

# 利根川下流地域を中心とする地盤液状化 リスク評価研究の紹介

内田利弘<sup>1)</sup>・神宮司元治<sup>2)</sup>・横田俊之<sup>2)</sup>・水野清秀<sup>3)</sup>・小松原純子<sup>3)</sup>  
松岡昌志<sup>4)</sup>・中島善人<sup>2)</sup>・上田 匠<sup>2)</sup>・光畑裕司<sup>2)</sup>

## 1. 全体概要

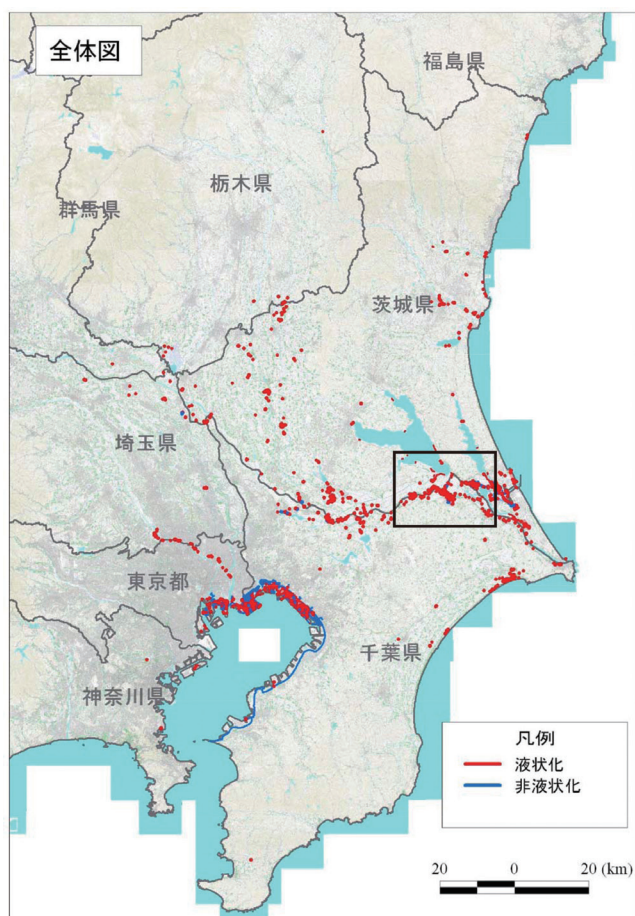
2011年3月の東北地方太平洋沖地震により各地で大規模な地盤液状化が発生した。関東地方では、東京湾の沿岸地域や河川に沿った地域などを中心に、96市町村で液状化被害が報告されている（第1図；国土交通省関東地方整備局・地盤工学会，2011）。その多くは沼地や旧河道、

沿岸部などを埋め立てた人工地盤で起こっている（第2図）。しかし過去の地震で発生した液状化地点と必ずしも同じではなく、あるいは規模が異なっていることがあり、地震動の大きさや継続時間などによって、液状化の発生状況は変わると考えられる。そのような地震動の伝わり方を理解するには、液状化した地点あるいは液状化した人工地盤だけを調べるのではなく、低地に広く分布する軟弱地盤といわれる沖積層などの正確な分布や地下構造を明らかにする必要がある。

また、液状化被害のあった地区を詳しく見ると、同様の地層が分布すると推定される地区内でも被害の程度は様々である。液状化は砂を主体とする軟らかい地層で、かつ、地下水位の浅い場所で発生することが多い。これまで、数量的に限られたボーリング調査情報などに基づいて液状化の危険度マップが作成されているが、複雑な液状化の発生状況を理解するには、個々の地点において浅部の砂層や不透水層の詳細な分布とその3次元的な形状を把握しなければならない。

産業技術総合研究所（産総研）では、2011（平成23）年度補正予算による「巨大地震・津波災害に伴う複合地質リスク評価」の研究を開始した。その中のテーマの1つとして、「地盤液状化リスク調査」がある。液状化テーマは地圏資源環境研究部門物理探査研究グループ、地質情報研究部門平野地質研究グループ、地質調査情報センターが分担して実施している。また、千葉県環境研究センターと共同研究を行っている。

