

東海大学 海洋学部 浜田 政則  
基礎地盤コンサルタンツ(株) ○安田 進  
日本技術開発(株) 磯山 龍二

1. まえがき

地盤が地震時に液状化すると、地表や地盤内にある構造物は沈下、浮上、すべりなどの被害を受ける。この事は新潟地震やアラスカ地震以後、広く認識されるようになってきている。ところが、構造物も含めてかなり広い範囲の地盤が、液状化に起因してすべってしまう現象については、アラスカ地震、サンフェルナンド地震では認められたものの、わが国では定量的にはあまり明らかにされてこなかった。

これに対し、2年前に発生した日本海中部地震では、能代市や若美町などで砂丘端部(ゆるやかな斜面)がすべり、これにより家屋やライフライン、道路の被害を強めたことが明らかにされた。そのすべり量(地盤の永久変位量と以後呼ぶ)を定量的に求めるために、筆者達は地震前・後の航空写真を利用して航空写真測量を行うことを試み、良い結果が得られた。<sup>1)</sup>

新潟地震(1964)の報告書<sup>2)</sup>によれば、後述するように信濃川沿岸の地盤が、やはり液状化に起因して河心に向かってすべっている傾向がすでに指摘されている。そこで、上述の方法と同様に、地震前・後の航空写真を用いて航空写真測量を行い、永久変位量を求めた。

2. 測定方法

新潟地震前・後に撮影された航空写真を調べたところ、表-1に示した写真があることがわかったため、これらを用いた。図-1にそれらの標定図と、測量を行った範囲を示す。

測量にあたっては、まず不動点として図-1に示した11地点を選んだ。これらの地点は古砂丘上にあり、安定していて、地震により変動がほとんどなかったものと考えられる。

地盤の永久変位を測定するためには、地震前後に共通した標定点が必要である。標定点としては、マンホールや側溝などなるべく地表面に固定されたものを優先的に選択したが、適切な標定点がない場合には、家屋の屋根や電柱、塀の根元部を選んだ。

航空写真測量には撮影による誤差、読み取り誤差をはじめとして多くの誤差が含まれるが、本測量の精度は±50cm程度と見込まれている。ただし、信濃川右岸の昭和大橋付近より上流側では三角測量網の接続の関係から、最大で±1mの誤差を含んでいる可能性がある。

3. 測定結果

測定した変位量をベクトルで示すと図-2(a), (b)となる。図には同時に地割れ噴砂、土地のふくれ上り・落ちこみが発

表-1 使用した航空写真

撮影時期	撮影機関	撮影縮尺
地震前(昭和37年7月)	国土地理院	1/8000
地震発生4時間後	国際航業(株)	1/6000

(注)地震発生は昭和39年6月16日13時02分

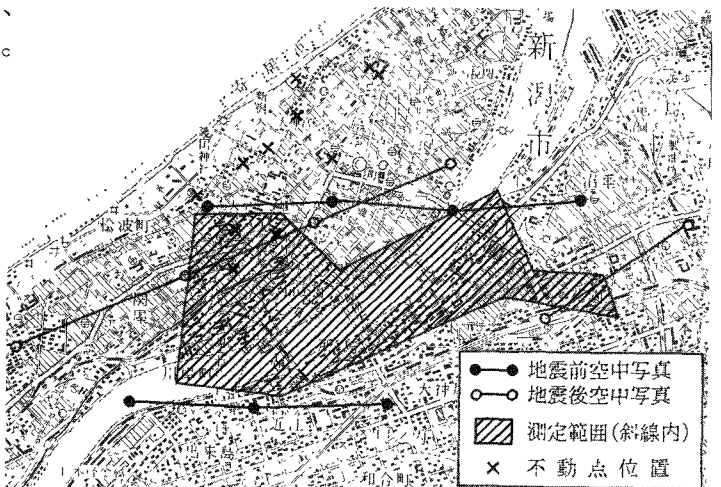


図-1 標定図と測量を行った範囲

生した箇所（国土地理院の調査<sup>3)</sup>による）も示した。

まず、全体的な傾向として、信濃川左岸の川岸町付近や右岸の万代橋より上流部では最大 9m 近くも永久変位量が生じていることがわかる。逆に、新潟大学付近など古砂丘の丘陵では変動がほとんど生じていない。また、前者では噴砂や地割れが多く発生し、後者では生じていない。

