

# 連壁剛体基礎橋脚の地震時挙動について

菊地敏男 後藤洋三

## Dynamic Behavior of Pier with Caisson-Type Wall Foundation

Toshio Kikuchi Yozo Goto

### Abstract

This report describes the results of earthquake observations on an existing pier supported by a caisson-type wall foundation, and their FEM simulation analyses. The following were obtained as results of the earthquake observations. (1) The natural frequency of the ground-pier system including the girder is estimated at about 1.1 to 1.2 Hz. (2) The inner soil shows the same behavior as the surrounding wall foundation. (3) The maximum amplification ratios of girder and pier top to the bearing layer are higher than that of surface ground. According to the calculated results, it is thought possible to apply two-dimensional FEM to analysis of the interaction of the pier with the caisson-type wall foundation.

### 概要

この報告は、連壁剛体基礎によって支持された橋脚の地震観測、およびFEMを用いたシミュレーション解析結果について述べたものである。地震観測結果より、(1) 桁を含めた地盤～橋脚系の1次ピークは、1.1～1.2Hz付近と推定されること、(2) 連壁内部地盤は、連壁および周辺地盤と一体となって振動すること、(3) 最大応答倍率は、地盤中よりも橋脚上、桁上で大きくなることなどがわかった。また、シミュレーション解析結果を総合的に判断すると、2次元FEMはこの様な構造物にも適用できる可能性があることを示している。

### 1. まえがき

連続地中壁工法は、本来、仮設山留め壁の構築工法として開発されたものであるが、工法の進歩に伴い精度が高く、品質のよい地中壁を構築することが可能となり、これを桁や構造物本体の一部として利用するようになった。最近では、地中壁間を水平鉄筋のラップジョイント、その他で剛結することによって Box 型の断面を有する基礎を構築し、これを橋梁の基礎として利用するケースがふえている(図-1参照)。この報告では、このような基礎を連壁剛体基礎と呼称している。この基礎は、ケーソン基礎と比較して、(1)施工法の相違から内部地盤がそのまま残ること、(2)基礎と地盤の摩擦力が大きいこと、(3)ややたわみ性を有すると考えられること、などの特徴があげられる。しかし、このような基礎を有する橋脚の地震時挙動を観測した例はこれまでにない。そこで、基礎周辺地盤、連壁、剛体基礎、橋脚に設置した計測器により、地盤～基礎～橋脚連成系としての地震時挙動の把握、モデル化の検討、連壁剛体基礎の耐震設計における資料の

蓄積などを目的として地震観測を始めた。観測は、昭和60年1月より開始しており、昭和61年3月までの間に16回の地震記録を得た。この報告は、このうち昭和60年10月4日に発生した茨城・千葉県境地震(M=6.2)の観測結果を示し、併せて有限要素法によるシミュレーション解析結果についても示している。

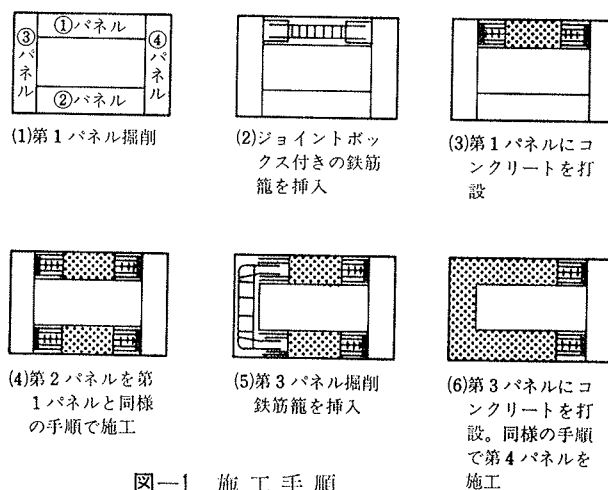


図-1 施工手順

## 2. 橋梁・基礎の構造および地盤の概要

対象とした橋脚は、東北新幹線笹目川橋梁（埼玉県戸田市）第2橋脚（2P）で、橋梁全体は図-2に示すようにスパンが48m, 80m, 48m, 桁幅が16.74m（新幹線2線、在来線1線）の3径間連続PC箱桁橋である。基礎は、-40m付近の礫混じり砂層に支持されており、連壁部分の断面形状は10.0m×12.0m、壁厚1.5mであり、脚柱部分を除く基礎の長さは35.7mである。脚柱は円形状をしており、長さは19.5mである。また、地盤は図-3からわかるように、シルト質が多くN値0~5程度が約30mも続く軟弱な地盤である。

