

平成 24・25 年度松本市・信州大学共同事業
「松本市地震動と地盤の相関に関する調査業務報告書」

「揺れやすさマップ」を活かして

地震に備える

—地盤情報から分かる地震時の地面の揺れ—

平成 26 年 7 月

信州大学震動調査グループ

信州大学・松本市

ごあいさつ

私たちは、平成 23 年 3 月 11 日発生の東北地方太平洋沖地震、その後の長野県北部の地震、さらには、当松本市におきましても、6 月 30 日に震度 5 強を観測した長野県中部の地震と、相次いで地震災害に見舞われました。

長野県中部の地震は、本市の観測史上最も大きく、局地的には震度 6 弱程度の揺れがあったのではないかとされており、死者（災害関連死）1 名、負傷者 17 名、住家被害約 6,700 棟と計測震度から想定される以上の被害となりました。被害にあわれた皆様には、改めてお悔やみとお見舞いを申しあげたいと存じます。

この地震では震央とされた所から遠い所でも、強い揺れを感じた場所があったり、被害が報告されていることから、松本市の地盤が地震によりどの程度揺れるのかという特性を明らかにする必要があると考え、平成 24・25 年度の 2 年間にわたり、松本市と信州大学との共同事業として「松本市地震動と地盤の相関に関する調査」を進めてまいりました。この間、地盤や地震動にかかわる専門的な調査とその結果の解析は信州大学震動調査グループにお願いいたしましたが、このたびその成果が「松本市の地盤図」、「揺れやすさマップ」などを含む報告書としてまとまったことから、これを公開し、広く市民の皆様をはじめとして、関係各位にご覧いただくことといたしました。

松本市は、牛伏寺断層を含む糸魚川－静岡構造線断層帯の上に位置しており、これに起因する大地震が懸念されている地域です。東北地方太平洋沖地震の例を見るまでもなく、地震は防ぐことはできませんが、事前の対策により、被害を減らすことは可能です。本市としても、今回の成果としてまとめられた「松本市の地盤図」、「揺れやすさマップ」などを基に、地震に強い安全で安心な街づくりを目指し、市民の皆様とともに、着実に防災・減災対策を進めてまいりますので、一層のご理解とご協力をお願い申し上げます。

最後に、本共同事業の実施にあたり、アンケート調査等にご協力いただきました、松本市町会連合会など関係した多くの皆様をはじめ、貴重なデータの提供をいただきました関係諸機関の皆様に厚くお礼を申し上げます。

平成 26 年 7 月

松本市長 菅谷 昭

ごあいさつ

平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震、それに引き続く 3 月 12 日の長野県北部地震、6 月 30 日の松本での地震など、立て続けに発生した地震災害から早くも 3 年が経過しようとしています。松本での地震は、今日では被害の後遺症は跡形もなく消え去り、すでに遠い過去のようにも見えます。しかし東北地方ではいまだに原発事故による放射能汚染から避難生活を強いられている方々が大勢おられます。地震大国である日本に住む私たちは、地震災害への備えを片時も忘れることは許されません。

信州大学や長野高専の研究者をはじめ、地元の教師・専門技術者・行政専門家など多彩なメンバーで構成される信州大学震動調査グループは、630 松本地震の直後から被害調査や震動調査を開始し今日に至っております。この間、大学・松本市をはじめとする関係諸機関、企業、一般市民等からのさまざまな支援を受けながら、単なる震動調査にとどまらず地震時の揺れが地盤と強く関係するとの判断から膨大な量のボーリングデータを収集・解析し、さらには伏在する活断層の位置や規模を明らかにするための地震探査も実施してきました。

今回、それらの調査・解析結果が松本市と信州大学との共同事業の成果として、総合的にまとめられ、「松本市の地盤図」、「松本市の揺れやすさマップ」等として公刊される運びとなりましたことは、まことに喜ばしい限りです。それらの成果が、今後、松本市民の方々の「地震に強い街づくり」に、行政面はもとより市民レベルでも有効に生かされることを心から願うものです。また、それらが糸魚川―静岡構造線に沿う松本盆地に関わる今後の学術的研究の進展にも大きく寄与するものとして期待するところです。

信州大学は、地元にも根を下ろし世界に翔く地域拠点大学として、今後とも長野県の学術・教育・文化・産業などの発展のため、さまざまな面で県民と協働した取り組みに一層の努力を傾注してまいります。

