

1 まえがき

松代地震の際、松代の北東約7kmに位置していた落合橋脚上および地盤上の強震計が多くの記録を提供している。これらの記録には既に十分な解析 検討が加えられ従々の貴重な成果が得られている<sup>1)</sup>。落合橋脚は比較的硬い地盤での井筒基礎で支えられており、その地震時での挙動は地盤のバネからなる剛体のロッキング振動が支配的であると考えられる。本報告は橋脚近傍での地盤上の強震記録を入力とし、橋脚上の記録を応答と考えることにより、この様な剛体のロッキング振動のモデル化の一方法を提案するものである。モデル化のゆわいは、剛体にバネとして作用する地盤の剛性および剛体-地盤系の減衰定数が地震加速度の大小によりどのように変化するかを定性的に得ること、および、応答変位を求めること、さらに常時微動における記録から同様のモデル化をおこなひ、その結果得られる動特性が強震時の結果とどの程度相関性があるかを明らかにして、将来この種の構造物—たとえば、水門、堤防、防潮堤等—の常時微動観測から強震時での挙動を推定することの可能性を明らかにすることにある。

2. 強震加速度記録

昭和40年12月8日から41年6月24日までの間に得られた記録のうちデジタル化されている13箇の記録の加速度倍率を示したのが図-1である。<sup>2)</sup> 大きい地震になる程、倍率が低下する傾向がうかがわれる。図示した如く、本研究では代表的な大、中、小の3箇の記録をとり上げた。それぞれの記録の最大加速度は下記す如くである。

大地震	地盤上	230.5 gal	橋脚上	121.4 gal
中 "	"	95.8	"	99.9
小 "	"	14.5	"	25.4

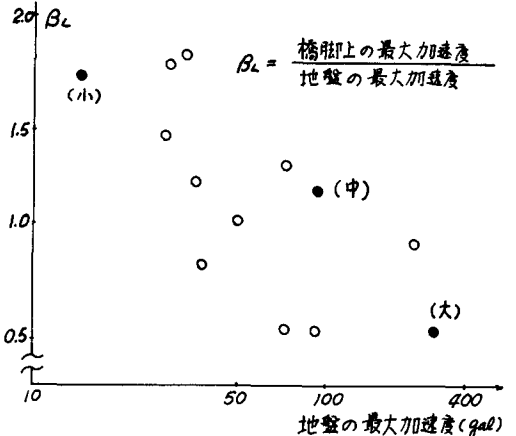


図-1 地盤最大加速度と加速度倍率の関係

3. 落合橋および力学モデルの形状

図-2に橋脚基礎の形状を示す。図-3は力学モデルおよび地盤のバネの定義である。

図-2 落合橋第11号橋脚

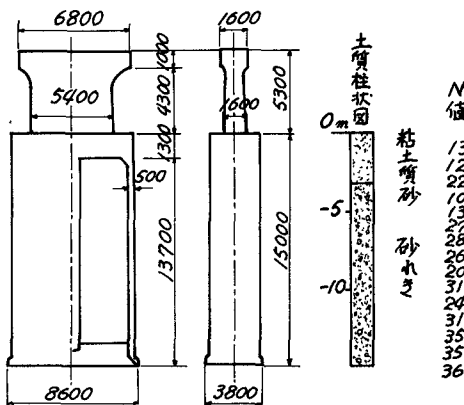
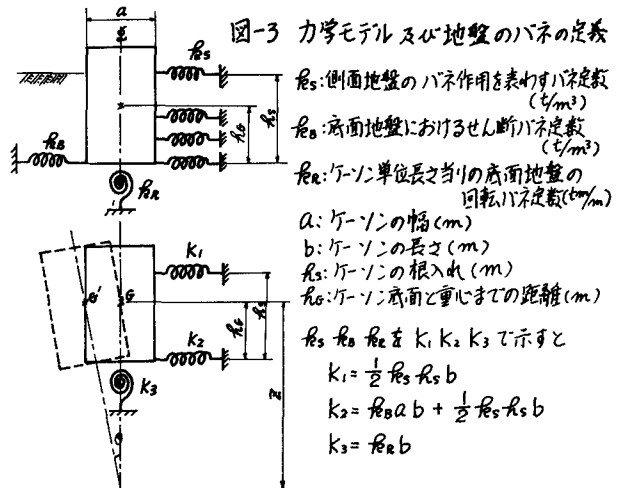


