

独立行政法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター 第19回シンポジウム

# 社会ニーズに応える地質地盤情報

## -都市平野部の地質地盤情報をめぐる最新の動向-

平成 24 年 1 月 31 日(火)

日本大学文理学部 百周年記念館

### 主催

独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
日本大学文理学部自然科学研究所  
産業技術連携推進会議 知的基盤部会 地質地盤情報分科会  
地質地盤情報協議会  
社団法人 全国地質調査業協会連合会

## 社会ニーズに応える地質地盤情報

### —都市平野部の地質地盤情報をめぐる最新の動向—

#### 開催趣旨

人口が密集し産業活動が活発な都市平野部において、その基盤となる地質地盤情報は安全・安心な社会活動にとって必須です。本シンポジウムでは、平野部の地質地盤研究の重要性を紹介するとともに、液状化現象、地形・地質・地盤情報の統合化、ボーリングデータの整備・活用に関する最新動向を報告し、社会ニーズに応える地質地盤情報について議論します。また、地質地盤情報に関するビジネス展開のデモンストレーションも合わせて行います。

#### 開催日

平成24年1月31日（火） 13:00～17:20

#### 会場

日本大学文理学部 百周年記念館

（東京都世田谷区桜上水3-25-40 [http://www.chs.nihon-u.ac.jp/access\\_map.html](http://www.chs.nihon-u.ac.jp/access_map.html)）

#### 主催

独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
日本大学文理学部自然科学研究所  
産業技術連携推進会議 知的基盤部会 地質地盤情報分科会  
地質地盤情報協議会  
社団法人 全国地質調査業協会連合会

プログラム

第1部 (13:00-14:40)

13:00-13:15

主催者挨拶 山崎正和 (産業技術総合研究所 理事・地質分野研究統括)

13:15-14:15

記念講演 平野部の地盤研究とその課題

遠藤邦彦 (日本大学文理学部)

14:15-14:40

講演 地質地盤情報協議会の活動総括と産技連における今後の活動方針

栗本史雄 (産総研地質情報研究部門・産技連地質地盤情報分科会・地質地盤情報協議会)

————— デモンストレーション (14:40-15:10) —————

第2部 (15:10-17:10)

15:10-15:40

講演 地震時の液状化—流動化現象および地波現象とその実態

風岡 修 (千葉県環境研究センター地質環境研究室)

15:40-16:10

講演 地形・地質情報図の標準化と地盤情報との総合化

尾崎正紀 (産業技術総合研究所 地質情報研究部門)

16:10-16:40

講演 地盤情報を有効活用した高知「ユビキタス(防災立国)」実証事業

中田文雄 (全国地質調査業協会連合会 情報化委員会)

16:40-17:10

総合討論

17:10-17:20

閉会挨拶 地質地盤情報の法整備を目指して—現状と今後の展開—

佃 栄吉 (産業技術総合研究所 地質分野副研究統括)

デモンストレーション (14:40-15:10)

- 1) OYO が提供する地盤の情報提供サービス  
嶋尾敏郎 (応用地質株式会社 データベース事業部)
- 2) 住環境の地質・地盤情報と携帯ジオ情報  
榎本義一 (株式会社ジオネット・オンライン)
- 3) 地質データ活用ソフトウェア GEORAMA とクラウド環境の取り組み  
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 科学システム事業部 社会基盤営業部
- 4) 三次元統合システムによるボーリングデータの公開と地下地質情報の統合化  
木村克己 (産業技術総合研究所)・根本達也 (大阪市立大学)  
大井昌弘 (防災科学技術研究所)・花島裕樹 (筑波大学)
- 5) 地盤情報の活用—地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発への適用—  
竹村貴人 (日本大学文理学部)・小松登志子 (埼玉大学)・濱本昌一郎 (埼玉大学)  
大西純一 (埼玉大学)・斎藤広隆 (東京農工大学)・船引彩子 (日本大学文理学部)
- 6) G-Space I を利用したビジネス展開の事例  
平野あや (アサヒ地水探査株式会社)

目 次

平野部の地盤研究とその課題	1
地質地盤情報協議会の活動総括と産技連における今後の活動方針	9
地震時の液状化—流動化現象および地波現象とその実態	12
地形・地質情報図の標準化と地盤情報との総合化	30
地盤情報を有効活用した高知「ユビキタス(防災立国)」実証事業	40
OYO が提供する地盤の情報提供サービス	52
住環境の地質・地盤情報と携帯ジオ情報	54
地質データ活用ソフトウェア GEORAMA とクラウド環境の取り組み	56
三次元統合システムによるボーリングデータの公開と地下地質情報の統合化	58
地盤情報の活用—地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発への適用—	60
G-Space I を利用したビジネス展開の事例	62

## 平野部の地盤研究とその課題

遠藤 邦彦 (日本大学文理学部)

### 1. 沖積層研究 43 年間の歩みから

南関東の隆起地域では沖積層が露頭で観察できる。私たちの沖積層研究は、相模湾北岸の大磯―二宮海岸や房総半島南部の沿岸地域などから始まった(遠藤ほか, 1978 など)。露頭で沖積層を観察できるメリットは大きい。しかし過去 6000 年間に 10m~25m も隆起した地域の沖積層は軟弱地盤とは極めて異なる。沖積層の形成過程を探るには関東平野中央部が欠かせない。また沖積層を上流側に追いかけることも必要である。こうして関東平野全域におけるボーリング資料集めが始まった。一方、当時探せばオールコアもかなり保存さ

れており、コア試料のチェックも合わせて重点的に行った。ボーリング資料の収集は沖積層の分布する自治体はくまなく回って行った。こうして関東平野全域から得たボーリング資料に基づいて、沖積層基底面図が作成され、さらに沖積層層序が検討された。

オールコアボーリングを含むコア試料のチェックは、 $^{14}\text{C}$  年代やテフラによる層序の確認と、珪藻、有孔虫、貝類、花粉分析などに基づく古環境の解析や海水準変動の復元を可能にした(遠藤ほか, 1983, 1992 など)。

このようにこの研究の特徴は、沖積層を上流から下流に追いかけたこと、沖積層の層序を  $^{14}\text{C}$  年代・テフラや古環境分析に基づいて検討し、その結果に基づいてボーリング資料の解析を進めたことにある。ここではその概要を紹介し、残された課題に触れたい。

なお、ボーリング資料の解析については、鈴木正章、高野 司、平井幸弘、石綿しげ子、ほか各氏、コア試料の分析では、関本勝久、小杉正人、吉川昌伸、鈴木 茂、鈴木正章、菱田 量、村田泰輔各氏など、多くの協力者の力によるところが大きい。

### 2. 沖積層層序の概要：2 段重ねの構造

図 1 の沖積層の器(沖積層基底面図)を、七号地層と有楽町層の二つの地層単位が 2 段重ねをなして埋めている。合わせて沖積層とよび、埋没谷の基底には沖積層基底礫層 (BG) が存在する。BG の厚さは 4~8m 前後であり、東京低地では-60~-70m (標高表示, 以下同じ) にあり、東京湾の中央部では-80mにおよぶ。BG の識別は容易であるが、一部では下総層群中の東京礫層や埋没段丘礫層と類似の高度に現れることがあるので注意が必要である。

この埋没谷の基底が-70~-80mの深さの浦賀水道につながる大河川ではないか

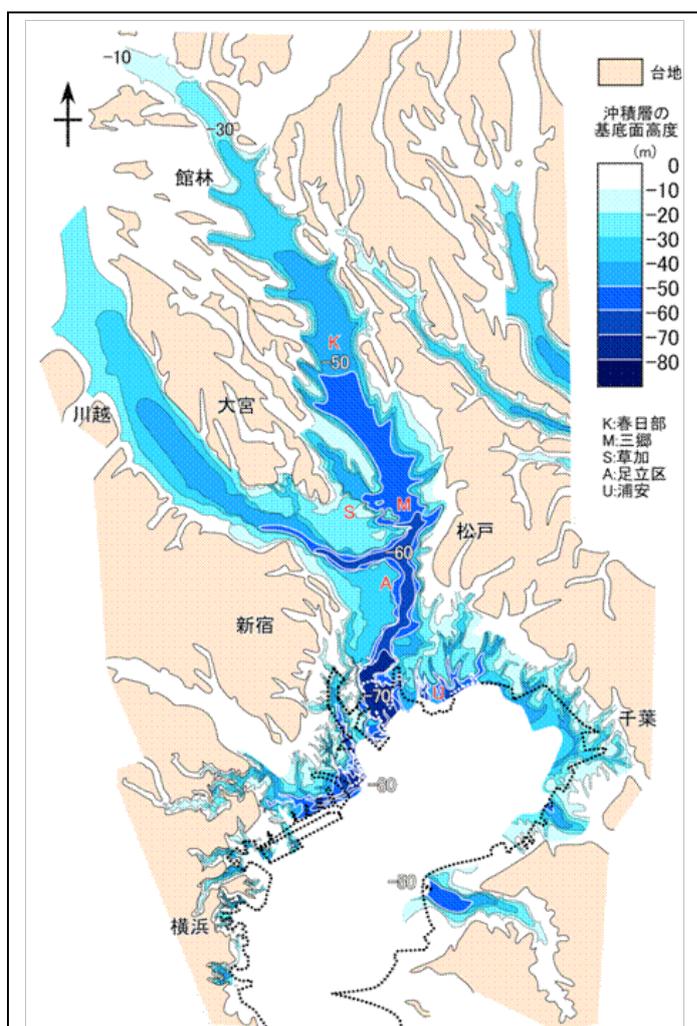


図 1 中川低地, 荒川低地の沖積層基底面図 (遠藤ほか, 1988 に基づく)

という考えが古くからあったことは、すでに杉村新氏によって古“坂東太郎”(暴れ川としての利根川の異名)の名前が与えられていた(杉村, 1973)ことから分かるが、その後浦賀水道より礫層が発見され、この谷は古東京川と命名された(中条, 1962)。周囲の台地から100mから140mも切り込んだ深い峡谷をなす大河川が存在したことになる。

図2に中川低地下流部を代表する様々な分析がなされたボーリング柱状図を、図3に埼玉県南部、川口-草加-三郷-流山を結ぶ側線における沖積層柱状図を示す。草加-三郷断面(図3)はボーリングコア試料が分析・測定された13本のボーリングおよび露頭(AK, NZ)に基づく。特にMS-3(三郷市花和田)はオールコアを詳細に古環境解析し、多数の年代測定を行ったもので、この中の基準とされた(図2)。図3に基づいて作成された沖積層横断面図を図4に示す。また、横断面図を下流側から中流部にかけて多数作成し(図5)、それらを縦断方向にまとめたのが中川低地沖積層縦断面図(図6)である。

有楽町層と七号地層の境界は-35~-50m付近にある。中川低地ではこの境界に礫混じり砂層がしばしば認められ、有楽町層の基底を示すものとしてHBGの名

前が与えられた(遠藤ほか, 1983など)。東京低地においては礫が混じることはまれで、通常は中~粗粒砂層となっており、その識別は難しい場合がある。木村(2006)が指摘するように、この境界面で大きな侵食が生ずるような不整合ではなく、時間間隙も大きくない、シーケンス層序から見るとラビンメント面の性格が強いものと考えられる。

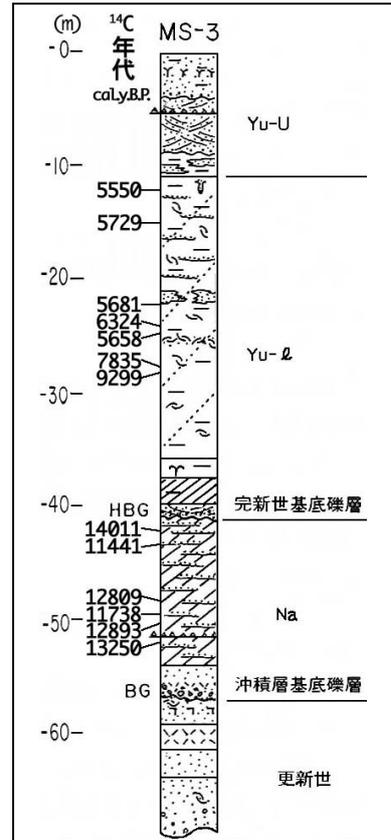
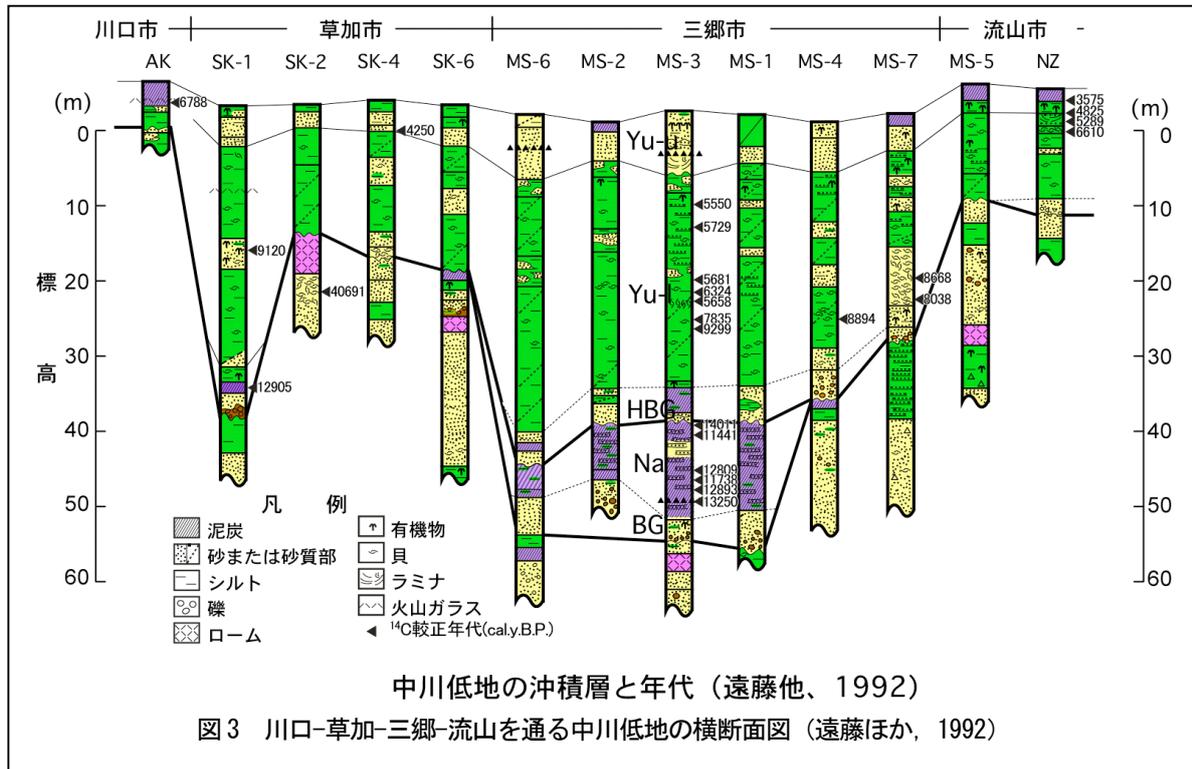


図2 三郷市MS-3 コア 柱状図 (遠藤ほか, 1992 に年代値を修正)



中川低地の沖積層と年代 (遠藤他, 1992)

図3 川口-草加-三郷-流山を通る中川低地の横断面図 (遠藤ほか, 1992)

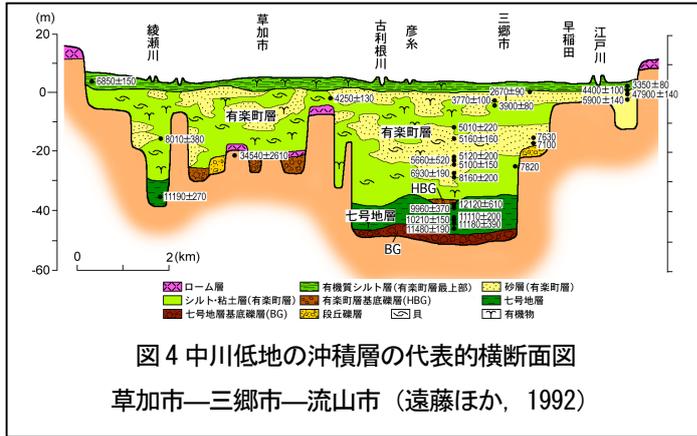


図4 中川低地の沖積層の代表的横断面図  
草加市—三郷市—流山市 (遠藤ほか, 1992)

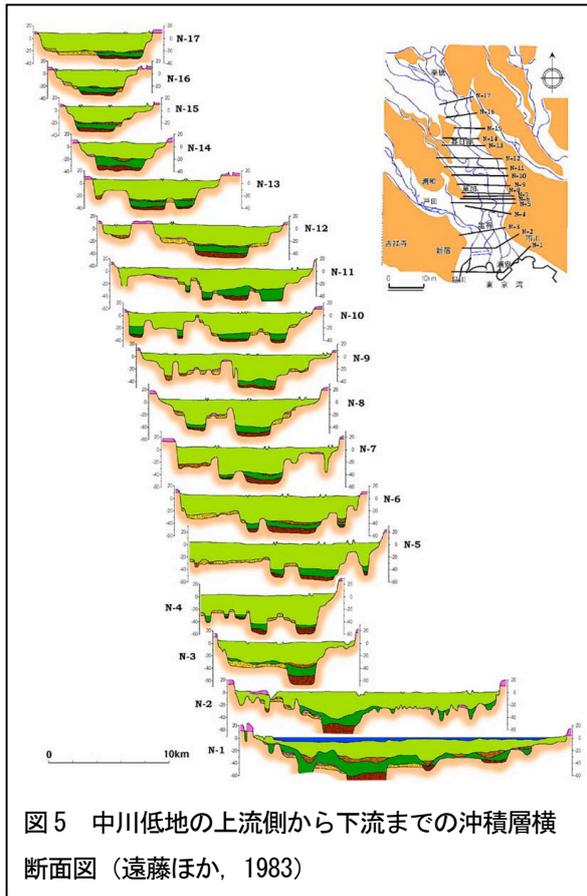


図5 中川低地のの上流側から下流までの沖積層横断面図 (遠藤ほか, 1983)

七号地層の分布上の特徴は、一般に埋没谷の中に存在することで、河口付近に堆積した砂泥互層を特徴とし、ほぼ淡水、一部汽水の環境を示す。埋没谷が浅い場合には(30-40m程度)極めて薄いか、礫層のみとなる場合もある。また埋没段丘面上では欠如していることが多い。

有楽町層は、急速な海水準上昇のもとでの縄文海進によって生じた内湾（奥東京湾とよぶ）に急速に堆積した、軟弱な海成泥層を主

体とし砂層を交える。この過程については3, 4項で述べる。

### 3. カキ礁と縄文海進、および関東平野の海水準変動の復元—旧海水準指標として—

東京湾の北部沿岸、江戸川河口部周辺、三番瀬とよばれる沿岸部にはカキ礁が発達する(写真1)。満潮時には水面下に没するが、大潮の干潮時には全面的に露出し、

マガキのリレー戦略をこの目にする事ができる。

東京湾の沿岸部のボーリング調査では、およそ11000-10000年前頃、-37~50m前後でマガキの殻が密集して見いだされることが少なくない。カキ殻だけがギッシリコアに詰まっていたり、しばしば掘削や試錐調査の障害になる。例えば、羽田空港付近ではマガキの密集部は15本のコアから-37~-43mに集中して見いだされた。年代は主に cal. 10084~cal. 10656であった。その産状から水平的に100~300mほどの広がりをもつカキ礁が複数広がっていたと考えられる(関本ほか, 2008)。一方浦安では、-43m~-50mにマガキ密集層が現れ、cal. 10453~cal. 10905の年代を示した。羽田よりやや深いのは厚密沈下の影響がある可能性がある。

これらの事実は、完新世初頭に、上昇してきた海が丁度現在の海岸線付近の-45m前後に到達したことを意味している。マガキは潮間帯下部から潮下帯にかけて、淡水の供給される河口部などの汽水的で水のきれいな所に生息する(鎮西, 1982)。したがっ

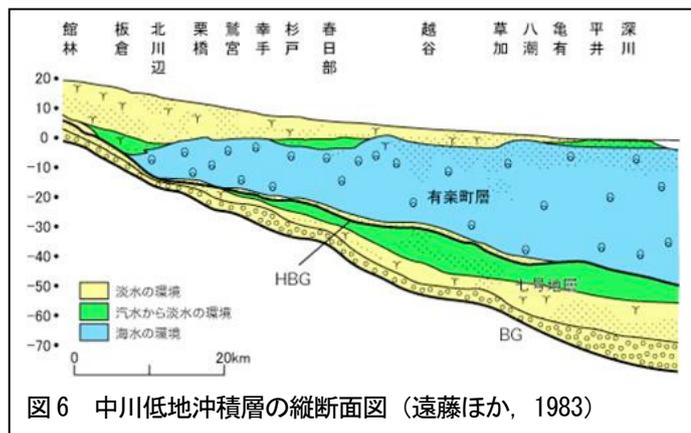


図6 中川低地沖積層の縦断面図 (遠藤ほか, 1983)



写真1 三番瀬のカキ礁

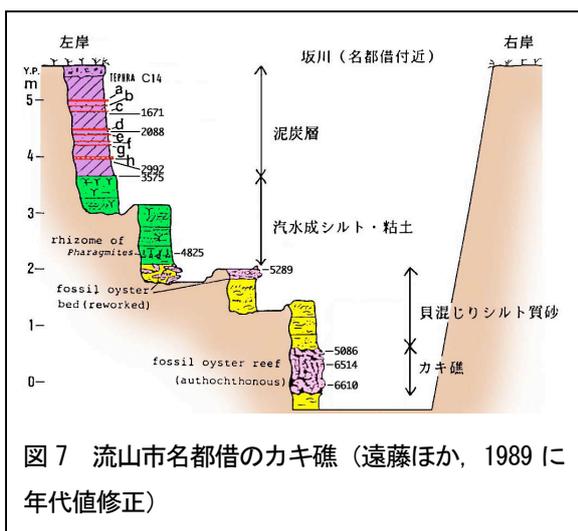


図7 流山市名都借のカキ礁 (遠藤ほか, 1989 に年代値修正)

て、当時のカキ礁の形成は完新世における海の陸地への侵入の開始を意味する良い指標である。同時にその地域の海水準を示す優れた指標といえる。

この時、羽田を例にとると、約600年間マガキが-43mから-37mまでカキ礁を形成し続けたと仮定すると、その間常に潮間帯が維持される必要があるので、カキ礁は年に1cm成長を続けた計算になる。鎮西(1982)によると、カキはきれいな水のもとで、貝が埋没しないようリレー戦略をとって殻の上に次世代の殻を次々と成長させる。カキ礁の成長は年に1cmが限界であるという。上記の数字は言い換えると、海水準の上昇が年に1cmの割で継続したことを意味する。これは極めて急速な値で、海面の急上昇に追いつくためマガキも極めて急速な成長を続けたことになる。-37mより浅くなるとカキ礁は見られなくなるのは、海水準の上昇がさらに加速してカキの成長が追いつけなくなったためかもしれない。この時期にこのような急速な海水準上

昇がありえたかは後に確認しよう。

いずれにしてもその後、海面は急激な上昇を続け、関東平野の内部に浸入して縄文海進を引き起こした。この海進は関東平野だけでなく、各地において認められる。

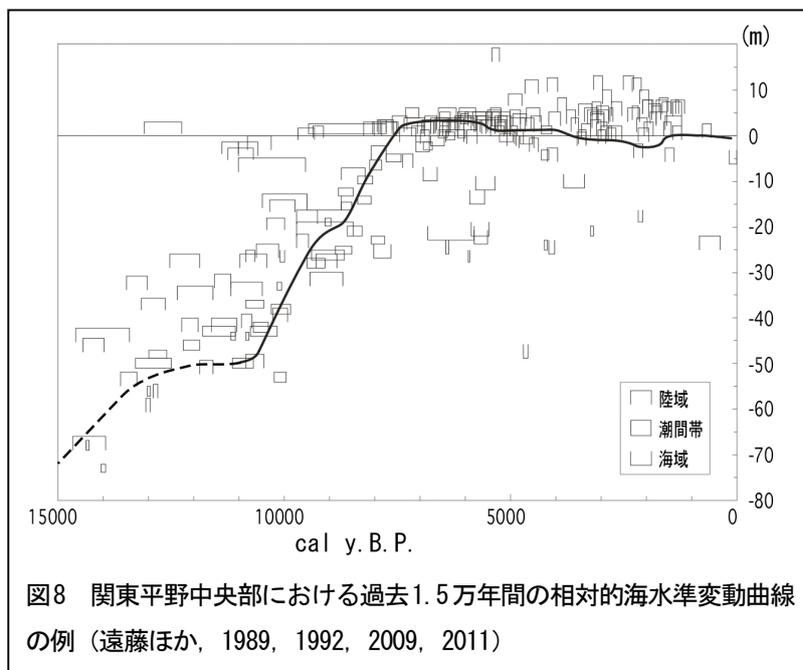
同様のカキ礁の存在が、埼玉県南部の三郷市北部でも認められる。海水準は既上昇して、海岸線は三郷付近に移っていた。ここではマガキ密集層は-33mから-26mまで7mにわたって連続して認められる(堀越ほか, 2009)。年代はcal. 8920~cal. 7738である。この間には潮間帯が連続していたことになるので、海水準の上昇速度は年0.6cmである。

こうして、急速な海水準の上昇のもとで、海岸線が湾の奥へ奥へと移動していく環境はカキ礁の発達に好適であったのであろう。また同時に、こうした急速な海面上昇は、有楽町層の主体をなす軟弱地盤を構成する粘性土の形成に大いにかかわっていると考えられる。

さらに海水準は上昇し、海岸線は古河周辺の奥東京湾の最奥部にまで達した。ここでは海水準の上昇は頭打ちとなり、河川による碎屑物の供給が勝るようになる。カキ礁の形成にとってはもはや好適とは言えない(図10)。

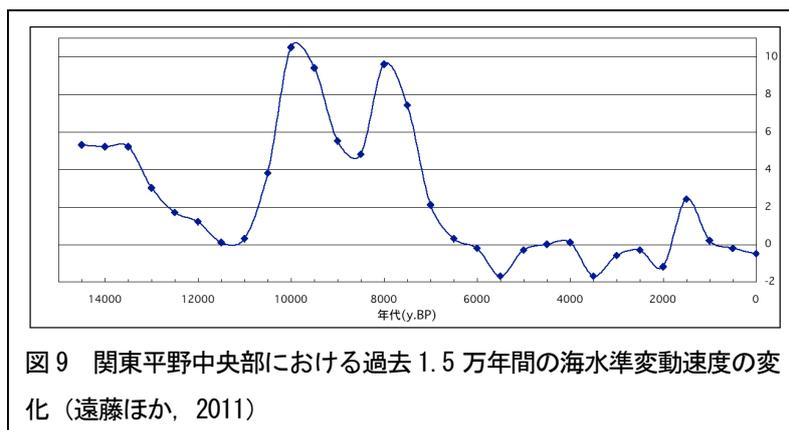
しかし、この時期にもカキ礁は発見されている(図7)。それは奥東京湾から台地内に派生する小さな支湾である。流山市の坂川河川改修工事で大規模なカキ礁が発見された(遠藤ほか, 1989)。ここではカキ礁は-0.5mから+0.5mに露出し、年代は6610~5086年前(較正後)であった。海が土砂供給の少ない小さな湾(古流山湾)に浸入し、砂州で閉塞されるまでの間はマガキの生育に好適であったのであろう。この時期のカキ礁は都内でも見いだされている。縄文海進は神田川の谷に浸入し、カキ礁を含むcal. 6000~7000年前の自然貝層を残したが、海成層の厚さは1-2mにすぎない(鈴木ほか, 1996; 2007)。

こうしたカキ礁の存在は、過去の海水準を知る上で貴重な材料である。以上に紹介したのは大規模なケースであるが、ボーリングコア1本に引っかかったマガキ密集部は川口市、草加市、足立区などにも認められ、10数点に及ぶ。私達は、これらを海水準の指標とするとともに、その間を潮間帯に生息する貝類化石の年代



を中心に用いて、比較的地盤の安定した関東平野中央部における相対的な海水準変動カーブを描いてきた (遠藤ほか, 1989; 1990; 1992; 2005; 2009)。図8には、潮間帯に棲むと限定できる貝類試料の年代が57点 (図の四角)、潮間帯から潮下帯が14点、海面より上の陸域を示す試料が159点、合計230点がプロットされている。四角は誤差を表現する。この図に基づいて、海水準上昇速度 (500年毎) の変化を求めたものが図9である。上記の羽田や浦安、及び三郷のカキ礁はいずれも海水準の最も急速な上昇期にあたっていると考えられる。

**\* 暦年較正問題** 近年、年代値を暦年で表現する手法が確立し、較正手法が確立する前に求められた膨大かつ貴重な年代資料 ( $^{14}\text{C}$  age) の扱いが課題となって



きた。本研究ではこの問題を克服するため、残余試料のある年代値33について、炭素安定同位体比を測定・補正し (conventional age), これに基づいて暦年較正年代 (cal. age) を求めた。さらにこれらに基づいて求めた  $^{14}\text{C}$  age と cal. age との関係式に基づいて、残余試料のない年代値298を暦年に補正した (遠藤, 2005)。したがって、遠藤ほか (1983, 1989, 1992, ほか) などに示された年代値とはかなり異なったものになっていることに注意されたい。

#### 4. 沖積層の形成過程

3. で述べた、羽田や浦安の現湾岸の地下におけるカキ礁の存在、奥東京湾中央部の三郷北部地下におけるカキ礁の形成を節目と考えると、縄文海進と密接に関連する奥東京湾における沖積層の発達、デルタの形成過程をとらえやすい。縄文海進によるこの関係を模式的に表したのが図11である。

11000-10000年前、東京湾岸地域に海岸線が達し、-40~-50mにカキ礁を形成、海水準は急上昇を続け、9000~8000年前には三郷の北部に達して再びカキ礁を形成した。カキ礁より外洋側には比較的深い内湾があつて、潮下帯の貝類群集や内湾停滞域群集 (松島, 2006) が生息するような泥底に粘土・シルトが堆積した。このようにして海は奥東京湾に浸入を続け、7000~6500年前には古河や佐野のあたりまで達した。6500から

6000年前には広大な干潟が形成されていたと思われる (図10)。

6000~5500年以後、奥東京湾内ではデルタの進出が始まる。4500年頃には草加市北部でカキ礁が形成されており、その頃にはデルタの前縁は三郷-東京低地北部あたりにあつたであろう (図11)。



- h. 沖積層の形成とボンド・サイクル(1000~1500年サイクルの気候変動)との関係
- i. 沖積層の工学的特性との関連
- ・圧密沈下
  - ・堆積環境, 堆積速度などとの関連
  - ・海水準変動との関係
- j. MIS5, 7, 9, 11の堆積物が沖積層の下にある  
これらの層序と形成過程を解明する.  
これらの工学的地盤特性を解明する.
- k. 津波堆積物の認定  
年代, 堆積構造(スランプ構造, リバースグレーディング, 偽礫)
1. 地盤情報の活用, 普及  
上記 i, j に関連しては特に, 有楽町層の「粘性土は年代効果のほかに, 埋立荷重, 諸原因による地下水位の低下などより, 圧密を受けて強度や土質特性の変化が予想され, このため履歴に留意した土質特性の評価が重要である. 七号地層にも同様の問題があるが, 近年, MIS-5eに堆積した海成粘土層は東京低地や東京湾岸地域では七号地層と土性において大差ないことが分かってきた. MIS-5e以前の海成粘土層についても今後の解明が待たれる」(遠藤ほか, 2005) ところである.
- 引用文献**
- 鎮西清高(1982) カキの古生態学(1), 化石, 31, 27-34.
- 中条純輔(1962) 古東京谷について—音波探査による—, 地球科学, 59, 30-39.
- 遠藤邦彦・関本勝久・辻 誠一郎(1979) 大磯丘陵西南部中村川流域の完新世の層序と古環境. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 14号, 9-30.
- Endo, K., Sekimoto, K. and Takano, T. (1982) Holocene stratigraphy and paleoenvironments in the Kanto Plain, in relation to the Jomon Transgression. Proc. Inst. Natural Sciences, Nihon University, No. 17, 1-16.
- 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘(1983) 関東平野の沖積層. アーバンクボタ, 21号, 26-43.
- 遠藤邦彦・高野 司・関本勝久(1984) 関東地方の軟弱地盤. 月刊地球, 6巻, 672-676.
- 遠藤邦彦・小杉正人・菱田 量(1988) 関東平野の沖積層とその基底地形. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 23号, 37-48.
- 遠藤邦彦・小杉正人・松下まり子・宮地直道・菱田 量・高野 司(1989) 千葉県古流山湾周辺域における完新世の環境変遷史とその意義. 第四紀研究, 28巻, 61-77.
- 遠藤邦彦・小杉正人(1990) 海水準変動と古環境. 広島大学総合地誌研究所研究叢書, no. 20, 「モンソーンアジアの環境変遷」93-103.
- 遠藤邦彦・印牧もところ・中井信之・森 育子・藤沢みどり・是枝若奈・小杉正人(1992) 中川低地と三郷の地質. 三郷市史第八巻 別編自然編, 35-111.
- 遠藤邦彦・牧野内 猛・坪田邦治・岩尾雄二郎(1995) 沖積層の形成過程. 土と基礎, 43-10, 8-12.
- 遠藤邦彦(1996) 沖積層の諸問題. 関東平野, 4, 32-45.
- 遠藤邦彦(2005) 環境変動と海面変動—過去 15000年間の海面変動史から—. 日本大学文理学部ハイテク・リサーチ・センター2004年度研究成果報告書, 70-71.
- 遠藤邦彦(2009) 沖積層序と形成過程 —関東平野を例として—. 日本第四紀学会電子出版編集委員会編「デジタルブック最新第四紀学」, 日本第四紀学会, CD版.
- 遠藤邦彦・石綿しげ子(2005) 首都圏の地盤—沖積層を中心に—. 基礎工, 33(11), 6-9.
- 堀越英之・中尾有利子・遠藤邦彦(2009) 埼玉県三郷市の沖積層から産出した貝形虫化石群集を指標とする古環境変遷. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, 44, 149-157.
- 木村克己・石原与四郎・宮地良典・中島 礼・中西利典・中山俊雄・八戸昭一(2006) 東京低地から中川低地に分布する沖積層のシーケンス層序と層序の再検討. 地質学論集, 59, 1-18.
- 小杉正人(1989a) 完新世における東京湾の海岸線の移動. 地理学評論, 62, 359-374.
- 小杉正人(1989b) 珪藻化石群集による古奥東京湾の塩分濃度の推定. 第四紀研究, 28, 19-26.
- 小杉正人(1992) 珪藻化石群集から見た最終氷期以降の東京湾の変遷史. 三郷市史第八巻 別編自然編,

- 112-193.
- 松島義章 (2006) 貝が語る縄文海進—南関東, +2°Cの世界. 有隣新書, 219 p.
- 中島 礼・田辺 晋・宮地良典・石原与四郎・木村克己 (2006) 沖積層ボーリングコアに見られる貝化石群集変遷—埼玉県草加市柿木と東京都江戸川区小松川の例一. 地質学論集, 59, 19-33.
- 杉村 新 (1973) 大地の動きをさぐる, 岩波書店, 236 p.
- 鈴木 茂・村田泰輔・吉川純子・藤根 久・樋泉岳二 (1996) 自然科学分析. 春日町遺跡第 5 地点, 83-103.
- 鈴木 茂・黒澤一男・新山雅広・小林紘一・丹生越子・伊藤 茂・山形秀樹・瀬谷 薫 (2007) 春日町第 10 遺跡の自然科学分析. 東京都文京区春日町(小石川後楽園)遺跡第 10 地点.
- 関本勝久・吉川昌伸・遠藤邦彦・清水恵助 (2006) 微化石群集の変遷に基づく東京港ボーリングコアからみた更新世末期以降の古環境の変遷. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, 41, 209-219.
- 関本勝久・遠藤邦彦・清水恵助 (2008) 東京湾北西部域, 東京国際空港(羽田)付近の沖積層と古環境. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, 43, 337-345.
- 堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関する研究委員会 (1995) 堆積環境が東京臨海部の地盤特性に及ぼす影響(東京地区部会). 堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関するシンポジウム発表論文集, 地盤工学会, 60-83.
- 田辺 晋・石原園子・中島 礼・宮地良典・木村克己 (2006) 東京低地中央部における沖積層の中間砂層の形成機構. 地質学論集, 59, 35-52.

