

土木研究所資料

第548号

高い橋脚をもつ橋梁の地震荷重

—橋軸直角方向に対する
応答を考慮した修正震度—

昭和44年12月

建設省土木研究所

栗 林 栄 一
岩 崎 敏 男
小 山 田 欣 裕
飯 田 裕

まえがき

大規模な架橋事業や高速道路の事業ではもとより、一般の道路事業においても橋梁の大規模化が進み、橋脚の高さは、東名高速道路の酒匂川橋梁にみられるように 80 m を越えるものも現われた。

本報告書は、丈の高い橋脚をもつ橋梁の設計震度、いわば動的応答を考慮した修正震度の求め方を提案している。

昭和 44 年 12 月

振動研究室

栗 林 栄 一

岩 崎 敏 男

小山田 欣 裕

飯 田 裕

目 次

1. 想定する実橋	1
2. 上部構造の単純化	1
2.1 両端支点を鉸固定とした場合	1
2.2 両端支点を完全固定とした場合	3
3. 一本の橋脚に着目した場合における固有周期	5
4. 動的応答を考慮した修正震度	7
4.1 設計震度の理念	7
4.2 基本応答震度	7
4.3 補正係数	9
4.4 設計震度の大きさと分布	9
5. 結 論	10
付録Ⅰ 振動系の理想化	13
付録Ⅱ 等価減衰定数	18
付録Ⅲ 振動実験の結果一覧	19

1. 想定する実橋

図1に示すような二本の不等な長さの橋脚と両端支点で支えられている三径間連続桁橋を想定する。

橋軸に直角方向の運動に対する両端支点の作用は、

- 1) 鉸固定
- 2) 完全固定

のいずれかに選ぶことにする。

従来の実験結果によると、付録Ⅲに示すように

- 1) 横吹橋：ほぼ鉸固定
- 2) 鶴川橋：鉸固定と完全固定の中間で、なおかつ並進に対しても弾性固定
- 3) 底沢橋：ほぼ完全固定

となっている。

図1に示す振動モード図、集中荷重による変形図などは、両端支点が鉸固定である場合を画いたものである。
両端支点が完全固定の場合は図2に示してある。

2. 上部構造の単純化

2.1 両端支点を鉸固定とした場合

全エネルギーは、

$$\frac{1}{2} \rho_G \int_0^L \dot{u}_G^2 dx + \frac{1}{2} EI_G \int_0^L (u_G'')^2 dx = A + B = E \quad (1)$$

上部構造の自由振動は、

$$\left. \begin{aligned} u_G &= a \cos \nu_G t \\ \dot{u}_G &= -\nu_G a \sin \nu_G t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

しかるに

$$A_{\max} = B_{\max} = E \quad (3)$$

であるから、(2)式を(3)式に代入して整理すると、

$$\nu_G^2 = \lambda^4 \frac{EI_G}{\rho_G} = \frac{k}{M} \quad (4)$$

ここで、 k と M はそれぞれ単純化した上部構造のバネ係数と質量である。また λ はつぎのように定義され、

$$\lambda^4 = \int_0^L (a'')^2 dx / \int_0^L a^2 dx \quad (5)$$

ここで、 a は x の関数として表わされる振動モードである。 a を近似的に単純梁の振動モードで表わすと、

$$\left. \begin{aligned} a &= a_0 \sin \frac{\pi}{L} x \\ a'' &= -\frac{\pi^2}{L^2} a_0 \sin \frac{\pi}{L} x \end{aligned} \right\} (6)$$

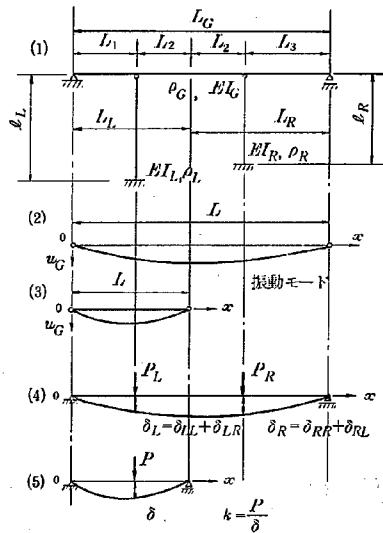
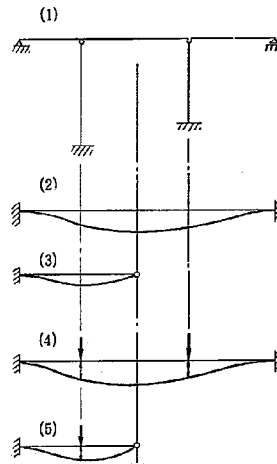


図-1 両端単純支持



記号寸法などは図-1に同じ

図-2 両端完全固定

したがって

$$\lambda^4 = \frac{\pi^4}{L^4} \quad \therefore \lambda = \frac{\pi}{L} \quad (7)$$

(1) 逆対称モード(二次振動)を想定する場合

さて図1の(3)と(5)の場合について k と M を求める。

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{3EI_G L_L}{L_1^2 L_2^2}, \quad L_L = L_1 + L_2 \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{\pi}{L_L} \quad (9)$$

$$\therefore M = \frac{k}{\nu_G^2} = \frac{\rho_G}{\lambda^4 EI_G} \cdot \frac{3EI_G L_L}{L_1^2 L_2^2} = \frac{3}{\pi^4} \cdot \frac{L_L^3}{L_1^2 L_2^2} \cdot \rho_G L_L \quad (10)$$

若し, $L_1 = L_2$ なら,

$$k = 48 EI_G / L_L^2, \quad M = \frac{48}{\pi^4} \rho_G L_L \approx \frac{48}{100} \rho_G L_L$$

(2) 対称モード(基本振動)を想定する場合

つきに図1の(2)と(4)の場合について k と M を求める。まず, 左側の橋脚に荷目した場合には, (8), (9), (10)式に

において、 L_L を L_G 、 L_2 を $2L_2 + L_3$ または $L_G - L_1$ とすれば、見掛け上、一つの解が得られる。

$$k_L = \frac{P_L}{\delta_{LL}} = \frac{3EI_G L_G}{L_1^2 (L_G - L_1)^2} \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{\pi}{L_G} \quad (12)$$

$$M_L = \frac{k_L}{\nu_G^2} = \frac{3}{\pi^4} \cdot \frac{L_G^4}{L_1^2 (L_G - L_1)^2} \cdot \rho_G L_G \quad (13)$$

しかしながら、(11)式(13)式の k_L と M_L について、左右の橋脚間の距離が桁全長に比べて小さい場合には質量 M_L を過大に評価することになり、極端な場合として二本の橋脚が一点で重り合ったような場合には、橋全体として桁の相当質量を二倍に見積ることになり、ひいては桁のパネの剛さも二倍に見積ることになり、不合理が生ずる。

よりよい近似度を得るために、両方の橋脚が関与する支間長の全径間長に対する割合を u 、(13)式に乗じて k_L 、 M_L を定めることによって上述の不合理が是正される。

すなわち、

$$k_L = \frac{P_L}{\delta_{LL}} \cdot \frac{L_L}{L_G} = \frac{3EI_G L_L}{L_1^2 (L_G - L_1)^2} \quad (14)$$

$$M_L = \frac{k_L}{\nu_G^2} = \frac{3}{\pi^4} \cdot \frac{L_G^4}{L_1^2 (L_G - L_1)^2} \cdot \rho_G L_L \quad (15)$$

また更に、 P_L 、 P_R の二者によるタワミを用いてパネ係数と質量とを求めていくことも考えられる。

$$k_L = \frac{P_L}{\delta_L} = \frac{3EI_G L_G}{L_1^2 (L_G - L_1)^2} \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{L_3}{L_G - L_1} + \frac{L_3}{2L_1} - \frac{L_3^3}{2L_1 (L_G - L_1)^2} \right) \frac{P_R}{P_L} \right\} \quad (16)$$

$$M_L = \frac{k_L}{\nu_G^2} = \frac{3}{\pi^4} \cdot \frac{L_G^4}{L_1^2 (L_G - L_1)^2} \cdot \rho_G \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{L_3}{L_G - L_1} + \frac{L_3}{2L_1} - \frac{L_3^3}{2L_1 (L_G - L_1)^2} \right) \frac{P_R}{P_L} \right\} \quad (17)$$

ここでは P_R/P_L を与えることが必要になるが、適当な考え方がないので、むしろ(14)、(15)式を用いるのがよい。

2.2 両端支点を完全固定とした場合

(1) 逆対称モード

$$u_G = a \cos \nu_G t \quad (18)$$

a が一端固定他端鉸支持の梁の振動モードに近似しているとすれば、

$$a = A (\cosh \lambda x - \cos \lambda x) - B (\sinh \lambda x - \sin \lambda x) \quad (19)$$

