

鋼床版上舗装の損傷分析に関する検討

神下竜三¹・青木康素²・松下麗菜²

¹ (一財) 阪神高速道路技術センター調査研究部調査研究第一課

² 技術部技術推進室

要約

阪神高速道路の鋼床版上舗装に発生する損傷は、コンクリート系床版上舗装に発生する損傷よりも多いことが明らかとなっており、補修工事にかかる手間やコストのみならず、交通規制に伴う道路利用者へ与える影響は大きい。本検討では、鋼床版上舗装に発生した損傷を分析することによって、鋼床版上舗装の現状を把握し、現在使用されている表層混合物の耐久性を評価した。

損傷分析の結果、表層に使用されている高耐久材料は、従来の材料よりも損傷が少ないことを確認した。また、鋼床版上舗装に発生する損傷を抑制するためには、表基層一体の耐流動性を現状以上に向上させる必要があることが明らかとなった。

キーワード: 鋼床版上舗装, 損傷分析, 耐流動性, わだち掘れ, ひび割れ率

1. はじめに

阪神高速道路は都市内高速道路であることから路線全体の8割を高架橋が占めており、中でも湾岸線の橋梁舗装は、そのほとんどが鋼床版上舗装である。

鋼床版はコンクリート床版と比較して剛性が低く、交通荷重によってたわみ易いこと、床版を連結する高力ボルトによる凹凸が存在すること¹⁾等から、鋼床版上舗装の基層にはたわみ追従性が高く、流し込みで施工可能な混合物で凹凸部へも容易に充填できるグースアスファルト混合物が採用されている。

グースアスファルト混合物はコンクリート床版の基層に使用されている密粒度アスファルト混合物と比較すると動的安定度が低く、わだち掘れ抵抗性が低い混合物である。

表層混合物については、道路騒音低減を目的としてポーラスアスファルト混合物が採用されているが、長期供用後にポットホールやはく離、わだち掘れ、ひび割れ等の損傷が発生していることから、これらの損傷を抑制する目的で、従来のポリマー改質アスファルトH型（以下、改質H型）の耐久性を改善したポリマー改質アスファルト高耐久H型（以下、高耐久H型）が開発され、平成18年度に両者の耐久性を検証する試験施工を実施した。現在の設計基準 第3部第4編舗装²⁾では長期耐久性が望まれる場合には改質H型に替えて高耐久H型を採用してもよいと規定されている。

舗装に損傷が発生すると、安全走行上の問題の

ほか、舗装補修には工事規制が必要となり、道路利用者へ与える影響は大きい。

本検討では、鋼床版上舗装に発生した損傷を分析することによって、鋼床版上舗装の現状を把握し、かつ現在使用されている表層混合物の耐久性を評価することで、鋼床版上舗装に発生する損傷を抑制する方法を検討することとした。

2. 鋼床版上舗装の現状把握

鋼床版上舗装の現状を把握するため、保全情報管理システムに保存されている定期点検結果、日常点検結果を用いて損傷を分析した。さらに、現場で発生している損傷の実態を把握するために舗装補修工事写真を整理した。対象路線は鋼床版の資産数が多い湾岸線とした。

(1) 定期点検結果を用いた損傷分析

a) 分析の概要

定期点検結果を用いた損傷分析条件を表-1に示す。

表-1 定期点検の分析条件

項目	内容
評価項目	ひび割れ率、わだち掘れ量
表層混合物の種類	密粒度As混合物、排水性As混合物
路線名	湾岸線（約700径間）
基層の経過年数の考え方	表基ともに打換えしてから、定期点検を実施した年まで

表-2 舗装の損傷判定基準³⁾

点検項目	判定区分			
	A	B	C	OK
最大わだち掘れ量 (mm)	20以上	20未満～10以上	10未満～3以上	3未満
累計ひび割れ率 (%)	15以上	15未満～5以上	5未満～0以上	0

