

報告

[1185] アルカリ骨材反応による RC 床版の損傷

杉江 功\*1・児島 孝之\*2・杉山 功\*3・村山 康雄\*4

1. はじめに

アルカリ骨材反応(以下、「AAR」という。)による道路構造物のひびわれ損傷が問題となり、既に20年以上が過ぎている。しかし、これらは比較的部材厚の大きい橋脚、擁壁、主桁などが対象であり、部材厚の小さいRC床版や高欄に関する報告は極めて少ない。一方、阪神高速道路のRC床版は、2~3年に1度点検されているが、昭和58年の定期点検において、通常の直角に交わる2方向のひびわれと様相の異なるものが発見された。これらは建設後、数年経過した後のひびわれで、120°に交わるものが多数見られ、この原因は活荷重や乾燥収縮ではなく、AARではないかと考えられた。しかし、橋脚に生じたひびわれに比べるとその幅は小さく、コア採取による促進膨張および化学法試験でも、明確にAARと特定はできなかった。そこで、これらの損傷がAARによるものか否か、AARとすれば橋脚などどのように発生状況や今後の進行状況が異なるかなどを把握するため、追跡調査を行うこととした。

2. 調査結果

2.1 調査の概要

調査は西宮線の1径間で3パネル、松原線の3径間で各1パネルの計6パネルで実施している。これらは各々昭和62年、58年の定期点検で損傷が大きく、特に橋軸直角方向のひびわれより斜めまたは橋軸方向のひびわれが目立つもの、および亀甲状のひびわれが発生しているものを選んでいく。追跡調査ではひびわれの状況、密度、幅、深さおよび静的載荷試験による床版たわみ量を測定し、過去4回行ったコア採取ではコンクリートの圧縮強度、化学分析およびコア膨張量、化学法等AAR試験などを実施した。調査対象の例として松原線-2、3の構造一般図を図-1に示す。どの径間も阪神高速道路では、最も一般的な鋼I形単純合成桁で、設計示方書は活荷重による疲労損傷の経験から、床版厚を厚く設定した昭和48年版を用いている。また、供用は昭和55~56年で、松原線-2の渡り線部は建設後12年経た平成4年に供用開始している。

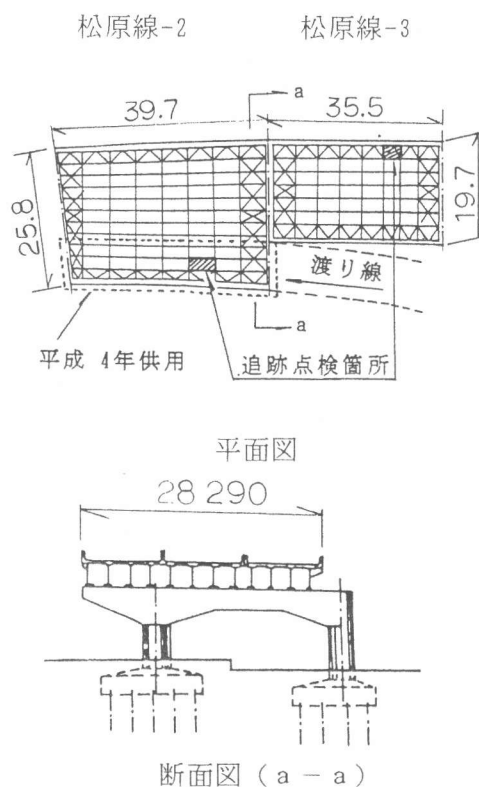


図-1 構造一般図(松原線-2、3)

- \* 1 阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課、工修(正会員)
- \* 2 立命館大学教授 理工学部土木工学科、工博(正会員)
- \* 3 阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課長
- \* 4 (株)フジエンジニアリング 調査設計部 調査2課

昭和62年

A	B	B	B	B	B	B	A
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
A	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
A	B	B	B	B	B	B	B

平成2年

A	B	B	B	B	B	B	A
A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A
B	B	B	B	B	B	B	B
A	A	A	B	B	A	A	A
A	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	A	A	A
B	B	B	B	B	B	B	B
B	A	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	A	B	A	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
A	B	B	B	B	B	B	B

平成4年

A	B	B	B	B	B	B	A
A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A
B	B	B	B	B	B	B	B
A	A	A	A	A	A	A	A
A	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	A	A	A	A
B	B	B	B	B	B	B	B
B	A	B	B	B	B	A	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	A	B	A	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B
A	B	B	B	B	B	B	B

