

# WFによって支持された建造物の地震観測とシミュレーション解析

中川 恭次 渡辺 清治  
若松 邦夫

## Observation of Earthquake Motions and Their Simulation Analyses on an Existing Building Supported by WF Piles

Kyoji Nakagawa Seiji Watanabe  
Kunio Wakamatsu

### Abstract

This report describes the results of earthquake observations and their simulation analyses on an existing building supported by WF piles. According to the results of earthquake observations, the underground structure composed of WF piles, which have directional qualities, shows a tendency to vibrate as one body. Therefore, it is thought possible to idealize the whole group of WF piles as a single pile in gaining a rough conception of the dynamic behavior of the WF piles. The calculated results agree well with the observed ones and the validity of the analytical method proposed previously in the Institute's "Technical Report," No. 17 has been confirmed.

### 概要

この報告は、WFぐいによって支持された実在建造物の地震観測およびその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、方向性を有するWFぐいによって構成された地下構造物は全体が一体となって振動する様な傾向を示している。このため、概略の振動性状を把握するうえではWF基礎全体を単ぐいとして理想化することも可能と思われる。またシミュレーション解析の結果は実記録と良く一致し、所報 No. 17 に提案した解析方法の妥当性が示された。

## 1. はじめに

所報 No. 17<sup>1)</sup> (以後前報と記す)においてWF (OWS-SOLETANCHE 工法によって施工されたRC地中壁体)によって支持された建造物の動的解析に関する一手段、および仮想建造物による計算例について示した。この報告は東京・赤坂に建つWFを有するSRC造11階建家の地震観測結果および代表的記録波に対するシミュレーション解析結果について述べたものである。

## 2. 地震観測

### 2.1. 観測の目的

WFをくい基礎として機能させるとき、その基礎構造は一般のくいの場合とかなり異なっている。即ち、矩形断面を有するWFパネルの面内、面外方向の水平抵抗は大きく異なり、また地盤は外周に構築されたWFにより

内部と外部に分離されている場合が多い。この様なWFを有する建造物の地震時挙動を実際に観測した例は殆ど無い。今回の地震観測の目的はシミュレーション解析のためのデータを得ることと共に次に示す様な基礎ぐい部分の地震時挙動を実測より把握し、基礎ぐい全体を単ぐいとしてモデル化した前報の解析仮定の妥当性をも検証するものである。

- (1) 同一平面内の外周および内部WFパネルの挙動。
- (2) 曲げ剛性の大きく異なる面内、面外WFパネルの動き。
- (3) WFパネルとそれらにより囲まれた内部土の挙動

### 2.2. 建家および地盤の概要

地震観測の対象とした建家は図一1、2、3に示した様なSRC造11階、地下2階、塔屋2階の事務所建築である。本建家の上部構造は図一2に示した様に短辺(H1)方向にはコア回りに、また長辺(H2)方向には両

サイドに配置された RC 耐震壁を主耐震要素とした構造である。基礎ぐい部分は図-3 に示した様に外周および内部に配置された計24枚のWF パネルにより構成されている。

敷地地盤は H2 方向に若干傾斜しておりその層断面を 図-4 に示した。サイトは上部より関東ローム層、渋谷粘土層、上部東京層が認められ G. L. 1-25 m にくいの支持地盤である東京礫層が、更には江戸川層が続くという比較的良好な地盤である。S 波速度分布は同図に示した様に、支持層より上位層は 2 層構造を呈しているが、第 2 層と支持層との S 波速度はあまり変化していない。支持層 (G. L. 1-25 m) 以深の S 波速度は弾性波試験データから得られる区間速度としては約 500 m/sec 程度に

