

I - 834

高架橋鋼製橋脚の橋軸直角方向固有周期特性に関する一考察

宇都宮大学 学生員 深山大介
宇都宮大学 正会員 中島章典

1. はじめに

道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（以下、道示 V）¹⁾による震度法を用いた道路橋などの耐震設計では、上部構造から下部構造に伝わる慣性力の算定を行う際に、橋の構造特性を代表する値である固有周期の算定が必要である。しかし、道示 V の算定法により求めた固有周期と実際の固有周期が異なると作用する慣性力が異なる場合が生じ、真に経済的かつ安全な設計が行われない恐れがある。

そこで本研究では、3 径間連続高架橋を対象とし、その橋軸直角方向の固有周期を、3 次元はり柱要素を用いた有限要素法による固有値解析を行って調べ、道示 V による固有周期算定方法と比較検討した。さらに、3 径間連続高架橋を構成する橋脚の橋軸直角方向の固有振動特性を再現する等価モデルを考案し、その妥当性を検討した。

2. 解析モデル

本研究は、図 1 に示すような 3 径間連続高架橋を対象とし、これを 3 次元はり柱要素を用いた有限要素法によってモデル化し、この内側橋脚の橋軸直角方向の固有振動特性に着目した。上部構造の断面諸元は参考文献 2) に示される値を参考に決定した。鋼製橋脚は高さ 20m、幅 2m、板厚 52mm の正方形箱型の等断面とし、内側、外側橋脚とも同じ断面を用いた。ただし、橋脚の天端より上部構造の重心位置までの距離を 2m とし、外側橋脚の長さ L を変化させた。各支承の橋軸方向には図 1 に示した拘束条件を設定し、橋脚基部の地盤ばねは考慮していない。解析モデルの断面諸元より算定した橋脚の橋軸直角方向曲げ剛性 EI_{pt0} 、ねじり剛性 GJ_p 、上部構造の橋軸直角方向の曲げ剛性 EI_{st0} 、ねじり剛性 GJ_s の値を表 1 に示した。

道示 V に示された手順により橋脚の固有周期を算定する際には、橋梁構造を地震時に同一の振動をすると考えられる構造系である設計振動単位に分割し、設計振動単位ごとに固有周期を算定するものとしている。図 1 に示す高架橋モデルの着目すべき内側橋脚の橋軸直角方向の固有周期を算定する場合の設計振動単位は点線で囲む部分となり、その固有周期は図 2 のような頂部に死荷重反力分の集中重量を持つ長さ 22m の片持ち柱の曲げ振動に基づいて計算される。ここでは、図 2 で示した片持ち柱を道示モデルと呼ぶ。

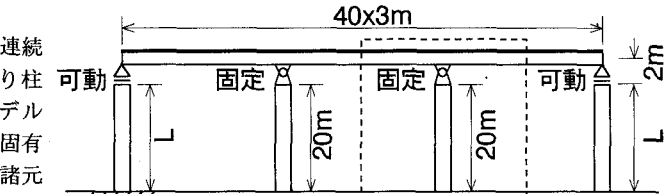


図1 3径間連続高架橋モデル

表-1 解析モデルの断面特性

EI_{st0}	761.52GNm ²
GJ_{st0}	473.66MNm ²
EI_{pt0}	52.776GNm ²
GJ_{pt0}	30.111GNm ²

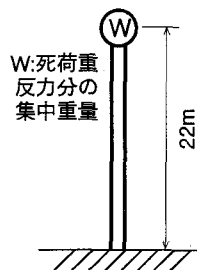


図2 道示モデル

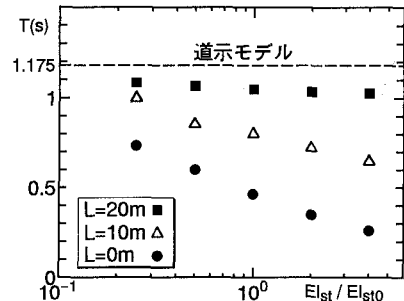


図3 上部構造の曲げ剛性と固有周期の関係

3. 高架橋モデルの橋軸直角方向の固有周期特性

高架橋モデルの内側橋脚の橋軸直角方向曲げ振動の1次固有周期（以下、高架橋モデルの固有周期）は、橋脚および上部構造の部材の長さ、曲げ剛性、単位長さ重量の影響を大きく受ける。そこで、高架橋モデルを構成する各部材の長さや曲げ剛性が、高架橋モデルの固有周期に及ぼす影響を調べる。図3は、上部構造の橋軸直角方向曲げ剛性の倍率 EI_{st}/EI_{st0} と固有周期 T の関係を、外側橋脚の長さ L をパラメータとして示した。横軸は曲げ剛性の倍率 EI_{st}/EI_{st0} 、縦軸は高架橋モデルの固有周期である。上部構造の橋軸直角方向曲げ剛性が大きく

