

曲線格子桁橋の実用解析法とその計算

正会員 塚 農 知 徳*

要 旨

本論文は曲線格子桁橋の厳密な実用解析法を誘導し、曲線格子桁橋の設計の簡易化のために、一般公式を導き、数値表を作成した研究より、一般公式のみを示し、数値計算例によって複雑な曲線格子桁橋を機械的に簡単に解析出来ることを示している。

1. ま え が き

最近の橋梁は路線の形状により定められ、各種多様な橋梁形式が採用されている。なかでも道路の線形条件と広い幅員などにより曲線格子桁形式が非常に多く架設されている。この曲線格子桁橋の計画設計の機会は年々増加の一途をたどるものと予想される。現に、高速道路網における曲線格子桁橋の重要性は衆知のとおりである。

元来、曲線格子桁橋は高次の不静定構造物であるから、その厳密な解析は非常に煩雑となる。従って曲線橋の設計には、より簡易化された計算法を必要とするわけである。従来からいくつかの簡易計算法が提案されていたが、いずれも近似計算法であった。

本論文において示す実用解析法は厳密な計算法であり、机上において機械的に、簡単に計算出来るために、費用的にも周期的にも非常に経済的なものになる。さらに、電子計算機により得られる数値の照査を机上において行なうことを可能にした利点は大きいものと思う。

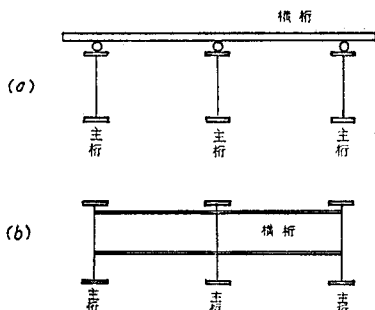
曲線格子桁橋には曲線主桁と荷重分配横桁との結合構造により、図—1 (a), (b)に示すとおりヒンジ結合と剛結

合の2種類が考えられる。格子構造が実際にヒンジ結合の場合、および曲線主桁断面がI形断面などねじれ剛性 GJ_T の小さい場合にはヒンジ結合として構造解析を行なうことが出来る。ただし、I形断面など開き断面では曲げねじれ剛性 EJ_ω を無視してはならない。曲線主桁断面が箱桁などねじれ剛性 GJ_T の大きい閉じ断面では実際の結合構造が剛結合の場合には剛な結合として構造解析を行なわねばならない。閉じ断面主桁において、 $\lambda \cdot \Phi = \sqrt{GJ_T/EJ_\omega} \cdot R \cdot \Phi = 60$ 以上の場合には曲げねじれ剛性 EJ_ω を無視して差支えない。本論文ではヒンジ結合構造とした曲線格子桁橋の一般公式のみをのせて、数値計算例には、I形主桁並列の曲線格子桁橋をヒンジ結合構造として解析し、厳密に、簡単に曲線格子桁橋を設計出来ることを示す。

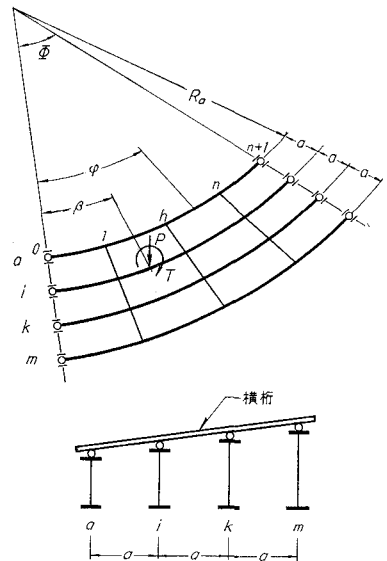
なお、実用解析法の誘導過程は文献 1) を参照されたい。

2. 曲線格子桁橋の影響面一般公式

曲線格子桁橋の任意の点の断面力および変形の影響面は次のとおりである。



図—1



図—2

* 工修 北海道大学工学部助教授

曲線主桁と横桁がヒンジ結合の場合

1) 主桁 k の点 β に $P=1$ が作用するときの、主桁 i の点 φ における断面力および変形

$$\text{格 点 力: } K_{ih,k\beta} = \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot \alpha_{h(n)} \cdot \rho_{k\beta(n)} \cdot C_{ik(n)}$$

$$\text{曲 げ モーメント: } M_{i\varphi,k\beta} = M_{i\varphi,k\beta}^0 + \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot M_{i\varphi(n)} \cdot \rho_{k\beta(n)} \cdot C_{ik(n)}$$

$$\text{ねじれモーメント: } T_{i\varphi,k\beta} = T_{i\varphi,k\beta}^0 + \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot T_{i\varphi(n)} \cdot \rho_{k\beta(n)} \cdot C_{ik(n)}$$

$$\text{曲げねじれモーメント: } M_{\omega i\varphi,k\beta} = M_{\omega i\varphi,k\beta}^0 + \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot M_{\omega i\varphi(n)} \cdot \rho_{k\beta(n)} \cdot C_{ik(n)}$$

$$\text{た わ み: } U_{i\varphi,k\beta} = U_{i\varphi,k\beta}^0 + \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot U_{i\varphi(n)} \cdot \rho_{k\beta(n)} \cdot C_{ik(n)}$$

$$\text{ね じ れ 角: } \vartheta_{i\varphi,k\beta} = \vartheta_{i\varphi,k\beta}^0 + \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot \vartheta_{i\varphi(n)} \cdot \rho_{k\beta(n)} \cdot C_{ik(n)}$$

$$\text{一般に、断面力および変形: } S_{i\varphi,k\beta} = S_{i\varphi,k\beta}^0 + \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot S_{i\varphi(n)} \cdot \rho_{k\beta(n)} \cdot C_{ik(n)}$$

