

3. 研究報告

3. 1. 断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測

3. 1. 1. 制御震源地震探査等による断層形状の解明

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3カ年の年次実施計画
 - 1) 平成24年度
 - 2) 平成25年度
 - 3) 平成26年度
- (e) 平成24年度業務目的

(2) 平成24年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の方法と成果
 - 1) 調査地域の地質概要と調査測線
 - 2) データ取得
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献

(3) 平成25年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 制御震源地震探査等による断層形状の解明

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志
国立大学法人東京大学地震研究所	助教	石山 達也
国立大学法人東京大学地震研究所	助教	藏下 英司
国立大学法人東京大学地震研究所	技術専門職員	坂 守
国立大学法人東京大学地震研究所	技術専門職員	森 健彦
国立大学法人東京大学地震研究所	技術専門職員	渡邊 篤志
国立大学法人東京大学地震研究所	技術専門職員	芹澤 正人
国立大学法人東京大学地震研究所	技術専門職員	中島 剛
国立大学法人東京大学地震研究所	技術専門職員	増田 正孝

(c) 業務の目的

断層形状把握のために、断層の中央部で制御震源による三次元反射法地震探査・二次元深部反射法探査を行い、断層帯の形状・構造を解明する。断層帯南部においては、伏在部を含めて断層の広がりと形状を明らかにするために、稠密重力探査を行う。

(d) 3カ年の年次実施業務の要約

- 1) 平成24年度：立川断層が通過する真如苑プロジェクト用地（旧日産自動車工場跡地）において、断層の三次元形状・三次元的な変位量を明らかにするために、300m×660m領域で、受振・発震点の間隔が約10mの高分解能三次元反射法地震探査を行った。
- 2) 平成25年度：立川断層南部において重力探査を行い、断層の位置と大局的な地下構造を明らかにする。重力異常によって明らかになった断層トレースについて、二次元反射法地震探査を行い、断層の詳細な構造を明らかにする。
- 3) 平成26年度：反射法地震探査を実施し、断層の位置と形状を明らかにする。

(e) 平成24年度業務目的

立川断層が通過する真如苑プロジェクト用地（旧日産自動車工場跡地）において、断層の三次元形状・三次元的な変位量を明らかにするために、300m×660m領域で、受振・発震点の間隔が約10mの高分解能三次元反射法地震探査を行う。

(2) 平成24年度の成果

(a) 業務の要約

東京都立川市と武蔵村山市に跨る真如苑プロジェクト管理地（旧日産村山工場跡地）内の、発掘調査を実施した立川断層が通過すると推定される300m×660m領域においてバイブロサインを震源とする浅層三次元反射法探査および浅層二次元三成分反射法探査を実施

した。浅層三次元反射法探査においては展開範囲全域の1931点にてP波発震を実施し、展開した全受振点にて良好なデータを得た。また、浅層二次元三成分反射法探査においては128点にてS波発震を実施し、良好な三成分データを得た。

(b) 業務の方法と成果

1) 調査地域の地質概要

立川断層の主部が位置する立川市・武蔵村山市にまたがる、真如苑プロジェクト用地(旧日産自動車工場跡地)において三次元高分解能浅層反射法地震探査を行った(図1)。この地域は、立川断層主部において唯一トレンチ調査が可能な用地であり、大規模なトレンチ発掘調査を実施した。立川断層については、東京都(東京都, 1998; 2003)、産業技術総合研究所(山口ほか, 1998)、東京大学地震研究所(佐藤ほか, 2006)によって、反射法地震探査が実施されている。これらはいずれも二次元調査であり、三次元的な断層の形状は把握されていない。特に、立川断層については、近年、変動地形学的な観察から横ずれ断層の可能性が指摘されており(東郷, 2012)、また多摩川南岸の落川-一宮遺跡において発見された断層は、傾斜が高角度で短縮変形を伴うことから(東郷ほか, 1996)、立川断層についても横ずれ成分の評価が必要である。このため、広大な真如苑プロジェクト用地を利用して、三次元反射法地震探査を行い、詳細な断層形状の浅部構造の把握と、累積されたものではあるが、この断層に伴う三次元的な変位量の把握を行うことを目的とした。

なお、本来はトレンチ掘削前に物理探査を実施すべきではあったが、次年度に予定していた深部反射法地震探査とセットで実施することで、探査費用の低減を試みたため、トレンチ埋設後約3月中～下旬に実施することになった。

立川断層の主部については、広く立川面に相当する段丘礫層に覆われるため、狭山丘陵に上総層群が露出する以外、礫層より下位の地質情報については、ボーリングと物理探査に限られる(例えば鈴木ほか, 2008)。