表-3 分析区分

分析番号	表層混合物の種類	測定項目の種類
分析1	密粒度As混合物	累計ひび割れ率
分析2	密粒度As混合物	最大わだち掘れ量
分析3	ポーラスAs混合物	累計ひび割れ率
分析4	ポーラスAs混合物	最大わだち掘れ量

路面の定期点検では路面性状測定車によって舗装表面の損傷情報取得が行われている。得られた最大わだち掘れ量と累計ひび割れ率は表-2に示す舗装の損傷判定基準により損傷ランク付けされ、舗装打換え時の判断材料として扱われている。

損傷分析は表層混合物の種類と測定項目で分けて整理した。分析区分を表-3に示す。基層混合物の経過年数に応じたひび割れ率とわだち掘れ量の推移を整理する際、舗装打換えを実施しておらず極端に資産数が少ない年も存在することから、基層の経過年数については3年で1グループとして整理した。

b) 分析結果

分析結果を図-1～4に示す。各分析結果に共通することとして施工後の比較的早い段階で損傷が発生している。当該径間を対象に日常点検時の写真集から損傷が発生した原因の検証を試みたが、明確な原因を特定することはできなかった。材料や施工に起因する初期不良の可能性もあるが、合計資産数が少ないことに留意する必要がある。施工後4年以降に関しては基層の経過年数に応じて損傷ランクが悪化する傾向を示した。

表-2の舗装の損傷判定基準をもとに整理すると、表層混合物の種類に関係なく、ひび割れ率よりもわだち掘れ量の方がAランクやBランク損傷が多い傾向にある。わだち掘れ量は密粒度アスファルト混合物よりも、ポーラスアスファルト混合物のほうがAランクやBランク損傷数が多い結果となったが、これは空隙率低下に伴う圧密の影響を考慮する必要がある。さらに、両舗装とも基層にグースアスファルト混合物を使用しているため、表層混合物のみに原因があるとはいえない点に留意する必要がある。

ひび割れ率についても同様に、基層のグースアスファルト混合物の状態は考慮していない。グースアスファルト混合物は鋼床版の防水層を兼ねているため、土工部に発生するひび割れと同様に取扱いによってよいのか、検討の余地があるといえる。

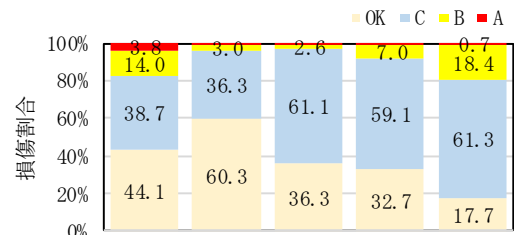


図-1 基層の経過年数に対する損傷ランクの推移 (分析1：密粒度As, 累計ひび割れ率)

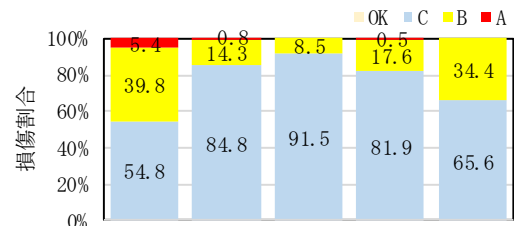


図-2 基層の経過年数に対する損傷ランクの推移 (分析2：密粒度As, 最大わだち掘れ量)



図-3 基層の経過年数に対する損傷ランクの推移 (分析3：ポーラスAs, 累計ひび割れ率)

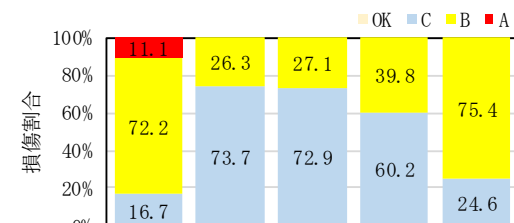


図-4 基層の経過年数に対する損傷ランクの推移 (分析4：ポーラスAs, 最大わだち掘れ量)

