

九州大学工学部	正員	小坪 清真
建設省土木研究所	正員	原田 譲二
九州大学大学院	学生員	島村 清
三井建設KK	正員	坂口 修

1. はじめに

著者等は前論⁽¹⁾⁽²⁾において、長大橋梁の各基礎に作用する地震波が異なる場合には、この影響を考慮して地震応答を計算しなければならないことを示した。又、前論⁽³⁾⁽⁴⁾においては、両端単純支持の梁が一端で外乱加速度を受ける場合の梁の振動を曲げ波動論により解析し、従来行われている modal analysis による計算結果と比較し、さらに簡単な模型実験によって検証し、橋桁内を伝わる波動現象が modal analysis によっても十分な精度で解析できることを示した。

本論は、三径間連続桁橋の一端支点が外乱加速度を受ける場合の桁内の波動現象を模型実験によって求め、modal analysis によって解析できるかどうかを研究した結果を述べたものである。

2. Modal analysis による解法

今、図-1に示すように、橋台、橋脚を含め、 N 個の支点をもつ橋梁の各支点における地震波を、 $\phi_j(t)$ ($j=1, 2, \dots, N$)、橋梁の S 次の振動型を $Y_S(x)$ 、固有円振動数を n_S 、橋梁の単位長重量を $w(x)$ 、重力加速度を g 、おける支点のみが地動 $\phi_j(t)=1$ を生じた時の橋桁の静的変形曲線を $f_j(x)$ とすれば、各支点の地震加速度 $\ddot{\phi}_j(t)$ が与えられた場合の橋梁の応答は次式で表わされる。

$$y(x, t) = \sum_{S=1}^{\infty} A_S Y_S(x) + \sum_{j=1}^N f_j(x) \phi_j(t) \quad (1)$$

ここに、 A_S は一般座標で時間の函数であり、 A_S に対する一般力 Q_S は次式で表わされる。

$$Q_S = - \sum_{j=1}^N \int \frac{w}{g} \ddot{\phi}_j(t) f_j(x) Y_S(x) dx \quad (2)$$

運動エネルギーおよび歪エネルギーを求め、Lagrange の運動方程式に代入すれば、 A_S に関する次の微分方程式が得られる。

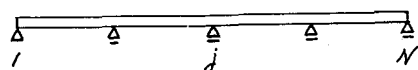
$$\ddot{A}_S + 2h_S n_S \dot{A}_S + n_S^2 A_S = - \sum_{j=1}^N \beta_{Sj} \ddot{\phi}_j \quad (3)$$

$$\beta_{Sj} = \frac{\int \frac{w}{g} f_j(x) Y_S(x) dx}{\int \frac{w}{g} Y_S^2(x) dx} \quad (4)$$

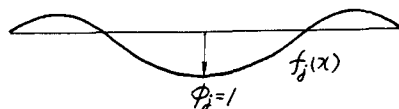
ここに、 h_S は S 次の振動に対する減衰定数である。変位が(1)式で表わされる場合の桁内の曲げモーメント

図-1

側面図



平面図



は次式で表わされる。

$$M(x, t) = - \sum_{s=1}^N a_s EI \frac{d^2 Y_s(x)}{dx^2} - \sum_{j=1}^N EI \frac{d^2 f_j(x)}{dx^2} \phi_j(t) \\ = \sum_{s=1}^N a_s M_s(x) + \sum_{j=1}^N M_j(x) \phi_j(t) \quad (5)$$

ここに、 $M_s(x)$ は S 次の振動型に対する曲げモーメントモード、 $M_j(x)$ は $f_j(x)$ によって生じる曲げモーメントすなわち、 j なる基礎が $\phi_j(t)=1$ なる変位をした時に x 点に生じる曲げモーメントである。長大橋梁においては、(5)式右辺第2項による曲げモーメントは一般に小さく第1項に比べ無視できる程度のものである。

3. 模型実験装置

模型ばりは一端支点に外乱加速度を与える場合の桁内の曲げ振動の伝播現象がよく判るように、横方向に曲げ剛性の小さい模型ばりを製作するため、材料に厚さ 8mm のエポキシ樹脂板を用い、桁高 5cm、1スパン3.5mの3等径直連続桁橋を作成し、これを図-2に示すように、支点はボールベアリングで支えてヒンジとし、外乱加速度を与える一端のみ板バネで支える。桁内の曲げ振動の伝播は、桁の両側面に橋軸方向にひずみゲージをはりつけ、曲げひずみの伝播を測定して求めた。この模型の曲げ振動伝播を modal analysis によって解析する場合に必要な桁の固有円振動数および減衰定数は、magnetによる1点加振による共振振動数と電流遮断後の自由減衰振動から求めた。一端における外乱加速度は図-2に示すように、ベアリングの上に抵抗線式加速度計を設置して測定した。

