

## 側径間のある補剛トラス アーチ橋について

平 井 敦・西 脇 威 夫 共 著

(土木学会論文集第 116 号・昭和 40 年 4 月所載)

討議者：佐々木道夫・高尾孝二

【討 議】 本論文はわが国においてほとんど例のない長大スパンのアーチ橋に関する貴重な基礎資料で私も現場の設計者にとりましては非常に役立つものであります。

アーチ橋では一般に吊橋とは逆にたわみの影響を考慮することにより曲げモーメントが増大するものですが長大スパンになりますとその量はかなり大きくなるのが報告されています<sup>1)</sup>。

最近の一例ですが、A. Shindler, F. Faltus などの報告によりますとスパン 330 m の 2 ヒンジ アーチ橋において活荷重曲げモーメントの増大率は 100% に達したことが報告されています。

諸外国における長大アーチの設計には、たわみの影響を考慮するのがほぼ常識的なものとされているようです。

長大スパンのアーチを取り扱う場合、従来の小スパン(鋼道示の適用範囲程度)のアーチと異なる最も重要な点はこの現象にあると思います。格点数が多くなって数値的取り扱いが複雑になることや、不静定次数の高くなることは、長大スパンの根本的要素とはいいたいたと思います。この点に関しつぎの質問を致します。

(1) 本論文はいわゆる弾性理論によって、理論が展開されているが、たわみの影響はなぜ無視されたのでしょうか。

(2) 私どもは、たわみの影響は当然考えなくてはならないと思いますが、本論文で扱っている方法では、どのようにその影響を取入れて行ったらよいか、基本的考え方をご教示願います。

(3) 実験結果は、ばらつきが少なく非常に正確なものと推察致します。全体的に理論値より大きくなっているように思いますが、この現象につき、私どもはつぎのような解釈をしたいと思いがたでしょうか。

「実験値は格点のピンの摩擦や横構などの影響のため理論値より小さい値が期待されると思いますが、それにもかかわらず、大きい値が出たことは(たとえば、 $\bar{O}_3$ ,  $\bar{O}_5$  では約 10% 増)あらかじめ死荷重を作用させたため、たわみの影響が入ったものと考えます。このデータは  $\frac{\text{死荷重}}{\text{活荷重}} = 126/50 = 2.52$  ですが、長大スパンのアーチでは、この比は 5~7 位になるもので、 $\frac{\text{死荷重}}{\text{活荷重}}$  比が増大すれば、曲げモーメントも増大するもの思われます。したがって、この実験値からも、たわみの影響を考慮の必要性が認められると思います。」

## 参 考 文 献

- 1) A. Shindler: Einzelheiten der Berechnung einer Vollwandigen Bogenbrücke von 330 m Spannweite nach der Theorie II. Ordnung. Stahlbautagung. 1959
- 2) F. Faltus: Beitrag zur berechnung von Zweigelenkbögen nach der Theorie II. Ordnung. Der Stahlbau H. 1 1959
- 3) A. Shindler: Beschreibung von Entwürfen für eine weitgespannte Straßenbrücke über die Moldau bei Zďákov. (ČSR). Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Dresden. 9. 1959/60
- 4) K. Hoening; Zur Berechnung stählerner Bogenträger mit Hilfe unmittelbarer Integration. Der Bauingenieur, H. 11, 1950
- 5) Rainbow arch bridge over Niagara Gorge, A.S.C.E. 1943

回答者：平 井 敦・西 脇 威 夫

【回 答】 ご討議に述べられてあるよう長径間の 2 ヒンジ充腹アーチ橋に関して、変形によって付加される曲げモーメントが非常に大きくなることはきわめて重大

なことであります。吊橋の場合のように、変形を考慮して曲げモーメントが減少するならば、変形を無視することによって生ずる誤差は安全側でありましたが、アー

チ橋のように、曲げモーメントなどが増大する場合には、その大小に関して設計者は大いに注目しなければならないことであろうと考えられます。筆者ももちろん変形によって部材応力そして変形に、変形を考慮しない場合に比べてどのような変化が生じるかを検討することは重要であると考え、その研究を行なうことは必要であると考えています。

