

## 4 松本平とそれを取りまく大地のしくみ

### 4-1 山地の隆起・浸食と堆積作用がつくった松本平

北アルプスは、200 万年ほど前頃からマグマの活動を伴いながら激しい隆起を繰り返してきたところです。松本平をはさんでその東側に広がるフォッサマグナの山々も同様です。その過程で山が削られ、東西両側、特にアルプス側からたくさんの礫や砂・泥などが大量に運びだされました。松本平は、それらの厚い土砂で埋め立てられています。松本市の中心市街地は、女鳥羽川や薄川、田川・牛伏川・奈良井川・鎖川などの多くの河川が集まっているところです(図 4-1)。そのことは、この地域が周辺部に比べて相対的に標高が低く、堆積物も上流部より細かなものがたくさん堆積する傾向にあることを示しています。現在の河川は整備が行き届いているので流れは堤防の内側に限定されています。しかし整備が十分でなかった時代はどの河川も大水が出るとしばしば氾濫して流れを変えていたのです。一見すると同じような高さで広がっているところでも、地下の地層は土砂を運んできた河川のような違いを反映して場所によってさまざまな違いをもっています。現在の建築基準法では、橋や道路、ビルなどどんな建築物に関しても耐震基準が厳しく定められ、それに関して正確な地盤のデータが必要とされています。また、地震による都市災害をできるだけ軽減するために、地盤データにもとづいた震度予測図(揺れやすさマップ)を作成する行政機関も次第に増えてきました。

