

## PC 単純 T 桁超斜角橋の載荷試験と解析

松 本 清 人\*  
 田 辺 功\*\*  
 一 色 栄 一\*\*\*

## 1. ま え が き

道路の計画にあたり、交差する河川や道路に対して、橋梁を斜めに設ける場合が多くなってきた。この斜角橋も 90°~60° までは標準設計もあり、多く採用されているが、60° 以下の採用は少ないのが現状である。

村中橋は昭和 38 年に、プレストレストコンクリート(PC)単純桁として施工され、国道 41 号線の幅下川に架橋された。

東名・名神高速道路の小牧インター近くでもあり、現在 1 日当り 6 万台弱の大型車が多い交通量に対して、メンテナンスフリーで供用されてきた。

本橋の特長は、斜角 33°24' と極端な斜角橋である。

今回、道路改良に伴い架け換えることとなり、建設省愛知国道工事事務所の協力により実橋載荷試験を実施した。

本報告は実橋載荷による PC 斜角橋の性状・特性の把握と、耐荷性・耐久性の検証を行い、構造の安全性と設計方法の妥当性について確認を行い、今後の PC 斜角橋の普及に資することを目的としたものである。

## 2. 構造概要

構造形式：ポストテンション単純 T 桁橋

橋 格：一等橋 (TL-20)

橋 長：20.500 m

桁 長：20.400 m

支 間：19.600 m

幅 員：12.480 m

平面線形：直 線

斜 角：右 33°24'

主桁断面寸法および一般構造図を 図-1 に示す。

## 2.1 コンクリート

設計基準強度

\* Kiyoto MATSUMOTO：(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会中部支部技術部会長

\*\* Isao TANABE：(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会中部支部技術副部会長

\*\*\* Eiichi ISSHIKI：(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会中部支部技術副部会長

$\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$  (主桁)

$\sigma_{ck}=300 \text{ kg/cm}^2$  (床版間詰め, 横桁)

## 2.2 PC 鋼材

PC 鋼線 12- $\phi$ 5 mm (主桁)

PC 鋼棒  $\phi$ 24 mm (横締め)

## 3. 実橋載荷試験とその解析

## 3.1 試験概要

本橋はプレキャストのポストテンション単純桁を架設し、床版・横桁を現場打ちコンクリートにより施工した後、横締めによるプレストレスで一体化し、斜角橋を構成した橋梁である。

載荷試験時点では、地覆・高欄部は切り離されていたが、コンクリート舗装は撤去されていない状態であった。

斜角橋としての挙動を把握するため、橋梁上に荷重を載荷し、橋梁各部のひずみ、たわみ、支点反力を測定することとした。

荷重の載荷は、曲げ応力度が大きくなる支間中央付近のケース(曲げ試験)と、反力が大きくなる支点付近のケース(反力試験)の 2 ケースとした。

測定値としては、載荷荷重による数値のみで、桁自重、舗装コンクリートの値は測定できなかった。

## 3.2 試験方法

## 3.2.1 載荷荷重 (T 荷重)

載荷荷重としては、トラックを 4 台使用した。

各車輛の軸重は表-1 に示すとおりである。

## 3.2.2 載荷方法

橋面上に各載荷ケースごとの車輪位置をマークし、トラックを誘導、測定時にはエンジンも停止させた。

載荷ケースは、曲げ試験と反力試験の 2 ケースを行った。

表-1 軸 重 表 (t)

重量	車輦重量	前輪重量	後輪重量
トラック			
No. 1	26.86	5.22	21.64
No. 2	26.86	5.34	21.52
No. 3	26.52	4.36	22.16
No. 4	26.74	5.70	21.04

