

地震波の揺れの方向特性と地質構造との関係について

三梨 昂*・野口従道*・吉村 満*

Geological structure and predominant direction of
horizontal displacement by particle motion.

Takashi MITSUNASHI, Tsugumichi NOGUCHI and Mitsuru YOSHIMURA

まえがき

筆者らはさきに当研究報告において、宍道湖一中海周辺地域における、地震波の増幅と直接関連をもつ、表層地盤図および液状化危険度分布図を作成した(三梨ほか, 1983, 寺見ほか, 1983)。ここでは地震波の揺れの方向性の問題について、運輸省港湾技術研究所による各地域の港湾の強震計記録と地質構造との関連について検討し、また簡単なモデル実験を行ったのでここに報告する。

いま仮りに、それぞれの地域で震源の方向にかかわらず、固有な揺れの方向があるとすれば、建造物等の耐震的な対策を講ずることができるわけである。

揺れの強さ(震度)の分布については、地震の発震機構における2つの節面の方向に、S波による揺れが大きく現われることを本多(1954)は示した(第1図)。

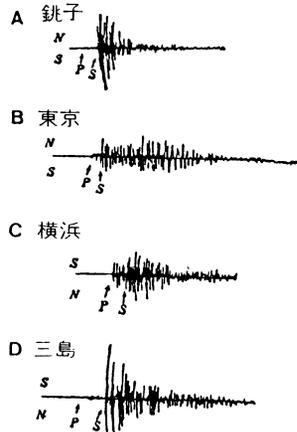
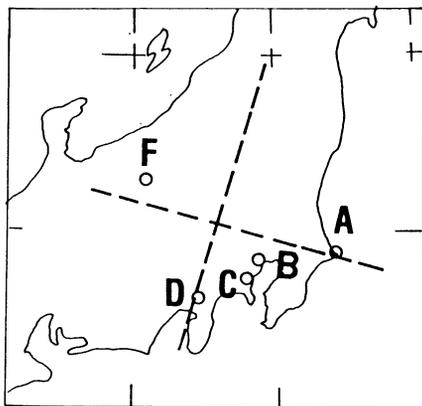
これまで、このような考えが定着しているようにも思われる。

また揺れの体感的な強さ(震度)と地質構造との関係では、角田・堀口(1981)により、関東平野地域で数多くのアンケート調査の結果から、埋積谷、地下岸線などの沖積層の層厚急変部の比較的浅い部分と、もう1つは地下深部の断層の上位では震度は相対的に大きくなることを述べ、これらを異常震動帯と名付けている。

次に本題である揺れの方向性についてであるが、こ

れまで地域的に沖積層の厚い方向に揺れる、あるいは地形、とくに川の方向と関連するとの考え等があり、また佐々木ほか(1983)による強震計記録のうちの『速度軌跡が地質学的なトレンドと何らかの関係を持つのではないか』という意見や、小玉ほか(1981)による加速度軌跡と地下断層との関連をもつとする考え、また野田(1978)により『発震機構と何らかの関連をもつ』とする考えなどがある。

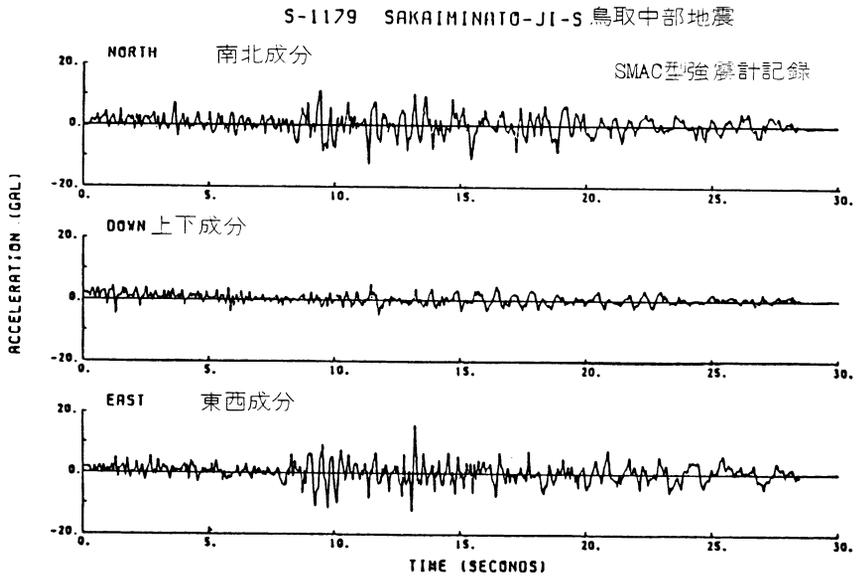
しかし、ここでは、強震計における水平変位軌跡は、それぞれの地域における地下数km以上の地質構造、とくに断層で境された地塊の形態によるものとする考えを述べ、またモ



第1図 発震機構とPおよびS波の振幅の関係(本多, 1954)