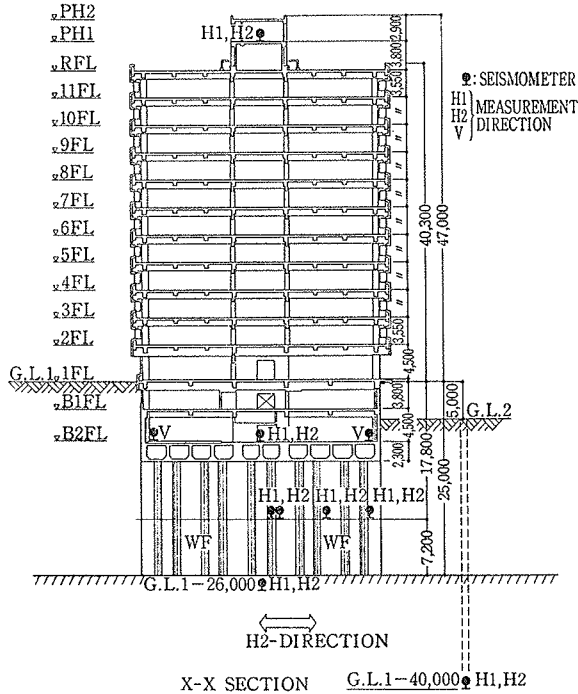


図-1 断面図と地震計位置

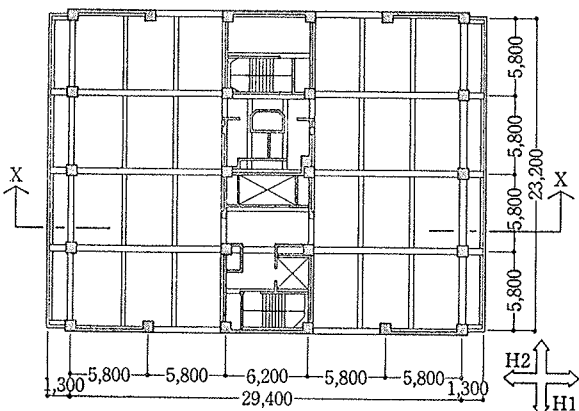


図-2 基準階はり伏図

も達するところもあるが、平均的には 400~500 m/sec の値を示している。

### 2.3. 地震計設置位置

観測の目的を反映させた形で観測点を 図-1, 3 に示した様に設定した。地震計は圧電型の加速度計を使用し、建家内には塔屋 1 階に水平成分、地下 2 階に水平および上下成分の地震計を配置した。地下部分は外周、内部の各 WF パネルおよび内部土に計 4 個の水平成分地震計を G. L. 1-17.8 m の WF パネル中間位置に設置した。さらに、入力およびスターターとして G. L. 1-26 m の支持層中および G. L. 1-40 m にそれぞれ水平成分の地震計を設置した。なお、水平成分の地震計はすべて水平

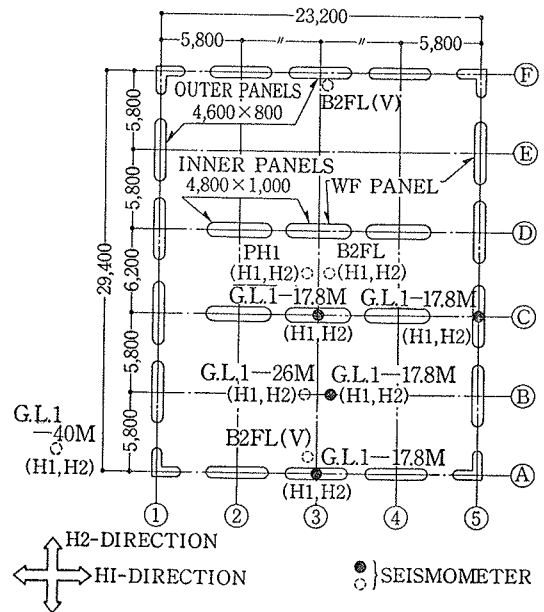


図-3 WF 基礎と地震計位置

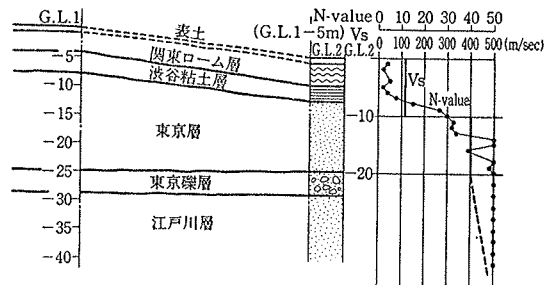


図-4 敷地地盤概要

LOCATION OF SEISMOMETER	COMP.	AMP. CH. ATT.	D.R. CH.
G.L.1-40.0M	H1	1 10*	1
	H2	2 10*	2
G.L.1-26.0M	H1	3 10*	3
	H2	4 10*	4
G.L.1-17.8M INNER SOIL	H1	5 30	5
	H2	6 30	6
G.L.1-17.8M (A) WF PANEL	H1	7 30	7
	H2	8 30	8
G.L.1-17.8M (C) WF PANEL	H1	9 30	9
	H2	10 30	10
G.L.1-17.8M (C) WF PANEL	H1	11 30	11
	H2	12 30	12
G.L.1-8.1M B2FL	H1	13 100	13
	H2	14 100	14
G.L.1+44.4M PH1			
G.L.1-8.1M B2FL	v		
G.L.1-8.1M B2FL	v		

