

論 說 報 告

第 23 卷 第 2 號 昭和 12 年 2 月

変形ローゼ桁に就て

會員 中 島 武*

About the Modified Lohse Girder

By Takesi Nakazima, C. E., Member.

要 旨

本文は所謂ローゼ桁に於ける兩端 2 個の滑節を取除きて、之を剛節としたるものを“変形ローゼ桁”と名付け、其の解法と性質とを説明してローゼ桁と比較し、更に進んで著者が解式の性質を考慮して案出したる簡易計算法を紹介し、尙此の型式の持つ鉄筋コンクリート橋としての得失を論じたるものである。

目 次

	頁
1. 緒 言	1
2. 解 法	3
3. ローゼ桁との比較	9
4. 簡易計算法	10
5. 二次応力	14
6. 利點と缺點	15
7. 結 語	17

1. 緒 言

ローゼ桁を静力学的に考へれば、ランガー桁とフィーレンデル桁との中間に位するもので、之等三者の間にはまことに面白い關係がある。此の關係に就ては、著者が雑誌土木工学第 3 卷第 10 號、第 12 號、第 4 卷第 2 號、第 4 號の“4 邊形構桁の解法”中に書いた。之等三者の内ランガー桁及フィーレンデル桁は吾が國に於ても既に數橋實施せられ居るに拘らず、獨りローゼ桁のみ未だ實施せられたる例を見ぬ様である。之には何か實施出來ぬ理由があるのであらふか？ 著者は此の點に關し種々研究したが、ランガー桁及フィーレンデル桁に比較して、不經濟になるとか或は構造上不都合な點が在ると云ふが如き事は、決してない事を確め得た。否、種々な意味に於てローゼ桁は上記二者よりも優れて居ると思はれる。

然らば何故にローゼ桁が今日に至るも其の實現を見ぬのであらふか？ 此の理由の一つとして、ローゼ桁の計算法が非常に煩雜であり、且つ餘り普及して居らなかつたと言ふ事を挙げ得るのではなからふか？ 著者の知人の殆ど全部がローゼ桁と言ふ名稱すら知らなかつた事より考ふるも、此の型の橋桁が如何に吾が國の土木技術者に親しまれぬ存在であつたかを知る事が出来る。ローゼ桁と言ふ名稱は知らなくとも、構造上より斯る橋梁型式が存在する事はランガー桁及フィーレンデル桁等より考へ得る事であるから、此の型式に就き考へて見た事のある人も随分多い事と思はれるし、又 Bleich 氏著“Die Berechnung statisch unbestimmter Tragwerke nach der

* 長野縣道路技師 工学士

“Methode des Viermomentensatzes” に就き既に此の解法を学ばれた方も澤山に居られる事であらふが、早くから此の解法が紹介されて、もつと一般的に普及されて居たならば今頃は少くとも1橋や2橋は実施されて居るのではなからうか。計算上より考ふるも構造上より見るも、ローゼ桁よりも遙かに困難と思はれるフィーレンデル桁が、豊海橋に実施せられて以来、之が実施せられる以前は殆どフィーレンデル桁と言ふ名稱をさへ知らぬ人が多かつたに不拘、既に數橋實現して居る事より考ふるも此の事は頷かれるであらふ。

著者がローゼ桁に就て研究し始めたのは、鉄筋コンクリートを以て、長径間の下路橋を實施せんが爲であつた。由來長径間の下路橋を實施せんとする場合には、一二の例外を除いては殆ど鋼橋を採用して來た。而して近年各府縣殆ど例外なしに之等鋼橋のペイント塗換費に頭を悩まして居る事であらふ。若し鉄筋コンクリートを以て長径間の下路橋を實施し得るならば、特別な悪条件のない限り架設費は遙かに廉く、しかも橋梁の壽命は永く、更に架設後の維持費を要せぬから、國家經濟よ

り考へてまことに好ましい事である。斯の如き考へから先づ計算と構造の簡單なものと云ふ意味で、ランガー桁を考へて見た。然し乍らランガー桁は 圖-1 に示

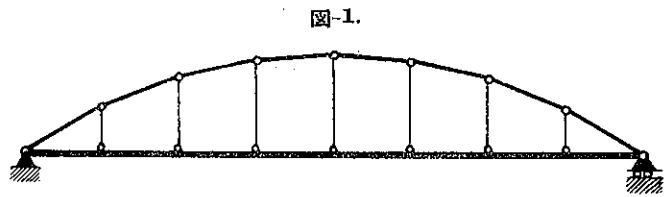
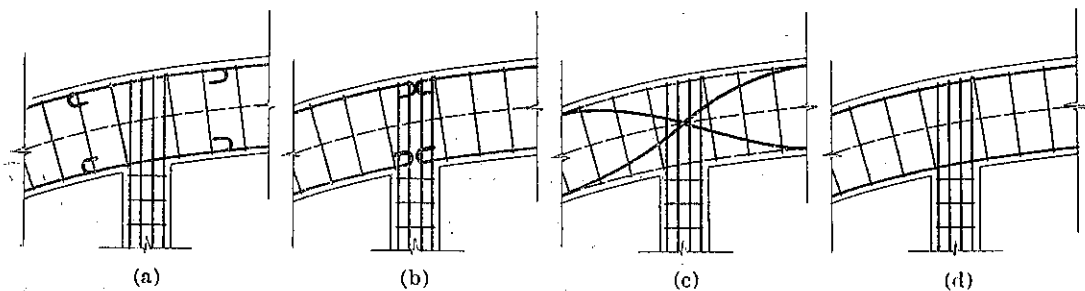


圖-1.

す如く、上弦材は各格點に於て滑節により連結せられたるものと假定し、随つて上弦材は曲げモーメントに抵抗せぬものとして計算をするのであるが、此の假定は計算が簡單になつて設計をする者にとつてはまことに有難い假定であるけれども、鉄筋コンクリート橋としては此の假定の如く考へ得る構造にする事は困難である。某縣に於て實施せる鉄筋コンクリートのランガー桁に於ては 圖-2 (a) の如き方法を採用して居るが、之は事實上鉄筋が連続し

圖-2.



て居る 圖-2 (d) と何等異ならない。鉄筋を各格點に於て全く切離して 圖-2 (b) の如くする事は危険であり、又 圖-2 (c) の如くする事も困難である。然らば最も容易なる方法として 圖-2 (d) の如くしたならば如何？ 之即ち

ローゼ桁の構造なのである。即ちローゼ桁は 圖-3 の如き假定によるものであつて、上弦材も下弦材と共に曲げモーメントを受くるものとして計算をする事となり、假定と實際の構造とがよく一致する。

此の點に於て、鉄筋コンクリート橋としてはローゼ桁はランガー桁よりも遙かに優れて居ると思はれる。

偕て此のローゼ桁を鉄筋コンクリート橋として實施するには、構造上他に不都合な點は無いであらうか？ 鉄筋コンクリート橋としては、主溝中に滑節が存在する事は大なる缺點と云はなければならぬ。ローゼ桁に於ける滑節

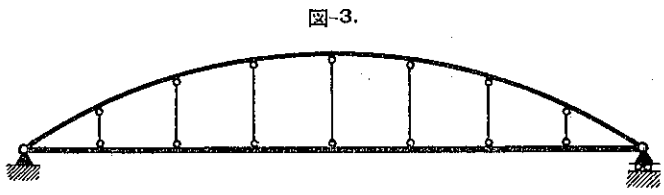


圖-3.

は、各吊材の上下両端と、上下両弦が其の両端に於て相接する箇所とである。前者は吊材の橋軸線方向の厚を小にし、鉄筋を主構面に直角の方向に配置して吊材断面の主構面に直角の軸に對する断面二次モーメントを出來得る限り小さくする様にすれば、上下弦の断面二次モーメントに比較して、吊材の断面二次モーメントを充分小にする事が出来るから、實際上吊材は上下両端に於て弦材に滑節にて連結されて居るものと考へ得る。又吊材として數本の鋼釘を主構面に直角の方向に1列に配列して用ふる時は、殆ど完全な滑節作用をなすであらう。何れにしても吊材の上下両端が滑節に連結されたものと考へ得る構造にする事は困難な事ではない。次に後者をして完全な滑節作用をせしむるには如何にしたらよいか？ 之はなかなか困難な事である。此の困難を排して完全な滑節作用をなす如き構造とする時は、橋梁全体としての剛性を減ずる虞がある。此の點がローゼ桁の鉄筋コンクリート橋としての最大の缺點とも云ふべきところである。ローゼ桁の両端の滑節を除去して之を剛節とする時は、鉄筋コンクリート下路橋としては、完璧に近いものと云へやう。之即ち本文に於て述べんとするところの“変形ローゼ桁”なのである。

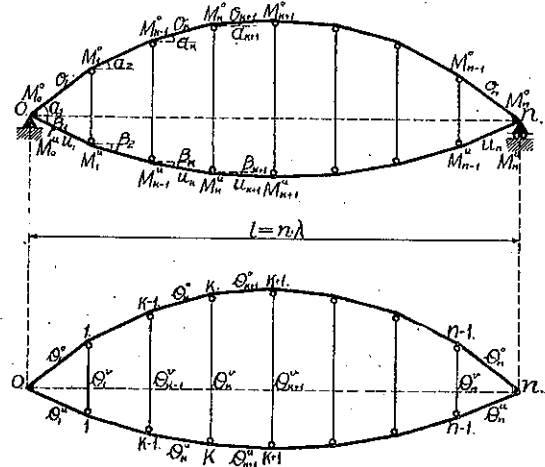
2. 解法

本解法は元來ローゼ桁の解法 (Bleich 氏著 “Die Berechnung statisch unbestimmter Tragwerke nach der Methode des Viermomentensatzes” S. 99~108) に僅かの修正を施したものであつて、大部分同じであるが、先づ順序として茲に其の解法を述べ、然る後に普通のローゼ桁の解と比較する事としやう。

(1) 計算上の記號 (圖-4 参照)

- λ = 格間長
- n = 格間數
- $l = n\lambda$ = スパン長
- o_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材の長さ
- u_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材の長さ
- h_k = 格點 k に於ける吊材の長さ
- α_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材の $0 \sim n$ とす角
- β_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材の $0 \sim n$ とす角
- Δo_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材の変形
- Δu_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材の変形
- \mathcal{D}_k^o = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材の廻轉角
- \mathcal{D}_k^u = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材の廻轉角
- \mathcal{D}_k^v = 格點 k に於ける吊材の廻轉角
- F_k^o = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材の断面積
- F_k^u = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材の断面積
- J_k^o = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材の断面二次モーメント
- J_k^u = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材の断面二次モーメント
- J_c = 任意に選擇せられたる一定の断面二次モーメント
- H = 水平推力

圖-4.