(1) a-g

$$\text{ここで, } S_{i\varphi,k\beta}^0 = 0, \quad C_{ik(n)} = B_{ik(n)} \quad (k \neq i)$$

$$S_{i\varphi,k\beta}^0 = S_{i\varphi,i\beta}^0, \quad C_{ii(n)} = B_{ii(n)} - 1 \quad (k=i)$$

2) 主桁 k の点 β に $T=1$ が作用するときの、主桁 i の点 φ における断面力および変形

$$\text{格 点 力: } K_{ih,k\beta} = \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot \alpha_{h(n)} \cdot \phi_{k\beta(n)} \cdot \overset{\circ}{B}_{ik(n)}$$

$$\text{断面力および変形: } S_{i\varphi,k\beta} = S_{i\varphi,k\beta}^0 + \sum_{n=1}^n \mu_{(n)} \cdot S_{i\varphi(n)} \cdot \phi_{k\beta(n)} \cdot \overset{\circ}{B}_{ik(n)}$$

(2) a-b

$$\text{ここで, } S_{i\varphi,k\beta}^0 = 0 \quad (k \neq i)$$

$$S_{i\varphi,k\beta}^0 = S_{i\varphi,i\beta}^0 \quad (k=i)$$

3. 弾性支承反力公式

弾性沈下可能な支承上の連続桁支承反力公式を表にまとめて示すと表—1～表—3 のとおりである。

表中の記号は次のように定義してある。

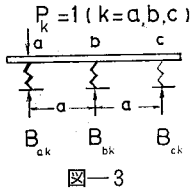
垂直バネ係数比 r_i :

$$\frac{1}{r_i} = \frac{F_{pi} \left(\frac{\Phi}{2} \right)}{F_{pa} \left(\frac{\Phi}{2} \right)} \cdot \frac{J_{ya}}{J_{yi}} \cdot \left(\frac{R_i}{R_a} \right)^3 \quad i = a, b, c, \dots, m \quad (3)$$

ねじれバネ係数比 r_{Ti} :

$$\frac{1}{r_{Ti}} = \frac{\theta_{pi} \left(\frac{\Phi}{2} \right)}{\theta_{pa} \left(\frac{\Phi}{2} \right)} \cdot \frac{J_{Ta}}{J_{Ti}} \cdot \left(\frac{R_i}{R_a} \right)^2 \quad i = a, b, c, \dots, m \quad (4)$$

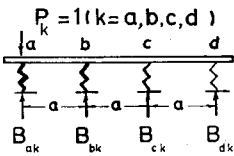
表-1 3-弾性支承上の桁



影響値	$P_k=1$ による	係 数			分 母
		$\cdot 1$	$\cdot \frac{1}{r_b}$	$\cdot \frac{1}{r_c}$	
支承反力 B_{ak}	$B_{aa}-1$	-1			: N_1
	B_{ab}		2		: N_1
	B_{ac}			-1	: N_1
支承反力 B_{bk}	B_{ba}	2			: N_1
	$B_{bb}-1$		-4		: N_1
	B_{bc}			2	: N_1
支承反力 B_{ck}	B_{ca}	-1			: N_1
	B_{cb}		2		: N_1
	$B_{cc}-1$			-1	: N_1

$$N_1 = 1 + \frac{4}{r_b} + \frac{1}{r_c} + \frac{4}{Z}$$

表-2 4-弾性支承上の桁



影響値	$P_k=1$ による	係 数					分 母
		$\cdot 1$	$\cdot \frac{1}{r_b}$	$\cdot \frac{1}{r_c}$	$\cdot \frac{1}{r_d}$	$\cdot \frac{1}{Z}$	
支承反力 B_{ak}	$B_{aa}-1$		-1	-4	-1	-4	: N_2
	B_{ab}			6	2	9	: $r_b N_2$
	B_{ac}		3		-1	-6	: $r_c N_2$
	B_{ad}		-2	-2		1	: $r_d N_2$
	B_{ba}			6	2	9	: N_2
支承反力 B_{bk}	$B_{bb}-1$	-1		-9	-4	-24	: $r_b N_2$
	B_{bc}	2			2	21	: $r_c N_2$
	B_{bd}	-1		3		-6	: $r_d N_2$
	B_{ca}		3		-1	-6	: N_2
支承反力 B_{ck}	B_{cb}	2			2	21	: $r_b N_2$
	$B_{cc}-1$	-4	-9		-1	-24	: $r_c N_2$
	B_{cd}	2	6			9	: $r_d N_2$
	B_{da}		-2	-2		1	: N_2
支承反力 B_{dk}	B_{db}	-1		3		-6	: $r_b N_2$
	B_{dc}	2	6			9	: $r_c N_2$
	$B_{dd}-1$	-1	-4	-1		-4	: $r_d N_2$
	B_{da}						

$$N_2 = \frac{1}{r_b} + \frac{4}{r_c} + \frac{1}{r_d} + \frac{9}{r_b r_c} + \frac{4}{r_b r_d} + \frac{1}{r_c r_d} + \frac{1}{Z} \left(4 + \frac{24}{r_b} + \frac{24}{r_c} + \frac{4}{r_d} \right) + \frac{15}{Z^2}$$