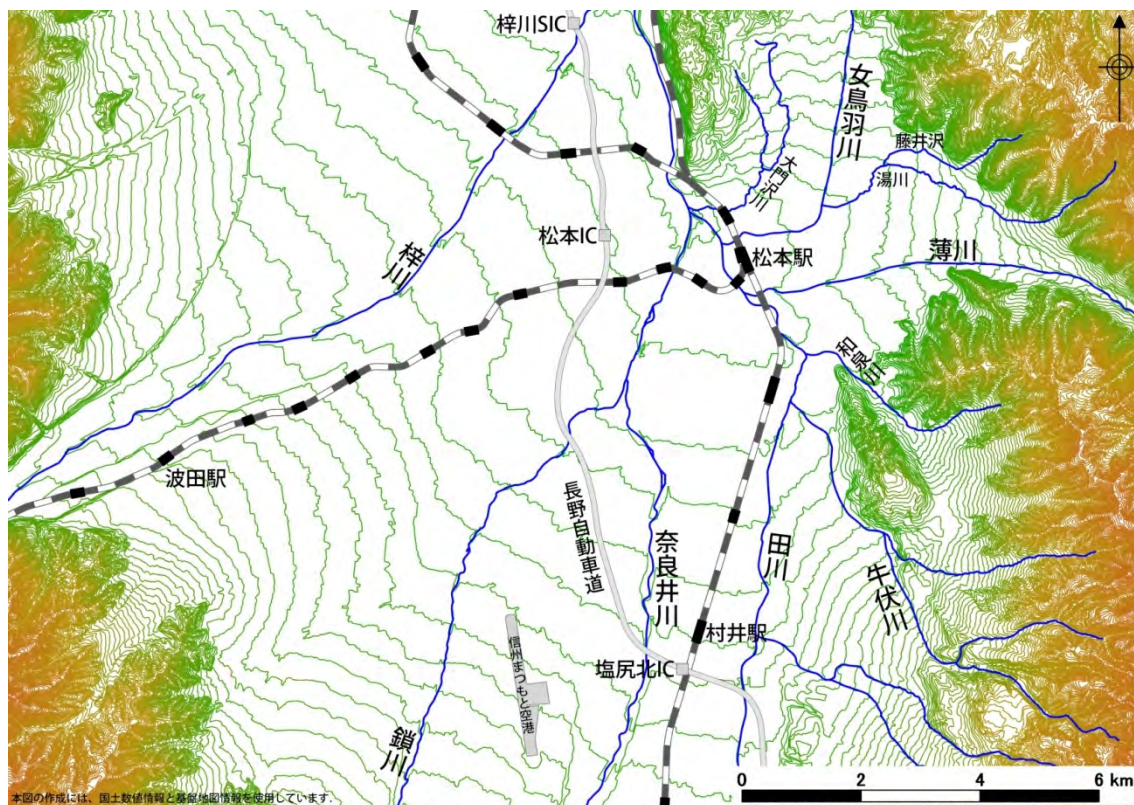


図 4-1 松本盆地南部の地形概略図

私たちは、630 松本地震の教訓を生かし、松本市内でこれまでに掘削されたボーリングのデータをできるだけ集め、それをもとに地表近くの地盤の状況を解析し、「松本市の地

盤図」としてまとめました（3-1、3-3の各地盤図を参照）。10数年前の地盤図にくらべ、その精度は格段に上がっています。

#### 4-2 糸魚川—静岡構造線のはしる松本平

松本市の大半の市民が暮らしているのは、南北に細長い松本盆地（松本平）のほぼ中央部にあたる場所です。西側は上高地・槍穂高連峰を擁する北アルプス、東側は美ヶ原高原を中心とするフォッサマグナの、どちらもけわしい山岳地帯です。この東西両側の山地をつくる岩石は大きな違いを持っています。それは、松本盆地のほぼ中央部を南北方向に縦断して糸魚川—静岡構造線という大断層が走っているためと考えられています（図4-2）。しかし、これまでの研究や調査では、この断層がどこを通るのか？ 落差はどれくらいか？ 1本だけの断層なのか、複数なのか？ 連続しているのか、断続的なのか？ など断層の具体的な性質はあまりよくわかっていないのです。630松本の地震は、松本市南部の芳川付近の地下4.3km地点を震源とする地震でした。その余震の震源分布をみると地下で割れて動いた岩盤（断層）の方向は、推定されている糸魚川—静岡構造線の方向ともほぼ一致しています。3年前の地震は、松本平の地下にまだ知られていない断層が伏在することを強く示唆する地震だったのです。私たちは松本平の深部の地下構造についても調査しました。その結果、伏在する複数の断層の存在を明らかにし、得られた新しい事実を報告書に盛り込みました（3-5参照）。この事実も、今後の松本平の地震防災を考える上では極めて重要なことでしょう。

