

(株)大林組 技術研究所
東京都立大学工学部

正会員 ○ 菊地 敏男
正会員 国井 隆弘

1. まえがき

地盤の剛性と比較して剛体とみなせる井筒基礎橋脚の実用的な解析モデルとしては、地盤をバネと置きかえてロッキング振動をおこなう振動モデルに設置することがしばしばおこなわれてきた。このモデル化における安全性については、加振実験あるいは実地震記録を利用して多くの解析がなされてきた。筆者らは、松代地震の際、松代の北東約7kmに位置していた落合橋橋脚および地盤上の強震記録を用いて、ロッキング振動をおこなう振動系にモデル化し、支持地盤の剛性および粘性減衰の変化等の解析をおこなってきた。本報告は、まず小さな加速度を示す地震から比較的大きな地震を用いて、地盤～橋脚系の固有振動数を推定した。次に地震の強さをその最大加速度のみで代表させることは必ずしも適当ではないと考えられるので、継続時間、絶対最大加速度、全パワー、平均パワーの面からも検討した。そこでこれらの特性値と固有振動数の関係を調べた。その結果、全パワーを用いた方が、非線形現象が明確にあらわれること、固有振動数の低下は継続時間に関係すること、等の結果が明らかとなった。

2. 強震加速度記録 落合橋橋脚

この解析に用いた記録は、昭和40年12月8日から昭和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もので、地盤上で得られた記録21個、橋脚上で得られた記録13個を用いた。このうち13個は地盤上、橋脚上の同時記録である。図-2は、地盤上、橋脚上の同時記録の最大加速度を示し、表-1にはこの解析に用いた記録の最大加速度を載せた。図示した様に地盤上の最大加速度が増加しても、橋脚上の最大加速度はそれ程増加しない傾向が見られる。

図-1は、橋脚基礎の形状を示す。

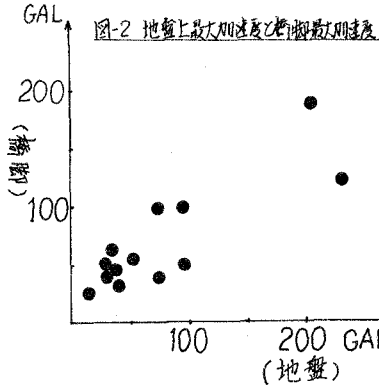
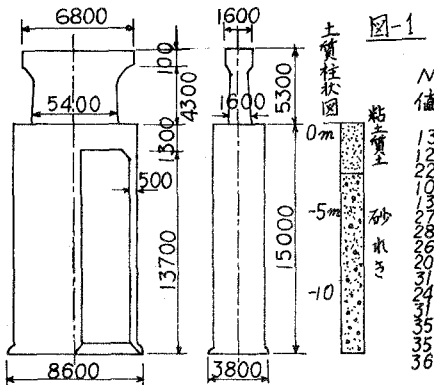


