

伸縮継手部を通過する単一走行車両による道路橋の応答解析

長崎大学大学院 学生員 〇山野 長弘

長崎大学工学部 学生員 小藤 輝正

長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏

1. はじめに 走行車両による道路橋の振動は様々な要因⁽¹⁾によるが、主要要因として路面凹凸と伸縮継手部凹凸等の路面の不整がある。路面凹凸に起因する道路橋の振動については、ほぼ解析法⁽²⁾⁽³⁾は確立したものと考えられるが、伸縮継手部凹凸についてはその評価が十分であるとは言えない。そこで本研究では、伸縮継手部凹凸を非定常確率過程でモデル化しさらに走行車両を1自由度系と2軸車両系にモデル化して、継手部を通過する車両による橋梁振動解析の手法を提案する。さらに継手部凹凸実測データを用いてシミュレーションにより継手部凹凸モデルの妥当性を検討すると共に、段差位置、車両モデル等が橋梁振動に及ぼす影響について考察を行う。

2. 伸縮継手部凹凸のモデル化 伸縮継手部凹凸をその区間で定義される非定常確率過程でモデル化する。このような非定常確率過程を図-1に示すように任意のパワーを有する定常確率過程 $n(t)$ と継手部凹凸の標準偏差の変化を表わす確関数 $g(x)$ との積により、表わされるものと仮定して、次式で表わす。

$$r(t) = g(t) \cdot n(t) \quad (1)$$

(1) 継手部凹凸の分散 図-2の実線は実測データ340本の凹凸の標準偏差の変化を最大値で規準化したものである。これを最小2乗法により次の正弦関数で近似する。Aは振幅、 λ は継手部の区間長である。

$$g(x) = A \cdot \sin(\pi x / \lambda) \quad (2) \quad \text{同じく } g(x) \text{ とし}$$

て高次関数で近似させることもできる。正弦関数の場合 $A = 0.87$ になる。ここでは、最も簡単なモデルである(2)式を採用する。

(2) 定常過程のスペクトル 非定常過程 $r(t)$ は、次式により定常化される。

$$n(t) = r(t) / g(t) \quad (3)$$

継手部凹凸の特徴から高次の振動数成分より低次の振動数成分で構成されるものとして、凹凸を周期 π で表わされるフーリエ級数で表わす。

$$n(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \{ a_k \cos \frac{k\pi}{\lambda} x + b_k \sin \frac{k\pi}{\lambda} x \} \quad (4)$$

図-3の実線はこのように式で表わされる $n(x)$ のパワースペクトル密度である。このパワースペクトル密度を次式で表わす。

$$S_n(\Omega) = 2 \cdot \alpha \cdot S_0 / (\Omega^2 + \alpha^2) \quad (5) \quad \alpha, S_0 \text{ は } S_n(\Omega)$$

のパラメータである。これらのパラメータを最小2乗法の原理に基づいてMarquardt法により決定する。図-3の点線はこうして求めた $\alpha = 0.243, S_0 = 0.190$ を用いた時のパワースペクトル密度である。この場合、定常確率過程 $n(t)$ は次式で与えられる確率微分方程式の解過程で与えられる。

$$n(t) + \beta \cdot n(t) = w(t) \quad (6)$$

ここに、 $w(t)$ は平均値0、パワースペクトル密度 S_w のガウス白色雑音過程である。車両速度をVとすれば、 $\beta = 2\pi V\alpha$ 、

$S_w = (2\pi) \cdot V(2\alpha S_0)$ 、 $\Omega_w^2 = 2\pi S_w$ の関係がある。

3. 橋梁の不規則応答解析 橋梁の力学モデルを1自由度系とし、そのため応答を基準関数 $\varphi(x)$ と基準座標 $g(t)$ で $y(x, t) = \varphi(x) \cdot g(t)$ と表わし、また車両の変位を $z(t)$ と表わす。このとき橋梁-車両-凹凸系の状態変数を、 $Y(t) = \{g(t), \dot{g}(t), z(t), \dot{z}(t), n(t)\}^T$ と表わし、この共分散行列を $R(t)$ で定義すれば共分散方程式は次式とな

