共同研究報告書
整理番号第290号

交通振動の軽減のための舗装技術の開発
共同研究報告書

平成15年2月

独立行政法人土木研究所
日本道路（株）
日本鋪道（株）
（株）ガイアートクマガイ
ジオスター（株）
日本エラスター（株）

Copyright © (2003) 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。

共同研究報告書
第290号 平成15年2月

交通振動の軽減のための舗装技術の開発
共同研究報告書

独立行政法人土木研究所	上席研究員	吉田　武
	主任研究員	新田　弘之
		梁　真二
日本道路（株）技術研究所	第一研究室長	野田　悦郎
	主任研究員	浜田　幸二
		坂本　祥子※1
		美馬　孝之※2
日本舗道（株）技術研究所	次長	澤　正
	主任研究員	尾本　志展
（株）ガイアートクマガイ　技術研究所	主任研究員	伊藤　彰彦
	研究員	山脇　宏成
ジオスター（株）	課長	田中　秀樹
		横尾　彰彦
日本エラスター（株）	取締役	中村　喜平
	部長	鈴木　雄一

要旨

交通振動の発生原因には、路面の平坦性の低下、路床の支持力不足、交通荷重の超過などが考えられる。これらの振動に対しては、従来は表層の打換えによる平坦性の回復、路床の強化などによる対策が考えられるが、表層の打ち換えによる方法では、振動軽減の持続性に課題があり、また路床の強化は大規模な工事が必要となり実際の対策としては困難な場合が多い。従って、交通振動の軽減対策には、工事が比較的短期間で済み、効果の持続性の高い工法の開発が求められていた。そこで、表層付近の改良で振動軽減効果が得られる工法の開発を目指し、平成12～14年度の3年間の共同研究を行った。

本報告書は、開発された振動軽減型舗装の工法について報告するとともに、これらの工法の評価方法、適用基準について報告するものである。

キーワード：舗装、交通振動、重量骨材、多孔質弾性舗装、粘弾性樹脂系シート、防振ゴム、プレキャストコンクリート

※1　参加期間：平成12年11月～平成14年2月

※2　参加期間：平成14年 3月～平成15年3月

はじめに

交通振動の発生原因には、路面の平坦性の低下、路床の支持力不足、交通荷重の超過などが考えられる。これらの振動に対しては、従来は表層の打ち換えによる平坦性の回復、路床の強化などによる対策が考えられるが、表層の打換えによる方法では、振動軽減の持続性に課題があり、また路床の強化では大規模な工事が必要となり実際の対策としては困難な場合が多い。従って、交通振動の軽減対策には、工事が比較的短期間で済み、効果の持続性の高い工法の開発が求められていた。

そこで、平成 12～14 年度にかけて、独立行政法人土木研究所と日本道路（株）、日本舗道（株）、（株）ガイアートクマガイ、ジオスター（株）、日本エラスター（株）との共同研究により、舗装の表層付近の改良で振動軽減効果が得られる工法の開発を行った。

本報告書は、開発された振動軽減型舗装の工法について報告するとともに、これらの工法の評価方法、適用基準について報告するものである。

平成 15 年 2 月

「交通振動の軽減のための舗装技術の開発」共同研究委員会

委員長	独立行政法人土木研究所	基礎道路技術研究グループ	上席研究員	吉田　武
委　員	独立行政法人土木研究所	基礎道路技術研究グループ	主任研究員	新田　弘之
	独立行政法人土木研究所	基礎道路技術研究グループ		梁　真二
	日本道路（株）技術研究所		第一研究室長	野田　悦郎
	日本道路（株）技術研究所		主任研究員	浜田　幸二
	日本道路（株）技術研究所			坂本　祥子※1
	日本道路（株）技術研究所			美馬　孝之※2
	日本鋪道（株）技術研究所		次長	澤　正
	日本鋪道（株）技術研究所		主任研究員	尾本　志展
	（株）ガイアートクマガイ	技術研究所	主任研究員	伊藤　彰彦
	（株）ガイアートクマガイ	技術研究所	研究員	山脇　宏成
	ジオスター（株）		技術部　課長	田中　秀樹
	ジオスター（株）			横尾　彰彦
	日本エラスター（株）		取締役	中村　喜平
	日本エラスター（株）		技術部長	鈴木　雄一

※1　参加期間：平成12年11月～平成13年3月

※2　参加期間：平成13年 4月～平成15年3月

目　次

１．研究概要　・・・・・・・・（１）
２．予備実験　・・・・・・・・（１）
２．１　振動軽減型舗装Ａ　・・・・・・・・（２）
２．１．１　概要　・・・・・・・・（２）
２．１．２　使用材料と配合　・・・・・・・・（２）
２．１．３　試験項目　・・・・・・・・（３）
２．１．４　振動減衰特性の測定　・・・・・・・・（５）
２．１．５　試験結果　・・・・・・・（１２）
２．１．６　試験施工で提案する舗装断面　・・・・・・・（２６）
２．２　振動軽減型舗装Ｂ　・・・・・・・（２８）
２．２．１　振動軽減に関する現状把握　・・・・・・・（２８）
２．２．２　振動軽減対策　・・・・・・・（２９）
２．２．３　舗装構成　・・・・・・・（３３）
２．３　振動軽減型舗装Ｃ　・・・・・・・（３４）
２．３．１　防振ゴムのバネ定数　・・・・・・・（３４）
２．３．２　再計算　・・・・・・・（３５）
２．３．３　室内試験　・・・・・・・（３７）
２．３．４　試験結果　・・・・・・・（４１）
２．３．５　まとめ　・・・・・・・（４６）
３．試験施工による検討　・・・・・・・（４７）
３．１　交通振動に関する既存資料の調査　・・・・・・・（４７）
３．１．１　調査対象　・・・・・・・（４７）
３．１．２　既存資料から得られた知見　・・・・・・・（４７）
３．２　土木研究所内での試験施工　・・・・・・・（４９）
３．２．１　振動軽減型舗装Ａ　・・・・・・・（５０）
３．２．２　振動軽減型舗装Ｂ　・・・・・・・（９２）
３．２．３　振動軽減型舗装Ｃ　・・・・・・・（９９）
３．２．４　密粒度舗装　・・・・・（１２７）
３．３　促進載荷試験方法　・・・・・（１３１）
３．４　振動測定方法　・・・・・（１３２）
３．４．１　測定方法　・・・・・（１３２）
３．４．２　測定位置　・・・・・（１３２）
３．４．３　振動条件　・・・・・（１３３）
３．４．４　評価方法　・・・・・（１３３）
４．試験施工の結果　・・・・・（１３４）
４．１　促進載荷試験結果　・・・・・（１３４）
４．２　振動測定結果　・・・・・（１３６）

４．３　振動軽減効果に関する考察　・・・・・（１４５）
４．３．１　密粒度舗装を基準とした場合　・・・・・（１４５）
４．３．２　測定点2.0m地点を基準とした場合　・・・・・（１４９）
４．４　振動レベル値に関する考察　・・・・・（１５１）
４．４．１　加振源別における相関関係　・・・・・（１５１）
４．４．２　路面性状値と振動レベルの相関関係　・・・・・（１５２）
４．４．３　振動レベルの予測に関する検討　・・・・・（１５３）
４．５　周波数分析による検討　・・・・・（１５４）
５．まとめ　・・・・・（１５５）

付録１　施工マニュアル
付録２　室内試験方法（案）
付録３　適用基準（案）
付録４　参考文献

1. 研究概要

1. 1 研究目的

本研究は、交通振動の軽減に資する舗装構造の開発を目的としており、主に舗装の表層・基層部分における工法の開発により、比較的工期が短く、かつ振動軽減効果の持続性の高い舗装を開発することを目的とする。

また、本報告では、これらの工法の選定に当たっての評価方法、適用範囲などについても示している。

1. 2 構成

本研究の構成を図-1.1 に示す。本研究では、まず予備実験として室内試験を行い、この結果をもとに試験施工を行い、振動軽減効果を検討した。試験施工では、荷重車による促進載荷試験も実施し、効果の持続性、耐久性についても調査した。また、現場施工を行う際に参考となるように、マニュアル（案）などを作成し、付録としてまとめた。

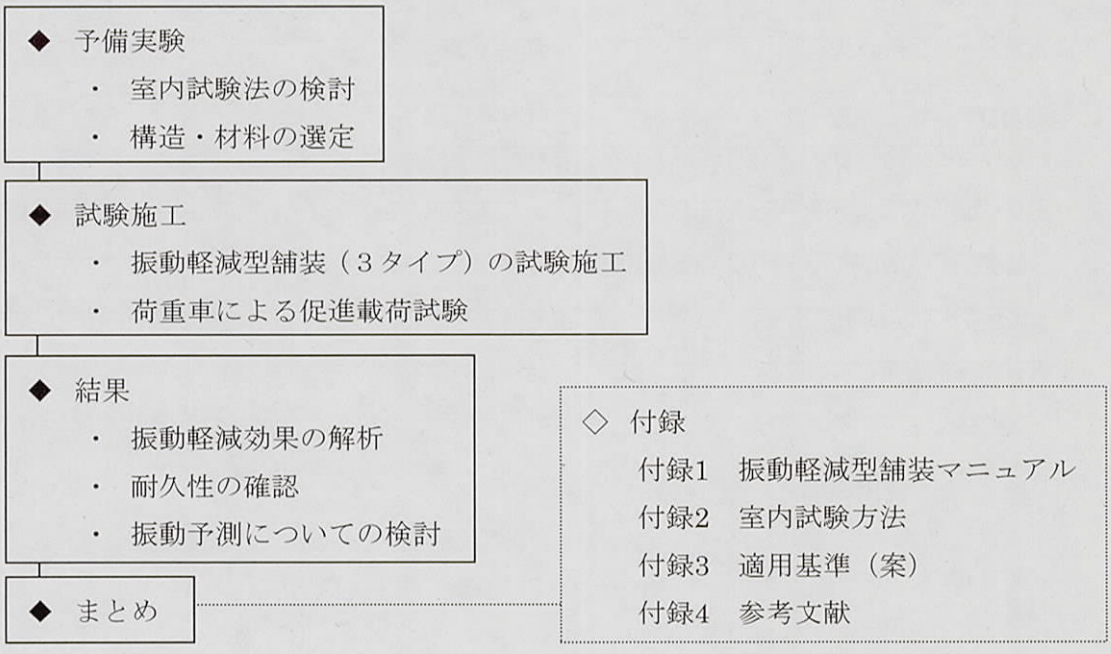


図-1.1 本研究の構成

2. 予備実験

本研究では、振動軽減に有効な新技術を採用した舗装を計３種類開発した。なお開発した舗装をそれぞれ振動軽減型舗装Ａ、Ｂ、Ｃとした。

各振動軽減型舗装の開発の前段階として、振動軽減型舗装の開発の経緯およびそれに伴う室内試験結果についてまとめた。

2．1　振動軽減型舗装A

2．1．1　概要

表基層対応の振動軽減型舗装を構築するためには、①路面における平たん性維持の長期確保と②振動減衰性能の大きい表基層材料の使用とその組み合わせ（構成）が不可欠と考える。

そこで、当該舗装断面を提案するにあたって、上記②に該当するような振動減衰性能の大きな表基層材料と表基層間に敷設して振動を抑制できるようなシートなどを把握するために、予備実験により各種材料の振動減衰特性や混合物性状の検討を行った。この予備実験では、表－2.1に示すような材料を検討の対象とし、当該材料の損失係数を振動減衰特性試験により測定した。検討した材料の制振効果は、測定された損失係数をもとにストレートアスファルトをバインダーとした密粒度アスファルト混合物（13）に対する振動低減量（dB）を推定して評価した。なお、上記①については、耐流動性など耐久性の高いアスファルト混合物を表層に用いることで対応することとした。

表-2.1　予備実験で検討した材料

検討材料	検討で変化させた要因	検討対象とした理由
密粒度アスファルト混合物(13)	アスファルトの種類	比較対象として検討
開粒度アスファルト混合物	骨材の最大粒径，空隙率	高空隙等による制振効果を期待
砕石マスチックアスファルト(SMA)	骨材の最大粒径，アスファルトの種類	主に表層用材料などとして使用することを踏まえて検討
エマルション注入開粒度アスファルト混合物	エマルションの種類，骨材の最大粒径	空隙に注入したエマルション分解後のアスファルトの制振効果を期待
ゴムチップ入り開粒度アスファルト混合物(5)	混入量	弾力性付与による制振効果を期待
ゴムチップ入りSMA(5)	混入量	弾力性付与による制振効果を期待
表基層間敷設用シート	種類(防水系，ゴム系，高強度系，粘弾性樹脂系)	制振効果のあるシートを把握するために検討

2．1．2　使用材料と配合

各種混合物に使用した材料と配合は表－2.2～表－2.4 のとおりである。なお、使用したエマルションは防水材として用いられているもので、高粘度のゴムAsタイプのもの(以下、エマルションA）と改質Asタイプ（以下、エマルションB）の２種類である。また、ゴムチップはアスファルトとの付着性がよい特殊ゴム（サイズは0～5mm）を１種類、シートは防水系のシート１種類、ゴム系のシート５種類、高強度系のシート３種類、粘弾性樹脂系のシート８種類を使用した。

表-2.2　混合物に使用した主な材料

材料名称	搬入業者	材　質
砕石5．6，7号	(株)オーリス	硬質砂岩
粗砂	丸俊建材(株)	川砂
石粉	奥多摩工業(株)	消石灰粉末
高粘度改質アスファルト	ブリヂストン(株)	セナファルト
ストレートアスファルト	日石三菱(株)	St.As60/80
改質Ⅱ型アスファルト	日本舗道(株)	ミラファルトⅡ
植物性繊維	三木産業(株)	アーボセル

表-2.3　実験に使用した混合物の配合

項目		密粒(13)		開粒(30)		開粒(20)			開粒(13)	開粒(5)	SMA(13)		SMA(5)
		A	B	A	B	A	B	C			A	B	
アスファルト種		St.As60/80	高粘度改質	高粘度改質アスファルト							高粘度改質	改質Ⅱ型	高粘度改質
骨材配合割合（%）	4号砕石	−	−	11.5	11.5	−	−	−	−	−	−	−	−
	5号砕石	−	−	35.0	35.0	40.0	40.0	40.0	−	−	−	−	−
	6号砕石	37.5	37.5	40.0	48.0	47.0	49.5	55.0	87.0	−	60.0	60.0	−
	7号砕石	17.0	17.0	−	−	−	−	−	−	87.0	12.5	12.5	60.0
	ｽｸﾘｰﾆﾝｸﾞｽ	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	11.0
	粗　砂	40.0	40.0	8.0	−	8.0	5.5	−	8.0	8.0	16.0	16.0	19.0
	石　粉	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	11.5	11.5	10.0
植物性繊維(外割，%)		−	−	−	−	−	−	−	−	−	0.3	0.3	0.3
アスファルト量(%)		5.5	5.5	4.2	3.6	4.5	4.3	3.9	4.7	5.2	6.6	6.6	7.0
骨材合成粒度（%）	53mm	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	37.5	−	−	100	100	−	−	−	−	−	−	−	−
	31.5	−	−	99.7	99.7	−	−	−	−	−	−	−	−
	26.5	−	−	98.6	98.6	100	100	100	−	−	−	−	−
	19.0	100	100	89.5	89.5	98.0	96.8	98.0	100	−	100	100	−
	13.2	97.5	97.5	64.3	64.0	72.3	72.2	72.0	96.7	−	97.7	97.7	100
	4.75	62.5	62.5	15.0	7.3	14.8	12.4	7.1	16.3	100.0	40.9	40.9	93.5
	2.36	42.5	42.5	12.4	5.5	11.9	9.8	5.0	11.9	11.9	26.9	26.9	36.7
	0.6	24.0	24.0	9.6	5.5	9.1	7.8	5.0	9.1	9.1	19.7	19.7	24.5
	0.3	15.5	15.5	7.6	5.5	7.1	6.5	5.0	7.1	7.1	15.7	15.7	18.2
	0.15	11.0	11.0	6.3	5.5	5.8	5.6	5.0	5.8	5.8	13.1	13.1	13.9
	0.075	6.0	6.0	5.6	5.3	5.1	4.5	4.8	4.6	4.6	11.6	11.6	11.7

（注）シートの検討は開粒(5)を用いて検討

表-2.4　実験に使用したゴムチップ入り混合物の配合

項目		SMA(5)		排水性(5)	
		GA	GB	GA	GB
アスファルト種		高粘度改質	高粘度改質	高粘度改質	高粘度改質
骨材配合割合(%)	4号砕石	−	−	−	−
	5号砕石	−	−	−	−
	6号砕石	−	−	−	−
	7号砕石	52.5	45.0	76.1	65.2
	ｽｸﾘｰﾆﾝｸﾞｽ	11.0	11.0	−	−
	粗　砂	19.0	19.0	8.0	8.0
	石　粉	10.0	10.0	5.0	5.0
	ゴム(0-5mm)	7.5	15.0	10.9	21.8
植物性繊維(外割，%)		0.3	0.3	−	−
アスファルト量(%)		7.0	7.0	5.2	5.2

（注）GAは7号の12.5%（重量比）をゴムチップで置換
GBは7号の25%（重量比）をゴムチップで置換

2．1．3　試験項目

各混合物に対して行った試験項目は表-2.5～表-2.8 のとおりである。なお、表中の網掛けした部分の混合物や試験項目は、2.1.4 で後述する最初に行った試験シリーズ１で試験を行ったものである。

シートを敷設した混合物の供試体においては、振動測定用の供試体、ホイールトラッキング試験用の供試体のどちらの場合でも、シートは供試体の厚さ中央に敷設した。その際、アスファルト混合物との接着が図れるように付着処理を施しているシートについてはそのまま敷設し、そうでないものについてはシートの両面にストレートアスファルトを塗布して敷設した。また、シートの熱に対する変形の有無は、その際目視観察により確認した。

表-2.5　各種混合物単体における試験項目

試験項目	密粒(13)		開粒(30)		開粒(20)			開粒(13)	開粒(5)	SMA (13)		SMA (5)
	A	B	A	B	A	B	C			A	B	
	St.As 60/80	高粘度改質	高粘度改質							高粘度改質	改質Ⅱ型	高粘度改質
	空隙率≒4%	空隙率≒4%	空隙率≒22%	空隙率＞22%	空隙率≒20%	空隙率≒22%	空隙率＞22%	空隙率≒20%	空隙率≒22%	空隙率≒3%	空隙率≒3%	空隙率≒3%
マーシャル安定度試験（舗装試験法便覧による）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ホイールトラッキング試験（舗装試験法便覧による）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
振動減衰特性試験（供試体10×50×5cm）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
振動減衰特性試験（供試体5×100×2.5cm）	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
振動減衰特性試験（供試体10×20×2.5cm）	○	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—

（注）網掛け部は3-4で述べている最初の試験シリーズ1で試験した混合物や試験項目

表-2.6　エマルションを空隙内に注入した開粒度アスファルト混合物における試験項目

試験項目	開粒(20)		開粒(13)		開粒(5)	
	エマルションA	エマルションB	エマルションA	エマルションB	エマルションA	エマルションB
マーシャル安定度試験（舗装試験法便覧による）	○	○	○	○	○	○
ホイールトラッキング試験（舗装試験法便覧による）	○	○	○	○	○	○
振動減衰特性試験（供試体10×50×5cm）	○	—	—	—	○	○

（注）網掛け部は3-4で述べている最初の試験シリーズ1で試験した混合物や試験項目

表-2.7　ゴムチップ入り混合物における試験項目

試験項目	SMA(5)		排水性(5)	
	GA	GB	GA	GB
	高粘度改質		高粘度改質	
			空隙率≒22%	
	ｺﾞﾑ12.5%	ｺﾞﾑ25%	ｺﾞﾑ12.5%	ｺﾞﾑ25%
マーシャル安定度試験（舗装試験法便覧による）	—	—	—	—
ホイールトラッキング試験（同上）	○	—	○	—
水浸ホイールトラッキング試験（同上）	○	—	—	—
振動減衰特性試験（供試体10×50×5cm）	○	○	○	○

表-2.8　シートを敷設した混合物における試験項目

試験項目	開粒(5) 高粘度改質 空隙率≒22%																
	防水	ゴム系					高強度系			粘弾性樹脂系							
	A	A	B	C	D	E	A	B	C	A	B	C	D	E	F	G	H
ホイールトラッキング試験（舗装試験法便覧による）	○	○	—	—	—	—	○	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—
振動減衰特性試験（供試体10×50×5cm）	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
振動減衰特性試験（供試体10×20×2.5cm）	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
熱による変形抵抗性（供試体作成時での目視観察）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

2．1．4　振動減衰特性の測定

(1)測定方法

現在、アスファルト混合物に対する振動減衰特性を測定する標準的な試験法はない。そこで、最初にエマルションを注入した開粒度アスファルト混合物に関する一連の検討（以下、試験シリーズ1）において、「JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法」で示されているような供試体を吊り下げて行う吊り下げ方式による方法や、機械構造物を対象とした実験モード解析の分野で通常用いられているタイヤチューブの上に供試体を載せて行う自由支持方式による方法を用いて、振動減衰特性の測定を行った。試験では、インパクトハンマーや動電加振器により供試体を加振させて周波数応答関数（加振力に対する振動応答量）を測定し、その結果から、固有振動数における損失係数を半値幅法や曲線適合（モード解析でモーダルパラメータを算出する方法）により算出した。試験温度は室温（20～25℃）とした。

この最初の試験シリーズ 1 では、曲げ振動で測定される固有振動数は供試体のサイズで変化するため、道路交通振動で問題となる 5～30Hz 程度の低周波数領域での損失係数が測定できるように、供試体のサイズを 2 通りに変えて 2 段階に分けて試験を行った。

すなわち、1 回目の測定は幅 10cm×厚さ 5cm×長さ 50cm の供試体を用いて、開粒(20)とエマルション A を注入した開粒(20)、密粒(13)の計 3 つの混合物に対して行った。なお、この大きさは、各種混合物の損失係数の違いが把握できるように、骨材の最大粒径が 13mm 以上の混合物でも締固め作成できるような厚さとこれに合わせた幅や長さを選定したものである。次に、2 回目の測定では、下式(1)で示される両端自由梁に対する無次元固有振動数αの算出式から、1 回目の試験で測定された固有振動数をもとに供試体の弾性係数を推定し、固有振動数 f が 20Hz 程度となるような供試体サイズを推定した。次に、その推定結果と供試体作成等の可能性をも考慮して、幅 5cm×厚さ 2.5cm×長さ 100cm の供試体サイズとした。この 2 回目の試験では、開粒(5)とエマルション A、B を注入した開粒(5)の 3 種類の混合物に対して行った。

それぞれの方法による測定状況を写真-2.1～写真-2.3 に示す。また、これら測定での加振位置および振動応答の測定位置は、図-2.1 および図-2.2 に示すとおりである。

$$\lambda_n^4 = \frac{\rho A \omega_n^2 \lambda^4}{EI} \qquad \cdots\cdots(1)$$

ここに，λ_n：無次元固有振動数（λ_1=4.730、λ_2=7.853、λ_3=10.996）

ρ：密度（kg/m^3）

A：断面積（＝幅×厚さ）（m^2）

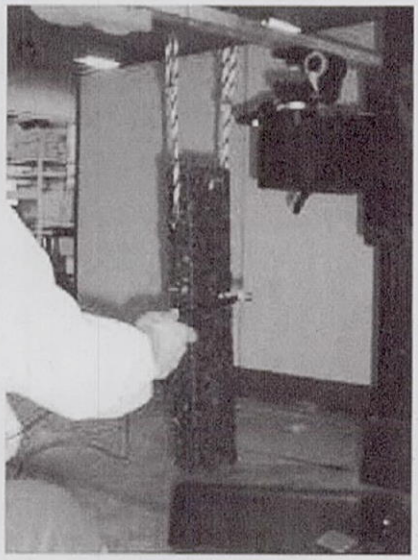
ω_n：固有円振動数（＝$2\pi f_n$）（rad/sec）

f_n：固有振動数（Hz）

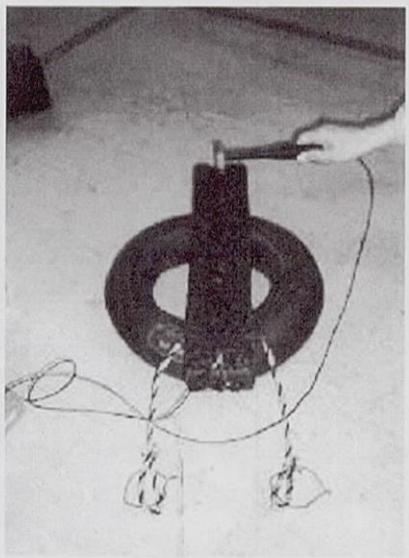
ℓ：長さ（m）

E：弾性係数（N/m^2）

I：断面二次モーメント（m^4）

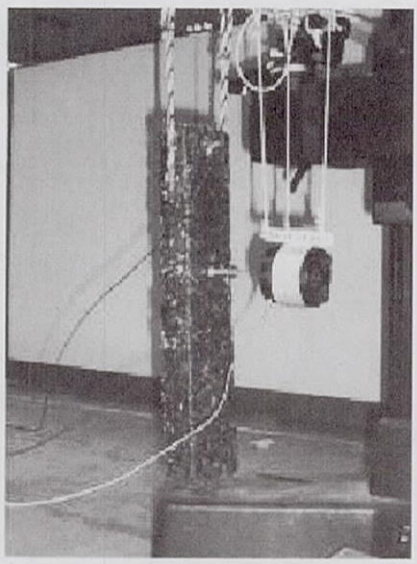


加振方法①

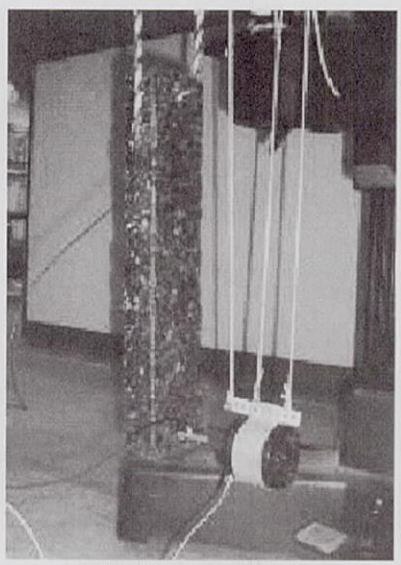


加振方法②

写真-2.1　インパクトハンマで加振した場合の測定状況



加振方法③　加振位置２



加振方法③　加振位置３

写真-2.2　供試体を吊り下げて動電型加振器により加振した場合の測定状況



供試体①～③の設置方法

写真-2.3　タイヤチューブに供試体（幅 5cm × 長さ 1m × 厚さ 2.5cm）を載せてインパクトハンマにより加振した場合の測定状況

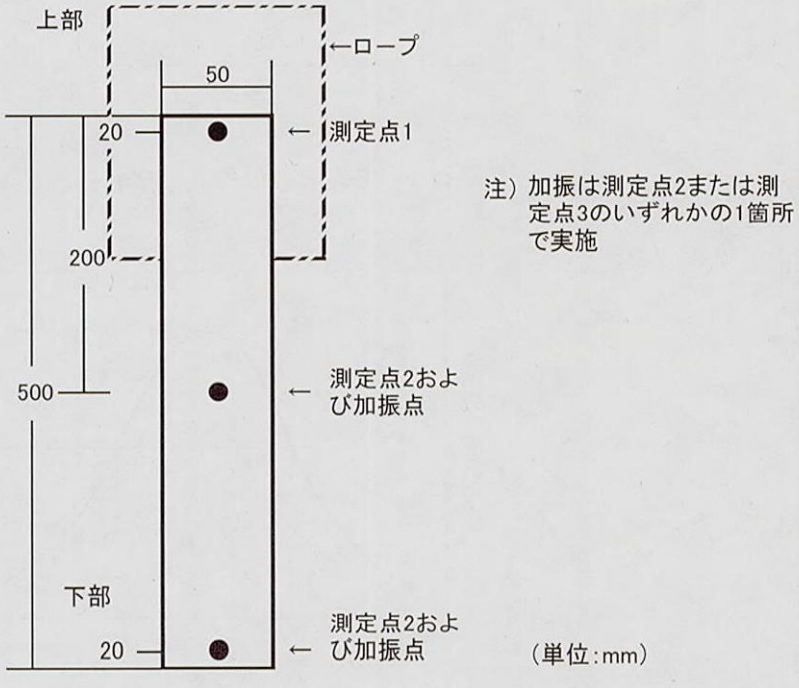


図-2.1　供試体を吊り下げて振動減衰を測定した場合の加振および振動応答の測定位置

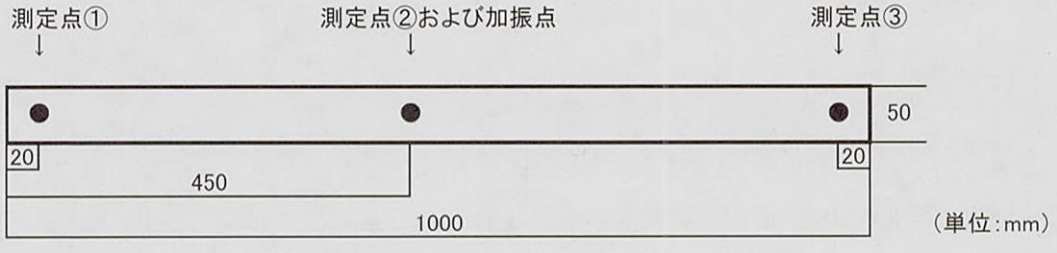


図-2.2　タイヤチューブの上に載せて振動減衰を測定した場合の加振および振動応答の測定位置

なお、半値幅法による損失係数の算出は、図-2.3 に示すような測定により得られる伝達関数の周波数応答関数から、任意の共振ピークにおいて図-2.4 に示すような i 次の共振周波数 f_i（固有振動数）と、伝達関数の絶対値が最大値より 3dB 下がった点での周波数 f_{i1}、f_{i2} を読みとり、次式(2)によって行った。一方、曲線適合による方法は、供試体の減衰が大きく、半値幅法で 3dB 下がった点での周波数が読みとれない場合において使用した。この方法では、実験モード解析ソフトを使用して、実測した伝達関数と測定した伝達関数が一致するような損失係数を算出した。

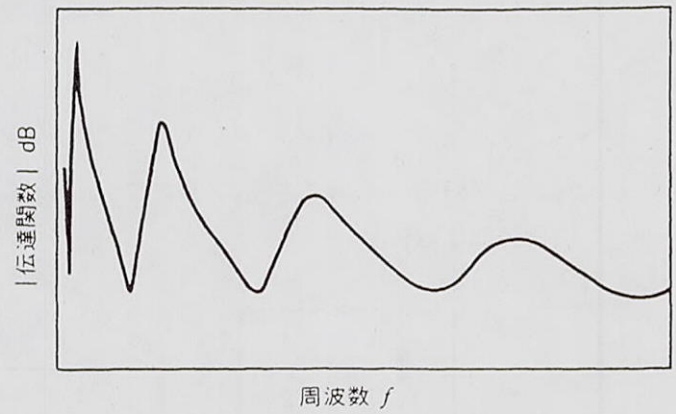


図-2.3　伝達関数の周波数応答曲線

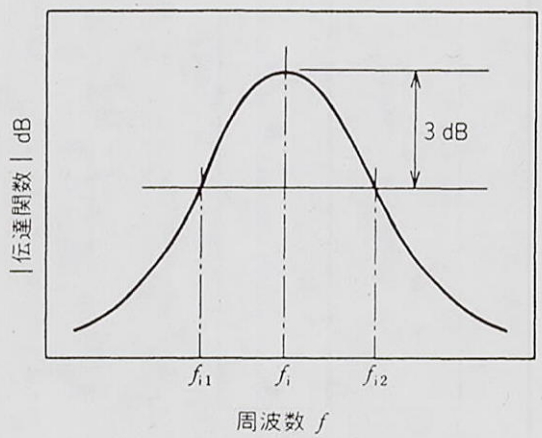


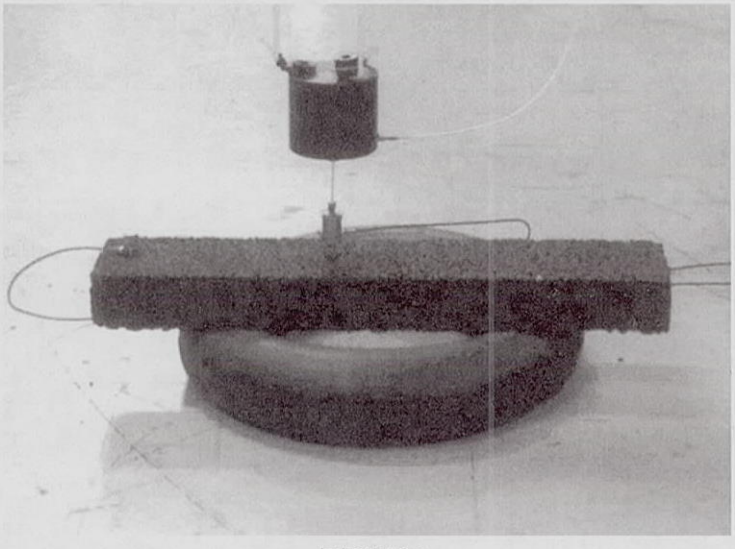
図-2.4　伝達関数における共振ピークの半値幅

$$\eta = \frac{f_{i2} - f_{i1}}{f_i} \qquad \cdots\cdots (2)$$

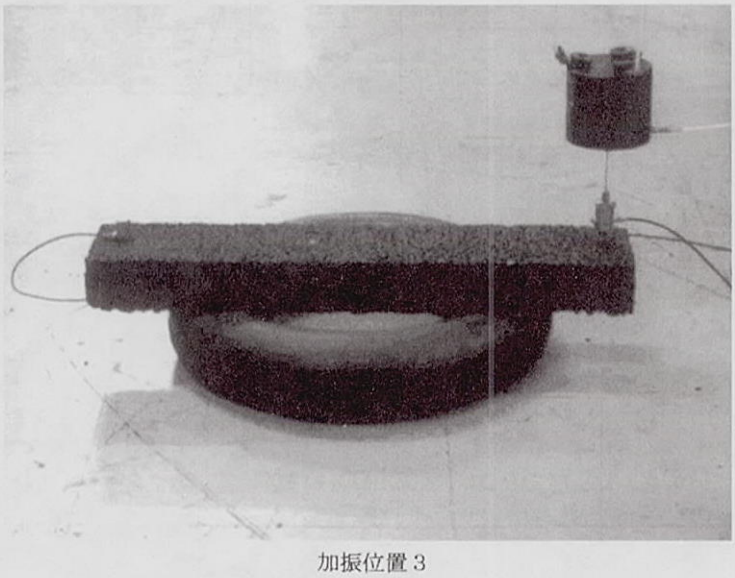
次に、エマルションを注入した開粒度アスファルト混合物に関する一連の検討以降（以下、試験シリーズ 2）では、最初の試験シリーズ 1 による測定状況や結果をみて、振動減衰特性の測定は、幅 10cm×厚さ 5cm×長さ 50cm の供試体を用いて、写真-2.4 に示すように、タイヤチューブの上に供試体を載せて行う自由支持方式による方法に統一して行った。

試験温度は最初の試験と同様に室温（20～25℃）とした。測定では、動電型加振器により供試体を加振させて、最初の試験シリーズ 1 と同様に周波数応答関数（加振力に対する振動応答量）を測定し、その結果から曲線適合による方法により損失係数を算出した。測定での加振位置および振動応答の測定位置は、図-2.5 に示すとおりである。

なお、供試体の大きさを上記のように選定した理由は、最初の試験シリーズ 1 において供試体の大きさにより固有振動数（共振周波数）が異なっても損失係数は大きな違いはみられなかったことや長さ 1m にわたる細長い供試体を作成したり試験するために持ち運ぶことは現実的に容易でないことなどを考慮したためである。また、測定方法をタイヤチューブの上に供試体を載せて行う自由支持方式による方法に選定した理由は、吊り下げ方式による方法では、測定している際に供試体の自重（5kg 前後）の影響により吊り下げ位置で供試体が破断してしまうような欠点が一部見られたためである。



加振位置 2



加振位置 3

写真-2.4　タイヤチューブに供試体(幅 10cm × 長さ 50cm × 厚さ 5cm)を載せた方法での測定状況

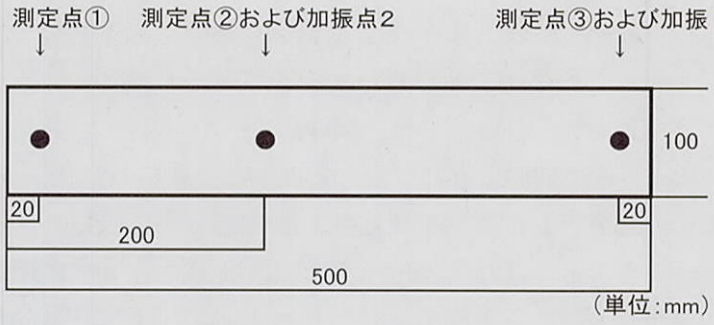


図-2.5 加振および振動応答の測定位置

また、シートを敷設した混合物の振動減衰特性の測定では、上述の幅 10cm×厚さ 5cm×長さ 50cm の供試体を用いて行う試験法より簡易に試験が行えるように、供試体の大きさを厚さ 2.5cm、幅 10cm、長さ 20cm とより小さな供試体を使用して、「JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法」で示されているような中央支持定常加振法による試験装置を用いる方法でも行った。測定は、図-2.6 や写真-2.5 に示すように、電磁加振器により供試体中央を加振させ周波数応答関数（加振力に対する振動応答量）を測定し、その結果から固有振動数における損失係数を半値幅法で算出した。試験温度は室温（23℃）とした。

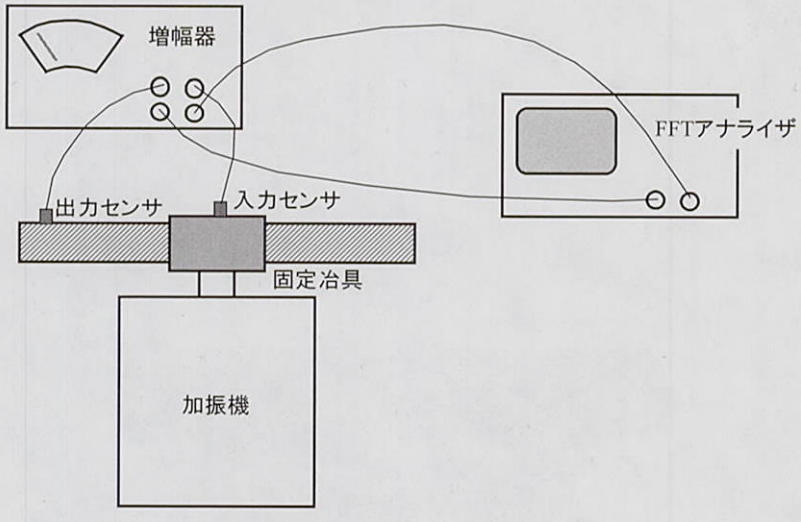


図-2.6 試験装置の概略図

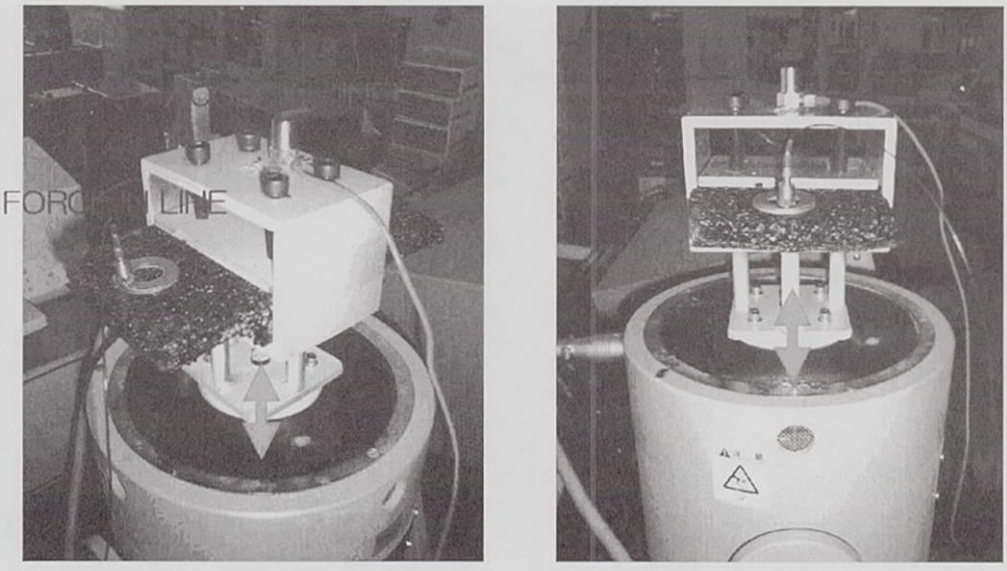


写真-2.5 試験装置と試験の状況

(2)制振効果の評価

構造体に制振材料を貼り付けるなどして制振処理を行った場合、その振動低減量ΔL(dB)は、制振処理前後の損失係数をη_0およびη_1とすると、共振状態のところでは次式（3）のようになる。しかし、実際にはランダムな加振を受ける場合が多く、その場合はランダム入力の応答問題として取り扱えば、振動低減量ΔL（dB）は次式(4)のようになるとされている。

$$\Delta L = 20\log\frac{\eta}{\eta_0}\sqrt{\frac{1+\eta_0^{\,2}}{1+\eta^{2}}} \qquad \cdots\cdots(3)$$

$$\Delta L = 10\log\frac{\eta}{\eta_0}\sqrt{\frac{1+\eta_0^{\,2}}{1+\eta^{2}}} \qquad \cdots\cdots(4)$$

そこで、試験した材料の制振効果は、両試験法ともにこの評価方法を利用して、ストレートアスファルトを使用した密粒度アスファルト混合物(13)に対してどれだけ振動低減を図れるかで評価することとした。すなわち、試験した材料の制振効果は、ランダムな加振を受ける場合での(4)式に基づき、次式(5)より測定された損失係数からストレートアスファルトを使用した密粒度アスファルト混合物(13)に対する振動低減量ΔL（dB）を推定することで評価した。

$$\Delta L = 10\log\frac{\eta}{\eta_0}\sqrt{\frac{1+\eta_0^{\,2}}{1+\eta^{2}}} \qquad \cdots\cdots(5)$$

ここに，ΔL：ストレートアスファルト使用の密粒度アスファルト混合物(13)に対する振動低減量（dB）

η　：試験した材料の損失係数

η_0：ストレートアスファルト使用の密粒度アスファルト混合物(13)の損失係数

2．1．5 試験結果

(1)試験シリーズ1

本シリーズでは、まず最初に写真-2.1に示したように、幅10cm×厚さ5cm×長さ50cmの供試体に対しては、インパクトハンマにより供試体を加振させて振動減衰特性の測定を行った。しかし、このインパクトハンマの加振による測定法では、加振する力などによって測定結果にばらつきなどがみられ正確な測定を行うにはかなりの時間を要すると判断された。このため、各混合物の振動減衰特性は、幅10cm×厚さ5cm×長さ50cmの供試体に対しては、写真-2.2で示したように、すべて動電型加振器により供試体を加振させて測定することにした。また、幅5cm×厚さ2.5cm×長さ100cmの供試体に対しては動電型加振器により供試体を加振させることは難しかったため、インパクトハンマによる加振方法で試験回数を増やして測定を行った。本シリーズで検討した各種混合物の混合物性状と振動減衰特性の測定結果を、表-2.9と図-2.7、表-2.10に示す。これらより、以下のことが確認できた。

① 開粒混合物は、20mmトップ（空隙率約21.9%）、5mmトップ（空隙率25.5%）ともに、密粒（13）よりも損失係数は大きく振動の減衰効果は大きい。これは、混合物内では振動は骨材同士を通じて伝搬していくと考えられるが、開粒混合物は振動を伝えていくこの骨材の接触の数が密粒(13)よりも少ないことが起因していると思われる。そのほかに、空隙の多さやアスファルト膜厚、バインダーの違いなどによる影響もあると考えられる。この場合の振動低減量は、表-2.9に示すように、前述した式(5)より、一次の振動モードにおける半値幅法で求めた開粒(20)の損失係数の値0.545と密粒（13）の損失係数0.374の値を用いて推定すると1.4dBである。

なお、動的安定度は、いずれも3000回／mm以上の値を示しており、それぞれ上記に示したような空隙率では耐流動性には問題ない結果となっている。

② エマルションBはDSを減少させるため混合物性状からみれば好ましくない結果となっているが、エマルションAはマーシャル安定度、DSとも標準のものと同程度の値であり、エマルションBと異なり混合物の性状を阻害することはない。しかし、どちらのエマルションの場合でも、エマルション注入による振動の減衰効果は見られない。これは、①で述べたように、開粒混合物自体の減衰効果が比較的大きいため、期待していたエマルション分解後のアスファルトによる制振効果がはっきりと現れなかったためと思われる。

③ 開粒混合物の測定結果をみると、トップサイズによる違いはあるものの、損失係数の値は固有振動数によってあまり変わらない。

④ 密粒(13)の測定結果をみると、半値幅法と曲線適合による損失係数はほぼ同じである。

以上のように、試験シリーズ 1 では、エマルションの注入による振動減衰効果はみられないこと、混合物により振動減衰特性は異なること、開粒混合物は振動減衰効果や耐流動性からみて振動軽減型舗装の舗装材料として適用が期待できることなどがわかった。そこで、試験シリーズ 2 では、さらに骨材のトップサイズや空隙率を変えて開粒混合物の当該効果を大きくすることができるかどうかを検討するとともに、表-2.1 に示したような混合物や材料、すなわち表層用材料として考えている SMA や、弾力性付与により制振効果を期待するゴムチップ入り混合物、振動抑制を期待できるようなシートについて振動減衰効果や混合物性状を検討することにした。

表-2.9 各種混合物における性状および振動減衰特性の測定結果(試験シリーズ 1)

試験項目		密粒(13)		開粒(20)			開粒(13)			開粒(5)		
		標準(A)		標準(B)	エマルションA	エマルションB	標準	エマルションA	エマルションB	標準	エマルションA	エマルションB
理論密度	(g/cm³)	2.465		2.525			2.517			2.483		
実際密度	(g/cm³)	2.373		1.974	1.967	1.989	1.952	1.950	1.947	1.851	1.899	1.909
空隙率	(%)	3.7		21.9	22.1	22.2	22.4	22.5	22.6	25.5	23.5	23.1
連続空隙率	(%)	—		17.5	17.9	17.6	18.1	18.0	18.4	18.3	18.9	18.6
安定度	(KN)	9.74		4.88	5.30	5.27	4.23	5.54	5.36	4.17	6.03	5.61
フロー値	(1/100cm)	29		33	66	72	29	69	88	39	38	53
損失係数	(吊り下げ法・半値幅法)	0.374	—-	0.545	0.461	—	—	—	—	—	—	—
	(吊り下げ法・曲線適合)	—	0.325	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(タイヤチューブ法・曲線適合)	—	—-	—	—	—	—	—	—	0.530	0.505	0.506
固有振動数	(Hz)	299	289	228	291	—	—	—	—	23.1	21.4	24.4
推定振動低減量(dB)	(密粒(13)半値幅法の値を基準)	0	0	1.4	0.8	—	—	—	—	—	—	—
	(密粒(13)曲線適合の値を基準)			—	—					1.8	1.6	1.6
動的安定度	(回/mm)	520		6200	10670	2210	7070	6310	1630	4200	3500	1080
推定充填率	(%)	—		—	76.6	72.8	—	67.1	53.1	—	18.0	18.4

(注)①標準はエマルションを注入していない通常タイプのもの

②損失係数の値は一次の振動モードにおける測定値の平均値

③推定充填率(%)はマーシャル供試体を用いて下式より計算

$$\frac{\text{推定注入エマルションの容積}\times 100}{\text{浸透後の推定連続空隙率の容積}} = \frac{(\text{注入後コア重量}-\text{注入前コア重量})\div\text{エマルション密度}\times 100}{\text{注入後コア容積}\times\text{注入前コア連続空隙率}}$$

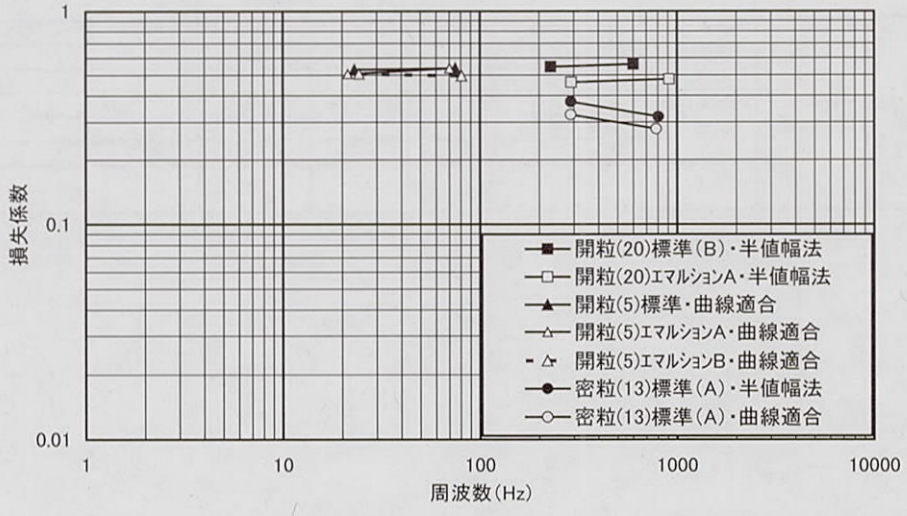


図-2.7 試験シリーズ 1 で検討した各混合物の損失係数と固有振動数との関係

表-2.10 各混合物における振動減衰特性の測定結果(試験シリーズ 1)

供試体		測定法	加振位置	振動応答点	一次			二次		
					固有振動数	損失係数		固有振動数	損失係数	
					(Hz)	半値幅法	曲線適合	(Hz)	半値幅法	曲線適合
密粒(13)	標準(B)	吊り下げ法(図-1参照)	測定点2	測定点1	282.5	0.296	—	812.5	0.282	—
				測定点2	310.0	0.430	—	852.5	0.408	—
				測定点3	300.0	0.350	—	775.0	0.260	—
			測定点3	測定点1	290.0	0.280	—	782.5	0.320	—
				測定点2	292.5	0.368	—	—	—	—
				測定点3	317.5	0.518	—	—	—	—
			平均		298.8	0.374	—	805.6	0.318	—
		吊り下げ法(図-1参照)	測定点2	測定点1	291.5	—	0.304	794.1	—	0.285
				測定点2	291.0	—	0.312	786.1	—	0.259
				測定点3	290.8	—	0.321	790.9	—	0.265
			測定点3	測定点1	283.3	—	0.337	781.9	—	0.287
				測定点2	282.3	—	0.346	779.9	—	0.264
				測定点3	296.1	—	0.326	774.3	—	0.308
			平均		289.2	—	0.325	784.5	—	0.278
開粒(20)	標準(B)	吊り下げ法(図-1参照)	測定点2	測定点1	220.0	0.478	—	642.5	—	—
				測定点2	250.0	0.666	—	697.5	0.560	—
				測定点3	230.0	0.488	—	570.0	—	—
			測定点3	測定点1	212.5	0.504	—	492.5	—	—
				測定点2	220.0	0.588	—	—	—	—
				測定点3	237.5	—	—	—	—	—
			平均		228.3	0.545	—	600.6	0.560	—
	エマルションA	吊り下げ法(図-1参照)	測定点2	測定点1	275.0	0.388	—	972.5	0.778	—
				測定点2	302.5	0.516	—	975.0	0.346	—
				測定点3	290.0	0.418	—	932.5	0.374	—
			測定点3	測定点1	280.0	0.396	—	842.5	0.366	—
				測定点2	287.5	0.406	—	817.5	0.394	—
				測定点3	310.0	0.642	—	932.5	0.606	—
			平均		290.8	0.461	—	912.1	0.477	—
開粒(5)	標準	タイヤチューブ法(図-2参照)	測定点2(一回目)	測定点1	22.9	—	0.442	75.5	—	0.638
				測定点2	23.6	—	0.482	76.3	—	0.515
				測定点3	22.2	—	0.554	75.4	—	0.427
			測定点2(二回目)	測定点1	23.9	—	0.476	77.3	—	0.675
				測定点2	24.1	—	0.579	77.7	—	0.541
				測定点3	22.1	—	0.643	69.0	—	0.426
			平均		23.1	—	0.530	75.2	—	0.537
	エマルションA	タイヤチューブ法(図-2参照)	測定点2(一回目)	測定点1	21.0	—	0.499	68.8	—	0.742
				測定点2	21.2	—	0.558	73.6	—	0.432
				測定点3	21.6	—	0.447	62.6	—	0.440
			測定点2(二回目)	測定点1	21.8	—	0.480	62.0	—	0.756
				測定点2	20.8	—	0.581	79.0	—	0.428
				測定点3	21.7	—	0.464	75.4	—	0.420
			平均		21.4	—	0.505	70.2	—	0.537
	エマルションB	タイヤチューブ法(図-2参照)	測定点2(一回目)	測定点1	23.7	—	0.478	88.6	—	0.529
				測定点2	24.4	—	0.495	—	—	—
				測定点3	24.0	—	0.586	70.5	—	0.477
			測定点2(二回目)	測定点1	24.8	—	0.421	86.3	—	0.596
				測定点2	25.5	—	0.482	81.5	—	0.430
				測定点3	23.8	—	0.575	77.4	—	0.440
			平均		24.4	—	0.506	80.9	—	0.495

(2)試験シリーズ 2

本シリーズでは、前述したように、試験シリーズ 1 での測定状況や結果をみて、動電型加振器により幅 10cm×長さ 50cm×厚さ 5cm の供試体を加振させて振動減衰特性の測定を行った。また、シートを敷設した混合物については、幅 5cm×長さ 20cm×厚さ 2.5cm の供試体を用いた方法でも振動減衰特性の測定を行った。

a)各種混合物単体に関する試験結果

1)振動減衰効果について

本シリーズで検討した各種混合物単体の混合物性状と振動減衰特性の測定結果を、表-2.11～2.13、図-2.8、図-2.9、に示す。なお、表-9 の密粒(13)A と開粒(20)B の測定値は、試験シリーズ 1 で測定した結果を示している。これらより、以下のことが確認できた。

① 混合物種では開粒混合物が密粒度混合物より損失係数は大きく、振動の減衰効果は大きい（高粘度改質アスファルトの場合の両混合物との比較による)。

② 骨材の最大粒径が同じ場合には、開粒混合物は小さな空隙率の方が損失係数は大きく、振動の減衰効果は大きい傾向にある（開粒(30)の A と B、開粒（20）の A と C の比較による)。

③ 開粒混合物において、骨材の最大粒径による損失係数の違いについては明確な傾向がみられない（開粒（30）の A、開粒(20)の B、開粒(13)、開粒(5)の比較による)。

④ バインダー種は損失係数の大小に影響しており、高粘度改質アスファルトの方がストレートアスファルトを使用した場合よりも損失係数は大きく、振動の減衰効果は大きくなる（密粒(13)の A と B の比較による)。ただし、高粘度改質アスファルトと改質Ⅱ型による損失係数の違いは、SMA での比較ではみられない（SMA(13)A と SMA(13)B の比較による)。

⑤ SMA(13)は開粒混合物より損失係数は小さい（高粘度改質の場合の比較による)。

⑥ 試験した混合物のなかでは、開粒(20)A が損失係数が最も大きく、この場合の振動低減量は、表-2.11 に示してあるように、前述した式(5)より、一次の振動モードにおける当該混合物の損失係数の値 0.751 と密粒（13）A の損失係数 0.325 の値を用いて推定すると 2.9dB である。また、排水性舗装などの表層に用いられている開粒(13)の損失係数は 0.632 であり、この場合当該振動低減量を同様に推定すると 2.4dB という結果となっている。

2)動的安定度 DS について

① 振動減衰の大きな開粒混合物は、高空隙であるほど DS は小さくなる。特に、開粒(20)の場合は顕著となる（開粒(30)の A と B、開粒（20）の B と C の比較による)。

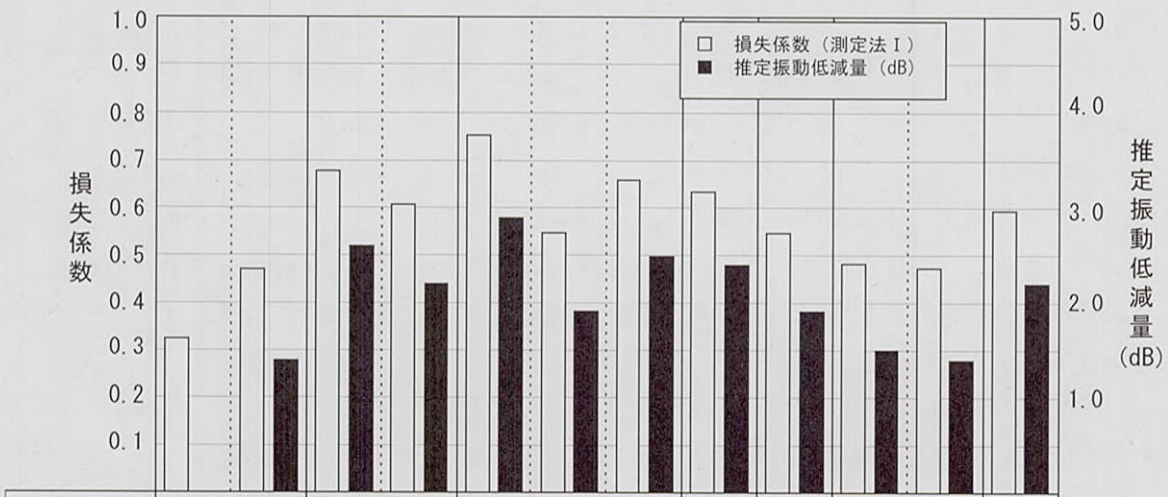
② 開粒混合物は、骨材の最大粒径の違いでみてみると当該粒径が小さな開粒(5)の DS が最も小さい結果となっている（開粒（30）の A、開粒(20)の B、開粒(13)、開粒(5)の比較による)。

③ SMA は、13mm トップでも 5mm トップでも他の混合物より DS は大きい（高粘度改質アスファルトでの比較による)。また、高粘度改質の方が改質Ⅱ型より DS は大きい。

表-2.11 各種混合物単体における性状および振動減衰特性の測定結果

試験項目	密粒(13)		開粒(30)		開粒(20)			開粒(13)	開粒(5)	SMA (13)		SMA (5)
	A	B	A	B	A	B	C			A	B	
アスファルト種	St.As 60/80	高粘度改質	高粘度改質アスファルト							高粘度改質	改質Ⅱ型	高粘度改質
理論密度 (g/cm^3)	2.465	2.474	2.527	2.557	2.516	2525	2.554	2.517	2.483	2.435	2.439	2.41
実際密度 (g/cm^3)	2.373	2.363	1.938	1.885	2.011	1.974	1.818	1.952	1.851	2.372	2.380	2.349
空隙率 (%)	4.3	4.5	23.3	26.3	20.1	21.9	28.8	22.4	25.5	2.6	2.4	2.5
連続空隙率 (%)	—	—	19.5	21.8	17.2	17.5	24.7	18.1	18.3	—	—	—
安定度 (KN)	9.74	34.29	5.82	4.28	6.62	4.88	2.58	4.23	4.17	18.47	11.37	10.5
フロー値 (1/100cm)	29	47	41	33	34	33	34	29	39	98	81	50
損失係数(測定法Ⅰ)	0.325	0.470	0.676	0.606	0.751	0.545	0.658	0.632	0.545	0.482	0.471	0.594
固有振動数 (Hz)	289	263	207	195	174	228	142	221	175	316	356	230
推定振動低減量(dB) (密粒(13)・Aを基準)	0	1.4	2.6	2.2	2.9	1.9	2.5	2.4	1.9	1.5	1.4	2.2
損失係数(測定法Ⅱ)	0.308	—	—	—	—	—	—	—	0.480	—	—	—
固有振動数 (Hz)	1078	—	—	—	—	—	—	—	688	—	—	—
推定振動低減量(dB) (密粒(13)・Aを基準)	0	—	—	—	—	—	—	—	1.7	—	—	—
動的安定度 (回/mm)	520	6170	5040	2760	7200	6200	1180	7070	4200	10000	3880	7680

注)①測定法Ⅰは幅10cm×長さ50cm×厚さ5cmの供試体を用いて測定した方法
②測定法Ⅱ幅10cm×長さ20cm×厚さ2.5cmまたは幅10cm×長さ25cm×厚さ2.5cmの供試体を用いて測定した方法
③損失係数の値はどちらの測定法でも一次の振動モードにおける測定値の平均値
④測定法Ⅰにおける損失係数の値は開粒(20)B以外は曲線適合による方法で求めた値．開粒(20)Bは半値幅法で求めた値
⑤測定法Ⅱにおける損失係数の値は半値幅法で求めた値
⑥密粒(13)Aと開粒(20)Bの測定値は試験シリーズ1(吊り下げ方式)で測定した結果



混合物	密粒(13)		開粒(30)		開粒(20)			開粒(13)	開粒(5)	SMA(13)		SMA(5)
	A	B	A	B	A	B	C			A	B	
アスファルト	StAs 60/80	高粘度改質	高粘度改質アスファルト							高粘度改質	改質Ⅱ型	高粘度改質
空隙率	4.3	4.5	23.3	26.3	20.1	21.9	28.8	22.4	25.5	2.6	2.4	2.5

図-2.8 各種混合物単体における振動減衰特性の測定結果

表-2.12 密粒および開粒混合物における振動減衰特性の測定結果

供試体		アスファルト	空隙率(%)	加振位置	振動応答点	一次		二次	
						固有振動数(Hz)	損失係数	固有振動数(Hz)	損失係数
密粒(13)	A	St.As 60/80	4.3	測定点2	測定点1	291.5	0.304	794.1	0.285
					測定点2	291.0	0.312	786.1	0.259
					測定点3	290.8	0.321	790.9	0.265
				測定点3	測定点1	283.3	0.337	781.9	0.287
					測定点2	282.3	0.346	779.9	0.264
					測定点3	296.1	0.326	774.3	0.308
				平均		289.2	0.325	784.5	0.278
	B	高粘度改質アスファルト	4.5	測定点2	測定点1	261.8	0.517	789.3	0.463
					測定点2	267.8	0.443	768.2	0.432
					測定点3	265.8	0.484	744.9	0.437
				測定点3	測定点1	258.6	0.462	726.2	0.455
					測定点2	260.9	0.453	717.8	0.447
					測定点3	264.8	0.462	763.6	0.466
				平均		263.300	0.470	751.700	0.450
開粒(30)	A	高粘度改質アスファルト	23.3	測定点2	測定点1	205.9	0.684	696.5	0.595
					測定点2	211.1	0.622	690.3	0.568
					測定点3	206.6	0.700	646.3	0.551
				測定点3	測定点1	205.4	0.694	658.5	0.57
					測定点2	204.0	0.717	647.7	0.587
					測定点3	210.4	0.638	—	—
				平均		207.2	0.676	667.9	0.574
	B		26.3	測定点2	測定点1	188.6	0.622	571.8	0.686
					測定点2	215.2	0.549	601.2	0.507
					測定点3	196.9	0.568	528.9	0.515
				測定点3	測定点1	187.4	0.686	505.5	0.417
					測定点2	190.3	0.639	523.5	0.416
					測定点3	193.1	0.569	—	—
				平均		195.3	0.606	546.2	0.508
開粒(20)	A	高粘度改質アスファルト	20.1	測定点2	測定点1	171.9	0.752	580.7	0.529
					測定点2	175.3	0.676	589.1	0.677
					測定点3	175.4	0.764	568.8	0.679
				測定点3	測定点1	172.0	0.776	563.0	0.607
					測定点2	171.8	0.799	576.6	0.59
					測定点3	175.4	0.739	603.8	0.662
				平均		173.6	0.751	580.3	0.624
	B		21.9	測定点2	測定点1	220.0	0.478	642.5	—
					測定点2	250.0	0.666	697.5	0.560
					測定点3	230.0	0.488	570.0	—
				測定点3	測定点1	212.5	0.504	492.5	—
					測定点2	220.0	0.588	—	—
					測定点3	237.5	—	—	—
				平均		228.3	0.545	600.6	0.560
	C		28.8	測定点2	測定点1	144.9	0.669	472.3	0.497
					測定点2	151.1	0.578	472.8	0.463
					測定点3	146.9	0.654	511.6	0.410
				測定点3	測定点1	135.2	0.683	392.9	0.440
					測定点2	135.0	0.712	396.9	0.518
					測定点3	138.6	0.653	458.1	0.599
				平均		142.0	0.658	450.8	0.488
開粒(13)		高粘度改質アスファルト	22.4	測定点2	測定点1	220.3	0.641	716.4	0.629
					測定点2	223.5	0.616	728.1	0.548
					測定点3	224.4	0.630	616.4	0.640
				測定点3	測定点1	222.1	0.634	639.9	0.777
					測定点2	215.9	0.650	749.2	0.594
					測定点3	221.9	0.621	734.4	0.599
				平均		221.4	0.632	697.4	0.631
開粒(5)		高粘度改質アスファルト	25.5	測定点2	測定点1	173.2	0.571	528.6	0.707
					測定点2	178.7	0.524	545.8	0.493
					測定点3	174.9	0.590	538.2	0.464
				測定点3	測定点1	172.0	0.553	498.3	0.527
					測定点2	173.1	0.522	503.4	0.517
					測定点3	174.9	0.510	506.5	0.663
				平均		174.5	0.545	520.1	0.562

(注)損失係数の値は開粒(20)B以外は曲線適合により求めた値．開粒(20)Bは半値幅法により求めた値

表-2.13 SMAにおける振動減衰特性の測定結果

供試体		アスファルト	空隙率(%)	加振位置	振動応答点	一次 固有振動数(Hz)	一次 損失係数	二次 固有振動数(Hz)	二次 損失係数
SMA(13)	A	高粘度改質アスファルト	2.6	測定点2	測定点1	322.2	0.444	960.9	0.418
					測定点2	327.6	0.474	940.5	0.398
					測定点3	310.7	0.524	876.5	0.438
				測定点3	測定点1	309.5	0.488	894.2	0.400
					測定点2	312.3	0.486	908.1	0.443
					測定点3	314.5	0.473	935.4	0.465
				平均		316.1	0.482	919.3	0.427
	B	改質Ⅱ型アスファルト	2.4	測定点2	測定点1	357.5	0.460	1060.0	0.423
					測定点2	354.8	0.471	1070.0	0.395
					測定点3	356.3	0.492	1070.0	0.339
				測定点3	測定点1	354.3	0.470	1060.0	0.369
					測定点2	355.6	0.467	1060.0	0.359
					測定点3	357.6	0.464	1060.0	0.394
				平均		356.0	0.471	1060.3	0.380
SMA(5)		高粘度改質アスファルト	2.5	測定点2	測定点1	229.3	0.588	729.0	0.606
					測定点2	233.2	0.580	720.4	0.521
					測定点3	227.5	0.630	708.6	0.479
				測定点3	測定点1	226.8	0.615	712.7	0.475
					測定点2	230.7	0.566	719.4	0.467
					測定点3	232.2	0.585	729.8	0.519
				平均		230.0	0.594	720.0	0.511

(注)損失係数の値は曲線適合により求めた値

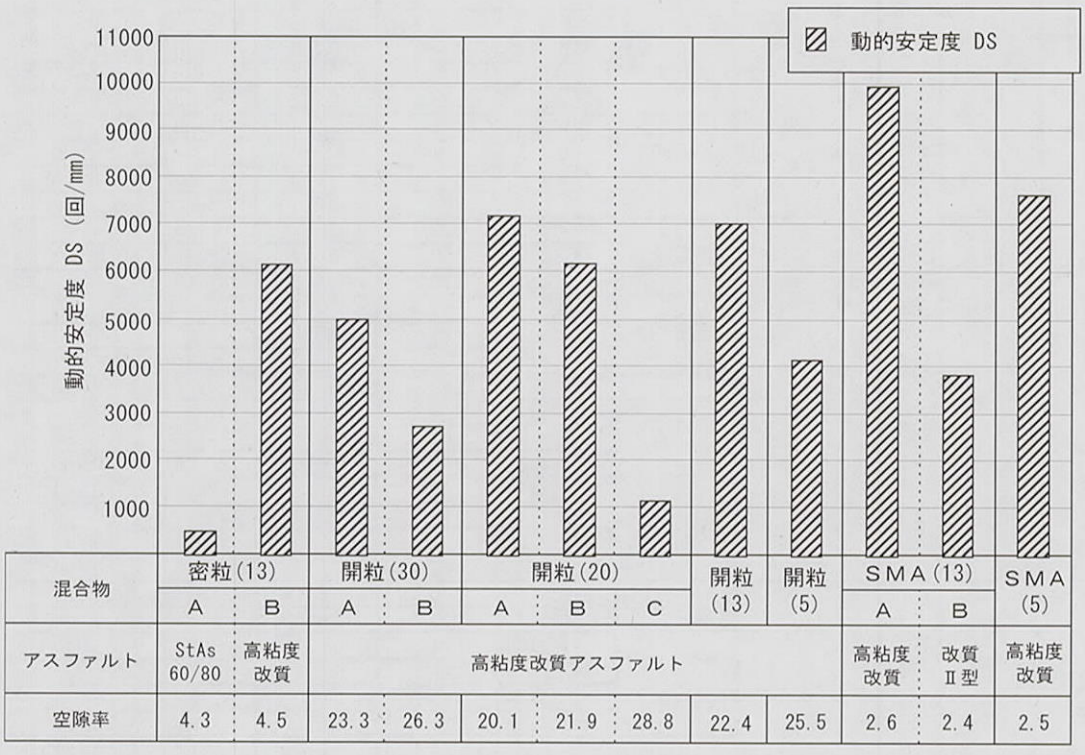


図-2.9 各種混合物単体における動的安定度DSの測定結果

b)ゴムチップ入り混合物に関する結果

ゴムチップ入り混合物の混合物性状と振動減衰の測定結果を、表-2.14、表-2.15、図-2.10、

図-2.11に示す。これらより、以下のことが確認できた。

1)振動減衰効果について

SMA、開粒混合物のどちらにおいてもゴムチップを混入することによる損失係数の増大はみられない。逆に、ゴムチップを多く混入するほど損失係数は小さくなり、振動を伝えやすい結果となる。これは、ゴムチップの混入により加振力に対する変形が大きくなり、これにより振動が逆に伝わりすくなってしまったためと推測される。

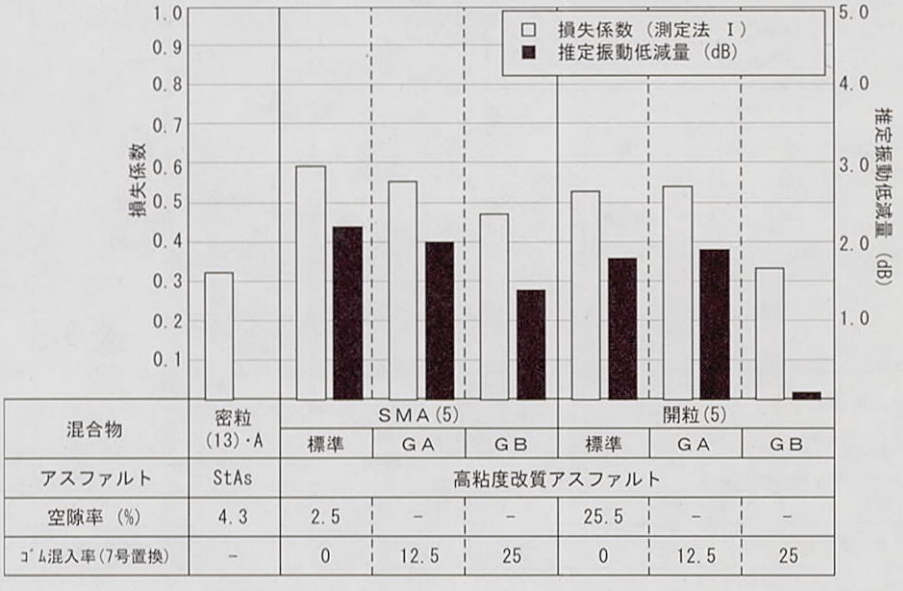
2)動的安定度DSについて

SMAの場合ではゴムチップ混入によるDSの影響はほとんどない。ただし、開粒(5)の場合は、ゴムチップ混入によりDSは大きく減少する。これは、開粒混合物の場合ではゴムチップの混入が締固めに大きく影響したことによるものと考える。

