

長大コンクリートアーチ橋における不安定解析問題

九州大学大学院 学生会員 夏 青
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
九州大学大学院 正会員 矢葺 亘
(株)構造計画研究所 正会員 為広尚起

1. はじめに

コンクリート構造物においては、材料的に弾性状態のまま座屈が発生することは稀である。ある程度変形が進んだ状態では、塑性化と幾何学的非線形が相互作用を伴って座屈が発生する。長大コンクリートアーチ橋のようなスレンダーな構造物では幾何学的非線形及び材料非線形の影響が大きく、全体構造の安定解析が重要である。本研究では、文献²⁾に示されている支間長600m、ライズ100mを有する長大RCアーチ橋における全体構造の座屈解析、静的複合非線形解析の増分解析弧長増分法と分岐点探索を行って、全体構造の安定性を照査した。増分解析の途中で固有方程式の値が正から負に変わることによって分岐点(臨界点)と判断する。

2. 解析橋梁

本研究の対象橋梁の全体図を図-1に、使用材料を表-1に示す。

表-1 使用材料

使用材料	コンクリート	アーチリブ: $ck = 50\text{N/mm}^2$
		補剛桁: $ck = 50\text{N/mm}^2$
		鉛直材: $ck = 50\text{N/mm}^2$
鉄筋		SD685

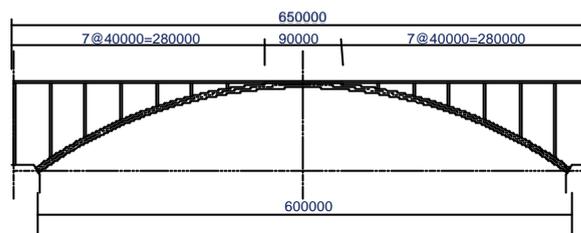


図-1 長大アーチ橋の全体図(mm)

2.1 解析モデル

本研究では、対象橋梁を図-2に示すような骨組にモデル化した。補剛桁と鉛直材は線形要素で、アーチリブは材料非線形要素とした。アーチリブ部は58分割した。

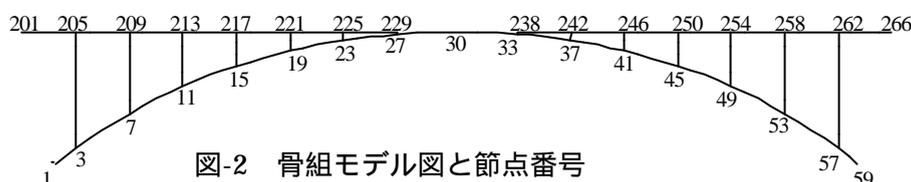


図-2 骨組モデル図と節点番号

2.2 地震荷重を考慮した座屈固有値解析

座屈問題の固有方程式は式(1)のように書ける。

$$[K]\{xi\} - i[Kg]\{xi\} = 0 \quad (1)$$

$[K]$: (材料)剛性マトリックス

$[Kg]$: 初期応力マトリックス

$\{xi\}$: i 次座屈モードベクトル

i : i 次座屈荷重倍率

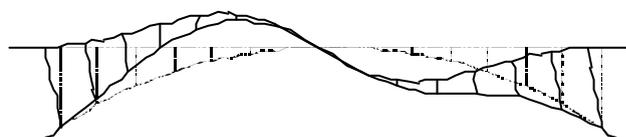


図-3 最小荷重倍率の座屈モード図

座屈固有値解析では、最小荷重倍率とそれに対応する座屈モードベクトルを求め、求められた荷重倍率は初期応力マトリックスに対する荷重倍率を示している。座屈固有値解析を行う場合は、初期応力状態を作成する必要があり、初期応力マトリックスを作成するには、幾何学的非線形を考慮する必要がある。このとき、部材が材料非線形状態に入っていれば、それを考慮した剛性マトリックスを用いて、固有値解析を行うことになる。

本解析対象橋梁の1倍の鉛直荷重のみを載荷させた時の最小荷重倍率は2.805倍である。図-3に最小荷重倍率における座屈モードを示す。

キーワード：長大RCアーチ橋 複合非線形 幾何学的非線形 材料非線形 不安定解析

連絡先：〒812-0053 福岡市東区箱崎6-10-1 Tel & Fax : 092-642-3268

2.3 静的増分解析による不安定解析

表-3 解析ケース (:考慮 x:無視 ☆:する)