平成 26 年 7 月

信州大学学長 山沢清人

目 次

ごあいさつ

松本市長 菅谷 昭

信州大学学長 山沢清人

1 はじめに	6
2 地震のゆれと地盤	7
2-1 地盤を伝わる地震の波	7
2-2 地盤の性質（固さ・軟らかさ）は揺れ方にどう関係するのでしょうか？	7
2-3 地盤図と揺れやすさマップの果たす役割	8
3 松本市の地盤と揺れやすさの特徴	9
3-1 ボーリングデータ解析による松本市の表層地盤	9
3-2 松本市の地盤図をもとに作成した揺れやすさマップ	10
3-3 地域別にみた松本市の地盤と揺れやすさ	16
3-4 揺れやすさマップと 630 松本地震の震度	41
3-5 微動アレー探査による松本市の地下構造の特徴	44
3-5-1 微動アレー探査の目的と探査地点の選定	44
3-5-2 探査結果のまとめ	45
3-5-3 探査結果に基づいて推定された伏在断層	47
4 松本平とそれをとりまく大地のしくみ	51
4-1 山地の隆起・浸食と堆積作用がつくった松本平	51
4-2 糸魚川—静岡構造線のはしる松本平	52
5 用語解説	53
6 むすび	57
謝辞	57

< 参考 >

・データ提供元	58
・利用データ、ソフトウェア	59
・参考文献	60

資料編

1 調査の経緯	61
1-1 ボーリングデータの取集・整理の経緯	61
1-2 微動アレー探査の準備・実施の経緯	62
2 調査データとりまとめの手順	62
2-1 地盤図と揺れやすさマップ作成の準備	63
2-1-1 個々のボーリングデータのデジタル化	63
2-1-2 ボーリングデータのマッピングと断面図化	63
2-2 揺れやすさマップの作成	63
2-2-1 メッシュ地盤モデルの作成法	65
2-2-2 空白メッシュへのデータ割当て	66
2-2-3 揺れやすさマップの計算条件	67
2-3 地盤平面図の作成	67
2-4 微動アレー探査による地下構造解析・地下構造図作成の手順	68
2-4-1 微動アレー調査の流れ	68
2-4-2 表面波の抽出（分散曲線の計算）	69
2-4-3 S波速度構造の推定（逆解析）	69
2-4-4 チェーンアレー探査	71
3 参考文献	72
信州大学震動調査グループメンバー	73
著作権等について（お願い）	73

1 はじめに

平成23年6月30日、松本地方を襲ったマグニチュード5.4、震度5強の地震（本報告書では「630松本地震」と呼ぶことにします）からほぼ3年が経とうとしています。信州大学震動調査グループは、地震に強い松本の街づくりに役立てていただくことを目的に、平成23～25年度の3年間にわたり630松本地震の震動調査、松本の地盤に関する調査などを実施してきました。

松本市南部を震源とした630松本地震は、松本市を中心に6,700軒を超える家屋に被害を与えるなどした大きな地震でした。全壊した家屋こそなかったものの、多くの住宅で屋根瓦が落下したり、ブロック塀が倒壊するなどの被害がありました。気象庁発表の震度は、松本市役所で計測された震度5強が最大とされましたが、実際の被害の程度は震度5強では説明できないほど大きなところもありました。その被害分布も、単純に震央から離れるにしたがって少なくなるものでもありませんでした。また、アンケート形式による震動調査から、震度分布図を作成しましたが、ここで明らかになった震度分布も震央からの距離の変化だけでは説明できない複雑なものでした。

松本駅東から並柳地域には軟弱地盤が厚い地帯があり、地震の際の揺れが大きくなるであろうことは、酒井・松本平地盤図作成委員会(2000)によりすでに指摘されていたことです。しかし、630松本地震で震度が大きかった地域には、上述の文献で指摘された地域も含まれていますが、そうではない地域もありました。そこで震動調査グループは、平成24・25年の2年間より詳しい地盤の状況を知るためにボーリングデータの収集と解析を行い、さらには地下構造の特徴を明かにするための微動アレー探査を実施してきました。

この報告書は、調査で得られた成果を「松本市の地盤図」、「松本市の揺れやすさマップ」としてまとめ、それぞれについて市民向けに分かりやすく解説を加えたものです。松本市民にとって、この報告書が今後の地震防災に役立つものになるよう願っています。

平成24・25年度は、信州大学と松本市との共同事業「松本市の地盤と地震動に関する調査」として実施し、その間には市・県・大学・民間企業等の多くの方々のご協力をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

なお、地盤図や揺れやすさマップに関わる、やや専門的な部分（図の作成手順やデータの扱い方など）などは、末尾に「資料編」としてまとめてあります。また、少しむずかしい用語の解説も掲載しましたので参考にいただけると幸いです。

※ 平成23年度から平成25年度までの調査概要は以下のとおりです。

平成23年度

- 1 松本市内およびその周辺地域の地震による被害状況の調査
- 2 松本市内およびその周辺地域の地震による揺れ方のアンケート調査（約5万件のアンケート用紙配布と2万件の回収）

平成24年度

- 1 アンケート調査結果をもとにした市内全域の震度分布図の作成
- 2 アンケート自由記述欄（約8,000件）の整理・解析
- 3 地盤と揺れの相関を明らかにするためのボーリングデータの収集・整理
- 4 微動アレー探査による地下深部構造調査・解析

