

千葉県浦安市の沖積粘性土を対象とした地震後の長期沈下の実測

清水建設株式会社

濁川直寛, 浅香美治

1. はじめに

過去の地震被害の事例には、粘性土が存在したために地震後に継続的な沈下が発生した、あるいは地震前に生じていた圧密沈下が地震後に一層加速したと言われるものがある。代表的な事例は1957年メキシコ地震¹⁾であり、構造物を支持する高含水比の火山灰質粘性土地盤の圧密沈下が地震後に加速したと記録されている。また、日本国内でも1984年宮城県沖地震²⁾、1995年兵庫県南部地震³⁾、2007年中越沖地震⁴⁾において沈下が報告されている。その基礎地盤はいずれも軟弱な有機質土や沖積粘性土であった。

繰返しせん断を受ける粘性土の沈下挙動に関する既往の研究はいくつかあり、粘性土は砂と同様に、地震に伴う地盤の繰返しせん断によって過剰間隙水圧が上昇し、地震後に沈下を生じることが土質要素試験⁵⁾、遠心模型実験⁶⁾、数値シミュレーション⁸⁾によって指摘されている。また、上記の沈下現象は、砂質土の場合と異なり、地震発生から数ヶ月～数年の時間遅れを伴うことも報告されている¹²⁾³⁾。したがって、地震直後の災害調査では被災状況を把握することができず、被害の実態は明らかにされていない。

上記の報告より、粘性土が分布する地域では、地震後に広範囲にわたって長期的な沈下が生じる可能性が指摘できる。しかしながら、前述の沈下の報告事例はいずれも定点の変動記録であり、粘性土が分布する地域全体での地震後の沈下傾向を継続的に計測した事例は過去に例がない。

著者らは、沖積粘性土が厚く堆積する千葉県浦安市を対象として、2011年東北地方太平洋沖地震発生以来2年間にわたり地震後の地表面沈下の実測を実施してきた。本報告では、実測結果を示すと共に、千葉県浦安市における地震後の面的な沈下傾向について、対象地域の地層構成、埋立て時期、地盤改良履歴との関係を明らかにした。

2. 千葉県浦安市の地盤

浦安市の南部は海中の砂を用いた埋立て事業により造成された地域であり、市総面積の3/4を埋立て造成地が占めている。埋立ては二期に分けて行われ、第I期の地区は1968～1975年に、第II期の地区は1978～1980年に造成された。地層構成は、上位より埋土、沖積砂質土(N値2～20程度)、沖積粘性土(N値0～5程度)、洪積砂質土(N値50以上)となっており、洪積砂質土層の上位に腐植土が堆積している箇所も一部ある。

測量で設定した測線下の地層断面図を図-1に示す。なお、地層断面図は浦安市内で実施された地盤調査結果⁹⁾¹⁰⁾に基づいて作成した。浦安市の地層には深い埋没谷や波食台があり、標高T.P. -20m以深の地層は複雑な形状となっている。ここで、著者らは「N値が3以下の沖積粘性土層」を地震後に長期的な沈下を生じ得る軟弱な粘性土層と見なし、これを「Ac層」と定義して図-1に記した。Ac層の厚さは地域ごとで大きく異なり、断面A-A'で層厚25～40m、断面B-B'で層厚10～30m程度堆積している。断面B-B'では、南東側ほどAc層が厚く堆積している傾向が見られた。

浦安市南東部における新市街地の建設に当たっては当初より、埋立てによる圧密沈下が懸念されていた。報告書¹¹⁾には、第II期埋立て地区の東側において、プレロード工法とサンドドレーン工法による圧密促進が図られたと記録されている。そこで、図-1の地層断面図上に地盤改良範囲と載荷盛土高を示した。

