

西条大橋の応力並びに振動測定について

正員 奥村敏恵*
准員 伊藤藤学**

ON MEASUREMENT OF THE VIBRATION AND STRESS
DISTRIBUTION OF THE SAIJŌ-ŌHASHI

(JSCE Aug. 1955)

Toshie Okumura C.E. Member, Manabu Itō, C.E. Assoc. Member

Synopsis The authors measured the vibration and stress distribution—especially in the main box girder, sway bracing and diaphragms subjected to bending and torsion—of the Saijō-Ōhashi, which is the composite box girder constructed the first time in our country, and analyzed its results.

Consequently they came to the conclusion that total flange plate involving longitudinal ribs acted effectively, the ratio $E_s/E_c \approx 6$ in this case, and the vibration characteristics of this girder was good.

Moreover they developed the theoretical analysis of the girder subjected to bending and torsion.

The authors want to make this results the clue to researches of the general problems on box girder.

要旨 わが国最初の合成箱桁である西条大橋について、箱桁としての応力分布、偏載荷重による捩れの影響、対傾構及び隔板の作用及び振動性状を実測してその結果を解析した。結論として、縦リブを含めた全フランジが有効に働いていること、合成桁としては $E_s/E_c \approx 6$ となつてゐること、及び振動性が良好なることがわかり、あわせて箱桁の曲げ捩りの理論的解明をも加えることができた。著者等は、これをさらに一般的な箱桁の研究への糸口にしたいと考えている。

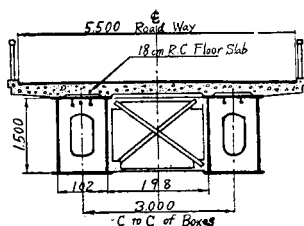
1. 緒言

西条大橋は大阪府において企画され、横河橋梁 KK が製作架橋したわが国最初の合成箱桁である。その断面は 図-1 に示すものであるが、支間は 36 m もあるため高さ支間比が 1/24 というきわめて薄いものであつて、洪水位の高いわが国河川においては特異性を示すものと考えられる。

合成は活荷重合成であるが、端部はジベルに余裕を持たせた

ため、スラブコンクリート打設中死荷重をいくぶんか合成できるような施工法をとつた。

図-1 西条大橋断面図



なお箱形断面の溶接は製作上いろいろな困難が予想されるが、つとめて対称になるようにし、回転治具を使用し、箱桁のウェブの隅肉溶接を同時に施工できるようにした。このような結果、ウェブ間隔は 1.02 m に選んだ。設計に際し二、三のあいまいな点もあつたが、全断面有効と考え、その他は現行示方書の精神に立脚した。従つていくぶん断面の増加をみたが、全体としては約 250 kg/m² というきわめて軽い構造となつた。ただ局部座屈に対して考慮を払うとともに、断面の曲げタワミまたは捩りにともなう変形の防止のため、隔壁を 10 カ所設けた。なお後記偏心載荷による捩り角は、式の形が示すように橋軸方向に一様でない。すなわち記号 z の函数になつてゐるため、二次的な z 方向の応力が発生するが、その量は比較的小さいため設計には考慮されなかつた。しかしセン断分布にはこの二次的影響を考慮せねばならない。特に鋼床版箱桁ではこの関係は重要な要素となる。このような未知な関係があつたため大阪府をわずらわし、完成後応力、特に振動応力の測定を行つた。もちろんこの特種の例について、全般的な箱桁構造の理論的研究の裏づけをすることは困難であるが、その一部の検証を得た。

2. 測定の目的及び方法

この測定の目的とするところは

- (1) 箱桁としての直応力並びにセン断応力分布
- (2) 偏載荷重による捩れに対する作用
- (3) 対傾構及び隔板の作用
- (4) 本橋の動的効果(振動性状)

