

**特集**

---

**PC構造物の補修・補強技術**

---

## PC土木構造物の補修・補強技術

秋元 泰輔\*

### 1. はじめに

コンクリート構造物、特にPC構造物は、一般に耐久性に富み、維持管理が容易な構造物として考えられてきており、我が国では1951年に石川県の長生橋が建設されて以来、すでに45年近くなる。そして、当初、施工のトラブルが原因となる損傷や連続桁橋のPCケーブルの途中定着位置に生じたひび割れ、等に対して補修・補強がなされ、示方書類の改訂、等に反映されてきた。ところが、1980年代に塩害やアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の早期劣化が問題になり、これらが原因で損傷が生じた構造物に対する補修・補強が行われている。

一方、道路橋に関しては、従来から自動車荷重の増大による床版、等の損傷に対する補修・補強は行われてきたが、平成6年2月に道路橋示方書の自動車設計荷重が25t荷重に改訂され、この荷重に対して損傷が生じる前に補修・補強が行われようとしている。また、平成7年1月17日に兵庫県南部地震が発生し、被災した道路橋に対して復旧仕様<sup>1)</sup>が定められ、補修・補強がなされるとともに、全国の既設の道路橋に対しても損傷が生じる前にこの復旧仕様を準用して、補修・補強がなされようとしている。このように、最近では、予防保全的に補修・補強が行われようとしている。

以上の状況に対して、最近の補修・補強技術については、構造物の損傷の状況の変化や補修・補強に使用する材料・工法の変化、等により改良・発展してきている。

以下に、PC構造物のうち約80%を占める橋梁を主体に、従来の一般的な補修・補強技術から最近の補修・補強技術までの全般についての概要を述べる。

### 2. 従来の一般的な補修・補強技術について

#### 2.1 一般

構造物の点検で劣化や損傷が発見されたら、詳しい調査を行い、その結果から補修・補強の要否が判定され、補修・補強が必要な場合は、工法、等が検討されて、補修・補強工事がなされる<sup>2)</sup>。

なお、補修と補強の相違は、前者は修復ともいい、もとの機能を回復させるように直すのに対し、後者は、もとの機能以上の機能向上を図るように直したり、特に構造物に損傷がなくとも、積極的に構造物の機能向上を図るように構造物に手を加えたりすることである。

#### 2.2 補修・補強工法

補修・補強工法は、一般に下記のように分類される。

これらから最も適切な補修・補強工法を選定（1工法とは限らず、複数の工法を併用する場合もある）するにあたっては、構造物に生じている劣化、損傷の状況を十分調査し、施工性、安全性、経済性、美観、等について総合的に比較、検討する必要がある。

##### (1) 補修工法

###### ① 注入工法

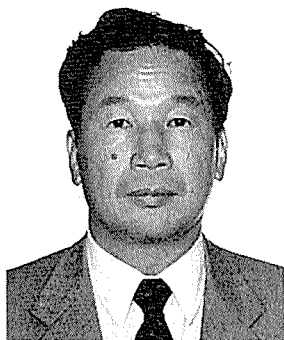
一般にコンクリート構造物に生じているひび割れの進行防止や耐久性向上のため、ひび割れ部に、主としてエポキシ系樹脂を注入する工法である。また、ジャンカ部に注入し、耐久性向上を図る場合もある。

###### ② 断面修復工法、充填工法

コンクリート構造物に生じたジャンカ部や塩害、等によるコンクリートの劣化部を除去して、コンクリート、モルタル、樹脂系材料（一般にエポキシ樹脂が用いられている）、等を充填して断面を修復する工法である。

