

都市の安全と安心を科学する技術広報誌

G&U

Ground and Underground

2011
vol. 05

「東日本大震災」における
マンホール及びその周辺の
「液状化」の被害について

この度の東日本大震災により
亡くなられた方々
ご冥福をお祈り申し上げますとともに、
被災された皆さまには、
心からお見舞い申し上げます。
被災地の一日も早い復旧・復興を
心よりお祈り申し上げます。



都市の安全と安心を科学する技術広報誌

G&U
Ground and Underground

2011.vol.05 目次

特集1

震災レポート

「東日本大震災」における
マンホール及びその周辺の
「液状化」の被害について

状況別にみたマンホール及びその周辺の「液状化」の被害
地域別にみたマンホール及びその周辺の「液状化」の被害
『千葉県・浦安市』『茨城県・潮来市日の出地区』『埼玉県・久喜市南栗橋地区』

特集2

メカニズム解説

「液状化」のメカニズムと対策

東京電機大学理工学部 安田 進 教授 監修

「液状化」のメカニズム

「液状化」の被害

「液状化」の影響

「液状化」の予測と対策

特集3

東京電機大学理工学部 安田 進 教授に聞く

東日本大震災における

「液状化」の特徴

話の交差点／マンホールの街角から 『技術広報誌G&U』編集室
震災から学ぶ「維持管理」のあり方とは？

研究の最前線

災害に強く、環境にやさしい新材料

福岡大学工学部 佐藤 研一 教授

G&U ニュース

特集1 震災レポート

「東日本大震災」における マンホール及びその周辺の 「液状化」の被害について

2011年3月11日に起こった「東日本大震災」の被害は甚大だ。巨大津波による壊滅的な被害と福島第一原子力発電所の事故により、今なお多くの方々が避難を強いられているのは周知の事実である。それらの大惨事に隠れて、あまり報道されることのなかった「液状化」の被害も、東北地方から首都圏にまで広範囲に及んでいる。

震災から3カ月以上経過した6月18日、液状化被害の大きかった千葉県浦安、習志野両市を、菅直人首相が訪れたのはまだ記憶に新しい。

当センターも被災地を訪れ、マンホール及びその周辺の「液状化」の記録に努めている。まずは代表的な事例を状況別にあげ、次に地域別にまとめた。





隆起、ひび割れ

マンホールなどの地中にある軽い構造物は、液体のようになった地盤から浮力を受けて「浮上」する。それに伴って、周辺の道路などの「隆起やひび割れ」が起きている。



陥没

道路や消火栓、マンホールなどのさまざまな構造物は、状況によって「沈下」の度合いが違う。そのため地表にある道路面と比べて「陥没」したケースもみられた。



突き上げ

マンホールだけではなく、地下に埋設されたさまざまな構造物も「浮上」する。「液状化」によって動いた道路が歩道や管きよなどを押し上げて、「浮上」させるケースもある。



液状化噴砂

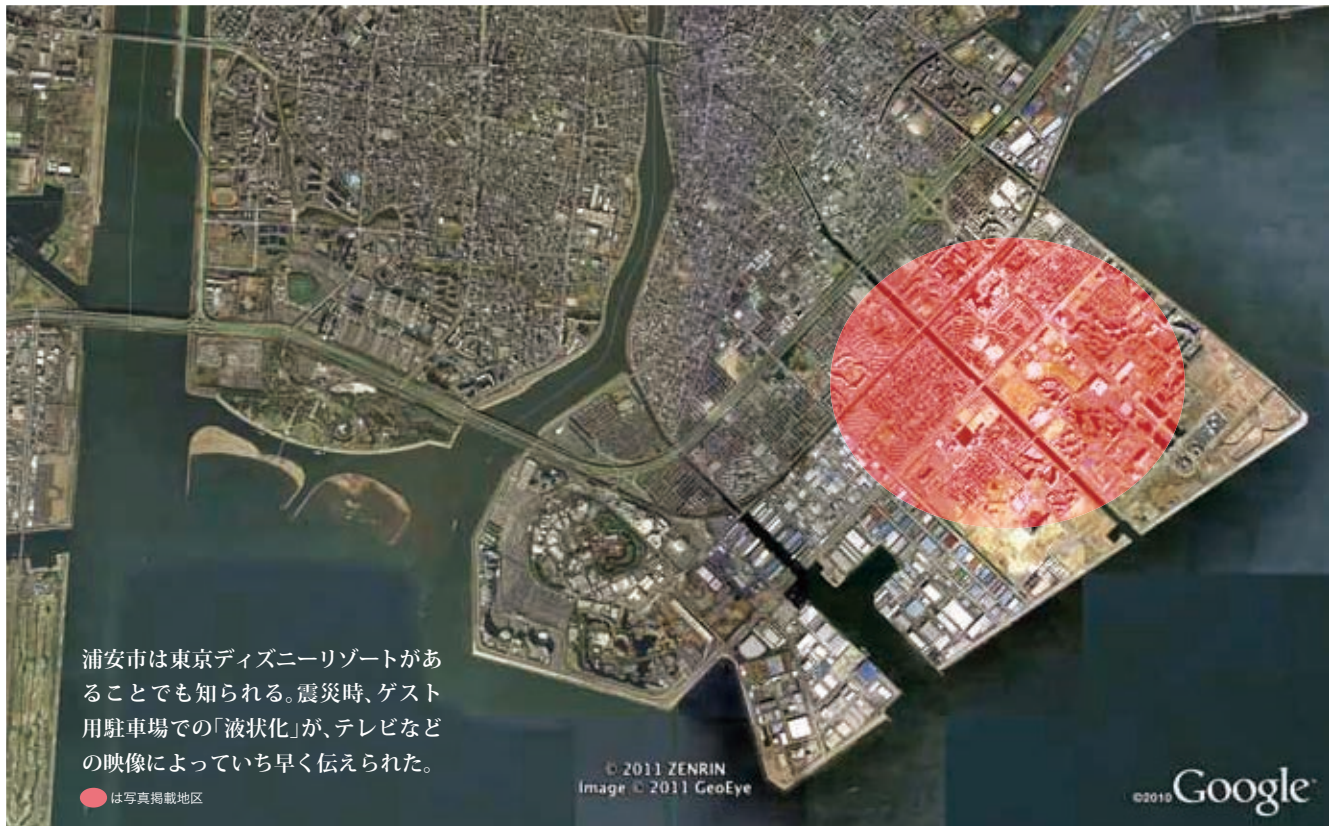
地盤が「液状化」したことにより、砂粒の間隙を満たしていた水が砂とともに地表に吹き出す現象だ。「噴砂」の跡は火山状の砂の山になるが、構造物などの障害があればそれらの周囲に「噴砂」が起こる。これらの「噴砂」の存在を証拠として、その場所が液状化したと判断されることが多い。

