2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく 強震動評価手法の検証について(中間報告)

地震調査委員会は、平成17年3月に「全国を概観した地震動予測地図」を取りま とめ、公表を実施した。現在、地震動予測地図の更なる利活用を目標として、改良 を志向している段階にある。また、本委員会強震動評価部会は強震動評価手法とし ての「詳細法」¹の高度化を検討するとともに、これを用いた強震動の評価を実施し、 ハイブリッド合成法に基づく「詳細法」の重要性・有意性を継続的に提言している。 本部会では、「糸魚川ー静岡構造線断層帯(北部、中部)の地震を想定した強震動 評価」(地震調査委員会、2002)²をはじめ、10の活断層帯と4つの海溝型の地震に ついての強震動評価をとりまとめ、公表してきた。さらに、これらの検討期間中に 発生した被害地震である、「平成12年鳥取県西部地震」(M7.3)および「平成15 年十勝沖地震」(M8.0)については、強震動の計算と観測記録との比較を行い、強 震動評価を目的とする強震動予測手法の検証を行ってきた。

平成17年(2005年)3月20日に発生した福岡県西方沖の地震(M7.0)において、 活断層で発生する地震の強震動予測手法の妥当性を検証する上で有用である観測記 録が数多く得られた。そこで、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レ シピ」)」³による強震動計算を実施し、観測記録との比較により強震動評価手法の 検証を行ったので、これらの結果を報告する。なお、観測記録を十分に再現出来て いない観測点における評価結果に関しては、今後、地下構造モデルの改良も含めて 再検討を行う予定である。

本文と説明

- ・図 1 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録を用いた強震動評価手法の検証の 流れ
- ・表 1 強震動評価手法の検証において用いた特性化震源モデル(2005 年福岡県西 方沖の地震)
- ・図2 計算領域と断層面位置
- ・表2 北九州地域の「地盤構造モデル」に関する文献
- ・図3 堆積層区分と模式断面位置図

¹ 断層破壊過程や地下構造の固有の性質を詳細にモデル化し、地震動の時刻歴波形を計算する地震動 評価手法。

² 地震調査委員会(2002):糸魚川-静岡構造線断層帯(北部、中部)の地震を想定した強震動評価 (平成14年10月31日公表)

³ 強震動評価において、震源特性、地下構造モデル、強震動計算方法、予測結果の検証の手法や設定 にあたっての考え方をまとめたものをここでは「レシピ」と呼ぶ。

- ・図4 堆積層の模式断面図
- ・表3 深い地盤構造の物性値
- ・図 5 Ludwig et al.(1970)と設定物性値
- ・図6 KiK-netの速度データと設定物性値
- ・図7 地震の震央位置(地盤構造のモデルの調整用に収集した地震観測記録)
- ・表4 収集した地震観測記録の地震の諸元のリスト
- ・図8 地盤構造モデルの検証を行った観測点
- ・図 9-1 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(1)
- ・図 9-2 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(2)
- ・図 9-3 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(3)
- ・図 9-4 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(4)
- ・図 9-5 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(5)
- ・図10 計算に用いた深部地盤構造モデルの各速度層上面の深さ分布
- ・図11 浅い地盤構造(藤本・翠川(2003)の手法による最大速度の増幅率)
- ・図 12 ハイブリッド合成法による工学的基盤における最大速度分布
- ・図 13 ハイブリッド合成法による地表における最大速度分布
- ・図 14 ハイブリッド合成法による計測震度分布
- ・図 15 ハイブリッド合成法による計算結果と観測記録の比較(地表の最大速度)
- ・図16 ハイブリッド合成法による計算結果と観測記録の比較(地表の計測震度)
- ・図 17-1 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速 度波形の比較(ケース1)
- ・図 17-2 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速 度波形の比較(ケース2)
- ・図 17-3 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速 度波形の比較(ケース3)
- ・図 17-4 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速 度波形の比較(ケース4)
- ・図 18-1 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記 録(地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較(福 岡平野)
- ・図 18-2 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記 録(地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較(筑 紫平野)
- ・図 18-3 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記 録(地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較(断 層の直交方向に位置する観測点)

- ・図 18-4 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記 録(地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較(断 層の走向方向に位置する山地および台地の観測点)
- ・図 19 破壊伝播速度の違いによる計算波形(工学的基盤上の速度波形)の比較
- ・図 20-1 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較 (ケース 1) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の 速度波形)
- ・図 20-2 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較 (ケース 2) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の 速度波形)
- ・図 20-3 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較 (ケース 3) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の 速度波形)
- ・図 21-1 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(破壊の進行方向の観測 点) (工学的基盤における速度波形)
- ・図 21-2 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(破壊進行の反対方向の観 測点) (工学的基盤における速度波形)
- ・図 21-3 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(断層に直交する方向の観 測点) (工学的基盤における速度波形)



2005年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検証

本報告では、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」(以下、「レシピ」という)の検証を行うため、平成17年(2005年)3月20日に発生した福岡県西方沖の地震(M7.0)についての震源断層に関する既往の研究成果を整理して「レシピ」を適用した強震動の計算を行い、実際に得られた観測記録との比較を行い、「レシピ」における適用性やその改良すべき点について検討を行った。

1 検証の流れ

図1に強震動評価手法の検証の流れを示す。まず、波形インバージョンで求めら れたすべり量分布に基づく3種類の震源モデルに対して震源の特性化を行うととも に、現行のレシピに準拠したパラメータ設定によるモデルを加え、合計4種類の震 源モデルを設定した。次に、評価対象領域の地下構造に関しての資料収集・整理から 地下構造の初期モデルを構築し、地震観測記録による調整を実施の上、強震動計算 のための地下構造モデルを作成した。さらに、これらに基づき、「詳細法(ハイブ リッド合成法)」による強震動計算を行った。

2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録については、防災科学技術研究所(K-NET、 KiK-net)、気象庁および自治体で得られた時刻歴波形と震度分布、最大速度分布を 収集した。

評価結果の検証は、観測記録との比較により行った。用いた指標は①最大速度お よび計測震度、②波形と応答スペクトルである。

また、

- a) 破壊伝播速度の違い
- b) 波形インバージョンに基づく震源破壊過程をそのまま用いた場合の計算結 果による比較検討
- c) ライズタイムの違い

等のパラメトリックスタディを実施し、現行のレシピにおける課題について検討した。

2 想定する震源断層

2005 年福岡県西方沖の地震では、種々の機関より波形インバージョンに基づく震 源破壊過程の解析結果が示されている。本検討では、レシピの適用性の確認とその 改良を念頭に、レシピによる特性化震源モデルを基本として、波形インバージョン に基づく震源破壊過程を参考に以下の 4 ケースの特性化震源モデルを設定した。波 形インバージョンの結果として参照した既往研究は、Kobayashi et al. (2006)、Asano et al. (2006)、Sekiguchi et al. (2006)である。 ケース 1: Kobayashi et al. (2006) に基づく特性化震源モデル ケース 2: Asano and Iwata (2006) に基づく特性化震源モデル ケース 3: Sekiguchi et al. (2006) に基づく特性化震源モデル ケース 4: 「レシピ」に基づく特性化震源モデル

震源モデルの設定において、断層面の位置や面積、地震モーメントは全ケースで 同じ値とした。断層面の位置や走向・傾斜については余震分布や F-net によるモーメ ントテンソル解などから求め、断層幅は地震発生層を余震分布から 3~19km と設定 した上で求める手順とした。設定した震源モデルのパラメータは表 1 に示す通りで ある。なお、備考欄には各パラメータの設定根拠および用いた関係式を示す。