図-5 地震観測パターン

2成分 (H1, H2 の方向) 用である。

地震波形はデータレコーダーに記録するものとしたが、計録計のチャンネル数の関係で現在は H2 方向を主に観測している。現在の観測点 (観測パターン I) を図-5 に示した。なお、スターターは G. L. 1-40 m の H1 方向としスターター感度は 0.5 gal とした。

2.4. 観測結果

昭和54年11月より観測を開始し、昭和55年5月末までに14個の地震を記録した。それらは東京震度Ⅲが3個、Ⅱが2個、その他はⅠまたは無感である。これらの地震について塔屋1階と支持層中の H2 方向のフーリエスペクトル比を計算し、それより得られる建家-地盤連成系の1次周期を塔屋1階の最大加速度と比較して図-6 に示した。同図には地震観測前に行なったマンパワーによる自由振動試験の結果も合せて示してある。その周期は地震時のものに比べると若干短かめである。これは、試験時に建家は内装仕上げ工事中であり積載荷重が殆ど無かったことによるものと思われる。同図より、震度Ⅱ~Ⅲ程度の地震においても微小振幅レベル時に比べると周期性が若干伸びているのが認められる。これらの地震の支持層中の最大加速度は高々 4~5 gal 程度であり地盤が非線型領域に入ったことは考えにくく、地下室或いは WF ぐいと土との接触の状態が応答量の増大とともに変化し周期特性のうえに非線型性が現われたものかと推測される。

つぎに、観測された地震のうち昭和55年4月22日に発生した地震 (震央: 31.8°N, 138.0°E 東海道はるか沖:

震度Ⅲ) の WF ぐい、および内部地盤における H2 方向の記録を図-7に示した。これらの波形は G. L. 1-17.8 m の同一平面内のものであり、外周 WF パネル面外方向 (A-③), 内部 WF パネル面外方向 (C-③), 外周 WF パネル面内方向 (C-⑤), および内部土 (B-③) の各記録はその細部では若干異なるものの殆ど同様な振動をしていると認められる。WF の様な基礎構造物の詳細な地盤連成解析を考える場合、(1)外周と内部の WF パネルに作用する周辺地盤の外力効果の評価、(2)曲げ剛性の大きく異なる面内面外 WF パネルの取扱い、(3)それに伴う地盤との相互作用の評価、および群ぐい効果等多くの難かしい問題を考慮する必要があると思われる。しかし、これらの観測波形を見ると概略の振動性状を把握するうえでは WF 基礎全体を単ぐいとして扱うことも

