

論 說 報 告

第 25 卷 第 5 號 昭 14 年 5 月

平行板蓄電方法による応力計に就て

(昭和 13 年 7 月 16 日 土木学会第 2 回年次学術講演會に於て)

會 員 工 学 博 士 小 野 諒 兄*

會 員 板 倉 忠 三**

要 旨 高周波を利用した応力計の記述であつて、本會第 2 回年次学術講演會に於て講演した本文を、其の後の改良並に實測結果によつて敷衍したものである。

1. 總 説

橋梁部材、軌條等、構造用金属材料の直応力測定装置は機械的に種々考案せられ、各々その實績を擧げてゐる。併し、機械的測定装置にあつては装置各部分の摩擦、慣性等により特に動荷重による応力に對しては適確な記録を得ることが困難である故、斯かる缺點を除去する爲本研究室に於て電氣的に測定する器械に就て研究し、その結果表題のものを完成した。尤も電氣的測定装置も在來多數存在するが、何れも實際測定に當つては一長一短がある。本文末項に在來の電氣的応力計の主なるものを擧げ參考に資することにした。

2. 電 氣 回 路

本応力計は真空管發振回路に周波數數十萬の電氣振動を起さしめ、材料の歪を直接回路中の電氣容量の変化に代へ是による変化陽極電流を觀測又は記録するのである。之は既に知られてゐる事柄であるが實施に當つて色々な困難が伴ひ實用に供する器械が無いので本研究室に於て完成したのである。今順序として真空管の作用より簡單に説明する。

圖-1. 3 極真空管回路

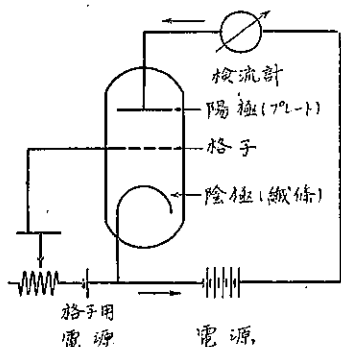
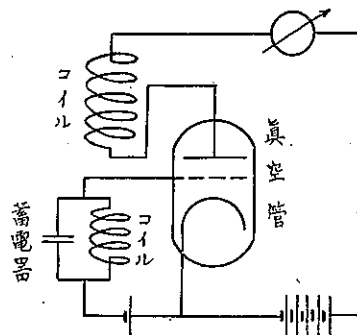


圖-2. 3 極真空管發振回路



1. 真空管

3 極及多極真空管は大体陽極 (プレート)、陰極 (織條) 並に格子の 3 主要部分より成り、之に電源を連結すれば、陰極が熱せられると共に、陽極に向つて盛んに陰電子を放出する。之を回路より見れば陽極より陰極に向つて電流が流れることとなる。通常之を陽極電流と呼ぶ。此の陽極電流は別に格子に掛ける電圧の正負及その大小によつて強さが変化する。之が真空管の特性である (圖-1)。

2. 真空管發振回路

真空管に電源を連結し、陽極と格子の各々にコイルを巻き相結合せしめ、更に之等双方何れかのコイルと並列に

* 北海道帝國大学教授

** 工学士 同 助教授

蓄電器を挿入すれば、之等の間に高周波を發生する。此の高周波の周波数はコイルの狀態及蓄電器容量の変化によつて異なる。故に是等兩者の何れかを変へれば、周波数が變つて來る（圖-2）。

3. 陽極電流と高周波の周波數

一面真空管は1つの大きな抵抗と考へられ、此の兩極に大きな電圧を加へても回路に流れる陽極電流は極く微弱であるが、一度回路に高周波が發生すれば急にその強さを増し而も高周波の周波數の変化により極めて顯著な強弱を示す。此の性質を利用し、且平行板蓄電器を格子のコイルと並列に入れ、測定せんとする材料の歪を直接此の蓄電器平行板間の空隙の変化に移し、之による陽極電流の変化を取出すものが本応力計なのである。