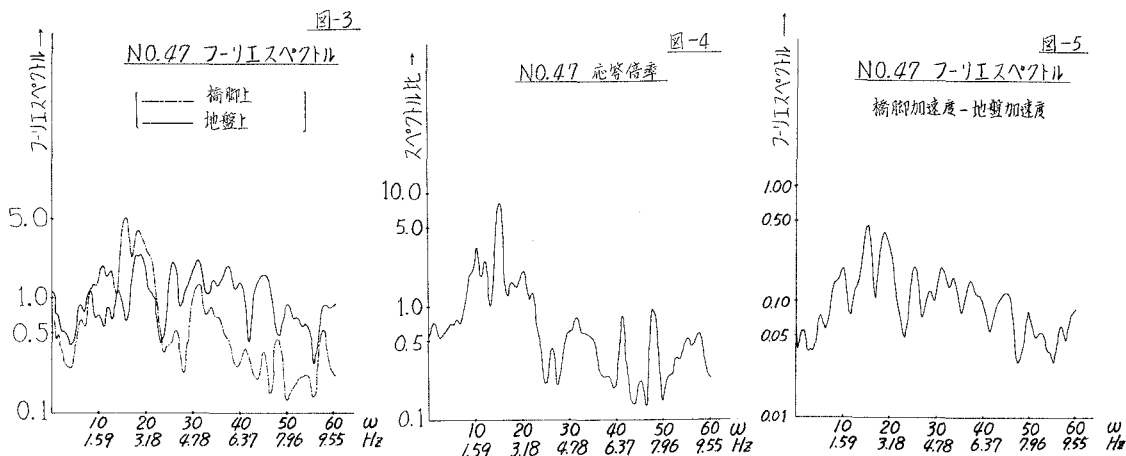
表-1

NO.	GROUND	PIER
8	27.80 gal	41.38 gal
10	39.50 "	31.375 "
11	33.75 "	61.375 "
13	51.25 "	-54.00 "
15	36.25 "	46.00 "
16	14.50 "	25.375 "
17	73.28 "	39.38 "
44	-94.25 "	50.00 "
47	230.50 "	121.375 "
61	206.125 "	189.00 "
62	28.88 "	51.75 "
144	73.50 "	99.25 "
197	-95.75 "	-99.875 "
93	310.75 "	
129	88.13 "	
181	294.13 "	
263	178.85 "	
379	161.88 "	
382	115.38 "	
385	57.75 "	
905	-38.50 "	

3. 地盤～橋脚の固有振動数の推定

地盤～橋脚系の固有振動数を決定するのに、次の2つの方法を用いた。その1は、地盤上および橋脚上で得られた波形から、それぞれフーリエスペクトルを求める。この両者の絶対値の比が伝達関数の絶対値であると考え、これを共振倍率とみなす。この共振倍率曲線を求めた時、ある振動数にピークが現われる。この振動数が、橋脚～地盤系の固有振動数の候補となる。その2は、地盤上の加速度波形を橋脚上の加速度波形から、各時刻歴づけて引く方法である。ここで得られた波形を解析して、フーリエスペクトルを求める。このフー

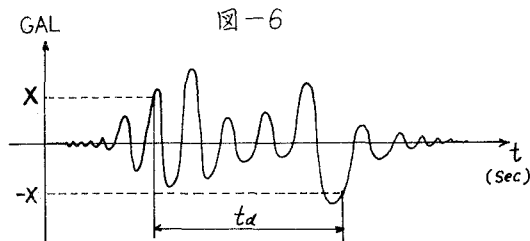
リエンスパクトルのピーク値が、橋脚の固有振動数の候補となる。その1, その2を参考にして地盤～橋脚系の1次, 2次固有振動数を推定する。図-3は、その1の代表的な例として、NO.47の地盤上、橋脚上の記録のフーリエスペクトルを示し、図-4は応答倍率を示したものである。その2の代表的な例としても、NO.47を用いた。その結果をプロットしたものが図-5である。それぞれ数個のピークを有し、1次振動数と思われるピークは2.4 Hz付近に、5.1 Hz付近に2次振動数と思われるピークがある。同様の方法で他の地震波についても地盤～橋脚系の固有振動数の推定をおこなう。



4. 波形の特性値の定義

地震動の大きさを表すのに、一般に最大加速度を用いることが多い。しかし地震の強さをその最大加速度のみで代表させることは、必ずしも適当ではない。そこで最大加速度の他に波形特性を表す特性値として、次のものを用いる。

- | | |
|-----------|---|
| ① 継続時間 | $t_d (\text{sec})$ |
| ② 絶対最大加速度 | $ \ddot{y}(t) _{\max}$ |
| ③ 絶対全加速度 | $ \ddot{y}(t) = \int_0^{t_d} \ddot{y}(t) dt$ |
| ④ 絶対平均加速度 | $ \ddot{y}(t) _{\text{ave}} = \frac{1}{t_d} \int_0^{t_d} \ddot{y}(t) dt$ |
| ⑤ 全パワー | $P (\text{cm}^2/\text{sec}) = \int_0^{t_d} \{\ddot{y}(t)\}^2 dt$ |
| ⑥ 平均パワー | $P_{\text{ave}} (\text{cm}^2/\text{sec}) = \frac{1}{t_d} \int_0^{t_d} \{\ddot{y}(t)\}^2 dt$ |