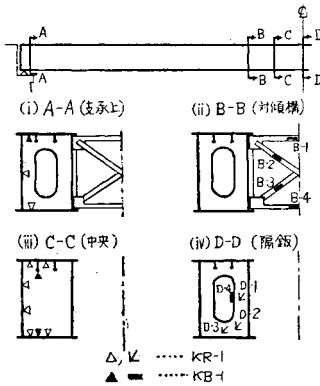
* 東京大学助教授，工学部土木工学教室

** 東京大学大学院，特別奨学生

を実測して、その結果を検討し、理論の裏づけを得て、今後さらに発展するであろう箱桁橋の研究の一助にしようとするものである。

応力の測定には抵抗線ヒズミ計を用い、荷重用の20t大型トラックを走らせて、その模様をヒズミ指示器に取りつけたオシログラフに撮った。使用した抵抗線ヒズミ計は共和無線KK製のもので、主として矩形ロゼット型ゲージを用い、一部にペークライト製の1成分ゲージを用いた。また、ヒズミ指示器は共和無線KK製(6成分)並びに新興通信KK製(12成分)の動的ヒズミ指示器各1

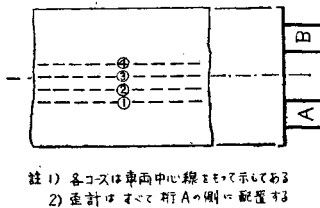
図-2 ヒズミ計配置図



台を使用した。ヒズミ計の貼布位置はさきに述べた測定目的に従って定めたが、その概略を図-2に示す。

次に荷重用自動車は偏載荷重の影響をも調べるために、図-3の4つのコースを数種の速度で走行させた。ただし種々の事情で速度はあまり大きな範囲で変えられず、時速10~30kmにとどまつた。

図-3 荷重走向コース



3. 測定の結果とその考察

(1) 主桁の応力について

a) 静的直応力の分布：今後、橋軸方向及びこれに直角方向の応力を、それぞれ σ_x, σ_y で、またセン断応力を τ_{xy} で表わす。スパン中央(C断面)における静的な最大応力 σ_x の分布は、図-4のごとくである。なお、図-4(iii)は幅員中央に載荷した場合であるが、合成桁の $n = E_s/E_c$ として、 $n=6$ 及び10としたときの理論値を点線で示してある。

図-4 について考察すれば、

1) 箱桁として、この程度の断面ではフランジの応力分布について特に変わった点は認められず、全断面が有効に働いているとしてよさそうである。ただ、一箱桁に関して偏載荷重がのつた場合、引張側フランジの応力分布が均等でなくなる傾向があるのは、振りによる

影響と思われる。

2) 合成桁として、設計には $n=10$ を用いたが、測定結果から見ると、中立軸の位置などから判断して $n=6$ くらいにとるのが適当と思われる。

3) 実測した応力は一般に計算値より2割くらい低い値を示している。これは計算に入っていない橋梁各部の働らきによるものと思われる。

4) 上部フランジに取りつけた縦方向リブは、完全に主桁の一部として働いている。

5) 偏載荷重による影響は比較的小さい。これは対傾構及び床版による両主桁への荷重分配が良好であることを示している。2箱桁が、鉄筋コンクリート版及び対傾構で結合されているとして、曲げ振りが加わつた場合の理論値を実測値と比較してみると、図-5のごとくなり、かなりよい一致を示している(この理論の説明は、本文末尾の補遺に述べてある)。

次に、 σ_y はいつれの点においても 15 kg/cm^2 以下の値しか示さないが、ウェブにおいて比較的大きく、荷重の位置によって応力の符号が異なる場合があること、並びに、その箱桁に関して偏載の度が大きいほど、応力が大きくなるのが注目される。これも振りの作用によるもので前項1)と関連がある。

