

PC グラウトの海外事情

— 海外における耐久性向上の取り組み —

仁木 敏彦*1・睦好 宏史*2・渡辺 浩良*3

1. はじめに

1999年に旧 JH による内ケーブルグラウトの禁止が決定された後、国内では防食鋼材や点検可能な外ケーブルシステムなど世界的に見てもユニークな技術が生まれ育ってきた。しかし経済的な面から PC グラウトが最適な方法となる場面もあり、近年になって再びグラウトを見直す議論も活発になってきた。2003年には PC 技術協会による「PC グラウト規準作成委員会」が発足し、その成果物として「PC グラウトの設計施工指針」が発行されたことは記憶に新しい。

このような国内の流れに対して、本報分では海外における PC 構造物の耐久性向上の取り組み、グラウトの材料技術、施工技術、管理技術の動向を述べたい。

なお、本報分の後半は、2004年にチューリッヒで開催された IABSE/fib による耐久性ワークショップに参加した以下のメンバーによる欧州の実態調査結果を中心に、内容をまとめている。

表 - 1 参加メンバー

睦好宏史	埼玉大学工学部建設工学科
宮川豊章	京都大学大学院工学研究科
以後有希夫	オリエンタル建設
徳光 卓	富士ビー・エス
濱田 譲	ドービー建設工業
細野宏巳	三井住友建設
渡辺浩良	ピーエス三菱
仁木敏彦	住友電工スチールワイヤー

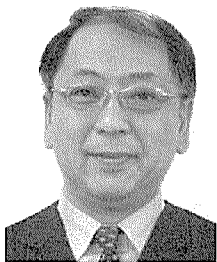
2. 英国グラウト禁止令の背景と解除までの経緯

PC グラウトが世界的に大きく議論され始めたのは、英国におけるグラウト禁止令が発端ともいえる。ここでは、禁止令が発令された背景、そしてそれが解除されるまでの経緯について述べたい。

英国で初めてポストテンション工法が採用されたのは1948年といわれている。それから約10年が経過するまでに、すでにいくつかの耐久性に関する問題が発生し、1960年代になってからオックスフォード州では管内の2000橋を対象に大規模な調査が行われている。その後、1985年に日本でもよく取り上げられる Ynys - y - Gwas 橋の落橋事故が発生した。ちなみにこの落橋事故によって英国のグラウト禁止令が発令されたと考える人が多いが、実際、グラウト禁止令が発令されたのはこれから7年後のことである。この事故が重要視された理由は、直前の検査では異常が見つからず、前ぶれもなく突然落橋したことによる。

グラウト禁止令が発令された直接原因は、写真 - 1 の1992年に発生した Schelde 河に架かる橋梁の落橋事故といわれている。写真のように、この事故により走行中のタンクローリー車が炎上するという衝撃的な内容で報道されたもので、これにより英国交通局が禁止令の発令に踏み切ったとされる。

グラウト禁止令が発令されると同時に TR - 47 委員会が組織された。英国内の既設橋を大規模に調査し、グラウトに関する規定を策定し、4年間の委員会活動を経て、その成果物として TR - 47 (1st edition) が発行されたのは1996年である。これにより英国交通局はグラウト禁止令は解除した。しかしながら、この TR - 47 (1st edition) は実行に移すには不十分な点が多かったこと、そして、そもそも英国経済の低迷により道路橋の建設がほとんど出件しなかつ



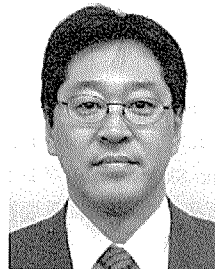
*1 Toshihiko NIKI

住友電工スチールワイヤー (株)
PC エンジニアリング部



*2 Hiroshi MUTSUYOSHI

埼玉大学 工学部建設工学科
教授・工学博士



*3 Hiroyoshi WATANABE

(株) ピーエス三菱
東北支店 土木工事統括部

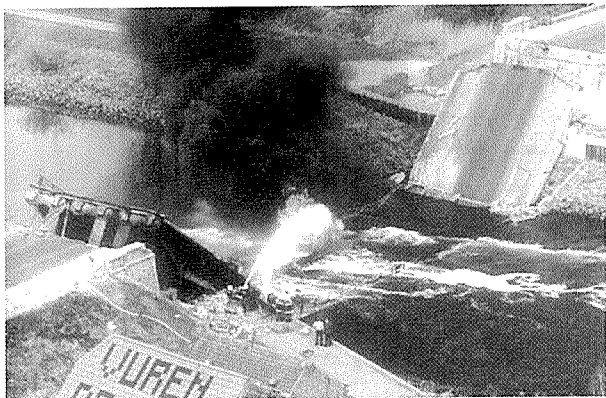


写真 - 1 ベルギー Schelde River に架かる橋の落橋事故
(英国 John Darby 氏提供)