即ち此の蓄電器に2枚の平行円板を用ひ之を測定せんとする材料に取付け、材料の伸縮と共に平行板間の空隙を開き或は縮めることにより容量を変へ、之によつて起る陽極電流の変化を觀測或は記録し、逆にその材料の歪、從つて応力を知るのである。

4. 電橋回路

此の發振回路には初めより或る値の電流が通つてゐる故、その電流を打消し変化のみを取出す目的で、ホキートストーン電橋回路を採用してゐる。ホキートストーン電橋は一般に、4ヶの抵抗を組合はせて相對する端子間の電圧或は電流の平衡を取るものであるが、真空管自体が1つの大なる抵抗と考へられるので、ホキートストーン電橋回路内の1ヶの抵抗の位置に前述の真空管發振回路を入れ、平行板を取付けた被測定材料の歪を受けない狀態に於て電橋の對向2端子間の電位を1翼の可変抵抗により平衡せしめてゐる。材料が歪を受ければ之等2つの端子間に電位差を生じ高電位より低電位に向ひ平衡を破つた変化電流のみが流れる。靜荷重よりの歪なれば普通のミリ或はマイクロ檢流計で觀測し得るが、動荷重に由來するものであれば通常の檢流計では慣性即ち自己振動周期大なる爲觀測し得ず、又此の変化電流は直接オシログラフに感ぜしめ得る出力が無いから、電力及出力を増幅して電磁型オシログラフにより觀測又は記録する。

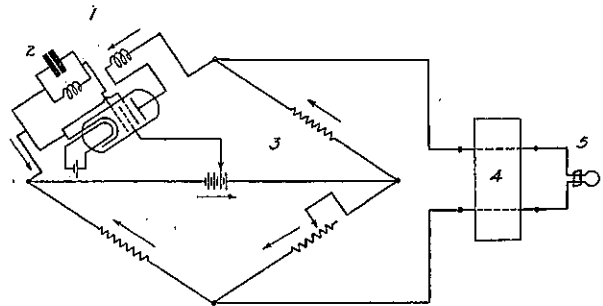
5. 増幅器

増幅器は特に組立てた抵抗2段増幅であるから靜荷重よりする歪も同様にして増幅せしめ得るものである。

6. オシログラフ

オシログラフは横河製で、その振動子は感度鋭敏であり、且自己振動周期 $1/1000 \text{ sec}$ の H 型を使用してゐる。圖-3 の中 1 は真空管發振回路、2 は實際材料に取付ける平行板蓄電器、3 は電流を平衡せしめるべきホキートストーン電橋、4 は抵抗増幅器、5 はオシログラフを示す。

圖-3. 応力計回路



3. 応力計（被測定材料へ取付けるべき装置）

1. 主 体 本装置は材料の直応力或は纖維応力を測ることを目的としてゐる爲、彎曲又は振れを避けて常に相對する平行板が平行のまま移動することを必要とする。之に就ては特殊の装置を施してゐる。即ち圖-4 中 A は円筒、B は嚮子であつて共に測定せんとする材料に取付け、嚮子を円筒に隙間無く挿入し此の中に滑動する様にし、測定材料の撓みに對しては嚮子の方に C なる鋼線を附して自由に撓度に応ぜしめ円筒の底部と嚮子の頭部

とは常に平行の位置にあらしめる。円筒の底部及
 啣子の頭部に同形同大、表面滑らかな銅板 D を挿
 入し、周囲とはエポナイトの厚板で完全に絶縁し
 てある。

此の様に材料の軸方向の歪を直接平行銅板の空
 隙の変化に移すものであつて、其處に何等機械的
 擴大装置が無い爲、故障の起る餘地が無く正直に
 歪を傳達し応力を表はすことが出来る。

2. 締付装置 此の装置を部材に取付けるのは
 螺旋によるが雄螺旋をねぢつてその尖端が廻転す
 れば、締付の際装置を正しい位置に取付けることが
 困難となる故、尖端が回轉せずに進み徐々に材料
 を締め付け得る様な構造とした。

