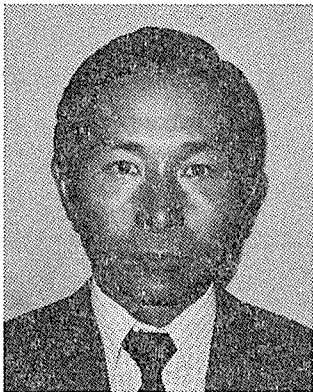


首都高速道路橋の メンテナンスについて

杉 浦 征 二



Seiji SUGIURA

首都高速道路公団工務部工事管理課

1. ま え が き

首都高速道路は、昭和37年12月に一部区間を供用開始して以来、現在までに、供用総延長は152.5 km に達している。そのうち、高架部分は、127.9 km と全延長の84%で、PC および RC のコンクリート橋が 29.0 km、鋼橋が 98.9 km である。これら高架橋の中には、大量の交通量による苛酷な状況下で、すでに10年以上供用されているものも多く、補修の必要なもの、あるいは常時点検していく必要があるものも少なくない。

また、設計・施工技術や材料の進歩、交通荷重の増大に伴い、初期に建設された道路には、現在の建設基準を満足していないものがあり、これら構造物の補強も維持管理上重要な課題となっている。

これらのほかにも、鋼橋の塗装塗替え、舗装補修など、道路橋のメンテナンス作業は多岐多様であるが、ここでは、特に、PC 橋に対する維持管理状況について述べる。

2. 道路橋の点検

道路橋を維持管理するためには、まず、その状態を知る必要がある、定期的あるいは臨時の点検が行われる。通常行われている点検は、次に示す点検である。

1) 日常点検

高速道路上および高架下からパトロールカーにより高速道路全体を目視および車上感覚によって日常行う点検。

2) 定期点検

日常点検で点検し得ない構造物の細部について、写真撮影、接近目視、あるいは必要に応じて各種点検器具を用いて、あらかじめ定められた点検計画に基づき行う点検で、構造物の損傷の進行を測定する点検も含まれている。

3) 臨時点検

異常事態や大きな損傷およびそれらが予想される場合、その状況に応じた適切な方法によって行う点検。

以上の点検を適宜組み合わせ、構造物の状態を把握するが、RC または PC 橋に対しては、定期点検として、特に、点検足場または点検車からの詳細点検、特定の重要なひびわれに対して行うひびわれ動態点検、振動点検などを行っている。また、橋の維持管理上、支承の状況を知ることは大変重要であるので、支承の点検として、伸縮継手の伸縮量および支承の移動量の点検と橋脚、橋台上の詳細点検を行っている。さらに、挙動が特別に異常な橋に対しては、橋脚の動きをも含めたより詳細な測定を継続して行ったり、損傷のひどい橋に対し



写真一 床版のひびわれ詳細点検



写真二 PC 箱桁下フランジのひびわれ

ては、実橋載荷試験を実施したりしている。

(1) 点検足場または点検車上からの詳細点検

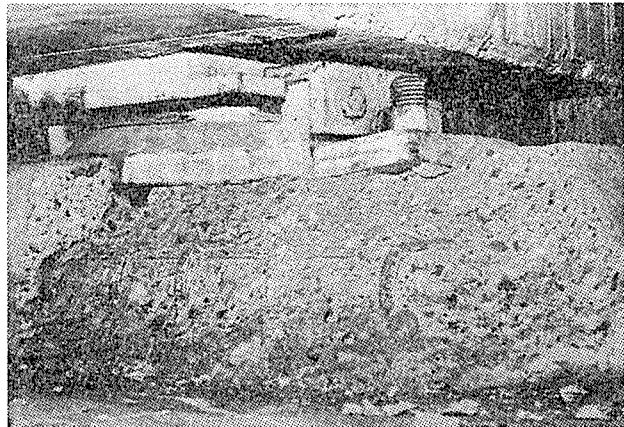
この点検は、5年から10年間に1回行われる点検で、構造物に接近して、ひびわれ幅、ひびわれ長さ、コンクリートの劣化程度等をひびわれ測定器具、シュミットハンマなどを使用し、主に接近目視により調査するものである。点検結果は、スケッチ、写真などにより記録される。箱桁に対しては、箱桁内部に入り点検するが、特に、床版下面、PC 定着具周辺、外部からひびわれが確認されている場所について重点的に行われる。写真一に点検中の様子を示す。