震災
レポート

状況別にみたマンホール 及びその周辺の「液状化」の被害

「液状化」とは、地盤が、地震動の揺れのような繰り返し力を受けたときに、文字通り液体になったように振る舞う現象だ。詳細は後述の「液状化」のメカニズムで述べるが、「液状化」が生じた場合は、「噴砂」が起こるといってよい。「液状化噴砂」によって引き起こされた被害状況を、構造物の「隆起、ひび割れ」「陥没」「突き上げ」としてまとめた。





歩道部のマンホールの浮上



車止めの傾斜 液状化噴砂



歩道部のマンホールの浮上 液状化噴砂



歩道部のガスボックス用ふたの枠の変形とふたの浮き上がり



地下ボックスの形状に合わせひび割れと舗装の陥没が発生



境川付近の段差



車道部センターライン付近のマンホールの隆起



車道部のマンホール周辺舗装の破損



汚水枡部の隆起とふたのズレ

浦安市

千葉県の浦安市は、震度5強を観測した。国内では有名な湾岸の「埋立地」の街だ。同市の7割以上が1960年代半ばから進められた埋立事業によって造成されている。「液状化」は広範囲にわたり、いたるところに「噴砂」がみられ、その量も多い。概ね道路よりも歩道部分の被害が甚大なようだ。マンホールの浮上などは比較的少ないように感じられたが、地中の下水管などの損傷が激しい。長期間、多くの住民の方々が簡易トイレなどを強いられた。



耐震性貯水槽に設置されたマンホールの浮上



マンホールの隆起と横断方向のひび割れ



歩道部のマンホールの浮上 放射状のひび割れ



歩道部のマンホールの浮上

千葉県
Urayasu-city
CHIBA

屈指の臨海都市に
最大規模の「液状化」

震災レポート

地域別にみたマンホール及びその周辺の「液状化」の被害

「液状化」が起きやすい地盤としては、埋め立て地や人工島などの人工地盤、港湾地帯や大河川の下流域、海岸砂丘の内陸側あるいは湖沼周辺の地域などがある。以下4ページにわたり、そのような地盤を有する千葉県の『浦安市』、茨城県の『潮来市日の出地区』、埼玉県の『久喜市南栗橋地区』をあげ、地域別に被害状況をまとめた。



▲隆起した歩道

▼道路によって突き上げられた管きょ



茨城県の潮来市は震度6弱を観測した。水郷として全国に知られる。近くには霞ヶ浦、利根川、北浦などの湖沼や河川がある。「液状化」が起きやすい湖沼の「干拓地」であり、被害が大きかった日の出地区は、海に面していない住宅街だ。もともとは沼を埋め立てた「干拓地」であり、水田だった。度重なる余震でも「液状化」が生じた。「液状化」によって動いた道路によって、歩道が大きく突き上げられている。



2011 ZENRIN
は写真掲載地区

茨城県

Itako-city
IBARAKI

万葉集に謳われた湖跡
余震での被害が甚大



歩道部の消火栓の陥没



歩道部のマンホールの浮上



歩道部の小型防護ふたマンホールの浮上

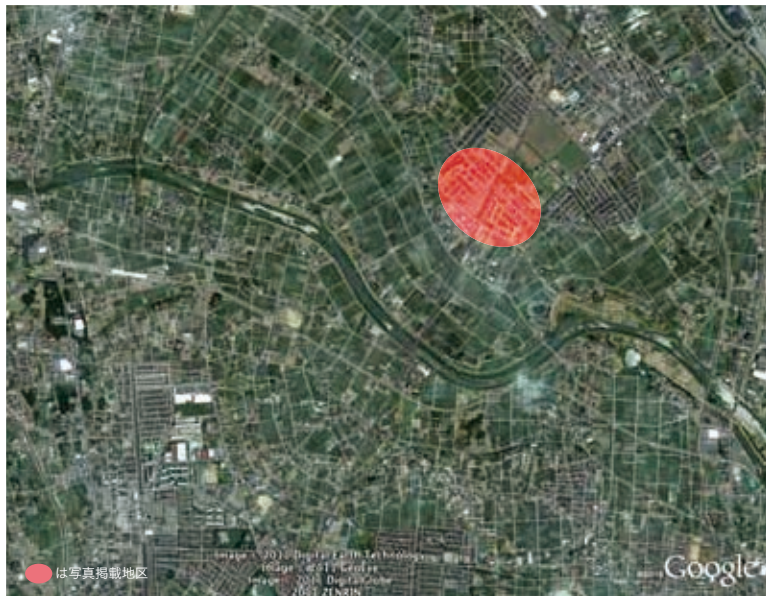
海から遠く離れた
内陸部での「液状化」

埼玉県

Kuki-city
SAITAMA

久喜市 南栗橋地区

埼玉県久喜市は震度5強を観測した。同市はもちろん、埼玉県全体がまったく海に面していない。一級河川の利根川と中川に挟まれた沖積平野にある。被害にあった南栗橋地区は、約10年前に分譲された住宅地だ。もともとは「湿地」であり、1980年頃までは水田だった。臨海や湖畔ではない内陸部での、大きく傾いた住宅などの被害が話題となっている。住宅に比べると、マンホール周辺の被害は小さい。



