

(4) コンクリート構造物の劣化度の判定ならびに劣化防止法について

阪神高速道路公団 加藤 修吾
 “ 神田 正孝
 “ 清水 正朝
 “ 幸左 賢二
 “ 袴田 文雄

1. はじめに 阪神高速道路公団は昭和37年の創立以来今年で20年になる。この間昭和39年6月の大阪池田線の一部2.3kmを供用したのを皮切りに年々道路延長をのびし、昭和57年12月1日現在、全123.6kmを供用し、さらに、大阪市、神戸市及びその周辺の地域における都市機能の維持と増進のために、鋭意工事を進行中である。一才新路線の供用と共に道路の運営、管理が、所管管理部において開始される。当大阪管理部では大阪府下の阪神高速道路90.9kmの運営、管理を行っている。以下では、高速道路管理の概要とコンクリート構造物(床版を除く)の劣化度の判定をめぐる調査例等について述べ、今回行った劣化防止法の試みについて紹介する。

2. 管理の概要 近年の道路管理に要する費用の伸びには著しいものがある。なかでも床版補強、塗装、構造物一般補修、防音壁(プラスチック板)、構造物調査点検、舗装補修、ジョイント補修は補修費のうちでも多くをしめる。阪神高速道路公団では構造物の点検によって異常、損傷の早期発見、早期処置により大きな事故の発生予防と構造物の良好な保全をはかるべく、昭和53年度より広汎な調査、点検を開始したのであるが、昭和56年度より「道路構造物の点検標準(土木構造物編)」を定め、点検担当者に点検の趣旨と要領を広く周知徹底すると共に、より計画的で総合的な管理をはじめた。構造物管理においては当該構造物の特性、履歴、環境条件、予算、関係各省庁、住民との合意等が相互に深く関与しているため、点検ノックにしても未だ試行の段階であるが、今後、徐々に確定したものになってゆくと思われる。点検標準においては点検作業から補修、そして管理図書の作成に終わる一連の流れを図-1のように示している。一般に都市内高架高速道路は立地条件のきびしいところに立っていることが多く、構造物の終局限界に近づいたために補修することよりも、美観、破片の落下、許容値をこえる騒音、振動、水漏れあるいは走行性、走行安全性といった使用限界状態に近づいたために補修するという事の方が多い。この点検作業のながれの中でも道路管理者として第三者への安全性の確保、そして本来目的であるところの機能には慎重な配慮がなされている。点検の項目はコンクリート構造物、鋼構造物、床版、舗装、伸縮継手、沈下測定、付属構造物(排水施設、標識他)である。この中でコンクリート構造物について、点検項目、及びすみやかに補修を要するとす

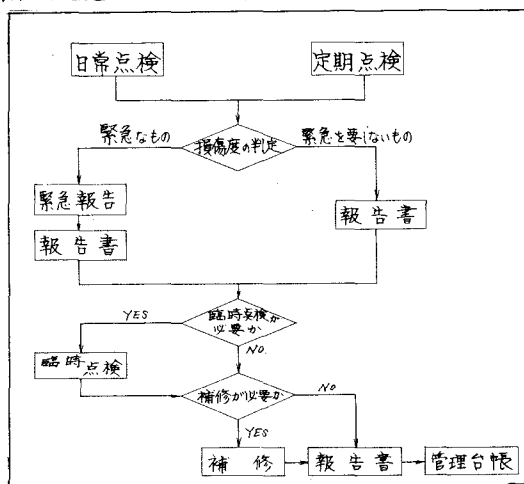


図-1

る判断基準については表-1 のようである。

3. コンクリート構造物の劣化について

3.1 コンクリート材料について 土木構造材料の

なかでコンクリートと鋼は二つの代表的要素をしめる。コンクリートは鋼と比較して1)材料の国内、現地生産が可能であること2)少ない設備投資で施工できること3)作業が比較的容易であること4)建設費用が安いこと5)任意の断面、形状を作りうること、などと共に、建設後の管理費用がかからないことから、広く用いられている。鋼構造の場合の塗装めりかえ費用は管理費用の代表的なものである。また鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート、各種混和剤、施工機械、施工法などの開発により、新しい分野に

