

隣接した直接基礎構造物の液状化による 不同沈下について

安田進¹・深谷成司²

¹東京電機大学理工学部建設環境工学科教授
(〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail: yasuda@g.dendai.ac.jp

²東京電機大学大学院理工学研究科建設工学専攻学生
(〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail: 04smg13@ed.ccs.dendai.ac.jp

地盤が液状化するとその上に建っている直接基礎の構造物は沈下する。ただし、住宅地など構造物が隣接して建っている場合、単に沈下するだけでなく、相互干渉的な作用によりお互いに内側に倒れ込むような不同沈下をしたり、逆にのけぞり合うような傾きをすることがある。トルコ・コジャエリ地震や鳥取県西部地震の際、そのような現象が見られた。そこで、筆者達は被災箇所の事例の調査を行い、さらに振動台実験を行ってそのような事が起きるかどうか再現してみた。その結果、実験でもそのような現象が生じた。本論文ではそのような被災事例と振動台実験を述べた。

Key Words : Liquefaction, Settlement, House, Sandy soil, Shaking table tests

1. はじめに

地盤が液状化するとその上に建っている直接基礎の構造物は沈下する。この場合等沈下するとは限らず、不同沈下を生じることも多い。このような沈下量をもとに、今後液状化に関する直接基礎構造物の性能設計を行っていくことが良いのではないかと考えられるが、構造物によっては沈下量そのものよりは不同沈下による傾斜角の方が問題になるものもある。例えば、2000年鳥取県西部地震で液状化により多くの戸建て住宅が不同沈下した米子市の安倍彦名団地では、家屋が1/100程度以上傾くと目眩や吐き気がして家の中で生活できなくなるといったことが発生した¹⁾。このように構造物が住宅の場合には、中で生活するために沈下量そのものよりは傾斜角の方が大きな問題となるようである。

前述したように液状化により直接基礎の構造物が沈下する場合、均等に沈下するよりは不同沈下を生じやすいが、その原因はまだあまり明らかになっていない。構造物が偏心荷重となっている場合は重い方に傾くのは当然と思われるが、戸建て住宅のようにあまり偏心してなくても傾く事が多い。従って、偏心以外に傾く要因がいくつかあるのではないかとと思われる。最近の家屋の被害

を見てみるとその要因の一つとして隣接する構造物の荷重の相互作用があるのではないと思われる。そこで、不同沈下に対する隣接する建物の影響に関して、被災事例の整理と模型による振動台実験を行って検討してみた。

2. 隣接した建物の不同沈下事例

前述した安倍彦名団地では2000年鳥取県西部地震の際、写真-1に示すように、2棟が隣接している場合にお互いに内側を向くような傾斜をする傾向が見られた。この団地に関しては傾斜角がよく測定出来ているので、3でデータを整理してみる。

写真-2には2003年十勝沖地震の際の札幌市清田区美しが丘の液状化による被害を示す。ここでも隣接した家屋が内側に傾くような傾斜をしていた²⁾。ただし、ここは丘陵地の沢部に盛土をした所であり、その昔の沢の中心に向かって傾斜した可能性もある。

一方、1999年トルコ・コジャエリ地震の際には、アダパザル市において写真-3に見られるように隣接する中層建物の間の土が盛り上がり、建物同士は仰反るように反対向きに傾斜したものが見られた。なお、このアダパザ



写真-1 2000 年鳥取県西部地震によって不同沈下した家屋(安倍彦名団地)



写真-2 2003 年十勝沖地震によって不同沈下した家屋(札幌市清田区)



写真-3 1999 年トルコ・コジャエリ地震により不同沈下した建物(アダパザル市)

