

地震による液状化層のジオスライサー調査

Geoslicer survey of liquefaction due to earthquakes

活断層研究センター
Active Fault Research Center

概 要

液状化とは、地下の浅いところにおいて水に飽和している砂などの堆積物が、地震で揺らされることによって、液体のようにふるまうようになる現象である。液状化により、その上に載っていた地盤は支持力を失って、不同沈下や地すべりを起こし、その上の設備や建物に大きな被害を与える。活断層研究センターでは、このような液状化を起こした堆積物を直接採取し、そこに残された痕跡を詳細に観察することにより、地震時にそれらがどのような動きを示したのかを読み解くとともに、堆積物の特徴を抽出し、過去の大地震の実像を明らかにするための研究を行っている。ここでは、2000年秋に日米共同研究として米国ワシントン州コロビア川沿いで実施された調査の概要と、2000年10月6日鳥取県西部地震に伴って発生した液状化層調査のようすについて紹介する。

Abstract

Liquefaction is a phenomenon in which loosely and water saturated sediments such as sand layer become liquefied by strong ground motion due to earthquake. Liquefaction gives rise to the loss of the earth's capacity to support and differential land subsidence or landslide occurs, which causes the damage to basic infrastructure and buildings. Active Fault Research Center makes effort not only to reveal the mechanism of liquefaction by collecting the liquefied sediments and observing them in detail, but to utilize the common feature in them as index of the past great earthquakes. We introduce our study in the area along the Columbia river in Washington State of USA which was carried out as cooperative work with USGS in fall of 2000, and reconnaissance study of liquefaction associated with the 2000.10.6 Tottoriken-seibu earthquake.

1. はじめに

液状化現象とは、地下水に飽和したゆるい砂などの堆積物が、地震による揺れのため液体状になり、その上の地層や建造物を支える力を失う現象のことである。日本では、1964年の新潟地震で、液状化現象により鉄筋コンクリート4階建てのアパートがそのまま傾き倒れるなどの被害がかなり多く見られ、注目されるようになった。液状化が生じると、堆積物中の砂などの粒子が、地下水の中に浮かんだようになって流動化し、地表の亀裂を通過して水とともに噴き上がることがある。これを噴砂現象といい、埋め立て地等でよく発生し、多数の噴砂丘が見られることが多い(図1)。

活断層研究センターでは、このような液状化した地層を、なるべく地中にある状態のまま詳しく観察



図1 噴砂丘の例

1993年7月12日の北海道南西沖地震により、北海道山越郡長万部町中ノ沢の小学校校庭に出現した噴砂丘。液状化では、水と混じった砂泥が地下から亀裂を通過して勢いよく噴出し、多数の噴砂丘を残すことが多い。噴砂丘の直径は最大で約2m。

し、地震時に堆積物中の粒子がどのような挙動を示したのかを解明するとともに、地層中に記録された液状化の痕跡を読み解き、過去の大地震の実像を明らかにするための研究を行っている。本稿では、その一部を紹介する。

2. ジオスライサーとは

今回、調査に用いたジオスライサーという装置は、未固結堆積物を攪乱しないように採取するためのもので、主に活断層調査において、従来のボーリングやトレンチ調査(活断層を横切って溝を掘り、その壁面を観察する調査)が困難な狭い土地や湿地等に対して用いられてきた(原口ほか、1998)。原理は、鋼矢板などのサンプラーとその蓋板をバイプロハンマーにより順番に地中に打ち込んで、その後同時に引き抜くことによって、間に挟まれた地層をそのまま採取するものである(図2)。本手法には日本の特許2934641(復建株式会社所有)と米国の特許6009958(広島大学長所有)が与えられている。



図2 ジオスライサー調査作業の様子

ジオスライサーの蓋板をバイプロハンマーによって地面に打ち込んでいるところ。2000年9月に実施した米国北西部コロンビア川での作業風景。バイプロハンマーの重さは2.8tあり、25Hzで振動することにより自重で地中に貫入する。この作業やサンプラーの移動及び引き抜き等のために、クレーンが必要である。

本調査法の利点は、バックホーなどの重機が入れない場所、例えばぬかるんだ湿地や沼地、湖などでもコア試料を採取できることがあげられる。また、ボーリングと異なり、採取試料を攪乱せず定方位で採取できるだけでなく、採取した地層をその場ですぐに観察でき、必要に応じて地質断面として実験室に持ち帰ることが可能である。さらに、作業に際して抜き取る土砂が、トレンチ掘削調査で同様の壁面観察を行なう場合の1/100以下である。これにより、貴重な地質学的情報の損失を最小限に抑えるとともに、作業効率を大幅に向上することができる。