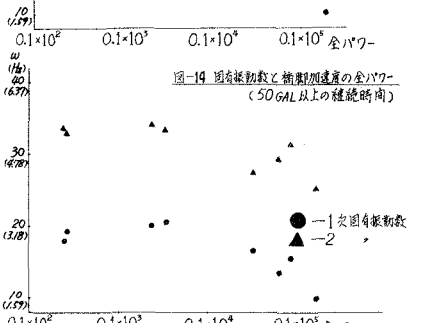
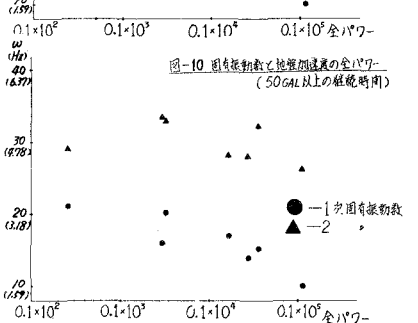
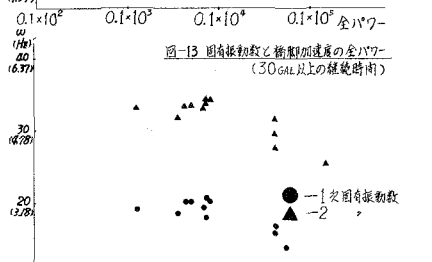
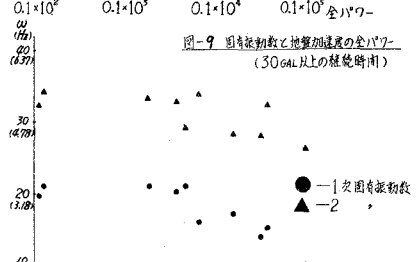
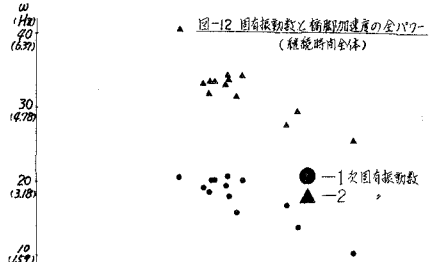
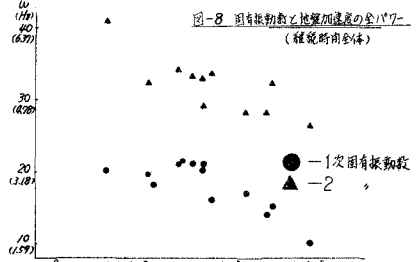
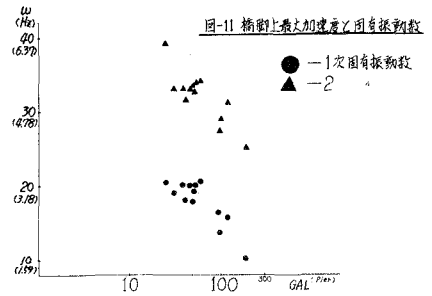
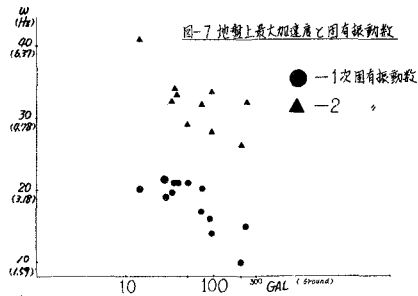
ただし、③、④、⑤、⑥、における継続時間 t_d とは、図-6 に示すように X GAL が始まった時から X GAL が終わるまでの時間である。この時、途中で X GAL 以下の加速度が含まれている場合もある。本報告では、 X を 10 GAL, 30 GAL, 50 GAL 等に区別する。

5. 地盤～橋脚系の固有振動数と各特性値について

1) 3. で推定した地盤～橋脚系の固有振動数と地盤上最大加速度を例にとった場合が、図-7である。図示のごとく、1次固有振動数に関し 30～50 GAL の所に1つの変曲点が見られるが、あまり明確ではない。

2) 図-8から図-10までは、地盤上で得られた記録から全パワー(P)を求めたものである。図-8は、地震が始まってから終わるまでの時間における全パワー(P)を求め、図-9は30 GALについて、図-11は50 GALについてである。この場合は、変曲点の存在が明確である。また、加速度が増加するにつれ変曲点の移動も見られる。

3) 図-11は、地盤～橋脚系の固有振動数と橋脚上最大加速度の場合である。図示のように、加速度の増加に



ともなう、固有振動数の低下が見られるが、変曲点は明確でない。

4) 図-12から図-14までは、橋脚上で得られた記録から全パワー(P)を求めた。この場合も、各別速度の大きさに区別した。この結果、変曲点の存在が地盤の全パワーの場合より明確にあらわれることと、変曲点の移動が見られる。

