

ポストテンション鋼材の耐久性向上に関する第2回ワークショップに参加して

渡辺 浩良*1・濱田 譲*2・徳光 卓*3

1. はじめに

「ポストテンション鋼材の耐久性向上に関する第2回ワークショップ」が2004年10月11日～12日の日程でスイス連邦工科大学（ETH）で行われた。これは、2001年11月15日～16日にベルギーのアントワープ大学で行われた「ポストテンション鋼材の耐久性向上に関する第1回ワークショップ」の成功を受けて開催されたものである。第1回ワークショップでは、各国のポストテンション鋼材の現状を紹介し、それをふまえてポストテンション鋼材の耐久性向上に対する戦略などについて活発に討議された。今回のワークショップの目的は、fib Commission 5 TG 5.4.2 から出された「Durability Specifics for Prestressed Concrete Structures : Durability of Post-tensioning Tendons, Final Draft, 2004.3.26」（以下：ガイドライン(案)とする）に対する幅広い意見集約とポストテンション鋼材の耐久性向上のための議論をすることであった。

ワークショップには、25カ国から100名以上のこの分野に関する専門的な知識をもつ学識者が参加し、耐久的なプレレストレストコンクリート構造物やポストテンション鋼材の耐久性向上技術について活発に議論された。写真-1にワークショップの会場を示す。

ここでは、ガイドライン(案)の概要、ワークショップでの招待講演者の講演内容、ワークショップで出された意見を中心に、関連する項目について報告するものである。



写真-1 ワークショップ会場

2. ガイドライン(案)について

このガイドライン(案)の目的は下記の3つである。ガイドライン(案)の目次構成を表-1に示す。

- 1) 耐久性の高いPC構造物を作るためのガイドライン
- 2) 図や写真による例示
- 3) 用語の統一と定義

2.1 「耐久的なPC構造物のための設計コンセプト」について

(1) ハザードシナリオについて

図-1に典型的な箱桁橋のハザードシナリオ（危険シナリオ）を示す。ガイドライン(案)では、ポストテンション鋼材位置に水（塩分を含む可能性がある）が到達する危険性が高いルートを潜在的弱点として考えている。ハザードシナリオでは、ポストテンション鋼材を保護する外縁の層の破壊については図中の①～⑧を、ポストテンション鋼材を直接保護する層の破壊では⑨～⑫を考えている。

(2) マルチレイヤプロテクション（多層保護）

さまざまなポストテンション鋼材の保護システムがあるが、完璧な保護システムは存在しないという認識から、いくつかの保護システムを2重3重に付与するマルチレイヤプロテクションという考え方が推奨されている。ここでは、直接ポストテンション鋼材を何層もの保護層で保護するのではなく、コンクリート部材への水の関与を最小化することを最初に考えなければならないとしている。具体的には、橋面上の水のすみやかな排水、床版への防水層の設置、水切りや定着具背面の構造細目に留意することを推奨している。

(3) 耐久性パラメータ

ガイドライン(案)では、橋梁の耐久性向上を戦略的に行うために考慮しなければならない点として以下の項目を挙げている。

- 1) 橋梁の架橋位置や環境条件（凍結防止剤の散布や飛来塩分が多い環境の場合は、その対策を実施する）
- 2) 構造系（できるだけ伸縮装置のない、連続的な構造が望ましい）
- 3) 点検や維持管理のしやすさ
- 4) 断面形状（水や腐食物質の接触しにくさ）
- 5) 施工方法や作業員の熟練度
- 6) 外ケーブルか内ケーブルか内外併用かなどポストテ

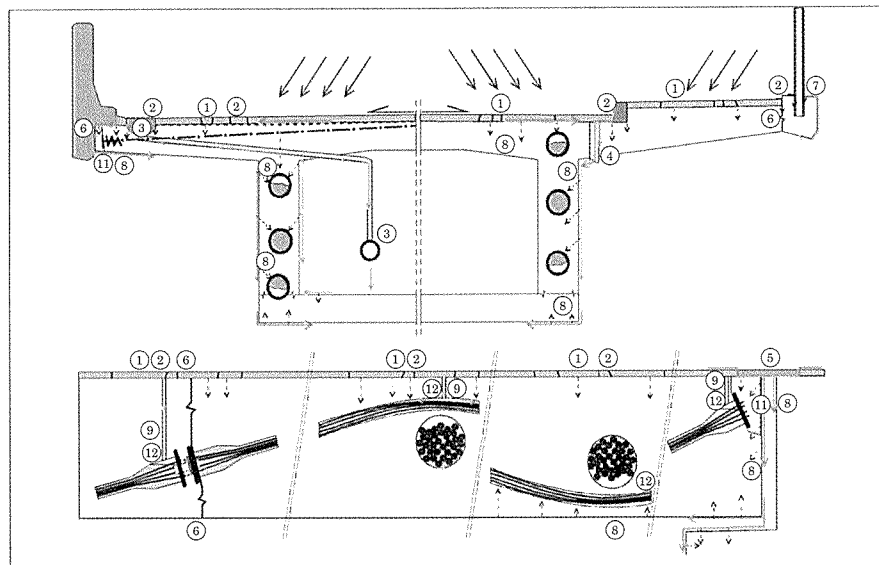
*1 Hiroyoshi WATANABE：(株)ピーエス三菱 東北支店 土木工事統括部 技術部 設計グループ

