

並列連続曲線 I 桁全体モデル解析による横ねじれ座屈耐荷力

三菱重工業株式会社

正会員 ○上野 慶太

大阪市立大学大学院 正会員 北田 俊行

大阪市立大学大学院

正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀

JIP テクノサイエンス株式会社

正会員 山野 敏郎

1. まえがき

並列連続曲線I桁橋では、主桁の曲率に起因する、ねじれ変形を伴う横ねじれ座屈の発生が懸念される。しかし、我が国の道路橋示方書¹⁾には、曲線I桁の横ねじれ座屈に関して明確な基準が整備されておらず、その設計においては、直線I桁の横ねじれ座屈強度を準用されているのが現状である。

本研究では、実際の曲線I桁橋に発生する主桁の横ねじれ座屈特性を明確するために、3本の主桁を有する3径間連続曲線I桁橋をモデル化して弾塑性有限変位解析を行う。このとき、曲線I桁の中心角 ϕ と上フランジの幅厚比パラメータ R_{os} との変化が、横ねじれ座屈モードと横ねじれ座屈耐荷力に及ぼす影響に着目する。なお、解析には、既開発の弾塑性有限変位解析プログラム、USSPを用いる。

2. 解析モデル

対象とする並列連続曲線I桁は、載荷実験用に製作された実橋の5分の1モデルで、図-1に示すように中央径間 $L_1=4,500$ mmで側径間 $L_2=4,200$ mmの3本の主桁を有する3径間連続曲線I桁である。解析ケースは、上フランジの幅厚比パラメータ R_{os} が0.29, 0.36, および0.39の3ケースで、それぞれ、中心角 ϕ を0(直線)～0.131 radの間で変化させた。紙面の関係で、ここでは、 $R_{os}=0.36$ の場合のみを取り上げる。解析モデルを図-2に示す。解析モデルにおいては、横ねじれ座屈を起こしやすくするために、あえて横構をモデル化していない。また、解析モデルの対称性を考慮し、着目する3径間連続曲線I桁の半分のみ(1.5径間)を解析対象とする。なお、本解析モデルは、282,882自由度で大規模なものとなるので、計算には、日本原子力研究所の超並列計算機システム(MPPシステム)を使用した。死荷重を想定した等分布荷重を漸増載荷し、初期不整には、図-3に示す初期たわみと図-4に示す残留応力を考慮した。また、拘束条件を図-5に示し、解析で用いた鋼の材料定数を表-1に示す。これらの値は、材料試験結果に基づいており、解析に用いた応力とひずみとの関係は、完全弾塑性を仮定している。

3. 横ねじれ座屈モード

図-6に中井ら²⁾の研究により得られた、想定される一般的な曲線I桁の横ねじれ座屈モードを示す。

キーワード 曲線I桁, 横ねじれ座屈, 耐荷力

連絡先 〒733-8553 広島市西区観音寺新町 4-6-22 三菱工業株式会社広島製作所 TEL 082-292-3124

表-1 主桁および横桁の材料定数

主桁・横桁	σ_y (N/mm ²)	E (N/mm ²)	ν
フランジ	288.6	1.86×10^5	0.3
ウェブ	253.3	1.96×10^5	0.3

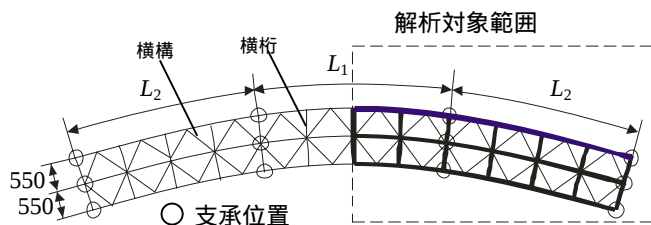


図-1 対象とする3本主桁の3径間連続曲線I桁

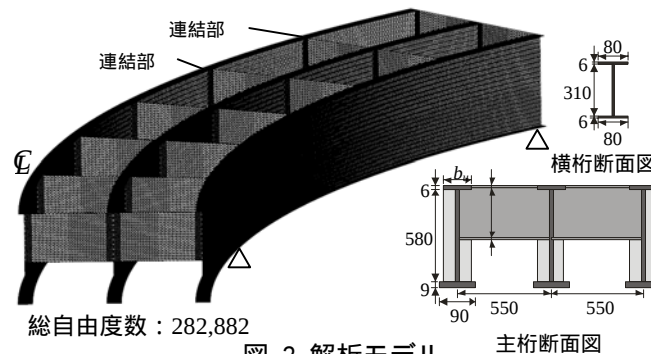


図-2 解析モデル

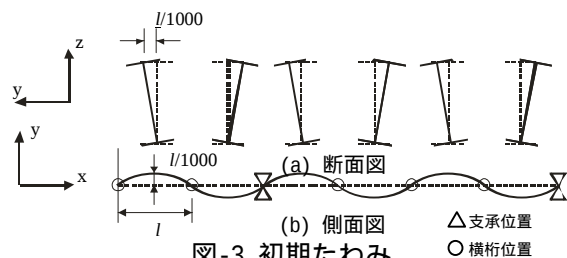


図-3 初期たわみ

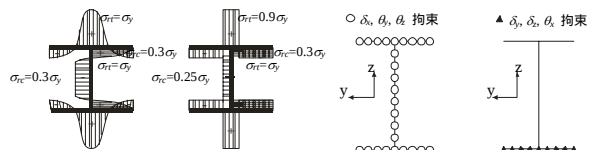


図-4 残留応力分布

図-5 拘束条件

曲線 I 桁の横ねじれ座屈モードを調べるために、正曲げモーメントが大きく作用する側径間の右側 3 パネルに着目した。橋軸直角方向の水平変位の変形状況を図-7に示す。ここで、横ねじれ座屈モードを数値的に評価するために、座屈モード指数、Lateral torsional Buckling Index ($L.B.I.$)を式(1)のように定義する。 $L.B.I.$ が 1.0 に近いほど単純座屈モード、0 に近いほど固定座屈モードとなる。各記号は、図中に示すとおりである。

$$L.B.I._k = \frac{\theta_i}{\theta_{2k}} \quad (i = 1, 3 \quad k = L, R) \quad (1)$$