解析ケース	材料非線形	幾何学的非線形	分岐の判定
case1		x	-
case2	x		☆
case3			☆

座屈荷重を厳密に求めるためには、解析途中で接線剛性行列式の値の符号変化を探索して、行列式の値が零となる点、すなわち分岐点を求める必要がある。本研究では長大コンクリートアーチ橋における不安定解析は静的解析で増分解析を行って、分岐点の探索を行う。常時荷重を基準荷重とし、弧長増分法を用いる。解析ケースを表-3に示す。まず、鉛直荷重のみを載荷する。

各ケースのステップごとの荷重倍率変化を図-4に示す。この図には、case2とcase3において判定された分岐点を印で示す。case2、case3では分岐判定後も荷重増分解析を行っている。幾何学的非線形のみを考慮したcase2は1000step荷重倍率3.58で分岐するが、増分解析を続行すれば荷重は増加し続けた。複合非線形を考慮したcase3では500step荷重倍率2.38で分岐し、これ以後増分解析においても荷重は減少に転じた。

図-5に節点23番(図-2参照)の荷重倍率 - 変位曲線を示す。この図によれば、複合非線形モデルが分岐するまでは、case2とcase3の曲線は一致している。幾何学的非線形を考慮した場合、材料非線形のみを考慮した場合より同じ荷重倍率で変位が大きいくことがまず分かる。次に、幾何学的非線形のみを考慮した場合は複合非線形を考慮した場合の分岐点を通して荷重倍率が延びてることがわかる。

3. 結論

本研究で対象とした支間長600m級の長大アーチ橋では複合非線形を考慮した場合の分岐判定による座屈荷重倍率(2.38)は弾性座屈固有値解析の最小荷重倍率(2.81)および幾何学的非線形のみを考慮した場合の座屈荷重倍率(3.58)より小さいことが分かった。従って、本橋では、複合非線形を考慮した不安定解析が必要であると言える。

参考文献

- 1) 江上他：水晶山橋の耐震設計について，第2回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計にかんするシンポジウム講演論文集，1998.12，pp.383-388
- 2) 土木学会 構造工学委員会 コンクリート製長大アーチ橋の設計方法に関する研究小委員会，コンクリート長大アーチ橋の設計・施工技術の現況と将来，構造工学技術シリーズ NO.19，2000.9
- 3) 大塚他：長大RCアーチ橋における複合非線形動的解析と座屈・分岐解析，構造工学論文集，Vol.47A，2001.3，pp.873-882
- 4) (株)構造計画研究所：3次元立体構造物の静的・動的非線形解析プログラムRESP-T理論マニュアル，Vol3.1.1997

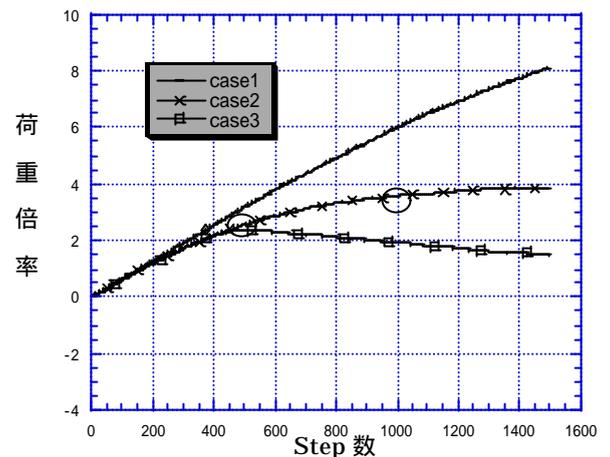


図-4 節点23番荷重倍率推移図

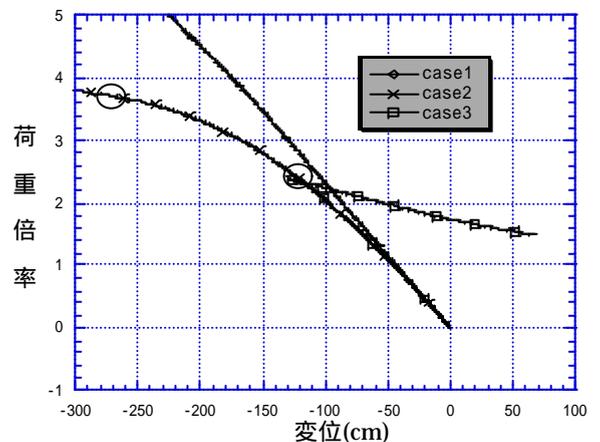


図-5 節点23番荷重倍率 - 変位図