

逆断層帯の地質構造の3次元モデル化 のための弾性波探査手法に関する研究

(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書)

2004年2月

東京大学

本資料の全部または一部を複写・複製・転写する場合は下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section

Technology Management Division.

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu , Naka-gun , Ibaraki 319-1194, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2004

2004年2月

逆断層帯の地質構造の3次元モデル化のための
弾性波探査手法に関する研究

佐藤比呂志*

要 旨

逆断層帯が分布する地域における周辺の地質環境の長期的な安定性を検討する際必要となる、将来の逆断層帯の拡幅や延伸、断層活動による隆起に伴う水理学的影響を推定する調査技術の開発の一環として、3次元的地質構造の変遷をモデル化技術のうち、主に弾性波探査手法に関する検討を、典型的な逆断層帯である横手盆地東縁活断層帯を対象にして行った。

将来の逆断層帯の断層活動に伴う影響を考える上で、最も重要な検討課題として、過去数十万年間の逆断層フロントの移動を設定した。これについて、過去の逆断層フロントの移動の履歴、さらに移動のメカニズムを推定するために必要な、弾性波探査手法を検討した。

横手盆地東縁断層帯は、山地と丘陵の境界にある境界断層と、境界断層から分岐し、数十万年前頃に丘陵地前縁に出現した前縁断層が見られる典型的な逆断層帯である。既存資料をもとに試行的に作成した逆断層帯の3次元モデルから、この逆断層の中でも、前縁断層が明瞭に現れている部分と、境界断層しか認められない部分があり、これらの地質構造の違いが生じた原因に関する情報が、将来の逆断層フロントの移動を推定するために重要な情報であると推定された。

そこで、境界断層しか認められていない地点を対象に、伏在する可能性のある分岐断層を調査するための弾性波探査を実施した。その結果、この地点においては、分岐断層が伏在することが明らかになった。伏在する分岐断層は、盆地側に前縁撓曲を形成し、その分布は、空中写真判読および地表・地質調査によってある程度推定できることがわかった。また、過去の調査結果を踏まえた解析の結果、この様な分岐断層は、地層の水平方向の短縮による境界断層の高角度化に伴って、盆地側に生じたものと推定でき、その出現、伏在化を左右する要因として、盆地側の沈降速度および褶曲構造発達程度の大きさ、盆地側の泥岩や凝灰岩の分布があげられた。逆断層帯の過去数十万年間の断層活動に伴う変形帯の発達については、顕著なものは、境界断層と前縁断層が分布する範囲内でしか認められなかった。

逆断層帯の一部は、中新世の日本海拡大に伴って生じた正断層が再活動したものであり、過去に形成された地質構造に規制されて分布することが、今回の研究によって確認された。逆断層帯の将来の影響を推定するための弾性波探査等の調査においては、活断層や活褶曲などの活構造だけでなく、第三紀および第四紀前期に形成された断層構造や褶曲構造の把握が必要である。また、今後、地質構造の変換点における弾性波探査を実施することにより、逆断層帯の分岐による拡幅の範囲を定量的に推定するための情報を取得可能である。さらに、それらの断面構造と、活断層帯の変位および変形に関する地表調査、ボーリング調査の結果をもとにした総括的解析により、将来の逆断層帯の拡幅に関する概念モデル化が可能と考えられる。

本報告書は、東京大学が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究の成果である。

サイクル機構担当グループ：東濃地科学センター 地質環境研究グループ

※東京大学地震研究所 助教授

February,2004

The research on seismic exploration technique of the geological structure of the reverse fault system.

Hiroshi Sato*

Abstract

In order to estimate future widening and migration of reverse fault system, the research on the seismic exploration technique necessary for the modeling of the three-dimensional geological structure was carried out in the eastern margin of Yokote Basin active fault system, which is the typical reversed fault system in the North east Japan. The history of reverse fault front migration in the past several hundred thousands years was set as the most important research subject in considering the effect with the fault activity in the future.

From the three-dimensional trial model of this reverse fault system made on the basis of the existing data, there are the part in which the fore fault and boundary fault have appeared clearly, and the part of which only the boundary fault is recognized in this reversed fault system. It was estimated that it was important information of these differences between these parts of the geological structure to investigate the reversed fault migration in the future.

In the part where only the boundary fault had been recognized, the seismic exploration and the geomorphological investigation for the spray faults was carried out. These results showed the presence of the buried spray fault, which formed fore flexure in the basin side. As a result of the existing data analysis, such spray faults are estimated with occurring with the high angle boundary fault by the horizontal shortening of the stratum. The factors that influenced the appearance of spray fault are estimated to be the sedimentation velocity, shortening quantity by the folding and distribution of mudstone and tuff, that role as slip planes, in the basin side.

The clear deformation zone which formed by the fault activity for the past several hundred years of the reversed fault system could be recognized between the boundary fault to the fore fault.

It was confirmed that the part of the reverse fault system, that had been the normal fault in the Miocene, is controlled by the fault structures which was formed by the past fault activation, by this research. In order to estimate future effect of the reverse fault system, it is necessary for us to investigate not only active structure, but also non-active structures which was formed by the past fault activation fault and fold that had been active in the Tertiary. In the future, quantitative information of the widening of the reversed fault system can be acquired by seismic prospecting, geomorphological and bore-hole investigations in the transitional part of the geological structure.

Conceptual model on the widening of the reversed fault system could be possible by the comprehensive analysis based on the information of those geological structure and information of history of the active fault which could be provided by surface and bore-hole investigations.

Work performed by The University of Tokyo under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison; Tono Geoscience Center, Geoscience Research Group

*The University of Tokyo, Earthquake Research Institute; Associate Professor

目 次

◆和文要旨

◆英文文要旨

◆目次

本 論	頁
1. はじめに	1
2. 逆断層帯と地質構造の概念モデル化と探査地点の検討	2
3. 弾性波探査の仕様の検討	6
4. 弾性波探査の結果と地質構造の検討	7
5. まとめ	8
6. 今後の課題	9
7. おわりに	11
参考文献	12

◆ 図表一覧

図 1	横手盆地東縁断層帯位置図	13
図 2	東北日本弧の発達過程模式図と横手盆地周辺の地質層序	14
図 3	太田断層・千屋断層の断層変位地形詳細分布図	15
図 4	東西圧縮期における横手盆地東縁断層帯の活動模式図	16
図 5	千屋断層を横断する測線の推定地下断面図	17
図 6	弾性波探査(川口測線)位置図	18
図 7	データ処理解析のフローチャート	19
図 8	ショット記録例	20
図 9	太田断層を横断する測線(川口測線)の推定地下断面図	21
図 10	太田断層・川口川右岸の前縁撓曲地形断面図	22
図 11	断層発達モデルの比較	23
表 1	弾性波探査諸元	24
表 2	速度構造一覧	25

1. はじめに

東日本および西日本の一部など、逆断層帯が分布する地域における周辺の地質環境の長期的な安定性を考える上では、将来の逆断層帯の拡幅や延伸、断層活動による隆起に伴う水理学的影響の推定が必要である。そのために、3次元的地質構造の変遷をモデル化し、将来の影響を推定する一連の手法開発が必要となる。本研究では、典型的な逆断層帯であり、弾性波探査やボーリング調査に関する情報が比較的豊富な、横手盆地東縁活断層帯を対象にして、将来の地質構造を推定するための調査技術のうち、主に弾性波探査手法に関する検討を行った。

将来の逆断層帯の影響範囲や、活動履歴が特定できない断層に対する地層処分システム設計上の対処方法を考える上で、重要な検討項目のひとつとして、過去数十万年間の断層活動に伴って形成された、逆断層フロントの移動があげられる。逆断層フロントの移動範囲は、過去数十万年間に、横手盆地東縁断層帯では約2km、その南方に位置する新庄盆地断層帯では約7kmであることなどから、将来の逆断層帯の拡幅の範囲は、現在の逆断層帯の幅に、最大プラス約10kmとされている（サイクル機構，2000）。現状では、将来の逆断層帯の拡幅の範囲は、数少ない事例から求めた最大値を用いているが、逆断層帯の拡幅の原因が特定できていないため、その信頼性は高いとはいえない。また、将来実施される地質環境の調査において、活動履歴が特定できない断層が存在した場合、それによる将来の影響範囲を、片側10kmとすることは現実的ではない。そこで、過去の逆断層フロントの移動の履歴、さらに移動のメカニズムに関する情報を取得し、将来の分岐による影響範囲を推定する必要がある。