表-3 5-弾性支承六の桁

$$P=1(k=a,b,c,d,e)$$

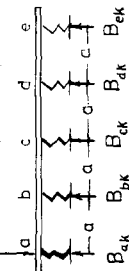


図-5

影響値	$P_k=1$ による	係 数												分 母			
		$\frac{1}{r_b}$	$\frac{1}{r_c}$	$\frac{1}{r_d}$	$\frac{1}{r_e}$	$\frac{1}{r_b r_c}$	$\frac{1}{r_b r_d}$	$\frac{1}{r_b r_e}$	$\frac{1}{r_c r_d}$	$\frac{1}{r_c r_e}$	$\frac{1}{r_d r_e}$	$\frac{1}{r_b^2}$	$\frac{1}{r_c^2}$	$\frac{1}{r_d^2}$	$\frac{1}{r_e^2}$	$\frac{1}{Z^2}$	
支 承 反 力 B_{ak}	$B_{aa}-1$ B_{ab} B_{ac} B_{ad} B_{ae}					-1	-4	-1	-9	-4	-1	-4	-24	-24	-4	-15	N_3 : $r_b N_3$: $r_d N_3$: $r_e N_3$
支 承 反 力 B_{bk}	B_{ba} $B_{bb}-1$ B_{bc} B_{bd} B_{be}		-1	-4	-1				-16	-9	2		-72	-128	-24	34	N_3 : $r_b N_3$: $r_c N_3$: $r_d N_3$: $r_e N_3$
支 承 反 力 B_{ck}	B_{ca} B_{cb} $B_{cc}-1$ B_{cd} B_{ce}	-1		-6	2	3	8	3			-1	14		-30	-24	-24	N_3 : $r_b N_3$: $r_c N_3$: $r_d N_3$: $r_e N_3$
支 承 反 力 B_{dk}	B_{da} B_{db} B_{dc} $B_{dd}-1$ B_{de}	3	3		-1	4		-2		-2		-12	-24		1	6	N_3 : $r_b N_3$: $r_c N_3$: $r_d N_3$: $r_e N_3$
支 承 反 力 B_{ek}	B_{ea} B_{eb} B_{ec} B_{ed} $B_{ee}-1$	-2	-2	-3		-3	-4		-3			2	-24	-12		-1	N_3 : $r_b N_3$: $r_c N_3$: $r_d N_3$: $r_e N_3$

$$N_3 = \frac{1}{r_b r_c} + \frac{1}{r_b r_d} + \frac{1}{r_c r_d} + \frac{1}{r_b r_e} + \frac{1}{r_c r_e} + \frac{1}{r_d r_e} + \frac{1}{Z} \left(\frac{4}{r_b} + \frac{24}{r_c} + \frac{24}{r_d} + \frac{24}{r_e} \right) + \frac{1}{Z^2} \left(15 + \frac{92}{r_b} + \frac{128}{r_c} + \frac{92}{r_d} + \frac{128}{r_e} \right) + \frac{56}{Z^3}$$

表—4 単純曲線桁影響線 $S_{i\varphi, t\beta}$

(1) 曲げモーメント影響線 $M_{\varphi, \beta} : 10^{-1} \cdot R_i$

$\Phi = 20^\circ$

$\varphi \backslash \beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0.2675	0.2439	0.2202	0.1961	0.1720	0.1477	0.1232	0.0987	0.0741	0.0494	0.0247	0
2	0	0.2439	0.4876	0.4400	0.3921	0.3438	0.2952	0.2464	0.1974	0.1482	0.0988	0.0494	0
3	0	0.2201	0.4400	0.6595	0.5877	0.5153	0.4425	0.3693	0.2958	0.2221	0.1482	0.0741	0
4	0	0.1961	0.3921	0.5877	0.7828	0.6864	0.5894	0.4919	0.3941	0.2958	0.1974	0.0987	0
5	0	0.1720	0.3438	0.5153	0.5864	0.8569	0.7358	0.6142	0.4919	0.3693	0.2464	0.1232	0
6	0	0.1477	0.2952	0.4425	0.5894	0.7358	0.8816	0.7358	0.5894	0.4425	0.2952	0.1477	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

(2) 垂直変位影響線 $U_{\varphi, \beta} = U_{M\beta, \varphi} \cdot \frac{R_i^3}{EJ_{yi}} + U_{T\varphi, \beta} \cdot \frac{R_i^3}{GJ_{Ti}}$

1) $U_{M\varphi, \beta} : 10^{-3} \cdot \frac{R_i^3}{EJ_{yi}}$

$\Phi = 20^\circ$

$\varphi \backslash \beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
6	0	0.2251	0.4376	0.6247	0.7738	0.8725	0.9081	0.8725	0.7738	0.6247	0.4376	0.2251	0
7	0	0.2071	0.4036	0.5789	0.7225	0.8238	0.8725	0.8582	0.7747	0.6326	0.4463	0.2305	0
8	0	0.1784	0.3484	0.5013	0.6288	0.7225	0.7738	0.7747	0.7169	0.5963	0.4255	0.2211	0
9	0	0.1413	0.2762	0.3983	0.5013	0.5789	0.6247	0.6326	0.5963	0.5098	0.3711	0.1950	0
12	0	0.0978	0.1912	0.2762	0.3484	0.4036	0.4376	0.4463	0.4255	0.3711	0.2793	0.1500	0
11	0	0.0499	0.0978	0.1413	0.1784	0.2071	0.2251	0.2305	0.2211	0.1950	0.1500	0.0843	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2) $U_{T\varphi, \beta} : 10^{-5} \cdot \frac{R_i^3}{GJ_{Ti}}$

