

九州大学 正 員 小 坪 青 真
同 学 生 員 ○ 原 田 謙 二

1. はじめに

構造物の基礎に作用した地震波は、構造物内を縦波、横波として伝わり、構造物はこの波の重ね合わせで応答する。実際に長さ15m程度の横方向に曲げ剛性が小さい桁の一端に衝撃を加えると、図-1に示すように曲げ波動が伝わり、他端で反射して次第に定常的な波に移行していくのが見られる。特に長大な橋梁の場合には、この波動が顕著になるであろう。構造物のある基礎に突然外乱が加わる現象は波動で解くべきであるが、従来の地震時応答は主に Modal Analysis により計算している。本研究では桁の一端に突然外乱を加える実験により波動を生ぜしめる一方、Modal Analysis により応答値を計算し、計算値と実験値を比較して Modal Analysis の適用性を調べようとするものである。

2. 波動の伝播速度

横方向剛性の小さい桁を伝播する曲げ波動の伝播速度 v は、減衰を無視すると $v = \sqrt{\frac{EIg}{wA}} \cdot f$ (1) で表わされる。ここで EI , wA は桁の曲げ剛性、単位長当りの重量、曲げ波の波長を L とすれば $f = \frac{2\pi}{L}$ で表わされ、単純桁の S 次の曲げ波動では $f = \frac{\pi}{L}$ である。

3. Modal Analysis による応答の計算

単純桁の任意の x 点の水平変位を一般座標 Q_s を用いて

$$\bar{y}(x) = \sum_{s=1}^{\infty} Q_s \sin \frac{s\pi x}{L} \quad (2)$$

とおき桁の縁距離を e とすれば、 x 点の曲げ歪は次式で表わされる。

$$\epsilon(x) = \frac{\pi^2 e}{L^2} \sum_{s=1}^{\infty} Q_s S^2 \sin \frac{s\pi x}{L} \quad (3)$$

支点の一端に $\dot{\phi}(t)$ なる角速度を加えた場合の桁の絶対変位は $f(x)$ を支点を単位長さ変位させた場合の桁の弾性線とすれば次式で表わされる。

$$y(x) = \bar{y}(x) + f(x) \cdot \phi(t) \quad (4)$$

S 次の一般座標 Q_s に対する一般力 Q_s は

$$Q_s = \int_0^L \left\{ -\frac{wA}{g} \cdot f(x) \ddot{\phi}(t) \right\} \sin \frac{s\pi x}{L} dx = -\frac{wL A}{S \pi g} \ddot{\phi}(t) \quad (5)$$

となり Lagrange の方程式に入れると運動方程式は次式となる。

$$\ddot{Q}_s + 2h_s n_s \dot{Q}_s + n_s^2 Q_s = -\frac{L}{S \pi} \ddot{\phi}(t) \quad (6)$$

$\phi(t)$ に実験における支点の外乱角速度を入れて(6)式を解き Q_s を求めれば(3)式により曲げ歪 $\epsilon(x)$ の応答値が計算できる。

4. 実験及び結果

桁は両端単純支持で横方向に曲げ剛性の小さい等断面のものを作り、支点にはバネで外乱を与えた。桁の材料はアルミニウムとアクリライトを用い桁長は共に2mとした。材料を2通り選んだのは

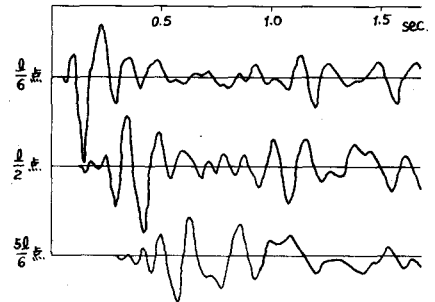


図-1. 曲げ波動伝播

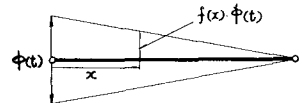


図-2.

材 料	PMMA	アクリライト
桁 長	2 m	2 m, 5 m
固有振動周期 (sec)	1次	0.367
	2次	0.121
	3次	0.057
	4次	0.035
	5次	0.023
	6次	—
	7次	—
	8次	—
$\sqrt{\frac{EIg}{wA}}$		4.11×10^{-4}
		$4.00 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$

表-1. 振動特性

弾性係数の違いで縦波の速度が異なるので、その影響を求めるためである。従って2m桁は双方の振動周期即ち $\sqrt{EI^2/wA}$ が等しくなるように断面を定め、曲げ振動の速度を等しくした。また、外乱の周期と桁の固有周期の比が異なるこ

曲げ波の速度	
アルミニウム 2m	16.7 $\frac{m}{sec}$
アクリライト 2m	17.2
アクリライト 5m	16.0
外乱の周期 0.130 sec	

表-2.