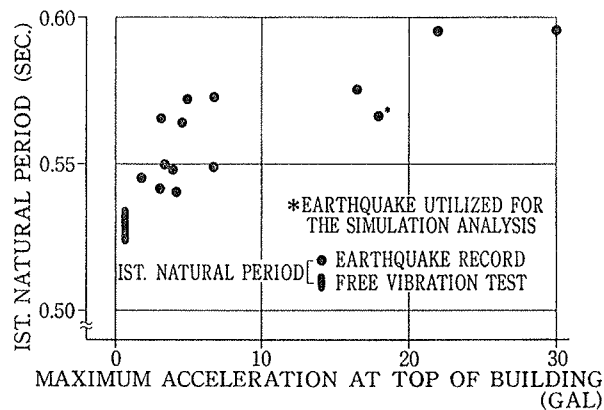


図-6 1次固有周期と最大加速度(塔屋)の関係

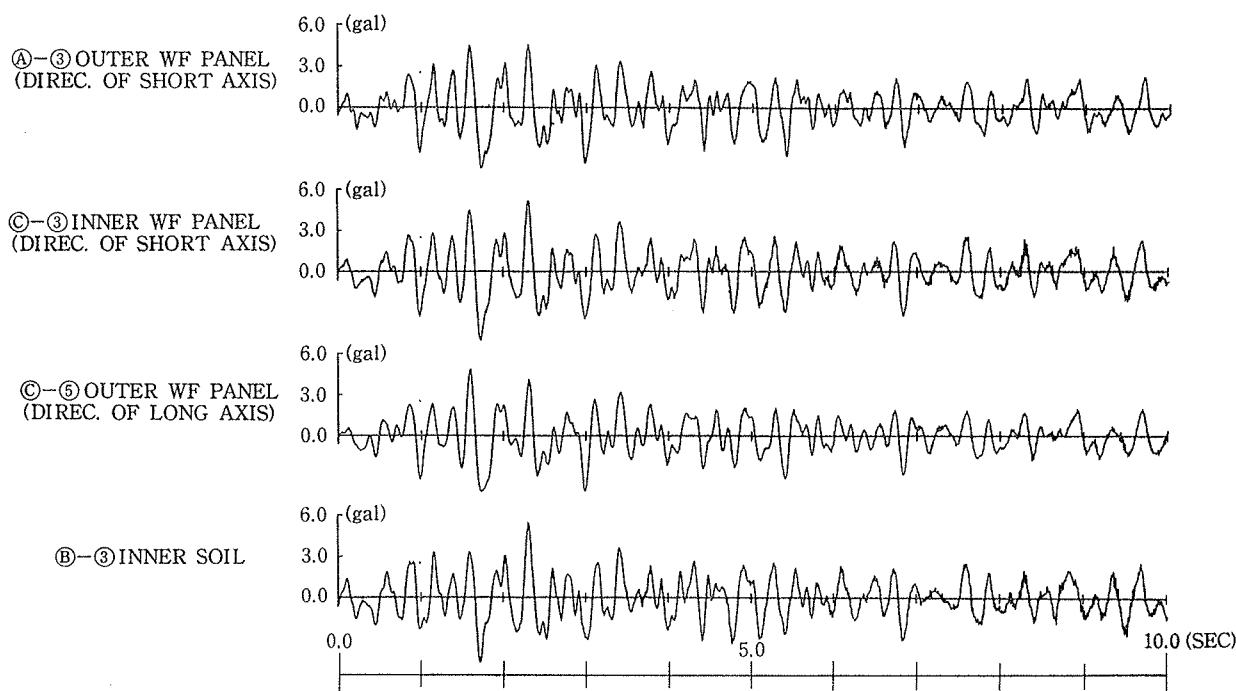


図-7 基礎部分の地震観測記録

可能ではないかと思われる。また、内部土とWFパネルはほぼ同様な振動を示していることから判断すると内部土が卓越する振動数はかなり高いことが推測される。なお周期性の異なる他の地震についても同様な傾向を示していた。

### 3. シミュレーション解析

#### 3.1. 振動モデルと諸定数

前報に示した解析方法にほぼ従がい代表的地震の H2 方向に対するシミュレーション解析を行なった。振動モデルは図-8に示した様に建物部分は上部14質点、地下階2質点、WF ぐい2質点にそれぞれモデル化し、若干傾斜している地盤は平行層に理想化し地下階床およびWF 質点位置と同レベルの4質点に分割した。上部建家および地下階の各階重量は積載荷重を考慮した設計用のものを用いた。上部建家の剛性は自由振動試験より得られたセン断バネとし、地下階の剛性は振動方向の壁量より求めた。本地盤では支持層より上位層が2層構造を呈しているため周辺地盤の相互作用バネは前報に示した

