強震観測記録に基づく地盤震動特性に関する考察

鈴木 猛康* 吉

吉谷 進治*

勝川 藤太*

1995年兵庫県南部地震の観測地震動の最大値ならびにデジタルデータを用いて,地震動の距離減衰特性, 増幅特性ならびに上下/水平スペクトル比について検討を行っている。検討の結果得られた増幅特性につい ては,Loma Prieta地震の観測記録を用いた検討結果と比較し、上下/水平スペクトル比については東北地方 における我国の地震観測記録と比較している。またボートアイランドの観測地震動記録を用いて,地盤動的 物性の同定解析ならびに有効応力解析を試み,地盤の非線形挙動について考察している。

キーワード: 強震記録, 距離減衰, 増幅, 上下/水平スペクトル比, 同定解析, 有効応力解析

1. はじめに

1995年1月17日兵庫県南部地震では、気象庁、関西地 震観測協議会、神戸市の各機関よりデジタルデータが公 開されると共に、官民含め多くの機関が実施している地 震観測より得られた加速度最大値が公表された^{11,2}。我国 では、海溝型地震による震源距離の比較的大きな地震動 記録は蓄積されつつあるが、内陸型地震による地震動記 録で、マグニチュードが7を超えるような地震動記録は 得られていない。したがって、この地震により得られた 地震動データは、我国で今後発生する直下型地震に対す る地震動評価にとって極めて貴重である。

鈴木等³¹ %は, 1989年Loma Prieta地震の強震記録を用い, 米国でRock Siteと分類されているS波速度600m/sec程度 の地盤を工学的基盤と仮定し,この基盤の地震動に対す るSoil Siteでの地震動の比を以て表層地盤における地震 動の増幅倍率を定義し,表層地盤の増幅特性を整理した。 その結果,卓越周期が0.6secよりも長い第三種地盤では, もっとも大きな増幅倍率を与えるが,第三種地盤でも地 盤構造や地震動強度によっては増幅倍率が1以下となり, 増幅特性は多種多様であることが示された。

本論文では、モーメントマグニチュードがほぼ同じで ある兵庫県南部地震とLoma Prieta地震による地震動増幅 特性の比較をはじめ、ポートアイランドの強震観測記録 を用いて重複反射理論や有効応力解析の適用性等、表層 地盤における地震動の評価法について考察した結果につ いて報告するものである。

* 技術研究所 土木系研究開発部 土木グループ **技術研究所 材料系研究開発部 土質グループ

2. 地震動の距離減衰特性

仙頭 紀明**

2.1 強震観測データ

本解析で用いる地震動記録の得られた強震観測サイト の広域な分布をFig.1(a)に、兵庫県、大阪府を中心とし た高密度な分布をFig.1(b)に示す。これらの図では強震 観測サイトの地盤種別を、岩盤あるいは洪積地盤を硬質 地盤として●で、沖積地盤を軟質地盤として○で区別し ている。強震観測サイトのうち、気象庁、関西地震観測 協議会、神戸市(ポートアイランド)のサイトではデジ タルデータが公開されており、その他のサイトでは、一 部を除いて最大加速度値のみが公表されている。強震観 測サイトの総数は127で、このうち硬質地盤サイトが41、 軟質地盤サイトが86である。また、公表されている最 大加速度値の成分数はトータルで363であり、このうち 水平成分が248、上下成分が115である。

2.2 地震動の方向性

兵庫県南部地震のデジタル強震記録を用いて,各観測 サイトの地震動の水平成分の方向性について検討を行っ た。まず地震動の震動主軸がどのような特徴を有してい るかを,変位の軌跡を描くことによって調べた。Fig.2 は関西地震観測協議会・大阪市千早観測所における観測 地震動の初動より10秒間の変位軌跡を描いたものであ るが,明らかに地震動に震動主軸が存在することが認め られる。Loma Prieta地震では,地震断層より放射状に地 震動が伝播するとしたとき,伝播方向と直交方向に震動 主軸が形成されることが確認されている45%。このことが 兵庫県南部地震に対しても適用できるかどうかを確認す るために,各強震観測点の強震記録のデジタルデータの うち変位の水平成分を用いて,松島の方法%により震動 主軸を解析した。解析によって得られた震動主軸方向を Fig.3にまとめた。断層の直上あるいはごく近傍にある



