第四紀学と地盤情報

竹村恵二*^{1, a}・北田奈緒子*²・伊藤浩子*²・三田村宗樹*³

地盤情報は、地域の地盤を地質学・土質工学の視点から研究するうえで重要な情報であり、社会にとっての貴重な公共財となる。本論文では、ボーリングデータを集積し、地質学的記載とあわせて、これまで実施されてきた地域地盤研究と第四紀学への利活用についてまとめた。特に関西地域を例にデータベースの構築と利活用の課題を紹介した。「関西圏地盤データベース」が関西圏地盤情報ネットワーク (KG-NET) により構築され、系統的に情報の追加・更新等のデータベースメンテナンスが継続されている。また、地下基準断面の作成、広域の地層分布の把握、地下地質構造の把握、特徴的な地層や火山灰からの時間面の情報などにより地域の地盤情報を迅速に整理できることをまとめた。防災活用事例として、地震動予測や液状化予測への利活用の例を示した。

キーワード：地盤情報，ボーリングデータベース，地質学的記載，第四紀学

I. はじめに

人間社会は、人口の増加、経済の発展とともに、生活空間を拡大してきた。地表面空間の利活用から地下空間・大気空間への利活用の拡大速度は急速であった。それと一体となり、生活空間整備のための情報が蓄積されてきた。ボーリング調査等にみられる地盤情報は、地域の地盤を地質学・土質工学の視点から研究する重要な情報であり、土木工学・建設や防災のための貴重な資料となる (三村, 2012, 2013 など)。関西地域では、過去に実施されたボーリングの調査結果を集積して、地域地盤研究が盛んに行われてきた。最近では、四半世紀におよび構築された「関西圏地盤データベース」を基礎に、「大阪湾海底地盤」(土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990) 以来、数年ごとに基礎研究と地域研究の成果をまとめて、大阪平野から大阪湾 (KG-NET・関西圏地盤研究会, 2007)、神戸および阪神間 (関西地盤情報活用協議会, 1998)、京都盆地 (関西地盤情報活用協議会, 2002)、和歌山平野 (KG-NET・関西圏地盤研究会, 2011)、近江盆地 (KG-NET・関西圏地盤研究会,

2014) などの報告が公表されてきた。現在は奈良盆地地盤の研究がすすめられている。これらの歴史、地盤情報の活用の例、今後の第四紀学的課題について紹介する。

II. 関西圏地盤データベース

「関西圏地盤データベース」は関西の官・産・学が協力して構築され、関西圏の建設・学術に関わる人々の共有財産となっている (図 1)。この円滑な運用のために、現在は、関西圏地盤情報ネットワーク (KG-NET) が構築されている。大きく 3 つの組織からなり、関西圏地盤情報協議会 (KG-C)、関西圏地盤 DB 運営機構 (KG-A) および関西圏地盤研究会 (KG-R) である。現在 KG-NET が有するボーリングデータを主とする地盤情報データベースには、関西圏で 60,000 点を超えるボーリングデータが集積されている。地盤情報データベースは、各地点における位置・標高から掘削時のボーリング柱状図 (地層構成、N 値) の情報や土質試験データの詳細 (試験値)、検層情報等を入力・データベース化され、KG-NET として計画的に情報の追加・更新等のデータベースメンテナンスが継続されている (図 2)。

2017 年 2 月 6 日受付。2017 年 6 月 12 日受理。

*1 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 〒874-0903 別府市野口原。

*2 地域地盤環境研究所 〒540-0008 大阪市中央区大手前 2-1-2。

*3 大阪市立大学大学院理学研究科生物地球系専攻 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138。

*a Corresponding author : takemura@bep.vgs.kyoto-u.ac.jp

図 1 関西圏地盤データベース構築の歴史 (KG-NET・関西圏地盤研究会 (2007) を一部改変)

