

3.3 地震動の予測

地震の揺れの伝わり方（地震動の予測）の概念を図 3.3.1 に示す。

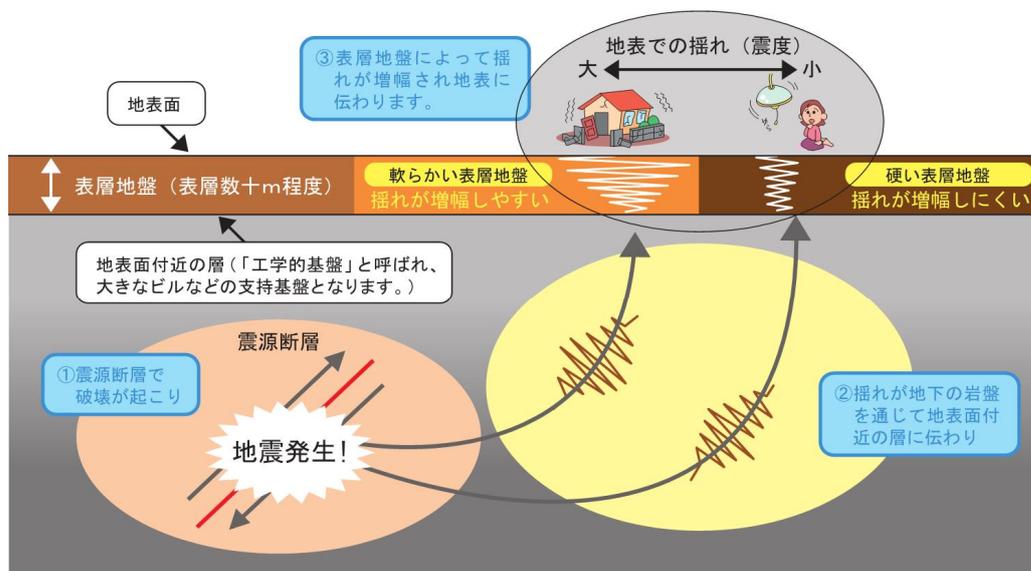


図 3.3.1 地震の揺れの伝わり方の概念

出典) 内閣府地震防災マップ作成のすすめ (2005 年)

震源断層で破壊が起こり放射された地震波は、地下の岩盤を通じて地表面付近の層（工学的基盤）に伝わり、表層地盤（表層十m程度）によって揺れが増幅され地表に伝わる。地表における地震動の特性は、次のように表現することができる。

$$\text{地表で観測される地震動} = \text{震源特性} \times \text{伝播経路特性} \times \text{表層地盤特性}$$

震源特性は、どの程度の大きさの断層がどのような破壊が起こったかを表す特性のことを指す。伝播経路特性は、震源断層から放射された地震波が地下の深い地盤（深部）を伝播し、反射・屈折を繰り返しながら工学的基盤まで至る特性のことを指す。表層地盤特性は、工学的基盤よりも浅い軟弱な地盤（浅部）で地震動が増幅する特性のことを指す。

代表的な地震動予測の手法は、表 3.3.1 に示すとおり、工学的基盤の地震動 2 種類、地表面の地震動 2 種類の計 4 種類になるが、工学的基盤面の地震動及び地表面の地震動の組合せを検討し、採用した手法を表 3.3.2 に示す。

表 3.3.1 代表的な予測手法

予測対象	代表的な予測手法	区分
工学的基盤面の地震動	震源断層の動的パラメータを考慮する手法	①
	距離減衰式を用いる手法	②
地表面の地震動 (表層地盤)	応答解析を用いる手法	③
	表層地盤の増幅率を用いる手法	④

表 3.3.2 想定地震別に採用した手法

想定地震	工学的基盤面の地震動	地表面の地震動
A. 千葉県北西部直下地震	①	④
B. 成田空港直下地震	①	④
C. 茨城県南部地震	①	④
D. 成田市直下地震	②	④