*2 Yuzuru HAMADA：ドービー建設工業(株) 技術本部 技術センター

*3 Suguru TOKUMITSU：(株)富士ビー・エス 技術本部 技術開発グループ

表-1 ガイドライン(案)の目次

<p>第1章 耐久な PC 構造物のための設計コンセプト</p> <p>1.0 イントロダクション</p> <p>1.1 用語の定義と原理</p> <p>1.1.1 ポストテンションとプレテンション</p> <p>1.1.2 内ケーブルと外ケーブル</p> <p>1.1.3 ボンドケーブルとアンボンドケーブル</p> <p>1.1.4 特殊なケーブルと革新的ポストテンションシステム</p> <p>1.1.5 PC 鋼材の防食</p> <p>1.2 PC 鋼材の腐食機構</p> <p>1.2.1 PC 鋼材腐食の実態</p> <p>1.2.2 PC 鋼材腐食の原理</p> <p>1.2.3 PC 鋼材腐食過程</p> <p>1.3 設計時における構造物の耐久性向上のための戦略</p> <p>1.3.1 PC 鋼材の耐久性に関する要素</p> <p>1.3.2 マルチレイヤプロテクションの原理</p> <p>1.3.3 耐久な構造物を設計するために考慮する点</p> <p>1.3.4 品質規準</p> <p>1.3.5 コンクリートの品質とかぶり</p> <p>1.3.6 橋面防水システムと他の表面保護システム</p> <p>1.3.7 排水システム</p> <p>1.3.8 伸縮装置</p> <p>1.3.9 ひび割れ</p> <p>1.3.10 施工目地</p> <p>1.3.11 セグメント継目</p> <p>1.3.12 PC 鋼材配置</p> <p>1.3.13 点検と維持管理時のアクセシビリティ</p> <p>1.4 PC 鋼材保護戦略</p>	<p>第2章 材料と施工</p> <p>2.1 材料に対する要求事項</p> <p>2.1.1 PC 鋼材と FRP 材料</p> <p>2.1.2 定着具</p> <p>2.1.3 ダクト</p> <p>2.1.4 グラウトのための付属品</p> <p>2.1.5 PC 鋼材の防錆材料</p> <p>2.2 ポストテンションシステムの推奨仕様</p> <p>2.3 施工時の要求事項</p> <p>2.3.1 PC 鋼材の梱包・輸送・保管・取扱い</p> <p>2.3.2 PC 鋼材の展開と緊張装置</p> <p>2.3.3 PC 鋼材の挿入</p> <p>2.3.4 PC 鋼材の緊張</p> <p>2.3.5 充てん材の注入</p> <p>2.3.6 PC 鋼材の点検</p> <p>2.4 認可された材料供給者と施工者による施工</p> <p>第3章 メンテナンス・評価・補修・補強</p> <p>3.1 イントロダクション</p> <p>3.2 メンテナンス</p> <p>3.3 評価</p> <p>3.3.1 一般</p> <p>3.3.2 プロテクションレベル1および2に分類された PC 鋼材</p> <p>3.3.3 プロテクションレベル3に分類された PC 鋼材</p> <p>3.4 補修・補強</p> <p>付属資料 既設構造物のポストテンション鋼材のメンテナンス・評価・補修</p>
---	---



- | | |
|--|--|
| <p>PC 鋼材を保護する外縁の層の破壊</p> <p>① 舗装の欠陥(ひび割れなど)</p> <p>② 床版防水層の欠陥</p> <p>③ 排水柵や排水管の欠陥</p> <p>④ 排水管の設置位置のミス</p> <p>⑤ 伸縮装置からの漏水</p> <p>⑥ 地覆の打継目からの漏水</p> <p>⑦ インサートからの侵入</p> <p>⑧ コンクリートかぶりの欠陥</p> | <p>PC 鋼材を直接保護する層の破壊</p> <p>⑨ グラウトホース内のグラウト未充填</p> <p>⑩ 鋼製シースの破損</p> <p>⑪ 定着具のあと埋めコンクリートの欠陥</p> <p>⑫ ダクト内のグラウト未充てんによる空隙</p> |
|--|--|

図-1 に典型的な箱桁橋のハザードシナリオ(危険シナリオ)

- | | |
|--|---|
| <p>ンション鋼材の配置</p> <p>7) 定着具を保護するための位置や構造細目</p> <p>8) 床版防水層や排水方法</p> <p>9) コンクリートかぶり層の品質</p> <p>10) ダクト形成材料</p> <p>11) ダクト充てん材料(セメントグラウトやワックスなど)</p> | <p>12) 施工時の品質管理手法や検査手法とそのしやすさ</p> <p>13) プレストレスを追加導入するための設備</p> <p>(4) 設計戦略</p> <p>耐久性の高い PC 橋を設計する場合の戦略として以下の項目を挙げている。</p> <p>1) 品質規格</p> <p>材料や部品の品質は非常に重要である。とくにポストテ</p> |
|--|---|

ンションシステム、配線・緊張・グラウトの品質は EOTA (European Organisation for Technical Approvals) から出されている ETAG 013 (European Technical Approval Guideline) の規格にしたがうことで保証される。

2) コンクリートの品質とかぶり厚

コンクリートのかぶり厚を増厚することにより、耐久性は向上する。また、水セメント比を低減させることやフライアッシュをセメントの一部と置換することによりコンクリートの浸透度が改善される。

3) 床版防水システムと他の表面保護システム

床版防水システムは、道路にまかれた凍結防止剤のコンクリート部材への侵入を阻止する最初の層になる。その他、表面改質剤を塗布するとコンクリート表面の浸透度が改善され、塩分を含んだ水の床版内への侵入を遅らせることができる。

