

11年間交通供用されたPC桁の性状についての調査

大 隅 欣 一*
 熊 野 忠 士*
 宇 野 田 修*
 山 本 巖*
 福 田 信 孝*
 野 村 貞 広**

1. ま え が き

プレストレストコンクリート橋の、わが国における歴史は、せいぜい 30 年にも満たないものであるが、今日ではごく一般的な構造形式として、数多く施工されている。そして、維持管理上の問題や、騒音・振動に対する環境問題を考えるとき、今後ますます多く使われる橋梁形式であると考えられる。

本報告は、橋梁の架換工事に際して発生した、11年間供用後のプレテンション・プレストレストコンクリート橋桁を、破損しないよう取り出して、橋梁耐荷力の検討の一環として、各種試験を実施し、その経年による諸性状の変化、および桁の力学的性質について検討したものである。

2. 試験に供した PC 桁の概要

橋梁の一般図を図-1に示す。この橋は、桁橋形式の直橋で、桁の構造は JIS A 5316-1960 に準拠した、プ

レテンション・プレストレストコンクリート橋桁である。

2.1 設計条件

設計荷重：TL-20（1等橋）

桁 長：14.600 m

支 間：14.000 m

全 幅 員：10.900 m

有効幅員：10.000 m

衝撃係数： $i=10/(25+l)$

破壊安全度の検討荷重：1.3(死荷重)+2.5(活荷重)、

または 1.8(死荷重+活荷重)

