

異なつた取扱いを行つた。

終りに本研究に協力された当時学生の山西政男, 前田祐正の両君の努力に感謝するものである。

参 考 文 献

- 1) 村山朔郎・片山重夫・天野光三; 土の粘弾性について, 土木学会誌 37巻5号昭.27.5, p.219 (昭.29.11.24)

ランガー鋸桁の応力とたわみの実測 及びその解析

正 員 工学博士 友 永 和 夫*
正 員 橋 本 香 一**

ACTUAL MEASUREMENT AND ANALYSIS OF STRESSES AND DEFLECTIONS IN LANGER GIRDERS

(JSCE July 1955)

Dr. Eng., Kazuo Tomonaga, C.E. Member and Kōichi Hashimoto, C.E. Member

Synopsis Elaborate measurements of stresses of main members, and deflections of stiffening girders, of a Langer type cantilever bridge, total span 99 m, have been carried out. The results, it was confirmed, showed a fairly good agreement with the calculated values.

By means of the jack-and-clamp method, secondary stress of each member was also checked with the same agreement established between the actual and calculated values.

要 旨 総支間 99 m のランガー型ゲルバー桁について、活荷重の静的載荷による主構各部材の応力ならびに補剛桁のたわみをくわしく実測し、これらが計算結果とかなりよく一致することを確かめた。なお jack and clamp 法を用いて部材の二次応力を計算し、これも実測結果とよく一致することを示した。

1. 緒 言

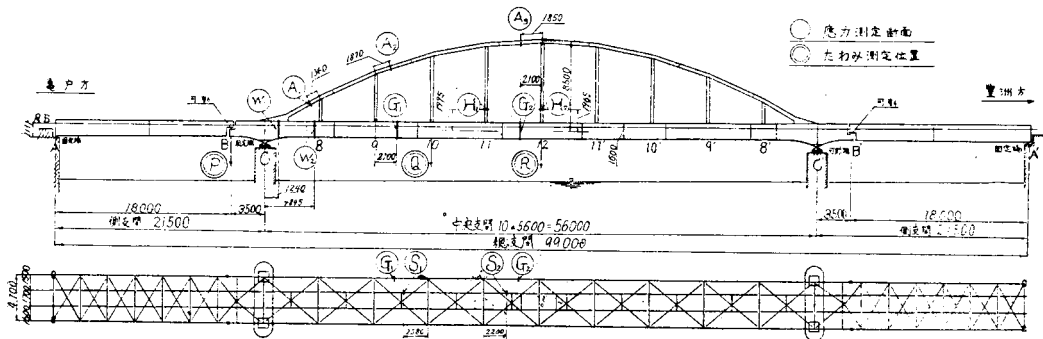
深川専用側線の豊洲橋梁は単線ランガー鋸桁として国鉄特殊設計室によつて設計され、昭和 28 年 4 月にその架設を完了した。この架設を機会にその死荷重による応力、活荷重による応力とたわみ、ならびに起振機による強制振動などの諸測定を実施した。このう

ち、死荷重応力についてはすでに発表済¹⁾であり、また振動試験の結果は後日報告することにして、本文では活荷重による部材応力及びたわみの実測結果とそれに関する若干の考察について述べて設計上の参考に供したい。

2. 試験橋梁の概要

豊洲橋梁は活荷重 KS 15 で設計された総支間 99 m (21.5+56.0+21.5 m) のランガー型ゲルバー桁で、その外形と主要寸法は 図-1 に示されている。構造上の特徴を二、三述べると、補剛鋸桁断面は単腹鋸式で、その張力作用線は合成応力の関係で中立軸のやや上方に偏心し、拱肋は放物線上にあつてその断面は π

図-1 豊洲橋梁概略図及び測定位置



* 国鉄施設局特殊設計室
** 国鉄鉄道技術研究所鋼構造研究室

型とし格点ごとの添接はさけている。吊材断面は橋門構箇所以外は計算上 4 個の山形材で十分であるが、二

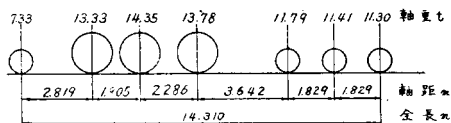
次応力の考慮と剛性を増す意味で腹板を用いすべて同一断面としてある。また上横構は菱形構とし対傾構は設けずに上横構支材に隅控を取付けた簡潔な構造になっている。