3. 調整 (Calibration) 本装置は之を被測材
 料に取付けた儘容易に調整を行ふ様にしてある。即ち平行銅板の啣子の方は固定し、円筒の方は螺絲輪 (worm
 gear) 装置により、小齒車 (pinion) よりの傳達速度を落し極く徐々に細かに出入せしめて、平行銅板の空隙を變へ
 此の移動量を $1/1000$ mm の dial gauge で讀取り、檢流
 計の示度と比較し或はオシログラフに記録して尺度と
 するのである。斯くして調整が済んだならば、円筒附屬
 の螺旋をしめて円筒を固定し、實測に取掛るのである。

是等取付装置全体の重量は dial gauge を含んで 1.22
 kg の手軽なものであり、測定の済んだ後は啣子の方を
 締付金具から取外し、円筒の内部に入れて保存するの
 である。図-5 は本装置を示す。

4. 感 度

締付標點間隔は現在のもので 8.5 cm 内外で、最初に平行板に與へて置く空隙は $1/20 \sim 1/30$ mm で感度はオシ
 ログラフのフィルム上の 1 mm は $1/1000 \sim 1/2000$ mm の歪、即ち $12 \sim 25$ kg/cm² の応力に當る故、此の程度
 迄容易に測定することが出来る。従つて擴大率は 1000~2000 倍と云ふことが出来るのである。

5. 電 源

本真空管回路に要する電源は蓄電池で、數量は次の通りである。

1. 發振回路: 6 ボルト 1 臺, 100 ボルト 2 臺, 計 3 臺。
2. 増幅回路: 6 ボルト 2 臺, 100 ボルト 3 臺, 計 5 臺。

即ち全數量 6 ボルト 3 臺, 100 ボルト 5 臺, 計 8 臺で、その重量は 1ヶ平均 20 kg として 160 kg となり、
 運搬其の他に不便支障を來すこと少なからず實用的とは云ひ難い爲、更に次の様な改良を施した。

図-4. 応力計測定部材取付装置

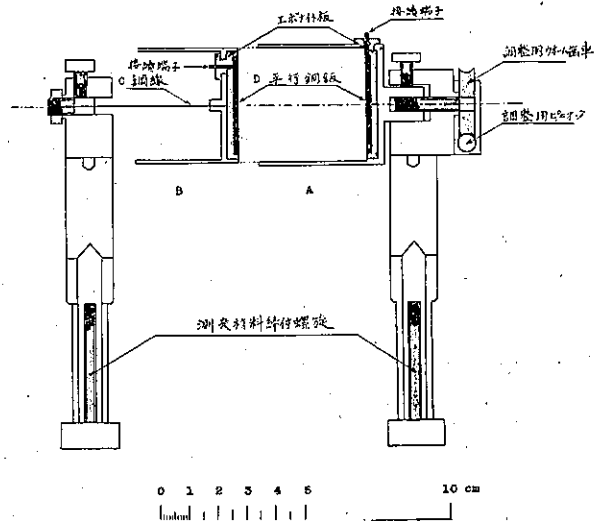
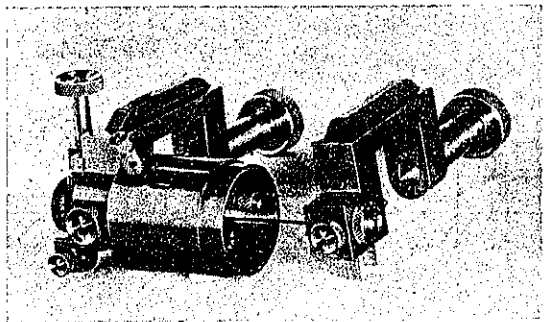


