

大石橋実測報告（プレストレス3径間連続合成桁）

岩 橋 武 彦*
倉 西 茂**
鈴 木 春 見***

要 旨 3径間連続桁の中央径間下突縁に平行に設けた鋼棒に張力を与えて鋼桁にプレストレスを導入する方法をとった大石橋について、そのプレストレス導入時の応力測定結果と竣工後の載荷実験の結果を述べたものである。

1. まえがき

大石橋は湯田ダム建設工事にともない水没する二級国道大船渡本荘線一部代替工事に関連し岩手県和賀郡湯田村地内大石沢の旧大石橋の上流に架設された3径間(14.00 m+36.00 m+14.00 m)の連続合成プレートガーダー橋である。その鋼桁には図-1に示したように中央径間の下突縁に沿って鋼棒が平行に設けられており、その鋼棒を引張り中間支点付近で桁に定着することにより側径間には正の曲げモーメント、中央径間の鋼棒定着間には負の曲げモーメントと圧縮力があらかじめ加えら

れている。活荷重合成されている区間は中央径間中央の21.00 mの間である。合成区間と非合成区間との境界には盲目地が入れられてあり、中間支点上では目地を設けて完全に床版と鋼桁の合成作用をとどめている。プレストレス導入用の鋼棒はφ24 mmの高張力鋼棒である。図-2に示したように1主桁当り6本ずつ、計12本が用いられている。鋼棒1本の長さは5.50 mと3.033 mでカップラーにより継ぎ5.5 m×5+3.033 m×2=33.566 mの長さを得ている。その破断強度8500 kg/cm²に対し4500 kg/cm²の応力が導入されている。結局プレストレスされた曲げモーメント図は図-3に示したようになっている。完成後の作用曲げモーメントと抵抗曲げモーメントとの関係は図-3に示したとおりである。

実験は鋼桁部架設後のプレストレス導入時の応力測定と竣工後の載荷実験と二度にわたって行なった。最初のプレストレスを加えたときの鋼桁応力の実測は上流側主桁の6断面と鋼棒定着部および鋼棒について行なった。完成後の載荷実験は4t積トラックにセメントを積み全

写真-1

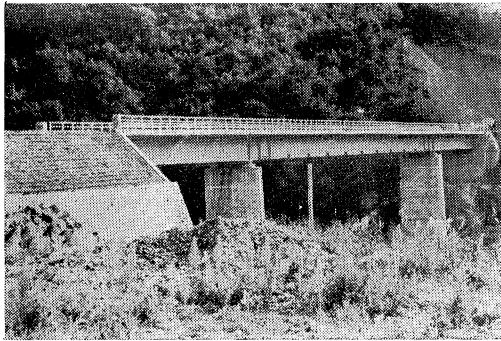


図-1 一般図

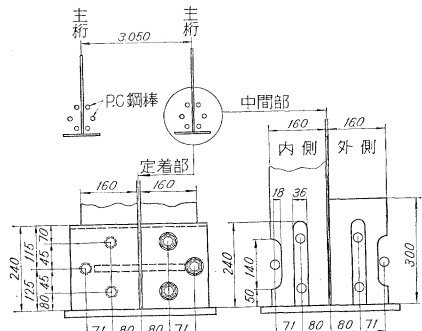
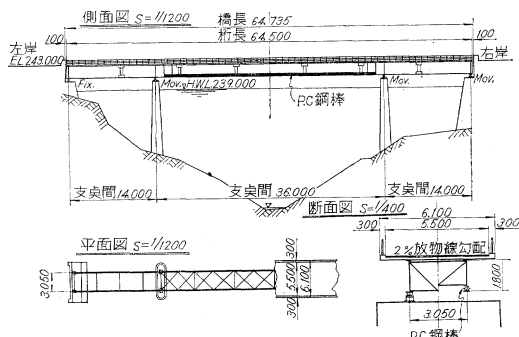


