

大阪大学工学部 正会員 前田 幸雄
大阪大学工学部 正会員 〇林 正

1. まえがき 本報告では、純アーチ橋における有限変形の影響を調べ、等分布活荷重を対称とした大变形解析に便利な計算表を提案する。研究方法は、すでに発表したマトリックス法による計算式¹⁾に、剛性と荷重に関する無次元パラメータを導入し、電子計算機を使用したパラメトリック解析を用いた。

2. 計算方法 アーチ橋の大変形解析を行なうときの基準荷重強度として、全載等分布荷重を受けるアーチの座屈荷重 q_{cr} の $1/8$ に選び、この基準荷重 w_0 をアーチの座屈係数 α を用いて次のように表わす。

$$w_0 = q_{cr}/8 = \alpha(f/L)(EI/L^3) \quad (1) \quad (f: \text{ライズ}, L: \text{支間長}, EI: \text{曲げ剛性})$$

アーチのライズ比 n 、細長比 λ 及び死荷重 w と活荷重 p に関する無次元パラメータ^{注)}

$$n = f/L, \quad \lambda = L\sqrt{A/I}, \quad \gamma = w/w_0, \quad \beta = p/w \quad (2)$$

を大变形解析の計算式¹⁾ $IK(D) \cdot D = IP$ に導入すると、次式のように無次元化することができる。

$$IK(x) \cdot D = \alpha n \gamma \{ \bar{IP}_w + \beta \bar{IP}_p \} \quad (3) \quad (\text{bar を付けた記号は、無次元量を意味する})$$

したがって、アーチの構造形式と荷重条件を定めれば、式(3)は式(2)の4つのパラメータのみの関数となる。

3. 計算例 (1) 構造形式：研究の対象としたアーチは、等断面

を有する固定及び2ヒンジ放物線アーチである。解析においては、アーチリブを水平射影長に対して20等分割し、節点には0から20まで番号を付けた。

(2) 荷重条件：荷重の載荷方法は、まず等分布死荷重を満載し、次に等分布活荷重を部分載荷した。活荷重の載荷長及び載荷位置については後述する。

(3) 無次元パラメータ：表-1に無次元パラメータの値を示す。なお、座屈係数 α は道路橋示方書に示されている値を用いた。

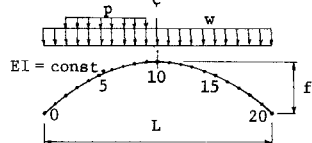


図-1 計算例

表-1 無次元パラメータ

n	0.1	0.15	0.2	0.3					
λ	100	150	200	300	400				
γ	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0			
β	0.0	0.01	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	

4. 幾何学的非線形性状 有限変形の影響を調べるため

に、活荷重をスパンの片側に半載した。この載荷状態においては、最大たわみと最大曲げモーメントは、固定アーチでは支間の $3/10$ の点(第6節点)に、2ヒンジアーチでは支間の $1/4$ の点(第5節点)に生じ、かつこれらの節点において有限変形の影響が最も強く現われる。計算結果は、線形解に対する非線形解の比の値で表わした。

(1) ライズ比の影響：図-2～5よりライズの高いアーチ程非線形性は強いようであるが、ライズ比の高い程基準荷重強度は大きいので、剛性及び死荷重強度が同じ場合には、ライズ比の低いアーチ程非線形性は強い。

(2) 細長比の影響：細長比の大きいアーチ程有限変形の影響は大きい程、ライズ比及び死荷重に対する活荷重の比の値が小さい程、また死荷重が大きい程、細長比の値が顕著に影響する(図-2～4)。

$M/M_0(3L/10)$ ($\gamma=2.0$)

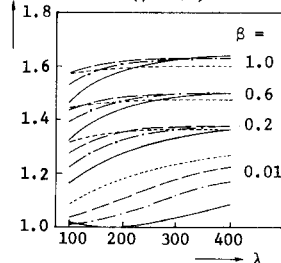


図-2 固定アーチの曲げモーメント

$M/M_0(3L/10)$ ($\beta=0.2$)

