

アーチ橋の面外座屈に対する横つなぎ材の設計に関する一考察

(株)横河ブリッジ 正会員 ○金子 俊一

(株)横河ブリッジ 羽中田好弓

(株)横河ブリッジ 正会員 尾下 里治

1. まえがき

アーチ橋の面外座屈の形態としては、支材間での局部的な部材座屈と全体座屈とが考えられる。全体座屈については、アーチ橋の全体形状によって避けられない面があるが、少なくともパネル間のせん断座屈については、横つなぎ材の補強によって防ぐことができる。そこで、横つなぎ材を設計する一つの指標として、各パネル間でのせん断座屈荷重が、アーチリブ単材の格間長を有効座屈長とする局部座屈荷重 $P_{cr \cdot cal}$ を下回らないように設計することが提案されている^{1,2)}。アーチ橋の面外座屈については、図1のようにアーチリブ構面を取り出した組立柱としてモデル化できる。このせん断変形を

考慮した組立柱の梁柱モデルの座屈荷重 P_{cr} は式(1)で表

わされる¹⁾。ここで、 P_{cr0} はせん

断変形を考慮しない両端固定柱

の座屈荷重、 A_w はせん断断面積

で、横構や横支材が持つせん断

剛性と等価なせん断剛性を持つ薄板に換算した場合の薄板の断面積である。

パネル間のせん断座屈荷重 P_{cr} は、 $P_{cr0} \gg GA_w$ であることから式(1)より $P_{cr} = GA_w$ と近似できるので、これがアーチリブ単材の局部座屈荷重 $P_{cr \cdot cal}$ より大きければよい。

以上の条件より横つなぎ材の必要剛性が求められる。表1に4種類の横つなぎ材の形式ごとの必要剛性をまとめた。

本文では、この必要剛性を求める際に仮定しているパネル間のせん断座屈荷重の近似式 $P_{cr} = GA_w$ について、1パネルをモデル化した平面骨組の弾性座屈解析を行い、その精度を確認した。さらに、実橋(10例)における横つなぎ材の剛性が必要剛性を満たしているかの調査を行った。以下に、解析結果および調査結果を示す。

2. パネル間のせん断座屈の近似式の精度の確認

今回対象とした横つなぎ材の形式は、表1に示した4種類である。骨組形状は10m×10mとし、図2の鉛直の柱をアーチリブとして断面剛性を $A=0.1\text{m}^2$ 、 $I=0.1\text{m}^4$ で固定し、横つなぎ材の剛性を変化させて弾性座屈解析を行った。

図2に式(1)を変換した式(2)の曲線と、 $P_{cr0} \gg GA_w$ とした時の近似式(3)を曲線で示しているが、実橋が該当する $\alpha > 10$ の範囲では式(2)と式(3)はほとんど一致することがわかる。

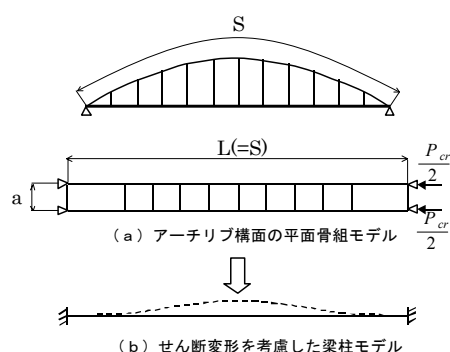


図1 アーチリブ構面の面外座屈モデル

表1 横つなぎ材の形式ごとの必要剛性

	横つなぎ材形式	A_w	$A_{d \cdot req} \cdot I_{b \cdot req}$
タイプ1 ダブルワレントラス		$A_w = \frac{E}{G} \cdot \frac{ab^2}{\frac{d^3}{2A_d}}$	$A_{d \cdot req} = \frac{\pi^2 I_a d^3}{a^3 b^2}$
タイプ2 ダイヤモンドトラス		$A_w = \frac{E}{G} \cdot \frac{ab^2}{\frac{4d^3}{A_d}}$	$A_{d \cdot req} = \frac{8\pi^2 I_a d^3}{a^3 b^2}$
タイプ3 Kトラス		$A_w = \frac{E}{G} \cdot \frac{ab^2}{\frac{2d^3}{A_d} + \frac{b^3}{4A_v}}$	$A_{d \cdot req} = \frac{2d^3}{\frac{a^3 b^2}{2\pi^2 I_a} - \frac{b^3}{4A_v}}$
タイプ4 ラーメン		$A_w = \frac{E}{G} \cdot \frac{24}{\frac{ab}{I_b} + \frac{a^2}{I_a}}$	$I_{b \cdot req} = \frac{ab I_a}{\left(\frac{12}{\pi^2} l_e^2 - a^2 \right)}$

キーワード アーチ, 面外座屈, せん断座屈, 弾性座屈解析

連絡先 〒273-0026 千葉県船橋市山野町27番地 (株)横河ブリッジ 技術本部開発部第一課 TEL 047-435-6161

$$P_{cr}/P_{cr0} = \frac{1}{1 + P_{cr0}/GA_w} = \frac{1}{1 + \alpha} \quad (2)$$

$$P_{cr}/P_{cr0} = \frac{1}{P_{cr0}/GA_w} = \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

ここで、骨組の支持条件は1本の柱に置き換えた場合
に下端完全固定、上端回転固定・水平変位自由として
いるので、 P_{cr0} 算出時の柱の有効座屈長は高さの1.0
倍となる。

$$P_{cr0} = \frac{\pi^2 EI_g}{a^2} \quad (4)$$

図2に4種類の横つなぎ材の剛性を変化させて α
を変えた場合の弾性座屈解析結果を示す。どの横つな
ぎ材形式においても近似曲線と一致しており、パネル
間のせん断座屈荷重は $P_{cr}=GA_w$ で近似できることが
確認できる。