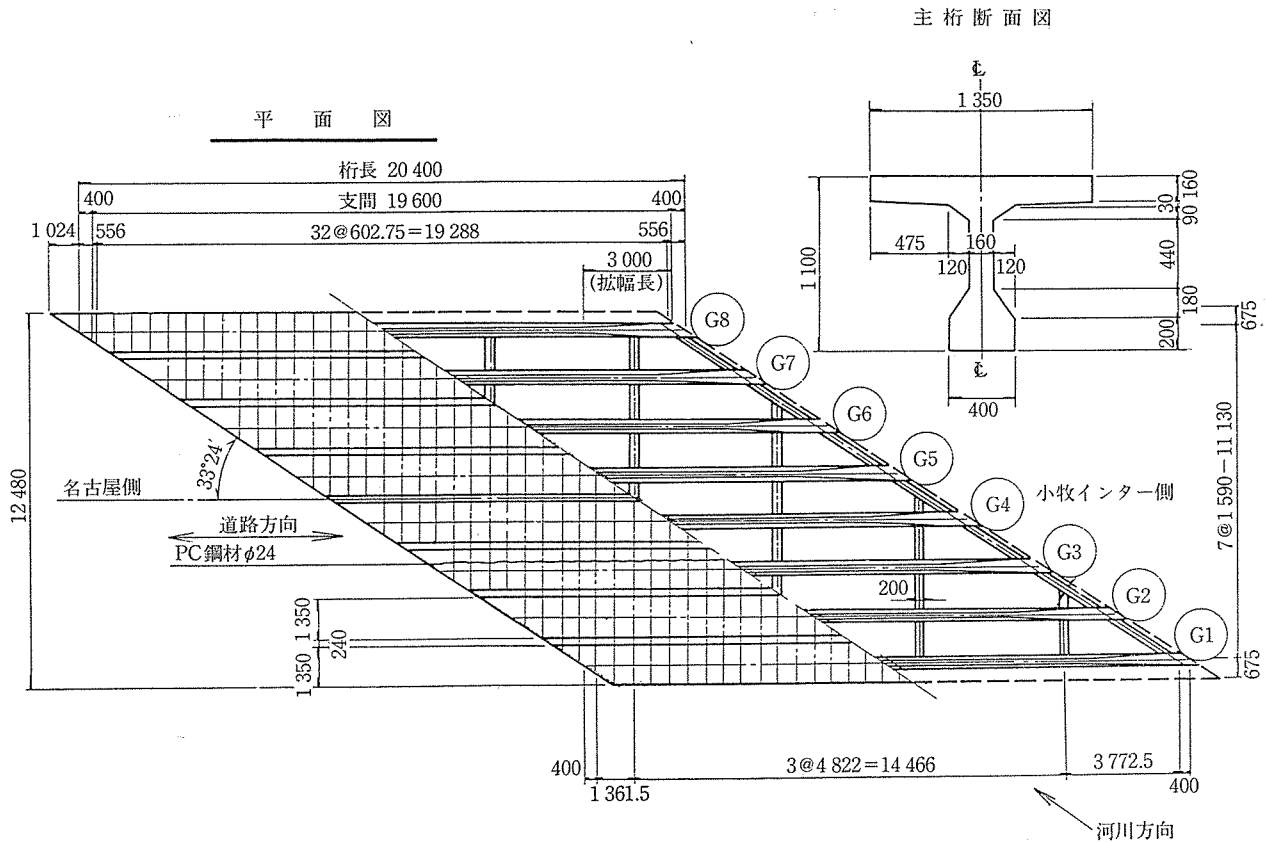


図-1 一般図

3.3 測定項目・位置 (図-2, 図-3)

- ① 主桁・横桁部のひずみ (貼付け型ひずみ計)
- ② 主桁部変位 (電動変位計)
- ③ 反力 (フラットジャッキの圧力計)