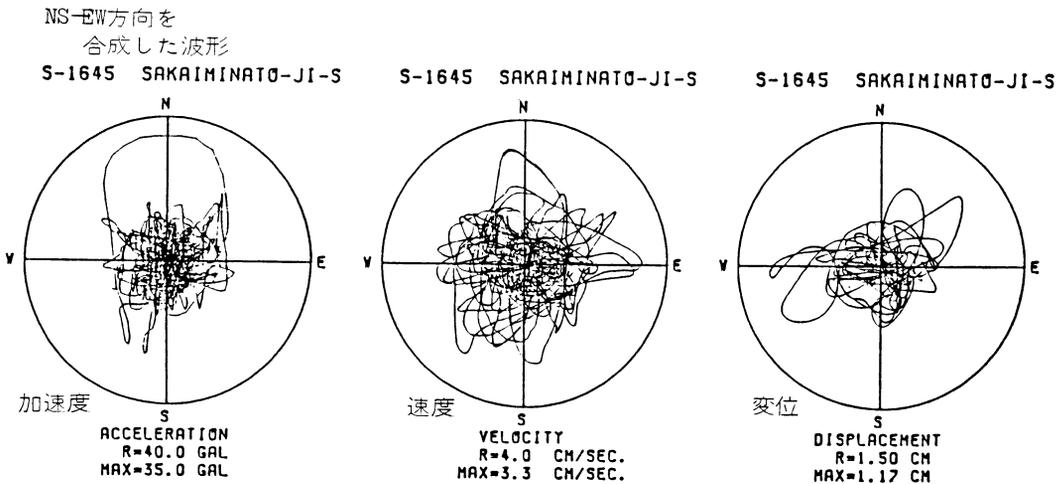
2つの節面に近いところでは(A, D), S波は大きく、P波は小さい、また中間地点では(C, B), 大きさは逆となる。

* 島根大学理学部地質学教室。



第2図 SMAC型強震計による加速度波形

上：南北方向，中：上下方向，下：東西方向
 (運輸省境港湾事務所記録，鳥取中部地震，1983年)



第3図 水平面合成軌跡

左より加速度・速度・変位の各軌跡(図2のうち，南北・東西方向を合成して求めたもの)(運輸省港湾技研による)

デル実験の結果とも合せ，山陰地区についても予測的な見解を述べる。

測定ならびに解析法

測定には強震計という一倍計で，SMAC型のものが

用いられている。強震計は，南北，東西および上下の方向の加速度波形を記録する(第2図)。

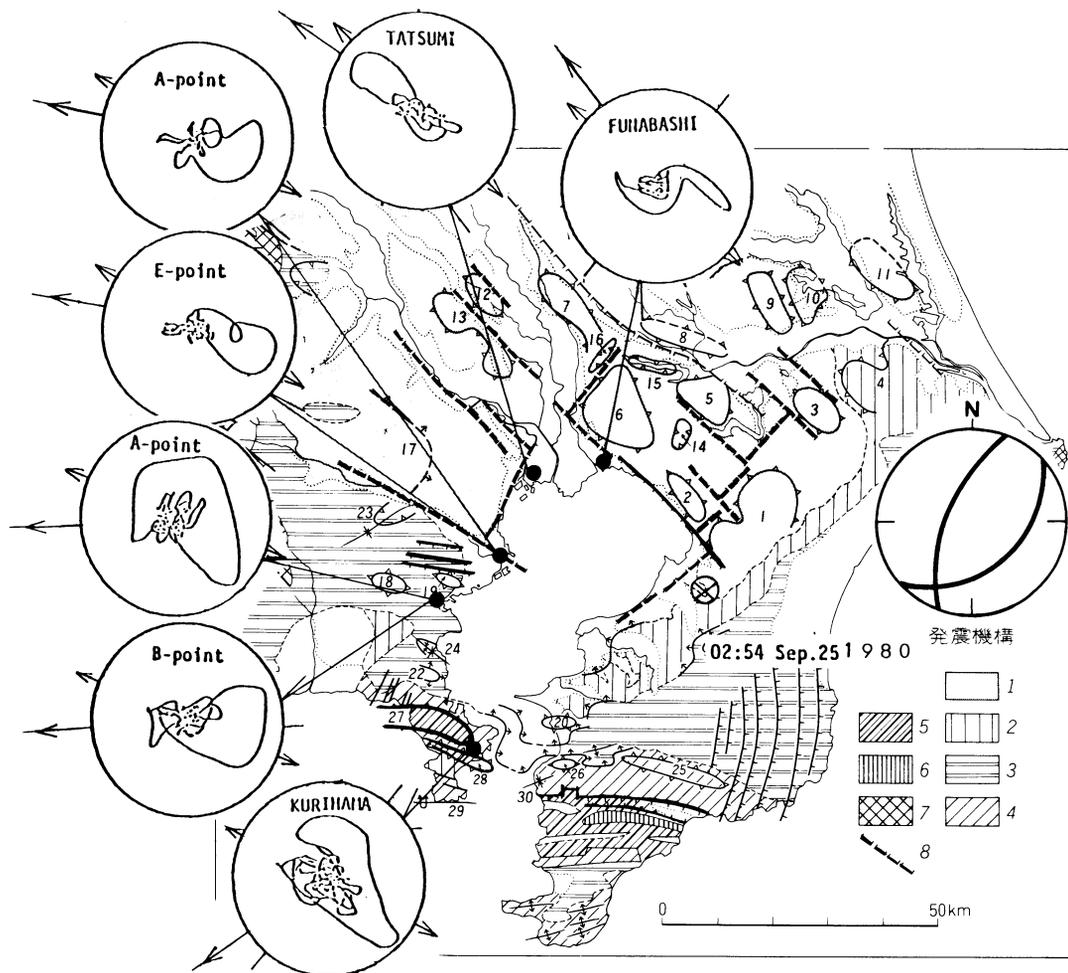
これらを1/100秒単位で読み取り，上述の3方向のうち揺れの大きい，南北，東西の2方向を合成して加速度の軌跡を求める。ついで積分した形で速度を，も

う一度積分した形で変位軌跡を求める* (第3図)。本論では主として、変位軌跡を用いる。水平変位軌跡は、耐震構造の分野において、場所毎に違う変位が加わると建造物に歪を生じさせ破壊に至ることから、この手法が開発されたものとされている。なおこれらの観測及び処理はすべて運輸省港湾技術研究所で行ったもの