図-3 力学モデル及び地盤のバネの定義



- $r_{1s}$ : 側面地盤のバネ作用を表わすバネ定数 ( $\text{t/m}^3$ )
- $r_{1b}$ : 底面地盤におけるせん断バネ定数 ( $\text{t/m}^2$ )
- $r_{2s}$ : 1-1'の単位長さ当たりの底面地盤の回転バネ定数 ( $\text{ton/m}$ )
- $a$ : 1-1'の幅 (m)
- $b$ : 1-1'の長さ (m)
- $r_{3s}$ : 1-1'の根入れ (m)
- $r_{3b}$ : 1-1'の底面と重心までの距離 (m)
- $r_s, r_b, r_{2s}, r_{2b}$  を  $k_1, k_2, k_3$  で示すと
- $k_1 = \frac{1}{2} r_{1s} r_{1b}$
- $k_2 = r_{2s} a b + \frac{1}{2} r_{2b} r_{3s} b$
- $k_3 = r_{3b}$

#### 4. モデルの決定方法

モデルを決定するのに必要な作業およびその流れ図を図-4に示す。流れは三部分に大別できる。

その1は地盤上および橋脚上の加速度波形のフーリエスペクトルを求め、両者の絶対値の比が伝達関数の絶対値であると考へ、これを応答倍率とみなす。この応答倍率曲線が示すピークに相当する振動数が橋脚の固有振動数の候補となる。

その2は地盤のバネの剛さをパラメータとし、さきに得られている固有振動数の候補と一致する振動数を与えるようなバネの組み合わせを得る作業である。

その3は減衰定数の決定の作業で、さきに得られている応答倍率の値と一致するように減衰定数を定める。

#### 5. 応答倍率曲線

図-5, a~c は地盤上の記録および橋脚上の記録のフーリエスペクトル、さらにこの両者の比として応答倍率を示したものである。大中小それぞれ地震に対して応答倍率が数個のピークを有していること、振動数が3Hz あたりに1次振動数と思われる大きなピークがあること、および、大地震ほど小さな倍率を示すこと等がうかがわれよう。

