

神戸大学工学部 正員 川谷 充 郎
 神戸大学工学部 学生員 前 中 浩 司
 阪神高速道路公団 井 口 齊

大阪大学大学院 学生員○下村 公一朗
 大阪大学大学院 フェロー 西村 宣男
 オリエンタル建設 正員 山中 圭介

1. まえがき 近年, 上部工自重の軽減, 施工の省力化, 高いせん断座屈強度等の優れた特性をもつ合理的な複合構造の橋梁として波形鋼板ウェブ PC 橋が注目されている¹⁾. 本形式の橋梁の設計例はまだ多くなく, 衝撃係数の評価としては PC 橋に準拠しており, 複合構造としての衝撃係数の評価を要するものと考えられる²⁾. そこで本研究では, 現在計画中の波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋を二次元構造にモデル化し, 走行荷重による動的応答解析を行い, 複合構造の橋梁の衝撃係数に関する資料を得ることを目的とする.

2. 動的応答解析手法 対象橋梁とする四径間連続曲線箱桁橋を Fig.1 に示す有限要素にモデル化する. すべて一節点 6 自由度を有する三次元はり要素である. 質量は回転慣性質量を考慮して整合質量にモデル化する. 主桁の曲げ剛性は, 上下コンクリート床版のみとし, ねじり剛性 GJ_t は箱桁断面の形状を考慮し設定する. (式(2.1))³⁾. せん断剛性については, 波形鋼板ウェブを板厚換算し, その断面積を有効せん断断面積として, せん断変形を考慮する(式(2.2))⁴⁾. 支承の構造として二重節点を定義し, その節点間に各方向, 回転に対するばね定数を与える. 橋梁の減衰定数は文献 5), 6) により, 2 % とする. 解析時に考慮する橋梁の振動次数は, 曲げモーメントの収束を考慮して 50 次までとする. 走行車両は 196kN, 245kN 車を, 前輪 1 軸, 後輪 2 軸を有する 2 自由度振動系にモデル化し, 主桁せん断中心から 3.0125m の位置を走行させる. 固有振動数は 3.0Hz, 減衰定数は $h=0.03$ に設定する. モード法による橋梁と走行車両の連成振動の微分方程式を Newmark's- β 法により逐次積分して応答を求める.

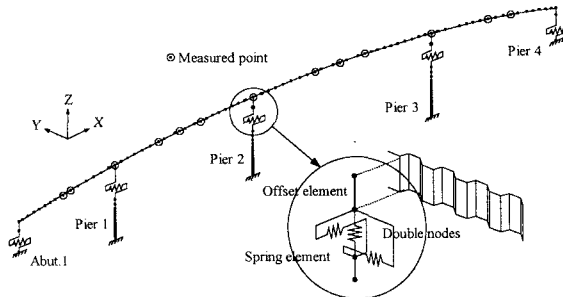


Fig.1 Analytical model of bridge

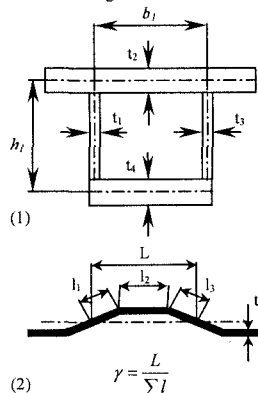


Fig.2 (1) Torsional section

(2) Compensating shape factor

$$\bullet J_t = \frac{4A_m^2}{\left(\frac{h_1}{n_s \cdot t_1(1+\alpha)} + \frac{b_1}{t_2(1-\alpha)} + \frac{h_1}{n_s \cdot t_3(1+\alpha)} + \frac{b_1}{t_4(1-\alpha)} \right)}$$

$$\alpha = 0.400 \cdot \frac{h_1}{b_1} - 0.060 \geq 0, \quad A_m = h_1 \cdot b_1, \quad n_s = G_s / G_c$$

(Referred to Fig.2)

.....(2.1)

$$\bullet GA = G_s \cdot h \cdot t \cdot \gamma \quad \gamma : \text{波形鋼板の形状係数} \quad \text{.....(2.2)}$$

3. 解析結果 3.1 固有値解析 橋梁モデルについての固有値解析結果は, 5 次, 6 次モード ($f_5=0.966\text{Hz}$, $f_6=1.033\text{Hz}$) で曲げの 1 次, 2 次振動が卓越し, 9 次モード ($f_9=1.757\text{Hz}$) でねじれの 1 次振動が卓越する.

