

# 現在の補修工法とその実例

永藤壽宮\*・小林雄二郎\*\*・山崎英樹\*\*\*

The present repair to the bridge and those example

Toshimiya NAGATO, Yuzirou KOBAYASHI, Hideki YAMAZAKI

It is generally proposed to set aim 200 years as span of fatigue design. It is significant to keep the good condition of bridge for a long time.

This study investigates present inspection of charge and maintenance. We experiment about some examples of actual bridges with a crack. We report these researches.

キーワード：橋梁, 補修, 維持管理

## 1. はじめに

橋梁等の構造物は、建設されると使用されるようになり、その年月と共に老朽化してゆくものである。そして、使用期間中に作用する荷重の増大、周囲の環境変化の影響による構造部材の品質の低下等により、その構造物の寿命は著しく変化するものである。しかし、その寿命は欠陥や変状がその橋梁にとって致命的になる前に発見し、適切な補修を行えば、大幅な長寿命化が可能となる。

最近、疲労設計における寿命の設定として200年を目標に置くことが提案されている。長寿命橋梁を実現することは社会的にも経済的にも有意義な事である。

本研究では現在の維持管理の点検や主な補修について調べると共に2つの橋梁の事例について、1つは実際にT-20荷重の載荷、もう1つは外観調査を行なった。

## 2. 維持管理の概要

維持管理は、点検と補修とに分けられる。両者の作業の流れは図1に示す様に先ず点検（通常、特別、異常時点検）を行い、それにより変状の有無、補修の必要、不必要を判断する。

## 3. 点検

### 3-1 概要

- a 橋梁損傷等の異常の発見
- b 安全で円滑な交通確保の問題点の把握
- c 橋梁及びその橋梁下の不法占用等の調査及び指導、取り締まり等

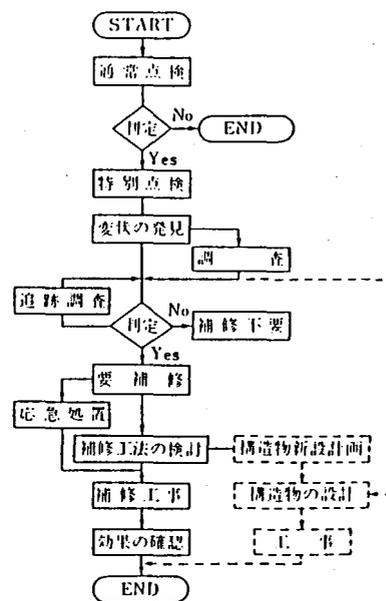


図-1 維持管理の作業手順

\* 環境都市工学科助教授  
 \*\* 長野技研  
 \*\*\* 環境都市工学科教授  
 原稿受付 1997年10月31日

## 4. 補修工法

### 4-1 RC床版

(I) 疲労破壊…繰り返し荷重による破壊。

床版下面にクラックが入り、それが床版上面に貫通しながら次第に網目状にまで発展して抜け落ちる場合がある。

### 4-2 鋼橋

(I) 鋼橋部材の維持修繕

鋼橋の主要な部材に異常が生じた場合は、橋梁の崩壊につながる可能性もあるので早急な対応を必要とする。

### 4-3 コンクリート橋

(I) コンクリート橋部材の維持修繕

コンクリート橋に現れる異常には、ひびわれ、剥離、鉄筋露出、豆板、漏水などがある。ひびわれの原因としては、アルカリ骨材反応、鉄筋量の不足、コンクリートの強度不足、断面不足、鉄筋の腐食膨張、自動車荷重の増大等が考えられる。

### 4-4 伸縮装置

(I) 伸縮装置の維持修繕

伸縮装置は輪荷重の衝撃を直接繰り返し受けるため、最も損傷しやすい部材であり、また補強が困難でもある。従って、損傷箇所を発見した場合には、早期に補修する必要がある。