3. 試験方法

図-2に示す8620型単機関車(全重量83.29t, 全軸距14.310m)を橋梁上5ヶ所に順次停止さ

図-2 試験型単機関車

(型式8620型 全重量83.29t)



せ、各停止位置における部材応力とたわみを実測した。機関車の停止位置は図-3(a)及び図-4(a)に、測定位置は図-1に示される。応力測定は拱肋3断面、吊材2断面、補剛鉸桁4断面、縦桁2断面について行い、いずれも1断面について4ヶ所以上の測定を行つて、実測値から一次及び二次応力の区別ができるようにした。

使用したヒズミ計は研友社製の測定長20mmヒズミ感度2.1、ペークライトベースの抵抗線ヒズミ計で、これを東芝製マツダアミライトで部材に加熱接着した。ヒズミ計測にはボールドウィン社及び新興社製の静的ヒズミ指示器と切換装置を使用した。温度補償用ダミーゲージは4~5個のグループごとに1個の割合で取付けた。測定は同一状態で3回繰返して行いその平均値を実測値と考えた。ただし実応力が比較的小さいため、日照の具合によつて温度変化の影響がかなり認められる場合があつたので、これらは適当に考慮してその一部を除外した。

補剛鉸桁のたわみは主径間の中央、1/3点及び側径間ヒンジの3ヶ所において測定した。たわみ測定にはピアノ線とバネを使用し、ガイゲル式変位計により記録した。たわみについての各回の実測値はよく一致している。

4. 応力の実測結果と計算との比較

(1) 部材応力の計算 ランガー鉸の応力計算は慣行法によつたのでその詳細は省略する²⁾。ただし以下における計算応力は引張部材の場合もすべて総断面応力をとつた。

(2) 拱肋の応力 π型断面の四隅及び突縁鉸中央の応力を測定した。機関車位置に対する応力の変化は図-3(b),(c)及び図-4(b)に示される。測定結果からそれぞれ上側及び下側平均応