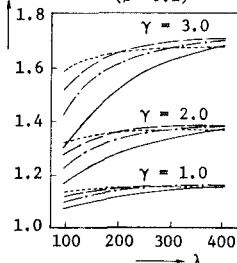


図-3 固定アーチの曲げモーメント

$M/M_0(L/4)$ ($\beta=0.2$)

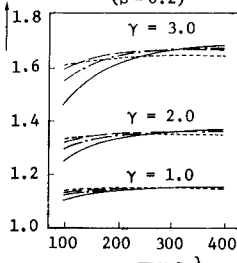


図-4 2ヒンジアーチの曲げモーメント

$M/M_0(3L/10)$ ($\lambda=200$)

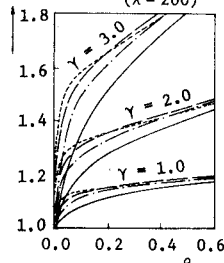


図-5 固定アーチの曲げモーメント

注) 計算結果により一般性を持たせるために、参考文献²⁾とは異なる無次元量を用いた。

(3) 死・活荷重の影響：死荷重大きときには、活荷重が小さくても非線形性がかなり現われることには注意を要する。なお、実橋においては死荷重が完全に対称に作用するとは考えられないので、活荷重と載荷しない場合でもわずかな非対称荷重 $p/w = 0.01$ を加えた値を用いるべきであろう。

(4) 基準荷重の評価：死荷重強度が基準荷重以下のときには、 p/w の値が 0.4 以下ならば有限変形の影響を考慮した曲げモーメントの値は、表-1 に示したライズ比と細長比のすべての場合について線形計算による値の 1.181 倍以下であった。この値は、道路橋示方書の変形の影響を考慮すべき限界値の根拠とした式(解 11.3.1) による値 $M_0/M_E = 1.143$ より約 4% 大きい。また、軸力の増加率は 1% 以下であった。

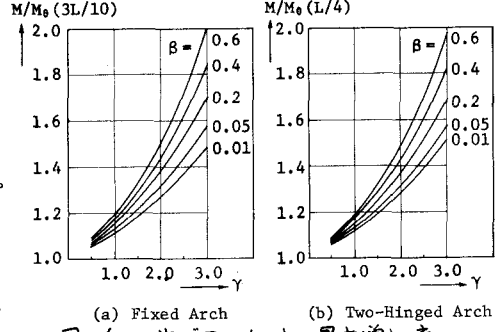


図-6 曲げモーメントの最大増加率

表-2 最大増加率 ($\beta = p/w \leq 0.4$)

$\gamma = w/w_0$		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
2 Hinged Arch	M (L/4)	1.081	1.176	1.290	1.428	1.602	1.824
	δ (L/4)	1.081	1.177	1.291	1.432	1.608	1.834
Fixed Arch	M (End)	1.060	1.130	1.212	1.312	1.434	1.589
	M (3L/10)	1.083	1.181	1.298	1.441	1.617	1.842
	δ (3L/10)	1.080	1.173	1.286	1.423	1.595	1.818

5. 大変形計算表 (1) 最大断面力：アーチ橋の任意な断面に最大応力が生じる活荷重位置を求めるために、次のような方法を用いた。まず実死荷重を満載した状態において線形化した影響値を求める。このとき移動活荷重としては単位集中荷重を用いず、与えられた強度を有する等分布活荷重を一部材ごとに載荷する。この影響線から得られた最大応力を生ずる活荷重を死荷重に加えて、再び線形化した影響値を求め、活荷重の載荷位置を決める。これが最初に仮定した載荷位置と一致するまで計算を繰返す。最後に大変形解析により最大応力を計算する。各種の影響線の一例を図-7 に示す。

(2) 最大応力度：本文では、次式で示される無次元量を用いて、各断面の工・下縁応力度の影響線から最大応力度を求めた。

$\eta = y/L$ (y ：アーチリブの断面の縁端距離) (4)

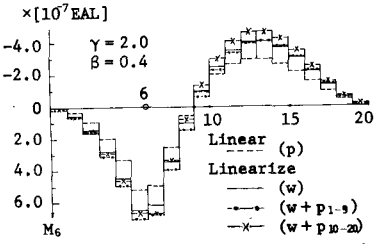


図-7 固定アーチの曲げモーメント影響線

(3) 大変形計算表：表-3 固定アーチ橋の最大縁応力度 ($n = 0.15, \lambda = 200, \gamma = 2.0, \beta = 0.3$) [10^{-6}N]

