

兵庫県南部地震による海底変動の調査

岩淵 洋¹⁾・春日 茂²⁾・穀田 昇³⁾

1. はじめに

1995年1月17日早朝、阪神から淡路島にかけての地域を極めて強い地震が襲った。この地震による陸域の変動については、多くの研究者がそれぞれ詳細な調査を行っている。しかし、震央を含む海域での調査はほとんど行われていないことから、我々が行った海域における調査の概略について速報的に報告したい。

陸部での被害は甚大であり、その様子は数々の情報が伝えられているが、日本で最も著名な港街である神戸は、港湾の被害も激しかった。液状化による岸壁の損壊は著しく、岸壁の多くが沈下・崩壊しただけでなく、コンテナや自動車等が海に流出して漂流し、あるいは海底に沈んで、港の使用が困難となった。

海上保安庁水路部では、神戸の第五管区海上保安本部との連絡がほとんどとれず、現地の状況がほとんど把握できない状況ではあったが、とにかく船を現地に向けて前進配備すべく、唯一在京していた測量船「海洋」を緊急に出航させることとなった。

想定される水路業務としては二つがあった。第一には海からの救援ルートの確保、第二には今回の地震の状況を把握し、今後の地震防災対策に寄与するための活断層の調査である。

海上安全の確保の任の一翼を担う水路部としては、前者は最優先の任務である。しかしながら、被害地震は頻繁に発生するものではないことから、経験科学的側面をもつ地球科学にとって、今回の地震に係わる事象は可能な限り記録しておくことは大変重要である。海域では人工的な地形改変は少ないものの、本海域のように潮流の強い場所では陸上以上

に浸食作用が強く、変動の痕跡は直ちに消えていくため、地震の痕跡を記録するための調査を速やかに行う必要がある。このため、両面の業務に対応出来るように、最低限の機器と要員をとりあえずそろえ、水や食料等の搭載もそこそこに、測量船「海洋」は地震発生の日の夜に東京を出航した。

なお、その後派遣業務の長期化に伴い、2月1日には「海洋」は姉妹船である「明洋」と交代し、両船の派遣はのべ40日に及んだ。

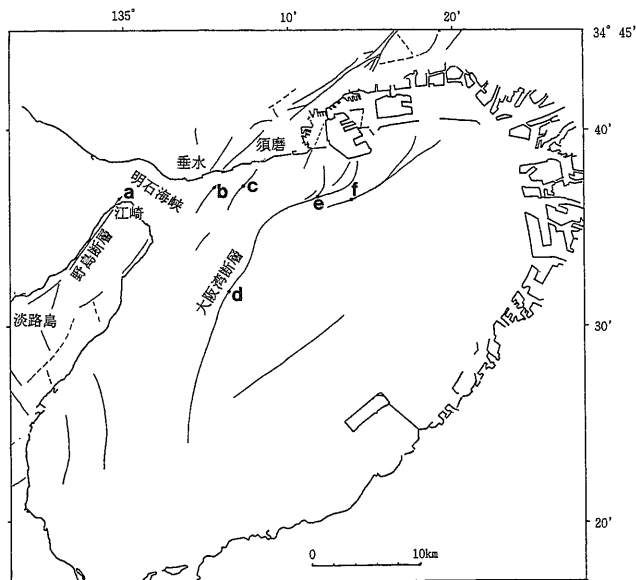
2. 活断層調査

1月19日の段階では、既に淡路島の北西において地震断層が確認されていたので、調査は震央である明石海峡と、野島断層の延長部から着手した。余震域の広がりや被害の大きさを考慮すれば、明石海峡をはさんだ神戸側にも地震断層の存在が予想されることから、この海域についても重点的に調査を行うこととした。