## 地質地盤情報協議会の活動総括と産技連における今後の活動方針

栗本 史雄

(産総研地質情報研究部門・産技連地質地盤情報分科会・地質地盤情報協議会)

### はじめに

地質調査総合センターは、産総研発足時から社会ニーズに対応した地質情報の整備と公開を念頭に置き、地質関係業界の全国地質調査業協会連合会(全地連)、地方自治体、公設研究機関、独法研究機関等と連携し、情報交換や地下構造・3次元モデル構築などの研究を産学官連携により進めてきた。対象とする地下の地質地盤情報は、人口が密集し産業活動が盛んな都市平野部において、防災の観点から必須のものであり、国土開発や産業立地、資源開発、廃棄物処分などのインフラ整備に際しても重要な基盤情報である。以上の観点に立ち、地質地盤情報協議会と産業技術連携推進会議(産技連)を通じて活動を続けている。

地質地盤情報協議会は、平成18年4月、産総研コンソーシアムとして発足し、地質地盤情報の整備・活用を通じて社会に寄与することを目的とし、関係企業、大学・研究機関、政府関係機関、地方公共団体間の情報交換と広域連携を進めてきた。

一方、産技連地質地盤情報分科会は、平成18年12月、それまで活動してきた自治体-産総研連絡会を発展させ、産技連知的基盤部会下に設置された。同分科会は国土の防災・開発・保全に資するため、地方自治体、研究機関、企業等が連携し、地形、地質、地盤、ボーリングデータの情報整備やそれらに基づくモデル作成などに関する技術開発を目標に活動している。

両会のこれまでの活動と今後の展開について報告し、今後の展開を述べる。

### 地質地盤情報協議会

地質地盤情報協議会の6年間の活動実績(第1表)は、①意見交換会やシンポジウム開催、②議論を踏まえた地質地盤情報の整備・公開・共有化に関する提言の公開と地質ニュース特集号の公表、③地質地

盤情報に関する法整備を目指した日本学術会議への働きかけに要約することができる。

地質地盤情報協議会の活動を進めるにあたって、地質地盤情報のうち、地下の地質地盤を知る上で最も重要な情報であるボーリングデータに対象を絞った。以下、年度に沿って活動を概説する。

平成18年度は、5回の意見交換とシンポジウム「地質情報の社会貢献を考える」を通じて、地質地盤情報の整備・公開・共有に関する議論を行い、提言をとりまとめた(地質地盤情報協議会、2007)。同時期、平成19年3月には国土交通省から「地盤情報の高度な利活用に向けて」と題する提言が公開された。

平成19年度には、提言の普及を図るため2回のシンポジウムを開催した。「公共財としての地質地盤情報」ではボーリングデータの整備と活用について検討を行い、「地質リスクとリスクマネージメント」ではビジネス展開に関連して、地質リスクを定量的、定性的に取り扱うリスクマネージメントについて議論を行った。

平成20年度には、データベースを提供する側と利用する側の立場を明確にし、地方自治体のデータベース整備、地震動や土壌汚染への地質地盤情報の利活用、ビジネス展開の実例、建設・住宅業界にも範囲を広げて、意見交換を開催した。

平成21年度は、前年度からの方針に従って、意見交換を継続し、前年度からの意見交換の内容を地質ニュースに公表した(2010年3月号、no.667)。

平成22年度には、これまでの意見交換における成果を加味して、“提言2”を公開し(地質地盤情報協議会、2010)、意見交換の成果を地質ニュースに公表した(2010年11月号、no.675)。“提言2”は平成18年度の提言をもとに整理したものであり、以下の5項目である。

- ① 地質地盤情報は、国民が共有すべき社会的資産・知的基盤情報である。

- ② 地質地盤情報は、その有用性を認識し、社会的資産・知的基盤情報として整備すべきである。
  - ③ 地質地盤情報は、明確な施策の下、責任ある体制のもと継続して整備する必要がある。
  - ④ 地質地盤情報の公開・整備・共有化にかかわる法整備は、喫緊の課題である。
  - ⑤ 地質地盤情報は、新しいビジネスモデル創出に利活用すべき社会的資産・知的基盤情報である。
- これらの提言は、地質地盤情報の整備・公開・共有化に関して、私たちが目指す方向を明示しており、今後の活動の指針になると考えている。

地質地盤情報の整備・共有化とそのため法の整備については、地質地盤情報協議会発足時から目標に据えて議論を続けてきた。平成22年12月、日本学術会議の地球惑星科学委員会と土木工学・建築学委員会において、地質地盤情報共有化の検討が開始され、平成23年2月28日の第17回GSJシンポジウム「地質地盤情報の法整備を目指して」において日本学術会議からの講演が行われた。しかし、同年3月11日の東北地方太平洋沖地震のため日本学術会議での検討は中断された。

平成23年度には、日本学術会議での議論に資する資料提供を、地質地盤情報協議会の年度方針とした。平成23年10月、第22期日本学術会議が発足し、平成24年1月には地質地盤情報小委員会の設置が予定されており、中断されていた議論が再開されることになった。地質地盤情報の整備・公開・共有化に関する日本学術会議提言が公開になれば、法整備への準備が一段と進むことが期待できる。

以上のように、地質地盤情報協議会の当初の目標である地質地盤情報の整備・共有化および法整備に関する問題点を整理し、提言等にまとめることができ、一定の目標を達成し社会にインパクトを与えることができた。したがって、今年度末をもって地質地盤情報協議会の活動を終了する。なお、法整備にかかる活動は、NPO法人地質情報整備活用機構に設置した地質地盤情報整備法検討会が主体となって、日本学術会議の動向をみつつ、活動を継続する。

また、地質地盤情報を活用したビジネスモデルの創出については、全地連主導によって展開が図られつつあり、地質リスク学会の活動や技術顧問制度の整備等

が進められている。ボーリングデータの整備と活用に関する情報整備や地質地盤モデルの作成技術など活動については、今後とも重要なテーマであるので、産技連地質地盤情報分科会に活動の場を集約する。

#### 産技連地質地盤情報分科会

産技連は、公設試と産総研との協力体制を強化し、関連企業等への技術開発支援を通じて、我が国の産業技術力の強化を図ることを目的としている。

平成18年度の産技連改組に際して、知的基盤部会においても見直しが行われ、計測分科会と分析分科会に加えて、地質地盤情報分科会が新たに設置された。この地質地盤情報分科会は従来の産総研一自治体連絡会を基盤とし、地方自治体、研究機関、企業等が連携し、地形、地質、地盤、ボーリングデータの情報整備やそれらに基づくモデルの作成などに関する技術開発を目標として活動している（第2表）。

活動に際しては、産技連環境・エネルギー部会の地圏環境分科会（土壌汚染研究会および地下水環境研究会）、地質地盤情報協議会、および地質調査総合センターとの合同講演会開催を通じて地質関連機関の連携に努め、関東圏の公設研究機関や地質コンサルタントと協力・連携も進めている。

今後、産技連地質地盤情報分科会は、国土の防災・開発・保全に資するため、引き続き、地形、地質、地盤、ボーリングデータの情報整備やそれらに基づくモデルの作成に関する技術開発に目標を据える。その際、現状では関東地域および札幌に限定されている参加機関を、産技連という枠組みを使って全国の地方自治体に活動を広げていく。また、地質地盤情報協議会の活動で構築したコミュニティを活かして、地質コンサルタントや関連機関との連携を強化していく。

#### 文 献

地質地盤情報協議会（2007）地質情報の整備・活用に向けた提言-防災、新ビジネスモデル等に資する地質データベース-。

地質地盤情報協議会（2010）地質地盤情報の利活用とそれを促進する情報整備・提供のあり方（地質地盤情報の整備・活用に向けた提言 その2）。

第1表 地質地盤情報協議会の活動

年度	年度方針	実績	動向
平成18年度	シンポジウム等の企画 会員の意見集約 会員のメリットの明確化	意見交換会(5回) 提言1「地質情報の整備・活用に向けた提言-防災、新 ビジネスモデル等に資する地質データベース-」公開 第6回GSJシンポジウム(H18.11) 「地質情報の社会貢献を考える」	H19.3 国土交通省「地質情報の高度な利活用に向けて 提言 ～集積と提供のあり方～」
平成19年度	地質地盤情報の法整備 会員の拡大	第8回GSJシンポジウム(H19.7) 「公共財としての地質地盤情報」 第10回GSJシンポジウム(H20.3) 「地質リスクとリスクマネジメント」 提言1の普及	H19.5 地理空間情報活用推進基本法 H20.3 国土交通省「KuniJiban」公開
平成20年度	地質地盤情報の流通・法的整備 シンポジウム・意見交換の開催 メールマガジンの発行	意見交換会(1回)	
平成21年度	意見交換・シンポジウムの開催 提言書のとりまとめ	意見交換会(3回) 地質ニュース3月号公表	H21.4 地質地盤情報整備法検討会の設置 H21.6 第14回GSJシンポジウム(後援)「地質リスクとリスクマネジメント」 H21.7 地質地盤情報に関するアンケート(NPO地質情報整備活用機構、全地連と共同)
平成22年度	地質地盤情報の流通・法的整備 ボーリング整備の状況調査 シンポジウムの開催 地質ニュース執筆	提言2「地質地盤情報の利活用とそれを促進する情報整備・提供のあり方」公開 地質ニュース11月号 第17回GSJシンポジウム(H23.2) 「地質地盤情報の法整備を目指して」 地質学会関東支部発表 日本学術会議の提言検討に協力	H22.12 第21期日本学術会議に提言の働きかけ、地球惑星科学委員会および土木工学・建築学委員会で検討(東北地方太平洋沖地震のため中断) H23.3 統合化地下構造データベースの構築(防災科研、科振費)
平成23年度	法整備に関するサポート	第19回GSJシンポジウム(H24.1) 「社会ニーズに応える地質地盤情報」	H24.1 第22期日本学術会議(地球人間圏分科会に地質地盤情報小委員会の設置予定)

第2表 産技連地質地盤情報分科会の活動

平成15-16年度	首都圏地質地盤情報意見交換会
平成17年度	H17.10.21 第1回自治体連絡会(千葉県環境研究センター) H18.1.19 第2回自治体連絡会(秋葉原)
平成18年度	H18.10.20 第3回自治体連絡会(埼玉県環境科学国際センター) H18.12.1 知的基盤部に地質地盤情報分科会を設置 H19.1.29 第1回産技連・地質関係分科会合同総会 第4回自治体-産総研地質地盤情報連絡会(秋葉原) H19.1.29 分科会に地質地盤情報研究会を設置
平成19年度	H19.4.1 地質地盤情報研究会を地下構造データベース研究会に名称変更 H19.10.19 地質地盤情報分科会総会・地下構造データベース研究会(産総研臨海副都心センター) H20.2.8 第2回産技連・地質関係分科会合同総会 第5回自治体-産総研地質地盤情報連絡会(産総研つくば中央)
平成20年度	H20.11.14 産技連地質関連合同講演会(地圏環境分科会と共催、仙台) H21.3.4 地質地盤情報協議会意見交換会(共同開催)
平成21年度	H21.12.8 地下構造データベース研究会開催(札幌)
平成22年度	H22.4.1 地下構造データベース研究会を地質地盤情報利活用研究会に名称変更 H22.10.29 産技連地質・環境分野講演会、北海道地質関連合同セミナー(札幌)
平成23年度	H24.1.31 第19回GSJシンポジウム「社会ニーズに応える地質地盤情報」 (産総研地質調査総合センター・日本大学・産技連・協議会・全地連の共同開催)

## 地震時の液状化—流動化現象および地波現象とその実態

風岡 修（千葉県環境研究センター 地質環境研究室）

### 大地の持続的な利用と液状化—流動化現象

農耕や定住がはじまり、大地を意識して利用始めたと考えられる縄文時代より、われわれは多様な地質環境を有するこの大地を繰り返して使い続けている。特に日本列島はそもそも面積が小さく山地が多い。66%が森林、13%が農地、宅地は5%しかない。このような大地を持続的に利用するには、その場所の地質環境（大地の性質）を調べ、自然の法則を解き明かし、どのような自然現象が起こっているのかを理解し、さまざまな土地の能力を活かしながら利用することが賢明である。短期的な目的だけのために自然の法則に逆らって利用すれば様々な地質災害・地質環境問題の原因にもなり、将来の大地の持続的な利用は困難となるばかりでなく、将来の世代の人々が生活する支障となりうる。また、これまで日本が築き上げてきた大地に関する技術も自然の法則に逆らえばうまく機能しなくなり、技術の信用の失墜につながる。今回の東日本大震災はこのような矛盾点をあぶりだしてくれた面も多くあるものと思われる。今後、震災の原因究明や、持続的な大地の利用の観点に立った地質環境調査を行い、地質環境にマッチした大地の利用・開発が求められる。

1923年の関東大震災の後には、帝都復興院（のちに復興局となる）が設置され、約4年間かけて地質調査が行なわれ、その結果を受けて災害に強い首都作りが計画され一部は実行されてきた。今回のような大規模な地質災害が発生した際にまず重要なことは、どのような自然現象がどこで何が起こったのかを調べ上げることである。その中で、従来知られていない、またはあまり注目されなかった重要な現象が明らかとなってくる。次に、そのメカニズムを明らかにすることである。このような作業を通じてはじめて、持続的な大地の利用に立脚した次の災害に備えた復興の方向性がみえてくるものと思われる。

ここでは、東北地方太平洋沖地震（以下「太平洋沖地震」と略す）での液状化—流動化現象の特徴と、

1987年千葉県東方沖地震（以下「東方沖地震」と略す）より進めてきた液状化—流動化の調査結果得られてきた被害のメカニズムの解明例をまとめ、東日本大震災の復旧・復興に関し地質環境からの視点を述べる。

なお、東日本大震災の被害を受けて、国連の一機関であるユネスコ傘下の国際地質科学連合環境管理委員会でも、人工地層と液状化—流動化被害の関連の重要性に関する宣言がなされている（IUGS-GEM,2011）。

### 液状化—流動化の研究史（地質学を中心に）

1964年に日米で大きな地震が相次いで起こった。3月にはマグニチュード8を超える巨大地震のアラスカ地震が、6月にはマグニチュード7.5の新潟地震が起き、それぞれ海岸部に位置する主要都市であるアンカレッジ市・新潟市において液状化—流動化現象による大きな被害が発生した。基本的には、それまで固体として振舞っていた地層が液体のように振舞うようになるので、比重の大きなものは沈み、比重の小さなものは浮き上がる。例えばコンクリート作りの建物やバスや列車などは地中に沈む。建物が沈む際は一般に傾きながらゆっくりと沈む。一方、浄化槽やガソリンスタンドの地下タンク、木杭などは浮上する。急速な地盤沈下や地波（地面の波打ち）などの地表面の変動も伴う。地盤沈下は1m以上に達することもしばしばある。地波は一般に波長数十m～数m、振幅数十cmである。

新潟市内での被害は、従来知られていた地震による被害とは様相が異なっていた。新潟市内の信濃川を中心とした市街地の至る所で砂と地下水が地下から一斉に噴き上げ、ビルなどの重い構造物は地中に沈み込みながら傾いたり、地下タンクなどの空洞状の地下構造物は浮き上がったたり、地面が波うったり、地面が低いほうへ横に移動したり、地下ライフラインが切断したりした。中でも川岸町の鉄筋コンクリ

ート製の県営アパートは、杭基礎を打っておらず、砂層の上に玉石を敷き詰めてこの上に作ったもので、地震後徐々にゆっくりと傾きながら地面の中に沈み込んでいった。ここで、建物自身はほとんど損傷していないというものであった。また、新潟駅の近くでは、杭を打ったビルでも沈み1階が半地下のようになったビルもたくさんあった。これは後に、液状化一流動化により地滑りがおこり土地全体が側方へ移動する（Kawakami & Asada, 1966；藤田, 1983）際に基礎杭が折れたことによるものであることがわかった。これが国内で多くの人々がはじめて認識した典型的な液状化一流動化被害ということになる。筆者は、この地震時には震源に近い新潟県村上市の山間部に住んでおり、昼食時に汁茶碗がひっくり返ったことを覚えている。また、新潟市内へ行くと駅周辺にだけ半地下のビルがいくつもあり、子供ながら不思議に思っていた。

新潟市では、地震直後から、新潟大学理学部の地質鉱物学教室の教官・学生と深田地質研究所の研究者らが合同で、新潟市内とその周辺部の被害調査を約1カ月にわたって行い、1/3,000の縮尺の日本で最初の液状化マップ「新潟地震地盤災害図」を作り上げ（新潟大学理学部地質鉱物学教室・深田地質研究所, 1964）、これがその後の液状化研究の土台となり、現在は主に地層物性の視点からその予測・対策が進められている（石原, 1976；國生, 2003 など多数）。また、地層物性の視点からの液状化のメカニズムについては、以下の3条件がそろふこと（最上・久保, 1953 英；Seed and Lee, 1966）が明らかとなっている。①ゆる詰まりの細かい砂層である（片栗粉ぐらいの粘土鉱物を含まず鉱物粒子のみからなるパサパサした泥でもおこる）こと。②地下水位が地表近くの浅い深度にあること。③強い揺れがあること。

なお、新潟大学の調査の結果、市街地でも液状化一流動化被害がみられないところがあり、このことから、これら被害があった部分は江戸時代に信濃川の流路であったところに一致しており、江戸時代以降にできた新しい地層の分布域で液状化一流動化現象が発生したことが明らかとなった。

新潟地震以降も、国内では液状化一流動化現象を

伴う地震は多く、そのつど地震地質災害調査からそのメカニズム上重要なこともわかってきている。

1968年十勝沖地震では、八戸浮石層が液状化一流動化し斜面崩壊の原因となった（東北大学理学部地質学古生物学教室災害調査グループ, 1969）。そして、この八戸軽石は人工地層材料という面からは液状化強度はごく小さい（風岡ほか, 1995）。

1978年伊豆大島近海地震では、持越鉱山鉱さい堆積場において低塑性のシルト層が液状化一流動化し鉱滓ダムが壊れ、鉱滓に含まれていたシアンが流れ出し、下流を汚染させた（大草・安間, 1980 英）。

1978年宮城県沖地震では、谷埋め造成地において盛土層が崩れ広範囲の被害となった（東北大学地質学古生物学教室, 1979）。

1978年宮城県沖地震・1983年日本海中部地震では地波現象が発生し被害を拡大させた（楡井ほか, 1986）。

1984年長野西部地震時の御岳崩れと呼ばれる大規模な斜面崩壊が生じさせた千本松軽石層（熊井ほか, 1985）は、小さな液状化強度しかなかった（小西・川上, 1985）。

1987年千葉県東方沖地震では、千葉県内の広い埋立地で部分的に液状化一流動化現象が見られた。このうち、千葉市内の東京湾岸埋立地の中磯辺公園では、オールコアボーリングに加えてスウェーデン式サウンディング試験を数mごとに行う詳細な地質調査を行い、サンドポンプ工法による埋立層には砂層の発達部分と泥層の発達部分が存在し、砂層を泥層が楔状に覆う部分で液状化一流動化現象が生じていることが明らかとなった（風岡ほか, 2000）。同様な現象は同地震の際の長南中学校の谷埋めの盛土部分（千葉県地質環境研究室, 2003）、2000年鳥取県西部地震での沿岸埋立地の竹内工業団地（風岡ほか, 2001）でもみられた。このように、人工地層の中でも透水層の直上を楔状に難透水層が覆う構造は液状化一流動化を最も発生させやすいようである。

1993年釧路沖地震・1994年北海道東方沖地震では、盛土でも火山灰混じりの部分に液状化一流動化を伴う崩壊を生ずる場合が多かったことから、石英質な中粒砂（下総層群万田野層上部砂層）に火山灰を混入

させた試料について液状化強度を求めてみた。その結果、ガラス質の細粒火山灰は全体の3割、八戸軽石は全体の1割程度の混入でも、これら火山灰が混入しない時に比べて液状化強度が小さくなることが明らかとなった(風岡ほか,1998・1999)。このような盛土層部分では、締め固めても液状化強度はほとんど高まらないため、徹底的な水抜き対策を行うことが必要である。

1993年北海道南西沖地震時には、クルミ坂岩層なだれ堆積物(勝井ほか,1989)が液状化一流動化し(楡井ほか,1993)、避難場所となっている小学校の校庭で、クルミ坂岩層なだれ堆積物中の直径数mの巨礫がこの層の液状化により沈み、地表を大きく陥没させた。これら火山砕屑物の液状化強度が増加しない原因を探るため、これら火山灰粒子の非排水繰り返し三軸試験を行い液状化強度を求めた。すると、クルミ坂岩層なだれ堆積物はマトリックスサポートの礫層であり、そのマトリックス部分の液状化強度が通常堆積層に比べて半分程度の液状化強度しかないため液状化したことが明らかとなった(風岡ほか,1993)。また、後志利別川沿いでは、江戸時代よりも古い1500年頃の河川堆積層が液状化した(石綿ほか,1998)。

1995年兵庫県南部地震時の仁川百合野町では盛土が崩壊(三田村ほか,1995)し、液状化一流動化が一因として考えられる。この地震では沖積層の軟弱な粘土層の厚い部分に建てられた2階建て木造家屋の多くが倒壊した(田結庄ほか,1995)。しかし、道路を挟んで隣の埋立地では液状化一流動化により家は若干傾いたが家具も倒れず人命は守られていた(楡井ほか,1995)。

2000年鳥取県南部地震の際には3ヶ月以上も地表の変形が続いた(風岡ほか,2000)。

2001年芸予地震の際には地震の約2ヶ月後まで埋立地では沈下が続いた(風岡ほか,2000)。

2003年宮城県沖地震でも築館町で、軽石層によって埋積された谷が液状化し土石流となって流下した(風岡ほか,2003;吉田ほか,2003)。

など。

さて、なぜ単に「液状化」といわずにわざわざ「液

状化一流動化」を使っているのであろうか？ 後の香取市石納での調査結果の項で詳しく述べるが、強震動により間隙水圧の上昇がおこり、液状化現象がまず起こる。多くの場合、さらに水圧が上昇し、液状化現象に連続して流動化現象が発生し、液状化部分が地下水流動とともに地中で流動し、被害を拡大していく。すなわち、液状化現象と流動化現象は異なる現象であるものの、連続的に起こる現象であるためである。

### 液状化一流動化のメカニズム

液状化のメカニズム(最上・久保,1953;Seed & Lee,1966 など)や液状化一流動化現象(Lowe,1975)に関するこれまでの研究は、その多くは現象終了後の結果や室内実験から推定してきた。この現象は強震時に短時間に発生するので観察には大きな制約を受ける。しかし、現象の結果は唯一地層中に残っているので、これからある程度復元できる。室内実験やシミュレーションによってその過程を復元することも試みられているものの、これも自然現象の一部のメカニズムがある程度明らかになったことを検証することが中心となる。地震動については地震計記録によりある程度その揺れ方を復元できるようになったように、液状化一流動化現象については対象とする深度の間隙水圧の変化についてのみわずかではあるが観測されるようになってきた。しかし、まだ自然現象のごく一部を定量的に観測ができるようになったに過ぎない。実際に現地において液状化一流動化現象や地波現象(楡井ほか,1986)を直接観察することは、自然現象解明にとっても最も重要なことである。今回の地震時に、筆者は東京湾岸埋立地である千葉市美浜区高浜の稲毛海浜公園内(北緯35度37.1分、東経140度3.7分)において液状化一流動化現象の発生から噴砂・噴水に至る過程および地波現象を直接観察することができた。そこでこの観察例を紹介し、加えて、千葉県東方沖地震での液状化一流動化現象のメカニズム解明の調査の結果明らかになってきた、液状化一流動化現象の発生～発展～終了過程を地層断面から検討することができた香取市石納での例と、地波発生地点における地質の

状態を調べることができた一宮町東浪見での調査結果を含め、これまでわかってきた定性的な過程を紹介する。

なお、地震動と液状化—流動化現象との関係を明らかにするため、千葉県環境研究センター地質環境研究室敷地内に設置した防災科学技術研究所 K-net 観測点の CHB024 のデータを利用した。また、地震動の解析にあたっては独立法人建築研究所国際地震工学センター鹿嶋俊英博士開発の View Wave および防災科学技術研究所の SMDA2 を利用し、防災科学技術研究所の K-net データを使用した。関係の方々にお礼申し上げる。

#### 千葉市美浜区稲毛海岸における地震動記録

地震観測点「CHB024 稲毛」は、千葉市美浜区稲毛海岸3丁目に設置してある。この場所は埋立地上であり千葉県環境研究センター地質環境研究室の地震観測施設内に設置してある。この場所は液状化対策は行なっておらず、今回の地震時にはこの敷地内において噴砂がみられた。ここでは計測震度 5.3 (5強)、最大速度 31.6cm/sec と大きい (Fig.1)。なお、この付近は人工地層の厚さは約 4.8m、沖積層基底の深度は 31m である。なお、沖積層の基底深度はこの周囲では一般に 15m 程度であるのに対し深く、いわゆる沖積の谷の中に観測点があるといえる。さて、この観測点は防災科学技術研究所の強震観測点となっており 1987 年千葉県東方沖地震 (以下「東方沖地震」と略す) 時の地震波形 (Fig.1) も得られている (御子柴ほか, 1990 英)。この地震時には、敷地内では噴砂がみられないものの、隣接地 (約 100m 内陸側) で噴砂がみられた。この時の計測震度は 5.0 (5強)、最大速度 22.4cm/sec である。このようなことから、ほぼこの計測震度 5.0、最大速度 23cm/sec 付近が液状化発生のため下限値に近いものと思われる。

地質環境研究室敷地の一部では、本震～最大余震の際には液状化—流動化が連続して起こっており、本震時は計測震度 5.3 (震度 5強)、トランスバース成分の最大速度は約 32cm/秒ととても大きいものの、余震時は計測震度 4.4 (震度 4) と小さい。なお、最大余震の波形記録は防災科学技術研究所より公開されていないので、最大速度は現段階では不明である。

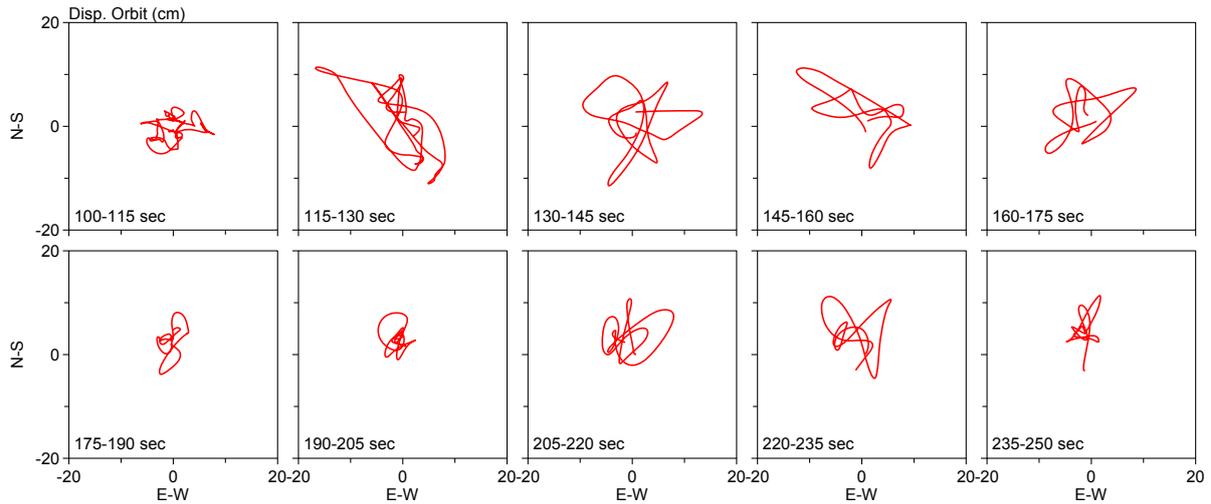
波形記録より時系列的な地震動の特徴を述べる。P 波は 14 時 47 分 27.4 秒に到達し、S 波は 48 分 07 秒に到達している。また、記録開始から 89 秒後の 48 分 50 秒頃より変位が 6cm を超える大きな揺れとなりはじめ、107 秒～125.9 秒後の 49 分 08 秒～26.9 秒には表面波と思われる非常に大きなゆれ (ラディアル方向±15cm, トランスバース方向±25cm, 上下方向±6cm) があつた。125.9 秒後の 49 分 26.9 秒に急速に揺れが減衰した。この観測点の地質環境研究室の玄関部分では、揺れている最中に液状化—流動化現象による噴砂が始まっていることから、ちょうどこの時に、この観測点では液状化状態に至ったものと思われる。また、変位に変換した記録をみると、表面波と思われる大きな揺れ以降には、約 5 秒周期の長周期の揺れがみられる。

#### 液状化—流動化現象の発生状況

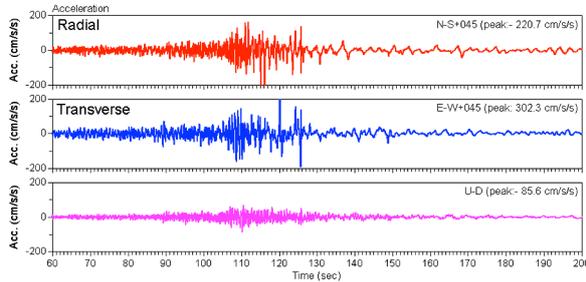
千葉市美浜区高浜 7 丁目稲毛海浜公園の芝生公園は、東京湾北部の埋立地の中でも最も海よりの人工地層の厚い部分に位置する。ここでは、東方沖地震時に液状化—流動化現象により多数の噴砂がみられた。この場所をほぼ特定し、表層地質に関する地質調査を行っていた。

2011 年 3 月 11 日 14 時 47 分 30 秒 (日本時間) 頃から揺れ始めて 1 分後ぐらいには地表面が北西—南東方向に動き始め、ちょうど 1 分 30 秒後ぐらいからは揺れが大きくなり、地表面の変位が目ではっきりと見え、地表のある場所を境にその左右で地表面の動き方に違いが顕著に現れるようになった。この大きな揺れは、CHB024 強震観測点での 49 分 08 秒～26.9 秒に到達した表面波と思われる。この直後の、14 時 49 分 35 秒頃から東方沖地震の際噴砂のあったところで噴砂・噴水が始まった。地表の小さな亀裂から、最初は約 5 秒周期的に砂まじりの黒い色の地下水が噴水のように噴出したり、噴出した水が同じ亀裂に吸い込まれたりを繰り返した。芝生内の道路の近くでは、本震中の 14 時 50 分 20 秒すぎ頃から、約 5 秒周期の最大波高数十 cm の波打ちが発生し、周期的に噴砂・噴水が始まった。砂まじりの黒い噴水は高さ 50cm を超えている。ここでみられている噴砂や地波の周期は表面波以降強震記録に表れる約

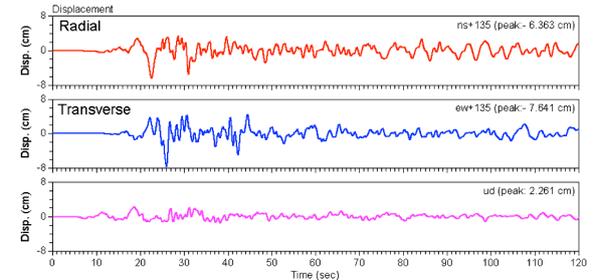
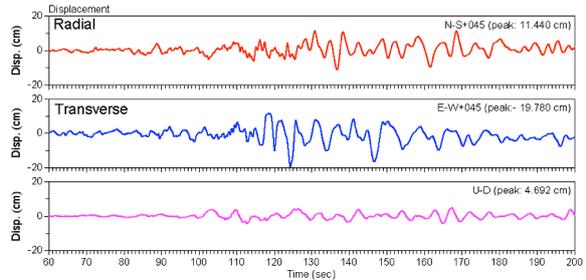
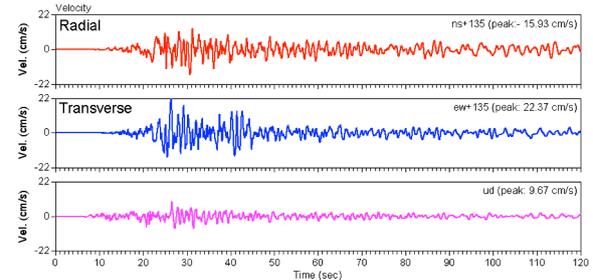
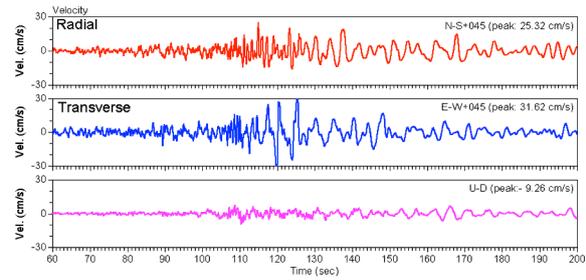
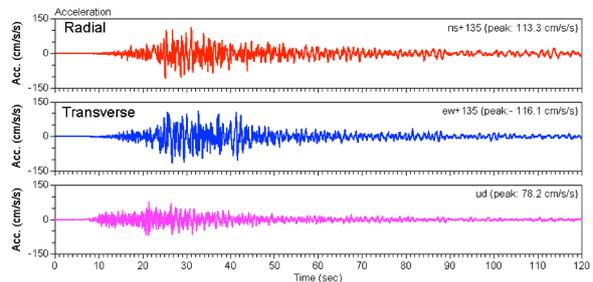
Fig.1 CHB024 (稲毛) 観測点における 2011 年東北地方太平洋沖地震時の平面方向の地表の動き。  
計測震度: 5.3, 記録開始時刻: 14 時 47 分 31 秒。