経過年数	1年以上 4年未満	4年以上 7年未満	7年以上 10年未満	10年以上 13年未満	13年以上 16年未満
損傷ランク	A: 3	1	0	5	12
損傷ランク	B: 13	7	6	31	85
損傷ランク	C: 36	86	143	262	283
損傷ランク	OK: 41	143	85	145	82
合計	93	237	234	443	462

経過年数	1年以上 4年未満	4年以上 7年未満	7年以上 10年未満	10年以上 13年未満	13年以上 16年未満
損傷ランク	A: 5	2	0	2	0
損傷ランク	B: 37	34	20	78	159
損傷ランク	C: 51	201	214	363	303
損傷ランク	OK: 0	0	0	0	0
合計	93	237	234	443	462

経過年数	1年以上 4年未満	4年以上 7年未満	7年以上 10年未満	10年以上 13年未満	13年以上 16年未満
損傷ランク	A: 0	0	0	0	0
損傷ランク	B: 0	1	1	3	7
損傷ランク	C: 14	32	66	86	111
損傷ランク	OK: 4	104	66	44	16
合計	18	137	133	133	134

経過年数	1年以上 4年未満	4年以上 7年未満	7年以上 10年未満	10年以上 13年未満	13年以上 16年未満
損傷ランク	A: 2	0	0	0	0
損傷ランク	B: 13	36	36	53	101
損傷ランク	C: 3	101	97	80	33
損傷ランク	OK: 0	0	0	0	0
合計	18	137	133	133	134

表-4 日常点検の分析条件

項目	内容
分析期間	2006年7月1日～2018年5月7日
路線名	湾岸線(約700箇所)
分析内容	・損傷種類と損傷数との関係 ・基層の経過年数と深さ40mm以上の損傷数との関係

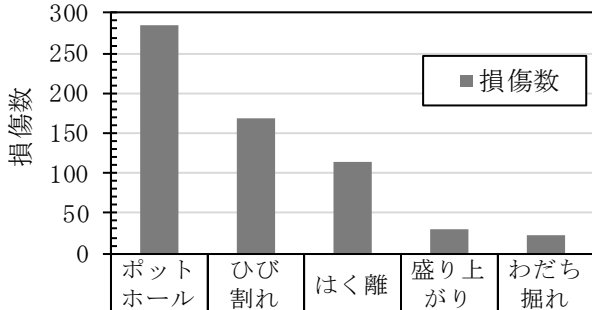


図-5 損傷形態と損傷数との関係

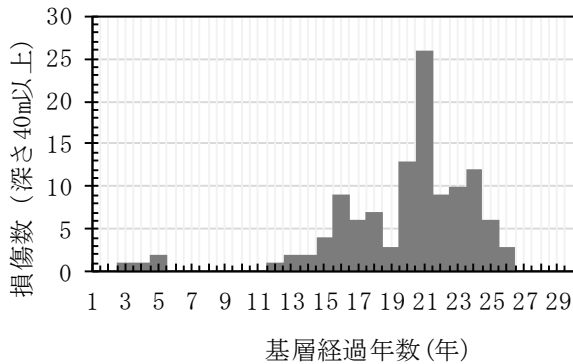


図-6 基層の経過年数と損傷数との関係

表-5 舗装補修工事写真分析条件

項目	内容
評価項目	舗装補修前後の路面状況
対象路線	湾岸線 (150箇所)
分析範囲	2016年4月～6月、2017年7月～10月
分析内容	・損傷状況(ポットホール、ひび割れ) ・損傷発生位置(車輪走行位置、添接部) ・損傷個所の舗装厚さ確認(出来形より)

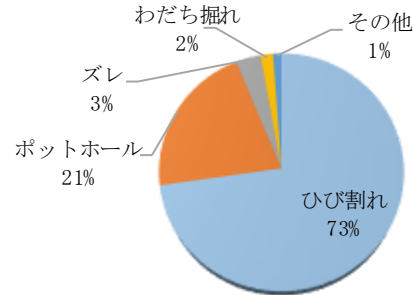


図-7 舗装補修時の損傷状況集計 (約150箇所)