図-2 鋼棒の配置

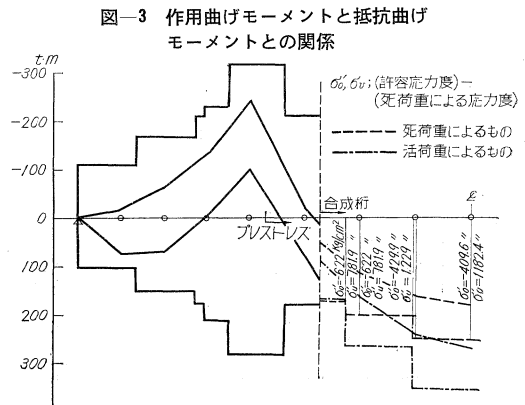


図-3 作用曲げモーメントと抵抗曲げモーメントとの関係

* 正員 建設省東北地建湯田ダム工事事務所長
** 正員 東大工博 東北大学助教 工学部土木工学科
*** 正員 川田工業KK

重量を8.89 tとして載荷し、7断面について床版および鋼桁の応力を測定した静的載荷実験と、上記荷重車を走行させ、動的効果を側径間中央、中間支点上、中央径間中央の各下突縁応力および中央径間中央の加速度により求めた動的載荷実験の2種について行なった。

実験は比較的天候に恵まれ、二、三のデータをうるることができたので今後この種の橋梁を計画するに当たって、なにかの参考にでもと思ひ、ここにその実測結果を報告する次第である。

2. 架設の概要

本橋の架設は谷間も深く、また一部材の重量も、それほど大きくないので、主索および運搬索を用いた簡単な吊下げ式ケーブルエレクションによって行なった。架設に用いた設備は図-4のとおりである。桁、その他の部材は、横黒線陸中大石駅より自動車により左岸に運搬し、陸上にて側径間主桁を仮締めボルトにより、仮添接し、右岸側側径間、左岸側側径間の順に架設した。次に主径間を右岸寄、左岸寄および中央の順に架設した。運搬索による部材運搬は、すべて2器のキャリアーにより両吊りにて行なった。桁の架設を完了した後ターンバックルをゆるめることにより、キャンバーを調整した。

図-4 架設図

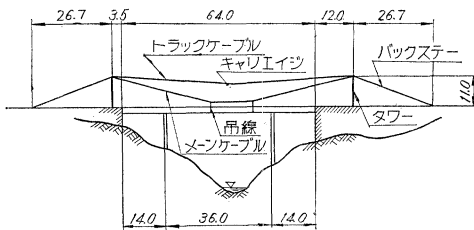


写真-2

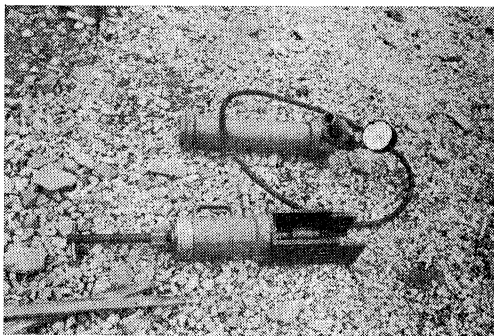
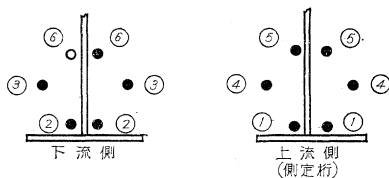


図-5 プレストレス導入順序



次にプレストレス導入を図-5の順序で、センターホール型ジャッキ2機により片引きで行なった。プレストレス導入は、主桁の添接、対傾構の連結部のみ鋳締めとし、下横構の連結は仮締めの状態で行なった。プレストレス導入完了後、下横構の鋳締めを行ない、床版コンクリートを打設した。

3. プレストレス導入時の応力測定

(1) プレストレス導入方法

a) プレストレス導入順序 図-2に示したように本橋は一主桁当り6本のP C鋼棒を使用しているがセンターホールジャッキ(写真-2参照)を左右岸に1台ずつおきP C鋼棒6本のうち対称の位置にある2本ずつ3回にわけて各鋼棒に緊張力を加えた。プレストレス導入順序は図-5に示したとおりであるが、途中、両主桁になるべく均等なプレストレスが導入されるように心がけた。

b) 各回で導入する緊張力の大きさ 鋼棒に導入する緊張応力度の大きさは最終状態で 45 kg/mm^2 であるがリラクゼーションを5%とみてプレストレス導入直後の応力度は 48 kg/mm^2 である。6本の鋼棒を2本あて3回に分けて緊張すると各回の所要緊張力は後から導入されるプレストレスによる桁の縮みを考え表-1のとおり

表-1 各回導入プレストレス力 (t)

| | |
|----------|--------|
| 1回 (1-1) | 20.470 |
| 2回 (4-4) | 19.946 |
| 3回 (5-5) | 19.420 |

