

阪神高速道路のRC床板の点検

Inspecting the RC Slab of Hanshin Expressway

林 秀侃*、川村 勝**、金本 功***

Hidenao Hayashi , Masaru Kawamura and Isao Kanemoto

*阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課 課長 (〒565-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3 大阪センタービル内)

**阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課 係長 (〒565-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3 大阪センタービル内)

***内外工営株式会社 技術部 部長 (〒542-0081 大阪市中央区南船場 4 丁目 7-15)

An inspection in order to provide safety for RC slab has been practiced in Hanshin Expressway Public Corporation (HEPC). This inspection had chiefly consisted of methods to decide the necessity of repairing/strengthening by means of judging the deterioration degree based upon cracks caused in RC slab and this inspection could be said to be a convenient technique for maintaining structures. However, it was hardly asserted that it had evaluated the deterioration degree in the true sense of the term.

The necessities of deterioration degree diagnosis have been widely recognized in the aspect of management for concrete structures, where a number of study for deterioration degree evaluation technique or diagnosis technology has been promoted.

This report verifies the further orientation for the inspection through rearrangement undertaken up to now for the inspection results of RC slab by HEPC.

key words : Inspection , Grading , RC slab

1. はじめに

阪神高速道路公団は、昭和 39 年 6 月に環状線の一部を供用開始して以来、平成 10 年度現在 221.2km の都市内高速道路を維持管理している。

昭和 45 年の大阪千里万国博覧会に関連して、大阪地区の環状線と放射路線、兵庫地区の神戸西宮線などの現在でもネットワークの中心となる路線 74.1km を供用開始して、利用交通量も飛躍的に増大した。

昭和 47 年、堺線と守口線で相次いで発生した RC 床版の陥没事故では、床版下面に 30cm 大の欠損穴と約 1.5×4.0m の範囲で亀甲状のひびわれとコンクリートのはく離が生じていた。一方、路面上舗装撤去の後、床版上面を確認したところ、約 3 m² の範囲でくぼみが認められた。縦横にひびわれが発生していたが、床版鉄筋には何ら異常は無く、コンクリートのみが隗状に崩壊していた。

この事故発生を契機に、阪神高速道路公団では日本材料学会と共同で、発生原因の究明に努め、その結果以下のことが明らかになった。

- ・通行車両による原因 (過大荷重車両の走行、交通量の増大)
- ・構造細目による原因 (床版厚さの不足、配力筋の不足、主鉄筋曲げ上げ位置の不適正)
- ・使用材料による原因 (コンクリート品質の低下、コン

クリート打設時の締め固め不良)

事故発生以降の設計施工床版では、構造細目や使用材料に関する設計基準や施工要領が改訂されたため、これらの理由による陥没事故の発生は、現状では皆無である。

過大荷重の走行については、事故後に主要な料金所に設けた軸重計の計測により警告するなど低減に努めているが、現在も違反車両が検出されており、交通量の増大ともあいまって、疲労に起因する損傷の発生には、今後も注意を払う必要がある。

事故発生以来行ってきた点検は、ひびわれ発生に着目して、RC 床版の損傷度を評価してきたが、簡便である反面、材料の劣化やこれと複合した疲労劣化度の評価といった観点からは不十分と考えられる。本稿は、阪神高速道路公団がこれまでに行ってきた RC 床版の点検結果について整理し、今後の点検の方向性について検討するものである。

2. RC床版の状況

2-1 設計基準の変遷

阪神高速道路での適用基準の変遷を表-1に、適用した普通コンクリートRC床版のパネル数を表-2に示す。阪神高速道路全体でRC床版数量は約119,000パネルに達し、その内、昭和46年阪神公団の改制基準以前の

表-1 床版設計基準の変遷

時期	適用示方書	基準
I 公団発足時 ～昭和43年7月 の基準	・鋼道路橋示方書	(昭和31年)
	・同	(昭和39年)
	・コンクリート標準示方書	(昭和31年)
	・合成ゲタ設計施工指針	(昭和35年)
	・同	(昭和40年)
II 昭和43年7月 ～昭和46年3月 の基準	・鋼道路橋示方書	(昭和39年)
	・合成ゲタ設計施工指針 ・阪神公団床版設計基準 (建設省暫定基準に準拠)	(昭和40年) 昭和43年
III 昭和46年3月 ～昭和53年5月	・阪神公団床版改訂基準 (道路局長通達に準拠)	昭和46年
	・道路橋示方書	(昭和47年)
IV 昭和53年5月 ～昭和59年1月	・建設省通達 「道路橋鉄筋コンクリート 床版の設計施工について」	(昭和53年)
	・道路橋示方書	(昭和47年)
	・同	(昭和55年)
V 昭和59年2月 ～平成5年11月	・建設省通達 「道路橋鉄筋コンクリート 床版の設計施工指針」	(昭和59年)
	・政令 「道路構造令等の一部を改 正する政令」	(平成5年)
VI 平成5年11月 以降	・政令 「道路構造令等の一部を改 正する政令」	(平成5年)

