

アーチ橋の最適設計に関する研究

長崎大学工学部 ○学生員 前田義孝
 長崎大学工学部 正員 小西保則
 長崎大学工学部 学生員 龍 博志

1. はじめに

ここではアーチ橋の中でも道路橋2ヒンジアーチ橋についての最適設計を行った。2ヒンジアーチ橋の設計を行う場合、まず初めに断面積、断面二次モーメント等を仮定し、構造解析を行わなければならない。この際、設計条件等は道路橋示方書に従っている。そして、構造解析をもとにアーチ部材の断面形状を決定し、最小重量の最適設計を行なっている。それに加えてここでは上述の方法でのパーソナルコンピュータによる構造解析及び最適設計のプログラムを作成している。図-1に全体の流れ図を示す。

2. 構造解析

図-1のようにアーチの軸線形を放物線アーチとして表わし、設計条件として、支間 l 、ライズ f 、支柱間隔 $2a$ を与え、縦距 h 、傾斜角 θ を求める。この h と θ は後で求めている部材力の影響線 h と θ で用いる。次に荷重強度の算出については、図-2に示す1-0法という影響線面積を用いて決定している。ここでの活荷重(線荷重、等分布荷重)の大きさについては示方書に従っている。そしてこの荷重強度を支間、支柱間隔にもとづいて極点荷重に換算する。極点荷重は、考えている点または部材に最も不利な応力が生じるように、線荷重についてはその着目点での部材力の影響線の最大値の点に負載し、等分布荷重については部材力の影響線の正の部分と負の部分に分けて負載するものとする。その部材力の影響線については、次の手順によって求める。まず断面積、断面二次モーメントを仮定し、やれば、水平反力 X の影響線は次の式で表わされる。

$$X = \frac{\frac{1}{2} g_0 (2a - 2 \cdot \frac{Z_p}{l} + \frac{Z_p^2}{l^2})}{\frac{1}{2} f l + l \frac{I_p}{A_m}}$$

ここで I_p 、 A_m はそれぞれ基準断面 C でのフ
 ラウンにおける断面二次モーメント、断面積である。図-3に示してあるようにアーチの断面 C における部材力 M 、 Q 、 N の影響線は、この水平反力の影響線と静定曲線 q とを組み合わせて次の式で表わされる。

$$M = y_a \left(\frac{M_0}{y_a} - X \right), \quad N = -\cos\theta (N_0 \tan\theta + X)$$

$$Q = \sin\theta (Q_0 \cot\theta - X)$$

ここで M_0 、 N_0 、 Q_0 は、 A 、 B 、 C 点を単純小りに投影したときに対応する点をそれぞれ A' 、 B' 、 C' とすると、断面 C におけるモーメント、軸

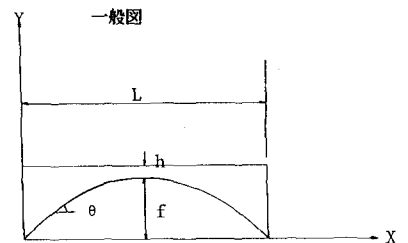


図-1 1-0法
影響線図

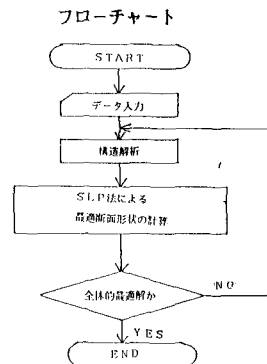


図-A

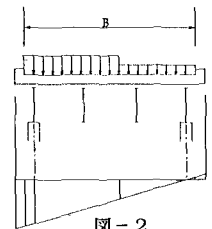


図-2

部材力の影響線図

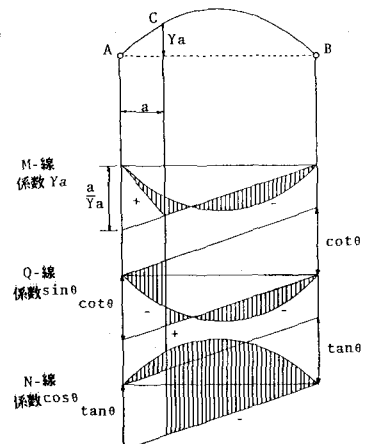


図-3

力、せん断力の影響線である。プログラムの部材力の影響線については、これを用いた方法とは異なり有限要素法による平面ラーメンの解析プログラムを応用して求めている。表-1の値はアーチの支間を100m、ライズ12.5m、支柱間隔10m、断面積400cm²、断面二次モーメント 1×10^6 cm⁴としたときの着目点2~6のそれぞれの部材力の影響線のパソコンによる計算値である。この値と橋点荷重を掛け合わせ各格点での部材力が算出される。

部材力の影響線数値結果

着目点2					着目点3				
格点		Moment	Shear	Axial	格点		Moment	Shear	Axial
		縦距					縦距		
1	0.0	0.0	0.0		1	0.0	0.0	0.0	
2	6.768	-0.258	-0.437		2	4.032	0.217	-0.456	
3	3.785	-0.446	-1.152		3	8.509	0.421	-0.858	
4	1.243	-0.238	-1.443		4	3.767	-0.369	-1.409	
5	-0.731	-0.072	-1.613		5	0.036	-0.219	-1.595	
6	-2.063	0.047	-1.648		6	-2.556	-0.104	-1.643	
7	-2.730	0.117	-1.542		7	-3.966	-0.025	-1.549	
8	-2.756	0.140	-1.303		8	-4.235	0.019	-1.316	
9	-2.214	0.121	-0.945		9	-3.493	0.033	-0.959	
10	-1.232	0.070	-0.498		10	-1.969	0.023	-0.507	
11	0.0	0.0	0.0		11	0.0	0.0	0.0	