しかし、それを行なわないう段階であえて小論を発表致しました理由は、つぎに記します簡単な計算および推論結果を基にしています。この略算は、トラス化されたアーチ橋のアーチ面内の座屈に関する性質を、充腹アーチの場合のそれと、曲げ剛性の単純な置換のみで同一に評価できるという仮定によっていますが、この点に関しては、今後の研究が必要であります。変形を考慮した数値計算の結果によっていずれは変形による部材応力および変形の変化を検討し、この推論の是非を確かめたいと思っています。

変形を考慮しない状態での曲げモーメントを基準として、変形した状態での曲げモーメントを簡単に評価するには次式<sup>1)</sup>によるのが便利でしょう。

$$M_f = M_{el} \frac{1}{1 - \frac{H}{H_{cr}}}$$

$$H_{cr} = k \frac{EI_c}{l^2}$$

上式中

$M_f$ : 変形を考慮した場合の曲げモーメント

$M_{el}$ : 変形を考慮しない場合の曲げモーメント

$H$ : 作用水平反力

$l$ : 支間長

$I_c$ : 部材断面の慣性モーメント

$k$ :  $f/l$  と、アーチの支持条件による定数

上式に筆者の提案する  $l=180$  m,  $f/l=1/4$ , 側径間のない場合を充腹 2 ヒンジ アーチ 橋に置換して、この値より  $M_f/M_{el}$  を求めますと下記のようになります。

2 ヒンジ充腹アーチとして上記の  $f/l$  に対して  $k$  の値<sup>2)</sup> を求めますと、

$$k=23$$

断面の慣性モーメントへの置換は困難ですが、補剛トラス弦材断面積  $300 \text{ cm}^2$ , トラス高さ  $5.4$  m, アーチ弦材断面積  $400 \text{ cm}^2$ , トラス高さ  $6.0$  m と見なし,  $I = Fh^2/2$  が成立するものとして、

$$I_c = I^0 + I^w = (43.7 + 72.0) \times 10^6 = 115.7 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$H_{cr} = 23 \times \frac{2.1 \times 10^6 \times 115.7 \times 10^6}{18000^2} = 17.2 \times 10^3 \text{ t}$$

もしも  $I^0$  が  $H_{cr}$  に全く寄与しないとすると、

$$H_{cr} = 10.7 \times 10^3 \text{ t}$$

上路型ランガー桁と見なすと、

$$H_{cr} = 28.8 \times 10^3 \text{ t}$$

作用水平反力  $H=667$  t とすると、

2 ヒンジ アーチに置換すると、

$$\frac{M_f}{M_{el}} = \frac{1}{1 - \frac{0.667}{17.2}} = 1.04$$

2 ヒンジ アーチで、補剛トラスが寄与しないとして、

$$\frac{M_f}{M_{el}} = \frac{1}{1 - \frac{0.667}{10.7}} = 1.06$$

上路式ランガーの  $H_{cr}$  を用いると、

$$\frac{M_f}{M_{el}} = \frac{1}{1 - \frac{0.667}{28.8}} = 1.02$$

と算出されます。また Gronquist の提案した式<sup>3)</sup> によれば、水平および鉛直変位を考慮して、上の 2 ヒンジ アーチに相当する場合に対して  $M_f/M_{el}=1.04$ 。鉛直変位のみを考慮しますと 1.03 となります。Gronquist の式の適用にあたっては、前と同様の仮定を行なっています。

これと同じ計算を、Rainbow Arch 橋について行ないますと、

$$\frac{M_f}{M_{el}} = 1.75$$

と算出され、同橋の計算書よりその比を求めますと、

$$\frac{M_f}{M_{el}} = 1.64$$

となります。

Stüssi は、長径間の充腹アーチは不経済であるから長径間アーチ橋にトラス構造を採用することをすすめていますし、従来の大径間アーチ橋がトラスで構成されていますが、その理由の一つは上記の数値の相違にあるかと筆者は考えています。