3. コロンビア川沿いの調査

本調査は、地震研究において異なる特徴を持つ日米両国が共同で研究することにより、地震災害軽減を目的として開始された、科学技術振興調整費による「地震災害軽減のための地震発生ポテンシャルの定量化に関する日米共同研究」の一環として実施されたものである。

米国北西部のプレート沈み込み帯では、地殻変動と津波堆積物の調査により過去に巨大地震が発生し、最新の地震は西暦1700年にあったことが明らかにされている(Atwater and Hemphill-Haley, 1997)。しかしながら、地震動そのものの証拠はほとんど得られていなかった。そこで、これまで調査が困難であった場所で効率よくコア試料を採取するために、最近日本で開発されたジオスライサーを用いて掘削調査を行い、1700年地震によるその痕跡を捕らえることに成功した。調査地は、ワシントンとオレゴンの州境を流れるコロンビア川の河口付近にあるハンチング島で、ここでは、わずかながら液状化によると思われる砂脈が見つかった。作業は、クレーン付きの台船を使って行われ、試料採取には長さ9m、幅0.6mの鋼矢板が用いられて、9本のコアが採取された(図3)。

軟弱な地盤では、ジオスライサーの試料採取時の振動による液状化のため、地震時のものが影響を受けるのではないかと心配されたが、すぐ近くでの泥層の深さの対比により圧密の影響はほとんど受けていないことが実証され、採取された試料の詳しい調査でも、鋼矢板の縁や蓋板に接する部分では多少摩擦による引きずりの影響が認められたものの、ほとんどの構造は影響を受けていないことが明らかとなった。

鋼矢板が引き上げられ、蓋板が開けられると、すぐ



図3 米国北西部コロンビア川沿いのハンチング島におけるジオスライサー調査作業

現場へは車両の搬入ができないため、クレーン付き台船による作業となった。これは、試料の詰まったサンプラーを引き抜いたところ。左端の棒は台船を固定するアンカー。



図4 採取直後の試料観察

表面の凹凸をならしながら、堆積構造や変形構造を注意深く観察し、採取地点の変更等を現場で判断する。また、剥ぎ取り標本作成の下準備の作業でもある。

に表面の凹凸をねじり鎌等でならし、堆積構造や変形構造が観察された(図4)。また、試料表面を平坦にすることは、剥ぎ取り標本作製の下準備にもなる。剥ぎ取り標本は、平坦にならされた試料表面や露頭に接着剤を塗布し、綿布等で補強して、試料表面を薄く剥ぎ取ることにより、詳細な構造の観察や長期保存を可能にするためのものである。また、剥ぎ取った直後の試料表面も詳細な観察や写真撮影に有効である(図5及び図6)。これは、接着剤が泥のような不透水性の物質よりも、粗い砂のような透水性の高い物質により早く浸透し、それが固結することにより、その差が浮き彫りのように強調されて見えてくるためである。今回は、接着剤としてトンネル工事等に使用されるグラウト剤の一種であるOH-1を使用した。これは、メチル・エチル・ケトン(CAS 78-83-8(Chemical Abstract Serviceのレジストリー番号;以下同じ))とトルエン・ジイソシアネート(CAS 26471-62-5)からなるプレポリマー(CAS 60787-82-8)であり、水と反応して約1時間で固結して弾力的な泡を形成する。

採取された試料から、上部約3mが西暦1700年のものを含む湿地や森林土壌の泥で、その下には2000年前以降の川砂が薄い泥の層と互層しながら堆積した

ことがわかった。また、下部の砂が上部の泥にダイクと呼ばれる砂脈を作って入り込んだり、水平方向に割り込むシルと呼ばれる層をなしているのが観察された(図5)。さらに、下部砂層の中で、変形した粗粒砂層の上部を無層理の砂が覆っているのが観察され、無層理の砂全体が液状化したシルであると判断された(図6)。また、両者の境界は低角度の断層で、液状化のあとに低角の地すべりが発生したものである。これらの液状化による貫入体は、上部の泥の堆積年代から、おそらく過去1000年くらいの間に形成されたと考えられる。また、上部の泥の中のダイクやシルの大部分は、西暦1700年の地震で形成されたものであろう。また、液状化の痕跡は、上部の泥の直下や、その下の砂の中でも泥層の挟みの直下に集中的に見つかり、特に泥層中に貫入したり、泥層をばらばらに壊して断片化するなどの特徴が認められた。このことは、液状化した流れが一旦泥層で止められ、そこから水平方向にシルとなって発達したり、一部はダイクとなって貫入したことを示していると考えられる。