2.2 材料強度（主桁に関するもの）

(1) コンクリート

設計基準強度 $\sigma_{ck}=500 \text{ kg/cm}^2$

許容曲げ圧縮応力度

プレストレス導入時 $\sigma_{cat}=200 \text{ kg/cm}^2$

設計荷重時 $\sigma_{ca}=150 \text{ kg/cm}^2$

許容曲げ引張応力度

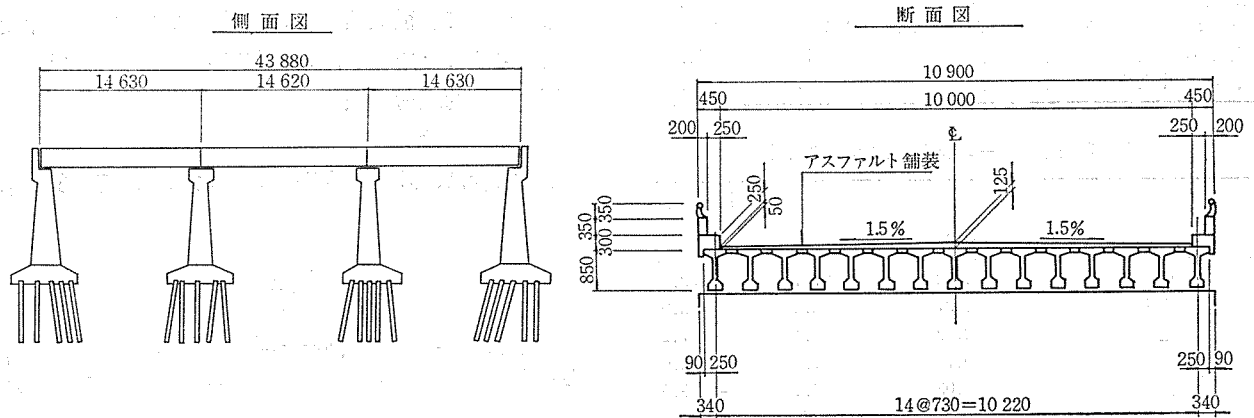


図-1 橋 梁 一 般 図

* 大阪府土木部 ** ビー・エス・コンクリート（株）大阪支店

プレストレス導入時 設計荷重時	$\sigma_{ca}' = -18 \text{ kg/cm}^2$
	$\sigma_{ca}' = 0 \text{ kg/cm}^2$
許容斜め引張応力度	
設計荷重時	$\sigma_{Ia} = -12 \text{ kg/cm}^2$
破壊安全度 検討時	許容値 $\sigma_{Ia}' = -24 \text{ kg/cm}^2$
	最大値 $\sigma_{Ia \text{ max}} = -48 \text{ kg/cm}^2$
(2) PC鋼より線7本より 9.3 mm (SWPC 7)	
引張強度	$\sigma_{pu} = 176 \text{ kg/mm}^2$
降伏点応力度	$\sigma_{py} = 150 \text{ kg/mm}^2$
許容引張応力度 設計荷重時	$\sigma_{pa} = 106 \text{ kg/mm}^2$

2.3 設計概要

主桁の断面図を、図-2 に示す。また桁断面の性質は、表-1 に示すとおりである。

支間中央断面における設計荷重時の曲げモーメント、および曲げ応力度を、表-2 に示す。

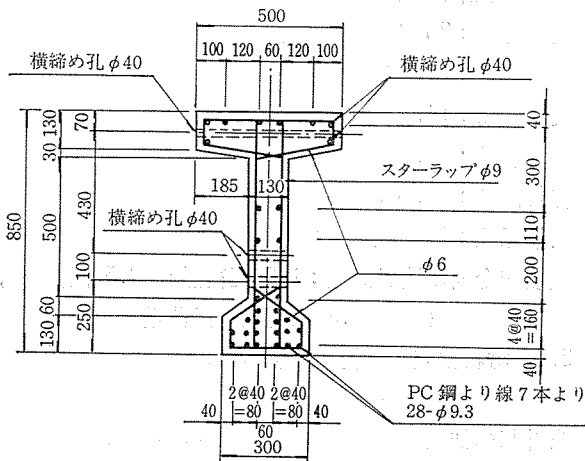


図-2 主桁断面図

表-1 主桁の断面定数表

種 別	記号	単位	総断面	PC鋼材換算断面
断面積	A	cm ²	1913	1971
断面2次モーメント	I	cm ⁴	1.621×10 ⁶	1.650×10 ⁶
上縁から中立軸までの距離	y'	cm	37.5	38.2
下縁から中立軸までの距離	y	cm	47.5	46.8

表-2 曲げモーメント、曲げ応力度表

種 別	曲げモーメント (t·m)	曲げ応力度 (kg/cm ²)	
		上 縁	下 縁
死 荷 重	桁自重	11.72	27.1 - 33.3
	場所打ち	1.37	3.2 - 3.9
	地覆	2.62	5.4 - 7.2
	高欄	0.71	1.5 - 2.0
	舗装	3.08	6.4 - 8.5
	合計	19.50	43.6 - 54.9
活 荷 重	22.67	47.0 - 62.6	
合 計	42.17	90.6 - 117.5	

3. 橋 歴

試験桁を取り出した橋梁は、架設位置が河川の河口部において、橋梁としては比較的厳しい自然条件のもとで、昭和42年の架設以来11年を経過したものである。一方、交通条件についてみると、橋梁架設位置近くの昭和46、49、52年の交通情勢調査結果は、表-3のとおり

表-3 交通量 (単位: 台/12hr)

調査年度	乗用自動車類			貨物自動車類			合計	大型車混入率 (%)
	バス	その他	計	普通・特殊車	その他	計		
46年度	98	9 009	9 107	5 635	9 228	14 863	23 970	23.9
49年度	106	11 211	11 317	7 534	9 257	16 791	28 108	27.2
52年度	82	11 493	11 575	9 579	7 684	17 263	28 838	33.5

