

## 9. 港湾施設の被害状況

### 9. 1 調査行程および体制

地震発生直後の2003年5月26日18:30すぎから、独立行政法人港湾空港技術研究所地盤・構造部構造振動研究室と国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部沿岸防災研究室が、情報の収集を開始した。気象庁発表の計測震度が「6弱」、港湾地域強震観測網<sup>1)</sup>における宮古港で440 Galという最大加速度、K-Net等による重力加速度を上回る最大加速度などから、甚大な被害を想定、調査・技術支援のための現地入りの準備を開始した。

報道情報などから陸路でのアクセスが可能と判断し、車両による調査のためレンタカーの予約を入れ、携帯自転車等の装備は持ち込まないこととした。行程は仙台まで東北新幹線を使い、仙台駅からレンタカーにて沿岸部を北上した。

現地調査担当者は表2.1に示す4名である。調査本部として、国土技術政策総合研究所：諸星一信沿岸防災研究室長が、国土交通省港湾局、国土交通省東北地方整備局港湾空港部、国土交通省仙台港湾空港技術調査事務所ならびに現地事務所等との連絡調整を担当した。また、(独)港湾空港技術研究所：野津厚主任研究官(地盤・構造部)、一井康二主任研究官(地盤・構造部)が、港湾地域強震観測網による強震記録の収集、一次処理を実施し、現地事務所・現地調査担当者への強震観測データ情報提供を行った。さらに、当該地震に関する関連学・協会・研究機関等の情報収集を担当し、得られた成果を逐次現地調査担当者へ伝達した。

### 9. 2 港湾地域強震観測網<sup>1)</sup>による強震記録

2003年5月26日18:24に宮城県沖で発生したマグニチュード7.1の地震による各港湾の最大加速度を図9.1に示す。図9.1には補正最大加速度、SMAC-B2相当最大加速度を併記した。過去の被災地震における港湾施設の被災程度とSMAC-B2相当最大加速度に相関<sup>2)</sup>があることから併記している。補正最大加速度とは、原記録に対して、ゼロ線補正と計器特性を取り除くための補正を施した波形(補正加速度波形)の最大値であり、SMAC-B2相当最大加速度とは、強震観測地点にSMAC-B2型強震計が設置され

2003/05/26 18:24発生宮城県沖地震  
補正最大加速度/SMAC相当最大加速度

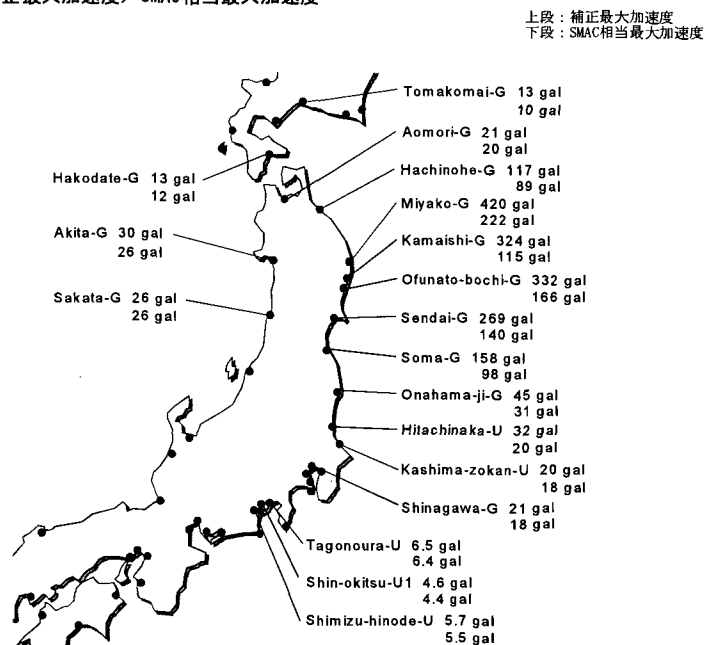


図9.1 港湾地域強震観測網による最大加速度分布

ていたと仮定した場合に観測される波形と等価になるように周波数成分を調整した波形 (SMAC-B2 相当加速度波形) の最大値のことである。図 9.1 において補正最大加速度は、宮古-G では 420Gal と非常に大きな値を示している。一方、SMAC-B2 相当最大加速度の値

