

建設後 35 年を経過した PC 桁の性状

松	島	正*
井	上	武男**
小	沢	恒雄†
蔵	本	修††
須	田	隆††

1. ま え が き

岡山県熊山町を流れる吉井川に架かる熊山橋は、PC 技術の草創期とも言うべき昭和 30 年に建設されたポストテンション方式、単純T桁ブロック工法である（図-1、写真-1 参照）。

本橋は、全長 351.4m の長大橋であり、中央流心部の 4 径間には、わが国で初めて、桁長 30m を超える PC 桁が採用された。しかしながら、当時、2等橋（T-9）で設計され、幅員が 4.5m と狭少であること、および河川改修にあたり、新河川管理基準による支間割の変更の必要に迫られ、昭和 63 年、下流側に新熊山橋の架設工事が完了した。このため、旧橋は、もはや不要となり、このたび撤去を行うこととなった。

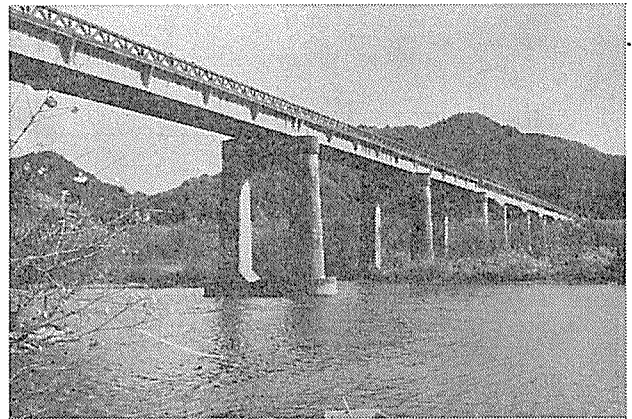


写真-1 撤去前の熊山橋

本報告書は、橋梁の撤去に際し PC 桁の 1 本を試験体として取り出し、曲げ耐力試験と材料試験を実施し、その力学性状や材料の経年変化を調査した結果をまとめたものである。なお、試験は平成元年 2 月～3 月にピー・エス・コンクリート（株）水島工場および住友電気工業（株）伊丹製作所で実施した。

2. 試験に供した PC 桁の概要

2.1 試験体の形状

本橋の構造一般図を 図-2 に示す。

2.2 設計条件

橋 種：PC 道路橋

構造形式：ポストテンション方式単純ブロックT桁

設計荷重：T-9

衝撃係数： $i=20/(50+L)$ (L : 支間)

桁 長：30.560 m

支 間：29.600 m

全 幅 員：5.100 m

有効幅員：4.500 m

2.3 材料強度

コンクリートと PC 鋼材の材料特性を以下に示す。ただし、以下の数値は現在の「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」（昭和 53 年）¹⁾ に規定されている値である。

