

# 直下地震によるアレー強震動特性と 常時微動との関係

松川忠司<sup>1</sup>・神山 眞<sup>2</sup>・鈴木順一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東北工業大学助手 工学部土木工学科 (〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 東北工業大学教授 工学部土木工学科 (〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1)

<sup>3</sup>学生会員 東北工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1)

仙台市圏におけるリアルタイム地震情報システムの構築を目的にしたアレー強震観測システム (Small Titan) の全20観測点で得られた直下地震と、常時微動解析結果との比較・考察を行った。その結果、常時微動H/Vスペクトルと強震動H/Vスペクトルは比較的よい対応を示すこと、更に特定の観測点 (基準点) に対する強震動スペクトル比、すなわち地震時増幅スペクトルと常時微動H/Vスペクトルはよく調和することが示された。このことから常時微動のH/Vスペクトルは、特定の観測点 (基準点) に対する地震時増幅スペクトルを与えていることが示唆され、地盤の地震時増幅特性を一定程度まで評価するうえで有効なパラメータであることが示された。

**Key Words :** on-line array observation system, Small-Titan, near-field earthquake, microtremor, H/V spectra, amplification factor

## 1. はじめに

地震時における被害は諸々の影響の総合効果によって決まり、特に局所的な地盤条件が構造物に大きな影響を及ぼすことが知られている。1995年兵庫県南部地震の際に震度7を記録した地域は正にこの典型的例と考えられる。一方、仙台市も1978年宮城県沖地震の際に造成地を中心に甚大な人的、物的な被害を被り、最近では長町-利府構造線における地震活動も注目されるようになってきている。宮城県沖地震から既に20年も経過していることや、最近の長町-利府構造線の活動を考えれば、仙台市圏における地域地震防災システムの構築が益々重要になってくる。このためには仙台市圏をくまなく網羅するように地震計を設置したリアルタイム地震情報システムの構築をはじめ、実測の地震記録に基づいた観測点の地震時挙動の把握が急務であると考えられる。以上のような目的から、本大学では文部省の援助により仙台市圏20箇所に設置されたリアルタイム強震観測システム Small Titan<sup>1)</sup> を1998年より運用開始したが、その直後、直下地震の本震および余震の記録が全20観測点で得られた。本報告はこれら直下地震によるアレー強震動特性と常時微動特性との関係について考察を行ったものである。

## 2. 解析対象地点、対象強震記録 および常時微動観測方法

今回、考察の対象とした地点は図-1に示すように、本学が仙台市内20カ所に設置しているリアルタイム強震観測システム Small Titan の地震計設置点 (全20地点) で、解析に用いた強震記録は Small Titan運用開始直後の1998年9月15日に発生した仙台市青葉区愛子付近を震源とする直下地震の本震 (16時23分,  $M_J=5.0$ ,  $D=13\text{km}$ ) およびその最大余震 (17時56分,  $M_J=4.0$ ,  $D=13\text{km}$ ) の加速度記録である。また、解析に用いた常時微動記録は、1998年8月3日と5日の両日、この地震観測点のジャストポイントで小型サーボ型速度計付き携帯用振動計 (SPC35) で観測された3成分 (水平動NS, EW成分, 鉛直動UD成分) の速度振動記録である。

## 3. 解析結果および考察

まず、Small Titan 観測点で得られた上述の加速度記録からフーリエスペクトルを求め、また、常時微動記録のうち乱れが少なく最も安定している20.48秒間のデータを同時刻で3成分、一観測点につき数区間抽出し、それぞれフーリエスペクトルを求めた。