3.4 実験結果と数値解析との比較

3.4.1 検討概要

本橋のような斜角橋の載荷試験結果を検討する解析モデルとしては、通常格子桁モデルに変換することが一般的な手法と思われる。

この場合、部材のねじり剛性を考慮するケースと、しないケースの2通りが考えられる。

また、橋梁上には150mm厚さぐらいの舗装コンクリートがあり、主桁との合成効果も考えられる。

本橋では次の4タイプの格子モデルに、実橋に載荷したと同じ状態で荷重を載せ、応力、反力、たわみを算出した。

- タイプ1：舗装無視、ねじり剛性無視
- タイプ2：舗装考慮、ねじり剛性無視

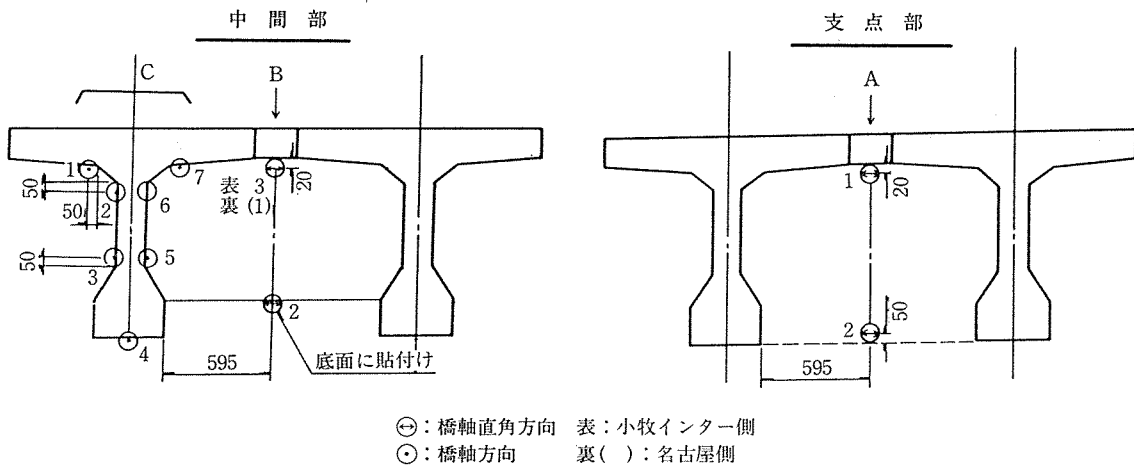


図-2 ひずみ測定位置

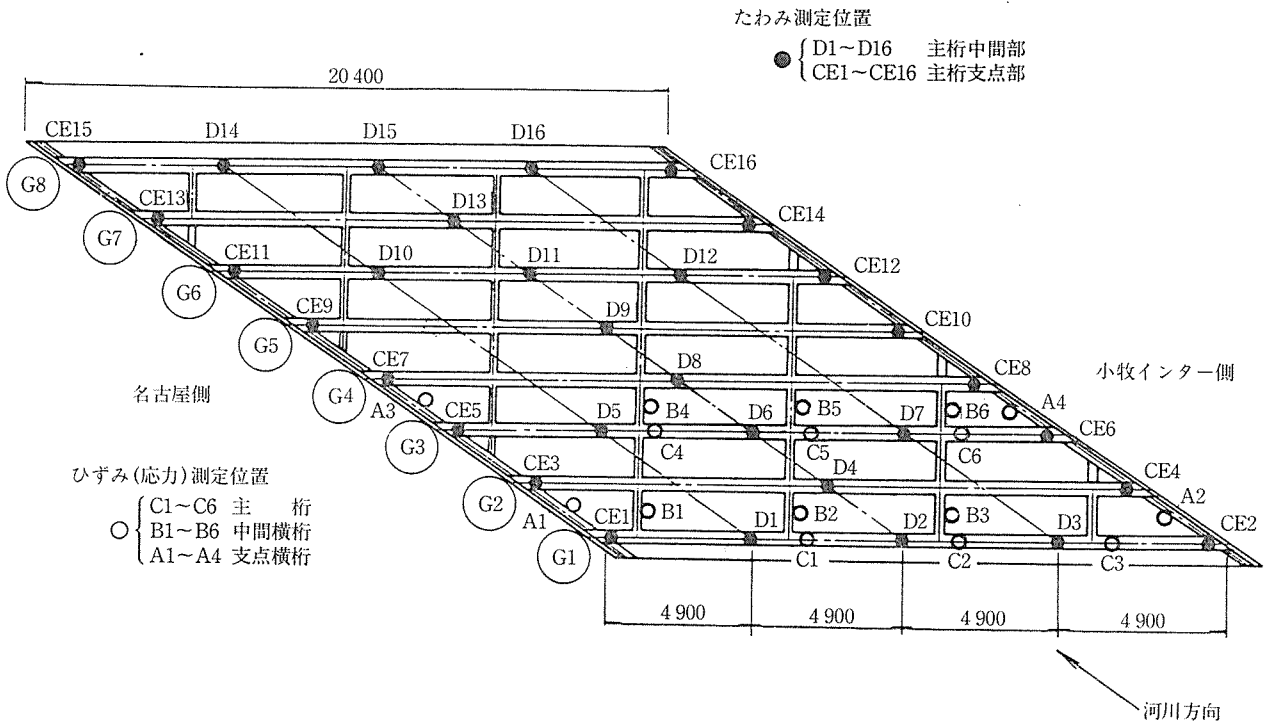


図-3 ひずみ・たわみ測定位置

表-2 曲げ応力度比較表

(kg/cm<sup>2</sup>)

