アスファルト混合物の弾性係数の 範囲に関する一考察

堀内智司¹・久保和幸¹・寺田剛¹

¹正会員 (独) 土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)
E-mail : s-horiuchi@pwri.go.jp

本研究では、舗装設計便覧に掲載されている、アスファルト混合物の弾性係数の一般的な範囲について確認することを目的とした。文献調査によりレジリエントモデュラスの値を確認し、載荷時間が 0.1 秒の場合は便覧に掲載されている範囲内に収まっていることを確認した。配合別の比較では、密粒度、粗粒度、アスファルト安定処理では差がほとんど見られなかった。バインダー別の比較では、ポリマー改質アスファルト II 型はストレートアスファルトよりも温度上昇に伴うレジリエントモデュラスの低下が抑制されることを確認した。次に、骨材とバインダーメーカーの違いがレジリエントモデュラスに与える影響の有無について確認した。その結果、10℃程度の低い温度の場合、影響が見られることがわかった。

Key Words : resilient modulus of bituminous mixtures, modified asphalt, binder, aggregate

1. はじめに

理論的設計方法でアスファルト舗装の構造設計を行う際に、各層の弾性係数を求める必要があり、舗装設計便覧¹⁾には、舗装各層に使用する材料の弾性係数の幅の例が掲載されている。アスファルト混合物層の弾性係数については一般的な範囲が示されているものの、既存研究を確認した限り検証はなされていない。また、アスファルト舗装の表層や基層に使用するアスファルト混合物の配合やアスファルトバインダーの種類により、範囲が特定できる可能性があり、範囲を特定することは舗装構成を決定する際に有用だと考えられる。

そこで、本研究では、文献調査により舗装設計便覧に掲載されているアスファルト混合物層の弾性係数の一般的な範囲を確認した。また、弾性係数が異なる原因の一つとして、使用する骨材やアスファルトバインダーのメーカーの違いが考えられるため、弾性係数に与える影響を確認した。

2. 文献調査による弾性係数の範囲の確認

舗装設計便覧に掲載されているアスファルト混合物層の弾性係数の一般的な範囲を確認するため、文献調査を行った。

(1) 確認方法

調査した文献タイトルと、各文献で使用した供試体の配合とバインダーについて表-1 に示す。アスファルト混合物層の弾性係数を求める試験方法は、舗装調査・試験法便覧²⁾に掲載され、現場との相関も確認されているレジリエントモデュラス試験とした。ここで、既存研究よりレジリエントモデュラス試験結果は載荷時間により異なることから、載荷時間はデータ数が多い 0.1 秒の試験結果のみを抽出した。

表-1 調査対象とした文献

番号	タイトル	密粒		粗粒	As 安定処理
		StAs	改質 II		
1	アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに関する一検討 ³⁾	1	1	1	1
2	貨物ヤードのアスファルト舗装における走行試験～その 1～ ⁴⁾		1	1	
3	アスファルト混合物のレジリエントモデュラス(その 2) ⁵⁾	1			
4	アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに関する検討 ⁶⁾	1	1	1	1
5	アスコンのレジリエントモデュラスに関する検討 ⁷⁾	1	1	1	1
6	弾性係数及びレジリエント係数(Mr)についての一検討例 ⁸⁾		1		
7	室内試験とFWD試験によるアスファルト混合物の弾性係数の比較 ⁹⁾			1	
8	アスファルト混合物のレジリエントモデュラス ¹⁰⁾	1			
9	舗装構造の論理的設計法のためのアスファルト混合物の弾性係数設定の考え方 ¹¹⁾	1			
10	間接引張試験における載荷板に開数する実験的基礎研究(その 2) -レジリエントモデュラス試験への適用- ¹²⁾	1		1	
11	排水性舗装の力学的評価 ¹³⁾	1		1	
12	アスファルト舗装の各構成層のレジリエントモデュラス ¹⁴⁾	1	1		
13	アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに関する一検討 ¹⁵⁾	1	1	1	1
14	高温域におけるレジリエントモデュラスと動的安定度に関する一検討 ¹⁶⁾	1	1		
15	間接引張り試験と三軸試験によるMrの比較 ¹⁷⁾	1			
16	新基準調査 ¹⁸⁾	1		1	1
	計	13	8	9	5

(2) 確認結果

試験温度別のレジリエントモデュラスの全試験結果を図-1に示す。試験結果は舗装設計便覧に示された範囲内に収まっており、載荷時間が0.1秒の場合は便覧の範囲は妥当であることが確認された。

