

## 第4章 ま と め

ここでは「神戸 JIBANKUN」を通して、地盤情報から得られた成果ならびに新しい地理情報の活用、詳しい被害情報の整理、それらをオーバーレイすることにより得られた新しい知見等を改めて概括し、まとめて示す。さらに今回新しく構築した「神戸 JIBANKUN」構築の背景および意義、今後の課題についても考察を加える。

### 4.1 「神戸 JIBANKUN」から得られた新しい成果

#### (1)地盤情報データベースから得られた新しい結果

現在の「神戸 JIBANKUN」には、約9,000本（神戸市東灘区～須磨区の市街地内では約5,000本）のボーリングデータがデータベースとして登録されている。従来、神戸市においてはボーリングデータを用いた地盤に関する報告書が出されていたが、地盤情報の不十分さとその後得られた新しい知見等より地層の層序分けを見直す必要が生じた。このため、今回新たにボーリングデータを見直し、神戸市街地の地盤構造を新たに推定することにした。今回は、沖積粘土層の下面、Ma 12上面の連続性を重視し、上位より沖積層、低位段丘相当層、Ma 12の三つの地盤に区分することを目的とした。この地盤区分作成に際しては、任意の断面が自由に作成できる「神戸 JIBANKUN」の機能が大きい役立った。これらのデータから得られた新しい結果を以下に示す。

#### ○沖積層基底面の等高線図

沖積粘土層基底面の高さを標高で表示し、これらの等高線を示したものである。

#### ○Ma 12海成粘土層上面の等高線図

Ma 12上面の高さを標高で表示し、これらの等高線を示した。ここ約10万年前の地殻変動の情報を与えるこの結果は、今回の地盤情報データベースで初めて得られた大きな成果の一つである。

#### ○各地域の地盤構成と特徴

神戸市街地は、六甲山系の上昇と大阪湾の沈降ならびに六甲山系からの流出土砂の堆積によって形成された地盤であることが、神戸の地盤構成を指摘する時に従来よく用いられた表現であったが、今回の地盤情報により東灘区から須磨区に至るまで、地域によってその地盤構成が大いに異なることが明らかになった。すなわち、住吉川左岸の神戸市街地東部では、沖積粘土層の連続性がよく確認され、その上位で砂層に遷移していく。摩耶埠頭から王子公園にかけての地域では、沖積粘土層の分布範囲が狭く、完新世における堆積環境が東部とは異なったものであったことが今回明らかになった。また、粗粒の礫、砂が多いことより、六甲山系からの土砂の流出が激しかったことも特徴的である。ポートアイランドから三宮に至る地域でも、陸側では沖積粘土層がほとんど見られず、わずかに Ma 12が薄い層厚で連続するが、陸側に入ると急にその出現位置が浅くなり、断層活動の影響があったことが初めて明らかになった。

一方、西部の和田岬から会下山にかけては、和田岬付近で沖積粘土層上位に砂もしくは砂礫層が厚く分布することが明らかになった。これらの層は、今回の調査により海浜性の堆積物であることが判明した。内陸部に入ると、沖積粘土層が表面付近に分布しており、これは和田岬を砂嘴とする後背湿地に相当するものと推定された。

○地盤の工学的特徴

「神戸 JIBANKUN」の機能を用いて地盤の工学的特徴に関する各種の集積図が作成された。これらによると東部地区、中部地区の沖積粘土層は、細粒分が90%以上占めているのに対して、西部地区ではこれよりも粗粒側の粒度組成となっている。一軸圧縮強度も東部より西部の方が大きくなっていることなどが初めて明らかになった。深度毎の平均N値平面分布図も「神戸 JIBANKUN」の機能を使って作成することができ、各地区におけるN値特性も把握することができた。ただ、これらはいくまでも地盤分布のマクロな特徴を示すものであり、神戸が数回の侵食、堆積のプロセスを経て形成された地盤であることを考えると、今後、対象物に対するジャストポイントでの情報はボーリング調査等によらねばならないが、大きな特徴はこれで十分把握することができた。