4. 実験結果および計算結果

模型ばりの固有円振動数および減衰定数を測定した結果は表-1のとおりである。

表-1

次数	固有円振動数	減衰定数
1	3.63	
2	4.65	
3	6.80	
4	13.63	0.050
5	15.54	
6	21.03	0.048
7	32.47	0.044
8	35.46	
9	41.00	0.032
10	68.67	
11	71.40	0.032
12	81.77	

図-2 連続ばり模型

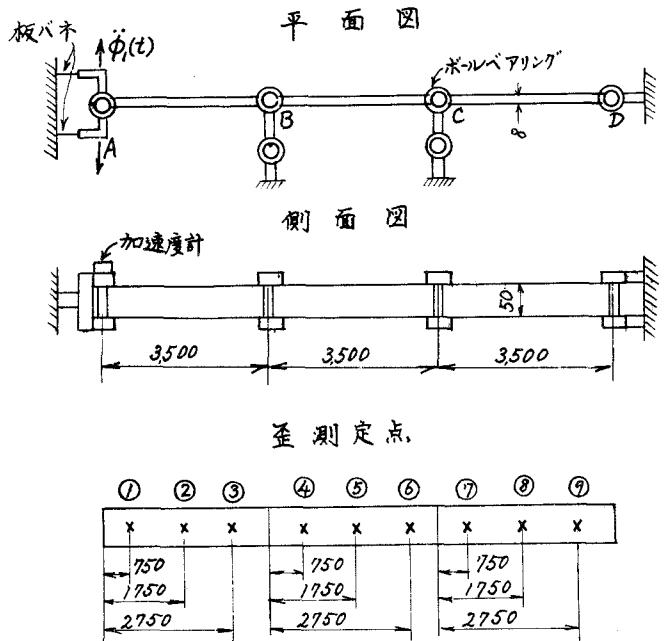


図-3(a)は一端反点Aで与えられた水平加速度である。(b)~(e)の実線は、歪測点②、④、⑥、⑧の各点で得られた桁の曲げ歪の時間的变化を示したもので、曲げ振動の伝播状態が明らかに見受けられる。

同図の点線は模型桁に対し、(a)の加速度記録による歪の応答を modal-analysis によって計算したものである。なお、計算では桁の振動次数を12次まで採った。

前論⁽⁴⁾でも述べたように、外乱加速度の周期より短い固有周期の振動次数まで採用しなければ応答を正しく計算する事は出来ない。計算に当っては、各次の減衰係数を等しく0.03にとった。

図-4は模型桁の振動型を示したものである。

図-3 曲げひずみの伝播

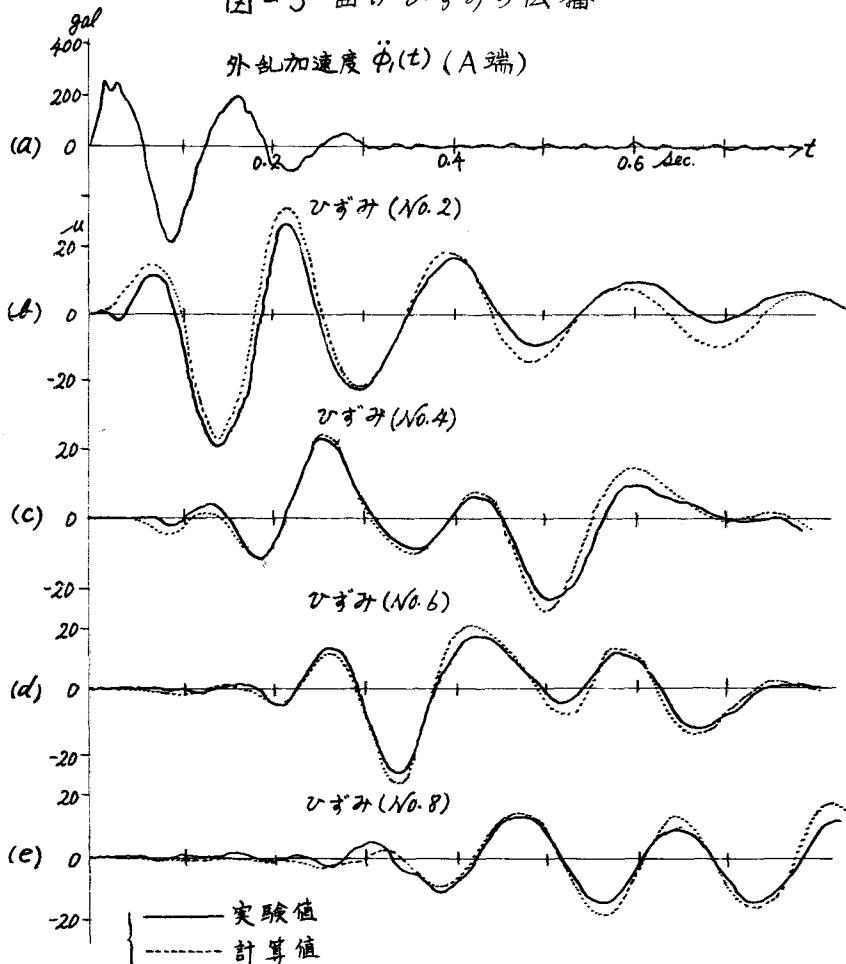
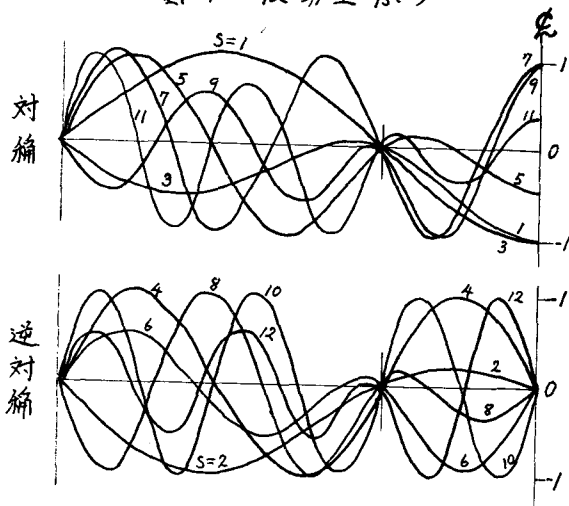


