

沖積粘性土地盤の地震による長期地盤沈下の素因に関する実験的研究

環境防災研究室 修士 2 年 友淵 真寛

自然堆積粘土, 地震, 長期沈下

指導教官 大塚 悟, 宮木 康幸, 磯部公一

1. はじめに

2007 年に発生した中越沖地震後、沖積平野に位置する柏崎市内の新橋地区において、地震が契機と考えられる長期間の地盤沈下が新潟県によって確認された。新橋地区を含む柏崎一帯は、元々冬季の消雪用の揚水で地盤沈下の続いている地域であったが、地震後の沈下は地下水位の変動とは相関性の無いものであった。

本研究ではこの原因を解明するために、地盤沈下観測点脇でボーリング調査を実施し、得られた試料を用いて室内土質試験を行った。続いて得られた結果から材料パラメータを抽出し、土・水連成弾塑性有限要素解析を行うことで、地震時の過剰間隙水圧の分布と沈下観測データの再現を試みた。また入力地震動の設定を変更することで、地震動の強さと地盤沈下との関係性について実験的調査を行った。

2. 対象地域の概要

図-1 に柏崎平野の累計地表面沈下量（コンター）と中越沖地震後の沈下量（等高線）の相関図を示す。同図より、累積地盤沈下と地震後沈下の分布には相違が見られることがわかる。ほくりく地盤情報システムに保存されているボーリングデータによれば、地震後沈下が発生している地域では軟弱粘土層が厚く堆積しており、それ以外の地域では層厚がそれほど厚くない。図-2 に地表から観測点（深度 23m）までの収縮量と地下水位の経時変化を示す。同図より、中越沖地震が発生した 2007 年 7 月を境に収縮量が急増していることがわかる。一方地下水位はある程度の水位を保っており、揚水によって生じる圧密現象とは異なることがわかる。そこで本研究では、沈下エリア内でも大きな沈下が観測されている柏崎新橋地区において、ボーリング調査を行った。図-3(a) は新橋地区でのボーリング結果であり、図-3(b) はほくりく地盤情報より得た新橋地区の既存のボーリングデータである。両図から、新橋地区は軟弱地盤が厚く、陸成粘土と海成粘土の 2 種類の粘土が堆積していることがわかる。また、図-3(b)からは、基盤が 48 m 付近に存在していることがわかる。

3. 土質試験シリーズ

本研究ではサンプリングで得られた試料を用いて、室内土質試験を行い、各材料パラメータを得た（土粒子密度、液性限界、圧密特性、三軸特性など）。詳細は割愛する。

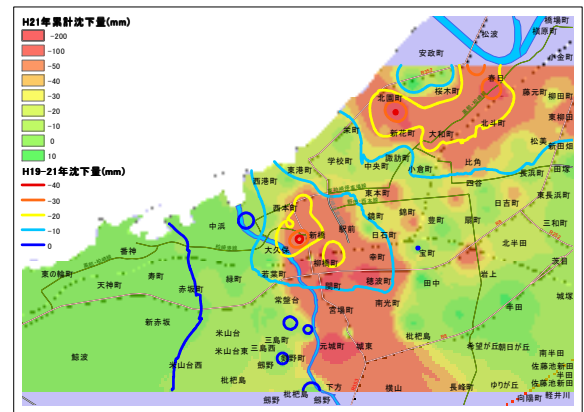


図-1 累計地表面沈下量と地震後地表面沈下量の相関図

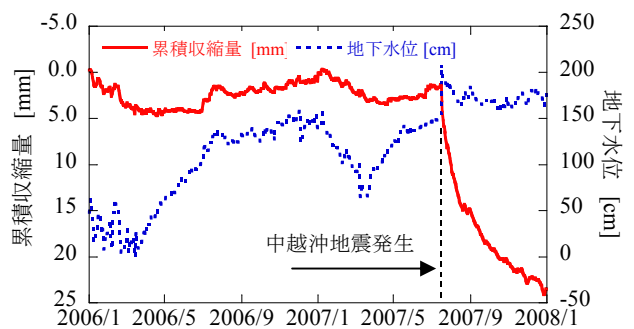


図-2 沈下量時変化 (2006/1~2008/1)

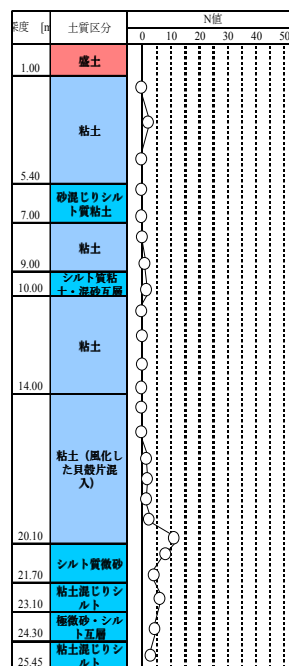


図-3(a) 新橋柱状図 (本研究)

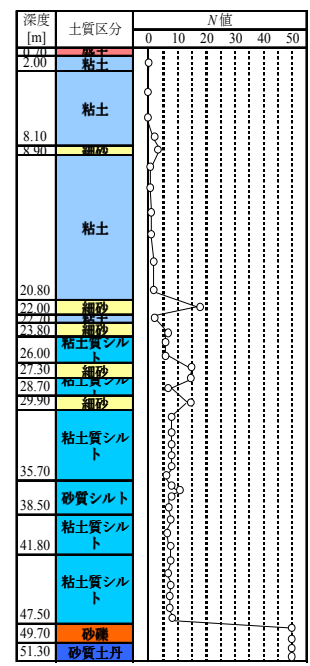


図-3(b) 新橋柱状図 (既存)

