

電源開発株式会社
大間原子力発電所

震源を特定せず策定する地震動の
考え方について

平成19年2月
原子力発電安全審査課

目次

1. はじめに	1
2. 大間地点における震源を特定せず策定する地震動の考え方 …	1
3. 2005年福岡県西方沖の地震の取扱いについて ……	2
4. 大間地点周辺の孤立した短い活断層による地震動に照らした 妥当性の確認 ……	3
5. 超過確率の参照 ……	4
6. まとめ ……	5
7. 参考文献 ……	6

1. はじめに

申請者は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集した文献に基づいて策定した大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」の設定の考え方を示すとともに、近年発生した2005年福岡県西方沖の地震の取り扱い及び大間地点に近い海域の孤立した短い活断層(F-14断層)による地震動評価の考え方を踏まえ、大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」が妥当であることを確認するとしている。

なお、申請者は、敷地近傍の詳細な地質調査の結果、敷地近傍には耐震設計上考慮すべき活断層は認められないとしている(04-大間設C-60)。

2. 大間地点における震源を特定せず策定する地震動の考え方

申請者は、「震源を特定せず策定する地震動」の大きさを決める方法としては、震源を事前に特定できない地震による観測記録に基づき設定することが考えられるとしているが、敷地においては内陸地殻内の地震の震源近傍における観測記録は得られていないとしており、このため、敷地周辺に限らず、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を基に、大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」を設定するとしている。

また、申請者は、加速度計による強震観測は日本国内では1953年か

ら、米国カリフォルニアでは 1930 年代から開始されており、日本及びカリフォルニアについて、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震における震源近傍の観測記録を収集した知見として加藤ほか(2004)⁽¹⁾があるとしている。図-1 に加藤ほか(2004)⁽¹⁾により震源を特定できない地震による地震動として設定された応答スペクトル(以下「加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトル」という。)を示す。

加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトルは $V_s=700\text{m/s}$ の解放基盤表面における応答スペクトルとして設定されていることから、申請者は、大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」は、加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトルに対して、敷地の解放基盤表面($V_s=870\text{m/s}$)の地盤物性を加味して設定した地盤増幅率⁽²⁾に基づき、図-2 に示す設計用応答スペクトルとして定義するとしている。

3. 2005 年福岡県西方沖の地震の取り扱いについて

申請者は、別紙1に示すように、2005 年福岡県西方沖の地震は活断層が確認されていない場所で発生しているが、仮に福岡湾周辺に原子力立地を想定する場合は、周辺の活断層分布状況や地質構造等を踏まえると、当該地域では耐震設計上、2005 年福岡県西方沖の地震の震源近傍にある短い活断層の位置に保守的に同地震と同程度の規模の地震を想定することになるとしている。また、このように想定した地震による地震動は 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録と概ね同程度であるとしている。このように、申請者は、2005 年福岡県西方沖の地震による地震動については、耐震設計上、同地震の震源近傍に震源を特定する

地震として想定する地震の地震動評価により、事前に同等の地震動を予測し得たと考えられるとの観点から、2005 年福岡県西方沖の地震に相当する地震による地震動を考慮することができるとしている。

以上のことから、申請者は、2005 年福岡県西方沖の地震に関しては、加藤ほか(2004)⁽¹⁾の知見を損なうものではなく、加藤ほか(2004)⁽¹⁾に基づく大間地点の「震源を特定せず策定する地震動」についても妥当性は損なわれなとしている。

なお、別紙2に示すように、震源近傍の地震動という観点から、参考までに、2005 年福岡県西方沖の地震の震源近傍の観測点で得られた観測記録と加藤ほかの応答スペクトルとを比較すると、加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトルは M7.0 である同地震の震源近傍における観測記録を概ね上回っているとしている。K-NET 福岡観測点及び中央区の観測点については、周期 1 秒付近において加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトルを上回っているが、これらの観測点付近の局所的な地下構造の影響が考えられるとしている。

4. 大間地点に近い海域の孤立した短い活断層による地震動に照らした妥当性の確認

申請者は図-3 に示すように、敷地周辺において孤立した短い活断層として F-14 断層があるとしており、このような孤立した短い活断層による地震は、敷地ごとに震源を特定する地震として位置づけられるとしている。さらに、孤立した短い活断層であっても、スケーリングの観点からは、地震発生層の上限から下限まで飽和するような震源断層が広がっている

可能性も考えられるとして、F-14 断層の直下にこのような仮想的な震源断層を設定し、アスペリティは断層直下の浅い位置に想定して地震動評価を行っている。一方、震源を特定できない地震は、地表に痕跡が現れないことから、震源断層が地震発生層の上限から下限まで飽和しない場合やアスペリティ位置が深い場合が考えられるとしている。申請者はスケーリングの観点からは、孤立した短い活断層のような地表に僅かな痕跡が出現する地震と震源を特定できない地震との地震規模に連続性があるものと考えられるとしている。このようなスケーリングの観点からの地震規模の連続性及び図-3 に示すように F-14 断層の地震動評価に当たっては、敷地の直下まで広がるような震源断層を想定していることを合わせて考慮すると、敷地近傍における震源を特定できない地震による地震動は、このように十分保守的に設定した F-14 断層による地震動と概ね同程度であることが考えられるとしている。図-4～図-5 に示すように、加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトルに基づいて設定した敷地における「震源を特定せず策定する地震動」は、十分保守的に設定した F-14 断層の震源断層による地震動を上回っており、孤立した短い活断層による地震動評価に照らして、大間地点の「震源を特定せず策定する地震動」の妥当性が確認できるとしている。

5. 超過確率の参照

申請者は、第 44 回意見聴取会資料「震源を特定せず策定する地震動について(04-大間設C-66)」において、大間地点周辺の地域性を反映して求めた「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は図

-6 に示すように概ね $10^{-4} \sim 10^{-5}$ の範囲にあるとしており、また、原子力安全基盤機構(2004)⁽³⁾による東北地方における地震ハザード評価結果によれば、年超過確率は図-7 に示すように概ね $10^{-5} \sim 10^{-6}$ の範囲にあるとしている。

6. まとめ

申請者は、大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」は加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトルに基づいて設定しているが、近年活断層が確認されていない場所で発生した 2005 年福岡県西方沖の地震の取り扱い及び孤立した短い活断層である F-14 断層による地震動との関係を踏まえると、妥当なものであると考えられるとしている。

すなわち、2005 年福岡県西方沖の地震については、同地震の発生前から認められていた短い活断層の位置に震源を特定する地震として想定する地震の地震動を考慮することで、2005 年福岡県西方沖の地震に相当する地震による地震動を考慮できること、及び、F-14 断層のような孤立した短い活断層と震源を特定できない地震との間には、スケージングの観点から地震規模に連続性があると考えられ、大間地点の「震源を特定せず策定する地震動」は十分保守的に設定した F-14 断層の震源断層による地震動を上回っていることを踏まえると、加藤ほか(2004)⁽¹⁾の応答スペクトルに基づいて設定した大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」は妥当であると考えられるとしている。

また、大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は十分小さな値になっているとしている。

以上のことから、大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」は適切に設定されており、妥当なものと判断する。

7. 参考文献

- (1) 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大榮・上田圭一・壇一男(2004):
震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル —
地質学的調査による地震の分類と強震動観測記録に基づく上限レベ
ルの検討—, 日本地震工学会論文集 第4巻, 第4号, 46-86.
- (2) Noda, S. , K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M.
Tohdo and T. Watanabe (2002) : Response Spectra for Design
Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, OECD-NEA Workshop on
the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering
Analysis. Oct. 17-19, Istanbul
- (3) 独立行政法人 原子力安全基盤機構(2004):震源を特定しにくい地
震による地震動の検討に関する報告書, JNES/SAE04-070

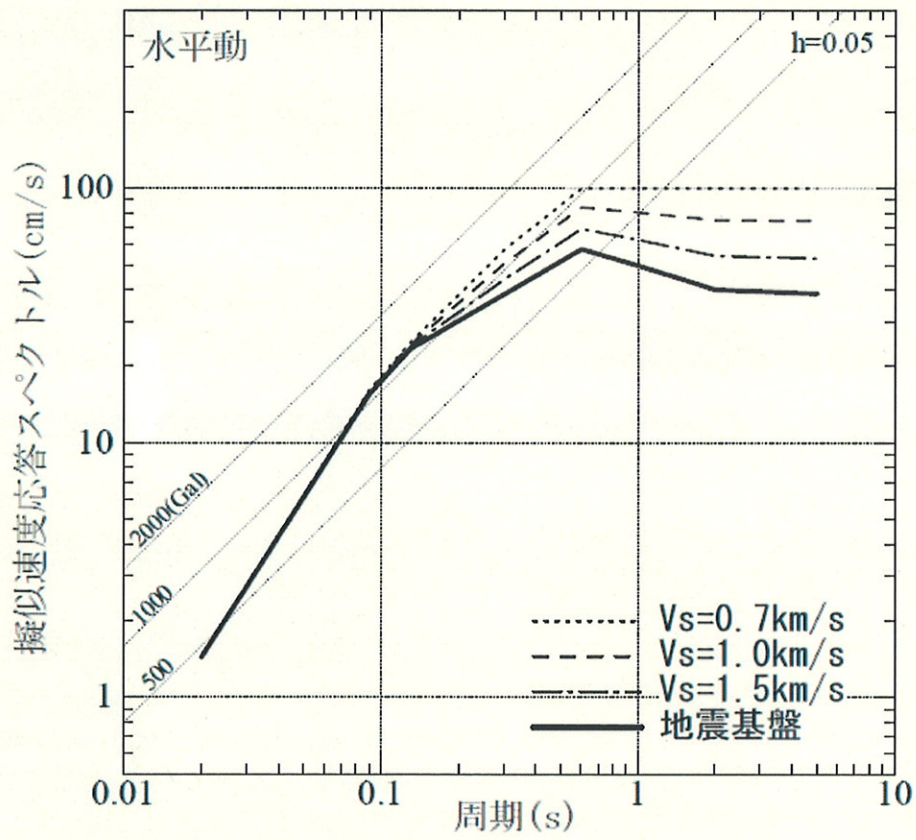


図-1 加藤ほか(2004)の応答スペクトル

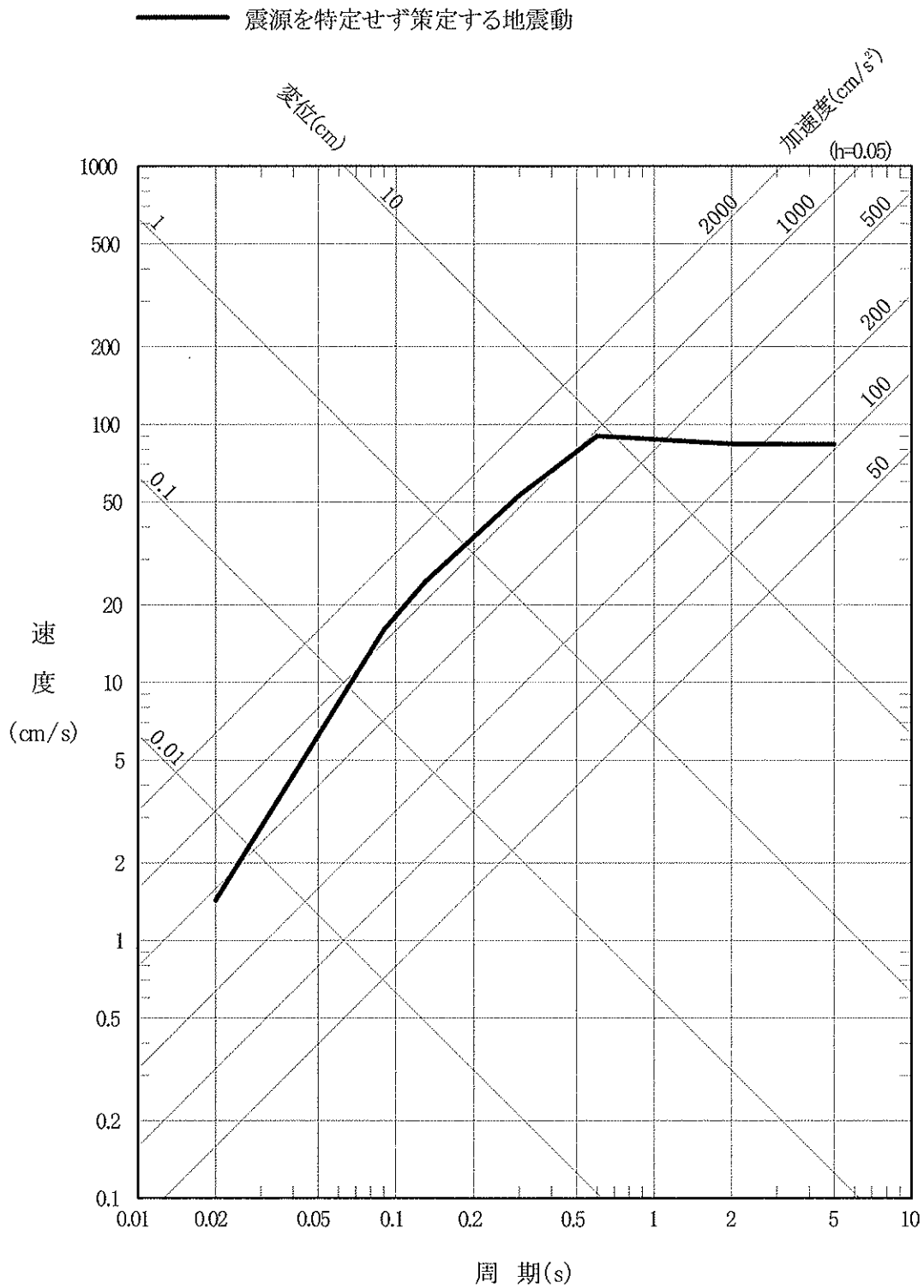
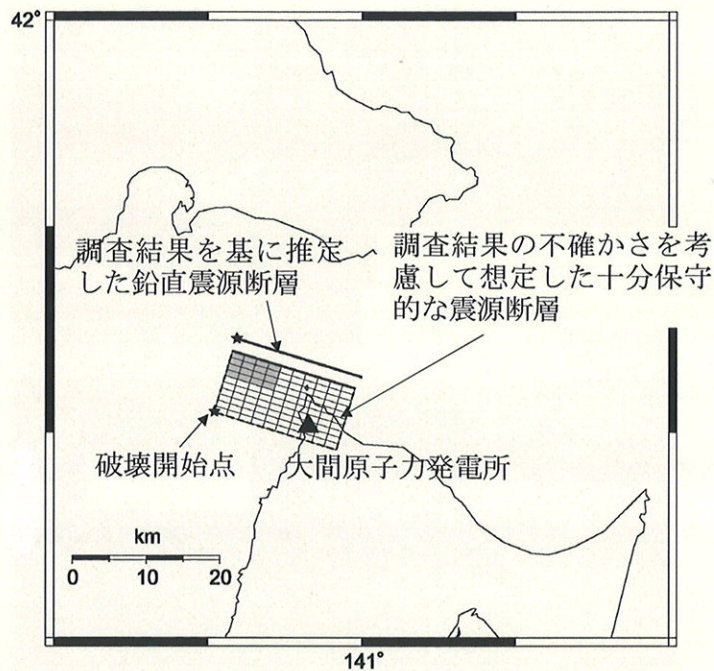
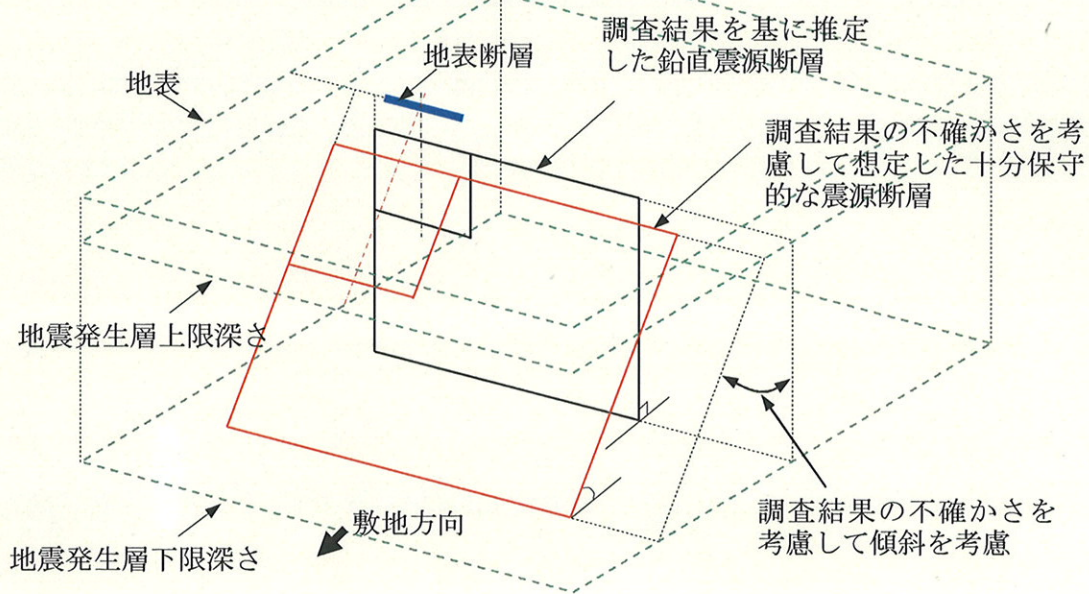


図-2 大間地点における震源を特定せず策定する地震動 ($V_s=870\text{m/s}$)



(a) F-14 断層の断層面位置



(b) 震源断層の設定の考え方(イメージ)

図-3 F-14 断層による地震の震源断層

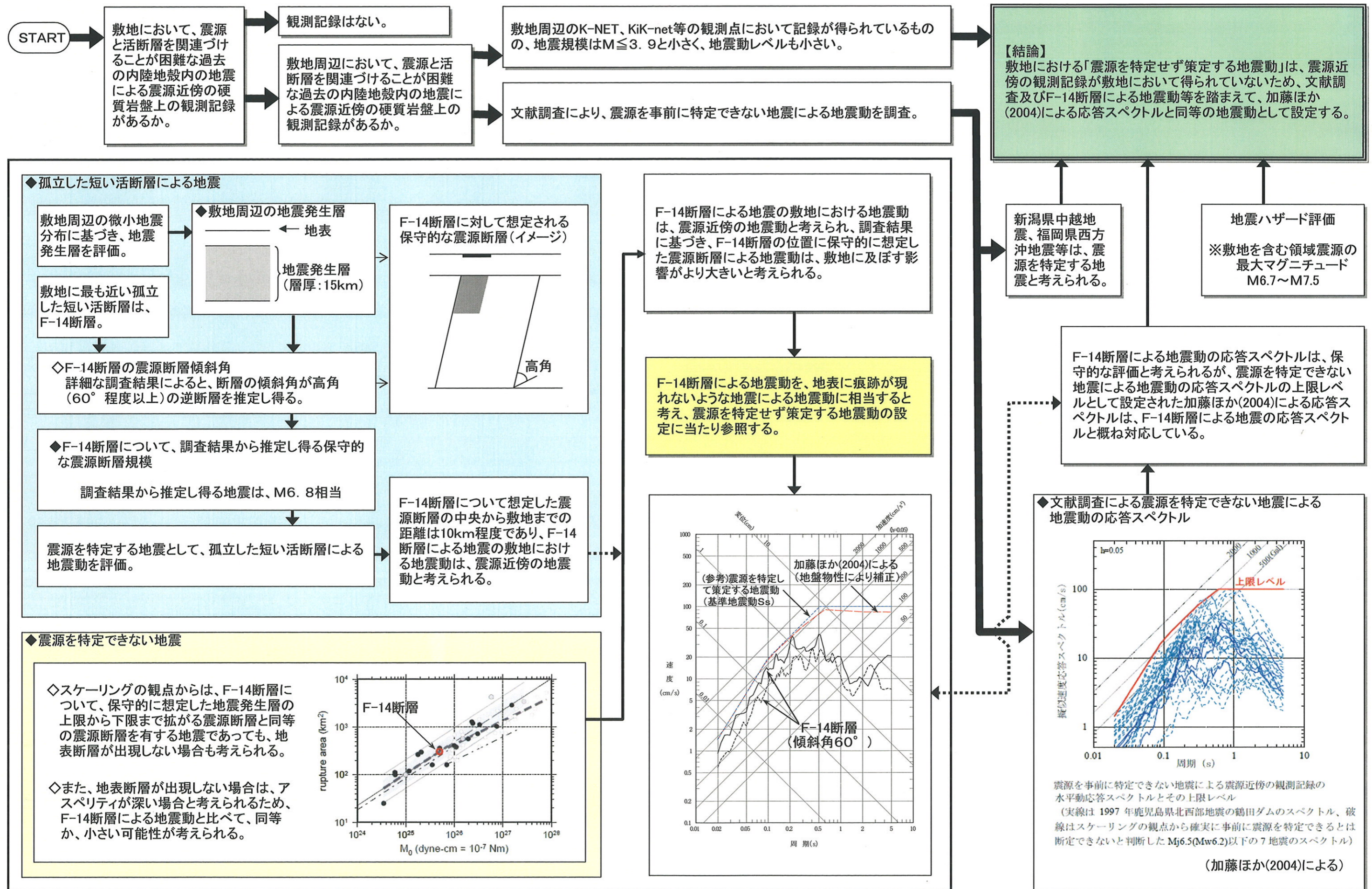


図-5 大間地点における震源を特定せず策定する地震動の考え方

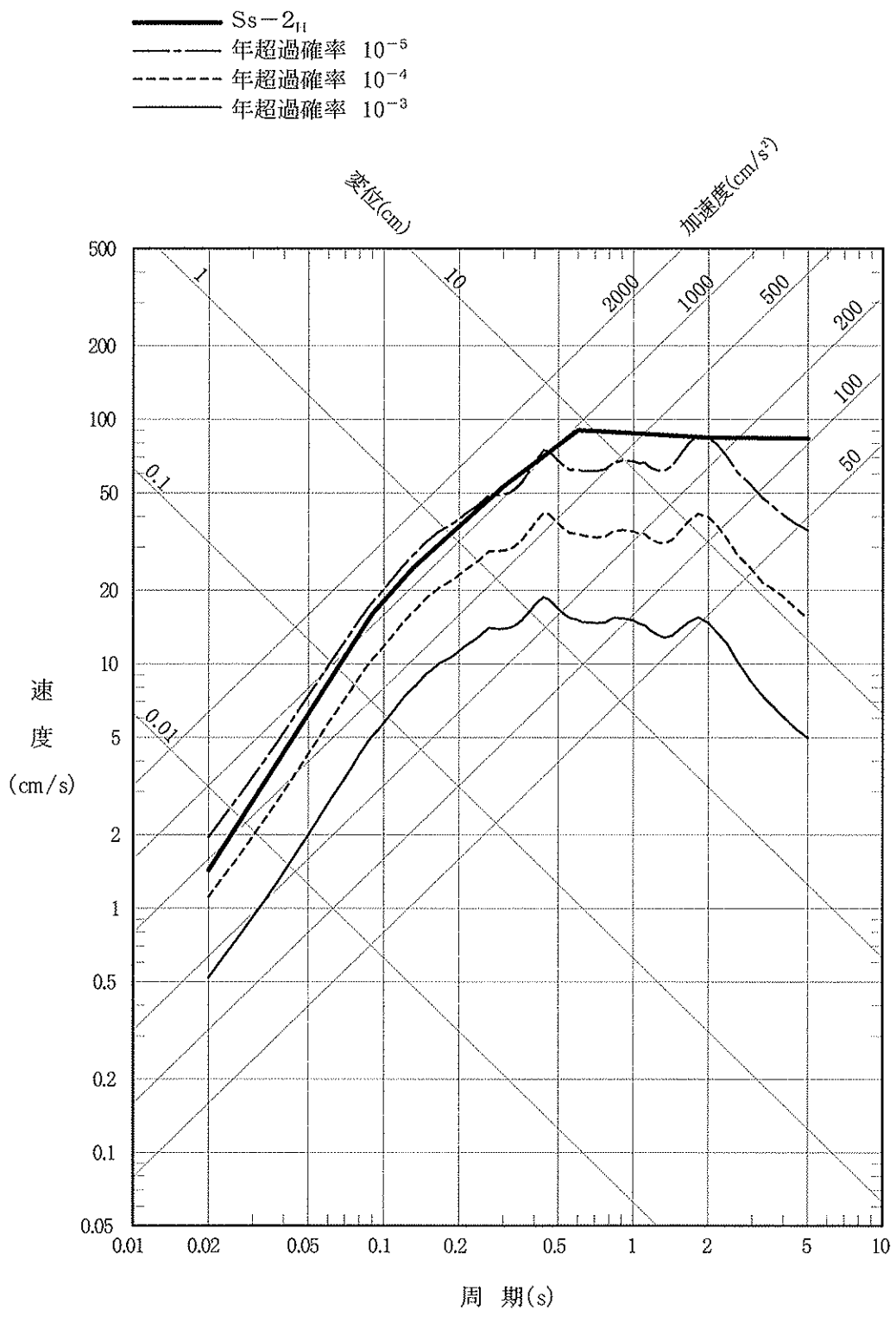


図-6 震源を特定せず策定する地震動の超過確率(S_s-2_H)

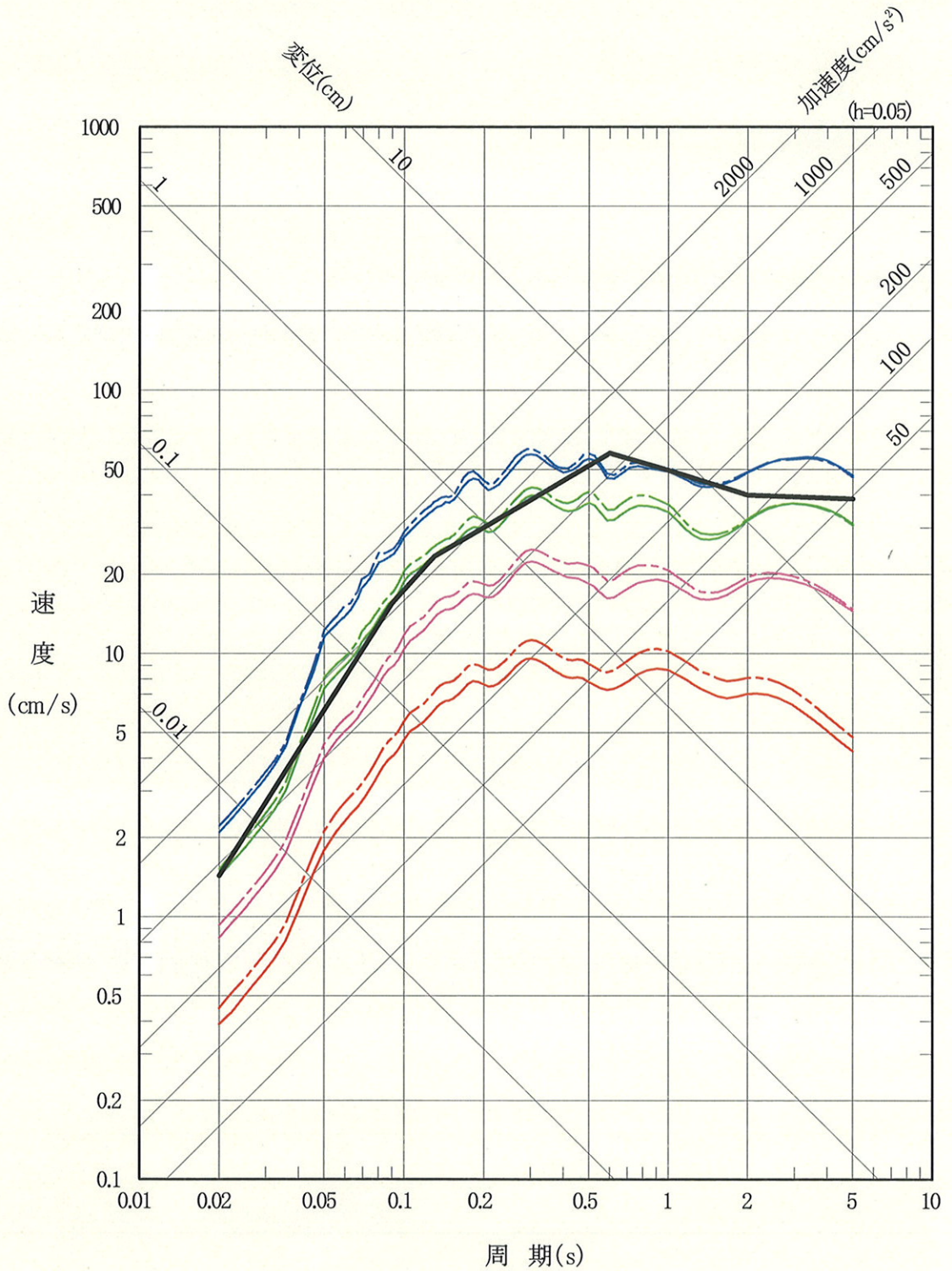
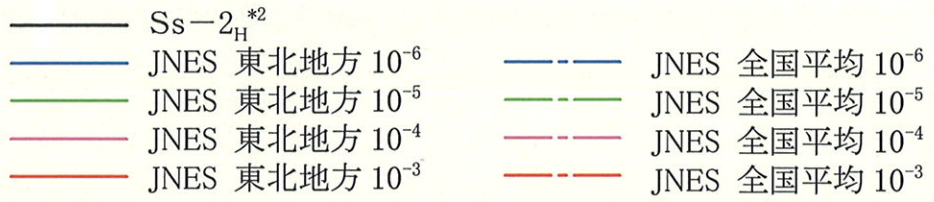