以上はトラス化された補剛アーチを、換算された断面 2 次モーメントを持つ充腹アーチに置換し、トラス化されている場合と同じ  $f/l$  の 2 次放物線で軸線が構成されていると考えました。アーチ軸が 2 次放物線またはそれに近い場合には、等分布荷重によってはアーチ断面にほとんど曲げモーメントが生ぜず、断面は死活荷重による軸力と活荷重による曲げモーメントで決める場合が普通です。もしも、死荷重によっても曲げモーメントが生ずるならば、活荷重によって曲げモーメントが変化しても、その変化は断面応力度には前者の場合とくらべて影響は小さいでしょう。Rainbow Arch 橋では、固定アーチ橋を採用することにより、変形を少なくして変形によって生ずる曲げモーメントの増加を減少せしめ、さらに端モーメントによって活荷重によるものの断面応力度への影響を小さくすることを期待したのではないかと筆者は考えます。

筆者が提案するトラス化されたアーチ橋を充腹構造に置換して略算する場合最もトラスの部材応力に近似する

のは図に示すラーメンをして略算を行なう場合です。こ



の場合には等分布荷重によって各断面に生ずる曲げモーメントは必ずしも零とはならず、そのため活荷重による曲げモーメントが変形が生ずるため増加しても、部材応力度にはそれほど大きくは影響しないものと思われま

す。以上の推論によって、変形によって生ずる断面応力度の増加は当時行なった試設計の精度に対してそれほど問題とはならないであろうと考え変形による部材応力の変化の研究はつぎの段階とした次第です。

本論においては水平変位を算出していませんので、本論中の式のみを用いて水平変位までを考慮して部材応力を求めることはできません。鉛直変位のみを対象とするならば、まず任意の荷重状態を  $P$  とすると、それに対する鉛直変位は式 (2.50 b) より、

$$\delta = [\delta] P$$

この  $\delta$  の中のアーチ径間の部分を  $\delta_c$  とし、その要素を対角要素とする対角マトリックス  $[\delta_c]$  を作ります。

つぎに  $[y_1]$  を次式により作り、

$$[y_1] = [y] - [\delta_c]$$

式 (2.25) 中の  $[y]$  の位置に  $[y_1]$  を入れますと変形を考慮した場合の分配マトリックスの第1近似が得られます。これを用いて部材応力  $S_1$  を求め、 $S_1$  によって再び  $\delta$  を求めて以下同様にくり返せば<sup>4)</sup>、Rainbow Arch の設計<sup>3)</sup> で行なったように鉛直変形の影響を算出することができます。

筆者の実施した応力測定は、本論中にも述べたようにひずみを電気的な量に変換しそれにさらにヤング係数を乗ずるという間接測定になっています。測定器は現在としてはかなり信頼できるものでありますが、ヤング係数は本論中に述べたような性格を持ち、それはそのまま測定応力値に影響すると考えられます。ひずみ測定としては、本論に報告しましたデータはバラツキも少なくかなり良好な測定結果であると信じます。

変形のために曲げモーメントが増加する割合と、たわみが増加する割合がほぼ同じである<sup>3)</sup> とすると、もしご指途のように応力度が 10% 程度増加すると、たわみも 10% 程度増加すると考えられます。実測結果では、鉛直変位はアーチ径間では理論値の方が小さく出る傾向にあると見なされます。ヤング係数の数値が適正でなかっ

たとしても、この違いを説明することはできず、変形の影響としても説明はできません。ひずみとたわみの測定の精度に相違のあることは認められます。しかも変形を考慮しても大して部材応力が増加するとは考えられない $\mu_1$  がかなり理論値より大きく出ています。