図-4 振動型 $Y_s(x)$

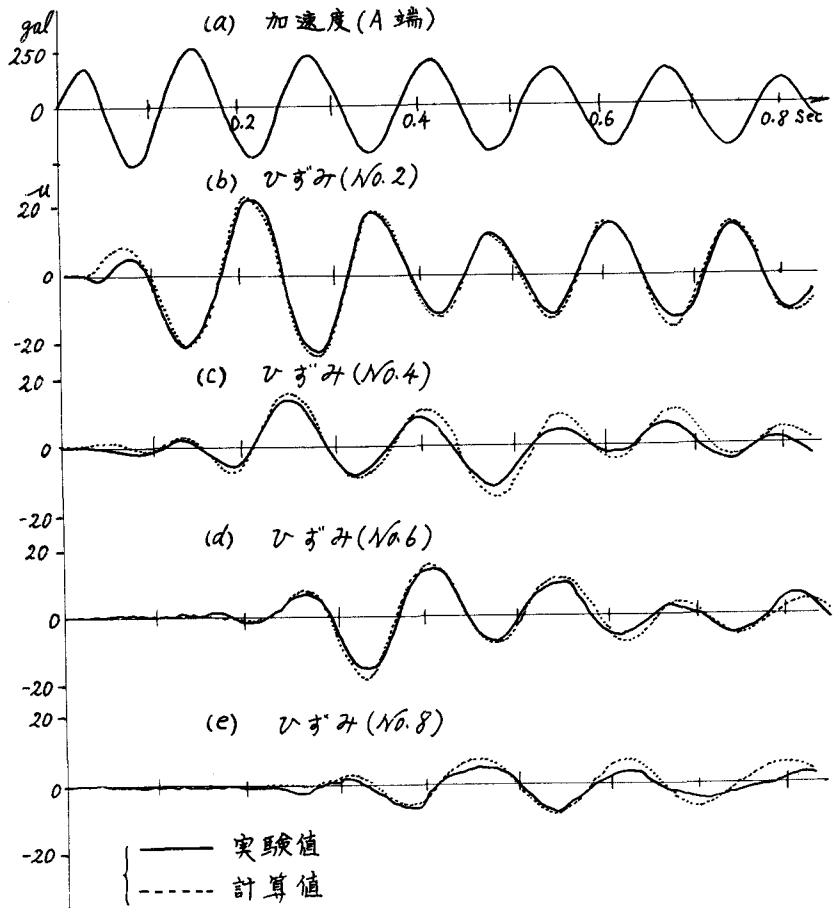


5. 結果に対する考察

これらの結果から
次の事項が判明した。

- (1) modal analysis
によっても、連続桁
橋内の曲げ振動の伝
播現象を求める事が
出来る。
- (2) 連続橋におい
ても、曲げ振動は外乱
加速度の周期に近い
固有周期の振動型が
卓越する。従って、
外乱加速度の周期よ
り小さい固有周期の
振動次数を採らな
ければならない。
- (3) 各支点で地震波
が異なる場合に、従
来、地震の変位記録
を入力として用いた
応答計算が行われて
いるが、本論によれば
支点における加速度
記録を用いた応答計
算を行う事が出来る。

図-3 曲げひずみの伝播



文献

- (1) 小坪清真・原田譲二「ディビダーブ橋の地震応答に及ぼす地動位相差の影響」 九大工学集報 Vol. 40, No. 6, 昭和42年12月
- (2) 小坪清真・原田譲二「橋桁の横振動に及ぼす波動伝播の影響」 土木学会第23回年次学術講演会 昭和43年10月
- (3) 小坪清真・原田譲二・鳥野清「地震時における桁橋内の曲げ波動伝播について」 第10回地震工学研究発表会 昭和44年7月
- (4) 小坪清真・原田譲二「支点の外乱による梁の曲げ波動伝播について」 九大工学集報 Vol. 42 No. 3 昭和44年6月