短 報

反射法弾性波探査による越後平野西縁断層帯の浅層構造調査

卜部厚志^{*1, a}・渡部 俊^{*2}・鈴木幸治^{*1}・村尾治祐^{*2}・
高濱信行^{*1}・渡辺史郎^{*3}・稲崎富士^{*4}

新潟県中央部の小千谷市から新潟市にいたる平野部の西縁では、「長岡平野西縁断層帯」と呼ばれる総延長約 83 km にわたる活断層が推定されている。この断層帯の分布や活動履歴は、南部の鳥越断層を除いて詳細が明らかにされていない。そこで、本断層帯の北部にあたる新潟市赤塚地区の平野部において、断層の分布を明らかにするために、浅層反射法弾性波探査を行った。この結果、沖積層の浅層部を変位させる複数の伏在断層を確認した。これらの伏在断層は、西側の丘陵側が平野側に上がる形態の低角の逆断層を主要な構造要素としていることが明らかとなった。

キーワード：新潟県，越後平野，越後平野西縁断層帯，伏在断層，沖積層，反射法弾性波探査

I. は じ め に

越後平野は、新潟県の中央部に位置する沖積平野である。この平野の西縁には、北部の角田・弥彦断層系(仲川, 1985), あるいは「越後平野西縁断層帯」(小林, 1996)と呼ばれている断層や、南部の鳥越断層、関原断層、片貝断層(活断層研究会編, 1991; 池田ほか, 2002)が分布している。地震調査研究推進本部(2004)は、小千谷市から新潟市の沖合にいたる総延長 83 km の断層を一つの起震断層として、これを「長岡平野西縁断層帯」と呼んでいる(図 1)。

越後平野を含む新潟地域は、1983 年日本海中部地震(M 7.7), 1993 年北海道南西沖地震(M 7.8), 1964 年新潟地震(M 7.5)などに代表される日本海東縁部の地震活動域(大竹ほか, 2002)の南方に位置している。また、新潟地域は、GPS による測地学的検討から「新潟-神戸歪帯」と呼ばれ、日本列島の中でも地殻に歪みが集積している地域とされている(鷲谷, 2001)。新潟地域の内陸部では、近世以降、1828 年三条地震(M 6.8 推定), 1847 年善光寺地震(M 7.4 推定), 2004 年新潟県中越地震(M

6.8) などのやや規模の大きな地震、および 1961 年長岡地震(M 5.2), 1995 年新潟県北部地震(M 6.0)などの局地的な地震が発生している。

この内陸部のうち越後平野西縁は、地質構造の発達過程から見た場合、第三紀から第四紀の堆積盆地の西縁を構成する断層帯であり(小林, 1996; 新潟県地質図改定委員会, 2000 など), 歴史地震の記録はなくとも地震活動が繰り返されてきたと考えられる。また、地震調査研究推進本部(2004)による長岡平野西縁断層帯の活動評価では、南部の鳥越断層(渡辺ほか, 2000, 2001)を除いて、活動履歴に関する資料が得られていない。長岡平野西縁断層帯全体の活動性やセグメンテーションを理解する上でも、越後平野西縁は、完新世における構造運動の実態や沖積層に伏在する断層の性質などを明らかにする必要性が高い地域である。

越後平野西縁について、加野ほか(1999)は P 波反射法弾性波探査(発振点間隔: 5 m (標準), 受振点間隔: 10 m)を行い、沖積層の基盤に約 50 m の落差があることを指摘した。また、稲崎・加野(1999)は、新潟市松野尾地域(図 2)において、発振点間隔を 0.5 m, 受振点間隔を

2006 年 8 月 8 日受付, 2007 年 7 月 14 日受理。

*1 新潟大学災害復興科学センター 〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050。

*2 (株)村尾技研 〒950-0948 新潟市中央区女池南 2-4-17。

*3 〒300-0845 土浦市乙戸南 1-25-10。

*4 (独)土木研究所 〒305-8516 つくば市南原 1-6。

*a Corresponding author: urabe@gs.niigata-u.ac.jp

1 m としたランドストリーマーによる S 波反射法弾性波探査を行い、沖積層浅部の撓曲構造を確認した。これらの研究では、沖積層を明瞭に変位させる断層の存在やその方向性・分布規模などが十分に明らかにされていない。

図 1 越後平野の地形と長岡平野西縁断層の分布
長岡平野西縁断層の分布は、地震調査研究推進本部 (2004) による。

い。渡部ほか (2000) は、本報告における探査の予察的解析結果について報告した。そこで、本研究では、稲崎・加野 (1999) が見出した撓曲構造の北東方向の延長部において、発振・受振点間隔を 2 m とした P 波による反射法弾性波探査を行い、沖積層における断層変位などを明らかにすることを目的とした。

