

千葉県浦安市周辺の地盤液状化について

京都大学理学部卒業 50 周年記念会

2011 年 6 月 24 日

奥西一夫

地盤液状化とは（防災科学研究所：防災科テキストより）

砂は粒径がおよそ 0.1~2mm で、粘土に比べ粒の粗い粒子で粘着性はない。締まりがゆるい状態でこの砂が積み重なっているとき、砂粒子はお互いに角を接触させ、いわば突っ張りあって全体の骨格をつくっている。粒子間には広い隙間があり、互につながっている。地下水面が高いとこの隙間は水で完全に満たされ飽和状態になって

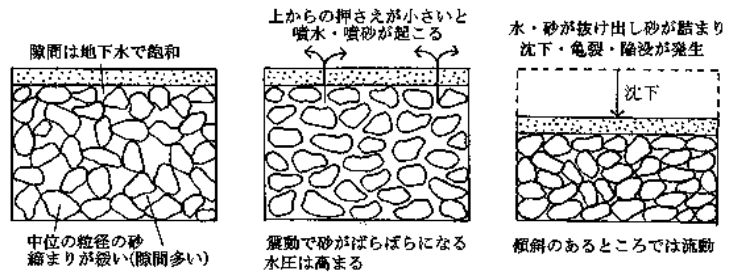
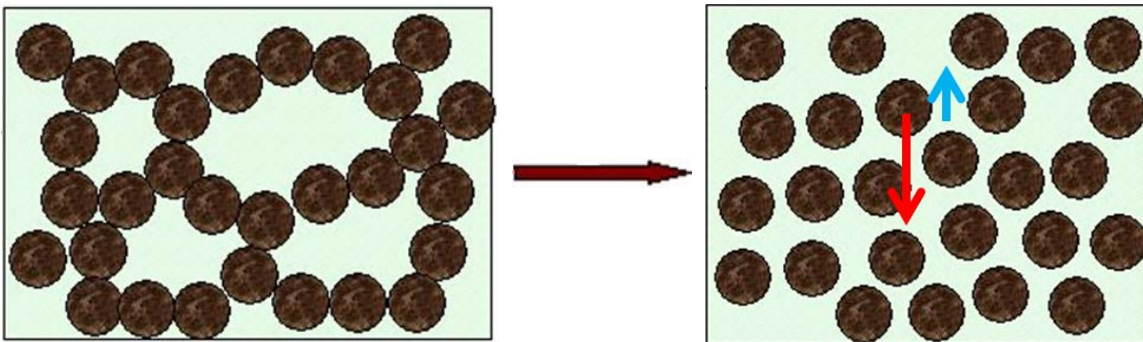


図 1.5 砂層の液状化

いる。ここに地震動が加わって砂粒子が繰り返し揺すられると、お互いの支えがしだいにはずれ、やがては砂粒子間の接触はなくなり、水圧を高めた水の中にばらばらになって浮いた状態になる。これが地盤の液状化である。揺すられることによる全体としての体積の縮小に抵抗して地下水の水圧は高まる（図 1.5）。

圧力を高めた地下水が砂と共に地表へ噴出すると、地層の中身が抜け出したことになり、沈下・亀裂・陥没・隆起などの地盤変形が起こる。噴水・噴砂が生じた跡には、小さな火山クレーターのよう地形が出現する。横からの押さえのないところや傾斜のあるところでは、液状化層が側方へ流動する。これにより建物・構造物に沈下・傾斜・転倒・浮き上がりなど、およびそれに伴う破壊が生じる。水と砂が抜け出すのにはかなりの時間がかかるので（長いときには数時間以上）、強震動の作用の場合とは異なり、建物の変形・破壊は比較的ゆっくりと進む。したがって人身被害はほとんど生じない。