本研究では、利根川下流地域（茨城県潮来市、千葉県香取市など）の液状化被災地域をテストフィールドとすることにした。地質調査研究として、既存のボーリング調査の情報収集と、独自のボーリング掘削調査を行い、液状化地域を含む範囲の3次元地層モデルの作成と堆積環境、地質特性の解明を行う。また、物理探査研究として、弾性波探査、



第1図 関東地方の液状化発生地点分布（国土交通省関東地方整備局・地盤工学会，2011）と本研究における利根川下流地域の現地調査範囲（矩形エリア）。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門（現イノベーション推進本部）  
2) 産総研 地圏資源環境研究部門  
3) 産総研 地質情報研究部門  
4) 産総研 地質調査情報センター

キーワード：液状化、危険度、リスク、ボーリング調査、物理探査、CPT、利根川下流域



第2図 千葉県香取市において液状化によって水路側に張り出した道路（左）と、沈下した水田（右）。

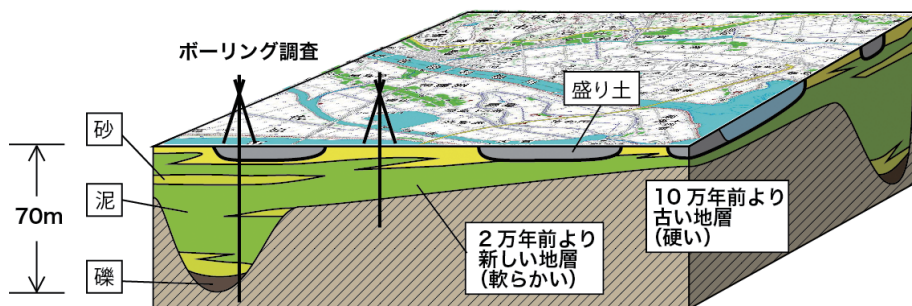
電気探査、地中レーダ等を適用して沖積層や埋立地の地下構造、道路面下の被害状況を調べる。その後、コーン貫入試験（CPT: cone penetration test）を行って、液状化層や地下水位の分布、貫入抵抗等の力学的性質のデータを取得する。これらのボーリング調査結果と物理探査データを総合的に解釈することにより、テストフィールドにおいて液状化を起こしやすい地層の分布を詳細に把握し、調査地域の液状化危険度（リスク）マップを作成する。さらに、液状化発生の危険度を求めるため、地形・地盤分類図を基に震度に応じた液状化発生確率をあらかじめ求めておき、大地震発生時の震度予測データと合わせた解析により、全国を対象に液状化危険度を即時に推定するシステムの開発を行う。

## 2. 地質調査

地質調査研究では、まず既存のボーリング調査資料を収集し、それらを解析して、3次元地下地質特性分布図を作成する。国や地方自治体等が所有している地質柱状図、物

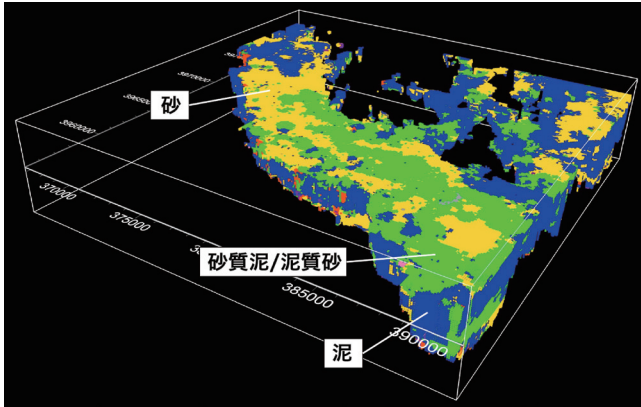
理検層、標準貫入試験結果などを含むボーリングデータを収集し、XML形式による電子化を行ってデータベースとして利用できる形に整理する。資料を収集する範囲は、茨城県潮来市、稲敷市から千葉県香取市、神崎町に及ぶ利根川流域の低地を中心に設定した（第1図）。

既存ボーリングの調査地点は偏在していることが多く、あるいは必要な深度に達していない場合も多い。そのため、データが欠如している区域でのボーリング掘削や沖積層底部まで達する深い掘削を行う。利根川下流域には最終氷期（約2万年前）に刻まれた深さ50m以上の谷があり、その中を新しい軟らかい地層（沖積層）が埋めている。軟らかい沖積層は地震動を増幅させるため、地表の液状化被害分布にも影響を与えられられる。この影響を見積もるため、深さ50～60m程度のオールコアボーリング調査を4～5地点で行い、物理検層を実施し、地質試料を採取する。また、表層付近の地盤（人工地盤を含む）について深度10～20m程度のボーリングを10箇所程度で実施する。採取した地質試料については、液状化しやすい地層の堆積年代や堆積環境を把握するため、粒度分析、ラ