3 用いた地下構造

地震波は、一般的には震源断層から上部マントル層を含む地下を伝わり、次第に 減衰していく。しかし、地震基盤から上の工学的基盤までの地下構造(以下「深い 地盤構造」という)の影響、および工学的基盤から地表付近に分布する表層地盤 (以下「浅い地盤構造」という)のごく地域的な影響により増幅される。強震動評 価に際してはこれらを考慮することが必要なため、想定する震源断層を含む強震動 評価範囲の地下構造モデルを既存の地下構造探査データ等により作成した。

(1)計算対象領域

福岡県西方沖の地震の本震において、震度 5 強が観測された地点を包含する、以下の4点で囲まれる矩形内(図2)を対象領域とした。

北西端:北緯 33.9167°	東経 129.7375°
北東端:北緯 33.9167°	東経 130.7375°
南西端:北緯 33.1167°	東経 129.7375°
南東端:北緯 33.1167°	東経 130.7375°

(2)深い地盤構造について

「深い地盤構造」のモデル化にあたっては、各種物理探査結果、ボーリング調査 および物理検層結果、地形・地質解釈資料等の資料収集、整理を行った。九州北部 地域においては、強震動計算に必要である速度構造モデルを構築するに足る物理探 査データが十分でないことから、主に地質的な補完データを基にモデルの作成を行 った。地質的な補完データとしては、表2に示す既往文献(主にボーリング資料や 地質断面)による地質境界面の分布、表層地質図、ブーゲー異常分布などを用いて いる。図3に表層地質図に模式断面図の位置図を、図4に代表的な東西方向の模式 断面図を示す。 なお、山地部で地表面に基盤岩類が露出している場合には、KiK-netの速度検層 データをもとに風化層のモデル化を行った。

深い地盤構造モデルの物性値は、既往の物理探査データ(屈折法および反射法探 査など)や検層データ(K-NET および KiK-net など)から、地質区分毎の深さとP 波速度との対応関係を検討し、表3に示す区分とした。さらに、Ludwig et al. (1970)の関係図(図5)や KiK-net の速度検層による Vp、Vs の関係(図6)より、 S波速度、密度の設定を行った。

作成した地盤構造の初期モデルに対して、対象地域の地震観測点における地震観 測記録に基づく調整を行った。用いた地震観測記録について、図7に地震の震央位 置を、表4に地震諸元のリストを示す。各観測記録のS波主要動以降の部分から、 震源からの到来方向の水平動成分と上下動成分のスペクトル比(図中では"観測記 録H/Vスペクトル"と表記)を算出し、観測点ごとに平均を求めた。次に、対象 地点の深い地盤構造のモデルにより計算されるレイリー波の基本モードによるH/ Vスペクトル比(図中では"モデルによる理論H/Vスペクトル"と表記)を求め、 両者の比較を行った。対象とした観測点の位置図を図8に示し、H/Vスペクトル 比の比較図を図9に示す。ここで、左列は初期モデルによる理論H/Vスペクトル との比較、右列はK-NETにおけるPS検層結果も考慮の上で卓越周期が合うように調 整を行った修正モデルによる理論H/Vスペクトルとの比較である。

以上の手順により、地質的な補完データから作成した深い地盤構造モデルに対し て、観測記録のH/Vスペクトル比による調整を行い強震動計算のための深い地盤 構造のモデルを作成した。図10に、計算に用いた深部地盤構造のモデルの各速度層 上面の深さ分布を示す。

(3) 浅い地盤構造について

浅い地盤構造の考慮に関しては、国土数値情報を利用した手法(松岡・翠川 (1994)および藤本・翠川(2003))による最大速度の増幅率(図11)を用いることと した。なお、詳細法工学的基盤のS波速度は600m/sであるため、実際には図11に 示されている値に対して、松岡・翠川(1994)による経験式を用いて求められるS波 速度が400m/sの地盤までの増幅率(1.31)を乗じた値を用いた。

$\log ARV = 1.83 - 0.66 \cdot \log AVS$

ARV:最大速度の増幅率

AVS: 深さ30mまでの平均S波速度(m/s)

4 強震動評価手法

工学的基盤上面位置での強震動計算は、短周期領域に統計的グリーン関数法、長 周期領域に理論的手法である有限差分法を用いる、ハイブリッド合成法により行っ た。ここで、接続周期は1秒としている。

工学的基盤から地表への換算については、工学的基盤における最大速度の値に前述の最大速度の増幅率を乗じることにより算出した。また、計測震度は、下記に示す翠川・他(1999)による最大速度と計測震度の経験的関係式より求めることとした。

$$I = 2.68 + 1.72 \cdot \log PGV \pm 0.21$$
 (I: 4~7)

PGV:最大速度(*cm*/*s*)

5 強震動評価結果とその検証

(1)評価結果

ハイブリッド合成法による計算結果として、図 12 に工学的基盤における最大速度 分布、図 13 に地表における最大速度分布、図 14 に計測震度分布を示す。図 13 およ び図 14 では、K-NET、KiK-net、気象庁、自治体の観測点とそれらの観測値も示して いる。

(2) 観測記録との比較

1)最大速度と計測震度

ハイブリッド合成法による地表の最大速度および計測震度の計算結果と2005年福 岡県西方沖の地震の観測記録との比較を図 15、図 16 に示す。最大速度の比較で用 いた観測記録は、防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net、気象庁および福岡県内の 自治体の一部の震度計によるものである。また、震度については気象庁より発表さ れた計測震度(気象庁および自治体)と、K-NET、KiK-netの観測記録から気象庁 (1996)に従って算出した計測震度相当値である。なお、図 15 の最大速度における 相関係数は、常用対数をとった値より計算している。最大速度および計測震度とも に、いずれのケースも概ね観測値に対応する計算結果が得られ、ケース4のレシピ による特性化震源モデルの場合が観測記録との相関が比較的良好となった。これは、 ケース1~3では観測記録の長周期成分を対象とした波形インバージョンによる解 析結果に対して震源の特性化を行っている一方、ケース4の場合は広帯域の強震動 予測を目的とする「レシピ」による震源の特性化であるため、最大速度や計測震度 といった評価指標に関しては「レシピ」の方法論が対応していることも一因と考え られる。

2) 差分法計算波形との比較

差分法による計算波形と観測波形との比較を図 17 に示す。ここでは周期1秒以上の長周期成分を対象としている。ここに示した観測点・観測記録は、波形インバージョン解析で用いられたものが多く、地下構造が比較的単純である地点がほとんどで

ある。観測記録は K-NET、KiK-net における地表の記録であり、地震計の設置方位の 測定結果(森川・他、2006)に基づき方位の修正を行っている。計算波形は差分法 による詳細法工学的基盤上(Vs=600m/s)のものであるが、観測波形に見られる比較 的短周期成分による位相特性までは表現できていないものの、長周期成分の位相は 良く説明できている。なお、図17の各図左上段には、差分法による工学的基盤上で の最大速度分布を示すが、ハイブリッド合成法の場合(図12)と比べると、ケース 間の相対的な差が大きい。解析ケースによる評価結果の相違は差分法による長周期 成分に大きく現れているものと考えられる。

3) ハイブリッド合成法による計算波形と擬似速度応答スペクトルとの比較

ハイブリッド合成法による計算結果と観測記録について、波形および擬似速度応 答スペクトル(減衰定数 5%)における比較を図 18 に示す。工学的基盤相当(Vs= 500m/s 以上)を含む速度構造が S 波速度検層によって把握されている観測点につい ては、地表から工学的基盤に至る表層の影響を除くために一次元重複反射理論によ り工学的基盤上相当の波形を求めている。ただし、PS 検層の速度値をそのまま用い ているため、観測記録における工学的基盤の S 波速度は必ずしも詳細法工学的基盤 上(Vs=600m/s)とは一致しない。図 18 によれば、気象庁福岡および福岡市城南区 については観測記録を概ね説明できているが、K-NET 福岡、福岡市博多区、南区に 関しては周期 2 秒前後のスペクトルが観測記録と対応していない(図 18-1)。筑紫 平野では、全般的に観測記録の方が大きく、この傾向は特に周期 1 秒以下の短周期 で顕著である(図 18-2)。K-NET 鎮西、K-NET 玄海、K-NET 中間では観測記録に見ら れる周期 1 秒前後から 2 秒前後のピークが再現されていない(図 18-3)。これらに 対して、山地、台地の観測点である図 18-4 においては、概ね観測記録と対応する結 果が得られた。

