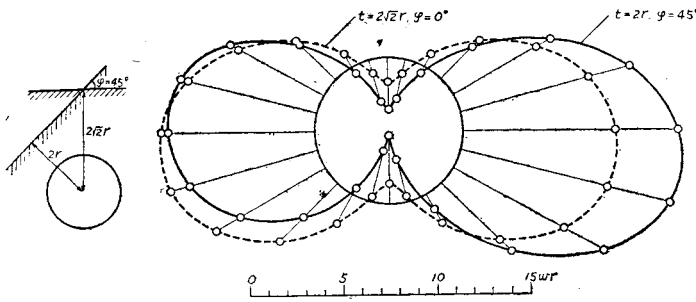


図-4 数値計算例 (B) Example (B)



## 5. 結語

図-3, 4 からして次のようなことがいえるであろう。

(1) トンネルの頂部及び底部における引張応力は地表面が傾斜している時には著しく増大する。

(2) 地表面が傾斜しているとトンネルの山側の側壁における圧縮応力が増大し、谷側下方の側壁の圧縮応力は減少する。そしてそれらの程度は土被りの小さい程著しい。

最後にこの研究に対して文部省自然科学研究費の補助を受けたことを記して感謝の意を表したい。

(昭.25.10.6)

## 東海道線瀬田川橋梁橋脚の列車振動調査

正員 窪田 吾郎\*

### REPORT OF INSPECTION ABOUT VIBRATION ON THE PIERS OF THE SETAGAWA-BRIDGE

(JSCE Feb. 1951)

Goro Kubota, C. E. Member

**Synopsis** This bridge has been built about fifty years ago and consists of nineteen steel plate girders, and total length is 440.23m. By reason of the injury of the piers, the vibration by train was inspected several times from Jan'42 to Oct.'48. This report is the explanation of this inspection.

#### 1. 緒論

本橋梁は明治 22 年 7 月に現在の下り線が開通し、同 33 年 6 月これに並行して上り線が増設されたもので、支間 23.17m の上鋼鋼桁 19 連よりなり総延長 440.23m である。

架設当時の下部構造は、上下両線とも石積み橋脚軀体をそれぞれ 1 本づみの煉瓦造り井筒の上に載せたものであったが、後になってこの石積み橋脚に変状を来したため、コンクリート構造に改め鉄筋コンクリートスラブで上下線橋脚を桁座と井筒上端附近との 2ヶ所で連結したもので、線路に並行の方向から見ると中空の枠型橋脚になっている。

井筒に関しても余程以前から問題にされていたが、その後調査の進むに従って、かなりの異状を認めたので、大正15年に各井筒の状態に応じ、それぞれ上端から深さ 1.8m ~ 7.92m の間に古軌条を主体とした鉄筋コンクリートの包囲工を施したが、昭和 10 年頃になりこの増強部分にも水際から水中部分にまで、かなり

の浸蝕が認められ、一見コンクリートの凝固力さえ疑わしくなってきた。

因つて大鉄当局では浸蝕が特に甚だしい数本の橋脚の周囲に河底に於て捨土工を施した。更にその中の二、三の橋脚を挟んで両側に木造仮受構を構築して、桁より列車荷重の一部をこれに分担せしめ橋脚の負担を軽減し、異状部分の進展を防止しようとした。併しその後数年でこれ等橋脚の中には増強部の脚がスコアされ(因みに河底の土質は大体沈泥質砂土と礫混り砂土との互層でその間にところどころ粘土層が挟まれているが、大約深さ 20m 附近からは再び礫混り砂土になっている)煉瓦積み井筒の軀体が露出したヶ所さえ生じ、この部分にも相当大きな龜裂が見られた。それ故現在では保守に周到な注意を払いながら当分の間列車に対して一定の制限速度以下の運転を実施し運行上の安全を図っている状態である。

この報告は瀬田川橋梁が以上述べたような状態にあるので、保守上及び改良工事(現在新規架換え工事中)等に関し一層精確な資料を得る目的で、大鉄当局の依

\* 早稲田大学講師, 理工学部土木教室

類により筆者は昭和 17 年 1 月以降同 23 年 10 月まで数年間第 4 号から第 15 号までの各橋脚につき列車荷重による振動状態を調査したがその結果知り得た中から次の事項に関する極めて概略を述べたものである。

- (1) 列車速度が橋脚の振動振幅に及ぼす影響
- (2) 振動週期と橋脚の健全との関係
- (3) 不健全橋脚に施した木造仮受溝の効果の程度
- (4) 測定記録に現われた第10号橋脚の共鳴類似現象