図-3 拱肋及び吊材の応力

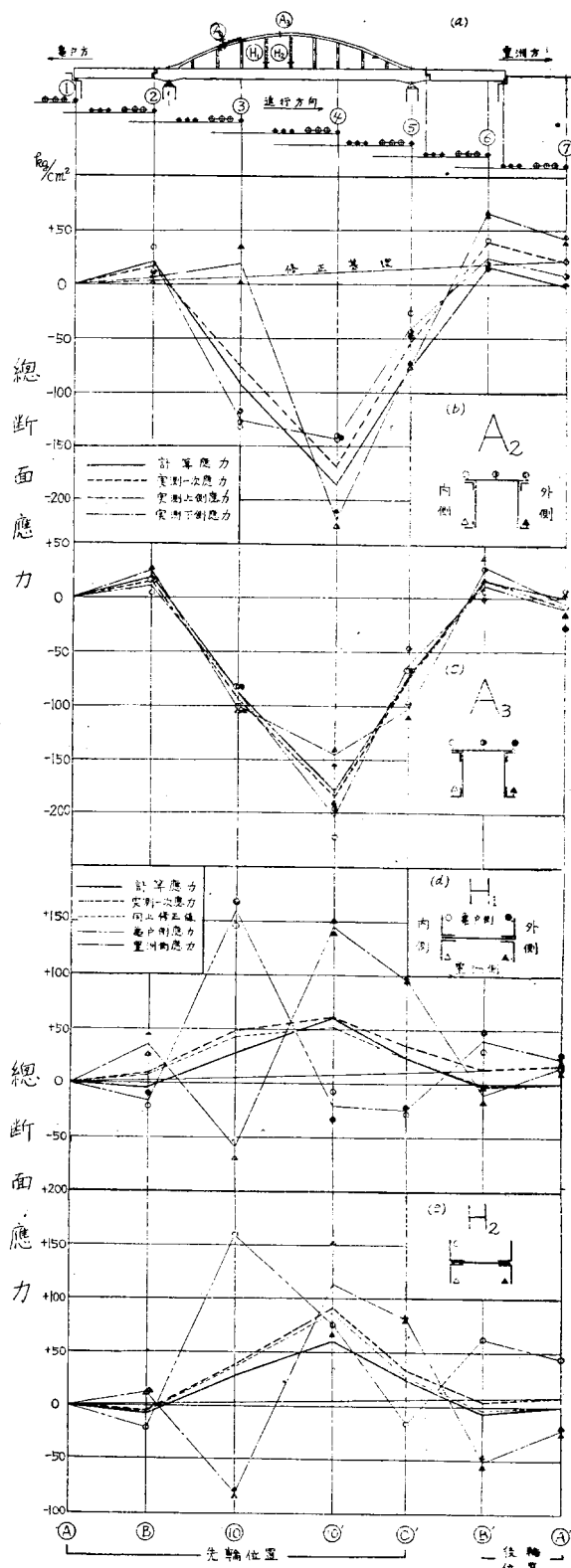
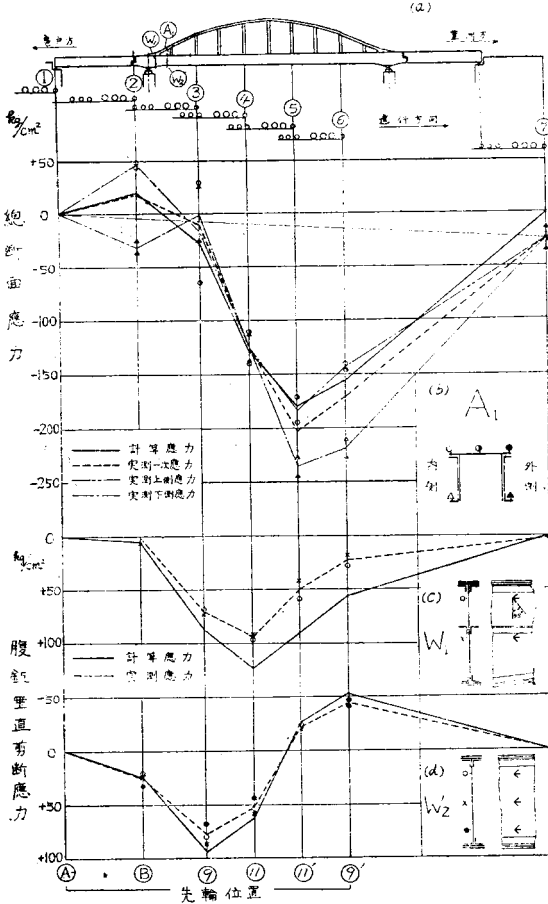


図-4 拱肋(断面A₁)の応力及び補剛桁腹板のせん断応力



力を求め、これらからさらに中立軸に作用する一次応力を求めた。この実測一次応力を計算結果と比較すると各断面ともきわめてよく一致している。特に実測値の始点と終点を直線で結んで基線の修正を行えばなお一層よく一致してくる。次に二次応力についていざいづれの断面も荷重の進行につれて正負曲げモーメントが数回交番して生じ、特に荷重が測定断面の付近にあるときに比較的大きな下向きの曲げモーメントを生じている。最大応力位置における二次応力と一次応力との割合は 10~30% 程度である。

(3) 吊材の応力 吊材断面の四隅の応力を実測した結果は 図-3 (d), (e) に示すとおりで、一次応力はかなり計算値に近いが二次応力がいちじるしく大きいことが注目値する。橋梁中心に対して内外側の応力差は小さく、従つて横桁の曲げの影響による二次応力は少ないのであるが、格点剛結のために構面内に生ずる曲げモーメントによる二次応力はきわめて大きく、荷重の位置に対して規則的に数回交番している。

