

断層は通常どのようにふるまっているか？

東濃地震科学研究所 石井 紘

はじめに

「断層は通常どのようにふるまっているか」ということを調べることは地震予知研究はもとより地殻活動を理解する上で興味深いことである。著者は今まで断層のふるまいを調べる目的で断層近傍に設置した歪計のデータを用いて解析を行ってきた。それによると通常でも断層は微小な運動をしていることがわかってきた (Ishii et.al. ,2007, 石井、2007)。この報告においては断層近傍のボアホールにおいて揚水実験を行い、断層近傍に設置されているボアホール歪計のデータを解析することにより、地下水変動と断層運動の関連について考察した。その結果について報告する。

観測点と観測計器

図1は当研究所のボアホール地殻活動総合観測点の分布と今回の実験に関連したボアホール観測点(左)と断層の配置(右)を示している。NNW断層の近くに深度約500mのDH2ボアホールが掘削してある。この断層はほぼ垂直な右横ずれである。このボアホールにおいて定量連続揚水を行った。このボアホールから水平距離約300m離れたところのTGR350孔とTGR165孔の孔底に設置してある地殻活動総合観測装置に搭載されているボアホール歪計により、揚水に伴う変化を記録した。また、約200m離れたところに設置してある名古屋大学の伸縮計に記録されたデータも解析に用いた。揚水実験は2001年2月、2002年4月と5月の3回行った(浅井、2001、東濃地震科学研究所、2003)。ここでは2001年2月と2002年4月のデータを解析した。

図2はNNW断層周辺の観測点を拡大した図である。TGR165(深度165m)とTGR350(深度350m)ボアホールは数メートルしか離れていない。DH2ボアホールは深度500mである。図3は揚水実験における写真である。図4と図5はTGR165とTGR350ボアホールの構造と孔底に埋設・設置されているボアホール総合観測装置である。それぞれ深度165mと350mのボアホール孔底に設置されており、歪計、傾斜計、地震計、磁力計と温度計を搭載している。

観測データ

図6は2001年2月と2002年4月の揚水実験に伴う歪変動のプロットである。上からTGR350孔の水位変化、伸縮計の変化、TGR350孔の歪計変化とTGR165孔の歪計変化である。

揚水変化とTGR350の水位変化は対応している。地表に近いところに設置されている伸縮計は揚水に伴う水位の低下により、3成分とも縮み変化を示している。TGR350孔とTGR165孔の歪計変化は成分により変動が異なっている。2001年2月と2002年4月の揚水実験とも歪変化は類似の変動傾向を示している。

次にこれらの変動をより詳しく理解するために主歪成分を計算した。図7は伸縮計により観測された2001年と2002年の揚水実験に伴う主歪変動(下)とベクトル図である(上)。この場合は揚水に伴って全ての成分が縮みとなり最も縮みの大きい方向はENE-WSW方向であることがわかる。

図8はTGR165(深度165m)のボアホールに設置してある総合観測装置の歪計により観測された2001年と2002年の揚水実験に伴う主歪変動(下)とベクトル図である(上)。2001年及び2002年ともに揚水開始とともにほぼ南北方向に伸びが進行し、東西方向に縮みが進行している。

図9はTGR350(深度350m)のボアホールに設置してある総合観測装置の歪計により観測された2001年と2002年の揚水実験に伴う主歪変動(下)とベクトル図である(上)。2001年及び2002年ともに揚水開始とともにほぼESE-WNW方向に伸びが進行し、NEN-SWS方向に縮みが進行している。最大せん断歪の変化

もプロットしてあるが揚水の進行とともに右横ずれの変動が進行している。図2にも示してある NNW 断層は右横ずれであるがTGR350で観測された最大せん断歪は右横ずれであり、方向もNNW断層と類似の方向と考えられる。

図10は揚水が終了した後、すなわち水位の回復過程における変動のみをプロットしてある。これによると水位の回復過程においてはNNW断層方向で左横ずれ運動が進行していると考えられる。水位上昇に伴って進行した右横ずれ運動が元に戻るような進行と考えられる。

これらの変動を考慮すると揚水実験においては2001年と2002年の異なる時期においても同じような変動を示していることがわかった。また、揚水実験に伴ってNNW断層が変動しているように考えられる歪変動がTGR350の歪計に観測されていることもわかった。

