

東北地方太平洋沖地震における液状化現象について

石 川 輝 海

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が日本海溝で発生した。その時の地震動によって各地で液状化現象が見られた。その報告の主なものは人口密度の高い都市部である。例えば、茨城県や千葉県など、東北7都県で報告されている(時松, 2011)。人口密度の低い地方では被害が小さいため、無視される可能性がある。

東日本大震災の地震被害調査を8月12日から8月22日の日程で実施した。その際に観察した液状化現象について報告する。調査地は岩手県釜石、宮城県陸前高田、岩手県大船渡、宮城県気仙沼、岩手県北上、宮城県古川、宮城県石巻、宮城県名取市閑上である。

(1) 液状化現象について

津波被害の大きい三陸海岸で、液状化現象を漁港および沿岸都市等で認めることはできるが、その多くは津波によって破壊され、その発生の確認を困難にしている。

液状化現象は地震動の揺れによって地盤が液状になる現象である。その結果比重の大きい重い物が沈下したり、比重の小さい軽い地下構造物が地表へ浮き上がったたりする。

地下を構成する物は碎屑物よりなる。それらは地盤を造成する時に他のところから運搬してきた未固結物である。その構成粒子間には多数の隙間があり、その隙間は地下水で満たされている。そのため地震の大きな揺れが起きる

と、碎屑物同士の結合が離れ、瞬間的に水の中に、粒子が浮かんできた状態になる。これによって地盤が液体のようにふるまうようになる。そのため地盤の上に乗っていた重量物などが沈んでしまう。また、地下に埋設されていて、泥水より比重の小さい物体が浮力によって地上に浮き上る。液状化した泥水は、水と異なり、比重が2倍もあり、浮力も水の2倍になる。したがって、通常は浮き上がらないマンホールも、地震時に浮き上がることが多い。

その後に地震の揺れが終わると、粒子は下部から順に沈殿する。この時、粒子は隙間を完全に充填した状態で沈殿するので、元の隙間にあった水が地表へ噴出する。水の噴出は揺れの最中ではなく、揺れがおさまってから地表へ噴出する。また、粒子が密に詰まるため、堆積層の溶積が小さくなり、地面が沈下する。

液状化は碎屑物でできた地盤が水と粒子の混合した液体状になり、その結果、地盤上の建物が不同沈下をする。その建物が重ければ重いほど大きく沈下することになる。特に基礎に十分な杭が使用されていないコンクリート造りの建物は木造の建築より深く沈む。地盤が液状化すると、構造物に対する支持力はなくなり、重い構造物は沈下したり、傾斜したりする。軽い構造物は浮き上がることがある。

また、地下構造物で比重の小さいものが地上へ浮き上がる。例えば、マンホールや下水道などの配管は、普段は中に水はなく、管の中に空

気が詰まっているため、液状化した地盤の中で浮き上がってしまう。これによってマンホールが地表から1m以上も浮き上り、地下の配管が破断する。

液状化した地盤が低いところへ向かって流れる側方流動が発生することがある。道路の地割れ、側壁や斜面が壊れたりするのはこの現象である。

地盤の液状化の後に、砂と水の混合物が噴き出し、地盤の沈下による被害が発生する。液状化で傾かなかった建物でも、周囲の地盤が沈下したため、建物の入り口や縁石が道路面より数10cm高くなり、建物の基礎が露出する場合がある。

液状化が起きた場合、建物の重量は重要な要素ではない。建物の基礎の状態が重要である。一般的な木造建築は地盤の上に基礎を乗せた「べた基礎」が多い。その基礎では、沈下や傾斜が起こりやすい。それに対して、液状化の起きない地下深くの固い岩盤まで杭を打ち込んだコンクリート造り建物は杭に被害がなければほぼ沈下しない。液状化が実際に起きた場合、建物によって沈下したり、浮き上がったりする。

(2) 液状化の起こりやすい所

液状化の起こりやすい所は、「地下水位が浅く、未固結粒子の隙間に水が充満し」、「厚い未固結地盤」、「大きな地震動」の三つの要素がそろった時である。

未固結地盤とは、砂の粒子の隙間が多い地盤である。例えば、粒子の大きさが大小さまざまであれば、小さい粒子が隙間を埋めて、液状化は起きにくい。それに対して、砂の粒子がある程度大きく、均一であると、隙間が多くなる。この場合は液状化が起きやすくなる。特に埋立