II. 探査の概要

1. 地形概要と測線の設定

今回の探査は、越後平野西縁に位置する越後平野西縁断層帯中の新潟市赤塚地域を対象とした (図 2)。赤塚集落の西側では、およそ東北東—西南西方向の延長方向をもつ新砂丘 I (縄文時代前～中期)～新砂丘 II (縄文時代後～晩期) に区分される砂丘列が発達している (新潟古砂丘グループ 1974, 1979; 田中ほか, 1996)。集落の東側では、これらの砂丘列が北北東—南南西方向の直線状に寸断されたような分布を示している。また、この地域の東側の平野部では、新砂丘 I・II に相当するバリアー列が沖積平野下へ沈下している。バリアー—ラグーンシステムの累重様式から、約 6,000 年前、約 4,000 年前、約

図 2 赤塚地域の地形と探査対象測線の概要
AK-L1: 赤塚第 1 測線 (本研究), AK-L2: 赤塚第 2 測線 (本研究)。稲崎・加野 (1999) 測線中の●は、沖積層の撓曲変形が認められる地点を示す。加野ほか (1999) 測線中の■～■は、沖積層の層厚が約 50 m から約 100 m に変化する区間を示す。国土地理院発行 5 万分の 1 地形図「弥彦」を使用。

2,000 年前と、約 2,000 年程度の間隔をもって平野の堆積システムが急激に沈降することが明らかにされている (Urabe *et al.*, 2004 ; 卜部ほか, 2006)。

なお、この直線状の地形境界部には、断層帯の存在が示唆されるが、低地部の表層部に河川成の砂質堆積物が分布することから、必ずしもこの地形境界と断層変位が一致するわけではなく、河川による削剥の効果を見積もる必要がある。このことから、地形境界部付近のみを探索の対象とはせず、稲崎・加野 (1999) によって浅層部での撓曲変形が認められた地点の北東方向への延長上に相当する低地部を探索対象とした (図 2)。この低地部は圃場整備された水田であり、農道が整備されている。この地点の断層の方向は、地形境界の方向から北北東—南南西ないし北東—南西方向であると推定できる。このため、赤塚第 1 測線は、推定される断層と高角に交わるように東北東—西南西方向に延びる農道に設定した。また赤塚第 2 測線は、第 1 測線と直交する方向の農道に設定した (図 2)。

2. 探 査 方 法

加野ほか (1999) により、探索地域の沖積層の基底は深度約 50 m と見積もられていることから、これらの探索では地下 50 m 程度までを主要な探索対象深度として、P 波を用いた反射法により浅層部の地下地質構造を詳しく把握できるようにした。探索の主要な仕様を表 1 に示す。

震源には、高周波の振動を発振する重錘自由落下型 (ドロップヒッター：重錘 50 kg) を用いた。受振は固有周波数 40 Hz の地震計 6 個を群設置した。発振・受振点

の間隔は 2 m であり、短い発振・受振点間隔で探索結果のトレース間隔を短くし、水平方向の分解能を高くした。各発振点に対する受振点数は、赤塚第 1 測線ではエンドオン法を用いて 24、赤塚第 2 測線ではエンドオン法とインラインオフセット法を用いて 48 とした。これによって得られる各共通反射点における重合数 (標準水平重合数) は、赤塚第 1 測線で 12、赤塚第 2 測線で 24 である。また、各発振点における発振数 (標準垂直重合数) は 4 である。

データの処理は、共通反射点重合法による反射法弾性波探索の標準的な手法で行い、深度変換断面図の作成までを行った。

III. 探 査 結 果

探索記録の状態および反射面の分布について述べる。赤塚第 1 測線の深度変換断面図を図 3a に、赤塚第 2 測線の深度変換断面図を図 3b に示す。各記録の地点の位置は、第 1 発振地点を基準として共通反射点の間隔を 1 m 間隔とした場合の測線上の水平位置である。また、深度変換図における深度は、赤塚第 1 測線で行った後述する深度 65 m までのオールコアボーリング (AK-1 : Urabe *et al.*, 2004 ; 卜部ほか, 2006) の層相に基づいて補正しながら、深度変換処理を行った値である。