○その他の地盤情報

「神戸 JIBANKUN」では、種々の基準による液状化判定ができる機能を有している。この機能を用いて「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（1996年12月発行）」によるPL値区分図を作成した。

(2)新しいGISおよび地理情報の活用

地理情報は「神戸 JIBANKUN」のGISに相当する部分であるが、ここでは初めて新しい機能を有したGISを採用するとともに、従来にない新しい地形情報、地盤情報に加えて、今回発生した建物、上下水道管、地下鉄などの被害分布や噴砂分布図等が入力されている。

○デジタル地形情報

今回は神戸市都市計画局で作成された1/2,500のデジタル地図を使わせていただいた。これにより建物の位置、道路の位置、地名等の情報が自由に使えるとともに、GISの特徴であるズームアップ機能、スクロール機能も十分に活用できた。

○20m格子地図の作成

「神戸 JIBANKUN」は20mメッシュの標高データを有している。これは50mメッシュの国土地理院発行の高密度数値地図をベースとし、神戸市建設局下水道部で震災前に測定された約16万点の下水道マンホール地点データを加えて新たに作成したものである。この20mメッシュ標高データにより、前述した地盤情報の任意断面地表面線が正確に描けるようになった。

○旧地形図の活用

地震による被害は埋立地に加えて、斜面やため池への盛土箇所被害が多発したことが報告されている。このことより、明治17～22年に作成された縮尺1/20,000の古地形図を用いて、当時の海岸線、河川およびため池の位置図を作成した。また、現在の地形図と対比することによって、過去に大規模な盛土が施された場所を谷埋め盛土域として推定した図を作成した。これらは後述する被災原因の究明に使われた。

○微地形区分図の活用

今回の震災後、建設省国土地理院では、上述したように旧地形と被害との関係が深いとの事実より、地震防災のために活用できる土地条件図の作成に着手した。その内容は微地形区分に加えて、旧地形情報、市街地の等高線、液状化や山腹崩壊などの被災情報が記載されている。この微地形区分にあたっては、今回「神戸市地盤調査検討委員会」の委員である田中眞吾神戸大学名誉教授が作成された詳細な微地形区分図もあわせて活用させていただいた。この微地形区分図は、堆積時代区分を考慮した詳細な微地形区分図であり、細かな空中写真判読と現地調査により作成されたものである。今回の「神戸 JIBANKUN」では、

地震防災土地条件図のうち微地形区分図を掲載している。作成された範囲は縮尺1/10,000地形図幅の「宝塚」,「西宮」,「芦屋」,「六甲アイランド」,「三宮」および「長田」の6面であったが、これらのみでは神戸市全域がカバーできないので、今回は田中眞吾先生に特に依頼し、同様の基準で神戸市全域をカバーする微地形区分図を作成していただいた。これによると神戸市街地の微地形は、山地・丘陵、埋立地を除くと、面積比の高いものより、扇状地-5、氾濫平野・海岸低地、旧河道等、扇状地-4、扇状地-3、砂州の順になっている。

### (3)詳しい被害情報の整理

今回の被害情報は町丁目毎の建物被害分布、上下水道管の被害分布、市営地下鉄の被害分布に加えて既発表の成果として地盤変位や液状化による噴砂の分布が「神戸 JIBANKUN」に取り込まれている。

#### ○建物被害分布

建物被害については、これまで各種機関で調査されたものが公表されているが、今回、より詳細な被害データの内容とその特性が明らかとなった。

#### ○上下水道管被害分布

地盤の地表に存在する建物に対して、地中の極く表層付近に分布する構造物として上下水道管があるが、今回は特にその分布に関する情報を入手することができ、これを「神戸 JIBANKUN」に入れることができた。

### (4)地形、地質と各種被害との関係分析

#### ○地質と建物被害

一般的に被災率の高いところは沖積層の分布しているところに集中している。すなわち、東部地域では年代の新しい扇状地性の堆積物が分布している地域で被災率が高く、西部地域では後背湿地性の堆積物が分布している地域で被災率が高くなっている。一方、中部地域においては沖積層の層厚が厚いにもかかわらず、被災率は低くなっている。この原因としては、この地区の沖積層が粒径の大きな礫層が主体となっていることと関連している可能性もあるが、今後解明しなければならない問題である。