ル市の土は細粒分を多く含んでおり、きれいな砂の液状化とは多少異なる性質であった可能性がある。

3. 安倍彦名団地における被害の整理

2000 年鳥取県西部地震の際、米子市の安倍彦名団地内では図-1 の●印で示した箇所で噴砂・噴水が発生した¹⁾。この液状化により、多くの家屋が写真-1 に示すように沈下・傾斜や損壊の被害を受けた。傾斜した家屋では住民の方々にめまいや頭痛が生じ、そのままでは生活が出来なくなった。団地内には 169 棟の戸建て住宅があったが、その内 116 棟は 5/1000 以上傾いた。そのため、傾斜がひどい家屋は基礎下嵩上げを行って水平に戻す水平



図-1 安倍彦名団地における液状化発生と家屋の傾斜状況¹⁾

化工事が行われた。

この傾斜量、つまり不同沈下量については、地震後の被災状況把握時や復旧時に測定が行われ、自治会でまとめられた。沈下量の測定にあたっては、各家屋について最も沈下量が小さい点を基準にし、その他の角の相対沈下量が測定された。そこで、筆者達はそれらのデータをもとに最大と最小の差をとり不同沈下量を求め、また、その最大と最小の沈下を生じた角どうしの間の距離をとり、不同沈下量をこの距離で除して傾斜角を求めてみた。その結果、全戸の内最大の傾斜角は 37.5/1000 であり、最大の不同沈下量は 33cm であった。そして 15/1000 以上傾いた家屋が 47 棟、10/1000~15/1000 ほど傾いた家屋が 30 棟、5/1000~10/1000 ほど傾いた家屋が 39 棟、5/1000 以下か沈下量が測定されていない家屋が 53 棟あった。前述したように、傾斜がひどい家屋ではめまいなどの健康障害が発生し、家屋を水平に戻す水平化工事をせざるを得なかった。その限界の傾斜は 1/100 程度のものであった。

さて、このデータを用いて、近接している 2 棟の住宅がお互いに内側を向くように不同沈下しているかどうか調べてみた。図-1 に示したように、この団地では中央を南北に通る幹線道路を挟んで、東半分は東西方向に 2 列ずつ家屋が並び、西半分は南北に 2 列ずつ家屋が並ぶ配置となっている。そこで、これらの 2 列の隣接している家屋同士を対象にし、お互いに内側に向いている場合を + とし、2 棟間の相対傾斜角を求め、2 棟間の距離との関