表-2 適用設計基準別RC床版設備数量

路線名	設計基準				合計
	I	II	III	IV～VI	
環状	5,334				5,334
池田	7,515			714	8,229
堺	8,327				8,327
西大阪	2,464				2,464
森小路	1,276				1,276
守口	5,045	3,741			8,786
神戸西宮	10,736	9,553			20,289
松原	160		4,106		4,266
東大阪		4,573	987	2,815	8,375
大阪西宮大		48	5,546		5,594
大阪西宮兵		1,224	5,436		6,660
湾岸			732	35,073	35,805
大阪港				2,862	2,862
北神戸				368	368
淀川左岸				447	447
合計	40,857	19,139	16,807	42,279	119,082

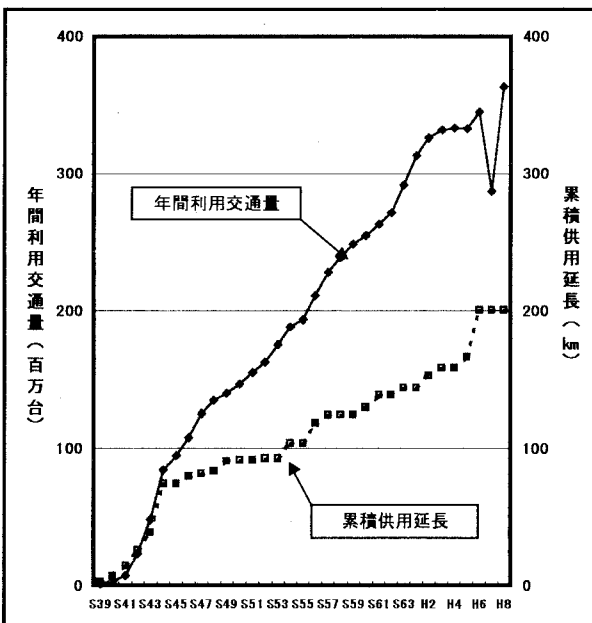


図-1 各路線の利用交通量の推移

基準 I、II で設計された床版は約 60,000 パネルとなっている。

2-2 交通量

阪神高速道路の利用交通量は、平成 10 年現在、約 95 万台/日を数えている。

図-1 には、年間の交通量の推移を示しているが、年間交通量はおおむね漸増傾向にあることが分かる。平成 7 年度において交通量が減少しているが、これは阪神淡路大震災の影響によるものである。なお、ここでの交通量は料金所での利用台数を集計したものであり、以下はこの交通量を用いて考察している。

3. RC床版の点検方法

阪神高速道路公団では、疲労による劣化に主眼をおいた点検を実施してきた。陥没事故を契機として行った RC 床版の現地調査と模型載荷実験などから、RC 床版の劣化過程を、図-2 のように想定している。