大きな水平反力と、活荷重による大きな変形が、変形を考慮した場合の曲げモーメントに大きな影響を与えます。模型実験の場合には、死荷重、活荷重の大きさは注意に定められますので、実験的に変形の影響を調べるには死荷重と活荷重の比はある場合には大した意味を持ちません。実橋を何分の1かに縮小し、その模型実験による測定値から応力やたわみを推定しようとする場合には、その比は当然考慮しなければなりません。実験にあたって、想定する橋のその比付近で測定するか、製作した模型で可能な最大の変形の効果を測定するかは実験の目的により定まることです。

筆者が実験に用いた死荷重と称するものは、本論中にも述べてありますが、構造物中の遊びをとりのぞくことを第1の目的としています。その数値は、それと測定対象荷重が支間中央に載った場合に、部材に座屈を生じないように定めてあり、この橋の耐えられる集中荷重としては最大値であって、集中荷重によって生ずる最大水平反力が与えられています。構造物中の遊びと、どのような載荷状態においても除きうするためには、本実験程度の測定対象荷重が評されることになりました。本実験の荷重の大きさはそのようにして可能な限り変形の効果が生ずるよう配慮したつもりです。

しかし、変形によって生ずる曲げモーメントやたわみの増加量は、線型構造物としての取扱いができませんから、たとえ本実験で 10% の増大があったとして、本形式の橋梁のどのような場合にもそのような増大があることは判定できません。実験的に、変形の効果を定量的に測定するには、実橋との相似率を考慮して剛性、荷重を定めて実施しなければならないと考えます。

#### 参考文献

- 1) Civil Engineering Reference Book, Vol. 3, Butterworths F. Stüssi; Baustatik II, 討議にあげられた参考文献 2), 3)
- 2) 1) の上二つの文献, 平井 敦: 弾性安定要覧, 鋼橋 III
- 3) 討議にあげられた参考文献 5)
- 4) 前掲 F. Stüssi の著者

佐々木: KK 橋梁設計事務所
高尾: 同上
平井: 東京大学教授 工学部
西脇: 武蔵工業大学 助教授

論文集への討議について

論文集編集委員会では、論文集に掲載した全論文に対しての討議を受付けておりますので、討議をされる方は下記の要項をご参照のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。

記

- 1. 討議は論文集掲載全論文を対象とします。
- 2. 討議の受付は論文集掲載後6ヵ月以内とします。
- 3. 討議原稿を提出するときは学会原稿用紙に必要な事項を記入のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。
- 4. 討議原稿の取扱いは論文集編集委員会にご一任下さい。
- 5. 討議に関する問合せは論文集編集委員会へご連絡下さい。

昭和40年度土木学会論文集編集委員

委員長	村上永一	副委員長	栗津清蔵	委員	津野和夫	委員	長谷川一
委員	阿部英彦	委員	大神月隆	委員	堤榑一郎	委員	堀孝男
〃	青木康夫	〃	角田徳直	〃	東山一啓	〃	松本原智
〃	秋山藤行	〃	藤林和輔	〃	遠永義靖	〃	宮村上博
〃	伊原研而	〃	小々木道夫	〃	永永井倉	〃	村森時
〃	板倉忠興	〃	佐々武正	〃	永永倉部	〃	持永一郎
〃	池田康平	〃	沢口昌利	〃	南村祥一	〃	山永充博
〃	岩井彦二	〃	白石成慶	〃	中西貢紀	〃	山口村利
〃	江崎芳夫	〃	曾根	〃	西野文	〃	山内
〃	尾仲章	〃					
〃	尾仲章						
委員兼幹事	大橋昭光						
	西脇威夫						

昭和 41 年 2 月 15 日 印刷  
 昭和 41 年 2 月 20 日 発行

**土木学会論文集 第 126 号**      定価 150 円 ( 千 20 円 )

編集兼発行者    東京都新宿区四谷一丁目    社団法人 土木学会    羽田 巖  
 印刷者          東京都港区赤坂溜池 5          株式会社 技報堂      大沼正吉

