

理論的設計法を用いた耐久性と LCC による各種舗装設計基準の比較

国際建設技術協会 正会員 ○渡部 健太郎
 国際建設技術協会 正会員 保田 敬一
 国際協力機構 正会員 古木 守靖

1. 概要

我が国が支援している海外の道路建設工事では、施工延長は長いものの、橋梁、擁壁、カルバート等の構造物は比較的少ない。そのため、舗装工が全体工事費に占める割合が高く、アスファルト舗装の場合は特に材料単価が高い表層/基層（以下、AC 層）の厚さの設定が重要である。本論では、上記を踏まえ、日本を含む各種舗装設計基準を適用した場合における舗装構造の耐久性について理論的設計法を用いて評価し、ライフサイクルコスト（以下、LCC）を比較した。理論的設計法を用いることで AC 層厚や路盤厚を変えた場合、どの箇所が設計上クリティカルになるかを容易に検討できる。

2. 検討方針

2.1 理論的設計法による耐久性の検証

比較対象の舗装設計基準は、AASHTO Guide 1993 [米国]、Overseas Road Note31（以下、ORN31）[英国]、公路沥青路面设计规范（英語名 Specifications for Design of Highway Asphalt Pavement）[中国]、舗装設計便覧 [日本]¹⁾とした。設計条件は、舗装種別：アスファルト舗装、設計期間：15 年、交通荷重： 9.0×10^6 ESAL、設計 CBR：6%、信頼性：90%とした。新設建設費を算定する際の材料単価には、海外のプロジェクトで適用されているものを参考に用いた。経験的設計法である T_A 法を用いると、AC 層の厚さを薄くしても路盤厚を増せば同じ T_A 値とすることはできるが、理論的設計法を使って疲労破壊の概念を入れると寿命は異なる結果となる。逆に、同じ T_A 値で AC 層を厚くして、路盤を薄くすると路床の疲労破壊がクリティカルになるなどの検討が簡単にできる。舗装構成に対する耐久性は、舗装の疲労破壊を理論的手法によって評価した。ひずみ ϵ は多層弾性理論の計算プログラム「GAMES」を用いて算出した。 ϵ_t は AC 層下面の引張りひずみ、 ϵ_z は路床上面の圧縮ひずみを示す。許容 49kN 輪数 N_{fa} 、 N_{fs} は舗装設計便覧¹⁾の暫定破壊規準式より算出した。また、舗装設計便覧¹⁾より、舗装の構造的な破壊が生じた時点をもとに破壊年数と設定した。多層弾性理論のモデル図を図-1 に示す。

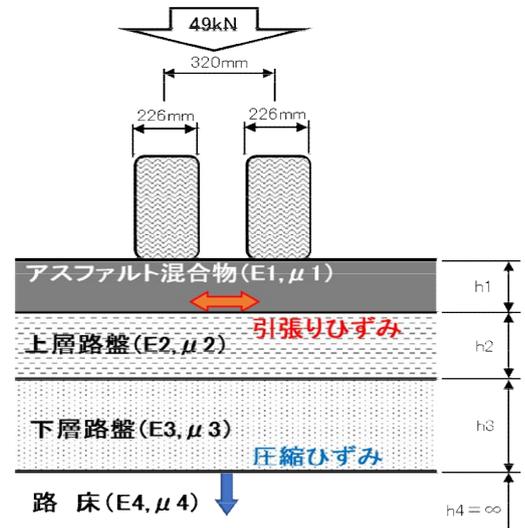


図-1 多層弾性理論のモデル

に対する耐久性は、舗装の疲労破壊を理論的手法によって評価した。ひずみ ϵ は多層弾性理論の計算プログラム「GAMES」を用いて算出した。 ϵ_t は AC 層下面の引張りひずみ、 ϵ_z は路床上面の圧縮ひずみを示す。許容 49kN 輪数 N_{fa} 、 N_{fs} は舗装設計便覧¹⁾の暫定破壊規準式より算出した。また、舗装設計便覧¹⁾より、舗装の構造的な破壊が生じた時点をもとに破壊年数と設定した。多層弾性理論のモデル図を図-1 に示す。

