

(11) PC単純T桁超斜角橋の載荷試験と解析

(社) プレストレストコンクリート建設業協会 中部支部
 ビーエスコンクリート(株) 正会員 松本清人
 日本ビーエスコンクリート(株) 田辺 功
 オリエンタル建設(株) 正会員 ○ 一色栄一

1. まえがき

プレストレストコンクリートの技術は、橋梁を中心に進歩し、多くの問題点が説明・改善されているが、未解決となっている課題もいくつか残っている。

経験上から十分安全と考えられているにもかかわらず、適用の遅れているものの一つにPC斜角橋がある。今回、昭和38年に施工された斜角33度のPC道路橋(村中橋)が撤去されることとなり、これを利用して斜角橋の実橋載荷試験と材料試験を実施した。

村中橋は、国道41号線の幅下川に架けられたPC単純T桁橋である。東名・名神高速道路の小牧インター近くでもあり、1日当たり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。

実橋による載荷試験の結果より、PC斜角橋の性状特性と耐荷性・耐久性の検証を行い設計方法が妥当であるか確認することにより、今後のPC斜角橋の普及に資することを目的とした。

2. 構造概要

一般構造図(平面)と主桁断面図を図-1に示す。

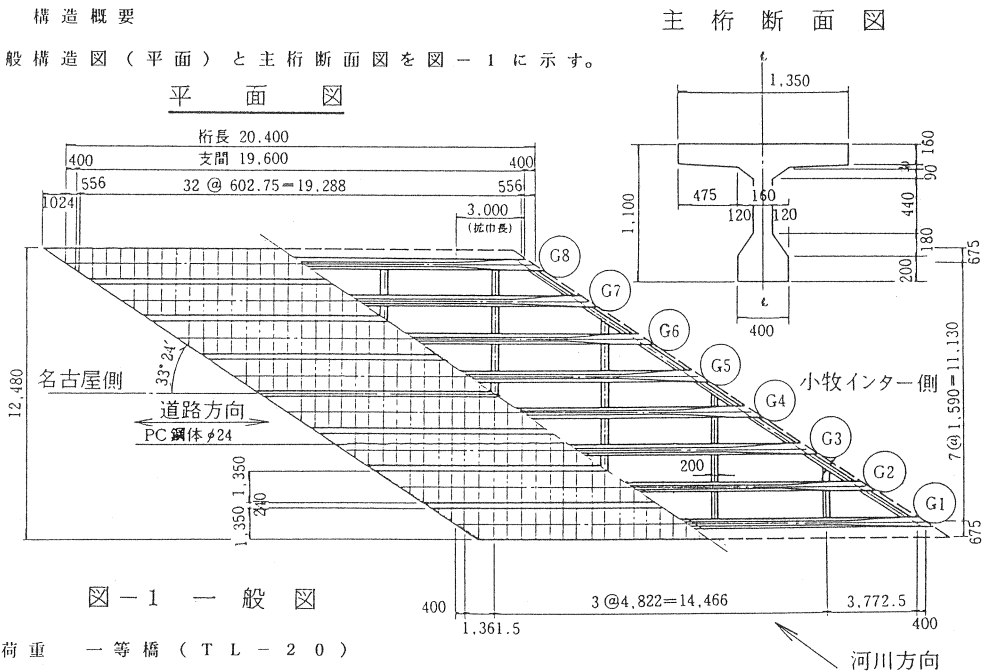


図-1 一般図

荷重 一等橋 (TL-20)

使用材料	コンクリート	PC鋼材
主桁	6ck = 400%	12 - φ5mm
床版・横桁	6ck = 300%	φ24mm

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、床版横桁を現場打コンクリートにより施工した後、横締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・高欄は切り離されていたが、コンクリート舗装は乗ったままの状態であった。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。

3. 2 試験方法と測定位置

載荷々重としてはトラック4台（車輛重量27t）を使用し、コンクリート表面に貼付したひずみ計と、電動変位計、フラットジャッキの圧力計より、曲げ試験と反力試験のデータをとった。測定位置は図-2に示す。

