

UDC 624.072.334.1 : 624.68.072.324

フィーレンディール型2鉢拱橋の解法

正員内田一郎*

THE SOLUTION OF TWO HINGED ARCH BRIDGE OF VIERENDEEL TYPE

Ichirō Uchida, C.E., Member

Synopsis The writer shows the solution of the two hinged arch bridge of Vieren-deel type by the slope deflection method. The simultaneous equations, by which the unknown quantities can be determined, are tabulated to avoid troubles to make.

要旨 拡角法を用いてフィーレンディール型2鉢拱橋を解いたものである。未知数を求めるための聯立方程式は表示して、その作製の煩雑を避けた。

目 次

- | | | |
|------------|----------------------|-----------|
| 1. 緒言 | 3. 各部材の μ 相互間の関係 | 5. 方程式の解法 |
| 2. 基本式及び仮定 | 4. 方程式の作製 | 6. 計算例 |

1. 緒言

従来充腹拱橋を解くには拱肋のみを考えて支柱、床版等の影響は無視していた。支柱、床版等の影響を考えた図-1の如き所謂フィーレンディール型の拱橋に関しては、実験的に研究されたものはあるけれども⁽¹⁾、著者の知る範囲に於ては理論的に取扱われた例はない。本研究に於ては、節点間の拱肋を直線とみなして、かゝるフィーレンディール型2鉢拱橋の解法を拡角法に依り求めた。尙未知数を求めるための方程式は表示して各方程式の作製を機械的ならしめた。又フィーレンディール構の型としては上下弦共曲がっている一般的なものを先づ考え、此の型に対する結果を基として上弦水平な場合を考えた。

2. 基本式及び仮定

AB 部材が変形後 A'B' に移つたとすれば次の式が成立する。

$$\left. \begin{array}{l} M_{ab} = K_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b + \mu_{ab}) - C_{ab} \\ M_{ba} = K_{ab}(2\varphi_b + \varphi_a + \mu_{ab}) + C_{ba} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (I)$$

$$\left. \begin{array}{l} K_{ab} = \frac{I}{l^2}, \quad \varphi = 2E\psi, \quad \mu = -6E\frac{d}{l} \\ C_{ab} = \frac{2A}{l^2}(3\delta - l), \quad C_{ba} = \frac{2A}{l^2}(2l - 3\delta) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (II)$$

但し I: AB 部材の断面2次モーメント, l: AB 部材の長さ, E: 材料

の弾性係数, ψ : 節点回転角, d: B点の撓み, A: AB 部材を単純梁と考えた時、此の上に載る荷重に依るモーメント図の面積, δ : 面積 A の重心の B 点からの距離

もし AB 部材に荷重が載らなければ C_{ab} , C_{ba} は消えて(I)式は次の様になる。

$$M_{ab} = K_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b + \mu_{ab}), \quad M_{ba} = K_{ab}(2\varphi_b + \varphi_a + \mu_{ab}) \dots\dots\dots (III)$$

本研究を進めるに当つては、他の撓角法を用いる場合と同様に次の3つの仮定を設ける。

- (i) 部材は節点に於て互いに剛結されている。
- (ii) 部材の長さは変形後も変わらない。
- (iii) 剪断力に依つて変形を生じない。

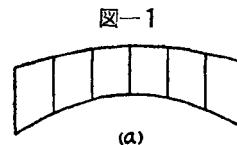


図-1

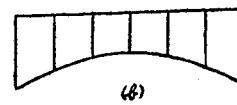
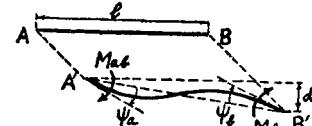


図-2



3. 各部材の μ 相互間の関係

図-3に於て閉合ラーメン $(r-1)r(r+1)(r+2)$ が変形して $(r-1)'r'(r+1)'(r+2)'$ になつたものとする。

$l_{(r-1)(r+1)}, l_{r(r+2)}, l_{(r-1)r}, l_{(r+1)(r+2)}$: 夫々下弦材 $(r-1)(r+1)$, 上弦材 $r(r+2)$, 垂直材 $(r-1)r$, 垂直材 $(r+1)(r+2)$ の長さ(仮定に依り変形後も変わらない。)