Fig.1(b) 大阪府,兵庫県の強震観測サイト

神戸海洋気象台,神戸大学工学部等では断層面に直交す る方向に主軸があるが,断層より20km以上離れると全 般的に断層の南北方向のサイトでは断層面に沿って,断 層の延長方向では断層面と直交方向に震動主軸が形成さ れていることがわかる。

2.3 最大加速度の距離減衰特性

我国では震央距離あるいは震源距離と最大加速度ある



いは最大速度の関係が提案されているが^{7,89},上記のように、断層面より放射状に地震動が伝播することを考え、地震動の距離減衰特性を米国のように断層面からの最短距離(断層最短距離)で整理することにした⁹⁰。 ここでは水平動に関して最大加速度の距離減衰特性を 整理する。なお、水平動については2成分の最大値が公 開されている場合、両方のデータを用いることにしている。



Fig.3 兵庫県南部地震で観測された地震動の振動主軸方向の分布

Fig.4に最大加速度の水平動成分の距離減衰特性を示した。図中の実線は, Joyner&BooreのRock Siteの距離減衰式⁹にM_w=6.9を代入したときの距離減衰特性を与えている。

この図からわかるように、兵庫県南部地震による地震 動は、Joyner&Boore型の距離減衰式でよく近似すること ができ、M_J=7.2に対する地震動としては想定可能な範 囲にあったことがわかる。このようにJoyner&Boore型の 距離減衰式の適用が可能と判断されるので、表層地盤の 増幅特性に関する以下の検討ではこれを採用して評価を 行うことにした。

3. 上下/水平スペクトル比

3.1 データと処理方法

兵庫県南部地震では、いくつかの地点で加速度の上下 動成分の最大値が水平動成分を上回り、そのため、構造 物の衝撃的な地震被害と大きな上下動との関係が議論さ れた。本章では、水平動に対する上下動の大きさを、フ ーリエスペクトル振幅の比によって表して検討を行う。 データとしては前述の公開されているデジタルデータ を用い,ポートアイランドについては地表~GL.-83.4m までの4点すべてを含める。水平成分のフーリエスペク トルはNS方向, *F_{NS}およびEW*方向, *F_{EW}の2成分あるが*, これら水平2成分の2乗和の平方根を以て水平成分のス



ペクトル振幅 $F_{\mu}(\omega)$ は定義され、これとスペクトル振幅 の上下成分 $F_{v}(\omega)$ との比により、次式のように上下/水平 スペクトル比 $R(\omega)$ が定義される。

3.2 上下/水平スペクトル比の検討

得られた上下/水平スペクトル比をすべて重ね合わせ Fig.5に示す。Fig.5で上下/水平スペクトル比が1を超え ているのは、ポートアイランドの地表および気象庁・大 阪管区気象台で観測された記録のみである。ポートアイ ランドでは液状化が発生した結果、地表の水平動の加速 度振幅が上下動に対して極端に小さくなったものと思わ れ、液状化による影響は除外する意味でこれらの記録を 除く上下/水平スペクトル比の平均を求めFig.6に示す。

Fig.6には、東北地方の硬岩サイト(Hard Rock)および 軟岩サイト(Soft Rock)で観測された強震記録に基づき, 分散,共分散行列を考慮した回帰分析から予測された岩 盤の上下/水平スペクトル比10を比較のため重ね描きして いる。この上下/水平スペクトル比が岩盤の強震記録に 基づいて決定されているのに対して, 兵庫県南部地震の 観測記録の中には沖積地盤の強震記録が含まれている。 表層地盤による増幅の影響が、上下/水平スペクトル比 では卓越振動数における谷となって現れるはずであり 11).12).13).14),また表層地盤の非線形化によって上下/水平ス ペクトル比が大きくなることもあるが、ここではこれら の影響は無視してFig.6が平均的な兵庫県南部地震の上 下/水平スペクトル比を与えると考える。兵庫県南部地 震の上下/水平スペクトル比は4Hzまでは既往の岩盤の2 つの上下/水平スペクトル比よりも小さく、4Hzより次第 に増大して既往のスペクトル比を超えている。しかし, 5Hzまでで最大値で0.6程度, 10Hzでも1に達する程度で あり,兵庫県南部地震でとくに大きな上下動が発生した とは認められない。