図11はTGR165,TGR350,DH2ボアホールとNNW断層および地下水の帯水層の位置をプロットしてある。DH2ボアホールは167mまではケーシングしてあるがその下は裸孔である。TGR350の歪計は二つの帯水層の下にある。

図12は揚水実験に伴う変動を模式的に示している。TGR350における歪変動を考慮すると以下のように考えられる。DH2の揚水に伴って水位が低下し、これに対応してNNW断層が本来の右横ずれの運動をし、揚水が終了した時には水位が回復の上昇を示し、断層は左横ずれ運動で最初の状態に戻る動きをする。

まとめ

1. 揚水による水位変化の影響は観測している歪計の深度により異なる。地表に近い伸縮計は全ての成分が縮みを示し、最大の主歪はENE-SWS方向である。深度165mのTGR165の主歪はNS方向の伸張である。
2. 帯水層より深いところに設置されているTGR350ボアホール(深度350m)の歪計はSES-NWN方向の伸びを示し、最大せん断歪はほぼNNW断層方向に右横ずれの変化を示す。
3. 揚水が終了した後の回復過程においてはTGR350の歪計は断層運動が回復するように左横ずれの変動を示す。
4. 参考文献などの結果も考慮すると断層は通常、テクトニックな応力など外部の作用により微小な運動をしていると解釈できる。

参考文献

Ishii, H., T. Yamauchi, Y. Asai, S. Matsumoto and A. Mukai (2007): Interesting phenomena detected by the continuous observation of strain and in-situ stress measurements in the vicinity of the active Mozumi-Sukenobe Fault, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, 157-162.

石井 紘(2007).湧水による断層の動き、東濃地震科学研究所報告、21,27-32.

東濃地震科学研究所(2003)、地下水制御歪観測実験、平成14年度東濃地震科学研究所事業報告書、8-9.

浅井康広(2001)、東濃地域における地殻変動連続観測 地上および地下深部における観測記録の比較、揚水試験結果(序報)、東濃地震科学研究所報告、6,37-45.