#### ○表層 N 値と建物被害

N 値は砂、砂礫と粘性土では値が異なり、同一レベルでは評価できない面があるが、同種類の地層対比では地盤評価の指標となる。このような観点で表層の N 値と建物被害とを比べてみると、総じて N 値の低いところで被災率が高くなっている。細粒分を多く含むところでは、周辺に比べて N 値が低くなっているが、このようなところでも被災率が高い傾向にある。

#### ○微地形と建物被害

約1.5万年以前に形成された地盤では顕著な被害がほとんど発生しておらず、被害のほとんどが約1.5万年以降の扇状地地域と氾濫平野に集中している。特に、被害は東部地域で扇状地地域に、西部地域では扇状地地域と氾濫平野に著しいことが明瞭である。これより、建物被害は、新しい地質時代に形成された地盤と密接に関係している可能性が高いといえる。

#### ○地質と上下水道管被害

建物と同様、被害は沖積層の分布域に集中して見られる。東部地域では年代の新しい扇状地性の堆積物分布域に、西部地域では後背湿地性の沖積粘土分布域で被害が集中している。一方、中部地域においては、

沖積層分布域でも被害が断続的になるが、これは建物被害の所でも述べた通り、この地区の沖積層が粒径の大きな礫層が主体となっていることと関連している可能性もあるが、今後解明しなければならない問題である。

#### ○微地形と上下水道管被害

被害位置は地形区分での埋立地、氾濫平野・海岸低地等の海岸地域と、開析谷底、旧河道、河道、谷底平野、自然堤防および年代の新しい扇状地に集中する傾向にあり、建物被害と同様、同一の地形要素である扇状地では、年代的に新しい地盤ほど被害件数は多くなっている。

#### ○旧地形と上下水道管被害

丘陵部の被害は、谷埋め盛土域と旧ため池位置に多い。

#### ○地表面傾斜区分と上下水道管被害

被害位置は地表面傾斜区分で $2^{\circ}$ 以下のところに集中している。これは敷設延長が長いこととも関係しているが、緩傾斜地に沖積層が分布しており、地盤の変形が大きかったためとも考えられる。一方、長田区北部で傾斜 $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$ の地区で被害集中域が見られるが、これは前項で述べた谷埋め盛土域である。

#### ○地質と地盤変位

鉛直変位は人工埋立地と沖積層の分布域で沈下が卓越しているのに対して、基盤岩分布域と大阪層群、段丘相当層の分布域では隆起が卓越している。水平方向の変位は、人工埋立地と沖積層の分布域で大きい。また、基盤岩の分布域においても比較的変位が大きい、これは地表面の傾斜が急であるために、局部的に斜面変状や盛土変状を起こしている可能性もある。

#### ○微地形と地盤変位

鉛直変位量、水平変位量とも埋立地、沿岸地域、扇状地、段丘の順に小さくなっており、同一地形の扇状地でも新しい地盤ほど変位は大きくなる傾向にある。山地、丘陵地も比較的変位が大きい、前項で述べたように局部的な斜面変状や盛土変状を起こしている可能性もある。

## 4.2 「神戸 JIBANKUN」構築の背景および意義

#### ○情報機器の発達

近年、情報機器の発達はめざましいものがある。従来の GIS は高速の演算機能、多くのメモリーを必要とするため UNIX 系のハードをサーバーとするものが主流であったが、近年の情報機器の発達に伴い、パソコンレベルでも従来の UNIX 系と同等の機能を有するようになった。このため「神戸 JIBANKUN」は取り扱いが容易で、かつ価格的にも安価なパソコンで動く動作環境で設定した。この「神戸 JIBANKUN」の開発には約 3 年を要したが、スタートした平成 7 年度に比べ、パソコンのハードウェアがかなり発達し、構築開始当初に意図していた以上にソフトウェア機能の取り込みが可能となり、容易で使いやすい地理情報データベースを完成させることができた。このことは完成後においても常にアップデートな機能で操作できるような意識を持っておく必要があることを暗示している。

