

## プレストレストコンクリートにおける 補修・補強例と損傷対策

第 14 回フレシネー技士海外研修団

### 1. ま え が き

コンクリート構造物の寿命は半永久的ともみられていたが、設計・施工が適切でない場合あるいは外的条件の著しい変化により、その機能低下あるいは損傷を生じ、補修・補強などの措置がこうじられている。特に最近では塩害のような新たな問題も表面化し、メンテナンス担当者を悩ませている。

我が国におけるプレストレストコンクリート（以下、PC）も約 30 年の実用的歴史を経て、最近補修・補強の報告も集積されつつある<sup>1)</sup>。国内におけるこれらの割合は明確ではないが、西ドイツにおける 30 000 橋に及ぶ調査では、何らかの損傷を生じているものが約 2%で、このうち特にシリアスなものが 0.14%（40 橋）程度あるといわれる。また今後この割合が増加していくと、次世代において、この対策に要する費用が莫大なものになる恐れがあると警告されている<sup>2)</sup>。

一方、昨今の社会経済状況から、寿命すなわち再建というパターンは減少し、かなりの損傷程度の構造物まで補修・補強を施して実用に供する必要がある、さらに強まるのは必至であろう。

これらの意味から幅広い補修・補強の実例が公にされ、今後の適切な設計・施工の参考にされるべきであると考えている。さいわい筆者らは、昨年フレシネー技士海外研修生として、フランスを中心に西欧におけるいくつかの補修・補強の現場を見学する機会に恵まれたので、これらを中心に若干の実施例を紹介するものである。

また上記記事がらと関連して、最近、損傷に対して配慮した設計・施工についての議論がさかんであるが<sup>3)~5)</sup>、この具体例についても簡単にふれることにする。

### 2. 補修・補強の原因と工法

補修・補強を必要とするに至る欠陥（損傷あるいは不都合）の要因は、計画から使用の段階にわたり、非常に数多い。これらのうち特に最近 PC に多い現象として、次のものがあげられる<sup>6)</sup>。

- ① 塩害（欧州では融氷剤に起因する）

- ② 用心鉄筋の不足による部材圧縮域のひびわれ
- ③ コンクリートの中性化とかぶり不足による発錆
- ④ グラウト不良
- ⑤ 細部設計の配慮不足（定着体および支承部）
- ⑥ 伸縮継手および支承のグレード不足

これらの損傷のほか、現在西欧では EUROPEAN STANDARD の変更に伴い、各地でオーバーブリッジの嵩上げや橋梁の補強が行われている。このような使用条件の変化も補修・補強の主要要因である。

これに対する補修・補強工法は、①接着剤の注入・充填、②コンクリートの打増し、③モルタル仕上、④鋼板圧着、⑤プレストレスの導入、等の工法が状況に応じて単独あるいは組み合わせて選択されている。特に①～④については広く知られているところであり、文献も多数ある<sup>7)</sup>。したがってここではこれらは省略し、PC について典型的と思われるアウトケーブル工法およびグラウトを主に述べることにする。

### 3. アウトケーブルによる補修・補強

アウトケーブルによるコンクリート構造物の補修・補強は、とりわけ目新しいものでもなく、また国内でもしばしば行われている<sup>8)</sup>。しかし橋梁の分野では、新設橋梁の緊張材への適用工法として利用され始めるに及んで、がぜん注目されるに至り、アウトケーブルの技術（シース材料、注入法等）は急速な展開をとげつつある<sup>9)</sup>。

アウトケーブルは当初、ダクト中に配した PC 鋼材を緊張後セメントグラウトされたようである。その後グリース注入が行われるようになったが、高温注入の必要性から、シースは金属製であった。最近では、黒色ポリエチレンパイプにグリース注入の組合せが一般的パターンとなっている。PC 斜張橋として現在最長支間を誇るプロトヌ橋も、スペックのグレードアップに対処するため、アプローチ部の補強を同方法で行っている。

補強工におけるアウトケーブルは極めて利点の多い工法であるが、使用に際しての留意点としては、次の事があげられる。詳細は文献 7) を参照されたい。

- 1) ケーブル配置上の配慮；支持点および変曲点に力が集中しやすいので、ケーブルおよびコンクリー

ト双方の応力集中について検討する必要がある。

- 2) 同調振動；ケーブル長が長くなると共鳴を起こす恐れがあり、対策が必要。
- 3) 設計法；構造物の終局耐力，特に緊張鋼材に生ずる引張応力の増加量の計算方法が，現段階では確立されているとは言いがたい。

このような問題点はあるものの，アウトケーブルは何よりもその便利性から，さかんに利用されている。以下亜鉛メッキおよびアンボンドストランドを使用した例について紹介する。

### 3.1 Magnan 高架橋補強工事（フランス）

#### (1) 概 要

Magnan 高架橋はマルセイユからイタリアへ通ずる自動車道 A8（ヨーロッパ道 E1）の橋梁で，ニース近郊に位置し，1967 年竣工した。なお現在，追加 3 車線を工事中である。

