

単弦アーチを有する中路バランسدアーチ橋の耐荷力解析

熊本大学 正 員 崎元達郎 正 員 渡辺 浩
学生員○小幡大輔

1、まえがき

現在、海上に建設計画中の新北九州空港は橋長 2km の連絡橋を必要とし、その中央部に航路を設けるため支間長 94.4m + 210.0m + 94.4m の単弦アーチを有する中路バランسدアーチ橋が計画されている。この構造形式において最も重要な問題の 1 つは、構面外方向への不安定現象に対する安全性の確保である。そこで本研究では、三次元骨組についての有限変位弾塑性解析手法を用いて、種々の荷重条件に対して、それぞれ極限状態までの挙動を追跡し、本橋の面外崩壊及び面内崩壊に対する安全性を検討する。

2、解析理論の要約¹⁾

2.1 解析上の仮定

- 1) 部材は閉断面であり、完全弾塑性材料で作られている。
- 2) von Mises の降伏条件が成立し、降伏域では、Prandtl - Reuss の増分形の応力-ひずみ関係が成立する。
- 3) 微小ひずみであり、降伏後も曲げに関しては、平面保持の法則が成立する。
- 4) 断面が部分的に降伏した後も、せん断中心の位置は不変である。
- 5) 単純ねじりのみを考慮し、そり拘束ねじりの影響は無視する。
- 6) 断面変形及び局部座屈は生じないものとする。

2.2 増分つり合い方程式

解式の定式化は、次のような方針で行った。まず、接線剛性マトリックスを求めるための増分的手法を応用して、応力表示の初期応力剛性マトリックスを導き、外力増分と変位増分の間の増分つり合い方程式をたてる。次にひずみ増分から求まる応力増分の和としての全断面力と全外力が等しいという条件をつり合い方程式に適用する。さらに材料の降伏による塑性化の影響については、部材の横分割と断面の縦分割による方法を用いて追跡する。このようにして下に示す増分つり合い方程式が与えられる。

$$(K_e + K_p + K_g) U = P - (T \bar{f} - \bar{P}) \quad (1)$$

ここに、

K_e : 弾性剛性マトリックス U : 節点変位増分ベクトル $\bar{P}$: 全節点外力ベクトル
 K_p : 塑性剛性マトリックス P : 節点外力増分ベクトル $\bar{f}$: 全節点断面力ベクトル
 K_g : 幾何剛性マトリックス T : 座標変換マトリックス

荷重増分ごとに式(1)を Newton-Raphson 法による繰り返し計算で解く。

3、数値解析²⁾

3.1 解析モデルの設定

本解析では、主に次の諸点を考慮してモデル化した。

- 1) 節点間を連ねる各部材は直線材要素に置き換える。
- 2) 幅員方向の広がりや荷重の偏載を考慮するため、補剛桁に仮想横桁を想定する。
- 3) 単弦アーチ部材において、面外方向に $L_a/1000$ の最大値を持つ正弦半波形の初期たわみを与える。
- 4) 支配方程式の剛性マトリックスの帯幅を最小にするよう節点番号を付す。

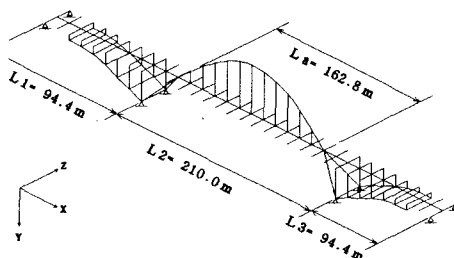


図 1 解析モデル

- 5) 断面のモデル化においては、耐荷力への影響が少ないと思われる補剛桁断面のみ、補剛材を等価板厚に直した、断面諸定数が実橋部材とほぼ等しい等価断面を想定する。

3.2 荷重条件の設定

表 1 の荷重条件において、(1)～(3)は AASHTO および (4)～(6)は道路橋示方書を参照し設定した。特に (4)～(6)については、許容応力度設計法における安全率 1.7 を各ケースの割り増し係数で除することによって定式化した。また、表中の α_{req} は各荷重条件で保証すべき荷重係数である。