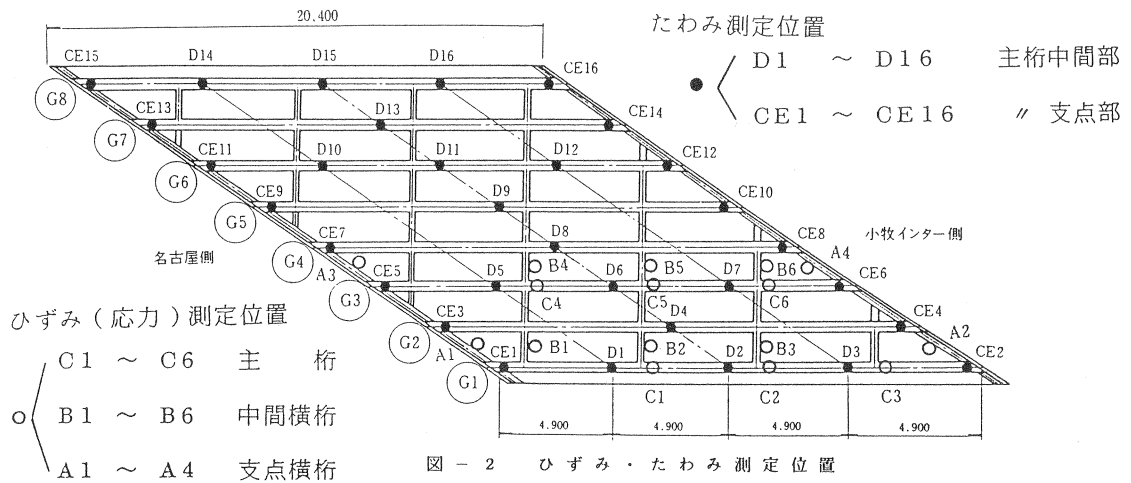


図-2 ひずみ・たわみ測定位置

3. 3 試験結果と数値解析との比較

3. 3. 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、しないケースの二通りが考えられる。

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 |
| 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. 3. 2 曲げ応力度の比較

主桁・横桁について実測値と計算値との比較を行った。発生応力度の小さい支点横桁と中間横桁B3、B5、B6の比較表は省略する。

比較結果を表-1に示す。

3. 3. 3 反力の比較

反力については、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いため、支承条件にバネを考えたケースと鋭角側支点到に負反力が測定されたため、この支点是無いものとしたケースについても検討した（図-3）

表 - 1 曲げ応力度比較表

※ □ は実測値に最も近い値を示す。(kg/cm²)

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		B1		B2		B4		
	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	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	0.7	-7.3	0.5	-10.3	-10.5	-2.6	
計算値	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	-0.2	-35.8	0	-0.3	-2.0	-73.9
	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	-0.2	-40.4	0.1	3.1	-2.3	-83.1
	タイプ3	7.8	-57.1	6.0	-44.1	1.9	-13.6	0.7	-19.8	1.0	-29.7	0.8	-23.3	-4.5	-33.6	-0.9	-6.1	-7.8	-45.9
	タイプ4	5.8	-42.7	4.4	-31.8	1.2	-9.1	0.6	-16.0	1.0	-28.6	0.8	-23.1	-4.6	-34.5	-0.7	-5.0	-8.0	-47.1

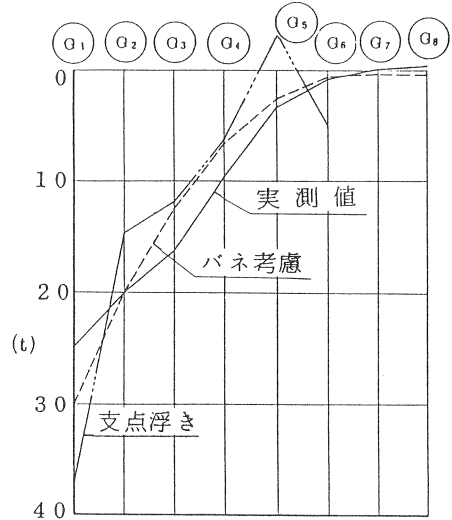
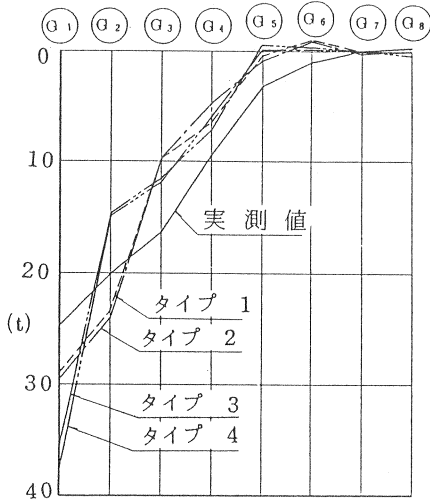
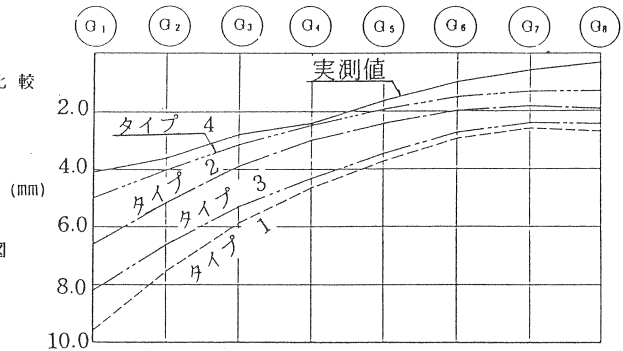


