

**投稿論文** (和文ノート)  
**TECHNICAL  
NOTE**

# 千葉アレーにおける S 波の震動卓越方向とその空間的変動

泉谷恭男<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 理博 信州大学助教授 工学部社会開発工学科 (〒380 長野市若里 500 番地)

密に配置された加速度型地震計アレーで観測された 17 個の地震の S 波記録を解析し、地震動卓越方向特性に対する震源、伝播経路、地盤の影響について検討した。アレー全体の平均的な地震動卓越方向は同一地震についても周波数毎に異なり、震源での放射特性をそのまま反映しているわけではない。また、地震動の偏向の程度は地震規模が大きいほど、震源距離が長いほど、周波数が高いほど弱くなる。各観測点での局所的な地盤の影響は、震動方向や周波数によってかなり異なる。この原因として、表層地盤が異方的な性質を有している可能性が考えられる。

**Key Words :** *strong ground motion, predominant direction, spatial variation, Chiba array, directional site resonance*

## 1. はじめに

地球を均質等方弾性体であると考えて震源モデルに基づいて理論的に合成された地震動は、地震の発震機構に基づく放射パターンに従った卓越方向を示し、極端に強く偏向している。ここで「強く偏向する」とは、例えば地震動の主軸解析<sup>1), 2)</sup>を行うと、最大主軸に対応する固有値が他の 2 つの固有値に比べて非常に大きいことを意味する。水平成層構造を仮定して地盤の影響を入れても、偏向性はほとんど弱くならない<sup>3)</sup>。しかし、実際に観測される地震動を解析してみると、理論地震動のように極端な偏向性を示す場合は殆どない。偏向性が弱められる原因としては、断層面上から射出される地震波の放射パターンが断層面上で一様でないこと<sup>3)</sup>、伝播経路における媒質の不均質による反射波や散乱波の混入の影響<sup>4)</sup>、観測点近傍の地表地形<sup>5)</sup>や表層地盤内の地震波速度の不均質性<sup>6)</sup>の影響などが考えられる。

様々な要因のうちで、局所的な地盤の性質が地震動の偏向特性に最も強く影響する、という観測結果がある<sup>7), 8)</sup>。1989 年 10 月 18 日の Loma Prieta 地震のいくつかの余震の震動卓越方向について、強震動部分のごく最初は直達 S 波と考えられ、震源での放射特性を反映しているが、後続の散乱波混入部分は発震機構に無関係に観測点毎に独自の震動卓越方向を示すことが見出された。また、1987 年 10 月 1 日の Whittier Narrows 地震の本震と余震の場合には、発震機構の違いにも拘らず、強震記録が得られた 13 観測点中 8 観測点において、2 つの地震の際の強震動の卓越方向は非常に似ていた。この原因については、入射してきた地震波のう

ち、ある特別な方向成分のみを強く増幅するような性質 (directional site resonance) を各観測点の地盤が有しているためであろうと推定されている<sup>7), 8)</sup>。

地震動に対する局所的な地盤の影響を調べるのに最も有効な手段は、アレー記録の解析である。観測点間距離の増加と共に地震動の相関が減少することはよく知られている<sup>9)~11)</sup>。高周波数成分ほど相関の減少は速やかであり、相関の減少と共に、震動卓越方向も一致しなくなる。千葉アレーにおいて、同一地震の際の震動卓越方向は低周波数成分については全観測点で揃っているのに、高周波数成分については観測点毎に異なっていることも指摘されている<sup>10), 11)</sup>。

我々は前論文<sup>12)</sup>において、千葉アレーにおける、8~10 Hz の周波数成分の地震動の卓越方向について解析し、それに対する震源から千葉アレーに至る部分での影響と、局所的な地盤の影響を定性的に分離することを試みた。その結果、比較的大きい地震の際には、アレーに入射して来た地震波の偏向性が弱いため、局所的な地盤の性質を反映した震動卓越方向を示すこと、逆に、比較的小地震の場合には入射してきた地震波の偏向性が強いため、局所地盤の影響をあまり受けにくいことを見出した。

本論文では、0~2, 2~4, 4~6, 6~8 Hz の地震動についても同様の解析を行い、震動卓越方向が、震源の大きさ、震源距離、および、周波数によってどの様に変化するのかを総合的に調べ直した結果を報告する。更に、局所的な地盤の影響について、地震時の地盤の震動状態との関連についても考察する。

## 2. 解析手法

使用したデータ、地震動の卓越方向の定義、地震動の卓越方向特性を空間的な平均場と変動場に分離する手法については、前論文<sup>12)</sup>に詳しく述べているので、ここでは要点のみを簡単に記す。

千葉アレーデータベースとして公開されている地震記録の内、震央距離が70 km以内の17地震の記録を解析した(前論文<sup>12)</sup> Table 1)。用いた観測点は、C0~C4およびP1~P4の9地点であり、深さ1 mに埋設された加速度計の記録を解析した。これら9観測点は半径15 mの円内に配置されている。5種類のバンドパスフィルター(0~2, 2~4, 4~6, 6~8, 8~10 Hz)を通した加速度記録からS波が卓越している強震動部分を幅5秒のウィンドウをかけて抽出し、主軸解析<sup>1), 2)</sup>を行った。地震の大きさによってウィンドウ幅を多少変えた場合についても解析してみたが、P波部分やかなり長いS coda部分を含めない限り、主軸解析結果には殆ど違いは無かった。

S波部分のみを用いているため、地震動の最大主軸と中間主軸はほぼ水平面内にある。東から反時計回りに測った最大主軸方向 $\phi_{jk}$ を震動卓越方向と定義する。 $j$ は地震、 $k$ は観測点を示す添字である。また、中間固有値の最大固有値に対する比 $\gamma_{jk}$ を用いて、偏向性の強さを示す。