(3) レシピに関わる検討

1)破壊伝播速度の違いによる波形の比較

図 17 において、ケース 2、ケース 3 では、ケース 1 と比べて振幅が 1/3 から 1/4 程度に小さくなっている観測点が見られる。震源モデルにおいての設定パラメータ の大きな違いは破壊伝播速度(V₂)であり、ケース 1 では 3.0 km/s (震源域の S 波 速度の約 88%)であるのに対して、ケース 2、3 では 2.1 km/s (同約 62%)となっ ている。そこで、破壊伝播速度の影響を見るためにケース 1、2 を対象として、破壊 伝播速度を変えた震源モデルに基づいて差分法による波形計算を行い、速度波形に よる比較を行った。なお、すべり速度時間関数として用いている中村・宮武 (2000)による近似式では、ライズタイム(t₂)および最大すべり速度(V₂)が破壊 伝播速度の値をパラメータとして扱っているため、破壊伝播速度とすべり速度時間 関数の各々の影響を明確に見るための計算も行うこととした。具体的には、ケース 1,2 に対して 3 通りのパラメータ設定による計算を加え、計 5 通りの計算結果について比較検討を行った。

- ① ケース1 ($V_r = 3.0 \text{ km/s}$)
- ② ケース2 ($V_r = 2.1 \text{ km/s}$)
- ③ ケース2において $V_r = 3.0$ km/s と変更

(すべり速度時間関数においても V_r = 3.0 km/s を設定)

- ④ ケース 2 において V_r = 2.1 km/s のままとする。但し、すべり速度時間関数は V_r = 3.0 km/s としてパラメータを設定
- ⑤ ケース 1 において V_r = 2.1 km/s と変更。但し、すべり速度時間関数は V_r = 3.0 km/s のままでパラメータを設定

【参考】「レシピ」の(20), (22)式

 ・最大すべり速度振幅 V_m
$V_m = \Delta \sigma \cdot (2 \cdot f_c \cdot W \cdot V_r)^{1/2} / \mu \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (20)$
Δσ:震源断層全体およびアスペリティの平均応力降下量
f_c :ローパスフィルタのコーナー周波数 (f_{max} と同等)
$W = W_a$ (アスペリティ領域)
$= W_b$ (背景領域)
・最大すべり速度到達時間 t_d
$f_{\max} \cong 1/(\pi \cdot t_d)$
 ・すべり速度振幅が t^{-1/2}に比例する Kostrov 型関数に移行する時間 t_b
(19)式で最終すべり量を与えることにより自動的に与えることができる。
・ライズタイム t_r
$t_r \cong \alpha \cdot W / V_r \tag{22}$
$\alpha = 0.5$

図 19 に計算結果の波形の比較を示す。①~③を比較すると、概ね①と③が調和的 であり、破壊伝播速度の値が支配的となっていると考えられる。また②,④,⑤の結 果も概ね同じような振幅レベルとなっていることから、破壊伝播速度そのものの影 響の寄与が大きく、すべり速度時間関数における V_rの値の影響は余り大きくないと 考えられる。なお、ハイブリッド合成法の結果における地震動分布(図 12~図 14) では、ケース間で大きな違いが見られないため、短周期成分(統計的グリーン関数 法による合成)に対して破壊伝播速度の影響は比較的小さいと考えられる。

2) 波形インバージョンから同定された震源パラメータをそのまま用いた計算結果 との比較

ケース1からケース3の震源モデルを設定する際に参照した波形インバージョン から求められた震源パラメータを直接用いて差分法による計算を行い、特性化震源 モデルによる計算波形との比較を行った。なお、地下構造については今回の検討で 作成したモデルを用いた。図 20 に計算波形の比較を示す。特性化震源モデルを用い た場合にはケース1では過大評価、ケース2、3 では過小評価となっていたが、それ ぞれの波形インバージョンに基づく震源パラメータをそのまま用いた計算では、観 測記録の再現性はいずれも改善されることが確認された。

3) アスペリティ内のライズタイムの違いによる波形の比較

差分法の計算では、中村・宮武(2000)によるすべり速度時間関数の近似式を用 いているが、「レシピ」において、ライズタイム(*t_r*)の設定は前述の(22)式のと おりである。これまでWについては、アスペリティ領域においてはアスペリティの 幅を、背景領域では断層全体の幅を用いてきた。しかし、パラメータの決め方が明 確に記されていないため、アスペリティ領域の場合にはWはアスペリティの幅もし くは断層全体の幅の両方に解釈され得ることになる。そこで、このパラメータによ る影響をみるために、アスペリティ領域のライズタイムについて2通りの幅の値よ り設定して差分法による波形計算を行い、計算波形の比較を行った。図21に結果を 示す。断層幅を用いた場合には、最大速度振幅が1割程度小さくなる程度で、本検 討では影響がそれほど大きくはなかった。但し、アスペリティの幅が全体領域の断 層幅に比して相当に小さい場合には、計算結果に及ぼす影響も大きくなるものと推 察されることから、

・ライズタイム t_r $t_r \cong \alpha \cdot W / V_r$ $\alpha = 0.5$ ここで $W = W_a$ (アスペリティ領域においてはアスペリティの幅とする) $= W_b$ (背景領域においては断層全体の幅とする)

のように追記することが必要と考えられる。

(4)検討結果のまとめ

以下に検討結果をまとめて記す。

- ・ハイブリッド合成法による地表の最大速度および計測震度については、いずれの解析ケースも概ね観測値に対応する計算結果が得られた。特に広帯域の強震動予測を目的とした「レシピ」による特性化震源モデルを設定したケース4の場合、評価指標に対応していることもあり、観測記録との相関が最も良好となった。
- ・差分法による計算では、観測波形に見られる比較的短周期成分による位相特性 までは表現できていないものの、長周期成分の位相特性は良く対応する結果が 得られた。
- ・ハイブリッド合成法による計算結果を波形および擬似速度応答スペクトル(減 衰定数 5%)で見た場合、山地・台地等の堆積層厚の薄い観測点については概ね

観測記録と対応する結果が得られた。但し、平野部等の堆積層が厚いと考えら れる地点に関しては、観測記録に見られる周期1秒~2秒前後のスペクトル上 のピークを再現するには至らなかった。

・波形インバージョンによる震源破壊過程を特性化した震源モデルによる計算では、破壊伝播速度の影響が大きいことがわかった。但し、特性化の手続きを経ずに波形インバージョンによる震源破壊過程をそのまま用いた場合には、相互の結果の差異は小さく、いずれも観測記録をある程度再現できることが確認された。このため震源の特性化の際に失われる断層破壊過程の複雑さを何らかの手立てで補うことが必要と考えられる。

6 今後に向けて

2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づいた強震動評価手法の検証を実施し、 現在のレシピによって概ね再現可能であることが確認された。ただし、福岡平野や 筑紫平野などでは周期1秒~2秒付近に見られる卓越周期の振動性状を十分に説明 できていないことが課題としてあげられた。

今回の検証結果によれば、山地や台地などの表層の軟弱層が薄い地域では観測波 形の再現性は良いものの、福岡平野や筑紫平野など軟弱層が厚く堆積している地域 では観測波形の再現性は必ずしも良くなく、このような平野等では地下構造モデル の検討が改めて必要であることを示唆した結果となっている。今回実施したH/V スペクトル比によるモデルの調整のみならず、山田・山中(2006)の検討のように、中 小地震の波形シミュレーション等により地下構造モデルの検証および修正を行うこ とが必要と考えられる。