を使用した。

対象とした地域は、始めに強震計が高い密度で設置されている東京湾周辺地域について検討を行う。

第4図の変位軌跡は野田ほか(1981)によって解析された1980年9月25日の千葉県中部地震による各港湾施設における南北・東西方向のいわゆる水平成分の

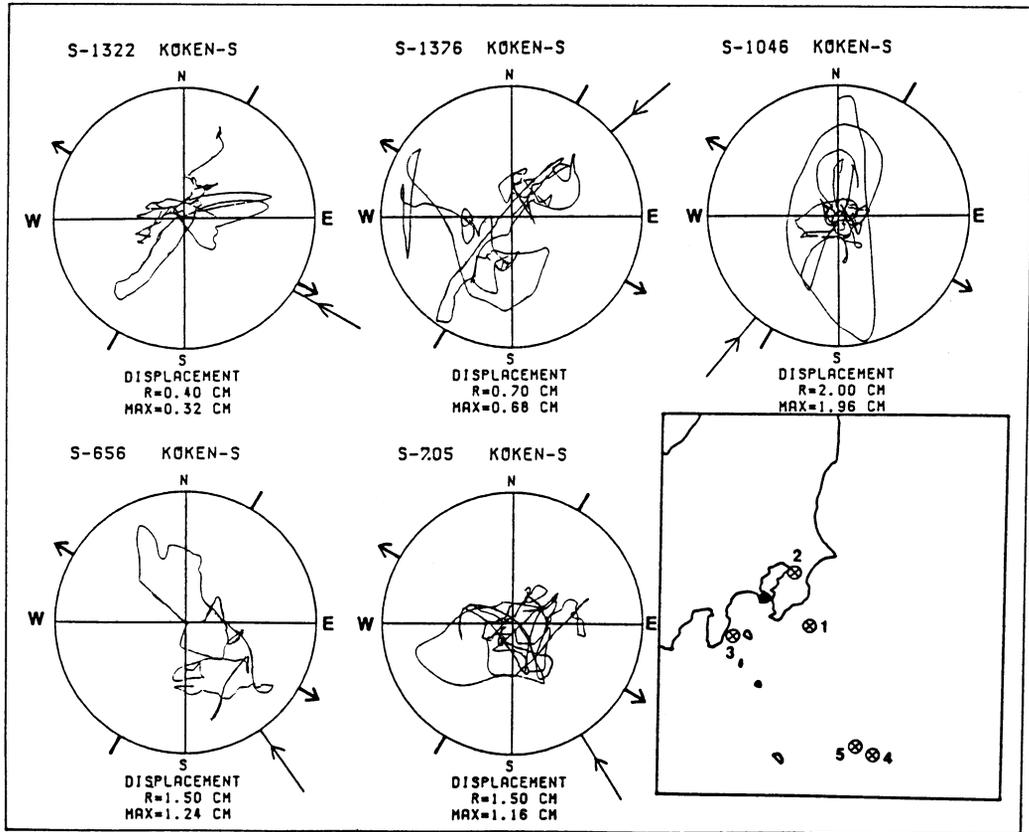


第4図 南関東地区地質構造図(三梨ほか22名, 1979)に野田ほか2名(1981)による水平面変位軌跡を付加した図

凡例8: 第4紀に活動した基盤断層(地下1~数km)

- : 一次オーダーの断層の方向
- : 二次オーダーの断層の方向
- : 震動の入射方向

* この計算はコンピューターで行なうが、その際に、記録を数値化するための波形トレースの誤差を取り除くためにフィルタリングを行う。波形トレースの誤差は、加速度波形を積分して求めた速度波形や変位波形においては、著しく大きな割合を占めるようになることが多い。このような誤差の占める割合の大きい振動数成分を取除くことを目的としてフィルタリングを行う。現在用いられているフィルタには2種類ある。1つは、一定のフィルタをすべて地震波に適用するもので、基本的には、気象庁の1倍強震計をシミュレートすることにより、変位を求める固定フィルタ(Fixed Filter)。もう1つは、地震波ごとにフィルタのパラメータを考えるもので、これは、港湾技術研究所で開発されたパラメータ付きフィルタ(Variable Filter)である。今回の資料は、後者のパラメータ付フィルタによって求められた変位波形を用いている。



第5図 港湾技術研究所（横須賀市久里浜）における多方向震源に対する変位軌跡と一次および二次オーダーの断層の方向との関係

ものであり、これらを三梨ほか（1979）の地質構造図上に重ね合わせたものである。同図における湾奥部での第四紀に活動した基盤断層（地下2～3km）、また湾口付近で第三紀層の分布する横浜及び横須賀市久里浜付近の褶曲構造、基盤反映褶曲の方向などが示す一次オーダーの断層の方向と変位軌跡の主要な方向とは、ほぼ一致する。