---

**発行所**          社 団 法 人    **土 木 学 会**    振替東京 16828 番  
 東京都新宿郵便局区内    新宿区四谷一丁目    電話 (351) 代表 5138 番

# MARUI

短時間 厚さ及び構造物の弾性係数が判定 できる

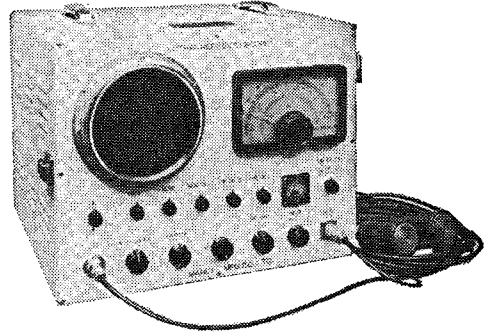
- ① 時間の節約になります (時代に即応)
- ② 正確な判断の参考資料となります
- ③ 無破壊で常に測定出来ます

### 用途


- 型枠取除き判定 (経済助力となる)
- ダム・コンクリート等の品質管理
- 道路隧道の厚さ及びボイドの判定
- コンクリートの経年変化・強度の推定等

### 営業品目

セメント・コンクリート・土質・アスファルト  
水理各試験機・無破壊試験器・計量器・各種材料試験機



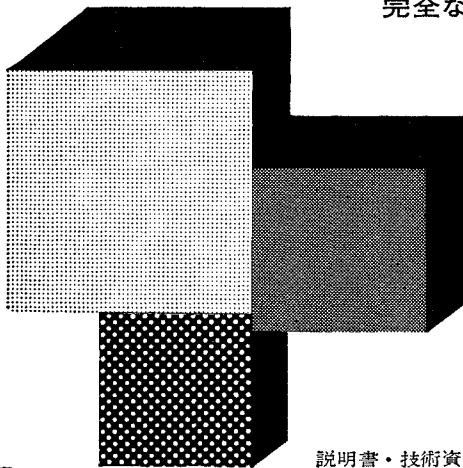
超音波反射測定器

 株式会社 丸井製作所

本社 大阪市城東区蒲生町4-10番地  
電話 大阪 931-3541番(代表)  
東京出張所 東京都港区西新橋3-9-5(吉田ビル)  
電話 東京 431-7563番

最も良い最も経済的なコンクリートを作る...

セメント分散剤  
**ポゾリス**  
コンクリート減水剤



完全な保証 — ポゾリスは、品質の絶対保証、現場に即応したテクニカルサービス、絶ゆまざる研究を続けております。

ポゾリスの御使用により所要の強度とワーカビリティが得られますから工事が仕様書通り行われていることを保証されます。

## ポゾリス物産株式会社

本社 東京都港区赤坂丹後町10 電話 東京 582-8811(代)  
東京営業所 東京都港区赤坂丹後町10 電話 東京 582-8811(代)  
大阪営業所 大阪市東区北浜3-7(阪神ビル) 電話 大阪 202-5294(代)  
仙台営業所 仙台市東二番丁68(富士ビル) 電話 仙台 23-1631  
名古屋営業所 名古屋市中区経路町1-6(朝日生命ビル) 電話 名古屋 24-2285  
札幌出張所 札幌市白石中央6-51(白石ビル) 電話 札幌 86-5121(代)  
二本木出張所 新潟県中頸城郡中郷村(日曹内) 電話 中郷 51 (代)  
高岡出張所 高岡市向野本町300(日曹内) 電話 高岡 3-2001  
福岡出張所 福岡市天神町1-10(西日本ビル) 電話 福岡 75-7471

