

液状化に伴う残留変形評価法による中規模構造物の評価事例

東京電機大学 フェロー会員 安田 進

東京電機大学 正会員 石川 敬祐

東京電機大学大学院 学生会員 ○永井 慎太郎

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震をうけて土木構造物の耐震性能の照査では、レベル1及びレベル2の2段階の設計外力を用いるという考えが導入された。また、土木構造物では各構造物の耐震性能に対する性能規定型の設計手法が導入され始め、例えば河川堤防では残留変形評価法を用いた検討がなされている。本研究では、対象構造物を直接基礎構造物とし、1995年兵庫県南部地震の際の液状化に伴う被害事例に対して、残留変形評価法 ALID¹⁾による再現解析を実施し、液状化に伴う変形量の予測精度の有効性を検証した。なお、1964年新潟地震の中層構造物の事例²⁾、1978年宮城県沖地震の石油タンクの事例³⁾、1999年トルコ・コジャエリ地震の中層構造物の事例⁴⁾に対しても同様の手法を用いた検証を別途行っており、それらを含めて本手法の有効性を検証した。

2. 検証に用いた事例

1995年兵庫県南部地震では多くの土木・建築構造物が液状化に伴い沈下・傾斜した。検証対象とした構造物は魚崎中学校と浜甲子園アパートである。魚崎中学校は40cmのめり込み沈下が確認され、浜甲子園アパートは10cmのめり込み沈下が確認されている⁵⁾。なお、浜甲子園アパートでは液状化対策としてサンドコンパクションパイル(SCP)工法が施されていた。

3. 解析概要

魚崎中学校の地盤モデルは、当該地近傍での国土交通省の柱状図⁶⁾をもとに作成した。浜甲子園アパートの地盤モデルは、無対策部分は浜甲子園アパートの対策領域外でのボーリング調査による柱状図⁷⁾を用い、対策部分は対策工施工の柱状図が報告されているが、この値は過大評価されていると考えられている⁷⁾。そこで、対策領域外の N 値をSCP工法の砂質地盤に対する設計手法の方法D⁸⁾により補正した。さらに、SCP工法における改良後の水平方向有効応力については、静止土圧係数 K_0 が0.5から1.0程度まで増加すると考えられている⁹⁾。そのため、改良範囲の地盤の液状化強度比 R_L を1.3倍に補正した。単位体積重量は、一般的な値としている。各層のせん断剛性に関して、ヤング係数 E は各層の平均 N 値を2800倍した値とし、ポアソン比を1/3として求めている。せん断抵抗角 ϕ は道路橋示方書の推定式に準じ、粘着力 c に関して砂質土層は 0kN/m^2 とし、粘性土層はTerzaghi-Peckの推定式より各層の N 値の平均値を0.16で除した値とした。液状化に対する安全率 F_L は、道路橋示方書に準じた簡易法で求めている。この際の地震外力に関して、魚崎中学校は 600cm/s^2 、浜甲子園アパートは 500cm/s^2 を設定した¹⁰⁾。また、各層の液状化強度比は、道路橋示方書の推定式に準じて各層の平均 N 値より求めた。魚崎中学校は、幅10.0mで高さ12.0mとし、建物荷重(死荷重と積載荷重の和)は 60kN/m^2 とした。浜甲子園アパートは、幅6.0mで高さ12.0mとし、建物荷重は魚崎中学校と建物高さが同じなため同様とした。なお、建物は変形しないものと仮定した。解析領域は、液状化に伴う流動変形を抑制しないように建物幅の10倍程度とした。

4. 解析結果

魚崎中学校の建物部分を拡大した液状化に対する安全率 F_L コンターを図1に示す。図1では、地下水位直下の砂質土層の F_L が0.3以下となっており激しく液状化する判定結果を示し、実際に液状化が発生したと整合が取れている。また、建物直下は建物荷重の影響を受けて周辺地盤よりも F_L が大きくなっている。図2より、建物直下の液状化層が側方へ流動変形することで建物が地盤中にめり込む様相であることがわかる。建物部分の絶対沈下量54cmから建物の沈下による影響を受けない地盤沈下量19cmを差し引いた建物のめり込み沈下量は35cmとなった。

キーワード 液状化, 残留変形, 再現解析

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学大学院 理工学研究科 TEL 0493-296-0307

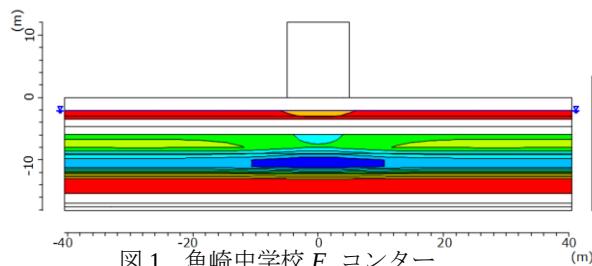
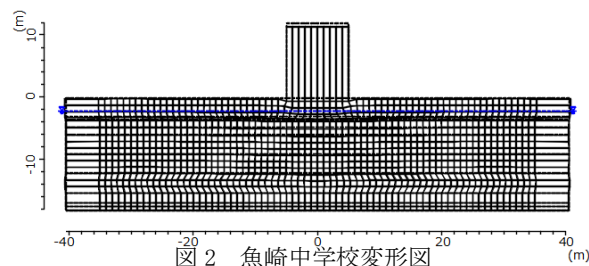
図1 魚崎中学校 F_L コンター