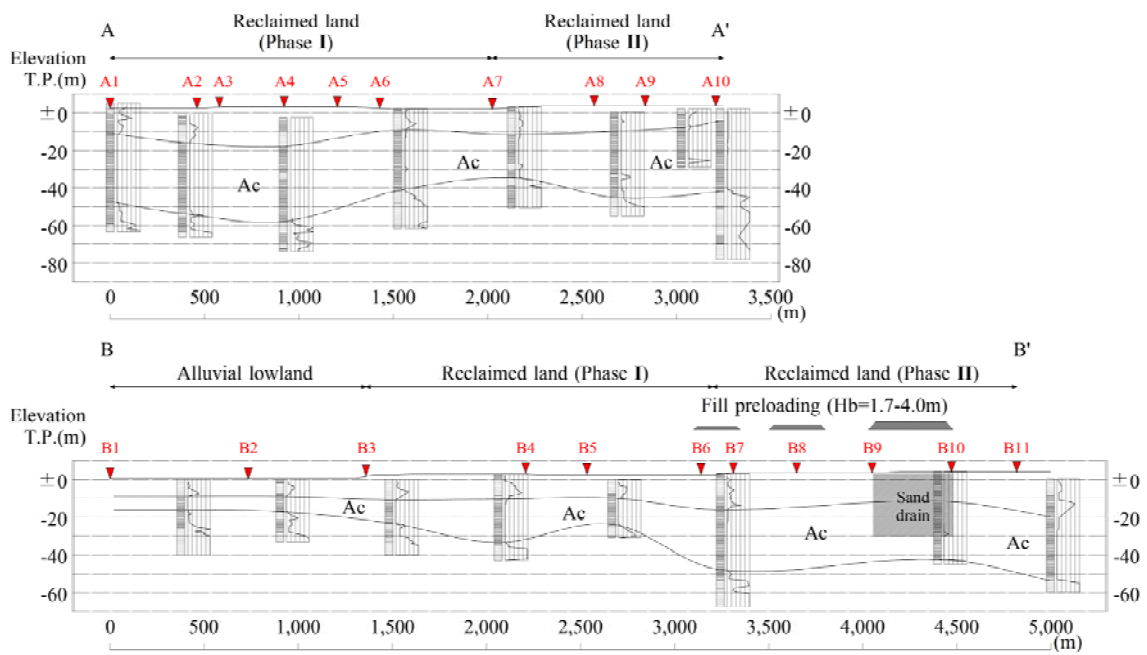


図-1 測線下の地層断面図

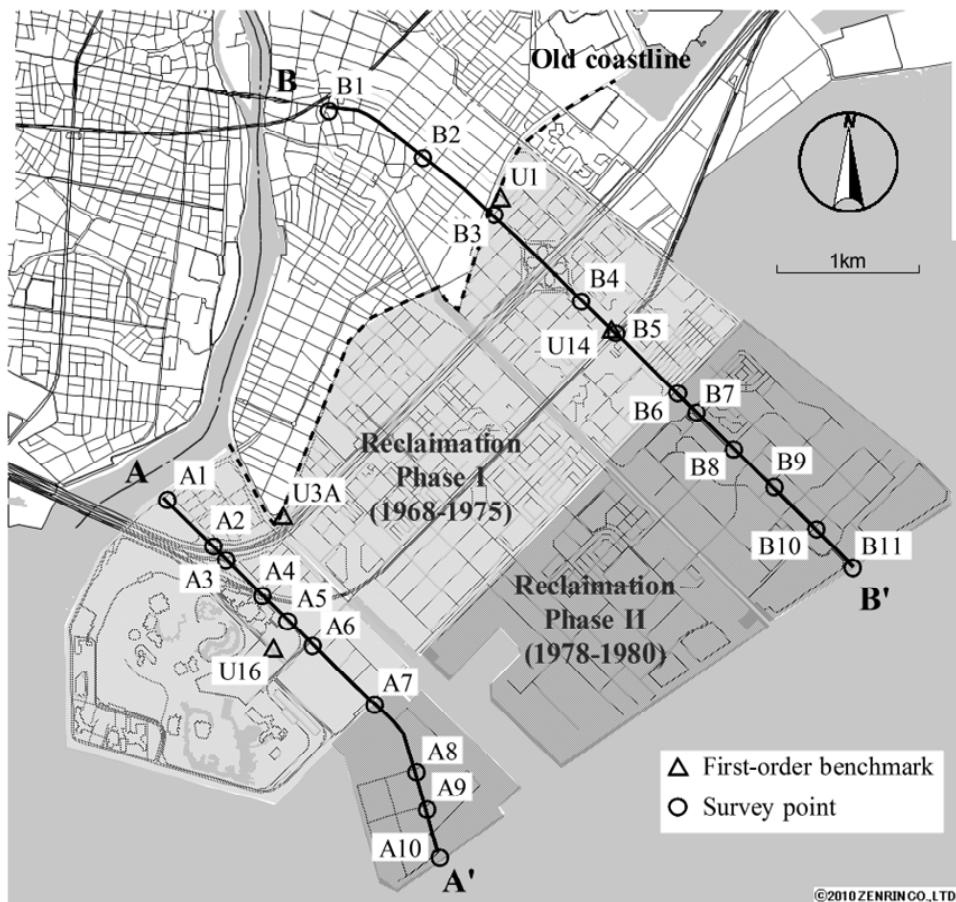


図-2 測線、測点および水準点の位置図

3. 水準測量の概要

本計測で設定した測線、測点および千葉県が管理する水準点の位置を図-2 に示す。測線は、北部の沖積低地から南部の埋立て地を縦断するように 2 本設定した。測点はいずれも改修、移設、消失および局所的な沈下の恐れが少ないものを選び、測線 A には 10 箇所、測線 B には 11 箇所の測点を設けた。また、水準測量の基準点（不動点）は支持杭構造物の壁面に設けた。

本計測では、3~4 測点を結ぶ路線をひとつの水準路線とした往復観測を実施した。その際、各水準路線での閉合差の許容範囲は±2mm 以内として観測の精度を管理した。計測は、毎回同じ測点と基準点を利用し、測線近傍の水準点に対しても実施している。なお、計測は 2011 年 4 月より開始し、2013 年 4 月現在までに初期値計測を含めて 6 回実施した。

4. 水準測量の結果

(1) 地震後の測点の変動

測線に沿った全測点の計測時期ごとの沈下の変遷を図-3、図-4 に示す。

一般に、沈下量は沈下対象層の層厚に依存するが、測線 A の沈下の変遷（図-3）において、地震後の沈下量と Ac 層厚との間に明確な相関は見られなかった。

一方で、測線 B（図-4）では Ac 層厚の厚い箇所で相対的に大きな沈下が見られたが、埋立て地盤内においてはその限りではない。測点 B8~B11 はいずれも第二期埋立て地内に位置する測点であるが、測点 B9