図-7 JNES*¹による超過確率(水平動)と震源を特定せず策定する地震動*²

*1: (独)原子力安全基盤機構

*2: 加藤ほか(2004)により地震

基盤の応答スペクトルへ変換

2005 年福岡県西方沖の地震の
取り扱いについて

平成 19 年 2 月

目 次

1. 福岡県西方沖の地質構造について	1
2. 福岡県西方沖において想定し得る地震について	1
3. 耐震設計上想定する地震の震源断層について	2
4. 福岡県西方沖において想定する地震による地震動評価	4
4.1 応答スペクトルに基づく方法による評価	4
4.2 断層モデルを用いた手法による評価	5
4.3 地震動評価結果と2005年福岡県西方沖の地震の観測記録の 比較	6
5. まとめ	7
6. 参考文献	9

申請者は、2005 年福岡県西方沖の地震について、文献調査により最新の知見を整理するとともに、仮に福岡湾周辺に原子力立地を想定する場合において、福岡県西方の海域に耐震設計上震源を特定して想定する地震による地震動の評価を行い、2005 年福岡県西方沖の地震による観測記録と比較検討している。

1. 福岡県西方沖の地質構造について

福岡県西方の海域における地質構造に関する主な文献と耐震設計上考慮すべき断層に対する考え方を表-1 に、主な文献断層の位置図を図-1 に示す。

2005 年福岡県西方沖の地震は、活断層が確認されていない場所で発生したが、福岡県西方沖の周辺には、M7 程度の地震が想定される警固断層や西山断層といった活断層のほかに、表-1 及び図-1 に示すように 2005 年福岡県西方沖の地震の余震域の周辺にも、断層群が、横ずれ断層、NW-SE 走向という共通の特徴を有して分布するとしている。

2. 福岡県西方沖において想定し得る地震について

申請者は、福岡湾周辺において原子力発電所を立地すると仮定した場合、警固断層や西山断層の位置において内陸地殻内地震の発生を考慮することはもちろんであるが、それ以外に、2005 年福岡県西方沖の地震の余震域の周辺に分布する、海上保安庁水路部(1996)⁽¹⁾及び岩淵ほか(1998)⁽²⁾による更新統に変位・変形が及んでいる断層群や、海上保安庁(2003)⁽³⁾による断層群といった、後期更新世の活動が否定できない

断層群の位置においても、それぞれ内陸地殻内地震の発生を耐震設計上考慮することとなるとしている。

地震の規模に関しては、当該地域の過去の地震の発生状況、地震発生層の深さ等を考慮し、工学的判断を加味して地震規模を想定することを踏まえると、当該地域においてM7程度までは想定することとなるものと考えられるとしている。

3. 耐震設計上想定する地震の震源断層について

文献調査結果を踏まえて、2005年福岡県西方沖の地震が発生した地域に原子力発電所立地を仮定した場合に、当該地域において基準地震動策定に当たり考慮するとしている内陸地殻内地震の想定方法について以下に示す。

当該海域において2005年福岡県西方沖の地震の震央の東側に認められている海上保安庁水路部(1996)⁽¹⁾、岩淵ほか(1998)⁽²⁾による断層群(断層群の長さ約10km)、及び震央の北側に認められている海上保安庁(2003)⁽³⁾による断層群のうち中央の最も長い断層をそれぞれ孤立した短い活断層と考え、これらの断層の直下に保守的に震源断層を想定するとしている。具体的な想定方法を以下に示す。また、想定する震源断層のイメージを図-2に示す。なお、図-2(b)に示すように想定したそれぞれの震源断層が近接しているため、これらを一つの震源断層として評価することも考え得るとしているが、その場合でも地震規模は下記ケース3の場合の想定と同じM7.0になることから、ここでは個別の震源断層として考えた場合について検討を行うとしている。

【ケース1】(大間地点のF-14 断層について同様の検討を実施(第 44 回意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」参照))

震源断層が地震発生層の上限から下限まで飽和する場合を考え、地震発生層厚さを断層幅、断層長さは断層幅と同一として、断層面積を設定し、レシピによりアスペリティ面積ほか断層パラメータを設定する。アスペリティ位置は地表断層の直下とし、背景領域は陸側寄りに設定する。横ずれ断層のため傾斜角は 90° とする。

【ケース2】(大間地点のF-14 断層について同様の検討を実施(第 44 回意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」参照))

スケーリングの観点から、スケーリングの折れ点に当たる地震モーメント M_0 に相当する震源断層面積を想定し、断層幅は地震発生層厚さとして、断層長さを算定する。アスペリティ配置や断層パラメータの設定の考え方はケース1に同じとする。

【ケース3】

「2. 福岡県西方沖において想定し得る地震について」の検討結果を踏まえ、M7.0 クラスの地震が起こり得るものと仮定し、気象庁マグニチュードM7.0 に相当する地震モーメント M_0 をもとにスケーリング則により震源断層面積を算定する。アスペリティ配置及び断層パラメ

一タの設定の考え方はケース1に同じとする。

4. 福岡県西方沖において想定する地震による地震動評価

申請者は、図-2 によると、海上保安庁水路部(1996)⁽¹⁾、岩淵ほか(1998)⁽²⁾による断層の位置に想定する震源断層(図-2(a))の方が、海上保安庁(2003)⁽³⁾による断層の位置に想定する震源断層(図-2(b))より陸側に近いことから、前者を検討対象として、「3. 耐震設計上想定する地震の震源断層について」において示したケース2の震源断層(以下「想定地震」という。)について、仮にK-NET福岡観測点をサイトと考えて同観測点における地震動を応答スペクトルに基づく方法及び断層モデルを用いた方法により評価するとしている。なお、震源断層の設定に当たっては、当該地域の地震発生層の上限深さを 3km, 下限深さを 20 kmと仮定している。

4.1 応答スペクトルに基づく方法による評価

地震動評価は、Noda et al.(2002)⁽⁴⁾の方法を用いることとし、当該地点の地盤増幅特性をよりの確に反映するために、K-NET 福岡観測点において観測された地震記録を用いた観測記録補正を行うとしている。申請者はNoda et al.(2002)⁽⁴⁾の方法の適用範囲にある地震による記録は表-2 及び図-3 に示す2地震記録であるとしており、そのうち1地震は 2005 年福岡県西方沖の地震の余震であり、本震による地震動を事前に予測するとの観点からは検討に用いるべき観測記録であるとは言い難いことから、ここでは、2005 年福岡県西方沖の地震以前の 1997 年 6 月 25 日

の地震の観測記録を用いた場合について検討を行うとしている。

申請者は, Noda et al.(2002)⁽⁴⁾の方法に対する観測記録による補正係数を算定するに当たって, 表-3 に示す K-NET 福岡観測点における地盤モデルを用いたはぎとり解析を行い, GL-25m の工学的基盤相当 ($V_s=600\text{m/s}$) 位置におけるはぎとり波の応答スペクトルを算定するとしている。図-4 に 1997 年 6 月 25 日の地震の地表観測記録の応答スペクトル, 工学的基盤相当位置におけるはぎとり波の応答スペクトル及び Noda et al.(2002)⁽⁴⁾による地震基盤相当の応答スペクトルを比較して示す。また, Noda et al.(2002)⁽⁴⁾の方法に対する補正係数を図-5 に示す。補正係数は地震基盤相当から工学的基盤までの増幅特性であり, Noda et al.(2002)⁽⁴⁾による地震基盤相当における応答スペクトルに対して補正を行うとしている。補正して求めた想定地震の応答スペクトルを図-6 に示す。なお, 参考のため, 2005 年福岡県西方沖の地震の余震の観測記録による補正係数を図-5 に併せて示すが, 1997 年 6 月 25 日の地震の観測記録による補正係数と同様の傾向であるとしている。

4.2 断層モデルを用いた手法による評価

断層モデルによる評価については, 2005 年福岡県西方沖の地震以前では要素地震として用いることができる適切な観測記録が K-NET 福岡観測点で得られていないことから, 統計的グリーン関数法及び理論的評価を用いたハイブリッド法による地震動評価を行うとしている。断層モデルの概念図を図-7 に示す。また, 断層パラメータを表-4 に, 理論的評価に用いた地下構造を表-5 に示す。なお, 地震基盤における地震動

をハイブリッド法により評価し、地震基盤から工学的基盤までの地盤増幅は表-6 に示す中道・川瀬(2002)⁽⁵⁾を参考に設定した地盤モデルを用いた一次元波動論に基づく解析により評価している。

想定地震の地震動評価結果を図-8 に示す。

4.3 地震動評価結果と 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録の比較

K-NET 福岡観測点について、応答スペクトルに基づく方法及び断層モデルを用いた方法により評価した想定地震の地震動と 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録の応答スペクトルを比較して図-9 に示す。同図に示すように、応答スペクトルに基づく方法による評価結果は観測記録と概ね同程度であるとしているが、断層モデルによる評価結果は、短周期側では観測記録と概ね同程度となっているものの、周期 1 秒付近よりも長周期側では観測記録を下回っているとしている。

申請者は、図-10 に示すように警固断層付近では地盤構造が急変し、同断層沿いの北東側では表層地盤が厚い盆地構造になっているとしており、また、川瀬ほか(2006)⁽⁶⁾は 3 次元地盤構造を用いたフォワード解析により、2005 年福岡県西方沖の地震における K-NET 福岡観測点の観測波形がよく再現されたとしており、観測された周期 1 秒前後の速度パルスは 5km 四方程度の単一アスペリティのフォワードディレクティビティと地下構造によって生成・増幅されたものであるとしている。このことから、申請者は図-9 に示す 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録の応答スペクトルの周期 1 秒付近より長周期側については、このような局所的な 3 次元地盤構造による増幅の影響を受けている可能性が考えられるとしている。申請者は、断層モデルは平行成層地盤モデルを用いて理論計

算を行っていることから、このような局所的な 3 次元地盤構造による増幅の影響を反映できていない可能性が考えられ、このため周期 1 秒付近より長周期側において観測記録を下回っていると考えられるとしている。一方、応答スペクトルに基づく方法では地点固有のこのような地盤増幅特性が反映されている観測記録を用いて補正を行っているため、周期 1 秒付近より長周期側においても観測記録と同程度になっていると考えられるとしている。

なお、参考のため、K-NET 福岡観測点のように盆地構造になっていない K-NET 前原観測点における 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録と Noda et al.(2002)⁽⁴⁾による応答スペクトルを比較して図-11 に示す。同図に示すように、Noda et al.(2002)⁽⁴⁾による応答スペクトルと観測記録の応答スペクトルは概ね一致しており、このことから、申請者は K-NET 福岡観測点は局所的な 3 次元地盤構造による影響が現れる地点であると考えられるとしている。

5. まとめ

申請者は、2005 年福岡県西方沖の地震は、活断層が確認されていない場所で発生したが、周辺の活断層分布状況や地質構造等を踏まえると、当該地域では耐震設計上、保守的に M7.0 程度の震源を特定する地震を想定することになっているとしている。また、想定する地震による地震動については、応答スペクトルに基づく方法及び断層モデルを用いた方法により、2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録と概ね同程度の評価が可能であり、事前に同等の地震動を予測し得たと考えられるとして

いる。

以上のことから、申請者は、仮に福岡湾周辺に原子力立地を想定する場合は、耐震設計上、2005年福岡県西方沖の地震の震源近傍に分布する短い活断層の位置に震源を特定する地震として想定する地震を考慮することで、2005年福岡県西方沖の地震に相当する地震による地震動を考慮することができるとしている。

6. 参考文献

- (1) 海上保安庁水路部 (1996):海底地質構造図 1/100,000 福岡湾.
- (2) 岩淵洋・西川公・田賀傑・宮寄進 (1998):福岡湾付近の断層分布, 水路部技報, no.16, pp.95-99.
- (3) 海上保安庁 (2003):海底地質構造図 1/50,000 福岡湾.
- (4) Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct.17-19, Istanbul
- (5) 中道聡・川瀬博(2002):福岡市における三次元地下構造を考慮したハイブリッド法による広周期帯域強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 560, 83-91
- (6) 川瀬博・佐藤智美・包那仁満都拉, 梅田尚子(2006):2005 年福岡県西方沖地震:強震動とその構造物破壊能および推定理論震源モデル, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.162-165
- (7) 海上保安庁海洋情報部 (2005a):福岡県西方沖地震の震源域における反射法探査記録について, 地震予知連絡会会報, vol.74, pp.498-500.
- (8) 海上保安庁海洋情報部 (2005b):福岡県西方沖地震の震源域における海底調査速報(海底地形調査と反射法探査), 地震予知連絡会会報, vol.74, pp.501-504.
- (9) 阿部信太郎・宮腰勝義・井上大榮・岡田篤正 (2005):2005 年福岡県

西方沖地震震源域におけるマルチ・チャンネル反射法地震探査, 日本地震学会講演予稿集 2005 年秋季大会, C075.

- (10) 高知大学理学部・東京大学地震研究所・大分大学教育福祉学部・広島工業大学環境学部・西日本技術開発 (2006): 博多湾警固断層の地震履歴, 地震予知連絡会会報, vol.75, pp.555-559.
- (11) 地震調査研究推進本部(2005): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 日向灘の地震を想定した強震動評価付録
- (12) Geller, R. J. (1976): Scaling Relations for Earthquake Source Parameters and Magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.66, pp.1501-1523
- (13) 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 545, 51-62
- (14) 川瀬博・松尾秀典(2004): K-NET, KiK-net, JMA 震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, 4, 1, 33-52
- (15) 香川敬生・鶴木雅人・佐藤信光(2003): 硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討, 第 27 回地震工学研究発表会梗概集, p.76
- (16) 佐藤智美・川瀬博(2005): 表層一次元地盤モデルによる福岡市中心部における本震地動の再現, 2005 年福岡県西方沖地震災害調査報告 第 2 章 2.6, 日本建築学会

表-1 福岡県西方沖における地質構造に関する主な文献と耐震設計上考慮すべき断層に対する考え方

地震	文献	実施した調査方法・データ等	結果	備考
2005年 福岡県西方 沖の地震	海上保安庁水路部 (1996) ⁽¹⁾	海上音波探査 震源:スパーカー, チャープソナー 場所:福岡県西方沖の海域	申請者は, 本文献の図には, 北西-南東走向の, Ⅲ層(更新世)を切る断層が数条図示されているとしている。	海底地質構造図 1/100,000「福岡湾」 説明書なし
	岩淵ほか(1998) ⁽²⁾		志賀島の北西 5km に, 北西-南東走向の断層が認められ, 更新統に変形が及んでおり, 更新統における変位は落差十数 m 程度としている。延長約 10km 程度にわたって追跡できるが, 断層の北西端は調査区域外にあり総延長は不明としている。	
	海上保安庁(2003) ⁽³⁾	海上音波探査 震源:スパーカー, ソノプローブ 場所:福岡県西方沖の海域	申請者は, 本文献は, 海上保安庁水路部(1996), 岩淵ほか(1998)による海域と重複した範囲の海底地質構造図であり, 海上保安庁水路部(1996), 岩淵ほか(1998)による活断層の北西延長部に, 同走向の断層が図示されているとしている。	海底地質構造図 1/50,000「福岡湾」 説明書なし
	海上保安庁海洋情報部(2005a) ⁽⁷⁾	海上保安庁(1996), 岩淵ほか(1998), 海上保安庁(2003)と同じ	余震分布範囲の海底下には断層は確認できないとしている。	
	海上保安庁海洋情報部(2005b) ⁽⁸⁾	海上音波探査 震源:スパーカー, チャープソナー 場所:福岡県西方沖の海域	北東-南西方向の筋状の地形が存在し, 高さ 1m 程度でほぼ等間隔に並んでおり, サンドウェーブであろうとしている。玄界島北西沖の余震域におけるスパーカーによる反射法探査記録には, 多重反射よりも浅い部分で第三紀層と推定される地層の褶曲構造がみられるとしている。震源域の海底地形や反射法探査記録には, 明瞭な断層地形や断層を示す構造は現われていないとしている。	
	阿部ほか(2005) ⁽⁹⁾	海上音波探査 震源:GI ガン(マルチチャンネル) 場所:福岡県西方沖の海域	震源断層の直上付近の音響基盤に, 海底面上にもわずかな撓みを与えるバイズン状の落ち込みが確認され, この変形構造の詳細な活動性等については更なる検討を要するが, 余震分布とほぼ同じ走向に分布するとしている。	
	電力中央研究所による海上音波探査		申請者は, 海上音波探査記録によると, 音響基盤とその上位の地層に変位又は変形を与え, 海底面近くに達する落ち込み状の構造が認められ, 変位又は変形が及んでいないような上載地層は分布せず, 活動性については検討できないとしている。また, 申請者は, 海上保安庁水路部(1996)や岩淵ほか(1998)による活断層とほぼ同じ位置に, 変形構造が認められるとしている。	
	産業技術総合研究所 HP	海上音波探査 音源:エアガン, サブボトムプロファイラー 余震分布データ	余震域の上を通過する音波探査測線記録上に最大 15m にわたる海底の段差が認められ, この段差は, 2005年福岡県西方沖の地震を起こした活断層の海底面上への現れの可能性があるが, 確定できていなかったとしている。	
	地震予知連絡会 HP	海底活構造調査 余震分布データ	博多湾内の警固断層の延長上と見られる場所に沖積層を変化させる活断層が確認され, 志賀島付近を境に折れ曲がり, 南の警固断層系につながる一連の断層帯があり, その北部で福岡県西方沖の地震が発生したとしている。	地震予知連絡会の資料であり, 詳細説明不明
	高知大学理学部ほか(2006) ⁽¹⁰⁾	海上音波探査 場所:博多湾内 ピストンコア	博多湾中央部に, 左横ずれを示す, 沖積層又は洪積層を変位させる活断層が認められ, 警固断層の延長部と見られるとしている。 最新イベントは 4,500 年前以降, 一つ前のイベントは 6,600 年前以前で 8,800 年前以降としている。	
<p>福岡県の西方沖の海域においては, 海上保安庁水路部(1996)及び岩淵ほか(1998)により, NW-SE 走向の, 更新統に変位を与える断層が数条図示され, 総延長は不明であるが, 少なくとも 10km 程度にわたって追跡できるとされている。また, それらの断層の北西延長上には, 海上保安庁(2003)により同走向の断層が図示されている。一方, 福岡県北西部の陸域には, NW-SE 走向の活断層である警固断層や西山断層が分布しており, 西山断層の北西延長海域や警固断層の北西延長海域(博多湾内)には, 活断層が分布することが知られている。海上保安庁水路部(1996)及び岩淵ほか(1998)による活断層や, 海上保安庁(2003)による断層は, 必ずしも直線的に連続するものではないが, いずれも, 横ずれ断層, NW-SE 走向という共通の特徴を有している。</p> <p>以上のように, 陸域から海域にかけて, 同様の特徴を有する活断層が雁行状に分布する本地域の地質構造を考慮すると, 本地域において原子力発電所を仮定した場合, 耐震設計上考慮すべき断層の分布を評価することになり, ある程度の規模の内陸地殻内地震の発生を考慮することになる。</p>				

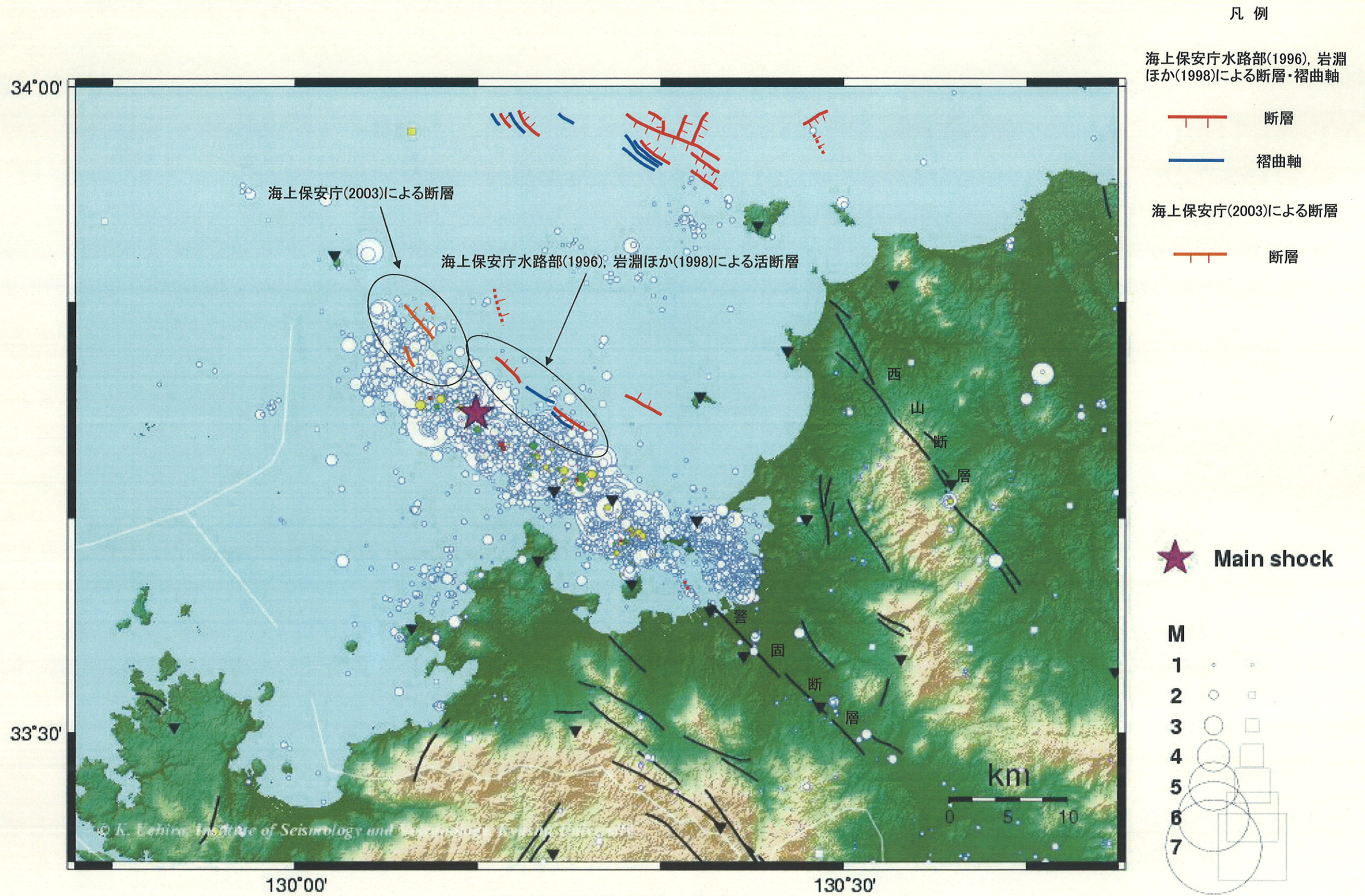
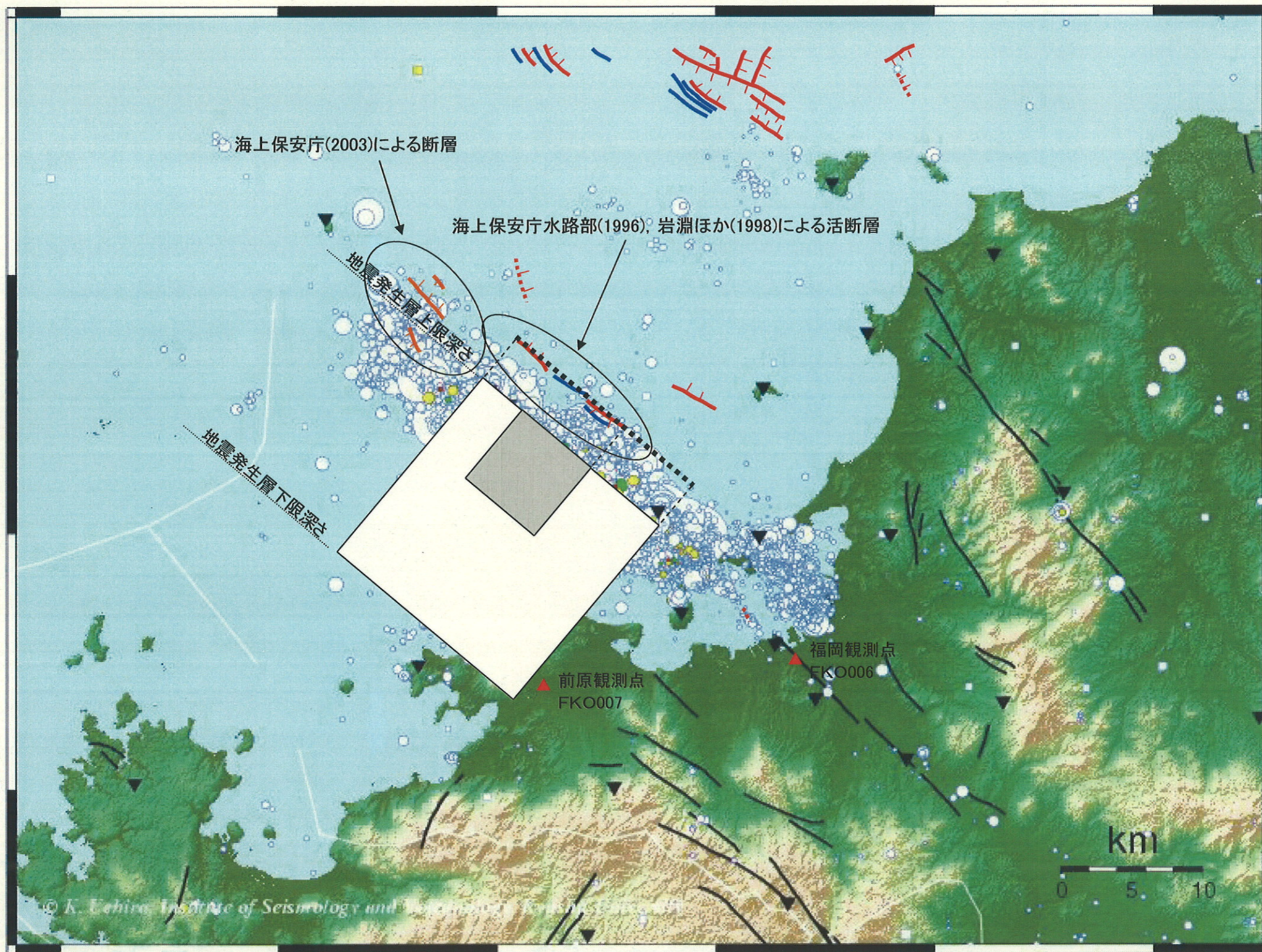


図-1 福岡県西方沖海域の主な文献断層

本震及び余震分布は九州大学地震火山観測研究センターによる

34°00'

33°30'