2. 測定に使用した機器

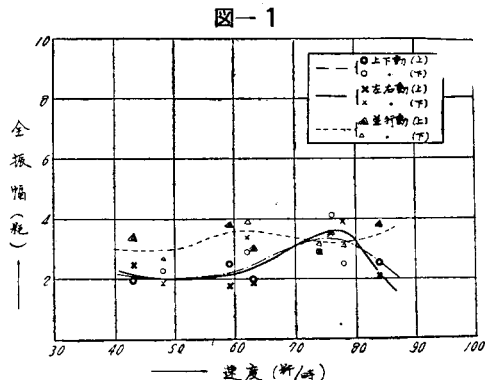
150 倍三成分振動計(固有週期 0.08 秒) … 3 台, 別に列車速度はストップウォッチを使つて橋梁上を通過する平均速度を測つた。

3. 測定した橋脚と列車

全橋脚の中種々の点から測定の必要がないと推定されるもの 6 本を除いた残り, 即ち第 4 号から第 15 号に至る 12 橋脚の下床版上に於て上下線の略中間(床版の中央に施工継目があるのでこれを避けたので稍下り線寄り)に測定機を据付けて調査を行つた。測定列車の種類は調査の目的及び測定作業上の便宜等を考へて上下線の中から 9 本の列車を選び出して決めた。

4. 測定結果

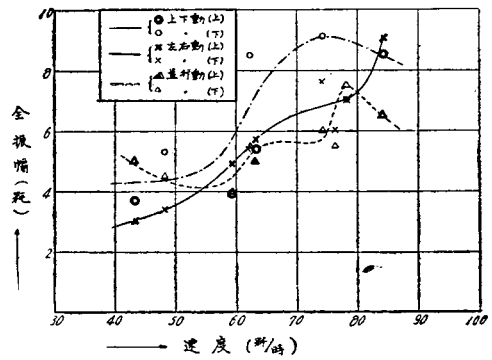
(1) 列車速度が橋脚の振動振幅に及ぼす影響 数回の測定記録から得た列車速度と全振幅(測定記録を読んだ儘の最大全振幅)との関係は図-1 及び図-2(紙面の都合上第 2 回目に行つた測定の内第 6, 第 10 号



の 2 橋脚の分だけ掲げた) に示した通りで, この曲線を見ると第 6 号橋脚の如く健全な橋脚の 3 方向振動(並行動, 左右動及び上下動)に関する 3 曲線の振幅は列車速度の増加に伴つて略並行して増しているが, その増大率は低い。これに比して第 10 号等の不健全橋脚の場合はこの 3 曲線が稍錯綜し, 列車速度の増加による増大率が高くなつてゐる。

因みに第 2 回の測定から 7 年 6 ヶ月を経た終戦後に行つた測定によれば第 6 号橋脚等の如く今まで健全と

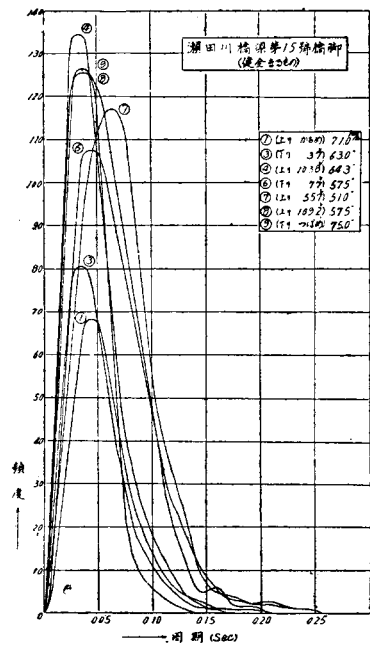
図-2



されていたもの数本の振幅が, 相当増大を示して来たことが判つたが, この事実は保守上注目に値する問題であると思う。

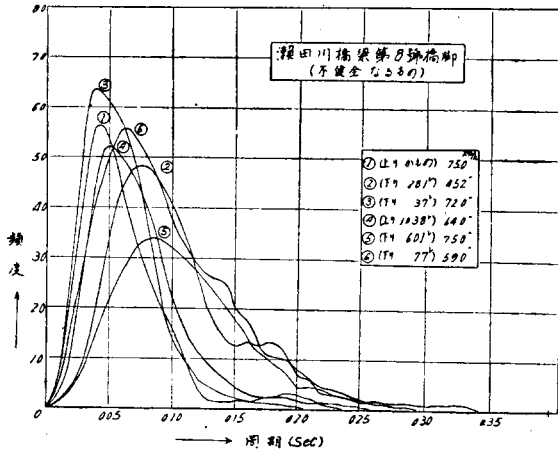
(2) 振動週期と橋脚の健全との関係 橋脚の振動型式が一般構造物と同様に健全度の変化により異つてくることは振幅について述べた通りであるが, この変化は振動週期に於てより著しい。即ち構造物に異状ヶ所等が発生した場合週期は初めに比して不規則になつてくる。それ故振動記録から波動の数とその週期とを一

