標値および基準値
骨材配合	再生骨材13-5(土研)	-	-	-	-	35.0	-	21.0	-	-
	再生骨材13-0(つくば)	-	-	30.0	-	65.0	-	39.0	-	-
	砕石5号	-	-	19.0	-	-	-	-	-	-
	砕石6号	38.0	-	25.0	-	-	-	15.0	-	-
	砕石7号	18.5	-	12.0	-	-	-	6.0	-	-
	砕砂	20.0	-	4.0	-	-	-	8.5	-	-
	粗目砂	9.0	-	4.0	-	-	-	8.5	-	-
	細目砂	9.0	-	4.0	-	-	-	-	-	-
	石粉	5.5	-	2.0	-	-	-	2.0	-	-
通過質量百分率		配合時	施工時	配合時	施工時	配合時	施工時	配合時	施工時	
	26.5mm	100	-	-	-	-	-	-	-	-
	19.0	98.4	100.0	100	100	100	100	100	100	100
	13.2	81	83.2	98.3	95.2	98.1	99.6	98	98.6	95~100
	4.75	46.9	45.7	62.1	56.8	61.5	69.3	61.5	66.5	55~70
	2.36	29.5	33.1	43.2	41.6	42.7	48.1	42.9	48	35~50
	600 μm	17.4	20.1	25.7	24.8	28.7	29.6	25.5	26.8	18~30
	300	12.9	14.8	17.3	15.3	20.4	20.6	17.5	18.9	10~21
	150	6.7	9.0	9.3	8.2	11.3	12.5	10.3	12.4	6~16
75	4.5	5.5	5.8	5.2	7.5	7.7	6.6	7.6	4~8	
突固め回数	回	75		75		75		75		-
最適アスファルト量	% (抽出)	4.8	4.92	5.6	5.45	5.3	5.38	5.5	5.89	5~7
マージナル特性値	密度 g/cm ³	2.387	2.398	2.364	2.375	2.401	2.412	2.388	2.395	-
	空隙率 %	4	3.6	3.9	3.5	3.6	3.1	3.6	3.3	3~6
	飽和度 %	73.3	75.3	76.5	78.5	77.2	79.9	77.8	79.4	70~85
	安定度 kN	11.71	10.36	10.86	12.22	14.78	11.35	13.89	11.14	7.35kN以上
	フロー値 1/10mm	30	34	31	27	36	36	34	35	20~40
圧裂特性値	圧裂強度 MPa					1.46	1.12	1.5	1.28	-
	最大荷重までの変位量 mm					2.19	2.68	2.23	2.67	-
	圧裂係数 MPa/mm					0.67	0.42	0.67	0.48	-
プラント	混合物の粒度					問題なし		100%に比べやや細かい		-
	アスファルト被膜状況					問題なし		問題なし		-
	アスファルト量					問題なし		問題なし		-
	出荷温度					問題なし		問題なし		-
	施工性					良好		良好		-
現場	混合物の粒度					問題なし		100%に比べやや細かい		-
	アスファルト量					問題なし		問題なし		-
	仕上がり					問題なし		問題なし		-

5-5 促進荷重試験結果

5-5-1 路面性状測定結果

(1) わだち掘れ量

わだち掘れ量測定結果を図-5.11に示す。図から、低針入度再生骨材を使用した再生加熱混合物は新規混合物に比べ、わだち掘れ量が大きくなる傾向が見られた。ただし、低針入度再生骨材の配合率の違いによるわだち掘れ量の差は見られなかった。