とした。この各回の所要緊張力の計算は主桁の平均的縮みによる導入緊張力の減少を考え各回の緊張力を xyz とすると

$$x - \left(\frac{a}{A}\right)(y+z) = P, \quad y - \left(\frac{a}{A}\right)z = P, \quad z = P \dots (1)$$

ここで、 P : 所定緊張力、 A : 桁断面積、 a : 鋼棒断面積として各回の導入緊張力を求めた。しかし断面の平均的縮みより下突縁の縮みと鋼棒の応力減少との関係を求める方がよく(1)式において (a/A) の代りに

$$a \left(\frac{1}{A} + \frac{h}{W} - \frac{m}{W} \right)$$

を用いた方がよかったと思われる。ここで h は断面重心より鋼棒までの距離、 m は単位緊張力による支点曲げモーメント、 W は断面係数である。桁の弯曲による両定着間の距離の減少は一般に省略できるものと思われる。

c) P C鋼棒に加える緊張力の測定 一般にジャッキに取りつけられてある荷重計の読みにより所定の緊張力を鋼棒に導入するのであるが、荷重計の機械的誤差、現場で正確に読みとることのむずかしきのため、所定量を導入することは困難である。そこで今回は付属の荷重計の読みと同時に鋼棒の伸びを測定し、その両者によってチェックしながら導入した。この鋼棒の伸びによる導入方法は、もし引張力と伸びの関係が十分正確にわかって

表-2 鋼棒各回の1本当り伸び長 (mm)

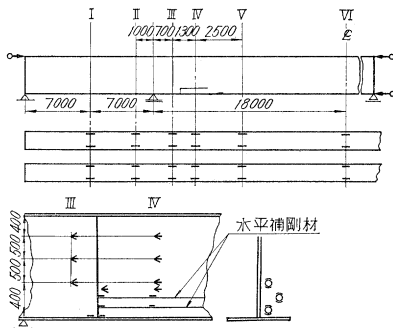
| | |
|-----|------|
| 1 回 | 80.7 |
| 2 回 | 78.6 |
| 3 回 | 76.5 |

いるならば、より複雑な構造のもの、例えば格子桁にプレストレスを加えるときに利用すれば途中の面倒な計算が省略でき面白いと思われる。鋼棒の伸びはカップラーのゆるみを1個当り1mmとし定着部のねじのゆるみを0.5mmとしカップラー6個、ねじ2個より合計7mmと緊張力による鋼棒の弾性的伸びを加えて表-2の値を予定した。

(2) 応力測定方法

測定点は図-6に示した60点である。使用ひずみ計は東京測器製電気抵抗線ひずみ計 PL-10, PR-10 である。リード線は23心ビニール被覆線を用いその長さは

図-6 測定点図



突縁に貼ったゲージは突縁端より5cm内側にある。腹板に貼られたゲージは直角ロゼットゲージでありその方向は図示のとおりである。

○はダイヤルゲージを表わし、可動端は上・下流側とも設置されている。

鋼棒には、上流側主桁の外側3本のみ貼った。その位置は定着部より2.5m

最も長いもので50mである。測定点は6個のグループにわけてそれぞれ1個ずつダメージゲージをとった。実験当日は風は強かったが温度変化は小さく19.8~20.8°Cに過ぎなかった。一対の鋼棒に緊張力を与える過程で次の3回測定を行なった。

- ① 導入前
- ② 10tの緊張力を加えたとき
- ③ 所定の応力を導入しボルト締めを行なった後

プレストレス導入に要した時間は約3時間であった。

なお桁端の移動はダイヤルゲージにより測定し、桁のたわみはレベルにより読みとった。

(3) 測定結果

a) 鋼棒に導入された応力 鋼棒に導入された応力は鋼棒断面の対称の位置に貼られたストレインゲージの読みを平均値より求めた。この結果を図示すると図-7のとおりである。現場における測定である点を考えるとかなり正確に応力が導入されているように思われる。ただ1-1, 4-4 鋼棒には前に述べたように、もう少し大きな応力を加えておいた方がよかったように思われる。