4) 排水システム

排水システムは、路面の水をもっとも効率よく橋梁外へ排出することが求められる。

5) 伸縮装置

伸縮装置から水はたいてい漏れるものとして伸縮装置の下の構造や伸縮目地の点検方法を考えなければならない。伸縮装置から漏れた水が、桁端の定着部や支承に直接流れていけないような配慮が求められる。

6) ひび割れ

コンクリートにひび割れはさまざまな理由で発生するが、そのタイプやひび割れ幅に応じて耐久性に影響する。初期ひび割れを抑えるために、コンクリートの打設順や養生方

法などを検討するのがよい。コンクリートの弱材齢時に若干のプレストレスを導入するのもよい。

7) 打継目

きちんと施工された打継目からの水の浸透は抑えられるが、施工が悪い場合、打継目からの漏水がしばしば見られる。したがって、床版の打継目は、定着具からできるだけ離すことにより定着具への水の侵入を阻止することができる。

8) セグメント目地

プレキャストセグメントのマッチキャスト目地へは、通常エポキシ樹脂系の接着剤を塗布することにより耐久性は確保される。しかし、ダクトが接続されていないことへの配慮は必要である。最近では、セグメント目地用のカップラージョイントも開発されているので使用するとよい。

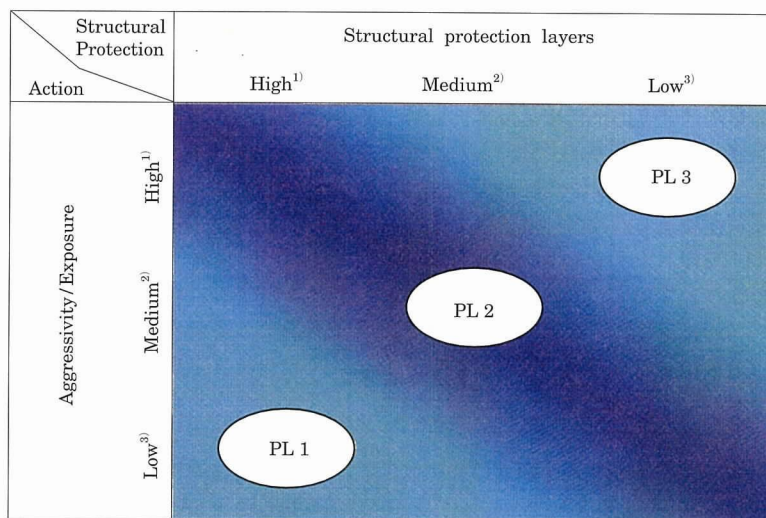
このカップラージョイントの使用により、接着剤のシー内部への侵入の阻止、グラウトの連通阻止などの効果が期待できる。

9) ポストテンション鋼材配置

ポストテンション鋼材配置や定着具の位置を考慮することにより耐久性を向上させることができる。定着具は、できるだけ水が直接かからない位置に設置し、随時点検できるように配慮することが望ましい。

10) 点検時や維持管理時のアクセス

点検時や維持管理時にその部位に簡単に行けるようにすることは、マルチレイヤプロテクションの考え方のなかでも重要な点である。とくに桁端の定着部に設置される tendon ギャラリーは重要である。



ここに：

Structural protection layers の例

High：床版防水層+高品質コンクリート+容易な点検

Medium：表面改質+通常のコンクリート

Low：セグメント目地+表面保護層なし+点検できない構造

Aggressivity/Exposure の例

High：飛沫帯や凍結防止剤の散布域

Medium：湿潤環境

Low：構造物の内部などの乾燥している所

図-2 ポストテンションシステムの PL の模式図

(5) ポストテンションシステムのプロテクションレベル (以降：PL) の考え方

このガイドライン(案)に示された新しい考え方として、PLに応じたポストテンションシステムの標準仕様がある。これは、橋梁の架橋位置の環境条件や構造物に付与されている保護層の程度によりポストテンションシステムの防食仕様を定性的に決定できる考え方で、図-2に示すようなグラデーションの図になっている。ここで、PL1の仕様は、鋼製シースにセメントグラウト。PL2の仕様は、プラスチックシースを使用しポストテンション鋼材全体を水から完全にプロテクトしたもので、グラウトキャップやトランペットシースなどもプラスチック製の部品で構成されている。グラウト材料については言及されていない。PL3は、PL2の仕様ポストテンション鋼材の腐食程度のモニタリングが可能なセンサーを付加したものである。腐食程度のモニタリングは、このガイドライン(案)ではポストテンション鋼材とダクト間のインピーダンスを測定する方法を標準としている。

2.2 「材料と施工」について

(1) 材 料

材料について、このガイドライン(案)では、ポストテンション鋼材のPLに応じた推奨仕様を示している。PL1用の従来の材料も示しているが、ここではPL2やPL3用の耐久性を向上させる材料に焦点をあてて紹介している。

最近のヨーロッパでは、PC鋼より線を1本ごとに高密度PEシースに入れて、その間にグリースを詰めたアンボンドPC鋼材がよく使用されている。使用例としては、床版の横締め鋼材や何本か束ねて外ケーブルや斜張橋の主ケーブルとしてよく使われている。

ダクト材料は、耐久的なポストテンションシステムを構築する上で重要なものとして位置づけられている。とくに、PL2やPL3の下では、水がダクト内部に侵入しにくいように、またポストテンション鋼材を電氣的に独立した状態にするようにプラスチックシースの使用を標準にしている。これは、構造物に迷走電流が発生した場合(とくに直流電流を使用している鉄道橋)のポストテンション鋼材の電気腐食を防止するためである。