ここで

$$\lambda = 3.927 / L_L \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= (\sinh \lambda L_L - \sin \lambda L_L) a_0 = 26.07425 a_0 \\ B &= (\cosh \lambda L_L - \cos \lambda L_L) a_0 = 26.09396 a_0 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

また、

$$a'' = \lambda^2 \{ A (\cosh \lambda x + \cos \lambda x) - B (\sinh \lambda x + \sin \lambda x) \} \quad (22)$$

(18)、(22)式から λ を検算すると、

$$\int_0^{L_L} (a'')^2 dx = \frac{\lambda^5}{2670.9}$$

$$\int_0^{L_L} a^2 dx = \frac{2670.9}{\lambda}$$
(23)

$$\therefore \lambda^4 = \int_0^{L_L} (a'')^2 dx \int_0^{L_L} a^2 dx = \lambda^4 = \left(\frac{3.927}{L_L} \right)^4$$
(24)

さて図2の(3)と(5)の場合について k と M を求める。

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{3\theta I_G}{L_L^3} \left\{ \frac{L_1^3}{L_L^3} - \frac{3}{2} \frac{L_1^4}{L_L^4} + \frac{1}{2} \frac{L_1^5}{L_L^5} - \frac{3}{4} \frac{L_1^4 L_2}{L_L^4} + \frac{1}{4} \frac{L_1^5 L_2}{L_L^5} \right\}$$
(25)

$$\lambda = \frac{3.927}{L_L}$$
(26)

$$M = \frac{k}{\nu_G^2} = \frac{\rho_G}{\lambda^4 E I_G} = \frac{3}{(3.927)^4} \rho_G L_L \left\{ \frac{L_1^3}{L_L^3} - \frac{3}{2} \frac{L_1^4}{L_L^4} + \frac{1}{2} \frac{L_1^5}{L_L^5} - \frac{3}{4} \frac{L_1^4 L_2}{L_L^4} + \frac{1}{4} \frac{L_1^5 L_2}{L_L^5} \right\}$$
(27)

(2) 対称モード

この場合、上部構造の振動モードは両端固定梁の振動モードに近似しているとする。その振幅 a は θ と全く同じであるが、係数 A , B と λ はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} A &= (\sinh \lambda L_G - \sin \lambda L_G) a_0 = 57.64299 a_0 \\ B &= (\cosh \lambda L_G - \cos \lambda L_G) a_0 = 56.62458 a_0 \end{aligned} \right\}$$
(28)

$$\lambda = \frac{4.730}{L_G}$$
(29)

無論

$$\lambda^4 = \int_0^{L_G} (a'')^2 dx \int_0^{L_G} a^2 dx$$
(30)

を満足している。

さて、図2の(2)と(4)の場合について k と M を求める。まず、個々の荷重による載荷点のタワミによるバネ係数と質量は

$$k = \frac{P_L}{\delta_{LL}} = \frac{3\theta I_G}{L_G^3} \left\{ -\frac{1}{2} \frac{L_1^3 (L_G - L_1)}{L_G^4} + \frac{3}{2} \frac{L_1^3 (L_G - L_1)^2}{L_G^5} - \frac{1}{2} \frac{L_1^4 (L_G - L_1)^2}{L_G^6} + \frac{1}{2} \frac{L_1^5 (L_G - L_1)}{L_G^5} \right\}$$
(31)

$$M = \frac{k}{\nu_G^2} = \frac{\rho_G}{\lambda^4 E I_G} k$$

$$= \frac{3}{(4.730)^4} \rho_G I_G \left\{ -\frac{1}{2} \frac{L_1^3 (L_G - L_1)}{L_G^4} + \frac{3}{2} \frac{L_1^3 (L_G - L_1)^2}{L_G^5} - \frac{1}{2} \frac{L_1^4 (L_G - L_1)^2}{L_G^6} + \frac{1}{2} \frac{L_1^5 (L_G - L_1)}{L_G^5} \right\}$$
(32)

ここでも、また二本の橋脚が一点で重なったような場合には不合理が生ずるから、関与する径間長の全径間長に対する割合を乗じて k , M を定める。すなわち、

$$k = \frac{P_L}{\delta_{LL}} \cdot \frac{L_L}{L_G}$$

$$= \frac{3\theta I_G L_L}{L_G^3} \left\{ -\frac{1}{2} \frac{L_1^3 (L_G - L_1)}{L_G^4} + \frac{3}{2} \frac{L_1^3 (L_G - L_1)^2}{L_G^5} - \frac{1}{2} \frac{L_1^4 (L_G - L_1)^2}{L_G^6} + \frac{1}{2} \frac{L_1^5 (L_G - L_1)}{L_G^5} \right\}$$
(33)

$$M = \frac{k}{\nu_G^2} = \frac{3}{(4.730)^2} \rho_G L_L$$

$$\left/ \left\{ \frac{1}{2} \frac{L_1^3 (I_G - I_1)}{I_G^4} + \frac{3}{2} \frac{L_1^3 (I_G - I_1)^2}{I_G^5} - \frac{1}{2} \frac{L_1^4 (I_G - I_1)^2}{I_G^6} + \frac{1}{2} \frac{L_1^5 (I_G - I_1)}{I_G^6} \right\} \right. \quad (34)$$

3. 一本の橋脚に着目した場合における固有周期

一本の橋脚とそれに関係する上部構造をまとめて、図3の(a)に示す系に置きかえる。

この系の固有振動は付録のIに示すとおりである。[※]これを簡略化して

取り扱うために、図3の(b)に示すように、橋脚に生ずる曲げモーメントは、頂部で零、基部まで直線的に変化するものとする。これは、従来の地震応答計算結果からも妥当な仮定であると云える。

このような前提を設けて、この系のエネルギーを求めると、

$$\frac{1}{2} \rho_C \int_0^{\ell_L} \{ \dot{w}_C(y) \}^2 dy + \frac{1}{2} M \{ \dot{w}_C(y) \}^2_{y=0}$$

$$+ \frac{1}{2} EI_C \int_0^{\ell_L} \{ w_C''(y) \}^2 dy + \frac{1}{2} k \{ w_C(y) \}^2_{y=0} = C + D + E \quad (35)$$

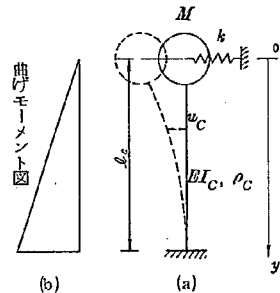


図-3

ここで、

$$\left. \begin{aligned} w_C(y) &= b(y) \cos \nu t \\ \dot{w}_C(y) &= -\nu b(y) \sin \nu t \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

$$C_{\max} = D_{\max} = E \quad (37)$$

$$\therefore \nu^2 \left[\rho_C \int_0^{\ell_C} b^2(y) dy + M \{ b(y) \}^2_{y=0} \right] = EI_C \int_0^{\ell_C} \{ b'(y) \}^2 dy + k \{ b(y) \}^2_{y=0} \quad (38)$$

$$\therefore \nu^2 = \lambda^4 \frac{EI_C}{\rho_C} \quad (39)$$

ここで、

$$\lambda^4 = \left\{ \int_0^{\ell_C} \{ b''(y) \}^2 dy + \frac{\chi}{\ell_C^3} \{ b(y) \}^2_{y=0} \right\} \left/ \left\{ \int_0^{\ell_C} b^2(y) dy + \mu \ell_C \{ b(y) \}^2_{y=0} \right\} \right. \quad (40)$$

ここで

$$\chi = k \ell_C^3 / EI_C \quad (41)$$

$$\mu = M / \rho_C \ell_C \quad (42)$$

しかるに、仮定により

$$b''(y) = \frac{d^2 b(y)}{dy^2} = b_0 \cdot y \quad (43)$$

※付録Iにおける ρd は本文中の ρ に等しく、いずれも単位長さ当りの質量を意味している。

であるから

$$\left. \begin{aligned} b'(y) &= \frac{1}{2} b_0 (y^2 - \ell_C^2) \\ b(y) &= \frac{1}{6} b_0 y^3 - \frac{1}{2} b_0 \ell_C^2 y + \frac{1}{3} b_0 \ell_C^3 \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

