

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

注水実験による内陸地震の震源断層の微細構造と回復過程の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-2) 地震破壊過程と強震動

ア．断層面の不均質性と動的破壊特性

3. 新たな観測技術の開発

(3) 観測技術の継続的高度化

ア．地下状態モニタリング技術

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

5 か年間の到達目標は主として以下の 3 つである。

1) 野島断層(震源断層)の詳細な破碎帯構造の推定

平成 25 年度に野島断層の深部破碎帯(深さ 1800m)に対して初めて直接的な注水を行い、震源断層の透水性および詳細な破碎帯構造を推定する。長期的にはさらに約 5 年後(次期 5 か年計画)において 2 回目の 1800m 深度注水実験を実施して、震源断層における透水係数の経年変化を検出し、野島断層(震源断層)の強度回復過程の検出につなげる。これまで実施した 540m 深度注水データの解析・モデル改善、およびアクロス連続運転(平成 21~25 年度の各年 2-3ヶ月間実施)により、野島断層近傍岩盤の強度回復過程についても引き続き検証を行う。1800m 深度注水および従来の 540m 深度注水の結果を合わせた解析により、震源断層から分岐断層(震源断層から南東方向に約 400m)にいたる断層帯の広範囲にわたる透水性構造および注入水の挙動を推定する。

2) 注水誘発地震の発生過程の解明

1800m 深度注水により誘発地震(深さ 2-4km)が多数発生することが予想される。これを用いて、誘発地震の震源過程の特性および地震発生における流体(間隙水圧)の役割の解明、および断層面の摩擦特性の推定等、活断層における誘発地震の発生過程を解明する。これまで実施した 540m 深度注水に伴う誘発地震と合わせた解析を行い、野島断層の詳細な深部破碎帯構造を推定し、断層構造の不均質性と地震の発生過程について解明する。

3) 内陸地震の震源断層における応力集中過程の解明

野島断層および他の内陸地震の震源断層を対象として、断層深部構造（特に走向方向の構造不均質性）、本震時の破壊過程（アスペリティ分布等）および回復過程（断層における回復過程進行の非一様性）の関係について、既存の研究成果を含めて系統的に事例集積し、総合的に検討する。これに基づき、内陸地震の震源断層における構造不均質性と応力集中過程についての解明をめざす。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

平成21年度は、従来の540m深度注水実験により得られたデータ、特に平成20年度に実施した第6回注水実験のデータ解析により野島断層近傍岩盤の透水係数およびその経年変化の研究をさらに進展させる。注水に伴う極微小地震（誘発地震）の検出およびその波形解析、クラスター構造解析等を系統的に行い、野島断層周辺に発生する極微小地震の発生過程の特性について検討する。アクロス連続運転を実施し、地表震源装置と800m孔および1800m孔地震計間の地震波走時および振幅の経年変化について検証を行う。1800mおよび800m孔における地震・地殻変動・地下水の連続観測を継続する。さらに、平成25年度実施の1800m深度注水実験に向けて、500m孔における新たな地下水連続観測の準備、および野島断層近傍（地上）における地震観測点設置の準備を行う。

平成22年度は、引き続き従来の540m深度注水実験データのモデリング高度化、およびアクロス連続運転により野島断層近傍岩盤の強度回復過程検出を進展させる。地上およびボアホール地震計データの解析、および500m孔における地下水予備観測を行う。野島断層および他の内陸地震の震源断層・活断層の深部構造と回復過程の事例（解析も含む）を集積する。

平成23年度は、引き続き従来の540m深度注水実験データのモデリング高度化、およびアクロス連続運転により野島断層近傍岩盤の強度回復過程検出を進展させる。地上およびボアホール地震計データの解析、および500m孔における地下水予備観測を行う。野島断層および他の内陸地震の震源断層・活断層の深部構造と回復過程の事例（解析も含む）を集積する。

平成24年度は、1800mボアホール地震計の引き上げ等、1800m深度注水実験の準備を行う。アクロス連続運転による地震波走時・振幅の経年変化の検出を進展させる。地上およびボアホール地震計データの解析、および500m孔における地下水予備観測を行う。野島断層および他の内陸地震の震源断層・活断層の深部構造と回復過程の事例（解析も含む）を集積する。

