

## (46) 液状化による鉛直方向の地盤の永久変位

東海大学海洋学部 正会員 浜田 政則  
日本技術開発㈱ 正会員○磯山 龍二  
東海大学海洋学部 学生員 佐藤 修

### 1. まえがき

著者らは1983年日本海中部地震における能代市および新潟地震（1964年）における新潟市の地盤の水平方向の永久変位を航空写真測量の技術を応用して測定し、能代市で2～5m、新潟市の信濃川沿岸で最大8mもの水平方向の永久変位が発生していたことを明らかにした。これらの永久変位は、噴砂・噴水の発生状況さらに地盤条件等から地盤の液状化に起因するものと考えられた。<sup>1)・2)</sup>

液状化に伴う地盤の永久変位は、上述の水平方向に加えて鉛直方向にも発生することが知られている（沈下および隆起）。この内、沈下については、地中間隙水の地表への排水、排水に伴う土砂の流出が主な要因と考えられており、既往の震災においても局所的にはあるが測定された例もある。高田らは新潟地震を含む5地震におけるこれらの地盤の沈下測定例を収集・分析している。<sup>3)</sup>一方、室内試験により液状化後の沈下を求めようとする研究も多くあり、圧密により最大3～4%の体積収縮が起きるといわれている。<sup>4)</sup>

本研究は、先に述べた水平方向変位と同時に測定された鉛直方向の永久変位量を能代市、新潟市について示すとともに、地盤条件等との関連について若干の考察を加えるものである。

### 2. 測定方法および精度

測定対象領域は、1983年日本海中部地震における能代市、新潟地震における新潟市の信濃川河岸である。また、後に述べるように測定の精度を検証するために秋田市新屋元町地区（1983年日本海中部地震）についても補足的な測定を行った。測定は、地震前後の航空写真を用いた航空写真測量により、水平方向の地盤の永久変位と同時に実施した。したがって、地震前後で永久変位を比較する点（比較測定点）は水平方向、鉛直方向とも同一の点である。測定対象地域（秋田市新屋元町を除く）および測定方法の詳細については文献1)を参照されたい。

写真測量の測定精度は、用いた写真の撮影縮尺、基準点の写真座標変換における誤差（基準点残差）などに影響される。今回実施した鉛直方向の測量精度は能代は±20～30cm（水平方向は±17cm程度）、新潟は±70cm程度（水平方向も±70cm程度）である。<sup>1)</sup>

上述の測定の精度を検証する意味で秋田市新屋元町において上述の方法により測量を行った。この地域では、液状化による被害の大きかった道路に沿って下水道マンホール蓋上面の水準測量が行われており<sup>5)</sup>、この水準測量結果と航空写真測量によるものを比較した。航空写真測量の精度は鉛直・水平ともほぼ±20cm程度である。図1に地震前後の鉛直方向の永久変位量を示す。マンホール蓋上面の水準測量は、この道路から約100m離れた台地上の点（地盤変動は観察されていない）を基準としており、航空写真測量の結果（図の▲印）も同じ条件となるように変換が施されている。図1から航空写真測量による結果は平均的に見れば、水準測量結果とおおよそ適合しており、航空写真測量の妥当性を表わしているものと考えられる。

### 3. 測定結果

能代市における地盤の鉛直方向の永久変位量を図2に示す。永久変位量は、マンホール、電柱の足などの比較測定点で計測されているが、図では、100mのメッシュごとに平均した値として示している。地盤の変動

