

東京電機大学	○学生会員	入澤 恒裕
東京電機大学	正会員	安田 進
佐藤工業(株)	正会員	規矩 大義
東京理科大学	正会員	中澤 博志

1. はじめに

1999年トルコ・コジャエリ地震では、震源域に近いイズミット湾岸やサパンジャ湖では地盤全体が沈下するなど広範囲にわたり甚大なる被害をもたらした。内陸部の都市、アダパザルにおいては大規模な液状化が発生し、多くの建物が沈下・傾斜の被害を受けた。そこで本研究ではアダパザルの被害に着目し、アダパザルにおいて原位置試験を行った。また現地より採取した不攪乱試料を用いて室内試験を行い、建物の沈下について検討を行った。

2. 調査地点および室内試験結果

図1にアダパザルの市街地図を示す。今回は特に被害が激しかったチャルク通りの北に位置する地点番号29とアンカラ通りの南に位置するNo.3を対象に沈下量の検討を行った。図2に地点番号29のスウェーデン式サウンディング試験の結果と室内試験の結果を示す。図2の(b)より深さ約6m付近まで軟弱なシルト層が堆積していることがわかる。図2の(c)に示すN値は次式を用いてN値に換算¹⁾した。

$$\text{粘性土 } N = 3W_{sw} + 0.05N_{sw} \quad \text{砂質土 } N = 2W_{sw} + 0.067N_{sw} \quad (1)$$

深さ2.40m～4.50mの不攪乱試料を用いて非排水繰返し三軸試験を行った。物理試験より図2の(d)に示すように細粒分含有率 F_c は53%～100%となった。塑性指数 I_p はNP～38.4となった。繰返し三軸試験では20回の繰返し回数で軸ひずみの両振幅が10%となる応力比(以下、液状化強度比と呼ぶ)RI($N_l=20$, $DA=5\%$)を求め、塑性指数 I_p をもとに分類した。その結果、 $I_p=38.4$ で $RI=0.55$ 、 $I_p=26.6\sim15.5$ で $RI=0.37$ 、 $I_p=5.4\sim NP$ で $RI=0.25$ となった。

3. 建物の沈下量の評価

図2(f)の液状化に対する安全率 F_L は、アダパザルで測定された最大加速度407galを用いて道路橋示方書²⁾より算出した。その結果、試験深度で液状化に対する安全率が1.0未満となり液状化が発生したことが裏付けられた。ただし、実際の被害状況は通常の液状化と異なり、噴砂が少なく建物の沈下量が少なかった。これを検討するため、繰返し三軸試験で液状化試験を行い、ひずみが両振幅で10%でたところの応力比～ひずみ関係よりヤング率を算出してみた。また、No.3の試料に対しては通常の液状化試験に加えて静的(単調)載荷を行い、静的載荷時における応力～ひずみ関係よりヤング率を算出した。その結果、地点番号29の液状化後のヤング率は図2(g)に示すように300～1200kPaという結果になった。図3に地点番号29の深さ2.5mの試験結果を示す。地震前のヤング率 E_0 は $N=3$ として(2)式より計算すると

キーワード：地震、地盤条件、液状化、室内試験

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 Tel0492-96-2911(2748) Fax 0492-96-6501

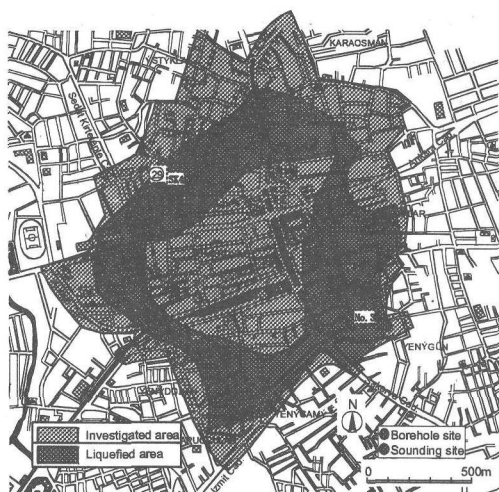


図1 アダパザルの市街地図

$$E_0=2740\text{N} \quad (2)$$

$E_0=8200\text{kPa}$ となり、液状化前と液状化後の剛性の低下は約 $1/10 \sim 1/30$ となった。これを用いて建物の沈下量 S を次式で計算した³⁾。

$$S=\mu_H \times q \times \sqrt{A} \div E \quad (3)$$

ここに、 S :沈下量(m), A :基礎面積(m^2), q :基礎の平均荷重(kPa), E :地盤のヤング率(kPa), μ_H :沈下係数。5階建ての鉄筋コンクリート構造物を想定し、 $A=10\text{m} \times 10\text{m}$, $q=50\text{kPa}$, $\nu=0.33$ (液状化前), $\nu=0.50$ (液状化後), $\mu_H=0.24$ (液状化前), 0.16 (液状化後) として、図 2(g)

