

舗装構造の理論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

久保和幸* 井上 直**

1. はじめに

平成13年に国土交通省都市・地域整備局長と道路局長より「舗装の構造に関する技術基準」¹⁾が通達され、設計法や使用材料、施工法が限定されない性能規定化に向けた方針が示された。それを受けて舗装構造の自由な設計が行えるように現段階での舗装構造の力学的経験的設計法（以下、理論的設計法とする）を整理した「舗装設計便覧」²⁾が平成18年に発刊された。

理論的設計法を用いて構造設計を行う場合、交通条件、基盤条件、環境条件および材料条件を設定しなければならない。材料条件とは舗装各層の弾性係数やポアソン比のことで、これらの値を的確に設定することが効率的な設計に繋がる。

弾性係数やポアソン比を室内で確認する代表的な手法としてレジリエントモデュラス試験があり、その方法は舗装調査・試験法便覧³⁾に示されている。しかし、主要な試験条件である温度、載荷時間、載荷周波数などについて標準的な手法が明示されていない。

そこで、実際の交通状況にあった材料定数が設定できるようにアスファルト混合物の標準レジリエントモデュラス試験法（案）を作成することを目的に検討を行った。

2. 材料定数の影響

まず、ケーススタディーによって材料定数が舗装構造にどのような影響を与えるかについて検討した。通常は過去の実績に基づいて材料定数が設定されているが、材料定数の影響が出やすいように舗装設計便覧に示されている舗装各層の弾性係数やポアソン比の過去の実績の最大値・最小値を用いて、舗装厚ごとの舗装が破壊するまでの通過回数（以下、「破壊輪数」）によって評価した。

2.1 弾性係数の影響

表-1、表-2に示した材料定数および舗装断面

を用いて破壊輪数を算出し、最大値と最小値の影響について検討を行った。破壊輪数の算出は舗装設計便覧に示されている手順で計算し、ひずみは弾性多層構造解析ソフト（GAMES）を用いて計算した。交通量区分N₆での計算結果を図-1に示す。

破壊輪数を算出した結果、最大値を入力した場合には全ての条件において技術基準で示されている破壊輪数の下限値（以下、「技術基準値」）を満足する。路床の強度を表す設計CBR別に見ると、CBRの値が小さいほど破壊輪数が大きな値となっている。特にCBR=2のときの破壊輪数は技術基準値の2～5倍となる。また、各交通量区分のCBRの最大値（CBR=12又は20）における破壊輪数は技術基準値の約1.5倍になる。

一方、弾性係数を設計便覧に示された最小値とした場合には1条件（交通量区分N₄、CBR=12以上）のみ技術基準値を満足し、その他の条件では満足しない。しかも、N₆、N₇の一部では算出した破壊輪数が技術基準値の20%程度になる条件もある。

以上のようなことから設計便覧に示されている

表-1 検討に用いた物理定数

舗装構成 材料 (ポアソン比)	表・基層	上層路盤		下層路盤	路床 (0.4)	
	As混合物 (0.35)	As安定処理 (0.35)	粒調砕石 (0.35)	クラッシュラン (0.35)		
仮定した 弾性係数 (MPa)	最小値	1,600	800	200	100	10×CBR
	最大値	8,000	2,400	400	300	

表-2 検討に用いた舗装断面

交通量区分	設計CBR	舗装厚さ(cm)			
		表・基層	上層路盤	下層路盤	
N ₄ 100 ≤ T < 250 (台/方向・日)	(2)	5	-	25	30
	3	5	-	15	35
	4	5	-	20	25
	6	5	-	10	30
	8	5	-	15	15
	12以上	5	-	10	20
N ₅ 250 ≤ T < 1,000 (台/方向・日)	(2)	10	-	30	35
	3	10	-	25	30
	4	10	-	15	35
	6	10	-	10	30
	8	10	-	15	15
	12以上	10	-	10	15
N ₆ 1,000 ≤ T < 3,000 (台/方向・日)	(2)	10	10	35	35
	3	10	8	25	40
	4	10	8	20	35
	6	10	8	20	20
	8	10	9	15	15
	12	10	9	10	10
N ₇ 3,000 ≤ T (台/方向・日)	(2)	15	10	45	40
	3	15	10	35	35
	4	15	11	25	35
	6	15	10	15	20
	8	15	10	10	15
	12	15	8	-	10
	20以上	15	8	-	15

An elastic modulus setup of asphalt mixtures for the theoretical structure design method for pavement