図 2 入力データの構成

III. 地盤情報データベースの利活用

地盤情報データベースに含まれる多くの情報を活用して、多様な地球科学的・第四紀学的課題に迫ることができる。それらの事例を紹介する。

1. 地下基準断面の作成

地盤情報データベースを用いることで、ある対象地域全体の地層構成を知るための基準断面を容易に作成することができる。これらの断面は地域の地形や地質構造に直交する方向で作成すると理解されやすい。また、河川沿いに作成することも地域の地層構成を知る上で効果的であり、地盤情報データベースを用いることで、容易に複数本の基準断面を描き、地域全体の地層構成等を総合的に判断できることが重要である。図 3 は大阪平野の東西方向の地下地質情報を断面として表現した図である。大阪湾岸から上町台地を通り、東大阪から生駒山地の西縁までの断面である。ここでは、上町台地を境に、西大阪域と東大阪域の地下断面が表現されている。大阪平野では、特徴的な地層として海成粘土が挙げられる。この海成粘土は、汎地球規模の海水準変動による海進の記録であり、それらが大阪堆積盆地に保存されている。下位から Ma-1・Ma0・Ma1……Ma12・Ma13 の計 15 層が認められている (Ikebe *et al.*, 1970; 市原, 1993)。Ma12 は最終間氷期 (Marine Isotope Stage 5, MIS5), Ma13 は後氷期の海進時 (MIS1) の内湾の海成粘土層に対応している。図 3 にみられる沖積平野下で最初の連続的に水平につながる粘土層が Ma13 であり、その下位の連続的な粘土層が Ma12 層である。Ma13 層と Ma12

図 3 ボーリングデータからみた大阪平野の東西地層断面 (KG-NET・関西圏地盤研究会, 2007)

図 4 大阪湾岸夢洲における地質環境・土層変化 (土質工学会関西支部, 1995)

柱状図の右側のグラフはコンシステンシーの値を示す。グラフ中の丸印は、含水比、バーで示す範囲は液性限界(右端)と塑性限界(左端)の値の範囲を示す。

層の間は、砂・礫などが堆積・保存されており、主に氷期と海進期初期の堆積物と考えられる。この粗粒な砂礫層は、建築基礎として、また地下水の帯水層として重要である。この断面から、西大阪地域地下の水平な堆積構造、東大阪地域地下での東に傾斜する構造等を読み取ることができる。

図4は堆積環境・土質試験結果を並べた例である。大阪湾岸は、埋め立てが歴史的に進められてきた地域であり、この断面は埋立地である夢洲(北港南地区)の断面である。ここでは、厚層の海成粘土層(Ma13とMa12)が見られ、最上部は海底面から内湾性の粘土層(Ma13)で構成され、標高-50m程度以深に分布するMa12粘土層はゆるく海に向かって傾斜する。Ma13層とMa12層間やMa12層の下位に、10~20m程度の層厚の砂・礫層が認められる。柱状図の右側のグラフは、粘土層の土質試験結果(液性限界)を示しており、Ma13層やMa12層の粘土層で、下位から上位に数値が増加し、安定した数値となり、上位に向けて減少する傾向等が認められる。この中央が凸になる変化は“大阪型”と呼ばれる地

盤の特徴であり(関西地盤情報活用協議会, 1998)、海進・海退に伴う供給粒子のサイズや構成粒子の差異と対応していると考えられ、海進の指標であるナンノプランクトンの相対頻度とも対応する。また、海進期に堆積した海成粘土層(Ma12層)の上面が、その後の海退期に侵食され、侵食面が砂礫層に覆われたと考えられるデータも認められる。

2. 広域の地層分布の把握

多数のボーリング資料に基づくデータベースを利用することで、以前の断片的な地質断面図や地質分布の推定に比べはるかに高精度で、三次元的な地質分布が把握できるようになった。そのために、まず地層対比を進め、その後、各地層の上端・下端分布、層厚分布、標高分布などを作成して、分布形状の特徴を確認することが必要である。これらの分布情報はその広がりやの確度も含めて、堆積プロセス、堆積場などの地質学的情報として活用できるメリットがある。図5は大阪平野域の沖積層の層厚分布を図示した例である。上町台地部では沖積層が非常に薄く、北限は大阪城付近であり、南の大和川付