$\theta_{rl}, \theta_{ru}, \theta_{rv}, \theta_{(r+2)v}$: 夫々変形前に於いて下弦材 $(r-1)(r+1)$, 上弦材 $r(r+2)$, 垂直材 $(r-1)r$, 垂直材 $(r+1)(r+2)$ の水平となす角度

$\theta_{rl}', \theta_{ru}', \theta_{rv}', \theta_{(r+2)v}'$: 夫々変形後に於いて下弦材 $(r-1)(r+1)$, 上弦材 $r(r+2)$, 垂直材 $(r-1)r$, 垂直材 $(r+1)(r+2)$ の水平となす角度

$\psi_{rl}, \psi_{ru}, \psi_{rv}, \psi_{(r+2)v}$: 夫々下弦材 $(r-1)(r+1)$, 上弦材 $r(r+2)$, 垂直材 $(r-1)r$, 垂直材 $(r+1)(r+2)$ の部材回転角

とすれば変形前に於いて此の閉合ラーメンが閉ぢているという条件より $\sum l \cos \theta = 0, \sum l \sin \theta = 0$

又変形後も閉ぢている故 $\sum l' \cos \theta' = 0, \sum l' \sin \theta' = 0$ 然るに一般に $\theta' = \theta - \psi$

$$\therefore \sum l \cos \theta' = \sum l \cos(\theta - \psi) = \sum l \cos \theta \cos \psi + \sum l \sin \theta \sin \psi = 0$$

$$\sum l \sin \theta' = \sum l \sin(\theta - \psi) = \sum l \sin \theta \cos \psi - \sum l \cos \theta \sin \psi = 0$$

ψ は極めて小なる故 $\cos \psi \approx 1, \sin \psi \approx \psi$

$$\therefore \sum l \cos \theta + \sum l \psi \sin \theta = 0, \sum l \sin \theta - \sum l \psi \cos \theta = 0$$

$\sum l \cos \theta = 0, \sum l \sin \theta = 0$ なる故 $\sum l \psi \sin \theta = 0, \sum l \psi \cos \theta = 0$

両辺に $-6E$ を乘ずれば $\sum l(-6E\psi) \sin \theta = 0, \sum l(-6E\psi) \cos \theta = 0$

即ち $\sum l \mu \sin \theta = 0, \sum l \mu \cos \theta = 0 \dots \dots \dots \text{IV}$

中央の垂直材(格間数奇数の時は中央の2本の垂直材)の長さを $l_{(n-1)n}$,

μ を $\mu_v (= \mu_{nv})$ とする。格間 $(r-1, r+1)$ にIV式を適用すれば

$$\frac{\lambda}{\cos \theta_{rl}} \mu_{rl} \sin \theta_{rl} + l_{(r+1)(r+2)} \mu_{(r+2)v} - \frac{\lambda}{\cos \theta_{ru}} \mu_{ru} \sin \theta_{ru} - l_{(r-1)r} \mu_{rv} = 0$$

$$\frac{\lambda}{\cos \theta_{rl}} \mu_{rl} \cos \theta_{rl} - \frac{\lambda}{\cos \theta_{ru}} \mu_{ru} \cos \theta_{ru} = 0$$

整理して $\lambda \mu_{rl} \tan \theta_{rl} + l_{(r+1)(r+2)} \mu_{(r+2)v} - \lambda \mu_{ru} \tan \theta_{ru} - l_{(r-1)r} \mu_{rv} = 0, \mu_{rl} = \mu_{ru}$

$$\mu_{rl} = \mu_{ru} = \mu_r \quad \text{とおけば} \quad \mu_{rv} = \frac{l_{(r+1)(r+2)}}{l_{(r-1)r}} \mu_{(r+2)v} + \frac{\lambda}{l_{(r-1)r}} (\tan \theta_{rl} - \tan \theta_{ru}) \mu_v$$