(1) コンクリート

設計基準強度 $\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$

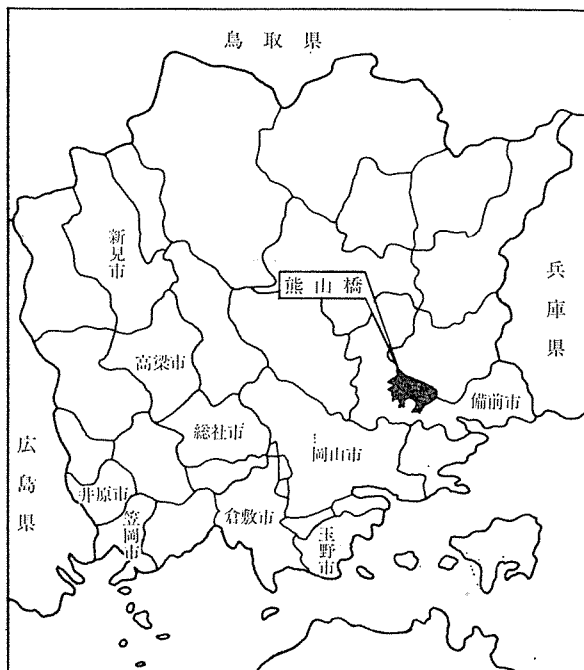


図-1 熊山橋位置図

* 岡山県東備地方振興局建設部長

** 岡山県東備地方振興局工務課長

† ピー・エス・コンクリート（株）大阪支店技術部次長

†† ピー・エス・コンクリート（株）大阪支店技術部

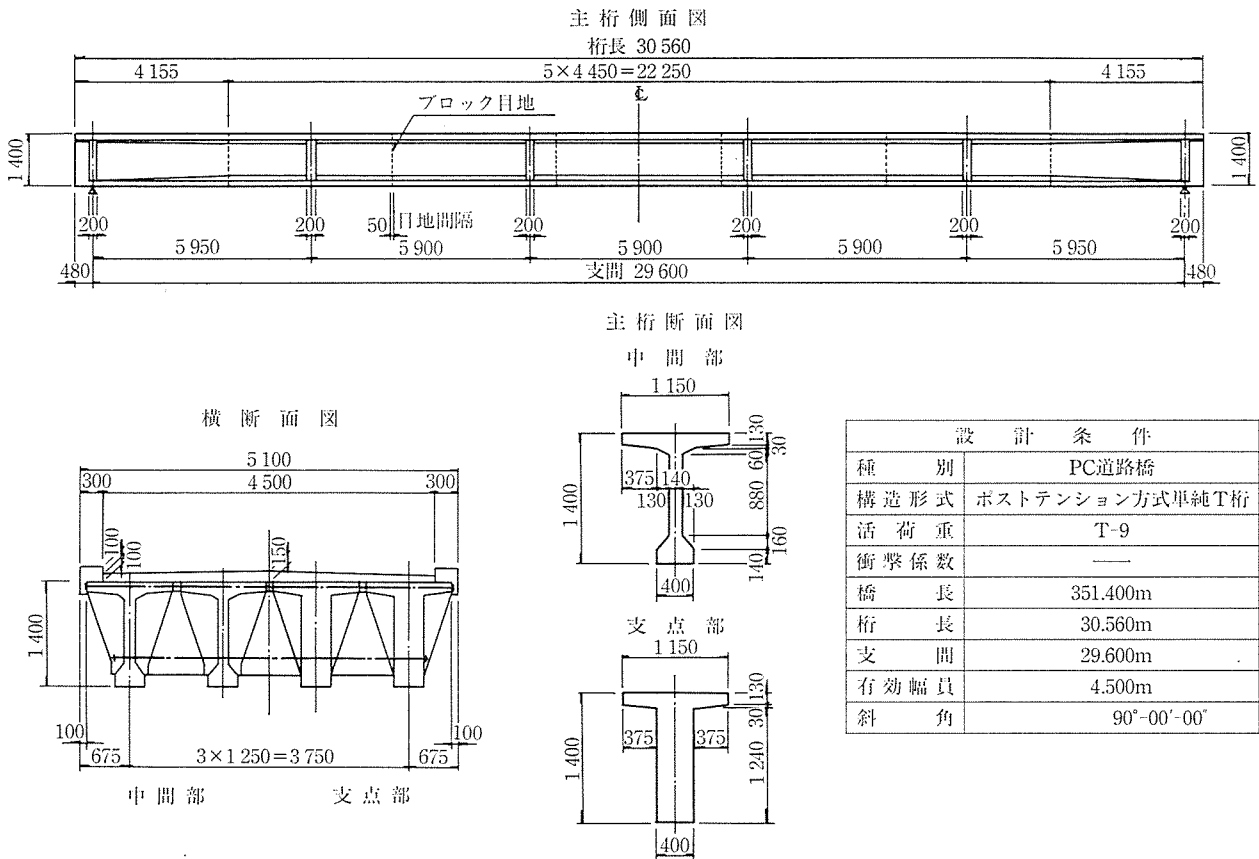


図-2 構造一般図

許容曲げ圧縮応力度

(プレストレス直後) 180 kgf/cm²

(設計荷重時) 140 kgf/cm²

許容曲げ引張応力度

(プレストレス直後) 0 kgf/cm²

(設計荷重時) 0 kgf/cm²

(2) PC 鋼材

PC 鋼線 SWPRI φ 5 mm

定着方式 フレシナー 12 φ 5

引張強度 $\sigma_{pu} = 175 \text{ kgf/mm}^2$

降伏点強度 $\sigma_{py} = 155 \text{ kgf/mm}^2$

許容引張応力度

(プレストレス導入時) 140 kgf/mm²

(プレストレス直後) 123 kgf/mm²

(設計荷重時) 105 kgf/mm²

断 面 積 $A_p = 235.68 \text{ mm}^2$

2.4 設計概要

試験体の支間中央における断面諸定数を表-1に、支間中央におけるPC鋼材の配置を図-3に、また、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。ただし、これらの値は当時の設計図書が散逸しているため、以下の仮定により算出した。

