

PC 斜張橋における FRP 斜材外套管の実用化

竹	田	哲	夫*
内	藤	静	男**
塚	田		卓***
渡	辺	松	男†

1. ま え が き

マルチケーブルを有する長大 PC 斜張橋が我が国でも最近次々と計画され、注目を集めている。最近の橋梁はその計画時点から景観への配慮が重視されつつあり、周囲の景観と好対照を成す長大 PC 斜張橋の近代的な美しさが好まれているものと思われる。PC 斜張橋特有の構造的な美しさは、スレンダーなコンクリート主桁と斜材ケーブルの繊細さとの調和によるものと考えられるが、橋梁計画時点ではこのケーブルに着色したいとの要求も根強い。

斜材ケーブルの外観を決定する外套管としては最近では黒色ポリエチレン管 (PE 管) が多く採用されているが、経済性と耐久性の観点から黒以外の着色については消極的であった。我々はこの斜材の自由な色彩選択を可能にするため、連続成型された FRP (Fiber Reinforced Plastics) 管を外套管として利用することを検討してみた。

外套管の第一の役割は言うまでもなくケーブルの防食であるが、現場製作の斜材外套管として耐候性に優れ、着色自由な FRP 管を用いることにより耐久性と美観とのバランスのとれたケーブル防食工法が可能となった。この FRP 外套管を開発・実用化するにあたっての設計、施工両面にわたる検討と実証実験の経緯をここに報告する。

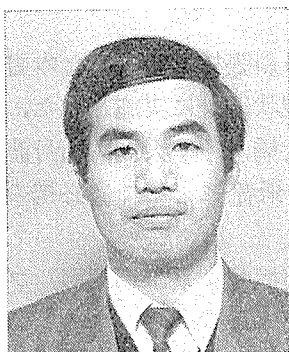
告する。

2. 斜材の防食工法と着色の可能性

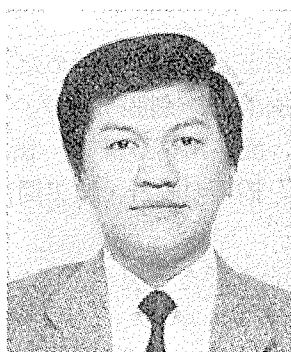
PC 斜張橋に使用される斜材ケーブルは、一般にプレハブケーブルと現場製作ケーブルの 2 種類に大別される。

プレハブケーブルは、工場でケーブル材料を所定の長さに切り揃え、防錆処理やアンカー体の取付けを行った後、これを現場に搬入し一気に架設される。ロックドコイルロープや一部の平行線ケーブルのように、架設後に最終的な塗装やカバリングを行うタイプの斜材ケーブルでは、自由な着色が可能である。

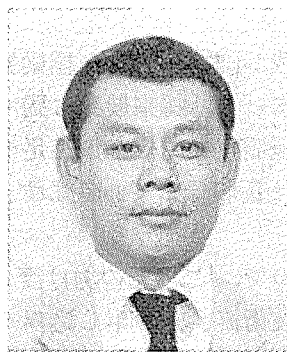
これに対し耐候性に優れ、柔軟なポリエチレン被覆あるいは PE 管を用いたプレハブケーブルは運搬時の巻上げに好都合であり、最近の長大斜張橋では多用されているが、黒以外の着色は必ずしも容易ではない。PE 管の着色は顔料等の混入で可能となるが、長期間紫外線にさらされる環境下ではポリエチレンの劣化が激しく、炭素粉等を多量に混入させた黒色管のみが長期耐候性を有している。黒色 PE 管への塗装は不可能であり、着色するとすれば、パスコ・ケネビック橋やイーストハンチントン橋のように着色されたテープを巻き付ける方法があるが、粘着テープの耐候性確保や巻替えが困難とされている。また、この着色方法は一般に高価となる。