此の式を各格間に適用して

$$\begin{aligned} \mu_{(n-2)v} &= \frac{l_{(n-1)n}}{l_{(n-3)(n-2)}} \mu_v + \frac{\lambda}{l_{(n-3)(n-2)}} (\tan \theta_{(n-2)i} - \tan \theta_{(n-2)u}) \mu_{n-2} \\ \mu_{(n-4)v} &= \frac{l_{(n-3)(n-2)}}{l_{(n-5)(n-4)}} \mu_{(n-2)v} + \frac{\lambda}{l_{(n-5)(n-4)}} (\tan \theta_{(n-4)i} - \tan \theta_{(n-4)u}) \mu_{n-4} \\ &= \frac{l_{(n-3)(n-2)}}{l_{(n-5)(n-4)}} \left\{ \frac{l_{(n-1)n}}{l_{(n-3)(n-2)}} \mu_v + \frac{\lambda}{l_{(n-3)(n-2)}} (\tan \theta_{(n-2)i} - \tan \theta_{(n-2)u}) \mu_{n-2} \right\} \\ &\quad + \frac{\lambda}{l_{(n-5)(n-4)}} (\tan \theta_{(n-4)i} - \tan \theta_{(n-4)u}) \mu_{n-4} \\ &= \frac{l_{(n-1)n}}{l_{(n-5)(n-4)}} \mu_v + \frac{\lambda}{l_{(n-5)(n-4)}} (\tan \theta_{(n-2)i} - \tan \theta_{(n-2)u}) \mu_{n-2} \\ &\quad + \frac{\lambda}{l_{(n-5)(n-4)}} (\tan \theta_{(n-4)i} - \tan \theta_{(n-4)u}) \mu_{n-4} \end{aligned}$$

以下同様に

$$\begin{aligned} \mu_{(n-6)v} &= \frac{l_{(n-1)n}}{l_{(n-7)(n-6)}} \mu_v + \frac{\lambda}{l_{(n-7)(n-6)}} (\tan \theta_{(n-2)i} - \tan \theta_{(n-2)u}) \mu_{n-2} \\ &\quad + \frac{\lambda}{l_{(n-7)(n-6)}} (\tan \theta_{(n-4)i} - \tan \theta_{(n-4)u}) \mu_{n-4} + \frac{\lambda}{l_{(n-7)(n-6)}} (\tan \theta_{(n-6)i} - \tan \theta_{(n-6)u}) \mu_{n-6} \\ &\quad \dots \dots \dots \end{aligned}$$

図-3

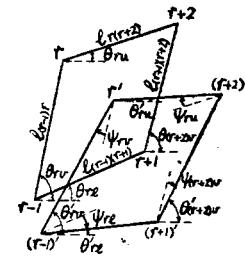
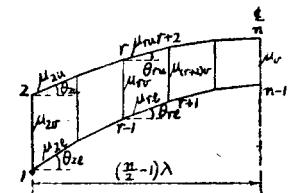


図-4



$$\begin{aligned}\mu_{2v} = & \frac{l_{(n-1)n}}{l_{12}}\mu_v + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{(n-2)i} - \tan\theta_{(n-2)u})\mu_{n-2} + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{(n-4)i} - \tan\theta_{(n-4)u})\mu_{n-4} \\ & + \dots + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{4i} - \tan\theta_{4u})\mu_4 + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{2i} - \tan\theta_{2u})\mu_2\end{aligned}$$

即ち任意の垂直材の μ は中央の垂直材の μ_v と上下弦材の μ とで表わす事が出来る。

4. 方程式の作製

説明の便宜のため図-5の様な左右対称の6格間のものを考える。未知数としては各節点の節点回転角、上下弦材の部材回転角、中央垂直材の部材回転角及び水平反力を考える。前節に依り各垂直材の μ を中央垂直材及び上下弦材の μ で表わすと