### 4-5 支承部

(I) 支承部の維持修繕

支承は、橋梁の上部工と下部工をつなぐ重要な部分である。このため、支承には、ごみや、異物が入らないよう、また錆が発生しないよう日常の管理を行なわなければならない。

### 4-6 下部構造

(I) 基礎の維持修繕

橋脚、橋台の損傷には、その躯体の異常と基礎の異常とがあり多くの場合、基礎の異常によって発生している。

(II) 橋脚、橋台の躯体の維持修繕

橋脚、橋台の躯体は、上部工と基礎の間にあり、上部工の荷重増加や基礎の異常による影響を受けやすい。

## 5. 塗装

鋼橋の塗装は、部材の保全と美観のために行うが、年月の経過と共に劣化し、変質、変色、割れ、ふくれ、はがれが生じ表面に錆が生じてくる。そ

のため、塗装が当初の機能を保っているかを点検し、必要に応じて塗り替えを実施しなければならない。

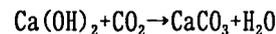
## 6. アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応とは、セメント中に含まれているアルカリ分と骨材中のある種の反応成分が、化学反応を起こし、コンクリートに有害な膨張を生ずる現象をいう。

アルカリシリカ反応による外観上の変状は、ひび割れ、膨張による構造物の変形、傾斜、移動及び目地部のずれ、膨張の拘束による目地部の破壊、ゲルの浸出などである。

## 7. 炭酸化(中性化)

老朽化した橋梁によく白い氷柱状のものがみられるが、これは炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) である。これは、セメントの水和によって生じた水酸化カルシウム ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) が空気中の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) と化合し、炭酸カルシウムに変化する現象であり炭酸化 (carbonation) という。これは、セメント硬化体に二酸化炭素が作用し、これが孔隔水溶液中に溶解し、次式に従って水酸化カルシウムと反応するものである。



孔隔水溶液は初めは強アルカリ性であるから、生成する炭酸カルシウムは固体として析出する。このためカルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) の濃度が低下するので、水和により生成していた固体の水酸化カルシウムは、濃度低下分だけ、孔隔水溶液中に溶解する。

以上の過程が繰り返されて、二酸化炭素によるセメント硬化体の炭酸化が進行するこのために孔隔水の pH が低下するので中性化とも呼ばれている。コンクリートが中性化すると鉄筋が活性状態となり、腐食しやすくなる。したがって、コンクリート練りませ時におけるコンクリート中の塩化物の含有量は RC 示方書で制限されている。また中性化を防ぐ一般的な方法としてはかぶりを大きくするなどである。

次に橋梁の実例を挙げて考察してみることにする。

## 白沢川橋における橋梁現況調査

### 1. はじめに

本橋は、昭和41年に(主)飯山山ノ内線・山ノ内町須賀川地先に設計施工された、橋長41.00m、幅員6.00mの3径間連続桁方式の鉄筋コンクリート床版橋である。本橋は、架設後26年程度しか経過していないにもかかわらず、同程度の橋と比べて損傷(ひび割れ)が目立っている。よって、ここに本橋を架け替えるに当り、載荷試験等を実施のうえこの橋の耐荷力の診断や、同程度の鉄筋コンクリート道路橋の耐久性判定の資料とするため現況調査を行なう。

### 2. 外観調査

#### 2-1 調査内容

- (I) ひび割れの発生状況、ひび割れ幅についての調査。
- (II) ひび割れの発生箇所等の漏水、発錆などの目視調査。

#### 2-2 ひび割れ発生状況及び状況図

ひび割れの目視調査を行なったところ、多くのひび割れが確認された。特に橋梁主版側面のひび割れの発生が目に見えるものがある。本橋の上流側側面は、拡幅橋と接していた為、下流側側面のみ行なったが水平方向に長くひび割れが発生していた。ひび割れ幅も他と比べて広く、最大で2~3mm程度のもので確認された。このひび割れの原因は、アルカリ骨材反応等色々なことが考えられるが、現時点では何とも言えない。しかし、ひび割れ幅の広さから、主鉄筋までひびが到達しているかが心配される。