よって

$$\int_0^{\ell_L} \{b''(y)\}^2 dy + \{b(y)\}_{y=0}^2 = \frac{1}{3} b_0^2 \ell_C^3 + \frac{\chi}{9} b_0^2 \ell_C^3 = \frac{1}{3} b_0^2 \ell_C^3 \left(1 + \frac{\chi}{3}\right) \quad (45)$$

$$\begin{aligned} \int_0^{\ell_L} b^2(y) dy + \mu \ell_C \{b(y)\}_{y=0}^2 &= \frac{b_0^2 \ell_C^7}{252} - \frac{b_0^2 \ell_C^7}{12} + \frac{b_0^2 \ell_C^7}{9} + \frac{\mu}{9} b_0^2 \ell_C^7 \\ &= \frac{8}{252} b_0^2 \ell_C^7 + \frac{28}{252} \mu b_0^2 \ell_C^7 = \frac{2}{63} b_0^2 \ell_C^7 + \frac{7}{63} \mu b_0^2 \ell_C^7 = \frac{1}{63} b_0^2 \ell_C^7 (2 + 7\mu) \end{aligned} \quad (46)$$

$$\therefore \lambda^4 = \frac{1}{3} b_0^2 \ell_C^3 \left(1 + \frac{\chi}{3}\right) / \frac{1}{63} b_0^2 \ell_C^7 (2 + 7\mu) = 7 \frac{3 + \chi}{2 + 7\mu} \cdot \frac{1}{\ell_C^4} \quad (47)$$

$$\therefore \lambda^2 = \frac{1}{\ell_C^2} \sqrt{7 \times \frac{3 + \chi}{2 + 7\mu}}, \quad \lambda = \frac{1}{\ell_C} \sqrt{7 \times \frac{3 + \chi}{2 + 7\mu}} \quad (48)$$

$$\therefore \nu = \lambda^2 \sqrt{\frac{EI_C}{\rho_C}} \quad (49)$$

したがって固有周期 T は

$$T = \frac{2\pi}{\nu} = \frac{2\pi}{\lambda^2} \sqrt{\frac{\rho_C}{EI_C}} = 2\pi \ell_C^2 \sqrt{\frac{2 + 7\mu}{7(3 + \chi)}} \sqrt{\frac{\rho_C}{EI_C}} \quad (50)$$

ここで

$$\chi = k \ell_C^3 / EI_C, \quad \mu = M / \rho_C \ell_C$$

若し $\chi = 0$, $\mu = 0$ なら片持梁になる, そのときの λ は,

$$\lambda = \frac{1}{\ell_C} \sqrt{\frac{21}{2}} = 1.80 \frac{1}{\ell_C} \quad (51)$$

となる。厳密な解による $\lambda \ell_C$ は1.875であるから, きわめてよい近似を示している。

さらに, 若し, $\chi \rightarrow \infty$, $\mu \rightarrow \infty$, 云いかえれば $\rho_C \rightarrow 0$, $EI_C \rightarrow 0$ であるとすれば,

$$\begin{aligned} T &= \lim_{\substack{\rho_C \rightarrow 0 \\ EI_C \rightarrow 0}} \left\{ 2\pi \ell_C^2 \sqrt{\frac{2 + 7\mu}{7(3 + \chi)}} \cdot \frac{\rho_C}{EI_C} \right\} = \lim_{\substack{\rho_C \rightarrow 0 \\ EI_C \rightarrow 0}} \left\{ 2\pi \ell_C^2 \sqrt{\frac{2\rho_C + 7M/\ell_C}{21EI_C + 7k\ell_C^3}} \right\} \\ &= 2\pi \ell_C^2 \sqrt{\frac{M}{k} \frac{1}{\ell_C^4}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} \end{aligned} \quad (52)$$

となり, 一質点系の固有周期が得られる。

また, ρ_C , EI_C が零でない値をもち, χ または μ が無限大になったときには, 一端固定他端絞支持梁になる。この場合における厳密な解による $\lambda \ell_C$ は3.927になる。したがって式(50)の適用限界は

$$\lambda \ell_C < 3.927 \quad (53)$$

を越えることができない。さらに43式に示すような曲げモーメントの変化が一定であるとする仮定が近似的に満足される限界は、 $\lambda l_c = 3.927$ より更に小さい値となる。

実際の問題においては、 λl_c は片持梁の場合の1.875より小さい値になるので、問題はない。

4. 動的応答を考慮した修正震度

4.1 設計震度の理念

動的応答を考慮した修正震度を設計震度と云うことにする。設計震度は、図3(a)の力学系の固有振動に支配されて、つぎのように表わされる。

$$K_D = k_0 (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot K_R)$$

54

ここで

K_D 設計震度

K_R 基本応答震度（卓越モードの固有周期に対応する地震応答加速度を重力の加速度で除した値）

k_1 応答が卓越するモードを除く他のモードの影響を補正するための補正係数

k_2 等分布震度に換算するための補正係数

k_3 地震動成分の方向と応答成分の方向が直交する場合の補正係数

k_4 並行ベクトルから回転ベクトルへの変換のための補正係数

k_0 経験に基づく補正係数

これらの詳論については文献1)を参考にするとよい。

4.2 基本応答震度

基本応答震度を求めるために準拠すべき地震応答加速度スペクトル曲線は、図-4に示す土木研究所が提案した地震応答加速度スペクトル曲線(1964)によることにし、地震動の加速度が0.2gでない場合には、その大きさに比例して加減する。

これに関する詳論については文献2)を参考にするとよい。

(1) 減衰定数

図4において、減衰定数($\lambda = \eta/p$)の大きさによってスペクトル値が著しく異なっている。実測による減衰定数は図5に示すように高い橋脚をもつ橋梁では約0.02が期待できると云える。

しかしながら、付録Ⅱにおいて詳しく述べるように、地震時におけるように大きな振幅が生ずる場合には、部材の内部粘性に起因する減衰の外に特定の断面あるいは部材結合部のヒステリシスによるエネルギーの逸散により大きな減衰効果をもたらすと考えてよい。

このような状態を完全弾塑性系で考えてみると、塑性率 μ を1.5とした場合における1サイクル中の逸散するエネルギー(W_h)とポテンシャルエネルギー(W_c)の比はつぎのようになる。

$$\frac{W_h}{W_c} = 0.5$$

55

よって見掛けの対数減衰率 δ は

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{W_n}{W_c} = 0.25 \quad (56)$$

よって見掛けの減衰定数は

$$h = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{0.25}{2\pi} = 0.04 \quad (57)$$

すなわち完全弾塑性において、降伏後の変位の増分を降伏時の変位の $\frac{1}{2}$ であるとするれば、上記のような見掛けの減衰定数が得られる。これと固有の減衰 0.02 を合算すると等価減衰定数は 0.06 となる。

固有周期が 0.5 秒と云う相対的に短周期の場合に對する減衰定数を 0.1 程度に採って、高い橋脚をもつ橋梁の地震応答を考慮しても十分の安全性が確保されると考えられる。

しかしながら、固有周期が長くなるに従ってこのように大きな減衰効果を期待するのは現在の資料では無理である。新潟地震における昭和大桥（固有周期約 2 秒）の震害からも、2 秒以上の長い固有周期をもつ構造物に構造に起因する減衰を考慮することは、無理であると考えられる。

このような考察から、固有周期 1.5 秒を境にして減衰定数をつぎのように与えることにする。

$$\left. \begin{aligned} h &= h_0 / T = 0.03 / T, \\ 0.15 \leq T \leq 1.5 \text{ 秒} \\ h &= 0.02 \quad T \geq 1.5 \text{ 秒} \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