表-2.14 ゴムチップ入り混合物の性状および振動減衰特性の測定結果

試験項目	SMA (5)			開粒(5)		
	標準	GA	GB	標準	GA	GB
アスファルト種	高粘度改質アスファルト					
空隙率 (%)	2.5	—	—	25.5	—	—
ｺﾞﾑ混入率(7号置換)(%)	0	12.5	25	0	12.5	25
損失係数(測定法Ⅰ)	0.594	0.555	0.470	0.545	0.542	0.334
固有振動数 (Hz)	230	152	103	175	79	54
推定振動低減量(dB) (密粒(13)・Aを基準)	2.2	2.0	1.4	1.9	1.9	0.1
動的安定度(回/mm)	7680	5620	—	4200	1360	—
剥離率(水浸WT)(%)	—	0	—	—	—	—

注)①測定法Ⅰは幅10cm×長さ50cm×厚さ5cmの供試体を用いて測定した方法
②損失係数の値は一次の振動モードにおける曲線適合で求めた測定値の平均
③標準はゴムチップを入れていない通常タイプのもの



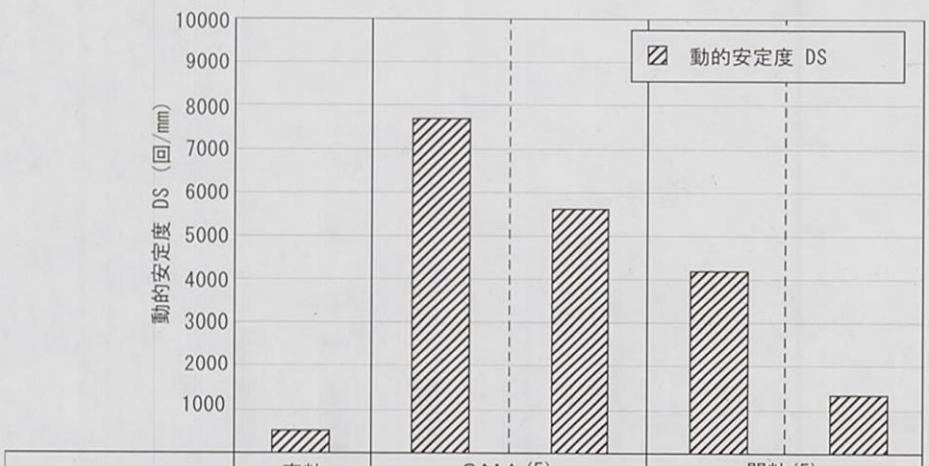
混合物	密粒(13)・A	SMA(5)			開粒(5)		
		標準	GA	GB	標準	GA	GB
アスファルト	StAs	高粘度改質アスファルト					
空隙率 (%)	4.3	2.5	-	-	25.5	-	-
ｺﾞﾑ混入率(7号置換)	-	0	12.5	25	0	12.5	25

図-2.10 ゴムチップ入り混合物における振動減衰特性の測定結果

表-2.15 ゴムチップ入り混合物における振動減衰特性の測定結果

供試体		アスファルト	ゴム混入率(7号置換)(%)	加振位置	振動応答点	一次		二次	
						固有振動数(Hz)	損失係数	固有振動数(Hz)	損失係数
SMA(5)	GA	高粘度改質アスファルト	12.5	測定点2	測定点1	150.4	0.569	494.3	0.517
					測定点2	154.5	0.529	488.7	0.467
					測定点3	151.7	0.570	493.2	0.446
				測定点3	測定点1	150.8	0.567	471.7	0.489
					測定点2	153.0	0.559	477.7	0.461
					測定点3	153.4	0.535	502.5	0.535
				平均		152.3	0.555	488	0.486
	GB		25.0	測定点2	測定点1	102.0	0.474	327.3	0.328
					測定点2	103.9	0.449	329.3	0.339
					測定点3	103.0	0.482	323.8	0.341
				測定点3	測定点1	102.2	0.477	315.2	0.408
					測定点2	102.3	0.479	316.2	0.407
					測定点3	103.3	0.456	326.9	0.398
				平均		102.8	0.470	323.1	0.370
開粒(5)	GA		12.5	測定点2	測定点1	79.0	0.54	252.6	0.573
					測定点2	81.2	0.507	255.0	0.442
					測定点3	78.9	0.553	233.3	0.419
				測定点3	測定点1	78.5	0.555	241.8	0.449
					測定点2	78.8	0.569	239.9	0.423
					測定点3	79.5	0.525	227.5	0.352
				平均		79.3	0.542	241.7	0.443
	GB		25.0	測定点2	測定点1	53.5	0.332	150.6	0.301
					測定点2	54.1	0.314	150.4	0.300
					測定点3	53.5	0.343	147.7	0.302
				測定点3	測定点1	53.7	0.341	149.5	0.257
					測定点2	53.8	0.346	145.0	0.257
					測定点3	54.1	0.325	152.3	0.242
				平均		53.8	0.334	149.3	0.277

(注)損失係数の値は曲線適合により求めた値



混合物	密粒(13)・A	SMA(5)		開粒(5)	
		標準	GA	標準	GA
アスファルト	StAs 60/80	高粘度改質アスファルト			
空隙率 (%)	4.3	2.5	-	25.5	-
ｺﾞﾑ混入率(7号置換)	-	0	12.5	0	12.5

図-2.11 ゴムチップ入り混合物における動的安定度 DS の測定結果

c)シートを敷設した混合物に関する結果

各種シートを敷設した混合物の混合物性状と振動減衰の測定結果を、表-2.16～2.18、図-2.12～2.15に示す。これらより、以下のことが確認できた。

1)振動減衰効果について

① 防水系のシートは、シートを敷設しない場合と比べ損失係数の値は大きくなっていない。これより、試験した防水系のシートは振動を低減する効果はない。

② ゴム系のシートは、シートを敷設しない場合と比べ損失係数の値は大きくなっている。なかでも、シートBがとりわけ大きく、測定法Iの結果では、シートBの使用により損失係数の値は0.317増大している。また、この場合、振動低減量は1.3dB増すという推定結果となっている。なお、このゴムシートBを用いた場合が、試験したなかでは最も大きな振動低減効果を示している。

③ 高強度系のシートは、ゴム系のシートと同様に、シートを敷設しない場合と比べ損失係数の値は大きくなっている。なかでも、シートAがとりわけ大きく、測定法Iの結果では、シートの使用により損失係数の値は0.114増大している。また、この場合、振動低減量は0.6dB増すという推定結果となっている。

③ 粘弾性樹脂系のシートは、シートA～Fについては、シートを敷設しない場合と比べ損失係数の値は大きくなっている。そのなかでも、シートBがとりわけ大きく、シートBの使用により損失係数の値は0.135増大する結果となる。また、この場合、振動低減量は0.8dB増すという推定結果となっている。

なお、このシートBの振動減衰効果は、密粒（13）Aを基準として比較してみると、その推定低減量は2.5dBとなっており、高強度系のシートAの場合と同じ結果となっている。

2)熱に対する変形抵抗性について

① 振動減衰の効果がみられたゴム系のシートは、シートBを含め、供試体作成時の熱により膨脹する現象がみられた。このため、ゴム系のシートは、施工の観点からみると、このままでは舗装へ適用することはできないものと判断される。

② 一方、振動減衰効果のみられた他の高強度系のシートAや粘弾性樹脂系のシートは、熱によって問題となるような変形は生じなかった。ただし、粘弾性樹脂系のシートは、アスファルト混合物との付着を図れるように両面にアスファルトを含浸させた不織布を貼り付けたタイプであるが、これにより施工時におけるダンプ等のタイヤとその含浸アスファルトとが付着してシートが巻き上げあげられることが懸念される。一方、高強度系のシートAは、特殊樹脂コーティングや裏面接着剤などによりアスファルト混合物と一体化するように図ったタイプのものである。このため、高強度系のシートAは、こうした施工時における問題は試験した粘弾性樹脂系のシートと比べると少ないと言える。

3)動的安定度について

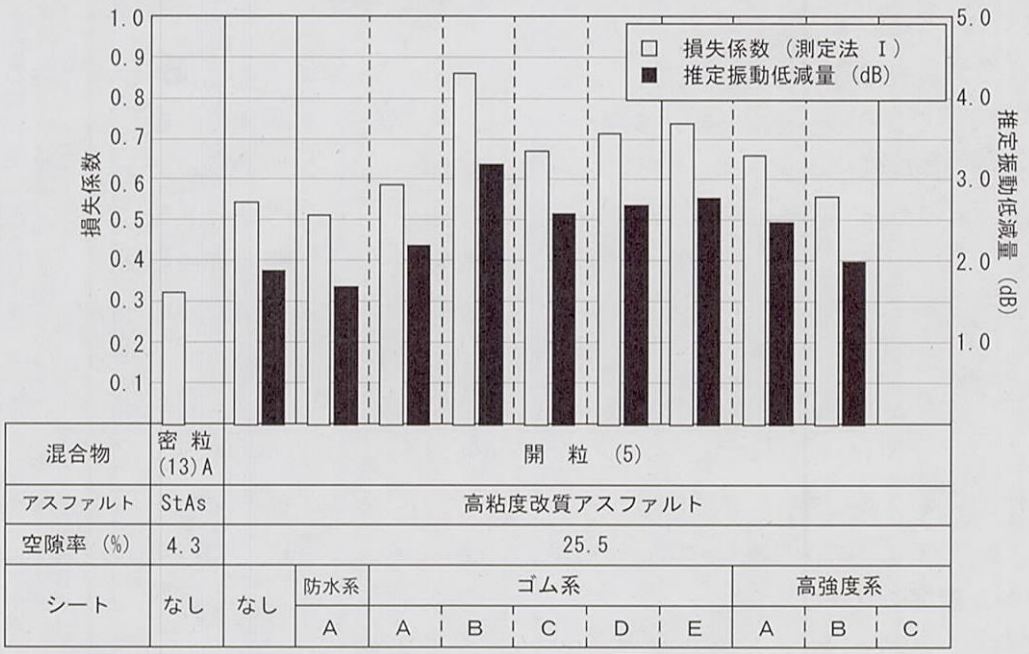
① 振動減衰効果があり熱にも問題ないと判断される高強度系のシートAは、シートを敷設しない場合と比べDSの値は若干小さいものの同程度の値を示している。このため、シートを敷設することで、ゴム系のシートAの場合にみられるようなDSに悪い影響を及ぼすことはない。

なお、ゴム系のシートAが、混合物のなかに挿入することでDSの値が著しく低下する結果となったのは、当該シートでは、上下の混合物との付着が不完全なため、シート上で混合物がずれることで過大な変形が生じたためと推測される。

表-2.16 シートを敷設した混合物の性状と振動減衰特性の測定結果(防水系,ゴム系,高強度系)

試験項目	密粒(13)A	開粒(5)									
アスファルト種	St.As 60/80	高粘度改質アスファルト									
空隙率 (%)	4.3	25.5									
シート	なし	なし	防水系	ゴム系					高強度系		
			A	A	B	C	D	E	A	B	C
損失係数(測定法Ⅰ)	0.325	0.545	0.516	0.591	0.862	0.672	0.716	0.741	0.659	0.559	—
固有振動数 (Hz)	289	175	178	163	190	161	156	123	202	215	—
推定振動低減量(dB) (密粒(13)-Aを基準)	0	1.9	1.7	2.2	3.2	2.6	2.7	2.8	2.5	2.0	—
損失係数(測定法Ⅱ)	0.308	0.480	—	—	0.995	0.558	0.537	0.708	0.597	0.530	0.593
固有振動数 (Hz)	1078	688	—	—	574	460	395	415	815	703	800
推定振動低減量(dB) (密粒(13)-Aを基準)	0	1.7	—	—	3.8	2.2	2.1	2.9	2.5	2.0	2.4
動的安定度(回/mm)	520	4200	2980	130	—	—	—	—	3900	—	4400
熱に対する変形抵抗性	—	—	○	×	×	×	×	×	○	×	×

注)①測定法Ⅰは幅10cm×長さ50cm×厚さ5cmの供試体を用いて測定した方法
②測定法Ⅱは幅10cm×長さ20cm×厚さ2.5cmの供試体を用いて測定した方法
③測定法Ⅰにおける損失係数の値は一次の振動モードにおける曲線適合で求めた測定値の平均値
④測定法Ⅱにおける損失係数の値は一次の振動モードにおける半値幅法で求めた測定値
⑤熱に対する変形抵抗性の評価は供試体作成時の熱でシートが膨張・収縮した場合を×，特に問題ない場合を○としている.



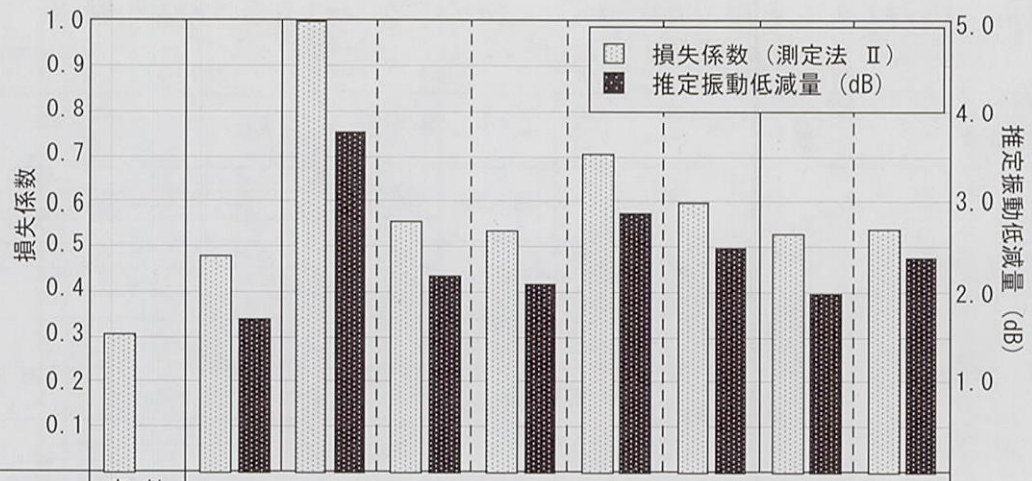
(注) 高強度系シートは測定法Ⅰでは未実施

図-2.12 測定法Ⅰによるシートを敷設した混合物の振動減衰特性の測定結果(防水系、ゴム系、高強度系)

表-2.17 測定法Ⅰによるシートを敷設した混合物の振動減衰特性の測定結果
（防水系、ゴム系、高強度系）

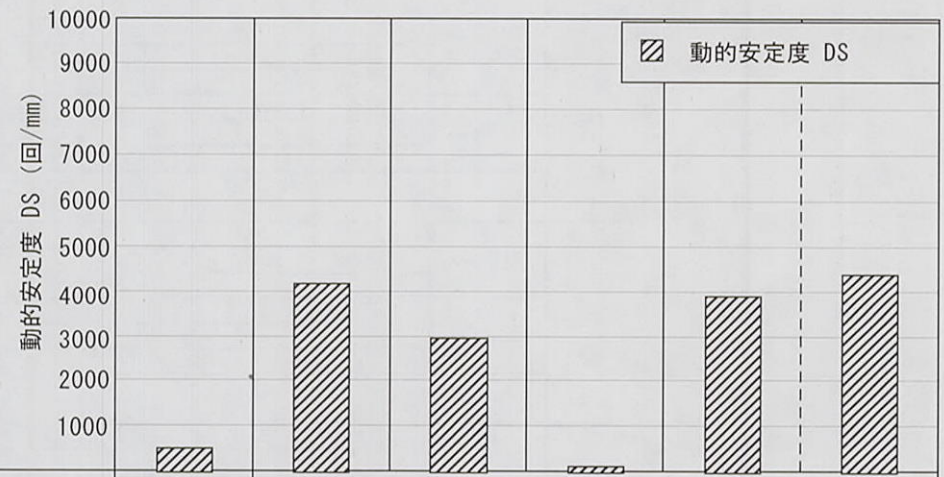
供試体					加振位置	振動応答点	一次		二次	
混合物種	アスファルト	空隙率（%）	シート				固有振動数（Hz）	損失係数	固有振動数（Hz）	損失係数
開粒(5)	高粘度改質アスファルト	25.5	防水系	A	測定点2	測定点1	179.3	0.509	486.5	0.590
						測定点2	180.6	0.495	489.9	0.476
						測定点3	179.4	0.530	480.9	0.409
					測定点3	測定点1	175.7	0.501	492.8	0.448
						測定点2	175.2	0.549	476.2	0.513
						測定点3	177.4	0.514	468.7	0.581
					平均		177.9	0.516	482.5	0.503
			ゴム系	A	測定点2	測定点1	162.8	0.580	438.2	0.590
						測定点2	167.2	0.535	446.3	0.440
						測定点3	163.0	0.613	409.9	0.496
					測定点3	測定点1	159.2	0.627	430.6	0.588
						測定点2	159.6	0.636	415.4	0.624
						測定点3	163.9	0.553	411.3	0.761
					平均		162.6	0.591	425.3	0.583
				B	測定点2	測定点1	138.4	0.856	348.3	0.756
						測定点2	141.8	0.765	379.8	0.496
						測定点3	138.7	0.906	—	—
					測定点3	測定点1	139.3	0.896	—	—
						測定点2	136.3	0.932	—	—
						測定点3	144.5	0.818	—	—
					平均		139.8	0.862	364.1	0.626
				C	測定点2	測定点1	160.2	0.767	369.8	0.781
						測定点2	162.3	0.576	370.6	0.613
						測定点3	160.8	0.657	385.8	0.505
					測定点3	測定点1	158.8	0.694	425.8	0.503
						測定点2	155.9	0.754	427.4	0.497
						測定点3	164.7	0.583	443.4	0.49
					平均		160.5	0.672	403.8	0.565
				D	測定点2	測定点1	155.9	0.728	436.8	0.659
						測定点2	163.7	0.668	447.4	0.714
						測定点3	157.6	0.738	411.0	0.528
					測定点3	測定点1	156.0	0.709	439.6	0.423
						測定点2	156.5	0.72	432.7	0.405
						測定点3	147.8	0.731	408.5	0.54
					平均		156.3	0.716	429.3	0.545
				E	測定点2	測定点1	120.6	0.725	389.3	0.717
						測定点2	124.7	0.634	414.1	0.618
						測定点3	121.1	0.836	375.4	0.643
					測定点3	測定点1	125.9	0.813	—	—
						測定点2	122.9	0.731	393.2	0.963
						測定点3	124.8	0.708	346.2	0.667
					平均		123.3	0.741	383.6	0.722
			高強度系	A	測定点2	測定点1	192.0	0.762	634.4	0.694
						測定点2	204.3	0.566	637.5	0.595
						測定点3	200.3	0.643	661.4	0.354
					測定点3	測定点1	204.7	0.659	586.1	0.472
						測定点2	205.7	0.669	622.4	0.430
						測定点3	205.0	0.657	—	—
					平均		202.0	0.659	628.4	0.509
				B	測定点2	測定点1	207.8	0.551	622.0	0.569
						測定点2	211.5	0.514	607.2	0.528
						測定点3	212.4	0.585	616.4	0.582
					測定点3	測定点1	211.4	0.599	594.3	0.484
						測定点2	217.6	0.581	597.6	0.475
						測定点3	228.7	0.522	615.2	0.541
					平均		214.9	0.559	608.8	0.530

（注）損失係数の値は曲線適合により求めた値



混合物	密 粒 (13)A	排 水 性 (5)						
バインダー	StAs	高粘度改質アスファルト						
空隙率 (%)	4.3	25.5						
シート	なし	なし	ゴム系				高強度系		
			B	C	D	E	A	B	C

図-2.13 測定法Ⅱによるシートを敷設した混合物の振動減衰特性の測定結果(ゴム系、高強度系)



混合物	密 粒 (13)A	開 粒 (5)				
アスファルト	StAs60/80	高粘度改質アスファルト				
空隙率 (%)	4.3	25.5				
シート	なし	なし	防水系	ゴム系	高強度系	
			A	A	A	C

図-2.14 シートを敷設した混合物の動的安定度 DS の測定結果(ゴム系、高強度系)

表-2.18 シートを敷設した混合物の性状および振動減衰特性の測定結果(粘弾性樹脂シート)

試験項目	密粒(13)A	開粒(5)							
アスファルト種	St.As 60/80	高粘度改質アスファルト							
空隙率 (%)	4.3	25.5							
シート	なし	なし	粘弾性樹脂系						
			A	B	C	D	E	F	G	H
損失係数(測定法Ⅱ)	0.308	0.480	0.543	0.615	0.524	0.524	0.558	0.531	0.451	0.297
固有振動数 (Hz)	1078	688	488	450	558	623	490	460	468	288
推定振動低減量(dB) (密粒(13)・Aを基準)	0	1.7	2.1	2.5	2.0	2.0	2.2	2.0	1.5	-0.1
動的安定度(回/mm)	520	4200	—	—	—	—	—	—	—	—
熱に対する変形抵抗性	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○

注)①測定法Ⅱは幅10cm×長さ20cm×厚さ2.5cmの供試体を用いて測定した方法
②損失係数の値は一次の振動モードにおける半値幅法で求めた測定値
③熱に対する変形抵抗性の評価は供試体作成時の熱でシートが膨張・収縮した場合を×，特に問題ない場合を○とし

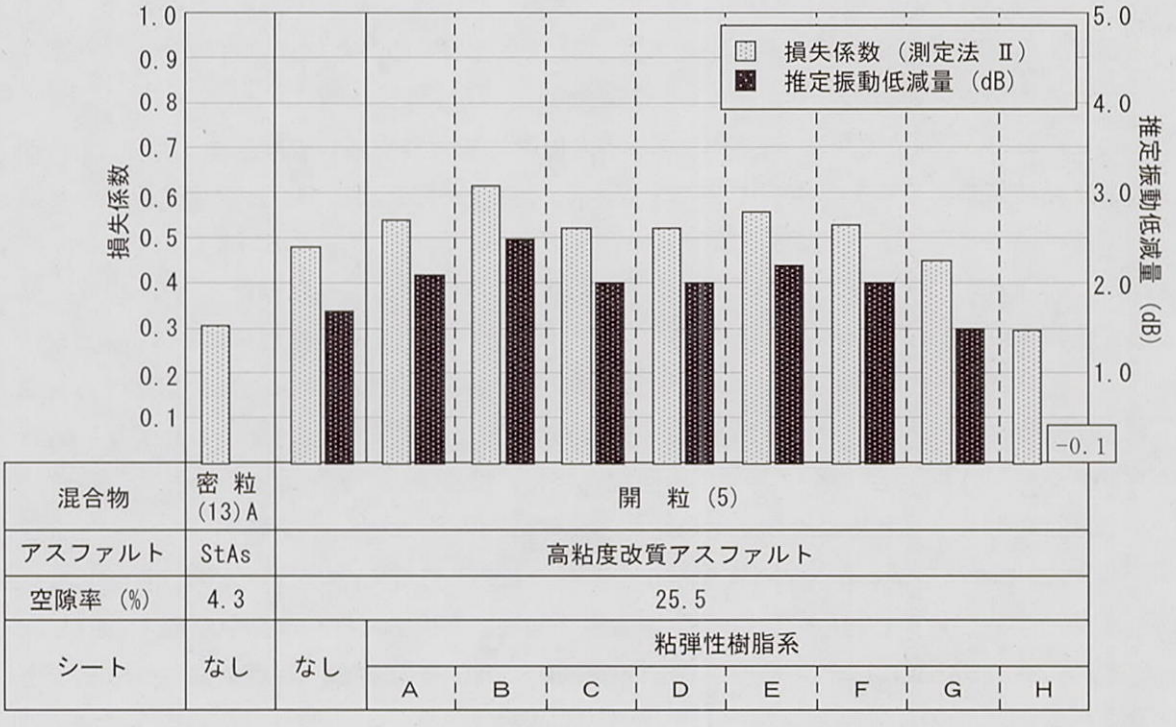


図-2.15 測定法Ⅱによるシートを敷設した混合物の振動減衰特性の測定結果(ゴム系、高強度系)

2．1．6 試験施工で提案する舗装断面

表基層材料で振動軽減を図るためには、冒頭で述べたように、a)路面における平たん性維持の長期確保と b)振動減衰効果の大きい材料の使用とその組み合わせ（層構成）が不可欠と考える。こうした考え方のもとで、各種材料の振動減衰特性や混合物性状を検討してきた予備実験の結果を総括的にまとめると、下記のようなことが言える。

① 混合物としては開粒混合物が振動減衰効果が大きく、なかでも開粒（20）A（空隙率≒20%）が最も大きく、次いで開粒(13)（空隙率≒22%）が大きい。また、それらの DS は、開粒（20）A では 7200 回/mm、開粒(13)では 7070 回/mm の値を示しており、十分な耐流動性を有しているものと判断される。

② 高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（13）や SMA（5）は、ストレートアスファルトを使用した密粒（13）よりは振動減衰効果はある。また、DS はどちらも 6000 回／mm 以上と非常に大きな値を示していることから、長期にわたり平たん性を維持することが期待できる。なお、排水性舗装などの表層に用いられている開粒(13)についても、DS は上記①で述べたように十分高い値を示しており、適用箇所によっては骨材飛散による平たん性低下の懸念はあるものの、長期にわたる平たん性の確保をも期待できるものといえる。

③ 高強度系のシート A（ガラスグリッド）は混合物の中に敷設することで、振動を減衰させることができる。また他のシートで懸念されるような熱変形や施工上の問題は少なく、DS に悪影響を及ぼすこともない。ただし、当該シートは、施工上敷設する基盤面に釘で固定する必要がある。このため、その基盤面となる下層の混合物は釘を固定できるようなものである必要がある（当該混合物としては開粒混合物は不適）。

したがって、以上のことから、表基層対応の振動軽減型舗装としては、まず図-2. 16 に示すような舗装断面Ⅰを提案することにした。すなわち，a)の路面における平坦性維持の長期確保については、表層に高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（13）を 4cm 設けることで対応する。また、b)の振動軽減の対策については、基層に空隙率 20%程度の開粒混合物（20）を 7.5cm と高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（5）を 2.5cm 設け、その上に高強度系のシート A（ガラスグリッド）を全面敷設することで対応する。なお、高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（5）の層は、上述したように高強度系のシート A （ガラスグリッド）を開粒混合物には直接釘で固定できないため、当該シートを固定するするために設けるものである。

次に、図-2. 17 に示すような舗装断面Ⅱも提案することにした。すなわち、舗装断面Ⅱは、高強度系のシート A（ガラスグリッド）を含めた基層以下の構成材料は舗装断面Ⅰと同じにして、表層に SMA(13)よりもさらに振動減衰性能の高い空隙率 20%程度の開粒(13)を 5cm 設けることで、b)の振動軽減対策をより強化しようという考え方に立つものである。ただし、基層に用いる開粒混合物（20）の厚さは表層の厚さを 1cm 厚くすることから、その分 1cm 薄くして 6.5cm とする。また、a)の路面における平坦性維持の長期確保については、適用箇所によって懸念される骨材飛散の面からみれば SMA(13)よりはやや劣るものと予想されるが、開粒(13)は上述したように十分な耐流動性を有していることから通常の密粒度アスファルト混合物よりは良好であると考える。なお、表層に開粒(13)を用いる舗装断面Ⅱの場合

では、当該混合物とその下のガラスグリッドおよび基層面（SMA(5)）との付着が懸念されるので、ガラスグリッドを敷設した面にはタックコートを施すようにするものとする。

以上のように提案した舗装断面について、その振動軽減効果や耐久性を確認することにする。

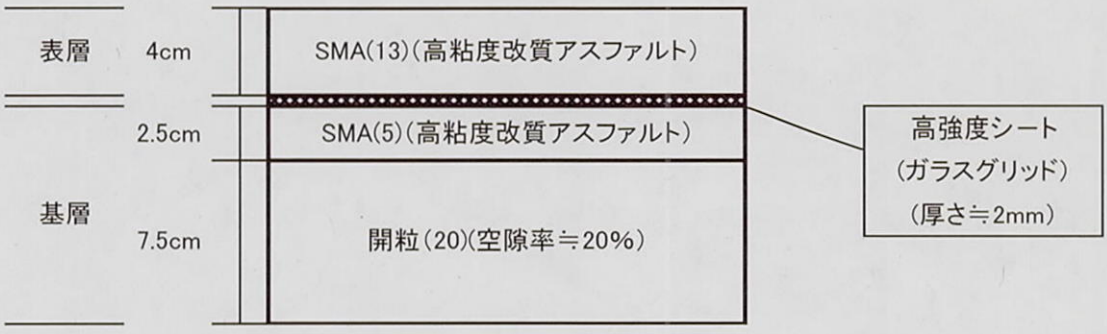


図-2.16 提案する舗装断面Ⅰ（振動軽減型舗装A(type1)）

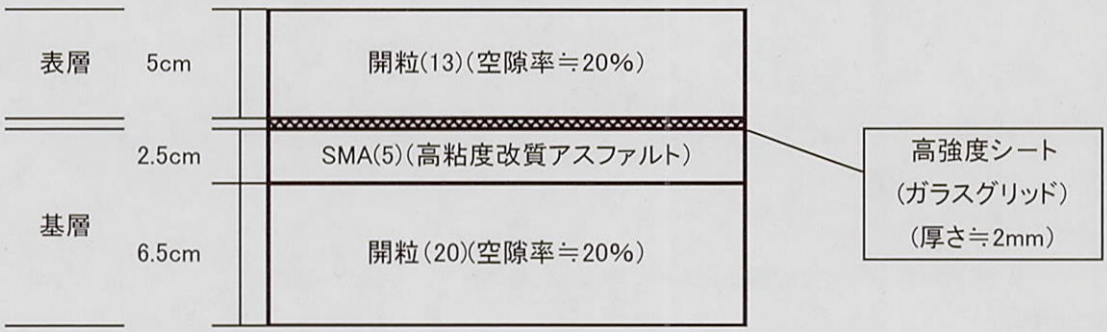


図-2.17 提案する舗装断面Ⅱ（振動軽減型舗装A(type2)）

2. 2 振動軽減型舗装 B

2. 2. 1 振動軽減に関する現状把握

(1)国土交通省振動レベル予測式

国土交通省では以下に示すように道路交通による振動を予測するものとしている。*)

$$L_{10}=a\log_{10}(\log_{10}Q)+b\log_{10}V+c\log_{10}M+d+\alpha_0+\alpha_r+\alpha_s-\alpha_l \quad \cdots\cdots(6)$$

L_{10}	:振動レベルの予測値
Q	:交通量
V	:平均走行速度
M	:車線数
α_0	:平坦性による補正値(dB)
α_r	:地盤卓越振動数による補正値(dB)
α_s	:道路構造による補正値(dB)
α_l	:距離減衰値(dB)
a,b,c,d	:定数

この式から、舗装の表基層で振動を低減する方法としては、

1)平坦性を向上させる。

2)地盤卓越振動数を最適化する。

が考えられる。

＊参考文献)日本道路協会編:道路環境整備マニュアル,日本道路協会,平成元年1月

a)平坦性

平坦性による補正値は以下の式で与えられる。

補正値 $=14\log_{10}\sigma$ (σ <1.0 mm では"0") $\cdots\cdots(7)$

従って、平坦性σを 1.0mm 未満にすることにより、舗装表面が振動に与える影響を無視出来るようになる。一方、平坦性σが増加することにより振動レベルは大きく上昇する。このことからも、舗装における平坦性の重要性を確認することができる。

平坦性σ(mm)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
補正値(dB)	0.0	2.5	4.2	5.6	6.7

b)地盤卓越振動数

地盤卓越振動数は実測により求めることが基本であるが、予測の場合には地表面から深さ10m までの N 値のデータを元に次式により推定する。

地盤卓越振動数 $=8.4\,N^{1/3}$ $\cdots\cdots(8)$

さらに、求められた振動数に応じて補正量を算出する。

しかし、地盤卓越振動数自体が舗装表面から 10m の値までを考慮することからすると、舗装厚 10cm 程度の材料の影響は、ほとんど無視されるような状況であると考えられる。

(2)防振材料技術

一般に振動を低減させるには２つの方法がある。一方は振動エネルギーを吸収させる方式で制振と呼ばれている。他方は振動エネルギーを反射させる方式で振動絶縁と呼ばれている。代表的なものとして、前者は粘弾性材料、後者は防振ゴムが挙げられる。アスファルト単体は代表的な制振材であり、アスファルト舗装自体も制振材の一つである。

制振材に求められる物理的な特性は減衰比あるいは損失係数であり、一般的には弾性係数の高い材料ほど損失係数は小さく、弾性係数の低い材料が用いられることが多い。

一方、振動絶縁材に求められる物理的な特性は振動伝達率である。これは加振周波数と系の共振周波数との関係で求められる。一般には、共振周波数が加振周波数の $1/2^{0.5}$ 以下であれば有効である。

従って、従来の材料に比べ損失係数の高い材料、あるいは有効な共振周波数を持つ材料を用いることにより、防振に寄与することが可能である。

2. 2. 2 振動軽減対策

(1)振動絶縁材の適用

弾性舗装は、ゴムチップを樹脂で結合したものであるため、基本的な性質は「ゴム」であることから振動絶縁材として適用可能と考えられる。以下に、その有効性を簡単なモデルを用いて説明する。



左図のように、弾性舗装の上に 5t 輪荷重の車両が弾性舗装上を走行する場合を想定する。

この時の、加振周波数（振動数）は一般的な大型車の卓越周波数である

$$f_0 = 2\ \mathrm{Hz},\ w_0 = 2\pi f_0 = 12.56\ \mathrm{rad/sec} \quad \cdots\cdots(9)$$

とすると、系の共振周波数（振動数）を、

$$w < w_0 / 2^{0.5} = 12.56 / 2^{0.5} = 8.88\ \mathrm{rad/sec} \quad \cdots\cdots(10)$$

以下にする必要がある。

$$w^2 = k/m\ (k：バネ定数、m：質量) \quad \cdots\cdots(11)$$

であるので

$$w^2 = k/m < (8.88)^2$$

$$k < (8.88)^2 \times m = (8.88)^2 \times 5000 / 9.8 \fallingdotseq 40000\ \mathrm{kg/cm}$$

となり、弾性舗装のバネ定数が約 40, 000kg/cm 以下であれば、弾性舗装以下への伝達率を小さくすることができる。

簡易的な室内試験での弾性舗装のバネ定数は約 1500kg/cm 程度であり、十分に有効な性状を有している。

一般的な舗装のバネ定数は 1500kg/cm よりはるかに大きいと想定され、弾性舗装を表面（摩耗層）に用いることにより振動絶縁材料としての効果が得られるものと判断される。

(2)制振材の適用

a)基本的な考え方

上述のように、制振材に求められる性能は減衰比であり、均質な材料の場合は弾性係数が低いほど大きいとされている。減衰比は以下の式により求めることができるが、一般的には粘性減衰係数を求めることが困難なことから振動実験から求められることが多い。

減衰比 $= e^{2\pi h}$ ， $h = c / (k \cdot m)^{0.5}$ ……(12)

c：粘性減衰係数、k：バネ定数、m：質量

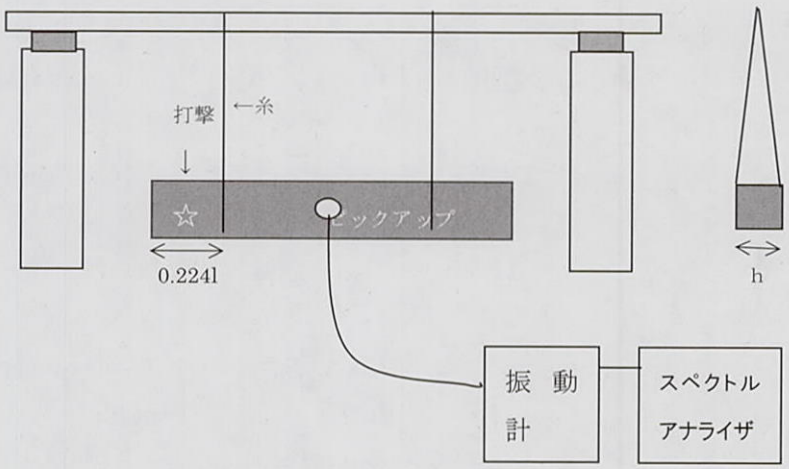
なお、

対数減衰率 $= 2\pi h / (1 - h^2)^{0.5}$ ……(13)

b)対数減衰率の測定方法

測定システムおよび供試体まわりの状況を、図－2.18 に示す。供試体の端部に打撃（振動加速度計で測定できるほどのエネルギーに調整した打撃）を加え、時間軸に対する減衰を測定する。また、スペクトルアナライザによって、振動の周波数成分を解析する。

各供試体寸法は、400×40×40mm であり、各供試体の長手方向 0.224l の位置において糸で吊す。



図－2.18 共振時弾性係数測定システム



写真－2.6 試験状況

測定結果の一例として、図－2.19に重量密粒アスファルト混合物の10℃における減衰振動を示す。この減衰している振動波形を解析することにより、次式により粘性を示す対数減

衰率δ、および共振時弾性率Efが求められる。ここで、Efは動的弾性率と同じものである。

$$\delta = 1/n\,\Sigma\,(\log|X_n|/|X_{n+1}|) \quad \cdots\cdots(14)$$

$$Ef = 9.464 \times 10^{-7} f_0^2\,\rho\,l^4/h^2 \quad \cdots\cdots(15)$$

ここで、

X_n 、 X_{n+1}:振幅(又は片振幅)

f_0:共振周波数(Hz)

ρ :密度(g/cm3)

n:波の数

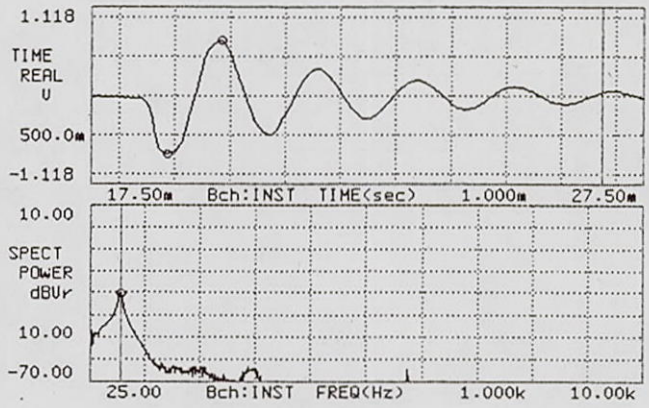
l: 供試体の長さ

h:供試体の打撃方向厚さ(cm)

また、減衰が小さい範囲では、$\tan\phi = \delta/\pi$ で近似できるので、粘弾性係数 Ef" および複素弾性係数 Ef* を次式で求める。

$$Ef'' = Ef\ \tan\phi \quad \cdots\cdots(16)$$

$$Ef^* = (Ef)^2 + (Ef'')^2 \quad \cdots\cdots(17)$$



図－2.19 混合物の減衰振動例

c)混合物の対数減衰率測定結果

1)試験供試体

試験を行った供試体は、以下の6種類である

- 重量密粒度アスファルト混合物
- 重量粗粒度アスファルト混合物
- 重量排水性アスファルト混合物
- 重量半たわみ舗装
- 通常密粒度アスファルト混合物
- 多孔質弾性舗装

2)供試体配合

供試体の配合等は以下のとおりである。

・重量アスファルト混合物

表－2.19 重量アスファルト混合物材料

材料		備考
骨材	6号･7号･砂 ： 磁鉄鉱 その他 ： 通常骨材	磁鉄鉱比重　4．7前後
アスファルト	密粒･粗粒 ：ストアス 60/80 排水性 ：高粘度改質アスファルト	

表－2.20 重量アスファルト混合物配合

		5号砕石	6号砕石	7号砕石	SC	砂	石粉	アスファルト量(%)
密粒	体積比%		52.2	10.5	21.3	10.0	6.0	
	重量比%		59.0	12.0	13.8	11.3	3.9	3.2
粗粒	体積比%	21.2	45.6	10.7	10.5	6.0	6.0	
	重量比%	14.5	54.2	12.9	7.2	7.1	4.1	3.1
排水性	体積比%		86.9			8.1	5.0	
	重量比%		88.8			8.3	2.9	2.5

・重量半たわみ性舗装

上記排水性舗装の空隙にセメントミルクを浸透させたもの

・多孔質弾性舗装

多孔質弾性舗装は、ゴムチップを骨材とした樹脂混合物である。

表－2.21 多孔質弾性舗装配合

材料		比重	配合(重量%)
骨材	特殊ゴムチップ	1.27	76
バインダー	1液型ポリウレタン樹脂	1.05	23
添加材	カーボンブラック	2.5	1

・供試体性状

各供試体の基本性状は、以下のとおりである。

表－2.22 供試体性状

舗装の種類	密度 (g/cm^3)	空隙率 (%)	DS (回/mm)	備考
重量密粒度アスファルト混合物	3.710	3.5	900	
重量粗粒度アスファルト混合物	3.555	4.2	969	
重量排水性アスファルト混合物	3.494	20.0	－	ダレ試験結果 As量 2.5%
重量半たわみ性舗装	3.737	－	－	
通常密粒度アスファルト混合物	2.369	3.4	－	
多孔質弾性舗装	0.805	34.2	－	

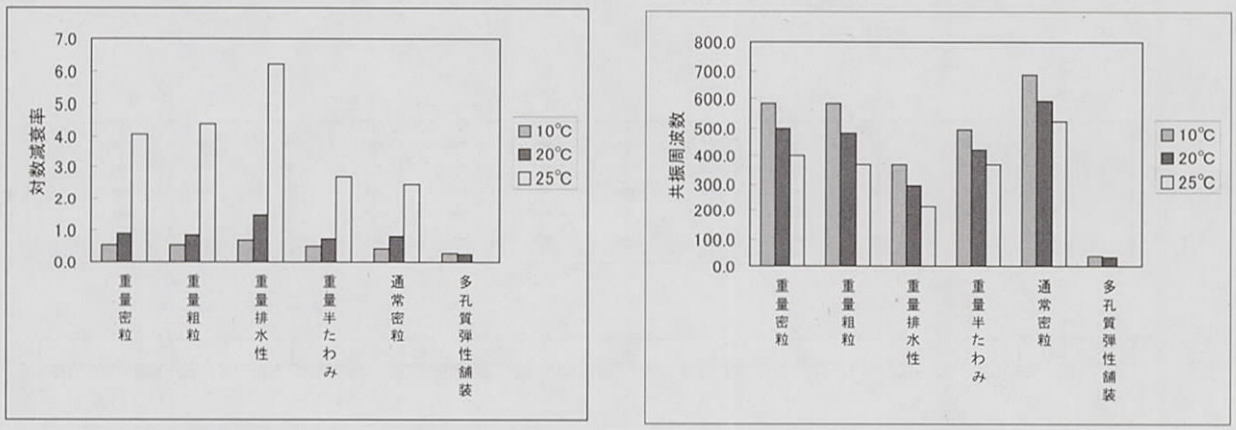
3)試験結果

対数減衰率の測定結果は以下のとおりである。

この結果から判断すると、舗装材料として空隙が高く重量の大きい重量排水性舗装を用いた舗装構成とすることで、舗装体自体の制振材としての効果を向上させることができるとものと判断される。

表－2.23 共振法試験結果

	対数減衰率 δ			共振周波数 f_0		
	10℃	20℃	25℃	10℃	20℃	25℃
重量密粒	0.546	0.882	4.051	583.9	498.0	398.4
重量粗粒	0.548	0.874	4.388	582.9	482.3	365.9
重量排水性	0.722	1.446	6.208	366.6	291.8	212.4
重量半たわみ性	0.508	0.744	2.709	492.9	423.2	366.3
通常密粒	0.450	0.826	2.481	683.1	591.3	524.0
多孔質弾性舗装	0.303	0.250		37.9	36.0	



図－2.20 共振法試験結果

また、一般に偏心加重による振動系の振幅は以下の式で表される。この傾向は偏心加重によらない振動系でも同様であり、振動系全体の質量を増加させることにより振幅を軽減することができる。従って、舗装混合物の質量を高めることにより同様の効果が得られるものと考えられ、この面でも重量混合物の効果が期待できる。

$$\text{振幅} = (m_e / m)e \qquad \cdots\cdots(18)$$

ここで、 m_e：偏心質量、m：振動系質量、e：偏心距離

2. 2. 3 舗装構成

振動絶縁材料として弾性舗装を摩耗層として用いるとともに、表層に制振効果の高い材料を用いる。

多孔質弾性舗装　2cm
重量排水性舗装　4cm
粗粒度アスコン　6cm

振動絶縁材料(k=1500kg/cm)
制振材料(⊿=0.722)

図－2.21 提案する舗装断面（振動軽減型舗装 B）

2．3　振動軽減型舗装C

2．3．1　防振ゴムのバネ定数

防振ゴムの耐久性を考慮すると、ゴムの高さに対し 10%の変形である。検討しているゴムの高さは、上部スラブ（RC プレキャスト版）、下部スラブの厚さが合計 400mm でありかなり厚い構造となっているので、100mm（φ300mm）としている。したがって、ゴムの許容できる変形量は 10mm となる。

上部スラブの重量および車両重量（軸重 12t）がプレキャスト版に作用した場合のゴムの変形量が 10mm 未満になるバネ値を算出した。解析モデルは、プレキャスト版を一様なバネが支持しているとして、梁で解析した。

なお、プレキャスト版は 2,500×4,000×200mm／1 枚としている。

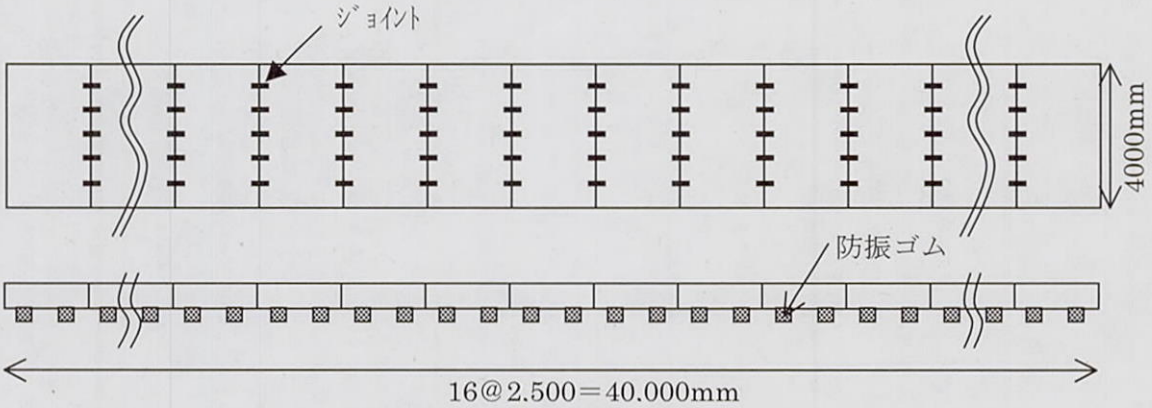


図-2.22　平面図



版の自重は断面方向４ｍ当たりで、一様バネは走行方向、断面方向１ｍの単位幅あたりで考えている。計算上、バネ定数の入力値の単位は、２次元で解析しているため、単位としては（kN/m）/m で意味としては、走行方向１ｍあたり、ある荷重で鉛直変位が１ｍとなるバネ定数。載荷荷重は軸重 12t を１点で載荷

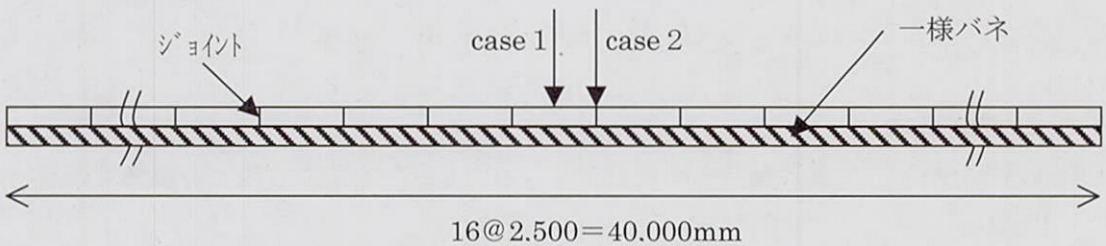


図-2.23　解析モデル

ゴムの耐久性の変形性能上から求められたバネ定数 kv＝6,500kN/m/m² であった。これをプレキャスト版１枚当たりに必要なバネ定数は 6,500×2.5＝16,250kN/m/枚となる。プレキャスト版１枚当たり防振ゴムを４個配置する（走行方向は等間隔で）ことから、ゴム１個当たりのバネ定数は Kv＝16,250／４＝4,000kN/m/個となる。

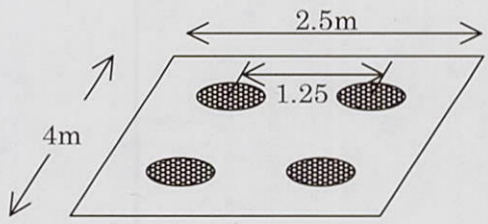


図-2.24　バネ定数の分担

2. 3. 2 再計算

試験施工は、R＝100mの円形走行路であるため、版の形状は断面方向の片側にテーパをつけることになる。したがって、走行方向のゴムの配置は上記の図とは異なってくるので、試験施工に用いる版の形状を考慮し再計算した。

試験施工に用いる版の形状、ゴムの配置、版の割付けを図-2.25 に示す。載荷荷重は、軸重 120kN を衝撃荷重として取り扱うので、P＝120×1.3＝156kN とする。

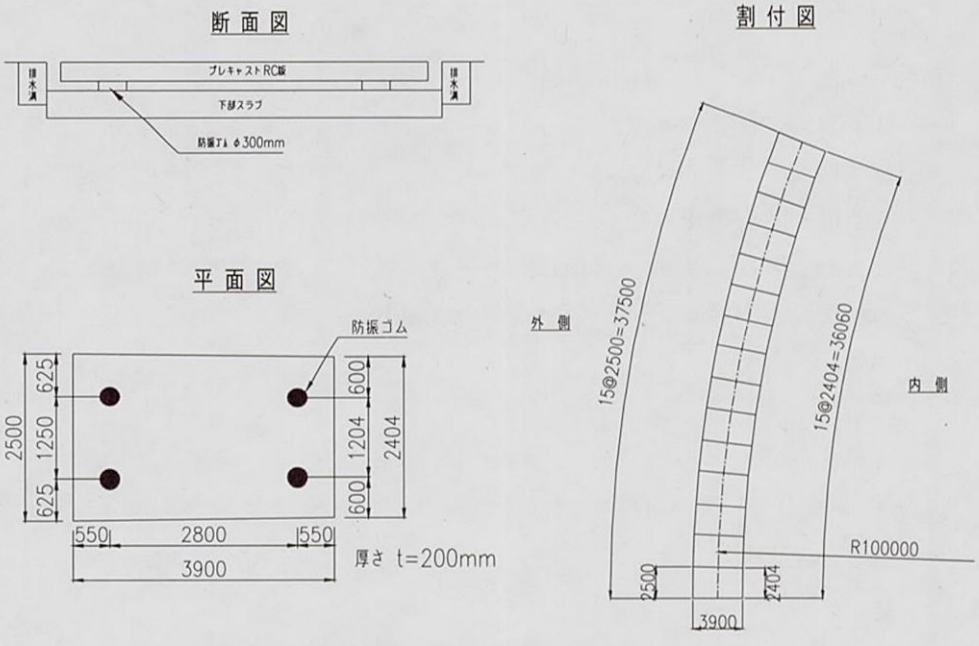


図-2.25 試験施工断面，平面，割付け図

版の形状から解析モデルを以下のようにした。

(1)走行方向

梁構造として考えるため、走行方向は中央断面に着目し、版の幅（走行方向の幅）を 2,452mm とし、ゴムの間隔を 1,226mm とした。解析上、ゴムは断面方向（奥行方向）２つを１つのゴム（バネ支承）として取り扱う。解析は、自重（case1）、版中央部載荷（case2）、継手位置載荷（case3）に対して実施。最大鉛直変位が 10mm 以下となるゴム（バネ定数）を算出する。また、そのときに版内に生じる応力を算出する。

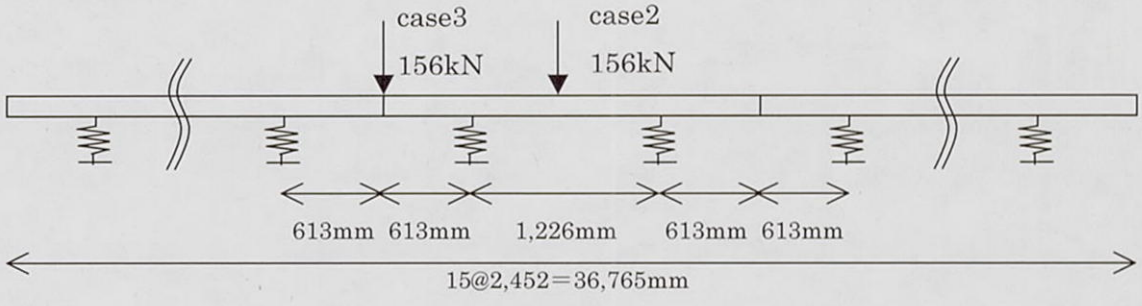


図-2.26 解析モデル

(2)計算結果

走行方向計算結果を表-2.24 に示す.

表-2.24 計算結果

	変位量（mm）	
	バネ定数（12500ｋN/m/個）	バネ定数（5000ｋN/m/個）
case1	0.954	2.367
case2	3.034	6.826
case3	4.940	9.815

計算結果から，防振ゴム 1 個当たりのバネ定数は 5000ｋN/m となる．しかし，上部スラブの自重は常に防振ゴムにかかっていることから，防振ゴムの変形量としては，車両が載ったときの変形する量が問題となる．そのため，室内試験で使用する防振ゴムは，上部スラブの重量を除いた車両重量のみでバネ定数を計算し，3000ｋN/m とした．また，計算上は支点となる防振ゴムのバネ値は点で入力しているが，実際の防振ゴムは面状になっていることから，室内試験ではバネ定数を 2000kN/m に下げた防振ゴムについても試験することにした.

2．3．3 室内試験

(1)はじめに

防振ゴムの耐久性および最大表面たわみ量の制約から最低限の防振ゴムのバネ定数を解析し、その結果、1 個あたりの防振ゴムのバネ定数は 3000kN/m であった。従って、防振ゴムが交通振動に対し有効であるかを確認するために、コンクリートスラブ（PCa 版）－防振ゴム－下層スラブ（路盤を含む）系の実物大のモデルを使用し、ベンチ試験を実施した。

(2)試験期日および実施場所

期日：平成１３年７月２５日～２６日

場所：ジオスター株式会社 東松山工場内

(3)試験概要

a)上部スラブおよび下部スラブ

上部および下部スラブは、独立行政法人土木研究所内の舗装走行実験場で試験施工時に工区境（端部）に使用するプレキャスト版を試験に用いた。プレキャスト版の形状及び寸法を図-2.27 に示す。なお、図-2.27 では防振ゴムがあらかじめ取り付けられたプレキャスト版になっているが試験では、防振ゴムの形状およびバネ定数を変えて試験するため防振ゴムが無いものを使用した。

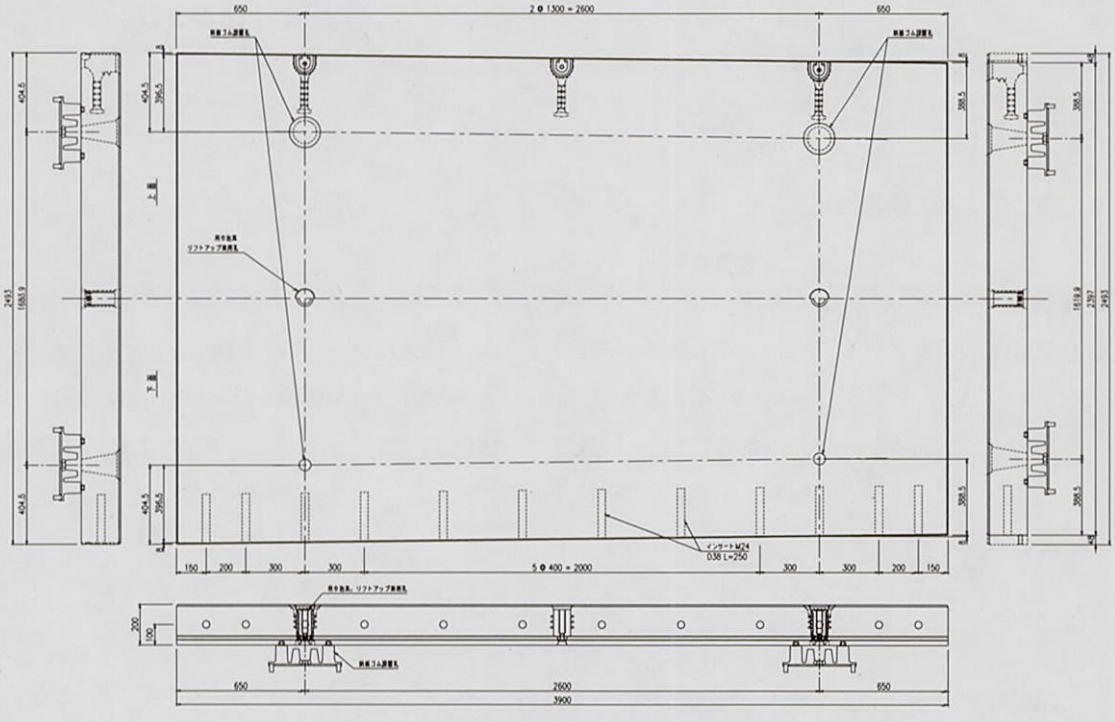


図-2.27 プレキャスト版の形状及び寸法

b)防振ゴム

変形計算結果から上部スラブの自重によるたわみ量を無視し、輪荷重（活荷重）のみで10mm変形するバネ定数は3000kN/mであったので、試験では3000kN/mと計算値に対し-1000kN/m した２種類の円筒形防振ゴム（図-2.28、写真-2.7 参照）と板状防振ゴム（2000kN/m）の３種類を使用した。

図-2.28では、プレキャスト版製作時にプレキャスト版と防振ゴムを一体化させるためのジベルが防振ゴム上面に、下部スラブと防振ゴム間にグラウト材で沓座を構築する際に使用するシール材が防振ゴム下面に取り付けられている。実験では、防振ゴムの取り替えて振動測定を実施することから、これらのものがついていないものを使用した。

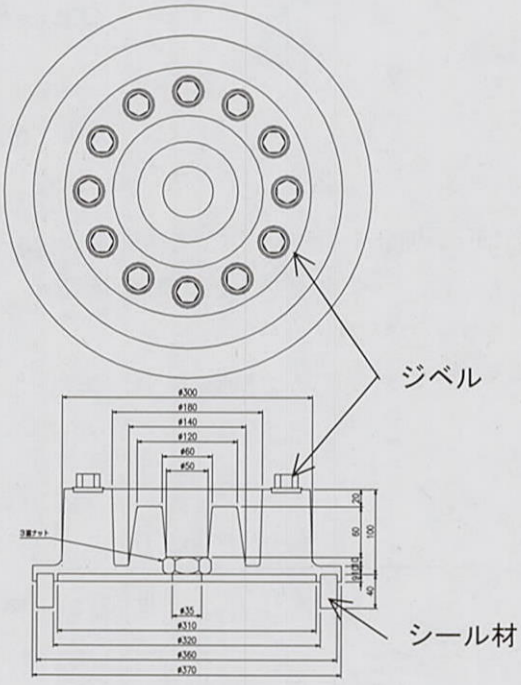


図-2.28 防振ゴム

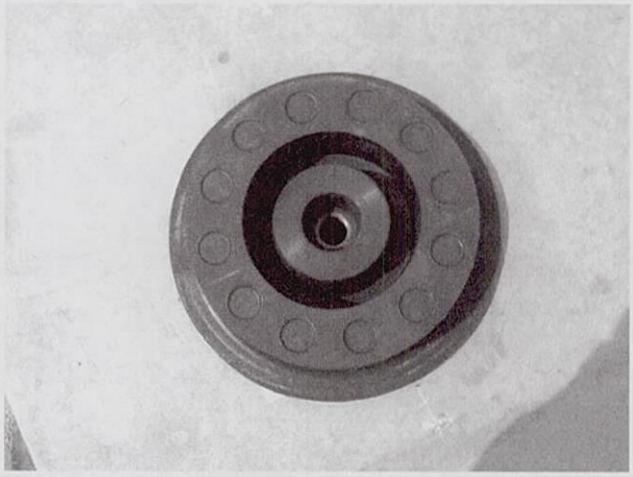


写真-2.7 防振ゴム

c)試験体設置方法

路盤上に下部スラブ（プレキャスト版）を敷設し、防振ゴムを所定の位置に設置し、防振ゴムの上に上部スラブ（プレキャスト版）を設置した。さらに、防振ゴムが10mm程度変形する重りを上部スラブ上に設置した。下部スラブ敷設の際に路盤とスラブの間に極力隙間が生じないように砂を敷いた。また、スラブと防振ゴムに若干の隙間が生じた場合は1mm厚程度のゴムパッキングで調整することにした。

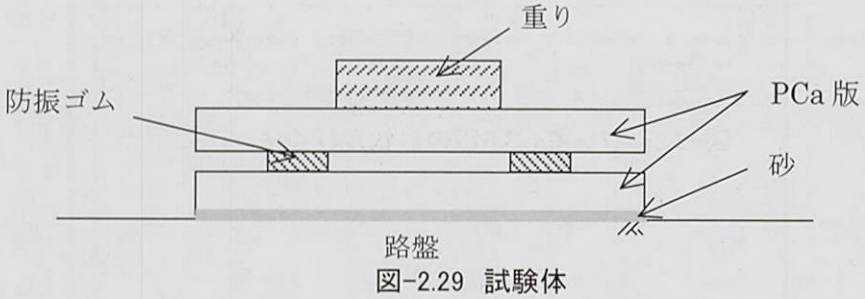


図-2.29 試験体

d)振動源

試験体がかなり大きいので、振動源としてバングマシーン（重量床衝撃音発生器）を使用することにした。なお、バングマシーンはJIS A 1418に準拠している。写真-2.8に装置の概観と表-2.25に仕様を示す。



写真-2.8 バンクマシーン

表-2.25 バングマシーンの仕様

適用範囲	JIS A 1418 準拠
タイヤの設置面積	150cm^2
衝撃源重量	7.0kg
落下高さ	830mm
衝撃力	3875N
打撃周期	1.7±0.2s
設置時間	21.5±21.5ms
電源	交流 100V

e)測定方法

打振点は上部スラブ上面で、防振ゴムの直上となる点（打振点１）、縦断方向の防振ゴム設置間隔の中央となる点（打振点２）、幅方向端部の中央となる点（打振点３）の３点とした。また、振動測定点は、打振点１の場合、打振点近傍（測点１）、防振ゴム近傍の下部スラブ上面（測点２）、路盤面（測点３）の３測点、打振点２、３の場合、打振点近傍（測点１）、防振ゴム近傍の下部スラブ上面（測点２）、路盤面（測点３）、防振ゴムの直上の上部スラブ上面（測点０）の４測点とした。図-2.30に打振点および測点を示す。

振動ピックアップ装置はJISで規定されている振動レベル計を使用し、設置方向は路面に対し鉛直方向で設置方法は直置きとした。出力は、オールパスとし、各ケースを比較することにした。

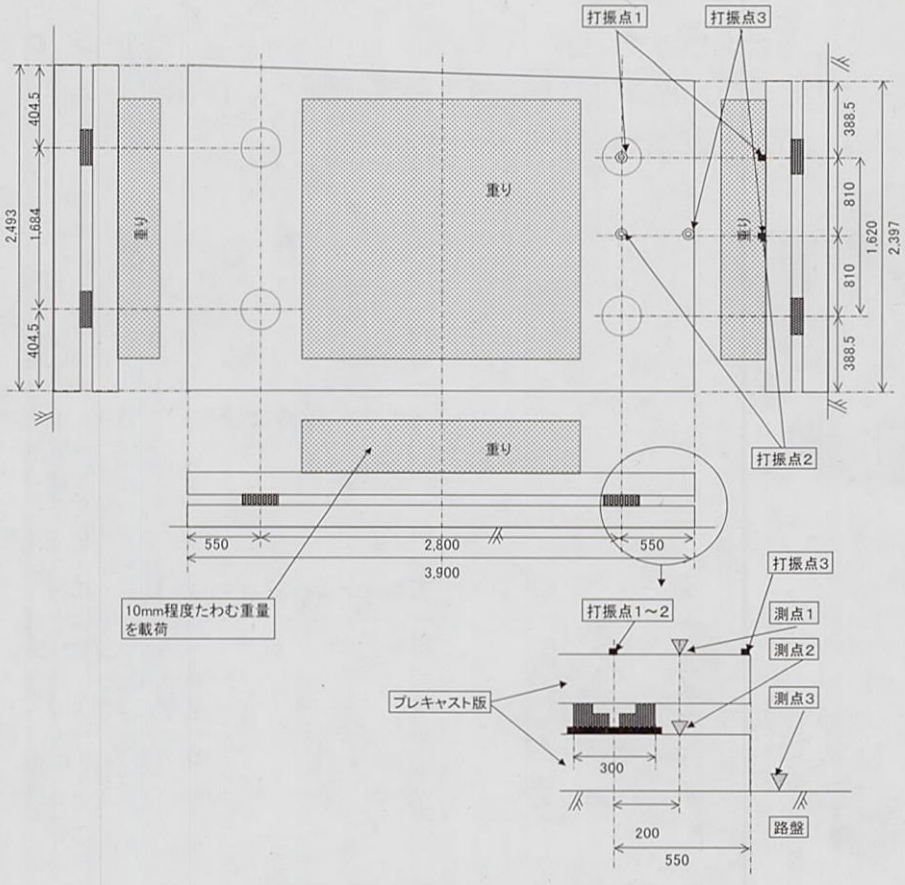


図-2.30 打振点および測点位置

f)試験ケース

試験の組み合わせを表-2.26 に示す。なお下記の条件で重りを載せない場合も実施した。

表-2.26 試験ケース

ケース No.	防振ゴムの種類	打振点	計測点
1-1	円筒形 2,000kN/m	1	1、2、3
1-2		2	0、1、2、3
1-3		3	0、1、2、3
2-1	円筒形 3,000kN/m	1	1、2、3
2-2		2	0、1、2、3
2-3		3	0、1、2、3
3-1	板状ゴム 2,000kN/m	1	1、2、3
3-2		2	0、1、2、3
3-3		3	0、1、2、3
4-1	コンクリートブロック	1	1、2、3
4-2		2	0、1、2、3
4-3		3	0、1、2、3

2．3．4 試験結果

試験結果を表-2.27～2.34 に示す．また，試験状況を写真-2.9、2.10 に示す．

表-2.27 重り無し試験結果（ケース1）

（1）円筒形2,000kN/m（JIS50°）、試料高さ（PCa版のみ）103～104mm

・振動レベル AP（オールパス） 単位（dB）

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 110	Range 110	Range 80	Range 70	
1		84.6	59.7	58.0	
		84.4	59.7	58.2	
		84.4	59.7	58.2	
平均値		84.5	59.7	58.1	
2	78.7	79.8	57.7	56.5	
	78.8	80.0	57.8	56.6	
	78.6	80.0	57.8	56.8	
平均値	78.7	79.9	57.8	56.6	
3	80.9	82.2	59.6	58.8	
	80.9	82.4	59.7	58.7	
	80.9	82.4	59.6	58.7	
平均値	80.9	82.3	59.6	58.7	

備考 ；25日測定、天候晴れ（下地乾燥状態）

表-2.28 重り有り試験結果（ケース1）

（2）円筒形2,000kN/m（JIS50°）、PC版＋荷重有（8t）、試料高さ93～94mm

・振動レベル AP（オールパス） 単位（dB）

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 110	Range 110	Range 80	Range 70	
1		83.1	59.0	59.5	
		83.7	59.0	59.5	
		83.8	59.2	59.5	
平均値		83.5	59.1	59.5	
2	79.4	80.8	55.8	56.4	
	79.6	81.2	56.0	56.8	
	79.7	81.3	56.2	56.6	
平均値	79.6	81.1	56.0	56.6	
3	81.7	83.4	57.8	58.5	
	82.2	83.6	58.0	58.4	
	82.1	83.7	58.1	59.0	
平均値	82.0	83.6	58.0	58.6	

備考 ；25日測定、天候晴れ（下地乾燥状態）

表-2.29　重り無し試験結果（ケース2）

（3）円筒形3,000kN/m（JIS63°）、試料高さ（PCa版のみ）106～107mm

・振動レベル　AP（オールパス）　　単位（dB）

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 110	Range 110	Range 80	Range 70	
1		86.4	66.8	65.4	
		86.7	66.9	65.4	
		86.7	66.9	65.4	
平均値		86.6	66.9	65.4	
2	80.9	82.1	65.2	64.6	
	81.0	82.2	65.3	64.7	
	81.0	82.2	65.3	64.6	
平均値	81.0	82.2	65.3	64.6	
3	82.7	84.2	67.0	66.7	
	82.9	84.3	67.2	66.8	
	82.9	84.3	67.2	66.8	
平均値	82.8	84.3	67.1	66.8	

備考　　；25日測定、天候晴れ（下地乾燥状態）

表-2.30　重り有り試験結果（ケース2）

（4）円筒形3,000kN/m（JIS63°）、PCa版＋荷重重有（8t）、試料高さ99～100mm

・振動レベル　AP（オールパス）　　単位（dB）

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 110	Range 110	Range 80	Range 70	
1		78.5	61.2	62.2	
		78.7	61.5	62.5	
		79.1	61.5	62.7	
平均値		78.8	61.4	62.5	
2	76.6	78.9	61.8	62.8	
	77.0	79.3	61.9	63.1	
	77.0	79.2	62.1	63.0	
平均値	76.9	79.1	61.9	63.0	
3	79.9	82.2	66.1	66.9	
	80.2	82.6	66.5	67.1	
	80.2	82.7	66.4	67.1	
平均値	80.1	82.5	66.3	67.0	

備考　　；25日測定、天候晴れ（下地乾燥状態）

表-2.31　重り無し試験結果(ケース3)

(5)板状ゴム(2枚重)300カクJIS42°、ゴム下に12tのコンパネ有り(PCa版のみ)、試料高さ55H

・振動レベル　AP(オールパス)　　単位(dB)

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 90	Range 90	Range 80	Range 70	
1		82.8	64.0	63.5	
		83.1	64.2	63.5	
		83.0	64.2	63.6	
平均値		83.0	64.1	63.5	
2	79.8	81.1	64.1	63.9	
	80.0	81.2	64.2	64.1	
	80.0	81.3	64.2	64.1	
平均値	79.9	81.2	64.2	64.0	
3	81.8	83.0	65.7	66.0	
	81.9	83.2	65.8	66.1	
	81.8	83.2	65.9	66.1	
平均値	81.8	83.1	65.8	66.1	

備考　　;26日測定、雨のち曇り(下地含水有り)

表-2.32　重り有り試験結果(ケース3)

(6)板状ゴム(2枚重)300カクJIS42°、ゴム下に12tのコンパネ有り

試料高さ49～50H(PCa版＋荷重有8t)

・振動レベル　AP(オールパス)　　単位(dB)

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 90	Range 90	Range 80	Range 70	
1		77.8	57.1	58.7	
		77.8	57.3	59.0	
		77.9	57.3	58.9	
平均値		77.8	57.2	58.9	
2	73.1	75.6	58.2	60.7	
	73.3	75.6	58.3	60.8	
	73.3	75.7	58.4	60.8	
平均値	73.2	75.6	58.3	60.8	
3	77.1	79.2	61.6	63.8	
	77.4	79.5	61.8	63.6	
	77.3	79.5	61.8	63.5	
平均値	77.3	79.4	61.7	63.6	

備考　　;26日測定、雨のち曇り(下地含水有り)

表-2.33　重り無し試験結果（ケース4）

（7）コンクリートブロック　15φx150H

・振動レベル　AP（オールパス）　　単位（dB）

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 80	Range 80	Range 80	Range 70	
1		67.7	64.7	62.4	
		67.9	64.9	62.5	
		67.9	64.9	62.5	
平均値		67.8	64.8	62.5	
2	63.9	64.6	63.0	62.2	
	64.2	64.6	63.1	62.4	
	64.1	64.7	63.2	62.4	
平均値	64.1	64.6	63.1	62.3	
3	65.0	68.2	64.9	64.5	
	65.1	68.3	65.0	64.6	
	65.1	68.4	65.0	64.6	
平均値	65.1	68.3	65.0	64.6	

備考　　;26日測定、雨のち曇り（下地含水有り）

表-2.34　重り有り試験結果（ケース4）

（8）コンクリートブロック　15φx150H、PCa版＋荷重有（8t）

・振動レベル　AP（オールパス）　　単位（dB）

測点 / 打点	0	1	2	3	備考
	Range 80	Range 80	Range 80	Range 70	
1		64.8	62.1	60.3	
		65.0	62.1	60.4	
		65.0	62.2	60.4	
平均値		64.9	62.1	60.4	
2	60.4	62.1	60.1	59.3	
	60.5	62.3	60.2	59.5	
	60.7	62.4	60.3	59.6	
平均値	60.5	62.3	60.2	59.5	
3	63.4	67.0	63.2	61.8	
	63.6	67.2	63.5	62.1	
	63.6	67.2	63.5	62.1	
平均値	63.5	67.1	63.4	62.0	

備考　　;26日測定、雨のち曇り（下地含水有り）

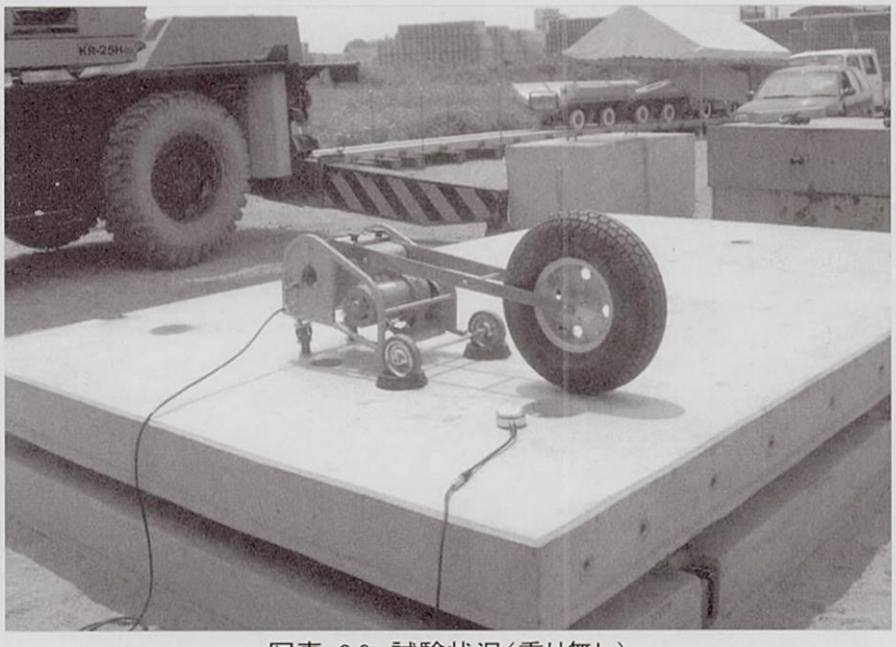


写真-2.9　試験状況（重り無し）



写真-2.10　試験状況（重り有り）

2．3．5 まとめ

表-2.27～2.34 の測点 3（路盤上で計測）の振動レベルに着目すると，円筒形 2000kN/m の防振ゴムが打振の位置および重りの有無に関わらずすべて振動レベルが 60 d B 以下になっていることが分かる．また，同じバネ定数である円筒形防振ゴムと板状防振ゴムで比較すると，同じバネ定数であっても形状が変わると振動レベルが異なっていることがわかる．

したがって，試験施工に用いる防振ゴムは円筒形でバネ定数が 2000kN/m である防振ゴムを使用することとした．

3. 試験施工による検討

3. 1 交通振動に関する既存資料の調査

3. 1. 1 調査対象

道路交通振動に関する文献を収集・整理を行い、道路交通振動の傾向および開発の方向性について調査を行った。調査した文献を表-3. 1 に示す。

表-3.1 文献表

番号	文献名	番号	文献名
①	日本音響学会誌(論文集)	⑩	綱橋技術研究会資料
②	日本騒音制御工学会(論文集)	⑪	日本機械学会(論文集)
③	土木学会(論文集)	⑫	振動コロキウム
④	道路(高速道路)	⑬	構造工学論文集
⑤	舗装	⑭	環境庁(国立環境研究所)資料
⑥	日本道路会議論文集	⑮	日本自動車協会(JARI)資料
⑦	日本道路公団技術情報	⑯	応用力学連合講演予稿集
⑧	土木研究所報告	⑰	首都高速道路公団技術情報
⑨	橋梁振動研究会論文集	⑱	阪神高速道路公団技術情報

3. 1. 2 既存資料から得られた知見

交通振動に関して、雑誌、報告書等を収集・整理することによって現在までの研究経緯および研究成果等の把握を行った。なお、調査に用いた文献は巻末の付録-4 にまとめている。

表-3.1 の文献から、交通振動に関する記述は以下のようにまとめられた。

①発生要因（路面）は、路面の凹凸、わだち掘れ量、平坦性に関する記述が多い。

②発生要因（車両）は、走行車両の重量、走行速度との対応に関する記述が多い。

③舗装の継目及び目地の影響から、部分的な舗装剛性の低下により振動レベルが上昇するおそれがある。

④伝搬系の影響は、主に地質地盤による影響が大きく、路面の評価をするためにはむしろ振動源に近い方が伝搬の影響を受けないので測定点に適している。

⑤計測方法は、JIS、ISO 等に記載されている。

⑥道路交通振動の評価は、L_{10}(振動レベルの 80%レンジの上端値)によって行われているが、人体影響については総暴露量である等価振動レベル、苦情については振動レベルのピーク値との関係も深いとの報告がある。また、自動車交通振動の周波数特性において、場合によっては共振する例もあるため、周波数別の評価も必要である。

⑦対策の主なメニューは、地盤対策に関する伝搬に対する記述が多い。路面については、路面凹凸の改良等が効果がある。

これらの文献調査結果より、振動軽減型舗装の開発や評価の方向性として、以下のことが考えられた。

①振動測定においては地質地盤等の伝搬の影響を極力さけるため、振動加振源からなるべく近い測定点で計測されたデータを用いて評価を行う必要がある。

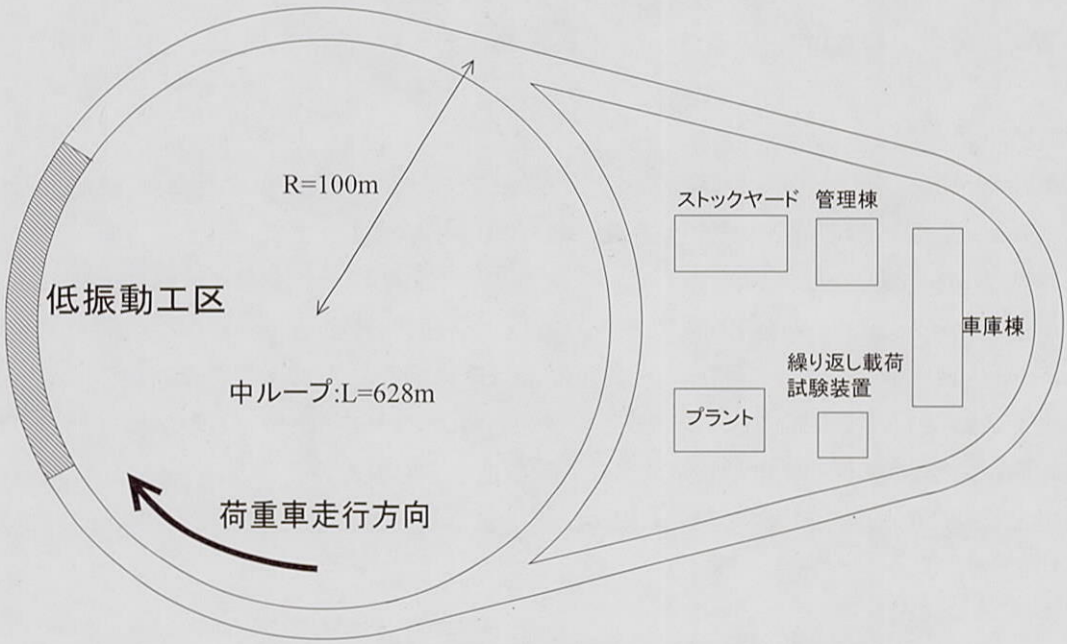
②路面から考えた交通振動の発生は主に路面の凹凸やわだち掘れ量等の路面性状値が原因であるから、振動レベルの予測を行うにあたっては、路面性状値から検討する。

③苦情との相関が高いといわれる振動レベルピーク値(L_{MAX})を評価値として用いる。

④振動は路面凹凸との関係が深いため、振動軽減型舗装の開発にあたっては路面平坦性の変化が小さい耐久性を重視したものを開発する必要がある。

3．2　土木研究所内での試験施工

耐久性および施工性を調べるために、独立行政法人土木研究所舗装走行実験場において試験施工を行い、大型荷重車を走行させて促進載荷試験を行った。舗装走行実験場の概略図を図－3.1に示す。舗装走行実験場は幅7m、半径100m円周628mの中ループと全周870mの大ループの 2 種類がある。促進載荷試験はこの内、中ループを使用している。なお横断勾配は 2%である。本共同研究で施工する振動軽減型舗装は図－3.1 で示す低振動工区にて施工を行った。



図－3.1　舗装走行実験場概略図

図－3.1 の低振動舗装工区地点において各グループの試験舗装 A、B、C の３種類と基準舗装として設けた密粒度舗装、合計４種類の舗装を試験施工した。試験施工の位置について、試験工区割を図－3.2 に示す。図－3.2 に示す矢印の方向に荷重車を走行させて、促進載荷試験を行った。



図－3.2　試験工区

3．2．1　振動軽減型舗装A

(A)振動軽減型舗装A(type1)

(1)概要

試験施工は、2.1の予備実験の結果より得られた提案舗装断面Ⅰの振動軽減効果と耐久性を確認するために実施した。試験施工では、各層の混合物の舗設は通常のアスファルト舗装と同じように行い、ガラスグリッドの敷設は通常の施工法にしたがい行った。

本施工における施工場所と施工面積は下記のとおりである。

①施工場所　：独立行政法人土木研究所内舗装走行実験場

②施工面積　：187.2m²（延長 36m、幅員 5.2m）

(2)舗装断面

本試験施工で実施した施工断面は図-3.3のとおりである。同図に示すように、基層には、空隙率 20%程度の開粒度アスファルト混合物（20）と高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（5）を設け、その上にガラスグリッドを敷設し、表層には高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（13）を設ける舗装構成となっている。T_A は同図に示すように 29.6cm である。なお、路床、路盤は基層以降の舗設に先立って既設舗装を切削後共通に施工されたもので（路床は不陸整正）、施工箇所における路床の CBR および動的平板載荷試験による路盤上の動的変形係数 E_{vd} および推定の路盤支持力係数 K_{30} 値は、3箇所の平均値でそれぞれ同図に示すように CBR=3.5%、E_{vd}=55.1MN/m²、K_{30}=537MN/m³ であった.