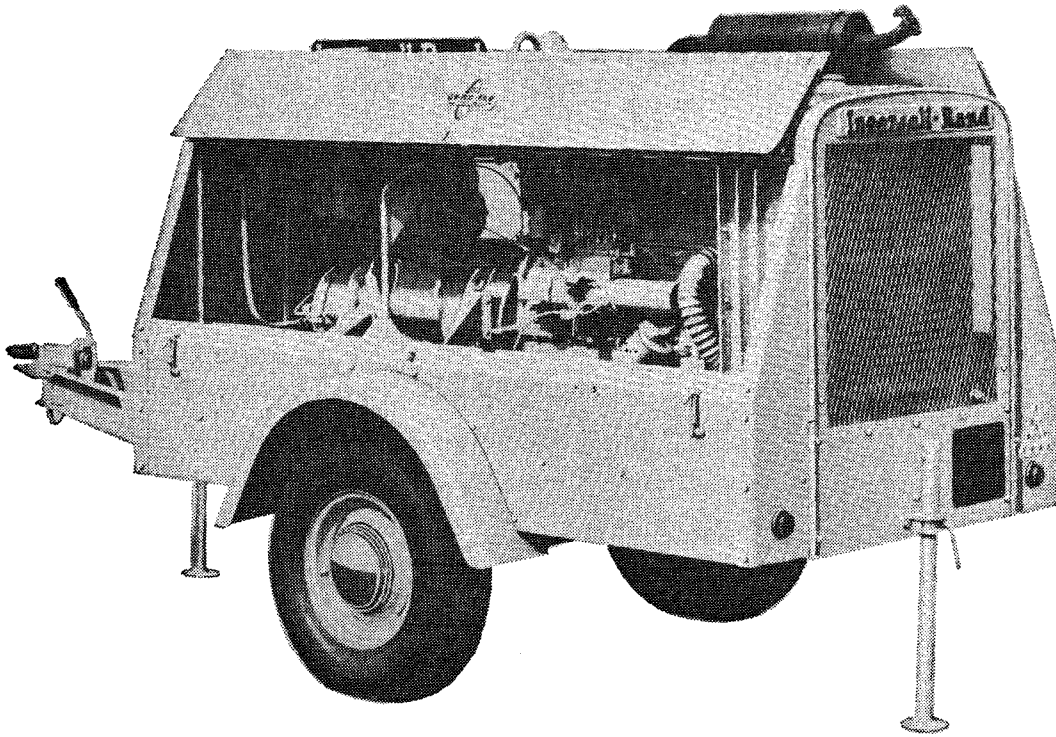
説明書・技術資料  
をご請求ください

日普マスタービルダーズ株式会社



# インガソール・ランドのポータブルコンプレッサー

昭和三十七年五月二十八日第三種郵便物認可  
昭和四十一年二月二十五日  
免印行刷 (毎月一回)  
(二十日発行)



ジャイロフロー(回転式)とスパイロフロー(スクリュース式)どちらも伝統ある **IR** のマークが高性能を保証します。

- 操作、保守は極わめて簡単
- 効果的な噴油冷却方式
- 無段階容量調節装置
- 運転は平静で、脈動、振動は殆んどありません
- 各種容量・型式(2輪・4輪付)のものが一貫生産されているので、用途に最適のものが扱えます。アフターサービスも完璧です



世界最大のコンプレッサー、ポンプ、ツール総合メーカー

**Ingersoll-Rand**

日本インガソール・ランド株式会社

東京都港区青山北町4丁目21番地(西本ビル) Tel: (403) 6571~5

大阪支店 大阪市西区京町堀1丁目156(中谷ビル) Tel: 大阪 (443) 4750・4795

Cable: INGERSOLL TOKYO Telex: TK 2929 INGERSOL

## 主要営業品目

往復動コンプレッサー、ポータブルコンプレッサー、送風機および遠心コンプレッサー、軸流回転式コンプレッサー、穿岩機類、空気・電動各種工具とホイスト、往復動ポンプ他各種ポンプ類、蒸気及び水カタービン、ガス・エキスパンダー、蒸気復水器、真空装置、特殊冷凍機器、各種鉱山用機械、パルプ・製紙用機械装置、各種ガスエンジン、特殊用ディーゼルと蒸気エンジン

■ カタログ御請求下さい。

土木学会論文集 第一二六号

定価百五十円