橋梁構造は図-1 に示すように，2 列式の高橋脚に支えられた全長 486 m の 5 径間連続桁（一部ラーメン構造）で，場所打ちキャンチレバー工法により施工された。主要量を 表-1 に示す。

表-1 建設時主要数量（Magnan Via.）

種 別	仕 様	橋面積 m <sup>2</sup> 当り数量
コンクリート	—	0.85 m <sup>3</sup>
鉄 筋	丸 鋼	76 kg
PC 鋼 材	12 T 13	40 kg

本橋は当初，設計戦車用トレーラー荷重が 100 t であったが，先のスタンダードの改訂により 150 t に変更されたので，箱桁内にアウトケーブルを追加したものである。

#### (2) 補 強 工

アウトケーブル方式として，ここではチューブを使用せず，低レラクセーションストランドに亜鉛メッキを施したものをむき出しで配置している。工期短縮およびチューブ配置・グリース注入の煩わしさ，等の解消のため亜鉛メッキストランドの採用に踏み切ったものである。同方式により補強工事は約 1 か月の工程で完了している。

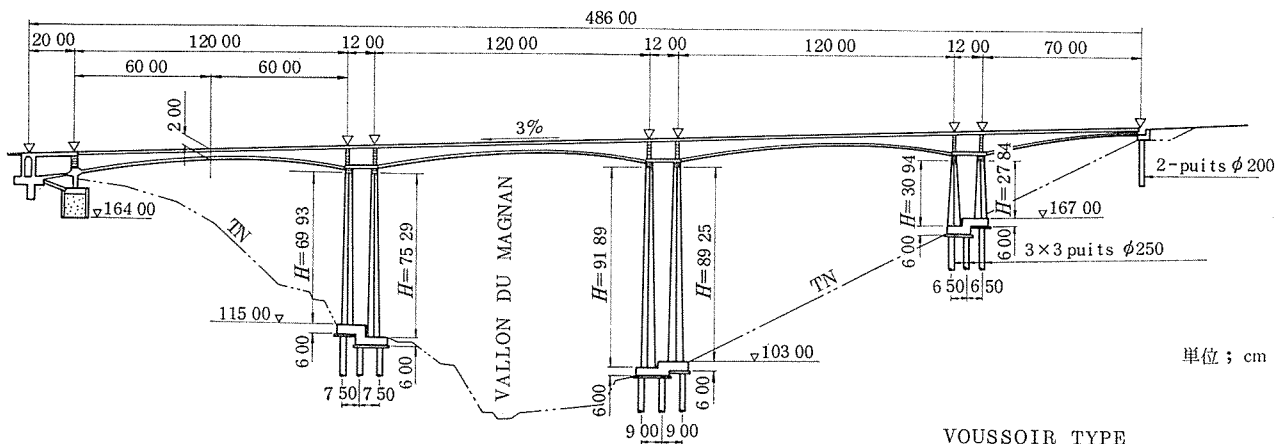
補強工は，端横桁および支点上隔壁に削孔し，12T 15.7 ケーブルを 4 段配置するものである（写真-1）。ケーブルの定着は，桁端部においては緊張スペースが確保できないためデッドアンカーとし，下床版に突起を新設して定着している（写真-2，3）。

ケーブルの緊張に際しては，箱桁内の相当個所に歪ゲージを貼付して，モニタリングしながら慎重に作業を行った。

アウトケーブルの同調振動対策としては，写真-4 に示すような振れ止め金具を約 20 m 間隔で配置している。

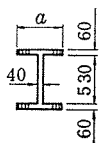
なお，橋梁端部構造が，補修を意識したものか，桁端とアバット面のクリアランスが広く，点検できるように