図5 沖積層の層厚分布(KG-NET・関西圏地盤研究会, 2007)
沖積層下面と対応する第一洪積砂礫層上面の標高で表現している。

近に向かって沖積層は薄くなる。西大阪の港湾部では層厚 30 m 以上の地域が全体的に分布し、上町台地の北側に沿い層厚 20 m 程度の沖積層が舌状に延びる分布が認められる。また、分布形状は旧河川に沿った層厚が大きくなる特徴がある。これらの層厚分布データと地層構成を組み合わせることで、地域の地盤特性とその領域を判断することができる。

3. 地下地質構造の把握

基準となる鍵層（特に大阪平野の場合は海成粘土層）が挟在する場合は、その分布状況や層厚の把握で、地下における地質構造の情報を得ることができる。伏在断層の存在の有無や断層面の傾斜などの推定が可能になるなどのメリットが大きい。

大阪平野では、上町断層は地震防災上、重要な活断層であり、上町台地の西側に分布が推定されてきたが、この分布の大半は伏在していると考えられる（中田ほか、1996 など）。このような断層の分布形状を知る上で、稠密なボーリングデータベースは大きな効果を発揮する。図 6 は上町断層帯の変形ゾーンのタイプを示した図である。図 6-a は Ma12 層が変形・撓曲していることが確認できるタイプである。図 6-b は Ma12 層が変形・撓曲しているが、上部層によって上盤側が剝離されているタイプである。図 6-c は Ma12 層よりも古い地層が変形し、地層の連続性が確認できないタイプである。このように、ボーリングデータを利用することで上町断層沿いの地層群の変形の様相を明らかにでき、Ma12 層の連続性から変形の連続性や落差等の情報を得ることができる。

4. 特徴的な地層や火山灰からの時間面の情報

火山灰や特徴的な地層からは時間の情報を得ることができる。大阪平野では、特徴的な地層として海成粘土層が挙げられる。この海成粘土層は、汎地球規模の海水準変動による海進に伴い、大阪堆積盆地に保存されており、少なくとも 10 万年単位での地層分布や地殻変動の記録を読み解くことが可能になっている。たとえば、上町断層による変位速度は断層両側の同一海成粘土層の落差から 0.11~0.40 m/kyr 程度と算定される。また、挟在する火山灰層（特に、アズキ火山灰層やピンク火山灰層などの広域火山灰層）は、海成粘土層との層位関係が調べられており、これらの火山灰層が認められる場合は、重要な時間指標として活用できる。

5. 防災活用事例

データベースを活用し、地域の地盤特性を抽出し、地域に想定される地震による揺れや液状化の発生などのハザードを評価する上で基礎となる表層地盤モデルの作成

など、ボーリングデータベースが重要な役割を有している。

図 7 は大阪府（2007）で実施された地震動予測の例である。この例では、ボーリングデータを活用し、250 m メッシュサイズで作成された高度な浅層地盤モデルに基づき、上町断層が動いた場合の各地域の震度を詳細に検討することができている。特に西大阪から上町台地にかけての東西 10 km 程度で震度 6 強~7 の強い揺れになる可能性が予測されている。

図 8 は、北は淀川、南は大和川に挟まれた平野域での液状化危険度評価である。250 m メッシュでのボーリングデータを活用して作成された浅層地盤モデルが液状化の発生可能性を予測する重要な基礎データとして活用された例である。特に、西大阪の海岸部で液状化危険度が「極めて高い」または「高い」地域が広がっていることが示されている。また、上町台地北東部の淀川が交差する地域も同様の高い液状化危険度が予測されている。

6. 他地域への波及と大分平野の例

現在では、ボーリングデータの集積などから地盤情報データベースの構築が進んでいる。たとえば、地盤工学会「全国電子地盤図」Web 公開（2010 年）、国土交通省のボーリングデータ「国土地盤情報検索サイト KuniJiban」公開（2008 年）、防災科学技術研究所ポータルサイト「ジオステーション（Geo-Station）」データ公開（2009 年）など、国・自治体や学会・企業などにより、情報整備と公開がなされているが、実際の地下情報の利活用に関する精度の高度化と継続的な情報発信機能の整備はまだ、情報の質の吟味や情報の発信母体でのデータベースとしてのメンテナンスの継続など多くの課題があると考えられる。ここでは、他地域への波及の例として、大分平野でのデータベースの構築と沖積層を対象とした地盤研究の事例をとりあげる。