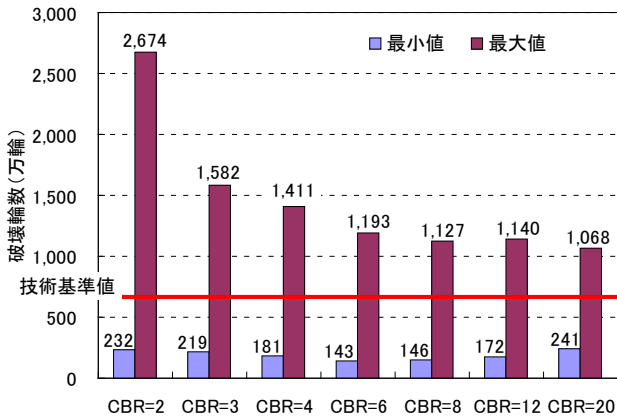


図-1 N₆での破壊輪数の算出結果

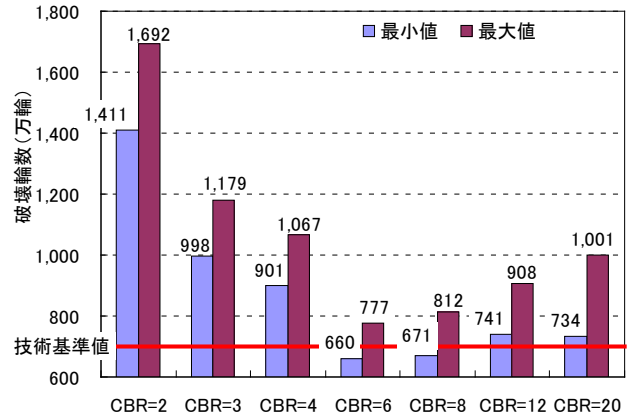


図-2 N₆での破壊輪数の算出結果

弾性係数であれば全て技術基準値を満足するわけではないことを確認した。そのため、弾性係数の設定は慎重に行わなければならない。

2.2 ポアソン比の影響

続いてポアソン比の変化による破壊輪数への影響について検討を行った。破壊輪数への影響は弾性係数と同じように舗装各層のポアソン比の最大値と最小値を入力し、算出した破壊輪数により確認した。破壊輪数は舗装設計便覧に示されている手順で計算し、弾性多層構造解析ソフト(GAMES)を用いてひずみを計算した。検討条件を表-3、表-4に示す。

N₆での計算結果を図-2に示す。N₅、N₆のいずれの条件においても破壊輪数はポアソン比の最大値の方が最小値よりも大きくなった。

N₅では、ポアソン比の最大値と最小値による破壊輪数の差は最小値の1割程度であり、ポアソン比の影響は比較的小さい。一方で、舗装厚の厚いN₆では、ポアソン比の最大値と最小値による破壊輪数の差は最小値の1割～3割程度あり、N₅に比べて破壊輪数の差は大きかった。このようなことから舗装体の厚さが厚いほどポアソン比の影響

表-3 検討に用いた物理定数

	舗装構成 材料 (弾性係数) Mpa	舗装構成			路床 (10×CBR)
		表・基層 As混合物 (7,000)	上層路盤 As安定処理 (4,100)	下層路盤 粒調碎石 (300)	
検討した ポアソン比	最小値 0.25 最大値 0.45	0.25 0.45	0.30 0.40	0.30 0.40	0.40

表-4 検討に用いた舗装断面

交通量区分	設計CBR	舗装厚さ(cm)		
		表・基層	上層路盤	下層路盤
N ₅ 250≦T<1,000 (台/方向・日)	(2)	10	-	30
	3	10	-	25
	4	10	-	15
	6	10	-	10
	8	10	-	15
	12以上	10	-	10
N ₆ 1,000≦T<3,000 (台/方向・日)	(2)	10	10	35
	3	10	8	25
	4	10	8	20
	6	10	8	20
	8	10	9	15
	12	10	9	10
20以上	10	8	-	

が大きくなると考えられる。しかし、この破壊輪数の差もわずかである。

以上のようなことから舗装構造に与えるポアソン比のばらつきの影響は小さいことが確認された。

3. 弾性係数の設定方法

材料定数の影響についての検討の結果を踏まえ、影響が大きかった弾性係数を高い精度で設定するための方法を検討した。

3.1 レジリエントモデュラス試験について

レジリエントモデュラス試験は締固めたアスファルト混合物の供試体を写真-1のように直径面を垂直にセットし、間接引張りを繰返し行って、垂直および水平方向の変位を測定する試験である。そして、以下の式で弾性係数およびポアソン比を

$$M_r = \frac{P(v+0.270)}{t\Delta H}$$

$$v = \frac{3.59\Delta H}{\Delta V} - 0.270$$

ここに、M_r：弾性係数 (MPa)

v：ポアソン比

P：繰返し載荷荷重 (kN)

t：供試体の厚さ (mm)

ΔH：水平方向変位 (mm)

