

武蔵工業大学 正員 西脇 威夫
日本道路公団試験所 シ ○ 細田 和夫
福田組 調査試験所 ッ 土屋 徹

1. 概説 アーチ系橋の総合的形式である補剛アーチ橋のうち、特に上路型式の側径間のある補剛アーチの固有振動性状を調べた。固有振動性状を検討するための、補剛アーチの弾性的な形状のパラメーターとしては、アーチの細長比 (L/r)、ライズ比 (f/L)、補剛桁とアーチとの剛性比 (I_0/I_A)、側径間長とアーチ径間長の比 (L_0/L) を採った。

2. 理論

固有振動数：自由振動中のエネルギーの保存を約束し、アーチと補剛桁は次のような調和振動をしているものとする。

$$y_0 = Y_0 \sin pt, \quad y_A = Y_A \sin pt$$
 但し、 $Y = [Y_0, Y_A]^T$

$Y \neq 0$ である解を得られる条件として

$$-p^2 \begin{bmatrix} [M_0] \\ [M_A] \end{bmatrix} Y + \begin{bmatrix} [Y_0]^T + [\alpha]^T [K_0] [\alpha], & -[\alpha]^T [K_0] \\ -[K_0] [\alpha], & [Y_A]^T [K_0] \end{bmatrix} Y = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$[M_0], [M_A]$: 補剛桁、アーチの質量マトリックス
 $[Y_0], [Y_A]$: 補剛桁、アーチの振幅マトリックス
 $[K_0], [\alpha]$: 支柱の剛性、係数マトリックス

固有モード：正規化された Mode Vector を ϕ とすれば $\phi = C_i A_i$ --- (2) 但し、 C_i は下式を満足するように定める。

$$\phi^T [M] \phi_i = m \quad \text{--- (3)}$$
 m は質量の次元を有するもの。

(2) と (3) より $C_i = \sqrt{m / A_i^T [M] A_i}$ --- (4) したがって (4) を (2) に代入する事によって Mode ϕ が求まる。

動的応答：走行荷重による動的応答は下式によって表わす事ができる。

$$y = \frac{1}{\omega} [E] ([\cos] [E]^T [M] \dot{y}_{t-T_1} + [\sin] [P]^T [E]^T [M] \dot{y}_{t-T_1} + P [E] - [\cos] [P]^T [E]^T E_{t-T_1} + P \cdot \frac{1}{\omega} [(t-T_1) [E] - [\sin] [P]^T [E]^T [E] - E_{t-T_1})] \quad \text{--- (5)}$$

衝撃係数：橋の設計にあたって定義されている衝撃係数は静的な荷重が作用したときに比べて動的な荷重が $(1+i)$ 倍のピーク応力を与えるという考え方に立つものである。動荷重による振幅部分は橋の固有振動と走行車の与える強制振動などが関係して振幅の絶対値は時間的にも、載荷荷重の種類にも構造物の形状にも影響される。ここに衝撃係数を次のように定義し理論値と実験値を比較検討した。

$$i = (y_{dmax} / y_{smax}) - 1 \quad \text{--- (6)}$$

但し、 y_{dmax} ：最大たわみ、 y_{smax} ：静的最大たわみ

3. 数値計算および実験

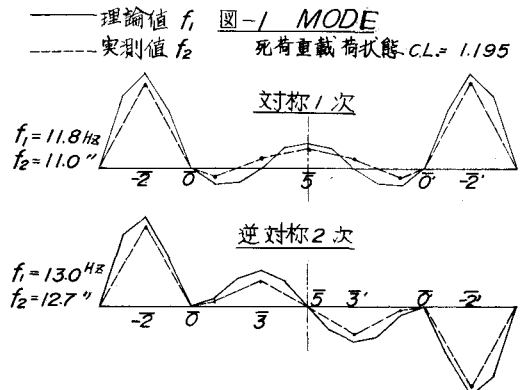
固有振動数の数値計算には、べき乗法 (Power method) を用い、Deflation には Hotelling 法を用いた。

3-1 固有振動数と固有モードの計算値と実験値との比較 (表-1, 図-1)

表-1 および図-1 から数値計算による固有振動数、固有モードは実験値と良く一致している事がわかる。

表-1 固有振動数 (死荷重載荷状態 $CL=1.195$)

項目	理論値	実験値	比率	対数減衰率
逆対称1次	8.2 Hz	7.7 Hz	— %	0.013
対称1次	11.0	11.0	94.0	0.017
逆対称2次	13.0	12.7	97.0	0.009
対称2次	18.4	19.0	103.3	0.033
逆対称3次	32.4	31.7	97.8	0.088
対称3次	40.4	40.0	99.0	—



3-2 固有振動特性について

図-2 および図-3 に得られた結果の一部を示す。

図-2 の縦軸は $C_n = \omega_n \sqrt{P(A_g + A_d) L_A^2 / E(I_g + I_d)}$, 横軸はアーチの換算細長比であり $L_A / \sqrt{(I_g + I_d) / (A_g + A_d)}$, L_A とし L_A はアーチ軸線長を採った。解析結果の統合して得られた結果を述べると以下のようになる。