2011 年東北地方太平洋沖地震



1987 年千葉県東方沖地震



5 秒周期のゆれに一致する。大きく揺れはじめてちょうど 2 分後頃の 14 時 50 分 30 秒すぎに、全体に数秒間かけて一つの大きな波打ち（波長数百 m, 波高数十 cm 程度）があった。その後地波が波高をやや増し、大きく揺れはじめてから約 3 分 40 秒後の 14

時 52 分 10 秒頃より連続的に大量の噴水がはじまり、芝生の一部が膨れ上がり、ついにその一部がはち切れて、大量の砂まじりの地下水が湧出し、じわじわと沈下し始めたようである。この噴出は最大余震後の少なくとも、15 時 30 分過ぎまで続いた。また、

地下水の大量の噴出に伴って、序々に地盤の沈下が始まった。15時15分の最大余震までの間にこの一帯は目視で30cm程度沈下し、噴水が溜まり、池のようになった。最大余震時には再度顕著な地波(波高0.5m程度、波長15~20m程度)がこの水溜りの中で発生した(風岡ほか, 2012印刷中)。

### 石納におけるサンドポンプ工法による埋立地でトレンチ調査に基づく液状化—流動化のプロセス

東方沖地震時に香取市石納において液状化—流動化現象により形成された噴砂孔においてトレンチ調査をおこなった結果、細粒砂を主体としたサンドポンプ工法による埋立層の液状化—流動化のプロセスが明らかになった。その結果を Fig.3 に示す。この時に推定されたプロセス(風岡,2003)と今回観察された現象を対比させ、液状化—流動化のプロセスに考察を加えたことを、以下に示す。

なお、この場所は、明治中ごろまで蛇行していた利根川の河道であった。洪水予防のため明治末期から利根川の河道を付け替え、ここはその後三日月湖となり、昭和20年代に利根川の浚渫砂をサンドポンプ工法によりここを埋立て、水田として利用していた。

Fig.2 はトレンチ調査による地質断面図をもとに液状化—流動化現象がどのように発生・発展・終了していったのかを推定した図である。この図に従いこの過程を以下に述べる(風岡ほか, 2011a)。

①②まず地震動によって地下水位が上昇(間隙水圧の上昇)し、地下水面が地表を超え始めた時にゆる詰まりの人工地層内において部分的に液状化が生じ始めラミナが消え始める。この過程はLowe(1975)でも推定している。

③この液状化部分は次第に拡大していく。

④~⑤液状化部分同士が側方に連続するようになり、液状化部分がある程度の広がりを持つようになった段階で、地波が発生し波頭部分において地表に亀裂が生じ、ここから噴砂が始まる。今回の観察結果と地震動記録との比較から、14時49分27秒頃からの地震動の減衰が液状化状態に入ったことが推定され、公園では49分30秒頃から周期的な噴砂・噴

水が始まる。さらに地波が発生し亀裂からの噴砂・噴水が始まっていることは、このプロセスを物語っていると考えられる。

⑥~⑦深部の液状化部分の水圧も上昇しついには液状化していない層の薄くなった弱い部分から地表へ向かって深部の液状化した部分が流動をはじめ、この流動化によって液状化部分は攪乱される。砂を主体とした地層粒子は地下水の流出に伴い、地表に噴出し噴砂丘が形成される。このプロセスは、14時52分10秒より始まる連続的な噴砂・噴水、およびこの後の大量の噴砂・噴水がこれにあたるものと推定される。

⑧この噴水により人工地層内の水圧は減少していき、流動化部分も地層粒子が序々に再堆積し、地盤の沈下がおこる。このため、噴出後に地盤の沈下が継続する。このプロセスは14時52分以降の大量の噴砂の後じわじわと沈下が進み、15時10分頃には公園の一部が大きな池のようになったことがこれにあたるものと推定される。

さて、液状化—流動化部分の多くは締め固まらず、以前よりも緩くなっていることが多い。従来地震時の液状化は、地中では局所的でこれによる噴砂はほぼ鉛直方向に砂が流動するのみで液状化部分は締め固まるものにとらえられてきた(Allen,1984など)。そして、一度の地震で液状化は地層全体に起こるわけではなく、残った揺る詰まりの部分が次の地震時に液状化するので、再液状化が発生する(國生, 2003など)ものと考えられている。しかし、このトレンチ調査からは、ラミナの消えた部分はいずれも軟らかいことから、液状化に引き続く流動化は人工地層内では規模が大きく、液状化部分全体にわたって流動化がおこり、これにより地層が擾乱されるためゆる詰まりとなっており、再液状化—流動化が起こりやすくなっているものと考えられる(風岡ほか, 2012a)。

今回の太平洋沖地震では、東方沖地震時に液状化した部分も含め、より広い範囲で液状化—流動化が起こっており、再液状化—流動化が実際に発生したといえよう。

以上、太平洋沖地震時に、直接現地にて液状化—

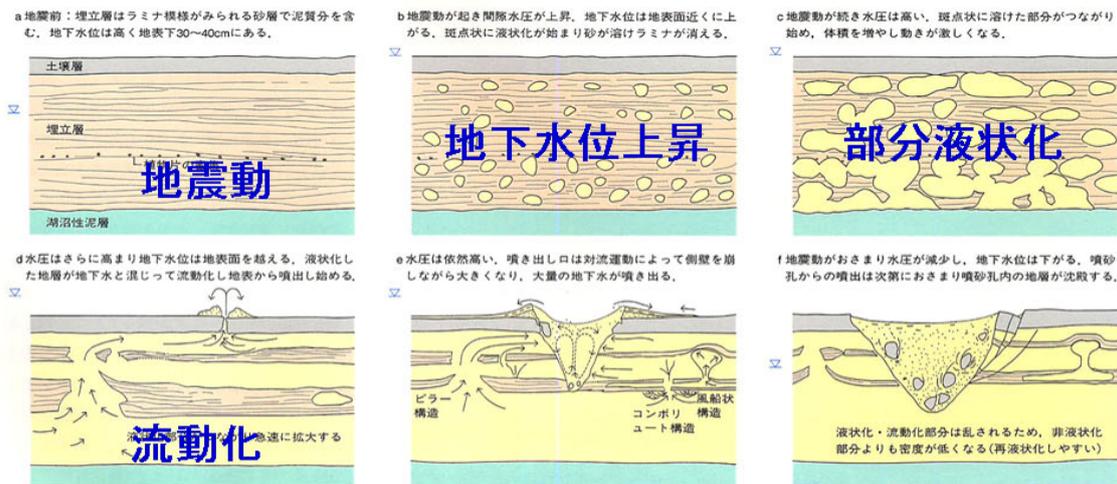


Fig.2 香取市石納での液状化—流動化現象のメカニズム (風岡ほか, 1994 ; 風岡, 2003 ; 風岡, 2011a ; 風岡ほか, 2012a) .

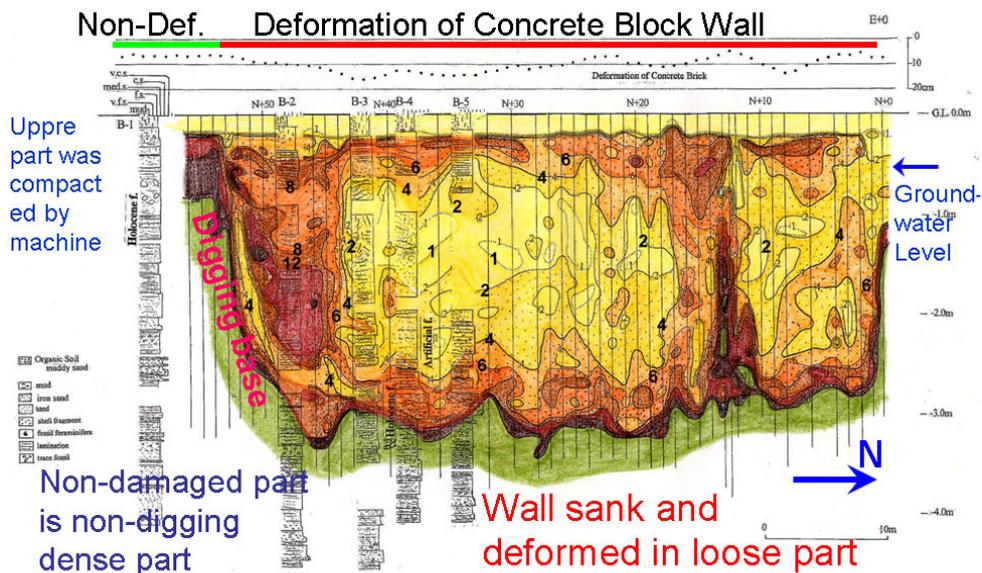


Fig.3 一宮町東浪見における東方沖地震時に液状化—流動化現象による地波現象がみられた砂鉄採取跡地における地質断面 (風岡ほか, 2004). 数字は地層の硬さ Nc (斜面調査用簡易貫入試験値). 自然地層はほぼ 20 以上と硬い. 液状化—流動化部分は地層の初生的な堆積構造の乱れの状況から 4 未満の部分が中心と考えられる. 最も緩詰まりのところは 1 未満ととても軟らかい状態のままである.

流動化現象を観察することができ、これまで東方沖地震時の液状化—流動化機構解明調査で復元してきたそのプロセスを検討することができた. 今後、さらに、地波などのメカニズムを明らかにするため、その太平洋沖地震時に液状化—流動化がおきた部分でのトレンチ調査などの詳細調査が必要である.

一宮町東浪見における液状化—流動化現象に伴う地層の硬さ（地耐力）の変化と地波現象

ここでは、先のプロセスでの流動化による地層の攪

乱によるゆる詰まりの状況を検証した例を示す.

Fig.3 は、東方沖地震時に一宮町東浪見でみられた地波発生部分での地質断面である. ここでは、沖積層の瀬海成の砂層中に多く含まれる砂鉄を採取するため 3m ほど掘削し、その残砂をサンドポンプ工法により掘削穴に埋め戻していた. 東方沖地震時にこの一部で液状化—流動化現象が発生し、噴砂やブロック塀の波打ちが生じた.

調査は東方沖地震から 16 年後の 2003 年に行った

(風岡ほか, 2004). ここでは、液状化—流動化により水田の境界のブロックが波打ち現在でもそのままになっている。調査は、2m 間隔で斜面調査用簡易貫入試験装置にて地層の硬さの分布を明らかにし(図中の数字はその硬さ (Nc) の分布を示す)、さらにオールコアボーリングを行い、地層の液状化—流動化の状態を観察した。その結果、おおむね  $Nc \geq 8$  の部分は地層堆積時の初生的なラミナがみられ液状化—流動化していないものと考えられる。 $Nc < 4$  の部分は、ラミナは消えたり変形したりしているので、液状化—流動化したと判断される(風岡ほか, 2004)。すなわち、液状化し流動化するとその部分は攪乱されるので地震から 16 年も経過しているにもかかわらずゆる詰まりとなっていると考えられる(風岡ほか, 2012a)。

ブロックの変形をみてみると、波状に変形していることが分かる。今回の地震時にも、直接地波現象を観察することができたことから、このブロックの変形は、この地波現象によるものと推定される。なお、水中では波の波長の 1/2 の深さまで水粒子は回転運動することが知られている。このことは、液状化—流動化部分は地波現象によっても擾乱を受けることを意味する(風岡ほか, 2012a)。

### 東日本での震度分布

2011 年東北地方太平洋沖地震の震源は牡鹿半島の沖約 120km の大陸斜面の直下約 24km である。強く揺れた東日本における震度分布は、必ずしも震源を中心とした同心円状の分布にはなっていない。

地質構造が地震の揺れ方を規制する現象は河角の震度階分布調査から角田ほか(1985)・長野県教師グループ(1987)・飯川(1991)などにより実証され、1995 年阪神—淡路大震災以降増えた地震観測点により楠田ほか(2001)・竹之内(2001)は糸魚川—静岡構造線による震度分布の規制について報告している。

今回の地震による気象庁震度分布に主要な地質構造の位置を入れてみると、大局的には以下のような地質構造を境に揺れ方が変わっている。その地質構造とは脊梁火山列(中川ほか, 1986)と地質構造線

の一つである柏崎—銚子線(山下, 1970)・糸魚川—静岡構造線(矢部, 1918)である(Fig.4)(風岡ほか, 2012b)。

### 関東堆積盆地の揺れと液状化—流動化現象の分布

太平洋沖地震では、震源が関東堆積盆地の北東約 400km と離れたところであった。この堆積盆地の北の茨城県中・北部では、震度 6 弱の強い揺れと震度 4 の比較的弱い揺れが混在している。しかし、この南西の関東堆積盆地内では、5 弱～6 弱が漸移的に分布し、北東ほど強い揺れとなっている。5 強以上の強い揺れは堆積盆地中央から北部にみられ(Fig.5)、この強い揺れの部分で液状化—流動化現象がみられている(風岡, 2011a)。なお、この現象がみられたほとんどのところは人工地層分布域である。

### 房総半島での液状化—流動化現象の分布

液状化—流動化現象は、東京湾岸埋立地・利根川下流低地・九十九里平野北部にみられ(Fig.6)、東京湾岸埋立地・利根川下流低地では海域や湖沼の水域の埋立地、九十九里平野北部では砂鉄採取のために掘削した穴に砂鉄採取後の残渣を埋め戻し部分と、いずれもサンドポンプによる人工地層分布域を中心にみられる。

東京湾岸埋立地では、本震時には北部で震度 5 強、南部で 5 弱であり、最大余震時には中央部で 5 弱がみられるもののほぼ全域が震度 4 であった。液状化—流動化現象は 5 強のゆれがあった北部でみられた。利根川低地では、本震時には東庄町～銚子市では震度 5 弱であるものの、そこ以外は 5 強～6 弱と強くゆれていた。最大余震時には香取市～銚子市が 5 弱～5 強のゆれとなり、液状化—流動化現象は本震と最大余震のいずれかで 5 強以上の揺れとなった地域で発生している。

九十九里平野では、本震時には概ねほぼ 5 弱の揺れであったが、最大余震時には匝瑳市今泉以北で 5 強以上となった。液状化—流動化現象は、本震または最大余震時に 5 強以上に揺れた地域で発生している。

以上、液状化—流動化現象は本震または最大余震時に 5 強以上の揺れとなった地域を中心に発生して

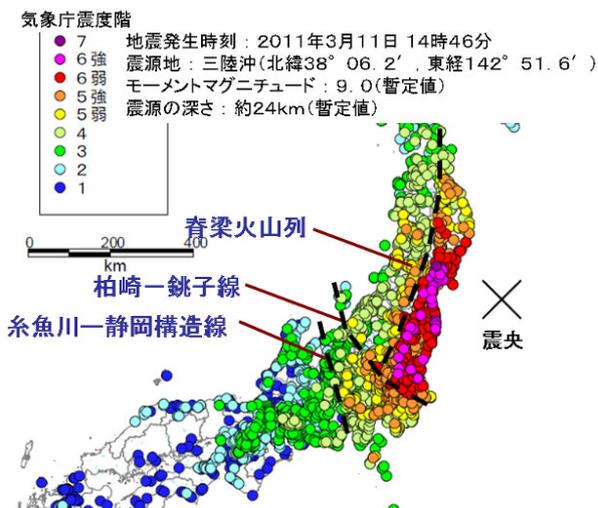


Fig.4 2011年東北地方太平洋沖地震の震度分布図 (ADEP, 2011) と地質構造との関係. 震度値は気象庁(2011)による.



Fig.5 2011年東北地方太平洋沖地震での震度分布. 気象庁(2011)の震度分布を基に作成された地震予知総合研究振興会(2011)に加筆.

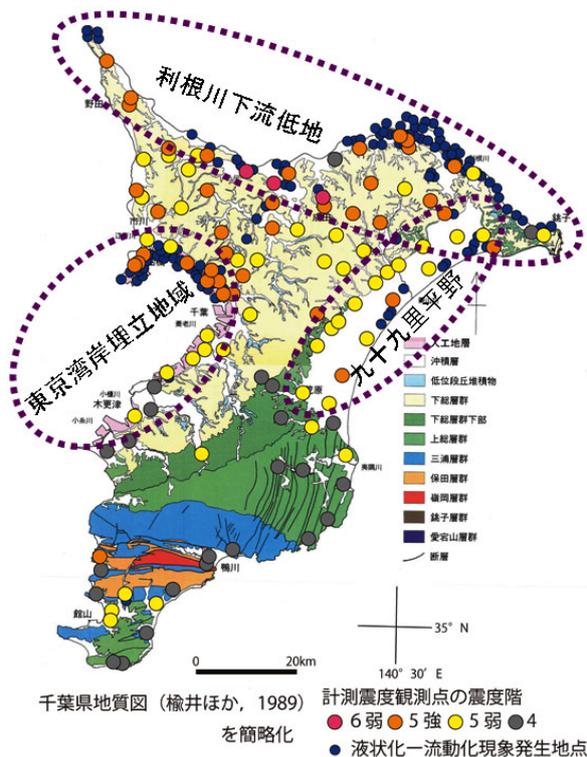


Fig.6 房総半島での本震時の震度分布と液状化—流動化現象の分布. 震度値は気象庁(2011)による.

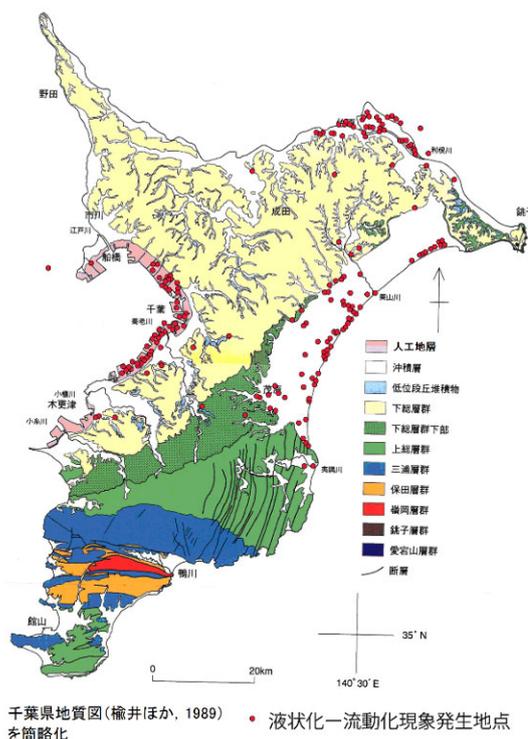


Fig.7 東方沖地震時の液状化—流動化分布. (Nirei et al, 1990).

いる。ただし、袖ヶ浦市長浦のように少ないながら5弱の揺れのところでも同現象が発生している例が存在する。

### 東方沖地震と太平洋沖地震の際の液状化—流動化分布の比較

1987年千葉県東方沖地震(以下「東方沖地震」と

略す)では震源が一宮の沖の深さ約60kmと房総半島のほぼ直下の深部であるので、房総半島全体が広範囲に比較的強く揺れ、液状化—流動化現象は広範囲でみられた(Fig.7)。太平洋沖地震では、震源が北東約400kmと離れていたことや深部地質構造などの影響から5強以上の強い揺れは房総半島北部に

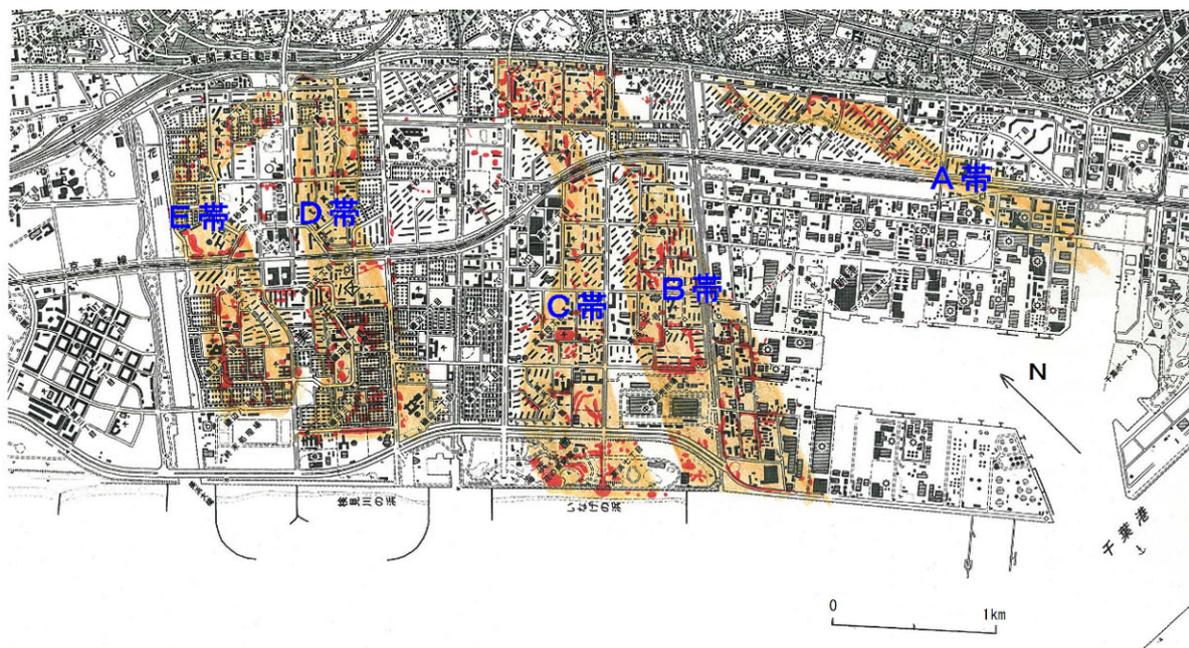


Fig.8 東京湾岸埋立地の千葉市部分での液状化流動化現象の分布. 濃いグレー部分は噴砂の密集部. 薄いグレー部分は噴砂の密集部が带状に分布する領域 (千葉県環境研究センター地質環境研究室, 2011a)

みられ、液状化—流動化現象はこの半島北部を中心にみられた。

房総半島北部についてみると、東方沖地震時にこの現象がみられたほとんどの地点で、今回の地震でもこの現象がみられている(再液状化—流動化)。また、今回の方がその現象の分布範囲は広く、その程度は著しい。例えば神崎町小松飛地では東方沖地震時にはこの現象は利根川に沿う三日月湖内の埋立部分に限られ噴砂量も少なく、地盤の沈下も少なかったが、今回はこの三日月湖周囲の湿地の造成部分にもおよび噴砂量は非常に多く、数十 cm 以上の地盤の沈下が発生した(千葉県環境研究センター, 2011b)。

房総半島南部についてみると、東方沖地震では九十九里平野南部および東京湾岸埋立地南部において広く液状化—流動化現象がみられたが、太平洋沖地震ではほとんどみられていない。

#### 液状化—流動化被害の分布と調査結果

房総半島全域でみられた液状化—流動化現象の特徴の概要と東京湾岸埋立地でのこの現象の特徴示す(千葉県環境研究センター, a・b; 風岡ほか, 2011a; 風岡ほか, 2012b)。

房総半島全域での特徴: ①人工地層(埋立層・盛土

層など)分布域を中心に、液状化—流動化現象による被害がみられる。②噴砂は主に次の4形態が確認され、これらはそれぞれに発生場所が異なる。①地面の亀裂からの噴砂②直線状に並ぶ噴砂③単独の噴砂が密集④直径 1m を超える大きな噴出孔を伴う大規模噴砂。③再液状化—流動化が起こったところでは、東方沖地震時と比べその規模・被害程度がはるかに大きく、数十 cm もの地盤の沈下や構造物の沈み込み、ライフラインの寸断が多数みられる。

東京湾岸埋立地の特徴 (Fig.8 参照): ①埋立地全域で液状化—流動化現象が起こっているわけではなく、場所により被害程度が大きく異なる。②著しい液状化—流動化現象は数十 m~百 m 程度の範囲に斑状に分布する (Fig.8, Fig.9)。③著しい液状化—流動化現象の斑点は幅数百 m で北東—南西方向に延びる数本の带状に分布する (Fig.8)。④液状化防止対策を施したところを除けば、人工地層・沖積層の厚さなどの浅層の地質構造と液状化—流動化現象の分布に相関がみられる。すなわち、液状化—流動化現象の斑状分布については、千葉市美浜区の中磯辺公園の一角でみられるように、人工地層が主に砂層で構成されているところでは液状化—流動化現象がみられ、泥層で構成されているところでは被害は

ほとんどみられない(風岡ほか, 2000; 風岡, 2011a). JR 京葉線よりも海側で被害程度が大きい傾向にあり, 被害程度は埋立層の厚さと調和的などころがある. また, 海岸線に直交~やや斜交する幅数百 m の帯状の液状化-流動化現象の分布は, 沖積層の厚さと調和的などころがある(風岡, 2011a). ⑤他の地域と比較して圧倒的に噴砂量が多く, 噴砂が下水や側溝に流れ込み詰まりを生じた. ⑥比高の高い盛土地(比高約 2m まで)の上からも噴砂が出ている場合がある. ⑦構造物の縁や角・電柱の脇から噴砂が出ている場合が多い. ⑧車道の変形は小さいが, その脇の歩道の変形が概して著しい. ⑨著しい液状化-流動化現象のあったところでは, 阪神大震災の際と同様に強い揺れを感じなかったり, 家の中の家具等は倒れなかったとの証言が多く, S 波の減衰効果の可能性がある. ⑩旧海岸線に隣接する部分に広く液状化-流動化現象が分布する傾向にある.

**その他の地域:** ①下総台地地域に存在する谷津田の盛土地においては, 東方沖地震時に液状化-流動化したところでは今回は被害が少ない. ②飛び地のように南房総市池之内では噴砂がみられる.

#### 浦安地区の液状化-流動化被害の詳細調査結果

(Fig.9 参照): 千葉県環境研究センター地質環境研究室が行なった, 浦安地区の詳細な調査結果を以下に示す. この調査では, 現地をくまなく踏査し, 地質図の作成のように現地にて被害状況を Table 1 に示すようにタイプ区分し, マッピングをおこなって作成したものである(千葉県環境研究センター, 2011d).

東京湾岸埋立地では, 液状化-流動化現象による被害程度が場所により大きく異なる. これらを定量的にみる指標として杭基礎を持つと思われる構造物の拔上がり量の測定結果を第3報において報告した. また, 第3報では現地での地表からの観察の結果, 地表での被害の現れ方の違いを認識し, その違いについて, 噴砂, 道路の変形, レンガ塀や電柱の傾き・沈み込み, 戸建て住宅のような浅層基礎を持つ構造物の沈下・傾きなどを中心にタイプ区分を行なった(Table 1). このタイプ区分に基づきその詳細な平面分布をまとめたものが Fig.9 である. このタイプ区分と拔上がり量の分布調査結果は整合性があったので, これらを統合した図面とした. なお, 現象は本来連続的に変化しているものと思われるが, その変

Table 1 液状化-流動化現象の地表での被害の現れ方による区分

タイプ名	液状化-流動化現象の地表での被害の現れ方
Aタイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多量の噴砂がみられる.</li> <li>・道路は大きく波打ち鉛直方向に30cm以上の凹凸や段差がみられる. 道路わきのU字溝は波打っていたり破損したりしている.</li> <li>・戸建て住宅などの低層の構造物は大きく傾いたり沈み込んだりしている.</li> <li>・電柱や塀は大きく傾いたり数十cm以上沈み込んだりしている.</li> </ul>
Bタイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴砂がみられる.</li> <li>・道路は波打ち鉛直方向に10~20cm程度の凹凸や段差がみられる. 道路わきのU字溝の一部は破損している.</li> <li>・戸建て住宅などの低層の構造物は傾いたり沈み込んだりしている.</li> <li>・電柱や塀は傾いたり10~20cm程度沈み込んだりしている.</li> </ul>
Cタイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴砂がみられる.</li> <li>・道路は数cm程度のわずかな波打ち・沈下や亀裂がみられる.</li> <li>・戸建て住宅などの低層構造物は外見からはほとんどわからないが傾いたり沈み込んでいたものもある.</li> <li>・電柱には沈降や傾きはほとんどみられない. 少ないもののレンガ塀などが少し傾いていることがある.</li> </ul>
Dタイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴砂はみられない.</li> <li>・道路は亀裂や凹凸などはみられない.</li> <li>・家は沈み込みや傾きなどはみられない.</li> <li>・電柱・塀は沈み込みや傾きはみられない.</li> </ul>

化の度合いを表現するためタイプ分けをして分布図として表現している。この中で、特にCタイプとDタイプの区別については現地では困難な場合が多く、Dタイプに極めて近いCタイプがある。同時に、Bタイプに近いCタイプも存在する。また、このタイプ区分は地表面の変形を重視し構造物の被害は補完的にみることにした。なぜならば構造物の被害は、その基礎構造に大きく依存するためであり、これらを把握するのは困難であるからである。基礎の深さはさまざまであり、液状化—流動化する深度も地質環境に大きく依存し一様ではない。例えば、基礎構造の直下の深度で液状化—流動化が起これば構造物に大きな影響が考えられるが、基礎構造よりも浅い深度やかなり深い深度で起こればそれほど大きな影響は考えられないわけである。よって、この区分はそのまま構造物の被害にあてはまるものではない。分布調査の結果としては、タイプ区分は地表面の変形に重点をおいているので抜け上がり量

とは調和的であった。このため、被害タイプの境界はほぼ抜け上がり量（≒地盤の沈下量）の等量線の分布をほぼ表現しているものと思われる。

現地調査は、主に3月下旬～5月下旬におこなった。タイプ区分が最初は個人差もあったので、クロスチェックも行ないながら進めていった。現地調査は現象の把握と記載といった意味から調査の分解能は5～10m程度である。なお、太平洋沖地震での液状化—流動化現象は県内の広い範囲で発生したものの、人員等限られた中での調査であることから、残念ながら未調査の部分もある。このため、Fig.9の着色部が調査した部分となる。

調査の結果、概要は以下のとおりである。

①液状化—流動化現象は旧海岸線よりも内陸側の自然地層である沖積層上にはほとんどみられず（工事などで掘り返した地点を除く）、旧海岸線以南の埋立地においてみられる。このことは、基本的には人工地層中で液状化—流動化現象が主に発生しているこ

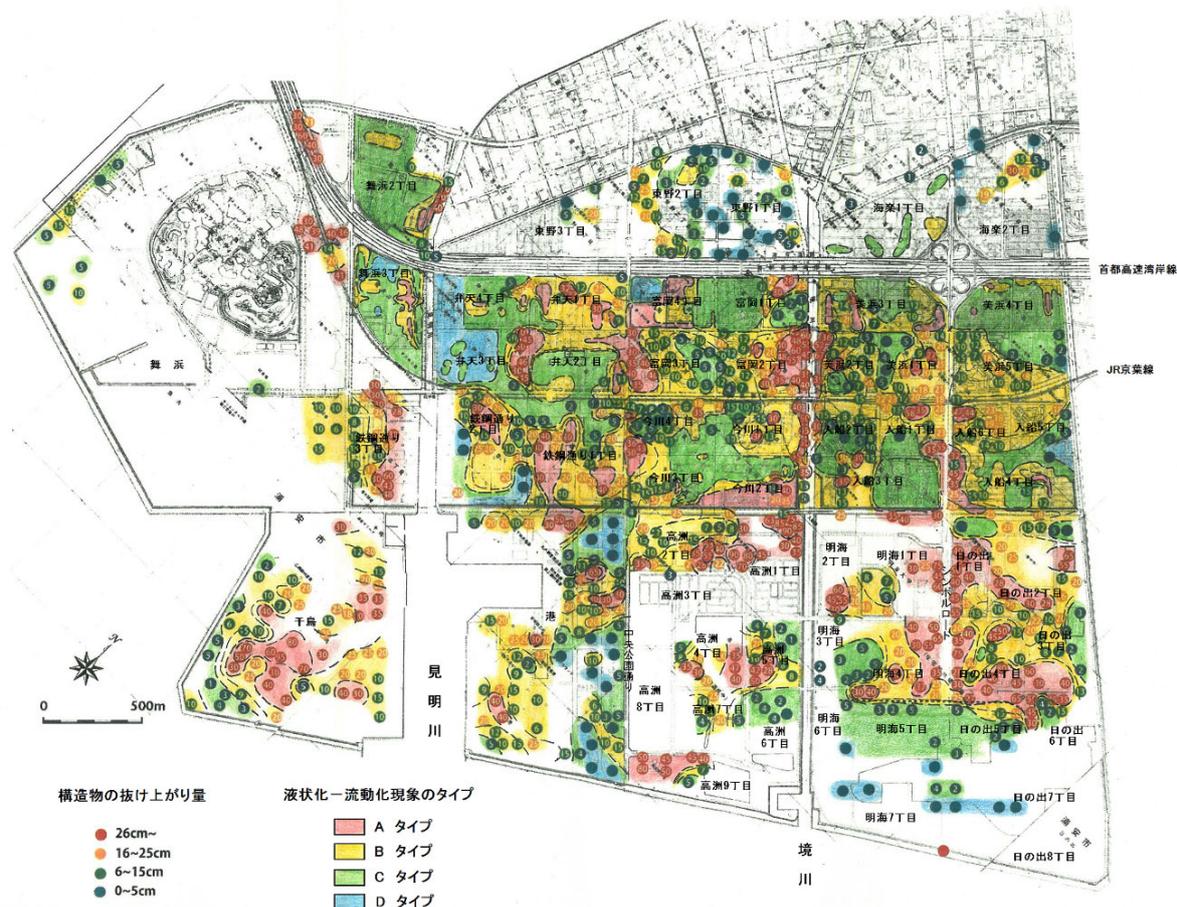


Fig.9 浦安市の埋立地での液状化—流動化現象による地表でみられる被害の状況（千葉県環境研究センター地質環境研究室，2011d）。現象のタイプ区分は表1を参照。抜け上がり量については第3報図5を参照。