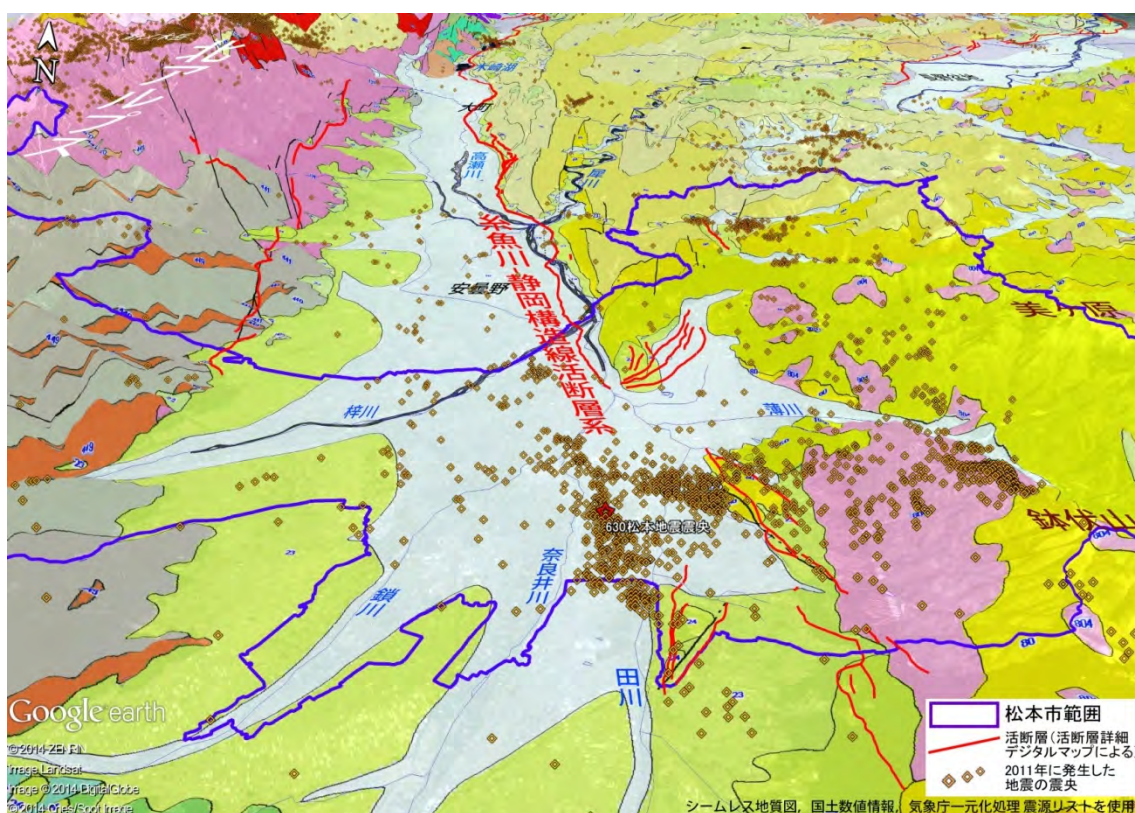


図4-2 松本盆地周辺の地質（鳥瞰図）

## 5 用語解説

### ボーリング調査

中空の鉄管を専用の機械で回転させながら地中に押し込んで、地下の地層や岩石のようすを調べる調査です。試料を直接採取して岩石の種類や粒子の大きさ、重さ・硬さなどのさまざまな物理的な性質を解析したり、地下水のようすなどを調べることで地下の地盤の性質などを明らかにする調査です。地震の際の地表の揺れは、地盤の性質に強く関係しています。今回は松本市だけで約 2,000 本のボーリングデータが解析されました。

### N値

ボーリング調査の際に実施される試験に、標準貫入試験というものがあります。63.5 kgの重りを 75cm の高さから落として 3.5cm の孔が開いた直径 5.1cm の鉄管を 30cm 打貫入させる試験です。その貫入に必要とした打撃回数を N 値と呼びます。地盤の固さ（軟らかさ）を示す数値で、N 値 50 を目安としてそれよりも低い N 値であれば比較的軟らかい地盤とみなされます。

### 礫・砂・泥

松本平には、河川によって運ばれて河川敷や沼地などに堆積した礫・砂・泥などからなる地層が厚く堆積しています。ボーリングによる柱状断面図にそれが示されています。堆積物は粒子の大きさによって分けられます。礫は径 2mm 以上、砂は径 0.063mm 以上 2mm 未満、泥は 0.063mm 以下の粒子です。礫はバラス・砂利・玉石等、砂は砂場の砂、泥は田んぼの作り土や畑の土をイメージしてください。

### 埋土・盛土・表土

地盤の表層部は、田畑やさまざまな工事などで人為的に改変されている場合がよくあります。これらの言葉は、人為的に施工されたことが明らかな表層部の地層に対して用いられる表現です。もともと低かった土地を埋め立てたものは埋土、周囲よりも高く盛られたものは盛土、田畑や草地等に分布している土については、単に表土と表現されます。この3つの表現は、土粒子の大きさとは関係ないことだけ理解をしてください。