平成25年度

- 1 地盤と揺れの相関を明らかにするためのボーリングデータの収集・整理
- 2 微動アレー探査による地下深部構造調査・解析
- 3 ボーリングデータに基づく松本市地域の地盤図作成
- 4 地盤図・地下深部構造データに基づく揺れやすさマップの作成

2 地震のゆれと地盤

2-1 地盤を伝わる地震の波

地震の波は、地下の深いところ（地下深度、数 km～100km 程度）にある震源断層で発生し、地下の地盤を伝わって地表に届きます。

図 2-1 は、地震波が地下の地盤を伝わって地表に伝わる様子を模式的に表しています。①震源断層で発生した地震波は、②固い地層（工学的基盤、あるいは後述の建築支持基盤と考えられる地層）まで伝播し、③表層のやや軟らかい堆積地盤の中を、反射と屈折を繰り返しながら、地表へと到達します。この地表の地震波が、いわゆる地震による地盤の揺れ

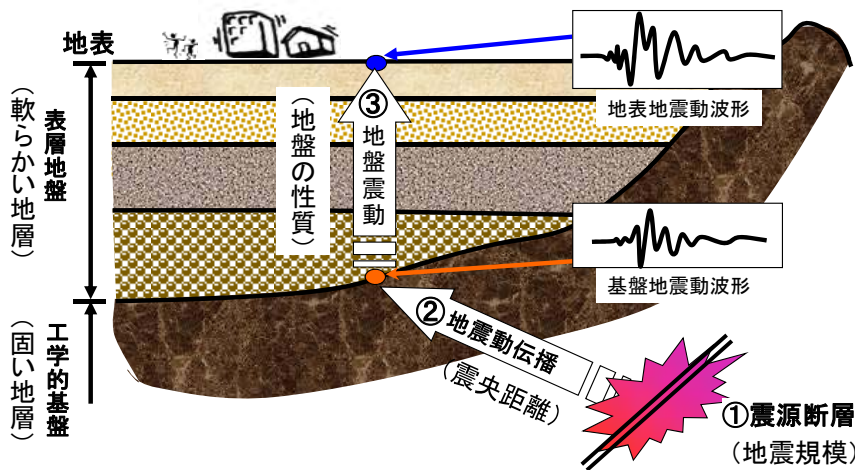


図 2-1 地盤を伝わる地震の波（岐阜県, 2002 に修正・加筆）

となるのです。一般に、震源断層が長く大きいほど、地震の規模（マグニチュード）は大きくなります。また、震源から工学的基盤までの距離（震央距離）が近いほど、地盤の揺れ（地震波の振幅）が大きくなります。地表の揺れの大きさ

2-2 地盤の性質（固さ・軟らかさ）は揺れ方にどう関係するのでしょうか？

地盤の揺れは、物理学では逆さ振り子（図 2-2）に例えられます。逆さ振り子は、オモ

リの下に垂直にバネが付いていて、バネはその下の固い板に固定されています。そして、この板をゆするとオモリが揺れる仕組みです。さて、強さの違うバネを持つ二つの逆さ振り子を同時に揺ると、揺れ方にどのような違いが生じるでしょうか？

固い板をゆっくり揺ると、短くて硬いバネを持つ逆さ振り子は小さく揺れ、長くて柔

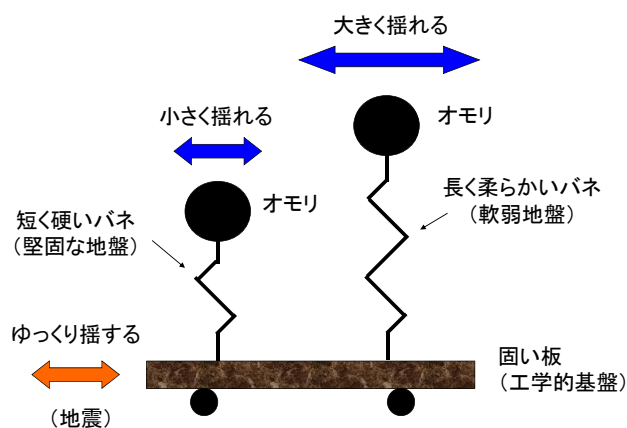


図 2-2 バネの強さが違う二つの逆さ振り子

らかいバネを持つ逆さ振り子は大きく揺れるはずですが。ここで用いられる固い板を工学的基盤、長い逆さ振り子を軟らかい (軟弱) 地盤、短い逆さ振り子を固い (堅固な) 地盤とみなすことができます。

要するに、軟らかい (軟弱) 地盤では、地震による揺れが大きくなる場合が多いのです。一般に、地盤は深度が深くなるほど固く締まっていますので、地表のごく浅いところの地盤の性質が揺れの大きさに効いてくることになります。