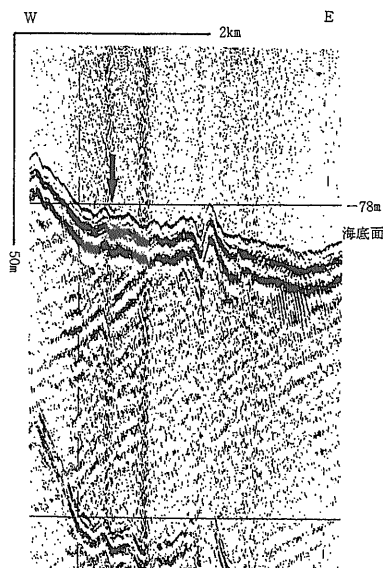
なお、1月19日には「明石海峡に変色水」との情報も寄せられたことから、ヘリコプターで明石海峡等の状況を目視調査した。変色域は、明石海峡の西口、江崎灯台の沖合と、明石海峡の東口、岩屋から垂水にかけての海域が顕著であった。これらは土砂の懸濁によるものであったが、その位置は海岸線からは離れており、その周囲の陸には崖崩れなどは認められないこと、また、変色域は激しい潮流がなす湧昇渦部にスポット状に形成されているように見えることから、地震による断層の形成や地滑り等の海底の変動により巻き上げられた土砂が、激しい潮流(1月17日が大潮である)により水面に運ばれたものではないかと推察された。なお、明石海峡の変色

1) 海上保安庁水路部海洋研究室：
〒104 東京都中央区築地5-3-1
2) 海上保安庁水路部大陸棚調査室
3) 海上保安庁水路部沿岸調査課

キーワード：兵庫県南部地震、活断層、音波探査、スパーカー、サイドスキャンソナー、液状化



第1図 大阪湾の活断層
a~fは主な断層記録例の位置を示す。陸部は活断層研究会(1991), 藤田・笠間(1983)による。



第2図 野島断層の延長部(第1図a)における音波探査記録。矢印の位置で、断層と考えられる反射面の不連続が認められる。(スーパーカー記録)

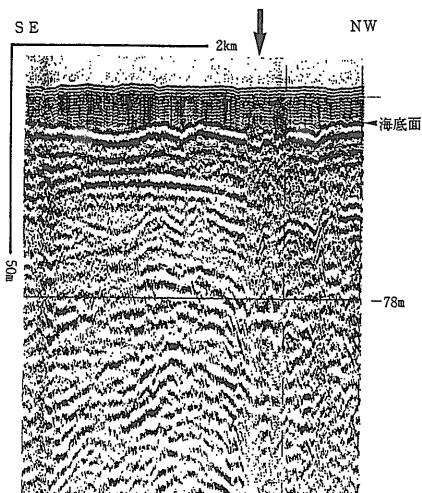
は、少なくとも1月20日までは明瞭に認められた。

震源域付近海域の断層等の調査は、スーパーカー(注1)による音波探査を主とし、一部の海域についてはサイドスキャンソナー(注2)による微細変動地形の調査を行った。調査測線は、震央に近い明石海峡から神戸の須磨の沖合にかけての海域では500 m間隔とし、それ以外の大阪湾では900 m間隔とした。断層と考えられる地層の不連続が認められる部分では、可能な限り補測線を設けた。

なお、明石海峡は内航物流の大動脈であり、かつ、日本でも有数の潮流の激しい海域でもある。このため、測線方向は船舶交通の流れに沿った東西方向とした。実際に、地震直後であっても船舶交通がはげしく、交通の流れと交差する南北方向の調査はほとんど行えない状況であった。

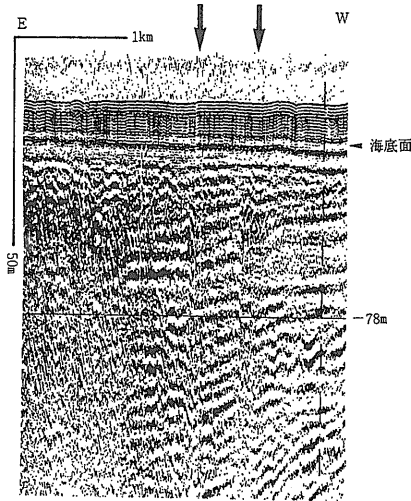
今回の調査により明らかとなった断層分布を、第1図に示す。また、それぞれの断層の記録例をそれぞれ第2~9図に示す。今回の調査では、今回の地震に伴う変動を示す決定的な証拠は得られなかったものの、第1図のa,b,cの断層は、余震域の広がりから考えて、今回の地震により動いた可能性がある。