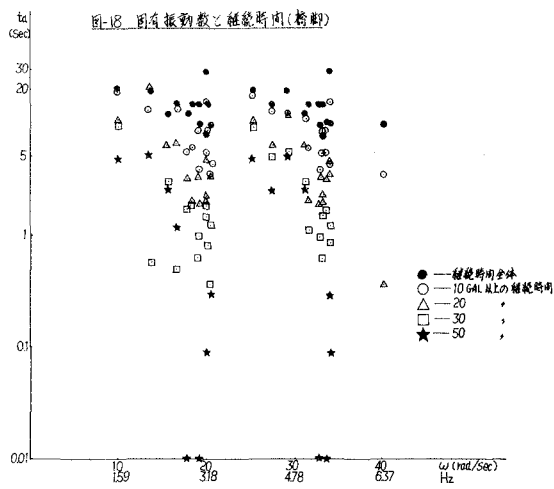
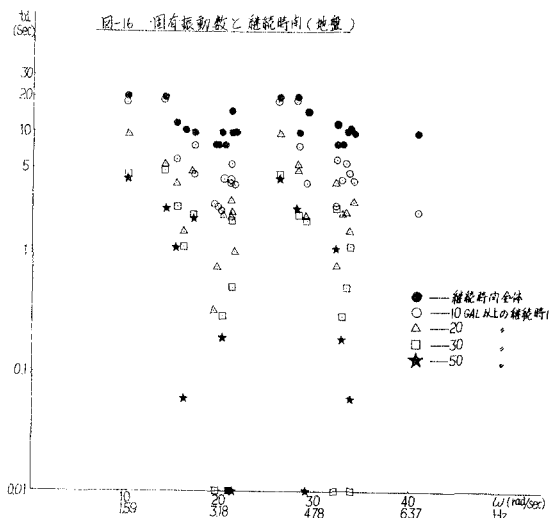
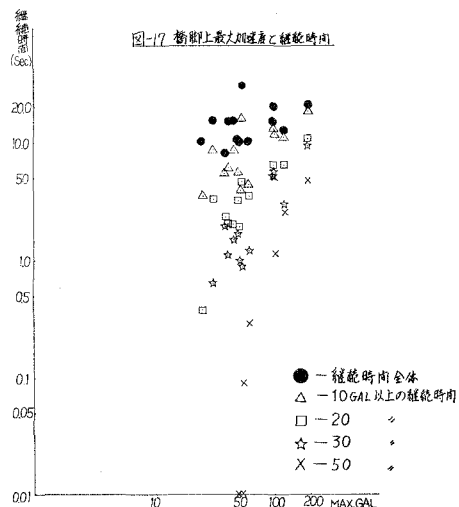
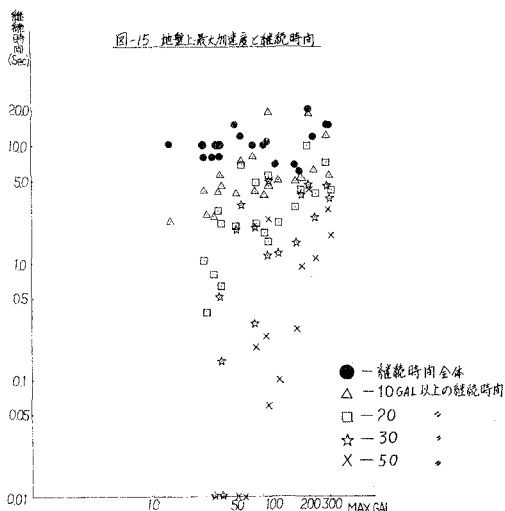
6. 各特性値と継続時間について

1) 図-15は、地盤上最大加速度と継続時間である。図示のごとく各別速度の大きさに区別した。30GAL以下の地震において、継続時間との関係は見られないが、30GAL以上になると、継続時間も増加する。

2) 図-16は、地盤～橋脚系の固有振動数と継続時間の関係である。図示のごとく固有振動数の低下は、継続時間に関係する。この現象は、1次、2次の両方にあらわれている。

3) 図-17は、橋脚上最大加速度と継続時間の関係で、地盤上最大加速度の場合より明確な傾向があらわれている。

4) 図-18は、地盤～橋脚系の固有振動数と橋脚上加速度の継続時間である。地盤の場合と比較してよい傾向があらわれている。



7. まとめ

地盤上および橋脚上で得られた 10 GAL 程度の小地震から 300 GAL までの大地震を用いて、フーリエ解析し、地盤～橋脚系の固有振動を推定すること、ならびにこれらの加速度波形の特性値(継続時間、絶対最大加速度、絶対全加速度、全パワー、平均パワー)を調べ固有振動数との関係を明らかにすることが、本報告の主旨である。

その結果、最大加速度で議論するよりも、特に全パワーを用いた方が、地盤～橋脚系の固有振動数の低下が著しく明確に現われることがわかった。その原因として地震の継続時間との関係が明らかとなった。

松代地震の特徴として、主振動の持続性が短い事からも、今後、絶対平均加速度、平均パワーの面から検討する必要がある。

<謝辞>

本研究を進めるにあたり貴重な助言をいただいた後藤洋三氏(材料組・技研)にお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 国井、菊地「強震記録から推定される井筒基礎橋脚の動特性」土木学会第29回年次学術講演会 第1部
- 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