りであり、この結果から、かなりの大型車が混入している路線に架設されていた橋梁であるといえる。しかしながら、上記の交通情勢調査結果は、本橋の架設地点から約2km離れた改良済区間のものであり、未改良区間において、2車線幅員しか確保されていなかった本橋に至るまでに、相当の交通量が迂回していたのが実情である。また、昭和46年以前については観測点がなく、交通量は不明である。こうしたことから、この橋梁が11年間の供用中に受けた交通量を精度よく推定することは困難であるが、今かりに、ごくおおざっぱな目安を示すものとして、現地の交通事情から考えて、11年間を通じて、交通量は平均10000台/12hrであり、大型車混入率は約25%であった。これは、平均2200台/12hrの50年間交通量に相当するものである。

4. 試験内容

本試験の目的は、試験体について、静的な曲げ、およびせん断試験を行い、桁としての機能の経年変化について調べ、また主たる材料であるコンクリートとPC鋼より線について各種試験を行い、材料についての経年変化を調査することであり、昭和52年8月に実施された。

(1) 静的載荷試験

a) 曲げ試験

曲げ試験は、JIS A 5316-1960 に準じ、図-3 に示す

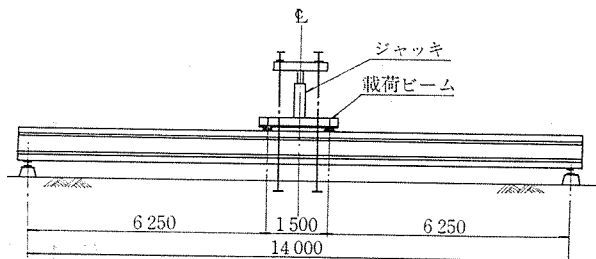


図-3 曲げ試験載荷要領図

方法で行った。荷重は 4t ピッチで行い、設計荷重、ひびわれ発生荷重、ひびわれ再開荷重、および破壊荷重近くでは 2t ピッチで荷重し、たわみ、ひずみ、ひびわれを測定した。

b) せん断試験

図-4 に示すように、片側支承付近 (1/10×支間) に荷重を加え、ひずみ、およびせん断耐力を測定した。

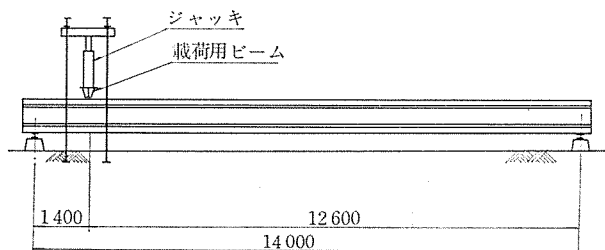


図-4 せん断試験荷重要領図

(2) コンクリートの圧縮強度試験

試験桁から採取した $\phi 100 \times 130$ のコアを用いて荷重試験を行い、この際ストレインゲージにより弾性係数も測定した。

(3) コンクリートの引張強度試験

試験桁から採取した $\phi 100 \times 130$ のコアを用いて試験した。

(4) コンクリートの中性化試験

採取したコアに、フェノールフタレイン溶液を塗布し、中性化の進行状態を調べた。

(5) PC 鋼より線の試験

桁端部のコンクリートを壊し、鋼線の腐食状態を調査した。また、桁内部の PC 鋼より線を損傷しないように取り出し、直径、引張荷重、伸び、0.2% 永久伸びに対する荷重、弾性係数を測定した。また、PC 鋼線のレラクセーションの測定も行った。

5. 試験結果と考察

(1) 曲げ荷重試験

a) 試験の経過

第1回荷重は、設計荷重該当荷重 ($P=9.5t$) まで荷重し、除荷した。この間ひびわれ等の変化は認められなかった。第2回荷重では、 $P=14t$ で桁下縁の支間中央から 30cm の位置にひびわれが発生した。その時のたわみは、支間中央で 13mm であった。その後除荷したが、残留たわみは 0.5mm と小さく、第1回荷重との差異は認められなかった。第3回荷重では、 $P=12t$ でひびわれ再開が目視によって認められ、以後荷重の増加とともに多数のひびわれが発生した。また、その間隔は