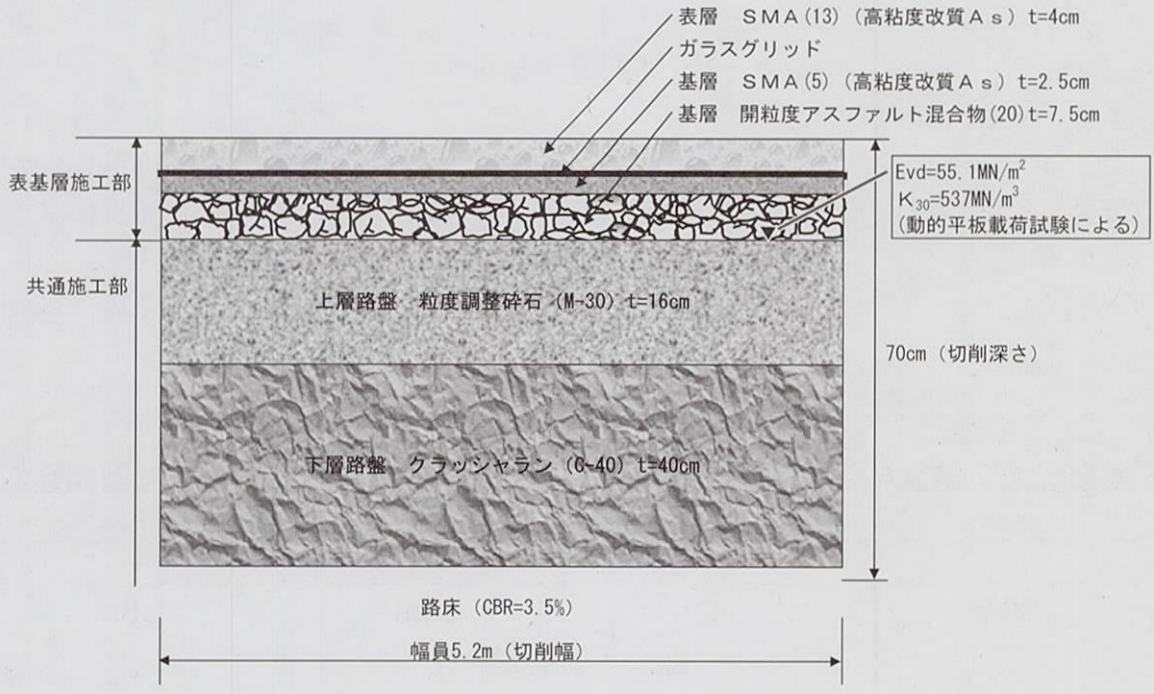


図-3.3　試験施工断面

(3)使用材料

試験施工で使用した主な材料とそれらの性状を表-3.2～3.5に示す。

表-3.2 使用した主な材料

材料種別	産地	材質	使用した混合物		
			開粒(20)	SMA(5)	SMA(13)
5号砕石	茨城県新治郡	砂岩	○	—	—
6号砕石			○	—	○
7号砕石			—	○	○
細砂	千葉県佐原市	洗い砂	—	○	○
粗砂	茨城県下館市	洗い砂	○	—	—
石粉	栃木県安蘇郡葛生町	炭酸カルシウム	○	○	○
植物性繊維	—	アーボセル	—	○	○
アスファルト	—	高粘度改質As	○	○	○
ガラスグリッド	—	局部敷設タイプ(#8512)	—		

表-3.3 使用した骨材の性状

試験項目		5号砕石	6号砕石	7号砕石	細砂	粗砂	石粉	舗装施工便覧目標値
通過質量百分率%	26.5mm	100	—	—	—	—	—	—
	19.0	91.8	100	—	—	—	—	
	13.2	7.9	94.9	100	—	100	—	
	4.75	0.4	5.9	92	100	99.3	—	
	2.36	—	0.8	9.1	99.3	85.8	—	
	0.60	—	—	1.2	86.2	41.6	—	
	0.30	—	—	—	42.3	19.3	100	
	0.15	—	—	—	8.3	8.6	98.5	
	0.075	—	—	—	1.2	2.4	78.8	
密度 (g/cm^3)	見掛け	2.678	2.672	2.670	2.715	2.654	2.718	—
	表乾	2.653	2.640	2.633	2.586	2.538	—	砕石2.45以上
	かさ	2.638	2.621	2.611	2.512	2.467	—	—
吸水率 (%)		0.56	0.73	2.87	2.98	2.87	—	砕石3.0%以下
すり減り減量 (%		—	18.6	—	—	—	—	砕石30%以下

(注)試験は舗装試験便覧による

表-3.4　使用した高粘度改質アスファルトの性状

試験項目	規格値	試験値
針入度（25℃）　1/10mm	40以上	55
軟化点　℃	80以上	90.0
伸度（15℃）　℃	50以上	100+
引火点　℃	260以上	326
薄膜加熱質量変化率　%	0.6以下	-0.03
薄膜加熱針入度残留率　%	65以上	83.6
タフネス（25℃）　N・m	20以上	31.0
テナシティ（25℃）　N・m	15以上	27.0
60℃粘度（$\times 10^{-4}$）　Pa・s	2以上	10+
密度（15℃）　g/cm^3	－	1.030

（注）①試験は舗装試験法便覧による
②最適混合温度範囲：170±3℃
③最適締固め温度範囲：150±3℃
④ダレ試験温度：170℃

表-3.5　使用したガラスグリッドの性状（製品規格）

ロール長 (m)	ロール幅 (m)	重量 (g/m^2)	格子目合い (mm)	裏面接着剤	材質	引張強度(kN/m)		弾性率 (kPa)
						タテ	ヨコ	
60	1.5	560	ヨコ25×タテ20(±3mm)	圧着型	ガラスファイバー束にアクリル樹脂コーティングおよび粘着材塗布したもの	98以上	196以上	6.9×10^7

(4)配合設計

a)開粒度アスファルト混合物(20)

1)配合設計の方法

基層に用いる開粒度アスファルト混合物(20)の配合設計は、排水性舗装技術指針（案）にしたがい、図-3.4 に示すような手順で行った。なお、各種試験は舗装試験法便覧および同別冊にしたがい実施した。

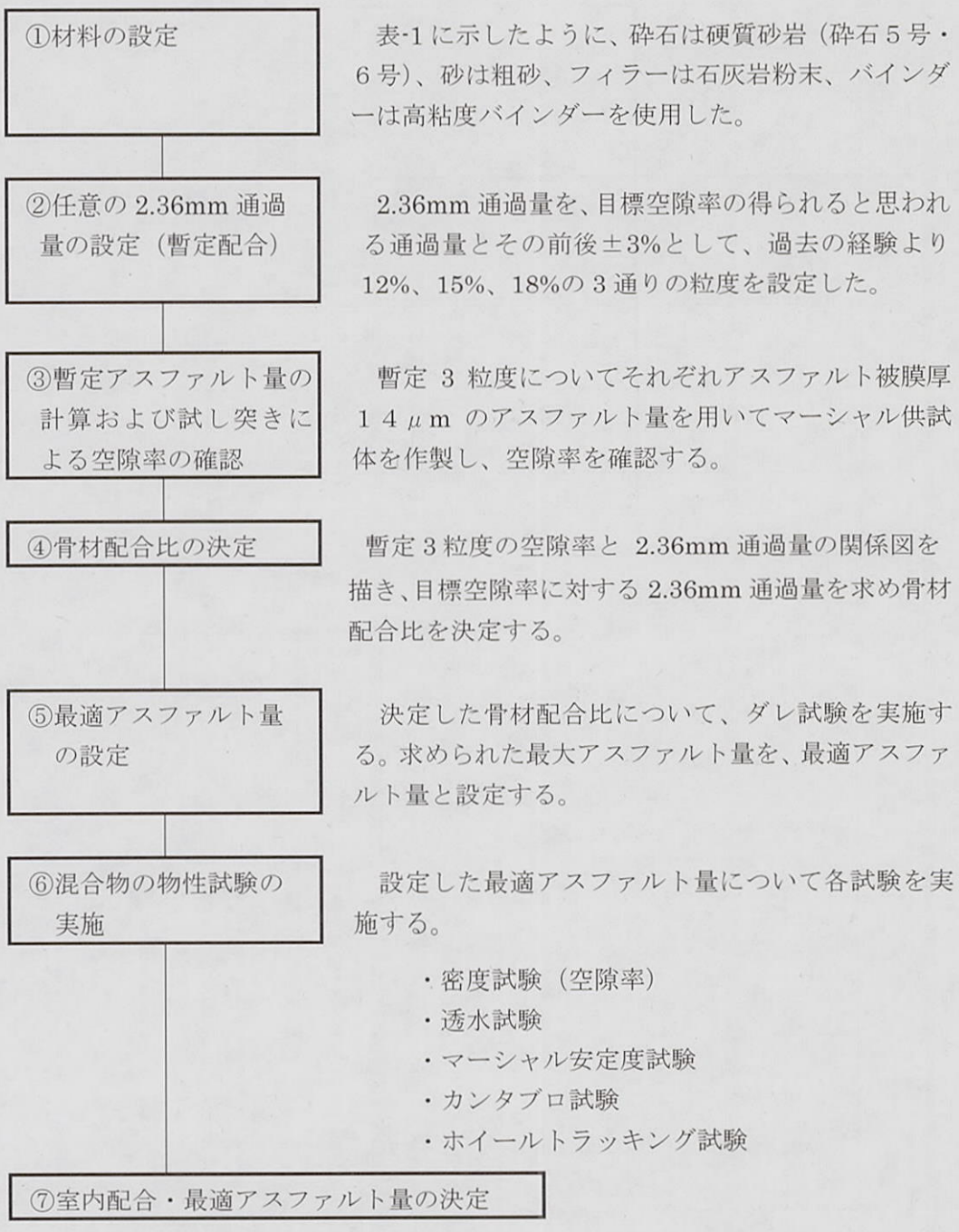


図-3.4 開粒度アスファルト混合物(20)の配合設計の手順

2)配合試験結果

①暫定配合

設定した暫定配合とその合成粒度は、それぞれ表-3.6と図-3.5に示すとおりである。

表-3.6 暫定配合とその合成粒度

項　　目		配合1	配合2	配合3	粒度範囲
目標2.36mm通過量%		12	15	18	
骨材配合%	砕石5号	27	27	27	
	砕石6号	60	57	53	―
	粗　　砂	8	11	15	
	石　　粉	5	5	5	
通過質量百分率%	26.5 mm	100	100	100	100
	19.0　　97.	8	97.8	97.8	95～100
	13.2	72.0	72.2	72.4	64～84
	4.75	16.5	19.4	23.1	10～31
	2.36	12.4	14.9	18.3	10～20
	0.60	8.3	9.6	11.2	―
	0.30	6.5	7.1	7.9	―
	0.15	5.6	5.8	6.2	―
	0.075	4.1	4.2	4.3	3～7

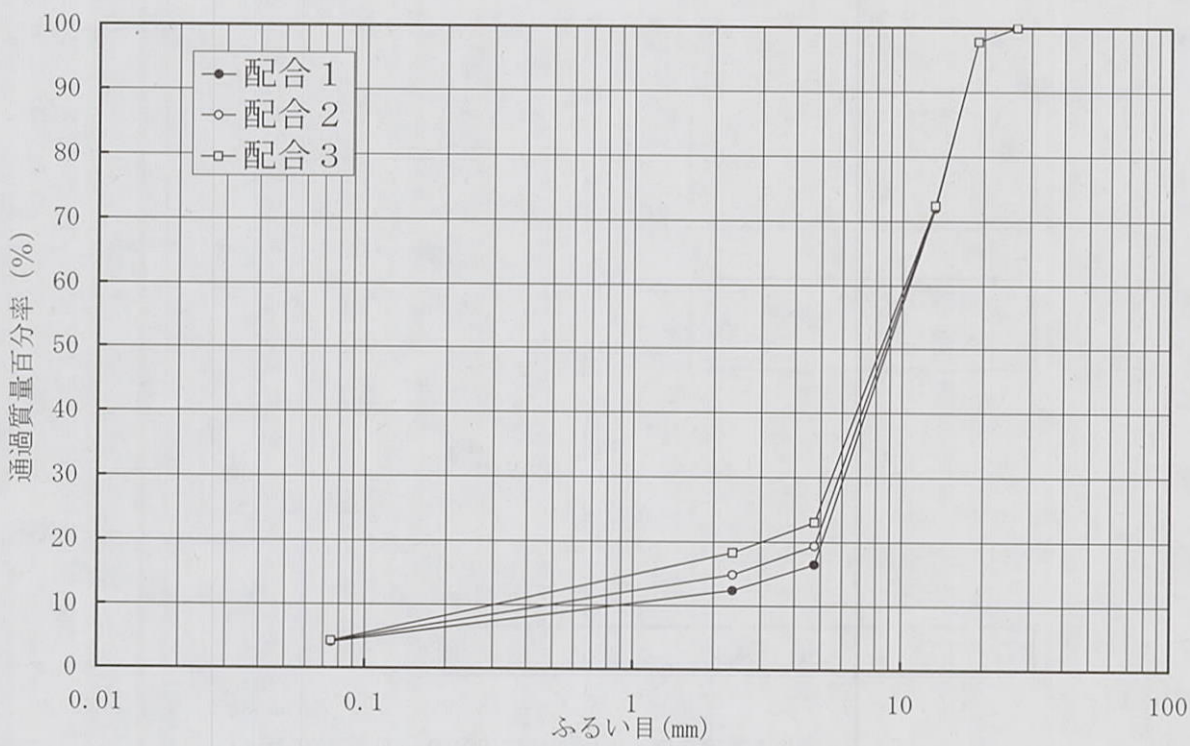


図-3.5 暫定配合における合成粒度

②暫定アスファルト量

各暫定配合における骨材に対する暫定アスファルト量（アスファルト被膜膜厚１４μｍのときのアスファルト量）は表-3.7に示すとおりである。

表-3.7 暫定アスファルト量の計算結果

配合種別	暫定アスファルト量(%)
配合１	4.8 (4.6)
配合２	5.1 (4.8)
配合３	5.4 (5.1)

（注）（）内は混合物に対する量

③暫定配合における空隙率

表-3.7に示した暫定アスファルト量において試し突きの密度を測定した結果は表-3.8のとおりである。また、その際の空隙率と2.36mm通過量の関係を示すと図-3.6のとおりである。

表-3.8 暫定配合の空隙率測定結果

2.36mm通過量 (%)	Ａｓ量 (%)	理論密度 (g/cm³)	実測密度 (g/cm³)	空隙率 (%)
12.4	4.6	2.491	1.953	21.6
14.9	4.8	2.484	2.006	19.2
18.3	5.1	2.472	2.040	17.5

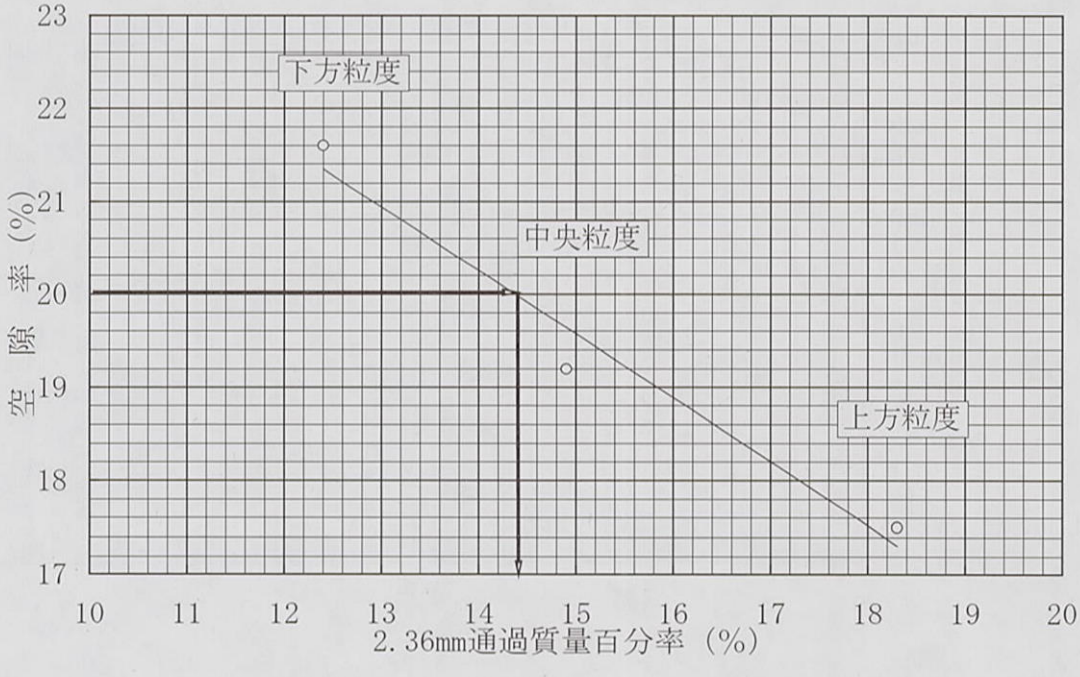


図-3.6 2.36mm通過通過質量百分率と空隙率との関係

④骨材配合比

以上の試験結果より、空隙率が 20%となるような骨材配合比と合成粒度は表-3.9 のとおりとした。この配合での粒度曲線を図-3.7 に示す。

表-3.9 骨材配合比と合成粒度

項　　目		決定配合	粒度範囲
目標 2.36mm 通過量%		14.4	
目標空隙率%		20	
骨材配合%	砕石 5 号	27	—
	砕石 6 号	58	
	粗　　砂	10	
	石　　粉	5	
通過質量百分率%	26.5 mm	100	100
	19.0	97.8	95～100
	13.2	72.1	64～84
	4.75	18.4	10～31
	2.36	14.1	10～20
	0.60	9.2	—
	0.30	6.9	—
	0.15	5.8	—
	0.075	4.1	3～7

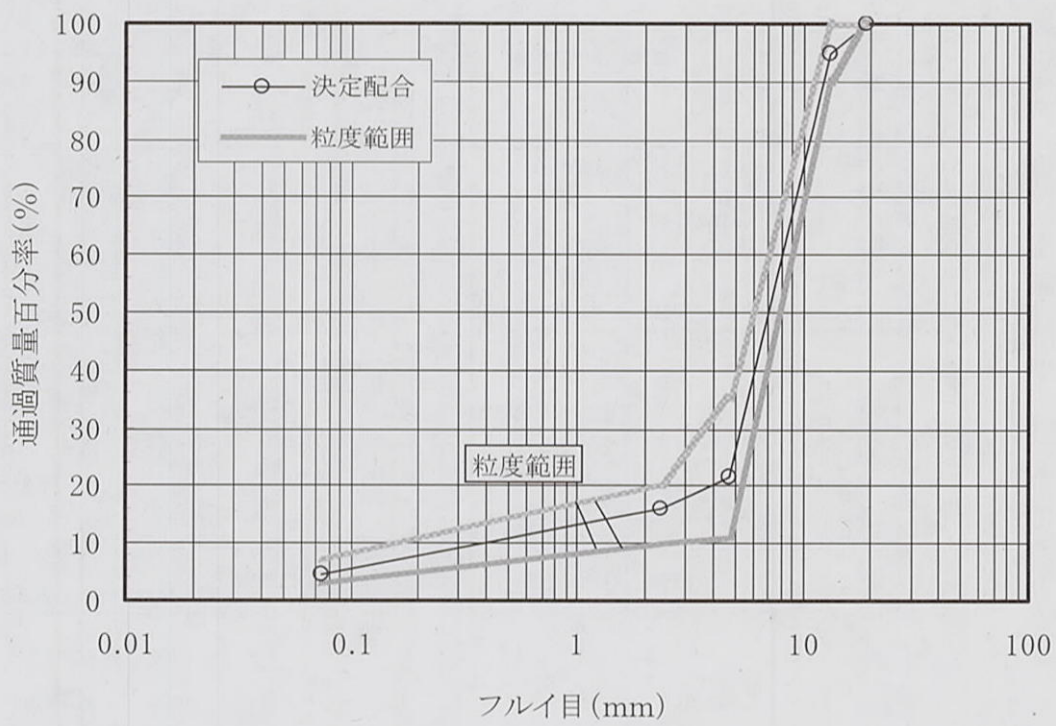


図-3.7 合成粒度曲線

⑤最適アスファルト量

表-3.8 に示した決定配合についてダレ試験を実施した結果、アスファルト量とダレ量の関係は表-3.10 および図-3.8 のとおりであった。これより、最適（最大）アスファルト量は 4.5%とした。

表-3.10 ダレ試験結果（数値はダレ量）

As量(%) / 混合物	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
開粒度アスファルト混合物(20)	0.37%	0.54%	1.04%	4.89%	8.60%

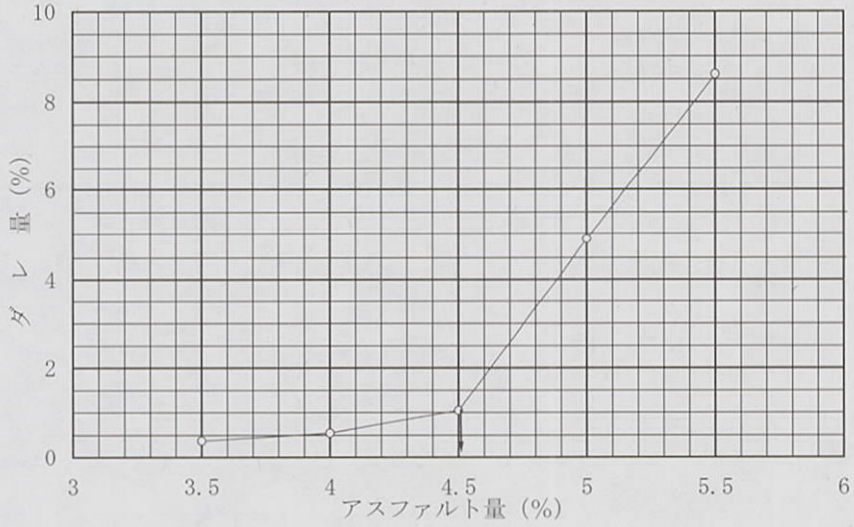


図-3.8 ダレ試験結果

⑥混合物の性状

最適アスファルト量におけるマーシャル試験結果と混合物性状の試験結果を表-3.11 に示す。これらより、マーシャル試験および混合物性状はすべて目標値を満足する結果となっており、骨材配合およびアスファルト量は適正であることが確認された。

表-3.11 マーシャル試験および各種混合物性状の試験結果

試験項目 / 混合物	開粒度アスファルト混合物(20)	目標値
最適アスファルト量(%)	4.5	—
理論密度(g/cm^3)	2.495	—
実測密度(g/cm^3)	1.996	—
空隙率(%)	20.0	20程度
連続空隙率(%)	16.8	—
安定度(kN)	16.8	3.5以上
フロー値(1/100cm)	5.49	—
透水係数 1×10^{-2}(cm/sec)	36.8	1×10^{-2}以上
カンタブロ損失率(%)	9.11	—
動的安定度(回/mm)	6300	1500以上

⑦まとめ

以上の室内配合試験より、試験施工では表-3.12に示す配合の混合物を使用することにした。また、その混合物性状をあらためて示すと同表に示すとおりである。

表-3.12　室内配合と性状値

項目		開粒度アスファルト混合物（20）	目標値
目標2.36mm通過量%		14.4	
目標空隙率　%		20	
骨材配合%	砕石5号	27	−
	砕石6号	58	
	粗　砂	10	
	石　粉	5	
通過質量百分率%	26.5 mm	100	100.0
	19.0	97.8	95～100
	13.2	72.1	64～84
	4.75	18.4	10～31
	2.36	14.1	10～20
	0.60	9.2	−
	0.30	6.9	−
	0.15	5.8	−
	0.075	4.1	3～7
最適ｱｽﾌｧﾙﾄ量（%）		4.5	−
密　度（g/cm³）		1.996	−
理論密度（g/cm³）		2.495	−
空隙率（%）		20.0	20程度
安定度（kN）		5.49	3.5以上
フロー（1/100cm）		33	20～40
透水係数 1×10^{-2}(cm/sec)		36.8	1×10^{-2}以上
カンタブロ損失率（%）		9.11	−
動的安定度（回/mm）		6300	1500以上

b) SMA(5)

1) 配合設計の方法

基層に用いるSMA(5)の配合設計は、マーシャル安定度試験により行った。なお、設計アスファルト量は、表-3.13に示す安定度と空隙率の基準値をすべて満足する共通範囲のなかで、空隙率が2.5%となるような量とすることとした。

表-3.13 マーシャル基準値および動的安定度目標

項目	基準値
空隙率 (%)	2～5
マーシャル安定度 kN	6.0以上
動的安定度 (回/mm)	1500以上

注) 突固め回数は両面各50回

2) 配合試験結果

①配合および合成粒度

配合および合成粒度は、表-3.14、図-3.9に示すとおりとした。

表-3.14 SMA(5)の配合と合 成 粒 度

骨材配合%	砕石7号	70
	細砂	20
	石粉	10
通過質量百分率%	13.2mm	100
	4.75	94.4
	2.36	36.3
	0.60	28.0
	0.30	18.5
	0.15	11.6
	0.075	8.1

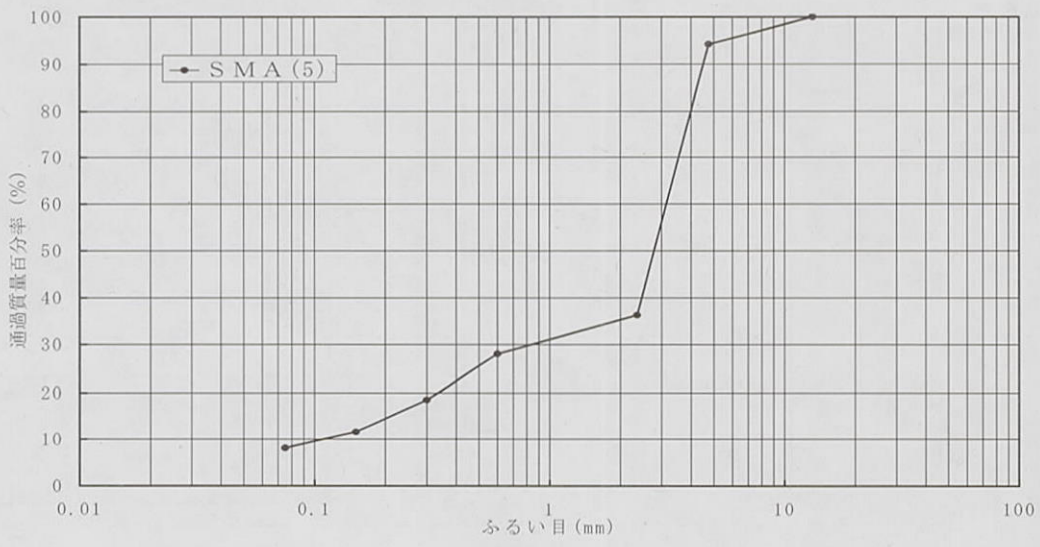


図-3.9 SMA(5)の粒度曲線

②マーシャル安定度試験結果

マーシャル安定度試験結果は、表-3.15、図-3.10のとおりであった。

表-3.15 マーシャル安定度試験結果

As量 (%)	密度 (g/cm^3)	理論密度 (g/cm^3)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	骨材間隙率 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
6.0	2.292	2.443	6.2	68.4	19.6	9.59	39
6.5	2.311	2.426	4.7	75.6	19.3	9.92	43
7.0	2.324	2.408	3.5	81.9	19.3	10.14	46
7.5	2.331	2.391	2.5	87.2	19.5	9.86	48
8.0	2.331	2.374	1.8	91	19.9	9.69	60

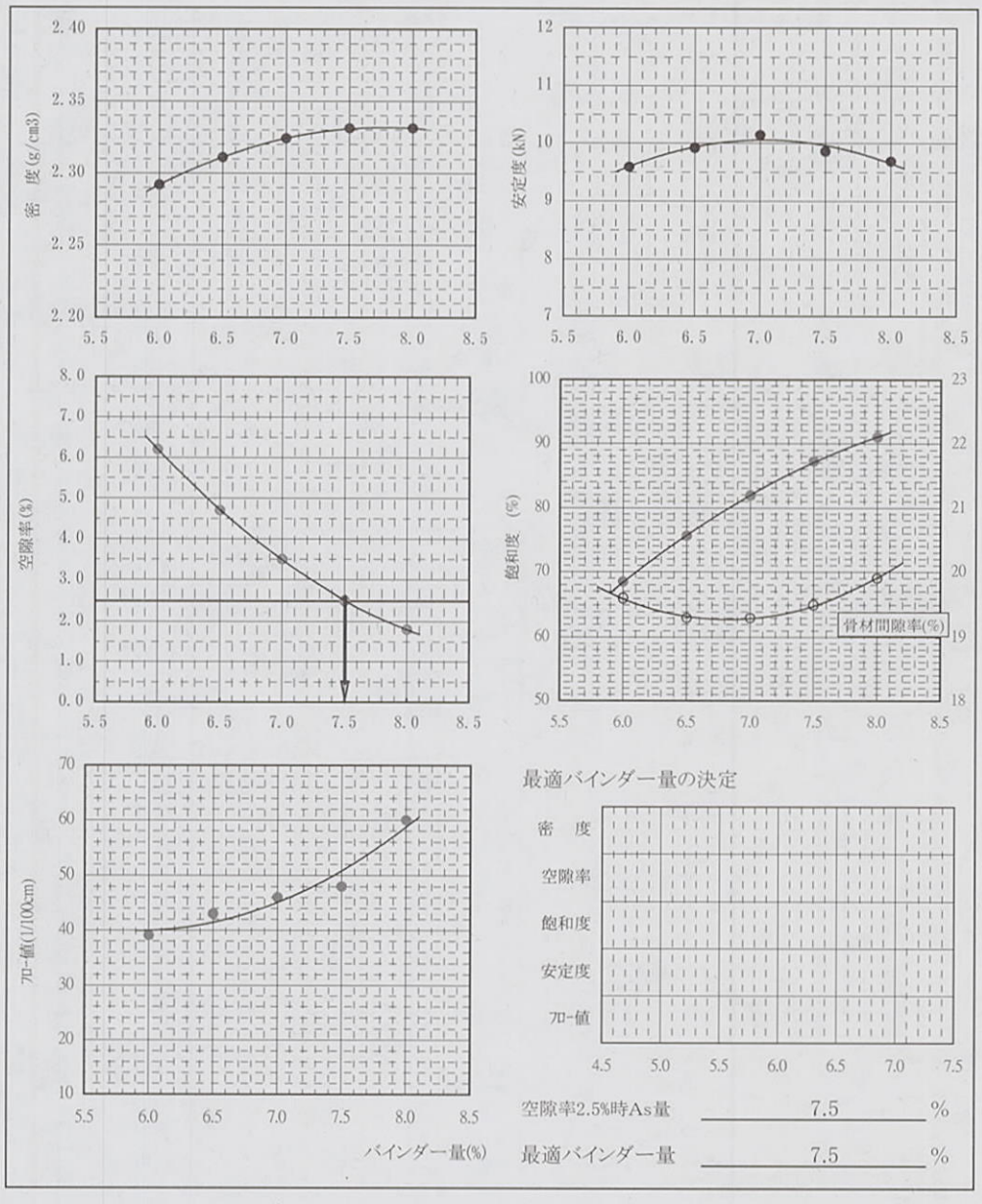


図-3.10 マーシャル特性図

以上の結果より、表-3.13に示した空隙率と安定度の基準値を満足するアスファルト量の共通範囲は、それぞれ6.4～7.8%、6.0～8.0%であり、これより両方の基準値を満足するアスファルト量の共通範囲は6.4～7.8%であった。また、目標の空隙率2.5%を満足するアスファルト量は、**図-8**に示したように7.5%であった。したがって、この値は、両方の基準値を満足する当該量の共通範囲内にあることから、設計アスファルト量は7.5%とした。

③動的安定度

アスファルト量7.5%における動的安定度は5200回/mmであった。これより、動的安定度は目標の1500回/mm以上を満足する結果が得られた。

④まとめ

以上の室内配合試験より、試験施工では表-3.16に示す配合の混合物を使用することにした。また、その混合物性状をあらためて示すと同表に示すとおりである。

表-3.16 SMA(5)の配合と性状値

混合物種		SMA(5)		基準値
混合物配合%	砕石7号	70	64.8	—
	細砂	20	18.5	
	石粉	10	9.2	
	高粘度改質アスファルト	—	7.5	
	植物性繊維(%)	—	0.3	
	合計	100	100.3	
通過質量百分率%	13.2mm	100		—
	4.75	94.4		
	2.36	36.3		
	0.60	28.0		
	0.30	18.5		
	0.15	11.6		
	0.075	8.1		
特性値	密度(g/cm^3)	2.331		—
	空隙率(%)	2.5		2～5
	飽和度(%)	87.1		—
	安定度(kN)	9.96		6以上
	フロー値(1/100mm)	51		—
動的安定度(回/mm)		5200		1500以上

c)SMA(13)

1)配合設計の方法

表層に用いる SMA(13)の配合設計は、マーシャル安定度試験により行った。なお、設計アスファルト量は、SMA(5)の場合と同様に表-3.13 に示した安定度と空隙率の基準値をすべて満足する共通範囲のなかで、空隙率が 2.5%となるような量とすることとした。

2)配合試験結果

①配合および合成粒度

配合および合成粒度は、表-3.17、図-3.11 に示すとおりとした。

表-3.17 SMA(5)の配合と合 成 粒 度

骨材配合%	砕石6号	62
	砕石7号	13
	細砂	13
	石粉	12
通過質量百分率%	19.0mm	100
	13.2	96.8
	4.75	40.7
	2.36	26.6
	0.60	23.4
	0.30	17.5
	0.15	12.9
	0.075	9.6

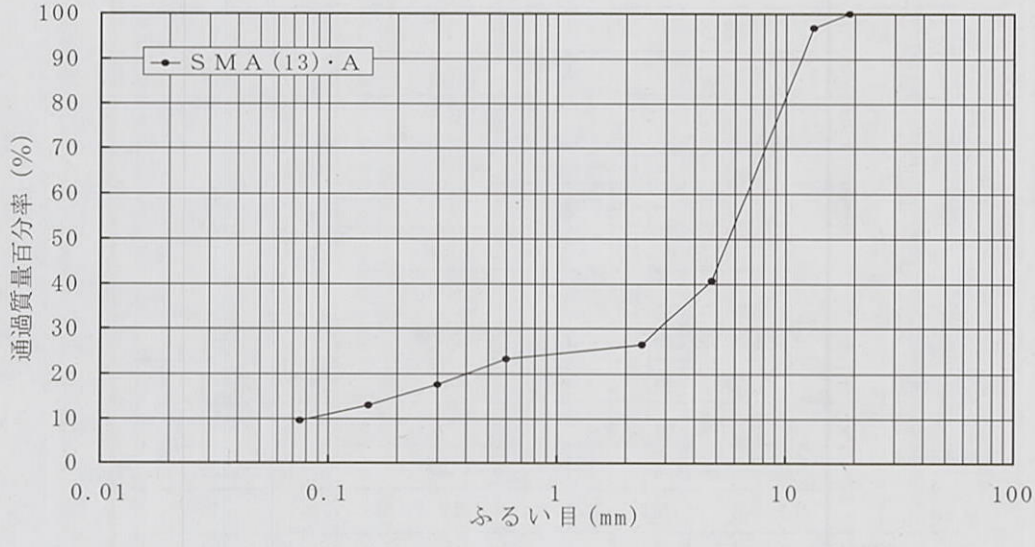


図-3.11 SMA(13)の粒度曲線

②マーシャル安定度試験結果

マーシャル安定度試験結果は、表-3.18、図-3.12のとおりであった。

表-3.18 マーシャル安定度試験結果

As量 (%)	密度 (g/cm^3)	理論密度 (g/cm^3)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	骨材間隙率 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
5.5	2.362	2.460	4.0	75.9	16.6	10.75	42
6.0	2.372	2.443	2.9	82.6	16.7	9.25	43
6.5	2.377	2.425	2.0	88.2	17.0	8.42	44
7.0	2.366	2.407	1.7	90.4	17.8	8.13	46
7.5	2.352	2.390	1.6	91.4	16.7	7.8	49

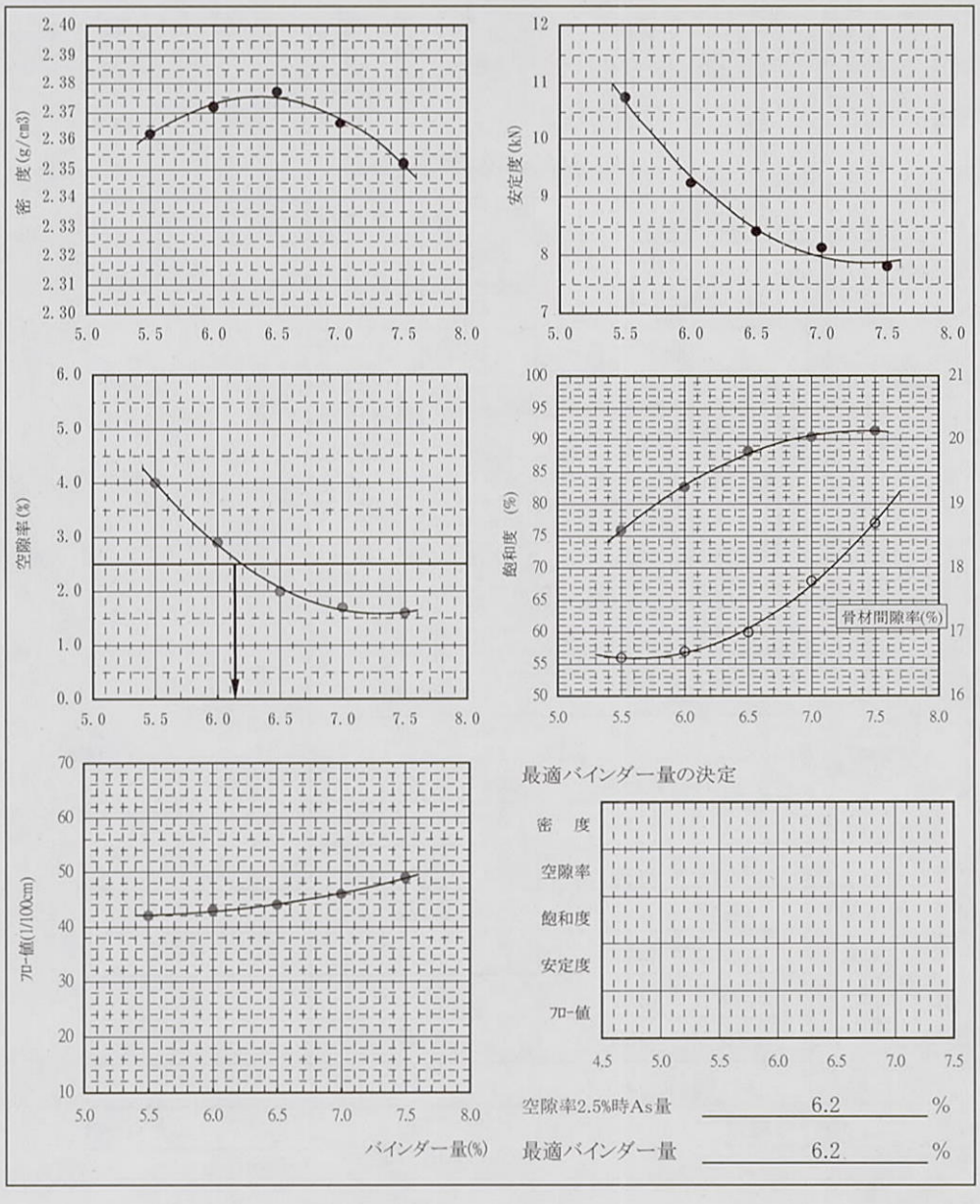


図-3.12 マーシャル特性図

以上の結果より、表-3.13に示した空隙率と安定度の基準値を満足するアスファルト量の共通範囲は、それぞれ5.5～6.6%、5.5～7.5%であり、これより両方の基準値を満足するアスファルト量の共通範囲は5.5～6.6%であった。また、目標の空隙率2.5%を満足するアスファルト量は、図-3.12に示したように6.2%であった。したがって、この値は、両方の基準値を満足する当該量の共通範囲内にあることから、設計アスファルト量は6.2%とした。

③動的安定度

アスファルト量7.5%における動的安定度は5700回/mmであった。これより、動的安定度は目標の1500回/mm以上を満足する結果が得られた。

④まとめ

以上の室内配合試験より、試験施工では表-3.19に示す配合の混合物を使用することにした。また、その混合物性状をあらためて示すと同表に示すとおりである。

表-3.19 SMA(13)の配合と性状値

混合物種		SMA(13)		基準値
混合物配合%	砕石6号	62	58.1	
	砕石7号	13	12.2	—
	細砂	13	12.2	
	石粉	12	11.3	
	高粘度改質アスファルト	—	6.2	
	植物性繊維(%)	—	0.3	
	合計	100	100.3	
通過質量百分率%	19.0mm	100		—
	13.2	96.8		
	4.75	40.7		
	2.36	26.6		
	0.60	23.4		
	0.30	17.5		
	0.15	12.9		
	0.075	9.7		
特性値	密度(g/cm^3)	2.375		—
	空隙率(%)	2.5		2～5
	飽和度(%)	85.1		—
	安定度(kN)	8.95		6以上
	フロー値(1/100mm)	43		—
動的安定度(回/mm)		5700		3000以上

(5)施工

a)実施工程

施工は、表-3.20に示すような工程で行った。なお、ガラスグリッドの敷設では、当該材を敷設基盤面と十分密着させるためには、当該材裏面に圧着されている接着剤の性質により敷設基盤面の温度が60℃以下であることが必要となる。このため、SMA(5)の舗設後の表面温度が60℃以下となるまでの養生時間を考え、無理することなく2日に分けて施工を行うようにした。

表-3.20 実施作業工程

工種＼日時		一日目									二日目								
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	8	9	10	11	12	13	14	15	16
準備工																			
プライムコート																			
基層工	開粒(20)																		
	SMA(5)																		
ガラスグリッド敷設																			
表層工	SMA(13)																		
片づけ																			

b)施工状況

1)プライムコート

プライムコートは、アスファルト乳剤（PK-3）を1ℓ/m2程度均一になるように散布し、その後砂を撒いて養生した。試験施工箇所の施工前の状況と、プライムコートの散布状況、養生砂の散布状況を写真-3.1～3.3に示す。



写真-3.1 試験施工箇所の施工前の状況



写真-3.2 プライムコートの散布状況



写真-3.3 養生砂の散布状況

2)開粒度アスファルト混合物(20)の舗設

基層の開粒度アスファルト混合物(20)は、通常の施工どおりアスファルトフィニッシャにより締固め後の厚さが所定の 7.5cm となるように敷均し、マカダムローラ、タイヤローラで転圧して舗設した。当該混合物の敷均し状況と転圧状況を写真-3.4、写真-3.5 に示す。また、仕上がり表面の状況を写真-3.6 に示す。



写真-3.4　開粒度アスファルト混合物(20)の敷均し状況



写真-3.5　開粒度アスファルト混合物(20)の転圧状況

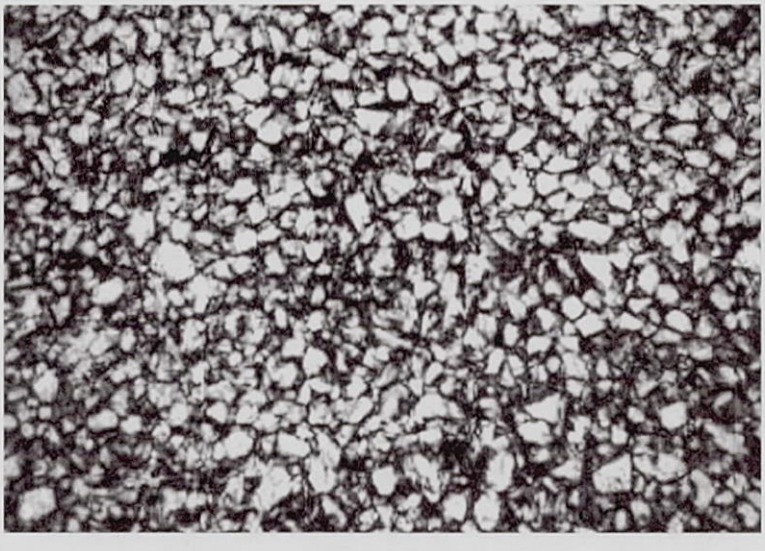


写真-3.6　開粒度アスファルト混合物(20)の仕上がり表面のきめ

3）SMA(5)の舗設

基層の SMA(5)は、通常の施工どおりアスファルトフィニッシャにより締固め後の厚さが所定の 2.5cm となるように敷均し、マカダムローラ、タイヤローラで転圧して舗設した。当該混合物の敷均し状況と転圧状況を写真-3.7、写真-3.8 に示す。また、仕上がり表面の状況を写真-3.9 に示す。



写真-3.7　SMA(5)の敷均し状況



写真-3.8　SMA(5)の転圧状況



写真-3.9　SMA(5)の仕上がり表面のきめ

4)ガラスグリッドの敷設

ガラスグリッドの敷設は、下記の図-3.13に示すような手順で行った。すなわち、まずロール状になっているガラスグリッドを施工されたSMA(5)の表面に敷き拡げ、お互いに重なる箇所はそのラップ幅が10cm程度となるように敷設した。なお、施工の起終点部は施工時によるガラスグリッドの万が一のずれを考慮して、その起終点の端から50cm～1m程度は敷設しないことにした。また、舗装の幅員方向の両端部は施工箇所が曲率の大きな曲線部でありこれにきっちり合わせ敷設することはかなり難しいため、この両端部では10～20cm程度端部から空いても構わないようにして敷設した。ガラスグリッドの敷設が終了したら、ガス銃を用いて固定釘を打ち込むことによりガラスグリッドを固定した。その間隔は縦断方向で2m、横断方向で40cm程度を目安とした。ガラスグリッドの固定が終了したら、タイヤローラを数回走行させSMA(5)との密着を図るようにした。

ガラスグリッドの敷設状況、固定釘による固定状況、タイヤローラによる密着状況、ガラスグッリド敷設完了後の状況を写真-3.10～3.13に示す。

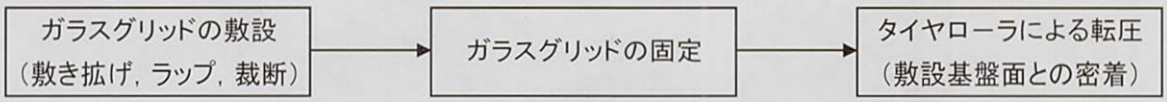


図-3.13　ガラスグリッドの敷設手順



写真-3.10 ガラスグリッドの敷設状況

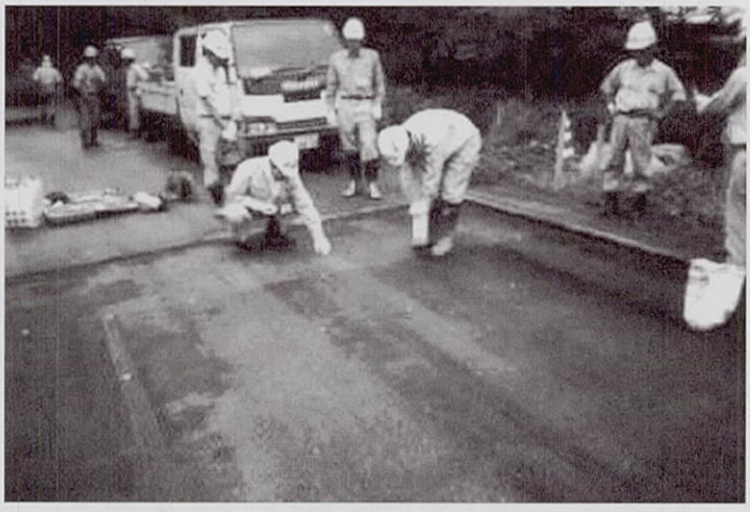


写真-3.11　ガラスグリッドの固定状況

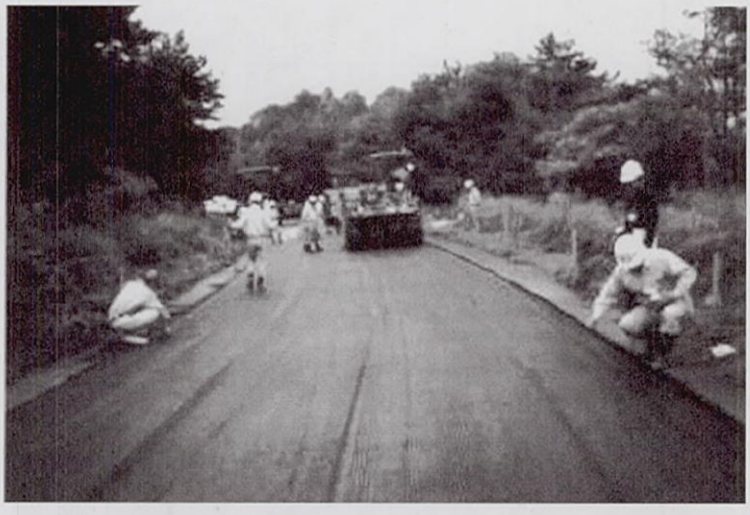


写真-3.12　タイヤローラ走行によるガラスグリッドの密着状況



写真-3.13　ガラスグリッドの敷設完了後の状況

5）SMA(13)の舗設

表層の SMA(13)は、通常の施工どおりアスファルトフィニッシャにより締固め後の厚さが所定の 4cm となるように敷均し、マカダムローラ、タイヤローラで転圧して舗設した。当該混合物の敷均し状況と転圧状況を写真-3.14、写真-3.15 に示す。また、仕上がり表面の状況を写真-3.16 に示す。

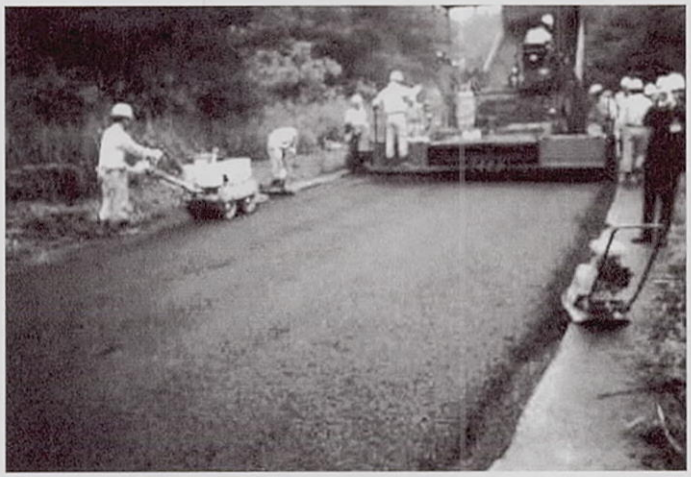


写真-3.14 SMA(13)の敷均し状況



写真-3.15 SMA(13)の転圧状況



写真-3.16 SMA(13)の仕上がり表面のきめ

(B)振動軽減型舗装A(type2)

(1)概要

試験施工は、2.1の予備実験の結果より得られた提案舗装断面Ⅱの振動軽減効果と耐久性を確認するために実施した。試験施工では、試験終了後の振動軽減型舗装A（type1）の表基層分を全厚撤去した後、新たに表基層部分を舗設した。各層の混合物の舗設は、振動軽減型舗装A（type1）と同様に通常のアスファルト舗装と同じように行い、ガラスグリッドの敷設は通常の施工法にしたがい行った。

本施工における施工場所と施工面積は下記のとおりである。

①施工場所　：独立行政法人土木研究所内舗装走行実験場

②施工面積　：187.2m^2（延長 36m、幅員 5.2m）

(2)舗装断面

本試験施工で実施した施工断面は図-3.14のとおりである。同図に示すように、基層には、振動軽減型舗装A（type1）と同様に空隙率 20%程度の開粒度アスファルト混合物（20）と高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（5）を設け、その上にガラスグリッドを敷設し、表層には振動軽減型舗装A（type1）に使用した高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（13）の替わりに高粘度改質アスファルトをバインダーとした開粒（13）を設ける舗装構成としている。T_Aは同図に示すように振動軽減型舗装A（type1）と同様に 29.6cm である。ただし、表層の開粒(13)の厚さは、振動軽減型舗装A（type1）の表層厚より 1cm 厚い 5cm とし、その分基層の開粒（20）の厚さを 7.5cm から 6.5cm と 1cm 薄くするようにした（SMA(5)の厚さは振動軽減型舗装A（type1）と同じ 2.5cm）。これは、表層を開粒度混合物とすることにより振動軽減型舗装A（type1）の SMA(13)の場合と比べ表層混合物とガラスグリッドおよび基層面との接着性が小さくなると懸念されたため、表層厚を厚くすることでこの境界面に作用する水平せん断力を減少させるようにするのがよいと考えたためである。また、今回の施工では、表層の開粒度混合物(13)とガラスグリッドおよび基層面（SMA(5)）との付着を確保するために、ガラスグリッドを敷設した後に、ダンプのタイヤへの付着が少なく接着力の高い高性能改質アスファルト乳剤を用いてタックコートを行った。

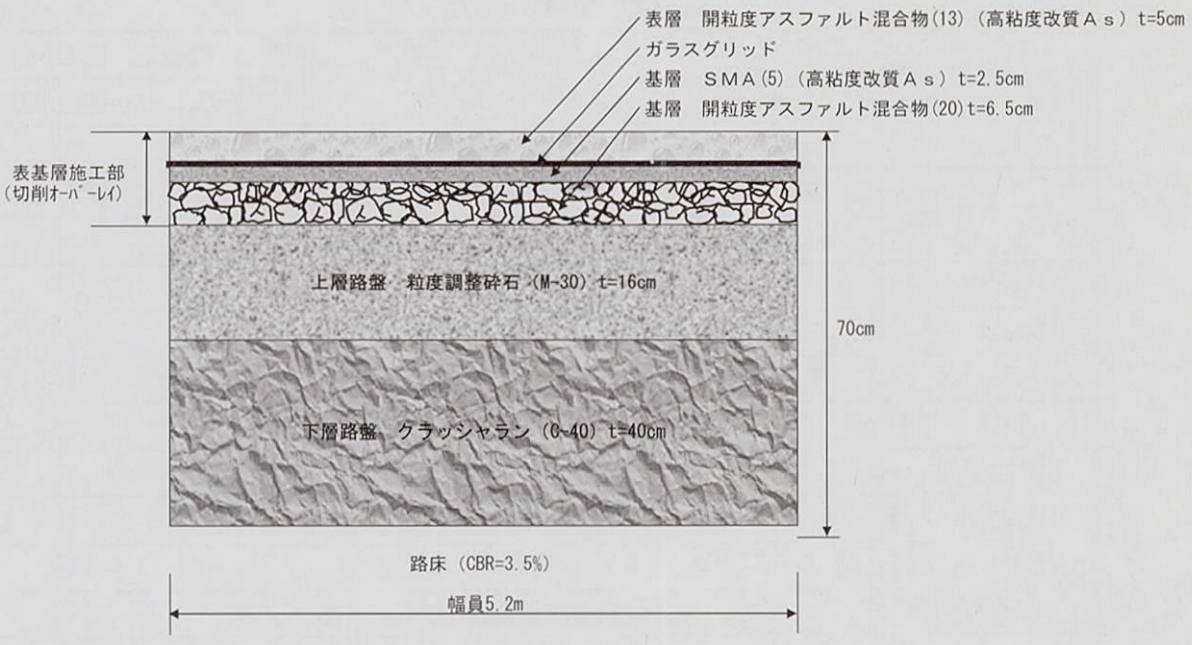


図-3.14 試験施工断面

なお、内側の路肩部は、表層の開粒度混合物内に浸透した雨水を排水処理するために、図-3.15のように、振動測定箇所（舗装幅中心から2.7mの位置）の部分を除いては、既設のアスファルト混合物を全延長にわたり幅40cm程度で撤去し、さらにその外側を4m間隔に幅50cm程度で撤去し（計9箇所）、その部分を表層で用いるのと同じ開粒度混合物(13)で舗設し直した。また、振動測定箇所（工区中央の舗装幅中心から2.7mの位置）の部分は、他の路肩部分を撤去している際に下地の路盤とのはがれがみられたため、その部分を撤去して図-3.15に示すように既設路肩の混合物と同一材料の密粒度アスファルト混合物（13）で舗設し直した。

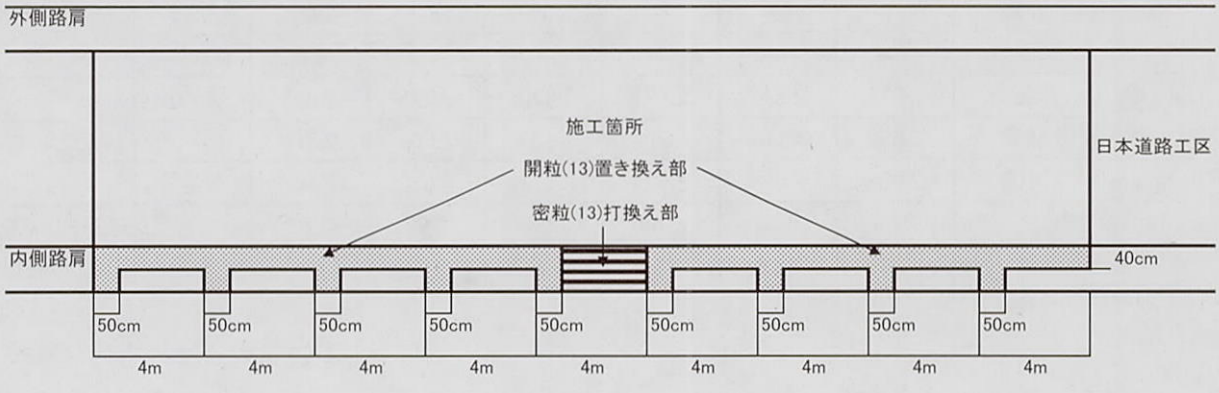


図-3.15 排水処理のための内側路肩の処置

(3)使用材料

試験施工で使用した主な材料と骨材およびタックコート用乳剤の性状を表-3.21～3.23に示す。なお、高粘度改質アスファルトとガラスグリッドは、振動軽減型舗装Ａ（type1）と同じものを使用しており、その性状は表-3.4および表-3.5に示したとおりである。

表-3.21　使用した主な材料

材料種別	産地	材質	使用した混合物		
			開粒(20)	SMA(5)	開粒(13)
5号砕石	茨城県新治郡	砂岩	○	—	—
6号砕石	茨城県新治郡	砂岩A	○	—	—
	茨城県西茨城郡	砂岩B	—	—	○
7号砕石	茨城県新治郡	砂岩	—	○	—
細砂	千葉県佐原市	洗い砂	—	○	—
粗砂	茨城県下館市	洗い砂	○	—	○
石粉	栃木県安蘇郡葛生町	炭酸カルシウム	○	○	○
植物性繊維	—	アーボセル	—	○	—
アスファルト	—	高粘度改質As	○	○	○
タックコート用乳剤	—	改質As乳剤	—		
ガラスグリッド	—	局部敷設タイプ(#8512)	—		

表-3.22　使用した骨材の性状

試験項目		5号砕石	6号砕石		7号砕石	細砂	粗砂	石粉	舗装施工便覧目標値
			塚田陶管	大泉砕石					
通過質量百分率%	26.5mm	100	—	—	—	—	—	—	—
	19.0	91.8	100	100	—	—	—	—	
	13.2	7.9	94.9	93.6	100	—	100	—	
	4.75	0.4	5.9	5.1	92	100	99.3	—	
	2.36	—	0.8	0.2	9.1	99.3	85.8	—	
	0.60	—	—	—	1.2	86.2	41.6	—	
	0.30	—	—	—	—	42.3	19.3	100	
	0.15	—	—	—	—	8.3	8.6	98.5	
	0.075	—	—	—	—	1.2	2.4	78.8	
密度 (g/cm^3)	見掛け	2.678	2.672	2.671	2.670	2.715	2.654	2.718	—
	表乾	2.653	2.640	2.641	2.633	2.586	2.538	—	砕石2.45以上
	かさ	2.638	2.621	2.624	2.611	2.512	2.467	—	—
吸水率　(%)		0.56	0.73	0.68	2.87	2.98	2.87	—	砕石3.0%以下
すり減り減量　(%		—	18.6	12.3	—	—	—	—	砕石30%以下

(注)試験は舗装試験便覧による

表-3.23 使用したタックコート用乳剤の性状

試験項目			製品規格値	試験値
エングラー度（25℃）			3～15	6
ふるい残留分(1.18mm)		質量%	0.3以下	0.0
付着度			2/3以上	2/3以上
粒子の電荷			陽(＋)	陽(＋)
蒸発残留分		質量%	60以上	60以上
蒸発残留物	針入度(25℃)	1/10mm	5～40	21
	軟化点	℃	60.0以上	62.5
貯蔵安定度（24h）		質量%	1以下	0.2

（注）試験はJIS K2208および（社）日本アスファルト乳剤協会規格の試験法に準拠

(4)配合設計

a)開粒度アスファルト混合物(20)

基層に用いた開粒度アスファルト混合物(20)は、振動軽減型舗装A（type1）と同じ配合のもので、その配合は表-3.12に示したとおりである。

b)SMA(5)

基層に用いた開粒度アスファルト混合物(20)は、振動軽減型舗装A（type1）と同じ配合のもので、その配合は表-3.16に示したとおりである。

c)開粒度アスファルト混合物(13)

1)配合設計の方法

表層に用いる開粒度アスファルト混合物(13)の配合設計は、排水性舗装技術指針（案）にしたがい、図-3.4に示したような手順で行った。なお、各種試験は舗装試験法便覧および同別冊にしたがい実施した。

