

地形区分を用いた地盤の特性値 T_G と 地盤種別の推定

松本 俊輔¹・片岡 正次郎²・日下部 毅明³

¹国土技術政策総合研究所 地震防災研究室 研究官 (〒305-0804茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: matsumoto-s92ri@nilim.go.jp

²国土技術政策総合研究所 地震防災研究室 主任研究官 (〒305-0804茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: kataoka-s92rc@nilim.go.jp

³国土技術政策総合研究所 地震防災研究室 室長 (〒305-0804茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: kusakabe-t88d8@nilim.go.jp

表層地盤を考慮した面的な地震動分布の推定方法として、地形区分等から表層地盤のAVS30を求め、工学的基盤の地震動にAVS30から推定される表層地盤の増幅率を掛け合わせる方法が広く行われている。一方、道路橋等の構造物の耐震設計においては、表層地盤の基本固有周期 T_G で判別した地盤種別により表層地盤の影響が考慮され、地震動の最大値だけではなくその周期特性が重要とされている。本研究では、地盤種別ごとの地盤増幅率を用いて周期特性を考慮した地震動分布の推定を行うため、地質調査結果から算出した T_G を地形区分ごとに統計処理することにより、地形区分による地盤種別の判別式を作成した。

Key Words : effects of subsurface layer , amplification factor , geomorphological land classification

1. はじめに

地震被害想定においては、想定地震による地表面での地震動の推定が重要な課題の一つとなる。地表面での地震動を推定するためには、震源特性、伝播特性に加えて、対象地点の表層地盤の影響を考慮する必要がある。また、地震ハザードマップの作成やリアルタイム被害予測等における地震動の推定では、対象地点の地形区分等から表層地盤のAVS30(地表から30mの深さまでの平均S波速度)を求め、工学的基盤等の基準地盤の地震動にAVS30から推定される表層地盤の増幅率を掛け合わせることで表層地盤の影響を考慮した地震動を推定する手法¹⁾が広く用いられている。

一方、道路橋等の構造物の耐震設計においては、建設地点の地質調査結果から算出される地盤の特性値(基本固有周期) T_G より地盤種別を判断し、地盤種別ごとに周期特性の異なる入力地震動が与えられており、地震動の最大値だけではなくその周期特性が重要とされている。したがって、道路橋等の構造物の被害想定に使用する表層地盤の評価方法に地盤種別を用いることで、構造物の実被害と相関の高い地震動の推定が可能になる。

地盤種別が明らかな地点については、地盤種別ごとの距離減衰式²⁾により、地表面におけるPGA、PGVや加速度応答スペクトル等を推定することが出

来るが、地盤種別を判定するためには、地質調査により耐震設計上の基盤面($V_s=300\text{m/s}$ 程度)までの各層のS波速度もしくは、各層の地質とN値を計測する必要がある。標準的な方法では地点ごとの地質調査が必要であり、任意の地点に適用することは難しいと考えられる。簡易的な地盤種別の推定手法としては、対象地点の常時微動により地盤の卓越周期を判定する手法³⁾や、対象地点で観測される地震動の周期特性から判定する手法⁴⁾等が考えられるが、いずれにしても地点ごとの調査が必要となる。これらのことから、任意の地点の地盤種別を判定するためには、全国的に整備された既存の資料等より地盤種別を推定する手法が必要となる。

本研究では、日本全国の任意の地点における地盤種別の推定を目的として、5万分の1土地分類基本調査図⁵⁾や500mメッシュ地形分類データ⁶⁾を用いて、これらに含まれる地形区分や標高等の情報と、地盤の特性値 T_g の関係について整理するとともに、地盤の特性値 T_g を推定する手法を開発する。なお、5万分の1土地分類基本調査図による検討では、一部の地域に限るものの、地質調査地点の地形区分を図表から個別に判定した詳細な検討を目的とし、500mメッシュ地形分類データによる検討では、機械的に多くの地形区分を判定することにより全国への適用の検討を目的としている。

2. 使用データ

(1) 既存の地質調査結果

地盤の特性値 T_G を算出するための既存の地質調査結果には、国土交通省の技術文献地質情報提供システム(TRABIS)のデータベースを使用した。なお、地盤の特性値 T_G を算出する際に用いるS波速度のデータは、地質柱状図のうちN値から換算した値を用いた。ただし、N値の情報が無い地点については、PS検層結果が存在すればこれを用いることとした。