（補足説明図）



吸着物質や吸着水を介した土粒子の結合による団粒構造。粒径が小さかったり、吸着物質が多かったりして土粒子の結合が強い場合は団粒構造は壊れない

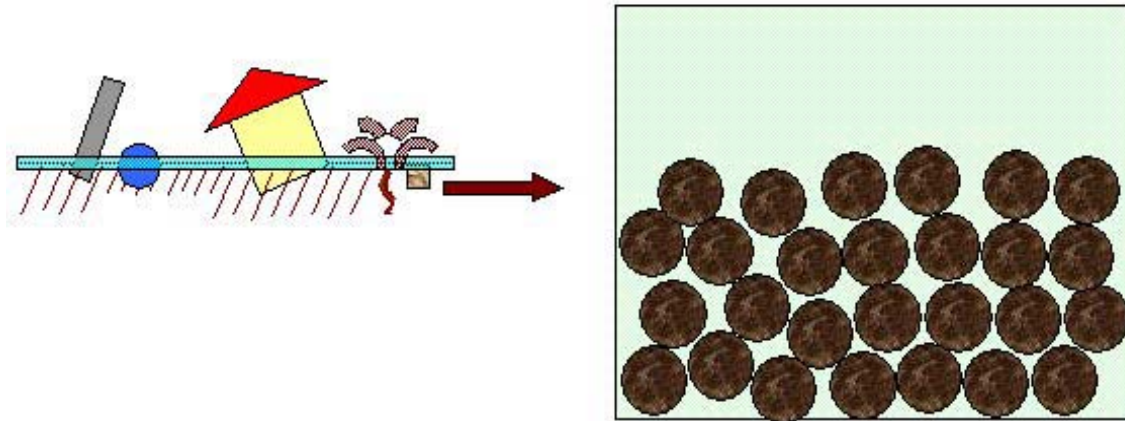
振動により粒子間結合が外れて水と土粒子が相対運動。地層が厚いと水の上昇速度が大きくなり、土粒子を浮遊させ続ける。さらには土粒子を巻き込んで噴出。

液状化の結果

液状化現象により、建物（アパートなど）は傾き、土管やマンホールなど地中に埋めてあるものが地面に浮き上がってきます。

下図右は、液状化現象がおこったあとの状態です。

下図左で、バラバラになった砂の粒が沈んで、地面に水が出てきています。また、地面の裂け目から砂まじりの水が噴き出すことがあります（噴砂）。



液状化現象によるマンホールの浮上（新潟県中越地震）



浮き上がり現象について

- (1) 液状化した周辺地盤の沈下による相対的上昇
- (2) 浮力による浮き上がり
- (3) 粒度偏析現象で大きい物体が押し上げられる（右上の図）

液状化の安全率（液状化の工学的なとりまとめ）

予測法	動的せん断応力	液状化抵抗
簡易法	地表最大加速度と地震マグニチュードを仮定	N 値などの貫入抵抗によって推定
詳細法	地盤の地震応答を解析によって予測	真に乱さない試料に対する力学試験によって推定

- ①20m程度以浅の沖積飽和土層であること。
- ②地表面から20m以浅であること。
- ③細粒分含有率が35%以下であること。
- ④粘土分含有率が10%以下、または塑性指数が15以下の埋立あるいは盛土地盤。（埋土地盤などの人工造成地盤では、細粒分含有率が35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例があるため。）

(1) 対象とする土の範囲：検討を要する土層は，原則として沖積砂層とする．さらに平均粒径 D_{50} と細粒分含有率 FC に制限を設ける．

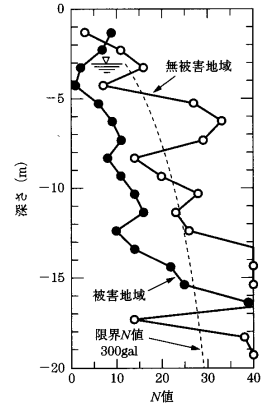
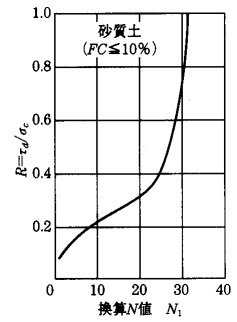
(2) 液状化の安全率：土の液状化抵抗比を R ，地震時の地中応力比を L で表わすと，安全率 F_L は

$$F_L = R/L, \quad R = \tau_d / \sigma'_c, \quad L = \tau_{\max} / \sigma'_v \quad (3.5)$$

ここに τ_d ：液状化せん断抵抗， σ'_c ：有効拘束圧， τ_{\max} ：地震時最大せん断応力， σ'_v ：有効土かぶり圧であり， R は繰り返し20回の値を取る．