$\Phi = 20^\circ \quad \lambda = 3.0$

$\varphi \backslash \beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
6	0	0.0289	0.0558	0.0789	0.0967	0.1078	0.1117	0.1078	0.0967	0.0789	0.0558	0.0289	0
7	0	0.0278	0.0537	0.0760	0.0932	0.1040	0.1078	0.1043	0.0936	0.0765	0.0541	0.0280	0
8	0	0.0248	0.0480	0.0680	0.0834	0.0932	0.0967	0.0936	0.8407	0.0688	0.0487	0.0252	0
9	0	0.0202	0.0391	0.0554	0.0680	0.0760	0.0789	0.0765	0.0688	0.0563	0.0399	0.0207	0
10	0	0.0143	0.0276	0.0391	0.0480	0.0537	0.0558	0.0541	0.0487	0.0399	0.0283	0.0147	0
11	0	0.0074	0.0143	0.0202	0.0248	0.0278	0.0289	0.0280	0.0252	0.0207	0.0147	0.0076	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3) $U_{T\varphi, \beta} : 10^{-5} \cdot \frac{R_i^3}{GJ_{Ti}}$

$\Phi = 20^\circ \quad \lambda = 4.0$

$\varphi \backslash \beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
6	0	0.0452	0.0873	0.1234	0.1512	0.1687	0.1746	0.1687	0.1512	0.1234	0.0873	0.0452	0
7	0	0.0434	0.0840	0.1189	0.1457	0.1627	0.1687	0.1631	0.1464	0.1196	0.0846	0.0438	0
8	0	0.0388	0.0750	0.1063	0.1304	0.1457	0.1512	0.1464	0.1315	0.1076	0.0762	0.0395	0
9	0	0.0316	0.0611	0.0866	0.1063	0.1189	0.1234	0.1196	0.1076	0.0881	0.0624	0.0323	0
10	0	0.0223	0.0431	0.0611	0.0750	0.0840	0.0873	0.0846	0.0726	0.0624	0.0443	0.0229	0
11	0	0.0115	0.0223	0.0316	0.0388	0.0434	0.0452	0.0438	0.0395	0.0323	0.0229	0.0119	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 5 単位曲げ曲線 $P_{K\beta(n)}$ および単位断面力, 単位変形 $S_{\ell\varphi(n)}$

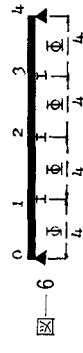
(1) $\Phi = 20^\circ$, $\lambda_i = 3.0$, $r_i = \sqrt{\frac{GJ_{Ti}}{EJ_{wi}}} = 12955$

φ/Φ 又は β/Φ	j												乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
1 $U_{\ell\varphi(1)}$	0	0.7949	1.5358	2.1720	2.6600	2.9669	3.0717	2.9669	2.6600	2.1720	1.5358	0.7946	$\times 10^{-2} \cdot \frac{R_i^3}{EJ_{yi}}$
2 $U_{\ell\varphi(2)}$	0	0.0114	0.0199	0.0231	0.0199	0.0114	0	-0.0114	-0.0199	-0.0231	-0.0199	-0.0144	0
3 $U_{\ell\varphi(3)}$	0	-0.0016	-0.0025	-0.0021	-0.0002	0.0019	0.0029	0.0019	-0.0002	-0.0021	-0.0025	-0.0016	0
4 $M_{w\ell\varphi(1)}$	0	0.4110	0.7950	1.1249	1.3761	1.5352	1.5904	1.5352	1.3761	1.1249	0.7950	0.4110	$\times 10^{-3} \cdot R_i^2$
5 $M_{w\ell\varphi(2)}$	0	0.0520	0.0921	0.1081	0.0921	0.0520	0	-0.0520	-0.0921	-0.1081	-0.0921	-0.0520	0
6 $M_{w\ell\varphi(3)}$	0	-0.0124	-0.0198	-0.0172	-0.0023	0.0156	0.0243	0.0156	-0.0023	-0.0172	-0.0198	-0.0124	0
7 $M_{\ell\varphi(1)}$	0	0.3557	0.7111	1.0659	1.2142	1.3614	1.5074	1.3614	1.2141	1.0659	0.7111	0.3557	$\times 10^{-1} \cdot R_i$
8 $M_{\ell\varphi(2)}$	0	0.1460	0.2918	0.4374	0.2918	0.1460	0	-0.1460	-0.2918	-0.4374	-0.2918	-0.1460	0
9 $M_{\ell\varphi(3)}$	0	-0.0604	-0.1207	-0.1809	-0.0353	0.1103	0.2558	0.1103	-0.0353	-0.1809	-0.1207	-0.0604	0
10 $\rho_{K\beta(1)}$	0	0.2588	0.5000	0.7071	0.8660	0.9659	1.0000	0.9659	0.8660	0.7071	0.5000	0.2588	0
11 $\rho_{K\beta(2)}$	0	0.4910	0.8592	1.0000	0.8592	0.4910	0	-0.4910	-0.8592	-1.0000	-0.8592	-0.4910	0
12 $\rho_{K\beta(3)}$	0	-0.5399	-0.8433	-0.7071	-0.0797	-0.6526	-1.0000	-0.6526	-0.0797	-0.7071	-0.8433	-0.5399	0