### 土質区分

地盤を構成している地層を、含まれている礫・砂・泥などの割合によって区分することを土質区分と言います。「礫混じり砂」は礫を少し（5～15%）含む砂、「砂質土」は砂を 15～50%含む土などという意味で用います。その他にもさまざまな表現が用いられますが、地震の際に地盤がどのように揺れるかは、この土質区分がとても重要な要素になっています。

## 建築支持基盤（工学的基盤）

建築支持基盤とは、ビルや橋梁などの構造物を支える強さをもった良好な地盤を表すこととしました。

その指標は、砂質土・砂礫地盤ではN値が 30 以上、粘性土地盤ではN値が 20 以上とし、ある程度の厚さを有し、連続している地盤です。

同様な呼び方として、土木建築分野では「工学的基盤」が使われます。これは地震の横波が伝わる速度（S 波速度）が  $V_s=300\sim700\text{m/sec}$  となる良好な地盤とされています。また、一般の住宅建築物の支持地盤は、建物の重さによって異なりますが、戸建て住宅は荷重が小さいため、N値 3 以上で支持地盤としており、いずれも今回の建築支持基盤とは異なる定義です。

## 軟弱地盤

雨によってけずられた砂や粘土が川から海へ流れ出る中でユックリと堆積する環境の所<sup>(注1)</sup>でつくられる軟らかい粘土やゆるい砂からなる地盤。地震時の液状化や建物の基礎地盤とした盛土した場合には沈下や側方移動をおこすおそれがあるほか、震度 5 以上の地震に見舞われたときに変形や液状化が発生するおそれがあるので、事前の地質調査が必要などです。

本書では、N値 4 以下の粘土、シルトおよびN値 10 以下の砂質土を軟弱地盤としています<sup>(注2)</sup>。

### （注 1）堆積環境

- ①主川の自然堤防や海岸砂州等でとざされた谷に堆積（おぼれ谷）
- ②自然堤防背後の低地に堆積（後背湿地）
- ③河口付近の三角州に堆積（三角州低地）
- ④旧河道や砂丘間の低地に堆積
- ⑤溜池や海岸地帯の埋立地

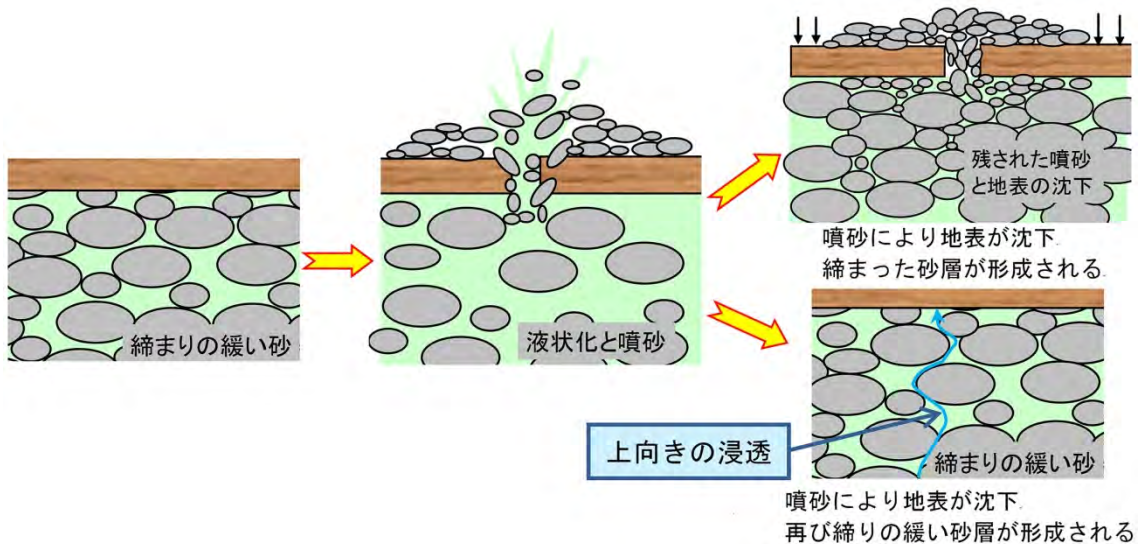
松本地域での軟弱地盤地帯は、後背湿地（奈良井川沿い、女鳥羽川沿い、田川沿い）、旧河道（蟻ヶ崎、奈良井川沿い）、松本駅周辺（旧河道もしくは、構造運動による沈下帯）が該当します。