COUPE LONGITUDINALE



単位；cm

COUPE PILE



VOUSSOIR TYPE

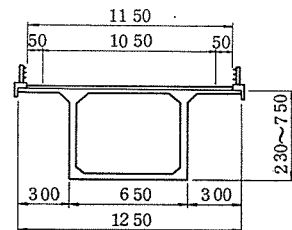
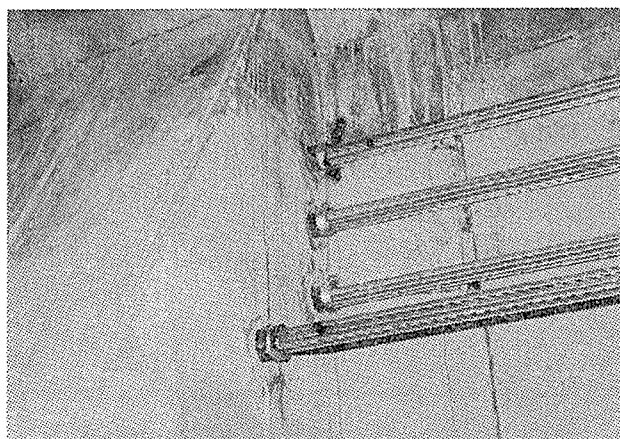
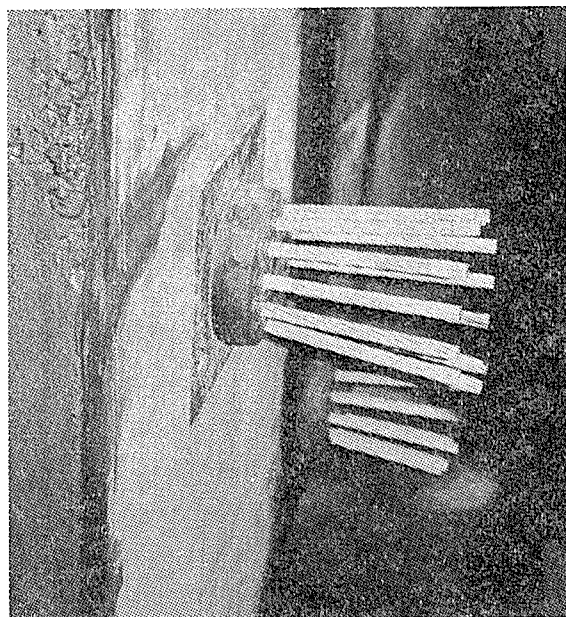


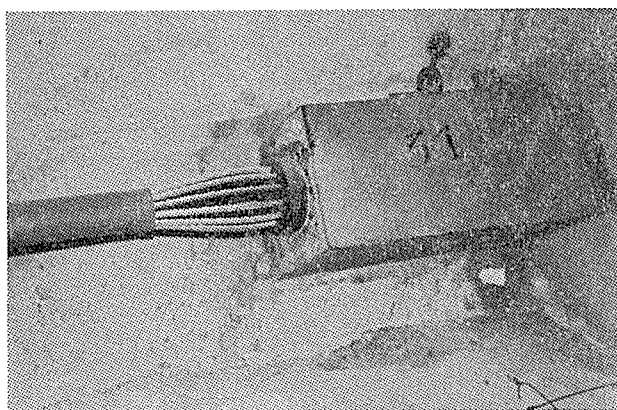
図-1 Magnan 高架橋の概要



写真一 アウトケーブルの配置 (支点上)



写真二 アウトケーブルの配置 (桁端; 固定アンカー)

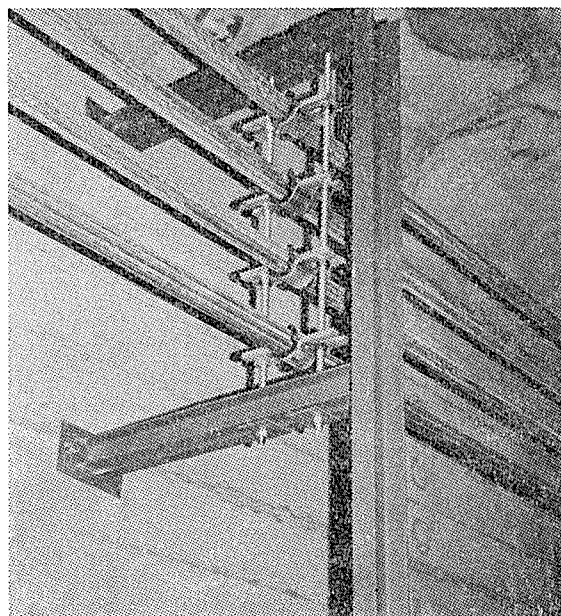


写真三 アウトケーブルの配置 (緊張端)

なっていることは特筆せねばならないであろう。

(3) 亜鉛メッキストランド

亜鉛メッキストランドは '82 年 4 月頃から使用を開始しており、南仏では Valabreque 橋で最初に実用化さ



写真四 振れ止め金具

れた。その橋は単純箱桁で、箱桁内の下床版上にケーブルを配置したものである。Magnan 橋は 2 番目の適用であるが、Rhône 河に架かる Arles 橋にも使用が予定されている。

亜鉛メッキアウトケーブル方式の大きな特徴は、何よりも直接目視により点検が可能であることである。

亜鉛メッキストランドの適用に当たっての技術的留意点として、次のことがらがあげられる。

1) ストランドの特性変化; 本橋の当初計画では 12 V15.2 ケーブルを使用の予定であったが、メッキによりストランドの引張強度およびヤング係数が低下するので、最終的に 12K15.7 ケーブルを採用した。

