

道路橋振動に及ぼす車両特性と走行状態に関する考察

長崎大学工学部 ○学生員 六井 啓二

長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏

1. はじめに

都市高速道路周辺では、走行車両による地盤振動が発生しており、この対策が重要な課題になっている。地盤振動の原因は、走行車両により励起された橋梁の振動が、橋脚を通じて地盤に伝播するものと考えられる⁽¹⁾。この地盤振動を評価するためには、橋梁振動が地盤に作用する動的な力と、このような力が作用する地盤振動の2つの問題を解決する必要がある。

本研究は、地盤に作用する動的力を求めるために、橋梁振動により発生する支点反力の解析を行ったものである。橋梁の振動は、路面凹凸を考慮した不規則振動論⁽²⁾⁽³⁾により評価する。数値解析結果に基づいて、阪神道路公団の実橋をモデル化し、路面凹凸、車両の固有振動数、走行速度、車両台数をよび車間距離が支点反力に及ぼす影響を計算した。

2. 橋梁の動的支点反力の分散

図-1に示したように、1自由度系でモデル化された、N台の車両が走行する橋梁の応答を考える。橋梁の基準座標 $q_k(t)$ 振動モードを $\phi_k(x)$ とすると、x点の動的たわみは、

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^N q_k(t) \phi_k(x) \quad (1)$$

で与えられる。このとき、 $x=0$ 点の支点反力の動的成分は、

$$Q(t) = (\pi^3/EIL^3) \sum_{k=1}^N q_k(t) \phi_k(0) \quad (2)$$

となる。本研究で求める値は、次式で与えられる、反力の分散である。

$$E[Q(t)^2] = (\pi^3/EIL^3)^2 E\left[\left(\sum_{k=1}^N q_k(t) \phi_k(0)\right)^2\right] \quad (3)$$

ここに、 E, I および L は橋梁の弾性係数、断面2次モーメントおよび支間長である。図-2のようなパワースペクトル密度を有する i 台目の車両直下の路面凹凸を、 $r_i(t)$ で表す。本研究では、路面凹凸の白色雑音過程を入力とする確率微分方程式の定常解過程でモデル化する⁽²⁾。

$$\dot{r}_i(t) + \beta r_i(t) = n(t-t_i) \quad (4)$$

橋梁とN台の車両および路面凹凸の状態変数は、次式で与えられる。なを、橋梁は1次振動のみとする。

$$x(t) = [q_1(t) \dot{q}_1(t) Z_1(t) \dots Z_N(t)]^T \quad (5)$$

$$Z_i(t) = [z_i(t) \dot{z}_i(t) r_i(t)]^T \quad (6)$$

ここに、 $r_i(t)$ は、 i 台目車両直下の路面凹凸である。

$x(t)$ の共分散は、

$$R_x(t) = E[x(t) x(t)^T] \quad (7)$$

で定義される。この共分散の時間的変化は、次の共分散方程式より求められる⁽³⁾。

$$\dot{R}_x(t) = A x(t) R_x(t)$$

$$+ R_x(t) A x(t)^T + \sum_{i=1}^N Q_{x_i}(t)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N Q_{x_{ij}}(t) \otimes x^T(t, t_{ij})$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \otimes x(t, t_{ij}) Q_{x_{ij}}(t)$$

$$R_x(t_0) = R_{x_0} \quad (8)$$

表-2 橋梁の振動特性

車両台数	1	2	3
総重量 $w(t)$	20.0	15.0	15.0
固有振動数 $f(\text{Hz})$	3.0	3.0	3.0
減数定数 h	0.03	0.03	0.03

表-3 車両の振動特性

スパン長 $L(\text{m})$	26.4
総重量 $W(\text{kg})$	41.716×10^4
曲げ剛性 $EI(\text{kg} \cdot \text{cm}^2)$	49.56×10^{12}
固有振動数 $f(\text{Hz})$	3.95

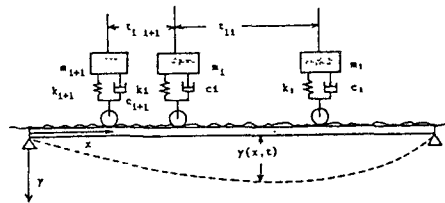


図-1 橋梁-車両系モデル

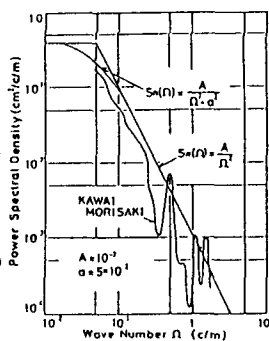


図-2 路面スペクトル

表-1 橋梁の構造諸元

形式	単中跨り重合成橋	車線数	4車線
橋格	一等橋	設計活荷重	TL-20
橋長	27.0m	床版	鉄筋コンクリート
支間長	26.4m	主桁本数	5本
全幅員	17.6m	分配橋桁	1本