※表中の番号は表 3.3.1の区分を示す。

3.3.1 工学的基盤面の地震動

(1) A. 千葉県北西部直下地震、B. 成田空港直下地震、C. 茨城県南部地震について

A. 千葉県北西部直下地震は平成 26・27 年度千葉県地震被害想定調査を、B. 成田空港直下地震、C. 茨城県南部地震は内閣府首都直下地震モデル研究会で求められた工学的基盤の地震動結果を、50mメッシュごとに内挿により値を設定するとともに、平滑化処理を行った。

(2) D. 成田市直下地震について

本調査では、内閣府地震防災マップ作成技術資料（2005 年）でもケーススタディとして取りあげられている断層最短距離の距離減衰式を用いて、工学的基盤面の地震動を算出した。

なお、震源特性を表す係数は地殻内地震の値（0.0）を、標準偏差は平成 21 年度成田市地震ハザードマップ作成業務の値（0.23）を採用し、工学的基盤面は S 波速度 600m/s 相当の層とした。

$$\log PGV600 = 0.58 \cdot Mw + 0.0038 \cdot D - 1.29 + c$$

$$- \log(X + 0.0028 \cdot 100.58Mw) \pm \sigma$$

PGV600：S 波速度 600m/s の工学的基盤の最大速度 (cm/s)

Mw：モーメントマグニチュード (MW=0.879MJ+0.536)

MJ：気象庁マグニチュード

D：断層の平均深度 (km)

X：断層最短距離 (km)

c：震源特性を表す係数 (地殻内地震：0.0、プレート境界地震：-0.02)

k：粘性減衰を表す項 (k=0.002)

σ：標準偏差 (=0.23)

工学的基盤速度から次の式を用いて工学的基盤面の地震動を算出した。

$$I_b = a + b \cdot \log V_b$$

I_b : 工学的基盤震度

V_b : 基盤最大速度 (cm/s)

a, b : 係数 ($a=2.30, b=2.01$)

3.3.2 地表面の地震動

表層地盤による地震動の増幅は、非線形性を考慮して作成された横田ら（2005年）の AVS30 と震度増分の関係を用いて推定した。

$$\Delta I = a - b \log AVS30$$

ΔI : 工学的基盤面・地表面の震度増分

AVS30 : 表層 30m の平均 S 波速度 (m/s) の推定値

a, b : 係数 (工学的基盤面の震度ごとに設定)

表 3.3.3 工学的基盤面の震度と係数 (a, b) の関係

工学的基盤面の震度	a	b
3.0~3.9	2.943	1.034
4.0~4.4	2.916	1.026
4.5~4.9	2.888	1.015
5.0~5.4	2.715	0.954
5.5~5.9	2.494	0.876
6.0~6.4	2.434	0.855

AVS30（地表から 30m 深の平均 S 波速度）の算出は、次のとおりとした。

(1) 地形分類図の作成

国土地理院の地形区分図、旧版地形図、ボーリングから地形区分図を作成した（図 2.1.1）。

(2) 標高データの作成

国土地理院の基盤地図ダウンロードサービスから 10m メッシュの数値標高データをダウンロードして、10m メッシュ標高から 50m メッシュの平均標高図を作成した（図 2.1.2）。

(3) 傾斜度データの作成

(2) の 50m メッシュ平均標高図から、GIS 機能を用いて傾斜度を算出した。

(4) 先第三系・第三系の山地・丘陵地からの距離

作成した地形区分図の台地（丘陵地・ローム台地）から各メッシュの重心までの距離を算出した。

(5) AVS30 の算出

AVS30 は松岡・他(2005年)をもとに、ボーリングにより a 値を補正して算出した。

$$\log AVS30 = a + b \log Ev + c \log Sp + d \log Dm \pm \sigma$$

a、b、c、d：係数(表 3.3.5)

Ev：標高(m) ((2)で求めたもの)

Sp：傾斜度の正接の1000倍(1000 tan θ) (θ は(3)で求めたもの)

Dm：先第三系・第三系の山地・丘陵地からの距離(km) ((4)で求めたもの)

※Ev、Sp、Dmは、0.1より小さくなるときは、内閣府南海トラフ巨大地震の地震モデル検討会(2012年)を参考に0.1とした。

表 3.3.4 松岡・他(2005年)の係数(標準)