観測された $(\phi_{jk}, \gamma_{jk})$ は震源、伝播経路、地盤の性質を反映しているはずである。これらの影響は、地震動スペクトルについては一般に線形モデルを用いて

$$O(f) = S(f)P(f)G(f) \quad (1)$$

と表現される。ここで、 $O(f)$ は観測スペクトル、 $S(f)$ は震源スペクトル、 $P(f)$ は伝播経路での、 $G(f)$ は観測点の地盤でのフィルタ効果を表している。これに習って、観測された震動卓越方向特性 $(\phi_{jk}, \gamma_{jk})$ は、各地震に固有でかつ9観測点に共通する要素 $(\phi_j, \gamma_j)$ と、地震に無関係で各観測点に固有の要素 $(\phi_k, \gamma_k)$ が相乗的に合成された結果であると仮定する。震源での放射特性や震源から千葉アレーに至る伝播経路での地震波の散乱の影響、アレー観測点の地盤の平均的な性質は共通要素 $(\phi_j, \gamma_j)$ に含まれ、 $(\phi_j, \gamma_j)$ は $j$ 地震の際のアレー全体の平均的な震動卓越方向特性を表している。これに対して $(\phi_k, \gamma_k)$ は各観測点のごく近傍の地盤状態等の影響を表しており、アレー全体の平均的な震動場 $(\phi_j, \gamma_j)$ からの変動分に相当する。つまり、 $k$ 地点はアレー全体の平均的な地点に比べて $\phi_k$ 方向に震動し易いこと、また、 $\gamma_k$ が小さい場合にはその傾向が激しいことを意味する。

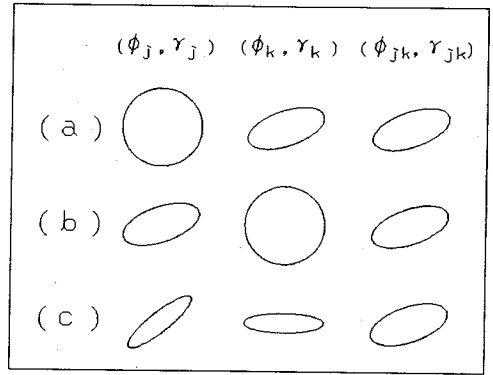


図-1 式(2), (3)による平均場と変動場の合成

$(\phi_j, \gamma_j)$ と $(\phi_k, \gamma_k)$ の合成は次の式(2), (3)によって行うものとした。

$$\phi_{jk} = \begin{cases} \phi_j; & \phi_j = \phi_k \pm 90^\circ \text{ and } \gamma_j < \gamma_k \\ \phi_k; & \phi_j = \phi_k \pm 90^\circ \text{ and } \gamma_j > \gamma_k \\ \frac{\{\gamma_k(1-\gamma_j)\}\phi_j + \{\gamma_j(1-\gamma_k)\}\phi_k}{\gamma_k(1-\gamma_j) + \gamma_j(1-\gamma_k)}; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\gamma_{jk} = \begin{cases} (\gamma_j/\gamma_k) \sin^2(\phi_j - \phi_k) + \gamma_j \gamma_k \cos^2(\phi_j - \phi_k) & ; \gamma_j < \gamma_k \\ (\gamma_k/\gamma_j) \sin^2(\phi_j - \phi_k) + \gamma_j \gamma_k \cos^2(\phi_j - \phi_k) & ; \gamma_j \geq \gamma_k \end{cases} \quad (3)$$

式(2), (3)を用いて $(\phi_j, \gamma_j)$ と $(\phi_k, \gamma_k)$ とを合成して $(\phi_{jk}, \gamma_{jk})$ を計算した例を図-1に示す。図の楕円の長軸方向は $\phi$ を、短軸の長さとの長軸の長さの比は $\gamma$ を表している。(a)は、地震 $j$ の際にアレー全体としては等方的に震動していたが、観測点固有の性質によって、観測された地震動は卓越方向特性 $(\phi_{jk}, \gamma_{jk}) = (\phi_k, \gamma_k)$ を有するに至ったことを示している。また(b)は、地震 $j$ の際にアレー全体が震動卓越方向特性 $(\phi_j, \gamma_j)$ を有しており観測点 $k$ は特別な性質を持たなかったとすると、観測された地震動は卓越方向特性 $(\phi_{jk}, \gamma_{jk}) = (\phi_j, \gamma_j)$ を有することを示している。(c)はアレー全体がある震動卓越方向特性を示し、観測点も固有の性質を有している場合である。

5つの周波数帯毎に、17地震の際の9地点の記録について、観測された $(\phi_{jk}, \gamma_{jk})$ と式(2), (3)の計算値とが最もよく合致するよう、17地震の $(\phi_j, \gamma_j)$ と9観測点の $(\phi_k, \gamma_k)$ とを推定した。ここで注意すべき事は、式(2), (3)は定量的に厳密な意味を持っているわけではないということである。ただし、図-1に示したよう

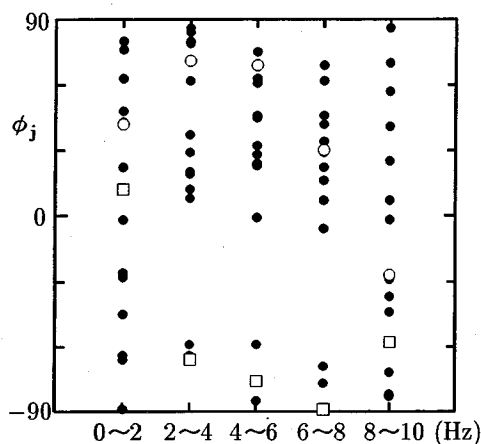


図-2 平均的な震動卓越方向  $\phi_j$

常識的に妥当と考えられる定性的な意味は持っている。

### 3. 解析結果

#### (1) 平均場について

以上の操作によって得られた 17 個の地震の  $\phi_j$  を、5 つの周波数帯について図-2に示す。2~4, 4~6, 6~8 Hz の 3 つの周波数帯において、 $-10 \sim -60^\circ$  の範囲に  $\phi_j$  のプロットが存在せず、空白の領域が見られる。この空白領域は他の周波数帯 (0~2, 8~10 Hz) には現れておらず、震源から出た地震波そのものが最初から持っていた性質とは考えにくい。何故なら、震源理論によれば、射出パターンが周波数によって変化することはないからである<sup>13)</sup>。また、17 地震についての震源から千葉アレーに至る伝播経路は異なっているため、伝播経路での影響とも考えにくい。従って、この現象は、千葉アレーサイト全体が 2~8 Hz の周波数帯でこの方向に震動しにくい性質を持っている、もしくは、それ以外の方向に震動し易い性質を持っていると考えるのが自然であろう。

