

漁港浅海開発コンサルタント(株) 正会員 草川 泉
金沢大学大学院 学生員 大嶋 信太郎
金沢大学工学部 正会員 梶川 康男

1 ま え が き

土木構造物は Social-Well Structure でなくてはならない。ところが、社会的健全さは時とともに変化するのを常とする。したがって、社会的健全さを失った既設構造物に対しては何らかの形で、その健全さを取戻すべき努力が必要となる¹⁾。構造制御の基本姿勢は、その健全さの復活にあると思われる。そこで、橋梁の中でも振動が大きいと言われるランガー桁橋を対象に種々の防振対策を考え、その防振効果を比較した。このような動的応答量の制御は静的な補強²⁾とともに今後、衝撃・疲労・振動感覚・支点を通しての地盤振動などの問題を考える際、その重要さをさらに増すものと思われる。

2 モデル橋に対する防振対策法と固有振動解析

防振問題を扱うときには必ず対象とする橋梁が存在している場合が多いが、ここでは図-1に示した支間長60mのランガー桁橋をモデルとした。いろいろな防振補強の方法が考えられるが、図-2に示したような5種類のポスト・テンドン系(各前は仮称)と吸振器³⁾を今回考えることにした。各系に対する固有振動解析では振動モード $\varphi_n(x)$ を $\sum_{n=1}^{\infty} a_{nn} \sin \frac{n\pi x}{L}$ で表わされるものとし、質量は補剛桁部に分布させ、Rayleigh-Ritz の方法で求めた。その結果を図-2を示した。

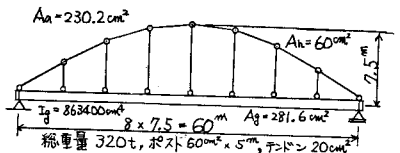


図-1 モデルとしたランガー桁橋

橋梁補強形式	対称振動 (Hz)	非対称振動 (Hz)
ノーマル	2.036 3.123	1.321 5.285
ギン7"	2.184 3.988	1.570 6.523
7/1-ン	2.250 4.729	1.321 5.285
3/2-7	2.093 4.271	2.062 6.894
3/2-カー	2.254 4.743	2.062 6.894
7-1-ン2-7	2.042 5.246	3.694 7.793

図-2 ランガー桁橋の補強形式と各形式の固有振動数と固有振動モード (----はテンドンを示す)

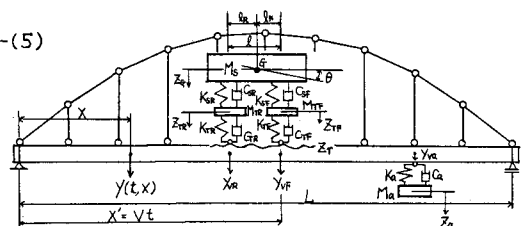


図-3 自動車-橋梁-吸振器系の振動解析モデル

3 自動車-橋梁-吸振器系の運動方程式

自動車のモデル化において、より実際に近いものとして図-3に示したようなピッチングを認める4自由度モデルを考えた。このようなモデルがランダムな路面凹凸上を有するランガー桁橋上を走行したときの動的応答を求めることとした。ある振動モードに対する橋梁の運動方程式は

$$\ddot{z}_n + 2\zeta_n \dot{z}_n + \omega_n^2 z_n = \sum_{A \in S} \{C_A(\ddot{z}_n - \ddot{y}_n) + k_A(z_n - y_n) - M_A g\} \varphi_n(x_A) + \sum_{V \in R} \{C_V(\ddot{z}_n - \ddot{y}_n) + k_V(z_n - y_n) - (M_{SF} + M_{TR})\} \varphi_n(Vt) + \{C_{TR}(\ddot{z}_n - \ddot{y}_n) + k_{TR}(z_n - y_n) - (M_{SR} + M_{TR})\} \varphi_n(Vt - L) \quad (1)$$

となる。また、車両吸振器の運動方程式はそれぞれつぎのようになる。

$$M_s \ddot{z}_s + C_{SF}(\ddot{z}_s - \ddot{z}_n) + k_{SF}(z_s - z_n) + C_{SR}(\ddot{z}_s - \ddot{z}_n) + k_{SR}(z_s - z_n) = 0 \quad (2)$$

$$M_{TR} \ddot{z}_{TR} + C_{TF}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{z}_n) + k_{TF}(z_{TR} - z_n) + C_{TR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{y}_n) + k_{TR}(z_{TR} - y_n) = 0 \quad (3)$$

$$M_{TR} \ddot{z}_{TR} + C_{SR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{z}_n) + k_{SR}(z_{TR} - z_n) + C_{TR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{y}_n) + k_{TR}(z_{TR} - y_n) = 0 \quad (4)$$

$$I \ddot{\theta} + k_{TF} \{C_{SF}(\ddot{z}_s - \ddot{z}_n) + k_{SF}(z_s - z_n) - k_{SR}(\ddot{z}_s - \ddot{z}_n) + k_{SR}(z_s - z_n)\} = 0 \quad (5)$$

