

非線形解析によるRCアーチ橋耐荷力評価

阪神高速道路公団 正会員 谷征夫 ○幸左賢二
 新構造技術(株) 正会員 若狭忠雄

1. まえがき

近年コンクリート構造物の非線形解析の研究が進んでおり、昭和61年改訂土木学会コンクリート標準示方書でも限界状態設計法に移行する方向となっている。従前は構造物の破壊耐力のみに着目していたが、限界状態設計法においては構造物全体系の終局耐力を明らかにし破壊形態を把握する必要が生じている。本検討対象のアーチ構造は不静定次数の高い構造物でありモーメント再配分の影響が大きいと考えられることから、軸力の変動も考慮した非線形解析により構造系全体の破壊耐力、モーメント再配分率およびじん性等を検討した。

2. 非線形解析手法

非線形解析全体フローチャートを図-1に示す。解析手法としては逐次荷重増分法により、荷重を増分させクラック発生後において、曲げ剛性を変化させ全体系を解析し終局耐力の計算を行う。すなわち、あらかじめ求めた、軸力(N)作用時のM-φ曲線を基に断面曲げモーメントに対する部材の曲げ剛性を接線勾配で評価し、Mc, My発生後は低下した剛性に逐次変更しながら平衡状態まで繰り返し計算する。数値計算は微小変形理論に基づくマトリクス変位法により解析する。なお、Muは圧縮コンクリート部において0.0035のひずみを生じたときのモーメントとし、コンクリートの応力-ひずみ曲線は道路橋示方書に示される曲線を採用した。実橋はアーチスパン150mのコンクリート2連アーチ橋であり、その一連部分についてモデル化を行った。アーチライズはf1=24.0m, fr=27.0mでアーチリブ基部は箱断面(9.5x2.8m)であり、補剛桁はRCホロー断面(9.5x0.8m)である。解析モデルは平面骨組モデル(図-2)としアーチリブのみ非線形部材とし、鉛直材、補剛桁は線形部材とする。解析パラメーターとしては

- : 1) 軸力変動影響検討(軸力を一定、軸力を変動)
- : 2) 鉄筋の歪硬化影響検討(鉄筋歪硬化を考慮しない、考慮する)
- : 3) 曲率分布の分割長検討(モーメントの大きい箇所について細分割(1=d/4)、粗分割(1=d))
- : 4) 荷重組み合わせ(地震荷重、活荷重)について検討した。

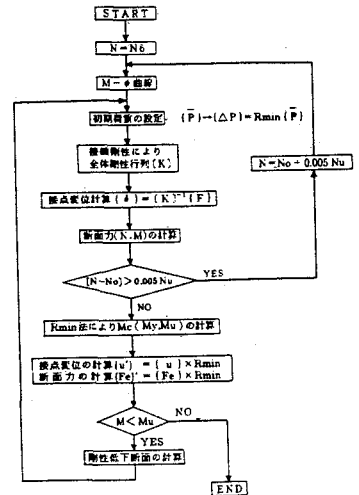


図-1 解析フローチャート

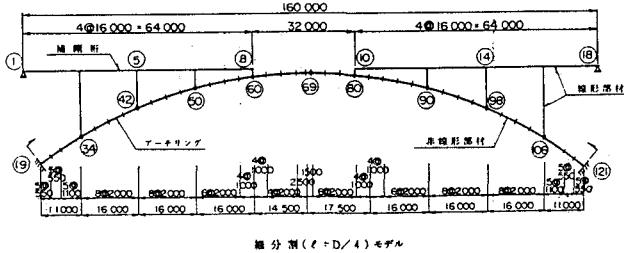


図-2 解析モデル

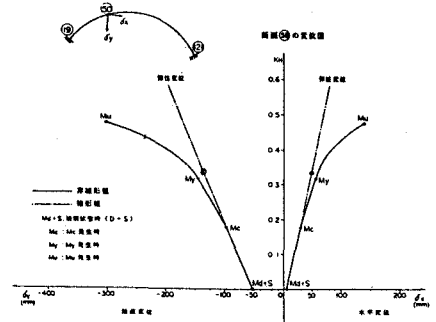


図-3 荷重-変位曲線

3. 解析結果

3.1 代表解析例

代表例(軸力変動考慮,歪硬化考慮なし,分割長d/4,地震荷重)の解析結果を示す。図-3に水平震度の増加に

伴う最大変位量の関係を示す。剛性を一定として求めた線形解析結果に比べて2.2倍の保有変位量を持つ。変位じん性率

($\mu = \delta u / \delta y$)は水平方向 $\mu x = 2.5$ 、鉛直方向 $\mu y = 2.1$ となる。また、クラック発生、鉄筋降伏、終局とも左端基部の19断面で最初に生じる。曲率じん性率は22となり、多少小さな値となった。これは、軸方向鉄筋量は0.7%であり、鉄筋量としては問題はないが、基部付近では軸力が大きく設計荷重時軸方向応力度は $\sigma_c = 40 \text{ kgf/cm}^2$ となり、縁圧縮力度の1/3を占めるためと考えられる。終局時地震荷重 $Kh = 0.48$ となり、設計基準荷重($Kh = 0.22$)の2.2倍となり非常に大きな耐力を有していることが判る。