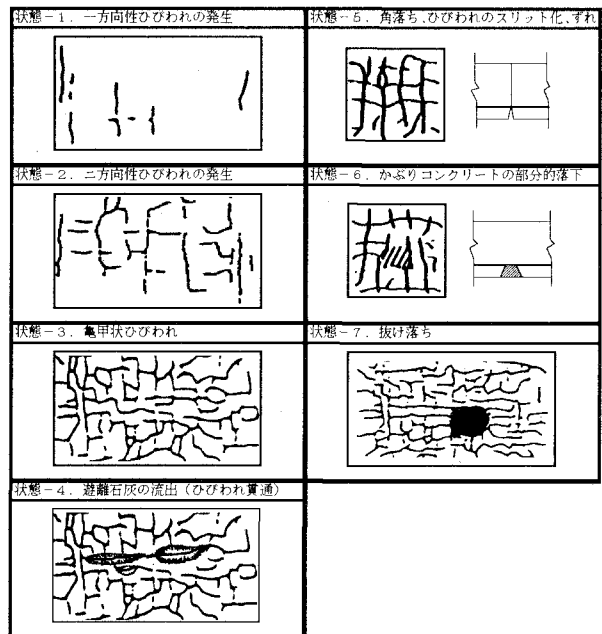


図-2 床版の劣化過程

点検では、「道路構造物の点検標準（土木構造物編）（昭和 55 年制定、平成 8 年 5 月改訂）」に基づき、接近目視とたたき点検により、ひびわれの方向性、ひびわれ幅、ひびわれ間隔にあわせてひびわれの開口、角欠け、漏水、遊離石灰、不良音の有無などを調査して、表-3 (a) の判定基準により判定を行ってきた。

点検の結果、損傷度が著しいと判定された床版は、「鋼板接着工法」による補修を進めてきた。しかし、これら補修済み床版に対しても活荷重作用下での補修であること、充填樹脂材料の長期品質が明らかではないことなどから、表-3 (b) に示す判定基準を設けて、未補修床版とあわせて定期的に点検を実施してきた。

表-3 (a) RC床版の判定基準

損傷形態		判定要素		判定	
ひびわれの種類		平均ひびわれ幅	平均ひびわれ間隔		
ひびわれ	二方向性	平均的ひびわれ発生密度による判定	40cm以下	A	
			40cm~60cm	B	
			60cm以上	C	
	一方向性	局所的に集中したひびわれ、または局所的に発生した亀甲状ひびわれに対する判定	0.2mm程度以上	-	A
			0.1~0.2mm程度	-	B
			-	-	A
はく離	平均的ひびわれ発生密度による判定		50cm以下	A	
			50cm~1m	B	
			1m以上	C	
	局所的に集中したひびわれ、または局所的に発生した亀甲状ひびわれに対する判定		0.2mm程度以上	-	A
			0.1~0.2mm程度	-	B
			-	-	A
はく離	①合計0.1㎡以上の範囲で鉄筋が露出している。 ②合計長さ50cm以上の主鉄筋が露出している。 ③鉄筋が腐食している。 ④0.3㎡以上のはく離、欠落がある。 ⑤0.2㎡以上の豆板、空洞がある。			A	
		①合計0.1㎡未満の範囲で鉄筋が露出している。 ②合計長さ50cm未満の主鉄筋が露出している。 ③0.1~0.3㎡のはく離、欠落がある。 ④0.1~0.2㎡の豆板、空洞がある。 ⑤0.1㎡未満のはく離、欠落、豆板、空洞がある。			B
					C
漏水	①0.3㎡以上の範囲で漏水、遊離石灰、さびの流出がある。 ②鋼構造物などに、Aランクの腐食を生じさせている。 ③漏水してさびの流出がある。 ④0.3㎡未満の範囲で漏水、遊離石灰がある。 ⑤鋼構造物などに、Bランクの腐食を生じさせている。 ⑥漏水、遊離石灰がわずかにある。				A
				B	
				C	
その他	①端横桁からの浮きがあり、車両通過時に挙動している。 ②床版相互が接触している。 ③床版継ぎ目が不良である。 ④端横桁との間にすき間はあるが、挙動していない。			A	
				B	
				C	

注：局所的に集中したひびわれとは、主桁近傍で橋軸方向に連続した線状ひびわれや、部分的にひびわれの発生密度が高くなっている箇所を示す。

表-3 (b) 補修済み床版の判定基準

損傷形態		判定
不良音	たたき点検において、鋼板1枚の1/3程度以上の範囲に不良音がある。	A
	たたき点検において、鋼板1枚の1/3程度以下の範囲に不良音がある。	B
	たたき点検において、不良音がわずかにある。	C
漏水	鋼構造物に、Aランクの腐食を生じさせている。	A
	①漏水、遊離石灰の著しい流出がある。 ②鋼構造物に、Bランクの腐食を生じさせている。	B
	漏水、遊離石灰がわずかにある。	C
さび	①鋼板に0.2mm程度以上の腐食がある。 ②鋼板全面積(パネル)の1/2以上にさびがある。	A
	①鋼板に0.2mm未満の腐食がある。 ②鋼板全面積(パネル)の1/2未満にさびがある。	B
	鋼板にさびが点在している。	C
変形	鋼板の著しい変形や、ずれが認められる。	A
	鋼板の一部に変形が認められる。 変形はあるが軽微である。	B
		C
シール部	シール部の一辺を超える範囲に進行性のはく離がある。	A
	シール部の一辺にわたり、はく離がある。	B
	シール部の一部にはく離、またはひびわれがある。	C

