

埼玉大学

久保慶三郎

東海大学

○浜田 政則

日本技術開発

磯山 龍二

### 1. はじめに

昭和58年日本海中部地震は、能代市、秋田市など各地で砂質地盤の液状化をひきおこし、道路、鉄道、干拓堤防、港湾施設およびライフライン施設などに多大な被害を発生させた。著者らは、液状化による埋設管等の被害が最も甚大であった能代市街地域について、地震前後の航空写真を用いた地盤の永久変位量の測定を行い、液状化による構造物被害のメカニズム解明のための基礎的知見を得た。

### 2. 測定方法

図. 1 に示すように能代市の市街化地域ほぼ全域に亘って、地盤の永久変位を測定した。能代市は、日本海に沿った砂丘の東端部に位置し、米代川が形成した低湿地と砂丘が入り組んだ複雑な地形・地質条件を有している。液状化による家屋、埋設管等の被害は砂丘と低湿地の境界部に多く発生した。

測定に用いた地震前の航空写真は、地震発生の2年前昭和56年に能代市によって撮影されたものである。地震後の航空写真は地震発生1週間後に撮影されたもので、地震前後の写真とも撮影縮尺は1/8000である。

地震前後の航空写真によって地盤の永久変位量を測定するためには、地震前後を通じての不動点の設定と変位を測定する比較測定点の選定が必要である。不動点(図.1のゾーンA, Bで各々3箇所)は、原則として三角点とした。いずれの三角点も砂丘の頂部に位置し、地下水位が低いため噴砂など液状化現象は認められず安定した地点と考えられる。比較測定点は地震前後の写真に共通であり、マンホール、地籍境界電柱の足、さらに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定した。比較測定点を十分に密に発見出来ない地域では、被害が報告されていない家屋の屋根などが二次的に選定された。永久変位量の精度は、地震前後おのこの航空写真測定の精度に支配されるが、本測定の場合は水平方向で±25cm、鉛直方向で±50cm程度と見積られている。

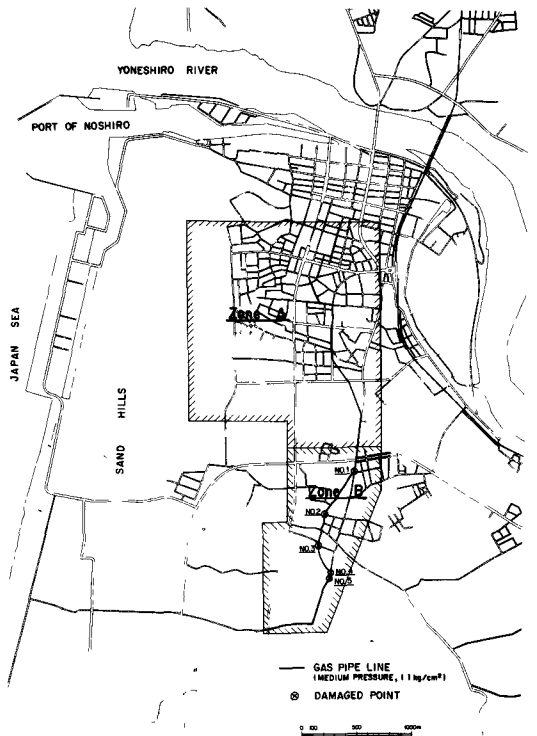


図. 1 航空写真測量による測定領域

本測定の場合は水平方向で±25cm、鉛直方向で±50

### 3. 測定結果と考察

地盤の永久変位の測定結果を能代北部(A zone)と南部地域(B zone)の二つに分けて図. 2, 3 に示す。まず注目されることは、図. 2, 3の結果とも砂丘の緩やかな斜面に沿ってあたかも溶岩が流れるようにすべりが生じていることである。図. 2に示した北部地域では西側の標高28mの砂丘頂部、砂留山より北西あるいは北方向に向って長さ約1kmに亘ってすべりが生じており、青葉町付近での最大すべり量は3mにも達している。この付近は砂丘の端部に位置し東西あるいは概ね北東～南西方向に緩やかな傾斜を有している。