b) 鋼桁に導入された応力 鋼桁に導入された応力度

図-7 鋼棒応力導入状態

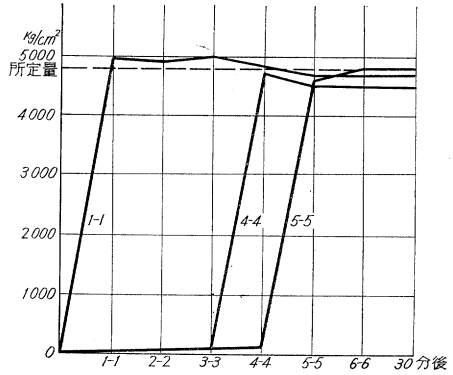


図-8 鋼桁に対する導入プレストレス

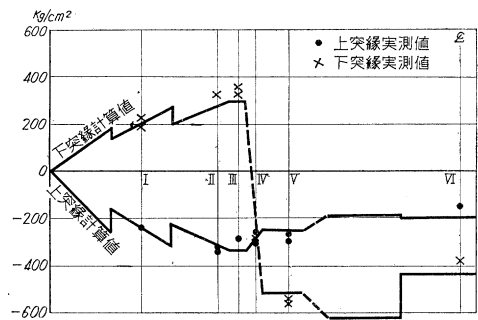


図-9 導入曲げモーメント図

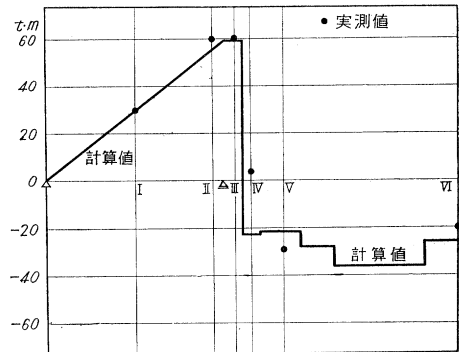
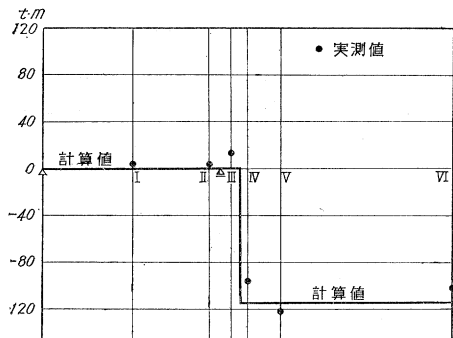


図-10 導入直応力図



は 図-8 のようになっている。これらは各測定断面の突縁応力であるが、2点プロットしてあるのは突縁の両側に貼られたひずみ計によるもので、その差は図からわかるとおり比較的小さかった。以上の突縁応力より算出された曲げモーメントおよび直応力を求めると 図-9, 10 が得られる。大体において所定の応力度が期待どおり導入されたことが、この実験結果よりうかがえる。

c) 一方の主桁に応力を導入したとき他方の主桁の受ける影響 一方の主桁に応力を加えたとき他方の主桁が応力を受けないように(対傾構は鉚結されているが)横構はボルトで仮締めとした。図-7 の鋼棒応力からわかるように他の側への応力導入の影響は比較的小さい。また断面 I, II, V について曲げモーメントの増加する状態を図示すると 図-11 のようになり、この影響の小さいことがうかがえる。両主桁がお互いに影響しないように、両者の結合をあまり弱くするとプレストレス導入時に主桁突縁が座屈する危険もあるので、むしろ強固に結合しておいた方が安全であり、本橋の場合も横構をボルト締めでなく鉚結にしてもよかったのではないかと思われた。