凡例

海上保安庁水路部(1996), 岩淵ほか(1998)による断層・褶曲軸

断層

褶曲軸

海上保安庁(2003)による断層

断層

★ Main shock

M

1

2

3

4

5

6

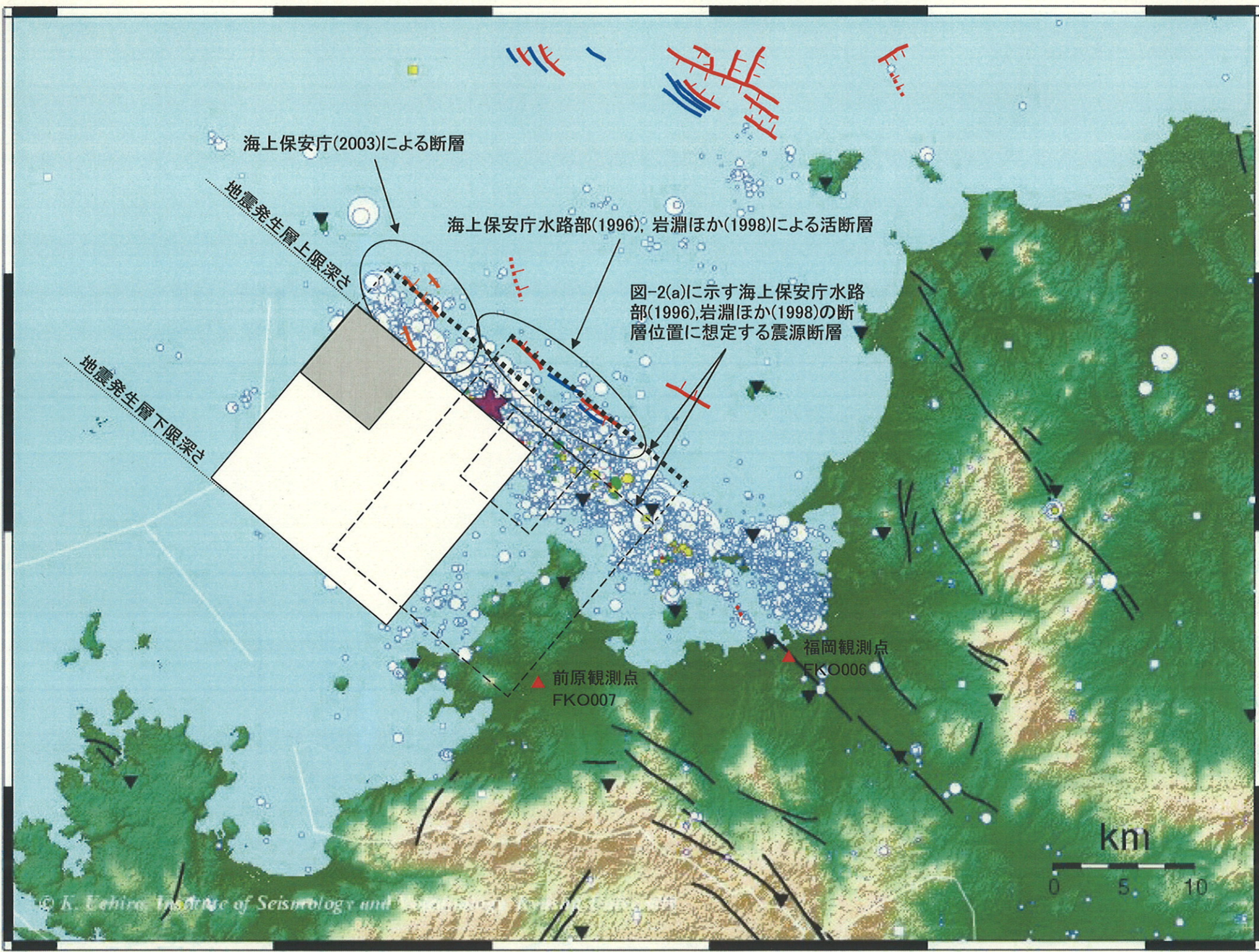
7

本震及び余震分布は九州大学地震火山観測研究センターによる

図-2(a) 海上保安庁水路部(1996)及び岩淵ほか(1998)による断層の位置に想定する震源断層のイメージ

34°00'

33°30'



凡例

海上保安庁水路部(1996), 岩淵ほか(1998)による断層・褶曲軸

断層

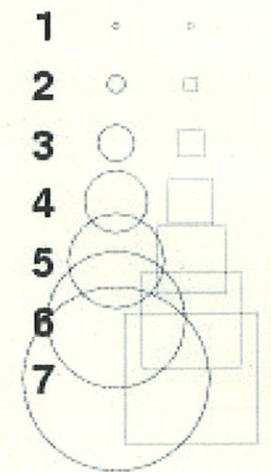
褶曲軸

海上保安庁(2003)による断層

断層

★ Main shock

M



本震及び余震分布は九州大学地震火山観測研究センターによる

図-2(b) 海上保安庁(2003)による断層位置に想定する震源断層のイメージ

表-2 K-NET 福岡観測点で観測された選定した内陸地殻内地震の諸元

No.	発生日	北緯*1	東経*1	M*1	Δ (km)	Xeq*2 (km)	H*1 (km)	備考
1	1997.06.25	34° 26.49'	131° 39.97'	6.6	150	150	8	
2	2005.04.20	33° 40.6'	130° 17.2'	5.8	14	19	14	2005年福岡県西方沖地震の余震

*1:気象庁による

*2:震源距離を等価震源とした

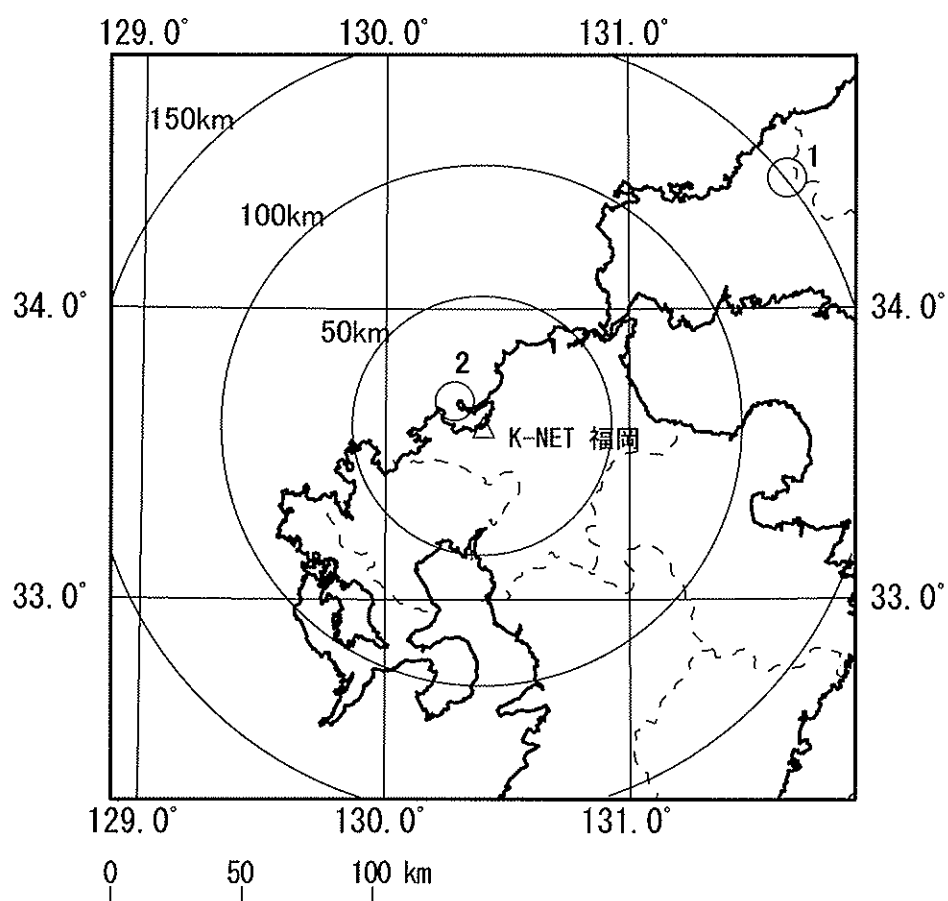


図-3 観測地震の震央位置

(図中の番号は表-2の地震番号に対応する)

表-3 K-NET 福岡観測点の地盤モデル

G.L. (m)	層厚 (m)	単位体積 重量 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	減衰定数 h*
0.0				
-2.0	2	1.78	110	0.03
-8.0	6	1.76	130	
-12.0	4	1.66	150	
-15.0	3	1.94	180	
-25.0	10	1.87	320	
	∞	1.90	600	

はぎとり
位置 (2E)

(●は地震計設置位置, GL0m)

*:減衰定数は3%と仮定した

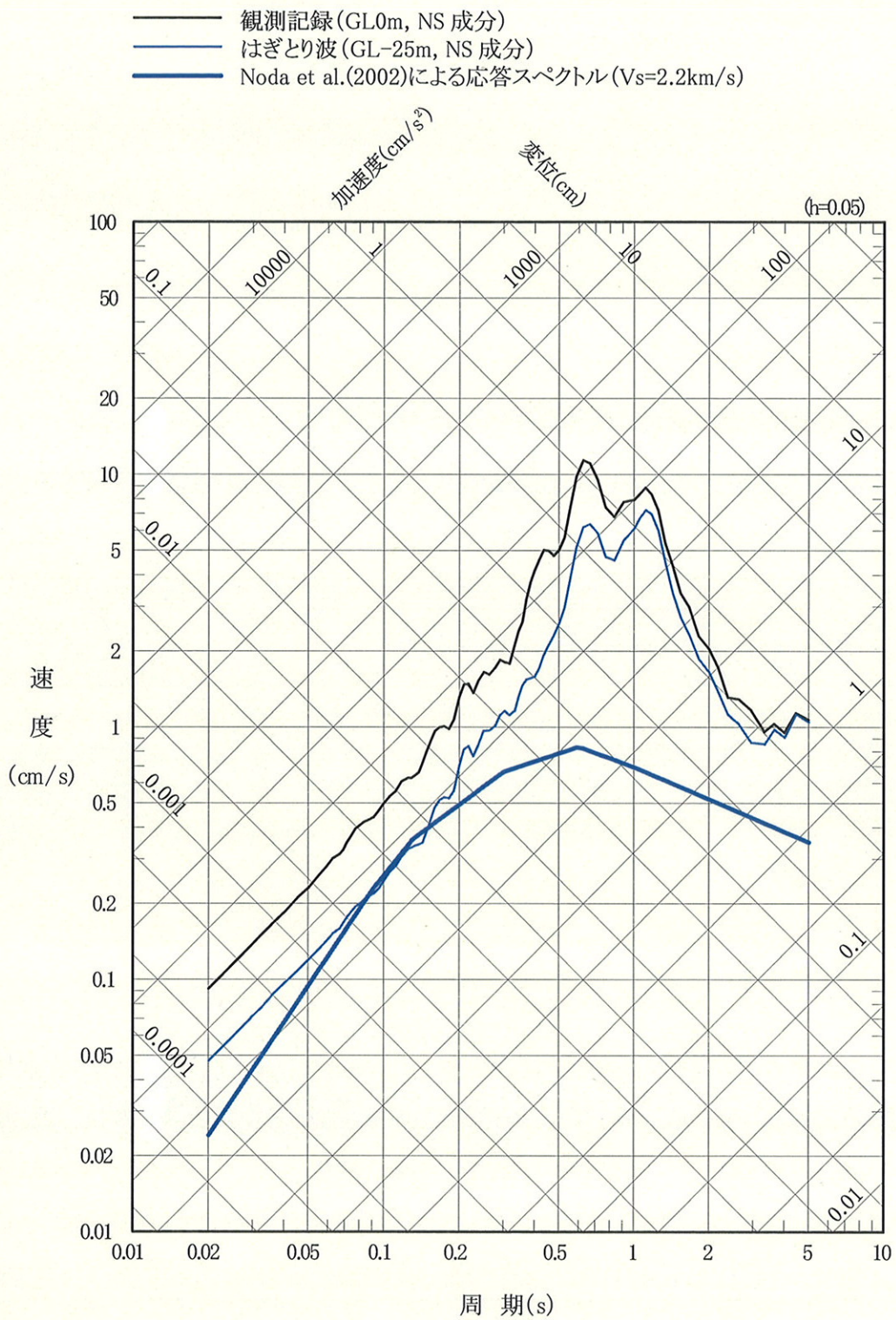


図-4(1) K-NET 福岡観測点の1997年6月25日の地震の観測地震とはぎとり波と
 Noda et al.(2002)による応答スペクトル($V_s=2.2\text{km/s}$)の比較 (NS 成分)

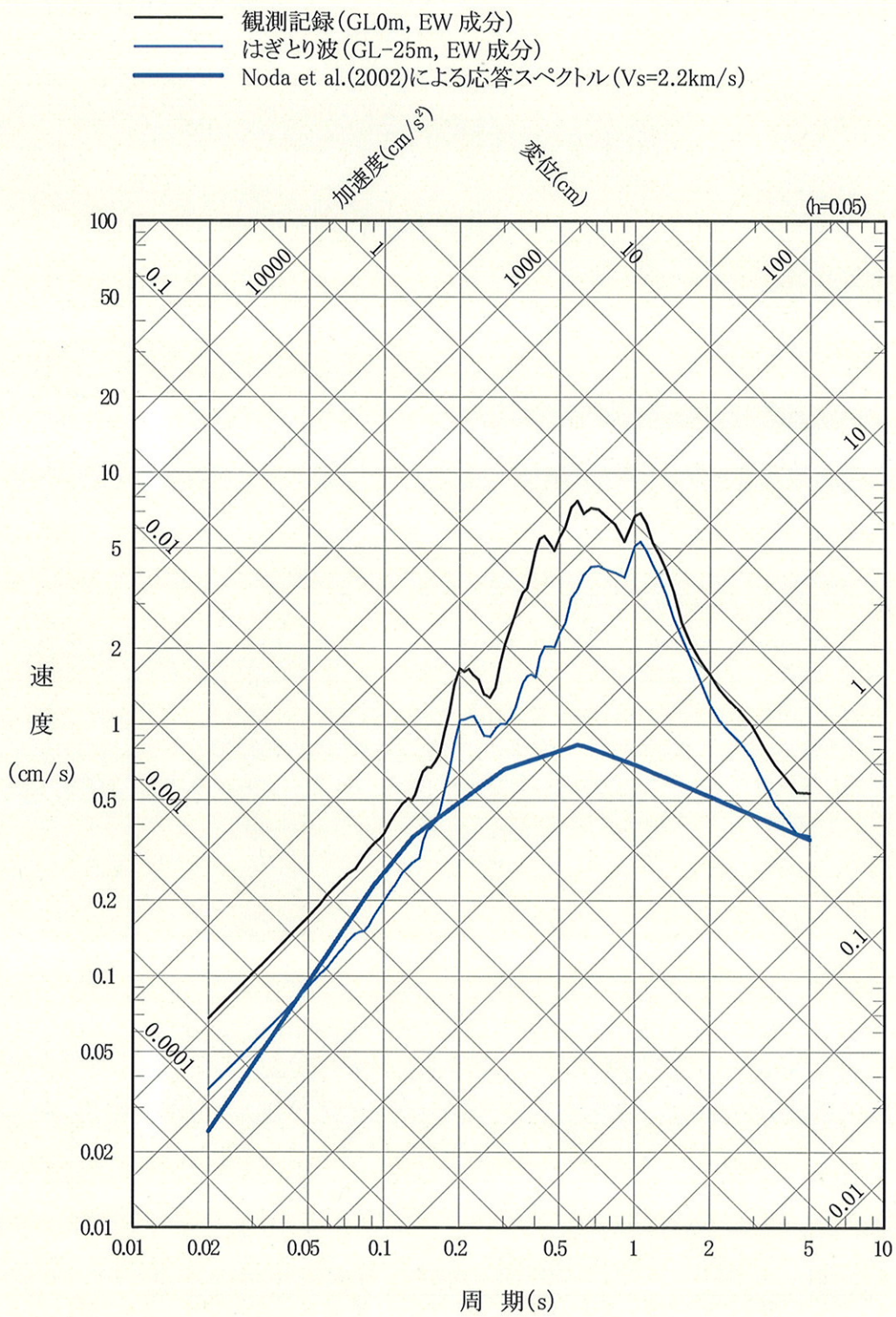
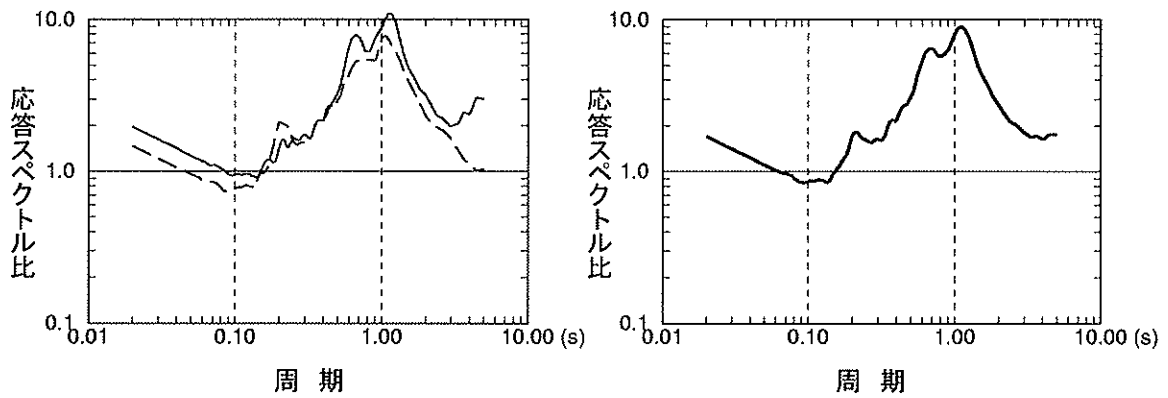
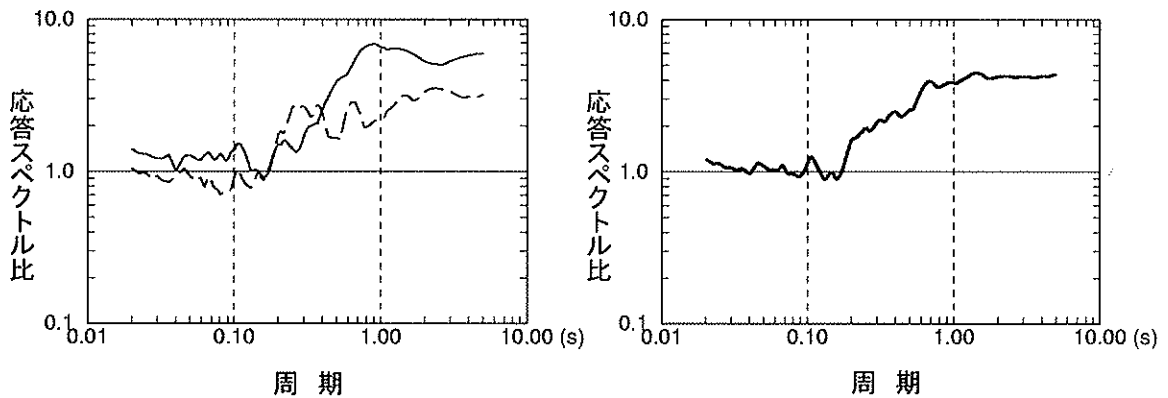


図-4(2) K-NET 福岡観測点の 1997 年 6 月 25 日の地震の観測地震とはぎとり波と Noda et al.(2002)による応答スペクトル ($V_s=2.2\text{km/s}$) の比較 (EW 成分)



(1) 1997年6月25日の地震の観測記録による補正係数^{*1}



(2) 2005年福岡県西方沖の地震の余震観測記録による補正係数^{*1}

左図:実線, 破線は, それぞれ観測記録のはぎとり波 NS 成分, EW 成分と Noda et al.(2002)

($V_s=2.2\text{km/s}$)とのスペクトル残差を表す。

右図:スペクトル残差の平均値(補正係数)。

図-5 K-NET 福岡観測点における観測記録による補正係数^{*1}

^{*1}観測記録のはぎとり波の応答スペクトルと Noda et al.(2002)による
地震基盤相当の応答スペクトルの比

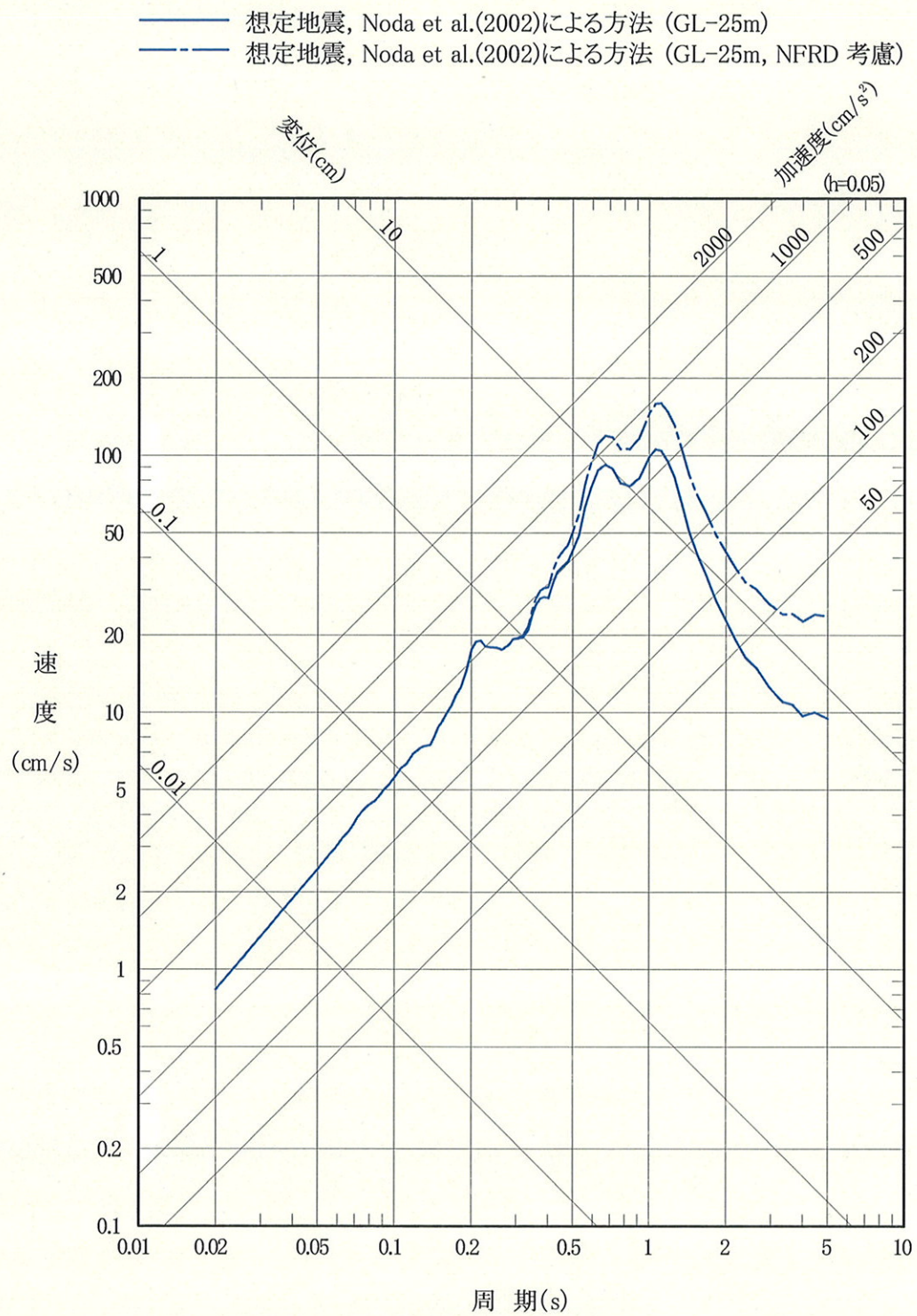


図-6 観測記録で補正した Noda et al.(2002)による応答スペクトル
 (K-NET 福岡観測点)

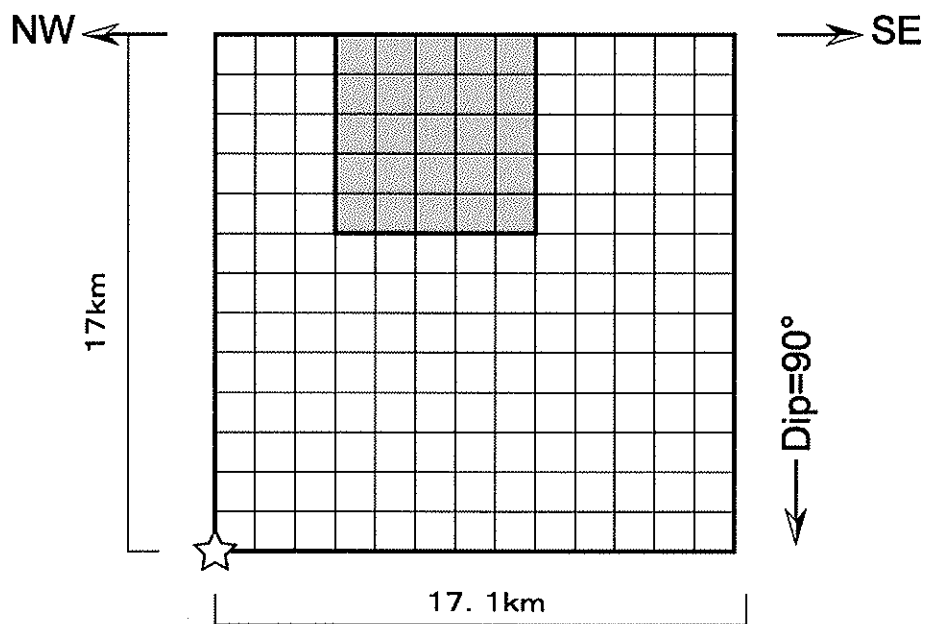
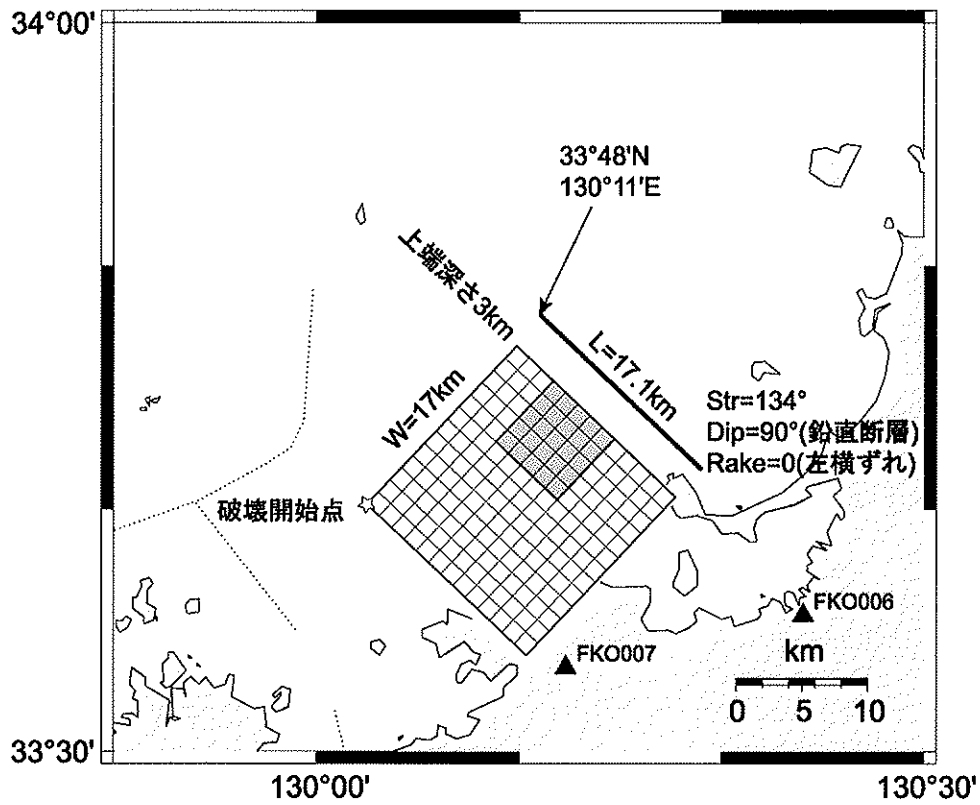