4. 表層地盤の地震動増幅特性

4.1 地震動増幅倍率の定義

本章では鈴木等^{33,4)}がLoma Prieta地震の強震観測記録を 用いて行ったのと同様な手法を用いて,兵庫県南部地 震の表層地盤における加速度増幅倍率について考察す る。Loma Prieta地震の強震記録では,V_s=600~700m/sec 程度のRock Siteを工学的基盤と考えたが,兵庫県南部地 震では強震観測サイトのうち洪積地盤と岩盤の観測サ イトを硬質地盤と定義し,これに対する沖積地盤の最 大加速度により表層地盤の地震動増幅倍率を表すこと にした。Fig.7はこのように分類された硬質地盤の最大 加速度の水平成分の距離減衰特性をまとめたものであ る。Fig.中の実線はJoyner&Boore型の最大加速度距離減 衰式により回帰を行って求めた(2)式に示す距離減衰式で ある。



 $log A_{max} = 1.927 + 0.249 M_W - log r - 0.00125 \cdots (2a)$

ここでA_{max}は最大加速度(gal), M_wはモーメントマグニチ ユードでM_w=6.865, rは断層最短距離d(km)を用いて(2b) 式で表される係数である。プロットの大部分が20~ 200kmの距離範囲に集中している。0.2~2kmの距離範囲 のプロットは神戸海洋気象台を含め洪積地盤の観測サイ トのデータであるが, 2~20kmの距離範囲については, 神戸大学工学部が風化花崗岩サイト,神戸電鉄鈴蘭台駅 が第三紀神戸層群(表土については不明)上であり,対数 軸上の他の同間隔の範囲にあるサイトとは少し地盤種別 が異なっている。そこで, 0.2~2kmの距離範囲にある データについては20~200kmのデータ個数に相当する重 みをつけ, 2~20kmの距離範囲のデータについては特別 重みを付けをせずに回帰を行って(2)式を得た。

一方Fig.8には、沖積地盤の最大加速度距離減衰特性 をまとめた。Fig.8中には(2)式の硬質地盤の距離減衰特 性も入れてある。(2)式に各観測サイトの断層最短距離*d* を与えたときに得られる硬質地盤の最大加速度*A_b(d)を* 分母、Fig.8のプロットの最大加速度*A_s(d)*を分子として、 (3)式のように表層地盤の増幅倍率を定義する。

なお,神戸大学工学部,千早,神戸海洋気象台,神戸電 鉄鈴蘭台駅等については,観測サイトの地盤分類が明瞭 であるが,一部の観測サイトについては地質図等の資料 に基づいて地盤分類を行っており,硬質および表層地盤 の分類は必ずしも正確とは言えないものも含まれている。



4.2 卓越振動数と応答倍率の関係

Fig.9は表層地盤に分類される観測サイトの中で、さ らにデジタルデータあるいはスペクトルや波形から卓 越振動数が既知であるサイトを対象に,縦軸を増幅倍 率,横軸を表層地盤の卓越振動数としてプロットした ものである。図中にはLoma Prieta地震の強震記録を用い て求めた増幅倍率と卓越振動数の関係4を●印で、兵庫 県南部地震の強震記録を用いたものを○印でプロット して区別している。プロットは0.5~2.0Hz程度の範囲に 集中しており、軟質地盤の8割近くが卓越周期T<0.6秒 の第三種地盤に分類されることがわかる。増幅倍率が もっとも大きくなるときの卓越振動数は1 Hz前後であ るが、この振動数領域における増幅倍率は0.3~4.2倍と 広い範囲にばらついている。また、1.5Hzより卓越振動 数の増加とともに増幅倍率は漸減しており、データ数 は少ないが、3Hzを超えると増幅倍率は1以下の数値と なっている。断層からの距離が比較的短く入力地震動 が大きい場合には、地盤の非線形性が顕著に現われる と、最大加速度の比として定義する増幅倍率は当然1以 下になることもある。Fig.9は、このような現象を具体 的に示しているものと思われる。