2.2 破壊年数の算定

破壊年数の算定は、算定した許容 49kN 輪数に信頼度を考慮した値に対して、疲労破壊輪数 (4.00×10^6 回/15 年) との比率より設定した。なお、疲労破壊輪数は、設計条件の交通荷重 9.0×10^6 ESAL を 2.25 で除することで換算できる。

3. 比較検討結果

3.1 初期コストを重視したケース

LCC 算定条件は以下のとおりである。新設建設費は材料単価のみで算定し、補修費はアスファルト舗装への全層打換えを想定した。破壊年数は舗装設計便覧¹⁾に準拠した多層弾性理論による力学的評価結果をもとに算定し、解析期間は 40 年間とした。初期コストを重視するケースでは、各基準における AC 層の厚さは最小値を適用し、同様に上層路盤の厚さは最小値を念頭にトータルで経済的になるように設

キーワード 舗装設計, 多層弾性理論, 理論的設計法, 疲労破壊輪数, ライフサイクルコスト
 連絡先 〒112-0014 東京都文京区関口 1-23-6 TEL. 03-5227-4103

定した。

初期コストを重視した4つの設計基準の比較検討結果を表-1に示す。さらにLCCで評価してみることで、破壊年数および新設/補修費用から算定した。各基準における初期コストおよび破壊年数の値は類似しており、LCCは同様の傾向であった。

3.2 LCCを考慮したケース

次に、LCCを考慮して各基準の舗装構成の見直しを行った。ここでは破壊年数に影響するAC層の厚さを増加させる一方で、路盤の厚さは、例えばAASHTOであればSN値を満足する範囲で薄くし、破壊年数が最大となるように設定した。各基準の検討結果からAASHTOと中国の結果を表-2に示す。比較の結果、初期コストを重視するケースでは、各基準ともにAC層の早期の疲労破壊が顕著であり、その結果LCCも高い。一方、LCCを考慮したケースでは、AASHTOと中国基準が特に破壊年数およびLCCに改善が見られる結果となった。

4. 疲労破壊輪数と破壊年数の関係

舗装計画交通量と表層+基層の最小厚さを示した表に、疲労破壊輪数を加えて表-3として整理した。この表から疲労破壊輪数毎にAC層の最小厚さを適用した舗装構成に対して破壊年数を算定し、グラフ化した(図-2参照)。結果、AC層厚に規定の最小値を適用した場合、全体としてAC層下面の疲労破壊が舗装の寿命を決定し、かつ期待する設計年数を満たさない傾向にある結果となった。ただし、例えば、切削オーバーレイ等との補修方法を考慮した場合の評価では、結論は異なるものと考えられる。

5. まとめ

本前述の比較検討結果より、AC層の最小値を採用した場合、各基準における破壊年数は T_A 法と類似した傾向であることから、設計段階において理論的設計法により舗装構造を評価することで、将来的な維持管理費を含めコスト縮減に寄与するものと考えられる。

今後は、材料や温度条件等は地域で異なるため適用するパラメータの分析が必要であるとともに、米国や南アメリカ等の既に理論的設計法を導入している国の設計法との比較も参考になる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装設計便覧，2006。

表-1 初期コストを重視したケース

| 基準名 | AASHTO | Overseas Road Note31 | 公路沥青路面设计规范 | 舗装設計便覧 |
|-------------|--|--|--|--|
| 設計法 | 経験的設計法 | 経験的設計法[カタログ] | 力学的設計法 | 経験的設計法[TA法] |
| 舗装断面図 | <p>必要SN値=4.59<4.80</p> | | | <p>目標TA値=25.5<25.6</p> |
| 理論的設計法による評価 | ひずみ値【単位:μ】 $et=2.01 \times 10^{-4}$ $ez=3.03 \times 10^{-4}$ 許容49kN輪載【単位:回】 $Nfa=5.48 \times 10^6$ $Nfs=23.2 \times 10^6$ 破壊年数 5年 | $et=2.03 \times 10^{-4}$ $ez=4.30 \times 10^{-4}$ $Nfa=5.25 \times 10^6$ $Nfs=6.43 \times 10^6$ 5年 | $et=2.01 \times 10^{-4}$ $Ez=2.54 \times 10^{-4}$ $Nfa=5.48 \times 10^6$ $Nfs=44.3 \times 10^6$ 5年 | $et=2.03 \times 10^{-4}$ $ez=3.37 \times 10^{-4}$ $Nfa=5.25 \times 10^6$ $Nfs=15.7 \times 10^6$ 5年 |
| 工事費 | 新設舗設費 3,876円/m ² (1.02) LCC 31,008円/m ² (1.02) | 3,725円/m ² (0.98) 29,800円/m ² (0.98) | 3,974円/m ² (1.05) 31,792円/m ² (1.05) | 3,802円/m ² (1.00) 30,416円/m ² (1.00) |