* Tetsuo TAKEDA
鹿島建設 (株) 土木設計本部



** Shizuo NAITOH
鹿島建設 (株) 土木設計本部



*** Suguru TSUKADA
鹿島建設 (株) 技術研究所



† Matsuo WATANABE
鹿島建設 (株) 機械部

一方、現場製作ケーブルは、主桁や塔の施工と並行して直接現場で製作される。緊張鋼材をコンクリートで巻きたてる PC 部材の斜材以外は、耐候性に優れた外套管を最初に架設し、この中に所定のケーブル材料（鋼材）を後挿入するタイプである。外套管に挿入された鋼材の防錆は、鋼材と外套管との間を防錆用グラウト材で充填する外管+グラウト工法が一般的であり、長大 PC 斜張橋としてはルナ橋、プロトンス橋など施工実績も多い。

現場製作ケーブルの外套管としては各種の管材が使用できる。実績のある外套管としては金属系では鋼管、ステンレス管、アルミ管、非金属系では PE 管がある。これに今回検討した FRP 管によるものを含め、防食方法の特徴比較を表-1 に示す。

鋼管には塗装が不可欠で斜材の着色は自由であり、プロトンス橋などにその例をみることができる。しかし、塗替えのサイクルや手間、費用は、比較的メンテナンスの容易なコンクリート橋の特徴を生かせないと考えられる。また、鋼管やステンレス管は溶接が必要であり、管の重量を支える支保工が必要であることも建設費に大きな影響を及ぼすと考えられる。さらに、異種金属の接触による PC 鋼線の水素脆性の恐れを考慮すれば、非金属系の外套管が有利と考えられる。

以上のことから、現場製作ケーブルを念頭に置いて、着色可能な斜材防食用外套管として、耐候性に優れ、軽量で高強度の FRP 管を用いることを検討した。

3. FRP 管の性質

斜材用 FRP 管としては、熱硬化性樹脂をガラス繊維で強化し、連続成型した工場製品が有望である。基材となる樹脂には耐蝕性の高いエポキシあるいはビニルエステルが用いられる。

FRP 管も PE 管と同様基材となる樹脂に顔料を混合することにより自由な着色が可能ではあるが、プラスチックの特性とも言うべき色あせの現象が生ずる。しかし、FRP に使用する樹脂は光の影響を受け難く、材料としての強度、剛性に変化はなく、必要とあれば表面の

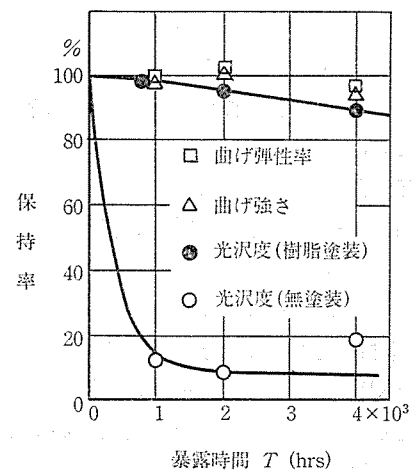


図-1 FRP の耐候性試験結果

表-1 斜材の防錆方法の比較表

材 料		金 属 系			非 金 属 系	
		鋼 管	アルミニウム管	ステンレス管	ポリエチレン管	FRP 管
強度特性	引 張 (kg/mm ²)	49~50	15~25	50~60	3	40~50
	伸 び (%)	25	30	50	850	3
	衝撃強さ (kg·cm/cm ²)	600 (シャルピー)	150 (シャルピー)	600 (シャルピー)	14 kg·cm/cm (アイゾット)	100 (シャルピー)
耐 久 性 (母材)	耐 食 性	5~6 年 ¹⁾ (塗装による防食要)	10~50 年以上 ¹⁾	30~50 年以上 ¹⁾	—	—
	耐 候 性	—	—	—	(推定) 50 年以上	(推定) 50 年以上
着 色 性	方 法	塗 装 ²⁾			テープ巻 ⁴⁾	顔料または塗装
	耐 久 期 間	5~10 年			25 年以上	20~30 年
保 守	頻 度	4 回/50 年 (塗装の場合)			1 回/50 年	1 回/50 年
	方 法	ケレン後塗装			テープ除去後巻替	水洗後塗装
	部 分 交 換	部分交換可能 (溶接) ³⁾			部分交換可能 (溶着)	部分交換可能 (接着剤)
施 工 性	施 工 場 所	現 場			プレハブ	現 場
	設 備 容 量	△			△	◎
	所 要 工 数	△			◎	○
	所 要 日 数	○			◎	○
備 考		¹⁾ 肉厚 5mm 程度で推定 (腐蝕性環境)。 ²⁾ アルミニウム管、ステンレス管は金属地肌 (シルバー) で使用する場合が多い。 ³⁾ ケーブル本線の保護が必要。			⁴⁾ 黒以外の着色用。 巻テープにはフッ素樹脂系を仮定。	