その他、グラウトホースの止端部からの水の侵入を防止するためのグラウトホース用のキャップや、定着具のプラスチック製グラウトキャップなどの材料が紹介されている。

グラウトについては、セメント系グラウトの他に、ワックスやグリースによる充てん材が紹介されている。充てん材の詳細な品質規格はETAG 013に規定されている。

(2) 施 工

欧米では、ポストテンション鋼材の配線・挿入・緊張・グラウトなどの作業は、フレシネー社やVSL社などのポストテンションシステムをもつ専門業者が行うことが一般的である。したがって、このガイドライン(案)においても、ポストテンション工の施工は、その作業に習熟した専門業者が行うことと記述されている。これは、これらの作業が、習熟した専門業者によって行われなければきちんとした品質管理が行われないと考えているからである。品質管理計

画には、人材、責任の所在、監督者の名前、使用材料、使用機器とそのメンテナンス方法、検査、試験機器などが記載される。

ここでは、ポストテンション工で使用する材料の現場までの梱包や輸送、現場における保管、ポストテンション鋼材の配線・緊張・グラウトの最新技術が紹介されている。

ポストテンション鋼材の品質管理では、コンクリートを打設する前、ポストテンション鋼材を緊張する前、グラウトをする前、グラウト後の4段階でそれぞれ管理項目がある。

2.3 「メンテナンス・評価・補修・補強」

(1) 点 検

PL1やPL2のポストテンション鋼材は、定着具が外部に露出していないかぎり、供用後の点検は困難である。PL3のポストテンション鋼材の場合、モニタリングシステムが付与されているため、供用後の点検が容易である。

ポストテンション鋼材以外にも、コンクリートかぶり、床版防水層、定着部のあと埋め部などの点検も有効である。

(2) 評 価

ポストテンション鋼材の劣化の評価は、PL1やPL2のものでは、定着具が外部に露出しているものや外ケーブルの場合で目視点検できる場合を除いて限定的であるとしている。

PL3のものでは、プラスチックシースを用いて電氣的独立に保たれたポストテンション鋼材のインピーダンスを測定する方法により劣化の程度を評価できるとしている。

(3) 補修・補強

マルチレイヤプロテクションの考え方が浸透していったとしても、補修・補強方法の技術革新は必要であるとしたうえで、本ガイドライン(案)では、グラウトの再注入の方法、コンクリート部材の断面修復の方法、外ケーブル・内ケーブル・アンボンドケーブルの補修方法について紹介されている。

3. ワークショップについて

ワークショップは、「耐久的なPC構造物のための設計コンセプト」、「材料と施工」、「メンテナンス・評価・補修・補強」の3つのセクションに分かれて行われた。おのおののセクションの初めに、ガイドライン(案)の説明を兼ねたキーノートレクチャーが行われ、続いて2ないし3の招待講演を行う形で進められた。招待講演の内容は、主催者側から事前にガイドライン(案)に対する意見やコメントを盛り込むことが求められていた。ワークショップ論文集の目次を表-2に示す。

3.1 「耐久的なPC構造物のための設計コンセプト」についての招待講演の内容

(1) 睦好教授(日本)の講演

講演では、現在PC技術協会で作業を進めている、「PCグラウト設計・施工規準(案)(仮称)」の中にある耐久的なPC構造物を設計するためのコンセプトや道示に示されている環境条件に応じたかぶり厚の設定方法について紹介した。また、PC構造物の耐久性を向上させるためには、環境条件

表-2 ワークショップ論文集の目次

セッション1 設計	
・ Keynote lecture "Design"	J.P.Fuzier (フランス)
・ Design concepts for durable post-tensioning structures in Japan	睦好教授 (日本)
・ Re-design of post-tensioned bridges to improve buildability and durability	M.E.Raiss (イギリス)
セッション2 材料と施工	
・ Keynote lecture "Materials and Construction"	H.R.Ganz (スイス)
・ Present situation and development in Japan on material and construction for durable prestressed concrete structures	仁木氏 (日本)
・ Florida Department of Transportation's Pursuit of Durable Post-tensioned Bridges	W.N.Nickas (アメリカ)
・ Recent Research in France for the Improvement of Cement Grouting	B.Lecinq (フランス)
セッション3 メンテナンス・評価・補修・補強	
・ Keynote lecture "Maintenance, Assessment and Rehabilitation"	P.Matt (スイス)
・ North American Strategies for Monitoring, Maintenance and Repair of Post-tensioning Tenons	R.W.Poston (アメリカ)
・ Present Situation of Maintenance, Assessment and Rehabilitation in Japan	宮川教授 (日本)
・ Location of Prestressing Wire Breaks with the Remanent Magnetism Method-Recent Developments	B.Hillemeier (ドイツ)

や構造条件などを含めて総合的に検討すべきであり、ポストテンション鋼材の防食対策はその一部に過ぎないという考えを示した。続いて、PC 構造物のライフサイクルコストを最小化するためのシナリオを策定し、ポストテンション鋼材の防食対策、構造物全体の防食対策、それらのライフサイクルコスト、メンテナンス性などを総合的に考えていくべきであるという考え方を紹介した。