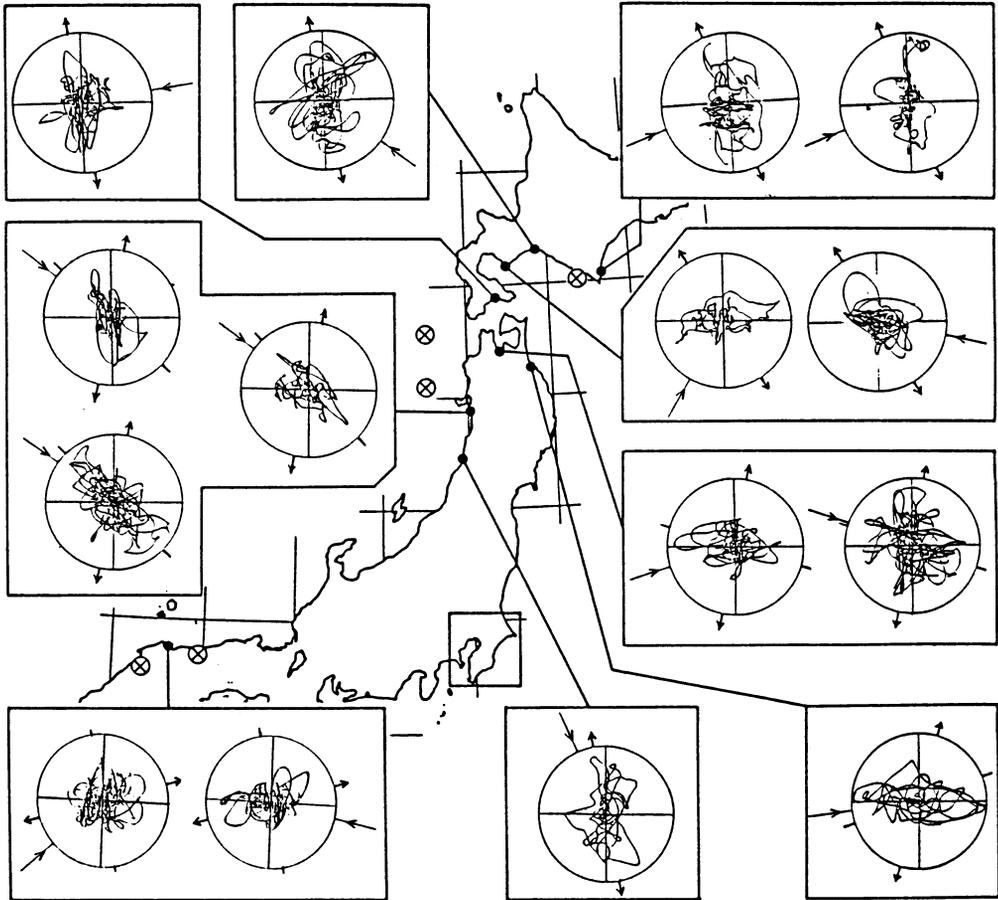
以上は、1つの震源に対する各観測地点についての結果であるが、次に多方向の震源に対する1つの観測地点（久里浜、港湾技研）での結果を第5図に示す。なお久里浜の地質構造は北西—南東方向の褶曲構造、基盤反映褶曲（一次オーダーの断層）とこれと交差する北北東—南南西方向への地層の撓曲や規模の小さな断層（二次オーダーの断層の方向）とからなるが、変位軌跡は、これらの2つ方向のうち1方、または双方が現れるとみることができる。

また、つぎにこれらの現象の一般性を追求する目的

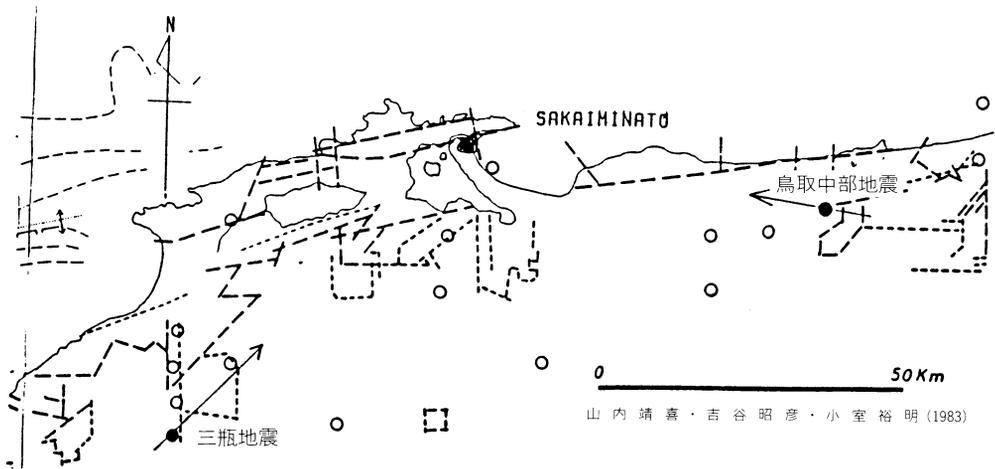
で、地下数kmの地質構造が石油探鉱に関連して判明している新第三系（油田第三系とも呼ばれる）の分布地域について検討した。第6図は最近発生した巨大地震のデータを用い、各観測地点での最大加速度20ミリガル以上のものについて検討を行った。地震としては、北海道浦河沖地震（1982）、日本海中部地震（1983）、山陰地方の三瓶地震（1978）、鳥取県中部地震（1983）を対象にし、地下構造は主として石油資源開発K.K.、帝国石油K.K.などのデータに従い、これらを変位軌跡の円上に入射方向と共に記入してある。