地では地下水位が浅いことが多いので、液状化が起きやすくなる。

海の埋め立て地以外でも、内陸の谷や沼、盆地、水田なども均一な砂で造成されると液状化しやすくなる。

河川の河口付近の沖積層は砂層で形成され、地下水面が浅いため、砂層が液状化しやすく、そのため沖積層の上の建物などが傾くことがある。また、海岸平野は砂の堆積物から形成されるため、液状化が起きやすい。

市街地など、上水道、下水道、電線を埋設したところは埋戻しに砂を使うため、液状化により沈下する。これも液状化現象の一つである。

(3) 東日本大震災の液状化現象

東北地方太平洋沖地震により東北地方の全域が激しい地震動を受けた。その結果、地域の違いはあるが、液状化現象の被害を受けた。液状化の程度はその地域の震度、地質、地形、土地利用などの違いにより、液状化の程度や、現れ方が違っている。各地域の状況を報告する。

東日本大震災の地質学的調査は津波被害の最も大きい三陸海岸地域で行われた。調査地域内にベースを設置するのが最も有効であるが、三陸海岸では宿泊可能なところはなく、内陸の岩手県北上市北上と宮城県大崎市古川にベースを置いた。そのため調査地との往復に1時間以上の時間を使うことになった。しかし、大崎市古川で顕著な液状化現象を観察することができた。

三陸海岸の釜石、陸前高田、気仙沼、石巻などで液状化による地盤の沈下が観察できた。しかし、調査を始めた8月の中頃には、震災の復興作業が始まり、液状化現象の跡は消失しつつあった。明瞭なものを報告する。



図1 宮城県気仙沼市気仙沼漁港の対岸。海岸は液状化により沈下し、海水が浸入している。

宮城県気仙沼市気仙沼漁港の対岸の海岸では、地震時の振動により液状化が発生して、地盤沈下した。そのため海水面の位置が相対的に高くなり、津波で破壊された海岸近くの住居跡に海水が浸入している（図1）。また、気仙沼市川口町の市街は気仙沼湾の埋め立て地で、地震動により地盤沈下した。津波で破壊された住宅地は冠水状態になっている（図2）。これも地盤が海水準以下に沈下したため、海水が浸入している。図2の手前に写る道路面は震災後に災害復興のために道路上に土石を搬入して高くしたものである。たまり水の水面は潮の干満により水位が変化する。

岩手県釜石市釜石港は激しい津波被害を受けた。港内は厚さ15cmのコンクリートで舗装されているが、その舗装面は緩やかに波打っている。これは液状化による不同沈下によるものである。右側の海に接する護岸は地下深くまでコンクリートが打たれているため、沈下していな

い（図3）。写真の奥の巨大船は津波により陸上に乗り上げている。これぐらい激しい大きな津波であった。この巨大船は10月に大型クレーンを使用して海へ戻された。図4はコンクリートブロックの不同沈下により約11cmの高低差がついている。これは港の建設時に港内を埋設したため、地震動により液状化が発生して、不同沈下したと考察できる。

宮城県石巻市は石巻湾に面する市の中心部が津波に襲われた。特に石巻漁港は甚大な被害を受けた。この石巻漁港は湾の埋め立てにより建設されたため、地震時に液状化が発生した。その証拠がマンホールの浮き上がりである（図5）。これは魚町の道路上にできた。また、著しい沈下をしたため、道路面の高さが海水面より低くなり、道路の割れ目より海水が流入し、その結果、図6のように道路が冠水した。