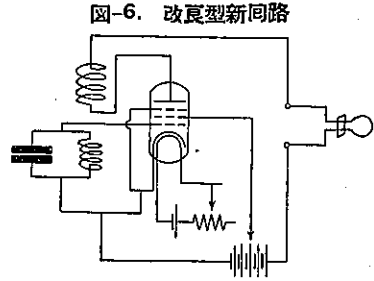
図-5. 本応力計測定部材取付装置



6. 改良型新回路

増幅回路並にホーントストン電橋回路を除去し、陽極電流を直接オシログラフに導入したもので、その回路は図-6の通りである。

即ち陽極電流は 20~30 ma である故、オシログラフ中の振動子 H 型の安全電流 50 ma 以内で且つ振動子の可撿小範圍に止る。此の回路によれば、蓄電池は發振回路に 3 臺、オシログラフに 6 ボルト 2 臺、計 5 臺となり、更に交流 100 ボルト燈用電源を求められる場所に於てはオシログラフ用の 2 臺も不要であつて單に 3 臺となり、重量も 60 kg に減じ、又發振回路は真空管、蓄電器と若干の織條用抵抗及電流計のみで小型なものであり、之を取付装置の近くに位置せしめる外、發振回路と電池及オシログラフ迄は導線により連絡する遠途距離に於て觀測することが出來、極めて實用的である。



7. 實測結果

此の新回路を用ひて、國有鐵道函館本線札幌、桑園兩驛間函館基點 285 928.750 m の I 形鋼桁橋徑間 12 呎、山陽型 18'' x 7'' x 0.55'' x 75# の中央に就て、列車通過時の纖維応力を實測した結果は 圖-7 及 圖-8 で、圖-7 は下緣応張側、圖-8 は上緣応圧側であつて、後者は前者より感度を上げて測定した。