(2) $\Phi = 20^\circ$, $\lambda_i = 3.5$, $r_i = \sqrt{\frac{GJ_{Ti}}{EJ_{wi}}} = 11363$

φ/Φ 又は β/Φ	j												乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
1 $U_{\ell\varphi(1)}$	0	0.8805	1.7011	2.4057	2.9462	3.2861	3.4022	3.2861	2.9462	2.4057	1.7011	0.8805	$\times 10^{-2} \cdot \frac{R_i^3}{EJ_{yi}}$
2 $U_{\ell\varphi(2)}$	0	0.0122	0.0213	0.0248	0.0213	0.0122	0	-0.0122	-0.0213	-0.0248	-0.0213	-0.0122	0
3 $U_{\ell\varphi(3)}$	0	-0.0016	-0.0026	-0.0021	0.0002	0.0020	0.0030	0.0020	-0.0002	-0.0021	-0.0026	-0.0016	0
4 $M_{w\ell\varphi(1)}$	0	0.3985	0.7708	1.0907	1.3343	1.4886	1.5425	1.4886	1.3343	1.0907	0.7708	0.3985	$\times 10^{-3} \cdot R_i^2$
5 $M_{w\ell\varphi(2)}$	0	0.0516	0.0913	0.1072	0.0913	0.0516	0	-0.0516	-0.0913	-0.1072	-0.0913	-0.0516	0
6 $M_{w\ell\varphi(3)}$	0	-0.0124	-0.0198	-0.0171	-0.0023	0.0156	0.0242	0.0156	-0.0023	-0.0171	-0.0198	-0.0124	0
7 $M_{\ell\varphi(1)}$	0	0.3557	0.7111	1.0659	1.2142	1.3614	1.5074	1.3614	1.2142	1.0659	0.7111	0.3557	$\times 10^{-1} \cdot R_i$
8 $M_{\ell\varphi(2)}$	0	0.1460	0.2918	0.4374	0.2918	0.1460	0	-0.1460	-0.2918	-0.4374	-0.2918	-0.1460	0
9 $M_{\ell\varphi(3)}$	0	-0.0604	-0.1207	-0.1809	-0.0353	0.1103	0.2558	0.1103	-0.0353	-0.1809	-0.1207	-0.0604	0
10 $\rho_{K\beta(1)}$	0	0.2588	0.5000	0.7071	0.8660	0.9659	1.0000	0.9659	0.8660	0.7071	0.5000	0.2588	0
11 $\rho_{K\beta(2)}$	0	0.4916	0.8596	1.0000	0.8596	0.4916	0	-0.4916	-0.8596	-1.0000	-0.8596	-0.4916	0
12 $\rho_{K\beta(3)}$	0	-0.5431	-0.8463	-0.7071	-0.0782	-0.6537	-1.0000	-0.6537	-0.0782	-0.7071	-0.8463	-0.5431	0





(3) $\Phi = 20^\circ, \lambda = \sqrt{\frac{GJ_{T\beta}}{EJ_{\text{rot}}}} \cdot R_i = 4.0, \gamma_i = \frac{EJ_{\text{rot}}}{GJ_{T\beta}} = 10185$

φ/Φ 又は β/Φ		j			1			2			3			乗数
		0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	
1	$U_{i\varphi(1)}$	0	0.9668	1.8678	2.6415	3.2350	3.6082	3.7357	3.6082	3.2350	2.6415	1.8678	0.9668	$\times 10^{-2} \cdot \frac{R_i^3}{EJ y_i}$
2	$U_{i\varphi(2)}$	0	0.0131	0.0229	0.0266	0.0229	0.0131	0	-0.0131	-0.0229	-0.0266	-0.0229	-0.0131	"
3	$U_{i\varphi(3)}$	0	-0.0017	-0.0026	-0.0022	-0.0002	0.0020	0.0031	0.0020	-0.0002	-0.0022	-0.0026	-0.0017	"
4	$M_{wi\varphi(1)}$	0	0.3849	0.7446	1.0537	1.2889	1.4379	1.4901	1.4379	1.2889	1.0537	0.7446	0.3849	$\times 10^{-3} \cdot R_i^2$
5	$M_{wi\varphi(2)}$	0	0.0511	0.0904	0.1062	0.0904	0.0511	0	-0.0511	-0.0904	-0.1062	-0.0904	-0.0511	"
6	$M_{wi\varphi(3)}$	0	-0.0123	-0.0197	-0.0171	-0.0023	0.0155	0.0241	0.0155	-0.0023	-0.0171	-0.0197	-0.0123	"
7	$M_{i\varphi(1)}$	0	0.3557	0.7111	1.0659	1.2142	1.3614	1.5074	1.3614	1.2142	1.0659	0.7111	0.3557	$\times 10^{-1} \cdot R_i$
8	$M_{i\varphi(2)}$	0	0.1460	0.2918	0.4374	0.2918	0.1460	0	-0.1460	-0.2918	-0.4374	-0.2918	-0.1460	"
9	$M_{i\varphi(3)}$	0	-0.0604	-0.1207	-0.1809	-0.0353	0.1103	0.2588	0.1103	-0.0353	-0.1809	-0.1207	-0.0604	"
10	$P_{K\beta(1)}$	0	0.2588	0.5000	0.7071	0.8660	0.9659	1.0000	0.9659	0.8660	0.7071	0.5000	0.2588	—
11	$P_{K\beta(2)}$	0	0.4922	0.8600	1.0000	0.8600	0.4922	0	-0.4922	-0.8600	-1.0000	-0.8600	-0.4922	—
12	$P_{K\beta(3)}$	0	-0.5464	-0.8494	-0.7071	-0.0767	0.6549	1.0000	0.6549	-0.0767	-0.7071	-0.8494	-0.5464	—