主版底面では、下流側に数多くの橋軸方向に走るひび割れや、亀甲状に入っているひび割れが確認された。また、ひび割れ部分から析出している炭酸カルシウムとみられる浸出物によりひび割れ幅が広く見えるが、最大で0.2mm程度であった。幅0.2mm程度のひび割れは、鉄筋コンクリート構造物の構造性によるものと考えられるので、影響は無いと思われるが、浸出物によって鉄筋に影響がでてないかが分からなかった。

・白沢川橋一般図及び底面ひび割れ状況図(中央径間底面、支障部近傍)を次頁に示す。

### 3. 外観調査についての考察

今回外観調査を行なった結果、RC床版橋特有の構造性によるひび割れと見られる物以外に、外観調査のみでは原因が特定できないようなひび割れが多数発生していた。ただひび割れの発生状況もばらついていて、これらのひび割れは、ほとんど連続せずこま切れ状態のものであった。

中央径間における床版底面のひび割れは、幅0.20mm以内で構造的にはほとんど問題が無いものと考えられる。また、床版底面のひび割れから析出している浸出物の影響は、本橋を解体した際に鉄筋を確認した結果、発錆がほとんど見られなかったことと、コンクリートの中性化測定結果より、健全なアルカリ性を示していたこと等から、橋への影響は無いものと考えていだろう。

交通量が下流側に多く集中していた為、風雨によるもの、凍害によるもの、不等沈下等から起こる荷重の不等分布によるもの、拡幅のために起きた主桁及び床版の補強不足によるもの、等が考えられるが、外観調査だけでは推測の域を出ない。また、3径間連続鉄筋コンクリート床版橋という構造性から、コンクリートの乾燥収縮の影響も少なからずあるのではないだろうか。

### 4. まとめ

#### 4-1 膨張量

膨張量は解放膨張、残存膨張ともに異常な膨張であるとは思われなかった。しかし、アルカリ骨材反応が既に進行しているにもかかわらず、残存膨張は、13週までにかかなり大きな膨張を示した。

#### 4-2 圧縮強度

圧縮強度は251~369kgf/cm<sup>2</sup>であった。

#### 4-3 中性化

全てのコアにおいて、中性化は認められなかった。

#### 4-4 水溶性アルカリ量

コンクリート中のアルカリ総量は9.27kg/m<sup>3</sup>であり、JIS A 5308 付属書6に規定されている値(3.0kg/m<sup>3</sup>以下)を大きく上回った。