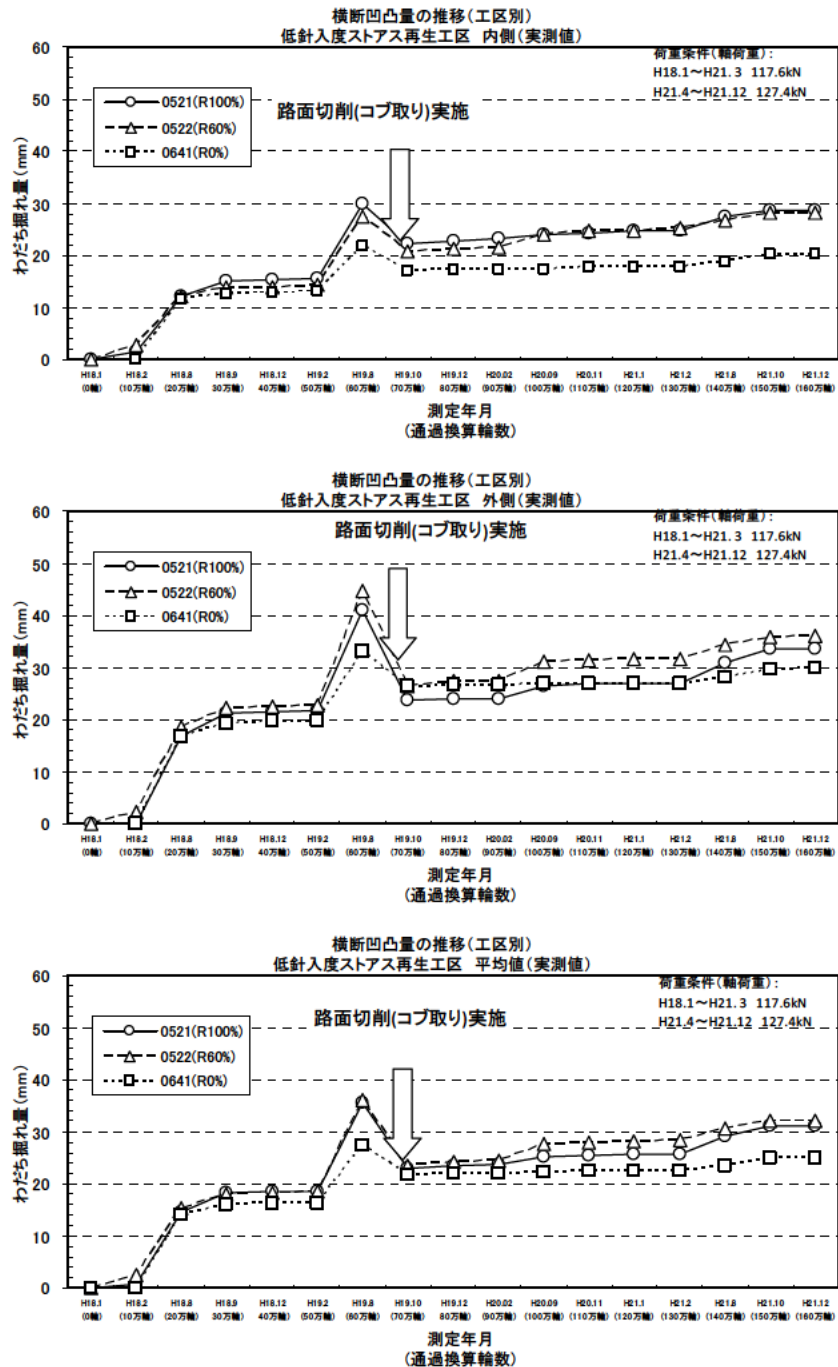


図-5.11 わだち掘れ量測定結果

(2) 平たん性

平たん性測定結果を図-5.12に示す。図から、全工区において、通過輪数が増えるに従って標準偏差が大きくなる傾向が見られた。また、0521工区(R100)の値が変動する時期があったが、工区延長が17mと短いことから、低針入度再生骨材の配合率の違いによるものとは言い切れない。