補修済み床版については、昭和58年~平成4年にかけて、特に浮き音やさび腐食の顕著な補修済み床版を選び、鋼板を撤去して調査を実施した結果から、再補修を要する床版はきわめて少ないことが分かったが、現在でもハンチ部の漏水や鋼板継ぎ目部の挙動に特に留意して点検を行っている。

また、床版補修工事において用いた樹脂材料の長期品質管理試験供試体の作成を義務付け、2年、5年、10年、15年の屋外暴露を行った後、経年劣化の有無を継続的に調査している。平成9年度には作成を義務づけてから15年経過した供試体の試験を実施して、特に顕著な劣化のないことを確認した。¹⁾

4. RC床版の損傷傾向

4-1 床版の補修率

図-3に、適用基準と補修済みパネル数の関係を示す。補修済みパネル数は、平成元年~9年に行った各路線最新点検時の数量を集計した。改訂適用基準が古いほど、補修済みパネル数は多い。しかし、阪神高速道路公団の床版補修は、Aランクパネルと同一主桁間にあるパネルを一括して補修したり、場合によってはBランクも補修対象とするなどの対応も行ってきた。その理由は以下のとおりである。

- ・高速道路交通の円滑化確保と第三者損害を未然に防ぐため、高位ランクのパネルとあわせて、予防保全的に補修した。
- ・平成10年度から、車両制限令が改正されるのに先だって、適用基準I、IIの未補修床版を優先的に補強した。したがって、補修済み床版が全て判定ランクが高いすなわち劣化度が高かったとは言えない。

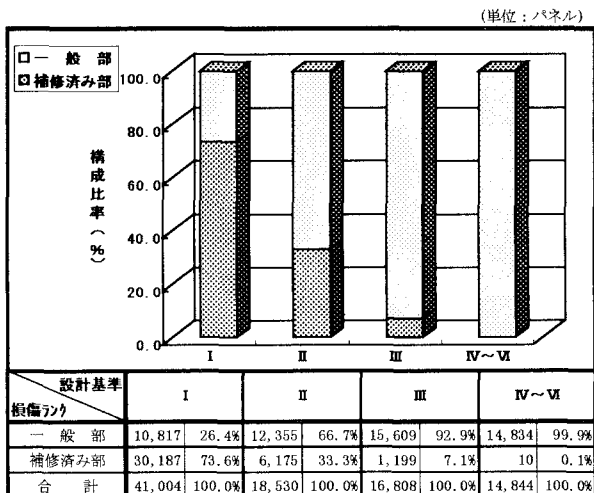


図-3 適用設計基準と床版補修率の関係

4-2 未補修床版の損傷傾向

図-4には、補修率が比較的低かった点検年度での未補修床版の判定ランク別構成率を示しているが、適用基準が古いほど、損傷の発生率は高く、同一適用基準の中でも、累積大型車交通量が多い路線で、判定ランクの高いパネルが多いことが分かる。

また、図-5に、一点検間隔内で判定ランクが遷移する確率と、適用設計基準ならびに累積大型車交通量の関係を示す。OK→Cへの遷移率は、適用設計基準が古い路線ほど高い傾向が認められる。なお、前回点検時にBランクと判定された床版は、そのほとんどが補修されているため、遷移率は図示していない。

4-3 補修済み床版の損傷傾向

図-6に補修済み床版の損傷発生割合を添接板の有無により比較する。補修時からの経過年数も理由の一つと考えられるが、損傷が認められるのは添接板を設けなかった補修パネルに多いことがわかる。損傷内容は、浮き