も積極的に参加してきている。近年では環境問題はじめ初期費用、管理費用、危険費用を含めた、供用期間中の全費用最少という面でもすぐれた性状が着目されている。しかしコンクリート構造は数々のすぐれた長所を持つ反面 1)重量が大きいこと2)品質、施工管理が容易でないこと3)引張強度が小さいこと4)損傷の検知がむづかしいこと5)補修の方法がむづかしいこと、などは短所とされる。特に近年、良質骨材の不足、熟練工の減少、現場技術者の不足、などにより、品質、施工上の問題点が少なからず発生している。またコンクリート構造物はすべてコンクリートで被ってしまい、内部の鉄筋、コンクリートの状態が容易に知られないのが現実である。さらにコンクリート構造物の損傷は、ひびわれ、異常音などにより発見されるのであるが、メンテナンスフリーと考えられていたものを多くの場合、交通開放しつつ補修することは、難しいか、あるいは手段が限られてくる。

3.2 コンクリートの劣化について コンクリートの劣化には荷重による応力やひずみ、かぶりやひびわれに対する配慮の不足、締固め、うちつき、仕上養生の不良、さらには火災、気象、大気、海水や流水の作用などが原因となって、変色、たたき音不良大きなひびわれの発生、コンクリートの剝離や角落ち、遊離硬の浸透、析出、コンクリートの中性化、強度低下(あるいは発現不足)透水係数の増大、セメント成分の流失などと、主に経年的な変化としてあらわれる。コンクリート表面付近の鉄筋が錆びてくると、形成された酸化鉄が膨張を伴うので、かぶりコンクリートにクラックと剝離を生ずることがある。特に都市内高架高速道路の道路管理者として、コンクリート片の落下はオミエ事故に連かる可能性のあるという認識の下、厳に注意を払う必要がある。さらに、コンクリートに生ずるクラックはコンクリートの劣化や将来の鉄筋の発錆、錆の促進につながるものとして、許容値をこえるものは早急に適当な対策がなされなければならない。コンクリート部材でコンクリートが強度不足のとき、適当な補強が必要とされることも多い。

3.3 鉄筋の錆について 近年1)海洋構造物に、鉄筋コンクリートが使用されること2)細骨材に海砂が用いられること3)路面凍結を予防するための事前散布剤として、塩化カルシウムが用いられることなどにより、鉄筋の錆についても盛んに論じられてようになってきた。コンクリート材料は、本来 ph 12-14の強アルカリ性で鋼の表面に酸化物被膜を形成し鉄筋を不働態化するため、鉄筋は最適の腐食

表-1

点検項目	補修要否判断基準
① ひびわれ幅 (PC) (RC)	0.2mm以上 0.3mm以上
② はく離	主筋シースの露出 PC定着部の露出 コンクリート片のうき 断面欠損
③ 腐食	主筋の腐食
④ 遊離石灰	遊離石灰の析出
⑤ 首座コンクリート	割れ、沈下
⑥ 異常音	着いたたたき異常音
⑦ その他	

防止環境にあると言える。(しかし中性化が進行して不働態被膜を破壊したり、塩化物イオンの混入により、部分的に不働態被膜を破壊すると、局部電池が形成され、発錆、錆の促進をみることになる。鉄筋が錆びることは、かぶりコンクリートにクラックを生じ、コンクリート片の落下を招くほか耐荷力の低下を生じると思われるので、鉄筋に発生した錆は早期に外環境と遮断して、錆の進行を止めるのが良い。特にかぶりの少ない場合を除いて、中性化が鉄筋の深さに到るよりも鉄筋の錆の発生の時期の方が早いと言われる。すると鉄筋の錆はクラックとかポーラスな、コンクリートに帰因するということになる。鉄筋の腐食状態の非破壊試験として、自然電極電位測定法がある。