① 部材の寸法およびPC鋼材の位置は実測した。

表-1 支間中央における断面諸定数

		総断面	純断面	PC 鋼材換算断面
H	m	1.400	1.400	1.400
A	m ²	0.4114	0.4017	0.4152
I	m ⁴	0.102918	0.097122	0.105159
Y _U	m	0.543	0.525	0.550
Y _L	m	-0.857	-0.875	-0.850
Z _U	m ³	0.189543	0.185130	0.191169
Z _L	m ³	-0.120088	-0.110947	-0.123729
Z _P	m ³		-0.123660	-0.138383
ep	m		-0.785	

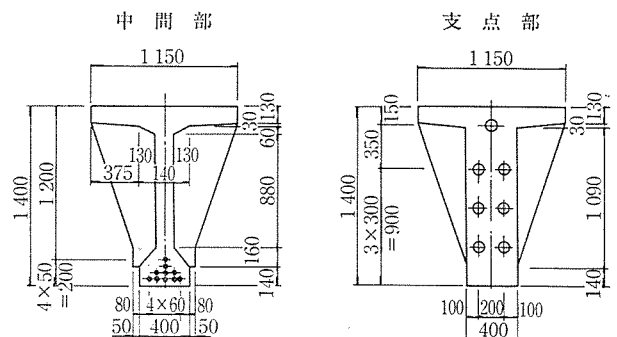


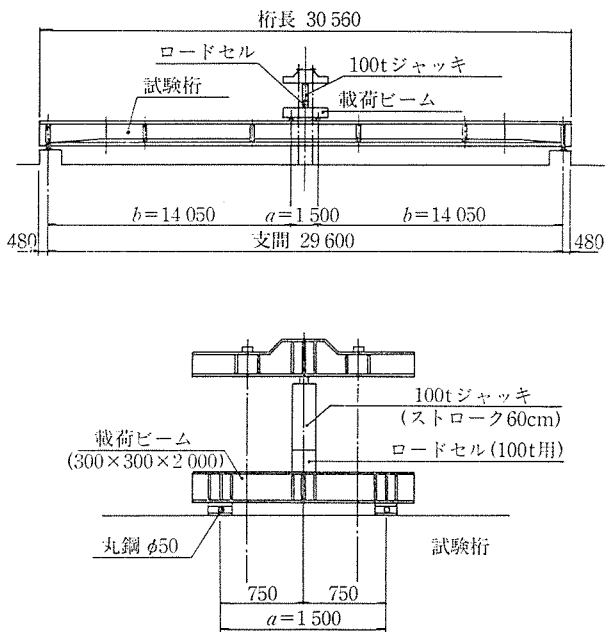
図-3 PC 鋼材の配置

② PC 鋼材の有効引張応力度は 83.0 kgf/mm² とする。

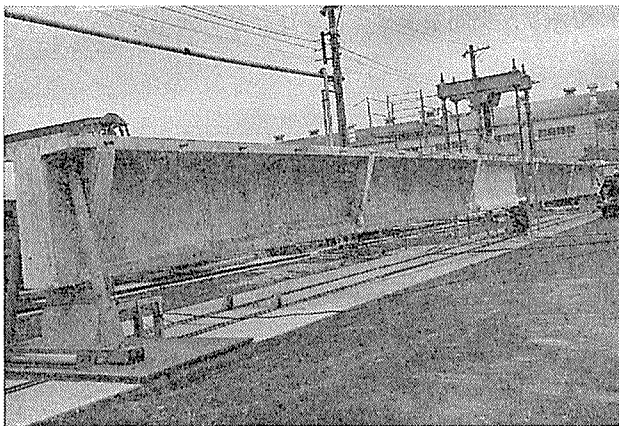
③ 主桁は直上の荷重のみを負担するものとして断面

表—2 設計曲げモーメントおよび曲げ応力度

	曲げモーメント (tf・m)	曲げ応力度 (kgf/cm ²)	
		上 縁	下 縁
主 桁 自 重	118.7	64.1	-107.0
場 所 打 ち	8.3	4.3	-6.7
橋 面 荷 重	56.6	29.6	-45.7
活 荷 重	21.8	11.4	-17.6
プレストレス		-34.2	187.1
合 計	205.4	75.2	10.1