2) データ取得

a) 調査測線

東京都立川市と武蔵村山市に跨る、真如苑プロジェクト管理地(旧日産村山工場跡地)内の、立川断層が通過すると推定される300 m×660 m領域において、浅層三次元反射法および浅層二次元三成分反射法のデータを取得した(図2、3)。便宜上、東西方向に連続する観測点による測線として31測線(Line11001～41001)を設定し、総延長は約20.5 kmとした。

b) 測量作業

浅層三次元反射法受発震点では標準10 m間隔、浅層二次元三成分反射法受発震点では標準5 m間隔で、受振点・発震点の位置を木杭・鋲・マーカースプレーで標示した。受振点・発震点の位置および標高値はRTK-GPS(VRS方式)により求めた。作業時間帯の衛星配置状況は良好であった。

c) 調査概要

反射法地震探査では、中型バイブロサイン1台およびS波バイブロサインを震源として用いた(図4)。浅層三次元反射法調査では、受振点間隔10 m(三成分区間5 m)、発震点

間隔 10 m、固定展開 2209 チャンネルのデータ取得を行った。浅層二次元三成分反射法調査では、受振点間隔 5 m、発震点間隔 5 m、固定展開三成分（図 5）798（各成分 266）チャンネルのデータ取得を行った。

測線上に設置された受振器で取得された反射波データは GDAPS-4A 型探鉱機および Sercel 428XL 型探鉱機によって記録された。

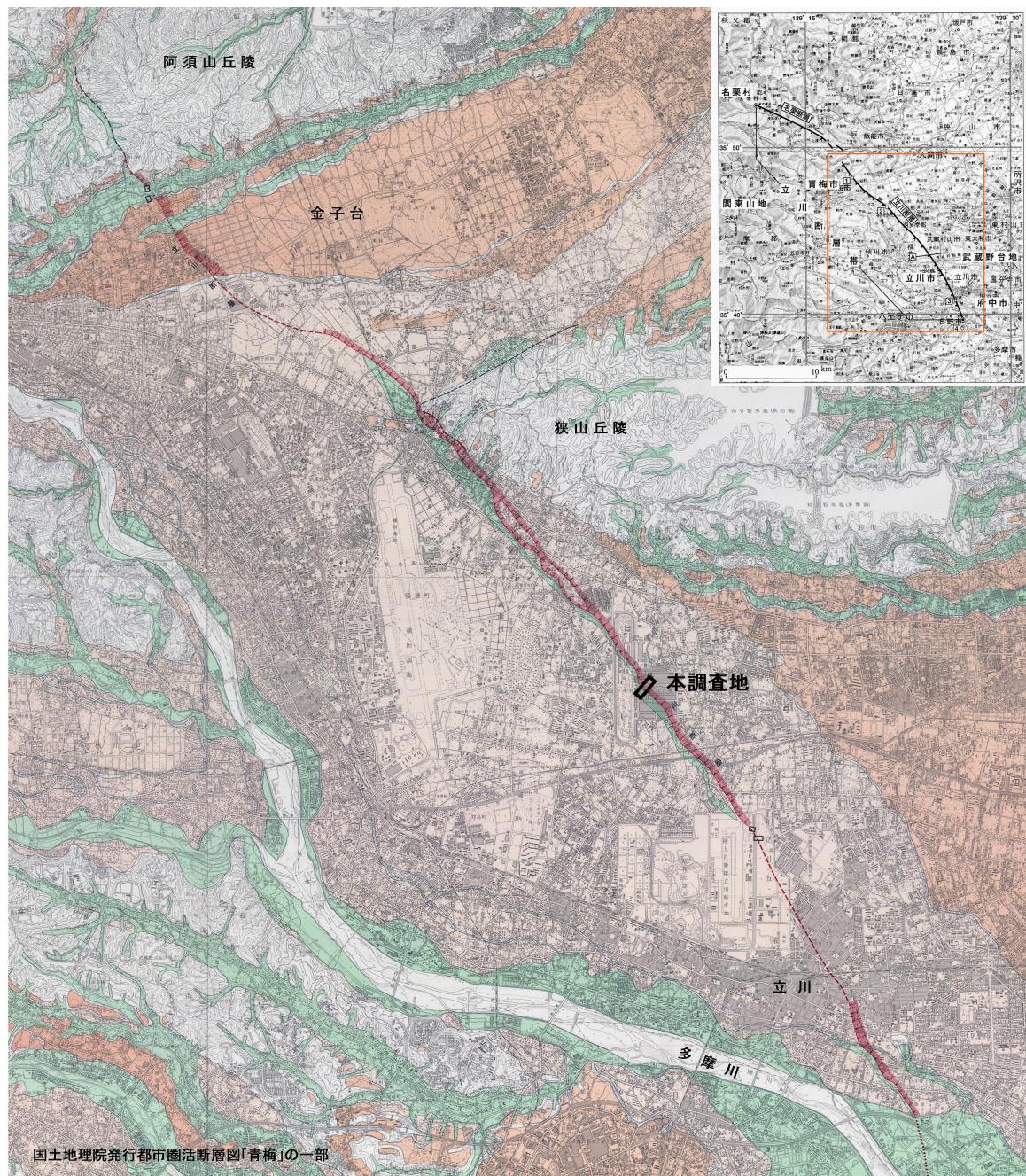


図 1 立川断層と調査位置図（基図は都市圏活断層図「青梅」（関口ほか, 1996））

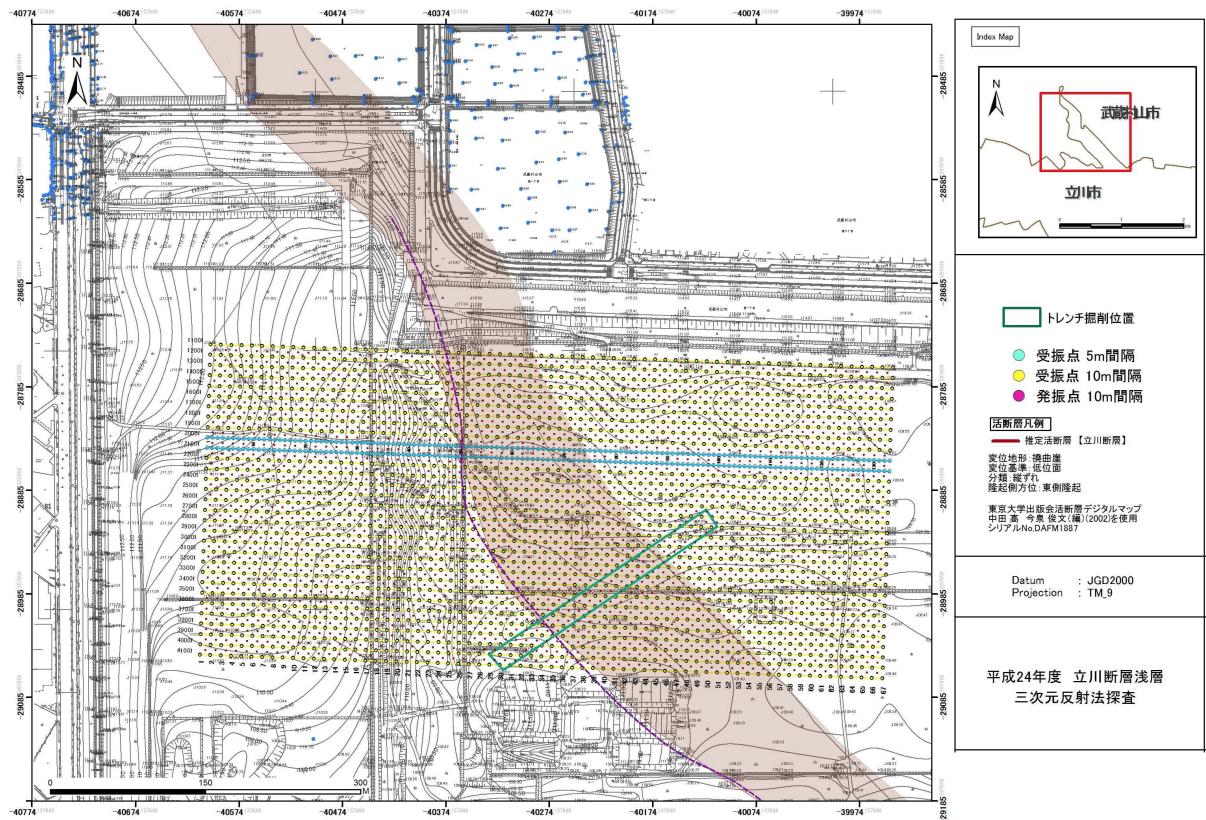


図2 調査測線図 断層トレース（赤紫）は中田・今泉（2002）による。



図3 探査用地



図 4 探査で使用した S 波バイブロサイズ（左）と中型バイブロサイズ（右）



図 5 MEMS 三成分センサー（サーセル社製）

d) 浅層三次元反射法地震探査

i) 作業概要

平成 25 年 3 月 15 日より受振点杭を設置し、測量作業を開始した。データ取得作業は、平成 15 年 3 月 17 日より受振器・ケーブル等の設置作業を開始した。測定作業は平成 25 年 3 月 23 日にテストを実施し、本発震を 3 月 24 日より開始した。