d) 鋼棒定着部の応力分布 鋼棒定着部の応力分布は

図-11 曲げモーメント増加曲線

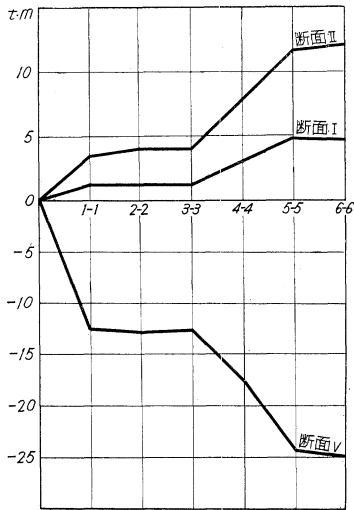


図-12 主応力最大せん断力図

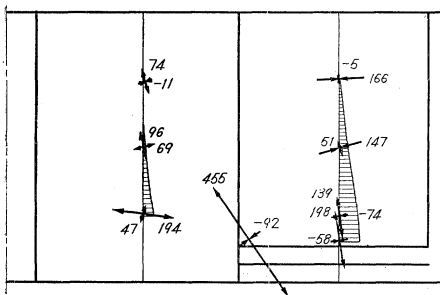


図-13 σ_x 図

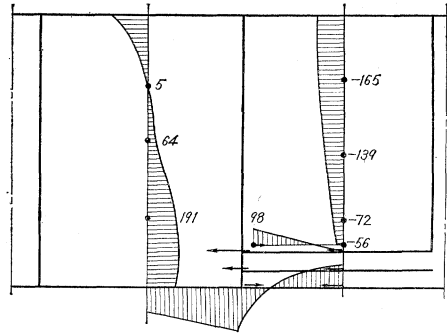


図-14 σ_y 図

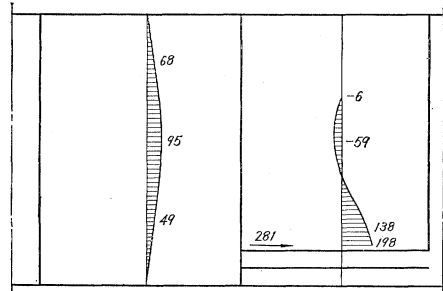
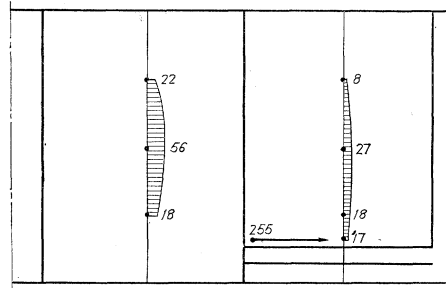


図-15 τ_{xy} 図



断面 III 断面 IV および受金付近に貼られた直角形ロゼットゲージと鋼棒応力をウェブに伝える水平補剛材に貼られた一方向ゲージにより測定した。最初の鋼棒に応力導入中 1-1, 2-1 ゲージに不安定さが見られたので、2-2 の状態から最終状態までに生じた応力によって整理すると 図-12~15 が得られる。図-12 は主応力と最大せん断力を図示したものであり 図-13~15 はそれぞれを σ_x , σ_y , σ_{xy} を示したものである。応力導入前の状態から最終状態までに生じる応力を推定するには、図に示した値を 3/2 倍すればよい。

この鋼棒定着部付近には特に大きな応力の乱れは見られないが、鋼棒応力を直接受ける受金とウェブの結合部付近には応力の集中が少々見られる。鋼棒応力は水平補剛材全長を通じて一様にウェブに導入されるのではなくこの受金とウェブの溶接部とその近傍の水平補剛材をとおしてウェブに導入されるものと思われる。この鋼棒応力を受けて有効に働く水平補剛材の有効長さは突出長程

度として、せん断力を計算した方がよいように思われる。

e) **桁端の移動** 桁端の移動は桁端に設置したダイヤルゲージによって行なった。測定点は固定端の両主桁上突縁と可動端の両主桁の上下突縁の計6カ所である。図-16に下流側主桁の可動端の移動と鋼棒応力導入の関係を示す。可動端の移動は5.4mmで桁の平均応力を 350 kg/cm^2 とすればその縮み量は5.8mmとなり実験値と比較的よく一致している。上下突縁での読みの差は小さいが下突縁の短縮量の方が小さく、側径間に正の曲げモーメントが働いていることがわかる。図-17は可動端の下突縁の移動を示しているが、ほかの側の主桁に応力を加えたときの影響が小さく、両主桁が同量の応力を受けたときの両主桁の移動量は、ほとんど一致していることがうかがえる。

図-16 桁端の移動量

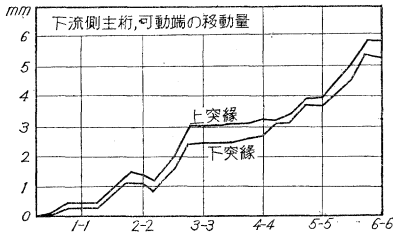
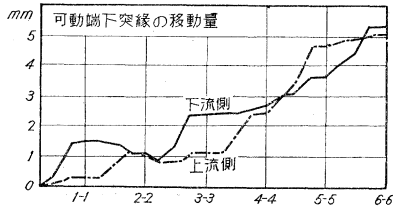


図-17 桁端の移動量

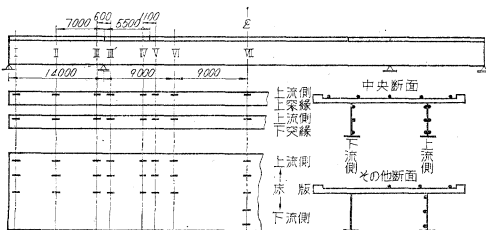


4. 竣工後の載荷実験

(1) 静的載荷実験

a) **測定方法** 載荷実験に使用した荷重はセメント袋を積んだ全重量 8.89 t のトラックである。その前輪と後輪に配分される重量はそれぞれ 2.89 t と 6.50 t である。荷重の載荷点は側径間の中央、中央径間の1/4、1/2、3/4点と各支点上および合成、非合成区間の境界上の計11点である。測定断面は図-18に示したように8