曲げ格子剛度 Z :

$$Z = 6 \cdot F_{pa} \left(\frac{\Phi}{2} \right) \cdot \left(\frac{Ra}{a} \right)^3 \cdot \frac{J_Q}{J_{ya}} \quad (5)$$

ねじれ格子剛度 Z_T :

$$Z_T = \frac{1}{2} \theta_{pa} \left(\frac{\Phi}{2} \right) \cdot \left(\frac{Ra}{a} \right)^2 \cdot \frac{EJ_Q}{GJ_T} \quad (6)$$

格子剛度比 ν :

$$\nu = 12 \cdot \frac{Z_T}{Z} \quad (7)$$

頁数制限のため $P_K = 1$ が作用する場合のみ示したが $T_K = 1$ が作用する場合も誘導されている。

4. 数値成果表

曲線格子桁橋の実用解析法をより迅速にするために種々の数値表を整備した。ここでは数値計算例に必要な数値のみを載せておく。

(1) 単純曲線桁影響線 $S_{i\varphi, i\beta}$

単純曲線桁の影響線を数表化した。例えば表—4のとおりである。

(2) 単位曲げ曲線 $\rho_{k\beta(n)}$

例えば、表—5に示すとおりである。

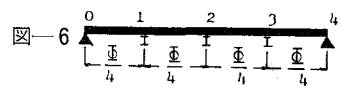
(3) 単位断面力および単位変形量 $S_{i\varphi(n)}$

例えば、表—5に示すとおりである。

(4) アフィン荷重 $\alpha_{j(n)}$ と $\mu(n) = \frac{1}{\sum_{n=1}^2 \alpha_{j(n)}}$

$n = 3$ の場合を示すと、表—6となる。

表—6 アフィン荷重 $\alpha_{j(n)}$ と $\mu(n)$



n	$\alpha_{1(n)}$	$\alpha_{2(n)}$	$\alpha_{3(n)}$	$\mu(n)$
1	0.7071	1	0.7071	0.5
2	1	0	-1	0.5
3	-0.7071	1	-0.7071	0.5

(5) 曲げ格子剛度 $Z_{(n)}$ およびねじれ格子剛度 $Z_{T(n)}$

例えば、表—7に示すとおりである。

表-7 曲げ格子剛度 $Z_{(n)}$ およびねじれ格子剛度 $Z_{T(n)}$

$\Phi = 20^\circ$ $r = \frac{EJ_Y}{GJ_T}$	$\lambda = \sqrt{\frac{GJ_T}{EJ_W}} \cdot R$	曲げ格子剛度 $Z_{(n)}$			ねじれ格子剛度 $Z_{T(n)}$		
		$Z_{(1)} : Z$	$Z_{(2)} : Z$	$Z_{(3)} : Z$	$Z_{T(1)} : Z_T$	$Z_{T(2)} : Z_T$	$Z_{T(3)} : Z_T$
12955	3.0	1.9981	0.0151	0.0019	1.9969	0.0333	0.0031
11363	3.5	1.9992	0.0146	0.0018	1.9968	0.0340	0.0032
10185	4.0	1.9983	0.0142	0.0016	1.9967	0.0348	0.0033

表-8 主桁および横桁断面諸係数

	主桁 a	主桁 b	主桁 c	横桁
断面二次モーメント J_Y	$1.694 \times 10^{-2} m^4$	$2.106 \times 10^{-2} m^4$	$2.579 \times 10^{-2} m^4$	$5.880 \times 10^{-3} m^4$
ねじれ抵抗 J_T	$3.390 \times 10^{-6} m^4$	$4.805 \times 10^{-6} m^4$	$6.565 \times 10^{-6} m^4$	—
曲げねじれ抵抗 J_W	$1.967 \times 10^{-4} m^6$	$2.487 \times 10^{-4} m^6$	$3.081 \times 10^{-4} m^6$	—
$r = \frac{EJ_Y}{GJ_W}$	12955	11363	10185	—
$\lambda = \sqrt{\frac{GJ_T}{EJ_W}} \cdot R$	3.0	3.5	4.0	—

5. 数値計算例

数値計算例は小支間曲線橋において最も経済的な I 形断面並列の曲線格子桁橋を対象とし、その曲げモーメントと垂直変位の影響面を求める。

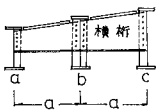
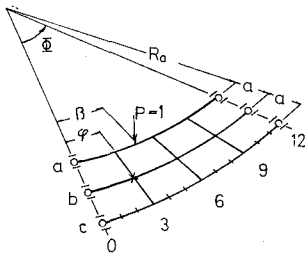