図-4 箱桁 σ_x (静的応力) 分布

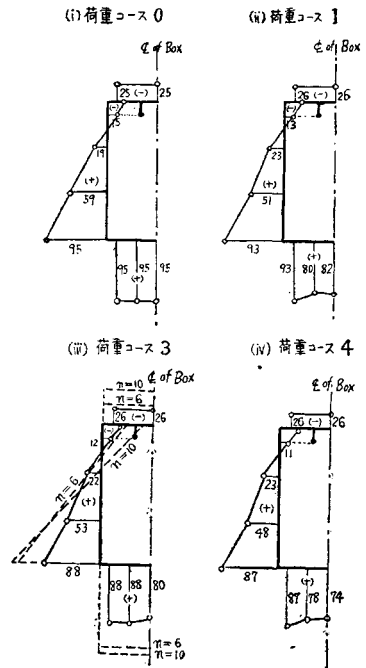
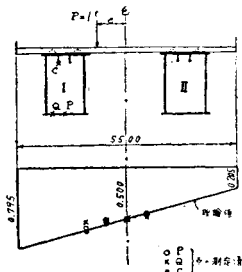


図-5 箱桁 I の e に対する曲げ応力影響線 ($e=0$ の場合を1とする)



b) 静的セン断応力の分布：ロゼット型ヒズミ計からセン断応力を知るのとはなかなか微妙なことであり、またヒズミ計に不良のものがでたりなどして、セン断応力分布は満足な結果は得られなかつた。

スパン中央に載荷せる場合のA断面及びC断面における測定値を図-6に示す。

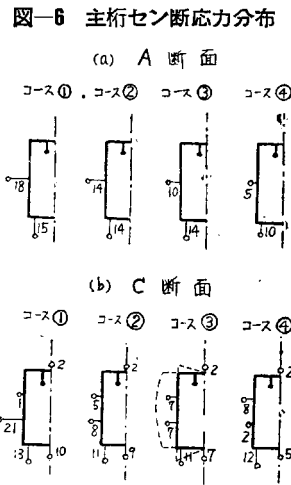


図-6 (b)における点線は、荷重が2箱桁に均等にかかり、全セン断力を鋼桁のみが受持つたとして、セン断流理論¹⁾による計算値を参考のため記したものである。

しかし実際には、振りによる作用がどうなるか—これには本文補遺で扱つた理論を用いるとか、文献

1)に解説した方法などがあるが—その検討は次の機会にゆづりたい。ここでいえることは、

1) ウェブはもちろん、フランジもセン断応力を受持つ。また 図-6 (a), (b) の応力分布状態からみて振りをも含めたセン断流理論が解析の手段となることは推定される。

2) セン断応力の値が非常に小さいのは鉄筋コンクリート版との共同作用によるものと思われる。

c) 動的効果(速度効果)：応力の最大振幅は当然平均応力最大の付近で生ずることが多い。振幅はほぼ平均応力の10%から60%に達する広範囲に及ぶが、荷重走行速度との関連性はほとんど認められない。これは荷重走行速度の変化する範囲が小さかつたこと、及び取付道路の路面不良などによるための偶発的影響が大きく作用しているためであろう。

設計上の衝撃係数は $i=0.233$ であるが、測定値では平均約 0.35 と推定され、かなり過大である。また異常に大きい振幅を示すものもあつたが、これに対する適当な説明はつけにくい。しかし応力自体は計算値よりかなり小さいし、種々の特殊事情もあるので心配はないと思われる。

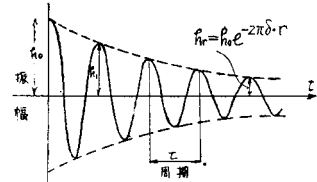
(2) 主桁のタワミについて 測定方法はあまり信頼のおけるものではなかつたが、一応荷重がスパン中央にのつたときの主桁のタワミを測つたところ、約 0.5~0.7 cm であつた。精度がよくないので荷重位置による差異は認められなかつた。しかし、 $n=6$ とし

て計算上のタワミを求めると 0.58 cm となり測定値と大体一致している。

(3) 振動減衰率 荷重除去後の振動性状よりみて、材料の内部的な摩擦に起因する弾性減衰力が支配的とみられるので、一応外的な摩擦による減衰を無視し、減衰自由振動として、その減衰係数 δ を測定した¹⁾(図-7)。