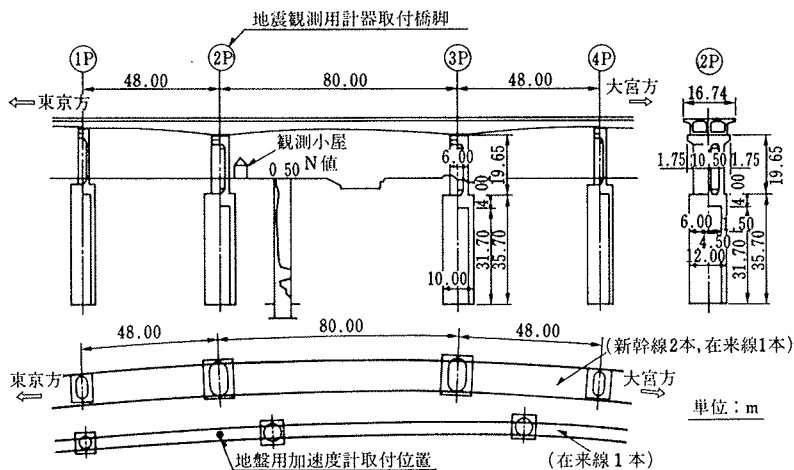


図-2 笹目川橋梁の概要

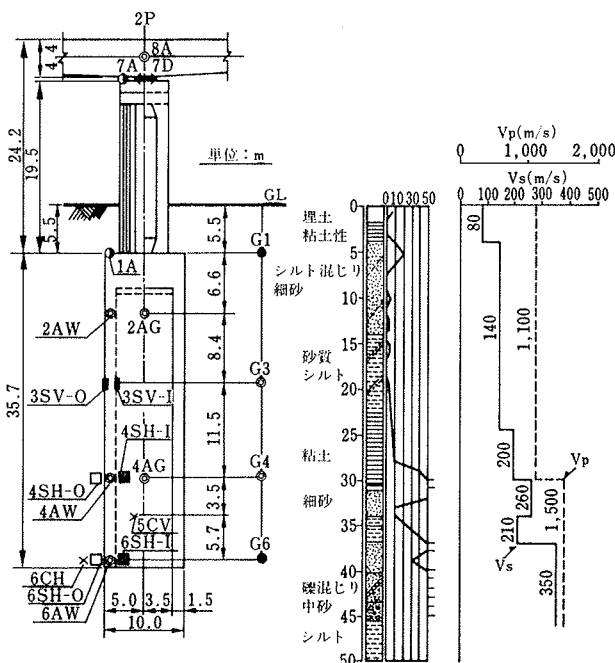
## 3. 観測システム

地震観測は、図-3に示すように加速度計、鉄筋計、クラック計および相対変位計により実施している。加速度計はサーボ型加速度計で、桁（8A-X）に1台（1成分）、橋脚上（7A-XY）に1台（2成分）、フーチング上（1AG-XY）に1台（2成分）、連壁内（2AW-X・4AW-X・6AW-X）に3台（3成分）、連壁内部地盤（2AG-X・4AG-X）に2台（2成分）、周辺地盤（G1-XYZ, G2-X, G3-X, G4-X, G6-XYZ）に4台（3成分2台、1成分2台）の計18台である。地盤中に埋設した箇所は、2Pの橋軸直角方向11mの地点である。ここに、X, Y, Z方向はそれぞれ橋軸方向、橋軸直角方向、上下方向を示している。この他、桁と橋脚間に相対変位計（7D）を1成分、連壁内面、外面の縦筋、横筋に鉄筋計（3SV-IO, 4SH-IO, 6SH-IO）を6成分、連壁内コンクリートと接合鋼板にクラック計（5C-V, 6C-H）を2成分配置した。各センサーからの波形は、各専用アンプで増幅された後、A-D変換器（12bit, 100Hz）、スタータ回路、遅延装置（5sec）、水晶時計を内蔵するデジタル式集録装置により記録される。スタータはG6地点（GL-40m）としており、そのレベルは0.5galに設定している。

