

液状化による地震災害—地盤の側方変位について—

遠藤 秀典¹⁾

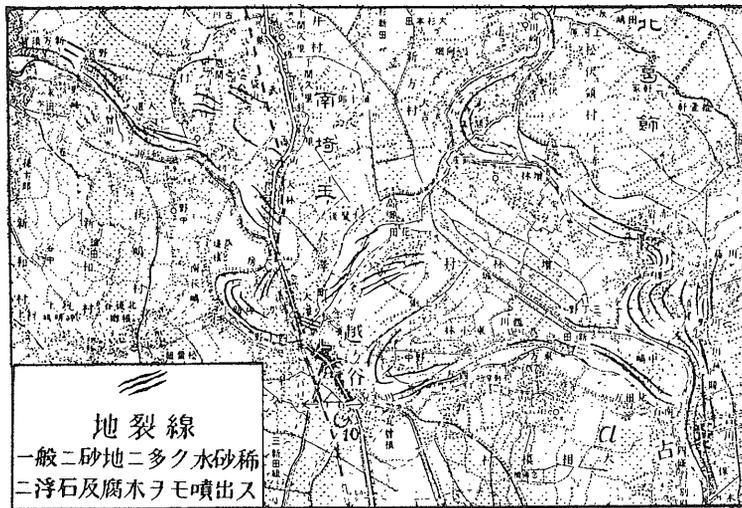
地震が発生したときに震源域からほぼ同距離にある地域でも地盤条件の違いによって被害の種類やその程度が異なる場合があります。本稿では、この地盤災害のうち、液状化によって地盤の水平成分が大きい変位が発生する地盤の側方変位について述べます。

1. 地震による地盤の側方変位の発生の例

第1図は、関東大地震(1923)による被害の調査報告(地質調査所, 1925)の一部です。広域的に地割れが生じ、しかも河川の自然堤防の周辺に集中しています。この調査報告によると、これらの地域では、例えば「沖積層ノ砂地ノ処ニ地裂ヲ生ジ……水, 砂及泥土ヲ噴出セリ」と地下水が噴出し、一部の地域では浸水被害も生じるほどであったことが詳細に記録されています。従って、これらの地割れは地盤の液状化に伴って生じたものだと考え

られます。

一方、昭和58年日本海中部地震(1983)でも、各地で液状化が生じると共に、地割れや断差が形成され、家屋などが基礎から引き裂かれるなどの多大な被害を被りました。このような現象の発生について明らかにするために、地盤の変位の水平成分の変位量と方向の分布を、地震前と地震後の空中写真を用いて計測した結果(遠藤ほか, 1985)を第2図に示します。第2図の範囲では、最大水平変位量が3mに達する地盤の変位が生じていることが示され、地割れや断差はこの変位にともなって生じたものと考えられます。同様な方法で、新潟地震の被害について検討した結果(浜田ほか, 1986)でも、このような水平成分の大きな変位が生じていることが明らかになっています。また、第2図では変位方向や変位量がほぼ一定な範囲が認められ、ある程度の広がりからなる地盤の移動が生じています。さらに、変位方向が必ずしも地表の最大傾斜方向とは一致していません。地下の条件が密接に関係していることが示されています。

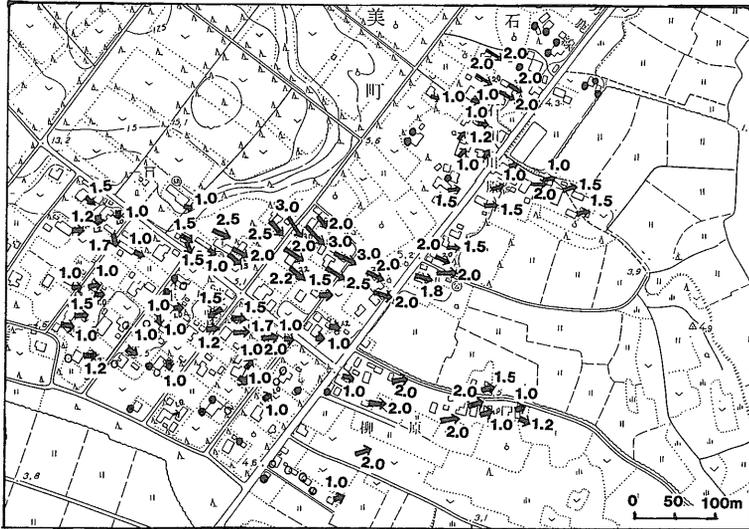


第1図 関東大地震(1923)による被害分布図(地質調査所, 1925の一部を転載)
多数の地割れが自然堤防付近に集中しています。これらの場所では、凡例に示されるように砂などを伴って地下水が噴出し地盤の液状化が生じています。