#### 4-5 含有塩分量

全塩素イオン量は、0.175kg/m<sup>3</sup>であり、土木学会基準である0.30kg/m<sup>3</sup>を下回った。

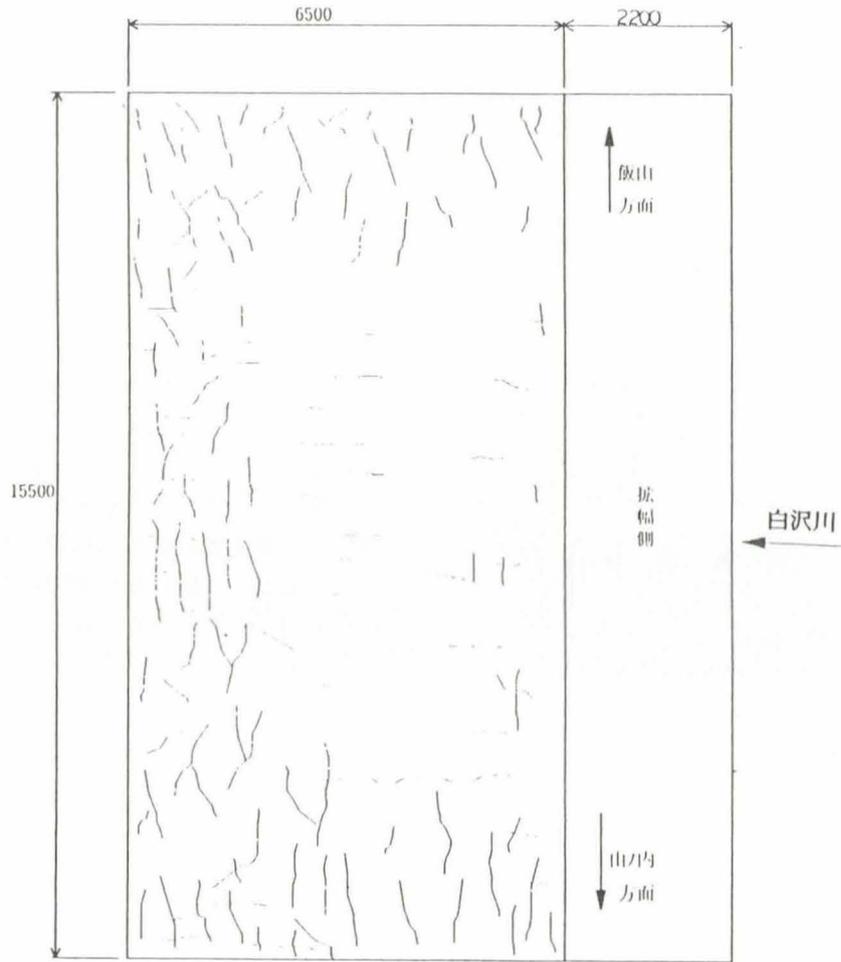


図-2 底面ひび割れ状況図 (中央径間底面)

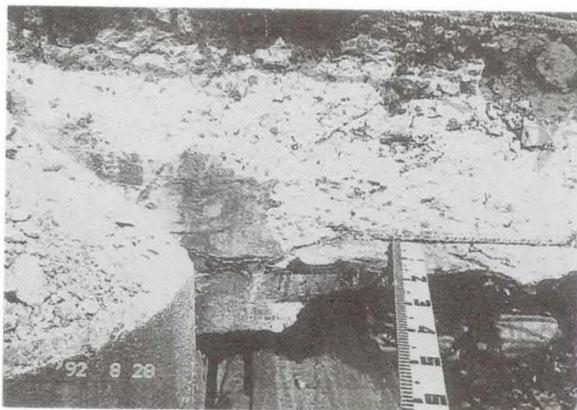


写真-1



写真-2

#### 4-6 目視による岩種判定

使用骨材は、いずれも砂岩・粘板岩・珪質粘板岩・安山岩・閃緑岩などの砂利、砂と、石英・長石・雲母などの鉱物砂より構成されていた。

#### 4-7 偏光顕微鏡観察及び粉末X線回析

(I) 砂利・砂は、アルカリ反応性鉱物を3割程度含んでおり、特に反応性鉱物を多く含む安山岩や珪質粘板岩などの岩種の砂利には、反応リムが認められた。

(II) コンクリート中には、水酸化カルシウムやエトリントナイトが認められたが、これは、通常のコンクリートと大差はなかった。

また、鋼材引張試験も行ったが、ここでは考察のみを示す。

### 5. 鉄筋引張試験結果の考察

今回行った試験結果より、本橋に使用されていた鉄筋は、単位体積重量及びリブの高さ、ポアソン比、降伏点、引張強さ、弾性係数の全ての性質が、現在の規格と同程度のものであることを確認することができた。

よって、本橋に使用されていた鉄筋のほとんどが、架設後26年経った今でも非常に状態の良い鉄筋であるといえるだろう。

### 6. 現況調査のまとめ

今回、現況調査を行い多くのひび割れが確認されたが、このひび割れは雨水の浸透及びコンクリート内部に浸透した水による凍結作用、アルカリ骨材反応等が考えられる。凍結が起こる原因はコンクリート内部に浸透した水が凍結し、その膨張圧によりひび割れが発生する。凍害が発生した場合、ただちに必要な措置を施せば凍害の規模が大きくなる。凍害に対する対策を挙げると、