表-2 LCCを考慮して見直したケース (AASHTO, 中国基準)

| 基準名 | AASHTO | | 公路沥青路面设计规范 | |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | 初期コスト重視 | LCC考慮 | 初期コスト重視 | LCC考慮 |
| 舗装断面図 | <p>必要SN値=4.59<4.81</p> | <p>必要SN値=4.59<4.80</p> | | |
| 破壊年数 | 5年 | 16年 | 5年 | 13年 |
| 新設舗設費 | 3,876円/m ² (1.00) | 4,499円/m ² (1.16) | 3,974円/m ² (1.00) | 4,626円/m ² (1.16) |
| LCC [期間40年] | 31,008円/m ² (1.00) | 13,497円/m ² (0.44) | 31,792円/m ² (1.00) | 18,504円/m ² (0.58) |

表-3 舗装計画交通量と疲労破壊輪数

| 交通量区分 (旧区分) | 舗装計画交通量 (台/日・方向) | 疲労破壊輪数 (×10 ⁶) ※1 | 表層+基層の最小厚さ (cm) ※2 |
|-------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| N 7 (D) | $T \geq 3,000$ | $N \geq 35$ | 20 (15) |
| N 6 (C) | $3,000 > T \geq 1,000$ | $35 > N \geq 7.0$ | 15 (10) |
| N 5 (B) | $1,000 > T \geq 250$ | $7.0 > N \geq 1.0$ | 10 (5) |
| N 4 (A) | $250 > T \geq 100$ | $1.0 > N \geq 0.15$ | 5 |
| N 3 | $100 > T \geq 40$ | $0.15 > N \geq 0.03$ | 5 |
| N 2 | $40 > T \geq 15$ | $0.03 > N \geq 0.007$ | 4 (3) |

※1: 日本道路協会「舗装設計便覧」説明PDF#50から読み取りによる。
<http://www.road.or.jp/event/pdf/hosou03.pdf>
 ※2: ()内は上層路盤に瀝青安定処理工法及びセメント・瀝青安定処理工法を用いる場合の最小厚さ。

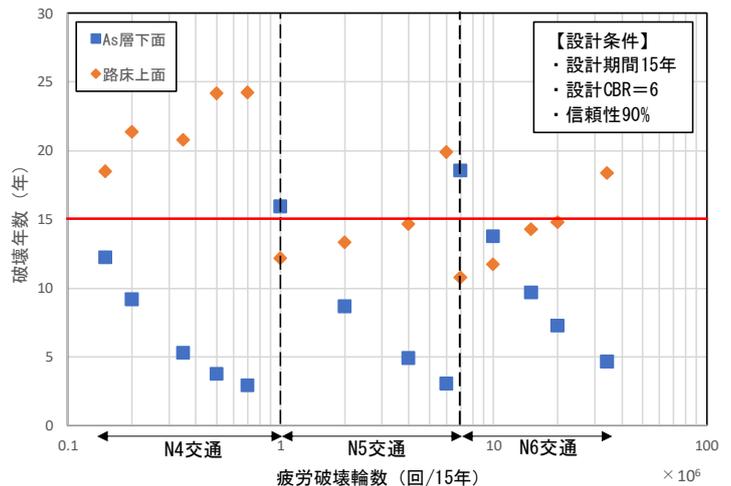


図-2 T_A 法による疲労破壊輪数と破壊年数の関係