

魅力ある橋のメンテナンスのために

経験から得られた橋梁の メンテナンス技術

土木は経験工学と言われていています。特にメンテナンスにおける点検と補修に関する技術は、過去の経験と実績を踏まえて得られたものであります。我々が目指す橋梁のメンテナンスは、補修を繰り返し、繰り返し行うことで、構造物の寿命を延ばして、安全・安心を確保するということは自明のことです。点検して補修し、補修後の状態を点検して、さらに補修を繰り返すことがメンテナンス保全技術です。

土木学会（フェロー会員） 技術士（建設部門）

文野 結紀

2024年4月1日

【はじめに】

私の土木技術者としての出発点は、日本道路公団京浜建設局の技術二課に配属され、初めて現場施工の監督をしたことである。

工事は大和第一工事の捨土掘削の関東ローム（自然含水比 100%前後）をアスファルトプラント用ドライヤで平均含水比 85%±5%に強制乾燥し、さらに添加剤として生石灰(3m/m 以下) 10%および 13%を連続的にプラント混合して、盛土上に運搬し、敷き均し、締固めを行い、山砂路床に替わる安定度の高い安定処理路床を施工したものである。



【現場のできごと 1】

施工現場に隣接する大和高架橋（RCホロースラブ）で、コンクリートの打設を終日見学する。初めてのことで、猫車で運んで、作業員が鉄棒やバイブレーターで十分に締固めた後、こてで丁寧に仕上げているのを見て感動した。

3日後、布団や畳などで覆って発破をかけて壊し始めたのには驚いた。原因を聞くと建設局で言わないという約束で、AE剤のポゾリスNo5を原液で入れたということで、この現場で二度のコンクリートの打設施工を勉強した。

【現場のできごと 2】

竣工検査時に大和トンネルの出口にあるカルバートボックスの中央に縦クラックが見つかり、コンタクトゲージを用いて1か月間測定した後に、築堤部を取り除いてもらったところ、クラックが閉じて、計算通りの結果となった。

【東京～厚木間の土工工事が終わり、橋梁を担当する特殊設計課に移動する。酒匂川橋の大トラス橋梁、逆ランガーの皆瀬川橋、川音川橋のPCディビダーク橋などの橋梁に関係できると思っていましたが、あてはずれで、竣工検査の時のみでした。当時課長は笹戸松二さんで、開通後に阪神公団の設計部長になり、二階構造の南港大橋を作り上げた方です。】

経験事例：1. 東名高速道路の建設直後の橋梁のメンテナンス

筆者が建設局の立場で、東名高速道路が供用された新設橋梁の補修等に携わった事例から学んだことを記述する。

1-1. 東名三の宮橋の鋼板接着補修

本橋は支間長 17.2m、斜角 47° の RC 単純床版橋で、25 年後に車線拡幅時に架け替えられた。舗装が施工された直後にたわみが生じて、その原因を見つけるために、計算書のチェックと施工ミスの調査をした。

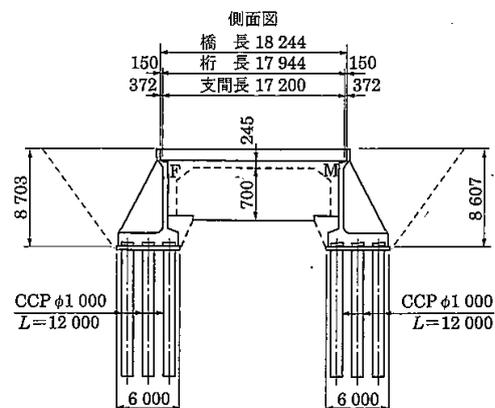
原因の一つは荷重項を 1.2 倍することを忘れたこと、もう一つはコンクリート打設中に円筒型

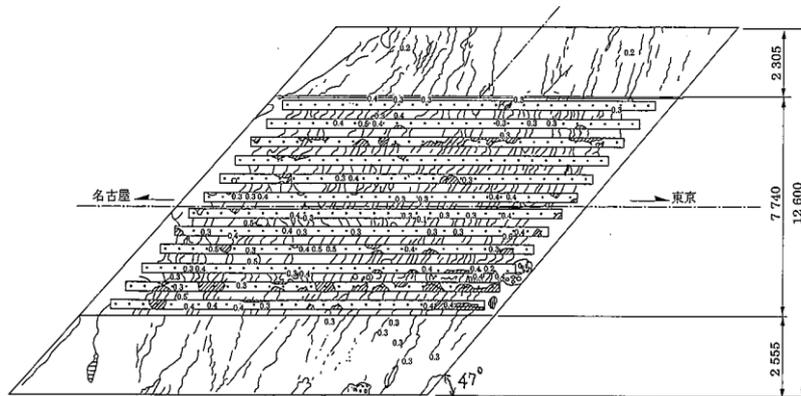
枠の浮き上がりを防ぐため、型枠内にコンクリートを充填してしまったことである。この 1.2 倍の割増係数は、設計コンサルタントは斜角補正の割増率だと説明したが、当時は、床版はギオンマソネーの版理論によって計算されていて斜角補正はできないとし（現在は格子理論であって補正は可能）、当時の円筒型枠の問題から施工に対する安全率であると考えて、円筒型枠内にコンクリートを充填した施工業者の瑕疵によるものとした。

補修方法として、PC 外ケーブル案を示唆されたが、当時は PC 技術の黎明期であり、筆者自身も PC 施工を見たこともなく到底意向に添えないと考えた。さらに鋼板接着工法も当時はほとんど事例がなかったが、S 社の短冊形の鋼板接着法で施工した。当然鉄筋コンクリート構造であるので、活荷重が載荷されると等間隔にひび割れが発生したが、重交通に 25 年間耐えたことは補修方法として成功したものと考えている。

載荷試験等をして耐荷力等について種々確認されているが、筆者は接着材料による鋼板接着が幸いして下面が外気にさらされなかったために、中性化や雨水の影響を受けなかったのが、長期間耐久化した最大の理由だと考えている。

(参考文献) 高速道路橋の一夜間における架換え事例—1994 年 東名三の宮橋の撤去架設工事—コンクリート工学 Vol.No. 1, 2008.1 久保竜志

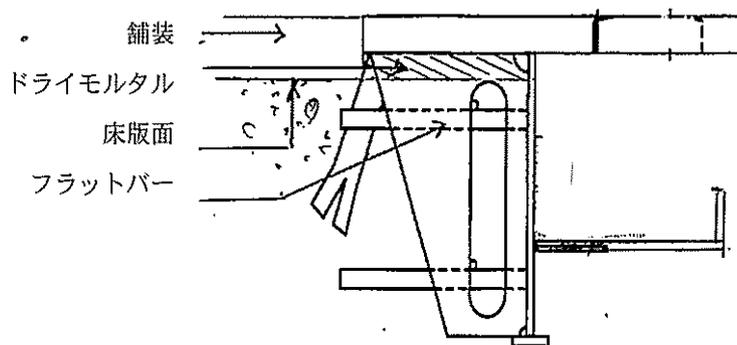




1-2. 伸縮継手の補修と点検

1-2-1. 東名の大井・松田 IC～御殿場 IC 間が供用された直後に、地元から伸縮継手の異常音に対する苦情が寄せられた。継手下面のコンクリートをはつり取ったところ、フラットバーがすべて切断され、さらに打設されたコンクリートも破壊されていた。フラットバーを倍に増やして工場で溶接した後、コンクリートを打設し、上面にモルタルを注入して補修した。設計要領に反映してもらった。