以後、順調に測定作業を進め、平成 25 年 3 月 28 日に全測定作業を終了、引き続き測定機器等の撤収、資機材の搬出作業を行った。

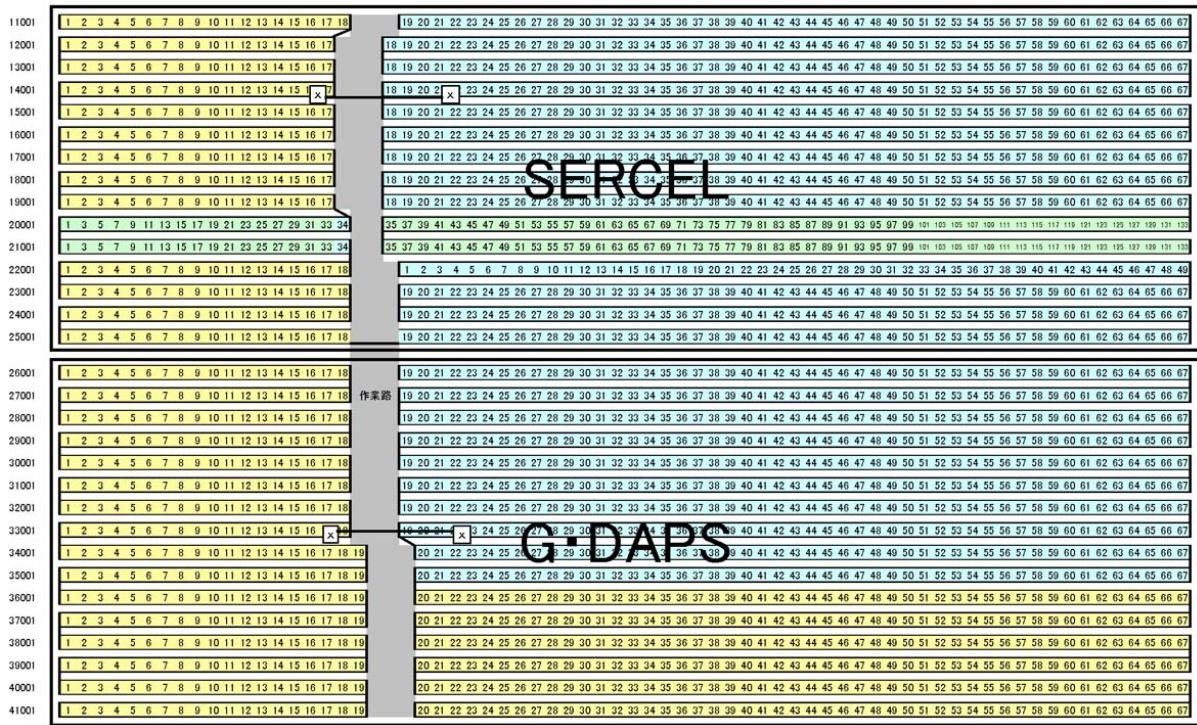
ii) 調査仕様

<震源仕様>

震源	中型バイブロサイズ 1 台
標準発震点間隔	10.0 m
標準発震測線間隔	10.0 m
標準スイープ数	2 回
標準スイープ長	12 秒
スイープ周波数	8-80 Hz

<受振仕様>

受振器	ジオフォン 10Hz 及び MEMS 三成分センサー併用
受振測線数	31
受振点間隔	10.0 m
受振測線間隔	10.0 m
展開長	固定展開
展開レイアウト	Full-fold, Full-azimuth 3D
<記録仕様>	
記録システム	24 ビット A/D によるデジタルテレメトリ型
サンプル間隔	2 m 秒
記録長（相互相關後）	5 秒



SM-24 9個玉 810ch

SM-24 3個玉 1133ch

DSU:3成分 266ch

図 6 受振測線レイアウト

iii) データ取得作業

受振器は上下動受振器 SM-24 を杭横の露出地面に設置したが、瓦礫により直接設置できない箇所については受振器用スパイクを使用して設置した。受振器アレイについては、受振器を固めて隣接して設置する「バンチング」とした。また 9 個組および 3 個組の受振器グループを併用した。発震作業のためにケーブルをまたぐ箇所については、ケーブルをゴム製のカバーで覆って保護した。後述の浅層三次元三成分反射法の測線と重なる箇所に関しては、三成分受振器 DSU3-428 を設置した。

調査受振測線は 4 本のスネークリайнを設定した。受振測線レイアウトを図 6 に示す。調査区域北側を探鉱機 Sercel 428XL に接続する 2 本のライン、調査区域南側を探鉱機 GDAPS-4A に接続する 2 本のラインとして受振器を設置した。Sercel 428XL に接続する受振器は、東西測線 15 測線にて SM-24 が 13 測線(Line11001～19001,22001～25001)で 871 点、DSU3-428 が 2 測線(Line20001～21001)で 266 点となる。GDAPS-4A に接続する受振器は東西測線 16 測線(Line26001～41001)にて全て SM-24 が 1072 点となる。

発震については、浅層三次元反射法探査では中型バイブロサイズを用いた。発震作業に当たっては、振動の様子を確認しながらテストを実施し、発震の諸パラメータを決定した。中型バイブロサイズを 2 台用意したうち、1 台は発震期間中の故障に備えて待機とした。発震位置は近傍の受振点に対し発震点間隔の半分の距離をずらした点で発震した。