の値を用いて沈下量の計算を行った。表

1 に沈下量の計算結果を示す。ただし、全試料が深さ 2m に存在すると考えて沈下量の計算を行った。このため、実験ではヤング率の算出を有効応力 98kPa 下で行っているの、これを 2m の深さの拘束圧のヤング率に補正を行った。補正後のヤング率 E_e は表 1 に示すとおりである。液状化後の沈下量 S_e から液状化前の沈下量 S_0 の差分より沈下量を求めた結果、液状化に伴う建物の沈下量は $15 \sim 66\text{cm}$ という値になった。実際に現地での建物の沈下については既往の研究⁴⁾で報告されている。それらの値と比べるとほぼ一致していることがわかった。

4. まとめ

アダパザルの不攪乱試料を用いて非排水繰返し三軸試験を行った。そして液状化時の応力～ひずみ関係よりヤング率を求め、沈下量の計算を行った。今後、不攪乱試料を用いてさらに室内試験を行い、データを補足する予定である。また、本研究を行うにあたって、東京理科大学の石原研而教授やイスタンブール工科大学の Ansal 教授などの援助を受けた。末筆ながら感謝する次第である。

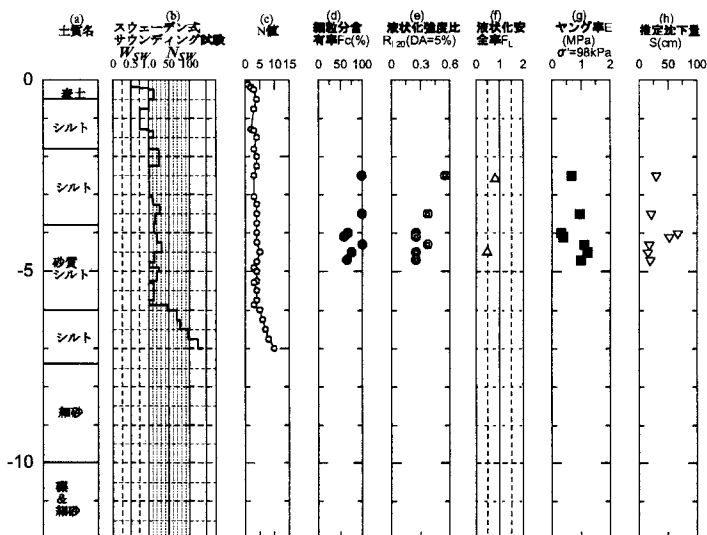


図 2 地点番号 29 の原位置・室内試験・沈下量の推定結果

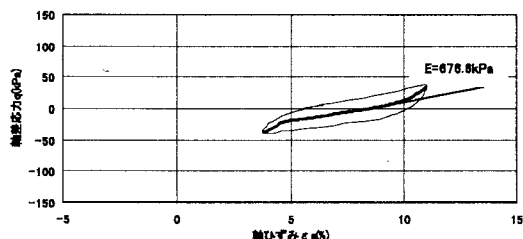


図 3 液状化時の応力～ひずみ関係 (地点番号 29)

表 1 各供試体の液状化時のヤング率をもとに計算した建物の沈下量

試料	Depth (m)	E_t (kPa)	σ'_0 (kPa)	E_e (kPa)	S_e (cm)	S (cm)
A	2.5	677	15	265	30	29
B	3.5	945	15	370	22	20
C-1	4	302	15	118	68	66
C-2	4.1	384	15	150	53	52
D-1	4.3	1104	15	432	19	17
D-2	4.5	1217	15	476	17	15
D-3	4.7	990	15	367	21	19

E_t :有効拘束圧 98kPa 時におけるヤング率

σ'_0 :原位置における有効拘束圧(G.L.+2m)

E_e :液状化後の応力～ひずみ関係より求めたヤング率

S_e : E_e より求めた沈下量

S :沈下量 ($S_e - S_0$)

S_0 : $E_0=8200\text{kPa}$ より求めた地震前の沈下量

【参考文献】(1)稲田信穂：スウェーデン式サウンディング試験結果使用について、土と基礎、vol.8, No.1, pp13-18, 1960.(2)日本道路橋示方書：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計, 1996.(3)日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 1998.(4)Yasuda, S., Yoshida, N., Irisawa, T., 2001. Settlement of buildings due to liquefaction during the 1999 Kocaeli earthquake, 15ICSMG Earthquake Geotechnical Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquake, pp.77-82.