- M_k^o = 格點 k に於て上弦材に働く曲げモーメント
- M_k^u = 格點 k に於て下弦材に働く曲げモーメント
- O_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材に働く軸方向力
- U_k = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材に働く軸方向力
- Z_k = 格點 k に於ける吊材に働く軸方向力
- Q_k^o = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける上弦材に働く剪断力

Q_k^u = 格間 $(k-1) \sim k$ に於ける下弦材に働く剪断力

\mathfrak{D}_k = 格点 k に於ける單純梁の曲げモーメント

(2) 解式の誘導 Bleich 氏の著書に於けるローゼ桁の解式誘導に當つては、ローゼ桁は其の兩端に滑節を有する爲に、上弦に對する曲げモーメント等式と下弦に對するそれとは、此の 2 個の滑節を結ぶ線を境にして上下に 2 分し、全く別々に考へられるから、上弦下弦夫々左から右へ向つて曲げモーメント等式を構成して居るが、変形ローゼ桁に於ては兩端に滑節は存在せず、全く閉ぢたる一つのラーメンであるから、上弦下弦各別に曲げモーメント等式を立てる事は出来ない。上弦に對して左から右へ向つて曲げモーメント等式を立てるならば、下弦に對しては之に連続して右から左へ向つて式を立てなければならぬ。しかも各格點の番號は上弦下弦共に左から右へ向つて増加して居るから、ローゼ桁の場合に比較すれば符號の上に違ひを生ずる。

先づ曲げモーメント等式は 3 連モーメント式を用ひ、

上弦材に對しては、

$$M_{k-1}^0 \cdot \theta_k' + 2M_k^0 \cdot (\theta_k' + \theta_{k+1}') + M_{k+1}^0 \cdot \theta_{k+1}' - \rho(\mathfrak{D}_k^0 - \mathfrak{D}_{k+1}^0) = 0$$

下弦材に對しては、

$$M_{k-1}^u \cdot \theta_k' + 2M_k^u \cdot (\theta_k' + \theta_{k+1}') + M_{k+1}^u \cdot \theta_{k+1}' + \rho(\mathfrak{D}_k^u - \mathfrak{D}_{k+1}^u) = 0$$

} (a)

茲に

$$\rho = 6 \cdot E \cdot J_c, \quad \theta_k' = \theta_k \cdot \frac{J_c}{J_k^0}, \quad \theta_k' = \theta_k \cdot \frac{J_c}{J_k^u}$$

此の下弦に對する曲げモーメント等式の最後の項は、普通のローゼ桁に於ては $-\rho(\mathfrak{D}_k^u - \mathfrak{D}_{k+1}^u)$ となるが、変形ローゼ桁に於ては格間 $k \sim (k+1)$ から格間 $(k-1) \sim k$ へ向つて式を立てるから、 $-\rho(\mathfrak{D}_{k+1}^u - \mathfrak{D}_k^u)$ となるのである。

次に角等式は (a) 式中の \mathfrak{D}_k 及 \mathfrak{D}_{k+1} を得る目的を以て、格間 $(k-1) \sim k$ 及格間 $k \sim (k+1)$ に對して考へなければならぬ。先づ格間 $(k-1) \sim k$ に對しては、

$$\Delta \theta_k \cos \alpha_k - \Delta u_k \cos \beta_k + h_{k-1} \mathfrak{D}_{k-1}^v + \mathfrak{D}_k^0 \cdot \theta_k \sin \alpha_k - h_k \mathfrak{D}_k^v + \mathfrak{D}_k^u \cdot \theta_k \sin \beta_k = 0$$

$$\Delta \theta_k \sin \alpha_k + \Delta u_k \sin \beta_k - \mathfrak{D}_k^0 \cdot \theta_k \cos \alpha_k + \mathfrak{D}_k^u \cdot \theta_k \cos \beta_k = 0$$

格間 $k \sim (k+1)$ に對しては、

$$\Delta \theta_{k+1} \cos \alpha_{k+1} - \Delta u_{k+1} \cos \beta_{k+1} + h_k \mathfrak{D}_k^v + \mathfrak{D}_{k+1}^0 \cdot \theta_{k+1} \sin \alpha_{k+1} - h_{k+1} \mathfrak{D}_{k+1}^v + \mathfrak{D}_{k+1}^u \cdot \theta_{k+1} \sin \beta_{k+1} = 0$$

$$\Delta \theta_{k+1} \sin \alpha_{k+1} + \Delta u_{k+1} \sin \beta_{k+1} - \mathfrak{D}_{k+1}^0 \cdot \theta_{k+1} \cos \alpha_{k+1} + \mathfrak{D}_{k+1}^u \cdot \theta_{k+1} \cos \beta_{k+1} = 0$$

なる式を得る。然るに、

$$\theta_k \cos \alpha_k = u_k \cos \beta_k = \lambda, \quad \theta_k \sin \alpha_k = \lambda \cdot \text{tg} \alpha_k, \quad u_k \sin \beta_k = \lambda \cdot \text{tg} \beta_k$$

なる關係があるから、之を上式に代入して次式を得る。

$$\Delta \theta_k \cos \alpha_k - \Delta u_k \cos \beta_k - (h_k \mathfrak{D}_k^v - h_{k-1} \mathfrak{D}_{k-1}^v) + \lambda \cdot (\mathfrak{D}_k^0 \text{tg} \alpha_k + \mathfrak{D}_k^u \text{tg} \beta_k) = 0$$

$$\Delta \theta_{k+1} \cos \alpha_{k+1} - \Delta u_{k+1} \cos \beta_{k+1} - (h_{k+1} \mathfrak{D}_{k+1}^v - h_k \mathfrak{D}_k^v) + \lambda \cdot (\mathfrak{D}_{k+1}^0 \text{tg} \alpha_{k+1} + \mathfrak{D}_{k+1}^u \text{tg} \beta_{k+1}) = 0$$

} (b)

$$\Delta \theta_k \sin \alpha_k + \Delta u_k \sin \beta_k - \lambda \cdot (\mathfrak{D}_k^0 - \mathfrak{D}_k^u) = 0$$

$$\Delta \theta_{k+1} \sin \alpha_{k+1} + \Delta u_{k+1} \sin \beta_{k+1} - \lambda \cdot (\mathfrak{D}_{k+1}^0 - \mathfrak{D}_{k+1}^u) = 0$$

} (c)

(a) 式と (c) 式とより \mathfrak{D} を消去せんが爲に、(a) 式に加法 (普通のローゼ桁の場合は減法) を施せば、

$$M_{k-1}^0 \cdot \theta_k' + M_{k-1}^u \cdot \theta_k' + 2 \cdot [M_k^0 \cdot (\theta_k' + \theta_{k+1}') + M_k^u \cdot (\theta_k' + \theta_{k+1}')] + M_{k+1}^0 \cdot \theta_{k+1}' + M_{k+1}^u \cdot \theta_{k+1}'$$

$$-\rho(\mathfrak{D}_k^0 - \mathfrak{D}_k^{\nu}) + \rho(\mathfrak{D}_{k+1}^0 - \mathfrak{D}_{k+1}^{\nu}) = 0$$

(e) 式に減法を施せば、

$$\Delta O_k \sin \alpha_k - \Delta O_{k+1} \sin \alpha_{k+1} + \Delta u_k \sin \beta_k - \Delta u_{k+1} \sin \beta_{k+1} - \lambda(\mathfrak{D}_k^0 - \mathfrak{D}_k^{\nu}) + \lambda(\mathfrak{D}_{k+1}^0 - \mathfrak{D}_{k+1}^{\nu}) = 0$$

之等 2 式より \mathfrak{D} の項を消去すれば、

$$M_{k-1}^0 \cdot O_k' + M_{k-1}^{\nu} \cdot u_k' + 2 \left[M_k^0(O_k' + O_{k+1}') + M_k^{\nu}(u_k' + u_{k+1}') \right] + M_{k+1}^0 \cdot O_{k+1}' + M_{k+1}^{\nu} \cdot u_{k+1}' - \gamma_k = 0 \dots\dots\dots (d)$$

茲に、
$$\gamma_k = \frac{\rho}{\lambda} [\Delta O_k \sin \alpha_k - \Delta O_{k+1} \sin \alpha_{k+1} + \Delta u_k \sin \beta_k - \Delta u_{k+1} \sin \beta_{k+1}] \dots\dots\dots (d')$$

此の (d) 式は最早廻転角を含みぬから、之は一つの決定式であつて、此の式の k に $0, 1, 2, \dots, n-1, n$ を代入して $n+1$ 個の式を得るわけである。然るに求むべき不静定量は、 $M_0, M_1, M_2, \dots, M_{n-1}, M_n$ 及 H の $n+2$ 個であるから、更にもう一つの式を誘導しなければならぬ。此の目的の爲に (c) の第 1 式より、

$$\lambda \cdot \mathfrak{D}_k^{\nu} \cdot \text{tg} \beta_k = \lambda \cdot \mathfrak{D}_k^0 \cdot \text{tg} \beta_k - (\Delta O_k \sin \alpha_k + \Delta u_k \sin \beta_k) \text{tg} \beta_k$$