横手盆地東縁断層帯は、横手盆地と脊梁山地の境界に位置する逆断層帯で、山地と丘陵の境界にある境界断層と、それと分岐断層の関係にあり、数十万年

前頃に丘陵地前縁に出現した前縁断層が見られる，典型的な逆断層帯である。この逆断層帯は，陸羽地震の時（1896年）活動し，地表に断層崖や撓曲崖を形成した。逆断層帯の分布は湾曲している（図1）。このような湾曲は，脊梁山地東麓の北上低地西縁断層帯や，日本海東縁断層帯などでも見られる。北上低地西縁断層帯や日本海東縁部の断層帯は，新第三紀の日本海形成期に正断層帯として活動したものが，その後逆断層に転じたインバージョンで，湾曲構造は，正断層の形状を受け継いでいるとも考えられている（図2，図3）。同様の現象が，横手盆地東縁断層帯で生じているならば，将来の断層活動の影響を考察するためには，地表における逆断層帯の分布と，地下構造および既存の弱線構造との関係についての調査研究が重要と考えられる。

本研究では，横手盆地東縁活断層帯を対象にして，第四紀における逆断層フロントの移動（thrust front migration）について，その時期・さらに移動のメカニズムの検討に活用できる一連の情報を整理，概括し，その結果を踏まえて，逆断層帯の将来の活動に伴う影響を推定するための弾性波探査に係わる調査手法について検討した。

2. 逆断層帯の地質構造に関する情報の整理（概念モデル化の試行）

弾性波探査の手法を検討する前に、既存情報の確認と問題点の洗い出しを行うため、横手盆地東縁断層帯の既存情報の見直しと3次元的な概念モデル化を行った。

まず、逆断層帯を構成する活断層の分布を、空中写真判読により確認した。その結果、境界断層だけしか存在しないと考えられていた太田断層においても、前縁撓曲が存在する可能性が示唆された（図4）。結果の詳細を以下に示す。

横手盆地東縁断層帯は、陸羽地震の時の地表地震断層の崖線の不連続部や走向の変化に注目すると、北から白岩断層、太田断層、千屋断層（狭義）の3つに分けられる（松田ほか，1980）。このうち白岩断層と千屋断層は、山地（中新世）前面に広がる丘陵地（鮮新¹ 更新世）と平野（更新¹ 完新世）の境界に位置し、盆地側に張り出すが、太田断層は、丘陵地を形成せず、平野と山地の境界に分布しており、他の断層に対して山地側に湾曲した形状を呈する。しかし、太田断層はすでに平野（西）側に前進する兆しがあり、その北部では、陸羽地震時に白岩断層に向かって、平野側に雁行しながら新たな断層を生じた。また、空中写真判読と、現地調査の結果から、その南部でも、前縁撓曲が存在する可能性が示唆された。

千屋断層や白岩断層では、山地と丘陵の境界付近の断層は、すでに活動が止まりつつある。1996年に千屋丘陵を横断する反射法地震探査では、千屋丘陵の地下構造とその発達史の推定が行われた（佐藤・平田，1998）。

こうした逆断層帯の活動の変遷にともなって、地表には、境界断層、前縁断層のほか、逆傾斜地形、断層崖・撓曲崖など特徴ある断層変位地形が認められる。これらの地形面の形成年代や変動様式を知ることによって、変位や変形の開始時期、断層フロントの移動速度、変形帯の規模と推移などについて、万年、

十万年単位で知る手がかりが得られると期待される。これらの情報は、空中写真判読、地形・地質調査、ボーリング調査および弾性波探査の従来の調査手法の組み合わせで得られるが、活断層帯の不均質性を考慮して、地域ごとにそれらを取得するためには、調査地点と調査手法の適切な選定が必要であり、過去の調査研究で、そのような詳細調査の例はほとんどない。そこで、まず始めに、既存文献に示された広域的な地質構造のおおまかな変遷に関する情報をもとに、変位や変形の履歴の推定を試みる。

南北に連なる奥羽脊梁山地の東麓や西麓には活断層が分布しており、山地の隆起に深く関与している。なかでも、岩手県・秋田県にまたがる奥羽山地北部では、北上低地との境界部にある西傾斜の逆断層（北上低地西縁断層帯）と、横手盆地との境界部にある東傾斜の逆断層（横手盆地東縁断層帯）によって、東西幅 30~40km の山地が隆起する典型的な pop-up 構造を示している。

最近この地域を横断する大規模な地下構造探査が行われており、地表付近から地下深部の断層構造とその形成史が次第に明らかにされつつある（佐藤・平田, 1998 ; 佐藤ほか, 1999）。それによると、北上低地西縁断層帯は、日本海の拡大（2000 万年前頃）に伴って生じた西側低下の正断層が、新しい東西圧縮応力場に呼応して、東側低下の逆断層に転じたインバージョンテクトニクスと考えられている。これに対して、横手盆地東縁断層帯は、新しい東西圧縮応力場のもとに新たに生じた逆断層（後述のようにその活動開始は約 240 万年前まで遡る）で、海底の厚い堆積岩中の弱面（層理面やすべりやすい泥岩）を利用したデタッチメントと呼ばれる水平断層を伴いながら、短縮変形していると考えられている。いずれの断層帯も、起震断層として重要な断層帯であり、地表まで断ち切る大地震が繰り返し発生すると考えられる。

1896 年陸羽地震 (M 7.2) は、横手盆地東縁断層帯の活動であった。なお、

川舟断層は、周辺の地質構造からインバージョンと見ることができ、横手盆地東縁断層（千屋断層）に対しては副次（共役）的な関係にあり、陸羽地震のときにはその変位の一部をまかなったと考えられる（川舟断層は断層図に記入していない）。

上述の観点で、既存資料を整理し、横手盆地東縁断層帯周辺の地質構造を見直した。その結果、川舟断層の正断層活動時に、少なくともそれらの一部が副断層として活動し、最近数十万年間にそれらが逆断層として再活動した可能性があることが、活断層を含む断層の分布と堆積物の層厚の変化から示唆された。

以上の結果を整理して、20Ma以降の主な断層活動を推定した上で、試行的に逆断層帯の3次元モデルを作成した。断面に関する情報は、千屋断層の2側線に限られるため、その他の地域は、千屋断層から推定した（図5）。その結果、逆断層フロントの移動量を規制する主な要因の候補として、以下が推定された。

- ①上盤側の短縮量の違い（褶曲構造の発達程度の違い）
- ②断層分岐開始点の地質構造の違い
- ③下盤側の褶曲構造の発達様式の違い
- ④下盤側の低角すべりを生じる堆積物の分布の違い

①については、この逆断層の中でも、前縁断層が明瞭に現れている部分と、境界断層しか認められない部分があることを確認した。後者には、上盤側に複数の褶曲構造が認められる。前者には上盤側の褶曲構造が認められないか希であるが、盆地側の第三紀堆積物に褶曲が認められる。これらの地質構造の違いと逆断層フロントの移動量に関係があるならば、その規則性を見いだすことで、将来の逆断層フロントの移動を推定できる可能性がある。特に、前縁断層が地表に現れていない地域で、弾性波探査により、盆地側に伏在する分岐断層およ

び褶曲構造の有無を明らかにすることが重要と考えられた。

②については、①③④と密接に関連する可能性がある。分岐断層のきっかけは、既存の弱面構造（正断層活動時の副断層あるいはその分岐断層）の可能性もあるが、弾性波探査により、複数の地点で分岐断層の位置が特定できれば、その原因を絞り込める可能性がある。前縁断層の発達は、境界断層の傾斜の高角度化と前縁断層の破断進行およびすべり面の摩擦力のバランスで、どちらが破断に必要なエネルギーが低いかによって決まるだろう。これらについても、弾性波探査によって、断層の傾斜を推定することで、情報が得られるはずである。

③については、弾性波探査によって盆地側の褶曲構造の有無を確認できる。

④については、弾性波探査と、上盤側の地質調査、ボーリング調査結果などを組み合わせて解析することで、下盤側の泥岩および凝灰岩の分布を推定できる可能性がある。

上述の仮定を確認するためには、まず、太田断層の前縁断層が出現していない地点で、その断面構造を取得する必要性が特に高いと判断した。

3. 弾性波探査並びに探査データの解析手法に関する検討

上述した検討結果を踏まえて、太田断層で境界断層しか認められていない地点を対象に、2. ①～④に関する情報取得を目的に、弾性波探査の仕様を検討した。以下、その結果と合わせて示す。