よごれを除去する程度で容易に再塗装することができる。光に対する FRP の安定性は、大気中で1年分の紫外線量を約 200 時間で照射できるウェザーメータによる促進試験により確認している（図-1 参照）。

また、表面に長期間変色しないフッ素系樹脂塗装を施すことにより、20～30 年間は光沢度を保持できることもこの試験から推定できる。

4. 斜材外套管への適用

現場製作ケーブルの外套管として設計、施工、メンテナンス上要求される品質課題を、以下のように設定した。

- 1) 管材の耐候性、耐久性が保証されていること。
- 2) 管の接合が容易であること。
- 3) 接合部には十分な強度があり、架設時の荷重もしくは変形に耐えること。
- 4) 斜材外套管として、架設作業が容易であること。
- 5) 鋼線等ケーブル材料の挿入が容易であること。
- 6) グラウト等の漏出がないこと。
- 7) 着雪、着氷が少ないこと。

FRP は素材として、1) を満足することは前項で示した。また FRP 管は、電力ケーブル用配管として既に 20 年以上経過した例があり、十分な耐久性があることが示されている。以下、FRP 斜材外套管の実用化に向けて行った具体化の方法と性能確認試験等の結果について記す。

4.1 FRP 管の接合

現場での作業の容易さと接合部の強度および水密性を確保するため、FRP 管の接合方法としては、接着剤によるテープ継手を採用することとした。テープ継手はニップルで接合する内テープ方式とソケットに差し込む外テープ方式とを検討した（図-2）。

接着剤は、基本的に FRP 管の母材と同じ樹脂系接着剤が妥当である。実験の結果、テープ継手に対してはせん断強度の高い 2 液混合型のエポキシ系接着剤を用いることとした。

樹脂接着剤は常温下では、完全に硬化するまで約 24 時間必要であり、現場での施工性に問題がある。これを改善するため加熱・冷却による硬化促進を期待し、加熱温度、時間をパラメータとして試験片による接着強度確認試験を行った。この結果に基づき、管材の接合条件を決定した。写真-1 の加温器を用いて行った FRP 管（ $\phi 200\text{ mm}$, $t=6\text{ mm}$ ）の接合実験における管内外の温度変化を図-3 に示す。接着剤は加熱により反応が促進され、常温になれば完全に硬化するため、この加熱・冷却により 1 か所あたりの接合時間を大幅に短縮することが