###### ③ 表面被覆工法

一般に上記②の工法と併せて用いられ、塩分の浸透や中性化の進行、等を抑制することを目的に、コンクリート表面にポリマーセメント系材料あるいはコンクリート



\* Taisuke AKIMOTO  
(株)長大  
取締役技師長

表面塗料（一般に、ポリウレタン系樹脂が用いられている）を塗布する工法である。また、最近では、耐久性向上とともに景観向上を図るために用いられる場合も多い。

#### ④ 鋼板接着工法

コンクリート構造物表面部の劣化、損傷に対して、鋼板をエポキシ樹脂で接着する工法である。一般には次に示す補強工法として用いられる場合が多い。

### (2) 補強工法

#### ① 鋼板接着工法

コンクリート構造物に生じている劣化、損傷部の外面（床版の下面、桁の下面や側面、柱の周囲）に、板状あるいは帯状の鋼板をエポキシ樹脂で接着し、既設コンクリート構造物と鋼板の一体化を図って、鉄筋としての効果を鋼板に期待する工法である。

接着方法としては、鋼板とコンクリートの間にスペーサ等で所定の隙間をつくり、そこにエポキシ樹脂やモルタルを注入する方法とコンクリート面および鋼板にエポキシ樹脂を塗布し、鋼板をコンクリート面に圧着する方法とがある。

#### ② プレストレス導入工法

PC鋼材を用いて、既設のコンクリート部材にプレストレスを導入し、部材に生じている引張応力を減少させて部材の耐力を増大させる工法である。一般に後述するPC鋼材を部材の外側に配置する外ケーブル工法が用いられている。

#### ③ コンクリートまたは鋼材で重ねばりにする工法

既設構造物の耐力を増すために、既設構造物と密着させてコンクリートを打設して構造物の断面を増したり（桁や床版部材の上面あるいは下面の増し厚工法や柱部材の巻立て工法）、コンクリート部材に鋼部材を重ね合わせあるいは合成させる工法である。

#### ④ 柱の増設工法

既設桁のたわみの増大やひび割れの発生に対し、既設桁の支間長を短くして対処するために、既設桁の橋台あるいは橋脚の柱を増設する工法である。

なお、桁を増設して補強する工法もあるが、コンクリート橋の場合は既設橋の桁と増設桁を一体にさせる施工が難しく、一般にはあまり用いられていない。

#### ⑤ 取替え工法

以上の補修・補強工法のほかに、構造物の一部あるいは全部を取り替える工法（改築の一種）もあるが、このうち全面取替え工法の場合は、新設の場合と、同様になるため、補修・補強には該当しない。

部分取替え工法は、既設の構造物の一部の劣化、損傷により、構造物の耐力が低下した場合で、上記に示す補強工法を用いるのが困難な場合に、劣化、損傷した部分を撤去して、新しい部材に取り替える工法である。

## 3. 最近の補修・補強技術

コンクリート構造物に対する維持管理手法はこれまでに確立されつつあり、劣化、損傷に対する補修・補強工法も体系化されるとともに、それぞれの実施例も多くなり、最近の補強技術は改良、発展されてきているが、基本的には従来の技術の延長上にある。

一方、補修・補強の目的については、最近予防保全的な考え方により、劣化、損傷が生じる前にあらかじめ補修・補強を行う等、多様化してきている。

ここでは、まず、このような最近の状況として、改訂された道路橋自動車設計荷重の25t荷重対応、兵庫県南部地震発生後の地震対応、橋のノージョイント化対応、等に関する補修・補強について述べ、次に最近改良、発展されてきた補修・補強工法について述べる。

### 3.1 25t荷重対応

#### (1) 概要

過去にも、道路橋の自動車の設計活荷重の値は改訂され、増加されているが、その都度、橋の補修・補強が大がかりに行われてきたわけではなく、交通量の増大により、橋の幅員が狭くなる等、機能上の理由により橋が架け替えられてきたのが実情である。

ところが、約40年ぶりの平成6年2月に道路橋示方書に示される自動車設計荷重の14tおよび20t荷重が25t荷重に改訂されて、一般的にどの道路も走れるようにするため、全国的に補修・補強が行われることになり、第11次道路整備5箇年計画が終わる平成9年度末までには、一般国道、主な都道府県道、市町村道に位置する橋梁の補修・補強を概成させようとしている。

#### (2) 補修・補強の考え方

##### i) 床版に対して

点検による損傷程度調査の結果、損傷が著しく、交通の安全確保に支障となるおそれがある損傷ランクⅠの場合は、25t荷重で安全性を検討し、問題なければ補修を行って供用する。