Borehole Observation Net of Our Institute

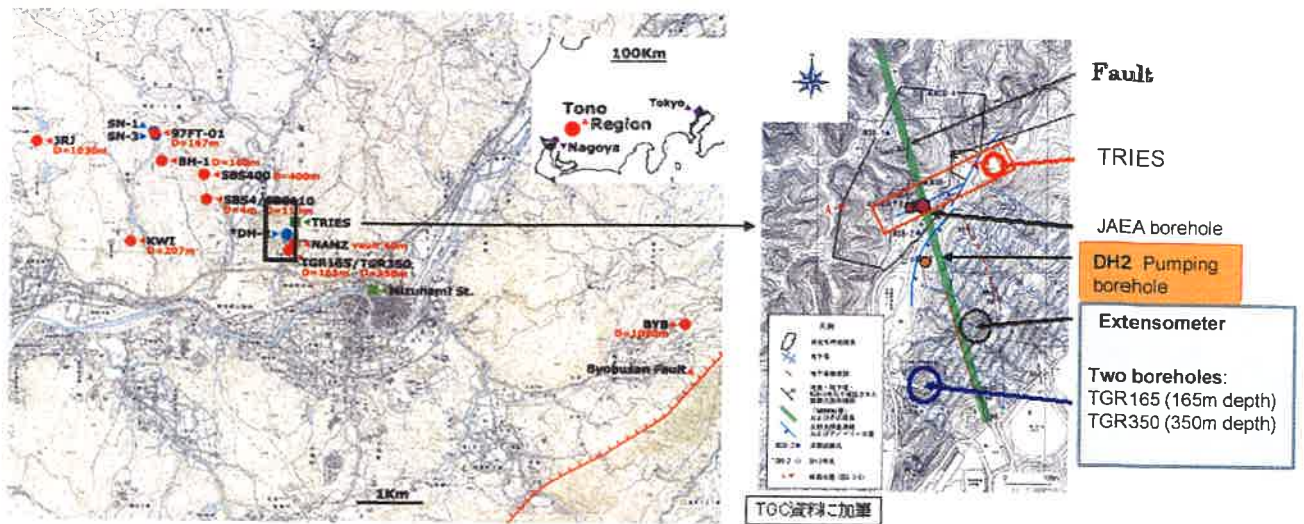


図1: 東濃地震科学研究所のボアホール観測点分布とNNW断層近傍の観測点

Arrangement in the Research site

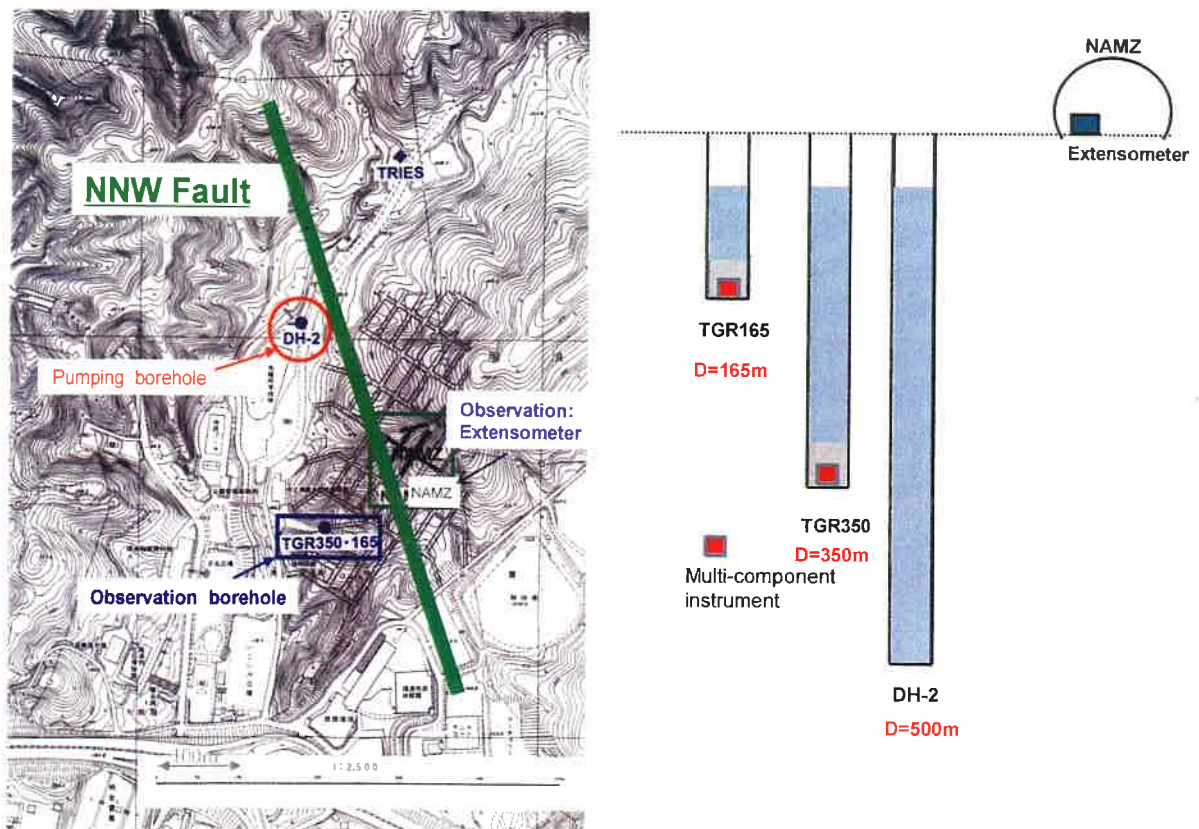


図2: NNW断層近傍の観測点とDH-2揚水ボアホール、歪計、伸縮計の深度比較

Pictures in the Pumping Experiment



Installation of drawing pump



DH-2 borehole (Φ98mm)



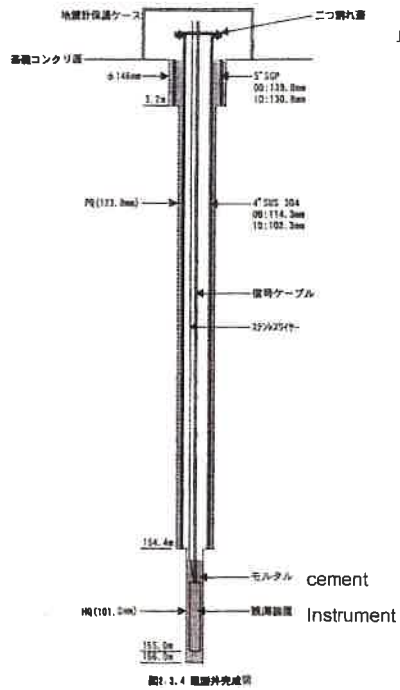
Measurements of drawn water
(Pumping water up at a rate of 40 litter/min)