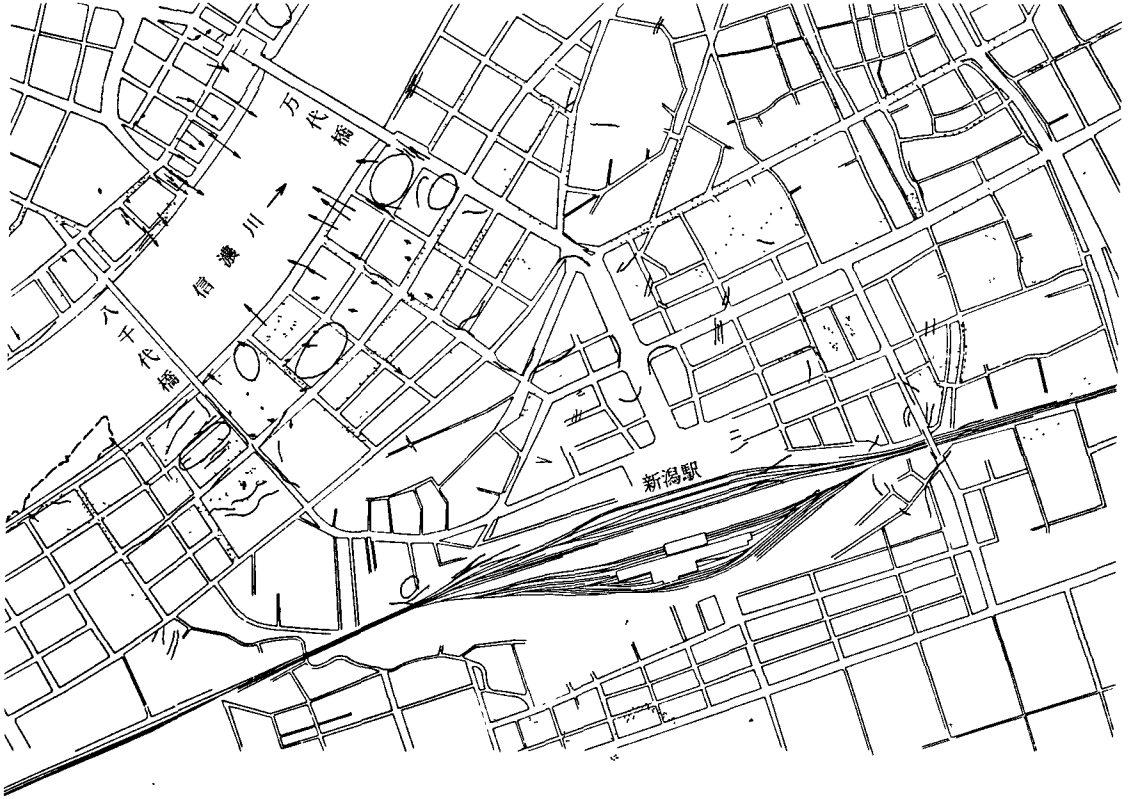
信濃川左岸の川岸町～昭和大橋付近の川沿いの地区では、6～8m（測定した最大変位量は 8.7m）ほど河心に向かって地盤が移動している。川から陸にはいるにつれ変位量は少なくなっているようであるが、それでも約 200m はいった付近で 1～2m の変位量を示している。地盤変位量の大きい地域では多くの地割れが認められ、地盤が大きく移動したことを裏づけている。信濃川近傍の地盤の地割れは川にほぼ平行であり、地盤が川方向にすべったことを示している。また、噴砂も一面に生じており、すべりの原因は液状化にあるこ



図-2(a) 永久変位量測定結果（その1，西半分）

とが推察される。この地区はもともと信濃川の河道であり、昭和初期に埋立てられた所である。埋立層が液状化し、旧地盤面が河心に傾いていたため、全体に河心方向にすべったものと推察されるが、詳細は液状化解析などを行ってみる必要がある。なお、東北電力白山変電所から上流側の信濃川沿岸では、航空写真がハレーションをおこしているため、変位量は測れていない。

信濃川右岸の昭和大橋～万代橋付近でも河心に向かって大きな変位量が生じている。上流側で3 m程度であるが、下流側で大きくなり、万代橋付近では8 m程度にも達している。やはり河岸より離れるにしたがって変位量は少なくなっているが、それでも万代橋付近では、約200 mはいったところで1～2 mの変位量は生じている。上記の左岸側と同様にこの地区も信濃川の埋立地であり、同様の原因で移動したのではないかと推察される。