は、一番大きかった宮古-G でも 222Gal であり、数値が下がる。補正加速度波形から SMAC-B2 相当加速度波形への換算は図 9.2 に示すようなフィルターを作用させて行う。このフィルターは 1Hz 以下の周波数帯は比較的フラットな特性であるが、1Hz を越えると急激に周波数特性が落ちる特性である。よって高周波成分を多く含む記録ほど、フィルターにより削除される部分が多いことになる。今回震源付近で得られた記録の補正最大加速度が大きかったにもかかわらず SMAC-B2 相当最大加速度がさほど大きくなかったのは、記録に含まれる高周波成分の割合が大きかったためである。記録に含まれる高周波成分の割合が大きかった理由については、今後詳細な解析が行われるものと考えられるが、現時点では次の理由が考えられる。

- ① 震源がスラブ内地震であったためストレスドロップが大きく高周波成分が効率的に発生した。1993 年釧路沖地震はそのような地震の例であると考えられている<sup>3)</sup>。
- ② 三陸地域のリアス地形の岩盤上に薄い表層地盤の載った地盤条件の場所が多く、地表近くまで地震波が減衰せずに到達した。

### 9.3 港湾施設被害概要

今回の地震においては、気象庁発表の計測震度「6弱」の地域が岩手県・宮城県に広く分布したことから、大規模な施設被害が想定されたが、幸い被害の程度は軽微であり、船舶の接岸・係留・荷役作業に支障の出た施設は無かった。本調査では、仙台港から大船渡港へ北上踏査している。しかし、被害は軽微であることから、本報告では報道等で大きく取り上げられた大船渡港野々田地区の液状化現象を

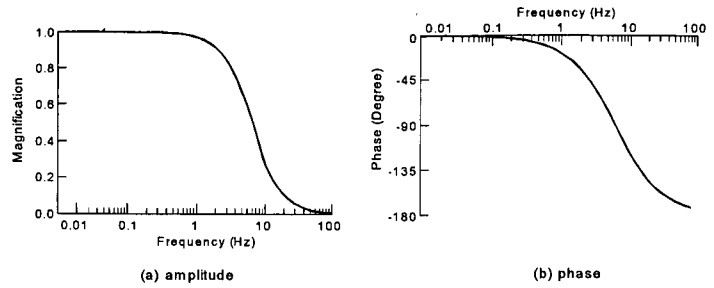


図 9.2 SMAC-B2 相当波への変換のためのフィルター

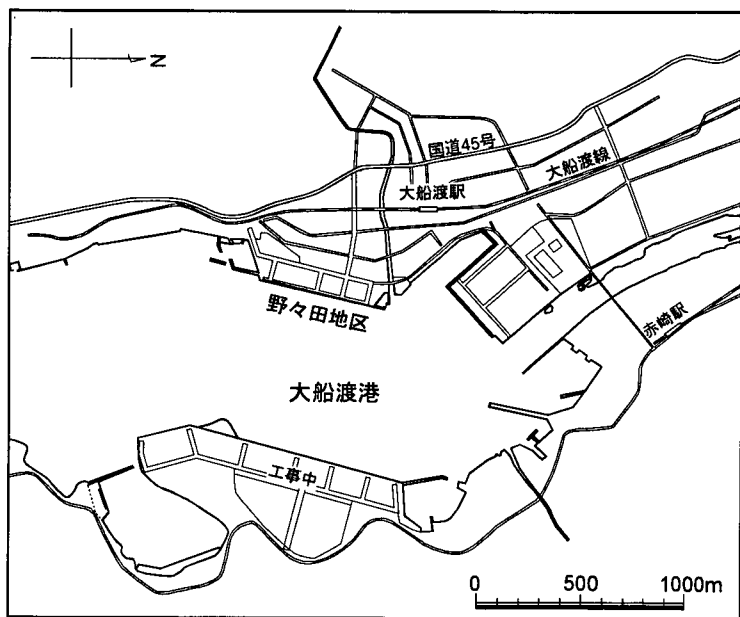


図 9.3 大船渡港平面図

取り上げる。

### 9. 3. 1 大船渡港概要

大船渡港は年間 406 万トン(平成 13 年)の取扱い貨物量をほこる、岩手県の中樞港である。取扱い貨物品目の主なものは、輸出:水産品 1 千トン、輸入:651 千トン(石炭、石油製品、原木等)、移出:2613 千トン(セメント、砂利等)、移入:800 千トン(非金属鉱物等)である。