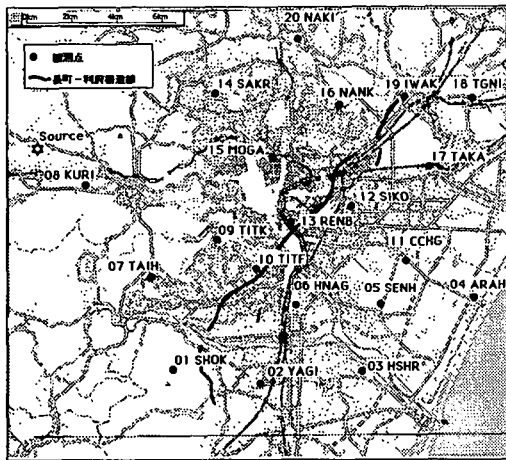


図-1 強震観測システムSmall Titanの地震計設置図

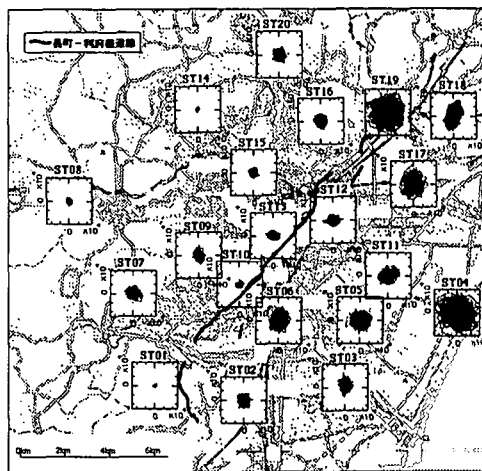


図-3 常時微動速度振動波形の水平動オービットの例

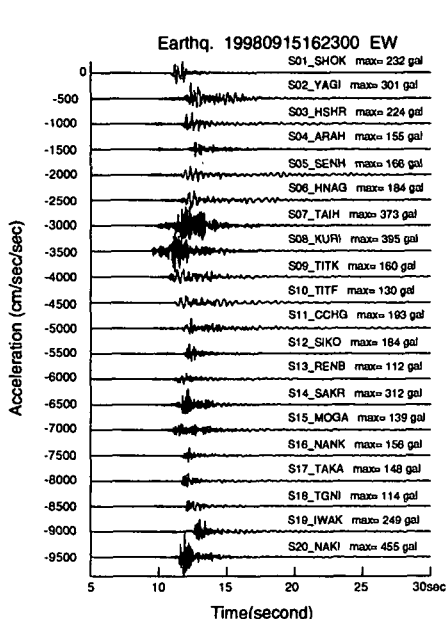


図-2 本震(Mj=5.0)加速度記録(水平動EW成分)の例

### (1) 強震動記録特性

図-2に Small Titan 全20観測点で得られた1998年9月15日の本震 (Mj=5.0) の加速度記録 (水平動EW成分) の例を示す。ここでは紙面の都合で詳しくは示し得ないが、各観測点で得られた強震動特性の考察から、図-1に示してある長町-利府構造線以西の観測点と長町-利府構造線以东の観測点および、直上の観測点では異なった挙動を示すことが観察された。これらの結果から、仙台市圏の直下地震による強震動特性は地盤構造の影響を強く受けること、また、地盤構造が急変する長町-利府構造線付近で二次的な波動成分を発生させる特異な挙動を示す可能性が示された。

### (2) 常時微動波形特性

常時微動は、スペクトル特性のみならず波形振幅

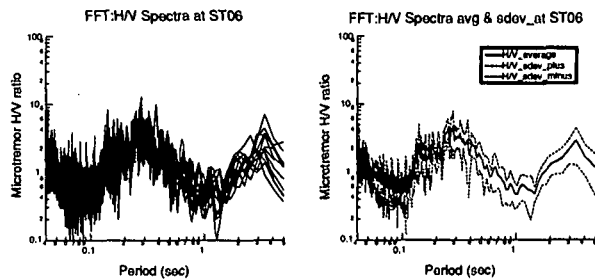


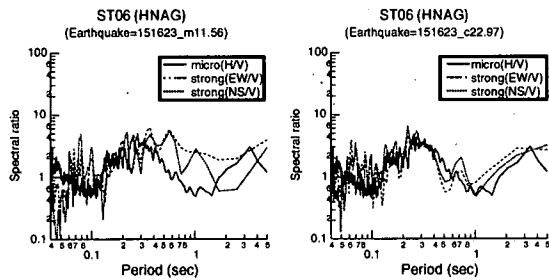
図-4 常時微動H/V スペクトルの時間的変動と、その平均、標準偏差:ST06(東長町小)の例