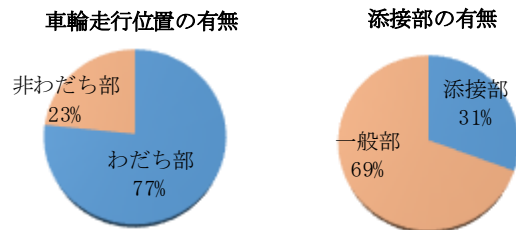


図-8 損傷発生位置の確認

(2) 日常点検結果を用いた損傷分析

a) 分析の概要

鋼床版上舗装の日常点検時に発見された損傷に関する分析条件を表-4に示す。

b) 分析結果 (損傷形態と損傷数との関係)

日常点検時に発見された損傷形態と損傷数を整理した結果を図-5に示す。日常点検で発見される損傷形態はポットホールが最も多く、次にひび割れの順となった。日常点検では安全走行上において問題となるポットホールやポットホールへ成長する可能性があるひび割れ等が重点的に記録されているものと推察される。わだち掘れに関しては、定期点検ではAやBランク損傷が認められるものの、日常点検では損傷として報告される数は少なく、安全走行上すぐに問題となる箇所が少ないものと考えられる。

c) 分析結果 (基層の経過年数と損傷数との関係)

基層の経過年数と損傷深さ40mm以上の基層グースAs混合物に損傷が認められる損傷数との関係を図-6に示す。基層の経過年数に応じて、深さ40mm以上の損傷数は増加する傾向を示し、概ね20年程度でピークを迎え、その後は減少していることが確認できる。これは、ピーク以降では舗装が打ち替えられ、結果として分析対象の母数が減っていることが影響していると考えられる。

(3) 舗装補修工事写真を使用した分析結果

a) 分析の概要

日常点検結果の分析では、舗装表面の損傷写真のみであるため、損傷の具体的な状況が不明であった。そこで、維持工事での舗装補修工事写真を整理することにより、鋼床版上舗装に発生した損傷の詳細を確認した。分析条件を表-5に示す。

b) 分析結果 (舗装補修時の損傷状況)

舗装補修工事写真で整理されている路面状況写真から路面の損傷状況を整理した結果を図-7に示す。舗装補修時の損傷は、全体の7割がひび割れ、2割がポットホールとなっており、この2項目で全体の9割を占めている。日常点検結果ではポットホールの数がひび割れよりも多い結果であったが、舗装補修工事写真では逆の結果となった。

c) 分析結果 (損傷発生位置の確認)

損傷が発生した位置について、車輪通過位置や添接部の有無に着目して整理した結果を図-8に示す。補修を伴う損傷の77%が車輪走行位置で発生していることがわかる。また、補修を伴う損傷の約30%が添接部付近の損傷であることも確認できた。

