

国鉄瀬田川橋梁橋脚の振動測定

正員 工学博士 小西一郎*
 正員 畑中元弘**
 准員 後藤尙男***

VIBRATION MEASUREMENTS OF THE SETAGAWA BRIDGE PIERS OF THE NATIONAL RAILWAY

(JSCE. March 1952)

Dr. Eng. Ichiro Konishi, C. E. Member, Motohiro Hatanaka, C. E. Member
 and Hisao Goto, C. E. Assoc. Member

Synopsis In this paper the vibration measurements of the Setagawa Bridge piers of the National Railway due to passing trains and oscillator, were described. The object of the vibration test is to clarify the durability of these piers and the tests were carried out on July 1949. Later the vibration tests were also carried out to the newly built Setagawa Bridge piers which was opened for the down train on January 1951 and for the up train on May 1951. These two results were compared with each other from which the durability of bridge pier was studied.

要旨 本文は国鉄東海道本線瀬田川橋梁橋脚の列車及び振動器による振動測定について述べたものである。旧線橋脚老朽の程度を究明しようとして昭和24年6月実施し、また昭和26年1月及び5月に下り及び上り線が開通した新線橋脚でも振動試験を実施した。これより新旧両線の結果を比較考察し、橋脚の健全性判定上の一資料を提供しようとした。

1. 緒言

瀬田川旧線橋脚の振動測定は以前から相当回数実施され、窪田氏は昭和17年1月より23年10月までの測定結果を報告している。同氏の測定以後も橋脚の老朽は進行し、特に井筒部の浸蝕による損傷の著しいものがあり、このため当時実施されていた木造仮受構による補強の強化が要求された。そこで筆者等は大阪鉄道局の依頼により昭和24年6月に振動測定を実施した。測定実施の目的及び測定時の橋梁ないし橋脚の状態は窪田氏の報告の場合とほぼ同様であるが、更に補強を施すべき橋脚及びその必要性の順序を決定するのが主要な目的であつた。

その後も旧線橋脚の老朽損傷の程度が益々進行したので、新線橋梁が昭和24年12月5日に着工、26年5月26日に完成された。この新線開通に前後して本橋梁架設時の振動性状を測定して耐震学的な考察を行うとともに、旧線橋梁と比較することによつて橋脚の健全性判定上の一資料をうるため、筆者等は3回に

わたつて振動試験を実施した。

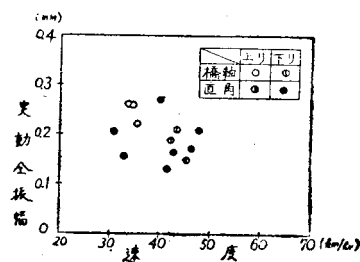
2. 旧線橋脚の振動測定実施

測定は昭和24年6月6日～17日及び24日に実施した。測定計器は煤煙紙記録式の水平振動計（自己振動周期0.5sec, 幾何倍率175倍）を使用した。第6号橋脚より第12号橋脚にいたる7橋脚について橋軸方向及びこれに直角方向の振動をそれぞれ上り及び下りの営業列車に対して測定し、特に第12号橋脚については補強仮受構の効果の程度を知るためにバックリングを弛めた場合についても測定した。振動計は橋脚躯体函形ラーメンの下部床版上に設置した²⁾。

3. 旧線測定結果とその考察

(1) 振動振幅 列車速度と最大全振幅との関係の1例は図-1, 2に示す。この最大全振幅は旅客列車では機関車が当該橋脚の直上にある場合、貨物列車では機関車又は貨車が直上にある場合に起つている。図には1列車通過による全記録のうちの最大値を記入した。測定時には30～50km/hrに速度制限されこの範

図-1 第8号橋脚, 速度と振幅との関係
 Fig.1 Pier No.8, Relation between Velocity and Amplitude

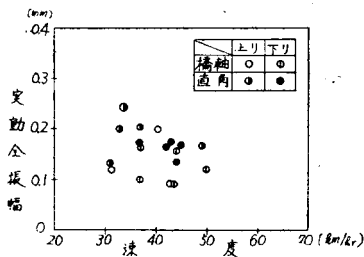


* 京都大学教授, 工学部土木工学教室

** 同 助教授, 防災研究所

*** 同 講師, 工学部土木工学教室

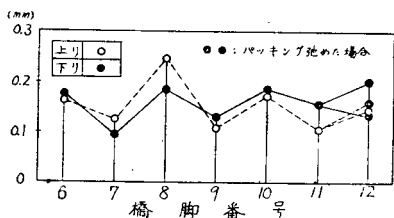
図-2 第9号橋脚, 速度と振巾との関係
Fig.2 Pier No.9, Relation between Velocity and Amplitude