$$\begin{aligned}\mu_{2v} = & \frac{l_{78}}{l_{12}}\mu_v + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{6i} - \tan\theta_{6u})\mu_6 + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{4i} - \tan\theta_{4u})\mu_4 + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{2i} - \tan\theta_{2u})\mu_2 \\ \mu_{4v} = & \frac{l_{78}}{l_{34}}\mu_v + \frac{\lambda}{l_{34}}(\tan\theta_{6i} - \tan\theta_{6u})\mu_6 + \frac{\lambda}{l_{34}}(\tan\theta_{4i} - \tan\theta_{4u})\mu_4 \\ \mu_{6v} = & \frac{l_{78}}{l_{56}}\mu_v + \frac{\lambda}{l_{56}}(\tan\theta_{6i} - \tan\theta_{6u})\mu_6 \\ \mu_{2'v} = & \frac{l_{78}}{l_{12}}\mu_v + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{6i} - \tan\theta_{6u})\mu_6' + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{4i} - \tan\theta_{4u})\mu_4' + \frac{\lambda}{l_{12}}(\tan\theta_{2i} - \tan\theta_{2u})\mu_2' \\ \mu_{4'v} = & \frac{l_{78}}{l_{34}}\mu_v + \frac{\lambda}{l_{34}}(\tan\theta_{6i} - \tan\theta_{6u})\mu_6' + \frac{\lambda}{l_{34}}(\tan\theta_{4i} - \tan\theta_{4u})\mu_4' \\ \mu_{6'v} = & \frac{l_{78}}{l_{56}}\mu_v + \frac{\lambda}{l_{56}}(\tan\theta_{6i} - \tan\theta_{6u})\mu_6'\end{aligned}$$

(A) 節点釣合方程式

節点 1 に於て

$$M_{12} = K_{12}(2\varphi_1 + \varphi_2 + \mu_{2v}), \quad M_{13} = K_{13}(2\varphi_1 + \varphi_3 + \mu_2)$$

$$M_{12} + M_{13} = 0 \quad \text{より} \quad j_1\varphi_1 + K_{12}\varphi_2 + K_{13}\varphi_3 + (K_{13} + B_{2(2)})\mu_2 + B_{4(2)}\mu_4 + B_{6(2)}\mu_6 + D_2 l_{78}\mu_v = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

但し

$$j_1 = 2(K_{12} + K_{13}), \quad B_{r(2)} = \frac{K_{12}}{l_{12}}\lambda(\tan\theta_{ri} - \tan\theta_{ru}), \quad D_2 = \frac{K_{12}}{l_{12}}$$

節点 1' に対して同様に考えて表-1 の(2)式を得る。

節点 2 に於て

$$M_{21} = K_{12}(2\varphi_2 + \varphi_1 + \mu_{2v}), \quad M_{24} = K_{24}(2\varphi_2 + \varphi_4 + \mu_2)$$

$$M_{21} + M_{24} = 0 \quad \text{より} \quad K_{12}\varphi_1 + j_2\varphi_2 + K_{24}\varphi_4 + (K_{24} + B_{2(2)})\mu_2 + B_{4(2)}\mu_4 + B_{6(2)}\mu_6 + D_2 l_{78}\mu_v = 0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

但し

$$j_2 = 2(K_{12} + K_{24}), \quad B_{r(2)} = \frac{K_{12}}{l_{12}}\lambda(\tan\theta_{ri} - \tan\theta_{ru}), \quad D_2 = \frac{K_{12}}{l_{12}}$$

節点 2' に対して同様に考えて(4)式を得る。

節点 3 に於て

$$M_{31} = K_{13}(2\varphi_3 + \varphi_1 + \mu_2), \quad M_{34} = K_{34}(2\varphi_3 + \varphi_4 + \mu_{4v}), \quad M_{35} = K_{35}(2\varphi_3 + \varphi_5 + \mu_4)$$

$$M_{31} + M_{34} + M_{35} = 0 \quad \text{より}$$

$$K_{13}\varphi_1 + j_3\varphi_3 + K_{34}\varphi_4 + K_{35}\varphi_5 + K_{13}\mu_2 + (K_{35} + B_{4(4)})\mu_4 + B_{6(4)}\mu_6 + D_4 l_{78}\mu_v = 0 \quad \dots \dots \dots (5)$$

但し

$$j_3 = 2(K_{13} + K_{34} + K_{35}), \quad B_{r(4)} = \frac{K_{34}}{l_{34}}\lambda(\tan\theta_{ri} - \tan\theta_{ru}), \quad D_4 = \frac{K_{34}}{l_{34}}$$

