

アスファルト舗装の詳細調査・修繕設計便覧を用いた舗装修繕設計について

若狭 寛樹・羽深 圭一・高橋 未季

新潟国道事務所 管理第二課 (〒950-0912 新潟県新潟市中央区南笹口2丁目1番65号)

道路施設について、ライフサイクルコストの低減や持続可能な維持管理を実現する予防保全による道路メンテナンスへの移行に向けた取り組みを進めているところだが、前回修繕から舗装が早期劣化している区間が見られることから、メンテナンスサイクル構築の一環として、一定の損傷が発生した舗装の詳細調査と修繕の適切な実施を目的として発刊された「アスファルト舗装の詳細設計・修繕設計便覧 (R5.3)」(公益社団法人 日本道路協会)に基づき実施した舗装の修繕設計について報告する。

キーワード 防災・減災, 国土強靱化のための5カ年加速化対策, メンテナンスサイクル, アスファルト舗装, 予防保全型インフラメンテナンス

1. はじめに

道路は、ヒトやモノの流れや日常生活、経済活動を支える根幹的なインフラとして重要な役割を担っている。国土交通省では、道路における安全性の確保に向け、橋梁など個別施設計画を核とした点検、診断、措置、記録のメンテナンスサイクルの構築を図る取り組みを行っている。

令和6年度にメンテナンスサイクル3巡目に入り、近年では、道路施設の長寿命化、維持管理・更新費用の抑制に向け、損傷が悪化する前の予防保全型メンテナンスへの移行を目指している。

しかし、舗装においては、措置(修繕)を行った路面の損傷が早期に進行し、予防保全型のメンテナンスへ移行できない現状にある。この背景には、過去の修繕時に構造的な損傷要因の評価を行わず、適切な修繕方法を採用していないことが主な原因と考えられる。

本論文では、これらの課題を解決するために「アスファルト舗装の詳細設計・修繕設計便覧 (R5.3)」(以下「便覧」という)に基づき新潟国道事務所で行った舗装の修繕設計について報告する。

2. 事務所管内の実状

当事務所管内の道路は、重交通路線が多く、ひび割れやわだち掘れ等の損傷が多く見られている。令和5年度に行った事務所管内全域の舗装点検では、本線・ランプ部を含めた車道延べ延長 633km のうち、修繕段階にあたるⅢ判定箇所(写真1)が 260km(約4割)を占める結果となった。

表1 アスファルト舗装の診断区分

区分	状態
I 健全	損傷レベル小:管理基準に照らし、劣化の程度が小さく、舗装表面が健全な状態である。
II 表層機能保持段階	損傷レベル中:管理基準に照らし、劣化の程度が中程度である。
III 修繕段階	損傷レベル大:管理基準に照らし、それを超過している又は早期の超過が見られる状態である。
	(III-1 表層等修繕) 表層の供用年数が使用目標年数を超える場合(路盤以下の層が健全であると想定される場合)
	(III-2 路盤打替等) 表層の供用年数が使用目標年数未満である場合(路盤以下の層が損傷していると想定される場合)



写真1 路面に発生した損傷(診断区分Ⅲ)

3. 設計箇所について

今回舗装設計を行った箇所は、国道8号新潟市南区白根地区にある清水交差点～新飯田交差点(26.000kp～27.950kp)の約2.0km区間である。本箇所は、平成16年頃に道路が拡幅されており、道路の中央部が拡幅前の現道部、その両側が拡幅部となっている(写真2)。本箇所における交通量は令和3年度道路交通センサスにおいて15,213台/日、大型車交通量は2,204台/日・方向であり、舗装計画交通量は1,000以上3,000台/日・方向未満で交通量区分はN6に該当する。

なお、本箇所は平成22年に舗装修繕が行われており、修繕から供用目標年数の20年未満で損傷が見られ、早期に損傷が進行している。



写真2 設計箇所

4. 詳細調査

設計を行うにあたり、路盤以下の構造的な健全性の確認や構造設計に用いる設計値の取得のほか、舗装の各層のうち損傷した層を特定することが最も重要である。今回の修繕設計では現在の舗装損傷状況の把握・既設舗装厚等の基礎情報収集のため、便覧に基づき表2に示す詳細調査を実施した。

表2 調査項目及び内容

項目	詳細調査内容	数量	備考
コア抜き調査	既設舗装厚の把握	12箇所	26.100kp～27.600kp 上下線 100mピッチ
	損傷要因の把握	8箇所	26.050kp～27.650kp 上下線 200mピッチ
FWDたわみ量調査	推定CBR値の把握	L=3600m	上下線 各20mピッチ
開削調査	舗装の損傷と路盤層の厚さ確認	4	—