約 20cm であり、 $P=28t$ でひびわれは上床版まで達した。 $P=40t$ でのたわみは 160mm 程度であり、その後たわみは急増し、 $P=43t$ で荷重位置の上床版が圧縮破壊した (写真-1)。



写真-1

b) たわみ

たわみは、支点近傍および4等分点の5個所で、1/100mm のダイヤルゲージにより測定した。支間中央点の荷重-たわみ曲線を、図-5 に示す。たわみは、ひびわれ発生荷重まではほぼ直線的に変化している。

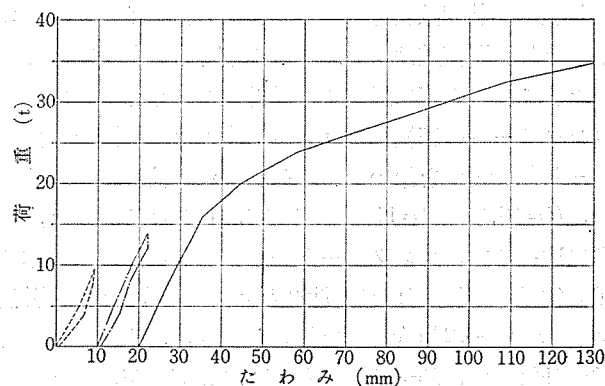


図-5 荷重-たわみ曲線

c) たわみから計算される曲げ弾性係数

たわみの測定値と計算値を比較し、部材の曲げ変形についての弾性係数 E を求めた。計算値はモールの定理によって算出し、支間中央におけるたわみと荷重 P との関係は、 $\delta = 3407.6 \times (P/E)$ [m] となる。

荷重 $P=9.5t$ までの支間中央のたわみと、荷重から求めた弾性係数の平均値は、 $E = 3.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であった。

d) 桁の曲げひずみ

支間中央の両側面に貼付したストレインゲージで測定

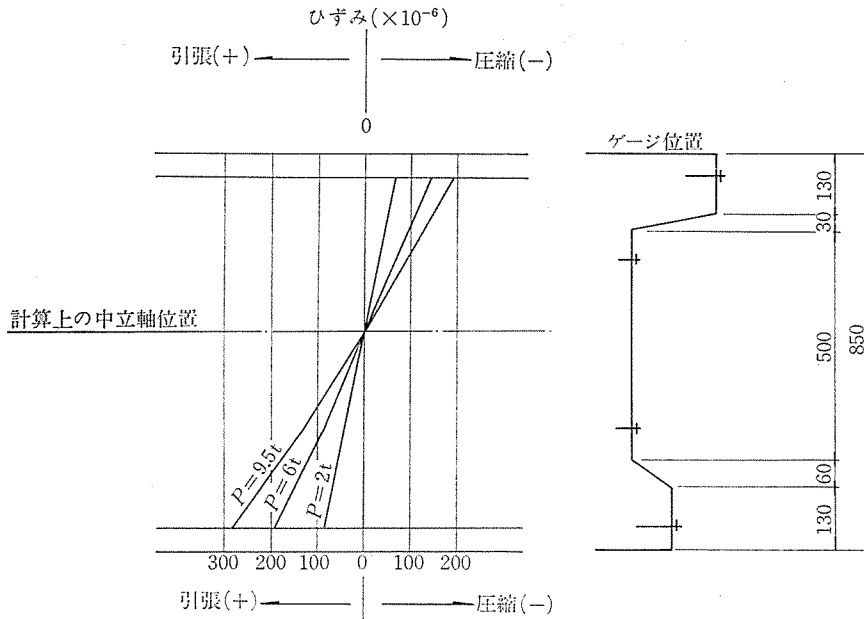


図-6 ひずみ分布図

したひずみ分布をプロットすると図-6のようになり、ほぼ設計どおりの位置に中立軸が位置している。また、設計荷重の範囲では、荷重の増加に対してほぼ一定値を示しており、この桁は、全断面有効に働いているものと推定される。