Fig.10は表層地盤の加速度増幅倍率と最大加速度A_s(d) の関係をプロットしたものである。Fig.10は表層地盤で もっとも増幅倍率が大きくなるのは、地表で420gal以下 の場合であることを意味しており、いくら増幅しても 表層地盤の最大加速度にはある上限値が存在すること が推測できる。もちろん表層地盤構造によっては、こ の上限値が400galを大きく超える場合がある。このよう な現象は、地震動が大きくなると地盤の非線形性が現 われ、卓越振動数が低振動数側にシフトするとともに、 変位振幅は大きくても加速度振幅は小さくなると考え れば理解できる。

Fig.11は、増幅倍率を(2)式による断層最短距離に相当 する硬質地盤の最大加速度との関係でプロットしたも のである。この図はFig.10を硬質地盤における最大加速 度という別の角度から見たものであるが、当然ながら もっとも増幅倍率が大きくなるのは、硬質地盤での最 大加速度が200gal以下の場合で硬質地盤の加速度が大き いと増幅倍率は小さくなる。

Fig.10では兵庫県南部地震のプロットが大きく2つの グループに分けられ、それぞれが意味を持つかのよう に思われるが、Fig.11のように硬質地盤の最大加速度で 約50~200galの範囲のデータが欠如しているためと思わ れ、したがってFig.9~Fig.11に示した表層地盤の加速 度増幅特性において、Loma Prieta地震と兵庫県南部地震 との間には大きな相違はないと判断できる。

モートアイラシドでは、阿阿市によって地表倒から地 表面下的60mのボさとでの4点で地質制造が医論されて



Fig.9 増幅倍率と表層地盤の卓越振動数



Fig.10 増幅倍率と表層地盤の最大加速度の関係



Fig.11 増幅倍率と硬質地盤の最大加速度の関係

5. 人工島における地震応答

5.1 地盤動的物性の同定解析

ポートアイランドでは、神戸市によって地表面から地 表面下約80mの深さまでの4点で地震観測が実施されて いる。深さ方向に2点の観測地震波があれば、両者の間 の伝達関数が解析でき、この伝達関数をターゲットと して地盤の動的物性の同定が可能となる。ここでは重 複反射理論に基づくGL.-83.4mに対する地表面の理論伝 達関数と同地点間の観測記録に基づいた実測伝達関数 との残差平方和が最小になるような地盤動的物性を、 沢田等の改良SLP法¹⁵を若干修正した方法¹⁶により求め ることにした。本手法では、Q値の周波数依存性を、f を周波数(Hz)、pを定数としたとき次式の形で与えている。

なお同定解析では、地盤の層厚と重量密度は固定とし、 各層のS波速度、 Q_0 値およびp値を同定パラメータとし た。ターゲットとする伝達関数は地表面とGL.-83.4mの フーリエスペクトルにウインドウ幅0.4のParzen Window で処理したものの比として与え、また、水平NS成分の 伝達関数についてはスムーズな形状の伝達関数となら ないため解析には適さないと判断し、同定解析は地震 動のEW成分のみに対して行った。また同定する周波数 範囲は0.1~7.0 Hzとした。

Fig.12(a)に地震観測サイトの土質柱状図の概要を, (b)に重量密度分布を示す。またFig.12(c)およ(d)にはそれぞれ,解析の初期値として与えたPS検層に基づくS波速度構造とその同定結果,および Q_0 値の初期値と同定結果を示す。なおp値は初期値が0.8,同定値が0.835である。著しい非線形性が現れない地表面加速度で200gal程度の地震動の場合は,沖積~洪積地盤で同定されたp値は0.3程度である^{16,17}。しかしこの例のように,大きな地震動入力があり,土の非線形性が顕著に現れる場合には,低次の振動モードの減衰が極めて大きくなるため,p値を大きくしないと収束に至らない。p値の初期値を0.3から0.1きざみで順次大きくして同定解析を行い,もっとも収束性の良いのが0.8のケースであったのでこれを採用した。