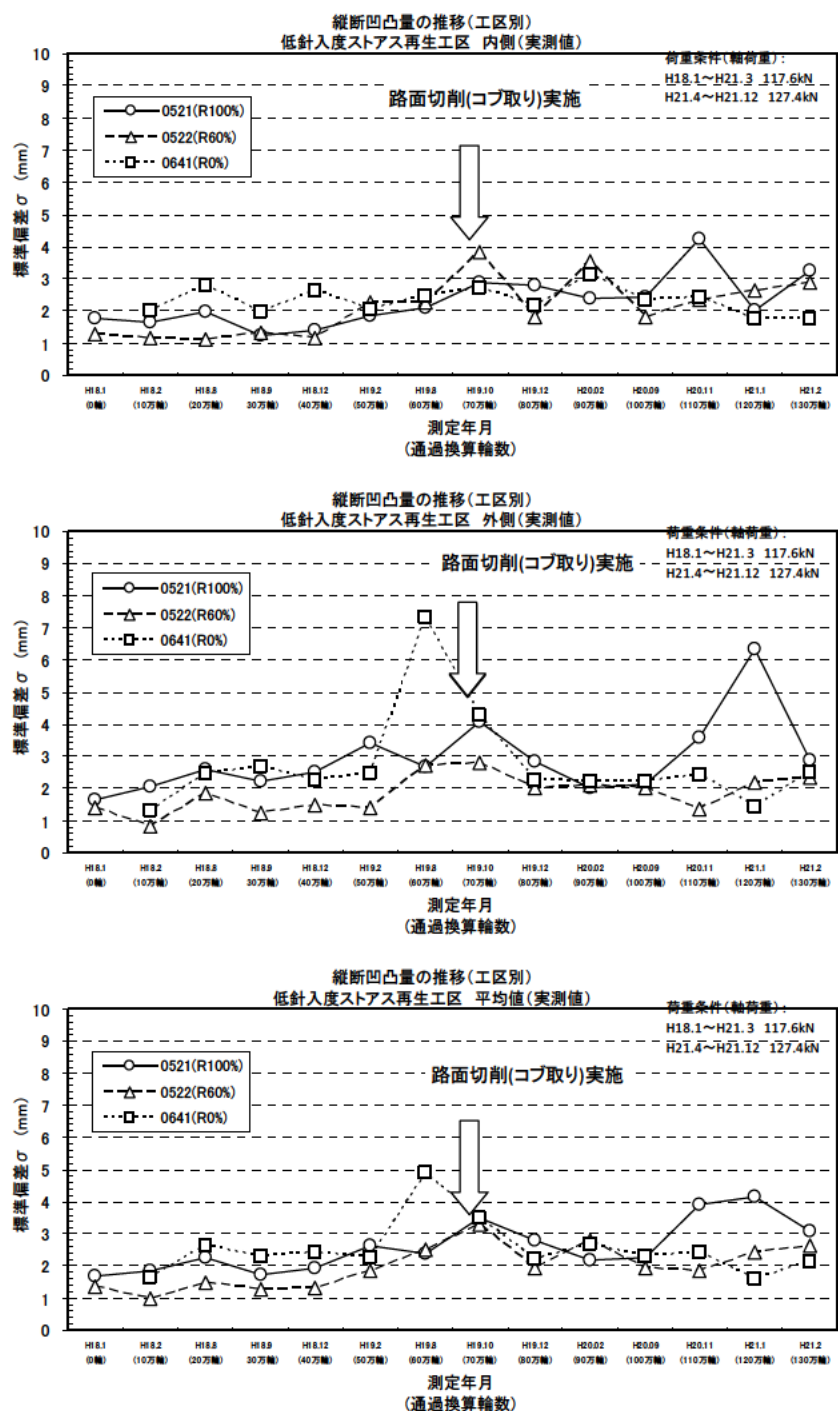


図-5.12 平たん性測定結果

(3) すべり抵抗

a) BPN

すべり抵抗(BPN)の測定結果を図-5.13に示す。図から、全工区とも通過輪数の増加に伴うすべり抵抗(BPN)の変化は見られなかった。また、OWPに比べBWPのBPN値が大きくなる傾向がみられた。