ここでは、入射方向や発震機構にかかわらず、さきに述べたと同様に、一次及び二次オーダーの断層の双方または一方向が現れていると見ることができる。

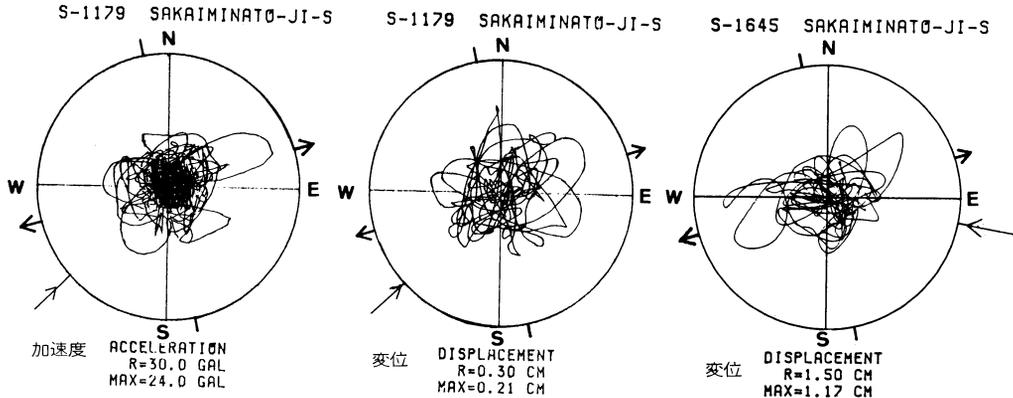
山陰地方では境港市の運輸省港湾事務所の1か所のみの観測点に限られるが、三瓶地震（1987）と鳥取県中部地震（1983）の2つの地震の観測に成功している。第7図にみられるように、入射方向が直交するように



第6図 最近の巨大地震における各港湾観測点での変位軌跡と地下構造との関係。
浦河沖地震・日本海中部地震・三瓶地震・鳥取県中部地震（変位軌跡は、港湾技研資料による）

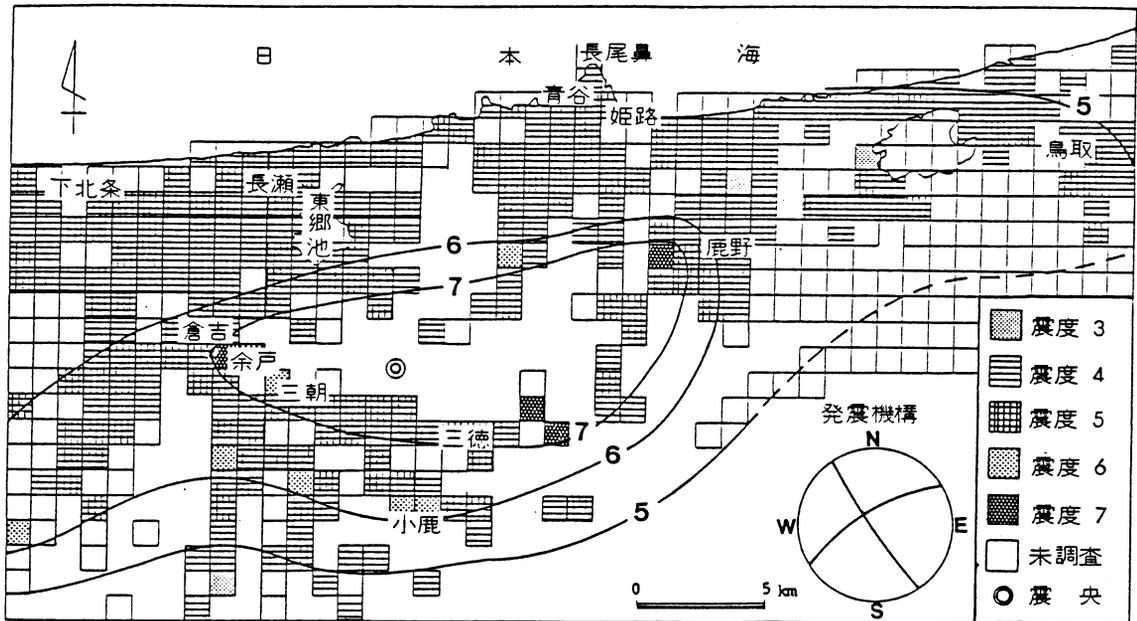


第7図A 山陰地方の地質構造図（山内ほか，1983）に三瓶地震（1978），鳥取中部地震（1983）などの震央を記入した図



第 7 図 B 水平変位軌跡と基盤断層

左：三瓶地震（1977）
 中：同 上
 右：鳥取中部地震（1983）（港湾技術研究所資料）



第 8 図 1 km 四方の区画の平均的震度分布（河角震度）

発震機構は、京都大学防災研究所附属鳥取微小地質観測所による、区画を区切ってない部分は人家がないため調査不可能な地区を示す（山陰地震動研究会，1985）

大きく異なるが、島根半島に沿う方向に到達する一次オーダーの断層の走向に平行な方向に大きな揺れが現れており、また南北性に近い二次オーダーの断層の方向の揺れも僅かに認められる。

1983年10月の鳥取中部地震では震源が陸域にあり、また震央付近は先第三系の基盤岩が分布している。

このような条件は、関東平野での2,000~3,000 m 地下の基盤岩が直接地表に露出していることになる。そ

のため、S波を増幅させる軟弱な地層の影響を受けることなく、基盤断裂と地震動との関係を観察できる利点がある。これらについては山陰地震動研究会（1985）によって3,000のアンケートと1,000地点の現地調査とによる調査の報告がある。初めに震度の分布について検討する。一般的にS波の大きさについては、発震機構における2つの節面の方向に大きく現れるとするのが普通である（本多，1954）。しかし鳥取中部地震