観測記録を仔細にみると、震源距離がほぼ等しい観測点間であっても最大速度値 に大きな差が生じている。このような差異は、福岡市中心部での第四紀層の厚さの 変化によるものと推測され、表層地盤の1次元地盤増幅特性で説明できるとの研究 成果(川瀬,2006)も発表されている。一方、西島他(2006)は、福岡市中心部に重力 の低異常が認められ、警固断層西側のやや重力異常の高い領域よりも低重力異常域 において地震被害が大きかったことを指摘しており、深部地盤の影響のあることを 示唆している。平野部での観測記録の特徴が、1)浅部地盤構造、2)震源モデルを 含めた深部地盤構造、もしくはその両者の影響によるものかは現状では判断できな いが、このような狭い地域での地震動の違いを見るためには、纐纈他(2006)の提案 する手法により深部地盤構造のモデル化の再検討を実施するとともに、浅い地盤に ついてもボーリングデータや観測事実に基づくモデル化を行い、現状の1km メッシ ュでは表現しきれていない表層の増幅をよりきめ細かく評価していくなどの対処が 必要と考えられる。

また、波形インバージョンに基づく震源破壊過程をもとに特性化を行った場合に は、特に長周期成分における評価結果に関しては、破壊伝播速度の影響が支配的で あることがわかった。その一方で、波形インバージョンに基づく震源破壊過程を直 接用いた場合には、観測記録をある程度再現できることも確認された。これは現行 のレシピではアスペリティ内の破壊伝播速度や応力降下量を一定と仮定しているが、 現実の断層破壊はこれらが複雑であることを示唆している。したがって、震源の特 性化に際しては、断層面の形状や震源の地域性等を考慮して破壊伝播速度を規定す ることや、破壊形式に応じた破壊伝播の揺らぎを導入することなどの方策が必要と 考えられる。このためには、今まで実施されてきた波形インバージョンに基づく震 源破壊過程を破壊形式や地域性等の観点より整理し、データベースを構築していく ことや、破壊伝播速度の揺らぎに関してのパラメトリックスタディと観測記録との 比較などの検討が待望される。

参考文献(アルファベット順)

- Asano K. and T. Iwata (2006) : Source process and near-source ground motions of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth Planets Space, Vol. 58 (No. 1), pp. 93-98
- 藤本一雄,翠川三郎(2003):日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均 S 波速度 分布の推定,日本地震工学会論文集,第3巻,第3号,pp.13-27
- 川瀬 博(2006): 福岡県西方沖の地震の強震動と構造物被害の関係に関する調査研究、平成 17 年度科学研究費補助金(特別研究促進費)研究成果(課題番号 17800001)
- 気象庁(1996):震度を知る -基礎知識とその活用-, (株) ぎょうせい
- Kobayashi R., S. Miyazaki and K. Koketsu (2006) : Source processes of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake and its largest aftershock inferred from strong motion and 1-Hz GPS data, Earth Planets Space, Vol. 58 (No. 1), pp. 57-62
- 纐纈一起・三宅弘恵・田中康久(2006):強震動予測のための地下構造の標準的なモデル化手法, 日本地震学会講演予稿集(秋季大会), C055, pp. 106.
- Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C. L. Drake (1970): Seismic Refraction, in the Sea Vol. 4, Part 1, Wile-Interscience, p. 74.
- 松岡昌志・翠川三郎(1994):国土数値情報とサイス ミックマイクロゾーニング,第 22 回地盤 震動シンポジウム資料集, pp. 23-34
- 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄(1999):計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との 関係,地域安全学会論文集, pp.51-56
- 森川信之・安達繁樹・竹中博士・功刀 卓・藤原広行(2006): 福岡県西方沖地震で強震動記 録を観測した K-NET、KiK-net 観測点の調査,平成 17 年度科学研究費補助金研究成果報告書 「福岡県西方沖の地震の強震動と構造物被害の関係に関する調査研究」(課題番号 17800001), pp. 56-65
- 中村洋光・宮武 隆(2000):断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近 似式,地震第2輯, 53, pp. 1-9
- 西島 潤・藤光康宏・福岡晃一郎・江原幸雄(2006):福岡市警固断層周辺の高密度重力測定に よる重力異常と福岡県西方沖地震による地震被害,日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿 集,0106-P002.
- Sekiguchi H., S. Aoi, R. Honda, N. Morikawa, T. Kunugi and H. Fujiwara (2006): Rupture process of the 2005 west off Fukuoka prefecture earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, Earth Planets Space, Vol. 58 (No. 1), pp. 37-43
- 山田伸之・山中浩明(2006):2005年福岡県西方沖地震の余震の地震動シミュレーション,物理 探査学会第115回(平成18年度秋季)学術講演会,P-2

2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく 強震動評価手法の検証について(中間報告) 図表集

 ・図1 2005年福岡県西方沖の地震の観測記録を用いた強震動評価手法の検証の流れ ・表1 強震動評価手法の検証において用いた特性化震源モデル(2005年福岡県西方沖の地震) ・図2 計算領域と断層面位置 ・表2 北九州地域の「地盤構造モデル」に関する文献 ・図3 堆積層区分と模式断面位置図 ・図4 堆積層の模式断面図 表3 深い地盤構造の物性値 ・図5 Ludwig et al.(1970)と設定物性値 ・図6 KiK-net の速度データと設定物性値 ・図7 地震の震央位置(地盤構造のモデルの調整用に収集した地震観測記録) ・表4 収集した地震観測記録の地震の諸元のリスト ・図8 地盤構造モデルの検証を行った観測点 ・図 9-1 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(1) ・図 9-2 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(2) ・図 9-3 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(3) ・図 9-4 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(4) ・図 9-5 観測記録 H/V スペクトルとモデルによる理論 H/V スペクトルの比較(5) 図10 計算に用いた深部地盤構造モデルの各速度層上面の深さ分布 ・図11 浅い地盤構造(藤本・翠川(2003)の手法による最大速度の増幅率) ・図 12 ハイブリッド合成法による工学的基盤における最大速度分布 図 13 ハイブリッド合成法による地表における最大速度分布 ・図14 ハイブリッド合成法による計測震度分布 ・図15 ハイブリッド合成法による計算結果と観測記録の比較(地表の最大速度) ・図16 ハイブリッド合成法による計算結果と観測記録の比較(地表の計測震度) ・図 17-1 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速度波形の比 較(ケース1) ・図 17-2 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速度波形の比 較(ケース2) ・図 17-3 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速度波形の比 較(ケース3) ・図 17-4 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表)の速度波形の比 較(ケース4) ・図 18-1 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表ま たは工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルとの比較(福岡平野)

・図 18-2 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルとの比較(筑紫平野)

- ・図 18-3 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルとの比較(断層の直交方向に位置する観測点)
- ・図 18-4 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルとの比較(断層の走向方向に位置する山地および台地の観測点)

- ・図 19 破壊伝播速度の違いによる計算波形(工学的基盤上の速度波形)の比較
- ・図 20-1 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較(ケース 1) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の速度波形)
- ・図 20-2 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較(ケース 2) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の速度波形)
- ・図 20-3 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較(ケース 3) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の速度波形)
- ・図 21-1 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(破壊の進行方向の観測点) (工学的基盤における速度波形)
- ・図 21-2 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(破壊進行の反対方向の観測点) (工学 的基盤における速度波形)
- ・図 21-3 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(断層に直交する方向の観測点) (工学 的基盤における速度波形)