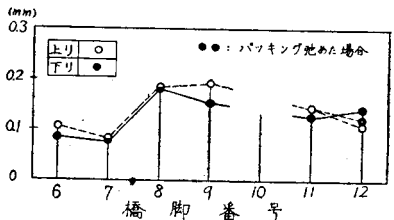
註: 第9号橋脚のみ振動計設置点井筒上とする
 図内では列車の型式, 方向及び速度と最大全振巾との間にははつきりした関係がない。

いま橋脚の老朽損傷の程度を比較する1つの目安として, 各橋脚について測定した最大全振巾の平均値を示すと図-3のようになる。図(a)では第6, 8, 10号橋脚の振巾が相当大である。上り下り列車による振巾の相異は概略的に上り線側と下り線側の井筒躯体の剛性の異なるためと考えると, 第8号橋脚は上り線側, 第11号橋脚は上り線側の井筒の剛性が低下している

図-3 実動全振巾平均値
Fig.3 Mean Values of double Amplitude
(a) 橋軸方向 Parallel to Bridge Axis



(b) 橋軸直角方向 Perpendicular to Bridge Axis



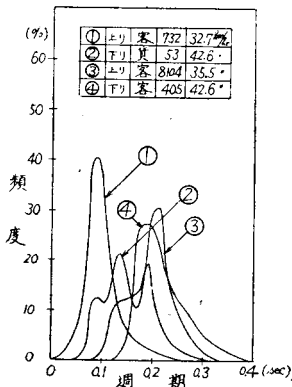
ということになる。このことは昭和15年4月大阪鉄道局工務部で水中調査した結果とほぼ一致している。次に図-3(b)でも列車の進行方向によりやや差異があるがこれは主として上下両線の井筒相互間の連結状態の良否, すなわち井筒上のラーメンの剛性の差異に基づくものと考えられる。第8号橋脚では実際に函形ラーメンに損傷が認められないので, 図-3(a)(b)より上下線井筒特に上り線側井筒の損傷が著るしいというこ

になる。

(2) 振動週期 列車が走行する場合の橋脚の振動に

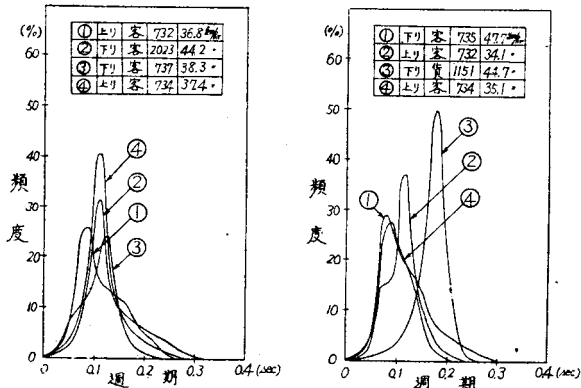
は種々の週期の波が入ってくるが, その週期一頻度曲線は該橋脚の健全性を判定する1つの目安となる。そこで測定した各橋脚について週期一頻度曲線をかくと, 窪田氏の場合と同様損傷の甚しい橋脚ほど週期が延び, また卓越週期の範囲も大きくなる傾向にある。図-4に第8号橋脚の結果を示すが, これからもこの橋脚の損傷していることが推察される。

図-4 第8号橋脚, 週期一頻度曲線
Fig.4 Pier No.8, Period-frequency curves



(3) 仮受構の補強効果 補強効果を調べるため第12号橋脚で仮受構と橋桁間のバックングを弛めない場合, 弛めた場合の測定を行い, 週期一頻度曲線をかくと図-5(a),(b)のようになる。図-5よりバックング

図-5 第12号橋脚, 週期一頻度曲線
Fig.5 Pier No.12, Period-frequency curves
(a) バックングを弛めない場合 With Staging
(b) バックングを弛めた場合 Without Staging



とを弛めると卓越週期の分布範囲が大となりかつ振巾が若干増大している。この事実から仮受構は有効に補強の働きをしていることがわかる。また第10号橋脚は補強の仮受構があるにもかかわらず, 振巾が大きく週期の点からも悪化が進んでいるようである。

4. 新線橋梁橋脚の振巾試験

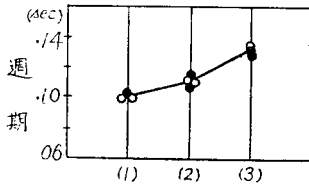
(1) 第1次試験 橋脚及び橋合のみが完成した昭和25年12月16~19日及び27日に第3, 9号橋脚

及び右岸橋合の自由振動週期を振動器の加振による共振曲線から求めた。

(2) 第2次試験 下り線開通時(昭.26.1.31)下り線橋桁のみ架設の状態で1月29日~2月1日の間に第1次と同様の試験を実施した。また下り線列車による橋脚、橋合の振動をも測定した。