(2) 特定の重要なひびわれに対して行う、ひびわれ動態点検

外観点検により、大きなひびわれや、構造物にとり問題となる部位に発生しているひびわれに対しては、継続的な観測を行い、ひびわれの変化を適確に把握する必要がある。このため、コンタクトゲージ等を用いて、夏期および冬期の年2回、ひびわれ幅、長さ等を測定している。写真二にひびわれ動態点検の対象ひびわれを示す。

(3) 振動点検

この方法は、島田教授(名古屋大学土木工学科)により提案されたもので、コンクリート橋の老朽化に伴い、その振動性状が変化することに着目したものである。PC 斜材つきπ形ラーメン橋の実橋破壊試験時の測定から、橋の固有振動数は、破壊に近づくにつれ加速度的に低下し、破壊直前で、面内一次固有振動数が約18%、面外で約8%の低下がみられたと報告されている²⁾。原則的には、橋梁の竣工時あるいは供用開始時に、荷重車の走行もしくは一般通行車両による振動測定を行い、10年程度経過した後、再度振動測定を行い、両測定結果を比較検討することにより、橋梁の老朽度合を判断するものである。この方法による測定例は、日本道路公団においては少なくない。首都公団では、供用開始前に測定し



写真三 PC 橋部の支承の破損例

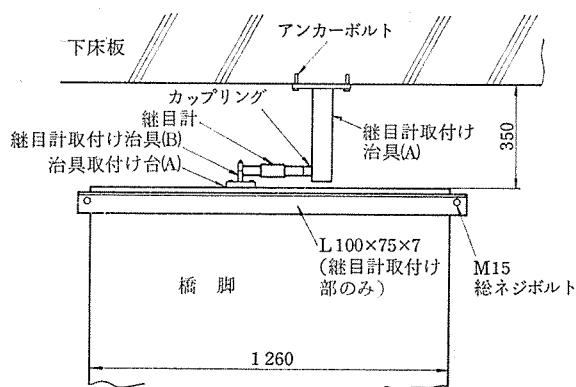
た橋梁がないため、現在、設計データを用いた計算値と測定データの比較を試みている。将来この測定データが蓄積されることにより、測定データどうしの比較から、老朽度が判断できるようになると考えられる。

(4) 伸縮継手の伸縮量および支承の移動量の点検

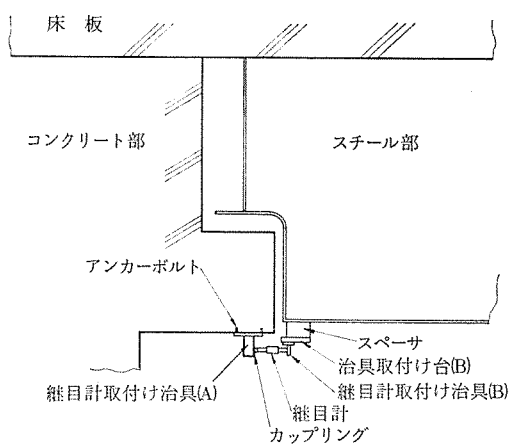
コンクリート橋に限らず鋼橋に対しても、支承の異常は重要な影響を与える。しかしながら、橋脚、橋台上の支承を常時点検することは容易でないため、伸縮継手の伸縮量を、夏期、冬期の年2回測定することにより、支承の動き具合を確認している。異常な伸縮を示す箇所については、原因を究明すべく、支承の動きも同時に測定している。この結果から、構造物の詳細点検を実施した例もある。

(5) 橋脚、橋台上の詳細点検

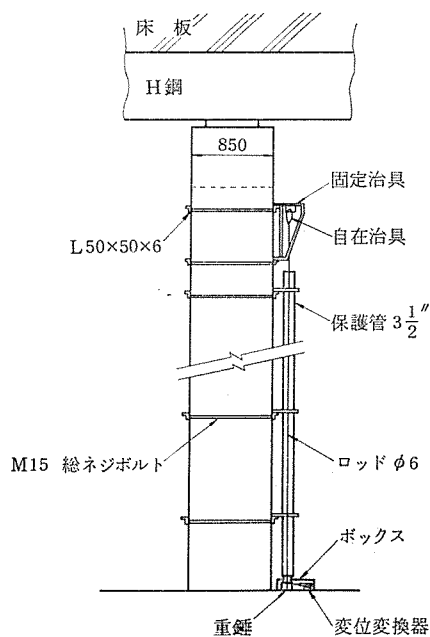
点検用足場または点検車を用いて、橋脚、橋台上の支承とその周辺、桁端部、橋脚横梁上などを目視点検するもので、シュミットハンマ、ひびわれ測定器具等を用いて行う。近年、施工不良による支承およびその周辺部の破損が多く発見されたため、沓座コンクリートにひびわれ等がある場合、その一部をはつり取り、支承の下の状況を調査し、さらに、超音波によりアンカーボルト長を測定した例もある。写真三にPC 橋部の支承の破損例