図-7 想定地震の断層モデルの概念図

表-4 想定地震の断層パラメータ

項目		設定値	設定方法		
巨視的震源特性	基準点北緯	N(°)	33.8000	断層北西端	
	基準点東経	E(°)	130.1833	同上	
	走向	θ (°)	134		
	傾斜角	δ (°)	90		
	すべり角	λ (°)	0		
	長さ	L(km)	17.1	$L=S/W$	
	幅	W(km)	17	地震発生層厚	
	上端深さ	h(km)	3		
	断層面積	S(km ²)	290.7	$S=4.24 \times 10^{-11} M_0(\text{dyne} \cdot \text{cm})^{1/2}$	
	地震モーメント	M ₀ (Nm)	4.70E+18	地震調査研究推進本部(2005) ⁽¹¹⁾	
	モーメントマグニチュード	M _w	6.4	$\log M_0=1.5M_w+9.1$	
	平均すべり量	D(cm)	50.1	$D=M_0/(\mu S)$	
	剛性率	μ (N/m ²)	3.23E+10	中道・川瀬(2002) ⁽⁵⁾	
	S波速度	V _s (km/s)	3.46	中道・川瀬(2002) ⁽⁵⁾	
	破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.5	$V_r=0.72V_s$ [Geller(1976) ⁽¹²⁾]	
	応力降下量	$\Delta\sigma$ (MPa)	2.3	$\Delta\sigma=7/16*M_0*(S/\pi)^{-3/2}$	
短周期レベル	A(N・m/s ²)	8.88E+18	$A=2.46 \times 10^{17} M_0^{1/3}$ [壇・他(2001) ⁽¹³⁾]		
微視的震源特性	アスペリテイ	等価半径	r(km)	3.62	$r=(7\pi/4)*M_0/(AR)*V_s^2$, $R=(S/\pi)^{1/2}$
		総面積	S _a (km ²)	41.2	$S_a=\pi r^2$
		平均すべり量	D _a (cm)	100.1	$D_a=2 \times D$
		地震モーメント	M _{0a} (Nm)	1.33E+18	$M_{0a}=\mu D_a S_a$
		実効応力	σ_a (MPa)	16.3	$\sigma_a=7/16*M_0/(Rr^2)$
		ライズタイム	τ (s)	1.3	$\tau=W_a/2V_r$, $W_a=S_a^{1/2}$
	短周期レベル	A _a (N・m/s ²)	8.88E+18	$A_a=4\pi r \sigma_a V_s^2$	
	背景領域	面積	S _b (km ²)	249.5	$S_b=S-S_a$
		平均すべり量	D _b (cm)	41.8	$D_b=M_{0b}/\mu S_b$
		地震モーメント	M _{0b} (Nm)	3.37E+18	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
		実効応力	σ_b (MPa)	2.6	$\sigma_b=(D_b/W_b)*(W_a/D_a)*\sigma_a$
		ライズタイム	τ (s)	3.4	$\tau=W/2V_r$
Q値			112×f ^{0.7}	川瀬・松尾(2004) ⁽¹⁴⁾	
f _{max}		(Hz)	8.3	香川・他(2003) ⁽¹⁵⁾	

表-5 理論計算に用いる地盤モデル

GL-(km)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ (g/cm ³)	Q
1	5150	2850	2.5	200
2	5500	3200	2.6	400
5	6000	3460	2.7	600
18	6700	3870	2.8	700

注) 地震基盤から断層上端までの深さは2kmとなる。

表-6 地震基盤から工学的基盤までの地盤モデル

層番号	上端深さ (m)	層厚 (m)	Vs (km/s)	Vp (km/s)	単位体積 重量 (t/m ³)	減衰定数 h	
1	0	90	0.6	1.9	1.9	3%	←工学基盤波出力位置
2	90	290	1.1	2.6	2.1		
3	380	620	1.7	3.5	2.3		
4	1000	∞	2.85	5.15	2.5		←地震基盤波入力位置

※減衰定数は仮に3%とした。

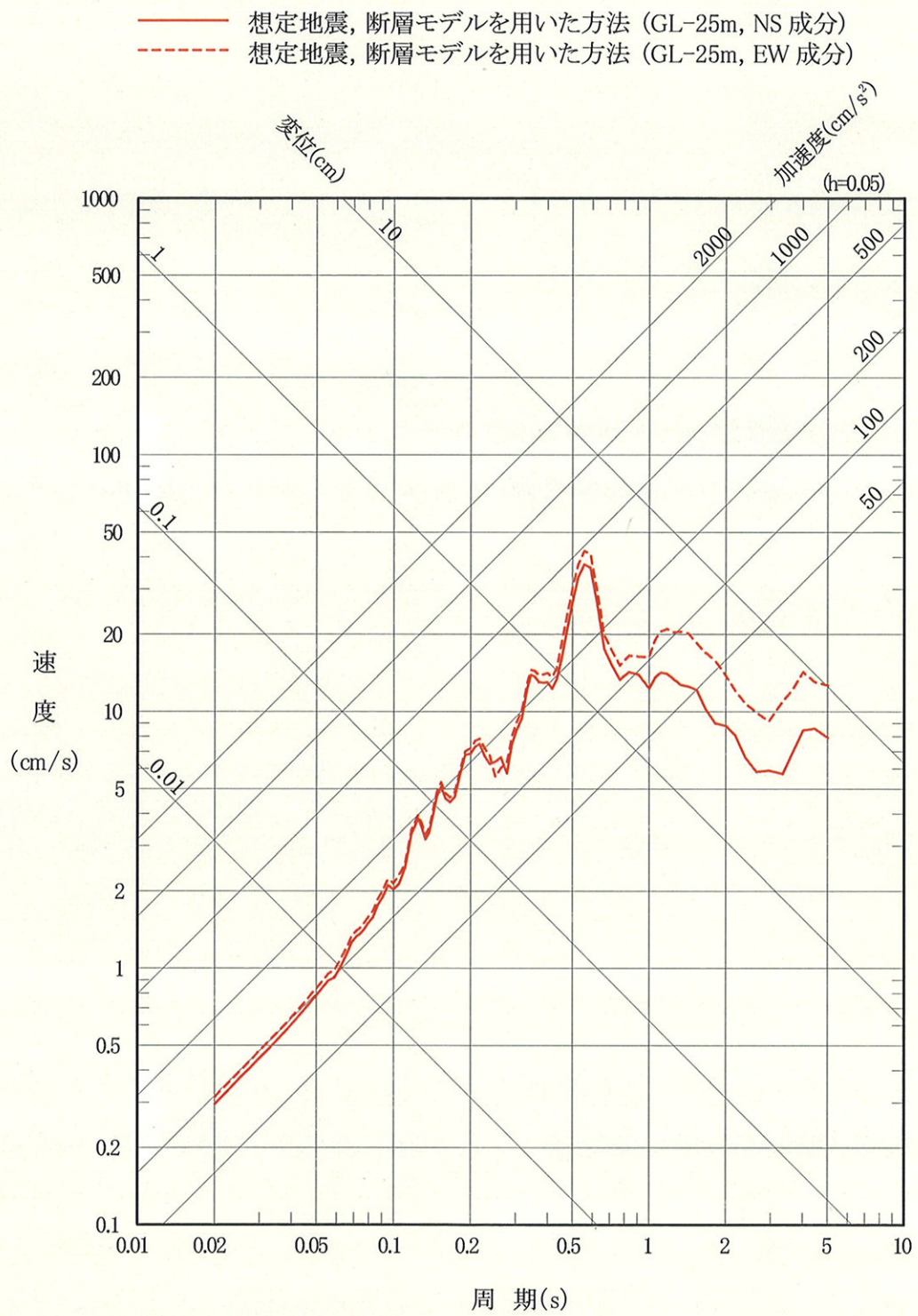


図-8 断層モデルを用いた方法による応答スペクトル
 (K-NET 福岡観測点, ハイブリッド法)

- 2005年福岡県西方沖の地震, はぎとり波 (GL-25m, NS成分)
- - - 2005年福岡県西方沖の地震, はぎとり波 (GL-25m, EW成分)
- 想定地震, Noda et al.(2002)による方法 (GL-25m)
- - - 想定地震, Noda et al.(2002)による方法 (GL-25m, NFRD考慮)
- 想定地震, 断層モデルを用いた方法 (GL-25m, NS成分)
- - - 想定地震, 断層モデルを用いた方法 (GL-25m, EW成分)

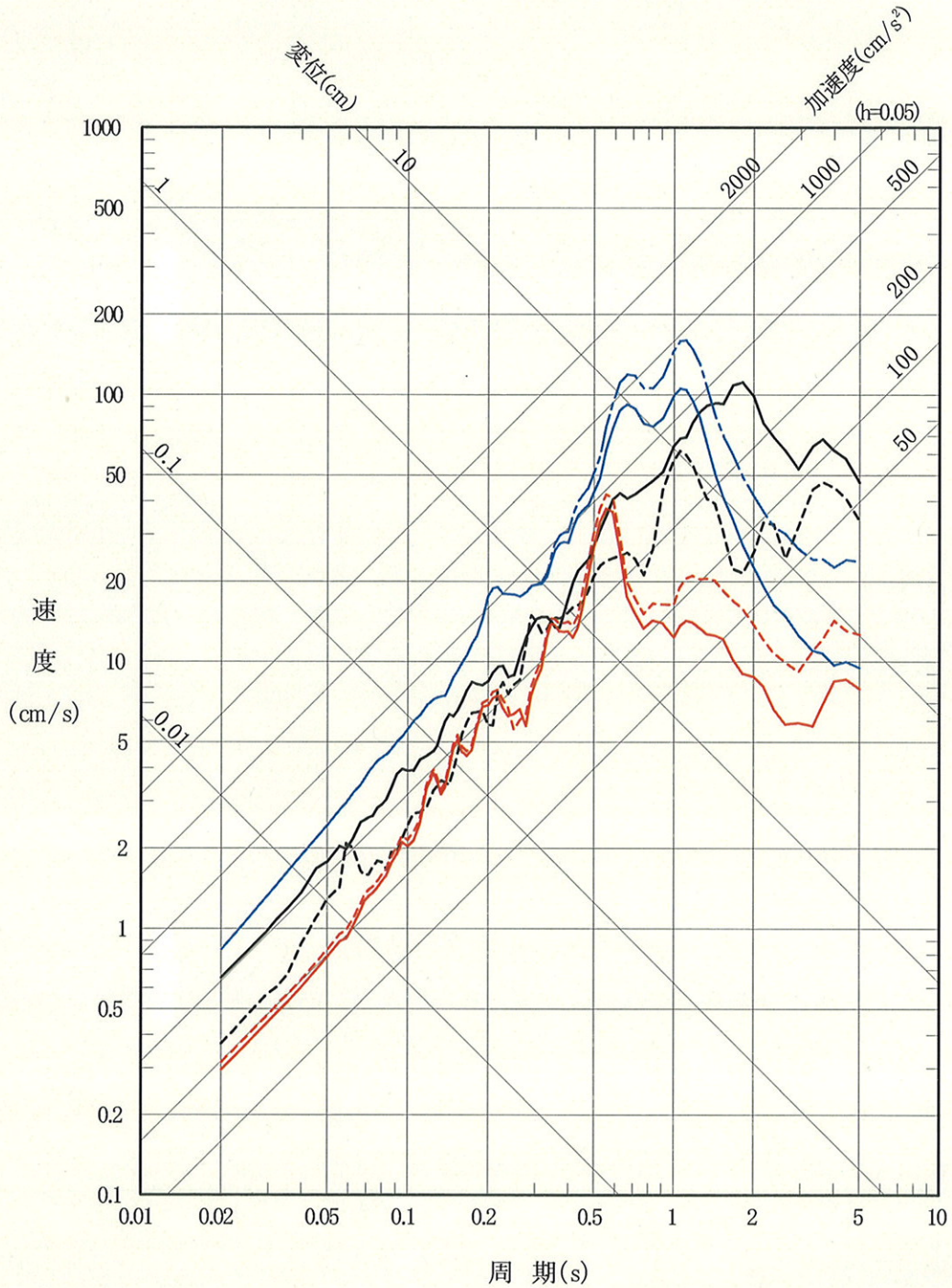


図-9 K-NET 福岡観測点の工学的基盤波の比較

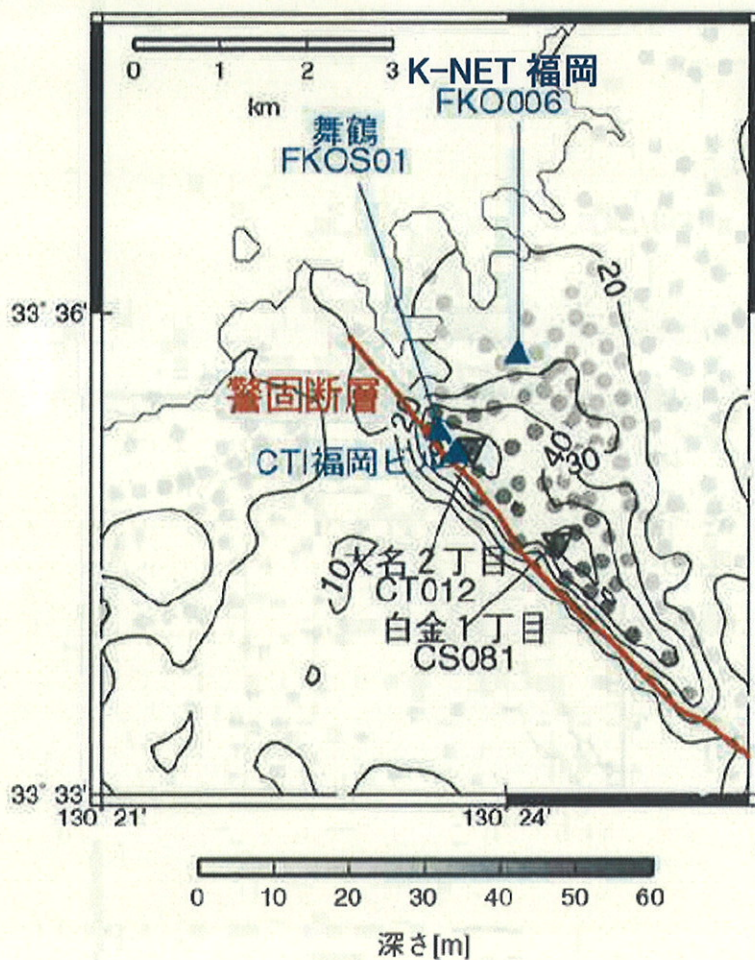
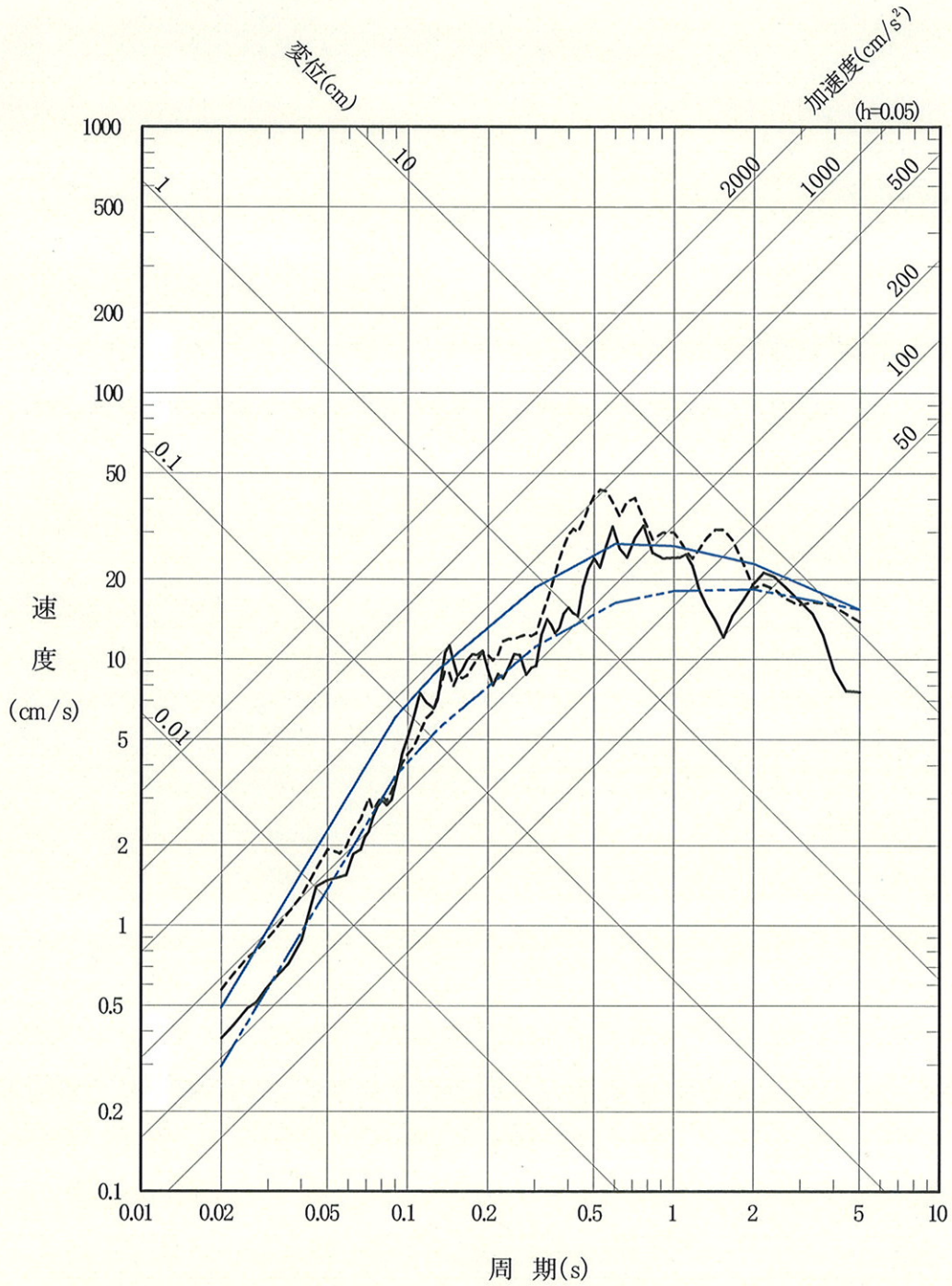


図 2.6.3 工学的基盤深さ分布³⁾と強震観測点(▲)及び基盤深さ最深地点(▽)の位置

図-10 警固断層による不整形構造(佐藤ほか(2005)⁽¹⁶⁾に加筆修正)

- 2005年福岡県西方沖の地震, はざとり波 (GL-13m, NS成分)*
- - - 2005年福岡県西方沖の地震, はざとり波 (GL-13m, EW成分)*
- 想定地震, Noda et al.(2002)による方法 (GL-13m, $V_s=620\text{m/s}$)
- - - 想定地震, Noda et al.(2002)による方法 (GL-13m, $V_s=620\text{m/s}$, 内陸補正考慮)



*: 地盤モデルは「別紙2 表-4(地盤減衰 $h=3\%$)による

図-11 K-NET 前原観測点の工学的基盤波の比較

参考文献(抜粋)

- (1) 海上保安庁水路部 (1996):海底地質構造図 1/100,000 福岡湾.
- (2) 岩淵洋・西川公・田賀傑・宮寄進 (1998):福岡湾付近の断層分布, 水路部技報, no.16, pp.95-99.
- (3) 海上保安庁 (2003):海底地質構造図 1/50,000 福岡湾.
- (7) 海上保安庁海洋情報部 (2005a):福岡県西方沖地震の震源域における反射法探査記録について, 地震予知連絡会会報, vol.74, pp.498-500.
- (8) 海上保安庁海洋情報部 (2005b):福岡県西方沖地震の震源域における海底調査速報(海底地形調査と反射法探査), 地震予知連絡会会報, vol.74, pp.501-504.
- (9) 阿部信太郎・宮腰勝義・井上大榮・岡田篤正 (2005):2005年福岡県西方沖地震震源域におけるマルチ・チャンネル反射法地震探査, 日本地震学会講演予稿集 2005年秋季大会, C075.
- (10) 高知大学理学部・東京大学地震研究所・大分大学教育福祉学部・広島工業大学環境学部・西日本技術開発 (2006):博多湾警固断層の地震履歴, 地震予知連絡会会報, vol.75, pp.555-559.

福岡湾付近の断層分布

岩淵 洋：海洋研究室

西川 公，田賀 傑：沿岸調査課

宮崎 進：測量船「明洋」

Distribution of the Faults in the Fukuoka Bay and Adjacent Area

Yo Iwabuchi : Ocean Research Laboratory

Hiroshi Nishikawa, Masaru Taga : Coastal Surveys and Cartography Division

Susumu Miyazaki : Survey Vessel "Meiyo"

1. はじめに

陸域の活断層については、これまで多くの研究が進められ、分布については相当に詳しく明らかにされている。しかし、海域の断層については、データの整備が不十分であり、その分布すら良く分かっていない。本論では、福岡湾およびその北方の玄界灘にかけての海域に潜在する活断層の検出を目的として実施した、同海域の音波探査の結果について報告する。

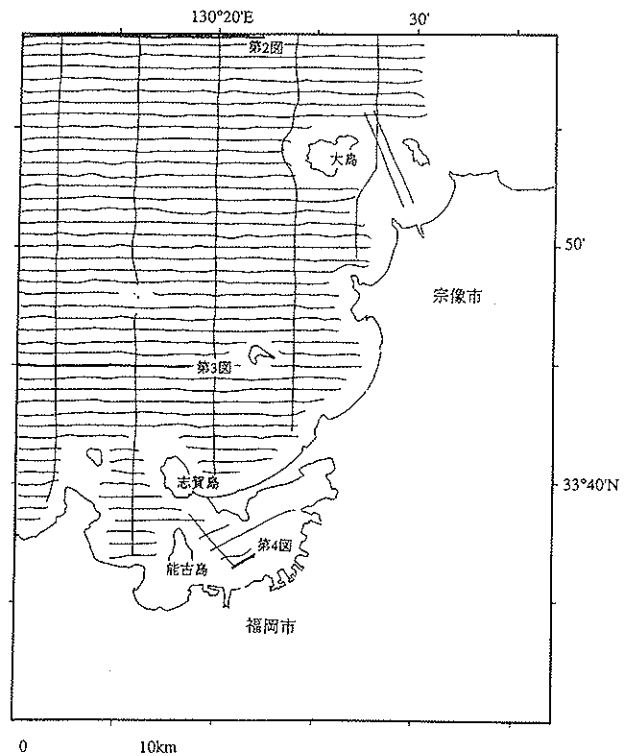
2. 地域の概観

調査海域に面する九州北部は西南日本内帯に属し、中古世代の堆積岩類及び変成岩、中生代の花崗岩類、古第三紀の堆積岩類、更新統、完新統などからなる。調査海域に面する陸部のうち、福岡市に近い南西部では主に中生代が分布しているが、北東部は古第三系が分布する。また、能古島などでは鮮新世のアルカリ玄武岩の活動が知られている。福岡平野や海岸部には、低地の縁に中位・低位段丘が分布し、低地には沖積層が分布している。

この地域の古第三系は福岡炭田とも呼ばれ、従来から詳しい調査が進められており、北西—南東走向の断層が発達することが知られている。ただし、本調査地域の周辺では、これら断層のうち第四紀にも繰り返し活動していると考えられているものは、福岡市の直下に位置する警固断層と、宗像から飯塚、

山田に至る西山断層で、これ以外の多くの断層やリニアメントは第四紀に活動したという証拠に乏しい(活断層研究会, 1991)。

なお、西山断層は活断層研究会(1991)によれば活動度B級の活断層、警固断層は活動度C級以下の活断層とされている。



第1図 音波探査航跡図。太線は第2～4図に示す音波探査記録の範囲を示す。

3. 調査概要

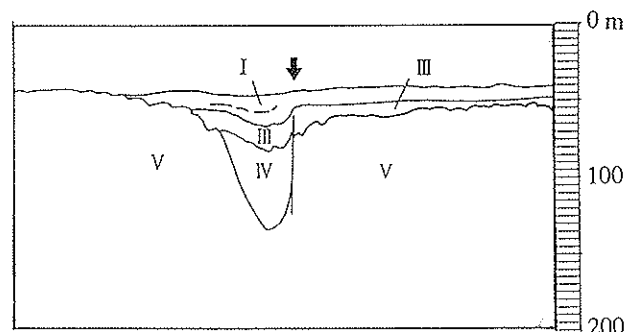
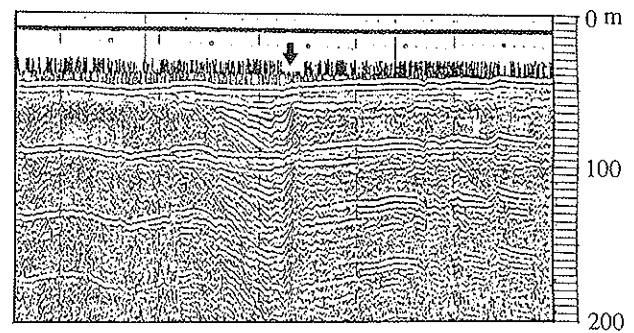
今回の調査は測量船「明洋」により1996年5月に行われた。音波探査はスーパーカー（発振エネルギー：1000J，発振間隔：1秒，周波数域：100～500Hz，記録長：0.5秒）とチャープソナー（発振エネルギー：30J，発振間隔：1/4秒，周波数域：3～8 kHz，記録長：50m）により行った。本地域の海底は比較的砂質であることと機器の不調から，表層部では良好な音波探査記録はあまり得られなかった。

測線は東西方向に約900m間隔で設定し，これと交差する南北方向の測線を約6km間隔で設けた。また，志賀島の内側の福岡湾（博多湾）内では航路に沿って東北東－西南西方向で4測線の探査を実施した。測線を第1図に示す。

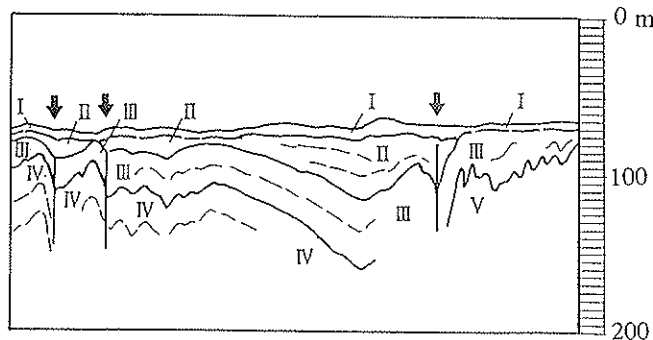
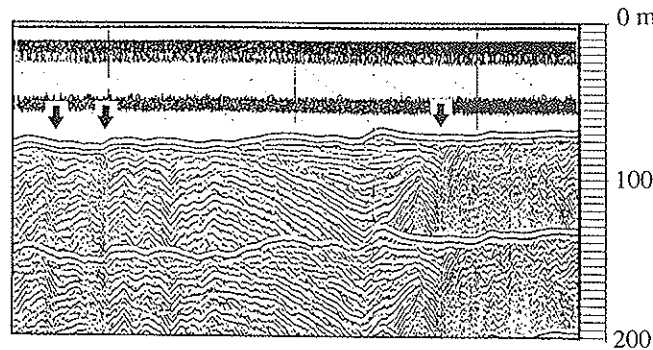
4. 地質構造