鋼床版デッキプレートの中には、添接部を有さないものもあることから、添接部が損傷の発生へ与える影響は大きいと考えられる。



写真-1 損傷の確認（左）舗装厚さの確認（右）

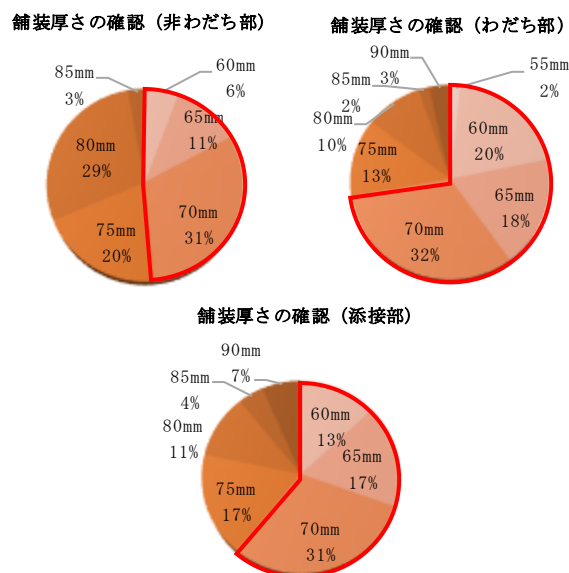


図-9 補修箇所における舗装厚さの確認

d) 分析結果（損傷箇所の舗装厚さ確認）

損傷個所の舗装厚さを整理した結果を図-9に示す。鋼床版上舗装の設計厚さは2層合計で80mm（表層40mm，基層40mm）であるが，非わだち部の舗装厚さは全体の48%が70mm以下に，さらにわだち部の舗装厚さは，全体の70%以上が舗装厚さが70mm以下であった。全体の舗装厚さが薄い要因として，わだち掘れやアスファルト混合物の圧密沈下などの影響も考えられるが，損傷が発生した箇所の舗装厚さは設計厚に対して薄い傾向にあることが確認できた。さらに添接部においても損傷の6割以上が厚さ70mm以下という結果であった。今回測定した舗装厚さは添接部の位置を考慮していないため，添接部の頂上付近の舗装厚はさらに薄いと考えられる。

(4) 損傷分析結果のまとめ

舗装補修工事写真を用いた損傷分析により，鋼床版上舗装に発生する損傷は，わだち掘れ等で舗装厚さが薄い箇所に発生している傾向が明らかとなった。本検討の分析結果より，安全走行上問題となるポットホールが発生メカニズムをa)とb)のように推察した。

a) わだち掘れによる疲労破壊抵抗性の低下

車輪走行部に発生するわだち掘れにより舗装厚さが薄くなり，アスファルト混合物の疲労破壊抵抗性が低下し，ひび割れが発生，ひび割れが成長してポットホールが発生する。

b) わだち掘れによる基層混合物表面の耐水

グースアスファルト混合物表面に発生したわだち掘れ部に滞水することによって，表層のアスファルト混合物との付着が低下し，はく離が生じることによりポットホールが発生する。

表-6 分析条件

項目	内容
路線	鋼床版が採用されている全路線
データの抽出期間	2010年12月～2018年10月末 (高耐久バインダの使用時期を考慮)
表層混合物	ポーラスAs舗装 (H型、高耐久H型) 密粒度As舗装 (改質II型、改質III型) 密粒度ギャップAs舗装 (改質II型、改質III型)
基層混合物	グースアスファルト舗装
打換え方法	表基層共に打換え、表層のみ打換え

3. 表層混合物の耐久性評価

現在，阪神高速道路の表層混合物にはポーラスアスファルト混合物が標準として使用されているが，例外的に密粒度アスファルト混合物や密粒度ギャップアスファルト混合物が使用されている。さらに，近年では従来のバインダよりも高耐久であるポリマー改質アスファルト高耐久H型（以下，高耐久H型）やポリマー改質アスファルトIII型（以下，改質III型）が使用されるようになってきている。そこで，保全情報管理システムに保存されている日常点検結果を基に，表層混合物の耐久性について分析することにした。

(1) 分析条件

分析条件を表-6に示す。日常点検結果から表層混合物の種類別，および打換え方法別で整理したデータの期間は高耐久バインダの使用時期を考慮し，2010年以降とした。

表-7 表層混合物の打換え方法別損傷分析結果

打換え方法		表基層共に打換え						表層のみ打換え						
資産データ	表層混合物名	ポーラスAs混合物		密粒度As混合物		密粒度ギャップAs混合物		ポーラスAs混合物		密粒度As混合物		密粒度ギャップAs混合物		
	使用As名	H型	高耐久H型	II型	III型	II型	III型	H型	高耐久H型	II型	III型	II型	III型	
	舗装総面積 (m ²)	73206	57011	49680	23730	109046	48885	75540	46225	104315	23409	75511	25156	
	基層の供用年数 (年)	最大	10	7	9	6	10	6	30	27	30	27	30	28
最小		2	2	3	3	2	2	7	8	8	6	7	7	
平均		7	4	7	4	6	3	23	22	24	18	24	20	
損傷データ	損傷数	3	0	7	0	3	1	12	0	36	1	7	1	
	1万m ² 当り損傷数	0.41	0	1.41	0	0.28	0.2	1.59	0	3.45	0.43	0.93	0.4	
	舗設後、損傷が発生するまでの年数 (年)	最大	6	0	9	0	5	3	13	0	15	1	17	5
		最小	1	0	1	0	1	3	1	0	1	1	1	5
		平均	2	0	3	0	3	3	8	0	8	1	10	5