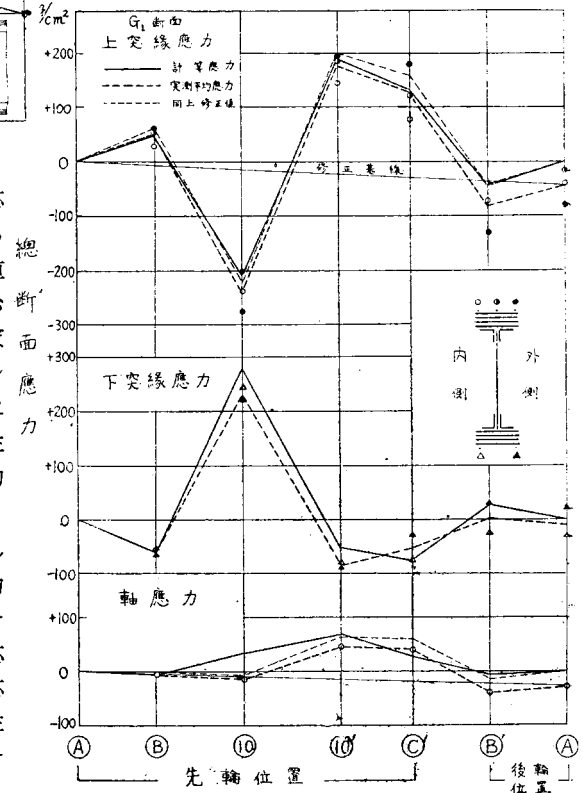
二次応力の割合は 荷重位置により異なるが、例えば H₁ 断面について最大一次応力を生ずる先輪位置 ⑩' の場合に 137% という大きな値を示している。

(4) 補剛桁の曲げ応力 補剛桁 G₁ 及び G₂ 断面の上下両突縁部の実測応力を荷重位置に対して点置して見ると 図-5 (a), (b) に示すとくで、計算結果と傾向的にはよく一致している。これらの突縁部の実測応力から計算によつて中立軸に働らく軸応力を求めてみると、同図下段に示すとおり実測値は計算値よりやや小である。次に断面における応力分布は 図-6 (a), (b) に示されており、多少のバラツキはあるが直線分布をなしている。

補剛桁に働らく軸引張応力の実測値が計算値よりやや小なる傾向にあるのは、縦桁もまた張力の一部を負担するからである。

(5) 補剛桁のせん断応力 補剛桁の支点に近い W₁ 及び W₂ 断面において、腹板内側の上下3ヶ所にそれぞれ 45° の角度をなすロゼット型にヒズミ計を取付け、各荷重位置に対する主応力の方向とその大きさを求めた。実測結果から腹板の鉛直断面のせん断応力を求め、これを計算値と比較してみると 図-4 (c) 及び

図-5 (a) 補剛桁突縁部の応力 (G₁ 断面)



(d) に示すようになる。ただし W_1 断面の計算は単純桁としての計算法により、両断面ともせん断応力は腹板上に等分布するものと仮定した。 W_2 断面においては両者はよく一致しているが、 W_1 断面では実測値の方がかなり小さい。これは実際の構造では拱肋が W_1 断面の上部に延びてきて腹鉄の一部を形成しているのであるが、計算上は補剛桁の腹板のみを考慮しているためである。

(6) 縦桁の応力 縦桁と横桁との組合せから成る床組の応力については近來特に注目されているが、この問題はかなり複雑であつてこの報告の範囲外にあるから、ここではただ実測結果と単純支持の仮定にもとづく慣行の計算値とを比較することとせよう。図-7 は S_1 及び S_2 断面についての応力分布の実測結果を計算値と対比したものである。いずれの場合にもわづかではあるが軸引張応力を生じているのは、前述のように縦桁も引張材として補剛桁に協力していることを証明するものである。実測による曲げ応力は、 S_1 の場合は計算よりもやや大きく、また S_2 の場合はかなり小さくなつており、実測値と計算値との関係を簡単に推論することはできない。

図-5 (b) 補剛鉄桁突縁鉄の応力 (G_2 断面)