今回解析した 17 地震のうち、1987 年千葉県東方沖地震の本震と最大余震については発震機構が調べられている<sup>14)</sup>。それに基づくと、千葉アレーでの S 波のおよその震動方向は本震では E40°S、最大余震では E10°S となる<sup>12)</sup>。図-2の白四角は本震の、白丸は最大余震の  $\phi_j$  を表している。8~10Hz の  $\phi_j$  については理論的な震動方向とほぼ調和的であるが、その他の周波数帯では異なっている。また、 $\phi_j$  が周波数に伴って変化する仕方について、何ら系統的な事柄は見出せない。

観測される地震動の卓越方向は地震毎、周波数毎にかなり異なっており、震源での放射パターンから期待される震動方向が保存されているとは言い難い。従って、

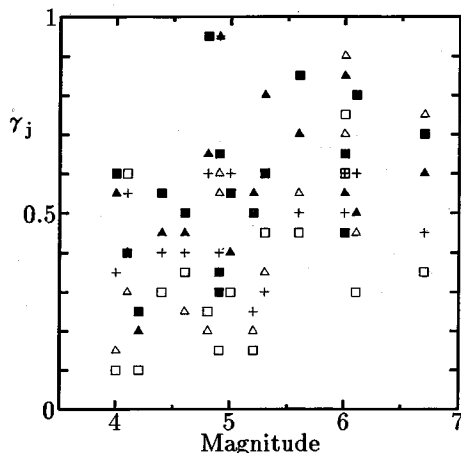


図-3  $\gamma_j$  のマグニチュードと周波数に対する依存性

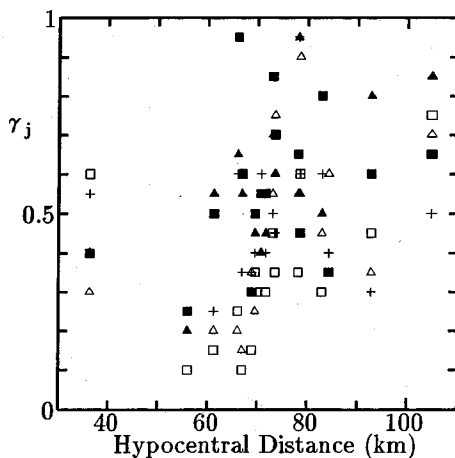


図-4  $\gamma_j$  の震源距離と周波数に対する依存性

入倉<sup>15)</sup>によっても指摘されているように、半経験的な強震動合成法で小地震記録から大地震記録を合成する際に放射パターンの違いを地震の発震機構に基づいて決定論的に補正することは先ず不可能であろう。

$\gamma_j$  について、地震のマグニチュード ( $M$ )、震源距離 ( $R$ )、周波数 ( $f$ ) との相関を調べてみた。図-3に横軸を  $M$ 、図-4に横軸を  $R$  とした時の  $\gamma_j$  がプロットされている (白四角: 0~2 Hz, 白三角: 2~4 Hz, 十字: 4~6 Hz, 黒三角: 6~8 Hz, 黒四角: 8~10 Hz)。  $\gamma_j$  は  $M$  および  $R$  と正の相関を有し、また、周波数が高くなるほど  $\gamma_j$  が大きくなる傾向が見られる。数量化理論 I 類を用いて解析した結果

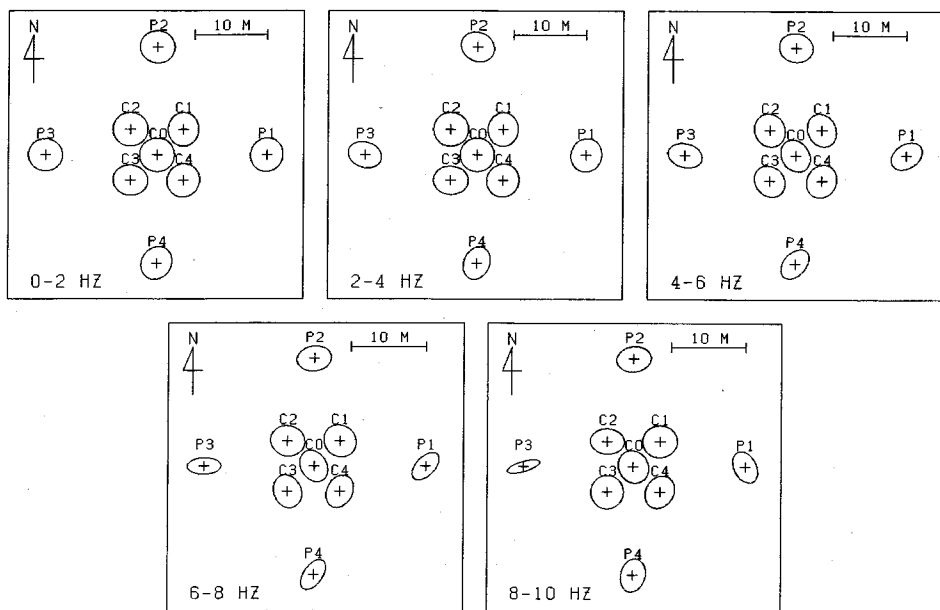


図-5 変動場 ( $\phi_k, \gamma_k$ )

$$\gamma_j = 0.4735 + \begin{cases} -0.0136; M < 5 \\ 0.0153; M \geq 5 \end{cases} + \begin{cases} -0.0997; R < 70 \\ 0.0698; R \geq 70 \end{cases} + \begin{cases} -0.1265; 0 \sim 2Hz \\ -0.0382; 2 \sim 4Hz \\ 0.0000; 4 \sim 6Hz \\ 0.0706; 6 \sim 8Hz \\ 0.0941; 8 \sim 10Hz \end{cases} \quad (4)$$