Drainage of drawn water

図3：揚水実験中の写真

Structure of TGR165 borehole



Multi-component borehole instrument for crustal activity

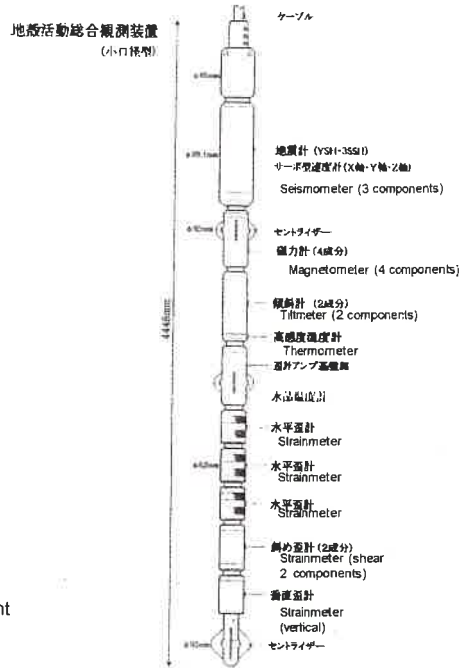


図4：TGR165ボアホールの構造と孔底に設置された総合観測装置

Structure of TGR350 borehole Multi-component borehole instrument for crustal activity