		C 1		C 2		C 3		C 4		C 5		C 6	
		上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁
実	測 値	4.1	-39.9	2.7	-27.3	1.0	-5.9	1.3	-20.9	2.4	-23.3	0.7	-14.4
計	タイプ 1	20.5	-75.1	15.1	-55.3	4.8	-17.7	6.5	-25.6	10.6	-41.4	9.0	-35.4
	タイプ 2	18.1	-66.2	12.7	-46.6	3.9	-14.3	6.1	-23.9	11.2	-43.8	10.0	-39.4
	タイプ 3	7.8	-57.1	6.0	-44.1	1.9	-13.6	<b>0.7</b>	<b>-19.8</b>	1.0	-29.7	0.8	-23.3
	タイプ 4	<b>5.8</b>	<b>-42.7</b>	<b>4.4</b>	<b>-31.8</b>	<b>1.2</b>	<b>-9.1</b>	0.6	-16.0	<b>1.0</b>	<b>-28.6</b>	<b>0.8</b>	<b>-23.1</b>

		B 1		B 2		B 4		B 5	
		上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁
実	測 値	0.7	-7.3	0.5	-10.3	-10.5	-2.6	-0.4	-16.0
計	タイプ 1	-0.2	-35.8	0	-0.3	-2.0	-73.9	-0.5	-17.7
	タイプ 2	-0.2	-40.4	0.1	3.1	-2.3	-83.1	-0.3	-11.2
	タイプ 3	<b>-4.5</b>	<b>-33.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>-6.1</b>	<b>-7.8</b>	<b>-45.9</b>	<b>-2.9</b>	<b>-17.1</b>
	タイプ 4	-4.6	-34.5	-0.7	-5.0	-8.0	-47.1	-2.5	-14.7

発生応力度の小さい支点横桁と、中間横桁、B3、B6の比較表は省略する。  
 ※ 太字は実測値に最も近い値を示す。

タイプ 3：舗装無視，ねじり剛性考慮

タイプ 4：舗装考慮，ねじり剛性考慮

### 3.4.2 曲げ応力度の比較

主桁・横桁について実測値と設計値との比較を行った結果を表-2に示す。

### 3.4.3 反力の比較

各主桁の反力について，実測値との比較を行った結果を表-3に示す。

表-3をグラフにすると，図-4のようになる。

### 3.4.4 たわみの比較

各主桁について，支間中央のたわみの比較を行った結

果を表-4に示す。

表-4をグラフにすると，図-5のようになる。

### 3.4.5 その他の検討

反力について，実測値と計算値との間にひらきがみられ，解析上の傾向がつかみにくいため，次の2ケースについてさらに検討を行った。

(1) 支持条件にバネを考えたケース

実験値より求められた反力と変位量より，バネ定数として次の値を使用した。

$$\frac{\text{最大反力}}{\text{変位量(沈下量)}} = \frac{24.8 \text{ t}}{0.177 \text{ cm}} = 140 \text{ t/cm}$$

表-3 反力比較表 (t)

主 桁	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	
実 測 値	24.8	20.0	16.3	9.5	3.3	—	0	-0.3	
計 算 値	タイプ1	29.1	23.3	9.9	6.5	0.6	-1.0	2.4	1.8
	タイプ2	29.5	23.9	9.7	4.9	0.9	-0.9	2.8	1.7
	タイプ3	36.1	14.8	11.6	7.2	-0.4	-0.2	1.9	1.5
	タイプ4	37.6	14.8	11.8	6.4	-0.2	-0.1	1.4	0.9

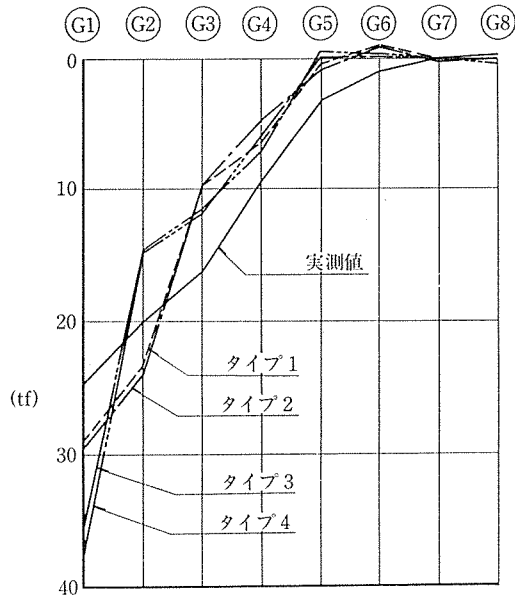


図-4 反 力 図

表-4 たわみの比較表 (mm)