$$M_a \ddot{z}_a + C_a(\ddot{z}_a - \ddot{y}_n) + k_a(z_a - y_n) = 0 \quad (6)$$

ここで、 $M_{SF} = (M_s k_s^2 + I)/L^2$ 、 $M_{SR} = (M_s k_r^2 + I)/L^2$ であり、バネ上質量 M_s を振分けた質量である。また、橋梁の変位は $y(t, x) = \sum \dot{z}_n(t) \varphi_n(x)$ で表わされ、車両載荷位置(x_i)での変位は、 $y(t, x_i) + z_r(x_i)$ である。なお、振動速度は $\sum \dot{z}_n(t) \varphi_n(x)$ 、曲げモーメントは $-EI \sum \ddot{z}_n(t) \varphi_n''(x)$ 、せん断力は $-EI \sum \ddot{z}_n(t) \varphi_n'(x)$ となる。

4. 動的応答の数値計算と制振効果

式(1)~(6)で示した運動方程式を、

Newmarkの β 法で逐次計算した。時間刻みは0.01秒とし、各時間での橋梁変位の収束精度は $1/1000$ とした。路面凹凸については文献7に示した84橋の調査結果に基づき平均スペクトルを用いて、10サンプルをモンテカルロ・シミュレーションした。その波形をさらに高速フーリエ変換法によってスペクトル解析した結果を図4に示した。また、伸縮継手部の段差として -1.85cm (文献8による248橋の実測平均値)を考えた。このようなサンプル路面上を秒速 10m/s で走行する自動車については、基本として4自由度モデルの20トン車を考え、同じ車種で積荷が4トン軽い16トン車を車頭間隔 4m で後続させた。なお、吸振器については 10m と 50m 地点に3トン(振動数は対称2次と同じ)、 30m 地点に6トン(振動数は対称1次と同じ)を取付けた。以上の条件において応答計算を行い、動的なたわみ振動速度・曲げモーメント・せん断力・水平軸力を求め、各防振対策法の制振効果を比較した結果(動的成分の最大値とRMS値の10サンプルについての平均値と標準偏差値)を図5に示した。現在、図-1に示したランゲル橋についての数値計算であるので一般的傾向を見ることはできないが、図-5においてつぎのことが言えよう。(1)路面や車両振動が不規則なために小さな吸振器での防振を期待することはあまりできない。(2)今回のモデル橋では逆対称の1次振動数が低く、外力と共振するようなことがなかったために変位や振動速度を大幅に減少できるような補強系はない。(3)補剛桁の曲げモーメントについては大幅な防振が期待できるため、静的な補強を含めて考慮に値する。(4)アーチ部桁と補剛桁に働く軸力については、わずかではあるが防振効果がある。(5)せん断力についてはクランとトラストが大幅に小さくなっているが、これは荷重の間隔と影響線によって応答が変化したものと思われる。このように、防振効果は対象とする変形量や断面力によって変化し、防振問題を扱う際の難しさを示している。他のモデル橋については発表時に行い、より一般性のある結果を出す予定である。

<参考文献>

- 1) M. Abdel-Rohman & H.H. Leipholz: Active Control of Flexible Structures, Proc. of ASCE, Vol. 104, No. ST8, pp. 1251-1266, 1978.
- 2) R.T. Jones & A.J. Pretlove: Vibration Absorbers and Bridges, Journal of the Highway Engineering, pp. 2-9, 1979.
- 3) P. Swannell: The Solution of Forced Vibration Problems by the Finite Integral Method, Univ. of Queensland, Research report No. CE.16, 1980.
- 4) 川谷小松: 路面不整を含む単純桁橋の走行荷重による非定常振動に関する研究, 土木学会第35回年次講演会, E-163, 1980.
- 5) 吉澤: 高張力鋼線によるトラス構造物の静的応答の制御に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集第227号, pp. 1-10, 1974.

6) 藤原正: 補強特殊橋梁と基礎, 道路105, pp. 16-24, 1974.

7) 本田武夫: 札幌市道路橋の路面凹凸パワースペクトル密度に関する調査, 土木学会論文報告集第315号, 1981.

8) 本田武夫: 札幌市道路橋の伸縮継手部の凹凸特性に関する研究, 土木学会論文報告集第315号, 1981.

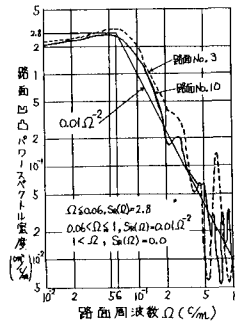


図4 路面凹凸パワースペクトル密度

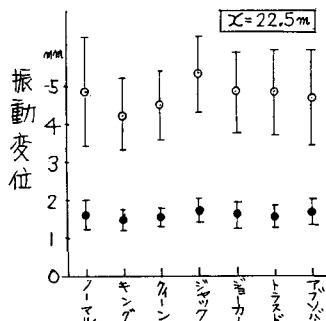


図-5 各形式の動的応答量の比較