地盤柱状図のデータより地盤の特性値 T_G を算出し、地盤種別を判定する手順は以下の通りである。

- 第 i 層の平均N値 N_i を求める。(i=1,2,...,N)
- 道路橋示方書の方法に従い、第 i 層の平均S波速度 $V_{si}(m/s)$ を求める。
- S波速度が280m/s以上の層が5m以上続く場合、その層の上面を基盤面とする。
- 第 i 層の層厚を $H_i[m]$ として固有周期 $T_{Gi}[s]$ を求める。

$$T_G = \sum_{i=1}^N \frac{4H_i}{V_{s_i}} \quad (1)$$

- 地盤の特性値 T_G が0.2[s]未満を 種地盤、0.6[s]以上を 種地盤、それ以外を 種地盤とする。

上記手順により T_G の算出を行った結果、データベースに含まれる約9万地点の地質調査結果のうち、約7万地点について T_G を得ることができた。 T_G の算出ができなかった地点の主な原因は、 V_s 280m/s以上の層が5m以上続かないことや、N値の未記入や異常値の混入等があげられる。

また、地質調査地点の標高については、TRABISに含まれる標高データを使用する。

(2) 5万分の1土地分類基本調査図

地形区分を判断するための情報として、「5万分の1土地分類基本調査図」の中の「地形分類図」を用いた。対象とする図葉は、既存の地質調査地点が多く含まれていること、各地形分類がバランス良く含まれること等に留意した結果「川越」「大宮」「熊谷」「鴻巣」の4図葉を選択した。なお、各図葉は隣り合っているものの、図葉ごとに分類名が異なることから、表-1に示すとおり地形区分の分類名について整理を行った。なお、名称の整理にあたっては、分類名や隣り合う図葉の地形との整合等からほぼ同一とみなされるものに対して統合した。ここでの整理は、積極的に名称等から統合するものではなく、同一とみなしにくい名称の地形区分については統合していない。後の検討で T_G の回帰結果等を参考に傾向が似かよっていれば分類を統合する。

次に、5万分の1土地分類基本調査図を用い、(1)の地質調査地点に対して地形の判定を行った。地質調査地点の座標から対象の4図葉に含まれる地点を抽出した結果、図葉に含まれる地点は940地点であった。各図葉の画像に座標を与えてGISに取り

表-1 微地形区分の整理

本検討での分類名	各図用での分類名	地点数
丘陵地	丘陵地	20
火山灰台地	火山灰台地	116
	火山性台地(上位)	
	火山性台地(下位)	
谷底平野	谷底平野	298
	谷底平野()	
	谷底平野()	
谷底平野(谷地田)	谷底平野() (谷地田)	25
自然堤防	自然堤防	155
河原	河原	129
	河原(現河道の氾濫原)	
扇状地	扇状地	16
三角州	三角州	41
旧流路跡	旧流路跡	76
	旧流路跡(旧河道)	
湿地	湿地	8
後背湿地	後背湿地	56
計		940

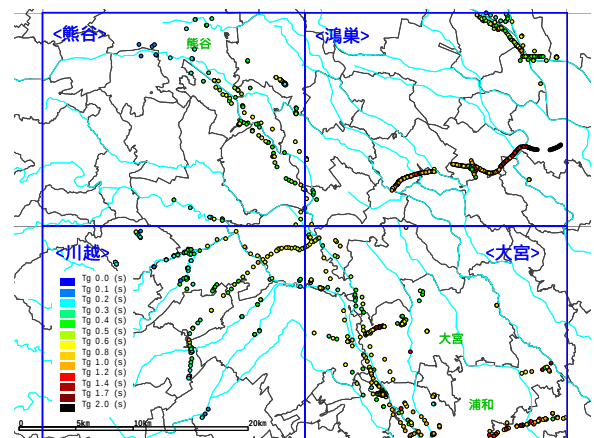


図-1 対象4図葉に含まれる地質調査地点の分布と地盤の特性値 T_G

込み、地質調査地点の位置とGIS上で重ね合わせ、目視により地質調査地点の地形区分の判定を行った。結果を表-1の「地点数」の欄に示す。

図-1には対象とする4図葉に含まれる地質調査地点の位置と、算出した地盤の特性値 T_G を示す。TRABISに含まれる地質調査のデータは、主に道路等の建設時の地質調査によるものであるため、調査地点は同図に示すとおり線状に分布している。各地点の T_G については図に示すとおりである。また、 T_G より判定した地盤種別をみると、種地盤40地点、種地盤441地点、種地盤459地点であった。