圖-7. 列車通過時の I 形鋼桁下緣応張側纖維張応力

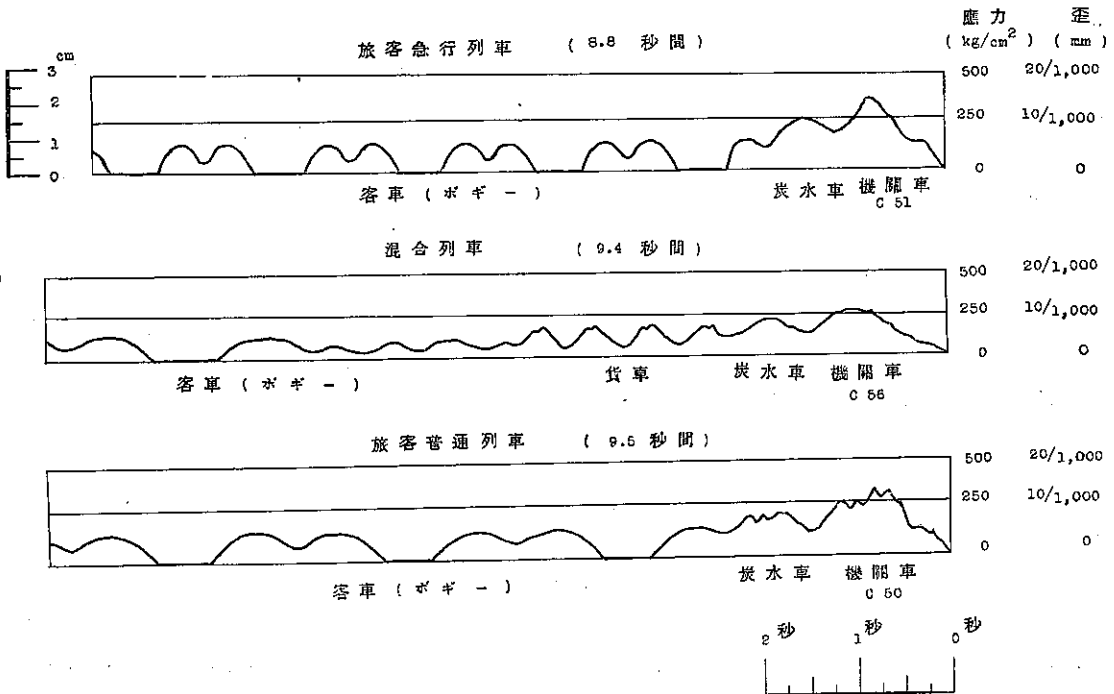
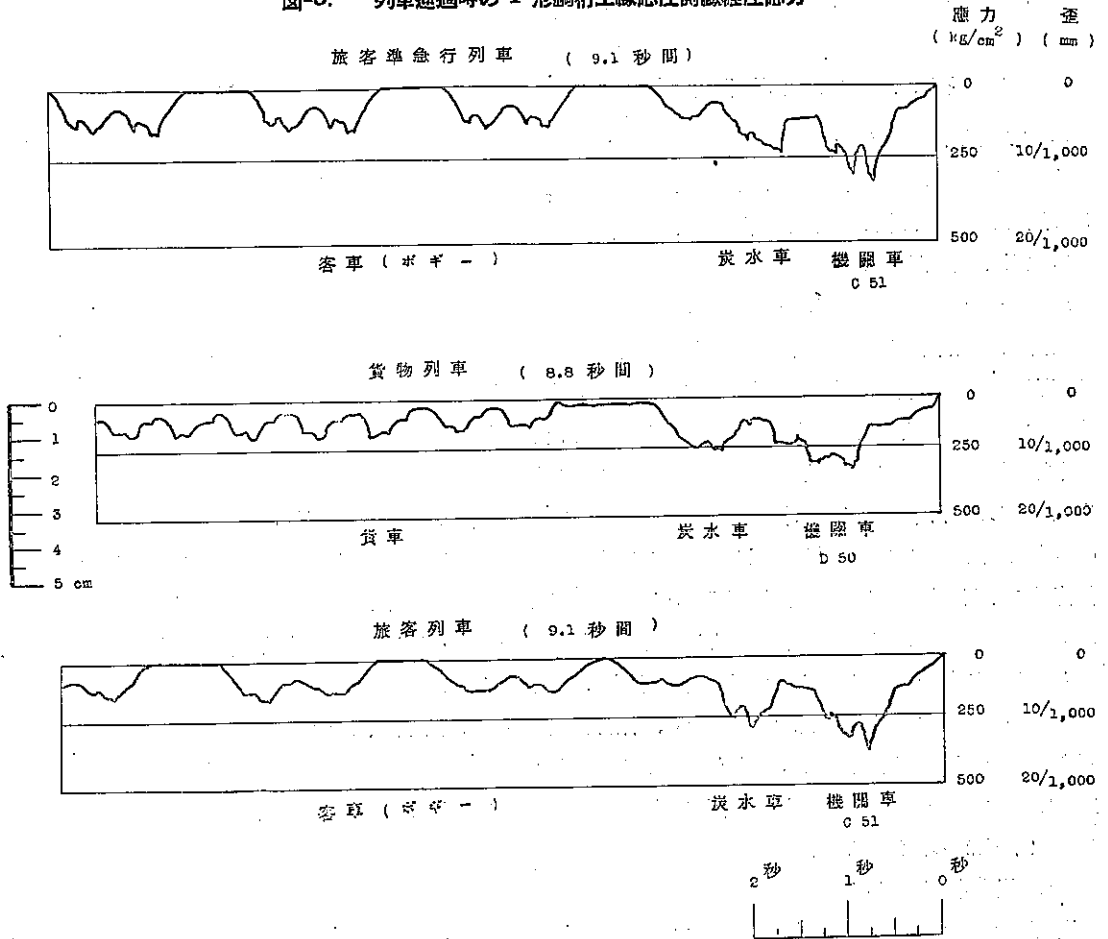