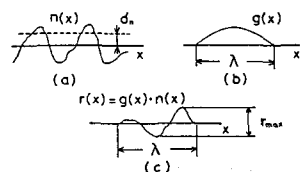


図-1 継手部凹凸の非定常確率過程モデル

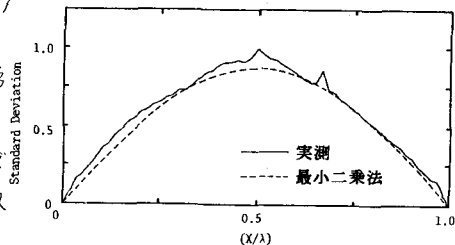


図-2 継手部凹凸の標準偏差

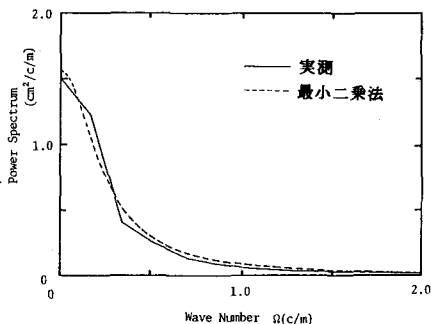


図-3 継手部凹凸のパワースペクトル密度

$$\dot{R}(t) = A(t) \cdot R(t) + R(t) \cdot A^T(t) + Q(t) \quad (7)$$

$$R(t_0) = R_0$$

$$A(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\beta \end{bmatrix}, \quad Q(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q_{22} & 0 & Q_{24} & Q_{25} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q_{42} & 0 & Q_{44} & Q_{45} \\ 0 & Q_{52} & 0 & Q_{54} & 1 \end{bmatrix} \cdot \sigma^2$$

$$a_{21} = -(\omega^2 + \omega_0^2 \cdot R \cdot \varphi(Vt)^2), \quad a_{22} = -(2h\omega + 2h\omega_0 \cdot R \cdot \varphi(Vt)^2)$$

$$a_{23} = \omega_0^2 \cdot R \cdot \varphi(Vt), \quad a_{24} = 2h\omega_0 R \cdot \varphi(Vt), \quad a_{25} = -R \cdot \varphi(Vt) \{ 2h\omega_0 \dot{g}(t) + (\omega_0^2 - 2h\omega_0 \beta) \cdot g(t) \}, \quad a_{41} = \omega^2 \cdot \varphi(Vt), \quad a_{42} = 2h\omega_0 \varphi(Vt),$$

$$a_{43} = -\omega^2, \quad a_{44} = -2h\omega_0, \quad a_{45} = 2h\omega_0 \cdot \dot{g}(t) + (\omega_0^2 - 2h\omega_0 \beta) \cdot g(t), \quad Q_{22} = (2h\omega_0 g(t))^2, \quad Q_{24} = Q_{42} = (2h\omega_0 g(t))^2 \cdot R \cdot \varphi(Vt),$$

$$Q_{25} = Q_{52} = 2h\omega_0 \cdot g(t), \quad Q_{44} = (2h\omega_0 \cdot R \cdot \varphi(Vt) \cdot g(t))^2, \quad Q_{45} = Q_{54} = 2h\omega_0 \cdot R \cdot \varphi(Vt) \cdot g(t),$$

ここに h_0 , ω_0 は車両の減衰定数と固有円振動数, h, ω は橋梁の減衰定数と固有円振動数, $R = \int_0^L \rho \cdot \varphi^2 dx$, ρ は単位長さ当りの質量, L は支間長さである。

ここで継手部凹凸を図-5 a), b) のように考える。case 1 の場合

凹凸モデルと橋梁の応答は分離びランダム初期値問題として処理できる。

車両が継手部を通過した後は $r(t) = 0$ とする。

表-1 走行車両の諸元

総重量 W	20.0 (ton)
固有振動数 f_0	3.0 (Hz)
減衰定数 h_0	0.03
走行速度 V	10.0 (m/sec)