図5 剥ぎ取り直後の試料表面(コアNo.5)
深さ1-2mの範囲。上部の泥の中に貫入した砂が見える。大部分がほぼ水平に貫入したシルであるが、中央部には泥を斜めに切るダイクも認められる。



図6 剥ぎ取り直後の試料表面(コアNo.4)
深さ5-6mの範囲。上位の塊状の砂が液状化層で、下位の変形した粗粒砂層とは低角度の断層で接している。

4. 鳥取県西部地震での調査

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震は、境港周辺の埋め立て地に液状化による被害をもたらした。発生してなるべく早い段階で、液状化した地層を採取し、その詳細な観察及び分析を行うことを目的として、鳥根県の中海にある大根島において、ジオスライサーによる調査を実施した。本地域の地質は、主に第四紀後期の玄武岩で構成されているが、液状化した土地は、25年ほど前に海岸道路新設に伴い沿岸を埋め立てた場所で、今回の地震によりそのときの埋め立てに使った貝混じりの海砂が地表に噴砂として現れていた(図7)。ジオスライサー調査の結果、地表下約1mまではやや締まったマサ土(主として花崗岩の風化物からできている土)で、その下に約2mの厚さで埋め立てに使った海砂が分布し、地表下約3.5mで基盤の玄武岩に到達した。断面には、海砂が液状化してマサ土中に砂脈となって貫入し、地表に噴出しているのが明瞭に残されていた(図8)。また貫入した部分のマサ土下底は、非常に凹凸が大きく、この部分が液状化時の引っ張りに弱かったために亀裂ができたと推定される。なお、液状化した砂層の最上部でマサ土の下底付近には泥が濃集しており、これが



図7 2000年10月6日の鳥取県西部地震による液状化層の調査作業

調査地点は、鳥根県八束郡八束町大根島の道路脇の空き地で、中央やや下に噴砂が広がっているが、地震から約3ヶ月経過しており、この間の積雪や降雨で噴砂丘の形もかなり崩れている。左脇の砂山は、掘削後の孔の埋め戻しのためによそから運んできたもの。



図8 剥ぎ取り直後の試料表面

深さ2m以浅の範囲。このサンプラーは幅約1.5mのもので、幅広い断面が一度に観察できる。下部が今回液状化を起こした海砂で、マサ土に覆われている。マサ土の中央部に細長く見えるのが、地表に達した砂脈で、噴砂丘の供給源である。

蓋の役目をして地下水圧を高めていた可能性もある。

5. 今後の課題

コロンビア川の調査では、西暦1700年の巨大地震による液状化の痕跡が見つかり、様々な液状化層の特徴が明らかにされた。その中で、砂脈が水平方向に延びるシルが発達しているが、泥に貫入するダイクは少なく、噴砂もあまり発達していないという事実が指摘される。したがって、液状化した砂がどこへ移動したのかは、まだよくわかっていない。また、年代的には、西暦1700年の一つ前の巨大地震による液状化の痕跡も残されていると考えられるが、それらを分離できるほどの証拠は得られていない。今後、これらの点を明らかにしていく必要がある。

また、鳥取県西部地震による液状化では、今後液状化層の内部構造を詳細に解析し、粒度分析等により、粒子の移動について検討して行きたいと考えている。さらに、地表での亀裂の方向または噴砂の並びと液状化層の厚さの関係等も今後の検討課題である。

<参考文献>

Atwater, B.F., and E. Hemphill-Haley, Recurrence intervals for great earthquakes of the past 3,500 years at north-eastern Willapa Bay, Washington, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 1576, 108 pp., 1997.

原口 強・中田 高・島崎邦彦・今泉俊文・小島圭二・石丸恒存(1998): 未固結堆積物の定方位連続地層採取方法の開発とその応用 .Vol.39 ,No.3 ,306-314 .

研究課題名

「活断層及び古地震による地震発生予測の研究」