

大阪市 土木局 正員 加藤隆夫
大阪市 土木局 正員 丸山忠明
㈱横河橋梁製作所 正員 ○ 尾下里治

1 まえがき 戦後、西ドイツを中心に架設された、大幅員、大支間を有する 2 主桁橋は経済性の追求から生み出された構造形式として、特筆すべきものがある。しかし、大担な軽量化の結果、床組構造についても充腹板を使用せず、方杖やラーメン形式の対傾構を用いる場合が多い。こうした場合の、下フランジに圧縮力が生ずる連続桁中間支点付近では、下フランジの座屈安定性が問題となる。

本報文は、大阪市により新淀川に架設された長柄橋（4 径間連続鋼床版桁、橋長 293.7 m）をモデルケースとして、2 主桁橋の下フランジの弾性座屈性状についていくつかのパラメーターをとり、数値解析を行なった結果を示し、さらに近似計算式を提案するものである。

2 解析内容 曲げを受けるプレートガーダーの圧縮フランジの座屈は、次の 3 種類の形式に分けられる。

1) 垂直方向座屈 2) ねじれ座屈 3) 水平方向座屈
Basley⁽¹⁾は、圧縮フランジを腹板から切り離し、単独の柱と考えて各々の座屈応力度 σ_{cr} を求めている。1) については腹板の幅厚比により、2) についてはフランジの突出幅と板厚により表わされ、本橋の場合いずれも支配的にならないことから 3) 水平方向座屈の問題に限り検討を行う。従来、この種の問題は、応力計算から決定された断面に対して座屈安定性を確認するにとどまっているが、本研究では、対傾構の剛度や間隔を変化させその影響を把握し近似計算式を求めるとともに、水平変位についても独自の簡易計算法により考慮している。

標準断面を（図 1）に示す。下フランジは方杖付骨組断面により水平方向に弾性的に支持されているが、反面、活荷重の載荷により床組が変形し水平力も受けることになる。こうした 2 主桁橋の構造特性から、下フランジを「弾性バネで支持された 軸力、断面形状ともに変化する梁柱」として扱うが、詳細については本概要集に別途報告⁽²⁾しており参照されたい。荷重強度については設計荷重（死荷重 D + 活荷重 L）を使用し、このとき下フランジに働く軸力は（図 2）のようになる。座屈解析には、中間支点を含む 2 径間を対象とし、中間支点付近の圧縮力のみ載荷するものとする。数値計算は、荷重増分法により有限変位不安定解析を行なったものである。

3 計算結果と考察 長柄橋で使用した対傾構の水平変位に対する剛度は $K=1791 \text{ t/m}$ であるが、比較のためいくつかのバネ剛度に対する弾性座屈強度を求めると（図 3）のように表わされる。また、バネ間隔を変化させた場合についても（図 4）に示す。図中のバネ剛度 $K=451 \text{ t/m}$ は方杖をなくしたフレームだけの剛度でありかなりフレキシブルなものを仮定している。（図 3）（図 4）の横軸に使用しているパラメーターは Engesser⁽³⁾ がポニートラスの上弦材に対して求めた近似計算式（1）よりヒントを得て用いたもので

