

FWD 測定評価によるライフサイクルコスト低減を目指す舗装補修

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 正会員 ○高井 健志
中日本高速道路株式会社 名古屋支社 正会員 木曾 茂
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 岩崎 洋一郎

1. 目的

高速道路の安全性向上に向けた取組として、舗装補修の対策検討を効率的にかつ実情に沿う形で立案していかなければならない。現在、路盤・路床の支持力不足により、早期に舗装表面にわだち掘れやわだち部の亀甲状クラックが発生している。そこで、安全性向上および長期的な視点に立ち、ライフサイクルコストが経済的となる舗装断面を構築することを目的に、FWD 測定データの逆解析を用いた健全度評価手法により、舗装補修工法を選定する手法を提案するものである。

2. 現行の評価手法による問題点

高速道路の舗装の構造的な評価は、FWD 測定結果から得られるアスファルト層の損傷指標とアスファルト層厚さの関係から、表-1 に示す評価区分により補修工法選定を行っている。しかし、A 評価区分の場合、アスファルト混合物全層の打換えが必要となるが、使用する材料・層厚についての規定がない。

表-1 損傷区分 (NEXCO 設計要領)

損傷区分	補修箇所
A 評価	アスコン全層
B 評価	表層・基層
C 評価	表層

3. 舗装補修工法を選定手法

解析手法は、多層弾性理論に基づき FWD 測定で得られた測定たわみ量を用いて、逆解析プログラム「BALM」により未知量である各層の弾性係数を推定する。次に順解析プログラム「GAMES」を用いて、アスファルト混合物の各層下面に生じる水平方向の引張ひずみを計算する。その結果から、破壊基準式により舗装の疲労破壊輪数 N_{fa} を試算するものである。今回、実施するライフサイクルコスト低減を目指した舗装補修工法の提案は、破損したアスファルト混合物層および下層路盤を新規材料の弾性係数に置き換え、舗装の残存寿命を推定し、経済的な工法を選定するものである。

4. 舗装構造解析の実施

4-1 逆解析による弾性係数の推定

新名神高速道路 甲賀土山 IC～亀山 JCT 間の FWD 測定結果から、舗装の損傷が発生し D0 たわみ量が 0.5mm 程度が連続している上り線 KP22.75～KP22.88、上り線 KP40.00～KP40.08 の区間を対象に解析を行った。逆解析プログラム「BALM」により、現状の舗装各層の弾性係数を算出した。その結果を表-2 に示す。

表-2 「BALM」を用いて算出した弾性係数

区 間	E1 表層 高機能	E2 基層	E3 下層路盤 7スベース	E4 上層路盤 セメント安定処理	E5 路床
KP22.750	3,414	2,897	1,809	664.7	160.7
KP22.775	1,690	2,846	1,103	101.1	134.8
KP22.800	1,353	1,686	839.2	98.0	157.8
KP22.825	1,496	1,482	944.2	142.9	132.4
KP22.850	1,615	1,907	614.8	427.0	97.7
KP22.854	1,028	986.4	647.3	188.2	73.7
KP22.875	1,351	1,936	770.6	80.7	213.8
KP40.000	1,778	3,273	1,017	69.7	192.7
KP40.025	3,332	5,874	2,195	160.5	302.4
KP40.050	2,001	4,145	987.3	62.4	201.7
KP40.075	3,790	6,944	3,825	104.2	218.0