このうち、明石海峡西口に位置する第1図のaについては、地震断層であることが確認された野島

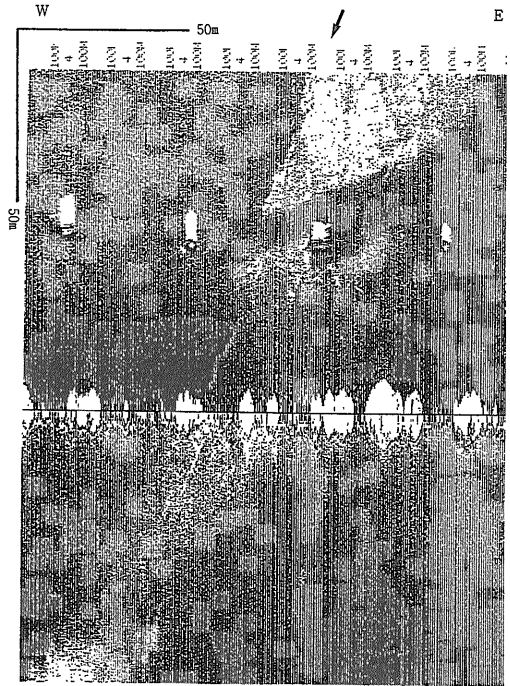


第3図 垂水沖(第1図b)に認められる断層。(スーパーカー記録)

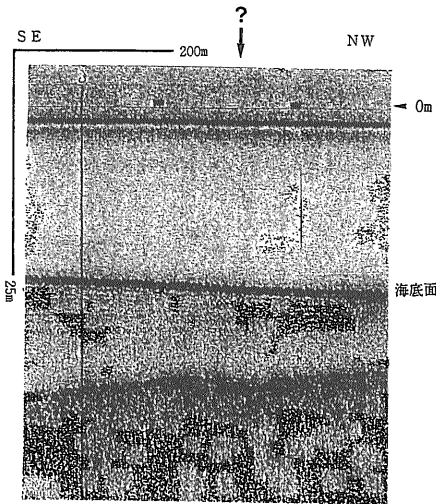
断層の延長部に位置することから、今回動いた断層であると判断している。ただし、一般的には第2図のような記録から断層を認定することはない。しかし、今回の調査では、船上からでも野島断層の地表の変形が顕著に認められるにもかかわらず、海岸に可能な限り近づいても音波探査記録に認められる反射面の不連続は、この一連の場所にしか認められないことから、野島断層の延長部であると判定し



第4図 須磨沖(第1図c)に認められる断層。地層の不連続は2カ所に認められるが、第1図では1つの断層として表している。



第6図 第3図の数百m北東の地点におけるサイドスキャンソナー記録。(100 kHz, 100 m レンジ)



第5図 第4図とほぼ同じ地点において、1973年に得られた音波探査記録(ソノブローブ記録)



写真1 音波探査で認められた断層の延長上に認められる横ずれ変形を伴う地割れ(神戸市須磨マリーナ)。

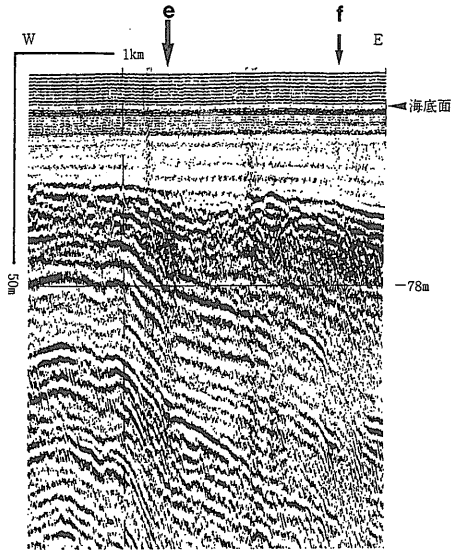
た。

なお、これ以外の明石海峡では、断層を示す記録は得られてはいない。ただし、明石海峡中央部は潮流が早く、部分的には渦潮となっており、音波が散乱してしまい十分な記録は得られなかったため、これ以外にも検出されない断層が存在する可能性はある。

また、野島断層を北東に延長すると、東にオフセットして六甲断層系につながるように見えることから、両者をむすぶ東西ないしは北西—南東走向の断

層が存在する可能性もある。しかし、明石海峡東口では、測線を北西—南東方向以外に設定することが困難なため、北西—南東走向の断層は検出されていない可能性がある。

垂水沖の断層(第1図b)、須磨沖の断層(第1図c)については、1973年に行われたソノブローブ(註1)による音波探査記録(第5図)では沖積層に変形は見えないが、今回、スパーカーによる調査では、記