(2) M.Raiss 氏 (イギリス) の講演

設計コンセプトは、基本的に構造物全体の耐久性について論じられるべきであるが、このガイドライン(案)では、ポストテンションシステムの耐久性に集中して論じられ過ぎてしていると批判した。また、ガイドライン(案)では、すべての定着部を点検可能にすべきであるとしているが、これは過度に設計者の選択を束縛するものであると主張した。例として、インテグラルアバット橋のような桁端部と下部工が一体化している橋梁タイプでは、定着具が完全にコンクリートの中に埋まっているので、桁端部にテンドンギャラリを設けなくても耐久性は確保されていると述べた。

環境状態と構造物プロテクションレイヤとポストテンション鋼材 PL との相関をさらに論議すべきであり、本ガイドライン(案)と TR 47 の間の推奨すべきマルチレイヤプロテクションシステムに関する考え方の差異をなくすよう議論をすべきであると提案した。

3.2 「材料と施工」についての招待講演の内容

(1) 仁木氏 (日本) の講演

材料面では、工場製作のセメントベースのプレグラウトポストテンション鋼材やエポキシコーティングポストテンション鋼材を何本かまとめて PE ダクトに入れ充填材を注入したマルチエポキシコーティングテンドンシステムなどについて紹介した。グラウト材料においても、日本の技術革新の成果として高チクソトピロー性グラウト材料が紹介された。施工面においては、グラウト材料の品質管理手法とグラウトの充てん度確認検査手法について紹介された。

最後に、ガイドライン(案)に示された方法以外にも、ポストテンション鋼材の耐久性を確保する方策にはさまざまなアプローチがあるので、トータルのライフサイクルコストを考慮して、実務者が選択できるようなガイドライン(案)にすべきであると提案した。

(2) Brett Pilstick 氏 (アメリカ) の講演

FDOT (フロリダ交通局) では、5つの戦略をもって耐久的な PC 構造物を作ろうとしている。第1の戦略は、現状

のポストテンションシステムを系統的にグレードアップすることである。可能なかぎりプラスチックダクトを使用し、支圧板やシース間の接続部を完全にシールし、各部位で3重の保護層を設置することが重要であるとしている。第2の戦略は、完全なグラウトである。不完全なグラウトによる有害な空隙は、塩分などを含んだ水の移動を助けたり、化学的に有害な環境を作るからである。第3の戦略は、定着部の保護である。この部分は最低4重の保護層によって守られなければならない。第4の戦略は橋を水から守ることである。とくに、床版は防水層によって保護されなければならない。第5の戦略は、リスクの分散である。すなわち、大容量ポストテンション鋼材を使用すると、1本ダメージを受けるとその影響が大きくなるため、小容量のポストテンション鋼材を多数配置することを奨めている。

FDOT では、これらの戦略をまとめた指針を次のホームページ (www.dot.state.fl.us/structures) にまとめているので参考にするとよい。

(3) B.Lecinq 氏 (フランス) の講演

フランスでは、さまざまな設計上の耐久的なアプローチをすることは当然のことながら、グラウトそのものの品質に注目している。つまり、いくら設計で配慮したとしても、ブリーディングの発生するグラウトを注入したり、先流れにより大きな空隙がダクト内に発生しているのは、その構造物は耐久的とはいえないからである。ここでは、LCPC (フランス土木研究所) が中心となって行われた、グラウトの品質試験方法の改良やさまざまな材料・配合のグラウトの練混ぜ試験の結果が報告された。また、グラウトの実物大注入試験を行った結果解明された、先流れによる空隙の発生メカニズムについて説明があった。

3.3 「メンテナンス・評価・補修・補強」についての招待講演の内容

(1) R.Poston 氏 (アメリカ) の講演

アメリカでは、多くの PC 構造物が建設後長い年月経過している。それに伴ってモニタリング技術、メンテナンス技術が発達していった。今回、アメリカで使用されている、グラウトされた内ケーブル、外ケーブル、斜材ケーブルなどの直接目視検査方法や非破壊検査方法、グラウトの再注入による補修方法、PC 構造物の補強方法などが紹介された。