図-13



一計算して, 週期とその週期を有する波数との頻度曲線を描けば, 形状によつて振幅とともに橋脚の健全を判定する一つの目安になる(図-3~図-6)これ等の図を見ると健全橋脚ではその分布範囲が小さく, 不健全橋脚ではそれが大きくなつてゐる。換言すれば健全

図-4



橋脚の曲線は最大値のところでき著しく高くなり、その左右は急に減じて一見急な山になり、不健全橋脚ではこれに比較して稍緩慢な山形を呈する。

この頻度曲線から卓越週期を読むと（並行，左右両動について言えば）健全橋脚で 0.03~0.045 秒であるが，第 13 号の如き不健全橋脚の仮受構を全く緩めて後に測定すると，同じく 0.03~0.07 秒まで延びて来る。（図-6 参照）

以上の事実から健全橋脚は列車の重量及び速度にあまり関係なく一定範囲内の週期で振動しているが，不健全橋脚の振動には相当広範囲に分布する週期が混在していることが判る。

(3) 木造仮受構の効果の程度 第 13 号橋脚の仮受構のパッキングを緩めてこれを働かせなくしたとき，週期範囲が大分延びて来る事を前に述べたが更にこの事実を確めるため第 10 号橋脚の天端(桁座)と下部床版上の 2ヶ所に於て測定を行つた。この記録から上り 102 及び下り 143 列車に対する固有週期を計算すれば表-1 の如くなり，対比に便利のため 102 列車に対する分を振動曲線で示すと図-7 の如くである。

図-5

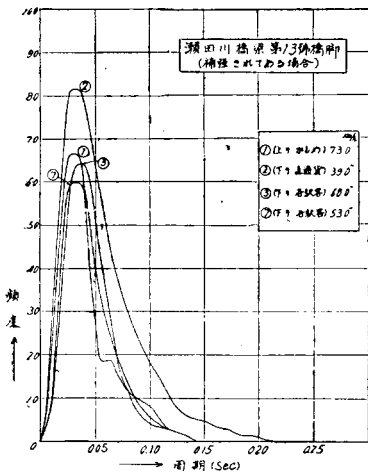


図-6

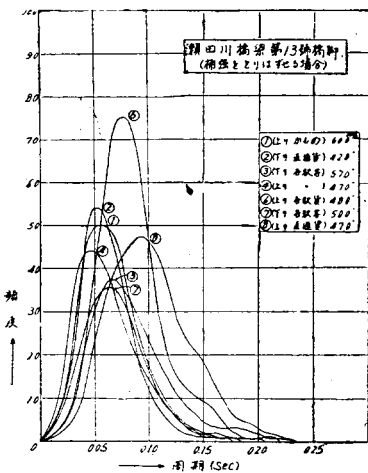
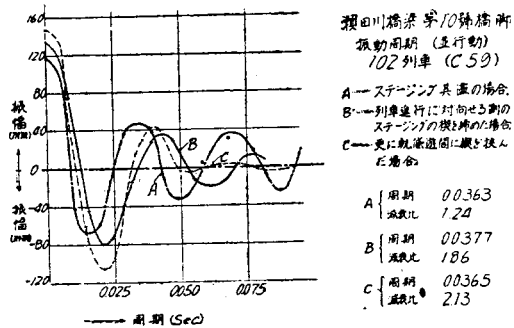


表-1

列車	機関車番	震動成分	周期(秒)	減衰比	備考
上り 102	C 5965	並行	0.0365	1.22	従業の儘の状態
"	C 5959	"	0.0363	1.24	
下り 143	C 5359	"	0.0365	1.26	
上り 102	C 5960	"	0.0377	1.86	石山側仮受構の木楔をよく締めた時
"	"	"	0.0376	1.83	両側仮受構の木楔をよく締めた時
"	C 5951	"	0.0365	2.13	更に軌条と枕木との間に木楔を挟んだ時
下り 143	C 5925	左右	0.0334	1.08	共振現象の認められる波動による(測点……下部)
上り 102	C 5952	"	0.0331	1.07	同上 (測点……天端)
"	C 5951	上下	0.0214	1.12	軌条と枕木との間に木楔を挟んだ時