2-3 地盤図と揺れやすさマップの果たす役割

2-1 や 2-2 で述べたように、地震の際の地盤の揺れ方は、その場所の地盤の性質に左右されますが、特に表層近くの地盤が軟らかいか、固いか、が大きく関係しています。そこで私たちは、630 松本地震の教訓を生かし、地震に強い街づくりに役立ててもらうために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、ボーリング柱状断面図・建築支持基盤深度図・軟弱地盤の厚さ分布図などからなる「松本市の地盤図」を作成しました。これらの図の作成に使用したボーリング本数は約 2,000 本にも達します。

これらの地盤データをもとに、「揺れやすさマップ」を作成しました。地震の際の揺れ方が地盤の性質 (固い地盤か軟らかい地盤か? 軟らかい地盤がどれくらいの厚さで堆積しているか?) などに強く関係していますので、「揺れやすさマップ」は、地盤の特徴の別の表現でもあるのです。

また、松本盆地がフォッサマグナ西縁の糸魚川 - 静岡構造線に沿う盆地であることから、この断層に関係する伏在断層についての微動アレー探査も実施し、盆地地下の構造について新たなデータを得ました。

現在、橋や道路、ビルなど、構造物の基礎設計に関しては耐震基準が厳しく定められています。そして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) を作成し、それを基に防災対策を策定する行政機関も次第に増えてきました。今回作成した地盤図や揺れやすさマップが、「地震に強い街づくり」に生かされることを願っています。

3 松本市の地盤と揺れやすさの特徴

3-1 ボーリングデータ解析による松本市の表層地盤

(図 3-1a : 建築支持基盤深度図が示す表層地盤の特徴)

建築支持基盤深度とは、ここでは構造物（建物や橋脚など）の基礎となる丈夫な地盤が地下のどの深さにあるかを示した値のことだとしてご理解ください。建築支持基盤深度が深い（大きい）ということは、その上に比較的軟弱な地盤が厚くたまっていることを意味しますので、建築支持基盤の深さは、地震の際の揺れやすさの目安になります。

- ・松本駅の東から南東にかけて、建築支持基盤深度が 20m より深いところがあることが分かります。その周辺には建築支持基盤の深さが 10m を超える地区が広がっており、河川の合流域とよく一致しています。
- ・松本城や市役所が位置する大門沢川と女鳥羽川に挟まれた地域（白板、中央、東部地区）には、建築支持基盤の深さが 10～20m の地域が東西に広がっています。
- ・その南の松本駅が位置する女鳥羽川、田川、薄川に囲まれた地域（田川、第 1、第 2、第 3 地区）は、建築支持基盤深度が若干浅い（5～10m）ところもありますが、大半が 10m より深く、20～25m のところもあるなど、松本市全体の中で最も建築支持基盤が深い地域です。
- ・さらに南の薄川と田川が合流する三角形の地帯（鎌田、庄内地区）でも、一部に建築支持基盤の深さが 20m を超すところがあるなど、建築支持基盤が 10m より深い地域が広がっています。
- ・奈良井川と田川に挟まれた田川、鎌田地区でも松南病院より北の地域では所々に建築支持基盤の深さが 10m を超すところがあります。
- ・これらの南東に位置する田川、牛伏川、和泉川に囲まれた地域（庄内地区）と各川沿いの周辺にも建築支持基盤の深さが 10m を超すところがあり、15m 以上のところもあります。
- ・河川の合流域以外では本郷地区（浅間温泉付近）や里山辺地区（美ヶ原温泉付近）で建築支持基盤の深さが 15m を超えています。

(図 3-1b : 軟弱地盤の厚さ分布図が示す表層地盤の特徴)

一般的には、建築支持基盤が深い所ほどその上には比較的軟弱な地層が厚くたまっているという傾向がみられます。しかし、建築支持基盤より上の浅い部分の地盤は、比較的軟らかいとは言っても固いものから軟らかいものまでさまざまな地盤（地層）で構成されています。

地盤の評価は「軟弱」・「中間」・「硬い」と 3 つにランク分けできます。図 3-1b は、建築支持基盤より上の比較的軟らかいとされる地盤の中で、とりわけ軟弱な地盤の厚さを合計するとどれくらいになるかを示した図です。このような軟弱地盤が、地震の揺れを

より大きなものにしますし、この中には液状化しやすい性質をもった地盤も多く含まれますので要注意です。

建築支持基盤がそれほど深くなくても軟弱地盤が厚い場合もあるので、そのことにも注意が必要です（例：藤井沢～湯川沿い）。詳しくは図（3-3章の一連の各地の地盤図20ページ～39ページ）をご覧ください。