原因は逆ランガー形式の境川橋の剛性不足による桁および床版の振動と筆者は考えている。なお本橋は後年、逆ローゼ形式に補強されて剛性を高めたと聞いている。



鋼製フィンガージョイント

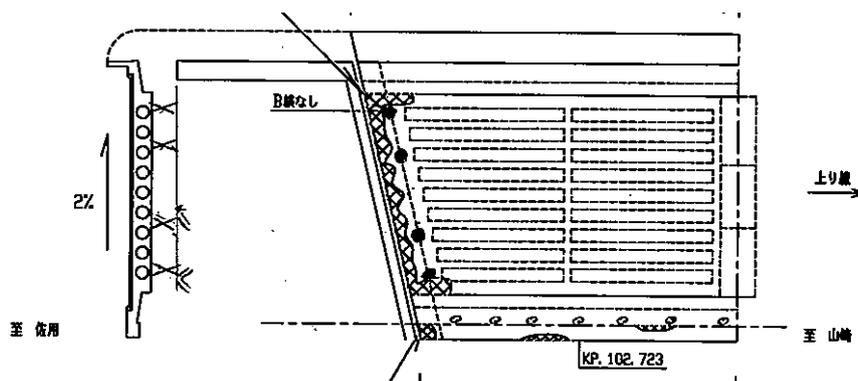
1-2-2. 伸縮継手の点検方法

- ① 十数年前に伸縮継手が破損して大事故を起した直後の騒動を見ると、あの時点での指示は全数点検や段差の計測までやれという大騒動であったが、直後の点検だけで終わってしまっている。事故が起って大慌てで現場点検を繰り返している現状を見ると悲しくなる。
- ② この事には技術的要素があまり見当たらず、毎年抜取り検査さえやってお

くことを忘れていた。毎年5%をチェックしてだけで、あのような大騒ぎをせずに済むし、経年劣化にも対応できるのにと考えると、大変残念である。

1-3. 一本ローラー支承の突出とバチ形床版の鋼製ベアリング支承の浮き上り

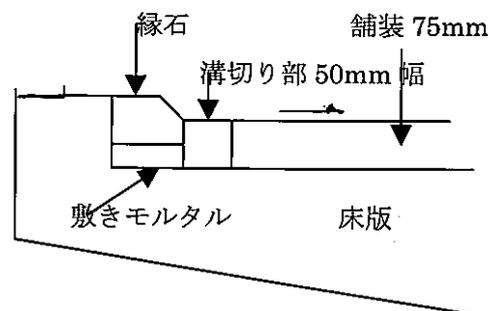
- ① 東名の開通直後に比較的大きな地震があり、RC床版橋の端部支承が抜出して落橋寸前の状態になった。この支承形式はローラー一本のアーマーローラー支承であった。当時連動ジャッキがなく、ダイヤルゲージをみながら順次床版を持ち上げて、ローラーの回転止めを設けて支承を元の位置に収めた。
- ② 一本ローラー支承が現存しているので、落橋防止にゴム支承への取替えか、コンクリートブロックの設置を提案しておきたい。
- ③ この地震の時に、鋼製ベアリング支承がバチ形RC床版の鋭角部で浮き上がっているのが発見された。この現象は斜角の影響で起るということは推測できるが、当時の設計法では解決できない問題であった。現在なら、浮き上がりそうな支承下面にフラットジャッキを挿入して持ち上げた後にエンベコプレミックスを注入したり、反力を変えたゴム支承で対応すればよいであろう。
- ④ その後、バチ形床版の支承配置として、2個ずつ支承を寄せる方法で対処されたが、支承上の床版上面に大きな引張力が生ずる問題は解消できず、上面のひび割れと漏水の問題はむしろ顕著となったように思う。
最近の補修なら、舗装を3m程度はがして珪酸ソーダ系（水ガラス系）モルタルを塗布または吹付けすれば上面のクラック補修が可能である



1-4. 床版漏水対策

鋼橋高架橋の床版厚さが16cmというスレンダーな構造が原因で、東名供用開始直後に床版からの漏水が発生した。その対策として、上流側の中央分離帯の縁石前面に舗装を5cm幅溝切りした後、S社の樹脂モルタルを間詰め施工したが、漏水は止まらず失敗に帰した。

失敗した原因は、漏水の水みちを確認できなかったこと、低粘度の含浸性防水材がなかったこと、当時注入工法が確立されていなかったことによる失敗で大いに反省している。



【現場のできごと 3】

この現場で、橋がこんなに揺れるということと、完成と共に劣化が始まるということを実感した。

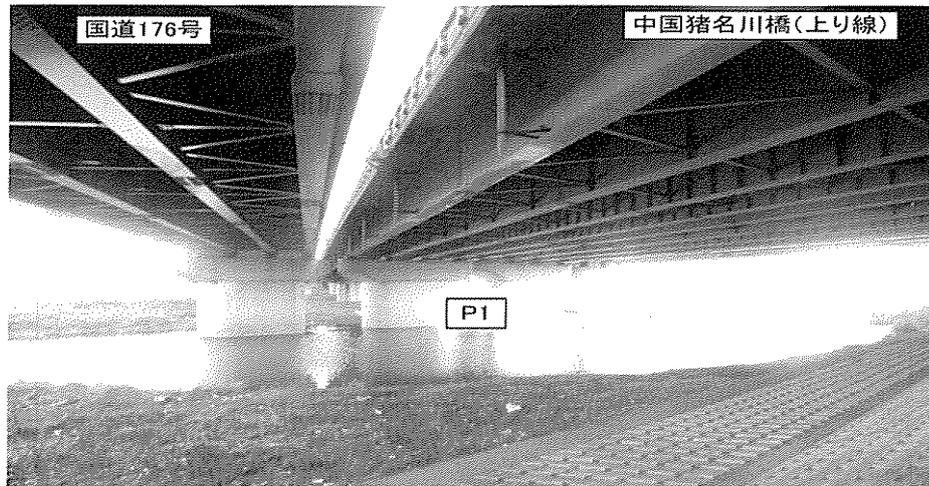
3車線のうち2車線規制をして工事をしている際に、こともあろうにスバル自動車が縁石に乗り上げて、規制内でひっくり返り、カラカラと車が回っていた。中から3人の男がはい出してきた。皆で車を起こし、けがもないのでそのまま送り出した。この縁石はダルマ型で、その後名古屋方面で事故が多発して、現在のようなL型に取り換えられたようだ。その第一号の事故だった。

経験事例：2. 万博関連の中国道の橋梁建設

中国道猪名川橋のジャッキアップダウン工法

(筆者が鋼橋上部工の現場らしい現場を一担当者として担当した特殊な橋梁であるので、管理上の注意点を述べておきます。)

- ① 本橋は大阪万博関連事業の道路で、府道中央環状線の橋梁も受託して道路公団の手で施工したものである。
- ② 中国道は、鋼重を2割低減した鋼桁をジャッキアップした状態で架設し、コンクリートを打設した後、ジャッキダウンして桁および床版に軸力と圧縮力を導入した工法（プレツイスト）で施工されたものである。
- ③ 府道中央環状線の橋梁は通常の2径間連続非合成桁である。
- ④ このような構造から、桁に重層錆または床版に損傷が発生すれば、その補修対策が極めて難しいことを念頭において管理しておかなければならない。
- ⑤ 震災の影響で、支承部に損傷が起きているので、早急に補修すべきである。
- ⑥ 端部の伸縮継手からの漏水には管理上十分配慮しておく必要がある。排水をして、簡単なケレンをした後、防食テープを貼り付けておけばよい。



関連技術：1. 鉄筋コンクリート（RC）床版橋の桁端問題

1-1 鉄筋コンクリート（RC）とは

鉄筋コンクリートとは、外力に対して鉄筋とコンクリートが一体となって働くもの。その条件は、

- ① コンクリートの中に埋め込んだ鋼は錆びないこと。
- ② 鋼とコンクリートとの付着力が大きいこと。
- ③ 鋼とコンクリートは温度に対する膨張係数が事実上、等しいこと。

鉄筋コンクリートは図のような状態のひび割れに対して、引張側のコンクリート無視で設計されてきたが、現状の状態は想定外の状況を呈していることを考慮しておく必要がある。