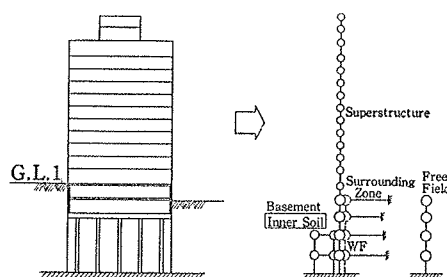


図-8 振動モデル

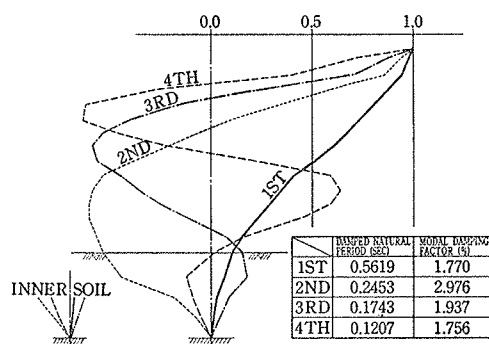


図-9 固有値, 減衰定数, 振動形

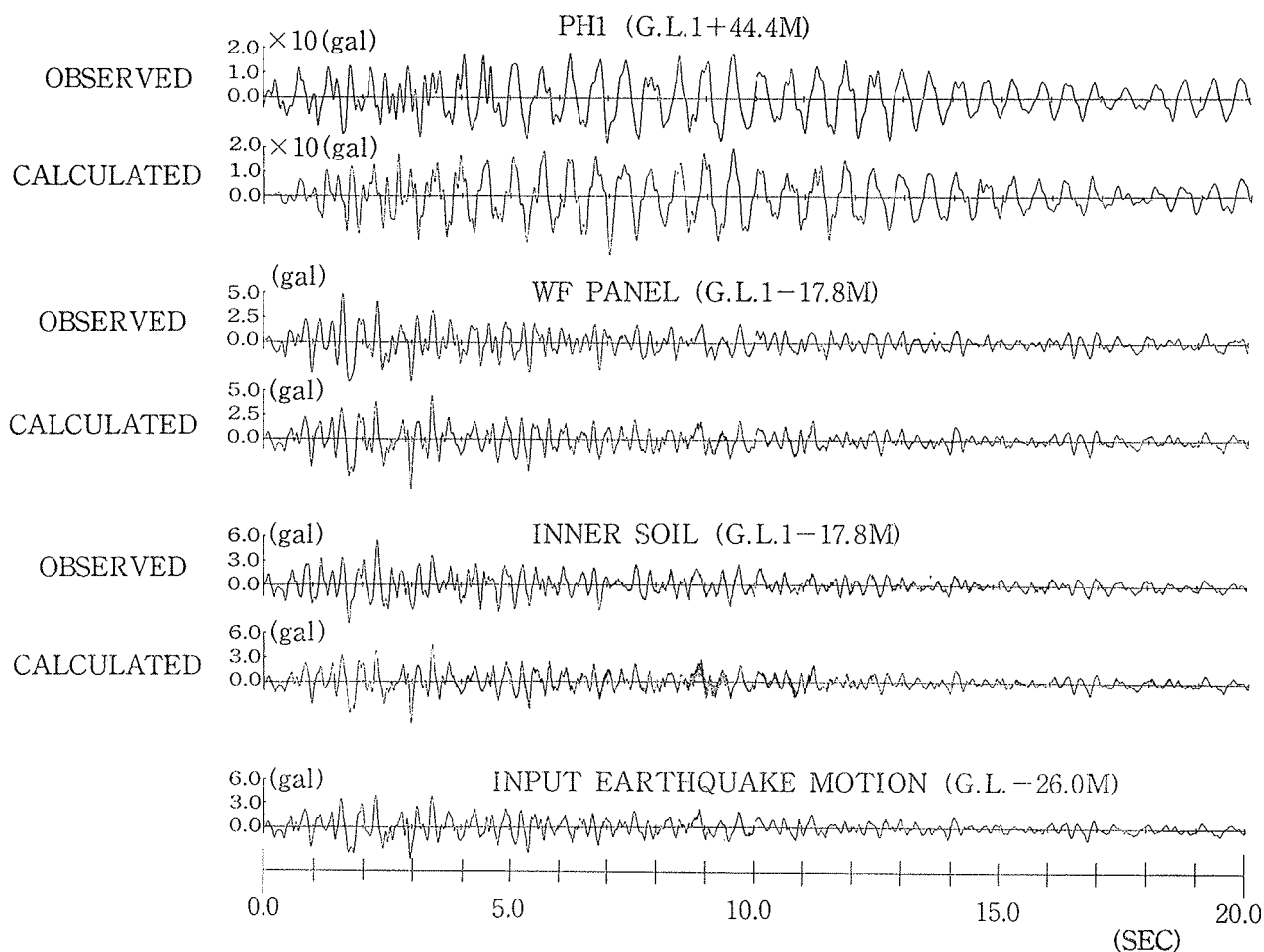


図-10 観測波と計算波の比較

様な Mindlin 解より求まるバネマトリックスを圧縮バネとセン断バネに理想化して考え、剛性の異なる層境界において上下層のバネマトリックスの対角項を単純平均して求めた。さらに、有効質量は上述のように分離されたセン断バネより算出される有効セン断面積に層厚および地盤の質量密度を乗じたものとした。地盤および相互作用に関する諸定数は弾性波試験結果の値より求め、相互作用バネは引張も考慮したものとした。なお、回転バネは自由振動試験より得られたものとした。減衰は上部1.5%、地下階、WF および地盤 3%と異なる減衰を与え、全体系の1次の減衰定数をほぼ自由振動試験の結果に合せる様に設定した。減衰マトリックスの作成は前報に示した様に、周辺地盤については臨界減衰に対する