は写真掲載地区



マンホール周辺舗装のひび割れ



マンホール周辺舗装の隆起



マンホール周辺舗装の沈下



車道部のマンホール周辺舗装の沈下



液状化噴砂跡

「液状化」の被害 どのような 被害が起きるのか？

①沈下・傾斜・転倒など

液状化した地盤は、堅さや強さがほとんどなく、構造物を支える能力を失ってしまいます。

液状化しなければ、砂地盤は構造物の支持地盤としては最適です。砂場にスコップを差し入れるとそのままの状態に保持される原理です。そのため「液状化」が問題になる前は、直接砂地盤の上に建物などの構造物を造っていました。この写真は、1964年の新潟地震の時の被害ですが、4階建ての建物が大きく沈下、傾斜し、転倒してしまいました。

地上にあるタンクが沈下して、火災や内容物の流出などの大きな被害に繋がることもあります。



建物に限らず、液状化した地盤の上に構造物があると被害が生じます。例えば、盛土して造った道路の下で「液状化」が発生した場合



は、道路が大きく動いたり、沈下したりします。同様の被害は、河川堤防などにも多く現れます。

②地中の構造物の浮き上がり

地中にある軽い構造物が液体になった地盤から浮力を受けて浮き上がるという被害も生じます。この写真は、下水のマンホールが1m以上も浮き上がった例です。図3はその状況を模したものです。

このほか、浄化槽、ガソリンスタンドの地下タンクなども「液状化」の際に浮き上がりによる被害が生じやすい構造物です。

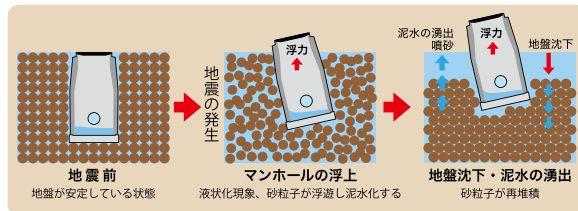


図3.液状化によるマンホール浮上のメカニズム



③地盤の流動

「液状化」による被害としてここ20年ぐらいの間に取り上げられるようになったものに、「液状化」に伴う地盤流動があります。広範囲にわたって地盤に大きな水平変位が生じる現象です。

生じる水平変位が数mから10m以上になることもあります。普通に歩いていたら傾斜があるとは分からないような、ほとんど水平な地盤でも発生します。

この現象は、河岸や海岸の堤防などの護岸背後の地盤でも起こります。地震によって護岸が移動すると背後地盤も引きずられて移動します。同時に護岸の背後地盤や護岸直下の地盤も液状化し、護岸そのものの移動量も非常に大きくなり、背後地盤の移動量も大きくなります。背後地盤が移動する範囲は、護岸から100m以上奥まで及ぶこともあります。護岸近くでは水平変位とともに大きな沈下も生じます。

地盤に大きな水平変位や沈下が起こると、特に地中構造物に大きな被害が発生します。兵庫県南部地震では地盤に大きな変位が生じたために、杭基礎が折れ曲がってしまった護岸付近の建物がありました。



この写真はその一例を示したものです。なお、1964年新潟地震で建物の杭基礎が折れていたことが20年も経って発見された例もあります。

写真提供 安田 進

「液状化」のメカニズム

「液状化」のメカニズムと対策

特集2 メカニズム解説 東京電機大学理工学部 安田進教授 監修

「液状化（現象）」が日本で広く知られるようになったのは、被害が大きかった1964年の新潟地震の時からだ。同年、アラスカ地震でも液状化による被害が生じ、地盤工学の分野で研究が盛んに行われるようになった。
以降、大きな地震が起こる度に「液状化」がクローズアップされている。そのため、一般人の間でも「液状化」の認知度は高まっているが、原理原則を詳しく知る人は少ない。ご専門家である東京電機大学の安田教授の監修のもと、「液状化」のメカニズムと対策について解説しよう。

「液状化」のメカニズム どのような 現象が現れるのか？



地盤が液状化したときに地表に現れる現象として、「噴砂・噴水」があります。「液状化」によって砂粒の間隙を満たしていた水が砂とともに地表に吹き出す現象です。



「噴砂」の跡は、火山状の砂の山になります。写真にあるように、噴砂口の大きさは直径数cmの小さいものから数mにも及びます。「噴砂」の存在を確認することで、「液状化」が起きた証拠とすることが一般的に行われています。

写真提供 安田 進

「液状化」のメカニズム

1なぜ
「液状化」が起きるのか？

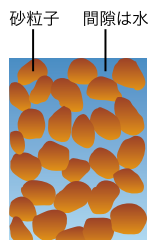


図1.液状化しやすい砂地盤とは

地震動の揺れのような繰り返しの力を地盤が受けたときに、液体になったように振る舞う現象です。

「液状化」は、地下水面より下にある、ぜい弱な砂地盤で起きやすいものです。液状化する前の砂地盤の一部を拡大した図1では、砂粒子はゆるく堆積し、その間隙は水で満たされています。

このような砂地盤が地震を受けて揺すられると、砂粒同士の接点は離れ、ばらばらになって水の中に浮いたような状態になります。この状態では砂粒同士が力を伝達することが出来なくなってしまいます。これが「液状化」状態です。この時、上部の土や建物の重さを水の圧力で支えなければならず、地下水の圧力が上がります。これが地上に噴きだし、それに伴って、深い所の土は図2に示すように密な状態になります。ただし、浅い所の土は噴水によってかき乱され、再び緩い状態で再堆積します。したがって、その部分は次の地震で再度液状化しやすい状態のまま残ります。

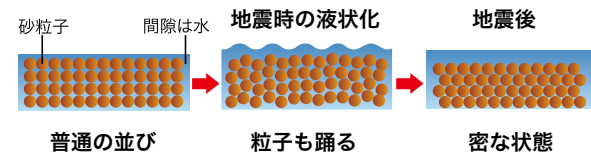


図2.液状化発生メカニズム

「液状化」のメカニズム 2どこで 「液状化」が起きるのか？

液状化現象が起きやすい地盤の特徴は次のようなものです。

- ①主に砂の粒子からなる地盤であること
- ②地下水位が地表付近にあること
- ③緩く堆積した地盤であること

このような地盤としては、港湾地帯や大河川の下流域、海岸砂丘の内陸側あるいは湖沼周辺の地域、埋め立て地や人工島などの人工地盤があります。これらの地盤に大きな地震動が作用すると、「液状化」が起こるのです。「液状化」は決して珍しいものではありません。古くから、内陸部を含む各地で起こっていたことが調査で分かっています。