1-2 鉄筋コンクリートの崩壊問題

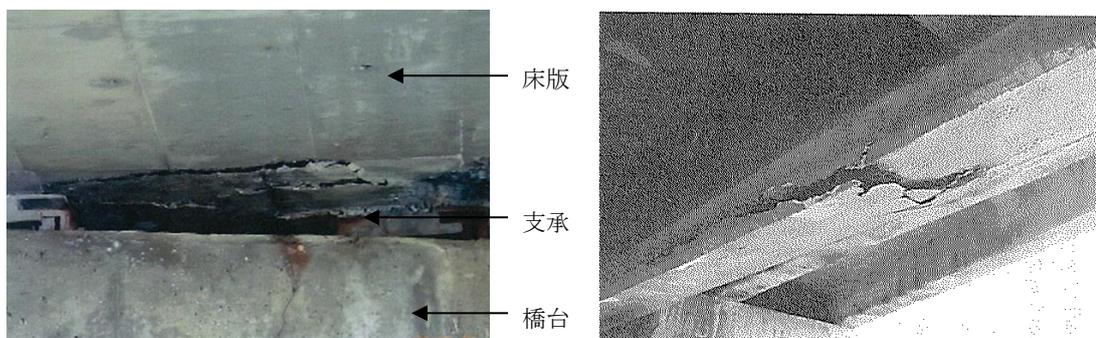
鉄筋コンクリート構造物は、鉄筋の腐食がある段階にまで達すると、もはや荷重に耐えられず崩壊してしまう。

ある段階については、一つは、大きいひび割れが主鉄筋に沿って発生し、コンクリートと鉄筋の一体性がそこなわれる段階で、一般に劣化が進行している橋桁の終局耐力の目安にされている。

もう一つは、鉄筋の断面欠損が設計上許容しえない程度にまで進行した段階である。

前者では断面欠損が許容限界内であるかどうかは問題外であり、後者ではひび割れ発生の有無は考慮しない。

(小林一輔著「コンクリートが危ない」“鉄筋腐食は崩壊のはじまり”から引用)
このように外力に対して鉄筋とコンクリートが一体となって働かなくなった状態、即ち錆等により主鉄筋方向に大きなひび割れが発生したり、鉄筋の被りコンクリートが剥落した状態の部位は、鉄筋コンクリートが破壊している状態と考えるのが妥当である。



[鉄筋コンクリートが破壊されている状態のRC床版橋の端部およびRC梁部]

1-3 鉄筋コンクリートの桁端問題

- ① 古い鉄筋コンクリート床版橋はギオン・マソネーの板理論で解析され、支承部分の床版は半無限板として取り扱われていたが、少なくとも橋梁端部の支承方向（橋軸直角方向）は解析されておらず、せん断鉄筋も配置されていない。この部分は鉄筋コンクリート梁と考える方が妥当である。
- ② 一方、鉄筋が腐食損傷してコンクリートがはく落している現状に対し、鉄筋コンクリート梁としては想定外の事象が起きているわけである。この損傷腐食したRC梁の解析は損傷力学を導入しなければ答えが得られないと思われるので、この方面の研究者に委ねるのが得策である。
- ③ しかし、ただ言えることは、鉄筋が腐食損傷してコンクリートがはく落している鉄筋コンクリート床版は、せん断鉄筋が配置されていないことと、引張側のコンクリートが欠落している点を考えあわせると、せん断破壊もしくは曲げ破壊を起こして、重大な橋梁事故につながる恐れが十分に考えられることである。

1-4 鉄筋コンクリート床版橋の桁端部の補修方法

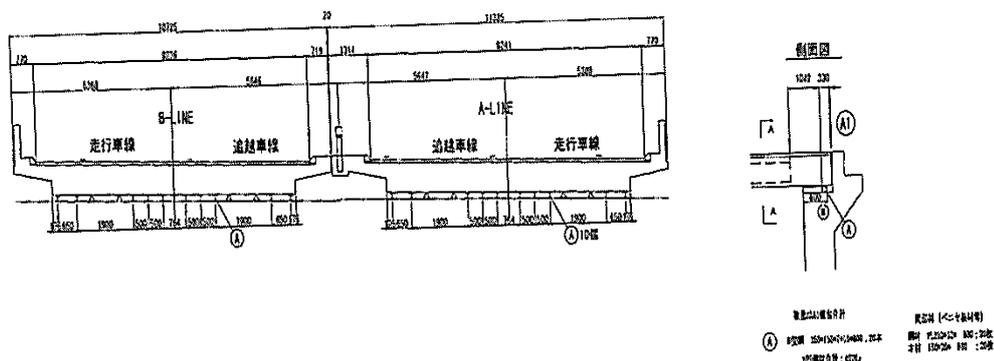
1-4-1 鉄筋コンクリートの損傷・腐食が軽度の部位の補修方法

- ① 予防保全もしくは重度の状態に進行するのを抑制するために部分補修をする。
- ② 水洗い、注入、漏水部の止水・排水処理、コンクリート表面処理、支承部の防食テープ貼付け等を組合わせて、簡易な部分補修をする。
- ③ 十分な観察点検を要し、その経過によりその都度、部分補修を繰り返す。

1-4-2 鉄筋コンクリートが破壊された状態の部位の部分補修方法

- ① 著しい損傷を受けた応力開放状態の鉄筋コンクリートは、部分補修では構造体としての機能は回復しない。ウォータージェット等による下地処理や電気防食、さらに良質の材料を使うのは実にもったいない。部分補修工法は外気の遮断により現状を維持することが目的であり、少なくとも作業中に閉じ込められた空気と水が消費されるまでは（これらは不動態皮膜が形成されるよりも速く消費される）、鉄筋は錆びるという考えのもとに補修作業を実施する必要がある。
- ② 水洗い、浮きコンクリート塊等の除去、注入、漏水部の止水・排水処理、ワイヤーブラシ等を使用して鉄筋の錆び落としと防錆処理、コンクリート表面処理、ポリマーセメントモルタル、珪酸ソーダ系のセメントモルタル又は防食テープによる被覆、支承に防食テープを貼付けて補修する。
- ③ さらに、終局状態に損傷が進行することを考慮しておく必要があり、橋台の支承線に沿って、橋軸方向にH形鋼（150*150*7*10*800-10本*2）を設置する方法が、床版の陥没崩壊を防ぐ重要な対策である。

[H形鋼の挿入（150*150*7*10*800-10本*2）事例]



1-4-3 鉄筋コンクリートが破壊された状態の部位の機能回復方法

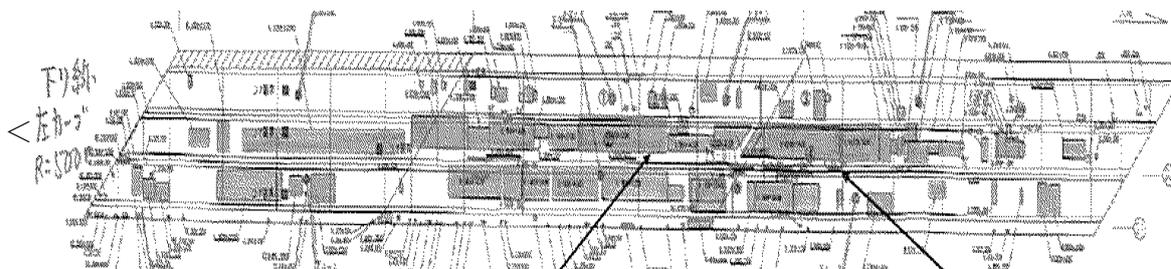
- ① 支保工を設けて無応力状態にした上で、桁端の全断面コンクリート打ち替え施工をする方法。（日光宇都宮道路清滝高架橋補修工事報告パンフレットおよび中国自動車道 木谷川橋損傷補修検討書（案））
- ② H形鋼をコンクリート巻きしたものを支承線上に並設、または支承を含めて隙間をコンクリートで充填（インテグラル橋のように）する

経験事例：3. 鋼橋の鉄筋コンクリート床版問題

(北陸道の管理事務所において、メンテナンス会社とエンジニアリング会社が成し遂げた保全対策)