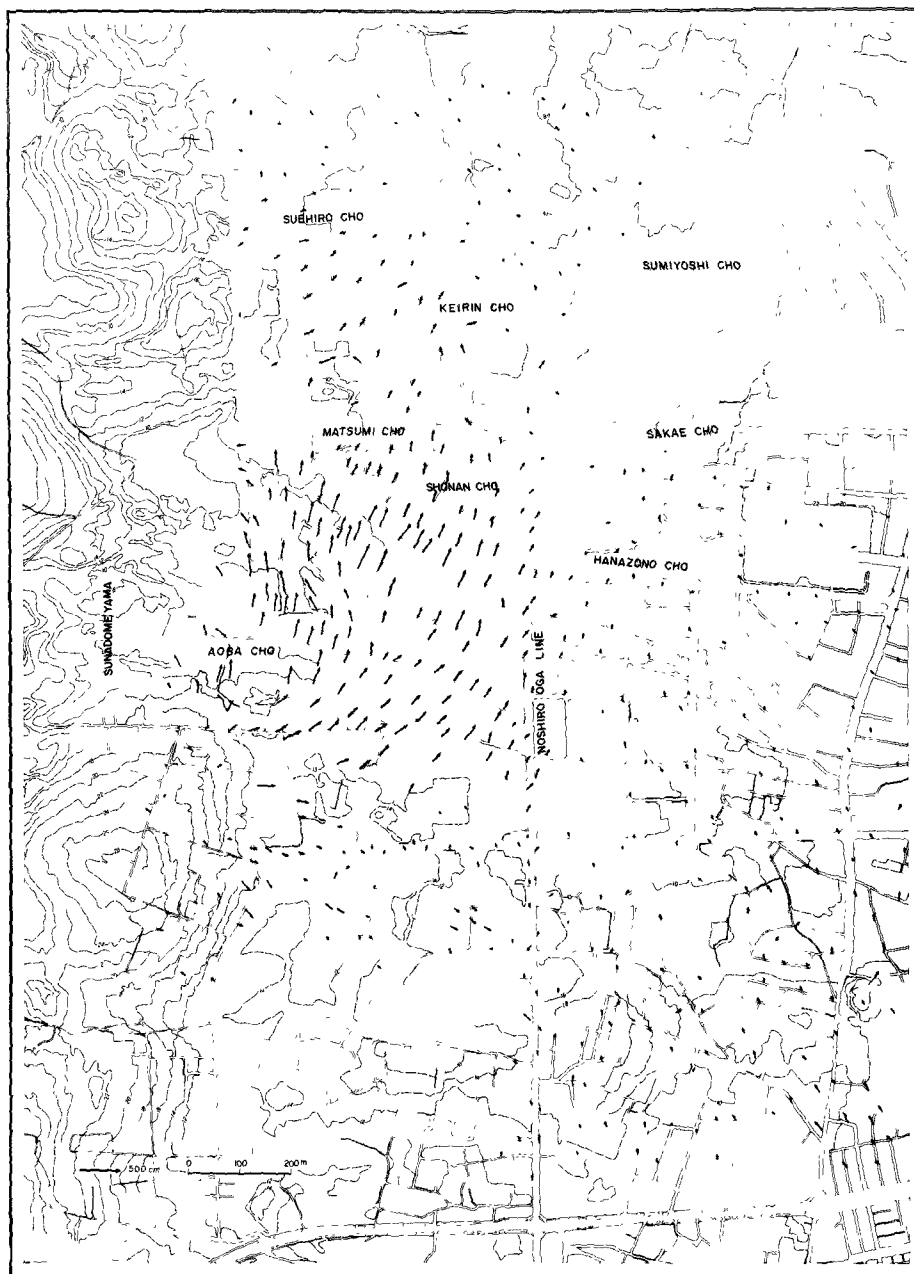


図. 2 能代市北部地域 (A-zone) の地盤の水平方向永久変位

これに対して、県道能代～男鹿線の西側における変位は1 m以下と小さい。この地域の大部分は砂丘間の低地でほぼ平坦な地形をなしている。

図. 3の南部地域で特徴的なことは、南側の砂丘前山を中心としたすべりである。標高20mの前山の頂上を中心としてほぼ放射状にすべりが生じている。特に北側の斜面では最大5 mもの水平変位が発生している。東西および南側斜面におけるすべりは前山周辺を走る道路付近で収束する傾向を見せているが、北側斜面のすべりは緩かな斜面に沿って400 m以上も続き、北部の国道7号線付近より南東方向に向うすべりと河戸川、長崎付近で合流してさらに低い東側に向っている。