が得られた。重相関係数は 0.5993 であった。  $\gamma_j$  は  $M$  と正の相関を有しているが、それほど強くない。むしろ、  $R$  や  $f$  との正相関が強い。  $\gamma_j$  が大きくなる原因としては 2 つの可能性が考えられる。一つは、9 観測点での観測値  $\phi_{jk}$  がばらついていることである。  $f$  との正相関は、周波数が高いほど、9 観測点がそれぞれ独自の震動し易い方向を持っている結果生じたと考えられる。これについては次節で述べる。もう一つの可能性として、アレーに入射してきた地震波の偏向性が強くなかったためと考えられる。  $R$  との正相関は震源距離が長いほど、  $f$  との正相関は周波数が高いほど、伝播経路での地震波の散乱等の影響によって、震源での射出パターンが曖昧になってしまうことを意味する。

1987 年千葉県等方沖地震と 5 つの余震にのみ対象を絞って同様の解析を行ってみる。これら 6 地震については、伝播経路がほぼ共通しているため、震源の大きさの影響と震源距離の違いによる影響をより明確に

見ることができる。得られた結果は

$$\gamma_j = 0.3800 + \begin{cases} -0.0213; M < 5 \\ 0.0427; M \geq 5 \end{cases} + \begin{cases} -0.0547; R < 70 \\ 0.1093; R \geq 70 \end{cases} + \begin{cases} -0.1550; 0 \sim 2Hz \\ -0.0383; 2 \sim 4Hz \\ -0.0300; 4 \sim 6Hz \\ 0.0867; 6 \sim 8Hz \\ 0.1367; 8 \sim 10Hz \end{cases} \quad (5)$$

であった。17 地震全部を扱った場合に比べて、  $M$  に対する依存性が強いことが見て取れる。また、重相関係数も 0.7898 とかなり高い。大きな地震の断層面上からの高周波数の地震波の射出パターンが場所に依らず同じであるとは考えにくい<sup>3)</sup>。また、断層面上の各点から射出された S 波が混じりあって地震波の偏向性を弱めるであろう。その結果、  $M$  が大きくなるほど  $\gamma_j$  が大きくなるものと考えられる。

$M$  が小さい地震による地震動は  $M$  が大きい地震の地震動に比較して偏向性が強いという結果から、小地震記録を単純に重ね合わせて大地震記録を合成すれば、実際よりも強く偏向した地震動が得られるであろうことは容易に推測できる。このことも、半経験的強震動合成に当たっては注意を払う必要がある。

## (2) 変動場について

5つの周波数帯の $(\phi_k, \gamma_k)$ について示したものが図-5である。この図は、各観測点において、楕円の長軸である $\phi_k$ 方向に地震動が卓越し易いことを示している。偏平な楕円で示された場合ほどその性質が強い。0~2 Hz の場合は9観測点共にほぼ円形である。これは、 $\gamma_k = 1.0$ として与えた初期値のごく近くで計算が終了した結果である。千葉アレーの記録については、空間的に狭い範囲でならば低周波数成分の地震動はほぼ同じであると仮定して、計器の方位補正がなされている<sup>16)</sup>。従って、0~2 Hzでは9観測点での地震動が揃っているため、各観測点は固有の性質を示さないという図-5の結果は当然である。

一方、周波数が高くなると、各観測点の固有の性質が現れ、 $(\phi_k, \gamma_k)$ で表される楕円は偏平になる。今回解析した9観測点の内では、特にP3観測点が最も強い局所的な変動を表している。僅か10mしか離れていない観測点間で地震動の性質が異なる原因は、ごく表層の地盤内にあると考えるのが妥当であろう。

P3観測点には、地表から10mの深さにも地震計が設置されている。図-6は1987年千葉県東方沖地震の際のP3地点に置ける1mと10mの深さでのS波部分の観測記録のスペクトルの比である。白丸はE10°N成分、黒丸はE80°S成分のスペクトル比である。これら2成分は、直交する2成分のスペクトル比が最も異なる場合のものである。スペクトル比のピーク周波数に注目すると、E10°N成分では5.5 Hz付近、E80°S成分では4.5 Hz付近と、ピークが分離しているのが見られる。千葉アレーにおける地盤の伝達関数が震動方向によって異なることは、Luほか<sup>17)</sup>によっても見いだされている。彼らはその違いを除去して平均的な伝達関数を得る方法を提案している。しかし本研究では、震動方向によるスペクトル比の違いの原因について若干の考察を行う。

他の8地点における直交2成分のスペクトル比の違いは、P3地点のように極端ではなく、少し見られる程度である<sup>18)</sup>。従って、P3地点のスペクトル比のピークずれの原因はP3地点のすぐ近くにあると考えるのが妥当であろう。地盤の伝達関数が震動方向によって異なる原因としては、地盤の傾斜や媒質の異方性等が考えられる。堆積地盤内を鉛直方向に伝播するS波の速度異方性が場合によっては20%以上もあるという実測結果<sup>19)</sup>を参考にすると、S波速度異方性がピークずれの一因となっている可能性もある。

P3地点から15m離れたC0地点においては地盤調査が行われている<sup>10)</sup>。C0地点での地盤モデルを用いてS波垂直入射に対する理論スペクトル比を計算すると実線のようになり、E10°N成分のスペクトル比の