「液状化」のメカニズムと対策

「液状化」の予測法

予測法は大きく分けて4つあります。

①概略予測法

地形や地質、過去の液状化履歴から大まかな発生予測を行います。

②簡易予測法

粒子の大きさなどの土の基本的特性と、土の硬さの指標から、地盤の「液状化」に対する抵抗力を求めます。想定した地震により地盤内の発生作用力を簡易的に推定し、これらを比較して発生を予測します。

③詳細予測法

地盤内から採取した土のサンプルを使って、地盤の「液状化」に対する抵抗力を求めます。想定した地震により地盤に生じる作用力を解析によって求め、これらの結果から発生を予測します。

④詳細解析、実験による予測法

詳細な地盤の調査・解析を実施します。地震を再現した模型や現場実験を行い、液状化の発生や液状化発生による地盤と構造物の変形を予測します。

「液状化」の対策法

対策法は大きく分けて3つあります。

①地盤改良と呼ばれる「液状化」が発生しないようにする方法

地盤を締め固めたり、セメントなどによって固結させたり、地震によって地盤中に生じた水圧をすぐ消散せたりする方法があります。図4に例をあげました。

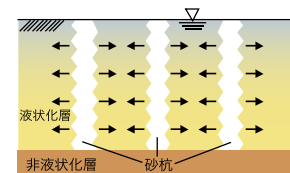
②構造物自体を補強する方法

「液状化」が発生したとしても被害が生じない、または被害を軽減する方法があり、構造物ごとに様々な方法が考え出されています。図5に例をあげました。

③システムに冗長性を持たせる方法

構造物に被害が生じても大丈夫のように代替機能を用意するというものです。ガスや電気を送るライフライン施設のように広い範囲をカバーする構造物において、例えば、あるルートが被災しても、他のルートから送

振動締め固め工法



重錘落下締め固め工法

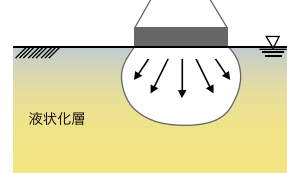
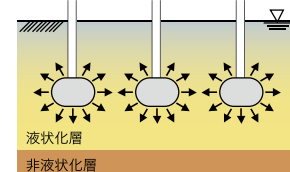


図4.地盤改良の事例(密度増大の例)

拡張圧縮



群杭

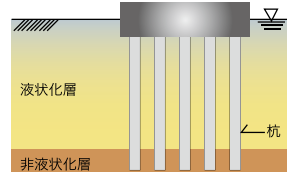


図5.構造物を補強する事例

ることができるようにしておくといった方法です。こうした対策法の中から、構造物の特徴や周辺環境を考慮して、より対策効果が高くかつ経済的なもの選ばれます。

安田 進 教授

(やすだ すずむ) 東京電機大学理工学部 建築・都市環境学系
1948年広島県生まれ。70年九州工業大学開発土木工学科卒。75年東京大学大学院工学研究科土木工学博士課程修了。75年基礎地盤コンサルタンツ入社。86年九州工業大学工学部助教授。94年より現職。土木学会論文賞(86年)。地盤工学会事業企画賞(05年など)、地盤工学会研究業績賞(11年)。主な著作に『液状化の調査から対策工まで』(鹿島出版会)『土質力学』(共著・オーム社)『わかる土質力学220問』(理工図書)などがある。安田教授が主宰する「地盤工学研究室」のWebサイトアドレス <http://yasuda.g.dendai.ac.jp/>



①ライフラインへの影響

ライフラインと呼ばれる上・下水道、ガス、電力・通信設備は、「液状化」により非常に大きな地震被害を受けます。多くの設備が地下のトンネルや埋設管に収納されているため、沈下、移動といった大きな地盤の変状に影響を受けて曲がったり、破損したり、引きちぎられたりします。ライフラインの被害には、地盤の「液状化」が主要因となっているケースが非常に多いのです。この写真は地中に埋設されていた水道管が地上に露出した事例で、その範囲は下水管とともに80 m近くにも及びました。こうした被害が生じると、生活者の方々は不便な生活を強いられることになります。

また、ライフライン設備は、広範囲に埋設されているために、被災箇所の特定に時間がかかることから、復旧に長時間を要することも珍しくありません。



地盤の流動により地上に飛び出た管路

②社会への影響

道路全体に段差が生じると、通行不能になることもあります。マンホールが道路上に突き出た場合も、消火・救助活動の障害になります。

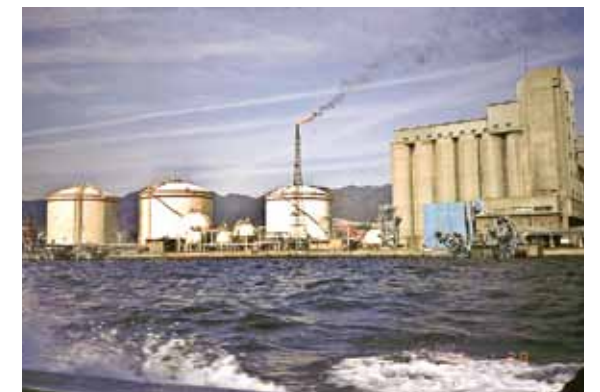
「液状化」による道路に生じる亀裂や段差や埋設物の浮



マンホールの浮き上がりによる道路への突きだし

き上がりや、交通事故を引き起こすだけでなく、消防車、救急車および緊急物資運搬車などの緊急車両の運行を妨げ、地震後の救助、救援、復旧活動に大きな影響を及ぼします。

石油、ガスなどの可燃物のタンクの傾斜や配管の破損は、油漏れやガス漏れ、火災の発生などの重大事故に繋がる可能性があります。阪神大震災等の地震の際にも、「液状化」による配管架台の沈下によるガス漏れが発生しました。



ガス漏れが発生したタンク群／兵庫県南部地震(写真提供 安田 進)

世界最大の「液状化」を 現場主義で調査

―被害調査は大変だったそうですね。
安田 被災地には必ず足を運びます。しかもできるだけ早く！とはいえ、今回はガソリンがなくなり、電車も計画停電で止まり、身動きがとれない時がありました。それでも学生たちの協力を得て、10日間で東京のお台場から千葉の千葉港までの35kmを幅1kmから3kmの範囲で調査しました。