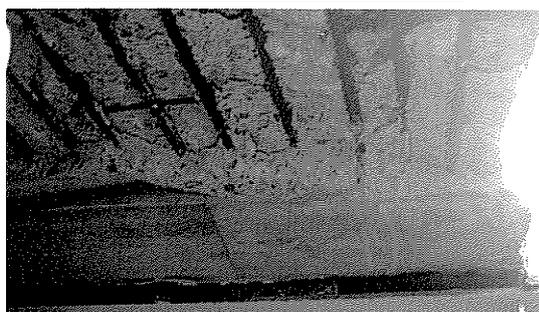
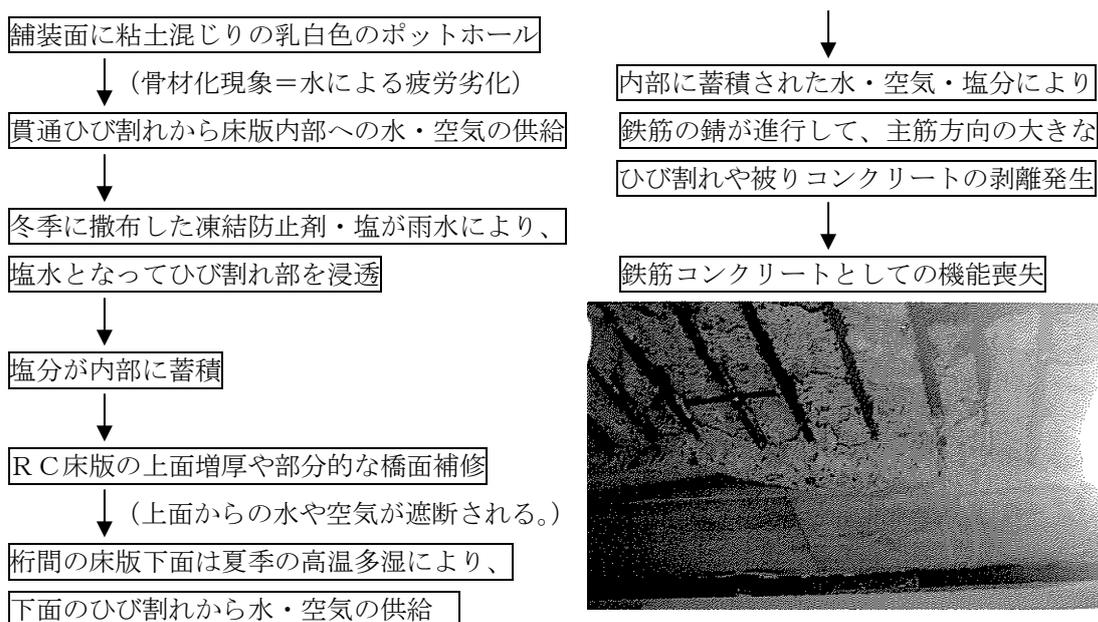
3-1. 鋼橋の鉄筋コンクリート床版の損傷メカニズム

- ① RC床版とその損傷（橋梁と基礎 98-5・6、松井教授・西川室長ほか）（鋼橋の床版講座シリーズ）輪荷重走行試験機による疲労実験から床版メカニズムを世界ではじめて究明した。骨材化現象と名付けて、材料や施工の欠陥ではなく、水がらみの疲労であると結論付けている。
- ② その損傷状況は走行車線側に点々と発生するのに対して、追越車線側の損傷は比較的少ない。また下り坂の続くサグ部にあつて曲線半径が小さいところにある橋梁に発生しており、その反対側（上り坂方向）の橋梁では損傷程度が比較的低いという傾向が見られる。（大聖寺川橋・志文川橋・矢野川橋ほか）



(矢野川橋下り線の下面の損傷状況であるが、走行車線の桁間の損傷が顕著)

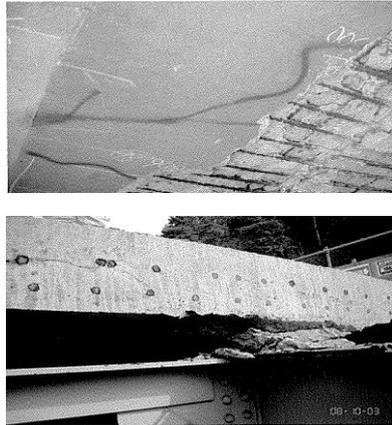
- ③そのメカニズムを考えると、以下のように説明できる。



3-2. 施工方法

- ① コンクリート床版の損傷面に、珪酸ナトリウムを主剤とした低粘度の含浸防水材を塗布または撒布する。この含浸防水材の施工面はその上流から流れてくる表面水を円滑に流して滞留せず、部分防水の機能が保たれる。
- ② 部分打替え工法（推奨施工法）
床版上面増厚工法マニュアル（平成5年2月 日本道路公団東京第一管理局）の部分打替工が参考となる。
部分打換え工（床版を打ち抜いて全断面を新しいコンクリートで打換える）は、被りコンクリートが剥落して鉄筋コンクリートが崩壊している状態で、その機能を再生できる工法として有効である。この方法によってコンクリートと鉄筋との一体性が図られ、下側鉄筋が引張鉄筋として有効に働くようになる。

3-3. 鋼橋の鉄筋コンクリート床版の類似損傷事例

- ① 北陸道大聖寺川橋（R=500m、SFCによる上面増厚・部分打替え、平成2年施工）
骨材化現象の床版損傷を遊離石灰法で分類して、8パネル（主桁×対傾構）の床版部分打換えした後、床版上面増厚をメンテナンス会社が施工したもの。
- ② 中央道古川渡橋（R=400m、塩害損傷・PC床版に取替え、平成5年に施工）
RC損傷床版を機械的に撤去した後、プレキャストPC床版に取替えた工事である。原因は塩害を受けた床版であると報告されているが、骨材化現象であるとも考えられる。
- ③ 中国道志文川橋・矢野川橋（平成20年に施工）
損傷原因をいずれも骨材化現象で説明できるが、プレキャストPC床版に取替えられた工事である。矢野川橋の事例をみると、R=500m、6%の横断勾配区間に関わらず、上面増厚コンクリートが旧床版に十分密着しており、旧床版・桁も健全であり、さらに追越側の損傷度は比較的低い状態であった。ただし、走行側下面の床版コンクリートのはく離と腐食したあばら状の鉄筋がすべてを物語っており（補修の遅れ）、耐荷力の低下は明らかであったろう。
- ④ 中国道西下野高架橋（平成20年に施工）および阪和道西池橋（未施工）
前者は下り坂の損傷は顕著であるが、上り坂の損傷程度は比較的小さい。後者は扁平な逆ランガー橋で剛性の低い橋のため床版損傷は顕著であるが、上り下りで損傷程度が相違すると報告されている。骨材化現象であり、工事方法は部分打替え工法を推奨する。

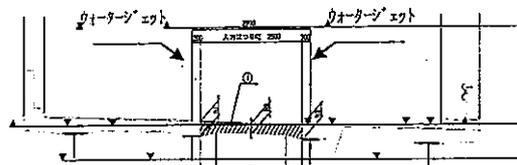
⑤東北道みちのく橋 (SFCによる上面増厚・部分打替え)

⑥北陸道日野川橋の床版補修報告 (NEXCO技術情報第8号、2009-7)

(a) 部分打替え (床版を打ち抜いて全断面を新しいコンクリートで打換える)
鉄筋コンクリートとしての機能が再生できる工法である。すなわち下側鉄筋が引張鉄筋として有効に働くようになる。

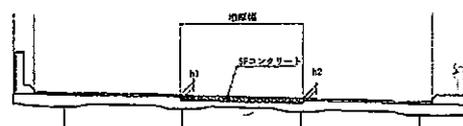
(b) 上側鉄筋の下約3cmを新しいコンクリートで打換える
旧コンクリート床版の良し悪しはその床版の耐久性を決めるので、防水等に十分配慮しておくことが肝要である。

(c) 上面増厚の再施工
施工端面を低粘度の含浸防水材で施工しておくことが肝要である。



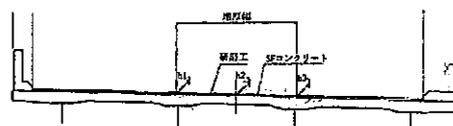
(a) 部分打替え

幅2.5mを人力はつり、隣接のコンクリートは幅0.2mをウオータージェットで除去する。型枠・配筋後にコンクリートで修復する。



(b) 上面打換え

ウオータージェットで床版の上側鉄筋の背面までコンクリートを除去し、上面増厚工の再施工を行う。



(c) 上面増厚 (再施工)