←→橋軸方向

図-2 定期点検結果の推移 (西宮線-1)

2.2 定期点検結果

図-2は西宮線の調査床版の過去3回の定期点検結果である。判定は損傷の大きいものからA、B、Cで表し、例えば損傷ランクAは、幅0.1mm以上で間隔40cm以下の2方向ひびわれや、角落ちなどがその判定基準となっている。図-2より床版の損傷がかなりの速度で進行しているのがわかる。

また、表-1はこの径間とほぼ同時に建設された、周辺の工区毎の最新の定期点検における、各損傷ランクのパネル数を示している。表-1から調査床版を含むC工区の損傷数が他工区より突出しているのがわかる。

2.3 ひびわれ調査結果

(1) ひびわれ状況

ひびわれ状況の変化の例を図-3に示す。全体的な様子では、橋軸方向と橋軸直角方向のひびわれを明確に判別できず、斜めに伸びるものが目立っている。また、AAR特有の3方向のひびわれが約120°に交わる状況もよく見られる。ただし、ハンチ部については断面変化方向のみにしかひびわれが現れていないのも特筆される。ひびわれ状況の変化は4年間

のものだが、新しいひびわれの発生およびひびわれが床版全体に進展しているのがわかる。

ひびわれ幅は最大で0.3mmであるが、ほとんどは0.2mm以下で、松原線では0.1mm以下の微細なひびわれが多数を占めていた。このように、ひびわれ幅自体はそれほど大きくなり、この点で橋脚などに生じたAARのひびわれとは様子が異なる。また、AAR損傷の著しい橋脚に見られたひびわれ部でのコンクリート表面のずれも観察されていない。

表-1 定期点検結果一覧表

工区	径間数	パネル数 全数	判定ランク				損傷発生率 (A+B) パネル全数/
			一般部				
			A	B	C	OK	
A工区	13	546	3	7	69	467	1.83%
B工区	5	548	4	4	34	506	1.46%
<b>C工区</b>	<b>6</b>	<b>672</b>	<b>91</b>	<b>395</b>	<b>185</b>	<b>1</b>	<b>72.32%</b>
D工区	7	460		2	22	436	0.43%
E工区	9	378		1	6	371	0.26%
F工区	9	378			37	341	0.00%
G工区	15	745	1	5	154	585	0.81%
H工区	3	126		15	61	50	11.90%
I工区	3	168	1	13	40	114	8.33%

\* 西宮線-1はC工区に含まれる

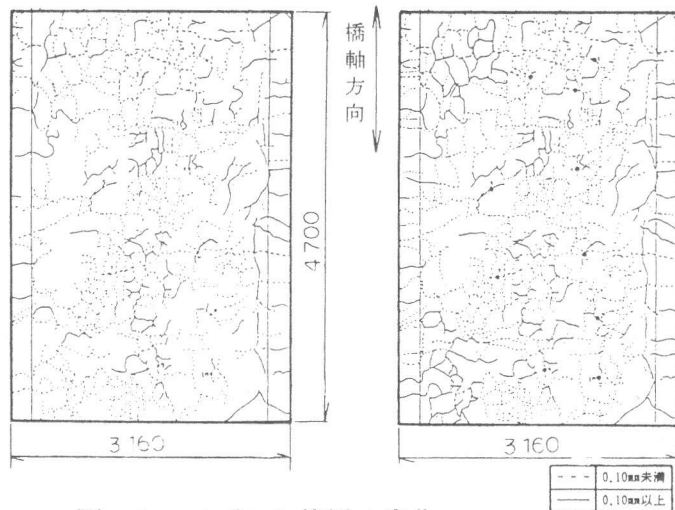


図-3 ひびわれ状況の変化 (西宮線-1・L-4A' 部)

写真-1は調査床版を、写真-2はいわゆる活荷重の繰返し作用による床版のひびわれ損傷の例(Aランク)を撮影したものである。後者は橋軸直角方向のひびわれが卓越し、その密度もかなり今回の調査床版より小さいのがわかる。