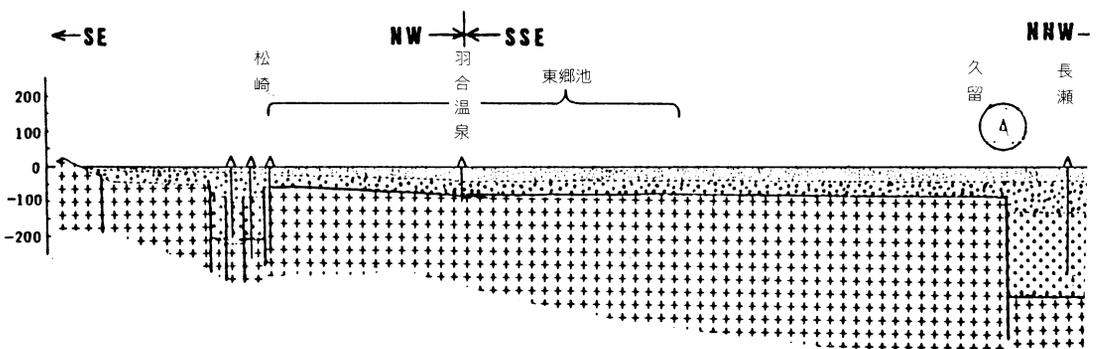
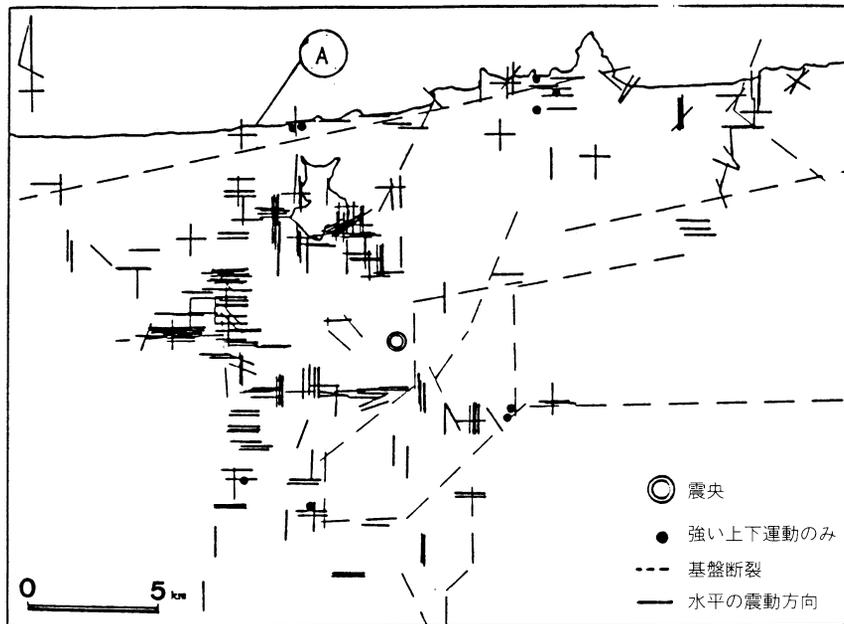
の場合、第8図にみられるように震源を中心に細長い楕円形を示し、その方向は同図右下に示した発震機構における2つの節面のうち東北東-西南西方向のものにはほぼ平行な分布を示しており、他の1方の節面の南北性のものは、震央より遠くには達していない。

これらのことは、この地域の基盤断層は東北東-西南西方向のものが主体であり、すなわち断層の規模(落差、延長)が大きく、そのためS波の伝わり方に対して異方性を有しているためと考えられる。

また震動を強く感ずる高震動帯*の範囲についてみると、関東平野の場合では、基盤断層に沿って約500m~1,000mの幅であるのに対し、基盤岩が露出する本地域では、その幅が数10mと非常に狭いのが特徴となっている。

次に揺れの方向特性についての検討であるが、規模の大きい東北東-西南西方向の断層付近では、同方向に揺れが大きいことが認められる。

しかし二次オーダーの南北性の断層についてみると



第9図 横揺れの卓越方向と基盤断層との関係図および地質断面図(山陰地震動研究会, 1985)

* 高震動帯は埋積谷、地下岸線などの沖積層の急変する地質的不連続の上にも現れるが、ここでは断層のみに注目して述べる。

規模（落差、深さ）の大きいものの付近では、南北性と東西性の両方向の揺れがみられる。一方、同じ南北性の断層上でも、規模の小さいものでは、高震度帯となるが、揺れの方向は、一次オーダーの断層の方向である東西性が卓越する。これらは、一次・二次両オーダーの断層で境された深部地塊の形態、とくに断層の規模（深さ）の違いによるものと考えている。

モデル実験

方 法

1) プラスチック容器（縦89 cm, 横44 cm, 高さ45 cm）をL字形鉄骨製の台上に乗せ、約3%のゼラチンを深さ5 cmの所まで流し込み、24時間で凝固させた（第10図）。

2) 振動源を設置し、0.5~0.7秒間隔で断続的に動かす。

3) 観測点にケミホタルと呼ばれる化学発光剤を径5 mmの半球状の器に入れて設置する。

4) カメラを、観測点の真上に来るようにセットし、レンズと観測点の距離を約15 cmにした。

5) 部屋を暗くした状態で、シャッターを1分間開放し、観測点の動きを撮影した。なお、容器の外側に綿毛を貼り、衝撃を減らすようにした。

震動源には、Reche社製の自動ふるい装置の震動部を用いる。これは、1秒間の振動数60、振幅2.5 mmという性能をもつ。

実験結果

5種類の実験結果を第11図にまとめて示す。各結果の右側の図は配置図であり、◎が観測点、⊗が振動源であり、左側の図は観測点の振動の写真記録である。

実験1は、振動を起こさず、観測点を撮影したものである。

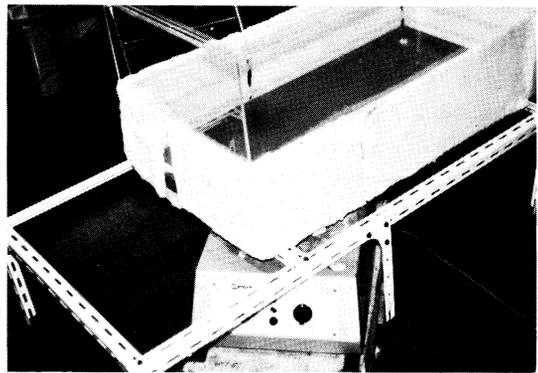
実験2は、図中に示した配置で1分間振動を与えたもので、いわば定常振動であり、縦向きの楕円形を示す。写真中の矢印は、入射方向を示す。この観測点の様子は、以降の結果の基本形となる。