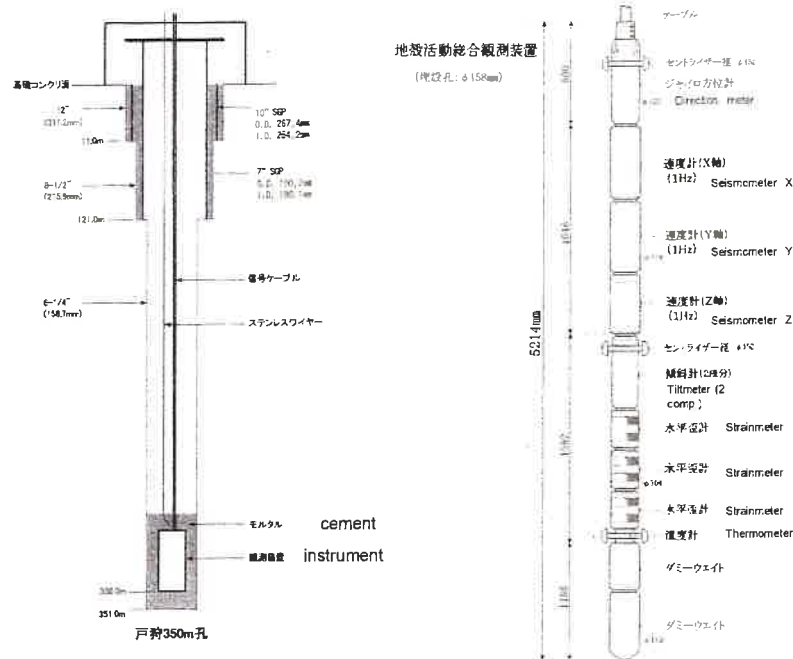
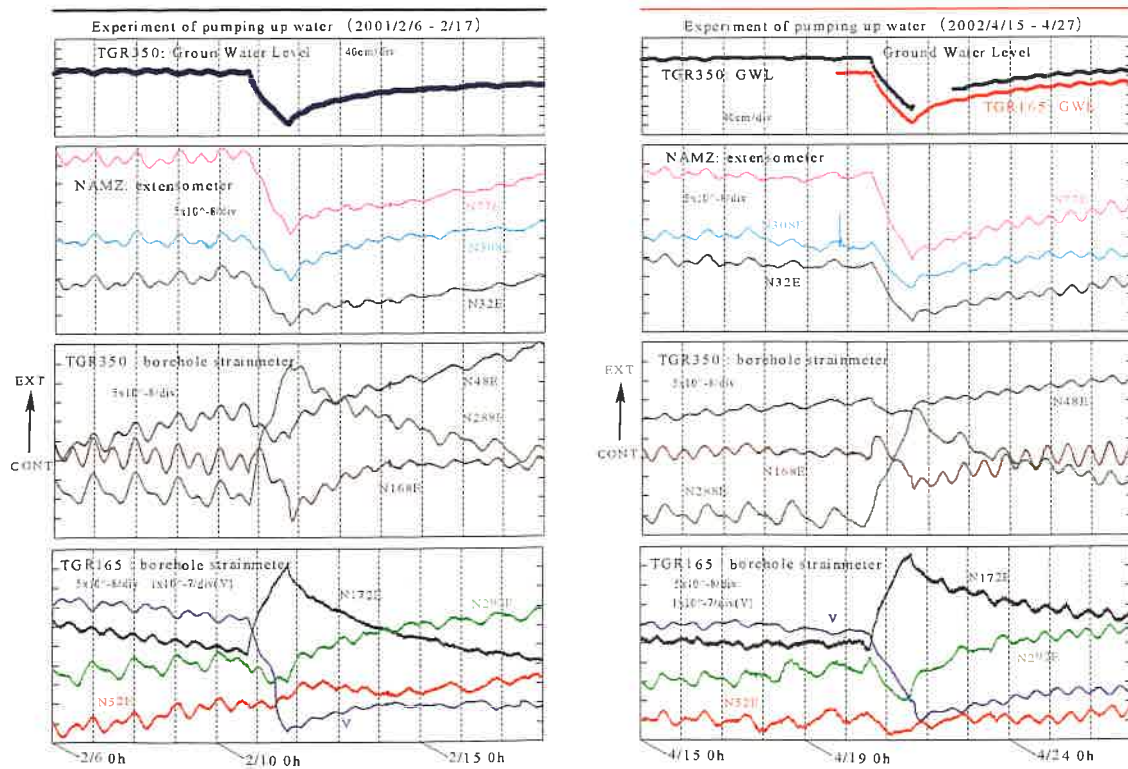
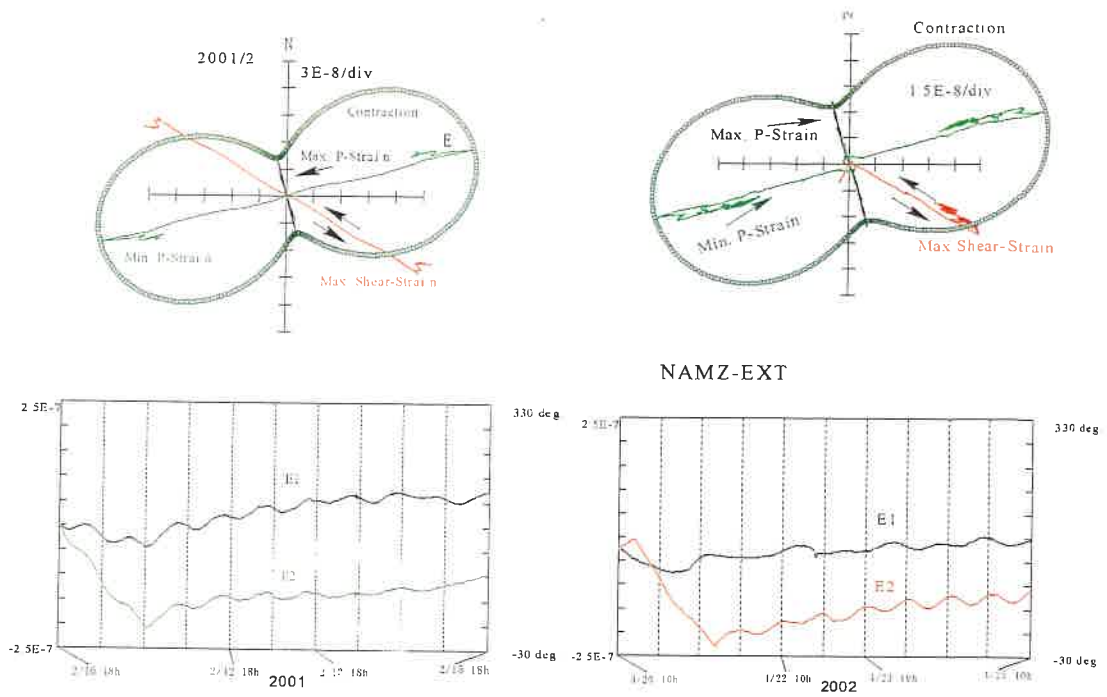