なると、高架橋モデルの固有周期が小さくなり、外側橋脚が短くなると上部構造の両端の拘束が強くなるため、高架橋モデルの固有周期はさらに小さくなることがわかる。道示Vによる橋脚の橋軸直角方向1次固有周期算法では、力学的に上部構造の曲げ剛性はゼロと仮定するため³⁾、図3に示したパラメータの範囲内において1次固有周期は破線で示した一定値1.175sとなり、この値は高架橋モデルの固有周期と一致しないことがわかる。図4に高架橋モデルの外側橋脚の長さ $L=0\text{m}$ の際の橋軸直角方向1次固有振動モードを示すが、上部構造が大きく曲げ変形を起こしていることが確認できる。

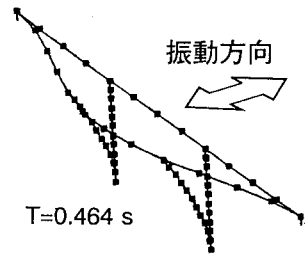


図4 高架橋モデルの1次固有振動モード

4. 橋軸直角方向等価モデル

高架橋モデルの固有周期に及ぼす上部構造の橋軸直角方向曲げ剛性や外側橋脚の長さの影響を道示モデルに取り込むために、図5に示すような道示モデルの上端に水平方向ばねをつけた等価モデルを考えた。高架橋モデルの固有周期の値と、等価モデルの曲げ1次固有周期の値が一致するように、水平方向ばねのばね定数 K_1 の値を決める。 $L=0\text{m}$ の場合の高架橋モデルの固有周期は $T=0.464\text{s}$ 、ばね定数 $K_1 = 79.73\text{MN/m}$ となり、 $L=15\text{m}$ の場合、 $T=0.854\text{s}$ 、 $K_1 = 13.12\text{MN/m}$ となる。図6は、内側橋脚基部の橋軸直角方向曲げモーメントの時刻歴曲線を $L=0\text{m}$ および $L=15\text{m}$ の場合について示している。入力地震波としては、道示Vに示されているI種地盤用の時刻歴応答解析用標準波形（レベル1）を用い、各振動モードの減衰定数を0.02とした。 $L=0\text{m}$ の時には等価モデルと高架橋モデルの結果はよく一致しているが、 $L=15\text{m}$ の時には両者は一致していない。この理由を説明するために高架橋モデルの橋軸直角方向固有振動の刺激係数を大きい順に、モード次数とともに表2に示す。 $L=0\text{m}$ のときには、9次の刺激係数が他より大きく、この振動モードが卓越しているが、 $L=15\text{m}$ のときには1次と4次の刺激係数の値が同程度であることがわかる。したがって、 $L=15\text{m}$ では2つの振動モードが連成したために、図6のような応答になったものと思われる。

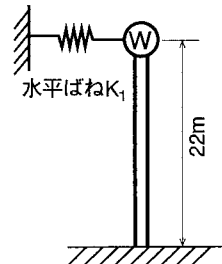


図5 等価モデル

5. おわりに

3径間連続高架橋を構成する鋼製橋脚の橋軸直角方向固有振動特性を3次元有限要素法を用いて検討し、道示Vの固有周期算法による値との差異を確認した。また、この橋脚の固有振動特性を平面骨組解析によって再現できる等価モデルを考案し、両者の結果を検討した。この等価モデルは、弾塑性応答解析などの点から有効であると考えられる。

謝辞: 本研究の一部は、土木学会鋼構造新技術小委員会耐震設計研究WG（代表：宇佐美勉名古屋大学教授）の補助を受けたことを付記し、関係の方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V耐震設計編），丸善，1990.2
- 2) 川島一彦他：道路橋の耐震設計計算例，山海堂，1992.2
- 3) 川島一彦・長谷川金三：震度法による連続橋の耐震設計法—静的フレーム法の開発—，土木技術資料，33-1，1991.1

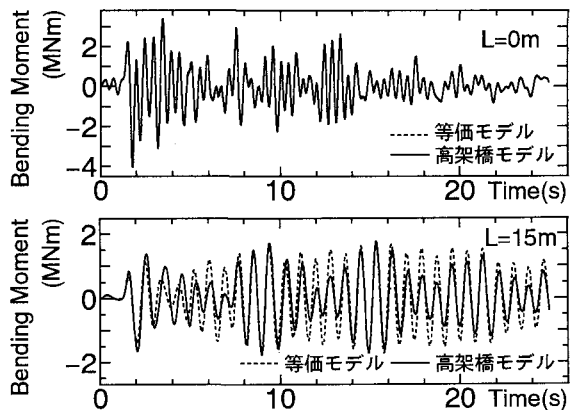


図6 橋脚基部の曲げモーメントの時刻歴曲線

表-2 橋軸直角方向の刺激係数

L=0m		L=15m	
振動次数	刺激係数	振動次数	刺激係数
9	9.867	4	8.579
5	3.333	1	8.257
11	0.380	12	2.955