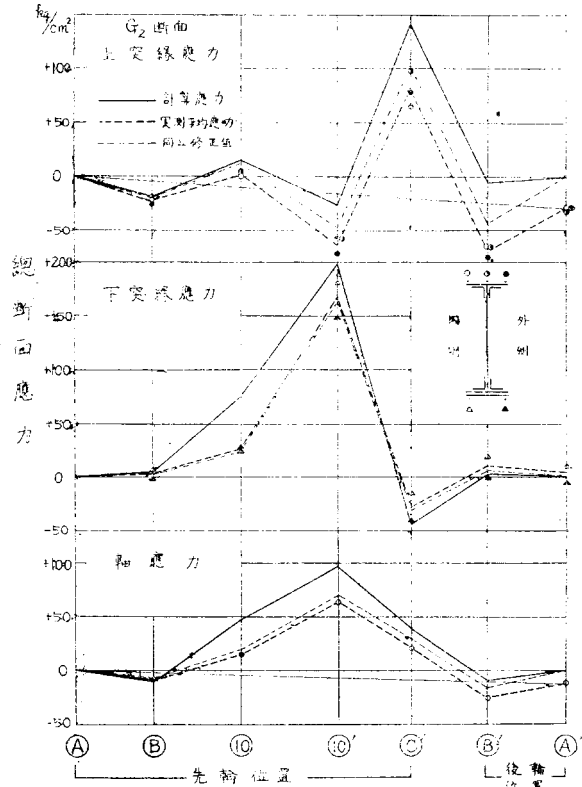


図-6 補剛鉄桁断面の応力分布

(a) G_1 断面応力

(b) G_2 断面応力

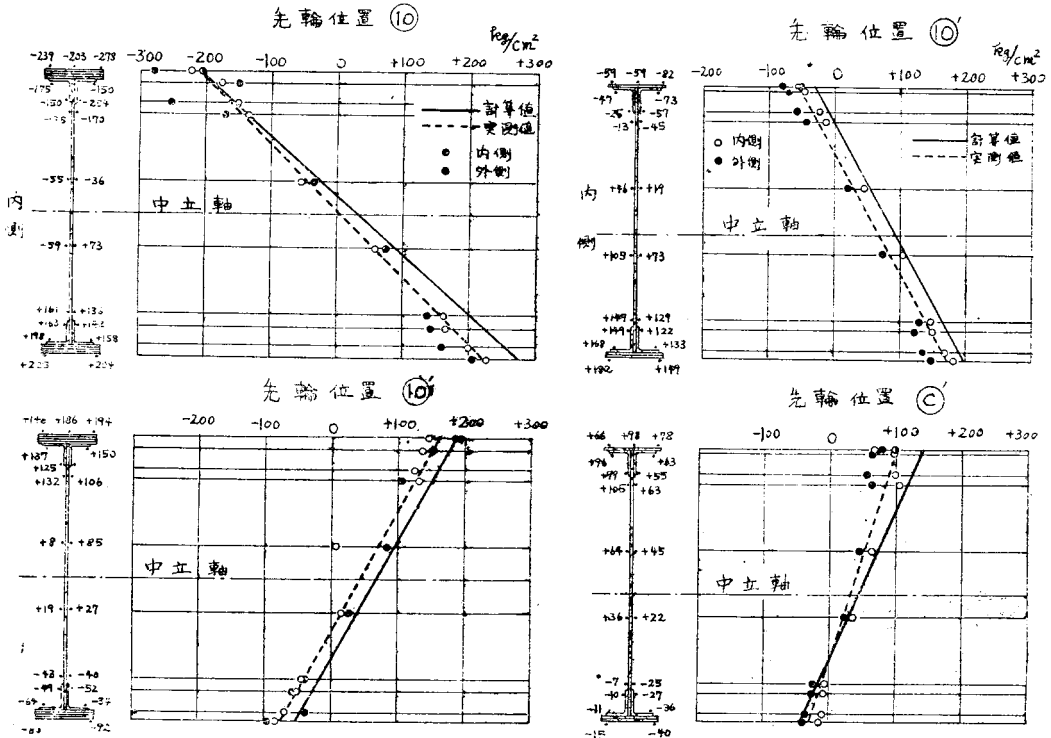
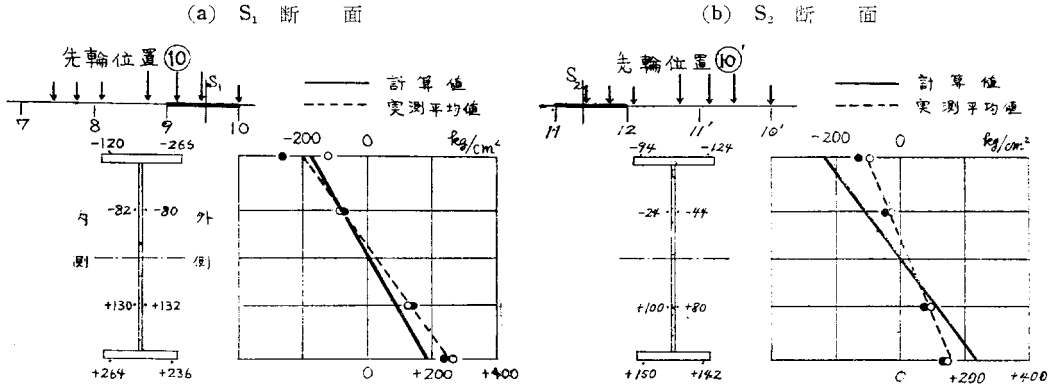