増厚コンクリートを除去し、上面増厚工の再施工を行う。

3-4. 橋梁床版の部分打ち替え工と床版上面増厚工 (北陸道大聖寺川橋)

(筆者が北陸道小松管理事務所で経験したことを記述します。)

これらの保全対策は公団技術担当者・笹井氏の主導のもとに、金沢道路メンテナンス会社が施工し、北陸道路エンジニアリング会社が調査・解析を実施した、補修工事と調査であります。)

3-4-1. メンテナンス会社が施工した保全工事

床版切削機、スチールショットブラスト機、超速硬 SF コンクリートミキサ、専用フィニッシャー等を集積して、交通遮断下 (片車線を対面通行) で、床版上面増厚工を施工した。部分打ち替え工は足場、支保工を設けて、全断面切削で先行施工した。このメンテナンス会社の下請負として横河工事 (若戸大橋の四車線拡幅工事中の橋梁会社)、超速硬 SF コンクリートの供給は小野田ケミコン、舗装は地元業者を下請けとした。

この工事以降は大規模工事となってしまった。(技術ノーハウが残らない。)

3-4-2. エンジニアリング会社が実施した保全対策の調査および解析

エンジニアリング会社の技術者は、現場で発生する技術的な問題にあらゆる点で関与し、メンテナンス会社の社員と協働して維持管理に貢献した。彼ら自身もスキルアップして、後年、塩害調査・対策のエキスパートとなった。

3-4-3. 日本道路公団職員の立場

すべての工事や調査を企画立案し、実施工を主導的に指導していた。特に、技術指導や各下請けメンバーとの調整、指導まで精力的に行っていた。

この道路公団職員は試験所、大学、研究機関、専門会社技術者等々からのアドバイスを受け、種々の文献にも目を通してよく勉強し、咀嚼していた。

彼は平成5年には、中央道古川渡橋に於いて、各所の鋼橋で実施されているプレキャストPC床版による床版取替え工事を施工した。

このような技術者が、筆者が考えている保全技術者の理想像である。

経験事例：4. 鋼橋の桁端問題—防食テープによる部分補修

鋼橋塗装の塗替えのインターバルが延びている現状を見ると、主桁部の塗装状態が比較的健全であるにもかかわらず、桁端部や支承部に重層錆が散見され、極端に損傷が進行している。この状態の桁端の補修作業は中国道市川橋での試験施工の事例（橋梁の延命化に向けた桁端部の予防保全—EXTEC No.88）を参考にすることを勧める。

4-1 その工法としては、

①損傷・腐食が軽度の端部

水洗い、簡易な重曹ブラスト、鋼ブラシによるケレン、防食テープ貼付け。

②損傷・腐食が重度の端部

ショットブラスト、平面部の厚膜塗装およびコーナー部・支承部の防食テープ貼付け。部分溶接、炭素繊維シートまたは炭素繊維プレートの貼付け。

「橋梁の延命化に向けた桁端部の予防保全」の抜粋

1. はじめに

橋梁桁端部は、伸縮装置からの漏水（積雪寒冷地域では塩分を含む）等により、桁端部の鋼桁等の腐食、支承部の腐食や機能障害、また、コンクリート部（桁、床板、下部工など）のひび割れ、剥離・剥落、鉄筋の腐食等がみられ、中間支点・径間部に比べて損傷が著しい。

現状の道路構造物は、点検等で発見された損傷ランクの高い部位から順次補修が行われているが、予算の制約等もあり、補修が遅れ気味で、その結果、損傷が進行してから補修・補強工事を実施する傾向がある。

構造物の損傷が大きくなる前に補修対策を実施することが、構造物の劣化の防止や延命に効果があり、トータル費用としても経済的となるとの観点から、橋梁桁端部の予防保全工法を開発して試験施工を行ったので報告する。

実施に当たっては、NEXCO西日本高速道路(株)関西支社福崎管理事務所、西日本高速道路メンテナンス関西(株)、西日本高速道路エンジニアリング関西(株)の協同体制で行った。



写真5 重曹ブラスト施工状況



写真6 重曹ブラスト施工完了



写真7 防食テープ材料



写真8 防食テープ施工状況



写真9 防食テープ施工完了

4. まとめ

- ① 水洗いを行うことにより、塩分濃度が大きく減少しており、塩分による鋼材や鉄筋の腐食を抑制することが期待できる。
- ② 重曹ブラスト工により、旧塗膜・浮き錆は除去され、鋼材の鉄面を露出させる2種ケレン程度の除去能力が十分あることが確認できた。
- ③ 健全部の塩分や塵埃等の除去は、水洗い工法で行い、鋼材や鉄筋の腐食部や汚れの大きい箇所は、人力と重曹ブラスト工法で除去するのが効果的であった。
- ④ 防食テープ工は、簡単な手作業で凹凸部も隙間無く施工可能であった。今後、鋼材の腐食の進行度と防食テープの耐久性の経年変化等を追跡調査する予定である。
- ⑤ コンクリート表面防水処理工は、ローラーによる塗布作業が簡単に出来、ほぼ均一な仕上げが可能であった。今後、コンクリートの浮き等の損傷の進行を追跡調査する予定である。

4-2 防食テープの特徴

防食テープは1.1mm厚さのポリエステル布に鉱物油を含浸させたもので、空気、水、塩分が遮断でき、内部も未硬化状態の材料である。貼り付け作業が簡単であり、下地処理も鋼ブラシによるケレンで十分機能が発揮される(現状のまま維持される)。さらに未硬化であるので振動に対する追従性もよく、コンクリートとの付着性も良好で軽量なため、床版下面にも適用できる。但し、水分があると付着性能が落ちるので、乾燥状態で施工すると共に、内部からの漏水を含浸材で防止しておくなどの処理が望ましい。



支承・アンカーボルトに貼付け



添接板のボルトに貼付け



RC床版の下面に貼付け

4-3 適用箇所

桁端部のコーナ一部、溶接部、橋梁のあらゆるボルト・ナットの継ぎ手部、支承部、さらに照明、遮音壁、標識等の基礎のアンカーボルトやガードレールポストのコンクリート埋め込み部にも使用できる材料である。

4-4 作業方法

- ① 現場技術者が損傷状況（錆の状況等）を点検観察し、ケレンの程度・漏水状況等を把握する（点検作業）。
 - ② 前処理は鋼ブラシ、簡易な重曹ブラスト、重層錆部では皮スキ・セットハンマーにより錆を除去した後、水洗い（自然乾燥）、エア吹付けする。
 - ③ 水分と空気が入らないようにして防食テープを手で撫で付けて貼付ける。
- [ダブルケレン法] 重層錆部に①小型機械（研磨機、ハツリ機）で粗ハツリした後、②簡易重曹吹き付け、ナノ泡吹付け、鋼ブラシでケレンする方法。

4-5 点検管理—抜き取り検査および現場技術者による良否の判定

点検作業は1年毎に、100個あたり、抜き取り個数5個（危険率5%）の防食テープを剥がして目視点検する。問題があれば、さらに5個剥がす。問題がなければ剥がした後はそのまま貼り戻すか、新しく貼り直しておけばよい。点検対象箇所は毎年別々の箇所にすれば、20年で一巡できる。

経験事例：5. PC橋の桁端問題

5-1. PC橋の桁端問題

PC橋の腐食対策は定着部の防食が最も肝要である。現在、この定着部に対して問題意識はあるが、何らメンテナンスの手が加えられていない。

まず、最悪の塩害事例を文献から拾い出してみましよう。

5-2. PC橋を放棄した事例

暮坪陸橋の塩害損傷とその対策 土木施工 35 第7号 1994.6 から参考抜粋

暮坪陸橋（国道7号線・山形県庄内海岸）は直接波しぶきを受ける厳しい塩害下であり、建設後17年経過して、塩害対策として一次補修（劣化部の断面修復＋塗装ライニング）、更に10年後にケーブルの破断が多数見られ、外ケーブルや中間支柱を設けたが、塩害を克服できず、その後内陸部に路線を新設移設した事例である。