2) 定着工法; スリップ特性も変化する。Freyssinet 工法の場合 K タイプを使用すれば問題ない。

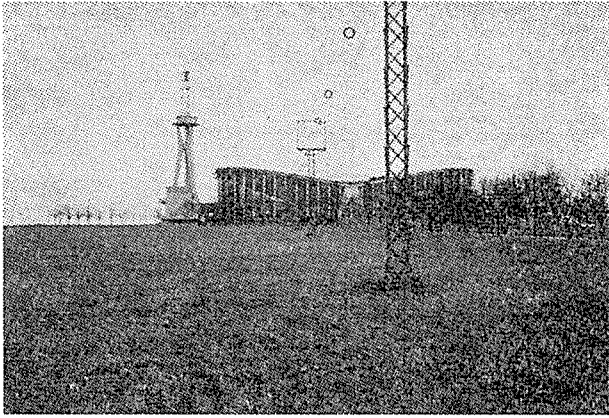
なお、経済性については、ノーマルストランドに対し材料費で約 4 割アップとなるが、補強工事費の合計では、チューブを使用した方式とほぼ同等であるといわれる。

3.2 ヨーロッパ No. 1 放送ビルの補修 (西ドイツ)

(1) 概 要

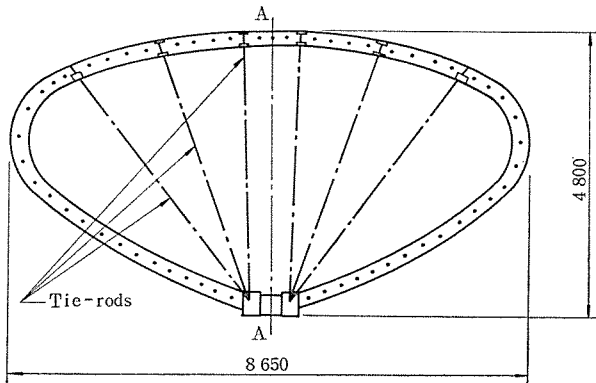
フランスとの国境近くに位置するヨーロッパ No. 1 ラジオ中継基地は、PC シェル屋根の建物に内蔵されている。建造は 1954 年である (写真一5)。この建物は、内部には柱はなく、厚さ 5 cm のコンクリートシェルを固定している RC リングビームと、これを支えるスレンダーな柱より構成されている。

シェルは平面的にはハート形を成しているが (図一 2)、ハート軸に直角、つまり長手方向に約 35 cm 間隔

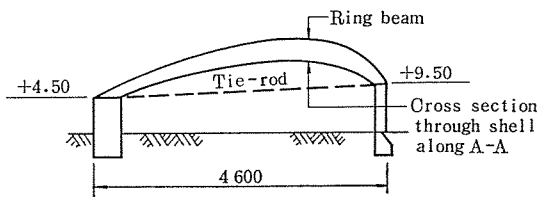


写真—5 Europe No. 1 放送ビル

で配置された 12φ5 ケーブルによりプレストレスされている。また RC リングビームは、ハート先端よりファン状に配置された 6 本のタイロッド (φ5 ワイヤー 120 ~130 本で構成される) によりバランスされている。



単位 ; cm



CROSS SECTION

図—2 構造概要 (放送ビル)

この建物は建設当時、当初計画どおり施工したところシェルにひびわれを生じ、E. Freyssinet が代って構造変更を行い、無事完成したいきさつがある。

竣工後 25 年間何ら問題なく供用されたが、最近次のような損傷が指適された。

- ① 内装パネルを吊っている亜鉛メッキスターラップの著しい腐食、
- ② シェルの緊張ケーブル用シースの、かぶり不足による腐食、
- ③ シェルの緊張鋼材のグラウト不足による発錆、

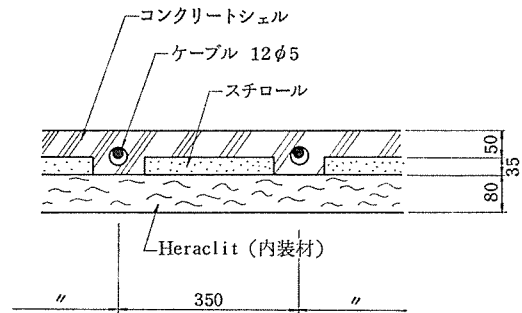
④ タイロッド緊張サドルループ部の著しい腐食。  
一方、シェルのコンクリートは、ほぼ満足すべき状態にあった。

このことからクライアントは、緊張ケーブルおよびタイロッドの取換え等の補修工事を決定した。

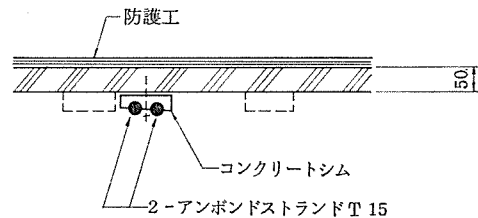
補修工事は '81 年 11 月から約 1 年がかりで実施されたが、これに先立って、大型計算機を使用した最新手法により構造設計のチェックが行われている。

(2) 緊張ケーブルの置換

旧ケーブル (12φ5) は、図—3 に示すように、シェルに設けたリブ内に納まっている。これに対し新規のケーブルとして、対になった 15mm アンボンドケーブルが採用された。このため天井は厚さ 5cm のコンクリートを残してすべて取り除き、小さなコンクリートシムを 1.5m 間隔に接着剤でシェルに固定し、ケーブルホルダーとしている。