音波探査記録をもとに，本地域の地層を上位よりI～Vの5層に区分した。代表的な音波探査記録を第2～4図に示す。音響的層相や陸上地質との対比については表に示す。

今回の調査において認められた海底の断層を第5図に，また，地質断面を第6，7図に示す。今回の調査から明らかとなった，本海域における特徴は以



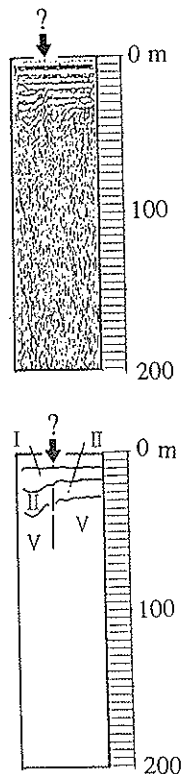
第3図 スーパーカー音波探査記録例とその解釈図。位置は第1図に示す。



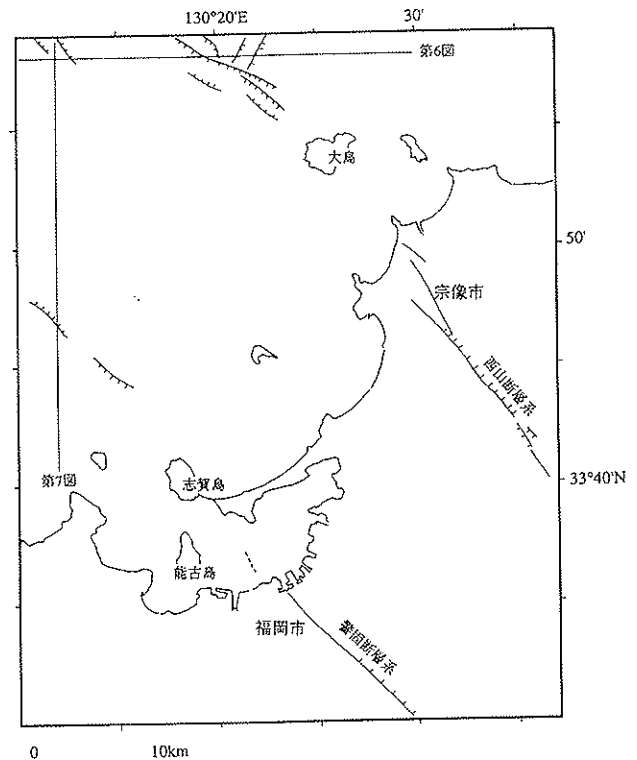
第2図 スーパーカー音波探査記録例とその解釈図。位置は第1図に示す。

表 音響的層相と地質対比

地質時代		陸域地質	海域	音響的層相
第四紀	完新世	沖積層	I	淡く音響的に透明, 下位層を不整合で覆う
	更新世	大坪砂礫層 奈多砂層 須崎層 仲原礫層	II	淡い連続性の良い縞状パターンを示す
			III	連続性の良い縞状パターンだが, 一部でやや散乱を示す
			IV	連続性の良い縞状パターンを示す
新第三紀	鮮新世	ア能 玄ル古 武カ島 岩リ	V	本海域の音響的基盤で, 強い散乱を示す. 一部では大きく傾いた反射面がわずかに認められる.
古第三紀	姪浜層群 早良層群 志免層群 福岡層群 粕屋層群			
白亜紀		関門層群 花崗岩類		



第4図 スーパーカー音波探査記録例とその解釈図。位置は第1図に示す。



第5図 福岡湾付近の断層分布。細い実線は第6, 7図に示す断面の位置。陸域の断層については, 活断層研究会 (1991) による。

下の通り。

北部九州に知られている西山断層系の延長にあたる、大島の北西に断層が認められる。ここでは、更新統において落差50m以上の垂直方向の変位の累積が認められる。岩淵(1996)は、海上保安庁が1982年の測量において取得したエネルギー量200Jのスーパーカー記録を再検討し、大島の北西の海底断層は沖積層にも変形が及んでいると主張している。しかし、この付近の海底は粗粒の砂で覆われている(海上保安庁水路部, 1983)ためチャープソナーでは透過力が弱く、一方、今回実施した放電式音波探査では出力が大きいため表層部の分解能に乏しく、沖積層に変形が及んでいるかは今回の結果からはよく判らなかった。この断層系は、今回の調査の範囲では断続的に約10km認められるが、断層の北西端は調査区域外にあるので総延長は不明である。

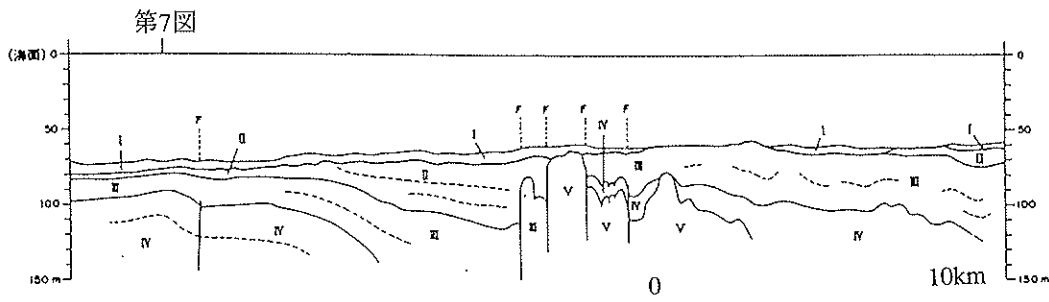
志賀島の北西約5kmに、北西-南東走向の断層が認められる。更新統に変形が及んでいるが沖積層における変形の有無についてはよく判らない。更新統における変位は落差十数m程度にすぎない。今回の調査の範囲では延長約10km程度にわたって追跡できるものの、断層の北西端は調査区域外にあるので総

延長は不明である。

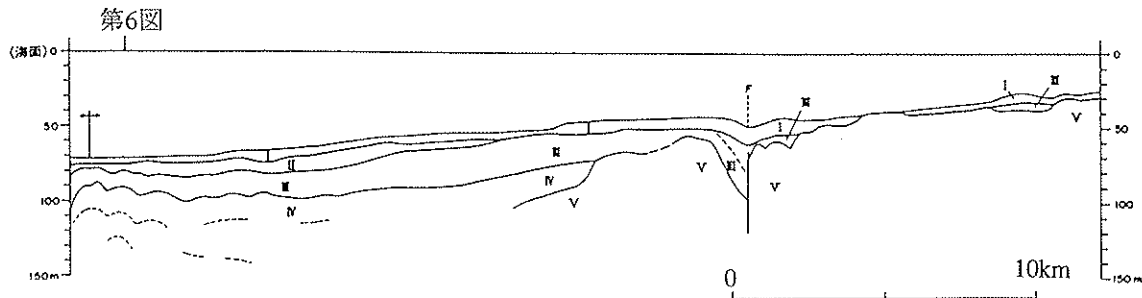
博多湾内では4測線の調査を行った。断層の可能性のある記録は1測線でのみ得られた。ここでは、更新統の基底で数m程度の西落ちの段差が認められる。ただし、音波探査記録からは堆積層内での変形の様子ははっきりしないため、変位の累積等についても分からない。断層ではなく単なる浸食地形の可能性もある。なお、警固断層の延長付近に位置しているものの、落ちの方向が逆であることから警固断層そのものではないと考えられる。警固断層は北部ほど変位量が大きいとされている(鬼木ほか, 1996)が、今回の調査では警固断層が存在する陸岸から2kmの地点を横切る測線では、警固断層と同じ東落ちの断層は検出されなかった。

謝辞

本調査が完遂できたのは、測量船「明洋」船長以下乗組員の方々の努力に負うところが大きい。作業が円滑かつ支障無く進めることが出来たのは、第七管区海上保安本部の方々のご支援・ご助力の賜である。また、資料の解析にあたっては、株式会社パスコ長田智技師の全面的なご助力を頂いた。これらの



第6図 福岡湾およびその周辺の地質断面。
断面の位置は第5図に示す。



第7図 福岡湾およびその周辺の地質断面。
断面の位置は第5図に示す。

方々に記して深く感謝いたします。

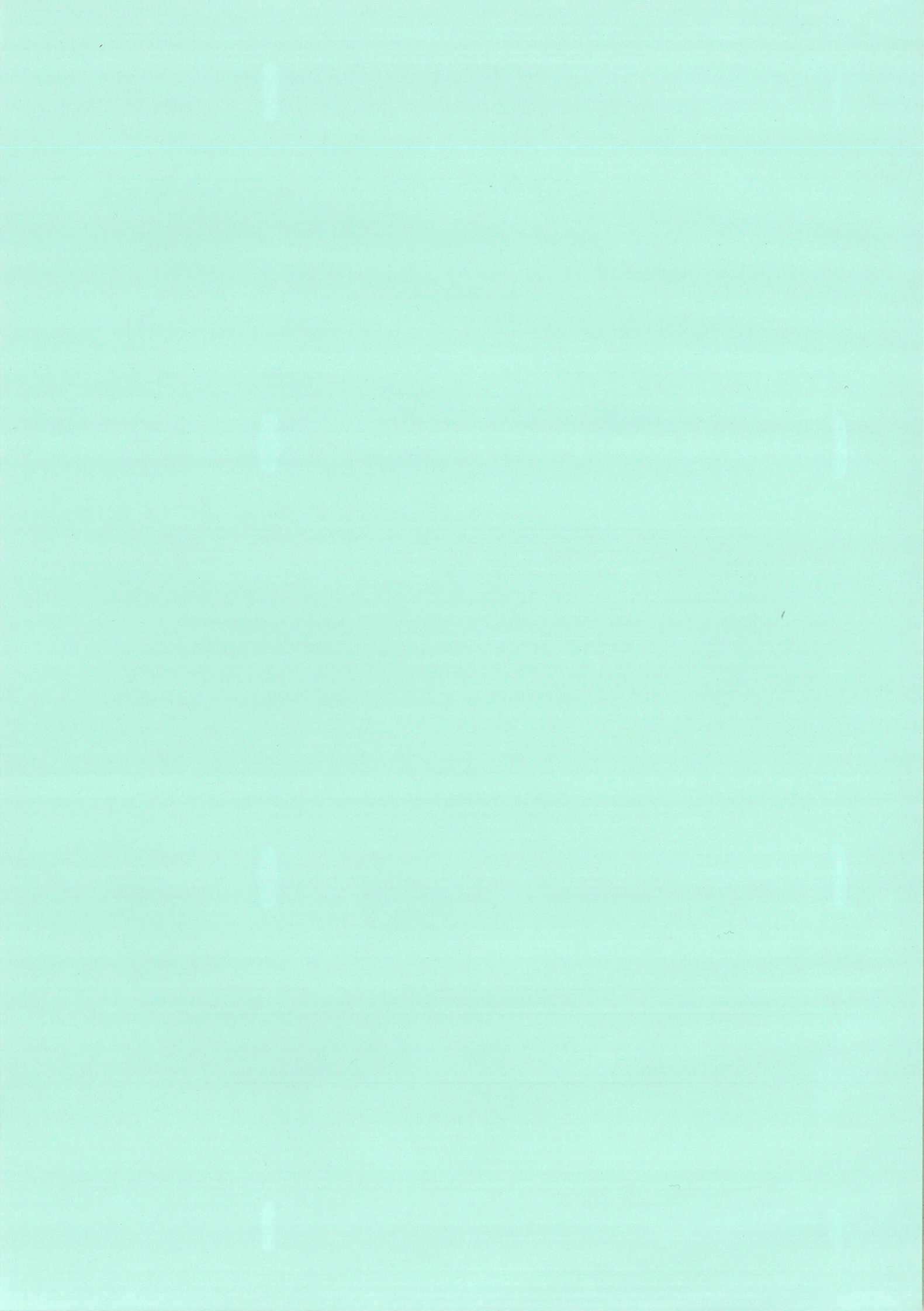
参 考 文 献

岩淵洋：九州北岸，大島沖の海底活断層，地質学雑誌，102，271-274，(1996)

海上保安庁水路部：沿岸の海の基本図「白鳥」，海図6344-4S，海上保安庁，(1983)

活断層研究会：新編日本の活断層，東京大学出版会，(1991)

鬼木史子・松田時彦・下山正一：福岡市を走る警固断層の詳細位置と地下形態，地球惑星科学関連学会合同大会予稿集，155，(1996)



10 - 10 福岡県西方沖地震の震源域における反射法探査記録について
Seismic profiles around the hypocentral region of the earthquake Off-shore West
of Fukuoka prefecture

海上保安庁海洋情報部

Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

福岡県西方沖地震の震源域において、平成8年に実施した反射法探査記録について、余震域部分を抜き出して記録を確認した(第1図)。

その結果、余震域内の反射法探査記録(音源:スパーカー)からは、表層の堆積層が厚さ10m以下と薄く、音響的基盤層(ここではV層:第三期層に対比)が海底下浅所まで分布しており、地層を切るような明瞭な断層の判別は困難であった。

A - A'断面では、記録の中央に断層が確認できるが、余震分布範囲の海底下には断層は確認できない(第2図)。B - B'断面では、音響的基盤層が海底直下まで分布しており、ところどころ西傾斜の層理面がみられる(第3図)。C - C'断面では、記録の中央に断層が確認できるが、余震分布範囲では音響的基盤層が海底直下まで分布しており、断層は確認できない(第4図)。

調査スペック

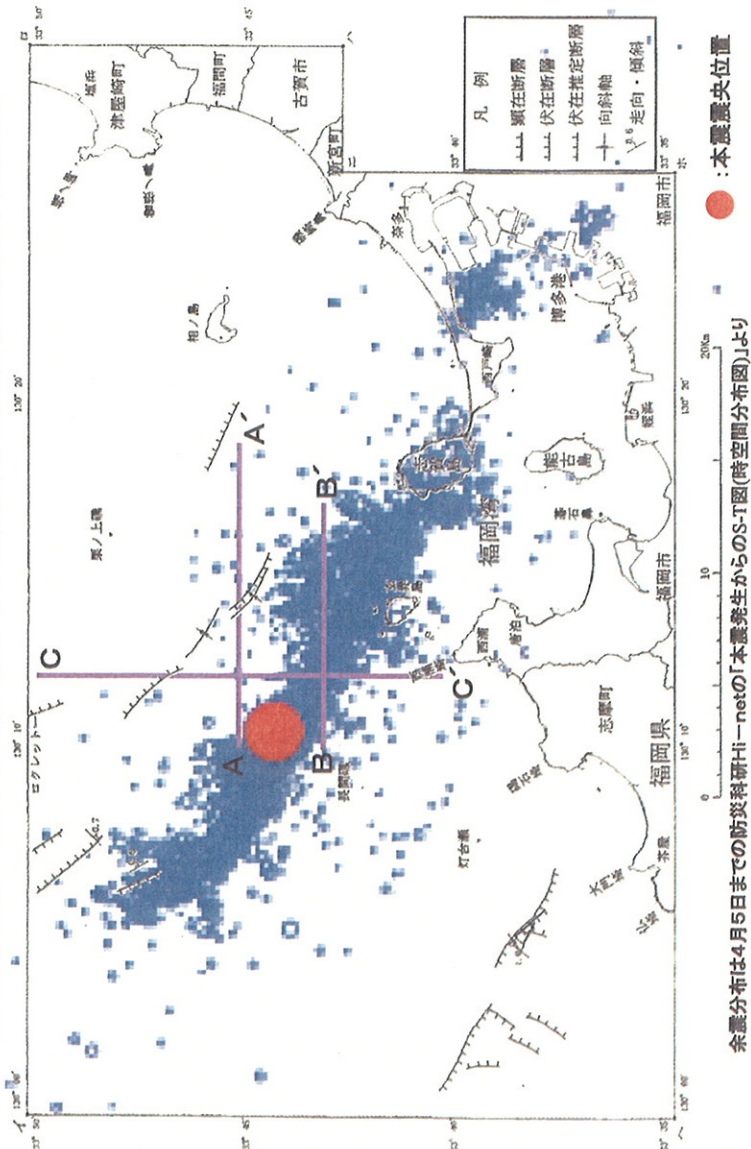
- ・調査船:測量船「明洋」
- ・調査時期:平成8年7~9月
- ・調査機器:スパーカー

発振エネルギー 1000J

発振間隔 1秒

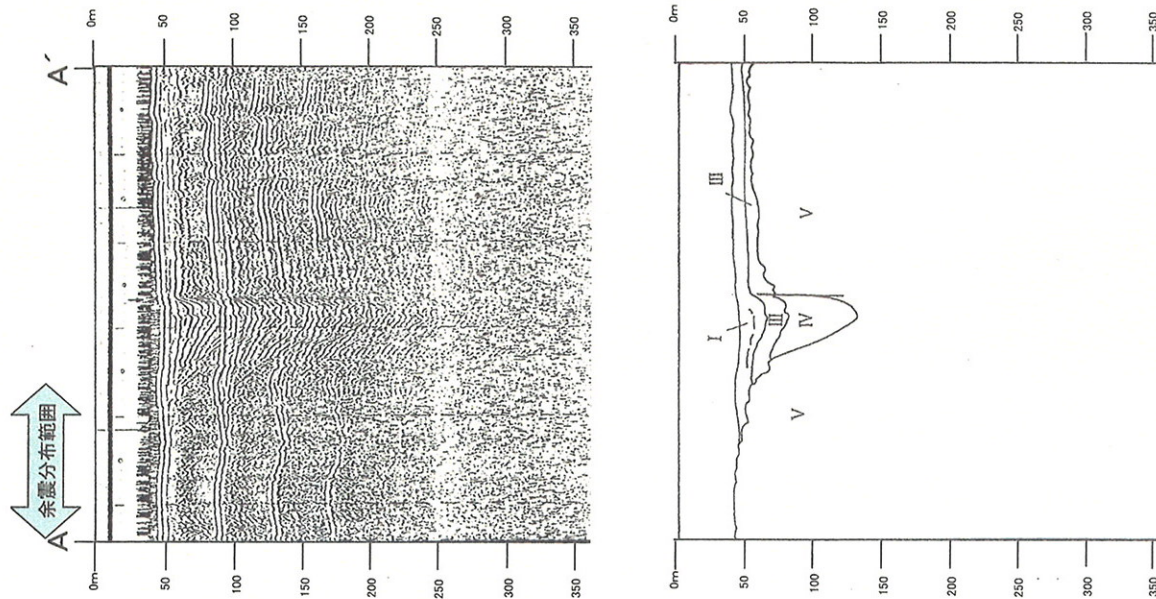
周波数域 100 ~ 500Hz

福岡県西方沖地震の震源域周辺の断層分布と反射法探査断面の位置

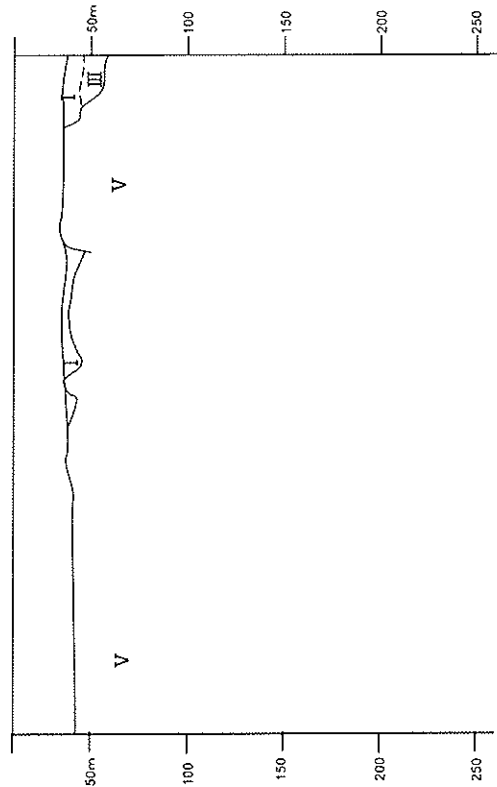
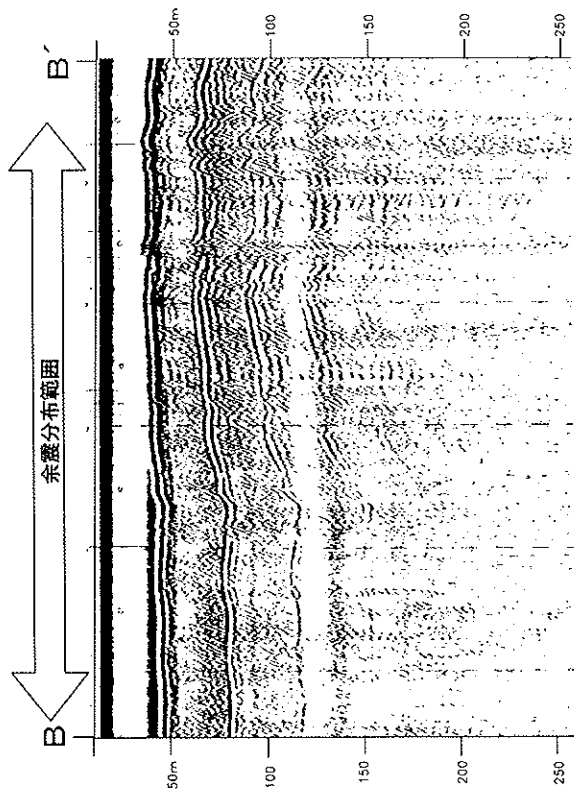


第1図 震源域周辺の断層分布と反射法探査測線

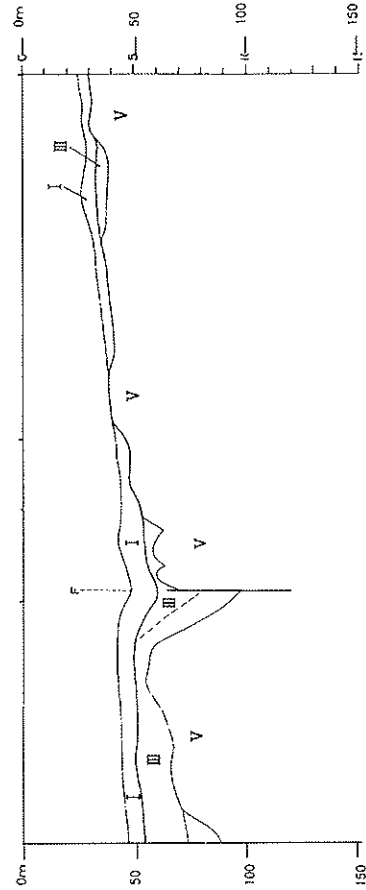
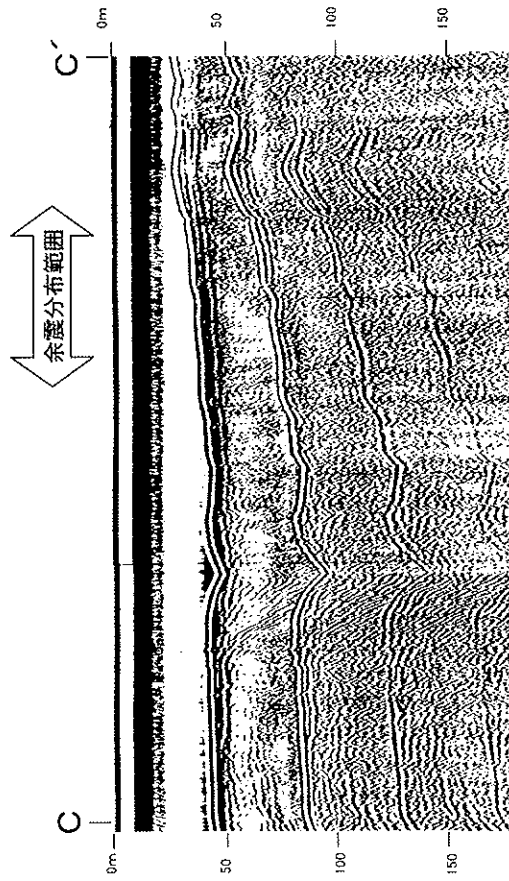
Fig.1 Distributions of faults and track lines of seismic reflection survey around the hypocentral region.



第2図 スパーカーによる反射法探査記録(A-A')とその地質断面
 Fig.2 Seismic reflection profile(A-A') by the sparker and the geological section.



第3図 スパーカーによる反射法探査記録 (B-B') とその地質断面
 Fig.3 Seismic reflection profile(B-B') by the sparker and the geological sections.



第4図 スパーカーによる反射法探査記録 (C-C') とその地質断面
 Fig.4 Seismic reflection profile(C-C') by the sparker and the geological sections.

10 - 11 福岡県西方沖地震の震源域における海底調査速報（海底地形調査と反射法探査）

Preliminary report of sea-floor surveys around the hypocentral region of the earthquake west off Fukuoka prefecture (Bathymetric survey and Seismic reflection survey)

海上保安庁海洋情報部

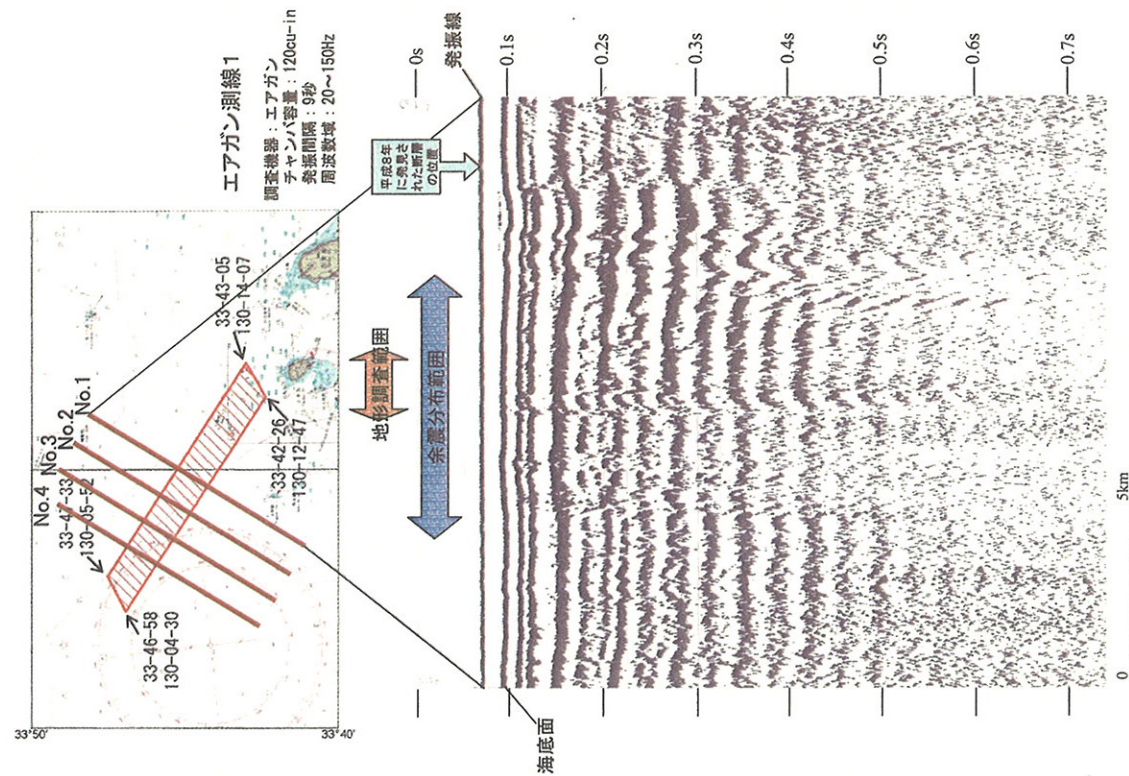
Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