3.3 部材断面の設定

各部材断面のモデル化には、以下の点を考慮し、それぞれ図 2 に示す断面とした。

- 1) アーチリブについては、一部に台形断面及び六角形断面が用いられているが、等価なリブ付箱形断面とする。
- 2) 補剛桁は、ブラケットを有する鋼床版三室台形断面であるが、フランジ突出幅と鋼床版リブをならした等価板厚を有する三室長方形箱形断面とする。
- 3) 補剛桁のねじり定数に等しい断面二次モーメントを有する断面を仮想横桁に用いる。
- 4) その他の部材においては、基本設計どりの寸法の箱形断面とする。

3.4 溶接残留応力

全部材に、縦補剛材などの溶接に伴う残留応力度を考慮する。分布形は簡単のため長方形分布とし、その大きさについては過去の文献を参考にして表 2 のように仮定した。

3.5 解析手法

表 1 に示す各荷重条件の第 1 項を載荷後、第 2 項を漸増載荷し、崩壊荷重（変位が急増、発散する荷重）を求める。そして崩壊荷重における荷重係数 α を最大荷重係数 α_u として求める。

4. 解析結果及び考察

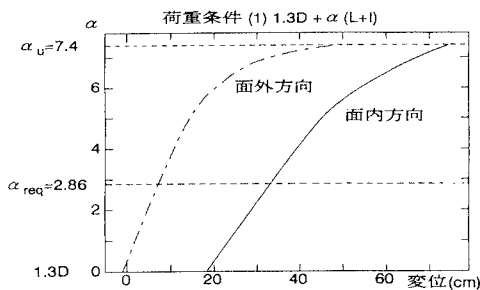


図 3 アーチクラウンにおける荷重-変位曲線

解析結果の 1 例として、荷重条件 (1) におけるアーチクラウンの荷重-変位曲線を図 3 に示す。この図より、まず面外方向への変位が先に発散していることから面外崩壊が生じたと考えられる。また、最大荷重係数 $\alpha_u = 7.4$ となり、 $\alpha_{req} = 2.86$ を大きく上回っていることから、この荷重条件に対しては十分安全といえる。

- 参考文献 1) 小松定夫、崎元達郎：Nonlinear analysis of spatial frames consisting of members with closed cross sections, 土木学会論文報告集 No. 252, p. 143-157, 1976.
2) 小松定夫、崎元達郎：ダブルデッキ単弦ローゼ桁橋の耐荷力に関する研究, 阪神高速道路公団、大阪大学災害科学研究所報告書, 1979.

表 1 荷重条件と荷重係数

	荷 重 条 件	α_{req}
(1)	$1.3D + \alpha(L + I)$	2.86
(2)	$1.25D + \alpha W$	1.25
(3)	$1.3D + \alpha EQ$	1.3
(4)	$1.7D + \alpha(L + I)$	1.7
(5)	$1.36(D + L) + \alpha W$	1.36
(6)	$1.13(D + L) + \alpha EQ$	1.13

D : 死荷重 L : 活荷重 W : 風荷重
EQ : 地震荷重 I : 衝撃荷重

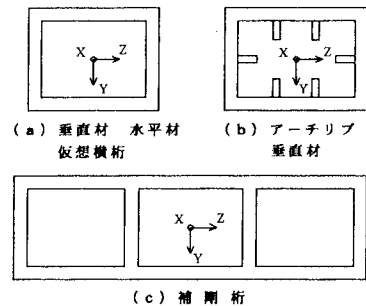


図 2 部材断面モデル

表 2 残留応力度と強度定数

鋼種	σ_T	σ_{TR} (TR)	σ_{CR} (CR)	σ_{RC} (RC)	σ_{RT} (RT)	C1	C2	C3
SM50Y	3600	3420 {0.95}	-830 {0.23}	-580 {0.16}	2160 {0.6}	0.810	0.168	0.748

(単位: kgf/cm²)