震源に大型のバイブロサイスを使用した結果（秋田県，1997）と、ミニバイブを使用したサイクル機構（2000）の結果等、既存の結果を比較して、地下1km程度の分岐断層と褶曲構造を効果的に取得するための手法を検討した結果、ミニバイブを使用した手法が、今回の目的に最も適していると判断した。

現場で使用した反射法地震探査の観測システムは、東京大学地震研究所所有の G-DAPS4 ((株) 地球科学総合研究所製)、震源は同じく地震研究所所有の Minivib (IVI 社製) を使用し、10-100Hz のスイープ信号を 20 秒間発振した。発振点、受信点の間隔はともに 10m、受信点は 180 チャンネル展開した(表 1)。測線は太田町千本野から川口川沿いにのびる東西 7.3km である(図 6)。フィールドデータの解析は処理ソフト SuperX を用いて行い、最終的に F-X 予測フィルターをかけ、マイグレーション処理まで行った(図 7)。ショット記録は全般的に良好で、初動は明瞭であり、解析に有効であることが確認できた(図 8)。時間深度に対して与えた速度構造は次の表 2 に示す。盆地側表層部に 1500m/s、山地側表層部に 2400m/s の速度を与えた。

受振記録の解析結果と地質解釈を図 9 に示す。盆地部(断層低下側)で約 1sec ほどまでの反射面が連続的に見えるのに対し、山地部(断層隆起側)では、0.6 秒程度までしか反射面を追跡することができない。盆地側において成層する堆積層は下部ほど東へ緩く傾き、CDP300 前後では、0.5~0.8 秒までに強い反射面の集合が顕著に認められる。盆地側の堆積層は、反射面の強度や従来の探査結果(佐藤・平田, 1998)を頼りに、地表より第四紀層(礫岩)、栗沢層(礫岩主体の千屋層に対比)、真木層(泥岩部、弥勒層に対比)、真昼川層(泥岩を含む安山岩類)と順次対比されるものと考えられる。

また、断層崖地形をもって認定される太田断層は、CDP640 付近から東へ傾斜する不連続線(逆断層)として追跡される。太田断層の下盤側には、3 枚の分岐断層(逆断層)が推定されるが、真昼川層・真木層をわずかに変位させながら上位の栗沢層中に消失していくように見える。地形には、CDP350 前後に前縁撓曲の可能性がある高まりが認められる(図 10, 上下変位で 2m 程度)が、これに対応した表層部の第四紀層の変位をこの断面から見出すことはむずかしい。

しかし、分岐断層が地表近くで層面すべりを伴いながら運動し始めているとすると、上下変位が第四紀層そして地表に出現することは十分想定できるので、断層の前進過程が始まりつつある段階と解釈することが可能である。

以上、弾性波探査を、地形・地質調査と組み合わせて実施した結果、この地点においては、分岐断層が伏在する可能性が高いことがわかった。伏在する分岐断層は、盆地側に前縁撓曲を形成し、その分布は、空中写真判読および地表・地質調査によってある程度推定できることが明らかになった。また、過去の調査結果を踏まえた解析の結果、この様な分岐断層は、地層の水平方向の短縮による境界断層の高角度化に伴って、盆地側に生じたものと推定でき、その出現、伏在化を左右する要因として、盆地側の沈降速度および褶曲構造発達の程度の大きさ、盆地側の泥岩や凝灰岩の分布があげられた。逆断層帯の過去数十万年間の断層活動に伴う変形帯の発達については、顕著なものは、境界断層と前縁断層が分布する範囲内でしか認められなかった。境界断層の上盤側に分布する副断層は、低角の傾斜を持つ分岐断層の形成・発達に伴って、上盤側に生じた可能性が高い。

一方、弾性波探査の現地調査のスペックについては、ほぼ、期待通りの結果が得られ、妥当と判断された。上盤側の浅部に溶岩が分布するため、ミニバイブ震源では、岩盤の透過能力が若干小さいようにみえるが、地形・地質調査の結果と合わせた解析によって、地下構造を推定する上では問題はない。ただし、今回の調査地点より北部で、上盤側に発達した短波長の褶曲構造を形成した原因のひとつと考えられる低角の分岐断層の存在を確認する場合は、より大きなエネルギーで発信する必要があるだろう。また、探査データの解析に際しては、上盤側の膨張に伴う速度構造の影響、下盤側の複雑な速度構造に関する情報を取得し、それらの影響による解釈結果の違いについて、今後、さらに詳しい検

討が必要と思われる。

4. 弾性波探査結果を踏まえた地質構造の3次元モデルの再検討

◆地下構造の比較から見た横手盆地東縁断層帯の活断層システム (図 11)

本研究で明らかになった太田断層の地下構造は、千屋断層のそれとはだいぶ異なっている。上述のように、千屋断層は過去 30 万年にわたり、もともとの地形境界断層から派生した活断層として熟成した断層構造を地下 1000m 以深に発達したものである。その累積変位は、短縮変形の産物として千屋丘陵という幅 2km にわたる起伏を生みだしてきた。これに対し、地表トレースも相対的に単純で、大きな地形境界にまだ位置している太田断層の地下構造も、千屋断層に比べれば単純ではある。しかし、太田断層から派生しつつある断層も複数伏在している様子が確認できたことは、本断層がすでに千屋断層と同じように逆断層フロントの前進過程のステージにはいつていることを強く示唆している。千屋断層の地下構造調査結果に基づく各断層トランセクトでの活断層システムの成長のモデル計算も、地形境界型の断層形状を継続している太田断層においても、変形幅・変位量は小さいながらも、ミニ前進過程を伴う結果を示している (図 12, 図 13)。

一方、逆断層帯の一部は、中新世の日本海拡大に伴って生じた正断層が再活動したものであり、過去に形成された地質構造に規制されて分布する可能性が、今回の研究によって示された。逆断層フロントの移動の主な要因として、当初仮定した上盤側の短縮量の違い、分岐開始点の地質構造の違い、下盤側の褶曲構造の違い、下盤側の堆積物の分布の違いは、いずれもその要因となり得ることを示す結果が得られた。このことから、逆断層帯の将来の影響を推定するための弾性波探査等の調査においては、活断層や活褶曲などの活構造だけでなく、

第三紀および第四紀前期に形成された断層構造や褶曲構造の把握が必要であることが示された。

今回の弾性波探査の結果では、逆断層帯の分岐による拡幅の範囲を定量的に推定するための情報は十分に得られていない。今後、地質構造の変換点における弾性波探査を実施することにより、それらの情報を取得する必要がある。さらに、それらの断面構造に対して、活断層帯の変位および変形に関する地表調査、ボーリング調査の結果をもとにした、逆断層帯の不均質性を踏まえた総括的解析により、詳細な活動履歴を明らかにする必要がある。加えて、各分岐断層の傾斜角度や、摩擦係数、成長のために必要なエネルギー等の情報を室内実験等によって取得し、それらを踏まえて、分岐断層ごとの活動性を評価することで、将来の逆断層帯の拡幅に関する概念モデル化が可能になると考えられる。

