

I-A 314 線形化有限変位理論によるアーチ橋の設計法の提案

横河ブリッジ 正会員 尾下里治

横河ブリッジ 正会員 大森邦雄

1. はじめに

本文では、アーチ橋の変形の影響を考慮した設計を、現行の道路橋示方書の規定に沿って合理的に行える方法を提案する。従来の設計においては、アーチ橋の幾何学的非線形の影響を、ある特定の活荷重の載荷状態に対して有限変位解析を行ったり、あるいは解析的な手法¹⁾で求められた幾何学的非線形性による増加率を乗じるなどして対処しているが、本文では死荷重と載荷状態を固定した活荷重とによるアーチ軸力（初期軸力）を考慮した線形化有限変位理論によって解析することを提案する。こうした方法は、吊橋の解析にはよく利用されるものであるが、アーチ橋においてはこれまで用いられることはなかった。線形化理論を用いることによって、変位の影響を考慮して活荷重の影響線載荷まで行えるので、通常の設計計算の流れを変えることなくアーチ橋の設計が行える。また、道路橋示方書で規定する終局強度の照査に対しても、終局時の変位の影響を考慮した断面力を用いることにより、照査のみならず断面設計が可能となる。

2. 線形化有限変位理論の解析精度

線形化有限変位解析（弾性2次解析）が有限変位解析と同一精度を有していることは織田ら²⁾も確認しており、これを利用した座屈照査法も提案されている。織田らは、ある特定の活荷重の載荷状態に対して線形化を行っているが、本文ではあらゆる活荷重の載荷状態に対して同一のアーチ軸力を設定しようとするものである。これによって、影響線を用いた設計断面力の算出が可能となるが、アーチ軸力をどのような値に設定するかが問題となる。

計算例として、支間長が100m、160m、200mで、側径間を有する上路式補剛アーチ橋を取り上げ、線形化有限変位理論の解析精度を検討した。紙面の都合で支間長200mの結果のみを示す。図-1に解析モデル図、表-1に部材剛度、図-2には荷重条件をそれぞれ示す。補剛桁の側径間と中央径間との支間長比は実橋で最も多い0.2程度とし、細長比はアーチリブのみでは310、補剛桁の曲げ剛性を含めれば220である。有限変位解析結果と比較するための活荷重は、L1～L3の3ケースで、それぞれ通常の設計荷重（1.0L、B活荷重）と終局荷重を想定して1.7倍したもの（1.7L）とを載荷した。線形化有限変位解析値と有限変位解析値とを比較して表-2に示す。ただし、線形化有限変位理論におけるアーチ初期軸力としては、以下の3通りを設定した。

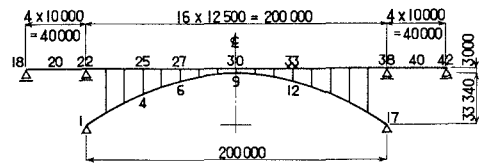
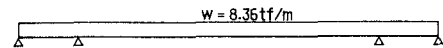
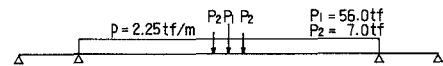


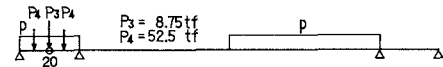
図-1 解析モデル



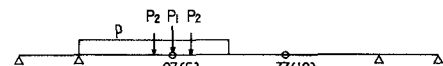
(a) 死荷重



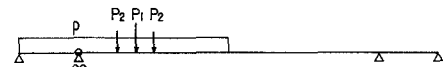
(b) アーチ軸力算出用の活荷重 L0



(c) 補剛桁側径間に着目した活荷重 L1



(d) アーチ径間部に着目した活荷重 L2



(e) 補剛桁中間支点に着目した活荷重 L3

図-2 荷重条件（○印は着目節点）

表-1 解析モデルの部材剛度

部 材		A (m ²)	I (m ⁴)
アーチリブ	1-17	0.270	0.111
	18-21, 39-42	0.172	0.129
	21-23, 37-39	0.190	0.140
	23-37	0.137	0.098
垂直材	9-30	10.0	10.0
	上記以外	0.025	---

- ① N_D ここで、 N_D ：死荷重によるアーチリブ軸力
 ② $N_D + N_L / 2$ N_L ：アーチ径間部に活荷重を満載した場合（ L_0 ）のアーチリブ軸力
 ③ $N_D + N_L$