問題があれば、25t荷重に対する補強を行うか、補強ができない場合には車線位置を考慮して25t荷重を載荷する供用荷重に対してさらに安全性を点検する。その結果、問題がなければ疲労の影響等を考慮した補修・補強計画に基づいて暫定供用し、問題があれば、補修・補強計画に基づいて通行車両を制限して供用する。

損傷ランクⅡ（損傷が大きく、詳細調査を実施し、補修するかどうかの検討を行う必要がある場合）、同Ⅲ（損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある場合）、同Ⅳ（損傷が認められ、その程度を記録する必要がある場合）、損傷なしおよび補修・補強済みの場合は、大型車交通量、適用基準の年度および損傷度により補修・補強

の対応優先順位を設定し、補修・補強計画に基づいて暫定供用し、その後の通常、定期点検結果の損傷度の状況により、上記と同様な検討を行う。

ii) 桁に対して

桁についても床版と同様、下記に示すように損傷ランク別に安全性の検討を行う。

ただし、PC 桁に係る特定部位の主桁の桁端部を切り欠いた構造部およびゲルバーヒンジ構造部については、近年の大型車交通量の増大に伴ってその部分に多くの損傷事例が報告されているので、損傷がなくとも原則的に補強を行う。

損傷ランクⅠの場合は床版の場合と同様に対応する。

損傷ランクⅡおよびⅢの場合は、さらに詳細調査を行い、補修・補強の必要性がある場合には損傷ランクⅠと同様に対応する。

補修・補強の必要性がない場合は、損傷の影響を把握して供用荷重照査Ⅱ（個別照査、設計図書による応力度レベルの照査および上記の供用荷重により算出された応力度の照査）の検討を行う。なお、この設計レベルでの検討で補強の要否の判断が困難な場合には、実応力測定により耐荷力を算出して判断するのがよい<sup>3)</sup>。

作用する応力度が許容応力度を超える場合は、応力度係数（許容応力度あるいは支点反力の超過の程度を表す係数）を算出し、所定の応力度係数を超える場合は、損傷ランクⅠの場合と同様に対応する。所定の応力度係数以下の場合は、応力度超過の程度、適用基準の年度、大型車交通量、使用鋼材の許容応力度の値、腐食環境、等により補修・補強の対応優先順位を設定し、前記床版の場合と同様に暫定供用し、その後 25 t 荷重対応する。

作用する応力度が許容応力度以下の場合は、上記の補修・補強の対応優先順位を設定し、前記床版の場合と同様に暫定供用し、その後 25 t 荷重対応する。

補修・補強済みの場合は、上記の供用荷重照査Ⅱの検討を行い、同様に対応すればよい。

損傷ランクⅣおよび損傷なしの場合は、橋梁台帳による照査（供用荷重照査Ⅰで、道路幅員、死活荷重係数を考慮して行う、断面力レベルの照査）の検討を行い、問題があれば、さらに上記の供用荷重照査Ⅱの検討を行って同様に対応する。

問題がなければ、上記の補修・補強の対応優先順位を設定し、前記床版の場合と同様に暫定供用して、その後 25 t 荷重対応する。

iii) その他に対して

以上のほか、支承、下部構造、等に対しても同様に検討する必要があり、詳細については文献 4) を参照されたい。

(3) 補修・補強の例

現時点では、既設の橋梁の点検調査から、上記の供用荷重照査Ⅰの耐荷力照査が行われ、損傷のある床版や桁の特定部位である桁端部に切り欠いた構造部およびゲルバーヒンジ構造部に対して補強が行われている段階である（図-1 参照）。