図-7 縦桁の応力



(7) 実測応力と計算応力との比較 最大応力を与える位置に対して、主構各部の実測による一次及び二次応力を計算値と比較してみると表-1 のようになる。

表-1 実測応力と計算応力との比較

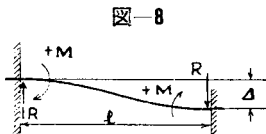
部材	機関車 先輪位置	測定位置	計算応力 σ	実測一次応力 σ'	応力比 σ'/σ	実測一次及び 二次応力の和 σ''	応力比 σ''/σ	実測二次応力 計算応力 ($\sigma''-\sigma'$)/ σ	
拱 肋	H'	A ₁	-180	-191	1.06	-224	1.24	0.18	
		A ₂	-186	-179	0.96	-239	1.28	0.32	
		A ₃	-179	-180	1.00	-203	1.13	0.13	
吊材	垂'	H ₁	61	54	0.89	138	2.26	1.37	
補 剛 板 桁	⑩	G ₁	上突縁	-212	-224	1.06	備考 1. 応力はすべて総断面応力 (kg/cm ²) 2. 実測値は基線補正を施した値 3. W ₁ 及び W ₂ の応力はせん断応力		
			下突縁	278	234	0.84			
			中立軸	32	-8				
⑩'	G ₂	上突縁	-27	-48	0.83				
		下突縁	198	164					
		中立軸	96	70					
⑪ ⑫	W ₁ W ₂	腹板	124	95	0.82				
			95	78					

5. 二次応力に関する考察

(1) jack and clamp 法による二次応力の計算

ランガー桁の応力計算は、拱肋及び吊材の相互間ならびに補剛桁への取付けをヒンジと仮定し、補剛桁の水平張力を不静定量として行のが普通である。しかし実際にはこれらの格点はむしろ剛結に近い構造であるから、部材には曲げモーメント従つて二次応力が発生することになる。この二次応力は jack and clamp 法による逐次近似法によつて計算することができる。この方法は H. Cross のモーメント分配法を、格点が移動する場合にも応用するように改良したものであつて³⁾、計算の手続きは次のごとくであるが、格点を剛性としても一次応力は変らないものと仮定している。

a) 慣行の計算法に従つて部材応力を計算し、Williotの変位図を用いてすべての格点の水平及び垂直変位を求める。



b) 各部材について部材軸に直角な両端格点の相対変位 Δ (図-8) を図上より求め、次式から材端モーメントを計算する。

$$M = \frac{6EK\Delta}{L}, \quad \text{ただし } K = \frac{I}{L}$$

c) モーメント分配法により格点の不均衡モーメントを逐次分配してゆき、所要の精度で部材の材端モーメントを求める。

d) かくして得られた材端モーメント及び慣行法による拱肋軸力から、各格間ごとのせん断力を求める。このようにして部材力から得たせん断力を単純桁としてのせん断力と比較すると、これは計算及び図式解法の誤差により一般に一致しない。単純桁としてのせん断力と上記の計算結果から得られたせん断力との差を求め、この差をせん断力とするような荷重を第1回補正荷重とする。

e) 第1回補正荷重を載荷した場合について上記の計算を始めからくり返し、最後に得られた材端モー

ント及び拱助軸力からせん断力が得られる。このせん断力を最初の計算で得られたせん断力に加えると、単純桁としてのせん断力にかなり接近するが、それでもわずかの差が残るからこれから第2回補正荷重を求める。

f) このようにして clamp と jack を交互に調節し、所要の精度で両方のせん断力が一致した所で計算を止める。各回の計算によるモーメント及びせん断力を相加えたものが求める量となり、通常数回の計算で十分な精度が得られる。