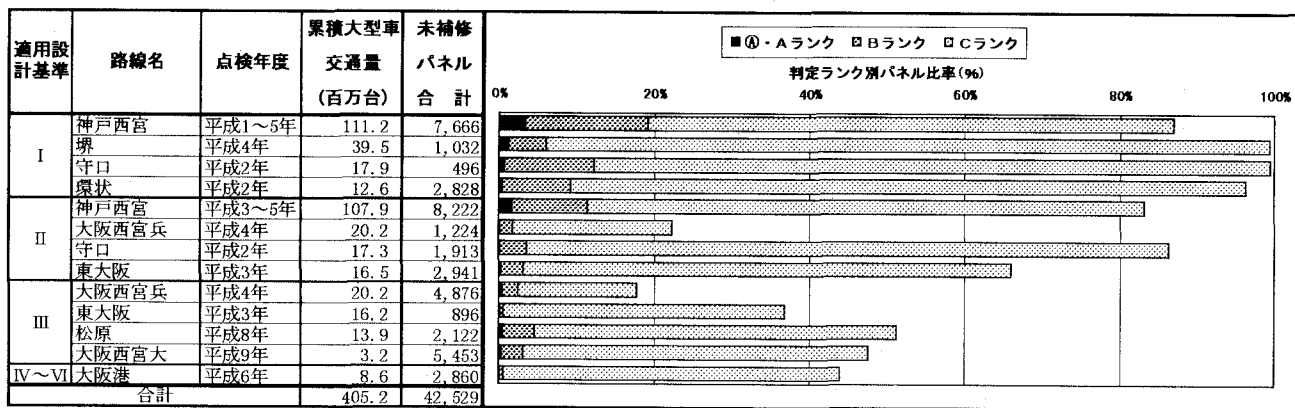


図-4 適用設計基準および累積大型車交通量と損傷発生割合の関係

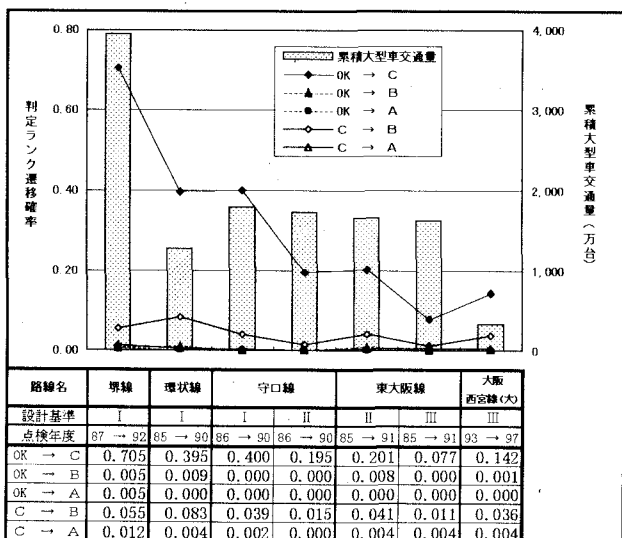


図-5 路線別損傷ランク遷移率の比較

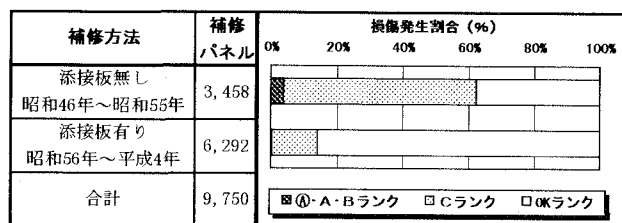
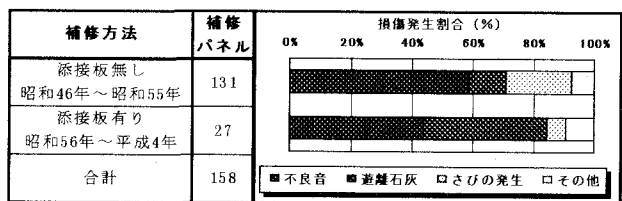


図-6 添接板の有無による損傷発生割合の比較



注) ④、A、Bランクと判定された補修床版を対象として算出

図-7 添接板の有無による損傷内容の比較

音や鋼板周辺のさび腐食の発生が多く、補修済み床版の鋼板をはがして調査を行った結果からは、これらの損傷は接合部付近に多く認められることを確認している。²⁾

また、補修済み床版で、損傷が顕著な鋼板を撤去しての調査結果では共に、床版に著しい劣化はなく、補修済み床版の点検で判定ランクが上位であっても、耐久性を著しく損なわないと考えられる。ただし、上位ランクと判断された場合は、特にハンチ部の損傷やアンカーボルトのゆるみの有無に注意を払って点検を行っている。

5. RC床版損傷のグレーディングによる評価

5-1 グレーディングによる評価手法

阪神高速道路公団では、RC床版を例としてこれまでに行ってきた点検と補修の実績から、判定ランクの遷移確率によるRC床版の劣化モデルを構築し、将来の維持管理コストの最適化について検討を行った結果、長期的かつマクロ的な維持管理の考え方を見いだすには有効な手法であることを報告している。³⁾