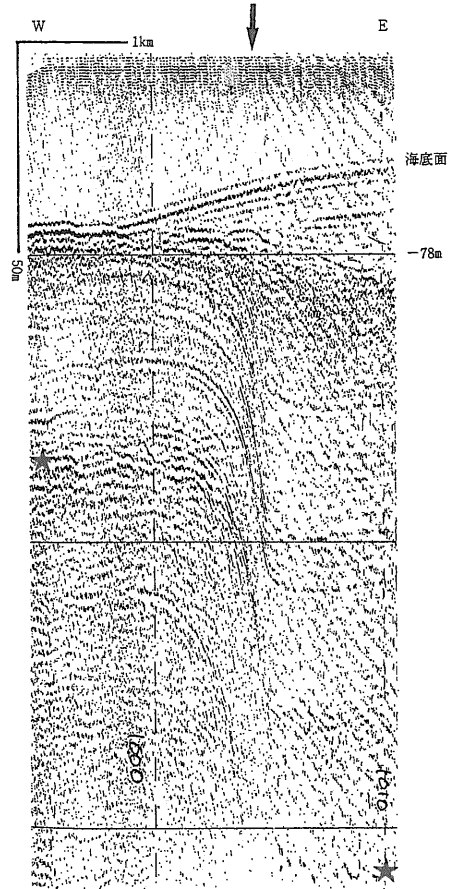


第7図 ポートアイランド沖(第1図 e, f)に認められる断層。本記録からは、e, f以外にも地層の不連続がいくつか認められる。

録で認められる範囲の最上位の層にも変形が及んでいるように見える。

垂水沖の断層(第1図 b)については、1月24日にサイドスキャンソナーにより、海底面の微地形調査を行った。これによれば、音波反射率の高い(固い)平坦な海底の上に、北北東—南南西走向の小さな段差がかすかに認められ、そこを境として東側に音波反射率の低い(軟らかい)堆積物が分布しているのが認められる(第6図)。これは、東向きの潮流が卓越するなか、地震の変動により巻き上げられた堆積物が、東落ちの小さな段差の陰に楔状に薄く堆積しているものと推定される。この段差の比高は計測していないが、比高1 mに満たない定置網のアンカーが大きな影となって明瞭に認められることから、それに比べると段差の比高は数 cm 程度と推定される。

須磨沖の断層(第1図 c)についても、その延長上の陸部のアスファルト上には、プレッシャーリッジを伴う、最大約60 cm ほどの右横ずれ変位を持つ地割れが幅約100 m、長さ200 m の地域で認められる(写真1)。この地割れは、走向はN40°EからN50°Wとかなり変化しているが、全体としては海域で認められる断層の走向(N50°E)とほぼ調和的なN70°Eの走向であること、この方向は海岸と平行