4. コンクリート構造物(床版を除く)の損傷について

4.1 P.C橋脚 都市内高架高速道路においては立地条件の制約、高架下の有効利用という視点から、T型形式(1本柱)が比較的多い。この際大きな幅員をとったり、小さな梁幅でおさえようとする、張り出し部にP.C構造を採用することになる。このP.C梁に水平方向のクラックの発生しているものが少なからず発見され大きな問題になった。阪神高速道路大阪堺線にある図-2(a)のP.C橋脚は、堺線において比較的早い時期にP.C梁部に、水平ひびわれが発見された橋脚である。即座にひびわれの詳細調査がなされた。調査項目及び内容は、1)ひびわれ状況図作成。図-2(b)に示すように、P.C鋼線に沿って現われているが、ひびわれ幅の最大値は、2.5mmに及んでいる。

またP.C定着部跡埋めモルタル部に大きなクラックが認められる。
2)超音波伝播速度測定。コンクリートの品質を確認するために行う。梁の厚さ方向に貫通すると、3000~3700m/secの値であった。(しかし後のコアサンプル(φ100mm×200mm)について測定すると、健全コンクリートと思われる値を示している。3)はりのたわみ。振動性状観測の結果も異常を認めなかった。4)コア

サンプルの試験結果を表-2に示した。ただし資料3は、鉄筋を含んでいる。コンクリート強度(設計強度350kg/cm²)にも問題はないと思われる。この調査結果を通して、コンクリート強度、構造物の剛性について全く異常

は認められないとしながらも、P.C定着跡埋め部が不安定なため、鋼板貼付工事を行い鉄筋への影響を考えて大きなひびわれへの樹脂注入工事が行なわれた。類型を持った損傷事例の発生に対し、抜本的な原因究明が必要であるという認識の下に、(社)建設コンサルタンツ協会大阪支部の検討も参考しつつ、昭和54年度、55年度に、P.C梁橋脚の健全度検討委員会(委員長岡田清京大教授)におい

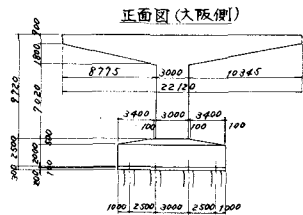


図-2(a)

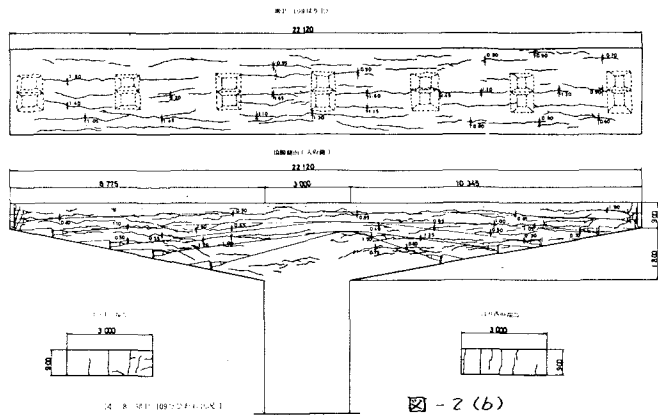


表-2

項目	資料No	1	2	3 (鉄筋あり)
圧縮強度 (kg/cm ²)		373	385	292
動弾性係数 (×10 ⁴)		293 000	334 000	212 000
静弾性係数 (×10 ⁴)		200 000	240 000	—
超音波伝播速度 (m/sec)		4 260	4 330	3 850
単位体積重量 (g/cm ³)		2.37	2.54	2.65

て、解析、実験、検討がなされた。そのうち原因については、「温度応力は水平ひびわれ発生の大きな要因である」とし、温度応力その他の要因が、「いくつか相乗された時水平ひびわれは発生する」とした。

4.2 PC桁 PC構造物にPC鋼線方向のクラックが生ずるのは、考えにくいことであつたが、昭和57年度の構造物点検において、1部のPC桁についてもPC鋼線に沿っていると思われるクラックが発見され新たな問題となっている。(写真-1~2)。クラック幅は大きいところでも、1mm程度であるが、PC緊張力の減少、PC鋼線、鉄筋への影響を考えると早急な対応がなされなければならない。伸縮継手部漏水の影響により、床版下とは言え、水環境に無関係であるとは言えない。なお本点検において、桁中央部でPCシースの下にコンクリートが充分廻らず、空洞になっている例も一部発見され、施工上に問題を投げかけている。(写真-3)。これらの調査、補修については今後検討しなければならない問題である。

