

多層弾性理論を用いた舗装構成の構造比較（熱帯地域の例）

JICA 資金協力業務部 正会員 古木 守靖*
 JICA 資金協力業務部 正会員 藤原 明**
 (株)エイト日本技術開発 正会員 ○水野 聡士***

1. はじめに

JICA の実施する無償資金協力による道路事業の内、特に熱帯地域において舗装の早期破損が問題となっている。破損の主な形態一つは流動わだち掘れであるが、これについては適切な路面設計で対応することとしている。一方で疲労クラックによる構造的な破損対策も重要であり、構造設計で対応を図ることとしているが、途上国で採用されている構造設計法は、SATCC や Over Seas Road Note に代表されるカタログ式設計法、又は AASHTO (1993 年) に代表される経験的設計法が用いられる場合が多く、近年の経済発展に伴う主要道路の重交通化に対応できていない場合も考えられる。このような状況を踏まえ、JICA の実施する事業について、図-1 に示すように力学的経験的設計法による設計照査を推奨しているところであり、以下試算によりその効果を確認した。

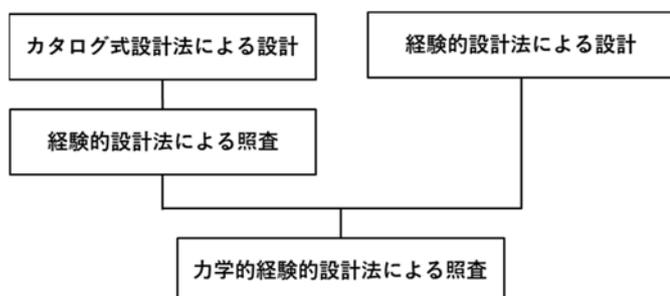


図-1 JICA 事業における舗装構造設計の照査

2. 検討内容

舗装設計便覧に示される、多層弾性理論に依拠する理論的設計法を用い、JICA の道路事業が実施される熱帯地域を例として、舗装の耐久性を表す許容輪数、最適設計の検討について同一 T_A 値の断面で検討を行った。検討内容は以下の通りである。

- ① 気温条件の影響
- ② アスファルト混合物層の厚さの影響
- ③ アフリカ地域で採用事例の多い、セメント安定処

理下層路盤と構築路床の効果

3. 気温条件及び層構成の影響

3.-1 検証条件

(1) 設計条件

疲労破壊輪数 (ESWL) = 16.5×10^6

設計 CBR=16%、必要 $T_A=24$ (信頼度 90%)

A_s 層弾性係数²⁾ $E=7500 \times 10^{0.368(20-T/20)}$ (T=舗装温度)

A_s 層飽和度=70%、 A_s 安定処理層飽和度=56%

(2) 気温条件と弾性係数

東京と東南アジアの平均気温による HMA (A_s 混合物) 層の弾性係数の違いは、図-2 に示すとおりである。

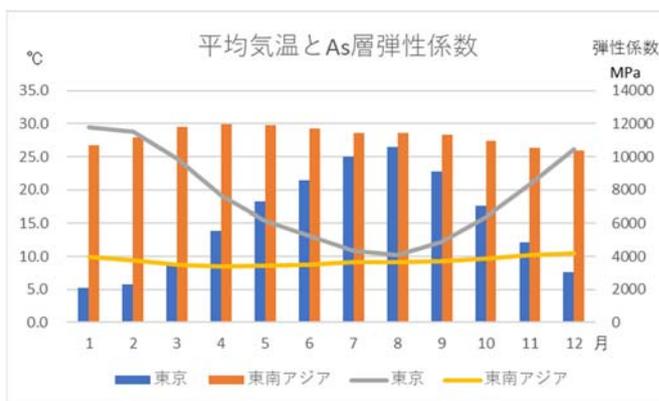


図-2 月平均気温（棒グラフ）と弾性係数（折れ線グラフ）の関係

3.-2 検証結果

表-1 に示す検証結果から以下のことがわかる。

- ① 【気温条件の影響】同じ舗装構造であっても、熱帯地域では気温条件の違いにより HMA 層で 10%、路床で 50% の許容輪数の低下がみられる。つまり、気温の高い地域においては、日本に比べ舗装破損（疲労クラック）の進行が早いと考えられる。
- ② 【層構成の影響】同じ T_A 値であっても薄い HMA 層を採用した場合、HMA 層及び路床の許容輪数ともに大幅に減少する。

キーワード 多層弾性理論、熱帯地域、気温条件、安定処理路盤、構築路床

連絡先 *〒102-8012 東京都千代田区二番町 5-25 (独) 国際協力機構資金協力業務部 T E L 03-5226-9240
 **〒102-8012 東京都千代田区二番町 5-25 (独) 国際協力機構資金協力業務部 T E L 03-5226-9240
 ***〒164-8601 東京都中野区本町五丁目 33-11 (株) エイト日本技術開発国際支社 T E L 03-5341-5157