とを示している。

②埋立地の中では、全域が一様に液状化－流動化しているわけではない。また、千葉市美浜区で見られるような Km オーダーの帯状の被害分布はここではみられない。むしろ、地表面において被害状況が異なる A タイプ～D タイプが混在し、まだら状に分布している。また、A タイプについては旧護岸よりも内陸側の北西の埋立地では、幅 100m 長さ 500m 程度の帯状に分布する。旧護岸よりも沖合い側の南東の埋立地では直径 500m を超える規模の大きな斑状の分布をなす。

③首都高速湾岸線を境に、北側では C タイプ・D タイプが広く分布し、南側では A タイプ～D タイプが混在しまだら状分布をなしている。

④液状化－流動化現象による被害が顕著なのは、入船から明海および日の出にかけてのシンボルロード沿い、美浜・富岡・今川・高洲の境川沿い、舞浜の見明川沿い、日の出の中部、高洲の北端と中央部および南端部、今川の旧護岸沿いの南東端、富岡の南西端、弁天の北東端部と中央部、鉄鋼団地の中部、千鳥の中南部等であった。

⑤一方、埋立地にもかかわらず液状化－流動化被害が比較的小さいか場合によってはみられない地区があり、この中には事前になんらかの液状化防止対策が施されているところもある。

⑥液状化－流動化現象として、噴砂、噴水、地表面の変形（地波・地割れ・陥没・地盤の沈下など）、構造物被害（地盤の沈下にとまなう中・高層ビルの抜け上がり、戸建て構造物やコンクリート塀・門柱・敷石および電柱などの浅層基礎構造物の沈み込みや傾動、マンホール・防火水槽等の空洞状の地中構造物の浮上）などがみられた。

⑦地波により地表の波状変形が残っているものがみられ、その形態は直径数 m のドーム状に隆起したもののや、波上になっており波頭が東西方向に伸び波長が 10～20m 程度のものがみられる。

⑧戸建て住宅地部分の A タイプ～B タイプの被害部分では、道路面と比較して両脇の戸建て住宅部分が沈下している場合が多くみられた。また、道路と側溝のつなぎ目からは大量の噴砂・噴水があった。ア

スファルト道路は難透水性なので、噴砂・噴水により浮上した可能性がある。

以下に、各地区の被害状況を示す。なお、写真は地表面の変形の状況や構造物の被害状況を中心としており、被害のないところについては撮影していない。このため、写真のみをみていくと被害が強調される印象になってしまう。液状化－流動化被害の実態は Fig.9 に示すとおりであることに注意いただきたい。

### 液状化－流動化現象の再現性（再液状化）

千葉市美浜区の東京湾岸埋立地では、太平洋沖地震時の液状化－流動化現象の集中帯の B 帯と C 帯 (Fig.8) の中心部付近では、東方沖地震時には噴砂が断続的に分布していた。このようなことから、次のことが考えられる。①この帯内では地震のたびに液状化－流動化現象が発生しているといえる。②1987 年千葉県東方沖地震時には液状化－流動化現象の分布範囲は小規模であった。これは、地震の規模が小さかったことによると考えられる。すなわちこの時は、最も液状化しやすい条件の部分においてこの現象が発生したといえる。③よって、液状化－流動化現象が起こった部分では、再び同現象が発生しやすいといえる (風岡, 2011a; 風岡ほか, 2012b)。

### 東京湾岸埋立地の人工地層の層相の

#### 側方変化の原因について

千葉市美浜区の中磯部公園では液状化－流動化現象は、東方沖地震時には平面的な人工地層の泥層と砂層の境界部において発生し、太平洋沖地震時には砂層部分全域において発生し大きく沈下した。このように東京湾岸埋立地において、人工地層内に砂層優勢部分と泥層優勢部分ができる原因については、以下のように考えられる。

埋立地を作る際には、埋立の外周に堤防（護岸）を作り、この中に沖合の海底の浚渫砂を海水とともにサンドポンプによって流入させ埋積していく。東京湾の海底は、沖積層や下総層群から構成されるので、浚渫砂は砂だけでなく泥も含まれている。このため、浚渫砂の流入部分ではストークスの法則に従

い地層粒子が堆積するので、サンドポンプの吹き出し口に近いところでは主に砂が堆積し、ここから離れたところでは泥が堆積する。吹き出し口は埋立初期には護岸に沿って作られ、埋積が進むにつれ埋立地の中央へ移動させる場合が多いようである。また、流入した海水を排水する際、懸濁物質を沈積させるため、排水口の近くには沈殿池が作られ、主に泥層が形成されることになる。このように埋立地の中では泥層が主体となる部分と砂層が主体となる部分が形成されることになる。東京湾岸埋立地内では同様な方法で埋め立てを行ってきているので、砂層を主体とし液状化－流動化しやすい部分と泥層を主体とし液状化しにくい部分が存在することになるものと考えられる（風岡，2011；風岡ほか，2012b）。

### 災害に強いまちづくりへ

これまでの調査結果や既存地質データより、被害状況の相違の原因について検討してみる。

#### 液状化がおこる3要素と液状化－流動化被害分布

液状化が起きるには以下の3要素がそろふ必要があるといわれている（最上・久保，1953；Seed & Lee，1966）。①ゆる詰まりの砂である。②地下水位が浅いこと。③比較的強い揺れがあること。

Fig.8 に代表されるように東京湾岸埋立地においては、液状化－流動化現象の分布には、百 m オーダーの噴砂の集中域が斑状に存在し、この集中域が幅数百 m の帯状（km オーダー）に分布する。これら液状化－流動化現象が上記の3要素のうち、どの要素に起因するのかを検討してみる（風岡，2011a；風岡ほか，2012a）。

①に関しては、今回の地震での液状化－流動化現象がみられた場所はほとんどが人工地層分布域である。人工地層の側方変化に着目すると、中磯辺公園では数十 m～百 m で変化する（風岡ほか，2000）。埋立て時の航空写真ではサンドポンプの噴出し口は百 m～数百 m 間隔なので、側方変化は百 m～数百 m のオーダーとなる。このようなことから、Fig.5 にみられる噴砂の集中域はこのオーダーに一致し、噴砂の百 m オーダーの液状化－流動化現象の分布は、人工地層の層相分布が大きく影響している可能性が高

い。

②に関しては、埋立地は護岸で囲まれ、地下水位の側方への変化は少ないと考えられる。しかし、下水管への漏水や、護岸の隙間からの地下水の湧出より地下水位の変化も考えられる。一方、築山・池などの地表の凹凸により、地下水面と地表との比高が変化する。今回の地震時に稲毛海浜公園では、築山上に噴砂はみられないが、池の中では大量の噴砂が生じた。ここでの被害分布のオーダーは百 m オーダーである。

以上の2点は液状化－流動化被害の帯状分布の原因とはなりにくいことから、この原因は③の揺れの強さの変化が考えられる。埋立層の下位には沖積層があり、沖積の谷が帯状に分布する。これら谷の幅は数百 m である。また、沖積層は軟らかいので地震動を増幅する。このようなことから、この帯状分布は、谷を埋めて帯状に厚く分布する沖積層に起因することが考えられる。データ数は少ないが既存のボーリングデータからは Fig.5 の B 帯・C 帯付近は沖積層が厚い傾向がみられる。なお、地質環境研究室は C 帯の中に位置し、5 強のゆれが観測された。Fig.2 より、この埋立地付近が震度階 5 強と 5 弱の境界にあたり、ちょうど表層地質の違いの影響が震度階分布として現れやすい条件にある。5 弱の揺れの観測点では液状化－流動化被害がみられなかったことを考え合わせると、液状化－流動化被害の集中帯の外は沖積層の厚さが薄く地震動の増幅が小さいと推定され、この部分は震度階 5 弱の揺れであった可能性が考えられる。

Fig.10 は、東京湾岸埋立地北部のこれら現象を概念化したものである。海岸に平行な方向の地質断面に地震時の揺れの強さ・液状化－流動化被害の強さを概念的に示したものである。氷期に海面が低下し下総層群が谷状に侵食され、その後完新世の間氷期に海面が上昇し、この谷の中は泥層により埋積されていき、この上位には浅海成の細粒砂が広く分布する。なお、この細粒砂層は波浪の影響を受け締め固まっていることが多い。1960 年代～1980 年代初期に埋立が行なわれ、初めは潮間帯を、その後この沖合をサンドポンプにより埋立てた。よって、この埋立

地は砂層または泥層の卓越部が存在する。

こうした埋立地の強震時の揺れと液状化—流動化の程度を断面図の上に定性的に示した。揺れは、“沖積の谷”や人工地層の泥層の厚層部で増幅する。また、下総層群中に存在するリス氷期の谷（下総台地研究グループ、1984）上でも強く揺れる可能性がある。液状化—流動化現象は、人工地層の砂層分布域におこりやすく、沖積の谷上や、人工地層中での砂層の上に楔状に泥層が重なる部分は特に起こりやすい。また、標高の低いところでは起こりやすく、高いところは起こりにくい。泥層卓越域ではこの現象は起こりにくい。一方、泥層中や泥層の下位に砂層がレンズ状に分布する場合は何らかの影響が考えられる。

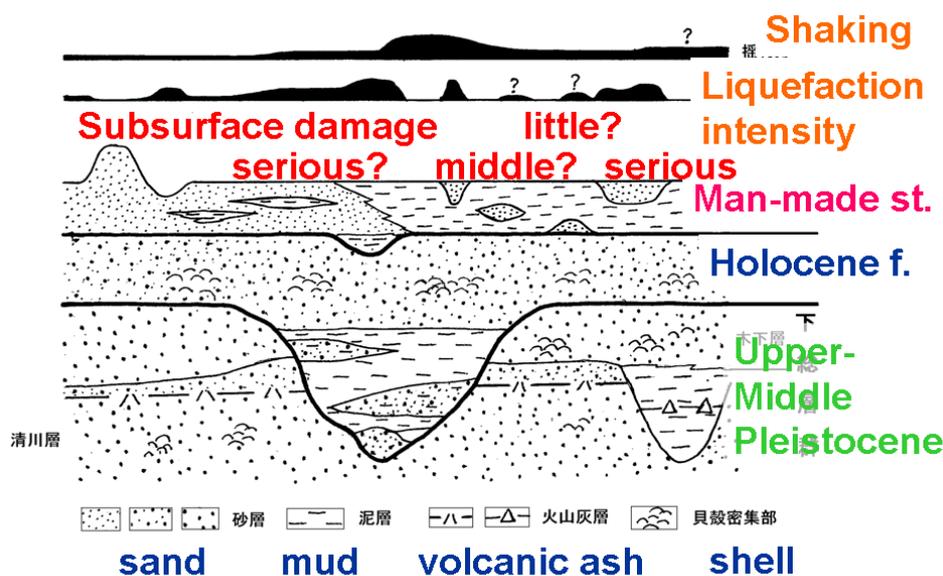
**東京湾岸埋立地の液状化—流動化被害の予防・軽減にむけて**

これまでの、地質環境と液状化—流動化被害についての議論をもとに、今後の調査や復旧・復興に向けて地質環境の視点からの考慮すべき点を記す（風岡、2011a；千葉県環境研究センター、2011c；風岡ほか、2012b）。

液状化—流動化調査に関して：①Fig.10 は作業仮説なので、液状化—流動化現象の分布を考慮し、層序ボーリングなどにより、地質層序を確立し、各層の

3次元的分布の把握、地震動の増幅を推定するための各層の物性の把握が必要である。②現象予測の向上と対策のため、地表や各層毎に地震計と間隙水圧計を設置し、実際の地震動の増幅や液状化の原因である間隙水圧の上昇を観測する必要がある。

**復旧にあたって：**①液状化—流動化の発生と地層との関係、地下水の流動状況といった液状化のメカニズムを明らかにし、計画的にかつ積み上げが可能な方法で対策を講ずることが重要である。②人工地層の泥層卓越部分と砂層卓越部分が接しているところは地震動による揺れ方が異なることを、構造物を作る際に考慮すべきである。③液状化—流動化が起こったところはゆる詰まり状態となり、それまでの地層の硬さや地層構成も変化するので、復旧時には、再度地層構成や地層物性の再調査が必要となる。④液状化対策には、地下水流動を考慮する必要がある。モルタル注入などの地層の透水性を低下させる対策は、地下水の上流側の地下水位が上がり液状化—流動化被害が起きやすくなる（楡井、2003）。⑤有害物質取り扱い場所での液状化予防対策では、有害物質の深部へ拡散を考慮する必要がある。このため、このような場所での調査対策には単元調査に基づく地質汚染調査法に沿って行なう必要がある。また、地下の透水層構造を考慮し、難透水層の止水能力を



**Fig.10 Idealized geological cross section on reclaimed land of Tokyo bay. Intensity of shaking and liquefaction show line width (Kazaoka, 2011a).**

損なわないように予防対策を行なう必要がある。

### 災害に強いまちづくりにむけて

東日本大震災では、災害は特に各地域の独自性が問われることになること、そのためには地域の多様な地質環境特性や文化・社会状況に応じて地域自らが解決していかななくてはならないことを我々に教えてくれた。このような視点から災害に強い持続的な社会を営むにあたって以下のような視点が必要と考えられる（風岡, 2011a ; 千葉県環境研究センター, 2011c ; 風岡ほか, 2012b）

①今回の震災は地質環境の違いが被害の現れ方に大きな影響を与えた。地質環境にマッチした土地利用形態の変更も含めた街づくりが持続的社會には必要である。また、このような地質の知識を持つ職員が国や自治体および各種組織には必要である。なお、ここで地質の知識を持つ職員とは、最低限地質調査を行うことができ、地質図を作成する能力を有するものであり、単に地学系の大学などの学校を卒業しているものではない。従来の地学系の大学の卒業者のほとんどは地質図の作成能力を有していたが、現在は必ずしもそうではなくなったので地質図作成能力のあるものと記した。地質図作成能力が身につけている者は、将来起こる様々な災害に対して、どのような自然現象が起こっていくのかを具体的にイメージすることが可能である。なぜならば、地質図を作成する際には、各地層の形成過程をイメージし、実際に現地ですその証拠を見つけ出すことによってようやく完成させることができる。すなわち、自然現象を時系列的に三次元的にイメージし図面として表現する訓練を受けているので、予想される自然現象を具体的にイメージすることが可能であるからである。

②このような自然災害を取り扱う分野は、理科の地学分野であり、地震・津波・斜面崩壊などの地質災害や、これがおこりやすい人工地層・沖積層・新生代層、地下水、地盤の沈下・地質汚染を取り扱う必要がある。③埋立て護岸の耐震化と埋立地外周部分の液状化の予防が重要である。④ライフラインの確保ないし、地区ごとの自立性の確保が重要である。⑤液状化のS波の減衰効果の活用が重要である。⑥非常用水源としての地下水の持続的利用とモニター

が必要である。⑦避難施設の自立性の確保が必要である。⑧液状化に引き続く流動化現象・地波現象を含めた液状化一流動化現象の実態の把握とメカニズム解明および、現象の観測が今後必要である。（風岡, 2011a ; 風岡ほか 2012b）。

### まとめ

これまで、自然科学は単なる謎解きだけでなく、市民生活を豊にすることに貢献してその価値が認められてきた。液状化一流動化現象などの災害も含めて、自然現象が市民生活に及ぼす悪影響や良い影響について、観念的ではなく科学的に正しく評価し、成果を普及することによって、市民が「正しくおそれる」（和達ほか, 1973）ことが出来るようになるう。

### 引用文献

- Allen, J.R.L., 1985, Sedimentary Structure their character and physical basis vol.II, Elsevier, 293-342.
- 千葉県環境研究センター, 2011,  
[http://www.wit.pref.chiba.jp/\\_sui\\_chi/chishitu/touhoku/ekijouka20110318b.pdf](http://www.wit.pref.chiba.jp/_sui_chi/chishitu/touhoku/ekijouka20110318b.pdf), 8p (2011年3月18日掲載).
- 千葉県環境研究センター, 2011,  
[http://www.wit.pref.chiba.jp/\\_sui\\_chi/chishitu/touhoku/dai2/gaiyou20110415.pdf](http://www.wit.pref.chiba.jp/_sui_chi/chishitu/touhoku/dai2/gaiyou20110415.pdf), 57p (2011年4月15日掲載).
- 千葉県環境研究センター, 2011,  
[http://www.wit.pref.chiba.jp/\\_sui\\_chi/chishitu/touhoku/dai3/ekijouka3a.pdf](http://www.wit.pref.chiba.jp/_sui_chi/chishitu/touhoku/dai3/ekijouka3a.pdf), 25p (2011年6月9日掲載).
- 千葉県環境研究センター(RIEGC), 2011,  
[http://www.wit.pref.chiba.jp/\\_sui\\_chi/chishitu/touhoku/dai4/ekijouka41-12P.pdf](http://www.wit.pref.chiba.jp/_sui_chi/chishitu/touhoku/dai4/ekijouka41-12P.pdf), 69p (2011/12/28 掲載).
- 江戸川区土木部沿川まちづくり課, 2011, まちづくりニュース 北小岩一丁目東部地区 No.87 東日本大震災における清新町の液状化による被害状況について.  
[http://www.city.edogawa.tokyo.jp/gyosei/toshikeikaku/machidukurijoho/kitakoiwa/kitakoiwa18/news23/files/87\\_230530.pdf#search=%E6%B6%B2%E7%A%B6%E5%8C%96%E3%80%80%E6%9D%B1%E6%97%A5%E6%9C%AC%E5%A4%A7%E9%9C%87%E7%81%BD](http://www.city.edogawa.tokyo.jp/gyosei/toshikeikaku/machidukurijoho/kitakoiwa/kitakoiwa18/news23/files/87_230530.pdf#search=%E6%B6%B2%E7%A%B6%E5%8C%96%E3%80%80%E6%9D%B1%E6%97%A5%E6%9C%AC%E5%A4%A7%E9%9C%87%E7%81%BD) (2011年5月30日)
- 藤田至則, 1983, 噴砂現象の規則性とその成因—日本海中部地震による秋田県若美町, 秋田港における噴砂災害—. 新潟大学積雪地域災害研究センター研究年報. Vol.5, 53-6.
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011a, 東北地方太平洋沖地震の災害

- 調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その1). 地盤工学会,  
<http://www.jiban.or.jp/file/ibarakiunivno1.pdf> (2011年3月18日掲載)
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011b, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その2). 地盤工学会,  
<http://www.jiban.or.jp/file/ibarakiunivno2.pdf> (2011年3月18日掲載)
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011c, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その3). 地盤工学会,  
<http://www.jiban.or.jp/file/ibarakiunivno3.pdf> (2011年3月18日掲載)
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011d, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その4). 地盤工学会,  
<http://www.jiban.or.jp/file/ibarakiunivno4.pdf> (2011年3月22日掲載)
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011e, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その5). 地盤工学会,  
<http://www.jiban.or.jp/file/ibarakiunivno5.pdf> (2011年3月30日掲載)
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011f, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その6). 地盤工学会,  
<http://www.jiban.or.jp/file/ibarakiunivno6.pdf> (2011年3月30日掲載)
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011g, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その7). 地盤工学会,  
[http://www.jiban.or.jp/file/file/saigai\\_ibadaigeo201104n07.pdf](http://www.jiban.or.jp/file/file/saigai_ibadaigeo201104n07.pdf) (2011年4月9日掲載)
- 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室, 2011h, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書(速報版:その8). 地盤工学会,  
[http://www.jiban.or.jp/file/file/saigai\\_ibadaigeo201104n08-2.pdf](http://www.jiban.or.jp/file/file/saigai_ibadaigeo201104n08-2.pdf) (2011年4月10日掲載)
- 飯川健勝, 1991, 新潟県南西部地域の地震震動区とブロック運動. 第1回環境地質学シンポジウム講演論文集, 169-174.
- 石原研而, 1976, 土質動力学の基礎. 鹿島出版, 303p.
- 石綿ほか, 1998, 科学研究費補助金(基礎研究(A)(1))研究成果報告書 課題番号 07309016, 18-29.
- 市原ほか, 1987, 地震災害と軟弱地盤, 日本の平野 日本  
 の自然 第6巻, P10.
- UGS-GEM, 2011, <http://manmade.iugs-gem.org/>
- 地震予知総合研究振興会, 2011, 地震加速度情報 2011年3月11日14時46分.  
<http://www.adep.or.jp/shindo/Screen/C123380.html>
- 関東学院大学地盤防災工学研究室, 2011, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 横浜市金沢区八景島周辺および本牧港湾住宅周辺地盤の液化化被害. 地盤工学会, <http://www.jiban.or.jp/file/file/kiku.pdf> (2011年4月19日掲載).
- 加藤晶子ほか, 2011 投稿中, 全国環境研会誌.
- 勝井ほか, 1989, 北海道駒ヶ岳火山地質図 1:50,000, 地質調査所.
- 風岡ほか, 1993, 第3回環境地質学シンポジウム講演論文集, 403-408.
- 風岡 修ほか, 1994, 液化化一流動化のメカニズムとその実態, 日本地質学会第101年総会・討論会 講演要旨, 125-126.
- 風岡修ほか, 1998, 第8回環境地質学シンポジウム論文集, 347-352.
- 風岡修ほか, 1999, 第9回環境地質学シンポジウム論文集, 63-68.
- 風岡 修ほか 2000, 局所的な表層地質の違いが液化化一流動化に与える影響 — 東京湾岸埋立地の例 —, 第10回環境地質学シンポジウム論文集, 33-38.
- 風岡 修ほか, 2001, 地震時にみられた液化化一流動化現象とその時系列変化—2000年鳥取県西部地震・2001年芸予地震での例—, 第11回環境地質学シンポジウム論文集, 419-424.
- 風岡 修, 2003, 液化化・流動化の地層断面. アーバンクボタ 40号, 5-13.
- 風岡 修ほか, 2004, 砂鉄採取跡地の液化化一流動化による地波形成部分の地質状態 —1987年千葉県東方沖地震時の九十九里平野での地質環境調査結果—, 第14回環境地質学シンポジウム論文集, 395-400.
- 風岡修ほか, 2009, 完新統海岸砂丘の砂丘間低地における液化化一流動化現象の機構解明と今後の強震動・被害予測上の問題点—1987年千葉県東方沖地震時の山武市本須賀での例—医療地質—地質汚染—社会地質学会, 第19回環境地質学シンポジウム論文集, 169-174.
- 風岡修, 2011a, シンポジウム「人工改変地と東日本大震災」資料集, 地質汚染—医療地質—社会地質学会, 1-21.
- 風岡修, 2011b, 社会地質学会シンポジウム「利根川中下流域の液化化・流動化・地波現象」資料集, 地質汚染—医療地質—社会地質学会, 1-18.
- 風岡ほか, 2012a 印刷中, 2011年東北地方太平洋沖地震時における液化化一流動化と地波現象の時系列変化の観察例, 第21回環境地質学シンポジウム論文集.

- 風岡ほか, 2012b 印刷中, 2011年東北地方太平洋沖地震時に第四紀関東堆積盆地の房総半島に発生した液状化-流動化現象 - 東京湾岸埋立地の千葉市・浦安市を中心に - 第21回環境地質学シンポジウム論文集.
- Kawakami, F. and Asada, A., 1966, Damage to the Ground and Earth Structures by the Niigata Earthquake of June 16, 1964. *Soil and Foundation*, vol.6, No.1, 14-30.
- 気象庁, 2011, 地震月報, 321p.
- 国土交通省荒川下流河川事務所, 2011, 東日本大震災による荒川下流管内の被災状況等について. [http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/attachment/topics/f\\_1306390622\\_1.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/attachment/topics/f_1306390622_1.pdf) (2011年5月26日掲載)
- 国土交通省利根川下流河川事務所, 2011, 緊急災害復旧工事. <http://www.ktr.mlit.go.jp/tonege/bousai2/pdf/110606%20kinkyusai.pdf> (2011年4月21日)
- Kokusho, T., 1980, Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range. *soil and Foundations*, vol.20, No.2.
- 國生剛治, 2005, 液状化現象 巨大地震を読み解くキーワード. 山海堂, 269p.
- 小西純一・川上浩, 昭和59年長野県西部地震による災害, 信州大学自然災害研究会, 82-85.
- 江東区, 2011, 江東区内の被害状況と対応. <http://www.city.koto.lg.jp/seikatsu/bosai/58976/58570.html> (2011年03月14日更新)
- 熊井久雄ほか, 1985, 信州大学自然災害研究会, 48-57.
- 楠田隆ほか, 2001, 震度階分布の異方性と地質構造. 第11回環境地質学シンポジウム講演論文集, 425-428.
- 桑野二郎ほか, 2011, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 幸手市西関宿江戸川堤防被災等調査. 地盤工学会, [http://www.jiban.or.jp/file/file/saigai\\_0315.pdf](http://www.jiban.or.jp/file/file/saigai_0315.pdf) (2011年4月12日 掲載)
- Lowe, D.R., 1975, Water escape structures in coarse-grained sediments. *Sedimentology*, vol.22, 157-201.
- 三田村宗樹・大阪市立大学「阪神大震災」学術調査団, 1995, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, 日本地質学会環境地質研究委員会, 209-214.
- Mogami, T. and Kubo, K., 1953, The behavior of sand during vibration. *Proc. 3rd International Conference on Soil Mech. and Found. Eng.*, vol.1, 152-155.
- 長野県教師グループ, 1987, 長野県における1984年長野県西部地震の震度分布. *地球科学*, 41巻, 81-100.
- 中川光弘ほか, 青麻一恐火山列: 東北日本弧火山フロント. 1986, *岩鉱*, 81巻, 471-478.
- 新潟大学理学部地質鉱物学教室・深田地質研究所, 1964, 新潟地震地盤災害図.
- 楡井 久ほか, 1986, 地震動における地波現象と帯水層の液状化, *地質学論集*, 27, 109-114.
- 楡井 久ほか (英), 1990, 千葉県東方沖地震と災害, *地質学論集*, 35, 31-46.
- 楡井 久ほか, 1993, 日本地質学会環境地質研究委員会, 第3回環境地質学シンポジウム講演論文集, 397-402.
- 楡井ほか, 1995, 都市耐震センター研究報告, 京都大学防災研究所, 9号, 25-52.
- 楡井 久ほか, 1996, 震災の帯を狭めた液状化・流動化現象と地層収縮現象. 京都大学都市耐震センター研究報告, 別冊第18号, 127-146.
- 楡井 久, 2003, 液状化対策 2. アーバンクボタ 40号「液状化・流動化」, 56-57.
- 大草重康・安間 莊, 1980 英, *Engineering Geology*, 16, 195-224.
- Seed, H.B. and Lee, K.L., 1966, Liquefaction of saturated sand during cyclic loading, *Proc., ASCE*, vol.91, SM6, 105-134.
- 下総台地研究グループ, 1984, *地球科学*, 38巻, 226-234.
- 田結庄良昭, 1995, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, 日本地質学会環境地質研究委員会, 149-154.
- 竹之内 耕, 2001, 地質構造と震動分布 - 北部フォッサマグナの例 - 第11回環境地質学シンポジウム講演論文集, 453-456.
- 東畑郁夫ほか, 2011, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東北地方太平洋沖地震(2011/03/11) 南関東地区の被害調査 速報. 地盤工学会, [http://www.jiban.or.jp/saigai\\_tohata\\_0322\\_Rev3.pdf](http://www.jiban.or.jp/saigai_tohata_0322_Rev3.pdf) (2011年4月25日掲載)
- 東北大学理学部地質学古生物学教室災害調査グループ, 1969, 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, 80, 1-97.
- 角田史雄ほか, 1985, 震度分布から推定される埼玉平野の先第四系の地質構造. 埼玉大学教養部紀要, *自然科学*, 21巻, 263-278.
- 矢部長克, 1918, 糸魚川静岡地構線. *現代の科学*, 6巻, 147-150.
- 山下 昇, 1970, 柏崎一銚子線. 島弧と海洋, 東海大学出版会, p.179-191.
- 安田 進, 2011, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報 東京湾岸で液状化が発生した地区の概要 (第1報) 平成23年3月21日現在. 地盤工学会, <http://www.jiban.or.jp/file/yasudano1.pdf> (2011年3月29日掲載)
- 和達清夫・竹山謙三郎・岸上冬彦・沼田政矩・岡本舜三・那須信治・森本良平, 1973, 「諸君」 56-73.

## 地形・地質情報図の標準化と地盤情報との総合化

尾崎 正紀 (産業技術総合研究所 地質情報研究部門)

### 1. はじめに

地盤情報に係わる重要な現状認識として、特に明治以降、自然災害を受けやすい軟弱及び不安定な地盤に定住の場を広げ、都市を作ってしまったことがある。縄文海進高頂期である約6,000年前から海水準が安定し、浸食されて運ばれた堆積物により平野域が徐々に拡大し、それが近代以降の沿岸部での都市拡大を可能にしてきた。しかし、地質学的に見ると、この安定は一瞬の出来事で、海水準が上昇すれば浸水・海岸浸食・暴風、下降すれば浸食基準面の低下により軟弱地盤域での下刻が脅威となる。何れにしても、多くの都市域は、都市機能の持続が長期的に容易な場所でないことは明らかである。

この現状に対して、明日にも起こりうる自然災害によって甚大な被害を受ける前に、できるだけ都市域の脆弱性を軽減させることが急務であることは、誰もが認識するところである。こうした背景もあり、地質地盤情報協議会では、地質地盤情報の整備、共有化および法整備に関する問題点を整理し、社会に地質地盤情報の整備の必要性を提言してきた(地質地盤情報協議会、2007・2010)。また、地質地盤情報が積極的に提供されつつあり、地盤情報提供ビジネスも始まっている。

ところが、例えば東日本大震災の惨状を見てもなお、被災地以外では、地盤に対する注目、危機意識が日々少なくなっていると感じる。首都圏でも関東大震災(1923年)以来、運良く、大きな被害を受けずに順調に臨海部を開発し経済発展してきたためか、時間と共に、危機を軽視する傾向にある。また、東北の太平洋側沿岸域の今回の津波被害においても、近代に同様な津波被害を経験していたにも係わらず、その体験知、形式知が十分に活かされているとは言えなかった。すなわち、我々の多くは過去から学ぶことを十分にせず、危機を軽視する正常性バイアス(心理的特性)を持っていると思わざるをえない。

このような状況の中、行政の果たす役割は特に重

要である。都市におけるインフラの補強(地盤改良、建築物の耐震補強など)、重要インフラの移転・分散によるリスク軽減対策など、自然災害に強い都市に変えていくためには、都市計画の策定や規制の適正化など、短～長期の法的施策などを的確に行うことが重要だからである。そしてこれを可能にするのは、より正確な地質地盤情報であり、それは具体的な施策を導くために、また国民の危険性認識の持続につながる情報でなければならない。

ところが、多くの方の努力によりボーリングデータを中心とする地盤情報は整備され前進が認められるものの、残念ながら依然として、地質地盤情報全体が十分に社会に活かされるような状況ではない。特に最も深刻な問題と思われるのは、一過性ではない、地盤情報を活かす災害軽減対応ビジネスを成立させるために必要な情報の一つである、国や地方の基本的な地盤情報が、オープンガバメントデータとしてWeb上にほとんどないことである。

以下、地質地盤情報の現状、地下地盤情報を活かすための国土の地形・地質情報図の在り方、新たな地質・地盤情報図の整備案について述べる。

### 2. オープンガバメントデータ

現在の情報化社会において、国、地方の持つ情報をいかに活用し、新たな安全に係わる情報や経済価値を生み出すかが大きな課題となっている。当然、地質地盤情報は社会的な知的基盤情報であり、オープンガバメントデータとして国民に提供されるべき情報である。

オープンガバメントデータの原則は、透明性(原則、行政が所持している情報はすべて出す)、誰でも参加(誰もが利活用できるオンラインでの情報提供など)、官民の連携(例えば、省庁枠の撤廃、産学官の連携・協働など)などが必要とされているが、地質地盤情報の現状は十分とは言えない。

例えば、今回の東日本大震災では液状化と埋立地

の問題がまたクローズアップされたが、埋立地の基本的な情報（造成時期、工法、充填物、厚さ、地下の地盤の様子など）、すなわちどこには存在すると思われる国土の地盤に絡む情報が、Web上に整理され置かれていない現状が一例である（第1図）。整理とは、単に存在させるのではなく、品質の裏付けの



### 第1図 東京湾北部の干拓地・埋立地の造成期

（遠藤，2004より作成。基本図は2万5千分の1都市地質図のパイロット版）

埋立地の造成期など、工法、構成物質（産業廃棄物、海成砂泥の浚渫、更新世堆積物など）、人工地層の厚さ、地下の地盤の情報が、当たり前のようにWeb上に整理され置かれて活用できる状態がオープンガバメントデータとなりうるための条件であるが、このような簡単な情報でさえ、数値化され活用可能な状態でWeb上に置かれていない。

ある情報として、分かり易く国民に提供されている状態を意味する。

また、地質モデルや評価図（液状化危険度マップなど）が作成・公表されているが、Web上で第三者が、元となるデータ、作成方法などが確認でき、その検証（評価）、諸条件を変えての改善等ができる状態には必ずしもなっていない。現状では、法的整備や情報提供の方法もあり、作成者にその意図が全くなくても、結果として、基本情報はオープンとならず、評価、再解析など、より良い情報の構築に向けた取り組みができない場合が多い。