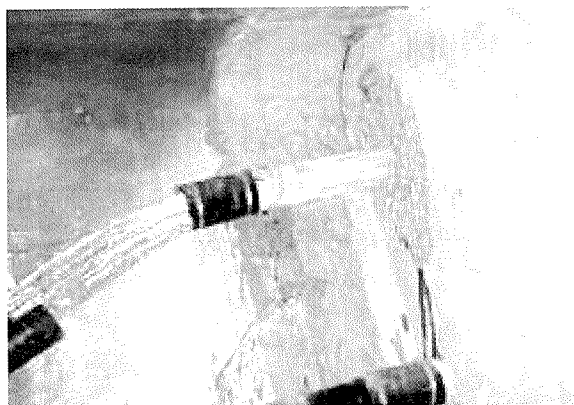


写真 - 2 Mid-bay 橋外ケーブルテンドン破断状況¹⁾

たこともあり、グラウト禁止令が解除されてからも PC 橋はほとんど建設されなかった。実際に英国で PC 橋が建設されるようになったのは、経済が回復し TR-47 の改定 (2nd edition) が行われた 2000 年以降である。

3. 欧米の動向

3.1 米国の状況

米国では各州の交通局 (DOT) により独自の規格をもって運用されており、橋梁の耐久性に対する考え方も州ごとに異なっている。一方、橋梁建設技術の指導的役割を担うべき FHWA (連邦高速道路局) はその規模と権限が年々縮小されてきている。ここでは、カリフォルニア州とフロリダ州の動向を一例として取り上げる。

カリフォルニア州で制定されている規格 (通称 Calspec) にはグラウト手順、原料の受け入れ基準などがこと細かく規定されており、カリフォルニア DOT (通称 Caltrans) は、規定された材料、手順で施工されれば問題ないという考え方を強くもっている。CalSpec の内容の一例をあげると、「使用する PC 鋼材の輸送、保管中の発錆を防止するための独自の包装基準 (通称 Calwrap : 防錆紙による除湿とダメージ防止用のコアボード使用) を規定」し、「州の検査官が製造工場で製品から直接採取したサンプルを州の検査場にて試験」し、さらに、「施工現場においても Caltrans の検査官が鋼材の腐食有無をチェック」というプロセスごとのチェックポイントがあり、合格した場合のみ次のステップに進むことができるという厳しい基準を設けている。カリフォルニア州ではこういった基準をベースとして、従来型のメタルシースにセメントグラウトを用いたグラウト施工が標準となっているが、湿度の低い環境でもあり、道路橋における耐久性問題はあまり聞かえてこない。

一方、湿度の高いフロリダ州では多くの耐食性問題が顕在化している。そのなかでも写真 - 2, 3 に示す Mid-Bay 橋での外ケーブルの破断事故、Sunshine Skyway 橋のプレキャスト部材接合の内外ケーブルの破断事故はとくに重要視されている。

フロリダ州交通局 (通称 FDOT) は、これらの橋梁における腐食原因を追究してきた。FDOT のファイナルレポート¹⁾によると、Mid-bay 橋の場合はグラウトに相当量のプ

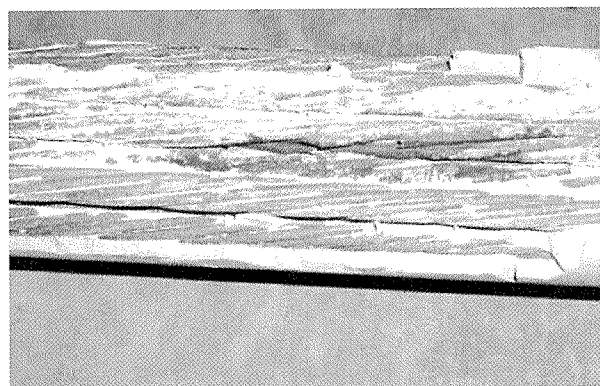


写真 - 3 PC 鋼材の腐食と破断状況¹⁾

リーディングがあったことに加え、アンカー部からの水分浸入といった複合要因が原因とされており、写真 - 3 のようにテンドン自由長部の内部から腐食が発生していることが観察された。また、Sunshine Skyway 橋の場合はグラウトの充填不足が主原因とされている。FDOT は、これらのトラブルを教訓にして厳しい耐久性向上プログラムを策定している²⁾。