福岡県西方沖地震の震源域において、測量船「はやしお」により海底地形調査を、測量船「明洋」により反射法探査を実施した。

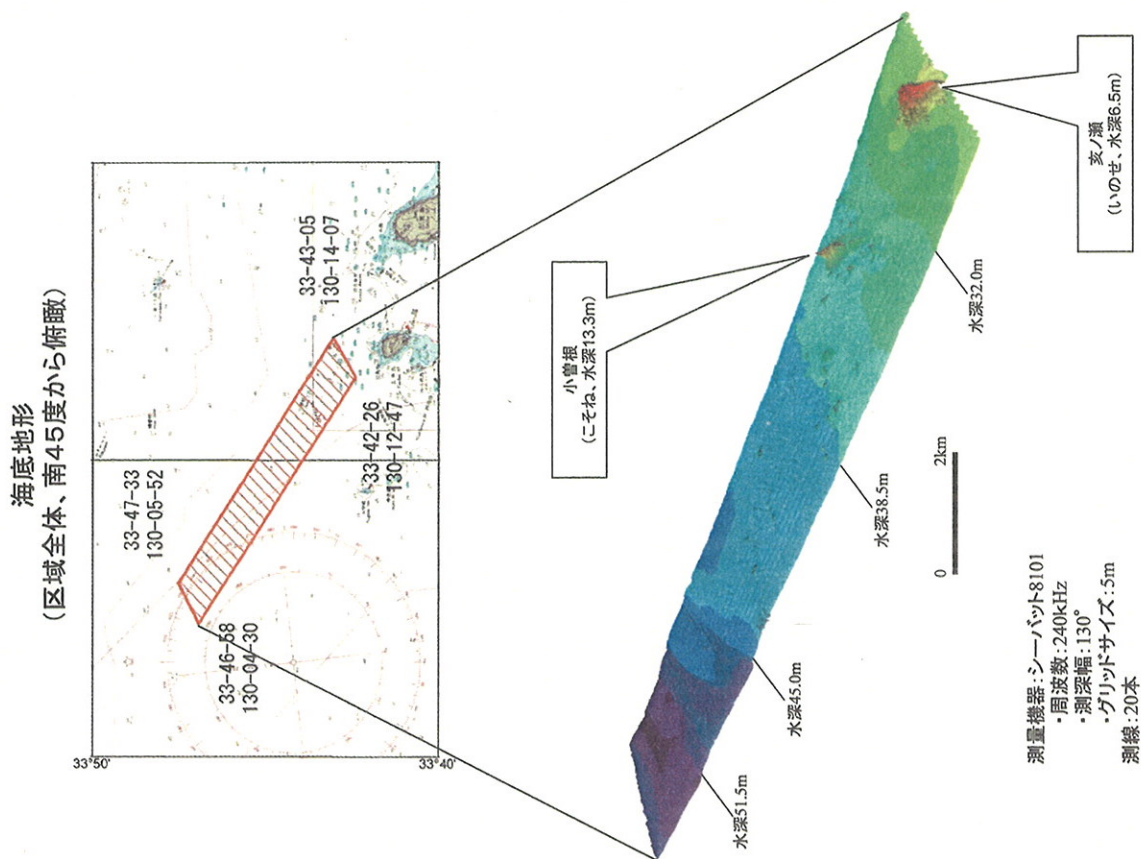
海底地形調査は、玄界島北西沖の余震域に沿った細長い区域で実施した。調査区域の南東部には「亥ノ瀬（いのせ、水深 6.5m）」「小曾根（こそね、水深 13.3m）」と呼ばれる浅瀬があり、調査区域の中央部は水深約 38m の平坦地に人工漁礁が点在している。調査区域の北西部には北東－南西方向の筋状の地形が存在し、これは高さ 1m 程度でほぼ等間隔に並んでいるのでサンドウエーブ（砂の堆積地形）であろう。このサンドウエーブ状の地形は、調査区域の中央部・南西部にも高さの低いものが存在する。今回の地震の起震断層と思われるような断層状の地形や横ずれ断層特有の雁行割れ目は、海底地形に現れていない（第 1 図）。

玄界島北西沖の余震域において、北東－南西方向に測線を 4 本設定し、エアガン、スパーカー、チャープソナーによる反射法探査を実施した。エアガンによる反射法探査記録は、水平方向に短く詰まっており、海底面の多重反射が強く現れているので、明瞭に地層が描画されていない（第 2 図）。チャープソナーによる反射法探査記録は、底質が砂、または第三紀層または火成岩と思われる岩石が露出しているため、ほとんど地層が現れていない。スパーカーによる反射法探査記録は、多重反射よりも浅い部分に地層が現れている。測線 1 には平成 8 年に発見された断層が認められ、測線 2 から 4 には、多重反射よりも浅い部分で第三紀層と推定される地層の褶曲構造がみられる（第 3 図～第 5 図）。

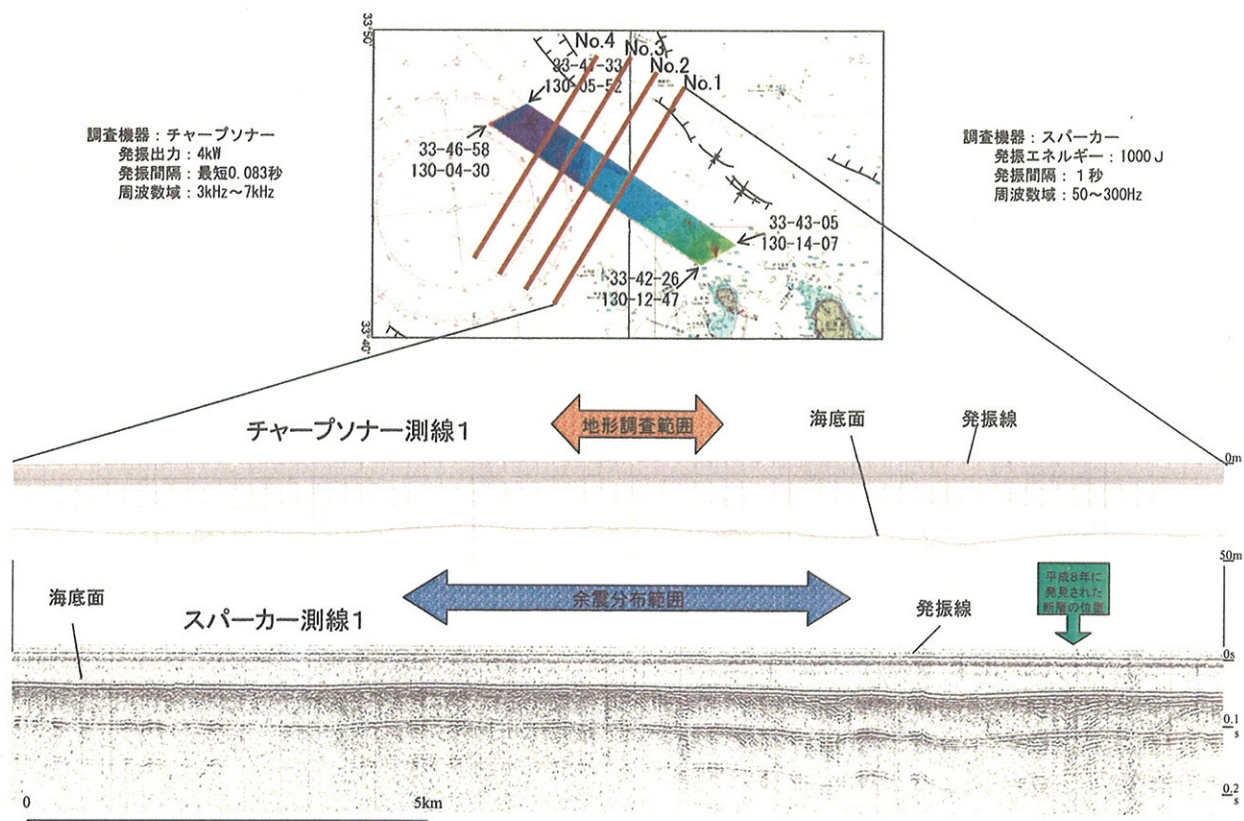
以上のように、今回の調査では、福岡県西方沖地震の震源域の海底地形や反射法探査記録には、明瞭な断層地形や断層を示す構造は現れていない。



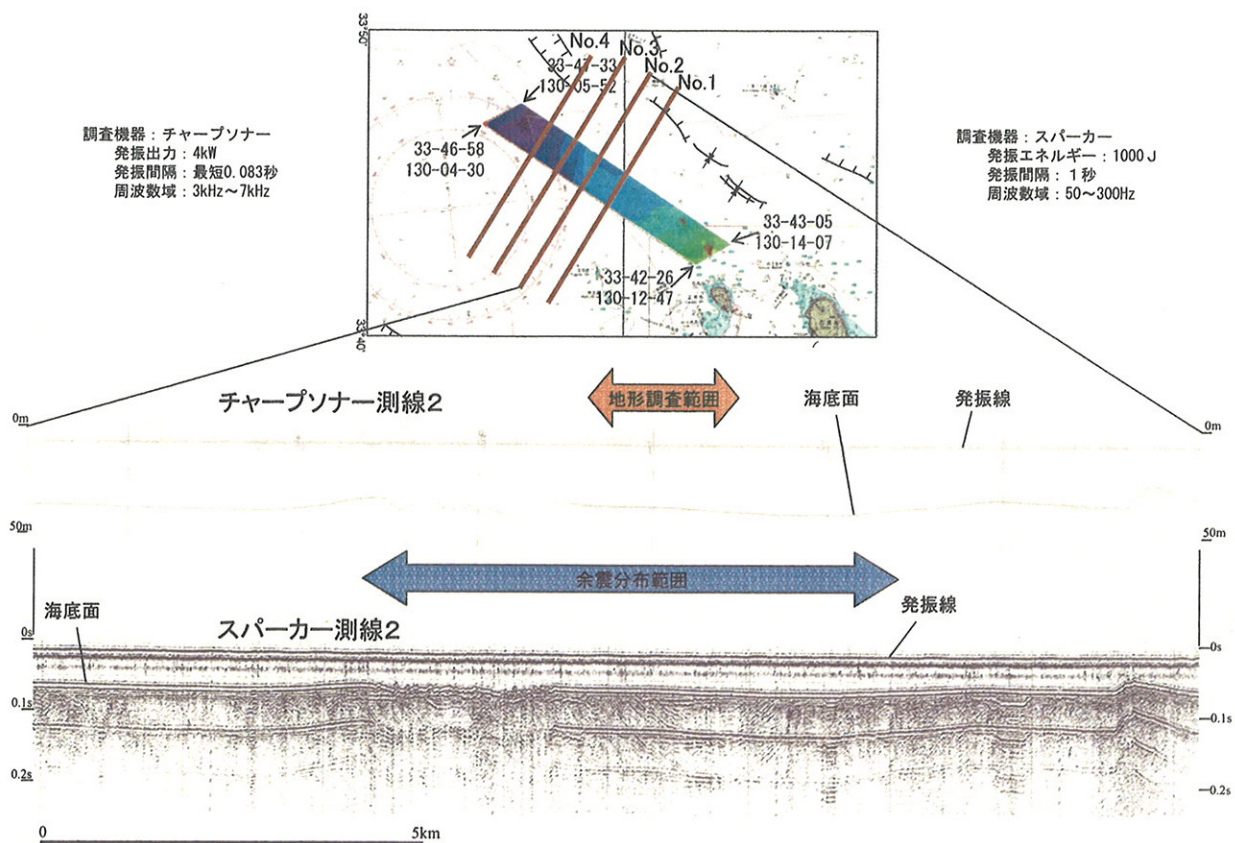
第2図 エアガンによる音波探査記録
Fig2 Seismic profile(Line1) by the air-gun system.



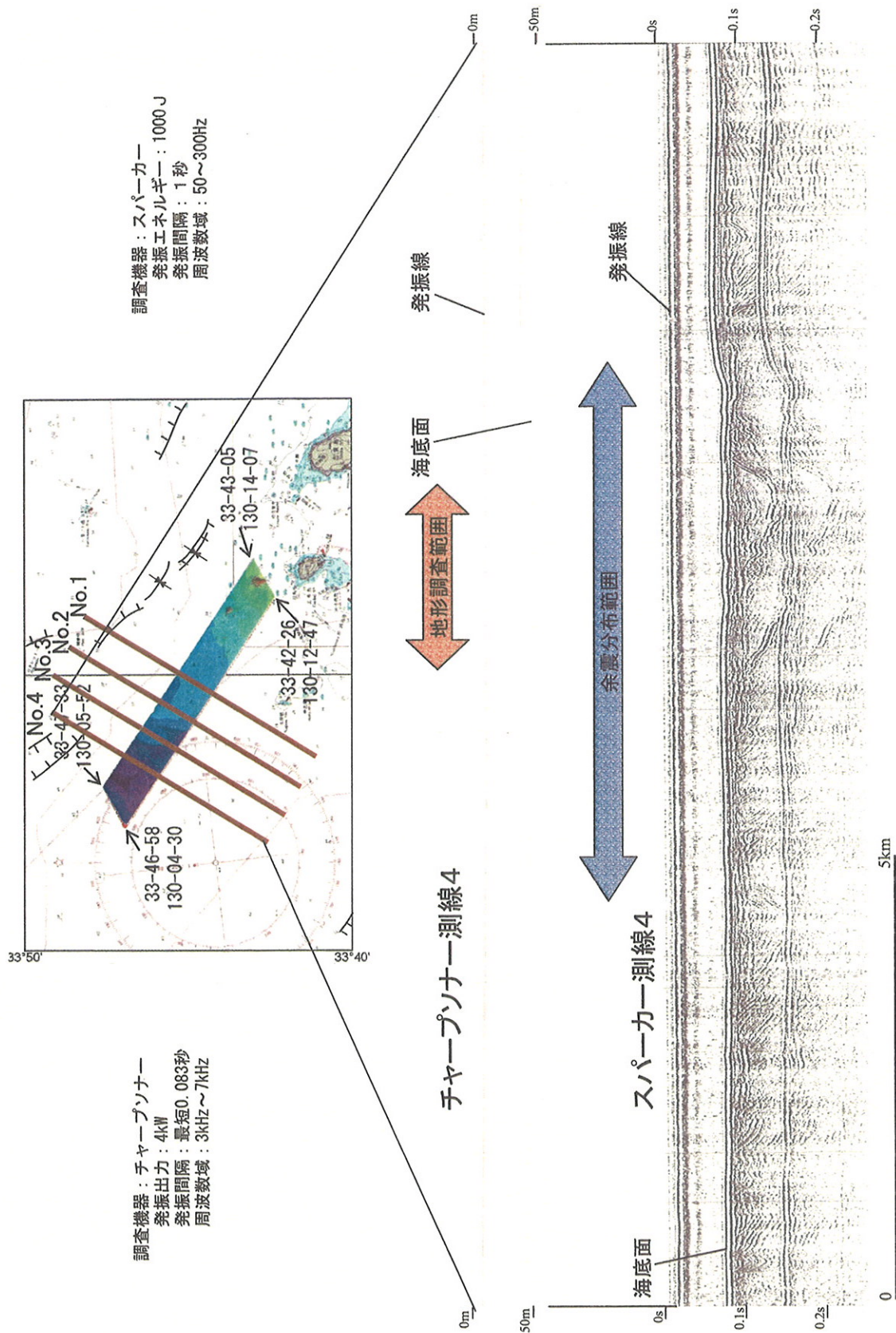
第1図 海底地形
Fig.1 Bathymetric map.



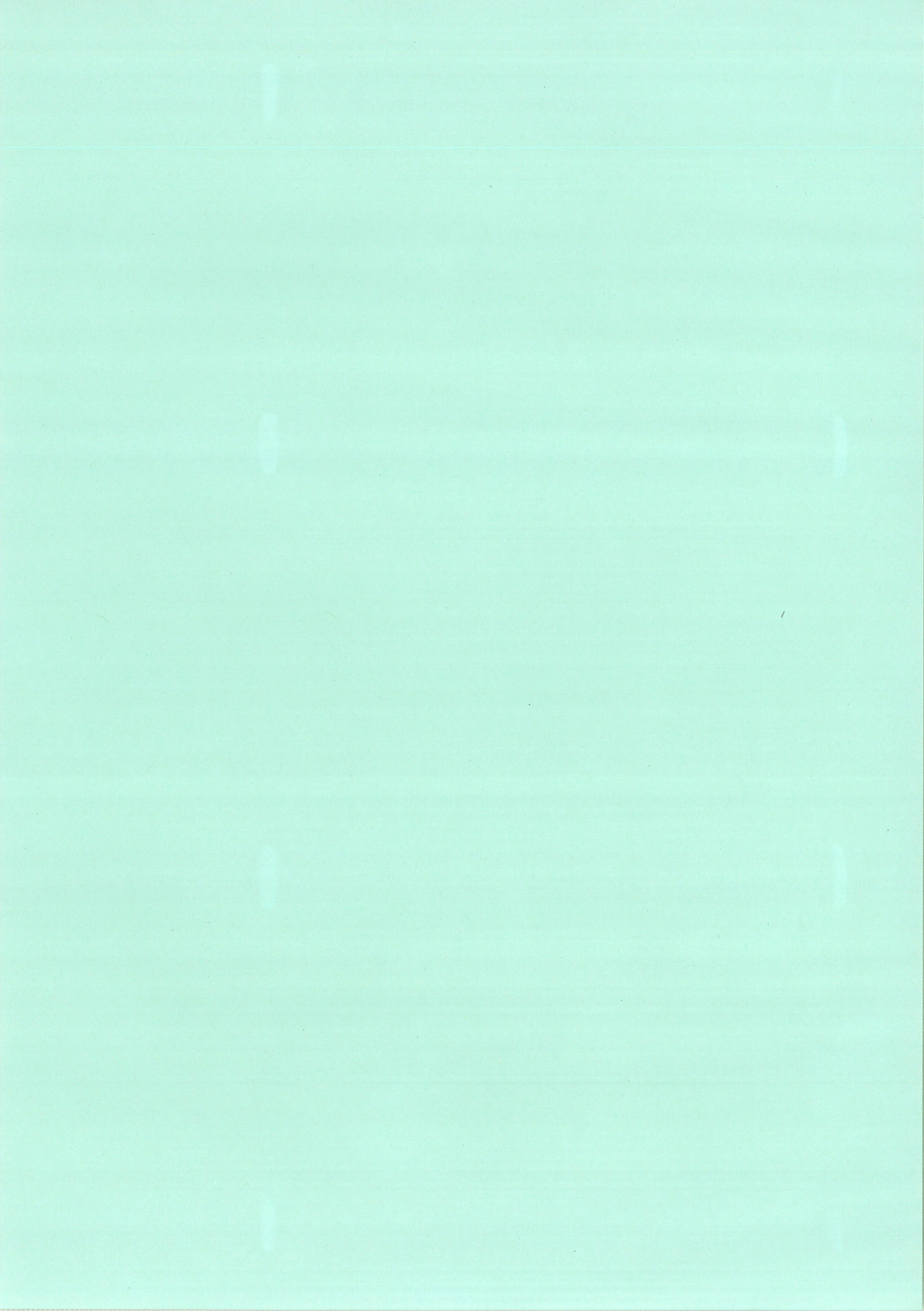
第3図 チャープソナー，スパーカーによる音波探査記録（測線1）
Fig3 Seismic profiles(Line1) by chirp sonar and sparker systems.



第4図 チャープソナー，スパーカーによる音波探査記録（測線2）
Fig4 Seismic profiles(Line2) by chirp sonar and sparker systems.



第5図 チャープソナー、スパーカーによる音波探査記録(測線4)
 Fig5 Seismic profiles(Line4) by chirp sonar and sparker systems.



。阿部信太郎・宮藤勝義・井上大榮（電力中央研究所）
岡田篤正（京大）

Multi channel seismic reflection survey around the source region of 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake

Shintaro Abe, Katsuyoshi Miyakoshi, Daiei Inoue (CRIEPI)
Atsumasa Okada (Kyoto Univ.)

はじめに

2005年3月20日に福岡県西方沖で発生した地震 (Mj7.0) の震源断層に対応すると考えられる活断層は、既往文献上に記載されていない。本震の発震機構は東西方向に圧縮軸をもつ横ずれ断層型で、余震分布からは北西-南東走向で鉛直な断層面をもつ震源断層の性状が推定されている。また、マグニチュードが大きく、震源が比較的浅かったにもかかわらず顕著な津波は観測されておらず、現時点においては、海底面上への地震断層の出現は確認されていない。

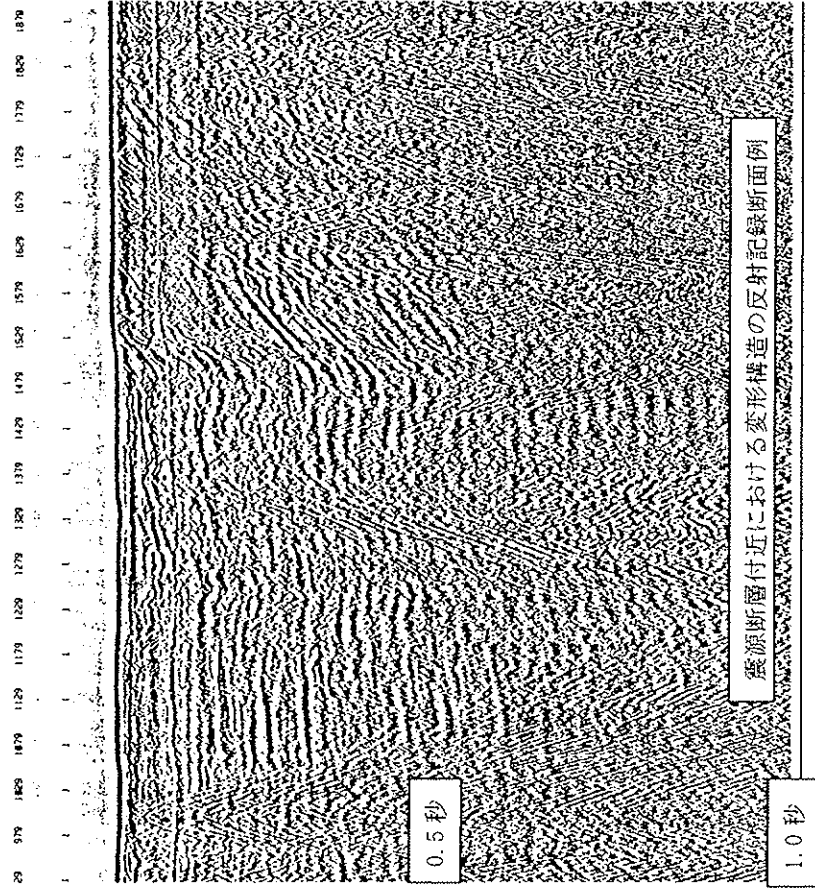
通常の海底活断層調査では、反射法地震探査記録断面から把握される反射面の上下変位より断層の存否を確認する。横ずれ断層に対しては、活動時の上下変位量が少ないため、反射法地震探査記録断面による存否の確認が困難とされてきた。しかし、現実的には、幾何学的に100%横ずれ成分のみの断層変位というのは考え難く、活動を繰り返すうちに、上下変位成分についても基底上には累積されるはずである。

本研究においては、2005年福岡県西方沖地震の震源断層に関連した活構造を把握するため、比較的深部を対象とした探査仕様により震源域周辺を調査した。

マルチ・チャンネル反射法地震探査の概要と震源域の活構造

探査は、震源域を横断する方向に測線長15km~20km、間隔約2kmで5測線実施

した。チャンネル数24ch, チャンネル間隔12.5m, ショット間隔25mである。震源はG1ガン (G:45cbl, I:105cbl) を使用した。現段階における処理断面は、詳細な速度解析, 各種フィルターのパラメータに検討の余地はあるものの、地質構造の概略についてはほぼイメージングされていると考える。余震分布から推定される震源断層の直上付近の音響基盤に、海底面上にもわずかな撓みを与えるベイズ状の落ち込みが確認された。この変形構造の詳細な活動性等については更なる検討を要するが、余震分布とは、ほぼ同じ走向に分布している。また、海上保安庁による調査でとらえられた活断層は、この変形構造の北東側約5kmに位置しており、それとは別の活構造である可能性が高い。



10 - 6 博多湾警固断層の地震履歴

Paleoseismicity on the extension of the Kego fault in Hakata Bay

高知大学理学部・東京大学地震研究所・大分大学教育福祉科学部・広島工業大学環境学部・

西日本技術開発

Faculty of Science, Kochi University, Earthquake Research Institute, University of Tokyo,
Faculty of Education and Welfare Science, Oita University, Faculty of Environmental
Studies, Hiroshima Institute of Technology, West Japan Engineering Consultants, Inc.

2005年3月20日の福岡県西方沖の地震に関連して博多湾内で音波探査を行ったところ、警固断層の延長部が認められた。断層の両側でピストンコアリングにより海底下約7mの試料を採取して年代測定を行い、音波探査記録を参照して過去の地震履歴を推定した。

第1図は福岡西方沖の地震の5月7日までの余震分布（気象庁一元化データ）と警固断層¹⁾およびその海底延長部を示す。博多湾内の警固断層海底延長部は拡大して第2図に示した。第1図から全長約50kmの一連の活断層系の存在が示唆される。余震が少ない志賀島北西部を境に走向がやや変化し、北部は西北西-東南東の走向、南部は北西-南東の走向を持つ。3月20日の福岡県西方沖の地震で北部が活動し、南部の北端付近深部が4月20日の最大余震で活動したと考えられる。

図の青色の線は今回の音波探査測線、黒と緑の測線は、それぞれ1996年に実施された福岡県活断層調査検討委員会²⁾と2000年の福岡市警固断層調査検討委員会³⁾の測線である。過去の音波探査記録も今回見直しを行った。測線を横切る赤線は、沖積層が変位している活断層、黒線は、洪積層のみが変位している活断層であり、測線との交点が観測位置にあたる。ケバは低下側を示す。博多湾中央部の活断層は、左横ずれを示すエシェロン状の分布をしており、主に北東側落ちで、警固断層と同様の横ずれ、縦ずれ成分を持っている。さらに、その位置が警固断層の北西延長部にあることから警固断層の延長部と見られる。その北端は、最大余震の余震震央分布の南端と同じ方向に延びており、重なっている。最大余震の余震分布がほぼ垂直の面内に分布していることから、ほぼ垂直の断層が存在し、その上端部分が海底活断層として今回見いだされたと考えることができる。

第2図に示される福岡ヤフードーム沖（ドームの北約2km）の集中した地震活動が注目される。気象庁によれば、最大がM1.6で次がM1.5、それぞれ3月22日と4月21日とに、本震および最大余震に対応するかのようになっている。マグニチュードが小さいため見落とされがちだが、深さは15km程度で警固断層系の最深部で起っているようである。

第2図に示す試料採取地点のHTW05-5とHTW05-2とを通過し、警固断層を横切る音波探査記録を第3図に示す。沈下側深さ約2.6mから幅70cm程度の反射層が見え、その約50cm下の層もこれらの層と平行しており、約30cmの上下変位が認められる。これらの平行している層より上部に最新イベントの層準があると判断した。また、沈下側深さ約6.2mの反射層と約7mの反射層は平行しており、約60cmの上下変位が認められる。よって、沈下側深さ約3.8mから6.2mの範囲に一つ前のイベントの層準があると判断した。また沈下側約7m以深にもイベント層準が認められる。