写真 8 第3スパンG2桁口部、鋼線が破断しているのがわかる

次に、実際に筆者が携わった北陸道の塩害対策の事例を紹介しましょう。

5-3. 北陸道大慶寺川橋の事例

日本海から 100m 以内の加賀海岸沿いを走る北陸道の橋梁（主に PC 橋）は、冬季に厳しい塩害を受けている。供用 10 年後に第一次の補修（劣化部の断面修復＋塗装ライニング・有機系）、その 5 年後にコンクリート被覆（有・無機系）・電気防食（4 種）・外ケーブル・亜硝酸リチウム等により再施工が実施された。定着部の機能が失われておらず、桁中央部は PC 鋼線の素線が 3 本断裂しているが、構造体としては問題ない状態であった。

厳しい塩害を受ける橋梁は被覆補修を繰り返すしか方法がない。

右は再施工時の完成写真である。

外部からの塩分は遮断されているが、内部に蓄積された塩分により順次遅れて塩害損傷が発生するので、点検をして損傷の小さい内に、メンテナンスをこまめに繰り返す手法が良いようである。



5-4. 定着部の課題

PC 橋は外ケーブルのことを想定すればわかるように、定着部が錆等による損傷を受けずシース内部の PC 鋼材が腐食破断しなければ、十分構造体として機能するものである。その対策工は定着部の漏水対策に尽きるが、現状では有効な工法は開発されておらず、珪酸系含浸材の注入と防食テープを使用すれば有力な工法が開発できるものと考えている。

PC 桁本体は PC ケーブルの腐食損傷を防止するために、補修後の点検を行って軽微な時点にコンクリート被覆を繰り返すことが良いようである。

(参考) 不動態被膜の問題 ①海中にある鋼材は不動態被膜が破壊されていても錆びていないこと（土木学会委員会の塩害記述より）、②たとえ不動態被膜を元に戻しても欠損した断面は元の断面でなく、モルタル分との付着力はその初期強度に支配されること、③どのような方法で修復しても作業中に残った空気と水は先に消費されること。

(25 年経って東名三の宮の鋼板接着補修の課長から与えられた宿題が実現できた。)

関連技術：2. 塩害その他の用語解説

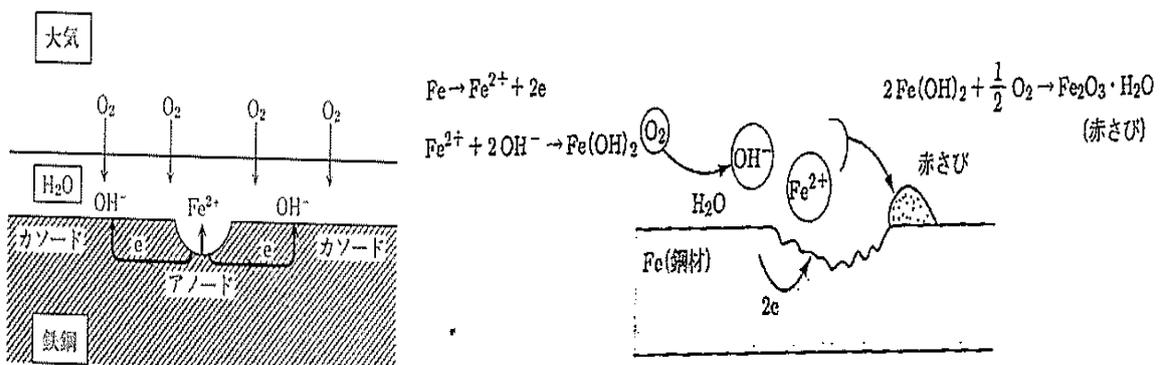
(用語解説は「コンクリートが危ない」小林一輔著より引用させていただきました。)

毛管空隙

コンクリート構造物の耐久性に大きくかかわるのが毛管空隙（孔径 2 mm～1 μm）で、コンクリート構造物の表面から内部に通じており、塩化物イオンや硫酸イオン、大気中の二酸化炭素や酸素などの侵入経路になる。これらの物質の侵入は、鉄筋の腐食や炭酸化によるコンクリートの分解を引き起こして、コンクリート構造物の耐久性を弱める。

大気中の鉄が腐食するメカニズム

大気中の鉄の表面は薄い水膜でおおわれている。この水は微量の不純物を含んでいるため、電解質である。鉄の表面組織とこれに接する電解質溶液には、不均質な部分が数多く存在する。これらの部分と周辺部との間に電位差が生じて電流が流れ、腐食電池が形成される。不均質な部分がアノード（陽極）、周辺部がカソード（陰極）になる。アノードでは鉄表面の結晶格子から鉄原子が脱落して鉄イオン Fe^{2+} となり、電解質溶液中に溶け込むと同時に電子を放出する。その跡にはピット（くぼみ）ができる。カソードでは電子を受け取って水に溶け込んでいる酸素が還元され、水酸基イオン OH^- ができる。この鉄イオンと水酸基イオンが結合して、水酸化第一鉄 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ が鉄の表面に形成される。水酸化第一鉄は水中の酸素で酸化されて、水酸化第二鉄 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ となる。これが水分子を放出して含水酸化鉄（赤さび） FeOOH となり、一部は酸化鉄（黒さび） Fe_2O_3 となって、鉄表面にさび層を形成する。大気中では酸素の供給が続くかぎり、鉄の腐食は進行する。しかし、この電解質溶液が pH11.5 以上のアルカリ性であれば、鉄表面に不動態皮膜 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ と呼ばれる厚さ約 3 nm の緻密な酸化被膜がつくられ、鉄を腐食から保護する。



塩化物イオンによる鉄筋腐食

塩化物イオン Cl^- によって不動態皮膜が破壊されて、鋼材が腐食する現象を塩害と呼ぶ。例えば海砂を通じてコンクリート中に限界値以上の塩化物イオンが存在すると、不動態皮膜がつかられず、鉄筋は腐食に対して無防備の状態におかれるので、水と酸素があれば中性化とは無関係に腐食がはじまる。塩化物による腐食のもう一つの特徴は、腐食生成物が水に溶けやすく、体積増加は膨張率が約2倍である。しかし、塩化物が関与する場合、腐食が進行してもひび割れが発生しにくいいため、著しい断面欠損を起し、重大な事態を引き起しかねない段階にまで鉄筋が腐食しても、構造物の外観を調べるだけでは検知できない恐れがある。

原因別にみると、

- ① 北陸、東北の日本海沿岸の冬期の季節風による厳しい塩害
- ② 沖縄地方の海砂（多孔質のサンゴが主体）使用と塩分を含んだ高温多湿の環境下での塩害
- ③ 海砂の使用による塩害は、山陽新幹線で建設後10年ぐらい経過して著しい塩害損傷をもたらし、現在も対策が講じきれていない。少し遅れて建設された中国道の福崎、山崎地区で海砂の使用が云々されているが、当時、関西地区での海砂による塩害問題を指摘していた試験所の方がおられたが、少なくともそれに対する対策は講じられていない。しかし、山陽新幹線のような早い時期の塩害損傷は起こっておらず、さらに構造物全体にわたった腐食損傷が起きているのではなくて、桁端部に集中しているのは漏水による腐食と考えた方が妥当であろう。これなら、対策は比較的容易である。
- ④ 凍結防止剤による塩害問題があるが、雨水に溶けた塩化物イオンがひび割れなどを通じて浸透しているものと考えて、珪酸系モルタル材料による部分補修、表面被覆、さらに注入をすることで、今からでも十分対処できるものと考えている。

さび発生限界

コンクリート単位セメント量を $300\text{kg}/\text{m}^3$ として、そのセメント重量の0.4%、すなわち 1.2kg の塩化物イオンがフリーデル氏塩として固定化される。英国の基準を参考にして、わが国では、2002年にコンクリート標準示方書施工編の腐食発生限界の塩化物イオン濃度を $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ と規定している。