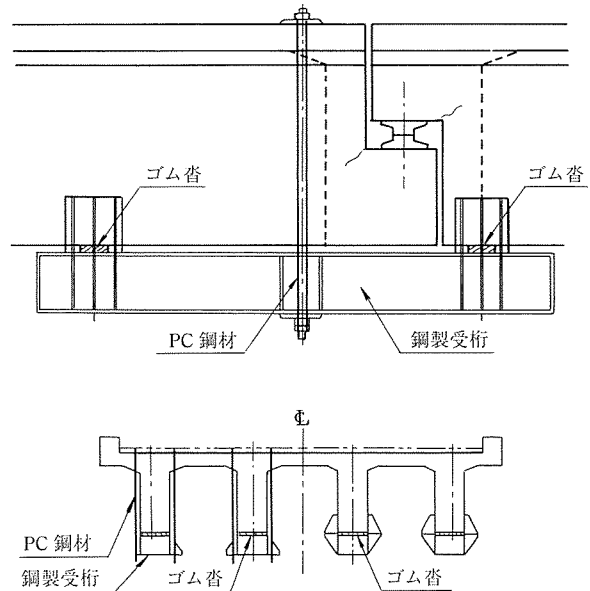


図-1 ゲルバーヒンジ部の補強例（吊桁支持工法）

3.2 地震対応

(1) 概要

兵庫県南部地震により、阪神高速道路のピルツ高架橋が倒壊し、たびたびテレビニュースで報道され、ショックを受けた方も多いと思われるが、その後の調査結果より、上部構造の PC 部材は損傷を受けておらず、下部構造の RC 橋脚の倒壊が原因であることがわかった。

そのほか、多くの RC および鋼橋脚、支承、落橋防止構造、等が損傷を受け、道路橋に関しては、地震発生直後に復旧仕様<sup>1)</sup>および中間報告<sup>5)</sup>が公表された。

後者の中間報告書には、ピルツ高架橋の被災メカニズム、等が報告されているので参照されたい。前者の復旧仕様は、今回の地震（兵庫県南部地震）で被災した道路橋の復旧に対する耐震設計の基準であり、現行の基準に対して、構造部材における変形性能を高めるための新たな知見や新たに認められた現象が取り入れられている。そして、まだ損傷が生じていない全国の道路橋に対して、今回の地震に余裕を持って耐えられるような補強の検討にも準用される。

なお、道路橋以外に対しても各機関で同様な対応がなされており、PC 構造物の震害状況の報告は文献 6) を参照されたい。

(2) 補修・補強の考え方

今回の地震により被災した道路橋については、上記の復旧仕様により復旧が検討されているが、PC 構造物の大部分を占める PC 橋の上部構造は、下部構造の倒壊が原因で落橋、倒壊した橋以外は大きな損傷を受けておらず、比較的簡単な補修で対処されている<sup>6)</sup>。

そして、被災を受けていない道路橋に対しては、既設道路橋補強に係わる当面の処置として平成 7 年 5 月 25 日に建設省から全国の道路管理者に次の通知があり、全国的に既設の道路橋についても補強がなされようとしている。

すなわち、補強の検討は、道路種別等に応じて復旧仕様を下記のように準用し、昭和 55 年より古い基準が適用されたコンクリート単柱橋脚（せん断補強鉄筋が一般に十分配置されておらず、鉄筋の断落とし部の定着が不十分な状態で設計されている）および落橋防止構造に対して優先的に補強を行う。

- ・複断面、跨線橋、跨道橋および地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から特に重要な橋、高架橋の道路等……原則としてすべて準用
- ・上記以外の橋等で、高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡道路、一般国道（指定区間）、日本道路公団が管理する有料道路……原則としてすべて準用
- ・上記以外の橋等で、一般国道（指定区間外）、都道府県道、市町村道……原則として動的解析、等、一部を除いて準用

なお、復旧仕様に示される耐震設計の基本方針は、橋

全体のねばり（変形性能）を向上させて今回の地震に余裕をもって耐えられる構造とすることで、現行の基準で示されているコンクリート橋脚のみでなく、鋼橋脚に対し、また、基礎に対しても地震時保有水平耐力の照査を行うこととし、支承や落橋防止装置も地震による衝撃力を緩和できる構造とする、等となっている。

そのほか、免震支承を用いて免震設計を行って補強する場合、等が示され、詳細については復旧仕様、同解説および同準用に関する参考資料（案）<sup>7)</sup>を参照されたい。