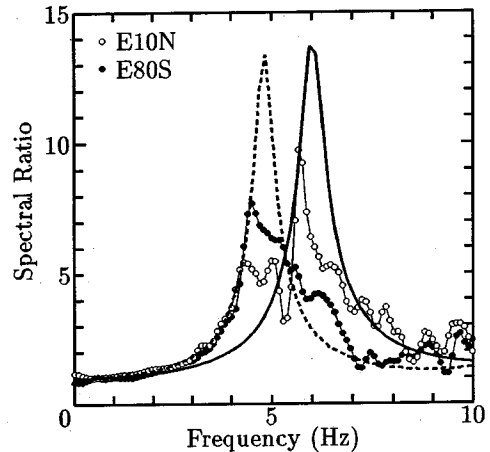


図-6 P3地点における地震動スペクトル比(1m/10m)

ピークをほぼ説明できるが、E80°S成分については説明できない。理論スペクトル比のピーク周波数は、地盤内での多重反射の結果、深さ10mで節を形成する波の周波数に相当する。従って、もし、観測スペクトル比をS波の重複反射モデルで説明するとすれば、E80°S方向に振動するS波速度はE10°N方向に振動するS波速度よりも遅いと考えなければならない。仮に、深さ5mよりも浅い表層地盤内のS波速度を25%減じて計算してみると破線のようなスペクトル比となり、E80°S成分のピークを説明できるようになる。

以上の考察から、観測される地震動卓越方向に対する局所的な地盤の影響としては、ある方向の震動成分が他の方向の成分よりもただ単純に強く増幅されるというようなもの<sup>7),8)</sup>ではなさそうである。図-6に見られるような、スペクトル比のピーク周波数が震動方向によって異なるというような現象が、図-5に示された $(\phi_k, \gamma_k)$ の周波数による複雑な振舞いの原因となっている可能性がある。

## 4. まとめ

密に配置された加速度計アレー記録を解析し、17個の地震の震動卓越方向特性について検討した。その結果以下のことが明らかになった。

1. 千葉アレーサイトは地震の際に、2~8 Hzの周波数帯において、E10°S~E60°S方向に揺れにくい性質を有している。
2. アレー全体の平均的な地震動卓越方向は周波数によって変化しており、観測される地震動の卓越方向が震源での放射パターンの影響をそのまま反映しているとは言い難い。

3. アレー全体の平均的な地震動の偏向の強さは、地震規模が小さいほど、震源距離が小さいほど、また、低周波数成分ほど強い。
4. 地震動卓越方向に対する局所的な地盤の影響は、観測点毎に異なる。また、高周波数成分ほど著しい。
5. 局所的な地盤の影響は、震動方向によって地盤の応答特性が異なっているために引き起こされている可能性がある。
6. 半経験的手法による強震動の合成を行う際には、地震動の卓越方向特性が震源での放射特性をほとんど反映していないこと、地震動の偏向の強さが地震規模に依存すること等についても考慮する必要がある。

謝辞： 千葉アレーのデータは東京大学生産技術研究所片山研究室よりお借りした。記して感謝します。本研究は文部省科学研究費の補助を受けて行った。

#### 参考文献

- 1) Montalbetti, J.F. and Kanasewich, R.: Enhancement of teleseismic body phases with a polarization filter, *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, Vol.21, pp.119-129, 1970.
- 2) 星谷勝, 石橋裕: 地震動ベクトルの主軸と波形特性, 土木学会論文報告集, No. 268, pp.33-46, 1977.
- 3) 鈴木保典: 移動震源確率モデルから発生する地震波, 文部省科学研究費自然災害特別研究成果「断層運動における短周期挙動と入力地震波の推定」, pp.139-149, 1984.
- 4) 佐藤春夫: ランダムな不均質による地震波の散乱, 地震第2輯, Vol.44 (特集号), pp.85-97, 1991.
- 5) Kawase, H. and Aki, K.: Topography effect at the critical SV-wave incidence: possible explanation of damage pattern by the Whittier Narrows, California, earthquake of 1 October 1987, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.80, pp.1-22, 1990.
- 6) 堀家正則, 竹内吉弘, 桑田和宏: 地盤のS波速度の揺らぎの統計的性質, 地震第2輯, Vol.44, pp.267-269, 1991.
- 7) Bonamassa, O. and Vidale, J.E.: Directional site resonance observed from aftershocks of the 18 October 1989 Loma Prieta earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.81, pp.1945-1957, 1991.
- 8) Vidale, E., Bonamassa, O. and Houston, H.: Directional site resonance observed from the 1 October 1987 Whittier Narrows, California, Earthquake and the 4 October aftershock, *Earthquake Spectra*, Vol.7, pp.107-125, 1991.
- 9) Toksöz, M.N., Dainty, A.M. and Charrette, E.E.: Coherency of ground motion at regional distances and scattering, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol.67, pp.162-179, 1991.
- 10) Katayama, T., Yamazaki, F., Nagata, S., Lu L. and Türker, T.: Development of strong motion database for the Chiba seismometer array, Report No. 90-1(14), Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 100pp 1990.
- 11) Katayama, T., Yamazaki, F., Nagata, S., Lu L. and Türker, T.: A strong motion database for the Chiba seismometer array and its engineering analysis, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, Vol.19, pp.1089-1106, 1990.
- 12) 泉谷恭男, 寺田彰: 強震動卓越方向の震源依存性と観測点依存性—千葉アレーにおける8~10 Hz地震動の主軸解析—, 地震第2輯, Vol.46, pp.35-44, 1993.
- 13) Aki, K. and Richards, P.G.: *Quantitative Seismology*, W. H. Freeman and Company, 1980.
- 14) 福山英一, 木下繁夫: 1987年千葉県東方沖地震の破壊過程の推定—経験的グリーン関数を用いた解析—, 地震第2輯, Vol.42, pp.39-48, 1989.
- 15) 入倉孝次郎: 経験的グリーン関数法, 文部省科学研究費「自然災害の予測と防災力」研究成果「強震動および津波の予測と破壊能評価に関する研究」, pp.11-17, 1990.
- 16) Yamazaki, F., Lu, L. and Katayama, T.: Orientation error estimation of buried seismographs in array observation, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, Vol.21, pp.679-694, 1992.
- 17) Lu, L., Yamazaki, F. and Katayama, T.: Soil amplification based on seismometer array and microtremor observations in Chiba, Japan, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, Vol.21, pp.95-108, 1992.
- 18) 泉谷恭男, 杉村昌則: 千葉アレーサイトの地盤によるS波増幅の震動方向依存性, 第23回地震工学研究発表会講演概要, pp.133-136, 1995.
- 19) Ghose, R. and Osada, M.: Anisotropy in near-surface formations and shear-wave birefringence — Its geotechnical implications: A VSP appraisal, *Oyo Technical Report*, No. 15, pp.55-145, 1993.