(3) 500mメッシュ地形分類データ

全国を対象として500mメッシュ単位で整備された地形分類データであり、国土庁の都道府県別土地分類図(地形分類図)をもとに作成されたものである⁶⁾。これを用いて(2)と同様の方法によって、地質調査地点の地形の判定を行った。結果を表-2に示す。表より、山地においては比較的硬い地盤である 種地盤が多く 種地盤が非常に少ない、埋立地においては 種地盤が非常に少ない等、地形区分での評価のみでも概ね妥当な地盤種別の傾向を知ることができる。

表-2 地形区分の整理

分類名	種地盤	種地盤	種地盤	地点数
山地	11477	8271	867	20615
台地	2268	4477	1115	7860
扇状地	4636	6911	1773	13320
自然堤防	428	2134	1096	3658
谷底平野	165	526	264	955
三角洲、旧河道	1889	9316	5896	17101
埋立地	144	1353	956	2453
河川、その他	881	2147	1122	4150
計	21888	35135	13089	70112

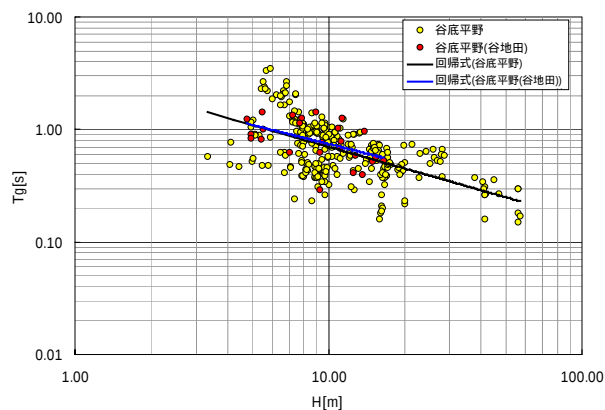


図-2 谷底平野と谷底平野（谷地田）の一致

3. 地形ごとの地盤の特性値 T_G の整理と T_G の推定式の作成

(1) 5万分の1土地分類基本調査図による検討

2. (2)で整理したデータに対して、地形区分ごとに地盤の特性値 T_G と、標高や主要河川からの距離等の関係を整理する。

a) 標高と T_G との関係

地形区分ごとに T_G と標高の関係について整理した結果、各地形区分は標高に対してそれぞれ異なる特徴を示した。しかし、谷底平野と谷底平野（谷地田）については、図-2に示すとおりほぼ一致する関係を示したため、以後同一の地形区分として扱うこととした。地形区分を再度整理し、各地形区分における T_G と標高の関係を整理したものを図-3から図-6に示す。図より、 T_G のばらつきは大きいものの標高が高いほど T_G が小さくなり地盤が硬くなる傾向があることがわかる。

b) 主要河川からの距離と T_G との関係

2. (2)で整理した940地点に対して、主要河川との距離を算出し、 T_G との関係について整理を行った。対象とした主要河川は一級河川の大庄管理区間とした。主要河川からの距離が大きくなるほど、地盤が硬くなり T_G は小さくなると予想されたが、谷底平野や河原、旧流路跡、後背湿地において T_G の変化が非常に小さく、その他の地形区分においては、予想に反して T_G の増加が見られたため、本検討では主要河川からの距離を考慮しない。