図-7

曲線格子桁の形状寸法は中心角 $\Phi = 20^\circ = 0.3490658$ [rad.], $R_a = 37[m]$, $R_b = 40[m]$, $R_c = 43[m]$ とする。 I 形断面主桁および横桁の断面諸係数は表-8 に示すとおりである。

(1) 弾性支承反力の計算

垂直バネ係数 r_i : 式(3)より

$$\frac{1}{r_b} = \frac{F_{pb} \left(\frac{\Phi}{2} \right)}{F_{pz} \left(\frac{\Phi}{2} \right)} \cdot \frac{J_{ya}}{J_{yb}} \cdot \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^3 = 1.1256,$$

$$\frac{1}{r_c} = \frac{F_{pc} \left(\frac{\Phi}{2} \right)}{F_{pa} \left(\frac{\Phi}{2} \right)} \cdot \frac{J_{ya}}{J_{yc}} \cdot \left(\frac{R_c}{R_a} \right)^3 = 1.2537$$

ここで $F_{pi} \left(\frac{\Phi}{2} \right)$ は単純曲線桁影響線の数表より得られる。例えば、 $F_{pa} \left(\frac{\Phi}{2} \right) = 1.5373 \times 10^{-2}$, $F_{pb} \left(\frac{\Phi}{2} \right) = 1.7026 \times 10^{-2}$, $F_{pc} = 1.8694 \times 10^{-2}$ である。

曲げ格子剛度 $Z_{(n)}$: 式(5)および数表-7 より、

表-9 弾性支承反力

$P_k = 1$ による		$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
B_{ak}	$B_{aa(n)}$	0.8527	0.9104	0.9761
	$B_{ab(n)}$	0.3316	0.2016	0.0538
	$B_{ac(n)}$	-0.1848	-0.1123	-0.0300
B_{bk}	$B_{ba(n)}$	0.2946	0.1791	0.0478
	$B_{bb(n)}$	0.3369	0.5968	0.8923
	$B_{bc(n)}$	0.3693	0.2246	0.0600
B_{ck}	$B_{ca(n)}$	-0.1473	-0.0896	-0.0239
	$B_{cb(n)}$	0.3316	0.2016	0.0538
	$B_{cc(n)}$	0.8153	0.8877	0.9700

表-10 主桁 a の格点 3 ($\phi = \frac{3}{12}$ 重) における曲げモーメント影響面 Ma_{12}^3 重, $k\beta$

j	1						2			3			乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
Ma_{12}^3 重, $a\beta$	0	0.2201	0.4400	0.6595	0.5877	0.5153	0.4425	0.3693	0.2958	0.2221	0.1482	0.0741	0
$\mu_{(1)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽¹⁾ $\cdot \rho a\beta_{(1)} \cdot Ca a_{(1)}$	0	-0.0203	-0.0392	-0.0555	-0.0680	-0.0758	-0.0785	-0.0758	-0.0680	-0.0555	-0.0392	-0.0203	0
$\mu_{(2)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽²⁾ $\cdot \rho a\beta_{(2)} \cdot Ca a_{(2)}$	0	-0.0096	-0.0168	-0.0196	-0.0168	-0.0096	0	0.0096	0.0168	0.0196	0.0168	0.0096	0
$\mu_{(3)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽³⁾ $\cdot \rho a\beta_{(3)} \cdot Ca a_{(3)}$	0	-0.0012	-0.0018	-0.0015	-0.0002	0.0014	0.0022	0.0014	-0.0002	-0.0015	-0.0018	-0.0012	0
$\Sigma = Ma_{12}^3$ 重, $a\beta$	0	0.1890	0.3822	0.5829	0.5027	0.4313	0.3662	0.3045	0.2444	0.1847	0.1240	0.0622	0

j	1						2			3			乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
$\mu_{(1)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽¹⁾ $\cdot \rho b\beta_{(1)} \cdot Cab_{(1)}$	0	0.0457	0.0884	0.1250	0.1530	0.1707	0.1767	0.1707	0.1530	0.1250	0.0884	0.0457	0
$\mu_{(2)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽²⁾ $\cdot \rho b\beta_{(2)} \cdot Cab_{(2)}$	0	0.0217	0.0379	0.0441	0.0379	0.0217	0	-0.0127	-0.0379	-0.0441	-0.0379	-0.0217	0
$\mu_{(3)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽³⁾ $\cdot \rho b\beta_{(3)} \cdot Cab_{(3)}$	0	0.0026	0.0041	0.0034	0.0004	-0.0032	-0.0049	-0.0032	0.0004	0.0034	0.0041	0.0026	0
$\Sigma = Ma_{12}^3$ 重, $b\beta$	0	0.0700	0.1303	0.1725	0.1913	0.1892	0.1718	0.1458	0.0055	0.0843	0.0546	0.0266	0

j	1						2			3			乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
$\mu_{(1)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽¹⁾ $\cdot \rho c\beta_{(1)} \cdot Cac_{(1)}$	0	-0.0255	-0.0492	-0.0696	-0.0852	-0.0951	-0.0984	-0.0951	-0.0852	-0.0696	-0.0492	-0.0255	0
$\mu_{(2)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽²⁾ $\cdot \rho c\beta_{(2)} \cdot Cac_{(2)}$	0	-0.0121	-0.0211	-0.0246	-0.0211	-0.0121	0	0.0121	0.0211	0.0246	0.0211	0.0121	0
$\mu_{(3)} \cdot Ma_{12}^3$ 重 ⁽³⁾ $\cdot \rho c\beta_{(3)} \cdot Cac_{(3)}$	0	-0.0015	-0.0023	-0.0019	-0.0002	0.0018	0.0027	0.0018	-0.0002	-0.0019	-0.0023	-0.0015	0
$\Sigma = Ma_{12}^3$ 重, $c\beta$	0	-0.0391	-0.0726	-0.0961	-0.1065	-0.1054	-0.0957	-0.0812	-0.0643	-0.0469	-0.0305	-0.0149	0