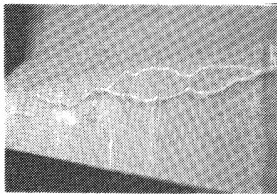


写真-1

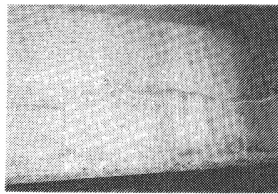


写真-2

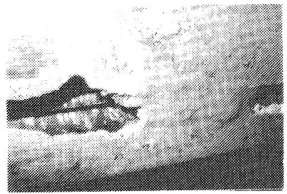


写真-3

4.3 RC橋脚 阪神高速道路大阪湾岸線の点検において、コンクリート製橋脚柱部にクラックの発生とたたき音不良が報ぜられた。たたき音不良部を一部はつたところ、鉄筋の腐食がみられ全面的な調査がなされるに到った。対象橋脚は湾岸埋立地にある昭和45年1月竣工の丁型鉄筋コンクリート橋脚(コンクリート設計強度 270 kg/cm^2)である。(図-3(a)) 調査結果は次の通り。1) 図-3(b)に調査のうち一側面を示す。ひびわれ幅は、最大の 0.3 mm である。また大きなひびわれは打ちつぎ目の上方に位置することが特徴である。2) この面においてシュミットハンマーによる強度推定結果と超音波伝播速度

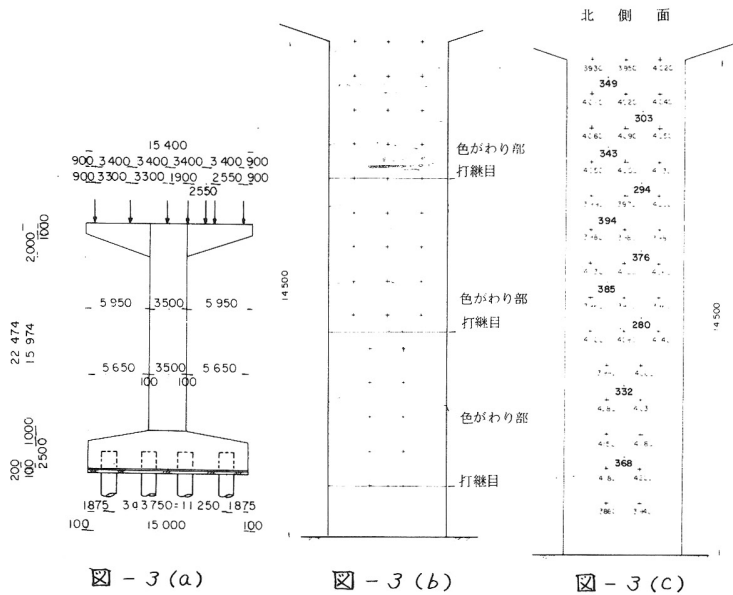


図-3(a)

図-3(b)

図-3(c)

表-3

資料番号	1	2	3	4
単位体積重量 (kg/cm^3)	2.27	2.27	2.29	2.33
圧縮強度 (kg/cm^2)	203	221	324	273
弾性係数 (kg/cm^2)	272000	308000	253000	333000
動弾性係数 (kg/cm^2)	319000	326000	315000	358000
超音波伝播速度 (m/sec)	4320	4390	4380	4630
中性化深さ (mm)	16	11	0	8