図 7～9 に現場記録例を示した。各図は、1 発震点に対して、地表の 1 東西測線における受振点で観測した記録であり、横軸は受振点の番号、縦軸は時間となっている。参考のために各図の上部に測線図も同時に添付した。測線図では発震点を赤丸、受振測線を青線で示している。

P波発震記録例

- ・3/24発震記録
- ・VP20002
- ・RP25001-25067
- ・中型P波バイブルサイズ(1台, 90%Force)
- ・2重合
- ・AGC1000ms, Low Cut 25Hz

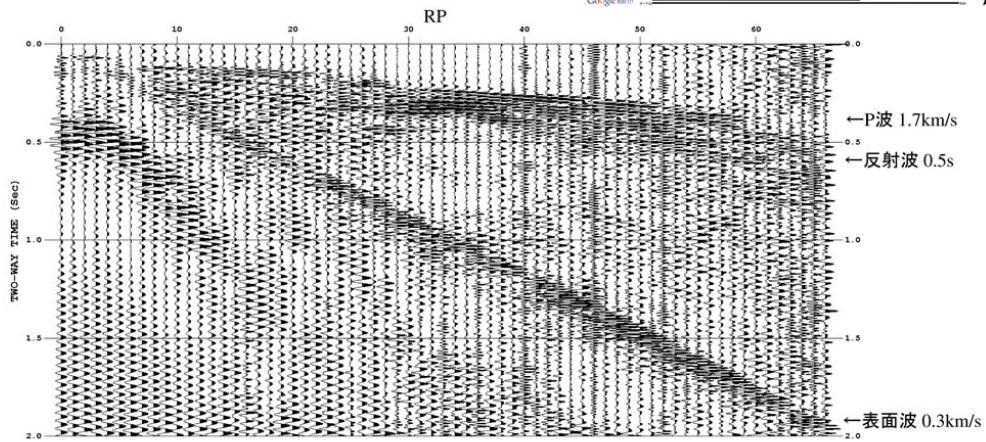
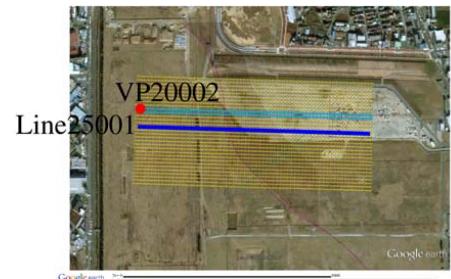


図 7 浅層三次元反射法ショット記録 (VP20002, Line 25001)

P波発震記録例

- ・3/25発震記録
- ・VP20048
- ・RP21001-21133
- ・中型P波パイプロサイズ (1台, 90%Force)
- ・2重合
- ・AGC1000ms, Low Cut 25Hz

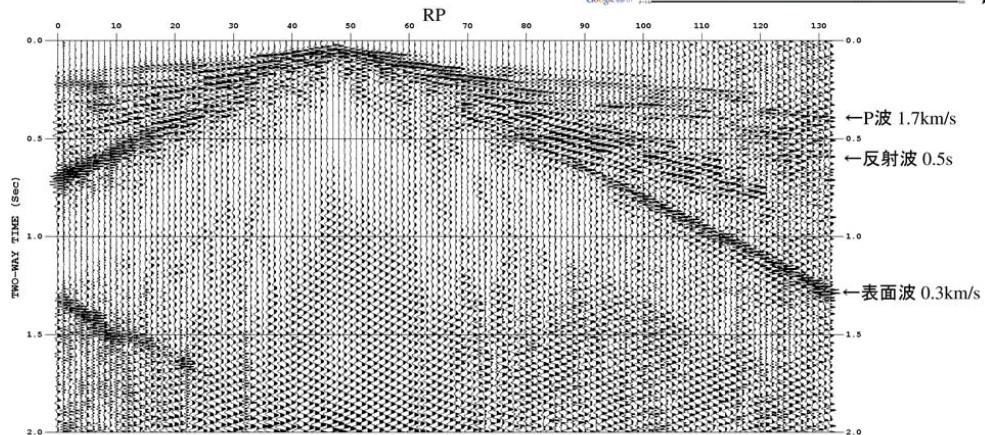
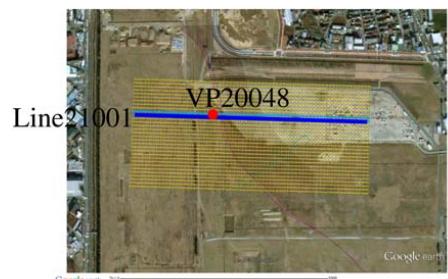


図 8 浅層三次元反射法ショット記録 (VP20048, Line 13001)