(1) コア抜き調査

a) 舗装構成の把握

既設舗装構成を把握するため、比較的損傷の無い箇所でコア抜きを行った。

表3 コア抜き調査結果

最大厚	300mm
最小厚	140mm
平均	234mm

拡幅部と現道部、それぞれの箇所で試料を採取したが、コア厚に大きな差は見られなかった。舗装厚は250mm以上の箇所が最も多く、構造的な検討を行わず、オーバーレイまたは切削オーバーレイを繰り返した結果、As舗装の層が厚くなったことが推測された。

b) 舗装損傷深さの確認

ひび割れ発生箇所における、損傷深さを確認するため、舗装面に損傷が発生している箇所でコア抜きを行った。全層にわたり損傷しているコアが5箇所あり、ひび割れの発達方向は上面から下面、下面から上面の両面から確認された。その他のコアでも、骨材の剥がれ、層間の剥がれ、アスファルトモルタル分の流出が見られたため、舗装の損傷は深部まで及んでいることが分かった。



写真3 コアの損傷状況

(2) FWD たわみ量調査

各区間のたわみ量を確認するため、FWDたわみ量調査を行った。FWDたわみ量調査とは、路面に重錘を落下させ、49KNの荷重を与え、その際に路面に生じるたわみ量を測定し、各層の健全性を評価する

ものである。

調査で得られたたわみ量の変化点より、区間内をA～Dの4区間に分割した。

表4 各区間の距離標・区間長

A区間	26.000kp～26.580kp	580m
B区間	26.580kp～27.080kp	500m
C区間	27.080kp～27.440kp	360m
D区間	27.440kp～27.950kp	510m

アスファルトには温度依存性が有り、温度によるデータの差異を補正するため、調査したたわみ量に対して温度補正を行い、各区間の平均値に標準偏差値を加算した値を代表値とし、評価を行った(表5)。

表5 各区間のたわみ量(代表値)と評価結果

区間	たわみ量(μm)			弾性係数(MPa) アスコン	残存TAO	区間のCBR (%)	設計CBR	必要TA	不足TA	コア抜き調査より平均コア厚【mm】
	D0	D20	D150							
A	495	420	159	3,632	23.32	6.2	6	32	8.68	251
B	392	337	136	4,205	26.36	7.3	6	32	5.64	269
C	620	511	165	2,504	19.92	6.0	6	32	12.08	199
D	538	448	144	3,181	21.53	6.9	6	32	10.47	195
基準値400以下	-	-	-	6,000以上	-	-	-	-	-	-

たわみ量(D0)は、区間Bを除く3区間が基準値を下回る結果となった。

また、各区間のたわみ量(D150)から推定されるCBR値は6%を超えており、路床の健全性については問題無いことが推測できたが、弾性係数に関しては全ての区間で基準値以下となり、ひび割れの発生が要因であると推測した。

(3)開削調査

路盤層の状態を大きな断面で目視確認するため、開削調査を行った。調査範囲については、FWDたわみ量調査で区間分けした4区間の中からそれぞれ1箇所選定した。

a)アスファルト層の損傷

コア抜きの追加調査として行った舗装の損傷確認では、上面からのひび割れと貫通したひび割れが確認され、層間剥離は面的に発生していることが分かった(写真4)。

層間剥離

層間剥離とアスモル分の流出・上面からのひび割れ



写真4 開削調査により確認されたAs層の損傷

b)路盤層の厚さ

路盤層の厚さは、全区間で上層路盤が10cm以下で施工されており、区間Dにおいては、下層路盤も10cmと薄く施工されていた。また、上層路盤に粒度調整砕石(M-25)、下層路盤に切込砂利(40)が使用されていることが確認された(写真5)。