図5: TGR350ボアホールの構造と孔底に設置された総合観測装置



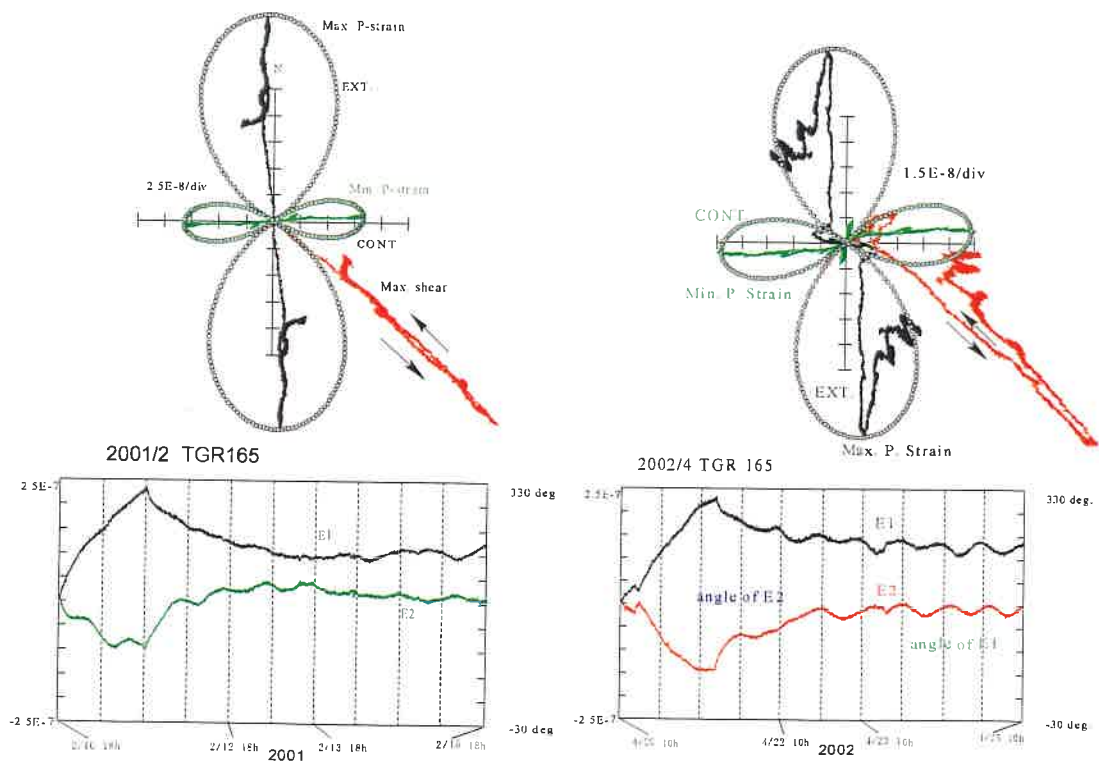
Strain variations for pumping up water in DH-2 borehole. Left: 2001/2, Right: 2002/4

図6: 2001年2月と2002年4月の揚水実験に伴う歪変動のプロット。上からTGR350孔の水位変化、伸縮計の変化、TGR350孔の歪計変化とTGR165孔の歪変化。



Strain variations of NAMZ extensometer for pumping up water in DH-2 borehole. Left: 2001/2 , Right: 2002/4

図 7 : 2001 年 2 月と 2002 年 4 月の揚水実験による伸縮計の主歪変化



Strain variations of TGR165 borehole strainmeter for pumping of water in DH-2 borehole. Left: 2001/2 , Right: 2002/4