### （注 2）各指針の軟弱地盤の定義

- ①軟弱地盤技術指針（案）住宅都市整備公団、昭和 59 年 1 月  
粘土地盤=N値 2 以下  
砂質地盤=N値 10 以下
- ②道路土工「軟弱地盤対策工指針」、日本道路協会、平成 24 年 8 月  
粘性土=N値 4 以下  
砂質地盤=N値 10～15 以下
- ③設計要領「土工編」、高速道路総合技術研究所、平成 25 年 7 月  
粘性土=全層厚 10m 未満:N値 4 以下、全層厚 10m以上:N値 6 以下  
砂質地盤=N値 10 以下

## 液状化

液状化は、地下水に満たされた締りの緩い砂層が地震などの揺れによって水の様に変化する現象です。締まりの緩い砂層は粒子と粒子の間の隙間が広く、地下水位が高いとその隙間は水で満たされた状態になっています。地震などで揺すられると粒子は急速に間隔を詰めてより安定した粒子配置になろうとしますが、隙間にある水は粒子が邪魔して瞬時には移動できません。隙間を詰めようとする砂に抵抗して水の圧力(間隙水圧)が高まり、ついには砂が水に浮いた状態となります。



### 液状化現象が起きると

液状化した砂は支持力を失い、比重が 1.0 以上の液体となるので浮力が増えてマンホールなどを浮上させます。また、表土やアスファルトを破って地表に噴砂を生じます。重要な点は、一度、液状化を被った地盤が、次の地震で再び液状化を起こす事例が多いという点です。液状化現象の経歴などを調べることは大きな意味があります(写真は東日本大震災時の千葉県での被害)。



液状化による電柱の倒壊



マンホールの浮上

### 松本市でも記録がある液状化現象

1847年(弘化4年)長野市を震源とした善光寺地震では、「出川町渚村小嶋村其外道筋 丈け5,6尺 幅5,6寸 地割、泥押し候処所々に有候出川町は格別にもゆれ強く、土蔵屋根瓦ゆり落とし、…」(「信濃大地震記」)とあり、遠く離れた松本市でも液状化現象が発生していたことがわかります。

## 微動アレー探査

微動アレー探査は地表面に沿って伝播する表面波（レイリー波）を使った地震波探査方法の1つで、人工的な震源を使わず、常時発生している自然微動を観測することで地下探査を行う手法です。表面波（レイリー波）の最大の特徴は、伝播速度（位相速度）が周波数によって変化する点であり、低周波ほど位相速度が大きいことです。位相速度が周波数によって変化する現象を分散現象と呼び、これは地中を進む実体波（P波やS波）にはみられない性質です。微動アレー探査は表面波のこうした性質を利用した探査法であり、深部の情報を反映した低周波（長波長）と地下浅所の情報のみを反映した高周波（短波長）の位相速度を分離していくことで位相速度と周波数との関係を示す分散曲線を描くことができます。分散曲線は地下の深部から浅所までのS波速度構造[地層深度・地層の厚さ・地層を伝わるS波速度]を反映しているため、初期モデルS波速度構造から出発して最も観測した分散曲線に近い曲線を描くように[]内の3種類の数値を変えながら解析を行うことで、探査地のS波速度構造を求めることができます。

### 地震波の種類

地震波にはいくつかの種類があり、P波やS波と呼ばれる波動がよく知られています。これらは震源から地中を伝わってくる波動（実体波）です。一方、地面に沿って伝わっていくのが「表面波」で、実体波もいったん地表まで到達すると波の性質の異なる表面波として伝わります。