このように、米国の場合は州ごとに独自の規格をもち、それぞれに見合った戦略もっているが、一方では、ASBI (American Segmental Bridge Institute) が、グラウト作業の質向上を目的とした講習プログラムを行い承認を与える制度を始めており、米国を横断的に見た取り組みも生まれ始めている。

3.2 欧州の状況

かつての欧州は、各国の考えのもと独自の規格を制定し運用していた。しかし、ユーロ圏の形成とともに、共通した事実認識をもち、共通の規格をもとうという動きが加速してきた。その活動としては、① fib による技術検討活動とその成果物である Bulletin と呼ばれるガイドライン、技術資料などの発行、② 欧州共通規格として Euro Code の策定、③ 欧州全体を対象とした承認制度である ETAG の策定、があげられる。fib は全世界を対象としているものの、現実には欧州が主導し、その活動成果が Euro Code や ETAG などに反映される傾向が強い。以降はこの fib の活動について述べる。

4. fib の活動

fib の活動は、テーマごとに分けられたコミッションによる技術検討活動と、シンポジウムやワークショップの開催による業界活性化と啓蒙活動が柱となっている。

4.1 コミッション活動

fib のコミッション活動は以下の 10 コミッションに分けられている。

- C-1 Structures
- C-2 Safety and performance concepts
- C-3 Environmental aspects of design and construction
- C-4 Modeling of structural behavior and design
- C-5 Structural service life aspects
- C-6 Prefabrication
- C-7 Seismic design
- C-8 Concrete
- C-9 Reinforcing and prestressing materials and systems
- C-10 Construction

とくに、C-5 と C-9 がグラウトなどの耐久性に強く関与するコミッションといえる。これらのコミッションの下で、さらに具体的なテーマを扱うタスクが存在し、そのタスクの成果物として技術レポート、ガイドラインなどの Bulletin が発行される。耐久性に関する過去の Bulletin として、

Bulletin-11 : Factory applied corrosion protection of prestressing steel

Bulletin-15 : Durability of post-tensioning tendons

Bulletin-20 : Grouting of tendons in prestressed concrete

などがあげられる。

4.2 耐久性ワークショップの開催

fib では過去 2 回、構造物の耐久性向上を目的としたワークショップを IABSE と共同開催している。1 回目は 2001 年 11 月ベルギーのゲント³⁾にて、2 回目は 2004 年 11 月にスイスのチューリッヒにて開催された⁴⁾。日本からもこの 2 回のワークショップで報告を行い、議論に積極的に参加した。

1 回目のゲントでは、とくにテーマを決めずに各国における耐久性向上の取り組みを報告した。しかしながらこの形式では議論が分散する傾向にあったため、2 回目のチューリッヒでは一つのテーマを定め、それに対する各国の意見を述べる形式が取られた。テーマは、Commission 5 TG 5.4.2 が策定しているガイドライン「Durability Specifics for Prestressed Concrete Structures」の案をたたき台として、この案についての意見を各国から述べ合うものであった。このガイドライン案は、第 1 章「耐久な PC 構造物のための設計コンセプト」、第 2 章「材料と施工」、第 3 章「メンテナンス・評価・補修・補強」という構成になっており、過去の耐久性に関する経験、データ、ノウハウの集大成になっている。ただ、この案には新しいコンセプトが加えられていた。それは図 - 1 のような要求レベルに対して PC テンドンの保護層をレベル分け (Protection Level - PL) して、それぞれに推奨するシステムを提案しようというものである。

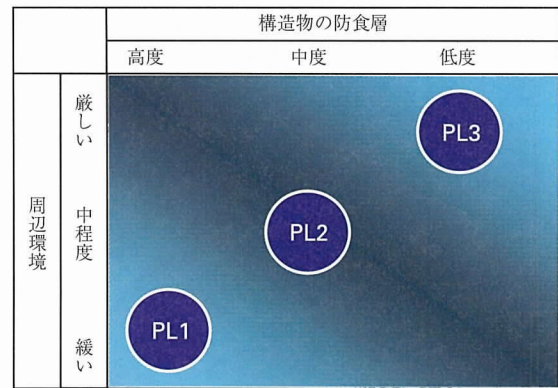


図 - 1 Protection Level (PL) の定義

たとえば、セグメント目地が存在し、コンクリート表面に保護層をもたず、点検も行えないような構造物が飛沫帯などの厳しい環境の地域に建設される場合の PC テンドンには PL 3 が要求され、逆に穏やかな環境に十分な防食層をもつ構造物が建設される場合は PL 1 でよいというものである。各 PL に対するテンドンの要求仕様としては、