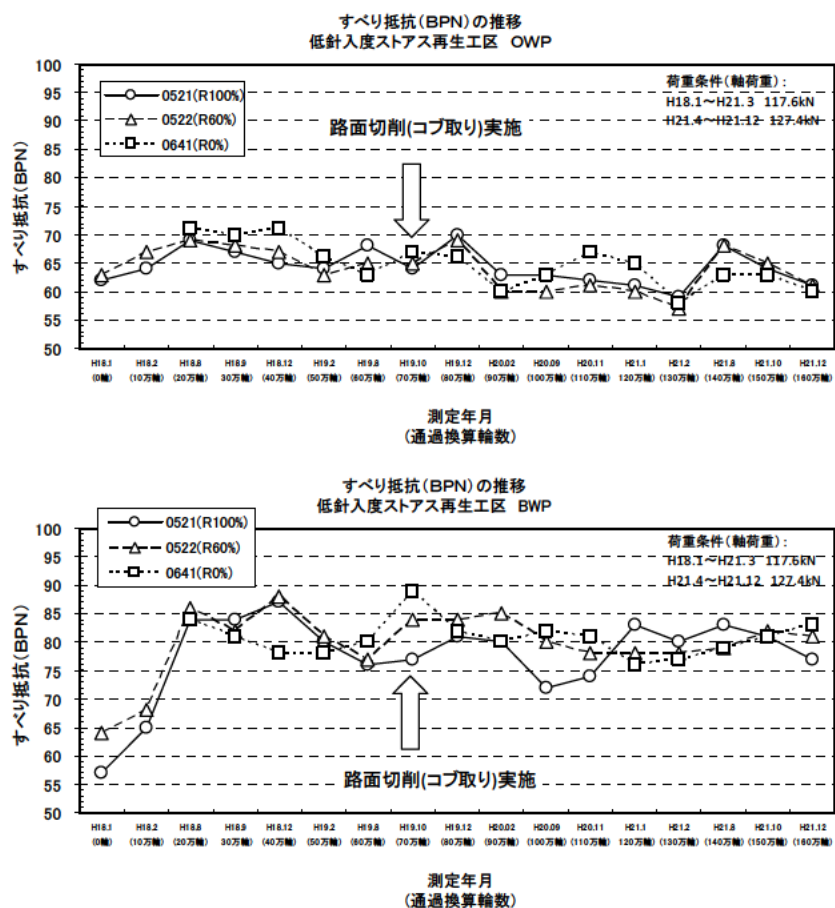


図-5.13 すべり抵抗 (BPN) 測定結果

b) RSN

すべり抵抗(RSN)の測定結果を図-5.14 に示す。0522 工区 (R60%) および 0521 工区 (R100%) では、60 万輪以降わだち掘れの形状 (ダブルわだち) により計測ができなかった。また、BWP の RSN 値は OWP に比べ大きくなる傾向がみられた。

