

PCの新たな展開

—第35回PC技術講習会—

平成19年2月

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会

目 次

第2回 fib コンgress (ナポリ) とイタリア・スイスにおける PC 橋梁 1

群馬大学 工学部 建設工学科	辻 幸 和
鹿島建設(株) 土木設計本部 プロジェクト設計部	織 田 一 郎
(株)富士ピー・エス 技術本部 メンテナンス Gr	山 口 光 俊

海外工事の現状と課題 25

－技術者に求められるもの－

(株)大林組 土木技術本部	安 部 要
鹿島建設(株) 土木管理本部	大 塚 一 雄
三井住友建設(株) 土木管理本部	春 日 昭 夫

日本のプレストレストコンクリート建築 39

大阪大学大学院教授・本協会常務理事	大 野 義 照
京都大学大学院教授・本協会理事	渡 邊 史 夫
(株)日建設計	阿波野 昌 幸
(株)建研	南 伊三男
(株)ピーエス三菱	石 井 孝 幸
(株)構造計画プラスワン	金 田 勝 徳
(株)日建設計	加 登 美喜子
オリエンタル建設(株)	兼 井 常 元
(株)安部日鋼工業	高 田 政 裕
(株)日本設計	三 町 直 志
大成建設(株)	小 室 努
JSD(株)	徐 光
(株)竹中工務店	前 川 元 伸
(株)日本設計	宮 崎 敏 幸
(株)日建設計	小 松 慎 二

PC 構造物の耐久性向上技術 69

－海洋暴露20年の結果と新設橋への電気防食の適用－

独立行政法人土木研究所	守 屋 進
-------------	-------

高強度コンクリート・高機能コンクリートの PC への適用 91

東京工業大学大学院・本協会理事	二 羽 淳一郎
太平洋セメント(株) 中央研究所	片 桐 誠
大成建設(株) 土木設計部	細 谷 学
鹿島建設(株) 技術研究所	大 野 俊 夫
(株)ピーエス三菱 技術本部	桜 田 道 博
鹿島建設(株) 技術研究所	一 宮 利 通

第2回fibコンGRES（ナポリ）とイタリア・スイス におけるPC橋梁

群馬大学 工学部 建設工学科

鹿島建設(株) 土木設計本部 プロジェクト設計部

(株)富士ピー・エス 技術本部 メンテナンスGr

辻 幸 和

織 田 一 郎

山 口 光 俊

はじめに

第2回fib（Federation Internationale du Beton）コンGRESが、イタリア・ナポリ市において2006年6月5日～8日に開催された。本コンGRESはコンクリート構造に関する国際会議として、4年毎に開催される。2002年の第1回大阪コンGRESに続く本会議には、世界50の国と地域から総勢約800名の技術者・研究者が参集した。

このたび、このコンGRESに参加するとともに、プレストレストコンクリート技術協会主催の恒例の調査団によりイタリア・スイスにおける橋梁調査を実施したので、PC橋梁の概要を報告する。

I. 第2回fibコンGRES（ナポリ）

第2回fibコンGRES（ナポリ）は、イタリア共和国ナポリ市の西の郊外に位置する“Mostra d'Oltremare”地区の国際会議センターで行われた（図-1.1参照）。今回のコンGRESには、大阪大会で付けられていた“Concrete Structures in the 21st Century”のような標題はなく、単に“The 2nd International fib Congress - Naples 2006”の表記であった。

コンGRESは、6月4日の20時からの“Castel dell'Ovo（卵城）”におけるWelcome Reception



図-1.1 ナポリ市街図

に始まり、8日の14時30分からのClosing Ceremonyまでの5日（会議は4日）間にわたり、下記の日程で開催された。参加人数は、50カ国800人に及ぶとのことであった。

日程

- 6月4日（日）20：00～ ウェルカム・レセプション
- 6月5日（月）開会式、表彰式、基調講演、セッション別報告
- 6月6日（火）基調講演、ナショナルレポート、セッション別報告
- 6月7日（水）基調講演、*fib*委員会報告、セッション別報告
- 6月8日（木）基調講演、セッション別報告、閉会式



写真-1.1 Mediterraneo Theatre

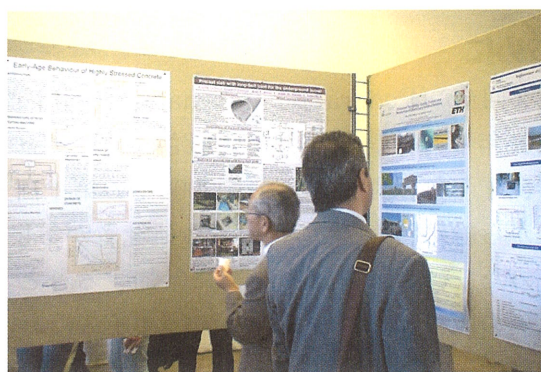


写真-1.2 ポスターセッション



写真-1.3 展示ブース

1.1 プログラム

表-1.1に示す日程表に沿って、今回のコンGRESは実施された。また、講演および論文の口頭発表と並行して、ポスターセッションおよび展示が行われた。講演・論文発表は“Mediterraneo Theatre”、ポスターセッションは“America Latina Pavillion”、展示は屋外のテントで行われた（写真-1.1～1.3参照）。

表-1.1 fib コンgressの日程

月/日	午前		午後		
	9:00-10:30	11:00-13:00	14:30-16:00	16:30-18:30	19:00 以降
6/4	—	—	—	—	ウエルカム レセプション
6/5	開会式	プレナリーセッション 1 , fib 賞表彰式	テクニカルセッション		コンサート
			ポスターセッション		
6/6	プライマリーセッション 1 , テクニカルセッション	テクニカルセッション , ナショナルリポート			コンサート
	ポスターセッション , 展示				
6/7	プライマリーセッション 2 , テクニカルセッション	テクニカルセッション , fib コミッションリポート			バンケット
	ポスターセッション , 展示				
6/8	プレナリーセッション 2	テクニカルセッション	閉会式	—	—

表-1.2 プレナリー、プライマリーセッション

セッション名	講演者, 肩書	講演タイトル
プレナリー セッション 1	J. Forbes, <i>fib</i> Honorary President	<i>fib</i> Award for Outstanding Structures 2006
	H.R. Ganz, VSL International Ltd	Post-Tensioning – Revisited
	M. Virlogeux, <i>fib</i> and FIP Honorary President	The Future of Concrete
プライマリー セッション 1	C. Viggiani, University of Naples	Tower of Pisa: a challenge for geotechnical engineering
	M. Tandon, Tandon Consultants Pvt Ltd	Viaducts of Delhi Metro
	J.G. Teng, The Hong Kong Polytechnic University	Recent Progress in Understanding and Modelling the Behaviour of FRP-Strengthened RC Structures
プライマリー セッション 2	J. Cagley, ACI President 2005-2006	Togetherness Wins
	A. Nanni, University of Naples	Innovation in Structural Engineering: Strengthening with Composites and Field Load Testing
	J. Yamazaki, Nihon University	Methodical Prestressed Concrete Bridges In the Last Decade
プレナリー セッション 2	P.E. Pinto, University of Rome	Seismic Assessment of Concrete Bridges
	M.T. Brotto, Venice Water Authority	Safeguarding Venice and its lagoon: mobile barriers to regulate tides in the lagoon
	G. Manfredi	Seismic strengthening with advanced materials: present and future perspectives

1.2 プレナリーセッション、プライマリーセッション

プレナリーセッション（総合講演）およびプライマリーセッション（主要講演）の講演者とテーマ名を表-1.2に示す。各分野の第一人者からの講演は、ポストテンションシステムの最新の話題や、コンクリート構造の将来展望、FRP補強や耐震設計における最先端の研究成果など、コンクリート構造に関わる多様なトピックをカバーするものであった。わが国からは、山崎淳日本大学教授が、最近、日本に建設されたPC橋を例に挙げながら計画・設計・施工における体系的なアプローチの重要性を強調する講演をされた。また、地盤工学を駆使したピサの斜塔の補修工事や、地盤沈下と高潮による水没からヴェニスを守る可動式防潮堤など、本コンGRESの開催国ならではの講演は、実に興味深いものであった。

表-1.3 テクニカルセッション

セッション名	タイトル		論文数	
			全体	日本
セッション 1.	Large projects and innovative structures	巨大プロジェクトおよび革新的な構造物	15	0
セッション 2.	Design and construction	設計と施工	31	8
セッション 3.	Modelling and design	モデリングと設計	60	5
セッション 4.	Underground and foundation structures	地下および基礎構造物	14	2
セッション 5.	Composite and hybrid structures	合成および混合構造物	20	9
セッション 6.	Prefabrication	プレファブ	27	0
セッション 7.	Plasticity in design of concrete structures	コンクリート構造の塑性設計	0	0
セッション 8.	Seismic design of new concrete structures	新しいコンクリート構造物の耐震設計	36	3
セッション 9.	Seismic evaluation of concrete structures	コンクリート構造物の耐震性評価	35	7
セッション 10.	FRP reinforcement for new and existing structures	新設および既設構造物の FRP 補強	76	4
セッション 11.	Blast protection of concrete structures	コンクリート構造物の爆裂防止	8	0
セッション 12.	Response of concrete structures to high temperatures and fire	コンクリート構造の高温および火炎に対する挙動	8	0
セッション 13.	Concrete	コンクリート	44	3
セッション 14.	Reinforcing and prestressing materials and systems	補強・プレストレッシング材料とシステム	22	7
セッション 15.	Durability of concrete structures	コンクリート構造物の耐久性	41	13
セッション 16.	Safety of concrete structures (new construction, assessment)	コンクリート構造物の安全性（新しい施工、評価）	20	3
セッション 17.	Monitoring, maintenance, repair, residual life and failures	モニタリング、維持管理、補修、残余寿命、破壊	27	5
セッション 18.	Sustainability (recycling, life cycle assessment, dismantling and demolition)	持続性(リサイクル、ライフサイクル評価、解体・取り壊し)	16	6
セッション 19.	Architectural and environmental design	景観設計および環境配慮設計	7	1
セッション 20.	Preservation of structural concrete heritage	歴史的コンクリート構造物の保存	11	0
合計			518	76

1.3 テクニカルセッション

テクニカルセッション（技術講演）のテーマおよび論文数を整理して表-1.3に示す。論文発表は合計518編で、わが国からは76編の論文が発表された。

PC技術協会の調査団員が発表したセッションに関して、その概要を以下に報告する。

（セッション2.）設計と施工

本セッションでは、31編の論文が2.1～2.4の4つのセッションに分かれて報告された。このうち、わが国からの論文は8件であった。対象構造別に分類すると、橋梁・高架橋が19件、ビルディング・タワーが8件、タンクおよびトンネルがそれぞれ1件ずつ、その他が2件である。橋梁・高架橋工事に関連した報告が多く、ストラット付きの断面形状、超高強度コンクリートおよびインテグラル橋梁に関する発表には、質問が多く、特に関心が高かった。

（セッション5.）合成および混合構造物

本セッションでは論文が全部で20編あり、そのうち9件が日本からの投稿であった。波形鋼板ウェブ橋に関するものが6件（5件は日本）と一番多く、中でもドイツからの報告で、波形ウェブを260mのアーチリブに使用した試算結果が興味深かった。また、超高強度繊維補強コンクリート（UHSFC）をウェブに用いたものや、新しいコンセプトの複合橋など、今後の技術展開を紹介するものもあった。しかし、合成桁のクリープの影響やスタッドなどの基礎的な研究も、依然として行われていた。

波形鋼板ウェブ橋は、韓国で数橋実績がありアメリカでも計画があるので、今後も複合構造のメインは波形鋼板ウェブになるであろう。今回のような日本のプレゼンスが、その発展に大きく寄与していることは間違いなしと言える。

（セッション14.）補強・プレストレッシング材料とシステム

本テーマにおいては、22編の論文が14.1～14.3の3つのセッションに分かれて報告された。セッション名が示しているように、論文の題目は多岐に亘っており、その内容は広範囲に及んだ。内容を分別すると、橋梁の施工と定着システムが4件、テキスタイルコンクリートが3件で、これらはすべてドイツからの報告である。外ケーブルによる補強が3件、新しいPC鋼材の開発が3件、PCグラウトが2件、そして、PC桁橋のモニタリング、煙突の補修、アンボンドテンショニングによる建物の高性能化、プレストレス力の伝達長と定着長、ステンレス鉄筋の力学特性、PC部材の合理的設計手法、鉄筋設置方法の合理化に関する論文がそれぞれ1件づつとなった。日本からの報告はその内の7件（新鋼材の開発が3件、グラウトが2件、外ケーブルによる補強が2件）と、およそ1/3を占めた。

セッション14が行われた部屋は50人程度が着席できる広さであったが、ほぼ満席で、立って聴講されている方もおられた。新材料や補強に対する関心は高く、日本からの報告に対しても多くの質問があり、活発な討議が行われた。

（セッション17.）モニタリング、維持管理、補修、残余寿命、破壊

本セッションでは、モニタリング、維持管理および補修関連で、27編の論文が17.1～17.4の4つのセッションに分かれて発表された。発表された論文を分別すると、実橋における非破壊検

査およびモニタリングによる構造物の評価が8件、実橋における補修・補強対策が4件、非破壊検査方法およびその評価方法が5件、構造物の健全性、補修・補強のための評価に関する実験・解析的検討が7件、そして、非破壊検査・モニタリング用機器の開発、補修・補強材料の開発、RC構造物のアセットマネジメントに関する論文がそれぞれ1件ずつであった。

本セッションの会場は50人程度の聴講者であったが、補修・補強やアセットマネジメントなど今後益々関心の高まっていく分野であり、活発な討議が行われた。

1.4 fib Award

fibの会則により、4年に1度のfibコンgres開催時に、優秀作品賞(fib Award for Outstanding Concrete Structure)および特別賞(Special Mention)が贈られている。これは、コンクリート構造物の相互認証を促進するとともに、建設材料としてコンクリートの重要性をアピールすることにつながると考えられる。

表彰式では、建築分野(Category B)と土木構造物分野(Category C)からそれぞれ2、3の優秀作品賞と特別賞が選定され、代表者に表彰状およびブロンズ製の盾が贈られた。

fib Awardの選考基準は、以下のとおりである。

- 1) 設計的な景観および細部への配慮
- 2) 適切な施工による品質の確保
- 3) 設計および施工時における環境への配慮
- 4) 信頼性および耐久性の確保
- 5) コンクリート構造物の発展と改善に関する貢献度

今回受賞した作品の一覧を表-1.4および表-1.5に示す。建築分野で4作品、土木構造物分野で6作品の合計10作品が選考されたが、7件がヨーロッパで、日本、中華人民共和国、カナダがそれぞれ1件であり、前回に続きSecond fib Congress: 2006においても、ヨーロッパ勢の活躍が印象的であった。

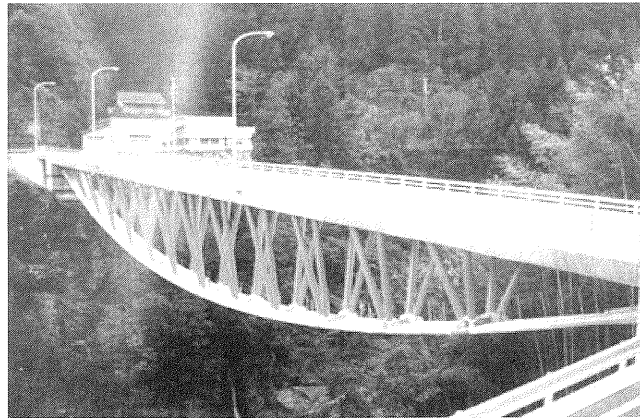
表-1.4 2006 fib Award for Winner (Category B and C)

①	Turning Torso; Malmo, Sweden
②	Shawnessy Light Rail Transit Station; Calgary, Canada
③	Rion-Antirion Bridge; Greece
④	Floating Breakwater; Monaco
⑤	Seiun Bridge ; Tokushima, Japan

表-1.5 2006 fib Award for Special Mention (Category B and C)

①	Forsterstrasse Apartment House; Zurich, Switzerland
②	Tomorrow Square; Shanghai, China
③	Flaz River Bridges; Samedan, Switzerland
④	Infante Dom Henrique Bridge; Porto, Portugal
⑤	New Svinesund Bridge; Norway/Sweden

なお、ギリシャのRion-Antirion Bridgeなどとともに、Seiun Bridge（青雲橋）が日本で初めてfib Awardを受賞したことは、非常に喜ばしいことであった（写真－1.4参照）。



写真－1.4 青雲橋

1.5 ナショナルレポート

平成18年6月6日（火）の11：00～13：00、14：30～16：00、16：30～18：30に開催された。参加18カ国によるナショナルレポートの発表が、3セッションに亘って行われた。

ナショナルレポートとしては、各国を代表するコンクリート構造物および最近の研究開発テーマなどが紹介され、相互理解を深めることができた。各セッションの参加国を表－1.6に示す。

表－1.6 Attend Countries for the National Report Session

No.	Presentation Time	Country	Speaker
1	11:00～11:15	Italy	Menegotto
2	11:15～11:30	Switzerland	Brenni
3	11:30～11:45	France	Fuzier
4	11:45～12:00	Germany	Curbach
5	12:00～12:15	Hungary	Balazs
6	12:15～12:30	Netherlands	Walraven
7	12:30～12:45	Poland	Ajdukiewicz
8	14:30～14:45	Croatia	Tkalcic
9	14:45～15:00	Czech Republic	Vitek
10	15:00～15:15	Denmark	Braestrup
11	15:15～15:30	Japan	Koshiishi
12	15:30～15:45	USA	D'Arcy
13	15:45～16:00	Slovakia	Chandoga
14	16:30～16:45	Belarus	Petsold
15	16:45～17:00	Ukraine	Krivosheyev
16	17:00～17:15	Austria	---
17	17:15～17:30	Iran	---
18	17:30～17:45	Russia	---

ナショナルレポートセッションにおいて特に印象に残ったプレゼンテーションについて、以下に報告する。

(1) イタリア

第2回 *fib* コンgressの主催国であることもあり、大変熱のこもったプレゼンテーションであった。建築分野ではNaples Business Center, Mosque of Rome, Cargo City at Malpensa Airportなどの作品が紹介された。また、土木構造物分野では、PC箱桁橋、PC斜張橋、連続高架橋などの橋梁構造物の説明が行われた。ここでは、公共構造物の中で特に印象に残ったイタリア高速鉄道のModena高架橋について、その概要を報告する。

Modena高架橋は、写真-1.5に示すように曲面の開断面を有するMilano-Bologna間全長24kmの鉄道高架橋である。本橋の特徴は騒音と景観に対する配慮である。すなわち、桁内の高速鉄道から発生する騒音は曲面の主桁により遮音され、外に漏れるのは非常にわずかであり、その遮音効果は高さ4.0mの防音壁とほぼ同等である。また、橋軸方向に溝を彫った主桁外壁は、桁高が高くても威圧感を与えることなく、周辺の景観に溶け込んでいる。

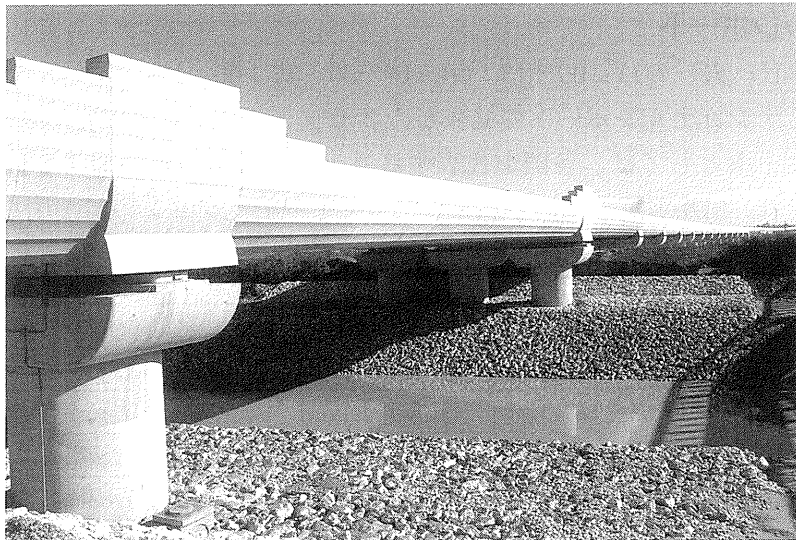


写真-1.5 Modena 3 径間連続高架橋

(2) スイス

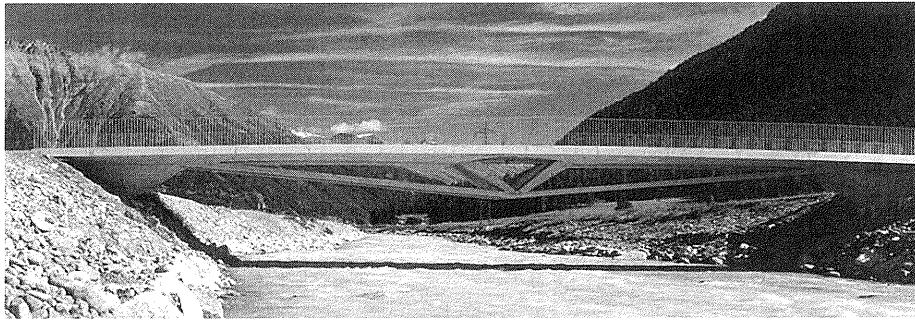
スイスは、建築および橋梁部門作品賞にそれぞれ1件ずつの特別賞を受賞している。ナショナルレポートには、両受賞作品以外にも、斜角を有するRC版の解析的検討、スイス国内の橋梁調査報告、PC鋼材、斜張橋ケーブルおよびグラウンドアンカーの腐食に関する検討、繊維補強コンクリートを表面被覆したトンネル用セグメント開発の研究などが、多岐に渡って報告されている。ここでは、*fib* 特別賞を受賞したFlaz River Bridgeについて、その概要を報告する。

本橋は、写真-1.6に示すように、美しい平らな溪谷に架かる橋梁である。本橋に要求された施工条件としては、可能な限り低い位置で橋梁にアクセスできる単純構造であった。施工条件を満足し、周囲の自然や景観に調和した軽量かつ機能的な構造として、PC構造が採用となった。

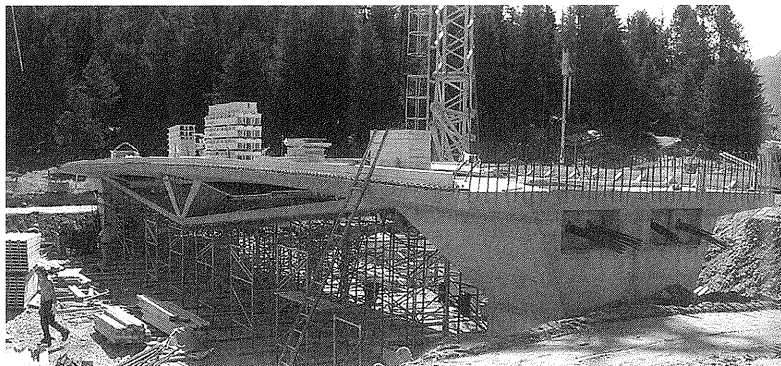
本橋の構造は、2基のアバット、上部圧縮部材、PC構造による2基の引張部材および4本の斜吊材からなる。桁高に対する橋長の比 L/h は20で、軸方向の最大勾配はアバット部で $i=3\%$ と

なり、鉛直方向の曲率は $R=589\text{m}$ の一定となる。床版の厚さは、支間中央部で最小の25cm、引張部材との付根部で最大50cmである。引張部材は、 $22\text{cm}\times 60\text{cm}$ の2本の角柱形PC構造である。各部材には2本のPCケーブルが配置され、アバット端部で緊張されている（写真－1.7参照）。斜吊材もPC構造で、プレハブ化された鉄筋籠が偏向用のプレートと接合位置で溶接される（写真－1.8参照）。斜吊材は、十分な剛性を維持するためPC鋼棒（ $\phi 36\text{mm}$ 、SBPR1080/1230）が配置され、現場でのコンクリートの打設後緊張された。なお、鉄筋籠は防錆の目的で亜鉛塗装された。

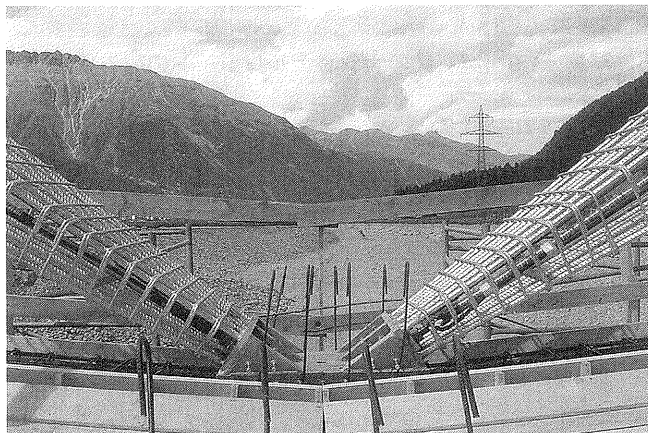
構造物の耐久性は常に考慮しなければならない。本橋は死荷重作用時においても全くひび割れは発生しておらず、本構造の有効性を証明するものであると報告されている。



写真－1.6 Flaz River Bridgeの全景



写真－1.7 施工状況



写真－1.8 偏向部の配筋およびPC鋼材の配置

(3) 日本

日本は、2002年に行われた第1回fibコンGRESの開催国であるとともに、東アジア地域からナショナルレポートを発行している唯一の国である。主催団体の一つであるPC技術協会からは、清水建設(株)の奥石正巳氏が50件あまりの厳選されたPC構造物の報告をされた(写真-1.9)。また、今回のfibコンGRESでは、日本から初めて優秀作品賞(fib Award for Winner)として青雲橋が選出された。ヨーロッパ以外からの優秀作品賞はカナダと日本だけであり、日本のPC技術の高さを世界に示すことができたのは喜ばしい限りである。

次に日本のプレゼンテーションは、非常に洗練されたものであり、他国とは明らかに一線を画すものであった。シャンデリアのかかった200人規模の会場にておいて、美しい地球がクローズアップされ、21世紀の建設事業は地球環境と共生して初めてその真価が評価されるのだと暗に主張するかのような導入部であった。その後も、PC技術協会賞、田中賞を受賞した多くの作品がズームアップされ、それぞれの構造物が光を放ち、あたかもプロモーションビデオを見ているように聴衆をひきつけていた。作品としては、青雲橋(PC複合トラス橋)、日見夢大橋(PC波形鋼板ウェブエクストラードード橋)およびはまゆう大橋(PC箱桁橋)などの最新のPC橋梁、およびPC建築構造物、PCタンク、PCタワーなどの紹介が丁寧に行われた。



写真-1.9 奥石氏のナショナルレポートの報告状況

Ⅱ. イタリア・スイスにおけるPC橋梁

第2回fibコンGRESの出席の前後において、表-2.1の日程と図-2.1により、橋梁等の調査を行った。それらのうち、モデナ高架橋、ガンター橋、ズンニベルグ橋および世界最初の吊り床版橋について報告する。

表-2.1 視察実施工程表

調査日	場所	橋名・構造物名
(イタリア)		
6/4	ローマ	ティベリ川橋梁群, 市内構造物視察
6/5-8	ナポリ	fib コンGRES (国際会議) ポンペイ遺跡テクニカルツアー
6/9	ヴェニス パドヴァ	市内視察 (リアル橋) Zen 橋ほか (発見できず) Battaglia 運河橋
6/10	モデナ	Modena 高架橋
(スイス)		
6/11	ブリーク	Ganter 橋
	クロスタース	Sunniberg 橋
	ファフィコン・ハーデンスビル間	世界で最初の吊床版橋
6/12	ルツェルン	ルツェルン駅舎
		Kapell 橋
		シュプロイヤー橋
	チューリッヒ	シュターデルホフ駅舎 Stauffacher 橋
(イタリア)		
6/13	ミラノ	マルペンサ空港アクセス橋



図-2.1 視察実施工程

2.1 TAVイタリア高速鉄道のモデナ高架橋

High Speed Railway Train – Modena Viaducts

Concept and Design: Prof. Ing. Giorgio Macchi, Dott. Ing. Stefano Macchi

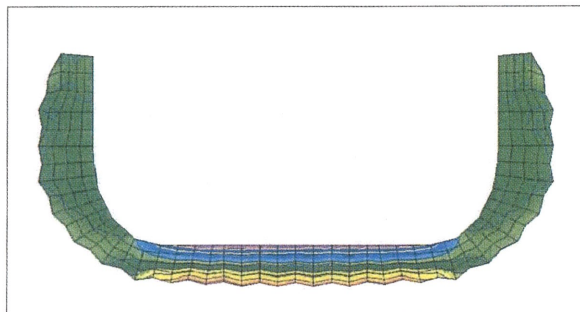
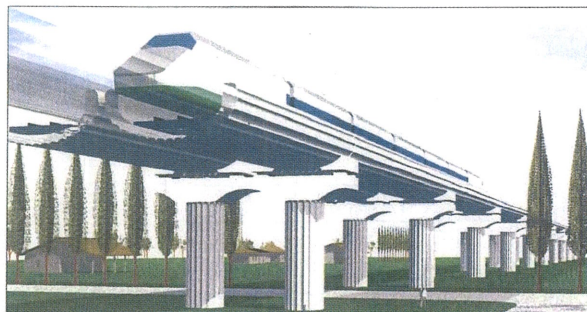


図-2.2 TAVイタリア高速鉄道供用イメージ

TAVイタリア高速鉄道（以下、TAVと称す）高架橋の設計は、新しいイタリアの高速ネットワークの確立を目的とし、高速性に主眼を置いている（図-2.2参照）。TAVは、トリノからミラノを経由してボローニャまでと、ローマからナポリまでのおよそ600kmの路線計画であり（図-2.3参照）、15年で完成する計画とされている。このうち、プレストレストコンクリート（PC）橋は、約2300のスパンから構成されており、約6400個のプレキャスト部材で計画されている。

TAVでは、高速性と同時に、耐久性や運行安全性も重要視されているが、これらについては技術の進歩によって実現化されてきた。同時に地震が発生する地域においては、当然のことながら日本と同様に安全性が追求されており、また、列車荷重満載荷である荷重条件下においても、桁の最大変形量が制限値内に収まるように配慮されている。

今回のTAV高架橋視察では、ミラノ・ボローニャ間に位置するモデナ市において、本橋の特徴でもあるU形楕円断面で構成されているモデナ高架橋〔①標準的な単純桁タイプ（写真-2.1参照）、②河川および高速道路と交差する場合に比較的長いスパンを必要とする3径間連続高架橋タイプ（写真-2.2参照）〕を視察した。



図-2.3 TAV路線計画（推測）

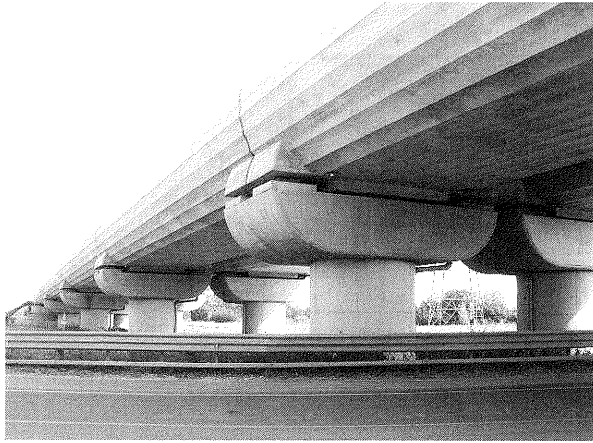


写真-2.1 標準的な単純桁タイプ

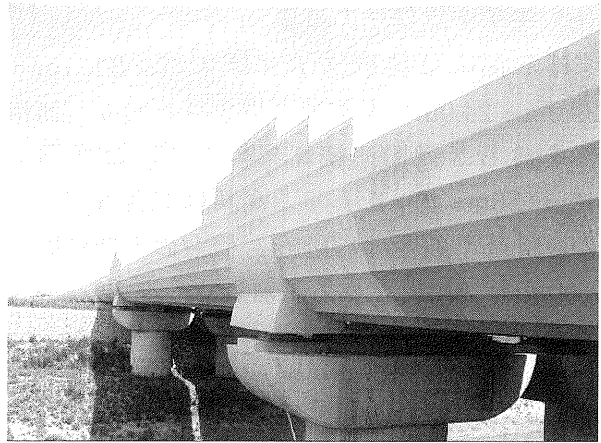


写真-2.2 3径間連続高架橋タイプ

(a) モデナ高架橋の断面形状

モデナ高架橋の特筆すべき点は、1軌道に対して1つのU形楕円断面で構成されていることであり、2つのU形楕円断面を、上下線双方に並列させるとオメガ (ω) 形と類似されていることである(写真-2.3参照)。モデナ高架橋では、列車による騒音回避と外側からの視覚について重要視されている。騒音については、騒音レベルを制限して騒音バリアを適用する必要があるため、多岐に渡った実験検証により、ウェブ高さを3.5mとしている。この結果、U形断面とした場合の上部には、どんなバリアも必要ないことが承認された。視覚については、U形楕円断面とすることで、橋梁外側からの劇的な視覚の縮小が図られ、表面からは、高さ3.5mのウェブが2m以上高く見えてこない配慮がなされている(写真-2.4参照)。このU形楕円断面を用いた橋梁は、2002年から2004年までに完成したがまだ供用はされていない。残念ながら、開通時期に関する情報は今回の視察では確認することはできなかった。

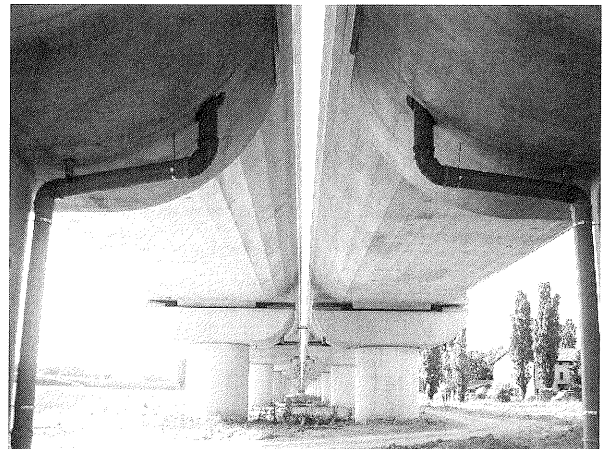
写真-2.3 上下並列によるオメガ (ω) 形状

写真-2.4 橋面の状況

(b) モデナ高架橋の概要

標準部の単純桁タイプはスパン31.5m・29.0m・24.0mの3種類で構成されており、河川部を渡る3径間連続高架橋タイプはスパン40m+56m+40mを有する高架橋である。主桁の設計基準強度は45MPa、橋台および橋脚はそれぞれ35MPaである。前頁でも説明したが、断面はU形楕円形状であり、表面形状は縦方向に溝が彫られていて景観と環境に十分な配慮がなされている。

床版厚およびウェブ厚は200から600mmまで変化させ、固定死荷重および付加死荷重はもちろんのこと、車両満載を想定したときのFEM解析も行われおり、詳細な設計での配慮がなされている。特にPC構造物にとって命とも言えるPC鋼材の引張応力度に対しては、厳しい制限値が設定されている。

標準部単純桁タイプは、主桁1径間分をそのままプレキャスト部材として製作を行い(写真-2.5、写真-2.6参照)、大型架設材を使用したガーダー架設により架設される(写真-2.7参照)。

河川部を渡る3径間連続高架橋タイプは、中間支点上は特徴のある凹凸形状としたフィンバック橋に類似した構造で計画されており(写真-2.2参照)、中間支点上の主桁上縁に発生する引張応力に対して十分抵抗できる構造となっている。

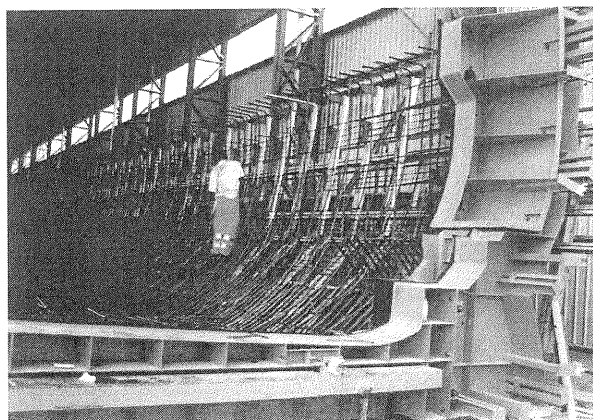


写真-2.5 メタルフォームおよび配筋状況

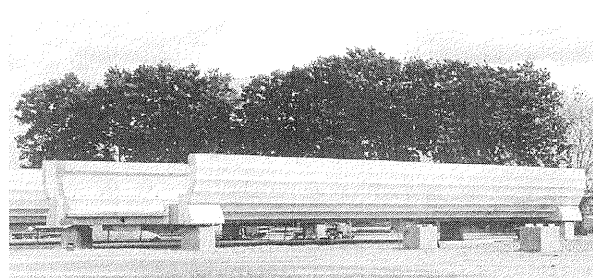


写真-2.6 プレキャスト桁仮置き状況

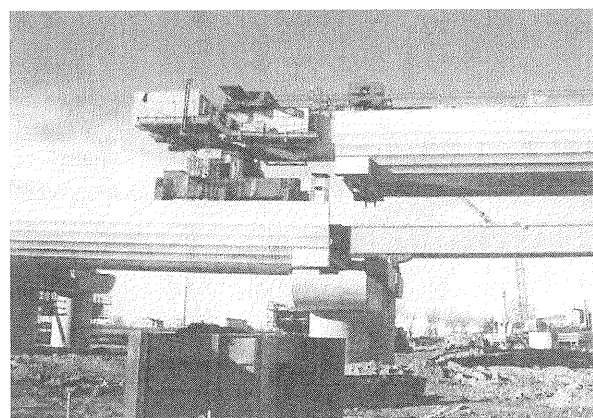


写真-2.7 標準部架設状況

2.2 Ganter 橋

Ganter橋は、橋の構造デザイナーとして世界的にその名を知られているChristian Menn教授(スイス連邦工科大学名誉教授)の作品の中でもわが国でよく知られている橋梁である(写真-2.8参照)。Ganter橋は、国道N9がイタリアの国境に近い南スイスの町であるブリークからシンプロン峠(ブリークの東南約10km、海拔約1450m)へ抜ける間にあるガンター溪谷に位置して架けられた橋長が678mのPC斜張橋である。この橋の橋面は溪谷から約150mの高さにあり、曲線半径200mのS字橋である。橋脚の位置は、道路線形、地形、地質および施工性から総合的に判断して、35m+50m+127m+174m+127m+80m+50m+35mの8径間と決められ、

127m+174m+127mの対称3径間部分に吊材として、斜材にPC部材を用いた特殊な斜張橋となっている。

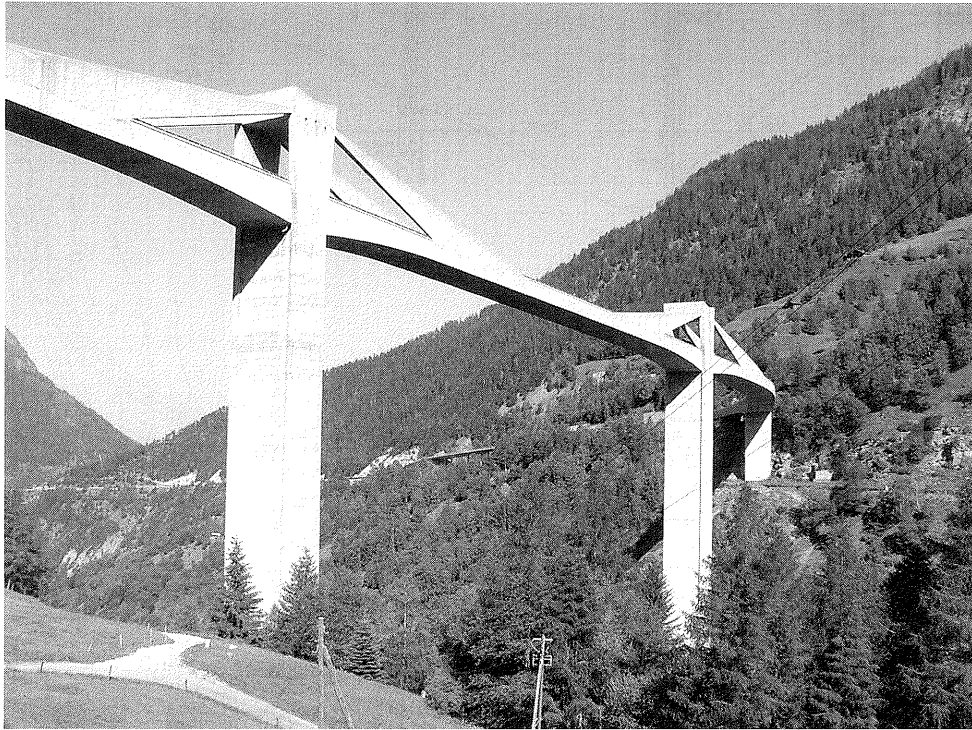


写真-2.8 Ganter 橋の全景

Ganter橋の橋梁諸元と一般図を、表-2.2と図-2.4に示す。

表-2.2 橋梁諸元

構造形式	8 径間連続 PC 斜張橋
橋 長	678 m
支 間 長	35+50+127+174+127+80+50+35 m
幅 員	2 車線, 全幅 10 m
桁 高	2.5 ~ 5.0 m
塔	コンクリートタワー, 路面上 13.5 m
斜 材	PC 部材
主 桁	一室箱桁断面
下 部 工	コンクリートウェル, ロックアンカー
主要材料	(1) コンクリート 橋台・基礎 300 kgf/cm ² 橋脚・上部工 400 kgf/cm ² (2) PC 鋼材 ロックアンカー ϕ 16 mm (160/180 kgf/mm ²) 上部工橋軸方向 ϕ 13 mm (160/180 kgf/mm ²) 上部工橋軸直角方向 ϕ 36 mm (85/105 kgf/m ²)
工期	1976 ~ 1980 年