(2) 宮川教授 (日本) の講演

ここでは、ガイドライン(案)に対する賛否だけでなく、PC 構造物の維持管理手法に関する日本の考え方と、研究お

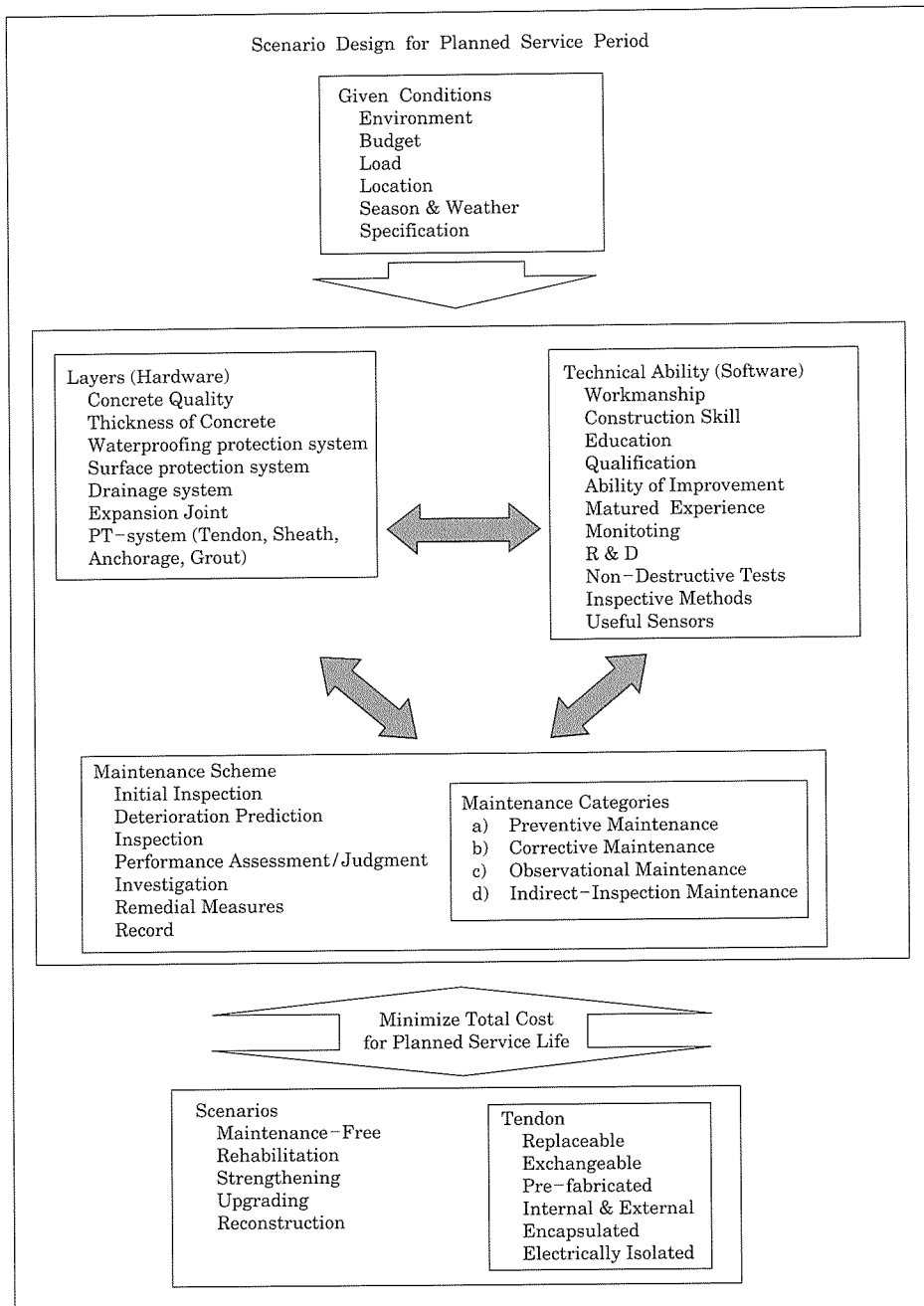


図-3 PC 構造物のシナリオデザイン

よび実施の状況について紹介された。

ガイドライン(案)については、新設する PC 構造物だけについて論ずるべきではなく、既設構造物についても論じるべきであると提案した。そのうえで、ガイドライン(案)で標準としているポストテンション鋼材の評価の方法として、交流インピーダンス法という特定の方法だけを定めるのは得策でなく、他の検査方法やモニタリング手法も考慮すべきであると述べた。さらに、ガイドライン(案)は、既設、新設を問わず「PC 構造物が生まれてから寿命が尽きるまでのシナリオをどのようにデザインするか」について考

慮したうえで、「それをいかにして実現するか」という具体的な方策を含む実用的な形にする必要があることを提案した。

(3) B.Hillemeier 氏 (ドイツ) の講演

ドイツでは、冬期に散布される凍結防止剤による塩害が原因で、PC 橋の床版や駐車場の床版に配置されたポストテンション鋼材の破断が深刻化している。そこで、本講演では、最近開発され実用化レベルまで達した、RM 法 (Remanent Magnetism Method) によるポストテンション鋼材の破断調査法について報告された。

3.4 ワークショップのまとめ

(1) 「耐久的な PC 構造物のための設計コンセプト」についてのまとめ

ワークショップでは、ポストテンション鋼材の耐久性に限定した項目にすべきかそれとも構造物全体の耐久性に広げるのが議論になった。その結果、ポストテンション鋼材の保護のために構造物において考慮することにも言及するが、詳細についてはポストテンション鋼材に焦点をあてることになった。

施工技術の巧拙や作業員の習熟度の違いによる品質のばらつきについて触れられ、品質管理の要素について言及することになった。

PLについては、各国で取り組まれている方法を尊重し、それを妨げてはならないことになった。このカテゴリーを満足するためには、ダクトとダクトの接続部、ダクトと定着体との接続部、定着体とグラウトキャップとの接続部、グラウトホース接続部などの細目が重要であることが再確認された。

コストについては、耐久性能とは別問題であり、どのPLを選択するかは発注者の問題であるとした。PLの選択や使用する要素技術などについて、発注者と設計者が話し合うことが重要であると結論づけた。

(2) 「材料と施工」についてのまとめ

プラスチックシースの是非について議論となった。ドイツやフランスでは、特別な場合のみプラスチックシースを用いればよいのではないかという意見であった。その理由として、現場での取扱いの難しさや、プラスチックシースを用いて完全に水が漏れない状態を作って、悪い品質のグラウトを注入すると、ブリーディング水が生じた場合外に出ないなどがあげられた。

グラウトの品質や先流れ問題の重要性を主張したのは、日本とフランスだけであった。他の国では、ダクト中の小さな空隙についてあまり関心がないようであった。

ポストテンション鋼材システムやグラウトの技術革新は必要である。英国代表からは、日本で普及している点検・交換が容易なダクトレスエポキシ塗装ストランド外ケーブルなどはPL3に入れるべきではないかという提案が出されたり、日本の最新技術の情報をもっと欧米に紹介してほしいとの注文もあった。