(2) ひびわれ密度

今回の調査床版6パネルの他に、通常の損傷床版においても追跡調査が行われている。

図-4はこれらの床版について、0.05mm以上のひびわれ密度の経年変化を示したものである。

通常床版のひびわれ密度の最大値は11m/m<sup>2</sup>程度であるが、今回の調査パネルはそのほとんどが12m/m<sup>2</sup>以上であり、最大値は21m/m<sup>2</sup>を超えている。ひびわれ密度の増加傾向はどちらの床版でもあまり変わらず、スピードは小さいものの今後とも増加する傾向が伺える。調査床版のひびわれ密度は、その初期値も10m/m<sup>2</sup>以上であり、供用開始が昭和55年頃であることから、特に昭和58年から調査している松原線では、建設後比較的早く相当なひびわれが生じたものと推測できる。

図-5は0.05mm以上のひびわれで、橋軸方向と橋軸直角方向の密度の比を示している。床版のひびわれは、特に昭和39年の示方書で設計されたもののように配力筋不足などにより、まず橋軸直角方向のひびわれが生じ、これが床版のスリット化をもたらした後、橋軸方向つまり主筋に対してひびわれが発生する。このため、一般には図中の黒丸のように、橋軸直角方向のひびわれが卓越する。ところが、今回の調査床版では必ずしもこのような傾向は見られない。

これは0.1mm以上のひびわれでも同じであった。通常AARによるひびわれは、プレストレスなど拘束するものがなければ、発生する方向に規則性はないが、この場合も同じことがいえる。

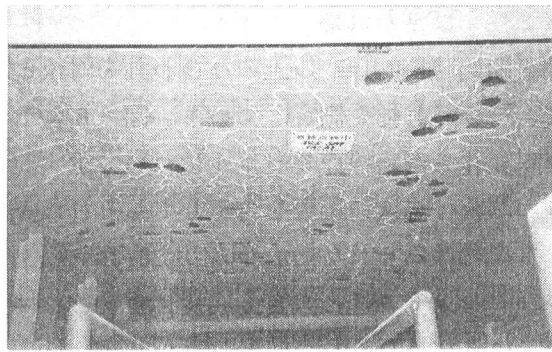


写真-1 ひびわれ状況 (密度: 21.3m/m<sup>2</sup>)