一方、これらの地域では、地下水と共に砂泥が噴出し、噴出孔のまわりに火山の様な形態で堆積した噴砂丘が形成され、地盤の液状化が生じています。日本海中部地震による被害地域の典型的な例は、第2図のような砂丘の内陸低地側の緩斜面とその周辺の低地からなる地域です。このような地域では噴砂丘は、微高地側に形成された地割れや断差に沿って分布し、地下で液状化が生じています。一方低地側では、水田の畦道などが弓なりに変形し、ほぼ地表付近まで液状化したと考えられます。

これら及び地質調査結果から、日本海中部地震の場合の地盤の側方変

1) 地質調査所 環境地質部



第2図

昭和58年日本海中部地震(1983)による秋田県若美町の地盤の側方変位による地表の水平変位量と方向の分布図(遠藤ほか, 1984に加筆)

地震前・後の空中写真を同一図面に図化し、道路や建物の指標物の水平位置を比較し作成(●変位なし, ○1m以下の変位, →1m以上の変位方向と変位量(m))。変位方向や変位量がほぼ一定な範囲が認められる, また変位の方向は地表面の最大傾斜方向とは一致していない等の特徴が読み取れます。

位の典型的な例は、第3図に示すように解釈されます。微高地側では、地下の液状化した堆積物の上を表層部がブロックになって滑动したと考えられます。また、低地側では地表付近まで液状化し、表層付近が流動したと考えられます。なお、そのほかの地域では、回転による運動も生じています。つまり、地盤の側方変位は、液状化に地盤の種々の運動(移動)が伴って生じると言えます。

ところで、本稿で地盤の側方変位と呼んだ現象は、現在様々な用語で呼ばれています。例えば、単に地すべりと呼ばれたり、表層すべり、土砂流動などと記述される場合があります。土質工学的な検討がなされる場合には、永久変位(permanent ground displacementあるいはdeformation)と呼ばれる場合が多く、厳密にはこの現象には水平成分と垂直成分の変位を伴っています。一方、斜面運動の運動形態に関する用語を用い、lateral spread(地すべり対策協議会(1985)では伸展と訳している)として、記載される場合もあります。lateral spreadは、回転、直線すべり、流動などの複合的な運動形態からなります。

ここでは、地盤の側方変位と呼びますが、今後地盤条件によってどのような運動形態が支配的なのか、また発生メカニズム等について明らかになった段階で適切な邦語について検討する必要があると考えています。

2. 地盤の側方変位の発生予測について

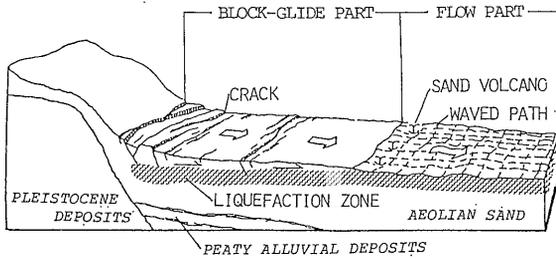
ところで、液状化は、地下水で飽和したゆるずめ(相対密度の小さい)の砂が、地震動によって揺すられることによって、力学的には液体と同様な性質を示すようになることです。このため、地盤の支持力の低下や垂直的な

変位などによって建物の不同沈下を生じ、傾いたり倒壊する場合があります。一方、地盤の液状化に側方変位が伴った場合には、地下浅部を含めた地盤の相対的な位置の関係が変化するために、家屋等が基礎から破壊されたりすることはもとより、道路、ガス管・上下水道、または地中の電力線等の線状構造物や様々な構築物に大きな被害を及ぼす可能性が高いといえます。また、その対策については、比較的広い範囲の地盤が全体として動くために、構築物や構築地点毎ではなく地域的な検討が必要だと考えられます。

関東平野では、関東大地震やその他の地震で、各地で液状化が生じ(栗林ほか, 1974)、また1987年の千葉県東方沖の地震では、その震源域から遠く離れた東京湾岸地帯でも液状化が生じています。また、関東平野の地盤の土質工学的データに基づいた液状化予測によっても、各地で液状化が生じる可能性があることが示されています(東京都土木研究所, 1987)。従って、これらの地域で液状化が生じた場合について、地盤の側方変位の発生の可能性や、その変位量や変位方向について検討する必要があるでしょう。

地盤の側方変位に関する地盤条件について、Youd & Perkins(1987)は、次のような項目を指摘し地盤に関する多くの項目について検討する必要があることを示しています。なお、これらの要因について、定量的に地盤の変位量などどのような関係があるか、浜田ほか(1986)等によって検討が始められています。

