

1 研究目的

2007年に発生した中越沖地震後、新潟県柏崎平野において長期間における粘性土地盤での沈下が層別沈下計で確認された。新潟県において地盤沈下は珍しい現象ではないが、それは消雪パイプ利用に伴う地下水の汲み上げが原因とされている。しかし中越沖地震後の沈下は急激な傾向であることや、地下水位に付随していないことから、従来の沈下ではなく地震動が起因となった地盤沈下ではないかと推測される。

このように地震動を起因として粘性土が長期沈下するケースは珍しい現象である。したがって本研究では解析による実現象の再現から沈下メカニズムを把握することと同時に、現地での沈下予測を行い沈下対策の示唆を行うことを本研究の目的とする。

2 既往研究

友淵らは地震動が原因となる粘性土層の地盤沈下のメカニズムを解明するために解析的研究を行っている¹⁾。研究の対象地点は地震後の地盤沈下が最も大きく観測された新橋地区である。この地域の地盤の特徴は軟弱粘性土が厚く堆積しており、陸成粘土と海成粘土、2種類から構成されていることだ。先行研究では地盤の骨格構造を再現できる弾塑性モデルを用いて解析的検討を行い、「地震時に発生した間隙水圧が長期に渡り残留するため長期的な沈下となった」ことを結論付けた。しかし当初の解析結果には、実際の沈下傾向と解析による沈下傾向が異なっている問題があり、解析手法においても1mごとのメッシュ切りはしているが、パラメーターが陸成粘土と海成粘土の二種類しかなく地盤を詳細に表現されていないなどといった問題がある。

そこで本研究では現地における実地盤の間隙水圧を測定し、現在においても間隙水圧が残留しているか把握し解析の整合性を評価する。次に現地からボーリング採取を行い1mごとにパラメーターの取得を行い先行研究の解析より精度を上げより正確にシミュレーションすることを研究目標とする。

3 現地地盤の過剰間隙水圧比

まず研究対象地域である新橋地区の沈下傾向を図4-1に示す。地盤沈下は地震が発生した平成19年以前にも観測されている。この沈下傾向は線形増加であり地震発生以降とは性質が異なることが把握できる。間隙水圧の測定は水圧計を地中4mと15mの位置に埋設し行った。既往研究の解析結果によると10年後までには15mから4mまでは0.3程度の過剰間隙水圧が残留している。しかし測定値では15m地点での値は低く間隙水圧は残留していないと考えられる。4m地点においては冬季において値が0.3に近づくがこれは地下水位の変動に付随するものであり、時期が過ぎれば間隙水圧は消散されることが把握できる。以上のことを踏まえると現在沈下は継

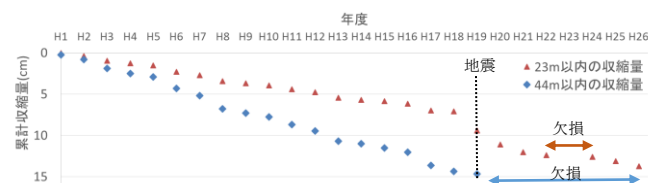


図4-1 現地で計測された地盤収縮量

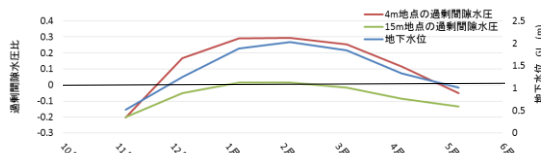


図4-2 現地で測定した過剰間隙水圧比

続しているが、地震動の影響ではなく以前から続いていた地下水位の変動による沈下であることも考えられ、10年以上間隙水圧が残留する既往の研究を改めなくてはならない。

4 三軸試験とフィッティング

新たにパラメーターを取得するために圧密非排水せん断試験を行う。測定を行う場所は深さ17m位置から地上に向けて十箇所である。

解析には過圧密構造、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 を用いる。本研究では測定が難しい発展則パラメーターを把握するために、任意にパラメーターを仮定し同様の構成式を用いて実測試験と合致するよう三軸試験をシミュレーションすることで間接的にパラメーターを把握していく方法を行っている。