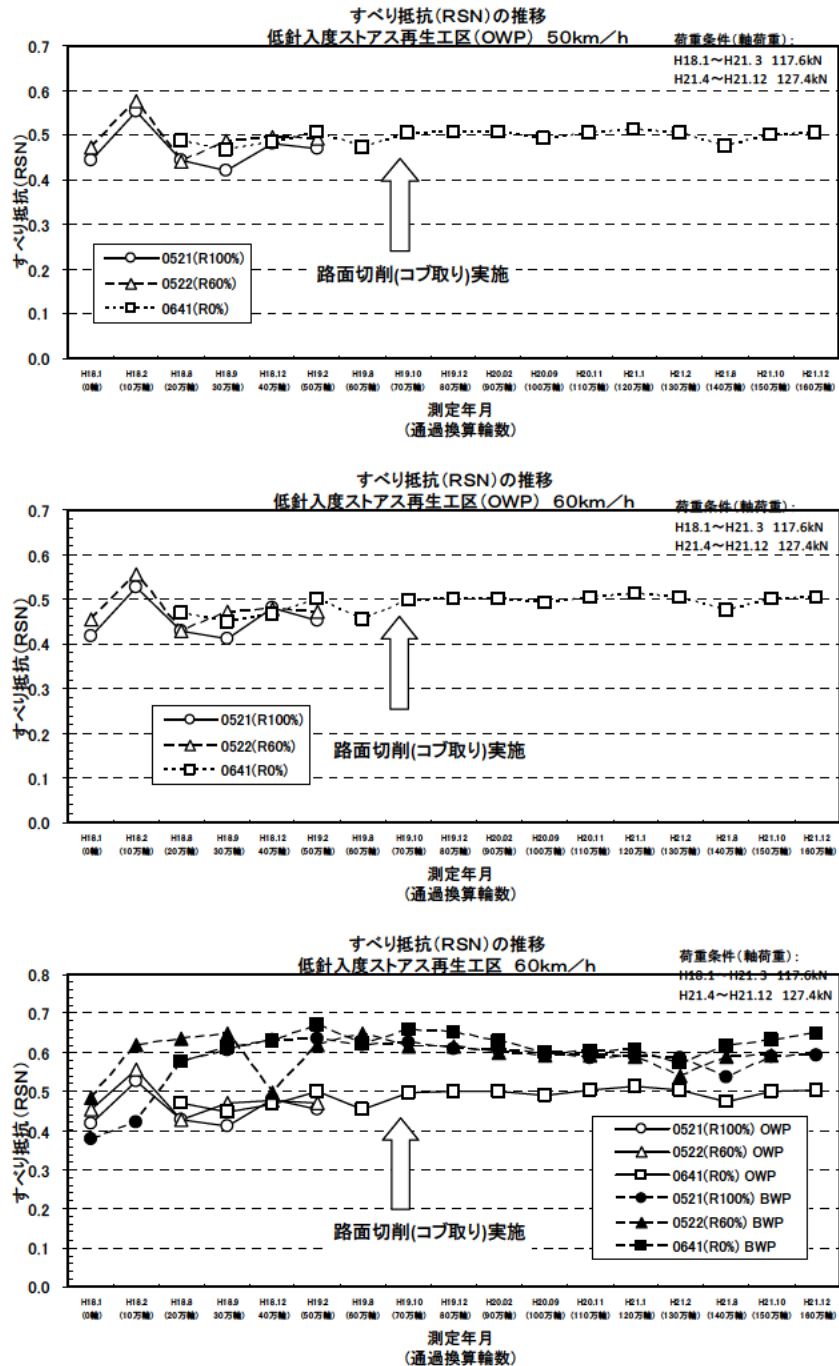


図-5.14 すべり抵抗 (RSN) 測定結果

(4) FWD たわみ量 (D₀)

FWD たわみ量(D₀、D₂₀₀、D₁₅₀₀)の測定結果を図-5.15 に示す。図から、全工区とも通過輪数の増加に伴うたわみ量の変化は見られず、構造的破壊に対しては問題なかったと考えられる。なお、D₂₀₀ のたわみ量において、0641 工区(0%)および0522 工区(R60%)の変動が大きくなった。これらは温度補正後のデータではあるが、夏季において値が大きくなったものと推察される。