Fig.12(c)を見ると、地表面付近の埋立土である深さ約 20mまでがS波速度で170m/secから20m/sec前後まで大幅 に低下しているが、これより深い位置では深さ約30mの 洪積砂層で約1/2に低下している以外はそれほど大きなS 波速度の低下は見られない。これより埋立土である真 砂土層のみが液状化により著しく剛性が低下したこと が推測される。またFig.12(d)のQ値については、埋立土 で Q_0 値が2前後であるから減衰定数で約25%、それより 下方の沖積層で3.2(減衰定数15%程度)、さらに下の洪 積層で5~8(減衰定数6~10%程度)である。

Fig.13に実測伝達関数および同定の最終結果として得られた伝達関数を重ねて示す。なお、同定結果については7.5Hzまでの範囲でプロットしている。同定結果には0.25Hzに実測の伝達関数で見られないピークがあり、逆に約5Hzのピークに相当する成分が存在しないが、そ





の他のピークについては比較的良く実測の伝達関数を近 似できていると言える。

Fig.14には、同定された地盤の同定物性を用いてEW 成分の地表面, GL.-16.4mならびにGL.-32.4mの加速度応 答を重複反射理論によって解析し, 観測波形と比較した 結果を示す。なお、解析に用いた周波数帯はFig.13に示 す0.1~7.5Hzである。全般的に観測波形の時刻歴応答特 性は良くシミュレートできており, 著しい非線形領域に 入った表層地盤の地震時挙動が重複反射理論によって説 明できるように思われる。しかし地表面の応答について 注目すると、観測記録ではGL.-16.4mと地表面との位相 のズレが顕著ではないが、解析結果では両者の位相のズ レが埋立土のS波速度が低下したため約1秒となってお り、また地表面における波形の後半部の長周期成分の振 幅が、解析結果では観測波形よりも数倍大きいなど、単 なる動的物性の変化だけでは説明できないところがあ り、埋立土の液状化を考慮する必要性があることがわか った。

5.2 有効応力解析

ポートアイランドにおける埋立土の液状化を考慮した 表層地盤の地震時挙動を検討することを目的として、ポ ートアイランドの強震記録のうちEW方向成分について 一次元有効応力解析の適用を試みた。解析コードとして 用いたのは、砂の構成則に西モデル⁽⁸⁾を用いた有効応力 解析プログラム・NANSSIである。Fig.15に解析の対象 とした地盤モデルを示す。前節の同定解析により、洪積 地盤における液状化の可能性が少ないことがわかった ので,解析対象としたのは,地表面から3番目の強震計 が埋設されているGL-32.4mの砂礫層までである。なお, GL.-19m~-27.0mまでの沖積粘土層には,Hardin-Dmevichモデルを適用した。解析に必要なパラメータの うち初期せん断剛性は,Fig.15右に示すPS検層結果より 算定して与え,初期減衰定数はFig.12(b)に示したQo値 の同定結果より与えた。また各層の液状化強度につい ては,永瀬によって行われたポートアイランドの真砂 土を用いた液状化試験の結果¹⁹に基づいて,Fig.16に示 す液状化強度曲線を仮定して用いることにした。この 液状化強度曲線における繰返し回数20回の時の応力比 (R20)は埋立土層で0.16,洪積砂層で0.22程度となってい る。地下水位はGL-3.0m付近に位置しているが,液状化 に伴う過剰間隙水圧の上昇により,地下水位よりも上





Fig.14 観測波形と同定された物性を用いた地震応答解析結果の比較(左:観測,右:解析)

方の層でも液状化する可能性があるため,解析における 地下水位の設定は地表面位置とした。入力地震波は Fig.14のGL.-32.4mの洪積砂層で得られた観測記録とし, Fig.15の基盤より入力した。

Fig.17に,地表面とGL.-16.4mにおける加速度時刻歴 波形に関する観測結果と有効応力解析結果の比較を示し た。加速度の絶対値には両者で多少の相違はあるものの, 地表面においては前述の同定解析で見られたような大き な位相のズレはなく,この点が改善されていることがわ かる。また液状化過程における地盤の剛性低下,及び塑 性化によって長周期化する傾向が概ね再現されているも のと考える。