について計測したものを図-3(c)に示す。シュミットハンマーによる推定強度分布、超音波伝播速度の分布が、ひびわれから推定される劣化度の傾向と合致していると思われる。3)次にパコメータによる鉄筋位置観測によると、帯鉄筋D16の設計純かぶり、ピッチがそれぞれ 6.7cm 、 30.0cm に対し、ひびわれの大きなところでは、かぶり $2\sim3\text{cm}$ の値を得た。4)コアサンプリングによる試験結果を表-3に示す。ここに供試体1,2は損傷の大きいと思われる部分、3,4は健全と思われる部分から抽出し、 $\phi=8\text{cm}$ 、 $l=16\text{cm}$ で得られる供試体のうち表面に近いものをとった。これから損傷部コンクリートは単位体積重量、圧縮強度とも小さいことがうかがわれるが、弾性係数、超音波伝播速度については有意な差は認められなかった。図-3(c)の超音波伝播速度測定の違いは、ひびわれの存在によるものではないかと思われるが、詳細な検討が必要である。中性化深さについても損傷の大きいと思われるところでは大きな値が得られた。健全と思われる供試体の中性化深さは標準的な計算値に近い。近年鉄筋の腐食状態を非破壊的に調査する方法として自然電極電位を測定することが試行的に行われつつある。本橋脚について帯鉄筋に錆が発生していると思われる位置に着目し、かぶりコンクリート上を 5cm 間隔で電極を移動し、自然電極電位を測定した。その後それぞれの帯鉄筋について一部かぶりコンクリートをはったが、自然電極電位が比較的卑なる範囲($-250\text{mV}\sim-350\text{mV}$)では鉄筋の腐食がみられ、自然電極電位測定が鉄筋の腐食状態調査の方法として、橋脚鉛直面において有用であると思われる。これら調査結果にもとづき、本橋脚における損傷は、コンクリート施工時の締固め不良による骨材分離が主な原因であると思われる損傷の大きいかぶりコンクリートをはつりとり鉄筋の錆を除去した上で、樹脂コンクリートを打設し、 0.2m 以上のひびわれについては、樹脂注入を行って補修を完了した。

4.4 コンクリート製高欄 高欄や中央分離帯は雨水の影響を直接うける。さらに車の排気がすのためコンクリートの環境上きびしい位置にあるとも言える。コンクリート高欄は構造上、高欄幅を 25cm におさえられるため、鉄筋のかぶりコンクリート幅の確保がむづかしい。現在の阪神公団標準設計では、かぶり厚 3cm と定めているが、施工後この値に達しない場合が生じている。このとき、高欄コンクリート位置における気象環境、大気環境と相まって、供用後、比較的早い時期に損傷がみられる例がある。高欄部コンクリートに吹きつけた雨水は表面を伝って「水切」と呼ぶ突起部から落零する。したがって水切部は、湿润状態が長く保たれることになる。高欄部でも水切部でも鉄筋の発錆後体積が膨張し、かぶりコンクリートをうきあがらせ、最悪の場合コンクリート塊の落下を招くおそれがある。写真4に高欄の、写真5に水切り部の損傷例を示す。コンクリート片の落下によるオニヤク損害を予防するため、点検標準では写真5のように高欄部点検(水切りを含む)の際危険と思われる水切部かぶりコンクリートの打ちおとしを行っている。高欄部についてもかぶりコンクリートにうき



写真-4

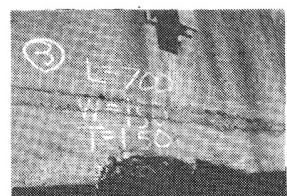


写真-5

のみられるところは、鉄筋の発錆、膨張を伴っているため、早急に補修してゆく必要がある。ただ高欄外面の補修のためには、足場架設が必要とされ、費用を要するので、緊急を要する場合以外は、損傷の程度と鋼桁塗装めりかえ時期を相はかって補修時期が決められることになる。表-4に現在阪神高

遠道路公団が採用している補修材料を示す。

5. コンクリート構造物の劣化防止の

ための一方法について すでに3.2で述べたようにコンクリート構造物の劣化とは、さまざまな要因が作用して、コンクリートが当初持っていたと思われる長所が経年的に失われることをいう。そして多くの場合コンクリートの劣化は鉄筋の腐食と密接に関わってきて、構造物の耐久性