P波発震記録例

- ・3/26発震記録
- ・VP20130
- ・RP21001-21133
- ・中型P波パイロサイズ (1台, 90%Force)
- ・3重合
- ・AGC1000ms, Low Cut 25Hz

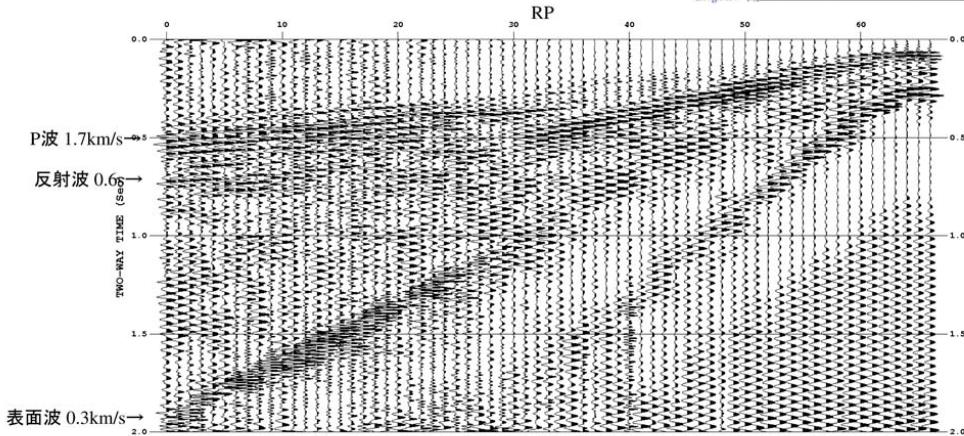
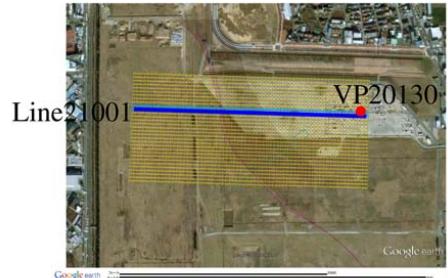


図 9 浅層三次元反射法ショット記録 (VP20130, Line 13001)

iv) 取得データ

浅層三次元反射法による発震は3月23日のパラメタテストにより発震周波数は8~80Hz、テーパ長300 msとして実施した。発震は3月24日より28日にかけて各日平均400点程度の発震を実施した。3月26日は午後からヘリコプターによるノイズが著しく、しばしば計測を中断した。発震作業の進捗を考慮してスイープ回数を6回に増加することでSNの増加を図った。全発震期間での発震点数は1931点、発震率は97.5%程度となつた。全発震点数での発震を終了後、同日までにノイズの影響が見られた東部の発震点に対して、スイープ数を10回に増加した発震を追加して実施した。追加発震点はVP12066, 16066, 21066, 26066, 31066, 36066, 40066の7点で実施した。取得データは前日までのデータと同様にノイズの影響が見られたが、フィルタの適用により初動および反射波の確認が可能であり、またスイープ数を増加させた発震に対しては明瞭に確認できた。追加発震点のデータは特に今後の屈折法解析での活用が期待される。

e) 浅層二次元三成分反射法地震探査

i) 作業概要

浅層二次元三成分反射法調査は、平成25年3月24日の発震作業開始時において、浅層三次元反射法調査に先立って実施した。発震作業は順調に進捗し、同日に終了した。

ii) 調査仕様

<震源仕様>

震源	S波バイブルサイズ1台
標準発震点間隔	5.0 m
標準スイープ数	2回
標準スイープ長	12秒
スイープ周波数	8-60 Hz

<受振仕様>

受振器	MEMS三成分センサー
受振点間隔	5.0 m
展開長	固定展開

<記録仕様>

記録システム	24ビットA/Dによるデジタルテレメトリ型
サンプル間隔	2 m秒
記録長（相互相関後）	5秒

iii) データ取得作業

受振器は三成分受振器DSU3-428を杭横の露出地面にドリルを用いて設置した。受振器の方向については、ラインに沿って東向きがH1方向となるように統一した。

調査受振測線は浅層三次元反射法測線のスネークラインの一部として設定した。調査区域北側の探鉱機Sercel 428XLに接続するラインのうち、Line20001~21001の2本の東

S波発震記録例

•3/24発震記録
•VP20001
•RP20001-20133 H2成分
•S波パイプロサイズ(1台, 80%Force)
•2重合
•AGC1000ms, Low Cut 25Hz