特性も地盤条件に影響されることが知られており、著者らは従来よりこの振幅値にも着目してきた<sup>2)</sup>。ここではこれら振幅値パラメータのうち常時微動の基本的振幅特性を表すオービットについて述べる。図-3は全20観測点で得られた常時微動速度振動波形の水平動オービットを示したものであるが、振幅の絶対値は観測点 ST19を除き同じスケールでプロットしてある。この図から、振動の方向性があまりないこと、地点毎にオービットの大きさが変動していることがわかる。更に詳しくみてみると、長町-利府構造線を境に、西部と東部では明らかに絶対値が異なっていることが観察される。仙台地区の地盤種別<sup>3)</sup>によると、西部は洪積台地、東部は沖積低地と長町-利府構造線を境に明確な対比を示しており、これら波形振幅はこの地盤構造と比較的よく対応する傾向がみられた。観測日時の違いによる影響があるにも拘わらずこのような結果が得られたことから、常時微動観測波形は比較的よく安定しており、地盤構造の影響を大局的に反映することが示された。

### (3) 常時微動 H/V スペクトルと

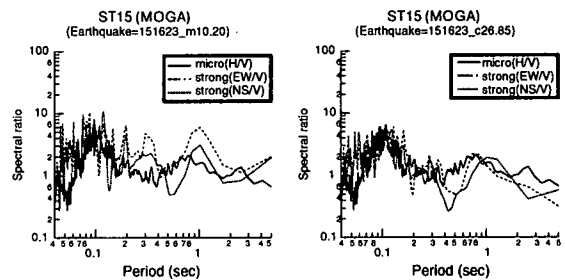
#### 強震動 H/V スペクトルの比較

常時微動 H/V スペクトルから地盤の増幅特性を推定しようとする試みが近年数多く報告されているが、



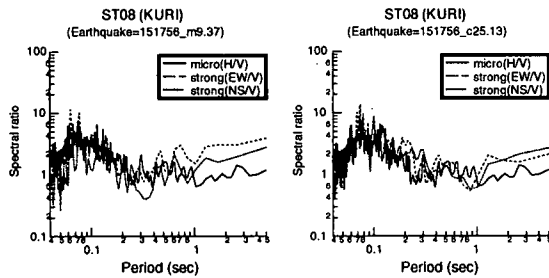
(主要動部) (コーダ部)

図-5 常時微動H/Vスペクトルと本震(M<sub>J</sub>=5.0)における強震動H/Vスペクトルとの比較:ST06(東長町小)の例



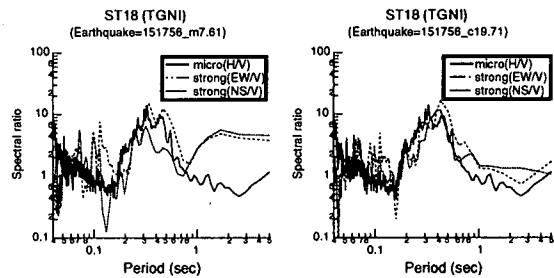
(主要動部) (コーダ部)

図-6 常時微動H/Vスペクトルと本震(M<sub>J</sub>=5.0)における強震動H/Vスペクトルとの比較:ST15(県立盲学校)の例



(主要動部) (コーダ部)

図-7 常時微動H/Vスペクトルと最大余震(M<sub>J</sub>=4.0)における強震動H/Vスペクトルとの比較:ST08(栗生小)の例



(主要動部) (コーダ部)