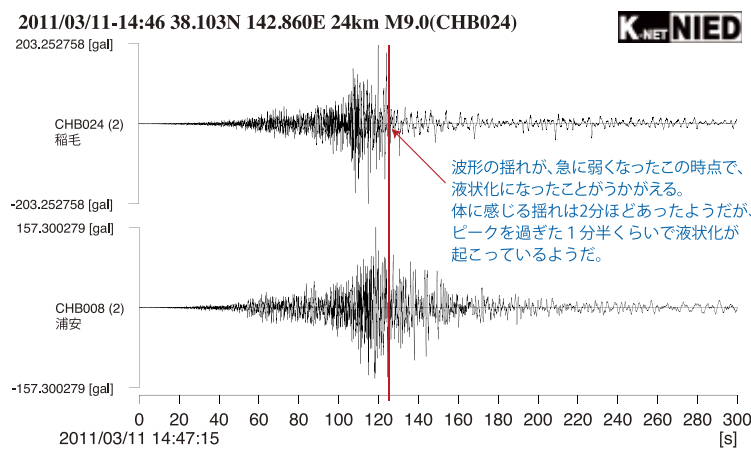


その結果、同エリアの「液状化」だけで東京ドーム約900個分に相当する42km

と推計されました。過去最悪とされた今年2月のニュージーランド地震の被害面積、約34kmを上回ったのです。

巨大地震の長期振動が「液状化」を招いた？

―震源地から約400kmも離れていますが…
安田 あれほどの巨大地震です。震源地から離れた地域で「液状化」が起こったことは驚きではありません。ただし、5強から5弱の震度でひどい「液状化」が起きたことには驚きました。



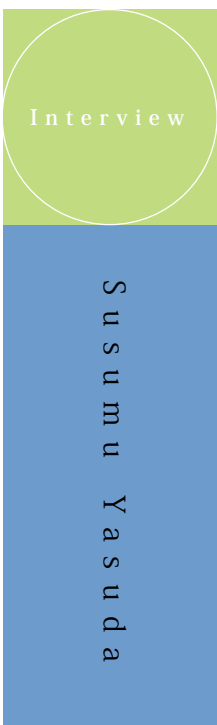
事情はさまざまであり、本震では起きなかった「液状化」が余震で起きた、潮来地区などのケースも見られます。

シルトという細かい砂が 甚大な被害の原因

―今回の「液状化」の特徴はありますか？
安田 まずは「道路による歩道の突き上げ」が多くみられた。これまであまり見られなかった被害です。これは地盤の改

東日本大震災に おける「液状化」の 特徴

特集3 東京電機大学理工学部 安田 進 教授に聞く



震災翌日、安田教授は調査に乗り出した。地盤工学の「液状化」と「斜面崩壊」が専門で、多忙を極める。どちらも予測が困難な災害であり、大災害が続いているからだ。

余震の恐怖にも勝る、現場主義には頭が下がる。ニュージーランド大地震の調査も昨年の本震直後と今年の余震後も調査に向かわれた。そして東日本大震災が起きた。「液状化」の権威とあって、多くのマスコミ関係者からコメントを求められる日々が続く。
先日、神戸市で「地盤工学研究発表会」が開催されたばかり。その最中にお話を聞いた。



道路によって、隣接した歩道が突き上げられている。歩道の柵が押され、大きく傾いた。下の写真では、手前にある道路が駐車場の敷地を大きく突き上げている。境界には大量の噴砂もみられる。
(写真提供 大貫秀樹)





S u s u m u Y a s u d a

東京電機大学理工学部
安田 進 教授に聞く
東日本大震災に
おける「液状化」の
特徴

Interview

クライストチャーチでの 同じ家の沈下量の比較



2010年9月の本震時



2011年2月の余震時



2011年6月13日の余震による再々液状化時

昨年の大地震の余震が未だに続く、ニュージーランドの家屋の例。余震であっても震源地が近くなれば揺れは大きい。結果、本震以上の「液状化」が起こる。この家屋は最後には傾いてしまった。
(写真提供 上・中／安田 進 下／細野)

「液状化」での人災は少ないが、 生活へのダメージは大きい

「液状化」への関心が高まりつつあります。安田 新興住宅地で広く「液状化」が発生したこともあり、地震から2カ月経った今でも、まだ立派な家が無残に沈下したままです。最新の高層マンションに住んでいる方々も、長期間の簡易トイレを

強いられました。道路には凹凸や沈下が発生し、さらに風が強い日には「噴砂」が舞って、いまだに大変な状態が続いています。ライフラインの本格的な復旧には相当な時間がかかるでしょう。「液状化」は人命にはやさしい地震被害でしょうが、やはり生活することに対して甚大な被害を与えることになります。

改めて考えさせられたし、研究にいつそう精進していきたいですね。
*1 鉄鋼スラグ
鉄鋼の製造過程で生産される副産物。規格に適合するものは、破砕して路盤用、アスファルト混合用骨材として利用される。鉄鋼製造過程で高炉から生成する高炉スラグと、鋼の製造過程で生成する製鋼スラグがある。

戸建やライフラインに大打撃 幹線道路との明暗くっきり

「復旧に時間がかかっているようですね。安田 「液状化」の対策がなされていない、多くの戸建住宅が沈下・傾斜し、上下水道やガスの埋設管も、甚大な被害を受けているようです。電信柱も大きく沈下し、家の屋根に当たるまで傾いたものもありました。これらが、特に被害が大きかった構造物としてあげられますね。反面、道路、特に地盤の改質のために、鉄鋼スラグ*1などを混ぜて舗装された

質などで丈夫に造られた幹線道路が、そのままの形を保ちながら揺れ続けて歩道を突き上げたようです。道路に比べて、「液状化」対策がされていない歩道は弱い。ですから、突き上げられた歩道側にあった埋設管も、被害が甚大だと思います。「噴砂」や「沈下」が激しかったのも、大きな特徴です。我々の調査では、最大で30cmの「噴砂」、50cmの「沈下」がありました。私は日本の地震で、これほどの「噴砂」や「沈下」を見たことはありませんが、昨年と今年のニュージーランドで見えています。両者の共通点は、「液状化」した砂が、非常に細かいシルト質砂や砂質シルトであること。これが被害を大きくした元凶でしょう。