実験3は、縦に断層を入れ、図のように振動点と観測点を配置した。その結果、写真記録にみられるように、観測点は断層に平行な縦方向に著しい揺れを示した。なお写真中の線は断層の方向を示す。

実験4では、断層を、横方向に断層を入れた場合で、観測点は横向きの楕円形を示す。

実験5は、左側に観測点を配置した場合、実験6は

斜めの断層の場合である。この結果、あまり大きくはないが、やはり断層の方向に平行な揺れがみられる。



第10図 断層と振動方向についてのモデル実験装置

まとめと課題

1) 地震動の揺れの方向特性について、S波の水平変位軌跡を地下数kmの深さの地質構造が判明している地域のデータと照合させ、それぞれの地域で固有な方向特性は、地下数km以深の一次および二次オーダーの断層によると考えられる。

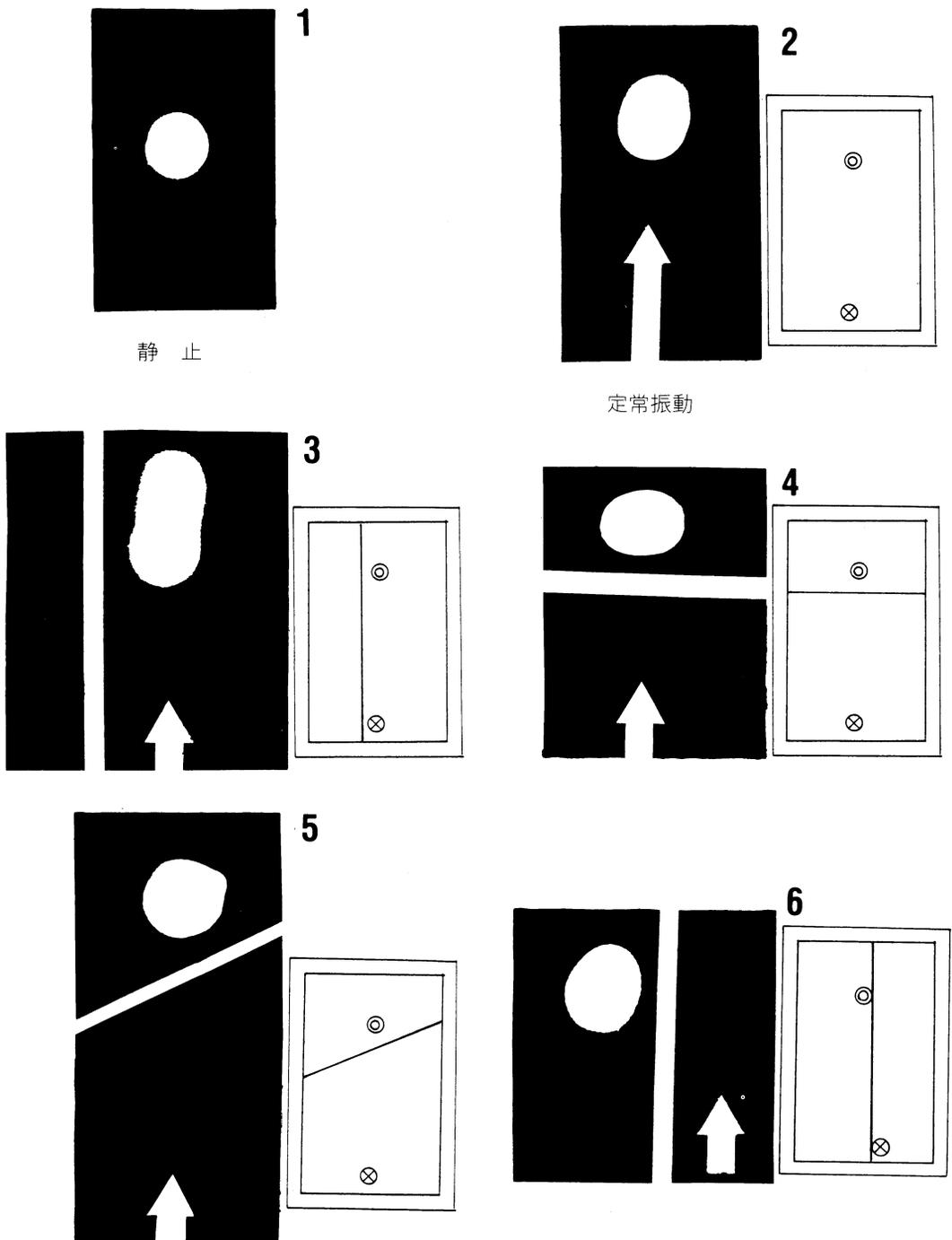
2) これらについて、地殻を想定したモデル実験を行った（第10図）。

3) 以上述べたところは、現象論的な規則性の段階であり、今後理論的な問題や断層との関連における観測地点の問題が残る。

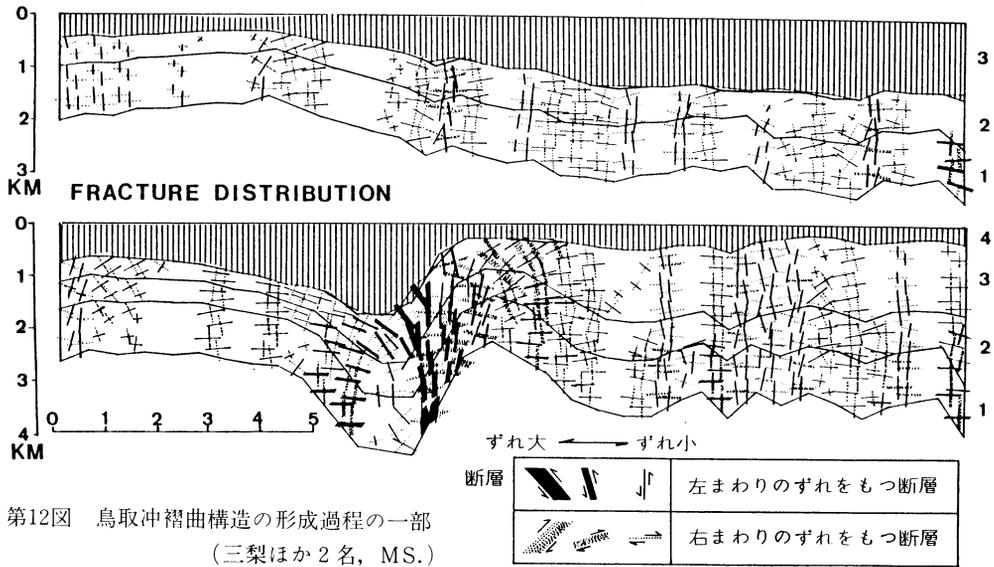
4) 小玉ほか（1984）によって開発された仮想基盤変位法は、各時代毎の地層の厚さに基づいて地殻を変形させ、それらを順次重ね合わせることにより、現在の深部の断裂の形態を推定するものである。その一例として、鳥取沖の宍道褶曲帯の形成過程と断裂の形態を示した（第12図）。

5) 以上のことから地殻が隆起などの変形をした場合に、既在の基盤断裂が弱線となって破壊するという型式（例、三梨ら1983）などの問題が検討できるようになる。

一方地震学の分野においては、鳥取中部地震（1983年10月、深度：10.2 km）の場合にみられるように、本震、余震を含め詳しい発震機構が測定されるようになった。上述してきたところから、今後、構造地質学と地震学の両分野での地殻の変形・破壊の検討において、構造地質学が深さにおいて、ようやく同一の場に立てるようになったと思われる。



第11図 地殻の断層と振動のモデル実験
 ◎は振動源，⊗は観測地点の位置を示す。写真中の白太線は断層の方向



第12図 鳥取沖褶曲構造の形成過程の一部
(三梨ほか2名, MS.)

謝 辞

運輸省港湾技術研究所の野田節男・倉田栄一の両氏は、強震計記録の提供を初め、初歩的なことからの御教示を、また学生のお世話までをして頂いた。また地質調査の鈴木尉元、小玉喜三郎の両氏、千葉公害研究所騒音研究室の樋口茂生氏、埼玉大学教養部の堀口万吉、角田史雄の両氏には、常に有益な御助言を頂いた。また当教室の山内靖喜、小室裕明の両氏にはモデル実験にあたり協力と検討を頂いた。朝日新聞社の清水祐一氏には励ましと貴重な情報を頂いた、これらの方に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