## 4. 観測記録

### (1) 観測された地震

昭和60年1月の観測開始から、昭和61年3月までの間に観測された地震のうち、東京で震度階Ⅲ以上あったものは、表-1に示す4つの地震である。これらの地震の震央位置および規模を図-4に示す。図中+印は観測点で、ここを中心に50kmごとの同心円を示している。ま



計測器一覧表

記号	計器	成分	台数
●	A	加速度計(X, Y, Z)	3
○	A	加速度計(X, Y)	2
◎	A	加速度計(X)	8
↔	D	相対変位計(橋軸方向)	1
■	SV	鉄筋計(縦筋)	1
■□	SH	鉄筋計(横筋)	4
X=C-V, X=C-H		クラック計	1

注：クラック計は継目位置とする。■-φ32 X-橋軸方向  
□-φ19 Y-橋軸直角方向  
Z-上下方向

図-3 計測器取付け位置および地盤状況

た、○印の大きさは、マグニチュードの大きさを示している。

NO.	Data	Mag. M	Depth. D (km)	Dist $\Delta$ (km)	Tokyo Int.	8A-X (gal)	7A-X (gal)	1A-X (gal)	6AW-X (gal)
1	'85. 6. 8.01:29	4.8	65	61	III	11.0	8.6	4.4	2.4
2	'85.10. 4.21:26	6.2	78	45	V	106.2	84.0	26.5	21.5
3	'85.11.22.13:17	4.9	56	37	III	17.3	14.7	7.7	7.4
4	'86. 2.12.11:59	4.3	43	140	III	10.4	8.7	2.9	1.8

表-1 観測した地震波の諸元

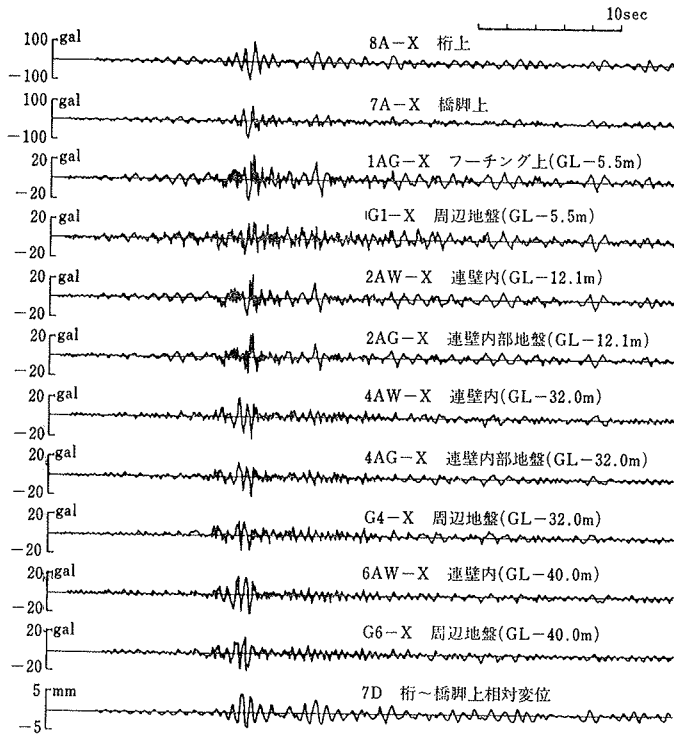


図-5 観測波形(昭和60年10月4日, 橋軸方向の主要測点)

この報告では、これらの地震のうち昭和60年10月4日に発生した茨城・千葉県境地震(地震 No. 2, 東京で震度V)について説明する。

(2) 観測波形

観測波形の1例として、地震 No. 2の橋軸方向加速度波形, 相対変位波形を図-5に示す。図より、主要動の継続時間は5秒程度であり、震央距離の近い(45 km)地震波の様相を示していること、同一深度における周辺地盤, 連壁, 連壁内部地盤の波形を比較すると、最大加速度は、ほぼ同程度であること、主要動付近の位相はよく一致していること、また、桁~橋脚間の相対変位波形は、橋脚上における加速度波形の主要動付近で最大値を示し、その後は片振れせずに中心軸へもどることなどがわかる。

(3) フーリエスペクトル

各測点で得られた加速度波形のフーリエスペクトルを図-6に示す。図より、GL-40 m地点(G6, 6AW)とGL-32 m地点(G4, 4AG, 4AW)では、0.8~0.9 Hz, 1.6~1.8 Hz付近と2 Hz付近にピークを持つが、GL