- 凡 例
- 噴 砂
  - 地割, 断層または落差のある亀裂
  - 土地の落ち込み, 土地のふくれ上がり
  - 地盤変位量

地盤変位量のスケール 0 10 m

地図のスケール 0 500 m

図 - 2 (b) 永久変位量測定結果 (その2, 東半分)

#### 4. 構造物の被害状況から推定される永久変位量

新潟地震震害調査報告書<sup>2)</sup>には、上述の信濃川左岸付近のすべりに関する記述がいくつかある。それを抜粋して航空写真測量による変位量と比較する。

国鉄越後線（白新線）信濃川橋梁の上流側に位置する白山変電所では、図-3に示されるように、「変電所をほぼ中心として幅300m、奥行100mにわたる地域が地震時に信濃川に向かって7m程度地すべり移動した」と述べられている。変電所構内にある鉄塔も移動し、信濃川を横断する送電線がゆるみ、後日電線のたるみ調整にあたって、約4mの短縮を要した。

信濃川の護岸の被害も大きく、「昭和大橋より白新線鉄橋間左岸の護岸は、大きく前面にすべり出してS字形状となり、コンクリートコーピングは目地ごとに分断されて、ほとんど水中に没し…」、また「白新線鉄橋上流左岸の護岸（昔の石積護岸）は、背後地とともに4～5mから10m近く河岸にすべり出している」と述べられている。さらに、地震発生後数分を経てから護岸の倒壊、かん没が発生したことも報告されている。

信濃川に架けられていた橋梁のうち、昭和大橋の左岸橋台で0.8～0.9m、左岸側の橋脚で0.8～2.0mの変状（計画スパン長－地震後実測スパン長）が生じている。八千代橋では地震後橋長が約40cm短くなっているが橋台および近接の橋脚が右岸・左岸とも、脚を払われた形で河心方向に押し出されている。越後線信濃川橋梁では、左岸側の橋台が天端で50cm・下部で35cm、左岸側橋脚（1P）が天端で1.75mほど河心方向へ傾斜移動している。なお、「上空から見るとこの付近の川岸は河心に向いすべり出し移動を生じており、1P周辺の川岸の変位および道路部のアスファルト舗装のひびわれの状態は、1Pが川岸のすべりに抵抗しつつもこの力に抗し切れずに傾いたとみられる…」と述べられている。この考察に従うと、橋長が短くなった値よりさらに大きな変位量が地盤に生じていたのではないかと推察されよう。

以上述べた構造物の被害状況と航空写真によって測定された地盤変位量は定性的のみならずある程度定量的にもよく一致しており、測定結果がほぼ妥当な値であることを示している。

#### 5. あとがき

地震前、後の航空写真をもとに、新潟地震における信濃川沿岸の地盤の永久変位量を求めた。前述したようにこの大きな移動は、地盤の液状化や旧地盤面の傾きなどに起因しているのではないかと想像される。今後、変位量とそれらの関係について研究してゆきたいと考えている。

なお、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。埼玉大学の久保慶三郎教授をはじめ関係者各位に深謝する次第である。

#### 6. 参考文献

- 1) 久保慶三郎・浜田政則・磯山龍二：日本海中部地震における地盤の永久変位の測定、第18回地震工学研究発表会、1985。
- 2) 土木学会新潟震災調査委員会編：昭和39年新潟地震震害調査報告、1966。
- 3) 国土地理院：新潟地震－被災状況と土地条件、1965。

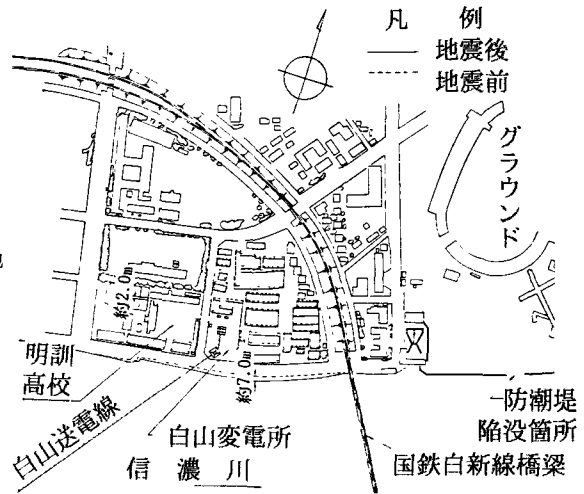


図-3 白山変電所でのすべり発生状況<sup>2)</sup>