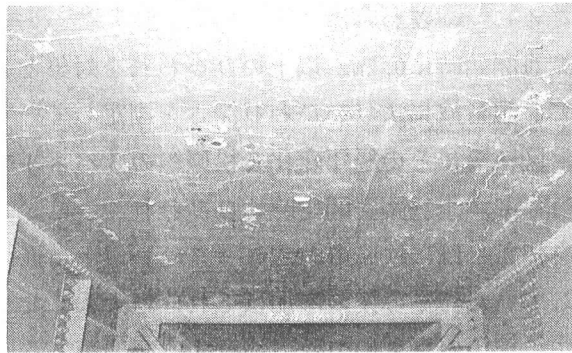


写真-2 活荷重によるひびわれ損傷の例

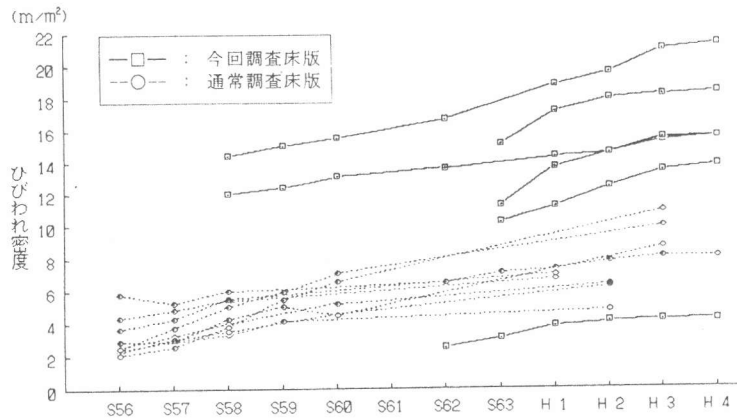


図-4 ひびわれ密度の経年変化図

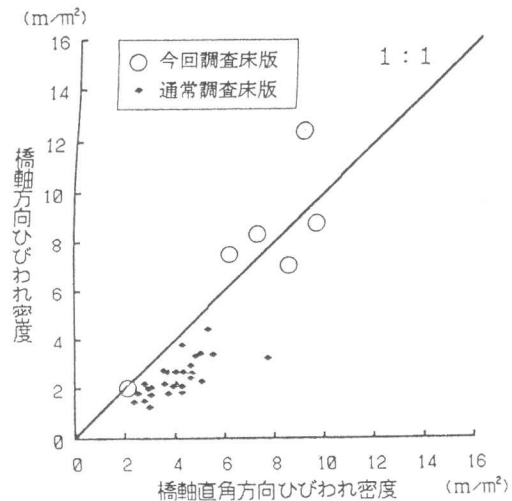


図-5 ひびわれ密度比較図

(3) ひびわれ幅

調査開始時に0.1mm以上のひびわれを対象として、ひびわれ幅を測定している。図-6にその経年変化を西宮線の3パネルについて示す。ひびわれ幅は温度の影響を考慮してもそれほど大きな変化はみられない。つまり、0.1mm以上のひびわれはそれほど大きく成長せず、これは近傍で小さなひびわれが成長したか、新しいひびわれが発生したためと考えられる。

(4) ひびわれ深さ

調査開始時に0.2mm以上のひびわれを対象として、超音波によりひびわれ深さを測定している。図-7にその経年変化を松原線の3パネルについて示す。調査開始時にひびわれ深さは5cmを超え、既に鉄筋のかぶり(3cm)以上に進展していた。その後の増加はそれほど大きくないが、鉄筋の腐食について注意する必要がある。

2.4 コア採取による試験

表-2にコア採取による各試験の結果を示す。

圧縮強度はどれも設計強度270kgf/cm<sup>2</sup>以上を示し、超音波伝播速度および静弾性係数ともに、コンクリートの品質としては健全であった。AARによる損傷橋脚から採取したコアでは、圧縮強度150kgf/cm<sup>2</sup>程度、超音波伝播速度1,500m/sec程度、静弾性係数1.8×10<sup>4</sup>kgf/cm<sup>2</sup>程度とかなりコンクリートの品質に問題のあるものもあった。これは、コンクリート内に微細なひびわれが存在し、みかけの強度などを低下させたためと考えられ、この点は床版と大きく異なる。

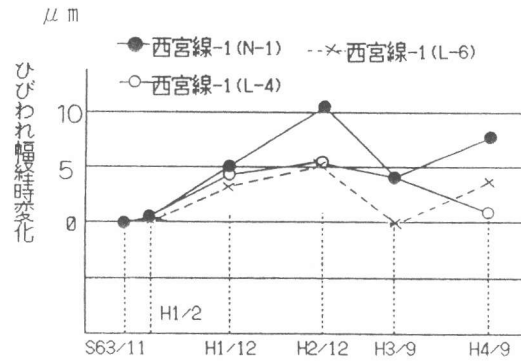


図-6 ひびわれ幅の測定結果

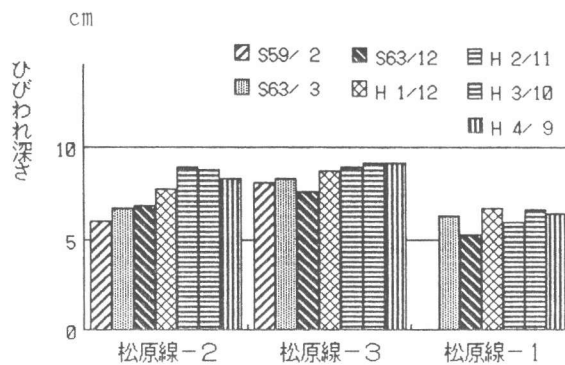


図-7 ひびわれ深さの測定結果

表-2 コア採取による試験結果一覧表

コア採取年度		昭和59年度	昭和63年度	平成5年度
コア採取箇所		松原線-2	西宮線-1	西宮線-1
物理性状	圧縮強度	—————	390 kgf/cm <sup>2</sup> (3体の平均)	396 kgf/cm <sup>2</sup> (3体の平均)
	超音波伝播速度	—————	4310 m/sec ( " )	4490 m/sec ( " )
	弾性係数	—————	26.7×10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ( " )	25.3×10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ( " )
コア膨張量(図-8参照)		163(開放)+225(残存)=388με (3体の平均)	68(開放)+137(残存)=205με (2体の平均)	103(開放)+267(残存)=370με (3体の平均)
X線回析		—————	クristライト等の有害結晶成分は認められない ただし、雲母の量が若干多い	—————
化学分析法	Sc	—————	224 mmol/l (3体の平均)	—————
	Rc	—————	68 mmol/l (3体の平均)	—————
	Sc/Rc	—————	3.29 mmol/l (3体の平均)	—————
等価Al量		0.173% < 0.25%	0.150% < 0.25%	—————
岩種判定		—————	流紋岩質熔結凝灰岩	熔結凝灰岩
促進養生試験		—————	—————	10日目にゲルが確認された