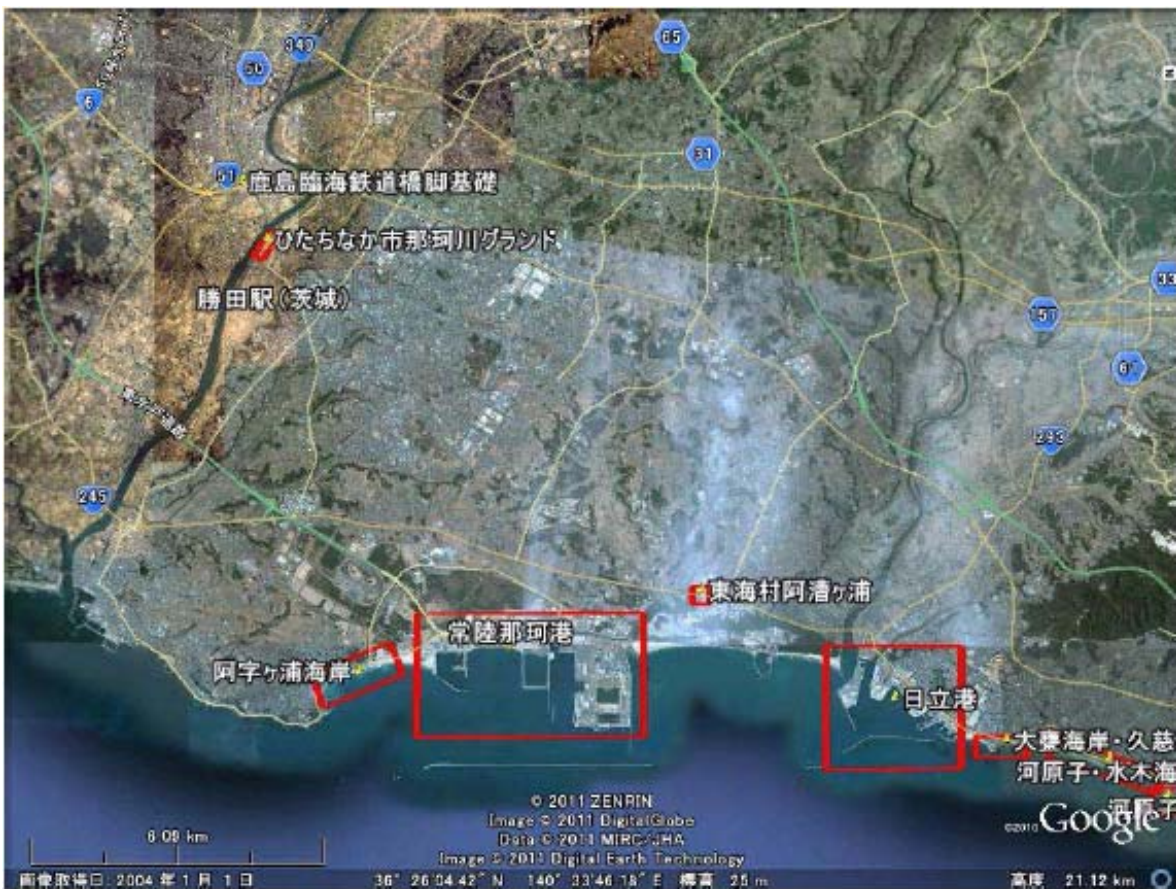
液状化の可能性は， F_L の大小に応じて判定する．

(3) 液状化抵抗比 R ：この値は N 値にもとづき，図 3.22 より求める．



軟弱地盤について（最近の調査事例から）

(1) ひたちなか市の「谷地」の地盤被害



ひたちなか市では 3.11 大地震で沿岸部が大きい被害を受けた。奥西が調査したのは勝田駅近くの谷地の超軟弱地盤



海岸地域の液状化による地すべり



那珂川の沖積平野の液状化

調査地は市役所の南東，西署の近くを流れる大川に接する宅地

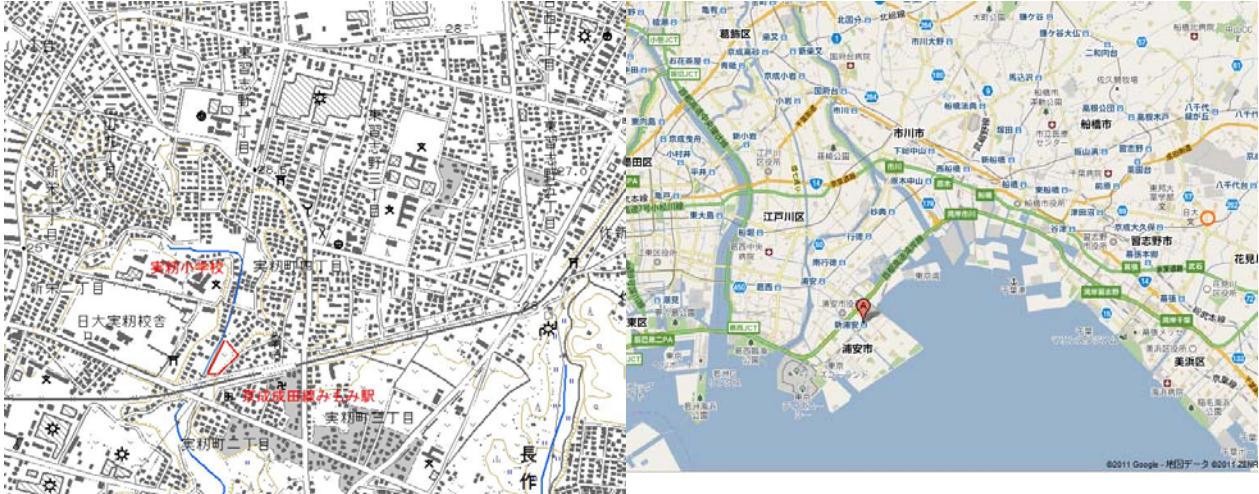


谷地の現況 以前にここを流れていた大川は上流の工業団地の排水路となり，さらに暗渠化されている。次は宅地化？左側の宅地は軟弱地盤の上に盛土したもので，極めて不安定。