3.2 2 乗平均値応答 本解析により得られる曲げモーメントおよびたわみの 2 乗平均値応答 σ_M , σ_y は, 路面凹凸 $S_{20}(\Omega) = \alpha / (\Omega^n + \beta^n)$, $\alpha=0.003$, $\beta=0.02$, $n=2.5$ ⁷⁾ を用いてシミュレーション解析を行い, 路面平滑走行時の動的応答からの偏差より求めた 2 乗平均値である. Fig.3 に 30 ケースの路面凹凸に対する 2 乗平均値として, 走行速度 60km/h で, 245kN 車を単一

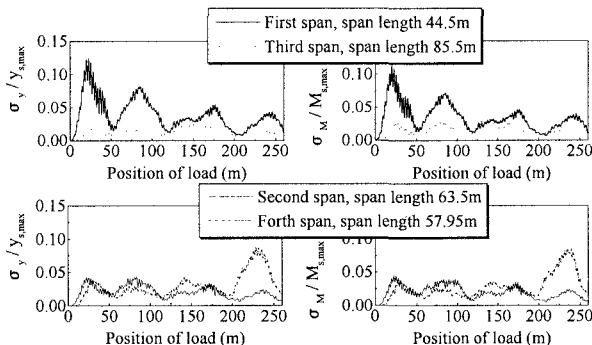


Fig.3 R.M.S. value of random response of deflection & bending moment

(One vehicle, 25tf truck, speed 60km/h)

走行させた場合の各径間中央のたわみおよび曲げモーメントの無次元化応答(以下 $\sigma_y / y_{s,max}$, $\sigma_M / M_{s,max}$)を示す。無次元化応答のばらつき具合はよく似ているが、 $\sigma_y / y_{s,max}$ は、 $\sigma_M / M_{s,max}$ より若干大きい場合が多い。

4. 衝撃係数の評価 衝撃係数を評価する際、路面平滑走行時の動的増分 $y_{i,d,max}$ は比較的小さいが、連行荷重の場合には2乗平均値応答が一般的に小さくなるため、路面平滑走行による動的影響を無視できなくなる⁸⁾。 $\sigma_y / y_{s,max}$, $\sigma_M / M_{s,max}$ を比較すると、3.2で示したように、 $\sigma_y / y_{s,max}$ の方が若干大きくなる場合が多いが、衝撃係数の評価としては、たわみにより評価する場合に加え、応力に直接結びつく物理量であることから $\sigma_M / M_{s,max}$ による評価も行う。そこで、衝撃係数を次式で評価する。 t_{ys} , t_{Ms} はそれぞれ静的たわみ、静的曲げモーメントが最大となる時刻を表す。

$$i_y = \frac{\sigma_y(t_{ys}, l/2) + y_{i,d,max}}{y_{s,max}}, \quad i_M = \frac{\sigma_M(t_{Ms}, l/2) + M_{i,d,max}}{M_{s,max}} \quad \dots\dots(4.1)$$

4.1 車両走行速度および車両走行台数の衝撃係数への影響 式(4.1)のたわみに関する衝撃係数を、196kN車、245kN車を、走行速度を変化させて単一走行させた場合について、道示の衝撃係数規定とともにFig.4に示す。また、245kN車を、車両走行台数を変化させて走行させた場合の曲げモーメントに関する衝撃係数をFig.5に示す。これより、車両走行速度(衝撃力)の増加とともに衝撃係数は増加し、また、車両台数の増加による静的応答の増加に比較して、動的応答が複数車両からの動的作用の相殺によりそれほど大きくならないことを示している。