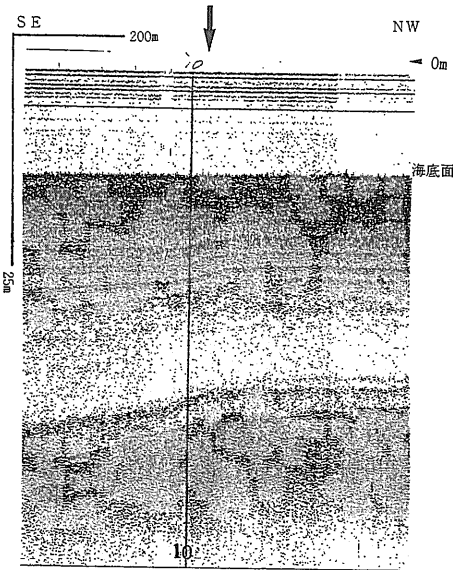
第8図 大阪湾断層(第1図 d)の音波探査記録。

大阪湾断層は大きな撓曲となっている。★印付近の反射面が、大阪湾海成粘土のMa12に対比される可能性がある。

であり、周辺の地形から考慮しても重力による側方移動とは考えにくいことから、今回の地震による断層の変形の一部が地表に現れた可能性もあると考えている。

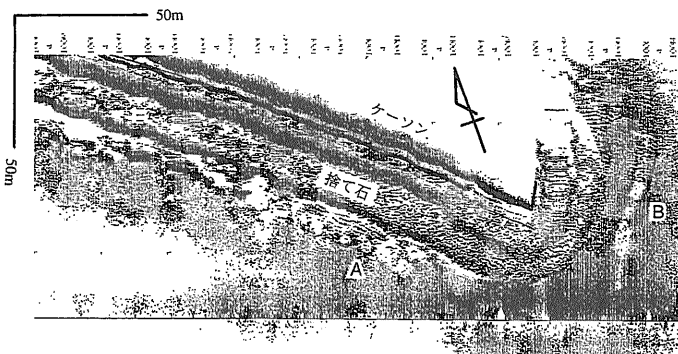
一方、前述の断層以外にも、大阪湾には顕著な断層が認められる(第7, 8図)。これら断層については、今回の地震の余震域からは離れていることから、今回の地震との関係はないものと推定される。ただし、これら断層では沖積層も変形しているものが多く(第9図)、今後も詳しい調査・検討を行うべきであろう。

特に大阪湾断層(第8図)については、岩崎ほか(1994)の記録と対比することが可能である。ただし、彼らが解析に用いた周波数領域は100 Hz以下であり、海底下数十 m の層の対比に用いることは



第9図 第7図eとはほぼ同じ地点において、1974年に得られた音波探査記録(ソノプローブ記録) 完新統にわずかに撓曲が認められる。

不適切ではあるが、仮に約10万年前とされる Ma12 の海成粘土層の基底を第8図★印の層に対比し、堆積層中の音速を水中と同じ1500 m/s と仮定すると、断層の垂直方向の平均変位速度はほぼ1 m/千年となる。大阪湾西縁の断層系は、横ずれ成分を持つものが多い事を考慮すれば、大阪湾断層は極めて大きな活動度を持つことになる。地層の変形は少なくとも一部では完新統まで及んでいることから、大阪湾断層については、活動履歴も含め詳しく調べる必要がある。



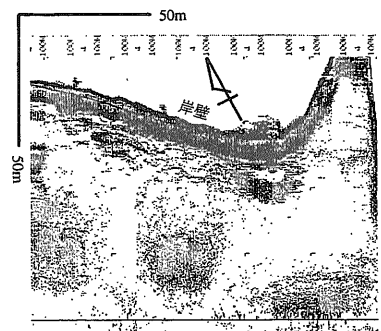
第10図 海底での液状化を示すサイドスキャンソナー記録。100 kHz, 100 m レンジ。A: クレーター、B: リップルマークの上に認められる噴砂列。(神戸港第1南防波堤付近)

3. 港湾域の調査

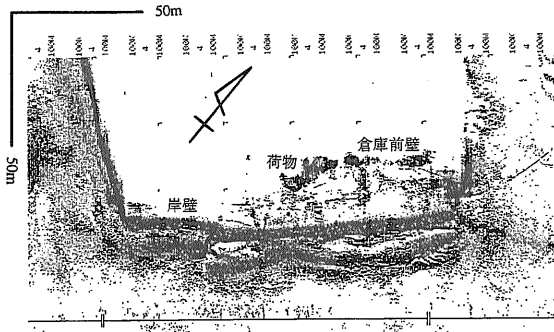
発災とともに、全国から救援物資を積んだ船舶が駆けつけようとしていた。しかし、地震により港に流出したコンテナの数すら正確につかめていない状況であり、これらが港内の随所に沈んで船舶を安全に入港させることが難しい状況であった。これら障害物を発見するための掃海は極めて地味で、脚光を浴びることのない仕事である。しかし、この中で副産物ではあるが、科学的に貴重な記録が得られたので紹介したい。

第10図は、1月27日に得られた神戸港第1南防波堤付近のサイドスキャンソナー記録である。この記録からは、防波堤の構造、すなわち、基底には2段の粒径の大きな捨て石があり、その上のケーソンが防波堤の本体を成していることが理解される。捨て石の周囲の海底がやや黒く見えるのは、防波堤の基底の軟弱な地盤が、基礎施工として粗粒の砂に置き換えられているためである。