第3図 ボーリング調査の概念図。





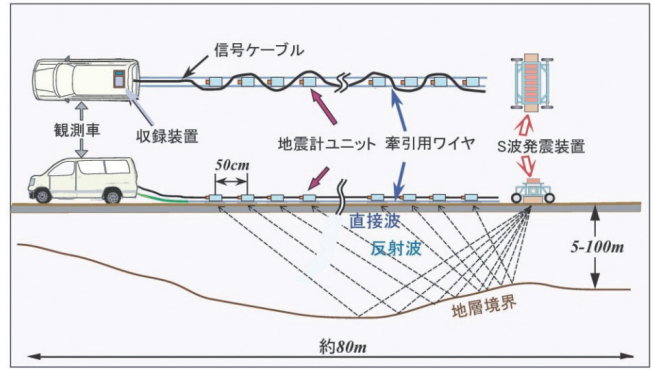
第4図 ボーリング調査データをコンパイルして作成した浅層3次元地層モデルの例。

ミナ構造分析，年代測定，化学分析，含水率計測などを行う。また，X線CT計測を行い，液状化を起こした地層の微細構造を求める。これらの新規取得データは上記データベースに追加し，最終的な成果品として液状化の起こりやすさを表現した地図を試作する（第3図，第4図）。

### 3. 物理探査

液状化現象は，地下に間隙水で飽和した砂層が存在し，地震動によって砂粒子間の接触が緩んで摩擦力がなくなり，砂粒子が間隙水に浮いたような流動状態になることによって発生するとされている。砂層の厚さと砂粒子径，地下水位，および，砂層の上位の不透水性地層の厚さが，液状化の発生リスクを左右する要因である。粒子サイズの比較的揃った砂が緩く堆積した地層があり，地下水位が浅く砂層が水で飽和している場所に，地震によって強い震動がかかると，液状化を起こす危険性は高くなる。さらに，沖積層の3次元形状によってはより強い震動が発生する可能性があり，液状化も発生しやすくなる。

物理探査研究では，液状化被害地域およびその周辺を対象に浅部の地下構造を求めるため，弾性波探査および電気・電磁探査を実施する。液状化を起こす地下20mまでの浅部の地層構造を調べるとともに，地表の地震動に強く関係する沖積層の堆積状況を求めることを目標とする。また，併せて液状化による路面下の空洞の発生状況や地盤の損傷を調べるため，道路沿いに地中レーダ調査を行う。続いて，CPT調査を多数の地点で実施して，深さ20m程度までの地盤の貫入強度，周面摩擦力，間隙水圧などのデータを取得し，液状化を起こす可能性を評価する。



第5図 ランドストリーマー探査の概念図。

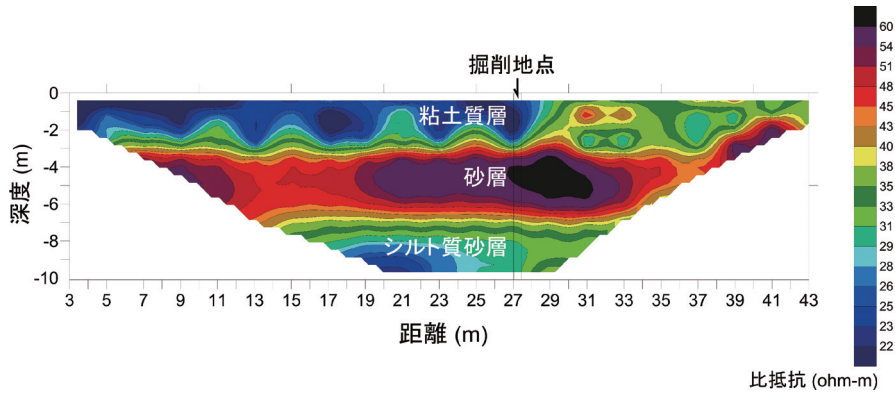
現在，一般的に，液状化危険度の指標として液状化抵抗（FL値）や，その深度積分値から求められる液状化指数（PL値）が使われている。FL値の算出には，地盤のN値，細粒分含有率，地下水位，地震による地表面加速度等の情報が必要である。そのためにボーリング掘削を行ってN値計測や土質分析が行われている。今回の研究では，ボーリング調査の代わりにCPTを適用してFL値に相当する指標を求める。