図 8 : 2001 年 2 月と 2002 年 4 月の揚水実験による TGR165 歪計の主歪変化

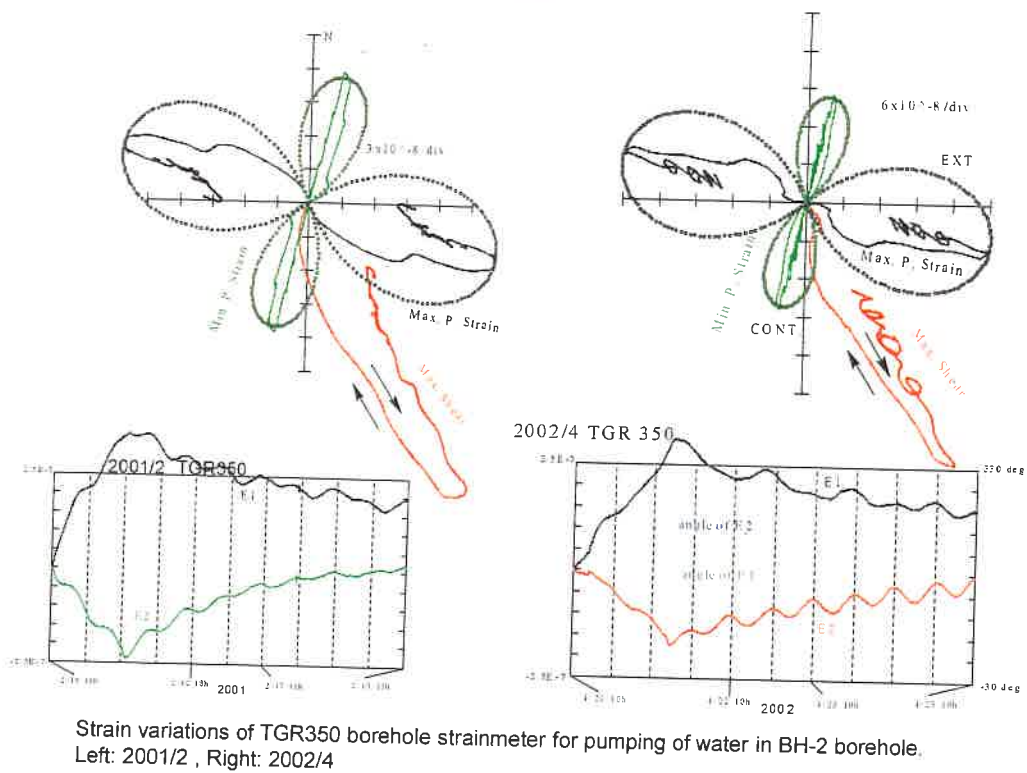


図 9 : 2001 年 2 月と 2002 年 4 月の揚水実験による TGR350 歪計の主歪変化

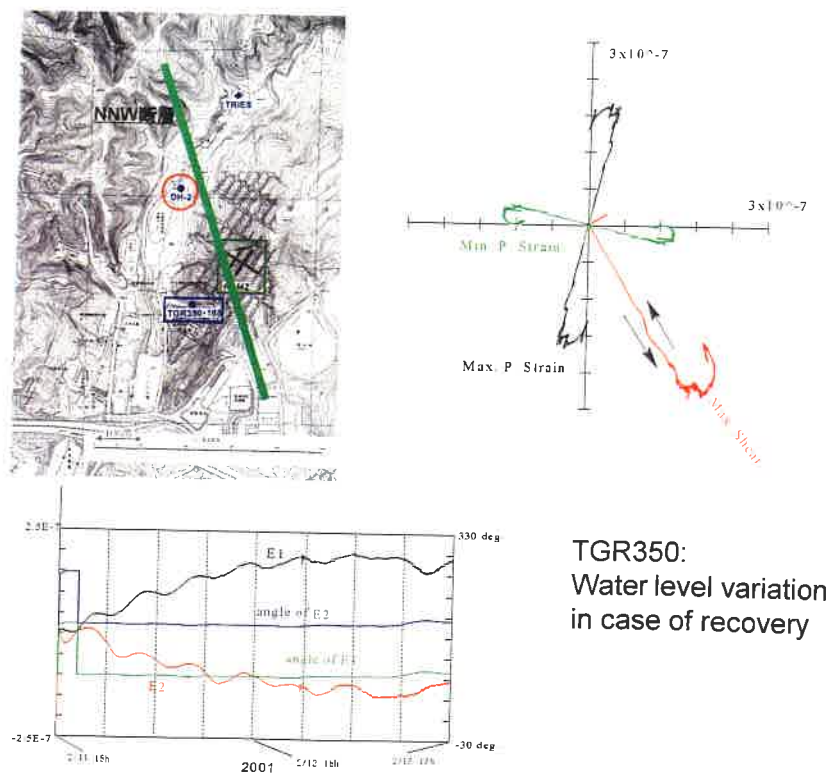