- 対策：a) 水の流入を防ぐ。(凍害発生個所をビニールシート、トタン板等で覆う。)
- b) 吸水性の小さいコンクリートを施工する。
- c) 凝結、硬化の過程で凍害を受けないようにする。(寒中コンクリートの使用)

以上のようなものがある。次にアルカリ骨材反応の原因と対策を示すと、原因としてはセメント中に含まれているアルカリ分と骨材中のシリカ成分

によって起こるアルカリシリカ反応によって、コンクリートに有害な膨張を生じさせる。アルカリシリカ反応に対する対策を挙げると、

- 対策：a) 反応性骨材の使用を避ける。
- b) セメント中のアルカリ量を制限する(アルカリ分0.6%以下)。
- c) コンクリート中の総アルカリ量を3.0 kg/cm<sup>3</sup>以下におさえる。

等がある。しかし、反応性のある骨材を使用すると必ずアルカリシリカ反応が発生するとは限らない。

ひび割れが橋に及ぼす影響を考えると、中央径間における床版底面のひび割れは、幅0.2mm以内で構造的にはほとんど問題がないものと考えられる。鉄筋を調べてみると錆もみられず、架設後26年たった今でも非常によい鉄筋であるといえるだろう。

又、載荷試験としてT-20荷重に相当するトラック2台を並列させ、中央スパンの最大モーメントの生ずる位置に停止させて、その地点での変位量およびたわみを測定した。測定の結果によりT-20荷重による、死、活荷重による計算値は曲げ引張応力度：

$\sigma_L = (16767000/23650000) \times 38 = 26.9 \text{ kgf/cm}^2$   
死荷重のみによる計算値：

$\sigma_{DL} = (9124600/23650000) \times 38 = 14.7 \text{ kgf/cm}^2$   
活荷重のみによる計算値：

$\sigma_{LL} = 26.9 - 14.7 = 12.2 \text{ kgf/cm}^2$

以上の結果から本橋は同程度の橋に比べると損傷(ひび割れ)が目立つが耐荷力は十分であるといえる。

## 堀切大橋における橋梁現況調査

### 1. はじめに

本橋は、昭和47年に長野箱清水1丁目9番地の堀切沢に設計施工された、橋長50.17m、幅員6.10mのπラーメン方式のコンクリート橋である。

本橋は、架設後25年程度しか経過していないにもかかわらず、同程度の橋と比べて損傷（ひび割れ）が目立っている。

### 2. 外観調査

#### 2-1 調査内容

ひび割れの発生状況及び発生箇所等の漏水、発錆などの目視調査。

#### 2-2 ひび割れの発生状況および状況図

ひび割れの目視調査を行ったところ、多くのひび割れが確認された。写真③と④を観察すると長野方面の支承部の上部側面とスパン中央部の床版底面に大きなクラックが発生している。この原因として橋台の不等沈下により生じた曲げモーメントが応力の集中する支承部や橋梁中央部に作用して大きなクラックが発生したと考えられる。

写真⑤の橋台底部石垣に生じたひび割れも上述の事実を証明している。また、床版底面の細かいひび割れの発生が目にも余るものがある。特に、橋脚及び橋台付近では、細かいひび割れが亀甲状に集中発生していて、その他の底面部分は橋軸方向に伸びるひび割れが多数発生しており、橋梁床版側面にも底面ほどではないが多数の細かいひび割れが発生している。いずれのひび割れも、炭酸カルシウムと見られる浸出物により白っぽく広く観察できる（写真④参照）。写真⑥の白い氷柱状に見られる生成物は炭酸カルシウムであり、雨水の浸透が認められる。故に、気象環境から浸透した雨水の凍結融解作用の繰り返しにより、ひび割れ性状の拡大が発達したことは容易に推測できる。