継目計取付け図



継目計取付け図



変位計取付け図

図—1 桁、橋脚等の変位を測定する計器の取付け例

を示す。

(6) 挙動が特別に異常な橋に対する、より詳細な測定

伸縮継手の伸縮量、支承の移動量の測定などから、特に異常な挙動を示す橋に対しては、橋脚の傾き、回転、桁の伸び、相対変位、各部の歪等を継続的に測定し、その結果を解析し、損傷の程度や原因を究明している。図—1 に測定用計器の取付け例を示す。

(7) 損傷のひどい橋に対する载荷試験

損傷のひどい橋に対して、損傷の程度を知るうえで、実橋载荷試験は、非常に有効な手段である。荷重車による载荷により生ずる各部の変位、歪等を実測し、橋の損傷程度、耐力などを推定する。この方法は、交通ストップなど利用者に対する影響もあり、簡単に実施することは難しいが、橋の損傷がひどく、架替え等の検討をする場合などに行う必要がある。

3. 点検結果の判定

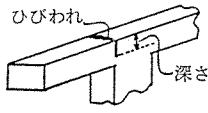
上述したような各種点検法による点検結果を判定することは、構造物の種類、形状、破損場所などにより、損傷度合が大きく違ってくることから、非常に高度な技術的判断が要求される。判定基準の例として、表—1 に、足場上からの点検、橋脚および橋台上点検、箱桁内部の点検に対する判定基準を示す¹⁾。ここに、判定ランクの A, B, C, D, Q は、表—2 に示すとおりである。

RC, PC などコンクリート橋の損傷で、最も多く発生し、かつ構造物の健全性に影響を及ぼすものは、ひびわれであるが、ひびわれ幅、長さなどと構造物の健全度との相関性は、現在のところ必ずしも明確にはない。しかしながら、コンクリート中の鋼材の腐食とひびわれ幅の関連性から、各国の規準、指針において、許容ひびわれ幅が示されている。表—3 に鉄筋コンクリートの許容ひびわれ幅を示す^{2), 3)}。PC 構造物は、フルプレストレスまたはパーシャルプレストレスで設計されているものが多く、設計上は、ひびわれが発生しないはずにもかかわらず、ひびわれの発生しているものが少なくない。RC 構造物に対しては、表—3 に示すような値で、ひびわれ幅を制限しておけば、鋼材の腐食に対してもある程度の安全性が保たれるため、十分であると考えられるが、PC 構造物に対しては、鋼材の腐食という問題以上に、ひびわれが構造的な欠陥に起因している可能性が高いので、ひびわれ幅のみならず、長さ、ひびわれ発生位置などからの総合的技術判断が必要である。

4. PC 橋の補修

点検により損傷の発見された構造物に対して、補修の

表—1 工事用足場上からの点検、橋脚および梁上の点検、箱桁内部の点検の判定

項 目	判 定 ラ ン ク				
	A	B	C	D	Q
ひびわれ	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの欠落などがあり、交通への安全または第三者への支障をきたす恐れがあると考えられる場合 	<ul style="list-style-type: none"> 最大幅が RC は 0.3 mm, PC は 0.2 mm 以上で、深さがひびわれ方向の断面寸法の 2/3 以上である場合 最大幅が 0.3 mm 以上で、ひびわれ間隔が 50 cm 以下である場合 最大幅が 0.3 mm 以上で、鉄筋に錆が発生している場合 	<ul style="list-style-type: none"> 最大幅が RC は 0.2 mm, PC は 0.1 mm 程度で、深さがひびわれ方向の断面寸法の 1/2 以上、しかもひびわれ間隔が 50 cm 以下の場合 	<ul style="list-style-type: none"> 最大幅が RC は 0.2 mm, PC は 0.1 mm 未満の場合またはひびわれがない場合 	<ul style="list-style-type: none"> 損傷の程度が明確でない場合および異常な損傷がある場合で、別の方法により点検する必要がある場合
剝離および鋼材の露出	同 上	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋, PC 鋼材および PC 用ソースが露出している場合 PC 鋼材の定着体が露出している場合 鋼材の腐食がある場合 	<ul style="list-style-type: none"> 剝離はあるが鉄筋が露出していない場合 	<ul style="list-style-type: none"> 剝離および鉄筋の露出がない場合 	同 上
劣化, 変色	同 上	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の発錆またはそれによるコンクリートの剝離の恐れがある場合 シュミットハンマ等による強度不足がある場合 	<ul style="list-style-type: none"> 劣化はあるが強度不足がない場合 	<ul style="list-style-type: none"> 劣化がない場合 	同 上
空洞, 豆板	同 上	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋, PC 鋼材および PC 用ソースが露出している場合 PC 鋼材定着部付近に発生している場合 	<ul style="list-style-type: none"> 空洞はあるが鋼材の露出していない場合 	<ul style="list-style-type: none"> 空洞, 豆板がない場合 	同 上
漏 水	<ul style="list-style-type: none"> 第三者への支障の恐れがある場合 	<ul style="list-style-type: none"> ひびわれ部またはコンクリート打継目部からの漏水がある場合 	<ul style="list-style-type: none"> 漏水があるが鋼材の腐食の恐れがない場合 	<ul style="list-style-type: none"> 漏水がない場合 	同 上