図. 4は前山の北および南側斜面の代表的な縦断面に沿ったすべりを示す。勾配の大きい斜面部で最大約

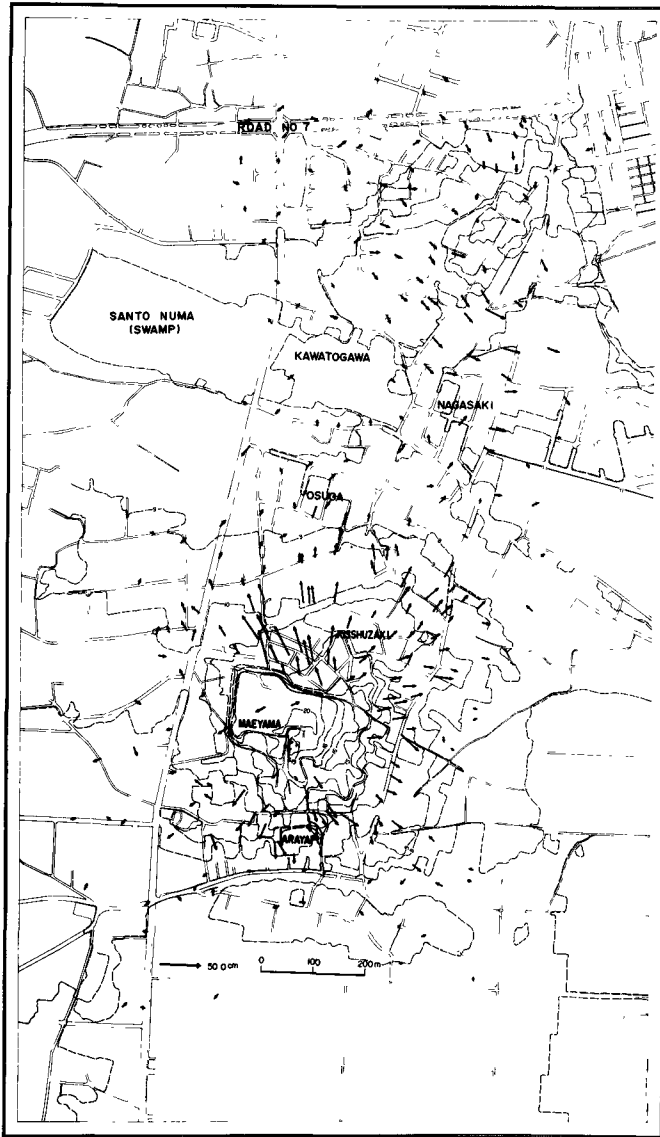


図. 3 能代市南部地域 (B-zone) の  
水平方向永久変位

より構成されている。地表面加速度は実際には不明であるが、200galと仮定した場合、地下水位2~3mの位置に液状化層が帯状に存在することがわかる。また250galと仮定した場合には、地下水位以下のほぼ全層が液状化すると考えられる。

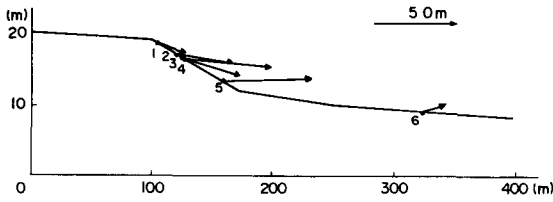
土質調査と併せて実施された、井戸用パイプの引き抜き試験の結果によれば、図. 7に示すようにほとんどのパイプは地下水位以下1~2mで曲げられていたことが明らかにされている。このことと図. 6の液状化判定結果から以下のように結論することが出来る。すなわち、地盤の永久変位は、地下水位以下の砂丘砂あるいは砂質土層の液状化によるすべりを原因としており、すべり面は地下水位より1~3m下の比較的浅い位置に発生していると考えられる。また図. 7の井戸用パイプの変形状態からすべり面より上の土層が薄層状にすべったものと推定される。

5mの変位が生じている。また斜面の頂部付近では地表面が沈下しており、法尻付近では隆起している。これは地震により前山全体が周辺に拡がり、すべり下った山腹が法尻付近で圧縮を受けて隆起したものと考えることが出来る。

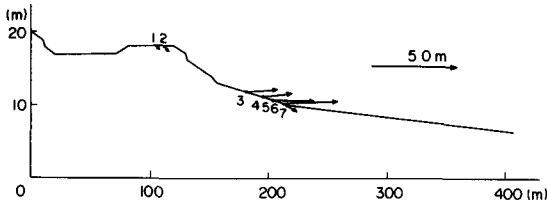
図. 5は前山の南北および東側の斜面について、最大水平変位量と地表面の傾きとの関係を示したものである。地表面の傾斜率の計り方によって結果が左右される可能性があるが、ここでは、ベクトルの方向に沿って20m離れた地点の高低差より算定している。結果にはかなりばらつきがあるものの、地表面の勾配が大きくなるにつれて最大水平変位が増大する傾向が認められる。地盤のすべり量に影響を与える要因としては、地表面の勾配のほか、液状化の度合、すべり層の深さなどが考えられ、今後より詳細な要因分析が必要である。