大量の噴砂や道路の突き上げで、公共の建物やバス停、電信柱などが大きく傾いている。(写真提供 大貫秀樹)



幹線道路などはほとんど被害がありませんでした。アパートや高架橋などの被害も確認して

復旧のタイミングも大切 さらなる「液状化」の可能性が

「液状化」の被害基準が見直されています。安田 戸建住宅にお住まいの皆さんは、本当にお気の毒です。少しの傾きでも住むのには支障がでますから。一部の住宅では、ジャッキアップなどで傾きを補正する作業も行われているようですが、莫大な費用がかかるようです。誰もが早期の復旧を望むところでしょうが、心配なのは余震ですね。

実は昨年、ニュージーランドの大地震で、20cmほど「沈下」した住宅がありました。そして今年の余震では、同じ住宅がさらに30cmも「沈下」したのです。本震後の液状化対策が行われておらず、余震の震源地がより近かったからです。このように復旧のタイミングとそのやり方については、十分に留意しなくてはなりません。現在、専門家の間でも早急な検討が続けられているところです。埋設管については当面は仮復旧のみで、全体の被害状況をしつかり把握したほうがよいでしょう。確かな液状化対策に基づいた、根本的な復旧が望まれます。

震災から学ぶ

「維持管理」のあり方とは？

梅雨のはざま、ぽつかりと晴れた神戸市ポートピアで開催された「地盤工学会」会場に安田進教授を尋ねた。

「地盤工学」の専門家との初コラボ

ピンとこない読者も多いと思われるので、ご説明しよう。G&U技術研究センターの専門分野である「マンホール及びその周辺」とは、「土木工学」分野に属する。中でもマンホールは、「管きよ」との関係が深い。「管きよ（管渠）」とは、家庭や工場からの汚水や雨水を収集して処理場や河川まで搬送する役割を担う断面が円形（管）や矩形（渠）の施設である。

「管きよ」だけでなく、「土木工学」による構造物は地盤によって支えられているものばかりだ。例えば家屋やビルの基礎、道路や橋梁、駅のプラットホームもそうだ。密接な関係を持つ分野なので、知識や理論の情報共有はもちろん行われている。ただし私共にとって

は初の、情報共有の場であった。

「防災」か「減災」かの声に寄せて

阪神・淡路大震災以降、「防災」か「減災」かという声が高まり、今回の大震災後もそうした意見が活発になりつつある。しかしながら現時点では「防災」と「減災」というそれぞれの定義付けも曖昧だ。「防災が被害を出さない取り組みであるのに対して、減災とはあらかじめ被害の発生を想定した上で、その被害を低減させていこうとするもの」と辞書にはあるが、ハード対策とソフト対策と捉えることもあり、その線引きを「人命だけは守る」とすることもある。

ここで「管きよ」をはじめとした社会的インフラ施設に施す液状化対策は、「防災」なのか？「減災」なのか？を考えてみたい。生活へのダメージは大きくても、被害が人命にまで及ぶことは稀なので、やはり「減災」の範疇になるのではないだろうか？

避けたい！減災対策なき復旧

震災の度に「液状化」が起これるとすれば、液状化対策がなされぬままの復旧は実が少ない。予測される大地震に対して、無力のままで立ちあがることに等しいといえる。「電気やガス、上下水道などのインフラの復旧は、仮復旧を急ぎつつ、本復旧は法律や条例などの改

幹線「道路」の被害は少なかった？

千葉県などが行っている「超音波による走行調査」によって、一見すると損傷が見受けられない「道路」の下に、重大な被害が見つかったという。大きな空洞箇所がいくつも発見されているのだ。自動車や大型車両などの通行による劣化が進み崩落すれば、大惨事にもつながりかねないという。液状化対策が施され、被害を免れたかのように見える幹線道路にも、なにがしかの被害が及んでいるかもしれない。

もちろん道路の件だけでなく、インタビューの席では「詳細な実態調査の結果を待たなくてはなりません」「という安田氏の発言が随所にあつたことも付け加えておく。

「液状化」は繰り返起こる！

「二度液状化した地盤は再液状化に対する抵抗が増す」という通説がある。だから大きな地震で「液状化」があつた場所では、それより小さな地震ならば「液状化」は起こらないのではないか？という考えだ。

それらに対して、安田氏はきっぱりと否定された。まず間違いない、一度「液状化」が起こつた場所は、再び液状化する危険性が非常に高いということだ。

過去の震災データをはじめとしたさまざまな予測法で、液状化する可能性のある地域は全国各地に拡がってい

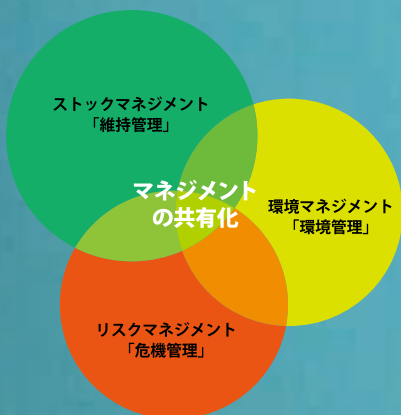
正を待つてじつくり…」という安田氏の話しもあった。

一方で、どのような減災対策をするべきか？の検証も急がなくてはならない。例えばマンホールの「浮上」では、いくつかの対策について有効性があつたという。もし本当ならば、震源地から離れた首都圏における「大地震の長期振動」には効果があつたわけである。「それが来るべき直下型の大地震に有効か否かはわかりません」という同氏の意見も印象的だ。

「維持管理」にいつその減災対策を

被災地の復旧に、「液状化」を含めたさまざまな減災対策が欠かせないことはもちろんである。一方で、今回被災しなかった地域でも、さまざまな土木構造物の「維持管理」に、今以上の減災対策が求められていくのではないだろうか？

「維持管理」にかかるコストだけでなく、危機管理や環境管理にかかるコストも考えて、減災対策を考えていく。リスクマネジメント（危機管理）と環境マネジメントも加えた、三位一体の姿勢がストックマネジメント（維持管理）にも必要となつている。マネジメントもコラボの時代といえるだろう。