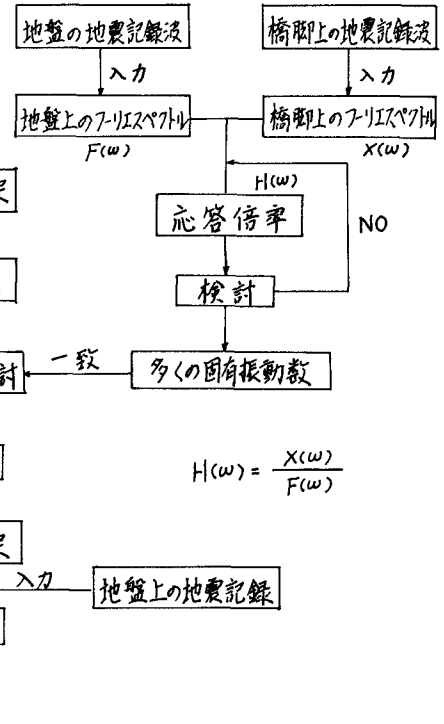


図-4 方法の流れ図

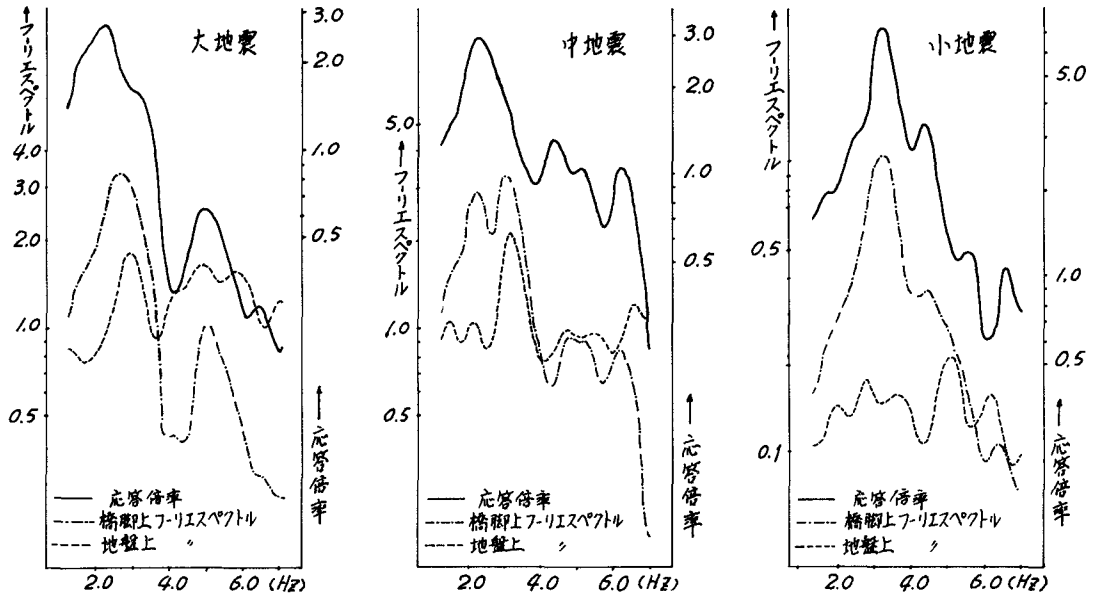


図-5 フーリエスペクトル および 応答倍率

### 6. バネ定数・減衰定数

図-3に定義されたモデルが有する地盤のバネは $k_s, k_B, k_R$ の3個である。これらのバネの値が明らかにされれば、モデルの固有値が定まることとなる。いま付加質量が無いものとするれば、これらのバネと固有振動数(1次および2次)との間には二個の条件式が得られる。従ってこれらのバネの値をパラメータにしてその各種の組み合わせから得られる振動数を求めて、この値がさきに応答倍率から得られている振動数の候補と一致するようなバネの値の組み合わせを得ればよい。

大地震の場合を例にとれば、図-5-aのいくつかのピークのうちの $k_s, k_B, k_R$ の値が工学的に考えて極度におおむねにならないような組み合わせが示す振動数は $f = 2.47$  および  $5.06$  Hz の2個だけとなる。すなわち  $f_1 = 2.47, f_2 = 5.06$  Hz と定義される。図-6-a~cは各バネが振動数におよぼす影響を示すとともに、この様な図を用いて、試行錯誤的に地盤のバネを求める手法を示している。この手法で決定された振動数およびバネ定数を表-1に示す。

次に地盤上の記録を入力にしてモーダルアナリシスを用いたモデルの橋脚上での応答が実測された記録と同じ応答倍率を示すように減衰定数を定めた。その結果は同じく表-1に示されている。

表-1 力学モデルの諸量

	大地震	中地震	小地震
1次振動数: $f_1$ (Hz)	2.47	2.95	3.42
2次振動数: $f_2$ (Hz)	5.06	5.41	6.34
側面地盤のバネ作用を表わすバネ定数 $k_s$ (t/m)	360	510	690
前面地盤におけるせん断バネ定数: $k_B$ (t)	520	400	540
単位長さ当りの前面地盤の回転バネ定数: $k_R$ (t/m)	1300	1820	2460
1次減衰定数 $\beta_1$	0.30	0.25	0.10
2次減衰定数 $\beta_2$	0.40	0.35	0.30