4.2 設計活荷重に対する衝撃係数 Fig.6に走行速度および走行台数を変化させ、新旧設計活荷重に相当する245kN車と196kN車を走行させた場合についての衝撃係数を示す。この図は静的応答に衝撃係数を考慮して動的応答を加えた値の大きい方をその走行ケースの衝撃係数として採用している。L-25相当荷重列による衝撃係数が大きくなる場合が多い。

5. 波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の衝撃係数 4.で示したように本橋梁は走行車両の諸元に大きく依存して動的応答が変動する。道路橋のL 荷重は橋梁に対して満載状態を想定していることより、4.の各走行荷重ケースにおいて、二台もしくは三台連行時に着目すると、走行車両における諸元のばらつきの中で、本橋の衝撃係数は、短径間部において、走行速度等の条件により、道示のPC橋の規定値よりも大きな値を示すことがある。実橋の詳細設計に当たっては、この影響を配慮して照査している。

参考文献

- 1) 山崎正直・内田宗武・御子柴光春: 波形鋼板ウェブのせん断変形を考慮したコンクリートスラブの設計法の提案, プレストレストコンクリート技術協会 第8回シンポジウム論文集, pp.25-30, 1998.10.
- 2) 立神久雄・上平謙二・本田秀行・梶川康男: 車両走行による波形鋼板ウェブPC箱桁橋の動的応答と衝撃係数に関する研究, 同上, pp.19-24, 1998.10.
- 3) 上平謙二・立神久雄・本田秀行・園田恵一郎: 波形鋼板を有するPC箱桁橋のせん断およびねじれ特性に関する研究, プレストレストコンクリート, pp.16-25, 1998.6.
- 4) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会: 波形鋼板ウェブPC橋-計画マニュアル(案), 1998.10.
- 5) 伊藤学・片山恒雄: 橋梁の振動減衰, 土木学会論文集, 第117号, pp.12~22, 1965.5.
- 6) 加藤雅史・島田静雄: 橋梁実測振動特性の統計解析, 土木学会論文集, 第311号/I-10, pp.49~58, 1981.5.
- 7) 川谷充郎・小菅朗・嶋田玲志・小松定夫: 路面不整の統計学的特性と道路橋の衝撃係数, 構造工学論文集, Vol.33A, pp.459~466, 1987.3.
- 8) 川谷充郎・嶋田玲志・田邊裕之: 桁橋の走行車両による不規則応答に基づく衝撃係数の評価法, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.741~748, 1989.3.

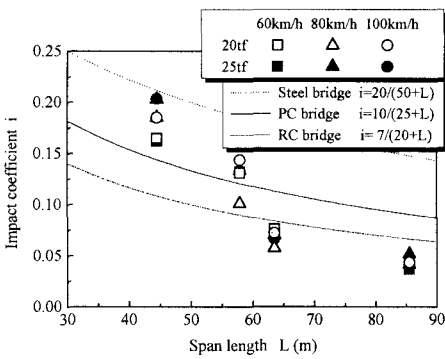


Fig.4 Impact coefficient (deflection, one vehicle)

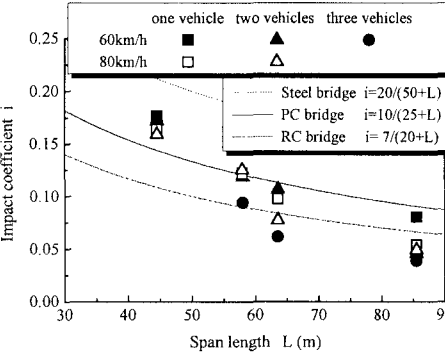


Fig.5 Impact coefficient (bending moment, 245kN trucks)

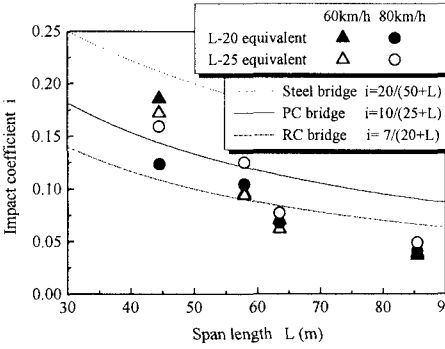


Fig.6 Impact coefficient (bending moment)