宮城県栗原市・大崎市は東北地方太平洋沖地震で震度7を記録した。三陸海岸より内陸の



図2 宮城県気仙沼市川口町。気仙沼湾内の漁港の町，地盤沈下により海水が浸入している。
手前の道路は震災後に埋めて高くした。



図3 岩手県釜石市釜石港。港内のコンクリート舗装面が液状化により不同沈下を受けて，波打っている。



図4 岩手県釜石市釜石港。不同沈下によりコンクリートブロックの接合部に約11cmの段差ができた。



図5 宮城県石巻市魚町。石巻漁港の海岸に並行する道路にできたマンホールの浮き上がり。左端の道路は震災後に沈下した道路上に高さ約30cmの土盛りで作られた。



図6 宮城県石巻市魚町。道路の地盤沈下により冠水している。この水面は建物の左側にある海面と同じ高さである。

方が強い地震動が記録されている。大崎市古川は江合川と鳴瀬川の流域にあたる沖積平野である。そのため液状化が発生しやすい所である。

大崎市の中心部は東北新幹線の古川駅付近である。これから発展する町であり、コンクリート建物の建物ができつつある。その建物の状況は建物ごとに異なる。図7は液状化により傾斜している建物である。このような建物は多くない。この建物は基礎の杭を十分に深く打ち込んでいないためと思われる。最近建築した建物は十分に深い杭を打ち込むため傾くことはない。しかし、壁面に割れ目ができ、壁面のタイルがはがれた建物は多くみられる。

建物の基礎杭を深くしたものは建物と周囲の地面の間に段差ができる（図8、図9、図10）。建物の近くに駐車場があると、駐車場の舗装面に不規則な割れ目が入る。これらの建物は基礎杭が深いいため沈下しないが、地面が液状化のた

めに不同沈下して割れ目ができたり（図9）、段差ができたりする（図10）。

市内の道路は整備され、整然と作られている。歩道内のマンホールの浮き上がりが多くみられる。特に、古川駅の周辺で多い、マンホールは道路面より約5cm～約40cmと浮き上がり、その大きさはさまざまである。また、マンホールに繋がる下水道を埋めたところが沈下したため、震災後に埋め戻しされている。（図11）。図12は最大の浮き上がりをしたマンホールであり、また下水道建設時に埋戻しに使った砂が周囲にひろがっている。

東北新幹線は大崎市で震度7を受けたが、その影響は見られない。地下深くまでの杭と耐震強度が計算されているのであろう。周囲の地表面の沈下による段差は生じている。道路建設の碎屑物が液状化により沈下するためである。



図7 宮城県大崎市古川。液状化により傾いた4階建てアパート。



図8 宮城県大崎市古川。建物周辺の液状化により地面が沈下し、建物が抜け上がった。



図9 宮城県大崎市古川。古川駅前の農業組合の建物と駐車場の境界。駐車場の液状化によりアスファルト舗装に亀裂が入った。建物と舗装面に段差が生じている。



図10 図9と同じ建物。段差の高さ約30cm。



図11 宮城県大崎市古川。古川駅前付近の歩道でマンホールの浮き上がり。下水道建設の位置は沈下し、震災後に碎石で埋められた。



図12 宮城県大崎市古川。古川駅前の最大のマンホールの浮き上がり、高さ約40cm。

(4) まとめ

東北日本太平洋沖地震は海溝型地震で震源地は海溝内である。M9.0という大地震であったため地表面の地震動は大きく、海岸地域より内陸地域で大きい震度を示した。宮城県大崎市古川付近で震度7の最大震度を示した。そのため古川ではマンホールの浮き上がり、下水道埋設地の沈下、建物の傾き、建物の抜け上がり、地盤沈下などの液状化現象を示した。

三陸海岸では湾内が埋め立てられた所に、町が建設されているため、地盤沈下が多くところで発生した。海岸近くの町では海水が浸入し、岸壁の一部はすでに嵩上げされている。この地盤沈下も液状化による。

今回の調査で観察できなかった液状化が多数存在すると考えられる。津波被害があまりにも大きいと、液状化が注目されないところがあ

る。そのため津波被害を受けなかったところで液状化がよく観察され、そのため液状化による対策が考慮されて復興されるだろう。液状化が確認できない津波被害地も液状化対策が考慮されるべきである。特に埋立地で海岸に近い所は注意を必要とする。

謝辞

本研究は2011年度奨励研究費を使用した。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 伯野元彦 (2010) : 日本の自然災害。日本専門図書。
時松孝次 (2011) : 液状化被害を防ぐには? ニュー
トン, 第31巻第11号, pp. 78-83.