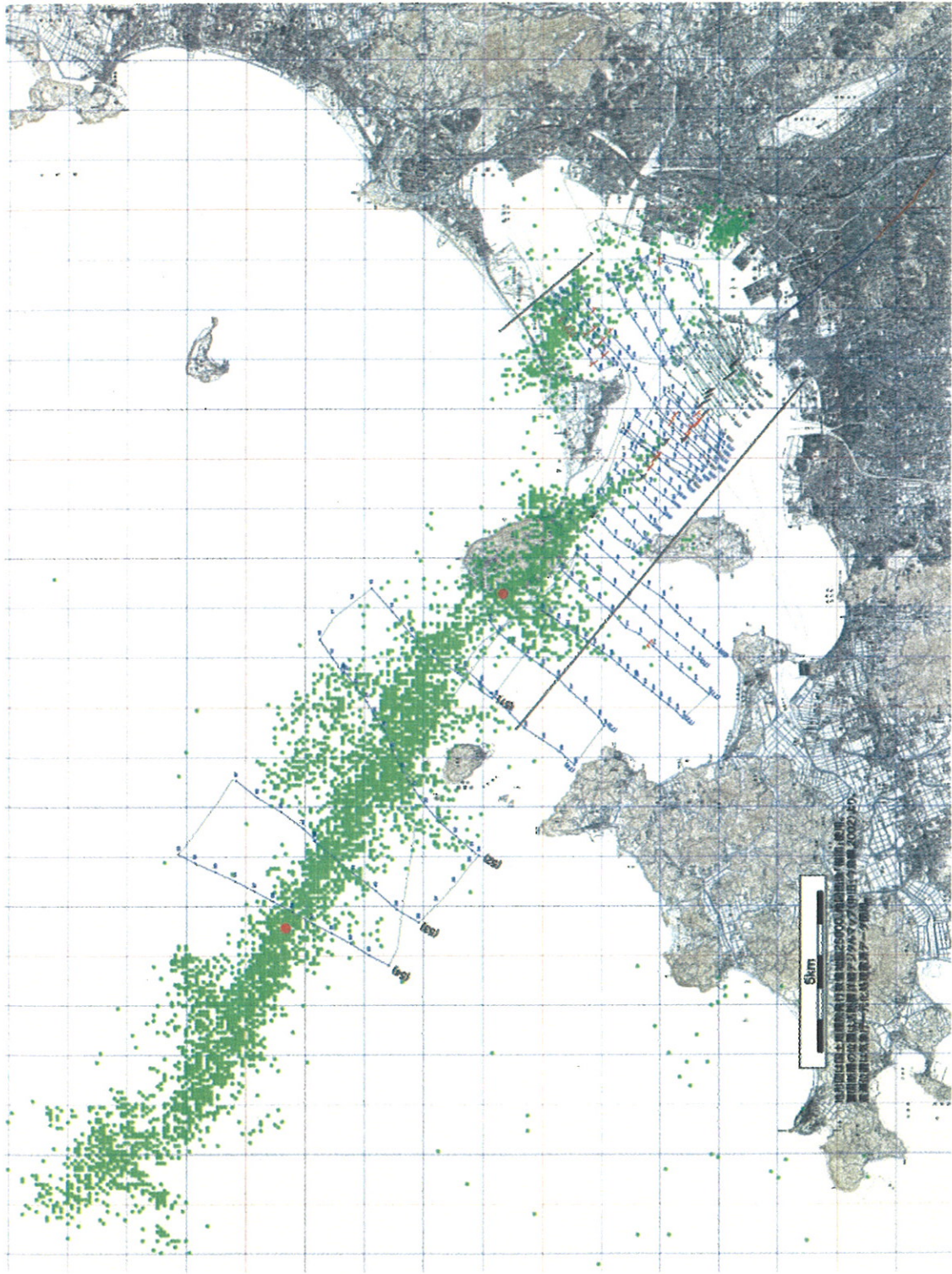
第4図は採取された海底堆積物コア試料およびその年代測定結果と、音波探査記録（拡大図）との対比を表わす。数字は暦年補正済みの年代値（BC）で、海洋リザーバー効果は400年を仮定し、2シグマの範囲を示した。活断層の長期評価手法⁴⁾に従って丸めた年代値は○年前と書かれている。最新イベントは4,500年前以降、一つ前のイベントは6,600年前以前で8,800年前以降と推定さ

れる。8,800年前以降2回のイベントがあることから、平均活動間隔は $8,800/3 \sim 8,800=2,900 \sim 8,800$ 年、最新活動時期が4,500年前以降なので、30年確率は0～6.5%と試算される。なお679年（水縄断層の地震）以降、警固断層では大地震が発生していないと考え、平均活動間隔を二つのイベントの間隔2,000～7,500年で近似し、最新イベントを4,500年前以降、1300年前以前とすれば、30年確率はほぼ0～10.4%となる。

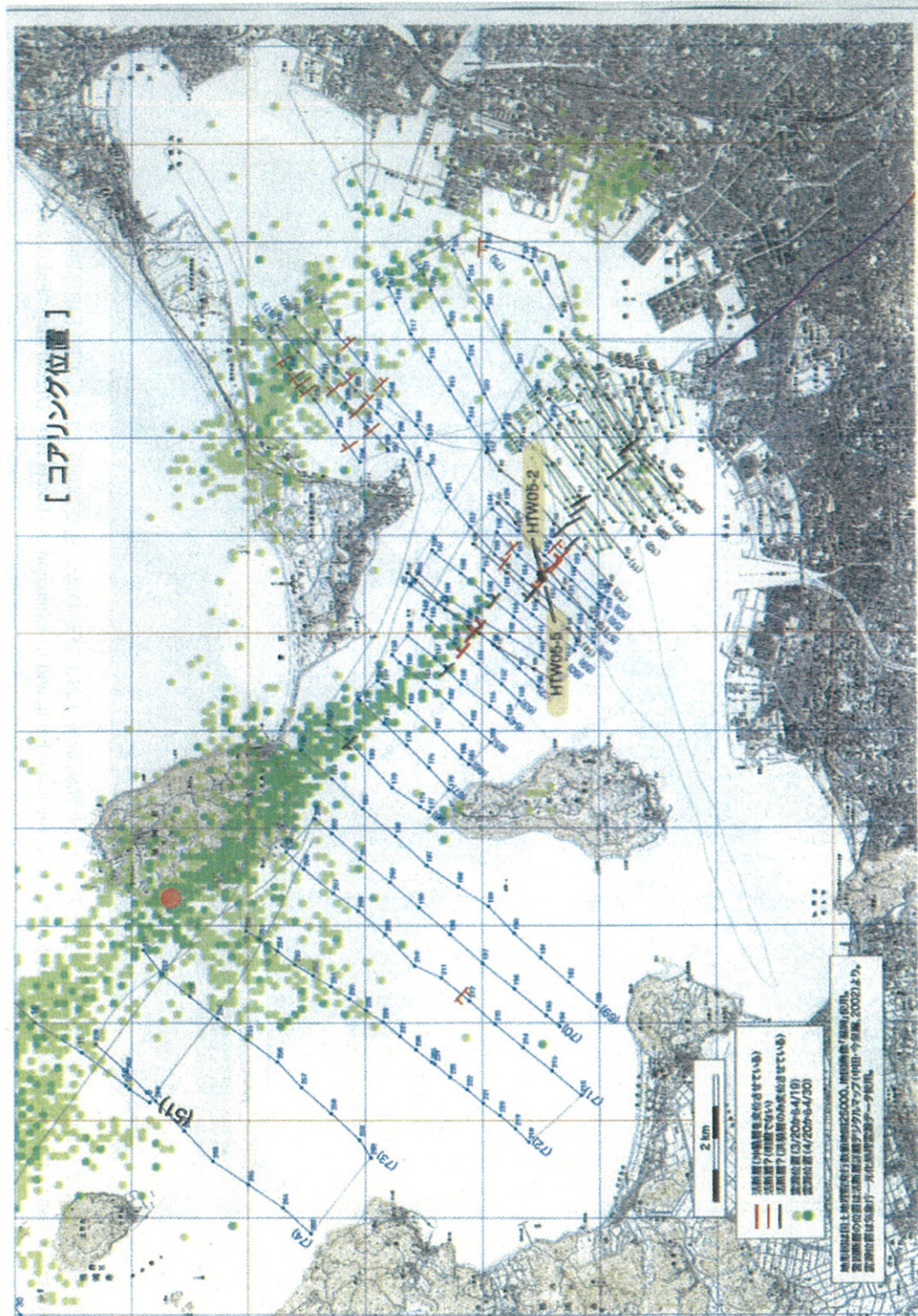
（岡村眞・松岡裕美・島崎邦彦・千田昇・中田高・平田和彦）

参考文献

- 1) 中田高・今泉俊文編，活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版会，2002.
- 2) 福岡県（総務部消防防災課），警固断層系に関する調査，平成7年度・平成8年度地震調査研究交付金成果報告会予稿集，148-152, 1997.
- 3) 下山正一・磯望・松田時彦・市原季彦・千田昇・岡村眞・茂木透・鈴木貞臣・落合英俊・長沢新一・今西肇・川畑史子・矢ヶ部秀美・樗木政昭・松浦一樹，警固断層，薬院地区（福岡市）でのトレンチ調査報告，活断層研究，25，117-128，2005.
- 4) 長期評価部会，基盤的調査観測対象活断層の評価手法，106pp.，2005.



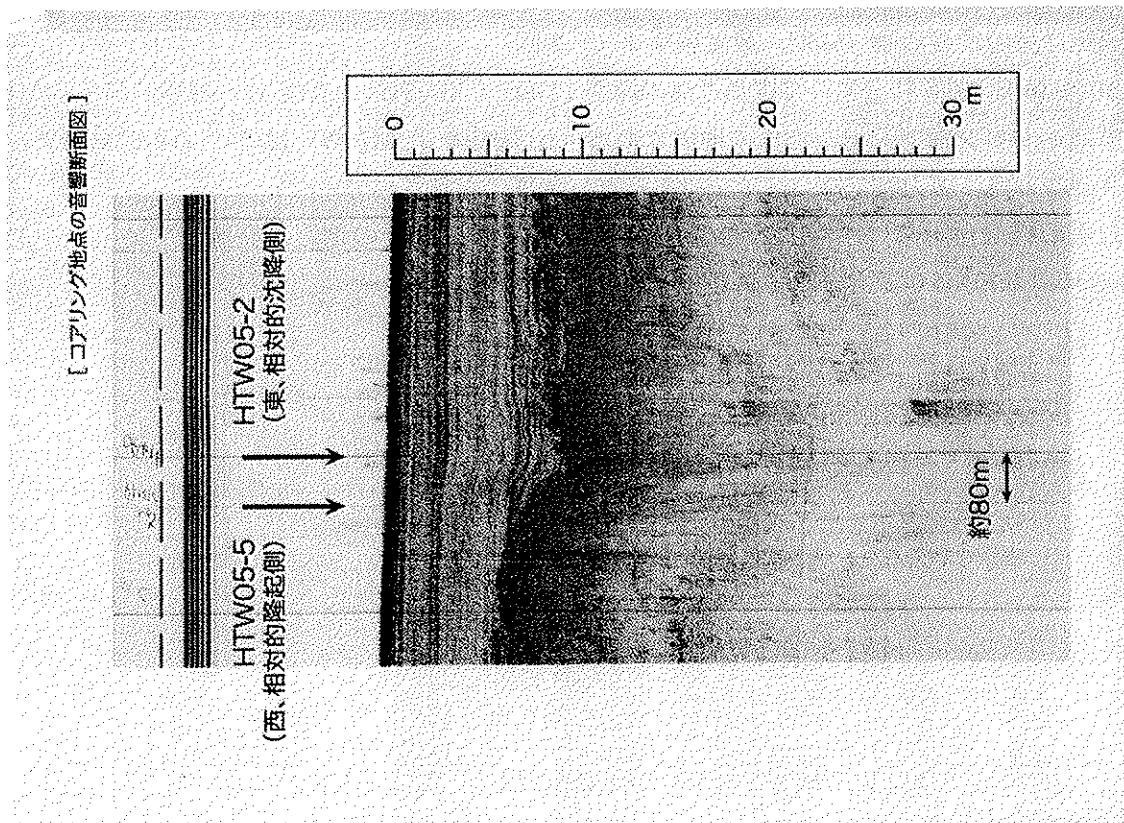
第1図 福岡西方沖の地震の余震分布 (気象庁一元化データ) と警固断層¹⁾およびその海底延長部地形図として国土地理院数値25000地図画像「福岡」を使用.
 Fig.1 Aftershock distribution of the 20 March 2005 earthquake, the Kego Fault, and its extension in Hakata Bay Digital map "Fukuoka 25000" published by GSI is used.



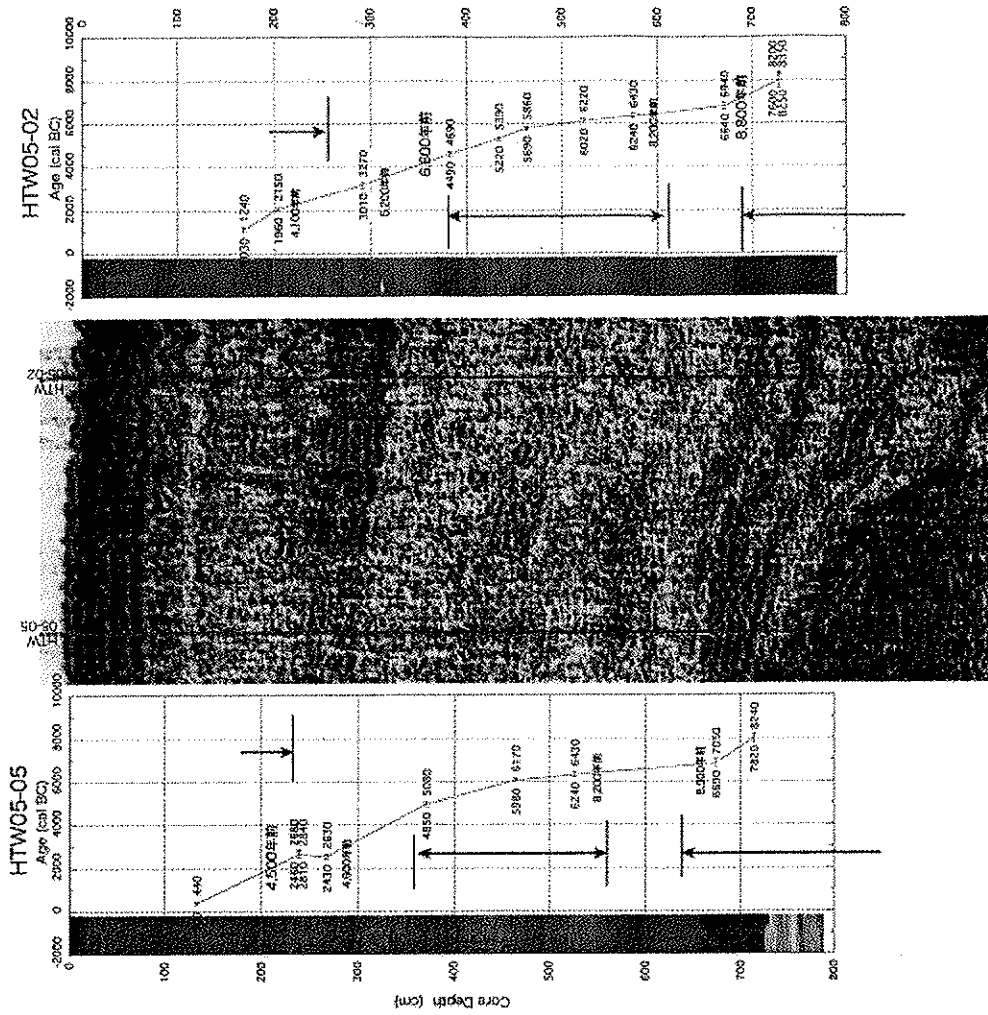
第2図 コア試料採取地点 (HTW05-5 と HTW05-2) と博多湾内の活断層分布地形図として国土地理院数値 25000 地図画像「福岡」を使用。黄緑色は最大余震発生前日までの余震、緑色は以降の余震 (いずれも気象庁一元化データ) を示す。青、黒の細線は今回、1996 年 (福岡県活断層調査検討委員会²⁾) および 2000 年 (福岡県活断層調査検討委員会³⁾) の音波探査測線を、博多湾内の短い太線 (赤色および黒色) は活断層を示す。

Fig.2 Piston-coring sites, HTW05-5 and HTW05-2, and distribution of the active faults in Hakata Bay

Digital map "Fukuoka 25000" published by GSI is used. The aftershocks occurring prior to 20 April when the largest aftershock took place and the aftershocks taking place on 20 April or later, 1996 or later, are shown by light green circles. The blue, green and black thin lines indicate, respectively, survey lines in 2005, 1996, and 2000. The red and black short thick lines show active faults.



第3図 試料採取地点をとる音波探査記録
Fig.3 Seismic profile on a survey line passing near the two coring sites



第4図 海底堆積物コア試料およびその年代測定結果と音波探査記録 (拡大図)
Fig.4 Sampled core sediments, dating results, and blow-up of the seismic profile

2005年福岡県西方沖の地震の観測記録について

平成19年2月

目 次

1. はじめに	1
2. K-NET 観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較	1
2.1 震源近傍の K-NET 観測記録	1
2.2 観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較	2
3. 震度計による観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトル の比較	3
3.1 震源近傍の震度計による観測記録	3
3.2 観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較	3
4. 参考文献	4

1. はじめに

2005年福岡県西方沖の地震では、震源周辺の地震観測網のうち、震源近傍と考えられる一部の観測点において観測記録が得られている。申請者は、2005年福岡県西方沖の地震を耐震設計上「敷地ごとに震源を特定する地震」として取り扱うとしているが、震源近傍の観測記録という観点から、参考までに、これらの震源近傍の観測点で得られた観測記録と同じく震源近傍の観測記録を収集して設定された加藤ほか(2004)⁽¹⁾による震源を事前に特定できない地震による地震動(以下「加藤ほか(2004)による応答スペクトル」という。)を比較している。

2. K-NET 観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2.1 震源近傍の K-NET 観測記録

加藤ほか(2004)では断層最短距離 X_{sh} が20km以内の硬質岩盤上の観測記録を震源近傍の記録として取扱っている。このため申請者は、加藤ほか(2004)に倣い、断層最短距離20km程度以内で地盤の構造がある程度分かっているK-NET福岡(FKO006)、K-NET前原(FKO007)の2地点において観測記録が得られていることから、これら2地点の観測記録を検討対象とするとしている。なお、断層最短距離はAsano and Iwata(2006)⁽²⁾による震源断層に基づいて算定するとしている。

2005年福岡県西方沖の地震の震源断層とK-NET、KiK-net地震観測点の位置関係を図-1に示す。また、2005年福岡県西方沖の地震の諸元を表-1に、Asano and Iwata(2006)⁽²⁾による断層パラメータを表-2に、検討対象としたK-NET観測点の諸元を表-3に示す。表-3に示すように、これら

の観測点は断層最短距離にして、K-NET 福岡では約 13km、K-NET 前原では約 15kmになるとしている。なお、20km 以内に KiK-net の観測点はないとしている。

2. 2 観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較

加藤ほか(2004)において検討に用いられた観測記録は、表層がごく薄く、表層の卓越周期の影響があるとしてもごく短周期に限られると予想されることから、硬質岩盤上の記録として取り扱われている。また、震源近傍の観測記録は数に限りがあること及び硬質岩盤上の個々の観測記録の応答スペクトルには大きな山谷があることから、現在利用できる観測記録の上限値として、個々の応答スペクトルのピークをなぞるような全周期帯域でフラットな特性を持つ地震動の応答スペクトルを $V_s=700\text{m/s}$ 相当の解放基盤表面相当における地震動レベルとして設定している。一方、K-NET は地表の観測記録であり、前述の2地点の表層の V_s が $V_s=110\sim 320\text{m/s}$ 程度と小さく層厚も大きいため、表層の卓越周期の影響が無視できないと考えられること及び既往の文献により地盤の情報が得られていることから、申請者は加藤ほか(2004)による応答スペクトルと比較するに当たり、表-4 に示す地盤モデルを用いたはざと解析により表層の影響を取り除いた硬質岩盤相当位置での地震動を算定するとしている。表-4 に示す地盤の速度構造は、伊藤・川瀬(2001)⁽³⁾による工学的基盤の上端深さ分布に基づき、K-NET によるPS検層結果の最下層が基盤上面まで続くものとして設定されており、日本建築学会(2005)⁽⁴⁾において解析に用いられているとしている。なお、工学的基盤の定数は中道・川瀬(2002)⁽⁵⁾に基づくとしている。また、K-NET 福岡、

K-NET 前原の2地点とも地盤の減衰定数は不明のため、ここでは減衰定数を一律1%、3%、5%と仮定して解析を行っている。図-2 及び図-3 に観測記録のはぎとり波の応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルを比較して示す。これらの図に示すように、これらの観測記録は加藤ほか(2004)による応答スペクトルと同等以下のレベルであるとしている。

3. 震度計による観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

3.1 震源近傍の震度計による観測記録

2005 年福岡県西方沖の地震では、「2. K-NET 観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較」に示した K-NET 福岡, K-NET 前原観測点以外にも、震源近傍に自治体が設置した震度計等があり、観測記録が得られていることから、参考としてこれらの地点で得られた観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルを比較している。

図-4 に Asano and Iwata(2006)⁽²⁾による 2005 年福岡県西方沖の地震の断層面と地震観測点の位置関係を示す。また、表-5 に Asano and Iwata(2006)⁽²⁾による震源断層に対して断層最短距離 X_{sh} が 20km 以内であり、かつ観測記録が得られた震度計の諸元を示す。

3.2 観測記録と加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較

断層最短距離 X_{sh} が 20km 以内にある震度計より得られた観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルを比較して図-5 に示す。震度計の観測記録は地表或いは建物内の記録であり、表層或いは建物の影響を受けていることが考えられ、本来それらの影響を取り除くべきである

が、震度計設置位置の地盤条件や建物構造条件が不明のため、硬質岩盤相当の地震動にするためのはぎとり解析は行っていない。

なお、中央区の観測記録は加藤ほか(2004)による応答スペクトルを一部の周期帯で僅かに上回っているが、建物内に設置された震度計であり、また、梅田ほか(2006)⁽⁶⁾によれば、K-NET 福岡観測点と中央区地点では表層地盤がかなり影響して振幅が大きくなっているとされている。

以上のように、申請者は、2005 年福岡県西方沖の地震は耐震設計上震源を特定する地震として取り扱うものの、震源近傍の観測記録が得られていることから、参考までに加藤ほか(2004)による応答スペクトルと比較した結果、加藤ほか(2004)による応答スペクトルは 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録を概ね上回っているとしている。

4. 参考文献

- (1) 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大榮・上田圭一・壇一男(2004):震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル —地質学的調査による地震の分類と強震動観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集 第4巻, 第4号, pp.46-86.
- (2) K Asano and T Iwata(2006):Source process and near-source ground motions of the 2005 West OFF Fukuoka Prefecture earthquake, Earth Planets Space,58,93-98
- (3) 伊藤茂郎・川瀬博(2001):統計的グリーン関数法による強震動予測手法の検証と仮想福岡地震への適用, 日本建築学会構造系論文集, 第 540

号, pp.57-65

(4) 2005 年福岡県西方沖地震災害調査報告書(2005), 日本建築学会

(5) 中道聡・川瀬博(2002):福岡市における三次元地下構造を考慮したハイブリッド法による広周期帯域強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 第 560 号, pp.83-91

(6) 梅田尚子・川瀬博・松島信一(2006):福岡県西方沖地震の三次元有限差分法による強震動シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.17-18

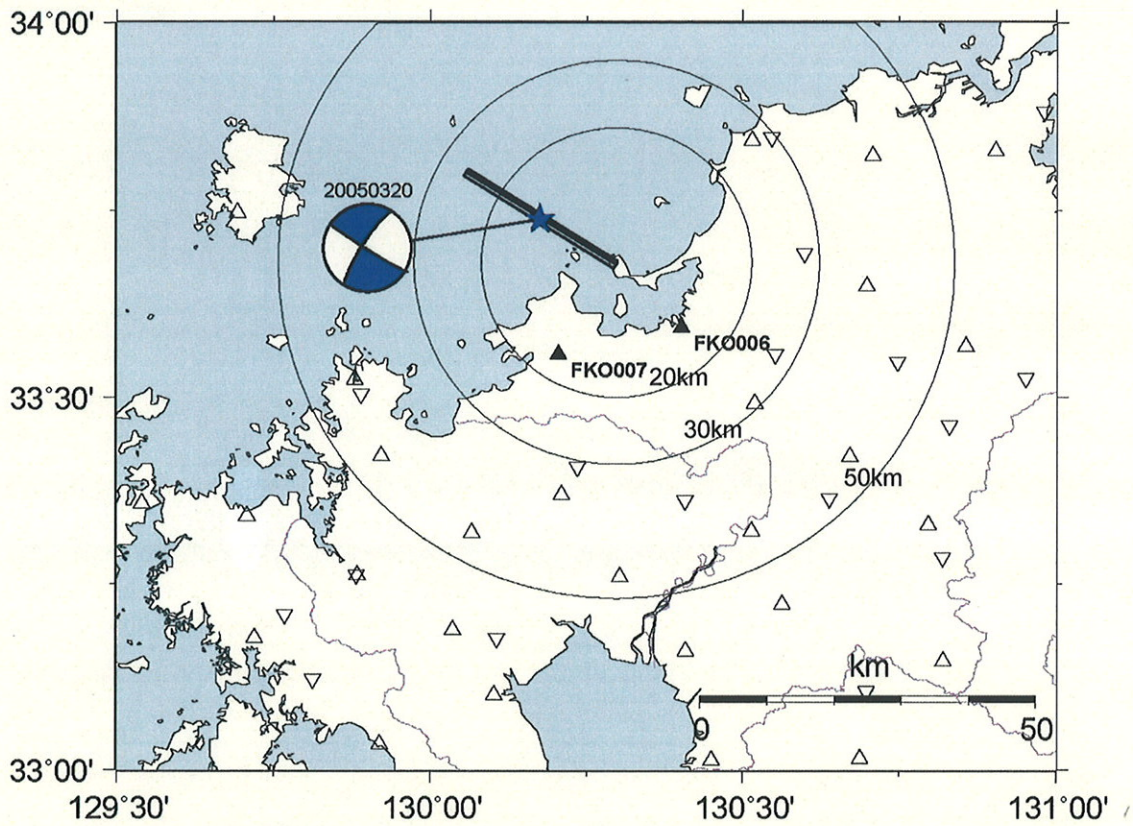


図-1 2005年福岡県西方沖の地震の断層面(Asano & Iwata, 2006)と観測点の位置関係
 △:K-NET, ▽:KiK-net,
 ▲:断層最短距離が20km以内の地点, ★:震央位置
 (図中の円は断層面の南東端からの距離, メカニズム解は防災科学技術研究所による)

表-1 気象庁震源

発震時	Lat.	Lon.	深さ	Mj	
Date	Time	(°)	(°)	(km)	
2005/3/20	10:53 40.3	33.7383	130.1750	9	7.0

表-2 Asano & Iwata (2006)による断層パラメータ

断層面北西端位置	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	M ₀	M _w	
Lat.	Lon.	(km)	(km)	(°)	(°)	(Nm)		
130.059	33.803	1.0	26	18	122	87	1.15 × 10 ¹⁹	6.6

表-3 検討対象とした K-NET:FKO006 および FKO007 観測点の諸元

観測機関	SITE	地点名	Lat.	Lon.	X	Δ	Xsh
			(°)	(°)	(km)	(km)	(km)
K-NET	FKO006	福岡県・福岡	33.5969	130.3985	27.9	26.4	13.1
	FKO007	福岡県・前原	33.5610	130.2024	22.1	20.2	15.6

X : 震源距離, Δ : 震央距離, Xsh : 断層最短距離

表-4 K-NET 対象観測点の地盤モデル

(1) FKO006 (福岡) *1

入力位置 (E+F)	G.L. (m)	層厚 (m)	単位体積 重量 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	減衰定数h
→	0.0				
	-2.0	2	1.78	110	0.01,0.03,0.05 ^{*3}
	-8.0	6	1.76	130	
	-12.0	4	1.66	150	
	-15.0	3	1.94	180	
	-25.0	10	1.87	320	
はぎとり 位置 (2E)		∞	1.90 ^{*2}	600 ^{*2}	

*1 : K-NET 観測点地盤データに基づく。

*2 : 日本建築学会「2005年福岡県西方沖地震災害調査報告」(2005年9月)に基づく。

*3 : 減衰定数は一律 1%、3%、5%と仮定。

(2) FKO007 (前原) *1

入力位置 (E+F)	G.L. (m)	層厚 (m)	単位体積 重量 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	減衰定数h
→	0.0				
	-1.0	1	1.83	190	0.01,0.03,0.05 ^{*2}
	-2.0	1	1.88		
	-3.0	1	1.79		
	-4.0	1	1.74		
	-5.0	1	1.92		
	-6.0	1	1.92		
	-7.0	1	1.90		
	-8.0	1	1.89		
	-9.0	1	1.75		
	-10.0	1	1.79		
	-11.0	1	1.85		
	-12.0	1	1.91		
はぎとり 位置 (2E)	-13.0	1	2.13		
		∞	2.21	620	