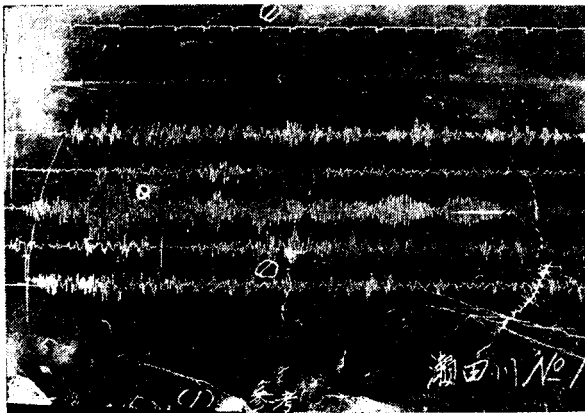
図-7



表一1により明かである如く、不健全橋脚の仮受構を充分働かせた場合は一応健全橋脚に近い強さになると考えてよい。即ち仮受構が分担しただけ橋脚の負荷を軽減するため、それだけ橋脚の安定を高めたことになり、振動状態も余程良くなっている。

(4) 第10号橋脚の共鳴現象 第3回目測定の際に偶然第10号橋脚の振動記録の中に列車により写真一1の3に見るような波形を現わす事を発見した。この形を見ると明かに共鳴類似の現象によると思われるのでまづこの橋脚の左右動に対する固有周期を出して見ると、約0.033秒内外であるが、減衰比はかなり小さく1.07~1.08である(表一1参照。)併しこの現象は本橋脚が急に悪化したのではなく、その附近のどこかに0.033秒に近い周期を生ぜしめる箇所があるものゝ如

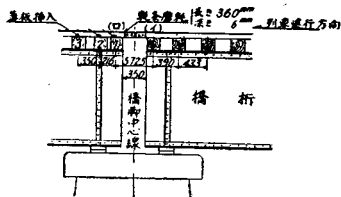
写真一1



く考えられるので、橋脚の附近を詳しく調べたところ橋脚が負担している前後2本の橋桁間隔は上下両線とも35.0cmで、この間隔の両側に配置されてある枕木の中心間隔は上り線で55.2cm、下り線で57.3cmになつていた。

また軌条継目の位置は偶然にも第10号橋脚の中心即ち前記2本の橋桁の端に配置された枕木間の中央にあつて、この軌条継目の一端(列車の進行に対向する側の端)の上下両線に略同じ程度の磨耗箇所を発見した(図一8中の(ロ))。これ等の事実から考えると車輪

図一8



がのつた瞬間列車進行側の軌条端が下に曲げられる為当然進行に対向した側の軌条端を叩くことになる。

このような作用を繰返しているうちに磨耗部分がだんだん進展し、

ついに図一8中の(ロ)に示した部分にまで及んだもので第3回目の測定当時に於ては車輪が同図中の(イ)から(ロ)に飛び越えるような状態で走つていた事が想像される。

試みに本橋脚の左右動周期から振動数を出して見ると毎秒約30回になる。この時の列車速度は概ね16.7~17.24m/sec, (60~62km/h)であり、毎秒30回の振動を発生せしめるため車輪が叩く間隔は $16.7/30 = 0.557m$ 又は $17.24/30 = 0.575m$ となり、前記(イ)から(ロ)に移る際この2点に打撃を与えていたと見る考え方が理窟に合うように思う。

5. 第10号橋脚の共鳴現象防止のためとつた緊急対策

以上の如く共鳴の原因と肯定出来るヶ所を発見したのでその対策として、軌条を長さ25mにとり換え、橋脚直上の継目を除いた上に附近の枕木と桁の

図一9

第10号橋脚左右動(記象比較)

第3回測定

下り-143列車(C59.25)速度61km/h



第5回測定

下り-135列車(C59.29)速度59km/h



上突縁間には緊密なパッキングを挿入する等の保守作業を行つた後で、第5回目の測定を実施して振動状態の変化について調査した。併し第3回目の測定当時に比較すると一般に列車速度が低下していたこと、列車編成が余程違つていたこと等、稍不満足な点もあつたが兎に角略同程度の列車に対する振動波形がかなり良好になつている事が確認された(図一9)。

16. 結論

(1) 本橋梁橋脚の振巾と列車速度との関係は、個別的にはそれぞれ異つているが、これを全般的に見れば列車速度が60km/h以上になると急に振巾が増大する傾向を示している。

(2) 周期については橋脚の健全度によつて分布範囲にかなり大小の相違が認められるが、不健全橋脚も適当な仮受構等により補強すれば、一応健全橋脚に近い状態の周期となし得る。併し木造仮受構等の場合効果は永続性に乏しい。