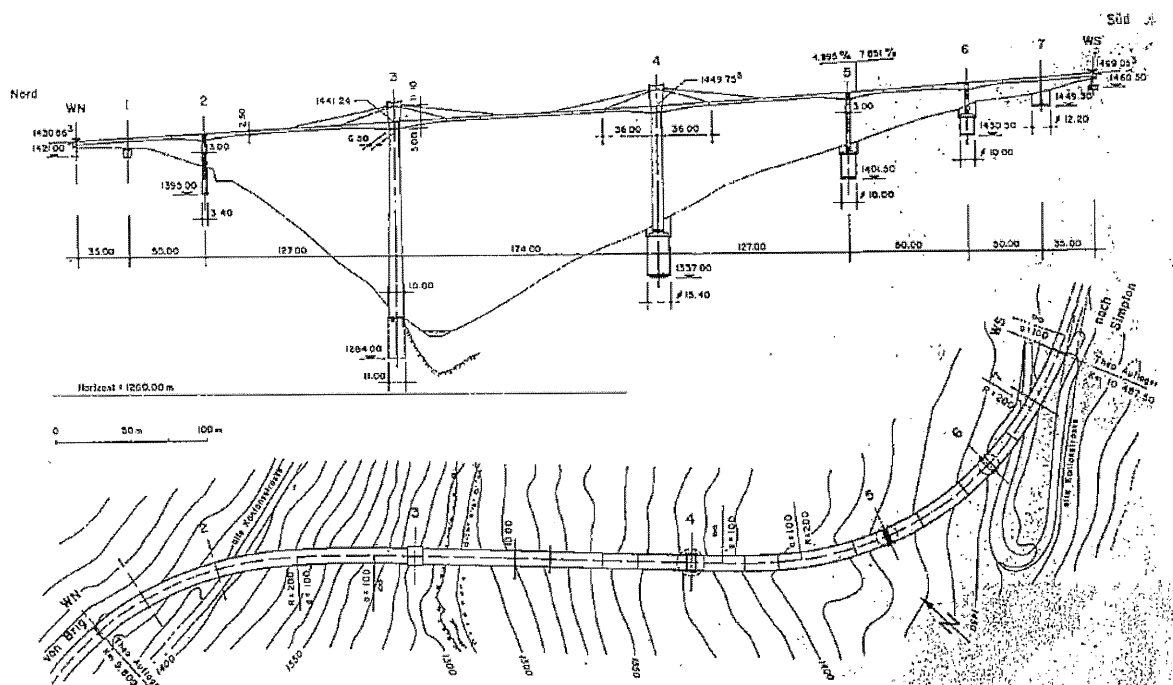


図-2.4 Ganter 橋の一般図

塔、三角斜材、桁および橋脚の一体化はほとんど直線で処理されており、シンプルなものである。シンプルなデザインではあるが、そのシルエットの美しさには感銘を受けた。

特に斜材としてのコンクリート版は活荷重作用時においても引張りを生じさせないよう十分プレストレスされ、更に吊りケーブルの防蝕効果および疲労強度、構造全体の剛性の向上に配慮されていると言う²⁾ (写真-2.9および写真-2.10参照)。



写真-2.9 塔、斜材、桁および橋脚の一体化



写真-2.10 曲線区間

橋脚基部は、写真-2.11に示すような竹割り構造の中に収められており、写真-2.12に示す橋脚基部には、支承が設置してあった。この支承は50cmの移動が可能であり、特にP4橋脚に使用されたものは反力10,500t、直径2.7m、重量24tと当時スイスで使用されていた最大級の滑り支承とのことである²⁾ (写真-2.13参照)。また、橋脚基部の躯体形状は写真-2.14に示すとおり変位制限構造と思われるようなものであった。

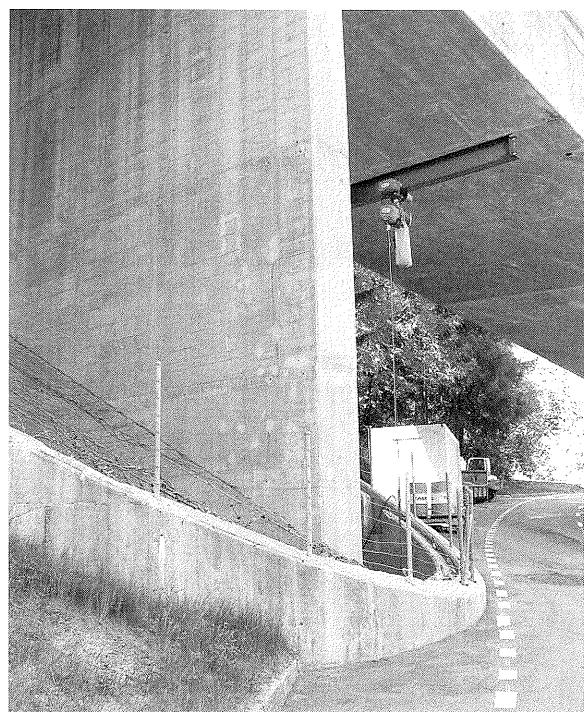


写真-2.11 竹割り構造

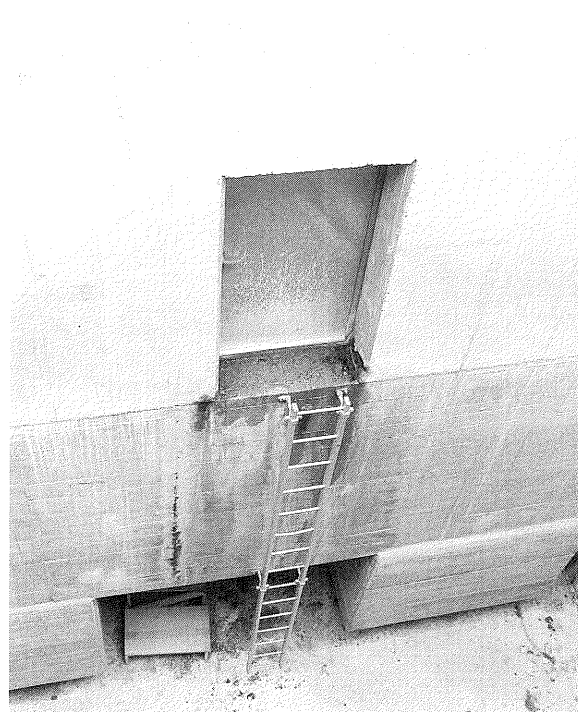


写真-2.12 橋脚基部

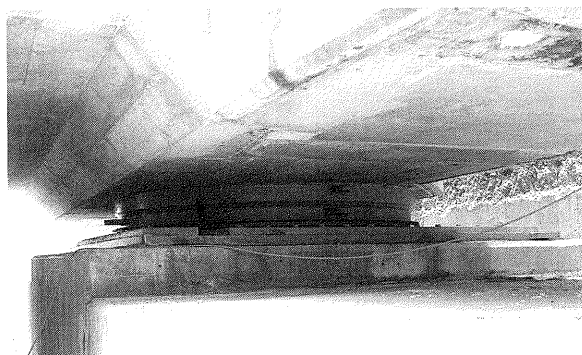


写真-2.13 橋脚基部に設置されている支承

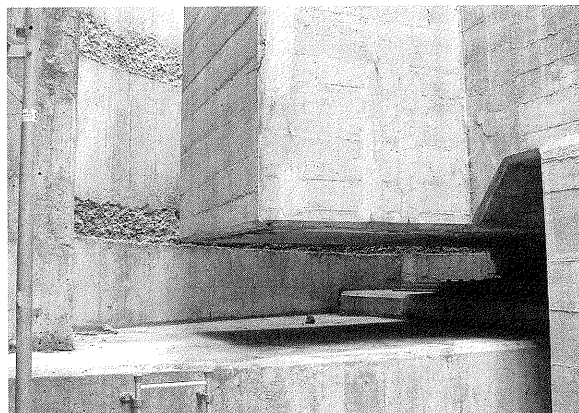


写真-2.14 橋脚基部の変位制限構造



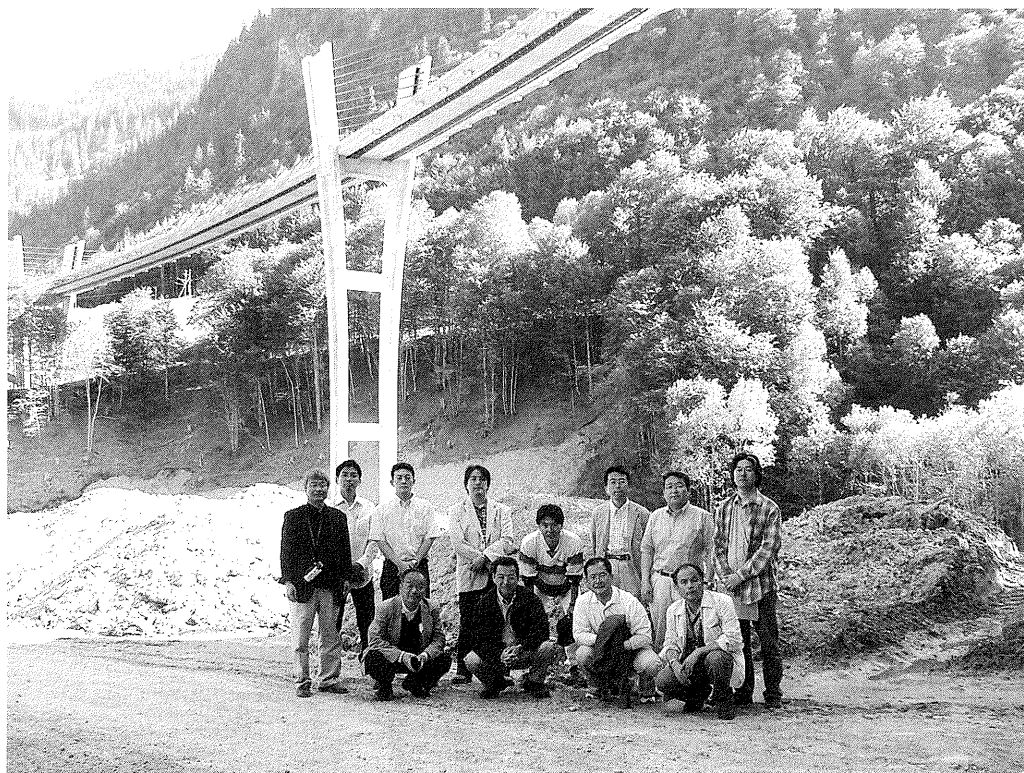
写真-2.15 橋面上

塔が低いために、通常の斜張橋に比べればシンボリック性は劣ると思っていたが、実際に現場で橋梁を見た瞬間に、その考えが間違っていることに気がついた。特に、塔、斜材、桁および橋脚の接合部や曲線部のシルエットの美しさは圧巻であった。写真-2.15に、車上からの橋面を示す。

2.3 Sunniberg 橋

1998年に完成したこの橋もChristian Menn教授により概念設計がなされ、2001年度のIABSEのOutstanding Structure Awardを受賞している。Sunniberg橋は、チューリッヒから南東に約200km行ったところにあるLandquart（ラントクアート）の町から国道28号線を進み、Klosters（クロスタース）の町に入るすぐ手前に位置している。本橋は、Klostersの町を迂回するバイパス道路が50～60mの深さの谷を跨ぐ場所に架けられている。

本橋は、橋長が526mで、支間長が59+128+140+134+65m、幅員が12.375mの5径間連続PC斜張橋であり、全長にわたって約500mの曲率半径を有している。本橋のデザインコンセプトは、高橋脚と背の低い塔を一体の造形とすること、また2本の柱を外側に反らせることにより、曲線橋の制約に対処し、かつ優美な形を印象づけること。さらに、多径間連続橋の床版厚をできるだけ薄くすることである¹⁾（写真－2.16参照）。

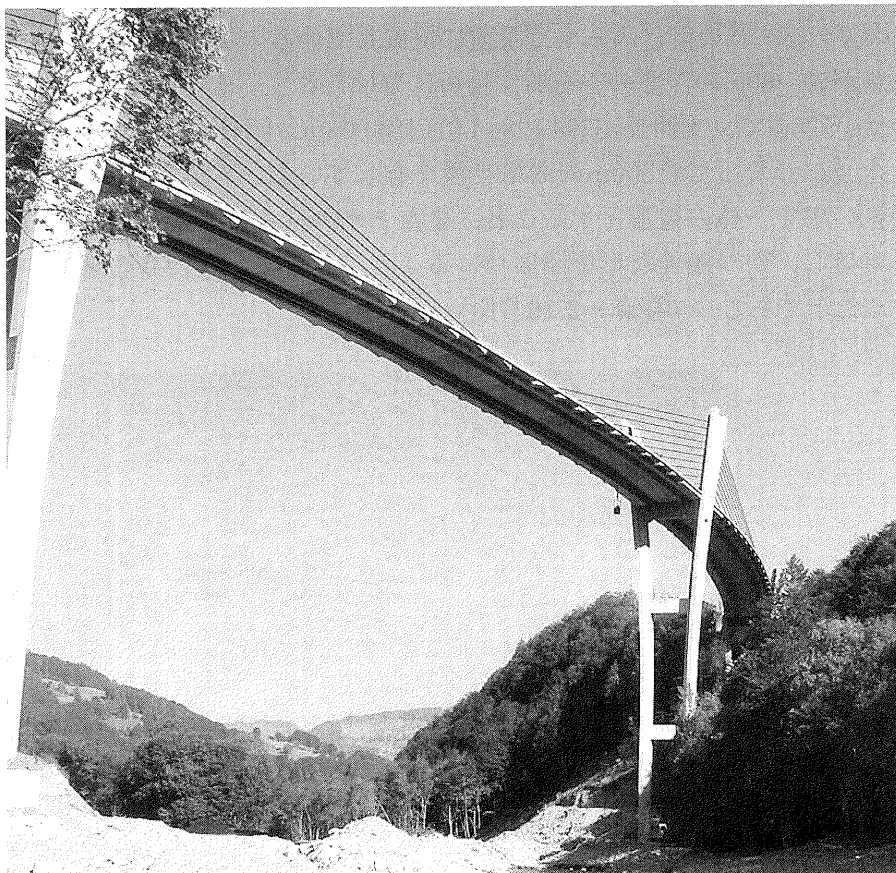


写真－2.16 Sunniberg 橋脚近くで

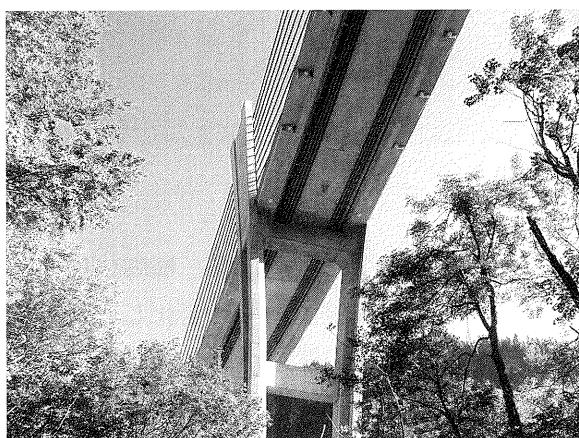
塔に作用する活荷重による曲げモーメントが過大にならないように、桁は塔と橋脚に固定されている。床版厚は図－2.5に示すように支点部の0.4mから中間部の0.34mへと変化し、斜材はエッジ桁に定着されている。支間中央部の床版にはケーブルによる圧縮力が働かないため、軸方向にプレストレスが導入されている。ケーブルは、直径7mmの亜鉛メッキされたワイヤーが125本から160本束ねられており、直径140mmのポリエチレン管の中に収納されている。主塔側の斜材は主塔に埋め込まれた鋼製のセルに定着されており、鋼製セルと主塔の結合は、スタッドジベルを用いている。

大きくカーブする橋体は両側の橋台に剛結されており、走行性に配慮して目地が一切ない構造となっている。また、温度変化による伸縮は、アーチのようにになっている橋桁および橋脚の

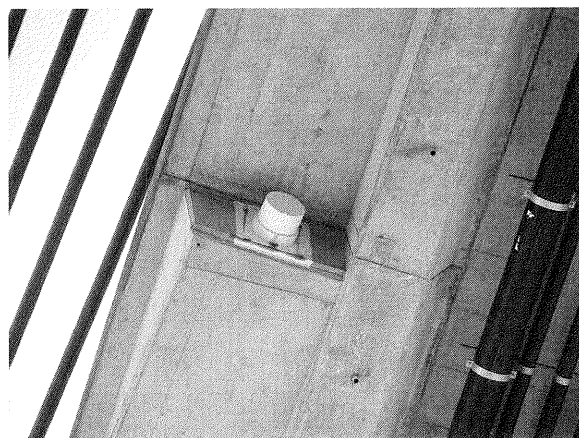
水平方向への弾性変形で吸収される。特に外に反らせた脚形状は、水平方向の剛性にも配慮されたものと思われる（写真－2.17および写真－2.18参照）。写真－2.19に定着部を示すケーブルの傾斜角度が小さいため、構造全体の剛性低下に注意が払われているということである。



写真－2.17 Sunniberg 橋の曲線形状



写真－2.18 桁下面



写真－2.19 主桁側の斜材定着部

視察当日は、写真－2.20から写真－2.22に示すオーバーハング型の橋梁点検車を用いて、添架物の点検を実施していた。



写真-2.20 橋面上

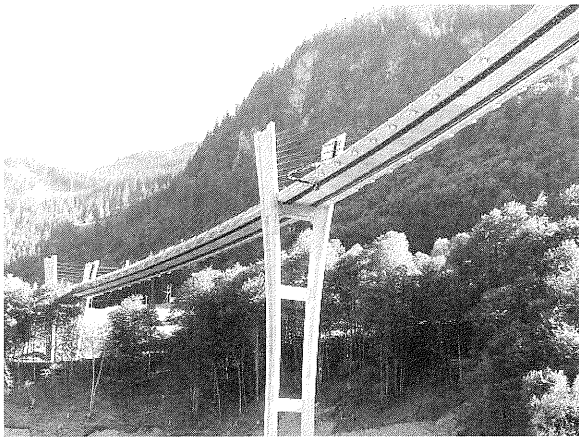


写真-2.21 添架物の点検状況（全体）

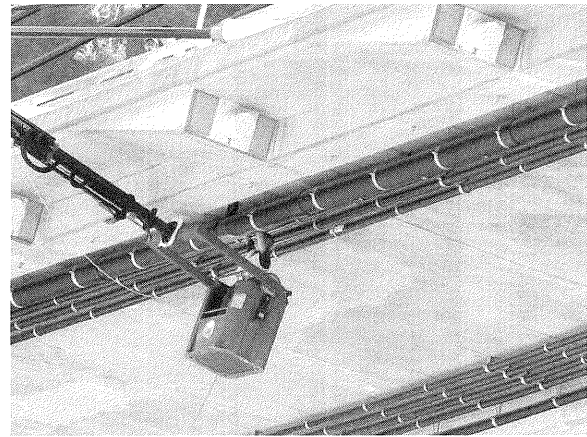


写真-2.22 添架物の点検状況（詳細）

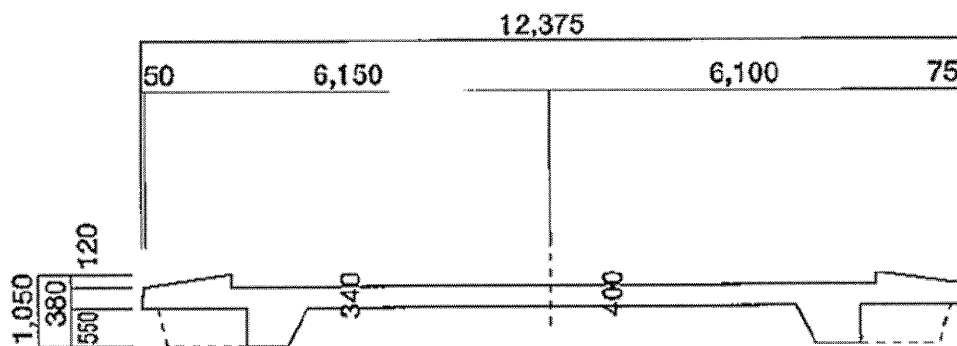


図-2.5 主桁断面形状

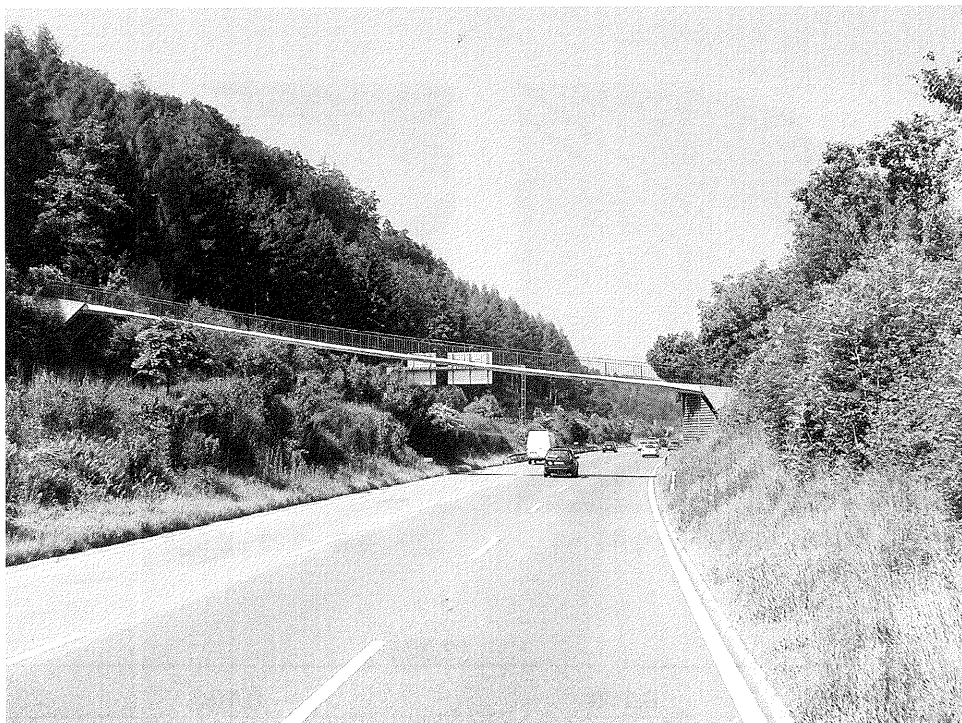
2.4 世界最初の吊り床版橋

ズンニベルグ（Sunniberg）橋を視察した後、我々は山間の国道28号線を西に向かった。途中、サルギナトーベル橋のある山道への入口となるシールズ（Schiers）という小さな村を過ぎ、高速道路（Autobahn）13号線に入り、ルツェルン（Luzern）を目指した。

Sarganserland JCTで高速13号線から高速3号線に分岐した後、牧場の匂いのするパーキングエリアで休憩し、チューリッヒ湖（Zurich see）を右手に見ながら南岸を走行していると、唐突に吊り床版橋が現れた。この吊り床版橋はビルヘアバイトの歩道橋で、世界最初の吊り床版橋として、広く知られている（写真－2.23参照）。

ここは、高速道路が山腹を走るため、上下線に3 mもの高低差があり、歩道の勾配が15%にも達する。そのため、構造形式を検討した結果、橋脚をたてる必要の無い吊り床版形式が、景観上最もすぐれているという理由で選ばれた。

傾斜しているオーバブリッジを景観的に満足させることは難しく、一般には π 型ラーメン形式を用いることが多いが、傾斜が急になるほど錯視の影響が出ている。その点、吊り床版構造になれば中間に橋脚がないので、勾配もあまりきつい感じにならない上、吊り床版橋の欠点である中間のたるみが目立たないという利点がある。また、橋台のデザインも洗練されたものとなっている。



写真－2.23 ビルヘアバイトの歩道橋

西ドイツ（当時）のフィンスターバルダーの発案になる吊り床版橋が、スイスにおいて実現し、続いてわが国においても1970年に開催された大阪万博で「万博9号橋」として実現しているが、スパンなども比較にならないものであった。

おわりに

4年に1回開催されるfibコンGRESに参加して諸外国の最新の動向に触れるとともに、わが国のPC技術を省みることができたことは、とても有意義であった。また、イタリア・スイスの特徴ある数々の橋梁調査を通じて、技術的な信念に基づいて合理的かつ斬新な構造を追及する姿勢の大切さを感じた。歴史的な転換期にあるとも言えるわが国の建設産業は昨今、非常に厳しい状況にあるが、厳しい競争の中でこそ革新的な技術は生み出されると考えられる。

本文は、社団法人プレストレストコンクリート技術協会主催のfibコンGRES（ナポリ）出席ならびにイタリア・スイスにおける橋梁調査団の報告書に基づいて作成した。調査団員の名簿を下表に示す。報告書の作成は、調査団員が分担した。

表 調査団員名簿

氏 名	所 属
辻 幸和	群馬大学 工学部 建設工学科
春日 昭夫※	三井住友建設(株) 土木事業本部 PC 設計部
川口 直能	国土館大学 工学部 都市システム工学科
織田 一郎	鹿島建設(株) 土木設計本部
藤岡 篤史	(株)ピーエス三菱 技術本部 土木技術第一部
山口 隆裕	極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術研究所
山家 芳大	神鋼鋼線工業(株) 技術部 PC 鋼線技術部
山口 光俊	(株)富士ピー・エス 技術本部 技術開発グループ
前川 智哉	住友電工スチールワイヤー(株) PC 技術部
松井 敏二	ドービー建設工業(株) 東北支店 技術部
竹内 祐樹	日本鋼弦コンクリート(株) 技術開発部 設計開発部
森 清	財団法人 首都高速道路技術センター 技術部 技術第一課
新井 崇裕	鹿島建設(株) 技術研究所
高田 一尚※	東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 東北・北課
田附 伸一※	東日本旅客鉄道(株) 長野原工事区
松本 浩一※	東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 工事管理室
中村 定明※	ピーシー橋梁(株) エンジニアリング本部 海外プロジェクト部
興石 正巳※	清水建設(株) 土木技術本部 設計部
松沢 均郎	(株)グロリアツーリスト

注) ※：コンGRES参加のみ

参考文献

- 1) 伊藤学：クリスチャン・メン教授を訪ねて、橋梁と基礎、Vol.36、No.4、pp.29-32、2002
- 2) 海洋架橋調査会（財団法人）：橋と景観、ヨーロッパ編 I
- 3) 陸好宏史：最近の海外橋梁事例、今求められるPC技術、第33回PC技術講習会、プレストレストコンクリート技術協会、pp.25-28、平成17年2月

海外工事の現状と課題 ー技術者に求められるものー

(株)大林組 土木技術本部
鹿島建設(株) 土木管理本部
三井住友建設(株) 土木管理本部

安 部 要
大 塚 一 雄
春 日 昭 夫

1. 海外工事の現状

近年、国内の建設投資が縮小するなか、海外工事へのシフトが顕著化してきている。そして、この傾向はODAが主流であった今までの国際化とは異なり、ローカルローンによる工事、つまり欧米型の受注が増えてきているという特徴が上げられる。1983年度に初めて1兆円を超えた海外受注実績は、世界情勢の変化により変動したが、2004年度に再び1兆円台を回復した。2004年度においては、ODAや日系企業からの受注案件が占める割合は全体の約8割であるが、年々現地法人からの受注比率は増加している。特に最近アラブ首長国連邦やトルコ、アメリカ合衆国といった東南アジア以外の伸びが著しい。また、ODA予算はピーク時である1997年に比べて約3/4にあたる8000億円台である。

ODAの場合は、日本のコンサルタントが設計をおこなう場合がほとんどであり、施工する側にとっても日本人同士の場合は、国内の文化をそのまま踏襲できる環境にある。しかし、ローカルローンとなれば設計・施工完全分離方式はもとより、設計・施工一括発注方式では高度な技術力と管理能力が要求されることになる。国内の建設投資がピーク時の半分に縮小していく現状を考えると、海外工事に、それもローカルローンのプロジェクトに活路を見いだすことは自然であるが、欧米の企業がひしめく市場で競争力をもって立ち向かうことを考えると、技術者に求められるスキルは自ずと高度なものになる。極限まで切りつめた価格で工事を受注したのち、緻密な原価管理と工程管理をおこない、大勢のスタッフを掌握して、その一方で施主との折衝に望む、そのような技術者が求められる。

以下に、ODAによるプロジェクトや、最近増えたローカルローンによる設計施工一括発注方式によるものと、設計施工完全分離方式によるプロジェクトをいくつか紹介する。そして最後に、海外工事の第一線で活躍されている技術者へのヒアリングをもとに、このような時代に望まれる理想のエンジニア像をまとめる。

2. 最近のプロジェクト

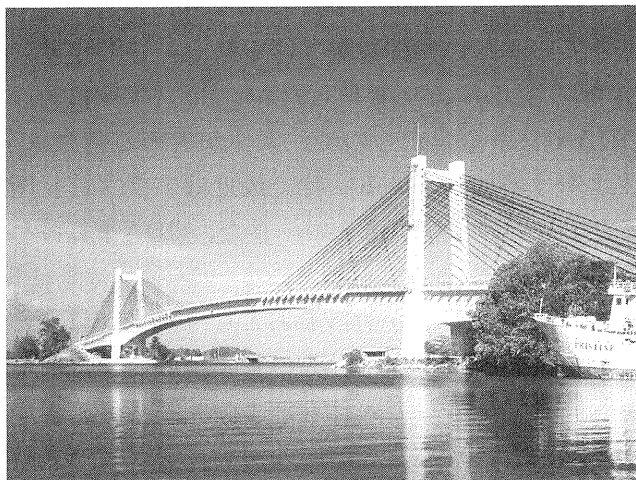
2.1 ODA（設計施工完全分離方式）

2.1.1 日本パラオ友好橋

(1) 工事概要

パラオ共和国は、日本の南、約3000kmの太平洋の赤道付近に位置し、地球最後の楽園と言われている非常に美しい島々からなる国である。第二次世界大戦中には10万人近い日本人が住んでいたとのことである。1994年にパラオ共和国として独立した。人口の大部分を占めるコロール島と国際空港のあるバベルダオブ島の上に架橋されたのが、本橋である。

この海峡には1977年に浜名大橋をしのぎ当時世界最大の中央支間241mの中央ヒンジ付PCラーメン橋が建設された。しかし、1980年代から過大なクリープたわみが問題になり、1996年に補修工事が行われ、その3ヶ月後に突如として落橋した。その架替え橋として、日本からの無償援助により建設され、2001年に竣工したのが日本パラオ友好橋で、形式は、中央支間長247mの3径間連続複合エクストラード橋である。



写真一 日本パラオ友好橋全景

プロジェクト名：新KB橋建設工事

発注者：パラオ共和国

コンサルタント：日本工営

受注者：鹿島建設(株)

工期：1999年10月～2001年12月（約27ヶ月）

(2) 本工事における課題

安全な橋を一刻も早く提供するのがプロジェクトの役割であった。しかし、物資を輸入に頼っている国では調達できるものは限られており、建設作業員もほとんどいないのが現状であった。したがって、資機材・材料の調達、労働力の確保が重要な課題であった。

労働力はフィリピン人130名を雇用した。資機材の運搬は、基本的に海上輸送が大部分であったが、港に荷揚げ用クレーン設備がないため、クレーン船をチャーターした。船の台風による難波・座礁などのトラブルにも遭遇した。骨材は良質なものを確保するためフィリピン産を使用した。また、長さ77m、470tの鋼桁は、中国の広州で製作し、7000tの台船で海上運搬した。

途中台風に遭遇し連絡が途絶えた事態も生じたが、無事架設を終了できた。現地の状況に合わせた臨機応変な対応や工夫が必要な現場であった。

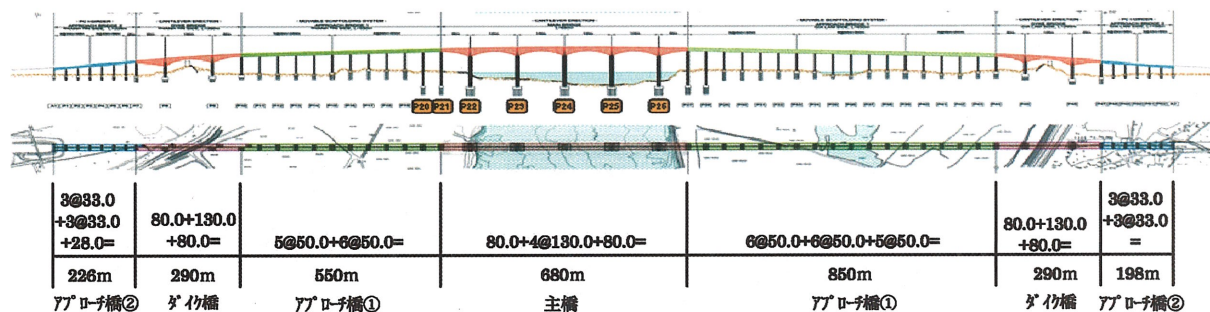
2.1.2 タインチ橋

(1) 工事概要

タインチ橋は、JBIC（国際協力銀行）の有償援助により、ベトナム社会主義共和国の首都ハノイ市外環道路整備事業の一環として、国道1号線（ハノイ－ホーチミン）と5号線（ハノイ－ハイフォン）をハノイ中心地区から約10km南東の位置で結ぶ延長13kmの3プロジェクトのうち、中央部の紅河（Red River）を跨ぐ個所に位置する。本プロジェクトはPackage 1 と呼ばれ、橋長3,084m、全幅16.1mの上下線からなる橋梁の上下部工事である。上部工コンクリート10万m³（全橋面積は約10万m²）と、日本での大型プロジェクトの数倍の規模である。

Main Bridgeは、橋脚高に比べて橋長（固定支間長）の割合が大きい構造形式である。完成時の乾燥収縮、クリープにより発生する2次応力に対して、中央閉合時に最大2400tfの水平加圧を行い対処した。また、Main BridgeおよびDyke Bridgeは、張出し施工で行うが、最盛期には移動作業車16基が稼動した。

Approach Bridge 1 は、ベトナム初の移動支保工による施工である。一般的に移動支保工施工は、内枠のない構造での施工が有利な工法だが、人件費の安い東南アジアでは人海戦術による内枠の組立解体が容易であるため本橋は内枠を用いる形状となっている。この工法については、ベトナムの政府、建設会社、コンサルタントに技術移転を行うことになっている。



図ー1 タインチ橋 全体概要図

プロジェクト名：Red River Bridge Construction Project-Package 1（Thanh-Tri Bridge）

発注者：ベトナム社会主義共和国 運輸省 タンロン工事管理局

コンサルタント：パシフィックコンサルタンツ・インターナショナル（PCI）

受注者：(株)大林組・三井住友建設(株)共同企業体

工期：2002年11月～2006年11月

表-1 タイinch橋Package 1 橋梁一覧表

位置	橋梁名称	構造形式	橋長・支間長 (m)	施工法
タイinch側	Approach Bridge2	PC3+3+1 径間連結合成桁橋	3@33.0+3@33.0+28.0=226	クレーン架設
	Dyke Bridge	PC3 径間連続ラーメン箱桁橋	80.0+130.0+80.0=290	片持ち架設
	Approach Bridge1	PC5+6 径間連続箱桁橋	5@50.0+6@50.0=550	移動支保工
河川部	Main Bridge	PC6 径間連続ラーメン箱桁橋	80.0+4@130.0+80.0=680	片持ち架設
ザンゾム側	Approach Bridge1	PC6+6+5 径間連続箱桁橋	6@50.0+6@50.0+5@50.0=850	移動支保工
	Dyke Bridge	PC3 径間連続ラーメン箱桁橋	80.0+130.0+80.0=290	片持ち架設
	Approach Bridge2	PC3+3 径間連結合成桁橋	3@33.0+3@33.0=198	クレーン架設



写真-2 タイinch橋全景

(2) 本工事における課題

ベトナム北部の本工事において、まず日本の工事と違う点は材料調達である。本工事では上下部工あわせて約30万m³のコンクリートを打設し、プラントもJVにおいて調達、管理した。その中で最も調達が困難であったのは細骨材であった。細骨材は現場を横断している紅河の上流域で採取したものをを用いていたが、雨期には河川水位が上昇し採取箇所が水没、乾期には水位が低下し、台船が採取箇所へ進入不可能になることが起こり、ストックしていた材料が底をつきコンクリートが製造不能となる期間もあった。また、PC鋼材の緊張ジャッキが老朽化したもののしか調達できず、故障のため工程が遅延する事態も発生した。このように、材料の貯蔵、調達については現地の状況、他に与える影響などを考慮し、かなり安全側の準備を行うことが必要となる。

2.1.3 バイチャイ橋

(1) 工事概要

バイチャイ橋はベトナム北部に架かる1面吊りPC斜張橋である。本橋の架設位置は世界遺産の指定を受けているハロン湾上にあり、その湾内に橋脚を設置することが困難なため中央支間長435mとなっている。その規模は1面吊りのPC斜張橋としては世界最長となる。なお、この工事は日本の特別円借款によって行われており、請負金額の50%以上を日本国内からの調達とする条件であった。本工事の場合、斜ケーブルを含むすべてのPC鋼材、タワークレーンなどを国内調達として対応した。

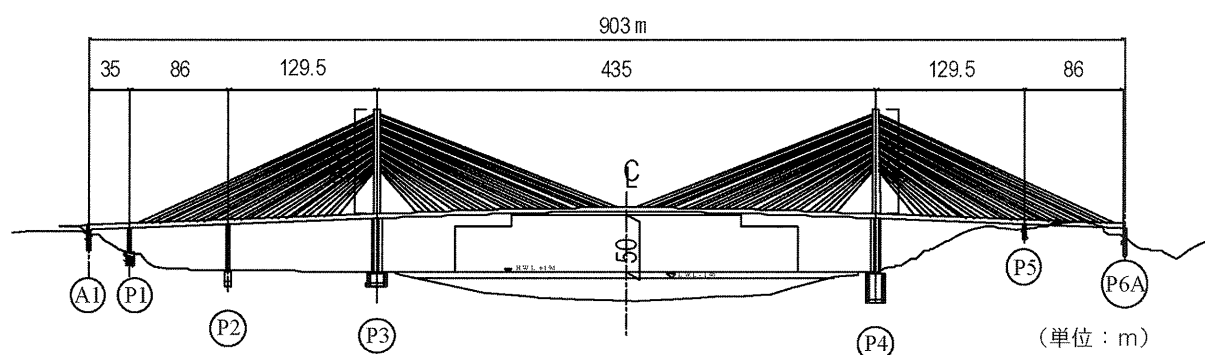


図-2 全体一般図

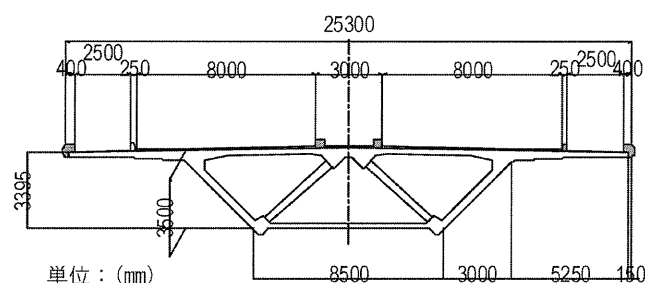


図-3 断面図

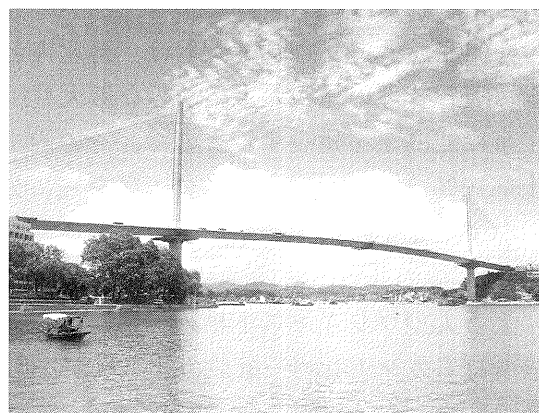


写真-3 橋梁全景

プロジェクト名：バイチャイ橋建設工事

発注者：ベトナム社会主義共和国 運輸省第18工事管理局

設計・施工管理：日本構造橋梁研究所・パシフィックコンサルタントインターナショナル・
Transport Engineering Design Incorporation・Hyder Consulting-CDC

受注者：清水建設(株)・三井住友建設(株) 共同企業体

工期：2003年8月～2006年11月

(2) 本工事における課題

ベトナムはその建設技術においても発展途上の国であり、日本と同レベルの技術者、労務者を確保することは困難である。具体的には、元請け企業（JV）で技術者の現地雇用する場合も多いが、そのレベルは高くなく、教育を要し、あるいは限定的な職務のみを任せることとなる。

また、協力業者も同様で、本工事の場合、橋梁経験すらほとんど無い協力業者を指導しながら施工を行った。このような国でのプロジェクトの場合、元請け企業本体としての人選では、プロジェクトの運営だけでなく、実際に経験のない労務者や協力業者に直接作業を指導できる人材も必要になる。

また、日本や他の先進諸国と違い、様々な資機材が豊富にそろっている環境ではない。このため、海外から調達しなければならないものや国内調達でもかなりの時間を要するものが多いので、余裕を持った調達計画が必要となる。さらに、偶発的な故障などにより、施工が止まる危険性もあるため、海外調達の重要な資機材などは予備を用意するなどの対応が必要となる。

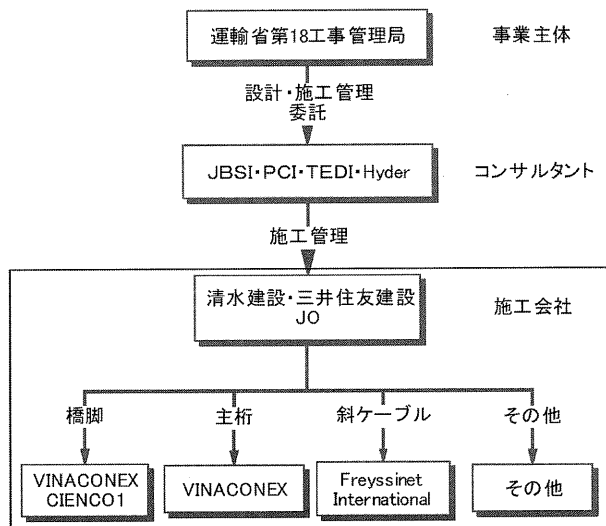


図-4 バイチャイ橋プロジェクト組織図

2-2 ローカルローンの設計施工一括発注方式

2.2.1 台湾高速鉄道プロジェクト～C215工区

(1) 工事概要

台湾高速鉄道プロジェクトは、台北市と高雄市とを結ぶ全体延長が345kmの土建、軌道、車両、運行管理の4つの事業からなる大型BOTプロジェクトである。本プロジェクトの内、土木工事は326kmを建設するもので、その内訳は、高架橋・橋梁部75%、トンネル部15%、切り盛土部10%であり、事業者は全工区を12に分ける大規模発注とした。各工区とも設計・施工一括でおよそ4年から4年半で工事を完成させるという短工期であり、施工効率の向上を上げるため、PC橋の架設工法は建設地点の状況を考慮して①移動支保工による場所打ち架設②工場製作による大型プレキャスト桁の一括架設③固定支保工を用いた場所打ち架設④移動作業車による場所打ちカンチレバー架設の4工法が採用されている。