比で与え、その他は Caughey の方法を参考にして振動数無関係型とした。

### 3.2. 解析結果

使用した地震波は前述の昭和54年4月22日のものである。全体系の固有値、減衰定数、および振動形を図-9に示した。塔屋1階、WF パネル、内部地盤の観測波と計算波、および入力として用いた G. L. 1-26 m の波形を図-10に、またそれらの速度応答スペクトルを図-11にそれぞれ示した。観測波と計算波は比較的良く対応しており本解法の妥当性が示された。

### 4. おわりに

WF によって支持された構造物の地震時挙動を地震観測および解析の両面より検討した。主な結果は次の様なものである。

- (1) 観測波形より同一平面内でのWF パネルは面内・面外方向とも殆ど同様な挙動を示している。
- (2) さらに外周、内部のWF パネルおよび内部土についてもほぼ同様な振動を呈しており、全体が一体となって振動している様な様相を示している。
- (2) 以上の事実はWF 基礎の概略の振動性状を把握するうえでは、全体を単ぐいとして理想化することも可能であることを示唆していると思われる。
- (4) シミュレーション解析の結果、所報 No. 17 に示した解法による計算波は観測波と良く対応し、本解法の有用性が示された。

地震観測は現在も継続しており、今後データの蓄積を計かるとともに、回転バネの評価法、非線型領域への拡張等本解析モデルを更に発展させてゆくつもりである。

未筆ながら、本研究を遂行するに当たり、当技術研究所の武田、金谷両室長、角田、後藤両主任研究員ならびに安井、鈴木、茶谷各職員の方々に終始御協力いただいたことをここに記し深く感謝の意を表します。また、地震計の埋設、管理に当っては、山田浩一所長、吉田馨主任をはじめとする工事事務所の方々にお世話になりました。ここに厚く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 中川、渡辺、武田、金谷、後藤、鈴木、茶谷、若松：WF によって支持された構造物の動的解析に関する一考察、大林組技術研究所報、No. 17, (1978), pp. 22~29

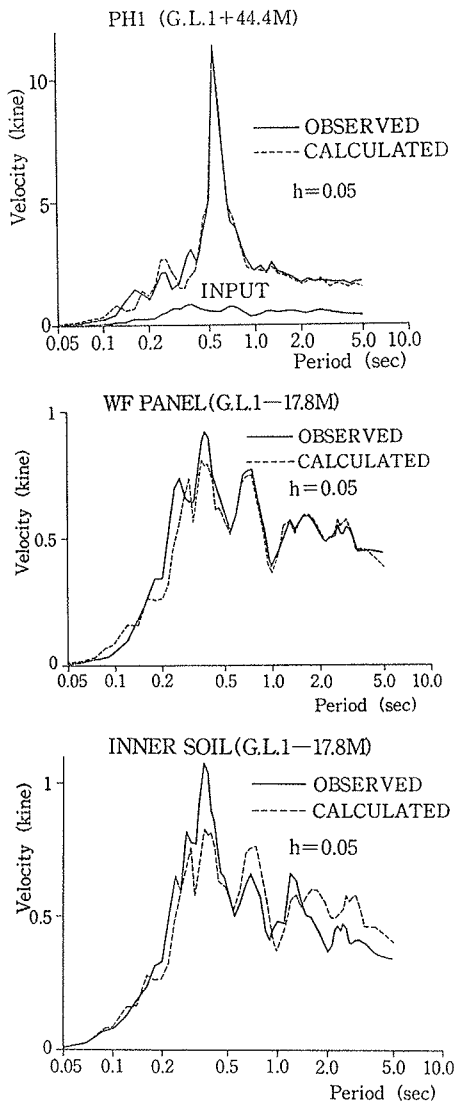


図-11 観測波と計算波の速度応答スペクトル