すなわち

T	0.15	0.3	0.6	1.5 以上(秒)
h	0.2	0.1	0.05	0.02

(2) 基本応答減衰

上述の減衰定数を用いて、図 4 から応答加速度と固有周期の関係を求め、図 6 に示すような基本応答減衰を得た。

すなわち、地震動の加速度が 0.2 g の場合に、次のようになる。

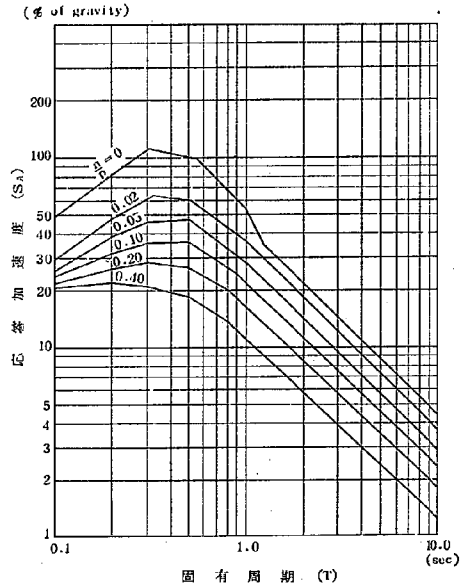


図-4 土木研究所の地震応答スペクトル曲線（1964年）
（地震動の加速度：0.2 g）

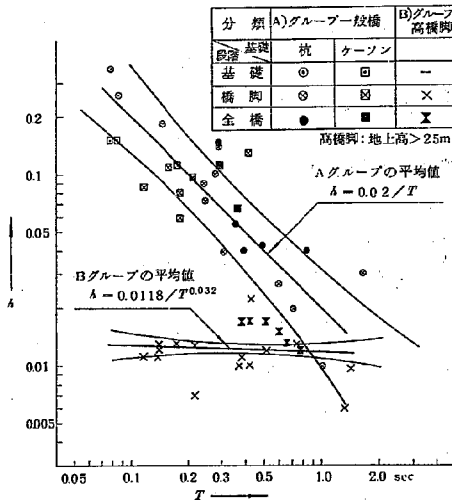


図-5 実測による減衰定数

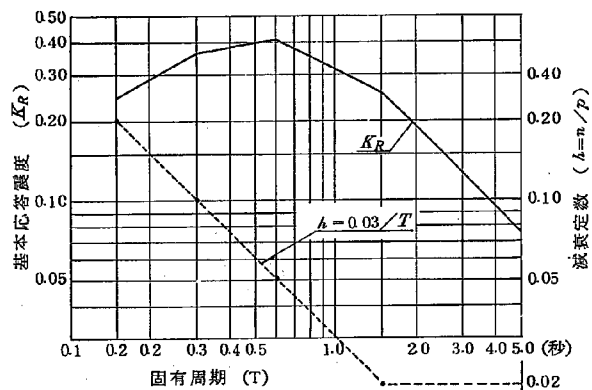


図-6 基本応答震度ならびに減衰定数
(地震動の加速度: 0.2g)

固有周期 T (秒)	0.15	0.3	0.6	1.5	1.5 以上
減衰定数 $h = \frac{n}{p}$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.02
基本応答震度 K_R	0.244	0.360	0.408	0.252	固有周期に逆比例

4.3 補正係数

詳論は文献1)にゆずり、結果を示す。ただし、力学系は片持梁と一端固定他端鉸支持梁の中間のものとして、数値は両者の平均直を用い、着目する断面力は曲げモーメントとする。

$$k_1 = \frac{0.613 + 0.738}{2} \times 1.2 = 0.676 \times 1.2 = 0.81 \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{0.891 + 0.892}{2} = 0.892 \quad (6)$$

ただし設計震度は一様に分布させる。

$$k_3 = k_4 = k_0 = 1 \quad (6)$$

4.4 設計震度の大きさと分布

設計震度を一様に分布させるとすれば、設計震度の大きさは、つぎのようになる。

$$\begin{aligned} K_D &= k_0 (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot K_R) \\ &= 1 \times 0.81 \times 0.892 \times 1 \times 1 \times K_R \\ &= 0.722 K_R \end{aligned} \quad (6)$$

地震動の加速度が $0.2g$ に対応する設計震度と固有周期の関係を図7に示し、図8に他の基準などを比較のために例示した。

なお設計震度の分布についてより一層の考慮を払う場合には付録Iを参考にするとよい。

図7の主要な固有周期に対応する設計震度の大きさはつぎのようになる。

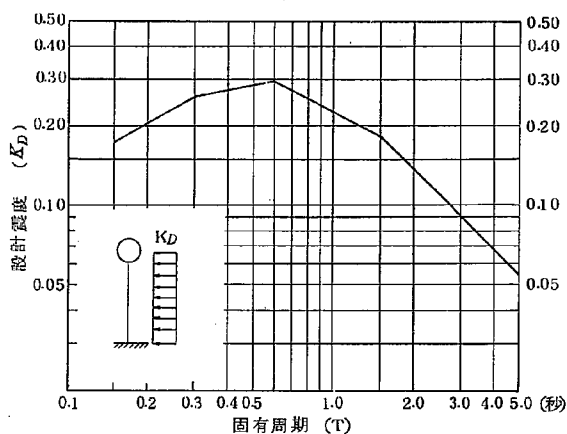


図-7 動的応答を考慮した修正震度(設計震度)(地震動の加速度: $0.2g$)

固有周期, T (秒)	0.15	0.3	0.6	1.5	1.5以上
設計震度, K_D	0.176	0.26	0.295	0.182	固有周期に逆比例

実 例

	固有周期(実測)	設計震度	固有周期(詳しい解析)	固有周期(本方法)
横 吹 橋	1.15 秒	0.21	1.16 秒	
鶴 川 橋	0.76	0.26		
底 沢 橋	0.65	0.285		

5. 結 論

両端支点の橋軸に直角方向の支持条件は単純に決定し難い場合が多い。したがって、

- i) (8)・(10)式, (14)・(15)式, (20)・(21)式, (33)・(34)式から上部構造を単純化した4組の置換されたバネ係数(k)と質量(M)を求める。
- ii) (14)・(15)式でバネ係数と質量に関する定数 λ , μ を求める。
- iii) (15)式で λ を求め、それが(33)式の適用限界を超えていないことを確認する。
- iv) (15)式によって4つの固有周期を求める。
- v) 図-7から4つの設計震度を求め、最大の値を採用する。

