

柏崎平野の地震後地盤沈下の発生機構に関する分析

環境防災研究室 長谷川 拓也
指導教員 大塚 悟

1. 柏崎地域の地盤沈下

2007年の新潟県中越沖地震では、柏崎平野において粘性土地盤の地震後沈下が確認された。新潟県では消雪に用いる地下水の汲み上げにより地盤沈下が継続しているが、地震後の地盤沈下は大きく、地下水位との関連性のないことから、地震に起因すると推測される。

本論文では、地震後地盤沈下の原因を明らかにするために、地震後地盤沈下の分布と地形、地質構成との関連について調査した。

2. 地震後地盤沈下の分析

地震後の地盤沈下挙動は図1に示すように、即時沈下と長期沈下に分類できる。即時沈下は砂質土の揺すり込み沈下が考えられる一方で、長期沈下は粘性土で生じると推測される。そこで時間の経過とともに、地盤沈下が初期状態と同様の沈下挙動に戻ることを仮定して、沈下挙動を外挿した。各水準点で即時沈下 d1 と長期沈下 d2 を計算し、水準点にプロットした(図2:即時沈下分布図, 図3:長期沈下分布図)。また、どのような地形で沈下が生じているか把握するために、各水準点で柏崎地域の地形分類をもとに、鵜川流域で即時沈下と長期沈下の分析を行った。

図4に地形分類ごとの全沈下量と長期沈下の関係を示す。三角州において全沈下量が多い点では長期沈下も大きい結果となった。また、被覆砂丘でも長期沈下が発生しているが、これは砂丘下位の粘性土が地震によって圧密沈下したためだと考えられる。谷底平野では全沈下量に関係なく、長期沈下量は小さい値となった。また、図5は図3に示す地点での地表面沈下量の時刻歴となっているが、地点によって地震後沈下量の傾向に差があることが確認できる。加えて、谷底平野である元城町は、地震以前から地表面沈下が生じている地域であることが分かる。図6に示す17断面での地質断面図によると内陸側にかけて基盤が浅くなるものの粘性土が堆積しており、各地点でのボーリング柱状図を確認したところ N 値が約 0~2 の軟弱な粘性土地盤が分布していた。また、柏崎市で観測された震度 6 強となっており、市内で震度分布に大きな差異はないことが確認されている。