床版のクラックに対する対策としては、薄い鋼板を床版底面のコンクリート面に接着したり、床版を支持する縦桁を増設する等の補強が必要になるであろう。

写真⑦を観察すると、中央に斜めに下から上に大きなひび割れが伸びているのが目に付くが、この原因として橋脚、橋台などの基礎の損傷によるものと考えられる。基礎の損傷として、沈下および不等沈下、傾斜、移動、目違い、構造物の異常

な応力及びひび割れに大別されるが、この中でも沈下および不等沈下が主な原因と考えられる。

また床版底面図より、ひび割れは床版全体に広がっているのではなく、床版の断面方向中央部にはひび割れがなく、両端に集中して発生している。しかし、橋脚部にひび割れが発生していないことから雨水に直接当たることによるものではなく、アスファルト舗装部と歩道部の間にある縁石の継ぎ目からの雨水浸透により、上述と同様にひび割れ性状が拡大していったと考えられる。またアルカリ骨材反応によるひび割れとしても考えられる。

中央部にひび割れが発生していないのは、アスファルト舗装部は雨水が浸透しないので継ぎ目部分から中央部に向けてひび割れが発達しているものと考えられる。

床版状況図及び状況写真を次頁に示す。

### 3. まとめ

本橋においては長野方面側の橋台が地盤の急激な変化を受け、基礎の強度低下、地盤支持力の低下により沈下して地表コンクリートとの段差を生じ、亀裂が入りずれが生じたと考えられる。陥没している写真⑧から橋台自身が沈下しているのははっきりと観察できる。橋台の基礎部分は流水洗掘の影響は考えられず、地震等が原因と考えられる。その対策として、支持力が不足する場合はフーチングの拡大、増杭による支持力の増力、仮設的な工法として薬液注入工法、石灰パイル工法、サンドコンパクション工法が必要になる。ひび割れの補修工法としては、最近のエポキシ樹脂系のグラウト剤が用いる事が必要である。またプレストレスを用いる場合には、プレストレスの導入量にコンクリートの強度、作用応力を十分検討し、コンクリートの圧縮応力を許容応力以下におさえる必要がある。

ひび割れの原因として、アルカリ骨材反応、鉄筋量の不足、コンクリートの強度不足、断面不足、鉄筋の腐食膨張、自動車荷重の増大、凍害によるもの、不等沈下等から起こる荷重の不等分布によるものなどが挙げられるが、床版底面の細かいひび割れは、雨水の浸水侵食によるアルカリ骨材反応や浸透水による凍結融解作用によるものが主たる原因と考えられる。

凍害の対策として最も経済的な方法は、凍害発生初期にトタン板を被せるなどして、水の流入をなくすことが必要であるが、交通上それは不可能であるので早期に改修が望ましい。