「石炭火力からの副産物の有効利用、「液状化」にも効果あり」

災害に強く、 環境にやさしい 新材料

石炭火力発電では、石炭灰や脱硫石膏などの副産物が大量に排出される。佐藤教授は地盤工学の専門家として、産学が一体となったプロジェクトを指導し、産業廃棄物である石炭灰を有効利用して、災害に強く、環境にやさしい地盤材料を研究開発している。さらには脱硫石膏から作られた石膏ボードの廃材を無害・安定化し、「液状化」にも有効な地盤改良材を開発中だ。



佐藤 研一教授

(さとう けんいち)
福岡大学工学部 社会デザイン工学科

1962年福岡県生まれ。山口大学土木工学科卒。九州大学大学院工学研究科水土木工学博士前期課程修了。株フジタ入社。94年に茨城大学助手。99年に福岡大学の助手。02年に英国・スコットランド・ダンディー大学客員教授。06年から現職。研究分野は「地盤工学」「道路・舗装工学」「地盤環境工学」。佐藤教授が主宰する「道路土質研究室」のWebサイトアドレス
<http://www.wtec2.tl.fukuoka-u.ac.jp/~tc/douro/doshitsu/index.htm>

原発事故で 火力発電所がフル稼働中

福島第一原子力発電所の事故を受けて、全国の火力発電所がフル稼働、再稼働し始めている。火力発電に使われている化石燃料は石炭、石油、天然ガスである。石炭は埋蔵量が最も多く、比較的安価であり、今のペースで一番長く使い続けることができる。日本の火力発電所は、排煙脱硫装置を設置し、世界で一番きれいな排煙を行っている。そのため、「脱硫石膏」が排出される。大量の廃棄物も出る。そのトップが全体の約3分の2を占める「石炭灰」だ。国内全体の排出量は、年間約1200万トン（2007年実績）近くになる。

土木工学や地盤工学の見地から、その有効利用の研究に着手しているのが佐藤教授だ。1990年半ばから、日本全国でさまざまな新技術が考案され、新しい地盤材料が開発されている。現在はこのような技術を取りまとめ、土木事業に安全にかつ積極的に利用してもらえよう「港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン」（財）石炭エネルギーセンター監修・平成23年発刊予定）を作成中だ。そのワーキングの委員長として活躍されている。

災害に強く、環境にやさしい 理想の埋立地

日本各地で行われている石炭灰の有効利用に関する研究の成果は、技術開発したメーカーやゼネコンで複数の商品化がなされ、すでに世に送り出されている。例えば、「石炭灰」と、水、セメントなどを

一定比率で混合し、10mm程度の粒子に成形した「海砂の代替材」は護岸工事などに利用されている。海砂の枯渇に歯止めをかけ、地盤改良工事費の低減も図ることができる。液状化対策の切り札である「サンドコンパクション・パイル工法」にも使える。活性炭と同様の海域の汚れを吸着する効果もあり、赤潮の原因となる窒素やリンも吸着する。リサイクル、災害リスクの軽減、環境保全と、一粒で三度もおいしい新材料だ。また、「石炭灰」にセメントを混合した軟弱土の「固化処理材」も公共工事で有効性が評価され、広く利用されている。これも低コストで土壌改良ができ、「液状化」などの災害リスクを減らすことができる。「養生」期間の短縮など、施工性も飛躍的に向上するという。このほか海洋生物にやさしいテトラブロックなどにも研究は応用されている。

「脱硫石膏」から作られた 「石膏ボード」をリサイクル

同じく石炭火力発電所から排出される「脱硫石膏」も研究対象だ。石炭の燃焼時に発生する硫酸酸化物(SOx)を取り除く際、大量に生成される。その量は国内全体で約200万トン(2007年実績)近くもあり、セメントや建材の「石膏ボード」として再利用され、高度経済成長時の建設ラッシュを支えてきた。

30年以上が経ち、当時プレハブの戸建住宅などに使われていた「石膏ボード」が、建て替え時期を迎え、その量は年々増え続けている。産業廃棄物として安定型処分場に捨てられていたが、廃石膏ボードが原因と見られる硫化水素の発生が社会問題となり、

【石炭灰】石炭火力発電所で、燃焼時に生成される灰。排出される場所によりフライアッシュやクリンカアッシュなどと呼ばれる。

【脱硫石膏】排煙脱硫石膏ともいう。石炭火力発電所などに設置された排煙脱硫装置で硫酸酸化物(SOx)を回収し、石膏化したもの。

【石膏ボード】プラスチックともいう。石膏を主成分とした材料を板状にして、特殊な板紙で包んだ建築材料。安価だが非常に丈夫であり、断熱、遮音性が高い。壁や天井を造る際には広く使われ、用途に合わせた種類がある。

「サンドコンパクション・パイル工法」

SCP工法(エスシーピーこうほう)ともいう。強固に締固めた砂杭を地中に造成し、地盤を改良する工法。東京ディズニーリゾートの建物の下や羽田空港の第四滑走路が利用した工法で、「液状化」が起きなかったため脚光をあびた。

【養生】コンクリートの硬化作用を十分に発揮させるため、適当な温度と湿度を確保し、外力が加わらないように保護しておくこと。

Topics 研究の最前線



〈右上〉回収された廃石膏ボード 〈右下〉紙と分離された廃石膏を焼成処理し、再生半水石膏を製造する機械 〈左上〉焼成処理された再生半水石膏 (写真提供 佐藤研一)

2006年には環境省が管理処分するよう通達を出している。同氏は深刻化する現状を受けて、石炭火力発電から排出される「脱硫石膏」だけでなく、その二次製品である「石膏ボード」の廃棄物、すなわち「廃石膏ボード」の有効利用も意欲的に研究中だ。「廃石膏ボード」を紙と石膏に分離し、石膏を160度程度の温度で焼成し、安定的に品質の良い「再生半水石膏」を製造する技術を開発した。この再生半水石膏は、中性

