

北見工業大学 正員 大島 俊之

同 同 三上 修一

北見工学部 同 能町 敏雄

1. まえがき

本研究では、走行荷重により橋梁が共振される低周波空気振動を対象として、理論的解析により、発振音圧レベルを予測しようとするものである。著者はこれまでにこの問題に関する実橋走行試験を行ない、その解析結果を発表しているが^{1), 2)} これによると帯極要素法を用いた理論計算の音圧レベルにより、実験結果の音圧レベルをある程度評価できる結果となっている。

ニニは、帯極要素法による計算により、断面内の音圧分布を明らかにするとともに、平均的に一本のはりとして評価する方法により計算した結果についても示す。

2. 帯極要素法による発振音圧の評価³⁾

橋梁の構造要素(床版、主桁など)を帯極要素を用いて評価し、動的応答解析を行ない、発振音圧レベルを計算する手法について述べる。

ニニは図1のような文献¹⁾ の実験に用いた断面について計算した例について示す。図に示すように、単純合成桁(4主桁)構造を、帯極要素に分割し、主桁断面は等断面とみなす。走行荷重は節点に集中して作用する単一集中荷重と考える。Modal Analysis法により、構造各部の振動速度を求め、構造要素端面の法線方向振動速度成分が発振される空気振動の粒子速度に等しいと見なして、音響学の理論にしたがって、発振音圧レベルを評価する手法による。

このようにして得られた音圧レベルは、パワースペクトル解析により、各周波数成分 ω とアスペクトル密度分布として評価される。また、構造の1次固有振動数に一致する周波数において、最大値があらわれる。ニニの時の断面内分布について検討する。

図1には走行荷重の重量と速度が $10t$, 60 km/h の場合と、 $22t$, 42 km/h の場合の音圧分布を示している。ニニの場合床版厚は節点1~5の区間 21 cm , 5~7の区間 45 cm (歩道), 主桁高 1.3 m , 支間 24.1 m である。

ニニによると荷重 $10t$ の場合は $80 \sim 95 \text{ dB}$, $22t$ の場合は $85 \sim 100 \text{ dB}$ の範囲で断面内に分布しており、分布幅は 15 dB となっている。他の構造例(鋼トラス、箱桁)についても同様に調べた結果は、ほぼ同様の 15 dB 以内の分布幅となっている。

3. 初等はり理論による発振音圧の評価

以上のようにして得られた音圧レベルの断面内分布を参考として、ニニの平均値として一本のはりにより簡略化して、発振音圧レベルを評価する手法について考察する。

周知のように、単一走行荷重による単純はりの調和振動解析による結果は、たわみ速度 $\dot{w}(t)$ によって示され、

$$\dot{w}(t) = \frac{2Pl^2}{E\pi^3 m} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{V}{m(m^2 - \alpha^2)} \left(\cos \frac{m\pi V t}{l} - \cos \lambda_m t \right) \sin \frac{m\pi x}{l} \quad (1)$$

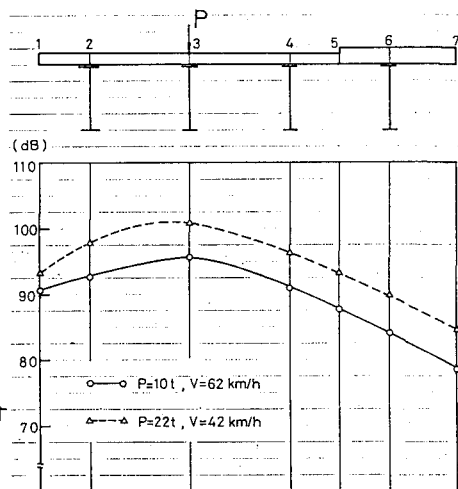


図1. 理論計算による音圧分布

ただし $\lambda_m^2 = (\frac{m\pi}{l})^2 C_0^2 = (\frac{EI}{\rho A})(\frac{m\pi}{l})^4$, $\alpha^2 = \frac{l^2 V^2}{\pi^2} \frac{\rho A}{EI}$, l = 支間長, EI = 曲げ剛性, ρA = 単位長さ当り重量, V = 走行速度。

= 4点バーストクトル解析により、はり全体の平均バーストクトル密度関数により表わすと、

$$\bar{S}_x(\omega) = \frac{1}{T} \sum_m (F_m^1[\dot{W}(T)]^2 + F_m^2[\dot{W}(T)]^2) \quad (2)$$