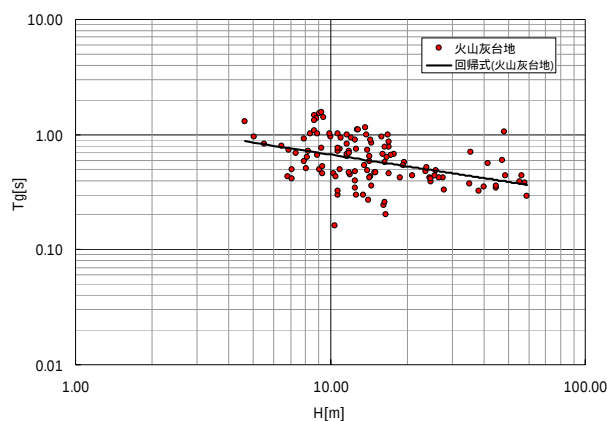


図-3 火山灰台地における T_G と標高の関係

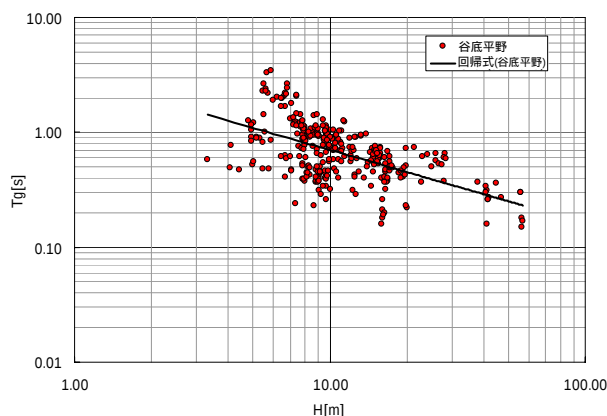


図-4 谷底平野における T_G と標高の関係

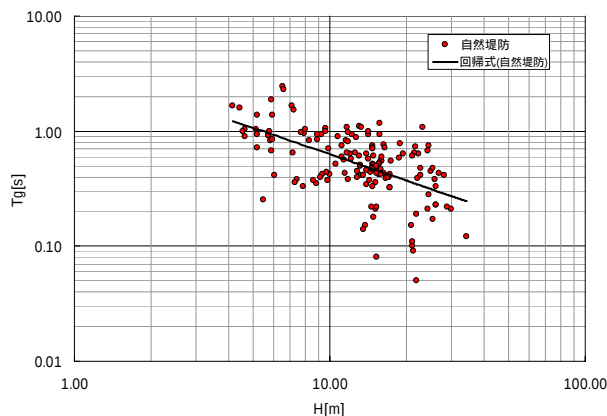


図-5 自然堤防における T_G と標高の関係

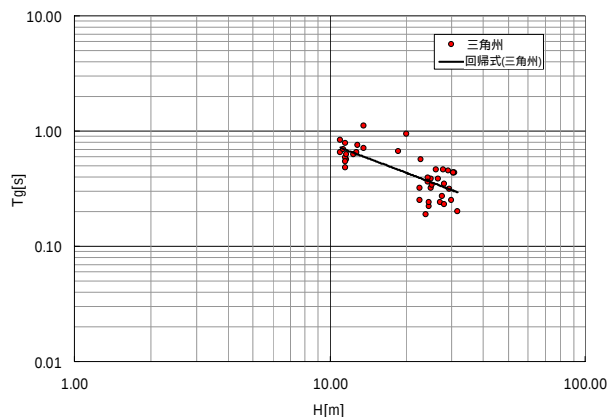


図-6 三角洲における T_G と標高の関係

表-3 係数一覧（5万分の1土地分類基本調査図）

地形区分	a	b	R ²	σ
丘陵地	0.1322	-0.4967	0.1488	0.3262
火山灰台地	0.1648	-0.3390	0.1690	0.1846
谷底平野	0.4867	-0.6394	0.3332	0.1993
自然堤防	0.5625	-0.7635	0.3083	0.2369
河原	-0.0808	-0.1942	0.0220	0.1602
扇状地	1.0162	-1.0708	0.4418	0.1666
三角洲	0.7318	-0.8415	0.5206	0.1383
旧流路跡	-0.1027	-0.0292	0.0009	0.1565
湿地	-0.2524	0.0649	0.0079	0.1023
後背湿地	0.0299	-0.1614	0.1092	0.1372

c) T_Gの推定式の作成

各地形区分ごとに地盤の特性値T_Gの推定式を作成する。回帰モデルは以下に示す(2)式とする。

$$\log T_G = a + b \cdot \log H \quad (2)$$

ここで、T_Gは地盤の特性値[s]、Hは標高[m]である。回帰分析の結果を表-3に示す。湿地において傾きの係数bが若干正になるものの、基本的には標高の増加とともにT_Gの減少がみられる。