3-2 松本市の地盤図をもとに作成した揺れやすさマップ

地盤を構成する地層の粒度・硬さや厚さなどのさまざまな物理的性質が分かると、地震の際にその地盤がどの程度の震度で揺れるかが計算で求められます。「揺れやすさマップ」は、多数のボーリング柱状図が示す地層データを元にして作った松本市のそれぞれの範囲（方形の区画；マス目）ごとの地盤モデルに対して、ある一定の地震の揺れを一様に与えた場合に、それぞれの地域（各マス目）がどれくらいの震度で揺れるかを計算で求めた結果から作られた図です。

図 3-2a（揺れやすさマップ-広域版）は、今回作成した広域の揺れやすさマップです。地図には道路と河川と鉄道が示してあり、その上を色付けされた長方形のマス目で埋めています。このマス目の色のちがいが**揺れやすさの相対的なちがい**を表していて、“**色が濃いマス目ほど地震の際に揺れやすい**”ことを意味しています。色の薄いマス目よりも色の濃いマス目の方が、“**相対的に揺れやすい**”ということです。3-1節で述べた建築支持基盤の深さが深い地域が、揺れやすい地域とおおよそ一致していることが分かります。周辺より色が濃い、すなわち周辺より揺れやすい地域が市内の何ヵ所かにあることがわかります。このような地域では、地震に対する備えがとりわけ大切でしょう。

図 3-2b（揺れやすさマップ-拡大版）は揺れやすい地域の広がり大きい、松本駅周辺から南松本駅の東部にかけての地域を拡大した図です。この地域は“周辺よりも揺れやすい”地域なのですが、揺れやすい地域の中でもマス目の色の濃さには違いがあることがわかります。揺れやすさマップの色は、薄い色から濃い色までコントラストをかなり強くつけています。各色付けは、震源を特定せず、松本市地盤全域を M7.3（兵庫県南部地震相当）で一様に揺らしたと仮定した場合の計測震度（計測震度 6.04（震度 6 強）～計測震度 6.55（震度 7））の違いを色の濃さで表現したものです。色の濃淡の少しの差は地震時の地盤の揺れ方の少しの差だと見てください。したがって、色の濃淡の差はイコール実際の地震時の**安全の差ではない**ということにご注意ください。このマップを見て、自分の家のマス目の色が隣の家のマス目よりも薄いからと言って、即うちは「安全だ」ということにはならないのです。地震に対して「安全」か「危険」かは、地盤のほか建物の構造など多くの要素にも関係しているのです。

補足説明

- ・ マス目の大きさには 2 種類あって、大きなマス目は 1 辺が 250mほど、小さなマス目は 1 辺が 125mほどの長さになっています。このマス目ごとに地盤モデルが割り当てられてい

ます。マス目の大きさは、地盤モデルを作る基となるボーリングデータの1マス当たりの数や、地形などを基準に決めたものです。例えばボーリングデータが少なかったり、地形が単調だったりする場合大きなマス目を採用しています。

- 軟弱地盤が厚く分布している松本駅付近の中心市街地は、実は狭い範囲で非常に変化に富む地層(地盤)の構成になっています。小さな1つのマス目の範囲でも、実際の地盤は複雑なのです。その複雑な地盤を1つの地盤モデルで代表させて「揺れやすさ」を求めているので、1つ1つのマス目は同じ濃さの色で塗られています。しかし、実際には同じマス目の中でも揺れやすさには差があるはずなので、1つのマス目の色は、あくまでもその地域の代表的な揺れやすさの程度を表していると考えてください。