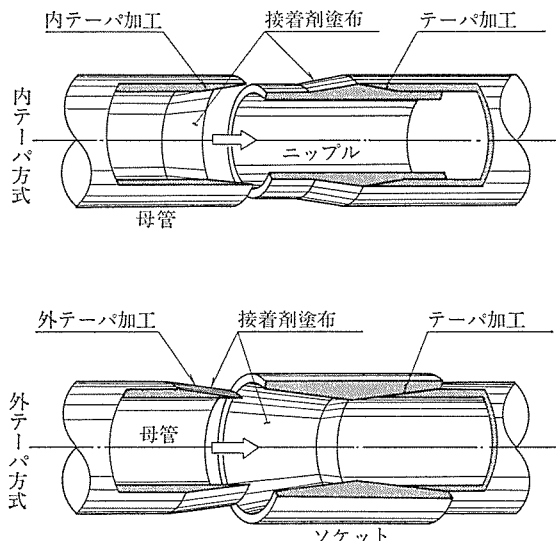


図-2 FRP 管のテープ継手

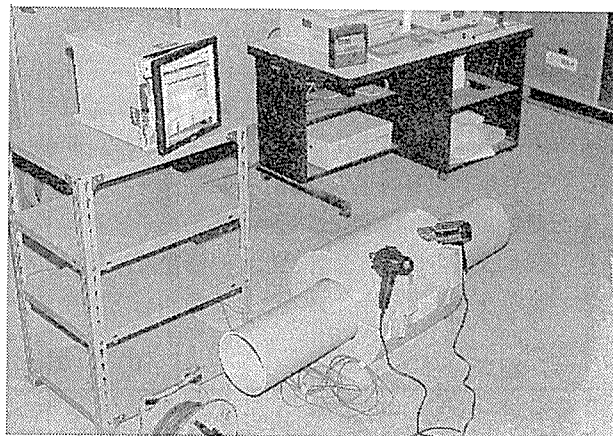


写真-1 接合部加温器

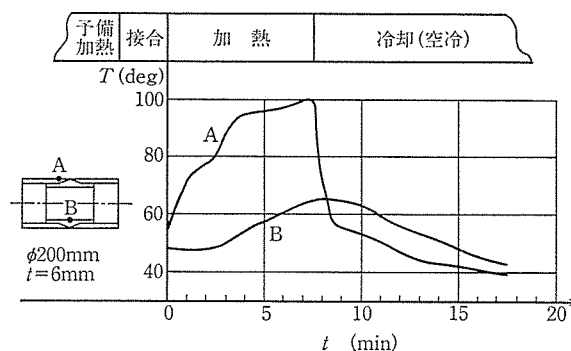


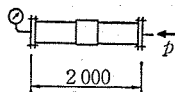
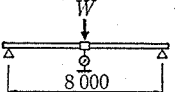
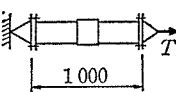
図-3 加熱・冷却による継手部の温度変化

可能となった。

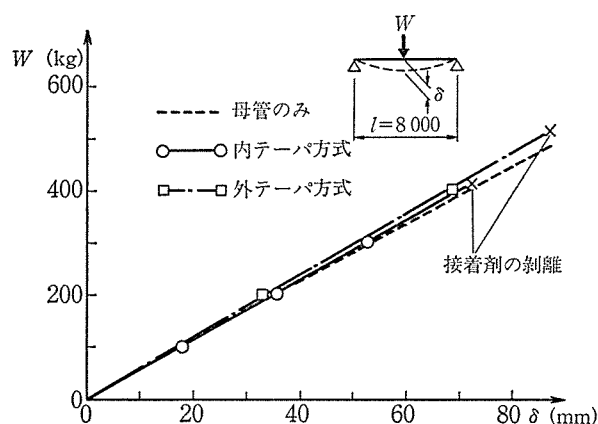
4.2 接合部の耐荷性能確認

テープ継手によって接合された管材の強度および水密性を確認するため、継手部の耐圧試験、曲げ試験、引張試験を実施した。試験方法と試験結果を表-2 に示す。グラウト材としては、経済性と安定性に優れたセメン

表—2 接合部の耐荷性能確認試験

試験内容		耐圧試験		曲げ試験		引張試験
試験方法 FRP 管 $\phi 200$, $t=6$ mm						
実験結果	内テープ方式 (エポキシ系接着剤)	P (kg/cm ²)	現象	W (kg)	δ (mm)	$T=2000$ kg, 1分間保持で異常なし 注) 耐圧試験 $P=18$ kg/cm ² で 5650 kg の引張力が作用している
		10	異常なし	100	18	
		13	きしみ音	200	36	
		18	接合部接着面より水の吹出し	300	53	
	外テープ方式 (エポキシ系接着剤)	10	異常なし	200	33	$T=2000$ kg, 1分間保持で異常なし 注) 耐圧試験 $P=20$ kg/cm ² で 6280 kg の引張力作用
		14	きしみ音	400	69	
		18	なみだもれ	520	接着剤の剥離	
		20	糸状の水もれ			