(3) 補修・補強の例

既設道路橋に対する補修、補強については、上記のように、まず昭和 55 年より古い基準が適用されたコンクリート単柱橋脚および落橋防止構造に対して優先的に検討されている。

コンクリート単柱橋脚の補強に関しては、すでに首都高速道路公団、等で、損傷を受ける前に、予防保全の考え方により、帯鉄筋量の不足および鉄筋断落とし部に対する補強が鋼板や CFRP の巻立て工法、鉄筋コンクリート巻立て工法、等により行われており、一般的にはこれらの延長上の工法で、後述する曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法、等により補強が検討されている。

落橋防止装置の補強は、主に、桁が落橋しないように桁端から下部構造頂部縁端までの桁の長さ  $S_E$  の確保と落橋防止装置の複数設置である。

$S_E$  の確保の補強は、従来からも行われており、既設橋脚の幅を鉄筋コンクリート構造により拡幅する場合と鋼製ブラケットを用いて拡幅する場合がある（図-2 参照）。

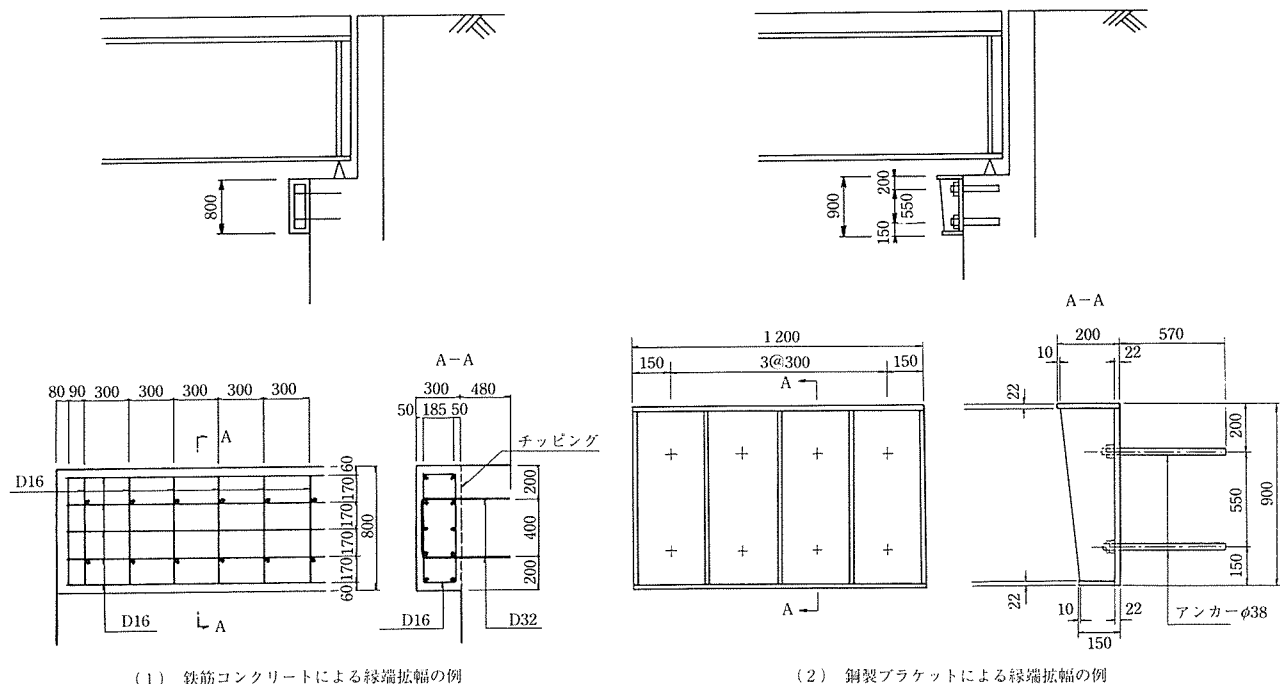
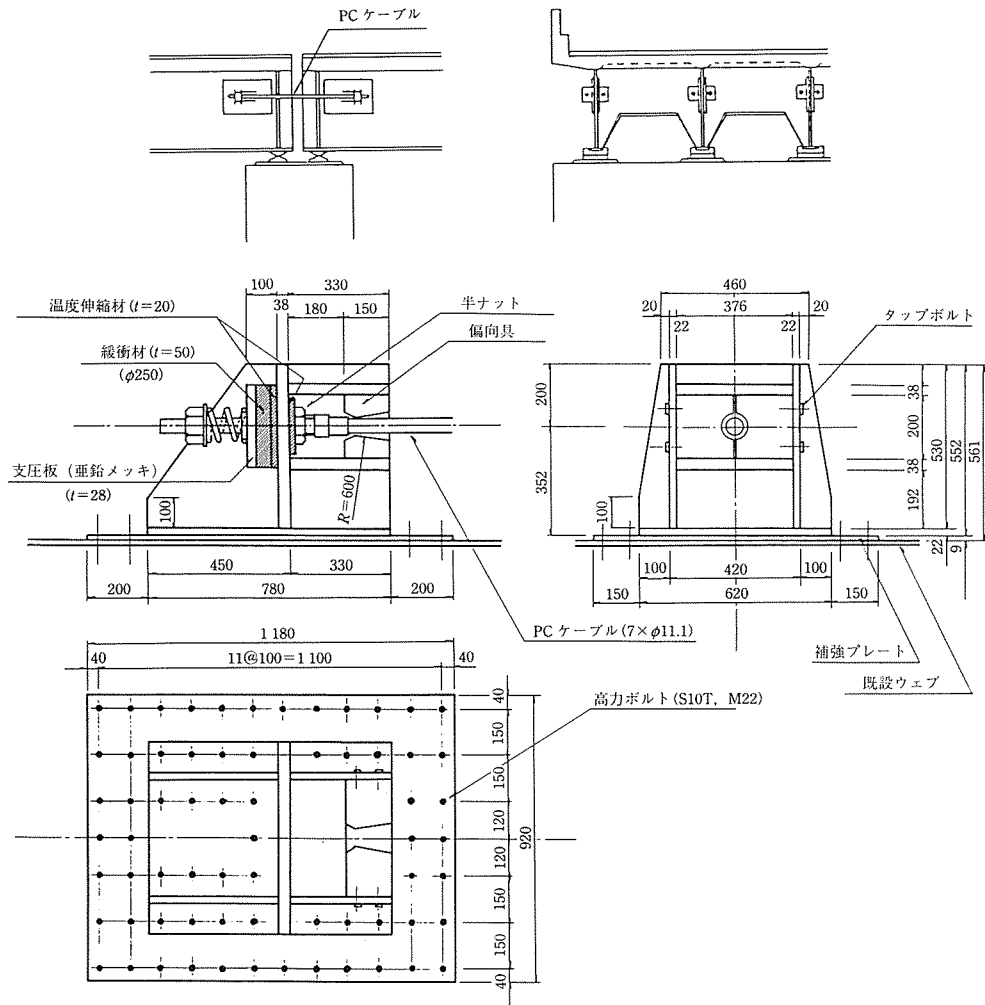
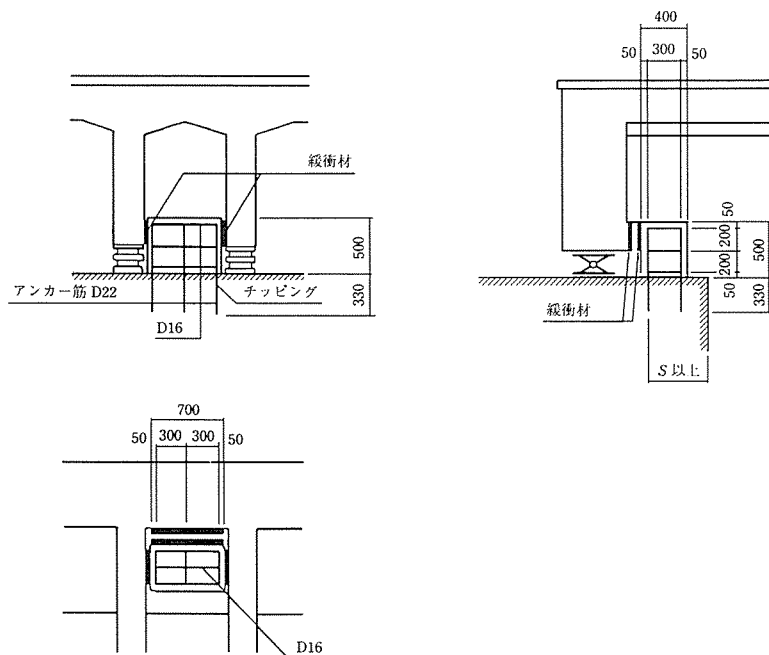