平成25年度は、1800m深度注水実験を実施し、震源断層（野島断層）の透水係数を推定する。従来の540m深度注水の結果も合わせた解析により、震源断層から分岐断層にいたる断層帯の透水性構造および注入水の挙動を推定する。1800m深度注水による誘発地震の発生を検出し、誘発地震の震源過程および発生特性を推定する。野島断層および他の内陸地震の震源断層・活断層の深部構造と回復過程について取りまとめる。

(7) 平成23年度成果の概要：

1. アクロス連続運転による野島断層近傍の地震波伝播特性の測定：

野島断層近傍の地表岩盤に設置されたアクロス震源の長期連続運転を、2011年11月26日から2012年2月2日にかけて実施した。過去6回の連続運転（2000年1月～2001年4月、2003年3月～6月、2005年8月～9月、2007年11月～2008年5月、2009年9月～2010年1月、2010年11月～2011年1月）と同じパラメータで運転し、アクロス震源と800m孔底地震計の間の伝達関数からP波およびS波の走時と振幅の経年変化を推定した（図1）。その結果、P、S波走時ともにばらつきがあるものの、2000年～2012年にかけて約2ms（0.4%）速くなったことが確認された。P波（赤い直線）の方がS波（青い直線）よりも速度の変化が大きいように見えるが、これについては今後、更に検討が必要である。振幅の経年変化については、P波、S波ともに±10%程度のばらつきがあり、単調な増加あるいは減少の傾向は見いだせない。また、同じ伝達関数を用いて、後続波部分における走時変化についても推定した（図2）。鉛直成分、水平成分ともに走時のばらつきは大きいものの、その経年変化は0.1%程度の範囲内と見られる。後続波（散乱波）部分は直達波経路よりも広い領域の速度変化を反

映すると考えられるので、野島断層の破碎帯近傍ではその周辺領域よりも速度変化(強度回復)が大きいことを示唆するものと考えられる。

2. その他:

1800m、800m、および500m孔における地震、地殻変動、地下水、孔内温度の連続観測を継続するとともに(図3参照)、平成25年度実施予定の1800m深度注水実験に向けて、500m孔における地下水測定(2012年3月実施予定)および野島断層近傍(複数の地上点)における地震観測点設置準備を行っている。野島断層および他の内陸地震の震源断層について、深部構造やその不均質性、本震における破壊過程、および回復過程に関わる観測事例を集積し検討を行っている。

(8)平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

(9)平成24年度実施計画の概要:

平成24年度は、平成25年度実施予定の1800m深度注水実験の準備作業として、1800m孔地震計の引き上げを行う。また、500m孔における地下水測定(平成23年度(2012年3月)から開始予定)および野島断層近傍(複数の地上点)における地震観測点設置を行う。これまで実施した540m深度注水実験(6回)のモデリング高度化、野島断層近傍岩盤の透水係数の経年変化の推定・検証、野島断層周辺で発生する極微小地震の波形解析およびクラスター構造解析等についても引き続き研究を進める。アクロス連続運転を実施し、地表震源装置と800m孔地震計の間の地震波走時・振幅の経年変化について測定・検証を行う。また、S波速度の偏向異方性についても測定し、走時や振幅変動の要因となる野島断層近傍の構造特性の推定をめざす。1800m孔(地震計引き上げまで)、800mおよび500m孔における地震・地殻変動・地下水・孔内温度の連続観測を継続する。野島断層および他の内陸地震の震源断層について、深部構造やその不均質性、本震における破壊過程、および回復過程に関わる観測事例を集積し検討する。

(10)実施機関の参加者氏名または部署等名:

西上欽也・大志万直人・吉村令慧・加納靖之(京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無:有

東京大学地震研究所(山野 誠)、東京大学理学系研究科(田中秀実)、名古屋大学環境学研究科(山岡耕春・田所敬一)、静岡大学理学部(生田領野)、金沢大学理工研究域自然システム学系(平松良浩)、高知大学理学部(村上英記)、神戸大学理学部(山口 覚)、奈良産業大学情報学部(向井厚志)、産業技術総合研究所(北川有一・小泉尚嗣)、防災科学技術研究所(小村健太郎)。

(11)公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名:京都大学防災研究所地震予知研究センター

電話:0774-38-4195

e-mail:nishigam@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL:<http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/doi/kaibo/>