ト系材料が一般的であることから耐圧性の目安としては、グラウト作業を想定して水圧で 10 kg/cm² 以上を保持できることを目標とした。ここに示す耐圧試験は管軸方向の引張力も同時に作用するため、接合部に対しては苛酷である。耐圧性は内圧に対して構造的に有利な外テープ方式が優れるが内テープ方式でも所要の耐圧性を確保できることが判明した。



図—4 曲げ試験による載荷点のたわみ変化

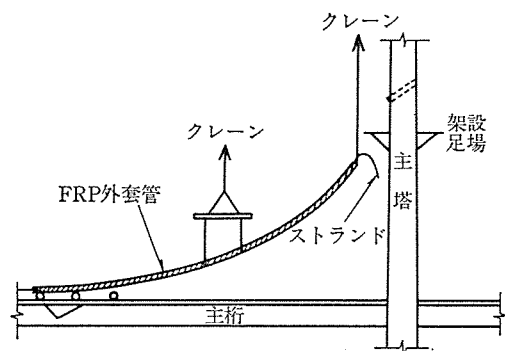
曲げ強度や引張強度は、接合された管を引き上げる際の施工性に影響を及ぼし、これらは接着剤の硬化度合いにも依存するが、前述の加熱・冷却で接合直後でも外套管の全自重を保持できる程度の軸引張強度が得られることが分かった。一方、FRP 管は剛性が高く急激な曲げ変形には耐えられない。図—4 に 3 点曲げ試験による載荷点のたわみ変化を示す。これらの結果から外套管架設における制約条件を設定した。

4.3 架設方法

外套管の吊上げ方法としては、図—5, 6 に示すように一括架設方式と逐次架設方式が考えられる。

一括架設方式は、地上もしくは橋面上で管材をすべて接合しこれを一気に引き上げて外套管とするものである。この方式は PE 管の架設では一般的であるが、曲げ剛性の高い FRP 管では斜材が比較的短い場合や、揚重機を複数投入できる場合に適している。

逐次架設方式は、架設用のワイヤロープに外套管の荷重を預け、橋面上の組立て足場で FRP 管を順次接合しながら引き上げていく方法である。この方式は大掛りな設備を必要とせず、足場も最小限で済むため長大橋での



図—5 FRP 外套管の一括架設手順

- ①外套管 (5~12m) を橋面上で、所定長に接合する。
- ②外套管内にストランドを 1 本挿入する。
- ③外套管に過大な曲げ変形を与えないよう、クレーンで吊り上げる。
- ④あらかじめ挿入しておいたストランドを定着体に引き込み、外套管を保持するため仮緊張する。
- ⑤足場上にプッシングマシン、橋面上にアンリラーをセットする。
- ⑥プッシングマシンにより、外套管内にストランドを 1 本ずつ所定の本数まで挿入し緊張する。

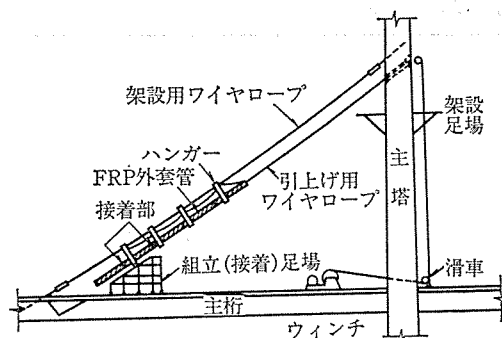


図-6 FRP 外套管の逐次架設手順

- ①架設用ワイヤロープ、引上げ用ワイヤロープを張る。
- ②移動式の接着用足場を組み立てる。
- ③足場でFRP管を順次接合する。
- ④架設用ワイヤロープにハンガーで支持しながらウィンチで引き上げる。
- ⑤塔側、主桁側の定着具と接続できることを確認する。
- ⑥プッシングマシンにより FRP 管内にストランドを挿入し、管のサグを取り保持するために仮緊張する。
- ⑦ストランドを一本ずつ所定の本数挿入し緊張する。
- ⑧ハンガーおよび架設用ワイヤロープを取り外す。