主 桁	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	
実 測 値	4.10	3.59	2.79	2.40	1.65	0.99	0.61	0.34	
計 算 値	タイプ1	9.54	7.53	5.84	4.64	3.72	2.96	2.61	2.70
	タイプ2	6.59	5.17	3.91	3.03	2.43	1.98	1.83	1.96
	タイプ3	8.22	6.60	5.32	4.33	3.48	2.75	2.41	2.45
	タイプ4	5.01	4.01	3.15	2.47	1.95	1.51	1.32	1.32

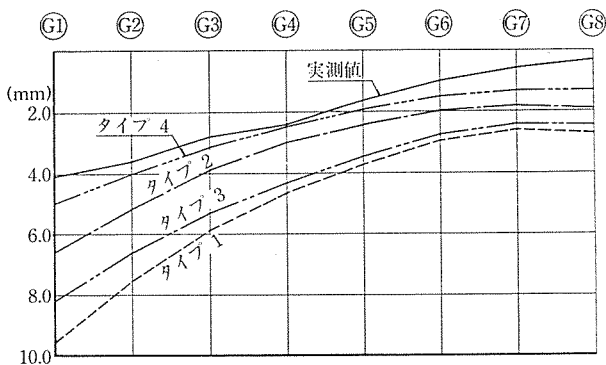


図-5 支間中央の各桁のたわみ

両支点とも同じバネ定数として、タイプ4のケースについて検討を行った。

(2) 鋭角側の支点を浮かせたケース

実測値より、鋭角側の桁2本に負反力が測定された

表-5 反力比較表 (t)

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
バネ考慮	30.0	20.0	12.4	6.5	2.4	0.5	0.3	0.5
支点浮き	37.6	14.7	11.8	6.3	-3.1	5.1	—	—

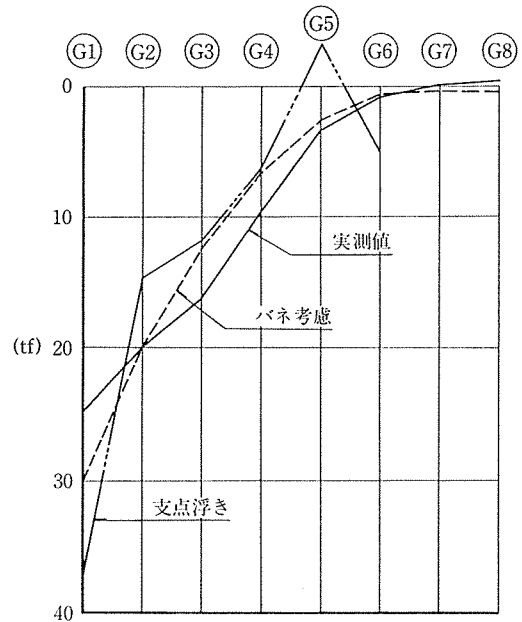


図-6 反 力 図

め、この桁の支点を考慮しないものとして、タイプ4のケースについて検討を行った。

以上の2ケースについて検討した結果を表-5と図-6に示す。

3.4.6 比較結果

(1) 応力度について

実測値の曲げ応力度は、コンクリートのひずみより求めたため、ひずみの小さい部分は種々の誤差の影響が大きく、数値の信頼性が低いと判断し、応力度が比較的大きくなるC1, C2, C4, C5断面について比較検討を行うこととした。

曲げ応力度の比較結果としては、タイプ4が各断面ともに最も近い値を示している。C4断面のみタイプ3が最も近いが、タイプ4も比較的近い値となっている。

横桁部は、実測値と計算値との相関がとれていないため、比較検討は省略する。

(2) 反力について

曲げ応力度の場合と同様に考えて、G1~G4桁についてのみ比較検討を行った。

鋭角部の支点を浮かせて計算した値は、タイプ4とG1~G4まではほとんど同じとなったが、G5, G6に少し変動がみられた。全般的にみると、バネを考慮した場合の値が実測値に最も近くなった。