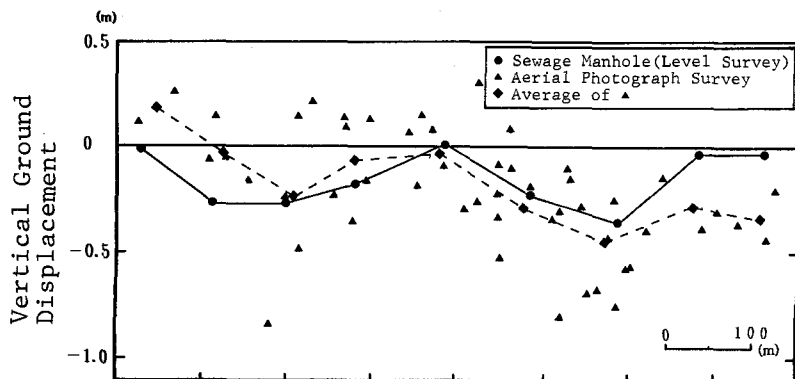


図1 航空写真測量と水準測量の比較—秋田市新屋元町

の傾向を面積的にみると、 $+0.2 \sim -0.2$  mのランク、すなわちほとんど鉛直方向に変動していないと考えられる領域が測定値のある全メッシュの内の約55%を占め、次に沈下傾向を示すものが約37%、隆起を示すものが約9%となっており、変動としては全体的に沈下が卓越していることがわかる。沈下傾向を示す地域は、北部の景林町～青葉町周辺、南部の河戸川、前山をとりまく地域で、亀裂・断差などの地盤の変状が見られた地域<sup>1)・2)</sup>とほぼ一致している。また、これらの地域では比較的大きな水平方向の永久変位量が発生している(後述)<sup>1)</sup>。

図3に新潟市における地盤の鉛直方向の永久変位を能代市と同様100mメッシュごとの平均値として示す。なお、新潟市では、メッシュ内に比較測定点が1点しかないものが多く、このようなメッシュは除外している。能代市と同様沈下が卓越しているが、沈下量の平均値が80~100 cmとなるメッシュも多く(平均値を表示したメッシュの内の約15%)、能代市に比べはるかに大きい沈下が発生している。沈下は信濃川沿岸、特に左岸で顕著であるが、能代市と同様これら地域では地盤変状、水平方向永久変位量ともに大きい。なお、信濃川沿岸の比較測定点は全て堤防の内側にあり、護岸の崩壊の影響は直接にはないものと考えられる。

#### 4. 結果の分析

測定された鉛直方向の地盤の永久変位と地盤・地形条件等との関連を見るために、能代市で27本、新潟市で5本の測線を設定した<sup>2)</sup>。これらの測線については、地形、地盤条件、さらに $F_L$ 値から判定された液状化層の分布等が整理されている<sup>1)・2)</sup>。