活荷重強度と曲げモーメントとの関係の一例として、アーチリブの節点6の場合を図-3に示す。これらより、線形化解析において、アーチ軸力が N_D だけでは有限変位解析に対して危険側の結果を与え、 $(N_D + N_L)$ では安全側の結果を与える。そこで $(N_D + N_L / 2)$ とすると、有限変位解析に対して2～3%の誤差の高精度の結果が得られる。活荷重による軸力を1/2と仮定する点については、アーチの曲げモーメントの影響線の性状からしても妥当なものと思われる。つまり、図-4に本橋の影響線図を示すが、アーチ径間部の影響線は正の範囲と負の範囲とを必ず含んでおり、各々の載荷長も大まかには等しくなるからである。本文では記述できなかったが、支間長が100mと160mのモデルについても同様の結果が得られており、非線形性が小さくなる分だけ精度はさらに高くなっている。

3. まとめ

以上の結果より、設計荷重に対しては初期軸力を $(N_D + N_L / 2)$ 、終局荷重に対しては初期軸力を $1.7 \times (N_D + N_L / 2)$ として線形化有限変位理論を適用すればよいと思われる。両荷重状態における影響線を利用して断面力を算出できるので、道示に規定されたそれぞれの荷重状態に対する照査を行うことによって、終局状態を含めた断面設計が可能になる。

（参考文献）

- 1) 大森邦雄：変形の影響を考慮したアーチ橋の曲げモーメントの実用計算法、土木学会論文集、No. 483/I-26、1994. 1.
- 2) 織田・宇佐美：弾性2次解析を用いたアーチの面内屈曲設計法、橋梁と基礎、1995. 10.

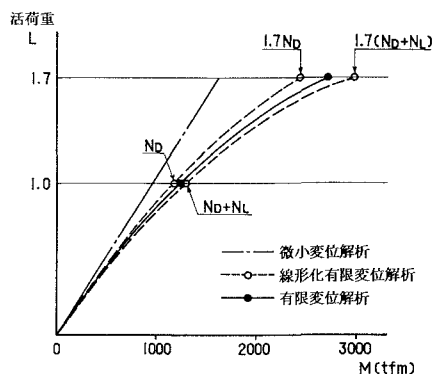


図-3 アーチリブの曲げモーメント（節点6）

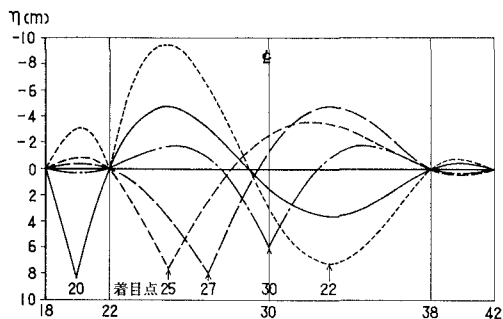


図-4 曲げモーメントの影響線

表-2 活荷重による曲げモーメントの解析結果

荷重状態	着目点	微小変位	線形化有限変位				有限変位
			N_D	$N_D + N_L / 2$	$N_D + N_L$		
設計荷重 1.0L	7-リブ	6	961.0 (0.77)	1188.9 (0.95)	1241.8 (1.00)	1300.1 (1.04)	1247.8
		12	-770.3 (0.74)	-990.6 (0.95)	-1042.1 (1.00)	-1098.9 (1.06)	-1038.1
	補剛桁	20	1261.8 (0.90)	1390.6 (0.99)	1420.3 (1.01)	1453.0 (1.03)	1406.1
		22	-1599.6 (0.80)	-1910.3 (0.96)	-1982.2 (0.99)	-2061.4 (1.03)	-1998.3
		27	862.5 (0.76)	1069.8 (0.95)	1117.7 (0.99)	1170.9 (1.04)	1130.8
		33	-700.4 (0.74)	-901.4 (0.95)	-948.4 (1.00)	-1000.3 (1.06)	-947.9
終局荷重 1.7L	7-リブ	6	1633.7 (0.60)	2443.9 (0.90)	2688.7 (0.99)	2993.3 (1.10)	2725.3
		12	-1309.5 (0.56)	-2096.6 (0.90)	-2336.6 (1.01)	-2636.2 (1.14)	-2321.1
	補剛桁	20	2145.1 (0.80)	2600.5 (0.97)	2736.5 (1.02)	2905.2 (1.09)	2671.3
		22	-2719.3 (0.64)	-3821.1 (0.91)	-4152.2 (0.98)	-4563.5 (1.08)	-4220.1
		27	1466.3 (0.59)	2203.0 (0.89)	2425.5 (0.97)	2702.4 (1.09)	2488.5
		33	-1190.7 (0.56)	-1909.0 (0.90)	-2128.0 (1.00)	-2401.4 (1.13)	-2123.9

()内数値は有限変位解析値に対する比率