図1 2005年福岡県西方沖の地震の観測記録を用いた強震動評価手法の検証の流れ

表1 強震動評価手法の検証において用いた特性化震源モデル(2005 年福岡県西方沖の)
--

新層パラメータ		波形インバージョン結果に基づく特性化震源モデル		「レシピ」による特性化震源モデル		備老	► 71 K + + + + N123° →126° E			
例信パリア	,		ケース1(Kobayashi et al.)	ケース2(Asano et al.)	ケース3(Sekiguchi et al.)	(初期設定)	ケース4	CL:HI	<u>7-X1</u> Kobayashi et al. 29	
	震源位置[破	壞開始点](゜N/ ゜E)	33.7402/130.1722	33.7402/130.1722	33.7402/130.1722		33.7402/130.1722	1)より(参考:気象庁 33.738/130.175)	12 + 3km	
			N 126 E	N 126 E	N 126 E		N126E	1)より		
	<u>1頃料 0 ()</u> E キレ (km)		8/	87	8/		8/	しより はち ひょう はま にしいた	14km	
「幅」			28	28	28		28	<u></u>		
	面積 S (km ²)		448	448	448		448	S=L·W	•••••	
	加很 5 (km) 抽雲登生 届 [上端~下端](km)	3~19	3~19	3~19		3~19	(地震発生菌の厚さWe =16km)	-4 + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	
巨視的	震源深さ「破」	速開始点](km)	11	14	12		11	波形インバージョン結果より設定(参考:1)では 9.84km. 気象庁 9km)		
宸源符性	地震モーメント M ₀ (Nm)		1.12E+19	1.12E+19	1.12E+19	1.12E+19	1.12E+19	(3)式 S=4.24·10 ⁻¹¹ ·Mo ^{1/2} の関係式より算定		
	モーメントマク	ブニチュード Mw	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	logM ₀ =1.5Mw+9.1 の定義式より		
	静的応力降下	≂量⊿σ (MPa)	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87	(16-2)式 $1\sigma = 7/16 \cdot M_0/R^3$, S= πR^2	-12 -8 -4 0 4 8 12 16	
	剛性率 μ (N/	(m ²)	3.12E+10	3.12E+10	3.12E+10	3.12E+10	3.12E+10	$\mu = \rho Vs^2$, $\rho = 2.7$, Vs=3.4km/s		
	平均すべり量	D (m)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$D=M_0/\mu/S$		
	短周期レベル	,	1.18E+19	1.18E+19	1.18E+19	1.18E+19	1.18E+19	(6)式 A=2.46 • 10 ¹⁷ • M ₀ ^{1/3}	ケース2 Asano et al. より <u>N122°</u> →126° E	
		総面積 S _a (km2)	64	64	48	79	80	S=π·r ² (但し、ケース4では2km単位の矩形として再設定)	3km	
		割合(%)	14.3	14.3	10.7	17.6	17.9	S _a /S	10	
		等価坐径r (km)	4.51	4.51	3.91	5.02	5.05	(7)式 r=(7 π /4)・(M ₀ /(A・R))・ β^2 , β =3.4	-5 14km	
	全		1.01	1.01	0.01	0.02	0.00	(ケース4ではS=π・r ² より換算)	1.6	
	アスヘリティ	地震モーメント M _{0a} (Nm)	3.19E+18	3.19E+18	2.39E+18	3.94E+18	3.99E+18	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	0.8	
		静的応力降下量 ⊿σ _a (Mpa)	20.08	20.08	26.77	16.26	16.06	(15-2)式 ⊿ σ a=7/16・M0/(r ² ・R)	-10 -5 0 5 10 15	
		平均すべり量 D _a (m)	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	(10)式 D _a = く・D, く=2		
	第1	面積 S _{a1} (km²)	64	48	48	79	80	S _{a1} : S _{a2} = 16 : 6 を基に設定 (ケース2), その他は S _{a1} =S _a		
		等価半径r ₁ (km)	4.51	3.91	3.91	5.02	5.05	$r_1 = (S_{a1}/\pi)^{1/2}$	L 70.011 11 11 N126° E	
		平均すべり量 D _{a1} (m)	1.60	1.79	1.60	1.60	1.60	(14)式 $D_{a1} = (\gamma_1 / \Sigma \gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i = r_i / r$	<u>7-X3</u> Sekiguchi et al. £9 <u>N120 L</u>	
	アスペリティ	地震モーメント M _{0a1} (Nm)	3.19E+18	2.67E+18	2.39E+18	3.94E+18	3.99E+18	$M_{0a1} = \mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	0 Skm	
		実効応力 σ _{a1} (Mpa)	20.08	20.08	26.77	16.26	16.06	$\sigma_{a1} = \Delta \sigma_{a}$	12km	
微視的		ライズタイム t _r	1.3	1.4	1.4	2.0	1.6	tr=W _{a1} /(2V,) (アスペリティ断層幅W _{a1} は右図参照)		
辰源苻注		面積 S₂₂(km²)	-	16	-	-	-	S _{a1} : S _{a2} = 16 : 6 を基に設定 (ケース2), その他は S _{a2} =0	10 1	
		—————————————————————————————————————	-	2.26	-	-	-	$r_2 = (S_{a2}/\pi)^{1/2}$		
	第2	平均すべり量 D _{a2} (m)	-	1.03	-	-	-	(14)式 $D_{a2} = (\gamma_2 / \Sigma \gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i = r_i / r$	(M) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
	アスペリティ	地震モーメント M _{0a2} (Nm)	-	5.15E+17	-	-	-	$M_{0a2} = \mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$		
		実効応力 σ _{a2} (Mpa)	-	20.08	-	-	-	$\sigma_{a2} = \Delta \sigma_{a}$	0 10 [km] 20 30 L c	
		ライズタイム t _r	-	1.0	-	-	-	tr=W _{a2} /(2V _r)(アスペリティ断層幅W _{a1} は右図参照)		
		地震モーメント M _{0b}	7.97E+18	7.97E+18	8.77E+18	7.22E+18	7.18E+18	(12)式 M _{0b} =M ₀ -M _{0a}		
		面積 S _b (km²)	384	384	400	369	368	S _b =S-S _a		
	書名は	平均すべり量 D _b (m)	0.67	0.67	0.70	0.63	0.62	(13)式 D _b =M _{0b} /(µ・S _b)		
	日京原境	実効応力 $\sigma_{\rm b}^{}({ m Mpa})$	4.18	3.24	4.42	3.55	3.14	(18)式 $\sigma_b = (D_b/W_b) \cdot (\pi^{1/2}/D_a) \cdot r \cdot \Sigma \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$ (ケース2) (17)式 $\sigma_b = (D_b/W_b) / (D_a/W_a) \cdot \sigma_a$ (その他のケース)	11km 4km	
		ライズタイム t,	2.7	3.8	3.8	3.3	3.3	t_=W/(2V_)		
	f _{max} (Hz)		6	6	6	6	6		8km	
その他の	破壊開始点		震源	震源	震源	震源	震源		│ └──── ¥───┘ │	
その他の破壊	破壊伝播様式		第1フロントは同心円	第1フロントは同心円	第1フロントは同心円	同心円	同心円	(00) -+ 1/-0.70/		
~‴ 一破壞伝播邊	吸	ε v _r (κm/s)	3.0	2.1	2.1	2.4	2.4	(23)式, V _r =0./2Vs		



青字は波形インバージョン結果に基づき設定した値を示す





※ 備考欄は ______ 以外のパラメータ設定根拠を示す ※※ 1) については、http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/fukuoka050320/ による