4-2 順解析による引張・鉛直ひずみの推定

上記弾性係数を用い、順解析プログラム「GAMES」により、アスファルト混合物層下面に発生する引張ひずみと圧縮ひずみを推定した。その結果を表-3 に示す。

表-3 「GAMES」を用いて算出した現状の舗装体に発生するひずみ

区 間	アスファルト混合物層下面			路床上面		
	U _z	ε _x	ε _x	U _z	ε _x	ε _x
	ひずみ	引張ひずみ	圧縮ひずみ	ひずみ	引張ひずみ	圧縮ひずみ
KP22.750	2.59E-02	1.32E-04	-2.23E-04	2.13E-02	1.31E-04	-1.34E-04
KP22.775	5.08E-02	4.14E-04	-5.25E-04	3.00E-02	1.62E-04	-6.30E-04
KP22.800	5.24E-02	4.91E-04	-6.50E-04	2.76E-02	1.56E-04	-7.30E-04
KP22.825	4.96E-02	4.09E-04	-5.61E-04	3.14E-02	1.95E-04	-5.23E-04
KP22.850	4.42E-02	2.07E-04	-4.89E-04	3.62E-02	2.31E-04	-2.30E-04
KP22.854	6.76E-02	4.28E-04	-6.78E-04	5.14E-02	3.38E-04	-4.55E-04
KP22.875	5.06E-02	5.28E-04	-6.94E-04	2.13E-02	1.09E-04	-8.83E-04
KP40.000	4.98E-02	4.60E-04	-5.71E-04	2.20E-02	9.91E-05	-8.74E-04
KP40.025	2.60E-02	2.22E-04	-2.75E-04	1.36E-02	6.72E-05	-3.82E-04
KP40.050	4.98E-02	4.58E-04	-5.64E-04	2.08E-02	8.71E-05	-9.31E-04
KP40.075	3.01E-02	1.92E-04	-2.21E-04	1.67E-02	6.36E-05	-4.44E-04

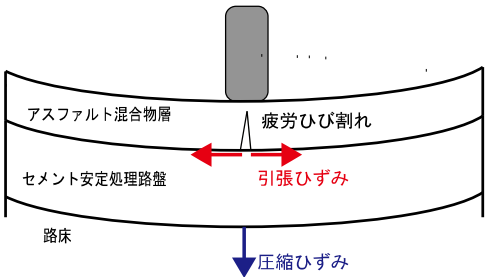


図-1 疲労破壊が発生するメカニズム

キーワード FWD、弾性係数、引張ひずみ、疲労破壊輪数
連絡先 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 1-8-11 DNI 錦ビルディング
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 TEL052-212-4552

5. 舗装補修工法の比較検討

供用中の高速道路において行う舗装工事は車線規制内で行うことになり、隣の車線では車両が通行した状態となる。切削後、一時的に規制内で段差が発生することになるため、極力段差量が小さくなるように、図-2に示す7通りの比較案について検討した。(※1についてはアスファルト混合物全層の打換えと、全層打換え+下層路盤の路盤再生工(セメント混合)の2通りについて比較検討。)

5-1 舗装補修後の疲労破壊輪数の算出

現況舗装体については、表-2の各層弾性係数を確認すると強度低下が発生しているといえる。そこで、図-2の補修箇所を新規材料に置き換えるため、健全な弾性係数を入力し、比較案毎にアスファルト混合物層下面に発生する引張ひずみを推定する。その引張ひずみを用いて、破壊基準式により舗装の疲労破壊輪数 N_{fa} を試算した。その結果を図-3に示す。

5-2 工区毎の疲労破壊輪数の算出

今回の解析は、上り線 KP22.75~KP22.88、上り線 KP40.00~KP40.08の2区間を対象に行っているが、損傷の発生要因が異なるため、各工区毎に疲労破壊輪数を算出した。(表-4)

5-3 工区毎の残存寿命の算出

各工区毎の疲労破壊輪数を基に、平成24年の交通量2.5百万台が継続すると仮定し、残存寿命を算出した。(表-5)

5-4 ライフサイクルコストの算出

10年設計であるが、高機能舗装が採用されていることもあり、劣化進行度は比較的遅く20年程度のサイクルで補修が行われている。そこで、算出条件として20年目に表層の打換え工を実施し、このパターンを継続するものとし、100年間の総費用を算出した。

また、残存寿命の最低値が20年未満の箇所においては損傷が発生した時点で表層の打換え工を行うこととし、100年間維持管理に必要な総費用を算出した。(表-6)

5-5 ライフサイクルコストの検討結果

ライフサイクルコストが最も安い工法は比較案④となり、残存寿命も100年以上ある。その次に比較案⑤となる。

ただし、安全性という視点で考えると、比較案④は4層補修で、比較案⑤は2層補修となり、工事に必要な時間が大きく異なる。従って、比較案④は車線規制時間が長く必要であり、集中工事等で連続して作業が行える場合に適しており、時間帯厳選工事の場合には適していないと言える。

6. おわりに

高速道路で路盤・路床の支持力不足により早期に損傷が発生している箇所においては、FWD測定データの逆解析を用いた健全度評価手法により、ライフサイクルコスト低減を目指す舗装補修工法の選定が可能である。ただし、該当する道路の特性や交通規制(通行止め・集中工事・車線規制)の種別を踏まえた上で検討し、適切な工法を選定することが、高速道路の安全な空間を確保する上で重要である。