(a) 旧屋根構造



(b) 新しい PC シェル

図—3 シェルの緊張ケーブル

取換え作業は、当然のことながら、内装パネルの撤去を含め、漸次行われた。

(3) タイロッドの置換

緊張ケーブルの取換えに先立ってタイロッドが取り換えられた。旧タイロッドは、φ5 ワイヤーの束をループ状にして、サドルとフラットジャッキにより 500 MP (破断 1500 MP) のストレスを与えたものである。

取換え作業時のシェルに与えるプレストレス量の調整はやっかいな問題である。この段階における不確定応力を最小限とするため、新規のものはプレストレスでき

る、かつ簡単にたわまない構造とされた。また形状および重量も最小限とする必要がある。このため、中詰めされた外径 273 mm (厚さ 10 mm) の、2 重管式鋼チューブが採用された。径 100 mm の内管に納められた 19T 15 ケーブルは、中詰めモルタル硬化後緊張された。

施工は左右対称に 2 本ずつ行われたが、新しいタイロッドはリングビームおよびアバットに削孔する必要から、古いそれに近接して配置している。またこの  $\phi 100$  の削孔には厳しい精度が要求されるため、レーザービームにより管理している。

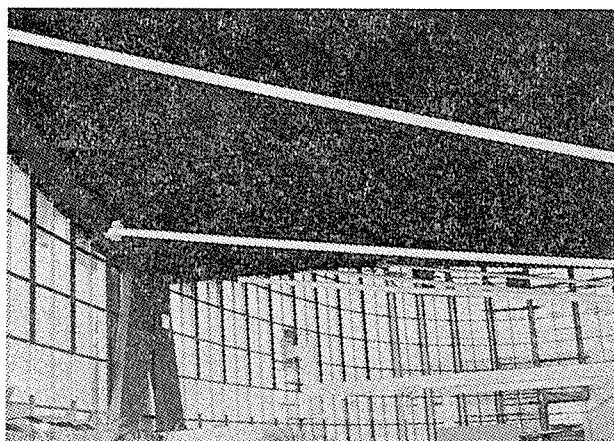


写真-6 タイロッドと緊張ケーブル

#### 4. グラウトの補修

緊張鋼材は PC の生命線であるだけに、不十分なグラウトにより発生するこの腐食は深刻な問題である。またシース内の空隙に溜まった水が凍結して、シースに沿ったコンクリートのひびわれを生じさせる例も、まれに報告されるところである。

グラウト不十分な箇所が発見された場合、コンクリートをはつってエポキシ樹脂などで防錆処理するか、グラウトの再注入等の補修方法がとられる。

ここでは最近における検査方法と、再注入によるグラウト補修例について述べる。

##### 4.1 グラウト度の検査法

グラウト充填率について疑問がもたれた場合、一般にはコンクリートをはつって観測窓を設ける手段により検査が行われる。しかしこの方法は、構造物の機能あるいは耐力の低下という問題と、はつる場所も限定されるという不便がある。このため種々の非破壊検査が開発されている。

直接シース内の状態を観察する手法として、繊維ガラスのエンドウスコープ (Endoscopes) が開発されている<sup>9)</sup>。これは例えば医学で用いられる胃カメラのようなもので、該当箇所には  $\phi 20$  mm 程度のドリリングを行い、

この孔からシース内部を直視するもので、写真撮影も可能である。

写真-7 はこのスコープとゼネレーターを組み合わせた装置により撮影したものである。この装置によればグラウト度のほかに、緊張鋼材の腐食度も同時に直視できるので良い判断資料を得ることができる。ただし前もって、不良箇所をある程度知る必要がある。

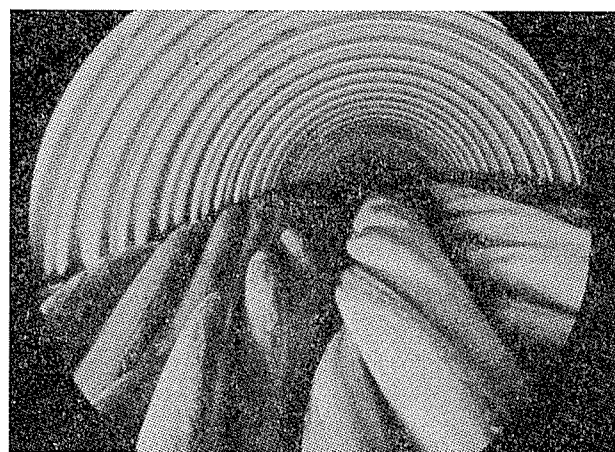


写真-7 繊維ガラススコープによるシース内部 (モデル)<sup>9)</sup>

薄い部材 (1 m 程度まで) の検査には、多少高価であるが、放射線透過による方法も有効である。放射線としては、実験室では X 線も用いられているが、現場では  $\gamma$  線が多いようである。この方法はグラウト度のほか、コンクリートの締固め不良箇所、鋼材の寸法・形状、およびコンクリートと鋼材の付着状況等多方面の非破壊検査が可能である。