(3) たわみについて

## ◇報 告◇

図一5より、タイプ4が実測値に最も近く、次にタイプ2が近い。ねじりの影響より、舗装も考慮した影響の方が実測に近くなった。

### 3.5 斜橋設計上の提案

比較結果を整理すると次のようになる。

- ① 曲げ応力度・たわみはタイプ4（コンクリート舗装の剛性考慮、主桁・横桁のねじり剛性考慮）が実測値に近い。
- ② 反力については、最大反力に着目したとき、タイプ1, 2（ねじり剛性無視）が実測値に近いが、全体の傾向としてはバネ考慮が近い。

以上の結果から、プレキャスト桁を架設後、横締めにより斜角橋となるタイプの橋梁を設計する場合には、次に示す考え方が提案できる。

- 1) 構造解析は格子理論によるものとする。  
また主桁・横桁は、ねじり剛性を考慮して解析するのが良い。
- 2) 舗装は、その剛性を考慮して解析するのが実測結果に近いが、安全側に設計するためには、舗装を荷重としてのみ考慮するのが良い。
- 3) 支点をバネとして解析すれば全体としての反力は実橋に近づくが、断面力差は小さく過去の諸解析でも微小であり、部材の設計に際しても支配的とならない。

また、反力値に関してもバネ支承を考慮しない方がその最大値は大きくなる。

したがって設計には考慮しなくてよい。

- 4) 斜角が45°以上の場合の横桁は支承線に平行に配置しても良いが、45°未満の場合は主桁に直角に横桁を設けることとなっている（道路橋示方書7.2解説より）。この場合には、横桁の断面力が大きくなるため横桁断面を大きくしたり、横桁の本数を増やすのが良い。
- 5) 今回の解析において、コンクリートのヤング係数は実測値を用いたが、断面力の算出にあたって、その値の差異による差は微小と考えられ、また設計時に考慮することが困難でもある。したがって設計にあたっては、示方書によるのが良い。

今回の実橋載荷試験およびその解析において、斜角が33°と極端な例をとり上げたが、解析結果と実測結果とがよく合致していると考えられる。

## 4. その他の試験

### 4.1 現況調査

#### 4.1.1 目視による調査

実橋載荷試験を行う前に、現況の異状・変状の調査を

行った。その結果、部分的に微小なひびわれや、遊離石灰等が認められたが、載荷試験にさしつかえないと判断した。

伸縮継手は銅板を使用した古い形式のものであったが、舗装のオーバーレイにより盲目地のようにになっていた。

#### 4.1.2 コンクリートの強度・ヤング係数の推定

載荷試験実施後、コアボーリングした資料により、圧縮強度・ヤング係数等を試験によって求めた。

その結果より、次の値を解析に使用した。

圧縮強度  $\sigma_c = 426 \text{ kg/cm}^2$

ヤング係数  $E_c = 3.95 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

### 4.2 耐久性試験

#### 4.2.1 コンクリートの中酸化試験

コア供試体および桁より取り出した一部について中性化の試験を行ったが、中性化は10mm前後であり、深いところでも22mmと、かぶり深さ以内であった。20年経過したものとしては、ほぼ健全と思われる。

#### 4.2.2 PC鋼線の耐力試験

単桁破壊試験の桁より取り出したPC鋼線の各種機械的特性値について試験を行った結果、各項目共に規格値を満足しており、耐力は十分と思われた。

#### 4.2.3 ゴム沓の劣化試験

ゴム沓についても各種試験を行ったが、硬度および静的せん断弾性率は共に高くなっていった。しかしゴム沓としての機能は十分保持しており、耐油・耐水に関しても規格値を十分満足していた。

#### 4.2.4 鋼材・グラウトの目視

鉄筋、シース、PC鋼線等の鋼材には発錆は認められず、グラウトの充填状況も良好であった。

### 4.3 単桁破壊試験

#### 4.3.1 試験概要

実橋の曲げ破壊耐力を確認するため、主桁の曲げ破壊試験を行った。現地より主桁1本を取り出して工場へ運搬し、外観調査および断面寸法の計測を行ったのち、載荷試験を行った。