必要性あるいは補修方法を決めるのは、必ずしも容易ではない。緊急に補修が必要な場合を除いて、詳細な点検結果と、設計計算書、図面、施工計画書等を再検討した結果とにより、損傷の原因を究明した後、補修検討、設計および施工を行う。しかし、原因がそれほど明確でない場合や適切な補修方法が見出せない場合も少なくない。

4.1 PC 橋に多くみられる損傷

PC 橋は、メンテナンスフリーな点をセールスポイントの一つとして建設されてきているが、近年、供用後 10 年以上経過した橋を中心に、いろいろな損傷が発見され、補修されているものも多い。これらの損傷は、設計上または施工上の原因によるもの、その他の原因によるもの、その原因は必ずしも一定していない。PC 橋として特徴的な原因を挙げると、以下のとおりである。

1) 設計上の原因

- a) 作用力またはプレストレス力等の見積り違い
 - 死荷重の見積り違い
 - クリープ, 乾燥収縮, レラクセーションによるプレストレスの損失量の見積り違い
 - 不静定構造物のクリープ, 乾燥収縮等による力の再分配の見積り違い
 - 断面内の温度勾配により生ずる応力の無視
 - 温度変化による力に対する配慮不足

表—2 判定ランク

状 況	判 定
構造物の健全度が著しくそこなわれることにより、交通への支障および第三者への影響が大となり、緊急補修の必要がある場合。	A
損傷が見られ、補修する必要はあるが緊急補修を要しない場合。また構造物の耐力アップを行う必要がある場合および走行性や美観の回復を行う必要がある場合。	B
損傷があり、その程度を記録にとどめておく必要がある場合。	C
損傷が軽微で、その程度を記録に留めておく必要がない。もしくは損傷がない場合。	D
損傷は見られるが、その程度が明確に判定できない場合。または、通常と異なった異常な損傷があり別の方法で再点検する必要がある場合。	Q

注：判定をQとした場合は必ずその理由を明記しなければならない。

- 支点の不等沈下等、後から作用する力に対する配慮不足
- b) 構造物の形状, 構造細部の不良
 - 断面内の部材厚の不釣り合い
 - PC 鋼材配置の不良
 - PC 鋼材定着部, カップラジョイント部の構造詳細の不良
 - 鉄筋および PC 鋼材の間隔, かぶり等の不足
- 2) 施工上の原因
 - 材料, 特に生コンの不良
 - コンクリート打設時の締固め不良, コールドジョ

表-3 鉄筋コンクリートの許容ひびわれ幅³⁾

規準あるいは提案者	環境条件あるいは対象構造物		許容ひびわれ幅(mm)
土木学会 RC 標準示方書 (1977)	海洋コンクリート [解説]	感潮部あるいは海面上 海面下	0.15 0.20
港湾構造物設計指針	[解説]	感潮部 海水中	0.15 0.20
日本建築学会 鉄筋コンクリート造のひびわれ対策 (設計・施工) 指針案・同解説	(ひびわれ幅制限の目標値)		0.30
ACI Building Code 318-71	屋 外 部 材 屋 内 部 材		(0.33) (0.41)
CP-110	一般の環境 浸食性の環境		0.30 (主鉄筋の公称かぶり) ×0.04 以下
SNIP II-B-1-62	非腐食性 弱腐食性 中腐食性 強腐食性		0.3 0.2 0.2 0.1
CEB-FIP (1970)		永久荷重と長期に作用する荷重	永久荷重と変動荷重の不利な組合せ
	有害な露出条件下の部材	0.1	0.2
	保護されていない部材	0.2	0.3
	保護されている部材	0.3	美観上のチェック
ACI Committee 224	乾燥した空気, 保護膜		0.41
	湿気, 湿った空気, 土壌		0.31
	除氷薬品		0.18
	海水および海水噴霧, 湿潤および乾燥		0.15
	水を保持する構造物		0.10
英国橋梁仕様書の改訂 (案)	普通: 激しい雨にさらされず, 水で飽和している場合は氷結しない場合		0.25
	酷A: 表面が激しい雨にさらされ, 交互に湿ったり乾いたりする場合		0.20
	酷B: 表面が凍結防止剤に接する場合		0.15
	酷C: 表面が海水作用にさらされる場合		0.10