図2 計算領域と断層面位置

	Vp [m/s]	Vs [m/s]	密度 [g/cm ³]	Qp, Qs	対応する地質
1	2000	600	1.90	100	沖積低地下に分布する第四紀層(更新統 ~完新統)、大分層群
2	2500	1100	2.15	100	久留米層群などの鮮新統と鮮新世〜更新 世の火山岩類
3	3000	1400	2.25	100	野島層群などの中〜上部中新統
4	3500	1700	2.30	100	相浦層群、佐世保層群などの上部漸新統 ~下部中新統
5	4000	2100	2.40	200	古第三紀(暁新世〜漸新世)の石炭を挟 む堆積層。上部白亜紀層の大野川層群
6	5000	2700	2.50	200	下部白亜紀層の関門層群
7	5500	3100	2.60	300	白亜紀ないしそれより古い花崗岩類、塩 基性深成岩類、変成岩類、白亜紀より古 い堆積岩類(付加体堆積物)

表3 深い地盤構造の物性値

表2(1) 北九州地域の「地盤構造モデル」に関する文献

著者名	発表年	文献名	出典			
波多江信弘	1976	大村湾を中心とする地域の地質構造発達史	鹿児島大学理学部紀要(地学・生物 学), 9, pp.21-40			
本座栄一・玉木賢策・湯浅 真一・村上文敏	1979	日本海南部および対馬海峡周辺広域海底地質図				
星住英夫・小野晃司・三村 弘二・野田徹郎	1988	別府地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 14 Fukuoka,75,131,1 sheet			
星住英夫・森下祐一	1993	豊岡地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅),地質調査所, 14,Fukuoka,65,iii,75,2 sheets			
福岡県	1997	平成7年度 福岡県:西山断層系、水縄断層系、警固断層系に関する 調査 成果報告書				
今井 功・沢村孝之助・吉 田 尚	1958	伊万里地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅),地質調査所,89p			
井上英二	1963	佐世保炭田の杵島層群と下小高島試錐について 対馬海峡をめぐろ白亜系 第三系の地質学的問題--その1--陸城	地質調査所, 14, 3, pp. 257-276			
井上英二	1981	部の地質比較 対距極岐をめぐる白亜系 第三系の地質学的問題 – その9 – 海城の地	地質ニュース, 12, 328, pp. 23-36			
井上英二	1982	利潤神疾をめてる日亜赤・ カニホの地員子的问题 C02 海域の地 質と総括	地質ニュース, 12, 340, pp. 46-61			
石塚吉浩・水野清秀・松岡浩久・星住英夫	2005	豊後杵築地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅),産総研地質調査総合センター,83p			
ltoh,Y , K. Matsuoka, K. Takemura	1999	Paleogene and Plio-Pleistocene basin formation around northwestern Kyushu, Japan	The Island Arc, 8(1), 56-65			
<u>岩尾雄四郎・下山正一</u> 岩田尊夫・亀尾浩司	1995 2001	<u>佐賀平野の化石谷</u> 北西九州の含炭堆積盆におけるシーケンス層序と堆積構造	<u>土と基礎,43,10,pp.45-47</u> 石油技術協会誌,66,3,pp.278-291			
<u>桂</u> 忠彦 唐木田芸文・見坂送三・長	1992	対馬~五島列島周辺海域の海底地質	水路部研究報告, 28, pp. 55-138			
谷義隆・日本の地質「九州 地方」編集委員会	1992	日本の地質9,九州地方	共立出版,371p			
唐木田芳文・富田宰臣・下 山正一・千々和一豊	1994	福岡地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅),地質調査所, 14 Fukuoka, 51, 192, 1 sheet			
河野重範	2003	北西九州,日比水道周辺における野島層群相当層の分布(演旨)	日本地質学会第110回学術大会講演要 旨, 80-80			
菊池秀夫 木下 健・川瀬 博・早川	1963	三池炭田の造構造運動に関する研究	鉱山地質, 13, 1, pp. 20-29 日本建築学会九州支部研究報告 40-1			
宗・佐藤智美 小林 重・会井 功・松井	2001	アレイ微動による九州大学周辺地域の地盤構造の推定	構造系, pp. 209-212			
和典	1956	唐津地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)	地質調査所, 69p			
国土地理院	1980	沿岸海域地形図. 沿岸海域土地条件図(1:25000) 大村湾地区およい问 説明書	沿岸海域基礎調查報告書(天村湾地 区), 109			
国土地理院	1981	沿岸海域地形図. 沿岸海域土地条件図(1:25000)早岐地区および同説 明書	沿岸海域基礎調査報告書(早岐地区), 153			
国土地理院	1982	沿岸海域地形図. 沿岸海域土地条件図(1:25000)島原地区および同説 明書	沿岸海域基礎調査報告書(島原地区), 国土地理院技術資料D・3-No. 38, 195			
国土地理院	1985	沿岸海域地形図. 沿岸海域土地条件図(1:25000)平戸地区および同説 明書	沿岸海域基礎調査報告書(平戸地区)及 び沿岸海域土地条件図,沿岸海域地形図 (1:25,000), 156,2 sheets			
国土地理院	1989	沿岸海域地形図. 沿岸海域土地条件図(1:25000) 長崎東部地区および 同説明書	沿岸海域基礎調査報告書(長崎東部地 区),国土地理院技術資料,D.3,61,80			
国土地理院	1988	沿岸海域地形図. 沿岸海域土地条件図(1:25000) 肥前小浜地区および 同説明書	沿岸海域基礎調査報告書(肥前小浜地区)及び沿岸海域土地条件図・沿岸海域 地形図(1:25,000), 153, 2 sheets			
小松原純子・広木義久・松 本 良	2003	堆積相と総有機炭素・総硫黄含有量からみた下部中新統野島層群の 堆積環境	地質学雑誌,109,1,pp.20-29			
九州電力株式会社	1983	玄海原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(3、4号炉増設) 本 文および添付書類(一~十)				
九州地質調査業協会・福岡 地盤図作成グループ	1981	福岡地盤図	174pp, 図版8, 付図11			
松井和典・古川俊太郎・沢 村孝之助	1989	佐世保地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 14 Fukuoka,68,92, 1 sheet			
松崎伸一・大野裕記・池田 倫治・福島美光	2003	震源分布からみた伊予灘周辺フィリピン海プレートの形状および地 震特性	地震, 第2輯, 56, pp.267-279			
松下久道	1967	筑豊・粕屋両炭田の2, 3の断層	九州大学理学部研究報告(地質学之 部),8,3,pp,181-189			
松下久道	1949	九州北部炭田の地質九州北部に於ける古第三系の層序学的研究 	九州鉱山学会誌,特別号,57			
森尻理恵・広島俊男・駒沢 正夫・牧野雅彦・村田泰 章・名和一成・西島 潤・ 茂木 透	2002	福岡地域の重力異常について	地質調査研究報告,産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 53,7/8,pp.573- 594			
中江 訓・尾崎正紀・太田 正道・籔本美孝・松浦浩 久・富田宰臣	1998	小倉地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅), 地質調査所, 14, Fukuoka34, vii, 126, 1_sheet			
長浜春夫・松井和典	1982	早岐地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅),地質調査所, 14 Fukuoka,80,55,1 sheet			