(1995. 5. 19 受付)

## PREDOMINANT DIRECTION OF STRONG MOTION S-WAVES AND ITS SPATIAL VARIATION AT CHIBA ARRAY SITE

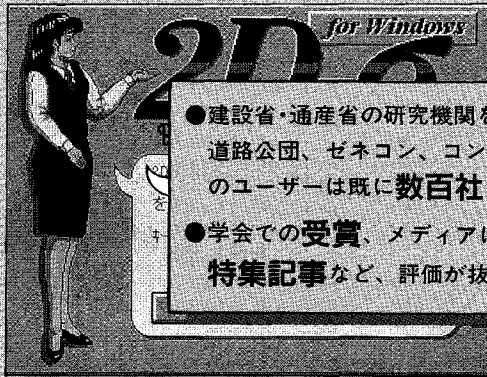
Yasuo IZUTANI

S-wave records for 17 earthquakes observed by a dense accelerograph array (Chiba array) are analyzed to investigate the source, path and site effects on polarization of strong ground motion. The polarization characteristics averaged over the array do not agree with those expected from the focal mechanism because of the wave scattering effect along the path. The direction of the average polarization varies with frequency, and the degree of the average polarization decreases with increasing in the earthquake magnitude and the hypocentral distance. Each of the observation points shows its own local site effect on polarization of strong ground motion. It is suggested that the local site effect is caused by some anisotropic property of the surface layers at the Chiba array site.

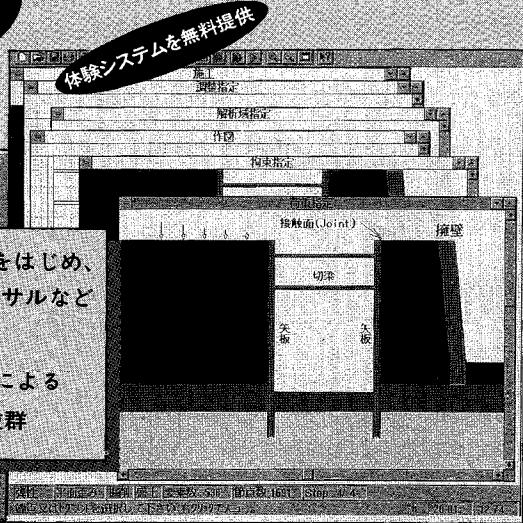
# 2D-σ for Windows

世界をリードする  
夢の土木構造解析システム

ツー ディー シグマ



- 建設省・通産省の研究機関をはじめ、道路公団、ゼネコン、コンサルなどのユーザーは既に**数百社**
- 学会での**受賞**、メディアによる**特集記事**など、評価が**抜群**



体験システムを無料提供

## 斬新なコンセプトと驚異の自動化・高速化・大容量。

大型機で数日間かかった解析がパソコンでわずか数十分間で / 有限要素を意識せず、誰でも、どこでも、低コストで簡単に / 一般技術者のノートPCによる現場解析も楽々 /

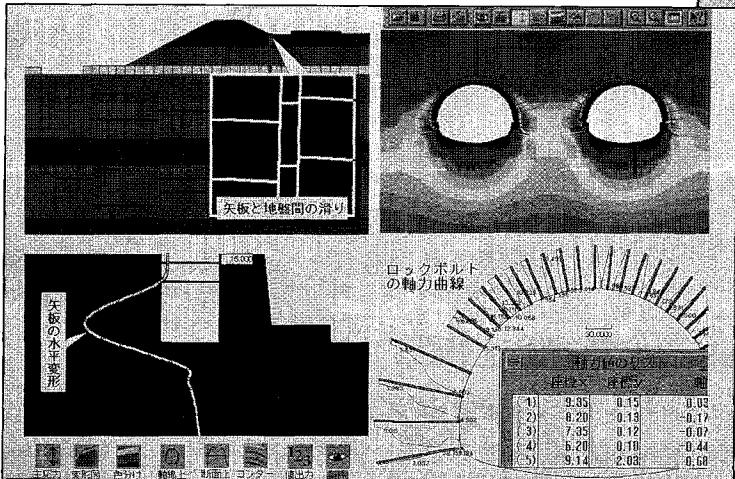
■有限要素の概念は一切表に出ない。解析の条件とプロセスを内蔵の高性能CADで作成した図面へ直感的に与えるのみ。

土木構造解析特有の面倒な解析に特に有効(ステップ施工、掘削、盛土、支保・近接・拡幅、接触問題など)

■膨大な解析容量(1万節点以上)と驚異の演算速度(たとえば5000節点前後の解析は66MhzのPCでも2、3分間で完了)


■豊富な入出力画面に編集を加え、説明文やキャプションを付けた上、ワンタッチで高品質の最終成果物が得られる。ワープロや表計算などの他のソフトにも図面と数値を転送できるので設計技術者が夢見る調査・設計・評価の一括自動化を実現。