之を (b) の第一式に代入すれば、

$$(\Delta O_k \cos \alpha_k - \Delta u_k \cos \beta_k) - (h_k \mathfrak{D}_k^{\nu} - h_{k-1} \mathfrak{D}_{k-1}^{\nu}) - (\Delta O_k \sin \alpha_k + \Delta u_k \sin \beta_k) \text{tg} \beta_k + \lambda \cdot \mathfrak{D}_k^0 (\text{tg} \alpha_k + \text{tg} \beta_k) = 0$$

此の式の k に $1, 2, \dots, n-1, n$ なる値を代入して夫等の n 個の式を加へ合せれば、 $h \mathfrak{D}^{\nu}$ なる項は相殺して消去せられ、次の如き式が得られる。

$$\sum_{k=1}^n [\Delta O_k (\cos \alpha_k - \sin \alpha_k \text{tg} \beta_k) - \Delta u_k (\cos \beta_k + \sin \beta_k \text{tg} \beta_k)] = - \sum_{k=1}^n \mathfrak{D}_k^0 \cdot \lambda (\text{tg} \alpha_k + \text{tg} \beta_k)$$

然るに、
$$\lambda (\text{tg} \alpha_k + \text{tg} \beta_k) = h_k - h_{k-1}$$

$$\cos \alpha_k - \sin \alpha_k \text{tg} \beta_k = \frac{1}{\cos \beta_k} (\cos \alpha_k \cos \beta_k - \sin \alpha_k \sin \beta_k) = \frac{\cos(\alpha_k + \beta_k)}{\cos \beta_k}$$

$$\cos \beta_k + \sin \beta_k \text{tg} \beta_k = \frac{1}{\cos \beta_k} (\cos^2 \beta_k + \sin^2 \beta_k) = \frac{1}{\cos \beta_k}$$

なる関係があるから、之を代入すれば、

$$\sum_{k=1}^n \mathfrak{D}_k^0 (h_k - h_{k-1}) = -t \dots\dots\dots (e)$$

茲に
$$t = \sum_{k=1}^n \left[\Delta O_k \frac{\cos(\alpha_k + \beta_k)}{\cos \beta_k} - \Delta u_k \frac{1}{\cos \beta_k} \right] \dots\dots\dots (e')$$

次に (a) の第 1 式の各項に h_k を乗じて加算すれば、

$$\sum_{k=1}^n [M_{k-1}^0 \cdot O_k' + 2 \cdot M_k^0(O_k' + O_{k+1}') + M_{k+1}^0 \cdot O_{k+1}'] h_k - \rho \sum_{k=0}^n (\mathfrak{D}_k^0 - \mathfrak{D}_{k+1}^0) h_k = 0$$

此の式の第 2 項を展開して \mathfrak{D}^0 に關する同類項を纏めれば、

$$\mathfrak{D}_1^0 \cdot (h_1 - h_0) + \mathfrak{D}_2^0 \cdot (h_2 - h_1) + \dots + \mathfrak{D}_k^0 \cdot (h_k - h_{k-1}) + \dots + \mathfrak{D}_n^0 \cdot (h_n - h_{n-1}) = \sum_{k=1}^n \mathfrak{D}_k^0 (h_k - h_{k-1}) = -t$$

h_0 及 h_n は零であるが、形を整へる爲に敢て之を用ひたのである。之を前の式に代入して、

$$\sum_{k=0}^n [M_{k-1}^0 \cdot O_k' + 2 \cdot M_k^0(O_k' + O_{k+1}') + M_{k+1}^0 \cdot O_{k+1}'] h_k + \rho t = 0$$

なる式を得る。更に此の式の Σ の中を展開して M^0 に關する同類項を纏めれば、次の如き形となる。

$$\sum_{k=0}^n [M_k^0 \{O_k(h_{k-1} + 2 \cdot h_k) + O_{k+1}'(2h_k + h_{k+1})\} + \rho \cdot t = 0 \dots \dots \dots (f)$$

之で (d) 式より $n+1$ 個の式を得、(f) 式より 1 個の式を得るから、合計 $n+2$ 個の式より $n+2$ 個の不静定量を算出し得るわけである。然し乍ら此の (d) 式及 (f) 式を詳細に視れば、(d) 式には M^0 及 M^u を含む爲に M の数は $2n+2$ 個となるから、 M^0 、 M^u の内何れか一方を消去し得べき関係を見出さなければならぬ。尙又 (d) 式の γ 及 (f) 式の t の中には Δo 及 Δu が含まれて居て、此の儘之等の式を直接使用出来ぬから、此の Δo 及 Δu を何等かの直接使用し得る数値を以て置き換へなければならぬ。

先づ M^0 と M^u との内何れか一方、例へば M^u を (d) 式より消去せんが爲に、 M^0 と M^u との静力学的關係を求めれば、格點 k に無限に近い断面 S-S の左半分を考へたる 圖-5 の平衡條件より、次の式が得られる。

$$M_k^0 - M_k^u + H \cdot h_k - \mathfrak{M}_k = 0$$

$$\therefore M_k^u = M_k^0 + H \cdot h_k - \mathfrak{M}_k \dots \dots \dots (g)$$

之を (d) 式に代入すれば、 M^u は消去せられる。

次に Δo 及 Δu は

$$\Delta o_k = \frac{O_k \cdot O_k}{E \cdot F_k^0}, \quad \Delta u_k = \frac{U_k \cdot u_k}{E \cdot F_k^u}$$

然るに

$$O_k = -H \cdot \cos \alpha_k - \frac{M_k^0 - M_{k-1}^0 + H(h_k - h_{k-1})}{\lambda} \cdot \sin \alpha_k,$$

$$U_k = H \cdot \cos \beta_k + \frac{M_k^u - M_{k-1}^u + H(h_k - h_{k-1})}{\lambda} \cdot \sin \beta_k$$

となるのであるが、之を上記の Δo_k 及 Δu_k の式に代入して、それを (d) 式及 (f) 式に用ふる時は、式が非常に複雑になるから之を次の如く假定する。

$$O_k = -H \cdot \sec \alpha_k, \quad U_k = H \cdot \sec \beta_k$$

而して此の假定は實際に計算して見るに殆ど正確に一致する事が分る。此の假定を用ひて、

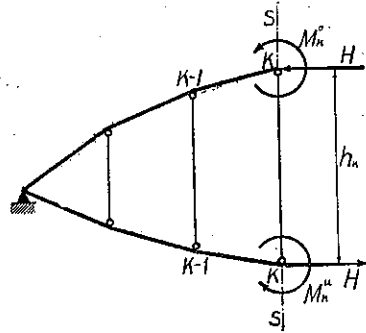
$$\Delta o_k = -H \frac{O_k \sec \alpha_k}{E \cdot F_k^0} = -H \frac{\lambda}{E \cdot F_k^0} \cdot \sec^2 \alpha_k, \quad \Delta u_k = H \frac{\lambda}{E \cdot F_k^u} \cdot \sec^2 \beta_k$$

と置き、之を (d') 式及 (e') 式に代入すれば、(h) 式及 (i) 式を得る。

$$\begin{aligned} \gamma_k &= \frac{\rho}{\lambda} \left[-H \frac{\lambda}{E \cdot F_k^0} \cdot \sec^2 \alpha_k \cdot \sin \alpha_k + H \frac{\lambda}{E \cdot F_{k+1}^0} \cdot \sec^2 \alpha_{k+1} \cdot \sin \alpha_{k+1} \right. \\ &\quad \left. + H \frac{\lambda}{E \cdot F_k^u} \cdot \sec^2 \beta_k \cdot \sin \beta_k - H \frac{\lambda}{E \cdot F_{k+1}^u} \cdot \sec^2 \beta_{k+1} \cdot \sin \beta_{k+1} \right] \\ &= 6H \left[-\frac{J_c}{F_k^0} \operatorname{tg} \alpha_k \cdot \sec \alpha_k + \frac{J_c}{F_{k+1}^0} \operatorname{tg} \alpha_{k+1} \cdot \sec \alpha_{k+1} + \frac{J_c}{F_k^u} \operatorname{tg} \beta_k \cdot \sec \beta_k \right. \\ &\quad \left. - \frac{J_c}{F_{k+1}^u} \operatorname{tg} \beta_{k+1} \cdot \sec \beta_{k+1} \right] \dots \dots \dots (h) \end{aligned}$$

$$\rho t = \rho \sum_{k=0}^n \left[-H \frac{\lambda}{E \cdot F_k^0} (\cos \alpha_k - \sin \alpha_k \operatorname{tg} \beta_k) \sec^2 \alpha_k - H \frac{\lambda}{E \cdot F_k^u} \frac{\sec^2 \beta_k}{\cos \beta_k} \right]$$

圖-5.



$$= -6 \cdot II \cdot \lambda \cdot \sum_{k=0}^n \left[\frac{J_c}{F_k^0} (1 - \operatorname{tg} \alpha_k \operatorname{tg} \beta_k) \sec \alpha_k + \frac{J_c}{F_k^u} \sec^3 \beta_k \right] \dots\dots\dots (i)$$

(g) 式及 (h) 式を (d) 式に代入すれば、

$$\begin{aligned} & M_{k-1}^0(o_k' + u_k') + 2M_k^0(o_k' + u_k' + o_{k+1}' + u_{k+1}') + M_{k+1}^0(o_{k+1}' + u_{k+1}') + H \left[u_k'(h_{k-1} + 2h_k) \right. \\ & \left. + u_{k+1}'(2h_k + h_{k+1}) + 6 \left(\frac{J_c}{F_k^0} \operatorname{tg} \alpha_k \sec \alpha_k - \frac{J_c}{F_{k+1}^0} \operatorname{tg} \alpha_{k+1} \sec \alpha_{k+1} - \frac{J_c}{F_k^u} \operatorname{tg} \beta_k \sec \beta_k \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{J_c}{F_{k+1}^u} \operatorname{tg} \beta_{k+1} \sec \beta_{k+1} \right) \right] \\ & = \mathfrak{M}_{k-1} u_k' + 2 \mathfrak{M}_k (u_k' + u_{k+1}') + \mathfrak{M}_{k+1} u_{k+1}' \dots\dots\dots (j) \end{aligned}$$

又 (i) 式を (f) 式に代入すれば次式を得る。

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^n M_k^0 [o_k'(h_{k-1} + 2h_k) + o_{k+1}'(2h_k + h_{k+1})] - 6 \cdot II \cdot \lambda \cdot \sum_{k=0}^n \left[\frac{J_c}{F_k^0} (1 - \operatorname{tg} \alpha_k \operatorname{tg} \beta_k) \sec \alpha_k \right. \\ & \left. + \frac{J_c}{F_k^u} \sec^3 \beta_k \right] = 0 \dots\dots\dots (k) \end{aligned}$$

之で (d) 式及 (f) 式の 2 決定式は直接實際の計算に使用し得る式に導かれたわけであるから、(j) 式及 (k) 式より $M_0, M_1, \dots, M_{n-1}, M_n$ 及 II なる $n+2$ 個の未知量を算出し得る。

(3) 両端格間の再検討 以上を以て変形ローゼ桁の解式を得たわけであるが、之等の式は中間の任意の格間に就き曲げモーメント等式及角等式を立て、之を全体の格間に適用したのであるから、両端の三角形格間には此の儘適用出来ぬのではないかと考へ、著者は両端の三角形格間に就き他の格間から切り離して全く別個に之を検討して見た。

図-6.