3. 実橋における横つなぎ材の剛性

アーチリブ構面のせん断剛性 GA_w がアーチリブ単材のパネル間での局部座屈荷重 $P_{cr \cdot cal}$ より大きいという
条件に対して、実橋の横つなぎ材の剛性の状況について調査を行った(図3)。 $P_{cr \cdot cal}$ はパネル間隔長 a とした
時に式(5)で表される。

ここで、 I_a はアーチリブの鉛直軸
回り断面2次モーメントである。

$$P_{cr \cdot cal} = \frac{2\pi^2 EI_a}{a^2} \quad (5)$$

以下に得られた知見を示す。

- ・ ダイヤモンドトラス形式は概ね必要剛性を満たし
ており、 $GA_w > P_{cr \cdot cal}$ を満足している。
- ・ ダイヤモンドトラス形式でも、E橋は特にアーチリ
ブ支間が長いため、アーチリブの断面剛性が大き
く、それに対して、横つなぎ材の剛性が不足して
いるため、 $GA_w > P_{cr \cdot cal}$ を満足していない。
- ・ ラーメン形式は総じて、パネル間のせん断座屈荷
重が小さく $GA_w > P_{cr \cdot cal}$ を満たしていない。支材
間隔が広く、有効座屈長を支材間隔の1.5倍とつ
ているにもかかわらず、ラーメン形式はせん断断
面積 A_w が非常に小さいため、パネル間のせん断座
屈荷重の方が大きくなってしまっている。しかし、
ラーメン形式が多用される下路式アーチの場合、
床組がアーチリブの変形を戻そうとする力として
働くため、全体系としての座屈荷重は式(1)よりも
大きくなる傾向がある。

参考文献

- 1) 座屈設計ガイドライン 改訂第2版[2005年版] 土木学会
- 2) 佐野泰如・尾下里治：下路式アーチ橋の面外座屈に対する設計法の一提案 構造工学論文集 Vol. 46A 2000. 3
- 3) 佐野泰如・尾下里治：上路式アーチ橋の面外座屈に対する設計法 横河ブリッジグループ技報 No. 30 2001. 1
- 4) 佐野泰如・尾下里治：中路上式アーチ橋の面外座屈に対する一考察、土木学会第57回年次学術講演会概要集 2002.

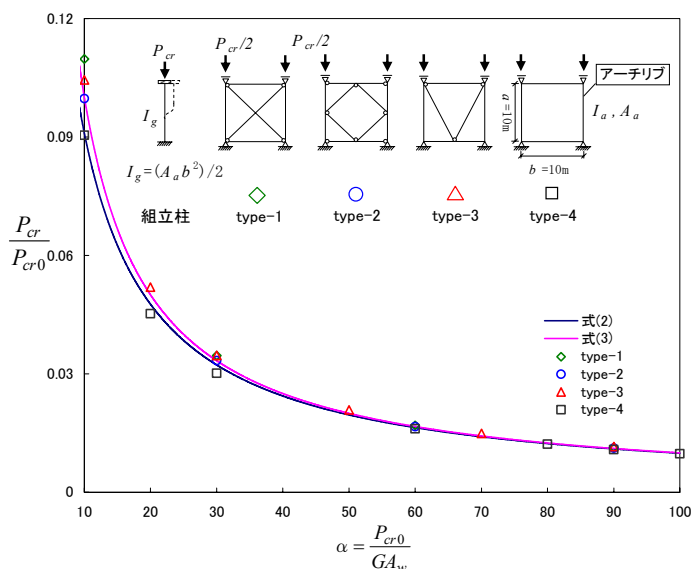


図2 主構1パネル間のせん断座屈荷重と近似式の精度

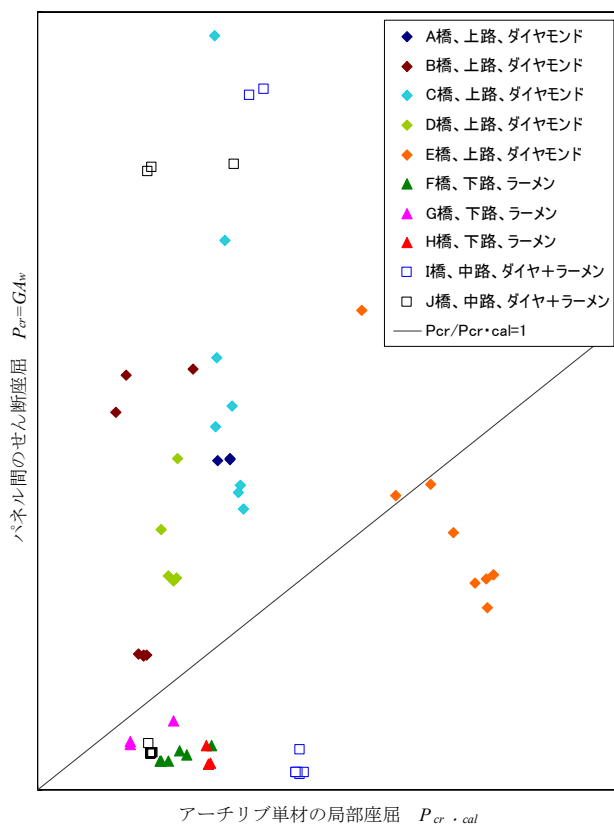


図3 実橋における横つなぎ材の剛性と
アーチリブ単材の局部座屈荷重の関係