■土木解析に必要な機能のほとんどに対応(非線形形、弾塑性、接触面・弱面、熱応力、地震慣性力、自動ステップ解析、掘削、盛土)



## 3次元土木解析システム「3D-σ」も好評発売中!

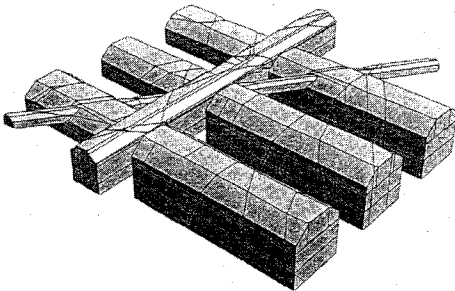
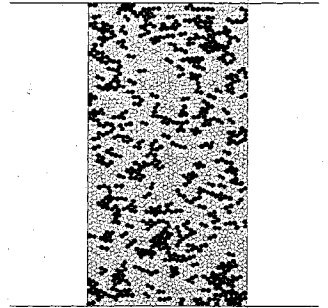
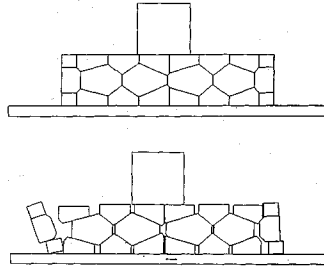
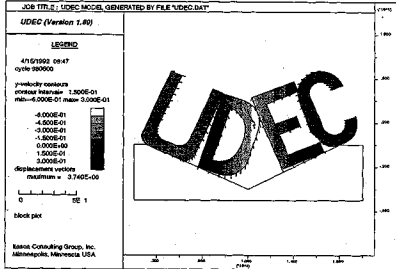
土木業界で大好評  
詳細資料提供

開発・販売  ソフトプレーン(株) お問い合わせは 03-3592-7659  
 本社:〒001 札幌市北区北37条西4丁目 王陽ビル Tel 011-736-7009 Fax 011-736-7449

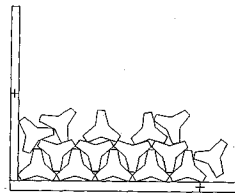
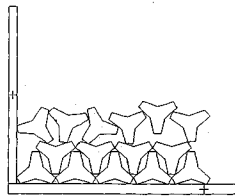


# 個別要素法プログラムシリーズ

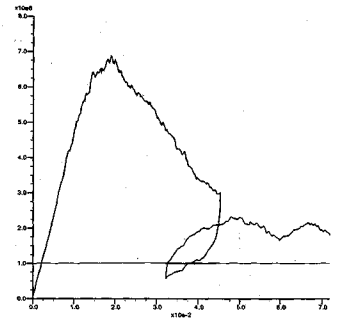
■開発元 Dr.Cundall (ITASCA社)



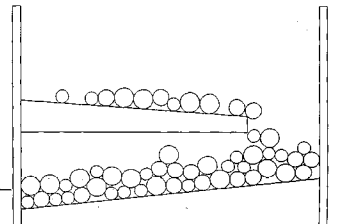
3DEC



BFLOW



PFC-2D



BALL-Poly

## ■価格

### ●ロード・モジュール

・UDEC	SUN/IBM-PC(標準バージョン) .....	110万円
	(Barton-Bandis Optionを含む場合) .....	160万円
・3DEC	SUN/IBM-PC .....	550万円
・PFC-2D	SUN/IBM-PC .....	70万円

### ●ソース・コード

・UDEC	SUN/IBM-PC(標準バージョン) .....	190万円
	(Barton-Bandis Optionを含む場合) .....	240万円
・BFLOW	SUN .....	190万円

プログラムはいずれも最新バージョンを提供いたします。また、問題に応じたプログラムの開発も行っています。

\* 当社は1988年7月からITASCA社の販売代理店をしています。

## OKL 株式会社 応用工学研究室

TEL.03-3437-2164 FAX.03-3437-2652  
 〒105 東京都港区虎ノ門5-1-4 東都ビル6F  
 (株システムネットワーク内)

# 地盤の非線形解析プログラム

■開発元 Dr.Cundall (ITASCA社)

# FLAC-2D/3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua)

1950年代に有限要素法が出現し、コンピュータの発展と共に進歩をとげていったのと並行して、衝撃分野での解析を目的に始まった差分法に基づく、“Hydrocodes”もすくなくならぬ成功をおさめていました。応力波伝播を基本とする弾塑性固体の大変形、スライド・ライン手法による滑り・剥離挙動の解析には目覚ましいものがありました。しかし、これらを取り扱うプログラムの多くは公的機関での開発のため公開されたものは余りありませんでした。FLACはこの流れをくむ地盤非線形解析プログラムです。

### プログラムの特徴

- 幾何学的大変形及び材料非線形を取り扱うことができます。陽解法のため歪み軟化解析が容易です。
- 複雑な3次元地盤をモデル化するため、優れたジェネレーター機能をそなえています。
- 機能追加のための開発ツールFISHプログラミング言語を備えていますので、機能追加が容易です。

### 要素ライブラリー

- 2次元平面歪/応力要素(2D)
- ソリッド要素(3D)
- ビーム要素(2D)
- ロックボルト要素(2D, 3D)

### 適用分野

- 斜面・盛土の設計及び安定解析
- アースダム及びコンクリートダム解析
- トンネル、鉱山掘削解析
- 地下水、圧密、液状化解析(2D)

### 構成則

- 等方性、非等方性弾性
- 弾塑性(Mohr-Coulomb, Drucker-Prager)
- 偏在ジョイント・モデル(Ubiquitous joint)
- 歪一硬化/軟化 ●ヌル要素
- 液状化FINNモデル(2D) 等