微地形分類	a	b	c	d	σ
ローム台地1	2.206	0.093	0.065	0.000	0.115
ローム台地2	2.206	0.093	0.065	0.000	0.115
谷底平野1	2.190	0.038	0.000	-0.041	0.116
谷底平野2	2.266	0.144	0.016	-0.113	0.158
谷底平野3	2.266	0.144	0.016	-0.113	0.158
自然堤防	2.204	0.100	0.000	0.000	0.124
後背湿地・デルタ	2.190	0.038	0.000	-0.041	0.116
砂州・砂丘	2.415	0.000	0.000	0.000	0.114
埋立地・干拓地	2.373	0.000	0.000	-0.124	0.123

表 3.3.4に示した標準係数に地域性を加味するためにボーリング柱状図を収集し(図 2.1.3)、ボーリングによる係数への補正を行った。

補正は、内閣府地震防災マップ作成技術資料(2005年)を参考に、b値、c値、d値は標準の係数と同じ値とし、a値のみデータに整合するように算出した。

ボーリング柱状図の情報からボーリング地点ごとに AVS30 を算出し、標高、傾斜度、先第三系・第三系の山地・丘陵地からの距離を与え、AVS30 から a 値を逆算した(a' 値)。この a' 値を微地形分類ごとに平均をとり、地域性を考慮した係数を求めた(表 3.3.5)。

表 3.3.5 松岡・他（2005 年）の係数に補正した値（地域性を考慮）

微地形分類	a'	b	c	d	σ
ローム台地 1	2.206	0.093	0.065	0.000	0.115
ローム台地 2	2.206	0.093	0.065	0.000	0.115
谷底平野 1	2.145	0.038	0.000	-0.041	0.116
谷底平野 2	2.012	0.144	0.016	-0.113	0.158
谷底平野 3	2.012	0.144	0.016	-0.113	0.158
自然堤防	2.218	0.100	0.000	0.000	0.124
後背湿地・デルタ	2.145	0.038	0.000	-0.041	0.116
砂州・砂丘	2.415	0.000	0.000	0.000	0.114
埋立地・干拓地	2.130	0.000	0.000	-0.124	0.123

ボーリング地点ごとの AVS30 は、ボーリング柱状図の情報から、土層、下限深度、N 値の情報を読み取り整理し、内閣府地震防災マップ作成技術資料（2005 年）を参考に、次の推定式で S 波速度を推定した。

ここで、掘削長が 30m まで達していない場合、内閣府地震防災マップ作成技術資料（2005 年）のケーススタディを参考に、N 値 ≥ 50 基盤が確認できるボーリングについて 10m、15m、20m、25m のうちで N 値 ≥ 50 基盤深度に最も近い深度までの平均 S 波速度 AVSn ($n=10, 15, 20, 25$) から、次の経験式を用いて AVS30 を推定した。

a_n 、 b_n の係数を表に示す。

$$AVS30 = a_n \times AVSn + b_n$$

表 3.3.6 地層ごとの S 波速度推定式

地層	S 波速度推定式
粘性土	$V_s=111.30 \times N^{0.3020}$
砂質土	$V_s=94.38 \times N^{0.3144}$
礫質土	$V_s=123.05 \times N^{0.2443}$

表 3.3.7 回帰式の係数 a_n 、 b_n

n	N 値 ≥ 50 基盤が確認できる場合		N 値 ≥ 50 基盤が確認できない場合	
	a_n	b_n	a_n	b_n
10	1.219	58.726	0.655	59.881
15	1.047	43.528	0.801	37.213
20	1.004	29.658	0.881	23.318
25	1.020	7.937	0.955	9.113

3.3.3 地表の計測震度

地表の計測震度は、工学的基盤面の震度に地表面の震度増分を加えて推定した。

$$I = I_b + \Delta I$$

I : 計測震度

I_b : 工学的基盤面の震度

ΔI : 工学的基盤面の震度と地表面の震度の増分

地表最大加速度およびSI値は、童・山崎（1996年）の手法を用いて推定した。

$$A = 10(-0.23 + 0.51 \cdot I)$$

$$SI = 10(-1.16 + 0.5 \cdot I)$$

A : 地表最大加速度(gal)