図-7 振動減衰

A及びC断面の6点における計20個の測定値から、 $\delta = 0.0164 \sim 0.0206$ (平均 0.0182) が求められた。これを検討すると、



1) 測定値 δ は比較的揃つた値を示しており、この程度のスパン、剛性を有する橋桁では、内的摩擦による減衰が支配的であることが推定される。

2) 測定点、振幅の大きさその他種々の要因による δ の差異は、この場合では認められない。

3) 既設鋼道路橋(プレートガーダー)の実測値³⁾においては、 $\delta = 0.005 \sim 0.028$ であるから、一般に減衰率の小さい溶接橋としては、この橋が非常に減衰性のよいことがわかる。

(4) 固有振動数 荷重除去後の減衰自由振動数を測定結果より読みとると、約 3.28 sec^{-1} である。このほか、倍振動数とみられる細かい振動も認められた。文献³⁾における実測値 $3.52 \sim 1.87 \text{ sec}^{-1}$ と比較して大体同じような値である。

減衰自由振動数を m_1 、固有振動数を m とすると

$$m_1 = \sqrt{m^2 - \delta^2}$$

であるが、この場合 $\delta = 0.018$ であるから、ほとんどその影響は無視できる。これは長スパンの比較的剛性の低い橋桁の特性を示している。

次に固有振動数の理論値⁴⁾を、 $n=6$ として計算すると $m=3.05 \text{ sec}^{-1}$ となり測定値に近いがやや小さい。これは慣性モーメントの算定に入っていない各部の作用に起因するものであろう。

(5) 隔飯の応力 隔飯の作用の理論的解析は今後にまつべき問題で、説明のつけられる段階ではないが、測定結果からみた特性を挙げて参考に供したい。以下、横方向の直応力を σ_x 、これに直角(すなわち鉛直)方向の応力を σ_y 、セン断応力を τ_{xy} で表わす(図-2 参照)。

1) D-4 は隔飯の孔の縁取りフランジの σ_y を示すが、荷重のコースに関係なく、大体一定の最大圧縮応力(約 10 kg/cm^2)を示す。

2) D-1 においては、 σ_x は引張応力、 σ_y は圧縮応力を示すが、いづれもきわめて小さく τ_{xy} が支配的である。 τ_{xy} は偏載荷重になるほど大きな値を示し最大 25 kg/cm^2 である。

3) D-2 においては τ_{xy} はほとんど 0 で、 σ_x 、 σ_y はともに荷重コース 1 で引張応力、偏載荷重になるに従って増大する圧縮応力を生ずる。

4) D-3 においては σ_x はほとんど 0 で、 σ_y は荷重コース 1 で 22 kg/cm^2 の圧縮応力を生じ、偏載するにつれて減少する。 τ_{xy} も荷重の位置によりその符号を異にする。

5) 一般に荷重の位置によつて隔版はその作用を異にしていることがわかつた。従つて振れに対して隔版がなんらかの働らきをしていることが推定される。

(6) 横構及び対傾構最大の応力 測定された静的最大応力は表-1のごとくである(図-2 参照)。

表-1 横構及び対傾構の最大応力 偏載荷重の影響が横構に

荷重コース	B-1	B-2	B-3	B-4	おいて比較的
1	+4	-71	+53	-6	小さく対傾構
2	+11	-17	+23	+30	において大き
3	+12	+11	-1	+35	いは当然で
4	+13	+36	-21	+27	

であろう。これらの理論的解析を文献⁶⁾に従つて行つてみると、応力の符号は測定値と同じ傾向を示すが、その値は測定値の方がはるかに小さい。これは床版コンクリートの存在によつて、対傾構はあまり変形しないためであろう。

4. 結 論

以上わが国で初めての合成箱桁橋である西条大橋の諸実測について、簡単な考察を行つたが、測定結果には信頼が置けるとしても、種々の悪条件のため十分な測定ができなかつたのは残念であつた。ここで本測定の大体の結論を挙げるならば、