2)配合試験結果

①暫定配合

設定した暫定配合とその合成粒度は、それぞれ表-3.24と図-3.16に示すとおりである。

表-3.24 暫定配合とその合成粒度

項　　目		配合１	配合２	配合３	粒度範囲
目標 2.36mm 通過量%		12	15	18	
骨材配合%	砕石６号	87.0	83.5	80.0	－
	粗　　砂	8.0	11.5	15.0	
	石　　粉	5.0	5.0	5.0	
通過質量百分率 %	19.0mm	100.0	100.0	100.0	100
	13.2	94.4	94.7	94.9	90～100
	4.75	17.4	20.8	24.0	11～35
	2.36	12.1	15.1	18.1	10～20
	0.60	8.5	10.0	11.5	－
	0.30	6.6	7.3	8.0	－
	0.15	5.4	5.6	5.8	－
	0.075	4.5	4.5	4.6	3～7

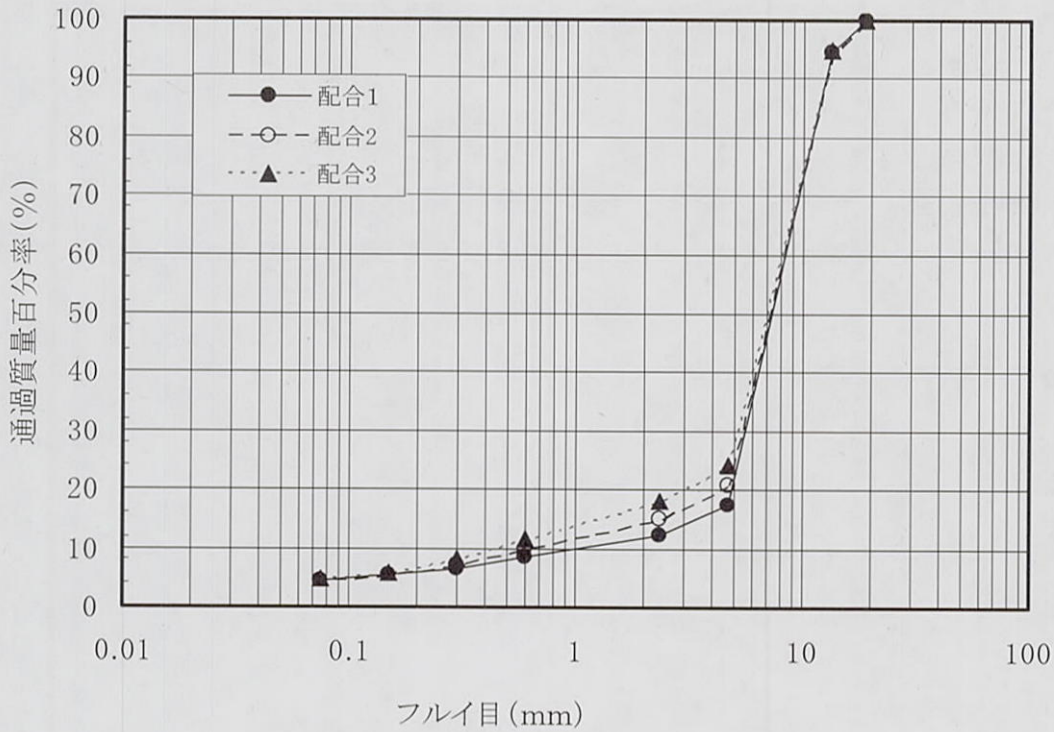


図-3.16 暫定配合における粒度

②暫定アスファルト量

各暫定配合における骨材に対する暫定アスファルト量（アスファルト被膜膜厚１４μｍのときのアスファルト量）は表-3.25に示すとおりである。

表-3.25 暫定アスファルト量の計算結果

配合種別	暫定アスファルト量(%)
配合１	5.0 (4.8)
配合２	5.2 (4.9)
配合３	5.5(5.2)

（注）（）内は混合物に対する量

③暫定配合における空隙率

表-3.25 に示した暫定アスファルト量において試し突きの密度を測定した結果は表-3.26のとおりである。また、その際の空隙率と 2.36mm 通過量の関係を示すと図-3.17 のとおりである。

表-3.26 暫定配合の空隙率測定結果

2.36mm 通過量 (%)	Ａｓ量 (%)	理論密度 (g/cm³)	実測密度 (g/cm³)	空隙率 (%)
12.1	4.8	2.475	1.841	25.6
15.1	4.9	2.467	1.942	21.3
18.1	5.2	2.456	2.026	17.5

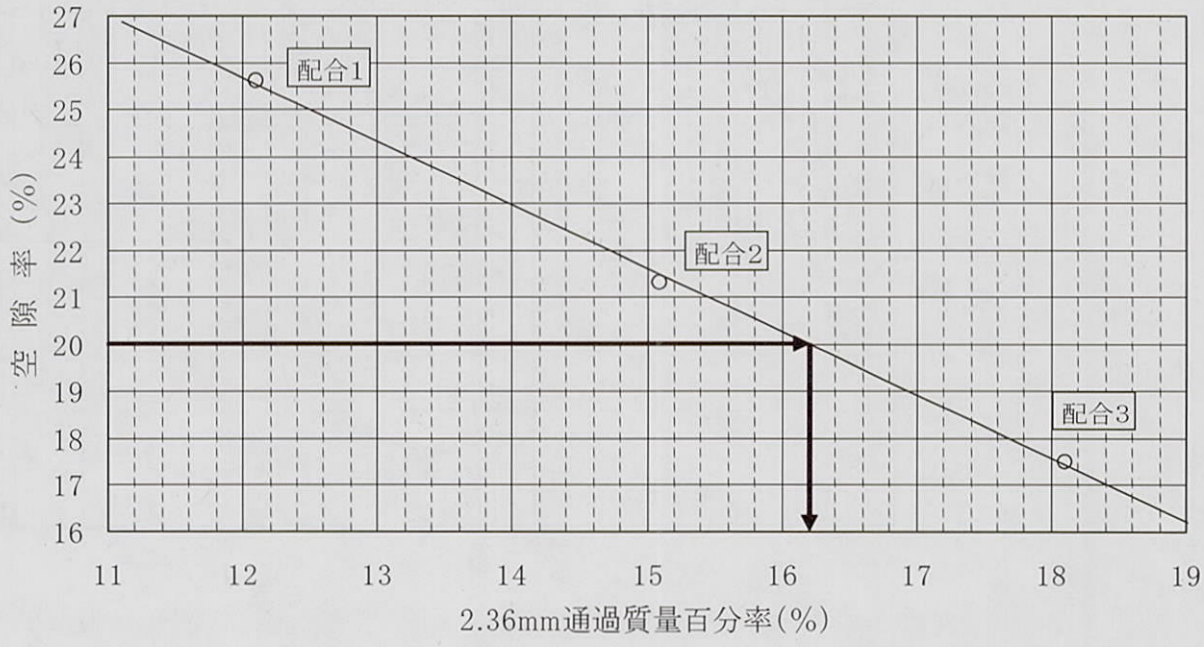


図-3.17 2.36mm 通過通過質量百分率と空隙率との関係

④骨材配合比

以上の試験結果より、空隙率が 20%となるような骨材配合比と合成粒度は表-3.27 のとおりとした。この配合での粒度曲線を図-3.18 に示す。

表-3.27 骨材配合比と合成粒度

項目		決定配合	粒度範囲
目標 2.36mm 通過量%		16.2	
目標空隙率%		20	
骨材配合%	砕石 6 号	82.5	−
	粗　砂	12.5	
	石　粉	5.0	
通過質量百分率%	19.0	100.0	100
	13.2	94.7	90～100
	4.75	21.7	11～35
	2.36	16.0	10～20
	0.60	10.5	−
	0.30	7.5	−
	0.15	5.6	−
	0.075	4.5	3～7

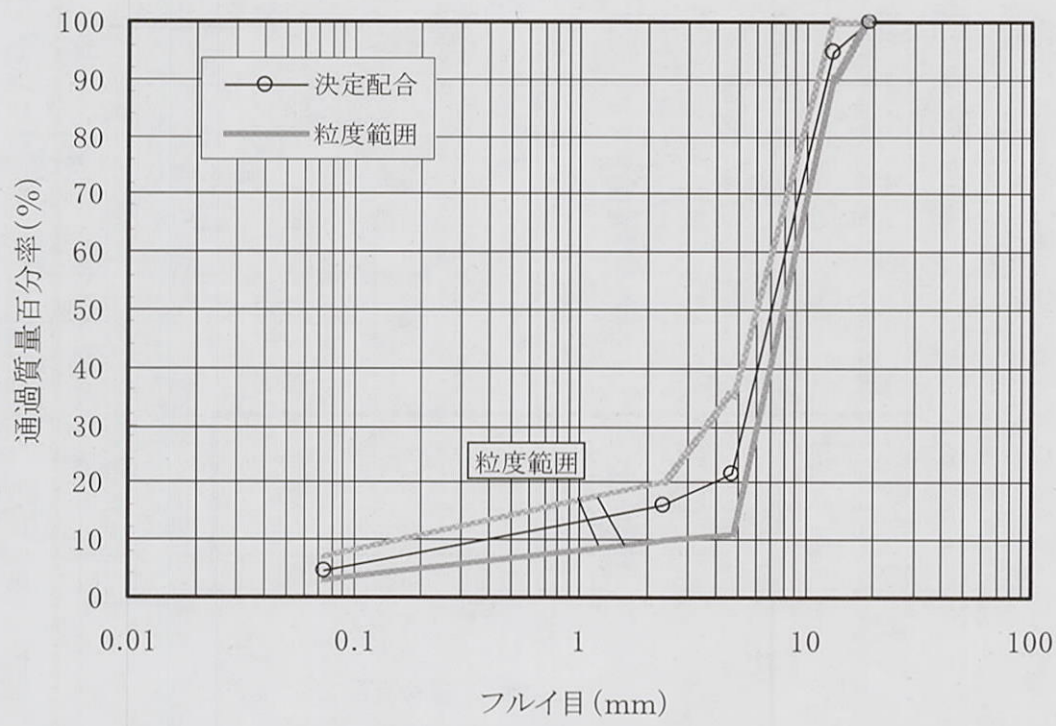


図-3.18 合成粒度曲線

⑤最適アスファルト量

表-3.27 に示した決定配合についてダレ試験を実施した結果、アスファルト量とダレ量の関係は表-3.28 および図-3.19 のとおりであった。これより、最適（最大）アスファルト量は 4.9%とした。

表-3.28 ダレ試験結果（数値はダレ量）

As量(%) / 混合物	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
開粒度アスファルト混合物(13)	1.18%	1.80%	3.19%	6.03%	9.26%

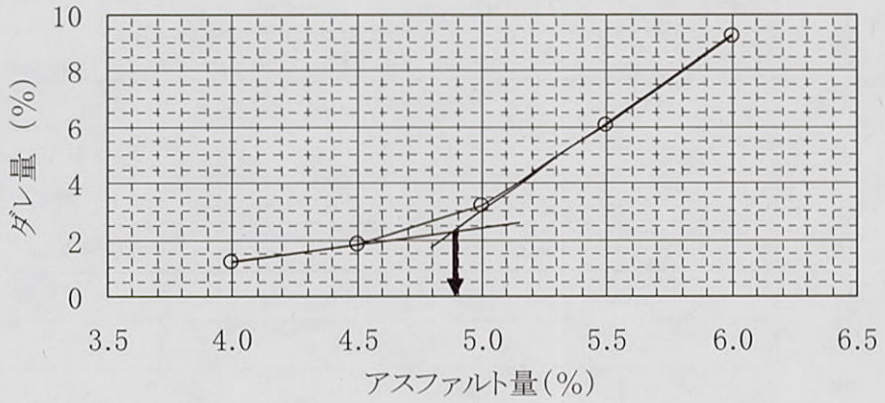


図-3.19 ダレ試験結果

⑥混合物の性状

最適アスファルト量におけるマーシャル試験結果と混合物性状の試験結果を表-3.29 に示す。これらより、マーシャル試験および混合物性状はすべて目標値を満足する結果となっており、骨材配合およびアスファルト量は適正であることが確認された。

表-3.29 マーシャル試験および各種混合物性状の試験結果

混合物 / 試験項目	開粒度アスファルト混合物(20)	目標値
最適アスファルト量(%)	4.9	—
理論密度(g/cm^3)	2.478	—
実測密度(g/cm^3)	1.977	—
空隙率(%)	20.2	20程度
安定度(kN)	5.89	3.5以上
フロー値(1/100cm)	34	—
透水係数 1×10^{-2}(cm/sec)	22.9	1×10^{-2}以上
カンタブロ損失率(%)	6.2	—
動的安定度(回/mm)	5250	3000以上

⑦まとめ

以上の室内配合試験より、試験施工では表-3.30に示す配合の混合物を使用することにした。また、その混合物性状をあらためて示すと同表に示すとおりである。

表-3.30　室内配合と性状値

混合物種		開粒(13)		目標値
混合物配合%	砕石6号	82.5	78.5	—
	粗砂	12.5	11.9	
	石粉	5.0	4.7	
	高粘度改質アスファルト	—	4.9	
	合計	100	100	
通過質量百分率%	19.0	100		100
	13.2	95		90～100
	4.75	21		11～35
	2.36	16		10～20
	0.60	10.5		—
	0.30	7.5		—
	0.15	5.6		—
	0.075	4.5		3～7
特性値	密度(g/cm^3)	1.977		—
	空隙率(%)	20.2		20程度
	安定度(kN)	5.89		3.5以上
	フロー値(1/100mm)	34		20～40
透水係数　1×10^{-2}(cm/sec)		22.9		1×10^{-2}以上
カンタブロ損失率(%)		6.2		—
動的安定度(回/mm)		5250		3000以上

(5)施工

a)実施工程

施工は、2日に分けて表-3.31に示すような工程で行った。すなわち、一日目は振動軽減型舗装A（type1）の表基層部分の切削と内側路肩部の撤去および既設路盤の整正、プライムコート、基層の開粒(20)、SMA(5)の舗設までを行い、二日目はガラスグリッドの敷設とタックコートおよび表層の開粒(13)および撤去した路肩部部分の舗設を行った。

表-3.31 実施作業工程

工種＼日時		一日目											二日目										
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
準備工																							
既設表基層と内側路肩部（4m間隔，幅50cm程度）の撤去＆既設路盤の整正																							
プライムコート																							
基層工	開粒（20）																						
	SMA(5)																						
ガラスグリッドの敷設																							
タックコート																							
表層工（路肩部含む）	開粒(13)																						
清掃・片づけ																							

b)施工状況

1)既設表基層および内側路肩部分の撤去

振動軽減型舗装A（type1）の施工した既設表基層部分（厚さ 14cm）の撤去は路面切削機により行い、図-3.15に示した内側路肩部分の撤去はコアカッターで所定の箇所を切断したあと人力で行った。その後既設路盤を整正した。なお、表基層間に敷設されていたガラスグリッドの破砕は問題なく行えた（写真-3.20参照）。

試験施工箇所の施工前の状況、表基層の切削状況、切削材の状況、内側路肩部分の撤去状況および撤去後の状況、既設路盤の整正状況を写真-3.17～写真-3.23に示す。



写真-3.17　試験施工箇所の施工前の状況



写真-3.18　路面切削機による既設表基層の切削状況



写真-3.19　路面切削機による既設表基層の切削状況



写真-3.20　路面切削機により切削された切削材の状況



写真-3.21　内側路肩部の撤去状況



写真-3.22　内側路肩部の撤去後の状況



写真-3.23 既設路盤の整正状況

2)プライムコート

プライムコートは、アスファルト乳剤（PK-3）を 1ℓ/m² 程度均一になるように散布し、その後砂を撒いて養生した。プライムコートの散布および養生砂の散布状況を写真-3.24 に示す。



写真-3.24 プライムコートの散布および養生砂の散布状況

3)開粒度アスファルト混合物(20)の舗設

基層の開粒度アスファルト混合物(20)は、通常の施工どおりアスファルトフィニッシャにより締固め後の厚さが所定の 6.5cm となるように敷均し、マカダムローラ、タイヤローラで転圧して舗設した。当該混合物の敷均し状況と転圧状況を写真-3.25、写真-3.26 に示す。また、仕上がり表面の状況を写真-3.27 に示す。



写真-3.25　開粒度アスファルト混合物(20)の敷均し状況

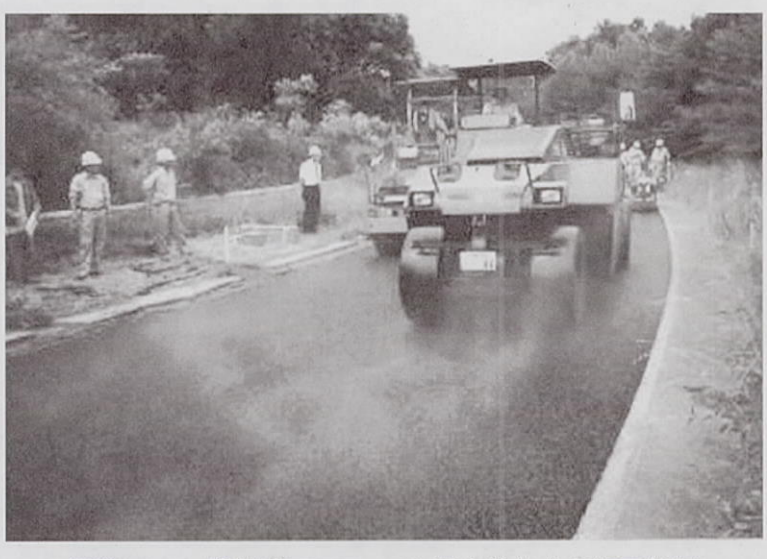


写真-3.26　開粒度アスファルト混合物(20)の転圧状況

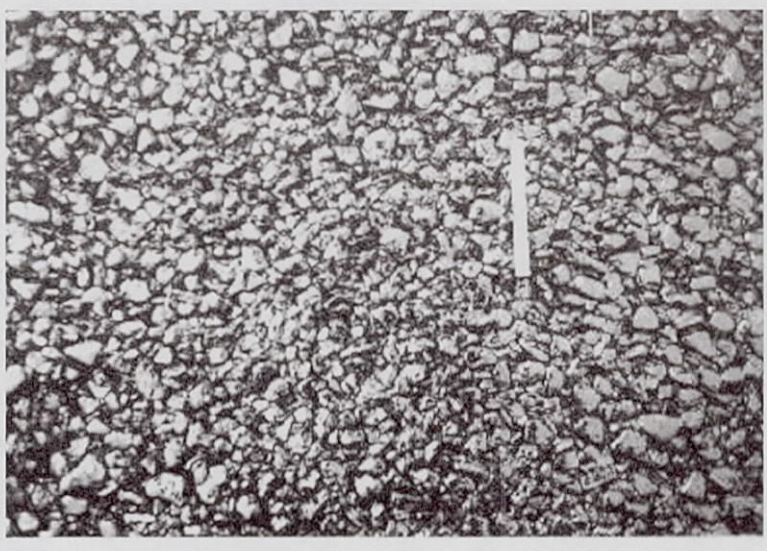


写真-3.27　開粒度アスファルト混合物(20)の仕上がり表面のきめ

4）SMA(5)の舗設

基層の SMA(5)は、通常の施工どおりアスファルトフィニッシャにより締固め後の厚さが所定の 2.5cm となるように敷均し、マカダムローラ、タイヤローラで転圧して舗設した。当該混合物の敷均し状況と転圧状況を写真-3.28～3.30 に示す。また、仕上がり表面の状況を写真-3.31 に示す。

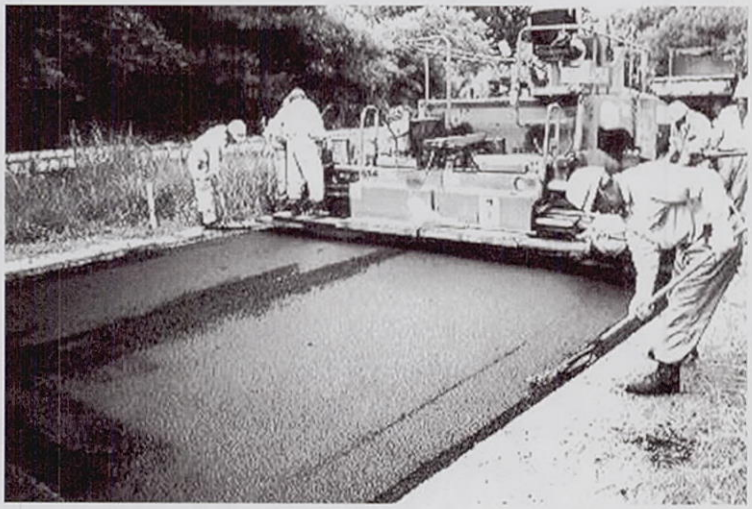


写真-3.28　SMA(5)の敷均し状況



写真-3.29　SMA(5)の転圧状況



写真-3.30　SMA(5)の転圧状況

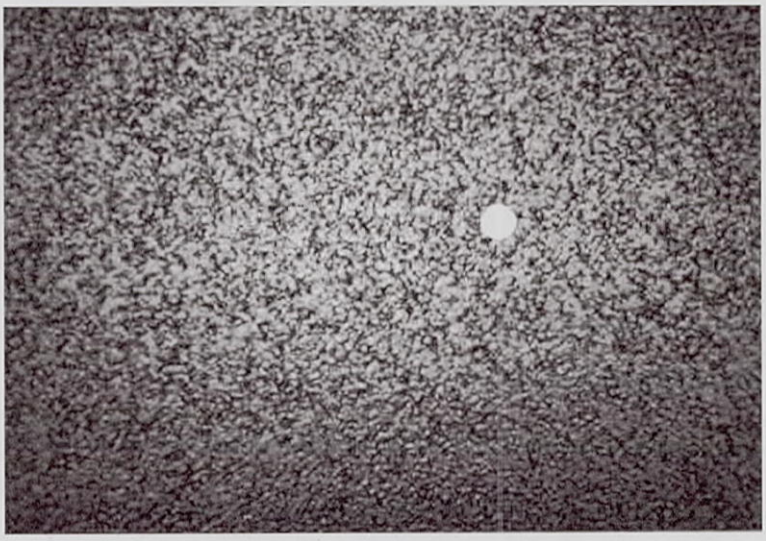


写真-3.31　SMA(5)の仕上がり表面のきめ

5)ガラスグリッドの敷設

ガラスグリッドの敷設は、振動軽減型舗装A（type1）の施工と同様に図-3.13 に示したような手順で行った。また、ガラスグリッドの敷設の仕方は、概ね振動軽減型舗装A（type1）と同様に行った。すなわち、ガラスグリッドは、ロール状となっているガラスグリッドを施工されたSMA(5)の表面に敷き拡げたのち、ガス銃を用いて一定の間隔で固定釘を打ち込んで固定した。なお、施工の起終点部は、振動軽減型舗装A（type1）と同様に施工時によるガラスグリッドの万が一のずれを考慮して、その起終点の端から 50cm～1m 程度は敷設しないことにし、舗装の幅員方向の両端部は施工箇所が曲率の大きな曲線部でありこれにきっちり合わせ敷設することはかなり難しいため、この両端部では 30～40cm 程度端部から空いても構わないようにして敷設した。その後、タイヤローラを数回走行させてSMA(5)との密着を図った。ただし、今回の施工では、表層の開粒度アスファルト混合物（13）とガラスグリッドおよびSMA(5)の付着性確保を考慮して、振動軽減型舗装A（type1）の施工と違いガラスグリッドはラップさせないように敷設した。

ガラスグリッドの敷設状況、固定釘による固定状況、タイヤローラによる密着状況を写真-3.32～3.34に示す。

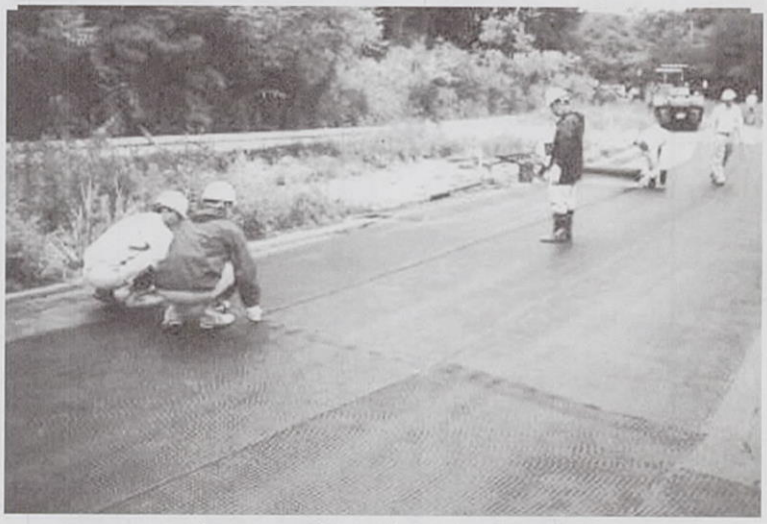


写真-3.32 ガラスグリッドの敷設状況

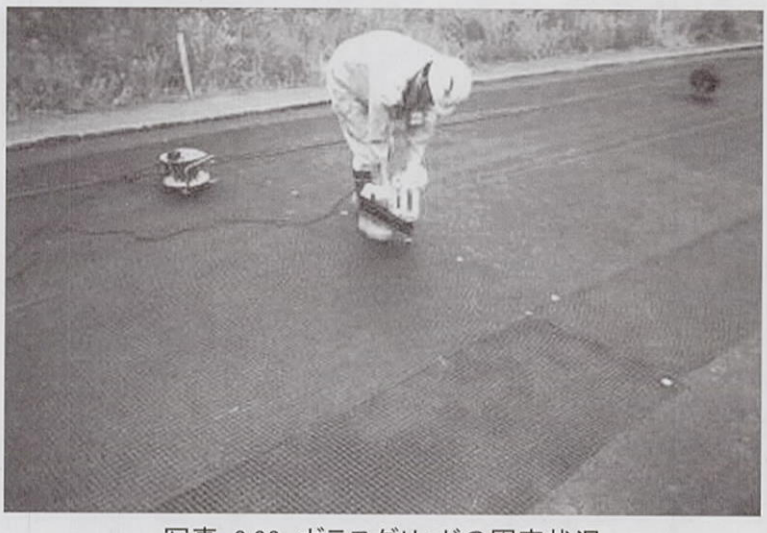


写真-3.33 ガラスグリッドの固定状況

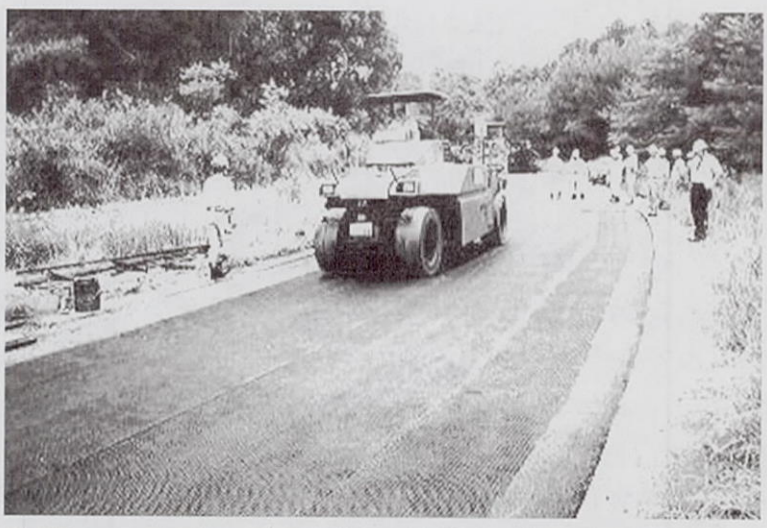


写真-3.34 タイヤローラ走行によるガラスグリッドの密着状況

6)タックコート

タックコートは、通常のアスファルト乳剤より合材ダンプのタイヤへの付着が少なく接着力にも優れた高性能改質アスファルト乳剤を0.3ℓ/m²程度均一になるようにエンジンスプレイヤで散布した。なお、当該乳剤を使用したのは、通常の乳剤では合材ダンプのタイヤに乳剤分解後のアスファルトが付着して基層面（SMA(5)）と密着させたガラスグリッドをめくり起こしてしまう恐れがありこれを防止することと、懸念される表層の開粒度混合物(13)とガラスグリッドおよび基層面（SMA(5)）との付着力を高めることを意図したものである。

タックコートの散布状況と分解完了後の状況を、写真-3.35、写真-3.36に示す。



写真-3.35 タックコートの散布状況

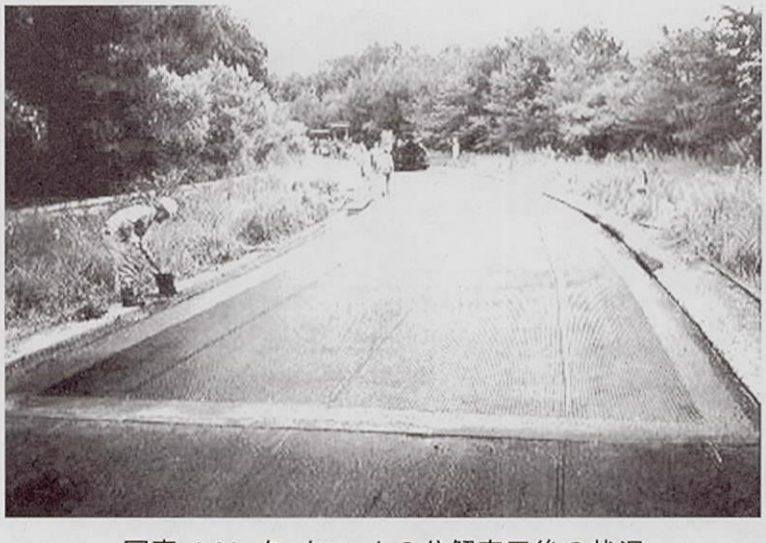


写真-3.36 タックコートの分解完了後の状況

7）開粒度アスファルト混合物(13)の舗設

表層の開粒度アスファルト混合物(13)は、通常の施工どおりアスファルトフィニッシャで所定の厚さ（t=5cm）となるように敷均し、マカダムローラ、タイヤローラにより転圧して舗設した。

また、図-3.15に示したように内側の路肩部分を撤去した箇所は表層の開粒度アスファルト混合物(13)で、工区中央の舗装幅中心から2.7mの振動測定箇所に該当する路肩部分を撤去した箇所は、密粒度アスファルト混合物（13）で舗設した。

開粒度アスファルト混合物(13)の敷均し状況と転圧状況を写真-3.37、写真-3.38に、仕上がり表面の状況を写真-3.39に示す。また、内側路肩部の撤去箇所の当該混合物の舗設後の状況を写真-3.40に、施工完了後の状況を写真-3.41に示す。



写真-3.37 開粒度アスファルト混合物(13)の敷均し，転圧状況

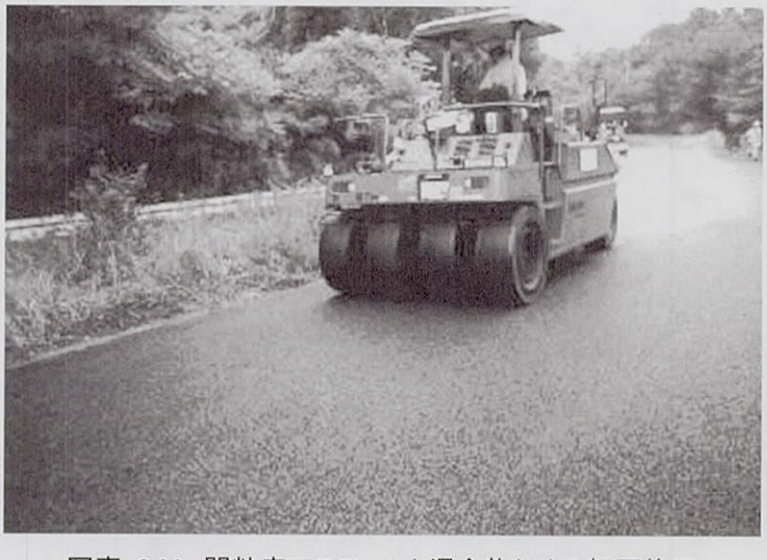


写真-3.38 開粒度アスファルト混合物(13)の転圧状況

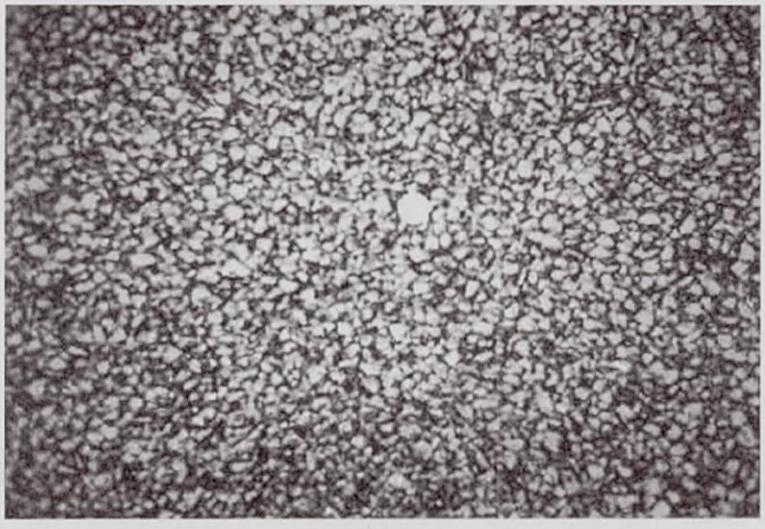


写真-3.39　開粒度アスファルト混合物(13)の仕上がり表面のきめ



写真-3.40　内側路肩部の撤去箇所の舗設後の状況



写真-3.41　施工完了後の状況

3. 2. 2 振動軽減型舗装B

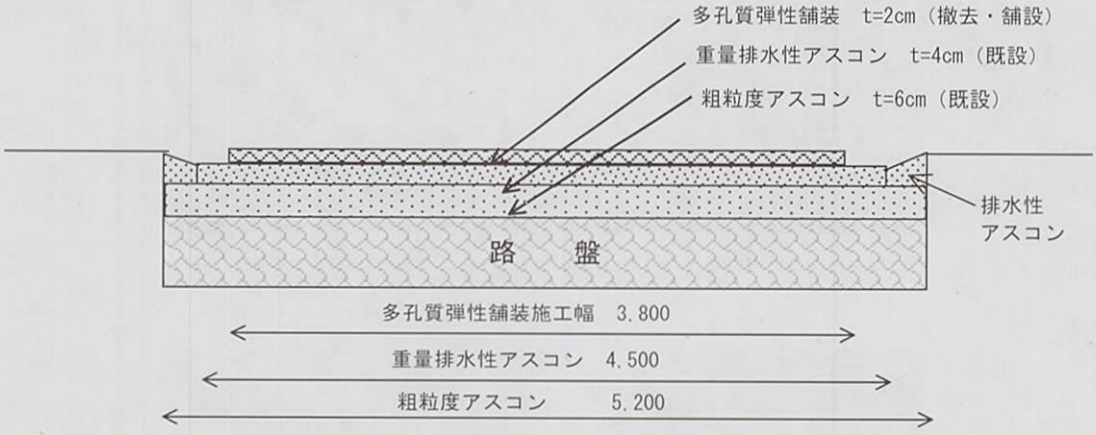
(1)施工概要

a)施工場所:独立行政法人 土木研究所内 舗装走行実験場

b)施工数量:

表層;多孔質弾性混合物　　撤去、舗設　　L=36m、W=3.8m、t=2cm、A=136.8 ㎡

※基層の重量排水性アスコンと粗粒度アスコンは、損傷もなく強度においても問題ないと考えて、前年度施工したものをそのまま利用した。



図－3.20 施工断面

(2)材料

a)アスファルト混合物の配合と室内試験結果

アスファルト混合物の配合と室内試験における性状を表－3. 32 に示す。

表－3.32 多孔質弾性舗装材料

	舗装種	使用骨材	使用ｱｽﾌｧﾙﾄ	ｱｽﾌｧﾙﾄ量(%)	理論最大密度(g/cm³)	見かけ密度(g/cm³)	空隙率(%)	備考
基層	粗粒度アスファルト混合物	砂岩、石粉	ストアス 60/80	4.8	2.494	2.395	4.0	プラント通常出荷品
表層	重量排水性アスファルト混合物	磁鉄鉱、石粉	高粘度改質ｱｽﾌｧﾙﾄ	2.5	4.312	3.450	20.0	磁鉄鉱比重4.7 容積置換

b)多孔質弾性舗装材

多孔質弾性舗装の使用材料とその基本性状を表－3. 33 に示す。

表－3.33 多孔質弾性舗装材料

材料種		名称	配合率(%)	当日使用概略量
プライマー		1液型ポリウレタン樹脂	－	15 kg入り3. 6缶(塗布量 0.4kg/㎡)
タックコート		1液型ポリウレタン樹脂	－	28 kg(塗布量 0.2kg/㎡)
多孔質混合物	バインダー	1液型ポリウレタン樹脂	22.8	18 kg入り 50 缶＝900 kg
	ゴム骨材	特殊ゴムチップ	76.1	500 kg入りトンパック 6 袋＝3,000 kg
	添加剤	カーボンブラック	1.1	20kg 入り袋 2袋
表面処理	バインダー	1液型ポリウレタン樹脂	－	39 kg(塗布量 0.3kg/㎡)
	チップ	エメリー砂	－	60 kg(散布量 0.5kg/㎡)

理論最大密度(g/cm³)	1.317	見かけ密度(g/cm³)	0.856	空隙率(%)	35.0

(3)施工

a)実施工程

実施工程を、表－3.34に示す。

表－3.34 工事および調査試験工程表

工種	単位	数量	1日目	2日目	3日目	備考
準備工						
準備工	式	1	═			
撤去工						
多孔質弾性舗装	m^2	136.8		═		
表層工						
多孔質弾性舗装	m^2	136.8		═		
表面処理工	m^2	136.8			═	
試験工						
調査・試験	式	1			═	

b)施工状況

1)既設多孔質弾性舗装の撤去

ショベルローダ、特殊切削機、ハンディグラインダー、特殊清掃機を用いて既設多孔質弾性舗装を撤去した。

表－3.35 多孔質弾性舗装の撤去状況

時刻	工程	備考
	剥ぎ取り	
9:30	ショベルローダによる剥ぎ取り	
13:00	特殊切削機による部分的な剥ぎ取り	
15:00	ハンディグラインダーによる部分清掃	
	清掃	
16:00	特殊清掃機による表面清掃	
17:00	コンプレッサによる清掃	
18:00	終了	

2)多孔質弾性舗装

多孔質弾性舗装は、多孔質弾性混合物混合・敷均し専用装置で施工を行った。

また、表面処理は吹付け工法により行った。

多孔質弾性舗装	・敷均し装置運転	1人	・スコップ	2人
	・敷均し装置調整	1人	・端部処理コテ	2人
	・材料調整	1人	・タックコート塗布	2人
	・材料投入	2人		
	・材料投入ユニック操作	1人	計	12人
表面処理	・材料作成	2人		
	・樹脂吹き付け	2人		
	・チップ散布	1人	計	5人

表－3.36　多孔質弾性舗装施工状況

時刻	工程	備考
8:30	清掃・型枠設置・機械準備	
10:00	プライマー塗布	
11:00	敷均し装置組み立て完了	
11:10	材料投入	ゴム骨材トンパック2袋、バインダー50 缶
11:30	材料キャリブレーション	ゴム骨材：55kg/分、バインダー：16.5 kg/分
11:50	敷均し開始	気温　28℃　湿度　65%、走行速度　1m／分 タックコートは順次塗布 ゴム骨材は 15、30m 地点でトンパック各 2 袋追加、 バインダーは順次追加
12:50	敷均し終了・終点整正	
13:20	施工現場片付け終了	以降、初期養生
16:40	表面処理機械準備	
16:50	表面処理開始	
17:10	表面処理終了	
17:30	施工現場片付け完了	

参考

切り取り供試体（コア）による性状測定（空隙率、接着強度、強振法）については、供試体採取が困難であり、耐久性に悪影響を与える危険性もあるため、実施しなかった。

なお、現場作成供試体による性状確認結果は表－3.37 のとおりである。

表－3.37　室内供試体による測定値

項目		測定値	前年度報告値
空隙率 (%)		34.7	34.5
接着強度 (MPa)		0.66	0.35
共振法	対数減衰率	0.262	0.280
	共振周波数 (Hz)	36.3	36.4

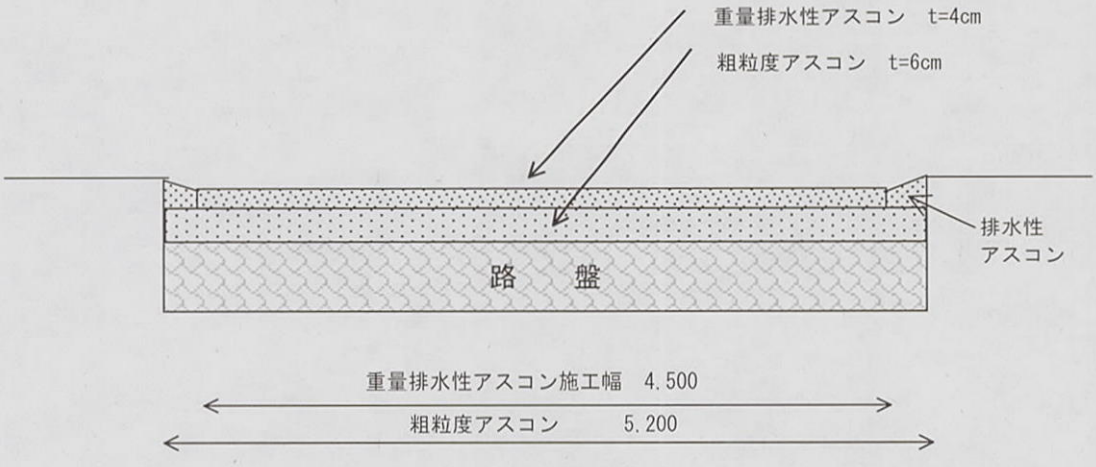
(4)基層以下の施工内容

基層以下の重量排水性混合物、粗粒度アスコンは平成 13 年度に施工した。その内容は以下のとおりである。

a)施工数量

基層;粗粒度アスファルト混合物　　L=36m、W=5.2m、t=6cm、A=187.2m^2

表層;重量排水性アスファルト混合物　　L=36m、W=4.5m、t=4cm、A=162.0m^2



図－3.21　施工断面

b)材料

a)配合と室内試験結果

使用材料とその室内試験配合試験における性状は表－3.32 のとおりである。

c)施工

a)実施工程

実施工程を表－3.38 に示す。

表－3.38　工事工程表

工種	単位	数量	1日目	2日目	備考
準備工					
準備工	式	1		═	
基層工					
粗粒度アスコン	m^2	187.2		═	
表層工					
重量排水性アスコン	m^2	162.0			═

b)施工状況

通常のアスファルト舗装施工体制で施工した。

表－3.39 施工状況

時刻	工程	備考
9:00	基層　粗粒度アスコン着	
9:30	敷均し開始	
9:55	一次転圧開始	
10:10	敷均し終了	
10:40	転圧終了	
10:55	タックコート　型枠設置	
13:20	表層　重量排水性アスコン現地着・敷均し開始	
14:10	一次転圧開始	
15:10	転圧終了	
15:30	型枠はずし、路肩目詰めアスコン	

d)品質管理結果

a)混合物温度管理結果

表・基層各層施工時の材料温度について表－3.40 に示す。

表－3.40 施工時の混合物温度〔℃〕

	材料	到着時温度	敷均し温度	一次転圧温度	二次転圧温度
基層	粗粒度アスファルト	160	150	135	90
表層	重量排水性アスファルト	170	160	140	95

b)混合物の品質管理結果

粗粒度アスファルト混合物の品質管理結果を表－3.41 に示す。

表－3.41 粗粒度アスファルト混合物の品質管理結果

① 抽出試験

フルイ目(mm)	26.5	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
通過重量百分率(%)	100.0	98.1	78.9	44.7	28.1	16.4	9.5	6.0	4.1
設計粒度(%)	100.0	97.5	80.0	45.0	27.0	17.0	10.5	8.0	4.5
粒度範囲(%)	100	95-100	70-90	35-55	20-35	11-23	5-16	4-12	2-7
抽出アスファルト量(%)		4.8							

② マーシャル安定度試験

項目	試験結果	基準値
かさ密度(g/cm^3)	2.394	－
空隙率(%)	4.0	3～7
安定度(kN)	10.86	4.90 以上
フロー値(1/10mm)	31	20～40

③ ホイールトラッキング試験

項目	試験結果	基準値
かさ密度(g/cm^3)	2.380	－
締固め度(%)	99.4	100±1
動的安定度(回／mm)	900	－

重量排水性アスファルト混合物の品質管理結果を表－3.42 に示す。

表－3.42 重量排水性アスファルト混合物の品質管理結果

① 抽出試験

フルイ目(mm)	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
通過重量百分率(%)	100.0	97.5	26.5	14.7	13.0	11.7	9.3	6.4
設計粒度(%)	100.0	97.5	23.0	16.5	—	—	—	4.5
粒度範囲(%)	100	95-100	11-35	8-25	—	—	—	2-7
抽出アスファルト量(%)		2.55						

② マーシャル安定度試験

項目	試験結果	基準値
かさ密度(g/cm^3)	3.435	—
空隙率(%)	19.9	—
安定度(kN)	6.76	3.43 以上
フロー値(1/10mm)	16	20～40

③ ホイールトラッキング試験

項目	試験結果	基準値
かさ密度(g/cm^3)	3.428	—
空隙率(%)	20.1	—
締固め度(%)	99.8	100±1
動的安定度(回／mm)	4200	1500 以上

④ 空隙率(採取コアによる)

No.	1	2	3	平均
空隙率(%)	19.2	20.1	19.8	19.7

e)出来形管理結果

施工厚さの測定結果を表－3.43 に示す。粗粒度アスファルト、重量排水性アスファルト層ともに若干薄い傾向にはあるものの、各層とも施工厚さは管理範囲を満たしている。

表－3.43 施工厚さ

工種	混合物の種類	コア番号	施工厚さ(mm)		
			実測値	設計値	差
基層	粗粒度アスファルト	①	57.4	60	-2.6
		②	56.8	60	-3.2
		③	56.9	60	-3.1
		平均	57.0	60	-3.0
表層	重量排水性アスファルト	①	37.0	40	-3.0
		②	36.7	40	-3.3
		③	36.6	40	-3.4
		平均	36.8	40	-3.2

f) 共振法試験結果

共振法試験結果を表－3.44 に示す。事前の室内試験供試体結果とほぼ同等の性状を示しており、所定の振動減衰効果が確保されているものと思われる。

表－3.44 共振法試験結果 （測定温度；20℃）

舗装種	対数減衰率	共振周波数(Hz)	備考（室内試験値）	
			対数減衰率	共振周波数(Hz)
粗粒度アスファルト混合物	0.835	583.0	0.874	482.3
重量排水性アスファルト混合物	1.482	282.0	1.446	291.0

3．2．3 振動軽減型舗装C

(1)施工概要

試験施工は、予備試験の結果より振動軽減効果が得られた防振ゴムを使用し、舗装体としての振動軽減効果と耐久性を確認するために実施した。

本施工における施工場所と施工数量を下記に示す。

a）施工場所：独立行政法人土木研究所内舗装走行実験場

b）施工数量

表層	：ＳＭＡ	L=38m、W=3.9m、t=3cm、A=148.2m²
上部スラブ	：高強度 RC プレキャスト版	15@2,500×3,900×200mm
振動軽減材	：防振ゴム	φ=300mm、56 個
下部スラブ	：現場打ち RC スラブ	L=37.5m、W=3.74m、t=20cm、A=1402.5m²
路盤	：路上混合セメント安定処理路盤	L=40m、W=5.2m、t=30cm、A=208m²

(2)舗装構成

舗装構成を図-3.22～3.24 に示す。

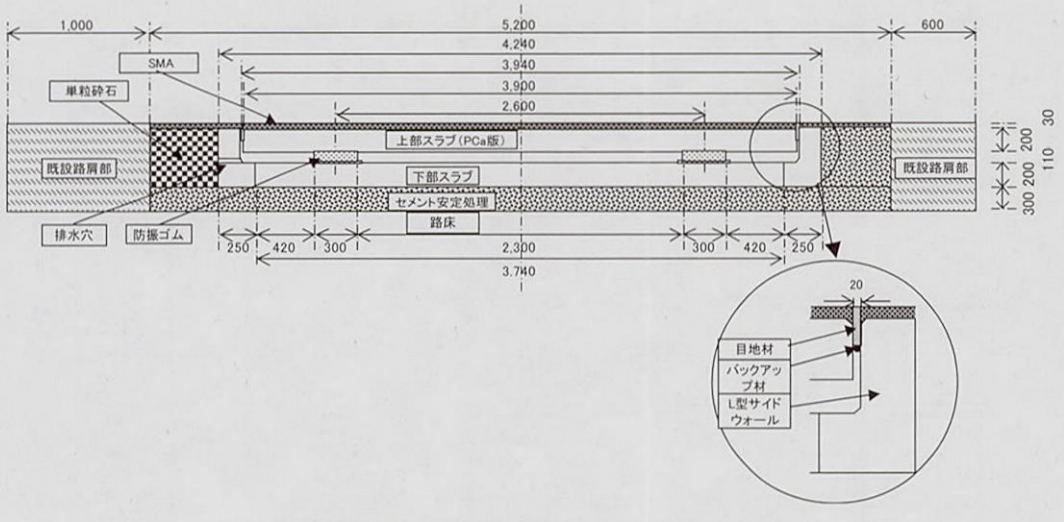


図-3.22 試験施工横断面

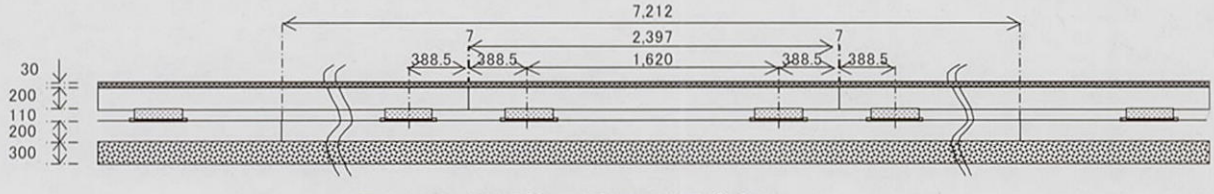


図-3.23 試験施工縦断面(通常部)

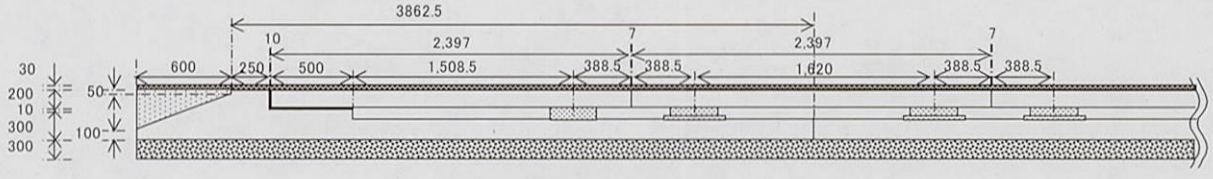


図-3.24 試験施工縦断面(端部)

(3)材料

a)セメント安定処理路盤材

既設舗装体を撤去し既設路床面を下げ、路盤材を搬入し、セメントは、六価クロム溶出量が環境基準値以下に抑えられるセメント系特殊土用固化材を使用し、スタビライザーにより路上混合した。

以下にセメント系特殊土用固化材の化学成分と添加量を示す。

表-3.45 固化材の化学成分と添加量

化学成分（%）						密度	添加量
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	(g/cm^3)	(%)
23.8	8.4	1.5	53.7	3.3	6.4	3.05	4

b)下部スラブ

1)L型サイドウォール

L型サイドウォールは型枠を2型使用し、工場で製作し所定の養生日数を経過したもの使用した。図-3.25、3.26に製作図面、表-3.46に使用鉄筋量を示す。また、表-3.47に使用コンクリートの示方配合を示す。

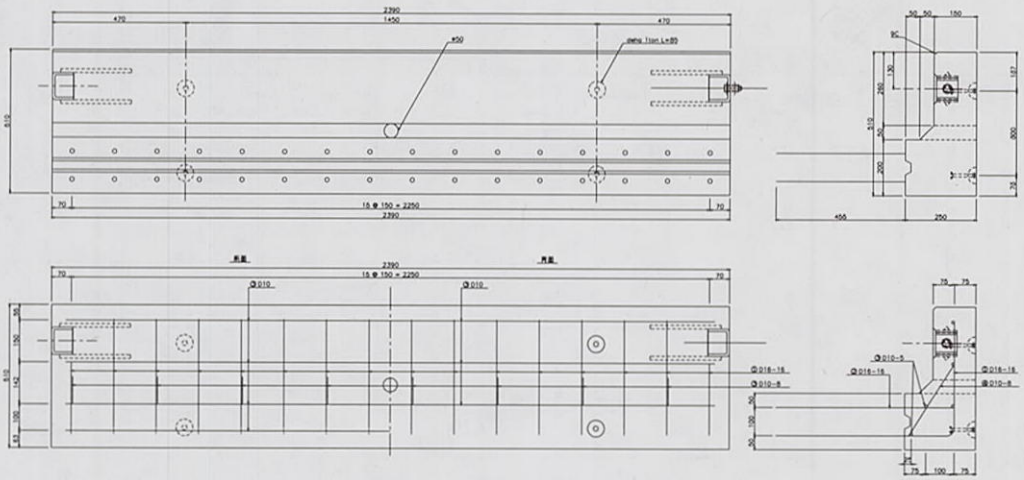


図-3.25 L型サイドウォール

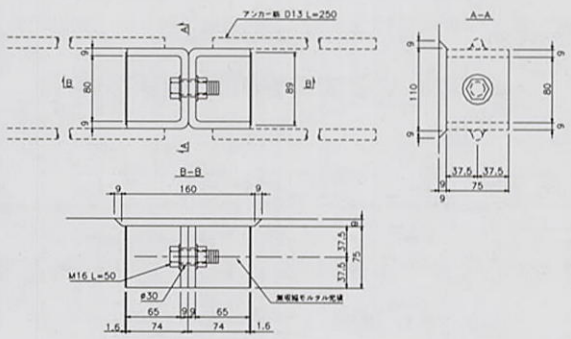


図-3.26 L型サイドウォール細部(接続部)

表-3.46 使用鉄筋量

サイズ	種別	長さ(m)	本数	単重(kg/m)	重量(kg)
D16	SD345	512.0	128	1.560	799
D10	SD295	240.0	60	0.560	933

表-3.47 示方配合表

呼び強度 (N/mm²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	ｽﾗﾝﾌﾟの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水・ｾﾒﾝﾄ比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)					
						水 W	ｾﾒﾝﾄ C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材	
										混和材	混和剤
60	20	5±1.5	2±1.5	33	40.6	147	445	745	1130	—	5.38

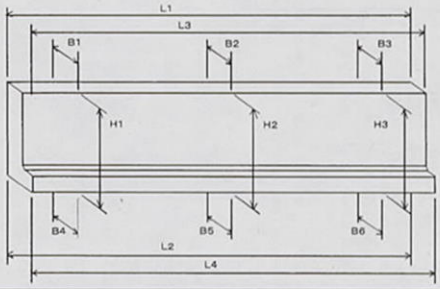
製作したL型サイドウォールに使用したコンクリートのまだ固まらないコンクリートの試験結果と材齢 28 日の圧縮強度試験結果表および製品の寸法検査結果表を表-3.48、3.49に示す。

表-3.48 コンクリート試験結果

	スランプ (cm)	空気量 (%)	打設温度 (℃)	圧縮強度 (N/mm²)
平均	4.9	1.9	29.0	70.6
最大値	6.0	2.2	33.0	73.7
最小値	4.0	1.5	26.0	67.6
標準偏差	0.7	0.2	1.7	1.8
管理値	5±1.5	2±1.5	ー ー ー	60.0

（養生方法は製品と同一）

表-3.49 製品寸法検査結果



測定箇所	L	B1～B3	B4～B6	H
設計値(mm)	2390	150	250	510
許容差(mm)	±5	±2	±2	±5
測定誤差最大値(mm)	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0
測定誤差最小値(mm)	−1.0	−1.0	−1.0	−1.0

2）下部スラブ

下部スラブに使用した鉄筋量およびコンクリートの示方配合表を表-3.50、3.51 に示す。

表-3.50 使用鉄筋量

	サイズ	種別	長さ(m)	本数	単重(kg/m)	重量(kg)
主鉄筋	D16	SD345	720.0	180	1.560	1123
	D16	SD345	820.0	205	1.560	1279
配力筋	D13	SD345	1440.0	360	0.995	1433

表-3.51 示方配合

呼び強度 (N/mm^2)	粗骨材の最大寸法 (mm)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	水・ｾﾒﾝﾄ比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)					
						水 W	ｾﾒﾝﾄ C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材	
										混和材	混和剤
40	20	12	4.5	39.5	39.0	175	444	650	1053	—	4.71

使用したコンクリートのまだ固まらないコンクリートの試験結果と材齢 7、28 日の圧縮強度試験結果を表-3.52 に示す。

表-3.52 使用したコンクリートの試験結果

スランプ (cm)	空気量 (%)	打設温度 (℃)	圧縮強度(N/mm^2)	
			7日	28日
10.5	4.8	27.0	29.9	42.7

配筋図を図-3.27 に示す。

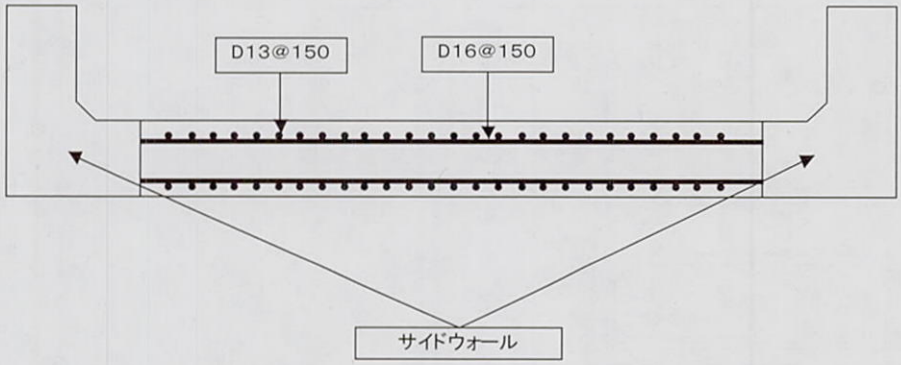


図-3.27 配筋図

c)上部スラブ

1)防振ゴム

防振ゴムの物性値および形状を表-3.53 と図-3.28 に示す。

表-3.53 防振ゴムの物性値

弾性係数 (N/mm²)	ポアソン比	ばね定数 (kN/m)
3.3	0.48	2000

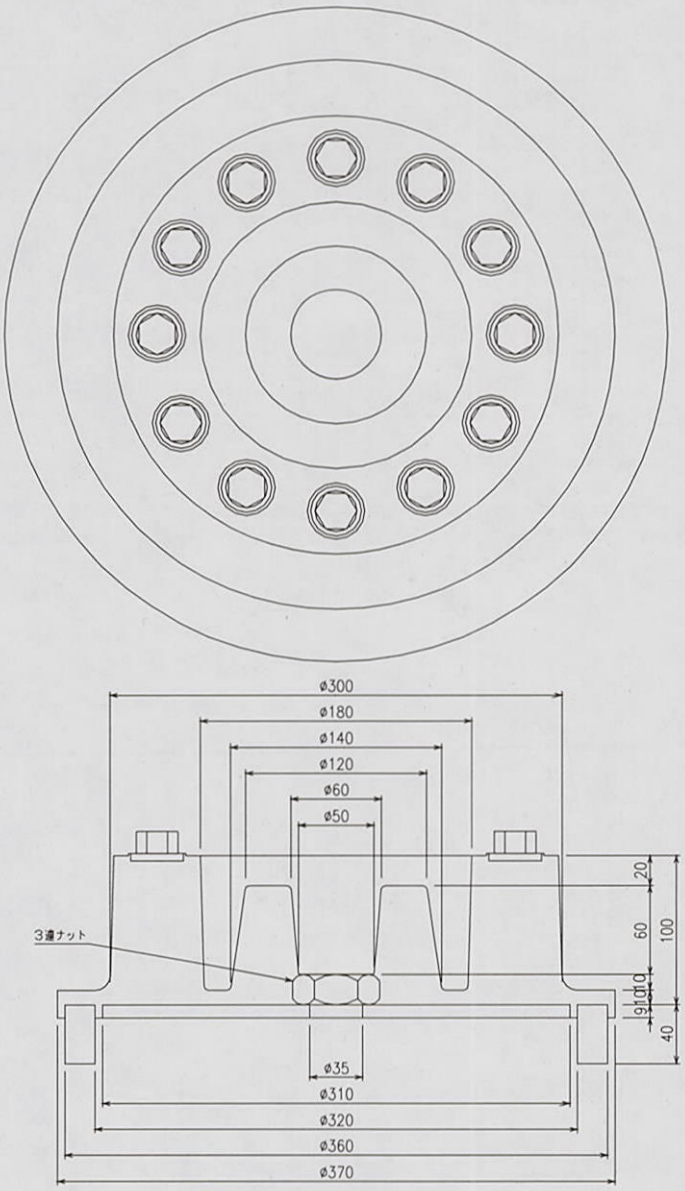


図-3.28 防振ゴムの形状

2）上部スラブ

標準的な配筋図と構造図および細部構造図を図-3.29～3.33 に示す。また、継手構造（コッター式継手）の詳細図を図-3.34、3.35 に示す。

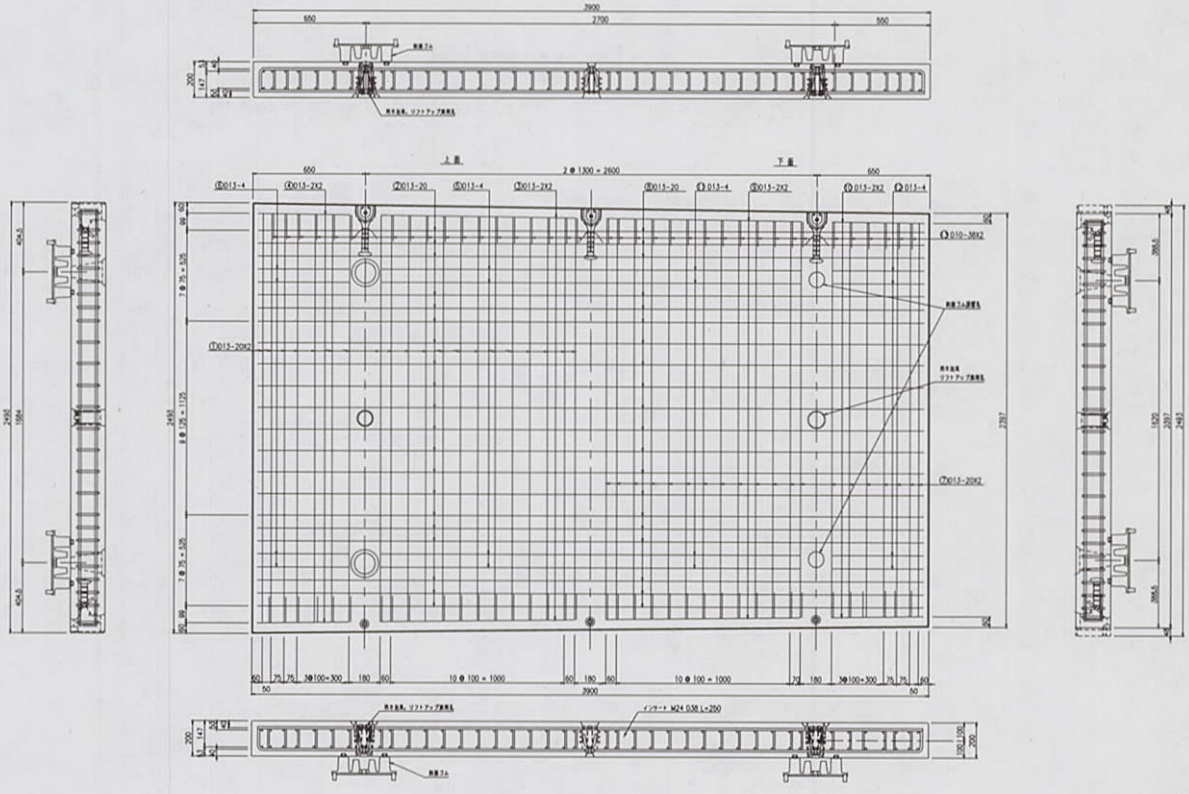


図-3.29 配筋図

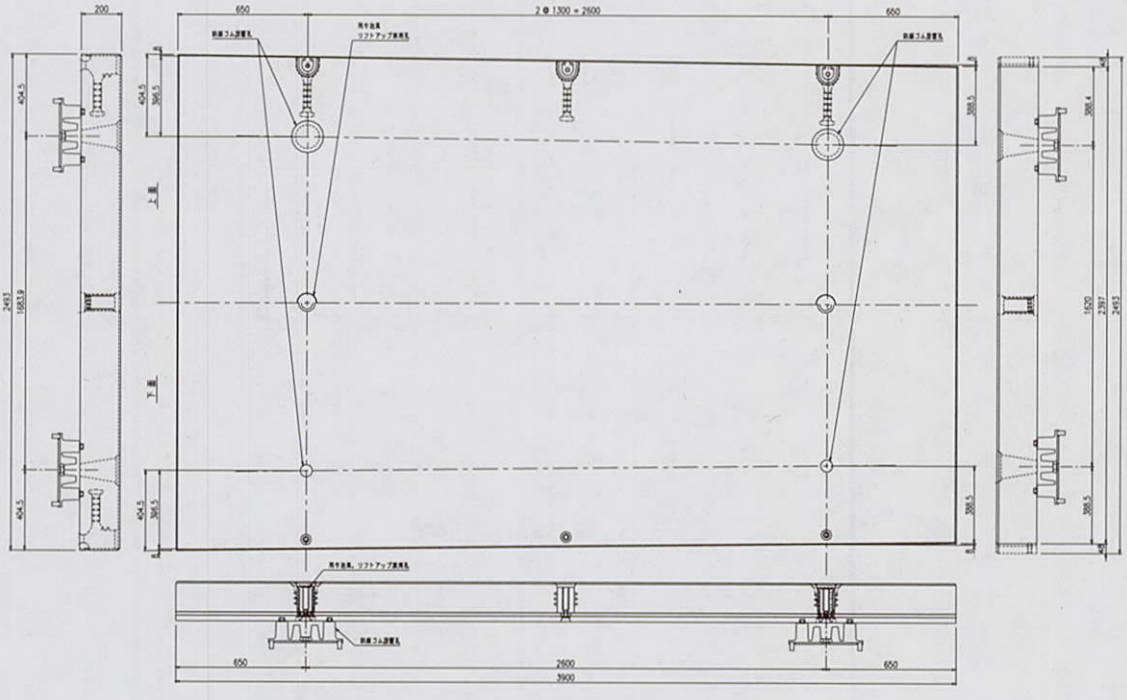


図-3.30 構造図

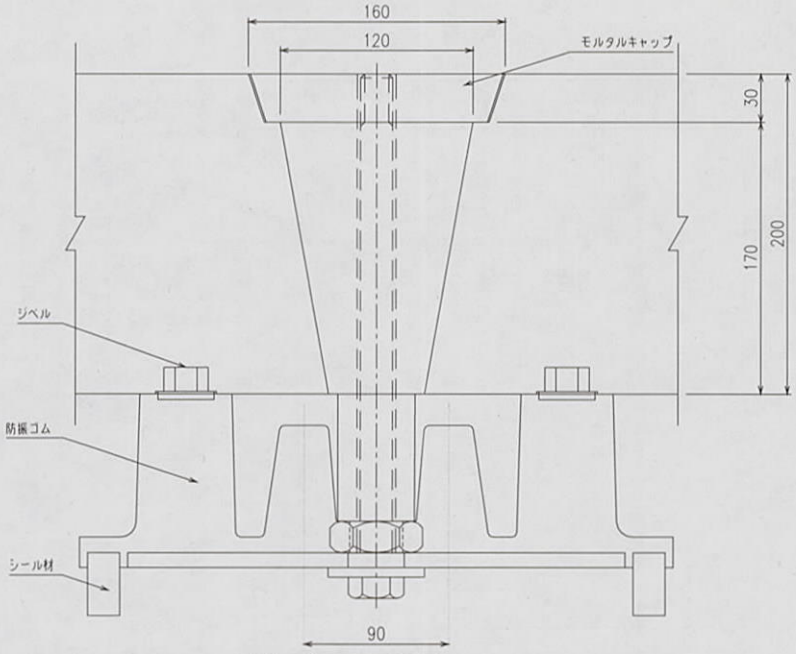


図-3.31 防振ゴム設置詳細図

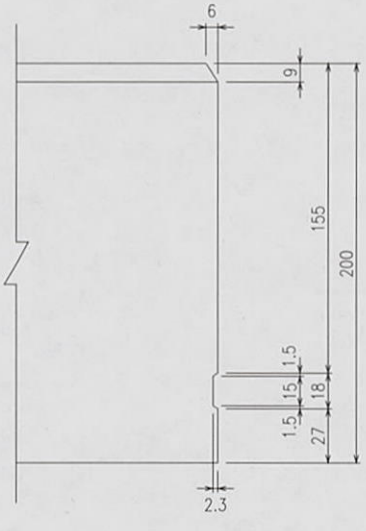


図-3.32 シール溝詳細図

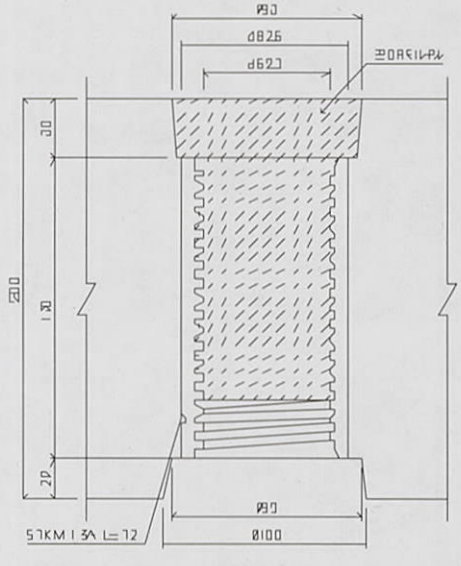


図-3.33 吊り治具詳細図

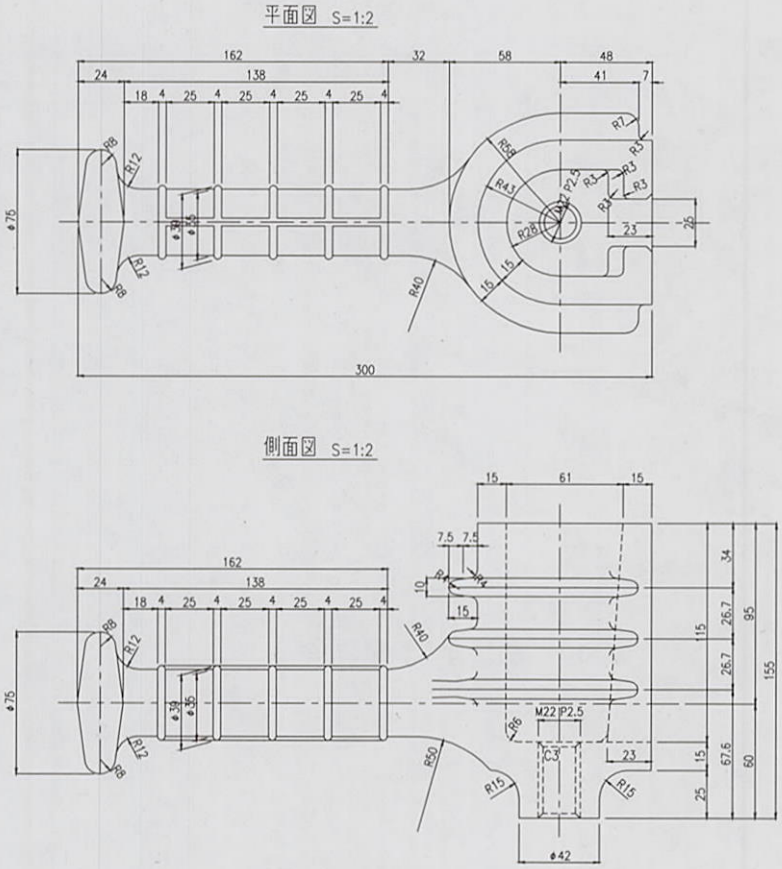


図-3.34 コッター式継手(C 型金物)

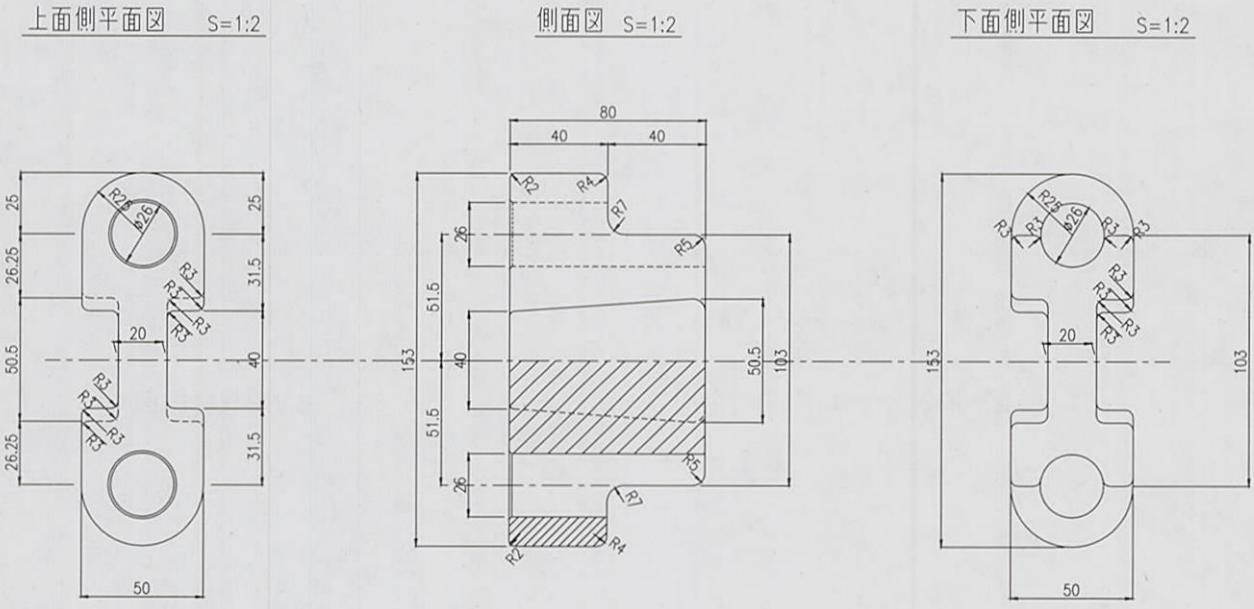


図-3.35 コッター式継手(H 型金物)

使用鉄筋量、示方配合、コンクリートの試験結果、寸法検査結果を表-3.54～3.57に示す。

表-3.54 使用鉄筋量

サイズ	種別	長さ(m)	本数	単重(kg/m)	重量(kg)
D13	SD345	3000.0	1200	0.995	2985
	SD345	2640.0	660	0.995	2627
	SD345	360.0	90	0.995	358
	SD345	2400.0	600	0.995	2388

表-3.55 示方配合表

呼び強度 (N/mm^2)	粗骨材の最大寸法 (mm)	ｽﾗﾝﾌﾟの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水・ｾﾒﾝﾄ比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)					
						水 W	ｾﾒﾝﾄ C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材	
										混和材	混和剤
60	20	5±1.5	2±1.5	33	40.6	147	445	745	1130	—	5.38

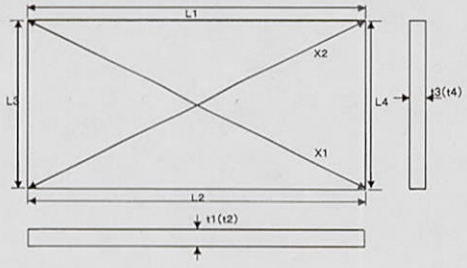
表-3.56 コンクリート試験結果

	スランプ (cm)	空気量 (%)	打設温度 (℃)	圧縮強度 (N/mm^2)
平均	4.9	1.9	29.0	70.6
最大値	6.0	2.2	33.0	73.7
最小値	4.0	1.5	26.0	67.6
標準偏差	0.7	0.2	1.7	1.8
管理値	5±1.5	2±1.5	― ― ―	60.0

(養生方法は製品と同一)

表-3.57 製品寸法検査結果

測定箇所	L1～L2	L3	L4	t1～t4	X
設計値(mm)	3900	2493	2397	200	4578
許容差(mm)	±5	±5	±5	−1, +5	±2
測定誤差最大値(mm)	+2.0	+2.0	+2.0	+2	+1.0
測定誤差最小値(mm)	−2.0	−2.0	−2.0	−2	−1.0



3)グラウト材

グラウト材は、上部スラブの横断方向の目地を埋める目地用グラウト材、防振ゴムと下部スラブの隙間に充填する隙間用グラウト材を使用した。各材料の性状を表-3.58に示す。

表-3.58 グラウト材の性状

	目地用グラウト材	隙間用グラウト材
製品名	目地郎	固充郎
一軸圧縮強度（材齢3時間）	20.0 N/mm^2 以上	2.0 N/mm^2 以上
流下時間	15秒以下（J14ロート）	60秒以下（JAロート）
可使時間	20分以上	40分以上

d)表層材

表層材は、SMAを使用した。SMAの主な使用材料を表-3.59に示す。

表-3.59 主な使用材料

材料種別	産地	材質
6号砕石	茨城県新治村	砂岩
7号砕石	〃	〃
粗砂	茨城県岩瀬町	砕砂
細砂	千葉県佐原市	洗砂
石粉	栃木県栃木市	石粉
改質アスファルト	茨城県千代田町	改質Ⅱ型
アーボセル	ドイツ	植物繊維

表-3.60 配合試験結果総括

骨材配合比								
骨材の種類	6号砕石	7号砕石	粗砂	細砂	石粉	植物繊維の添加量は混合物に対して外割 0.3%		
配合比(%)	71.0	5.0	7.0	4.0	13.0			
合成粒度								
ふるい目(mm)	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度	100	95.1	32.4	23.8	18.2	15.3	13.3	10.4
粒度範囲	100	95～100	25～50	15～35	12～26	10～22	9～18	8～15

マーシャル特性値			規格値
最適アスファルト量（%）		6.4	—
理論密度（g/cm^3）		2.386	—
空隙率（%）		2	5以下
飽和度（%）		88.1	80以上
安定度（kN）		11.88	4.9以上
フロー値（1/100cm）		47	80以下
残留安定度	(kN)	10.34	—
	(%)	87.0	75以上
動的安定度（回/mm）		5730	3000以上
破断ひずみ（×10^{-3}）		7.43	7.0以上

e)シール材

表層に設ける目地に注入するシール材は、ずれせん断および伸縮に追従でき、耐水性、耐候性の優れた速硬化形変成シリコーンシーラントとした。表-3.61に使用材料の性状を示す。

表-3.61 シール材の性状

	シール材	プライマー
タイプ	一液型	一液型
外観	低粘ペースト状	淡黄色透明溶液
ずれせん断（%）	40	—
長期許容伸縮率（%）	7～10	—
設計伸縮率（%）	30	—

(4)施工

a)実施工程

1)工場製品製作工程

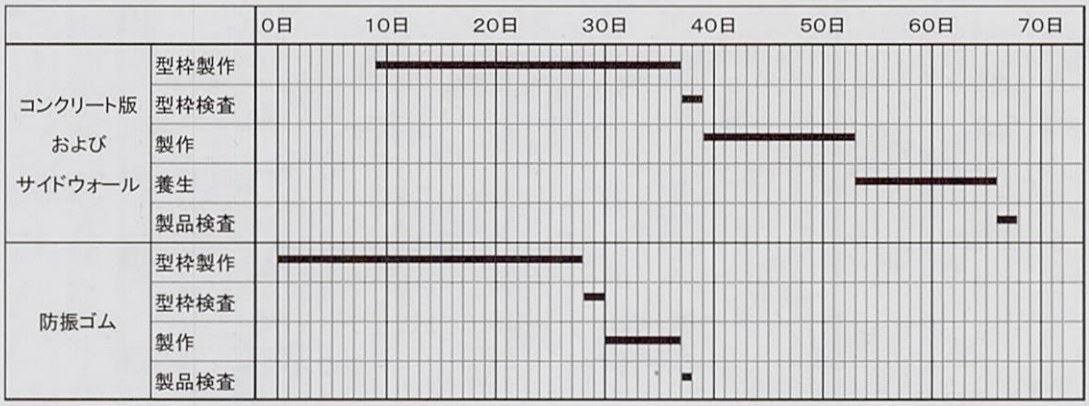
防振ゴム付き高強度 RC プレキャスト舗装版および L 型サイドウォールの製作日数を表-3.62 に示す.