*1 : K-NET 観測点地盤データに基づく。

*2 : 減衰定数は一律 1%、3%、5%と仮定。

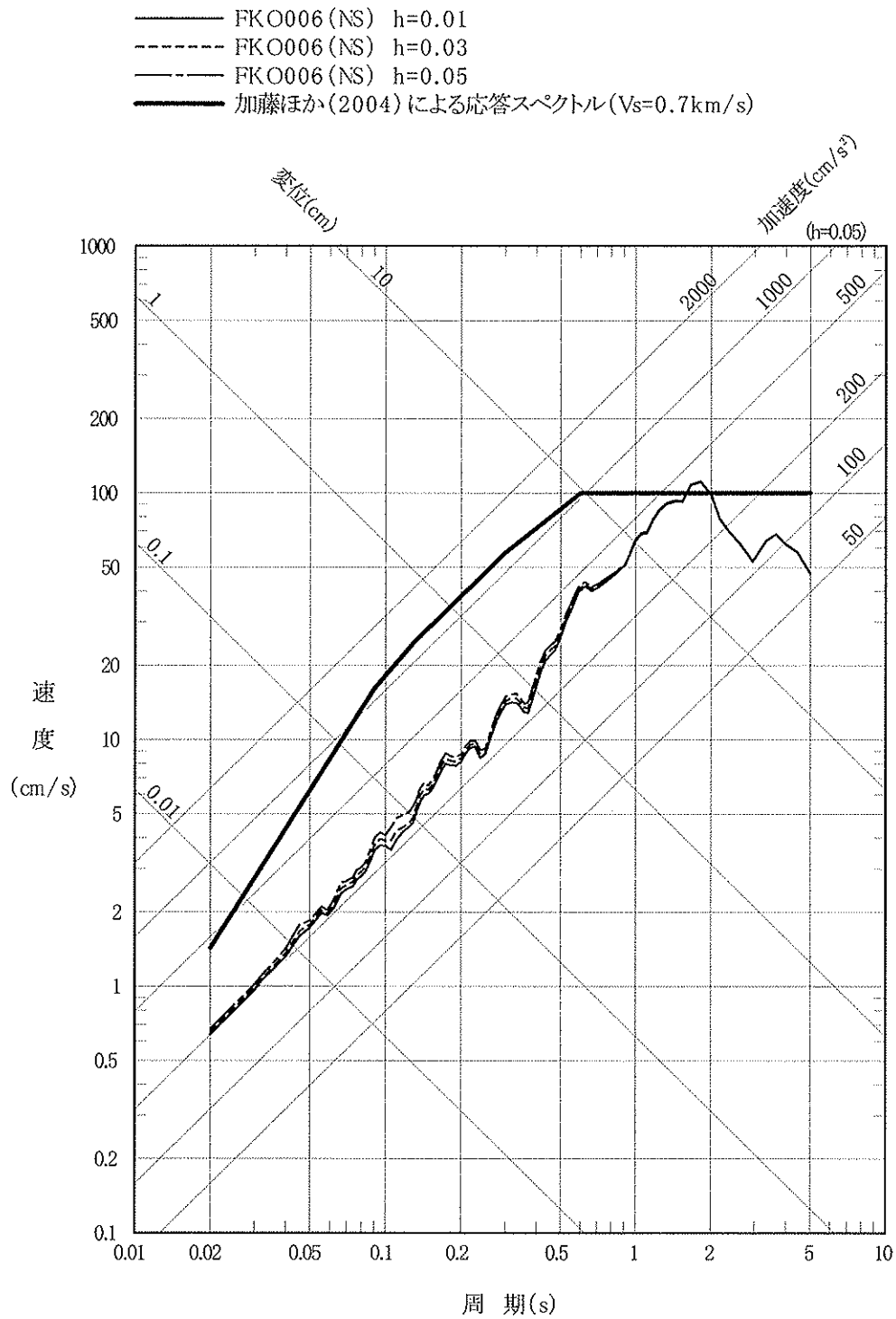


図-2(1) K-NET:FK0006(福岡)のはざとり波($V_s=600\text{m/s}$ 相当)の応答スペクトル
(NS成分, 地盤減衰 $h=1, 3, 5\%$ を仮定)

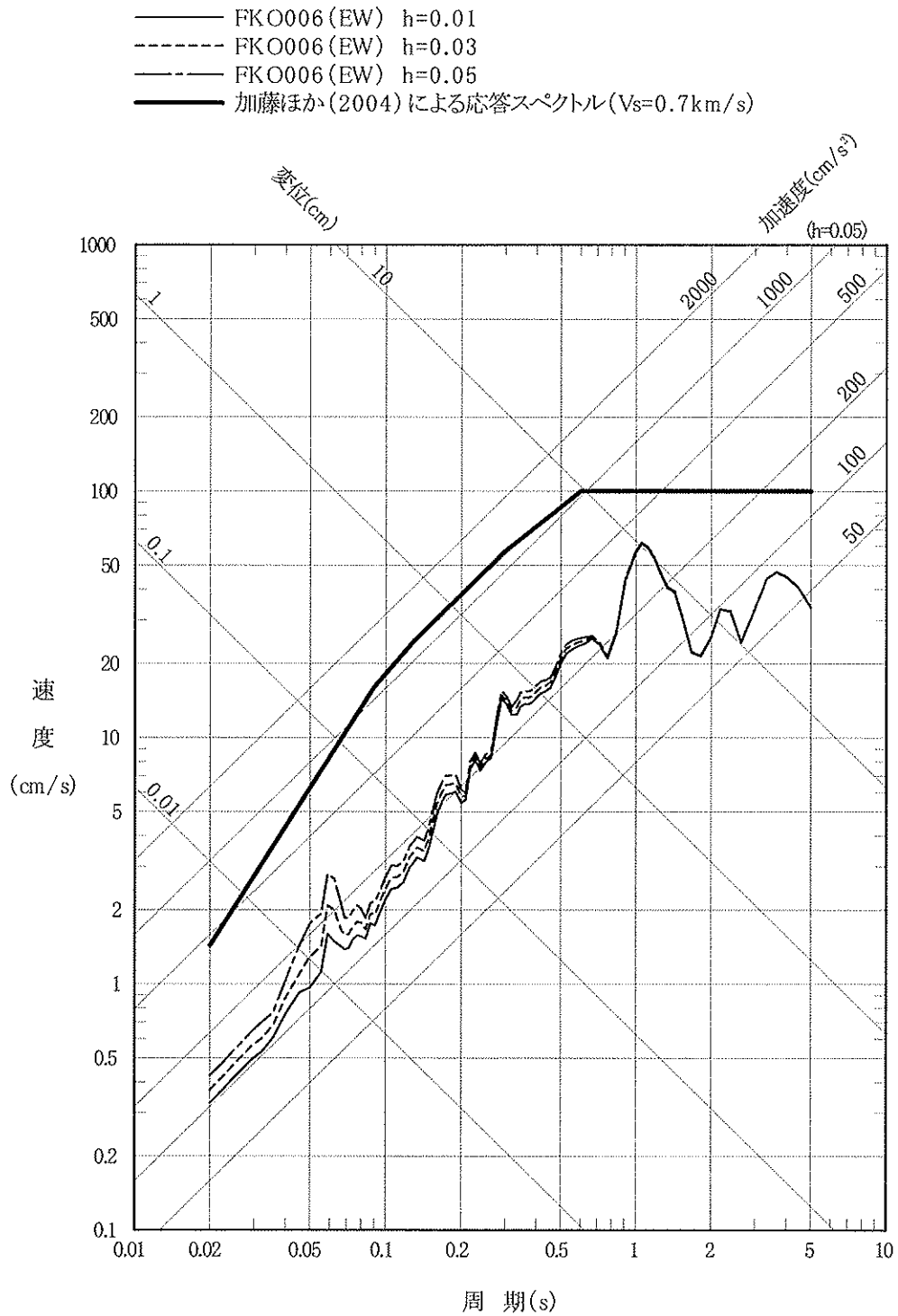


図-2(2) K-NET:FKO006(福岡)のはざとり波($V_s=600\text{ m/s}$ 相当)の応答スペクトル
 (EW成分, 地盤減衰 $h=1, 3, 5\%$ を仮定)

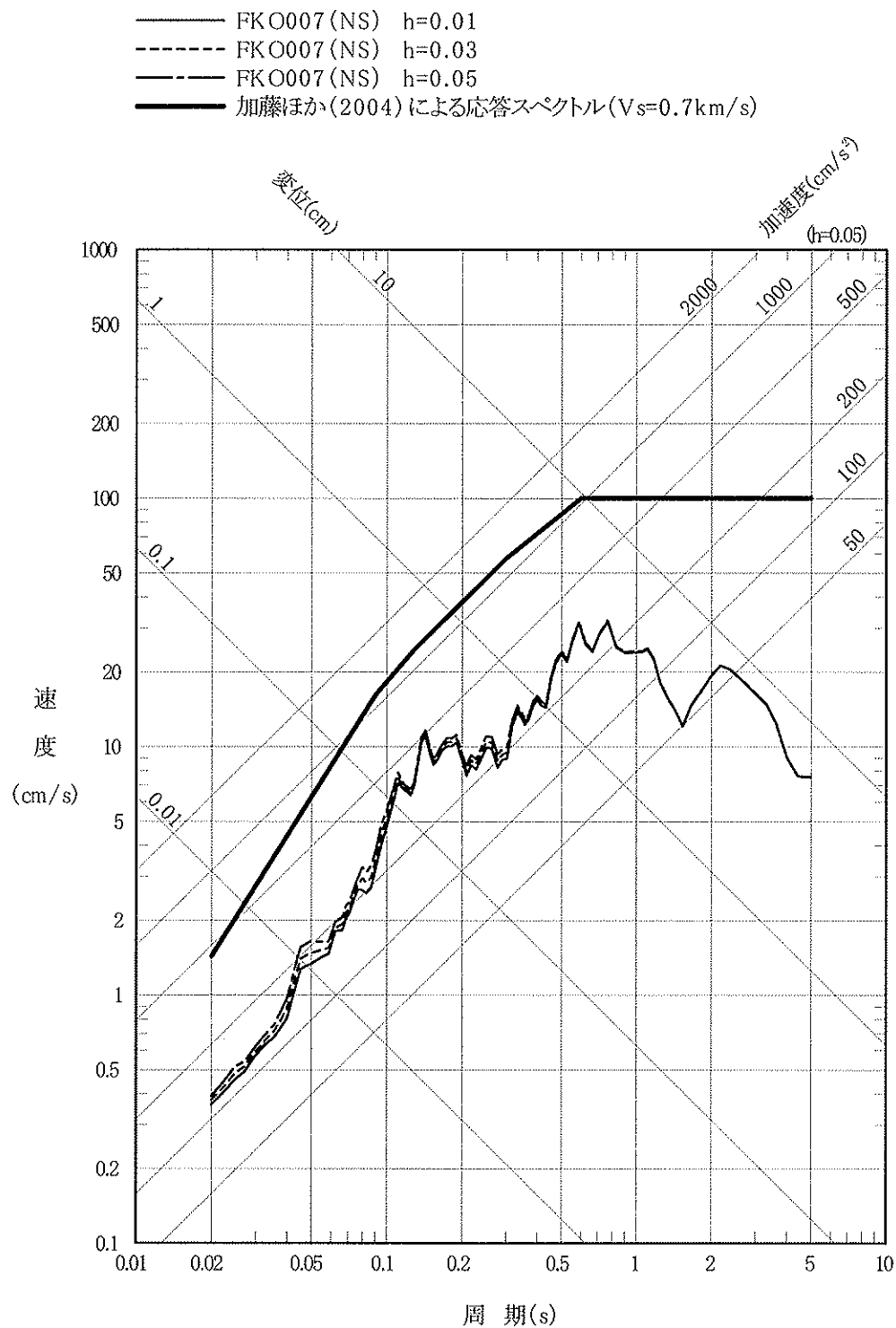


図-3(1) K-NET:FKO007(前原)のはざとり波($V_s=620\text{m/s}$ 相当)の応答スペクトル
 (NS 成分, 地盤減衰 $h=1, 3, 5\%$ を仮定)

- FKO007 (EW) h=0.01
- - - - FKO007 (EW) h=0.03
- · - · FKO007 (EW) h=0.05
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル($V_s=0.7\text{km/s}$)

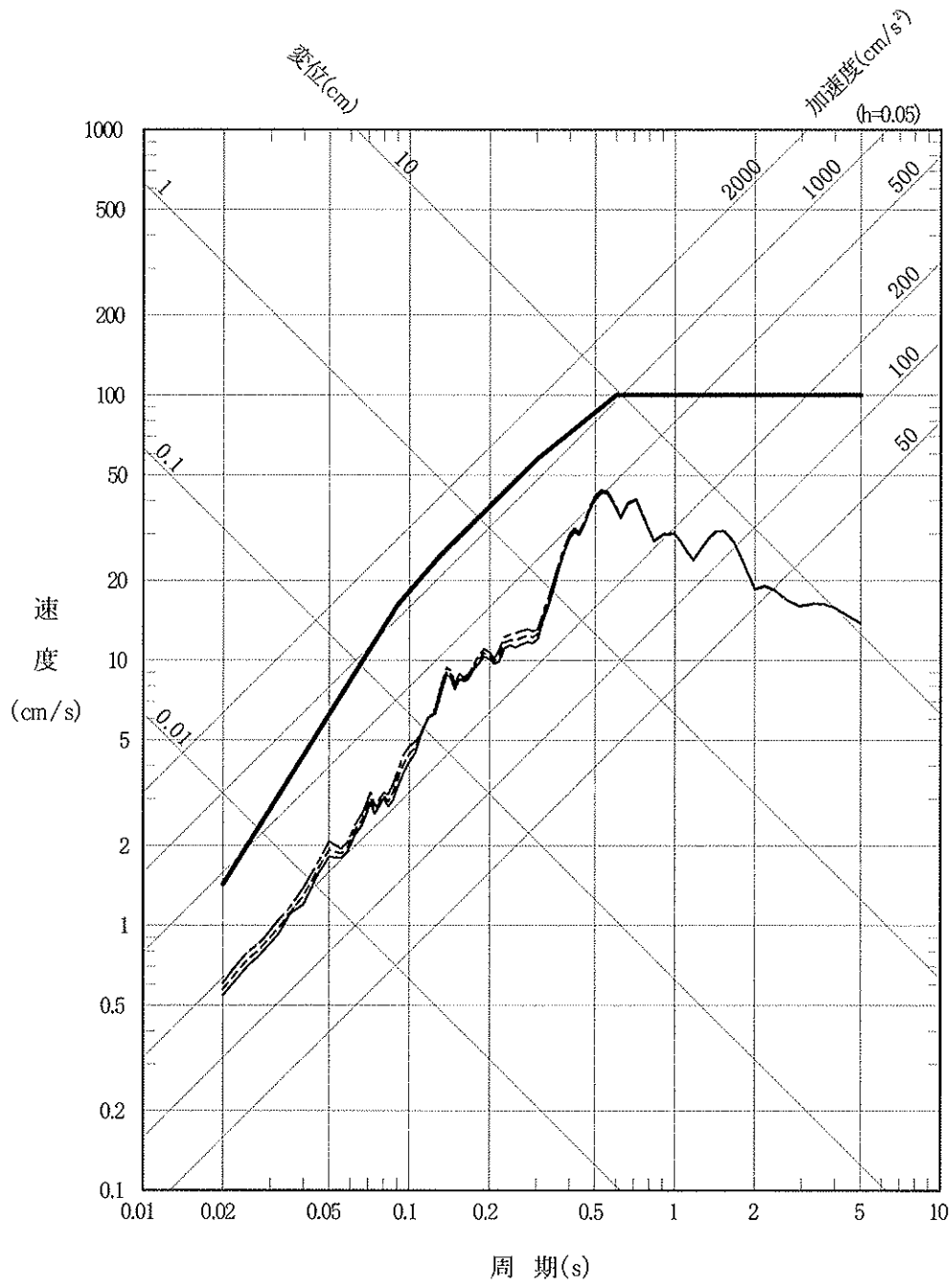


図-3(2) K-NET:FKO007(前原)のはざとり波($V_s=620\text{m/s}$ 相当)の応答スペクトル
(EW 成分, 地盤減衰 $h=1, 3, 5\%$ を仮定)

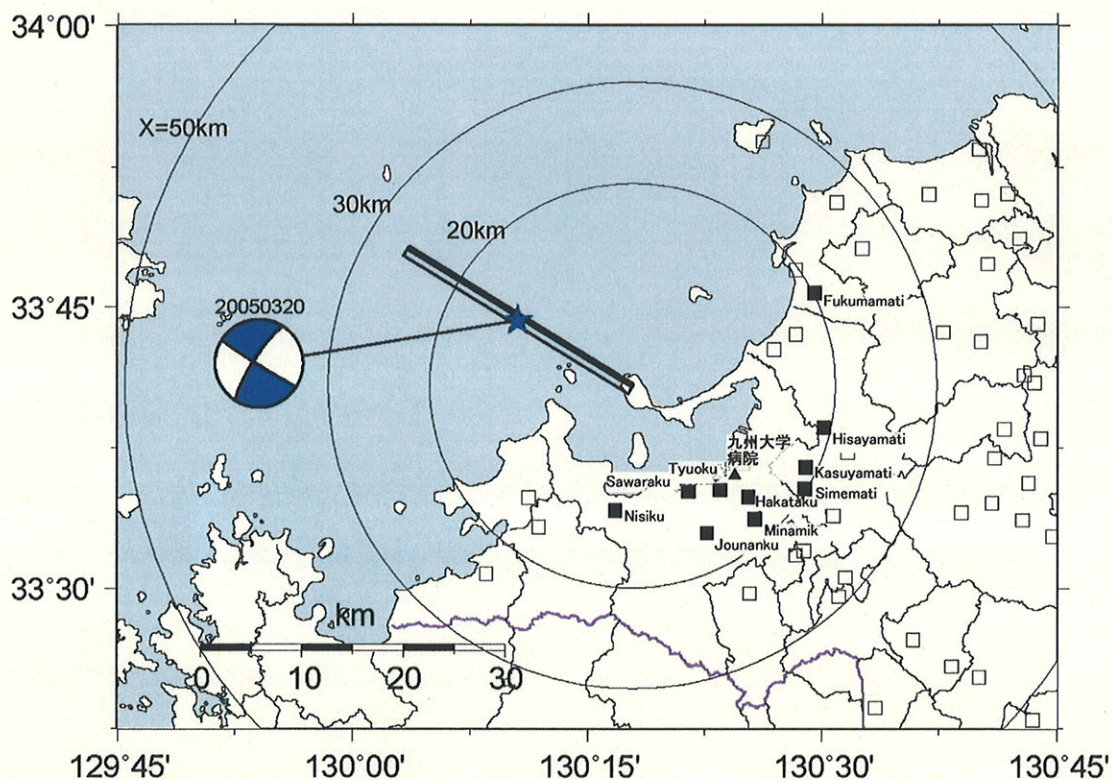


図-4 2005年福岡県西方沖の地震の断層面(Asano & Iwata, 2006)と強震観測点の位置関係
 □: 福岡県震度計 (■: $X_{sh} \leq 20\text{km}$ で記録が得られている地点),
 ▲: 九州大学病院, ★: 震央位置
 (図中の円は断層面の南東端からの距離, メカニズム解は防災科学技術研究所による)

表-5 断層最短距離 X_{sh} が 20km 以内の地点の諸元

観測機関	SITE	地点名	Lat.	Lon.	X	Δ	X_{sh}
			(°)	(°)			
福岡県震度計	Tyuoku	福岡市中央区	33.5875	130.3917	27.7	26.1	13.4
	Sawaraku	福岡市早良区	33.5864	130.3578	25.6	23.9	11.7
	Nisiku	福岡市西区	33.5697	130.2794	23.0	21.1	12.2
	Jounanku	福岡市城南区	33.5494	130.3775	29.6	28.1	16.2
	Minamiku	福岡市南区	33.5617	130.4286	31.9	30.6	17.8
	Hakataku	福岡市博多区	33.5817	130.4217	29.5	28.0	15.8
	Simemati	志免町	33.5883	130.4819	34.2	32.9	19.9
	Kasuyamati	粕屋町	33.6081	130.4831	33.2	31.9	19.0
	Hisayamati	久山町	33.6433	130.5022	33.3	32.0	19.5
	Fukumamati	福岡市東区	33.7628	130.4922	30.8	29.4	20.5
九州大学病院	福岡市東区		33.61	130.42	28	27	14

X : 震源距離
 Δ : 震央距離
 X_{sh} : 断層最短距離

- Hakataku NS
- Tyuoku NS
- Jounanku NS
- Fukumanati NS
- Minamiku NS
- Hisayamati NS
- Nishiku NS
- Kasuyamati NS
- Sawaraku NS
- Simemati NS
- - - 九大病院 NS
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル($V_s=0.7\text{km/s}$)

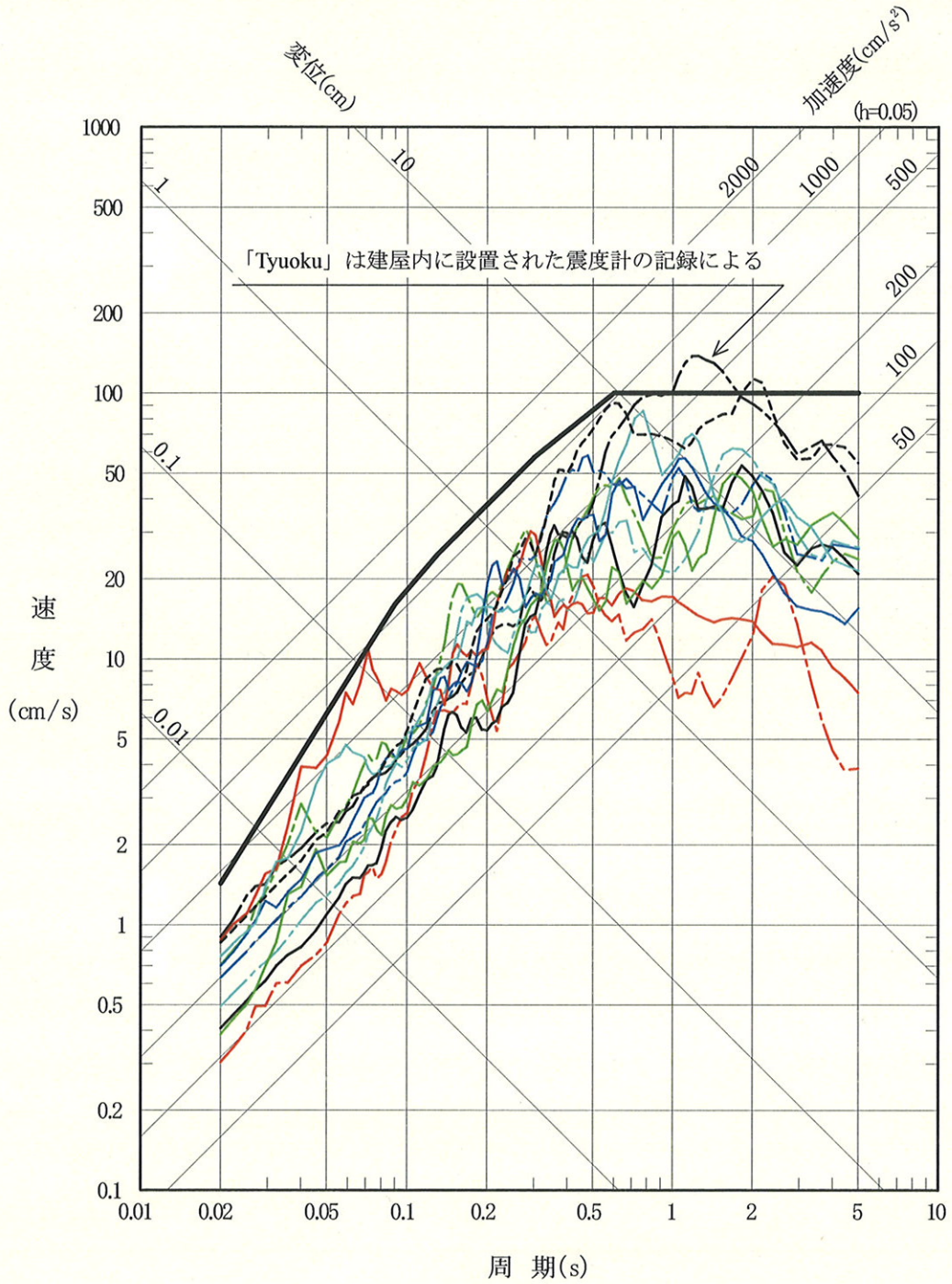


図-5(1) 断層最短距離 X_{sh} が 20km 以内の震度計の応答スペクトル(NS 方向)

- Hakataku EW
- Tyuouku EW
- Jounanku EW
- - - Fukumamati EW
- Minamiku EW
- - - Hisayamati EW
- Nishiku EW
- - - Kasuyamati EW
- Sawaraku EW
- - - Simemati EW
- - - 九大病院 EW
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル($V_s=0.7\text{km/s}$)

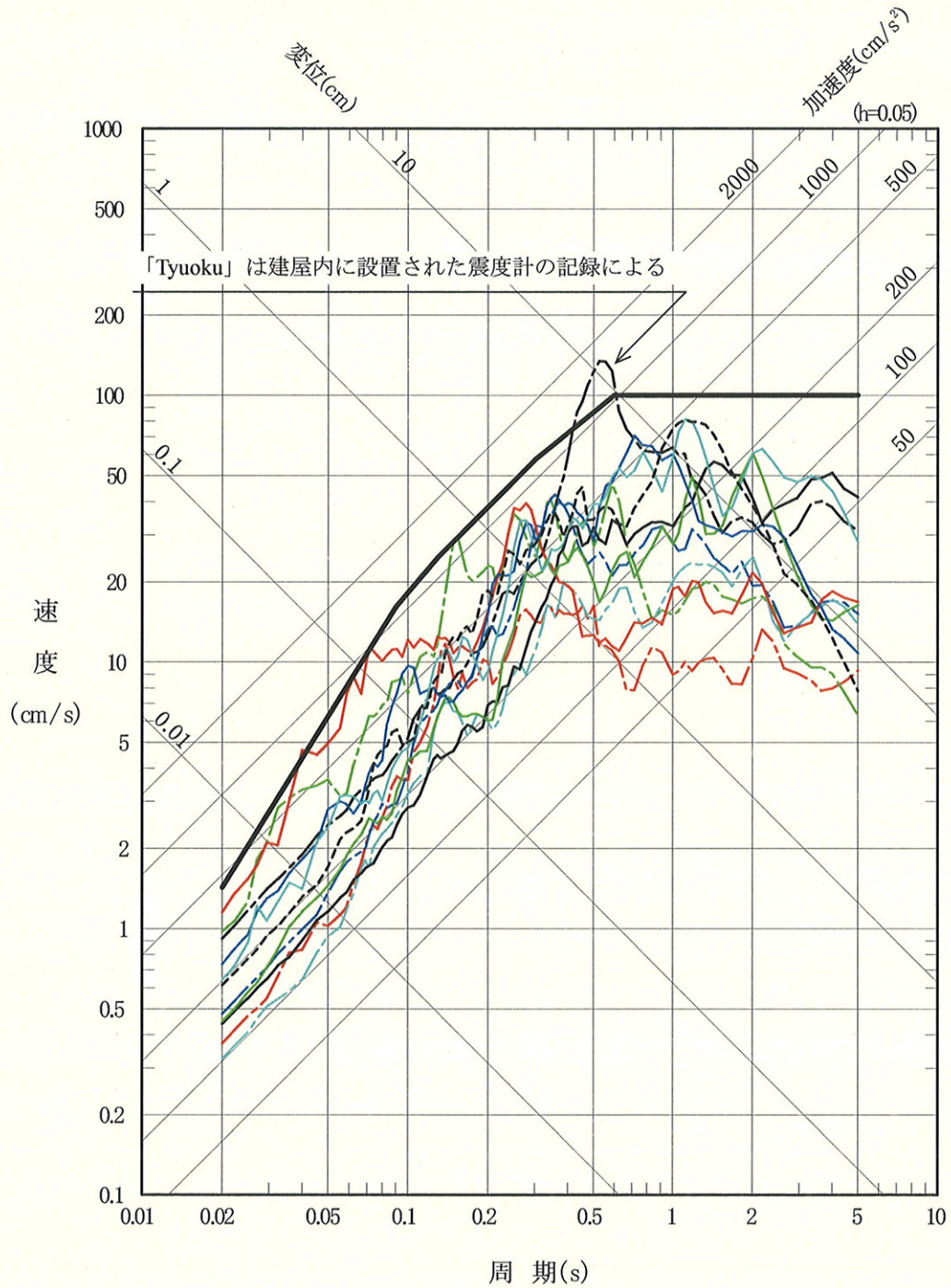


図-5(2) 断層最短距離 X_{sh} が 20km 以内の震度計の応答スペクトル(EW 方向)