PL 1 : 鋼製シースとグラウト

PL 2 : プラスチックシースとグラウト (Encapsulation)

PL 3 : PL-2 にモニタリング機能を付加が推奨例としてあげられていた。

このコンセプトに対し、各国からは、①「構造物の防食層の度合い」と「周辺環境」の組み合わせだけで 3 つのレベルに単純化できるものではない。— (ドイツ, イギリス), ② PL 2 = プラスチックシースという印象が強い。他にも多くの技術があるはず。— (日本を含めて多くの国からの意見), ③ 構造物の防食層とテンドンの防食層を分けて議論すべきでなく、両者を総合的に検討して最適な設計がなされるべき。— (日本), などといった意見が出された。一方、個別の要素技術について、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、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。現在、Commission - 5 ではこれらの意見を参考にした改定案を作成中である。

5. ポストテンショニング業者の取り組み

欧州には VSL, Freyssinet, DSI などの大手のポストテンショニング会社 (以下、PT 業者) があり、彼らの活動、戦略を知ることは国内での取り組みの方向性を見出すためにも重要である。調査メンバーは耐久性ワークショップに参加する機会を活用して、これら PT 業者を訪問してその取り組みを調査した。

各社ともに共通する点として、自社が保有する定着システムやグラウトなどの材料について ETAG からの承認を得るために相当の労力を費やしていることである。写真 - 5 は調査メンバーが見学した大手 PT 業者による ETAG に対応するグラウト試験 (写真右が傾斜管試験, 左が鉛直管試験) である。

この時はベルギー製のセメントを用いたグラウト材料の

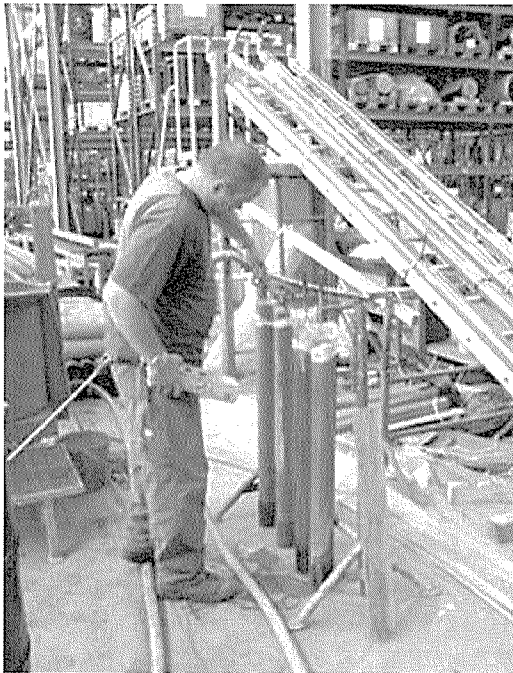


写真-4 グラウト試験状況

試験であったが、写真-6のように、傾斜管試験では「魚のうろこ現象」が見られ、写真-7のように鉛直管試験では多量のブリーディングが見られ、残念ながら不合格であった。

このように、PT業者の保有するシステムや使用する材料についてETAGの承認を得ることは負担が大きく、中小のPT業者にとっては財務上非常に厳しい状況におかれるものと思われる。一方、大手PT業者はこれに平行して独自の戦略や開発を進める余力がある。その方向性としては、①PTシステムの保護をしっかりとてその寿命向上を図る、②PTシステムの寿命向上よりも万が一の場合に交換できるシステムを開発する、という二つに分けられる。

PTシステムの寿命向上を図るための手段としては、前述の「Encapsulation」があげられる。プラスチックシースを積極的に活用し、PC tendonを腐食環境から隔離し、同時に電気的に絶縁して電食防止を図る。さらに、PC tendon



写真-5 傾斜管試験での「魚のうろこ」現象

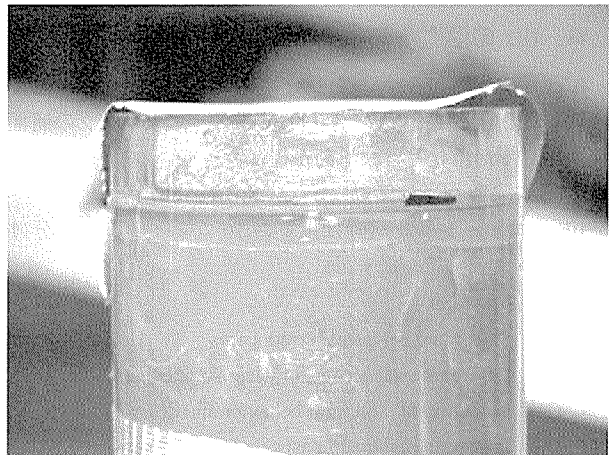


写真-6 鉛直管試験でのブリーディング現象

を隔離することによって電気的なモニタリングが容易となる。これはPLのコンセプトのPL3に相当する。写真-8はそのコンセプトを適用した事例で、定着体部分は点検可能なように tendon ガラリが設けられ、電気抵抗を常時測定できるように測定器が取り付けられている。