図-4にアーチリブ全体の曲げモーメント分布を示すが地震荷重の増加に伴い部材の再配分がおり、特に右端部分においては初期ひびわれ発生後モーメントが急激に増加し再配分の影響が大きいことが判る。

3. 2部材分割長($l=d/4, d$)の比較

本解析においてはひびわれ発生後区分間において $M-\phi$ 関係は一定であると仮定している。たとえば要素を大きく分割した場合、ひびわれ発生部以外に対しても断面の剛性低下を考慮することになり過小な部材剛性を考慮することになる。今解析では大きなモーメントを生じる部材分割長を d と $d/4$ とした場合の影響について照査した。解析結果を表-2、等価曲げ剛性低下の対比を図-5に示すが、区分長の取り方により剛性低下状況、耐荷荷重係数が大きく変わること示している。

3. 3活荷重半載荷の検討

活荷重分布のうちもっとも危険側である半載状態について検討する。本稿では初期荷重としては自重(乾燥収縮を含む)としアーチの左半分に活荷重半載荷($w = 2.45 \text{ t/m}$)する。変位図を図-6に示す。Mcまでは半載荷の影響により左側のみ変位が大きい。Mcを過ぎると50ポイント付近は下方向にたわみ、90ポイント付近は上向きに大きいたわみ、121, 50ポイントのモーメントが増加する。その後19, 60, 90ポイントのモーメントが増加してゆき最終的にはほとんど同時に破壊モーメントに達する。耐荷力は線形解析値で設計荷重の10倍、非線形解析値で13倍の保有耐力となった。また非線形の場合水平238mm、鉛直577mmと線形解析の2.5倍の保有変位を有している。

4. まとめ

コンクリートアーチ橋において非線形解析を適用した結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 地震作用時解析結果は設計基準荷重に対して2.2倍程度の耐力を持つ。また活荷重半載状態に対しても1.3倍程度の非常に大きな耐力を持つ。また、線形解析との対比によるとモーメントの再配分効果により非線形解析結果は30-50%程度の耐力力の増加が見込まれる。
- 3) 本橋のアーチリブはRC部材であるが設計強度を 400 kg/cm^2 と高めることにより十分な耐力を持ちながら断面の減少を図れることが明らかになった。
- 4) 分割長により耐荷荷重が大きく変動する可能性を示しており、今後さらに検討する必要がある。

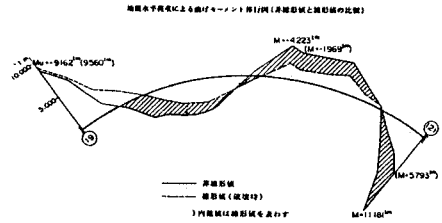


図-4 曲げモーメント図

表-2 分割長の比較

	水平震度	非線形/線形
基本震度	0.22	-
線形解析値	0.32	-
非線形($l=2d$) *	-	1.12
非線形($l=d$)	0.40	1.25
非線形($l=d/4$)	0.48	1.49

* 同種アーチ橋の解析結果

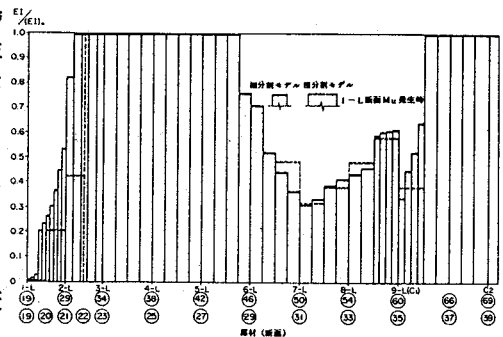


図-5 等価曲げ剛性の対比(終局時)

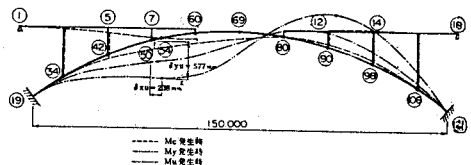


図-6 活荷重半載荷時の変位曲線