(A) 細長比と固有振動数: 同次数の場合, 細長比が大きくなると対称振動の方が固有振動数が大きく, 逆に細長比が小さくなると逆対称振動の固有振動数が大きくなる。(図-2)

(B) I_g/I_d とライズ比の振動モードの影響: 一般的に逆対称振動の方が対称振動に比べ影響は小さい。これは逆対称振動とは曲げ振動が主であることに起因するものと思われる。(図-2)

(C) 側径間比と固有振動数: I_g/I_d の大小にかかわらず, L_s/L が小さい程, 固有振動数は大きくなる。 I_g/I_d が小さい場合および高次振動ほどこの傾向は顕著である。(図-3)

(D) ライズ比と固有振動数: 逆対称振動の場合はライズ比が減少すると, 固有振動数は増大する。 I_g/I_d が大きい場合はライズ比の影響は小さい。

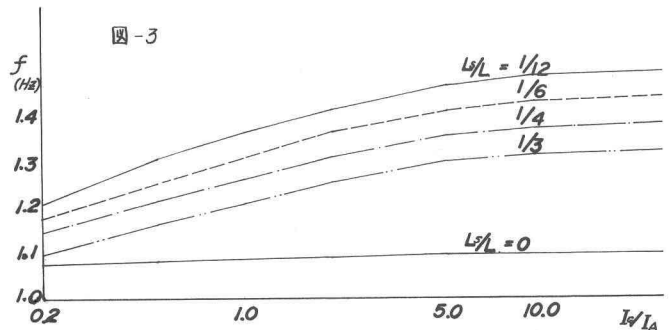
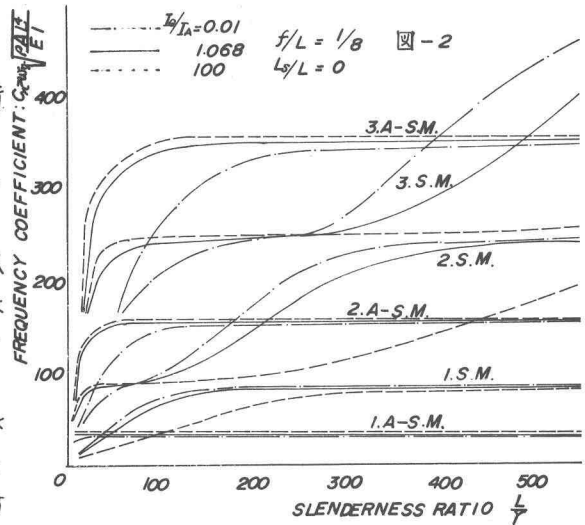


図-3

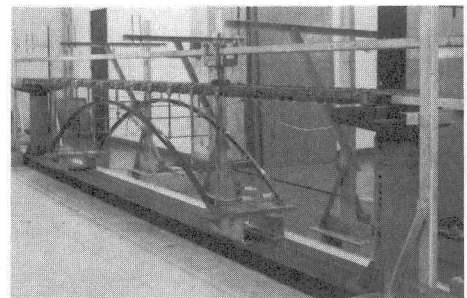
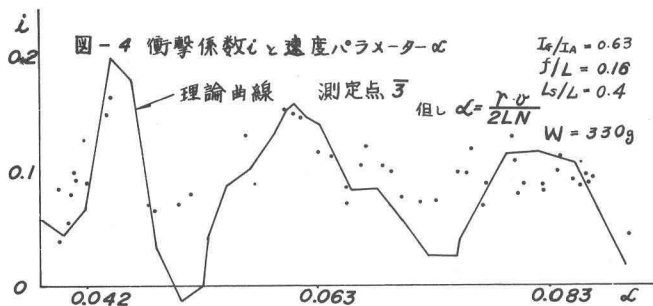


図-4 衝撃係数と速度パラメータ



3-3 動的応答と衝撃係数, 動的増加率

単一走行荷重を一定速度で走行させく時, 動的応答を計算し, 実測値と比較した結果, 固有数特性は良く一致しているが静的最大にわきに差があった。図-4 は測定点における実測値と理論値の比較を示す。

動的増加率は衝撃係数, (a) および (b) 式より計算に關係しているの, それらを小さくするためには, 固有振動数を大きくすることが必要であることが分かるが, 数値計算した結果次のような事が言える。

(A) I_g/I_d が大きいと動的増加率は小さくなる。

(B) ライズ比が小さいと動的増加率は小さくなるが, その影響は少ない。

(C) 側径間を連続にすることは動的増加率を低くするのに有効であるが, 側径間比をなるべく小さくするのが良い。

(D) 一般的には速度が大きくなると動的増加率が大きくなる。

但し 動的増加率 $= (y_d / y_{smax}) - 1$ とする。