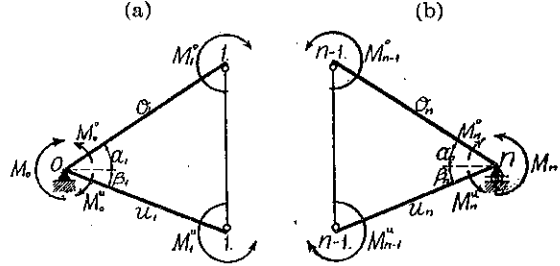


図-6 (a) により、格間 0~1 に對し曲げモーメント等式を作れば、

$$M_1^u \cdot u_1' + 2M_0^u \cdot u_1' + 2M_0^0 \cdot o_1' + M_1^0 \cdot o_1' - \rho(\mathfrak{D}_1^u - \mathfrak{D}_1^0) = 0 \dots\dots\dots (l)$$

となり更に角等式は、

$$\Delta o_1 \cdot \sin \alpha_1 + \Delta u_1 \cdot \sin \beta_1 - \mathfrak{D}_1^0 \cdot o_1 \cdot \cos \alpha_1 + \mathfrak{D}_1^u \cdot u_1 \cdot \cos \beta_1 = 0$$

となる。之に

$$o_1 \cos \alpha_1 = u_1 \cos \beta_1 = \lambda$$

なる關係を入れれば、

$$\mathfrak{D}_1^u - \mathfrak{D}_1^0 = -\frac{1}{\lambda} (\Delta o_1 \cdot \sin \alpha_1 + \Delta u_1 \cdot \sin \beta_1) = \frac{H}{E \cdot F_1^0} \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \sec \alpha_1 - \frac{H}{E \cdot F_1^u} \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \sec \beta_1 \dots\dots\dots (m)$$

を得る。尚格点 0 の平衡條件より、

$$M_0^0 - M_0^u - \mathfrak{M}_0 = 0, \quad \therefore M_0^u = M_0^0 - \mathfrak{M}_0 \dots\dots\dots (n)$$

又 (g) 式より、

$$M_1^u = M_1^0 + II \cdot h_1 - \mathfrak{M}_1 \dots\dots\dots (n')$$

であるから、(m)、(n) 及 (n') 式を (l) 式に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} & M_1^0 \cdot u_1' + H \cdot h_1 \cdot u_1' - \mathfrak{M}_1 \cdot u_1' + 2M_0^0 \cdot u_1' - 2\mathfrak{M}_0 \cdot u_1' + 2M_0^0 \cdot o_1' + M_1^0 \cdot o_1' \\ & - 6H \left(\frac{J_c}{F_1^0} \operatorname{tg} \alpha_1 \sec \alpha_1 - \frac{J_c}{F_1^u} \operatorname{tg} \beta_1 \sec \beta_1 \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore M_1^0(u_1' + o_1') + 2M_0^0(u_1' + o_1') + II \left[h_1 \cdot u_1' - 6 \left(\frac{J_c}{F_1^0} \text{tg} \alpha_1 \cdot \sec \alpha_1 - \frac{J_c}{F_1^0} \text{tg} \beta_1 \cdot \sec \beta_1 \right) \right] \\ = u_1' (\mathfrak{M}_1 + 2\mathfrak{M}_0) \dots \dots \dots (o) \end{aligned}$$

之は格間 0~1 に對する式であるが、全く同様にして格間 n-1~n に對しても、

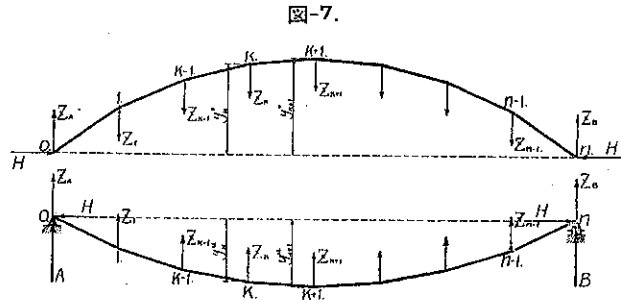
$$\begin{aligned} M_{n-1}^0(u_n' + o_n') + 2M_n^0(u_n' + o_n') + II \left[h_{n-1} \cdot u_n' - 6 \left(\frac{J_c}{F_n^0} \text{tg} \alpha_n \cdot \sec \alpha_n - \frac{J_c}{F_n^0} \text{tg} \beta_n \cdot \sec \beta_n \right) \right] \\ = u_n' (\mathfrak{M}_{n-1} + 2\mathfrak{M}_n) \dots \dots \dots (p) \end{aligned}$$

なる式を得る。

此の (o) 式及 (p) 式を (j) 式に比較するに、之等は (j) 式に $k=0$ 及 $k=n$ と置きたるものに全く等しい事を知る。(o) 式及 (p) 式は (j) 式を誘導した時と全く同じ方法で誘導したのであり、當然 (j) 式に $k=0$ 及 $k=n$ と置いたものと一致すべきであつて、今更再検討の要もないわけであるが、兩端の格間は中間の格間と著しくその形を異にして居るので、常論的に考へて不安に思へた爲、改めて此の格間に就き解式を誘導して見たわけである。

此の結果から見ると、兩端の格間に就き別に考へる必要なく、(j) 式に $k=0, 1, 2, \dots, n$ と置いて得る $n+1$ 個の式と、(k) 式より得る 1 個の式、合計 $n+2$ 個の式より、 M_0, M_1, \dots, M_n 及 II なる $n+2$ 個の未知量を計算すればよいわけである。

(4) 吊材の軸方向力、弦材の軸方向力及剪断力 之等は普通のロゼ桁の場合と全く同様であるが、本記事を以て直接設計の用に供せんとする讀者の便宜を計り、茲に記す事としよう。



今吊材の軸方向力を求めんが爲に 図-7 に就き考へやう。 m_k を以て格點 k より左側に在る總ての吊材の軸方向力の k 點に就てのモーメントとすれば、 M_k^0 は次の如く表はされる。

$$M_k^0 = m_k - II y_k^0$$

又 Q_k^0 を以て格點 k+1 より左側に在る總ての吊材の軸方向力の總和、即ち格間 k~k+1 に於ける剪断力とすれば、

$$m_{k+1} = m_k + \lambda Q_k^0 \quad \therefore Q_k^0 = \frac{1}{\lambda} (m_{k+1} - m_k)$$

となり、同様にして Q_{k-1}^0 を求めれば、

$$Q_{k-1}^0 = \frac{1}{\lambda} (m_k - m_{k-1})$$

となる。然るに Q_k^0 と Q_{k-1}^0 との差は Z_k であるから、

$$-Z_k = Q_k^0 - Q_{k-1}^0 = \frac{1}{\lambda} (m_{k-1} - 2m_k + m_{k+1})$$

此の式の中の m は

$$m_{k-1} = M_{k-1}^0 + II y_{k-1}^0, \quad m_k = M_k^0 + II y_k^0, \quad m_{k+1} = M_{k+1}^0 + II y_{k+1}^0$$

であるから、之を上式に代入すれば次式を得る。

$$Z_k = -\frac{1}{\lambda} \left[(M_{k-1}^0 - 2M_k^0 + M_{k+1}^0) + II(y_{k-1}^0 - 2y_k^0 + y_{k+1}^0) \right] \dots\dots\dots (q)$$

次に弦材に働く軸方向力は既に述べた如く、

$$\left. \begin{aligned} O_k &= -II \cos \alpha_k - \frac{M_k^0 - M_{k-1}^0 + II(h_k - h_{k-1})}{\lambda} \sin \alpha_k \\ U_k &= II \cos \beta_k + \frac{M_k^u - M_{k-1}^u + II(h_k - h_{k-1})}{\lambda} \sin \beta_k \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (r)$$

或は、

$$O_k = -II \sec \alpha_k, \quad U_k = II \sec \beta_k \dots\dots\dots (r')$$

更に弦材に働く剪断力は

$$\left. \begin{aligned} Q_k^0 &= -II \sin \alpha_k + \frac{1}{\lambda} \left[M_k^0 - M_{k-1}^0 + II(h_k - h_{k-1}) \right] \cos \alpha_k \\ Q_k^u &= -II \sin \beta_k + \frac{1}{\lambda} \left[M_k^u - M_{k-1}^u + II(h_k - h_{k-1}) \right] \cos \beta_k \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (s)$$