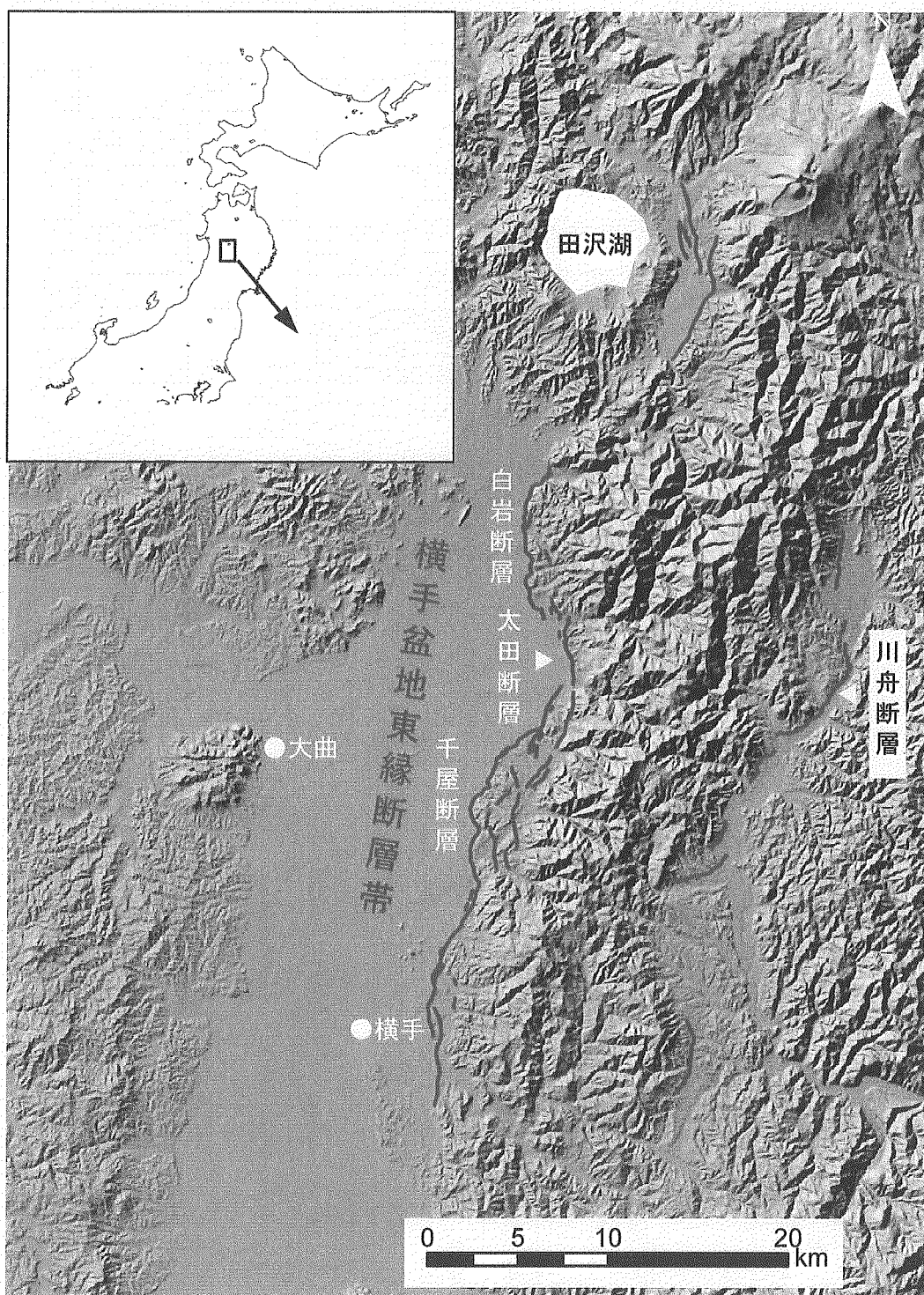
6. おわりに

今回の調査は、以下多数のメンバーの協力と太田町・千畑町住民からの絶大なる支援があったからこそ遂行することができた。ここに記して心より感謝する次第である。(敬称略)

- ・ 東京大学 (松多信尚・荻野スミ子・池田安隆・越後智雄・加藤直子・木村治夫・岡田真介)
- ・ 山梨大学 (今泉俊文・加藤一・楮原京子・渡邊勇二)
- ・ 千葉大学 (宮内崇裕・内田拓馬・小島淳・田中環)
- ・ 岩手大学 (越谷信・野田賢・乗田康之・小畑一馬・市川史大)
- ・ 京都大学 (今村朋裕)
- ・ 太田町教育委員会
- ・ 千畑町教育委員会
- ・ 奥羽山荘職員のみなさん
- ・ サンアール職員のみなさん

<参考文献>

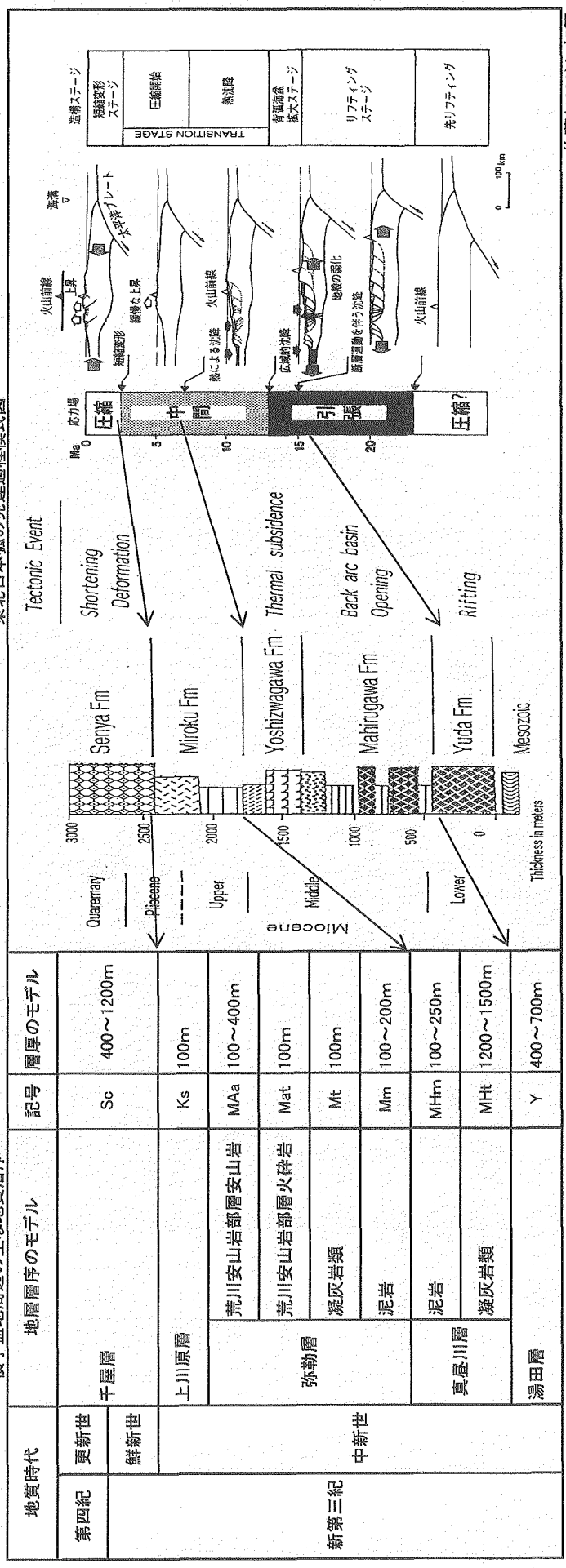
- 秋田県 (1997) : 横手盆地東縁断層帯に関する調査成果報告書
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編 (2002) :
第四紀逆断層アトラス. 東京大学出版会.
- 核燃料サイクル開発機構 (2000) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層
処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次とりまとめ—. 総論レポート,
Ⅲ-18
- 佐藤比呂志 (1992) : 東北日本中部地域の後期新生代テクトニクス, 地質調査
所月報, 43, 119-139.
- 佐藤比呂志・平田直 (1998) : 活断層の深部構造と日本列島の成立. 科学, 63,
68-71.
- 松田時彦・山崎晴雄・中田高・今泉俊文 (1980) : 1896年陸羽地震の地震断層.
地震研究所報, 55, 795-855.
- 佐藤比呂志・平田直・岩崎貴哉 (1999) : 東北日本の地殻構造と新生代テクトニ
クス. 月刊地球, 21-4, 212-219.