化学分析によるコンクリート中の等価アルカリ量が、0.25%を超えると著しい膨張を起こすことが確認されているが、これまでの分析ではそれほど大きな値は検出されなかった。

岩種は、これまでに反応性骨材と認められている流紋岩質熔結凝灰岩であると判定されたが、X線回析からは、反応性鉱物として挙げられているクリストバライトなどは認められなかった。

西宮線の床版に用いられている骨材の産地は、これまでも建設段階でJISに定められた化学法によって有害と判定されたこともあり、今回も同じ結果が得られている。

図-8は促進養生によるコア膨張量の測定結果である。阪神公団の規定では、5週目までを開放膨張、それ以後10週までを残存膨張、これらの合計を全膨張量としている。そして、床版、高欄など薄い部材は対象外としているが、全膨張 $1000\mu\epsilon$ をAAR判定の基準値としている。今回の試験では、膨張はどれもほぼ採取後60日で一定になり、全膨張量は $150\sim 400\mu\epsilon$ 程度で、橋脚での値と比べかなり小さい。

昭和59、63年度の試験では、ゲルは発見されなかった。平成5年度でも当初発見できなかったが、コアを幅1cmにスライスしたところ、その断面に反応リングが確認された(写真-3)。

### 2.5 床版のたわみ

図-11は西宮線における、総重量20tfのダンプカーの载荷による床版たわみの測定結果で、等方性版で全断面有効とした理論値と引張側コンクリートを無視した理論値、および舗装の表面温度を併記している。実測たわみ量は全断面有効の理論値に近い。また、温度差による舗装剛性の変化の影響を考慮すれば、たわみの経年変化はかなり小さく、現在のところでは耐荷力や剛性についてはそれほど問題ないようである。

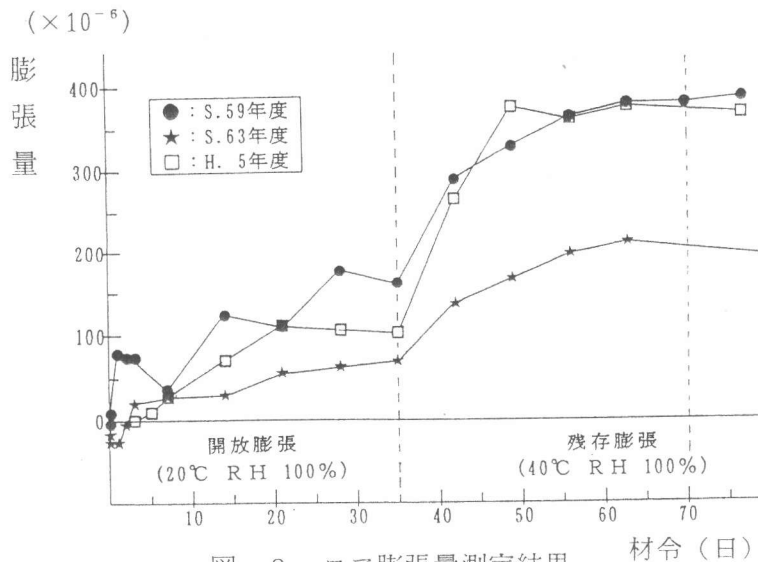


図-8 コア膨張量測定結果

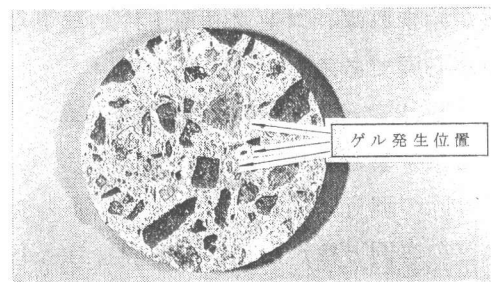


写真-3 コア断面の反応リング

## 3. 健全度判定と補修

### 3.1 損傷原因

10年に及ぶ追跡調査を行ってきたが、これまで経験してきたAARによるひびわれといくつかの相違点があったため、明確にAARと判定することはできなかった。しかし、主に耐久性の観点から補修は必要と考えられ、このため現段階における最も適切な判定が求められた。その結果、これらの床版に発生しているひびわれは、下記に示す理由よりAARによるものと判断された。