イントの施工不良

- PC 鋼材の配置ミス, 緊張不良
- シースの剛性不足, 継手部のシール不良
- グラウトの不良

最近行った PC 橋の点検から, PC 橋の主な損傷とその原因を挙げると, 次のとおりであった。

(1) 4 径間連続 1 箱桁橋

中央の 2 径間の支間中央付近に, 最大ひびわれ幅 0.5 mm のひびわれが発生している。本橋は, パーシャルプレストレスで設計されており, 設計計算で下フランジに 12~14 kg/cm² の引張応力が発生している所と, ひびわれ発生位置は一致している。また, この部分で PC ケーブルが下フランジに定着されているうえ, マンホールがあり, マンホールによる断面欠陥の影響もあると考えられる。図-2 にひびわれ発生箇所の概略図を示す。

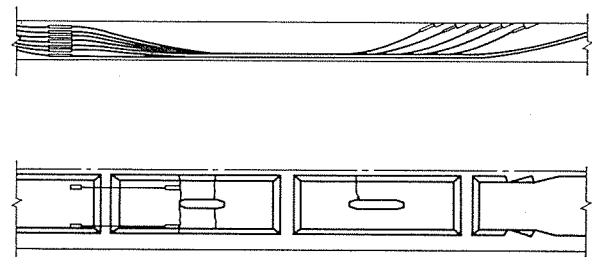


図-2 支間中央部マンホール箇所に発生したひびわれ

(2) 3 径間連続 PC 1 箱桁橋

中央径間の 1/4, 3/4 点に, 最大ひびわれ幅 0.4 mm のひびわれが発生している。このひびわれは, 図-3 に示すように, 一方はカップラージョイント部であり, 他方は, PC ケーブルが, ウェブ中央に集中して配置されているうえ, PC ケーブルが中間定着されている所であ

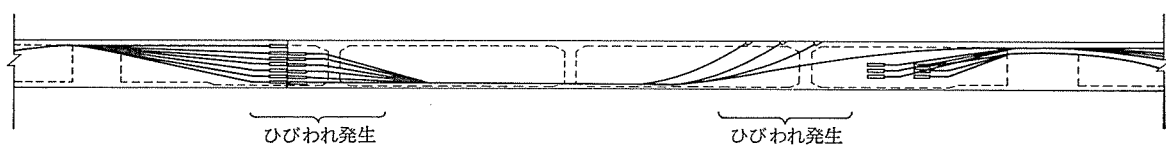


図-3 反曲点付近に発生したひびわれ

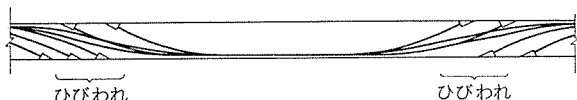


図-4 RC ケーブルをフランジに切欠き定着した箇所に発生したひびわれ

り、ケーブル配置および補強鉄筋の配置に工夫が必要であった。

(3) 4 径間連続 2 箱桁橋

中間支間および側支間のインフレクションポイント付近の下フランジに、ひびわれが発生しており、一部は、ウェブにも進展している。これは、図-4 に示すように、支間中央と支点上のケーブルの多くを、上フランジ、下フランジで中間定着し、少ない連続ケーブルがこの付近でウェブ高の中央部に配置されているためである。ケーブルの中間定着部は、フランジを切り欠いた形状となっており、このようなケーブル配置および中間定着方法を用いる場合は、局部応力の詳細な検討による十分な補強鉄筋の配置が必要である。

(4) 4 径間連続 2 箱桁ラーメン橋

中間支間中央部付近に最大ひびわれ幅 0.3 mm のひびわれが発生している。PC 連続桁を橋脚と一体にしたラーメン構造にする場合、クリープ、乾燥収縮、温度変化による桁の縮みにより生ずる不静定力が問題となるが、この橋は、橋脚にロッカー沓をセットしておき、クリープ、乾燥収縮の大半が完了した時点で、その沓を埋め殺し、ラーメン構造とする工法で解決している。しかしながら、計算上引張応力が発生しない支間中央にひびわれが発生していることなどから、クリープ、乾燥収縮の影響を完全に除くことができたかどうか疑問が残る。また、桁の上、下面の温度差の影響が考慮されていないようで、この両方の影響で、ひびわれが発生したと考えられる。