マグニチュード

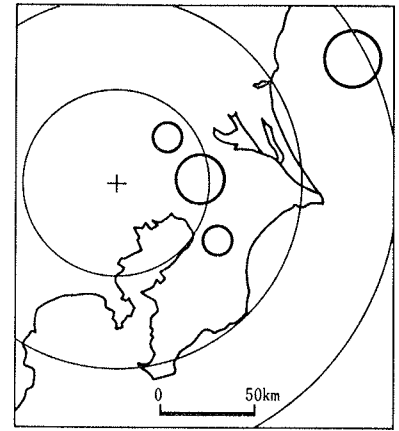
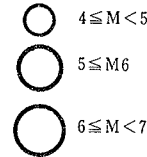


図-4 震央位置図

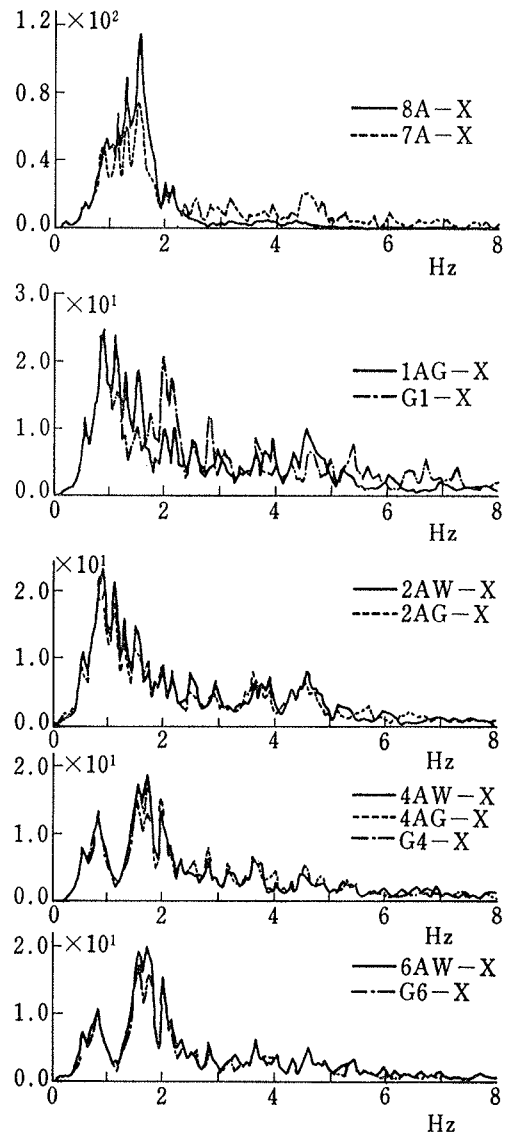


図-6 フーリエスペクトル

-12.1 m地点(2AG, 2AW)より上になると、0.9~1.8 Hzの範囲に分散したピークが見られる。また、同一深

度における連壁，連壁内部地盤，周辺地盤のスペクトルは，ほぼ同じ形状を示していることがわかる。

(4) 最大加速度倍率

連壁底部（6AW）に対する各測点の最大加速度倍率を示したものが図-7である。同図には，参考のため他の3つの地震の応答倍率も示してある。図より，各測点の倍率は連壁底部からフーチング上で，1.4~1.8倍程度であるが，橋脚上，桁上では，それぞれ3.6~5.1倍，4.6~5.8倍と大きくなっている。最大加速度の増幅は，地盤中よりも橋脚上および桁で大きくなることがわかる。しかし，地震 No. 3 については，桁上においても2.3倍と小さい。これは橋脚部分で増幅しやすい1~2 Hz 付近の振動数成分が少ないことによるものと推定される。

(5) 伝達関数

GL-40 m 地点（G6）に対する桁，橋脚上，フーチング上，地盤 G1 地点（GL-5.5 m）の伝達関数を求めたものが図-8である。図より，1.1~1.2 Hz 付近のピークは，橋脚系，地盤系に共通してあらわれ，また，フーチング上より橋脚上，桁上になる程大きな倍率を示すことがわかる。