SI : SI値(kine)

I : 計測震度

想定地震ごとの震度階級図を図 3.3.2～図 3.3.5に示す。

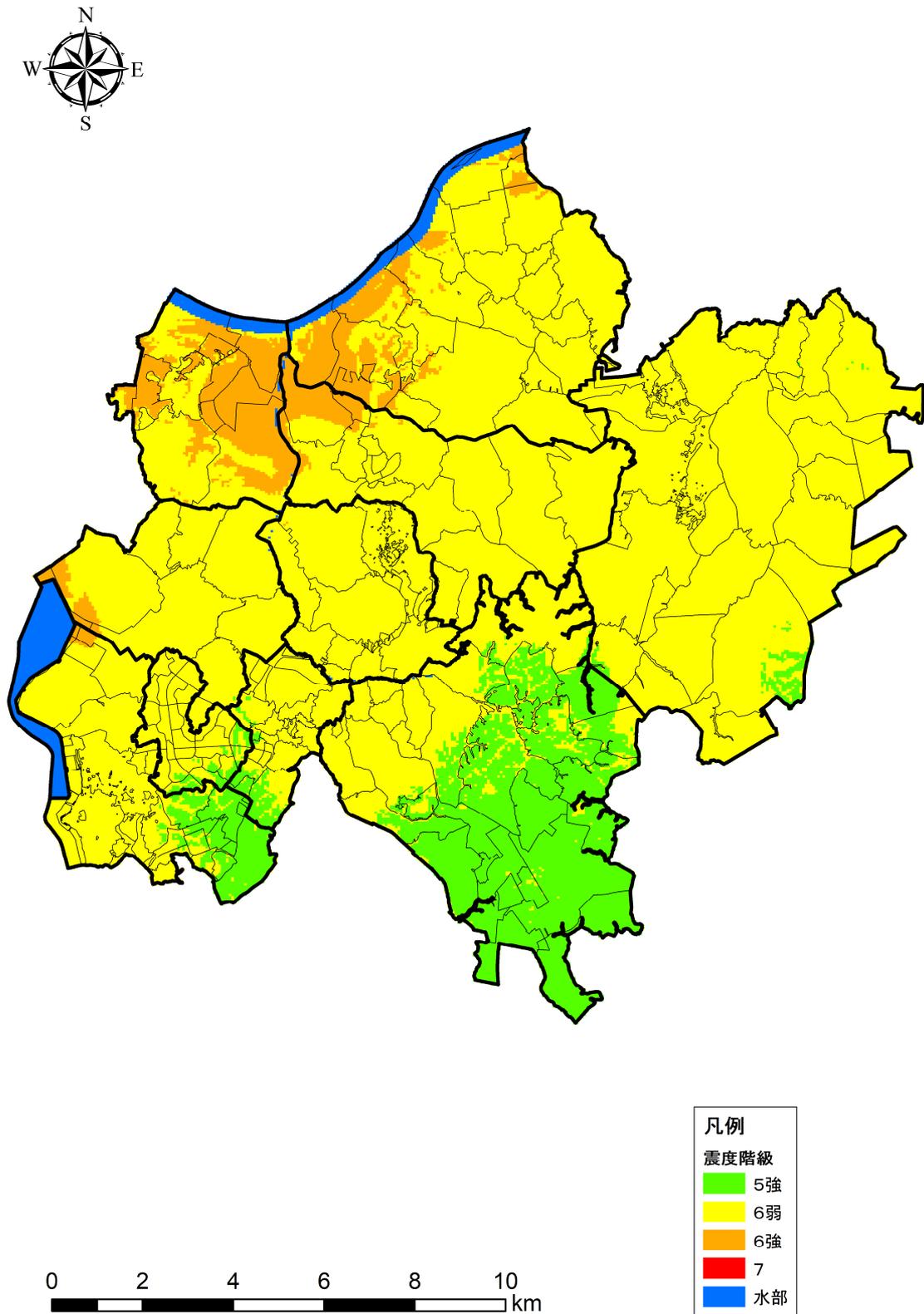


図 3.3.2 震度階級図 (A. 千葉県北西部直下地震)