また，製作工程を表-3.63 に示す.

表-3.62 工場製品製作日数

	項　目	製作日数
防振ゴム	型枠製作	２８日
	ゴム製作	１５日
防振ゴム付き高強度 RC 版	型枠製作	２８日
	コンクリート版製作	１５日
	コンクリート版養生	１４日
L 型サイドウォール	型枠製作	１４日
	コンクリート版製作	１５日
	コンクリート版養生	１４日

表-3.63 製作工程



2)現場施工工程

施工は，表-3.64 に示すような工程で行った．なお，撤去工および路盤工については他工区の撤去工，路盤工も含んでいる.

表-3.64 施工工程

工　種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
撤去工	―	―	―																				
路盤工				―	―	―																	
下部スラブ工							―	―	―	―													
養生											―	―	―	―									
上部スラブ工															―	―	―						
表層工																						―	―

3)施工フロー

現場施工フロー図を以下に示す.

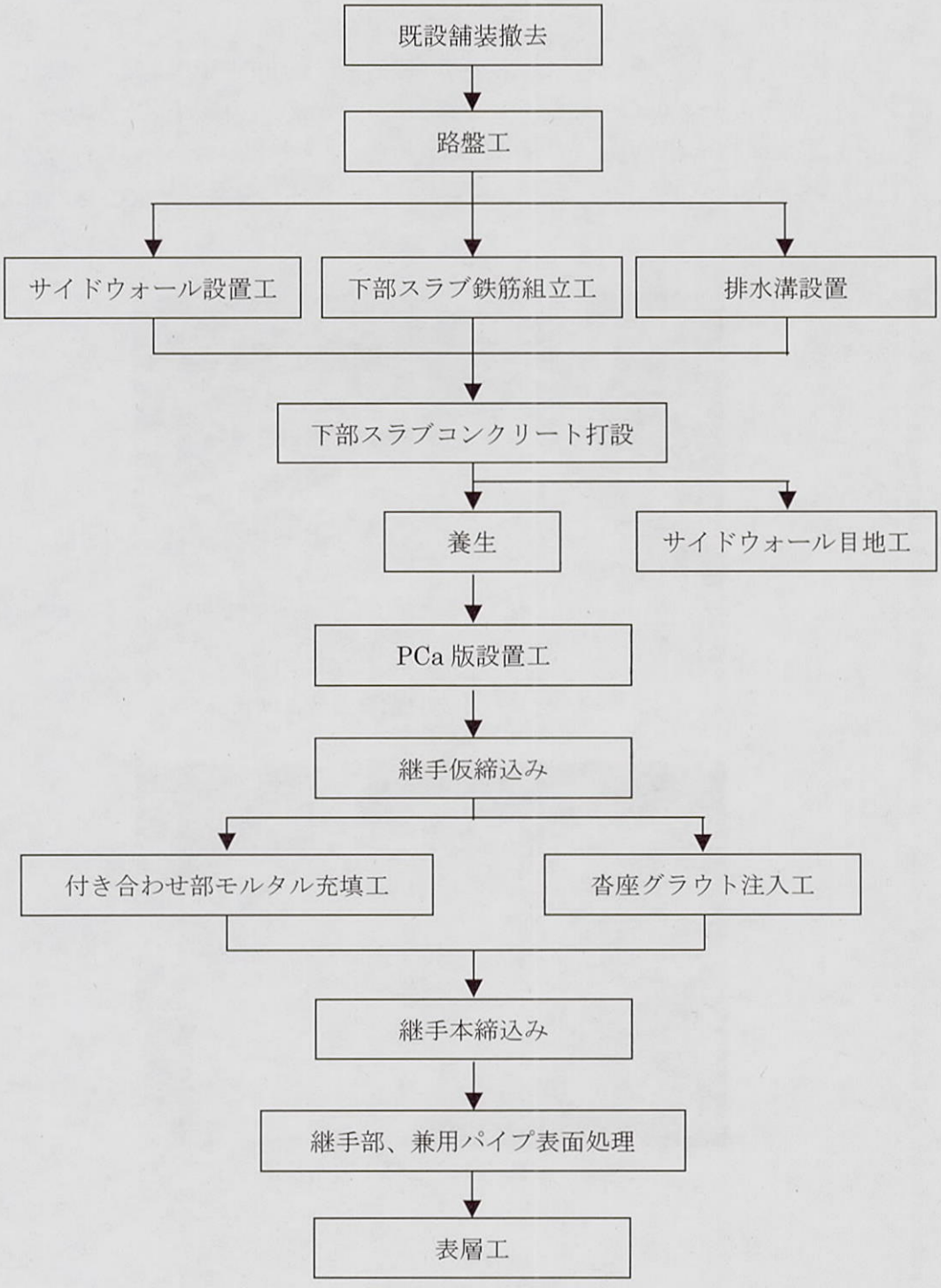


図-3.36 現場施工フロー図

b)施工状況

1)セメント安定処理路盤工

セメント安定処理路盤は，既設舗装体を撤去後に既設路床面を下げ，転圧後路盤材（粒調砕石）を敷均し，セメント系固化材を路盤面に均等に散布しスタビライザーにより攪拌し，タイヤローラにて転圧し構築した．当初，路盤厚を 20cm と予定していたが，使用したスタビライザー最小攪拌厚が 30cm で路盤材と路床材が攪拌されるため，セメント系固化材添加量を表-3.38 に示した量になるよう増加させている．なお，路盤高の管理値は－10mm とした．セメント改良前の路盤，セメント散布，混合，転圧状況を写真-3.42～3.45 に示す．



写真-3.42 セメント改良前路盤仕上げ状況



写真-3.43 セメント散布状況



写真-3.44 攪拌状況

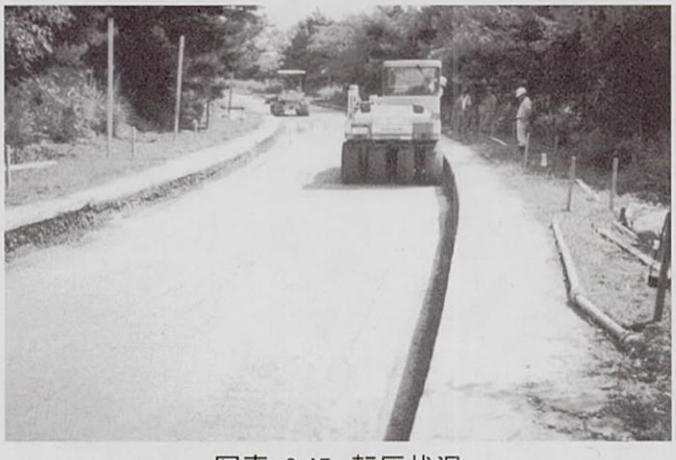


写真-3.45 転圧状況

2）下部スラブ工

下部スラブ工は，主にＬ型サイドウォール設置工，鉄筋組立工，コンクリート打設工に分かれる．

路盤上に丁張りをかけた後，Ｌ型サイドウォールは，路盤との隙間が生じないようにあらかじめドライモルタルをＬ型サイドウォール設置位置に敷き，移動式クレーン仕様のバックホウにて設置した．また，Ｌ型サイドウォール同士の接続はボルト式継手にて接続し，継手に生じる隙間は，コンクリート打設時にモルタルにて充填した．施工状況を写真-3.46～3.48 に示す．



写真-3.46　丁張り

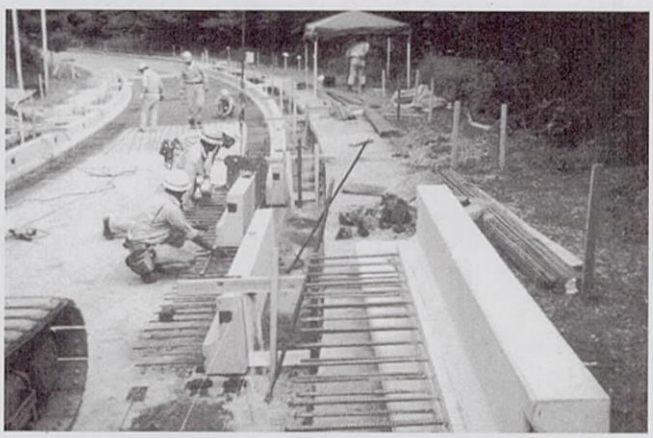


写真-3.47　サイドウォール設置状況

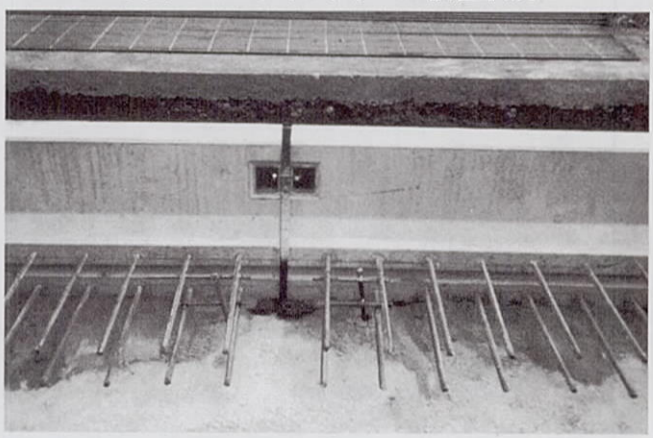


写真-3.48　サイドウォール接続部

鉄筋は，Ｌ型サイドウォールから張り出している鉄筋にラップさせ組み立てた．縦方向の鉄筋間隔は 150mm ピッチで引張側，圧縮側でそれぞれ 24 本，横方向の鉄筋間隔は 150mm ピッチでＬ型サイドウォール１枚に対し引張側，圧縮側でそれぞれ 16 本を配筋した．鉄筋組立状況と配筋状況を写真-3.49～3.51 に示す．

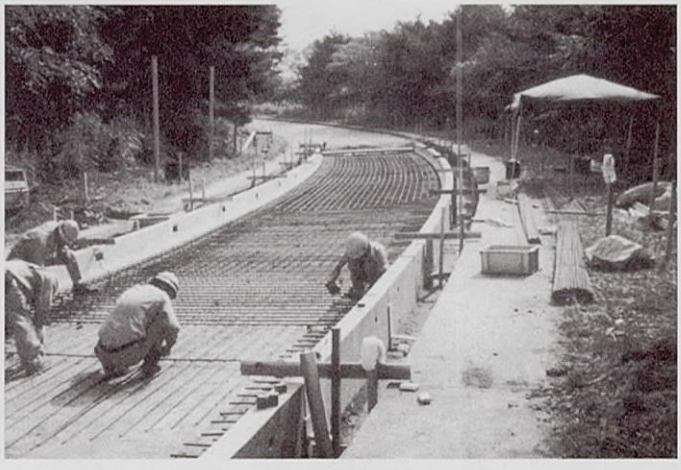


写真-3.49 鉄筋組立状況

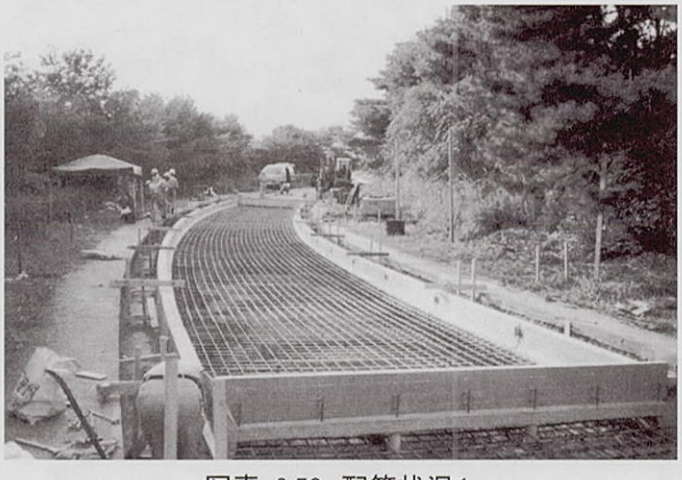


写真-3.50 配筋状況１

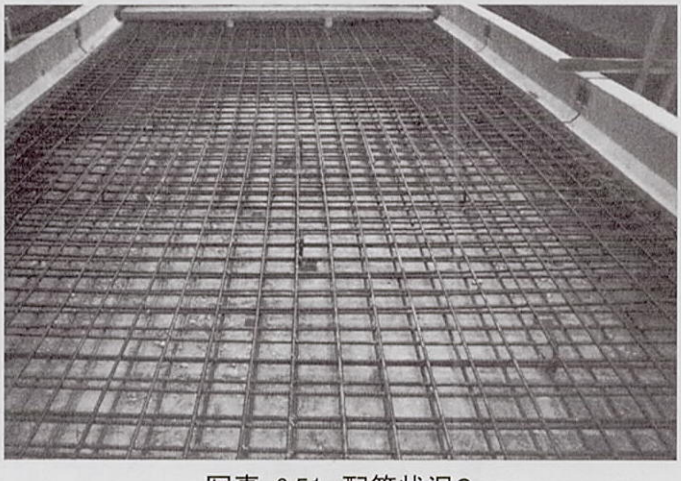


写真-3.51 配筋状況２

コンクリートは，JIS 認定工場よりアジテータ車で運搬し，コンクリートポンプ車で打設した．下部スラブの表面は，できるだけ平滑にするために表面仕上げを回転ゴテ，金ゴテで念入りに仕上げ，皮膜型コンクリート養生剤を散布した．コンクリート打設，粗仕上げ，表面仕上げおよび養生剤散布状況を写真-3.52～3.56 に示す．

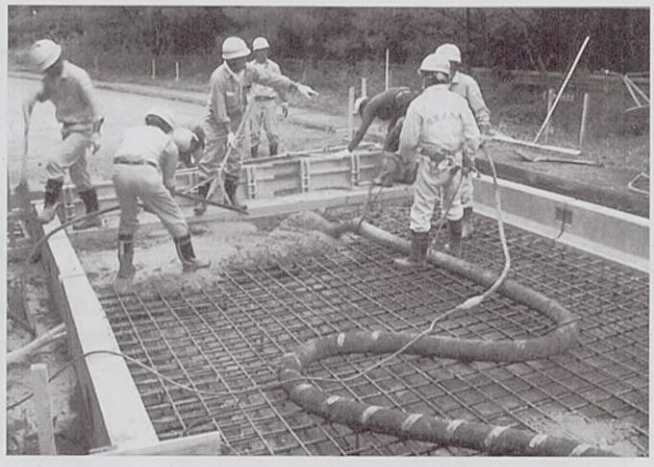


写真-3.52 コンクリート打設状況



写真-3.53 粗仕上げ

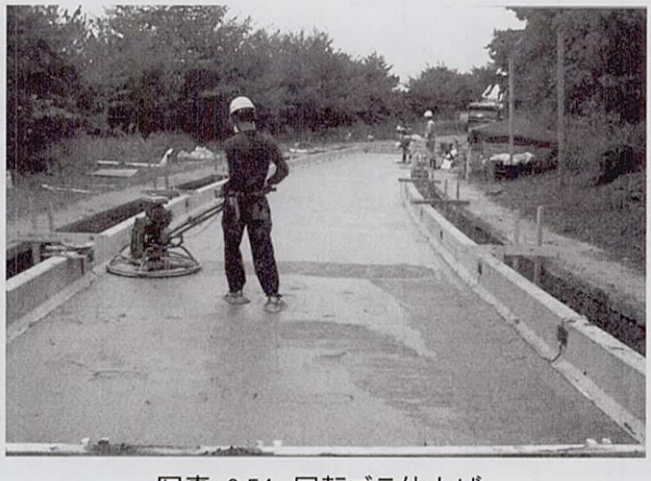


写真-3.54 回転ゴテ仕上げ



写真-3.55 金ゴテ仕上げ



写真-3.56 養生剤散布状況

また，下部スラブの端部は，写真-3.57 のような型枠，配筋をしコンクリートを打設し構築した．打設状況および仕上げ状況を写真-3.58，3.59 に示す．



写真-3.57 端部型枠



写真-3.58　端部コンクリート打設状況



写真-3.59　端部コンクリート仕上げ状況

3）上部スラブエ

上部スラブ（防振ゴム付 RC プレキャスト版）を設置する前に，防振ゴムが設置する位置に防振ゴムと下部スラブの隙間を埋めるためのグラウト材の型枠を設置した（写真-3.60）．上部スラブは，トレーラにて現場に搬入し，ラフタークレーンにより設置した（写真-3.61，3.62）．



写真-3.60 グラウト材型枠設置状況

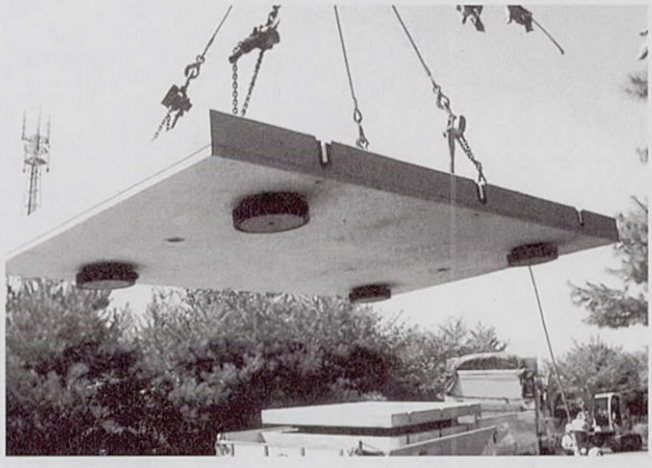


写真-3.61 上部スラブ吊上げ状況

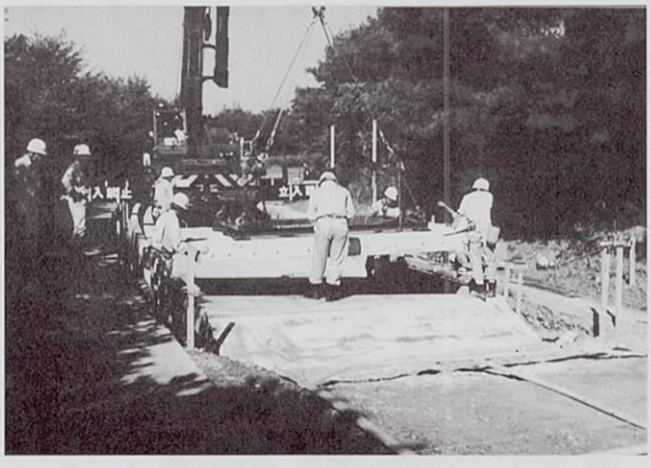


写真-3.62 上部スラブ設置状況

隙間埋めグラウト材の注入は，上部スラブ設置し高さ調整兼用グラウト注入パイプでレベルをとった後，注入パイプを使い注入する方法（写真-3.63）と，グラウト材の型枠を設置した後，グラウト材を型枠内に流し込み，上部スラブを設置しグラウト材の可示時間内に高さ調整を実施する方法の２種類で実施した（写真-3.64）.



写真-3.63 グラウト注入(方法1)

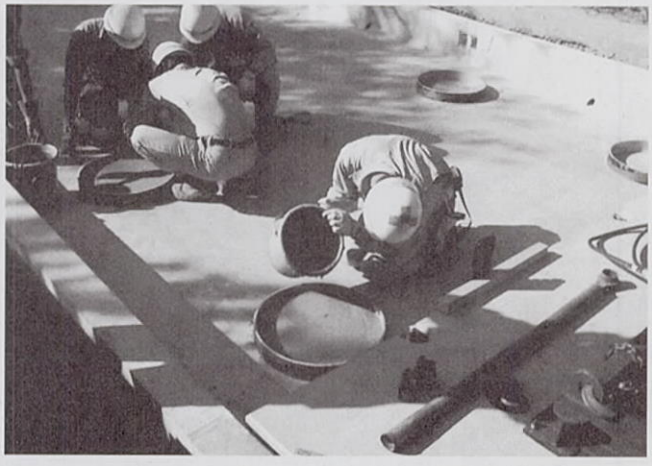


写真-3.64 グラウト注入(方法2)

上部スラブを設置後，H 型金物を C 型金物に挿入しボルトを仮締めし，目地用グラウト材を注入し硬化後，トルクレンチにて継手のボルトを 20 kN・m トルクで締め付けた（写真-3.65～3.67）.



写真-3.65 仮締め状況



写真-3.66　目地用グラウト注入

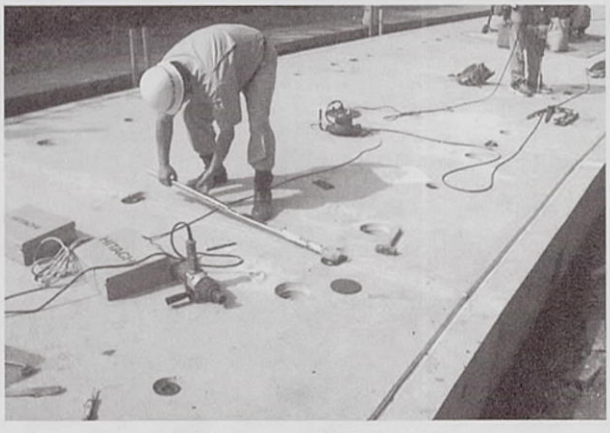


写真-3.67　本締め状況

継手をトルクレンチで締め付けた後，L 型サイドウォールと上部スラブの隙間にバックアップ材を入れプライマーを塗布後，速硬化形変成シリコーンシーラントを注入した．また，平行して上部スラブにあるグラウト注入孔，継手，吊り治具孔を固練りのモルタルで埋めた．速硬化形変成シリコーンシーラント注入状況と孔埋め処理状況を写真-3.68，3.69 に示す．



写真-3.68　速硬化形変成ｼﾘｺｰﾝｼｰﾗﾝﾄ注入状況



写真-3.69 穴埋め処理状況

L型サイドウォールの外側は，路盤材により埋め戻しランマー及びプレートで締固め，L型サイドウォールより 5cm 下がった位置で仕上げ，その上に再生粗粒度アスファルト混合物を 5cm で舗設した．路盤材埋め戻し状況と再生粗粒度アスファルト混合物の舗設状況を写真-3.70，3.71 に示す．



写真-3.70 路盤材埋め戻し状況



写真-3.71 アスファルト混合物舗設状況

4)表層工

表層材は，上部スラブの上には砕石マスチックアスファルト混合物（SMA），再生粗粒度アスファルト混合物の上には密粒度アスファルト混合物を使用した．SMA はアスファルトフィニッシャーで舗設し，振動ローラ，マカダムローラ，タイヤローラで転圧し，密粒度アスファルト混合物は人力で敷均し振動ローラ，プレートで転圧し仕上げた．アスファルト乳剤散布状況，SMA 舗設状況，SMA 転圧状況，密粒度アスファルト混合物舗設状況および転圧状況を写真-3.72～3.77 に示す．



写真-3.72 乳剤散布状況



写真-3.73 SMA 舗設状況



写真-3.74 転圧状況



写真-3.75　転圧状況



写真-3.76　密粒アスコン舗設状況



写真-3.77　密粒アスコン転圧状況

表層材の温度が完全に下がってからＬ型サイドウォールと上部スラブの間の目地の直上にカッターで目地を入れ，目地を洗浄し完全に乾いてからプライマーを塗布し上部スラブ工で使用した速硬化形変成シリコーンシーラントを注入した．カッター目地，目地洗浄，目地材注入状況を写真-3.78～3.80 に，表層仕上がり状況を写真-3.81 に示す．



写真-3.78　カッター目地



写真-3.79　目地洗浄状況



写真-3.80　目地材注入



写真-3.81　仕上がり状況

3．1．4 密粒度舗装

(1) 施工概要

この密粒度舗装は、各振動軽減型舗装の振動軽減効果を確認するため、比較工区として施工したものである。

本施工における施工場所，施工時期および施工数量を下記に示す。

a）施工場所：独立行政法人土木研究所内舗装走行実験場

b）施工数量

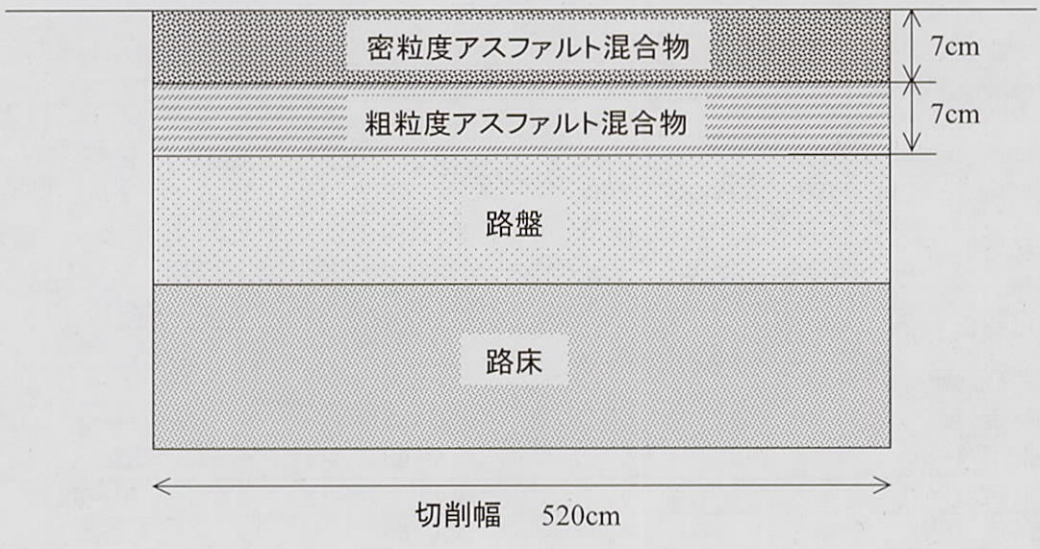
表層：密粒度アスコン L＝33m、W=5.2m、t=7cm、A=171.6m²

基層：粗粒度アスコン L＝33m、W=5.2m、t=7cm、A=171.6m²

※工区の前後 2～3mは手引きにより敷均した。

(2) 舗装構成

舗装構成を図－3.37 に示す。



図－3.37 密粒度舗装の舗装構成

(2)材料

a)アスファルト混合物

1)密粒度アスファルト混合物(表層用)

密粒度アスファルト混合物の主な使用材料は表－3.65 に示す。

表－3.65 使用材料一覧

材料種別	産地	材質	密粒
6 号砕石	茨城県新治郡新治村	砂岩	○
7 号砕石	茨城県新治郡新治村	砂岩	○
粗砂	茨城県西茨城郡岩瀬町	砕砂	○
細砂	千葉県佐原市	洗砂	○
石粉	栃木県栃木市	石粉	○
ストアス 60/80	神奈川県川崎市	60-80	○

表－3.66 配合試験結果総括(密粒度アスファルト混合物)

骨材配合比								
骨材の種類	6 号砕石	7 号砕石	粗砂	細砂	石粉			
配合比(%)	37.0	16.0	26.0	16.0	5.0			
合成粒度								
ふるい目(mm)	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度	100	97.3	63.7	42.9	23.1	13.6	8.3	5.5
粒度範囲	100	95～100	55～70	35～50	18～30	10～21	6～16	4～8

マーシャル特性値		規格値
最適アスファルト量 (%)	5.7	－
密度 (g/cm^3)	2.364	－
理論密度 (g/cm^3)	2.453	－
空隙率 (%)	3.6	3～6
飽和度 (%)	78.4	70～85
安定度 (kN)	10.66	4.9 以上
フロー値 (1/100cm)	32	20～40

2）粗粒度アスファルト混合物(基層用)

粗粒度アスファルト混合物の主な使用材料は表－3.67 に示す。

表－3.67 使用材料一覧

材料種別	産地	材質	粗粒
5 号砕石	茨城県新治郡新治村	砂岩	○
6 号砕石	茨城県新治郡新治村	砂岩	○
7 号砕石	茨城県新治郡新治村	砂岩	○
粗砂	茨城県西茨城郡岩瀬町	砕砂	○
細砂	千葉県佐原市	洗砂	○
石粉	栃木県栃木市	石粉	○
再生骨材	茨城県新治郡新治村	再生骨材	○
ストアス 60/80	神奈川県川崎市	60-80	○

表－3.68 配合試験結果総括(粗粒度アスファルト混合物)

骨材配合比									
骨材の種類	5 号砕石		6 号砕石		7 号砕石	粗砂	細砂	石粉	再生 13-0
配合比(%)	20.0		31.0		10.0	9.0	7.0	3.0	20.0
合成粒度									
ふるい目(mm)	26.5	19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度	100	98.0	78.0	44.9	29.0	17.8	11.3	6.9	4.6
粒度範囲	100	95～100	70～90	35～55	20～35	11～23	5～16	4～12	2～7

マーシャル特性値		規格値
最適アスファルト量（%）	4.8	－
密度（g/cm^3）	2.395	－
理論密度（g/cm^3）	2.493	－
空隙率（%）	3.9	3～6
飽和度（%）	74.0	65～85
安定度（kN）	11.14	4.9 以上
フロー値（1/100cm）	31	20～40

(3)施工

a)施工工程

施工工程を、表－3.69 に示す。

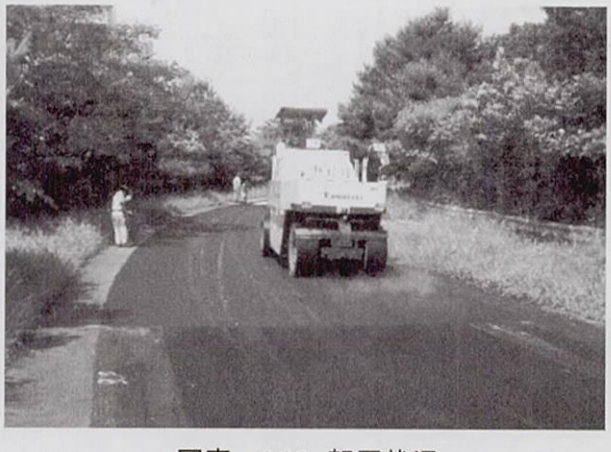
表－3.69 施工工程

工種	単位	数量	1日目	2日目
準備工				
準備工	式	1	←→	
基層工				
基層工	m^2	171.6		↔
表層工				
表層工	m^2	171.6		↔

b)施工状況

1)基層工

基層材は、路盤の上に粗粒度アスファルト混合物を使用した。なお路盤上には事前にプライムコートを散布した後に舗設した。転圧状況を写真－3.82 に示す。



写真－3.82 転圧状況

2)表層工

表層材は、基層の上に密粒度アスファルト混合物を使用した。表層工の仕上がり状況を写真－3.83 に示す。



写真－3.83 表層工の仕上がり状況

3．3 促進載荷試験方法

荷重車(後軸重 117.6kN、走行速度 40km/h)を走行させた促進載荷試験により舗装の供用性・耐久性について検討を行った。促進載荷試験条件を表－3.70 に示す。荷重車は 72,500 周(49kN 換算輪数 15 万輪)走行させた。また促進載荷試験風景を写真－3.84 に示す。

表－3.70 促進載荷試験走行条件

項目	条件
試験走路	中ループ(628m/周、R=100m)
走行周	72,500周(5t換算輪数15万輪相当)
荷重車数	3台
軸重	58.8kN
相当交通量区分	A交通
相当年数	10年



写真－3.84 促進載荷試験状況

促進載荷試験における路面性状調査は、５種類の舗装全体で行う調査項目を表－3.71 に、多孔質弾性舗装を使っている振動軽減型舗装Ｂのみ行う調査項目を表－3.72 にそれぞれ示す。調査時期は施工直後と促進載荷試験後の計２回行った。

表－3.71 路面性状調査項目(全工区)

調査項目	頻度	実施時期
たわみ量(FWD)	1測線/工区	施工直後・促進載荷試験後
路面平坦性(3mプロフィル)	2測線/工区	
同上(慣性プロファイラ)	1測線/工区	
すべり抵抗試験(BPN)	3箇所/工区	
同上(DFT)	3箇所/工区	
わだち掘れ量(横断プロフィル)	3箇所/工区	
表面形状(MTM)	2測線/工区	

表－3.72 路面性状調査項目(振動軽減型舗装Bのみ)

No	項目	試験方法	測定点・測定点数	管理基準
1	弾性	CS型硬度計	施工区間 5m 毎、IWP・BWP・OWP 計 24 点	70～90
2	透水量	現場透水試験	9,18,27m 地点 IWP・BWP・OWP 計 9 点	800ml/sec 以上

3．4 振動測定方法

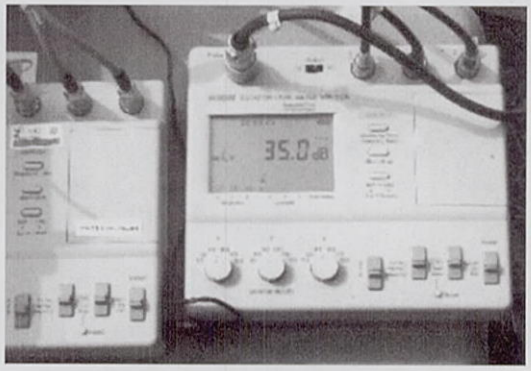
振動測定の概要を表－3.73 に示す。振動測定は施工直後および促進載荷試験後の計 2 回行った。

表－3.73 振動測定についての概要

	概要	頻度
① 測定方法	JIS Z 8735(振動レベル)	5回/測定点
② 測定位置	工区の18m地点:2m、2.7m、5m	
③ 加振方法	大型車 58.8kN、段差による強制振動あり 大型車 58.8kN、段差による強制振動なし 大型車117.6kN、段差による強制振動あり 大型車117.6kN、段差による強制振動なし FWD	5パターン/工区

3．4．1 測定方法

振動測定は JIS Z 8735 「振動レベルの測定方法」に基づき測定を行った。測定機器を写真－3.85 に、ピックアップの設置状況を写真－3.86 に示す。なお測定するのは振動加速度レベル(VAL)と振動レベル(VL)とした。



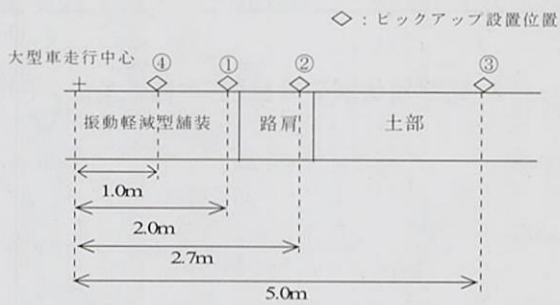
写真－3.85 振動測定機器



写真－3.86 ピックアップの設置状況

3．4．2 測定位置

測定場所は工区中央部である 18m 地点とした。振動測定位置は図－3.38 に示す通りとした。すなわち試験車走行中心から横断方向に 2.0m 離れた地点と 2.7m 離れた地点、5m 離れた地点の計 3 ヶ所とした。FWD による加振の際は、大型車走行中心の位置で衝撃荷重を発生させ、この場合は載荷位置から 1.0m の位置でも振動測定を行った。



図－3.38 測定位置

3. 4. 3 振動条件

荷重車の走行による振動発生では、大型車の後軸重を 58.8kN と 117.6kN の 2 パターンとし、走行速度は 50km/h で一定とした。また、人工段差による強制振動発生では、ケーブル(φ1cm)を路面に置き、段差を設けた。強制振動発生による測定の様子を写真－3.87 に示す。

FWD 測定車による振動発生では、衝撃荷重を 49kN とした。FWD 加振時測定の様子を写真－3.88 に示す。



写真－3.87　人工段差による強制振動発生



写真－3.88　FWD による振動発生

3. 4. 4 評価方法

各工法の振動軽減効果の評価には、下記に示す５つの方法を用いた。ここで、測定点とは、図－3.37 に示す位置のことである。得られたデータの評価方法については、表－3.74 に示すような値を基にして評価することにした。

評価法１は、各点の振動加速度レベルおよび振動レベルの絶対値による比較であり、各工法の総合的振動軽減の評価である。

評価法２は、振動発生源に近い測定点①から振動減衰の評価であり、舗装体からの振動の伝達程度の評価である。

評価法３は、比較工区との差であり、従来工法と比べた振動軽減効果の評価である。

評価法４は、路面性状と振動の関係の解明であり

評価法５は、振動の周波数特性特性の比較であり、軽減した周波数帯の評価である。

表－3.74 振動データの評価項目

評価法
1, 各点における振動レベルと振動加速度レベルの絶対値
2, 測定点②、③の測定点①を基準にした振動減衰値
3, 比較工区と比べた振動軽減効果(各測定点)
4, 路面性状値との相関関係
5, 振動加速度レベルの1/3オクターブバンド周波数解析結果による周波数特性

4. 試験施工の結果

4. 1 促進載荷試験結果

全工区における促進載荷試験前後の路面性状調査の結果を表－4.1 に、振動軽減型舗装Bのみ行った路面性状調査結果を表－4.2 にそれぞれ示す。

表－4.1　路面性状調査結果（全工区対象）

路面性状調査結果		FWD たわみ量（μm）	路面平坦性（3mプロフィル）		路面平坦性（慣性プロファイラ）		すべり抵抗値（BPN）	すべり抵抗値（DFT）		わだち掘れ量	表面形状（MTM）	
			IWP	OWP	OWP	BWP		OWP	BWP		OWP	BWP
振動軽減型舗装A(type1)	施工直後	564	1.96	1.28	2.35	2.34	65	0.503	0.487	－	0.18	0.16
	促進載荷後	527	2.29	2.17	2.84	2.96	65	0.593	0.607	2.1	0.19	0.18
振動軽減型舗装A(type2)	施工直後	1204	1.24	1.54	1.89	1.92	60	0.398	0.380	2.3	0.72	0.71
	促進載荷後	1057	1.53	2.79	3.26	1.95	67	0.548	0.520	7.5	0.68	0.69
振動軽減型舗装B	施工直後	1683	1.46	0.92	2.23	2.00	82	0.535	0.682	1.7	0.42	0.46
	促進載荷後	1798	1.44	1.26	2.94	2.67	57	0.248	0.338	3.3	0.41	0.38
振動軽減型舗装C	施工直後	1148	1.95	1.74	2.04	2.10	72	0.258	0.245	－	0.80	0.67
	促進載荷後	1367	1.84	1.94	2.50	2.05	69	0.625	0.403	1.4	0.73	0.65
密粒度舗装	施工直後	555	1.96	2.37	2.44	2.54	71	0.502	0.547	2.0	0.20	0.25
	促進載荷後	599	2.69	2.81	2.53	3.42	67	0.542	0.600	7.5	0.18	0.22

表－4.2　路面性状調査結果（振動軽減型舗装Bのみ対象）

CS 硬度

地点(m)	施工直後				促進載荷後			
	IWP	BWP	OWP	平均	IWP	BWP	OWP	平均
1.0	75	75	80	76.7	80	80	82	80.7
6.0	80	80	80	80.0	78	83	80	80.3
11.0	77	75	77	76.3	78	76	78	77.3
16.0	77	80	78	78.3	75	80	80	78.3
21.0	78	77	78	77.7	75	80	80	78.3
26.0	77	75	80	77.3	78	82	80	80.0
31.0	80	80	78	79.3	75	82	82	79.7
35.0	78	75	75	76.0	73	80	80	77.7
平均	77.8	77.1	78.3	77.7	76.5	80.4	80.3	79.0

現場透水量

地点(m)	施工直後				促進載荷後			
	IWP	BWP	OWP	平均	IWP	BWP	OWP	平均
9.0	1242	1315	1324	1294	1098	1152	1006	1086
18.0	1143	1240	1269	1217	1078	1179	1048	1102
27.0	1222	1266	1185	1224	1261	1201	1175	1212
平均	1202	1274	1259	1249	1146	1177	1076	1133

※参考データ(タイヤ近接音測定)

	パワーレベル(AP dB(A))	
	振動軽減型舗装B	密粒度舗装
促進載荷試験前	83.8	91.1

本データは、今回の施工現場と異なる場所で施工されたものだが同配合のものであり参考のために示した。

路面性状調査（全工区対象）の結果より、以下のことが考えられた。

①振動軽減型舗装 A(type1)は、施工直後の路面平坦性の値が大きかった。しかし促進載荷試験後の値が微増であり、平坦性保持能力が高いことがわかった。振動軽減型舗装 A(type2)は、施工直後の路面平坦性の値やすべり抵抗値が良かった。しかし、促進載荷試験後の路面平坦性の値(OWP)が急激に悪化した。今回の試験では車両走行位置において、ひび割れが発生しており、この原因として局部的な施工不良の可能性があったため、今後の施工での改善が必要である。

②振動軽減型舗装Bは、路面平坦性やわだち掘れ量などについては良好な結果が得られた。しかし促進載荷試験後におけるすべり抵抗値(DFT)が目標値を満たしておらず、今後の改良が必要である。

③振動軽減型舗装 C は、すべり抵抗値が良いものの、促進載荷試験後の路面平坦性の値が良くないことがわかった。これは促進載荷を行うことによって、PC 版接合部分にリフレクションクラックが発生したためと考えられた。

また、路面性状調査（振動軽減型舗装Bのみ対象）の結果より、以下のことが考えられた。

①CS 硬度は平均で 77.7 であり、全てが管理範囲を満足している。また、標準偏差 2.0、変動係数 2.5%でそのばらつきも小さいことがわかった。

②いずれの地点も管理範囲を満足しており、十分な排水機能が確保されていることがわかった。

4．2 振動測定結果

4．2．1 振動レベル、振動加速度レベルピーク値

表－4.3～4.6および図－4.1～4.10に各工区における促進載荷試験前後の振動レベルのピーク値(Z方向)を示す。

全体的にみて、荷重車を走行させて発生する振動レベルおよび振動加速度レベルの絶対値は促進載荷前後でかなり変動しており、様々な傾向を示していることがわかった。この傾向については、各振動軽減型舗装によって異なるので、個々の振動軽減型舗装についてそれぞれ検討を行った。

（1）荷重車の走行による振動発生

①振動軽減型舗装 A(type1)については、レベル値が促進載荷試験後に比べて促進載荷試験前の方が小さいことがわかる。振動軽減型舗装 A(type1)は開発目標として平坦性保持による振動軽減効果を発揮すると考えられ、舗装の平坦性があまり悪くならなくなった結果、促進載荷試験前後での振動レベル値の変動が小さく収まったと考えられた。振動軽減型舗装 A(type2)については、促進載荷試験前では若干の振動軽減効果が確認できたものの、促進載荷試験後では密粒度舗装とあまり変わらないレベル値であることが確認された。

②振動軽減型舗装 B については、促進載荷試験前では密粒度舗装に比べて振動軽減効果が確認されているが、促進載荷試験後ではほとんど密粒度舗装と変わらないレベル値を示していることがわかった。また振動レベル値では密粒度舗装に比べて差がほとんどないが、振動加速度レベルについては密粒度舗装よりも小さな値を示していることがわかった。これは人間の感覚補正された値である振動レベル値は軽減効果がほとんどないが、エネルギー全体を示す振動加速度レベル値においては軽減していることがわかった。

③振動軽減型舗装 C については、促進載荷試験前においては密粒度舗装に比べてかなり大きな振動軽減効果が確認された。促進載荷試験後においても振動軽減効果が若干下がったものの、大きな軽減効果を示していることが確認された。

（2）FWDによる振動発生

加振源をFWDにした場合では、工区によって様々な結果が得られた。振動軽減型舗装Aでは全体的に密粒度舗装と近い値となり、振動軽減型舗装 B では密粒度舗装よりも大きな値となった。振動軽減型舗装 C ではPC板上で大きな振動があるが2.0m地点以降ではあまり振動が大きくなかった。また振動レベル値・振動加速度レベル値とも、促進載荷試験前後で絶対値がほとんど変化しなかった。これは荷重車による測定に比べて、FWDが安定した一定荷重をかけることが可能なためと、路面性状値に左右されないためと考えられた。

（3）測定への影響因子について

測定値への影響因子としては、まず温度が考えられた。測定位置①、②、④で測定した場合、FWDを加振源にした場合のレベル値が促進載荷試験前後において測定時の気温が異なるにもかかわらず、ほとんど変化がなかった。このことから、舗装体上におけるレベル値の温度への影響はあまりないと推測された。一方、測定位置③(5m 地点)のレベル値が促進載荷試験前後においてかなり異なっていることがわかる。これは、5mの測定地点は土上にピックアップを設置しているため、土の状態の違い（水分量）の影響によりこのような傾向になったと考えられた。

表－4.3 振動レベルピーク値（促進載荷試験前）

振動軽減型舗装A(type1)　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	66.8	62.7	61.2
	なし	—	65.0	61.2	60.4
58.8kN	あり	—	68.6	64.0	63.6
	なし	—	64.7	61.3	60.8
FWD	—	80.5	74.9	72.3	71.7

振動軽減型舗装A(type2)　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	63.7	60.8	59.5
	なし	—	61.4	59.6	57.4
58.8kN	あり	—	64.5	61.1	59.7
	なし	—	63.7	61.9	60.4
FWD	—	80.6	75.4	72.5	70.3

振動軽減型舗装B　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	64.3	61.3	58.4
	なし	—	64.6	61.2	56.9
58.8kN	あり	—	64.8	61.7	59.6
	なし	—	63.8	62.1	59.2
FWD	—	82.6	77.6	74.5	72.1

振動軽減型舗装C　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	59.0	57.8	59.5
	なし	—	58.4	57.2	58.9
58.8kN	あり	—	59.4	58.1	56.3
	なし	—	57.0	56.6	56.8
FWD	—	90.3	69.7	67.5	63.3

密粒度舗装　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	65.8	60.9	57.5
	なし	—	66.2	59.7	56.7
58.8kN	あり	—	65.4	61.4	60.0
	なし	—	64.4	61.3	59.5
FWD	—	80.9	74.9	70.7	69.6

表－4.4 振動レベルピーク値（促進載荷試験後）

振動軽減型舗装A(type1)　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	62.6	61.2	60.5
	なし	—	63.1	61.7	60.4
58.8kN	あり	—	68.1	64.1	62.5
	なし	—	66.1	63.7	62.1
FWD	—	80.9	74.9	72.2	64.1

振動軽減型舗装A(type2)　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	67.0	64.8	62.8
	なし	—	66.0	64.4	62.5
58.8kN	あり	—	65.6	64.3	63.7
	なし	—	65.9	64.4	63.1
FWD	—	81.1	75.3	72.6	70.4

振動軽減型舗装B　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	67.5	65.1	62.2
	なし	—	68.0	65.6	62.0
58.8kN	あり	—	68.1	65.7	62.0
	なし	—	67.3	65.3	61.9
FWD	—	82.9	77.4	75.0	71.8

振動軽減型舗装C　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	61.5	59.7	58.4
	なし	—	60.5	59.5	58.4
58.8kN	あり	—	62.0	61.4	59.5
	なし	—	60.7	60.3	58.9
FWD	—	91.9	69.2	67.0	65.2

密粒度舗装　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	67.5	64.3	61.7
	なし	—	66.3	63.5	61.1
58.8kN	あり	—	67.2	63.9	61.9
	なし	—	66.8	64.4	62.3
FWD	—	81.9	75.1	71.1	70.0

表－4.5 振動加速度レベルピーク値（促進載荷試験前）

振動軽減型舗装A(type1) 単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	77.0	73.9	73.4
	なし	—	72.8	69.8	70.3
58.8kN	あり	—	77.9	74.7	75.8
	なし	—	72.7	69.9	70.9
FWD	—	89.0	84.1	81.4	82.8

振動軽減型舗装A(type2) 単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	74.8	70.7	72.7
	なし	—	69.5	67.3	67.4
58.8kN	あり	—	74.7	70.9	72.6
	なし	—	72.0	70.1	70.6
FWD	—	89.1	84.6	81.5	81.2

振動軽減型舗装B 単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	72.3	68.9	69.6
	なし	—	71.3	68.1	66.0
58.8kN	あり	—	72.5	69.2	70.5
	なし	—	71.5	69.6	68.9
FWD	—	90.8	85.7	82.4	82.4

振動軽減型舗装C 単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	65.2	64.2	64.2
	なし	—	64.0	63.2	64.6
58.8kN	あり	—	66.2	65.1	64.2
	なし	—	63.1	62.9	64.3
FWD	—	96.5	76.2	74.4	70.2

密粒度舗装 単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	74.9	70.3	68.5
	なし	—	72.6	67.7	66.3
58.8kN	あり	—	74.7	70.7	72.0
	なし	—	73.1	69.9	70.4
FWD	—	90.0	84.4	80.1	80.9

表－4.6 振動加速度レベルピーク値（促進載荷試験後）

振動軽減型舗装A(type1)　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	71.9	70.2	71.1
	なし	—	71.3	69.7	69.8
58.8kN	あり	—	76.0	72.5	73.0
	なし	—	73.2	70.9	71.3
FWD	—	89.5	83.8	81.1	75.3

振動軽減型舗装A(type2)　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	76.0	73.5	73.4
	なし	—	74.1	72.2	72.1
58.8kN	あり	—	73.9	72.4	73.5
	なし	—	73.7	72.5	72.6
FWD	—	89.7	84.5	81.5	81.4

振動軽減型舗装B　　単位(dB)

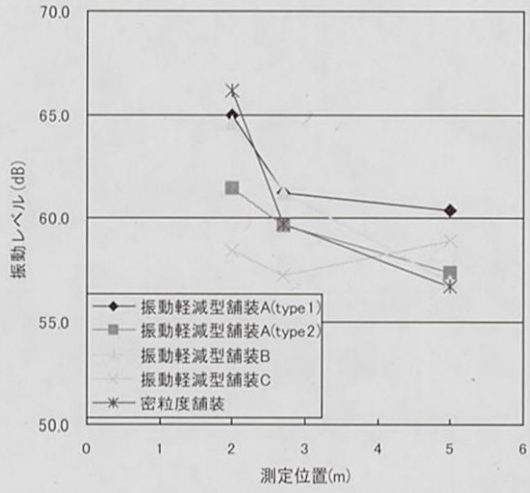
後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	75.2	72.5	72.8
	なし	—	75.5	72.9	71.8
58.8kN	あり	—	75.5	72.9	71.9
	なし	—	74.4	72.3	71.1
FWD	—	91.8	85.5	83.0	81.9

振動軽減型舗装C　　単位(dB)

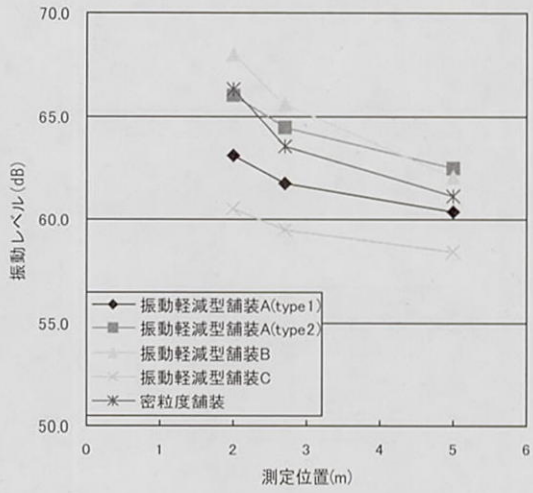
後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	67.8	67.2	68.2
	なし	—	67.0	66.7	68.2
58.8kN	あり	—	69.4	69.4	69.4
	なし	—	67.5	67.5	68.2
FWD	—	97.7	75.1	73.3	61.9

密粒度舗装　　単位(dB)

後軸重	人工段差	1.0m	2.0m	2.7m	5.0m
117.6kN	あり	—	76.2	72.9	73.0
	なし	—	74.4	71.6	70.9
58.8kN	あり	—	75.3	71.9	72.6
	なし	—	74.2	71.6	71.2
FWD	—	90.7	84.5	80.7	81.0

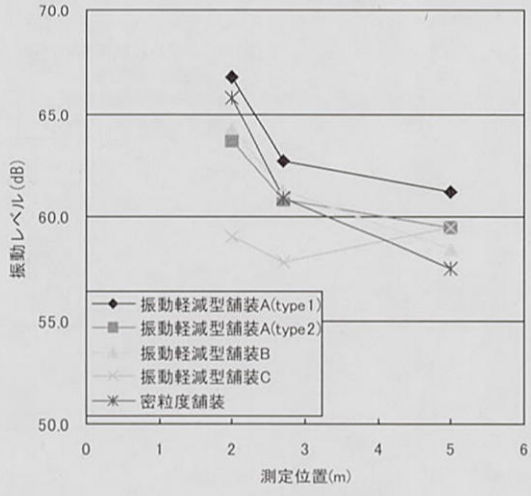


a)促進載荷試験前

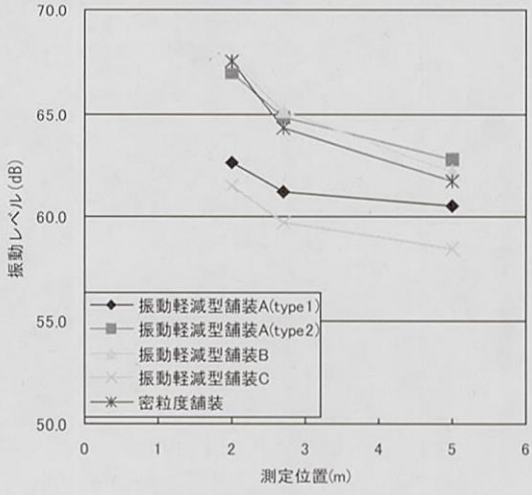


b)促進載荷試験後

図－4.1　振動レベルピーク値分布(条件：後軸重 117.6kN、人工段差なし)

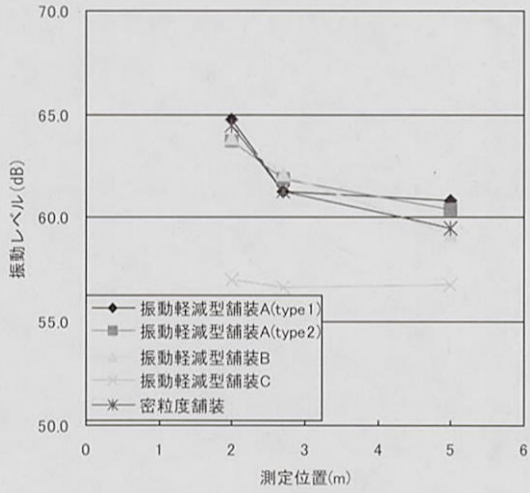


a)促進載荷試験前

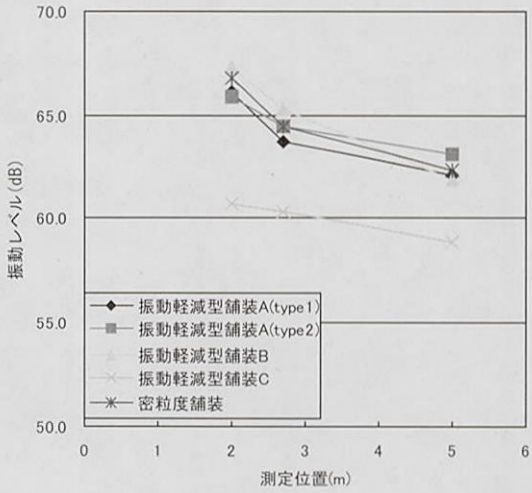


b)促進載荷試験後

図－4.2　振動レベルピーク値分布(条件：後軸重 117.6kN、人工段差あり)

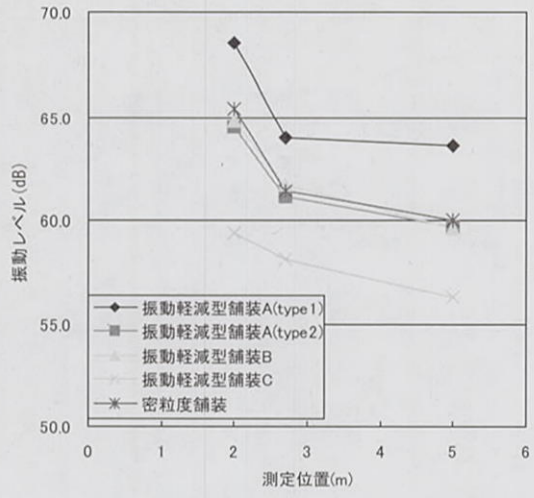


a)促進載荷試験前

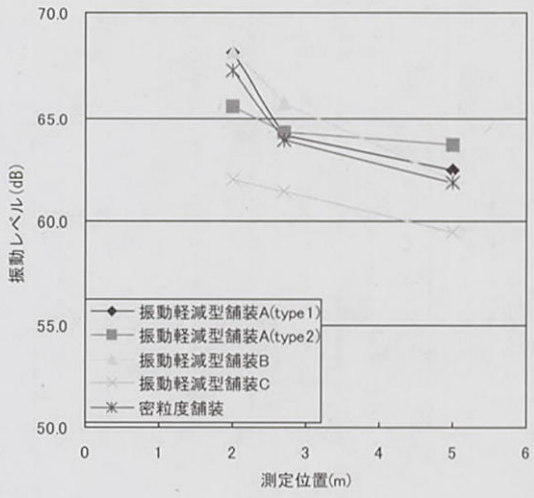


b)促進載荷試験後

図－4.3　振動レベルピーク値分布(条件：後軸重 58.8kN、人工段差なし)

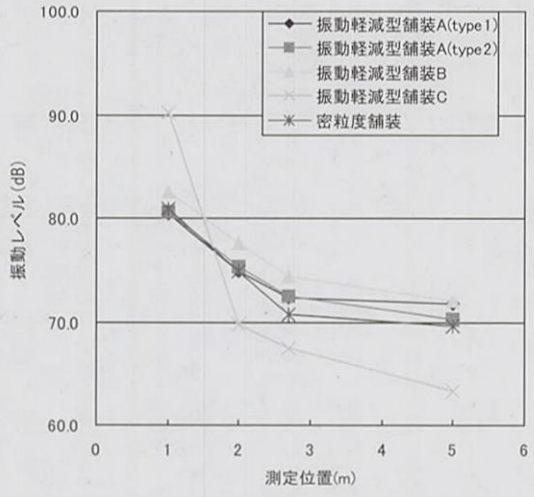


a)促進載荷試験前

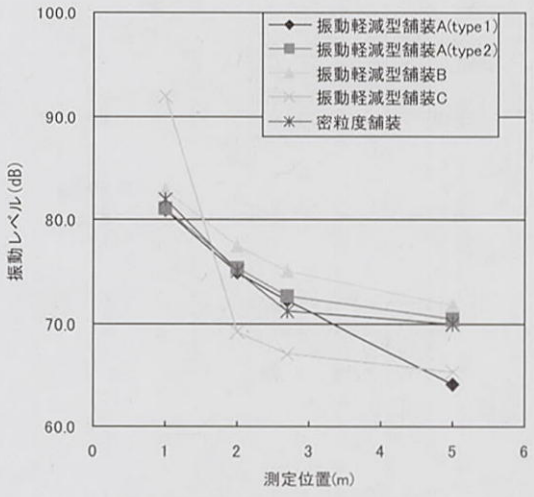


b)促進載荷試験後

図－4.4 振動レベルピーク値分布(条件:後軸重 58.8kN、人工段差あり)

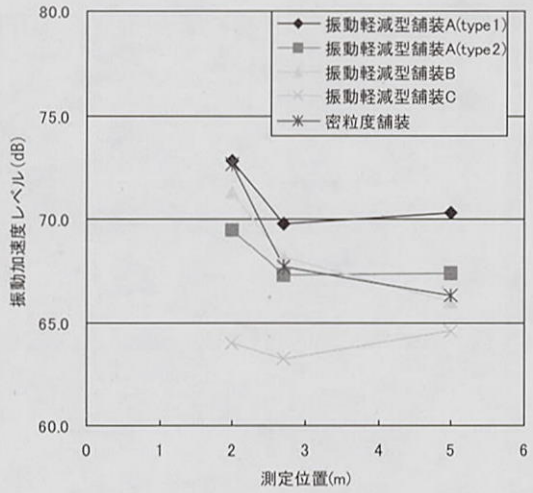


a)促進載荷試験前

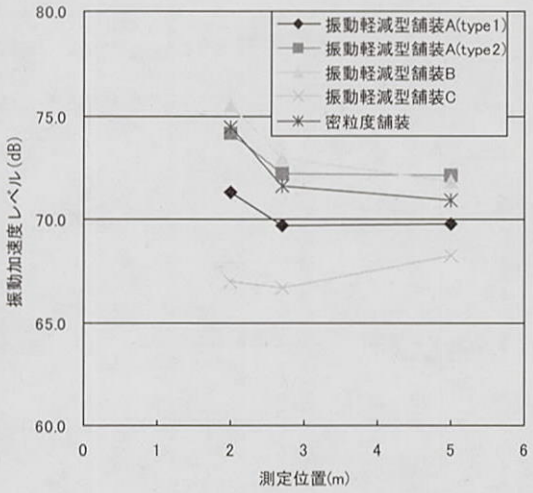


b)促進載荷試験後

図－4.5 振動レベルピーク値分布(条件:FWD)

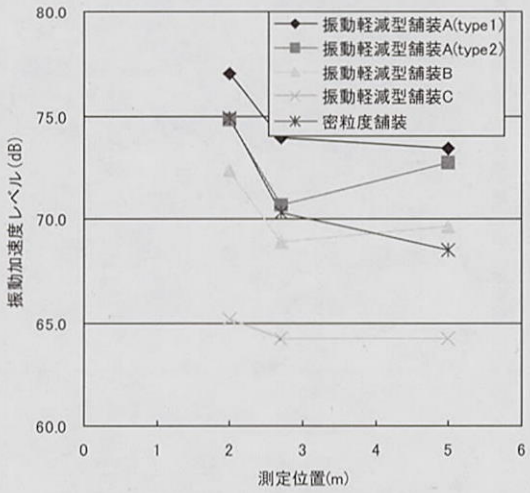


a)促進載荷試験前

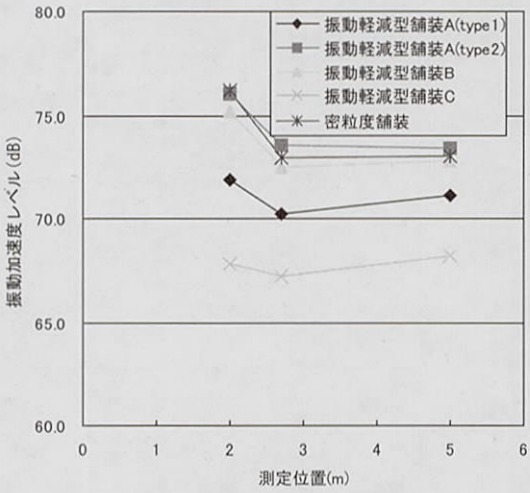


b)促進載荷試験後

図－4.6　振動加速度レベルピーク値分布(条件：後軸重 117.6kN、人工段差なし)

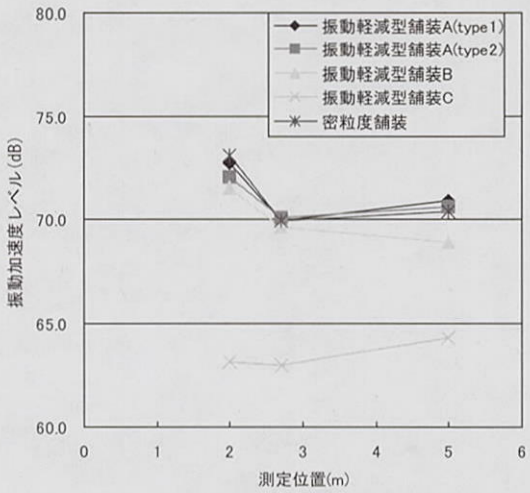


a)促進載荷試験前

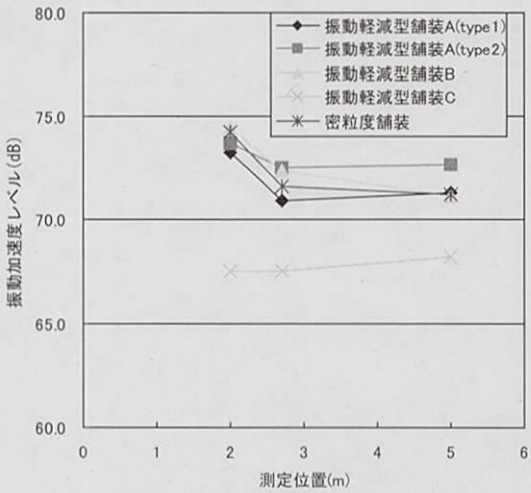


b)促進載荷試験後

図－4.7　振動加速度レベルピーク値分布(条件：後軸重 117.6kN、人工段差あり)