や耐荷力にも影響を与えることになる。コンクリートそのものは、耐久性をもち、同時に鉄筋の防食材料としてすぐれた性質をもつ材料とすることができるとは、ある条件下で、コンクリートが劣化するときの影響を考えるならば、コンクリートの劣化防止や、鉄筋の防食を行うことは、構造物管理上望ましい方法であると言える。コンクリートの劣化防止のためには、1)密実なコンクリートを施工すること(良質の骨材、適当な水セメント比、適当な単位セメント量を確保した上で、確実な施工、養生を行うこと)2)コンクリート表面をライニング処理して密実度を高めることがあげられる。鉄筋の防食のためには、この他に、3)かぶりコンクリート厚を確保すること、4)コンクリート中の塩化物含有量を制限することあるいは、防錆剤を用いること、5)ポリマーコンクリートなど特に水密性の高いコンクリート処理を加えること、6)鉄筋表面に亜鉛メッキ、エポキシ樹脂塗装を行うこと、あるいは耐候性鋼材を用いること、などがあげられる。この他補修の段階として、許容値をこえたひびわれについては早い時期にエポキシ樹脂等注入することも鉄筋の防錆処理と考えることができる。阪神高速道路大阪池田線(通称空港線)の航空機着陸コースに交替する部分は、昭和42年当時、識別のため、赤白の塗装を高欄外面に施していた。近年高速道路周辺に、高層建築物が建築され、高欄外面の塗装の要も薄らいできたのであるが、一部塗装のはがれから、表面コンクリートをみると、曝露コンクリート面に比べ、非常に良好な性状が看取された。これを写真6～7に示す。数々のコンクリート構造物劣化防止方法の中で、2)は比較的簡単にできるだけでなく、都市内構造物として美観上も寄与できるものである。既供用の大阪池田線に非常駐車帯を新設する工事があったので非常駐車帯高欄を利用して行った塗装によるライニング処理による劣化防止の一例を、表

表—4

施工位置	高欄外面及び水切部	高欄内面	はつり部コンクリート
材料(施工順)	プライマー	プライマー	接着剤
	エポキシ樹脂接着剤	樹脂系防水ペイント	グラスファイバー入セメントモルタル
	ライニング用ガラスクロス		(以下それぞれの位置での施工手順による。)
	樹脂系防水ペイント		

5に使用材料名を記して紹介する。全六面行い、うち二面は、タイル施工で高欄内側のみ、他四面は塗装で行い、高欄内、外面、水切り部まで行った。今後、本試験施工位置において、中性化深さ、塩化物含有量、セメント量等について定期的に計測し、望ましいコンクリート塗装系の選択を行う予定である。

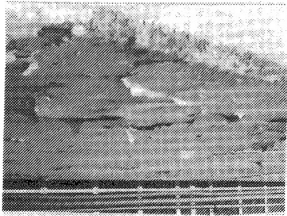


写真-6

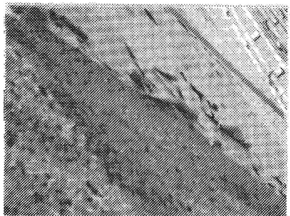


写真-7

6. あとがき コンクリート構造物は本来極めて耐久性のある構造物で大気汚染、腐食環境の下でも長期にわたって、機能を保持している例も数多くみられる。阪神高速道路公団のコンクリート構造

物が、コンクリート構造の歴史の中にしめる位置を考えると、損傷事例の多くは「劣化」という言葉がもつ時間的な要件を満たしているか。

疑問がないわけではない。コンクリートの損傷には、建設時に帰因すると思われる事例も数多く存在する。するとコンクリート構造物の劣化を防止するための最も基本的でオー義的な方法は、正しいコンクリートを施工することであるとするは極めて大切なことである。しかし正しい示方書と正しい施工環境の下でなお施工に帰因する

表 - 5

材 料 \ 資 料	1	2	3	4
エポキシ樹脂系 シーラー	○	○		○
エポキシ樹脂系 塗 料	○(1層)	○(2層)		
塩化ビニル樹脂 系塗料			○(2層)	○(1層)