(1) 箱桁としてこの程度のスパン、断面では、縦方向リブを含めて全断面が主桁として有効に作用している。

(2) 合成桁としての n の値は、応力分布、タワミ、及び固有振動数の測定結果から、 $n=6$ に取るのが妥当であることが推定される。

(3) 上下のフランジもセン断応力を受持つ。従つてウェブの負担は軽くなる。この解析にはセン断流理論を用いるのも一つの方法であらう。

(4) 曲げ振りに対する計算に著者が用いた理論が測定値とかなりよい一致を示した。また、この計算はかなり簡単なもので実用に便利と思われるが、箱桁の曲げ振りに関するくわしい研究は次の機会に発表する

ことにする。なお振り及び曲げに対する隔版の作用などについてはまだ考えるべき点が多い。

5) 桁の振動減衰性はなかなか良好であるが、衝撃値はかなり大きい。桁の振動性状に関しては説明のつけがたいことが多く、これは偶発的要因による影響が大きいためと思われる。

6) 一般に実測の応力は計算値より若干小さい。従来よりは合理的な設計計算が行われてはいるが、なお計算に入らない橋梁各部の共同作用によるものである。

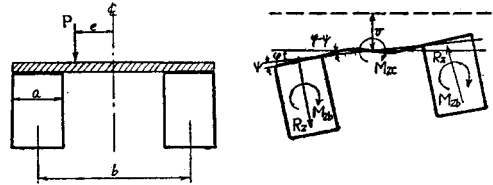
結局はこの測定によつて、本型式の箱桁橋が予期どおりのすぐれた性質を有することが確認されたが、これがさらに画期的な箱桁橋の実現への糸口となれば幸いである。

終りに、本測定に多大の御協力をいただいた、大阪府土木部道路課の方々へ厚く感謝の意を表する次第である。

補 遺

◎版で結合された2箱桁の曲げ振りの計算

図-8 偏載荷重をうけた箱桁 図-9 箱桁の曲げ振れ変形



たとえば、鉄筋コンクリート版で結合された2合成箱桁が、図-8のごとく中心より e だけ偏心した集中荷重 P を受けて、図-9のごとく変形した場合、その振りに関する釣合の式は(以下のことがらに関して文献 6) 参照)

$$R_z b + 2 M_{z b} + M_{z c} = -m_{z t} = P e \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 R_z は振りによつて各箱桁に加わるセン断力、 $m_{z t}$ は外力による振りモーメントを示す。各箱桁及び版に加わる振りモーメント $M_{z b}$ 、 $M_{z c}$ は、各箱桁及び版の振り剛性を C_b 、 C_c とすれば

$$M_{z b} = C_b \frac{d \varphi}{dz} \dots\dots\dots (2)$$

$$M_{z c} = C_c \left(\frac{d \varphi}{dz} - \frac{d \psi}{dz} \right) \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。一方、

$$\psi = -\frac{C_b(b-a)}{6 E_c J_c} \left(\frac{d^2 \varphi}{dz^2} - \frac{1}{2 C_b} \frac{d m_{z t}}{dz} \right) \dots\dots\dots (4)$$

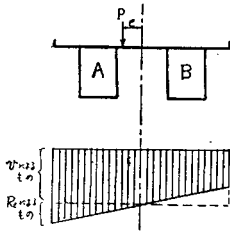
$$R_z = -\frac{E J_b}{2} \left\{ b \frac{d^3 \varphi}{dz^3} - (b-a) \frac{d^3 \psi}{dz^3} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