### 微動

震源を特定できない微小な震動で、自動車などによる人為的な震動や、風や波浪などの自然現象によるものがあります。微動アレー探査では自然現象による微動を観測します。地表面で観測される微動は表面波の性質が強いので、微動アレー探査に使うことができます。

### S波速度構造

地層はその性質の違いにより、様々なS波速度( $V_s$ ;単位はメートル/秒)をもっています。それぞれS波速度の異なる地層が、どれくらいの厚さで、どのような順序で積み重なっているか、をS波速度構造といいます。S波速度構造が分かると実際の地層の積み重なりを推定することができます。

## フォッサマグナ

「大きな溝」という意味のラテン語が語源のフォッサマグナは、本州中央部を太平洋から日本海にかけて広がるエリアです。松本盆地は、その西縁を走る糸魚川 - 静岡構造線という大断層沿いの盆地です。その周辺に活断層が多数見られるのは、この断層が現在も活動的だということを示しています。今回の微動アレー探査で、この断層の正確な位置について重要なデータが得られました。

## 6 むすび

私たち信州大学震動調査グループは、3年前の平成23年6月30日発生の松本地方を襲った地震直後から活動を開始し、この松本平が地震に対してどのような性格を持っているのかを地質学的、地震工学的な立場から明らかにしようと調査・研究を続けてきました。

今回まとめられた内容は松本市地域に限定されたものですが、地震時の揺れ方には地盤の違いを反映して地域差が非常に大きいことが明らかとなりました。地震に強い街づくりを考える上で、この結果は大いに役に立つだろうと考えています。また、このような調査が松本平全域にわたって実施されることも必要だろうと考えています。

ところで、今回私たちが取り組んだ松本市との共同事業には次のような特徴があります。

第一は、通常このような事業は、自治体が民間の専門会社に委託して実施されるのですが、今回は松本市と信州大学（震動調査グループ）の共同事業として計画・実施された点です。専門的な調査・研究は震動調査グループが担当し、それにかかわる費用等を市と大学が負担したのです。

第二は、今回の調査・研究が、信州大学、長野高専、県立研究機関・高校等に勤務する地質や工学の研究者、県内の民間等の専門技術者などが自発的に参加した専門家チーム（震動調査グループ）によって組織的に実施されたことです。また、この事業が多くの関係機関、各町会をはじめとする市民の協力を得て実施された点も大きな特徴でしょう。

地震などに対する地域防災を進めてゆくには、大学の研究者や民間の専門技術者らが、地域に研究成果をわかりやすく提示していくことが必要であることは言うまでもありませんが、それと同時に大学、関係行政機関、企業、市民等が連携した防災への取り組みをすすめることが大切だろうと思います。

今回の成果はまだその一歩にすぎませんが、県内の他市町村での今後の地震防災への取り組みに参考となれば幸いです。

## 謝辞

本事業をすすめるにあたり、以下にあげる多くの皆様にご協力を頂きました。

・本事業開始に先立つ地震動に関するアンケート調査では、松本市をはじめ塩尻市・安曇野市の関係行政機関、町会関係者や市民の方々、各市の義務教育関係者、各学校の児童・保護者の方々、信州大学松本キャンパスの教職員・学生の皆様にご協力頂きました。

・微動アレー探査の実施に際しては、探査地点周辺の市民の方々・町会の皆様、学校関係者にご理解を頂くとともに、地権者の方々には測量・観測時の立ち入り、地震計の設置等にご理解、ご協力を頂きました。