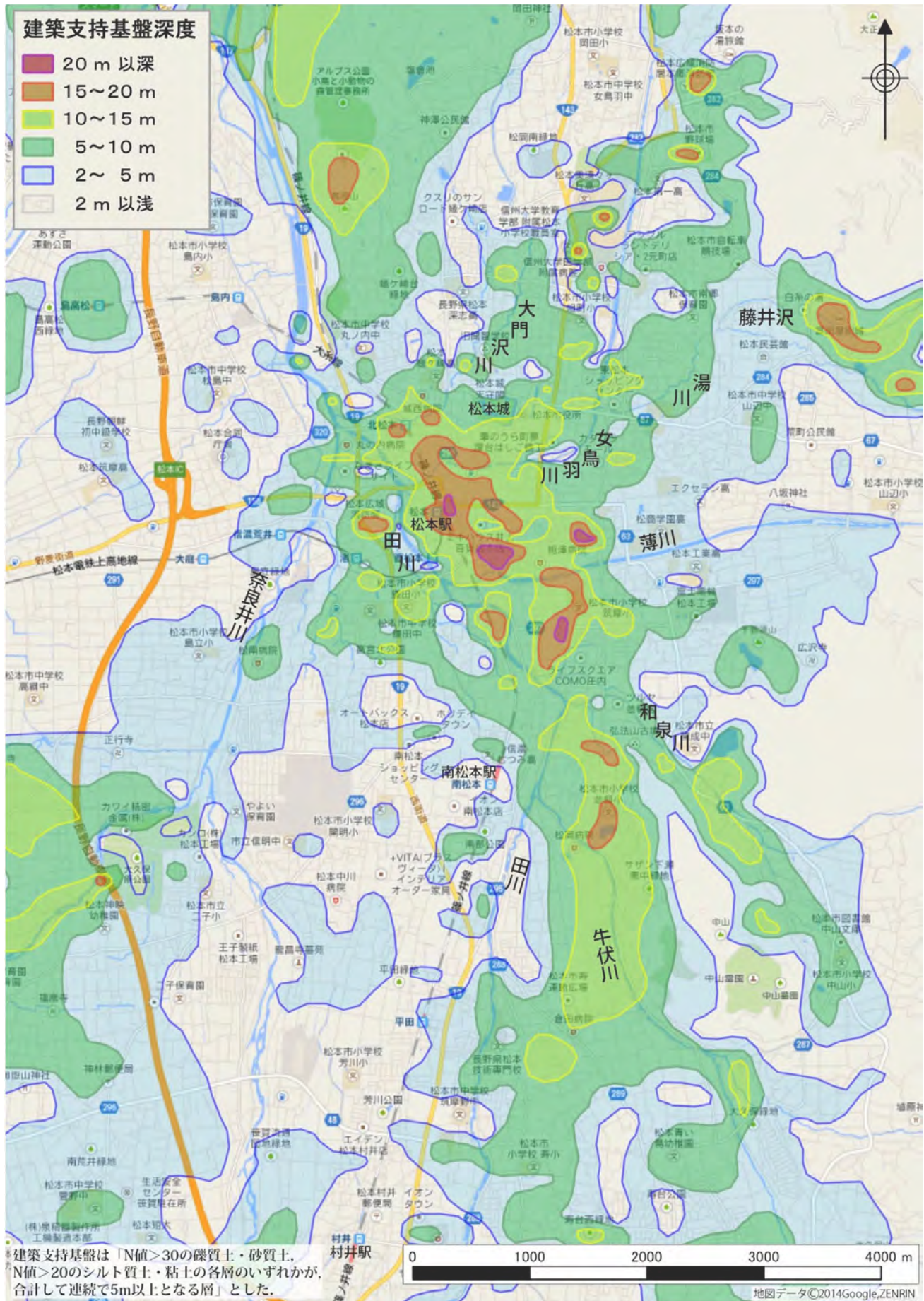


図3-1a 建築支持基盤深度図

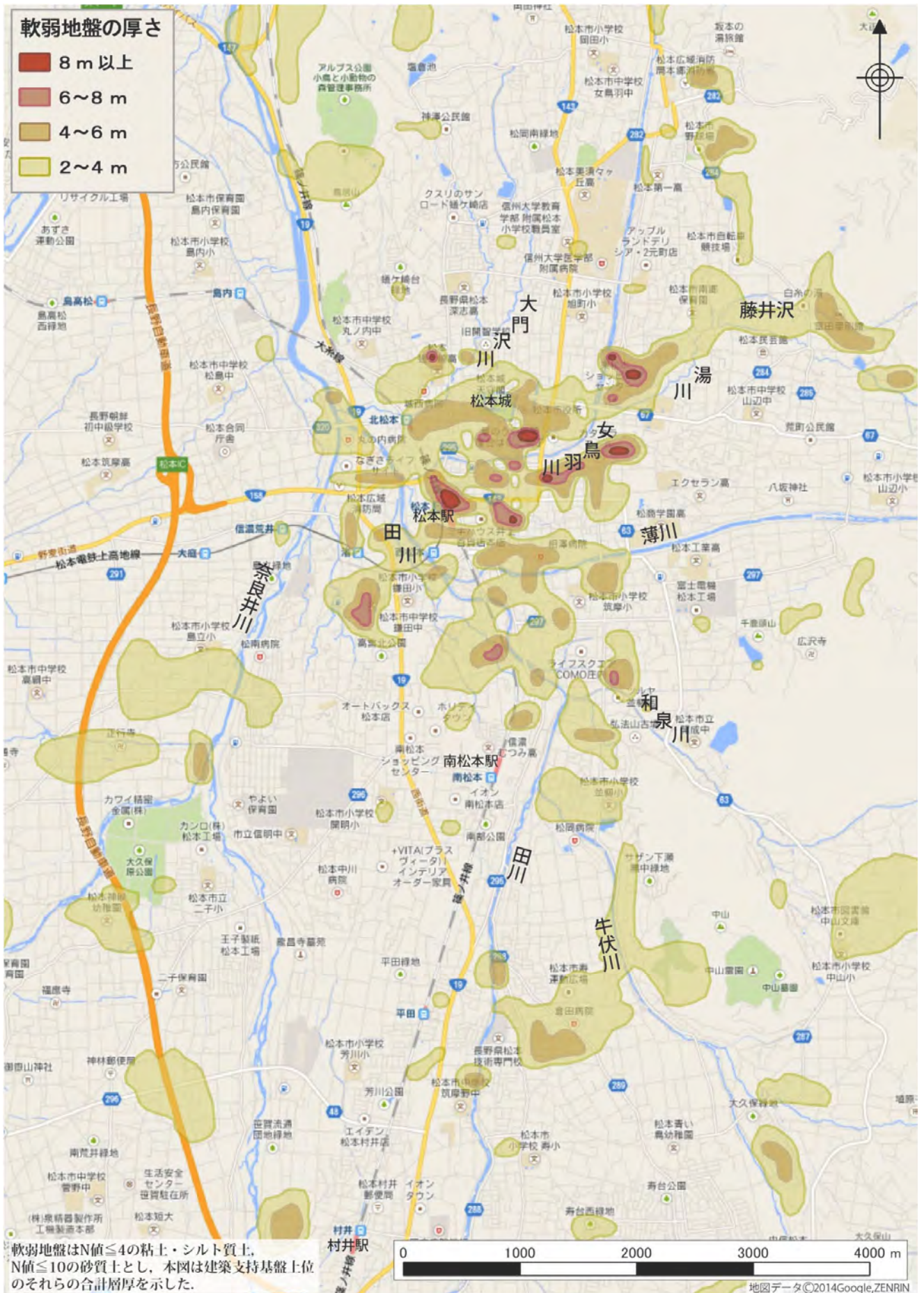