表2(2) 北九州地域の「地盤構造モデル」に関する文献

著者名	発表年	文献名	出典
長浜春夫 長近春主	1962	長崎県崎戸松島炭田呼子ノ瀬戸断層運動について 北西九州第三辺層の斜層理と推荐	地質学雑誌,68,799,pp.199-208 地質調査所日報 15-8 pp 501-508
永野真男・桜井 操・桂 忠彦・中村啓美・北原祥	1976	九州西岸冲の海底地質	水路部研究報告, 11, pp. 1-38
<u>二・小野寺健英</u> 野田光雄	1966	福岡炭田粕谷地区の地質構造	九州大学教養部地学研告, 13, pp. 1-8
野田光雄	1971	筑豊炭田山田附近の地質構造	九州大学教養部地学研究報告, 6, pp. 1-6
野田光雄	1968	筑豊炭田香春附近の円形断層と地質構造	九州大学教養部地学研究報告,15,pp.1-6
岡部 実・小原浄之介・浦 田英夫	1974	筑豊炭田大辻層群と芦屋層群との境界について	九州大学教養部地学研究報告, 18, pp. 1-8
大分県	2000	平成11年度 別府-万年山断層帯に関する調査 成果報告書(反射 法地震探査編	
大分県	2002	平成13年度 別府一万年山断層帯に関する調査 成果報告書	ukulu 27 2 no. 122 145
大野一郎・河野芳輝・藤本	1992	会加久口とての月辺地域の地震仮歴及構造	火山, 57, 5, pp. 155-145
<u>博巳・小泉金一郎</u> 尾崎正紀・浜崎聡志・吉井 守正	1994	瀬戸内海四部の軍力共常と負共常常の地下構造	地震, 第2軒, 47, pp. 395-401 地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅),地質調査所,
	2001	西九州古第三系のシーケンス層序と呼子ノ瀬戸断層の運動像(Gm-	14, Fukuoka, 33, v1, 121, 1 sheet 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集
酒井治孝・西 弘嗣	1990	011) 佐世保層群と野島層群の不整合の時代とそのテクトニックな意義	(CD-ROM), 2001, , Gm-011 日本地質学会西日本支部会報, 95, pp. 16-
SAKAI Harutaka•NISHI Hiroshi•MIYACHI Mutsumi	1990	(help) Geologic Age of the Unconformity Between the Sasebo and the Nojima Groups, Northwest Kyushu and its Tectonic Significances	Journal of the Geological Society of Japan, 96, 4, pp. 327-330
沢田秀穂	1956	佐々川衝動に関する若干の覚書	地調月報, 7, pp.29-32
沢田秀穂・沢村孝之助・今 <u>井 功・長浜春夫</u>	1955	平戸地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅), 地質調査所,37p
下山正一・松本直久・湯村 弘志・竹村恵二・岩尾雄四 郎・三浦哲彦・陶野郁雄	1994	有明海北岸低地の第四系	九州大学理学部研究報告 地球惑星科 学, 18, 2, pp. 103-129
首藤次男	1981	北部九州周辺海域の中新世中期の海洋古地理に関する問題 平成8年度 国内石油・天然ガス基礎調本基礎試雑「五島灘」調本報	化石, 30, pp. 55-58
石油公団 新tàki-・産業技術総合関	1998	于从8千及 四月1日 八流77 不至晚间直至晚时年,五两强」 则且将 告書	
利式加加 建果议附松日用 発機構 新式加加 - · 產業技術総合問	1989	西彼杵沖地域総合解析報告書 平成元年度 石炭資源開発基礎調査	
和式加加 建果议附松日用 発機構	1982	西彼杵沖地域57西1号海上試錐調查報告書	
利斗和子 ² • 座来汉州総合用 発機構	1983	西彼杵沖地域海上試錐58西2号調查報告書	
新1444 -• 库美技術総合開 発機構	1984	西彼杵沖地域59西3号海上試錐調查報告書	
新1444 -• 库美技術総合開 発機構	1985	西彼杵沖地域試錐工事60西4号調查報告書	
新エネルキー・ 産業技術総合開 発機構	1986	西彼杵沖地域海上試錐61西5号調查報告書	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1980	昭和55年度(前期)大規模深部地熱発電所環境保全実証調査 報告 書 豊肥地域	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1983	大規模深部地熱発電所環境保全実証調查 中間報告書 豊肥地域	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1987	通商産業省 大規模深部地熱発電所環境保全実証調査 資料集 豊 肥地域	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1989	地熱開発促進調查報告書 No. 18久住地域	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1990	平成元年度 全国地熱資源総合調查(第3次)広域熱水流動系調查 鶴見岳地域 総合解析 報告書	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1991	平成元年度 地熱開発促進調査データ処理報告書 No. 29大分川上流 地域(第2次)	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1993	地熱開発促進調查地熱貯留層評価手法開発 小国地域調查 報告書	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1994	平成4年度 地熱開発促進調査データ処理報告書 No.35水分峠南部 地域(第3次)	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1995	平成5年度 地熱開発促進調査データ処理報告書 No. A-1万年山地域 (第2次)	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1995	平成5年度 地熱開発促進調査データ処理報告書 No.38阿蘇山西部 地域(第3次)	
新エネルギー・産業技術総合開 発機構	1998	平成9年度 地熱開発促進調査構造試 調査工事及び解析報告書 No. B-4崩平山地域	
Shiono, K. • T. Mikumo and Y. Ishikawa	1980	Tectonics of the Kyushu-Ryukyu arc as evidenced from seismicity and focal mechanism of shallow to inter-mediate- depth earthquakes	Journal of Physics of the Earth, Vol.28, pp.17-43
鈴木貞臣・山崎義典・石原 和彦・山本 明・堀 修一 郎・三浪俊夫	1996	爆破地震動による豊肥地溝の地殻構造	月刊地球号外, 17, pp. 123-128
高橋成実・三ヶ田均・末広 潔・ト部 卓・清水 洋	2002	エアガン人工地震データ解析による島原半島の地殻構造	火山, 47, 5, pp. 461-473

表2(3) 北九州地域の「地盤構造モデル」に関する文献

著者名	発表年	文献名	出典
高橋良平・浦田英夫・小原 淨之介・富田宰臣・太田一 也	1971	新知見にもとづく筑豊炭田の地質構造	九州大学理学部研究報告,地質 学, 11, 1, pp. 115-132
田代勝也,鈴木貞臣,松島 健,宮町宏樹,岩崎貴哉, 吉井敏剋,江哲也,朴 成実,酒井慎一,飯高 陸,久保篤規,森谷武男, 安藤 誠	1999	人工地震探査による九州東部の上部地殻構造	九大理研報(地球惑星), 20, pp.111- 123
寺岡易司・宮崎一博・星住 英夫・吉岡敏和・酒井 彰・小野晃司	1992	犬飼地域の地質	(http://www.gsj.jp/Map/JP/docs/5man_ doc/14/14_087.htm),地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅),地質調査所, 14, Fukuoka,87,vi,129,1 sheet
富田宰臣	1967	田川地区の出山層について--筑豊炭田,出山層の研究 1--	九州大学理学部研究報告(地質学之 部), 8, 3, pp. 171-180
富田宰臣	1967	関門地域のいわゆる非海成第三紀層-その1 北九州市地区の出山層 について-	九州大学理学部研究報告(地 質),12,1,pp.9-26
富田宰臣	1971	飯塚地区の出山層について--筑豊炭田,出山層の研究-3--	九州大学理学部研究報告(地質 学),10,3,pp,123-134
富田宰臣・小原淨之介・岡 部 実・浦田英夫	1989	宗像炭田に関する新知見-とくに逆断層を伴う第三系新分布域について-(福岡市地区の古第三紀層,その2)	九州大学理学部研究報告,地質 学,16,1,pp.19-26
土田耕造	1988	宗像炭田地質調査報告	地質調査所研究資料集,,96,26,(地質調 查所)
简井智樹、須藤靖明,增田 秀晴,外 輝明,吉川 慎, 広,外 輝明,吉川 慎, 川崎慎治,岡本 茂,賀来 宏之,松島 健,岡田 弘,森 済,前川徳光,宮 腰 研,三ヶ田 均,井川 猛,黒田 徹,香川敏生	1993	阿蘇カルデラ南郷谷における地震探査	物理探查学会第89回学術講演論文集, pp. 129-131
筒井智樹・須藤靖明・吉川 慎・井川 猛・黒田 徹	1997	阿蘇カルデラ南郷谷における反射法地震探査	火山, 42, pp.257-268
植平賢司・清水 洋・松尾 糾道・後藤和彦	2001	四国・中国西端から九州にかけての深発地震面の形状と発震機構	月刊地球, 23, 10, pp.669-673
浦田英夫	1958	福岡県久留米市南方の新第三系について	九州大学教養部地学研究報告, 5, pp. 25- 37
浦田英夫	1964	福岡県北野平野南縁部の新第三系	九州大学理学部研究報告(地 質), 7, 1, pp. 61-66
浦田英夫	1985	福岡県久留米-黒木地域新第三系再論	九州大学教養部地学研究報告,24,pp.13-30
雲仙火山人工地震グループ	1996	雲仙火山地域の浅部地殻構造	地球惑星科学関連学会1996年合同大会予 稿集
渡部史郎・横倉隆伸・加野 直巳・山口和雄	1986	阿蘇カルデラの反射法探査	物理探査学会1986年春季大会講演予稿 集, pp. 55-56
山北 聡・伊藤谷生・田中 秀実・渡辺弘樹	1995	古期中央構造線としての佐志生断層の前期漸新世におけるtop-to- the-west斜め衝上運動	地質学雑誌, 101, 12, pp. 978-988
山崎義典・鈴木貞臣・三浪 俊夫・石原和彦・山本 明・堀 修一郎・長谷川 昭	1995	別府-九重地溝の地殻構造	日本地震学会予稿集, 2, B19
吉村智昭・前田寿朗	2000	重力異常を用いた3次元地盤モデルの構築と地震波伝播シミュレー ション	日本建築学会構造系論文集, 533, pp. 75-82
吉岡敏和・星住英夫・宮崎 一博	1997	大分地域の地質	地域地質研究報告(5万分の1地質図 幅),地質調査所,65p
由佐悠紀・竹村恵二・北岡 豪一・神山孝吉・堀江正 治・中川一郎・小林芳正・ 人保寺章・須藤靖明・井川 猛・浅田正陽	1992	反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造	地震, 第2輯, 45, pp.119-212
国土交通省・水資源局国土 調査課	2002	全国地下水資料台帳	地下水技術, 44, 12