(3) 第3次試験 昭和26年5月26日上り線も開通して新線橋梁は完成したので6月26~30日及び7月6,7両日実施した。特に第9号橋脚においては振動器で上下、橋軸水平及びこれに直角水平の3方向に加振して3成分の記録をC型振子(加速度計)3個で記録した。このとき9号の橋脚頂部と井筒頂部,9号橋脚頂部と橋桁,9,10号両橋脚頂部の同時記録を

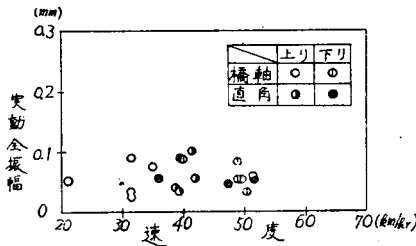
図-6 新線第9号橋脚自由振動週期測定値
Fig.6 Measured Values the free Vibration Period of the Newly Built Pier No.9



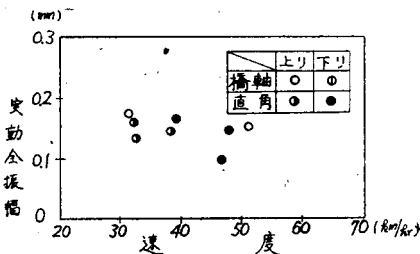
註●振動器一定回転速度 ○最高速度からスイッチ切る
(1): 1次 $W=0$ (2): 2次 $W=28.37\text{ton}$
(3): 3次 $W=56.74\text{ton}$

図-7 新線第9号橋脚, 速度と振中との関係
Fig.7 Newly Built Pier No.9, Relation between Velocity and Amplitude

(a) 計測点: 井筒頂部
Measured Values at the Top of Well



(b) 計測点: 橋脚頂部
Measured Values at the Top of Pier



とり, また上下線列車による橋脚及び橋桁の振動をも測定した³⁾。

(4) 試験結果 振動器の加振によつて共振曲線から求めた第9号橋脚の橋軸方向自由振動週期は図-6に示し, 第3次試験時における第9号橋脚の列車による最大振巾は図-7に示す。

5. 新旧両線試験結果の考察とその比較

(1) 旧線橋梁 旧線橋脚の測定結果は窪田氏とは測定計器が異なるので, 測定値をそのまま比較することはできない点もあるが, 一般的な橋脚の振動性状の傾向は同氏と同様な結果となつた。筆者等の測定で窪田氏以後注目されるのは次の諸点である。

1) 第6, 7, 8, 9号橋脚の浸蝕損傷が漸次進行し, 特に第6号橋脚の悪化が目立つことは既に報告されたが, この測定では特に第8号橋脚の損傷が著るしい。

2) 補強仮受構を有する第10号橋脚もかなり悪化し, 前述のように仮受構の効果は十分あるので, 橋脚自体の損傷が進んでいるものと思われる。

3) 補強仮受構を施していない橋脚の損傷悪化の程度は以上の各結果より, 第8号橋脚が最大で第9, 6, 7号橋脚の順に小さく, 従つて補強すべき橋脚の緊急順序は第8, 9, 6, 7号橋脚ということが結論される。

(2) 新線橋梁 図-6の測定値を理論的に考察する。第9号橋脚に載荷する橋桁重量を W とすると,

図-8 新線第9号橋脚自由振動週期計算値
Fig.8 Computed Values of the free Vibration Period of the Newly Built Pier No.9

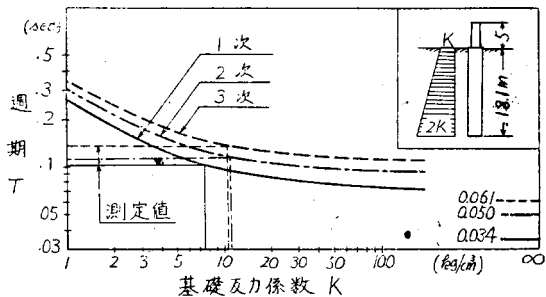


図-6註にみる通り1次無載荷 $W=0$, 2次下り線橋桁載荷 $W=28.37\text{ton}$, 3次上下線橋桁載荷 $W=56.74\text{ton}$ となる。そこで図-8 右上の橋脚で地表面固定として週期を計算すると, 1, 2, 3次に応じて, 同図右下に示すように 0.034, 0.050, 0.061sec となり図-6の測定値の $1/2 \sim 1/3$ に過ぎない。これは既に筆者等が提案してきた基礎地盤の弾性を考慮することによつて説明される⁴⁾。また図-8 右上のような基礎反