以下全く同様にして(6)~(14)式を得る。

但し

$$j_r = 2 \times (\text{節点 } r \text{ に集まる部材の } K \text{ の総和})$$

$$B_{r(x)} = \frac{K_{(x-1)x}}{l_{(x-1)x}}\lambda(\tan\theta_{ri} - \tan\theta_{ru}), \quad D_r = \frac{K_{(r-1)r}}{l_{(r-1)r}}$$

(B) 断面釣合方程式

節点 3 及び 4 の直ぐ左側に図-6の様な断面を考え、此の断面より左側の釣合を考える。

M_{31} =部材(1,3)の節点3に於ける材端モーメント

M_{42} =部材(2,4)の節点4に於ける材端モーメント

N_{13} =部材(1,3)の軸力、 N_{24} =部材(2,4)の軸力

S_{13} =部材(1,3)の剪断力、 S_{24} =部材(2,4)の剪断力とする。

図-5

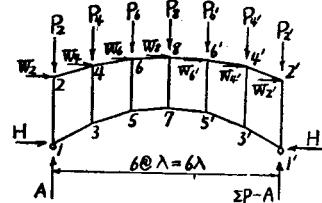
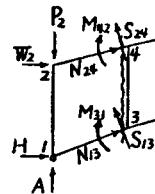


図-6



$$Q_{8u} = 3K_{88} \frac{l_{78}}{\lambda}, \quad E_{8(x)} = l_{78},$$

$$R_{8t} = 3K_{77} \frac{l_{78}}{\lambda}, \quad F_{8(y)} = 0$$

$$R_{8u} = 3K_{88} \frac{l_{78}}{\lambda},$$

$$G = \frac{4}{3} l_{78} \left(\frac{K_{12}}{l_{12}^2} + \frac{K_{34}}{l_{34}^2} + \frac{K_{56}}{l_{56}^2} + \frac{K_{78}}{l_{78}^2} \right),$$

$$\epsilon = -\frac{1}{3} \sum_2^8 W - \frac{1}{3} \sum_{2'}^{8'} W$$

今迄論じたのは 上下弦共曲弦の場合であつたが、特別な場合として上弦水平な場合(図-1(b))がある。此の場合は $\theta_{ru}=0$ 即ち $\tan \theta_{ru}=0$ 、之を表-1或いは表-2に入れれば直ちに所要の方程式が求まる(此の場合の表は省略する)。又表中の記号 $B, Q, R, L, T, E, F, v, C$ 等は $\tan \theta_{ru}=0$ を入れる事に依り簡単な形になる。尚以上何れの場合に於ても荷重が左右対称の場合には変形も左右対称となり、従つて未知数は略々半分に減じ得る。

5. 方程式の解法

以上の様にして求めた聯立方程式を解く方法には色々あるけれども、荷重が与えられている場合に対しては反復漸近法、影響線を求める場合或いは反復漸近法で収斂の悪い場合に対してはマトリックスを用いる方法(2)(文献(2)に記してある方法を仮に此の様に名付ける)が便利である。

6. 計算例

図-10の様な フィーレンディール型2鉄筋拱橋の影響線をマトリックスを用いる方法で求めて見る。

各部材の長さ及び K の値は次の通りとする。

部材	長さ	K (係数 K_0)
下弦材	1-3, 1'-3'	6.863 75m 1
	3-5, 3'-5'	6.324 56 1
	5-7, 5'-7	6.036 92 1
上弦材	2-4, 2'-4'	6 0.5
	4-6, 4'-6'	6 0.5
	6-8, 6'-8	6 0.5
垂直材	1-2, 1'-2'	9 0.133 33
	3-4, 3'-4'	5.666 67 0.211 76
	5-6, 5'-6'	3.666 67 0.927 27
	7-8	3 0.4