### 9. 3. 2 被災概要

野々田地区(図 9.3)においては、この地震における唯一の比較的規模の大きな液状化現象が見られた。岸壁の諸元は下記に示すとおりである。

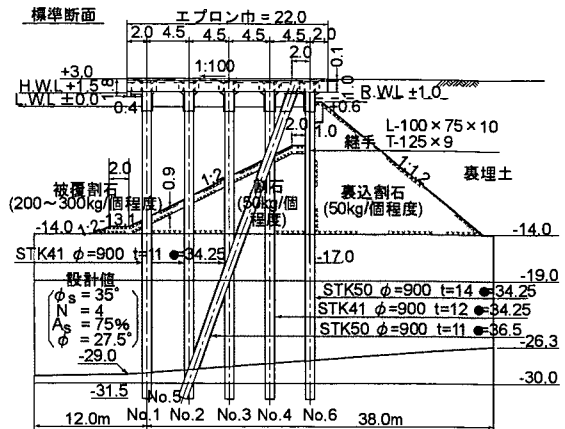


図 9.4 -13m岸壁標準断面図

栈橋式岸壁、設計震度 $k=0.15$

-13m岸壁:直杭 5 列、斜杭 1 列(陸側土留は鋼管矢板)、延長 270m、平成元年度竣工

-7.5m 岸壁:直杭 3 列(陸側土留はL型擁壁)、延長 260m、昭和 63 年度竣工

-13m岸壁の標準断面は図 9.4 に示す構造であり、栈橋の陸側杭が鋼管矢板として土留を兼ねた構造となっている。

噴砂の痕跡は栈橋土留直背後と岸壁法線より約 60m 陸側に残っており、特に陸側部においては、粒径約 5cm 程度の大きな礫(写真 9.1)も残っていた。地震時にここで作業をしていた人からのヒヤリングでは、「地震の強い揺れが終わって少し経ってから埠頭用地のコンクリート板の打ち継ぎ目から水が出始め、だんだんその勢いが強くなり、最大で約 1m の高さまで泥水が吹き上がった。」との情報を得ている。また、栈橋上部工直背後の埠頭用地コンクリート舗装との境界部からも、じわじわと泥水がにじみ出ているとの目撃情報もある。この部分では、粒径の大きな噴出物はなく、写真

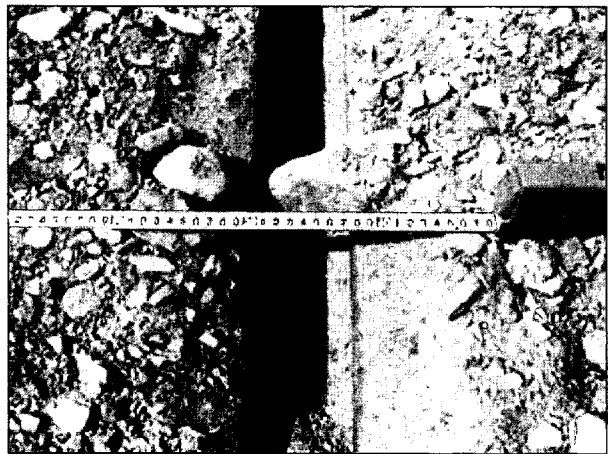


写真 9.1 噴砂痕(岸壁法線から陸側 60m 付近)