図 - 3 反力の比較図

3. 3. 4 たわみの比較

各主桁の支間中央のたわみについて比較を行った。結果を図 - 4 に示す。

図 - 4 たわみの比較図



3. 3. 5 比較結果

A. 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った。

曲げ応力度の比較結果としては、タイプ4が各断面共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。

B. 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。

C. たわみについて 図-4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、舗装を考慮した影響の方が実測値に近くなった。

3. 4 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) コンクリート舗装は、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。従って設計には考慮しなくて良い。

(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。従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、解析結果と実測値とが、良く合致していると考えられる。

4. その他の試験

4. 1 目視による調査 実橋載荷試験を行う前に、現橋の異常・変状の調査を行った。その結果は、部分的に微小なひびわれや、遊離石灰等が認められたが、載荷試験にはさしつかえないと判断した。

4. 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 $f_c = 42.6 \text{ MPa}$ ヤング係数 $E_c = 3.95 \times 10^5 \text{ MPa}$

4. 3 コンクリートの中性化試験 コア供試体および桁よりとり出した破片について、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. 4 PC鋼線の耐力試験 単桁破壊試験の桁よりとり出した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. 5 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た。しかしゴム沓としての機能は十分維持しており耐油、耐水に関しても規格値を十分満足していた。

4. 6 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. 7 単桁破壊試験

4. 7. 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本をと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後、載荷試験を行った。

4. 7. 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. 7. 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なった。

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. 7. 4 試験結果

1) コンクリートのひずみ 支間中央のコンクリート上縁および下縁の荷重-ひず

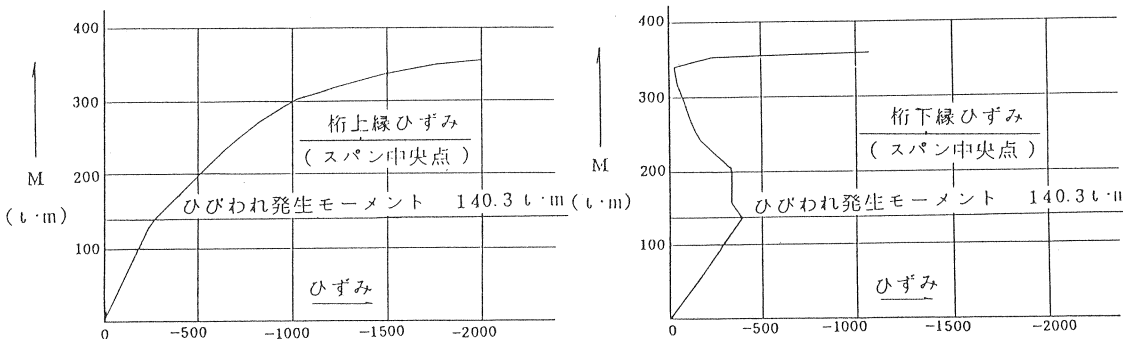


図-5 曲げモーメントとひずみの関係

み曲線を示すと図-5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-6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 3.22×10^5 %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。

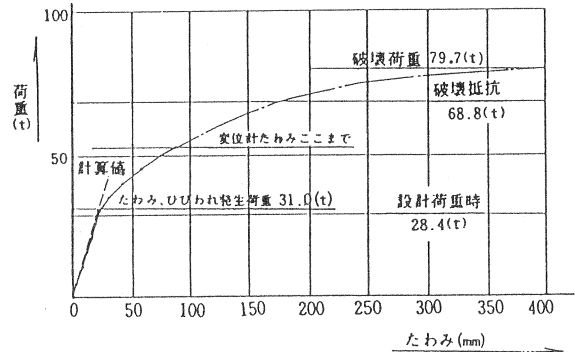


図-6 荷重-たわみ曲線

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とした時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時に、ひびわれの発生が認められた。(図-5) 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 %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 試験荷重の増加とともに、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縮孔による欠損断面位置で圧縮破壊をおこし、最終的に全体の破壊へと進行した。またPC鋼線の破断はみられなかった。

4. 7. 5 まとめ

- 1) 設計荷重に対して――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の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、更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、御協力願った建設省愛知国道工事々務所の皆様、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、ここで厚くお礼を申し上げます。