図-8 常時微動H/Vスペクトルと最大余震(M<sub>J</sub>=4.0)における強震動H/Vスペクトルとの比較:ST18(多賀城二中)の例

ここでもその常時微動 H/V スペクトルに注目し、強震動 H/V スペクトルとの比較考察をした。図-3に示したように、ここでの常時微動の水平動成分の方向性はあまりみられなかったので、NS、EW成分からベクトル合成した水平動 H 成分スペクトルを算出し、この水平動 H 成分と鉛直動 V 成分の比 H/V スペクトルを求めた。ここでは時間的変動を少なくすることを目的に、時間軸を変えて数個の H/V スペクトルを求め、その平均と標準偏差を算出し、その平均スペクトルをその観測点の H/V スペクトルとして代表させた。このようにして求めた ST06 地点での常時微動 H/V スペクトルの時間的変動と、その平均、標準偏差の算出例を図-4に示す。

一方、強震記録の波形は常時微動のそれと違って、初動部、主要動部、コーダ部の相に大別される。このうち初動部はP波、主要動部はS波、コーダ部は不均質構造によって散乱された諸々の地震波が重なり合ったものと考えられている。本報告では直下地震を解析対象としているため、殆どの観測点で強震記録の初動部は短かったため、ここでは主要動部とコーダ部の H/V スペクトルを求めた。

#### a) 常時微動 H/V スペクトルと本震 (M<sub>J</sub>=5.0)

##### における強震動 H/V スペクトルとの比較

以上のようにして求めた常時微動 H/V スペクトルと本震 (M<sub>J</sub>=5.0) における強震動 H/V スペクトルと

を比較した例を図-5、図-6に示す。図-5はST06(東長町小)、図-6はST15(県立盲学校)の例で、左図は主要動部、右図はコーダ部を示している。これらの図から常時微動 H/V スペクトルと強震動 H/V スペクトルは比較的よい対応を示し、特に強震動コーダ部はかなりよく調和していることがわかる。このことから強震動のコーダ部は、主要動部に比べ地盤の影響をより多く含む震動であることが示唆される。

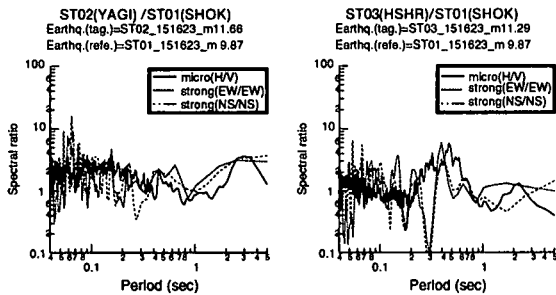
#### b) 常時微動 H/V スペクトルと最大余震 (M<sub>J</sub>=4.0) における強震動 H/V スペクトルとの比較

次に前項同様、常時微動 H/V スペクトルと最大余震 (M<sub>J</sub>=4.0) における強震動 H/V スペクトルとを比較した例を図-7、図-8に示す。図-7はST08(栗生小)、図-8はST18(多賀城二中)の例である。これらの図から、最大余震 (M<sub>J</sub>=4.0) についても常時微動 H/V スペクトルと強震動 H/V スペクトルは比較的よい対応を示し、前項の本震同様、強震動コーダ部はかなりよく調和していることがわかる。

#### (4) 強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと

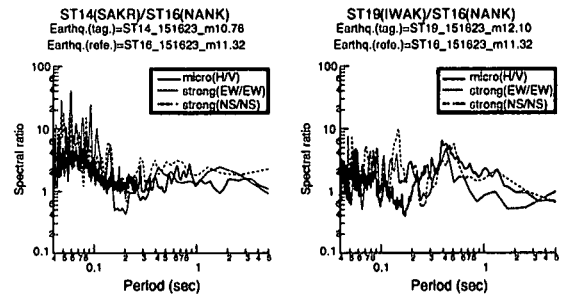
##### 常時微動 H/V スペクトルとの比較

一般に地震時増幅特性は、対象とする地表スペクトル(H<sub>T</sub>)と基盤に相当する基準観測点の入射スペクトル(H<sub>R</sub>)との比で近似できる。従って、この強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルは、前節で考察した強震動 H/V ス