写真 9.2 岸壁背後のシルトの堆積

9.2 に示すように粒径の細かいシルトが堆積していた。噴出した砂・水はコンクリート舗装が岸壁へ向かって傾斜していることから、分級しながら堆積しており最終到達域である栈橋上部工直背後の部分にはシルトが堆積したものと恐れ、当該位置からの噴出分との区別は付きにくい。

野々田地区における埠頭用地コンクリート舗装の沈下量は約 15～20cm であり、不同沈下は生じていなかった。ただし、この沈下量には、地震前の 5cm 程度の経年変化による沈下も含まれていると考えられるため、地震による沈下は 10～15cm 程度と考えられる。ここでの埋立土の層厚は最大で 14m 程度であり、これと比較すると沈下量は層厚の約 1% 程度であるため、液状化による沈下としては比較的小さいと考えられる。

本岸壁建設前の深浅図を基に旧海底面を岸壁断面図と合わせてみると、岸壁法線から 60m 陸側の地点で旧海底面は -11m となっており、陸側へ行く程浅くなっている。図 9.5 に示すように旧海底地盤はシルト質粘性土層 (N=4 程度) が、岸壁法線位置で -30m まで堆積しており、岸壁法線から 50m 陸側では -20m まで堆積している。さらにその下は、ゆるい砂層を数メートル挟んで、N 値 50 以上の砂礫層となっている。

栈橋法線の出入りはほとんど無く、地震後においても船の接岸・係留は可能であり、またコンクリート舗装の不同沈下も無かったため、地震の翌日には埠頭用地内における作業(写真 9.3)が行われていた。一般に、液状化が発生した岸壁においては、液状化による岸壁法線の海側への移動、過剰間隙水圧の消散に伴う沈下が目に見える被害となるが、さらに土留矢板に損傷が発生した場合、背後地盤の埋立砂が海中へ流失する「吸い出し」現象が懸念される。

特にコンクリート舗装が堅固である場合にはコンクリート版と地盤の間に空洞が生じ、重機等が走行した際に陥没する恐れがある。本岸壁においては海中への砂の流出が確認されていない。栈橋本体直背後の段差(写真 9.4)はそれほど大きくなく、当該施設で使用する荷役機械や車両が大型であることからアスファルト等によるスリツケで補修は十分であると考えられる。埠頭用地では、コンクリート打ち継ぎ目が最大で 10cm 弱開いたが、不同沈下は無く、コンクリート舗装に亀裂も生じなかった。

地震の翌日から港湾作業を再開できた理由として、大量の砂と水が噴出した現場において、冷静に現象を把握し当該施設の使用の可否を的確に判断できたことが考えられる。このような判断を下すには、対象施設の設計・構造に精通