図-2 落橋防止装置の縁端拡幅補強の例<sup>7)</sup>



(1) PC ケーブルによる落橋防止装置の例 (桁連結タイプ)



(2) 鉄筋コンクリートによる落橋防止壁の例 (落橋防止壁タイプ)

図-3 落橋防止装置の補強例<sup>7)</sup>

落橋防止装置の複数設置に関しては、既設橋にどのようなタイプでもよく、なんらかの形で落橋防止装置が設けられておれば、そのほかに1つの地震時の衝撃力を緩和できる構造の落橋防止装置を補強すればよい。

補強する落橋防止装置は、桁連結タイプと落橋防止壁タイプがあり、設けるところの桁の状況、橋脚の天端の状況、等を検討して設計される(図-3参照)。

ただし、新しく落橋防止装置を設けることができない場合は、上記 $S_E$ の5割増し程度の余裕を持った $S_E$ を確保する、等適切な対策を施す必要がある。また、形式や規模の大きく異なる橋が隣接する箇所では、桁連結タイプの落橋防止装置は用いない。

### 3.3 その他の対応

損傷が生じていない単純桁橋に対し、維持管理上、走行性、耐震性、等から、桁の継ぎ手部を連続化する、ノージョイント化の補強が行われている。

短支間のコンクリート橋、等に対しては、舗装のみを連続化する埋設ジョイント工法により、支間の長い橋に対しては、桁同士をなんらかの方法で連結して舗装を連続化する連結型ノージョイント工法により補強されている<sup>8)</sup>。

### 3.4 最近の補修・補強工法

ここでは、従来から採用されている補修・補強工法に対して改良、発展してきている工法について、使用される新しい材料についても含めて述べる。

#### (1) 補修工法

注入工法については、従来と基本的には変わっておらず、注入機器や品質管理等で改良、発展してきている。

断面修復工法、充填工法、表面被覆工法および鋼板接着工法についても同様であり、鋼板接着工法の鋼板の代わりに、新たに下記の繊維補強材 FRP のシートが用いられる場合がある程度である。

また、塩害に対する補修工法として、電気防食工法や浸透性防止塗剤(亜硝酸リチウム)塗布工法、電気化学的脱塩工法、塩素吸着材による工法等が試験的に実施されたり、研究されている<sup>9)</sup>。

#### (2) 補強工法

従来の工法に対し、改良、発展してきた補強工法について以下に述べる。

##### ① FRP 接着工法

従来の鋼板接着工法と同様な補強方法で、使用する補強材料を次に示すような新素材の FRP (Fiber Reinforced Plastic)<sup>10)</sup>を用いるものである。

まず、ガラス繊維のシートが用いられていたが、最近では、軽量、高強度、耐食性、非磁性、等に優れるカーボン繊維やアラミド繊維、等のシートが用いられるようになった。まだ試験的に床版補強等で実施されている段階

であるが、これからは多く採用されるものと思われる。

##### ② 曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法

この工法は、前記復旧仕様によるコンクリート橋脚の耐震補強として、従来の鋼板巻立て工法を改良、発展させたもので、今後多く採用されようとしている。

すなわち、従来の単に耐力を増すための補強のみでなく、部材の変形性能を増す補強工法で、RC 橋脚の柱の周囲に鋼板を巻き、隙間にエポキシ樹脂あるいはモルタルを注入して、柱の剪断耐力および変形性能を増し、さらに、不足分の曲げ耐力に対してこの鋼板とフーチングに定着する鉄筋を配置する工法である。詳細については参考文献7)を参照されたい。