(2) 打換え方法別の損傷発生個数分析結果

表層混合物の打換え方法別損傷分析結果を表-7に示す。各舗装構成によって、舗装の総面積が異なることから、1万m²当りに発生した損傷数として整理した。

表基共打換えに着目した分析結果より、高耐久H型を使用したポーラスAs舗装区間では損傷は発生していないことが確認できた。その一方で、改質II型を使用した密粒度As舗装は損傷の発生個数、舗装面積1万m²当りの損傷発生数でも最も多い結果となった。

表層のみ打換えデータは、各舗装構成間で基層の供用年数に偏りが認められたことから、基層の供用年数は30年以下のデータを使用した。表層のみ打換えに着目した分析結果より、高耐久H型を使用したポーラスAs舗装区間では損傷は発生していないことが確認できた。その一方で、改質II型を使用した密粒度As舗装は損傷の発生個数、舗装面積1万m²当りの損傷発生数でも最も多い結果となった。

以上の分析結果より、打換え方法に関わらず高耐久バインダを使用した表層混合物の高い耐久性を確認することができた。

(3) 損傷発生時の舗装供用年数の分析

損傷発生個数が多い表層のみ打換えを実施した舗装構成に着目し、損傷発生時の表層と基層の供用年数を整理した結果を図-10に示す。

表層のみ打換えた場合、基層の供用年数に関係なく、打換え後10年以内に損傷が発生している箇所(35箇所)が全体の損傷個所数(55箇所)の半数以上を占めていることが確認できた。表層のみ打換えする場合、残置する基層混合物の健全性がその後の供用性に与える影響が大きいといえる。

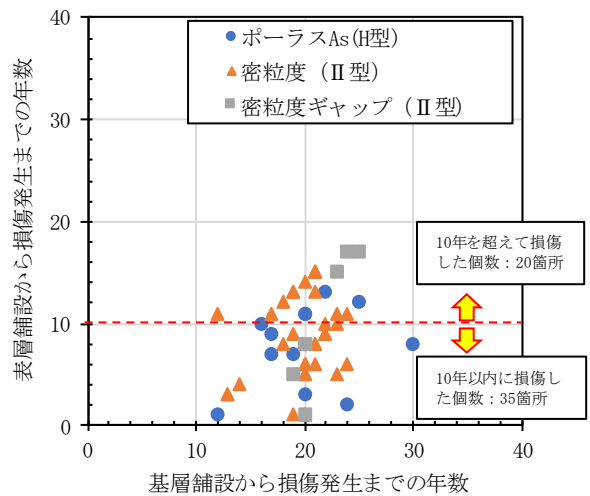


図-10 損傷発生時の供用年数分析 (表層のみ打換え)

損傷原因	損傷の代表例	
	損傷写真例	表層混合物
表層混合物の骨材飛散	<p>舗設から1年後に発生</p>	ポーラスAs混合物(改質H)表基共打換え
ジョイント部における損傷	<p>舗設から1年後に発生</p>	ポーラスAs混合物(改質II)表基共打換え

図-11 表層混合物の損傷発生事例

(4) 代表的な損傷例

本分析を実施した中で、代表的な損傷事例を図-11に示す。どちらの損傷も表基層共に打換えた後に早期に損傷が発生した事例である。

ポーラスアスファルト混合物の骨材飛散について、図-11の事例では縦施工継ぎ目付近に発生しており、混合物の品質、もしくは締固め不足に起因するものと推察される。次に、ジョイント部における損傷については車輪走行位置に発生していることから、伸縮装置付近の段差に起因して発生する車両の衝撃荷重、もしくはポーラスアスファルト混合物に浸透させたセメントミルクの充填不足が原因であることが考えられる。