このほか、超音波パルスを利用したコンクリート内部診断装置があるが、機械の性質上グラウト度の検査には使用が限定され、また判定も難しいといわれる。

##### 4.2 補修例——Leyran 橋 (フランス)

1959 年の Malpasset ダムの決壊は Argens 河に大洪水を引き起こし、河口の Frejus の町を壊滅したことは、よく知られたところである。この洪水により旧橋が流出したので、復旧のため突貫工事により現橋が架設された。

このような経過のため、最近いくつかの不都合が具現し始めたが、特にグラウトについて問題が多く、補修が決定されたものである。

グラウト度の検査は  $\gamma$  線を使用した放射線透過撮影 ( $\gamma$ -グラフィイー) により行われ、相当箇所のグラウト不良部分に再注入が行われている。

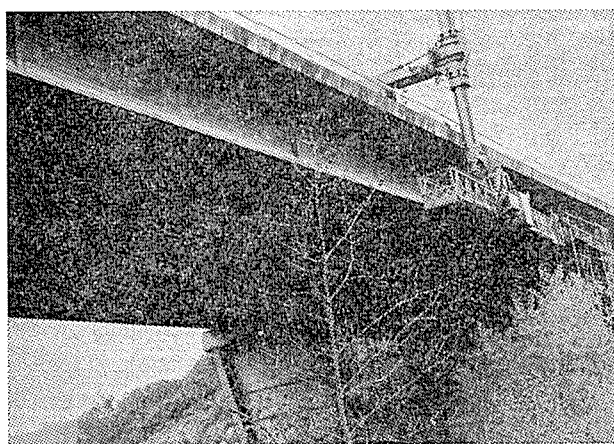
グラウトの再注入方式として、空隙部の 2 箇所に削孔して注入する一般的なものと、1 箇所のドリリングホールからバキューム工法により、バルブの操作でセメント

ミルクを吸い込ませる方法がある。ここでは後者を採用している（写真—8）。この方法により極めて良好な充填率が達成し得るとのことであるが、ブリージング等に対する配慮のため、注入材料すなわちグラウト配合について充分検討を行う必要がある。

なお、このような補修作業においては、写真—9 に示すような点検・補修専用車が一般に活躍している。



写真—8 バキューム工法による再注入作業



写真—9 専用車による補修作業 (Leyran Br.)

## 5. PC における損傷対策例

PC における耐久性の向上は、設計上の問題を除けば、緊張システム（PC 鋼材、定着具）の防錆に関与するところが第一義であろう。具体的にはグラウト注入の完全性と定着体の防護があげられる。このほか実際の工事に際しては、シースの破損も生じやすいが、重要な事項である。これにより緊張不能やグラウト不良のような不都合を生じる原因となる。

これらの問題は注意深い施工により解決されるものであるが、一方、完全な防錆のためには電氣的回路を絶つ必要があるため、シースを含めシステム全体をプラスチックで覆ったかどうかという大胆な提案もある<sup>10)</sup>。また、このような煩わしさを解決するため、取換えの可能なアウトケーブルが採用され始めているのは前述のとおりである。

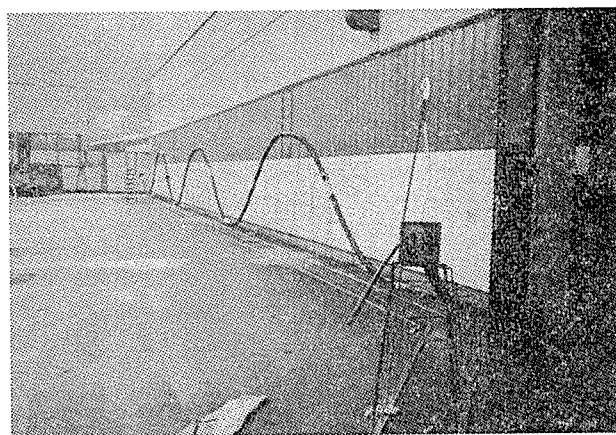
ここでは、これらの斬新な工法や設計上の対策は文献にゆずることとし<sup>2)~5), 7)</sup>、一般的な手法・材料と実例を紹介する。

### 5.1 緊張システムの防錆

グラウトについては、原子炉格納容器の大型鉛直ケーブル等の経験から、混和剤および注入機器について積極的に改良が加えられている。特に混和剤については、ブリージングを大幅に減少させるもの、あるいは注入作業性のため 20 時間程度はコンシステンシーの変化しない超遅延剤などが使われ始めている。