(12)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:西上欽也

所属:京都大学防災研究所地震予知研究センター

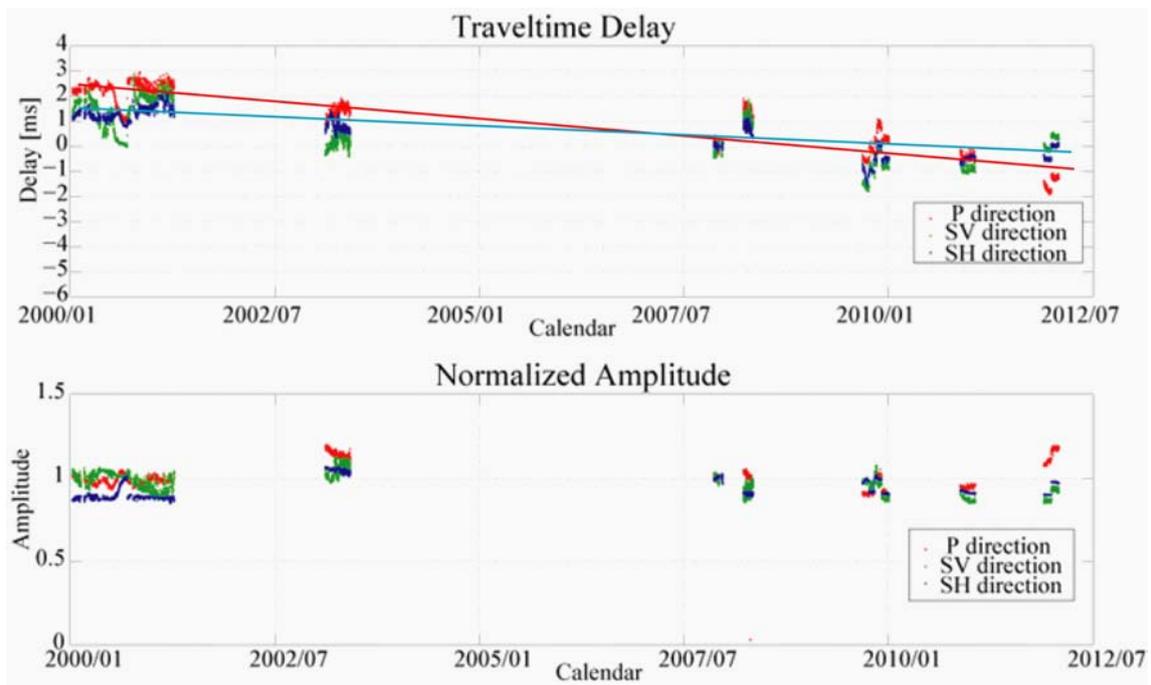


図1 2000年1月～2012年2月にかけてアクロス連続運転により測定された、野島断層近傍における直達波（P波およびS波）の走時（上）および振幅（下）の時間変化。赤、緑、青はそれぞれ、P波、断層に直交するS波、断層に平行なS波を示す。