しかしながら、劣化モデルの構築に用いた点検判定ランクから得られる損傷度にはバラツキがあることは否めず、維持管理の期間中に発生しうる損失(第三者被害な

ど)の評価には注意を要することもあわせて報告している。

現行の点検判定の問題としては、以下のとおりである。

- 目視による点検では、材料面での劣化を把握できない。
- 目視点検の判定は、点検員の構造物に関する知識、経験、点検技量によって、ある程度のバラツキをもつ。
- 判定ランクによる評価は、RC床版の劣化度に対して一定の評価を与えているが、最終的な補修の要否は、過密都市内という地域性の要因を加えて判断している。
- 厳密には、交通荷重履歴は不確定で、点検においては適用基準が古いすなわち累積交通量の多い路線の点検頻度をあげることで、劣化に備えているのが実状である。

ここでは、「コンクリート構造物の維持管理指針(案)土木学会コンクリートライブラリー」に記載されている「グレーディング」の考え方に基づいて、阪神高速道路の既存点検データを用いて、RC床版の劣化度の評価を試みた。

グレーディングの考え方は、構造物の各性能に対応する評価項目を設定し、評価項目を劣化段階に応じて重み

付け（グレーディング）し、それらを組み合わせることにより構造物の劣化度を評価しようとするものである。

評価項目と構造物の劣化度の関係が明確であり、点検において評価項目が把握できれば、信頼度の高い判定が期待できる。

5-2 評価項目と評価指標

阪神高速道路公団の判定基準に示されている損傷に対して、表-4の評価項目を設定した。各評価項目のグレードはG I ~ G IIIの3段階とし、評価項目の中での相対的な劣化度合いを意味する評価指標は、前出の維持管理指針（案）の付属資料IVに示されている感度曲線①を用いてG I : 0.01, G II : 0.20, G III : 0.65と設定した。

RC床版の劣化進行に応じて、評価項目の損傷が発現すると考え、劣化度はこれらの累積値である「ひびわれ総合評価指標」で定義した。算出方法は、「コンクリート構造物の維持管理指針（案） 土木学会コンクリートライブラリー」の付属資料IVに記載された方法を用いた。

$$\text{ひびわれ総合評価指標} = S1 + (1-S1) \times S2 + \{1-S1 - (1-S1) \times S2\} \times S3 \dots$$

ここに、Si は各評価項目の評価指標を意味する。

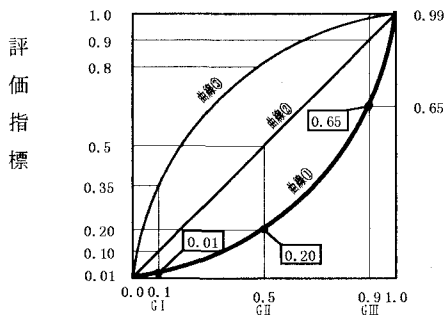


図-8 感度曲線

5-3 グレーディング評価例

図-9に、堺線（適用基準I、大型車交通量は3路線の中で最多）、東大阪線（適用基準IIの区間で集計、大型交通量は3路線の中で中程度）、大阪西宮線（適用基準III、大型車交通量は少）で得られた定期点検のAランク床版とBランク床版の、ひびわれ総合評価指標の分布を示す。図-9より、以下の傾向が認められる。

- ・定期点検時にAランク床版のひびわれ総合評価指標は、すべて0.7~1.0の範囲にあり、しかも0.9以上の値を示すパネル比率が高い。
- ・Bランク床版のひびわれ総合評価指標は、0.2~1.0と非常に広い範囲に分布しており、その値の高いものはAランク床版のひびわれ総合評価指標と重複する。Bランク床版のひびわれ総合評価指標の分布は0.5~0.7の間に少なく、0.2~0.4の間に多い傾向にある。
- ・路線別では、適用設計基準が古く累積大型車交通量の多い堺線で得たBランク床版のひびわれ総合評価指標が、Aランク床版と同等の0.7~0.9の範囲に多く分布する傾向が認められる。

表-4には、点検時に確認したAとBランク床版の評価項目が、グレーディングのどの評価項目に含まれているかを示している。なお表中で、Bランク床版についてはひびわれ総合評価指標を3段階に分けて集計している。