図—4 載荷試験装置



写真—2 載荷試験

力を算出した。

- ④ コンクリート および PC 鋼材の諸数値は「道示Ⅲ」(昭和 53 年)に従った。

3. 試験内容

本試験の目的は、試験体に対して静的な曲げ載荷を行い、桁としての力学的性能を確認するとともにコンクリートと PC 鋼材の材料試験を行い、その経年変化を調査

することである。この目的を達成するため以下に示すような試験を行った。

3.1 曲げ耐力試験

曲げ耐力試験は、JIS A 5316-1980 に準じ、図—4 および 写真—2 に示す方法で行った。載荷は 4 tf ピッチで行い、ひびわれ荷重および破壊荷重近傍では 2 tf ピッチとした。測定項目は支間中央のたわみ、ひずみ、およびブロック目地部の開口幅とした。

なお、曲げ耐力試験における載荷荷重は以下のように定義した。

【設計荷重】 表—2 に示す設計荷重時の曲げモーメントを試験体に生じさせる荷重。(11.6 tf)

【目地開口荷重】 ブロック目地部下縁の応力度が 0 となるときの荷重。(18.4 tf)

【ひびわれ荷重】 試験体下縁に「コンクリート標準示方書」(昭和 61 年)²⁾ に示される設計曲げ強度 (38 kgf/cm²) を発生させる荷重。(22.0 tf)

【破壊荷重】 試験体に破壊抵抗曲げモーメントを発生させる荷重。(47.4 tf)

3.2 コンクリートの材料試験

曲げ耐力試験後、試験体のウェブ部分より φ100×140 のコアを 6 本採取し、コンクリートの圧縮強度、および引張強度(割裂強度)の測定を行った。

また、引張強度試験の後、コアにフェノールフタレイン溶液を塗布し、中性化の進行度合を調べた。

3.3 PC 鋼材の材料試験

曲げ耐力試験後、定着具付近、曲げ配置部、および直線部の 3 部位より PC 鋼材を取り出し、以下の項目の測定を行った。

- 1) 外 観
- 2) 機械的性能 (直径, 引張荷重, 降伏点荷重, 伸び, 絞り, 弾性係数, 屈曲, リラクセーション)
- 3) 化学成分
- 4) 硬 度
- 5) 組 織

4. 試験結果と考察

4.1 曲げ耐力試験

(1) 試験体の曲げ耐力とたわみ

試験体のひびわれ荷重までの“荷重-たわみ曲線”を図—5 に、破壊荷重までの“荷重-たわみ曲線”を図—6 に示す。図—5 に示すようにひびわれ発生までのたわみは、ほぼ弾性体に近い挙動を示しており、たわみ量も推定値とほぼ一致している。