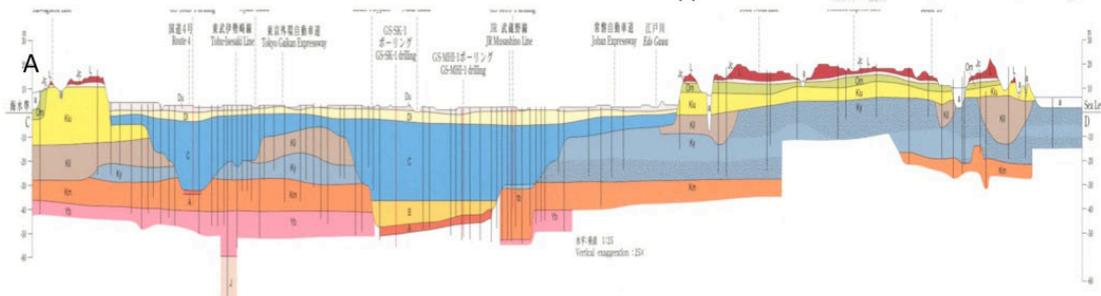
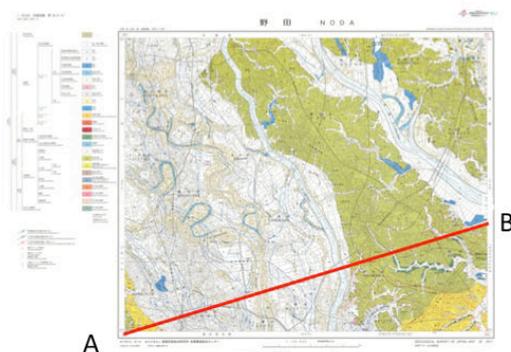
更に、5万分の1縮尺の地形・地質情報図の多くが、同じ情報を示すものであっても異なる領域で描かれて、かつ未整理・未更新のまま、画像でのみ存在する（第2図）。また、上部更新統～完新統の地質情報図の凡例区分は地形区分に留まっており、地下の地盤情報を反映するような区分での表現が行われていない。

地質地盤情報は、なるべく広域の標準化されたものとして提供されなければならない。例えば、震災後の被害地の調査から得られる部分的な詳細な情報だけでは、広範に及ぶ、有効な法的施策などには必ずしも直結しない。広域となると当然、地域によっては、品質の良い情報が提供できない場合もあるが、現状において国民に提供できる情報がどの程度存在

### 第2図 地質図と軟弱地盤の断面図

5万分の1地質図幅「野田」（中澤・田辺，2011）

詳細な断面図の表示や記載が行われているが、上部更新統～完新統の地質図としての凡例区分が地形区分では限界がある。国民の理解、有効な施策に結びけるためには、標準化された情報・解析・評価を背景とした多様な表現が必要。



するかという情報も、オープンガバメントデータとして提供されるべき重要な情報である。

### 3. 地形・地質情報図とその役割

地形・地質情報図とは、ここでは、国、地方が提供する国土の地形・地質に絡む地理空間情報の意味で使用している。

5万分の1縮尺では、表層地質図、地形分類図、地質図幅、沿岸の海の基本図（海域）、2万5千分の1縮尺では土地条件図、治水地形分類図、都市圏活断層図（及び各種の活断層図）などがあげられる。

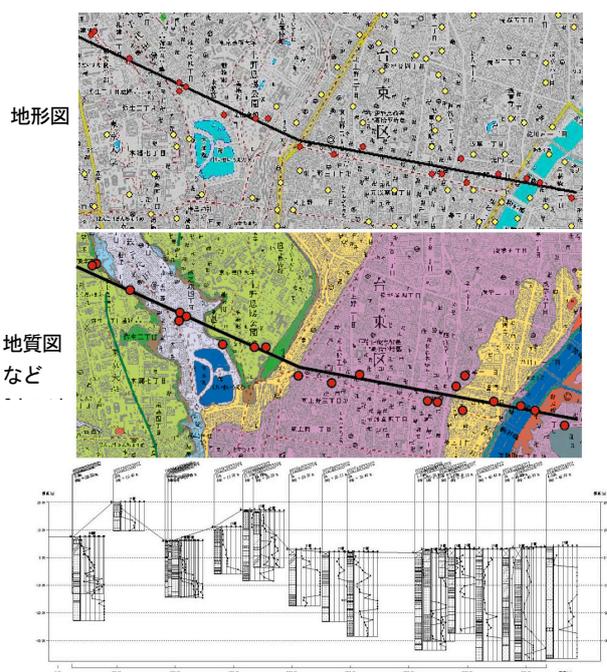
地形・地質情報図の地下地盤情報を活かすための機能（役割）としては、(1)地盤情報を仮想的に提示する、(2)地下地盤情報とそのモデルに、時空的広がり（規制）を与える、(3)国民の地盤情報への理解を助け、有効な施策につなげる効果、があげられる。

(1)の機能を有する地形分類図や土地条件図は地盤評価のスクリーニングで使われ、(2)はボーリングデータとの関係から極めて重要な機能である（第3図）。ただ、ここで強調したい機能は(3)である。地質図類の上部更新統～完新統は多くは地形分類の区分で示されているが、むしろボーリングデータ等による地下地盤情報を盛り込み、地盤情報や評価を分かり易く提示する情報図として(3)の機能を持たせる必要が重要と考える。後述に述べるように、これによって地質情報と地形情報との統合化、及び地下地盤情報との総合化への道筋ができるからである。

### 4. 地形・地質情報図の統合と地盤情報との総合化

多くの地形・地質情報図にいえることだが、一度作られると、最新の情報による更新がなかなか行われない。また、それ以前の大きな現状の問題として、多くの図面が、多様な活用が可能な数値情報として公開されていないことがある。

しかし、地形と地質情報図の統合化に向けての本質的な課題は、既存のものを単に数値化してWebに載せても地盤情報を活かす本当のベースマップとはならないことである。地形・地質情報図の統合及び地盤情報との総合化のためには、地盤情報を反映し



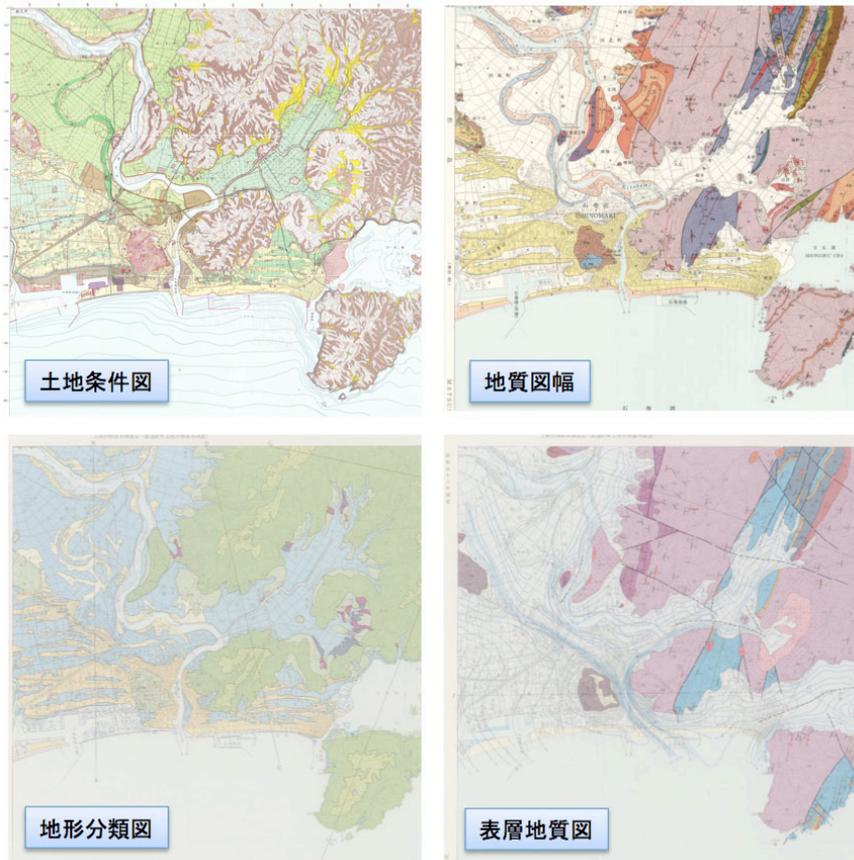
第3図 ボーリングデータと地質図

ボーリング位置を地形図のみではなく、単純に地形分類図や地質図類上に表現するだけでも、地下の地盤情報が理解しやすくなる。更に地質・地盤図として地下地盤の鉛直方向変化・組合せの情報を地形図上に表現することで、地下の地盤への理解は深まる。

た地質情報図の開発、すなわち、地盤表層部の地形・地質区分の整理と共に、地下の地盤情報も反映した地質の新たな区分の標準化などが必要となる。

軟弱地盤である沖積層や段丘堆積物は、離水面あるいは定着面が地形情報として保存されており、沖積層や段丘堆積物に関しては、地質図と地形分類図は読みかえが概ね可能である。この点から両者の表層部の軟弱地盤での区分統合は可能といえる。ところが現状では同じ凡例区分でも境界（領域）が図面によって異なることが多く、国民はどれを利用、信用してよいかわからない状態にある（第4図）。この整理整頓が統合化の一步である。

一方で、地盤情報に、時空的広がり（規制）を与える機能だけでなく、国民の地盤情報への理解を助け、有効な施策につなげる効果を考えると、上部更新統～完新統の地質図の区分は、地形区分に類するもののほかに、なるべく地下の地盤特性を表現すべきである。この凡例の標準化とは、知識の体系化と実際のボーリング等の地盤情報とに基づいて行われるものである。



**第4図 既存の地形・地質情報図の課題**

本来、これらの図面は統合されるべきであるが、それを阻害する下記の問題が内在している。

**凡例区分の標準化:** 軟弱地盤である沖積層や段丘堆積物は、陸化した際の離水面が地形情報として保存されており、沖積層や段丘堆積物に関しては地質図と地形分類図は読みかえ可能であるが、図に認められるように、自然堤防、浜堤など区分・領域が何れも異なる。また、地質図幅や表層地質図の沖積層や段丘堆積物分布域は、地形区分で表現するのではなく、地下地盤情報に基づく区分で表現すべきである。

**更新性:** 最新の地形改変、地質・地形情報による更新が、土地条件図の一部以外で行われていない。

**利便性:** 多様な基盤情報とのデータ解析に必要な数値化が土地条件図で行われていない。

(各図面は「石巻」地域の西部地域。土地分類図のみ2万5千分の1で、残りは5万分の1縮尺)

例えば、谷底低地（地質図では谷底低地堆積物）は、経験知、堆積学的研究、実際の地下地盤情報を考慮すると、第5図ように多様な地盤特性に区分される。このような地形と地質（地盤）との関係が認識・表現されて、始めて地形情報図と地質情報図の統合、さらには地盤情報との総合化が成立する。

現状では、地下の地盤情報をどのような表現するかの標準的な区分はない。これはボーリングデータ疎密もあり、領域の設定はどうしても不明瞭とならざるをえないことも要因であった。しかし、疎密があ

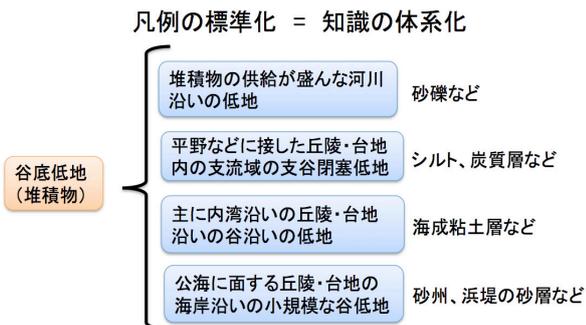
ったとしても、位置精度等を示して境界情報を提示することを考えるべきで、更に地域性も加味した多様な表現も必要と思われる。

**5. 新たな地質・地盤情報図の整備**

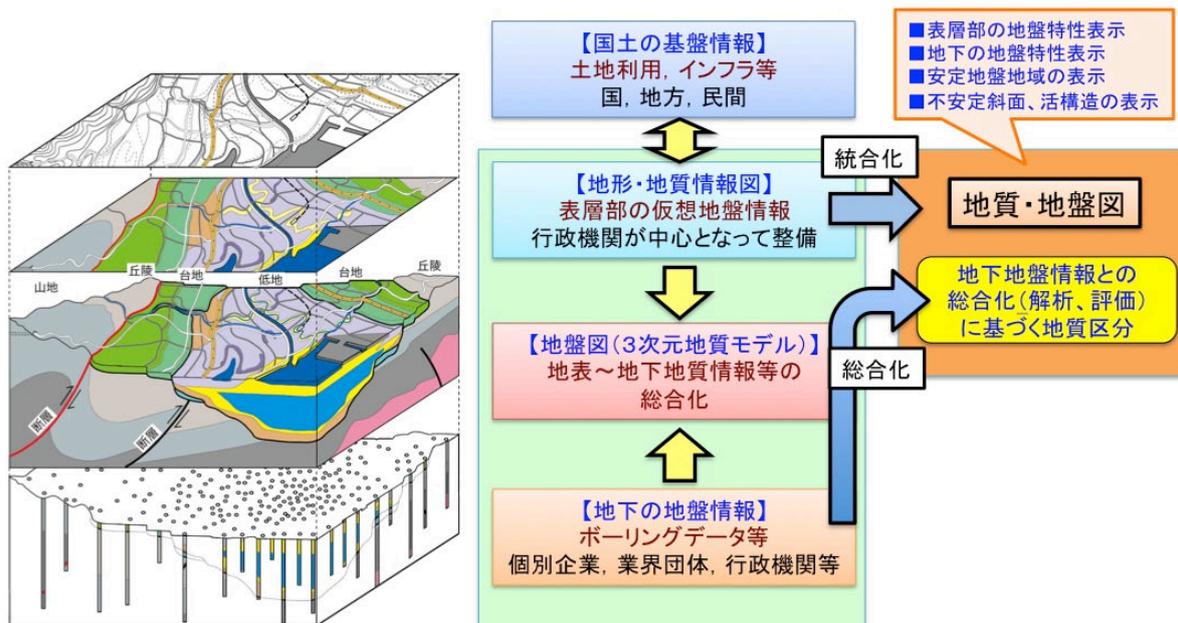
以上のように、地形も加えた国土の地質地盤情報に係る基本図は、オープンガバメントデータとして一体化されるべきだと考える。このため、産総研地質調査総合センターでは国土の地形・地質・地盤情報の総合化のため、地質図を基本としてそのベースマップとして、地質・地盤情報図の整備を目指している（第6図）。なお、地質・地盤情報図は産総研の既存5万分の1地質図幅シリーズや特殊地質図とは異なり、編纂を中心として整備するものである。

地質・地盤情報図は、日本全国版の5万分の1地質・地盤情報図と都市部の2万5千分の1地質・地盤情報図（都市地質図）に区分される。

国土地理院では5万分の1地形図を整備しなくなったという問題はあるものの、地質図幅を始め、全国整備の地盤に絡む情報図は5万分の1縮尺である



第5図 谷底低地の地盤特性による細分



第6図 地質・地盤情報図の基本的な枠組み

地下地盤情報をより反映した上部更新統～完新統の地質図の提示と、多様な情報を盛り込めるベースマップを意識したもので、国民の理解と的確な施策に繋がる、わかりやすい情報提供ができる機能を持たせたい。

ため、日本全国整備ではこの縮尺での整備を基本としている。ただ、土地条件図整備地域との統合を想定すると、その作成範囲での2万5千分の1縮尺での作成も検討課題である。一方、地形変化が顕著な大都市域では、5万分の1では対応できない2万5千分の1を基本縮尺としている。

何れも、更新を前提としたデータベースである。以下、各々の概要とパイロット研究の概要を述べる。

#### (1) 5万分の1地質・地盤情報図（日本全国版）

5万分の1地質・地盤情報図とは、5万分の1地質図幅、表層地質図、地形分類図をベースとし、最新の研究や調査の成果を加えて作成するもので、不安定斜面や最新の活構造など散乱して存在する地質情報を織り込む、更新を前提とした地質地盤情報図の一つのベースマップである。地形区分ともある程度整合性を保ちつつ、従来の地質図上に上部更新統～完新統の表層部と地下の地盤特性について、多様な区分・表示できることを目指している（第7図）。

古地図、空中写真等の地形解析から沖積層と人工改変地を細分して地表部の軟弱地盤特性を明らかにすると共に、地下の垂直変化の地盤特性の両方を表現し、実際の地盤特性に近づける総合評価ができる

ような標準凡例区分の設定に取り組んでいる。前述のように、これら地盤特性の表示は、ボーリングデータの情報量に依存するため、地域によっては十分な情報がない地域も多いが、むしろ現状での情報の品質や精度のばらつきも表現することが大事だと考えている。特に3次元地質モデル作成の難しい、情報の乏しい地域には有効と考えている。

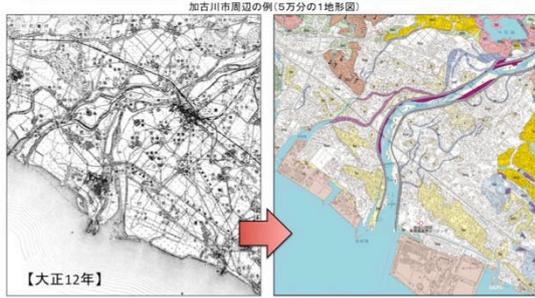
なお、将来的には沿岸海域において「沿岸の海の基本図」が存在する地域では、両者の海-陸シームレス化も視野に入れている。

現在、パイロット研究として、東日本大震災被災地の太平洋側沿岸域を対象として5万分の1地質・地盤情報図を作成中である（第8図）。広域に凡例を統一した5万分の1シームレス地質図を作成し、それに地下の地盤情報を加味した従来の地質図より詳細化した上部更新統～完新統区分、最新の活構造データなどを加えたもので、地質・地盤図の初期段階のものである。今後、被災地対応の調査研究などで新たな加わる地盤情報も含めて、多様な地下地盤情報を提示できるようにする目標を持っている。

本パイロット研究では、地質調査総合センター（旧地質調査所）の1980年代以降の5万分の1地質図幅がある地域では地質図幅を、それ以外の地域では、

表層部の地盤特性の表示

■古い地形図、空中写真等の地形・地質解析から、沖積層と人工改変地を細分し、地形学的な地表面の軟弱地盤特性を地質図で表現



■沖積層と地形改変地を表現した地質図。地形分類図により、地表面の地盤特性は把握できる。本来、沖積平野でも特に地震災害に弱い地盤に多くの住宅、工場が立地していることが分かる。

地形改変地(人工地質)の区分  
 ■堤防  
 ■埋立地(河運)  
 ■埋立地(ため池)  
 ■埋立地(海城)

沖積層の区分  
 ■現河床堆積物  
 ■旧河床堆積物  
 ■海浜堆積物  
 ■自然堤防堆積物  
 ■後背湿地堆積物

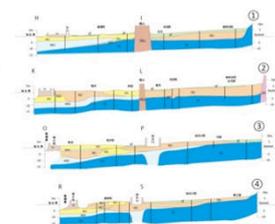
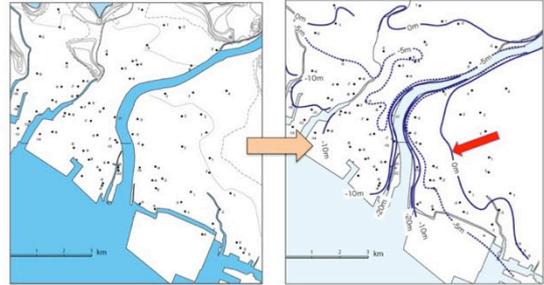


★表層部の地盤特性として浸透性が低い砂質土壌

地下の地盤特性の表示

ボーリングデータ  
数字は沖積層基底面の標高

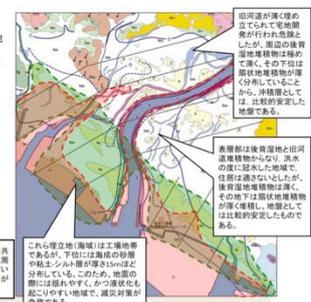
ボーリングデータから求めた  
沖積層(軟弱基盤)基底面の等深線図(標高m)



埋立地  
 後背湿地堆積物(工芸原堆積物)  
 扇状地堆積物(砂堆積層)  
 海成砂層(多くは浸透性対象層)  
 海成シルト-粘土層(最も軟弱)

■東部と西部で地下の沖積層の層相は異なり、東部は河川堆積物から、西部は海成堆積物となる。また、主要河川の東部で沖積層は厚くなる。  
 ■沖積層の基底面が標高0m付近まで海成シルト-粘土層が地下に存在し、-5m付近より沖積層では浸透性対象層となりやすい砂塊、浜塊、砂丘からなる砂層が沖積層の上部によく発達する特徴が認められる。

表層部に、例えばボーリングデータから求めた下記のような地下の地盤情報を重ねることによって、より正確な地盤特性を把握でき、立地計画、防災対策に際し、的確なスクリーニングに有効な地盤情報となる。



総合評価のための  
表層及び地下  
地盤特性の表示

第7図 5万分の1地質・地盤図の構成

表層部と地下の地盤特性が提示、総合化することにより、より正確な評価、理解されやすい情報となりうる。

地域特性を考慮して5万分の1地形分類図あるいは表層地質図を基本図として編纂している。

地質図幅をベースとして作成する場合、第四紀以外の地層・岩体は、多くの場合、既存地質図の凡例区分を減らし大幅に簡略化するが、第四系については新たな細分を行って詳細化している。

表層地質図を利用する場合も、第四系については地質図幅と同様であるが、第四紀以外の地層・岩体について、最新の正確な地質の情報が盛り込まれていない領域、特に深成岩、火山岩、付加体、変成岩の領域については大幅に修正を加えている。

一方、地形分類図を基本図とする場合は、凡例区分のうち、低地、台地、その他・人工改変地(崖、地すべりや記号等は除く)の凡例区分を利用し、文

献データのほか、地形・地質学的再解釈と修正を加えて、地質の凡例区分に読みかえて、上部更新統～完新統の地質・地盤図を作成している。一方、山地・丘陵地の領域には、別途、文献等で編纂して作成する地質図に置き換えている。

パイロット研究で浮かび上がった現状の課題としては、(1)地形分類図では扇状地、沖積錐、緩斜面、低位段丘などが、県毎に区分と定義が異なり、年代値情報もほとんどないため、結果的には経験に基づく地形・地質学的な解釈の地質地盤区分にならざるをえない、(2)地形DEMとの整合性を考えた場合、地質図幅、表層地質図、地形分類図の全体について、沖積層(面)や段丘堆積物(面)の領域境界の精度が悪い場合、基本図を部分的に修正せざるをえない、

(3)地質・地盤情報図としての凡例区分を大幅に簡略化しても100を大きく超えてしまい、利便性を阻害してしまう可能性がある、などである。



第8図 5万分の1地質・地盤情報図の作成範囲  
東日本大震災沿岸域において、現在作成中。

### (2) 2万5千分の1地質・地盤情報図 (大都市域)

大都市部において、地形・地質情報図の統合と地盤情報との総合化のためのベースマップとして新たに作成するものである。簡略名として都市地質図(仮称)と呼んでいる。

大都市部の地質図(例えば産総研の5万分の1地質図幅や特殊地質図など)の整備は極めて部分的で、沖積層、人工改変地などの細分も十分とは言えない現状を踏まえて作成するものである。作成範囲は、地形改変が特に著しい、大都市のみでの作成を想定している。5万分の1地質・地盤情報図と以上に、地形改変データに加え、ボーリングデータ、地質モ

デルなどの成果に基づき、より地盤情報を正確に表現できるよう、区分・提示の最適化を行うものである。

パイロット研究として、東京周辺(武蔵野台地西部及び東京低地)(第9図)や横浜周辺などで試作版を作成している。現状において以下の特徴を有する。なお、現状としては、まだ不完全なもので、特に沖積層の厚い地域の地下の地盤特性による凡例区分の標準化が出来ていないなど課題が多い。

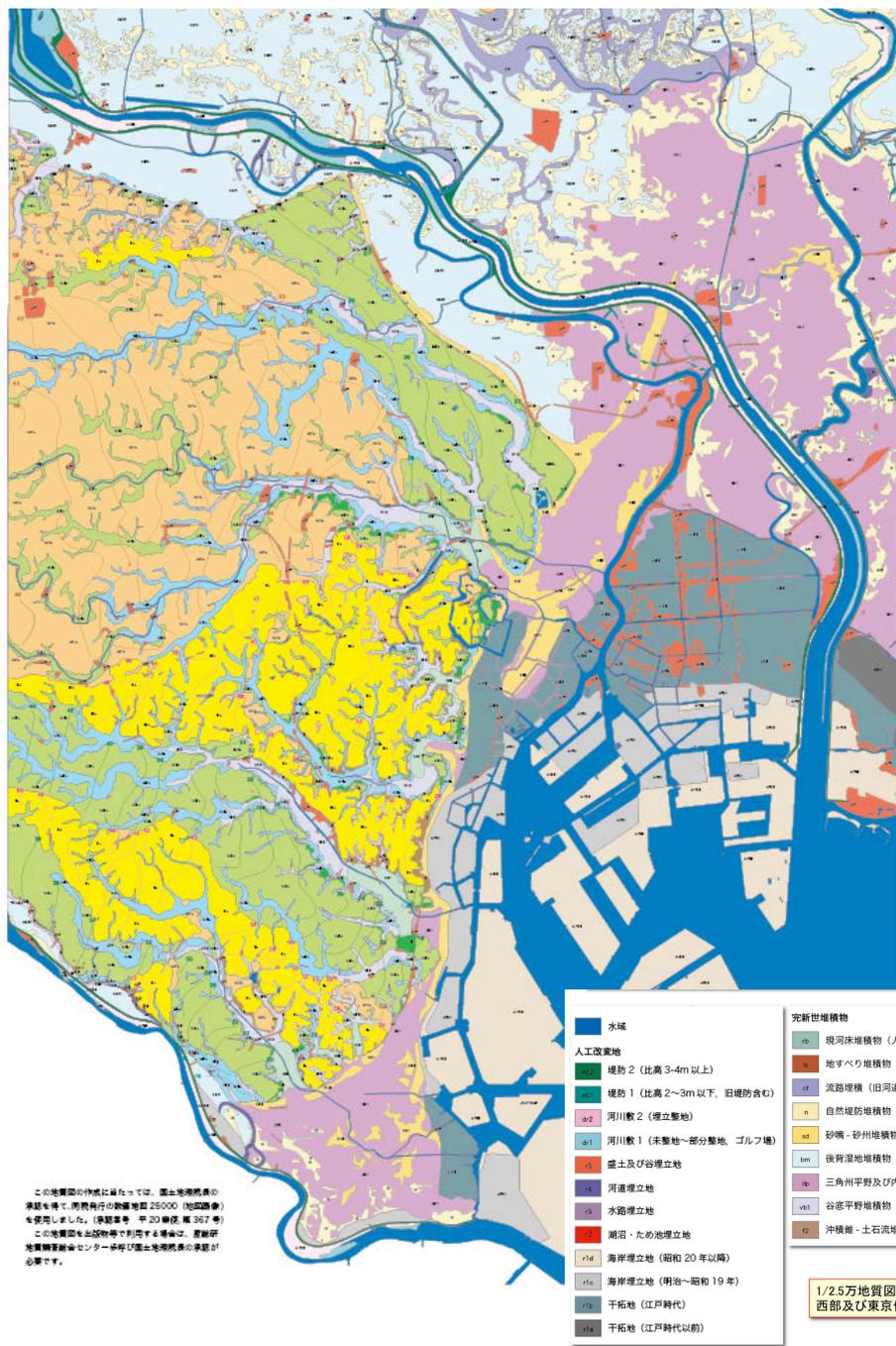
#### 1) 人工改変地(盤) (第10図)

人工改変地(盤)のうち盛土地は、平地、谷、斜面における整地のための盛土、道路や線路に関係した築堤を含めている。ほかに人工堤防も細分しており、ある意味、治水分類図との統合させている。また、海岸域の干拓地と埋立地は、東京都湾岸局(2001)や遠藤(2004)などに基づき、時代による細分を行っている。それ以外の埋立地は、新旧の地形図及び空中写真判読に基づき、人工水路、旧河道、現河道(河川敷)、湖沼など、埋め立て以前の水界領域の種類によって細分した。

なお、海岸埋立地は、より人工地盤特性を正確に反映する区分として、産業廃棄物、海成砂泥の浚渫、掘削された台地(更新統)堆積物などの構成物質の種類、埋立地に関する基本的な情報も加えられるようにしたい。

#### 2) 沖積層

沖積層は、基本として表層部の堆積環境によって区分するものの、表層部の地形的特徴が同じであっても直下の地盤特性や堆積環境が異なるものもできるだけ細分した。例えば、武蔵野台地に発達する谷底低地(平野)内の堆積物は、多くの場合、沖積層に対比されているが、地盤特性からは細分される(第11図)。上流側の谷底低地は、上部更新統が分布する地域(沖積層は極めて薄く、谷底低地の構成層としては主に酸素同位体ステージの5b-aや4-3堆積物が分布する地域)で、主体は降下火砕堆積物からなり、直下には武蔵野礫層が分布する。沖積層域は、主に降下火砕堆積物の再堆積による泥質堆積物と湿地堆積物からなり縄文海進期の海成粘土層を伴わない地域と、縄文海進時に溺れ谷となって海成の細粒



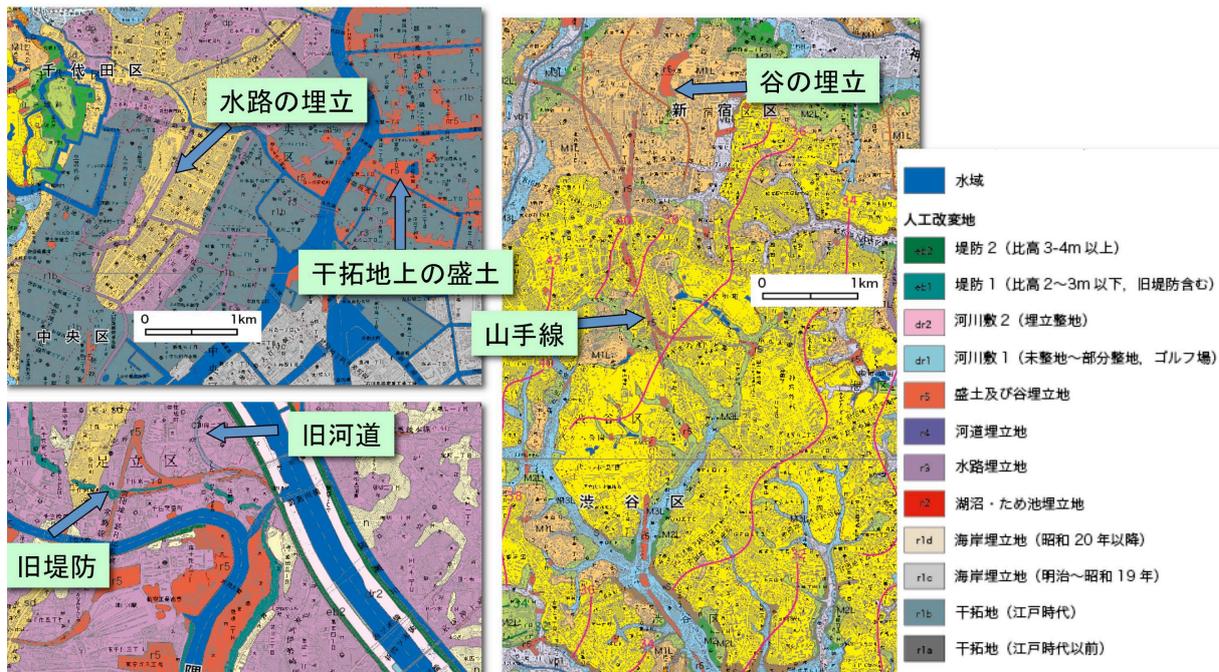
第9図 東京周辺の2万5千分の1地質・地盤図(暫定版)

更新統~完新統と人工改変地の区分に重点を置き、複数レイヤーの凡例区分で、領域の重複を可とする目標とし、表層部と地下の地盤特性を融合させる凡例を模索しているが、沖積層の厚い地域での区分はまだ標準化できていない。(尾崎・木村, 2008)

堆積物が内在する地域に区分される。

武蔵野台地に発達する谷底低地は、縦断形から、上流部の武蔵野礫層上面に沿う区間(緩勾配)、中流部の最終氷期の海水準低下期に谷が下刻された区間(やや急勾配)、下流部の最終氷期の海水準低下期に谷が下刻された谷を沖積層が埋積した区間(緩勾配)に区分されていた(中山・小川, 1977など)が、上記の地質地盤区分はこの地形学的な特徴に概ね対応している。

一方、本地質図の厚い沖積層が分布する平野部の区分は、表層部の地形区分にも相当する層相変化を表現しているにすぎず未完成である。例えば、多摩川下流地域の地下10mまでの地層をみると砂層が卓越し、かつ埋没段丘も多いが、これらの層相の鉛直変化を表層部の凡例では全く表現できていない。表層部の層相が同じであっても直下の地盤特性、埋没段丘の存在、堆積環境が異なるもののはできるだけ細分できるよう、地下の地盤情報も考慮した区分の



第 10 図 2万5千分の1地質・地盤図の多様な人工改変地の積極的な表示 (尾崎・木村, 2008)

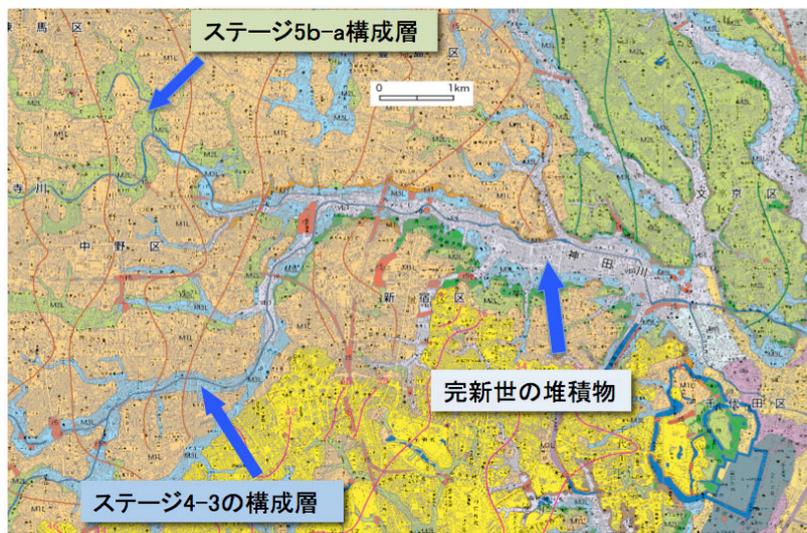
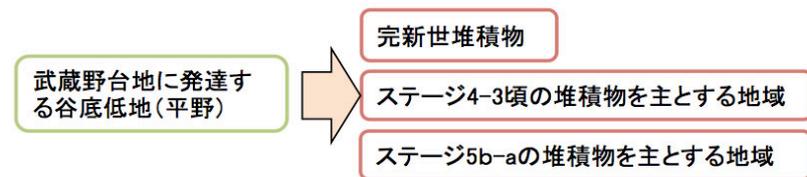
標準化を検討していく予定である。