図-8. 列車通過時の I 形鋼桁上縁応圧側繊維圧応力



8. 結 論

以上本応力計の特徴とする處は次の通りである。

1. 本装置改良型の回路は極めて簡單なる故、故障の起る憂なく萬一故障の起つた場合も検出修理容易であること。

2. 取付装置は小型且 compact なる爲激動に耐え、又運搬其の他取扱容易なること。

3. 測定時に於て適宜調整を行ひ得ること。

4. 電氣的なる爲遠距離に於て觀測し得ること。

5. 感度の鋭敏なること。

6. 締付標點間隔の小なること。

又取扱上特に注意を要する點は次の通りである。

1. 取付装置と發振回路との結線はなるべく短くすること。

2. 發振回路はなるべく振動を少なからしめること。

3. 回路のスイッチを入れてから 20~30 分間放置し陽極電流の安定を待つこと。

9. 在來の電氣的応力計

1. ピエゾ電氣によるもの

水晶の如き結晶体を圧縮すれば電位差を生ずる。此の原理を応用したもので相當の高電圧を得られ瞬時的現象には適當するが、比較的長時間の現象には適しない。

2. 電磁感應電流によるもの

magnetic strain guage, Ritter's extensometer

電橋回路の相隣れる 2 つの抵抗の代りに U 形鉄心にコイルを巻いた同形のを夫々挿入し、此の 2 つの U 形鉄心はその間隔を一定にして相對向して置きその中間に第 3 の鉄心を置けば、此處に 1 つの電磁場を形成する。此の状態に於て電橋回路の可変抵抗により電氣平衡を取る。

今此の第 3 の鉄心と U 形鉄心との空隙を変化せしめれば此の電磁場の flux 變化し、之がコイルに感應電流を生ぜしめ電氣平衡が破られて檢流計にフレを生ぜしめる。此の原理を利用し、第 3 の鉄心と U 形鉄心との空隙の變化を測定せんとする材料の歪と一致せしめ、檢流計の讀みより逆に歪即ち応力を知らんとするものである。静荷重による応力に對しては普通燈用 100 ボルト 60 サイクルの交流を酸化銅整流器によつて簡単に整流し、直流ミリ電流計で讀み得るが、動荷重による応力の場合には 700~1000 サイクルの周波數を有する交流を要し、斯かるものは眞空管を用ひては得られず、發電機に依らなければならない。此の發電機は出力 150 ワット程度のものであるから適當な市場品無く特殊なものとなり、普通電燈線にその電源を仰ぐとしても重量は 100 kg 近くなり、分割することが出来ぬ故携帯に不便であり、更に野外測定用としては燈用電源も得られぬ場合少なしとしない。その感度は 5/1000 mm 程度で之を標點間隔 4 吋(約 10 cm)としても応力 100 kg/cm² 位のものである。

3. 電氣抵抗の變化によるもの

a. 炭素棒を用ひるもの

炭素棒を圧縮すればその圧縮の程度によつて電氣抵抗が變化する。此の原理に基づいて豫め電橋回路により電氣平衡を取つておき變化電流を取り出し応力の尺度としたものである。測定範圍は廣いが裝置は比較的簡單とは考へられず純粹の炭素棒を得ること又容易ならず更に感度も餘り鋭敏とは云へない。

b. 抵抗線を用ひるもの

I. G. R. Electric telemeter.

電氣回路内に抵抗線を挿入し此の抵抗線中より更に新なる振動子回路を分離し、此の回路の一端は抵抗線に固定し他端は部材の歪に比例して抵抗線上を滑動する様に組立てられ、此の抵抗線上の 2 點の相對的移動に對して生じた抵抗の大小による電流の強弱を檢流計により觀測し逆に歪即ち応力を知らんとするものである。而して初めより流れてゐる、電流を打消して變化電流を取出す爲にはポテンシオメーター法を採用してゐる。之によれば回路も比較的簡單、電源も小型蓄電池を用ひ器具裝置も手軽であるが、抵抗線上の接觸抵抗は相當困難な問題であつて接觸點の微細な變位に對する振動子の電流變化は極めて微弱であり歪を機械的に擴大することを要する。此の機械的擴大を行つても感度は 1/200 mm、擴大率 160 倍程度迄である。

4. 高周波を利用したもの

現今行はれてゐる変位計として最も精密且良感度のもので、その原理は本論 2 の 1, 2 及 3 で述べた通りで

ある。之等には同路の電流平衡を取る急ポテンシオメーター法を採用してゐる。従つて電源其の他の多少の変化の爲に平衡は破れ振動の如き測定に用ひられるが構造物の如く比較的徐々に応力を受けるものゝ測定には適しない。殊に橋梁等野外の諸種の状態の変化を伴ふ測定の實施に當つては多大の困難を伴ふ。