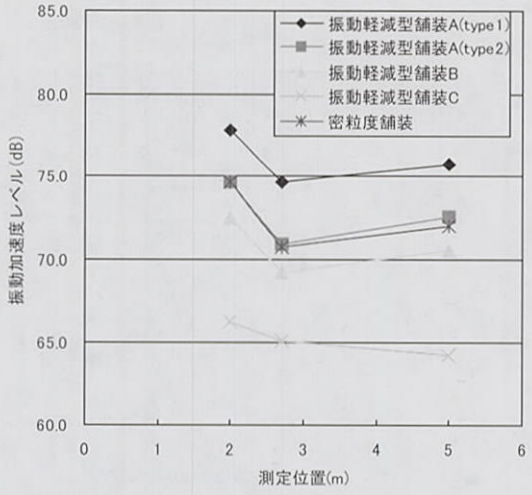


a)促進載荷試験前

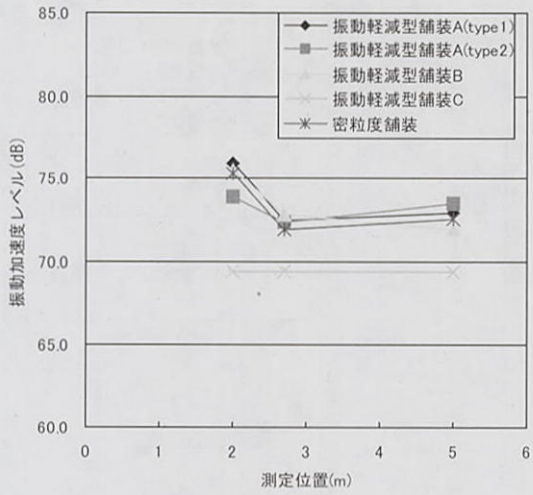


b)促進載荷試験後

図－4.8　振動加速度レベルピーク値分布(条件：後軸重 58.8kN、人工段差なし)

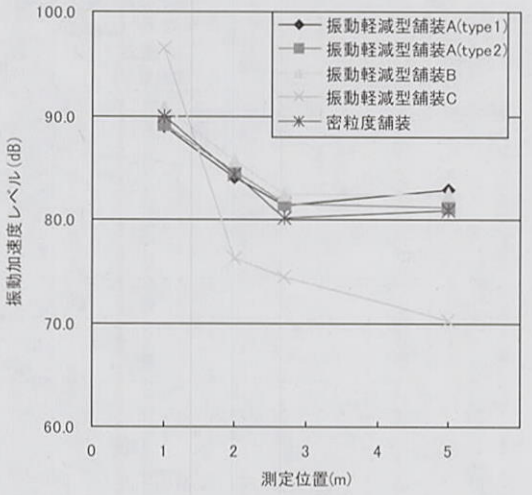


a)促進載荷試験前

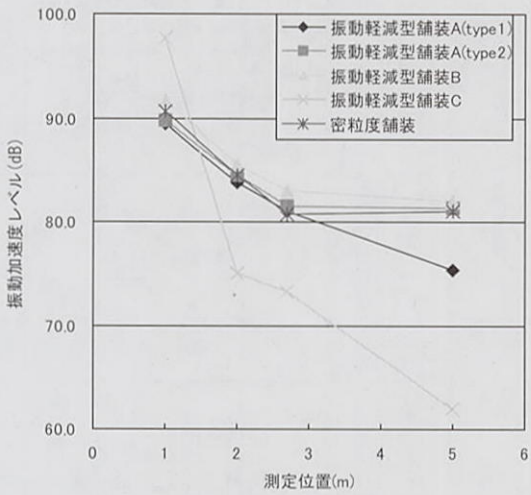


b)促進載荷試験後

図－4.9　振動加速度レベルピーク値分布(条件：後軸重 58.8kN、人工段差あり)



a)促進載荷試験前



b)促進載荷試験後

図－4.10　振動加速度レベルピーク値分布(条件：FWD)

4．3 振動軽減効果に関する考察

4．3．1 密粒度舗装を基準とした場合

密粒度舗装で発生する振動レベル・振動加速度レベルと各種振動軽減型舗装で発生する振動レベル・振動加速度レベルの差を振動レベル軽減値・振動加速度レベル軽減値として、比較検討を行った。図－4.11～図 4.20－に各条件別（人工段差有無、後軸重）における、密粒度舗装を基準にした場合の振動レベルおよび振動加速度レベルを促進載荷試験前後ごとにまとめたものを示す。全体的に見て、測定位置 5.0m 地点における、密粒度舗装に対する振動レベル軽減効果が良くなかった。これは測定位置武が土部のために、振動測定値の安定性に欠けたことにより、特にバラツキのある結果が得られたと考えられた。この他の測定位置①、②部における振動軽減効果について、各振動軽減型舗装別にまとめた。

（1）荷重車の走行による振動発生

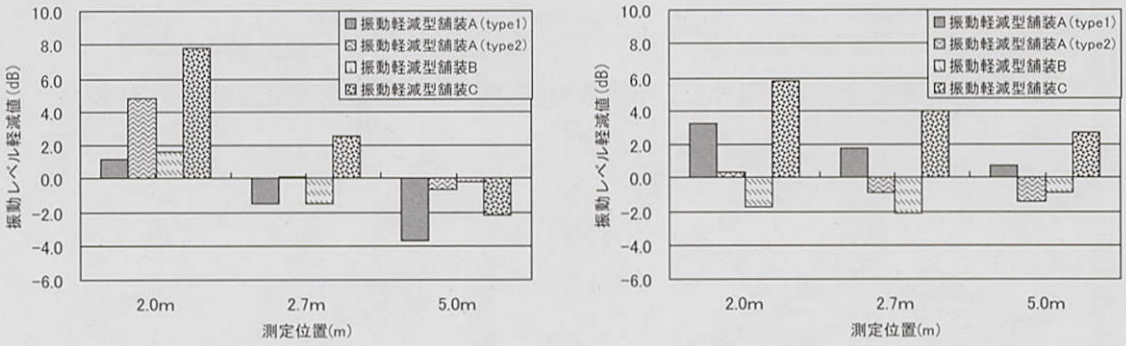
①振動軽減型舗装 A(type1)は、促進載荷試験前ではあまり振動軽減効果が見られないものの、促進載荷試験後ではほぼ密粒度舗装に比べて良い値を示していることがわかった。これは、平坦性とわだち掘れ量が密粒度舗装に比べて良い値を保っているためと考えられる。また振動レベルと振動加速度レベルにおける振動軽減絶対値はほぼ同じことがわかった。振動軽減型舗装 A(type2)については、2.0m 地点において、促進載荷試験前の方が振動軽減値が良いことがわかった。また促進載荷試験後においてもマイナスになることがないが、2.7m 地点ではマイナスになることがあった。これは促進載荷試験後の平坦性が OWP において、ひび割れが発生したためと考えられた。

②振動軽減型舗装 B は、促進載荷試験前は振動軽減効果を確認したが、促進載荷試験後はほとんど密粒度舗装と同じ値を示し、振動軽減効果の持続性に課題があることがわかった。

③振動軽減型舗装 C は、どの条件においても 3dB 以上の振動軽減効果を維持していることがわかった。促進載荷試験前後により若干の振動軽減効果が失われるが、ほぼ変わらないことが確認された。

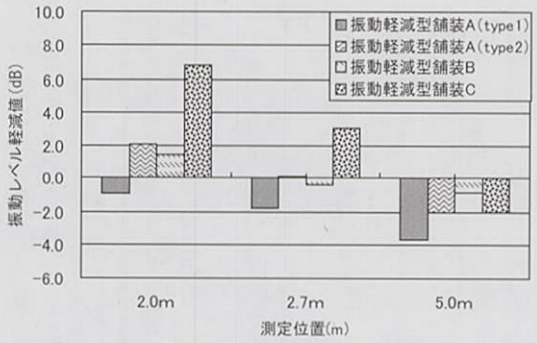
（2）FWD による振動発生

FWD を加振源とした場合、促進載荷試験前後では大きな変化が見られないことがわかった。振動軽減型舗装 A、B においては密粒度舗装とあまり大きな差が見られないものの、振動軽減型舗装 C では 1.0m 地点である程度大きく振動軽減されることがわかった。

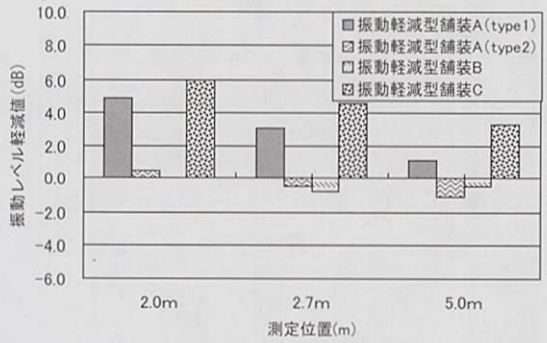


a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.11 密粒度舗装を基準にした場合の振動レベル軽減値(人工段差なし、117.6kN)

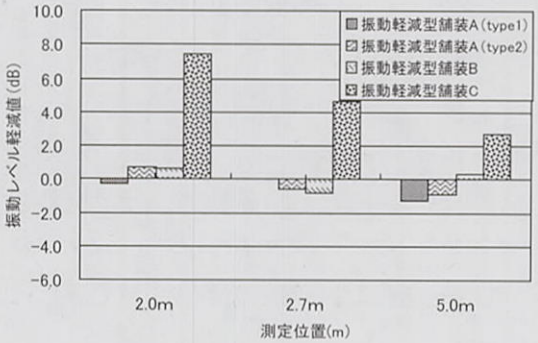


a)促進載荷試験前

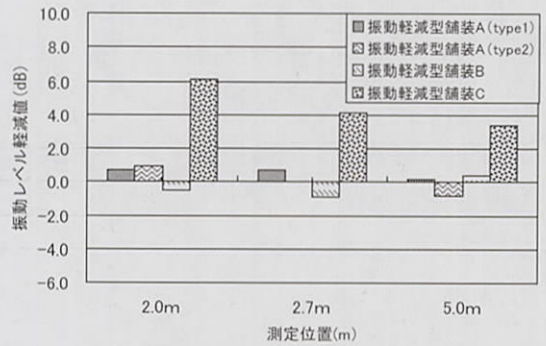


b)促進載荷試験後

図－4.12　密粒度舗装を基準にした場合の振動レベル軽減値(人工段差あり、117.6kN)

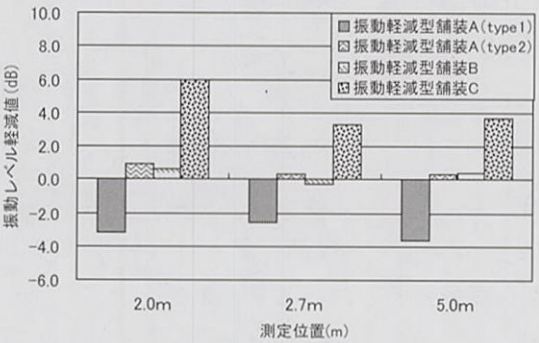


a)促進載荷試験前

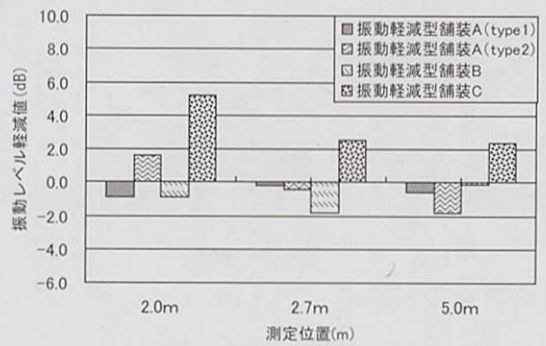


b)促進載荷試験後

図－4.13　密粒度舗装を基準にした場合の振動レベル軽減値(人工段差なし、58.8kN)

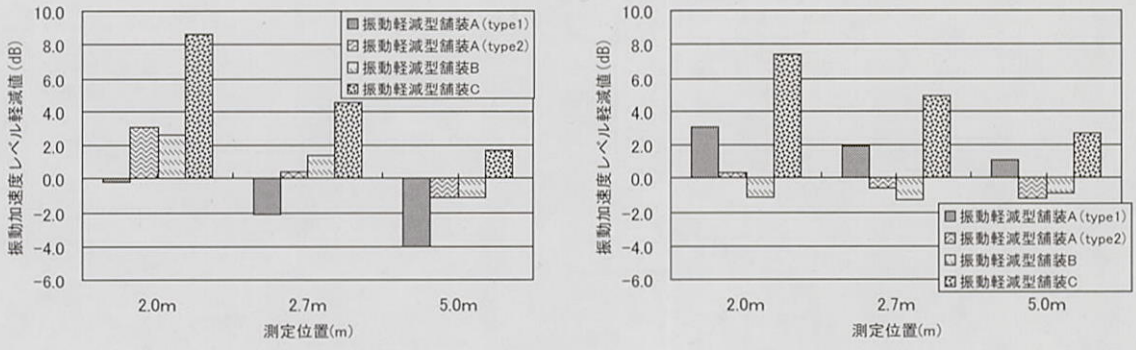


a)促進載荷試験前



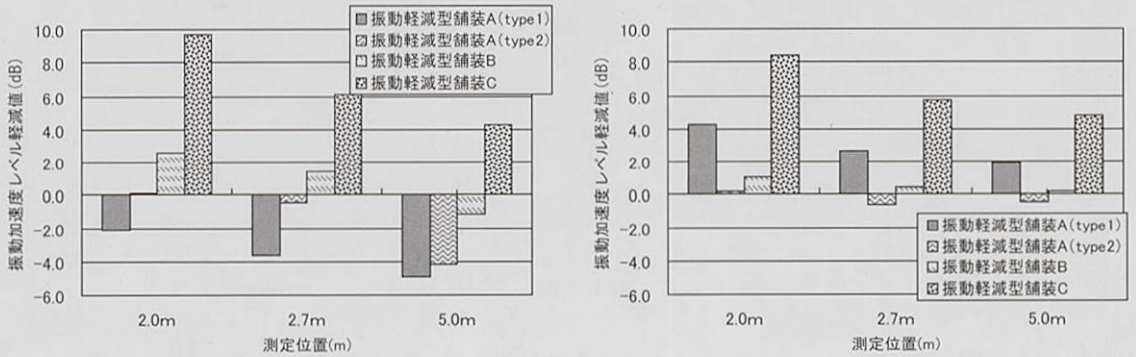
b)促進載荷試験後

図－4.14　密粒度舗装を基準にした場合の振動レベル軽減値(人工段差あり、58.8kN)



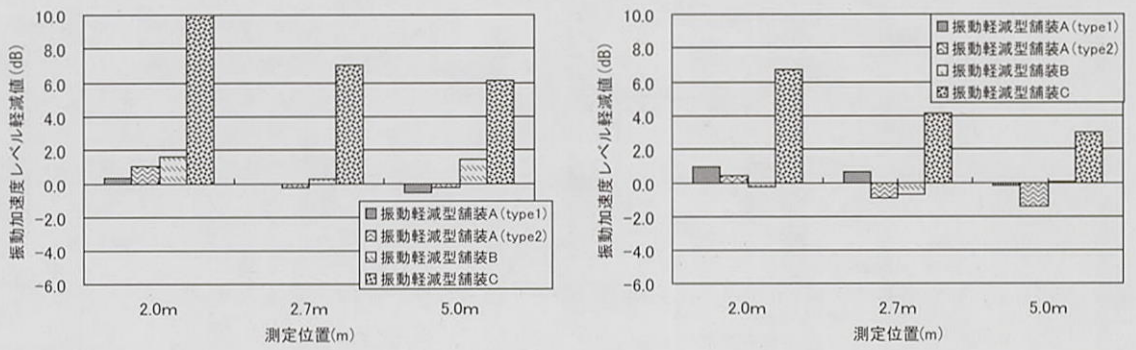
a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.15　密粒度舗装を基準にした場合の振動加速度レベル軽減値(人工段差なし、117.6kN)



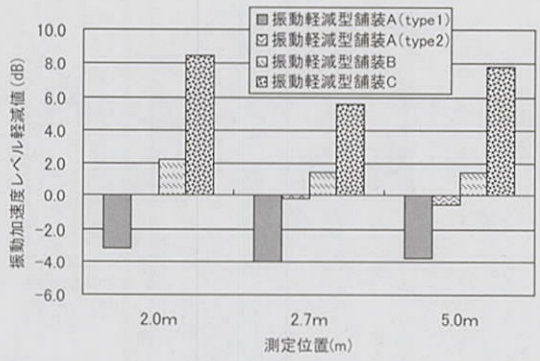
a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.16　密粒度舗装を基準にした場合の振動加速度レベル軽減値(人工段差あり、117.6kN)

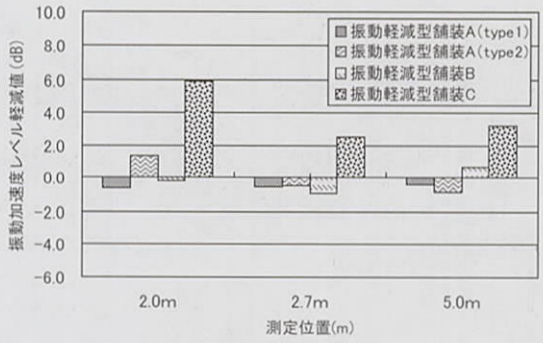


a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.17　密粒度舗装を基準にした場合の振動加速度レベル軽減値(人工段差なし、58.8kN)

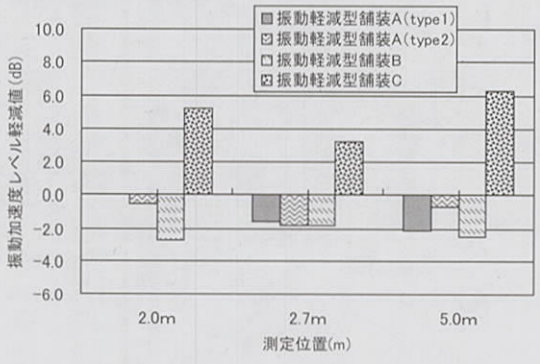


a)促進載荷試験前

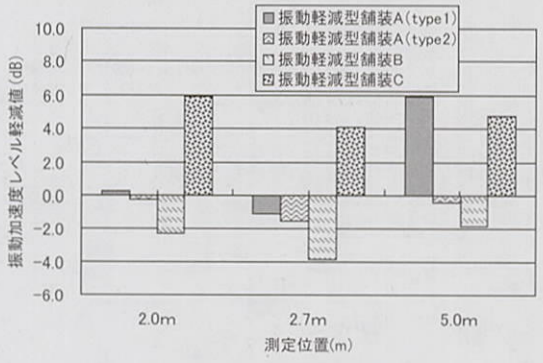


b)促進載荷試験後

図－4.18　密粒度舗装を基準にした場合の振動加速度レベル軽減値(人工段差あり、58.8kN)

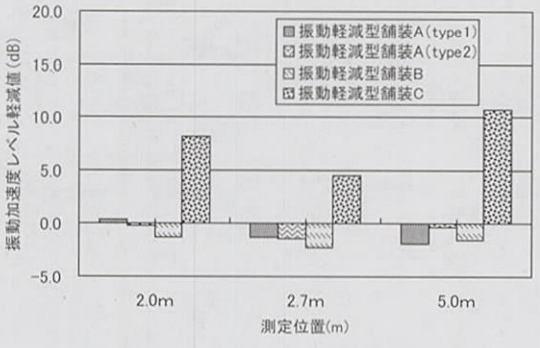


a)促進載荷試験前

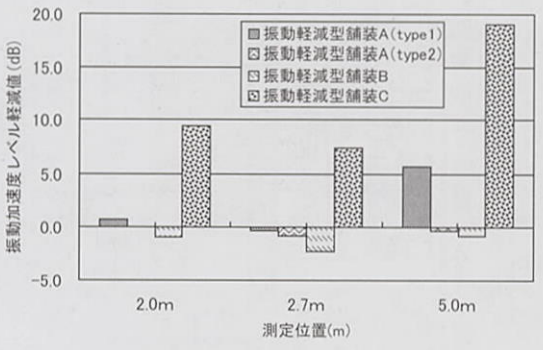


b)促進載荷試験後

図－4.19　密粒度舗装を基準にした場合の振動レベル軽減値(FWD)



a)促進載荷試験前



b)促進載荷試験後

図－4.20　密粒度舗装を基準にした場合の振動加速度レベル軽減値(FWD)

4．3．2　測定点 2.0m地点を基準とした場合

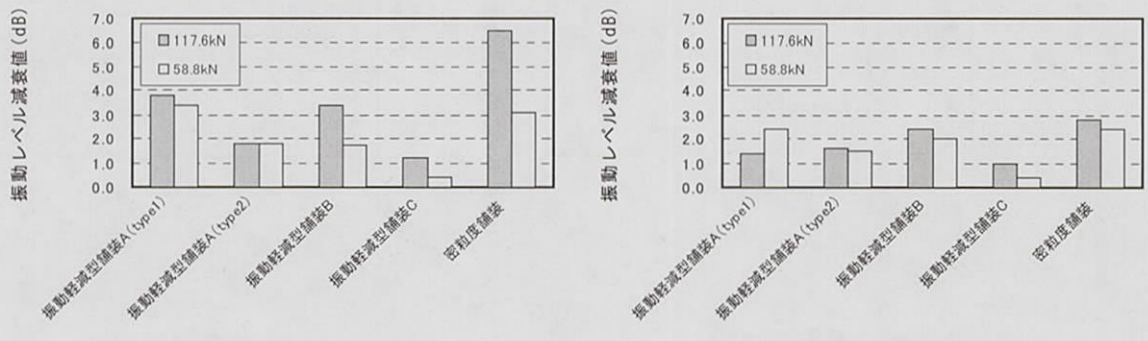
舗装上で発生した振動の舗装外への伝達の傾向を検討するため、舗装上の振動測定点(2.0m 地点:図- 3.31 における測定点②)を基準にして、2.7m地点での距離減衰値を求めた。図－4.21、4.22 に振動レベル距離減衰値を、図－4.23、4.24 に振動加速度レベル距離減衰値を促進載荷試験前後に分けてそれぞれ示す。

①密粒度舗装の振動減衰について、振動レベルと振動加速度レベルともに、促進載荷試験前では大きな減衰値を示すものの、促進載荷試験後においては小さな減衰値を示すことがわかる。これは促進載荷試験により、路面性状が大きく変化したため、測定地点前後で促進載荷試験前に比べて大きな振動が発生し、その振動が 2.7m 地点にまで伝わったものと考えられた。2.7m 地点でのレベル値が高くなった結果、振動レベルおよび振動加速度レベル振動減衰値が小さくなったと考えられた。

②振動軽減型舗装 A(type1)では促進載荷試験前では、3.0～4.5dB の減衰効果があるが、促進載荷試験後では 1.5dB 程度の減衰しか見られない。これは密粒度舗装と同様に路面平坦性が悪くなったことが考えられる。振動軽減型舗装 A(type2)では、人工段差がない場合ではほとんど変化せず、人工段差がある場合では振動軽減型舗装 A(type1)と同様な傾向を示すことがわかった。これは人工段差がない場合では、促進載荷試験による路面性状の大きな変化が無かったためと考えられた。一方、人工段差がある場合は密粒度舗装と同様の傾向を示していることから、人工段差は路面性状が促進載荷により大きく変化した舗装を想定できることがわかった。

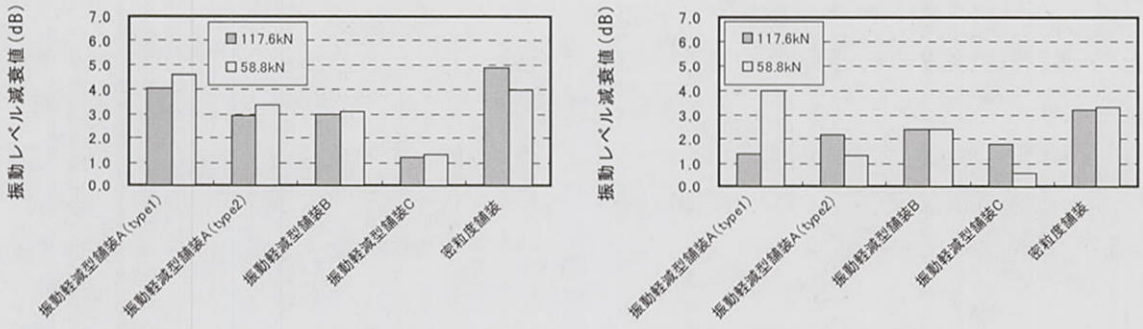
③振動軽減型舗装 B では、人工段差がない場合は後軸重による違いがあるが、人工段差がある場合は違いがほとんどないことがわかった。

④振動軽減型舗装 C は促進載荷試験前後において、1.0dB 程度しか減衰していないことがわかる。このことから、振動発生源から 2.0m地点において既に大きく振動が減衰していることがわかった。



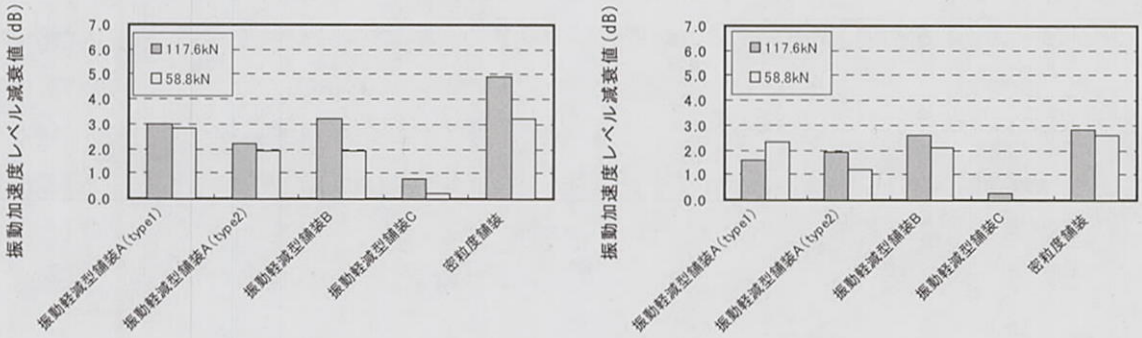
a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.21　2.0m を基準とした場合の振動レベル距離減衰値(人工段差なし)



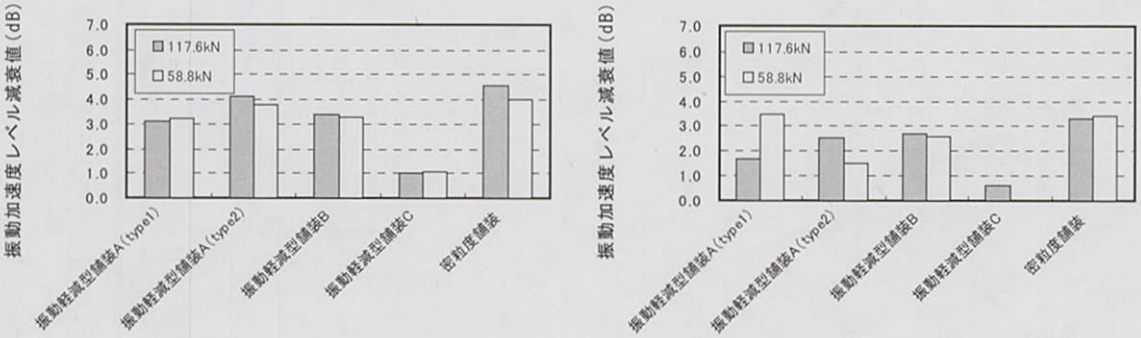
a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.22　2.0m を基準とした場合の振動レベル距離減衰値(人工段差あり)



a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.23　2.0m を基準とした場合の振動加速度レベル距離減衰値(人工段差なし)



a)促進載荷試験前　　b)促進載荷試験後

図－4.24　2.0m を基準とした場合の振動加速度レベル距離減衰値(人工段差あり)

4．4　振動レベル値に関する考察

4．4．1　加振源別における相関関係

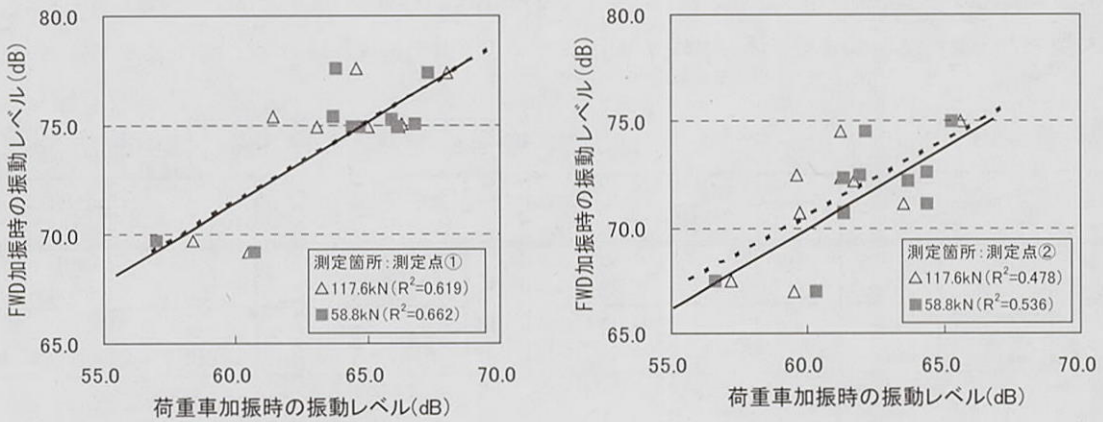
FWD 加振時の振動レベル(振動加速度レベル)と、実走行を想定した大型車加振時の振動レベル(振動加速度レベル)の２つの振動レベル(振動加速度レベル)の関係について検討した。

図－4.25 に FWD 加振時の振動レベルと荷重車加振時の振動レベルの関係、図－4.26 に FWD 加振時の振動加速度レベルと荷重車加振時の振動加速度レベルの関係をそれぞれ示す。なおデータは促進載荷試験の前後両方を含む。

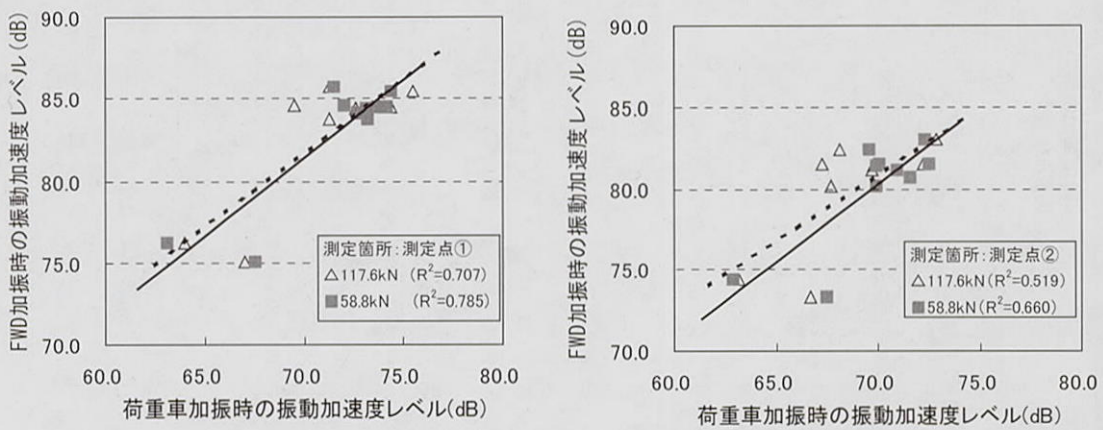
図－4.25 から、測定点①の場合、相関係数は後軸重 117.6kN の場合 R^2=0.619、後軸重 58.8kN の場で R^2=0.662 となった。これに対し、測定点②の場合、相関係数は後軸重 117.6kN の場で R^2=0.478、後軸重 58.8kN の場合 R^2=0.536 となった。

また図－4.26 から、測定点①の場合、相関係数は後軸重 117.6kN の場合 R^2=0.707、後軸重 58.8kN の場合 R^2=0.785 となった。これに対し、測定点②の場合、相関係数は後軸重 117.6kN の場合 R^2=0.519、後軸重 58.8kN の場合 R^2=0.660 となった。

以上のことから、測定点①と②において、荷重車加振時の振動レベル(振動加速度レベル)は FWD 加振時のレベル値との相関が高く同傾向であることがわかった。また測定点①の方がより相関係数が良いが、これは振動発生地点に近い方が周りの影響を受けにくいためと考えられた。



図－4.25　振動レベル相関関係



図－4.26　振動加速度レベル相関関係

4．4．2 路面性状値と振動レベルの相関関係

交通振動の予測をするために、路面性状との相関について検討を行った。路面性状としては、路面平坦性が振動発生に関係が深いと考えられ、これまでの調査結果からもある程度の相関が見られたので、これを変数とした。また振動の発生を増幅させるのは路面の弾性と関係が深いと考えられ、これと振動の伝搬を合わせた形でFWDによる起振測定を行っているので、さらにこれも変数として重回帰分析を行った。表－4.7、4.8に独立変数としてFWD加振時の振動レベルVL(振動加速度レベルVAL)と路面平坦性(3mプロフィルメータ使用時のσ及び国際ラフネス指数 IRI)を設定した場合の相関係数一覧を示す。また図－4.27にX軸に路面平坦性σ、Y軸にFWD利用時の振動レベル(振動加速度レベル)、Z軸に荷重車利用時の振動レベル(振動加速度レベル)にしたもので、一番相関が高かった例をを示す。表－4.7、4.8より、路面平坦性σとIRIでは若干異なる傾向だが、荷重車走行時の振動レベル(振動加速度レベル)と多少の相関関係があると判断され、特にIRIの方がより良い相関を示すことが確認された。

表－4.7、4.8より、2.0m地点における荷重条件58.8kN、独立変数がFWD加振時の振動レベル(振動加速度レベル)の場合、それぞれ相関係数が一番高かった。これら相関係数が一番高かった時の相関関係式を式(19)(20)に示す。

$$[\text{大型車加振時 VL}] = 0.833 \times [\text{FWD 時 VL}] + 2.695 \times [\text{IRI}] - 5.490 \quad \cdots\cdots (19)$$

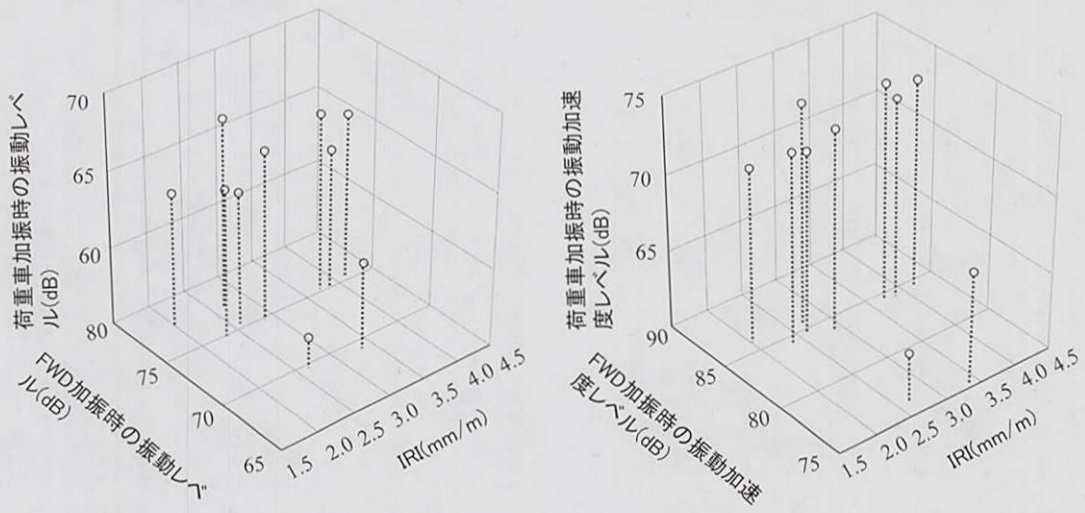
$$[\text{大型車加振時 VAL}] = 0.705 \times [\text{FWD 時 VAL}] + 2.592 \times [\text{IRI}] + 5.677 \quad \cdots\cdots (20)$$

表－4.7 相関係数 R^2 一覧(振動レベル)

			独立変数	
			VL_{FWD}、IRI	VL_{FWD}、σ_{3m}
荷重条件	117.6kN	2.0m	0.652	0.601
		2.7m	0.599	0.588
	58.8kN	2.0m	0.739	0.651
		2.7m	0.739	0.587

表－4.8 相関係数 R^2 一覧(振動加速度レベル)

			独立変数	
			VAL_{FWD}、IRI	VAL_{FWD}、σ_{3m}
荷重条件	117.6kN	2.0m	0.686	0.615
		2.7m	0.573	0.487
	58.8kN	2.0m	0.767	0.636
		2.7m	0.677	0.494



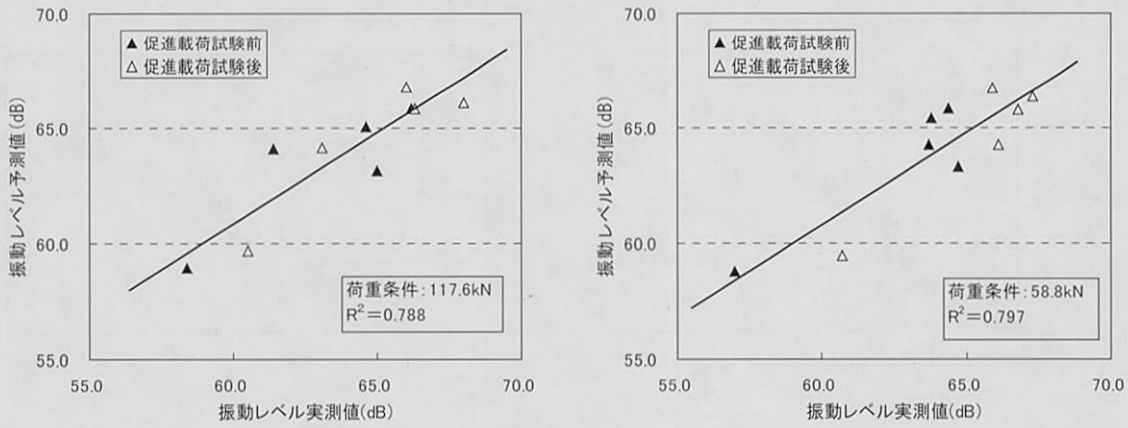
図－4.27 レベル値と路面平坦性の相関関係(左:振動レベル、右:振動加速度レベル)

4．4．3 振動レベルの予測に関する検討

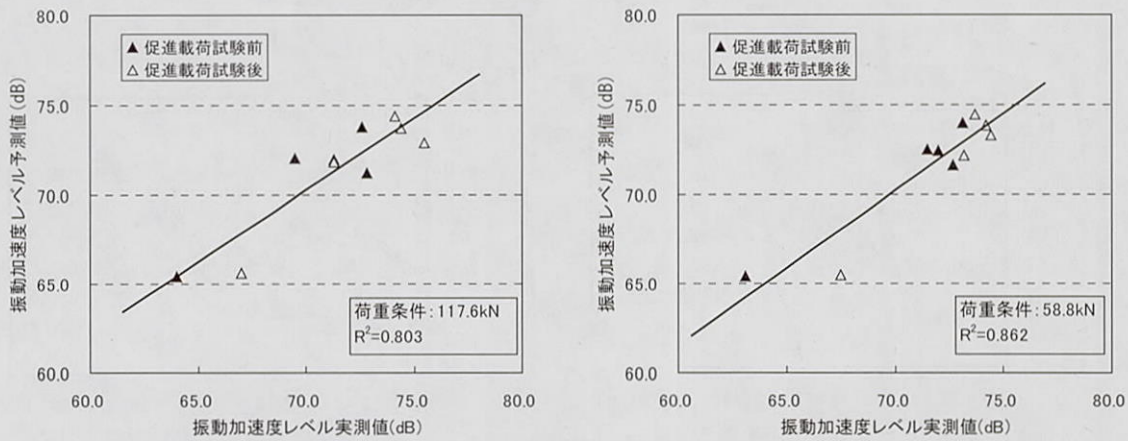
「４．４．２　路面性状値と振動レベルの相関関係」では路面性状と FWD を加振源にした場合の振動レベル（振動加速度レベル）から荷重車走行による振動レベル（振動加速度レベル）を計算する予測式を各荷重条件毎に得られた。これらの予測式と実測値の整合性を判断するため、本研究で得られたデータを予測式に入力して検討を行った。図－4.28、4.29 に振動レベル（振動加速度レベル）実測値と予測値の関係を促進載荷試験前後に分けて示す。

振動レベルの場合、相関係数は後軸重 117.6kN の場合で R^2=0.788、後軸重 58.8kN の場合で R^2=0.797 となった。これに対し、振動加速度レベルの場合、相関係数は後軸重 117.6kN の場合で R^2=0.803、後軸重 58.8kN の場合で R^2=0.862 となった。

どちらの場合においても、後軸重が 58.8kN の方が相関が良いことがわかった。これは予測式で用いる FWD を加振源にした場合の振動レベル（振動加速度レベル）の値を用いているが、この FWD の衝撃荷重が 49.0kN であり、58.8kN に値が近いために相関が高くなったと考えられた。しかし後軸重が 117.6kN の場合でも比較的高い相関が得られていることから、後軸重が大きくても利用可能であることがわかった。



図－4.28　振動レベル実測値と予測値との関係



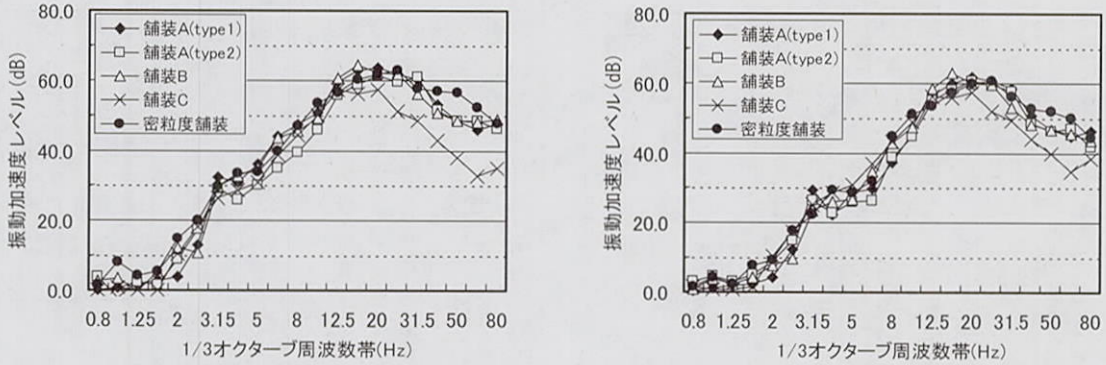
図－4.29　振動加速度レベル実測値と予測値との関係

4．5 周波数分析による検討

促進載荷試験前(条件：軸重 117.6kN、人工段差なし)における、測定点①と測定点②の周波数分析結果を図－4.14 に、各周波数別における密粒度舗装との差を図－4.15 に示す。

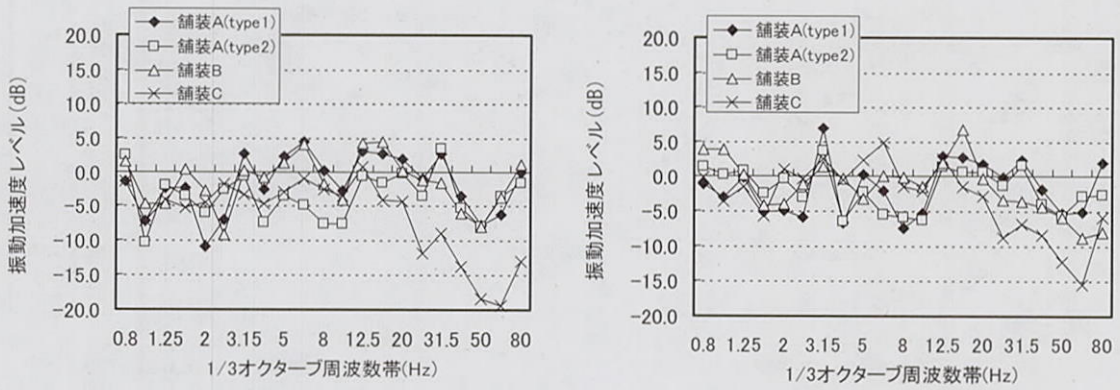
図－4.14 より、どの舗装でも周波数が 3.15Hz と 16～25Hz で卓越していることがわかる。この原因を考えると、荷重車のサスペンションなどの影響が考えられる。通常、板バネ(リーフサス)形式の大型車の前輪・後輪の卓越周波数はおおよそ 10～20Hz 付近であり、荷台のバネ定数は 2～3Hz と言われている[1)]。荷重車は板バネ形式のものであることから、車輪と荷台から発生している振動が伝わっていることがわかった。また図－4.15 より、周波数が 20Hz における振動加速度レベル値の密粒度舗装との差と、各振動軽減型舗装と密粒度舗装との振動加速度レベル最大値差(Lmax)がほぼ同じであることがわかった。これから、大型車の前輪・後輪の卓越周波数帯付近の振動を軽減させることができる舗装体を開発できればよいことがわかる。本研究で開発した振動軽減型舗装では、特に振動軽減型舗装 C がこの周波数帯において軽減できていることがわかった。

※参考文献：1）平尾，横田：道路交通振動における舗装面条件と発生振動に関する研究、日本騒音制御工学会技術発表講演論文集，1996.9



a)測定点①(2.0m 地点)　　b) 測定点②(2.7m 地点)

図－4.30 周波数分析結果



a)測定点①(2.0m 地点)　　b) 測定点②(2.7m 地点)

図－4.15 周波数帯別の密粒度舗装と差

5. まとめ

本研究では、表・基層を打ち換えることによる振動軽減効果の持つ振動軽減型舗装の開発を行った。その結果、比較的短期間で施工可能で振動軽減効果を持つ４つの舗装を開発した。その結果、以下のことがわかった。

①これらの舗装の振動軽減効果は、表－4.9 に示すとおりであった。

表－4.9　振動軽減効果

		振動軽減効果※(dB)	
		振動レベル	振動加速度レベル
振動軽減型舗装A(type1)	施工直後	1.2	-0.2
	促進載荷試験後	3.2	3.1
振動軽減型舗装A(type2)	施工直後	4.8	3.1
	促進載荷試験後	0.3	0.3
振動軽減型舗装B	施工直後	1.6	1.3
	促進載荷試験後	-1.7	-1.1
振動軽減型舗装C	施工直後	7.8	8.6
	促進載荷試験後	5.8	8.5

※ここで言う振動軽減効果は、荷重条件117.6kN、2.0m地点での密粒度舗装との差で示している。

②振動レベル（振動加速度レベル）は、平坦性と FWD 加振時の振動レベル（振動加速度レベル）を変数にとり、以下の予測式を立てることができた。

[大型車加振時 VL] =0.833×[FWD 時 VL]＋2.695×[IRI]－5.490　　・・・・(①)

[大型車加振時 VAL]=0.705×[FWD 時 VAL]＋2.592×[IRI]＋5.677　　・・・・(②)

③各工法の特徴と利用方法については、以下のように考えられる。

・振動抑制シートを用いた振動軽減型舗装Ａ(type1)は、施工直後の振動軽減効果が小さいが、長期的にみると 3dB 程度の振動軽減効果を持つ。また振動軽減型舗装Ａ(type2)は、施工直後の振動軽減効果は 3～4dB であった。施工に要する時間が比較的短い振動軽減型舗装Ａは、長期の交通規制が困難な箇所にも適用可能であり、使用目的に合わせて type を選択することで幅広い適用が可能と考えられる。

・多孔質弾性層を持つ振動軽減型舗装Ｂは、施工直後の振動軽減効果が 1.5dB 程度だが、高い騒音抑制効果（タイヤ近接音測定において、密粒度舗装とのパワーレベル差が 7.3dB）を持ち合わせているため、騒音低減も重要な箇所などで適用されるものと考えられる。

・防振ゴムを用いた振動軽減型舗装Ｃは、施工に要する時間が長いが、振動軽減効果が非常に高いことがわかった。このため、病院や研究施設といった交通振動による大きな障害が懸念される箇所での適用が考えられる。

今後、開発された４種類の振動軽減型舗装について、更に振動軽減効果や耐久性の向上を目指す必要がある。また、この振動軽減型舗装を実道において実際に試験施工をし、調査を行うことにより振動軽減型舗装の普及を図っていきたい。

付録１　施工マニュアル

目　次

第１章　振動軽減型舗装Ａ　・・・・・・・・・・(１)
　第１節　振動軽減型舗装Ａの概要　・・・・・・・・・・(１)
　１－１　概要　・・・・・・・・・・(１)
　１－２　特徴　・・・・・・・・・・(２)
　１－３　適用　・・・・・・・・・・(３)
　１－４　構造設計　・・・・・・・・・・(３)
　第２節　使用材料および配合　・・・・・・・・・・(５)
　２－１　基層用アスファルト混合物　・・・・・・・・・・(５)
　　２－１－１　開粒度アスファルト混合物(20)　・・・・・・・・・・(５)
　　２－１－２　砕石マスチックアスファルト混合物 SMA(5)　・・・・・・・・・・(６)
　２－２　表層用アスファルト混合物　・・・・・・・・・・(８)
　　２－２－１　砕石マスチックアスファルト混合物 SMA(13)　・・・・・・・・・・(８)
　　２－２－２　開粒度アスファルト混合物(13)　・・・・・・・・・・(９)
　２－３　制振用シート　・・・・・・・・・(１１)
　第３節　施工　・・・・・・・・・(１２)
　３－１　施工手順　・・・・・・・・・(１２)
　３－２　表基層用アスファルト混合物の施工　・・・・・・・・・(１３)
　　３－２－１　タックコートまたはプライムコート　・・・・・・・・・(１３)
　　３－２－２　混合物の舗設　・・・・・・・・・(１４)
　　３－２－３　交通解放温度　・・・・・・・・・(１４)
　３－３　制振用シートの敷設　・・・・・・・・・(１４)
　第４節　施工管理　・・・・・・・・・(１６)
　４－１　出来形管理　・・・・・・・・・(１６)
　４－２　品質管理　・・・・・・・・・(１６)
（参考）振動軽減型舗装Ａの作業歩掛り　・・・・・・・・・(１７)

第２章 振動軽減型舗装Ｂ　・・・・・・・・・(１９)
　第１節　振動軽減型舗装Ｂの概要　・・・・・・・・・(１９)
　１－１　概要　・・・・・・・・・(１９)
　１－２　特徴　・・・・・・・・・(１９)
　１－３　適用　・・・・・・・・・(１９)
　１－４　設計　・・・・・・・・・(１９)
　第２節　使用材料および配合　・・・・・・・・・(２０)
　２－１　重量排水性混合物　・・・・・・・・・(２０)
　　２－１－１　使用材料　・・・・・・・・・(２０)
　　２－１－２　配合　・・・・・・・・・(２１)
　２－２　多孔質弾性舗装　・・・・・・・・・(２３)

２－２－１　材料　・・・・・・・・・（２３）
２－２－２　配合　・・・・・・・・・（２３）
第３節　製造・運搬・舗設　・・・・・・・・・（２４）
３－１　施工フロー　・・・・・・・・・（２４）
３－２　重量排水性混合物の施工　・・・・・・・・・（２５）
３－２－１　製造・運搬　・・・・・・・・・（２５）
３－２－２　舗設　・・・・・・・・・（２５）
３－３　多孔質弾性舗装　・・・・・・・・・（２６）
３－３－１　多孔質弾性舗装の製造・施工フロー　・・・・・・・・・（２６）
３－３－２　施工機械　・・・・・・・・・（２６）
３－３－３　混合・舗設　・・・・・・・・・（２７）
第４節　施工管理　・・・・・・・・・（３０）
４－１　出来形の管理　・・・・・・・・・（３０）
４－２　品質の管理　・・・・・・・・・（３０）
（参考）多孔質弾性舗装作業歩掛　・・・・・・・・・（３１）

第３章 振動軽減型舗装Ｃの概要　・・・・・・・・・（３３）
第１節　振動軽減型舗装Ｃの概要　・・・・・・・・・（３３）
１－１　概要　・・・・・・・・・（３３）
１－２　特徴　・・・・・・・・・（３３）
１－３　適用　・・・・・・・・・（３４）
１－４　設計　・・・・・・・・・（３５）
第２節　使用部材および材料　・・・・・・・・・（３６）
２－１　部材　・・・・・・・・・（３６）
２－１－１　防振ゴム　・・・・・・・・・（３６）
２－１－２　上部スラブ　・・・・・・・・・（３６）
２－１－３　下部スラブ　・・・・・・・・・（３６）
２－２　注入材　・・・・・・・・・（３６）
２－２－１　目地用グラウト材　・・・・・・・・・（３６）
２－２－２　裏込用グラウト材　・・・・・・・・・（３６）
２－３　間詰めコンクリート　・・・・・・・・・（３６）
２－４　その他　・・・・・・・・・（３６）
２－４－１　タックコート用アスファルト乳剤　・・・・・・・・・（３６）
２－４－２　砕石マスチックアスファルト混合物　・・・・・・・・・（３６）
２－４－３　目地材　・・・・・・・・・（３７）
第３節　製造・運搬・舗設　・・・・・・・・・（３８）
３－１　施工手順　・・・・・・・・・（３８）
３－２　部材　・・・・・・・・・（３８）
３－２－１　製造・運搬　・・・・・・・・・（３８）
３－２－２　設置　・・・・・・・・・（３９）

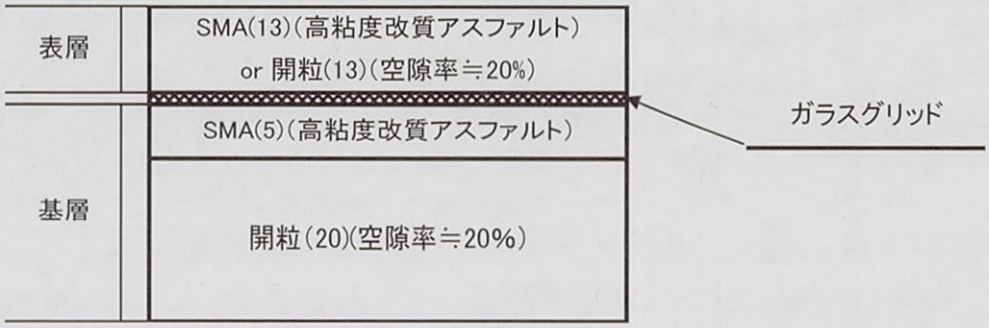
３－２－２－１　下部スラブ（サイドウォール一体型）　・・・・・・・・・（３９）
３－２－２－２　上部スラブ　・・・・・・・・・（３９）
３－２－２－３　タックコート工　・・・・・・・・・（３９）
３－２－２－４　表層工　・・・・・・・・・（４０）
３－２－２－５　表層工目地工　・・・・・・・・・（４０）
第４節　施工管理　・・・・・・・・・（４１）
４－１　出来形の管理　・・・・・・・・・（４１）
４－２　品質管理　・・・・・・・・・（４２）
（参考）工程　・・・・・・・・・（４３）

第１章　振動軽減型舗装の概要

第１節　振動軽減型舗装Ａの概要

１－１　概要

本振動軽減型舗装は、基層に高空隙の開粒度アスファルト混合物(20)と高耐久性の砕石マスチック混合物 SMA(5)を設け、その上に制振用シートを敷設し、表層に高耐久性の砕石マスチック混合物 SMA(13)または開粒度アスファルト混合物（13）を設けた舗装である。ジオテキスタイルのガラスグリッドを制振用シートに使用した場合の表基層部における舗装構成を付図-1.1 に示す。



付図-1.1　振動軽減型舗装の表基層部の舗装構成（ガラスグリッド使用の場合）

【解説】

(1)　本振動軽減型舗装（以下、本舗装）は、表基層間に敷設する制振用シートと基層に設ける高空隙の開粒度アスファルト混合物（20）（以下、開粒（20））の振動軽減効果と、表層の高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（13）や開粒度アスファルト混合物(13)（以下、開粒(13)）の高耐久性による路面平たん性維持の持続効果とを利用して交通振動の軽減を図るものである。ただし、表層に開粒(13)を用いる場合には、その下の制振用シートおよび基層との境界面の接着性を十分確保する必要がある。

(2)　制振用シートとしては、土木研究所の試験施工で実績のあるガラスグリッド（ジオテキスタイル）を用いる。このほかに、室内の振動減衰特性試験により当該材と同等以上の制振効果があると認められるようなシートについても、施工に問題がなければ用いてもよい。

(3)　基層の開粒度アスファルト混合物（20）の上には、付図-1.1 に示すように、高粘度改質アスファルトをバインダーとした SMA（5）を設ける。この SMA(5)は、交通振動に影響を与える表層の平たん性を良好に確保するためのレベリング層の役割を果たすもので、ガラスグリッドを使用する場合には当該材を固定する層としての役割をも果たす。なお、この SMA（5）は、十分な耐流動性を有しており、また密粒度アスファルト混合物よりも振動減衰性能が大きいことから振動軽減効果も有している。

1－2　特徴

本舗装は、下記のような特徴を有している。

(1)　路床・路盤を強化することなく、表基層での対応により振動の軽減を図ることができる。このため、従来の振動抑制工法と比べ、工期の短縮が図れる。

(2)　交通振動は密粒度アスファルト舗装に比べ 3dB 程度軽減することができる。

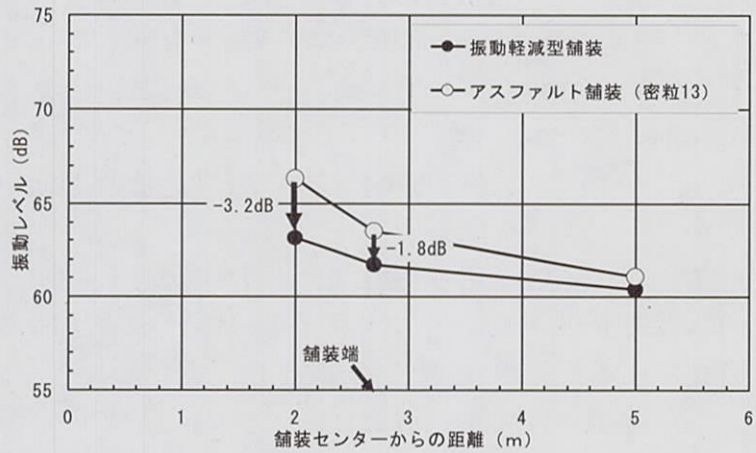
(3)　舗装構成として、表層には高粘度改質アスファルトをバインダーとした高耐久性の SMA（13）または開粒(13)を使用している。このため、耐久性の面では、優れた耐流動性と平たん性の長期的な維持の確保が期待できる。

(4)　施工は、通常のアスファルト舗装と同様な方法で行える。このため、特別な養生は必要としないことより、即日交通開放を行うことができる。

【解説】

(1)　本舗装は、既設舗装を所定の厚さまで切削し、その後付図-1.1 に示したように表基層部をオーバーレイするものである。このため、従来の路床・路盤を強化して振動を抑制するような工法と比べ、工期の短縮を図ることができる。

(2)　本舗装の振動軽減効果は、表層が SMA(13)で制振用シートとしてガラスグリッドを使用した場合、土木研究所の試験施工における 5t 換算輪数 15 万回載荷後の振動測定（12 t の荷重車が走行）より、付図-1.2 に示すように、密粒度アスファルト舗装に比べ舗装中心より 2.0m 離れた地点で 3.2dB 小さくなることが確認されている。



付図-1.2　土木研究所の試験施工での振動測定結果（表層 SMA(13), ガラスグリッド使用）

(3)　表層に用いる SMA（13）や開粒(13)の動的安定度は 5000 回／mm 以上の値を有している。このため、耐流動性に優れており、SMA（13）に関しては土木研究所の試験施工結果などからも良好な耐久性が確認されている。

(4)　施工は、制振用シートを表基層間に敷設する以外は、通常のアスファルト舗装における舗設作業とほぼ同じである。このため、表層舗設後に特別な養生をする必要がなく、当該層の表面温度が通常どおりおおむね 50℃以下にまで低下すれば即日交通開放を行うことができる。

1－3　適用

本舗装は，下記のような箇所に適用する．
(1)　適用箇所は、道路交通振動が問題となっている、あるいは振動対策を考慮する必要がある区間で、短期間での施工が必要となる都市部の幹線道路などとする。
(2)　既設路床および路盤の支持力が健全であるような箇所とする。
(3)　舗装計画交通量（台／日・方向）は、T＜100、100≦T＜250、250≦T＜1000、1000≦T＜3000、3000≦T とする。
(4)　表層に SMA(13)を用いる場合には表基層の厚さが最小 12.5cm、開粒(13)を用いる場合には表基層の厚さが最小 13.5cm 確保できるような箇所とする。

【解説】

(2)　本舗装は表基層部を対象としているので、本舗装の支持力は適用箇所における既設舗装の路床・路盤の支持力に依存する。このため、当該路床路盤の支持力は、耐久性の面から健全であることが必要である。したがって、適用箇所の路床 CBR に関しては 3 以上である必要がある。

(3)　本舗装は重交通路にも適用可能であるので、交通条件に関する制約はない。このため、いずれの舗装計画交通量の道路においても適用可能である。

(4)　本舗装の表基層構成は、制振シートとしてガラスグリッドを使用する場合には、付図-1.1 に示したとおりとなる。このガラスグリッドは 4cm のオーバーレイ厚が必要となることから、表層は最小 4cm 必要となる。ただし、表層に開粒(13)を用いる場合には、SMA(13)を用いる場合と比べ、ガラスグリッドおよび基層面との接着性が小さくなる傾向にある。したがって、表層に開粒(13)を用いる場合には、開粒(13)とそのガラスグリッドおよび基層の境界面に作用する水平せん断力がより小さくなるように、表層の最小厚さは 5cm とするのが望ましい。また、その下の基層部は、骨材の最大粒径などの関係から、上層の SMA（5）は最小 2.5cm、下層の開粒（20）は最小 6cm 必要となる。

このため、表基層の最小厚さは、表層に SMA(13)を用いる場合は合計 12.5cm、表層に開粒(13)を用いる場合は 13.5cm となる。したがって、本舗装の適用箇所は当該厚が確保できるような箇所であることが必要となる。

1－4　構造設計

本舗装の構造設計は、「舗装設計施工指針」に準じて行う。

【解説】

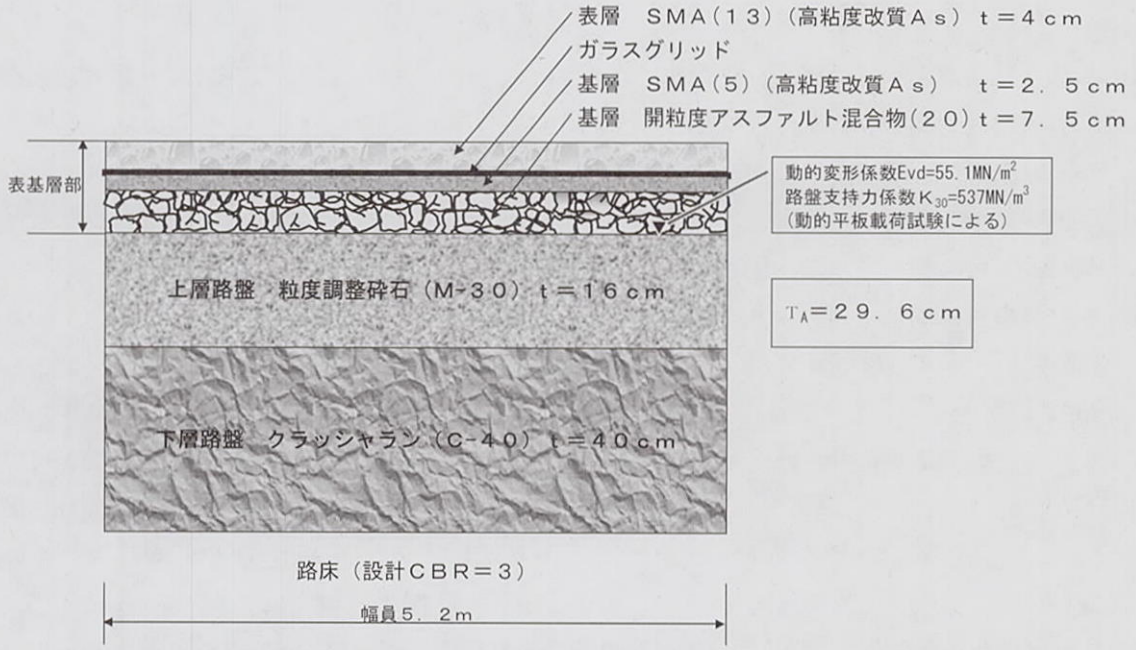
(1)　本舗装の構造設計は、「舗装設計施工指針」に記載されている T_A 法などに準じて行えばよい。この際、制振用シートは考慮しない。

(2)　表基層の各最小厚さは、**1-3** で述べたように、付**表-1.1** のとおりとする。

付表-1.1　表基層の最小厚さ(ガラスグリッド使用の場合)

構成層	混合物	最小厚さ(cm)
表層	SMA(13)(高粘度改質アスファルト)	4
	開粒度アスファルト混合物(13)	5
基層	SMA(5)(高粘度改質アスファルト)	2.5
	開粒度アスファルト混合物(20)	6

(3) 振動軽減効果が確認された土木研究所の試験施工での舗装断面の例を、付図-1.3に示す。当該断面は、信頼性90%で舗装計画交通量（台／日・方向）が250以上1000未満の場合の設計断面に相当する。



付図-1.3　土木研究所内試験施工での舗装断面例(表層SMA(13)、ガラスグリッド使用)

第２節　使用材料および配合

２－１　基層用アスファルト混合物

２－１－１　開粒度アスファルト混合物(20)

(1)　使用材料

基層に用いる開粒度アスファルト混合物（20）に使用する材料は、付表-1.2 のとおりである。これらの材料は「舗装施工便覧」に示されている品質を満足するものとする。

付表-1.2　開粒度アスファルト混合物(20)における使用材料

材料の種類	材質
骨材	砕石5号，6号，砂
石粉	石灰石粉
アスファルト	高粘度改質アスファルト

【解説】

基層に用いる開粒度アスファルト混合物（20）に使用する材料とその要求される品質は、通常の排水性舗装用混合物に用いる材料と同じである。

(2)　配合

基層に用いる開粒度アスファルト混合物（20）の配合設計は、使用材料を選定したのち、排水性舗装技術指針（案）に準じて行う。

【解説】

(1)　基層用の開粒度アスファルト混合物（20）の配合設計は、通常の排水性舗装用混合物と同様に行う。

(2)　混合物の目標値は付表-1.3 のとおりとする。空隙率が 20%程度あれば、開粒度アスファルト混合物（20）は、密粒度アスファルト混合物(13)より振動の減衰が大きいことが室内試験により確認されている。なお、動的安定度の目標値は、「舗装の構造に関する技術基準」における表層の施工直後の塑性変形輪数の基準値に準拠して、舗装計画交通量に応じて付表-1.3 のとおりとした。

付表-1.3　開粒度アスファルト混合物(20)の品質の目標値

試験	項目	目標値
マーシャル試験	空隙率(%)	20程度
	安定度(kN)	3.50以上
	フロー値(1/100cm)	20～40
ホイールトラッキング試験	動的安定度DS(回/mm)	1500　(T＜3000の場合)
		3000　(T≧3000の場合)

(注)Tは舗装計画交通量(台／日・方向)

(3) 振動軽減効果が確認された土木研究所の試験施工で使用した開粒（20）の配合例を付表-1.4 に示す。

付表-1.4 開粒(20)の配合例

混合物種		開粒(20)	標準値
骨材配合%	砕石5号	27	—
	砕石6号	58	
	粗砂	10	
	石粉	5	
通過質量百分率%	26.5mm	100	100
	19	97.8	95～100
	13.2mm	72.1	64～84
	4.75	18.4	10～31
	2.36	14.1	10～20
	0.60	9.2	—
	0.30	6.9	—
	0.15	5.8	—
	0.075	4.1	3～7
アスファルト量(%)		4.5	4～6

2－1－2 砕石マスチック混合物 SMA(5)

(1) 使用材料

基層に用いる砕石マスチック混合物 SMA（5）に使用する材料は、付表-1.5 のとおりである。これらの材料は「舗装施工便覧」に示されている品質を満足するものとする。

付表-1.5 砕石マスチック混合物 SMA(5)における使用材料

材料の種類	材質
骨材	砕石7号，砂
石粉	石灰石粉
繊維質補強材	植物性繊維
アスファルト	高粘度改質アスファルト

【解説】

基層用の砕石マスチック混合物 SMA（5）に使用する材料とその要求される品質は、通常の砕石マスチック混合物に用いる材料と主に同じである。なお、アスファルトに関しては，高粘度改質アスファルトを使用した方が混合物の振動減衰性能は大きくなるので、高粘度改質アスファルトを使用する。

(2)　配合

基層に用いる砕石マスチック混合物（5）の配合設計は、使用材料を選定したのち、マーシャル安定度試験により行う。

【解説】

(1)　基層に用いる砕石マスチック混合物（5）の配合設計は、通常の砕石マスチック混合物と同様に行う。

(2)　混合物の目標値は付表-1.6のとおりとする。なお、動的安定度の目標値は、「舗装の構造に関する技術基準」における表層の施工直後の塑性変形輪数の基準値に準拠して、舗装計画交通量に応じて付表-1.6のとおりとした。

付表-1.6　SMA(5)の品質の目標値

試験	項目	目標値
マーシャル試験	空隙率(%)	2～4
	飽和度(%)	75～95
	安定度(kN)	5.0以上
	フロー値(1/100cm)	20～50
ホイールトラッキング試験	動的安定度DS(回/mm)	1500　(T＜3000の場合)
		3000　(T≧3000の場合)

(注)Tは舗装計画交通量(台／日・方向)

(3)　振動軽減効果が確認された土木研究所の試験施工で使用したSMA（5）の配合例を付表-1.7に示す。

付表-1.7　SMA(5)の配合例

混合物配合%	砕石7号	70	64.8
	細砂	20	18.5
	石粉	10	9.2
	高粘度改質アスファルト	—	7.5
	植物性繊維(%)	—	0.3
	合計	100	100.3
通過質量百分率%	13.2mm	100	
	4.75	94.4	
	2.36	36.3	
	0.60	28.0	
	0.30	18.5	
	0.15	11.6	
	0.075	8.1	

２－２　表層用アスファルト混合物

２－２－１　砕石マスチック混合物(13)

(1)　使用材料

表層に用いる砕石マスチック混合物 SMA（13）に使用する材料は、付表-1.8 のとおりである。これらの材料は「舗装施工便覧」に示されている品質を満足するものとする。

付表-1.8 砕石マスチック混合物 SMA(13)における使用材料

材料の種類	材質
骨材	砕石6号，7号，砂
石粉	石灰石粉
繊維質補強材	植物性繊維
アスファルト	高粘度改質アスファルト

【解説】

表層用の砕石マスチック混合物 SMA（13）に使用する材料とその要求される品質は、通常の砕石マスチック混合物に用いる材料と主に同じである。なお、アスファルトは、高粘度改質アスファルトを使用した方が混合物の振動減衰性能は大きくなること、本舗装では表層には長期にわたる路面の平たん性維持が要求されることから、高粘度改質アスファルトを使用する。

(2)　配合

表層に用いる砕石マスチック混合物（13）の配合設計は、使用材料を選定したのち、マーシャル安定度試験により行う。

【解説】

(1)　表層用の砕石マスチック混合物（13）の配合設計は、通常の砕石マスチック混合物と同様に行う。

(2)　混合物の目標値は付表-1.9 のとおりとする。なお、動的安定度の目標値は、「舗装の構造に関する技術基準」における表層の施工直後の塑性変形輪数の基準値に準拠して、舗装計画交通量に応じて付表-1.9 のとおりとした。

付表-1.9　SMA(13)の品質の目標値

試験	項目	目標値
マーシャル試験	空隙率(%)	2～4
	飽和度(%)	75～95
	安定度(kN)	5.0以上
	フロー値(1/100cm)	20～50
ホイールトラッキング試験	動的安定度DS(回/mm)	1500　(T＜3000の場合)
		3000　(T≧3000の場合)

(注)Tは舗装計画交通量(台／日・方向)

(3) 振動軽減効果が確認された土木研究所の試験施工で使用した SMA（13）の配合例を付表-1.10に示す。

付表-1.10 SMA(13)の配合例

混合物配合%	砕石6号	62	58.1
	砕石7号	13	12.2
	細砂	13	12.2
	石粉	12	11.3
	高粘度改質アスファルト	—	6.2
	植物性繊維（%）	—	0.3
	合計	100	100.3
通過質量百分率%	19.0mm	100	
	13.2	96.8	
	4.75	40.7	
	2.36	26.6	
	0.60	23.4	
	0.30	17.5	
	0.15	12.9	
	0.075	9.7	