とによる影響を見るために5mのアクリライト桁についても実験を行なった。桁の振動特性は表-1の通りである。実験の結果得られた振動速度を表-2に示す。縦波の速度は2~5 K/sec にも達するので応答値には影響がない。曲げ振動は2m桁では2次、5m桁では5次というように外乱の周期に近い周期を持つ次数の波が卓越しており、その速度は桁長が変わってもほぼ同じ値であることがわかる。これは(1)式で $\sqrt{EI^2/wA}$ が一定の場合には伝播速度はその次数によるということからも理解できる。また、2m桁の場合は短時間で波の反射、重複が起って定常的な応答が生じるのが見られる。

5. Modal Analysisによる計算値と実験値の比較

2m桁、5m桁につき桁の歪の最大値と時間的变化の模様を計算値、実験値につき表-3、図-3,4,5に示す。計算値では振動と同じく2m桁では2次、5m桁では5次と外乱の周期に近い周期を持つ振動が卓越している。2m桁の場合は応答の最大値、時間的变化とも計算、実験値でよく合うことがわかる。5m桁の場合は、時間的变化には少々ずれが見られるが最大値はほぼ等しい。従って一次の固有振動周期が外乱周期の10倍程度であっても、両端支持という簡単な桁ではModal Analysisが実際の値とよく合うことができる。

6. おまけ

以上、簡単な実験の場合は計算値が波動伝播の現象とよく合うことがわかったが、実際の吊橋などの場合には縦波の速度も問題になるとと思われる。

本研究の計算は九大計数施設 OKITAC-5090Hによった。

測点	変位 の振幅	アルミニウム 2m		アクリライト 2m		変位 の振幅	アクリライト 5m	
		実験値	計算値	実験値	計算値		実験値	計算値
1	0.3	14.0	14.6	27.2	25.6	0.9	38.9	32.4
2	0.6	16.8	16.1	32.4	31.0	1.7	32.4	36.6
3	0.9	7.5	6.6	17.2	14.4	2.7	30.2	36.4
4	1.3	16.9	17.0	32.3	32.0	3.33	31.6	32.2
5	1.7	15.4	15.1	25.1	28.4	4.17	31.6	34.7

表-3. 曲げ歪の最大値 ($\times 10^{-6}$)

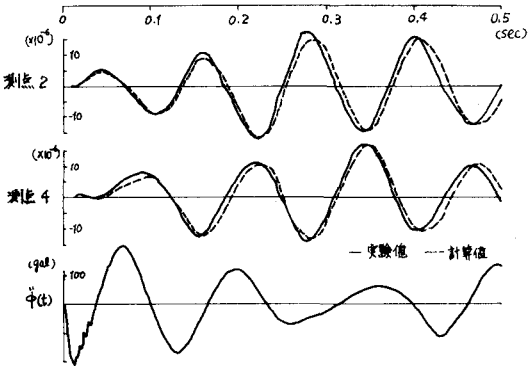


図-3. 歪の時間的变化 (アルミニウム 2m)

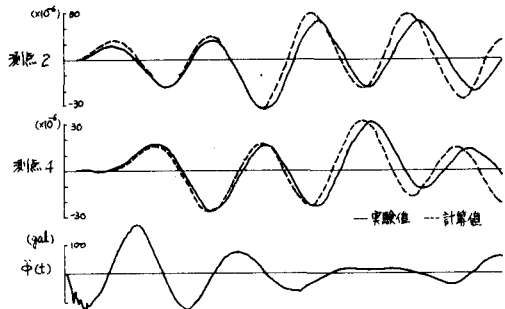


図-4. 歪の時間的变化 (アクリライト 2m)

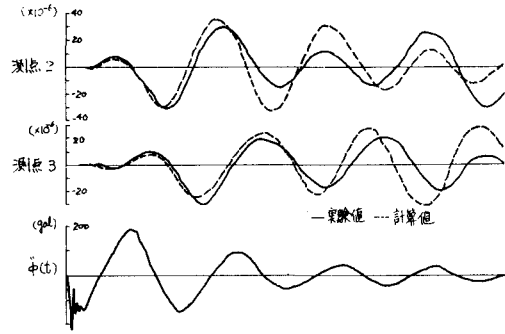


図-5. 歪の時間的变化 (アクリライト 5m)