

(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）の詳細な破砕帯構造の推定

平成 25 年度に野島断層の深部破砕帯（深さ 1800m）に対して初めて直接的な注水を行い、震源断層の透水性及び詳細な破砕帯構造を推定する。長期的には更に約 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、及びアクロス連続運転（平成 21～25 年度の各年 2-3 か月間実施）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 深度注水及び従来の 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及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及び地震発生における流体（間隙水圧）の役割の解明、及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砕帯構造を推定し、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

野島断層及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）及び回復過程（断層における回復過程進行の非一様性）の關係について、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目指す。

（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及びその経年変化の研究を更に進展させる。注水に伴う極微小地震（誘発地震）の検出及びその波形解析、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孔及び1800m孔地震計間の地震波走時及び振幅の経年変化について検証を行う。1800m及び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、及び野島断層近傍（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、及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。地上及びボアホール地震計データの解析、及び500m孔における地下水予備観測を行う。野島断層及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、及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。地上及びボアホール地震計データの解析、及び500m孔における地下水予備観測を行う。野島断層及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。地上及びボアホール地震計データの解析、及び500m孔における地下水予備観測を行う。野島断層及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及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及び発生特性を推定する。野島断層及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24年度成果の概要：

1．1800m孔における注水実験の準備作業：

平成25年度に1800m深度注水実験を実施するため、当初計画では、1800m孔底の地震計を引き上げる予定であった。これは注水孔である1800m孔の内部にパッカーを設置して、漏水部分（540m深度付近）より深部に加圧注水するうえで地震計ケーブルが障害となることから必要な作業と考えていたものである。今回、技術面と経費面から再検討を行った結果、地震計ケーブルを残したままでパッカーを設置することが可能と分かり、そのように作業内容を変更した。1800m孔における地震観測と光ファイバによる孔内温度計測を今後も継続して実施できることになった。これは1800m深度注水実験を実施する際に注入水の挙動を確認し、また野島断層の震源断層近傍で発生する極微小地震を観測することができるなど、大きなメリットとなる。この1800m孔におけるパッカー設置の準備作業を2013年3月上旬に実施する。

2．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、2012年10月29日から2013

年 1 月 16 日にかけて実施した。過去 7 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，2011 年 11 月～2012 年 2 月）と同じパラメータで運転し，アクロス震源と 800 m 孔底地震計の間の伝達関数から P 波及び S 波の走時と振幅の経年変化を推定した。また，1999 年 6 月及び 9 月に試験的に実施した実験データについても再解析を行い，共通の周波数帯の応答を取り出して比較することにより，1999 年～2012 年にわたる経年変化を推定した（図 1）。その結果，走時は各期間で ± 1 ms 程度のばらつきを持つものの，1999 年～2012 年にかけて約 2 ms（0.4%）程度速くなる傾向が確認された。P，S 波の振動方向による変化傾向の違いは特に見られない。振幅については各期間で ± 10 % 程度のばらつきがあり，経年変化について単調な増加あるいは減少の傾向は見いだせない。1999 年，2011 年，2012 年には P 波の振幅が特に大きく推定されているが，これは走時の速まりに対応して振幅が大きいものと考えることができる。上記と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が大きいものの，鉛直成分については変化がなく，水平成分については変化がないかもしくは 0.1% 程度速くなっているように見える。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の速まり（強度回復）が大きいことを示唆するものと考えられる。

3. その他：

1800m 孔及び 800m 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，平成 25 年度実施予定の 1800m 深度注水実験に向けて，500m 孔における地下水連続観測を 2012 年 6 月から開始した。また，野島断層近傍の複数地点（地上）において地震観測を開始した。野島断層及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，及び回復過程に関わる観測事例を集積して，検討を行っている。

- （8）平成 24 年度の成果に関連の深いもので，平成 24 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
生田領野・山岡耕春・渡辺俊樹・國友孝洋・西上欽也，ACROSS による淡路島野島断層近傍における 11 年間の地震波速度モニタリング，日本地球惑星科学連合 2012 年大会，2012 年 5 月 20 日（ポスター）。

生田領野・山岡耕春・渡辺俊樹・國友孝洋・西上欽也，ACROSS による淡路島野島断層近傍の長期地震波モニタリング，日本地震学会 2012 年度秋季大会，2012 年 10 月 17 日（口頭）。

- （9）平成 25 年度実施計画の概要：

平成 25 年度は 1800m 深度注水実験を実施する。500m 孔における地下水データの解析により，野島断層の震源断層（1800m 以浅）における透水性構造を推定する。800m 孔におけるひずみ及び地下水データの解析により，震源断層から分岐断層にかけてのより広い領域の透水性構造の情報を得る。800m 孔，1800m 孔及び地上の複数の場所に設置した地震計データの解析により，注水に伴う極微小地震の活動変化を検出し，注水実験前後の定常活動と合わせて極微小地震の震源位置，震源クラスター構造等の推定を行う。1800m 孔地震計で記録された地震データの解析により，極微小地震の震源過程の情報を得る。1800m 孔地震計及び地上の断層上に設置した地震計データの解析により，断層トラップ波の検出と解析を行う。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更なる測定と検証を行う。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目指す。野島断層及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，及び回復過程に関わる観測事例を集積，検討して取りまとめる。