・ボーリングデータの収集に関しては、国・県など多くの関係機関にご理解とご協力を頂きました。

・ボーリングデータの整理・解析では、長野工業高等専門学校環境都市工学科古本研究室の学生さんたちに作業を支援して頂きました。

・微動アレー探査や探査データの整理・解析に関しては（株）地圏総合コンサルタントの  
棚瀬充史氏をはじめ関係企業の多くの技術者の方々にご教示頂きました。

・「地盤情報活用システム Pro」の使用にあたっては、ジーエスアイ（株）の豊田守氏にさ  
まざまな点でご教示いただきました。

以上を記して、皆様のご協力に心から感謝し厚く御礼申し上げます。

## データ提供元

以下の各機関からデータを提供していただきました。

国関係	国土交通省関東地方整備局長野国道事務所 関東地方整備局長野営繕事務所 北陸地方整備局千曲川河川事務所 国立病院機構（営繕関係） 信州大学
長野県	松本建設事務所 奈良井川改良事務所 安曇野建設事務所 大町建設事務所 環境保全研究所 松本地方事務所林務課 松本地方事務所農地整備課 建設部技術管理室 建設部施設課 危機管理部
松本市	住宅課 建設課 耕地林務課
関係団体	長野県地質ボーリング業協会
企業	中日本高速道路株式会社 相澤病院 有限会社アルプス調査所 株式会社土木管理総合試験所 株式会社サクセン 株式会社北信ボーリング 日本総合建設株式会社
Web	KuniJiban（国土交通省） KiK-net（防災科学技術研究所）



## 利用データ、ソフトウェア

データをまとめるにあたっては、以下に記すデータ、ソフトウェアを利用しました。

### (地図関係)

図 3-3-A~J の左下図、図 3-3-k の背景地図には数値地図 25000 (地図画像) [松本,山辺,豊科,三才山]を使用しました。断面図の地表面は国土地理院の基盤地図情報 (10mメッシュ数値標高モデル) を用い描画しています。

図 3-1a、3-1b、図 3-3、3-3-A~J (右上図, 右下図)、3-5-3a の各背景地図には Google マップを使用しました。

図 3-3、3-3-A~J (左上図) の背景地図には松本市基本図を使用しました。

図 3-4a、b、c の作図には Google Earth Pro を使用しました。

以下に示す各図は、国土交通省の国土数値情報と、国土地理院の基盤地図情報を用い作図しました。

揺れやすさマップ-広域版 (図 3-2a) ; 国土数値情報 (鉄道, 高速道路, 河川, 行政区画)、基盤地図情報 (道路縁)

揺れやすさマップ-拡大版 (図 3-2b) ; 国土数値情報 (鉄道, 河川)、  
基盤地図情報 (道路縁)

各地の揺れやすさマップ (図 3-3-C~J 左上) ; 国土数値情報 (鉄道, 高速道路)

ボーリング柱状断面図 (図 3-3-C~F、H、I 左下) ; 国土数値情報 (鉄道, 高速道路)

松本盆地南部の地形概略図 (図 4-1) ; 国土数値情報 (鉄道, 高速道路, 河川, 空港)、  
基盤地図情報 (10mメッシュ数値標高モデル)

松本盆地周辺の地質 (図 4-2) ; 国土数値情報 (行政区画)

なお、図 4-2 には活断層詳細デジタルマップ、シームレス地質図、気象庁一元化処理震源リストも使用しています。

揺れやすさマップ作成のため用いたボーリングデータの分布-鳥瞰図 (図 S1) ;

国土数値情報 (行政区画)

新旧「揺れやすさマップ」の精度の違い (図 S2) ; 国土数値情報 (鉄道, 高速道路, 河川)

基盤地図情報 (道路縁, 10mメッシュ数値標高モデル)

### (データ整理)

ボーリングデータに関する処理作業には独立行政法人 産業技術総合研究所で開発された「ボーリング柱状図入力システム」(AIST-Borehole Log Editor)、「ボーリングデータバージョン変換システム」(AIST/NIED- Borehole XMLversion Conversion)、「ボーリングデータ XML 変換システム」(AIST-Borehole XML-CSV Conversion)を使用しました。