#### 3.1 地表からの物理探査

沖積層や浅部埋め立て土の地下構造を調べるため，地表からの物理探査として，弾性波探査および電気探査を実施する。

弾性波探査には，舗装路上での測定を想定し，多数の地震計を一体化して容易に牽引・移動ができるようにした測定ツールであるランドストリーマーを用いる（第5図）。また，S波振源を用いることにより，浅部の地層構造を詳細に求めることを目指す。探査深度は約100mであり，沖積層の基底分布が把握できるような仕様とする。

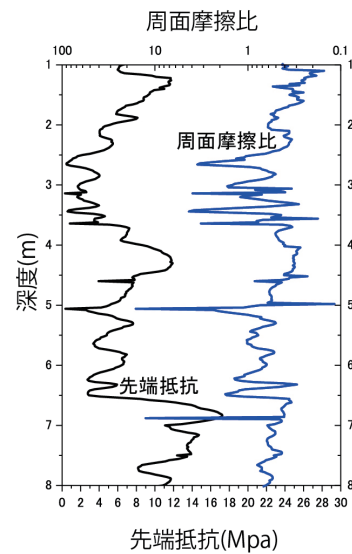
電気探査は，間隔50cmあるいは1mで連続して電極を配置し，深度20m程度までの比抵抗構造を求める。砂やシルト，粘土といった土質によって比抵抗値は異なる。また，間隙率や飽和度によっても比抵抗が変化する。飽和地盤で間隙水の比抵抗が一般的な値の場合，砂層，シルト層，粘土層の順に比抵抗は小さくなる。河川敷における探査結果例を第6図に示す。ここでは浅いボーリングが掘削されており，地表から粘土質層，砂層，シルト質砂層の順に堆積していることが確認されている。粘土質層とシルト質砂層が低比抵抗を示すのに対し，砂層は比較的高比



第6図 河川敷における電気探査の調査例。  
2次元解析による比抵抗構造モデル。砂層は高比抵抗，粘土質層とシルト質砂層は低比抵抗を示す。



第7図 液状化調査などに用いられるコーン貫入試験装置の例。



第8図 CPT調査によって測定された先端抵抗と周面摩擦比の例。  
砂層の先端抵抗は粘性土より大きい。周面摩擦比は周面摩擦力を先端抵抗で除した値であり、粘性土ほど大きくなる。

抵抗になる。本研究でも、CPT 調査による地質柱状図データ等と比較しながら、液状化の発生する可能性のある砂層や、その上位にある不透水性のシルト・粘土質層の形状を把握することを目標とする。

液状化により道路の下に空洞ができ、それが拡大すると、路面が陥没する恐れがある。道路下の空洞の存在を調べるために車両牽引型の地中レーダ装置を用い、大きい液状化被害を受けた地区を対象に調査を行う。車両牽引型地中レーダ探査は、およそ 30～40 km/時で地中レーダのアンテナを牽引しながらデータを取得することにより迅速に調査を行うことができ、路面下約 0.7m までの探査が可能である。