e) 桁のひびわれと破壊

試験桁の載荷試験時のひびわれ発生荷重は、 $P=14\text{t}$ 、ひびわれ再開荷重は $P=12\text{t}$ 、破壊荷重は $P=43\text{t}$ であった。これらの値に対して、設計条件で与えられているコンクリートの圧縮強度 $\sigma_{ck}=500\text{ kg/cm}^2$ 、引張強度 $\sigma_{ct}=-40\text{ kg/cm}^2$ を用いた時、それぞれの荷重の計算値は、 $P=16.3\text{t}$ 、 $P=11.8\text{t}$ 、 $P=38.5\text{t}$ となる。また、後章に述べる主桁コンクリートから抜き取った、供試体の試験結果から得られた圧縮強度 $\sigma_{ck}=540\text{ kg/cm}^2$ 、引張強度 $\sigma_{ct}=-42\text{ kg/cm}^2$ を用いたときの、それぞれの荷重の計算値は、 $P=16.6\text{t}$ 、 $P=11.8\text{t}$ 、 $P=38.6\text{t}$ となる(表-4)。載荷試験結果は、設計条件による計算値と比較して、ひびわれ発生荷重で約 13% 低い値であったが、ひびわれ再開荷重、破壊荷重は、それぞれ計算値を上回った。今回の試験は、一本の供試体について行ったものであり、試験値のばらつきについて推定することは

できないが、ほぼ妥当な値と思われる。

(2) セン断載荷試験

a) 試験の経過

載荷は初め、斜め引張応力度の設計荷重作用時許容値 ($\sigma_{Ia}=-12\text{ kg/cm}^2$) 該当荷重 $P=22\text{t}$ まで行い、除荷した。この間ひびわれは発生しなかった。次に荷重を漸増し、 $P=52\text{t}$ で荷重点直下に曲げによるひびわれが発生し、同時に斜め引張によるひびわれが、支承と載荷点の間のウェブ内に発生した。ひびわれの方向は、支承から約 30° の方向であった。 $P=55\text{t}$ でのひびわれ幅は、 0.4 mm 程度であった。その後荷重を漸増したが、 $P=91\text{t}$ で桁は完全にせん断破壊した(写真-2)。

b) 主ひずみおよび主応力

ウェブ内の中立軸位置、および下縁側に 3 方向ゲージを貼付し、主ひずみの測定を行った。測定したひずみから主ひずみを計算し、弾性係数 $E=3.23 \times 10^4\text{ kg/cm}^2$

表-4 ひびわれ発生、再開および破壊荷重の比較

	載荷試験 の測定値	計 算 値	
		設計条件 $\sigma_{ck}=500\text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{ct}=-40$ "	コンクリート試験値 $\sigma_{ck}=540\text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{ct}=-42$ "
ひびわれ発生荷重	14.0 t	16.3 t	16.6 t
ひびわれ再開荷重	12.0	11.8	11.8
破壊荷重	43.0	38.5	38.6

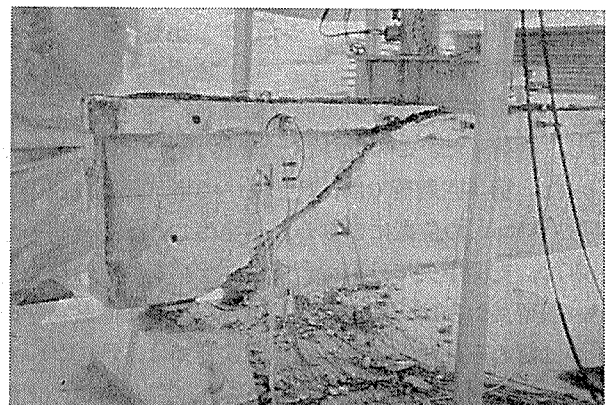


写真-2

(コア試験値), ポアソン比 $\nu=0.167$ と仮定した場合の主応力を計算し, 理論値と比較した。主応力の大きさは, 測定値が理論値の約 75% と低い値になった。これは, 測定値の算出に用いた弾性係数が, コア試験結果から求めた値であり, 桁の挙動に関する値としては, 低い値であると考えられた。

