

構造を有する海成粘土地盤の中越沖地震後の沈下メカニズムに関する研究

【環境防災研究室】M2 飯塚 至剛

1. はじめに

従来の地震による被害報告は砂質地盤の液状化現象などに注目されることが多いが、2007年に発生した中越沖地震では、新潟県による柏崎平野の経年地盤沈下観測により、柏崎市の新橋地区において地震後の長期間にわたって地盤沈下が生じていることが明らかになった。浅岡らは、軟弱粘土地盤の地震後の大沈下現象は1999年のトルコ地震など多数の事例を示すとともに、この地盤沈下現象が「土の構造」の低位化に伴う圧縮軟化現象に起因することを数値解析により明らかにしている¹⁾。本報告では、地盤沈下計測点脇にてボーリング調査を実施し、採取土に対し室内土質試験を行ったので、その結果について報告する。

2. 土の構造

土の構造とは、土が不かく乱状態のときに、土粒子が結合し、セメンテーション能力を有している状態を指す。自然堆積粘土は一般に構造を有していることが多く、同じ材料をかく乱して再構成した土に対して、間隙比が大きい状態を維持する。したがって、荷重の载荷により構造が低位化すると、間隙の圧縮が生じて地盤沈下が発生する。構造の低位化は地盤強度の軟化と同義なので、通常の地盤工学では取り扱うことのできない圧縮軟化挙動を示すことになる。地盤が進行的に軟化すると、圧縮軟化挙動は自壊サイクルを生じるために、長期に亘って沈下が継続することが懸念される。

3. 対象地域及び試料について

図-1に柏崎市新橋地区の累計沈下と中越沖地震後沈下の相関図を示す。同図より、地震後沈下は海岸沿いに集中していることより、海成成分を含んだ地盤に要因があると考えられる。また、同図に層別沈下量、地下水位計測地点は○印で示した。○印での地表面から観測点(深度23 m)までの収縮量(沈下量)の経時変化を図-2に示す。図-2より、中越沖地震の発生した平成19年7月を境に沈下量が急増おり、現在もなお沈下の継続する長期間の沈下挙動は地下水位変化による圧密現象では説明することができない²⁾。本研究ではこの地震後の沈下メカニズムを解明するために、沈下の観測された柏崎市新橋付近にてボーリン

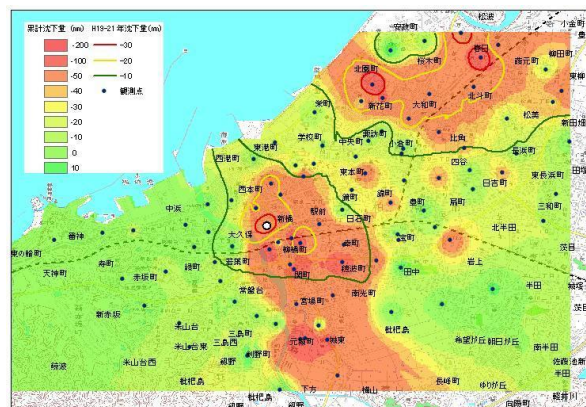


図-1 累計沈下と地震後沈下の相関図

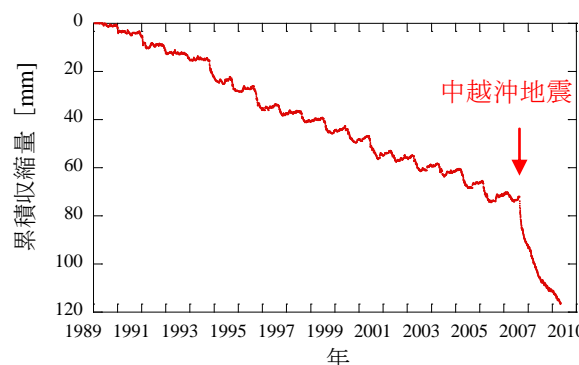
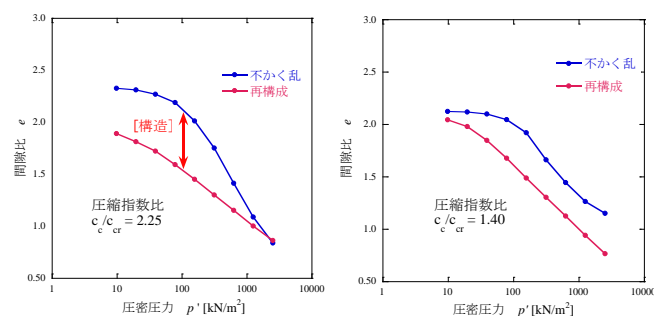


図-2 沈下量時変化(1989~2010年)



(a) 海成粘土 (b) 陸成粘土

図-3 標準圧密試験結果

グ調査を実施し、試料をサンプリングした。調査の結果、当該地盤はN値が0~2と非常に軟弱な粘性土層だった。

4. 自然堆積および再構成土の圧密特性

現地より採取した海成粘土(GL -16.7~19.0 m)と陸成粘土(GL -9.0~11.7 m)の標準圧密試験結果を図-3に示す。図中には同試料を十分に練り返して作製した再構成試料の圧縮曲線も併記した。