図3 堆積層区分と模式断面位置図



図4 堆積層の模式断面図

断面位置は図3に示す







図6 KiK-net の速度データと設定物性値



図7 地震の震央位置(地盤構造のモデルの調整用に収集した地震観測記録)

采早	年	8	8	陆	4	₩b	結束(゜)	経度(゜)	深さ	マグニ
面勺	ł	Ţ	I	нđ	2	2	神平/文()	ME152()	(km)	チュード
1	1996	10	19	23	44	0	31.8	132	39	6.6
2	1997	3	26	17	31	0	31.98	130.37	8	6.3
3	1997	5	13	14	38	0	31.95	130.3	8	6.2
4	1997	6	25	18	50	0	34.45	131.67	12	6.1
5	1998	5	23	4	49	0	33.7	131.85	85	5.3
6	1998	7	17	5	8	0	32.72	130.85	14	4.1
7	1999	11	10	3	19	0	32.72	130.79	11	4.1
8	1999	12	22	20	17	0	31.98	132	39	4.8
9	1999	3	9	12	53	0	32.95	131.02	10	4.5
10	2000	1	17	20	56	0	33.84	131.41	17	4
11	2000	2	28	19	30	0	32.99	131.18	11	4.1
12	2000	4	2	21	25	0	32.51	131.14	146	4.5
13	2000	4	30	9	19	0	33.25	132.16	52	4
14	2000	6	25	15	34	0	31.02	131.61	48	5.9
15	2000	6	8	9	32	0	32.7	130.75	10	4.8
16	2000	9	25	11	15	0	32.7	130.76	9	4
17	2001	3	24	15	28	0	34.12	132.71	51	6.4
18	2001	4	25	23	40	0	32.78	132.35	42	5.6
19	2001	4	3	21	14	0	33.78	132.03	67	4.4
20	2002	10	13	19	6	0	33.34	132.36	43	4.7
21	2002	11	4	13	36	0	32.41	131.87	35	5.7
22	2003	4	12	13	28	0	31.99	130.26	10	4.8
23	2003	5	31	3	58	0	33.4	131.87	65	4.5
24	2004	11	4	3	13	0	33.07	130.54	14	4.2
25	2005	3	20	10	53	0	33.73	130.18	9	7
26	2005	3	20	19	52	0	33.8	130.09	13	4.7
27	2005	3	20	20	38	0	33.74	130.17	11	4.5
28	2005	3	20	20	8	0	33.79	130.11	13	4.4
29	2005	3	21	23	59	0	33.78	130.1	12	4.8
30	2005	3	22	15	55	0	33.72	130.18	11	5.4
31	2005	3	25	21	3	0	33.78	130.12	12	4.1
32	2005	4	1	21	52	0	33.7	130.3	10	4.5
33	2005	4	10	20	34	0	33.7	130.3	10	4.8
34	2005	4	20	6	11	0	33.7	130.3	10	5.7
35	2005	4	20	6	22	0	33.7	130.3	10	4.6
36	2005	4	20	6	44	0	33.7	130.3	10	4.5
37	2005	4	20	9	9	0	33.7	130.3	10	5.1
38	2005	5	2	1	24	0	33.7	130.3	10	4.9
39	2005	5	25	20	31	0	33.3	132.3	60	4.7
40	2005	5	31	11	4	0	31.3	131.5	30	5.7

表4 収集した地震観測記録の地震の諸元のリスト

*防災科学技術研究所 HPより M4.0 以上の地震より選択





◯:対象観測点

[図は、K-NETのホームページの観測点位置図に加筆]







01T002 地点





理論H/Vスペクトルの比較 (4)



図 9-5 観測記録H/Vスペクトルとモデルによる 理論H/Vスペクトルの比較 (5)



図10 計算に用いた深部地盤構造モデルの各速度層上面の深さ分布



図11 浅い地盤構造(藤本・翠川(2003)の手法による最大速度の増幅率)



130 00'

130[°] 00' 130[°] 30'



図 12 ハイブリッド合成法による工学的基盤における最大速度分布





図 13 ハイブリッド合成法による地表における最大速度分布



図 14 ハイブリッド合成法による計測震度分布



図15 ハイブリッド合成法による計算結果と観測記録の比較(地表の最大速度)



図16 ハイブリッド合成法による計算結果と観測記録の比較(地表の計測震度)



図 17-1 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表) の速度波形の比較(ケース 1)



図 17-2 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表) の速度波形の比較(ケース 2)



図 17-3 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表) の速度波形の比較(ケース 3)



図 17-4 差分法計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地表) の速度波形の比較(ケース 4)



図 18-1 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録 (地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較 (福岡平野)



図 18-2 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録 (地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較 (筑紫平野)



図 18-3 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録 (地表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較 (断層の直交方向に位置する観測点)



図 18-4 ハイブリッド合成法の計算結果(工学的基盤上(Vs=600m/s))と観測記録(地 表または工学的基盤上)の速度波形と擬似速度応答スペクトルの比較 (断層の走向方向に位置する山地および台地の観測点)



図19 破壊伝播速度の違いによる計算波形(工学的基盤上の速度波形)の比較



図 20-1 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較(ケース 1) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の速度波形)



図 20-2 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較(ケース 2) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の速度波形)



図 20-3 波形インバージョンに基づく震源破壊過程を用いた計算波形との比較(ケース 3) (計算波形は工学的基盤上(Vs=600m/s)、観測波形は地表の速度波形)



図 21-1 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(破壊の進行方向の観測点) (工学的基盤における速度波形)



図 21-2 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(破壊進行の反対方向の観測点) (工学的基盤における速度波形)



図 21-3 ライズタイムの違いによる計算波形の比較(断層に直交する方向の観測点) (工学的基盤における速度波形)