ただし $F_m^1[\dot{W}(T)]$, $F_m^2[\dot{W}(T)]$ は $\lambda_m = \omega$ の場合のみ表せば次のようになる。(T = l/V)

$$F_m^1[\dot{W}(T)] = \frac{2Pl^3}{EI\pi^4} \frac{\alpha}{m(m^2 - \alpha^2)} \left[\frac{(-1)^m \sin \lambda_m T}{m^2 - \alpha^2} - \frac{T\lambda_1}{2} - \frac{\sin 2\lambda_m T}{4m^2} \right] \quad (3)$$

$$F_m^2[\dot{W}(T)] = \frac{2Pl^3}{EI\pi^4} \frac{\alpha}{m(m^2 - \alpha^2)} \left[-\frac{(-1)^m \cos \lambda_m T}{m^2 - \alpha^2} + \frac{\cos 2\lambda_m T}{4m^2} + \frac{1}{m^2 - \alpha^2} - \frac{1}{4m^2} \right] \quad (4)$$

以上より、平均音響エネルギー $I(\omega)$ は ρ_a , C_a をそれぞれ空気の密度、音速とすると、

$$I(\omega) = \rho_a C_a \bar{S}_x(\omega) \quad (5)$$

= 2点、支間中央に集中荷重 P が静的に載荷した時の荷重変位の大きさを σ_0 ($= \frac{Pl^3}{48EI} = \frac{2Pl^3}{\pi^4 EI}$) とすると、式(5)は近似的に次のように表わすことができる。

$$I(\omega) \approx \rho_a C_a \left(\frac{\sigma_0}{T} \right)^2 \cdot g(\lambda_1, T, \omega) \quad (6)$$

ただし関数 $g(\lambda_1, T, \omega)$ は式(3), (4)より与えられるが、いくつかの構造例について計算した結果を図2に示している。横軸は (σ_0/T) をとっている。

= 4点による変位量は σ_0/T の増加とともに増加するが、計算に用いた構造と走行速度の範囲では2~3の範囲に分布する。

発振音圧レベル $IL(dB) = 10 \log_{10}(I/I_0)$ は

$$IL(dB) = 10 [\log \rho_a C_a + 2 \log (\sigma_0/T) + 12 + \log g] \quad (7)$$

となり、各構造に対する計算結果は図3のようになる。 (σ_0/T) の影響が卓越し、ほぼ一本の曲線であらわされる。ただし I_0 = 音基準エネルギー値。

また図3の中で、矢印①の範囲と示したのは鋼トラスに適用される範囲②は鋁板桁、箱桁等に適用される。

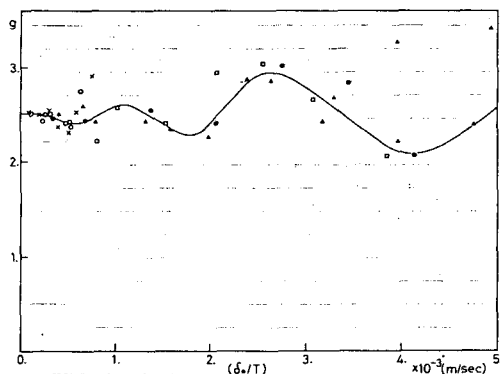
4. おとこき

以上より、初等ばり理論の静たわみ σ_0 と走行荷重の通過時間 T により、空気振動の発振音圧レベルの平均値として計算できることを示した。

今後はさらに実証的研究を行ないたい。

参考文献

- 1) 三上、大島、森、角田、能町：土木学会北海道支部論文報告集、第37号、1981、2。
- 2) Nomachi, Ohshima, Kakuta, Kishi; the 1980 International Conference on Noise Control Engineering, Miami, USA, 1980.12.
- 3) 能町、角田、森：環境情報科学、6-4、1977。



x, Δ, □ ; 鋼トラス (桁厚 30 cm, 20 cm)
Δ, ● ; 合成桁 (支間 26 ~ 27 m)
□ ; 箱桁 (1-Box, 鋼箱桁)

図2. 関数 g の分布

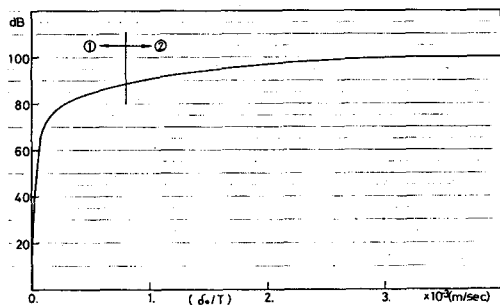


図3. 平均音圧レベルの予測評価図