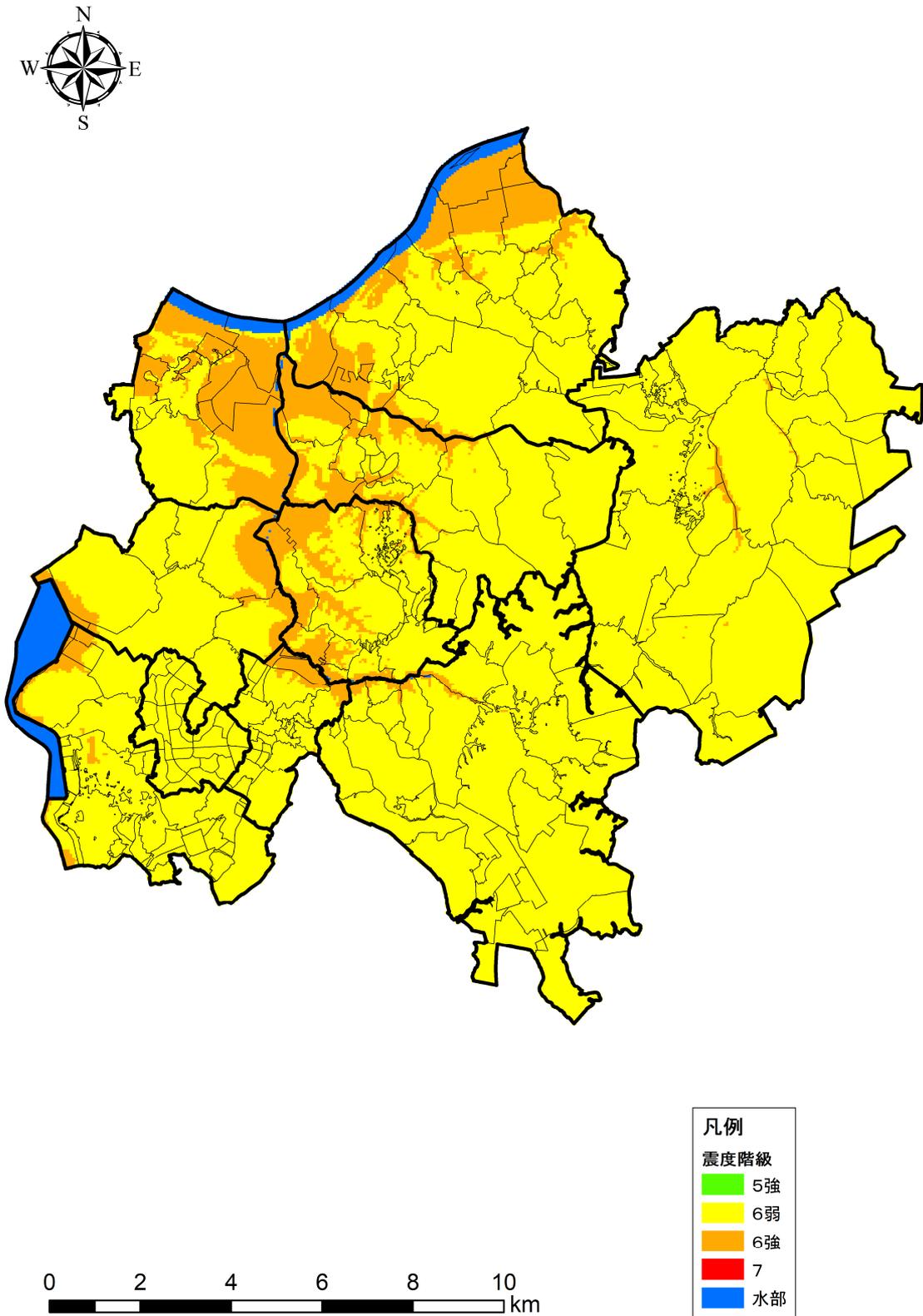


図 3.3.3 震度階級図 (B. 成田空港直下地震)