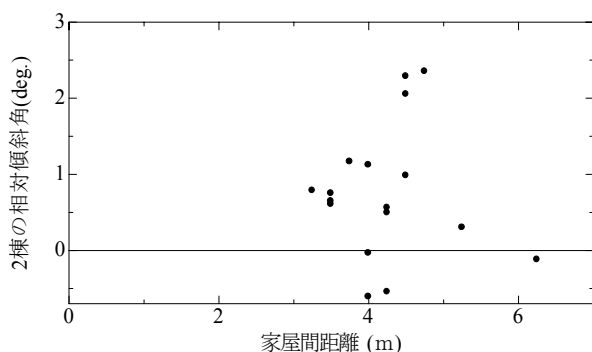


図-2 2棟の相対傾斜角と家屋間距離の関係

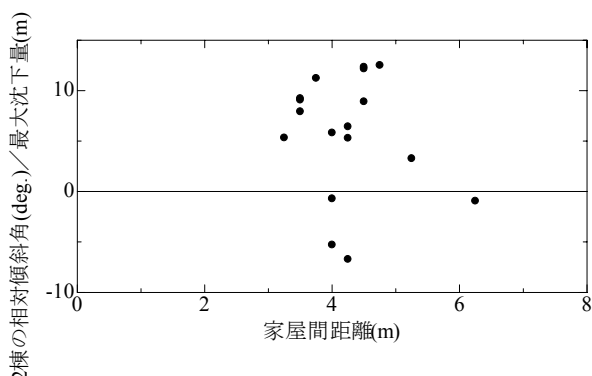


図-3 2棟の(相対傾斜角/最大沈下量)と家屋間距離の関係

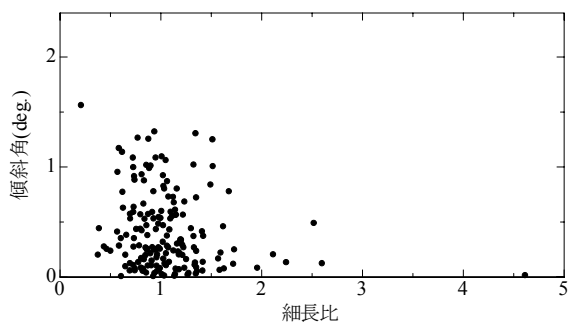


図-4 各家屋の細長比と傾斜角の関係

係でプロットしてみた。これが図-2である。この図をみるとばらつきが多いものの一応右下がりになっており、家屋間距離が狭いほど内側に傾く傾向が見られた。ただし、図中2度以上の3点がかけ離れた値となった。これらの箇所は地下水位が浅く絶対的な沈下量も大きい区域に位置している。このように、相対傾斜角には家屋間距離だけでなく、絶対沈下量も関係していると考えられるので、このことを考慮できる指標を用いた方が良いと考えられる。ところが、上述したように、地表面からの絶

対沈下量は測定されていない、各家屋で最も沈下しなかった角をゼロとした他の角の相対沈下量しか測定されていない。ただし、絶対沈下量が大きいほどこの相対沈下量の最大値が大きくなっているのではないかと思われた。そこで、図-2の縦軸を各2棟の最大沈下量で除した値にしてみた。これが図-3であるが、このようにすると図-2で3点ほど飛び出していた値も他のデータと同じような関係になり、また、ばらつきは多いものの一応右下がりになった。

なお、2棟間の影響はさておいて、各家屋の傾斜角と建物の細長比の関係をとってみると図-4となった。図に見られるように右下がりとなり、細長比が小さいほど傾斜角が大きい傾向を示した。

4. 模型を用いた振動台実験

上述したように、家屋が隣接する場合お互いに影響しあって不同沈下を生じるか否かを確かめるために、振動台実験を行ってみた。図-5に示すように土槽には中型土槽(幅2000mm×高さ1000mm×奥行き800mm)を用いた。試料には珪砂($\rho_s=2.646\text{g/cm}^3$ 、 $D_{50}=0.57\text{mm}$ 、 $e_{\max}=1.017$ 、 $e_{\min}=0.624$)を用いた。地盤の高さは600mmとし相対密度を50%とした。地表面上と振動台に加速度計を、また模型直下と模型の影響を受けない所の地表面から100mm、200mm、400mmの深度に間隙水圧計を設置した。そして底面積が200mm×200mm、高さが85mm、重さが16kgの家屋模型を地盤上に設置した。この家屋模型は重心が中心になるように調整されている。この家屋模型に変位計を模型の角の各点に設置し5Hz、140galの加速度で加振した。また模型の影響のないところで地盤のみの沈下量も測った。模型数は2棟とし模型間距離を5mm～320mmと変化させて相対傾斜角を求めた。

液状化発生の時点は、模型の影響のない部分に設置したGL-100mmの間隙水圧計(図-5のP)により算出した過剰間隙水圧比で判断することとした。新潟地震のターミナルビルなどの例を見ると、液状化が発生した後に構造物は徐々に沈下しているため、今回のデータは過剰間隙水圧比が1に達した1秒後の沈下量で整理してみた。この1秒間の間は地盤の液状化は持続している。沈下量のデータは各点の沈下量より地盤の沈下量を引いたものとし、4点の平均をとって平均沈下量とした。また、2棟が写真-1に示すように内側に傾く指標として、2棟の相対傾斜角をとったが、これは反時計回りの傾斜角をプラスとし、図-5の左側の模型から右側の模型は相対的にどれだけ傾斜しているかを計算して求めた。このようにして求めた2棟間距離と相対傾斜角の関係を図-6に示す。ここに示すように2棟間距離が近いと家屋模型は内側に向かって傾き、