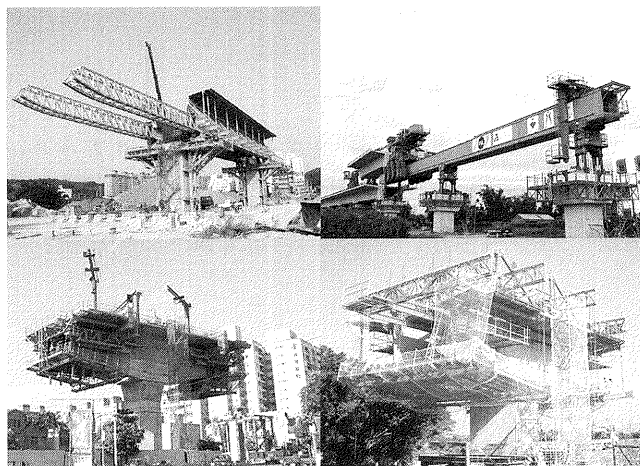
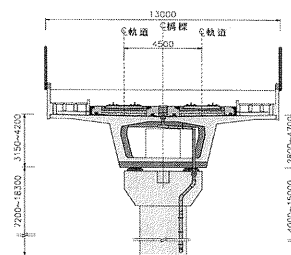


写真-4 架設方法



工区名	共同企業体(JV)構成		距離 (km)	主工種
C210	大林組(日)	互助富達(台)	11.3	高架橋、トンネル
C215	大林組(日)	互助富達(台)	40.5	高架橋、トンネル
C220	大島建設		17.8	高架橋、トンネル
C230	現代(韓)	中鉄(台)	23.4	高架橋、トンネル
C240	現代(韓)	中鉄(台)	20.8	高架橋、トンネル
C250	Hochtief(独)	泛亞(台)	39.8	高架橋、トンネル
C260	B&B(独)	大隆(台)	36.6	高架橋、トンネル
C270	B&B(独)	大隆(台)	42.8	高架橋
C280	三星(韓)	建元(台)	34.4	高架橋
C291	長鴻富達(台)	清水建設(日)	28.5	高架橋
C295	長鴻富達(台)	Italian Thai(泰)	27.3	高架橋
C296	長鴻富達(台)	清水建設(日)	3.1	高架橋

プロジェクト名：台湾高速鉄道・土工工事C215工区
発注者：台湾高速鉄道（股）有限公司
工事場所：台北市南西27kmより40km区間
契約形態：設計・施工 LUMP SUM契約
受注者：(株)大林組・互助營造 共同企業体
工期：2000年4月～2004年9月

(2) 本工事における課題

本工事は設計・施工一括契約であるため、詳細設計の期間を考えると工事着手までに約10ヶ月待ち、かつ、工期途中で土木構造物を軌道工事業者に引き渡す必要があるため、40kmのC215工区も実質3年で施工を完了させなければならない。従って、膨大な数量、各工区同時開始による機械・材料・人材確保の困難さ、超短工期等々様々な課題を解決しながら工事を進める事となる。また、構造計画案が契約図書に示されているが、受注者側は設計仕様書に沿いつつ、課題の多い本工事を効率的に施工するために、構造の均一化と施工性の向上に配慮した構造レイアウトや構造設計を実現できるかが重要な鍵となる。

2.2.2 ドバイメトロプロジェクト

(1) 工事概要

石油、ガス資源の乏しいドバイは、2000年以降、中東地域の経済ハブ化を志向して経済成長を加速している。そのため、ここ数年は建設ラッシュが続き、急激な人口増による慢性的な交通渋滞解決のため、ドバイ市はドバイメトロプロジェクトとして、中東初かつ世界最長全自動無人運転鉄道を打ち出した。プロジェクトは一期および二期からなり、E&M+CIVILのコンソーシアムにより契約されている。



写真-5 ドバイLRT完成予想図

プロジェクト名：ドバイLRT

発注者：ドバイ市

工事場所：アラブ首長国連邦ドバイ市

契約形態：設計・施工 LUMP SUM契約

路線名：Red Line：高架区間47.14km 地下区間4.7km、37駅

Green Line：高架区間10.03km 地下区間6.8km、15駅

受注者：(株)大林組・鹿島建設(株)・Yapi Merkezi－三菱商事・三菱重工 Consortium

工期：契約後84ヶ月（Phase 1：49ヶ月、Phase 2：35ヶ月）

(2) 本工事における課題

建設バブルの様相を呈しているドバイにおける超大型プロジェクトであり、設計・施工一括工事における課題も多様となる。例えば内的課題として、いかに信頼できるコンサルタントを確保するか、地下埋設物の調査等々の許認可取得、建設バブル国故の技術者・資機材の確保等々があり、外的課題として発注者側エンジニアの体制未確立やインフラ整備・種々開発に伴う路線変更・駅の追加・キャンセル等々があり、プロジェクトをいかに早い段階で軌道に乗せていくかが大きな課題となる。

2.2.3 アルジェリア高速道路建設プロジェクト

(1) 工事概要

本工事は、アルジェリア国内を東西に横断する約1200kmの高速道路を3工区（東工区、中工区、西工区）に分けて建設するもので、そのうち東工区の約400kmを日本企業による共同企業体が担当する。2006年1月に総合評価方式による国際競争入札が行われ、米国企業、中国企業連合、イタリア企業連合との競争に日本企業連合の技術力が高く評価され受注に至った。資金源は、アルジェリア政府自己資金で、日本企業が海外で受注する社会インフラ整備事業としては過去最大級である。

日本企業連合が受注した東工区はチュニジア国境付近に至る約400kmの片側3車線、上下線6車線の高速道路で、東名高速道路と同程度の延長距離となる。共同企業体のうち建設各社がインターチェンジ約20ヶ所、トンネル14本などの構造物を含む高速道路の施工を担当し、商社が資機材調達などを担当する。工事は2006年10月着工、約40ヶ月後の2010年2月の完成を目指している。

アルジェリアは一時的に国内の混乱の時期があったものの、90年代半ば以降、テロ対策の強化を含めた治安情勢の安定化や一連の民主化プロセスを含む内政問題の解決に尽力するとともに諸外国との外交を積極的に推進してきたことにより、急速に国際的プレゼンスを高めてきている。最近では、石油、天然ガスなどのエネルギー価格の上昇により、経済財政も急速に回復し、エネルギー資源開発はもとより運輸、交通などの社会インフラ整備を積極的に進めている。今回建設する高速道路は、他工区を含めるとチュニジア国境からモロッコ国境までを結ぶもので、開通後は同国経済に大きく寄与することになる。

プロジェクト名：アルジェリア高速道路建設工事 東工区
 発 注 者：アルジェリア公共事業省高速道路公団
 工 事 場 所：チュニジア国境～ボルジブ・アレリジ（399km）
 契 約 形 態：工事請負および一部設計・施工
 受 注 者：鹿島・大成・西松・ハザマ・伊藤忠共同企業体
 工 期：2006年10月～2010年2月（約40ヶ月）
 工 事 内 容
 道 路：片側3車線上下6車線高速道路、インターチェンジ22ヶ所
 構造物：トンネル14本（延長17.3km）、本線橋梁55ヶ所、横断橋梁87ヶ所
 アンダーパス58ヶ所
 土工事：切土量 約2000万m³、盛土量 約2700万m³

(2) 本工事における課題

まだ、工事着手段階であり課題等は今後工事の進捗とともに生じてくると思われる。現時点では、主として以下の事項が課題といえる。

- ・大規模工事を短い工期で円滑に進める施工体制の確立。
- ・現地の地盤条件的な把握。
- ・資機材の調達
- ・原石山の確定と、砕石プラントやバッチャープラントなどの早期供用

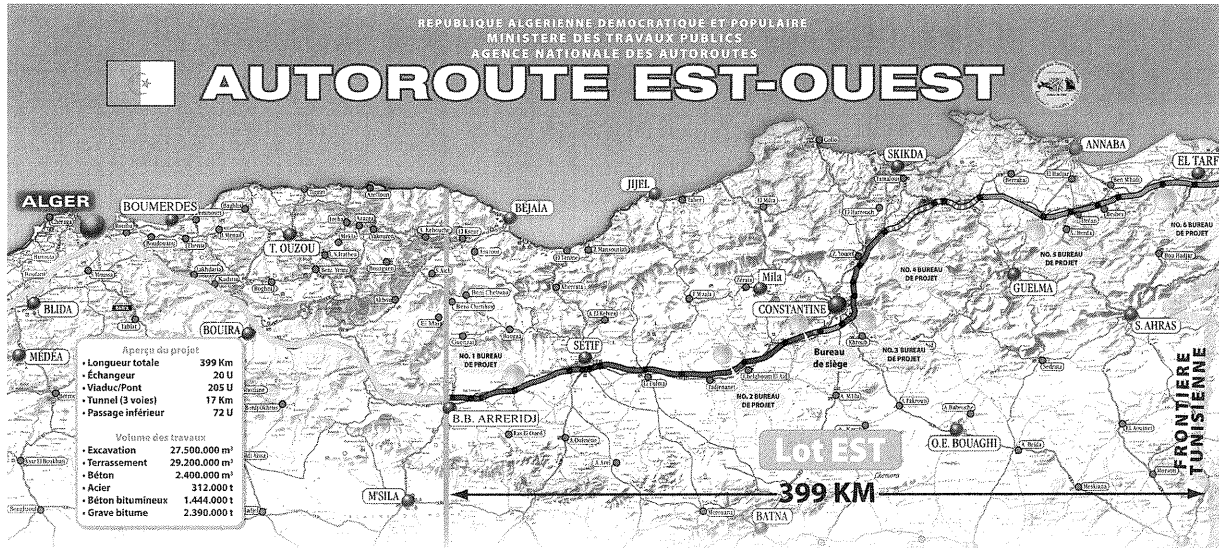


図-5 ルート図

2.2.4 エンジニアリングプロジェクト～PCLNGタンク

(1) 業務概要

エネルギー問題が世界各国の重要問題の一つとされる中、世界中でLNGの受入れ基地（自国使用）・液化基地（他国販売）の建設需要が増大しており、このマーケットに対して世界中の企業が受注競争を繰り広げている。PCLNGタンクを担当する建設会社がプロジェクト全体を受注する事はなく、エンジニアリング会社やプラントメーカーが全体受注した内の土工事が対

象となり、その形態は、設計・施工管理（スーパーバイザー）または設計・施工となっている。従って、自国の建設技術が発達している地域では、設計・施工管理といったエンジニアリング業務が主となる傾向にある。

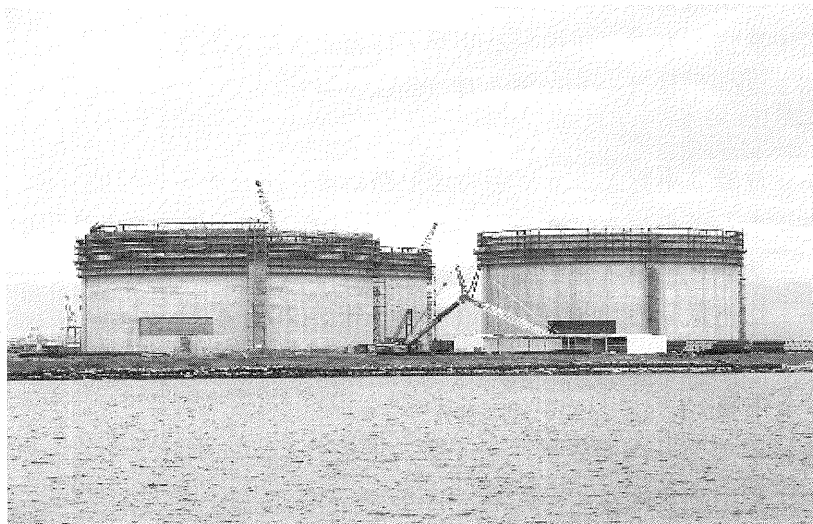


写真-6 LNGタンク全景

プロジェクト名：台中LNG受入基地PCLNGタンク（土木）
発注者：中国石油公社
工事場所：台湾台中市
PJ受注者：中鼎工程股份有限公司・石川島播磨重工業(株) 共同企業体
（土建）設計：(株)大林組（設計照査：石川島播磨重工業(株)）
（土建）施工：(株)大林組・互助营造 共同企業体
工期：2004年9月～2007年10月

(2) 本プロジェクトにおける課題

本プロジェクトでは、基本的に設計・施工管理（スーパーバイザー）が主となる事、および国によっては官庁申請まで範囲となる事から海外規準に精通するのみならず、Local StandardがGlobal Standardより優位になるケースもあり対応力が求められる。また、設計図書に施工手順を明示するが、国によって材料、資機材等の事情が異なる事を考慮した設計が重要である。更に、発注者に設計内容を説明する際、設計内容を十分認識させるに十分な英語力は必須である。

2.3 ローカルローンの設計施工完全分離方式

2.3.1 コロラドリバー橋

(1) 工事概要

コロラド河を横断する、フーバーダム上を通過する国道93号線の迂回路として建設されるフーバーダムバイパスプロジェクトの内、コロラド河を横断する延長1900feet（約579m）、幅員88feet（約27m）の橋梁を、フーバーダム下流側1500feet（約460m）の地点にアメリカ最大のコンクリート固定アーチ橋を建設する工事である。アーチ支間は1060feet（約323m）であり、

アーチリブはピロン方式張出しカンチレバーにより、橋脚・柱部プレキャストセグメントおよび主桁をケーブルクレーンにより架設する。アメリカンスピリッツの原点の一つでもあるフーバーダムに近接する工事は、日々観光客らの目にする事となる。



写真-7 コロラドリバー橋完成予想図

プロジェクト名：コロラドリバー橋建設工事

発注者：Federal Highway Administration & Central Federal Highway Division

設計者：T.Y Lin International (Bridge, PE：W.David Goodyear)

施工者：(株)大林組・(株)ピーエス三菱 共同企業体

工期：契約後40ヶ月

(2) 本工事における課題

本工事は、アメリカならではの設計・施工完全分離方式であり、施工者は発注図書（設計図、施工計画図等）に従って施工すれば良い。発注図書通りに施工して何らかの課題が生じた場合は、施主および施主側エンジニアに伝えて、施主側からの指示を仰ぐ事となる。役割分担が明確であり、施工者は施工のプロとして発注図書を満足する施工計画の立案・実施を行う事が重要となる。施工者が設計者の領域に踏み込む事は、逆にリスクとなる事を理解する必要がある。その意味においてもプロジェクトマネージャーの采配が最も重要となる。

3. 技術者に求められるもの

海外工事は、契約監理やクレーム処理など海外固有の知識や経験が要求される。また、工事の中で重要な役割を担うプロジェクトマネージャーは、国内で育成された人が通用しない場合が多いともいわれている。そして、日本国内と比べて契約業務や商習慣が異なるうえに、し烈な価格競争と厳密な原価管理・工程管理が海外工事に求められる。

このような海外工事において、人材の育成は古くからいわれてきた。技術力だけでなく、法律や経済にも知識が豊富で、語学力に長けたエンジニアが求められるプロジェクトマネージャー像である。最初に述べたように、ODAだけでなく現地法人からの工事が伸びていくと思われる現在、技術者はどうあるべきかを技術力以外のスキルとして以下にまとめた。

- (1) マネジメント力：海外では資機材の調達、輸入、人材確保、工程管理、品質管理など、国内の工事とは事情が大きく違う。それぞれの国の事情にいち早く精通し、トラブルも含めたそれぞれのことに対処するためのマネジメント力が必要である。
- (2) 折衝力：海外工事は明確な契約社会である。すなわち、様々なことが契約によって明確に決められており、事業主体や企業間の交渉、通信事項も基本的に書簡によって明文化されたものしか有効にならない場合が多い。責任の明確化、契約内容の確認、交渉など厳格な対応が必要となる。
- (3) 指導力：特に、発展途上国では国内のように技術力の高い協力業者や人材が得がたい。経験が浅く、文化も違う人材を教育、指導し、いち早くプロジェクトの戦力とする能力が必要である。ローカルエンジニアの活用は重要な要素である。
- (4) 幅広い知識：海外のプロジェクトでは配置される人員も限られているため、各人がより多くのことに対応する必要がある。また、日本では起こる可能性が低いことも往々にして起こり得るので、各場面において臨機応変に対応できる幅広い知識とネットワークが必要である。また、AASHTOやBSなどの海外のスペックに慣れ親しむことも重要である。
- (5) 現地文化の理解：建設工事は現地の事業主体や地方公共団体、協力業者、労務者、地域住民に至るまで様々な人との関わり合いが不可欠となるが、地域により物事の考え方、対応は様々である。また、仕事の進め方も地域によって異なる。これらをいち早く理解し、対応することがプロジェクトをスムーズに進めるためには必要である。
- (6) 語学力：海外工事では、公用語は英語となる。通訳を雇用するという手段もあるが、自分の考えていることを常に正確かつ論理的に伝える語学力は必要不可欠である。

特に、設計施工一括発注方式では、必然的に大型案件となり広範囲な技術力が求められる。入札段階で設計数量を決定するが、競争である以上過小に見る傾向になる等々、あらゆる面でリスク分析が出来るか否かも鍵となる。プロジェクトの契約内容に精通する必要がある、カントリートリスクの比率が大きくなる事にも留意しなければならない。競争相手は世界の強豪であり、技術に関するワールドワイドな情報収集力と交渉力が強く求められる。プロジェクトがスタートしてからは以下のようなマネジメント力や技術判断力・決断力のウェイトが高くなっていく。

- ①技術背景の異なるスタッフで膨大な業務をどうこなすか。
- ②短い工期を克服する構造デザインおよび施工計画。

- ③DB故に設計と施工が重なり、後から出てくる問題点をさばく技術力と決断力。
- ④LUMP SUMであり設計未決定で工事費を確定し、発注者に確信を持って説明できるか。
- ⑤脆弱な下請け業者が多い事を認識し、防護策やバックアップを事前に考慮できるか。
- ⑥し烈な競争入札を経ているため、原価削減に大胆かつ繊細なアイデアが出せるか。
- ⑦唯一歳入を増やす手段である設計変更やクレームに対する知識が豊富か。

国内の建設業界の環境が大きく変革している現状を鑑みると、これまでに述べた技術者に求められるスキルは、近い将来国内工事にも要求されるものになると考えられる。プロジェクトの成否が「人」に大きくかかわることは国内も海外も同じであるが、海外のし烈な競争の中で育った人材が、国内の工事でその能力を遺憾なく発揮できる時代はそこまで来ているのかも知れない。

日本のプレストレストコンクリート建築

大阪大学大学院教授・本協会常務理事	大 野 義 照	(株)安部日鋼工業	高 田 政 裕
京都大学大学院教授・本協会理事	渡 邊 史 夫	(株)日本設計	三 町 直 志
(株)日建設計	阿波野 昌 幸	大成建設(株)	小 室 努
(株)建研	南 伊三男	JSD(株)	徐 光
(株)ピーエス三菱	石 井 孝 幸	(株)竹中工務店	前 川 元 伸
(株)構造計画プラスワン	金 田 勝 徳	(株)日本設計	宮 崎 敏 幸
(株)日建設計	加 登 美喜子	(株)日建設計	小 松 慎 二
オリエンタル建設(株)	兼 井 常 元		

はじめに

わが国において初めてプレストレストコンクリート（PC）造建築物が建設されたのは1951年で、小松市市庁舎地下室床にプレテンション床版が用いられた。この年には長生橋も建設されている。以来56年、鉛直荷重をプレストレスによって打ち消す大スパン構造物からプレストレスによる圧着工法を利用した小規模建築まで、多くのPC造建物が建築されてきた。改めてPC建築の素晴らしさ、PC構法の可能性を理解するために、本協会の協会賞（作品賞）を受賞した建築物を主に、最近の建築物14作品を紹介する。

紹介する作品を竣工年順に並べると次のようになる。

名 称	種 別	竣工年	備 考	掲載番号(掲載順)
福岡歯科大学3号館	大学校舎	1978	作品賞 わが国初のPC高層建築	3
大阪市中央体育館	運動施設	1996	作品賞 FIP最優秀賞(1998) PC球形シェル構造	1
南長野運動公園多目的競技場	運動施設	1996	長野オリンピック会場内野スタンド	2
埼玉県立大学	大学校舎	1999	PCaPC 短工期、多量少品種、小断面	4
安部日鋼工業本社屋	事 務 所	2002	作品賞 PCaPC	7
京都大学桂キャンパス	大学校舎	2003	作品賞 PCaPC	5
マブチモーター本社棟	事 務 所	2004	作品賞 PCaPC	8
名古屋商科大学日進キャンパスゲート	大学施設	2004	現場打ちPC+PCaPC	6
Links(リンクス)	住 宅	2005	PCaPC 5階建て集合住宅	11
長崎県美術館	公共施設	2005	作品賞 PCaPC床版	13
兵庫県芸術文化センター	公共施設	2005	PCaPC柱・床版	14
淀屋橋山本ビル	事 務 所	2005	PCaPC柱・床版	9
関西医科大学付属枚方病院	病 院	2005	PCaPC 免震工法	12
大成札幌ビル	事 務 所	2006	PCaPC梁 USD685を緊張	10

次頁から、運動施設、大学施設、事務所、住宅、病院、公共施設の順に、建築の種別ごとに紹介する。

1. 大阪市中央体育館

1. はじめに

大阪市中央体育館は、平均盛土厚が約1mの緑豊かな公園の地下に建設されたもので、メインアリーナの屋根は直径110m、高さ30mの大スパン・大空間構造である。この屋根構造には、圧縮力に強いコンクリートを用いたプレストレストコンクリート球形シェル構造を採用した。他に類をみない大スパン(110m)、かつ大荷重(全重量約7万ton、約5～6ton/m²)のコンクリート球形シェルをプレストレスト構造にて実現し、緑地の少ない都市空間の公園地下に大空間の体育館を確保することができた。



大阪市中央体育館 航空写真

建物概要

構	造：プレストコンクリート球形シェル構造
規	模：地下3階
軒	高：SGL+26.6m(地盤面+4.0m)
延床面積	：38,425m ²
設計、監理	：大阪市整備局、(株)日建設
施	工：大林組・西松建設・浅沼組共同企業体
P C 工 事	：(株)ピーエス三菱、フドウ建研
工	期：1993. 6～1996. 5

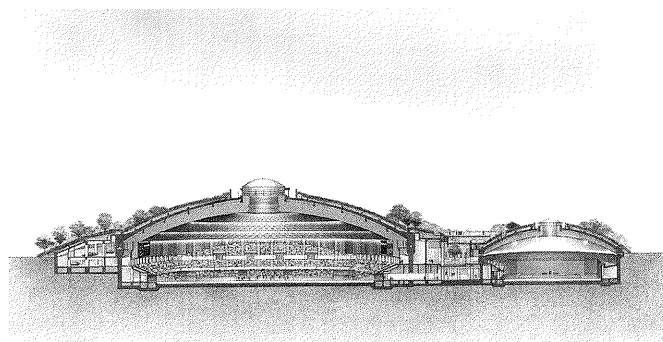
2. 構造概要

(1) 球形シェルの構造計画

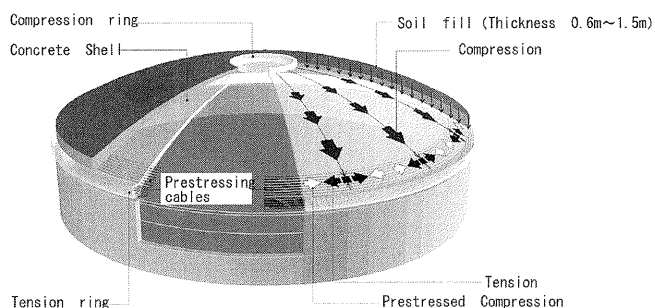
球形シェルの‘力の流れ’の概念図に示されるように、球形シェルに鉛直荷重が加わると放射状(半径方向)に圧縮力が流れテンションリングに伝達し、テンションリングとシェルの外周縁を膨らませるような引張力が作用する。この引張力に対し、テンションリングの円周方向に導入したプレストレス力が抵抗する。このテンションリング部分はPCストランドを円周方向に配置し、緊張力を導入しあらかじめコンクリートに圧縮力を加えるプレストレストコンクリート構造として計画した。

(2) プレストレスカ

シェルのテンションリングおよび裾野部に緊張力800tonのPC tendon 30周分にてプレストレス力約2万tonを導入した。



断面パース



球形シェルの‘力の流れ’

施工段階、荷重状況に応じて、3段階のプレストレス力導入を行い、荷重とプレストレス力のバランスに十分配慮した施工手順を採用した。

(3) シェルの支承部

シェルと下部構造の境界部では、シェルに作用する鉛直荷重および地震時の水平力を下部に伝えるとともに、緊張力導入時の放射線方向の変形や長期間のクリープ変形に追随するため、シェル最外周部を放射方向ローラー機構として設計する必要がある。これを実現するためテンションリング直下に配置した176個の積層ゴムによりシェル全体を支持し、シェルが放射線方向に自由に変形可能なディテールを採用した。

(4) プレキャストPC部材の利用

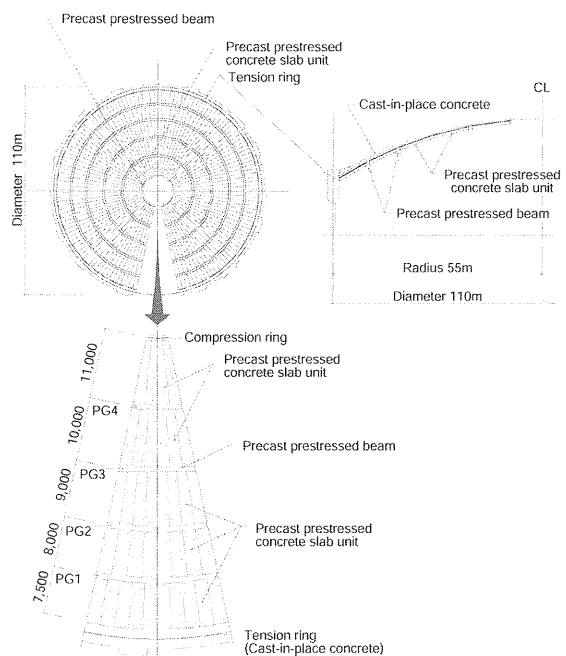
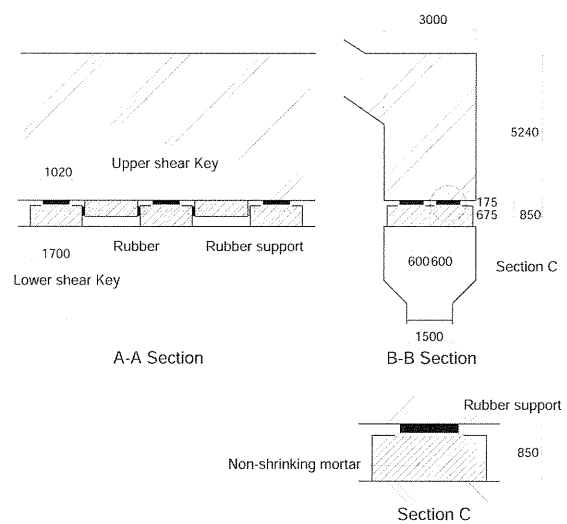
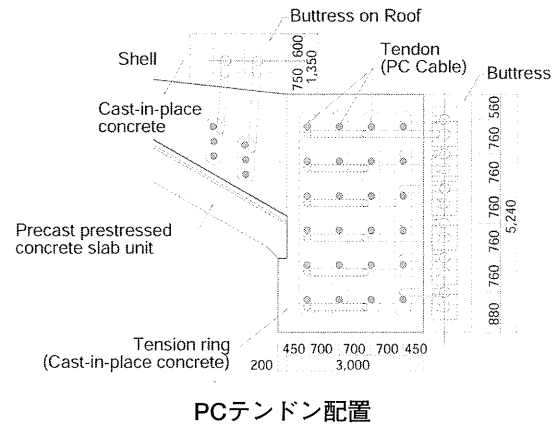
シェルは型枠兼用のプレキャストPC梁およびプレキャストPC床版と現場打ちコンクリートの合成構造として、施工性と経済性を高めた。プレキャストPC版が現場打ちコンクリートの型枠となるため、足場製作作業および型枠工事が簡素化された。また、そのPC版を支持する部材を剛性の高いプレキャストPC梁にすることにより、支保工がPC梁の端部の支持点に集約され、そのPC梁のたわみ量が小さいためスパン（支保工間隔）も十分に確保することができた。

3. まとめ

大阪中央体育館のアリーナ屋根は、プレストレストコンクリート球形シェル構造により、他に類を見ない大荷重を受ける大スパン構造を実現させた。

大小2つのアリーナの上部を緑豊かな都市公園として利用し、メインアリーナの大屋根は標高25mの小高い緑の丘を創り、周囲の公園と一体化するとともに緑のランドマークとしての存在が期待される。

また、地下の空間を利用した構造物のため、建物に入力される熱負荷が極端に少なく、地下特有の恒温性能・保温能力を生かし、熱エネルギーに対する省エネ化がなされ、環境にやさしい建物を実現させている。



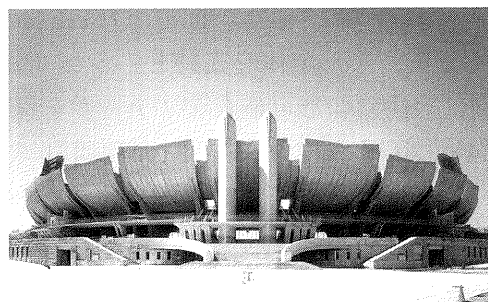
2. 南長野運動公園多目的競技場内野スタンド（長野オリンピックスタジアム）

1. はじめに

現在、長野オリンピックスタジアムの愛称で呼ばれるこの施設は、名前の通り、1998年の2月から開催された、長野冬季オリンピックの開会式・閉会式の会場として使用された。まず五輪に合わせて現在の内野スタンドの部分が先行して建設され、開催終了後改修工事が施され、2000年3月に内外野全面人工芝のプロ野球公式戦開催野球場として開場し、2004年にはオールスターゲームが開催された。内野スタンドは2層構造で、21,000人収容、外野の芝生席9,000人と合わせ3万人収容のスタジアムである。

2. コンセプト

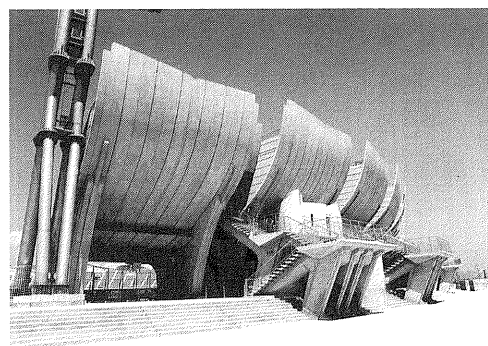
“世界からひとつの花になるため”という大会テーマに基づき、「さくらの下の集い」をコンセプトにして設計されたこのスタジアムの大きな特徴は、内野スタンド全体を覆う21枚の巨大な「さくらの花卉」である。この花卉は7枚のPC板で構成され、両翼から中央に向かうにつれて大きくなっており1ピースの最大長さ20m、重量は約30tである。



スタジアム完成写真

3. PC構造の選択

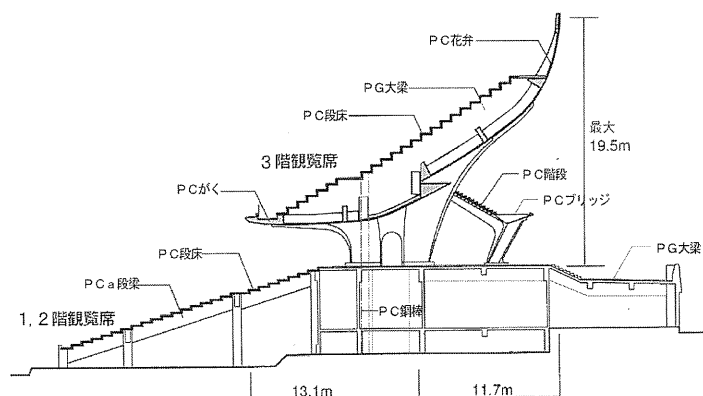
写真からわかるように、この複雑な大局面形状を現場で型枠、鉄筋施工するのは非常に困難であるために、PCa・PC工法が採用された。さくらの花卉の外壁をPC花卉と称し、PC花卉を受けるPCa・PC部材をPC萼（がく）と呼んでいる。工場で製作されたPC花卉、PC萼は現場にて、プレストレス力により、接合し組み立てられた。



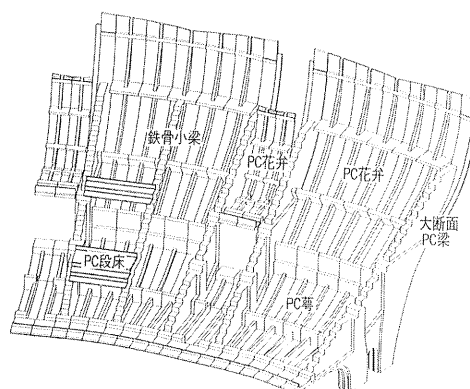
PC花卉・ブリッジ近景

4. 構造・施工上の特徴

平面的にはエキスパンションを設け3ブロックに分



スタジアム断面図



PC萼・花卉接合概要

かされている。1・2階スタンドはX（円周）方向、Y（円芯）方向とも、耐震壁付きラーメン構造で、PCa段梁（RC構造）の上にPC段床を設置している。3階スタンドのX方向はラーメン構造、Y方向は大断面（中央部 $B \times D = 1.2\text{m} \times 3.0\text{m}$ ）の場所打ちポストテンション梁の中央部を2本の柱で支持した架構となっている。グラウンド側の柱には、地震時の過大な引抜力とせん断力进行处理するために、PC鋼棒を配し緊張している。観覧席は同じくPC段床を使用しているが、X方向のスパンが最大13.5mと大きく、振動障害の恐れがあるために、スパン中央部に鉄骨小梁を設けている。PC段床は両端支持のプレテンション部材で、防水層無しのコンクリート素地で躯体防水としており、目地はポリサルファイド系のシーリングを施している。また、シーリング劣化による漏水対策としては、目地直下にステンレス製の漏水溝が設置されている。2階から3階への観客の移動のためにはスタンド外周のPC階段の踊り場をつなぐPCブリッジがかかっている。このブリッジは両端ピン支持の場所打ちPC工法としている。

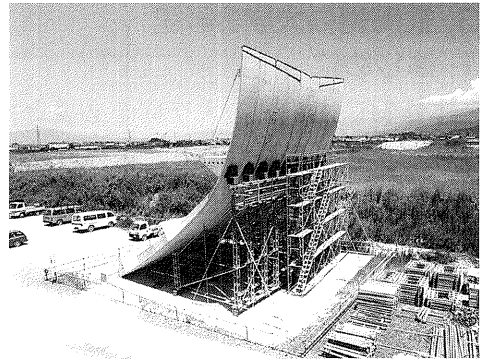
PC萼とPC花卉については、施工前にモックアップによる組立実験を行い、支保工の取付方法やレベル等組立精度の確認をした。

5. まとめ

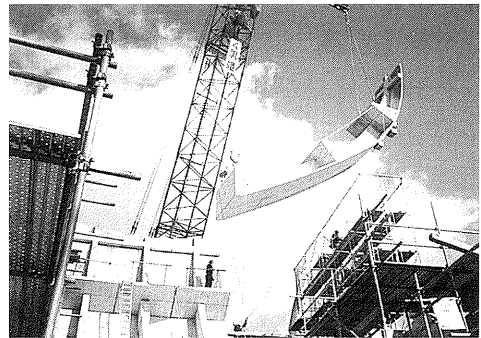
本建物は「はじめに」で記したように、『さくらの花卉』を模した外観となっており、平面形状・断面形状ともに幾つもの曲面を多用している。このような複雑な構造の建物をPCa・PC化する事により、本工事の実現が可能となり、さらには、工期の短縮および高度な躯体精度の確保が実現できた。

参考文献

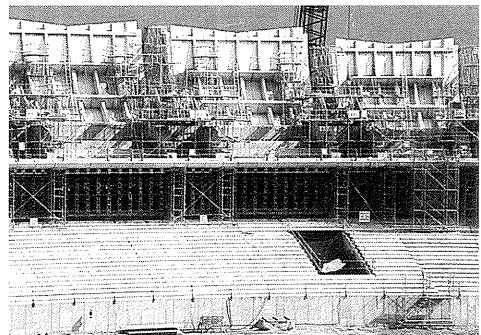
「プレストレストコンクリートVol.39, No.05」
「日経アーキテクチャ」1997年3月10日号



PC花卉組立実験状況



PC花卉架設状況



PC萼・花卉設置状況

建物概要

建物名称：南長野運動公園多目的競技場内野スタンド

所在地：長野市篠ノ井東福寺1-2

事業者：長野市

設計者：住宅・都市整備公団、(株)類設計室

監理者：住宅・都市整備公団

施工者：前田・東急・北野・吉川・千広共同企業体

PC施工：(株)建研（旧 フドウ建研(株)）

規模：建築面積14,703m²、延床面積10,632m²

地下1階、地上3階

構造：杭基礎工法（機械掘、アースドリル場所打抜底工法）

地下部分 鉄筋コンクリート造

地上部分 鉄筋コンクリート造 PCa・PC造

工期：1994. 1～1996. 11

いう理由の他、コスト試算においても他構造より安くできる見通しが立ったことからPC構造の採用となった。

4. 構造・施工上の特徴

構造上、建物の耐力とじん性を高めるため特に次のような点に配慮されている。

- ①すべての部材の破壊形式が、曲げ破壊先行形となるように十分なせん断補強を行っている。
- ②1階柱脚を除いたほかは、すべて梁破壊先行のメカニズムとしている。
- ③RC部材配筋をつり合い鉄筋比以下、PC部材の鋼材係数を0.3以下としている。
- ④柱の軸方向応力度を $F_c/3$ 以下としている。
- ⑤PC梁、RC梁の曲げヒンジ部は、圧壊を防ぐために曲げ圧縮拘束筋で十分補強している。PC梁についてはさらにスパイラル筋を用いて補強を行っている。

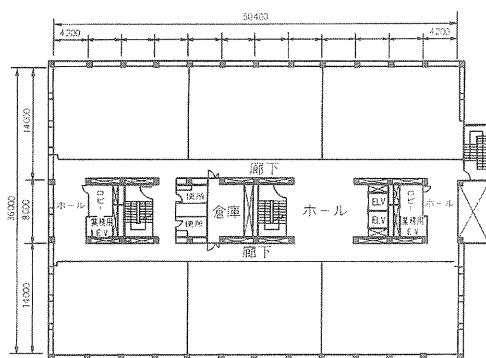
施工上、はり型枠の直上からシーすを取り付けるための受け金物の使用と、定着体の取り付く端部型枠に鋼製型枠を使用し、PC工事をスムーズ化している。

5. まとめ

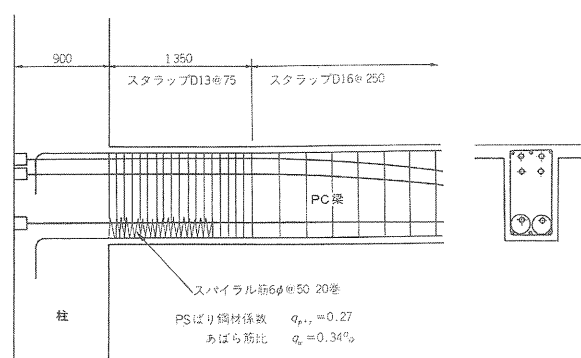
本建物は、PC構造の高層建築としては草分けである。本建物の設計で、適切な構造計画をおこなえば、高層PC建築も十分耐震的な設計が出来ることが確かめられた。長スパン構造に適するというPC構造の特長を、高層建築のうえでも可能とする本構造形式は、構造計画のうえでより自由な設計を可能とする方式として、現在に受け継がれている。

本稿は、以下の文献を編集・加筆したものである。

「松尾芳辰、野沢正；福岡歯科大学の設計について（PS高層建築の振動解析）：プレストレストコンクリートVol.20, No2, Apr. 1978」, 「久米田一、野沢正、松尾芳辰；プレストレストコンクリートによる高層建築の設計・施工－福岡歯科大学3号館建築工事－：建築技術1978.7 No. 323」, 「野沢正；福岡歯科大学：プレストレストコンクリートVol.21, No3, Jun. 1979」



平面図



PC梁端部補強詳細図

建物概要

構 造：場打ちPC構造、RC構造併用
規 模：地上9階、PH2階、地下なし
最高軒高：41.75m
最高部高：48.60m
建築面積：4377.97m²
延床面積：19923.72m²

建 築 主：福岡歯科大学
設計管理：(株)現代建築研究所
構造設計：ピー・エス・コンクリート(株)
施 工：(株)熊谷組福岡支店
PC工事：ピー・エス・コンクリート(株)福岡支店
工 期：1977. 7. 1～1978. 9. 30

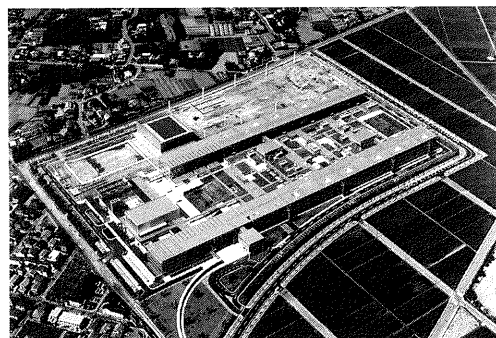
4. 埼玉県立大学

1. はじめに

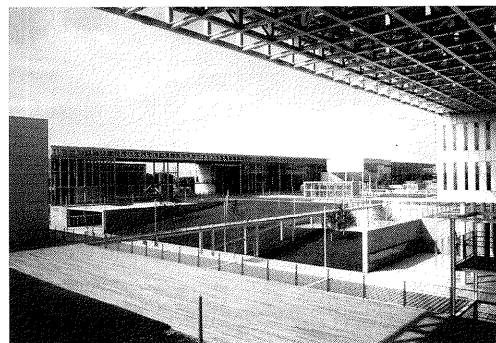
急速な高齢化社会への移行と、健康に対する意識の高揚が相俟って、質の高い保健医療と社会福祉サービスの必要性が増大している。そこで埼玉県ではそれまで県内にあった看護、福祉系の短期大学が統合されるとともに、新設された4年制大学も含めた埼玉県立大学が設置されることとなった。工事は定められた開校時期と工事発注時期との関係から、延床面積54,000m²余りに及ぶ大学施設全体を工期19ヶ月の短工期で竣工させなければならなかった。