3. ローゼ桁との比較

俣て以上の如くして得たる変形ローゼ桁の解式 (j) 及 (k) の 2 式と、普通のローゼ桁の解式とを比較して見るに、其の形に於ては全く一致して居る。此の解式を誘導するに際し先づ引用せられたる三連モーメント式 (a) の第 2 式、即ち下弦に對する曲げモーメント等式の最後の項が、普通のローゼ桁のそれと符號を異にする爲の影響は、何處で消失したのであらふか？ 此の謎は M^u の符號に對する約束が、変形ローゼ桁と普通のローゼ桁とに於て異なる事に氣付けば、問題なく氷解するわけである。即ち M^u はローゼ桁に於ては、下弦の下縁に張力を生ぜしむる如き曲げモーメントを正としたが、変形ローゼ桁に於ては下弦の上縁に張力を生ぜしむる如き曲げモーメントを正とするから、(g) 式は

$$\begin{aligned} \text{普通のローゼ桁の場合} & \quad M^u = -M^0 - II \cdot h + \mathfrak{M} \\ \text{変形ローゼ桁の場合} & \quad M^u = M^0 + II \cdot h - \mathfrak{M} \end{aligned}$$

となる。一方 (a) 式の第 2 式の最後の項の符號の異なる影響は (d) 式まであらはれ、普通のローゼ桁に對しては、

$$M_{k-1}^0 \cdot o_k' - M_{k-1}^u \cdot u_k' + 2 \left[M_k^0 (o_k' + o_{k+1}') - M^u (u_k' + u_{k+1}') \right] + M_{k+1}^0 \cdot o_{k+1}' - M_{k+1}^u \cdot u_{k+1}' - \gamma_k = 0$$

変形ローゼ桁に對しては、

$$M_{k-1}^0 \cdot o_k' + M_{k-1}^u \cdot u_k' + 2 \left[M_k^0 (o_k' + o_{k+1}') + M^u (u_k' + u_{k+1}') \right] + M_{k+1}^0 \cdot o_{k+1}' + M_{k+1}^u \cdot u_{k+1}' - \gamma_k = 0$$

となり、之に上記の如く符號を異にせる (g) 式を夫々代入して得る (j) 式は、兩者全くその形に於て一致するわけである。

式の形は斯の如く一致するが、変形ローゼ桁に於ては M_0 及 M_n が存在するから、方程式の數が変形ローゼ桁の場合よりも 2 個多く、尙之等の式を解いて得る M^u の符號は兩者相反して居る。然し乍ら何れも下弦の下縁に張力を生ぜしむる如き曲げモーメントである。

変形ローゼ桁に於ては、 M_0 及 M_n の影響が入つて來るのであるが、此の値は如何なる程度のものであらふか？ 構造上から考へても、式の形を比較して見ても、此の M_0 及 M_n が餘り大きな値とならぬ事は想像出来るが、兎も角實際の計算例に就き検討する事としよう。

図-8 に示す如きスパン 30.00m 6 格間のローゼ桁及変形ローゼ桁に就き計算したる結果は、表-1 及 図-9 の如くなる。之に據つて見るに、 M_0 及 M_n の値は實に微小にして他の曲げモーメントの數 % に過ぎず、殆ど之を考慮するの必要がない事を發見する。尙此の他の曲げモーメントに就き、ローゼ桁と変形ローゼ桁とを比較するに、兩者殆ど一致し、殊に断面決定に當り最も大きな値を與ふる M_0 に至つては、0.1~0.2% 程度の差であつて、確實に一致すると云ふも差支ない程度のものである。此の中央に於ける曲げモーメントは、格間數が多くなりスパン長が大になる程、ローゼ桁と変形ローゼ桁とが正確に一致する。

此の兩端に近い點に於て M_0 及 M_n の影響が認められる事に就き考ふるに、之は連続梁の一端に曲げモーメントを作用せしめたる場合に、此の端曲げモーメントが各支點の曲げモーメントに及ぼす影響と全く一致する。 n スパンの連続梁の一端 O 點に M_0 なる + の曲げモーメントを作用せしむる時は、 M_1, M_2, \dots に

對し此の M_0 は、 $-$, $+$, $-$, $+$, \dots と云ふ様に交互に影響し、しかも此の値は僅かに數スパンの内で急激に減少する。之と全く同じ現象が変形ローゼ桁の M_0 及 M_n が M_1, M_2, \dots 及 M_{n-1}, M_{n-2}, \dots に及ぼす影響に見られるのである。之即ち中央に近い點程曲げモーメントがローゼ桁と変形ローゼ桁とに於てよりよく一致し、且つ格間數の多いもの程中央の曲げモーメントがよりよく一致する所以である。

斯の如く変形ローゼ桁として計算するも兩端の曲げモーメントは極めて微小にして、且又之の他の曲げモーメントに及ぼす影響も極く僅かにして之を考慮する事を要せぬから、兩端を事實上剛節として変形ローゼ桁の構造を有するものと雖も、兩端を滑節とせる普通のローゼ桁として計算をして充分である。

4. 簡易計算法

不靜定量を多數有する構造物に就き計算したる經驗を持つ讀者は、不靜定量が 1 個でも減少すれば、其の計算が非常に簡單になる事を既に熟知されて居る事と思ふ。此の意味に於て、上記の如く変形ローゼ桁として計算すべきものを普通のローゼ桁として計算をして差支へない事を知つたのであるから、不靜定量を 2 個減じ得た事となり、計算を少からず簡易化したわけである。

加之、此のローゼ桁の計算に當つて此の計算中で最も時間と精力とを要する 聯立方程式の解法を比較にならぬ程に簡易化し、しかもより正確な結果を得る事が出来る。

今 n 格間のローゼ桁に就き (j) 式を簡單な形にあらはせば次の如くなる。

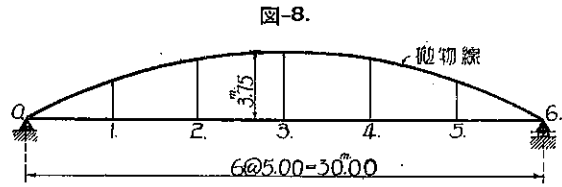
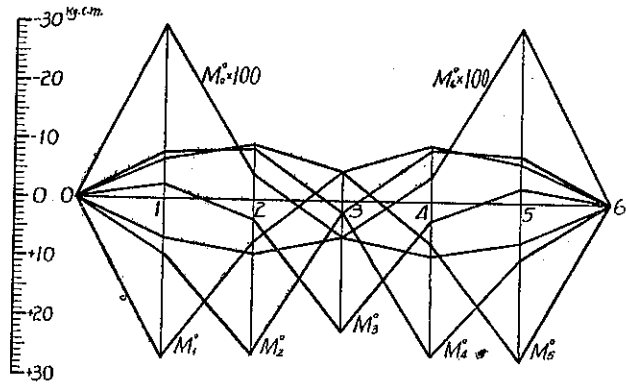


表-1.

K	ローゼ桁			変形ローゼ桁		
	$M_{0,1}$	$M_{1,2}$	$M_{2,3}$	$M_{0,1}$	$M_{1,2}$	$M_{2,3}$
0				-0.726327	0.041854	0.061868
1	26.522312	7.778503	-5.019273	-26.673327	7.732030	-5.026282
2	2.635064	26.050014	7.056042	2.613450	26.047326	7.060248
3	-2.431015	3.319782	27.176126	-2.432465	3.318754	27.173664
4	-7.238232	8.787178	7.056042	-7.235467	8.781087	7.060248
5	-6.831349	-2.402124	-5.012273	-6.842426	-2.428206	-5.036782
6				0.067705	0.021544	0.061868

図-9.



$$\begin{aligned} & \beta_1 M_1 + \gamma_1 M_2 + \delta_1 H = \epsilon_1 \\ \alpha_2 M_1 + \beta_2 M_2 + \gamma_2 M_3 + \delta_2 H = \epsilon_2 \\ & \dots\dots\dots \\ \alpha_k M_{k-1} + \beta_k M_k + \gamma_k M_{k+1} + \delta_k H = \epsilon_k \\ \alpha_{n-1} M_{n-2} + \beta_{n-1} M_{n-1} + \delta_{n-1} H = \epsilon_{n-1} \end{aligned}$$

此の式中の $\alpha, \beta, \gamma, \delta,$ 及 ϵ は何れも豫め計算出来るものである。此の聯立方程式を解く事が、ロ－ゼ桁の計算の大部分なのであつて、格間数が 10 を超える時は 20 桁の計算器を以ては正確な値を得る事はなかなか困難である。

然し乍ら上記の聯立方程式は非常に規則的な形をなして居るから、之を解いて得る結果も規則的な形をなして居るであらふ事を想像出来る。即ち M は下記の如く H を含む項と H を含まざる項との 2 つに分けられる。

$$\begin{aligned} M_1 &= A_1 H + B_1 \\ M_2 &= A_2 H + B_2 \\ &\dots\dots\dots \\ M_k &= A_k H + B_k \\ &\dots\dots\dots \\ M_{n-1} &= A_{n-1} H + B_{n-1} \end{aligned}$$

此の A なる H の係数は荷重の位置に關係なく決定される。何故ならば前記の聯立方程式中に於て、荷重の位置に応じて変化する値は ϵ だけであつて、 A の中には此の ϵ は入つて來ないからである。故に A は荷重が移動する毎に計算をする必要はなく、任意の荷重の位置に對し只一度だけ計算をすればよい。此の荷重の位置は計算が最も簡單なる如き場合を擇べばよい。此の目的の爲には荷重が丁度中央に在る場合が最も宜しい。何故ならば一般に構造物は左右對稱であり、荷重も中央に在る時は對稱であるから、聯立方程式は全く對稱となり、此の半分を解けば A を決定する事が出来る（即ち A は荷重の位置に關せず常に對稱になる）。扱ふ式の数が少い事は誤差を少くする所以であるから、斯の如くして A を決定すれば一舉兩得である。