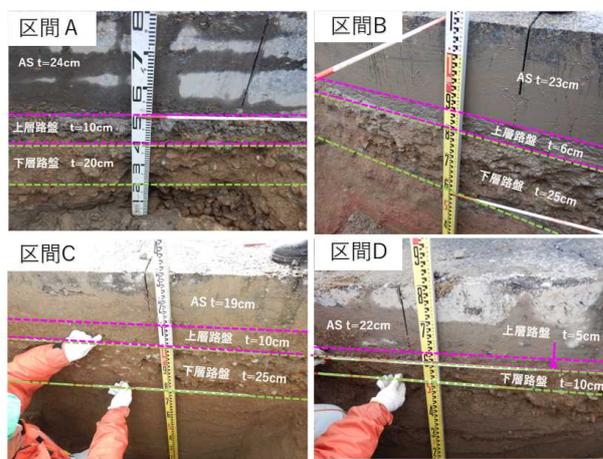


写真5 現状の舗装構成

c)路盤・路床の健全性

路盤・路床の健全性については、下記の方法により、評価を行った(表6)。

表6 各層の健全性試験

路盤	砂置換法による土の密度試験 骨材のふるい分け試験
路床	試料の室内CBR試験

路盤においては、下層路盤の切込砂利の規格値が無いため、下層路盤材の C-40 の規格値を参照し確認を行った。その結果、調査箇所の子粒分が多く、一部 C-40 の規格を外れた箇所（試料）があったが、粗粒分については規格内に収まり、概ね C-40 の範囲であることから比較的健全と確認できた。上層路盤についても、粒度調整碎石 M-25 の粒度範囲内であったため健全である事が確認できた。また、現場密度についても上層路盤の最低値が 80.6%、下層路盤が 82.0%と、数値的に極端に低くなく、開削調査において締め固めが十分に行われている事が確認出来たことから、密度不足による影響は少ないと考えた（表 7）。

路盤材の評価として、層の強度に直結する層厚を重要視し、設計要領（道路編）で最小厚さとして定められている、最大粒径の 3 倍かつ 100mm（上層路盤では 75mm、下層路盤では 120mm）以下となっている区間では処置が必要という評価を行った。

表 7 路盤材の評価整理

調査層	調査項目	処置の必要性	A 区間	B 区間	C 区間	D 区間			
			処置の必要性	処置の必要性	処置の必要性	処置の必要性			
上層路盤	厚さ		10cm	6cm	10cm	5cm			
	現場密度	不要	100.2%	必要	100.2%	不要	96.4%	必要	80.6%
	粒度分布		範囲内	範囲内	範囲内	範囲内			
下層路盤	厚さ		20cm	25cm	25cm	10cm			
	現場密度	不要	88.0%	不要	82.0%	不要	84.9%	必要	94.7%
	粒度分布		範囲外	範囲外	範囲外	範囲外			
路床	CBR 値		18.4	12.9	8.6	12.7			

※赤字：規格値以下等の値を示す。

表 8 室内 CBR 試験結果と FWD たわみ量調査で得た CBR 値の差

FWD たわみ量調査区間の推定 CBR 開削調査箇所	A 区間	B 区間	C 区間	D 区間
室内 CBR 試験結果・・・A	18.4	12.9	8.6	12.7
FWD たわみ量調査で得た推定 CBR 値・・・B	6.2	7.3	6.0	6.9
A と B の差	12.2	5.6	2.6	5.8

路床においては、室内 CBR 試験の結果、FWD たわみ量調査で推定される CBR 値を大幅に上回る結果となり、特に区間 A においては、推定 CBR 値の約 3 倍

となった（表 8）。一般的に、たわみ量と CBR 値との関係は、 E （弾性係数） $=10CBR$ 、室内 CBR 試験結果の CBR 値は $E=20CBR$ に近いものが多く、今回の調査箇所は、一般的な傾向と逆転する結果となった。

5. CBR 値の評価・補正

今回の調査で FWD による推定 CBR と室内 CBR 試験の結果が一般的な傾向と逆転した結果を考察し、調査区間の路床土が川砂由来の砂質土であるということをも要因の一つとして考えた。¹⁾ 既往研究では、砂の CBR 値について、室内試験と現場試験での差異を整理しており、粘性土が持つ外力に抵抗する力である粘着強度 c が試験モールド側壁の影響を受け、粘着強度 c が 0 に近いほど室内 CBR の値が大きくなる事を実証している。また、同研究では各地の空港における砂及び砂質土地盤の試料を用いた研究を行っており、新潟（新潟空港）の試料で行った土質試験では、今回調査同様、現場 CBR と室内 CBR の結果が 1/2 異なる結果となっていた。今回の調査結果と新潟（新潟空港）の試料を用いた既往研究での試験結果を比べると、数値に大きな差異が無く、土質分類も同じものであった（表 9）。