ここでは、以下の傾向が認められる。

- ・「ひびわれの発生形態」は、適用基準Iの堺線では「亀甲状」、適用基準IIの東大阪線では「線状2方向ひびわれ」が多く、適用基準IIIの大阪西宮線では「線状1方向ひびわれ」と「線状2方向ひびわれ」がほぼ同数であることから、適用基準と交通履歴に応じてひびわれが進行している傾向にある。
- ・Aランク床版では、「ひびわれの形態」と「平均ひびわれ幅」のいずれもが、G IIIとG IIに含まれ、路線間で

表-4 評価項目および各グレードに属する床版数量

番号	評価項目	損傷状態	グレード	該当床版パネル数									合計								
				堺線 平成4年 設計基準I			東大阪線 平成8年 設計基準II			大阪西宮線大 平成9年 設計基準III											
				Bランク			Bランク			Bランク			Bランク								
				0.7 ≥ 総合評価指標	0.4 < 総合評価指標	0.4 ≤ 総合評価指標	0.7 ≥ 総合評価指標	0.4 < 総合評価指標	0.4 ≤ 総合評価指標	0.7 ≥ 総合評価指標	0.4 < 総合評価指標	0.4 ≤ 総合評価指標	0.7 ≥ 総合評価指標	0.4 < 総合評価指標	0.4 ≤ 総合評価指標						
1	ひびわれの形態 (形式、密度)	線状一方向	G I				1		12	2	2	30	3	2	42						
		線状二方向	間隔 40cm~60cm Bランク	G II	5	4	3			23	3	107			48	8	124				
			間隔 40cm 以下 Aランク	G III	3			11						15							
			亀甲状	G III	4	23	4	14	1	5		3	23		21	47	9				
2	平均ひびわれ幅	t ≤ 0.1mm	G I			4	3	1	5	20		5	1	3	6	9	21				
		0.1mm < t ≤ 0.2mm	G II	2	10	4	3	16	18	3	99	3	40	1	43	21	66	8	145		
		t > 0.2mm	G III	5	18		6	6				1	2		12	24	2				
3	集中性	無	G I	7	28	8	3	22	23	8	119	2	27	3	44	31	78	19	166		
		有	G III				3	2				2	18		5	20					
4	挙動 (せん断方向)	無	G I	7	28	8	3	25	24	8	119	3	45	3	44	35	97	19	166		
		有	G III				1				1			1	1						
5	角落	無	G I	6	26	8	3	1	8	8	119		15	3	44	7	49	19	166		
		有	G III	1	2			24	17			4	30		29	49					
6	すれ	無	G I	7	28	8	3	25	25	8	119	4	45	3	44	36	98	19	166		
		有	G III																		
7	漏水・遊離石灰 さびの流出	わずかにある。	Cランク	G I	6	26	4	3	24	21	5	103	4	43	2	40	34	90	11	146	
		0.3mm未満の範囲である。	Bランク	G II		2	4			1	2	3	16		1	1	4	1	5	8	20
		0.3mm以上の範囲である。	Aランク	G III	1					2					1		1	3			
合計パネル数				7	28	8	3	25	25	8	119	4	45	3	44	36	98	19	166		

同程度の評価を与えていると考えられる。他の評価項目では、3路線ともに、「角落」に着目した評価パネル数が多く「集中性」「挙動」「ずれ」「漏水・遊離石灰・さびの流出」などの評価パネル数は少ない。

・Bランク床版の中で、ひびわれ総合評価指標が 0.7～1.0 の床版パネルの評価項目は、Aランク床版の評価項目と同傾向である。

・Bランク床版の中で、ひびわれ総合評価指標が 0.7 未満の床版パネルの評価項目「ひびわれの形態」と「平均ひびわれ幅」では、G IIやG Iのグレードが占める割合

が高く、これら以外の評価項目はG Iに区分されるパネルが多い。

5-4 グレーディング評価での現行床版点検の問題点
現行のRC床版点検の与える判定ランクには、以下の問題がある。

・Aランク床版のひびわれ総合評価指標は総じて、Bランク床版と比べて高い劣化度を表していると言えるが、AとBランクの区分が不明瞭となるケースがある。

・Bランク床版のひびわれ総合評価指標は、幅広く分布し、Aランクと重複するパネルもあることから、現行点検での判定では、損傷を過小に評価する可能性がある。

6. まとめ

これまでの、RC床版の点検と補修は、第三者被害の防止と都市機能の維持のため、RC床版の損傷を極限まで放置することなく「予防保全」的に維持管理してきたといえる。

この間、落下物事故によるRC床版と主桁の損傷や、平成4年の東大阪線での床版の打ち換え補修など、陥没事故に匹敵する損傷は希であった。特に後者は、点検による判定ランクに基づいて、応急的に仮補強を行うなどの処置の後、本補修を行ったものであり、現行の点検は、早急な補修の要否の判断にとって有効であったといえる。