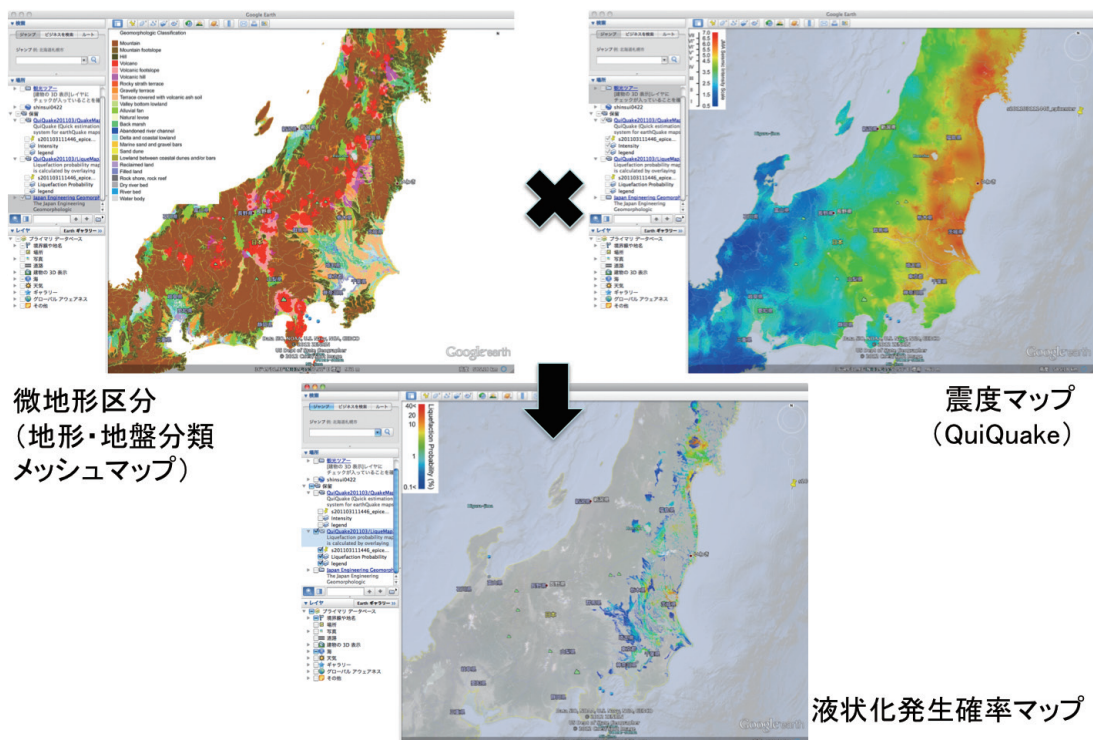
### 3. 2 コーン貫入試験 (CPT)

先端に各種センサーが付いたプローブを、静的貫入装置

を用いて地盤中に貫入させながら、地盤の貫入強度（先端抵抗）、周面摩擦力、間隙水圧などのデータを取得する（第7図、第8図）。本研究では、さらに、地層の電気伝導度、誘電率などを測定して、砂質層と粘土質層の識別や地下水位と水飽和度分布の推定を行い、液状化リスク評価の参照データとすることを検討している。

## 4. 即時液状化危険度マップ生成システムの開発

大きな地震動による液状化発生の危険度を、地震発生後に即時に推定して、危険度マップを生成するシステムの開発を行う。日本全国を対象とするため、既存の地形・地盤分類メッシュマップ（約 250 m 分解能のセル）を用いる。地形・地盤分類は、地形の起伏、構成物質、形成年代、成因を基に分けられており、各セルに1つの分類が当てはめ



第9図 即時液状化危険度マップ作成の流れ。

られる。各々の地形・地盤分類に対して、ある震度に応じた液状化の発生確率をあらかじめ付与しておく。地震が発生したときの各地の震度は地震動マップ即時推定システム (QuiQuake) (松岡・山本, 2009) を用いて予測し、各セルの震度に応じて液状化発生の危険度 (確率) を即時に算出し、危険度マップを作成する (第9図)。本研究では、このシステムの構築、旧版地形図に基づく地形・地盤分類の見直し、液状化発生確率の推定アルゴリズムの改良などを行う。

### 文献

Jinguuji, M., Toprak, S. and Kunimatsu, S. (2006) Development of vibration penetration test (VPT) and results of laboratory and field experiments. *Proceedings of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, 1c7.

神宮司元治・内田利弘 (2009) 3次元物理探査およびダイレクトプッシュ技術を用いた油汚染問題への取り組み. *地盤工学会誌*, 57, no. 7, 28-31.

国土交通省関東地方整備局・地盤工学会 (2011) 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書. 65p., [http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000043569.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043569.pdf) (2012/04/10 確認)

松岡昌志・山本直孝 (2009) 250mメッシュVs30と強震記録に基づく地震動マップの即時推定システム (QuiQuake). *地域安全学会梗概集*, no. 25, 97-98.

UCHIDA Toshihiro, JINGUJUJI Motoharu, YOKOTA Toshiyuki, MIZUNO Kiyohide, KOMATSUBARA Junko, MATSUOKA Masashi, NAKASHIMA Yoshito, UEDA Takumi and MITSUHATA Yuji (2012) Investigation of soil liquefaction risk along a downstream Tone River area.

(受付：2012年4月27日)