(6) モード形

1.1~1.2 Hz 付近におけるピークの振動性状を検討するため，伝達関数の応答倍率と位相スペクトルよりモード形を求めたものが，図-9である。各測点の応答倍率と位相差は G6 地点を基準にして求めた。この振動数のピークは，各測点で同位相であることから，桁を含めた地盤~橋脚系の1次ピークと推定される。図より連壁部の変形性状は，ややたわみ性を有すること，倍率は橋脚上，桁上になる程大きいこと，連壁内部地盤は，連壁および周辺地盤と一体となって振動していることなどがわかる。

5. シミュレーション解析

解析はモデル化した地盤の側方にエネルギー伝達境界を有し，底面および側面に粘性境界を有する2次元応答

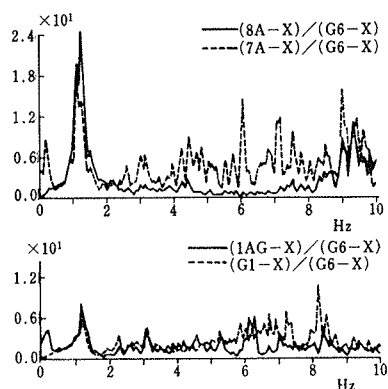


図-8 伝達関数

解析プログラム「拡張した FLUSH」により行なった。なお解析は橋軸方向に注目した。

(1) 解析モデルと地盤定数

橋脚部および連壁部のモデル化は，曲げ剛性が実構造物と等しくなる様にし，それぞれ Solid 要素とはり要素に置換した。また，フーチング部は剛体とした。支承部反力は，鉛直反力の50%のみが有効として評価した。解析モデルを図-10に示す。地盤の剛性，減衰定数のひず

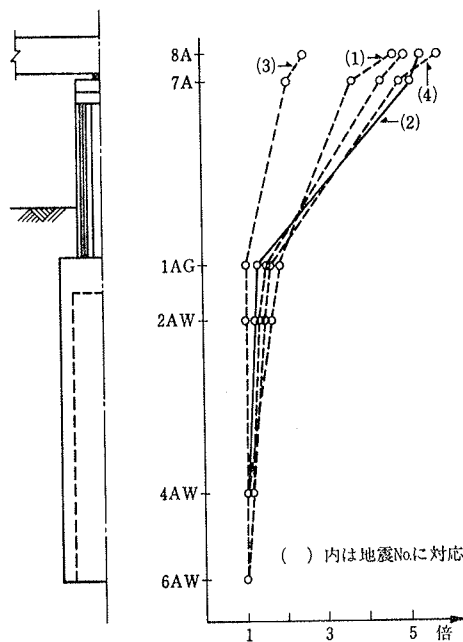


図-7 最大加速度倍率

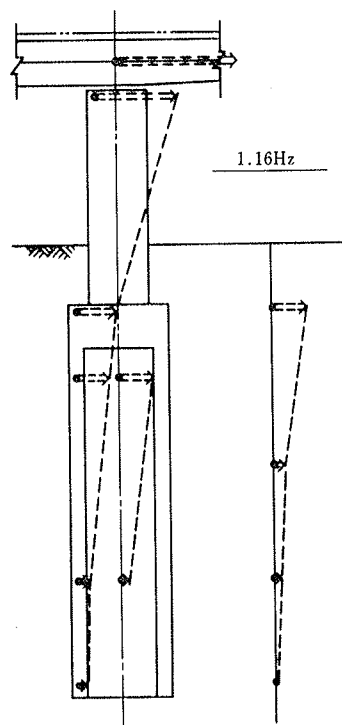


図-9 1.1~1.2 Hz でのモード形状

み依存性は、PS 検層と動的三軸試験結果を参考にして図-11に示すように定めた。構造物の減衰定数は2%とした。

(2) 解析結果

シミュレーション解析から得られた応答波形と観測された波形を比較したものが図-12である。図より、解析からの波形は、観測波形と比較して橋脚上で約20%程大きく、フーチング上でほぼ等しいこと、主要動付近の位相はよく一致していることがわかる。次にフーリエスペクトルを比較したものが図-13である。図より、解析と観測波形からのスペクトルは、ほぼ一致していることがわかる。

6. まとめ

連壁剛体基礎橋脚の地震観測結果とシミュレーション解析結果をまとめると以下の様になる。(1)桁を含めた地盤～橋脚系の1次ピークは1.1~1.2 Hz 付近と推定されること、(2)連壁内部地盤は、連壁および周辺地盤と一体となって振動すること、(3)最大加速度倍率および応答倍率は、地盤中よりも橋脚上、桁上で大きくなること、(4)連壁はやたわみ性を有する変形モードを示すこと、(5)シミュレーション解析結果を総合的に判断すると、この構造物の場合に対して2次元 FEM を用いた動的解析の適用できる可能性があることを示している。この報告は短期間のデータに基づく解析結果である。今後データを蓄積し、より詳細な検討を加える予定である。