ΔV：垂直方向変位 (mm)

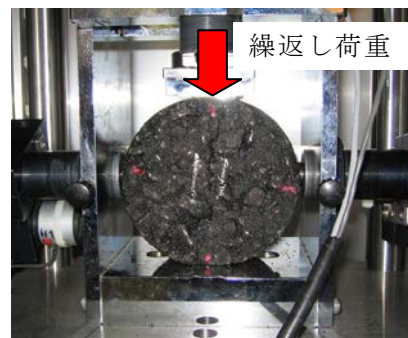


写真-1 レジリエントモデュラス試験の様子

計算する。

なお、レジリエントモデュラス試験により得られる弾性係数（レジリエントモデュラス）を前章までの弾性係数と区別するため「 M_r 」と表示する。

3.2 影響要因の検討

標準レジリエントモデュラス試験法（案）を作成するため、試験条件を変えてレジリエントモデュラス試験を実施し、試験結果に影響を与える要因について検討した。

各試験条件およびレジリエントモデュラス試験により求めた M_r を表-5に示す。検討した試験条件は温度、載荷時間の2つである。また、試験に用いた混合物は、既往の文献で最も検討事例の多かった密粒度アスファルト混合物（13）を使用し、アスファルトは改質材や品質などの変動要因を極力小さくするためにストレートアスファルト60/80を使用した。

始めに温度の影響について検討を行った。比較を行った試験条件No.1（25℃）、No.2（5℃）、No.3（40℃）から得られた M_r を図-3に示す。回帰式より温度が上昇するほど M_r の減少幅が大きいことが分かる。このことから高い温度で実験する場合は注意が必要である。

続いて、載荷時間の影響について検討を行った。試験結果から得られた M_r を図-4に示す。載荷時間が長くなるにしたがって M_r は減少している。

また、載荷時間0.9秒における変動係数は約20%あり、全試験条件の中で最もばらつきが大きい。ばらつきが大きくなった理由としては載荷時間が0.9秒に対して休止時間が0.1秒しかないため、供試体の復元が十分確保されていない段階で次の載荷が行われるといった状況が繰り返されているためと考えられる。回帰式を見ると載荷時間が短いほど M_r の変動が急であることから載荷時間が短い場合は注意が必要である。そのため、載荷時間を短くする場合は周波数を大きくするなどの工夫が必要であることを確認した。

以上のようなことからレジリエントモデュラス

表-5 各試験条件および M_r

試験条件	試験温度 (℃)	載荷条件			Mr (MPa)		
		時間(秒)	周波数(Hz)	荷重	平均値	標準偏差	変動係数
1	25	0.1	1.00	10%	4.204	374	8.9
2	5	0.1	1.00	10%	10.310	429	4.2
3	40	0.1	1.00	10%	1.062	138	13.0
4	25	0.4	1.00	10%	1.859	224	12.1
5	25	0.9	1.00	10%	1.573	305	19.4