TA 法により経済性のみから舗装構成を決定する場合のリスクが明確となり、理論的設計法による照査の有効性が検証された。

表-1 検証断面と検証結果

舗装構成	気温条件(東京)		気温条件(東南アジア)	
	舗装構成A		舗装構成B	
検証断面				
	弾性係数：計算によるポゾン比：0.35		弾性係数：計算によるポゾン比：0.35	
	弾性係数：200 ポゾン比：0.35		弾性係数：10×CBR ポゾン比：0.40	
	弾性係数：10×CBR ポゾン比：0.40			
Nfad	23.9E+06	21.2E+06	3.0E+06	
Nfsd	148.4E+06	70.0E+06	40.0E+06	
たわみ量 Uz (cm) As層上面	2.49.E-02	2.89.E-02	4.29.E-02	
たわみ量 Uz (cm) 路床上面	1.77.E-02	1.96.E-02	2.25.E-02	
気温条件 東京を1とした場合	Nfad	1.00	0.89	0.13
	Nfsd	1.00	0.47	0.27
	Uz (cm) As層上面	1.00	1.16	1.72
	Uz (cm) 路床上面	1.00	1.11	1.27
単価 (円/㎡)			5,831	5,060

4. 舗装の層構成の評価 (東アフリカ地域)

4.-1 検証条件

疲労破壊輪数 (ESWL) = 11.8 × 10⁶

設計 CBR=8% (現地盤利用)

構築路床の場合 CBR=11% (CBR=15%で50cmの置換え)

現地盤の場合の必要 T_A=29 (信頼度 90%)

構築路床の場合の必要 T_A=27 (信頼度 90%)

4.-2 検証結果

表-2 検証断面と検証結果

舗装構成	舗装構成A		舗装構成B	
構成				
	Nfad		8.58E+06	
	Nfsd		445.61E+06	
	たわみ量 Uz (cm) As層上面		3.25.E-02	
たわみ量 Uz (cm) 路床上面		2.06.E-02		
舗装構成A を1とした 場合	Nfad	1.00	1.44	
	Nfsd	1.00	8.67	
	Uz (cm) As層上面	1.00	0.75	
	Uz (cm) 路床上面	1.00	0.80	
単価 (円/㎡)	5,485		5,505	
舗装構成	舗装構成C		舗装構成D	
構成				
	Nfad		2.57E+06	
	Nfsd		734.96E+06	
	たわみ量 Uz (cm) As層上面		3.34.E-02	
たわみ量 Uz (cm) 路床上面		1.62.E-02		
舗装構成A を1とした 場合	Nfad	0.95	0.43	
	Nfsd	1.19	14.31	
	Uz (cm) As層上面	0.91	0.77	
	Uz (cm) 路床上面	0.86	0.63	
単価 (円/㎡)	6,116		6,955	

表-2 に示す検証結果から以下のことがわかる。

- ① セメント安定処理下層路盤の採用は、HMA 層の許容輪数も増加させるが、路床の許容輪数をさらに大きく向上させる。
- ② 構築路床のみの採用は、HMA 層の許容輪数の増加に対してコストを考慮しても効果は小さい。つまり、路床の強度よりも弾性係数の高い材料の厚さが HMA 層の許容輪数の結果を決める。なおセメント安定処理路盤の等値換算係数は 0.25 としている。
- ③ セメント安定処理路盤と構築路床の併用により、路床の許容輪数が 14 倍程度にまで増加した。Nfad から見て、舗装構成 D の HMA5cm は厚さが不足しているが、HMA 層の補修のみで長期に舗装を維持できる可能性がある。

5. 考察

- ① 気温や材料条件によって各層の許容輪数が大きく異なるため、それぞれのバランスを確認するためにも理論的設計法による照査が必要である。
- ② HMA 層を厚くすることは寿命の増大に貢献するが、厚すぎるとコストの問題に加えて、HMA 層の許容輪数の前に路床の許容輪数が来ってしまうため、維持管理等のバランスも考慮した舗装構成を採用する必要がある。
- ③ アフリカ地域で多用される、セメント安定処理下層路盤と構築路床の構成は舗装の維持管理のしやすさを含めた長期的な視点で有利である可能性がある。

6. おわりに

日本で蓄積されたデータを参考に、多層弾性理論を用いて異なった気温条件や材料条件下における舗装構成のリスク、及び経済性を検証することが可能であり積極的な活用が望ましい。なお本照査例は疲労破壊に対する検証であるが、そのほか流動わだち掘れ対策を含めた熱帯諸国の舗装について最新の知見が、JICA の基礎研究「開発途上国における道路舗装の耐流動性向上に係る調査分析」のハンドブックに反映され公開されることとなっている。

参考文献

- 1) 日本道路協会:舗装設計便覧 平成 18 年 2 月
- 2) 西山大三、尾本志展、祁相輝、松井邦人:アスファルト混合物層の温度分布と設計ひずみ 土木学会舗装工学論文集 第 15 巻 2010 年 12 月