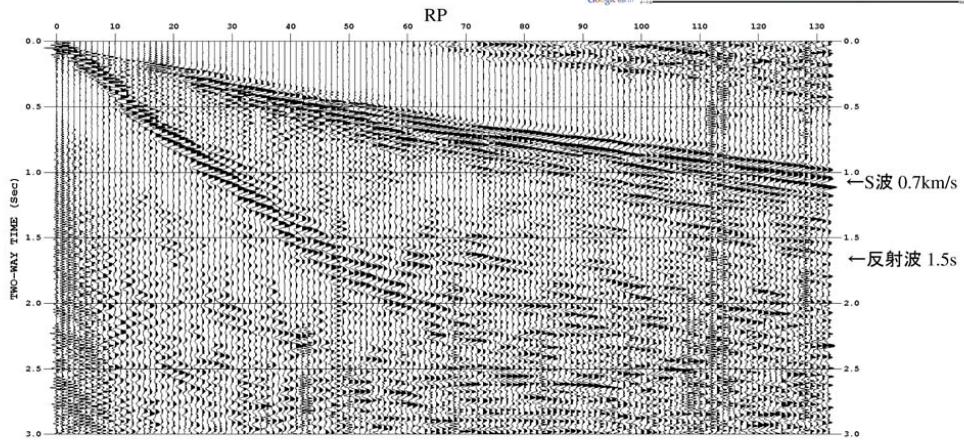


図 10 浅層二次元三成分反射法ショット記録 (VP20001, Line 21001, H2 成分)

S波発震記録例

•3/24発震記録
•VP20051
•RP20001-20133 H2成分
•S波パイロサイズ(1台, 80%Force)
•2重合
•AGC1000ms, Low Cut 25Hz

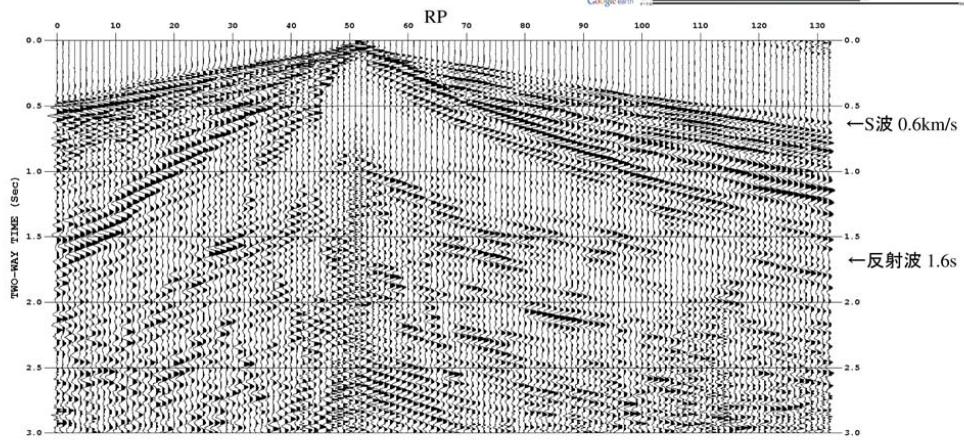
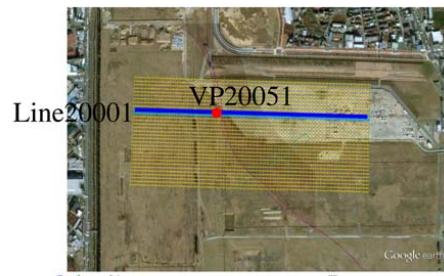


図 11 浅層二次元三成分反射法ショット記録 (VP20051, Line 20001, H2 成分)