次に、配合によりレジリエントモデュラスに差があるかを確認した。密粒度アスファルト、粗粒度アスファルト、アスファルト安定処理の3つの配合別に比較を行った結果を図-2に示す。配合別に引いた近似曲線で比較すると、レジリエントモデュラスはほぼ同程度であり、温度が高くなるに従い同様にレジリエントモデュラスが低下する傾向がみられた。

さらに、バインダーによりレジリエントモデュラスに差があるかを確認した。密粒度アスファルトにおいて、ストレートアスファルトとポリマー改質アスファルトⅡ型の2つのバインダー別に比較を行った結果を図-3に示す。バインダー別に引いた近似曲線で比較すると、試験温度の高い範囲において、ポリマー改質アスファルトⅡ型のレジリエントモデュラスは、ストレートアスファルトよりも高い傾向が見られ、高い温度でもレジリエントモデュラスが低下しにくいことが確認できた。

図-1 各試験温度に対するレジリエントモデュラス

図-2 配合別のレジリエントモデュラス

図-3 バインダー別のレジリエントモデュラス

3. 骨材やバインダーメーカーの違いによる影響の確認

弾性係数の値に差がある原因として、骨材やバインダー、メーカー、試験機、載荷荷重の違い等の影響が考えられる。そこで、骨材やバインダーメーカーの違いによる影響を確認するため、同一の試験機を使用して、骨材の種類やバインダーメーカーを変えてアスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験を行い、影響がみられるかを確認した。

(1) 試験方法

アスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験の試験条件を表-2に示す。レジリエントモデュラス試験の載荷荷重は、圧裂引張試験の平均値 (n=3) の10%の値とし、変位は外周部で計測した。

a) 骨材

使用骨材は、骨材採取量が上位の硬質砂岩と、骨材性状の異なる2つの3種類の粗骨材を使用し、さらに細骨材や石粉も各産地で入手可能な材料を使用した(表-3)。バインダーは、ストレートアスファルト60/80を使用し、同じ目標粒度の配合を組んだ。アスファルト混合物は、密粒度アスファルトとし、混合物の性状は表-4のとおりである。なお、圧裂試験の結果を表-5に示す。

b) バインダーメーカー

バインダーメーカーは、出荷量上位の3種類とした。中央粒度を目標粒度として骨材配合し、アスファルト混合物は、密粒度アスファルトとした。なお、圧裂試験の結果を表-6に示す。

表-2 レジリエントモデュラス試験条件

項目	試験条件
供試体寸法	直径102mm, 高さ63.5mm
荷重波形	ハーバーサイン波
載荷周波数	1Hz
載荷時間	0.1秒 載荷 0.9秒 休止
載荷荷重	圧裂引張強度の10%
試験温度	10℃, 40℃

表-3 使用した粗骨材

種類	岩石名	産地
堆積岩	硬質砂岩	埼玉 (秩父)
火成岩	安山岩	山形 (上山)
変成岩	角閃岩	福岡 (古賀)

表-4 アスファルト混合物の性状

項目	アスファルト量 (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
配合名						
硬質砂岩	5.4	2.403	4.3	74.5	12.3	36
安山岩	5.7	2.401	3.9	77.2	9.79	25
角閃岩	5.3	2.416	3.5	77.8	8.63	29
規格値	—	—	3~6	70~85	4.9以上	20~40

表-5 各骨材を使用した混合物の圧裂試験

混合物種類			最大荷重P (N)	
ストレートアスファルト	60/80	硬質砂岩	10℃	40℃
		安山岩	26,404	3,214
		角閃岩	30,571	3,430
			31,759	3,244

表-6 各バインダーを使用した混合物の圧裂試験

混合物種類			最大荷重P (N)			
			10℃	平均	40℃	平均
ストリートアスファルト (60/80)		硬質砂岩	26,404	26,404	3,214	3,214
ポリマー改質As (Ⅱ型)	A社	硬質砂岩	27,215	28,291	4,750	4,880
	B社		31,841		4,882	
	C社		25,819		5,007	
ポリマー改質As (Ⅲ型)	D社	硬質砂岩	27,546	26,419	4,663	4,917
	E社		28,626		4,921	
	F社		23,086		5,168	