c) クラック発生荷重および破壊荷重

本試験では, クラックは $P=52t$ で発生した。これは本桁の, 設計荷重時のせん断力該当荷重 $P=11.4t$ に対して 4.5 倍, また, 破壊安全度検討時のせん断力該当荷重 $P=22.2t$ に対し 2.4 倍の荷重であった。また, クラック発生後, 部材がせん断破壊するまでに約 40t 荷重が増加した。

(3) コンクリートの圧縮強度, 弾性係数

コンクリートコアによる圧縮試験は, 試験桁のウェブおよび上床版から採取した, コア供試体 ($\phi 100 \times 130$) を用いて行った。供試体の両端はイオウでキャッピングし, 水平かつ平坦にした。また, 供試体の高さが直径の 2 倍より小さいので, JIS A 1107 に規定する補正係数を乗じて圧縮強度とした。

試験した 8 個の供試体の平均値は, 540 kg/cm^2 であった。圧縮強度試験を行った供試体のうち, 4 個については, 側面にストレインゲージを貼り荷重ごとにひずみを測定し, 応力-ひずみ曲線から弾性係数を算出した。

弾性係数は, 終局強度の 1/3 強度点の割弾性係数の平均値で $3.23 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ となった。圧縮強度に比して小さな値であるが, 供試体による圧縮の弾性係数としては, 妥当な値であると考えられる。

(4) 引張強度

引張強度試験は, JIS A 1113-1964 に準じて, コアの上下両側面から荷重をかけて行った。採取したコアの側面と加圧面の間に, すきまが生じないよう整形し, 載荷した。今回の試験は, 3 個の供試体について行い, その平均値は 42 kg/cm^2 であった。この値は, 圧縮強度の平均値 540 kg/cm^2 の 1/13 であり, 妥当な値と考えられる。

(5) コンクリートの中性化試験

硬化したコンクリートは, 一般に強アルカリ性を示す。長期間大気にさらされると, コンクリートは中性化する。今回の試験では, コンクリートコア, および桁に直接フェノールフタレイン溶液を塗布し, 中性化の測定を行った。ほとんどの表面は中性化されているが, その厚さは 1 mm 以下であり, 鉄片で表面をこすると, フェノールフタレインがアルカリ色を呈した。このように, コンクリートの中性化に対する経年変化は, ほとんどな

いものと考えられる。

(6) PC 鋼より線の試験

a) PC 鋼より線の腐食状態の観察

今回の試験桁はプレテンション部材であり, 桁端部の PC 鋼より線は露出している。端部の腐食状況は, PC 鋼材の露出面では 1 mm 程度さびが張り出していた。また, 桁端部を壊し, 腐食の桁内部への進行を調査したが, さびの長さは約 1 cm 程度であり, 桁に対する影響は, ほとんどないものと考えられた。

次に, 桁内部の PC 鋼材について, 桁中央部の下縁から採取して観察した。PC 鋼より線の表面は, さびにより少し茶色を呈しているが, 鋼材特有の青紫色は認められた。また, PC 鋼より線のみぞにところどころ赤さびがあったが, これも表面だけのものであり, 内部への進行は認められなかった。これらのさびは, 施工前, 保管中に発生したものと思われ, その後のさびの進行はほとんどないものと考えられた。

b) PC 鋼より線の機械的性能試験

今回の試験桁に使用されている PC 鋼材は, JIS G 3536-1960 に規定されている, 7 本より 9.3 mm の PC 鋼より線である。また, 試験の方法も JIS に準拠して行った。レラクセーション以外の試験は, 8 本の鋼より線について行い, レラクセーションについては, 2 本の鋼より線について行った。これらの試験結果を, 表-5 に示す。これらの値は, JIS の規格値をすべて満足しており, 応力導入されて長年月経過しても, PC 鋼より線には性能の低下はみられない。