２－２－２ 開粒度アスファルト混合物(13)

(1) 使用材料

表層に用いる開粒度アスファルト混合物（13）に使用する材料は、付表-1.11のとおりである。これらの材料は「舗装施工便覧」に示されている品質を満足するものとする。

付表-1.11 開粒度アスファルト混合物(13)における使用材料

材料の種類	材質
骨材	砕石6号，砂
石粉	石灰石粉
アスファルト	高粘度改質アスファルト

【解説】

表層に用いる開粒度アスファルト混合物（13）に使用する材料とその要求される品質は、通常の排水性舗装用混合物に用いる材料と同じである。

(2) 配合

表層に用いる開粒度アスファルト混合物（13）の配合設計は、使用材料を選定したのち、排水性舗装技術指針（案）に準じて行う。

【解説】

(1) 表層用の開粒度アスファルト混合物（13）の配合設計は、通常の排水性舗装用混合物と同様に行う。

(2) 混合物の目標値は付表-1.12のとおりとする。空隙率が20%程度あれば、開粒度アスファルト混合物（13）は、密粒度アスファルト混合物(13)より振動の減衰が大きいことが室内試験により確認されている。なお、動的安定度の目標値は、「舗装の構造に関する技術基準」における表層の施工直後の塑性変形輪数の基準値に準拠して、舗装計画交通量に応じて付表-1.12のとおりとした。

付表-1.12 開粒度アスファルト混合物(13)の品質の目標値

試験	項目	目標値
マーシャル試験	空隙率(%)	20程度
	安定度(kN)	3.50以上
	フロー値(1/100cm)	20～40
ホイールトラッキング試験	動的安定度DS(回/mm)	1500 （T＜3000の場合）
		3000 （T≧3000の場合）

(注)Tは舗装計画交通量(台／日・方向)

(3) 開粒度アスファルト混合物（13）の配合例を付表-1.13に示す。

付表-1.13 開粒(13)の配合例

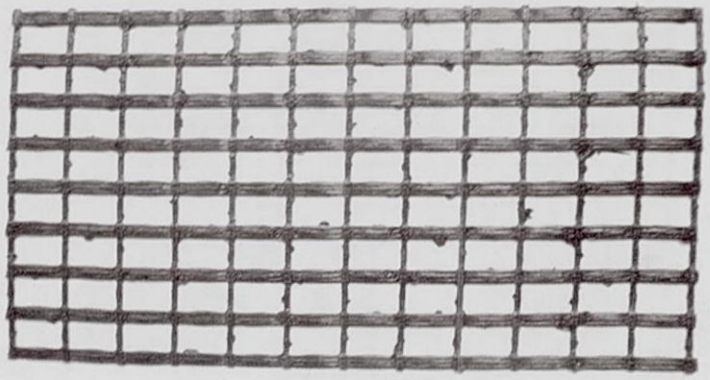
混合物種		開粒(13)	目標値
骨材配合%	砕石6号	82.5	—
	粗砂	12.5	
	石粉	5.0	
通過質量百分率%	19.0	100	100
	13.2	95	95～100
	4.75	21	11～35
	2.36	16	10～20
	0.60	10.5	—
	0.30	7.5	—
	0.15	5.6	—
	0.075	4.5	3～7
アスファルト量(%)		4.5	4～6

2－3　制振用シート

表基層間に敷設する制振用シートは、ジオテキスタイルのガラスグリッドまたはそれと同等以上の振動軽減効果を有するもので適切に施工できるものを使用する。

【解説】

(1)　ガラスグリッドは、付**写真**-1.1 に示すような格子状のガラス繊維束からなるシート状の高分子製品で、ジオテキスタイルのうちのジオグリッドに分類されるものである。その物性と製品の荷姿は付**表**-1.14 のとおりである。土木研究所の試験施工では、ガラスグリッドを付**図**-1.3 に示したような表基層構成のなかに敷設することで、付**図**-1.2 に示したような振動軽減効果が得られている。



付写真-1.1　ガラスグリッドの外観

付表-1.14　ガラスグリッドの物性と製品の荷姿

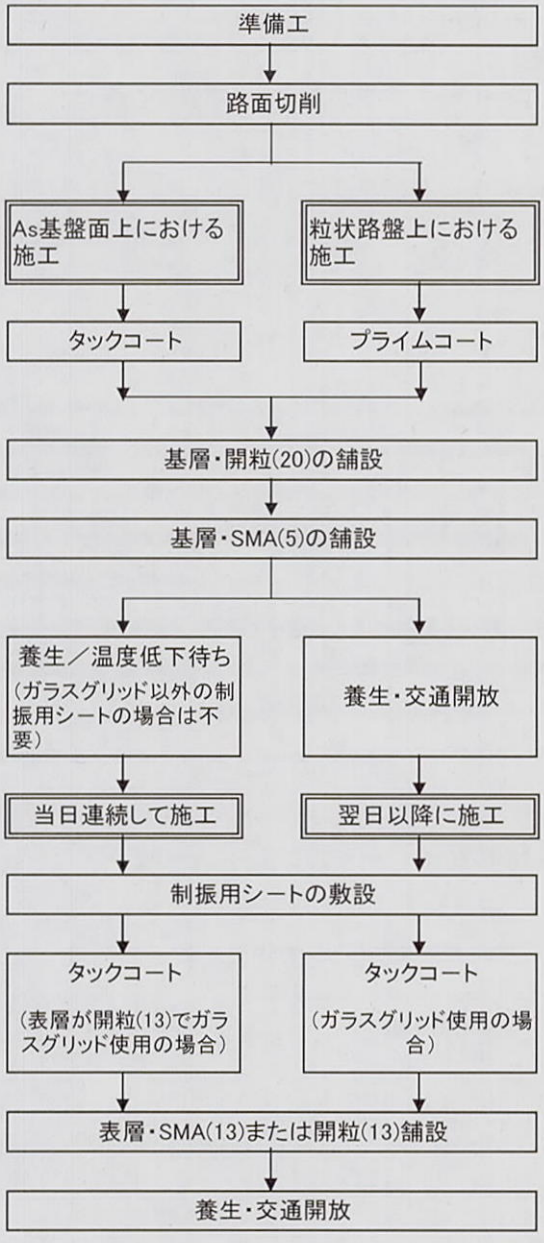
ロール長 (m)	ロール幅 (m)	重量 (g/m^2)	格子目合い (mm)	裏面接着剤	材質	引張強度(kN/m)		弾性率 (kPa)
						タテ	ヨコ	
60	1.5	560	ヨコ25×タテ20(±3mm)	圧着型	ガラスファイバー束にアクリル樹脂コーティングおよび粘着材塗布したもの	98以上	196以上	6.9×10^7

(2)　制振用シートとしては、ガラスグリッド以外でも、ガラスグリッドと同等以上の振動軽減効果が得られ、敷設面との接着性や表層舗設時における敷設面との一体性が確保されるものであれば使用できる。振動軽減効果は、付録 2 に示されている室内での振動減衰特性試験により確認する。

第３節　施工

３－１　施工手順

本舗装の施工は、付図-1.4 に示すような作業手順で行う。



付図-1.4　本舗装の施工のフロー

【解説】

(1)　本舗装は、付図-1.4 に示すように、①路面切削から表層の舗設作業を一日の間に連続して施工する方法と②路面切削から基層の舗設までを行ったうえで交通開放し、残りの制振シートの敷設と表層の舗設作業を翌日以降に施工する方法とがある。

(2)　上記①の路面切削から表層の舗設作業を一日の間に連続して施工する方法では、本舗装は、ガラスグリッドを使用した付図-1.3 に示すような表基層構成断面で、おおよそ一日 200m² 程度施工可能である。

(3)　施工面積が大きい場合や、ガラスグリッドを使用した場合に基層のSMA(5)の表面温度が当該材を敷設するのに適した所定の温度にまで低下するのに長時間を要するような場合などでは、上記②の基層の舗設で一旦交通開放を行い、制振用シートの敷設と表層の舗設は翌日以降に行う施工方法をとるのがよい。

3－2　表基層用アスファルト混合物の施工

3－2－1　タックコートまたはプライムコート

(1)　既設アスファルト舗装面や既設粒状路盤面に本舗装を施工する場合には、それぞれタックコートまたはプライムコートを実施する。タックコートにはゴム入りアスファルト乳剤を使用し、所定量を均一に散布し養生する。また、プライムコートにはアスファルト乳剤（PK-3）を使用し、所定量を均一に散布し養生する。
(2)　表層が開粒(13)で制振用シートとしてガラスグリッドを用いる場合には、付図-1.4に示した施工の方法に関係なく、ガラスグリッドを敷設した後にタックコートを実施する。
(3)　表層がSMA(13)で制振用シートとしてガラスグリッドを使用する場合、基層のSMA(5)で一旦交通開放を行い、翌日以降にガラスグリッドの敷設とSMA(13)の舗設を行うような施工では、ガラスグリッドの敷設後にタックコートを実施する。

【解説】

(1)　既設アスファルト面に散布するタックコートには、開粒度アスファルト混合物(20)と既設アスファルト舗装面との接着性をよくするためにゴム入りアスファルト乳剤を使用する。散布量は、「排水性舗装技術指針（案）」に準じて一般に0.3～0.6ℓ／m²を標準とする。
(2)　プライムコートの散布量は、「舗装施工便覧」に準じて一般に1～2ℓ／m²を標準とする。
(3)　表層が開粒(13)で制振用シートとしてガラスグリッドを使用する場合には、表層の開粒(13)とガラスグリッドおよび基層面（SMA(5)）との接着性を高めるために、ガラスグリッドの敷設後に必ずタックコートを実施する。タックコートには、ゴム入りアスファルト乳剤またはダンプのタイヤへの付着が少なく接着力の高い高性能改質アスファルト乳剤などを使用する。タックコートの散布量は、「舗装施工便覧」にしたがい一般に0.3～0.6ℓ／m²を標準とする。
(4)　表層がSMA(13)で制振用シートとしてガラスグリッドを使用する場合、基層のSMA(5)を舗設した後に一旦交通開放を行うような施工を採る場合には、表層のSMA(13)とガラスグリッドおよび基層面（SMA(5)）との接着性を高めるために、翌日以降の施工では、ガラスグリッドを敷設した後にタックコートを実施する。タックコートには、アスファルト乳剤PK-4またはダンプのタイヤへの付着が少なく接着力の高い高性能改質アスファルト乳剤などを使用する。タックコートの散布量は、「舗装施工便覧」に準じて一般に0.3～0.6ℓ／m²を標準とする。

３－２－２　混合物の舗設

基層用の開粒度アスファルト混合物(20)や表層用の開粒度アスファルト混合物(13)は、通常の排水性舗装用混合物と同様に施工を行う。また、基層用の砕石マスチック混合物SMA(5)や表層用の砕石マスチック混合物 SMA(13)は、通常の砕石マスチック混合物と同様に施工を行う。施工では、所定の厚さ、締固め度と十分な平たん性が得られるように留意して行う。

【解説】

(1)　表基層用の各混合物は、通常のアスファルト混合物と同様に、適切な敷均し・締固め温度のもとで舗設作業を行うようにする。とりわけ、高粘度改質アスファルトをバインダーとした基層用のSMA(5)や表層用の SMA(13)は粘性が高いので、温度管理には十分注意しできるだけ速やかに行うようにする。必要に応じては、締固め性を向上させる中温化剤を使用するとよい。

(2)　路面の平たん性の良否は、交通振動レベルに大きな影響を与える。したがって、表層の舗設においては、とりわけ十分な平たん性が得られるように、混合物の供給計画をもとに敷きならし速度を調整するなど、連続的に行うようにする。

(3)　表層の舗設においては、施工起終点などの既設舗装とのすりつけ部で振動に悪影響を及ぼすような段差が起こらないように注意する。このため、当該部では、敷きならし・締固めに十分注意し、コテ等を使用して十分平たんとなるように仕上げる。

(4)　表層の舗設では、アスファルトフィニッシャは、舗設作業中に敷設した制振用シートを基層表面から巻き上げないようにホイール型のものを使用することを原則とする。ただし、事前にクローラ型のアスファルトフィニッシャでも問題ないことが確認できていれば、これを使用してもよい。

３－２－３　交通開放温度

転圧終了後の交通開放は、舗装表面の温度が十分下がってから行う。

【解説】

基層で一旦交通開放を行う場合や表層舗設後に交通開放を行う場合には、通常のアスファルト舗装の場合と同様に、その表面温度がおおむね 50℃以下となってから行うようにする。

３－３　制振用シートの敷設

制振用シートは、基層施工終了後、必要に応じて敷設基盤面となる基層表面を養生したのち、基層表面と一体化が図れるように留意して敷設を行う。

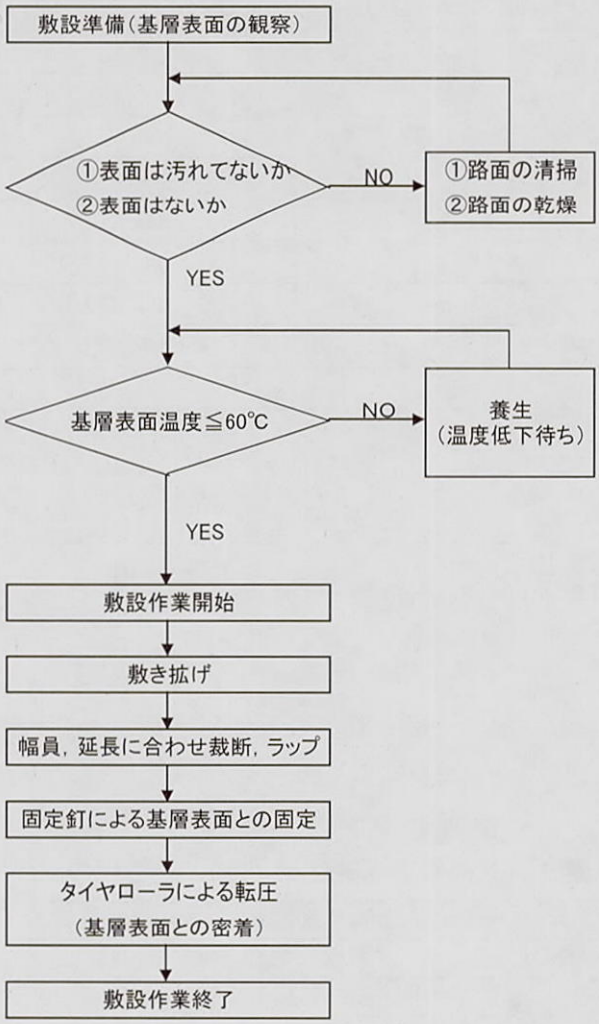
【解説】

(1)　制振用シートは、基層施工終了後、敷設基盤面となる基層表面が敷設に適した表面状態となってから敷設する。ガラスグリッドの場合には、当該材に塗られている裏面の接着剤が 60℃以下でアスファルト舗装面と十分接着するようになっていることから、当該材の敷設は基層の SMA(5)の表面が 60℃以下となってから行うようにする。また、敷設する基層の表面は乾燥状態でごみや泥など汚

れのない状態とする。ガラスグリッドの場合の敷設作業のフローを付図-1.5 に示す。

(2) 制振用シートは、幅員、延長に合わせ敷設する。必要に応じて、所定の幅、長さに裁断し、適切な幅で重ね合わせる。ガラスグリッドの場合には、人力などで敷き拡げ、カッタナイフなどで所定の寸法に裁断し、重ね合わせは縦方向、横方向とも 5～15cm 程度の幅で行う。

(3) 制振用シートは、敷設する基層表面と一体化するように適切な方法で当該表面と密着させる。ガラスグリッドの場合には、敷き拡げたガラスグリッドを、ガス銃などを用いて適当な間隔で固定釘を打ち込み固定する。その後、固定したガラスグリッドの面の上をタイヤローラで 1～2 往復程度走行させ、これにより基層表面との密着をより十分に図る。



付図-1.5 ガラスグリッドの敷設作業のフロー

第４節　施工管理

４－１　出来型管理

本舗装の表基層部の出来型管理は、通常のアスファルト舗装の場合と同様に、幅、厚さならびに平たん性について行う。

【解説】

本舗装の表基層および制振用シートの出来型管理の項目と頻度および管理の限界を付表-1.15 に示す。表基層部の管理基準は、原則として「舗装施工便覧」の表基層に準拠している。

付表-1.15　出来型管理項目と頻度および管理の限界

工種	混合物種	項目	試験方法	頻度	管理の限界値
基層	開粒(20)	厚さ	—	1,000m^{2}ごと	-0.9cm以上
		幅	—	100mごと	-2.5cm以上
	SMA(5)	厚さ	—	1,000m^{2}ごと	-0.9cm以上
		幅	—	100mごと	-2.5cm以上
表層	SMA(13), 開粒(13)	厚さ	—	1,000m^{2}ごと	-0.7cm以上
		幅	—	100mごと	-2.5cm以上
		平たん性	3mプロフィルメータ	車線ごと全延長	2.4mm以下
制振用シート	—				

４－２　品質管理

本舗装の表基層部の品質管理は、通常のアスファルト舗装の場合と同様に行う。

【解説】

本舗装の表基層および制振用シートの品質管理の項目と頻度および管理の限界を付表-1.16 に示す。表基層部の管理基準は、原則として「舗装施工便覧」の表基層に準拠している。

付表-1.16　品質管理項目と頻度および管理の限界

工種	混合物種	項目	試験方法	頻度	管理の限界値
表層・基層	開粒(20) SMA(5) SMA(13) 開粒(13)	外観	観察	随時	
		温度	温度計	随時	
		粒度	舗装試験法便覧	印字記録：全数	(注)1)のとおり
				または抽出・ふるい分け試験1回／日	2.36mm：±12%以内
					0.075mm：±5%以内
		アスファルト量		印字記録：全数	(注)2)のとおり
				または抽出試験1回／日	-0.9%以内
		締固め度		1,000m^{2}に1個	基準密度の94%以上
制振用シート	—				

(注)1)印字記録による場合，100バッチにおいて限界値をはずれるものが5バッチ以上の割合にならないように管理

（参考）振動軽減型舗装作業歩掛り

1．施工人員および機械（100m² あたり）

表基層の舗設および制振用シートとしてガラスグリッドを使用した場合の 100m² あたりの施工人員および施工機械を付表-1.17～21 に示す。

付表-1.17 開粒度アスファルト混合物(20)の 100m² あたりの作業歩掛り表（t=75mm の場合）

名称	規格	単位	数量	摘要
世話役		人	0.07	1人×100/1400＝0.07人
特殊作業員		人	0.21	3人×100/1400＝0.21人
普通作業員		人	0.43	6人×100/1400＝0.43人
アスファルトフィニッシャ	全自動ホイール型2.5～6.0m	日	0.07	100/1400＝0.07日
ロードローラ	マカダム両輪駆動10～12t	日	0.07	100/1400＝0.07日
タイヤローラ	8～20t	日	0.07	100/1400＝0.07日

付表-1.18 SMA(5)の 100m² あたりの作業歩掛り表（t=25mm の場合）

名称	規格	単位	数量	摘要
世話役		人	0.05	1人×100/1900＝0.05人
特殊作業員		人	0.16	3人×100/1900＝0.16人
普通作業員		人	0.32	6人×100/1900＝0.32人
アスファルトフィニッシャ	全自動ホイール型2.5～6.0m	日	0.05	100/1900＝0.05日
ロードローラ	マカダム両輪駆動10～12t	日	0.05	100/1900＝0.05日
タイヤローラ	8～20t	日	0.05	100/1900＝0.05日

(注)ガラスグリッド以外の制振用シートの場合は不要

付表-1.19 SMA(13)の 100m² あたりの作業歩掛り表（t=40mm の場合）

名称	規格	単位	数量	摘要
世話役		人	0.05	1人×100/1900＝0.05人
特殊作業員		人	0.16	3人×100/1900＝0.16人
普通作業員		人	0.32	6人×100/1900＝0.32人
アスファルトフィニッシャ	全自動ホイール型2.5～6.0m	日	0.05	100/1900＝0.05日
ロードローラ	マカダム両輪駆動10～12t	日	0.05	100/1900＝0.05日
タイヤローラ	8～20t	日	0.05	100/1900＝0.05日

付表-1.20 開粒(13)の 100m² あたりの作業歩掛り表（t=50mm の場合）

名称	規格	単位	数量	摘要
世話役		人	0.07	1人×100/1400＝0.07人
特殊作業員		人	0.21	3人×100/1400＝0.21人
普通作業員		人	0.43	6人×100/1400＝0.43人
アスファルトフィニッシャ	全自動ホイール型2.5～6.0m	日	0.07	100/1400＝0.07日
ロードローラ	マカダム両輪駆動10～12t	日	0.07	100/1400＝0.07日
タイヤローラ	8～20t	日	0.07	100/1400＝0.07日

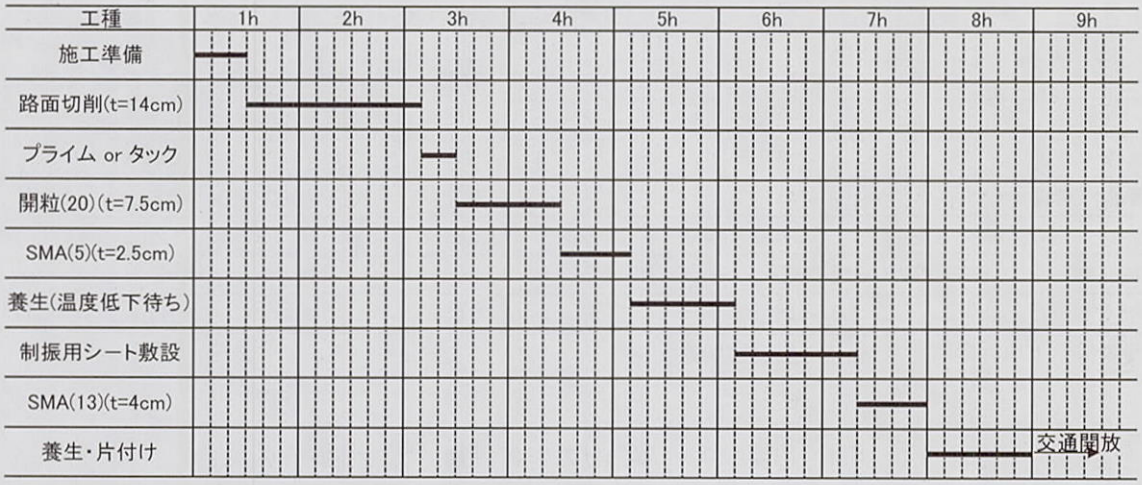
付表-1.21 ガラスグリッド敷設の 100m² あたりの作業歩掛り表

名称	規格	単位	数量	摘要
世話役		人	0.1	1人×100/1000＝0.1人
特殊作業員		人	0.2	2人×100/1000＝0.2人
普通作業員		人	0.5	5人×100/1000＝0.5人
ダンプトラック	2t積み	時間	0.4	4時間×100／1000＝0.4時間
タイヤローラ	8～20t	時間	0.06	
ガス銃		時間	0.4	4時間×100／1000＝0.4時間
発電機	3KVA	時間	0.4	4時間×100／1000＝0.4時間

2．タイムテーブル

本舗装の一日の施工タイムテーブルの例を、付図-1.3 に示した表基層の構成断面を路面切削から表層まで一日で完了する施工の場合を対象として付表-1.22 に示す。

付表-1.22 一日の施工タイムテーブルの例



【注】制振用シートの敷設はSMA(5)の表面温度が60℃以下になってから開始

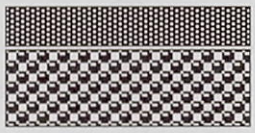
第2章　振動軽減型舗装Bの概要

第1節　振動軽減型舗装Bの概要

1－1　概要

振動軽減舗装は、表面の多孔質弾性舗装の弾性効果とその下層の重量排水性混合物の振動減衰効果により車両振動を軽減する舗装である。多孔質弾性舗装は現場で専用機械により混合・敷均しを行う。重量排水性混合物は、通常のアスファルトプラントで製造し、排水性舗装と同様の施工を行うものである。

付図－1.6 に舗装構成を示す。



付図－1.6　振動軽減舗装の舗装構成

1－2　特徴

多孔質弾性舗装は、骨材にゴムチップを使用した樹脂混合物で、弾性があり空隙率が高いのが特徴であり、その弾性により走行車両からの振動を絶縁する効果をもつ。重量排水性混合物は、骨材に磁鉄鉱を用い、通常の排水性混合物に比較して密度が約 1.7 倍であり、振動減衰率が高いのが特徴である。

振動軽減舗装は通常の排水性舗装と同様以上の透水性、摩耗性、すべり抵抗性を有している。また、層間の接着材には樹脂プライマ・タックコートを用いており、十分な接着性が確保されている。

1－3　適用

振動軽減舗装は、道路交通振動が問題となっている、あるいは振動対策を考慮する必要がある区間で、短期間での施工が必要となる都市部の幹線道路などに適用する。

1－4　設計

舗装の構造設計は、「舗装設計施工指針」に準じて行う。各層の等値換算係数は、以下のとおりとする。

多孔質弾性舗装	:0（荷重分散能力を考慮しない）
重量骨材アスファルト混合物	:1．0

第2節　材料および配合

2－1　重量排水性混合物

2－1－1　使用材料

重量排水性混合物に使用する材料を付表－1.19 に示す。

重量骨材には、磁鉄鉱を用いる。また、重量骨材、フィラーおよびアスファルトとも「舗装設計施工指針（案）」に示されている品質を満足するものを使用する。

付表－1.19　重量排水性混合物の使用材料

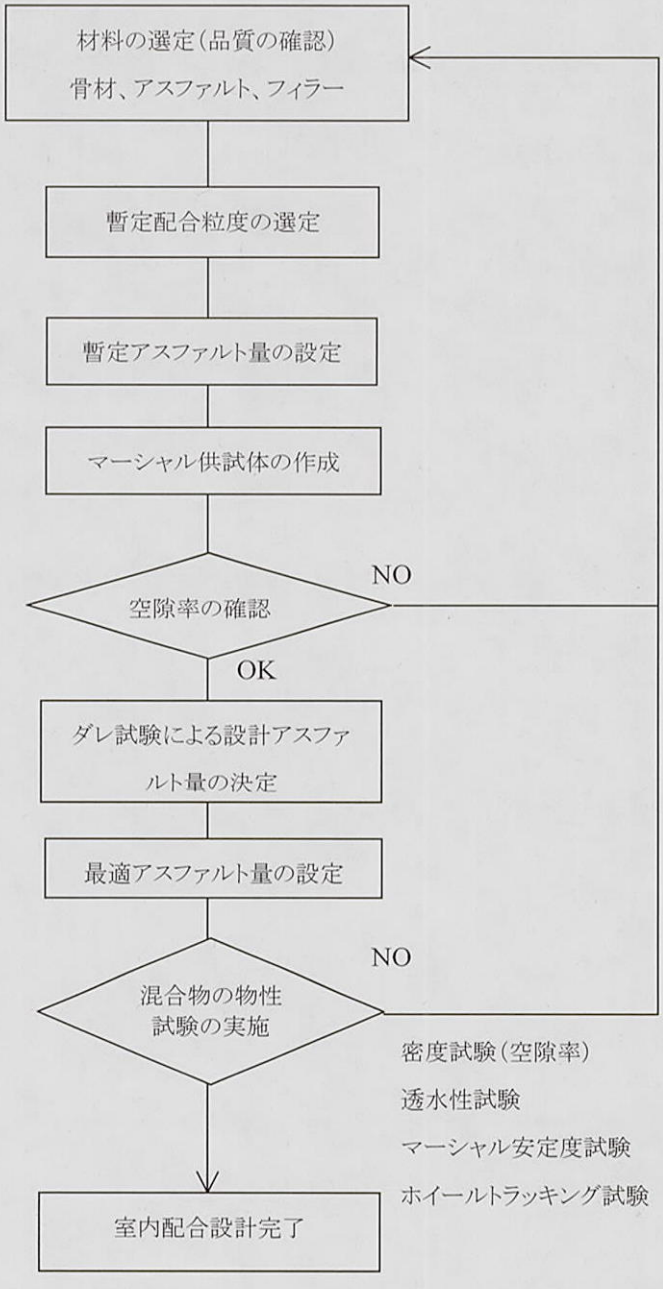
材料の種類	材質	備考
重量骨材	磁鉄鉱	比重４．７前後
フィラー	石灰石粉	
アスファルト	高粘度改質アスファルト	

- 重量骨材には基本的に磁鉄鉱を用いる。ただし、納入先により性状や比重が異なるので、使用可能な骨材性状であるかを確認の上、使用すること。
- 磁鉄鉱は一般に粒度調整されずに納入される。従って、使用する前にふるい分け試験により粒度を確認するとともに、必要に応じて分級する。骨材粒度によっては分級作業等に時間を要するため、施工計画には余裕をもって検討すること。

2－1－2 配合

重量排水性混合物の配合は、材料を選定した後、通常の排水性混合物の配合設計法に従い決定する。

・ 配合設計の手順について付図－1.7 に示す。



付図－1.7 重量排水性アスファルト混合物の配合設計フロー

・ 骨材粒度は、通常の排水性アスファルト混合物と同様とするが、骨材比重の差による容積補正を行った上で設計する。
・ 配合設計におけるマーシャル供試体のアスファルト量は、重量骨材を使用した配合であることから、2.0～3.0％の範囲で 0.25％刻みに設定する。

・ 材料の加熱・混合温度および混合物の突固め温度は、使用するバインダーの温度-粘度曲線から求める。
・ 材料の混合は「舗装試験法便覧」に従って行う。
・ 設計アスファルト量は、目標空隙率を満足する値に設定するが、場合によってはダレ試験による結果を参考にする。
・ 重量排水性アスファルト混合物の目標値は付表－1.20 に示すとおりである。

付表－1.20 重量排水性アスファルト混合物の目標値

試験	項目	目標値
マーシャル試験	空隙率(%)	20程度
	安定度(kN)	350 以上
	フロー値(1/10mm)	20～40
ホイールトラッキング試験	DS(回/mm)	1500 以上
透水性試験	透水係数(cm/sec)	10^{-2}以上

2－2　多孔質弾性舗装

2－2－1　材料

多孔質弾性舗装に使用する材料を付表－1.21 に示す。

付表－1.21　多孔質弾性舗装の材料

材料の種類	材質	比重	備考
ゴム骨材	特殊コーティングゴムチップ	1.27	
バインダ	1液型ポリウレタン樹脂	1.05	
着色材	カーボンブラック	2.5	

- ゴムチップは、特殊コーティングゴムチップを使用する。
- 材料は雨などの水にさらされる状況を避けること。特にゴムチップ骨材の保管は屋内で行い、一定の乾燥状態を保たなければならない。

2－2－2　配合

多孔質弾性舗装混合物の配合は、原則として、付表－1.22 に示す配合とする。

付表－1.22　多孔質弾性舗装の配合

材料	配合（重量%）
ゴム骨材	76.1
バインダ	22.8
着色材	1.1

- 多孔質弾性舗装混合物の目標値は付表－1.23 に示すとおりである。

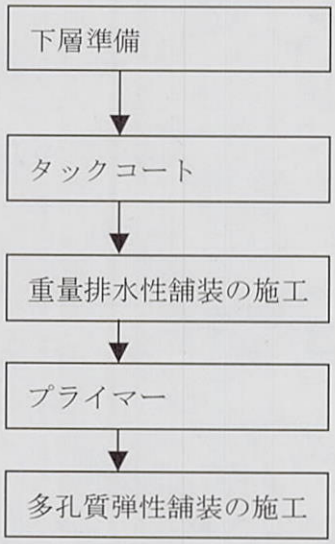
付表－1.23　多孔質弾性舗装混合物の目標値

試験	項目	目標値
密度	空隙率	35%程度
硬さ	CS硬度	70～90

第3節　製造・運搬・舗設

3－1　施工フロー

振動軽減舗装の施工は、付図－1.8 の手順で行う。



既設舗装上に施工する場合は、既設舗装を撤去する。
下層が不透水性の層でない場合は不透水性の層を施工する。

通常の排水性混合物の施工体制で施工する。

専用機械により混合・敷きならす。

付図－1.8　振動軽減舗装の施工フロー

3－2 重量排水性混合物の施工

3－2－1　製造・運搬

1）製造の準備

製造の準備は、アスファルトプラントの点検、現場配合の仮設定、試験練り、現場配合の決定の手順で行う。

- 混合物の配合は、配合設計の結果に基づいて仮設定し、試験練りを行って決定する。
- 試験練りにおいては、試験および観察により、配合比の確認、目標とする混合温度の設定、アスファルト量の確認、混合時間の決定、空隙率の確認などを行う。

2）製造

重量排水性混合物は、アスファルト混合所において適切な温度管理・品質管理のもとで製造する。

3）運搬

重量排水性混合物の運搬は、よく清掃した運搬車を用い、品質が変化しないように行う。

- 運搬条件や気象条件により、混合物温度が著しく低下することが予想される場合、ダンプトラックに保温対策を講ずる。

3－2－2 舗設

1） 舗設準備

混合物の敷きならしに先立って、必要な機械器具の点検整備や舗設前の下層の点検・清掃を行う。

- 施工中支障がないように必要な機械器具の数量、状況、予備品の有無などを調べる。
- 混合物を舗設する前に下層表面のごみ、泥などを取り除く。

2） タックコート

ゴム入りアスファルト乳剤を所定量均一に散布し養生する。

- 散布量は一般に0．3 l／㎡を標準とする。

3） 敷きならし・締固め

重量排水性混合物の敷きならし・締固めは通常の排水性混合物と同様の方法で行う。

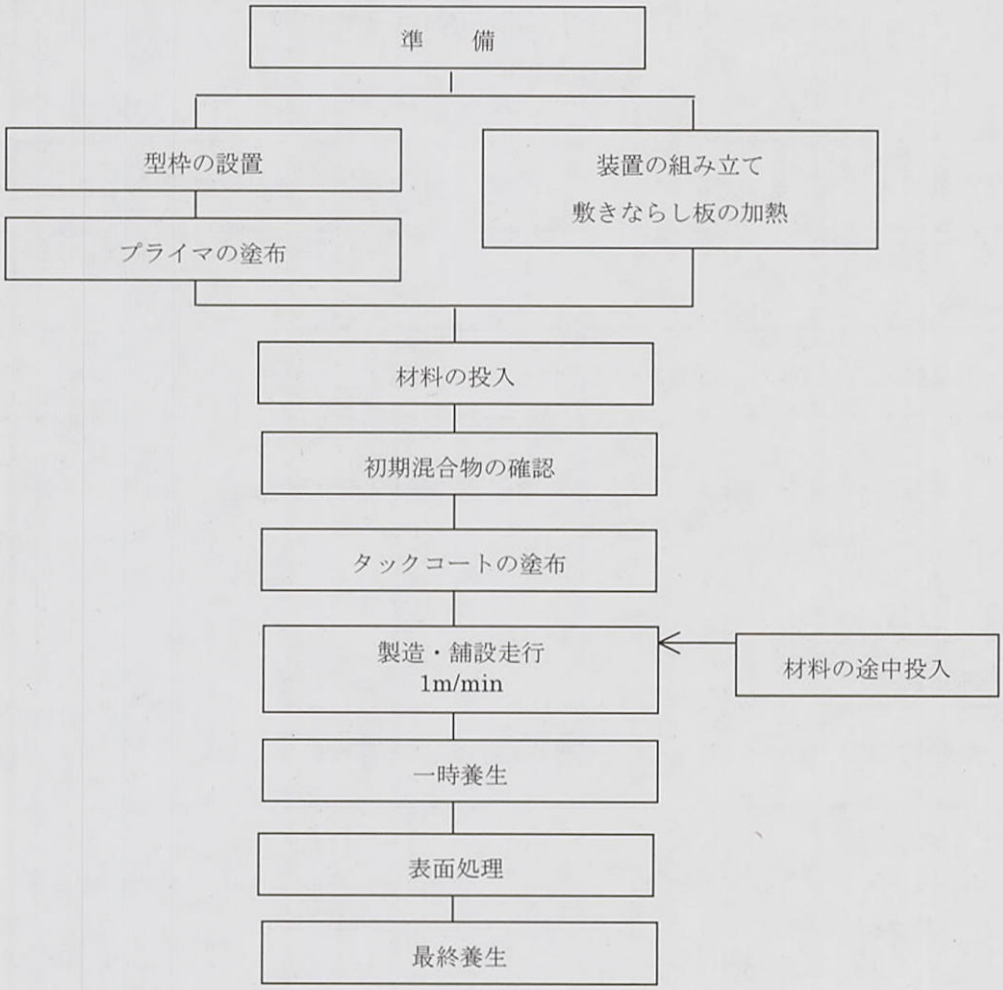
・ 混合物重量が通常よりも重いため、使用するアスファルトフィニッシャがホイール型の場合には、事前に試験施工により敷きならし状況を確認することが望ましい。

3－3 多孔質弾性舗装の施工

3－3－1 多孔質弾性舗装の混合・舗設フロー

多孔質弾性舗装の施工は、混合物の製造・舗設を専用機械で連続して行う。

多孔質弾性舗装の施工フローを付図－1.9 に示す。



付図－1.9 多孔質弾性舗装の施工フロー

3－3－2 施工機械

付表－1.24 に専用機械の諸元を示す。

付表－1.24 専用機械の諸元

型式名		PAF－ND40W
寸法	全長	6，500㎜
施工幅	全高	2，700㎜
施工速度	全幅	4，000㎜(回送時:2，590㎜)

運転整備重量		約12，000kg
性能	施工幅	2．5m～4．0m
	施工速度	最大4m／min
混合ミキサ		一軸パグミルミキサ式
スクリード		加熱振動式

3－3－3 混合・舗設

1） 舗設準備

多孔質弾性舗装の敷きならしに先立って、必要な機械器具の点検整備や舗設前の重量排水性混合物層の点検・清掃を行う。

- タックコートなどのアスファルト乳剤は完全に分解させる。
- 施工中支障がないように必要な機械器具の数量、状況、予備品の有無などを調べる。
- 混合物を舗設する前に下層表面のごみ、泥などを取り除く。
- 重量排水性混合物舗設後、舗装温度が低下しないうちに多孔質弾性舗装を舗設すると異常硬化を招く原因となるので、十分な冷却時間を確保する。
- 重量排水性舗装表面の水分が十分に乾燥された状態であることを確認する。
- 舗設中、舗設後3時間以内に雨が予想される気象条件の場合は施工を取りやめる。
- 専用機械のタイヤにプライマや混合物が付着しひきずりが発生することがあるため、施工起終点部は既設路面の汚れを防ぐため薄いベニヤ板、あるいはビニールシートなどで養生する。

2） プライマ塗布・養生

専用プライマをローラバケを用いて所定量均一に塗布し、完全に硬化するまで養生する。

- 塗布量は $0.4kg/m^2$ を標準とする。
- 専用プライマの硬化は、触診により判断する。硬化までの時間は施工時の気温等により変動するが、概ね30分～1時間程度である。

3） 材料の投入

ゴム骨材、バインダ、着色材を専用機械に投入する。

- 施工機械配管内での循環する量のバインダを投入し、装置内循環が正常に行われることを確認した後に、必要量のバインダを投入する。
- 初期投入での最大施工面積は約 $50m^2$ であり、必要に応じて施工中に各材料を投入する。
- ゴム骨材は、トンパック袋の状態で納入され、クレーン付きトラックなどで吊り上げた状態から投入することから、合図等安全に注意し作業する。
- 専用機械にストックされた材料の量については常に確認を行い、施工途中での材料不足による機械の停止のないようにする。

4） 混合物の製造

専用機械による多孔質弾性舗装混合物の製造を開始し、混合物を確認する。

- 専用機械のバインダーポンプ回転数と、ゴムチップスクリュウ回転数により所定の送り出し量を設定する。
- 使用する各材料を個別に吐出、計量し、吐出量を確認する
- 初期排出混合物はバット等に受け、十分に混合された混合物が排出されている事を確認する。
- 混合不十分な初期混合物は廃棄する。

5） タックコートの塗布

専用タックコートをローラバケを用いて所定量均一に専用機械の直前に塗布する。

- 塗布量は 0.2kg/m^2 を標準とする。
- タックコートは乾燥、硬化を防止するために、極力専用機械の直前に塗布する。
- 専用機械の通行により、タックコートにムラが発生した場合は、走行後に再度塗布する。

6） 敷き均し

専用機械により混合物の敷きならしを連続して行う。

- 施工速度は1m／min を標準とする。
- 専用機械が通過した直後に型枠を取り外し、人力にて既設構造物等にすりつける。なお、かさ上げ等の場合は、混合物端部を斜めにコテで押さえて整形する。
- 混合物の可使時間は気温によって変化するが、約30 分である。専用機械での敷きならし後の整正は可使時間内に終わるようにする。

7） 初期養生

舗設後に所定時間、初期養生する。

- 養生終了は、CS硬度 60 以上とする。
- 養生時間は、施工時の気温により変動する。施工時の気温と養生時間の目安を付表－1.25 に示す。

付表－1.25 気温と養生時間のめやす

外気温(℃)	養生時間(h)
10	4.5
20	4.0
30	3.0

8） 表面処理

専用表面処理材およびチッピング骨材をエアガンで所定量均一に塗布する。

- 専用表面処理材の塗布量は 0.3kg/m^2 を、チッピング骨材の散布量は 0.5kg/m^2 を標準とする。
- 散布に先立ち、周辺をマスキング養生する。

9） 最終養生

表面処理後に所定時間、最終養生する。

- 養生終了は、触診により判断する。硬化までの時間は施工時の気温等により変動するが、概ね30分～1時間程度である。

10）後かたづけ

専用機械内のゴムチップ、バインダ等を抜き取る。専用機械のスクリード面は専用クリーナで清掃する。

- プライマ、バインダおよび混合物が付着した空容器、ウエス等は放置しないで所定の場所に集積し、産業廃棄物処理の許可を有する業者に委託して処分する。

第4節　施工管理

施工管理は、出来形の管理および品質管理で実施する。管理基準は、原則として「舗装施工便覧」の表層・基層に準拠する。

4－1　出来形の管理

本振動軽減舗装の出来形管理の項目と頻度および管理の限界を付表－1.26 に示す。

付表－1.26　出来形管理項目と頻度および管理の限界

舗装種	項目	試験方法	頻度	管理の限界値
重量排水性混合物	厚さ	－	1,000m^{2}ごと	－0.7cm 以上
	幅	－	100m ごと	－2.5cm 以上
多孔質弾性舗装	厚さ	－	1,000m^{2}ごと	－0.7cm 以上
	幅	－	100m ごと	－2.5cm 以上
	平坦性	3m プロフィルメータ	車線ごと全延長	2.4mm 以下

4－2　品質管理

本振動軽減舗装の品質管理の項目と頻度および管理の限界を付表－1.27 に示す。

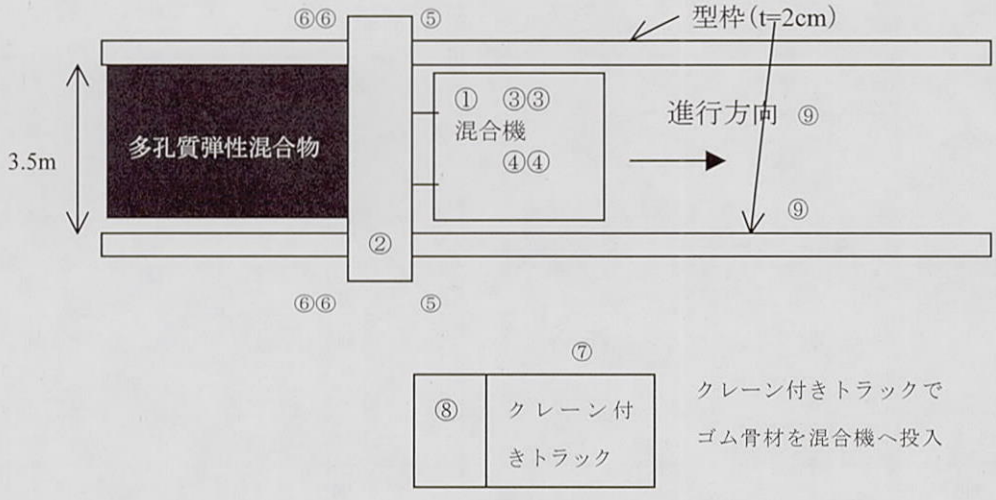
付表－1.27　品質管理管理項目と頻度および管理の限界基準

舗装種	項目	試験方法	頻度	管理の限界値
重量排水性混合物	外観	観察	随時	
	温度	温度計	随時	
	粒度	抽出・フルイ分け試験	1回／日	2.36mm: ± 12% 以下 0.075mm: ±5%以下
	アスファルト量	抽出・フルイ分け試験	1回／日	－0.9%以内
	締固め度	採取コアによる測定	1,000m^{2}ごと	基準密度の 94%以上
	空隙率	採取コアによる測定	1,000m^{2}ごと	
多孔質弾性舗装	外観	観察	随時	
	バインダ量	使用量確認	1回／日	
	骨材量	使用量確認	1回／日	
	着色材量	使用量確認	1回／日	
	プライマ量	使用量確認	1回／日	
	タックコート量	使用量確認	1回／日	
	表面処理材量	使用量確認	1回／日	
	チッピング骨材量	使用量確認	1回／日	
	締固め度	採取コアによる測定	1,000m^{2}ごと	基準密度の±5%以下
	空隙率	採取コアによる測定	1,000m^{2}ごと	
	すべり抵抗	BPN	1,000m^{2}ごと	60 以上
	弾性	CS 型ゴム硬度計	1,000m^{2}ごと	70～90
	排水性	現場透水試験器	1,000m^{2}ごと	800ml／15sec 以上

（参考）多孔質弾性舗装作業歩掛

1．標準的な施工体制・作業配置

作業人員：　①運転手、②運転補助
③材料担当（骨材）２人　④材料担当（バインダ）２人
⑤スコップ（巻きだし混合物処理）２人　⑥コテ（端部処理）４人
⑦骨材投入クレーン付きトラック操作　⑧クレーン付きトラック運転手　⑨タックコート　2名



＜現場配置図＞

2．タイムテーブル（当日交通解放、日施工量　600m^{2}の場合）

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
準備工	═	═									
プライマー塗布		═	═								
混合・敷きならし			═	═	═						
片付け					═	═					
初期養生					═	═	═	═			
表面処理								═	═		
最終養生									═	═	
規制撤去										═	

3. 標準積算数量(日施工量 600 ㎡の場合)

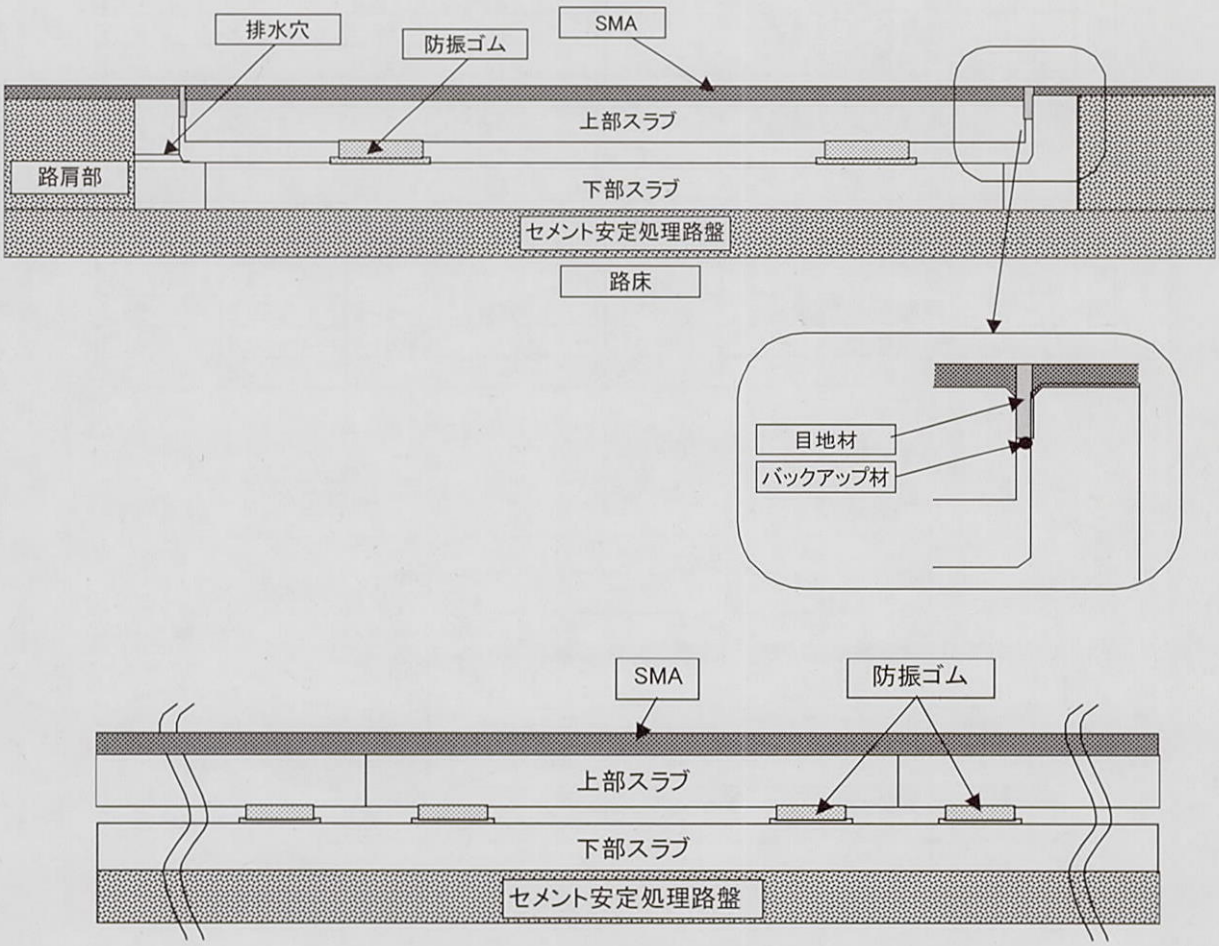
費目又は名称	形状寸法	数量	単位	摘要
材料				
特殊プライマー		250.00	kg	
特殊タックコート		125.00	kg	
ゴム骨材		9,400.00	kg	
バインダー		2,800.00	kg	
着色材		140.00	kg	
専用トップコート		185.00	kg	
チッピング骨材		310.00	kg	
プライマー塗布工				
普通作業員		4.00	人	
多孔質弾性舗装舗設工				
世話役		1.00	人	
特殊作業員		4.00	人	
普通作業員		8.00	人	
敷きならし機運転費		1.00	日	
トラック運転費	クレーン装置付 4t積 2.9t吊	1.00	日	
敷均し装置運転工				
運転手(特殊)		1.00	人	
特殊作業員	補助	1.00	人	
燃料費	軽油	105.00	リットル	96kW×0.155 リットル/kW-h×7h
機械損料		1.50	日	(供用日 75/運転日 50)=1.50
トラック運転工				
運転手(特殊)		1.00	人	
燃料費	軽油	49.70	リットル	132kW×0.054 リットル/kW-h×7h
機械損料		1.25	日	
トップコート工				
特殊作業員		2.00	人	
普通作業員		2.00	人	
機械損料		1.25	日	

第３章　振動軽減型舗装Ｃの概要

第1節　振動軽減型舗装Ｃの概要

1－1　概要

振動軽減舗装は、セメント安定処理路盤、下部スラブを設け、その上に防振ゴム付上部スラブを設置し、表層に砕石マスチック（SMA）を舗設した舗装である。舗装構成例を付図 - 1.10 に示す。



付図－1.10　舗装構成例（横断面・縦断面）

1－2　特徴

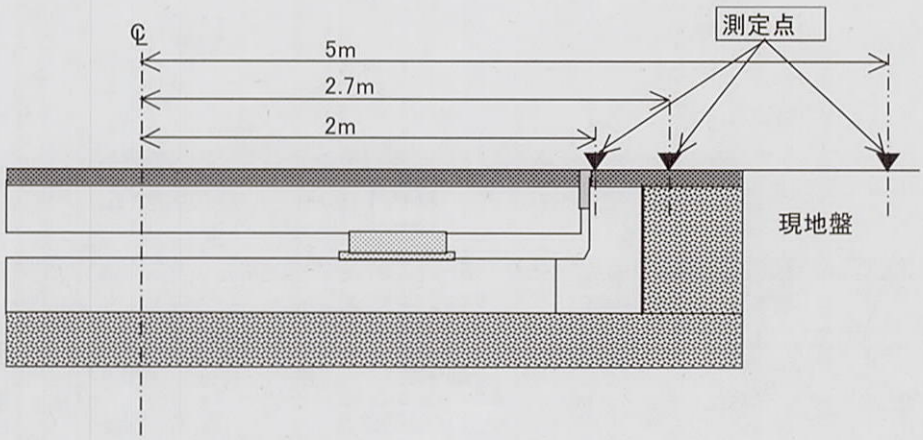
振動軽減型舗装の特徴は、上部スラブと下部スラブとで防振ゴムを挟んだ構造を持っていることである。この構造よりに通常の舗装に比べ舗装端の振動を振動レベルで、施工直後で約 7dB 軽減することができる。また、プレキャスト版を使用するために、急速施工が可能である。

【解説】

独立行政法人土木研究所の舗装走行試験場内に振動軽減型舗装を 40m と比較工区として密粒度アスファルト舗装を 32m施工し、施工直後および促進載荷試験後（49kN 換算輪数で 150,000 輪）に荷重車を走行させて沿道の振動レベルを測定した結果を付表－1.28 に示す。

付表-1.28 独立行政法人土木研究所における試験結果

		後軸荷重	117.6kN		58.8kN		平均値
		人工段差	有り	無し	有り	無し	
促進載荷前	2.0m地点	振動軽減型舗装C	59.0	58.4	59.4	57.0	58.5
		密粒度舗装	65.8	66.2	65.4	64.4	65.5
		差	6.8	7.8	6.0	7.4	7.0
	2.7m地点	振動軽減型舗装C	57.8	57.2	58.1	56.6	57.4
		密粒度舗装	60.9	59.7	61.4	61.3	60.8
		差	3.1	2.5	3.3	4.7	3.4
	5.0m地点（参考値）	振動軽減型舗装C	59.5	58.9	56.3	56.8	57.9
		密粒度舗装	57.5	56.7	60.0	59.5	58.4
		差	−2.0	−2.2	3.7	2.7	0.6
促進載荷後	2.0m地点	振動軽減型舗装C	61.5	60.5	62.0	60.7	61.2
		密粒度舗装	67.5	66.3	67.2	66.8	67.0
		差	6.0	5.8	5.2	6.1	5.8
	2.7m地点	振動軽減型舗装C	59.7	59.5	61.4	60.3	60.2
		密粒度舗装	64.3	63.5	63.9	64.4	64.0
		差	4.6	4.0	2.5	4.1	3.8
	5.0m地点（参考値）	振動軽減型舗装C	58.4	58.4	59.5	58.9	58.8
		密粒度舗装	61.7	61.1	61.9	62.3	61.8
		差	3.3	2.7	2.4	3.4	3.0



1－3 適用

車両交通によって生じる沿道の振動を軽減したい箇所の車道部に適用する。但し、適用するためには下記の条件を満足する必要がある。

① 作業幅員が４ｍ以上確保できること
② 舗装の下部は路床であること
③ 舗装を行う場合に不都合な地下埋設物がないこと
④ 舗装下部およびその周辺の地盤の設計ＣＢＲが１以上であること

【解説】

① RC プレキャスト版を設置する際に 50ｔのトラッククレーン車を使用するために、それがアウロリガーを張り出した状態でセットできるだけの作業幅員（4m以上）が必要である。

② 橋梁部等の構造物上に振動軽減型舗装を適用した場合には、その構造物の持つ固有振動数によって振動軽減型舗装の振動軽減効果が大きく異なることが想定できる。場合によっては振

動軽減効果が全く無いことも考えられる。

③ 路面より下方へ56cmまでのところに埋設物があるとスラブを設置することが困難である。また、56cmより深いところに埋設物がある場合、振動軽減型舗装を施工するとメンテナンスが出来なくなる。

④ 振動軽減型舗装の性能評価試験を行った独立行政法人土木研究所円形走行路内の設計CBRは1であった。この時の振動軽減効果は確認できているが、この時の設計CBRよりも小さな時の振動軽減効果は確認できていない。

1－4 設計

舗装の構成（付図－1）は、表層、タックコート、上部スラブ、防振ゴム、下部スラブおよび路盤である。表層には砕石マスチックアスファルトを用いる。その厚さは5cmとする。上部スラブ、防振ゴム、下部スラブは工場製品とする。路盤は、路盤面の支持力係数K_{75}が70MN／m^3以上になるように設計する。

【解説】

セメントコンクリート舗装要綱および空港コンクリート舗装構造設計要領第6章プレストレストコンクリート舗装構造の設計を考慮し、路盤面のK_{75}は70MN／m^3以上とした。

第2節　使用部材および材料

2－1　部材

2－1－1　防振ゴム

防振ゴムは、車両交通により発生する上部スラブの振動を下部スラブへ軽減して伝える効果が試験等により確認されているもので、かつ耐久性に優れたものを用いる。

2－1－2　上部スラブ

上部スラブは、防振ゴムを支承とした梁として解析を行い、設計期間内の供用中に破損しないものを用いる。また、剛性の高い継手を内蔵した上部スラブを用いる。

2－1－3　下部スラブ

下部スラブは、弾性床上の平板解析を行い、設計期間内の供用中に破損しないものを用いる。また、上部スラブと同様に、縦断方向を連結する継手を内蔵した下部スラブを用いる。

2－2　注入材

2－2－1　目地用グラウト材

目地用のグラウト材は、材令３時間で 20N／mm^2以上の圧縮強度を発現するもので、上部スラブと上部スラブの間の隙間に十分に充填できるものを用いる。

【解説】

充填のし易さを J14 ロートのフロー値で評価した場合、13 秒以下とすることが望ましい。

2－2－2　裏込用グラウト材

裏込用グラウト材は、材令３時間で 2N／mm^2以上の圧縮強度を発現するもので、下部スラブと路盤間および防振ゴムと下部スラブ間の隙間に十分に充填できるものを用いる。

【解説】

充填のし易さを JA ロートのフロー値で評価した場合、60 秒以内とすることが望ましい。

2－3　間詰めコンクリート

下部スラブと下部スラブの隙間（横断方向）に詰めるコンクリートで、ジェットコンクリートを使用する。

2－4　その他

2－4－1　タックコート用アスファルト乳剤

タックコート用アスファルト乳剤はゴム入りアスファルト乳剤とする。

2－4－2　砕石マスチックアスファルト混合物

砕石マスチックアスファルト混合物を用いる。

【解説】

上部スラブは防振ゴム上にあることから大きく揺れるので、表層に用いるアスファルト混合物はひびわれの生じにくいものとする必要がある。また、上部スラブにとっては上層に水密性の高い混合物を持つ方が耐久性の面で好ましい。以上のことを考慮し、表層工は砕石マスチックアスファルト舗装とした。

付表－1.29　砕石マスチックアスファルト混合物の目標値

試験項目、性状		基準値(目標値)
マーシャル突き固め回数	(回)	両面各50回
空隙率	(%)	2～4
飽和度	(%)	75～90
マーシャル安定度	(kN)	5.0 以上
透水係数	(cm/sec)	1×10^{6} 以下
ホィールトラッキング試験 動的安定度(DS)	(回/mm)	3,000 以上 5,000 以上(重交通)
ラベリング試験摩耗量 クロスチェーン(JIS G 3505 SWRM3)	(cm^2)	1.0 以下

2－4－3　目地材

目地材は130%以上の伸び率にも十分対応できるものを用いる。

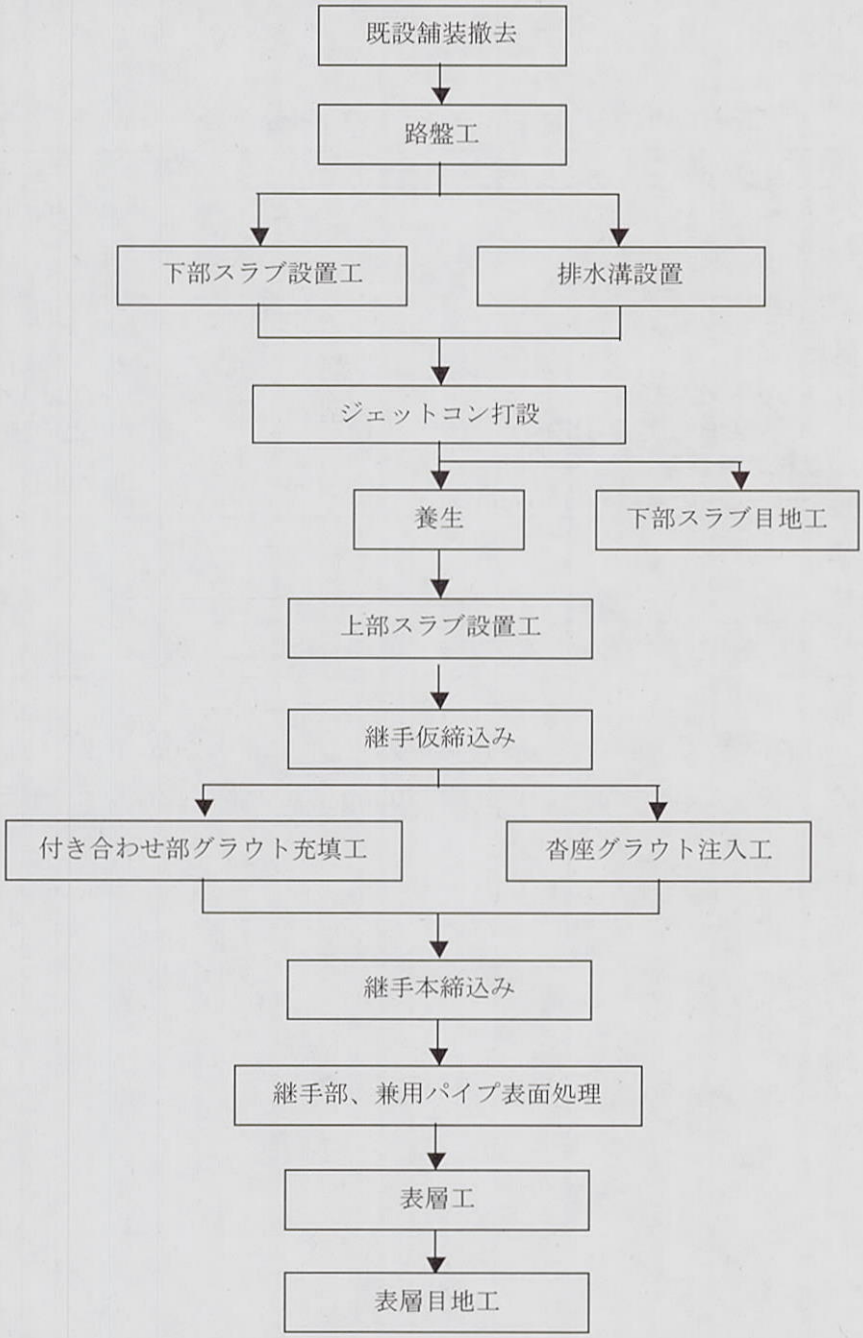
【解説】

防振ゴム上の上部スラブは、車両が通過すると鉛直方向に最大 20mm 程度動く。したがって、表層とサイドウォールの間に注入する目地材は 20mm 程度の変位にも十分に耐えられるものとする必要がある。

第3節　製造・運搬・舗装

3－1　施工手順

施工は、付図 - 1.11 に示すような作業手順で行う。



付図－1.11　施工フロー図

3－2　部材

3－2－1　製造・運搬

部材の製造は、工場で行い、品質の確認と所定の養生を行う。

運搬はトレーラー等で行う。

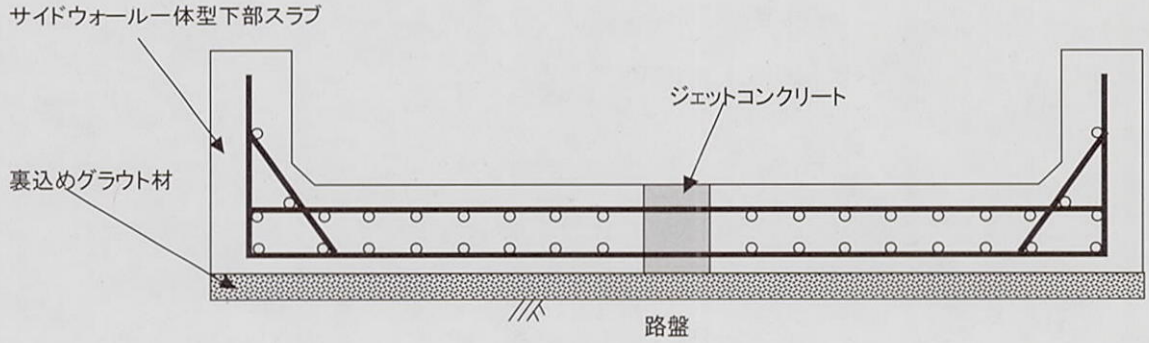
3－2－2 設置

3－2－2－1 下部スラブ（サイドウォール1体型）

下部スラブは、50ｔトラッククレーンで吊り上げ、所定の位置に設置する。高さの微調整は、下部スラブに内蔵されている高さ調整ボルトで行う。

下部スラブと路盤の間に生じる隙間およびサイドウォールとサイドウォールとの間に生じる隙間には、裏込用グラウトを注入する。

下部スラブと下部スラブの間に生じる隙間にはジェットコンクリートを打設する。



付図－1.12　サイドウォール一体型スラブ設置状況

3－2－2－2 上部スラブ

上部スラブには予め二次製品工場内で防振ゴムが取り付けられている。

【解説】

上部スラブは、下記の手順で設置する。

① 下部スラブ上に防振ゴム設置位置を正確に出して、そこに防振ゴムの裏込モルタルを留める型枠を設置する。

② 所定量の裏込用グラウト材を前記の型枠へ流し込む。

③ 予め防振ゴムが取り付けられている上部スラブを 50ｔトラッククレーンで吊り上げ、所定の位置にセットする。高さの微調整は、高さ調整ボルトで行う。

④ 上部スラブと上部スラブを連結するコッター継手の仮締込みを行い、設置した上部スラブが施工中に動かないようにする。

⑤ 上部スラブと上部スラブの隙間に目地用グラウト材を充填する。

⑥ 上記の目地用グラウト材が所定の強度となったことを確認してコッター継手の本締めを行う。

⑦ 上部スラブ面に残る高さ調整ボルト孔、吊り治具用孔とコッター継手孔に、裏込用グラウト材を充填する。

3－2－2－3 タックコート工

所定のアスファルト乳剤を所定量均一に散布し、養生する。

【解説】

① アスファルト乳剤はゴム入りアスファルト乳剤を用いる。

② 散布量は、使用するアスファルト乳剤の標準使用量とする。通常 0.3 ﾘｯﾄﾙ／m^2程度である。

3－2－2－4 表層工

砕石マスチックアスファルト混合物を 5cm で舗設する。

3－2－2－5 表層目地工

サイドウォールと表層の接する箇所に切削目地を設ける。 切削幅は８～10mm とする。

【解説】

・切削深さは、表層厚と同じ 5cm とする。

・バックアップ材を用い、使用する注入目地剤の注入深さをコントロールする。注入深さは使用する目地材にあった値とする。通常１～２cm である。

第４節　施工・管理

施工管理は、出来形の管理および品質管理で実施する。

４－１　出来形の管理

振動軽減型舗装の出来形管理の項目と頻度および管理の限界を付表－1.30 に示す。

付表－1.30　出来形管理項目と頻度および管理の限界の参考例

工　　程	項　　目	頻　　度	標準的な管理限界
路　　床	基準高	40ｍごと	± 5 cm 以内
	幅	40ｍごと	－10cm 以上
路　　盤	基準高	20ｍごと	－1.5～0cm 以内
	厚さ	20ｍごと	－4.5cm 以上
	幅	40ｍごと	－ 5 cm 以上
下部スラブ	基準高	20ｍごと	－2 ～ 0cm 以内
上部スラブ	基準高	20ｍごと	±0.5cm 以内
表　　層	厚さ	1,000ｍ^{2}ごと	－0.5cm
	幅	100ｍごと	－2.5cm
	平坦性	車線ごと全延長	2.4mm 以下

4－2 品質管理

振動軽減型舗装の品質管理の項目と頻度および管理の限界を付表－1.31 に示す。

付表－1.31 品質管理項目と頻度および管理の限界値

工種	項目		工事規模別項目実施の有無		実施する場合の頻度	標準的な管理の限界	試験方法
			中規模以上の工事	小規模の工事			
路盤	粒度		○	—	1～2回／日	±15%以内	舗装試験法便覧
			△	—	1～2回／日	±6%以内	
	セメント量	定量試験	△	—	1～2回／日	±1.2%以内	
		使用量	○	○	随時		空袋確認
	締固め度		○	△	1,000m²に1個	最大乾燥密度の93%以上	舗装試験法便覧
	含水比		△	△	観察により異常が認められたとき		
グラウト	フロー		○	○	1～2回／日	○	
	圧縮強度（3時間）		○	○	1～2回／日	○	
表層	外観		○	○	随時		観察
	温度		○	○	随時		温度計
	密度		○	△	印字記録：全数 または、 抽出・ふるい分け試験：1～2回／日	印字記録の場合 骨材累積最終ビン計量値がその基準値の±6%以内であるとともに、 2.36mm：$\pm 0.01 \times W_a \times (11.3-0.06S)$ 以内 75μm：石粉量は$\pm 0.01 \times W \times F \times (0.30-0.013F)$ 以内 ふるい分け試験の場合 2.36mm：±12%以内、75μm：±5%以内	舗装試験法便覧

	アスファルト量	○	△	印字記録：全数 または、 抽出試験：１～２回／日	印字記録の場合 骨材累積最終ビン計量値がその基準値の±６％以内であるとともに、 ±0.01×W×（0.95－0.06A）以内 抽出試験の場合 ±0.9%以内	
	締固め度	○	△	1,000m^{2}に１個	基準密度の94%以上	

凡例　○：定期的または随時実施することが望ましいもの

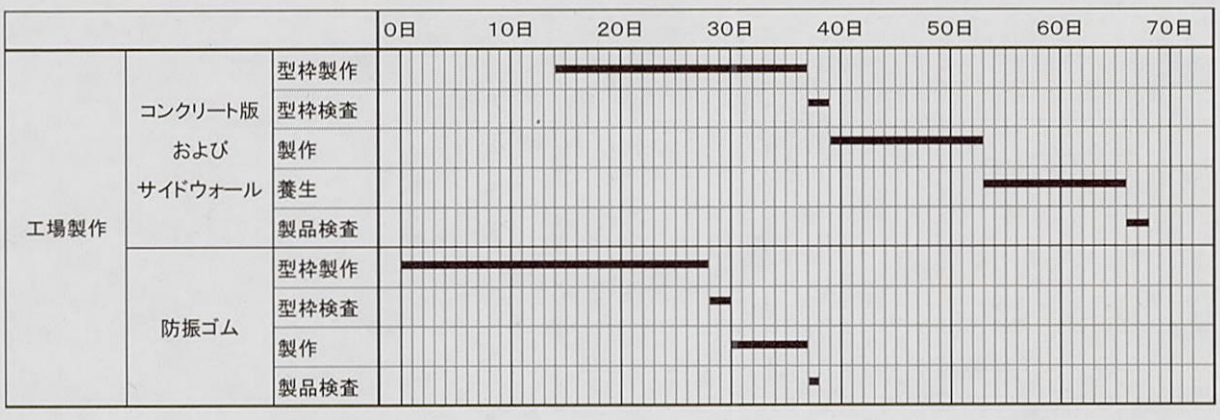
△：異常が認められたときに実施するもの、またはとくに必要なとき実施するもの

―：省略可能なもの

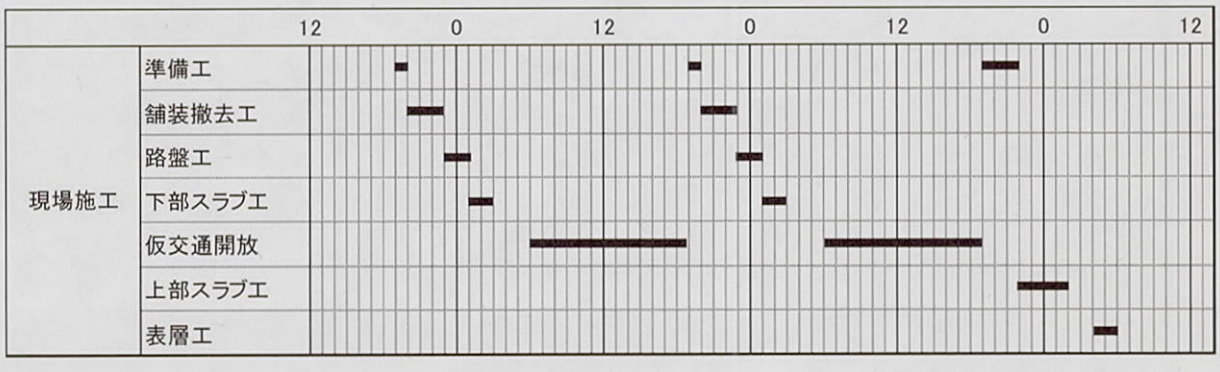
《参考》工程

振動軽減型舗装の施工工程は、プレキャスト製品の製作と現場施工の２つの工程に分類できる。プレキャスト製品は、施工規模（幅員、線形、延長など）により形状を決定するため、型枠製作を現場施工の約３ヶ月前に開始する（付表－1.32）。また、現場施工は、交通規制時間により工程がかわるが、夜間のみの交通規制の場合、30m 施工を３日間１サイクルとし、昼間は覆工版による仮交通開放をすれば、付表－1.33 のようになる。