座屈モード指標 $L.B.I.$ と中心角 ϕ との関係を図-8に示す。同図より、中心角が 0.02 rad 以上で $L.B.I.$ はほとんどゼロに近い値を示している。さらに、直線 I 桁の場合でも $L.B.I.$ は 0.8 程度であり、完全な単純座屈モードを示す 1.0 以上の値をとる。これより、横桁による主桁のそり拘束が主桁の横ねじれ座屈挙動に与える影響は大きく、中心角の大きさに関わらず、固定座屈モードが発生しやすいことがわかる。なお、幅厚比パラメータ R_{os} と横ねじれ座屈モードとの相関は、認められなかった。

4. 横ねじれ座屈耐荷力

解析で得られた横ねじれ座屈耐荷力を図-9に示す。縦軸は終局曲げモーメントを降伏曲げモーメントで除して無次元化した耐荷力 M_u/M_y 、横軸は中心角 ϕ である。同図より、中心角が大きくなるにしたがって、耐荷力の低下が認められる。道路橋示方書、および中井らの研究²⁾により得られた耐荷力よりも大きい。この原因には、横桁による主桁のそり変形や、たわみ変形の拘束の影響などが考えられる。これらの傾向は、幅厚比パラメータ R_{os} が異なっても同様であった。

5. まとめ

本研究により、得られた主な結果を以下に示す。

- 1) 主桁と横桁の連結部で、横桁による主桁のそり変形の拘束は無視できず、曲線 I 桁の中心角の大きさに関係なく横ねじれ座屈モードには固定座屈モードの成分が含まれることがわかった。
- 2) 並列連続曲線 I 桁全体をモデル化して得られた耐荷力は、道路橋示方書、および中井らの研究により得られた耐荷力よりも大きい。これには、横ねじれ座屈モードが固定座屈モードとなる傾向、曲線 I 桁全体のたわみ波形の影響により、主桁と横桁との連結部に水平力が作用しないこと等が考えられる。
- 3) 今後の課題として、横ねじれ座屈パラメータや径間比、横桁の剛性などの各種パラメータを変えて追加解析を行い、今回得られた結果の適用性を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会、道路橋示方書・同解説 鋼橋編・丸善、2002
- 2) Hiroshi NAKAI, Hisao KOTOGUCHI: A Study on Lateral Buckling Strength and Design Aid for Horizontally Curved I-Girder Bridges, Proc.of JSCE, No.339, pp.195-205, Nov.1983.

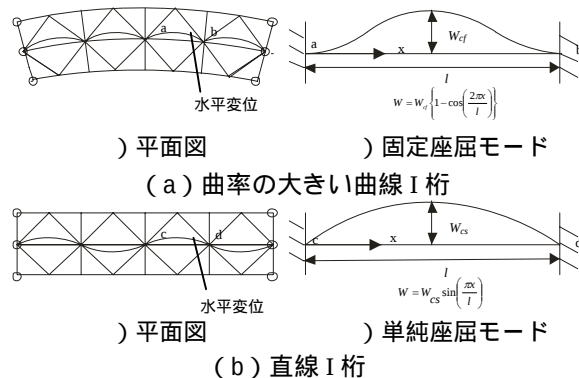


図-6 一般的な横ねじれ座屈モード

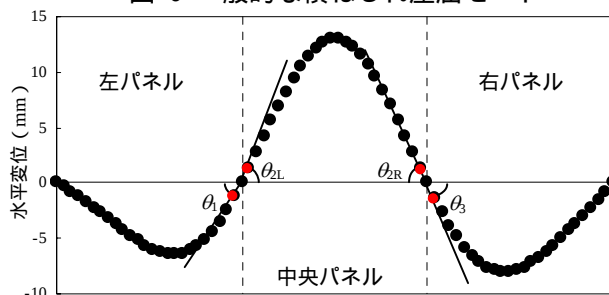


図-7 $L.B.I.$ の定義

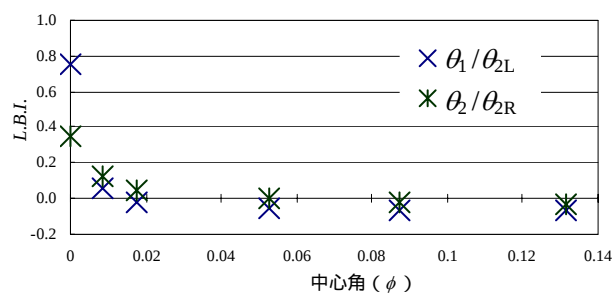


図-8 座屈モード指数 $L.B.I.$

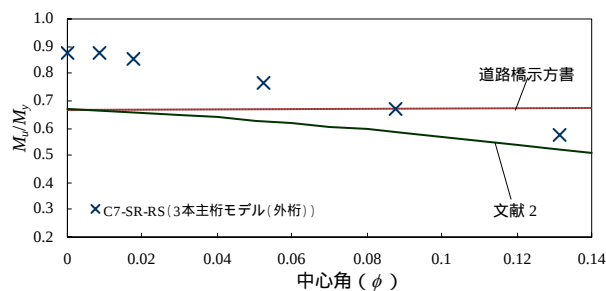


図-9 横ねじれ座屈耐荷力