(2) 試験結果

a) 骨材

骨材別のレジリエントモデュラスについて、試験温度が10℃の試験結果を表-7に、40℃の試験結果を表-8に示す。同一骨材の変動係数（例えば、試験温度が10℃で、骨材が硬質砂岩の場合、表-7の①、②、③の変動係数）と異なる骨材の変動係数（例えば、試験温度が10℃の場合、表-7のa, b, cの変動係数）を比較すると、試験温度10℃においては異なる骨材の変動係数の方が大きく、骨材の種類がレジリエントモデュラスに与える影響は大きいと考えられる。一方、試験温度40℃においては、同一骨材の変動係数と異なる骨材の変動係数に大きな違いがないことから骨材配合が変わることによるアスファルト混合物のレジリエントモデュラスへの影響は小さいと考えられる。

また、レジリエントモデュラスの結果を図-4に図示する。例えば、試験温度が10℃では角閃岩が一番大きく、安山岩、硬質砂岩の順になっており、アスファルト混合物の空隙率と順序が一致することから要因の一つと考えられる。

b) バインダーメーカー

試験温度が10℃の試験結果を表-9に、40℃の試験結果を表-10に示す。同一メーカーの変動係数と異なるメーカーの変動係数を比較すると試験温度10℃においてはポリマー改質アスファルトⅡ型、Ⅲ型ともにメーカー間の変動係数の方が大きかった。このことからメーカーの違いにより、アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに与える影響が大きいことが確認できた。一方、試験温度40℃においては同一メーカーの変動係数と異なるメーカーの変動係数に大きな違いがないことからメーカーのバインダー配合が変わることによるアスファルト混合物のレジリエントモデュラスへの影響は小さいと考えられる。

また、レジリエントモデュラスの結果を図-5に図示する。例えば、試験温度が40℃では、ポリマー改質アスファルトⅢ型がポリマー改質アスファルトⅡ型よりも大きく、ポリマー改質アスファルトの種類により差があることがわかる。

表-7 骨材別のレジリエントモデュラス (試験温度10℃)

混合物種類	レジリエントモデュラス(MPa)	平均値	変動係数	平均値	変動係数
ストリートアスファルト (60/80)	硬質砂岩 ① 5,333 ② 4,723 ③ 4,875	a 4,977	0.06		
	安山岩	b 6,448	0.16	6,294	0.20
	角閃岩	c 7,456	0.11		

表-8 骨材別のレジリエントモデュラス (試験温度40℃)

混合物種類		レジリエントモデュラス(MPa)			平均値	変動係数	平均値	変動係数
ストリートアスファルト (60/80)	硬質砂岩	966	995	1,076	1,012	0.06		
	安山岩	1,120	845	913	959	0.15	1,024	0.07
	角閃岩	1,077	1,014	1,215	1,102	0.09		

表-9 メーカー別のレジリエントモデュラス (試験温度10℃)

混合物種類			レジリエントモデュラス(MPa)			平均値	変動係数	平均値	変動係数
ストリートアスファルト (60/80)	硬質砂岩		5,333	4,723	4,875	4,977	0.06	—	—
ポリマー改質As (Ⅱ型)	硬質砂岩	A社	8,758	6,884	7,942	7,861	0.12	6,650	0.21
		B社	6,011	7,264	7,523	6,933	0.12		
		C社	5,639	4,555	5,273	5,156	0.11		
		D社	6,780	6,303	6,090	6,391	0.06		
ポリマー改質As (Ⅲ型)	硬質砂岩	E社	5,994	5,725	5,321	5,680	0.06	5,423	0.21
		F社	4,052	4,443	4,102	4,199	0.05		

表-10 メーカー別のレジリエントモデュラス (試験温度40℃)

混合物種類		レジリエントモデュラス(MPa)			平均値	変動係数	平均値	変動係数	
ストリートアスファルト (60/80)	硬質砂岩	966	995	1,076	1,012	0.06	-	-	
ポリマー改質As (Ⅱ型)	硬質砂岩	A社	1,232	1,044	1,121	1,133	0.08	1,050	0.07
		B社	989	925	1,145	1,020	0.11		
		C社	1,065	1,014	915	998	0.08		
ポリマー改質As (Ⅲ型)	硬質砂岩	D社	1,364	1,291	1,231	1,296	0.05	1,491	0.11
		E社	1,723	1,538	1,540	1,600	0.07		
		F社	1,403	1,763	1,567	1,578	0.11