式(2)と式(4)のパラメータの種々の値について最大縁応力度を求めておけば、等分布死・活荷重を受ける純アーチ橋の大変形計算を簡単に行なうことができる。計算値の一部を表-3 に示す。

n	L/80	L/90	L/100	L/110	L/120	L/130	L/140	L/150	L/160	L/180	L/200
Upper E. (Node No.)											
0	1950.1	1798.6	1677.4	1578.2	1495.6	1425.7	1365.8	1313.9	1268.4	1192.6	1132.0
1	1256.2	1179.2	1117.5	1067.1	1025.0	989.4	959.0	932.6	910.3	873.1	843.3
2	795.5	767.5	745.1	726.8	711.5	698.6	687.5	677.9	669.5	655.5	645.0
3	846.2	806.9	775.5	749.8	728.3	710.1	694.9	681.6	670.1	650.8	637.4
4	1226.4	1145.7	1081.2	1028.4	984.3	947.1	915.2	887.5	863.3	822.9	790.7
5	1485.6	1376.4	1289.0	1217.5	1158.0	1107.6	1064.4	1027.0	994.2	939.6	895.9
6	1601.4	1478.5	1380.1	1299.7	1232.6	1175.9	1127.2	1085.1	1048.2	988.3	940.2
7	1581.8	1461.8	1365.8	1287.3	1221.9	1166.5	1119.0	1077.9	1041.9	981.9	933.9
8	1441.5	1338.1	1255.4	1187.7	1131.3	1083.6	1042.7	1007.2	976.2	924.5	883.1
9	1266.2	1181.9	1114.6	1059.4	1013.5	975.5	942.5	913.9	888.9	847.3	813.9
10	1201.2	1123.5	1061.3	1010.5	968.1	932.2	901.5	874.9	851.6	812.7	781.6
Lower E. (Node No.)											
0	2403.4	2199.9	2037.0	1903.8	1792.7	1698.8	1618.3	1548.5	1487.4	1385.6	1304.2
1	1653.7	1532.9	1436.3	1357.3	1291.4	1235.7	1187.9	1146.5	1110.3	1049.9	1001.6
2	1126.1	1064.7	1015.4	975.1	941.5	913.1	888.7	867.6	849.1	818.3	793.7
3	1121.4	1061.1	1012.8	973.3	940.4	912.6	889.2	869.1	851.6	822.3	798.9
4	1366.4	1276.7	1204.9	1146.2	1097.3	1055.9	1020.4	989.6	962.7	917.9	882.0
5	1494.1	1388.1	1303.2	1233.8	1176.0	1127.0	1085.1	1048.7	1016.9	963.9	921.4
6	1477.7	1371.4	1286.3	1216.7	1158.7	1109.7	1067.6	1031.2	999.3	946.1	903.6
7	1332.7	1242.0	1169.4	1110.0	1060.5	1018.6	982.7	951.5	924.3	878.9	842.6
8	1107.0	1039.6	985.7	941.6	904.9	873.8	847.9	824.9	804.8	771.3	744.4
9	903.8	858.7	822.7	793.2	768.6	747.8	732.6	717.5	704.3	682.2	664.6
10	832.2	794.4	764.3	739.5	719.0	701.5	686.6	674.9	664.1	649.2	635.7

6. 結論

以上の計算結果から、次のようなことがいえる。

- 1) 剛性及び荷重強度が同一な場合、2ヒンジアーチは固定アーチに較べて変形の影響は約2.5倍ほどである。
- 2) 道路橋示方書で示された変形の影響を考慮すべき限界値は、純アーチ橋ではほぼ適切な判定規準といえる。
- 3) 非線形性を有する構造物に移動荷重が作用する場合、本文の方法を用いれば最大応力は容易に求められる。
- 4) 本文で示した大変形計算表を用いれば、死・活荷重による純アーチ橋の最大応力度は簡単に求められる。

1) 前田・林・中村：増分法による平面骨組構造物の大変形解析の加速計算法、論文集第223号。2) 前田・林：本道連絡橋解析科会資料。