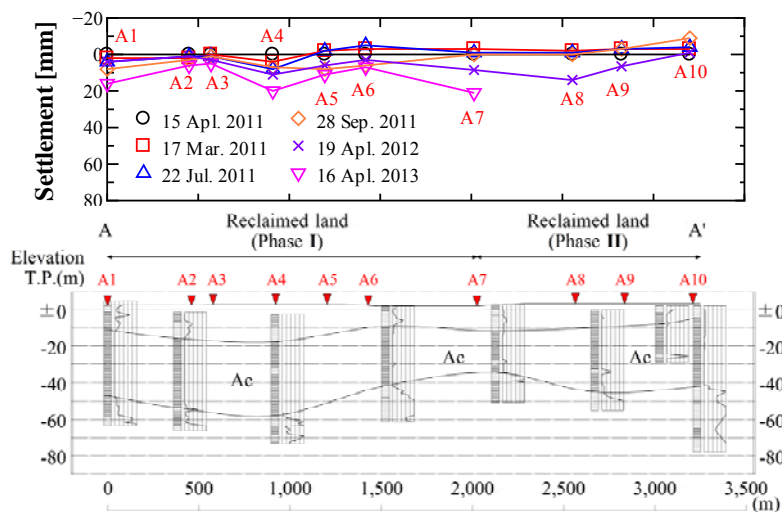


図-3 測線 A に沿った地震後の沈下の変遷

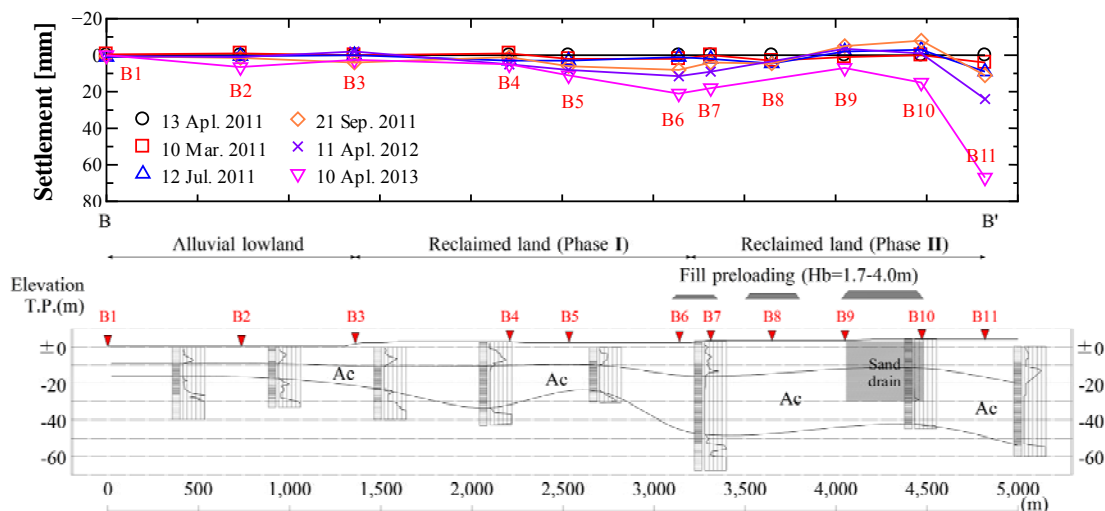


図-4 測線 B に沿った地震後の沈下の変遷

で確認された沈下は他の測点と比べて軽微だった。前述したように、第 II 期埋立て地区の東側は、プレロード工法とサンドドレーン工法が施工された記録がある。測点 B9 は、両工法による圧密促進が図られた範囲の中にあるため、他の測点とは異なる挙動を示したと考えられる。

(2) 地震前後の水準点の沈下傾向

地震前後の沈下を比較するために、2003 年 1 月を基準日とした水準点 U16 (測点 A5 近傍) の沈下の時刻歴を図-5 に示す。図-5 は水準点 U16 における、①地震前の埋立てによる圧密沈下¹²⁾、②地震時の液状化による沈下¹²⁾、③地震後に発生した長期的な沈下をまとめて整理、図示したものであり、著者らが実施した測量結果は③に該当する。水準点 U16 の地震前後の沈下は直線的に近似することができ、地震前の沈下速度が 3.0mm/year に対して、地震後の沈下速度は 6.6mm/year であった。これは、3.11 地震を契機とした沈下の加速であり、その勾配は地震前に比べて地震後では 2.2 倍となっていることを確認した。この現象は他の水準点でも確認されており、沈下量自体は小さいものの、地震後に広範囲にわたる継続的な沈下が生じていることを明らかにした。