表-11 主府 c の格点 9 ($\phi = \frac{9}{12}$) における垂直変位影響面 $U_{c12\oplus}^9$ 、 $k\beta$

j	1				2				3				乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
$\mu_{(1)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho a \beta_{(1)} \cdot Cca_{(1)}$	0	-0.0503	-0.0973	-0.1376	-0.1685	-0.1879	-0.1945	-0.1879	-0.1685	-0.1376	-0.0973	-0.0503	0
$\mu_{(2)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho a \beta_{(2)} \cdot Cca_{(2)}$	0	0.0006	0.0010	0.0012	0.0010	0.0006	0	-0.0006	-0.0010	-0.0012	-0.0010	-0.0006	0
$\mu_{(3)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho a \beta_{(3)} \cdot Cca_{(3)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma = U_{c12\oplus}^9, a\beta$	0	-0.0497	-0.0963	-0.1364	-0.1675	-0.1873	-0.1945	-0.1885	-0.1695	-0.1388	-0.0983	-0.0509	0
													$\times 10^{-2} \cdot \frac{Rc^3}{EJyc}$

j	1				2				3				乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
$\mu_{(1)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho b \beta_{(1)} \cdot Ccb_{(1)}$	0	0.1133	0.2190	0.3097	0.3793	0.4230	0.4380	0.4230	0.3793	0.3097	0.2190	0.1133	0
$\mu_{(2)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho b \beta_{(2)} \cdot Ccb_{(2)}$	0	-0.0013	-0.0023	-0.0027	-0.0023	-0.0013	0	0.0013	0.0023	0.0027	0.0023	0.0013	0
$\mu_{(3)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho b \beta_{(3)} \cdot Ccb_{(3)}$	0	0	0	0	0	0	-0.0001	0	0	0	0	0	0
$\Sigma = U_{c12\oplus}^9, b\beta$	0	0.1120	0.2167	0.3070	0.3770	0.4217	0.4379	0.4243	0.3816	0.3124	0.2213	0.1146	0
													$\times 10^{-2} \cdot \frac{Rc^3}{EJyc}$

j	1				2				3				乗数
	0	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	1
$\mu_{(1)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho c \beta_{(1)} \cdot Ccc_{(1)}$	0	0.3359	0.6498	0.9214	1.1324	1.2684	1.3197	1.2815	1.1553	0.9480	0.6727	0.3490	0
$\mu_{(2)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho c \beta_{(2)} \cdot Ccc_{(2)}$	0	-0.0631	-0.1220	-0.1725	-0.2113	-0.2356	-0.2439	-0.2356	-0.2113	-0.1725	-0.1220	-0.0631	0
$\mu_{(3)} \cdot U_{c12\oplus}^9 \cdot \rho c \beta_{(3)} \cdot Ccc_{(3)}$	0	0.0007	0.0013	0.0015	0.0013	0.0007	0	-0.0007	-0.0013	-0.0015	-0.0013	-0.0007	0
$\Sigma = U_{c12\oplus}^9, c\beta$	0	0.2735	0.5291	0.7504	0.9224	1.0335	1.0758	1.0452	0.9427	0.7740	0.5494	0.2852	0
													$\times 10^{-2} \cdot \frac{Rc^3}{EJyc}$

$$Z = 6 \cdot F_{pa} \left(-\frac{\Phi}{2} \right) \cdot \left(\frac{R_a}{a} \right)^3 \cdot \frac{J_Q}{J_{ya}} = 60.0638$$

$$Z_{(1)} = 1.9981 \cdot Z = 120.0135$$

$$Z_{(2)} = 0.0151 \cdot Z = 0.9070$$

$$Z_{(3)} = 0.0019 \cdot Z = 0.1141$$

弾性支承反力は表—1の公式より計算すれば表—9に示すとおりである。

(2) 主桁 a の格点 3 $\left(\varphi = \frac{3}{12} \Phi \right)$ における曲げモーメント影響面 $Ma_{13}^3 \Phi, k\beta$

計算過程と共にこれを示せば、表—10となる。

(3) 主桁 c の格点 9 $\left(\varphi = \frac{9}{12} \Phi \right)$ における垂直変位影響面 $Uc_{19}^9 \Phi, k\beta$

計算過程と共にこれを示せば表—11となる。

6. 結 語

以上、厳密な実用解析法を誘導し、その簡便にして正確なることを数値計算例によって示した。複雑な構造物の設計が、電子計算機の発達普及に伴い簡単に行なわれ、将来とも益々利用する機会が多くなることと思われるが、ここで留意しなければならないことは電子計算機の結果を過信してはいけないことである。電子計算機はわれわれの命令を忠実に実行するだけで考える能力はもち合わせてはいない。電子計算機の結果を照査し、判断することも必要ではないかと思うのである。

参 考 文 献

- 1) 稼農知徳：曲線格子桁の実用解析法，土木学会論文報告集（投稿中）