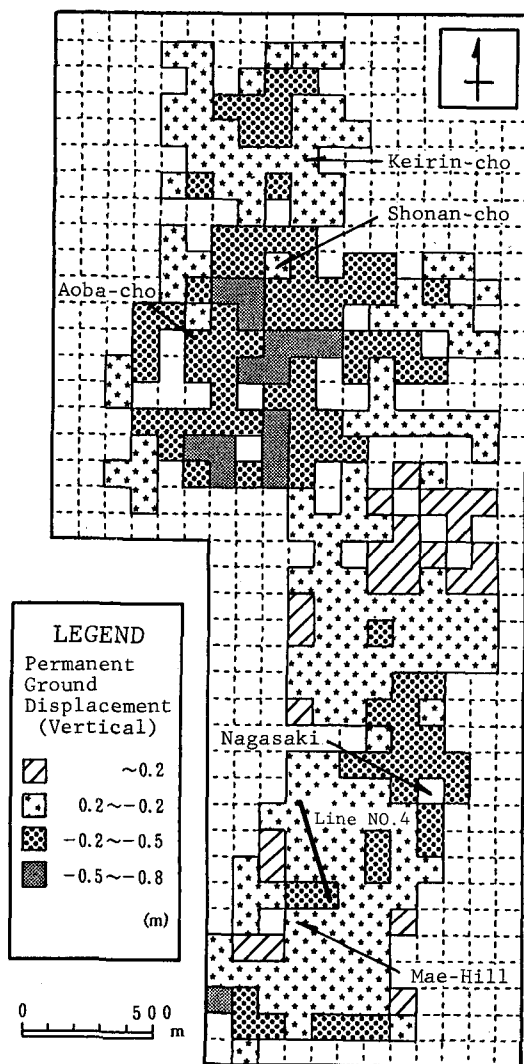


図2 能代市の鉛直方向地盤変位量

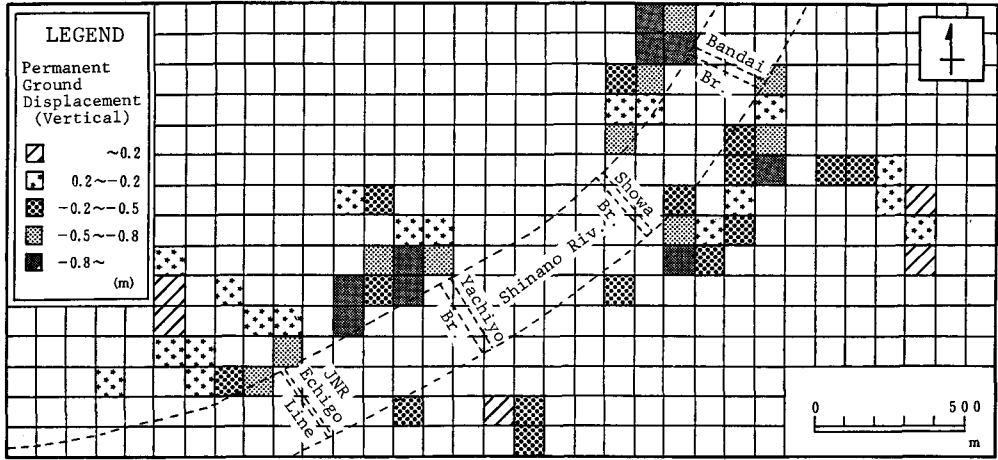


図3 新潟市の鉛直方向の地盤変位量

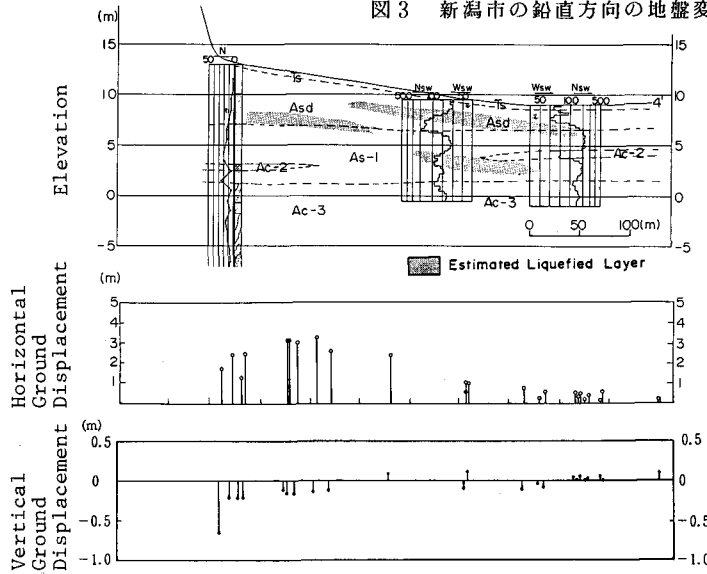


図4 測線 (NO. 4) に沿った永久変位, 地盤条件の整理例  
—能代市南部前山北側 (図2 参照)

図4に測線に沿って整理された能代市の1例を示すが, 図には水平方向の永久変位も同時に示している。なお, この測線の位置は図2に示している。

図4は, 能代市で最も地盤変位の激しかった前山 (標高20mの小高い砂丘) 北側の例である。水平方向で約4m, 鉛直方向で50~100cmの永久変位が測定されている。この図から, 水平方向の変位の大きい部分で大きな沈下となり, 水平変位が減少していくにつれ鉛直変位が沈下から隆起に移行していく様子がわかる。このような傾向は, 前山周辺の他の測線, 能代市北部の一部および新潟

市の一部の測線でも見られ, この隆起は, 水平変位によって発生したプレッシャーリッジと考えることができる。

図4に例示した整理に基づき, 鉛直変位量を始め, 液状化層厚などの各種要因を文献1)に示す方法で定量化した。すなわち, 変位の傾向・地形・地盤条件から1つの測線にいくつかの部分区間を設け, 部分区間ごとに変位量, 各種要因を平均して1つのデータとする。このように定量化されたデータを用い鉛直変位と各種要因の間の相関を調べた。以下に比較的相関の高かったものについて結果を示す。なお, 図4に示した測線を斜面上部, 中部, 下部等に分割し, 各々の位置ごとに上述のような相関を見たが, データ数が少ないこともあり有意な結果は得られなかった。

図5に鉛直方向変位量と液状化層下面深さの関係を示す。隆起は先に述べたプレッシャーリッジの部分である。全体として, 液状化層下面深さが大きくなるほど沈下も大きくなる傾向がわかる。図6は液状化層厚

との関係を見たものであるが、図5とほぼ同様の傾向にある。沈下量と液状化層厚、あるいは下面深さとの関係を、原点を通る直線で近似してみると直線の傾きは、液状化層厚で約9%、下面深さで約5%となる。