架設に適している。

外套管の架設終了後にケーブル用鋼材が挿入される。大容量の斜材では外套管を保持し、サグを取るため挿入鋼材（ストランド）を仮緊張しながらこの作業は続けられる。

ストランドの挿入を容易にするためと外套管とストランドが直接接触しないようにするため、 $\phi 5\text{ mm}$ 程度の PC 鋼線を螺旋状に加工し、管内に引き込んでおくとい。

主桁施工終了後、外套管と挿入鋼材の間にグラウトが施され斜材として完成される。

これら架設に関わる技術課題として、スパイラルスパーサの製作、引込み実験や、グラウト材料の選定とグラウト性能試験、グラウト用注入排出口の製作とその機能確認実験等を行い、個々の問題点を一通り解決することができた。

4.4 施工性確認実験

これまでの基礎的検討を集約し、斜材ケーブルシステムとして材料選定から組み立て、メンテナンスに至る一貫性を総合的に検証し、さらに架設に関わる問題点を具体的に抽出するため、高さ 26 m の仮設タワーを用いて施工性確認実験を行った。

約 35 m の外套管 2 本はそれぞれ、5 m の FRP 単管を地上で接合し一括架設したものと、接合架台上で逐次接合しながら引き上げたものである。なお、接合 2 方式を比較するため前者は外テーパ方式、後者は内テーパ方式で架設した（写真-2）。この施工性確認実験により、FRP 管が斜材外套管として利用でき、長大橋においても施工可能であることを確認できた。

長大橋は施工期間が長いため、斜材の架設からグラウト実施までの期間が長いことから、今後さらに架設された FRP 外套管接合部の耐久性を確認するため約 1 年間放置し、水張り試験を行う予定である。