2. コンセプト

看護福祉系の大学であることから、専門分野の技術を学び研究することはもとより、人間関係のあり方を学ぶことも重要なことと考えられた。そこで大学施設を利用する人々の行動がたがいに見えることにより、人々が相互に関心をもち、コミュニケーションが豊かな場を提供することを設計コンセプトとした。このことから、内外の壁はできる限り透明ガラスとされ、構造躯体はその存在をなるべく意識させない構造システムを模索することとなった。さらに構造躯体はそのまま露出させたうえに、視野を狭くする仕上げは最小限に留めることとした。



全体空撮



エントランスから見る中庭と短大棟

3. PC構造の選択

大学、短大の研究・講義棟の構造躯体はプレキャスト・プレストレストコンクリート（以下PCaPC）造の圧着工法とした。その主な理由は以下の通りである。

- ・全体工事工程19ヶ月のうち、地上躯体工事に費やせる期間はわずか7ヶ月であった。
- ・柱、梁は限りなく最小寸法とするために、桁行方向の柱スパンの割付が小さい列柱方式とした。その結果柱の断面寸法は230mm×660mm、梁せいは400mmの小断面となり、柱本数は1518本に及ぶこととなった。
- ・柱・梁の仕上げは、打ち放しコンクリートに透明の撥水剤塗布のみとされた。

これらより構造体は部材が短期間に量産ができ、高精度、高強度であることに加えて、現場取り付け前にコンクリートの打ち上がり状況が確認できるPCaPC構造とすることとした。

4. 構造・施工の特徴

建築の平面形状は長辺方向が大学棟では約262m、短大棟では約208m、短辺方向はいずれも約23mである。そのうち幅12mの吹き抜けが全長に渡って設けられているため、PCaPC構造部分は11m×262m、11m×208mの長大な形状としている。内部には地震時水平力をすべて負担できる耐震壁で囲まれたコアを、約38m毎に配置することとした。コア内は便所、コピー室、倉庫などに利用されている。柱・梁は地震時水平力を負担しないため、断面寸法は鉛直荷重時

の応力に対する耐力確保と、床の振動障害防止の検討によって決定された。

柱は各階ごとに分節したプレキャストコンクリート（以下PCa）柱として、梁と上下階の柱との接合は現場ポストテンション方式による圧着工法とした。梁と床版は一体の部材として、梁には工場ポストテンション方式のPCaPC部材とした。桁行方向の梁は、型枠のみをPCa化したRC造とした。

PCa部材の仕上げはコンクリート素地のままとされ、製作、現場組み立てから竣工まで色むら、エフロレッセンス発生、破損などの防止に細心の注意が払われた。またPCa部材の均一な美しさを強調するため、部材間の継ぎ手部におけるクリアランスをできる限り小さくすることが検討された。その結果、クリアランスは柱-柱間では0 mm、梁-梁間では10mmとなった。

5. まとめ

設計時にPCa部材が多量少品種となるよう検討されたが、仕上げ材や設備配管との納まりなどから、細部で思いのほか多品種となった。またPCa部材の製品精度の限界による納まりの難しさや、PCa材だから容易と考えていた打ち放しコンクリート仕上げの難しさなど、やってみて意外ということも少なくなかった。

しかしPCaPC造からきまる寸法やディテールのシステムが、建築全体に決められたルールとして適用されることで、非常な短工期の中でスムーズに工事が進められた。また設計コンセプトとされた透明性の高い建築を、打ち放しコンクリート仕上げで実現できたことは言うまでもない。

建物概要

工事場所：埼玉県越谷市大字三宮
 発注者：埼玉県知事 土屋義彦
 設計：建築 (株)山本理顕設計工場
 構造 (株)織本匠構造設計研究所
 (株)構造計画プラス・ワン
 設備 (株)総合設備計画
 監理：埼玉県住宅都市部営繕課
 埼玉県住宅都市部設備課
 (株)山本理顕設計工場 他
 施工：大学棟工区-大林他 特定JV
 短大棟工区-清水他 特定JV
 本部棟工区-東急他 特定JV
 図書館棟工区-三井他 特定JV
 体育館棟工区-高元他 特定JV

PC工事：フドウ建研(株)

工期：1997. 7. 8～1999. 1. 29

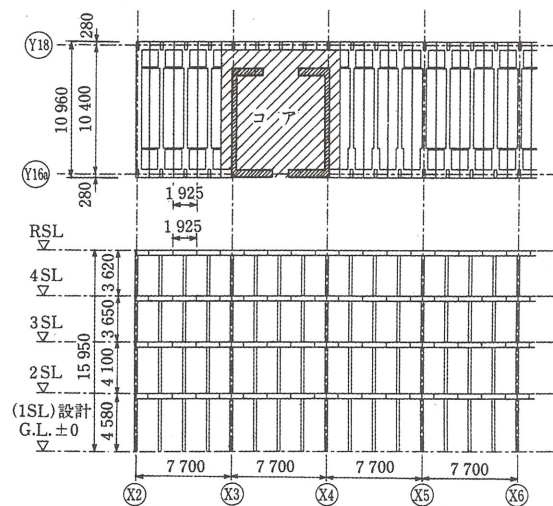
規模：敷地面積 102,265.37m²

延床面積 54,080.11m²

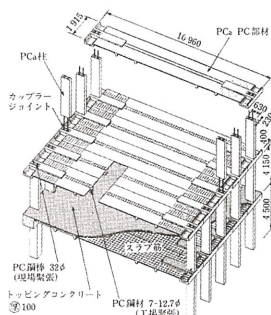
階数 地上4階

建物高さ 18.23m

構造：RC造・PCaPC造一部鉄骨造



伏図・軸組図



組立て概要図



施工時内観



ホールからの施設内観

5. 京都大学 桂キャンパス Aクラスター

1. はじめに

京都大学工学研究科の移転計画で、吉田、宇治に続く第3のキャンパスとして桂の地が選ばれた。1999年に桂キャンパス全体の基本設計に着手し、A、B、C、Dクラスターからなる全体のマスタープランを作成し、引続きAクラスターの実施設計を行った。Aクラスターは、電気系の施設であるA-1棟、化学系の施設であるA-2、A-3、A-4棟、それらをつなぐデッキから構成されている。ここではA-1～A-4棟について述べる。

2. 建築計画・構造計画

化学系、電気系からなる研究棟は、実験室と研究室から構成される。実験室は、フレキシビリティを確保するため連続した無柱空間としている。また、実験室の床には下階に影響なく変更可能な配管・配線ピットシステムを導入している。将来の更新に柔軟に対応できる設備スペースを実現するために、中庭側に、全ての実験室に面したテクニカルスリットと称する設備専用の外部空間を設けている。このテクニカルスリットは設備シャフトが外部に露出しないため、景観的にも優れたシステムである。実験室群の外周には廊下を、さらにその外側に研究室を配置している。

地上部分の主体構造はプレストレストコンクリート(PC)構造である。PC構造として梁せいを抑えることにより、必要空間を確保しつつ階高を抑えることができ、ひび割れの少ない耐久性の高い構造体とすることができる。同一形状の部材が多くシステム化した施工法に適しているため、プレキャスト(PCa)化工法としている。耐震設計上は、整形な平面および立面形のユニットを組み合わせた合理的な

建物概要

建築主：京都大学

所在地：京都府京都市西京区 京都大学桂

敷地面積：47,930m²

各棟の建築概要：

	A-1棟	A-2棟	A-3棟	A-4棟
階数	地上4階 地下1階	地上5階 地下1階	地上4階 地下1階	地上3階 地下1階
建築面積	2,850m ²	2,120m ²	2,030m ²	2,770m ²
延べ面積	10,350m ²	9,360m ²	8,460m ²	9,710m ²

構造：プレキャストプレストレストコンクリート構造、鉄筋コンクリート構造

設計：京都大学 施設・環境部、(株)日建設計

施工：大林・三井・増田共同企業体、竹中・青木・かねわ共同企業体

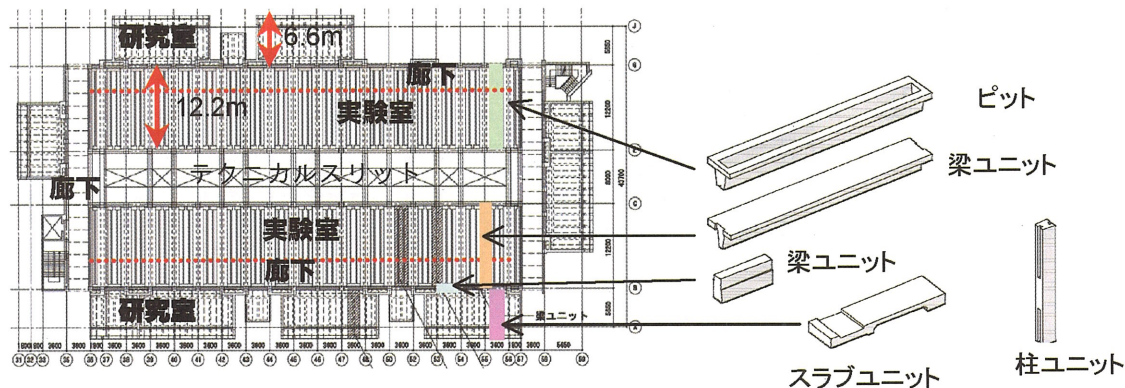
工期：2000.12～2003.3



桂キャンパス Aクラスター



A-2棟



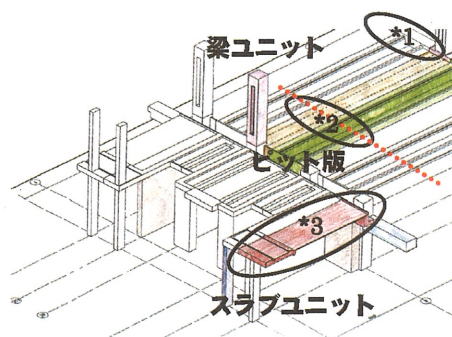
PCaPC部材の構成

架構とし、水平荷重に対して張間方向・桁行方向とも鉄筋コンクリート造の耐震壁をバランスよく配置し、適切な強度とじん性を持たせている。

3. PCaPC 構造の採用

実験室、研究室、廊下からなるシステム化された建築計画と配管・配線ピット式システムをもつ実験室に伴う設備計画を構造計画に反映させるため、PCaPC圧着工法とすることを計画の初期の段階から検討し、採用に至った。採用の理由は以下の通りである。

- ①建物の機能上架構形式をシステム化しやすい。
- ②実験室の床に設ける配管ピットを製作しやすく、PCaPC梁としても活用できる。
- ③部材製作を工場で行うことにより鋼製型枠を採用することができ、地球環境に貢献できる。
- ④敷地周辺が閑静な住宅地であるため、現場での作業を少なくし騒音を減らすことができる。



実験室、廊下、研究室の構成



※1 実験室



※2 廊下実験室

4. プレキャスト化のスタディ

圧着工法の場合、部材の目地位置を自由に決められる利点があり、種々の柱・梁・ピット版の組み合わせ方法が考えられた。システム選定の条件として、架設方法、コストに影響を及ぼす圧着目地の数、実験室と配管ピットの納まり、意匠的な条件などが挙げられた。意匠、構造、設備の整合性を図り、テクニカルスリット側は柱のブラケットとピット版で桁行方向の梁を形成することで、ピット版からテクニカルスリットへ抜ける配管の処理が容易となった。研究室側は桁行方向の梁レベルを下げ、ピット版と大梁についた床版を直接桁行梁に架設可能にした。研究室の床版も端部を折り曲げ、ピット版から研究室へ伸びる配管ピットを組み込んだ。

実験室と研究室を構成する柱・梁だけではなく、構造部材以外の部材や各棟をつなぐデッキにもプレキャスト化を図っている。バルコニーは、研究室の床版を兼用し前面にプレキャストコンクリート製の細い柱と目隠し壁を取り付けている。階段室やガラスの面台、屋上の庇やパーゴラもプレキャストコンクリートで製作している。屋外のデッキは約20mのプレキャストコンクリート梁を圧着して構成している。



※3 研究室

5. まとめ

実験室と研究室から構成される研究棟の構造形式としPCaPC構造を採用することで、建築、構造、設備計画を整合させたシステム建築が実現した。国立大学におけるPCaPC構造の本格的な採用は本建物が最初であり、国立大学建設における工法の選択肢を増やすきっかけとなったと考える。



A-1棟とPCaPCデッキ

6. 名古屋商科大学日進キャンパス万博記念ゲート

1. はじめに

本建物は名古屋商科大学の校門の新築工事であり、愛知万博（2005年国際博覧会）にあわせた記念事業として計画された。学校のゲートとしては世界的にも珍しいピラミッド型の形状で、エジプトのクフ王のピラミッドがモチーフとなっており、約1/10の建物規模である。高さ勾配も本物の黄金比（1：1.6）にほぼ近い比率で計画されたのが特徴である。



外観写真（車田写真事務所）

建物概要

工 事 名：学校法人栗本学園日進キャンパス
万博記念ゲート新築工事
工事場所：愛知県日進市米野木町三ヶ峰
建 築 主：学校法人栗本学園
設計監理：(株)竹中工務店
元請施工：(株)竹中工務店
PC工事施工：オリエンタル建設(株)
建物用途：門・守衛室
構造種別：鉄筋コンクリート造
建築面積：573.5m²
高 さ：15.9m
工 期：2004. 7初～2004. 12末

2. 形状の決定とPC構造の選択

外観はピラミッド状とし、用途がゲートであるため、中に守衛室を配置する空間を有する必要がある。またピラミッド形状を形成する外殻は日光を乱反射で中の空間に入れる狙いもあり、できる限り薄い部材で構造を構成する必要もあった。

(株)竹中工務店から、「等高集積シェル構造」という名称で呼ばれている工法を紹介された。この工法は、等高線の帯状の部材を迫り出しながら、積み重ねていくことにより空間を構築する工法である。工事中も安定した形状を保持しながらコンクリートのピースを積み重ねることが可能であるという特徴があり今回の計画に合致する事からプレキャスト（以下PCa）プレストレストコンクリートが採用された。



内観写真（車田写真事務所）

3. 構造・施工上の特徴

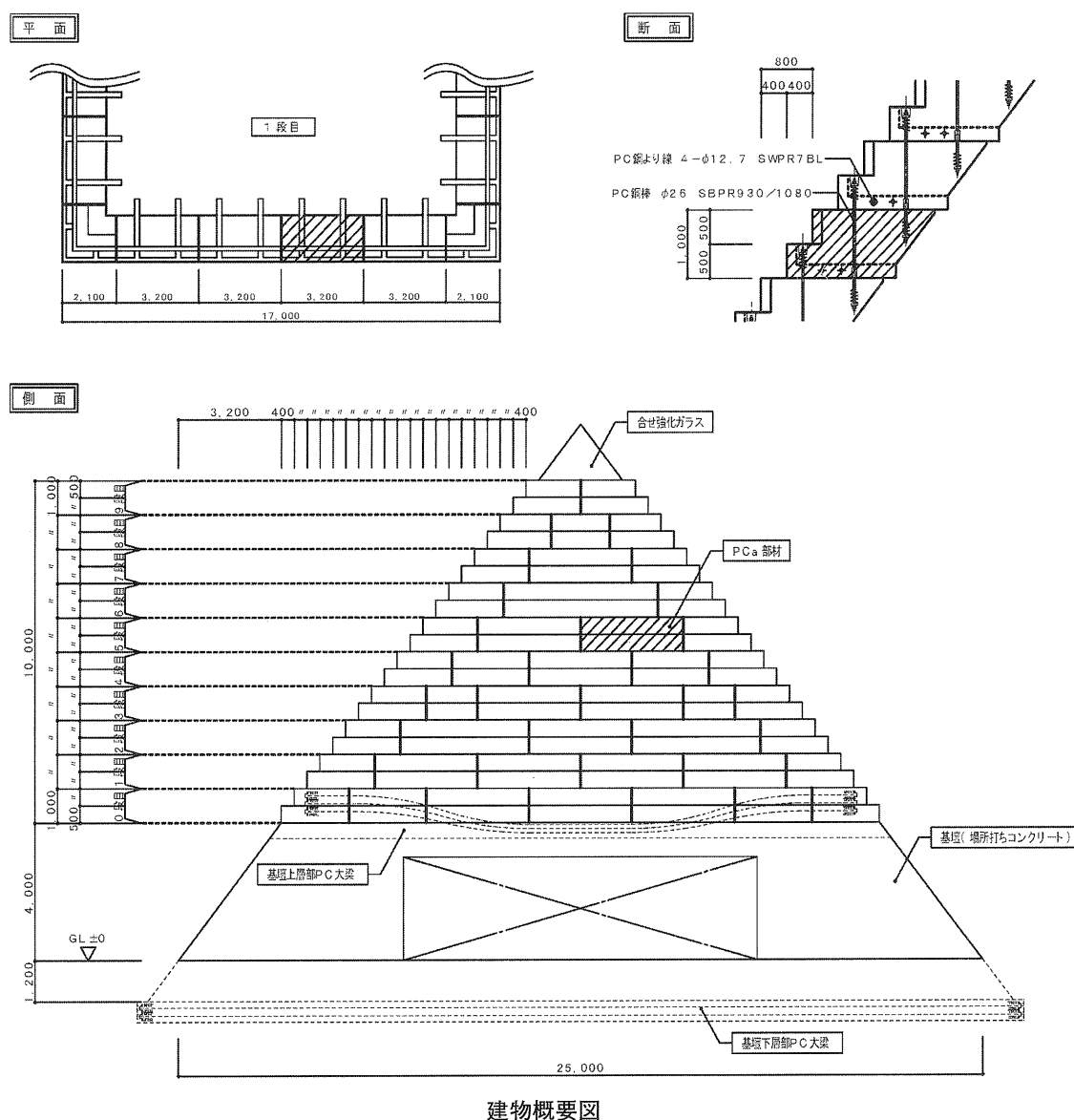
建物の構造は、地上から4mの高さ範囲までが基壇であり、場所打ち鉄筋コンクリート造で、その上の10mの高さ範囲がPCa造である。なお、基壇の上層部と下層部（基礎）が場所打ちプレストレストコンクリート（以下PC）梁である。

各段のPCa部材は、3.2m幅の標準版と正方形型のコーナー版が平面的に組み合わせ、床を形成している。断面的には、高さ1.0mの部材のリブが直上の部材を載せる形を基本とし、これを連続させて9段分の部材を積み重ねている。施工時には水平方向を緊張により一体化した平

面的に四角形の部材を積み重ねる事により安定した形で施工を行い、完成形は柱的役割の縦リブと梁的役割のスラブによる立体フレームを構成させ安定した形状となる。

基壇の上層部の大梁は、車路の開口によりスパンが長くなるため、鉛直荷重に対抗するためにPC梁とした。

基壇の下層部の大梁は、建物全体が平面的に拡がろうとする水平荷重を抑えるためにPC梁とした。建物概要を下图に示す。



建物概要図

4. まとめ

建物の形状・工期によっては在来工法では実現不可能な場合がある。それらの面を解消する工法としてPCa工法が挙げられる。奇抜なデザインにも対応でき、工期短縮も十分可能である。

今回、「名古屋商科大学日進キャンパス万博記念ゲート」は、PCa工法のメリットが十分に発揮できた建物である。

最後に本工事を採用して頂いた、学校法人栗本学園及び(株)竹中工務店に心より感謝致します。

7. 株式会社 安部日鋼工業 本社屋

1. はじめに

本建物は、プレキャスト・プレストレストコンクリート（以下、PCa・PCと略記）造による高耐久性建築物である。また、ストック型社会に対応し、改修や更新が容易なSI建築（Skeleton Infill）の考え方に基づいた事務所ビルである。SI建築とは構造躯体や共用設備部分（Skeleton）と内装や専用設備部分（Infill）とを容易に分離できるように設計された建築をいう。

本建物の外観はシンプルでコンクリート打放しとし、素材の美しさがそのまま表現されている。

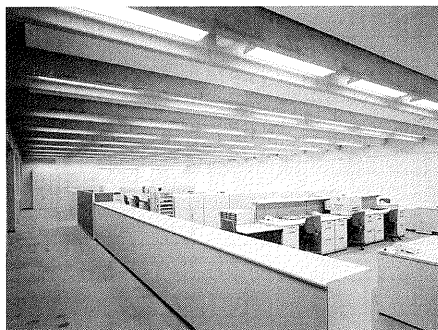
一方内部は、無柱・無梁空間の執務室と非常にゆとりのある階段状の吹抜空間を有している。

建物概要

建築名称：株式会社 安部日鋼工業 本社屋
所在地：岐阜市六条大溝3丁目13番3号
主用途：事務所ビル
敷地面積：11,957.19m²
建築面積：1,133.05m²
延べ面積：4,770.42m²
構造：PCa・PC造
階数：地上5階、塔屋1階
高さ：最高22.30m、軒高22.05m
工期：2001.11～2002.11



建物外観



内観（執務室空間）



内観（吹抜空間）

2. コンセプト

本建物の建設にあたり、次の3つの要求性能が設定された。

- 100年以上使用できる建築物
- ワークスタイルの変化に柔軟に対応でき、機能的に優れた空間
- 顧客に提案できる魅力ある空間

これらの要求性能を具体化するためのアイテムを以下に列記する。

- (1) 高強度コンクリートをPCa・PC造に適用することで100年以上使用できる。また、PCa・PC造の耐震性に着目し、大地震における人命の安全確保だけでなく、構造体の大きな補修をすることなく建物を使用できる機能を実現する。
- (2) 奥行き12m×長さ28mの無柱・無梁空間によって自由度の高い空間を確保する。また、床下に電気・空調設備を配置することで、レイアウト変更や設備の更新が容易にできる。
- (3) 建物中央部に階段状の6層吹抜空間を設け、その両側に330m²（奥行き12m×長さ28m）の執務空間を確保する。階段状の吹抜空間は、両側の執務室を繋ぐ空間であると共に、タテのつながりを可能とし、働く人々が憩い、情報交換ができる場とすることで魅力ある空間を創造する。

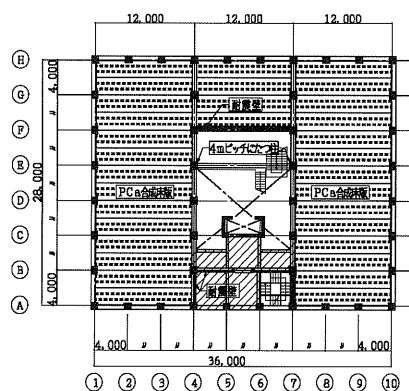
3. PC構造の選択

広い空間、高耐久性、多機能（利便性）を確保すべくロングスパン化と階高の自由性の両者が可能な部材としてPCa・PC造が採用された。また、躯体工事から発生する現場環境や近隣環境への影響を低減するため、および地球環境の保護の観点からPCa・PC造が採用された。

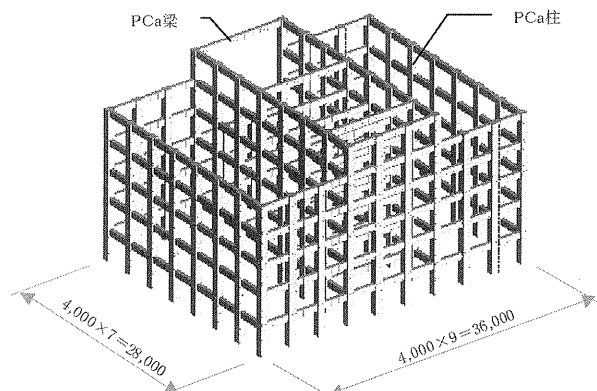
4. 構造・施工上の特徴

フレームを形成する柱および梁は、高強度コンクリート（ $F_c=50\text{N/mm}^2$ ）を使用したPCa・PC造で、建物外周部およびコア周りの柱間隔を4mとし、コア部分に耐震壁を設けた壁付きラーメン構造とされた。

床の構造は、PCa・PC床版を執務室部分の12mスパン方向に架け渡し、その上に配筋後場所打ちコンクリートを打設する合成スラブ構造とされた。PC構造の採用によって、12m×28mの無柱・無梁空間が実現可能となった。

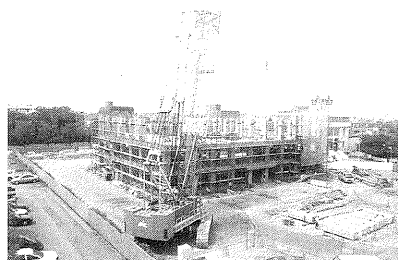


基準階の床梁伏図

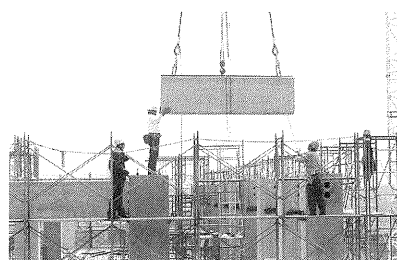


フレーム図

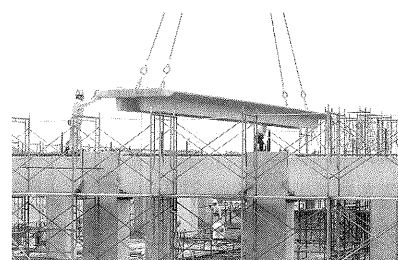
架設及び組立は、180tクローラークレーンを使用して1層（1階）毎行い、PC圧着工法によってフレームが構築された。



PCa部材架設状況



PCa梁の架設状況



PC床版の敷設状況

5. まとめ

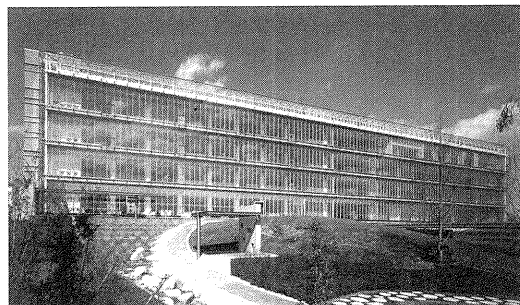
PCa・PC工法のメリットである「高耐久性」、「高品質」、「空間の自由性」、「環境負荷の低減」はSI建築の特徴でもある。本建物は、構造躯体（スケルトン）部分をPCa・PC造で施工されており、SI建築に適合した構造が実現された。また、PCa部材製作にあたり、高炉スラグ微粉末入りのコンクリートを使用したため、環境負荷の低減を図ることができたといえる。

今後、地球資源を有効的に利用するなど環境問題の面においても、PCa・PC工法の幅広い普及が望まれる。

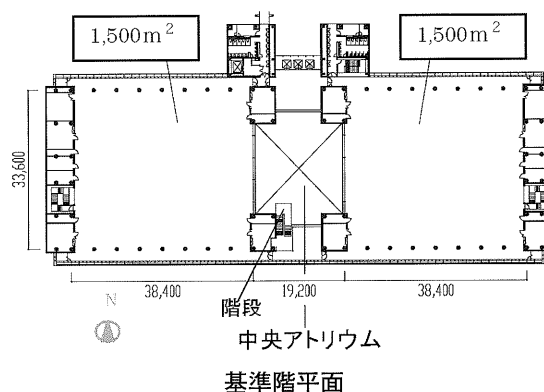
8. マブチモーター本社棟

1. はじめに

マブチモーター本社棟は、小型汎用モーター市場でトップシェアを誇る企業のヘッドクォーターとして建設された。プレキャスト・プレストレストコンクリート(PC床・梁)と鉄骨(無耐火被覆・CFT柱)によるハイブリッド構造、さらに免震技術を応用して大空間を構築し、自由に開放的な執務空間を、そして本社ビルとしての信頼・安全性の両立を目指した建物である。



南側 建物外観



執務室 内観

建物概要 (免震構造)

床、梁 : プレキャストプレストレストコンクリート
 柱 : コンクリート充填鋼管 (CFT)
 規 模 : 地上4階、地下1階
 高 さ : 19.81m 延床面積 : 19,169m²
 建 築 主 : マブチモーター株式会社
 設計監理 : 日本アイ・ビー・エム株式会社
 株式会社 日本設計
 施 工 : 清水建設株式会社
 PC工事 : 株式会社 建研
 工 期 : 2003.5~2004.9

2. 設計コンセプト

本社棟は、「極力無柱の空間を」といった施主要望に対し、中央にアトリウムを挟んで執務室が向き合う形とし、フレキシビリティと見通しの良さを確保するため執務室1,500m²単位を無柱空間として計画している。1,500m²の無柱空間を創り出す構造をPC構造で提案し、そのテンドンに沿った穏やかな曲面形状をそのまま天井とする意匠計画、天井スラブと床スラブの間を空調のレタダクトとし、夜間冷気等による躯体蓄熱をおこなう設備利用計画を提案している。

3. PC構造の選択

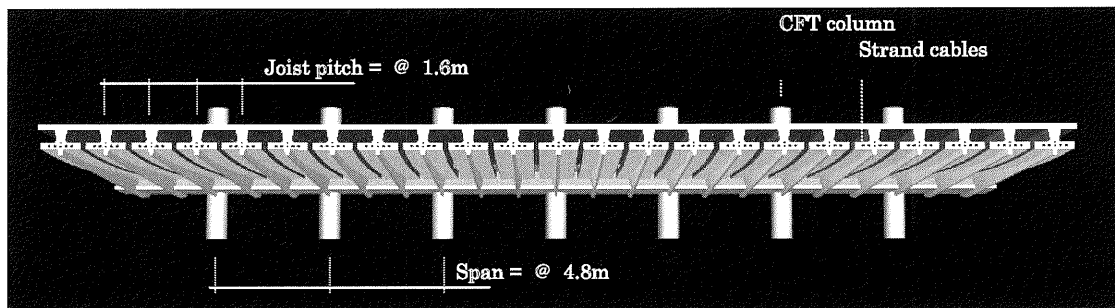
住環境としては、これまでに前例のない34m大スパン1,500m²の住空間(居住環境)を実現するため、従来の鉄骨造などによる床構造の軽量化(高振動数化)とは相反する重量化(質量効果)の手法を提案し、プレストレスト・コンクリートによる床構造を選択した。その有効性については、解析検証~性能検証試験の実施により、高品質な居住空間(居住環境)が確認されている。

さらに、直下型・上下地震動対策(床の減衰力の付加)として、各階にアクリル系粘弾性体(VEM)を用いた床制振用粘弾性ダンパー(着脱・移動を可能とするシステム)を開発・設置している。

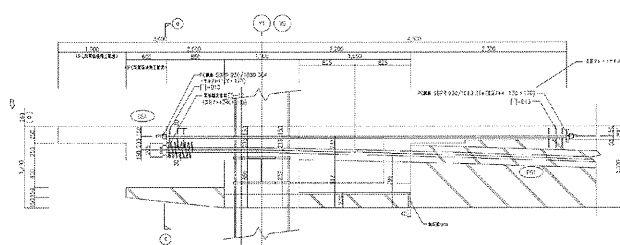
4. 構造・施工上の特徴

スパン33.6mのPC構造は、従来の考え方である曲げモーメント効果（重心～テンドン位置の偏心）ではなく、腹圧力による吊り上げ効果（縦リブの外に配置したテンドン）を利用しており、これによって新たなPC部材の意匠性（テンドンに沿った穏やかな曲面形状）への展開を可能としている。

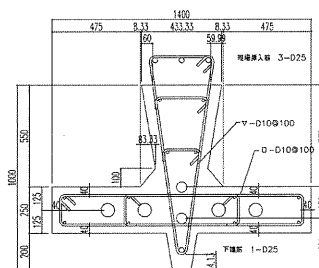
PC床梁は、両端部2.2mまでを現場打ちコンクリート、29.2mをPCa部（コンクリート設計基準強度を $F_c=50\text{N/mm}^2$ ）としている。本PC床梁は、製造・運搬が不可能なため3分割して製造し、各部材は現場搬入後に地組みヤードにて圧着接合して一体化している。圧着接合用のPC鋼材は、SWPR7B-12.7 ϕ を2ケーブルである。PC床梁は床スラブと天井スラブから構成されており、天井スラブがPC鋼材のテンドンに沿った曲線となっており、PC床梁の端部へいくほど上端側へ上がる形状となっている。PC床梁を架設・現場打ちコンクリート打設後、天井スラブ部分に4本の12-SWPR7B-12.7 ϕ を通線してCFTの柱を含む躯体との接合・一体化を行っている。



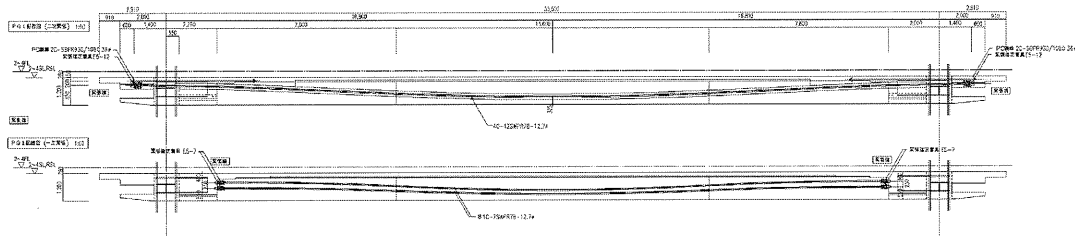
PC床版+CFT柱（東西方向 構造断面パース）



梁端部詳細図



PC・中央部断面図



PC配線形状図

5. まとめ

今回、プレキャストプレストレストコンクリートと鉄骨によるハイブリッド構造、さらに免震技術を組み合わせることにより、今までに例をみない大空間を実現することができた。このような構造システムは、プレストレストコンクリートの新しい可能性を示すものであると言える。

9. 淀屋橋山本ビル

1. はじめに

大阪市を中心街、オフィスビルが建ち並ぶ淀屋橋に建設された「淀屋橋 山本ビル」は、建物の外周部にはスレンダーなプレキャスト・プレストレストコンクリート (PCaPC) 柱をルーバー状に配置し、周辺建物とは一線を画した特徴のあるファサードを表現している。オフィス部分の床にはPCa部材のST床版を採用し、天井を設けず構造美をそのまま表現し、天井高さ3.25mの豊かなインテリア空間を演出している。

建物概要

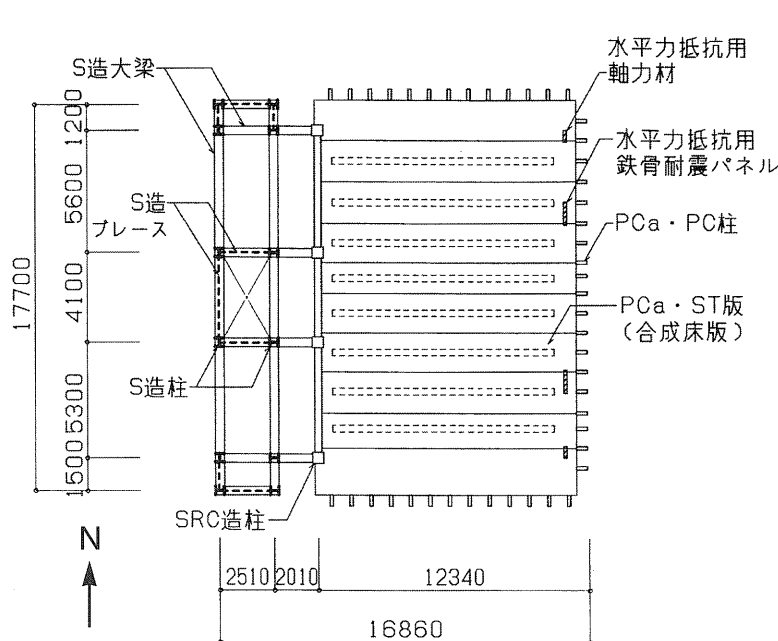
構	造：プレキャストプレストレストコンクリート圧着工法、鉄骨造および鉄骨鉄筋コンクリート造
規	模：地上12階、地下1階、塔屋1階
高	さ：GL+48.7m
延床面積	：3685.68m ²
設計、監理	：(株)日建設計
施	工：鹿島建設(株)
PC工事	：(株)ピーエス三菱
工	期：2004.1～2005.7

2. 構造計画概要

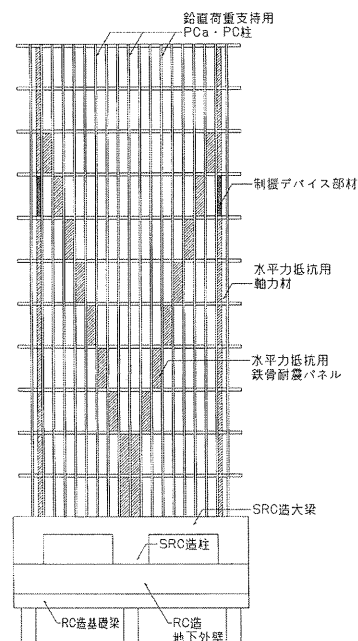
基準階略図に示すように、基準階の架構は西側コア部を鉄骨造 (S造と略記)、東側オフィスゾーンをPC造、その境界部の柱は鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC造と略記) により構成している。オフィス部の床構造は、T形断面のPCaST版と現場打ちコンクリートとの合成床版により構成し、それを外周部に900mm間隔にルーバー状に並べた極めてスレンダーな断面のPCaPC柱により支持させ、オフィス部分の無柱空間を確保した。

耐震・耐風設計上は、東面の南北方向 (Y方向) の軸組図に示すように、建物東面のサッシュ面に組み込んだ全体でM字型を形成する鉄骨耐震パネルおよびコア部のS造ブレースが水平力に抵抗する計画とした。

上部構造を支える基壇となる2階床以下は、主体構造をSRC造とし、RC造の耐力壁をバランスよく設け、上部構造の鉛直荷重ならびに水平荷重を地下および基礎へ円滑に伝達するように計画した。



基準階 略図



東面 南北方向 (Y方向) 軸組図

3. PC部材の設計

ルーバー状のPCaPC柱は、長期鉛直荷重のみ支持させる柱として計画した。ただし、北面および南面のPC柱に作用する鉛直荷重は小さく、南北方向の地震力を受けたときに各階の層間変形を均等にする役目も持たせている。

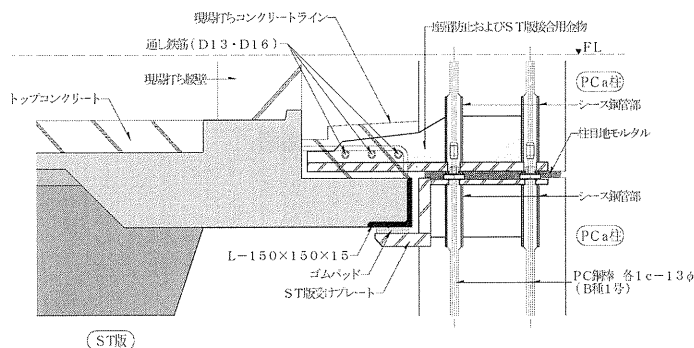
できる限り細く見せたいPC柱は、短辺が140mmと150mm、長辺が500mmの僅かながら台形の断面形状を呈している。この断面寸法は圧着用のプレストレス力と長期軸力に対し、座屈に対する安全率を適切に確保するように決定した。

PC柱は可能な限りスレンダーな形状であるとともに、ルーバーの縦ライン強調するため、ST版との取り付け部は交わることなく「点」で接するように接続することを目指した。これを実現するために図に示すような接続方法を考案した。すなわち、PC柱の柱脚に逆T形の金物を埋め込み、この金物部材がST版の後打ちコンクリート部と一体となって、ST版の荷重をPC柱に伝達し、かつ柱の横座屈を拘束する。この部分のPC鋼材のシースは鋼管で構成し、T形部材のウェブプレートと一体とした。また、PC柱の柱頭には、柱脚と同様、鋼管によるシースと一体となったT形部材にL形のアンクルを取り付けた金物を埋め込み、架設時のST版受けとした。

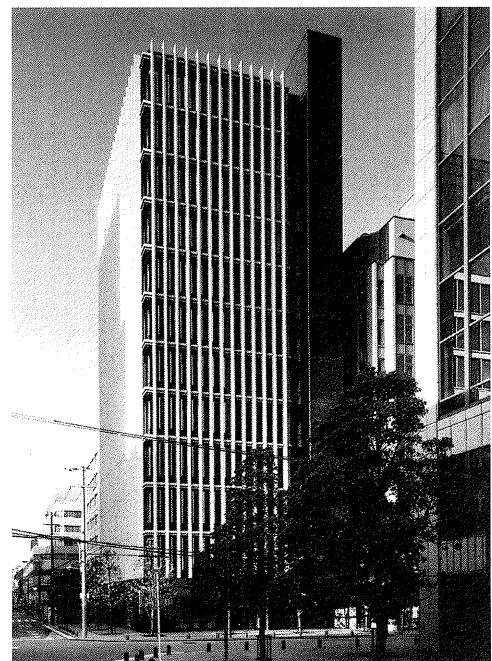
4. まとめ

「淀屋橋 山本ビル」は、スレンダーなPCaPC部材による外周ルーバー柱列と、その内側に浮かぶガラスオフィスとの対比によって、周辺のビル群の中には埋没せず、「凜」とした存在感を表している。柱型の一切ないオフィスフロアは、外周PC柱の日射遮蔽効果によって自然光をやさしく室内に取り入れ、一方、室内はST版の構造美をそのまま表現した豊かな空間を実現している。

高度な空間要求事項に応えるべくPC柱とST版により構築された本建物は、PCa部材を軸に、構造と意匠、設備とが融合して創出されたものであり、次世代オフィスビルデザインの先駆けとなる建物である。