次に B は ϵ を含む項であるから、荷重の位置の移る毎に変わる値であり、下記の如き形を以て與へられる。

$$\begin{aligned} B_1 &= b_{1.1} \cdot \epsilon_1 + b_{1.2} \cdot \epsilon_2 + \dots\dots\dots + b_{1.n-1} \cdot \epsilon_{n-1} \\ B_2 &= b_{2.1} \cdot \epsilon_1 + b_{2.2} \cdot \epsilon_2 + \dots\dots\dots + b_{2.n-1} \cdot \epsilon_{n-1} \\ &\dots\dots\dots \\ B_k &= b_{k.1} \cdot \epsilon_1 + b_{k.2} \cdot \epsilon_2 + \dots\dots\dots + b_{k.n-1} \cdot \epsilon_{n-1} \\ &\dots\dots\dots \\ B_{n-1} &= b_{n-1.1} \cdot \epsilon_1 + b_{n-1.2} \cdot \epsilon_2 + \dots\dots\dots + b_{n-1.n-1} \cdot \epsilon_{n-1} \end{aligned}$$

此の式中に於ける b なる係数は、荷重の位置に關係なく決定し得る値であつて、しかも其の配列を見るに、構造物が對稱である限り此の b も對角線 $b_{1.1} \sim b_{n-1,n-1}$ 及 $b_{n-1,1} \sim b_{1,n-1}$ に對して對稱に配列されて居る。此の事は最初に與へられたる聯立方程式が規則正しく配列されて居る事から容易に想像出来る事である。尙 ϵ は單純梁の曲げモーメントに關する値であるから、之も極めて規則正しい変化をなす事は容易に領き得るであらふ。之等の事實より考慮するに此の B_1, B_2, \dots, B_{n-1} の各の間には、何か簡単な關係がある様に思へる。斯の如く考へ來つて 圖-8 のロ－ゼ桁に就き B -曲線を描いて見た。其の結果は 圖-10 に見る通りである。

併て此の B -曲線と 図-11 に見る如き単位荷重が各格點に移動せる場合の單純梁の曲げモーメント図とを比較して見られよ。その形に於て餘りによく一致するに驚かれる事と思ふ。此處に著者の述べんとする簡易計算法の鍵が存在するのである。即ち B なる値は部材の断面及部材長其他の影響を受けて僅かに曲線となるが、其の変化は全く上記の單桁曲げモーメントの変化と一致するのである。之を具体的に記せば、

k 點に荷重が在る場合の B の値は、 k 點より左に於ては $k+1$ 點に荷重が在る場合の B の値に $n-k/(n-k-1)$ を乗じたものに等しく、 $k+1$ 點より右に於ては $k/(k+1)$ を乗じたものに等しい。

之を換言すれば、

k 點に荷重が在る場合の B の値は、 k 點より左に於ては $k+1$ 點に荷重が在る場合の B の値に、 $(k$ 點より右の格間數) $/(k+1$ 點より右の格間數) を乗じたものに等しく、 $k+1$ 點より右に於ては、 $(k$ 點より左の格間數) $/(k+1$ 點より左の格間數) を乗じたものに等しい。

と言ふ事になる。此の事は、

図-10 に於て各格點を通る垂線を B -曲線が切り取る長さは相等しい。

と言ふ事にもなる。此の法則を式に表はせば、

$$\left. \begin{array}{l} k \text{ 點より左} \quad B_{l,k} = \frac{n-k}{n-k-1} \cdot B_{l,k+1} \\ k+1 \text{ 點より右} \quad B_{r,k} = \frac{k}{k+1} \cdot B_{r,k+1} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (t)$$

茲に、

$B_{l,k}$ = k 點に荷重が在る場合の k 點より左側の M に對する B の値

$B_{r,k}$ = k 點に荷重が在る場合の $k+1$ 點より右側の M に對する B の値

此の法則を利用すれば、ある任意の點に荷重が存在する場合の B の値から、他の點に荷重が移動したる場合の B の値を簡単に計算出来るわけである。故に最初に B の値を最も容易に計算出来る如き荷重の位置、即ち A を決定する場合に於ける如く、荷重が中央に在る場合に就き算定し、此の B の値を用ひ上記の法則を利用して、他の點に荷重が移動したる場合の B の値を求めればよいわけである。

以上述べたる簡易計算法を茲に纏めて記せば、次の様になる。

- (1) 中央に荷重が在る場合に就き (j) 式を解きて、曲げモーメントを $M_k = A_k I I + B_k$ なる形に表はす。
- (2) 次に他の點に荷重を移したる場合に就ては、 A_k はそのまま使用し、 B_k は (t) 式を用ひて上記の B_k より計算する。

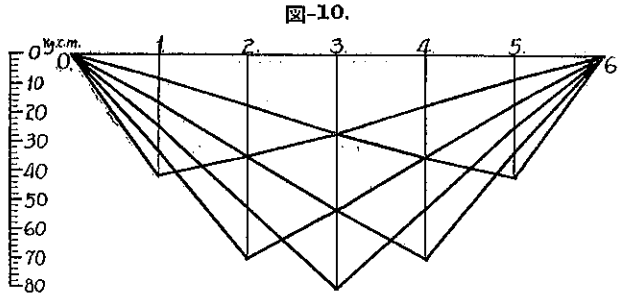


図-10.

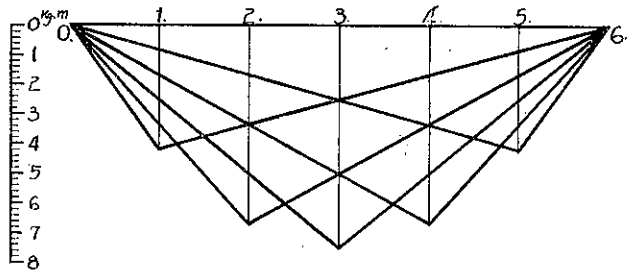


図-11.

此の計算法は簡易計算法であつて、略算法ではない。何故ならば此の方法を以て算出せられたる値は、正確な値だからである。相當に格間数の多いものに就き、正直に消去法により計算する時は、計算器に乘らぬ下位の數字から、次々に代入する事により次第に大なる誤差を生ずるに至り、格間數が増加するに随つて誤差も増大する。然るに上記の簡易計算法に據る時は、最初に方程式を解くのは荷重が中央に在る場合であつて、扱ふ式の數が半數になる爲、計算が非常に簡單になるばかりでなく、得たる結果がより正確なものとなる。而して此の正確な値を基礎として、之に簡単な分數を乘ずる事に依り、他の點に荷重が在る場合の解を得るのであるから、誤差の入る處が少い。

今 図-8 の如きローゼ桁に就て、此の簡易計算法の適用例を示せば次の如し。

先づ (j) 式の係數の計算を略して、其の最後の形を示せば、

$$\begin{aligned} 19\,883.917\,436\,M_1 + 4\,859.830\,477\,M_2 + 583\,333.333\,333\,II &= \epsilon_1 \\ 4\,859.830\,477\,M_1 + 19\,208.296\,429\,M_2 + 4\,744.317\,738\,M_3 + 958\,333.333\,333\,II &= \epsilon_2 \\ 4\,744.317\,738\,M_2 + 18\,977.270\,952\,M_3 + 4\,744.317\,738\,M_4 + 1\,083\,333.333\,333\,II &= \epsilon_3 \\ 4\,744.317\,738\,M_3 + 19\,208.296\,429\,M_4 + 4\,859.830\,477\,M_5 + 958\,333.333\,333\,II &= \epsilon_4 \\ 4\,859.830\,477\,M_4 + 19\,883.917\,436\,M_5 + 583\,333.333\,333\,II &= \epsilon_5 \end{aligned}$$

最初に荷重が中央即ち格點 3 に在る場合に就き考ふるに、(j) 式の右邊より、 $\epsilon_1 = 750\,000$ 、 $\epsilon_2 = 1\,500\,000$ 、 $\epsilon_3 = 2\,000\,000$ 、 $\epsilon_4 = 1\,500\,000$ 、 $\epsilon_5 = 750\,000$ なる結果を得るから、之を上式の右邊に代入して此の聯立方程式を解けば、

$$\begin{aligned} M_{1,3} &= -20.825\,769\,II + 24.963\,080 = A_1 II + B_{1,3} \\ M_{2,3} &= -34.823\,325\,II + 52.190\,335 = A_2 II + B_{2,3} \\ M_{3,3} &= -39.674\,171\,II + 79.294\,064 = A_3 II + B_{3,3} \\ M_{4,3} &= -34.823\,325\,II + 52.190\,335 = A_4 II + B_{4,3} \\ M_{5,3} &= -20.825\,769\,II + 24.963\,080 = A_5 II + B_{5,3} \end{aligned}$$

此の聯立方程式は全く對稱であるから、此の半數を解けば其の解を得、得たる解も上記の如く對稱となる。

次に荷重が格點 2 に移りたる場合に就き考ふるに、此の場合の解は (t) 式を用ひて、

$$\begin{aligned} M_{1,2} &= A_1 II + B_{1,2} = A_1 II + \frac{4}{3} B_{1,3} = -20.825\,769\,II + 33.284\,106 \\ M_{2,2} &= A_2 II + B_{2,2} = A_2 II + \frac{4}{3} B_{2,3} = -34.823\,325\,II + 69.587\,113 \\ M_{3,2} &= A_3 II + B_{3,2} = A_3 II + \frac{2}{3} B_{3,3} = -39.674\,171\,II + 52.862\,769 \\ M_{4,2} &= A_4 II + B_{4,2} = A_4 II + \frac{2}{3} B_{4,3} = -34.823\,325\,II + 34.793\,556 \\ M_{5,2} &= A_5 II + B_{5,2} = A_5 II + \frac{2}{3} B_{5,3} = -20.825\,769\,II + 16.642\,053 \end{aligned}$$