3) 更新統

更新統の地質区分は、パイロット研究では酸素同位体層序ステージに対応した時代区分のみで行ったが、さらに層相や層厚の情報を加えて細分できない

か検討中である。

なお、沖積層の項で述べたように、武蔵野台地に発達する谷底低地のの上流～中流部に分布する堆積物はこれまで沖積層と扱われてきたが、実際には降下火砕堆積物やその再堆積物が分布し、最上部には完



第 11 図 地盤特性に基づく武蔵野台地に発達する谷底低地の細分 (尾崎・木村, 2008)

新統の湿地堆積物も分布するものの極めて薄い。このため、本図では、その谷底低地が形成された時代以降に堆積した降下火砕堆積物、すなわち酸素同位体ステージ 5d-c、5b-a、4 以降に堆積した降下火砕堆積物の分布で色分けしている。しかし、谷底低地内の降下火砕堆積物は、台地上に分布するそれと比較し、層厚が1-8 mと薄く、主体の降下火砕堆積物以外にその上部には降下火砕堆積物の再堆積した細粒堆積物や湿地堆積物を含み、直下には降下火砕

堆積物直前に堆積した礫層ではなく、谷が形成される以前に堆積していた礫層が分布している。このように形成時代は同じでも両者の地盤特性は異なるため、更に細分を検討している。

## 6. まとめ

ほぼすべての地質地盤情報が、Web 上で必要に応じて自由に利用・解析でき、新しい情報・価値を生み出せる状態になること、すなわちオープンガバメントデータとして機能することによって、軟弱・不安定地盤の危険性が真に国民に理解され、有効な法的施策に繋がり、長期に及ぶ本格的な自然災害に強い都市の改造が可能となる。

しかし、現状ではオープンガバメントデータとして機能している地質地盤情報は少なく、特に国土の基盤情報である地形分類図、表層地質図、地質図幅など多くの地形・地質情報図が、上記のような状態でWeb 上には存在せず、全国的に整備されつつあるボーリングデータを活かす役割を果たしていない。

このため、産総研は、地質地盤情報全体のベースマップ機能を目指して (1)日本全国の整備を想定した5万分の1地質・地盤情報図と、(2)大都市部での整備を想定した2万5千分の1の地質・地盤情報図整備を開始した。これらの地質・地盤情報図は、上部更新統～完新統と人工改変に基づく表層部の地盤特性だけではなく、ボーリングデータなどに基づく地下の地盤特性（鉛直方向の変化や組合せ）の情報も合わせて情報を提供できるよう、すなわち特に軟弱地盤地域においては、地形・地質情報図の統合化とそれらと地盤情報との総合化を行うことを目標としている。

現在はパイロット研究の段階であるが、今後、試行錯誤を重ね、各方面のご協力を仰ぎながら本格的な整備を行っていく予定である。

## 文 献

地質地盤情報協議会 (2007) 地質情報の整備・活用に向けた提言-防災、新ビジネスモデル等に資する地質データベース-。  
地質地盤情報協議会 (2010) 地質地盤情報の利活用

とそれを促進する情報整備・提供のあり方 (地質地盤情報の整備・活用に向けた提言 その2)。  
遠藤 毅(2004) 東京都臨海域における埋立地造成の歴史. 地学雑誌, **113**, 785-801.  
中澤 努・田辺 晋(2011) 野田地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 72p.  
中山俊雄・小川 好(1977) 石神井川河谷底の地盤について-東京の河谷底地盤の研究 (その1) -. 東京都土木技術研究所年報 (昭和51年度), 141-150.  
尾崎正紀・木村克己 (2008) 2万5千分の1 シームレス地質図「東京低地及び武蔵野台地東部」(暫定版) 地質調査総合センター研究資料集, no. 485.  
東京都港湾局 (2001) 新版 東京地盤図. 89p, 付図9.  
(以上のほかに、東京都土木技術センター提供のボーリングデータを利用させていただきました)

## 地盤情報を有効活用した高知「ユビキタス(防災立国)」実証事業

中田 文雄

(社団法人 全国地質調査業協会連合会 情報化委員)

(特定非営利活動法人 地質情報整備活用機構／川崎地質株式会社)

### 1. はじめに

総務省は、2008年度(平成20年度)から2010年度(平成22年度)の3か年間にわたって「ユビキタス特区事業」<sup>1)2)</sup>を実施した。ユビキタス特区事業の主な目標は「ICTを活用して、いつでもどこでも、利用者が意識すること無く、コンピューターやネットワークなどを利用できる状態の構築」であって、その1分野に「地域再生・産業創造」に関する事業が含まれていた。筆者等が所属する5団体が連合して提案した『高知「ユビキタス(防災立国)」実証事業』(以下、本実証事業)は2009年度に採択され、2009年度と2010年度に本実証事業を進めることができた。

本実証事業の開始にあたって、事業目標を「いつでもどこでも、利用者が意識すること無く、地盤情報や災害情報に接してそれを利用できる状態の構築」と設定し、それを可能な限り具現化できるように地盤関連情報の整備とインターネットによる情報公開システムを構築することにした。

言葉を換えると、『公共事業などで生成された地盤情報や災害関連情報がリソース(情報資源)化された場合、それを2次利用して何ができるか』という実証実験であったとも言える。

本文は、本実証事業の中から、地盤災害関連情報の整備状況、表層地盤モデルの作成方法、地表地震動の予測方法や液状化危険度判定方法などについて略記し、それを踏まえて地盤情報の共有と2次利用のための提案を行うものである。なお、本文で言う地盤災害関連情報とは、ハザードマップなども含む地質、地盤及びそれらに係わる自然災害の情報全般を指している。

### 2. 本実証事業の概要

本実証事業を実施した企業連合は、(株)相愛(高知

市：主契約会社)、(株)地研(高知市)、(社)地質調査業協会連合会(東京都)、(NPO)地質情報整備活用機構(東京都)及び(NPO)ASP・SaaS・クラウド コンソーシアム(東京都)である。

以下は、本実証事業の概略実施手順である。

- ① 高知県と高知市が過去に実施した公共事業ボーリングデータ(報告書：PDF)を借用して、国土交通省(以下、国交省)の電子納品要領案(平成16年6月版)<sup>3)</sup>に準拠してXML化した。
- ② ①のデータ、国交省のXMLボーリングデータ及び高知市地盤図などを利用して、高知市中心部の地質断面図と3次元地盤モデルを作成すると共に、6次メッシュ(通称125mメッシュ)ごとの表層地盤モデルをXMLで作成した。
- ③ 高知県は、2003年度(平成15年度)に「第2次高知県地震対策基礎調査」を実施した。本実証事業では、基礎調査の成果である「想定南海地震の工学的基盤面波形」を高知県危機管理室から借用し、②で作成したXML地盤モデルに適用して表層地盤の地震応答計算を独自に行った。更に、地表面の地震動予測、液状化の危険度判定と斜面の崩壊危険度判定を行った。
- ④ 高知県土木部から「土砂災害警戒区域」のデジタルマップデータの転載許可を得た。また、高知市危機管理室から「鏡川他の洪水ハザードマップ(PDF)」のデジタル化と転載許可を得た。
- ⑤ ①～④の各地盤情報から、高知市中心部の地盤リスクを6次メッシュごとに抽出した。
- ⑥ ①～⑤の各成果は何れも「高知地盤災害関連情報ポータルサイト」<sup>3)</sup>からインターネットで公開した。

本実証事業では、行政の所有するボーリングデータやハザードマップデータなどの2次利用と転載を

表-1 無償提供された地盤・地形・防災情報とその2次利用結果

無償提供された地盤・地形・防災情報	提供元	2次利用により生成された地盤情報など
ボーリングデータ(XML)・土質試験結果一覧表データ(XML)	国土交通省	1次元地盤柱状体モデル, 地質断面図,
ボーリングデータ(XML)・土質試験結果一覧表データ(PDF)	高知県・高知市	3D地盤モデル, 工学基盤面分布図
想定南海地震の工学的基盤面模擬地震波形(CSV)	高知県	地震動予測と液状化危険度予測
土砂災害警戒区域データ(ShapeFile)	高知県	土砂災害警戒区域マップ(Web公開用)
5m・10mメッシュデジタル標高値(DEM)	国土地理院	地震時の崩壊危険度予測
		標高段彩図(現況, -2m沈降後)
鏡川等の流域洪水ハザードマップ・浸水実績図(PDF)	高知市	同左(Web公開用に加工)

行っている。しかし、ボーリングやハザードマップなどの行政情報を、民間企業名のWebサイトから公開されることに対して一部の行政が難色を示したため、総務省の了解を得て産官学で構成する「高知地盤災害情報評価委員会」<sup>4)</sup>を設立し、その管理の下で本実証事業で整備した地盤情報や災害関連情報を公開することになった。委員会の構成を以下に示す。

- ① 会長：高知工科大学教授
- ② 委員：高知大学教授(3名), 高知工科大学教授(1名), 民間企業(2名)
- ③ オブザーバ：独立行政法人土木研究所(1名), (独)海洋研究開発機構(2名), 高知県(2名), 高知市(1名)
- ④ 事務局：前記民間企業(5名)

### 3. 地盤災害関連情報の整備状況

本実証事業では、新規の地質調査などは一切行わず、行政に納品されている地質調査報告書やデータ類を借用して2次利用した。

表-1 は、国交省、高知県と高知市などから無償提供された地盤災害関連情報と、本実証事業で2次利用によって生成した地盤災害関連情報である。また、表-2 は、本実証事業で整備しインターネットで公開している地盤災害関連情報である。

### 4. 想定南海地震による災害予測

#### 4.1 地表面地震動の予測

図-1 は、本実証事業で実施した地震動予測方法の概要であり、図-2 は、データ処理の流れである。図-1 中に記載したVs=300m/sの工学的基盤面の

表-2 本実証事業で整備した地盤情報など<sup>5)</sup>

情報名称	数量
ボーリングデータ	1,747
国土交通省	174
高知県	401
高知市	1,172
土質試験結果一覧表	480
国土交通省	54
高知県	106
高知市	320
地盤モデル	
3次元地質モデル	102
地質断面図	146
土砂災害関連情報(降雨)	
土砂災害警戒箇所マップ(電子ファイルを高知県から借用)	
土石流危険渓流・区域	276
急傾斜地崩壊危険箇所	1,728
急傾斜地崩壊危険箇所(傾斜角度)	1,728
想定南海地震(高知県モデル)関連情報	
独自予測結果:6次メッシュ(工学的基盤面模擬地震波を高知県から借用)	
地盤モデル	4,178
計測震度,最大加速度,最大速度,卓越周波数,表層地盤増幅度,液状化危険度ランク	4,178
独自予測結果(工学的基盤面模擬地震波を高知県から借用)	
急傾斜地崩壊危険箇所別地震時崩壊危険度ランク	1,728
独自処理結果:5mDEM	
標高段彩図,-2m沈降後の標高段彩図	1
高知県予測結果:4次メッシュ(全県)	
計測震度,最大加速度,最大速度,液状化危険度ランク	7,200
高知県予測結果:町丁界表示	
揺れによる木造建物全壊被災率	1
揺れによる非木造建物全壊被災率	1
液状化による木造建物全壊被災率	1
洪水災害関連情報	
独自計算結果	
5mメッシュ地盤標高段彩図(現況)	1
5mメッシュ地盤標高段彩図(-2m沈降後)	1
高知市ハザードマップ(転載)	
国分川・物部川,錦川,仁淀川	3
平成10年9月における浸水範囲	1
収容避難所,災害時要援護者施設,洪水時危険箇所,等	259
独自収集情報	
収容避難所などのURL情報	259

注 下線付き情報は、本実証事業で独自に整備したもの

デジタル模擬地震波形(通称2E波)は、「第2次高知県地震対策基礎調査」<sup>6)</sup>の成果を高知県から許可を得て2次利用している。

本実証事業では、地盤表層から工学的基盤面までのモデル化対象層について、6次地図メッシュ(通称125mメッシュ)の「鉛直1次元地盤柱状体モデル(以下、柱状体モデル)」を作成した。

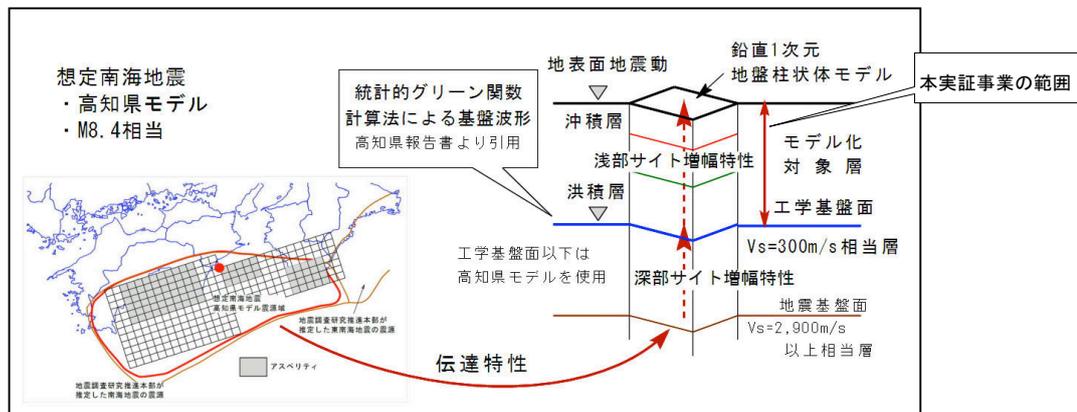


図-1 想定南海地震の地震動推定方法(本実証では、工学基盤面以浅のみを高密度に実施)

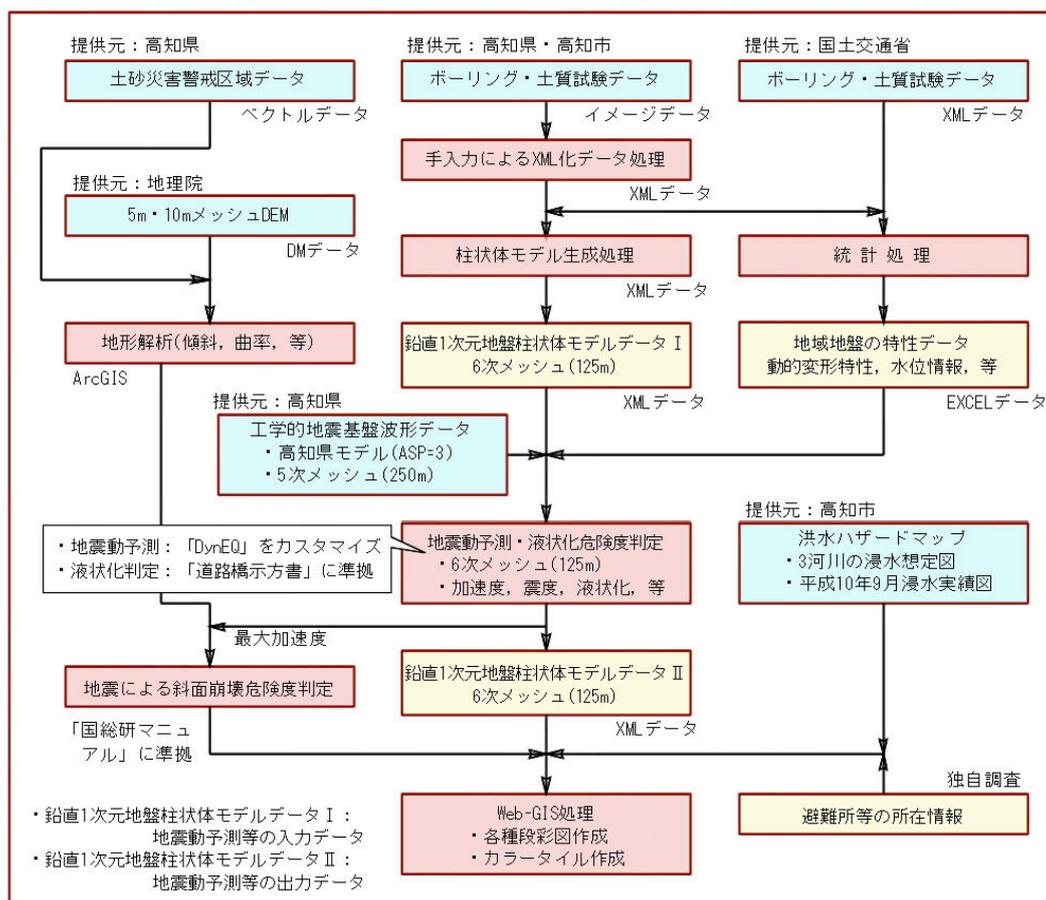


図-2 本実証事業で行ったデータ処理の流れ(地盤モデル構築手順, 地震動予測手順, 液状化・斜面崩壊危険度予測手順および相互の関係)

柱状体モデルを作成するに当たり、収集したボーリングデータ、高知地盤図や非公開の建築確認ボーリングデータを地質解析して、高知市域の地質区分と地層別の平均的物理常数(N値-Vs、動的変形曲線)を求めた。平均的物理常数の詳細については、文献<sup>4)</sup>あるいは文献<sup>5)</sup>を参照されたい。

6次メッシュの中で最も信頼でき、かつ掘削深度の深いボーリングデータを1本抽出した。各孔の地層

について地層名、層厚と平均N値を抽出し、別途求めたN値とVsの関係から、地層別の平均S波速度を推定した。

表層地盤の地震応答計算は、吉田<sup>7)</sup>の開発した「等価線形地震応答解析プログラム(DynEQ)」をカスタマイズして使用した。なお、高知県から貸与された工学的基盤波形は、水平2成分が合成された波形であるため、本実証事業では合成波形のまま応答計算

表-3 地震動他の予測手法

項目	予測方法など
震源モデル	南海地震(高知県モデル, M8.4) : 高知県
地震発生モデル	統計的グリーン関数法 : 高知県
解放基盤波	Vs=300m/s層の工学的基盤 : 高知県
表層地盤モデル	鉛直1次元地盤柱状体モデル(6次メッシュ)
予測ブロック	6次メッシュ(通称125mメッシュ)
地震動応答方法	等価線形重複反射計算法(吉田による DynEQ )
液状化判定方法	道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編)
斜面崩壊危険度判定方法	最大加速度, 最大勾配と最小曲率による計算。国総研(2009)資料参照

を行っている。

地震応答計算結果は, 最大加速度, 最大速度, 卓越周波数と気象庁の方法による計測震度である。

#### 4.2 液状化危険度の判定方法

液状化危険度判定計算は, 道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編)<sup>8)</sup>に準拠した「PL(地層全体の液状化可能性指数)法」を採用した。本実証事業で予測した地表の計測震度を使用して, 童・山崎<sup>9)</sup>による「計測震度とSI値の関係」と, 安田ら<sup>10)</sup>による「せん断応力とSI値の関係」を用いて, 地震時せん断応力比Lの深度分布を1mごとに計算して液状化に対する抵抗率(FL)を求めた。液状化危険度は, 各深度のFL値から岩崎ら<sup>11)</sup>による方法によって求まるPL値によって判定した。

対象地盤は, 深度20m以浅の飽和土層とし, 地震動の種類はタイプI(プレート境界型大規模地震)とした。

ボーリングデータの孔内水位と標高の関係を調べたが明確な相関関係が成立しなかったため, 安全側(液状化しやすい方)に立つという見地から, 標高2m未満の地下水位は一律0mとした。標高2m以上については, 文献<sup>4)</sup>あるいは文献<sup>5)</sup>を参照されたい。

地表面地震動の予測結果と液状化危険度の判定結果は, 図-3に例示したように, 6次メッシュごとにその概略値を公開している。

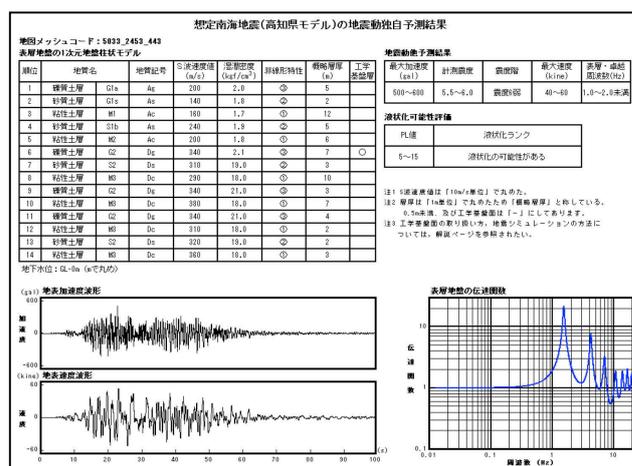


図-3 想定南海地震の地震動予測結果の例

#### 4.3 斜面崩壊危険度の判定方法

判定対象区域は, 高知県が指定した土砂災害警戒区域(急傾斜地)である。判定方法は, 国土技術政策総合研究所資料第511号に掲載されている「地震時の急傾斜地崩壊危険箇所危険度評価マニュアル(案)」<sup>12)</sup>に準拠した。

“ArcGIS”を使用して各警戒区域(ポリゴンデータ)内に存在する全ての10mメッシュ(DEM)の標高データを抽出し, 計算により最大傾斜と最小曲率を求めた。本実証事業で予測した最大加速度分布から各警戒区域内の最大加速度を求めた。

以上の各値を上記マニュアル(案)に記載されている計算式に代入し, 得られた判別得点により危険度を判定した。予測方法の詳細については同マニュアル(案)を参照されたい。

5. インターネットで公開した主な情報の特徴

5.1 2次元平滑化処理(図-4)

本実証事業では、6次メッシュごとの予測(判定)結果をその中心座標の属性値とし、高知市中心部の予測範囲全体で2次元平滑化処理を行った。

図-4は、計測震度階分布であって、従来の予測結果に比べてわかりやすいという評価を受けた。しかし、メッシュ全体の属性値(面情報)を、中心座

標の属性値(点情報)にしたことの妥当性などについて議論の余地があり、今後も引き続き検討してゆきたいと考えている。

5.2 ボーリングデータや地質断面図の表示(図-5)

本実証事業では、河川の洪水浸水想定区域図を除く全てのハザードマップ上にボーリング位置をオーバーレイすることにした。これにより自然災害が発

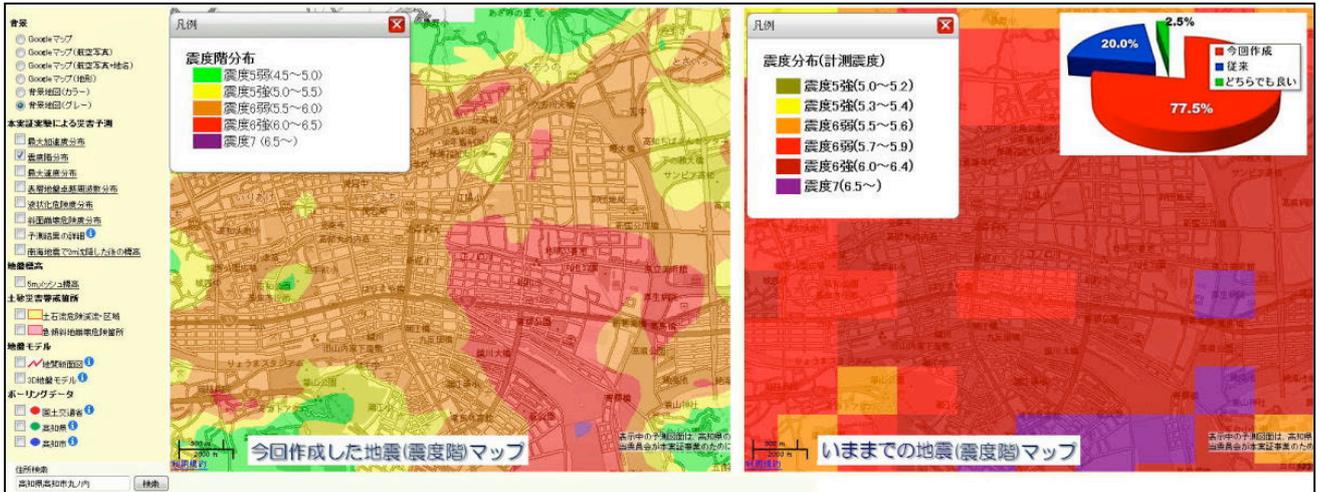


図-4 本実証事業で作成したハザードマップ(2次元平滑化処理を行って見やすくした)

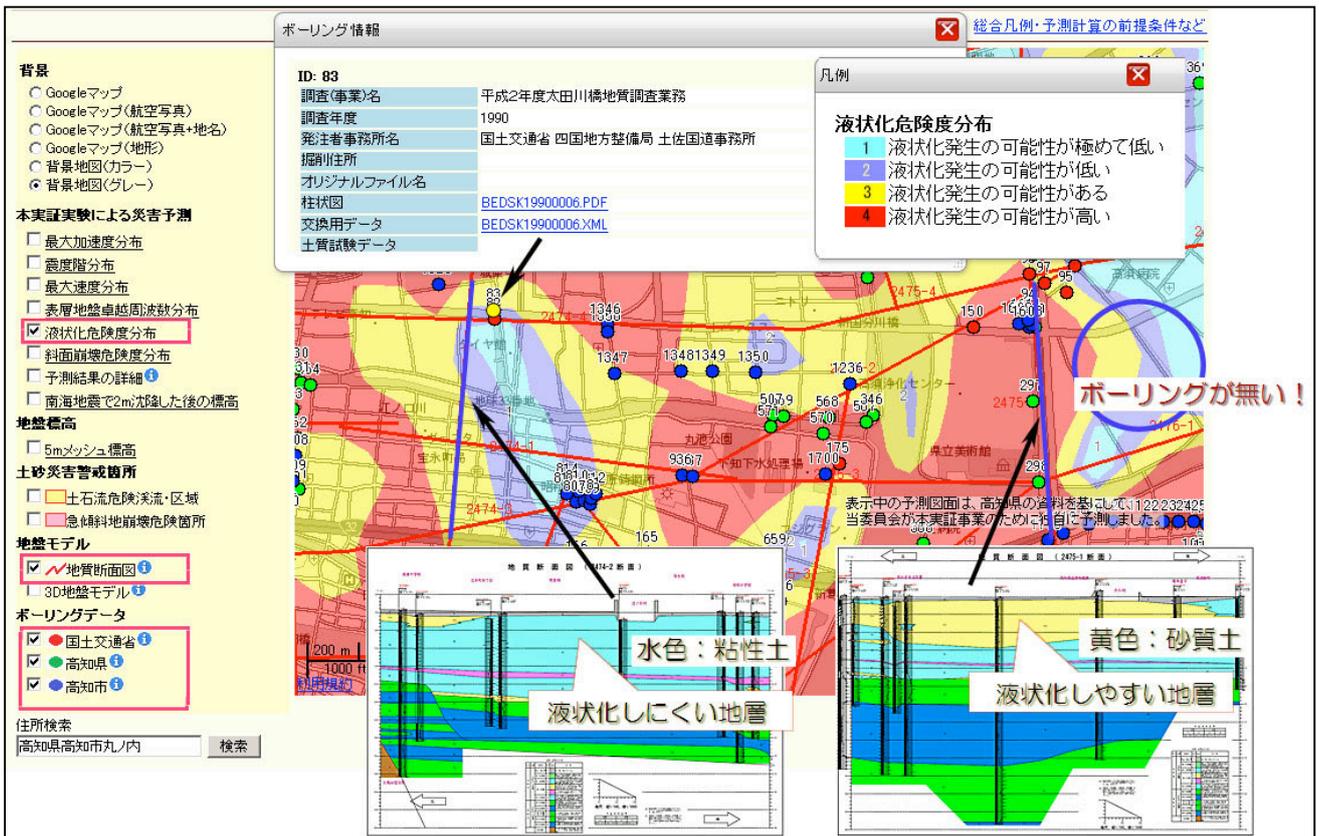


図-5 液状化危険度分布図にボーリング位置や地質断面線を表記が可能(断面図は別途、画像処理したもの)

生した時、あるいは防災計画の立案時などに、全ての行政から公開されているボーリングデータを迅速かつ有効的に検索することができる。

同様に、地質断面線もオーバーレイが可能であって、断面線をクリックすることによって、A4横サイズの地質断面図が表示される。

### 5.3 ボーリングデータに基づく液状化危険度判定の結果表示(図-5)

ハザードマップを作成することが目的のマイクロゾーニング作業では、液状化危険度の判定に「微地形」を利用するケースがある。しかし、ボーリングデータに基づかない場合では、地盤を正確にモデル化できず、判定結果が必ずしも正確ではない可能性があった。本実証事業では、ボーリングデータに基づく「1次元地盤柱状体モデル」を作成することにより、可能な限り正確な液状化危険度判定を行うことにした。

### 5.4 斜面崩壊危険度判定の結果表示(図-6)

図-6 に示したA点-B点間の道路は県道であるが、地震によって崩壊する危険度が高いという予測結果が得られた。場合によっては通行不能となつて、地震発生時の避難路としてはもちろん、復旧路としても使用できない可能性が考えられる。これらの危険箇所については、早急に斜面の詳細な地質調査を行って、想定南海地震に対する備えが必要であろう。

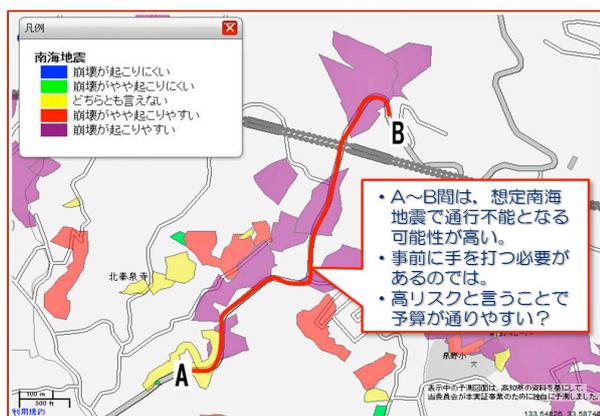


図-6 斜面崩壊危険度マップ

### 5.5 地盤リスク評価(図-7)

本実証事業で定義した「地盤リスク」とは、以下に列記した地盤情報や災害の予測と履歴情報を6次メッシュごとに抽出するものである。

- ・ボーリング柱状データから読取れる軟弱地盤の情報
- ・独自に予測した地表地盤の地震動(揺れ)の予測結果情報、液状化危険度と斜面崩壊危険度の判定結果情報
- ・高知市が公開している洪水ハザードマップと過去の浸水履歴マップに記載されている範囲や水位などの情報
- ・高知県が公開している土砂災害警戒区域の情報

### 5.6 津波浸水想定域(図-8, 図-9)

本実証事業では、予算的な制約から津波浸水想定区域を予測することができなかった。やむを得ず、参考として国土地理院が公表している「5mDEM」データを使用して、現在の地表が2m沈降したと仮定した「-2m沈降段彩図」を作成した。

この2mという値は、第2次高知県地震対策基礎調査報告書に「想定南海地震が発生すると高知市では最大2m沈降する」<sup>13)</sup>という記載があることに基づいている。

図-8 と図-9 はその結果である。図-8 からは、高知市中心部のかなりの範囲で海拔が0m以下になることが読み取れ、最大では水深が4mを超える場所が存在するようである。

図-9(上) は、1946年に発生した昭和南海地震で実際に発生した津波による浸水状況を、高知市の職員が五台山頂で撮影した写真である。一方、図-9(下) は、図-7 に示した-2m沈降後の標高段彩図を“Kashmir3D”で3次元表現した結果であつて、両者は極めて類似していることがわかった。

沈降後の標高段彩図は、精密なDEMとGISツールがあれば、極めて簡単(安価)に作成できるため、非公式な(予測)図面として、防災計画などの立案や自宅周辺の状況把握などに利用が可能ではないだろうか。

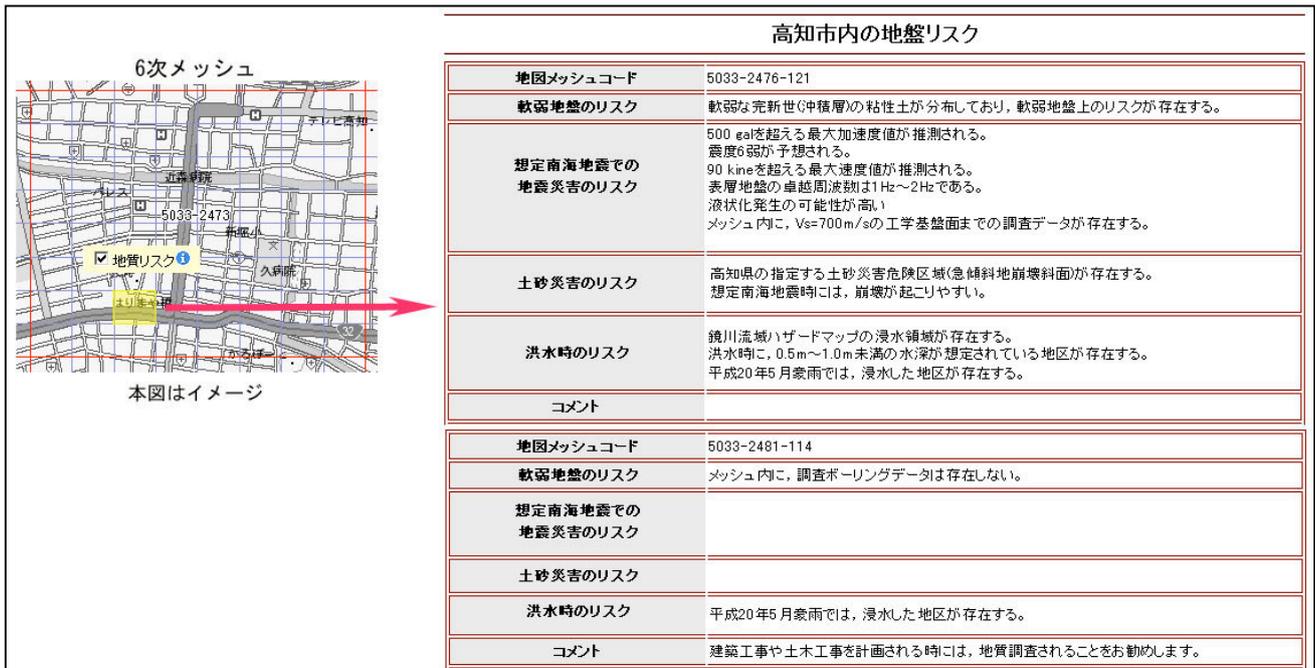


図-7 6次メッシュの地盤リスク(上段は全てのリスクを表示したイメージ、下段は情報が無いイメージ)