GL.-16.4mの波形に着目すると,解析結果は高振動数 成分が欠如しているため最大加速度では解析結果よりも 小さいが,位相に関しては観測結果を良くシミュレート できていることがわかる。また,地表面のように波形は 長周期化しておらず,液状化発生の形跡は現れていない。

Fig.18に地表付近(GL.-2.0m~-3.0m)と, GL.-16.4m付近 (GL.-16.4m~-19.0m)の過剰間隙水圧比の時刻歴応答を示 した。加速度波形の比較で示したように, 地表付近の埋







立土層(GL.-2.0m~GL.-12.6m)では過剰間隙水圧比が0.9 以上に達しており、また発生せん断ひずみも10⁻²レベル に達していることから液状化したと見做されるのに対し て、GL.-12.6m以深の深い位置の埋立土層では過剰間隙水 圧が0.4にも達しておらず、したがって本解析では、第5層 までの砂礫層では液状化が発生したが、それより深い層 では液状化は発生しなかったという結果が得られた。

6. まとめ

本論文では,兵庫県南部地震の強震観測記録を用いて, 地盤震動特性について研究・考察した。以下に本論文 で得られた結論を箇条書きにまとめる。

1) 兵庫県南部地震の加速度距離減衰特性は, Joyner &Boore型の距離減衰式によって良く近似でき,これま での距離減衰特性から十分想定可能な加速度であった



Fig.17 観測波形と有効応力解析結果の比較(左:観測,右:解析)



と言える。

2) 兵庫県南部地震の地震動の上下/水平スペクトル比は1 以下,とくに5Hz以下では最大で0.6までの範囲にあり, 既往の研究成果と比較しても決して大きな上下動が発生 したとは考えられない。

3) 表層地盤の増幅倍率がもっとも大きくなるときの卓越 振動数は1.5Hz以下であるが、この振動数領域の増幅倍率 は0.3~4.2倍と広い範囲にバラつく。兵庫県南部地震にお けるこの傾向は、Loma Prieta地震のそれと一致している。 4) 表層地盤の増幅倍率が大きくなるのは地表加速度が約 400gal以下のときであり、また硬質地盤(基盤)の加速度 で200gal以下の場合である。このことは、地震入力が大 きいと表層地盤の非線形挙動が顕著に現れ、加速度は決 して増幅されないということであり、とくに第三種地盤 では加速度にある上限が存在することを示唆している。 ちなみに兵庫県南部地震ならびにLoma Prieta 地震の加速 度上限値は約400galで一致した。

5) ポートアイランドの地盤動的物性の同定解析では埋立 砂礫層で、S波速度が約170m/secから20m/sec程度まで大 幅に低減され(せん断剛性で約1/100), またQo値が2~3 程度,Q値の周波数依存性を表すp値は0.835と同定され た。一方埋立土層下の沖積,洪積地盤での剛性低下は比 較的小さく,同定解析結果は,埋立砂礫層では液状化が 発生した可能性が高いが、洪積層では液状化の発生は起 こりえないことを示唆した。同定された物性を用いて一 次元地震応答解析を行った結果、洪積砂礫層に比べて地 表で加速度振幅が低減する観測波形を再現することがで きたが、地表面の観測波形の位相は再現できなかった。 6) ポートアイランドにおける有効応力解析結果ではGL.-12.6mまでの埋立砂礫層が液状化したという結果が得ら れた。有効応力解析では、液状化過程を考慮した結果、 地表面における加速度振幅の低減や波形の長周期化のみ ならず, 地表面の観測波形の位相についても再現するこ とができた。