図-18 動試験用ゲージ接着位置



断面である。ここで III, III' 断面は中間支点上の目地の両側 30 cm のところであり、IV, V 断面は合成区間の非合成区間の境界線をはさんで両側 55 cm の点である。

使用した電気抵抗線ひずみ計は鋼桁にはゲージ長 10 mm のもの、コンクリート部にはゲージ長 60 mm の東京測器製のポリエステルベースのものを使用した。コンクリート床版への接着には、まずコンクリート表面をエポキシ系樹脂でコートしその上に接着した。

測定中の天候はほとんど曇りで温度変化は少なかったがときどき薄日がさし、コンクリート床版表面のゲージはそのため温度変化の影響を受けたようである。

b) **測定結果** 荷重車を載荷させたとき下突縁で測定されたひずみより、各断面について荷重車に対する曲げモーメント影響線縦距を求めると図-19が得られた。実線は計算書より求めた計算値であり・点が実測値である。各断面の断面係数は床版の有効巾を考え $n=7$ とした値であるが、全断面を有効と考えてもその差は数パー

図-19 曲げモーメント influence line

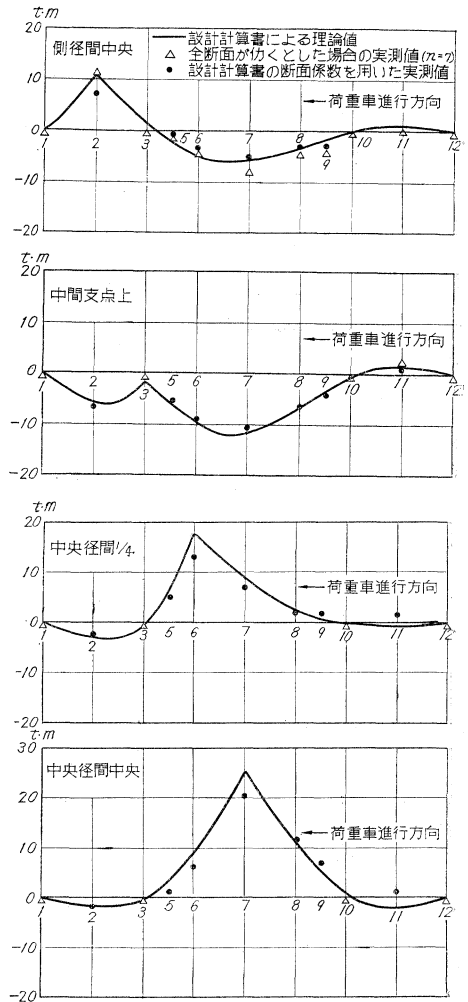


図-20

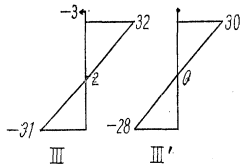
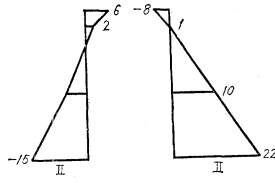


図-21



セントに過ぎない。測定された値を見ると理論値とかなりよく一致していることが認められる。ただ非合成区間である側径間中央では床版の全断面が有効に合成されているとして計算した値（△印で示してある）の方が理論値とよく一致している。この程度の応力では圧縮にも引張りにも完全に合成されているものと思われる。中間支点上の断面では床版に目地が入っている。この目地両側で測定した断面 III, III' のひずみを画くと 図-20 のようになり、床版と鋼桁は完全に絶縁されていることがわかる。合成区間と非合成区間との間にはメクラ目地が入っているが、その両側 55 cm の断面 IV, V ではその測定ひずみには大きな差は認められなかった。前に述べたように側径間中央は非合成であるが、図-21 に示したように、この程度の応力に対しては正負の曲げモーメントに対し、よく合成されていることがわかる。