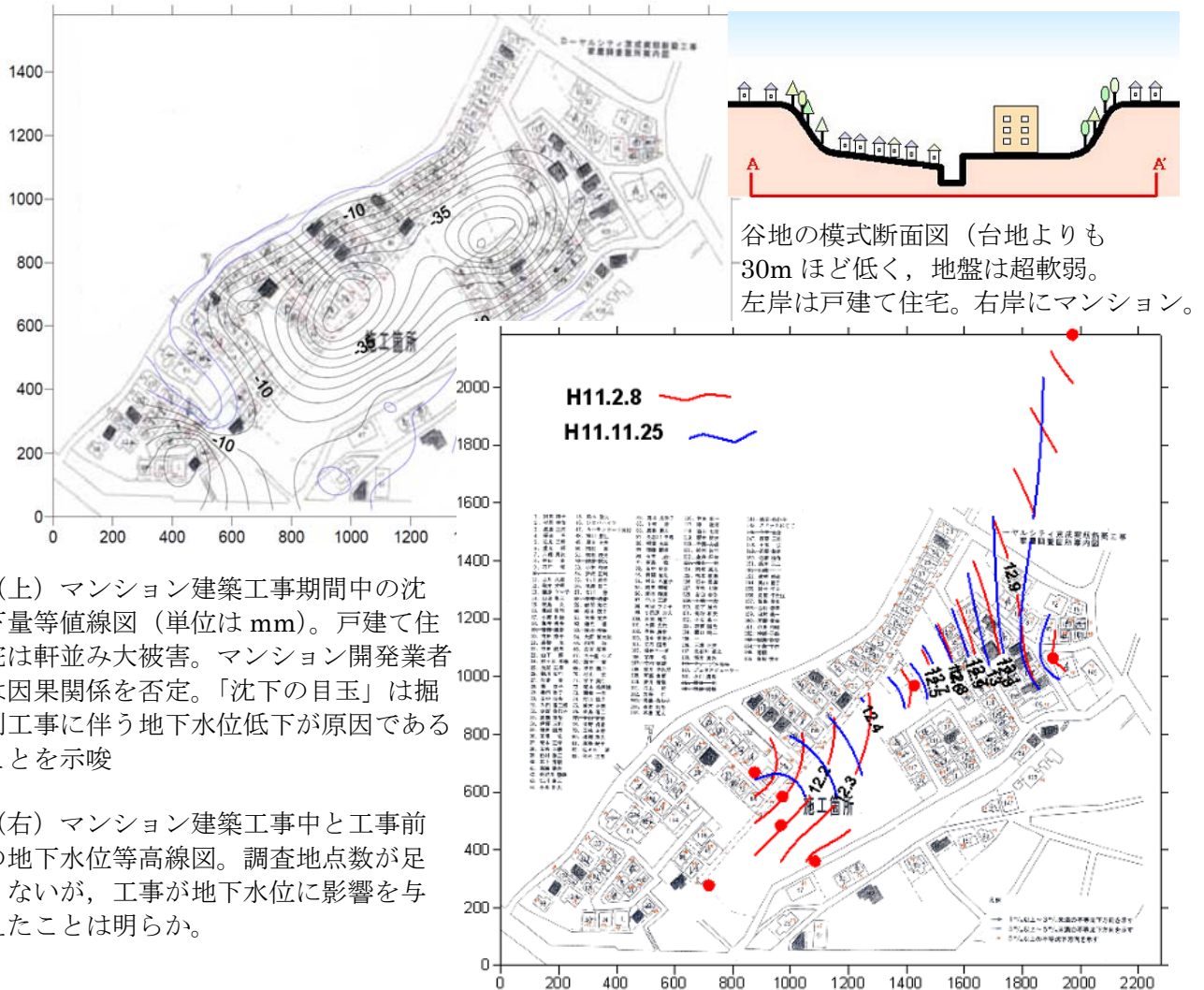


左の大川暗渠化工事の際に土留工設置にミスがあり，宅地を支える擁壁とその上のブロック塀に亀裂。家屋内部はガタガタ。

(2) 習志野市実籾の地盤被害



赤の不等辺四角形が問題になったマンション敷地 現地案内図 (赤丸)。Aはブライトンホテル。



(上) マンション建築工事期間中の沈下量等値線図 (単位は mm)。戸建て住宅は軒並み大被害。マンション開発業者は因果関係を否定。「沈下の目玉」は掘削工事に伴う地下水位低下が原因であることを示唆

(右) マンション建築工事中と工事前の地下水位等高線図。調査地点数が足りないが、工事が地下水位に影響を与えたことは明らか。

超弱地盤は周辺での土木工事に敏感に影響されるが、ひたちなか市でも実籾でも、今回の地震では液状化しなかった。土が細粒で有機物を多く含み、ファン・デア・ワールス力による土粒子間の結合が比較的強かったのが原因 (但し静的せん断力や地下水位低下による圧密には弱い)。

習志野市実籾と浦安市新町地区の被災

奥西一夫 (元京都大学防災研究所)

2011年6月24日の同期会の開催地浦安の埋め立て地域ではかなり深刻な液状化被害があり、世話人の徳田兄の案内つきで当日の朝に予備的に被害域を見て回りました(午後にもみんなで見学)。それで同期会ではニワカ勉強で液状化についてレクチャーさせて頂きました。