活断層は中田・今泉（2002）を引用
 背景は国土地理院発行 50mDEM より作成

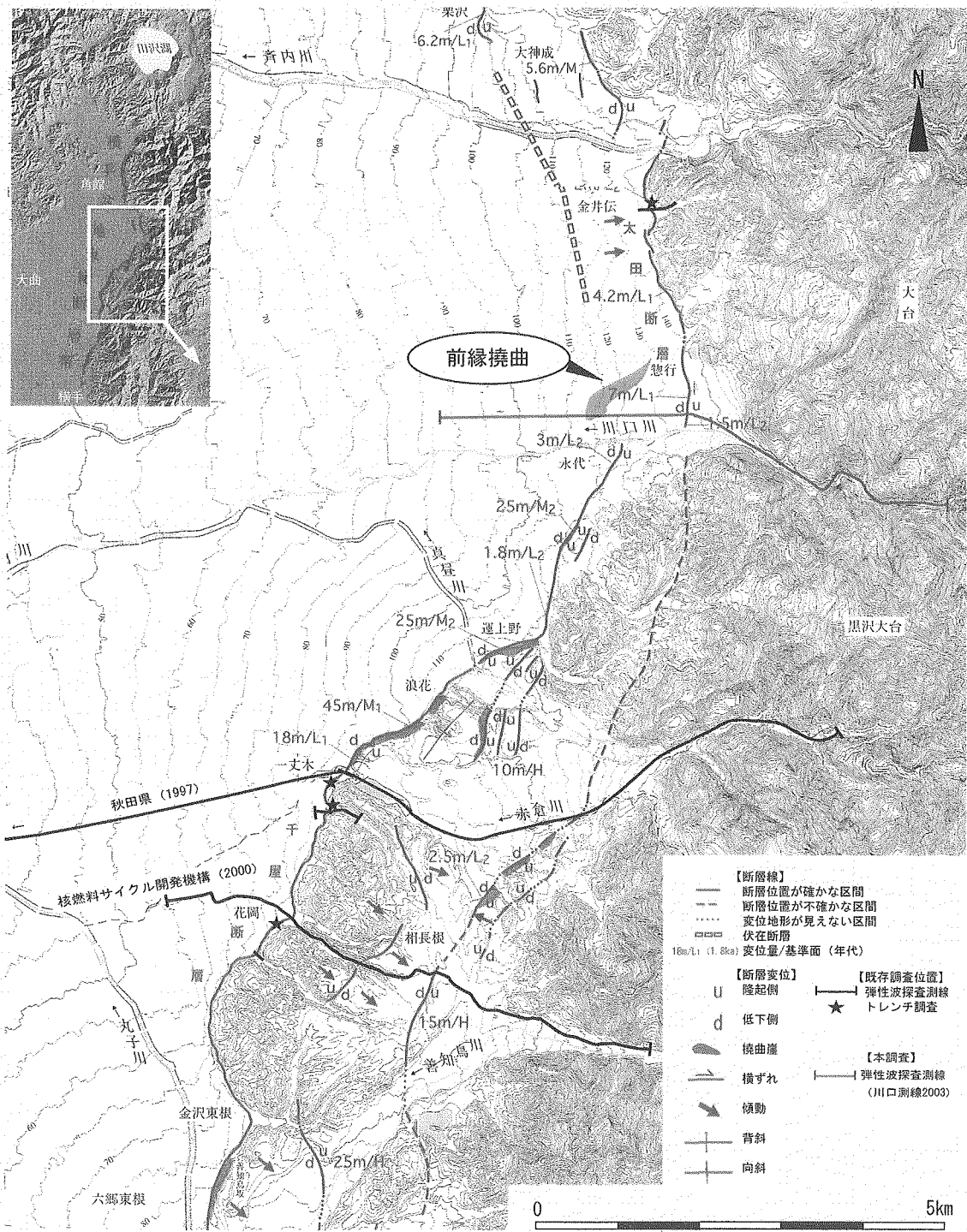
図1 横手盆地東縁断層帯位置図

東北日本弧の発達過程模式図



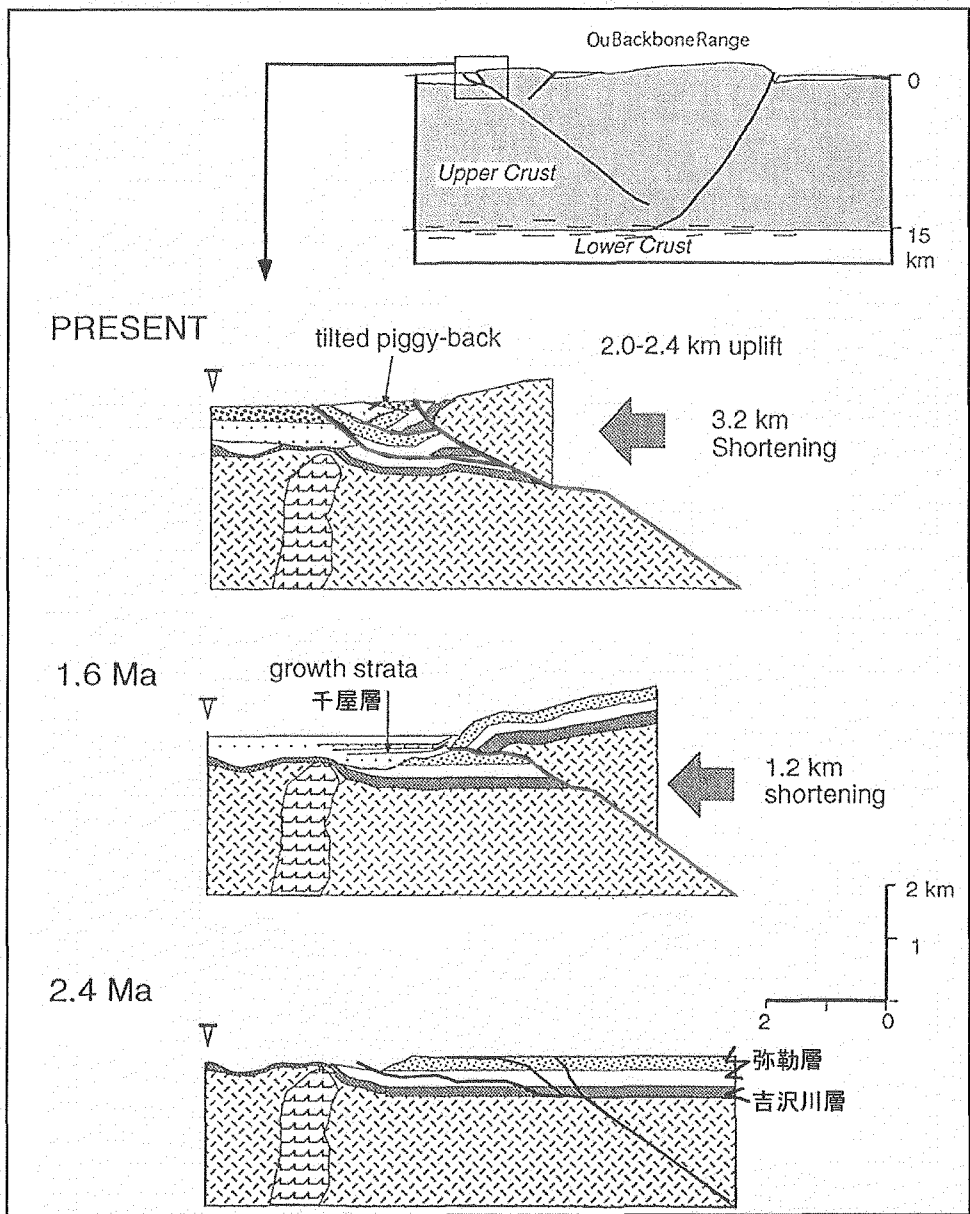
佐藤(1992)に加筆

図2 東北日本弧の発達過程模式図と横手盆地周辺の地質層序



池田ほか (2002) に加筆

図3 太田断層・千屋断層の断層変位地形詳細分布図



佐藤・平田 (1998)