##### ③ 外ケーブル工法

この工法は、前記のように従来からコンクリート構造物に多く用いられている補強工法であるが、最近では、新設の PC 構造物にも採用され始め、補強工法としても改良、発展してきている。

新設に用いられる場合、部材内に配置される内ケーブルと外ケーブルを併用する方法とすべて外ケーブルのみ配置する方法があり、複合構造、等新しい構造形式の PC 構造物にも採用された例もある。そして、この工法に関して種々研究がなされ、設計手法が確立されつつあり、外ケーブルの定着部や偏向具(デビエータ)の設計、耐力算定法、等の合理的な補強方法、設計法も確立されつつある<sup>11)</sup>。

なお、この補強方法は、コンクリート構造物のみでなく、鋼構造物の補強や図-3(1)に示す桁連結タイプの落橋防止装置の補強にも用いられようとしている。

さらに、PC 鋼材の代わりに新素材を用いてプレストレスを導入する研究もされている。ただし、新素材に対する疲労特性、定着具および接続具の性能、設計方法、等について未解明な部分があり、まだ一般的には採用されていない<sup>12)</sup>。

##### ④ 取替え工法

最近では、参考文献13)に示されるような、コンクリート床版の打替えに、既設床版の撤去の機械化が行われる等、部分的撤去工法が改良、発展してきており、取り替える部分に、プレキャスト床版等が用いられている。

##### ⑤ その他

前記のように、橋のノージョイント化工法や免震化工法、等による補強も行われている。

## 4. おわりに

最近では、構造物の損傷を点検により発見し、補修・補強するのみでなく、損傷が生じてなくとも種々の要件により、予防保全的に補修・補強が行われる等、補修・補強の目的が多様化するとともに構造物そのものの形式等

も多様化して、それに伴い補修・補強の技術も多様化し、その技術はコンクリート構造物のみでなく、鋼構造物や複合構造物に対しても応用されようとしている。

これからも維持管理の重要性は増大し、補修・補強の技術も改良、発展していくものと思われ、この報告がその過度期のものとして、何らかの参考になれば幸いである。

なお、外ケーブル工法による補強、等、個々の補修・補強の事例についての詳細は、本特集号に記載されているので参照されたい。

#### 参 考 文 献

- 1) 「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様および復旧仕様の解説(案)」平成7年2月、建設省
- 2) 「道路橋補修便覧」昭和54年2月、日本道路協会
- 3) 「応力頻度測定資料、計測マニュアル(案)」昭和64年4月、建設省土木研究所橋梁研究室
- 4) 「既設橋梁の耐荷力照査実施要領(案)」平成5年6月
- 5) 「兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査(中間報告)」平成7年3月30日付、兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会(注:平成7年12月に最終報告書が公表された)
- 6) 「兵庫県南部地震 PC 構造物震害調査報告書」平成7年4月、プレストレストコンクリート技術協会
- 7) 『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」および復旧仕様の準用に関する参考資料(案)』平成7年6月、日本道路協会
- 8) 「既設橋梁の連続化」山本悟司、橋梁と基礎、1994年8月号
- 9) 「コンクリート橋の補修・補強の概要」小松秀樹、橋梁と基礎、1994年8月号
- 10) 例えば、「連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用」コンクリートライブラリー72、土木学会
- 11) 例えば、「PC 橋の新しい構造事例に関する研究報告書(外ケーブルの有用性と適用に関する調査検討)」平成5年3月、高速道路調査会
- 12) 例えば、「総合技術開発プロジェクト、建設事業への新素材・新材料利用技術の開発—FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の設計・施工指針(案)—」平成6年3月、建設省土木研究所橋梁研究室、他
- 13) 「床版撤去敷設機による床版の取換え(古川渡橋)」土井俊二、笹井幸男、橋梁と基礎、1994年8月号

【1995年8月21日受付】