(2) 500mメッシュ地形分類データによる検討

a) 標高とT_Gとの関係

2. (3)において地形を判定した約7万地点のデータに対して、地形区分ごとに地盤の特性値T_Gと標高との関係を整理し、一部の回帰結果を図-7から図-10に示す。図より、(1)の検討と比較してT_Gのばらつきが大きいことがわかる。また、標高が高いほどT_Gが小さくなる傾向については同じであるが全体としてやや傾きが小さい。これは、標高が特に低い地点や、標高が1000mに達する高い地点のデータが含まれることが一つの要因と考えられる。

b) 地域性の検討

地域性を確認するため、藤本・翠川⁷⁾に従って、東北日本、中央日本、南西日本の3つに分類して回帰を行った。回帰の結果、T_Gと標高の関係については、地域ごとの大きな違いは見受けられない。しかし、台地や自然堤防等の回帰結果を見る限り中央日本の傾きが若干大きい。これは、地域性によるものとも考えられるが、データの偏り、特に標高の低い地域が少なく全体的に標高が高いことが関係している可能性もある。一方、谷底平野の例では東北日本のデータが無く、回帰を安定させるためには中央日本と西南日本のデータをまとめる必要があることから、今回は地域ごとの回帰は行わず、全国の地点に対して回帰式を求めることとした。

c) T_Gの推定式の作成

各地形区分ごとに地盤の特性値T_Gの推定式を作成する。回帰モデルは(1)と同様とした。回帰分析の結果を表-4に示す。表-3の係数と比較すると傾きの係数bの絶対値が小さいことがわかる。これは、a)の整理で傾きがやや小さいことと同様の内容である。