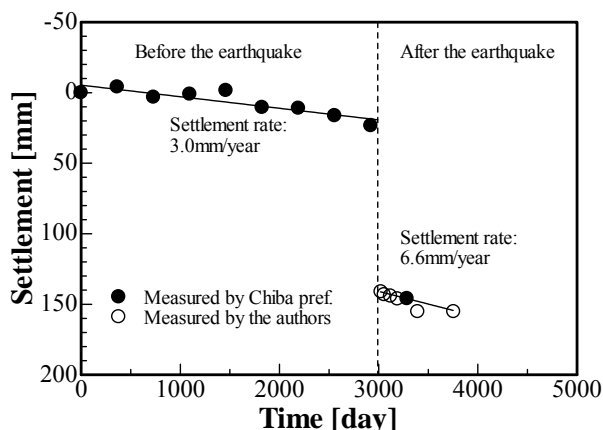


図-5 地震前後における水準点 U16 の沈下時刻歴

5. 結論

沖積粘性土が厚く堆積する千葉県浦安市を対象とした水準測量を行い、2011 年東北地方太平洋沖地震後に発生した地表面沈下を実測した。測線は北部の沖積低地から南部の埋立て地を縦断する 2 測線を設定し、2011 年 4 月から 2013 年 4 月の 2 年間にわたって計 6 回実測した。その結果、以下の結論を得た：

1) 千葉県浦安市では、地震後に広範囲にわたる継続的な沈下が生じている。この沈下は南部の埋立て地で観測され、北部の沖積低地では観測されなかった。また、埋立て造成時に圧密促進工法が施工された範囲では、未改良の範囲と比べて地震後の沈下が抑制される傾向にあることを示した。

2) 第 II 期埋立て地に位置する水準点の地震前後の沈下速度を比較し、地震に伴う地表面沈下の加速を指摘した。水準点 U16 を例とした時、地震後の沈下速度は 7mm/year 程度であり、地震前の埋立てによる圧密沈下速度 3mm/year の 2 倍以上にあたる。

粘性土地盤の沈下は今後も継続的に生じることが懸念されるため、引き続き観測を継続してデータの蓄積に努める。

なお、本論文は、第 48 回地盤工学研究発表会に投稿した内容を、第 25 回アーバンインフラ・テクノロジー技術研究発表会用に加筆、再掲したものである。

参考文献

- 1) Zeevaert, L.: Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions, Van Nostrand Reinhold Co. Inc., pp. 521-523, 1972.
- 2) Towhata, I.: Geotechnical Earthquake Engineering, Springer, pp. 359, 2008.

- 3) 松田博, 柳楽英希: 繰返しせん断によって生じる飽和粘土の有効応力減少と再圧密沈下特性, 土木学会論文集 No.659/Ⅲ-52, 63-75, 2000.9.
- 4) 小石悠介, 友渕真寛, 大塚悟, 磯部公一: 沖積粘性土地盤の地震による長期地盤沈下に関する研究, 第47回地盤工学研究発表会講演集, pp.265-266, 2012.7
- 5) 松田博, 安原一哉: 土の繰返し圧密 7. 非排水繰返しせん断を受けた飽和粘土の圧密, 土と基礎 39-12(407), pp.71-77, 1991.12.
- 6) 堀田洋之, 社本康広, 田村正, 成川匡文, 大島豊, 岸野泰章: 深い粘性土地盤上に建つ直接基礎構造物の沈下および地震時挙動に関する研究 (その2: 遠心模型実験), 日本建築学会大会, pp.557-558, 1998.9.
- 7) G.L.Fiegel, B.L.Kutter, I.M.Idriss: Earthquake-induced Settlement of Soft Clay, Centrifuge 98, pp.231-236, 1998.
- 8) Noda, T., Takeuchi, H., Nakai, K. and Asaoka, A.: Co-seismic and post-seismic behavior of an alternately layered sand-clay ground and embankment system accompanied by soil disturbance, Soils and Foundations, Vol.49, No.5, pp.739-756, 2009.
- 9) 千葉県: 千葉県地質環境インフォメーションバンク, <http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index>, 2013.8.
- 10) 浦安市: 浦安市地震防災基礎調査報告書, 117p., 1986.3.
- 11) 神保廣光, 木村孝範: 宅地造成 (臨海部) における地盤改良工法 - 浦安東地区, みなとみらい21地区, 月刊土木技術, pp. 56-63, 土木技術社, 1994.8.
- 12) 千葉県: 千葉県水準測量成果表, <http://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/jibanchinka/torikumi/seikaomote.html>, 2013.8.