現地の状況についてはレクチャーで十分紹介できませんでしたので、ここで補足します。またレクチャーでは以前に調査したひたちなか市笹野町と習志野市実籾地区における土木工事による超軟弱地盤上の宅地被害についても簡単に触れ、地震による液状化との違いを説明しましたが、習志野市実籾地区については前日(6月23日)に再訪してきましたので、その結果も簡単に補足します。同期会が終わって帰宅後、大道兄から電話をもらいました。大道兄はひたちなか市に住んでおり、当地では軟弱地盤の防災問題について懸念されることがいろいろあるとのことでした。

習志野市実籾地区は6月23日に地元住民2人の案内で歩きました。4月にメールで連絡した時は、東北地方の惨状と比較して全く大丈夫だったとの返事でしたが、直前になってからのメールでは是非見てもらいたいところがあるとのことでした。はじめに建築時に周辺で宅盤被害を発生させたマンションを見ました。マンション躯体はしっかりした杭基礎の上に立てられており、被害は全く見られませんでした。駐車場など周辺部分の地盤は建設当初から沈下していました。今回の大地震では沈下がさらに進行したことと、マンション躯体と非常階段部分と駐車場などが異なるモードで振動したことと起因すると思われる亀裂が各所で見られ、鉄筋露出や水道・ガス管の損傷もあったようでした(写真1:既に補修済)。それにしても、マンション工事を目の敵にしてきたお二人が、マンション入居者のことを自分のこと以上に気にかけておられるのに感銘を受けました。