1. 赤塚第 1 測線

全体として反射面は、20～450 m 地点付近では深度 100 m 程度まで確認でき、450～820 m 地点付近では深度 80～90 m 程度まで確認できる (図 3a)。特に、深度 40～60 m では強い反射面が認められ、探索した測線の全体にわたって確認できる (図 3b)。探索記録の反射面は、堆積層の構造を示していると解釈でき、その不連続は断層による変位を示していると考えられる。不連続面は、深度 50 m を基準として、120 m (南東傾斜の正断層群 : F1-a)、220 m (北西傾斜の逆断層群 : F1-b)、350 m (北西傾斜の逆断層 : F1-c)、500 m (南東傾斜の正断層 : F1-d)、570 m (北西傾斜の逆断層 : F1-e)、720 m (南東傾斜の正断層 : F1-f) の各地点において認められ (図 3a)、断層は地表付近まで連続しているものと解釈できる。

2. 赤塚第 2 測線

赤塚第 2 測線は、赤塚第 1 測線と直交して設定しており、第 2 測線の 150 m 地点と第 1 測線の 435 m 地点が交差する。第 1 測線と第 2 測線のデータ解析手法は同一であるが、第 2 測線の方は重合したトレース数が第 1 測線の 2 倍であることから、反射面のあらわれ方は両者の結果で大きく異なっている (図 3b)。測線全体として見る

表 1 反射法弾性波探索の主要諸元

測線名	赤塚第 1 測線	赤塚第 2 測線
発振装置	Drop Hitter	Drop Hitter
展開方法	end on	end on, inline offset
展開方向	west to east	south to north
測線長	840m	478m
発振点間隔	2m	2m
地震計の固有周波数	40Hz	40Hz
各受振点の地震計数	6/ group	6/ group
受振点間隔	2m	2m
各発振点に対する標準受振点数	24	48
探索記録装置	Strata veiw RX24	Strata veiw RX24
記録長	500msec	500msec
受振記録サンプリング間隔	0.25 μ sec	0.25 μ sec

図3 赤塚第1測線と赤塚第2測線の反射法弾性波探査結果

3a: 赤塚第1測線, 3b: 赤塚第2測線, 3c: 測線の位置と両測線に共通する断層の地表推定分布。
国土地理院発行2.5万分の1地形図「巻」を使用。

と、比較的明瞭な反射面は平均して深度150~170m程度まで確認でき、やや不明瞭となるが一部では深度200m程度まで反射面が確認できる。また、深度150~170m程度まで確認できる反射面は、例えば40~120m地点の記録を見るとわかるように、深度50m以深の強い反射面とそれ以浅のやや弱い反射面に2分できる(図3b)。

反射面の深度50mに見られる不連続や変位から推定できるおもな断層は、測線位置100m(北西傾斜の逆断層:F2-g)、150m(北西傾斜の逆断層:F2-f)、210m(南東傾斜の正断層:F2-e)、240m(北西傾斜の逆断層:F2-d)、285m(南東傾斜の正断層:F2-c)、310m(北西傾斜の逆断層:F2-b)、350m(南東傾斜の正断層:F2-a)である(図3b)。

IV. 地下地質構造

赤塚第1測線の450m地点で掘削されたAK-1の層相は、深度37m程度までが河川成や浅海成の砂層を主体とする地層で、深度37~51mが内湾や潟の環境を示す砂岩泥岩互層である(Urabe *et al.*, 2004; ト部ほか, 2006)。それ以深は、侵食面を介して硬質な砂岩泥岩互層

に変化することから、深度51mまでを沖積層とされている。この結果から、赤塚第1測線に見られる深度50m程度より浅く反射面が弱い部分は沖積層と考えられる(図3a)。同様に、赤塚第2測線では全体に、第1測線と比較して反射面が明瞭であるが、深度50m以浅のやや弱い反射面が沖積層であると考えられる(図3b)。

AK-1では直接的に地層の年代が測定されていないが、ト部ほか(2006)によって解明された堆積システムの連続性から判断すると、本測線付近の沖積層は約9,000年前から約2,000年前の年代の堆積物であると考えられる。赤塚第1測線での地下地質構造は全体に水平な構造を示しているが、前述のように沖積層を変位させる複数の断層が認められる。断層変位の累積性については、この測線の記録からは明確に認定できない。赤塚第2測線でも第1測線と同様に沖積層の浅層部までを変位させている複数の断層が認められる(図3b)。

これらの断層の特徴としては、赤塚第1測線のF1-a断層群とF1-b断層群に見られるように、逆断層を主要な構造要素として、上盤側に正断層が付随するような関係が認められる。このような逆断層と正断層によるくさ

び形の断面形態を有する断層関係は、赤塚第 1 測線の F1-d 断層と F1-e 断層や赤塚第 2 測線の F2-g 断層と F2-e 断層、F2-d 断層と F2-a 断層でも認められる。