高位な構造を有する地盤の指標として、「軟弱な粘土地

盤で圧縮指数比が 1.5 以上」という報告があり、初期構造が高位なほど圧縮指数比が大きい傾向がある¹⁾。図-3 (a)より、海成粘土の圧縮指数比は試験結果より 2.25 であり、初期に高位な構造を有していることが分かる。一方陸成粘土は指標外という結果になった。また、再構成試料の圧縮挙動は $e \sim \log p'$ 図で直線となるのに対して、自然堆積粘土は鉛直応力の増加に伴って急激に圧縮して、再構成試料の圧縮曲線に漸近する傾向が見られる。浅岡らは自然堆積粘土の嵩張った挙動を粘土の「構造」により説明し、鉛直応力の増加に伴う再構成試料への漸近を鉛直応力の载荷に伴う「構造の低位化」と捉えている。

5. 構造を有する粘性土の非排水せん断特性

5.1 静的せん断試験

圧密試験と同様の試料を用い非排水せん断試験 (CU) を実施した。試験はすべて、自然含水比状態で三軸試験機にセットした後に背圧を 100 kPa かけて飽和度を 95% 以上にした。所定の圧力で 18 時間等方圧密した後、0.021 mm/min の軸圧縮速度のもと、せん断した。図-4 および図-5 に海成粘土と陸成粘土の有効応力経路を示す。図-4 の拘束圧 50 kPa, 100 kPa の有効応力経路に着目すると、間隙水圧の上昇に伴い有効応力が減少し、軸差応力が減少し始めても体積圧縮が続く軟化圧縮現象が生じていることが分かる。一方、拘束圧が 150 kPa, 200 kPa の場合には軟化圧縮現象は見られない。これはせん断前の等方圧密時に自然堆積粘土の構造が低位下したことが原因と考えられる。また、陸成粘土試料では初期に高位な構造を有していないため、せん断中の軟化圧縮の挙動は見られなかった。

5.2 動的せん断試験

静的せん断試験と同様の条件で繰り返し载荷試験を実施した。図-6 は試験結果の一例であり、応力比 $\sigma_d/2\sigma'_m$ が 0.4 の有効応力経路である。繰り返し試験では引張側にひずみが増幅し、間隙水圧の発生に伴い有効応力が減少する結果となった。砂質土ほどではないが、粘性土にもかかわらず繰り返しせん断に伴って過剰間隙水圧が発生している。図-7 に両振幅軸ひずみ DA = 5% で定義した液状化強度曲線を示す。図-7 より、一定以上の応力振幅比による急激なひずみ増大は、単調载荷での軟化圧密、すなわちせん断に伴う構造の低位化と密接に関連していることが考えられる。

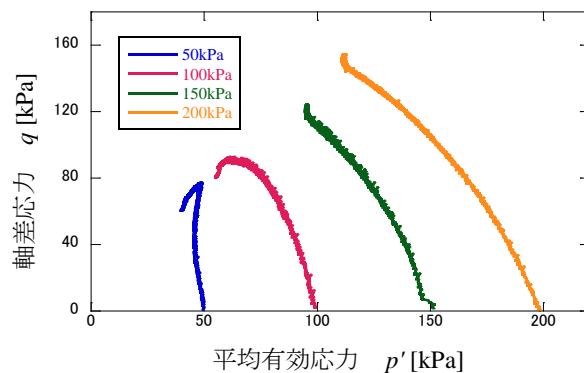


図-4 有効応力経路図 海成粘土

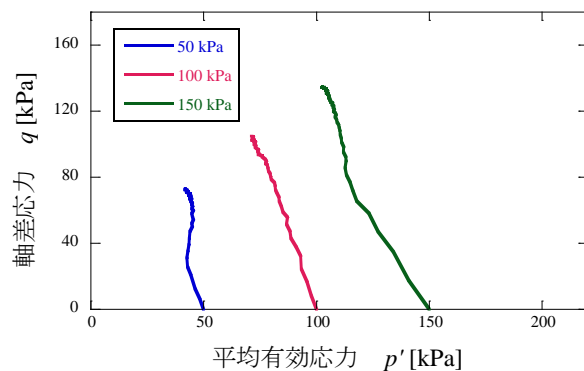


図-5 有効応力経路図 陸成粘土

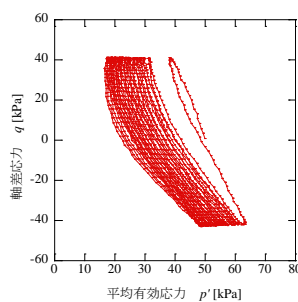


図-6 有効応力経路図

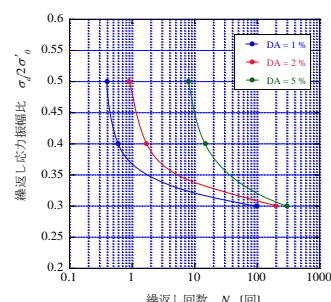


図-7 液状化強度曲線

$$(\sigma_d/2\sigma'_m = 0.4)$$

6. 結論

柏崎市新橋地区では中越沖地震後に顕著な地盤沈下を生じたが、地震による粘性土地盤のせん断により地盤が圧縮を伴う塑性軟化を生じること起因すると推測される。地盤調査の結果、現地地盤内の海成粘土層が高い構造を有することが確かめられ、せん断中に軟化圧縮挙動を示したことより、この推測を裏付けるものと考えられる。

参考文献 1) 浅岡顕ほか：自然堆積粘土の原位置初期状態の推定と遅れ圧密沈下の再現, 第 18 回中部地盤工学シンポジウム, No.5, pp.1-8, 2006. 2) 新潟県県民生活・環境部：柏崎地区の地盤沈下(22).

- 3) 浅岡顕ほか: 自然堆積・再構成・繰り返し粘土の「構造」の程度に関する弾塑性力学の考察, 第 38 回地盤工学研究発表会, pp.281,282, 2005.