(3) 「メンテナンス・評価・補修・補強」についてのまとめ

メンテナンス・評価・補修・補強技術の現状は、日欧米ともに同じような手法により行われていることが確認できた。

4. VSL 社研究所におけるグラウト試験

2001年に開催された第1回ワークショップにおいて、欧米のグラウト品質規格に、傾斜管試験や鉛直管試験などの新しい管理試験の導入が検討されていることが紹介された。その後国内においても、規準の国際整合化を視野に入れ、それらの試験の妥当性や適用性が検討されている。現在PC技術協会で発刊準備が進められている「PCグラウト設計・

施工規準(案)(仮称)」でも、それらの試験の採用を積極的に検討している。

今回、スイス滞在中にVSL社の研究所(所在地:スイスのSolothurn)を訪問し、それらの試験が実際にどのように運用されているか視察する機会を得たので、その様子を報告する。研究所では、VSLの技術責任者でありfibの副会長でもあるGanz氏と技術職員のStephanie氏に品質確認試験の実施状況を解説してもらった。

写真-2および写真-3に、傾斜管試験および鉛直管試験の実施状況をそれぞれ示す。傾斜管試験は、12本のPC鋼より線($\phi 15.2$)を挿入した長さ5mの透明管を角度 30° で傾斜させ、管内にグラウトを注入して分離抵抗性などを確認する試験である。この試験はLCPCにより開発されたが、fib bulletin 20, TR 47(第二版)およびETAG 013で同じ試験方法が規格化されており、試験方法は既に統一されているといえる。VSL社でも、この統一された試験方法を採用していた。

一方、鉛直管試験は、鉛直に立てた透明管にPC鋼より線($\phi 15.2$)を挿入し、グラウトのブリーディング率および体積変化率を計測する試験である。PC鋼より線を挿入することにより“ろうそくの芯効果”が生じてブリーディングが促進されるため、ポリエチレン袋法等の従来方法より厳しい試験であると考えられている。試験方法は各規準で若干異なり、fib bulletin 20およびイギリスのテクニカルレポートTR 47(第二版)は1.5mの透明管に管の断面積の30%のPC鋼より線を挿入する方法を採用している。これに対し、ETAG 013は、1.0mの透明管に1本のPC鋼より線を挿入する方法を採用している。VSL社では、グラウト材料の開発過程において、ETAG 013の鉛直管試験方法を採用していた。これは、EU内における製品の自由流通を確保することを目的として、CEマーキングを取得することを意識したものであると推察される。

また、Ganz氏は、コスト面から考えて、傾斜管試験や鉛直管試験を日常的に実施するのは困難であり、グラウトの品質を日常的に検査する方法として単位容積質量試験の重要性を強調していた。わが国では現在、グラウト注入作業を開始する前には、一般に漏斗を用いた流下試験(流動性試験)を実施している。流下試験は、練混ぜたグラウトの



写真-2 傾斜管試験状況

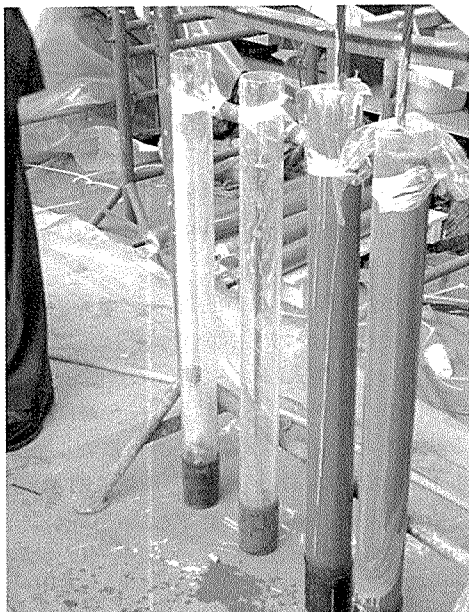


写真 - 3 鉛直管試験状況

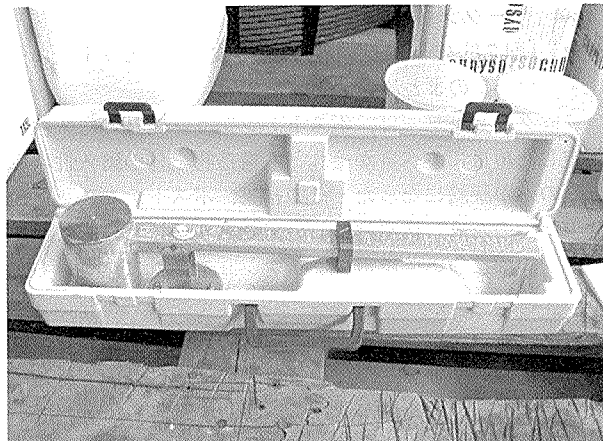


写真 - 4 天秤式マッド・バランス試験装置

粘性を検査すると同時に、均一性を間接的に評価するものであるが、試験結果（グラウトの流下時間）が温度に大きく影響を受けるので、グラウトの品質に大きな影響を及ぼす単位水量の検査には適していない。このため単位水量は、温度の影響を受けない単位容積質量試験を実施して検査すべきであるという意見であった。VSL 社では、写真 - 4 に示す天秤式のマッド・バランス試験装置を用いてグラウトの単位容積質量を計測していた。現在日本では、グラウトの単位容積質量の管理を行っていないので、大変参考になる意見であった。