図6において液状化層厚が薄く、沈下が比較的大きいデータが見られる。これらは、図4に示したような能代市の斜面上部でのデータである。このよう部分では、図4からわかるように液状化層は薄い、水平変位がきわめて大きく、過大な水平変位のために地盤が陥没したとも考えられる。実際にこれらの部分では陥没あるいは段差のある亀裂が観察されている。また、噴砂は斜面の中部～下部に集中しており、斜面上部の砂の流出により陥没・沈下が発生したとも考えられる。

鉛直方向変位と水平方向変位の関係を図7に示すが、両者には比較的よい相関が認められる。この理由としては、今回使用したデータが水平変位の卓越したものであること、水平変位と液状化層厚との間にはよい相関が認められること、(すなわち、図6に示すように鉛直変位と相関がある)、また、上で述べたようにプレッシャーリッジ(隆起)あるいは過大な水平変位による陥没などの影響があることなどが考えられよう。

## 5. まとめ

液状化による地盤の永久変位を能代市、新潟市において航空写真測量により測定した。この結果、両市では沈下が卓越しており、100mメッシュ内の平均値で見ると能代市で最大0.7m、新潟市で最大1.7mの沈下が測定された。沈下量に対する液状化層厚の比はおおよそ9%であった。しかし、今回使用したデータは水平変位の卓越したものが多く、水平変位が鉛直変位に影響を及ぼしていると考えられる場合も認められた。したがって、今後は、水平変位の影響の小さいデータも追加した分析が必要と考えられる。

**謝辞:** 本研究は(財)地震予知総合研究振興会の研究の一環として行ったものである。久保慶三郎東海大学教授をはじめ関係各位に深謝する次第である。特に九州工業大学安田進助教授には有益な助言を頂いた。記して謝す。

**参考文献:** (1) 浜田・安田・磯山・恵本: 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、第376号/Ⅲ-6、1986年12月。(2) 浜田・安田・磯山・恵本: 液状化による地盤の永久変位と地震被害に関する研究、土木学会論文集、第376号/Ⅲ-6、1986年12月。(3) 高田・田邊: ライフライン解析のための地震時地盤沈下量の推定、第19回地震工学研究発表会、1987年7月。(4) たとえば、吉見: 砂地盤の液状化、技報堂出版、1980年。(5) 秋田県、昭和58年日本海中部地震の記録-被災要因と事例。

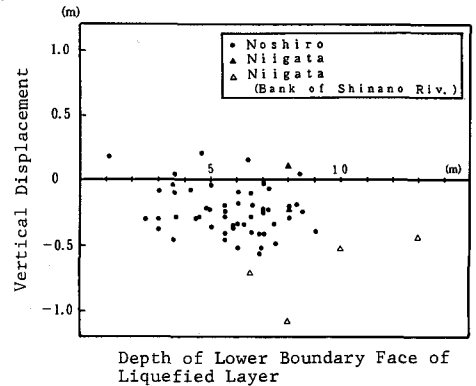


図5 液状化層下面深さと鉛直変位の関係

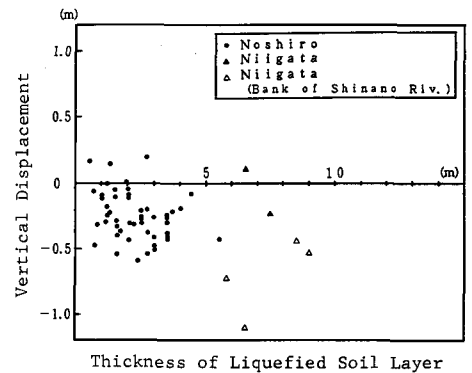


図6 液状化層厚と鉛直変位の関係

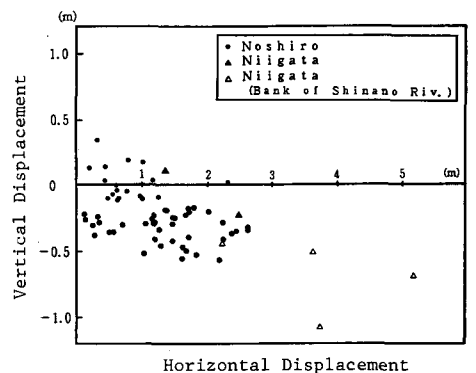


図7 水平変位と鉛直変位の関係