(5) かけ違い部の切欠き部

桁端のかけ違い部の切欠き部には、局部応力集中によりひびわれの発生していることが多い。また、支承端からの縁端距離が十分でない場合、端部が欠け落ちることもある。切欠き部は、建築限界の制約などからやむを得ず設置する場合も多く、切欠き部の支承は、せいの低いゴム支承などが用いられることが多い。このような切欠き部は、点検が不可能な場合が多く、維持管理上の大きな問題となっている。マンホールを設置したりして、必ず点検のできる構造としておくことが肝要である。

4.2 補修・補強の検討

構造物の詳細点検結果と設計図書の照査結果から、損傷の程度、損傷の原因を究明するが、実際の使用状況を考慮し、新しい計算手法を用いて再計算する場合も多

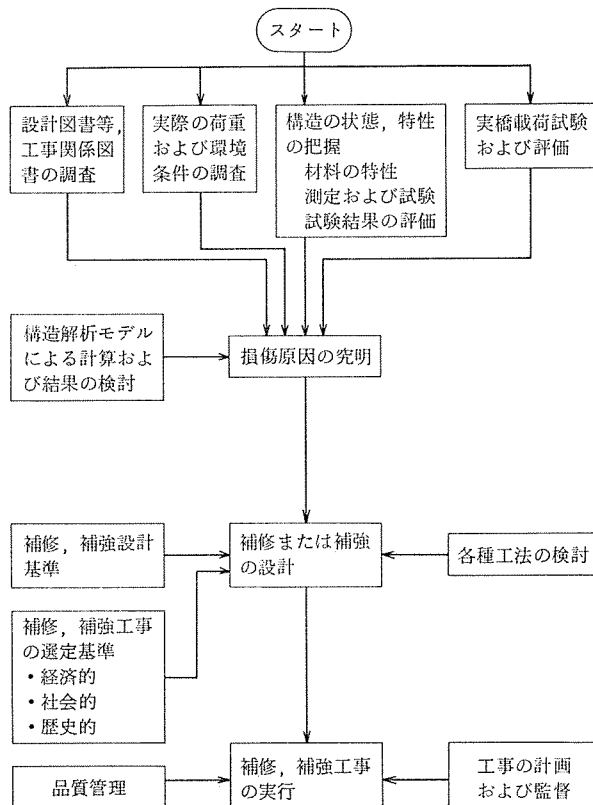


図-5 補修・補強作業の流れ

い。これは、建設当時より進歩した知識と計算手段により、より厳密な部材断面力や応力を求めることで、建設時点では予知できなかった損傷の原因や程度を掴むことができる。また、必要に応じては、構造物からコンクリートコアなどの試験片を採取して試験したり、直接、実橋載荷試験を行い、構造物の耐力等を推定することもある。次に、補修・補強の設計・施工を行うが、これら一連の手順を図-5 に示す。

これまで行われた PC 桁の補修・補強には、次のようなものがある。

(1) ひびわれに対する樹脂注入

鋼材の防錆効果およびひびわれの進展を防ぐ目的で、ひびわれに樹脂を注入する工法で、ひびわれが、乾燥収縮などの原因によるもののように、以後の進展が予想されない場合には、施工も簡単であり有効である。写真-4 にひびわれに対する樹脂注入の状況を示す。

(2) 鋼板の接着

プレストレスの不足あるいは局部応力に対する補強鉄筋の不足などにより発生するひびわれに対し、不足分の補強鉄筋に相当する鋼板を接着し、桁との合成効果を期待するもので、損傷が軽度の構造ひびわれ補修に用いられている。鋼板接着工法には、鋼板およびコンクリート面に接着剤を塗り、ボルトまたは外力で鋼板をコンクリート面に圧着させる圧着工法と、あらかじめある隙間

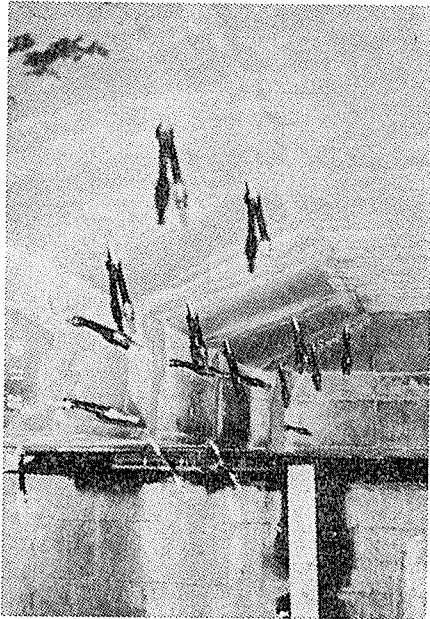


写真-4 RC 桁のひびわれの樹脂注入

表-4 鋼板接着工法における鋼板の剥がれの程度

剥がれの程度*	鋼板接着箇所数		
	圧着工法	注入工法	計
0~5%	5	1	6
5~10%	6	4	10
10~15%	7	6	13
15~20%	7	2	9
20%以上	0	1	1