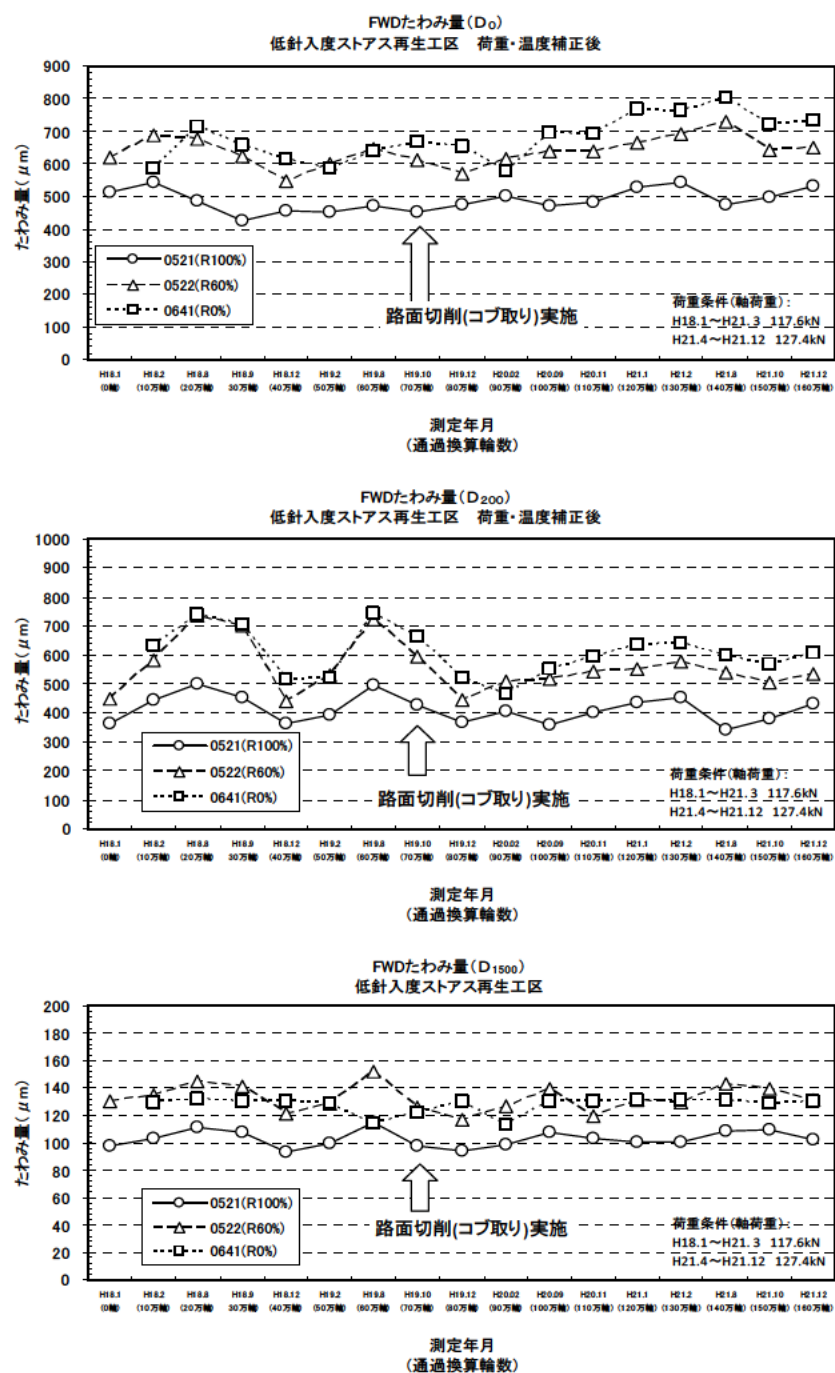


図-5.15 FWD たわみ量測定結果

5-5-2 車輪走行位置の切り取りコアの厚さ測定結果

舗装走行実験場の 50 または 60 万輪通過後(2 夏経過後)の試験舗装からコアを採取し、各工区の表基層の厚さを確認した。なお、コアの採取位置は OWP とした。横断形状測定結果と切り取りコアの採取位置を図-5.20 に、切り取りコアの厚さ測定結果を図-5.16 に、切り取りコアの状況を写真-5.16 に示す。図から、低針入度再生骨材を使用した再生混合物は、新規混合物に比べわだち掘れ量が多くなった。また、このとき基層の流動変形はあまり見られなかった。これらのことから、低針入度再生骨材を使用する場合には、耐流動性についても確認する必要があると考えられる。