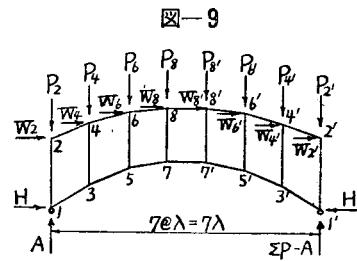


図-9

表-2

式	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q _{1'}	Q _{2'}	Q _{3'}	Q _{4'}	Q _{5'}	Q _{6'}	Q _{7'}	Q _{8'}	H	
(1)	$\int_1 K_{11}$	K_{12}	K_{13}						K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	K_{28}	D_{11}	
(2)	$\int_1 K_{11}$	K_{12}	K_{13}	K_{14}					K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{12}	C	
(3)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}					K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{13}	C	
(4)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}				K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{14}	O	
(5)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}			K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{15}	O	
(6)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}		K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{16}	O	
(7)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}		K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{17}	O
(8)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{18}	O	
(9)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{19}	O	
(10)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{20}	O	
(11)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{21}	O	
(12)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{22}	O	
(13)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{23}	O	
(14)	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	D_{24}	O	
(15)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{12}	L_{12}	
(16)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{12}'	L_{12}'	
(17)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{14}	V_{14}	
(18)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{16}	V_{16}	
(19)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{18}	V_{18}	
(20)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{20}	V_{20}	
(21)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{22}	V_{22}	
(22)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{24}	V_{24}	
(23)	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}	Q_{16}	Q_{17}	Q_{18}	Q_{19}	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}	Q_{25}	Q_{26}	Q_{27}	L_{26}	V_{26}	
(24)	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}	D_{17}	D_{18}	D_{19}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{24}	D_{25}	D_{26}	D_{27}	G	E	
(25)	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}	D_{17}	D_{18}	D_{19}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{24}	D_{25}	D_{26}	D_{27}	G	O	

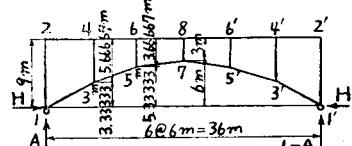


図-10

上弦材に対しては $\theta_{ru}=0 \therefore \tan \theta_{ru}=0$

下弦材に対する $\tan \theta_{rl}$ は次の如くなる。

r	2	4	6
$\tan \theta_{rl}$	0.555 56	0.383 33	0.111 11

表-1に従つて方程式を作れば表-3の如くなる。(15)～(20)式の右辺即ち荷重項は影響線を求める関係上記号で表わしておこう。

(1)～(14) 式は $\varphi_1, \varphi_{1'}, \varphi_2, \dots, \varphi_7, \varphi_8$ に関する対称聯立方程式なる故、之をマトリックスを用いて解けば $\varphi_1, \varphi_{1'}, \varphi_2, \dots, \varphi_7, \varphi_8$ を $\mu_2, \mu_{2'}, \mu_4, \dots, \mu_{8'}, \mu_v$ で表わす事が出来る。此の $\varphi_1, \varphi_{1'}, \varphi_2, \dots, \varphi_7, \varphi_8$ を(15)～(22)式に入れて得られる $\mu_2, \mu_{2'}, \mu_4, \dots, \mu_{8'}, \mu_v$, $[H]$ に関する一般聯立方程式を、 $\nu_2, \nu_{2'}, \nu_4, \dots, \nu_{8'}, \nu_v$, を記号のまゝで表わしておいてマトリックスを用いて解けば $\mu_2, \mu_{2'}, \mu_4, \dots, \mu_{8'}, \mu_v, [H]$ が得られる。此の $\mu_2, \mu_{2'}, \mu_4, \dots, \mu_{8'}, \mu_v$,