- a) 地震学的要因：地盤の地震動の強さ及び継続時間。
- b) 堆積学的要因：液状化層の厚さ、液状化層の分布形態、不透水性堆積物による影響、堆積物の年代、固結度及び堆積環境など。



第3図 昭和58年日本海中部地震(1983)による地盤の側方変位の概念図

地下地質構造は青森県車力村付近の調査結果による。砂丘の微高地側では地下の液状化層上を地盤が移動し、地表に地割れや断差が形成され多くの被害をもたらしています。一方、主に砂丘砂によって埋積された地下水位が高い低地側ではほぼ地表まで液状化して地盤が流動し、水田の畦道等は弓なりに変形しています。

- c) 地形学的条件：地表の傾斜，崖や護岸などの自由面との距離など。
- d) 水文条件：地下水位や被圧状態など。
- e) 工学的要因：堆積物の粒度組成，相対密度及び堆積物の微細構造や結合状態。

一方，地震が発生して地盤の側方変位が発生するまでの過程を考えると，1) 地表付近の地震動に関する要因，2) 液状化の発生しやすさに関する要因，3) 液状化の範囲の拡大に関する要因，4) 側方変位の発生，変位量や変位方向に関する要因が考えられます。

これらのうち，ここでは，液状化の範囲の拡大に関する地下水の挙動に関して触れます。このような問題については，石原(1984)及び桑原(1986)らによって検討され，液状化が広範囲に拡大し地盤の側方変位のような破壊にいたるメカニズムを明らかにする上で重要だと考えられます。一般的に，液状化によって生じた過剰な間隙水圧が周辺に二次的な液状化を生じる場合があると考えられています。日本海中部地震の例では，地震後に湧水が生じ数カ月も続いたり，また私たちが地震の数カ月後に実施したボーリングの掘削中に地下水が噴出するなどの現象が認められました。地震によって地下水の水圧が上昇し，それらの水圧が不透水層の分布などによって解放されていなかったと考えられます。つまり，第3図に示されるような背後の砂丘及びその下に分布する更新統の地層の分布条件などによって，砂丘側の液状化による間隙水圧の上昇が新たな動水勾配を形成し，低地側に過剰な水圧の上昇をもたらしたと考えられます。

地盤の側方変位の発生について予測するためには，こ

のような地下水の挙動に伴って広範囲に液状化を生じるメカニズムを解明し，それらに関する地域的な地盤の条件の分布を明らかにする必要もあると考えられます。

3. おわりに

地震による地盤災害については，関東大地震(1923)で地盤の構成の違いによって地震の揺れ方が違うことが注目され，都内や横浜等の沖積層の分布など，地下地質の詳細な調査が実施されました。新潟地震(1964)では，地盤の液状化が注目され，その本格的な研究が始まるきっかけとなり，1978年宮城県沖地震では，造成地の被害やブロック塀の倒壊，ライフラインの被害など，都市の地盤条件やその機能に関する地震の影響が注目されました。また昭和58年日本海中部地震(1983)で，液状化による地盤の側方変位の発生について，その発生やメカニズムに関する本格的な研究が行われるようになってきたと言えます。これらの被害を教訓として，今後も地震による地盤災害の予測とその軽減に関する研究を進める必要があると考えられます。

文 献

地質調査所(1925): 関東地震調査報告。地質調査所特別報告，1, p.204.

遠藤秀典・宇野沢昭・桂島 茂(1984): 沖積低地の地盤災害に関する研究。昭和58年(1983年)日本海中部地震に関する研究報告書，科学技術庁研究調整局，235~257.

浜田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利(1986): 液状化による地盤の永久変位の測定と考察。土木学会論文集，376, 211~221.

石原研而(1984): 液状化に付随する二次的災害。文部省科学研究費(No. 5802202)1986年日本海中部地震による災害の総合的調査研究，218~220.

地すべり対策技術協会(1985): 地すべり：その解析と防止工(上巻)。p.165.

栗林栄一・龍岡文夫・吉田精一(1974): 明治以降の本邦の地盤液状化履歴。建設省土木研究所，p.181.

東京都土木技術研究所(1987): 東京低地の液状化予測。p.189.

YOUNG, T.L. and PERKINS, D.M.(1987): Mapping of liquefaction severity index. *Jour. Geotech. Eng.*, 113, 1374~1392.

ENDO Hidenori(1990): Earthquake disaster caused by liquefaction—lateral ground displacement—.

<受付：1990年5月25日>