なお、VSL 社では、施工時の気温に合わせて、色分けした3種類のプラスチックシース（低温用、常温用、高温用）を用意していた。興味深いのは、その材質である。日本で市販されている内ケーブル用プラスチックシースは、ほとんどがポリエチレン製である。これに対し VSL 社では、常温や高温状態では施工時のポリエチレンの変形が問題になるため強度の高いポリプロピレンを使用し（出荷量の95%）、それ以外の低温状態でポリエチレンを使用する（出荷量の5%）とのことであった。

5. PL 3 の施工現場（ラローン橋）

ラローン橋（Raron）（写真 - 5）はスイスのローザンヌの南西約 100 km に位置する鉄道橋である。本橋は現在建設が進められている、アルプス山脈を貫通する全長 34.6km のレッチベルグーバシストンネル（Lötschberg Basistunnel）の南側進入路にあたり、北橋（554 m）、南橋（817 m）からなる上下 2 連の橋梁である。本橋では PL 3 に相当する電気絶縁性の確保と絶縁性能のモニタリングが、電気軌道の直流電流に対する電食対策として採用されている。本橋のテンドンには VSL 社製の PT-Plus ダクトと CS 2000 定着具が用いられている。定着部はテンドンギャラリーに露出した状態に配置されており、リード線が定着具内部に配線さ

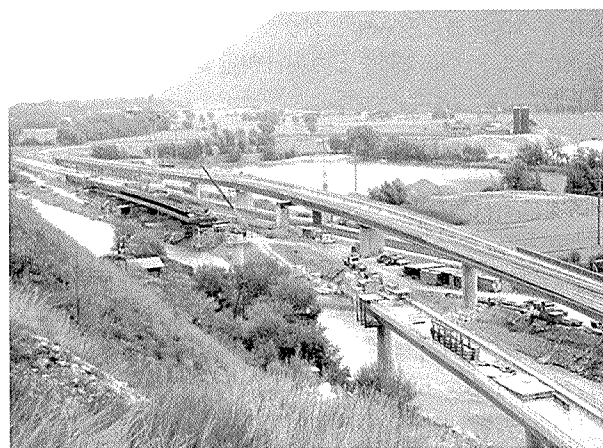


写真 - 5 建設中のラローン橋

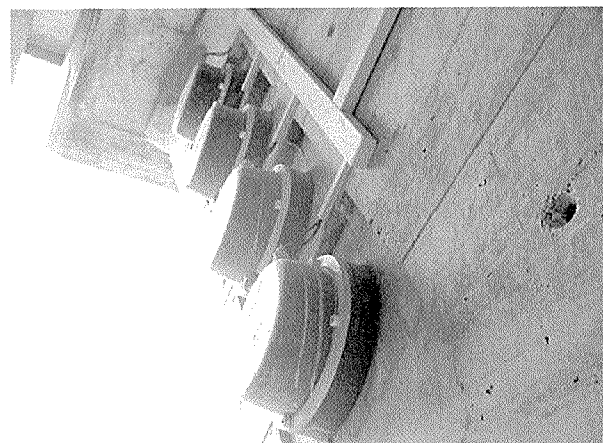


写真 - 6 プラスチック製グラウトキャップと計測用リード線

れている（写真 - 6 参照）。モニタリングは LCR メーターによりダクトと鉄筋の間のインピーダンスを測定する方法が用いられており、仮にプラスチックダクトが何らかの理由で破損や劣化を生じた場合には、絶縁抵抗が下がることによりインピーダンス特性が低下することである。

本橋における PL 3 適用以外の特徴としては、南橋は既存の線路を越えることから、路面の縦断線形変化を抑えるた

め、断面形状が跨線部で下路桁形式、その他の位置では箱桁形式へと変化していることがあげられる。

6. おわりに

今回のワークショップは、fib Commission 5 TG 5.4.2 から出されたガイドライン(案)をたたき台に、PC 構造物やポストテンション鋼材の耐久性向上をどのような戦略をもって行うかという点について議論したものであった。当然のことながら、各国の事情や個人の考え方の違いによっておのおののアプローチの仕方は異なるが、よりよいPC 構造物を作ろうという最終目標に立ち向かう熱意や情熱は各国共通のものであることを強く感じたワークショップであった。

今回のワークショップ調査団には、陸好宏史教授(埼玉大学)、以後有希夫氏(オリエンタル建設(株))、徳光卓(株)富士ピーエス)、仁木敏彦氏(住友電工スチールワイヤー(株))、濱田譲(ドーピー建設工業(株))、細野宏巳氏(三井住友建設(株))、渡辺浩良(株)ピーエス三菱)の7名が参加した。

(社)土木学会324委員会と(社)プレストレストコンクリート技術協会には大変お世話になりました。紙面をお借りして深く感謝致します。

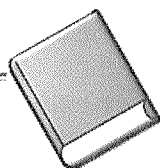


写真-7 ワークショップ調査団と招待講演された宮川豊章教授(京都大学)

参考文献

- 1) Durability Specifics for Prestressed Concrete Structures : Durability of Post-tensioning Tendons, Final Draft, fib Commission 5 TG 5.4.2, 2004.3.26,
- 2) Second Workshop on Durability of post-tensioning tendons, Swiss Federal Institute of technology, ETH Zurich, 2004.10.11

【2005年1月7日受付】



● 刊行物案内

- PC斜張橋・エクストラドーズド橋設計施工規準(案)
- PC吊床版橋設計施工規準(案)
- PC橋の耐久性向上マニュアル

(平成12年11月)

頒布価格：3点セット 会員特価 6 000 円(非会員価格 7 200 円)(税込み・送料はいづれも 600 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会