更に荷重が格點 1 に移動したる場合に就ても同様にして次の如き値を得る。

$$\begin{aligned} M_{1,1} &= A_1 II + \frac{5}{4} B_{1,2} = A_1 II + \frac{5}{3} B_{1,3} = -20.825\,769\,II + 41.605\,133 \\ M_{2,1} &= A_2 II + \frac{1}{2} B_{2,2} = A_2 II + \frac{2}{3} B_{2,3} = -34.823\,325\,II + 34.793\,556 \\ M_{3,1} &= A_3 II + \frac{1}{2} B_{3,2} = A_3 II + \frac{1}{3} B_{3,3} = -39.674\,171\,II + 26.431\,354 \end{aligned}$$

$$M_{4,1} = A_4 H + \frac{1}{2} B_{4,2} = A_4 H + \frac{1}{3} B_{4,3} = -34.823\ 325 H + 17.396\ 778$$

$$M_{5,1} = A_5 H + \frac{1}{2} B_{5,2} = A_5 H + \frac{1}{3} B_{5,3} = -20.825\ 769 H + 8.321\ 027$$

此の計算例は 6 格間のものであつて、實施する場合は 6 格間位が最も格間数の少いものであらふ。上記の如く (b) 式を利用すれば非常に簡単に解を得るが、此の 6 格間のもとの雖も之を荷重の移動する毎に正直に一々消去法により (j) 式を解く時は、相當に苦勞をしなければならぬ。讀者にして若しも 10 格間以上のものにつき、(j) 式を消去法によりて荷重の移動する毎に一々解きたる後、改めて (t) 式を用ひて解くならば、其の計算の簡單にして結果の正確なるに驚かるゝ事と思ふ。

5. 二次応力

変形ローゼ桁の二次応力を考ふるに、此の型式は普通のトラスやランガー桁等に於て二次応力として取扱はるゝところの格點に於ける曲げモーメントによる 応力を一次応力として取扱つて居るから、計算に入つて來ぬ二次応力は非常に少い。二次応力として考へ得るものは次の如きものである。

(1) **吊材の剛性による応力** 之は緒言のところに於て述べた如く、吊材断面の主構面に直角の軸に對する断面二次モーメントを、弦材の断面二次モーメントに比較して非常に小になし得るから、此の二次応力は殆ど考慮する必要はない。

(2) **吊材の歪による応力** 前記の解法は吊材の引長歪を全く無視して居るが、實際には吊材は多少伸長するから、之に基く二次応力を生ずるわけである。然し乍ら此の二次応力は實際に計算をして見ても僅かに 0.5~1.0% に過ぎず、断面の決定に對し影響を與ふる程度のものではないから、之も考慮する必要を認めない。

(3) **格點以外に載荷される爲の応力** 計算に當つては格點のみに載荷され、格點以外の點には死荷重及活荷重共に載荷されぬものと假定するが、實際には格點以外の點にも載荷されるから、此の爲に二次応力が起り得る。然し乍ら此の二次応力は實際問題としては非常に小さなものであつて考慮する要はない。殊に下路橋の場合は活荷重及床構吊材の死荷重は假定の如く格點に載荷されるものと考へ得るし、格間長に比べて弦材の断面は非常に大きいから、此の二次応力は全く問題にならぬ。

(4) **兩端に於ける二次応力** 前記の簡易計算法による時は、兩端を滑節とせるものとしての計算であつて、変形ローゼ桁としての計算ではないから、此の爲の二次応力を生ずるわけであるが、之は前述せる如く他の曲げモーメントの數% に過ぎず。しかも応力の過半は軸力によるものであるから、之は全く考慮する事を必要としない。然し乍ら此の上下兩弦の相接する兩端の部分には、此のローゼ桁に於て唯一の考慮を要する二次応力が考へられる。上弦の軸方向力が其の兩端に於て下弦に傳はる状態を考ふるに、計算上は兩弦の軸線の交點に於て上弦から下弦に傳へらるゝものと考へるのであるが、實際に於ては兩弦共に相當な太さを有するから、上弦の軸方向力はおそらく圖-11 の如く、大部分は下弦の上縁に於て傳へられるのではなからうかと考へられる。此の下弦の上縁に於て上弦の軸方向力を水平と垂直の 2 方向の分力に分けて、その各が理論上の交點 O の周りに起すモーメントを考へれば之は零となるから、計算上は圖-11 の如くなるも影響はない事になるが、下弦の兩端に近い部分の上縁に、計算に入つて來ぬ大きな張力を生ずるのではなからうか? 之は大いに考慮しなければならぬ事と思ふ。

構造の細部に就き考ふる時は、此の外にも種々の二次応力を考へ得るであらうが、普通に二次応力として考へ得るものは以上の如きものであらう。之を以て見るに、此の型の橋梁は通常吾々が扱ふ他の型式に比較して、非常に

二次応力の少い型式であると言ふ事が出来る、此の事が此の型式の最大の利點である。

6. 利點と缺點

緒言に於て述べたるが如く、著者がローゼ桁に就き研究したのは、鉄筋コンクリートを以て、長径間の下路橋を架設せんが爲であつたから、茲にローゼ桁の鉄筋コンクリート橋としての利點と缺點とに就て特に述ぶる事としやう。

先づ利點としては、(1) 二次応力の少い事、(2) 兩弦の断面を加減出来る事、(3) 随つて重心を低く出来る事、(4) 兩端を滑節とするも剛節とするも殆ど影響なき事、(5) 構造の簡單なる事、(6) 上下弦共に曲げモーメントに耐える事等である。

(1) に就ては既に述べたところであるが、此の事はコンクリート橋なると鋼橋なるとによらず、構造物の内容が明瞭になり、設計者として安心出来る點に於て大なる利點である。殊にコンクリート橋は鋼橋に比較して力学的に疑點があり、且又其の強度は一に現場に於ける施工により左右されるのであるから、設計施工に當る吾々をして常に不安な感を抱かしめるものである、であるから二次応力が少いと言ふ事はコンクリート橋を設計する者にとつて、一つの負擔を除いて呉れるものである。

(2) 兩弦に働く曲げモーメントは兩弦の断面二次モーメントに比例して分れるものであるから、上弦と下弦との断面をある程度自由に加減出来る。此の事は洪水位の高い場所に架設する場合等に非常に便利である。

(3) 此の性質を利用して下弦材を大きく設計する時は、橋梁全体としての重心を低く出来る。此の事は自重の非常に大なるコンクリート橋に於ては、大なる利點と云はなければならぬと思ふ。コンクリート橋としてはタイドアーチ等に比較すれば此の爲非常に安定なものとなり、且又施工に際しても此の事は少からず利益となる。

(4) コンクリート橋に於ては完全な滑節になす事は困難であり、且又理論的に完全に剛節とする事も容易な事ではない。殊にローゼ桁の兩端は、上下兩弦の鉄筋が交錯してコンクリートの完全な施工はなかなか難しい、此の場合に此の部分が完全な滑節にするも又完全に剛節とするも応力に影響ない事は、兩端の部分の施工が完全に出来なくとも他の點に影響を及ぼさぬと云ふ事になるから、設計施工者にとり最大の利點であると言へる、尤も此の事は施工を不完全にして宜しいと言ふ事にはならぬ事は勿論であるが。

(5) 實際に設計して見ると分る事であるが、上下弦共に此の橋梁に於ては全径間等断面にて殆ど大差ない応力度となるから、鉄筋の加工を殆ど要せず、したがつて設計施工に際しても非常に簡單である。

(6) タイドアーチに於ては床檣上の荷重は吊材により全く吊られて居るが、ローゼ桁に於ては下弦がある程度の荷重に耐へ、一部分が吊材を通じて上弦に傳へられるのであるから、吊材の応力は小さくなる。此の事は張力に弱いコンクリート構造物としては大なる利點と言はねばならぬ。

次に缺點としては (1) 下弦及吊材が全断面に引張応力を受ける事、(2) 兩端は上下兩弦の鉄筋が相交錯して、施工が困難なる事、(3) コンクリート填充が上下兩弦に分れる爲に、元応力を生ずる處がある事等であらう。

(1) 吊材の使用は下路橋に於ては免れぬものであつて、下路橋である限り此の缺點を有するわけであるが、利點(6)を考ふる時は、他の型式に比較して寧ろ有利であると云へよう。尚下弦が全断面に張力を受ける事は、たしかに缺點たるを免れぬが、然し乍ら單なる梁或はアーチでない限り、全断面に張力を受くる部材の存在はやむを得ぬ事であらう。

(2) に就ても利點(4)と相殺して、殆ど缺點として學ぐ可きものでもあるまいと思ふ。殊に施工技術の順に進歩せる近來に於ては、コンクリート填充に用ふる振動機の使用等によつて、容易に完全なる施工をなし得る様にな

りつゝあるのであるから、多少の施工の困難は問題にならぬであらう。

(3) コンクリートを填充する順序は大體に於て下弦と床構吊材、上弦と上横構の順序であらう、此の順序により施工するものとして考ふるに、下弦と床構のコンクリートを填充し、吊材を施工し、進んで上弦及上横構のコンクリートを填充する頃には、下弦のコンクリートは既にある程度硬化してしまつて居る。此の場合に上弦及上横構のコンクリートの重量の爲に、譬へ僅かにても足場が沈下したる場合は、下弦が元曲げ応力を受くる事となる。足場の沈下を皆無となす事は不可能な事であるから、此の元応力に就ては熟慮する必要がある様である。著者が實施しつゝあるローゼ桁に就き種々考へたる順序を、参考迄に茲に記して見やう。

(a) 先づ考へたのは下弦及床構に對する足場と、上弦及上横構に對する足場とを、全く別個のものにする事である。斯の様にすれば上弦及上横構の重量は下弦の足場に無關係であるから、此の重量の爲に下弦に元応力を生ずる虞がない。然し乍ら此の方法を現場の方より考へるに、非常に長尺のしかも大きな断面の材木を用ひなければならぬから、事實上困難な事である、殊に幅員の大なる橋梁に於ては殆ど不可能であらう。

(b) 次に考へたのは足場上に沈圧荷重を載せる方法である。下弦のコンクリートを施工する時に、上弦、上横構及吊材の重量以上の沈圧荷重を載せて足場を充分に沈圧し、之を取除き乍ら吊材、上弦及上横構のコンクリートを填充するのであるが、此の方法も理論上はよい様であるけれども、實際問題としては吊材、上弦及上横構の重量は膨大なものとなり、古軌條等を以て沈圧材となすも夥しい數となり、なかなか困難である。