謝 辞

この地震観測は、国鉄構造物設計事務所ならびに東京第2工事局と、(株)大林組技術研究所が共同研究として実施したものである。観測および解析をすすめるにあたり適切な指導をいただいた国鉄構造物設計事務所、海野隆哉次長に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 海野, 平野, 菊地: 連壁剛体基礎の地震時挙動について, 土木学会第41回年次学術講演会, 第1部, (昭和61.11), pp. 893~894

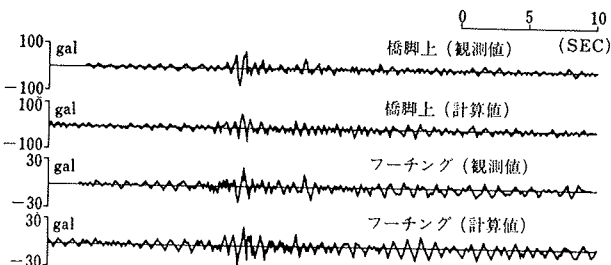


図-12 波形の比較

- 2) 海野, 菊地: 連壁剛体基礎の地震時挙動について, 第7回日本地震工学シンポジウム, (1986.12), pp. 919~924

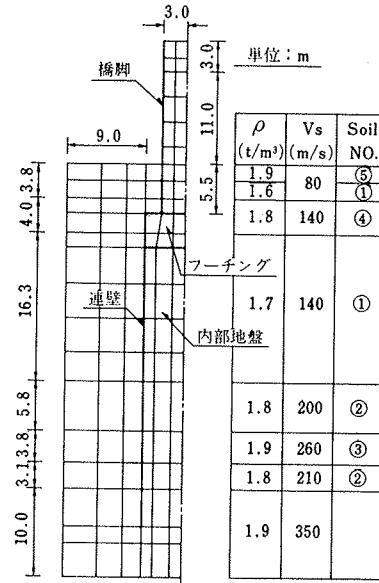


図-10 解析モデル

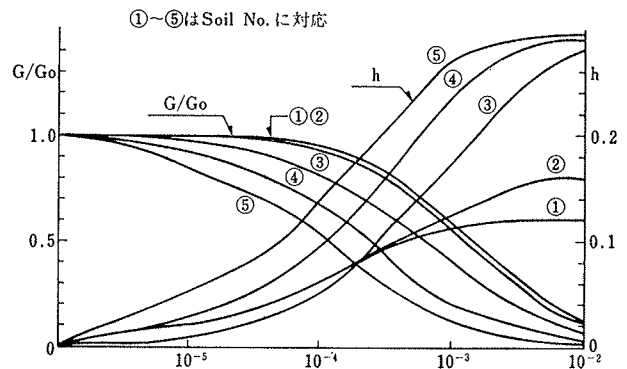


図-11 地盤の剛性, 減衰定数

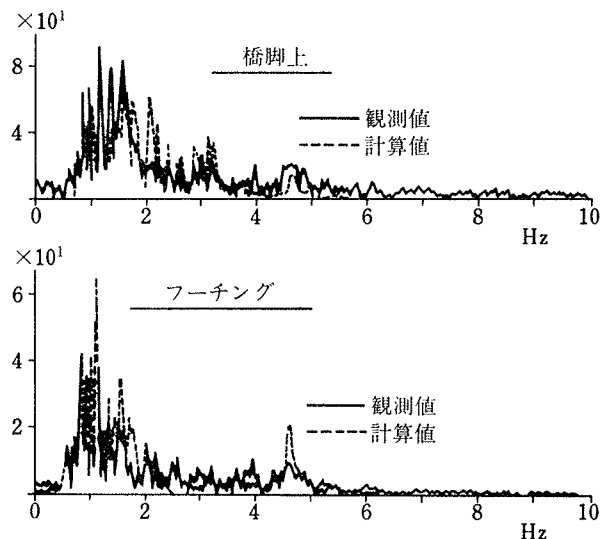


図-13 フーリエスペクトルの比較