なお本実験では比較のため黒色 PE 管も並行して架設しており、PE 管と着色された斜材の外観を比較することができる。

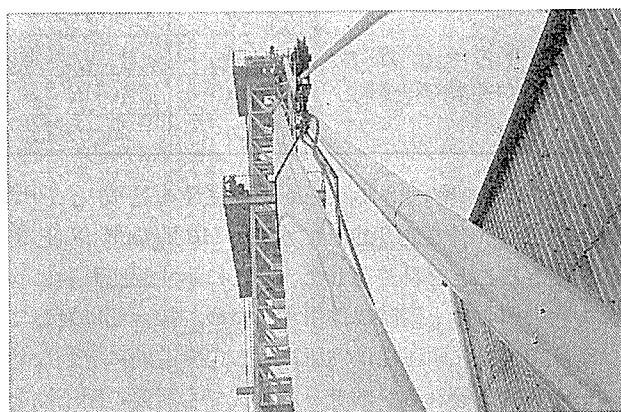


写真-2 架設された FRP 外套管

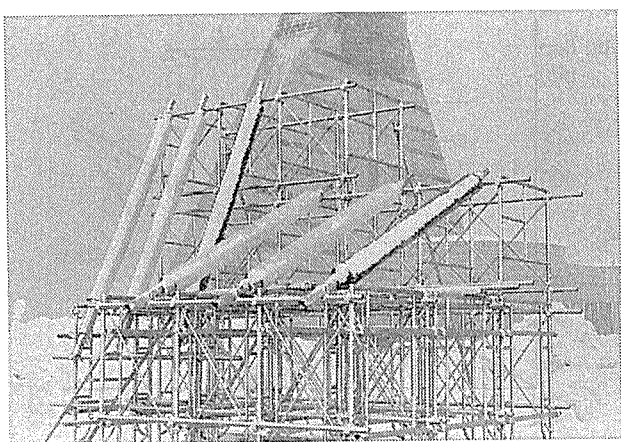


写真-3 外套管の着雪暴露試験（FRP 管、PE 管）

4.5 外套管の着雪暴露試験

降雪地帯において、斜材に着雪・着氷の現象が生ずるか否かを確認するために、接合部を含む外套管の暴露試験を実施した（写真-3）。

観測の結果、季節風の強さと斜材角度に応じて数 cm の着雪が見られたが、早期に落雪し氷結することはなかった。

5. あとがき

連続成型 FRP 管は表面の仕上りが美しく、自由な着色が可能であり耐候性にも優れている。これを斜張橋の

景観美向上のため斜材外套管として利用することを考えた。今回は現場製作ケーブルを対象とした総合的な検討と実験により、FRP 管を PC 斜張橋の斜材外套管として実用化する目処を得た。

今後は、架設をより容易にするための治具や、メンテナンス用機器を開発してゆく予定である。また、現在多くの斜張橋で問題となっている風による斜材の振動対策の一つとして、FRP 管の特徴を生かした防振対策を検討していきたいと考えている。

なお、本開発に当たっては大日本硝子工業株式会社の御協力を得たので、ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 松川昭夫：「斜張橋のケーブルの保全と設計に関する 1,2 の考察」, 橋梁と基礎, Vol. 18, No. 12, 1984, pp. 25~32
- 2) 鈴木昭好, 大橋 渡：「PC ケーブルを用いた斜張橋の斜材について」, 橋梁, 1984・4, pp. 34~43

- 3) 大塚昭夫, 山崎和夫：「斜張橋のケーブル」, 橋梁と基礎, Vol. 19, No.8, 1985, pp.35~43
- 4) 成井 信, 渡辺 篤：「PC 斜張橋の現況」, 橋梁と基礎, Vol. 19, No. 8, 1985, pp. 65~74
- 5) 石原, 今井, 熊谷：「PC 斜張橋の架設」, 橋梁と基礎, Vol. 19, No. 8, 1985, pp. 113~119
- 6) 成井 信, 渡辺 篤：「斜張橋ケーブルの現況」, プレストレストコンクリート, Vol. 29, No. 1, 1987, pp. 20~28
- 7) (財) 海洋架橋調査会・PC 斜張橋に関する調査研究委員会：「PC 斜張橋に関する調査研究報告書」, 昭和 54 年, 55 年, 56 年 3 月
- 8) 欧州 PC 斜張橋調査会：「欧州 PC 斜張橋技術調査報告書」, 1982 年 12 月
- 9) コンクリート構造の新技术に関する研究会：「北米におけるコンクリート構造の新技术に関する研究調査団技術調査報告書」, 1984 年
- 10) (社) 日本道路協会, 名港西大橋調査特別委員会：「名港西大橋の設計施工に関する調査報告書」, 昭和 58 年 3 月
- 11) 保田雅彦, 武山, 野沢：「岩黒島橋ケーブルの設計と製作」, 本四技報, No. 39, 1986.7, pp. 12~19

【昭和 63 年 5 月 18 日受付】

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート構造物設計図集 (第 2 集)

本書は協会設立 20 周年行事の一環として、前回発行した設計図集の様式にならい編集した、その第 2 集です。協会誌第 10 巻より 21 巻に亘る巻末折込付図を主体とし、写真ならびに説明を付し、その他参考になる PC 構造物についてとりまとめた設計図集で、PC 技術者の座右に備え付けるべき格好の資料と考えます。

希望者は代金（現金為替または郵便振替 東京 7-62774）を添え、下記宛お申し込みください。

体 裁：B 4 判 224 頁

定 価：9,000 円（会員特価 7,000 円） 送 料：1,000 円

内 容：PC 橋梁（道路および鉄道）74 件, PC 建築構造物 25 件, その他タンクおよび舗装等 10 件

申 込 先：(社) プレストレストコンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麹町 1-10-15（紀の国やビル）電話 03 (261) 9151