この中で注目されるのは、防波堤の基部に白い斑点の列が認められることである。この斑点は、大きなものは径が数mに達し、クレーター状となっており、周囲の高まりは比較的粗粒で、内部の凹地は細粒の物質が埋めている(第10図A)。これらは、リップルマークの上にも認められる(第10図B)ことから、この斑点やクレーターの形成は極めて新しいものであることが判る。形成時期や細粒物質の分布、形状等から考えて、これらが海底における液状化により形成されたものであると判断される。



第11図 噴砂によりに形成された高まりを示すサイドスキャンソナー記録(神戸港摩耶第1埠頭前面)。



第12図 岸壁の側方移動を示すサイドスキャンソナー記録(神戸港新港第5突堤)。

海底での液状化は、防波堤のような独立した構造物の周囲だけでなく、岸壁等の周囲でも認められ、噴出した物質が大きな高まりを形成しているところもある(第11図)。

海底の変動は、陸部と同様に、液状化だけでなく側方移動も顕著である。第12図では、突堤先端部のケーソンが側方移動し、前面の海底に「しわ」を形成しているのが認められる。なお、この突堤では、側方移動した岸壁の内部(陸部)にも音波が到達しているように見えるが、これはこの岸壁が沈水したためである。

4. おわりに

5000名を越える本震災の犠牲者の方々に深い哀悼の意を表す。尊い犠牲を無駄にしないためにも、地震予知の実現に向けて一步でも前進しなければならない。

今回、科学技術の無力さが言われ、地震予知無用論さえ論ずる者も現れた。確かに、現在の科学技術では地震の短期予知は困難であろう。しかし、活断層が存在する場所は、今後も被害地震が発生する可能性があるという長期的予測は冷徹にも的中している。

わが国の都市は海岸平野に立地するものが多く、必然的に、その近傍には海が大きなエリアを占めている。これまで、海域の活断層の調査はほとんど行われていないが、これを単純に考えると、海岸に立

地する都市の周囲には広い範囲のデータの空白域が残されていることになる。海はその地質を直接見ることは難しいものの、断層分布や構造断面を得ることは、陸に比べ容易であるという利点もある。今回の教訓を無駄にすることなく、活断層の詳細な調査を進め、防災に寄与していく必要があると考えている。

地震による被害を受けながらも、今回の調査に毎日従事・支援された、第五管区海上保安本部の方々に深い敬意を表します。

文 献

- 活断層研究会(1991):新編日本の活断層. 東京大学出版会.
 藤田和夫, 笠間太郎(1983):神戸地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所.
 岩崎好規, 香川敬生, 澤田純男, 松山紀香, 大志万和也, 井川猛, 大西正純(1994):エアガン反射法地震探査による大阪湾の基盤構造. 地震第2輯, 46, 395-403.

注

注1) スパーカーとは、高電圧の放電を音源とした音波探査で、比較的小型であるが、海底数百m程度までの地質断面が得られる。しかし、発振音波が単一のパルスではなく、送受波器も曳航式であるため、分解能が低いという欠点がある。

これに対し、ソノブロープ等の電歪式や磁歪式音波探査装置は、表層探査とも呼ばれ、海底数十mまでしか探査が出来ないが、そのかわり高分解能の記録が得られる。

本来、地震断層であるかどうかを判断するには、最後のイベントを同定することが重要であり、スパーカーだけでは分解能が不十分ではあるが、「海洋」と「明洋」は、表層探査装置を有していないため、今回はスパーカーのみで調査を行った。

注2) サイドスキャンソナーは、超音波により海底を面的に調査する装置で、ちょうど白黒の航空写真のような画像が得られる。画像の濃淡は音波の反射強度を示している。海底が曳航体に面して傾いていれば、強く音波を反射し、逆に傾いていると音波の反射は弱い。このため、海底面の微細な起伏を検出することが出来る。また、音波の反射は海底の底質も反映し、岩の海底は黒く、軟質堆積物の海底は白く記録される。

海底を面的に調べることが出来るため、海に沈んだコンテナや自動車等の捜索に有効であるが、同時に海底微地形や地質に関しても有効なデータが得られる。

IWABUCHI Yo, KASUGA Shigeru and KOKUTA Shoichi
 (1995): Sea bottom survey of the deformation by the Hyogoken-nanbu Earthquake

〈受付/受理: 1995年4月18日/5月15日〉