実橋に対して実施された地震応答の詳しい解析結果からみて、上述の公式はほとんどあらゆる場合に適用しうる。

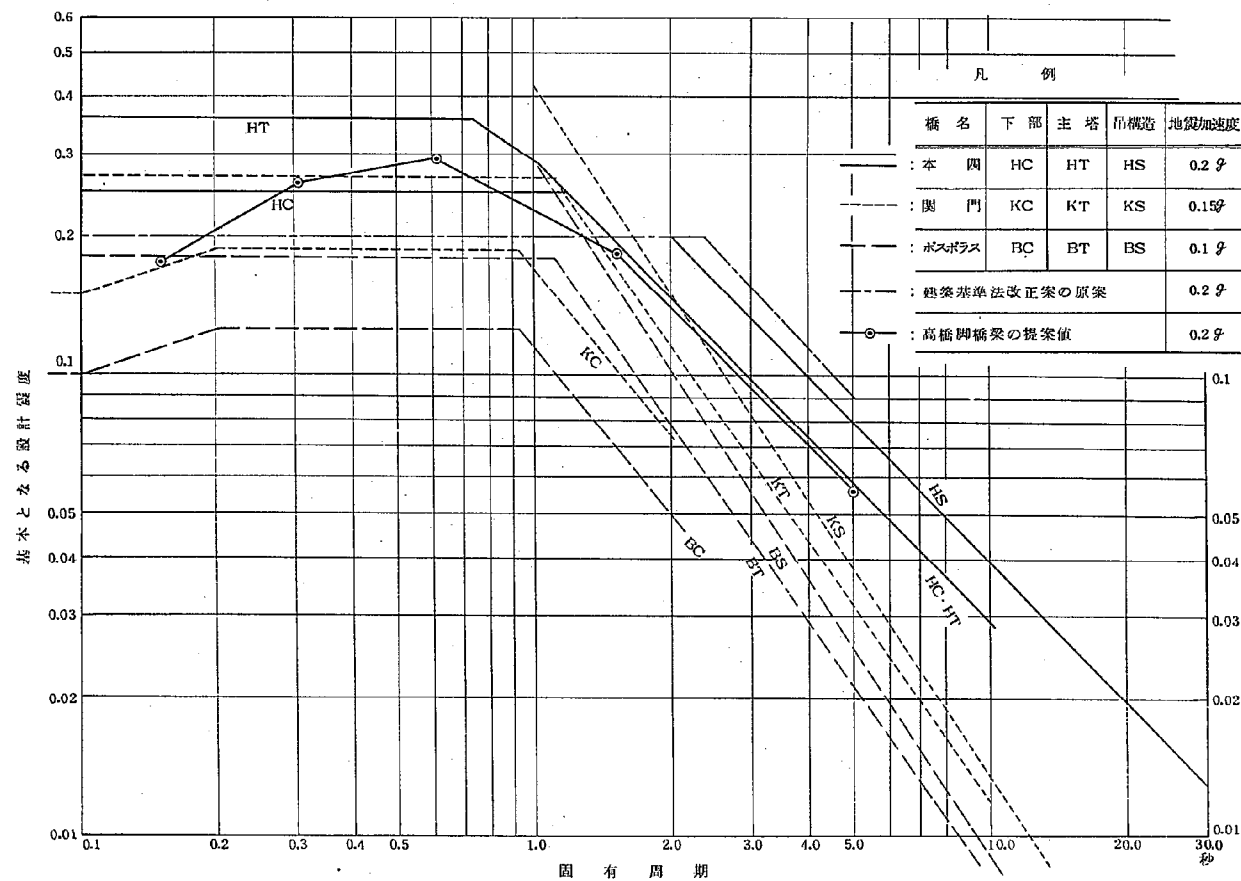


図-8 本州四国連絡橋，関門橋，ボスボラス橋，建築物の基本となる設計震度と高橋脚橋梁の設計震度

径間の数が3つ以上でも、実橋では橋脚の高い部分にだけ着目すれば、二本の橋脚を対象とした力学系で近似すれば十分な場合が多いと云える。

橋軸方向の設計震度は機会を改めて提案するが、今、橋台が地盤に、桁が橋台に固定されているとすれば、橋脚は上端鉸支持下端完全固定に近い条件を備えているから、63式の $\lambda_{\theta} = 3.927$ の場合に相当する。以下、上述のⅣ)とⅤ)の手順によって便宜的に設計震度を求めることができる。しかしながら、この場合、設計震度を低く目に見積ることになる。詳しくは文献Ⅰ)の吊橋の主塔の設計震度を参考にするとよい。

あ と が き

本報告において提案した設計震度の信頼度を指し測る要とも云うべき点は、構造に起因する大振幅時の等価減衰定数であると云える。本文でも若干述べたが、多くは付録Ⅱに示す根拠によるものである。

これに関する御注意や御意見を伺い得たら筆者等にとって望外の喜びであると云える。

以 上

参 考 文 献

Ⅰ) 栗 林 栄 一 橋梁の耐震設計に関する研究(Ⅱ)―動的応答を考慮した修正震度の長大吊橋の耐震設計への適用―,建設省土木研究所報告136号,昭和44年7月

Ⅱ) 高 田 孝 信 ・ 大 久 保 忠 良 ・ 栗 林 栄 一
橋梁の耐震設計に関する研究(Ⅰ)―地震応答スペクトル・1964―,建設省土木研究所報告128号,昭和40年10月

付録 I 振動系の理想化

I-1 固定値・固有ベクトルの計算

断面一定な梁の曲げ自由振動の基礎微分方程式は、軸に沿う座標を x 、 x におけるたわみを y 、断面積を A 、密度を ρ 、曲げ剛性を EI とすれば、次式で表わされる。

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

ここで、 $y = \phi(x) \cos(pt + b)$ とおけば

$$\frac{d^4 \phi}{dx^4} - \lambda^4 \phi = 0 \quad (I-1)$$

を得る。ただし

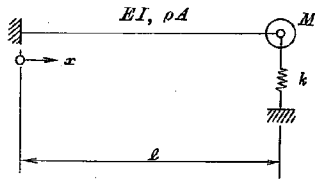
$$\lambda^4 = \frac{\rho A p^2}{EI}$$

この式の一般解は次の形にかけらる。

$$\phi(x) = C_1 \cosh \lambda x + C_2 \sinh \lambda x + C_3 \cos \lambda x + C_4 \sin \lambda x \quad (I-2)$$

定数 C_1, C_2, C_3, C_4 を境界条件より決定すれば固有ベクトル $\phi(x)$ が求められる。

図 I-1 に示す系の境界条件は



$$\left. \begin{aligned} x=0; \quad \phi=0, \quad \frac{d\phi}{dx}=0 \\ x=l; \quad -EI \frac{d^3 \phi}{dx^3} + k\phi - Mp^2 \phi = 0 \\ \frac{d^2 \phi}{dx^2} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (I-3)$$

図 I-1

式 (I-2) を式 (I-3) に代入すると、

$$C_1 + C_3 = 0$$

$$C_2 + C_4 = 0$$

$$C_1 \{ \lambda^3 EI \sinh \lambda l + (Mp^2 - k) \cosh \lambda l \} + C_2 \{ \lambda^3 EI \cosh \lambda l + (Mp^2 - k) \sinh \lambda l \}$$

$$+ C_3 \{ \lambda^3 EI \sin \lambda l + (Mp^2 - k) \cos \lambda l \} - C_4 \{ \lambda^3 EI \cos \lambda l - (Mp^2 - k) \sin \lambda l \} = 0$$

$$C_1 \cosh \lambda l + C_2 \sinh \lambda l - C_3 \cos \lambda l - C_4 \sin \lambda l = 0$$

上の2式を下の2式に代入すると、

$$C_1 \{ \lambda^3 EI (\sinh \lambda l - \sin \lambda l) + (Mp^2 - k) (\cosh \lambda l - \cos \lambda l) \}$$

$$+ C_2 \{ \lambda^3 EI (\cosh \lambda l + \cos \lambda l) + (Mp^2 - k) (\sinh \lambda l + \sin \lambda l) \} = 0$$

$$C_1 (\cosh \lambda l + \cos \lambda l) + C_2 (\sinh \lambda l + \sin \lambda l) = 0$$

これより C_1, C_2 を消去すれば次の振動数方程式が得られる。

$$1 + \cosh \lambda \theta \cos \lambda \theta - \left\{ \mu \lambda \theta - \frac{\chi}{(\lambda \theta)^3} \right\} (\cosh \lambda \theta \sin \lambda \theta - \sinh \lambda \theta \cos \lambda \theta) = 0 \quad (1-4)$$

$$\text{ただし } \chi = \frac{k \theta^3}{EI}, \quad \mu = \frac{M}{\rho A \theta}$$

である。固有値 λ_k に関する固有ベクトル $\phi_k(x)$ は

$$\phi_k(x) = C \{ (\sinh \lambda_k \theta + \sin \lambda_k \theta) (\cosh \lambda_k x - \cos \lambda_k x) \\ - (\cosh \lambda_k \theta + \cos \lambda_k \theta) (\sinh \lambda_k x - \sin \lambda_k x) \}$$

で与えられる。特別な場合として、 $\mu = 0, \chi = 0$ のとき、式 (1-4) は、 $1 + \cosh \lambda \theta \cos \lambda \theta = 0$ となって一端固定、他端自由の場合に一致し、 $\mu = \infty$ または $\chi = \infty$ のとき、 $\cosh \lambda \theta \sin \lambda \theta - \sinh \lambda \theta \cos \lambda \theta = 0$ となり一端固定、他端ヒンジの場合に一致する。また $\lambda \rightarrow 0$ のとき

$$\begin{aligned} \cosh \lambda \theta \sin \lambda \theta &= \left\{ 1 + \frac{(\lambda \theta)^2}{2} + \dots \right\} \left\{ \lambda \theta - \frac{(\lambda \theta)^3}{6} + \dots \right\} \approx \lambda \theta + \frac{(\lambda \theta)^3}{3} \\ \sinh \lambda \theta \cos \lambda \theta &= \left\{ \lambda \theta + \frac{(\lambda \theta)^3}{6} + \dots \right\} \left\{ 1 - \frac{(\lambda \theta)^2}{2} + \dots \right\} \approx \lambda \theta - \frac{(\lambda \theta)^3}{3} \\ \cosh \lambda \theta &= 1, \quad \cos \lambda \theta = 1 \end{aligned}$$

となり、これらの式を式 (1-4) に代入すれば次式を得る。

$$3 - (\lambda \theta)^4 \mu + \chi = 0$$

$$p^2 = \frac{3EI}{\theta^3} + k \quad (1-5)$$

これに対する固有ベクトル $\phi(x)$ は

$$\begin{aligned} \sinh \lambda \theta + \sin \lambda \theta &= \left\{ \lambda \theta + \frac{(\lambda \theta)^3}{6} + \dots \right\} + \left\{ \lambda \theta - \frac{(\lambda \theta)^3}{6} + \dots \right\} \approx 2 \lambda \theta \\ \cosh \lambda x - \cos \lambda x &= \left\{ 1 + \frac{(\lambda x)^2}{2} + \frac{(\lambda x)^4}{24} + \dots \right\} - \left\{ 1 - \frac{(\lambda x)^2}{2} + \frac{(\lambda x)^4}{24} - \dots \right\} \approx \lambda^2 x^2 \\ \sinh \lambda x - \sin \lambda x &= \left\{ \lambda x + \frac{(\lambda x)^3}{6} + \dots \right\} - \left\{ \lambda x - \frac{(\lambda x)^3}{6} + \dots \right\} \approx \frac{\lambda^3 x^3}{3} \end{aligned}$$