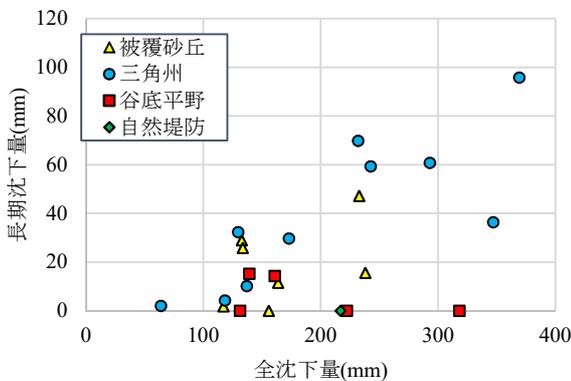


図4 地形分類ごとの全沈下量と長期沈下の関係

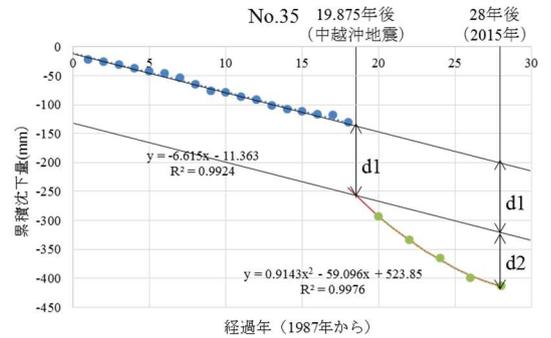


図1 即時沈下 d1 と長期沈下 d2 の算出方法

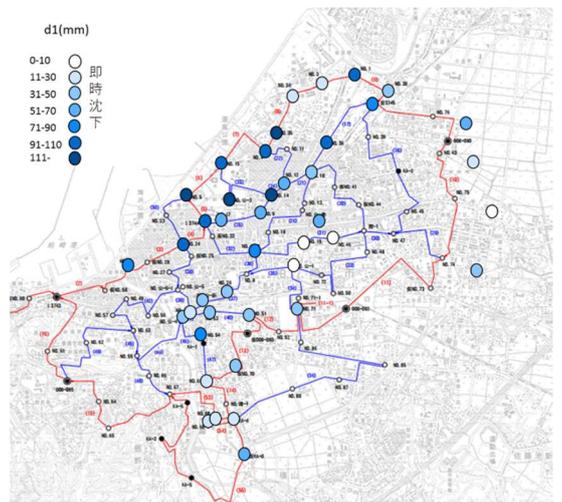


図2 即時沈下平面分布図

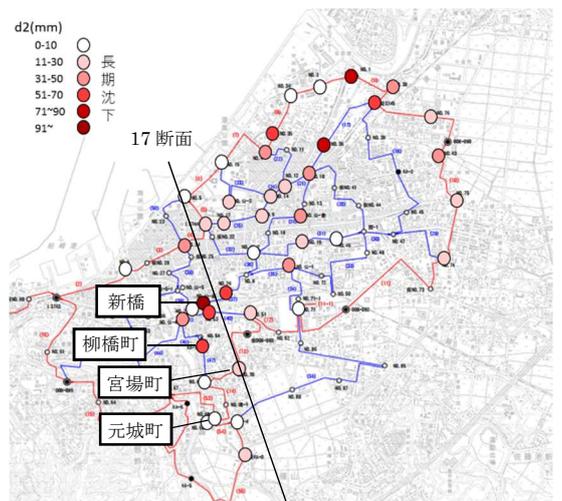


図3 長期沈下平面分布図

3. 物理・力学試験からの検討

鵜川流域では広い範囲で軟弱な粘性土が堆積しているが、地震後の地表面沈下の傾向が地点ごとに異なることが確認された。そこで、長期沈下が小さい宮場町でサンプリングを行い、物理・力学試験を行うことでその特性を把握するとともに最も長期沈下量が多い新橋地区との比較を行った。宮場町でサンプリングした試料と新橋地区での海成粘土層での物理試験結果を表1に示す。宮場町の粘性土は3層（地表面からAc1, Ac2(mc), Ac2）に分けられ、地質断面図と一致した。全ての層で高い液性限界を示しており、特にAc2(mc)は圧縮性が高く透水性が小さい結果となった。これは新橋地区の海成粘土の試験結果と極めて近い値である。また、各層で圧密試験を行ったがAc2(mc)とAc2では圧密降伏応力を超えた付近から間隙比の急激な現象が確認された。Ac2(mc)のみ圧密時の間隙比が正規圧密曲線より上にある、高張った挙動を示した。また、各層でCU三軸試験を行った。Ac2(mc)とAc2でのCU試験結果を図7に示す。試験結果からAc2(mc), Ac2ともにひずみ軟化しており、Ac2のピーク強度はAc2(mc)より大きくなった。新橋地区の海成粘土層のCU試験結果と比較するとAc2(mc)のせん断特性とよく一致していた。物理・力学試験から宮場町のAc2(mc)と新橋地区の海成粘土層は同一の特性を有する地盤である。

4. 地震後地盤沈下の要因

既往研究から新橋地区で大沈下が生じた要因は、構造を有する海成粘土が地震によって構造が低位化し、軟化圧密が生じた結果であることが分かっている。しかし、サンプリング対象地である宮場町でも各種試験結果から新橋地区と同様な構造を有する海成粘土が堆積していることが分かった。そこで、海成粘土層の層厚による分析を行った。図3に示す地点で自然含水比、液塑性限界やボーリング柱状図から色調、貝殻片の有無によって海成粘土層の層厚を検討した。表2に図3での各地点の海成粘土層厚と長期沈下を示す。海成粘土が最も厚く堆積している新橋地区では長期沈下量が多い95.8mmであり、その次に海成粘土層の厚い柳橋町では60.8mmの沈下であった。宮場町では長期沈下量が15.2mmとなり、海成粘土層の厚さが地震後の長期沈下量に影響を及ぼしたことが分かった。