注入作業に当たっては、高圧グラウトと定着体へのプレッシャーキャップが良い成果をあげているようである。

また定着工法およびケーブルディメンジョンに合わせたグラウトのモデルテストや、実物大グラウトテストも、大型工事ではしばしば行われる（写真—10）。



写真—10 グラウトモデルテスト

定着部の後埋めコンクリートは、とかく配慮不足になりがちであるが、定着体のエポキシ塗装と無収縮コンクリートの後埋めが、現段階では良い組合せであると思われる。写真—11 に場所打ちキャンチレバー工法における、架設ケーブル定着へのエポキシレジン適用例を示す。

### 5.2 シース

シースは、コストの問題もあるが、損傷のリスクを考慮した場合、さらに肉厚のものが推奨されている。板厚は 0.6mm 程度が一般的になりつつある。現場で生じ

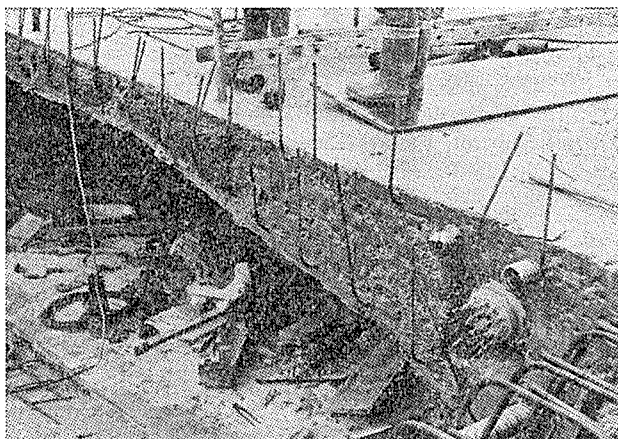


写真-11 定着体の防錆工

やすい「折れ」の解消、およびルーペケーブルなどの目的から、極めてフレキシビリティの良いものも実用化されている。

また緊張鋼材と接するシースの防錆も重要である。これは一般にはコンクリートのかぶりによって達成されるが、英国では亜鉛メッキシースが普通になっている。

### 5.3 実例——サージバリア (オランダ)

デルタプランの一環としての、オスターシェルド湖を締め切るサージバリア (防潮堰) は各方面で紹介されているが、このピア (頭首工) は1基の重量が18 000 tの大型 PC 構造物である。海洋という厳しい条件にもかかわらず耐用年数200年で計画されたこの構造物は、次の理由から PC とされた。

- ① 重力式であるが、RC では重量がありすぎ、運搬上問題があった。
- ② 波浪時のゲートおよびゲート受けコンクリート桁の反力による動的局部応力への対応。
- ③ 鋼材の腐食に対しコンクリートのひびわれ制限を行う。

この構造物の鋼材の防錆は、主としてコンクリートの

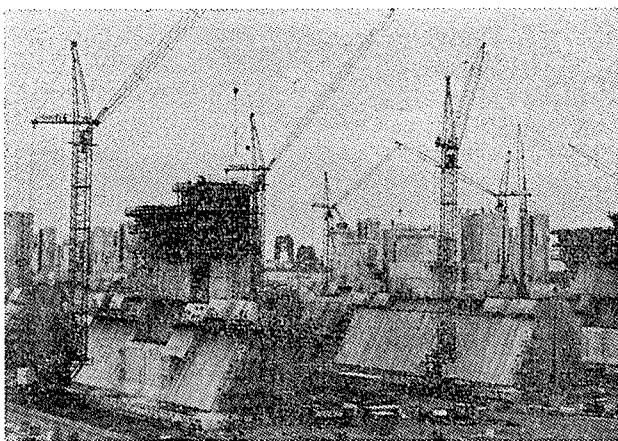


写真-12 サージバリアのピア

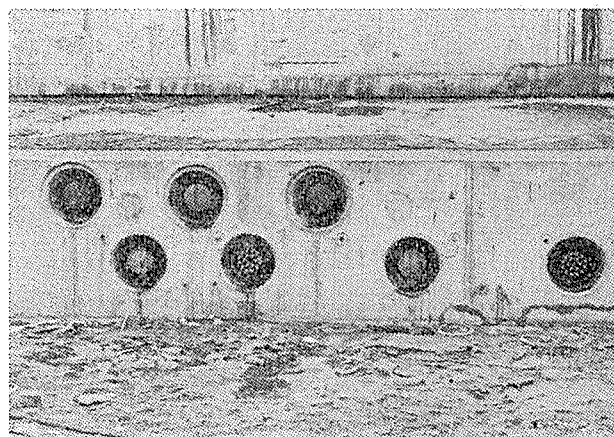


写真-13 定着部 (サージバリア)

かぶりとひびわれ幅制限により期待されている。後者の計算における荷重組合せにおいては、コンクリートの水和熱、乾燥収縮および温度変化まで含めている。

一方、緊張システムの防錆についても、もちろん配慮されている。

ここでは数種類の定着工法が使用されているが、アンボンドはなく、すべてグラウト方式である。グラウト注入の方法は試験室および実物大試験の結果、定着工法により異なり、最もその工法に適したものが採用された。