(3) 橋脚上の軌条継目は出来得る限りさけ、少くとも橋脚の中心から2.3m以上離して、車輪から来る衝

撃は一応桁に吸収させる。なほ桁端等の枕木を桁の上突縁に密着させ、この部分に於て衝撃の原因を除くことに留意すべきである。

(4)第7回目測定に於て第6, 第7, 第8, 第9号等の橋脚の振動状態が著しく不規則な形になつて来たことが認められ、就中第6号橋脚の井筒悪化が従来不健全とされている橋脚と殆んど同程度まで進んで来て

いるかの如く推定される。今後このような状態がそのまま進行するとは考えられないが、将来の列車のスピード・アップ或いは地震等の場合に備えて、出来得れば根本的に対策を講じて置く必要があると思う。

以上の調査に当つては東大教授沼田政矩先生、同那須信治博士の御指導を賜つたことを深謝する。

(昭.25.10.3)

## 河床被覆石の大きさと流積及び流量等

正員 工学博士 楠 宗 道\*

### DETERMINATION OF SUITABLE SECTION OF A TORRENTIAL RIVER BY THE DIMENSION OF GRAVEL COVERING THE RIVER BED

(JSCF Feb. 1951)

Dr. Eng. Munemichi Kusunoki, C.E. Member

**Synopsis** This report proposes a method which determines the suitable section of a torrential river using Krey's formula of tractive force.

河川の水源地方から砂礫の流送が相当量ある場合には高水毎に流送するからその被覆石の大きさは掃流力に比例して河床を移動する事は一般に知られて居る事実であつて数多の実験式が提示されて居る。就中 Krey (独 1926) の式は簡単に

$$HI=0.125d \text{ (m 単位)}$$

である。式中  $H$ : 高水深,  $I$ : 高水勾配,  $d$ : 高水の為移動を始めようとする石礫の径であつて、沈定せんとする時よりも大なる流速に作用された事は明瞭である。

本式の適用に際し河床に累積又は散在せる石礫中から、いづれを選択採用すべきかは篩別けして平均径を定めるべきであるが、本実験では簡易方法として最大と思われる石礫は、特殊の事情で流下したのものとして除外して、選択した横断面に割合に多く存在する石礫の数個をとつて、これの長、幅、厚を測つて夫々の平均をとるか、又は平均の大サと思われる1個の代表石の大きさを測る。この場合水理学的の主観を入れる事なく虚心坦懐に採取した方がよい。そしてその石礫は幾何学的の形態のものではなく、且つ長手の方向に移動する事はまずないから中央断面の幅、厚を夫々  $a$ ,  $b$  とすれば  $(a+b) \div 2$  か或いは  $\sqrt{ab}$  のいづれかを上式の  $d$  とすべきであるが本計算では前者をとる。

実験用の河川は岐阜県の藪川(揖斐川左支流)で同川

は享祿 3. 6. 3 (今から 434 年前) の大洪水に二、三の部落を押し流した根尾川の一分派で新たに流路を形成して揖斐川に合流した流路長約 3 里、他方糸貫川は長良川に合流していたが、大正年間に藪川の改修にて廃川として藪川に合流せしめた。根尾川の水源地域は明治 23. 10 の濃尾の大地震の震源地であつて本川に沿つて大断層が既存している。このように基盤が荒廃している為砂礫の流送が甚だしく、戦前から国及び県に於て砂防工及び藪川の改修を施工し、略々完成の域に達せんとした際、戦争の為工事を打切つたが、爾來流下砂礫の為河床が上昇し、伏流水が多くなり他方伏越工及び床固工による射流によつて局部的に洗掘せられ、根固沈床の宙に露出したものを見受けるようになった。戦後災害復旧等の為いくらかの工事を施されるようになり工事主任の勝山、熊坂両建設技官の調査を基として縦断勾配変り、この断面に就て Krey 式から

$$HI/d=k$$

として先ず  $k$  の値を算出し同式の  $k$  の値の 0.125 との差異と河床との関係を考察して表-1 を得た。

表-1 中勾配  $I$  は勾配変りの区間の勾配であるが、その勾配によつて被覆石の流送を来たしたのであるから各区間の夫々下流区間にその勾配を使用した。又 15 里 4 丁から上流の勾配の測定値が無かつたから 14 里 34 丁を基として石礫の重量と勾配の関係式

$$W/W_0=(I/I_0)^2$$

から算定した。

\* 日本大学教授, 工学部土木工学教室