図-9 jack and clamp 法

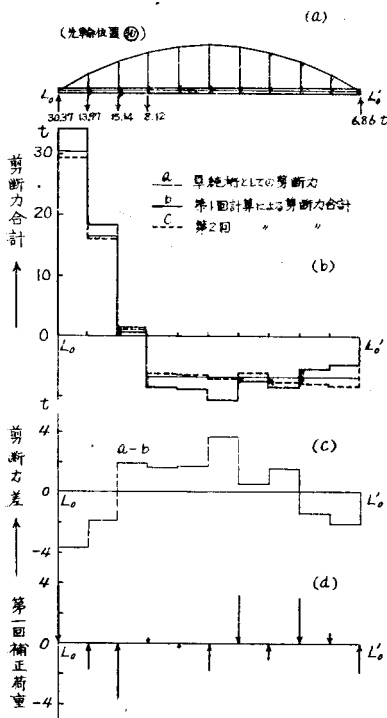
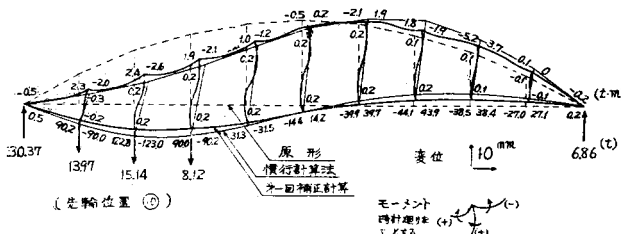


図-9 は先輪位置⑩の場合の計算例を示すが、同図 (b) に見るように第2回目のせん断力は単純桁のそれに実用上十分に一致している。第1回補正荷重により補正された材端モーメント及び格点変位は 図-10 の

図-10 材端モーメント及び格点変位



ようになる。吊材は隣接せる補剛桁にくらべて剛比が 0.1% 以下であるため、その材端モーメントの計算精度はいちじるしく悪くなった。

(2) 二次応力の実測値と計算値との比較 拱助について実測した二次応力を上に述べた計算値と比較してみると 図-11 のとおりである。A₂ 断面については両者はきわめてよく一致し、また A₃ 断面についても大体一致していると云いうる。吊材については前述

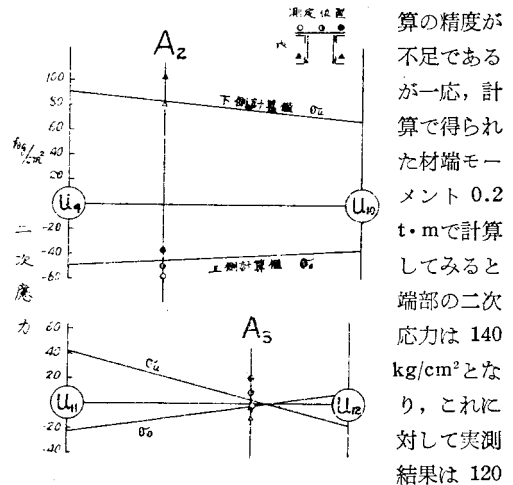
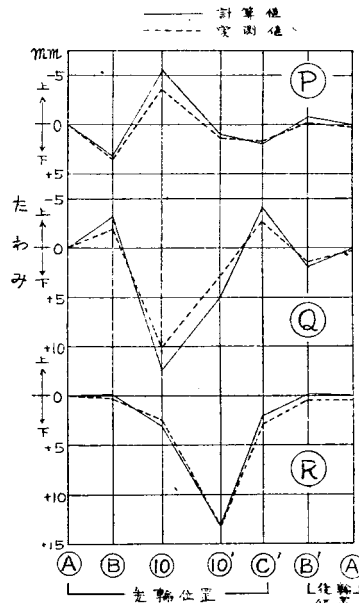


図-11 拱助の二次応力(先輪位置⑩)のごとく計算の精度が不足であるが一応、計算で得られた材端モーメント 0.2 t・m で計算してみると端部の二次応力は 140 kg/cm² となり、これに対して実測結果は 120

~130 kg/cm² であつて、大体接近した値を与えていると云いうるであらう。

ここに付言したいのは、これらの二次応力の割合は試験荷重の特別な場合に対する値であつて、設計上考慮される最大

図-12 補剛鉄桁のたわみ



荷重状態においてはさらに考慮を必要とすると云うことである。たとえば、この試験で吊材の二次応力は最大 139% と云う値が得られ

たが、前記のごとくこれは荷重の位置により正負数回交番するから、吊材の設計荷重である満載状態では二次応力の割合はかなり小さくなることが予想されるのである。

6. たわみの実測結果と計算との比較

主径間中央 R、1/3 点 Q 及び側径間ヒンヂ P の 3ヶ所におけるたわみの実測結果を、慣行の計算結果と比較して示せば 図-12 のとおりである。R においては両者はかなりよく一致している。Q 及び P においては傾向的には一致しているが、量的には実測の方が約 2 割程度小さい。図-10 に先輪位置 ⑩ の場合の桁のたわみが、慣行計算法による場合と第 1 回の補正計算を行つた場合について与えられている。これによると R 点のたわみは変わらないが、Q 点のたわみは 12.46 mm が 9.95 mm となり、実測値 10.0 mm とよく一致してくる。