*剥がれの程度=剥がれの面積×100/鋼板面積

(通常 2~4 mm) をあけて、鋼板をコンクリート面に固定しておき、後から、その隙間に樹脂を注入し、鋼板とコンクリートを一体化する注入工法とがあるが、コンクリート面の不陸などの理由から、最近では殆んど注入工法が採用されている。

この方法は、介在する樹脂のせん断伝達により鋼板とコンクリートの合成効果が生まれるため、樹脂の劣化などにより鋼板が剥がれてしまうと、その効果は全く失われてしまう。最近の点検結果によると、鋼板の剥がれ状況は、表-4 に示すとおりで、剥がれの程度 20% 以下が大部分であった。しかしながら、鋼板の剥がれは、将来にわたり進展することも想定されるので、従来の鋼板接着工法に代わる、より確実な工法の開発が望まれる。新しい鋼板接着工法の一つの試みとして、図-6 に示すように、通しボルトを用いて、下フランジを両側から鋼板で挟みこむ方法で補修を行った例もある。この方法の場合も、鋼板とコンクリート面の間に樹脂を注入し、樹脂のせん断により力を伝達するが、鋼板が剥がれた場合にも、通しボルトのせん断により、鋼板とコンクリートの合成効果を期待するもので、樹脂だけによる従来の方法より、耐久性は良いと判断される。

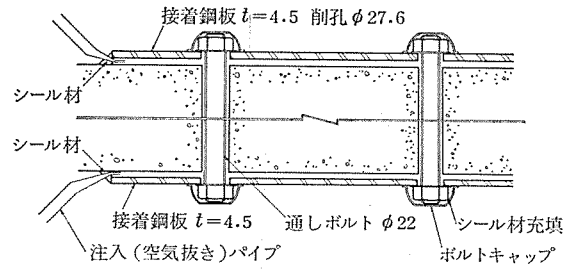
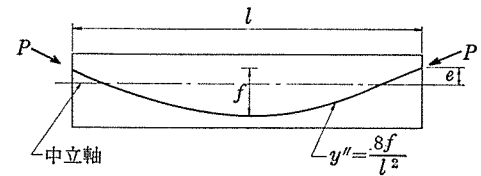
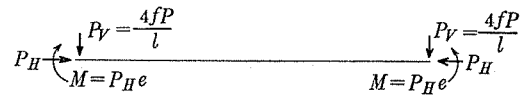


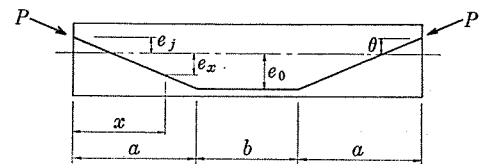
図-6 通しボルトによる鋼板接着



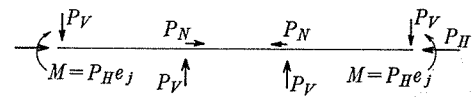
(a-1) ケーブル配置



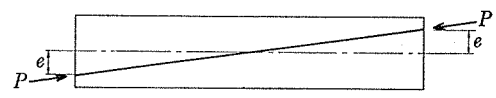
(a-2) 導入される力



(b-1) ケーブル配置



(b-2) 導入される力



(c-1) ケーブル配置



(c-2) 導入される力

図-7 PC ケーブル配置と導入力

(3) アウトケーブルによる補修

鋼板接着による補修は、軽度な損傷に対するものであり、通常、活荷重による超過応力に対して有効である。ひびわれ幅が大きく、死荷重による力に対しても補修の必要があるような重度の損傷に対しては、アウトケーブル方式による補修が行われることが多い。この方法は、既設構造物に、アウトケーブルにより外力を与えることで、理論的には、必要に応じた外力を与えることができるが、実際には、構造物の形状、定着位置、ケーブル配

