

アダパザルの中層建物の液状化による沈下量の再現解析

東京電機大学 フェロー会員 ○安田 進、 正会員 石川敬祐
同上 学生会員 小泉卓也、 永井慎太郎

1. はじめに

1995 年阪神・淡路大震災を契機にレベル 2 地震動のもとでの設計が必要になり、液状化に関して変形量を推定する必要が出てきた。推定方法を確立するためには過去の事例をもとに手法の検証をしておく必要がある。そこで筆者の一人は中層建物の液状化に伴う沈下量が測定されている事例を調べ、平均めり込み沈下量と傾斜角の関係をまとめた¹⁾。それぞれの地震で平均めり込み沈下量の増加とともに傾斜角も増加する傾向があったが、1999 年トルコ・コジャエリ地震時のアダパザル市の沈下量は他に比べて小さかった。この原因としては液状化した地盤が細粒分を多く含んでいたことが考えられたが、推定手法を適用して妥当性を検証するまでは行っていなかった。そこで、残留変形評価法の ALID を適用して、この方法で評価できるかどうか検討した。

2. 1999 年トルコ・コジャエリ地震によるアダパザル市の液状化による被害の概要

図 1 にアダパザル市の平面図²⁾を示す。アダパザル市の東西両側には川が流れており、中心部はかつて島で、標高が少し高くなっている。筆者の一人は地盤工学会の調査団で地震の約 1 か月後に現地に行き、地盤変状と建物個々の被災調査を行った。町の中には 2～6 階建ての中層建物が密集して建っており、その幅は 5～15m のものが多かった¹⁾。また、3～6 階建て RC 造建物のほとんど(95%以上)は直接基礎で支持されており、根入れは 0.5～1.2m であった³⁾。この地震では多くの中層の建物が甚大な被害を受けたが、調査してみると被災には特徴があった。まず中心地では建物の被害が少なかった。一方、ここを取り巻くリング状の地区で建物が多くめり込み沈下し、傾いていた。噴砂は多くはなかったが少しは発生していたので、このゾーンを液状化したと判断した。リング内の西部では大きな地割れも数本発生しており、地盤が流動したのではないかと考えられた。これに対し、液状化ゾーンと非液状化ゾーンの境界付近では多くの建物が沈下はせず大崩壊していた。ここでは地震動の慣性力によって建物が崩壊したものと考えられた。なお、液状化ゾーンでも噴砂が少なかったのは表層に細粒分が多かったためと考えられる。したがって、砂の純粋な液状化というよりは粘性土の非排水繰返しせん断破壊の様子を示していたが、ここでは液状化という言葉を使っておく。

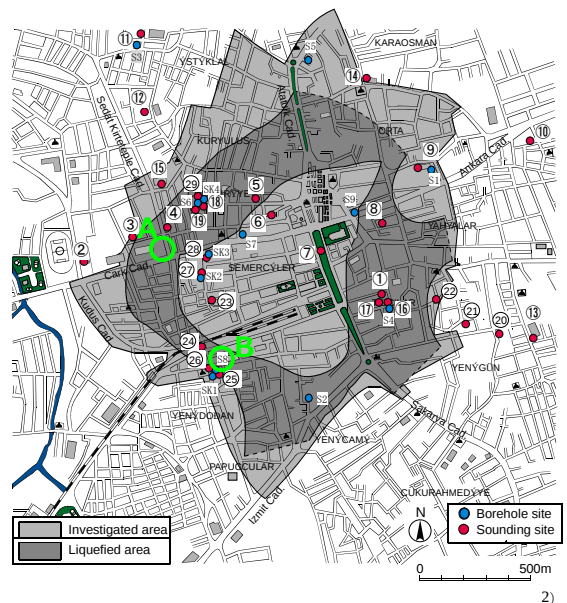


図 1 アダパザルの液状化範囲と地盤調査地点

さて、液状化が発生したリング内でも建物の沈下量は少しずつ異なっていた。最も被害が甚大だったのは Cark 通りの図 1 の A 付近であった。ここでは 30～45cm のめり込み沈下量となっていた。一方、図 1 の B 付近の Fabrika 通りでは 5～25cm のめり込み沈下量となっていた。なお、現地で建物の個別調査時には、建物角の最大のめり込み沈下量と傾斜角、建物幅を測定したので、これらから平均めり込み沈下量を推定している。

3. 解析対象地区と解析条件の設定方法

地震後に地盤条件を把握するために、JICA の地震防災プロジェクトなどで標準貫入試験やスウェーデン式サウンディング、不攪乱試料のサンプリングを行ってきた^{4), 5)}。文献 5) には上記の西部から南西部にかけて