ストランド系システムのグラウトには、普通セメントに Tricosal 181 を重量比で1% 混和した材料を用いている。この配合は多少ブリージングするため、注入後プラスチック製のプレッシャーキャップを取り付け、10気圧の圧力を加え過剰水を排水した。

また、ワイヤおよび鋼棒システムに対しては W/C を36% まで減じ、Tricosal 181 を2% とした配合と、注入中および注入後の栓の開閉により、良い結果が得られた。

グラウト養生後、定着体および緊張鋼材突出部の防錆を行う。鉛直ケーブルと水平ケーブルで多少方法は異なるが、すべてのケーブルは清掃、サンドブラस्टィングを行い、タールエポキシの3層塗り (最小厚0.15 mm) とした。この後、鉛直ケーブルの箱抜きに対しては無収縮グラウト、水平ケーブルはショットクリートにより後埋めしている。

なお、本構造物は、アンカーボルト等表面に出た金属製のものについてはすべてエポキシ系材料で絶縁し、絶縁テストを行って確認した。

## 6. あとがき

通常の条件のもとで適切な設計・施工の行われた PC 構造物の耐久性は、そう簡単に低下するものではない。事実、筆者のうちには、建造後十数年を経過した PC 橋

## 報 告

の撤去に伴う調査<sup>12)</sup>に携わった者もいるが、欠陥と呼ぶほどの損傷は発見されなかった経験がある。

しかしながら一部の条件においては、PCの耐久性が議論されていることもまた事実であり、さらに良好な社会資本としてのPC構造物が要求されている。

ここに紹介したことからの中には、国情および設計法の違い等から、単純に国内で適用できない面もある。ただし具体的な実施例という意味では今後の何らかの参考になるものと考え、あえて報告した次第である。

なお本報告に当たっては、極東鋼弦コンクリート振興株式会社および同行諸氏をはじめとする多くの関係各位に協力を賜りました。紙面を借りて謝意を表します。

(担当; 浅香, 野永, 本田)

### ◎第14回フレッシュナー技士海外研修団 名簿

稲葉 佳 孝 住友建設(株) 広島支店  
小深田 信 昭 オリエンタルコンクリート(株) 福岡支店  
本 田 勉 (株) 熊谷組技術研究所  
浅 香 昌 司 飛鳥建設(株) 技術本部  
野 永 健 二 (株) 銭高組土木本部  
高 畑 憲 治 日本鋼弦コンクリート(株) 大阪支店  
渡 辺 孝 仁 日本ビー・エス・コンクリート(株) 技術部

## 参 考 文 献

- 1) 例えば; ①コンクリート構造物の補修ハンドブック, 技報堂, 昭和53年11月, ②柳田ほか: 道路橋補修の設計・施工, 山海堂, 昭和57年12月
- 2) Leonhardt, F.: Prevention of Damages in Bridges, 9th FIP Proceedings V1, 1982
- 3) 成井, 上阪, 小川: PC橋の損傷と補修および今後の対応策(上)(下), 橋梁と基礎, 82-5,6
- 4) Gerwick Jr., B.C.: Causes and Prevention of Problems in Large Scale Prestressed Concrete Construction, PCI Journal, May-June 1982
- 5) 小村, 秋元, 杉浦, 木下: 耐久的なPC構造物構築のための注意点, (社)PC技術協会昭和57年度技術講習会テキスト, 昭和58年1月
- 6) 例えば; PCによる構造物の補強と構造物の設計施工, (社)PC技術協会, 昭和56年
- 7) 猪股俊司: PC橋設計・施工上の発展, プレストレストコンクリート, Vol. 25, No. 1, Jan. 1983
- 8) Buffa, J.: Viaducs du Contournement Autoroutier de Nice, 出典不明
- 9) Philip, M.: Inspection of Prestressed Concrete Structures, FIP Notes 92, May-June 1981
- 10) Schupack, M.: Prevention of Failures Related to Corrosion of Post-tensioning Tendon System in Concrete Structures, 9th FIP Proceeding V3, 1982
- 11) Easten Scheldt Storm Surge Barrier, Proceeding of the Delta Barrier Symposium Rotterdam, 13-15 Oct. 1982
- 12) 松浦・紙透: PC斜材つきπ型ラーメン橋の撤去に伴う調査と試験について, プレストレストコンクリート, Vol. 14, No. 4, Aug. 1972

---

## 転勤(または転居)ご通知のお願い

勤務場所(会誌発送, その他通信宛先)の変更のご通知をお願いいたします。

会誌発送その他の場合, 連絡先が変更になっていて, お知らせがないため郵便物の差しもどしをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく, 当協会としても二重の手数と郵送料とを要することになりますので, 変更の場合はハガキに新旧の宛先を記入のうえ, ただちにご一報くださるようお願いいたします(ご送金の際, 振替用紙裏面の通信欄に記入されても差し支えありません)。

ご転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されないでご入手できない場合, 当方として責任を負いかねますのでご了承ください。