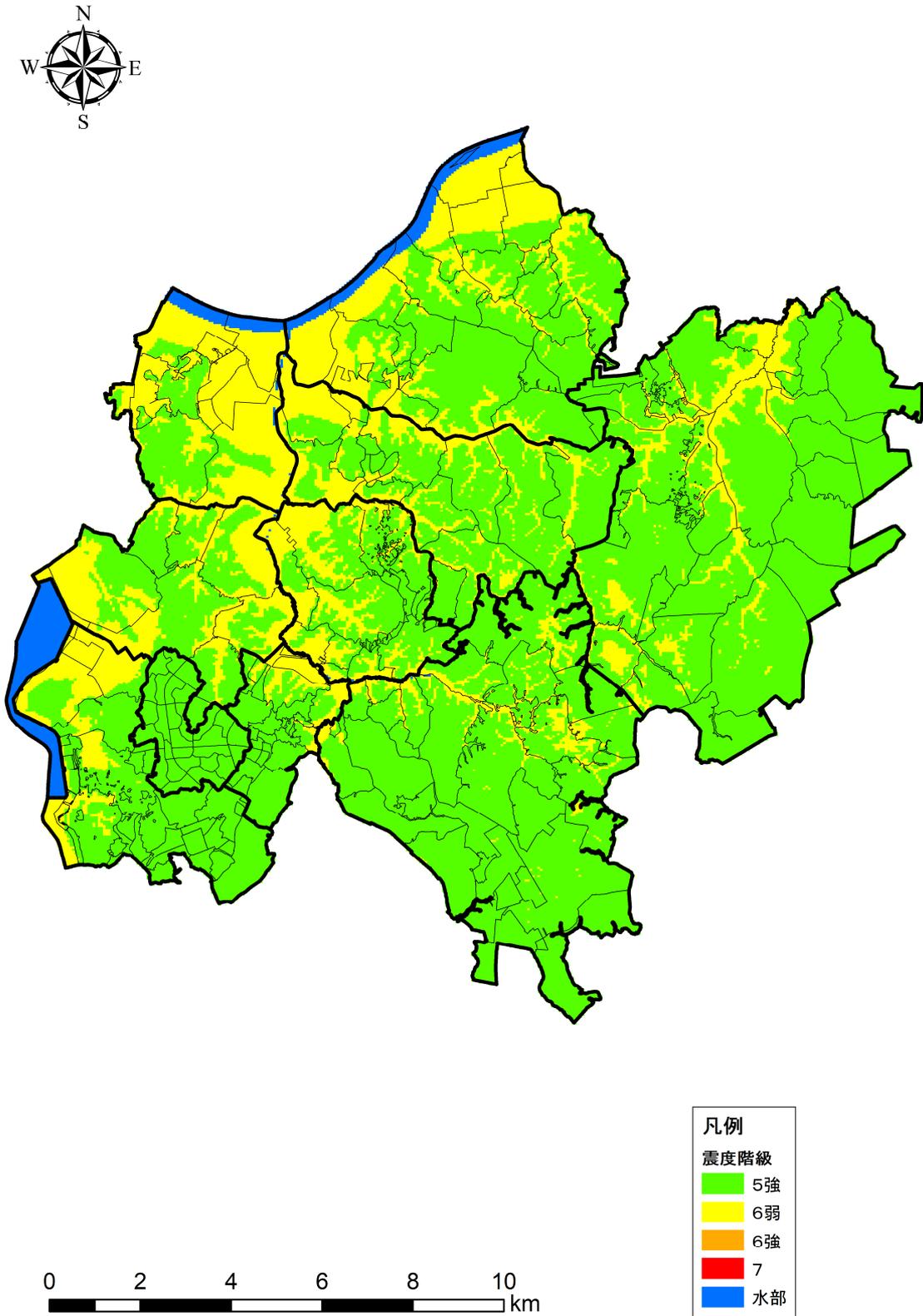


図 3.3.4 震度階級図 (C. 茨城県南部地震)