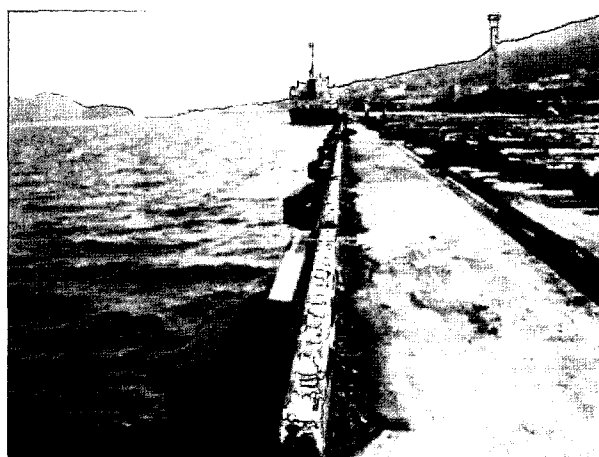


写真 9.3 岸壁法線および木材の野積み状況



写真 9.4 岸壁背後の段差

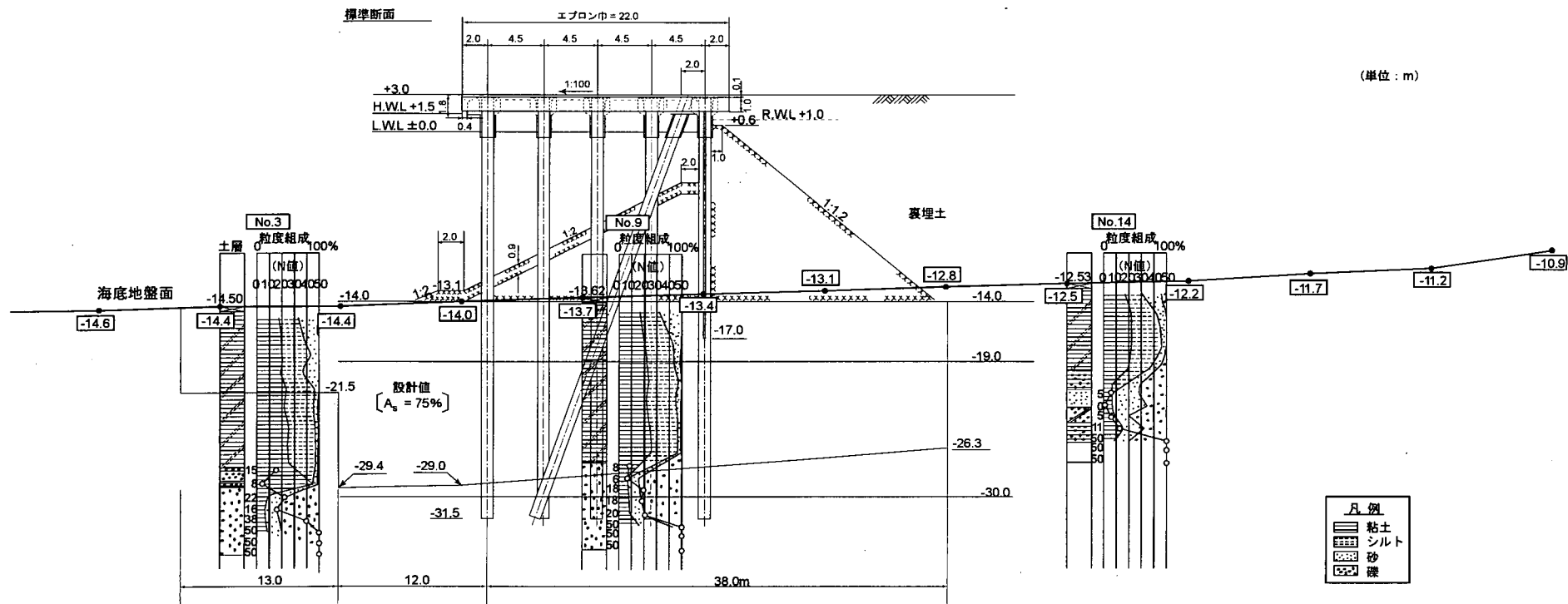


図 9.5 原地盤ボーリング柱状図

していることに加え、地震時に想定される被災形態を熟知している必要がある。港湾の場合、設計業務を直接実施していることに加え、平成7年兵庫県南部地震直後に神戸港等の復旧のために、全国から多数の技術者が数ヶ月から半年程度交代で震災復旧業務を手がけた経験を有していたことが、地震直後の施設利用の可否判定につながったものと考えられる。

当該施設においては、埠頭用地内の埋立地盤において液状化は発生したものの、栈橋本体や埠頭用地内の舗装などの構造に問題はほとんど無かった。岸壁の機能を低下させるような被害は無く、軽微な被害であったと言える。

この地区における埋立土の性質等については現段階では不明であり、被害が軽微であった理由もはっきりとはしていない。強震記録の最大加速度を考慮すると、液状化の程度がもっと大きいものと想定したが、埋立土(建設当時の状況に詳しい人の話では、大船渡中学校の移転に伴う造成の際の山砂を埋立材として用いたとのことである)として液状化に対して強い材料が入っていること、現地の地形から陸側へ向かって急峻に旧海底盤面が浅くなっていることが考えられ液状化層厚が小さかったことなどにより沈下量が小さかったものと推察される。

液状化した砂の粒度分布調査については、噴砂は分級していて、その正確な分布を把握できないことが考えられるため、地中部のサンプルを取得して調査を実施する必要があると考えている。