表-3

式	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	μ_{2v}	$\mu_{2'v}$	μ_{4v}	$\mu_{4'v}$	μ_{6v}	$\mu_{6'v}$	μ_{8v}	$\mu_{8'v}$	[H] 傾き係数	
(1)	22446	0.13333	1						106938	602963	800799	604444			0		0	
(2)	22446	0.13333	1						106938	602963	800799	604444			0		0	
(3)	0.13333	12446		0.5					0.54938	0.02963	0.00988	0.04444			0		0	
(4)	0.13333	12446		0.5					0.54938	0.02963	0.00988	0.04444			0		0	
(5)	1		44733	22176		1			1	107477	0.02961	211211			0		0	
(6)	1		44733	22176	0.21176	1			1	107477	0.02961	211211			0		0	
(7)		0.5	0.21176	24233		0.5			0.5	65747	0.02961	211211			0		0	
(8)		0.5	0.21176	24233	0.21176		0.5		0.5	65747	0.02961	211211			0		0	
(9)		1		44733	0.32777	1			1	107477	0.02961	211211			0		0	
(10)		1		44733	0.32777	1			1	107477	0.02961	211211			0		0	
(11)			0.5	0.32777	0.32777	1			0.5	255950	0.02961	211211			0		0	
(12)			0.5	0.32777	0.32777	1			0.5	255950	0.02961	211211			0		0	
(13)				1	1	0.48	0.04		1	1	1	0.04			0		0	
(14)					0.5	0.5	0.04	0.28		0.5	0.5	0.04			0		0	
0.53328970	167445	379446	197223						3.66667						-5.00000	$\frac{1}{2}$		
1/9	338970	167445	379446	197223						3.66667					5.00000	$\frac{1}{2}$		
1/17		211666	108333	250000	125000					233333					-2.99999	$\frac{1}{4}$		
1/81		211666	108333	250000	125000					233333					2.99999	$\frac{1}{6}$		
(15)				161111	0.08556	1722220.086111				166667					-6.99999	$\frac{1}{6}$		
(16)				161111	0.08556	1722220.086111				166667					6.99999	$\frac{1}{6}$		
(17)	0.001481	201481	0.001481	0.001481	0.03737	0.03737	0.03737	0.03737	0.008726	0.008726	0.008726	0.008726	0.008726	0.008726	0.008726	0.008726	0	
(18)									0.555556	-0.555556	0.333333	-0.333333	0.333333	-0.333333	0.333333	-0.333333	0.333333	0

[H] の値を 4. の始めに記した $\mu_{2v}, \mu_{2'v}, \mu_{4v}, \mu_{4'v}, \mu_{6v}, \mu_{6'v}$ の式に入れれば、各垂直材の μ が求まり、又 $\mu_{8v} = \mu_v$ より中央の垂直材の μ が求まる。更に $\mu_2, \mu_{2'}, \mu_4, \dots, \mu_{6'}, \mu_v$ の値を (1)～(14) 式より得られたる $\varphi_1, \varphi_{1'}, \varphi_2, \dots, \varphi_8$ を入れれば各節点の φ が求まる。

以上の様にして求めた φ 及び μ の値を用いて材端モーメントを求めれば表-4 の如くなる。又 H に対して [H] より同じく表-4 の如く求める。以上で材端モーメント及び水平反力を $\nu_2, \nu_{2'}, \nu_4, \dots, \nu_{6'}$ で表わす事が出来たわけである。

単位荷重の位置に応ずる $\nu_2, \nu_{2'}, \nu_4, \dots, \nu_{6'}$ の値は表-5 の如く、之等を表-4 に入れて材端モーメント及び水平反力の影響線を求めれば表-6 の如くなる。

表-4

M, H	ν_2	$\nu_{2'}$	ν_4	$\nu_{4'}$	ν_6	$\nu_{6'}$
M_{12}	-0.0809	-0.0391	-0.0029	-0.0579	-0.0004	-0.0447
M_{13}	0.0740	0.0320	-0.0150	0.0400	-0.0330	0.0110
M_{21}	-0.0764	-0.0369	-0.0025	-0.0541	0.0025	-0.0403
M_{24}	0.0780	0.0380	0.0050	0.0565	0.0030	0.0460
M_{31}	0.2490	0.0690	-0.1650	0.0980	-0.0770	0.0420
M_{34}	-0.0902	-0.0786	-0.1196	-0.1194	-0.0445	-0.1044
M_{35}	-0.1670	0	0.2610	0.0010	0.0780	0.0190
M_{42}	0.1555	0.0545	-0.0620	0.0775	-0.025	0.0525
M_{43}	-0.0872	-0.0760	-0.1156	-0.1158	-0.0309	-0.1012
M_{46}	-0.0730	0.0180	0.1680	0.0270	0.0605	0.0300
M_{53}	0.0020	0.0920	0.3530	0.1280	-0.1540	0.0720
M_{56}	0.0033	-0.0808	-0.2180	-0.1355	-0.3603	-0.1859
M_{57}	-0.0130	-0.0180	-0.1590	-0.0140	0.4710	0.0740
M_{64}	0.0010	0.0640	0.2230	0.0915	-0.0265	0.0300
M_{65}	0.0010	-0.0769	-0.2059	-0.1293	-0.3430	-0.1823
M_{68}	-0.0140	0.0020	-0.0445	0.0095	0.3185	0.0780
M_{75}	-0.0870	0.0630	0.0250	0.0780	0.5620	-0.0800
M_{78}	-0.0204	-0.0200	-0.0904	-0.0904	-0.4576	-0.4572
M_{86}	-0.0230	0.0355	0.0270	0.0485	0.3675	0.0255
M_{87}	-0.0208	-0.0208	-0.0920	-0.0924	-0.4336	-0.4332
H	-0.0529284	0.0475863	-0.0764743	0.0633654	-0.0513436	0.0265766