図3-1b 軟弱地盤の厚さ分布図

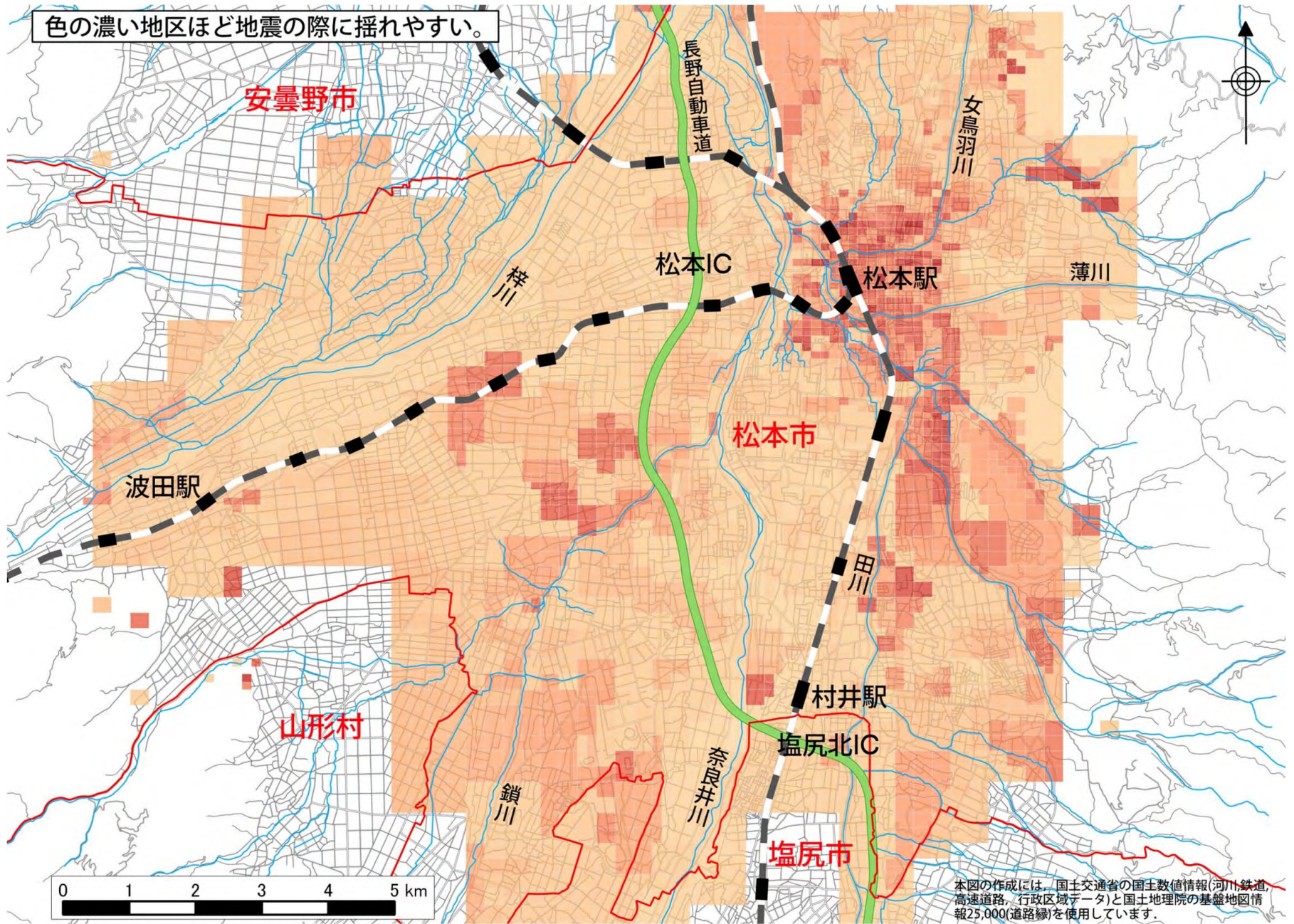