表 9 既往研究「新潟」の土質試験結果と本設計詳細調査の試験結果

場所・地点	D60	D10	均等係数	74 μ 通過量	2mm通過量	4.75mm通過量	統一土質分類名	比重	最適含水比	最大乾燥密度
新潟	0.37	0.16	2.30	2.00	100.00	100.00	SP	2.68	15.3	1.596
A	0.50	0.18	2.78	1.20	97.00	98.40	SP	1.92	24.2	1.565
B	0.50	0.18	2.78	1.30	95.20	96.40	SP	1.63	21.5	1.539
C	0.52	0.20	2.60	0.70	98.00	99.00	SP	1.73	16.3	1.613
D	0.41	0.15	2.73	3.30	96.30	97.00	SP	1.81	17.0	1.614

S P：粒度のわるい砂

上記内容より、既往研究と同様に現場 CBR と室内 CBR の結果が 1/2 異なる現象が生じる事を考慮し、室内 CBR 試験結果に対し、1/2 補正した結果と FWD による推定 CBR を表 10 に示す。

表 10 補正した室内 CBR 試験結果との比較

FWD たわみ量調査区間の推定 CBR 開削調査箇所(1/2 補正)	A 区間	B 区間	C 区間	D 区間	平均
室内 CBR 試験結果(補正前)・・・A	18.4	12.9	8.6	12.7	
1/2 補正した値	9.2	6.5	4.3	6.4	
FWD たわみ量調査で得た区間の推定 CBR 値・・・B	6.2	7.3	6.0	6.9	1/2.00
A と B の比率	1/2.97	1/1.77	1/1.44	1/1.84	

A 区間と C 区間で 1/2 補正值と FWD により推定 CBR 値に差があるものの、4 区間の室内 CBR 値と推定 CBR 値比率の平均が 1/2 であることから、概ね 1/2 の関係にあると判断した。なお、室内 CBR で求められる舗装厚に対して現況の舗装構成は十分に確保されているものの、舗装の早期損傷が生じており、このことから FWD により推定される CBR 値が妥当と判断した。

$$an=0.0404 \times E^{0.3711} \quad (1b)$$

$$CBR=Esg/10 \quad (1c)$$

表 11 路盤の等値換算係数と区間の CBR

区間	解析結果					
	上層路盤		下層路盤		路床	
	弾性係数	等値換算係数	弾性係数	等値換算係数	弾性係数	区間の CBR
A	210	0.29	89.7	0.21	74	7.5
B	197.9	0.29	87.3	0.21	86	8.5
C	321.2	0.34	158.9	0.26	65	6.5
D	276.4	0.33	145.2	0.26	76	7.6

6. 修繕設計

設計を行うにあたり、各工法・材料の 1cm が表層・基層用加熱アスファルト混合物の何 cm に相当するかを示す値である残存等値換算係数をアスファルト層・路盤層・路床の各層で決定した。なお、舗装の構造設計方法は、理論的設計方法と経験に基づく設計方法があり、今回は双方で検証した。

(1) アスファルト層の残存等値換算係数

アスファルト層の残存等値換算係数を便覧に記載の理論的設計方法の一つである多重弾性理論の逆解析で算出したところ、アスファルト層が厚くたわみ量が小さくなることから全て軽度・中度の損傷評価となり、亀甲状にひび割れが生じている現場状況と矛盾する結果のため、経験に基づく設計法である舗装設計施工指針のひび割れ率により残存等値換算係数を設定することとした。ひび割れ率については、過年度に行った路面性状調査結果を参照した。過小評価とならないよう安全側で設計を行うようにするため、各区間の平均値に標準偏差を加算した値で整理を行った結果、損傷状態は全区間で「重度」（ひび割れ率 35%以上）となり、残存等値換算係数は 0.5 となった。

(2) 路盤層・路床の残存等値換算係数

路盤層の残存等値換算係数は、多層弾性理論の逆解析結果で算出された弾性係数 E を用いて、式(1b)で残存等値換算係数 an を算出した。路床についても多層弾性理論の逆解析で算出された弾性係数 Esg を用いて式(1c)で、区間の設計 CBR を決定した。それぞれの式で算出した等値換算係数及び設計 CBR をまとめた (表 11)。

(3) 設計 CBR 及び目標 TA の決定

区間の CBR を基に設計 CBR 及び目標 TA (等値換算厚) を設計要領 (道路編) に基づき決定した(表 12)。

表 12 設計 CBR と目標 TA の決定

区間	区間の CBR	設計 CBR	目標 TA	交通量区分	舗装計画交通量 (T)	信頼性	設計期間: 20 年								
							設計 CBR								
							3	4	6	8	12	20			
A区間	7.5	6	32	N ₂	3,000 ≤ T	90%	—	—	41	38	33	29			
B区間	8.5	8	29				—	—	32	29	26	22			
C区間	6.5	6	32				N ₃	1,000 ≤ T < 3,000	90%	29	26	23	21	19	16
D区間	7.6	6	32							—	—	—	—	—	—