支承部詳細図

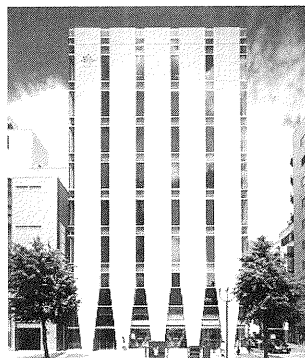


写真提供：古田雅文

10. 大成札幌ビル

1. はじめに

建築に求められる性能は多様化しており、安全性、地球環境配慮、長寿命および計画自由度の拡大が重要視されている。これらの性能を向上させることを目的として、高い耐震性能および自由な空間を有した長寿命建築を可能にする知的制振システム「TASMO (TAisei Smart suppression system with MOnitor)」を開発し、大成札幌ビルに適用した。地震時のエネルギーを吸収する部位を特定し、構造体と外壁デザインの融合を計り、さらにPCaPC梁を使用して、柱のない広い事務所空間を実現した。



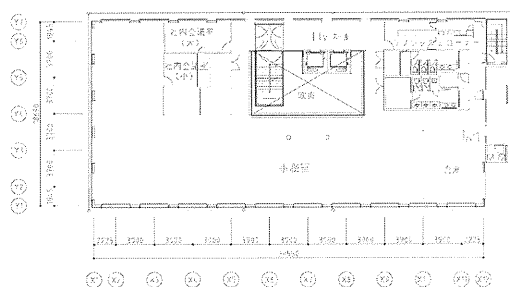
建物外観

建物概要

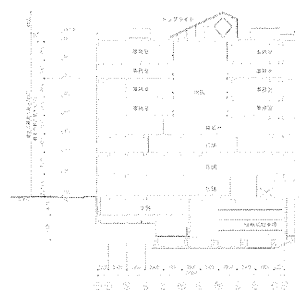
建 物 名 称：大成札幌ビル
 建 物 用 途：事務所、店舗、駐車場
 設計・監理：大成建設株式会社一級建築士事務所
 施 工：大成建設株式会社 札幌支店
 構 造：鉄筋コンクリート造 及び 鉄骨造
 階 数：地上 8 階、地下 1 階
 建 物 高 さ：34.57m
 敷 地 面 積：863m² (261坪)
 建 築 面 積：770m² (233坪)
 延 床 面 積：6,970m² (2,108坪)
 施 工 期 間：2005. 7～2006. 6

2. コンセプト

地下階から 3 階を店舗、4 階から 8 階までを事務所としている。平面形状は約40×20mの長方形である。①環境配慮型建築、②高い耐震安全性と長寿命、③ローコストを設計コンセプトとした。環境において、建築物総合環境性能評価 (CASBEE) 指標を取り入れ、建築計画に反映させた。その計画の 1 つに、熱負荷効率の向上があり、外壁開口率の低減が計画された。そこで、外壁を構造躯体として利用し、外壁構面に地震力を負担させて、スパン約19mの内部空間を柱のない空間とした。また、光および風を効率的に取り込むため、屋上階から 5 階床までの中央部に開口を設け、大規模な吹抜空間を計画した。



事務所階平面図



断面図

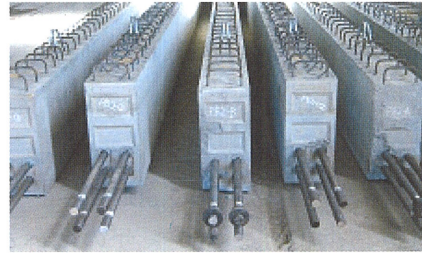
3. PC構造の選択

広い空間を確保し、構造躯体を表現することを目的として、プレキャストプレストレストコンクリート梁 (PCaPC梁) の使用を計画した。PCaPC梁は短辺方向 (18.69mスパン) に配置し、壁柱に架け渡すこととした。梁同士の間隔を1.95mとピッチを細かくし、梁断面を小さくし、繊細かつ軽快に表現することとした。Fc 70コンクリートおよび緊張材としてUSD685高強度異

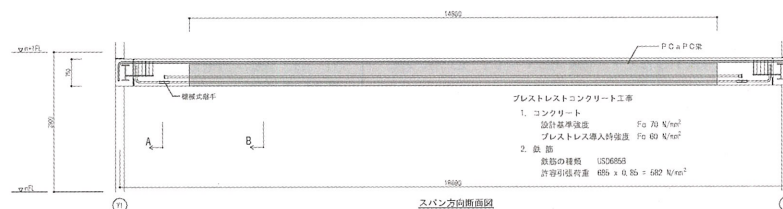
形鉄筋を使用することで、300mm×750mmの断面が可能となった。従来のプレストレストコンクリート梁では緊張材にPC鋼材を使用するが、鋼材間隔の確保や普通鉄筋の存在により、梁断面の縮小化に限界がある。これに対し、軸方向鉄筋自体を緊張材とすることで、鋼材が集約でき、有効な位置に緊張力を与えることができた。運搬および揚重計画から、中央部14.8m部分でハーフPCaとして軽量化を計った。また、定着具やグラウト工事が不要となるプレテンション構法が採用された。



建物内観



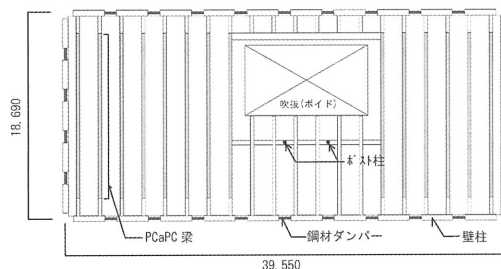
PCaPC梁製作状況



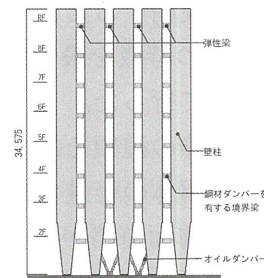
PCaPC梁概要

4. 構造上の特徴 制振システム

建物外周にチューブ状に配置された外壁を壁柱に利用し、制振システムを適用している。剛性の高いRC造壁柱を設置し、壁柱同士は、四隅を除き、鋼材ダンパーを有する境界梁で連結している。境界梁には中央部ウェブに極低降伏点鋼材(LY100)を使用し、壁柱に埋め込んだ鉄骨ブラケットとボルト接合することで、交換可能な方式とした。壁柱は、2階の中間部から下方に向かって順次幅を縮め、外壁デザインとの整合性を図り、かつ、壁柱脚部と地下階との接合をピン支持としている。短辺方向の壁柱脚部には、1辺あたり4台(計8台)のオイルダンパーを設置している。オイルダンパーは1500kNのものをV字型に配置している。



構造伏図



軸組図

5. まとめ

大成札幌ビルでは、知的制振システムTASMOに高強度異形鉄筋USD685を緊張材としたPCaPC梁を長スパン梁に適用することで、高い耐震性能を確保しつつ、建物内に柱のない広い空間を鉄筋コンクリート造で実現することができた。

11. Links

1. はじめに

地球温暖化に対する話題が社会の重大な関心事になっている現在、プレキャストプレストレストコンクリート造（以下、PCaPC造）の普及は、産業としての建築にあって非常に有効な工法である。今回紹介する建物を通してPCaPC造の利用が、大規模土木建築だけでなく一般の建築にもいかに有効であるかを説明する。



建物全景写真

2. PCの特徴をいかした構造計画

敷地は、横浜市たまプラーザの閑静な住宅街である。施主は、次の世代にも胸を張って残せる建物を造りたいと考えて、もともと駐車場として利用されていた比較的広い敷地に自宅兼集合住宅を計画することになった。この敷地を目にした時に「この敷地であればPC造の良さを十分に発揮出来るのではないか。」と直感的に感じた。PC造を採用することとし、施主に対して以下のPC造の特徴を説明した。

- ①高強度・低スランプコンクリートを使用するため、中性化が遅延され躯体が長寿命であること。
- ②プレストレスにより、高い耐震性があること。
- ③スケルトンとインフィルの分割により設備の交換・移動が容易であること。
- ④工場で厳格に製造された部材で構成されるため、躯体が非常に高い品質であること。
- ⑤短い工期と静かな現場作業により、環境に対して非常に優しいこと。

これらの特徴を説明すると、施主はこの構法に大変興味を持ち、この建築をPC造とすることに決定した。上述の特徴を最大限に生かし、建物を計画するにあたり設計上のいくつかのポイントを設定して進めて行った。

- ①使用する鋼製型枠の種類を最小限とする。最終的には、7種類とした。
- ②建物の床版は、躯体の軽量化を図るために、必要なピッチのリブ付き床版とする。
- ③建物の壁版は、前面道路が十分に広いことと現場での作業の省力化を図るため、「一枚打ち」とし、さらに両面の仕上りを均一とするため、「縦打ち」とする。

これらのポイントを構造的に解釈すると、スパンをある程度統一し、住戸の一方向には、充分風と光の差し込む、版と版の圧着構法による薄肉ラーメン構造を採用した。

3. 実験と製作

Linksのような版と版の圧着構法による建物は前例が少ないので、耐力と復元力を確認するた

建物概要

建物名称：Links（リンクス）
 所在地：神奈川県横浜市青葉区美しが丘4丁目
 敷地面積：2152.1m²
 建築面積：929.7m²
 延床面積：2949.1m²
 建築規模：地上5階建て
 構造種別：地上 プレキャストプレストレストコンクリート造
 基礎 杭基礎
 設計：アトリエテン 高田典夫
 構造設計：ジェーエスディー（JSD）徐光
 設備設計：雄建築設備設計事務所
 施工：大成建設㈱
 PC施工：オリエンタル建設㈱
 工期：2004.6～2005.4

め、実大のパネルゾーンを4体(十型とト型)製作し、繰り返し静的荷重を載荷した。結果は、1/50まで変形が進行しても供試体は、床版の角部が損傷する程度で原点に復元した。この結果により補修を行えば、継続使用可能なのではないかという結果を得た。

PC版の工場製作に関しては、この建物は打ち上がりがそのまま仕上げである打ち放しであるため、事前に綿密な打設計画を立て万全の態勢で臨んだ。その上で製作しながら、外震機的位置・バイブレーターのかけ方など適宜修正を行い、最終的には、自分たちの納得のいくPC部材の製作ができた。

工事中に近隣の方々からも建物の大きさのわりに作業が静かであること、また、躯体工事がみるみる進み気が付いたら出来上がっていた、との言葉を頂いた時は、PCaPC造の環境への優しさを実感することが出来た。

4. おわりに

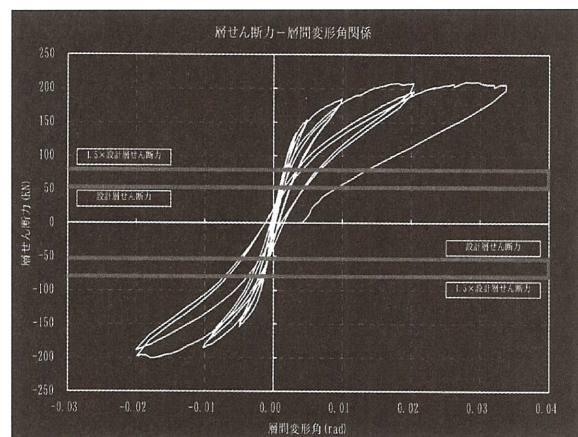
Linksが竣工して一番印象に残ったのは、施主がこの構法について非常によい印象をもってくれたことである。施主自らPC建築の勉強をされて、現場の施工者に言って聞かす程であった。また、計画の当初に考えていた通り上部躯体工事は、RC造で工事を行うより2ヶ月程早く終了し、PC造のメリットが十分に発揮されたのではないと思う。今回のフルPC造の版と版の圧着構法の建物を実現し、設計者としてPC造のメリットを十分に発揮するためには、設計者だけではなく、施主・施工者までが、一体となって工事に臨むことが重要であると改めて感じる建物であった。

参考資料

Links：建築技術2005年7月号pp.54～67



中庭



Q-δ 曲線 実験結果



外廊下 施工中

12. 関西医科大学附属枚方病院

1. はじめに

関西医科大学附属枚方病院は、新しい医療機能の展開、患者サービスの向上、地域との連携強化等をめざした、救命救急医療などが提供される総合病院であり、高度先進医療の拠点となる大規模大学病院である。本建物の設計に当たっては、その機能を確実に発揮させること、地震による災害時にも災害拠点病院としての機能を損なわないこと、および将来のプラン変更や施工性等を考慮し、以下に示す構造計画を採用した。

- ①耐震安全性の高い基礎免震構造とする。
- ②耐震壁はプラン変更の影響を受けないコア周辺のみ配置し、他の部分は純ラーメン構造として間仕切壁の自由度を高める。
- ③プレキャストPC圧着工法と鉄骨造の混合構造によって施工性の向上を図る。
- ④高層部の病棟部分にPC圧着工法を採用することによってひび割れの少ない品質の高い構造とする。

2. 計画概要

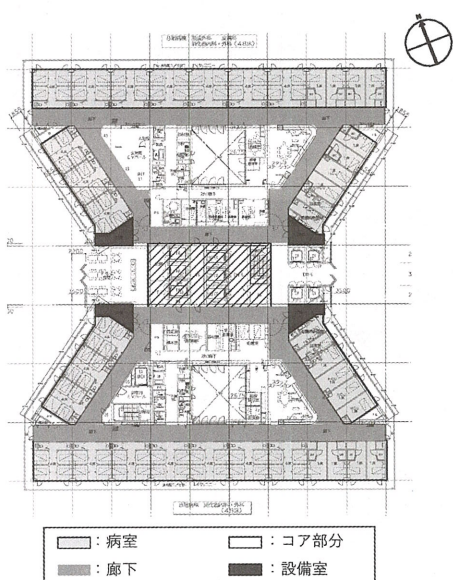
本病院は病床数700床、一日の想定外来患者数2000人超として計画され、病院機能としては低層部に診療部門および管理・供給部門を、高層部に病棟を配置している。建物の平面規模は、低層部では120.9m×76.5mの整形な形状をしており、高層部では55.8m×65.1mの東西面がややくびれた鼓状の形をしている。



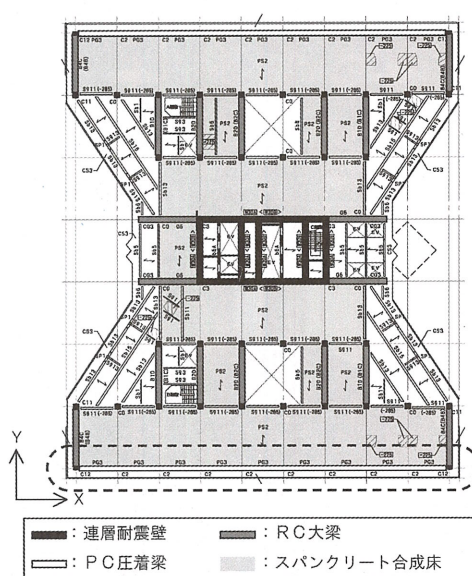
建物外観写真

建物概要

建 物 名 称：関西医科大学附属枚方病院
 設計・施工：株式会社竹中工務店
 監 修：株式会社日本設計
 延 床 面 積：71,851.19m²
 構 造 種 別：RC造（一部PC造、鉄骨造）
 基礎免震構造
 規 模：地下1階・地上13階・塔屋2階
 軒 高：61.324m
 建 物 高 さ：67.024m
 工 期：2003. 3～2005. 8（29ヶ月）



高層部の建築平面図



高層部の構造床伏図

3. 構造・施工上の特徴

本建物の最も大きな構造上の特徴は、免震構造を採用していることである。よって上部構造は、免震性能を効果的に発揮させるために高い剛性を有するRC造としており、地震時のエネルギー吸収能力が小さいPC構造と免震構造を組み合わせることで、非常に合理的な構造計画としている。

高層部分は、将来の病室プラン変更や設備配管の更新等のメンテナンスに対応しやすくするため、耐震要素をコア部分の連層耐震壁と必要最小限のラーメン架構に集約している。さらに、高品質な躯体を構築し、施工性の向上を図るため、積極的にプレキャスト部材を採用した。以下に示すプレキャストPC圧着工法をはじめ、その他のラーメン架構の柱・大梁もプレキャスト部材としている。床スラブはスパンクリート合成床、バルコニー部分はフルプレキャスト部材とし、耐震要素以外で床を構築するために必要な梁は鉄骨梁とした。これらのプレキャスト化は、型枠に使用する南洋材の使用を削減することで環境にも配慮しており、社会に貢献する計画である。

4. PC構造の選択

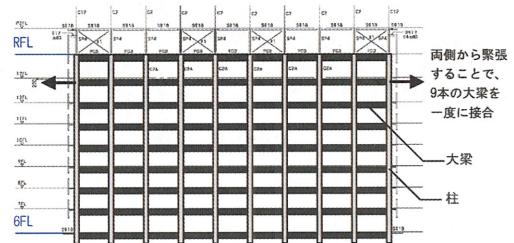
本建物においてPC構造は、低層部エントランスホールの吹抜空間を実現するための18.6mスパン梁、および高層病棟部の南北面架構に採用している。特に高層病棟部は、架構の耐震強度の向上や梁部材のひび割れを低減することに加えて、施工性の向上を図ることを目的として、梁のプレキャストPC圧着工法を採用した。

プレキャストPC圧着工法は、工場製作したプレキャスト部材を用いることで精度が高くひび割れの少ない高品質な躯体を構築できると共に、通常の梁主筋は接合せずにPC鋼線を緊張するのみで柱と大梁を一体化することができるため、プレキャスト部材の接合方法として非常に合理的な工法である。

また、今回のPC圧着工事の実施工程は、プレキャスト柱梁19本の建方から緊張およびグラウト注入まで圧着架構1列あたり9日間で完了できており、工期短縮も図ることができた。

5. まとめ

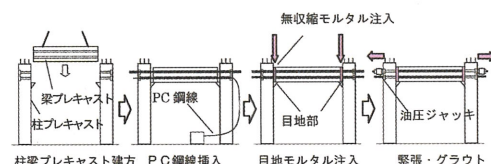
高度先進医療の拠点となる関西医科大学附属枚方病院において、その機能を確実に発揮させるだけでなく、耐震安全性・ひび割れの低減・施工性の向上および環境に配慮した構造計画を行い、実現することができた。特にプレキャストPC圧着工法の採用は、その実現に大きく寄与していると考えている。



PC圧着梁採用部の軸組図



PCa柱およびPC圧着梁の仮設状況



PC圧着梁の施工手順

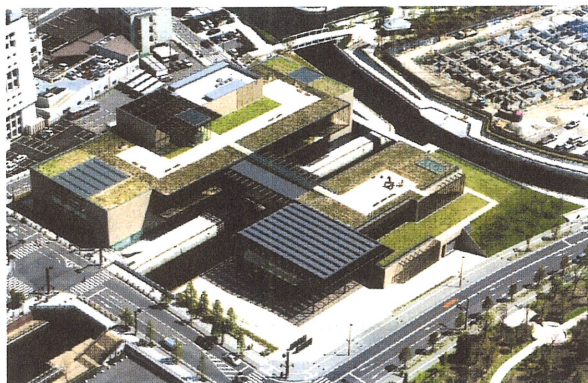
1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目
PCa建方			目地モルタル		養生	緊張		
		PC鋼線挿入					グラウト	

PC圧着工事の実施工程

13. 長崎県美術館

1. はじめに

本建物は、敷地中央に出島運河が横断し、水際で美術鑑賞を楽しめる世界にも例のない美術館である。運河を中心として、ガラスのエントランスホール、運河を渡る橋の回廊、光の回廊、風の回廊といった開放空間、ならびにデザイン要素としての石のルーバーなど、建築デザインと構造計画、建築材料と構造部材の融合をはかり実現した作品である。



建物全景写真

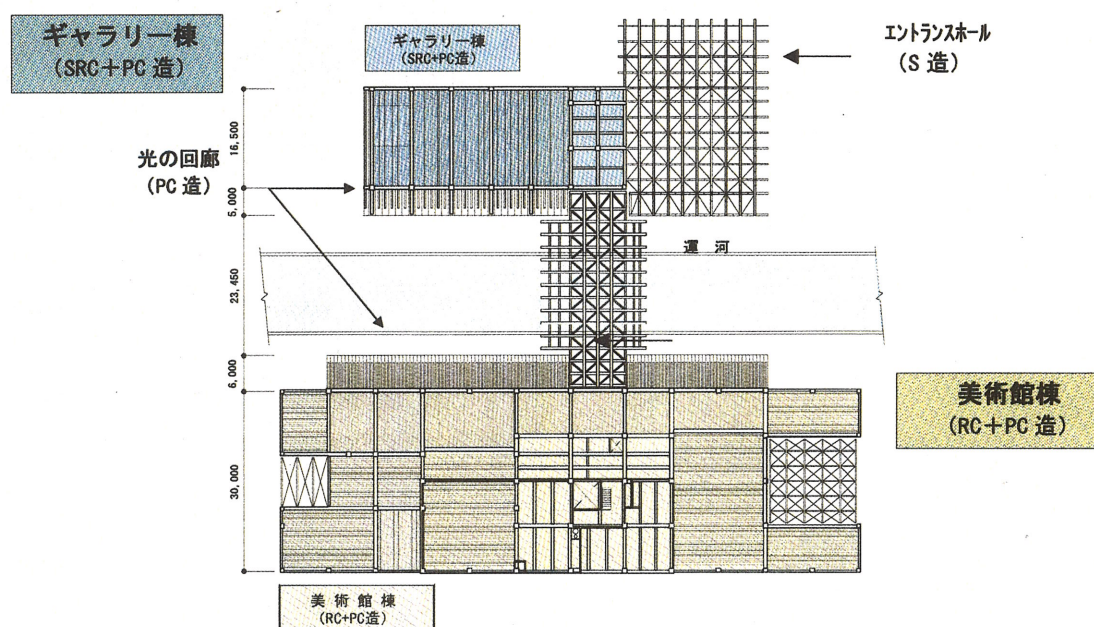


運河を挟んで右がギャラリー棟 左が美術館棟

2. 構造計画概要

本美術館は、エントランスおよび県民ギャラリーを中心とした「ギャラリー棟」と、1階を収蔵・研究部門、2階を常設展示室・企画展示室とした「美術館棟」で構成されている。

ギャラリー棟および美術館棟の床版には、プレキャストプレストレストコンクリート床版（T型）を採用しており、無柱の展示空間等を実現するとともにそのリブ形状を天井の意匠としている。



全体配置図

3. 構造設計概要

運河の兩岸に建つギャラリー棟（SRC造）および美術館棟（RC造）を施設全体の耐震構造要素とし、これを核としてガラスのエントランスホール、34mスパンの橋の回廊、最大6mキャンティレバーの光の回廊、および石のルーバーを構成する設計としている。

尚、運河を渡る橋の回廊については、運河を楽しむカフェを配置しており、風あるいは人の往来による床振動に対する居住環境を確保する目的として、天井キールトラス内にTMDダンパーを設置している。

4. PC構造の選択理由

ギャラリー棟および美術館棟の床版は、おもにPC構造床版（T型）で構成され、光の回廊を含めそのリブ形状を天井の意匠としている。光の回廊の跳ね出し寸法は、PC構造とすることでギャラリー棟で5m、美術館棟で6mを実現している。

県民ギャラリーの天井は、天吊式展示パネルのレールをPCリブに組み込んだ天井デザインとしている。

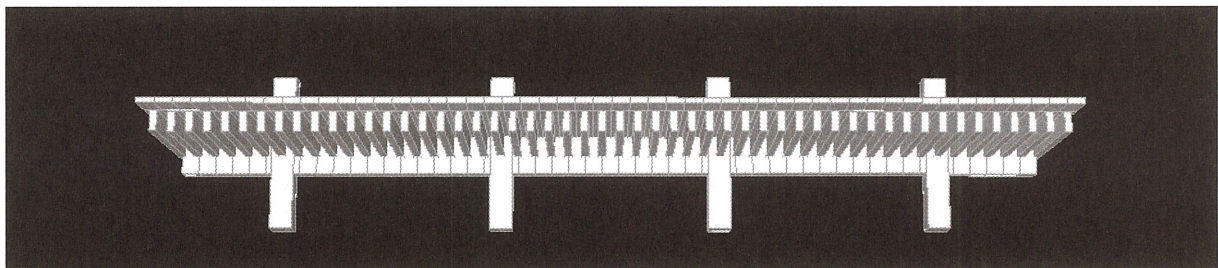
また、躯体をプレキャスト化することにより、美術品に影響を与える躯体アルカリ分の空気中への発散を減少させる効果があり、これと空調アルカリ除去フィルター効果により、躯体乾燥期間を通常の1年間を半年とすることができた。



天吊式パネルレールとPC床版リブ

建物概要

構	造：鉄筋コンクリート造および鉄骨造
規	模：地上2階建て
	延床面積 9000m ²
設計・監理：	㈱日本設計
施	行：大成・梅村・松島特定共同企業体
PC工事：	㈱建研
工	期：2003.4～2005.2



光の回廊・PC床版構造フレームパース：最大6mのキャンティレバー

14. 兵庫県芸術文化センター

1. はじめに

兵庫県立芸術文化センターは、阪神・淡路大震災から10年を経た2005年、震災からの心の復興、文化復興のシンボルとして竣工した。コンサートを主として、オペラ・バレエにも対応する大ホール、演劇を中心とした中ホール、室内楽中心のアリーナ形式の小ホールを擁している。

建築計画においては出来る限り平面・断面がシンプルになるよう構成されている。また、トップライトや中庭などを設けることで建物の様々な場所に自然光を効果的に取り入れ、木、レンガ、コンクリート、ガラスなどの素材感が引き出される計画となっている。

構造形式は鉄骨鉄筋コンクリート造、耐震壁付ラーメン構造を基本とし、空間構成に応じて鉄筋コンクリート造、鉄骨造、プレキャストコンクリート造を使い分けている。これらの構造体はデザイン要素としてそのまま見せる部分も多いことから出来るだけシンプルに部材を構成することを心掛けた。共用部の柱・壁・天井は極力仕上げをせず構造体コンクリートで表現されており、とりわけ252本のPCコンクリート柱はリズムと領域間を与える重要なデザイン要素となっている。以下、全体の構造概要ならびに大ホールホワイエのPC架構について述べる。

建物概要

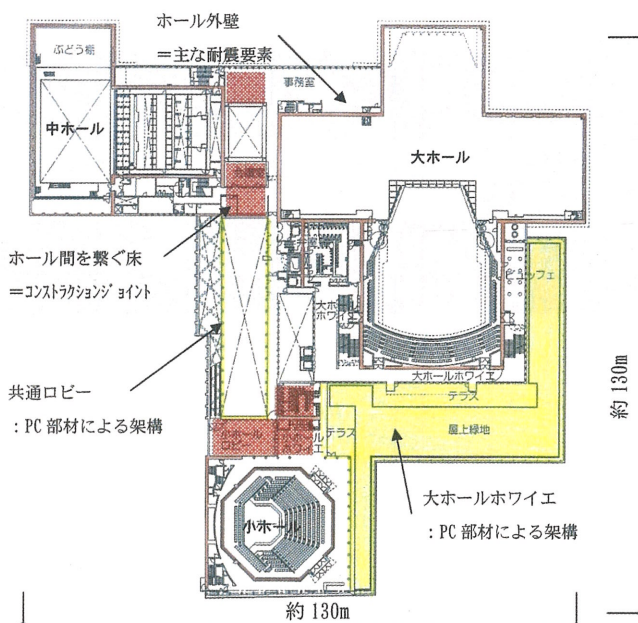
構	造	プレキャストプレストレストコン クリート構造、鉄骨鉄筋コンクリ ート造、鉄骨造他
規	模	地下1階、地上6階、塔屋1階 軒 高：SGL+36.9m 延床面積：33,144.92m ²
設計、監理	兵庫県県土整備部まちづくり局 営繕課＋(株)日建設計	
施	工	大成・奥村・浅沼他特別共同企業体
P C 工 事	(株)ピーエス三菱	
工	期	2002. 10～2005. 5



建物外観

2. 構造計画概要

ホールの内部と外部は音響上遮断する必要がある、必然的にRC造の壁で構成された箱となる。このRC造の箱を有効に活用して3つのホールをそれぞれの周囲の荷重を負担する主要な耐震要素とし、その間を床で繋いだ構成とする。これにより、ホワイエ、テラスなどの共用部には耐震要素がなく、鉛直荷重支持材のみが露出する開放的な構成が可能となっている。平面形状は最大で約130mとなるが、建築計画上それぞれの要素が連続してひとつの建物となっていることから、EXP.Jは設けず一体の建物としている。

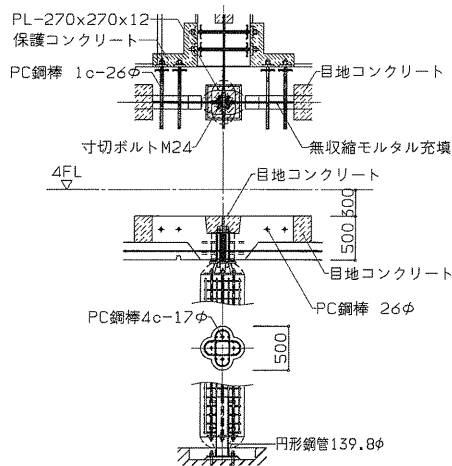
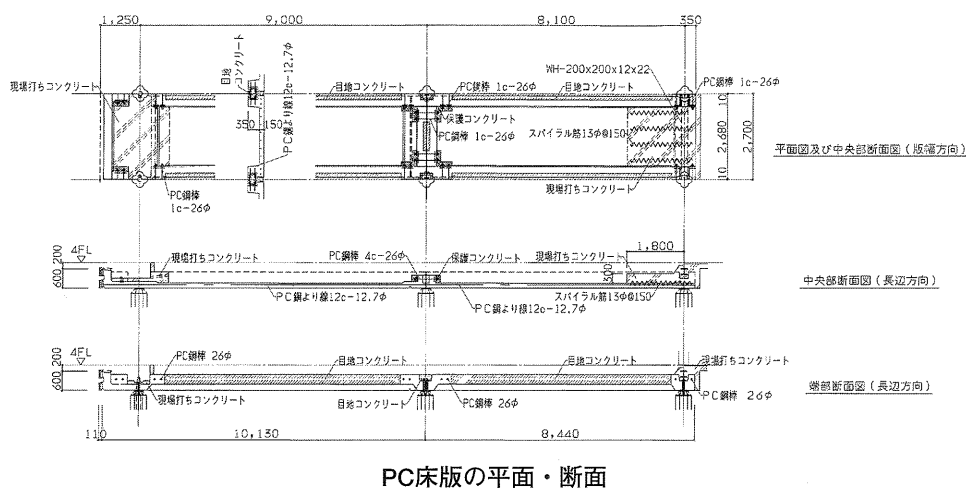


4 階平面図

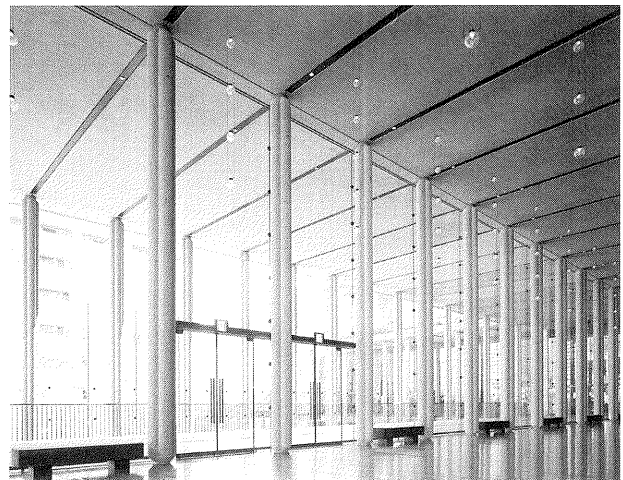
3. 大ホールホワイエのPC架構

大ホール前のホワイエは開演前と幕間に観客の期待感と興奮を包み込む場所であり、素材をあらわした力強い空間が求められた。この空間にふさわしい構造体として、ガラス支持材を兼ねた特徴的な形状の柱を2,700mmピッチに配置し、その上部に天井面を兼ねた2,700mm幅のリブ付床版を載せる構成とした。これらの部材はプレキャスト・プレストレストコンクリート部材とすることで、大空間を支持する構造体としての必要性能とホワイエ空間の構成要素としての性能を満足させている。

また、PC床版は柱芯上で分割されているが、柱頭近傍のリブをPC鋼棒で圧着することで柱頭部を構成し、集中荷重に対処している。PC柱の柱頭・柱脚は、スレンダーな柱に入る曲げモーメントを小さくするためピン接合に近いディテールとしている。



PC柱の柱頭・柱脚



大ホールホワイエ

4. おわりに

2,700mmピッチに並ぶプレキャストコンクリート柱は、ガラスの支持材も兼用することでサッシュの存在感をなくし透明感のある広がり建物を与えている。建築計画にあわせたPC架構の採用により、余分な仕上げや意味のない形を極力排除し、平面計画・断面計画的にも無駄な部分を削ぎ落とした、シンプルな力強さをもった空間が実現できている。

PC構造物の耐久性向上技術 ー海洋暴露20年の結果と新設橋への電気防食の適用ー

独立行政法人土木研究所

守 屋 進

I. 海洋暴露20年の結果

1. はじめに

科学技術庁（現：文部科学省）は、昭和57年度から科学技術振興調整費によって「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」を5ヶ年計画で開始した。これに含まれる研究項目は、以下の通りであった。

- ①海洋構造物の設計・施工等に必要な自然環境を把握する技術の開発
- ②大型の浮遊式海洋構造物の建設基礎技術の開発
- ③厳しい波浪から海洋構造物を守る波浪制御技術の開発
- ④防食等による海洋構造物の耐久性向上技術の開発
- ⑤大波浪海域における海洋構造物の実海域実施研究

このうち、建設省土木研究所（現：独立行政法人 土木研究所）は、④の「防食等による海洋構造物の耐久性向上技術の開発」を担当することとなった。この研究を実施するにあたり、民間の技術力の参加を得て、官民による共同研究を実施することになった。この研究は、新たに設置する「海洋技術総合研究施設」を利用して海洋環境における長期暴露試験として実施することになった。共同研究は、建設省土木研究所（現：独立行政法人 土木研究所）と社団法人 鋼材倶楽部（現：社団法人 日本鉄鋼連盟）、社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会、財団法人 土木研究センターで実施した。

コンクリート構造物の設計施工に際しては強度を主とした力学的性質はもちろんのこと、耐久性も重要な検討事項であった。しかし、耐久性に関する配慮が十分でなかったために、昭和50年代後半に日本海沿岸や沖縄をはじめ、各地で鋼材腐食によるコンクリートの損傷、いわゆる塩害が報告された。各研究機関において塩害のメカニズムやその対策の研究・開発が開始され、コンクリートの塩害対策として昭和59年2月「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」（日本道路協会）が発刊された。ここでは鋼材かぶりを厚くすること、密実なコンクリートを打設することを基本対策とし、改善策としてコンクリート塗装やエポキシ樹脂塗装鉄筋等の使用を勧めている。さらに、平成14年3月「道路橋示方書・同解説 Ⅲコンクリート橋編」では、前述の塩害対策指針（案）を準拠して耐久性の向上を図るために塩害地域におけるかぶりの規定の設定などの見直しが行われている。

土木研究所は、「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」のうち、（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会と「飛沫部におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究」

を昭和57年から始め、駿河湾大井川沖に設置された海洋技術総合研究施設（写真－１）で暴露試験を開始した。

「飛沫部におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究」は、①コンクリートの防食技術の基本、②コンクリート中の鋼材の防食技術、③耐海水コンクリート部材の設計技術について、長期暴露試験を実施してきた。この研究は、コンクリート構造物の耐久性の向上を目指しており、内外の例をみても実海域での数年間の短期的暴露試験では、十分に耐久性を検証できないことが明らかであるので、科学技術振興調整費による５ヶ年（昭和57年～61年）が終了した後（昭和62年以降）も暴露試験を継続することとし、暴露20年が経過した時点での暴露試験の成果をとりまとめた。

共同研究第２分科会の担当者を以下に示す。

守屋 進	独立行政法人 土木研究所	石井 浩司	株式会社 ピーエス三菱
酒井 博士	株式会社 ピーエス三菱	大谷 悟司	オリエンタル建設株式会社
浅井 洋	三井住友建設株式会社	藤田 学	三井住友建設株式会社
吉田 光秀	株式会社 富士ピー・エス		

第２分科会で共同研究として実施している研究課題を表－１に示す。



写真－１ 海洋技術総合研究施設

表－１ 研究課題

コンクリートの防食技術の基本	コンクリートのかぶりと配合
	コンクリートの内部組織と防食性能の把握
	腐食調査と補修技術の開発
コンクリート中の鋼材の防食技術	樹脂塗装鉄筋の実用化
	P C 鋼材の防塩処理材料の開発
耐海水コンクリート部材の設計技術	塗膜系被覆材の実用化
	含浸系材料の実用化
	耐塩性コンクリートの開発

2. 研究方法と研究成果

2.1 コンクリート供試体の設置場所

製作した各種コンクリート試験体は、駿河湾沖250mに位置する海洋技術総合研究施設の第2デッキ、第3デッキに暴露した。第2デッキは海面上8.9mの位置で、時々海水飛沫を受ける環境で、第3デッキは海面上2.1mの位置で、常時海水飛沫を受ける環境である。

2.2 コンクリートのかぶりと配合

2.2.1 試験概要

製作した試験体は200mm×200mm×1200mmの角柱試験体とし、表-2に示す試験要因は、セメントの種類、水セメント比、暴露環境、暴露期間とした。試験は、定期的に試験体からコアを採取し、塩分分析を行い(1)式に示すFickの拡散方程式を解いて、表面塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数を算出し比較検討した。

$$C(t, X) = Co(1 - \operatorname{erf}(X / 2\sqrt{(D \cdot t)})) \quad (1) \text{式}$$

ここで、C (t, X) : 時間t、距離Xにおける塩化物量 (kg/m³)

Co : 表面塩化物イオン濃度 (kg/m³)

X : 表面からの距離 (cm)

t : 経過時間 (年)

erf : 誤差関数

D : 見かけの拡散係数 (cm²/年)

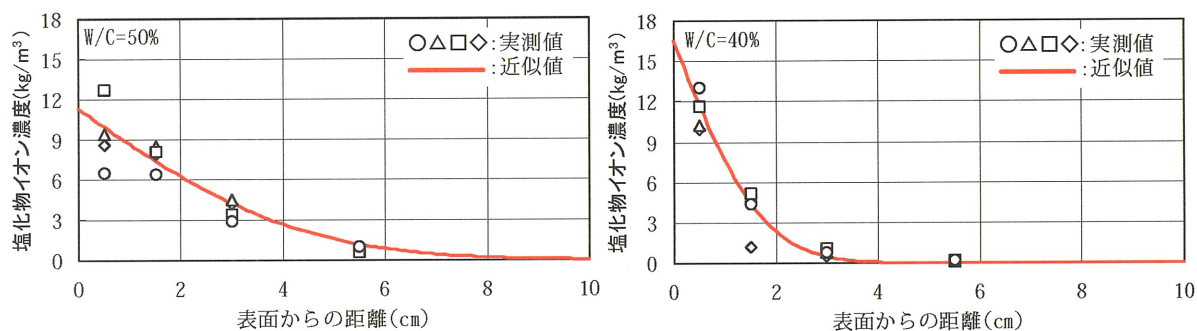
表-2 試験要因

セメントの種類	普通ポルトランドセメント(OPC) 早強ポルトランドセメント (HPC)
水セメント比 (W/C)	30%, 40%, 50%
暴露環境	第2デッキ, 第3デッキ
暴露期間	6年, 10年, 12年, 14年, 20年

2.2.2 試験要因と見かけの拡散係数

図-1に塩化物イオン濃度分布の一例を示す。コンクリートに浸透する塩化物イオンはコンクリート表面に多く存在し、内部は少なくなる傾向を示している。また、W/Cが大きくなると内部に浸透している塩化物イオン濃度は大きくなる傾向を示している。すなわち、W/Cの小さなPC構造物は塩化物イオンの浸透に対して有利であることが明確となった。さらに、塩化物イオンの浸透量は、環境の厳しい第3デッキの方が第2デッキより大きい傾向にあった。

(1)式を用いて見かけの拡散係数を算出した結果を図-2に示す。セメントの種類の影響に関しては、OHPとHPCには大きな相違は認められなかったが、OPH、HPCともW/Cの低下にともない見かけの拡散係数は低下する傾向にあり、W/C=40%、50%それぞれ0.1~0.2cm²/年、0.4~0.6cm²/年とW/C低下による遮塩効果が大きい結果となった。W/C低下によりコンクリート組織が緻密になった結果と考えられる。これら見かけの拡散係数は、2002年制定コンクリー

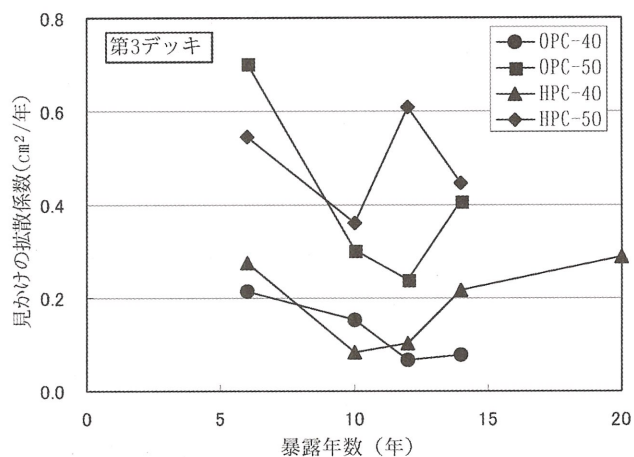


図－1 塩化物イオン濃度分布の一例（暴露14年；第3デッキ）

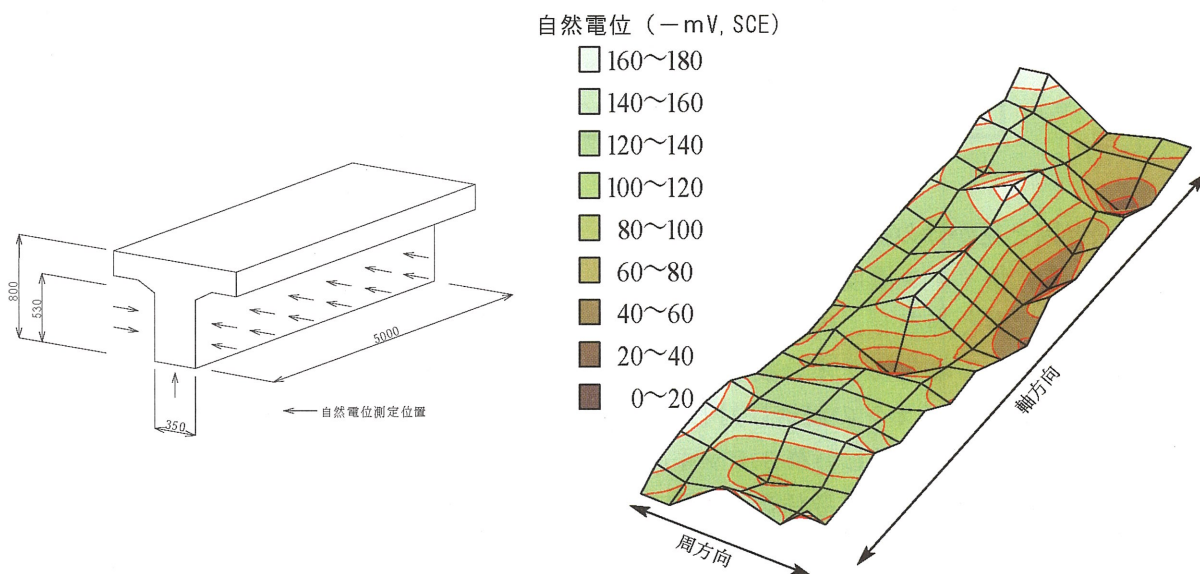
ト標準示方書「施工編」に示されている算出式による値の1/5～1/3程度と非常に小さな値となっていた。