5 解析モデル

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、排水条件も地表面のみとした。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。

6 解析結果

6.1 過剰間隙水圧

図6.1-1に2種類のパラメーターのみ考慮した既往研究、図6.1-2に本研究によるコンター図を示す。両者とも地震によるせん断力を受け、過剰間隙水圧が発生していることが把握できる。海成粘土は地震終了時にピークを迎えているのに対し、陸成粘土の層は地震が終了した5年ほど後でピークを迎えていることが把握できる。この原因についてはメッシュの排水境界を地表面にのみ設定してあるので、過剰間隙水圧が地表面に向けて消散する過程において、過剰間隙水圧が高い深部から過剰間隙水圧が低い浅部に向けて水圧の移動があったからではないかと考えられる。しかしながら、現地測定の結果では既に過剰間隙水圧は残留していないと考えられ、この解析結果の整合性は低いと考えられる。

実測値に解析値を近づけるためにメッシュを変更し、再解析を行った。対象地盤は主に粘性土層で構成されているが厳密には砂層も含まれている。この砂層は地表面に近く過剰間隙水圧の消散が行える可能性があるため、砂層を排水境界と設定し再度解析を行なった。砂層を考慮した結果は、陸成粘土層で過剰間隙水圧の値がほぼ0となり過剰間隙水圧に関する本解析の整合性は取れていると判断できる。

6.2 地盤収縮量

図 6.2-1 に地表から 23m 以内における地盤収縮量の解析結果と実測結果の比較を示す。砂層を排水境界としない場合の解析結果は実測データに添わず 5 年目までの間は膨張傾向が現れている。これは深層部の過剰間隙水圧が地表面に向けて消散していく過程の影響で、粘性土が膨潤したのではないかと推察される。砂層を考慮した場合の解析結果では途中で排水境界を設置したためこのような現象はなく、本ケースでは 1 年程度で地盤収縮が終了している。計測された収縮量との整合性は砂層を考慮した解析結果が最も近い傾向となった。さらに地震以前から続く地盤収縮の線形増加傾向の影響を差し引くと、かなり傾向が近づいたことが把握できる。

次に海成粘土についての収縮量の関係を図 6.2-2 に示す。傾向としては砂層を考慮したものが他に比べ大きな収縮量を示した。砂層を考慮した結果で、23m より浅い層では一年足らずで収縮傾向が終了したことにに対し、深い位置にあるこの層では収縮が長期的に続いている結果になった。

次に現地計測された地表面沈下量と、解析による全体収縮量の検証を行う。砂層を考慮した結果が大きな沈下傾向を示し従来の解析結果より計測値に近づいた。解析結果より計測値の沈下量が大きい傾向があるが、これは地盤沈下の計測方法が研究対象地付近にある基準点の測量であるため、基盤以下の変動が含まれてしまっている可能性がある。

7 まとめ

1) 解析結果の精度向上

過剰間隙水圧、23m までの層の地盤収縮量、地表面沈下量の 3 つの観点から整合性を得ることができた。

2) 地震動が影響する沈下メカニズムの解明

地震動が地盤の構造を低位化させたことによって、上載圧に耐えられなくなった深層部の粘性土が圧密をおこすことにより沈下することが分かった。

3) 内部メカニズムの把握

砂層を考慮した場合、上層部と下層部で別の沈下挙動をすることが把握でき、下層部では長期沈下を引き起こすことが把握できた。

4) 柏崎市の地盤沈下被害予測の変更

解析精度の向上により既往の地盤沈下の被害予測より、さらに沈下被害が大きくなると予測された。解析結果によると 50 年後に 17cm の沈下となったが、基盤部の沈下量や地震以前から続く線形増加傾向の沈下を考慮すると、さらに被害拡大する可能性が指摘できる。