図4 東西圧縮期における横手盆地東縁断層帯の活動模式図

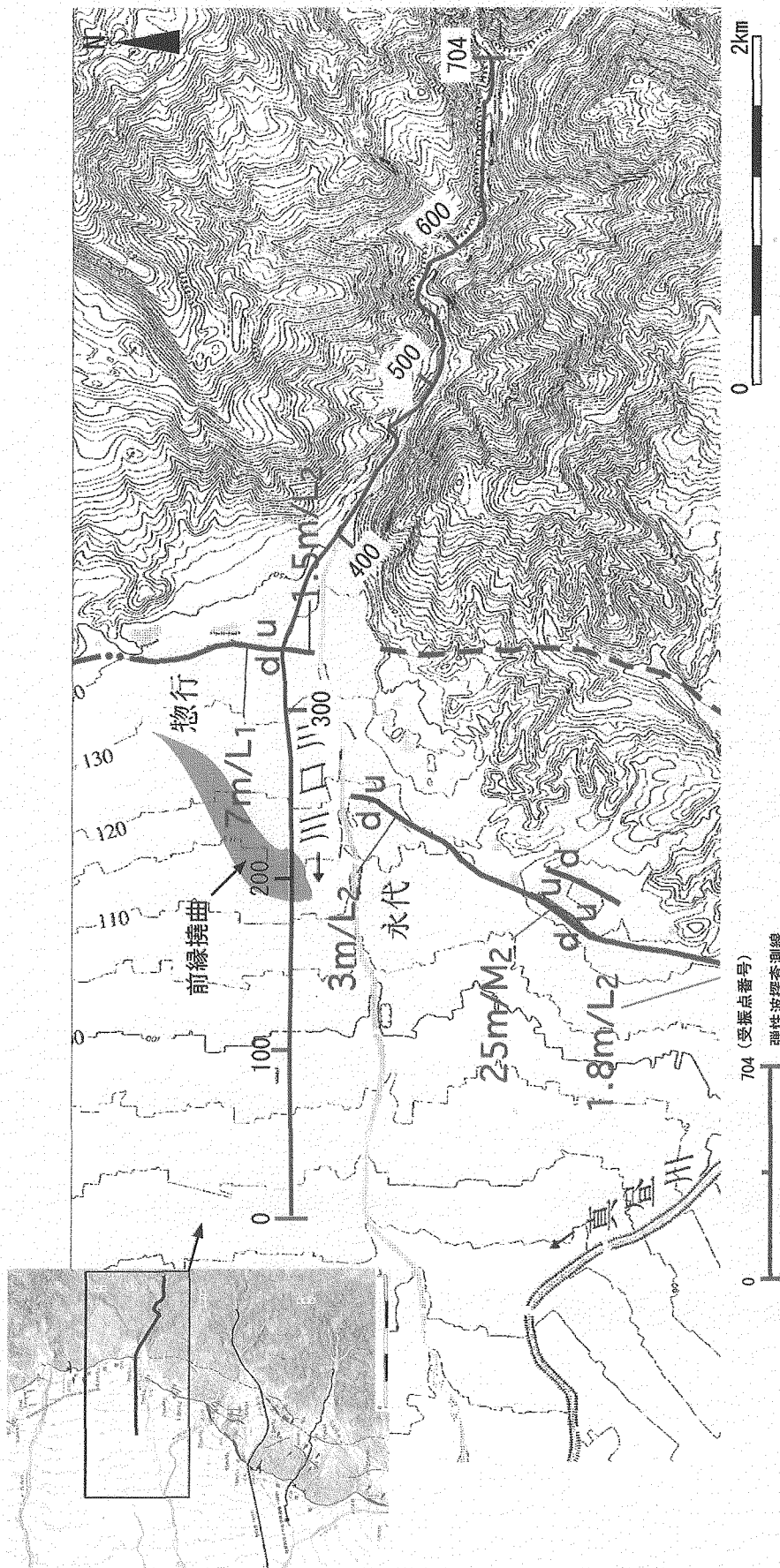


図6 弾性波探査(川口測線2003)位置図

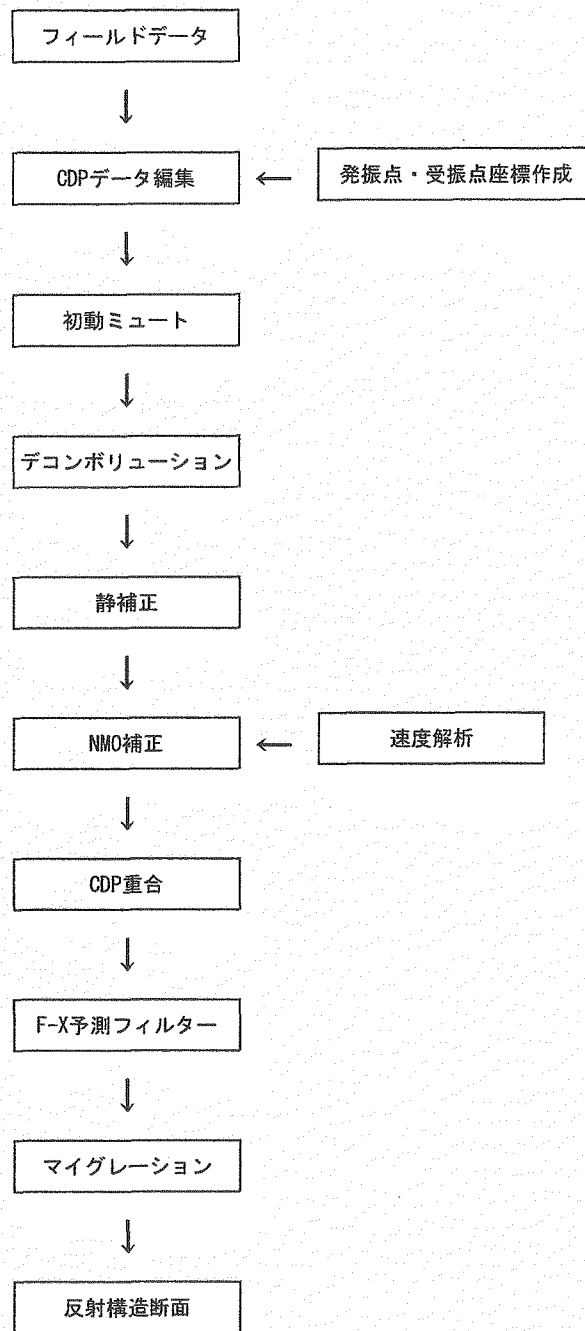


図7 データ処理解析のフローチャート

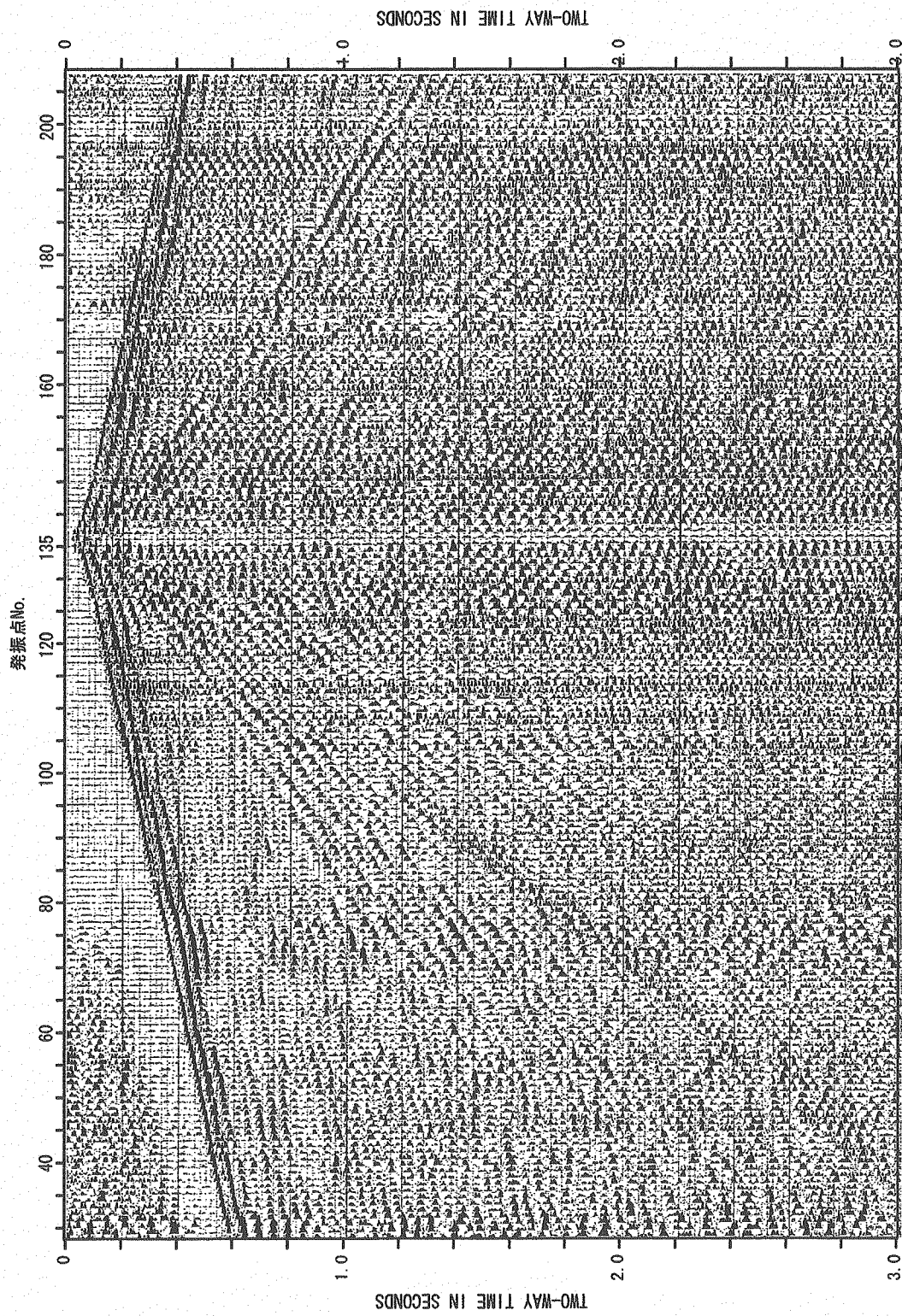


図8 ショット記録例 (発振点No. 137)