#### ○ソフトウェアの発達

「神戸 JIBANKUN」の特徴は地理情報処理機能である GIS 機能と、地盤データベースとが一体化したことである。両ソフトともデータ構造が互いに公開されており、このことが一体化作業を容易にした。これらのソフトは従来、全く別々に開発されていたものであったが、この一体化によって、それぞれの特

長・機能は2倍以上の効果を持つことになった。このような互換性機能は今後とも大きなメリットを生み出すことになるものと思われる。ソフトウェアの開発も「神戸 JIBANKUN」構築によって終わったわけではなく、ハードウェアと同様に新しい OS が次々に開発されている昨今においては、常にバージョンアップを図っていく必要があるものと思われる。すなわちデータベースは構築されて終わりではなく、新しいデータを追加し、容易で効率的なソフトウェアの開発を常に意識して改善、改良を図っていくことが必要である。

#### ○多分野にわたる情報収集

この「神戸 JIBANKUN」は、「神戸市地盤調査検討委員会」（委員長：田中茂神戸大学名誉教授）の委員会活動の一環として構築された。この委員会は工学，理学，農学と多分野にわたる委員で構成されており，各委員からの提案により，多方面の資料を収集することができた。特に微地形の区分図は，現在出版されている以外の範囲も今回初めて入力することができた。加えて，建設局下水道部，水道局等から被害情報が提供される等，多方面から資料の収集ができた。これらの資料をもとに多分野にわたる検討が初めて可能になった。さらに神戸市では「神戸市地域活断層調査委員会」（委員長：岡田篤正京都大学教授）がほぼ同時並行的に活動していた。この委員会の成果は神戸地盤の1,000m 程度の深部の情報が反射法地震探査から明らかになるとともに，トレンチ調査により第四紀後半の活断層の活動度を明らかにしている。これらの成果と，本書で求めたボーリングデータを主とした地表付近の地盤情報を組み合わせることにより，神戸市街地における信頼度の高い地盤情報を明らかにすることができた。

#### ○ボーリングデータの公開

公的な機関で実施されたボーリングデータがデータベースとして保存され，多くの目的のために活用できるならば，情報は豊かになり，今後行われる調査の信頼度は大いに向上し，質的に高い地盤調査が行えることになる。神戸という市街地は，これまで見てきたように堆積・侵食を繰り返してできた地盤であり，このような資料を有効に活用することにより，より効率的で質の高い地盤調査が行われることになる。今回神戸市がこの目的に沿ってボーリングデータを公開されたことは画期的なことと言える。今後，毎年のデータが少しずつでもこの「神戸 JIBANKUN」に集められ，更に信頼度の高いデータベースが出来上がっていくことが望まれる。

#### ○広域データベースとの連携

関西は地盤構造が複雑であるため，各自治体単独では地盤構造を把握できない面もあり，広域を対象とした地盤情報のデータベース化が最も進んでいるところである。広域のデータベース作成機関としては，「関西地盤情報活用協議会」と「大阪湾地盤情報の研究協議会」があり，これまでに作成された両協議会の成果は質，量ともに非常に高く，各方面で高く評価されている。神戸地域も当然のことながら関西に位置するため，これらの協議会でまとめられた成果を活用することが大切であるとともに，広域データベースの一環としてデータ蓄積に協力し，連携を図っていくことが必要である。これにより，より広域的な情報が把握でき，各種成果の信頼度向上を図ることができる。

#### ○データベースの活用

この「神戸 JIBANKUN」は今回の被災の原因を究明するために構築された地盤データベースであるが，当初の目的のみでなく，日常的にも大いに活用される可能性を有している。神戸市においては，「神戸 JIBANKUN」を各部局に常設することにより，各部局で担当している構造物の被災原因究明のみならず，各部局での将来の計画に有効な地盤情報を与えてくれることになるものと思われる。それは単に地盤の現