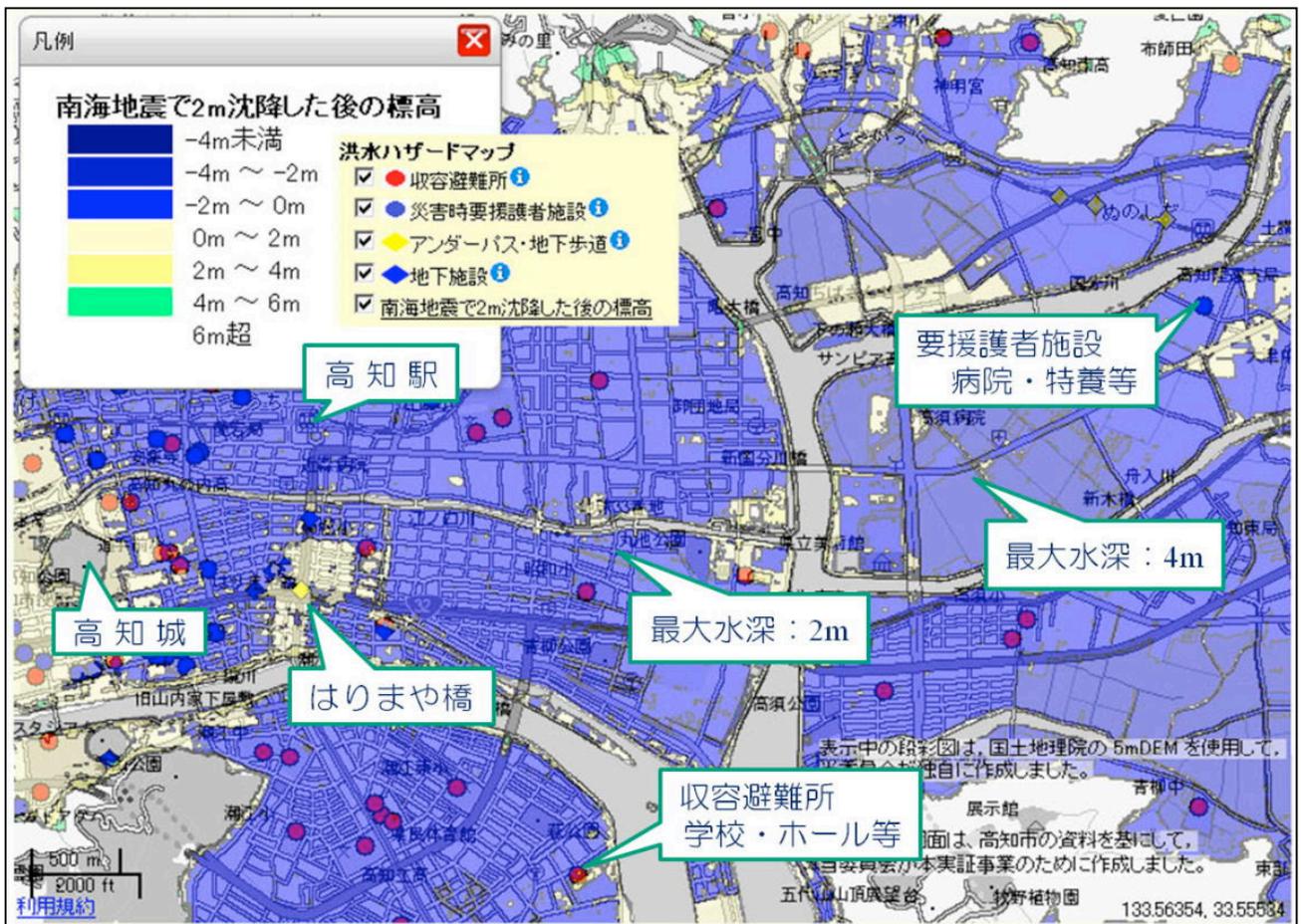


図-8 5mDEMを利用して作成した「-2m沈降後の標高段彩図」(青色の範囲は、海拔0m以下の可能性が高い)

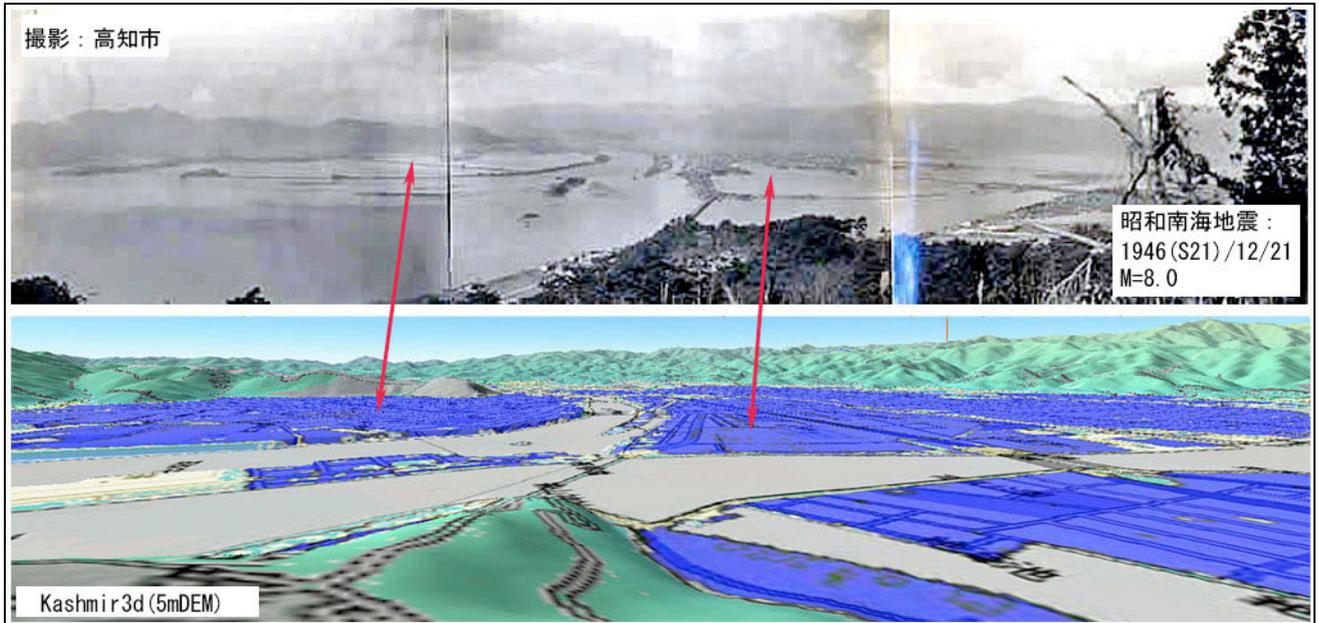


図-9 上は昭和南海地震で発生した津波の浸水域（下は2m沈降すると仮定した標高段彩図）

6. 地盤情報の共有と2次利用のための提案

6.1 ボーリング識別番号の統一化の提案

図-10 は、インターネットで公開されているボーリング柱状図を抜粋して作成した集合図面である。枠中の英数字は、管理している自治体などが独自に設定した(と思われる)ボーリングの識別番号であるが、全国的な共通化は図られていない。

ボーリングデータの公開は今後益々増えると思わ

れる。しかし、管理部署が異なったまま公開され続けられるとすると、それぞれのボーリング情報の所在(URLなど)を迅速に検索することは極めて困難な作業であり、有効的な2次利用はもちろん、災害対応時に迅速な地盤情報の検索などが阻害される可能性が高い。そのようなことを防止するために、少なくともボーリングデータの識別番号(コード)だけでも、例えばユビキタスコード(ucode)<sup>14)</sup>などで、全国を統一して管理することを提案したい。

文献<sup>14)</sup>によると、ucodeとは「ユビキタスコンピューティングにおいて個々のモノや場所を識別するために割り振られるID番号の体系、あるいはその体系によって割り振られた固有の識別子」と定義されている。しかし、現状では2次元バーコードのような光学タグや無線を利用したRDIDタグが主流であって、XMLのようなテキスト文字やPDFのようなイメージデータへのタグ付けについての規定はない。今後、XMLのセキュリティ対策と共に、ucodeなどの統一コード化に際する十分な検討や実証実験などが必要であろう。

図-10 ボーリング識別番号の例と統一管理の提案

6.2 ボーリングデータの統一管理の提案

関東地方では、国交省、東京都と6つの県並びに2つの政令指定都市などが、公共事業のボーリングデータをインターネットで無償公開している。例えば、

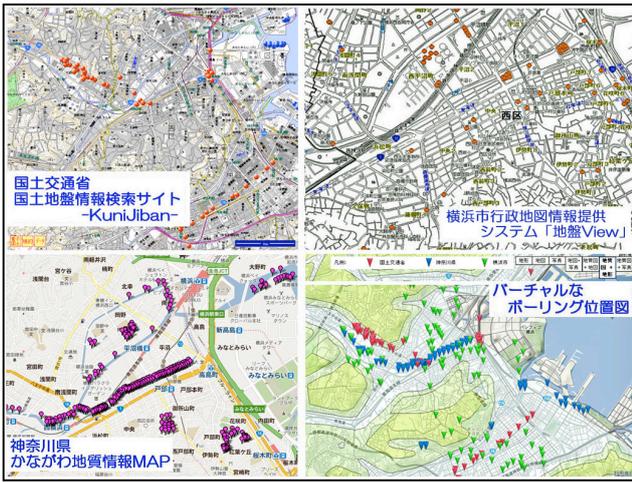


図-11 横浜市中心部のボーリング位置<sup>15)16)17)</sup>

神奈川県横浜市域では、国交省、神奈川県と横浜市が揃ってボーリングデータを無償で公開している。しかし、それぞれが独自のWebサイトから相互無関係に公開しているため、一般市民が自宅周辺のボーリングデータを参照しようと思っても、図-11(左上, 左下, 右上)に示すように、3箇所のWebサイトに別々にアクセスする必要がある。更に、背景地図が異なっている、座標値の取扱い方が異なっ

ている、ボーリングデータの質と量そのものが異なっているなど、極めて使いづらい状況にある。

図-11(右下)は、筆者等が国交省など3箇所のWebサイトから個別に公開されているボーリング位置を読み取って、一枚の背景地図上に再プロットした架空のWeb用地図である。このような工夫によって、必要とするボーリングデータを簡単に地図検索できることがわかる。

本実証事業で構築したWebサイトでは、国交省、高知県と高知市という3機関の公共事業成果のボーリングデータを統一して管理するデータベースシステムを構築したが、その経験から全国のボーリングデータを統一して管理する仕組みの構築を提案する。

### 6.3 鉛直1次元地盤柱状体モデルのXML標準の提案

本実証事業では、6次メッシュの鉛直1次元地盤柱状体モデルデータをXMLで表記した。筆者らは、これを鉛直1次元地盤柱状体モデルデータと呼んでいる。図-12は、その柱状体モデルデータを作成する概略手順とXML構造である。

3次メッシュ	2473								
6次メッシュ	241								
想定 V <sub>s</sub>	760								
ボーリング番号	14 E-3								
柱状体モデル作成に用いた6次メッシュのボーリング位置									
層番号	地質名	記号	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> (m/s)	減衰係数 (1/m)	層厚 (m)	実測N値	層厚 (m)	層厚 (m)
1	硬土	硬	110	110	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
2	粘土層	粘	120	120	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
3	砂質土層	砂	130	130	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
4	粘土層	粘	140	140	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
5	砂質土層	砂	150	150	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
6	粘土層	粘	160	160	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
7	砂質土層	砂	170	170	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
8	粘土層	粘	180	180	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
9	砂質土層	砂	190	190	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
10	粘土層	粘	200	200	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0
11	砂質土層	砂	210	210	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0

```

<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS"?>
<!DOCTYPE 柱状体モデル情報 SYSTEM "JIBAN010.DTD">
<鉛直1次元地盤柱状体モデル情報 DTD_version="1.0">
<基礎情報>
<第3次地図メッシュコード></第3次地図メッシュコード>
<作業業務名称></作業業務名称>
<作成機関></作成機関>
<作成日時></作成日時>
</基礎情報>
<第6次地図メッシュ地盤情報>
<第6次地図メッシュコード></第6次地図メッシュコード>
<中心緯度></中心緯度>
<中心経度></中心経度>
<参照ボーリング番号></参照ボーリング番号>
<メッシュ平均標高></メッシュ平均標高>
<工学的地震基底深度Vs300></工学的地震基底深度Vs300>
<工学的地震基底深度Vs700></工学的地震基底深度Vs700>
<地下水位m></地下水位m>
<速度層情報>
<速度層順位></速度層順位>
<地質名称></地質名称>
<地質コード></地質コード>
<地質記号></地質記号>
<層厚m></層厚m>
<実測N値></実測N値>
<S波速度値></S波速度値>
<P波速度値></P波速度値>
<減衰常数></減衰常数>
<湿潤密度></湿潤密度>
<非線形特性番号></非線形特性番号>
<地下水位面上単位堆積重量></地下水位面上単位堆積重量>
<地下水位面上単位堆積重量></地下水位面上単位堆積重量>
<平均粒径D50></平均粒径D50>
<細粒含有率FC></細粒含有率FC>
</速度層情報>
</第6次地図メッシュ地盤情報>
<予備情報></予備情報>
</鉛直1次元地盤柱状体モデル情報>
                    
```

XML標準の名称	内容
交換用ボーリングデータ	高知県、高知市
鉛直1次元地盤柱状体モデル情報	6次メッシュ
柱状体モデル地震応答結果情報	6次メッシュ

図-12 6次メッシュごとに作成したXMLによる「鉛直1次元地盤柱状体モデル」

本XML標準は、6次メッシュの地図コードと中心座標を指定する方式であるため、高知市に限らず、日本国内のどこであっても使用できる。平成23年東北地方太平洋沖地震の復旧・復興に伴う地盤情報の整備など、国内での標準化に繋がれば有益であると考えている。

#### 6.4 ボーリングデータを含む地盤情報の自由な二次利用の提案

国交省が公開している直轄事業のボーリングデータは、著作権が放棄されていると共に、営利目的を含む二次利用が許諾されている<sup>18)</sup>。一方、殆どの地方自治体などでは、ボーリングデータの引用は認めつつも、自由な二次利用までは認めていない。本実証事業の対象市域となった高知県と高知市についても同様である。

本実証事業では、国や地方自治体に保管されているボーリングデータ、地震波形や土砂災害警戒区域データなど、様々な地盤や地形情報を二次利用することによって、全く新しい知見に基づく地盤災害関連情報を効率的かつ高精度に整備することが可能であ

った。

全国的にこのような仕組みが整えられることにより、国民の安心・安全に寄与する地盤災害関連情報が、比較的廉価かつ短期間に整備できるものと考えており、そのためにはボーリングデータを含む公共事業の地盤情報などを自由に二次利用できるような合意が形成されることを望みたい。

#### 6.5 2次利用によって生成される成果例

図-13 は、筆者の自宅がどこに位置しているかを知るために作成した図面である。横浜市建築局宅地企画課の「大規模盛土造成マップ」<sup>19)</sup>と同局都市計画課の「横浜市三千分一地形図」<sup>20)</sup>を個別にダウンロードし、別途ハードコピーした“Googlemaps”上に「Photoshop」を使用して合成したものである。

前述のように、横浜市総務局は、地盤情報(ボーリングデータ)を「横浜市行政地図情報提供システム」<sup>17)</sup>というWeb-GISシステムを使用して、一般市民に公開しているが、部局の異なる建築局の地盤情報や地図情報は掲載されていないようである。結局、東日本大震災の惨状を契機にして、自宅の状況を確認

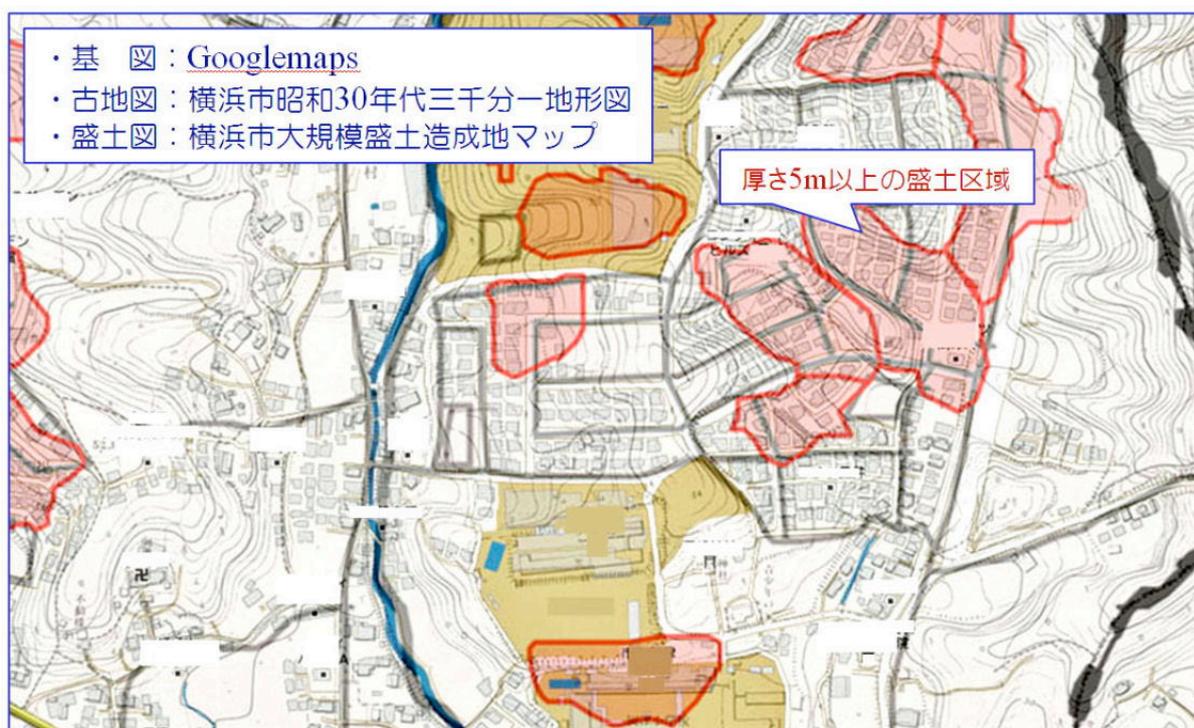


図-13 横浜市から個別に公開されている地質情報などを独自に合成した例  
(古地図と盛土図のオルソ処理は未実施のため、3枚の地図の位置は正確には一致していない)

しようと思ったが、以上のような手間が掛かってしまった。なお、横浜市の場合、このような地盤や地形に関する多くの情報をインターネットで無償公開している「極めて希な自治体」であることを申し述べておきたい。

このような公共性の高い情報を民間企業等に2次利用させるならば、地質や建設のコンサルタントがそれぞれの専門性を発揮して、地盤の評価書や報告書を市民に比較的安価に提供できると考えている。地方自治体などが所有する精密な地盤情報や地形情報を、戸籍謄本の発行手数料程度で2次利用権付きで提供したらよいのではと思うが、いかがであろうか。

## 7. おわりに

『高知「ユビキタス(防災立国)」実証事業』では、高知市を総務省の特区内に設定することにより、高知県と高知市の公共事業ボーリングデータをXMLで電子化し、国交省のXMLデータと一体化した地盤情報データベースと公開用Web-GISシステムを構築した。

更に、ボーリングデータを2次利用して、高知市中心部について、6次メッシュごとの1次元地盤柱状体モデルをXML様式で構築した。高知県から2次利用を許可された想定南海地震の工学的基盤波形を使って表層地盤の応答計算を行い、地震動と液化危険度の判定を行うと共に、土砂災害警戒区域(急傾斜地)については地震時の崩壊危険度を判定した。これらの予測や判定結果は、本実証事業の終了後もインターネットで公開している。

以上により、「1. はじめに」に記載した『公共事業などで生成された地盤情報や災害関連情報がリソース(情報資源)化された場合、それを2次利用して何ができるか』という実証目標を達成することができたと評価できる。

すなわち、『行政に保管されているボーリングデータなどの地盤情報や災害関連情報を、標準化してデータベース化すると共に、自由な2次利用を認めるならば、最新の知見に基づく災害予測などが、迅速かつ安価にできる』を確認することができた。

地盤情報の共有と有効的な2次利用のためには、

「ボーリング識別番号の統一化」, 「ボーリングデータの統一管理」, 「鉛直1次元地盤柱状体モデルのXML標準」, 「ボーリングデータや地盤情報などの自由な2次利用」の各提案の実現が必須であると考えている。

(社)全国地質調査業協会連合会の土屋彰義氏とは、本実証事業の開始から終了まで行動を共にした。ここに記して感謝の意を表します。

## 文献及び参照先のURL

- 1) 総務省(2007)「ユビキタス特区」の創設に向けて. 総務省報道資料平成19年6月18日, [http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/2007/070618\\_5.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2007/070618_5.html), 確認日2011.12.13
- 2) 総務省(2008)「ユビキタス特区」の創設について. 総務省報道資料平成20年1月25日, [http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/2008/080125\\_5.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2008/080125_5.html), 確認日2011.12.13
- 3) 国土交通省(2004)地質・土質調査成果電子納品要領(案)付属資料, 付属資料2 ボーリング交換用データ. pp.付2-1~付2-150.
- 4) 高知地盤災害情報評価委員会(2011)高知地盤災害関連情報ポータルサイト. <http://www.geonews.jp/kochi/index.html>, 確認日2011.12.13
- 5) 中田文雄(2011)地盤情報の共有と2次利用のための提案—高知「ユビキタス(防災立国)」実証事業を踏まえて—. 情報地質, vol.22, no.4, 投稿中
- 6) 高知県(2004)第2次高知県地震対策基礎調査報告書. 180p, <http://www.pref.kochi.lg.jp/~shoubou/sonaetegood/research/report.html>, 確認日2011.12.13
- 7) 吉田 望(2005)地盤の地震応答解析入門. 東北学院大学, pp.84-110. <http://www.civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida/inform/document//eqresp.pdf>, 確認日2011.12.13
- 8) 日本道路協会(2002)道路橋示方書・同解説(V耐震設計編). pp.121-127.
- 9) 童 華南・山崎文雄(1996)地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係. 生産研究, vol.48,

- no.11, pp.31-34.
- 10) 安田 進・吉川洋一・牛島和子・石川利明(1993) SI 値を用いた液状化予測手法. 第28 回土質工学研究発表会, pp.1325-1328.
- 11) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田 進(1980) 地震時地盤液状化の程度の予測について. 土と基礎, vol.28, no.4, pp.23-29.
- 12) 小山内信智・秋山一弥・松下智洋(2009) 地震時の急傾斜地崩壊危険箇所危険度評価マニュアル(案). 国土交通省国土技術政策総合研究所資料, No.511, pp.1-15. <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0511pdf/ks0511.pdf>, 確認日2011.12.13
- 13) 高知県(2004) 第2次高知県地震対策基礎調査報告書, 参考資料-11, 中防モデルと高知県モデルにおける満潮時を考慮した最高津波高さと地震による地盤変位量分布. 5p, <http://www.pref.kochi.lg.jp/~shoubou/sonaetegood/research/report.html>, 確認日2011.12.13
- 14) Ubiquitous ID Center(2011) ucodeを知る. [http://www.uidcenter.org/ja/learning\\_about-unicode/](http://www.uidcenter.org/ja/learning_about-unicode/), 確認日2011.12.13
- 15) 土木研究所(2011) 国土地盤情報検索サイト “KuniJiban”. <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>, 確認日2011.12.13
- 16) (財)神奈川県都市整備技術センター(2011) かながわ地質情報MAP . <http://www.toshiseibi-boring.jp/>, 確認日2011.12.13
- 17) 横浜市総務局総務情報支援課(2011) 横浜市行政地図情報提供システム「地盤View(じばんビュー)」. <http://www.city.yokohama.lg.jp/>, 確認日2011.12.13
- 18) 土木研究所(2008) 国土地盤情報検索サイト” KuniJiban” 利用規約. <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/terms.html>, 確認日2011.12.13
- 19) 横浜市建築局宅地企画課(2011) 大規模盛土造成地の状況調査について. <http://www.city.yokohama.lg.jp/kenchiku/guid/takuchi/news/morido/>, 確認日2011.12.13
- 20) 横浜市建築局都市計画課(2011) 横浜市三千分一地形図. <http://www.city.yokohama.jp/me/machi/kikaku/cityplan/gis/3000map.html>, 確認日2011.12.13

## OYO が提供する地盤の情報提供サービス

嶋尾 敏郎（応用地質株式会社）

### 1. はじめに

OYO Navi は、インターネットを介して、図-1 に示した範囲（首都圏の約 40km 圏内）について、地盤情報等の提供サービスを行っている。

OYO Navi は、①応用地質が保有する地盤に関する情報を一般の方が利用できるようにわかりやすく加工し、②それを幅広い分野のお客様に提供することの2点を開発のコンセプトとしており、以下に OYO Navi が提供するサービス内容や利用事例について報告する。



図-1 OYO Navi のトップページ

### 2. サービス内容

OYO Navi は地盤情報と土壌汚染情報、企業の防災力評価の3つのコンテンツから構成されている。このうち地盤情報については、利用者が番地・号レベルの住居表示で検索し、(1)支持基盤深度情報、(2)地盤リスク情報、(3)土地履歴情報の3つの情報をインターネット上で受け取ることができる。以下に、OYO Navi で提供している地盤情報の内容を説明する。

#### (1) 支持基盤深度情報

OYO Navi ではN値 50 以上の地層が 5m 以上連続する深度を支持層とし、この支持層の上面深度を「支持基盤深度」としている。支持基盤深度情報は、対象地の支持層の上面深度標高と地盤標高、そしてこれらの差分で構成している（図-2 参照）。なお、地盤標高は、

数値地図 50m メッシュ（標高）を利用している。

検索したデータ	
支持基盤深度情報	
検索した住所	
東京都中央区築地	
検索結果	
①支持基盤層上面標高(T.P.)	-11m
②設定地盤高(T.P.)	2m
③想定支持基盤層深度(②-①)	13m

図-2 支持基盤深度情報の提供イメージ

#### (2) 地盤リスク情報

地盤リスク情報では、震度リスク、液状化リスク、地盤沈下リスクの3つの情報を提供している。これらの情報は建築物等が地震時に受ける可能性があるリスクや、戸建住宅等が建築後に受ける可能性がある不同沈下の発生リスクを一般の方にも分かり易いようにランク付けしたものである(図-3 参照)。3つの地盤リスク情報の内容は以下のとおりである。

##### ① 震度リスク情報

震度リスク情報では、地震が発生した時の地表面の揺れの程度をA～Eの5段階でランク付けしている。同一地震で生じる地表面の揺れは、一般に軟弱な地層が分布する低地等では大きく、台地のような比較的固い地層が分布する地域では小さくなる。このため、OYO Navi では当該地点毎に増幅率を算定し、その結果を揺れの大きさに反映している。なお、ここでの地震の規模は、50年間に10%程度の確率で発生する可能性のある地震を想定している。

##### ② 液状化リスク情報

液状化リスク情報では、震度リスク情報で想定した地震の規模をもとに、当該地点毎に PL 値を算定し、そ

の結果をもとに地盤が液状化する可能性の程度をA～Dの4段階でランク付けしたものである。地下水位が浅く、粒径の揃った緩い砂質土地盤では、地震時に液状化が生じて様々な被害の原因となる。液状化によって土地の利用が制限される可能性があるため、液状化リスクを不動産に内在する災害リスク情報として提供している。

### ③ 地盤沈下リスク情報

地盤沈下リスク情報では、小規模な建築物等が建設後に沈下が生じる可能性をA～Eの5段階でランク付けしたものである。沈下の素因となる軟弱な地層は、河川や湾岸地域に分布することが多く、東京都内では数十mの厚さで分布する所もある。OYO Naviでは、地形的・地質的な要因をもとに、沈下が生じる可能性を独自に分析評価し、地盤沈下リスク情報として提供している。

検索したデータ	
地盤リスク情報	
検索した住所	
東京都中央区築地	
検索結果	
震度リスク	D
液状化リスク	B
地盤沈下リスク	C
微地形区分	303

図-3 地盤リスク情報の提供イメージ

### (3) 土地履歴情報

土地履歴情報は、当該地が過去にどのような用途で使われていたかについての情報を提供するものである。OYO Naviでは、戦前から近年までの6つの年代について、11に区分した土地利用の履歴状況を表示している(図-4参照)。

都市部では過去に工場が立地していた場所が住宅地になっている等、土地の履歴が不明な場合が多い。このような土地の履歴については、OYO Naviの土地履歴情報によって土地利用の沿革を知ることができる

ことから、不動産取引の初期段階における土壤汚染リスクの判断材料として土地履歴情報を提供している。

検索したデータ		
土地履歴情報		
検索した住所		
東京都中央区築地		
検索結果		
1927～1935年	公共公益施設	地形図50,000 東京東北部 昭和7
1952～1957年	公共公益施設	地形図50,000 東京東南部 昭和29
1965～1966年	公共公益施設	地形図25,000 東京首部 昭和40
1974年	公共公益施設	細密数値情報 昭和49
1984年	公共公益施設	細密数値情報 昭和59
1994年	公共公益施設	細密数値情報 平成6

図-4 土地履歴情報の提供イメージ

### 3. あとがき

現在 OYONavi は、不動産開発や不動産の評価・管理・斡旋、建築設計等に関わる企業・団体を中心に幅広くご利用頂いている。

東北地方太平洋沖地震が発生した前後で利用状況を比較すると、地震発生後に約3倍のアクセス数となっている。とりわけ、液状化リスク情報の利用が増加している。

今後は利用の拡大を図るため、情報提供の範囲を拡大するとともに、地盤情報をキーとした災害や環境リスクの情報をより充実させる予定である。

### 参考文献

- 1) 応用地質株式会社：地盤の総合情報販売サイト，  
<http://www.oyonavi.com/index.php>

## 住環境の地質・地盤情報と携帯ジオ情報

榎本 義一 ((株)ジオネット・オンライン)

### 1. はじめに

今年3月に発生した震災で、津波での被害や原子力発電所の事故が大きく取り上げられているが、各地で液状化の被害が発生して住環境の地盤についての関心も非常に高くなってきている。多くの地質地盤情報が公開されているものの、一般の人々が有効に利用する仕組みがまだ確立されていない。当社では、既にこれらの情報をもとに、一般向けの住環境サステナブルレポートで住環境のわかりやすい地質地盤情報を伝えるサービスや、携帯ジオ情報サイトで身近に地質地盤データをジオ情報として利用できるサイトを開設している。以下にその概要を紹介する。

### 2. わかりやすい災害リスク評価の意味

住環境サステナブルレポートは、個人の住宅や勤務先などの災害リスク情報を、地質地盤情報を中心に、一般の人たちにもわかりやすいように、リスクをダイアグラムで、「大・中・小」という単純で明快な評価を示すサービスである。本レポートは全国の離島をのぞく地域を網羅して災害リスク評価を行える。一般の人たちが触れられる災害リスク情報として、全国各地の公共団体で多くのハザードマップがそれぞれのリスク別に整備されているものの、十分に利用されているとはいえない状況といわれている。住環境サステナブルレポートは個別の住所での災害リスク評価を行うため、一般の人たちが災害リスクを身近に実感でき、ハザードマップなどの補完や災害に対しての意識向上が可能である。

同様に携帯ジオ情報においても、地質地盤情報ははじめとした、より大きな枠組みでの「ジオ情報」を、一般ユーザーに提供することで、災害リスク情報はもとより、より利便性の高い情報として提供している。

### 3. 住環境サステナブルレポートの構成

住環境サステナブルレポートの構成は、次に示すような構成となっている、

- ① 強い揺れでの被害
- ② 液状化の起きやすさ
- ③ 地すべり・斜面崩壊の起きやすさ
- ④ 浸水・土石流の起きやすさ
- ⑤ 津波の被害
- ⑥ 地盤沈下の可能性
- ⑦ のり面・擁壁・盛土崩壊の危険性
- ⑧ 活火山・原発リスクの可能性

以上の8項目についての、ダイアグラムでの評価提供と、それぞれの項目についての簡単な説明を示し、さらに断層の分布地図、地震動予測地図、液状化履歴点地図を画像として表示し、周辺の地形の起伏図や細かな等高線図、ベクトル図を提供している。

本システムは、既公開データを当社のデータベースに蓄積し、住所を入力することで自動的に各項目の1次評価を1分程度で行い、その結果を専門家がデータベース中のその他の災害データや細かい地形を判断してシステムで選択評価することで作成される。このため、非常に短い時間で合理的に、評価できる特徴を持っている。

住環境サステナブルレポートは、一般個人住宅の災害リスクへの備えや、不動産購入時の判断材料、不動産・金融などの資産評価の参考、店舗や会社事務所展開における災害リスクの参考、損害保険などでの災害リスクの評価などに広く利用可能なものと考えられる。

災害の専門家や専門報道関係からも一般向けの、有為な災害リスク評価であるとの評価を受けている。

#### 4. 携帯ジオ情報サイトの構成

携帯ジオ情報サイトのコンテンツは、以下に示す構成となっている。

1. 地理・地質情報
2. ジオスポット情報
3. ジオリスク情報
4. 環境と生活お役立ち情報
5. 学ぶ遊ぶ地域スポット
6. GNO お値打ち情報

これらの情報は、携帯電話の GPS 情報（基地局利用）で現在地を特定すれば、当該地のジオ情報が検索表示される。またある地点の郵便番号・住所入力、あるいは緯度経度入力で検索地点を指定することも可能である。検索地点は表示地図上で、自由に微調整が可能である。

提供されるジオ情報は次のような利用が可能である。

- ・ 自宅・訪問地などの基本ジオ情報の確認
- ・ 旅先などでの防災の備え
- ・ 地理や地質の学習（バーチャル巡検）
- ・ ご当地小説やガイドブックの地域情報確認
- ・ 登録不動産物件や宿泊先の詳細情報確認

当社の携帯ジオ情報サイトの利用は、会員登録制としている（無料）。

アクセスは、以下の QR コードから登録アクセスが可能である。



図1 アクセス QRコード

(URL <http://geonetonline.com/p/>)