一方、ひびわれ発生後のたわみは図—6 に示すように急激に増加しており、破壊荷重時のたわみ量は、推定値

◇報 告◇

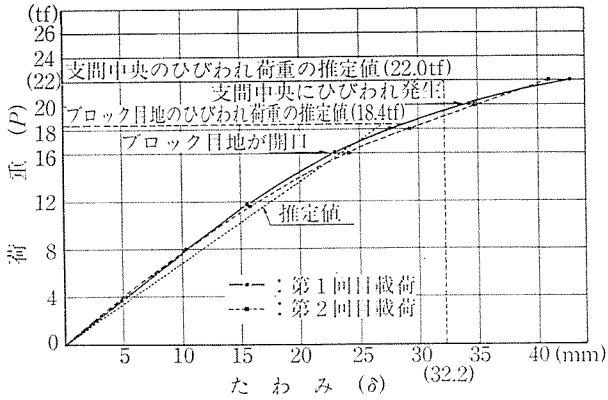


図-5 ひびわれ荷重までの荷重-たわみ曲線

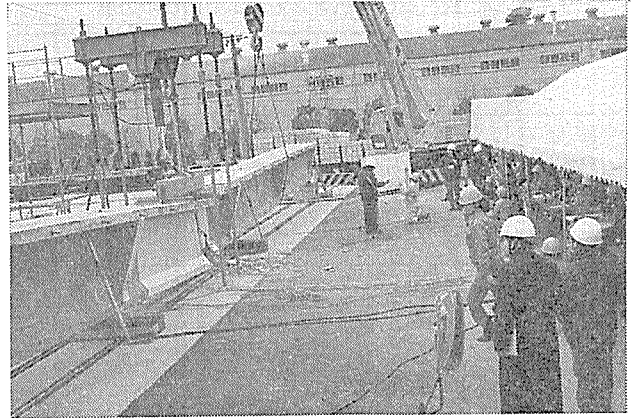


写真-3 破壊した試験体

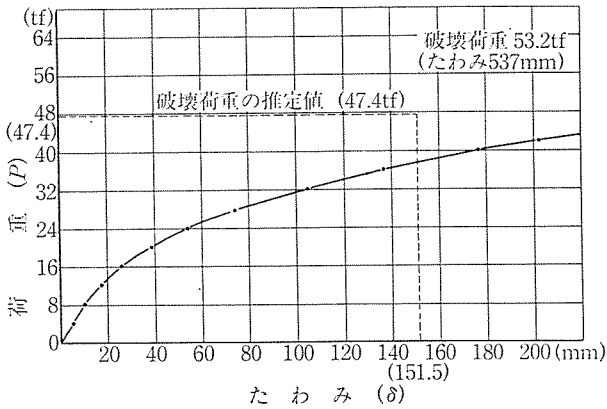


図-6 破壊荷重までの荷重-たわみ曲線

がひびわれ発生による断面剛性の低下を考慮した値であるにもかかわらず、推定値に対してほぼ2倍の値となった。写真-3に試験体の破壊状態を示す。

本試験の結果より、ひびわれ発生までの試験桁のたわ

みは、荷重に比例して直線的に増加し、本試験体のようにブロック目地部の応力度も、現在、一般的に用いられている弾性理論による方法で算出できることが確認された。

次に、1回目と2回目の“荷重-たわみ曲線”は図-5に示すように1回目の載荷でひび割れが発生したにもかかわらず、同様の軌跡を示している。また、除荷後の残留たわみは2mm程度であり、ほとんど載荷前の状態まで回復することが明らかとなった。このことはPC桁では過載荷重量等によりひびわれが発生してもその荷重を取り除けば、たわみはもとにもどり、桁としての機能は損なわれないことを示している。

試験体の曲げひびわれ耐力は、図-5に示すように、推定値の荷重22.0tfに対して、第1回目載荷では20tfであり、支間中央付近にひびわれが発生した。また、

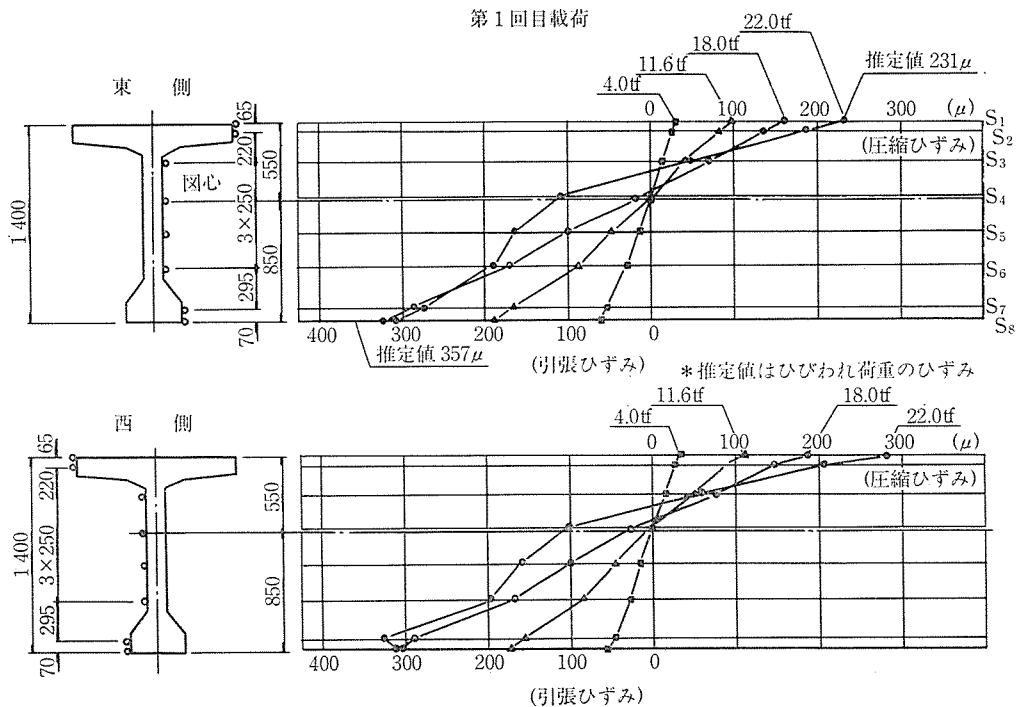
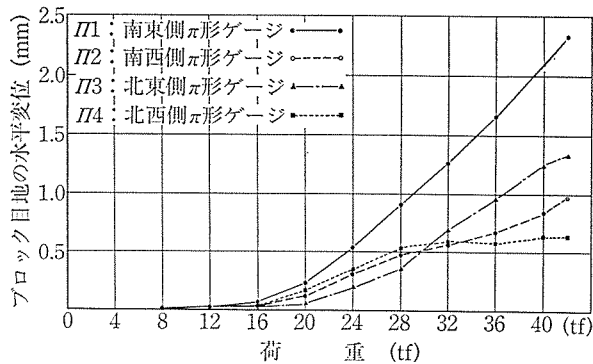


