

液状化による地盤振動と免震



東北学院大学 教授

吉田 望

筆者の研究テーマは、地盤と地中構造物の地震時応答であり、免震構造を扱っているわけではない。そこで、免震構造にも影響があると考えられる液状化時の地盤の振動を説明することで、巻頭言に替えさせていただくことにする。

液状化の研究が始まったのは、1964年に発生した二つの地震(新潟地震、アラスカ地震)で、液状化に伴う被害が発生したことにある。新潟地震の際、県営アパートの地下と屋上で得られたのが、液状化地盤の地震記録の最初のものであった。

この波形を図1に示す。波形は7秒付近から振動が長周期化しており、この時点で液状化が発生したものと考えられてきた。その後、この長周期化は液状化ではなくても、断層で発生した直達のS波でも説明可能であるという意見が示され¹⁾、また数値解析によっても、液状化の発生が12秒付近であることが確認された²⁾。

図1では、液状化が発生すると揺れが長周期化し、振幅が小さくなることが示されている。これに対して、1987年にアメリカWildlifeで観測された波形は少し違う特徴も示した。図2に波形を示す。15秒付近から長周期化しているが、図1と異なり、加速度が極大値になる付近で急激に大きくなる、パルス状の波形が見られている。これは、サイクリックモビリティといわれる現象によって発生したものである。

図3に液状化強度試験の結果の例を示すが、有効応力が減少し、せん断変形が大きくなると土粒子の骨格が再構成され、強度が急激に増加するので、応力-ひずみ関係が逆S字型の形状となる。この際の急激な応力の増加がパルス状の波形を生じさせる。このサイトでは間隙水圧計も設置されており、加速度のピークで過剰間隙水圧が減少していることから、サイクリックモビリティであることが確認できた³⁾。

このような波形は、1983年日本海中部地震の八郎

潟、1993年釧路沖地震の釧路港(図4)、1995年兵庫県南部地震のポートアイランド(図5)などでも観測され、液状化地盤の一般的な特徴となっている。サイクリックモビリティに伴う加速度波形は下に凸な形状になるのが特徴である。

新潟地震の記録、ポートアイランドの記録は、基礎構造設計指針の液状化判定用の最大加速度を設定する際の根拠として使われてきた。

2007年新潟県中越沖地震の際に、新たに問題を提起するような波形が得られた。図6に波形を示す⁴⁾が、Cで示した加速度がほぼ0の区間があること、その後Bで示した下に凸な形状で加速度が急激に大きくなっていくことなど、これまでに示したサイクリックモビリティによる波形の特徴を備えている。道路を一つ隔てたところで、古井戸が浮き上がったという発見はあったので、地下の深いところで液状化が発生した可能性は捨てきれないが、研究者が精力的に探したにもかかわらず、周辺では噴砂等、液状化の発生を直接確認できる証拠は見つからなかった。

この周辺では図6に示したK-NETと新潟県自治体地震計が設置されており(距離60m)、同じような波形であることから、広域で同じような振動をしていたと考えられる。また、地盤調査によれば、地下水位はGL-5m程度であり、その下にはN値20以上の砂がある。従って、液状化したとすれば、N値20以上の砂であるので、これまでに無い事例といえる。

異なる考えもある。図6⁵⁾の様な波形は液状化に限らず発生する。すなわち、乾燥した緩い砂地盤を加振すると揺すり込み沈下という現象が発生するが、この際に、同じような波形が発生する(図7)。周辺では揺すり込み沈下と考えられる沈下も発生していることから、その可能性も捨てきれない。この記録は、色々な意味で今後の検討を要する地震動である。

2011年東北地方太平洋沖地震では、これまでと全く異なる被害の報告が現れた。携帯電話などで動画が簡単にとれるようになり、液状化現象も多く撮影され、You Tubeなどで公開されたのである。それまでは噴砂の動画という1964年新潟地震のものが唯一であったが、この地震では特に千葉県の埋立地を中心に多くのビデオが公開されている。この中には、地震時の地盤の揺れを撮影したものもある。これを見ると、地盤はゆっくりと上下左右に動いている。たとえば、図8⁶⁾は構造物近くの上下振動のスナップショットであるが、大きい振幅で地盤が振動している。このほか、地盤の亀裂が閉じたり開いたりしているケースもある。これらの振動は、少なくともそれまで想定していたS波による振動とは違って見えるように見える。

以上、液状化に伴う地震動を紹介した。これらの振動が免震構造にどのように影響するのかわからない。しかし、液状化地盤の揺れは非常に周期の長いものであることから、免震構造に影響を与えるものである可能性はある。今後の研究を期待したい。