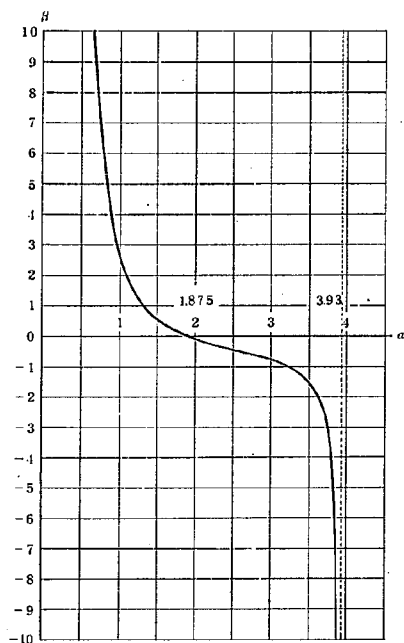
なる関係を用いて

$$\phi(x) = C \left\{ 3 \left(\frac{x}{\theta} \right)^2 - \left(\frac{x}{\theta} \right)^3 \right\} \quad (1-6)$$

となる。式 (1-5)、式 (1-6) で与えられる $p, \phi(x)$ は質量のない片持梁とバネに支えられた質量 M の一自由度系の円振動数と梁の振動モードに一致している。

式 (1-4) を図式に解くには

$$f(\alpha) = \frac{1 + \cosh \alpha \cos \alpha}{\cosh \alpha \sin \alpha - \sinh \alpha \cos \alpha}, \quad (\alpha = \lambda \theta)$$



$$\beta = f(\alpha) = \frac{1 + \cosh \alpha \cos \alpha}{\cosh \alpha \sinh \alpha - \sinh \alpha \cos \alpha}$$

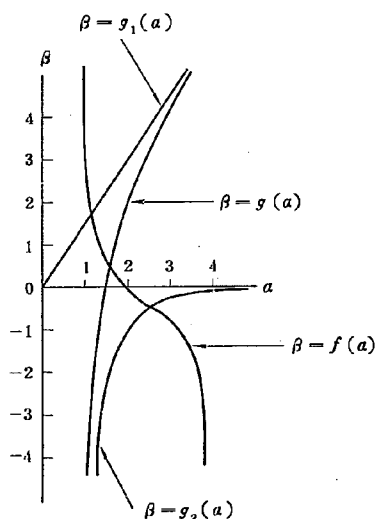


図 1 - 3

$$g(\alpha) = \mu \alpha - \frac{\chi}{\alpha^3} \quad (\alpha = 1.0)$$

として、 $\alpha - \beta$ 平面において曲線 $\beta = f(\alpha)$ 、 $\beta = g(\alpha)$ の交点として $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$ を求めればよい。図 1-2 に $f(\alpha)$ のグラフを示す。 $f(\alpha) = 0$ なる点は片持梁、 $f(\alpha) = \pm \infty$ なる点は一端固定・他端ヒンジの梁の振動数を与えている。

$$g_1(\alpha) = \mu \alpha$$

$$g_2(\alpha) = -\frac{\chi}{\alpha^3}$$

とおく。曲線 $\beta = f(\alpha)$ と $\beta = g_1(\alpha)$ との交点は先端に集中質量をもつ片持梁の振動数を与え、図 1-3 に示すように集中質量の影響で片持梁の振動数より低くなる。パラメーター μ の値は $\beta = g_1(\alpha)$ の傾きを示し、 μ が大きくなる程、振動数が低くなることがわかる。曲線 $\beta = f(\alpha)$ と $\beta = g_2(\alpha)$ との交点は一端固定・他端バネ支持の梁の振動数を与え、パラメーター χ の値が大きくなる程、片持梁の振動数から一端固定・他端ヒンジの梁の振動数に近づくことがわかる。

考えている系の振動数は先端に集中質量をもつ片持梁の

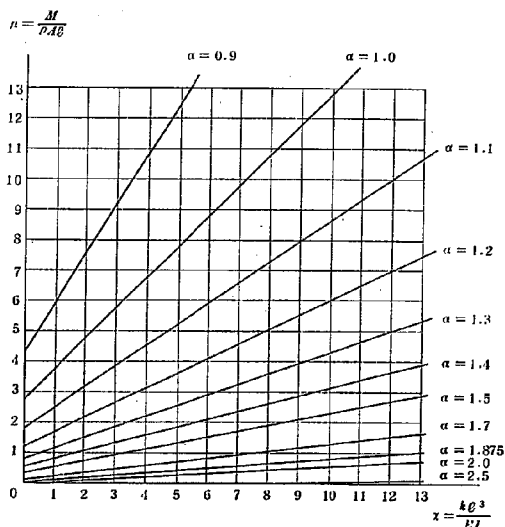


図 1 - 4

の振動数と一端固定・他端バネ支持の梁の振動数の間にある。この系の振動数はパラメーター μ, χ を与えることにより求められるが、 μ, χ の関係によって片持梁の振動数より高くなる場合、低くなる場合、あるいは一致する場合がある。図 1-4 は同一の α_1 を与える μ, χ の関係を示したものである。 $\mu < 0.08091\chi$ のとき、この系の振動数は片持梁の振動数より高くなる。

I-2 k_2 の計算

モード寄与率 D_k は次式で与えられる。

$$D_k = \frac{\int \phi_k dm}{\int \phi_k^2(x) dm}$$

ここで ϕ_k : k 次の固有ベクトル

$\int dm$: 質量に沿う積分を表わす

考えている系の場合、モード寄与率 D_k は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} D_k &= \frac{\rho A \int_0^l \phi_k(x) dx + M \phi_k(l)}{\rho A \int_0^l \phi_k^2(x) dx + M \phi_k^2(l)} \\ &= \frac{\int_0^l \phi_k(x) dx + \mu \phi_k(l)}{\int_0^l \phi_k^2(x) dx + \mu \phi_k^2(l)} \end{aligned}$$

まず $\int_0^l \phi_k^2 dx$ を求める。 ϕ_i, ϕ_j を、 i 次、 j の固有ベクトルとすると式 (I-1) より

$$(\lambda_i^4 - \lambda_j^4) \int_0^l \phi_i \phi_j dx = \left[-\frac{d^3 \phi_i}{dx^3} \phi_j - \frac{d^3 \phi_j}{dx^3} \phi_i + \frac{d \phi_i}{dx} \frac{d^2 \phi_j}{dx^2} - \frac{d^2 \phi_i}{dx^2} \frac{d \phi_j}{dx} \right]_0^l \quad (I-7)$$

いま λ_i が λ_j にきわめて近いものと考え、また簡単のためしばらく λ_i を λ , ϕ_j を ϕ とかくことにする。

$$\lambda_i = \lambda + d\lambda$$

$$\lambda_i^4 = \lambda^4 + 4\lambda^3 d\lambda$$

$$\phi_i = \phi + \frac{d\phi}{d\lambda} d\lambda$$

これを式 (I-7) に代入し、高次の微小量を無視すれば

$$\begin{aligned} 4\lambda^3 \int_0^l \phi^2 dx &= \left[\phi \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{d^3 \phi}{dx^3} \right) - \frac{d\phi}{d\lambda} \frac{d^3 \phi}{dx^3} + \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{d\phi}{dx} \right) \frac{d^2 \phi}{dx^2} - \frac{d\phi}{dx} \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{d^2 \phi}{dx^2} \right) \right]_0^l \\ &= \left[3\lambda^2 \phi \frac{d^3 \phi}{d(\lambda x)^3} + \lambda^3 x \phi^2 - 2\lambda^3 x \frac{d\phi}{d(\lambda x)} \frac{d^3 \phi}{d(\lambda x)^3} - \lambda^2 \frac{d\phi}{d(\lambda x)} \frac{d^2 \phi}{d(\lambda x)^2} + \lambda^3 x \left\{ \frac{d^2 \phi}{d(\lambda x)^2} \right\}^2 \right]_0^l \\ &= \left[\frac{3}{\lambda} \phi \frac{d^3 \phi}{dx^3} + \lambda^3 x \phi^2 - \frac{2}{\lambda} x \frac{d\phi}{dx} \frac{d^3 \phi}{dx^3} - \frac{1}{\lambda} \frac{d\phi}{dx} \frac{d^2 \phi}{dx^2} + \frac{1}{\lambda} x \left\{ \frac{d^2 \phi}{dx^2} \right\}^2 \right]_0^l \\ 4\lambda^4 \int_0^l \phi^2 dx &= \left[3\phi \frac{d^3 \phi}{dx^3} + \lambda^4 x \phi^2 - 2x \frac{d\phi}{dx} \frac{d^3 \phi}{dx^3} - \frac{d\phi}{dx} \frac{d^2 \phi}{dx^2} + x \left\{ \frac{d^2 \phi}{dx^2} \right\}^2 \right]_0^l \\ &= 3\phi(l) \phi'''(l) + \lambda^4 l \phi^2(l) - 2l \phi'(l) \phi'''(l) - \phi'(l) \phi''(l) \\ &\quad + l \{ \phi''(l) \}^2 - 3\phi(0) \phi'''(0) + \phi'(0) \phi''(0), \quad \left(' = \frac{d}{dx} \right) \quad (I-8) \end{aligned}$$