キーワード 液状化, 中層建物, 沈下, コジャエリ地震, 再現解析

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学理工学部 TEL 049-296-5599

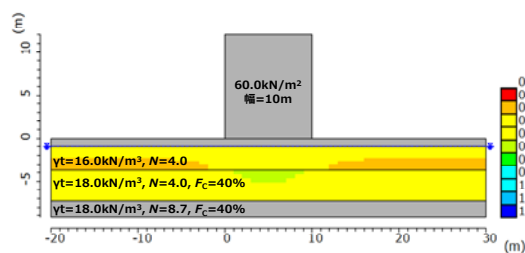
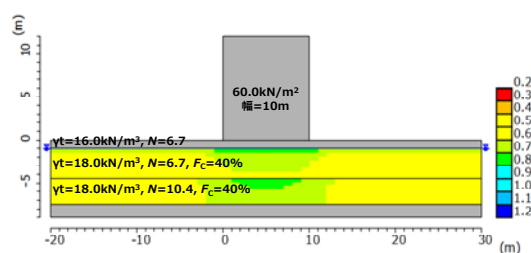
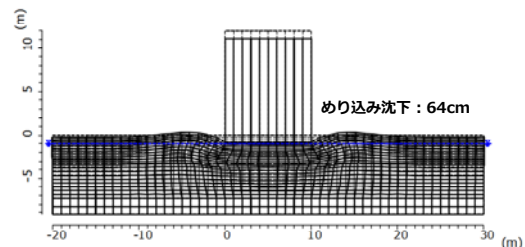
図2 F_L コンター図 (SK-4, Cark 通り西部)図3 F_L コンター図 (SK-1, Fabrika 通り)

図4 変形図(SK-4, Cark 通り西部, 実測値: 30~45cm)

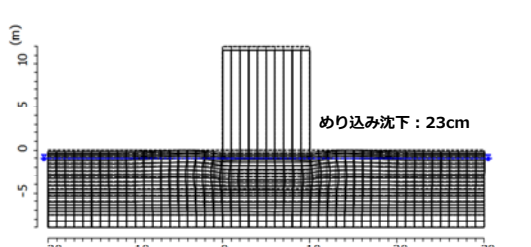


図5 変形図(SK-1, Fabrika 通り, 実測値 5~25cm)

の土層断面を推定してあるので、それを参考にし、西部の SK-4 と南西部の SK-1 の地盤調査結果をもとに 2 地区のモデルを作成し、沈下量の解析を行った。SK-4 のモデルでは、地表からシルト層が $GL-3.7m$ 、砂混り粘土層が $GL-7.3m$ まで堆積し、これらが液状化したと見做した。SK-1 のモデルでは、地表からシルト層が $GL-4.5m$ 、砂混り粘土層が $GL-7.5m$ まで堆積し、これらが液状化したと見做した。液状化層と想定した下層には、 N 値 30 以上の締まった砂層を設定している。地下水位は、地盤調査の結果をもとに $GL-1.0m$ と $1.5m$ の 2 種類を想定した。各層のせん断剛性は、各層の平均 N 値を用いてヤング係数 E (kN/m^2) を $2,800N$ により求め、ポアソン比を $1/3$ として求めている。せん断抵抗角は道路橋示方書の推定式に準じ、液状化層の粘着力は見込んでいない。液状化強度比は、道路橋示方書に準じて各層の N 値と細粒分含有率より求めた。建物は、代表的な大きさとして、高さを $12m$ 、幅を $8m$ と $10m$ の 2 種類とし、また、荷重強度を $45kN/m^2$ 、 $60kN/m^2$ 、 $75kN/m^2$ の 3 種類に設定した。解析方法は、液状化に伴う残留変形評価法の ALID⁶⁾である。この方法では砂質土だけでなく粘性土に対しても液状化後の変形特性を与えるようになっており、今回のような細粒分が多いシルト層でも適用できるのではないかと考えた。地表最大加速度は近くの観測記録より $407cm/s^2$ と仮定し、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た。

4. 解析結果

地下水位が $GL-1.0m$ で、建物幅 $10m$ 、荷重強度 $60kN/m^2$ の条件における両地盤モデルでの解析結果のうち、 F_L の分布と変形図を図 2~5 に示す。SK-4 で $64cm$ 、SK-1 で $23cm$ のめり込み沈下量となった。これは SK-4 のモデルの方が液状化層は薄い、地表付近の N 値の小さい緩い層の F_L 値が小さくなったため沈下量は小さくなったものと考えられる。紙面の都合上、他の結果の図は省くが、SK-4 の地盤モデルでは地下水位が $GL-1.5m$ と深い条件では $15cm$ ほど沈下量が小さくなり、建物幅が $8m$ と狭いと $10cm$ ほど沈下量が大きくなり、荷重強度による沈下量の差異はあまり生じない結果となった。したがって、解析で得られた両地点の沈下量は前述した実際の被害のそれらと近い値になった。

5. まとめ

細粒分が多い土で液状化により中層建物が沈下したアダパザルの事例に対し残留変形評価法の ALID を適用してみたところ、このような土でもめり込み沈下量を解析で再現することが出来た。

参考文献: 1) Yasuda et al.: Liquefaction-induced settlements of buildings and damages in coastal areas during the Kocaeli and other earthquakes, *Proc. of the Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes*, 15th ICSMGE, pp.33-42, 2001. 2) Yasuda et al.: Settlement of buildings due to liquefaction during the 1999 Kocaeli earthquake, *ditto*, pp.77-82, 2001. 3) 地盤工学会: 1999 年トルコ・コジャエリ地震調査報告書, 2000. 4) 清水ら: トルコ・コジャエリ地震で被害を受けたアダパザル市におけるスウェーデン式サウンディング試験, 第 36 回地盤工学研究発表会, pp.2137-2138, 2001. 5) 規矩ら: 1999 年トルコ・コジャエリ地震の被害域アダパザルにおける地盤調査, 第 11 回地震工学シンポジウム, pp.43-46, 2002. 6) 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.