かつ地盤材料中の水を吸収し固化する特徴を有している。現在は、効率よく地盤改良を行える最適な混合方法や長期的にも十分な強度や安全面を持続できる技術を検討し、実験室レベルではほぼ成功している。さらに「再生半水石膏」にセメント等を加え、適用範囲に応じた「地盤改良材」や液状化対策の材料として使用ができるのではないかと、といった研究も急ピッチで進められている。

夢の新材料が抱える 商品化という高い壁

いいことづくめの新材料であれば、いままぐにでも使いたい！買いたい！売りたい！と思われるかもしれない。しかしながらすべての実験が上手くいき、商品化にこぎつけても、将来はバラ色ではないという。そこに大きく立ちちはだかるのがコストの問題だ。使い道がなかった廃材の「廃石膏ボード」や、やっかいものの「石炭灰」が原料とはいえ、加工や運搬にはコストがかかる。山を切り崩したり、海底を掘り下げたりして採取した山砂や海砂よりも、やはり値段は高くなる。

もちろん普通の砂よりも、付加価値は格段に高い。廃棄物のリサイクル品であり、液状化対策にもなり、山や海の景観も損なわない。そうした震災リスクの軽減や、環境への貢献度も含めたコストの査定はできないものだろうか？

多少値段は高くとも、安心・安全な未来への担保として使用を義務付けるといった、国の方針や社会の姿勢が望まれている。

本誌『技術広報誌 G&U』について

本誌は、当センターの重要な活動のひとつである「広報活動」の一環として発行しています。マンホールだけではなく、下水道やライフライン全般についての理解を深めていただくことを目的としています。ライフラインに関わる新技術や社会問題などを広範囲に、多角的に取り上げ、専門家の考え方や意見などをやさしく、読みやすく編集することを心がけています。

例 G&U技術研究センターについて

G&Uとは、Ground & Underground の頭文字をとったもので、地上空間におけるマンホールふたとその周辺道路、及び地下空間におけるマンホール本体と周辺管路を意味しています。当センターはそれらを主な対象領域として、「高度な安全環境の創出」活動を行っています。

当センターは、ISO/IEC17025認定試験所(JNLA)の資格を取得しています。



都市の安全と安心を科学する技術広報誌

G&U

Ground and Underground

2011.vol.05 2011年7月発行

発行所／株式会社G&U技術研究センター

〒350-0164

埼玉県比企郡川島町大字吹塚732-157

TEL:049-299-1028 FAX:049-299-1026

URL: <http://www.gucenter.co.jp/>

監 修／中川 幸男

〈協力〉

東京電機大学 理工学部 安田 進 教授

福岡大学 工学部 佐藤 研一 教授

防災科学技術研究所 K-NET(強震データ)

千葉県 大貫秀樹 様(浦安地区の写真提供)

※本誌に写真や資料を提供していただいた方々や団体につきましては、ページ内での表記は敬称略とさせていただきます。

改めて謝意を表し、厚くお礼を申し上げます。

©2011 G&U技術研究センター ●本誌記載事項の無断複製・転載を禁じます。

技術広報誌『G&U』バックナンバー



G&U 第4号(2010.vol.04)

「安全性能の第三者評価について考える」

近年発生した耐火材の偽装事件などは、性能評価の問題点を暴露する大きな事件であったが、その背景には、意図的な不正行為を行う企業があるだけでなく、性能評価の制度上の不備があったともいえる。これらを教訓に、安全性を評価する仕組みはいかにあるべきか、性能検証を行う試験機関はいかにあるべきか、第三者評価について考える。



G&U 第3号(2008.vol.03)

「長寿命化～次世代につなぐ安全」

「長寿命化」を取り上げて、社会生活の基盤を支える都市、道路、下水管路、マンホールふたの視点から、「寿命」という不確定要素が多く介在する現象を、それぞれの現状や取り組み、今後の技術的な課題や展望等を考察する。



G&U 第2号(2006.vol.02)

「なぜ、すべるのか？道路環境の安全を考える」

二輪車のスリップ事故や、歩行者の転倒事故など、クローズアップされる道路の「すべり」。その原因とメカニズムを探り、すべてに関係するそれぞれの現場で分析を行って、これからの道路環境の安全を考える。



G&U 創刊号(2006.vol.01)

「性能規定化の動向とマンホールのふた」

より高度な「安全」を求める市民の要望が高まるなか、あらゆる分野で性能規定化への動きが加速し、さまざまな取り組みが行われている。改めて『市民の安全』の視点から、あるべき姿の性能規定を探る。

〔出版物〕



マンホールの博物誌

水と道路と人々の交差点

マンホールふたの歴史、過去、現在、そしてこれからの問題・課題。その変遷をたどるとともに、さらに進化を続ける次世代技術の胎動を分かりやすく紹介する。

ダイヤモンド社(税込 2,940 円)

G&U NEWS 「G&U技術研究センター」

見学会を開催しています。

開設から6年を迎えた「G&U技術研究センター」の訪問者は5000人を超えました。開設当初から毎月1～2回開催している「定例見学会」と「臨時見学会」を合わせると、300 以上も回を重ねたことになります。

見学者の方々も「管きょ」の専門家から、近隣の生活者の方々までさまざまです。「頭で理解していた現象を実際に見ることができ、有意義だった」という感想や、「小学生や中高校生にも見学させてほしい」という意見、地元住民の方からの「世界的に活躍できる施設になってほしい」という激励などもあります。



2011 年 4 月から、毎月 2 回の「定例見学会」を開催しています！

震災の影響や臨時見学会がある場合はその限りではありません。

詳しい内容やお申込みの方法などは、当社ホームページに掲載しています。

<http://www.gucenter.co.jp/inspection/kengaku.html>

information

下水道界最大の「下水道研究発表会」で発表！

第 48 回「下水道研究発表会」に、当センターも参加し、研究員が発表。発表会でのテーマは「マンホールふたの枠形状と施工方法に着目した周辺舗装の破損調査事例」です。

興味がある方は、当センターにお尋ね下さい。

「管きょ更生工法」の試験をはじめ、
以下のようなプラスチック管材の試験も実施しています！

●プラスチック材の機械・物理試験

●プラスチック材の耐候性試験

●管材の性能試験

当センターでは ISO/IEC17025 試験所認定を受け、検査・評価の業務拡大に努めております。詳しくはお問い合わせください。