- （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） 大阪市立大学理学部（山口 寛） 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

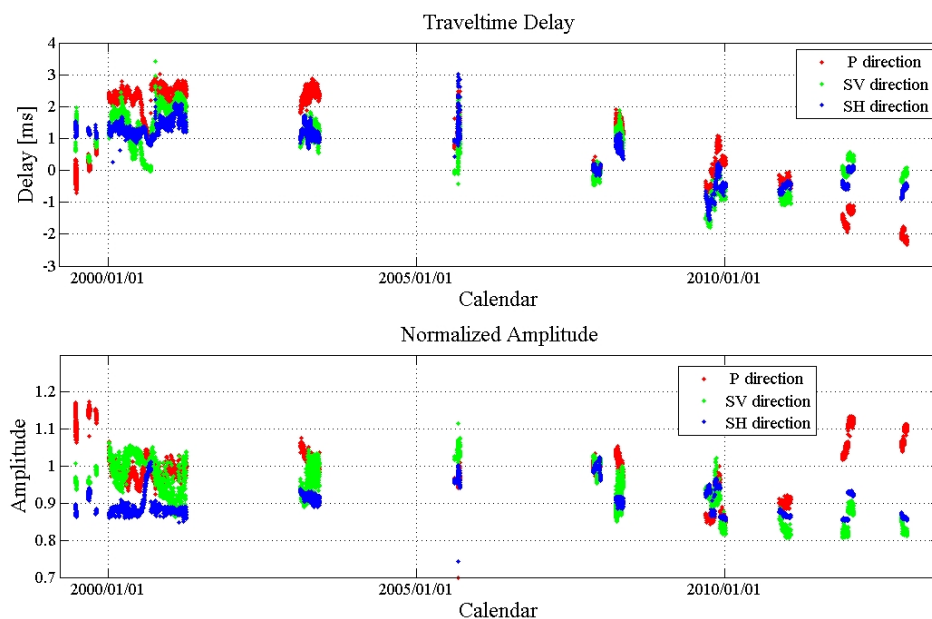


図 1

1999 年 6 月～2013 年 1 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 波及び S 波）の走時（上）及び振幅（下）の時間変化．いずれも，2008 年 3 月～5 月を基準とした走時の遅れと振幅の比を示す．赤，緑，青はそれぞれ，P 波，断層に直交する S 波，及び断層に平行な S 波．

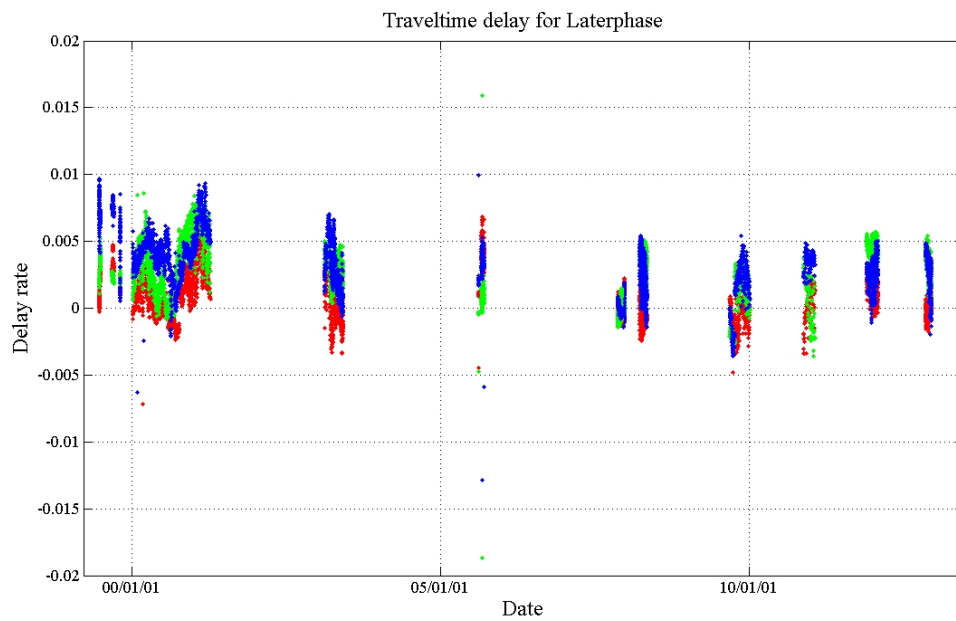


図 2

1999 年 6 月～2013 年 1 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．2008 年 3 月～5 月を基準とした走時遅れの割合を示す．赤，緑，青はそれぞれ，鉛直成分，震源方向の水平成分，及び震源直交方向の水平成分．