デジタル化したデータを登録、整理にはジーエスアイ株式会社の「地盤情報活用システム Pro」を使用しました。

### (地震データ)

震央データは Hi-net で公開されている気象庁一元化処理 震源リストに基づいています。気象庁一元化地震データは独立行政法人防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、気象庁、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県及び神奈川県温泉地学研究所の地震観測データを使用して、気象庁が文部科学省と協力して整理したものです。ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- 土木学会(2002) 2002年制定コンクリート標準示方書[耐震性能照査編], 土木学会.
- 岐阜県(2002) 岐阜県東海地震等被害想定調査報告書, 岐阜県.
- 岐阜県・地盤工学会中部支部・岐阜大学(2004) 活断層により想定される地震の地震動及び液化化指数の予測と評価報告書, 解説資料-1(EMPR)および解説資料-2(FDEL).
- 原山智・大塚勉・酒井潤一・小坂共栄・駒澤正夫(2009)「松本」地域の地質(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.
- 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社(2013) 設計要領第一集 土工編, 高速道路総合技術研究所.
- 池田安隆・岩崎貴哉・狩野謙一・伊藤谷生・佐藤比呂志・阿部信太郎(2010) 断層帯の地下構造解明のための反射法地震探査および重力探査, 「糸魚川-静岡構造線断層帯における重点的な調査観測」平成17~21年度成果報告書, 6-72, 文部科学省研究開発局・国土地理院・東大地震研究所.
- 住宅都市整備公団(1984) 軟弱地盤技術指針(案), 住宅都市整備公団.
- 気象庁(2009) 気象庁震度階級の解説.  
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/jma-shindo-kaisetsu-pub.pdf>
- 近藤久雄・遠田晋次・奥村晃史・高田圭太(2006) 糸魚川-静岡構造線活断層系・松本盆地東縁断層南部に沿う左横ずれ変位地形, 地学雑誌, 115, 208-220.
- Kondo, H., Toda, S., Okumura, K., Takada, K. and Chiba, T. (2008) A fault scarp in an urban area identified by LiDAR survey: A Case study on the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan. *Geomorphology*, 101, 731-739.
- 長野県建築士会松筑支部 編(1982) 松本平地盤図, 長野県建築設計事務所協会松筑支部・松筑建築安全協会・松筑建築安全協会.
- 中田高・今泉俊文 編(2002) 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会. (製品シリアル番号: DAFM3226)
- 日本道路協会(2012) 道路土工-軟弱地盤対策工指針〈平成24年度版〉, 日本道路協会.
- 小河史枝・杉浦綾子・杉戸真太・古本吉倫・久世益充(2006) 岐阜市域を対象とした地盤データベースの構築と詳細な地震被害想定, 土木学会中部支部平成17年度研究発表会講演概要集, 79-80.
- 酒井潤一・松本盆地団体研究グループ(2002)地震と防災 糸魚川-静岡構造線, 信濃毎日新聞社.
- 酒井潤一・松本平地盤図作成委員会 編(2000) 松本平地盤図2000, 長野県建築士事務所協会松筑支部・長野県建築士会松筑支部・長野県建築物防災協会松本支部・信州建築構造協会・松本市建設業協会.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2012) 20万分の1日本シームレス地質図データベース(2012年7月3日版), 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 信州大学震動調査グループ(2012)「あっ、地震だ!」その時、どう揺れた? -アンケートによる震動調査結果(概要編) -, 信州大学.
- 信州大学震動調査グループ(2013)「あっ、地震だ!」その時、どう揺れた? -アンケート形式による震動調査の結果・ボーリングデータによる松本平の地盤解析・微動アレー探査による深部構造解析 -, 信州大学.
- Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T. (2000) Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, Auckland, New Zealand.
- 杉戸真太・合田尚義・増田民夫(1994) 周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集, 493/III-27, 49-58.