4. シミュレーションの方法 段差モデル

の妥当性と不規則応答解析の検証としてシ

ミュレーションを行う。凹凸の時間微分の

表-2 道路橋の諸元

スパン長 L (m)	総重量 W ($\times 10^4$ kg)	曲げ剛性 EI ($\times 10^{14}$ kg·cm)	固有振動数 f_0 (Hz)
40	10.68	24.41	2.94

項についてはデータ測点間の距離を Δx と

すると $\dot{r}_i = (r_{i+1} - r_i) \cdot V / \Delta x$ とする。

340本のデータについて、車両による橋梁振動を Runge-Kutta-Gill 法で

各々計算し、それらについて標準偏差を計算する。

5. 数値計算と考察

数値解析に用いる車両と橋梁の諸元を表-1, 表-2

に示す。図-6, 図-7 は1自由度系, 2軸車両系モデルに対する橋梁の変

位応答を静的たわみの最大値で正規化した結果を示している。図におい

て点線がシミュレーションを、実線が不規則解析による応答を示している。

(1) シミュレーションとの比較 不規則応答解析より求めた変位応答はシ

ミュレーションとほぼ同程度の応答となっている。このことから継手部

凹凸のモデルとして(2)式は可能であり不規則応答解析により橋梁振動を

十分評価できるものと思われる。

(2) 段差モデル 段差モデルとして図-5の a), b) を考えたが、より実際

の継手部位置に近いと思われる Case 2 の場合の方が Case 1 の場合よ

りも大きな応答となる。この傾向は不規則応答解析の結果にも見られる。

(3) 車両モデル 1自由度系車両モデルの方が2軸車両モデルよりも大き

な応答となっているが、実際的大型車のモデルとしては、2軸車両モデ

ルの方が適当であると思われる。

6. 最後に

シミュレーションの計算にあたって貴重な資料を提供し

て下さった金沢工業大学の本田秀行先生に深く感謝の意を表します。

【参考文献】(1) 土木学会編：構造物の安全性、信頼性、土木学会、1975年

(2) 岡林、土木学会論文報告集、No. 286号、1979年6月 (3) 岡林、土木学

会論文報告集、No. 334号、1983年6月

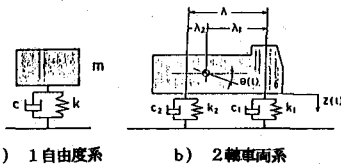


図-4 車両モデル

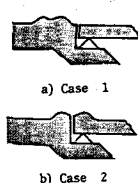
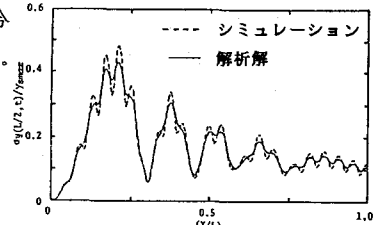
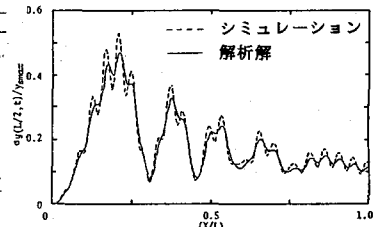


図-5 段差位置モデル

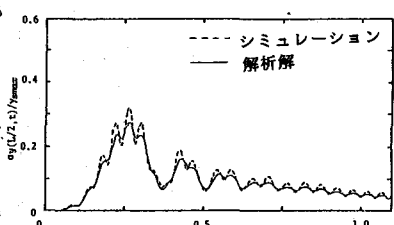


a) Case 1

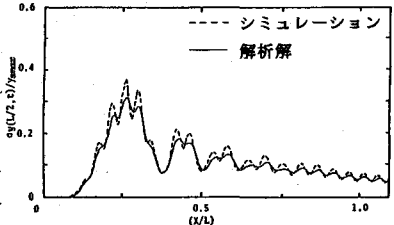


b) Case 2

図-6 1自由度系車両による橋梁の変位応答



a) Case 1



b) Case 2

図-7 2軸車両系による橋梁の変位応答