これらの結果から、コンクリートの防食技術の基本は、W/Cを小さくすることと、かぶりを十分に確保することと考えられる。

図－3に第2デッキに暴露したPC桁試験体の形状・寸法と暴露20年後の自然電位分布を示す。桁底面の自然電位が卑な傾向を示しているが、ASTM C-876を鋼材腐食の基準に用いると大半が「90%以上の確率で腐食なし」と判定された。PC桁試験体は十分な耐久性を有していることが明らかとなった。



図－2 見かけの拡散係数の経時変化



図－3 PC桁試験体の形状・寸法と自然電位分布（暴露20年）

2.3 樹脂塗装鉄筋の実用化

2.3.1 試験概要

製作した試験体は200mm×200mm×1200mmの角柱試験体（HPC-40）とし、樹脂塗装鉄筋を埋設した。暴露は第3デッキである。使用した樹脂塗装鉄筋は3種類で、一部、樹脂塗装鉄筋に人為的にキズを設けた。表－3に使用した樹脂塗装材の仕様を示す。

暴露20年後、試験体から樹脂塗装鉄筋を取り出し、以下に示す条件で疲労試験に供し、定期的に試験を中止してピンホール検知器を用いて塗膜のひび割れの有無を測定した。写真－2、写真－3に疲労試験機、およびピンホール検知器を用いた塗膜のひび割れ確認状況を示す。

つかみ間隔：30φ=390mm

上限応力度：180N/mm² 下限応力度：150N/mm²

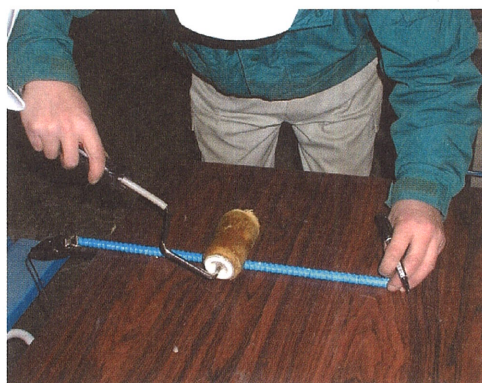
周波数：10Hz

表－3 樹脂塗装材の仕様

種類	径	外観	膜厚			ピンホール	曲げ加工性	硬度	備考
		有害な欠陥 なきこと	平坦部180±50μm			1,000V ≤5ヶ/m	5℃ 4Dd×180°	(皮膜) ≥2H	
A	D13	Good	181	230	140	2.2	Good	2H	予熱温度230℃
B			170	220	130	1.3			予熱温度240℃
C			191	230	140	1.3			予熱温度230℃



写真－2 疲労試験機



写真－3 ひび割れ有無の確認状況

2.3.2 外観観察結果

コンクリート試験体から取り出された3種類の樹脂塗装鉄筋は、いずれも鉄筋に腐食は認められず十分な防食性能を有するものと推定された。しかし、種類Bについては取出時に、塗膜が破損した。塗装材自体の劣化、鉄筋と塗装材との付着劣化が考えられる。写真－4に外観観察結果を示す。



写真-4 外観観察結果

2.3.3 塗膜の疲労特性

疲労試験の繰り返し回数と塗膜損傷の数の関係を図-4に示す。ここで疲労損傷とは、疲労試験を行うことによりピンホール検知器で検知できるようになったことと定義する。なお、取出し時に塗膜に生じた損傷部位はカウントから除外し、疲労試験の実施によって新たに検知された損傷個数を示している。

図より全ての塗装材料において、疲労回数の増加に伴い疲労損傷する傾向が認められた。種類Aおよび種類Bは、疲労試験初期に損傷部の増加が検知されたが、その後継続して発生する傾向は認められない。一方、種類Cは、疲労回数の増加に従って損傷箇所も発生していることが確認できた。ここで、図-5に種類Cの疲労損傷図を写真-5、写真-6に損傷箇所、人為的にキズを設けた部分を示す。

図-5に示すように疲労損傷が認められる部位は、塗料の種類にかかわらず鉄筋のリブ頂部であり、塗膜のひび割れは認められなかった。写真-5に示すように疲労損傷を受けた部分は、鉄筋運搬時、コンクリート試験体製作時または鉄筋取出時にピンホール検知器では検知できないような損傷を受け、疲労により検知できるようになったものと推定される。樹脂塗装鉄筋は取り扱いに注意をしないと疲労損傷により鉄筋腐食を招く可能性が推定できる。一方、写真-6に示すように人為的にキズを設けた部位は、疲労によりひび割れが誘発されることはなかった。

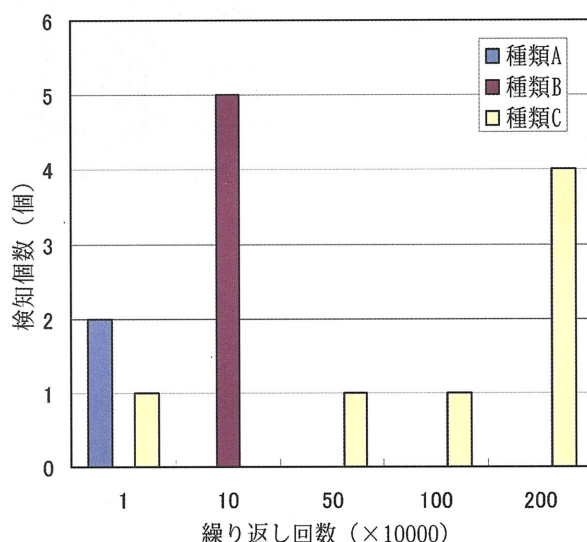
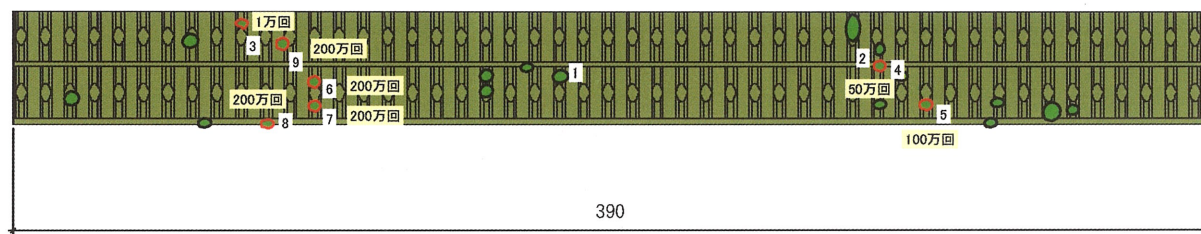
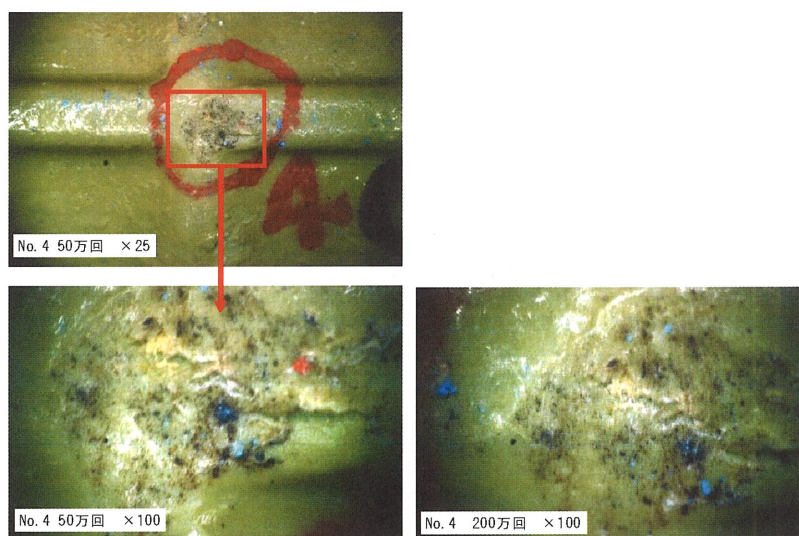


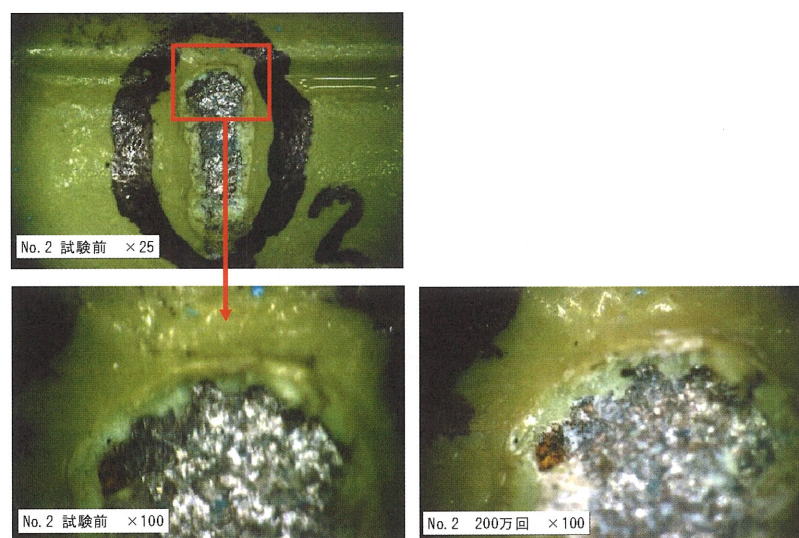
図-4 繰り返し回数と塗膜損傷数の関係



図－5 疲労損傷



写真－5 疲労損傷部



写真－6 人為的キズ部

2.4 塗膜系被覆材の実用化

2.4.1 実験概要

試験体は、200mm×200mm×1200mmの角柱試験体とし、各種類の塗膜系塗料を塗付した。暴露は第3デッキで行った。塗膜系被覆材の仕様を表－4に示す。試験は、外観観察、コンク

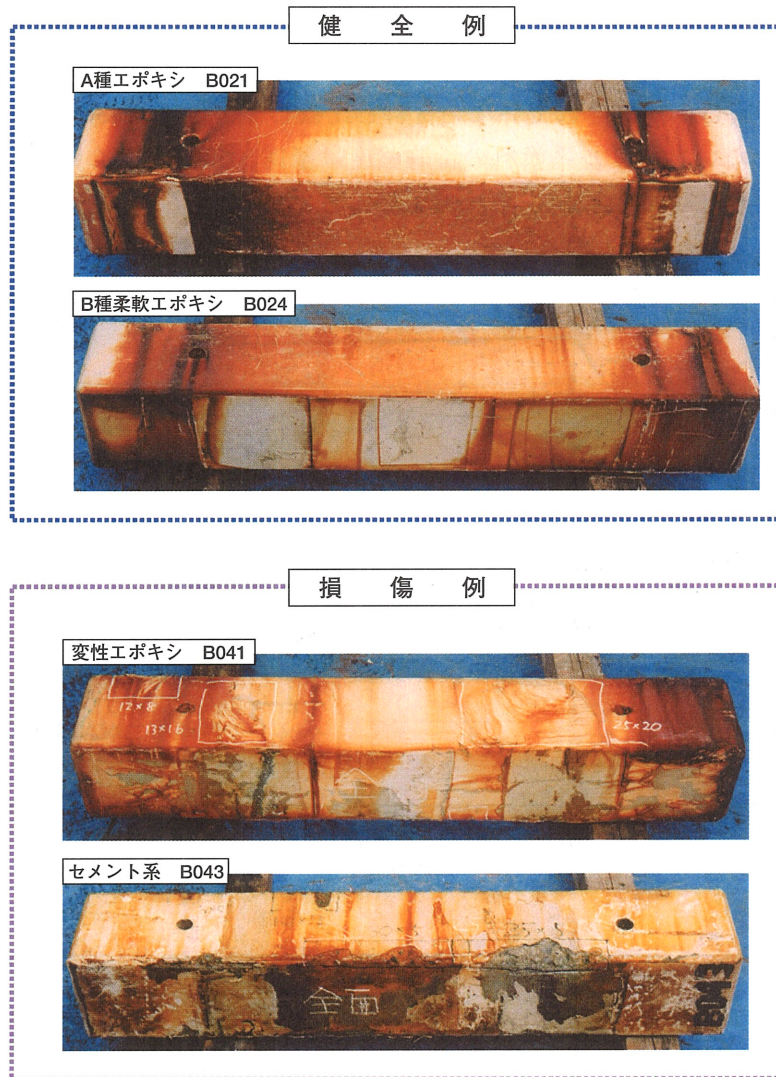
リート中に浸透した塩化物イオン濃度、付着強度を行い、各種塗膜系被覆材の耐久性を評価した。

表－4 塗膜系被覆材の仕様

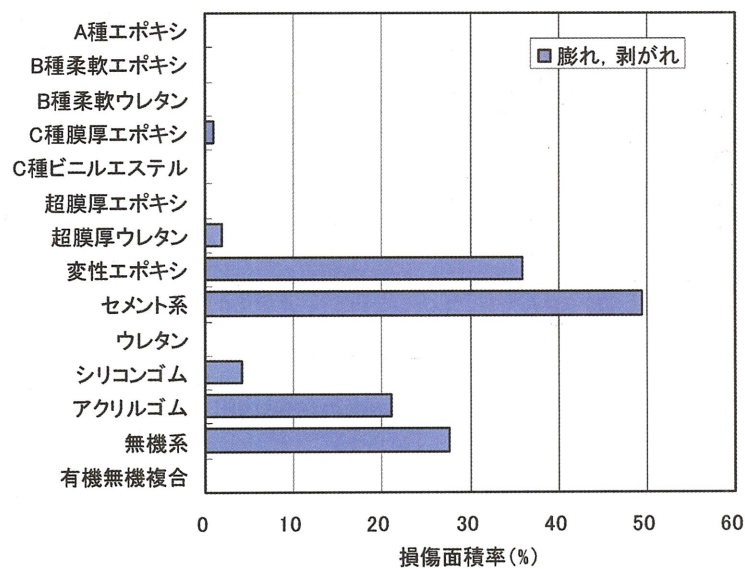
供試材料の系統		第1層	パテ	第2層	第3層	第4層
A種の塗装系		エポキシ樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 必要量, (－)	エポキシ樹脂塗料中塗 260g/m ² , (60μ)	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² , (30μ)	
B種の塗装系 (柔軟型エポキシ系)		エポキシ樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 100g/m ² , (－)	柔軟型エポキシ樹脂 塗料中塗 230g/m ² , (60μ)	柔軟型ポリウレタン樹脂 塗料上塗 125g/m ² , (30μ)	
B種の塗装系 (柔軟型ポリウレタン系)		エポキシ樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 300g/m ² , (－)	柔軟型ポリウレタン樹脂 塗料中塗 260g/m ² , (60μ)	柔軟型ポリウレタン樹脂 塗料上塗 120g/m ² , (30μ)	
C種の塗装系 (厚膜型エポキシ系)		エポキシ樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 100g/m ² , (－)	厚膜型エポキシ樹脂 塗料中塗 780g/m ² , (350μ)	ポリウレタン樹脂塗料上塗 125g/m ² , (30μ)	
C種の塗装系 (ビニルエステル系)		エポキシ樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 300g/m ² , (－)	厚膜型ビニルエステル 樹脂塗料中塗 1000g/m ² , (350μ)	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² , (30μ)	
次世代材料の評価	超厚膜型エポキシ系	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 100g/m ² , (－)	超厚膜型エポキシ樹脂 塗料中塗 2000g/m ² , (1000μ)	ポリウレタン樹脂塗料上塗 125g/m ² , (30μ)	
	超厚膜型ウレタン系	湿気硬化型ポリウレタン 樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 必要量, (－)	超厚膜型ポリウレタン樹脂 塗料中塗 850g/m ² , (500μ)	同左	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² , (30μ)
	変性エポキシ系	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 必要量, (－)	特殊エポキシ樹脂塗料中塗 920g/m ² , (500μ)	同左	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² , (30μ)
	セメント系					
	ウレタン系					
	シリコンゴム系					
	アクリルゴム系					
	無機材料	無機質プライマー 100g/m ² , (－)	エポキシ樹脂パテ 100g/m ² , (－)	無機質塗料中塗 150g/m ² , (30μ)	無機質塗料上塗 100g/m ² , (30μ)	
	有機無機複合材料	有機無機複合塗料用プライマー 100g/m ² , (－)	有機無機複合塗料用パテ 300g/m ² , (－)	有機無機複合塗料中塗 100g/m ² , (400μ)	ポリウレタン樹脂塗料上塗 100g/m ² , (30μ)	

2.4.2 外観観察結果

試験体を外観観察した結果を写真－7、図－6に示す。観察結果は、各試験体の膨れ、剥がれの面積を試験体表面積で除して損傷面積率として整理した。この結果、「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」に規定されているA種、B種およびC種に該当する塗装材には顕著な損傷は認められなかった。供試体表面の錆は、固定治具からの錆汁である。



写真－7 外観観察結果事例



図－6 試験体の損傷面積率(暴露20年)

2.4.3 付着試験結果

各塗装材料の付着強度の経年変化を図-7に示す。「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」に規定されている材料は、規定されていない材料と比較して、付着強度が大きい傾向にあった。また、規定されていないアクリル系塗料の付着強度は暴露10年で大きく低下していたが、その他の材料においては暴露期間とともに若干、大きくなる傾向にあった。

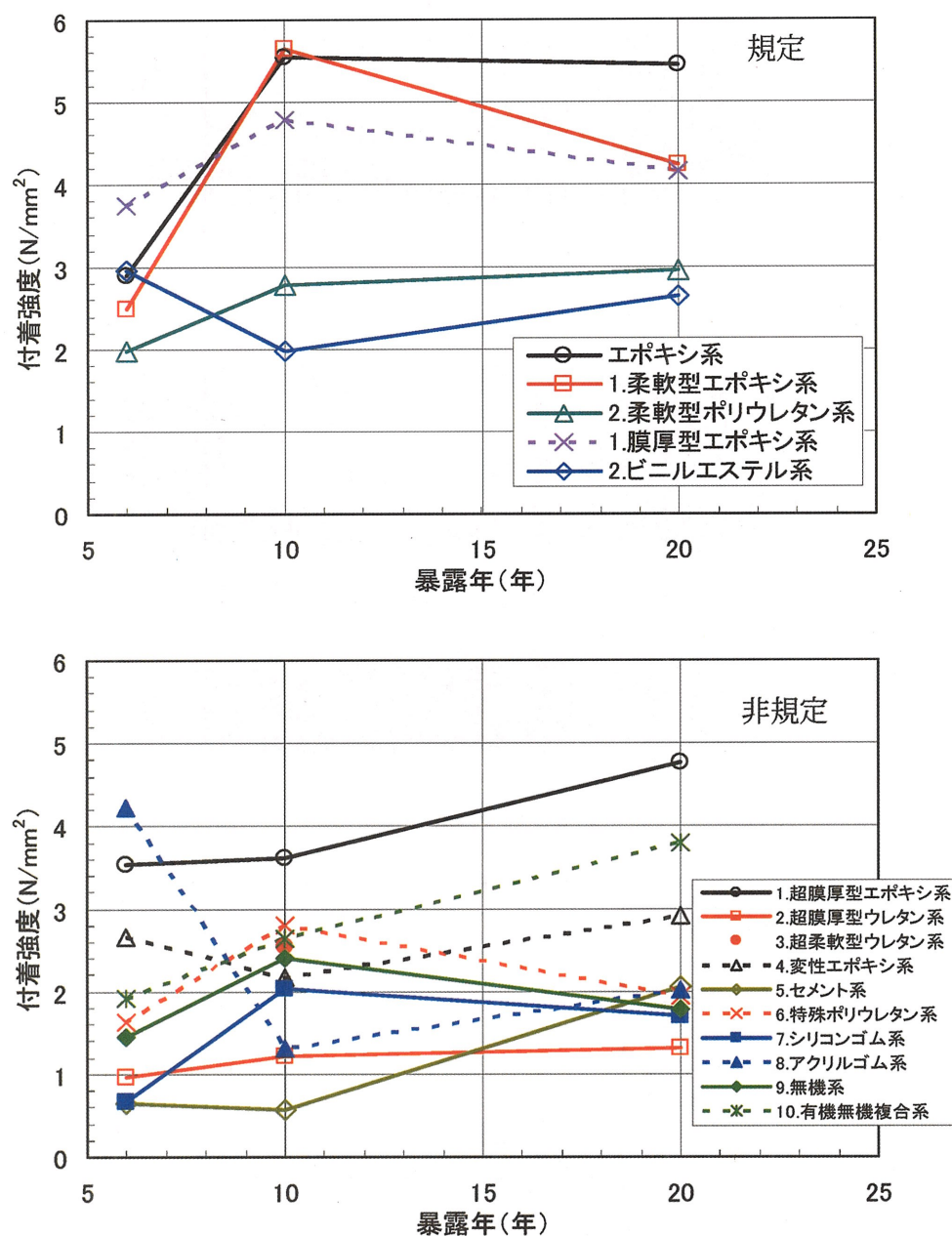


図-7 付着強度の経年変化

2.4.4 塩化物イオン濃度分布

「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」に規定されているA種、B種およびC種に該当する塗装材における暴露20年後の塩化イオン濃度分布を図-8に示す。

いずれの材料においても塩化物イオン濃度は $0.2\text{kg}/\text{m}^3$ 以下で、無塗装試験体と比較すると十分に塩化物イオンの浸透を遮断していることが明確である。

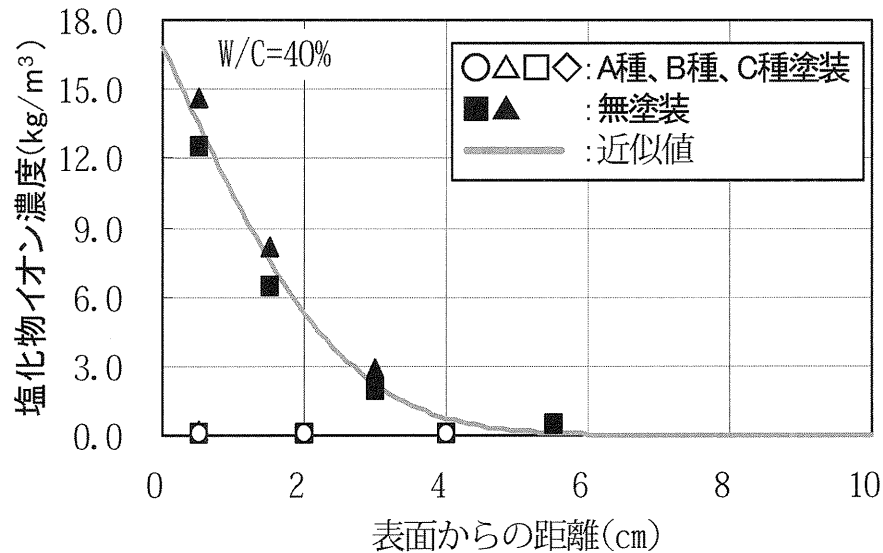


図-8 塩化物イオン濃度分布

2.5 耐塩性コンクリートの開発

2.5.1 試験概要

製作した試験体は $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 1200\text{mm}$ の角柱試験体とした。試験要因は、表-5に示すようにコンクリートの種類、暴露環境、暴露期間とした。

試験は、定期的に試験体からコアを採取し、塩分分析を行い(1)式に示すFickの拡散方程式を解いて、表面塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数を算出し比較検討した。

表-5 試験要因

セメントの種類	高炉セメント(BBC) シリカフェームセメント (SFC)
水セメント比	30%, 50%
暴露環境	第2デッキ, 第3デッキ
暴露期間	6年, 10年, 12年, 14年, 20年

2.5.2 耐塩性コンクリートの遮塩性能

図-9に(1)式により算出された見かけの拡散係数の経年変化を示す。比較として図-2のHPC-40を併記した。

シリカフュームセメントを用いたコンクリートは、遮塩が最も優れており、高炉セメントを用いたコンクリートは、HPC-40とほぼ同程度の遮塩性を示していた。

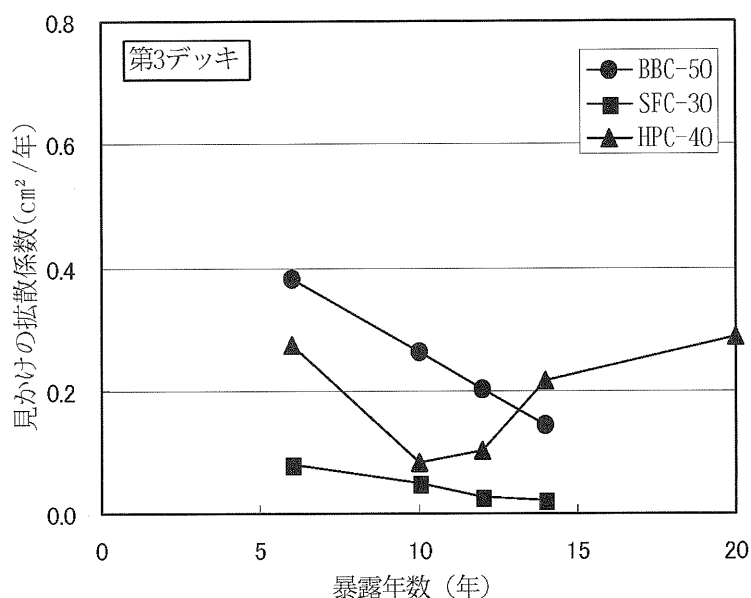


図-9 見かけの拡散係数の経年変化

3. まとめ

昭和50年代に報告された鋼材腐食によるコンクリートの損傷、いわゆる塩害に対して、昭和59年2月「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」(日本道路協会)が発行され基本対策が明示された。しかし、塩害対策の長期的な耐久性の確認、新材料を利用した防食技術およびコンクリートの品質向上など、今後さらに研究していかなければならない課題も数多く残されている。

このような背景のもと、昭和57年度から駿河湾に位置する海洋技術総合研究施設を利用した「飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究」を土木研究所とプレストレスト・コンクリート建設行協会と実施した。暴露20年までの研究成果をまとめると以下のようになる。

(1) コンクリートの防食技術の基本

耐久性を低下させる主要因としてコンクリートの中性化と塩分浸透が挙げられる。

塩化物イオンの浸透量に影響を与える要因として、外環境、水セメント比が考えられた。外環境として波浪の影響を受ける第2デッキと飛来塩分の影響を受ける第3デッキで検討した結果、より環境の厳しい第3デッキでは塩化物イオンの浸透量が大きく、試験体の外観観察結果や鋼材腐食結果からも損傷が著しい傾向にあった。一方、水セメント比で検討すると、水セメント比40%のコンクリートの見掛けの拡散係数は、50%のそれと比較して小さく塩化物イオンの浸透に対して有効であることが明確となった。さらに、見掛けの拡散係数は、暴露年数の長期化に伴い小さくなる傾向にあり、2002年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕に示されて

いる算出式による値の1/5～1/3程度と非常に小さな値となっていた。

塩化物イオンの浸透量は、コンクリート表面から離れる程小さくなることも考慮すれば、コンクリートによる防食技術の基本は、水セメント比を小さくし、かぶりを大きくすることであると考えられる。

(2) コンクリート中の鋼材の防食

コンクリート中の鋼材の防食技術として、エポキシ樹脂塗装鉄筋に関して検討を行った。外観観察から評価すると、いずれの材料も防食性能を有していると考えられた。また、疲労試験の結果、ひび割れなどの塗膜の疲労損傷は生じなかった。しかし、樹脂塗装鉄筋の運搬、コンクリート打設時に軽微な損傷を与えた場合には、疲労損傷を生じ鋼材腐食の可能性が推定されるので、取り扱いに注意が必要であると考えられる。

(3) 耐海水コンクリート部材の設計技術

耐海水コンクリート部材として、塗膜系被覆材、混和材を混入した耐塩コンクリートについて検討した。

塗膜系被覆材として道路橋の塩害対策指針（案）に定められたA種、B種、C種並びに規定されていない超厚膜エポキシ系、シリコンゴム系、アクリルゴム系などを用い、外観観察、付着強度試験および塩分浸透量で耐久性能を検討した。「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」に定められた塗料は、厳しい環境である第3デッキに20年暴露されたにもかかわらず健全でコンクリート中への塩分浸透もほとんど認められなかった。一方、次世代型と呼ばれる塗料は、種類にもよるが試験体面積の20～30%に浮きやはく離が認められ前者と比較して耐久性に差が認められた。

耐塩コンクリート部材として高炉セメントとシリカフュームを用い、外観観察、塩化物イオンの浸透から耐久性で検討した。使用材料にかかわらず塩分浸透量は少なくなり、外観観察からも腐食によるひび割れは認められなかった。したがって、コンクリート混和材を用いることは耐久性を向上させるために有効な手法と考えられる。

参考文献

- 1) 土木研究所、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会他：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書－海洋暴露20年の総括報告書－、共同研究報告書整理番号第345号、平成18年5月
- 2) 土木研究所、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書－飛沫部におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究－、共同研究報告書整理番号第348号、平成18年7月

Ⅱ. 新設橋への電気防食の適用

1. はじめに

コンクリート中の鋼材（鉄筋）は、コンクリートが高いアルカリ性環境であるため鋼材表面に不働態皮膜を形成しており腐食することはない。しかしながら、海水飛沫や凍結防止剤などの塩化物イオンが外部からコンクリート中に侵入し、鋼材表面に到達すると、不働態皮膜は破壊され鋼材は腐食する。この現象は、塩害として1980年代頃から東北日本海沿岸のコンクリート橋で顕在化した。塩害を防止するため、コンクリートを密実にしたり、鉄筋のかぶりを増やしたり、塗装した鉄筋を用いたり、コンクリート表面を塗装するなどの対策が行われてきた。しかしながら、いずれの対策も塩化物イオンの鋼材への到達を阻害するものであり、鋼材の腐食反応を原理的に制御するものでないため、材料性能が経年で低下し塩化物イオンの鉄筋への到達を永久に阻止することができないので、補修や他の対策に変更することが必要となる。

電気防食は、腐食反応を電気化学的に直接制御抑制する方法であり、塩害防止に対する有効性が高く認められコンクリート標準示方書〔維持管理編〕の標準的対策工法として取り上げられ、すでに塩害補修では多数の実績がある。電気防食工法は、電気化学的防食工法のひとつであり、微弱な電流を継続してコンクリート中の鋼材に流して電気化学的に鋼材を防食する方法である。一方、脱塩工法も電気化学的防食工法のひとつであるが、大電流を短期間流してコンクリート中に存在する塩化物イオンを電気泳動の原理によってコンクリートの表面に移動させ鋼材周辺の塩化物イオンを排除する方法である。

電気防食工法は、①陽極システムの設置、②陽極システムと直流電源装置の配線配管、③防食電流の継続的な通電など従来工法と内容が大幅に異なる。また、長期的な電気防食効果の検証も十分に行われていない。電気防食工法の初期施工コストは、従来工法より高いが、塩害防止効果が長期間持続しコンクリート構造物の耐久性を維持できれば、その後のランニングコストは大幅に低減され最終的にトータルコストは従来工法に比べて低減されることが期待される。

本報告は、コンクリート中の鋼材の長期間にわたる電気防食効果の検証実験、および電気防食工法による新設コンクリート橋の防食ライフサイクルコストを従来工法と比較検討した結果をとりまとめたものである。なお、これらの研究成果に基づき「新設コンクリート橋の電気防食マニュアル（案）」を作成した。

2. 長期電気防食効果の検証

2.1 試験概要

1985年から87年に実施した建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」の一環として実施された「コンクリート構造物の電気防食に関する研究」において、大型プレストレストコンクリート桁に電気防食を適用した場合の施工性の検証と防食効果の確認のために製作され、その後12年間電気防食が施されていたコンクリート供試体を用いて電気防食の長期間の効果を検証した¹⁾。

(1) 供試体の種類と形状

① コンクリートの配合

供試体に用いたコンクリートの配合を表一1に示す。セメントは早強ポルトランドセメントを用いた。設計基準強度は39.2N/mm²とした。

② 供試体形状

供試体の形状は、W350mm×H900mm×L5000mm

(供試体の種類；スラブ橋旧JIS A5313 I型ポストテンションPC桁) で、塩害環境を模擬するため作製時に総量規制値のほぼ5倍に相当する2.4kg/m³の塩分(NaCl)を混入した。

表ー1 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラフフロー の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					NaCl (kg/m ³)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 高性能減水剤	
20	8.0 ±1.0	2.0 ±1.0	37.1	39.4	156	420	712	1150	4.2	2.4

(2) 暴露条件

通電開始約2年間は、1週間に5回、3%塩化ナトリウム水溶液を散水し、その後は大気中に自然暴露した。

(3) 電気防食工法

電気防食工法の陽極には、網状陽極（エキスパンドメタル状のチタン基材に貴金属の酸化物を被覆したもので、高耐久性の陽極材料）および導電塗料方式（水系のカーボン塗料を吹き付け、これを陽極とする方式）の2種類を適用した。

2.2 測定項目及び方法

(1) 電位測定

① 電気防食供試体

電気防食供試体について計測孔内（コンクリート表面の電位分布を計測するために設けた照合電極を挿入するための孔）にコンクリート中の鋼材の電位を測定するための照合電極として飽和甘こう基準電極（SCE）を押し当て通電時の鉄筋の電位（オン電位 E_{on}）、通電一時停止直後電位（インスタントオフ電位 E_{io}）および通電一時停止4時間後の電位（オフ電位 E_{off4}）と、通電一時停止24時間後の電位（オフ電位 E_{off24}）を測定した。

② 無防食供試体

比較のために電気防食工法を施していない無防食供試体は、計測孔の位置にSCEを押し当て鉄筋の自然電位を測定した。

(2) 分極試験

電気防食供試体について、オフ電位 E_{off24}測定後に0、1、2、5、10mA/m²の電流密度において、インスタントオフ電位 E_{io}を測定した。電位測定は、照合電極の配置に最も近い計測孔（合計6点/体）にSCEを押し当て測定した。

測定結果は、縦軸にインスタントオフ電位 E_{io}、横軸に電流密度の対数目盛のグラフで表し、実験開始時と比較検討した。

(3) 表面観察

各供試体の表面を観察し、たたき試験を行ってコンクリートの浮き、はく離等を調べ、写真撮影を行うとともに、展開図に劣化状況を記入した。

(4) 塩分濃度測定

① コア採取

コア（ $\phi 50\text{mm}$ ）を供試体の下フランジ下面中央および、ウェブ中央から採取した。

② 塩分分析

塩分分析は「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法（JCI-SC5）＜塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法＞」に従って全塩分量を測定した。分析結果は単位コンクリート体積当たりの塩化物イオン質量（ Cl kg/m^3 ）とした。

(5) 鋼材表面観察

寸法が $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ の範囲で供試体の鉄筋、シースをはつりだし、その腐食状態を観察記録した。

2.3 試験結果

(1) 通電状況

防食電流密度は、 2.8mA/m^2 であった。

(2) 電気防食供試体の復極量（ ΔE_{24} ）

電気防食で通電をすると鉄筋の電位は下がるが、通電を止めると鉄筋の電位は自然電位に戻る。この差を復極量という。ここでは、電気防食供試体におけるインスタントオフ電位 E_{io} とオフ電位 E_{off24} との差を復極量（ ΔE_{24} ）とした。 ΔE_{24} は、両供試体とも全ての測定箇所において防食基準である 100mV 以上の復極量であった。

(3) 無防食供試体

無防食供試体の鉄筋の自然電位は、下フランジの側面および下面で -200mV vs.SCE よりも卑な値を示した。

(4) 供試体表面観察

① 電気防食供試体（網状陽極方式）

仕上げ被覆工のモルタル層の浮き箇所が10ヶ所、クラック箇所が3ヶ所確認された。

② 電気防食供試体（導電塗料方式）

電気防食範囲内では導電性塗膜の浮きが4箇所及び一次電極を中心に黒褐色の汚れ、丸鋼プローブ設置後の注入モルタルの浮きが3ヶ所確認された。また、電気防食範囲外において、コンクリートの浮きを確認された。

③ 無防食供試体

コンクリートの浮き、クラック、錆汁が多数確認された。

(5) 鉄筋表面観察

① 電気防食供試体（網状陽極方式）

はつり出した鉄筋、シースは写真－1に示すように全て施工時の状況が保たれており腐食は認められなかった。

② 電気防食供試体（導電塗料方式）

はつり出した鉄筋、シースは全て施工時の状況が保たれており腐食は認められなかった。

③ 無防食供試体

鉄筋に多数の腐食箇所が確認された。シースにも1ヶ所腐食箇所が確認された。鉄筋の腐食は写真－2に示すようにスターラップ筋に多く発生しており、特にかぶり厚が少ない箇所では激しい腐食が確認された。

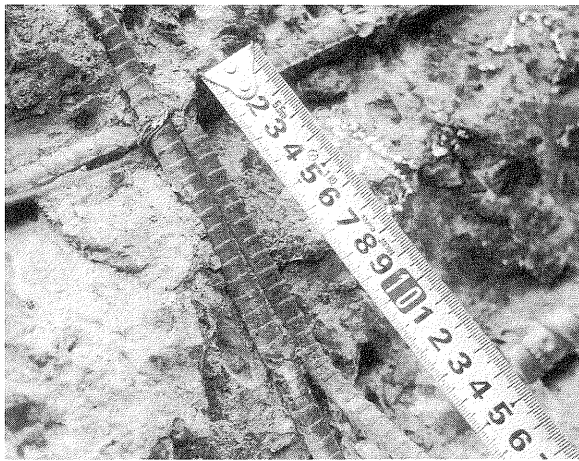


写真-1 電気防食供試体



写真-2 無防食供試体

(6) 考察

① 分極量と防食効果について

電気防食供試体では、24時間後の復極量が全て100mV以上であった。鉄筋、シースは、まったく腐食が発生していなかった。このことから、共同研究報告書第14号²⁾で設定した電気防食の防食基準として復極量100mV以上は適切であることが確認できた。

② 防食電流密度について

供試体の電流密度は、2.8mA/m²であった。これらの値は、一般に塩害を受けたコンクリート構造物に対する防食電流密度が10～40mA/m²であるのに比較して非常に低かった。このことからコンクリートに塩分が浸透する環境でも電気防食を初期から適用することによって、わずかな電流密度で防食ができることが確認できた。

3. 防食ライフサイクルコストに関する検討

3.1 防食ライフサイクルコスト

コンクリート構造物の性能レベルを供用可能な範囲に保持するために必要な防食費用をあわせたものを防食ライフサイクルコストと定義した。新たに構造物を建造する費用は本検討には含まない。防食ライフサイクルコストは、構造物の耐食性を向上させるために必要な初期投資費用（イニシャルコスト）とこれにより付加された機能を保守・点検・補修するために必要な維持管理費用（ランニングコスト）の和とした。

$$LCC = \Sigma IC + \Sigma RC \quad (\text{式-1})$$

ここで、LCC：防食ライフサイクルコスト IC：初期投資費用 RC：維持管理費用

なお、これら費用は、電気防食を100とした概略の指標として、以下の図中の（ ）に数字で示している。

本検討においては、新設コンクリート構造物に予防保全として電気防食を適用した場合のライフサイクルコストを、劣化が進行した段階で事後保全として従来工法（断面修復と表面被覆の組合せ）を適用した場合と電気防食を適用した場合、および新設コンクリート構造物に予防保全として表面被覆を施した場合とを比較した¹⁾。

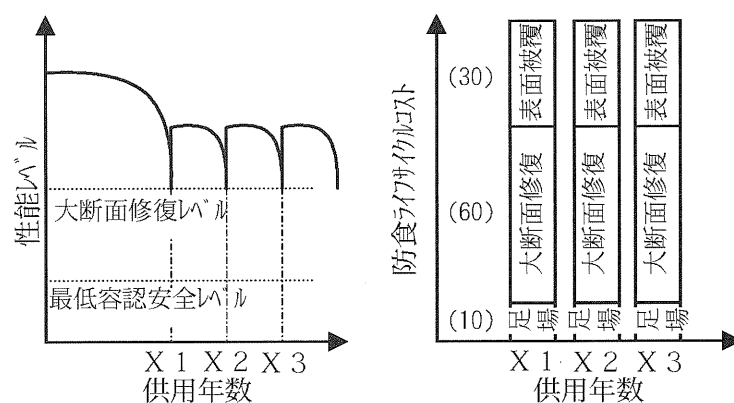
3.2 劣化コンクリート構造物に電気防食を適用した場合の検討

劣化が進行した段階に事後保全として従来工法（大断面修復＋表面被覆）を施す場合を図－1に示す。

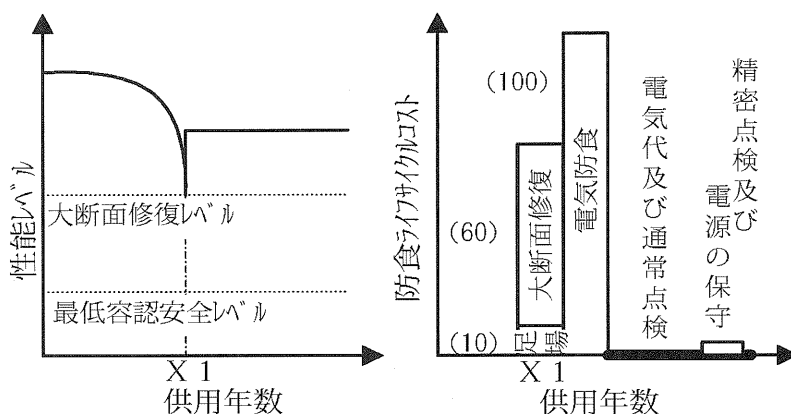
このケースでは、劣化が進行し大断面修復レベルまで性能レベルが低下しているため、大断面修復を施した後に表面被覆を行う。