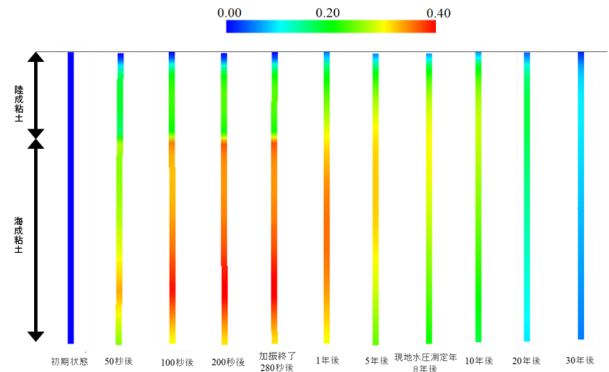


図 6.1-1 先行研究による過剰間隙水圧比

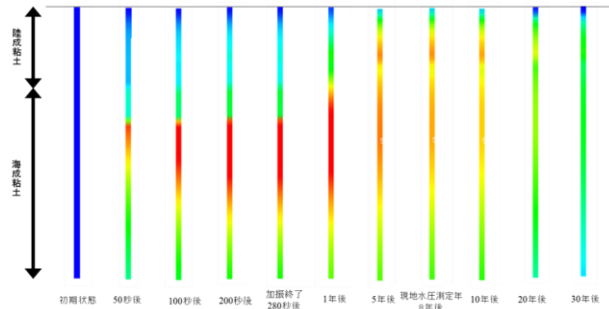


図 6.1-2 本研究による過剰間隙水圧比

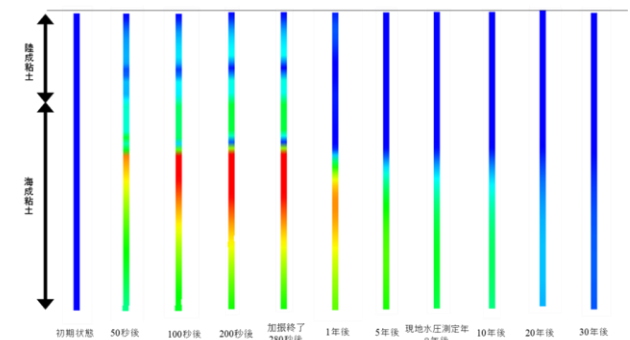


図 6.1-3 砂層の排水境界を考慮した

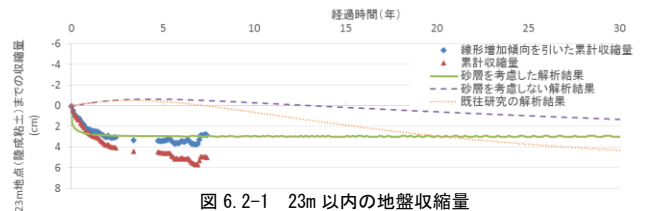


図 6.2-1 23m 以内の地盤収縮量

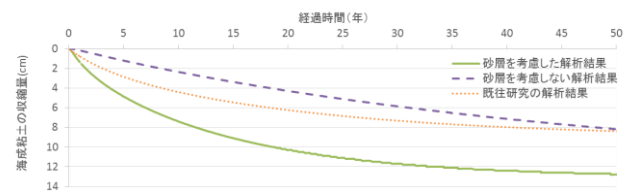


図 6.2-2 海生粘性土での地盤収縮量

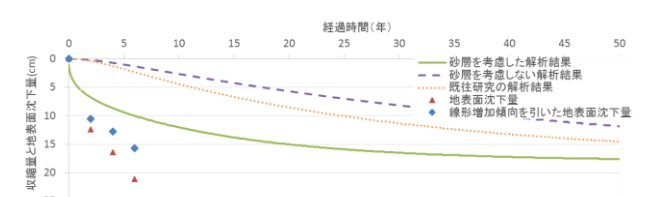


図 6.2-3 全体収縮量と地表面沈下量

1) 友淵真寛, 大塚悟, 磯部公一: 沖積粘性土地盤による長期地盤沈下の素因に関する実験的研究, 長岡技術科学大学院院建設専攻修士論文