#### 4.3.2 試験方法

載荷試験は静的曲げ破壊試験とし、定格荷重150tの載荷試験機を使用して行った。載荷支間は実橋と同じく19.6mの単純支持とし、載荷位置はプレテンJIS桁の基準に準拠し、スパン中央点から75cmの位置とした。

#### 4.3.3 測定項目

(1) コンクリートのひずみ

ひずみゲージを支間中央の桁の上、下面と側面に貼付し、コンクリート表面のひずみを測定した。

(2) 桁のたわみ

支間の中央と4等分点, 支点の桁下縁に高感度型変位計をセットして桁のたわみを測定した。

またレベルによるたわみ測定も同時に行った。

(3) ひびわれの観測

桁の両側面および下面について, 拡大鏡等を用いて目視によりひびわれの発生と進行状態の観測を行った。

ひびわれの進行状態は, 桁表面にマーキングして記録した。

4.3.4 試験結果

(1) コンクリートのひずみ

主桁支間中央のコンクリート上縁および下縁の荷重～ひずみ曲線を示すと 図-7 となる。測定値は両者ともひびわれ発生荷重までの範囲ではほぼ直線変化となっている。

(2) 桁のたわみ

試験荷重と支間中央点のたわみの関係を 図-8 に示す。

試験の結果から, たわみは設計荷重以下の範囲では直線変化であり, 弾性計算値とほぼ一致している。

このたわみから計算したヤング係数は  $3.22 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  となりコア試験から得られた値より小さな値となった。

たわみの進行状態は, ひびわれ発生以後は急激に増加した。

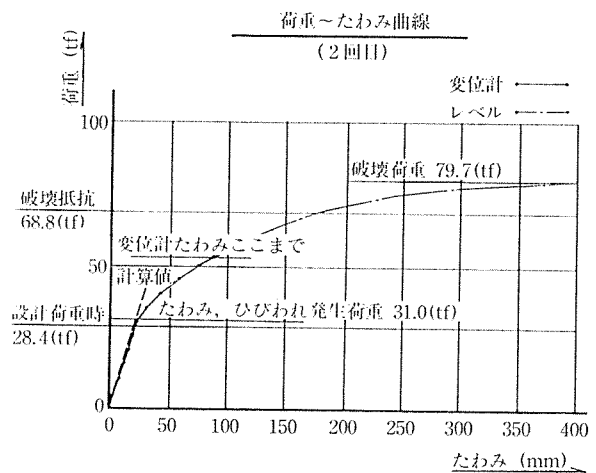
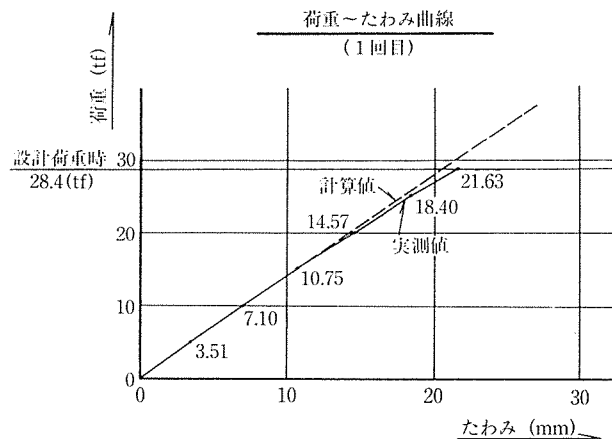


図-8 荷重～たわみ曲線

(3) ひびわれ挙動

ひびわれ試験の結果は, 桁下縁の曲げ応力度を0としたときの設計曲げモーメントに対して, 1.11 倍の曲げモーメントが作用したときにひびわれの発生が認められた(図-7 参照)。またこのひびわれ発生モーメントから桁下縁の曲げ応力度を算出すると  $-26 \text{ kg/cm}^2$  となり, コンクリートのひずみ度から計算した値とよく一致した。

(4) 破壊荷重

破壊試験の結果は, 破壊抵抗曲げモーメントの設計値に対して 1.13 倍の荷重載荷により破壊した。

(5) 破壊状況

桁の破壊状態は, 試験荷重の増加にともなってスパン中央点付近の下縁に発生したひびわれが, 次第に本数を増加させながら中立軸付近まで進行して斜めひびわれに発展し, 破壊の初期の段階では桁上縁コンクリートが横締め孔による欠損断面位置で圧縮破壊を起こし, 最終的に全体の破壊へと進行した。また PC 鋼材の破断はみられなかった。