2 鉸 肋 拱 橋 の 応 力 計 算 に 就 て

(昭和 13 年 7 月 17 日 土木學會第 2 回年次學術講演會に於て)

會 員 北 澤 忠 男*

要 旨 土木學會第 1 回年次學術講演會に於て「鉄筋コンクリート無鉸拱の計算方法に就て」なる論文を提出して、(1) 計算を出来るだけ簡單にする事、(2) 1 つの拱に就て計算した結果を成可く廣く他の拱に對しても応用し得る様にする事、(3) 理論の示す所に従つて計算を正確にする事、なる 3 ヶ條に重點を置いて鉄筋コンクリート無鉸拱の応力計算に就て研究した結果を發表したのであるが、今回提出する論文も亦全く同一趣意に基きて 2 鉸肋拱橋の応力計算方法を研究したものである。無鉸肋拱橋としては主として鉄筋コンクリート拱肋が實用せられて居る様であるが、2 鉸拱に於ては寧ろ鋼拱肋或ひは構拱肋が多く用ひられて居るから此の論文に於ては後の 2 者に就て研究した結果を發表するのである。但し鉄筋コンクリート拱肋の取扱は夫が無鉸拱であつても亦 2 鉸拱でも別に変る所は無いと思ふから第 1 回年次學術講演會に於て發表した事を其の儘用ふればよいと考へる。2 鉸肋拱の拱軸曲線の形としては勿論種々なる曲線が用ひ得らるゝのであるが實用上から見て著者は Parabola と Circle の 2 つを選定した。(1) 及 (2) の目的を實現する爲拱曲線の方程式、拱環の厚さ、拱環横断面積及断面 2 次率等は全部拱の支間 l に由りて表はし得る如く工夫し、拱環の内面曲線及外面曲線は拱軸曲線と同一種類の曲線を用ひる事とした。(3) の目的に對しては $I \cos \varphi$ 及 $A \cos \varphi$ は一定に非ずして変化するものとした事は勿論、軸圧力に依る拱環圧縮の影響並に拱環横断面に平行に作用する剪力の影響を考慮し、是等が拱に生ずる応力に對し如何なる割合のものとなるかを求める事とした。

1. 拱 軸 曲 線

2 鉸肋拱の拱軸曲線として拱頂 C に對し全く對稱の形を持つ所の Parabola 及 Circle の 2 つを考へる。原點を拱の左端鉸 A に置き曲線の任意點の縦距 y 並に $\tan \varphi$ (φ は拱の任意點の横断面が垂直線となす角) を次の如く定める。

(a) Parabola (圖-1 参照)

$$y = 4 \frac{f}{l} \times \frac{x}{l} (l - x), \quad \frac{f}{l} = m, \quad \frac{x}{l} = k$$

$$\therefore y = 4mk(1-k)l = \gamma l \dots \dots \dots (a_1)$$

但 $\gamma = 4mk(1-k)$

$$\tan \varphi = 4 \frac{f}{l} \left(1 - 2 \frac{x}{l} \right) = 4m(1-2k) \dots \dots \dots (a_2)$$

(b) Circle (圖-2 参照)

$$R = \text{圓の半径} = \frac{(l/2)^2 + f^2}{2f} = \frac{1+4m^2}{8m} l = nl$$

圖-1. Parabola

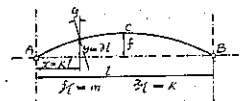
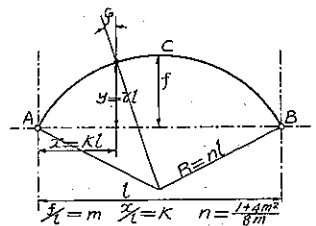


圖-2. Circle



* 工学士 名古屋高等工業學校教授