大分平野は、厚い沖積層が堆積している場所で、千田（1974、1987）などにより地質構成等の研究がすすめられてきた。また、沖積層に挟在する火山灰層（アカホヤ火山灰層）を用いた伏在断層の認定等も研究されてきた（千田ほか、2003）。平成 26 年度から 3 年間実施された文部科学省による「別府-万年山断層帯（大分平野-由布院断層帯東部）」の重点的調査観測（代表：竹村恵二）では、この厚い沖積層の下端やアカホヤ火山灰層の分布形状を詳細に明らかにするために、既存のボーリング情報の収集と新たな地質学的観察のためのコア採取を実施した（文部科学省・京都大学理学研究科、2016）。一般的な工事のためのボーリング柱状図では、火山灰層と記載

図 6 ボーリングデータによる上町断層沿い地盤の詳細な変形構造と位置 (文部科学省・京都大学防災研究所, 2013)

a: Ma12 層が変形・撓曲していることが確認できる。b: Ma12 層が変形・撓曲しているが、上部層によって上盤側が削剥されている。c: Ma12 層よりも古い地層が変形し、地層の連続が確認できない。

図 7 大阪平野での地震動予測の例 (大阪府 (2007) を一部改変)

図 8 大阪平野北部での液状化予測例 (大阪市 (2007) を一部改変)

図 9 大分平野におけるアカホヤ火山灰層の深度分布 (文部科学省・京都大学理学研究科, 2016)

図 10 インフラ構築への地盤 Data Base の活用

されている例は必ずしも多くないが、大分平野のボーリング柱状図の場合、沖積層中部に挟在する火山灰層の記述が豊富であり、沖積層中には顕著な火山灰層がかなりの層厚で含まれている。ボーリング柱状図記載としてはシラスなどの記事があり、ガラス質火山灰層と認定できる可能性がある。また、沖積層の連続的な厚層の粘土層中に N 値が高い層準があり、これがガラス質火山灰層であるアカホヤ火山灰を含む層準である可能性がある。このことを利用して、ほとんどのボーリングの情報として存在する N 値に注目して、アカホヤ火山灰層層準の平面的深度分布を描くこと(図 9)で、従来は少ないボーリング情報により考察されてきた大分平野下の地盤構造や伏在断層の位置を明確にすることが可能になった。このように、各地域に特徴的な地盤・地層に注目することにより、集積されたデータベースから、より重要な第四紀学的情報の抽出が可能になると考えられる。

IV. 今後に向けて

地盤情報は、人間生活圏における重要な社会資産であり、その有効な利活用は重要な課題である。そのための情報整備システム構築とメンテナンスシステム継続の高度化、および利活用項目の多様化とその実質化が今後の重要な方向性になると考えられる。それには地盤情報データの蓄積からはじまり、地域の地盤研究・堆積環境調査・防災検討に至る地盤情報データベースの利活用によるインフラ構築プログラム(図 10)として第四紀学の視点からの対応が期待される。

謝辞 関西圏地盤協議会の KG-R(関西地盤研究会)、京都大学工学研究科の三村 衛教授、地域地盤環境研究

所の井上直人氏、濱田晃之氏、京都大学理学研究科の山田圭太郎氏には、講演および本稿をまとめるにあたり大変お世話になりました。また、植木岳雪教授(千葉科学大学)および目代邦康博士には、日本第四紀学会 2016 年大会の公開シンポジウムの世話人として大変お世話になりました。本稿の修正・改善にあたり、黒木貴一教授(福岡教育大学)および匿名査読者からの貴重なご指摘をいただきました。本論文の大部分平野に関する部分は文部科学省による「別府-万年山断層帯(大分平野-由布院断層帯東部)の重点的な調査観測」(平成 26~28 年度)(代表:竹村恵二)の成果の一部である。以上の方に深く感謝いたします。