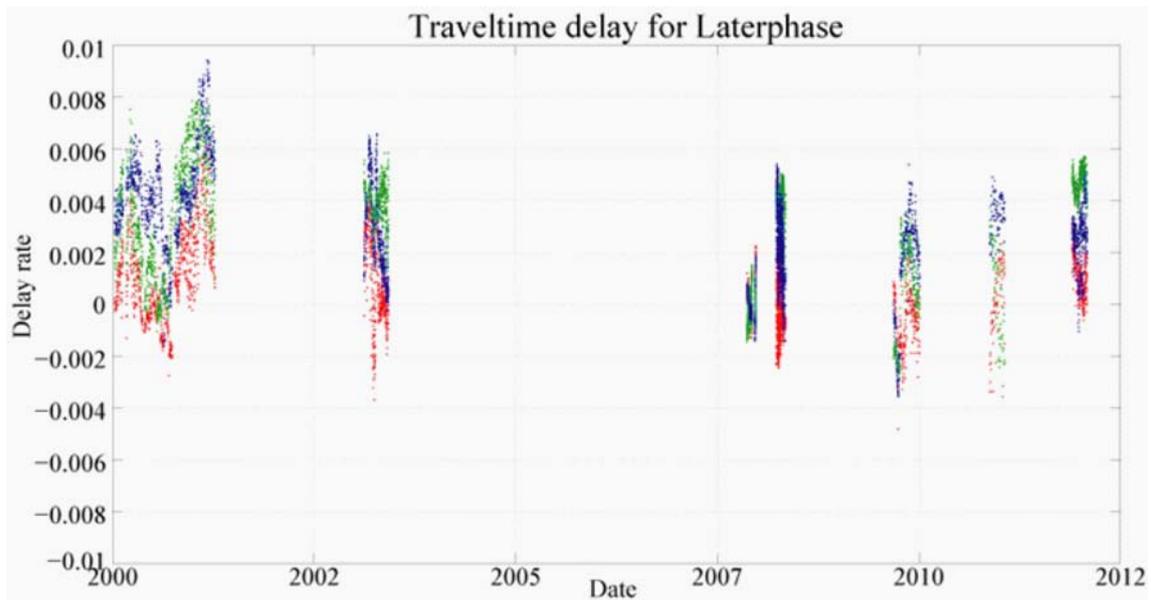


図2 2000年1月～2012年2月にかけてアクロス連続運転により測定された、後続波部分の走時の時間変化。

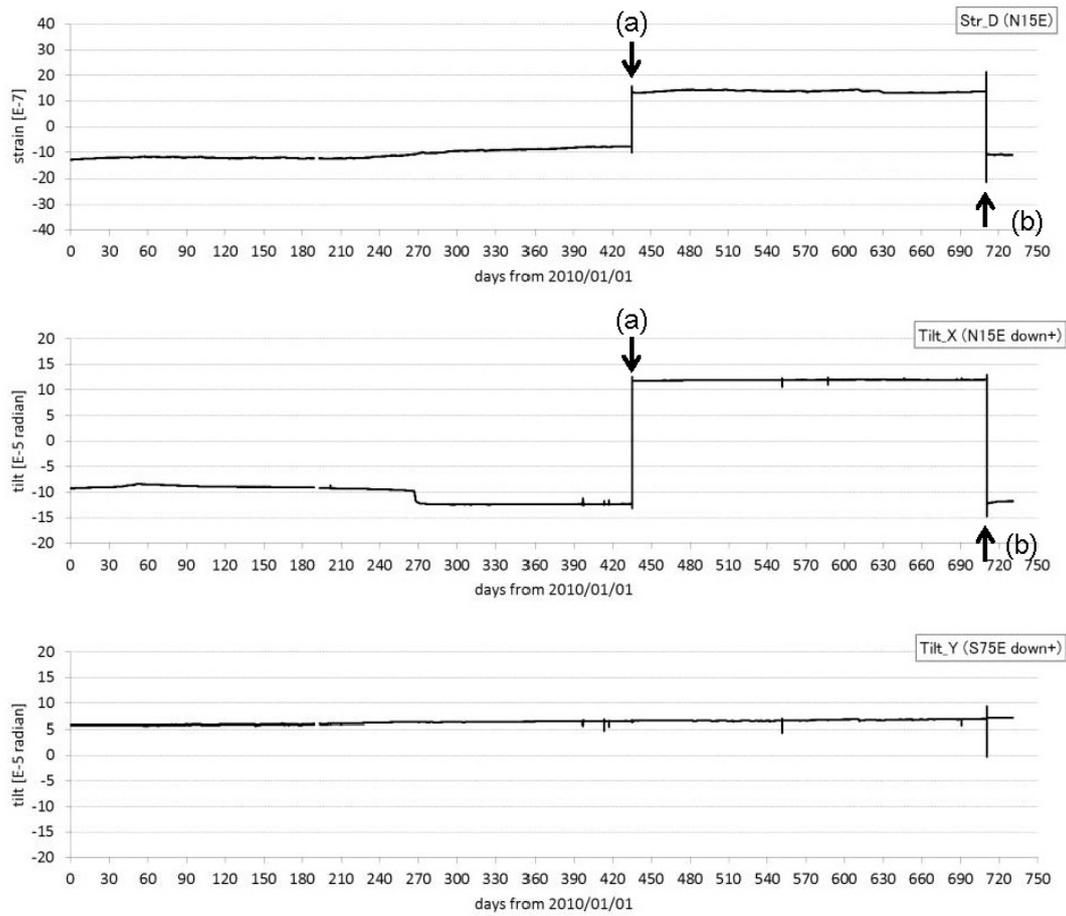


図3 800m孔における地殻変動連続観測（2010年1月1日～2011年12月31日）。上から順に：歪（D成分）、傾斜（X成分）、傾斜（Y成分）。矢印(a)は2011年東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化、(b)は電源交換に伴う人為的なステップ。