式 (I-8) より、一般に梁の境界条件に応じて $\int_0^l \phi_i^2(x) dx$ を求めることができる。図 1-1 に示す系の場合、境界条件は式 (I-3) に示したように

$$x=0: \quad \phi=0, \quad \phi'=0$$

$$x=\ell: \quad \phi''' + (\mu\lambda^4\ell - \frac{\chi}{\ell^3})\phi=0, \quad \phi''=0$$

したがって

$$\begin{aligned} \int_0^\ell \phi_k^2(x) dx &= \frac{1}{4\lambda_k^4} \{ 3\phi_k(\ell)\phi_k'''(\ell) + \lambda_k^4\ell\phi_k^2(\ell) - 2\ell\phi_k'(\ell)\phi_k''(\ell) \} \\ &= \frac{\ell}{4}\phi_k^2(\ell) + \frac{1}{4\lambda_k^4} \left\{ \mu(\lambda_k\ell) - \frac{\chi}{(\lambda_k\ell)^3} \right\} \{ 2\ell\phi_k'(\ell)\phi_k(\ell) - 3\phi_k^2(\ell) \} \end{aligned}$$

となる。

次に図 1-5 に示すような荷重を受ける一端固端・他端バネ支持の梁のたわみ曲線 $y(x)$ 、および曲げモーメント $M(x)$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} y(x) &= \frac{\ell^4}{120EI} \left\{ (q_2 - q_1) \frac{x^5}{\ell^5} + 5q_1 \frac{x^4}{\ell^4} - 10(q_1 + q_2) \frac{x^3}{\ell^3} \right. \\ &\quad \left. + 10(q_1 + 2q_2) \frac{x^2}{\ell^2} \right\} + \frac{1}{2EI(3+\chi)} \{ P\ell^3 \\ &\quad - \frac{\chi\ell^4(11q_2 + 4q_1)}{120} \} \left(3\frac{x^2}{\ell^2} - \frac{x^3}{\ell^3} \right) \quad (1-9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(x) &= -\frac{\ell^2}{6} \left\{ (q_2 - q_1) \frac{x^3}{\ell^3} + 3q_1 \frac{x^2}{\ell^2} - 3(q_1 + q_2) \frac{x}{\ell} \right. \\ &\quad \left. + (q_1 + 2q_2) \right\} - \frac{1}{3+\chi} \left\{ 3P\ell - \frac{\chi\ell^2(11q_2 + 4q_1)}{40} \right\} \\ &\quad \left(1 - \frac{x}{\ell} \right) \quad (1-10) \end{aligned}$$

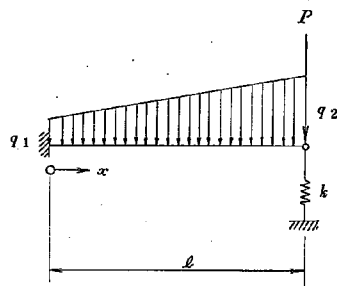


図 1-5

$q_1 = q_2 = q$ とすれば式 (1-9)、式 (1-10) はそれぞれ

$$\begin{aligned} y(x) &= \frac{q\ell^4}{24EI} \left\{ \left(\frac{x^4}{\ell^4} - 4\frac{x^3}{\ell^3} + 6\frac{x^2}{\ell^2} \right) + \frac{3(8\mu - \chi)}{2(3+\chi)} \left(3\frac{x^2}{\ell^2} - \frac{x^3}{\ell^3} \right) \right\} \\ M(x) &= -\frac{q\ell^2}{2} \left\{ \left(\frac{x^2}{\ell^2} - 2\frac{x}{\ell} + 1 \right) + \frac{3(8\mu - \chi)}{4(3+\chi)} \left(1 - \frac{x}{\ell} \right) \right\} \end{aligned}$$

となる。ただし $\chi = \frac{k\ell^3}{EI}$, $\mu = \frac{P}{q\ell}$ である。

これより固定端における曲げモーメントに関する定数 C_M は次式で与えられる。

$$C_M = -\frac{2}{1 + \frac{3(8\mu - \chi)}{4(3+\chi)}} = -\frac{24 + 8\chi}{12 + \chi + 24\mu}$$

曲げモーメントに着目した場合、補正係数 k_2 は次式より求めることができる。

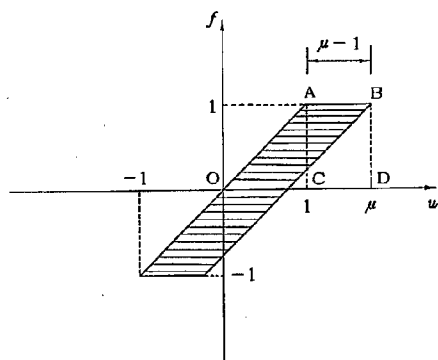
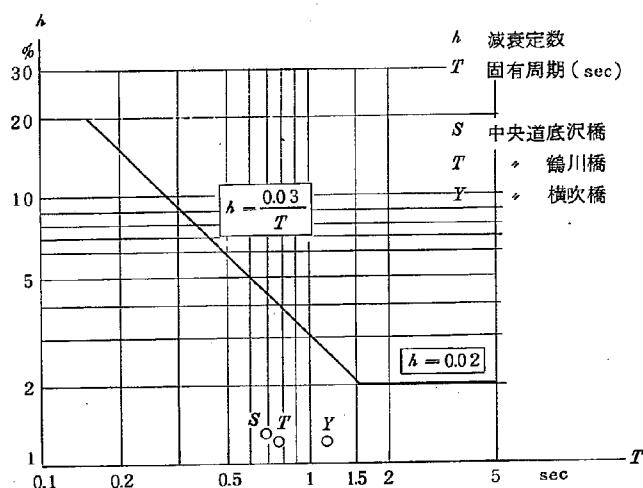
$$k_2 = -D_k \cdot \phi_k''(x) \cdot \frac{C_M}{\lambda_k^4\ell^2}, \quad x = \bar{x}$$

付録Ⅱ 等価減衰定数

構造物の固有周期 T と減衰定数 h の間に、図Ⅱ-1のような関係の曲線を想定した。

これらの減衰定数は種々の性質をもつ減衰の重ね合わさったものと考え、そのうち構造的な減衰にもとづくもの h_{ap} を図Ⅱ-2に示す履歴を描く系の1サイクル当りの損失エネルギーから求めてみたのが表中の値である（長野県落合橋）。

また、中央道高橋脚橋梁の三橋について実測データを図Ⅱ-1にプロットした（底沢橋、鶴川橋、横吹橋）。
 図中 h 、 T 、 μ はそれぞれ減衰定数、固有周期、塑性率である。



$$h_{ap} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W}$$

損失エネルギー $\Delta W = \square ABCD = 2(\mu - 1)$

全エネルギー $W = \square OABD = \mu - \frac{1}{2}$

$$\therefore h_{ap} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\mu - 1}{2\mu - 1}$$

長野県落合橋の例

(固有周期 $T = 0.35 \text{ sec}$, 固有の減衰定数 $h_0 = 0.1$)

地震記録名	μ	h_{ap}	$h = h_0 + h_{ap}$
144-13-49-L	1.805	0.308	0.408
197-13-74-L	2.738	0.388	0.488
61-B-18-L	2.092	0.343	0.443