図-7 支間中央のひずみ分布



図—8 ブロック目地の水平変位

ブロック目地部の開口は 16 tf 付近で始まった。

一方、曲げ破壊耐力は 図—6 に示すように 推定値 47.4 tf に対して 試験値 53.2 tf であり、曲げひびわれ耐力およびブロック目地開口荷重の試験値は推定値を下廻っている。しかし、これは推定値が有効プレストレスを 83 kgf/mm^2 、また、コンクリートの曲げ強度を 38 kgf/cm^2 と仮定して算出したことを考慮にいれなければならない。

一方、設計荷重 (T-9) である 11.6 tf では桁にひびわれを生じていないこと、また、ひびわれ発生後、荷重を取り除くとひびわれが閉じると同時に、たわみが復元すること、さらには、推定値以上の曲げ破壊耐力を有していることなどから考えると、35年を経過した PC 桁の機能は健全であるものと考えられることができる。

(2) 支間中央のひずみ分布

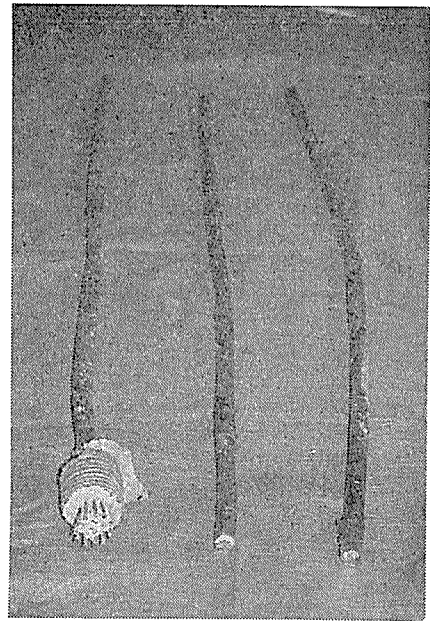
支間中央の断面ひずみは 図—7 に示すように 18 tf までは直線であり、中立軸の位置も計算値とほぼ一致している。しかしながら、さらに荷重を増加させると断面内のひずみ分布は非線形性を呈するとともに、中立軸の位置が桁上縁方向に移動しているのがわかる。

すなわち、PC 桁では、ひびわれ発生までは全断面を有効として弾性理論により縁応力を算出できるが、ひびわれ発生後は RC 桁と同様の挙動を示すことが明らかとなった。なお、ひずみ量はひびわれ発生までは、ほぼ計算値と一致している。

(3) ブロック目地の水平変位

図—8 は支間中央に近接するブロック目地の水平変位 (目地の開き) を π 型ゲージにより測定した結果である。図に示すように 載荷荷重 16 tf まではブロック目地はほとんど水平変位を生じていないが、それ以後は荷重の増加にともない直線的にブロック目地の開口幅が直線的に増加している。ブロック目地開口荷重の推定値 18.4 tf より低い荷重で目地が開いたのは、前述したように、計算上の仮定によるものと思われる。

以上のように、推定値より試験値が下廻ったものの、



写真—4 試供体全景

左 : 定着部
中央 : 母材直線部
右 : 曲げ上げ部

目地開口荷重まではほとんどブロック目地に水平変位を生じない、すなわち、プレストレスによる圧縮力が残存すれば、ブロック目地も一体施工された桁と同様の挙動を示すことが明らかになった。