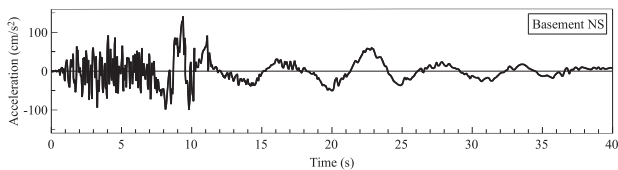


図1 川岸町アパートの記録

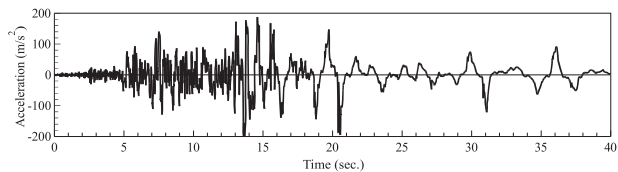


図2 Wildlifeの記録

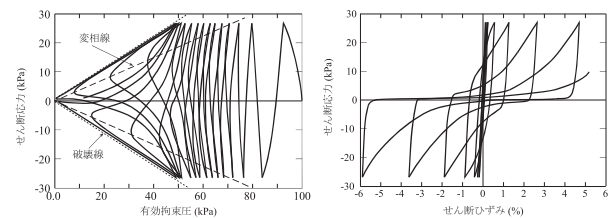


図3 液状化後の土の挙動

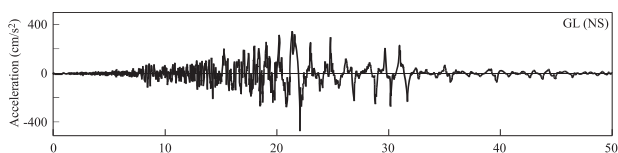


図4 釧路港湾事務所の記録

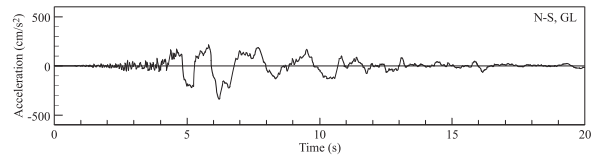


図5 ポートアイランドの記録

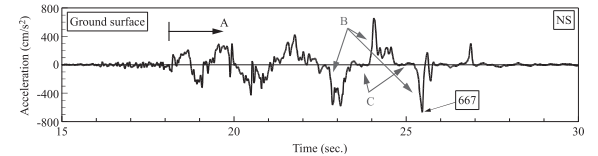


図6 柏崎市役所の波形

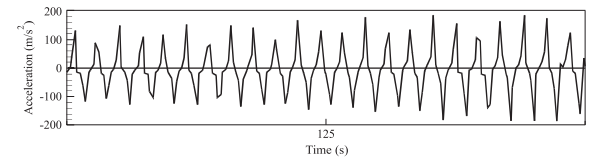


図7 乾燥砂の振動台実験結果



図8 液状化地盤の上下振動

参考文献

- 1) Kudo, K., Uetake, T. and Kanno, T.: Re-evaluation of nonlinear site response during the 1964 Niigata earthquake, using the strong motion records at Kawagishi-cho, Niigata City, Proc. 12WCEE, Auckland, New Zealand, Paper No. 0969, 2000
- 2) 吉田望、工藤一嘉(2000)：1964年新潟地震における川岸町の液状化に関する地盤工学的再検討、日本建築学会学術講演概要集(東北)構造II、pp.293-294
- 3) Dobry, R. A., Elgamal, A.-W. and Baziar, M. (1989): Pore Pressure and Acceleration of Wildlife Site during the 1987 Earthquake, Proc., second U.S.-Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines, New York, Technical Report NCEER-89-0032, NCEER, pp.8145-160
- 4) 青井真、中村洋光、吉田望、若松加寿江、藤原広行、白坂光行(2007)：2007年新潟県中越沖地震後のK-NET柏崎(NIG018)の様子、日本地震学会講演予稿集、2007年度秋季大会、p.185
- 5) 渡邊潤平、三浦均也、西川洋人、吉田望、小濱英司(2008)：擁壁の振動および滑動挙動の振動台模型実験、第43回地盤工学研究発表会、平成20年度講演集、広島、2008.7.9-12、pp.1669-1670
- 6) Yokoyama Tohru : 20110311 地震直後、船のように揺れて見える建物(浦安)、http://www.youtube.com/watch?v=qeA_rrv09Lo, [2011]