参考文献

- 1) 強震観測事業連絡会議: 強震速報, 1995年1月17日平成7年兵庫 県南部地震, No.46, 科学技術庁防災科学研究所, 1995.2
- 2) 中村豊: 1995年 兵庫県南部地震の地震動記録波形分析, JR地震 速報, No.23c, 鉄道総合技術研究所ユレダス推進部, 1995.2
- 3) 鈴木猛康,田中港:工学適基盤上の加速度距離減衰と表層地盤に おける増幅特性に関する考察,第22回地震工学研究発表会, pp.311-314,1993
- 4) 鈴木猛康,田中港:Loma Prieta地震記録に基づいた表層地盤の地 震動増幅特性,熊谷組技術研究報告,No.53, pp.19-26, 1994.10
- 5) 江尻譲嗣他: Loma Prieta地震における硬質地盤の震動特性, 第21 回地震工学研究発表会, pp.45-48, 1990
- 6) 松島豊:水平地震動の特性の方向による変動,日本建築学会論文 報告集,No.226, pp.39-44, 1974
- 7) 川島一彦,相沢興,高橋和之:最大地震動及び地震応答スペクト ルの距離減衰式,土木研究所報告, No.166,1980.9
- 8) Tamura, C.: On maximum acceleration of earthquake ground motion at firm layer overlaying surface deposit in Tokyo downtown area, 生產研究, Vol.42, No.3, pp. 149-154, 1990.3
- Joyner, W. D. and Boore, D. M.: Measurement, characterization, and predition of strong ground motion, Earth. Eng. Struc. Dyn., Proc. of the Special Conference sponsired by ASCE, pp.43-102, 1988
- 10) 阿部健一:岩盤における地震動の諸特性:高密度アレー地震観測 に基づく設計用上下地震動スペクトルの提案,埼玉大学大学院理 工学研究科博士論文, pp.152-172, 1995
- 中村豊:常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定,鉄 道総研報告, Vol.2, No.4, pp.18-27,1988.4
- 12) Suzuki, T., Adachi, Y. and Tanaka, M. : Application of microtremor measurements to the estimation of earthquake ground motions in Kushiro City during the Kushiro-oki earthquake of January 15, 1993, Earhtq. Eng. Struc. Dyn., Vo.24, pp.595-613, 1995
- 13) Lermo, J., Chavez-Garcia, F. J.: Site effect evaluation at Mexico City: dominant period and relative amplification from strong motion and mictrotremor records, Soil Dyn. Earthq. Eng., Vol.13, pp.413-423, 1994
- 14) Theodulidis, N. P. and Bard, P.-Y.: Horizontal to vertical spectral ratio and geological conditions: an analysis of strong motion data from Greece and Taiwan (SMART-1), Soil Dyn. Earthq. Eng., Vol.14, pp.177-197, 1995
- 15) 沢田勉他:地盤のS波速度とQ値の同定問題におけるSLP法の改 良とその適用,土木学会論文集, Vol.1/I-19, No.446, pp.203-213, 1992
- 16) 鈴木猛康,田中港:観測地震波を用いた表層地盤の動的物性の 同定,熊谷組技術研究報告,No.53, pp.11-17, 1994
- 17) 武村雅之他:堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価,日本建築学会構造系論文報告集,No.446,pp.1-11,1993
- 西好一,金谷守:地震時における基礎地盤の安定評価(その5), 電力中央研究所報告,U87003,1987
- 19) 石原研而:土質特性と地盤変状,土質工学会・阪神大震災報告会 ー地盤災害とその教訓ー講演概要集, pp.25-28, 1995 Earthquake

Earthquake Ground Motions based on the Strong Ground Motion Records due to the Southern Hyogo Earthquake of January 17, 1995

Takeyasu SUZUKI, Shinji YOSHITANI, Noriaki SENTO, and Tohta KATSUKAWA

Summary

Using maximum acceleration values and digital data of strong ground motions observed during the Southern Hyogo earthquake of January 17, 1995, the attenuation and amplification of ground motions and the vertical to horizontal spectral ratios are examined. The amplification characteristics obtained are compared with those obtained from the Loma Prieta earthquake of 1989. The vertical to horizontal spectral ratios obtained, on the other hand, are compared with those obtained in the Tohoku Region of Japan. In addition, analysis for identifying dynamic ground properties and effective stress analysis are conducted using the observed strong motion data recorded at Port Island in Kobe. Finally, inelastic behavior of the ground is examined. Key words: strong motion records, attenuation, amplification, vertical to horizontal spectral ratio, identification analysis, effective stress analysis