であるから、これを (1) 式に代入すると、 φ に関す

る5階線型常微分方程式が得られる。

ここで、 $m_{zi} = m_i = \text{const.}$ とおき、5個の独立な境

図-10 桁Aのeに対する曲げモーメント影響線



界条件を満足させれば、 ϕ 及び ψ を求めることができる。次に、図-10における主桁Aの曲げモーメントを M_z とすれば

$$M_z = -EJ_b \left(\frac{b}{2} \frac{d^2 \phi}{dz^2} - \frac{b-a}{2} \frac{d^2 \psi}{dz^2} + \frac{d^2 v}{dz^2} \right) \dots\dots\dots (6)$$

v は2箱桁が共同して働らくものと考えたときの桁のタワミである。

前に求めた ϕ 及び ψ を(6)式に代入すれば、たとえば桁Aのeに対する影響線は図-10のようにな

る。ただし本文中の図-5は、対傾構などの存在を考慮して2箱桁を結ぶ全断面が変形しないものとして計算したものである。

註) なお、ここに述べた方法は一種の近似計算であるが実用上十分な精度を有することは確かめられている。また厳密には箱断面に対しては、 C_b 及び EC_w の値も従来の理論値よりいくぶん修正されねばならないが、これらについては別の機会に説明したいと思う。

参考文献

- 1) 小西一郎：箱桁橋梁、橋梁工学の最近の動向、土木学会関西支部(昭.29.3)
- 2) 平井 敦：「鋼橋I」p. 36(技報堂)
- 3) 小西一郎・山田善一：既設鋼道路橋の振動減衰について、土木学会誌第38巻第10号(昭.28.10)
- 4) 文献2) p. 33
- 5) ブライヒ：「鋼橋の理論と計算」p. 586
- 6) 奥村敏恵：熔接組立材の挫屈に関する研究(第1報) 熔接学会誌, 21巻10号(昭.27.10)

上椎葉アーチダムの堤体内部の諸実測に関する基礎的コンクリート試験

正員 君 島 博 次*

BASIC TESTS ON CONCRETE IN CONNECTION WITH THE MEASUREMENT PROGRAM OF THE INTERIOR BEHAVIOR OF KAMISHIIBA ARCH DAM.

(JSCE Aug. 1955)

Hirotsugu Kimisima, C.E. Member

Synopsis A first high arch dam (110m) has been completed in Japan by Kyūshū Electric Power Co. Inc., and intensive measurement program, by using Carlson meters is under going, to investigate adquacy of design assumptions, to indicate conditions during its construction and to obtain instructive data for futur works.

For stresses and strains analysis, it is necessary to know the basic properties of concrete.

The author picked up a few experiments and their results in this report and introduced: (1) properties of raw materials and concrete mixture, (2) Instant and sustained modulus fo elasticity, (3) Poisson's Ratio of concrte.

要旨 上椎葉アーチダムの堤体内部の応力等の諸実測に関連して基礎的な材料力学的試験としてコンクリートの瞬間弾性係数、持続弾性係数及びポアソン比を

〔I〕 コンクリートの概略性質

(1) コンクリートの試験結果と使用材料の概略説明
セメントは日本セメントKK佐伯工場、小野田セメントKK津久見工場、宇部セメントKK宇部工場の中層熟セメントを用いた。この仕様の一部及び各ロットごとの試験結果の一例は表-1のとおりである。骨材は当地産の硬砂岩を最大骨材 150mm 以下 4種の粗骨材とロッドミルによる人工砂1種に粉砕、フィル分けて使用した。石質は非常に軟かく、未風化のもの

はショア硬度で約80前後、圧縮強度は2000 kg/cm²程度、弾性係数 0.7×10⁴ kg/cm²程度であった。

打設コンクリートは混合水の15%程度のフレークアイス混入及び1"パイプ埋設によるパイプ冷却により温度上昇を抑制している。代表的配合を表-2に、また夏季・冬季及び春季打設コンクリートの諸性質を表-3に示してある。

〔II〕 マスコンクリートの瞬間弾性係数

(1) 概説 表題のマスの意味はダムコンクリートのように大きな構造物では、ごく表層以外は実用上コンクリート含水量の変化がなく、従つてこの実測では含水量変化を防止して弾性係数を求めたものであり、特に瞬間の文字を付したのは、実在のダムでは荷重は大部分持続してかかるのでクリープを生じ、決して実用

* 九州電力上椎葉水力発電所建設所