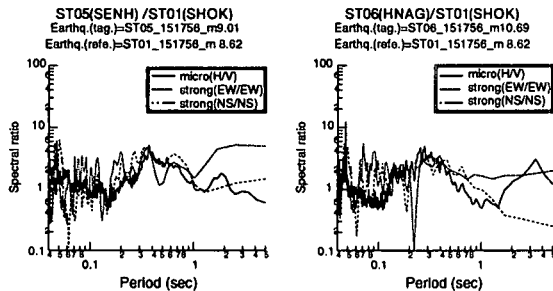
(ST02柳生中/ST01) (ST03東四郎丸小/ST01)

図-9 本震(M<sub>J</sub>=5.0)における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルの比較例



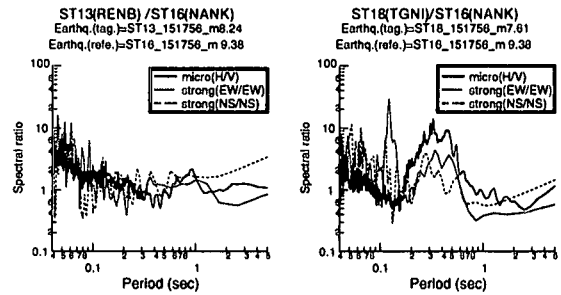
(ST14桜ヶ丘小/ST16) (ST19岩切中/ST16)

図-10 本震(M<sub>J</sub>=5.0)における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルの比較例



(ST05仙台東高/ST01) (ST06東長町小/ST01)

図-11 最大余震(M<sub>J</sub>=4.0)における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルの比較例



(ST13連坊小路小/ST16) (ST18多賀城二中/ST16)

図-12 最大余震(M<sub>J</sub>=4.0)における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルの比較例

ペクトルよりも物理的意味が明確である。ここでは全20観測点のうち、地盤条件および強震動スペクトルの結果から基準点としてST01(尚綱短大), ST16(南光台東小)を選定し、それぞれの観測点の強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルを求めた。

#### a) 本震 (M<sub>J</sub>=5.0) における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub>

##### スペクトルと常時微動 H/V スペクトルの比較

以上の様にして求めた本震 (M<sub>J</sub>=5.0) における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルを比較した例を図-9, 図-10に示す。図-9は ST01(尚綱短大)を基準にしたときの ST02(柳生中)と ST03(東四郎丸小)の例, 図-10は ST16(南光台東小)を基準にしたときの ST14(桜ヶ丘小)と ST19(岩切中)の例である。これらの図から、強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルはよく調和していることがわかる。

#### b) 最大余震 (M<sub>J</sub>=4.0) における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub>

##### スペクトルと常時微動 H/V スペクトルの比較

次に、最大余震 (M<sub>J</sub>=4.0) における強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルを比較した例を図-11, 図-12に示す。図-11は ST01(尚綱短大)を基準にしたときの ST05(仙台東高)と ST06(東長町小)の例, 図-12は ST16(南光台東小)を基準にしたときの ST13(連坊小路小)と ST18(多賀城二中)の例である。

これらの図から、最大余震についても前項で示した本震同様、強震動 H<sub>T</sub>/H<sub>R</sub> スペクトルと常時微動 H/V スペクトルはよく調和していることがわかる。

#### 4. まとめ

以上から、直下地震による強震動特性と常時微動特性は比較的よく調和することが示された。また、仙台市圏の常時微動 H/V スペクトルは、ST01(尚綱短大), ST16(南光台東小)の特定の観測点を基準にした場合の地震時増幅スペクトルを与えていることが示唆され、地盤の地震時増幅特性を一定程度まで評価するうえで有効なパラメータであることが示された。今後は宮城県沖、福島県沖を震源とする海洋型地震の観測データの収集、解析を行う必要があると考えている。

#### 参考文献

- 1) 神山 眞:土木学会地震工学委員会平成10年度ローカルサイトエフェクトシンポジウム論文集,p.63~p.68,1998.
- 2) 松川忠司,神山眞,杉戸真太:軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム論文集,p.233~p.240,1994.
- 3) 奥津春生,八木健三:一般地学,学術図書出版社,1985.