表-5 PC 鋼より線の機械的性能試験結果

種 別	支点部 PC 鋼材	中央部 PC 鋼材
素 線 径	芯 線	3.12~3.14 mm
	側 線	3.04~3.07 mm
ピッチ	42.3~42.3 倍	42.3~42.6 倍
引張荷重	9550~9650 kg	9550~9700 kg
伸び (G.L.=610 mm)	8.0~9.0%	8.1~9.5%
降伏点荷重	8560~8690 kg	8660~8900 kg
弾性係数	19400~19450 kg/mm ²	19200~19350 kg/mm ²
レラクセーション	0.97%	1.18%

6. ま と め

11 年前に製作施工され, 一般道路として利用されてきたプレストレストコンクリート・プレテンション桁について, 桁としての挙動, および材料の品質についての各種試験を行った。桁の載荷試験, および材料試験について要約すると次のようになる。

- ① 曲げ載荷試験でのたわみは, クラック発生までほぼ直線であり, たわみから計算した弾性係数は, $3.7 \times$

報 告

10⁵kg/cm² であった。ひずみから求めた桁の中立軸位置は、計算値とよく一致し、設計荷重の範囲では全断面有効に働いていると考えられる。ひびわれは 10～20 cm 間隔で発生し、その幅も特に大きなものはなく、PC 鋼より線とコンクリートの間の付着も十分あるものと推定できた。ひびわれ発生荷重、ひびわれ再開荷重、破壊荷重については、供試体の数が少なく十分な考察はできないが、ほぼ計算値に近い値であった。

② セン断載荷試験では、ひずみはクラック発生までほぼ直線変化した。クラック発生荷重は、破壊安全度検討時の対応荷重に対し 2.4 倍の値であった。また、荷重の増加とともにクラックは増し破壊した。

③ コンクリートのコア試験では、圧縮強度、引張強度、弾性係数を測定したが、これらコンクリートの品質については、ほぼ妥当な値であった。またコンクリートの中性化については、表面から 1 mm 程度のとこ

ろが中性化されているだけであり、内部は硬化直後と変わらないアルカリ性を示した。

④ PC 鋼より線の腐食については、桁端部にしかみられず、腐食の長さは 1 cm 程度であった。また、内部 PC 鋼より線のさびはわずかであり、施工前に発生したものと思われた。

⑤ PC 鋼より線の機械的性能は、すべて当時の JIS 規格を満足していた。

以上の、曲げ載荷試験、せん断載荷試験、および材料試験の結果から判断して、海岸線で 11 年間経過したプレテンション PC 桁において、桁、および材料の機能が低下している要因はみられなかった。

最後に、本試験の実施にあたり、京都大学・岡田清先生、小林昭一先生、岐阜大学・小柳洽先生、神戸大学・藤井学先生から御助言、御指導いただきましたことを付記し、深く感謝いたします。

◀刊行物案内▶

PC くい基礎の最近の進歩

—PC くいの正しい使い方—

体 裁：A 4 判 246 ページ

定 価：2 000 円（会員特価 1 800 円）送料 600 円

内 容：1) PC くい、2) PC くい基礎の設計、3) PC くいの施工、4) 超高強度コンクリートくい、超大径くい

お申込みは代金を添え、(社)プレストレストコンクリート技術協会へ

転勤（または転居）ご通知のお願い

勤務場所（会誌発送、その他通信宛先）の変更のご通知をお願いいたします。

会誌発送その他の場合、連絡先が変更になっていて、お知らせがないため郵便物の差しもどしをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく、当協会としましても二重の手数と郵送料とを要することになりますので、変更の場合はハガキで結構ですから、ただちにご一報下さるようお願いいたします。

ご転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されないでご入手になれない場合は、当方として責任を負いかねますからご了承下さい。