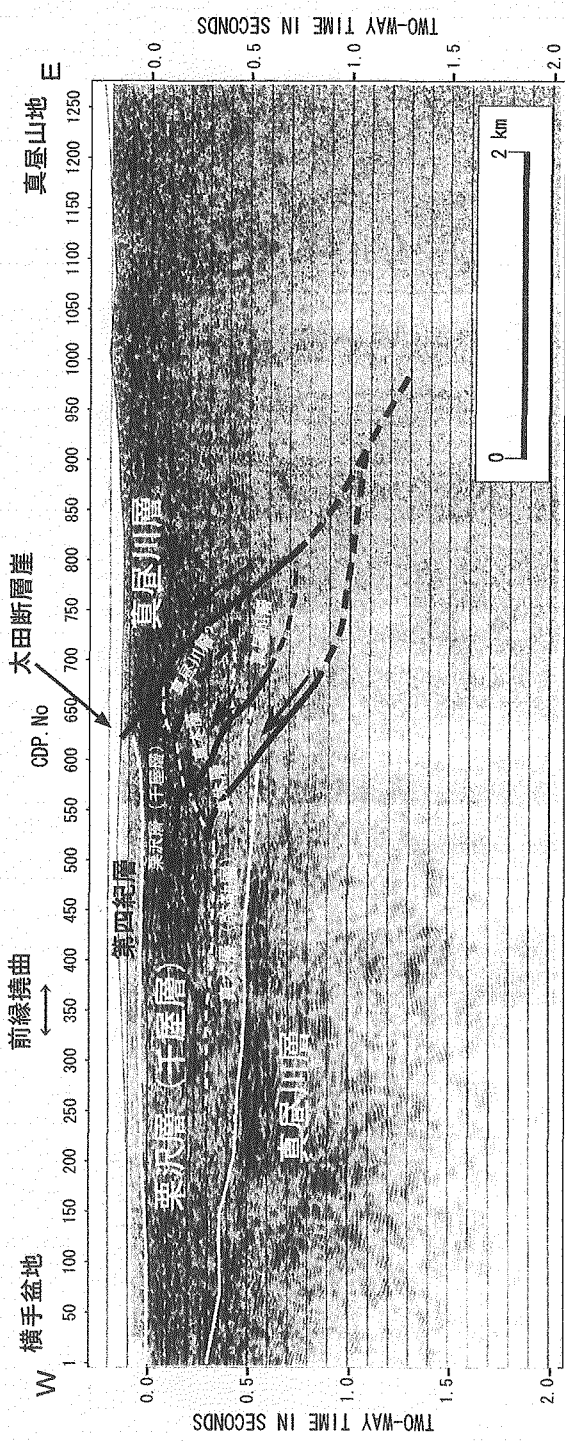
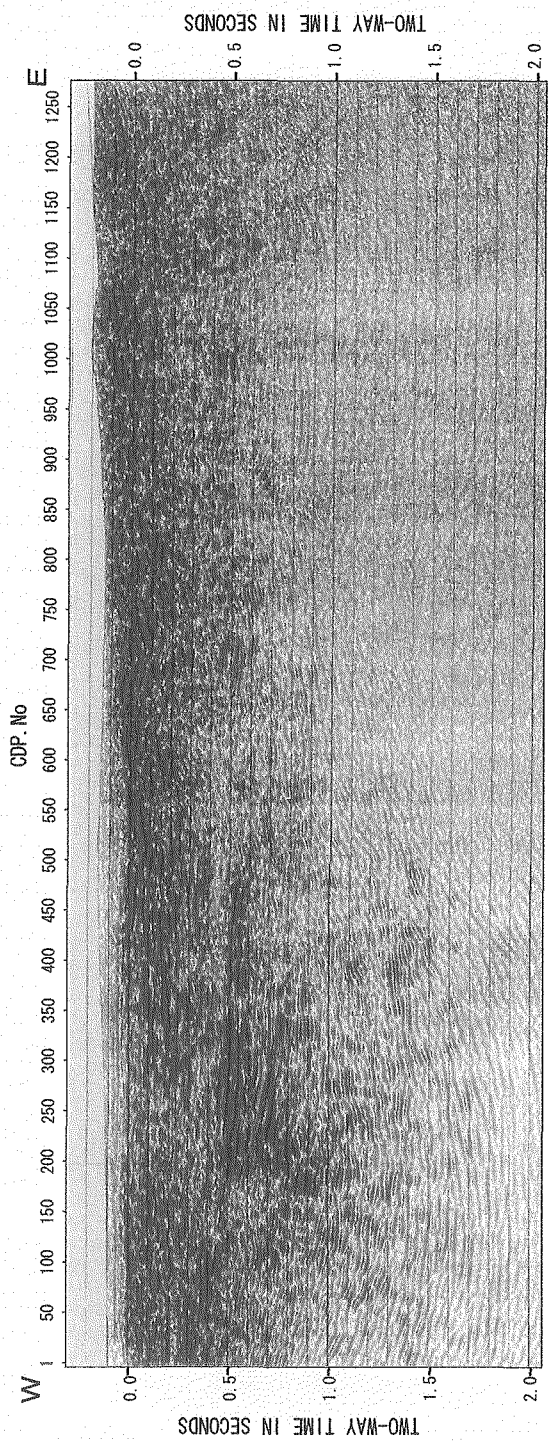
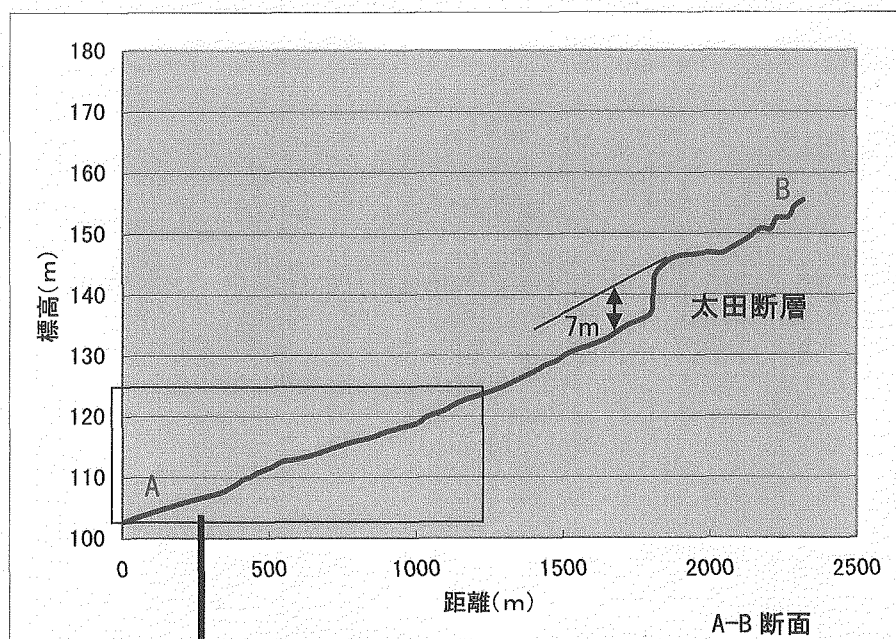
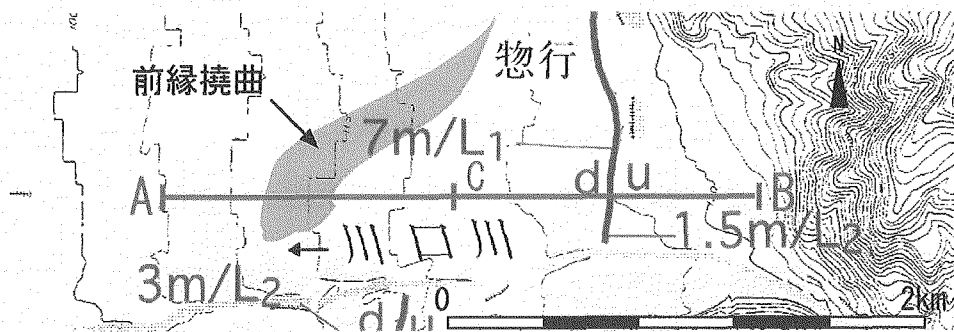