マンション建設時に宅盤と家屋に損傷を受けた区域を一回りしました。マンション建設時に起こった緩い傾斜の軟弱地盤の側方流動(クリープ的な小変位の流動)が今回の地震でも再発し、流動域の端部で引っ張り亀裂または圧縮亀裂が発生し、圧縮亀裂の場合は家屋の傾動・損傷が顕著でした(写真2)。それ以外の流動域でも全般的に地盤沈下が起こっているはずですが、不等



写真1 マンション床下配管の損傷跡



写真2 側方流動による家屋傾動(中央)

沈下は目立ちませんでした。これらの軟弱地盤地域よりも 30m ほど高い高台にある神社では、地形的原因で地震動が増幅されたのではないかと思われる灯籠などの転倒が多発していました。そのほか、高台地域では屋根の損傷が目立ちました。

その後、軟弱地盤の谷地を横断する京成電鉄を越えて下流側の実籾本郷公園に行き、地元の両氏があらかじめ調査された液状化スポットに行って写真撮影をしました。ここには鵜田家住宅という、江戸時代の庄屋の家屋が保存されているのですが、たまたま補修作業に来ておられた教育委員会の人から、家屋は基礎がしっかりしているので被害は軽微であったが、見学者の受け入れは当分できないほか、周辺地盤が最大で 1m 強の沈下を被っていると聞いて、地元の両氏も仰天。我々の家の地盤もかなり沈下している筈だと気を引き締めておられました。

23 日夕方は短時間ながら海浜幕張駅から幕張海浜公園までの目抜き通りを歩いて液状化の跡を見て回り、翌朝は浦安在住の徳田兄の案内で浦安市の埋め立て区域の液状化の跡を調査してきました。これら 2つの地域の高層建築物や高架鉄道、および車道は杭基礎または液状化対策によって沈下被害が全くなかったようであり、木造 2 階建ての民家にもほとんど被害は見られませんでした。ただ、木造住宅の玄関まわりや庭、駐車スペース等、そして高層建築物のまわりのアプローチとオープンスペースでは噴砂をとまなう地盤沈下が顕著(写真 3, 写真 4)で、ガス管と上下水道の損傷のため、長期間の不便を強いられたそうです。浦安市の埋め立て地では、車道は液状化対策がされているが歩道ではされていないらしく、歩道上の下水道のマンホールが 1m 以上も浮き上がっているのが散見され、それに伴って歩道が鯨の背中のように盛り上がったり、地中に空洞を生じたりしていました(写真 5)。特異な現象として住宅地の歩車道の区分がない道路の埋設側溝が顕著に沈下し、道路をかまぼこ状に変形させたほか、住宅地のフェンス等の倒壊の原因になっていました。おそらく側溝の排水機能が噴砂を起こりやすくしたものと思われました。また、小さいながら地形勾配があると、側方流動が起きたらしく、その末端部でプレッシャーリッジのような盛り上がり形成されているのも見られました(写真 6, これは氷河地形からの類推です)。また、限られた区域内ですが、直接基礎の上に建築されたとと思われる鉄筋 3 階建てのビルが、躯体の損傷は全くないのに、全体が沈下したり(写真 7)、傾いて使用不能になったり(写真 8)しており、軟弱地盤地域の建築設計の難しさを痛感させられました。



写真 3 幕張のホテルアプローチの液状化・沈下跡の跡



写真 4 浦安市の宅地被害 (家屋まわりの液状化・沈下の跡 (徳田兄撮影))



写真5 マンホールの抜け上がりを調べる
徳田兄



写真6 側方流動によるプレッシャーリッジ
と思われる隆起



写真7 液状化によって沈下した鉄筋3階
建のビルディング（徳田兄撮影）



写真8 左側の灰色の3階建てビルが右手前
に傾斜している（志賀兄撮影）

今回見て回った地域は地震動があまり大きくなかった地域であり、今後近いうちに起こると予測されている房総沖地震や関東直下型地震に際しては、今回液状化しなかったところも液状化したり、もっと激甚な地盤破壊が起こったりする可能性が大きいと考えられます。軟弱地盤は地震動のエネルギーを吸収し、建物等の破壊を軽減する効果を発揮しますが、逆に土を構成する組織が破壊されることに起因する災害が起こるということでもあります。この「破壊」は砂質土では液状化という性質急変として、粘性土ではゆっくりした沈下や流動として現れますが、両者の境界は地震動の大きさなどによっても変わり、予測が困難です。