離れていくと外側に傾いた。さらに離れていくと傾斜することなくそれぞれ独立に沈下した。これは2棟の家屋間距離が近いと、お互いの荷重が重なり合って偏心荷重のようになり内側に傾斜するのに対し、少し離れるとその間に土が盛り上がってきて2棟は仰け反るようになり、さらに離れるとこれらの影響を受けなくなって傾斜しなかったのではないかと考えられる。

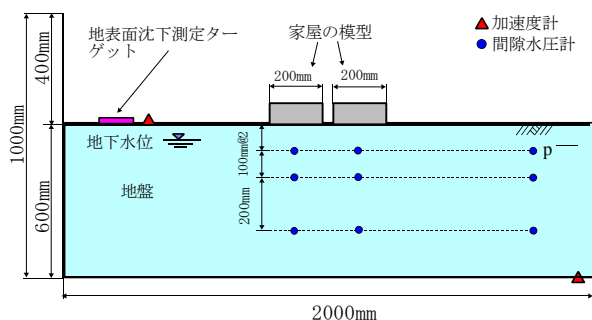


図-5 振動台実験における模型と計測位置

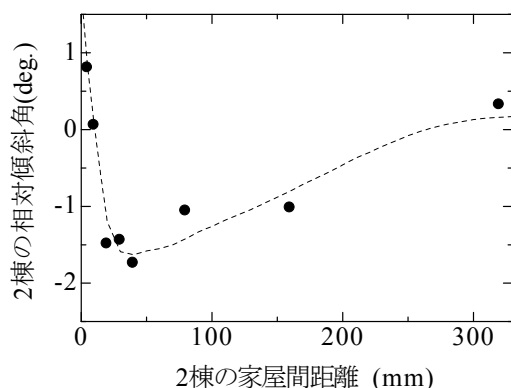


図-6 2棟の相対傾斜角と2棟間距離の関係

5. まとめ

以上みてきたように、米子市の安倍彦名団地や札幌市の美しが丘では隣接した家屋が内側に傾くような不同沈下を生じた。また、振動台実験においても、構造物が近接しているときのような傾向を示した。ただし、構造物間の距離が少し離れると、仰反るような傾向もあった。アダバザルでも仰反る傾向を示した。このように隣接した構造物は場合によっては内側に傾くこともあり、また、逆に仰反ることもあるようであるが、どちらになるかはいくつかの要因が関係しているのではないと思われる。例えば、構造物間距離、構造物の荷重、液状化した土の粒径、液状化した土のせん断変形特性および圧縮特性、液状化の程度、液状化層厚といったものがあるかもしれない。また、ここでは2棟間だけで整理や実験を行ってみたが、4棟間で干渉し合っている可能性もある。今後このような要因に関しても検討を進めていきたいと考えている。

謝辞：本研究は東京電機大学総合研究所の研究の一環として行ったものである。関係各位に感謝する次第である。

参考文献

- 1) 安田進・橋本隆雄：鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について、土木学会第 57 回年次学術講演会、pp1029-1030、2002.
- 2) Yasuda, S., Morimoto, I., Kiku, H. and Tanaka, T: Reconnaissance report on the damage caused by three Japanese earthquakes in 2003, Proc. of the 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering and 11th International Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Keynote Lecture, Vol.1, pp.14-21, 2004.

(2005.6.15 受付)

DIFFERENTIAL SETTLEMENT OF ADJACENT TWO SPREAD FOUNDATIONS DUE TO SOIL LIQUEFACTION

Susumu YASUDA, Tokyo Denki University
Seiji FUKAYA, Graduate student, Tokyo Denki University

Liquefaction of sandy soils causes not only uniform settlement but also differential settlement of spread foundations. During the 2000 Tottoriken-seibu earthquake, differential settlements of many houses occurred at Abehikona housing development in Yonago City. According to measured inclination of the houses, there was a tendency that tow adjacent houses tilt towards the inside of the houses. The authors conducted several shaking table tests on model houses to demonstrate the direction of the inclination of adjacent two houses. Test results also showed that the two adjacent houses tilted towards the inside of the houses.