その他の構成則の機能追加も可能です。

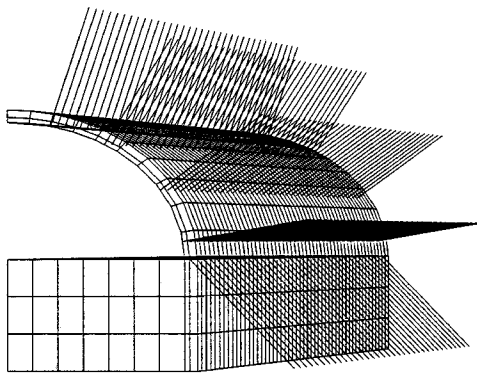
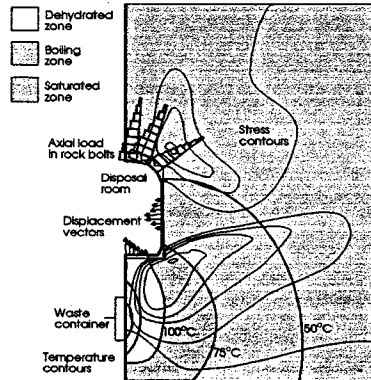


Figure 5 Steel bolt pattern for Method 2



Thermomechanical conditions five years after nuclear waste emplacement.

### ■価格(ロード・モジュール)

- FLAC-2D SUN/IBM-PC(標準バージョン).....80万円  
(Dynamic, Creep, Thermal Optionを含む場合).....110万円
- FLAC-3D SUN/IBM-PC(Creep Optionを含む).....190万円

プログラムはいずれも最新バージョンを提供いたします。また、問題に応じた地盤非線形プログラムの開発も行っています。

\*当社は1988年7月からITASCA社の販売代理店をしています。

## OKL株式会社 産業工学研究室

日本技術開発株式会社

TEL.03-34  
〒105 東京  
株



-2652  
6F

パソコン用、準3次元広域地下水変動解析プログラム

未来設計企業

CRC

# PC/UNISSF Ver.3.0 for Windows

“PC/UNISSF Ver.3.0”は、すでに汎用機やEWSで実績のある準3次元広域地下水変動解析プログラム、UNISSF(V-2)に強力なプリ・ポスト処理プログラムを付加し、Windows版として新登場しました。このプリ・ポストプログラムは、マウスを使ったメニュー形式の導入、画面上での入出力等の機能により、すぐれた操作性をもたらします。

新登場!

## プログラムの特徴 (☆印は新機能)

### ■プリ処理

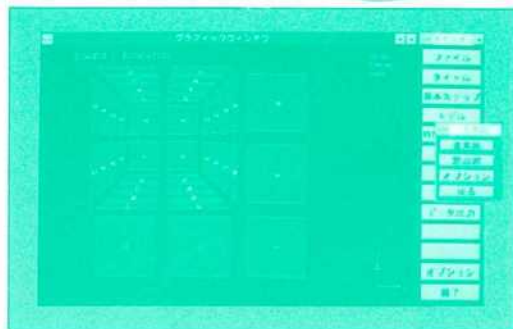
- ☆モデル作成のためのメッシュジェネレート機能
- ★地層データ、初期水位データ等の自動発生機能
- ☆モデル図を参照しながら、境界条件等各種データの入力、修正が可能
- ☆マウス入力とメニュー形式による操作性の向上

### ■解析機能

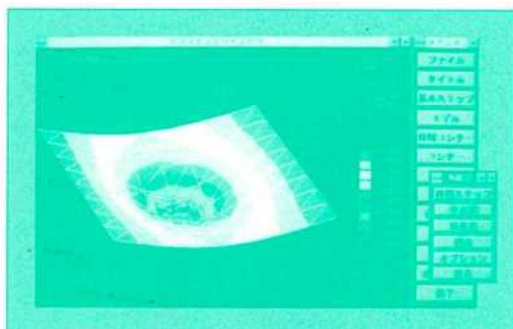
- ☆汎用機、EWS版と同一機能(順解析)、同一データフォーマット
- ☆約3000~10000節点までのモデルが解析可能
- ★降雨・揚水井・浸出面の取り扱いが可能
- ★水位・流量の経時変化
- ★境界条件の変更、材質の変更
- ★掘削機能・簡易漏水機能
- ★初期定常計算・非定常計算・最終定常計算

### ■ポスト処理

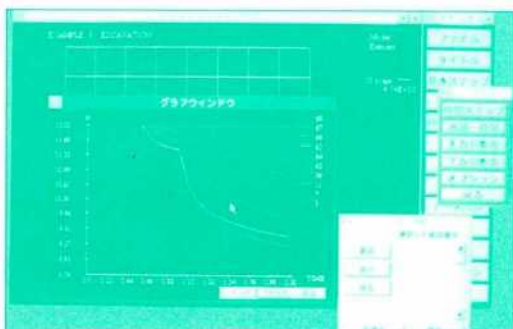
- ☆線画に加えて画面塗りつぶし処理が可能
- ☆水位の時間変化が簡単にグラフ化可能
- ☆マウス入力とメニュー形式による操作性の大幅な向上



【モデル図】



【全水頭コンター】



【水位変化グラフ】

#### 動作環境

Windows Ver.3.1  
CPU : 80386 以上 (推奨 80486DX 33MHz以上)  
RAM : 8MB 以上  
ハードディスク空容量 : 10MB以上

- ・UNISSFは情報処理振興事業会の委託を受けて当社で開発したプログラムです。
- ・Windowsは米国マイクロソフト社の商標です。

問い合わせ先

株式会社 **CRC** 総合研究所

西日本事業部 科学システム営業部  
〒541 大阪市中央区久太郎町4-1-3  
TEL.06-241-4730 (担当/岩崎)

通商産業省 特別認可法人

情報処理振興事業協会 (IPA)

〒105 東京都港区芝公園3丁目1番38  
TEL.03-3437-2301