しかし、このような大断面修復レベルまで性能レベルが低下するような塩害環境では、コンクリート内部に多量の塩化物イオンが蓄積され、これを完全に除去することは不可能である。したがって、このケースでは、補修後に再び大断面修復レベルまで性能レベルが低下し、再度、大断面修復と表面被覆を施すこととしてライフサイクルコストを算出した。

劣化が進行した段階で電気防食を適用した場合を図－2に示す。



図－1 劣化が進行した段階から従来工法で補修する場合



図－2 劣化が進行した段階で電気防食を適用する場合

このケースでは、電気防食の適用段階で性能レベルが大断面修復レベルまで低下しているため、大断面修復を行った後に電気防食を適用することになる。したがって、補修コストは、大断面修復と電気防食の和となり、大断面修復のコストより増加する。しかし、性能レベルは大断面修復より上昇させることができ、そのレベルを保持することが可能である。劣化が進行した段階で電気防食工法を適用することは、劣化が進行した段階で従来工法で補修する場合に

比べ塩害防止方法としては信頼性が高くなる。また、防食のメンテナンスコストは、電源の保守と電気代だけの電気防食の方が従来工法より構造物の残存供用年数が長期化するほど小さくなる。

3.3 構造物建設時に電気防食を適用した場合の検討

新設コンクリート構造物に新設時の段階から表面被覆を施した場合を図-3に示す。このケースでは、構造物の性能レベルの低下を塗膜の遮塩性能の低下とし、塗膜の定期的な塗り替えが必要であるとした。したがって、この場合には10年周期で定期的な塗り替えにより構造物の性能レベルを健全なレベルに保持できるが、塗膜の除去と再塗装のコストが発生する。

新設のコンクリート構造物の建設時に電気防食を適用する場合を図-4に示す。

このケースでは、コストのほとんどが電気防食のイニシャルコストである。ただし、ランニングコストとして、若干の電気代と通常点検、精密点検、電源保守費用等が必要である。

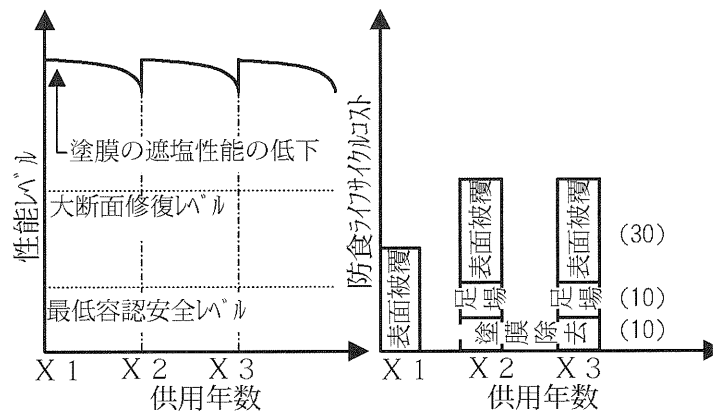


図-3 新設時に表面被覆を施す場合

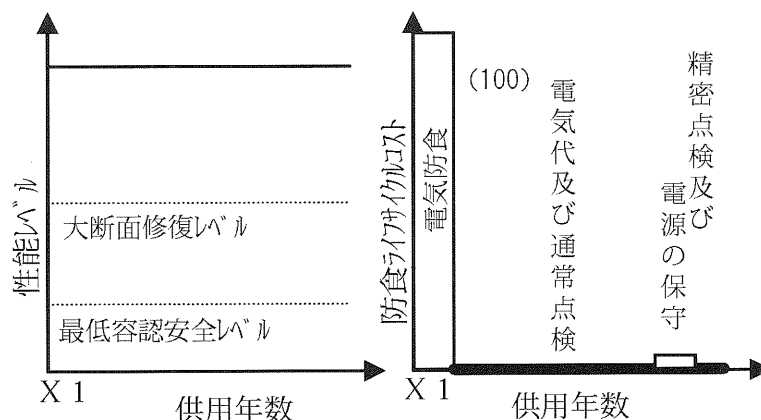


図-4 新設時に電気防食を適用する場合

3.4 防食ライフサイクルコストの試算例

厳しい塩害環境に建設されるポストテンション方式のプレストレストコンクリート橋について、防食ライフサイクルコストを算定した。対象としたPC橋梁は、2径間の橋長75.3m、幅員21.9mである。防食対象は、桁下面および下フランジ側面の1635m²とし、予防保全工法として電気防食工法および表面被覆工法、事後保全工法として劣化部補修と塗装による従来工法の3工法に関して試算した。

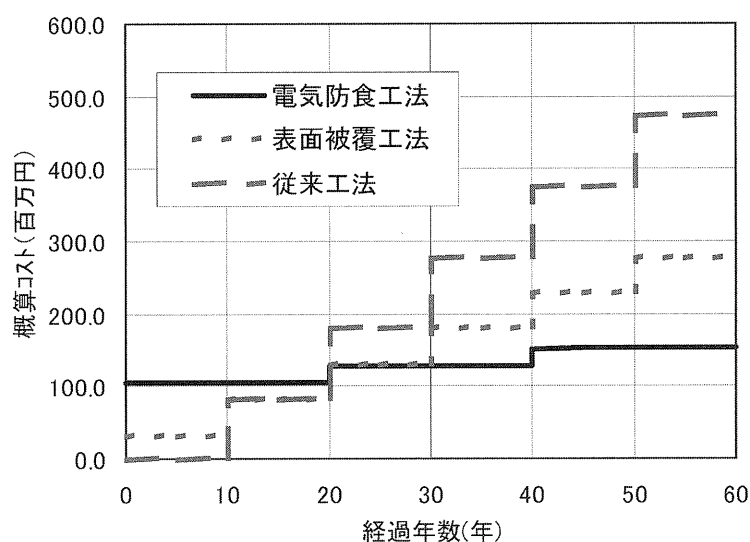
電気防食の施工費は、配線配管工事費と直流電源設置費を含み、これら設備は老朽化を考慮して20年経過毎に更新することとした。また、陽極や照合電極などの設備の寿命は半永久的であるので60年間更新しないこととした。表面被覆工法は10年経過毎に塗膜を除去し再塗装することとした。劣化部補修は小断面修復と再塗装を10年経過毎に行うこととした。

設計耐用年数を60年間として、防食ライフサイクルコストを試算した結果を表－2および図－5に示す。これより、新設時からの防食工法として電気防食と表面被覆工法を比較した場合、60年間の防食ライフサイクルコストが電気防食の適用により40%程度低減できることが明らかとなった。

表－2 60年間の防食ライフサイクルコストの概算

単位:百万円

電気防食工法			表面被覆工法(初期から塗装)			従来工法(劣化部補修+塗装)		
費用区分		コスト	費用区分		コスト	費用区分		コスト
初期工事費	施工費(直工)	104.7	初期工事費	施工費(直工)	34.6	初期工事費	施工費(直工)	0.0
維持費	電気料金(60年分)	2.6	維持費		—	維持費		—
補修費	電源装置取替費	22.0	補修費	表面塗装費	216.5	補修費	劣化部補修	259.8
	配線配管取替費	28.8		足場費	43.3		表面塗装費	199.2
	足場費	1.9					足場費	43.3
総 計		160.0	総 計		294.4	総 計		502.3



図－5 60年間の防食ライフサイクルコストの試算結果

4. 新設コンクリート橋の電気防食マニュアル

新設コンクリート橋に適用する電気防食工法の特徴を以下に記す。

(1) 設計上の特徴

① かぶりを軽減することが可能である。

道路橋示方書では、塩害の影響の度合いが激しいS対策区分は最小かぶり70mmに塗装鉄筋かコンクリート塗装の併用としているが、電気防食を適用すれば、塩害の影響を受けない地域での通常のかぶりで対応できる可能性がある。

② ひび割れを許容することが可能である。

塩害地域でコンクリートにひび割れが生じるとそこから塩化物イオンが侵入して鉄筋に腐食を生じさせやすいが、電気防食を施していればはく落等第3者傷害の恐れがない程度のひび割れは許容することが可能である。

③ 狭隘部の防食対策が軽減される。

電気防食を施すことによって、橋台近くの桁端部など表面被覆等が施工しにくい部位の防食対策が不要となる。

(2) 施工上の特徴

補修時に電気防食を適用するより、①コンクリートのはつりや断面修復が不要となる。②鋼材の電氣的導通の確保が容易である。③照合電極や排流点の設置が容易である。④陽極の設置が容易である。⑤鉄筋にさびが発生していないので、微弱な防食電流で防食効果が維持できる。⑥鉄筋表面が均一な不動態皮膜となっているため、分極し易く、防食電流の分布がよいため均一な防食効果が得られる。⑦微弱な防食電流で防食効果を維持できるため電力費は少ない。等の特徴を有している。

これまでの新設コンクリート橋への電気防食の適用に関する検討結果の成果をとりまとめ、新設コンクリート橋への電気防食マニュアル(案)を作成した。マニュアル(案)の目次を以下に示す。このマニュアル(案)は、塩害による鋼材の腐食が懸念される新設コンクリート橋への適用を基本としたものである。適用する電気防食方式は、外部電源方式を基本とし、防食性能、耐久性、施工性などを十分検討することとした。また、コンクリート橋のほとんどがプレストレストコンクリート橋であることから、PC鋼材の過防食による水素脆化に対する安全性確保を目的に、PC鋼材の電位は、飽和銅硫酸銅電極(CSE)基準で-1000mVより卑な電気にならないものとする事とした。さらに、電気防食は適用後の電位の確認と通電調整などの維持管理が必要であることから、4章に「維持管理」を設け、具体的な維持管理の項目とそれらの方法、判断基準を示し、防食期間中の電気防食による腐食抑制を効果的かつ合理的に実施できるようマニュアル化した。

このマニュアル(案)に基づき、北陸地方整備局高田河川国道事務所管内の名立大橋と沖縄総合事務局南部国道事務所管内の南浜1号橋の新設PCコンクリート橋に電気防食工法を適用した。適用した電気防食工法は、チタンリボンメッシュ工法、チタンロッド工法、チタングリッド工法、チタン溶射工法の4工法である。3年が経過した時点では良好な防食状態が保持されている。なお、これら二橋は適用後の維持管理の合理化を目的に、公衆電話回線を利用した遠隔監視制御システムを導入、防食電流、防食電位の経時的なモニタリングを行っている。

新設コンクリート橋の電気防食マニュアル(案)目次

1. 総則
 - 1.1 適用の範囲
 - 1.2 用語の定義
2. 電気防食工法の概要
 - 2.1 電気防食の原理
 - 2.2 電気防食工法の選定
3. 電気防食の設計と施工
 - 3.1 電気防食工法の設計
 - 3.1.1 防食電位
 - 3.1.2 防食電流密度
 - 3.1.3 防食方法の選択
 - 3.1.4 防食回路の設計
 - 3.1.5 モニタリング回路の設計
 - 3.1.6 使用材料の品質
 - 3.2 電気防食の施工
 - 3.2.1 施工一般
 - 3.2.2 鉄筋およびPC鋼材の導通試験等
 - 3.2.3 排流端子および測定端子の設置
 - 3.2.4 照合電極の設置
 - 3.2.5 陽極の設置
 - 3.2.6 直流電源等設備の設置
 - 3.2.7 配線・配管
 - 3.2.8 モニタリング装置の設置
 - 3.2.9 初期通電調整
4. 維持管理
 - 4.1 維持管理の基本
 - 4.2 維持管理の方法

5. おわりに

本研究は、土木研究所と社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会で実施した「海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究」のうち、新設コンクリート橋への電気防食適用に関する研究成果をとりまとめたものである。本研究の実施にあたりご協力をいただいた、新設電気防食工法検討ワーキングの穴沢雅明氏（ピーエス三菱㈱）、井川一弘氏（㈱ナカボーテック）、川俣孝治氏（住友大阪セメント㈱）、山本悟氏（日本防蝕工業㈱）、古賀創一郎氏（㈱東京興業貿易商会）に謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書－新設コンクリート橋への電気防食適用に関する研究成果と新設コンクリート橋の電気防食マニュアル(案)－、共同研究報告書整理番号第256号、平成12年12月
- 2) 建設省土木研究所、(財)土木研究センター：コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書、共同研究報告書整理番号第14号、昭和63年8月

高強度コンクリート・高機能コンクリートのPCへの適用

東京工業大学大学院・本協会理事	二 羽 淳一郎	鹿島建設(株) 技術研究所	大 野 俊 夫
太平洋セメント(株) 中央研究所	片 桐 誠	(株)ピーエス三菱 技術本部	桜 田 道 博
大成建設(株) 土木設計部	細 谷 学	鹿島建設(株) 技術研究所	一 宮 利 通

1. はじめに

プレストレストコンクリート（PC）構造における材料面の技術革新は、コンクリートの分野とPC鋼材の分野の双方において活発である。本文ではこのうち、コンクリート分野を取り上げて、高強度・高機能の観点から、最近の新技术について紹介する。具体的には、圧縮強度が180～200N/mm²クラスの超高強度で、しかも繊維補強された、いわゆるUFC（超高強度繊維補強コンクリート、Ultra high-strength Fiber reinforced Concrete）、それに比べるとやや低強度ではあるが鉄筋を併用することで経済性を追求したもの、あるいは新たに開発した人工骨材を使用することにより、自己収縮を大きく低減することを目指した高機能なコンクリート等である。これらは既に実用化されており、実際の構造物にも適用されている。

なお、具体的な事例を紹介する前に、高強度コンクリートや高機能コンクリートを実現するために、セメント、骨材、混和材料、あるいは補強繊維等の使用材料に関して、どのような配慮が必要で、また重要であるかについて、材料学的な観点から概説する。

2. 高強度コンクリート・高機能コンクリートにおけるセメント、骨材、混和材料等の要件

2.1 はじめに

PCへの適用を念頭に置いた高強度コンクリートや高機能コンクリートは、具体的特性として、強度、靱性などの力学的特性に優れるとともに、流動性などの施工性、さらには耐久性に優れることが求められる。ここでは、高強度コンクリート、高機能コンクリートあるいは超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を含めた、これらコンクリートに使用される、セメント、骨材、混和材料、補強繊維における、材料学的な要件について説明する。

2.2 セメント

セメントは、石灰石、粘土、珪石、鉍滓などを原料とし、ロータリーキルンで1450℃前後で焼成して得られるクリンカを、凝結調整のための石膏を添加して粉砕することで製造される。セメントの種類は組成や特徴などから、ポルトランドセメント、混合セメント、その他のセメントに分類される。

高強度コンクリート、高機能コンクリートに使用されるセメントは、特に高強度に適した性質のものを選択することが重要である。一般には、ポルトランドセメントが使用されるが、ポ

ルトランドセメントにシリカフュームを混合した特殊セメントが使用されることも多い。シリカフュームをあらかじめ混合したセメントの使用により、配合設計が容易になるばかりでなく、生コンプラントにおいてもシリカフュームを直接取り扱わずにすむ利点が見られる。

図-2.1にポルトランドセメントの化学組成の一例を示した¹⁾。高強度コンクリート、高機能コンクリートには普通ポルトランドセメントが使用されることもあるが、特に間隙質 (C_3A) が少なくピーライト (C_2S) を多く含むセメントを用いることでフレッシュコンクリートの塑性粘度が下がり、水セメント比 (W/C) をより小さくできる。このことから、このようなコンクリートには低熱セメントや中庸熱セメントが使用されることが多い。また、これらのセメントを使用することで、化学抵抗性など、耐久性の向上にも寄与できる。ピーライト (C_2S) は、図-2.2に示すように¹⁾、エーライト (C_3S) に比べて強度発現が穏やかなため初期強度は小さいが長期強度は遜色ない。なお、低熱セメントや中庸熱セメントの使用には蒸気養生を組み合わせることで強度発現を促進する手法も有効である。

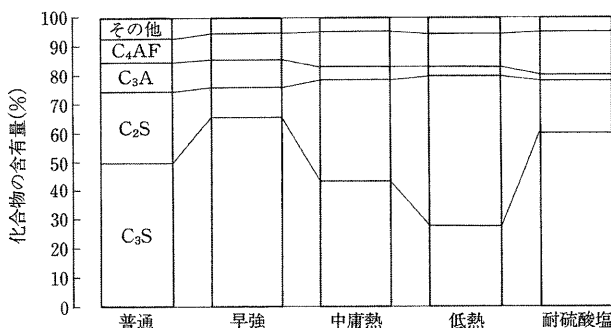


図-2.1 ポルトランドセメントの種類と化学組成例

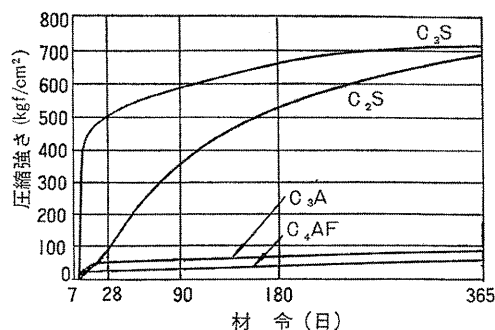


図-2.2 クリンカ主要鉱物の強度発現例

2.3 骨材

骨材は、強度が大きいコンクリートほどその占める割合は低下するものの、コンクリート容積に占める割合は依然として大きい。実際、普通コンクリートではコンクリート容積のおよそ65～80%を占めているが、高強度コンクリートではおよそ55～70%、超高強度コンクリートや超高強度繊維補強コンクリートではおよそ40～55%程度を占めている。このため、コンクリートの諸特性に及ぼす骨材の品質の影響は大きいといえる。したがって、良質のコンクリートには、硬質で、物理的・化学的に安定で、適度な粒度を有し、有害量の不純物・塩化物を含まない骨材を使用することが基本となる。骨材としては、一般に石英質のものが最も強く、石灰質のものも相当に強いとされ、安山岩、玄武岩、石灰岩、花崗岩、砂岩、斑岩などが望ましいとされている。表-2.1²⁾に骨材の産地や製法による分類と注意を要する不純物について示す。不純物はコンクリート強度や凝結に影響を及ぼすので注意が必要である。また最近、アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化が報告されている。表-2.2³⁾にアルカリ反応性を有する物質とそれらを含む岩石類の分類を示したが、骨材の選定にあたってはアルカリ反応性についても注意が必要である。

なお、超高強度繊維補強コンクリートでは、多量の補強繊維を混入させることになるが、一般に粗骨材を使用せずに限定された寸法の細骨材のみを使用し、さらに静弾性係数を高める目的でより純度の高い石英質砂（珪砂）が使用される場合が多い。

表-2.1 骨材の種類と注意を要する不純物

骨材 不純物	川砂 砂利	山・陸砂 陸砂利	海砂 海砂利	砕石 石砂	人工軽量 スラグ
有機不純物	◎	◎	△	—	—
塩分	—	—	◎	—	△
泥土	◎	◎	○	△	—
粘土塊	○	◎	—	—	—
石粉	—	—	—	◎	—
貝殻	—	△	○	—	—
雲母片	△	△	△	—	—
硫鉄鉱	△	—	—	—	—
硫黄・硫酸物	△	△	△	—	○
軽量異物	△	○	○	—	△
石炭・亜炭	△	○	—	—	—

注◎：悪影響が大きく、特に注意を要するもの。

○：存在が予測されるもの。

△：まれに存在することがあるもの。

表-2.2 アルカリ反応性を有する鉱物とこれを含む岩石

アルカリ反応性を有する物質		アルカリ反応性物質を含む岩石類
物質（鉱物）名	組成式	
クリストバライト	SiO ₂	安山岩、流紋岩、凝灰岩
トリジマイト	SiO ₂	安山岩、流紋岩、凝灰岩
玉 髓	SiO ₂	チャート、珪岩、粘板岩、頁岩、砂岩 安山岩、流紋岩、凝灰岩、珪化石灰岩
オパール	SiO ₂ ・H ₂ O	安山岩、玄武岩、流紋岩、凝灰岩 砂岩、粘板岩、頁岩
は り	ガラス	黒曜石、真珠岩、安山岩、流紋岩、凝灰岩

2.4 混和材料

高強度コンクリート、高機能コンクリートを構成する上で、混和材料の果たす役割は大きい。混和材料はコンクリートの種々な性能を改善し、品質を向上させる目的で使用される。混和材料は、薬品的に少量使用される混和剤と、使用量が比較的大きく、それ自体の容積がコンクリートの配合に算入される混和材とに大別される。さらに、混和剤は、減水剤、AE減水剤などのコンクリート用化学混和剤（JIS A 6204）と、硬化促進剤や凝結遅延剤などのその他の混和剤に分類される。また、混和材は、シリカフューム（JIS A 6207）、フライアッシュ（JIS A 6201）などのボゾラン、高炉スラグ微粉末（JIS A 6206）や石粉などの鉱物質微粉末、およびコンクリート用膨張材（JIS A 6202）に分類される。

一般に、高強度コンクリート、高機能コンクリートは、混和材として微細な石英粉や、シリカフュームを用い、水粉体比を著しく低減した配合となっていると考えられる。このことから、混和剤には、極めて低い水粉体比においても高い流動性を付与でき、打込み終了時までこれを

保持する能力が要求される。近年、一般の高強度コンクリートを含めて、このような要求性能に対してはポリカルボン酸系の高性能減水剤または高性能AE減水剤が使用されることが多くなっている。これは、**図-2.3**に示されるように³⁾、ポリカルボン酸系のは、ナフタリン系のものに比べて少ない使用量で高い減水率が得られる理由による。ポリカルボン酸系の高性能減水剤あるいは高性能AE減水剤の特徴である高い減水性能のメカニズムは、粒子の分散を担う成分がセメントや混和材粒子の表面に吸着することによって生じる静電的反発作用に加え、高分子吸着層の相互作用に基づく立体障害による反発作用によるものと考えられている。また、ポリカルボン酸系の高性能減水剤あるいは高性能AE減水剤は分子構造を変えやすい自由度があるため、分子設計により性能改善や機能付加を行いやすいという特徴も広く普及している要因と考えられる。**図-2.4**にポリカルボン酸系ポリマーの分子構造と吸着モデル図を示したが⁴⁾、酸とエステル部分の比率変更や側鎖の分子構造、主鎖や側鎖の分子量の変更など、分子設計の自由度が高いことがわかる。

一方、混和材では、マイクロフィラー効果やポズラン反応等による高強度化を目的として、主としてポズランや鉱物質微粉末が使用される。また、特に早期材齢での高強度化を目的として石膏が使用される場合もある。ポズラン反応とは、セメントが水和する際に生成する水酸化カルシウムとシリカ質微粉末が反応し、不溶性化合物を生成する反応のことで、このような反応を起こすシリカ質微粉末をポズランと称している。ポズランとしては、シリカフューム、フライアッシュ、メタカオリン、けい酸白土などがあげられる。一般に高強度コンクリートでは、大幅に水粉体比を下げ、顕著な高強度化が可能となるシリカフュームが用いられることが多い。

一方、マイクロフィラー効果とは、コンクリートに鉱物質微粉末を混入させることでセメント粒子間に存在する空隙を充填し、コンクリートに高強度化、高耐久化あるいは高流動化を付与する効果のことである。このような鉱物質微粉末としては、シリカフューム、フライアッシュ、石英微粉末、石灰石微粉末、高炉スラグ微粉末などがあげられる。**図-2.5**にシリカフュームを混入させたセメントペーストの微細模式図を示したが⁵⁾、セメント粒子間に存在する空隙をシリカフュームが充填する概念が示されている。

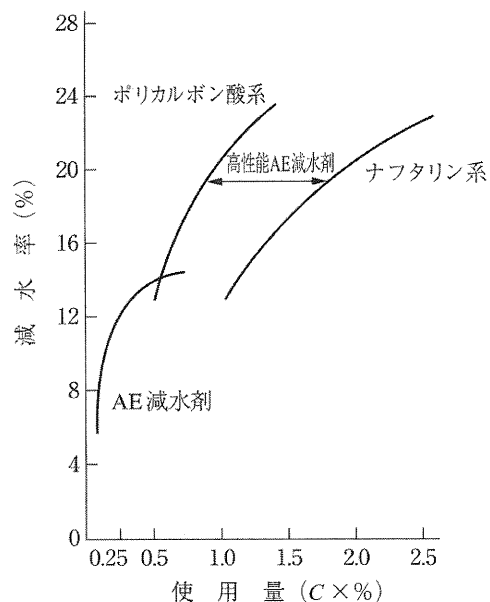


図-2.3 コンクリート用化学混和剤の減水率

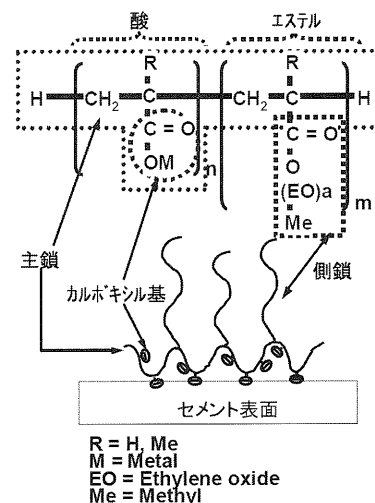


図-2.4 ポリカルボン酸ポリマーのモデル図

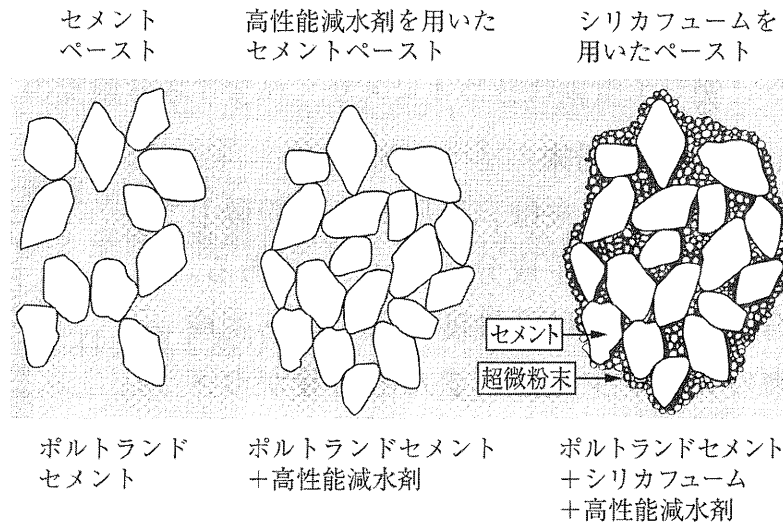


図-2.5 フレッシュコンクリート中のペースト構造

2.5 補強繊維

一般に補強繊維は、コンクリートの脆性を改善し、ひび割れの拡大を抑制し、伸び能力や靱性を増すために混入される。補強繊維は、鋼繊維などの金属繊維と、炭素繊維、ガラス繊維あるいは、PVA繊維、PP繊維、ポリエチレン繊維、アラミド繊維などの非金属繊維に大別される。

非金属繊維は、通常、繊維径 $10\sim100\mu\text{m}$ 程度、長さ $6\sim12\text{mm}$ 程度の微細なものが多い。これらの繊維は、その補強効果が一般にそれほど大きくないために、コンクリートの剥落防止のため等に使用されることが多い。一方、金属繊維は、その補強効果が比較的高いことから、靱性の改善など積極的な力学的特性の改善に使用される。このため、超高強度繊維補強コンクリートでは、標準的に鋼繊維が使用されている。

鋼繊維の製法としては、図-2.6に示すように、原料溶鋼を冷却ディスクで飛散させる方法（メルトエクストラクションファイバー）や、図-2.7に示す、原料鋼線を切断する方法（カット

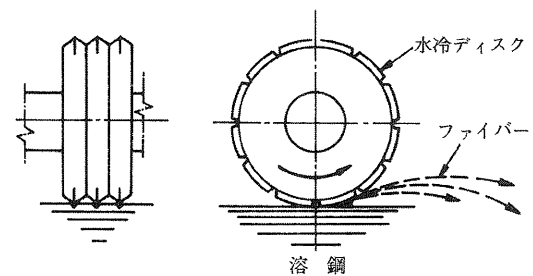


図-2.6 鋼繊維の製造方法（メルトエクストラクションファイバー）

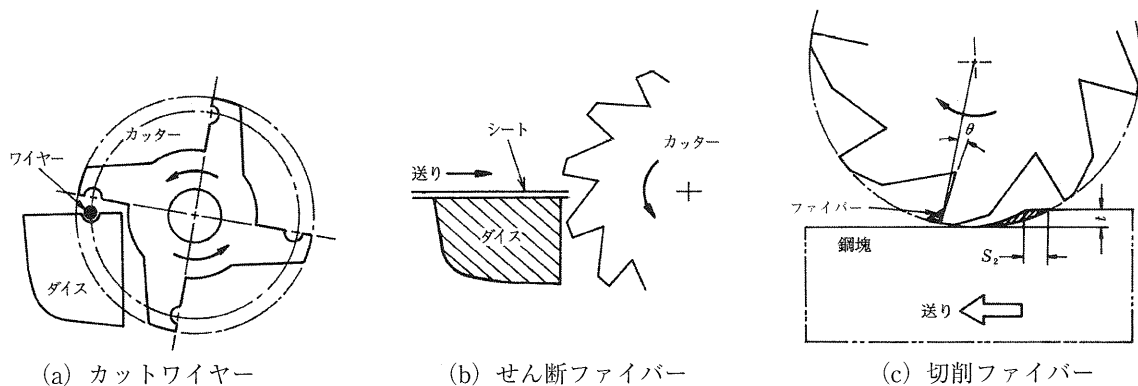


図-2.7 鋼繊維の各種製造方法

トワイヤー)、原料薄板鋼板を切断する方法(せん断ファイバー)、原料厚板鋼板を切削する方法(切削ファイバー)などがあげられる⁶⁾。

なお、一般のコンクリート用鋼繊維は、引張強度 1000N/mm^2 程度、直径 0.5mm 程度、長さ $25\sim 40\text{mm}$ 程度であり、コンクリートとの付着改善のために、折曲げ加工やインデント加工が施されているものが多い。一方、超高強度繊維補強コンクリートで標準的に使用される鋼繊維は、引張強度 2000N/mm^2 以上、直径 0.2mm 程度、長さ $15\sim 20\text{mm}$ 程度のカットワイヤーである。超高強度繊維補強コンクリートに用いられるコンクリートは緻密であるため補強繊維との付着強度も大きい。このため、使用される補強繊維には折曲げ加工やインデント加工は施されていない。

3. PC構造物への適用事例

3.1 超高強度繊維補強コンクリート

(1) 材料特性

超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFCと称す)の水セメント比は約22%であるが、配合された反応性微粉末を含めた水粉体比では8%である(表-3.1)。つまり、水和反応限界付近の水分しか与えられていないことになり、生成物中の空隙を極限まで抑えた最密充填が実現される(図-3.1)。この非常に少ない水分と配合成分による高い粘性のため、練混ぜ時にはミキサーに負荷がかかり、10分程度の練混ぜ時間を要するが、流動化後は容積比2%の鋼繊維を投入しても、練り上がり時のモルタルフロー値で $200\sim 300\text{mm}$ の高い流動性を有する。このため、UFCは高い自己充填性を有し、締め固め不要である。打設後は、常温で $24\sim 48$ 時間(初期養生)、その後 90°C の蒸気養生を48時間(標準熱養生)実施するのが標準である。圧縮強度は、初期養生後で $30\sim 50\text{N/mm}^2$ 、標準熱養生後で 200N/mm^2 を発現できる。標準熱養生後の材料特性を以下に示す。

- ・圧縮強度： 200N/mm^2 ($\phi 5 \times 10\text{cm}$ 供試体による)
- ・曲げ強度： 45N/mm^2 ($4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体による)
- ・引張強度： 11N/mm^2
- ・乾燥収縮： $50\mu\text{m/m}$ (普通コンクリートの1/10以下)
- ・クリープ係数：普通コンクリートの1/5以下

図-3.2に示すように、初期ひび割れが曲げ応力 $20\sim 30\text{N/mm}^2$ 程度で発生した後、鋼繊維の架橋効果で曲げ抵抗が増大し、曲げ強度は $40\sim 45\text{N/mm}^2$ にまで達する。最大応力後も、架橋効果により、ねばり強い曲げ特性を示す。これらの特性により、鉄筋を配置することなくUFCを橋梁のような桁部材に適用することが可能となっている。

表-3.1 UFCの配合

水 W	UFC粉体 P	鋼繊維 Sf	専用減水剤 Sp
175	2254	157	24

(kg/m^3)
ただし、水 175kg/m^3 は専用減水剤 24kg/m^3 を含む

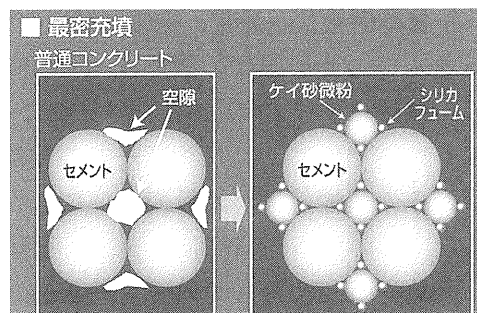


図-3.1 最密充填のイメージ

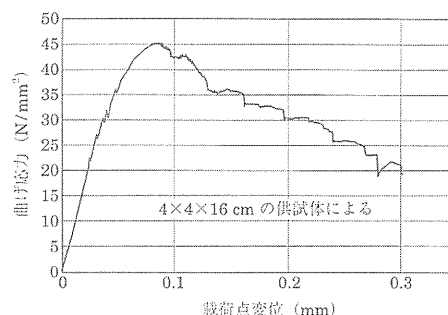


図-3.2 曲げ応力-変位関係

(2) 歩道橋への適用

UFCを適用したPC歩道橋の諸元を表-3.2に示す。

表-3.2 UFCを適用したPC歩道橋の橋梁諸元

	酒田みらい橋	赤倉温泉ゆけむり橋	豊田市横断歩道橋	下路桁歩道橋
橋種	PC歩道橋	PC歩道橋	PC歩道橋	PC歩道橋
構造形式	単径間PC箱桁橋	単径間PC箱桁橋	単径間PC2室箱桁橋	単径間PC下路桁橋
橋長	50.2m(支間長 49.35m)	36.4m(支間長 35.3m)	28.007m(支間長 22.500m)	33.1m(支間長 31.8m)
幅員	総幅員2.4m(有効幅員1.6m)	総幅員3.5m(有効幅員3.0m)	総幅員4.72m(有効幅員4.0m)	総幅員2.5m(有効幅員2.0m)
桁高	0.55m(端部), 1.56m(中央部)	0.95m	0.55m	1.28m(標準部), 1.47m(桁端部)
支承構造	ゴム支承	ゴム支承	ゴム支承	ゴム支承
荷重	群集荷重	群集荷重	群集荷重	群集荷重
工期	2002年3月～2002年9月	2003年9月～2003年12月	2005年12月～2007年2月	2006年7月～2006年11月

1) 酒田みらい橋 (写真-3.1)

本橋は、山形県酒田市の新井田川にかかる歩道橋で、UFCを用いた、わが国最初のPC橋であり、以下の特徴を有している。

- ・非常に薄い部材厚(上床版厚5cm、ウエブ厚8cm)
- ・大幅な軽量化(従来のコンクリート橋重量の1/5程度)
- ・低い桁高(桁端部55cm)で長いスパン長(50m)
- ・鉄筋は不使用
- ・ウェブの円形開口部
- ・大型ブロックによる製造・架設(写真-3.2)
- ・小さな下部工、軽微な仮設設備

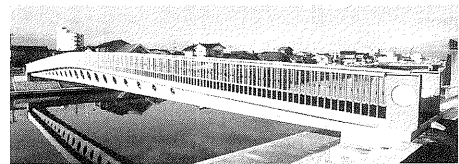


写真-3.1 酒田みらい橋全景

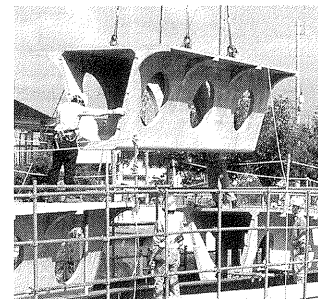


写真-3.2 架設状況

2) 赤倉温泉ゆけむり橋 (写真-3.3)

本橋は、山形県最上町の赤倉温泉地区を流れる最上小国川に架かる歩道橋である。上床版、下床版、ウェブともに部材厚は7cmという薄さを実現している。また、桁高は95cmで、桁高/スパン比は約1/40である。上部工重量は約65tと従来のコンクリート橋の約1/5程度である。架設地点が温泉街にあり進入路が狭いため、箱桁断面を上床版と「ウェブ+下床版」からなるU型桁に上下分離して架設を行った(写真-3.4)。上床版とU型桁は、孔あき鋼板ジベルにUFCを現場打設することによって接合している。

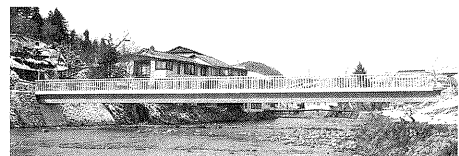


写真-3.3 赤倉温泉ゆけむり橋全景

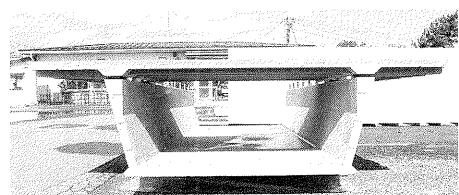


写真-3.4 上床版+U型桁の分離構造

3) 豊田市横断歩道橋 (図-3.3)

本橋は、愛知県豊田市に新設中の総合体育館へのアプローチ橋である。市道の建築限界を確保しつつ、体育館の2階部への接続により桁天端レベルが決定されるという厳しい制約が課せられ、桁高は550mmとなっている。現在、橋梁部は施工が終了し、階段部とエレベータ部を施工中である。本橋では、現場作業の低減と工程短縮のた

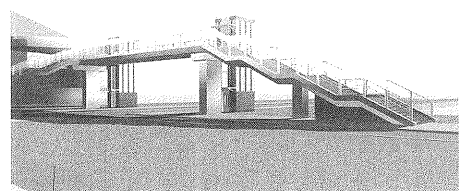


図-3.3 豊田市横断歩道橋完成パース

め、UFCを適用した橋梁としては初めてプレキャストセグメント同士の接合にドライジョイントを採用した。

4) 下路桁歩道橋 (写真-3.5)

本橋は、広島県に位置する県道を跨ぐ連絡歩道橋である。橋台間の高低差が大きいため、8.0%の縦断勾配を有している。県道の建築限界の確保と近接の信号機に対する視認性より桁下空間を確保する必要があること、歩行者の通行する位置を出来るだけ低くすることのために、UFCを適用したPC橋としては初めて下路桁構造が採用された (図-3.4)。

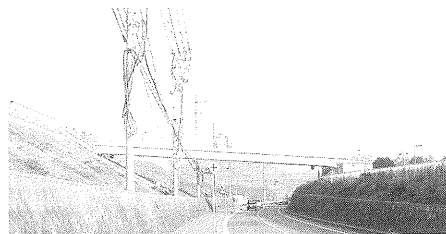


写真-3.5 下路桁歩道橋全景

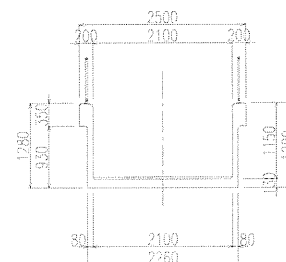


図-3.4 断面図 (標準部)

(3) 道路橋への適用

UFCを適用した道路橋の諸元を表-3.3に示す。

表-3.3 UFCを適用した道路橋の諸元

	堀越Cランプ橋	鳥崎川橋梁
橋 種	PC道路橋	PC11径間連続箱桁橋
構造形式	単径間プレテンション合成1桁	波形鋼板ウェブPC橋
橋 長	16.617m (支間長 15.957m)	554.0m (支間長 51.8+4×54.5+56.0+3×50.0+40.0+35.8m)
幅 員	総幅員8.470~8.575m	総幅員11.300m
桁 高	1.0m (UFC桁: 0.75m)	3.191~4.065m
支承構造	ゴム支承	ゴム支承
荷 重	B活荷重	B活荷重
工 期	2005年3月~2005年7月	2004年7月~2006年12月

1) 東九州自動車道堀越Cランプ橋 (写真-3.6)

本橋は、九州自動車道から東九州自動車道へ分岐する北九州JCTに位置するランプ橋である。当初はプレテンション方式PC単純中空床版橋で計画されていたが、UFC製の主桁と現場打設のPC床版との合成桁に変更された。UFCを道路橋の主桁に適用したのは、わが国では初めて、世界では2番目である。

構造形式は、プレテンション I 桁にUFC (写真-3.7) を、床版には普通コンクリート (設計基準強度36N/mm²) を用いたPC合成桁橋であり、桁と床版とは孔あき鋼板ジベルで接合されている。鉄筋を配置していないため、ウェブ厚は9cmとなり、床版を含めた躯体重量は当初より30%以上軽量化できた。UFCを用いたことによるメリットを以下に示す。

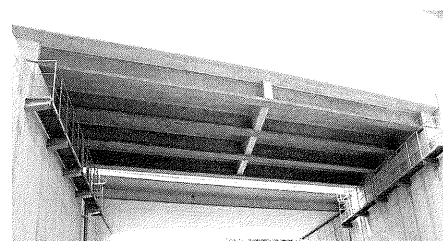


写真-3.6 堀越Cランプ橋全景

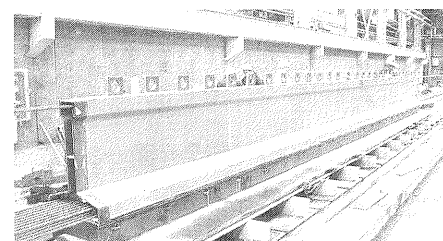


写真-3.7 UFC桁の製作状況

- ・ 架設桁が11本→4本に減少し、桁搬入時、架設時の交差道路の通行規制時間を短縮できた。
- ・ 桁1本当り重量が12t→5tに減少し、桁架設に使用するクレーンを小型化できた。