大船渡港内の他の施設には明瞭な液状化発生の痕跡が発見されていない。野々田地区のみで液状化が生じていた理由に関しては、当該施設が大船渡港内の施設としては弱齢(昭和63年度、平成元年度竣工)であり、今回の地震までに大きな地震を経験していないことも関係していると思われる。今後は、埋立材料や地震波形のより詳細な調査を行い、これらの理由を明らかにする必要がある。

#### 9. 4 まとめ

気象庁発表の計測震度「6弱」、K-NETなどによる1Gを超える最大加速度などの情報から、甚大な被害を想定したが、幸いにも、港湾施設において致命的な被災は無かった。この理由として入力地震動において高周波数成分が卓越し、港湾構造物が応答しなかったことが考えられる。

また、リアス地形という比較的堅い岩盤が急峻に立ち上がる地形における施設整備であるため大規模な埋立地盤を有する施設に限られていたこと、比較的古くから港湾整備が進められてきており、過去に地震を経験した施設が多かったことが考えられる。東北地方は、過去に1952年3月4日十勝沖地震、1964年6月16日新潟地震、1968年5月16日十勝沖地震、1978年宮城県沖地震、1983年5月26日日本海中部地震、1993年1月15日釧路沖地震、1993年7月12日北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、1994年12月28日三陸はるか沖地震が発生しており、施設整備後に地震を経験していることが被災の少なさと関係があるものと考えられる。

高周波成分が卓越していたとは言え、SMAC-B2相当最大加速度においても、設計震度を越えた地震力が作用したと考えられる施設が宮古・大船渡港に多数存在し、無被災であった。従来の地震被災調査においては、被災施設の被災メカニズムの解明に主眼が置かれていた

が、今回の地震においては、何故被災しなかったのかという視点での調査・解析が必要と考えている。

宮城県沖地震、南関東地震、東海地震、南海地震、東南海地震の発生確率が高まっている現状において、施設の耐震性向上が急務である。平成7年兵庫県南部地震においては、陸上輸送がほぼ麻痺状態に陥ったため、復旧活動には海上輸送、ヘリコプターなどによる空路輸送、人力(徒歩、自転車)およびバイクによる輸送などの活用が、多数報告されている。大地震に見舞われると陸上交通は重大な被害を受けることが想定されるのに対し、港湾施設は震災直後の海上交通の安定性を活かした緊急物資輸送等の実施及び避難場所の提供による市民の安全の確保に加え、震災後も被災地の復旧・復興の支援といった重要な役割を担うこととなる。

このため、地震直後に、現場において、施設の供用が可能であるか否かの判定を迅速に実施する必要があるものとする。今回の地震においては、現場において、迅速かつ冷静な技術的判断のもと、供用再開の判断が下された。今後も、施設の設計・構造等を十分理解し、万一の地震時の被災形態を想定した危機管理体制の維持が望まれる。

## 謝辞

本調査に際して、国土交通省港湾局環境・技術課、国土交通省東北地方整備局港湾空港部、国土交通省東北地方整備局仙台技術調査事務所、国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所、岩手県大船渡地方振興局、大船渡市商工観光部港湾振興推進室には、現地調査のアレンジや資料提供等でお世話になりました。

また、土木学会・地盤工学会「三陸南地震合同調査団」(団長:神山眞東北工業大学教授)のメンバーの方々には、メーリングリストを通じて逐次現地の被災情報・調査情報を提供いただきました。

大船渡市長には、現場調査直後に意見交換の場を設けていただき、地元の立場やユーザーの立場からの貴重なご意見をいただきました。

以上、記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 深澤清尊・野津厚・佐藤陽子・菅野高弘: 港湾地域強震観測地点における地震動の卓越周期、港湾空港技術研究所資料、No.1057、2003.
- 2) 野田節男・上部達生・千葉忠樹: 重力式岸壁の震度と地盤加速度、港湾技術研究所報告、14巻、4号、1976.
- 3) Ide, S. and Takeo, M.: The dynamic rupture process of the 1993 Kushiro-oki earthquake, Journal of Geophysical Research, Vol.101, 5661-5675, 1996.