鋼桁の突縁応力より断面中立軸を求め全床版有効として鋼とコンクリートの弾性係数の比を求めると

断面 VI で $n=8$ 断面 VII で $n=6.3$

であった。なおコンクリート テスト ピースより求めた値は静的動的とも約 $n=7$ であった。

(2) 動的載荷実験

a) 測定について 動的載荷実験は静的載荷実験に用いた前記荷重車を各種の速度で橋梁上を走行させ、中央区間中央断面、中央支点上の断面、側径間中央断面の各下突縁での応力および、中央径間中央で橋軸方向、橋軸に直角方向と上下方向の振動加速度を測定した。

振動応力は荷重車が走行中あらわれる最も大きな応力 σ_{max} 、最も大きな振動振幅 σ_{amp} 、と最大静的応力 σ_{st} をオシロ ペーパー上の記録より読みとり各速度について σ_{max}/σ_{st} 、 σ_{amp}/σ_{st} を求めて整理した。

b) 測定結果について 各速度 について σ_{amp}/σ_{st} を画くと 図-22~24 が得られる。これらの図を見ると走行速度が 20 km/h と 40 km/h 付近で振動応力が特に大きくなる。これをオシロ ペーパー上の記録で見ると、この速度で荷重車が走行した場合、桁の固有振動周期による振動が荷重車が、中央径間中央を過ぎたあたりよりいちじるしく大きく現われるためである。 σ_{max}/σ_{st} 図では(図-25 参照) σ_{st} が最も大きくなる点では振動応力があまり大きくないので図に 20 km/h, 40 km/h でのピークが現われることはない。桁の固有振動数は 3.70 cycle/sec であるから 20 km/h の速度で走行している場合、約

図-22 σ_{amp}/σ_{st}

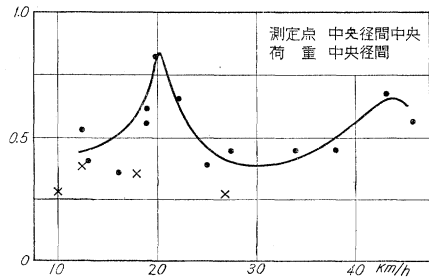


図-23 σ_{amp}/σ_{st}

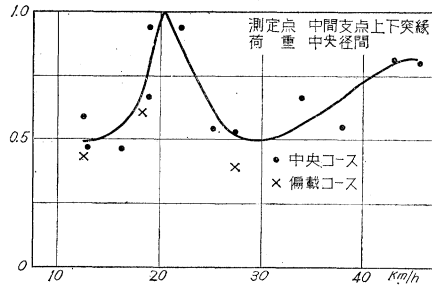


図-24 σ_{amp}/σ_{st}

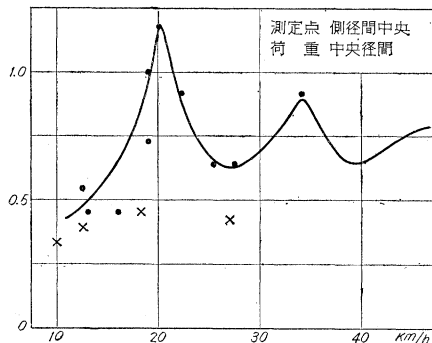


図-25 σ_{max}/σ_{st}

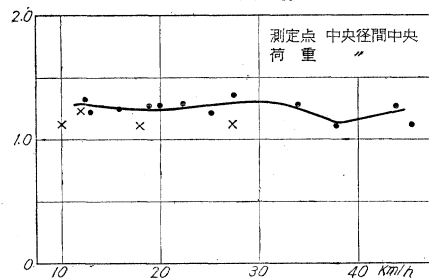


図-26 振動加速度

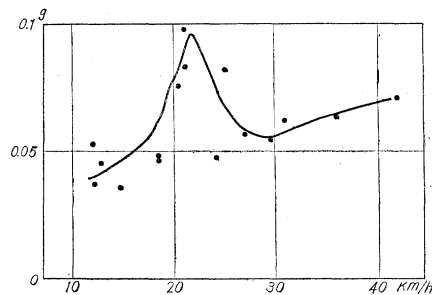
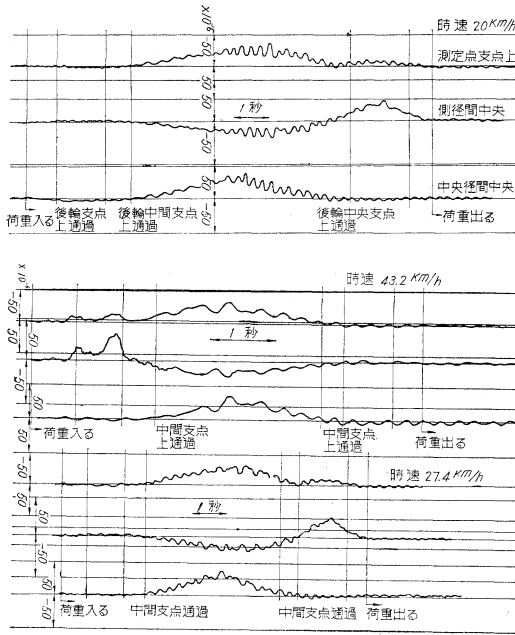