4. 土・水連成弾塑性有限要素法

地震時～地震後の長期沈下挙動を再現するために、土・水連成弾塑性有限要素解析による数値解析を実施した。解析プログラムは土・水連成有限要素解析プログラム「DBLEAVES」を用い、土の構成式には下負荷面の概念及び上負荷面の概念に基づいて、自然堆積土の力学挙動に大きく影響を与える過圧密、構造、応力誘導異方性を表現できる移動硬化型弾塑性構成式 *Cyclic mobility model* を用いた。用いた材料パラメータを表-1 に示す。解析メッシュサイズは幅 1.0m×奥行き 1.0m×深さ 1m (48 層) と設定し、地下水位は地表面 (GL-0.00m) に設定、排水条件も上端部のみとした

入力地震波形については、KiK-netによる実測データと、距離減衰式による理論値との比率によって、新橋地区での基盤地震動を導出した。

5. 解析結果

本研究では以下の 3 種類の解析を行った。①と②は地震後の圧密再現を目指したもので、③は地震動の大きさによる地盤挙動の違いを検討するものである。

- ① 陸成・海成 2 層で構成した粘性土地盤
- ② シルト層を考慮した粘性土地盤
- ③ ②の地盤に Mw=3.3 の加速度を与えた場合

5.1 地震時～地震後の圧密挙動の再現

結果として、①、②の両パターン共、実測値に近い挙動とはならなかった。圧密予測結果を図-4 に示す。考えられる要因としては、冬季の揚水による沈下量が含まれている可能性が考えられる。しかしながら、実測値は傾きが寝始めているので、今後の観測によっては解析値に近づくことも考えられる。図-5 はシルト層を考慮した場合の過剰間隙水圧比の時刻暦である。加振後 100 秒ほどで海成シルトと海成粘土の境界で水圧が上昇していることがわかる。その後、圧密が進むにつれて水圧が上昇しながら消散している。

この過剰間隙水圧の上昇は粘性土の透水性の低さが発生要因と考えられる。

5.2 地震時の加速度を現象させた場合の挙動

シルトを考慮した場合の地盤に、基盤入力地震動のマグニチュード (Mw=6.6) を半分にした加速度を作用させて解析を行った。結果として、マグニチュードを半分にするると過剰間隙水圧の上昇は発生せず、沈下量も 50 年後で 14.4mm と微小な値となった。このことから、地震動が小規模だと地盤内の水圧は卓越せず、地盤沈下も発生しないことがわかった。

表-1 材料パラメータ

	陸成	海成		陸成	海成
【弾塑性パラメータ】			【初期値】		
ポアソン比 ν	0.333	0.333	$\sigma'_{\mu}=98kPa$ 時の間隙比	0.161	0.154
主応力比 R_f	3.5	3.5	初期構造比 R^*_{θ}	0.1	0.1
圧密指数 λ	0.264	0.214	初期異方性 ζ_0	0	0
膨潤指数 κ	0.0301	0.0129	【その他】		
【発展パラメータ】			透水係数 k	1.00E-09	1.00E-09
正規圧密土化指数 m	50	50	静止土圧係数 k_0	0.5	0.5
構造低位化指数 m^*	0.001	0.001	水の体積弾性係数 k_f	2.23E+06	2.23E+06
回転硬化指数 b_r	0.1	0.1	減衰定数 h_1	2.0E-02	2.0E-02
			減衰定数 h_2	5.0E-02	5.0E-02

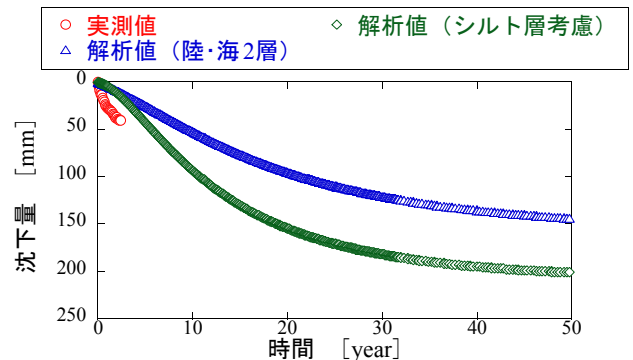


図-4 シルト層を考慮した解析地盤の過剰間隙水圧比

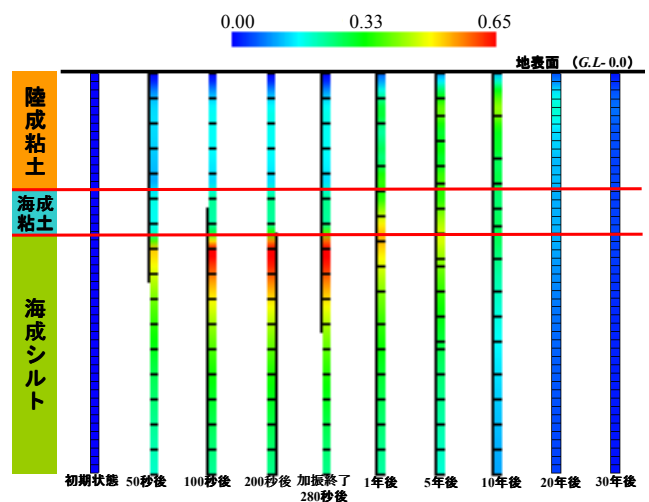


図-5 シルト層を考慮した解析地盤の過剰間隙水圧比

6. 結論

中越沖地震後の長期圧密沈下について、地盤沈下の発生に関しては、強い地震動が作用したことにより軟弱粘性土層に過剰間隙水圧が発生したためと考えられる。

沈下が長期にわたる素因としては、透水性が低い粘性土地盤が厚く堆積していることで水圧の消散が遅れている。

今後の沈下予測については、地震後 5 年が経つ現在でも水圧が残留していることから今後も継続する可能性がある