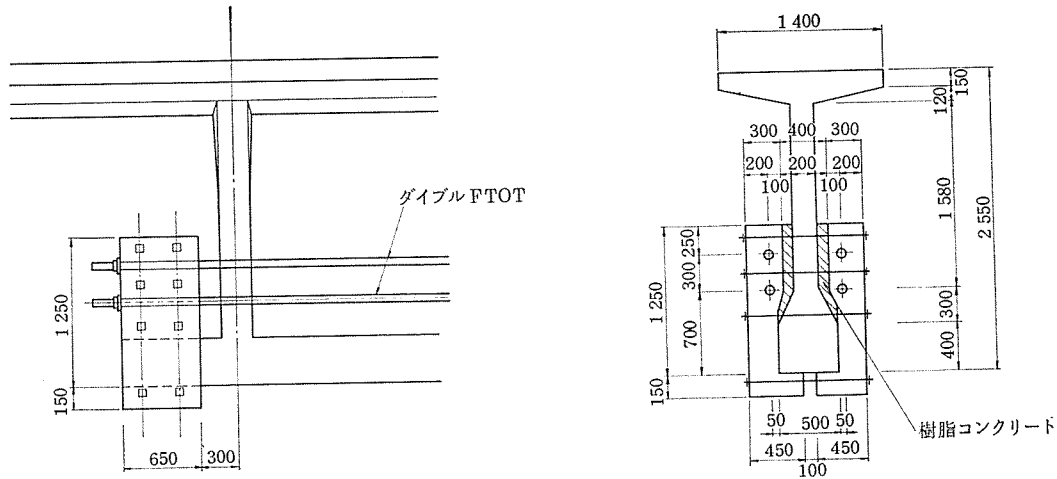


図-8 アウトケーブル定着用鋼製ブラケット

置形状等により制約される。

図-7 にアウトケーブルの形状により構造物に導入される力の例を示す。プレストレス力のロスがないと仮定した場合の導入される外力およびそれにより発生する断面力を、図-7 (b) の場合について求めると以下のようになる。

外力について

$$P_V = P \sin \theta$$

$$P_H = P \cos \theta$$

$$P_N = P - P_H$$

$$N = P_V$$

断面力について

AB 区間に対して

$$\text{軸圧縮力} \quad P_x = P_H$$

$$\text{曲げモーメント} \quad M_x = P_V x - P_H e_j = P_H e_x$$

BC 区間に対して

$$\text{軸圧縮力} \quad P_x = P_H + P_N = P$$

$$\text{曲げモーメント} \quad M_x = P_V x - N(x-a) - P_H e_j + P_N e_0 = P e_0$$

アウトケーブルによる導入プレストレス力の算出に当たっては、通常コンクリートの弾性変形、PC 鋼材と取付け具との摩擦、定着具におけるセット量および PC 鋼材のレラクセーションによる損失を考慮すればよい。

PC 桁のアウトケーブルによる補修は、PC ケーブルの定着方法、折曲げ位置の取付け方法等が難しい場合が多い。図-8 に PC ケーブルの定着方法の一例を示す⁵⁾。

これらのほかにも、PC 桁の補修として、ディビダーク工法によりカンチレバー架設された橋のゲルバーヒン

ジ部の補修などがある。また、箱桁のせん断ひびわれに対し、箱桁内部にせん断キヤとして、鉄筋コンクリート部材を増設する補修工事が計画されている。

PC 桁本体ではないが、支承部の破損する事例も多く、支承の補修数は多い。

5. あとがき

首都高速道路橋のうち、特に PC 橋のメンテナンスについて、点検、補修面から概説してきた。初期の PC 橋には、設計基準等の不備が原因とみられるものも多いが、施工の原因によるものも少なくない。PC 橋は、鋼橋に比べ、補修が非常に困難であり、このことが原因で、PC 橋が採用されなくなることが、近い将来、起こってこないとも限らない。建設時点で良い PC 橋を造ることを心掛けることはもとより、PC 橋の補修・補強方法の研究、開発を急ぐ必要がある。

参考文献

- 1) 土木構造物点検要領，首都高速道路公団保全施設部，昭和 57 年 3 月
- 2) 島田，加藤，山田：コンクリート構造物の老朽化と振動性状の変化，コンクリート工学，Vol. 20, No. 7, July, 1982
- 3) 資料 4，9 章—ひびわれに関する資料，コンクリートライブラリー第 48 号，昭和 56 年 4 月
- 4) 小村，秋元，杉浦：耐久的な PC 構造物構築のための注意点，社団法人プレストレストコンクリート技術協会，プレストレストコンクリート構造物の設計，施工の現状，昭和 58 年 1 月
- 5) 津野，阿保：コンクリート構造物の補強実施例（その 1），土木施工 22 巻 7 号，1981 年 6 月