図 10 : 2001 年 2 月と 2002 年 4 月の揚水実験による揚水回復時の TGR350 歪計の主歪変化

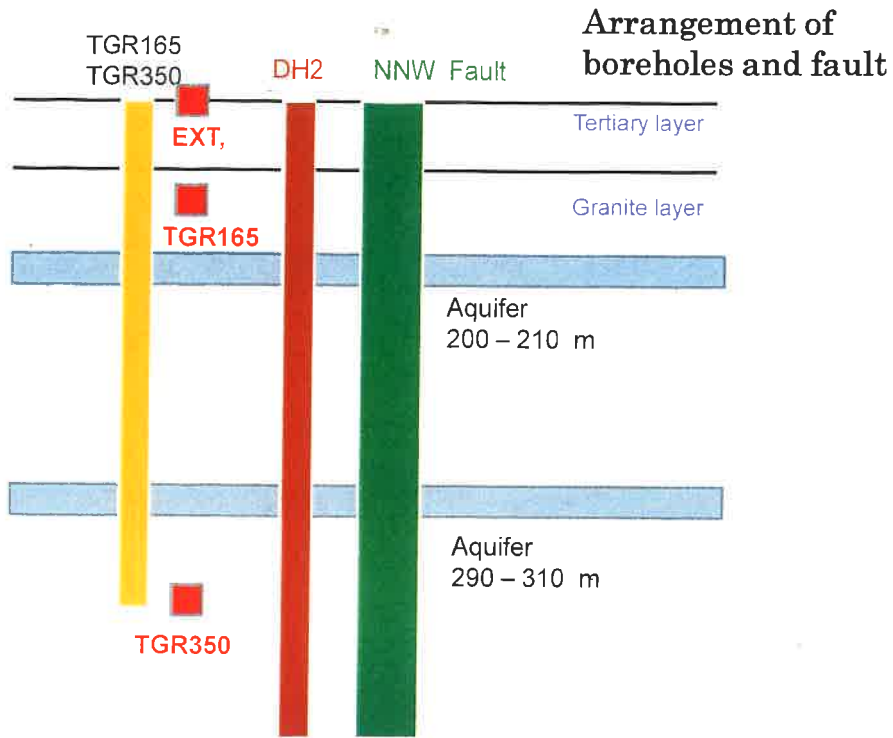


図 11 : 伸縮計、TGR165、TGR350 歪計の位置と DH2、NNW 断層、帯水層の位置関係

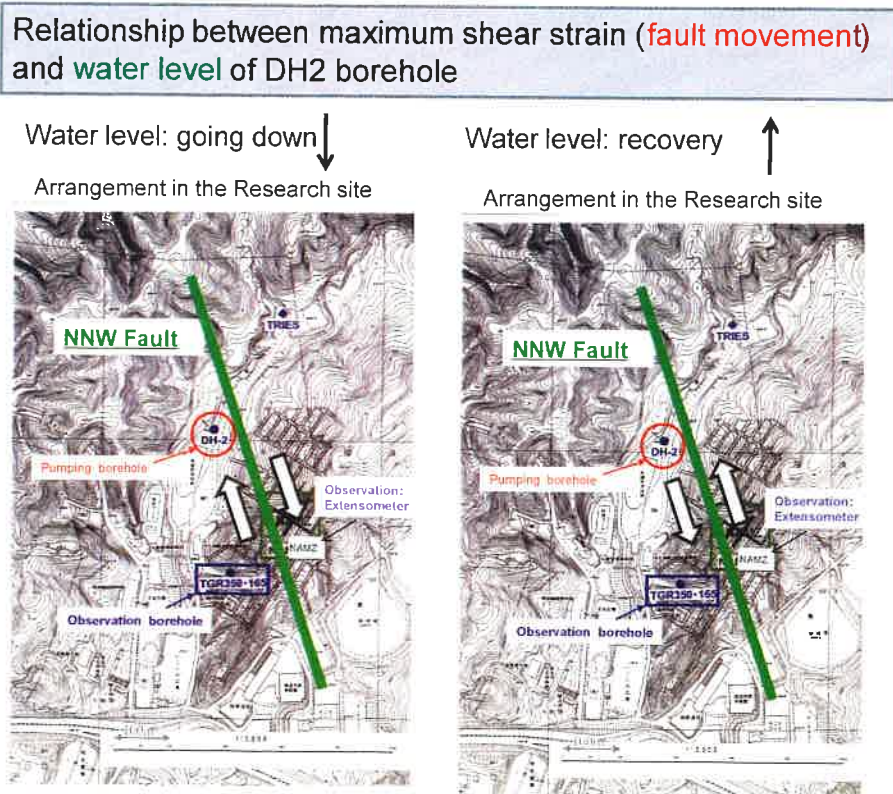


図 12 : 2001 年 2 月と 2002 年 4 月の揚水実験による伸縮計の主歪変化