$$P_{cr} = 2\sqrt{\frac{EIK}{\lambda}} \dots\dots\dots (1)$$

K : バネ剛度
λ : バネ間隔

図 3 バネ剛度と弾性座屈強度
の関係（バネ個数 $n=21$ ）

ある。計算結果はいずれも比例関係を満足し、座屈性状がポニート

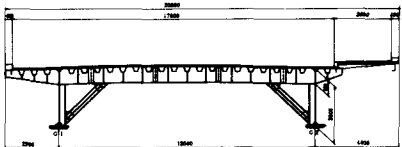


図 1 標準断面図

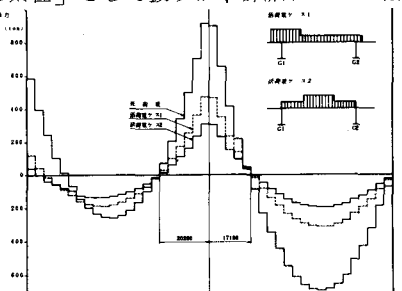


図 2 下フランジの軸力分布 G 1 桁

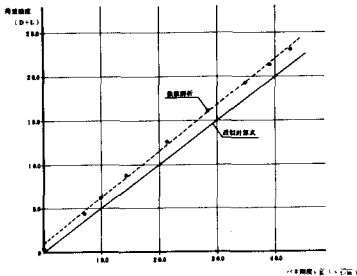


図 3 バネ剛度と弾性座屈強度
の関係（バネ個数 $n=21$ ）

ラスの場合に非常によく似かよっていることがわかる。

4 近似計算式の提案

(1) 式は、分布バネに支持された座屈半波長の弦材に様な軸力が加わった場合の座屈条件式から求めたものであるが、この場合も同様の解析方法が可能であると思われる。2主桁橋の下フランジにおいて、ボニートラスと最も異なる点は軸力の分布形状と支持条件である。ボニートラスの場合、軸力は放物線状に分布し、安定問題は支間中央付近に集中する。よつて、Engesserが行なつたような軸力が一様分布という仮定が妥当であるが、2主桁橋の下フランジの場合、連続桁の中間支点付近を対象とするので圧縮力の分布形状は三角形に近い形となる。また、数値解析の結果から座屈波形(図5, 6)の半波長は圧縮力の作用する範囲と対応していることに注目し、軸力作用幅を座屈半波長 l と仮定する。こうすることによりEngesserのモデルをそのまま使用し軸力の扱いのみ変えることで、近似式

(2) が求められる。

$$P_c = \frac{4\pi}{2+\pi} \sqrt{\frac{EIK}{l}} \quad \dots (2)$$

P_c : 中間支点での圧縮力

(2) 式を適用したものを(図3, 4) 図7 近似解析モデル

に実線で示すが、数値計算値とよく対

応しており、いずれも安全側の値となつている。

5 断面変形と曲げねじり変形の影響

以上の内容は下フランジに働く圧縮力のみを考慮したものであるが、実際は断面変形と橋体全体の曲げねじり変形により、水平変位が下フランジに生ずる。この影響を把握するため、水平変位が座屈モードに近くなるような活荷重の載荷形態を考え、数値解析を行なつた。このときの下フランジの水平変位量を(図7)に示す。断面変形については簡易計算法により下フランジに働く水平力として考慮できるが、曲げねじり変形については橋体全体の变形であるので解析モデル自体の初期変形として扱つた。(図8)に荷重強度と軸方向変位量(端支点)の関係を示す。軸力のみ受ける場合に比べ早い段階から幾何学的な非線形性を示すが、最大強度については2~3%の低下にとどまつた。

6 あとがき

2主桁橋の下フランジの水平座屈に対して「弾性バネで支持された梁柱」のモデルを解析することにより、次の結果が得られた。

1) 対傾構の剛度と間隔について値を変化させ、数値計算を行なつた結果、Engesserの近似計算式との類似性が確認され、(2) 式のような近似式が求められた。2) 断面変形や曲げねじり変形による影響は弾性座屈に関する限りわずかであつた。

なお、特定のケースとして、材料非線形も考慮した解析も行なつている。

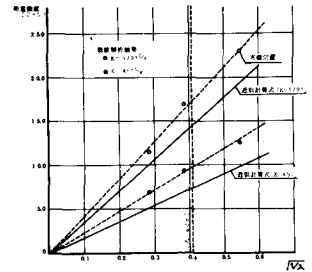


図4 バネ間隔と弾性座屈強度の関係 入: バネ間隔 (m)

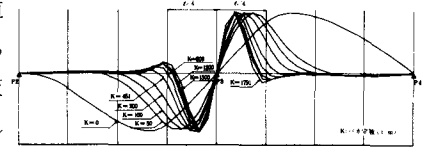


図5 バネ剛度と弾性座屈波形 (バネ個数 $n = 21$)



図6 バネ個数と弾性座屈波形 (バネ定数 $K = 1791 \text{ t/m}$)

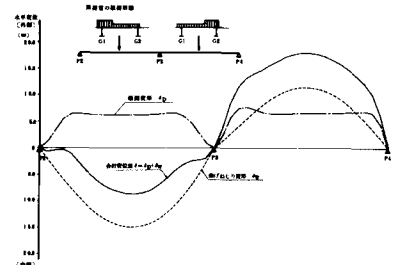


図7 下フランジの水平変位 (D+L)

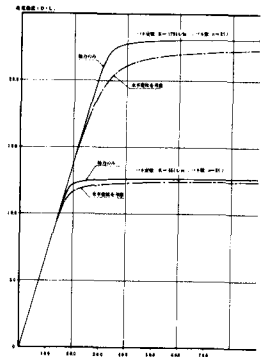


図8 荷重強度と軸方向変位

(1) Basler, K. and Thürlimann, B. Strength of Plate Girders in Bending ASCE Vol 187 st6 Aug.

(2) 加藤・他: 鋼床版 2主桁橋の主桁下フランジの水平変位特性と簡易計算法 本概要集 1980年9月

(3) Bleich, F.: Buckling Strength of Metal Structures (1952) McGraw-Hill, New York