塩害のように鋼材の腐食は、マクロセル腐食で部分的に激しく腐食する部分が形成されたり、腐食の速度が速い場合が多い。

鉄筋が腐食するとされる塩化物含有量の限界値を $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ とする報告も多

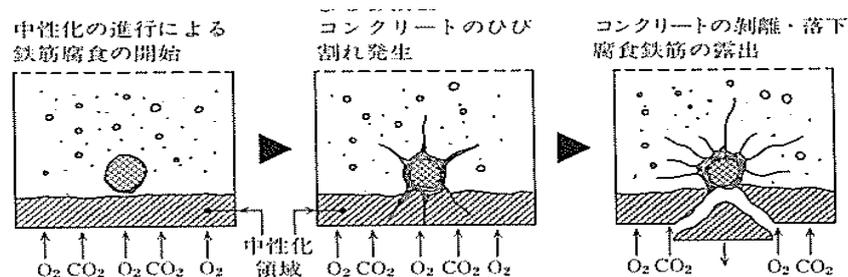
い。運輸港湾研では、 $4 \sim 6 \text{ kg/m}^3$ とあり、また山陽新幹線でもコンクリートの強度が設計基準強度を満足していた高架橋で、多量の塩分を含んでいたにもかかわらず、鉄筋腐食が軽微であったという報告もある。また土木学会塩害委員会でも、海中にある鋼材は不動態皮膜が破壊されていても錆びていないと指摘している。このように有害な錆びを発生させる内部塩分量を決めることは難しい。

(1.2 kg/m^3 はさびの発生がはじまる限界であって、この量以上になると真っ赤にさびると思われると間違いであろう。)

中性化による鉄筋腐食

大気中でコンクリートのアルカリ性を低下させるのは二酸化炭素である。二酸化炭素によってアルカリ性が低下する現象（炭酸化反応）を中性化と呼ぶ。

中性化は表面から徐々に内部に進行し、鉄筋付近まで達した時に不動態皮膜が破壊されて鉄筋の腐食がはじまる。さびの体積は元の鉄の約2.5倍になるので、鉄筋周辺のコンクリートに圧力を及ぼし、限界に達するとひび割れが発生する。



二酸化炭素による塩分濃縮問題

コンクリート中で鉄筋が腐食しはじめる塩化物イオン量は、コンクリートの品質で違うが、わが国ではコンクリート 1 m^3 あたり 0.3 kg と規定している。

海砂を使用したコンクリート構造物が10年程度経過すると、塩分 NaCl が表面付近で最小で、鉄筋位置で最大となるような不均一な塩分分布となる。

そのメカニズムは、コンクリートが流し込まれた直後には、海砂中の塩分はコンクリート中で解離して塩化物イオンとなるが、まもなく、その多くの部分はセメント中のアルミン酸カルシウムと結合して、フリーデル氏塩 $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ と呼ばれる結晶を形成する。この分は鉄筋腐食には関与せず、残りの塩化物イオンが鉄筋を腐食させる。

二酸化炭素が時間と共にコンクリート表面の毛管空隙を通じて内部に侵入し、コンクリートを固めているセメント硬化体組織を分解させる。この炭酸化によってフリーデル氏塩は分解され、固定化されていた塩分が再び塩化物イオン

となる。その結果、炭酸化部分における塩化物イオン濃度が高まり、濃度拡散現象によって塩化物イオンは内部に移動する。このために炭酸化の最前線部分で塩化物イオンの濃縮が起こるのである。

鉄筋腐食は崩壊のはじまり

鉄筋コンクリート構造物は、鉄筋の腐食がある段階にまで達すると、もはや荷重に耐えられず崩壊してしまう。ある段階については、一つは、大きいひび割れが主鉄筋に沿って発生し、コンクリートと鉄筋の一体性がそこなわれる段階で、一般に劣化が進行している橋桁の終局耐力の目安にされている。もう一つは、鉄筋の断面欠損が設計上許容しえない程度にまで進行した段階である。前者では断面欠損が許容限界内であるかどうかは問題外であり、後者ではひび割れ発生の有無は考慮しない。

このように外力に対して鉄筋とコンクリートが一体となって働かなくなった状態、即ち鏽等により主鉄筋方向に大きなひび割れが発生したり、鉄筋の被りコンクリートが剥落した状態の部位は、鉄筋コンクリートが破壊している状態と考えるのが妥当である。

アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応は、コンクリート中で、素材である岩石（骨材）中のシリカ分が強アルカリによって溶解する現象である。

アルカリ骨材反応の対策として、アルカリ分に関しては総量規制がおこなわれていて、アルカリ量は二酸化ナトリウム量に換算した値が用いられている。その値はコンクリート中に導入される総アルカリ量をコンクリート 1 m^3 あたり 3.0 kg 以下としている。

アルカリ骨材反応は、コンクリートの全体積の 70%以上を占めている骨材と、コンクリート内部の毛管空隙を満たしているアルカリ溶液との化学反応によって進行する。

アルカリ骨材反応による劣化の兆候が出始めるのは、一般に建設後約 10 年と言われているが、阪神高速道路の松原線の事例では 4 年後に異常なひび割れが発見されている。この被害を及ぼした岩石は香川県豊島産の輝石安山岩である。最近、中国道の福崎・山崎地区でアルカリ骨材反応を云々されているようであるが、少なくとも当時の交通事情から考えると、豊島産の砕石が使われたとは思われない。アルカリ骨材反応を試験的に特定することは容易であるが、その対策は非常に困難である。

経験事例：6. 改築工事

6-1. 吹田 JCT 工事（名神と中国道の直結ランプ）

（名神と中国道を直結した橋梁主体の工事で、工事長として従事し、種々の事故に遭遇したことは慙愧に堪えませんが、多くのことが学びました。）

- ① 夜間工事が主体で、1年半で51日の夜間工事規制を行った（42日間立会した）。種々の交通規制方法を職員と議論しながらまとめて、交通規制図等を作成した。万博周回道路への迂回などの提案も受け、夜間工事主体で乗り切った。
- ① 桁架設は135ト吊クレーンと70ト吊油圧クレーンの合い吊りによるクレーン作業が主で、大型クレーンは使われていない。名神上の170トの横梁は台車引出し工法という特殊な方法を使用して架設した。この工法は紀ノ川橋の台船引出し工法と、鉄道上の桁引出し工法を組合わせたものである。
- ② 名神上のコンクリート打設は昼間に交通を通した状態で施工するため、6mmの垂鉛引き鉄板を使用したグレーチング床版とした。打設中のモルタルのしみ出しを防ぐために、7度のJR上での施工経験からあらかじめモルタルを塗って打設した。グレーチング床版は重ね部とスポット溶接部が欠陥となるので、補修には水ガラス系の含浸材の注入と防食テープの併用が望ましい。当時の技術でどのように施工されたのかを知っておくことが肝要である。

③ 下穂積高架橋の縦方向ジョイント

昭和53年当時の設計思想は、名神がロッキング橋脚で下部工が相違することと、床版コンクリートの材令差の違いで、クリープ、乾燥収縮の問題から、新・旧床版を分離して開かないように杭配置を偏心させて、名神側に寄りかかる構造とした。その結果、名神側の床版の上面隅角部が角欠けしはじめたので、舗装のことを考えて縦方向ジョイントを設けた。このジョイントは名神からの車の乗り越しに対処できるような構造となっている。