(註) 地震記録名の意味は

- 観測記録番号-強震計設置位置-設置位置での記録番号-方向
- B: 地盤, L: 橋軸方向

付録III 振動実験の結果一覧

- (1) 一覧表 (3) 鶴川橋
(2) 横吹橋 (4) 底沢橋

(1) 一覧表

実験対象	基礎種別	橋梁名	加振方向	減衰定数(δ)	周期(T) (sec)	主要振動モード	グループ	備考	付表No
基礎	基礎	鳥井大橋	L_g	015	0083	回転	A		20-I
			T_r	015	0077	"			20-II
	杭基礎	琵琶湖大橋	水平	001	1000	曲げ	A	コンクリート・マスあり	14-I
			L_g	026	0080	回転			22-I
基礎	基礎	横吹橋	T_r	036	0078	"	A	深礎杭	22-II
			L_g	0012 @ 0011	0502 @ 0135	曲げ	B		18-I
	直接基礎	四徳大橋	T_r	0010 @ 0012	0370 @ 0138	せん断		高橋脚 4.2m	18-II
			L_g	0013 @ 0013	0735 @ 0171	曲げ			18-III
橋脚	基礎	底沢橋	T_r	0011 @ 0013	0380 @ 0138	せん断			18-IV
			L_g	0006 @ 0007	130 @ 0216	曲げ	B	高橋脚 4.85m	21-I
	基礎	吉田大橋	T_r	001	0430	"			21-II
			L_g	0108	0154	回転	A	土質 152号	01-I
橋脚	ケーソン基礎	駿河大橋	L_g	008	0179	"			02-I
			L_g	00865	0115	"	A		07-I
	基礎	安治川橋	L_g	0111	0172	"			09-I
			L_g	00583	0180	"	A		09-II
橋脚	基礎	平井大橋	L_g	0129	0417	"			12-I
			T_r	0097	0210	回転・曲げ	A		13-I
	基礎	木曾川橋	L_g	0186	0143	曲げ			03-I
			L_g	0380	0213	"	A		05-I
橋脚	基礎	倉敷川橋	L_g	0101	0276	"			06-I
			L_g	0140	0288	"	A		08-I
	基礎	庄内新川橋	L_g	00399	0325	"			15-I
			T_r	00320	0240	"	A	2本組杭	15-II
橋脚	基礎	信濃川大橋	L_g	00735	0242	"		6本組杭	15-III
			T_r	00275	0582	"			15-IV
	基礎	港大橋	L_g	0105	0210	"			16-I
			T_r	0090	0235	"	A		16-II
橋脚	基礎	福島橋	L_g	0021	0710	"			17-I
			L_g	00046 @ 00115	140 @ 0214	"	B	鋼製高橋脚 3.9m	22-III
	基礎	横吹橋	T_r	00295 @ 00074	0424 @ 0113	"			22-IV
			L_g	0110	0290	回転	A	土質 152号	01-II
全	基礎	吉田大橋	T_r	0066	0361	"			09-II
			L_g	0012 @ 0015 @ 0016	0758 @ 0600 @ 0458	曲げ	B	高橋脚 4.83.8m	25-I
	基礎	鶴川橋	T_r	0028 @ 0028 @ 0028	0306 @ 0242 @ 0176	"		" 27.00m	20-III
			L_g	0055	0354	"	A	土質 152号	04-I
橋脚	基礎	沙留高架橋	L_g	0040	0392	"			04-II
			L_g	0144	0288	"	A		06-II
	基礎	筏川橋	L_g	00431	0493	"			11-I
			L_g	0040	0833	"	A		14-II
橋脚	基礎	琵琶湖大橋	L_g	0012 @ 00151 -	115 @ 0507 @ 0232	"		高橋脚 4.50m	22-V
			T_r	0013 @ 0017 @ 0017	065 @ 0419 @ 0378	"	B	" 5.35m	21-III
	直接	底沢橋	L_g						
			T_r						

L_g : 橋軸方向 ②: 2次 Aグループ: 一般橋
 T_r : 橋軸直角方向 ③: 3次 Bグループ: 高橋脚

(2)図 Ⅱ - 1

表 28

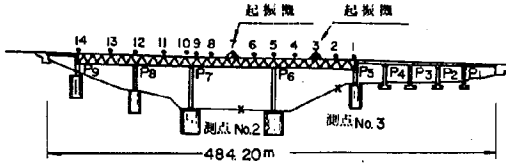
橋名 (ルート)	橋吹橋 (中央高速道)	試験対象 基礎形式	上下部 深礎杭	試験実施機関 実施・年月	道路公団 43・9	加振方法	20t型起振機 橋軸直角	橋管 梁橋	道路公団八王子建設 局相模湖工事	引用 報告書	橋吹橋の振動実験なら びに動的耐震解析 (日立造船K・K)	整理 番号	22-V																	
試験対象概略図・土質図・計器配置図																														
	Test No.	共振振動数 fr (%)	減衰率 h	共振時振巾(最大)	共振時土圧(最大)	共振時土圧(最大)	地盤係数 K _g (%)	換算弾性係数 E _g (%)	加振力 F (t)	備考																				
		0.87	0.0121								1次																			
		1.97	0.0151								2次																			
		4.31	-								3次																			
	平均	0.87 1.97 4.31	0.0121 0.0151	hの 求め方	共振曲線から	平均					監理月日	昭年月日	整理者 森山																	
橋梁諸元																														
	上部	橋長(径間)	19.3m (6.0+6.0+7.2+0.5×2)	基礎形式	多柱基礎																									
	巾	11.90m	根入長	15m																										
	形式	3径度連続デッキトラス橋	断面	φ 25m×15m																										
	重量		重量(土水含む)																											
	設計震度	K _H = K _V =	剛性																											
	上部からの死荷重																													
	下部	脚柱形式	鋼製ラーメン橋脚																											
	脚柱長	39.0m																												
	脚断面																													
脚重量・剛性																														
参考資料所在	設計図面	道路公団	その他参考文献																											
	設計計算書	"	"																											
	土質調査書	"	"																											
	橋梁写真	"	"																											
試験結果図																														

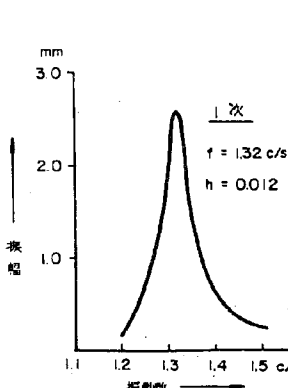
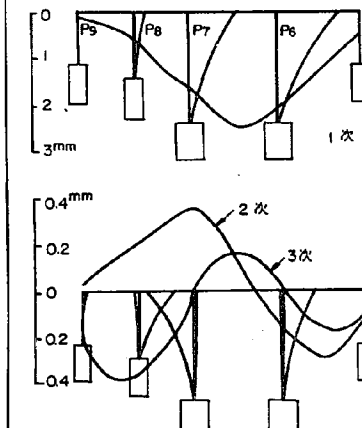
(3)図 1 - 2

実橋振動試験結果一覧

土木研究所・構造橋梁部 耐震調査室

No.

橋名 (ルート)	試験対象 (中央高速道)	試験対象 基礎形式	上下部 ケーソン	試験実施機関 実施年月	道路公団 S 4 3. 1	加振方法 201型起振機	橋梁 管轄	道路公団八王子 建設局相模湖工事	引用 報告書	鶴川橋振動試験報告書(道路公団)	整理 番号			
試験対象概略図・土質図(N値)・計器配置図						Test 共振数 fr(%)	減衰 h	共振時振巾(最大)		共振時土圧(最大)	地盤係数	換算係数	加振力	備考
	位置	加速度 a(gal)	変位 a(mm)	位置	土圧 p(kg/cm ²)			係数 E(kg/cm ²)	係数 E(kg/cm ²)	F(t)				
	1.32	0.011	3							1次				
	1.32	0.012	7							1次				
	1.32	0.011	11							1次				
	1.67	0.015	3							2次				
	-	-	7							2次				
	1.68	0.014	11							2次				
	2.18	0.016	3							3次				
	2.18	0.016	7							3次				
	2.18	0.016	11							3次				
	1次	1.32	0.012	hの求め方				共振曲線より		平均		整理月日 昭和 年 月 日		
	2次	1.67	0.015									整理者		
3次	2.18	0.016												
試験結果表	橋梁概略図 484.20 m					共振曲線	モード	土圧	K値図	その他()				
	上部	橋脚間距離 10.450 m	基礎形式 ケーソン	基礎長さ 14.2 m										
	断面	単純合成桁・連続トラス		断面 12 6.5 (小判型)										
	重量			剛性										
	設計震度	K _H K _V												
	上部からの死荷重													
	脚柱形式	鉄骨鉄筋コンクリート(1型)												
	脚柱長さ	48.380 m												
	脚柱断面													
	脚柱剛性													
	設計震度	K _H K _V												
	設計図面	道路公団		その他参考文献										
	設計計算図	"		"										
土質調査図	"	"												
橋梁写真	"	"												

試験結果図		
	1次	
	f = 1.32 c/s	
	h = 0.012	
	振動数	
	振幅	
	1次	
	2次	
	3次	
	0.4mm	
	0.2mm	
	0mm	
	-0.2mm	
-0.4mm		