着目点4					着目点5				
格点		Moment	Shear	Axial	格点		Moment	Shear	Axial
		縦距					縦距		
1	0.0	0.0	0.0		1	0.0	0.0	0.0	
2	1.791	0.173	-0.476		2	0.047	0.125	-0.491	
3	4.166	0.337	-0.897		3	0.762	0.247	-0.926	
4	7.569	0.486	-1.221		4	2.650	0.364	-1.263	
5	2.296	-0.372	-1.568		5	6.053	0.474	-1.474	
6	-1.480	-0.262	-1.026		6	1.166	-0.421	-1.593	
7	-3.704	-0.174	-1.538		7	-1.948	-0.325	-1.513	
8	-4.432	-0.107	-1.309		8	-3.351	-0.236	-1.292	
9	-3.834	-0.059	-0.955		9	-3.239	-0.153	-0.944	
10	-2.209	-0.025	-0.505		10	-1.953	-0.075	-0.500	
11	0.0	0.0	0.0		11	0.0	0.0	0.0	

着目点6				
格点		Moment	Shear	Axial
		縦距		
1	0.0	0.0	0.0	
2	-1.201	0.075	-0.500	
3	-1.707	0.153	-0.944	
4	-0.990	0.236	-1.291	
5	1.305	0.325	-1.513	
6	5.381	0.421	-1.592	
7	1.305	-0.474	-1.474	
8	-0.990	-0.364	-1.264	
9	-1.707	-0.247	-0.927	
10	-1.201	-0.125	-0.492	
11	0.0	0.0	0.0	

表-1

。こで得

条件中目的関

1. 寸法初期

こも取ら。

表-1

2. 最適設計

アーチ弦材の断面決定については、図-4のように部材断面形状をボックス断面と仮定し、断面の幅をBU、高さをBW、上フランジの板厚をTu、腹板の板厚をTw、下フランジの板厚をTlというように設計変数をおいた。そして部材にモーメント、せん断力、軸力の3つの部材力が作用するとき、微小変形理論による一つの断面形状を決定した。ここではSLP法を用いた設計変数の最適値を求めた。このSLP法は制約条件や目的関数が特別な形をしていないと正しい結果に収束しないこともあるが、また初期値の与え方によっては、線形化した制約条件がたがいに矛盾することもある。しかし、本プログラムでは、計算機によって得られた値を初期値としているので、繰り返し計算を繰り返すという点では、最適値に近い値が得られたと考えられる。また制約条件としては、応力制限、板厚制限、局部座屈制限、寸法制限等を用いているが、目的関数には、アーチ弦材の重量が最小となるようにしている。一つの最適設計例について表-2に示す。これは、支間100m、ライズ12.5m、幅員10mで普通な1/4ヤング率2.1 $\times 10^4$ kg/cm²、鋼種はSM50を使用している一等橋のアーチ断面について設計変数をBU=X₁、BW=X₂、Tu=X₃、Tw=X₄、Tl=X₅とおき最適値を3つの場合について示したものである。

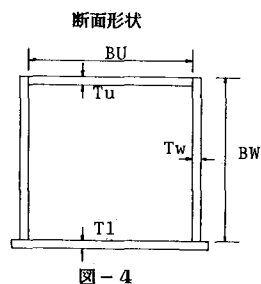


図-4

最適設計の計算結果

Case	初期値					最適値				
	X ₁ (cm)	X ₂ (cm)	X ₃ (cm)	X ₄ (cm)	X ₅ (cm)	X ₁ (cm)	X ₂ (cm)	X ₃ (cm)	X ₄ (cm)	X ₅ (cm)
1	50.0	101.0	1.7	2.4	5.0	50.0	102.0	1.5	2.5	4.7
2	57.0	106.0	1.4	2.5	3.7	53.0	101.0	1.5	2.5	4.5
3	59.0	111.0	1.4	2.4	3.9	52.0	103.0	1.4	2.5	4.3

表-2

3. 結論

設計例の値については、ほぼ同一値に収束しているため全体的最適値になっている。このプログラムは変数のDimension等を考慮しているため、大型計算機

より低廉な価格で入手できるパソコンでも十分使えるものがあり、インプットデータをかえてやればほとんどの2次元アーチ橋を解析及び設計するのに応用できる。本研究では一つの断面形状について決定しているが、今後の研究としては、アーチ断面の板厚を部材のみの変数とし、断面の幅、高さ及びライズを全体の変数として、全部材断面形状を決定する必要がある。これについては、現在研究中である。

参考文献：1) 菊池・楚彦：橋梁設計例，オーム社，1984年2月，2) 小西・横尾・成岡：構造力学 第Ⅱ巻，丸善，1971年10月，PP. 74~79，3) 小堀・吉田：有限要素法による構造解析プログラム：丸善，1980年12月，PP. 49~52