

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	木下 千裕
論文題目	Changes in Subsurface Hydrological Systems Produced by Earthquakes: Observations from Borehole Monitoring		
論文内容の要旨)			
<p>In this thesis, water pressure and groundwater levels in onshore and offshore boreholes are used to study the response of the subsurface fluids to earthquakes. Although there is a developed theoretical basis for hydrogeology, observed changes due to earthquakes are still often difficult to explain. These observations and interpretations for several sites across Japan, contribute to a better understanding of the role of water in fault zones and its response to changes in stress.</p> <p>Tidal response of water pressure due to the 2011 Tohoku earthquake (M9.0) and other large earthquakes were analyzed at several sites across western Japan. There are clear decreases in the tidal amplitudes after the Tohoku earthquake which are attributed to changes in the subsurface permeability. Comparisons of the response at several sites for the Tohoku and other earthquakes, are used to infer the effects of dynamic and static stress on the water-rock interaction.</p> <p>In another study of a borehole on the Kii peninsula, the water level response to numerous earthquakes is similar, despite differences in earthquake distance and magnitude. The response shows an initial increase in water level and then a recovery over about 30 hours. Modeling of the data suggests that the earthquakes all trigger a change in water pressure at the same location about 20 meters from the observation site and the recovery process can be explained by fluid diffusion.</p> <p>Using data from an ocean borehole observatory in the Nankai Trough region, water pressure recordings for earthquakes at distances of 100 to 1000 km provide new information about the interaction of the fluid and permeability structure to seismic waves. A variety signals related to the seismic events are identified, including dynamic response to seismic waves, static steps and long-term recovery. For larger earthquakes, clear step changes in pore pressure as well as the change in physical properties, such as loading efficiency, are observed. In order to explain the time-dependent changes, it is suggested that gas may play an important role in modifying the response of the pore pressure. This model can explain the observed pore pressure changes by interactions of the rock matrix, fluid and gas.</p> <p>Also, ocean borehole data were used to determine the permeability for a splay fault from water pressure changes observed during nearby drilling operations, about 100 m away. Usually such results are obtained from cross-hole experiments, which are expensive and difficult, especially in the ocean, so this was a fortuitous observation. Results show high permeability that is several orders of magnitude larger than permeability estimated on the cm to meter scale from laboratory experiments, and shows a strong scale dependence of the permeability.</p> <p>In summary, these studies of the effects of static and dynamic stress on water level response, fluid flow structure and time-dependent changes, and scale dependence of permeability, are all related to understanding the role of water in fault zones and changes associated with earthquakes.</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

地下に存在する流体は、地震など、地下でおこる現象に影響を与える重要な要素である。しかし、地下にあるがゆえにその挙動をとらえることは容易ではない。本論文は、陸上および海底に掘削された多数のボアホールでの水圧、水位、歪みなどのデータを注意深く解析し、地下の水と岩石が地震に対してどのように応答するかという問題について、新しい解釈を示した。本論文の解析は、岩石、水、ガスの相互作用の理解のために水圧観測が重要であることを示し、同種の観測に対する標準的な解析手法を提示するものとなっている。

本論文は、2011年東北地方太平洋沖地震の際、西南日本の複数の観測点で、地下水圧とその潮汐応答に明らかな変化をみつけた。その性質から、地震波による動的ひずみ変化だけでなく、静的ひずみ変化が寄与していることを示した。500 kmを越える遠方では、これまで、静的ひずみの影響はないと考えられていたが、静的ひずみが無視できないことが、本論文で初めて明らかになった。

本論文では、近年南海トラフに設置された海底孔内観測装置からの唯一無二の水圧記録に見られる地震への応答を調査した。陸上の観測では得られない情報をもつ、初めての解析例である。その結果、現場の岩石物性を代表する量のひとつであり、岩石と水の力学的相互作用に関わるloading efficiencyの値が、地震の前後で時間変化することをみつけた。この変化に、間隙流体中の気体成分が重要な役割を果たしていることを突き止め、岩石と水、気体の力学的な相互作用を考慮したモデルで、解析結果を統一的に解釈してみせた。このモデルは、地震に対する透水性変化に新たな理解をもたらしたと評価できる。

また、本論文は、約100 m離れた別の海底孔の掘削による水圧応答から、分岐断層を横切る2本のボアホール間の透水係数を推定した。海底下での100 mスケールでの信頼性の高い透水性の推定は、本論文で初めて行なわれた。この透水係数は、ボアホールで採取された岩石試料や小スケールでの透水試験から得られたものより、はるかに大きい。透水性にスケール依存性を見出した重要な成果であり、地下の流体の流れの理解や、大地震を起こす断層帯の水理モデルの構築へ寄与が期待される。

以上のように、本論文は、これまで研究が進んでいなかった、地震による地下水および周辺岩盤の応答について新たな展開をもたらす先進的な研究である。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降