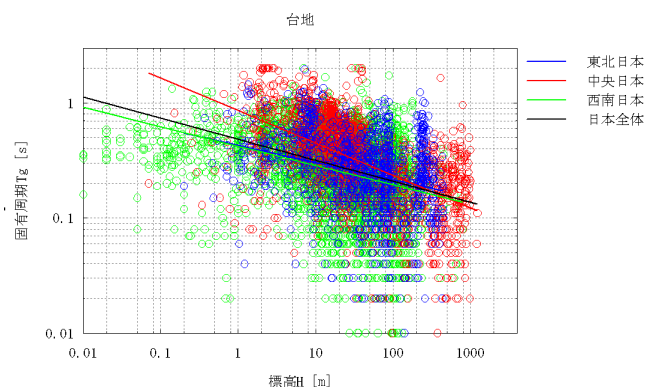


図-7 台地におけるT_Gと標高の関係

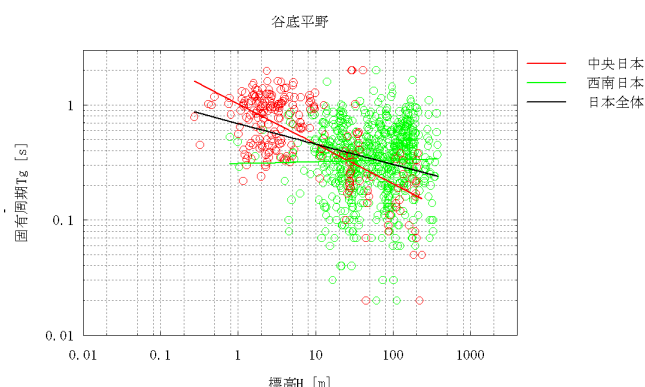


図-8 谷底平野におけるT_Gと標高の関係

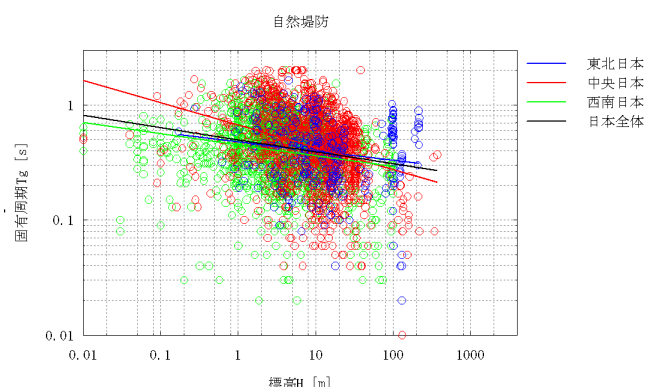


図-9 自然堤防におけるT_Gと標高の関係

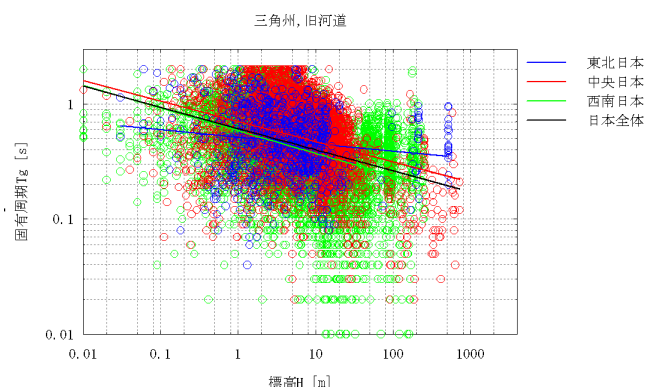
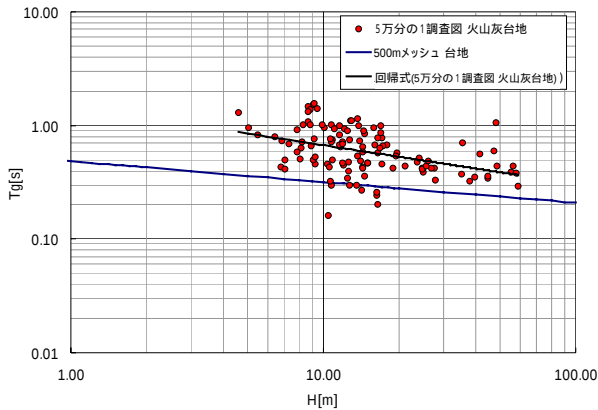


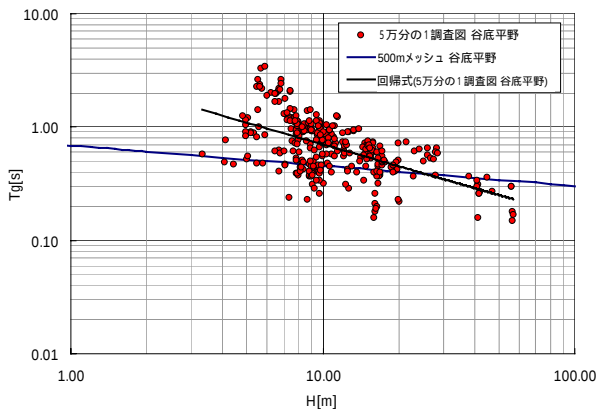
図-10 三角洲、旧河道におけるT_Gと標高の関係

表-4 回帰係数一覧(500mメッシュ地形分類データ)

地形区分	a	b	R ²	σ
山地	-0.4813	-0.1642	0.0978	0.3396
台地	-0.3149	-0.1835	0.1420	0.3156
扇状地	-0.3147	-0.2186	0.1491	0.3236
自然堤防	-0.3017	-0.1052	0.0440	0.2857
谷底平野	-0.1618	-0.1784	0.1251	0.3113
三角洲、旧河道	-0.2139	-0.1843	0.1217	0.2907
埋立地	-0.2627	-0.0751	0.0204	0.2811
河川、その他	-0.2978	-0.1950	0.1746	0.3287



(a) 台地における比較



(b) 谷底平野における比較

図-11 検討方法による回帰結果の違い

4. 推定式と全国の地盤種別

5万分の1土地分類基本調査図による手法と、500mメッシュ地形分類データによる手法の比較のため、両手法による推定式の比較を図-11に示す。図の(a)(b)はそれぞれ台地（火山灰台地）と谷底平野における推定式である。500mメッシュ地形分類データを用いた手法の推定値については、図-11(a)の台地で両推定式の傾きがほぼ一致するものの、赤で示した実測値を下回る結果となった。また図-11(b)の谷底平野では、傾きについては異なるものの実測値のほぼ中心を通過している。

5万分の1土地分類基本調査図を用いた地形区分の判定中には、500m程度の変化であっても地形区分が異なる事例が見られた。これらが T_G のばらつきや、推定式の差異に影響していることが考えられることから、500mメッシュ地形分類データより求めた推定式について、今後はより正確に地形を判断する手法