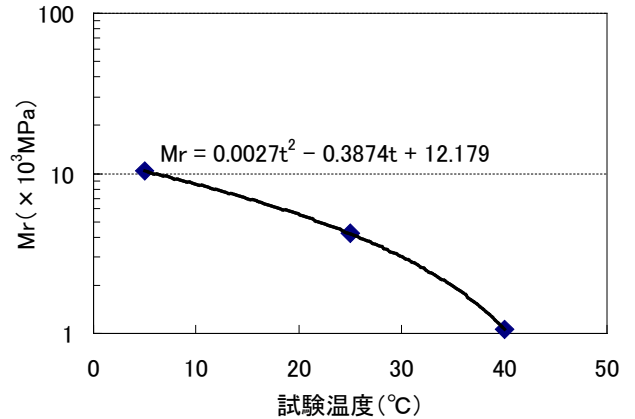


図-3 温度と M_r の関係

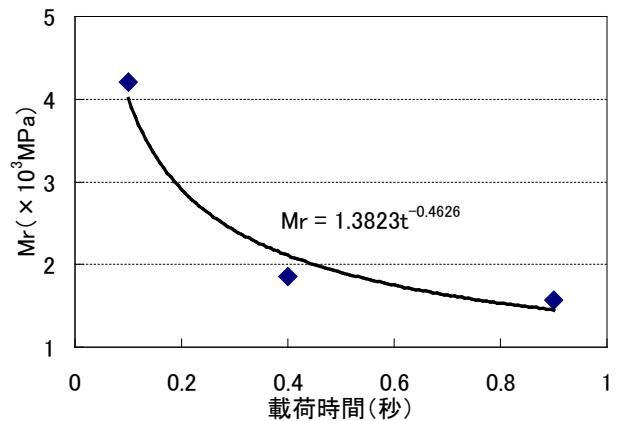


図-4 載荷時間と M_r の関係

試験を実施するには温度と載荷時間の設定に注意する必要があることが確認された。

3.3 交通荷重が舗装に与える影響

載荷時間が M_r に影響を与えることから載荷時間を実際の現象に合わせて設定することが高い精度の M_r を得るためには重要になってくる。

そこで、交通荷重が舗装に影響を与える時間（以下、「荷重影響時間」）の実態を把握するために、荷重車走行調査を実施した。

3.3.1 荷重車走行調査の概要

土木研究所の舗装走行実験場において、写真-2のような荷重車走行調査を走行速度10km/h、



写真-2 荷重車走行調査の様子

表-6 調査断面

	表・基層		上層路盤		下層路盤	路床
	As混合物	As安定処理	粒調碎石	クラッシュラン	クラッシュラン	
種類	厚さ(mm)					CBR
1工区	ストレート	115	-	135	430	4%
2工区	改質	150	110	260	370	4%
3工区	改質	150	105	-	395	12%

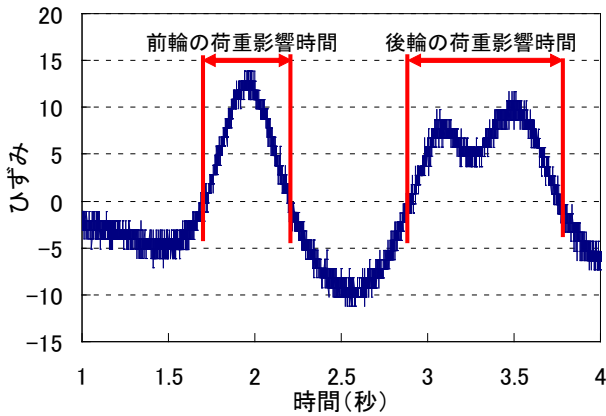


図-6 荷重影響時間の考え方

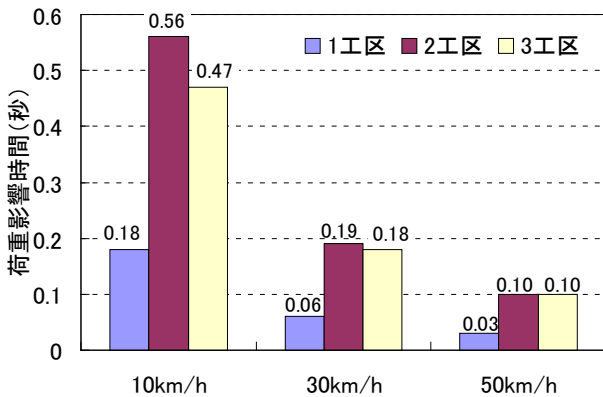


図-7 目標速度別の荷重影響時間

30km/h、50km/hの3条件で実施した。走行調査で用いた断面を表-6に示す。

3.3.2 荷重影響時間の検討

荷重影響時間の確認はアスファルト混合物層下面に設置されたひずみ計で得られる波形をもとに算出した。輪荷重の応答とひずみの挙動時間は完全には一致しないが等しいものと見なし、引張りひずみの発生時間を荷重影響時間として捉えた(図-6)。各工区の目標速度別の荷重影響時間を図-7に示す。

その結果、速度が小さいほど荷重影響時間が長くなる傾向が確認された。また、アスファルト混

合物層と荷重影響時間の関係を見るとアスファルト混合物層が厚いほど荷重影響時間が長くなる傾向があった。そのため、載荷時間を設定する時には走行速度や舗装厚を考慮する必要があることを確認した。

4. まとめ

本検討で得られた成果をまとめると以下のとおりである。

弾性係数のばらつきは舗装構造の設計に与える影響が大きいため弾性係数の設定は慎重に行う必要がある。

温度および載荷時間はレジリエントモデュラス試験の結果に影響を与えるため、温度や載荷時間を詳細に設定することによって、個別の道路状況に応じた精度の高いMrを求めることができる。

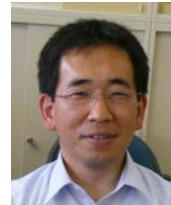
上記の成果を踏まえて、レジリエントモデュラス試験の考え方を整理した。

今後作成予定の標準レジリエントモデュラス試験法(案)を使用することによって、交差点、渋滞箇所等で実際の交通状況に応じた弾性係数を設定することが想定される。

参考文献

- (社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説、2001
- (社)日本道路協会：舗装設計便覧、pp.109-144、2006
- (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、pp [3] 140- [3] 148、2007

久保和幸*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム上席研究員
Kazuyuki KUBO

井上直**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム研究員
Tadashi INOUE