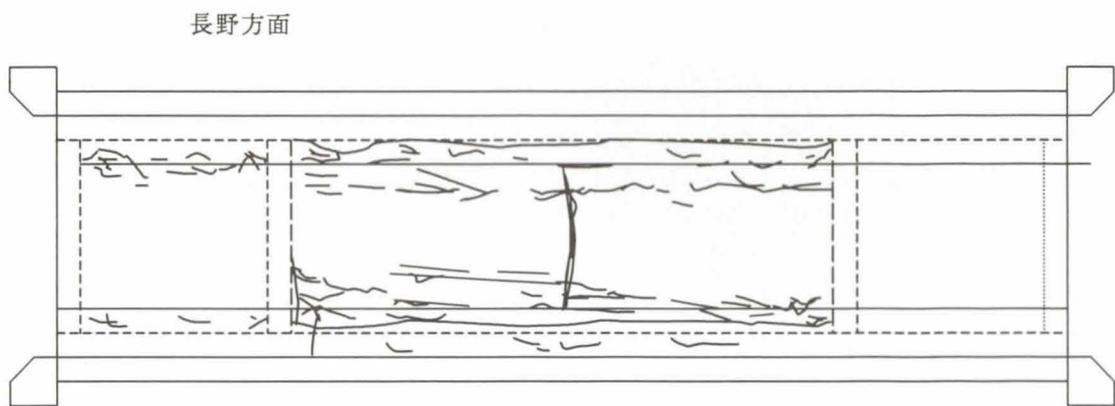
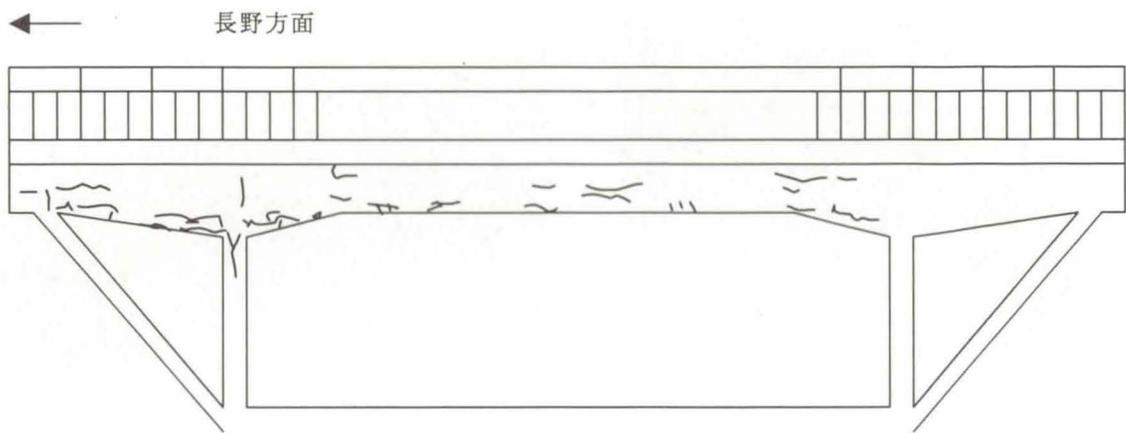


写真-3



写真-4



写真-5

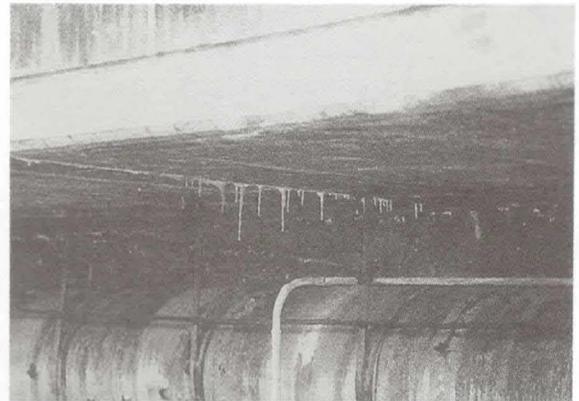


写真-6



写真-7



写真-8

### 参考文献

- 1) コンクリート構造物の補修ハンドブック編集委員会：コンクリート構造物の補修ハンドブック 技報堂出版
- 2) 小林一輔、丸 章夫、立松英信：アルカリ材反応の診断（コンクリート構造物の耐久性シリーズ2） 森北出版
- 3) 喜多 達夫：中性化（コンクリート構造物の耐久性シリーズ） 技報堂出版
- 4) 財）建築業協会：コンクリートのひびわれ防止対策 鹿島出版会
- 5) 寺田 章次、森永 教夫、菊川 滋：現場技術者のための道路維持管理ポケットブック 山海堂
- 6) 砂川 幸雄：鉄筋コンクリート造の亀裂防止対策 理工学社
- 7) 泉 満明、近藤 明雅：改訂 橋梁工学（土木系大学講義シリーズ⑧） コロナ社
- 8) 三浦 尚：土木材料学（土木系大学講義シリーズ⑧） コロナ社
- 9) （株）長野技研：県単橋梁整備工事に伴う橋梁現橋調査
- 10) 小林 一輔：最新コンクリート工学 第3版（最新土木工学シリーズ9） 森北出版