しかしながら、現行の判定基準で得た点検結果をグレーディングで再評価すると、Bランクが意味する劣化度に幅があり、損傷を過小に評価する可能性があることがわかった。

ここで試みたグレーディング評価は、ひびわれに関連した項目のみを用いて、既存の点検結果を再評価したが、材料の劣化状態や劣化を促進する条件の有無を把握すること、および交通荷重履歴を評価に加えることで、より正確な損傷評価を得ることが可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 川村 他：施工15年を経過した鋼板接着工法用エポキシ樹脂の性能に関する調査研究 土木学会構造工学論文集 Vol. 44A 1998.3
- 2) 阪神高速道路公団：道路橋RC床版のひび割れ損傷と耐久性 平成3年12月
- 3) 足立 他：道路構造物の維持管理の最適化手法に関する検討、技報第十五号（阪神高速道路公団）、1997

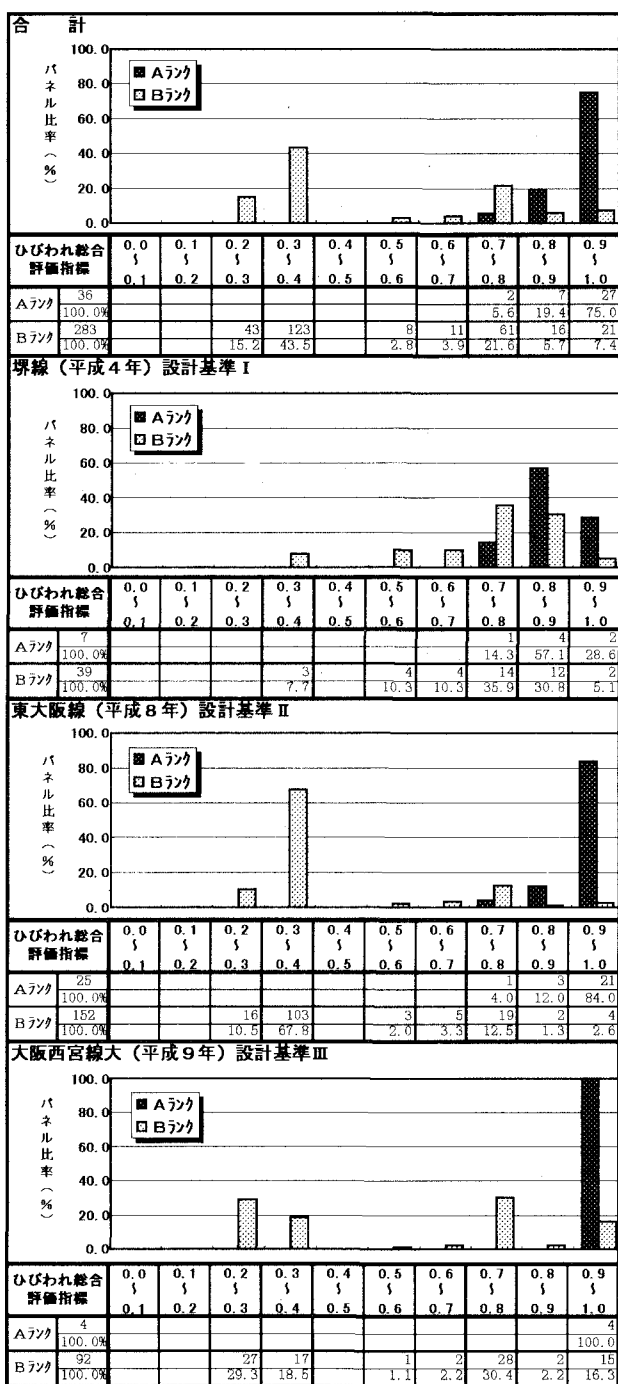


図-9 グレーディングによるひびわれ総合評価指標の分布