7. 結 言

静的活荷重によるランガー-飯桁の主構の応力をくわ

しく実測し、その一次及び二次応力がそれぞれ計算結果とよく一致することを確かめた。またたわみについても大体一致することを確かめた。なお二次応力の計算に用いた jack and clamp 法はきわめて便利であつて、今後大いに使用されるものと信ずる。

最後にこの試験の実施に対して特に御配慮を頂いた国鉄東京工事事務所土木課長高橋技師、越中島工事区長浅間技師、その他の方々に深甚の謝意を表し、また強度計算ならびに実験に協力された特殊設計室及び鉄研鋼構造研究室の各位に厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 橋本・立花：橋梁の死荷重応力の測定，鉄道業務研究資料 第10巻第23号，昭.28.12.
- 2) 国鉄施設局特殊設計室：豊洲橋梁計算書，昭.28.
- 3) L.E. Grinter : Theory of Modern Steel Structures. vol. 2. p. 118.

(昭.29.11.29)

第7回毎日工業技術賞について

毎日新聞社ではさきに紙上に発表したように 1955 年度の毎日工業技術賞については、広く全国工業界の推薦者からの申請を受け選考することとなりました。

学会ではその周知徹底方の依頼をうけましたので、ここに会員各位にその大綱をお知らせいたします。

記

1. 一般工業界における優秀な発明者、または技術者。
2. この業績を工業化して、わが国の産業経済活動に寄与し、または寄与することが明らかとなつた者。
3. 以上のことに協力して成功をおさめさせた金融業者（ただし工業化の主体が國家または地方自治体、公共団体である場合を除く）。
4. 賞は正賞（表彰状と賞牌）および副賞（記念品及び記念品代）とする。
5. 賞の決定は毎日新聞社が学識経験者の中から委嘱する選考委員の会議により行う（選考委員者略）。
6. 選考希望者は、東京都千代田区有楽町 1ノ10 毎日新聞社事業部工業技術賞係へ郵券 8 円封入の上、申込用紙を請求し、所定事項を記入して同係へ提出すること。
7. 締切：8 月末日

コンクリート講習会（福岡市）

日本セメント技術協会では今般下記のごとくコンクリート講習会を開催いたします。参加希望者は日本セメント技術協会（東京都港区赤坂台町 1 の 2）へ御申込下さい。

会 期 昭和 30 年 8 月 23 日（火）～ 27 日（土）5 日間、最終日は見学
会 場 九州大学工学部講堂 受講料 500 円（テキスト代を含む）（当日払）
科目・講師

(1) セメントの進歩とコンクリートの改良	(藤井 光蔵)	(12) コンクリート舗装の施工	(平野 謙)
(3) セメント概論	(小柳 勝藏)	(13) プレキャストコンクリート	(三浦 一郎)
(3) セメントの試験	(岩間 鑽一)	(14) プレストレストコンクリート	(水野 高明)
(4) 骨材およびコンクリート一般	(永野 高明)	(15) コンクリートブロック建築	(竹山謙三郎)
(5) 最近のコンクリート施工技术	(吉田 弥七)	(16) コンクリートの試験	(田中 太郎)
(6) 品質管理	(篠原 謹爾)		
(7) トンネルコンクリートの機械化施工	(住友 彰)	実 習	
(8) マスコンクリート	(青木 謙三)	(1) セメント試験	
(9) 鉄筋コンクリートの塑性	(坂 静雄)	(2) コンクリート試験	
(10) 農業土木とコンクリート	(田町 正春)	(3) 骨材試験	
(11) 河川コンクリート工事の新分野	(秋竹 敏実)	(4) 強度試験	
		見 学	九州鋼弦コンクリート株式会社 山家工場