#### 4. 永久変位の原因とすべり面の推定

能代市で地盤の永久変位が顕著であった地域ではいたる所で噴砂が認められ、家屋をはじめとする多くの構造物に液状化を原因とする被害が発生した。<sup>1), 2)</sup>このことから、地盤の永久変位の主要な原因も砂質土層の液状化と推定される。図. 6は前山北側斜面における土質調査結果より推定された液状化領域を示す。液状化の有無の判定は道路橋示方書の $F_L$ 値を用いて行った。土質調査結果によれば、前山斜面の土層は、地表面より、3~5mの厚さの砂丘砂、3~4mの砂質土およびその下部の粘性土より



(a) 北側斜面



(b) 南側斜面

図. 4 前山斜面のすべり

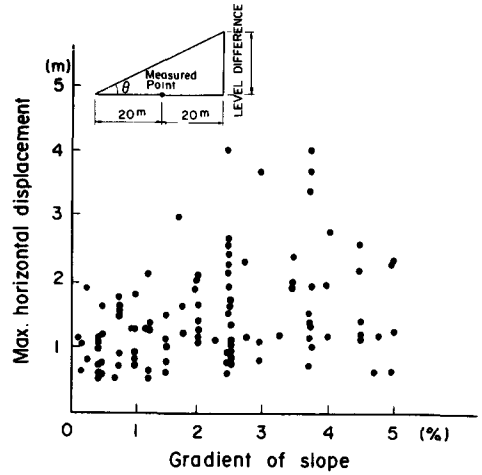


図. 5 地盤の水平変位と地表面の勾配の関係

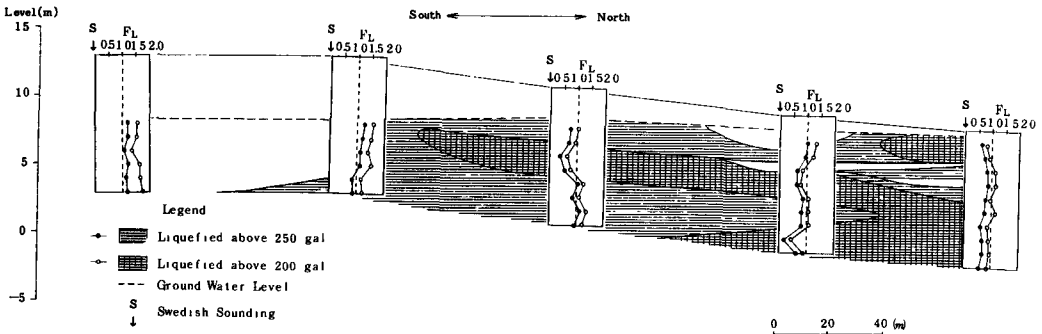
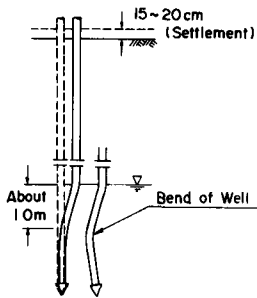


図. 6 前山北側斜面における推定液状化領域



### 5. あとがき

航空写真測量によって日本海中部地震における能代市の地盤の永久変位量の測定を行った。この結果、緩勾配の砂丘斜面に沿って最大5mにも達するすべりが生じていることが明らかにされた。また土質調査や井戸用パイプの調査から、すべりの原因は地下水位より1~3m下の砂質土層の液状化であり、すべり面上の土塊が薄層状にすべりを生じていることが明らかにされた。

今後地表の傾き、液状化の深さ、地下水位等すべり量に影響を与える要因に  
 図. 7 井戸用パイプの曲り についてさらに検討を進める予定である。最後に本研究は地震予知総合研究振興会が組織した研究委員会(委員長 久保慶三郎埼玉大学教授)により遂行されたことを記し謝意を表します。

### 参考文献

- (1) 浜田政則、恵本克利、磯山竜二、安田進、“地盤の永久変位と地震被害について”、第18回土木学会地震工学研究発表会、1985年7月。
- (2) 能代市、“日本海中部地震 能代市の災害記録”1984年。