携帯ジオ情報の利用は携帯電話からの利用のみとなっているが、昨今のスマートフォンの急速な普及を考え、現在スマートフォンへの対応を進めている。

図2に携帯ジオ情報の表示例を示す。



図2 情報の表示例

#### 5. まとめ

住環境サステナブルレポートの利用で、一般の人たちが災害リスク評価をわかり易く活用でき、地域が提供するハザードマップや防災情報のより高い理解につながる。

また、携帯ジオ情報サイトを利用すると、指定した地点の公開地理地質情報はもとより関連する地域情報を重層的に閲覧することができる。

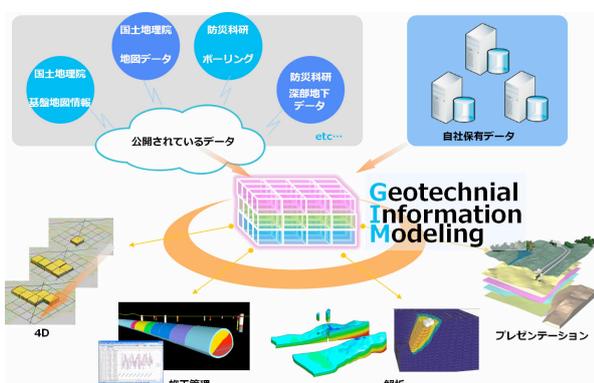
これらのコンテンツの利用により、一般の人々が、地質・地盤情報に身近に触れることが容易になり、これを生活の利便や防災意識の向上に役立てることが可能になる。また、宿泊施設や不動産物件情報、地産地消情報など商用情報と有機的に結びつけることで、新たなビジネスモデルへの進展も期待できる。

## 地質データ活用ソフトウェア GEORAMA とクラウド環境の取り組み

伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 科学システム事業部 社会基盤営業部

### 1. はじめに

CTC (伊藤忠テクノソリューションズ) では、地盤地質情報の活用を実現するために GIM (Geotechnical Information Modeling) という考え方に基づいてシステムの開発を進めている。GIM は、コンピューター上に作成した3次元の地盤のデジタルモデルに、物性値や管理情報などの属性データを追加した地盤のデータベースを、設計・施工から維持管理までのあらゆる工程で情報活用を行うためのソリューションであり、また、それにより変化する新しいワークフローである(第1図)。



第1図 GIMについて

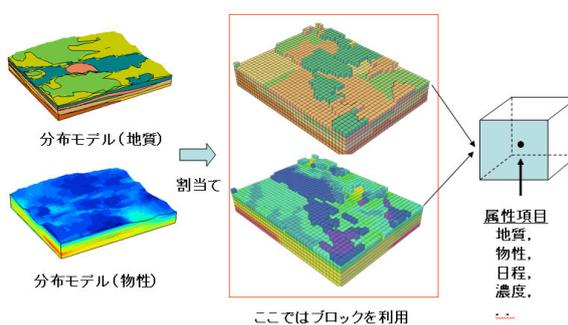
CTC では GIM を実現するための基礎ツールとして GEORAMA を提供している。これにより、作成/閲覧/管理の環境をクラウド上で管理することができる仕組みを構築中である。既存の仕組みとクラウドの活用により、地盤地質情報の更なる活用を促す仕組みをユーザに提供できる見込みである。

### 2. GEORAMA の GIM への適用による地質データ活用

前述した GIM の基礎ツールである GEORAMA は現在 AutoCAD 上 (Autodesk 社) に構築されており、主に土木・建設分野、資源・環境分野の様々なプロジェクトで利用されている。

GEORAMA は地盤の構成を3次元で表現するだけでなく、地盤を3次元で管理可能な属性管理モデルと

して構築することができる。属性管理モデルとは3次元モデルから地質や物性などの属性を抽出し、目的に応じてブロックやCSV、FEMモデルなど利用者が利用しやすい形で表現するモデルである。モデルは様々な属性(物性)を同じ位置に紐づけて統合しており、空間的に分割されたデジタルな器に属性を配置する。そのため、属性ごとに分布形状を作成するのではなく、同じモデルを用いて様々な属性を管理することが可能となる(第2図)。



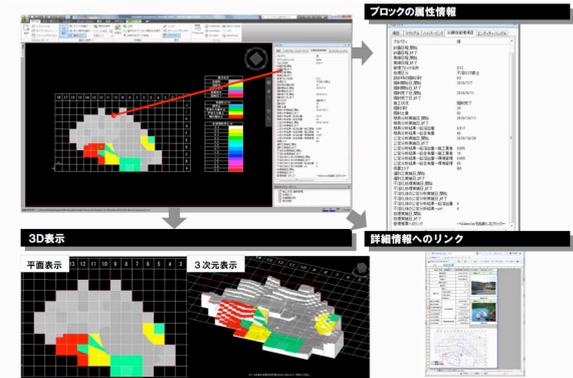
第2図 属性管理モデル

また、属性管理モデルは地質、物性以外にも doc ファイルなどの電子データを紐づけて管理することが可能である。これにより、地盤に関わる様々な情報をライフサイクルに渡って管理することが可能であり、データマネジメントツールとして活用することが可能となる。

### 3. 適用事例

現在、土壌汚染現場にて GIM を適用し運用を行っている。具体的には、これまで2次元図面および紙データにて管理していた対象現場の地盤を立方体で分割し、濃度など物性の違いによって状況を可視化し、さらに施工実績情報をもとにして施工状況を時系列ごとに可視化して現場に提供している。これにより施工現場の見える化が可能となり、施工時に注意すべきことや次の施工に必要な工法の検討など関係者間でのコミュニケーションが活性化したとの報

立方体地盤データ×トレーサビリティ管理



第3図 GIMを用いた事例

告を受けている。

今後は、さらに解析とのつながりを意識し、施工段階でのリアルタイムシミュレーション機能を実装する予定である。これにより、施工による影響を現場にて即時に可視化できるため、現場環境に則したシステムとなり、様々な解析ソフトと連携する仕組みを提供することとなる予定である。

※NASTRAN, ABAQUS, FLAC3D, FEMAP に現在対応済。

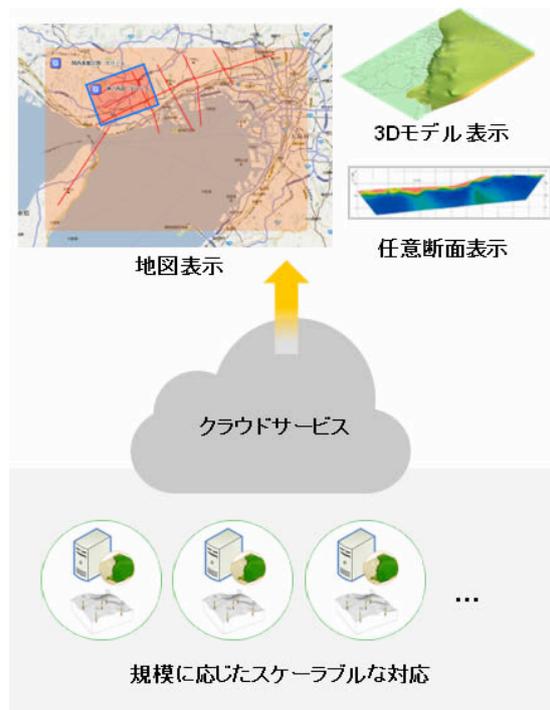
結果として、一度作成した3次元モデルを有効活用することが可能となり、解析用のモデル作成作業が大幅に削減されることとなることが期待される。

4. 地質データ活用のためのクラウド基盤について

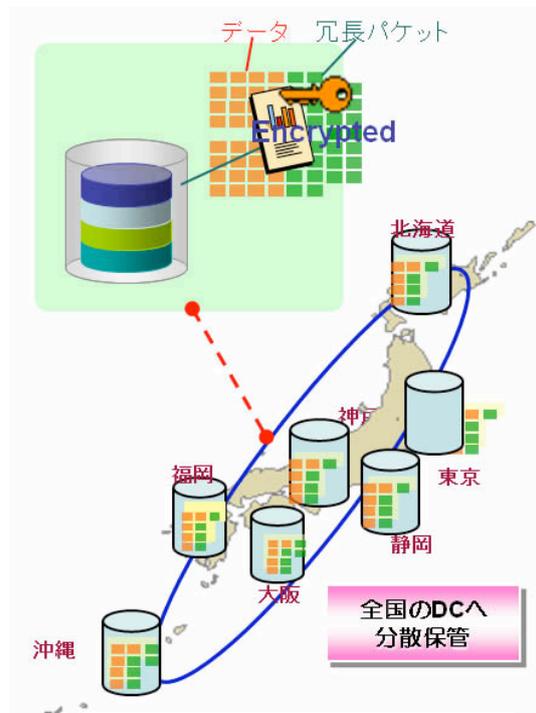
CTC では、早くからデータセンターを用いたクラウドサービスを提供し、これまでに数多くの種類のサービスを提供してきた。これらのノウハウを利用し、地質地盤情報をより活用可能なクラウド環境に蓄え、それらのデータを GEORAMA で活用可能なシステムとする開発を行っている。3次元モデルや空間的に分布している様々な情報をクラウドで提供することにより、いつでもどこでも必要な情報を引き出すことが可能になる(第4図)。また、蓄積された情報をBCPの観点などからより強固に管理するためにデータを全国の7か所のデータセンターへ分散して保管するサービスを提供している(第5図)。地震や災害が起きたときにもデータロスがなくセキュアにデータを保管することが可能となる。

CTC では、今後も CTC が提供する様々なクラウドサービスを利用して、地盤地質情報のより一層の活

用を図るシステム構築を実施してゆく予定である。



第4図 GEORAMAクラウド



第5図 分散データ保管サービス

## 三次元統合システムによるボーリングデータの公開と 地下地質情報の統合化

木村 克己（産業技術総合研究所）・根本 達也（大阪市立大学大学院理学研究科）  
大井 昌弘（防災科学技術研究所）・花島 裕樹（筑波大学大学院生命環境科学研究科）

三次元統合システムは、ボーリングデータと地質図や三次元地質モデル等の地質情報を統合的に表示し、ボーリングデータの解析機能を有する WEB 公開システムとして開発・公開されている。同システムは、ボーリングデータ公開のポータルサイトとして公開されているジオ・ステーションと連携して、ボーリングデータの公開・利活用の一翼を担っている。これらのシステムの概要をデモにて紹介する。

### 1. はじめに

平成 18 年度より開始した科学技術振興調整費「統合化地下構造データベースの構築」(防災科研, 2011)において、我々は、①地質地盤情報データベースの整備と公開、②標準となる層序・物性基準の整備、③ボーリングデータの利活用に資する地質図・三次元地質モデルの作成、④WEB-GIS の三次元統合システムとボーリングデータ処理システムの開発を進めた(木村, 2011)。今回のデモでは、ボーリングデータの公開とその利活用に必要な WEB 公開システムとユーザー用の処理システムについて紹介する。

### 2. ボーリングデータの WEB 公開システム

#### ジオ・ステーション

ボーリングデータを主とする地下地質・地盤情報のプラットフォームとして防災科研によって整備された WEB 公開システムであり、参画機関のデータベース上にあるボーリングデータ、地形・地質データ、模式柱状図モデルなどをネットワーク経由で地図上に表示できるとともに、利用者は見たい場所の情報を住所検索によって閲覧することや、深さなどの条件検索に該当したボーリングデータを地図上に表示することができる(図 1)。地図上に表示されたボーリングデータは、利用者がダウンロードして利活用することができる。

#### 三次元統合システム

三次元地質モデルやボーリングデータ等の地質情報を可視化したり解析したりするためのシステムとして、産総研で開発・運用している(木村・根本, 2010)。OGC 標準の WMS (Web Map Service) や WFS (Web Feature Service) に対応し、ジオ・ステーション等の Web-GIS システムとの連携が可能である。また、背景図には Google Maps の各種図が利用できるとともに、ユーザーは以下の機能を利用することができる。

**三次元地質モデルの二次元表示機能：**ボーリングデータを利用して作成した沖積層とその基盤をなす

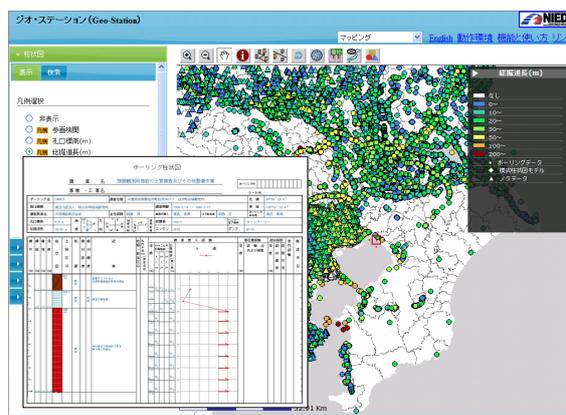


図1 ジオ・ステーションの画面紹介

(<http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/>)

更新統の土質・地層区分、N 値に関する三次元グリッドモデルについて、その水平・垂直断面図を選択・表示することができる(図 2)。

**ボーリングデータの解析機能：**ボーリングデータの土質区分と N 値、地層区分情報に基づいて、地盤の地質・工学的特性の空間分布を解析し、その結果をボーリング地点における計算結果だけでなく、グリッド補間値、等値線などを表示することができる(図 3)。

このシステムには現在公開されているボーリングデータとして、関東地域における国交省の KuniJiban、茨城県、産総研の地質標準ボーリングデータ、模式柱状図モデルが登録されている。本システムからもこれらの個々のボーリングデータを閲覧・ダウンロードすることができる。

### 3. ボーリングデータ処理システム

ボーリングデータの保管・利活用を促進する上で必要となる一連のデータ処理機能を実装したソフトウェアであり、防災科研と産総研で分担して開発した(防災科研・産総研プレスリリース, 2010)。現在 WEB サイトから無料でダウンロードして利用できる(図 4)。地方自治体でボーリングデータの電子化が

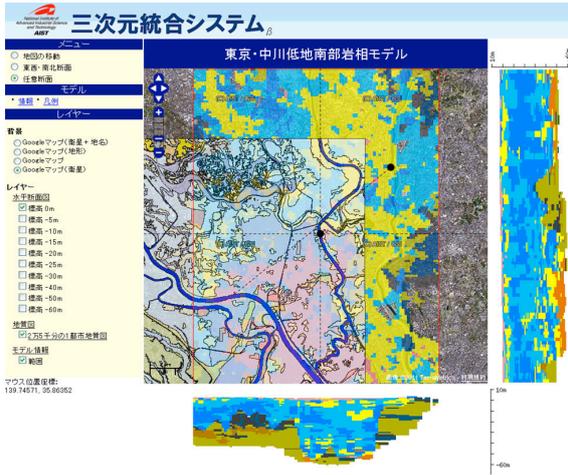


図2 三次元統合システムの沖積低地地盤のグリッドモデル表示例  
(<http://gsj3dm.muse.aist.go.jp/3dm/index.html>)

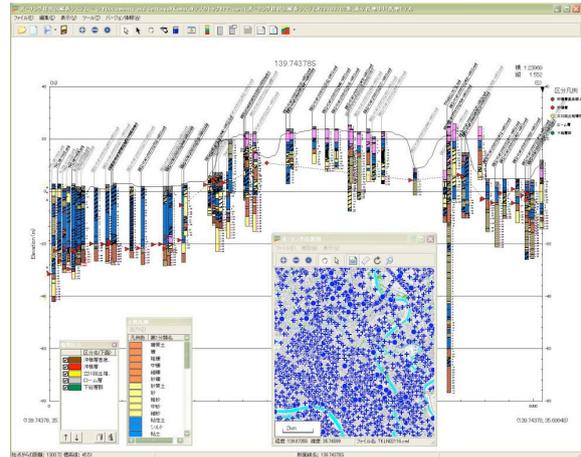


図4 ボーリング柱状図解析システムの表示例  
(<http://gsj3dm.muse.aist.go.jp/software/boring/index.html>)

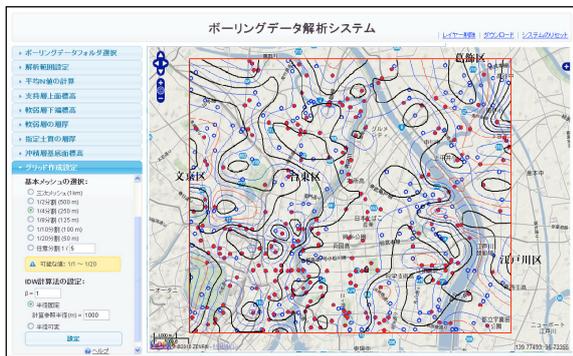


図3 三次元統合システムのボーリングデータのN値の計算処理とコンター表示例

進まない理由として、紙資料のボーリングデータを電子化するための設備や人材を確保できないことが指摘されているが、本システムはこうした問題解消に貢献できるものと期待している。

本システムは、WindowsのPCにインストールして利用することができる。本システムは、①ボーリング柱状図を表示する「ボーリング柱状図表示システム」、②ボーリング交換用データの形式が正しいかどうかチェックする「ボーリングデータ品質確認システム」、③ボーリング交換用データを作成する「ボーリング柱状図入力システム」、④ボーリング柱状図の土質名の規格化とコード化を行う「ボーリング柱状図土質名変換システム」、⑤ボーリング柱状図の断面図表示と地下地質・地盤構造モデルの解析を行う「ボーリング柱状図解析システム」(図4)、そして⑥ボーリング交換用データのバージョンを最新のバージョンに変換する「ボーリングデータバージョン変換システム」である。防災科研は①と②を、産総研は③、④、⑤をそれぞれ担当し、⑥は共同で開発を行

った。

今回のシステムの公開により、地方自治体などのボーリングデータの電子化・公開・流通を促進する原動力の一つとなり、これを利用した地質・地盤工学・地震動分野における研究や関係するビジネスの進展が期待される。

#### 4. まとめ

科学技術振興調整費の研究成果を中心に、ボーリングデータの登録・公開、表示・処理に関わるWEB公開システムや処理システムを紹介した。地下地質・構造の各種情報の中で、各種事業に伴って生成されるボーリングデータは、国土の貴重な地質・地盤情報として認知され、保管・共用・利活用が進むように、今後とも継続して取り組みを進める。

#### 参考文献

- 防災科学技術研究所 (2011) 第5回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」予稿集, 防災科学技術研究所.
- 木村克己 (2011) ボーリングデータ処理システムの公開. 産総研 TODAY, vol. 11, no. 1, p. 19.
- 木村克己・根本達也 (2010) ボーリングデータベースと3次元統合システムの公開. 産総研 TODAY, vol. 10, no. 6, p. 17.
- 防災科研・産総研プレスリリース (2010) ボーリングデータの電子化促進を目指したボーリングデータ処理システムの公開. 2010年8月27日, [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2010/pr20100827/pr20100827.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20100827/pr20100827.html)

## 地盤情報の活用

### —地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発への適用—

竹村 貴人 (日本大学文理学部)・小松 登志子 (埼玉大)・濱本 昌一郎 (埼玉大)、  
大西 純一 (埼玉大)・斎藤 広隆 (東京農工大)・船引 彩子 (日本大学文理学部)

近年、二酸化炭素削減、ヒートアイランド対策や省エネルギーの促進として、地中熱利用のヒートポンプ (GHP ; Geo-Heat Pump) システムや汲み上げた地下水を蓄熱槽に貯蔵し熱エネルギーを取り出すシステム (GSS ; Groundwater Storage System) の実用化・導入が急速に進んでいる。このような地中熱を利用したヒートポンプシステムは、特に海外において積極的に導入されているが、国内ではその導入事例は海外ほど多くはないのが現状である。しかしながら、地中熱 (地圏熱) の利用は、エネルギー基本計画に再生エネルギーとして取り上げられたことから、今後、国内においても積極的に導入されていくことが想定されている。

国内での地中熱の利用にあたって、現状では地下水の持つ地圏熱利用可能量 (賦存量) の評価手法、ヒートポンプシステムの計画・設計・施工に関する基準マニュアル、ヒートポンプシステムによるリスク評価ツールなどの開発・作成・整備が不十分であると考えられる。特に、地質環境に関する知見は不十分であり、地圏熱利用による地圏からの熱の取り出しや地圏への放熱や蓄熱は、地圏環境からみれば新しいタイプの汚染 (熱汚染) という見方もでき、地下水汚染の一つと定義することもできる。ここで、地圏熱とは地下水位より上部の不飽和帯および地下水位より下の飽和帯を含めた地下水と土粒子を含む地圏全体の持つ熱容量とする。例えば、地圏における熱環境の変化は、微生物活動や、揮発性有機化合物・重金属類などの有害化学物質の土壌水への溶解

や揮発など、その挙動に大きく影響を及ぼし、二次被害としての新たな土壌・地下水・微生物汚染を拡大させる可能性がある。このようなリスクを低減させるためには、地質環境と熱の連成現象を的確に評価する必要があり、熱汚染の影響が小さいことを確認した上で、省エネルギーの促進として効果的な地中熱の利用を積極的に行うべきであろう。また、このような問題は地中熱利用のみにとどまらず、現在進行形のヒートアイランド現象や、地下鉄などの地下空間の利用による排熱からも起こりえる事象である。

このような問題を解決するため、(独)科学技術振興機構の戦略的創造推進事業 (CREST) の研究領域「持続的な水利用を実現する革新的な技術とシステム」での研究課題名「地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発」(代表:小松登志子(埼玉大))において、地質要素・地圏熱特性・地下水の相互作用の評価法の確立を行うため、ボーリングコアと観測井を使った研究を行っている (図1)。

本稿では、同プロジェクトで掘削した東京都世田谷地区・府中地区および埼玉県桜区地区でのボーリングコア (図2) を使った、地圏環境への局所的な熱負荷が地圏における物質・熱循環および微生物動態に及ぼす影響を把握するための地盤情報の活用事例を報告する (図3)。

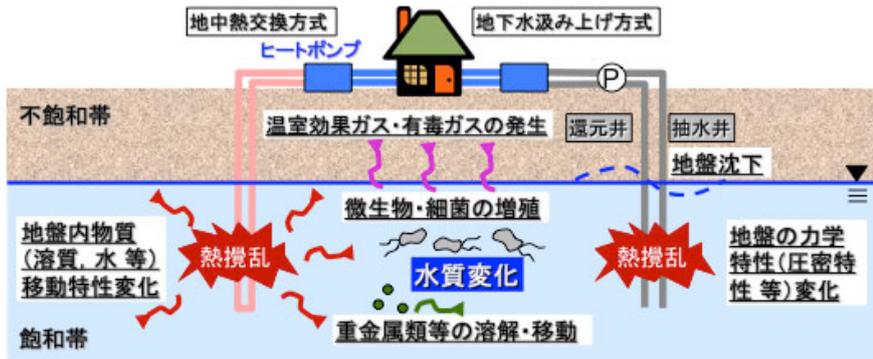


図1 プロジェクト概要



図2 ボーリングサイト

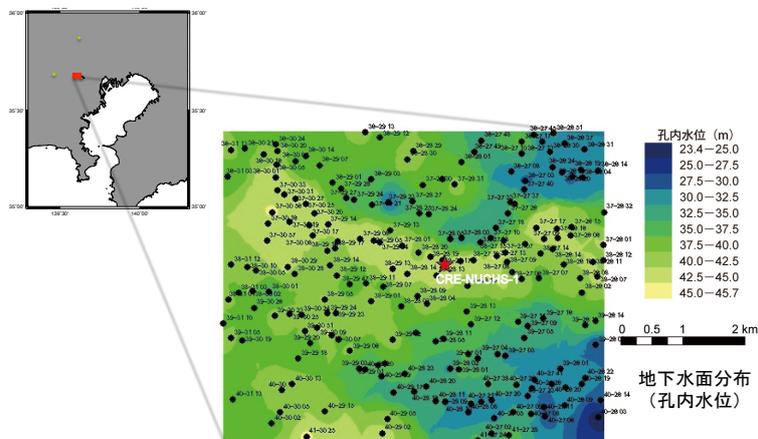


図3 ボーリングデータ活用例 (地下水位分布)

## G-Space I を利用したビジネス展開の事例

平野 あや (アサヒ地水探査株式会社)

### 1. はじめに

アサヒ地水探査(株) (以下、弊社という) では、G-Space I (ジースペースワン) 地質・地盤情報等データベースサービスをインターネット上で提供している。本サービスは2008年12月のリリースから3年が経過し、住宅地盤調査・地質調査・不動産評価・災害リスク・土壌汚染調査業務等を行っている、多くの企業にご活用頂いている。

### 2. G-Space I データサービスサイト・デモサイト

G-Space I の最新バージョンは2011年11月にリリースされた Ver. 1.07 になる。

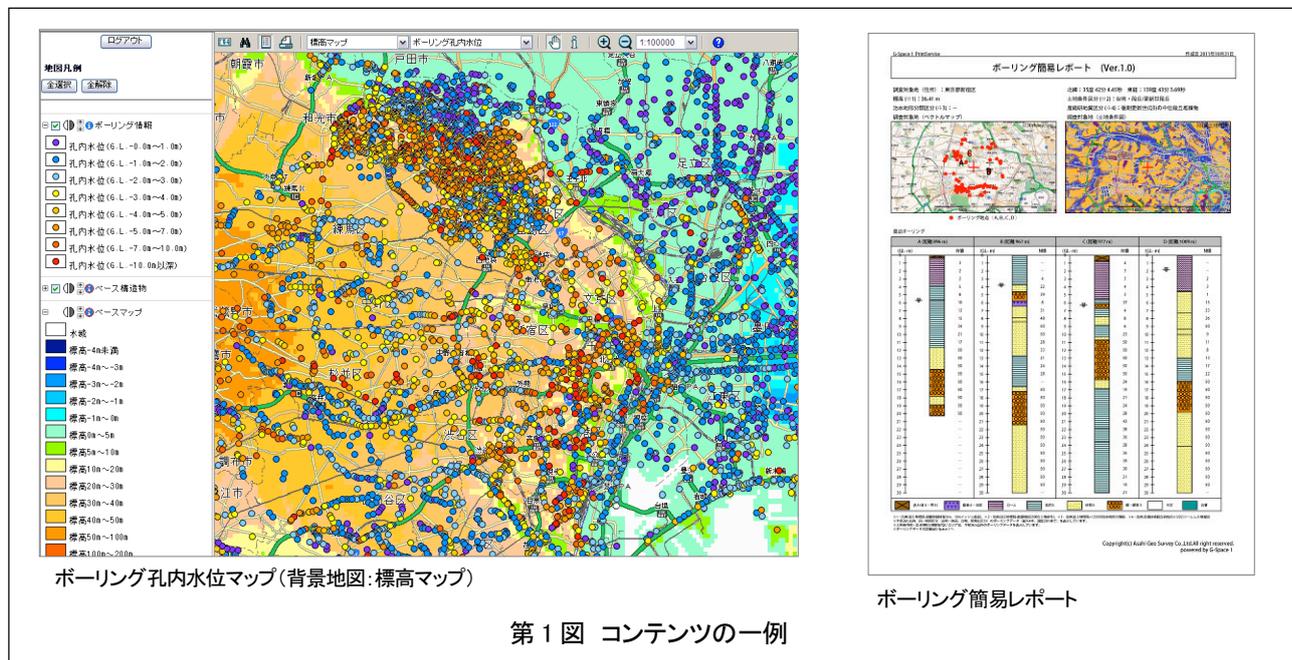
現在G-Space I に掲載される背景地図と属性情報を第1表に示した。

新しいコンテンツとしては、東日本大震災をうけて重要性が高まっている過去の液状化履歴マップの他、ボーリング孔内水位マップ、ボーリングN値深度分布図、ボーリング簡易レポートがある。また、2012年2月からは、別サイトで一般市民向けに無料公開していた「住宅地盤診断サイト」を「G-Space I デモサイト (無料)」に集約し、より多くの方々に地質・地盤・地下水情報を有効活用して頂けるよう

にする予定である。

第1表 G-Space I 登録地図、属性情報

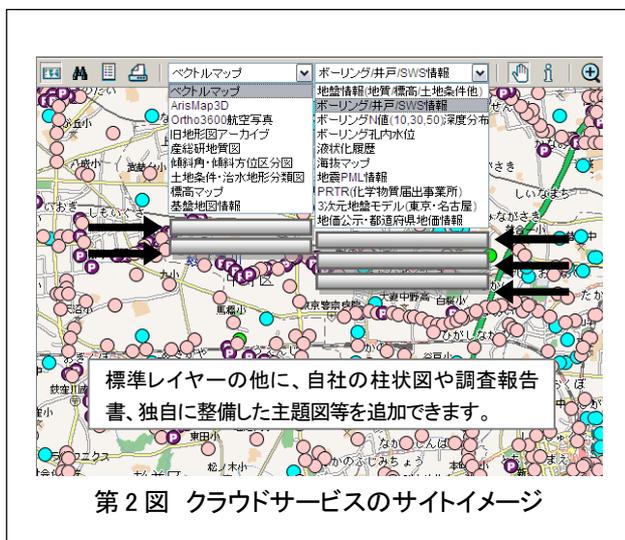
コンテンツ名称	データサービスサイト	無料デモサイト
ベクトルマップ	●	●
ArisMap3D (2次元段彩処理地形図)	●	
Ortho3600 航空写真	●	
旧地形図アーカイブ (旧版地形図)	●	
産総研シームレス地質図	●	
傾斜角・傾斜方位区分図	●	
土地条件図・治水地形分類図	●	
標高マップ	●	
基盤地図情報	●	
地盤情報・ロケーションマップ	●	
ボーリング情報 (柱状図)	●	●※一部
ボーリング簡易レポート	●	
ボーリングN値深度分布図	●	
ボーリング孔内水位	●	
井戸情報 (地下水資料台帳)	●	●
スウェーデン式サウンディング情報	●	
液状化履歴マップ	●	
海拔マップ	●	
地震PML情報	●	
PRTR (化学物質排出届出事業所)	●	
3次元地盤モデル (東京・名古屋)	●	
地価公示・都道府県地価情報	●	
日本の名水・湧水マップ		●
東日本大震災津波浸水エリア		●



### 3. G-Space I クラウドサービス

弊社では以前より、G-Space I 開発で培ったオープンソースGISシステムの基盤と地質・地盤情報データベースのカスタマイズとして、サーバー構築・サイト作成業務を行ってきたが、より多くの企業に自社地盤データを活用して頂く基盤を提供するため、G-Space I クラウドサービスを開始した。

G-Space I クラウドサービスでは、データサービスサイトの背景地図や属性情報コンテンツに、独自レイヤーを追加することが出来る。また、本サービスの利用は、専用サーバー構築に比べて安価で、構築の手間もかからず管理も一括で行うため、導入のハードルが低く今後の需要が見込まれる。



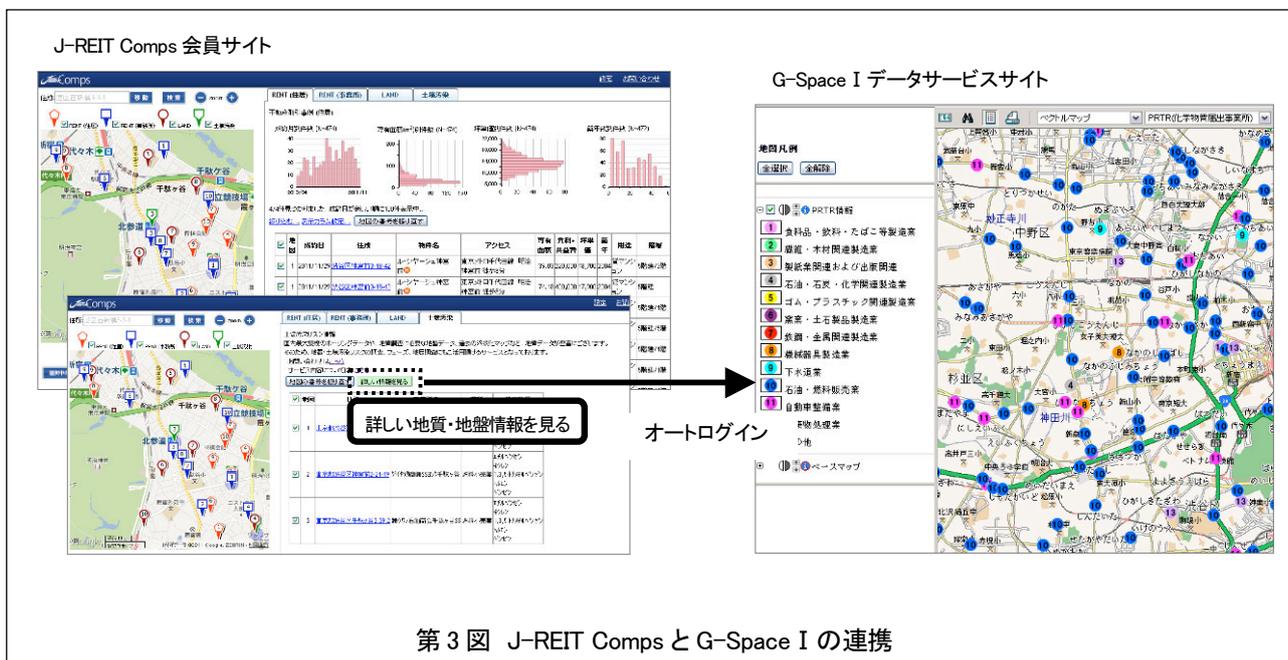
### 4. 不動産分野における地質・地盤情報の活用事例

不動産（J-REIT）投資家向け取引事例図作成ASPサービス「JAPAN-REIT Comps」（提供：株式会社a2media）と連携、J-REIT Compsの会員が地質地盤情報を参照したい場合に、JAPAN-REIT Compsサイト（Web-GIS）で閲覧しているエリアの位置情報を引き継ぎ、G-Space I データサービスサイトへオートログイン出来るサービスを提供開始した。

本サービスは、不動産投資家が物件を査定したり、開発用地を取得する際に、土壌汚染リスク情報、津波、高潮、河川の氾濫などの水害リスク情報、建築費用算定に大きく関わってくる杭の本数や深度などを想定するための情報として、地質地盤情報が重要視されていることを受けて、国内最大級の不動産投信情報ポータルを運営する株式会社a2mediaとコラボレーションしたものである。

#### 参考 URL

アサヒ地水探査 ウェブサイト：<http://www.asahigs.co.jp>



文献引用例

遠藤邦彦（2012） 平野部の地盤研究とその課題. 地質調査総合センター研究資料集, no. 552, p.1-8.

---

地質調査総合センター研究資料集, no. 552

社会ニーズに応える地質地盤情報  
-都市平野部の地質地盤情報をめぐる最新の動向-  
(地質調査総合センター 第19回シンポジウム)

編集・発行

独立行政法人 産業技術総合研究所

地質調査総合センター

〒305-8567 茨城県つくば市東1丁目1-1 つくば中央第7

<http://www.gsj.jp/HomePageJP.html>

発行日

平成 24 年 1 月 31 日

---