赤塚第 1 測線と赤塚第 2 測線は、直交する方向で設定しているため、両測線に見られる比較的明瞭な断層の連続性を検討した。まず、両測線の交点付近に認められる赤塚第 1 測線の F1-c 断層と第 2 測線の F2-f 断層は、両者とも同一の逆断層であると判断でき、断層面はおおよそ北東-南西走向で北西に傾斜していると推定できる。この断層面の走向から、赤塚第 1 測線の F1-b 断層・F1-a 断層は、それぞれ第 2 測線の F2-d 断層・F2-a 断層に対応し、北西に傾斜した逆断層と南東へ傾斜した正断層の対として対比できる(図 3c)。また、これらの走向は、砂丘列と平野部の地形境界や越後平野西縁断層帯の方向と一致している。

今回の探査では、沖積層を変位させる複数の断層が確認でき、直交する測線で探査を行ったことにより断層の走向が明らかになったことは重要な成果である。

V. ま と め

長岡平野西縁断層帯の北部に位置する越後平野西縁断層帯について、浅層反射法弾性波探査を行った。この結果、新潟市赤塚の砂丘列と低地部の境界付近で、沖積層を変位させる複数の伏在断層を発見した。これらの断層では、沖積層の表層部まで変位や変形が認められた。断層の走向は北東-南西方向であり、北西に傾斜した逆断層と南東へ傾斜した正断層の対として、くさび形の断面形態を示すことが明らかとなった。今後、これらの断層の活動履歴を明らかにする必要がある。

引 用 文 献

- 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(2002) 第四紀逆断層アトラス. 254 p, 東京大学出版会.
- 稲崎富士・加野直巳(1999) 高分解能 S 波反射法およびサイスミックコーン貫入試験による角田・弥彦断層群の浅部構造調査. 地質調査所速報, EQ/99/3, 59-68.
- 地震調査研究推進本部(2004) 長岡平野西縁断層帯の評価. 23 p, 地震調査研究推進本部.
- 加野直巳・山口和雄・栗田泰夫(1999) 角田・弥彦断層群の P 波反射法地震探査. 地質調査所速報, EQ/99/3, 47-58.
- 活断層研究会編(1991) 新編日本の活断層—分布図と資料—. 437 p, 東京大学出版会.
- 小林巖雄(1996) 越後平野地下の第四系. 第四紀研究, 35, 191-205.
- 仲川隆夫(1985) 新潟平野の上部更新統・完新統—とくに沈降現象との関係について—. 地質学雑誌, 91, 619-635.
- 新潟県地質図改定委員会(2000) 新潟県地質図説明書(2000 年版). 200 p, 新潟県商工労働部商工振興課.
- 新潟古砂丘グループ(1974) 新潟砂丘と人類遺跡—新潟砂丘の形成史 I—. 第四紀研究, 13, 57-65.
- 新潟古砂丘グループ(1979) 砂丘と平野. アーバンクボタ, 17, 12-15.
- 大竹政和・平 朝彦・太田陽子(2002) 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス. 218 p, 東京大学出版会.
- 鷺谷 威(2001) 日本列島を貫く歪の集中帯—新潟-神戸構造帯—. サイスマ, 5, 12.
- 田中久夫・長谷川 正・木村澄枝・岡本郁栄・坂井陽一(1996) 新潟砂丘の形成史. 第四紀研究, 35, 207-218.
- Urabe, A., Takahama, N. and Yabe, H. (2004) Identification and characterization of a subsided barrier island in the Holocene alluvial plain, Niigata, central Japan. Quaternary International, 115-116, 93-104.
- ト部厚志・吉田真見子・高濱信行(2006) 越後平野の沖積層におけるバリアーラグーンシステムの発達様式. 地質学論集, 59, 111-127.
- 渡部 俊・ト部厚志・高濱信行・鈴木幸治・村尾治祐・渡辺史郎・稲崎富士(2000) 新潟平野西縁部, 角田・弥彦断層群における浅層反射法地震探査. 新潟応用地質研究会誌, 54, 33-37.
- 渡辺満久・太田陽子・鈴木郁夫・澤 祥・鈴木康弘(2000) 越後平野西縁, 鳥越断層群の完新世における活動性と最新活動時期. 地震第 2 輯, 53, 153-164.
- 渡辺満久・太田陽子・栗田泰夫(2001) 鳥越断層群のボーリング調査. 活断層・古地震研究報告, 1, 87-96.

Urabe, A., Watabe, S., Suzuki, K., Murao, H., Takahama, N., Watanabe, S. and Inazaki, T.: Detailed Structure of the Shallow Part of the Western Marginal Fault Zone of the Echigo Plain, Central Japan, Detected from Seismic Reflection Survey.