付表－1.32　プレキャスト製品製作工程例



付表－1.33　現場施工工程例



参考資料

1）達下文一：アスファルト舗装の構造による自動車交通振動低減のための実験，土と基礎，Vol. 27，pp. 17-24，1979. 8

2）関根悦夫，早川清，松井保：講座 粘性土の動的性質 3. 粘性土の動的問題に関するケース・ヒストリーと現象のメカニズム，土と基礎，Vol. 46，pp. 43-48，1998. 9

3）（社）土木学会：土木工学ハンドブックⅠ，p. 292，1989

4）（社）土木学会：土木技術者のための振動便覧，p. 407，1966. 8

5）（社）日本規格協会：JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法，1993

6）長松昭男：モード解析入門，コロナ社，1993

7）倉部誠：図説モード解析，大河出版，1987

8）（社）日本機械学会：機械騒音ハンドブック，p. 454，1991

付録２　室内試験方法

目　次

第１章　アスファルト混合物および制振用シートの振動減衰特性試験方法（振動軽減型舗装Ａ）
・・・・・・・（１）
１．　試験の概要　・・・・・・・（１）
２．　試験方法　・・・・・・・（１）
３．　制振効果の評価　・・・・・・・（６）
第２章　共振法試験法（振動軽減型舗装Ｂ）　・・・・・・・（７）
１．　目的　・・・・・・・（７）
２．　適用範囲　・・・・・・・（７）
３．　試験器具　・・・・・・・（７）
４．　測定方法　・・・・・・・（７）
５．　結果の整理　・・・・・・・（８）
第３章　ベンチ試験（振動軽減型舗装Ｃ）　・・・・・・・（９）
１．　目的　・・・・・・・（９）
２．　適用範囲　・・・・・・・（９）
３．　試験器具　・・・・・・・（９）
４．　測定方法　・・・・・・（１０）
５．　現地調査　・・・・・・（１１）
６．　報告事項　・・・・・・（１２）

第1章 アスファルト混合物および制振用シートの振動減衰特性試験方法
（振動軽減型舗装A）

1. 試験の概要

本試験は、振動減衰性能の大きな材料を表基層に用いることで表基層対応の振動軽減型舗装の構築を図ろうとする場合に、その表基層用アスファルト混合物や表基層間に敷設する制振用シートの制振効果を評価することを目的に行うものである。

試験では、アスファルト混合物またはその厚さ中央に制振用シートを敷設した当該混合物の供試体に所定の方式で振動を加えその時の周波数応答関数を測定し、その結果より固有振動数（共振周波数）での損失係数を算出する。この損失係数をもとに、密粒度アスファルト混合物(13)に対する振動低減量（dB）を推定し、試験に供した材料の制振効果を評価する。

2. 試験方法

(1) 供試体の大きさ

道路交通振動では、5～30Hz 程度の低周波数領域が問題となる[1),2)]。このため、室内で表基層材料などの振動減衰特性を評価する場合には、この低周波数領域で損失係数を把握できるように試験するのが望ましい。そのためには、供試体の大きさは、この低周波数領域で共振が起こるようなものとするのが望ましい。しかし、この場合、例えば、測定しようとするアスファルト混合物の密度 ρ を 2.3×10^3 kg/m^3、弾性係数 E を 3×10^9 N/m^2（3×10^4 kgf/cm^2）、供試体の幅と厚さを 0.10m、0.05m として固有振動数 f_1 が 20Hz となるようにすると、次式(1)で示される両端自由梁に対する無次元固有振動数の算出式[3),4)]から、供試体の長さ ℓ は約 1.7m にする必要があると推定される。すなわち、このように、低周波数領域で共振が起こるように試験しようとする場合には、重さ 20kg 程度の極めて細長い大型供試体が必要になってくると考えられる。しかし、こうした細長いアスファルト混合物の大型供試体を作成することやそれを試験するために持ち運ぶこと、またその大型供試体を使用して振動減衰特性を測定することは汎用性を考えると現実的には難しい。

$$\lambda_n{}^4 = \frac{\rho A \omega_n^2 \lambda^4}{EI} \qquad \cdots\cdots(1)$$

ここに、λ_n：無次元固有振動数（λ_1=4.730、λ_2=7.853、λ_3=10.996）

ρ：密度（kg/m^3）

A：断面積（＝幅×厚さ）（m^2）

ω_n：固有円振動数（$=2\pi f_n$）（rad/sec）

f_n：固有振動数（Hz）

ℓ：長さ（m）

E：弾性係数（N/m^2）

I：断面二次モーメント（m^4）

そこで、供試体の大きさは、固有振動数から定めるのは実用的でないといえるので、その作成や試験上で可能な大きさのものとする。すなわち、一つには、各種混合物の損失係数の違いが把握できる

ように、供試体は骨材最大粒径が 13mm 以上の混合物でも締固め作成できるような厚さの 5cm 厚とし、幅や長さはこれに合わせそれぞれ 10cm、50cm の大きさのものとする（試験法は後述する試験法Ⅰ）。もう一つは、主に制振用シートの振動減衰性能を把握することを目的として、その使用する試験装置に合わせ、供試体はより小さな寸法の厚さ 2.5cm、幅 10cm、長さ 20cm または 25cm の大きさのものとする（試験法は後述する試験法Ⅱ）。

(2) 試験方法

試験は，(1)で述べた供試体の大きさに応じて付表-2.1 に示すような加振方法の異なる 2 通りの方法のいずれかで実施する．

付表-2.1 試験に用いた供試体の大きさと加振方法

試験法	供試体の寸法	供試体の加振方法		損失係数算出法
		供試体の支持方式	供試体の加振方式	
試験法Ⅰ	幅10cm×長さ50cm×厚さ5cm	自由支持（タイヤチューブによる支持）	定常加振法（加振器による）	半値幅法または曲線適合法
試験法Ⅱ	幅10cm×長さ20cmまたは25cm×厚さ2.5cm	中央支持	定常加振法（加振器による）	半値幅法

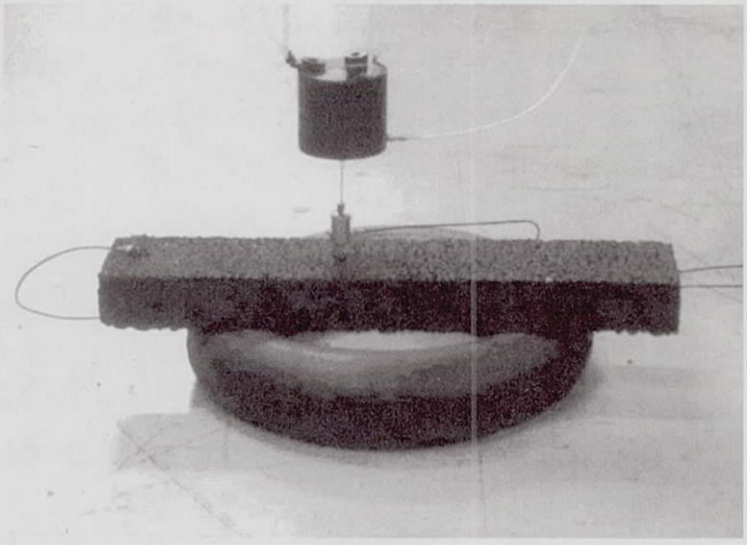
a) 試験法Ⅰ

① 測定方法

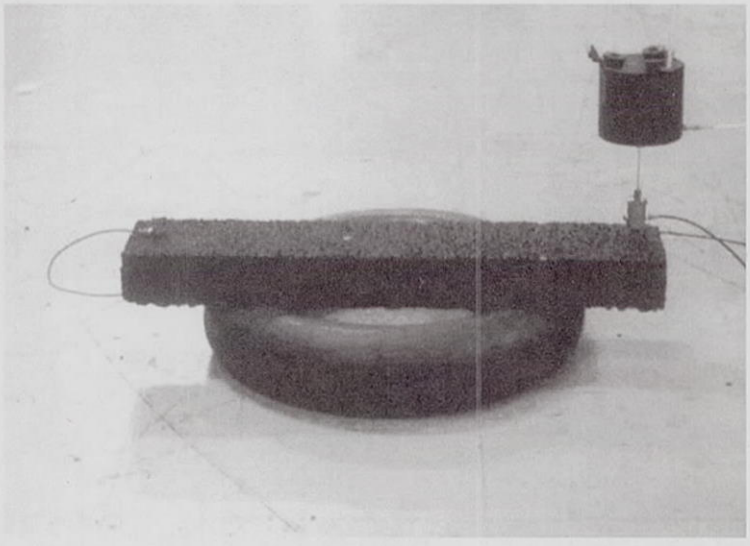
「JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法」[5]では、試験片の保持方式や加振方法によって様々な試験方法が示されている。これらの試験は幅 10～25mm、長さ 250mm 程度、厚さ 0.8～3.2mm の小さな試験片を用いて行うものであるが、そのなかで、付表-2.1 に示すような幅 10cm×長さ 50cm×厚さ 5cm の供試体を用いて行えそうな方法としては、供試体を吊り下げて行う吊り下げ方式か振動モードの節にあたる 2 箇所の位置で供試体を支える単純支持方式とが考えられる。このうち、吊り下げ方式は供試体が 5kg 前後となるため吊り下げ位置で供試体が破断してしまう場合がある。また、単純支持方式は、供試体が 5cm と厚いため、振動モードの節にあたる位置で支持したとしても、供試体の中立面では振動はしないが、支持部における供試体表面では振動がかなり生じるものと推測される。このため、正確な測定は難しいと考えられる。また、アスファルト混合物は完全には均一材でないので、振動モードの節の位置を決定することも難しいと考えられる。

そこで、幅 10cm×長さ 50cm×厚さ 5cm の供試体を用いて行う本試験では、機械構造物を対象とした実験モード解析の分野で通常用いられるタイヤチューブの上に供試体を載せて行う自由支持方式[6]による方法で行うこととする。すなわち、本試験では、幅 10cm×長さ 50cm×厚さ 5cm の供試体を用いて、付写真-2.1 に示すように、当該供試体をタイヤチューブの上に載せた状態で、加振器により供試体を加振させて周波数応答関数（加振力に対する振動応答量）を測定し、その結果から固有振動数における損失係数を算出する。試験は 20～25℃の範囲で一定の温度条件のもとで実施し、測定での加振位置および振動応答の測定位置は付図-2.1 のとおりとする。

なお、本試験法で制振用シートの振動減衰性能を評価しようとする場合には、供試体は当該シートをアスファルト混合物の厚さ中央に敷設して作成したものを使用する。

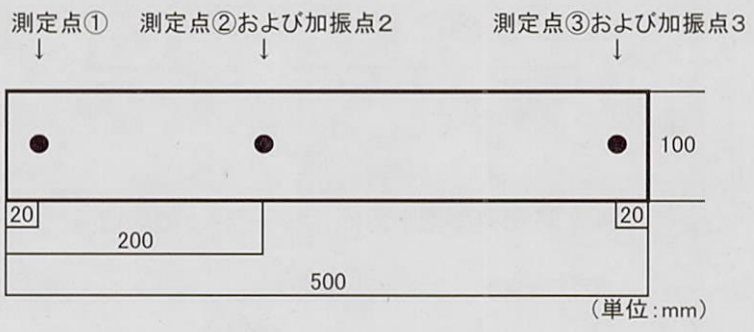


加振位置２



加振位置３

付写真-2.1　試験状況



付図-2.1　加振および振動応答の測定位置

② 試験に用いる装置

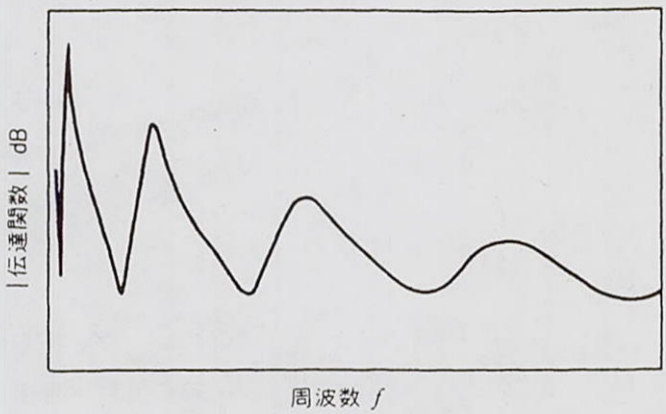
試験に用いる装置は、供試体を加振させる小型の加振器（例えば最大加振力 10N、最大加速度 550m/s^2、直径 76mm、高さ 75mm、重さ 1.1kg）、加振力を検出するインピーダンスヘッド、振動

を検出する振動加速度センサ、チャージ増幅器、伝達関数解析装置である2チャンネルFFTアナライザ、損失係数を算出する実験モード解析ソフトなどである。また、供試体を自由支持するのに使用するタイヤチューブは、外径37cm、内径20cmで高さ（タイヤチューブの幅）9cmの大きさのものなどを使用する。

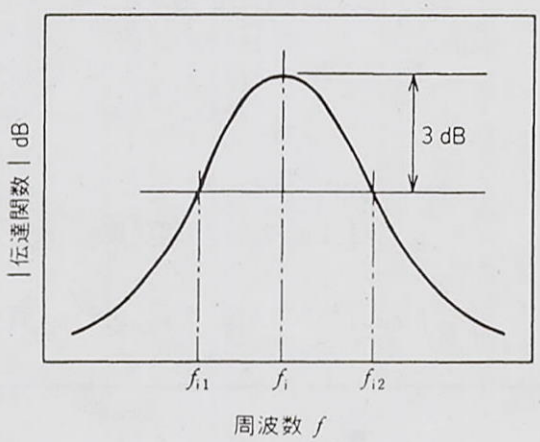
③ 損失係数の算出方法

固有振動数における損失係数は、半値幅法[5]または曲線適合による方法（モード解析でモーダルパラメータを算出する方法）[7]により算出する。

半値幅法では、付図-2.2に示すような測定により得られる伝達関数の周波数応答関数から、任意の共振ピークにおいて付図-2.3に示すようなi次の共振周波数f_i（固有振動数）と、伝達関数の絶対値が最大値より3dB下がった点での周波数f_{i1}、f_{i2}を読みとり、次式(2)によって損失係数ηを算出する。



付図-2.2 伝達関数の周波数応答曲線[5]



付図-2.3 伝達関数における共振ピークの半値幅[5]

$$\eta = \frac{f_{i2} - f_{i1}}{f_i} \qquad \cdots\cdots (2)$$

曲線適合による方法は、供試体の減衰が大きく、半値幅法で3dB下がった点での周波数が読みとれない場合において使用する。この方法では、実験モード解析ソフトを使用して、実測した伝達関数と測定した伝達関数が一致するような損失係数を算出する。

なお、本試験では、これまでの試験結果によれば、主に曲線適合による方法で損失係数を算出する

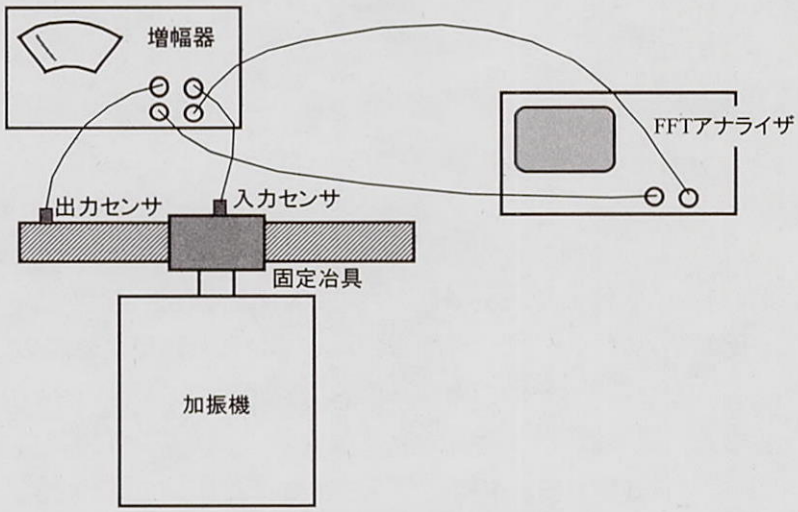
場合のが多くみられる傾向にある。

b) 試験法Ⅱ

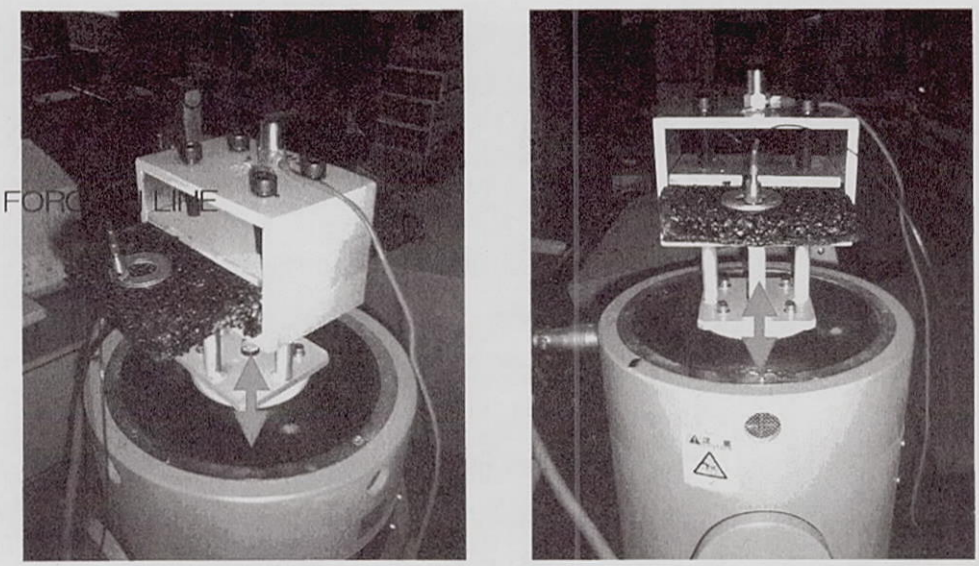
① 測定方法

本試験は、試験法Ⅰより簡易に試験が行えるように、供試体の大きさを厚さ 2.5cm、幅 10cm、長さ 20cm または 25cm とより小さな供試体を使用して、「JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法」で示されているような中央支持定常加振法による試験装置を用いて行う。すなわち、本試験は付図-2.4 や付写真-2.2 に示すように、加振器により供試体中央を加振させ周波数応答関数（加振力に対する振動応答量）を測定し、その結果から固有振動数における損失係数を算出する。試験は 20～25℃の温度範囲で一定の温度条件のもとで実施する。

本試験は、前述したように、主にアスファルト混合物の厚さ中央に敷設した制振用シートの減衰性能を評価するのに実施する。この場合、アスファルト混合物は、供試体の厚さが 2.5cm であることから骨材の最大粒径が 5mm の配合のものを使用し、制振用シートは供試体の厚さ中央に敷設する。



付図-2.4 試験装置の概略図



付写真-2.2 試験装置と試験の状況

② 試験に用いる装置

試験に用いる装置は、供試体を加振させる加振器（例えば最大加振力 98N、最大加速度 172m/s²、直径 158mm、高さ 230mm、重さ 26kg）、加振力を検出するインピーダンスヘッド、振動を検出する振動加速度センサ、チャージ増幅器、伝達関数解析装置である 2 チャンネル FFT アナライザである。

③ 損失係数の算出方法

固有振動数における損失係数は、前述したような半値幅法で算出する。

3. 制振効果の評価

構造体に制振材料を貼り付けるなどして制振処理を行った場合、その振動低減量ΔL（dB）は、制振処理前後の損失係数をη_0およびη_1とすると、共振状態のところでは次式（3）で表される[8]。しかし、実際にはランダムな加振を受ける場合が多く、その場合はランダム入力の応答問題として取り扱えば、振動低減量ΔL（dB）は次式(4)のようになるとされている[8]。

$$\Delta L = 20\log\frac{\eta}{\eta_0}\sqrt{\frac{1+\eta_0^{\,2}}{1+\eta^2}} \qquad \cdots\cdots(3)$$

$$\Delta L = 10\log\frac{\eta}{\eta_0}\sqrt{\frac{1+\eta_0^{\,2}}{1+\eta^2}} \qquad \cdots\cdots(4)$$

そこで、試験した材料の制振効果は、両試験法ともにこの評価方法を利用して、ストレートアスファルトを使用した密粒度アスファルト混合物(13)に対してどれだけ振動低減を図れるかで評価することとする。すなわち、試験した材料の制振効果は、ランダムな加振を受ける場合での(4)式に基づき、次式(5)より測定された損失係数からストレートアスファルトを使用した密粒度アスファルト混合物(13)に対する振動低減量ΔL（dB）を推定することで評価することとする。

$$\Delta L = 10\log\frac{\eta}{\eta_0}\sqrt{\frac{1+\eta_0^{\,2}}{1+\eta^2}} \qquad \cdots\cdots(5)$$

ここに、ΔL：ストレートアスファルト使用の密粒度アスファルト混合物(13)に対する振動低減量（dB）

η　：試験した材料の損失係数

η_0：ストレートアスファルト使用の密粒度アスファルト混合物(13)の損失係数

第２章　共振法試験法（振動軽減型舗装Ｂ）

1. 目的

混合物の振動特性を共振法により評価する。

2. 適用範囲

アスファルト混合物、セメントコンクリート、およびそのほか固体材料

3. 試験器具

(1) 振動ピックアップ

(2) 振動計加速度計

(3) スペクトルアナライザ

(4) 恒温槽

4. 測定方法

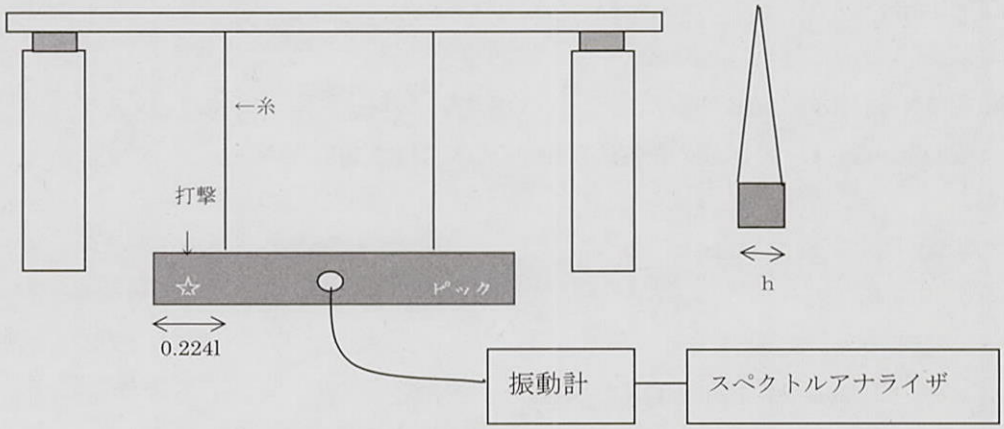
本研究で用いた測定システムおよび供試体まわりの状況を、付図－2.5 に示す。

(1) 対象物質を 400×40×40 mm に成形しこれを供試体とする。これを当該温度にて測定対象物質が当該温度になるように恒温槽内にて養生する。

(2) 各供試体の長手方向 0.2241 の位置において糸で吊す(付写真－2.3)。

(3) 振動ピックアップを供試体中央側面に張り付け、振動加速度計、よびスペクトルアナライザを接続する。

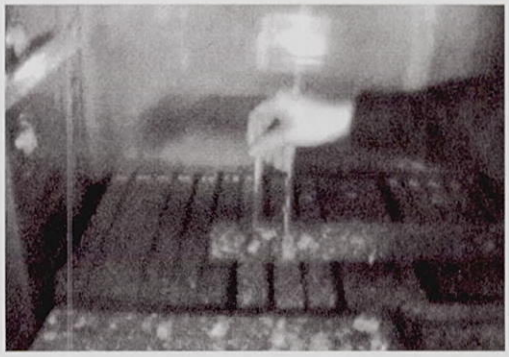
(4) 供試体の端部に打撃(振動加速度計で測定できるほどのエネルギーに調整した打撃)を加え、時間軸に対する減衰を測定する。また、スペクトルアナライザによって、振動の周波数成分を解析する。



付図－2.5　共振時弾性係数測定システム



付写真－2.3　養生および供試体つり下げ状況

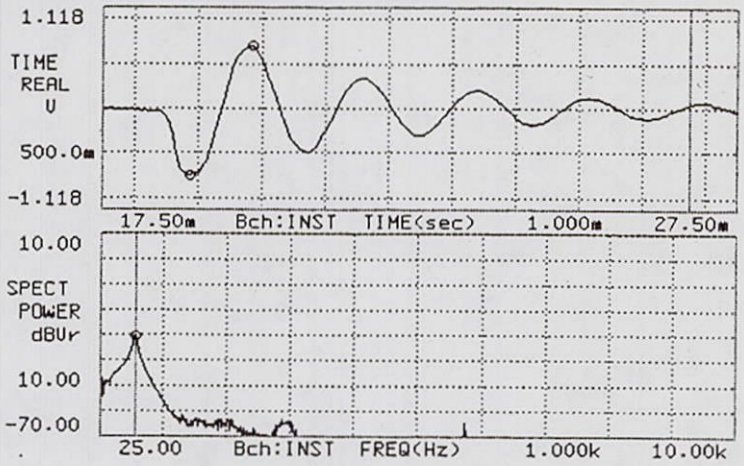


付写真－2.4　打撃状況

5. 結果の整理

(1)減衰振動波形の記録

アナライザに記録された減衰振動波形を記録(付図－2.6)



付図－2.6 減衰振動の記録

(2)対数減衰率δ、および共振時弾性率Efの算出

この減衰している振動波形を解析することにより、次式により粘性を示す対数減衰率δ、および共振時弾性率Efが求める。ここで、Efは動的弾性率と同じものである。

$$\delta = 1/n\,\Sigma\,(\log|X_n|/|X_{n+1}|)$$

$$Ef = 9.464 \times 10^{-7} f_0^2\,\rho\, l^4/h^2$$

ここで、

X_n 、 X_{n+1}:振幅(又は片振幅)　　f_0:共振周波数(Hz)　　ρ :密度(g/cm^3)

n:波の数　　l: 供試体の長さ　　h:供試体の打撃方向厚さ(cm)

また、減衰が小さい範囲では、$\tan\phi = \delta/\pi$ で近似できるので、粘弾性係数Ef" および複素弾性係数Ef* を次式で求める。

$$Ef'' = Ef\ \tan\phi \qquad Ef^* = (Ef)^2 + (Ef'')^2$$

第３章　ベンチ試験（振動軽減型舗装Ｃ）

1. 目的

防振ゴム付 RC プレキャスト舗装版を用いた振動軽減舗装体の防振ゴムの効果を確認するために実物大に近い上部スラブ（プレキャスト舗装版）－防振ゴム－下部スラブ系のモデルで振動試験を行なう。

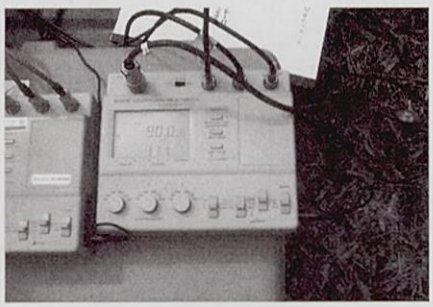
2. 適用範囲

防振ゴムは、振動軽減舗装が採用される路線の交通荷重、延長、幅員から設計されるプレキャスト舗装版の重量および防振ゴムの限界変形量（10mm）から求められたバネ定数を有するものとする。

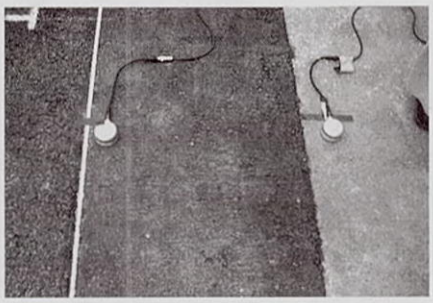
3. 試験器具

(1)振動レベル計

JIS C 1510 に規定される特性を満足し、計量器としての検定に合格した振動レベル計を使用する。振動レベル計は地表面に設置できる振動ピックアップを備え、検出された振動加速度に振動感覚補正特性を荷重して振動レベルを表示する測定器である。



付写真-2.5　振動レベル計



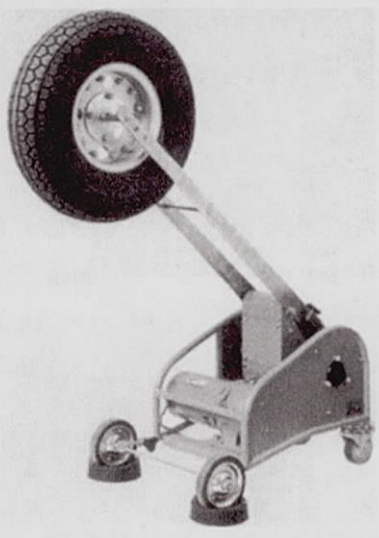
付写真-2.6　振動ピックアップ

(2)振動源

振動源は、バングマシーン（JIS A 1418 重量床衝撃音発生器）を使用する。

付表-2.2　バンクマシーンの仕様

適用範囲	JIS A 1418 準拠
タイヤの設置面積	150cm^2
衝撃源重量	7.0kg
落下高さ	830mm
衝撃力	3875N
打撃周期	1.7±0.2s
設置時間	21.5±21.5ms
電源	交流 100V



付写真-2.7　バンクマシーン

4. 試験方法

（1） スラブ

上部スラブおよび下部スラブは、振動軽減舗装が採用される路線に使用するプレキャスト舗装版もしくは同等の形状・構造であるプレキャスト版を使用する。

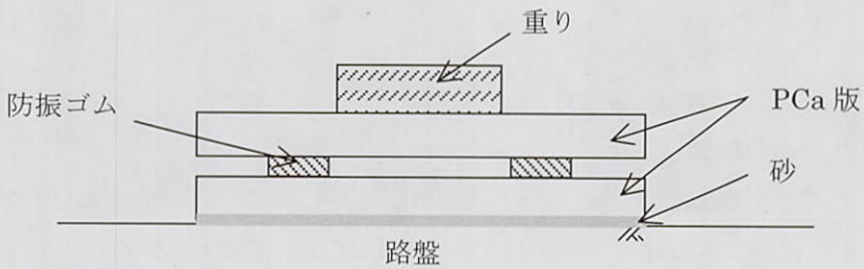
（2） 防振ゴム

交通荷重、延長、幅員から設計されるプレキャスト舗装版の重量および防振ゴムの限界変形量（10mm）から求められたバネ定数をもつ防振ゴムとそれよりバネ定数を小さくした防振ゴムを使用する。

防振ゴムの配置は、特に断面方向の配置が上部スラブの耐力に影響を及ぼすので、あらかじめスラブの設計する際に考慮しておく。また、走行方向の配置は、等間隔になるようにする。

（3） 試験体設置方法

路盤上に下部スラブ（プレキャスト舗装版）を敷設し、防振ゴムを所定の位置に設置し、防振ゴムの上に上部スラブ（プレキャスト舗装版）を設置する。さらに、防振ゴムが 10mm 程度変形する重りを上部スラブ上に設置する。下部スラブ敷設の際に路盤とスラブの間に極力隙間が生じないように砂等を敷く。また、スラブと防振ゴムに若干の隙間が生じた場合は 1mm 厚程度のゴムパッキングで調整する。



付図-2.7 試験体設置方法

（4） 振動ピックアップの設置方法

スラブに設置する場合は直置きとする。路盤上は、設置する位置の表面を強く踏み固めて設置する。

（5） 測定方法

①暗振動の測定

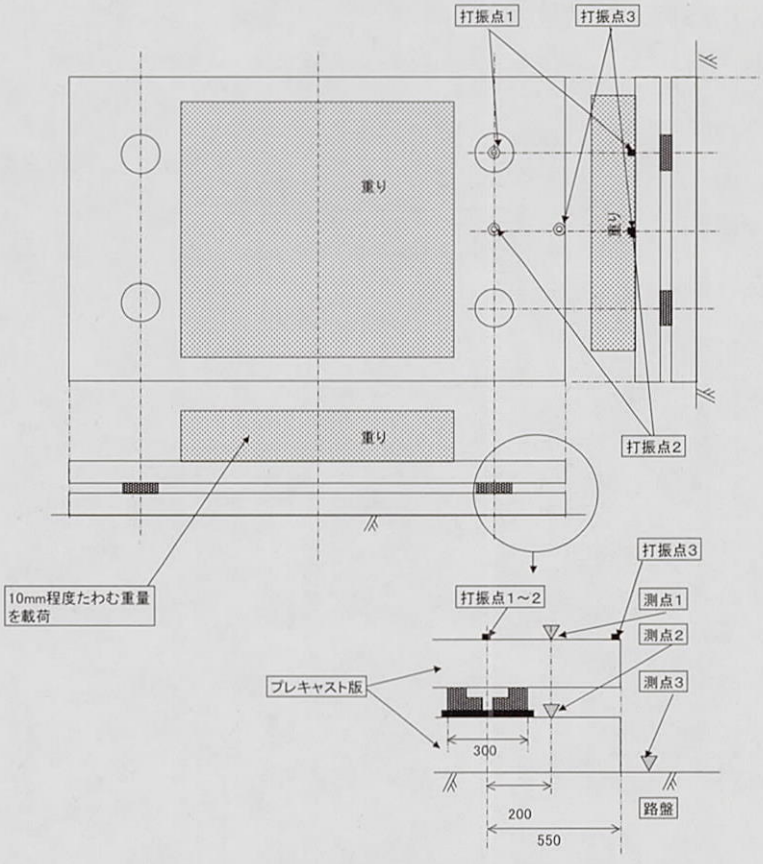
対象振動源以外の振動源（暗振動）がある場合、両者の振動レベルの大きさに注意して測定することが必要となる。暗振動の大きさは、対象振動の大きさよりも 10dB 以上小さい環境での測定が望まれるが、この環境を満足できない場合には、暗振動による指示値の補正を行ない（付表-2.3）暗振動の影響を取り除いた評価が必要である。また、暗振動とのレベル差が 3 dB 未満の測定値には意味がない。したがって、振動測定に入る前に暗振動を測定する。

付表-2.3 暗振動による補正値

対象振動源測定値と暗振動測定値の差（dB）	3	4	5	6	7	8	9
補正値(dB)	－3	－2		－1			

②測定位置

打振点は上部スラブ上面で、防振ゴムの直上となる点、縦断方向の防振ゴム設置間隔の中央となる点、幅方向端部の中央となる点の３点とする。また、振動ピックアップを設置する点は、打振点近傍、防振ゴム近傍の下部スラブ上面、路盤面の３点とする。



付図-2.8 打振点および測定点

③測定回数

同一打振点で10回の測定を行う。測定値のばらつきが大きい場合は、再度測定を繰り返す。

5. 現地調査

現地の振動特性を把握するために、室内試験で用いるバンクマシーンを用いて振動測定を行なう。得られた結果から、室内試験における振動低減効果を推定する。

6. 報告事項

1）測定日時、場所、測定者

2）測定対象振動源、測定点

振動源と測定点との位置関係が明確になるような図を併用する。

3）使用測定器及びその型番、複数の測定器を使用する場合にはその接続方法

4）振動測定の物理量（振動レベル、振動加速度レベルなど）

5）振動ピックアップ設置面の状況と設置方法

6）対象振動源以外からの振動がある場合には、その振動源の種類と振動の大きさ

7）振動計の測定レンジ、変更する場合にはその詳細がわかるようにその都度記述しておく。

8）各打振点で測定されたオールパスの平均値

9）現地調査結果

付録３　適用基準

目　次

Ⅰ　振動軽減型舗装Ａ　・・・・・・（1）
　1．振動軽減レベル　・・・・・・（1）
　2．道路条件　・・・・・・（1）
　3．施工条件　・・・・・・（2）
　4．特記事項　・・・・・・（3）

Ⅱ　振動軽減型舗装Ｂ　・・・・・・（4）
　1．振動軽減レベル　・・・・・・（4）
　2．道路条件　・・・・・・（4）
　3．施工条件　・・・・・・（4）
　4．特記事項　・・・・・・（5）

Ⅲ　振動軽減型舗装Ｃ　・・・・・・（6）
　1．振動軽減レベル　・・・・・・（6）
　2．道路条件　・・・・・・（6）
　3．施工条件　・・・・・・（6）
　4．特記事項　・・・・・・（7）

Ⅰ．振動軽減型舗装Ａ

１．振動軽減レベル

（１）表層にSMA(13)を用いた場合

密粒舗装より施工直後で1.2dB、載荷試験直後で3.2dB軽減（荷重車12ｔで舗装中心線より2.0m離れた位置、試験施工による）

（２）表層に開粒(13)を用いた場合

密粒舗装より施工直後で4.8dB、載荷試験直後で0.3dB軽減（荷重車12tで舗装中心線より2.0m離れた位置、試験施工による）

【注】①使用材料の密粒度アスファルト混合物に対する推定振動軽減量は下記のとおり（室内試験による）。

表層　　～SMA(13)（高粘度改質As）1.5dB

～開粒(13)（空隙率20%、高粘度改質As）2.4dB

基層１層目～SMA(5)（高粘度改質As）2.2dB

基層２層目～開粒(20)（空隙率20%、高粘度改質As）2.9dB

②シートの敷設による振動軽減効果は＋0.6dB（室内試験による）

２．道路条件

（１）舗装計画交通量

a) 修繕（切削オーバーレイ）の場合

T＜100、100≦T＜250、250≦T＜1000、1000≦T＜3000、3000≦T

b) 新設の場合

100≦T＜250、250≦T＜1000、1000≦T＜3000、3000≦T

【注】新設ではT＜100は下記b)の1)および2)の③の条件より適用外（舗装設計施工指針・付表5-1.1～5.1.3による）

（２）施工上の条件

a) 修繕（切削オーバーレイ）の場合

1)表層にSMA(13)を用いる場合

①表基層厚≧12.5cm

2)表層に開粒(13)を用いる場合

①表基層厚≧13.5cm

b) 新設の場合

1)表層にSMA(13)を用いる場合

①表基層厚≧12.5cm

②路盤厚≧10cm

③T_A≧16cm

2)表層に開粒(13)を用いる場合

①表基層厚≧13.5cm

②路盤厚≧10cm

③T_A≧17cm

【注】①シートを表基層間に敷設するため上記厚さが必要（表層が SMA(13)の場合は表層 4cm＋シート＋基層 1 層目 2.5cm＋基層 2 層目≧6cm、表層が開粒(13)の場合は表層 5cm＋シート＋基層 1 層目 2.5cm＋基層 2 層目≧6cm。）

②舗装設計施工指針（付表-4.1.5）より粒状路盤の厚さは 10cm 以上が必要

③路盤厚として粒度調整砕石を最小 10cm とすると、上記①の表基層厚の条件と併せると上記 T_A が最低必要（表層が SMA(13)の場合で $T_A=12.5\times1.0+10\times0.35$、表層が開粒(13)の場合で $T_A=13.5\times1.0+10\times0.35$）

（３）舗装現況（路盤・路床の状態）

a) 修繕（切削オーバーレイ）の場合

①既設路床 CBR≧3

・・・・・CBR 試験または FWD のたわみ測定（$1/D_{150}$ より推定）等より把握

②既設路盤の支持力が健全であること

・・・・・ひびわれ率や FWD のたわみ測定（たわみ量 D_0 など）等より把握

b) 新設の場合

①既設路床 CBR≧3

３．施工条件

（１）概算費用（路面切削費除く）

a)表層に SMA(13)を用いる場合

表基層部分の直接工費：8,160 円／m^2

（内訳）SMA(13)（高粘度 As）4cm：1,950 円/m^2、シート：2,400 円/m^2

SMA(5)（高粘度 As）2.5cm：1,400 円/m^2

開粒(20)空隙 20%（高粘度 As）7.5cm：2,410 円/m^2

b)表層に開粒(13)を用いる場合

表基層部分の直接工費：7,830 円／m^2

（内訳）開粒(13)（高粘度 As）5cm：1,850 円/m^2、シート：2,400 円/m^2

SMA(5)（高粘度 As）2.5cm：1,400 円/m^2

開粒(20)空隙 20%（高粘度 As）6.5cm：2,180 円/m^2

（２）施工期間（日最大施工量）

a) 修繕（切削オーバーレイ）の場合

1)施工手順

〈粒状路盤上に舗設していく場合〉

①表層に SMA(13)を用いる場合

路面切削→路盤整正→プライムコート→開粒(20)→SMA(5)→シート→（タックコート）[注]→SMA(13)

【注】SMA(5)の舗設後一旦交通開放をする場合

②表層に開粒(13)を用いる場合

路面切削→路盤整正→プライムコート→開粒(20)→SMA(5)→シート→タックコート→開粒(13)

〈As 基盤面上に舗設していく場合〉

①表層に SMA(13)を用いる場合

路面切削→タックコート→開粒(20)→SMA(5)→シート→（タックコート）[注]→SMA(13)

【注】SMA(5)の舗設後一旦交通開放をする場合

②表層に開粒(13)を用いる場合

路面切削→タックコート→開粒(20)→SMA(5)→シート→タックコート→

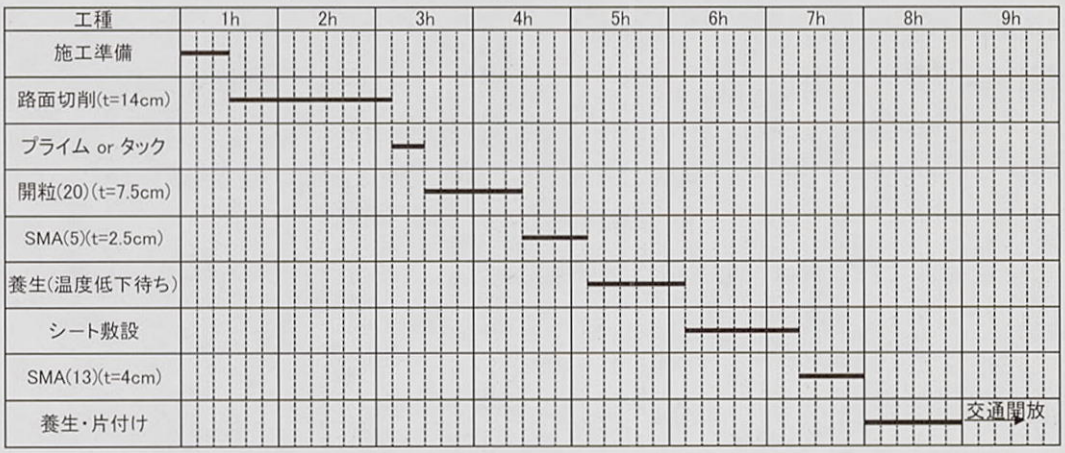
開粒(13)

2)施工期間（日最大施工量）

200m²／日（表基層の舗装構成が土研試験施工と同一断面の場合）

【注】路面切削含む、付表-3.1 のとおり一日で路面切削から表層までを完了

付表-3.1 一日の施工タイムテーブルの例



【注】シートの敷設はSMA(5)の表面温度が60℃以下になってから開始

3)交通開放条件等

通常通り（舗装表面温度 50℃以下で即日交通開放可）

b) 新設の場合（路盤以降）

1)施工手順

①表層に SMA(13)を用いる場合

プライムコート or タックコート→開粒(20)→SMA(5)→シート→SMA(13)

②表層に開粒(13)を用いる場合

プライムコート or タックコート→開粒(20)→SMA(5)→シート→タックコート→開粒(13)

2)施工期間（日最大施工量）

路盤以下の舗装構成で変化（明示せず）。

3)交通開放条件等

通常通り（舗装表面温度 50℃以下で即日交通開放可）

4．特記事項

(1)本適用基準はシートとして土研試験施工で実績のあるガラスグリッドを使用した場合。

(2)別途シートを用いる場合には、以下の施工条件における項目については別途設定。

○概算費用

○施工期間（日最大施工量）

Ⅱ．振動軽減型舗装Ｂ

1．振動軽減レベル

本振動低減型舗装以下の舗装構成が同一の場合、一般舗装室内試験および試験施工結果による振動軽減レベルは付表－3.2 のとおりである。

付表－3.2 振動軽減レベル

舗装の種類	振動軽減レベル(dB)
一般舗装(密粒度アスコンによる舗装)	0
振動軽減型舗装	1～3

2．道路条件

1)舗装計画交通量

本振動軽減型舗装は、重量排水性舗装と多孔質弾性舗装を組み合わせたものである。重量排水性舗装は、一般の排水性舗装と同等の性能を有し、多孔質弾性舗装は機能層として舗装構造上は除外する。

従って、全ての舗装計画交通量に適用可能である。

2)施工上の条件

施工上の条件は以下のとおりである。

a)幅員

・特になし

b)舗装厚

・標準的な厚さ(6cm)が確保できること

・本振動低減型舗装の下層が不透水層であること

3)舗装現況

舗装計画交通量に応じて、健全であること

3．施工条件

1)概算費用

本振動低減型舗装の概算費用(直接工事費)は付表－3.3 に示すとおりである。

付表－3.3 概算費用(直接工事費：600m² 当り)

舗装の種類	概算費用(直接工事費：㎡/円)
重量排水性舗装	3,370
多孔質弾性舗装	14,500

2)施工期間

a)重量排水性舗装

施工手順、施工期間(日最大施工量)、交通開放条件等は通常の排水性舗装と同様である。

b)多孔質弾性舗装

・施工手順

施工手順は付図－3.1 に示すとおりである。

・施工期間（日最大施工量）

交通規制時間が 12 時間程度の場合で、日最大施工量は以下のとおりである。

日最大施工量：500～1,000 ㎡

・交通開放条件

多孔質弾性舗装の硬度により管理し、その条件は以下のとおりである。

交通解放時の CS 硬度：60 以上

養生（乾燥・冷却）	・重量排水性混合物舗設後、十分な冷却時間を確保する。 ・十分に乾燥させる。
↓	
プライマー塗布	・重量排水性混合物面にローラバケを用いて特殊プライマーを塗布する。 ・塗布量は、0.4kg/㎡を標準とする。
↓	
材料投入	・材料を専用機械に投入する。 ・施工中に各材料を逐次投入する。
↓	
タックコート塗布	・プライマー面にローラバケを用いて特殊タックコートを塗布する。 ・塗布量は、0.2kg/m² を標準とする。
↓	
舗設	・専用機械を用いて舗設する。 ・施工速度は 1m/min を標準とする。
↓	
一次養生（硬化反応）	・所定の硬度に達するまで養生する。
↓	
表面処理	・専用表面処理材およびチッピング骨材をエアガンで所定量均一に塗布する。 ・専用表面処理材の塗布量は 0.3kg/m² を、チッピング骨材の散布量は 0.5kg/m² を標準とする。
↓	
最終養生	・所定の硬度に達するまで養生する。

付図－3.1 施工手順

4. 特記事項

・施工時期

多孔質弾性舗装は、樹脂の硬化により強度が発現するために、気温により硬化時間が異なる。従って、即日交通開放が必要な箇所では、適切な時期に施工する必要がある。その場合の施工時期の目安は、「日最低気温が 10℃以上」である。

Ⅲ．振動軽減型舗装Ｃ

１．振動軽減レベル

振動軽減型舗装の振動レベルは、密粒度アスファルト舗装のそれよりも舗装端で施工直後で約7dB、15万輪（49kN換算輪数）通過後で約5dB軽減できる。

２．道路条件

（１）舗装計画交通量

振動軽減型舗装の適用に際して、舗装計画交通量による制限は無い。

（２）施工上の条件

・下部スラブおよびサイドウォールに現場打ちコンクリートを使用する場合、養生のために７日間の交通規制が可能なこと。

・RC プレキャスト版（上部スラブ）を設置する際に 50ｔのトラッククレーン車を使用するために、それがアウロリガーを張り出した状態でセットできるだけの作業幅員（4m以上）が必要である。

（３）舗装現況

・舗装の下部は路床であること。

・振動軽減型舗装を行う場合に不都合な地下埋設物がないこと。

・舗装下部、あるいはその周辺の地盤の設計ＣＢＲが１以上であること。

３．施工条件

（１）概算費用

路盤よりも上部の舗装の直接工事費は約78,000円／㎡（下部スラブおよびサイドウォールに２次製品を使用）である。

（２）施工期間

・施工手順は付図－3.2の通りである。

・施工期間の最小は３日間である。

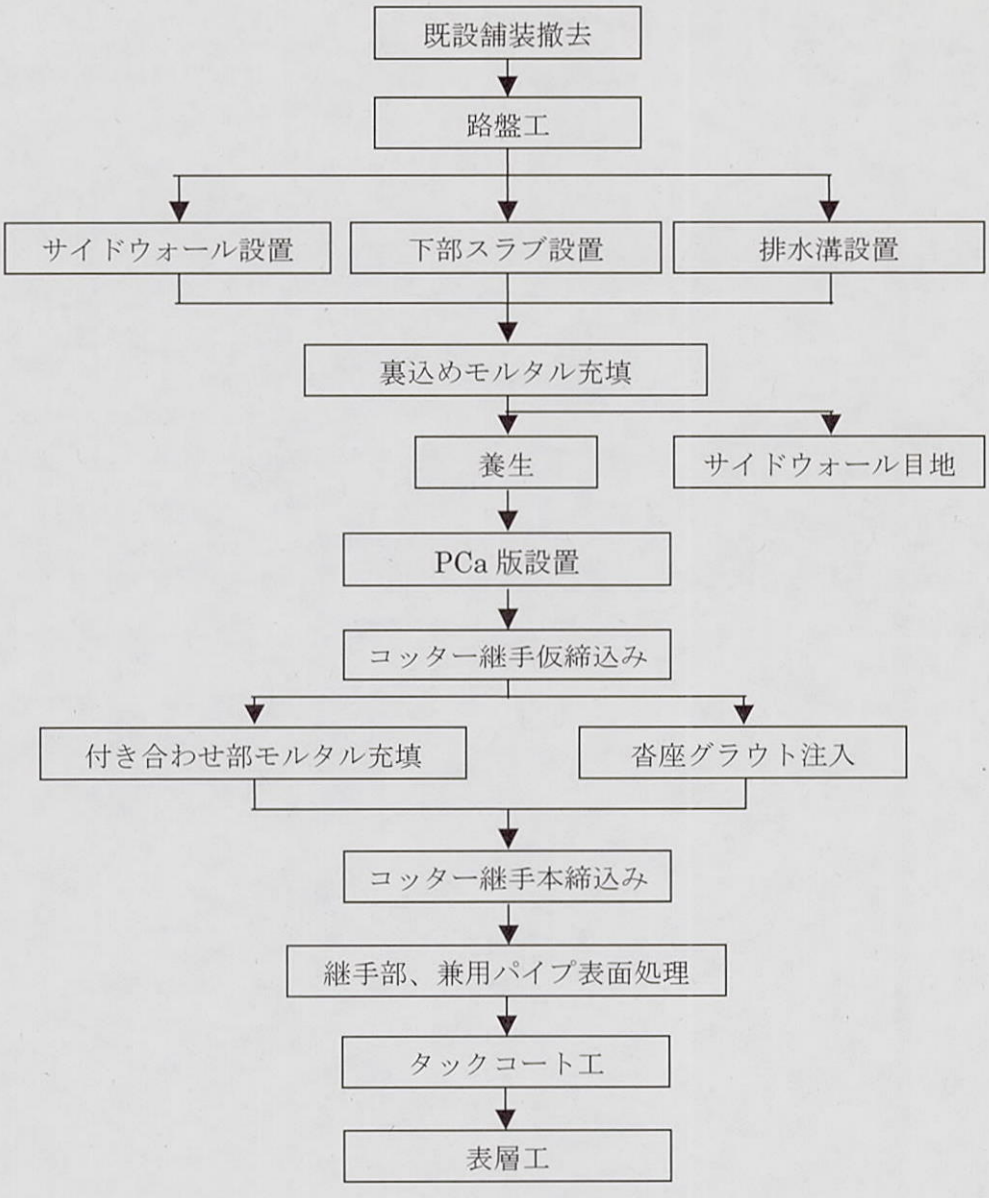
・１日最大施工量は１車線10m分である。

・交通解放条件は下記の何れかである。

　・表層工完了後

　・継手部、兼用パイプ表面処理後

　・覆工版などを用いて、車が通行できるように処置した後



付図－3.2　施工手順

4．特記事項

・上部スラブと下部スラブの空間に侵入した雨水の流末処理を考慮する。

・路盤面の支持力係数K_{75}が 70MN／m^3以上になるように設計する。

・表層工は砕石マスチックアスファルト舗装とする。

・表層とサイドウオールの間に注入する目地材は、表層とサイドウオールの相対的な変位が 20mm 程度生じても耐えるものとする。

・サイドウオールは原則的に設けるものとする。

付録4　参考文献

◇参考文献

交通振動に関する既存資料の整理に用いた参考文献の分類と件数は**付表-4.1**に示すとおりである。

参考文献一覧は、**付表-4.2**に示すとおりである。

付表-4.1 収集文献の分類と件数

分　類	項　　目		件　数
振動源	a	舗装路面に関する文献	１８
	b	タイヤ等振動発生源に関する文献	8
伝搬系	c	地質地盤、道路構造に関する文献	１９
	d	内部源衰、距離源衰に関する文献	１３
	e	家屋内源衰、共振に関する文献	9
試験方法	f	計測方法に関する文献	１３
予測・評価	g	予測に関する文献	１６
	h	評価に関する文献	２３
対　策	i	対策等に関する文献	１２
合　計			１３１

付表-4.2(1) 収集文献リスト

文献No.	分類	著者	文献名	雑誌名(書名)	巻号	発行年月日
1	h	曽根敏夫	騒音・振動の評価手法	日本音響学会誌	Vol.37, No.10	1981.10
2	c	二井義則	衝撃振動の伝搬特性と溝によるしゃ断の測定	日本音響学会誌	40巻, 9号	1984.9
3	h	太田光雄、宮田繁春	騒音・振動不規則波形の激しさとレベル分布の関連に関する統計学的評価法	日本音響学会誌	40巻, 9号	1984.9
4	g	塩田正純、松井昌幸	公害振動の予測に関する研究	日本音響学会誌	41巻, 7号	1985.7
5	d	境友昭	地盤振動の伝搬(2)	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1987.9
6	d	山口一生	衝撃時地盤振動の伝搬特性	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1987.9
7	d	森本司、高津熱	溝等の振動伝搬の検討	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1987.9
8	h	中野有朋	道路交通振動の測定、評価方法と問題点の対策	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1987.9
9	c	樋口茂生、岡部隆男、石井皓	道路交通振動の振動レベルおよび周波数特性と地質構造との関係	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1987.9
10	d	山口一生	地盤振動の伝搬特性(溝の影響)	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1990.10
11	h	時田保夫	人間に係わる振動の評価の変遷	日本音響学会誌	46巻, 2号	1990.2
12	f	三輪俊輔	振動感覚特性とその計測	日本音響学会誌	46巻, 2号	1990.2
13	h	山崎和秀	乗り心地の評価	日本音響学会誌	46巻, 2号	1990.2
14	h	櫛田裕、後藤剛史	建物に関する環境振動評価	日本音響学会誌	46巻, 2号	1990.2
15	f	子安勝	騒音・振動計測方法の最近の動き	日本音響学会誌	46巻, 5号	1990.5
16	g	澤武正昭、村田裕計、仲尾浩、平松和祐、奥野裕之、中井督介、吉牟田浩、早川清	地盤振動制御におけるEPS活用に関する研究(1)	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1990.9
17	i	澤武正昭、村田裕計、仲尾浩、平松和祐、奥野裕之、中井督介、吉牟田浩、早川清	地盤振動制御におけるEPS活用に関する研究(2)	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1990.9
18	i	小原弘之、塩田正純、内田季延	防振溝に関する文献調査による検討について	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1990.9
19	g	村上和朗、工藤裕一、水野恵一郎、浜田晴夫	時間領域の騒音震動源寄与推定法	日本音響学会講演論文集		1991.10
20	d	山口一生	地盤振動の伝搬特性(溝の効果)	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1991.9
21	e	平尾善裕、岡本伸久、横田明則	木造家屋の振動増幅特性	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1991.9
22	i	背戸一登	振動のアクティブ制御	日本音響学会誌	47巻, 9号	1991.9
23	i	浜田晴夫、今井章久	音と振動に関するアクティブ制御技術の最近の動向	日本音響学会誌	47巻, 9号	1991.9
24	i	橋秀樹	音響・振動のアクティブ制御に関するシンポジウム	日本音響学会誌	47巻, 9号	1991.9
25	h	木下明生	自動車における最近の騒音振動低減技術	日本音響学会講演論文集		1992.3
26	c	山田耕三、真船洋、田隈栄蔵、長谷川佳男、石井皓	埋立地を通る幹線道路沿道の自動車交通振動実態	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1993.9
27	h	池館和江	道路交通振動の環境影響評価に於ける評価上の問題	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1993.9
28	d	塩田正純	地盤内の振動伝搬特性	日本音響学会誌	50巻, 4号	1994.4
29	c	早川清	鉄軌道による地盤振動の得意な伝搬特性について	日本音響学会講演論文集		1995.3
30	g	青木一郎	道路交通振動の実状と課題	日本音響学会講演論文集		1995.3
31	e	横田明則	建物の振動増幅特性	日本音響学会講演論文集		1995.3
32	h	時田保夫	歴史的に見た振動規制、評価と振動予測の歩み	日本音響学会講演論文集		1995.3
33	d	藤島崇、中野重治、山田正明、北河原徹	数式的に見た建設機械振動の発生、伝搬	日本音響学会講演論文集		1995.3
34	f	米川善晴	全身振動の国際的動向と振動レベル測定方法	日本音響学会講演論文集		1995.3
35	g	横山功一	道路交通振動の現状と予測手法	日本音響学会講演論文集		1995.3
36	f	時田保夫	振動レベル計のJIS改訂について	日本音響学会誌	51巻, 7号	1995.7
37	d	今立高廉、乾頼夫、厚井弘志、箕輪晃男、杉谷和弘、早川清	道路交通振動の距離減衰パターンに関する一考察	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1996.9
38	a	平尾善裕、横田明則	道路交通振動における舗装面条件と発生振動に関する研究	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1996.9
39	h	花井利道	自動車振動の乗り心地	騒音制御	Vol.21, No.1	1997
40	h	前田節雄	ISO2631に基づいた乗り物振動評価の動向	日本音響学会誌	53巻, 1号	1997.1
41	h	北崎智之	自動車の振動評価	日本音響学会誌	53巻, 1号	1997.1
42	e	峯村敦夫、安藤啓	建物の床振動応答	騒音・振動研究会資料	N-97-08	1997.2
43	e	北島弘基、成瀬治興、佐野泰之	RC建築構造物の2室における環境振動の伝搬特性	騒音・振動研究会資料	N-97-20	1997.5
44	h	高津熱	道路交通振動の評価について	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1997.9
45	e	門田政宏、福島昭則、一木智之	道路交通振動の伝搬における建築物の影響	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1997.9
46	g	塩田正純	騒音・振動の予測手法の現状と課題	騒音制御	Vol.22, No.2	1998
47	h	山田伸志	騒音・振動・低周波音の複合影響	騒音制御	Vol.22, No.5	1998
48	f	戸井武司、大久保信行	解析ルーツを用いた振動・音解析	騒音制御	Vol.22, No.5	1998
49	e	北村泰寿、相馬透	道路交通振動を受ける建物の振動増幅に関する一計算法と検討	日本音響学会講演論文集		1998.10
50	c	北村泰寿、住友聰一、三宅博久	走行車輌による正層地盤の振動解析	日本音響学会講演論文集		1998.3
51	c	樋口茂生、石橋雅之、中田利明、松島貢	道路交通振動の3成分測定と地質条件の影響(1)	日本音響学会講演論文集		1998.3
52	c	松島貢、中田利明、樋口茂生、石橋雅之	道路交通振動の3成分測定と地質条件の影響(2)	日本音響学会講演論文集		1998.3
53	d	徳永法夫、塚本耕治、森尾敏、家村浩和、早川清	道路交通振動の表面波に着目した研究	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1998.9
54	c	池館和江	道路交通振動の振動アセスメントに於ける諸問題	日本騒音制御工学会技術発表講演論文集		1998.9
55	e	住友聰一、辻本三郎丸、北村泰寿	地盤振動の伝搬に及ぼす近接構造物の影響	日本音響学会講演論文集		1998.9
56	h	樋口茂生、石橋雅之、中田利明、松島貢	道路交通振動Lmax値分布の特徴と交通流との関係	日本音響学会講演論文集		1998.9
57	f	米川善晴	ISO8041の改訂について	日本音響学会誌	55巻, 6号	1999.6
58	h	横田明則	各種振動評価曲線と評価量の関係	日本音響学会誌	55巻, 6号	1999.6
59	c	早川清	地盤振動の伝搬過程における防止対策の背景と動向	日本音響学会誌	55巻, 6号	1999.6
60	a	平尾善裕、横田明則	道路交通振動における舗装路面条件と発生振動に関する研究	騒音・振動研究会資料	N-99-42	1999.6
61	g	間渕利明、佐藤弘史	自動車の走行による振動の予測について	騒音・振動研究会資料	N-99-43	1999.6
62	h	佐藤弘史	自動車の走行に係わる振動のアセスメント手法	騒音制御	Vol.24, No.4	2000
63	h	荒井猛、新田恭士	道路事業における工事中の騒音・環境アセスメント	騒音制御	Vol.24, No.4	2000
64	h	三宅龍雄	省令技術指針に基づく騒音振動アセスメントの実施にあたって	騒音制御	Vol.24, No.4	2000
65	f	塩田正純	環境振動研究動向と実状	騒音制御	Vol.24, No.6	2000
66	f	藤田八輝	環境振動の現状と課題	騒音制御	Vol.24, No.6	2000
67	b	国松直	各種振動源	騒音制御	Vol.24, No.6	,2000
68	i	早川清	環境振動の伝搬経路対策	騒音制御	Vol.24, No.6	2000
69	h	前田節雄、米川善晴	人体振動の測定・評価の国際動向と日本の対応について	建築音響研究会資料 騒音・振動研究会資料	AA-2000-57 N-2000-54	2,000.12
70	b	樋口茂生、石橋雅之、松島貢、中田利明、西田寛子	道路交通振動への信号及び大型車の影響	日本音響学会講演論文集		2000.3
71	b	平尾喜裕、横田明則	道路交通振動における振動発生個所の特定	日本音響学会講演論文集		2000.9
72	h	樋口茂生、石橋雅之、松島貢、西田寛子	大型車に起因する振動レベルの実態	日本音響学会講演論文集		2000.9
73	g	牛垣勝、北村泰寿	道路交通振動予測式の補正値に対する一考察	日本音響学会講演論文集		2000.9
74	f	五十嵐寿一、時田保夫	第一部 分野別の流れ 騒音・振動分野	日本音響学会誌	57巻, 1号	2001.1
75	b	岩瀬昭雄	タイヤの移動振動による道路舗装面の音強的評価法	日本音響学会誌	43巻11号	1987.0
76	b	富田尚隆	低騒音舗装とタイヤ発生騒音	騒音制御	Vol.23 No.3	1999.0
77	g		道路環境整備マニュアル	(社)日本道路協会		1989.1

付表-4.2(2) 収集文献リスト

文献No.	分類	著者	文献名	雑誌名(書名)	巻号	発行年月日
78	g		道路環境影響評価の技術手法	(財)道路環境研究所		2000.11
79	c	戸松征夫	走行車両により発生する振動の特徴と対策の動向－Ⅲ.地盤振動－	第2回 振動抑制コロキウム	PaartA	1993.8
80	d	北村泰寿	招待講演：道路交通振動の伝搬とその遮断	日本音響学会 平成5年度春期研究発表会		1993.3
81	g	福和伸夫、西阪理永、浅野三朗、他	自動車走行外乱による地盤の波動性状に関する研究－実測記録の分析と薄層法によるシュミュレーション解析－	構造工学論文集	Vol.39B	1993.3
82	c	西坂理永、福和伸夫、多賀直恒	軟弱地盤における交通振動の波動伝搬性状に関する研究			
83	g	横山功一、澤田憲文、金子学	FEM解析による交通振動予測	土木研究所研究発表会論文集	VOL.29th	1990
84	c	青木一郎、小林正雄、上原幸雄、白井清嗣	道路交通振動の発生と地盤との関係について(第二報)	東京都環境科学研究所年報	VOL.1991	1990
85	c	青木一郎、上原幸雄	道路交通振動の発生と地盤との関係について(第一報)		VOL.1990	1989
86	c	樋口茂生、岡部隆男、山本充弘、安井信一郎、阿由葉信雄、加来文隆、山口幸一、石井皓	道路交通振動の振動レベル(L_{10})および周波数特性と地質構造との関係(2)	千葉県公害研究所研究報告	VOL.19No.2	1987
87	c	樋口茂生、岡部隆男、山本充弘、安井信一郎、阿由葉信雄、加来文隆、山口幸一、石井皓	道路交通振動の振動レベル(L_{10})および周波数特性と地質構造との関係(1)	千葉県公害研究所研究報告	VOL.19No.1	1987
88	c	吉崎博、赤木和夫、樋野親俊	軟弱地盤における交通振動について	中国地方建設局管内技術研究会論文集	VOL.37th	1986
89	a	木村賢一	自動車振動と舗装路面評価の関係	大阪市土木局業務論文報告集	VOL.5	1986
90	e	佐野泰之、成瀬治興、林健太郎	RC床スラブの震動性状に関する実験構造物加振実験と加振点の検討	日本建築学会計画系論文集	VOL.521No.41-46	1999.7
91	c	赤木和夫、樋野親俊	道路交通振動調査 主として軟弱地盤における性状について	技術管理業務の成果概要	VOL.1984	1985
92	a	赤木和夫、樋野親俊	道路交通振動調査 コンクリート舗装の目地が振動に及ぼす影響について	技術管理業務の成果概要	VOL.1984	1985
93	c	赤木正晃、堤一	軟弱地盤上の交通振動障害の対策	宮崎大学工学部研究報告	No.31	1985
94	a	吉崎博、赤木和夫、樋野親俊、他	舗装構成の違いと交通振動について	中国地方建設局管内技術研究会論文集	VOL.35th	1984
95	a	達下文一、小池尉夫、鈴木清美、他	道路交通振動の舗装構造による低減対策(その2)	東京都土木技術研究所年報	VOL.1980	1981
96	a	東京都土木技術研究所技術部	交通振動を低減化する舗装構造の試み－アスファルト舗装による現場実験から－	道路	1980-12	1980.12
97	i	常田賢一、後藤勝志	道路交通振動の軽減対策に関する現地実験	土木技術資料	VOL.22No.10	1980
98	a	達下文一、小池尉夫、鈴木清美、他	道路交通振動の舗装構造による低減対策(その2)	東京都土木技術研究所年報	VOL.1979	1980
99	a	達下文一	アスファルト舗装の構造による自動車交通振動低減のための実験	土と基礎	VOL.27No.8	1979.8
100	d	沢田建吉、谷口栄一	道路交通振動の距離減衰(第1報)	土木技術資料	VOL.20No.3	1978
101	d	谷口栄一、小笠原久	道路交通振動の伝搬特性	土木技術資料	VOL.20No.12	1978
102	a	有山勇次郎	都市内舗装の2、3の試み	道路	Vol.420	1976
103	b	藤川達夫、小池博	タイヤ/路面騒音の発生に関する検討－路面粗さに起因するタイヤの振動の推定－	自動車研究	Vol.21No.7	1999.7
104	b	小池博、藤川達夫	タイヤ/路面騒音の発生に関する検討－トレッド溝内の気柱共鳴－	自動車研究	Vol.21No.7	1999.7
105	a	三上智夫、大西博文	排水性舗装による自動車走行騒音の低減に関する検討	自動車研究	Vol.21No.7	1999.7
106	a	山口道征	排水性舗装の吸音メカニズムについて	自動車研究	Vol.21No.7	1999.7
107	b	押野康夫	路面性状の違いによるタイヤ/路面騒音の変化	自動車研究	Vol.21No.7	1999.7
108	d	森尾敏、吉川実	交通振動の伝搬特性	土と基礎	12936	1987
109	g	早川清	交通振動の予測	環境技術	Vol.25No.9	1996
110	g	佐藤弘史、井上純三、二川英夫、間渕利明	道路交通振動の予測式に関する検討	土木技術資料	15189	1999
111	f	徳永法夫、西村昴、日野泰雄	阪神高速道路の交通振動の現状と問題に関する考察	交通科学	Vol.26No.2	1997
112	a	安崎裕	排水性舗装の車道への適用	アスファルト	Vol.33No.165	1990
113	a	達下文一	低騒音舗装	アスファルト	Vol.33No.165	1990
114	a	福田実	アスファルトコンクリート舗装の合理化	アスファルト	Vol.34No.169	1991
115	a	笠原篤、丸山輝彦、姫野賢治	舗装機能の新しい評価方法	アスファルト	Vol.34No.169	1991
116	a	和田三男	排水性舗装	アスファルト	Vol.34No.169	1991
117	c	徳永法夫、西村昴、日野泰雄、大竹由起夫	連続高架道路と平面道路の道路交通振動特性に関する一考察	交通科学	Vol.27No.1,2合併号	1998
118	i	中村一平、有馬伸広	道路交通振動の対策技術	環境技術	Vol.29No.11	2000
119	g	太田光雄、中村一正、桑原伸也	道路交通振動の確率評価に関する実用的ハイブリッド予測法	日本音響学会	41巻1号	1985
120	h	徳永法夫、前川順道、西村昴、日野泰雄	道路交通振動の実態に即した評価のあり方に関する考察	土木学会論文集	No.615/Ⅶ-10	1999
121	h	沖山文敏	騒音振動に関する環境アセスメントの現状と問題点	資源環境対策	Vol.33No.4	1997
122	f	小林寛、田村敬一	振動台を用いた実時間ハイブリッド振動実験に関する検討	土木技術資料	15189	1999
123	a	池原圭一、小林保	多孔質弾性舗装の走行安全性	土木技術資料	15189	1999
124	i	早川清、竹下貞雄、松井保	EPSブロックによる道路交通振動の軽減効果とその評価	土質工学会論文報告書	Vol.31No.2	1991
125	e	徳永法夫、西村昴、日野泰雄、藤原敏彰	高架道路沿道家屋の振動特性の推定と共振現象に関する研究	交通工学研究発表会論文報告集	第18回	1998.11
126	i	徳永法夫、西村昴、日野泰雄	都市高速道路における振動対策工法検討のための要因分析	交通工学研究発表会論文報告集	第18回	1998.11
127	i	徳永法夫、西村昴、米田昌弘、薄井王尚	高架道路橋の路面段差の管理と交通振動の低減に関する研究	交通工学研究発表会論文報告集	第18回	1998.11
128	g	北村豊	交通振動に関する試験調査報告書	土木研究所資料	第2263号	1985.10
129	i	早川清、沢武正昭、村田裕計他	発砲スチロールを使用した地盤振動対策	環境技術		1990
130	f	篠崎亘、早川清、天野勲他	発砲スチロールを用いた軽量盛土道路の振動測定(その1)	土質工学研究発表会講演集	VOL.24th,No.2-1	1989
131	f	篠崎亘、早川清、天野勲他	発砲スチロールを用いた軽量盛土道路の振動測定(その2)	土質工学研究発表会講演集	VOL.24th	1989