状把握だけではなく、過去の災害情報、過去の地形等の情報入手に活用でき、より有効で信頼度の高い計画が効率的に作成されることになるものと思われる。一方、研究機関では当初の目的である被災原因の究明に大きな力になるものと思われる。民間各社においても、これをベースにそれぞれの会社が蓄積されているデータを追加し、各社毎にプライベートデータベースの作成が可能になる。これは各社の業務遂行に大きな戦力になるものと思われる。市民にとっても自分が住んでいるところの地盤状況や過去の災害の歴史を知ることにより、今後の災害を防ぐための参考データとして大いに活用できることになるものと思われる。ただ、これらの活用には、現状のデータベースがすべてではなく、現在判明している情報からのデータであることを知っておく必要がある。新しいデータの追加や新しい調査手法の開発により、また新しい研究・学問の発展により、現在の内容が変更になる可能性が十分であることを利用者が知っておくことが肝要である。

### 4.3 今後の課題

#### ○「神戸 JIBANKUN」から得られた情報を用いた動的解析と被害原因の究明

本書で整理した被災原因の究明は、それぞれの情報、調査結果の重ね合わせによる考察である。地震による被害は、地中約14kmの深さで発生した地盤の破壊現象が、地震動となって地中を伝播した結果、多くの建物や都市インフラストラクチャーが破壊したために生じたものである。このため構造物がなぜ破壊したのかを究明するためには、地震時に地盤はどのように揺れ、構造物はそれによりどのような挙動をしたのかという破壊メカニズムを明らかにする必要がある。そのためには、まず揺れの挙動を明らかにする必要があるが、これには地盤の特性を解析条件として入力する必要がある。ところがこれらの地盤の特性は通常明らかではなく、また仮に得られていても限られた場所のみであった。今回「神戸 JIBANKUN」の構築により、地表近くのデータは非常に詳細に明らかにされたため、今後これらのデータを活用して、地震時の揺れの実態を明らかにする必要がある。これにより今回問題となった液状化、あるいは液状化までには至っていない地盤の軟化現象を明らかにし、地盤の変状、変形に起因する被害の原因の究明を図る必要がある。

#### ○市街地深部での地震時挙動の把握

今回の「神戸 JIBANKUN」の情報は地表近傍の深さ約30mまでが多い。今回の地震は深さ約14kmで発生した破壊の波が地表に伝播したものであり、この過程を十分再現する必要がある。このためには地表近傍のみならず、地下深部における情報も明らかにする必要がある。地震後、神戸の市街地は、世界で最も詳しく地盤構造が調査されたため、かなりその構造が明らかになり、六甲山麓のすぐ近くでも約1,000mの深さまで堆積物のあること等が明らかになった。しかし、このような深い位置を調べるボーリング調査はほとんどなされていないため、地下深部における動的解析のための地盤情報はまだ詳細には明らかになっていない状況下である。今後長尺ボーリングあるいはそれ以外の何らかの手段により数多くの地下深部の地盤情報が収集され、これらを用いた地震時の地下深部の挙動が明らかにされる必要がある。この情報により「神戸 JIBANKUN」の詳細な情報が更に意義あるものになる。

#### ○「神戸 JIBANKUN」のデータ更新と活用

地盤データベースは完成という表現が不可能なデータベースである。これは地盤条件が複雑なため、あくまでも現状で判明している情報を収集したものであり、今後追加される地盤調査結果や解析手法の革新

・改良によりその内容が大きく変わってくる可能性を有している。すなわち信頼度の向上が地盤データベースに与えられた大きな使命の一つである。このため、今後とも新しいデータを常に入力し、データの更新、追加を心掛ける必要がある。地盤データベースの二番目の使命は、データベースの構築という当初の目的を達成して終わりではなく、構築された結果をどのようにして活用するかを今後とも考えていく必要があるということであろう。特にデータベースの活用は、著作権の問題と密接な関係があり、この問題には慎重に対応する必要がある。この活用には使用する側の倫理も問われることにもなるので、これらの意識の向上が今後必要となろう。