写真-7 PL3の橋梁 tendon ガラリ部

ただし、この橋梁の場合は、直流電流を用いる鉄道橋のために迷走電流による鋼材の腐食を防止する目的が大きかった。

ちなみにこのPT業者によると、プラスチックシースのうちの95%はポリプロピレン製であり、ポリエチレンは常温～高温の状態では強度面で問題があるために、極寒地向けに5%程度しか適用していないとのことであった。

一方、交換可能なシステムを追求するPT業者では、内ケーブルにもアンボンドPC鋼材を活用し、鋼材に異常が見出された場合は鋼材部分だけを1本づつ交換できるシステムを開発している。また、外ケーブルについても、アンボンドPC鋼材を使用して異常時には鋼材を1本づつ交換できるようにするシステムと、裸鋼材を使用して tendon と交換可能なシステムを開発している。

6. おわりに

ここでは PC グラウトに主に焦点をあてて海外における PC 構造物の耐久性向上の取り組みや実情を述べてきた。この流れを日本における耐久性に関する過去の流れと併記したものが表-2である。

表-2 国内と海外の耐久性に関する流れ

年度	国内の流れ	海外の流れ
1996		Ynys-Y-Gwas 橋落橋
1987	PC グラウト施工マニュアル制定 (PC 建協)	
1991	横締め鋼棒の破断事故	
1992		英国ポステン禁止令
1993	PC グラウト施工マニュアル改定 (PC 建協)	
1994	横締め鋼棒使用禁止 (旧 JH)	
1996	PC グラウト施工マニュアル改定 (PC 建協)	TR 47 (1st Edition) 発行 ポステン禁止令解除
1997	PC グラウト設計施工管理要領改定 (旧 JH)	
1998	PC 橋の耐久性委員会立上げ (旧 JH)	
1999	内ケーブルグラウト禁止 (旧 JH)	
2001		第1回耐久性ワークショップ開催
2002	PC グラウト施工マニュアル改定 (PC 建協)	
2003	PC グラウト基準作成委員会発足 (PC 技協)	
2004		第2回耐久性ワークショップ開催

この表を見ると、国内と海外の流れは非常に似通っていることがわかる。もちろん、海外からの情報が国内の動きを刺激している面もあるが、一方では、今回の調査メンバーによる PT 業者などへの調査で、新たに多くの知識を吸収することができた。これらは PC 技術協会 PC グラウト規準作成に役立っている。また、耐久性ワークショップでは、日本の実情や技術を発信し、日本の意見を忌憚なく述べることができた。TG5.4.2 による耐久性ガイドライン「Durability Specifics for Prestressed Concrete Structures」の最終版には日本の技術や意見も取り入れられるものと考えている。

PC 構造物に対する価値観は国内外を問わず普遍的なものである。海外の動向を貪欲に調査し、良いものはどんどん取り入れ、一方、日本からの情報や意見を世界に向けて発信して、国際社会に貢献していくことが重要である。

最後に、本報分作成にあたって必要な情報や資料を提供いただいたワークショップ参加メンバーの皆様、特に貴重な英国の情報を提供していただいた三井住友建設株式会社細野氏、オリエンタル建設株式会社 以後氏には心より感謝いたします。

参考文献

- 1) Mid-Bay Bridge Post Tensioning Evaluation (Final Report): Florida Department of Transportation District 3 / Corven Engineering, Inc. 2001 年 10 月
- 2) Proceeding of the Second Workshop on "Durability of Post-tensioning tendons": William N. Nickas P.E., Florida Department of Transportation's pursuit of durable post-tensioned bridge
- 3) プレストレストコンクリート Vol.44, No3, 2002 ポストテンション鋼材の耐久性に関するワークショップに参加して：以後 有希夫
- 4) プレストレストコンクリート Vol.47, No3, 2005 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, 濱田 譲, 徳光 卓

【2005 年 12 月 27 日受付】