(c) 然らば此の沈圧材を用ひずに、下弦の數ヶ所にコンクリートを填充せぬ箇所を設け置き、吊材、上弦及上横構の施工を終了せる後に此の箇所にコンクリートを填充したならばどうであらうか、之は下弦のコンクリートを填充せぬ部分をして滑節の作用をなさしめ、吊材、上弦及上横構の重量の爲に足場が幾分沈下しても、下弦に元曲げ応力を生ぜしめない様にせんが爲に外ならぬのであるが、此の結果もし足場に幾らかの沈下を生じたる場合は、下弦の全応力を負擔せしめて居る鉄筋そのものに、意外に大なる元応力を生ずる虞がある。

(d) 故にもう一步考を進めて、鉄筋コンクリートのタイドアーチに於ける如く、上弦よりコンクリートを施工したならば如何になるであらうか。タイドアーチの時は全荷重はアーチで負擔するのであるからそれでよいが、ローゼ桁の場合は上弦と下弦とが全荷重の一部分宛を分擔するのであるから、足場を取除く前は上弦と下弦とは全く応力を受けず、足場を取除きたる時にはじめて全体が1個の橋桁として働く様にならなければならぬ。然るに全重量の過半は下弦及床構の重量であるから此の重量の爲に生ずる足場の沈下は相當に大きなものになると思はなければならぬ、此の爲に上弦及吊材は大きな初応力を受ける事となる。

(e) それでは之等の元応力を一切顧慮せずに、下弦より順次上方へコンクリートを施工したならば、何の位の元応力を受くる事となるであらうか。水害其の他の突發的事故に原因する足場の沈下は茲に論ぜぬ事とし、専らどの現場に於ても免れ得ぬ足場の沈下に就て考へやう。下弦に初応力を生ずるのは下弦及床構の重量による足場の沈下ではなくして、吊材、上弦及上横構の重量の爲に起る足場の沈下である。地盤の軟弱な現場に於ては基礎杭の打止を充分に小さく保つ事は出来ぬから、斯の如き場合は相當に杭の數を増加する等適當な方法により、柱それ自身の沈降による足場の沈下は防ぐ事が出来る。免れ得ぬのは足場加工の不完全と、木材の降伏に原因する足場の沈下である。然し乍ら全コンクリート量の過半は下弦と床構とに於て占めて居るから、此の重量により足場は非常に締つて居て、吊材、上弦及上横構のコンクリート重量による足場の沈下は、殆ど木材の降伏によるもののみであり、僅か數耗に過ぎぬであらうと考へられる。相當に長径間の橋桁に於て僅かに數耗の彎曲が生じて、其の爲に起る応力は全く問題とする必要がない、只譬へ僅かでも下弦に元曲げ応力が生ずる事を意識して設

計をすれば足ると思ふ。

以上の如き考から、足場を出来る限り頑丈にして足場木材の降伏による沈下の憂を少からしめ、コンクリートは先づ下弦と床構とを施工してその硬化を待ち、然る後に吊材を打ち、更の上弦と上横構とを施工する事とした。

7. 結語

著者がローゼ桁の両端を剛節としたる変形ローゼ桁に就て解きたるは、鉄筋コンクリートを以て長径間の下路橋を實施せんが爲であつた事は、緒言に於て既に述べたところであるが、コンクリート橋たると鋼橋たるとを問はず、ローゼ桁の両端は滑節となすよりも、剛節として変形ローゼ桁となす方が構造上より考へて有利な様であるにも不拘、ローゼ桁として知られて居るものは、両端を滑節として居る。著者は、之を不思議に思ひ、両端を剛節とする時は相當に大きな影響あるならんと考へて、変形ローゼ桁としての計算をしたのであるが、其の結果変形ローゼ桁として解く事は不静定量を増して徒らに計算を煩雜になすものであり、其の解きたる結果はローゼ桁と殆ど一致する事を知つて、ローゼ桁の創案者に對し今更乍ら敬服の外ない。

然し乍ら著者が変形ローゼ桁として解きたる勞力が、全く徒勞に終つたのであるとは考へぬ。何故ならば結果に於て全く等しい設計が出来たとしても、計算に際して假定せる構造と實際に出来上りたる構造との間に違ひのある場合に、此の爲に如何なる二次応力を生ずるかを知つて設計すると然らざるとでは、内容に於て大いに異なるものと信ずるからである。之即ち本文を取て“変形ローゼ桁に就て”と題したる所以である。

緒言に於て述べたるが如く、地方財政の逼迫と豫算編成の衝に當る事務官等の認識不足とは、既設鋼橋のペイント塗換費の支出を困難ならしめ、ペイントが全く剝脱して赤錆色に蔽はれたる橋梁の次第に増加し行く様を見て寒心に耐えぬものがある。又一方に於ては架設費の低減を望むの餘り、短径間の鉄筋コンクリート桁橋を以て甘んじ、流水を妨ぐる事甚しくして災害の因をなして居るものも少くない。斯る折柄長径間の鉄筋コンクリート橋の實施が可能になる事は、地方財政より考ふるも將又國家經濟より見るもまことに好ましい事であり、吾々土木技術者の擧げて望むところであらう。

7~8年前迄は鉄筋コンクリート桁橋としては殆ど丁形單純桁に限られてスパンも大体に於て15m止りであつたが、昭和6年頃鉄筋コンクリートゲルバー桁が二三橋實施せられて以來、稍長スパンのコンクリート桁橋の架設が可能視せらるゝに至り、近年は各府縣何れも盛にゲルバー桁を實施し、さながら鉄筋コンクリートゲルバー桁時代を現出しつつある状態である。然し乍ら雨後の筍の如く生れ出たる之等のゲルバー桁の内に昨今に至り滑節の箇所甚しき龜裂を生じたるもの少からずと聞く、之は施工の缺陷によるものならんと思はるゝも、ゲルバー桁に於ては滑節の箇所が最大の弱點たる事は免れぬところである。斯る缺點は何等かの方法に依り改良し得るとしても、長スパンのコンクリートゲルバー桁は桁高が膨大なものとなり、特別な條件に恵まれぬ限り實施する事は困難である。

茲に於て長径間の鉄筋コンクリート下路橋の必要を痛感するのであるが、現今に於ける鉄筋コンクリート下路橋としては1,2のタイドアーチとランガー桁とがあるのみであつて、何れも餘り長スパンのものではない。しかも之等のものに就き詳細に考察するに、種々な點に於て鉄筋コンクリート橋として不適當の様に思はれる。ローゼ桁は此の2者の中間に位して双方の長所を採り且つ短所を補ひ、鉄筋コンクリート橋としては上記の2者に遙かに勝つて居る。ローゼ桁の上弦を太くして下弦を纖くすればタイドアーチの藥材の二次応力を計算したるものに近付き、反對に下弦の断面を大にして上弦の断面を極端に小になす時は、ランガー桁の上弦の二次応力を考慮せるものとなるのである。

ローゼ桁は一種の合成桁の如きものであつて、 M^0 と M^u とは J^0 と J^u とに比例するから、上弦と下弦の断面をある程度自由に變化せしめ得る事は第 6 節に於て既に述べたところであるが、此の性質は實施に際し甚だ便利である。架橋現場の状態より、外觀上から或は施工の都合上から、上下兩弦を等断面としたり、下弦の断面を大にして高欄と兼用せしめたり、或は歩車道を設くる時は下弦の断面を小にして全く床版の下に置く等、他の型式の橋梁に於ては得られぬ特長である、之が此の型式の橋梁が持つ利點の最も大なるものであらう。

本文第 4 節に於て紹介したるローゼ桁の簡易計算法は、**図-8** の如く上弦は円弧、拋物線、双曲線、垂曲線等の如きアーチ形の曲線をなし、下弦は直線なる形のローゼ桁 10 橋に就き計算したる結果より得たる方法であつて全く任意の形のものにも此の簡易計算法を適用して正確な値を得るか否かは疑問である。然し乍ら普通考へ得るローゼ桁の形としては **図-8** の如きものであつて、たとへ他の形のものとも雖も全く不規則な形のは事實上實施せられぬから、此の簡易計算法はローゼ桁一般に適用し得るものと考へて差支ないであらう。此の簡易計算法の數學的論據に就ては本稿を了るまでに解決する暇を持たなかつたが、此の計算法により得たる結果を上記の 10 橋に就き照合して、正確に一致せる事より考へれば、之を簡易計算法として讀者諸氏に紹介すにも取て猶勇に非ずと信ずるものである。

鉄筋コンクリート橋としてタイド アーチ、ランガー桁及フィーレンデル桁が既に實施せられて居るに不拘、之等の中に位して、鉄筋コンクリート橋として之等よりも遙かに勝れて居るローゼ桁が未だ一橋も實施せられぬ所以は、此の計算法が普及して居らなかつた爲と、計算が可なり煩雜である爲とであらう。今茲に簡易計算法を紹介したのであるから、今後追々鉄筋コンクリートローゼ桁の實現を見るに至るであらう事を信ずるものである。

當長野縣に於て目下施工中のものに、支間 28 m, 34 m, 42 m の 3 橋あり、設計を終了して施工に取掛らんとして居るものに支間 25 m, 30 m 及 45 m の 3 橋あり、更に目下製図中のものに支間 19.5 m 及 26 m のものがあるから、之等を施工したる結果に就ては、何れ稿を改めて報告し、讀者諸氏の參考に供する事とせしやう。

終りに臨みて述べ來りたるところを見るに、或は前後し或は重複し、文甚だ拙く文意明達せずして、著者の述ぶるところの主旨を誤る處なしとせず。茲に本文の目的は

- i. 変形ローゼ桁として計算するも普通のローゼ桁として解くも、結果に於て殆ど交らぬ事
- ii. ローゼ桁の簡易計算法
- iii. ローゼ桁が長径間の鉄筋コンクリート下路橋として有利なる性質を有する事

を紹介するに在る事を述べて、本稿を終る事とする。