S波発震記録例

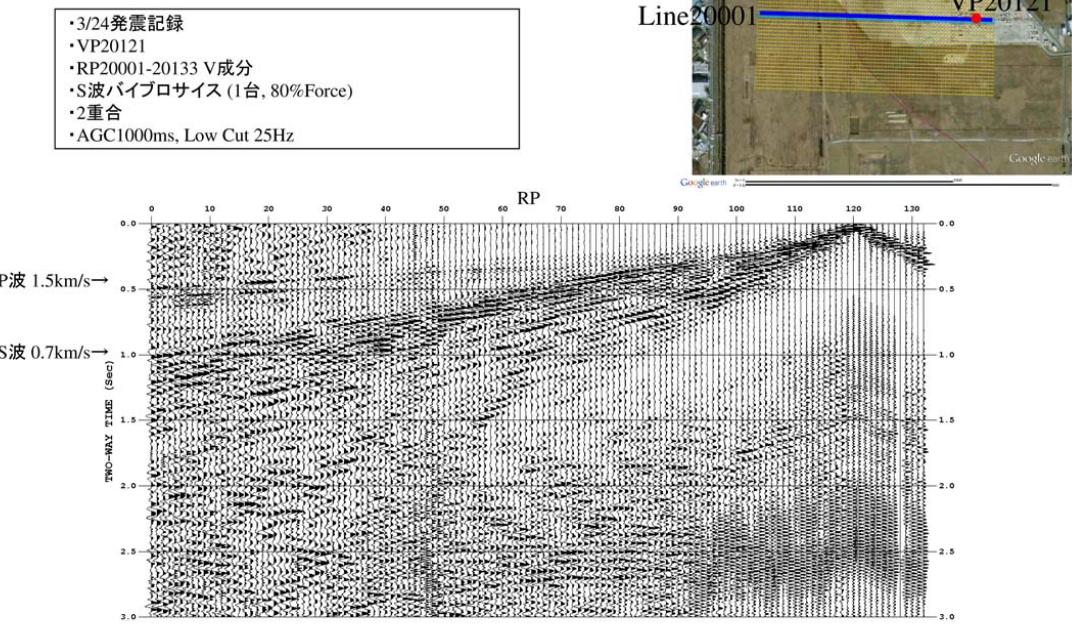


図 12 浅層二次元三成分反射法ショット記録 (VP20051, Line 20001, V 成分)

西測線において、5 m 間隔で DSU3-428 を設置した。設置した総点数は DSU3-428 が 266 点、合計 798 成分となる。

発震については、浅層二次元三成分反射法探査では S 波バイブロサイズを用いた。発震作業に当たっては、振動の様子を確認しながらテストを実施し、発震の諸パラメータを決定した。発震は受振点位置より発震間隔の半分の距離をずらした点で実施した。

図 10～12 に現場記録例を示した。各図は、1 発震点に対して、地表の各東西測線における受振点で観測した各成分の記録であり、横軸は受振点の番号、縦軸は時間となっている。参考のために各図の上部に測線図も同時に添付した。測線図では発震点を赤丸、受振測線を青線で示している。

iv) 取得データ

浅層二次元三成分反射法における S 波発震は、発震期間初日の 3 月 24 日の発震開始時より同日午前中において実施した。発震範囲は Line20001 の西端から東端であり、用地内の溝の位置など、発震点状況により発震不能な点を除いた 128 点で実施した。

取得データはノイズレベルが低く、各成分において S 波の伝播が明瞭に見られた。記録からは受振点 20030 および 20050 近傍よりみかけ速度の異なる後続波が見られるが、地下構造によるものかは明確には同定できず、溝などの地表地形の影響による可能性もあると考えられる。

(c) 結論ならびに今後の課題

東京都立川市と武蔵村山市に跨る真如苑プロジェクト管理地（旧日産村山工場跡地）内の、立川断層が通過すると推定される300 m×660 m領域においてバイブルサイズを震源とする浅層三次元反射法探査および浅層二次元三成分反射法探査を実施した。浅層三次元反射法探査においては展開範囲全域の1931点にてP波発震を実施し、展開した全受振点にて良好なデータを得た。また、浅層二次元三成分反射法探査においては128点にてS波発震を実施し、良好な三成分データを得た。

今後、両データの解析を行い、とくに既存研究における断層トレースと、地下構造の位置・形状との関連を明らかにしていく予定である。

(d) 引用文献

- 中田 高・今泉俊文編：活断層詳細デジタルマップ，60p，DVD2枚，付図1葉，東京大学出版会，2002.
- 佐藤比呂志・平田 直・岩崎貴哉・瀬織一起・伊藤 潔・伊藤谷生・笠原敬司・加藤直子：大深度弾性波探査 3.1.2.北関東地殻構造探査（北関東測線2006，大宮-野田測線），大都市大震災軽減化特別プロジェクト 1 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」（平成17年度）成果報告書，18-97, 2006.
- 関口辰夫・津沢正晴・中島秀敏・渡辺満久・今泉俊文：都市圏活断層図「青梅」，D1-No. 333，国土地理院，1996.
- 鈴木毅彦・村田昌則・大石雅之・山崎晴雄・中山俊雄・川島眞一・川合将文，テフラ編年による立川断層活動史の復元. 第四紀研究, 47, 103-119, 2008.
- 東郷正美・佐藤比呂志・池田安隆・松多信尚・増淵和夫・高野繁昭：立川断層の最新活動について，活断層研究, 15, 1-8, 1996.
- 東郷正美：立川断層～未だ解けていないその活断層像～，武蔵野, 87, 5-10, 2012.
- 東京都：平成9年度 地震関係基礎調査交付金 立川断層に関する調査成果報告書，153 p, 1998.
- 東京都：関東平野（東京都）地下構造調査（北多摩地区弾性波探査），26p, 2003.
- 山口和雄・加野直巳・横倉隆伸・木口 努・田中明子・佐藤比呂志，反射法による立川断層の地下構造，活断層研究, 17, 54-64, 1998.

（3）平成25年度業務計画案

立川断層南部において重力探査を行い、断層の位置と大局的な地下構造を明らかにする。重力異常によって明らかになった断層トレースについて、二次元反射法地震探査を行い、断層の詳細な構造を明らかにする。また、平成24年度に取得した高分解能三次元反射法地震探査の取得データについて解析を行い、立川断層の三次元形状などについて検討する。