力係数 K の分布を考慮した場合の橋脚の自由振動週期は次式で与えられる⁵⁾。

$$T = 2\pi \alpha \times$$

$$\left(\frac{w_1 a_1 \int_0^d \eta_1^2 dx_1 + w_2 a_2 \int_0^h \eta_2^2 dx_2 + \frac{W}{2g} (\eta_2^2)_{x_2=h}}{\frac{E_1 I_1}{2} \int_0^d \left(\frac{d^2 \eta_1}{dx_1^2} \right)^2 dx_1 + \frac{b K_A a^2}{6} \varphi^2_A + \frac{E_2 I_2}{2} \int_0^d \left(\frac{d^2 \eta_2}{dx_2^2} \right)^2 dx_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

この理論式を用いて計算した反力係数 K と週期 T との関係は図-8 に示す。この図より第1次振動試験の実測値 0.102sec に対する K の値は 7.5kg/cm³ である。第2, 3次の実測値が $K=7.5$ kg/cm³ に対する計算値より若干小となっているのは橋桁架設による影響である。また第3次試験で井筒頂部の振巾は橋脚頂部の50%程度と測定され、同様なことは列車による振動でも確かめられた(図-7)。これらのことより橋脚の振動性状には基礎地盤の影響を考慮すべきこと、及び橋桁を取り入れた橋梁全体を考慮しなければならないということが出来る。

(3) 新旧両線の比較 新旧両線の橋梁橋脚は構造が異なるので一概に比較できないが、同じ測定器による図-1, 2 と図-7 の結果とを比較する。

- 1) 図-2 と図-7(a) とは計測点が一致している。これより旧線は新線の約2倍の振巾を示し、かつ旧線は新線に比べて振巾の分布範囲が大となっている。
- 2) 図-1 は函形ラーメン上の記録であるが、振巾は図-2 より大きく振巾分布も更に広範となつている。
- 3) 図-7 (b) の新線橋脚頂部の振巾は旧線図-1, 2 のラーメン上又は井筒上の振巾よりなお僅か小である。
- 4) 旧線8, 9号以外の6, 7, 10, 11, 12の各橋脚の振巾もいずれも新線9号より大となっている。
- 5) 旧線では振動器により試験は実施できなかった。しかし列車のみの記録からすると、旧線の方が自由振動週期が相当大となっているようである。

新旧両線を比較するには更に他の事項からも検討されねばならないが、上記の各事項特に1) 2) 5) はいずれも旧線橋脚の老朽を立証すると同時に新線橋脚の

健全であることを裏付けているものと思われる。

振動測定によつて橋脚の健全性を判定するには各種の計器で各種の実験を行い、あらゆる観点から記録を解析して総合的に考究されねばならない。最近この方面の研究も次第に行われている⁷⁾。筆者等も最近数個の橋梁橋脚の振動試験を行い⁸⁾、橋脚の健全性の判定、耐震橋脚の合理的な設計等の研究を行つているが、本文はこれらの成果の一部である。

終りに臨み旧線実験に際して種々有益な御助言を頂いた京大教授村山博士、万般の御準備と便宜を与えられた当時の大阪鉄道管理局保線課長兼次長河原清一郎、大阪鉄道管理局草津保線区長田中正彦、並びに新線実験に終始御協力を頂いた大阪鉄道管理局京都工事区長別所多喜次の諸氏に深謝の意を表する次第である。

参考文献その他

- 1) 窪田吾郎, 東海道線瀬田川橋梁橋脚の列車振動調査, 土木学会誌36-3, 昭.26.2 pp22~26.
- 2) この設置点は窪田氏の場合と同一点である。なお旧線では井筒, 橋脚が上下線別個に設けられているので、井筒頂部及び橋脚頂部において床版で連結されて函形ラーメンを形成している。
- 3) これらの結果は第4回関西工学連合講演会, 昭26.10.13 で発表した。
- 4) 小西一郎, 後藤尙男, 橋梁橋脚の震害に関する動力学的考察, 土木学会論文集第6号, 昭.26.8 p.58~70.
- 5) 小西一郎, 後藤尙男, 橋脚の振動性状について第1回応用力学連合講演会で講演, 昭.26.11.4 Proceedings of the 1st National Congress of Theoretical and Applied Mechanics in Japan, 1952 投稿原稿式(9).
- 6) 式中分子第1, 2, 3項は橋脚の地中根入部, 地上部, 載荷重による各運動のエネルギーより, 分母第1, 2, 3項は根入部, 橋脚底面反力, 地上部の各位置のエネルギーより計算される値である。
- 7) たとえば鈴木武夫, 振動による橋脚の健全性の判定法, 第6回土木学会年次学術講演会, 昭.25.5.28.
- 8) 九頭龍川九頭龍橋, 昭.25.5, 昭.25.10, 昭.26.9 九頭龍川中角橋, 昭.25.10, 昭.26.9, 宇治川観月橋, 昭.26.11 及び淀川枚放橋, 昭.26.12. (昭.26.9.19)