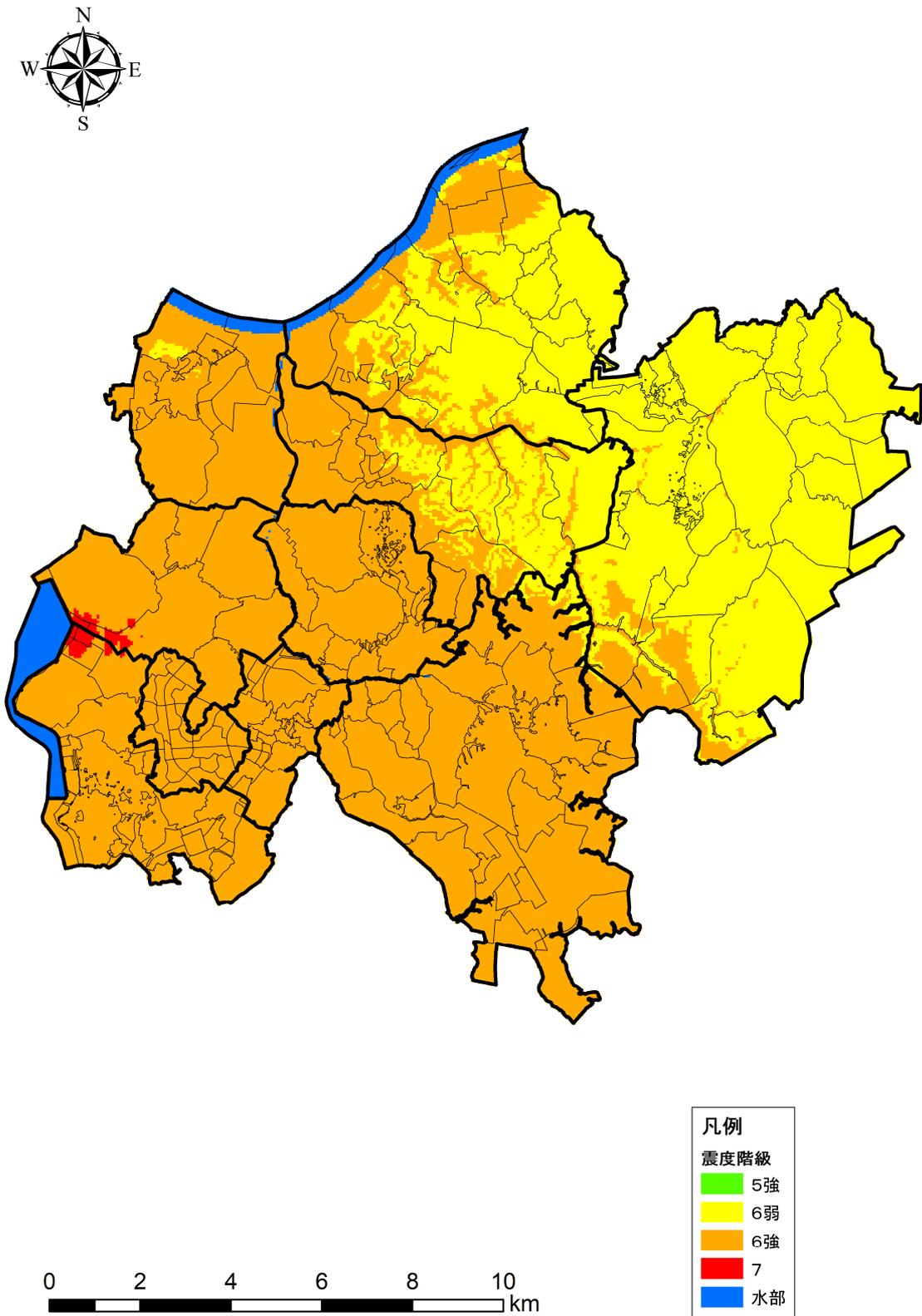


図 3.3.5 震度階級図 (D. 成田市直下地震)