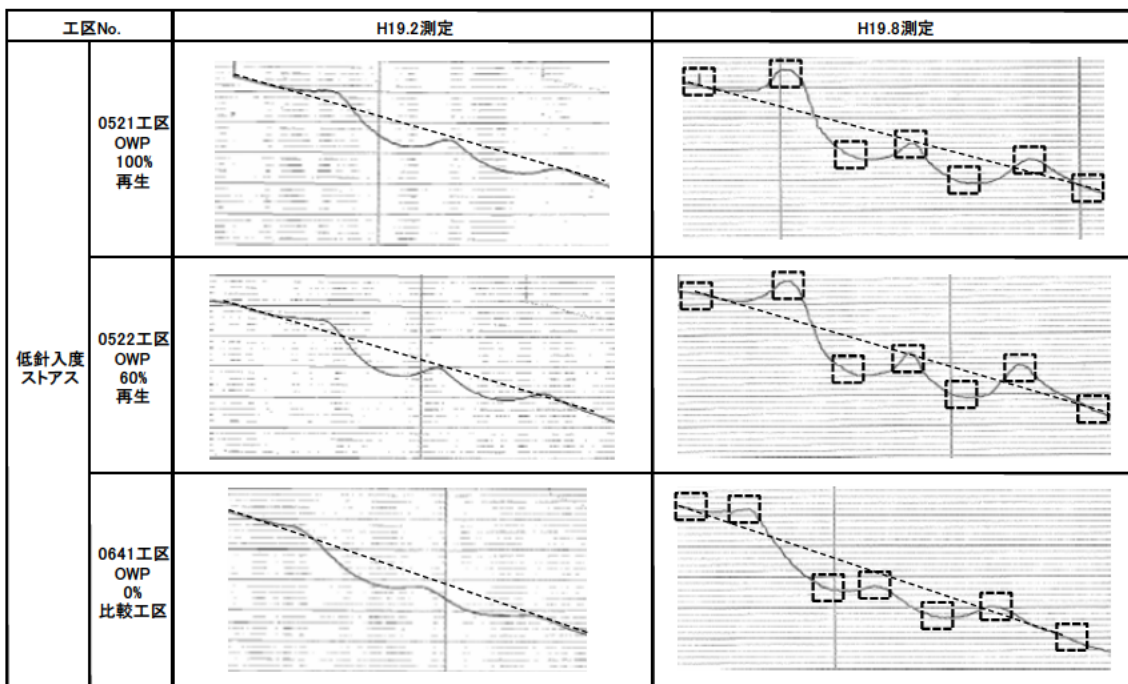


図-5.16 各工区の横断形状と切り取りコア採取位置(緑波線はコア採取位置)