引用文献

- 千田 昇(1974)大分平野の地形発達と地殻変動. 地理学評論, 47, 181-194.
- 千田 昇(1987)大分平野西部の完新世における地形発達. 地理学評論, 60, 466-480.
- 千田 昇・竹村恵二・松田時彦・島崎邦彦・池田安隆・岡村 眞・水野清秀・松山尚典・首藤次男(2003)大分平野直下に伏在する府内断層の位置と最新活動時期. 活断層研究, 23, 92-108.
- 土質工学会関西支部(1995)海底地盤—大阪湾を例として. 406p+184p, 土質工学会関西支部.
- 土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会(1990)大阪湾海底地盤. 171p, 土質工学会関西支部.
- 市原 実(編)(1993)大阪層群. 340p, 創元社.
- Ikebe, N., Iwatsu, J. and Takenaka, J. (1970) Quaternary geology of Osaka with special reference to land subsidence. Journal of Geoscience, Osaka City University, 13, 39-98.
- 関西地盤情報活用協議会(1998)新関西地盤—神戸および阪神間—. 270p, 関西地盤情報活用協議会.
- 関西地盤情報活用協議会(2002)新関西地盤—京都盆地—. 196p, 関西地盤情報活用協議会.
- KG-NET・関西圏地盤研究会(2007)新関西地盤—大阪平野から大阪湾—. 296p+66p, KG-NET・関西圏地盤研究会.
- KG-NET・関西圏地盤研究会(2011)新関西地盤—和歌山平野—. 208p, KG-NET・関西圏地盤研究会.
- KG-NET・関西圏地盤研究会(2014)新関西地盤—近江盆地の地盤—. 258p, KG-NET・関西圏地盤研究会.
- 三村 衛(2012)地盤情報データベースの整備状況と展望. 基礎工, 40 (2), 2-7.

- 三村 衛 (2013) 社会基盤としての地盤情報データベース. 地盤工学会誌, 61 (6), 1-3.
- 文部科学省・京都大学防災研究所 (2013) 上町断層帯 22-24 年度観測調査報告. http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/uemachi_juten/h24/, 2017 年 4 月 16 日閲覧.
- 文部科学省・京都大学理学研究科 (2016) 別府-万年山断層帯 (大分平野-由布院断層帯東部) 平成 27 年度観測調査報告. http://www.jishin.go.jp/database/project_report/beppu_haneyama/, 2017 年 4 月 16 日閲覧.
- 中田 高・岡田篤正・鈴木康弘・渡辺満久・池田安隆 (1996) 1 : 25,000 都市圏活断層図「大阪西南部」. 国土地理院技術資料, D.1-No. 333.
- 大阪府 (2007) 大阪府地震被害想定調査 (大阪府自然災害総合防災対策検討 (地震被害想定) 報告書. www.pref.osaka.lg.jp/kikikanri/higaisoutei/, 2017 年 4 月 17 日閲覧.
- 大阪市 (2007) 大阪市災害想定 (震度分布・液状化予測・津波浸水想定) について, 液状化予測図. <http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/cmsfiles/contents/0000011/11946/ekijouka.pdf>, 2017 年 4 月 17 日閲覧.

Quaternary science and geoinformatics

Keiji Takemura^{*1, a}, Naoko Kitada^{*2}, Hiroko Ito^{*2} and Muneki Mitamura^{*3}

Geoinformatics is a way of organizing important information for recognizing the subsurface structure, stratigraphy, and soil material from the viewpoint of geology and civil engineering, and a valuable tool as social information. This paper introduces the construction of a geoinformatic data base of drilling cores with geological and geoengineering descriptions, and describes its use for local subsurface exploration and the

Quaternary sciences. In particular, we introduce the outline of a geotechnical database, "Kansai Geo-Informatics Database (GI-base)" that was created by a consortium in the Kansai region of Japan ; the KG-NET (Kansai Geo-informatics Network), and discuss how to utilize more than 60,000 drilling data sets for Quaternary studies : subsurface structure, geotechnical engineering, and disaster prevention.

Keywords : geoinformatics, boring database, geological description, Quaternary science

*1 Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, Noguchibaru, Beppu, 874-0903, Japan.

*2 Geo-Research Institute, 2-1-2 Otemae, Chuo-ku, Osaka, 540-0008, Japan.

*3 Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka, 558-8585, Japan.

*a Corresponding author : takemura@bep.vgs.kyoto-u.ac.jp