5. おわりに

本研究から、ボーリングデータと地形分類での地震後長期沈下の予測可能性を示した。後者は正確な予測はできないが概略予測に用いることができると考えられる。

表1 物理試験結果

試料名	土粒子密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	塑性指数 I_p	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_p(\%)$	自然含水比 $w_d(\%)$
Ac1	2.66	24.2	51.1	26.9	52.8
Ac2(mc)	2.699	42.9	78.2	35.3	76.3
Ac2	2.711	25.1	59.1	34.0	53.2
新橋	2.680	48.6	87.0	38.4	73.5

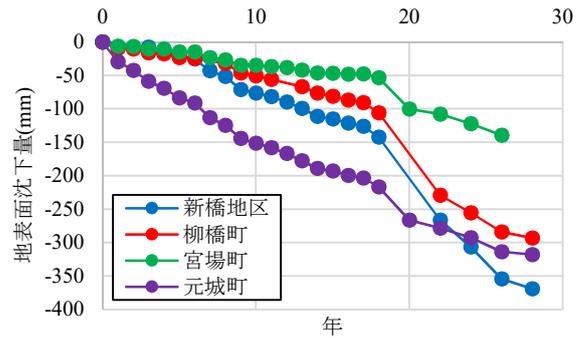


図5 累積地表面沈下量

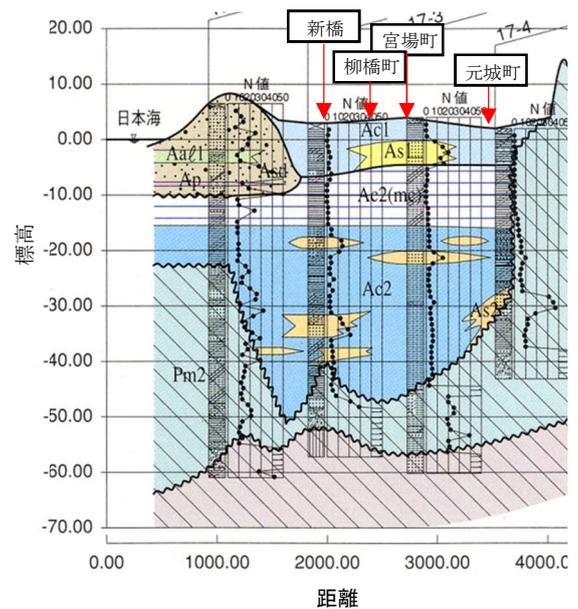


図6 柏崎地域の地形分類図

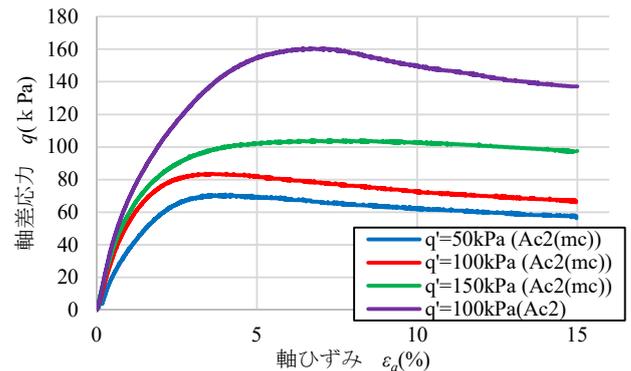


図7 軸差応力 q - 軸ひずみ ϵ_a 関係

表2 海成粘土層厚と長期沈下量

地区	地形分類	海成粘土層厚 (m)	長期沈下量 (mm)
新橋	三角州	18.0	95.8
柳橋町	三角州	9.10	60.8
宮場町	三角州	5.40	15.2
元城町	谷底平野	6.15	0.00