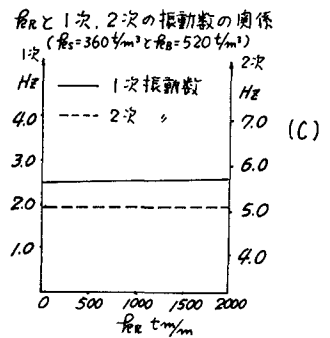
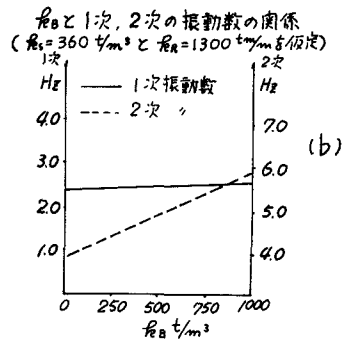
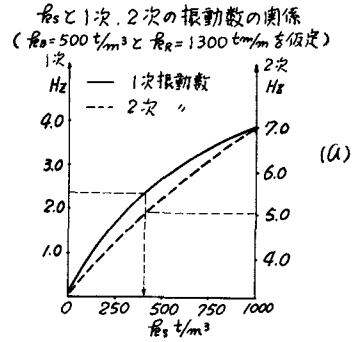


図-6 地盤のバネと振動数の関係

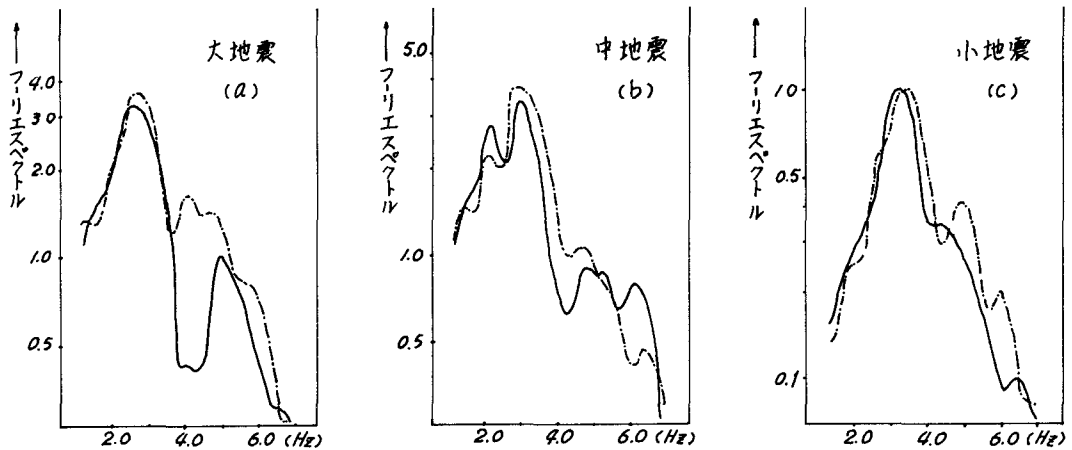


図-7 橋脚上のフリエスペクトル(—実測加速度記録, ---モデルから計算された応答加速度)