表-5

単位荷重点 ν	3	7	7	5'	3'
ν_2	-7.5	-6	-4.5	-3	-1.5
$\nu_{2'}$	1.5	3	4.5	6	7.5
ν_4	-0.722 22	-5.111 11	-3.833 33	-2.555 56	-1.277 78
$\nu_{4'}$	1.277 78	2.555 56	3.833 33	5.111 11	0.722 22
ν_6	0.166 67	0.833 33	-2.5	-1.666 67	-0.833 33
$\nu_{6'}$	0.833 33	1.666 67	2.5	-0.333 33	-0.166 67

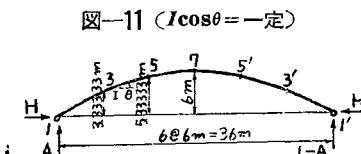
表-6

単位荷重点 M, H	3	5	7	5'	3'
M_{12}	0.44	0.16	-0.13	-0.26	-0.20
M_{13}	-0.44	-0.16	0.13	0.26	0.20
M_{21}	0.42	0.16	-0.13	-0.25	-0.19
M_{24}	-0.42	-0.16	0.13	0.25	0.19
M_{31}	-1.50	-0.16	0.48	0.68	0.48
M_{34}	0.40	0.42	-0.10	-0.40	-0.33
M_{35}	1.09	-0.27	-0.39	-0.30	-0.15
M_{42}	-0.90	-0.18	0.29	0.45	0.33
M_{43}	0.39	0.41	-0.13	-0.41	-0.33
M_{46}	0.52	-0.23	-0.21	-0.07	-0.01
M_{53}	0.07	-1.14	0.11	0.58	0.04
M_{56}	-0.38	0.08	0.37	0.03	-0.10
M_{57}	0.31	1.08	-0.46	-0.54	-0.33
M_{64}	0.07	-0.68	-0.08	0.31	0.28
M_{65}	-0.35	0.07	0.35	0.03	-0.09
M_{68}	0.27	0.58	-0.32	-0.34	-0.18
M_{75}	0.48	0.54	-0.95	-0.09	0.10
M_{78}	-0.38	-0.62	0	0.62	0.39
M_{86}	0.34	0.38	-0.53	-0.19	-0.01
M_{87}	-0.36	-0.57	0	0.57	0.36
H	0.6181	1.0403	1.1832	1.0403	0.6181

図-11の如き2鉢充腹抛物線拱橋の分割点に於ける抵抗モーメント及び水平反力を、剪断力及び軸力を無視して求めれば表-7の如くなる。

表-7

単位荷重点 M, H	3	5	7	5'	3'
M_3	-3.023	-0.605	0.906	1.395	0.977
M_5	-0.836	-2.568	0.250	1.432	1.164
M_7	0.559	0.111	-1.969	0.111	0.559
H	0.59317	1.01852	1.17188	1.01852	0.59317



之を以上の中と比較するに、水平反力は略々等しく、モーメントはフィーレンディール型とみなして解いた方が一般に小さくなる。

附記：本研究は科学研修費に依る研究成果である。

文 献

- (1) Wilbur M. Wilson: Laboratory Tests of Reinforced Concrete Arches with Decks. (University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin No.226, April, 1931)
- (2) 内田一郎：弹性聯立方程式の一解法（土木技術第4卷6号，昭和24年6月）