図9 太田断層を横断する側線（川口側線2003）の推定地下断面図
（上図：時間断面，下図：解釈時間断面）



前縁撓曲拡大部

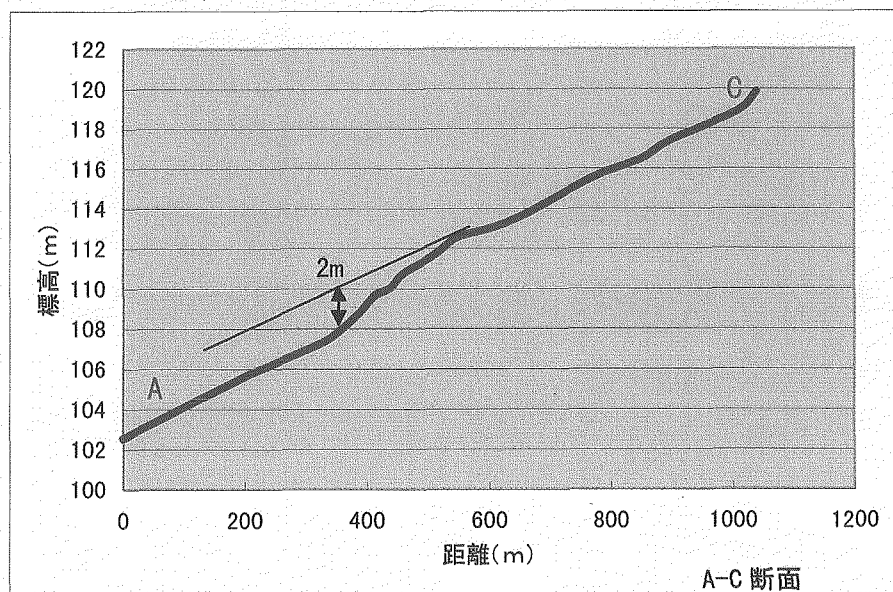


図10 太田断層・川口川右岸の前縁撓曲地形断面図

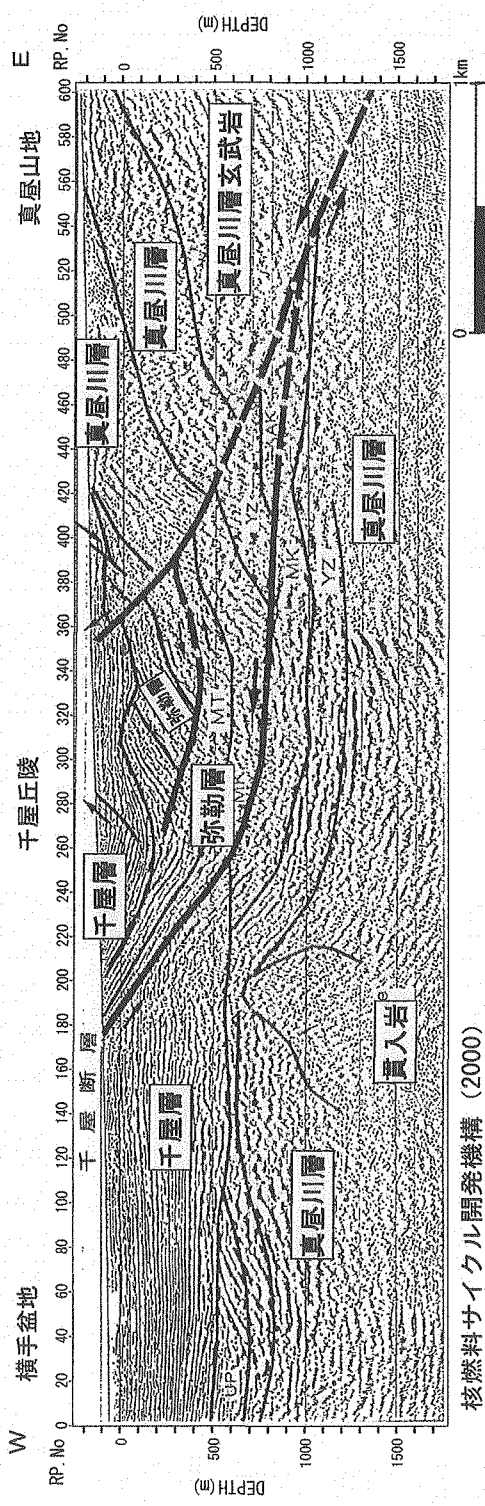
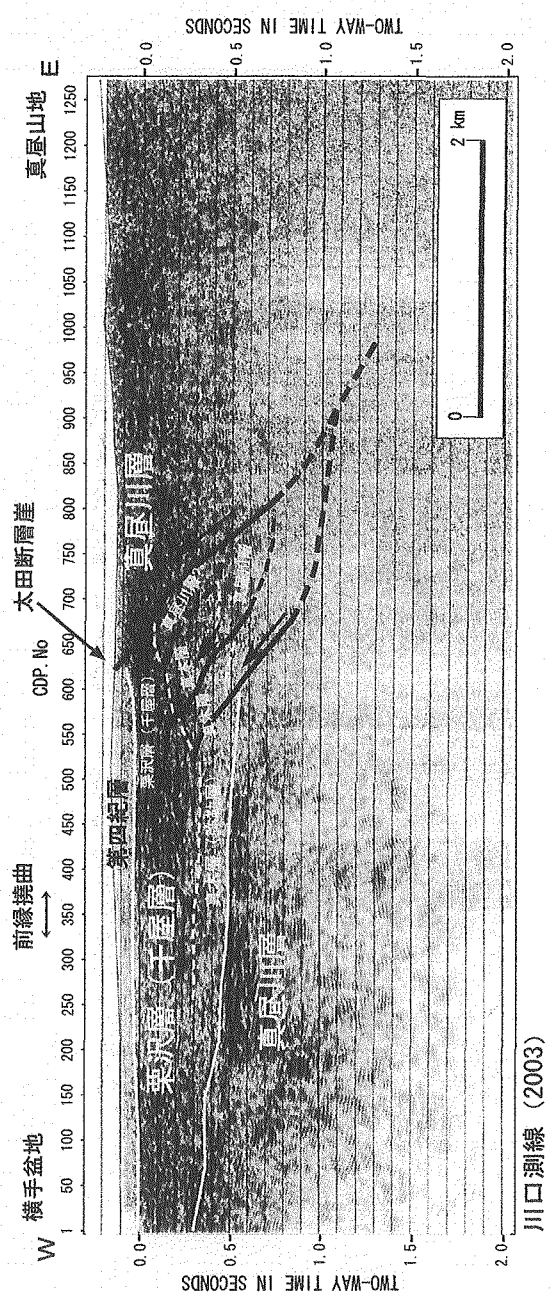


図11 断層発達モデルの比較

表1 弾性波探査諸元

測線名	川口測線 2003	千屋測線 1996
測線長	7. 3 km	6. 5 km
震 源	ミニバイブレーター	ミニバイブレーター
スイープ長	20秒	10～20秒
スイープ周波数	10～100Hz	10～120Hz
発振点間隔	10m	10m
受振システム	GDASP-4	GDASP-4
受振点間隔	10m	20m
チャンネル数	180ch	180ch
受振器	10Hz ジオフォン	28Hz ジオフォン
サンプリング間隔	2ms	2ms
受振長	3Sec	3sec

表 2 速度構造一覽

CDP100		CDP250		CDP350		CDP550		CDP700		CDP1200	
ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s
10	1750	70	1700	50	1400	30	1500	50	2400	80	2350
600	2000	300	2000	300	2000	100	1900	100	2550	350	2650
1450	2850	800	2300	500	2200	500	2200	680	2950	1000	3200
2400	3300			800	2300	800	2600	1000	3500	2150	3800
				1450	2950	1900	2850	1650	3600		