図-28 動の実験オシロ記録(下突縁ひずみ)



1.50 m, または, その倍数だけ荷重車が進むごとに衝撃力が発生していることになるが, これが橋面の凸凹のためか, 荷重車固有のものかはわからない。荷重車の固有振動数はダンピングが非常に大きいので測定できなかった。桁のダンピングファクターも荷重車通過後の振動が小さく測定できなかった。

振動加速度は 図-26 に示すとおりで 振動応力と同様

な傾向が見られる。上下方向の加速度以外の加速度はその値が小さく, 上下方向の加速度成分が入り正確に測定することができなかった。

P C 鋼棒任意の 3 本を選んで固有振動数を測定したがその周期は次のとおりである。

$$A=0.178 \text{ sec} \quad B=0.273 \text{ sec} \quad C=0.280 \text{ sec}$$

この値より鋼棒に働いている張力を求めると

$$A=49.0 \text{ t} \quad B=20.8 \text{ t} \quad C=19.8 \text{ t}$$

となり A 以外は所定の応力となっているが, A のみ特に大きく測定された理由はわからないが, 中間に振動の節ができていたのではないかとと思われる。

5. あとがき

以上大石橋実測の概要を述べたが, この実験結果より見て大体設計計算で期待したとおりの応力状態になっているようである。しかしこのような形式の橋梁をより合理的により経済的に設計するには, まだ研究すべき点が残されているように思われる。

本橋の設計は建設省土木研究所で行なわれ, 本実験は東北地建湯田ダム工事事務所で行なわれたものである。いろいろ御指導いただいた東北大学教授 樋浦大三先生, ならびに実験にあたって始終御協力を戴いた井沢調査課長, 山崎調査課長および岩間技師をはじめ東北地建湯田ダム工事事務所の方々, 東北大学助手 浪越 勇君, 川田工業 興石 繁君に厚くお礼を申し上げる次第である。

(原稿受付: 1961.7.24)

書 評

新しい基礎工法

中 島 武 編 東京出版事業社刊

従来から, 基礎工学関係の書籍は多数刊行されていたが, 初めてこの部門を学びたいという立場からすれば, 局部的に過ぎたり, あるいは施工法についての具体的な記述が少ないために, 理解しにくいものが多かった。しかも, 戦後の基礎工法の進歩発展は目ざましく, 次々と新工法が現われてくる。

本書は, これら最新のものの紹介までふくめ, あらゆる工法について, 設計上, 施工上の特質に力点を置いて説明している。誠に便利である。各項目で執筆者は異なるが, それをよく体系づけてまとめあげてあり, 写真や図が多いのでわかりやすい。基礎工法の集大成を目論まれた編者の意途は十分達せられるものと思う。

ただ簡単な支持力計算法, 標準工費, 参考文献の紹介をつけ加えて欲しい項目が若干ある。

構造物はすべて基礎と切り離して考えられないので, 建設技術者にとって基礎に対する常識は欠かせないが, 本書はその点, 良き指導書として役立つことと思う。

内 容

第 1 章 新しい基礎工法概説

特に無騒音無振動基礎工法に重点が置かれている。

第 2 章 杭基礎

第 1 節 既製杭基礎: ジェット式, 圧入式, 振動式などが新しい。

第 2 節 場所打コンクリート杭基礎: ベノト工法, カルウェルド工法, イコス工法その他, まだわが国では試験段階のもの数種あり, 今後の発展が期待される分野であろう。

第 3 章 ケーソン基礎

第 4 章 地盤改良

ウェルポイント, サンド ドレーン, パイプロ フロテーション, 薬液注入等。

第 5 章 その他いろいろの工法。

編者: 正員 工博 首都高速道路公園理事

体裁: B 5 判, 250 ページ, 定価 1 200 円

昭, 36. 10. 1 発行

東京出版事業社: 東京都豊島区池袋 3 の 1272

Tel (971) 7501 振替 東京 9240 番

【日本国土開発 K K 林 茂樹・記】