2) 北海道縦貫自動車道鳥崎川橋(写真-3.8)

本橋は、橋長554m、最大支間56mの11径間連続波形鋼板ウェブPC箱桁橋で、押し出し工法により架設された。本橋では、コスト縮減を目的として、従来のPC橋の押し出し架設に用いられる鋼製仮設手延べ桁の代わりに、本設の主桁の押し出し先頭区間を、波形鋼板ウェブ、鋼上弦材およびUFC製の下弦材で構成される軽量な構造として押し出し架設を行い、押し出し完了後もこれらを本設部材として利用し、先頭区間の桁の上下床版を製作して完成形の主桁とする施工方法を採用した(図-3.5、写真-3.9)。下弦材にUFCを採用することにより断面が小さくなり、手延べ桁の軽量化を図ることができた。



写真-3.8 鳥崎川橋全景

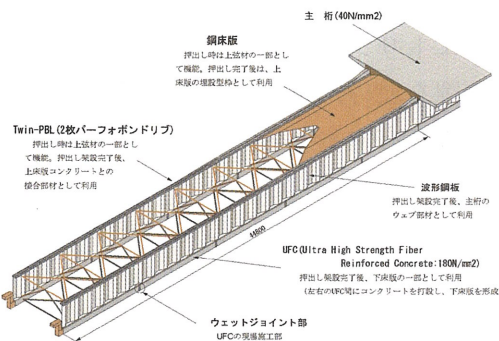


図-3.5 手延べ桁の構造



写真-3.9 UFC下弦材付き手延べ桁

3.2 エトリンナイト生成系超高強度繊維補強コンクリート

(1) 概要

エトリンナイト生成系超高強度繊維補強コンクリート(以下、エトリンナイト系UFCと略記する)は、3.1で紹介したものとは異なる組成のUFCである。エトリンナイト系UFCは高い圧縮強度と耐久性を有し、高い流動性、自己充てん性により、薄くて複雑な部材を製造することが可能である。このため、PC部材や、耐塩害性や耐摩耗性などの耐久性が求められる部材等への適用が有望視されている。

エトリンナイト系UFCは、現状では以下の全ての項目を満足するセメント系複合材料に限定している。

- ①マトリクスが、ポルトランドセメントとボゾラン材およびエトリンナイト生成系材料からなる結合材、粒径2.5mm以下の専用骨材、水、ならびに専用高性能減水剤から構成される。
- ②配合は表-3.4に示す標準示方配合とする。
- ③引張強度が $2 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 以上で、直径0.2mm、繊維長が15mm(製造誤差 $\pm 2 \text{ mm}$ 未満)^{注1)}および22mm(製造誤差 $\pm 2 \text{ mm}$ 未満)^{注2)}である2種類の鋼繊維をブレンドした専用補強繊維を1.75vol.%混入する。

注1)、注2)：論文などでは「公称繊維長15mmおよび20mm」と表現されている場合があるが、ここで規定した繊維長と同じものである。

- ④各強度の特性値は、圧縮強度 180N/mm^2 、ひび割れ発生強度 8N/mm^2 、引張強度 8.8N/mm^2 とする。
- ⑤エトリンガイト系UFCは基本養生を行うことを原則とする。

表-3.4 エトリンガイト系UFCの標準示方配合

フロー値 (mm)	水結合材比 (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m^3)				専用 補強繊維 (kg)
			水	結合材	専用 骨材	専用 高性能減水剤	
250±20	15	2.0	195 ^{注3)}	1,287	905 ^{注4)}	32.2	137.4 (1.75Vol%)

注3)：水の単位量は混和剤の水分を含む。

注4)：骨材は表乾状態での単位量である。

(2) 特徴

エトリンガイト系UFCは、水和の初期段階でのエトリンガイトの生成と、その後のセメントの水和ならびにポゾラン材の活性によって微細空隙を埋め、化学的に緻密化された硬化体を形成し、極めて高い圧縮強度と耐久性ならびに施工性を有するセメント系複合材料になるように工夫されている。

専用骨材は結合材とプレミックスせずに表面水を有する骨材として使用することを標準としており、表面水率を計量に反映する。

専用補強繊維は繊維長が15mmと22mmの2種類の鋼繊維を混合したものであり（写真-3.10）、異なる長さの鋼繊維を適切に混合することによって、優れた流動性と繊維分散性を保つとともに（写真-3.11）、20mmより長い鋼繊維を混入することによって、繊維の補強効果を効率的に利用し、1.75vol.%と少ない繊維混入率で所要の曲げ強度を実現している（図-3.6）。



写真-3.10 専用補強繊維



写真-3.11 フレッシュ性状

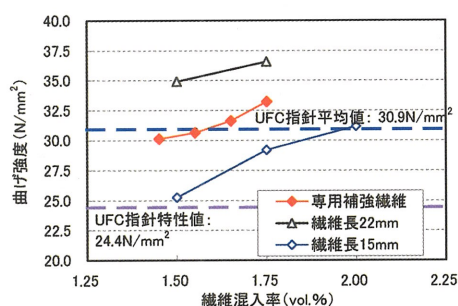


図-3.6 繊維混入率と曲げ強度の関係例

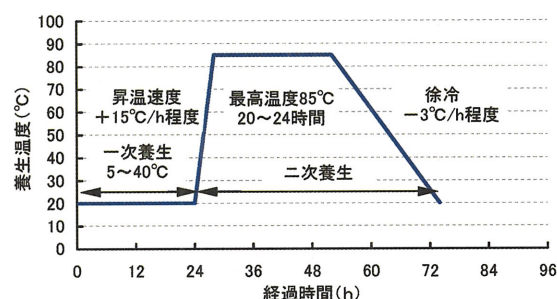


図-3.7 基本養生

基本養生は図-3.7に示すように5～40℃の湿潤養生（一次養生）を行った後、最高温度85℃の蒸気養生を20～24時間行う（二次養生）こととしている。

エトリンガイト系UFCの材料強度の特性値、その他の材料特性は表-3.5と表-3.6に示すとおりである。引張軟化曲線については土木学会のUFC指針と同様にモデル化することができる。

エトリンガイト系UFCの耐久性のうち、物質移動に関する諸物性は表-3.7に示すとおりである。エトリンガイト系UFCを用いた構造物は、設計耐用年数を100年とした場合に、中性化、塩化物イオンの侵入に伴う補強繊維の腐食、塩化物イオンの侵入に伴うコンクリート中の鋼材の腐食、凍結融解、硫酸塩、アルカリ骨材反応によって所要の性能が失われることがない、としてよい。

表-3.5 材料強度の特性値

圧縮強度	180N/mm ²
ひび割れ発生強度	8.0N/mm ²
引張強度	8.8N/mm ²

表-3.6 その他の材料特性

ヤング係数	4.6×10 ⁴ N/mm ²
ポアソン比	0.2
熱膨張係数	13.0×10 ⁻⁶ /℃
収縮ひずみ	二次養生開始以降 二次養生終了以降
	400～450×10 ⁻⁶ 50×10 ⁻⁶
クリープ係数	0.7

表-3.7 物質移動に関する諸物性

透気係数	4.5×10 ⁻²⁰ m ²
塩化物イオンの拡散係数	0.0017 cm ² /年 ^{*1)}
細孔空隙量	3～4vol.%程度

*1) 浸せき期間12ヶ月でのデータ（塩化物イオン濃度6%の溶液に浸せき）

(3) PC構造物への適用例

1) アクアタウン橋梁

アクアタウン橋梁は公道から民間施設への進路橋であり、概要は以下のとおりである。

橋 種：プレストレストコンクリート道路橋

構造形式：プレテンション方式PC単純床版橋

荷 重：A活荷重

橋 長：13.000m、支間長：12.440m

幅 員：車道6.00m、歩道1.600m×2

桁 本 数：13本

本橋の断面は、エトリンガイト系UFCを使用した主桁（プレテン桁、図-3.8と写真-3.12）と一体化される間詰めコンクリートより構成されている。プレキャスト工場で製作したプレテ

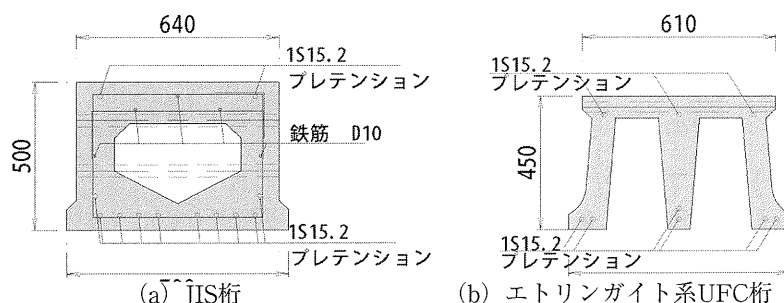


図-3.8 主桁断面の比較

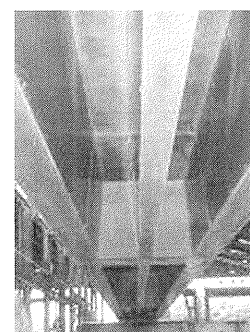


写真-3.12 製作後のプレテン桁

ン桁を架橋位置まで運搬して架設した後(写真-3.13)、
桁間に間詰めコンクリートを打設、横締めPC鋼材で全ての
の桁を一体化した。エトリングイト系UFCを使用すること
により、従来の中空床版桁と比較して主桁重量を軽減
できたため(桁1本当たり約35%の重量減、主桁全体重量
約26%減)、運搬・架設費を低減でき、またPC鋼材重量
の軽減(約23%減)や中間横桁を減らすことによる現場
作業の軽減などを可能とした。

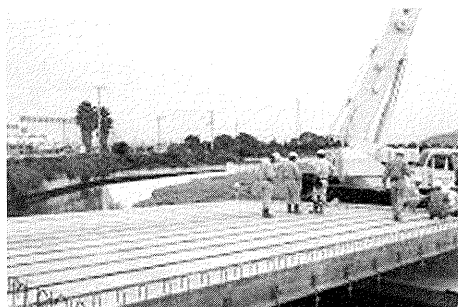


写真-3.13 架設完了後の状況

2) 増谷1号橋

増谷1号橋の概要は以下のとおりであり、上部工の重量に制約があったため、エトリングイト系UFCを使用した主桁が採用された(写真-3.14)。

橋 種：プレストレストコンクリート道路橋

構造形式：プレテンション方式PC単純床版橋

荷 重：TL-14

橋 長：7.462m、桁長：7.422m

支 間 長：7.148m、幅員：3.6m

桁 本 数：5本

エトリングイト系UFCを使用することにより、従来の旧JIS桁と比較して主桁全体重量を約50%、PC鋼材重量を約69%軽減することが可能となり、上部工の重量制約を満足することができた。



写真-3.14 架設完了後の状況

3.3 高強度繊維補強モルタル

(1) 概要

設計基準強度は120MPaでUFCには及ばないが、材料が比較的安価で、養生の簡素化、および鉄筋の配置が可能な高強度繊維補強モルタルが開発されている(写真-3.15)。高強度コンクリートにおいて粗骨材は、流動性の低下、強度のばらつき、および強度の頭打ち現象の原因となることから、高強度になるほど粗骨材を厳選する必要がある。高強度繊維補強モルタルでは粗骨材を使用しないため、骨材を厳選することなく、優れた流動性、自己充填性および高い強度が得られる。

粗骨材を使用しないことにより、通常のコンクリートに比べ収縮は大きくなるが、鋼繊維(写真-3.16)を添加することで収縮ひび割れを防止でき、高強度コンクリート特有の脆性的な破壊形態も改善できる。高強度繊維補強モルタルの使用材料および示方配合の例をそれぞれ、表-3.8および表-3.9に示す。



写真-3.15 高強度繊維補強モルタル

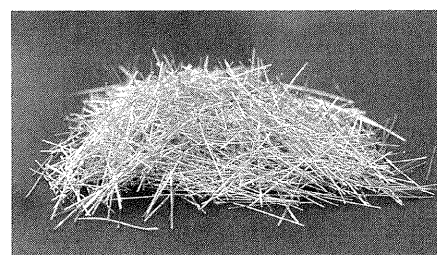


写真-3.16 鋼繊維

高強度繊維補強モルタルは、実機プラントでシリカフューム混入セメント、天然細骨材、鋼繊維および高性能減水剤等をそれぞれ計量した後に練り混ぜる、ノンプレミックス方式の材料である。本モルタルを使用した部材には、通常のコングリート部材と同様、鉄筋が配置されるため、鋼繊維の添加量はUFCの1/4程度(0.5vol.%)である。すなわち、鋼繊維を構造材として見なしていないことから、自己収縮による収縮ひび割れと脆性的な破壊形態を防止できる最小限の量を添加すればよいという考え方である。

なお、鋼繊維添加量が0.5vol.%で、鉄筋を配置した部材に収縮ひび割れが発生しないこと、および破壊形態が脆性的でないことは、実物大供試体の施工実験、各種載荷実験および実構造物の製作により確認している^{7)~11)}。

本モルタルは蒸気養生を行うことが前提になっており、図-3.9に示す養生が行われる。高強度繊維補強モルタルの強度性状を表-3.10に示す。高強度繊維補強モルタルの各強度は、設計基準強度が120MPa(配合強度で150MPa)、曲げ強度が15MPa、引張強度が8.0MPaであり、通常のコングリートの3倍程度の強度を有している。高強度繊維補強モルタルは水セメント比が17%と小さいため、中性化、凍結融解および塩害に対して高い耐久性を有していることが確認されている¹⁰⁾。特に、塩分の拡散係数は $0.0217\text{cm}^2/\text{年}$ で通常のコングリートの1/20程度であり、図-3.10に示すとおり、かぶりが40mm程度あれば、飛沫帯においても100年の耐久性を有している⁹⁾。以上のような特徴を有する高強度繊維補強モルタルをPC構造物に使用することにより、部材の薄肉化、低桁高化、軽量化および高耐久性化が可能となり、通常のコングリートでは実現が困難な高い付加価値を有する構造物や経済的な構造物を実現することが可能となる。

表-3.8 使用材料(例)

材 料	記号	摘 要
セメント	C	シリカフュームセメント、密度 $3.08\text{g}/\text{cm}^3$
鋼繊維	SF	OL13/16、引張強度 2340MPa 長さ 13mm 、径 0.16mm 、密度 $7.85\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	S	砕砂(東根産)、表乾密度 $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率 1.03% 、最大寸法 5mm
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系

表-3.9 示方配合(例)

f'_{ck} (MPa)	W/C (%)	Air (%)	スラップ厚 (mm)	単位量(kg/m^3)				SP/C (%)
				W	C	S	SF*	
120	17	2.0	750~800	210	1235	948	40	3.0

*鋼繊維混入率 0.5vol.%

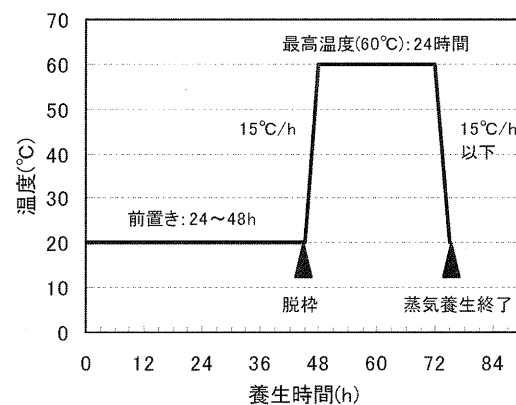


図-3.9 養生方法

表-3.10 強度性状

		高強度繊維補強 モルタル	普通 コンクリート	比
設計基準強度	MPa	120	40	3.0
引張強度	MPa	8.0	2.7	3.0
曲げ強度	MPa	15.0	5.3	2.8
ヤング係数	GPa	40	33	1.2

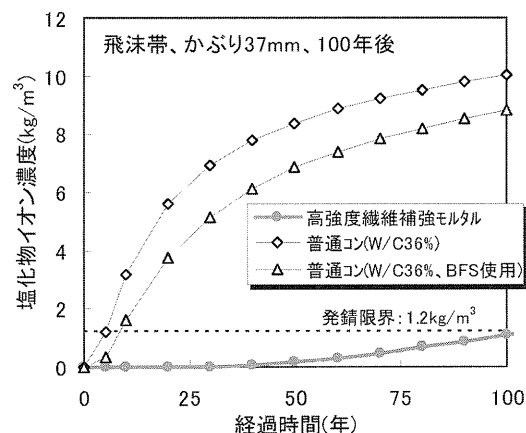


図-3.10 鉄筋位置の塩化物イオン濃度

(2) 低桁高PC橋への適用

PC橋は桁高が低くなると、荷重により発生する縁応力度が大きくなるため、これを打ち消すための大きなプレストレスを導入する必要がある。大きなプレストレスを導入するには、主桁の強度を大きくすることが有効であり、高強度繊維補強モルタルをPC橋へ使用することで、桁高が支間の1/40程度の低桁高橋を実現することが可能となる¹¹⁾。高強度繊維補強モルタルを使用した低桁高PC桁橋の構造特性は、載荷実験等により詳細に検討されている^{10), 12), 13)}。

1) 豆飼橋⁸⁾

豆飼橋は橋長26.0m、支間25.2m、幅員6.0mの単純PCT桁橋であり、高強度繊維補強モルタルが適用された、初めての低桁高PC橋である。当初の設計では通常のPCT桁橋（設計基準強度40MPa）であったが、高強度繊維補強モルタルを使用することで、桁端部の桁高を150mm低くすることができ、アプローチ部の土工事を減らすことも可能となった。本橋はプレキャストセグメント工法で施工され、移動式クレーンにより架設された。

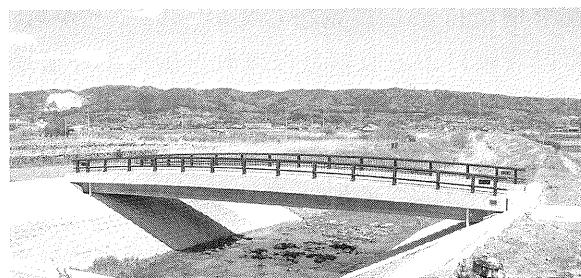


写真-3.17 豆飼橋

豆飼橋の概要

橋 種	道路橋 (A活荷重)
構 造 形 式	単径間PCT桁橋 (ポステン方式)
設計基準強度	120MPa
橋 長	26.0m
支 間 長	25.2m
桁 高	1.05m (支間中央部)、0.85m (端部)
桁 高 支 間 比	1/24 ~ 1/30
発 注 者	茨城県常陸太田市
工 期	2005. 12. 7 ~ 2006. 3. 30

2) 皆喜橋⁹⁾

皆喜橋は、損傷したRC上部工を撤去し、架け替える工事であったが、有効幅員が4.3mから5.0mに拡幅されること、および下部工はそのまま使用されることから、上部工はできる限り軽量化する必要があった（写真-3.18）。しかしながら、本橋は飛沫帯に位置するため、道路橋示方書の規定に準拠すると、かぶりを70mmとしなければならず、上部工の軽量化が困難であった。そこで、かぶりが40mm程度でも100年の耐久性を有し、桁高の低減により上部工を軽量化できる高強度繊維補強モルタルを用いた低桁高PC橋が採用された。プレストレスの導入はプレテンション方式により行われ、架設は移動式クレーンにより行われた。

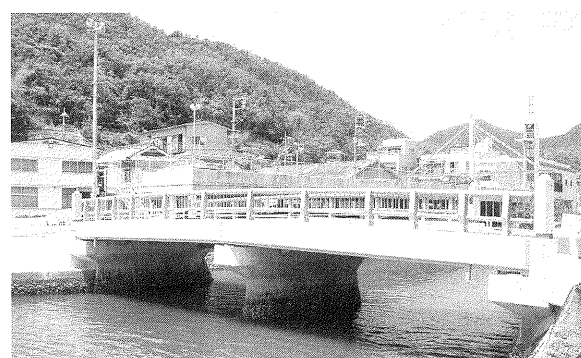


写真-3.18 皆喜橋

皆喜橋の概要

橋 種	道路橋 (A活荷重)
構 造 形 式	2径間単純PC床版橋 (プレテン方式)
設計基準強度	120MPa
橋 長	17.7m
支 間 長	8.8m
桁 高	0.3m
桁 高 支 間 比	1/29
発 注 者	岡山県備前市
工 期	2006. 2. 15 ~ 2006. 5. 31

3) カムテックス常石栈橋

カムテックス常石栈橋は、海上の飛沫帯に位置する栈橋である（写真-3.19）。以前は、鋼製の栈橋であったが、腐食による損傷が激しかったために架け替えることとなった。元の鋼橋

と同程度の桁高で、塩害に対して100年の耐久性を有し、メンテナンスをほとんど必要としないことから、高強度繊維補強モルタルを使用した低桁高橋が採用された。支間26.4mに対し桁高は550mmであり、道路橋ではないが桁高支間比1/47を実現している。

(3) 塔状構造物への適用

高強度繊維補強モルタルは塔状構造物⁷⁾にも適用され、高さ40mの携帯電話のアンテナ塔に採用された(図-3.11、写真-3.20)。携帯電話のアンテナ塔は一般に鋼製の塔とされるが、高強度繊維補強モルタルを使用することで、鋼製の塔に比べ耐久性が高く、安価な塔状構造物が建設可能となることから採用されたものである。八角形断面で長さが5mのプレキャストセグメントを工場で製作し、フーチングに定着した鉛直方向のPC鋼棒でプレストレスを導入して構築された。市街地に建設されるアンテナ塔では景観性が重視される場合も多い。本アンテナ塔の径は、基部で1167mm、頂部で500mmであり、高強度繊維補強モルタルを用いることにより鋼製塔と同等のスレンダーな形状が実現された。

3.4 低収縮型超高強度コンクリート

超高強度コンクリートをPC橋に適用することによって、部材厚を薄くして軽量化を図ることができ、長スパン化や下部構造への負担軽減によるコストダウン等が期待できる。しかし、コンクリートの高強度化に伴って自己収縮が増大するため、PC橋などの梁部材に使用する場合、既設コンクリートや内部鋼材の拘束によってひび割れが生じて耐久性の低下の原因になることが懸念される。この課題を解決し、超高強度コンクリートをPC橋に適用していくことを目的として、収縮を低減した超高強度コンクリート(低収縮型超高強度コンクリート、設計基準強度120N/mm²)が開発され、実用化されている。ここでは、低収縮型超高強度コンクリートの概要と適用実績を紹介する。

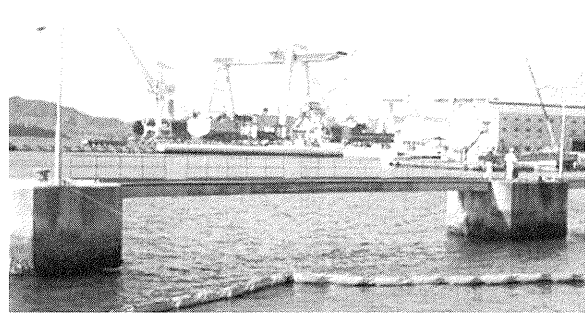


写真-3.19 カムテックス社常石栈橋

カムテックス社常石栈橋の概要
 橋 種: 栈橋(群集荷重)
 構 造 形 式: 単径間PC床版橋(ポステン方式)
 設計基準強度: 120MPa
 橋 長: 26.4m
 支 間 長: 25.6m
 桁 高: 0.55m
 桁高支間比: 1/47
 発 注 者: (株)カムテックス
 工 期: 2006. 7. 10~2006. 12. 20

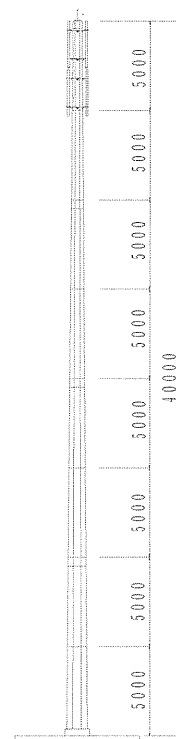


図-3.11 一般図

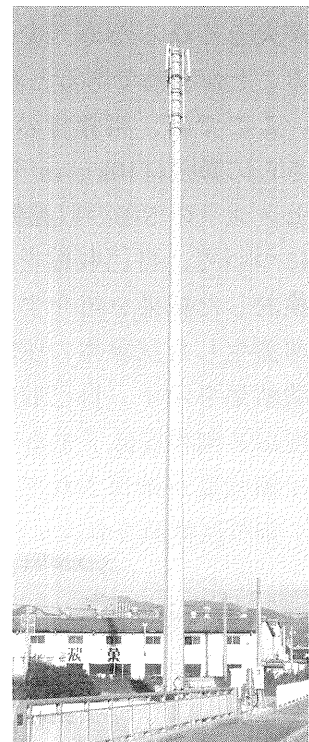


写真-3.20 塔状構造物

(1) 概要

1) 収縮低減方法

コンクリートの収縮を抑制する手法として、(a) 膨張材の使用、(b) 収縮低減剤の使用、(c) 人工軽量骨材の使用が挙げられる。前者の二つの手法は一般的な方法であるが、(a) には強度低下やフレッシュコンクリートの流動性を損なうなどの課題、(b) には材料コストが高くなるという課題がある。(c) は吸水させた人工軽量骨材を使用する手法で、骨材内部の保有水がセメントの水和に伴う硬化体の自己乾燥を補償し、細孔空隙中の湿度低下を防止する効果（セルフキュアリング効果、図-3.12）を利用する手法である。この手法では流動性が改善され、コスト的にも有利であるが、強度低下が懸念される。そこで、比較的高い強度と高い吸水率を併せ持つ石炭灰人工骨材（写真-3.21）が開発され、超高強度コンクリートの収縮低減への適用が可能となった。ただし、石炭灰人工骨材の使用量が多くなるとコンクリート強度の低下が大きくなるため、少量の膨張材や収縮低減剤を併用することが有効であると認められている。

ここでは、粗骨材の20%を石炭灰人工骨材に置換し、さらに膨張材10kg/m³を併用する配合（JL20E10）およびセメントの5%の収縮低減剤を併用する配合（JL20R05）について、自己収縮を低減しない基本配合（B）と比較検討した結果を紹介する。図-3.13および図-3.14に標準養生した試験体の圧縮強度および自己収縮ひずみの試験結果を示す。自己収縮を改善することによって圧縮強度は2割程度低下するものの材齢56日で約150N/mm²の圧縮強度が確保されており、また、自己収縮は5割から7割程度低減された。

2) 低収縮型超高強度コンクリートの種類

低収縮型超高強度コンクリートには「高流動自己充てん型」および「振動締固め併用型」の2種類がある（写真-3.22）。前者は、高密度配筋部材や複雑な形状の部材などを対象に、スランプフローを600～700mmとして自己充てん性を与え、振動機による締固め作業を必要としないものである。後者は橋梁の上床版等の仕上り天端に勾配がついた部材を対象に、スランプフローを300～500mmとして、補助的に振動機による締固め作業を行って施工することを意図したものである。

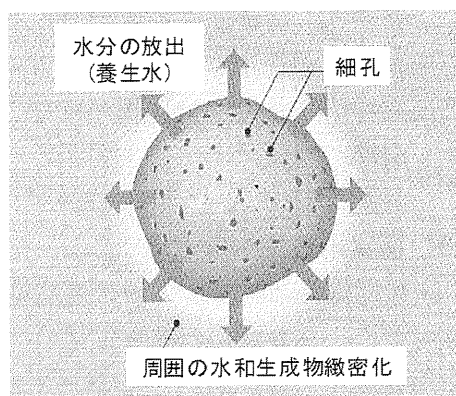


図-3.12 セルフキュアリング効果

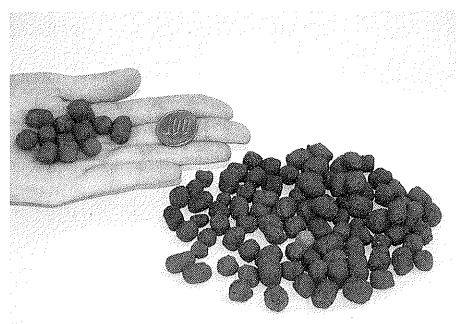


写真-3.21 石炭灰人工骨材

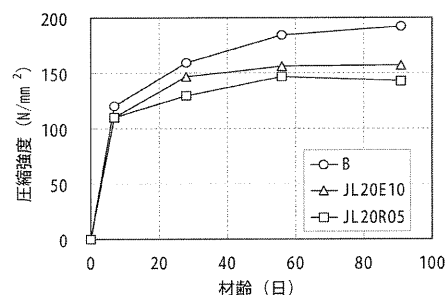


図-3.13 圧縮強度の試験結果

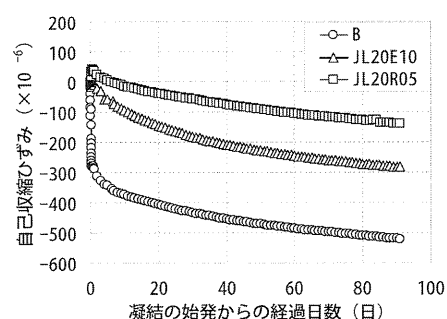


図-3.14 自己収縮ひずみの試験結果

(2) AKIBA_BRIDGEへの適用

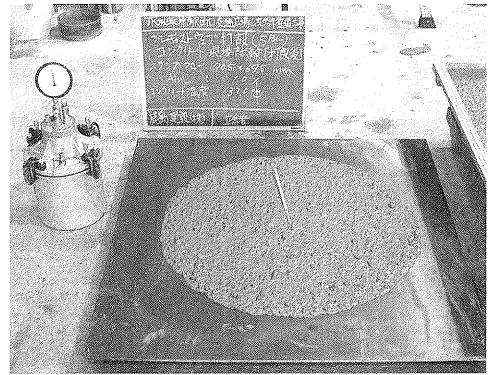
1) 計画概要

AKIBA_BRIDGE(秋葉原公共デッキ)は秋葉原駅前に位置し、秋葉原ダイビルおよび秋葉原UDXの2Fレベルに接続する歩道橋である(写真-3.23)。ビルのコストを低減するために1階の階高をできるだけ低く抑える必要があり、階高6.0mが設定されたが、一般の道路を横断するため建築限界4.7mを確保する必要があった。さらに、駅前広場の橋脚位置の制約から最大スパン33.2mが設定され、通常のPC橋では実現できない、桁高1.2mのスレンダーな桁を実現する必要があった。また、秋葉原ITセンターへのアプローチでもあるため最先端の技術を感じさせるデザインが求められたこともあり、低収縮型超高強度コンクリートを用いたPC橋が採用された(図-3.15)。

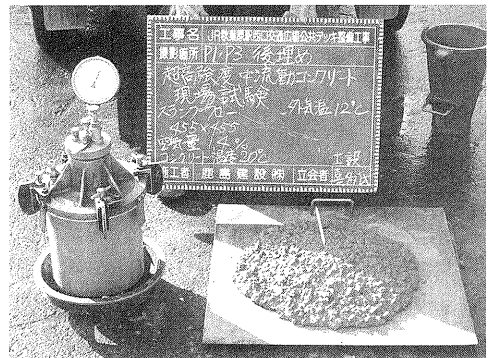
2) 主桁構造概要

主桁構造は、低収縮型超高強度コンクリートの特性を最大限に活かすような構造が採用された。低収縮型超高強度コンクリートを用いることにより、主桁下縁に作用する圧縮力はウェブ下部のコンクリートで抵抗できるため、下床版が無い構造となっており、主桁重量の軽減を図ることができた。

主桁横方向剛性を確保するために通常の下床版位置にストラットが、上床版の横方向剛性を高めるために斜めストラットが配置された。ウェブは主桁重量低減の観点から極力薄くするために部材厚200mmが設定された。上床版は群集荷重が直接載荷される部材であるため、通常程度の上床版厚250mmが確保された。



(a) 高流動自己充てん型



(b) 振動締め併用型
写真-3.22 フレッシュ性状

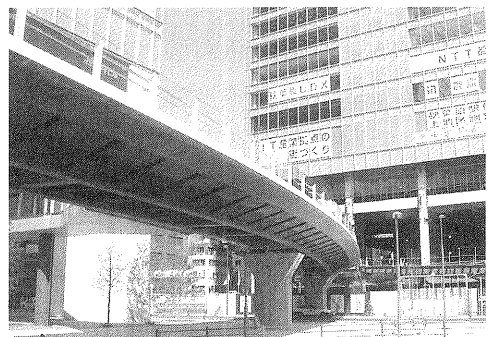


写真-3.23 AKIBA_BRIDGE

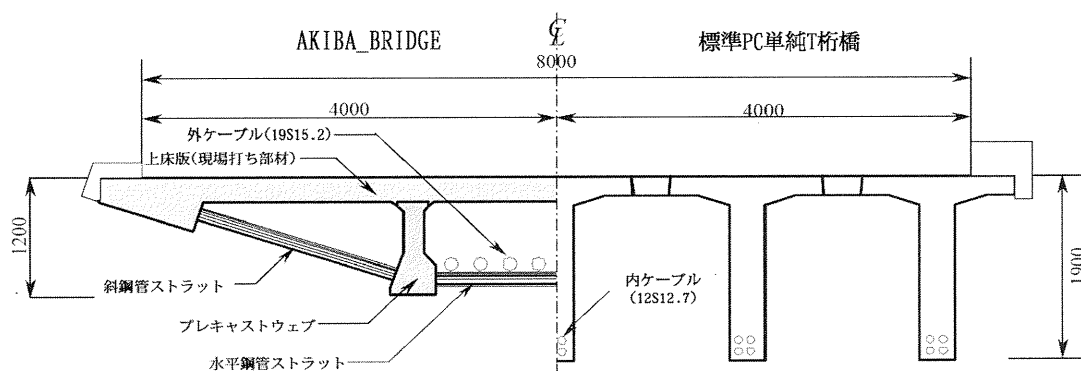


図-3.15 主桁断面比較

3) 高強度PC鋼材

本橋のウェブは薄いプレキャスト部材で内ケーブルが配置できないため、主方向ケーブルは全外ケーブル方式が採用された。また、スレンダーな印象を与えるようにするためにケーブルが2本のウェブ間に配置された(写真-3.24)。そして、配置本数を抑えるためにJIS G 3536 B種規格よりも約20%強度が高いPC鋼材(19S15.2)が用いられた。

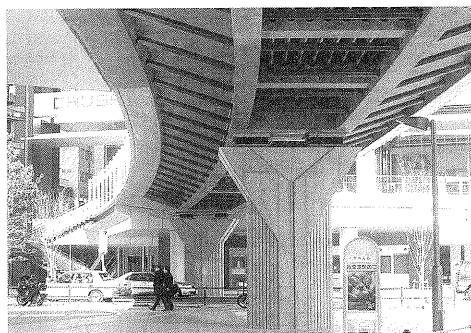


写真-3.24 桁下空間

4) 施工

配筋が密なプレキャストウェブの製作や横桁部およびディビエータ部の現場打設には「高流動自己充てん型」が、約2%の勾配を有する上床版の現場打設には「振動締固め併用型」(写真-3.25)がそれぞれ適用された。図-3.16に示すようにフレッシュ時のスランプフローを所定の範囲内に管理することによって、施工を円滑に実施することができた。また、図-3.17に示すように、圧縮強度についても所定の要求品質を満足していることが確認された。



写真-3.25 床版の打設状況

4. おわりに

以上、2種類の超高強度繊維補強コンクリート、高強度繊維補強モルタル、低収縮型超高強度コンクリートを紹介した。この内、超高強度繊維補強コンクリート(UFC)については、既に2004年に土木学会から設計施工指針(案)が刊行されている。諸外国においても、これらのような付加価値の高いコンクリートが注目されており、道路橋、ならびにその他の構造部材への適用拡大を含め、今後のますますの発展を期待したい。

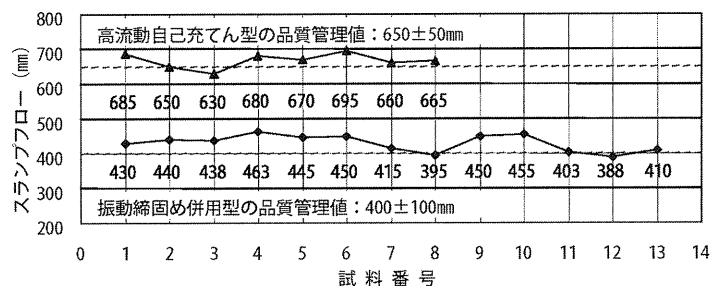


図-3.16 スランプフローの品質管理

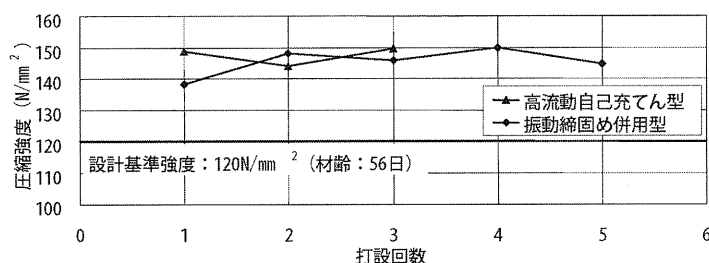


図-3.17 圧縮強度の試験結果 (現場打設分)

参考文献

- 1) セメント協会：セメントの常識、2002.
- 2) 重倉祐光：特集 最近のコンクリート用骨材、コンクリートジャーナル、Vol.16、No. 9、1978.
- 3) 戸田靖彦：コンクリートの知識、セメントジャーナル社、2005.
- 4) 内田裕市・片桐誠：さらなる超高強度高靱性コンクリートの可能性について、コンクリート工学、Vol.44、No.12、2006.
- 5) 日本コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点'04、2004.
- 6) 建設産業調査会：最新コンクリート材料・工法ハンドブック、1986.
- 7) 桜田、大山、森、二羽：超高強度繊維補強モルタルを使用した塔状構造物に関する実験的研究、プレストレストコンクリート技術協会、第15回シンポジウム論文集、pp.449-454、2006.
- 8) 宮前、菊池、木村、小西：豆飼橋の設計、プレストレストコンクリート技術協会、第15回シンポジウム論文集、pp.29-32、2006.
- 9) 岩井、亀沢、藤岡、石田：超高強度繊維補強モルタルを用いたPCプレテンション桁の施工－皆喜橋－、プレストレストコンクリート技術協会、第15回シンポジウム論文集、pp.33-36、2006.
- 10) 桜田、雨宮、渡辺、森：ダックスビーム工法（超高強度低桁高PC橋）の開発、ピーエス三菱技報、3号、2005.
- 11) 雨宮、桜田、渡辺、森：超高強度繊維補強モルタルの性状とそれを用いた低桁高PC橋の試設計、プレストレストコンクリート技術協会、第13回シンポジウム論文集、pp.585-588、2004.
- 12) 雨宮、桜田、森、二羽：超高強度繊維補強モルタルを用いたPC梁の性状、コンクリート工学年次論文集、pp.1657-1662、2005.
- 13) 雨宮、桜田、森、二羽：超高強度繊維補強モルタルを用いたPC梁の載荷実験、プレストレストコンクリート技術協会、第14回シンポジウム論文集、pp.101-106、2005.

資料

－ 資 料 －

プレストレストコンクリート技術講習会年次テーマ

- (第1回) プレストレストコンクリート構造物の設計法と現況
昭和46年11月
- (第2回) プレストレストコンクリート橋の設計・施工上の最近の諸問題
昭和48年10月
- (第3回) プレストレストコンクリート構造物の設計実技
昭和49年11月
- (第4回) 最近のPCの動向について
昭和50年11月
- (第5回) プレストレストコンクリート構造技術最近の話題
昭和52年1月
- (第6回) プレストレストコンクリート構造物設計・施工の基本
昭和53年1月
- (第7回) プレストレストコンクリート世界の動向と新道路橋示方書による設計計算例
昭和54年1月
- (第8回) プレストレストコンクリート構造物の設計・施工
昭和55年1月
- (第9回) PCによる構造物の補強とPC構造物の設計・施工
昭和56年1月
- (第10回) プレストレストコンクリート技術の現況
昭和57年1月
- (第11回) 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
- (第12回) PC構造物最近の設計例と未来像
昭和59年1月
- (第13回) プレストレストコンクリート構造物の設計・施工と最近の話題
昭和60年1月
- (第14回) 最近のプレストレストコンクリート構造物と30年の歩み
昭和61年1月
- (第15回) 21世紀に向けてのPC技術
昭和62年2月
- (第16回) 新しいPC技術とその展望
昭和63年2月
- (第17回) 新しい分野でのPCの活用
平成元年2月

- (第18回) 最近のPC技術の動向と話題
平成2年2月
- (第19回) 新たな展開を示すPC構造
平成3年2月
- (第20回) PC技術の役割と発展 *
平成4年2月
- (第21回) PC構造物の供用性と耐久性の向上
平成5年2月
- (第22回) 新しいPC技術の実用化
平成6年2月
- (第23回) 最近のPC技術の展開 *
平成7年2月
- (第24回) 高性能なPC構造物をめざして *
平成8年2月
- (第25回) 社会基盤とPC構造物 *
平成9年2月
- (第26回) 新しいPC技術の動向 *
平成10年2月
- (第27回) PC構造物の耐震設計の現状 *
平成11年2月
- (第28回) PC技術の新しい動向と国際化 *
平成12年2月
- (第29回) プレストレストコンクリートの歩みと21世紀の展望 *
平成13年2月
- (第30回) プレストレストコンクリートの新たな発展—21世紀— *
平成14年2月
- (第31回) プレストレストコンクリート技術の適用拡大と世界の動向 *
平成15年2月
- (第32回) プレストレストコンクリート構造物の新たな動向 *
平成16年2月
- (第33回) 今求められるPC技術
平成17年2月
- (第34回) PC技術の進歩とその応用 *
平成18年2月
- (第35回) PCの新たな展開 *
平成19年2月

*印はテキスト在庫あり

平成19年1月31日 印刷
平成19年2月1日 発行

PCの新たな展開

会員特価5,000円
(〒500)

発行者 藏 慎 一 東京都新宿区津久戸町4番6号
印刷所 有限会社 コーケン印刷 東京都千代田区飯田橋3-2-6

発行所 観 入 プレストレストコンクリート技術協会
TEL. 東京(03) 3260-2521
FAX. 東京(03) 3235-3370

〒162-0821
東京都新宿区津久戸町4番6号
第三都ビル