4.2 材料試験

(1) コンクリートの材料試験

コンクリートの圧縮強度は、試験体の高さが直径の 2 倍より小さいので ($\phi 100 \times 140$)、JIS A 1107 に規定される補正係数を乗じて圧縮強度の補正を行った。その結果、圧縮強度は設計基準強度 400 kgf/cm^2 に対して平均 543 kgf/cm^2 を有していた。これは、現在の標準的な PC 橋と比較してもほとんど差異はないものと思われる。

一方、コンクリートの中性化深さは、約 1 cm であり、「コンクリート工学ハンドブック」³⁾ の式による推定値が 3 cm であることを考えると、中性化に対する経年変化はほとんどないものと思われる。

すなわち、建設後、35 年経過した本橋のコンクリートの材料試験を行った結果、その特性は現在でもほとんど損なわれていないことが明らかになった。

(2) PC 鋼材の材料試験

(a) 外 観

外観は、いずれのサンプルにおいても若干の発錆は見られるものの、非常に軽度であり、鋼線の性能に影響を与えるものではない。これはグラウトが確実に充填されていた効果と考えられる (写真—4)。

(b) 機械的性能

表—3 PC 鋼材の機械的性能

	直 径 (mm)	引 張 荷 重 (kgf)	降伏点荷重 (kgf)	伸 び (%)	絞 り (%)	弾 性 係 数 (kgf/mm ²)	屈 曲 (回)	リラクセーション率 (%)	
								10 時間後	120 時間後
定 着 部	5.00	3 640	3 124	5.39	37.9	20 487	10.2	0.89	1.43
直 線 部	4.97	3 402	2 960	5.17	38.6	20 436	12.2	1.21	1.64
曲げ上げ部	4.98	3 708	3 204	5.50	35.1	20 594	10.0	1.14	1.58

表—4 成分分析結果

元 素 名	C	Si	Mn	P	S	Cu
定 着 部	0.88	0.25	0.44	0.010	0.018	0.08
母材直線部	0.71	0.24	0.42	0.023	0.040	0.06
母材曲げ配置部	0.88	0.23	0.45	0.011	0.012	0.11

PC 鋼材の機械的性能の試験結果を表—3 に示す。この表より、直線部が他の 2 部位に比べてやや引張強度が低く、絞りと屈曲値が高くなっている。建設当時の PC 鋼線の成績、規格が不明のため、これらのデータの妥当性について言及することはできないが、現在の JIS 規格をほぼ満足するものであり、特に問題はないものと考えられる。

(c) リラクセーション値

リラクセーション試験の初荷重は、JIS G 3536 の規定に従い規格降伏点荷重の最小値の 80% に相当する荷重とした。10 時間 および 120 時間後の測定結果を表—3 に示す。

リラクセーション値はいずれのサンプルもかなり低い値となっているが、これは長時間の緊張状態で、かなりのリラクセーションが終了していることになるものと考えられる。

(d) 化学成分

各部位のサンプルを化学分析した結果を表—4 に示すが、3 か所ともほぼ同等の結果が得られた。

(e) 硬度、組織

硬度および組織の試験結果は省略するが、現在の製品に比べて特に異常は認められなかった。

5. ま と め

昭和 30 年に建設された PC 桁（熊山橋）について曲げ耐力試験 および 材料試験を行った結果、35 年間の交通供用にもかかわらず、曲げ耐力はほぼ計算値どおりであり、破壊に至るまでの力学的挙動も典型的な PC 桁と同様であった。また、主材料であるコンクリートと PC 鋼材の品質にはほとんど劣化は見られず、本橋が現在も健全であることが明らかとなった。

近年、建設後数年を経ずして問題のあるコンクリート構造物の例が多数報告されており、コンクリート構造物の耐久性が話題となっている。しかしながら、本試験の結果は、「材料の選択、設計、施工が適切であればコンクリート構造物の寿命は、ほぼ永久的である」ことを我々技術者に教えているように思えてならない。本報告が今後の PC 技術の発展にいささかでも寄与できれば幸いである。

最後に、本試験の実施に当たり、岡山大学工学部土木工学科、阪田憲次教授から終始御助言、御指導をいただきましたことを付記し、深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 道路橋示方書Ⅲ コンクリート 橋編（昭和 53 年）、（社）日本道路協会
- 2) コンクリート標準示方書（昭和 61 年）設計編、土木学会
- 3) 岡田、六車編：コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店

【1989 年 7 月 26 日受付】