4.3.5 まとめ

(1) 設計荷重に対して

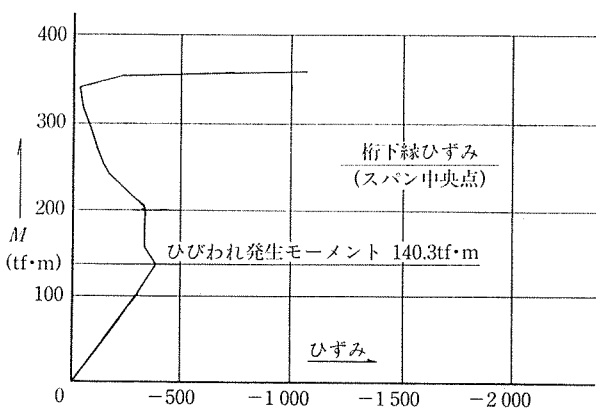
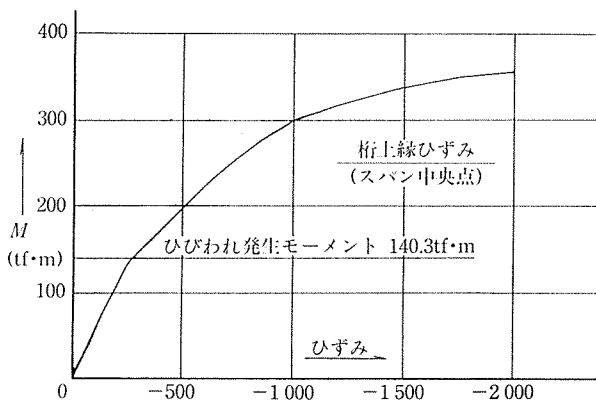


図-7 曲げモーメントとひずみの関係

◇報 告◇

ひびわれの発生は認められなかった。

(2) ひびわれ荷重に対して  
試験値は設計値の 1.11 倍であった。

(3) 破壊荷重に対して  
試験値は設計値の 1.13 倍であった。

以上の結果より、25 年経過した後も十分な耐力を保持しており、健全な桁であることが確認できた。

## 5. あとがき

斜角橋の実橋載荷試験により種々の問題点が解明された。経験上からは十分安全と考えられているにもかかわらず適用が遅れていた斜角橋の性状・特性が数値的に解

明でき、今後の設計の参考に供することができた。

また、25 年間重交通に供用されたコンクリート橋の耐荷性・耐久性の検証により、改めてプレストレストコンクリート構造物の利点が再認識できたこと等である。

貴重なデータを基に、さらに限界状態設計法に関する資料としても活用する予定である。

載荷試験に際し、機会を作ってください御協力願った建設省愛知県国道工事事務所の皆様、御指導いただきました泉名城大学教授、平澤中部大学教授はじめ中部セメントコンクリート研究会の皆様に、誌上を借りまして厚くお礼申し上げます。

【1990 年 7 月 11 日受付】

---

◀刊行物案内▶

## PC 定着工法

(1988 年版)

体 裁：B5判 126 頁

頒布価格：3 300 円（会員特価 3 000 円）（送料 350 円）

内 容：PC 定着工法総論，一般ケーブル（総論，18 工法），斜張ケーブル（総論，8 工法），シングルストランドケーブル（総論，8 工法），アンボンドケーブル（総論，7 工法），アースアンカーケーブル（総論，10 工法），プレテンション工法総論，PC 定着工法の評定

---

◀刊行物案内▶

## 日本原子力発電敦賀 2 号機 PCCV

本書は、プレストレストコンクリート第 28 巻の特別号として発刊されたもので、我が国で初めて採用されたプレストレストコンクリート製原子炉格納容器（日本原子力発電（株）敦賀発電所 2 号機）に関して、その各種模型実験、設計・施工に至る各分野にわたり詳述した貴重な資料です。今後ますます多く採用されるであろう、この種 PCCV を取り扱う関係者にとって、必携の図書と確信します。

在庫限定につき、ご希望の方は代金を添え（現金書留かまたは郵便振替東京 7-62774）プレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁：B5判 128 頁

頒布価格：3 000 円（送料：150 円）