アスファルト層及び路盤の残存等値換算係数より、各区間の残存等値換算厚(TA0)を算出し、目標 TA との関係の整理を行った結果、B 区間を除く 3 区間の不足 TA が 10 以上であることが確認出来た。

特に不足 TA の値が大きくなった区間 D を例に挙げる(図 1)。

既設断面		層の種類	層の厚さ (cm)	残存等値換算係数	TA0
平均厚 19.5cm	5cm	アスファルト層	19.5	0.50	9.75
		上層路盤	5.0	0.33	1.60
		下層路盤	10.0	0.26	2.60
既設層厚		34.5	残存等値換算厚 (TA0)		13.95
目標TA		残存等値換算厚 (TA0)		不足TA	
32		13.95		-18.05	

図 1 D 区間の残存等値換算厚と不足 TA

(4) 修繕工法検討

今回の対象区間における検討修繕工法は、表層から下層路盤まで打ち替える「アスファルト層全層打換工」、既設アスファルト混合物層を現位置で破砕し、セメントや下層の粒状路盤と混合、転圧して新たな路盤を構築する「路上路盤再生工法」、切削により既設アスファルト混合物層を撤去し、基層まで打ち替

える「切削オーバーレイ工」の3工種で各区間の修繕工法の比較検討を行った。

路上路盤再生工法は、道路を切り回しても対面通行の幅員が確保できないため、片側交互通行での施工を条件として修繕工法比較を行った。

比較項目は、「交通への影響」、「施工性」、「長寿命化性」、「経済性」を大項目とし、さらに11の小項目により比較した。中でも「長寿命化性」、「経済性」に重点を置き、小項目毎に1から4を配点し、定量評価により最適工法を選定した。

結果、全ての区間で「アスファルト層全層打替工」が最適工法となった。この結果を踏まえ、工区毎の特性を考慮し、目標TAに合わせた修繕断面を決定した。なお、D区間においては既存の舗装構成が薄くTAが不足するため路床上にアスファルト舗装を敷設するフルデプスアスファルト舗装を採用した。

C区間においては、NETIS掲載の新技术を活用した試験施工を行う工区として設定した。74種類の新技术から本設計現場で適用可能な舗装の長寿命化に適したアスファルト混合物の選定、比較検討を行い、新技术A（シナヤカファルト）、新技术B（リラクスファルトHT）、新技术C（Rug Mix）の3件の新技术を比較対象として決定した。

図2に示す新技术に在来工法を含めた修繕断面で比較検討を行った結果、表層に新技术Aを使用した全層打ち替えと、表層と基層に新技术Aを使用した切削オーバーレイ工の総合評価点が同点となり、50年のライフサイクルコストにおいても金額は同額であった。

設計条件	
設計期間	20年
交通量区分	N6
設計CBR	6
目標TA	32

①表層に新技术A（TA=1.7）を使用した全層打替
等値換算係数を1.70で試算することができるのが特徴である。修繕断面においても、等値換算係数を1.70で計算している。そのため、通常の混合物（TA1.00）の場合と修繕断面が異なる。



②表層と基層に新技术A（TA=1.7）を使用した切削オーバーレイ工



図2 新技术を活用した舗装構成

7. まとめ

本論文では、「アスファルト舗装の詳細設計・修繕設計便覧」を用いた修繕設計の事例について述べた。便覧に基づいた調査のなかで、開削調査等で実際に路盤の状態を確認した上で試験を行ったことで、舗装の損傷要因を適切に判断することが出来た。また、たわみ量の結果から設計箇所の区間分けをして分析を行ったことで、区間毎の特性を踏まえ、既存の路盤を最大限生かした設計を行うことが出来た。

今回の調査の中で、設計箇所の特性により試験の際に CBR 値など留意すべき点も判明した。たわみ量調査から推定 CBR 値を決定した上で、室内 CBR 試験を行い、現場の特性により生じた結果の差異について要因を調べたことで、適切な設計を行うことが出来た。

今後、早期に劣化した舗装修繕においては、現場での特性を把握した上で、現場特性に合わせた調査・試験で検討を行い、複数の結果を整理しながら、最適な工法を決定していくことが、予防保全型メンテナンスの移行に向けて重要ではないかと考える。

8. 謝辞

本論文の作成にあたりご協力いただいた皆さまに心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会論文報告書 1972. 12