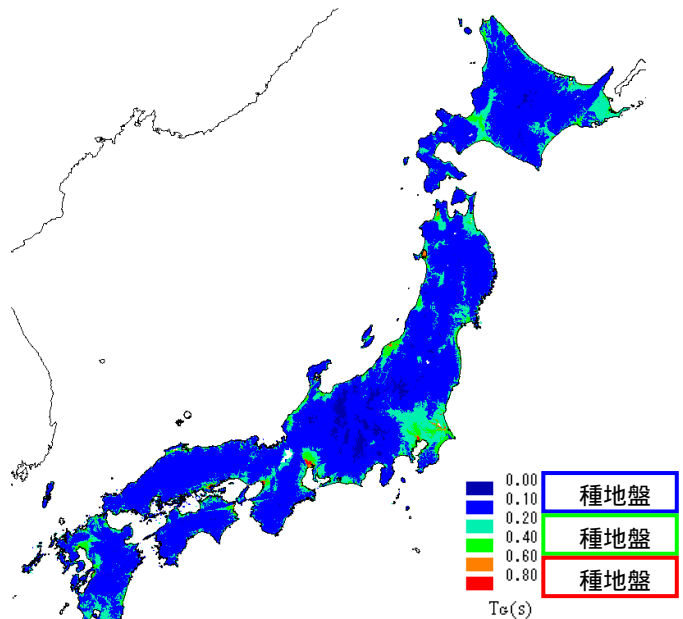


図-12 開発した推定手法による全国の T_G

が必要となる。

今回作成した500mメッシュ地形分類データによる推定式を用いて、全国の T_G を判定した結果を図-12に示す。 T_G が0.2秒未満の地盤を種地盤、0.6秒以上を種地盤、その他の地盤が種地盤である。地盤種別の概略の目安としては、種地盤は良好な洪積地盤及び岩盤、種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤、種地盤は種地盤及び種地盤のいずれにも属さない洪積地盤及び沖積地盤である。推定結果は山地に種地盤、平野部に種地盤、河口付近に三種地盤が分布しており、おおむね適当な判定が行われていると考えられるが、種地盤の分布が限定的である点など、今後検討を要する部分も多い。

5. 結論

日本全国の任意の地点に対する地盤種別の推定を目的として、5万分の1土地分類基本調査図と500mメッシュ地形分類データを用いて判定した地形区分と T_G との関係を整理し、地形区分と標高より T_G を推定する手法を開発した。また、開発した手法を用いて全国の地盤種別を判定した。

なお、今回確認された実測値と推定値のばらつきについては、今後地形区分の判定方法に関する検討等によって低減し、地盤種別の推定精度の向上を図りたい。

謝辞：本研究では、500mメッシュ地形分類データのほか、5万分の1土地分類基本調査図を利用した。関係者各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 翠川三郎, 松岡昌志: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価, 物理探査, Vol. 48, No. 6, pp. 519-

- 529, 1995.
- 2) Keiichi Tamura, Shunsuke Matsumoto and Yoshihiro Nakao : Attenuation relations of peak ground acceleration and acceleration response spectra for engineering applications, Research report of public works research Institute, No.199, pp.79-95, 2003.
 - 3) 大町達夫, 紺野克昭, 遠藤達哉, 年縄巧 : 常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用, 土木学会論文集, Vol.489, I-27, pp.251-260, 1994.
 - 4) 川島一彦, 相沢興, 高橋和之 : 最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告, 第166号
 - 5) 国土交通省 土地・水源局国土調査課 : 5 万分の 1 土地分類基本調査図, 埼玉県「熊谷」「鴻巣」「川越」「大宮」, 1972.-1974.
 - 6) 久保智弘, 久田嘉章, 柴山明寛, 大井昌弘, 石田瑞穂, 藤原広行, 中山圭子 : 全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化、および、面的な早期地震動推定への適用, 地震 2, 56, pp.21-37, 2003.
 - 7) 藤本一雄, 翠川三郎 : 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定, 日本地震工学会論文集, 3[3], pp.13-27, 2003.

ESTIMATION OF NATURAL PERIOD OF SUBSURFACE LAYER AND GROUND CLASSIFICATION BASED ON GEOMORPHOLOGICAL LAND CLASSIFICATION

MATSUMOTO Shunsuke, KATAOKA Shojiro and KUSAKABE Takaaki

AVS30 derived from geomorphological land classifications has been widely used to evaluate amplification factor of subsurface layer and to calculate distribution of ground motion intensity. Natural period of subsurface layer, T_G , is also considered important in seismic design of public works such as highway bridges. Seismic design ground motion for highway bridges has been set up based on ground classification determined by T_G . This paper presents a procedure for evaluation of T_G based on the geomorphological land classification and discusses its validity.