図-4 骨材別のレジリエントモデュラス

図-5 バインダー別のレジリエントモデュラス

4. まとめ

本研究では、アスファルト混合物層のレジリエントモデュラスの範囲の確認を行った。文献調査の結果、載荷時間が 0.1 秒の場合は舗装設計便覧に掲載された範囲内に収まることを確認した。密粒度アスファルト、粗粒度アスファルト、アスファルト安定処理の 3 つの配合別に近似曲線を引いて比較した結果、違いがほとんど見られなかった。また、ストレートアスファルトとポリマー改質アスファルトⅡ型の 2 つのバインダー別に近似曲線を引いて比較した結果、ポリマー改質アスファルトⅡ型は 40℃程度の高い温度でも低下しにくいことが確認できた。ただし、以上の検討は、載荷時間が 0.1s のみを対象としているため、さらに検討する必要がある。

また、骨材やバインダーメーカーの違いがレジリエントモデュラスに与える影響の有無について確認した。本研究では、10℃程度の低い温度で、骨材及びバインダーメーカーの違いにより影響が見られることがわかった。そのため、骨材及びバインダーメーカーにより値が異なることから、理論設計方法で構造設計を行う際は、使用材料ごとに弾性係数を算出する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧，2007.
- 2) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2008.
- 3) 工藤正幸，岡部俊幸，林信也：アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに関する一検討，第 58 回土木学会年次学術講演会，V-1447-1448，2003.
- 4) 三浦康夫，中菌裕，阿部長門，井上彰，関根悦夫，桃谷尚嗣：貨物ヤードのアスファルト舗装における走行試験～その 1～，第 59 回土木学会年次学術講演会，V-1261-1262，2004.
- 5) 宇佐美圭一，阿部長門，雑賀義夫，丸山暉彦：アスファルト混合物のレジリエントモデュラス（その 2），第 48 回土木学会年次学術講演会，V-798-799，1993.
- 6) 野田悦郎，遠藤桂：アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに関する検討，道路建設，4 月号，pp42-36，1994.
- 7) 野田悦郎，遠藤桂，新井一仁：アスコンのレジリエントモデュラスに関する検討，第 20 回日本道路会議，pp.478-479，1993.
- 8) 増山幸衛，峰岸順一，稲垣竜興：弾性係数及びレジリエント係数（Mr）についての一検討例，第 47 回土木学会年次学術講演会，V-116-117，1992.
- 9) 阿部長門，関根悦夫，桃谷尚嗣：室内試験と FWD 試験によるアスファルト混合物の弾性係数の比較，第 55 回土木学会年次学術講演会，V-1267-1368，2003.
- 10) 阿部長門，宇佐美圭一，丸山暉彦，姫野賢治：アスファルト混合物のレジリエントモデュラス，第 47 回土木学会年次学術講演会，V-1367-1368，1992.
- 11) 久保和幸，井上直：舗装構造の論理的設計法のためのアスファルト混合物の弾性係数設定の考え方，土木技術資料 50-7，pp32-35，2008.
- 12) 遠藤哲雄，山口将，岡部俊幸，金井利浩：間接引張試験における載荷板に関する実験的基礎研究（その 2）-レジリエントモデュラス試験への適用-，土木学会第 64 回年次学術講演会，pp59-60，2009.
- 13) 阿部長門，雑賀義夫：排水性舗装の力学的評価，道路建設，9 月号，pp48-53，1992.
- 14) 吉村啓之，磯部雅紀，岡部俊幸，加納孝志：アスファルト舗装の各構成層のレジリエントモデュラス，舗装 39-3，pp7-14，2004.
- 15) 小林秀行，加納孝志，辻井豪：アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに関する一検討，土木学会第 58 回年次学術講演会，V-1449-1450，2003.
- 16) 遠藤桂，橋本友光：高温域におけるレジリエントモデュラスと動的安定度に関する一検討，道路建設，5 月号，pp36-41，1996.
- 17) 阿部長門，雑賀義夫，丸山暉彦：間接引張り試験と三軸試験による Mr の比較，土木学会第 50 回年次学術講演会，V-576-577，1995.
- 18) 新基準調査結果報告，土木研究所資料 3157 号.

CONSIDERATION OF EXTENT OF RESILIENT MODULUS OF BITUMINOUS MIXTURES

Satoshi HORIUCHI, Kazuyuki KUBO and Masaru TERADA

In this research, we confirm maximum and minimum of resilient modulus of bituminous mixtures with various binder and aggregate when a repeated loading time is 0.1s. About mix portion, there is no difference between dense-graded asphalt mixture, course-graded asphalt and asphalt stabilization in average. About binder, resilient modulus of bituminous mixtures with modified asphalt mixture is bigger than that with straight asphalt in about 10 degrees centigrade.

And resilient modulus of bituminous mixtures is influenced by aggregate and binder company in about 10 degrees centigrade.