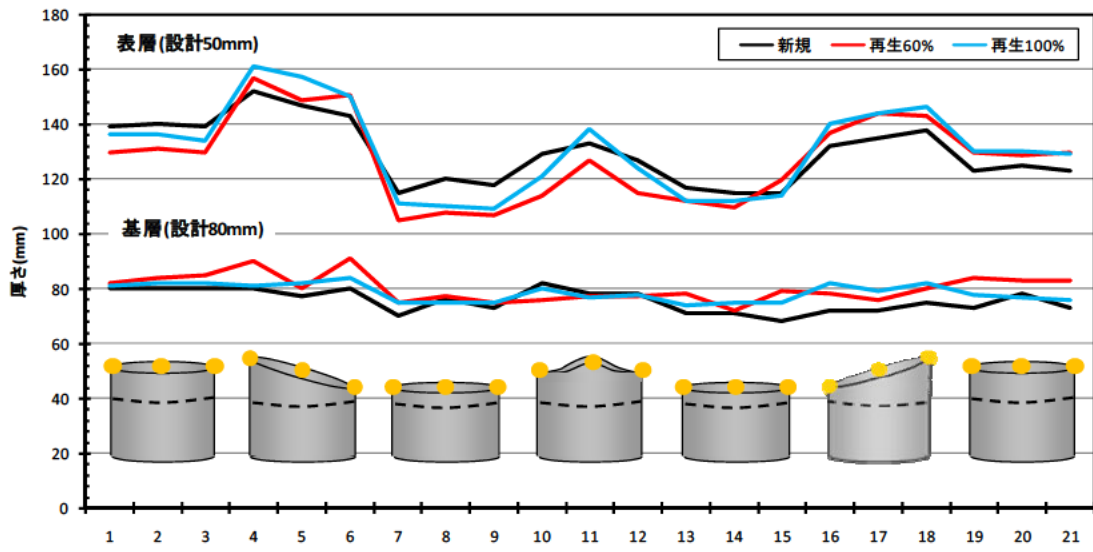


図-5.17 抜き取りコアによる各試験舗装工区の表基層の厚さ測定結果



写真-5.16 切り取りコアの状況

5 - 6 低針入度再生混合物の供用性評価のまとめ

わだち掘れ

新規混合物に比べ低針入度再生骨材を使用した再生加熱混合物は、わだち掘れ量が大きくなる傾向が見られた。ただし、低針入度再生骨材の配合率の違いによるわだち掘れ量の差は見られなかった。新規混合物に比べ低針入度再生骨材を使用した再生混合物は、特に表層の流動変形が顕著であった。

平坦性

通過輪数が増えるに従って平坦性の標準偏差が大きくなる傾向が見られた。ただし、低針入度再生骨材の配合率の違いによる標準偏差の差は見られなかった。

すべり抵抗 (B P N)

通過輪数の増加に伴うすべり抵抗(BPN)の変化は見られなかったが、OWP に比べ BWP の BPN 値が大きくなる傾向が見られた。

すべり抵抗 (R S N)

通過輪数の増加に伴う RSN 値の変化は見られなかった。また、OWP に比べ BWP の RSN 値が大きくなる傾向が見られた。

たわみ量

通過輪数の増加に伴う FWD たわみ量の変化は見られなかった。

5 - 7 低針入度再生骨材利用の課題

舗装走行実験場における供用性評価では、再生骨材利用におけるわだち掘れに対する問題点が示された。低針入度アスファルトの再生利用においては、劣化バインダによる疲労破壊抵抗性への対策がとかく注目され、再生用添加剤等による軟化対策が検討される。軽質な油で薄めることにより混合物の変形性状は確保され、室内試験や実大試験、さらには実道における経験においても疲労破壊に関する問題は顕在化していないものとみられる。

一方、アスファルト混合物のスティフネスを小さく保つために再生用添加剤等を使用すると、予想外の大きな塑性変形破壊が生じることが今回の実大舗装試験から指摘された。

今回の実大舗装試験では、針入度が 15~18 の旧アスファルトに対する質量%として、13%もの再生用添加剤が配合されている。過度に劣化したアスファルトに軟質の油等を過剰に添加することにより成分バランスが崩れ、舗装用バインダとしての適正な耐流動性能を満足できなくなったものとみられる。トータルバランスに優れた配合となるよう、動的安定度等の他の性能指標値を組み合わせるとともに、必要に応じて、再生用添加剤の上限混入率の設定などの検証をする必要がある。

6. おわりに

今回提案した圧裂係数の指標とマーシャル特性値を併用した配合設計方法では、低針入度再生骨材でもその配合率と混合物劣化回復手法(例えば再生用添加剤や新アスファルト)の組み合わせで一定の性能を確保できることとなる。このことは、低針入度再生骨材を用いた場合は、その配合率の低減も選択肢の一つとなる。

圧裂係数による評価適用すると、旧アスファルトの種類にかかわらず針入度を間接的に推定することができる。改質系が入った再生骨材については、疲労破壊抵抗性がストアス系再生骨材よりも高いことから、それを用いたアスファルト混合物の性能低下にはならないこともわかった。

実大舗装促進載荷試験では、低針入度再生骨材を使用した再生混合物は、新規混合物に比べて、わだち掘れが大きくなる傾向が得られた。その原因に関しては、現行の配合設計手法を用いたため、旧アスファルトの針入度回復のための再生用添加剤量が多すぎたためではないかと考えられる。

そこで、今後、低針入度再生骨材に対する針入度回復と再生骨材や添加剤等の配合量について、圧裂係数を用いた配合設計手法による設計圧裂係数の下限値を設けたことにより、耐流動性はある程度確保できるものと考え、最終的には動的安定度や塑性変形輪数により要求性能を満足していることを確認する必要があることは言うまでもない。