図3-2a 揺れやすさマップ—広域版

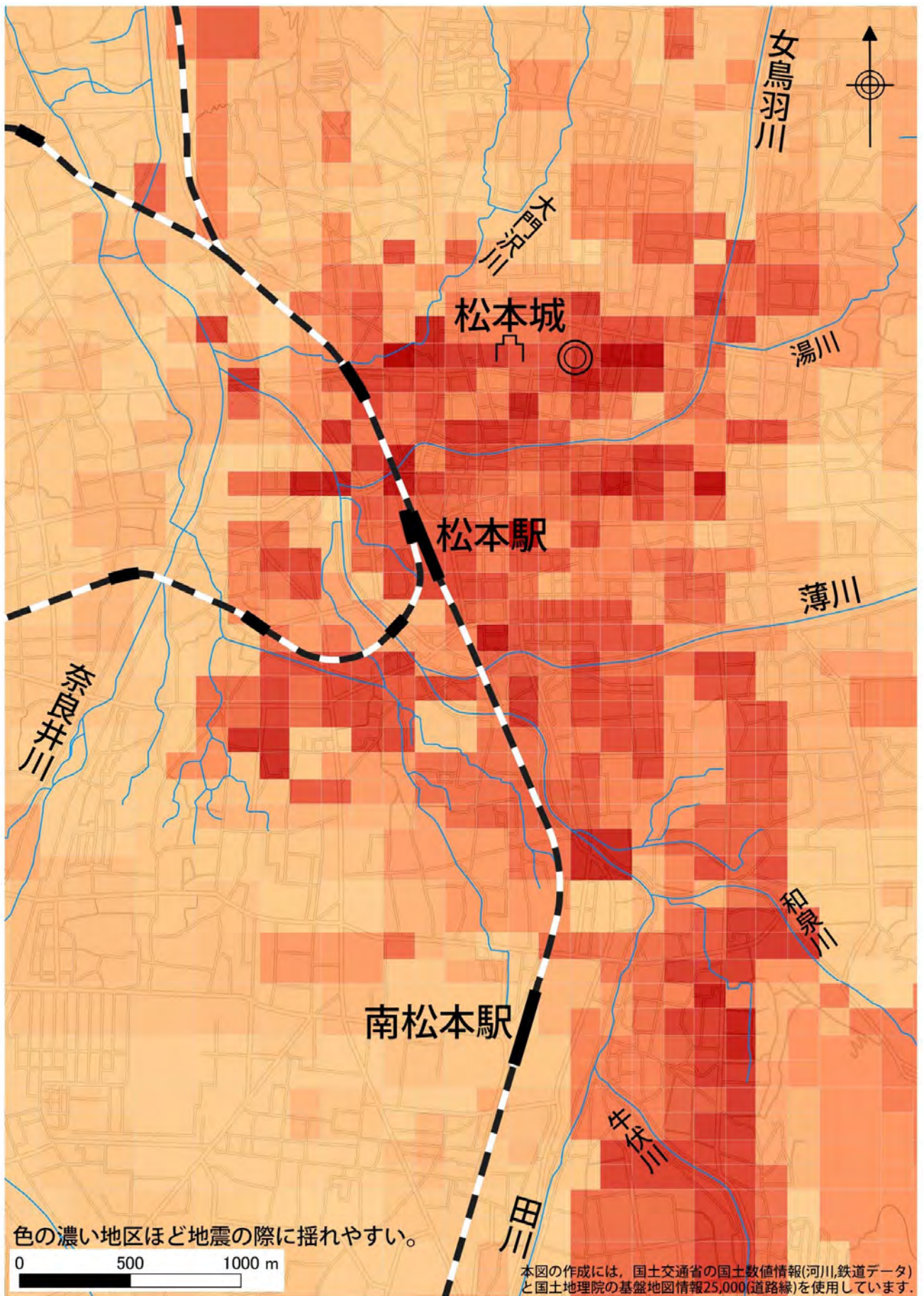


図3-2b 揺れやすさマップ—拡大版