どちらの損傷事例も高耐久H型を使用したポーラスアスファルト混合物を舗設することによって、損傷発生時期を遅延させることが可能であると考えられるが、これらの損傷の発生を抑制するためには、アスファルト混合物の品質に留意し、施工時の締固め不足が発生しないように混合物の温度管理を徹底するなど、高耐久バインダの性能を低下させない適切な施工管理が重要である。

4. 分析結果の考察

以上の分析結果より、鋼床版上舗装には、添接部等の鋼床版構造に起因したひび割れや、わだち掘れに起因した損傷が多く発生していることが示唆されたことから、鋼床版上舗装には現状以上に耐流動性やひび割れ抵抗性が要求されているといえる。

本検討結果より、表層混合物に使用した高耐久バインダ（高耐久H型、改質Ⅲ型）は、従来のバインダ（改質H型、改質Ⅱ型）よりも耐久性に優れていることが示された。表層に高耐久バインダを使用したことによる一定の効果は確認できた一方で、従来から使用されている基層グースアスファルト混合物を含めた表層と基層を併せた2層を一体とした舗装の長期耐久性向上については、検討の余地がある。

よって、鋼床版上舗装に発生する損傷を抑制するためには、従来から基層に使用されているグースアスファルト混合物の耐流動性、ひび割れ抵抗性を含めた長期耐久性を向上させる必要があるといえる。阪神高速道路では、過年度に高耐久グースアスファルト混合物の試験施工を実施しており、今後は実用化に向けた検討を進める必要がある。

5. まとめ

本検討では、鋼床版上舗装に発生している損傷を分析することにより、鋼床版上舗装の現状を把握し、現在使用されている表層混合物の耐久性を評価することで、鋼床版上舗装に発生する損傷を抑制する方法を検討した。その検討結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 鋼床版上舗装の現状把握

- 1) 定期点検結果では、表層混合物の種類に関係なく、ひび割れ率よりもわだち掘れ量の方がAランクやBランク損傷が多い傾向にある。
- 2) 日常点検結果で発見される損傷はポットホールが最も多く、次にひび割れであった。また、基層の経過年数と共に、深さ40mm以上の損傷数は増加し、概ね20年でピークを示した。
- 3) 舗装補修工事写真の分析より、鋼床版上舗装に発生する損傷は添接部等の鋼床版構造に起因する箇所やわだち掘れ等で舗装厚さが薄い箇所に多く発生していることが明らかとなった。

(2) 表層混合物の耐久性評価

- 1) 高耐久H型や改質Ⅲ型を使用した混合物は従来のH型や改質Ⅱ型を使用した混合物と比較して損傷発生数が少ない。
- 2) 表基層共に打換え区間は表層のみ打換え区間よりも損傷発生数は少ない傾向にあるが、打換え方法に関係なく高耐久バインダを使用した混合物に発生した損傷数は少ない傾向を示した。
- 3) 表層のみ打換え区間では、打換え後10年以内に損傷が発生する箇所が全体の半数以上を占めた。残置した基層混合物の健全性が打換え後の供用性に影響を与えている可能性が考えられる。

(3) 鋼床版上舗装に発生する損傷の抑制方法

- 1) 鋼床版上舗装の損傷を抑制するために、表層に高耐久バインダ（高耐久H型、改質Ⅲ型）を使用することは有効である。
- 2) 基層に使用されているグースアスファルト混合物について、耐流動性やひび割れ抵抗性を含めた長期耐久性を向上させる必要がある。

参考文献

- 1) 多田宏之：鋼床版舗装の設計と施工，鹿島出版会，1990
- 2) 設計基準 第3部 構造物設計基準（第4編舗装），阪神高速道路株式会社，2016
- 3) 道路構造物の点検要領，阪神高速道路株式会社，2018