損傷がランダムに発生するならば、新たな施工環境が考えられて良いと思われる。またコンクリート構造物が修理しにくいに加えて、今後都市内施設において安全性はもちろん供給性も高めていかなければならないとするならば、鉄筋腐食やコンクリート劣化を防止するための二重の安全弁である劣化防止法は非常に有用な手段である。さらに既供用部の耐久性、耐荷力の評価方法の開発がまたれる。特に自然電極電位測定法や音、振動による構造物診断などは、手軽に非破壊で評価することができると思われ、広汎な利用と共に精度の向上や手法の定着が望まれる。これにより未だ明らかでない構造物と機能の信頼性の定量的な評価が可能になり、補修計画や新設に反映される事ができる他、将来大きな問題になってくるであろう「建て替え」の依所とすることができる。現在数々の構造物の補修を行うとき、問題になるのが建設当時の施工記録が散逸している事である。必要な情報を正しくコンパットに保存しておくことは難しいことではあるが、重要なことである。構造物財産、点検記録、補修記録の三つが一体となった情報管理は、計算機を用いたシステムなくして不可能であると言って良い。オ4章にかかわる業務進行に際し、ご指導いただいたPC梁橋脚の健全度検討委員会、コンクリート構造物の健全度に関する調査研究委員会(委員長 岡田清京大教授)の委員各位、その他ご協力いただいた皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 小林一輔、コンクリート構造物と鋼材の腐食、防食、コンクリート工学、1981.3
- 2) 呂川豊章、力脇清、コンクリート中鋼材の塩化物腐食調査及び試験方法、コンクリート工学、1981.3
- 3) 鉄筋コンクリート構造物の劣化に関する研究委員会、「海岸コンクリート構造物の防食指針(案)」について、コンクリート工学、1981.3
- 4) 森永繁、成田一徳、野曾勝久、コンクリートの中性化および鉄筋の発錆に関する研究(その11)、日本建築学会学術講演梗概集、昭和52年10月
- 5) 森徹、白山和久、依田彰彦、コンクリートの中性化と鉄筋のさびの発生ならびに表面仕上げの効果について、セメント技術年報、1985
- 6) 岡田清、小柳治、呂川豊章、コンクリート部材のひびわれと鉄筋腐食に関する研究、土木学会論文報告集、Vol.281、1979.1
- 7) 阪神高速道路公団、道路構造物の点検標準、昭和56年4月

INSPECTION OF AND PRESERVATION AGAINST DETERIORATION OF CONCRETE
STRUCTURE

by Syugo Kato*
Masataka Kanda*
Masatomo Shimizu*
Kenji Kousa*
Fumio Hakamata*

Concrete structures have been considered to be maintenance free when they are compared with steel ones, which need second largest amount of annual budget of maintenance work in the Expressway corporation next to slab strengthening.

But recently deteriorations of concrete structures are found frequently, which in many cases cause fairly difficult problems for investigation and repair method.

First, basic conceptions about material characteristics and deterioration of concrete, and corrosion of steel bar are stated. It is also pointed out that concrete structures are so dependent upon material and labor qualities, and deterioration of concrete structures are generally so profoundly related to corrosion of steel bar.

Secondly, investigations about deteriorated concrete structures except for concrete slab are introduced; PC substructure which has many horizontal cracks along PC tendons, PC girder which shows the same damage as above, RC column which has vertical and horizontal cracks and RC parapet which threatens to drop pieces of concrete pushed by the expanded volume of corroded steel bar behind, all of which are shown in figures or pictures.

RC parapet is assumed to be in bad condition. It is exposed to weather and traffic exhaustion, and it has too little breadth to keep steel bar well beneath concrete surface. In this way, thirdly, paint for concrete surface is considered to preserve concrete and protect steel bar against corrosion.

Constructing sound concrete is the best way to keep concrete structure in good condition. After the expressway is open to traffic, inspection of deterioration of concrete structure is necessary and important for its maintenance and serviceability. Non-destructive inspection methods are considered to be useful for these purposes.

* Hanshin Expressway Public Corporation