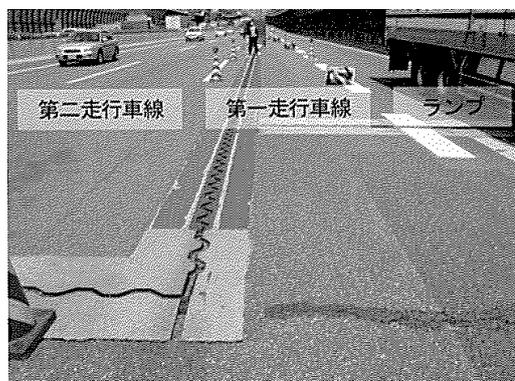
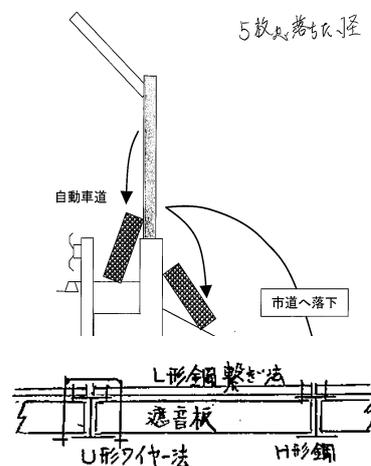


写真-1 縦ジョイント部路面状況

④ オーバーハング型の遮音壁の落下事故

右図は近年発生した事故事例であるが、吹田 JCT で架設後に天端1枚が路肩に落下した。原因は支柱の1点支持で重心が偏心しており、板の温度変化に追随できなかったものと推定している。対策は先端部をL形鋼で繋ぎ縦方向にワイヤーを取り付けた。この事故で、請負人はすべての設置済みの遮音板を取り外して、類似寸法のを組み合わせて板のかかり具合を調整した。無事現在に至っているようである。H形鋼を挟んでU形ワイヤーで遮音板を止める方法も考えられる。



6-2. 若戸大橋拡幅（4車線化）工事

（30年前の若戸大橋拡幅工事で得られた経験をもとに少し考えを纏めてみたものです。）

6-2-1. 若戸大橋拡幅工事の経験から

- ①当工事のピーク時の技術者は私を含めて8名であり、その内の3名は入社1～4年目の若手職員であった。
- ②私を含めて誰も、吊橋や鋼床版を設計、施工した経験もなく、そのような現場に在職していたこともなかった。
- ③経験があるに越したことはないが、我々のように経験がなくとも、種々のアイデアを出し合ってブレインストーミングしながら、実行に移していくことが成功への道であり、若手技術者の育成の早道であったようである。
- ④その内容をみると、すべての事象について実験なり、計測なりを若手技術者が中心になって実施していったことが、彼らの自信と技術力を育てていったものと考えている。
- ⑤無事故、無災害で4車線化を完成できた理由を列举すると、
 - ・長丁場を乗り切るために、夜間工事をしなかったこと。（日交通量は対面2車線で3万5千台の交通量があったが、夜間は殆んど車が走らない状態）
 - ・大きな渋滞が発生しないような工夫をして、昼間の一時通行止めで施工できる工法を考え出したこと。
 - ・現場をオープン化したこと。風の影響を最小限にするためからガードレールとネットで現場を囲み、通行車両から現場が見えるようにしたこと。
 - ・建設当時の技術基準、技術レベル、施工レベルを十分に理解するために、1期の我が国初の海峡を渡る吊橋を施工した先輩方（委員会メンバー）からアドバイスを受けて施工したこと。（陸上部は私たち独自のもので施工）
 - ・吊橋部の施工はケーブルを損傷しなければ落橋はしないという考えのもとに、十分な保護をして施工した。兩岸アプローチ部の施工は街中を通過するため、地元住民に極力迷惑をかけないような工夫（エクセル工法による無水掘りなど）をして施工したこと。
 - ・種々の技術を取り入れて組み合わせて、新しい技術を造っていったこと。
 - ・メンバーの発想を大事にして、種々の工夫をして自信と誇りをもつ機会がそれぞれに得られたと思っている。
 - ・現場の問題点を探しながら現場を四六時中歩き廻ったこと。

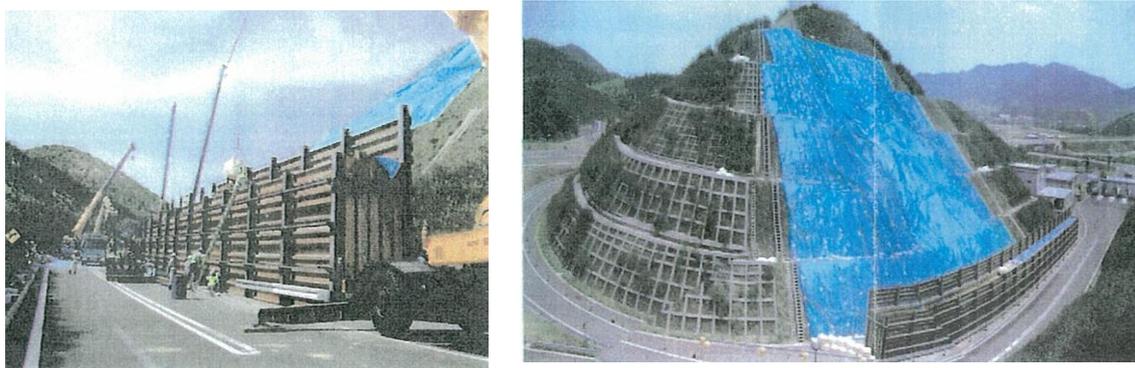
6-2-2. 若戸大橋拡幅（4車線化）工事の施工状況

（記録映画（30分・35分）をビデオテープにしてあるので、見ていただいて、ご質問をしていただければ幸いです。）

経験事例 : 7. 台風災害— (1) 高松東道路引田 IC の豪雨によるのり面崩壊
(2) 松山道大生院地区ののり面崩壊による土石流

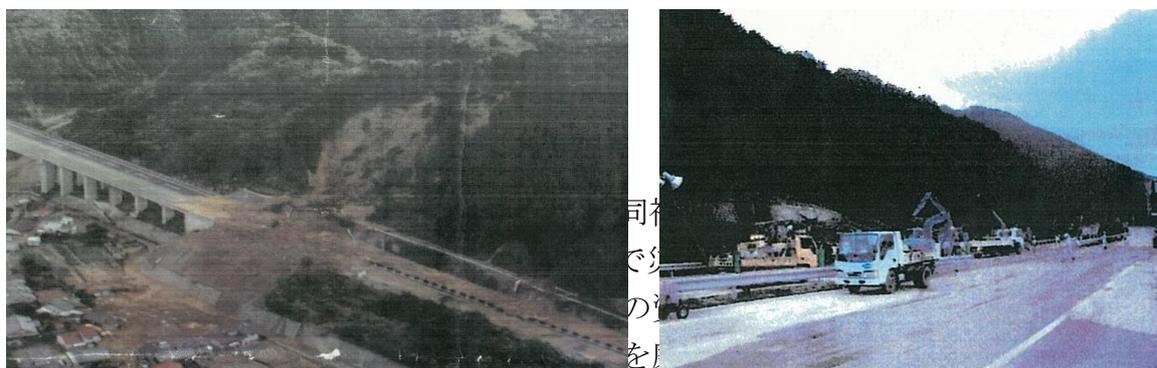
7-1. 高松東道路引田 IC の豪雨によるのり面崩壊

平成 16 年 6 月の台風 4 号の集中豪雨によって、のり面の土砂崩れ災害が発生し、四国のメンテナンス会社とその協力会社の手で、二重矢板による仮復旧対策工事が 73 時間でなされた事例である。緊急災害対策は時間との勝負と考えています。



7-2. 松山道大生院地区ののり面崩壊による土石流

左下の写真は、平成 16 年 9 月の台風 21 号の集中豪雨によって、本線近傍ののり面が崩壊した後、土石流となって高速道路を乗り越え、道路下の民家を埋めて死傷者を出した災害事例である。本線の巻き込み盛土が崩壊しなかったのは、点検により脆弱となっていた、橋台盛土部分を矢板および鉄筋挿入による補強土工を、四国のメンテナンス会社の手で数年前に施工していたからである。自然災害の怖さと、点検と事前の補強作業の大切さが痛感された事例である。



【終わりに】東名でメンテナンスをはじめて以来、吹田ジャンクション工事、若戸大橋の四車線拡幅事業の改築工事を経験して、さらに種々の橋のメンテナンスをし、災害復旧工事まで経験した、愉快的な人生でありました。