3. 数値計算と考察

数値計算を対象とした橋梁の特性を表-1に示した。さらに、橋梁の振動特性と車両の振動特性を表-2と表-3に示した。数値計算結果は、反力の標準偏差を静的荷重で基準化して表示する。なお、車両の走行による影響を無視した定常応答解析(2)も行った。

a) 走行速度による影響

図-3は、単一車両の走行速度を $v=2.5\sim 25$ (m/sec)まで変化させたときの、定常応答と非定常の最大応答である。応答は、 $v^{1/2}$ に比例して単調に増加する。

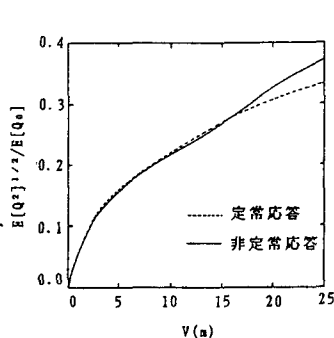


図-3 走行速度の影響

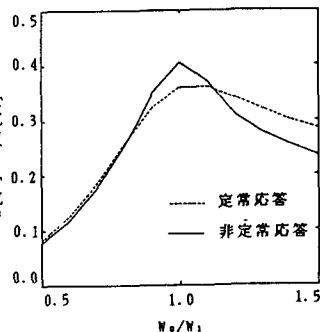


図-4 固有振動数の影響

b) 固有振動数による影響

単一車両の固有振動数比を変化させた応答を、図-4に示した。橋梁と車両の固有振動数が一致する点で応答はピークになる。

c) 車両台数の影響

1台、2台、3台の車両を車間距離を変えて走行させた橋梁の応答を、図-5と図-6に示した。車両の台数に応じて、応答は単純に増大しないことが分る。図より、むしろ車間距離による影響が強い。

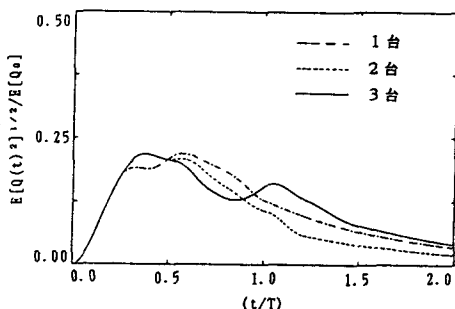


図-5 車両台数の影響 ($\lambda=6$ m)

d) 車間距離による影響

3台の車両を走行させ、車間距離を $\lambda=6$ m, 7m, 8mと変化させて、応答を求めた。結果を図-7に示した。 $\lambda=7$ mでは、 $\lambda=6$ mの約2倍の応答を示している。図-8は、上限が3台の車両を走行させ、その定常応答の静的反力を車間距離をパラメータに示したものである。車間距離によって、車両は、3台、2台、1台と変化する。動的応答は車間距離によって著しく変化することが分る。

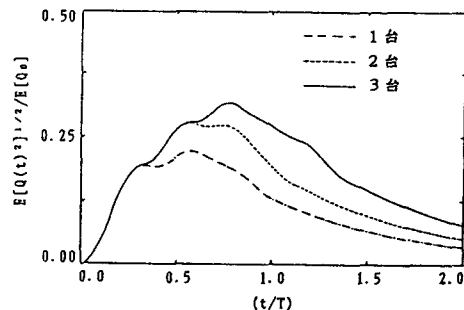


図-6 車両台数の影響 ($\lambda=7$ m)

これらの計算結果より、橋梁の支点反力の動的変動の挙動が明らかになった。さらに、各種の車両のパラメータが応答に及ぼす影響を確認することができた。

[参考文献]
(1) 阪神高速
道路交通振動
対策に関する
研究業務、昭
和62年3月

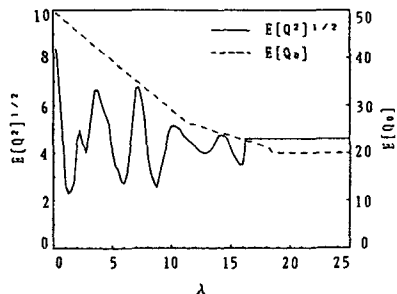


図-8 車間距離による定常応答

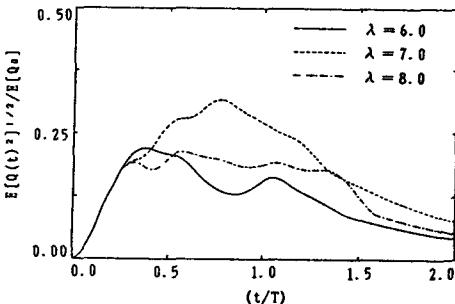


図-7 車間距離の影響 ($N=3$)

(2) 岡林 隆敏

土木学会論文集, No. 286, 1976. (3) 岡林 隆敏, 土木学会論文集, No. 334, 1983.