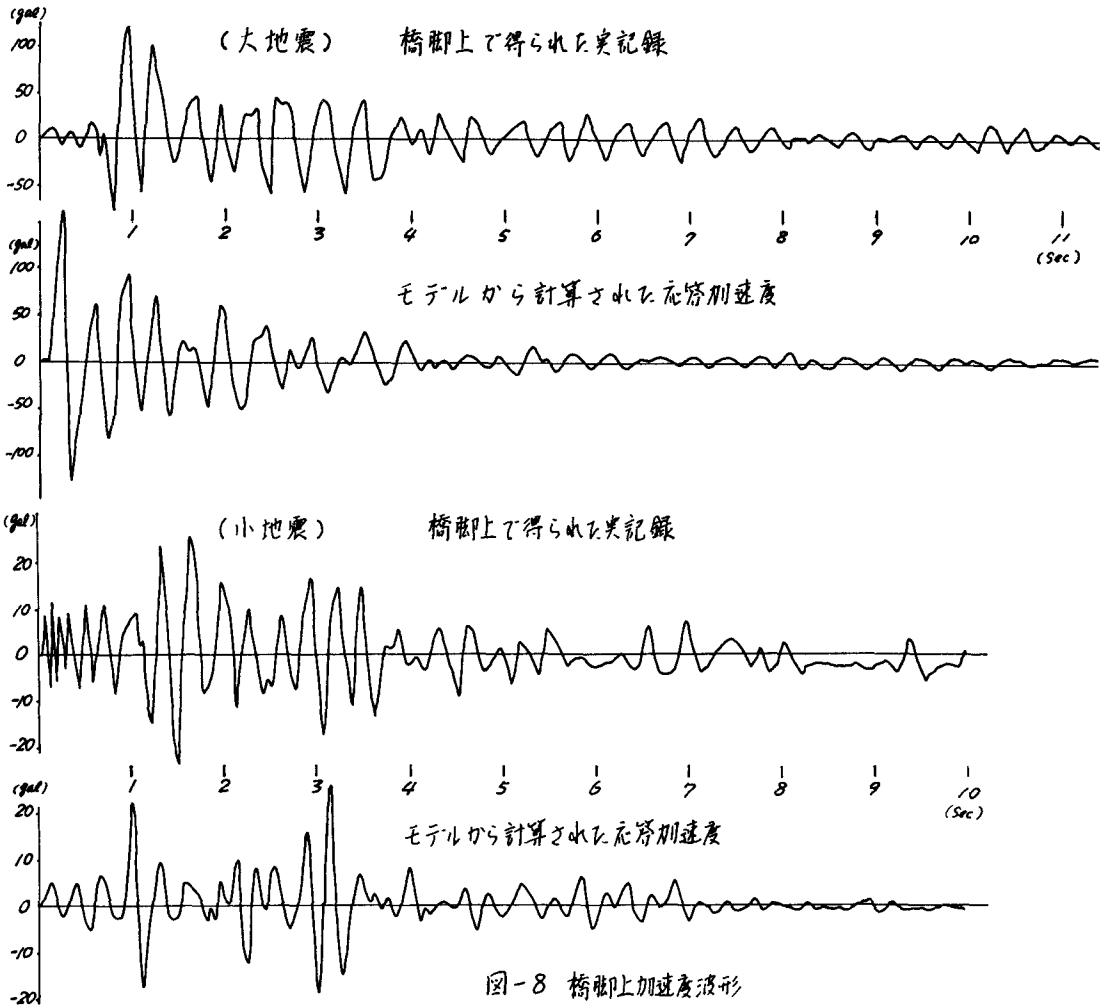


図-8 橋脚上加速度波形

## 7. おまけ

橋脚上および橋脚近傍の地盤上の加速度記録を用いて、井筒基礎橋脚の振動モデルを作り出す手法が本報告の主題であるが、井筒基礎の如く比較的単純な構造形式に関して、本報告で提案した手法は可能であると言える。モデルの示す応答波形のスペクトルと実測波形のスペクトルとの比較(図-7)、および 両波形の比較(図-8)からこの手法で得られるモデルの精度が検討されよう。

本報告により得られる地盤のバネ定数および減衰定数(表-1)から大地震になる程、その非線形化が予測されるが、バネ定数に関しては付加質量にもとづく修正が必要なこと、減衰定数に関しては考えられる減衰の要因を全て粘性減衰で示したこと等、今後検討すべき問題点は多い。

## <謝辞>

本研究を進めるにあたり、地震記録の貴重な資料を快く提供して下さった建設省土木研究所の栗林栄一氏、川島一彦氏に心からお礼申し上げます。また窪田茂氏(住友重機へ勤務予定)には専断としてご意見あるいは労力をいただき心から感謝いたします。

## (文献)

- 1) たとえば 栗林・岩崎「落合橋における松代地震の強震観測結果」第9回地震工学研究発表会 1969年
- 2) 建設省土木研究所資料第318号「地震記録のデジタル数値-その2」昭和43年3月