本田弘吉, 1954, 7: 地震波動, 岩波書店.
 井合 進・倉田栄一・土田 肇, 1978, 3: 強震記録のデジタル化と補正, 港湾技術研究所資料, No. 286.
 KASAHARA, K., 1953: Experimental Studies on the Mechanism of Generation of Elastic Waves II. *Bull. earthq. Res. Inst.*, **31**, 71~79.
 小玉喜三郎・龍学 明, 1984: 仮想基盤変位法で復元した深部地質断面, 石油技誌, Vol. 49, no. 4, p. 48.
 京都大学防災研究所附属鳥取微小地震観測所, 1983: 第65回地震予知連絡会資料 (MS).
 倉田栄一・福原哲夫・野田節男, 1983, 6: 港湾地域強震観測年報, 1982, No. 446.
 ————, 1983, 9: 日本海中

部地震の港湾地域における強震観測, 港湾技術研究所資料, No. 458.

三梨 昂ほか22名 (1979): 東京湾とその周辺地域の地質, 特殊地質図 (20), 10万分の1地質図, 同説明書, 地質調査所.

—————・山内靖喜・小室裕明・寺見保正・藤井伸治・今村哲己, 1983: 山陰地方における測地学的地殻変動と新第三紀以降の構造運動との関連についての試論, 島根大学地質学研究報告, no. 2, 3-14.

野田節男・倉田栄一・土田 肇, 1978, 5: 港湾技術研究所における高密度強震観測, 日米天然会議耐風耐震構造専門部会, 第10回合同部会.

佐々木嘉三・山口拓男, 1953: 真福寺 (SPJ) 観測点付近で観測された近地震の振動特性, 地震学会講演予稿集, no. 1, p. 41.

山陰地震動研究会, 1985, 3: 鳥取県中部地震 (1983年10月31日) の震度分布と基盤断裂との関係, 山陰地域総合研究センター報告, No. 1, 自然環境部門.
 鈴木尉元, 1985: 日本の地震, 筑地書房.

寺見保正・三梨 昂, 1982: 宍道湖・中海低地帯周辺の地震動災害予想, 島根大学地質学研究報告, No. 2.
 角田史雄・堀口万吉, 1981: 関東地方における大地震と小地震の震度分布の比較, 地質論集, no. 20, 21-45.

山内靖喜・吉谷昭彦・小室裕明, 1982: 山陰地方における新第三紀以降の構造地質発達史からみた基盤内断裂系, 島根大学地質学研究報告, no. 2.