図2 魚崎中学校変形図

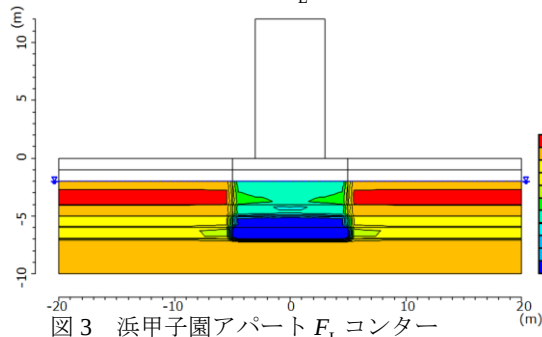
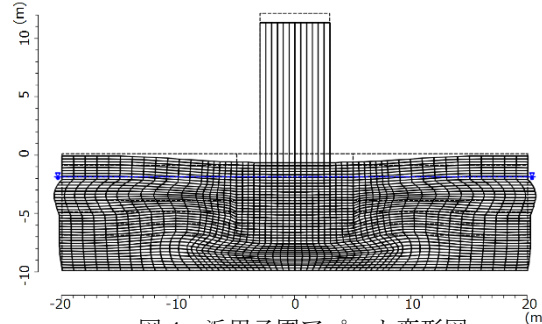
図3 浜甲子園アパート F_L コンター

図4 浜甲子園アパート変形図

実際のめり込み沈下量が 40cm であったことと比較すると実被害と整合する解析結果である。

浜甲子園アパートの建物部分を拡大した F_L コンターを図 3 に示す。図 3 では、地盤改良されていない地盤では F_L が 0.3 以下になり激しく液状化する判定結果を示し、実際に液状化が発生したと整合が取れている。建物直下の地盤では SCP 工法によって地盤改良が施されている部分でも F_L が低い部分で 1.0 程度であり大部分の F_L が 1.5 以上であることからこの部分では液状化は発生しなかったと考えられる。しかし、図 4 より地盤改良が施されていなかった

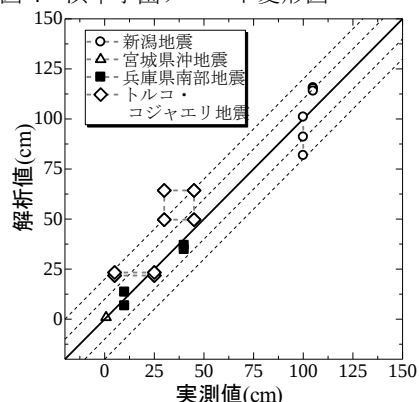


図4 実測値と解析値の関係

た GL-7m 以下の地盤で液状化が発生し、これに伴い側方へ地盤が流動し改良地盤も含めた建物領域の地盤に変状が発生したことがわかる。建物の絶対沈下量 102.4cm から実際の測定地点である建物端から 2m の地点の沈下量 92.6cm を差し引いた建物のめり込み沈下量は 9.8cm となり、実際の沈下量 10cm と比較すると実被害と整合する解析結果である。図 5 に実測値と解析値の関係を示す。中央に通る実線に近いほど解析の精度が高い。なお、ここには本報の事例に加えて、1964 年新潟地震の中層構造物の事例、1978 年宮城県沖地震における石油タンクの事例、1999 年トルコ・コジャエリ地震におけるアダバザール中層構造物の事例に対する同手法を用いた解析結果も併記する。これより、どの震害事例に対しても実測値と解析値はほぼ同程度のめり込み沈下量となることがわかった。レベル 1, 2 地震動の違いや液状化対策の有無も含めたさまざまな地盤条件に対して、直接基礎構造物の液状化に伴う変形量は本手法を用いて評価できると考えられる。

5. まとめ

1995 年兵庫県南部地震におけるレベル 2 地震動に対する残留変形解析の有効性を検証した結果、実現現象をおおよそ説明できることが明らかとなった。また、液状化対策工法である SCP 工法が適用されている場合においても N 値を補正し、静止土圧係数 K_0 の増加効果を考慮することでほぼ実現現象を再現することができ本手法の有効性が確認された。なお、本研究は東京電機大学総合研究所研究 Q15E-08 として行ったものである。

参考文献

- 1) 安田ら：液状化に伴う流動の簡易評価法，土木学会論文集，No.638/III-49，pp.71-89，1999。
- 2) 安田ら：新潟地震の際の直接基礎構造物被害に関する残留変形解析による再現解析，第 51 回地盤工学研究発表会，2016。
- 3) 原田ら：液状化に伴う残留変形評価法による締固め改良効果の評価事例，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016。
- 4) 安田ら：アダバザールの中層建物の液状化による沈下量の再現解析，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016。
- 5) 阪神・淡路大地震調査報告編集委員会：阪神・淡路大地震調査報告-第 6 章，pp.116-129，1998。
- 6) 土木研究所：KuniJiban，閲覧日 2015/12/20。
- 7) 阪口 理：西宮市浜甲子園団地の液状化防止工法，土と基礎，pp.30-32，1997。
- 8) 地盤工学会：液状化対策工法，pp.233-248，2004。
- 9) 原田ら：静的締固め砂杭打設工法の施工事例報告，土木学会第 52 回年次学術講演会，pp.412-413，1997。
- 10) 資源エネルギー庁：ガス地震対策検討会報告書，p.73，1996。