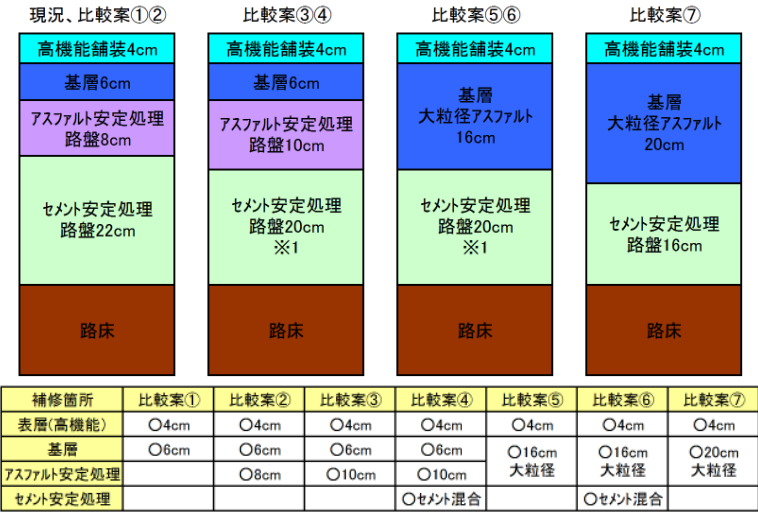


図-2 舗装補修工法の比較検討案

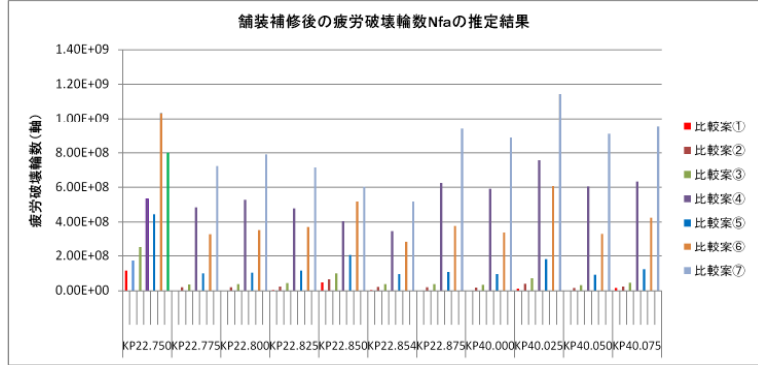


図-3 舗装補修後の疲労破壊輪数 N_{fa} の推定結果

表-4 工区毎の疲労破壊輪数の推定結果 (上段: 工区の平均値、下段: 最小値) (単位: 台)

	比較案①	比較案②	比較案③	比較案④	比較案⑤	比較案⑥	比較案⑦
KP22.75~	25,402,104	49,213,917	77,665,733	486,860,864	167,224,474	467,657,601	727,267,901
KP22.88	1,986,025	19,633,267	35,984,389	348,627,404	95,928,146	285,891,097	517,858,864
KP40.00~	8,088,903	24,338,247	45,310,443	647,048,408	122,911,064	426,016,832	972,332,342
KP40.08	1,703,363	16,503,387	31,725,837	591,223,495	91,561,449	331,746,458	886,134,102

表-5 工区毎の残存寿命の推定結果 (上段: 工区の平均値、下段: 最小値) (単位: 年)

	比較案①	比較案②	比較案③	比較案④	比較案⑤	比較案⑥	比較案⑦
KP22.75~	10	20	31	195	67	187	291
KP22.88	1	8	14	139	38	114	207
KP40.00~	3	10	18	259	49	170	389
KP40.08	1	7	13	236	37	133	354

表-6 比較案毎の㎡当たりの補修費用

工種	施工厚さ (cm)	単価 (円/㎡)	比較案 ①	比較案 ②	比較案 ③	比較案 ④	比較案 ⑤	比較案 ⑥	比較案 ⑦
表層: 高機能	4	2,000	○	○	○	○	○	○	○
基層	6	2,000	○	○	○	○			
大粒径アスファルト	16	7,800					○	○	
	20	8,200							○
アスファルト安定処理	8	2,800		○					
	10	3,000			○	○			
路上再生セメント混合	20	1,000				○		○	
合計 (円/㎡)			4,000	6,800	7,000	8,000	9,800	10,800	10,200
100年間維持管理に必要な総費用 (円/㎡)			104,000	34,800	21,000	18,000	19,800	20,800	20,200