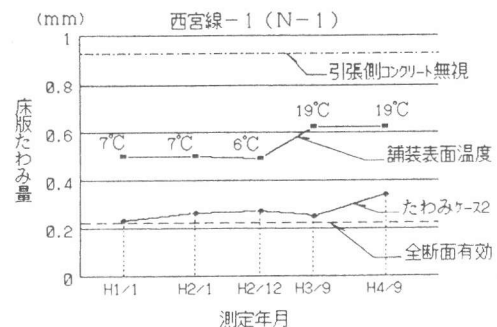


図-9 床版たわみ量の測定結果

- 1) 平成5年度のコア採取後の促進養生試験で、ゲルの浸出を示す反応リングが確認された。
- 2) 建設時の周辺工区のうち、ある一業者の工区だけに床版の損傷が集中する傾向にある。
- 3) AAR特有のひびわれ状況がみられ、一方、漏水、遊離石灰、錆汁は観測されなかった。
- 4) 施工後、10年以上経過しても新しいひびわれの発生が見られる。
- 5) 松原線-2では、未供用で活荷重の作用しない床版でも損傷が発生し、進行している。
- 6) ひびわれ密度が非常に大きく、必ずしも橋軸直角方向のものが卓越しているわけではない。
- 7) 西宮線から採取された骨材は、化学法によって有害と判定された。
- 8) コンクリートの品質や強度は健全で、配合設計や施工には問題がなかったと考えられる。

以上を総合すると、乾燥収縮、温度、荷重作用、施工不良、鉄筋の腐食による膨張および反応性骨材以外の材料不良など、ひびわれの原因と考えられるものは全て除外される。

一方、AARと判定するにしても、ひびわれ幅とコア膨張量に依然疑問点が残るが、以下のようないことがその原因ではないかと推測される。

- 1) 骨材の最大粒径が橋脚の40m/mに対して床版では25m/mと小さく、膨張が分散する。
- 2) 部材厚や鉄筋径が小さく、かぶりも橋脚の10cmに対して3cmと小さく、拘束力の違いよりひびわれが分散する。
- 3) AARであるものの、その程度が小さい。

### 3.2 健全度判定

損傷の程度は耐久性と耐荷性に分けて考えられるが、関連する調査結果は以下のとおりである。

- 1) ひびわれ密度はかなり大きく、残存膨張量は小さいが、損傷は今後進行する傾向にある。
- 2) ひびわれ幅はほとんど0.2mm以下で、最大でも0.3mmである。周辺は腐食環境ではないものの、コンクリート標準示方書などでは、補修の必要な値である。
- 3) 漏水、遊離石灰、錆汁は見られないが、ひびわれ深さはコンクリートのかぶり以上である。
- 4) コンクリートの圧縮強度は設計値以上で、載荷試験からも床版の剛性低下はないといえる。

以上より、耐荷力は現在のところ問題はないが、ひびわれ密度がさらに大きくなり、鉄筋の腐食が始まれば、コンクリート片の落下などが心配される。つまり、耐久性に対しては何らかの対策が必要であるといえる。

### 4. まとめ

今回の調査結果から、AARによるRC床版の損傷は、配筋および拘束条件の違いから、橋脚などの事例とはかなり状況が異なり、しかも耐荷力にはあまり影響しないことがわかった。しかし、ひびわれ密度の増大や鉄筋の腐食などを防ぎ、今後の耐久性の低下を止めるために補修を行うこととした。一般に、AARにおける反応生成物は吸湿性があり、水を吸収して膨張する。このため、現在AARに対する補修は防水対策に主眼がおかれている。そこで、今回の補修では、AAR損傷の抑制および鉄筋の防錆を目的として、床版上面には防水層を設置し、床版下面からは鋼板接着によりひびわれに樹脂注入を行うこととした。また、今後の損傷の進展や耐荷力・耐久性の低下については未知であり、今後も定期的な追跡調査を継続させ、AAR床版の損傷状態の推移を見守ることが必要と考えている。

最後に、一連の調査、実験およびその評価について、随時適切なご指導を頂いた阪神高速道路公団「コンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会」（委員長 岡田 清 京大名誉教授）の委員の方々に厚く御礼申し上げます。