

### 3. 被害想定手法

#### (1) 地震動

##### 1) 検討の流れ

地震動予測のフローを図 3-1-1 に示す。断層モデルおよび工学的基盤面における地震動の波形は、北海道の被害想定の対象地震を選定するために実施した地震動被害の概略計算時のデータを利用する。

地盤の増幅度は、地形・地盤分類に基づく増幅度を、収集したボーリングデータに基づく表層地盤の平均 S 波速度 AVS30 を用いて補正した値を利用する。250m メッシュ単位で震度・最大速度を算定する。

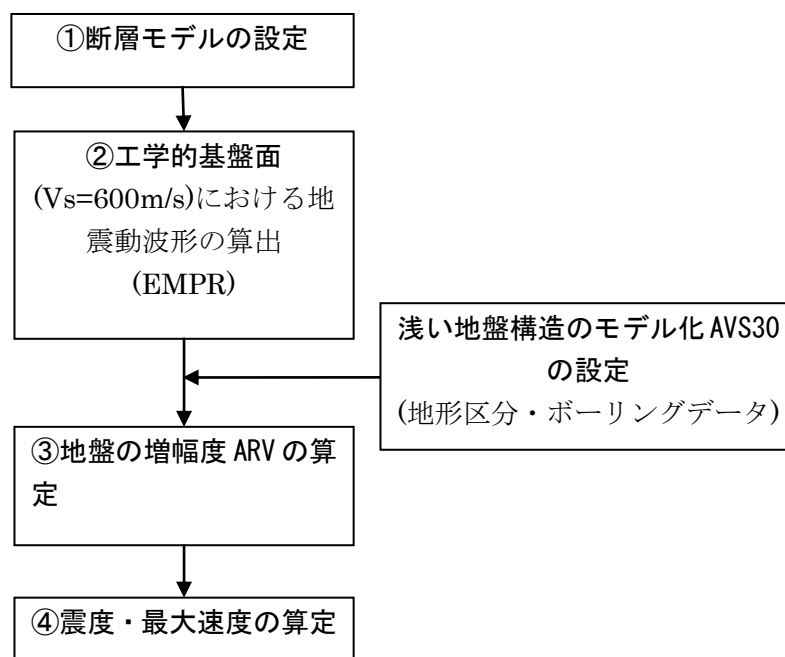


図 3-1-1 地表面地震動予測の流れ

## 2) 評価手法

### ① 断層モデルの設定

工学的基盤面における地震動波形を算出するために必要な断層モデルとして、概算計算において設定したモデル<sup>1)</sup>を利用する。

断層モデルは、中央防災会議や北海道の調査結果など既存の被害予測資料から地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」という）による「活断層で発生する地震の強震動評価のレシピ（以下、「レシピ」という）」を用いて設定されたものである（表 3-1-1）。断層パラメータのうち、「傾斜角」「破壊開始点」「アスペリティ位置」については複数のモデルを検討して選定している。

図 3-1-2 に主な断層パラメータのイメージを示す。

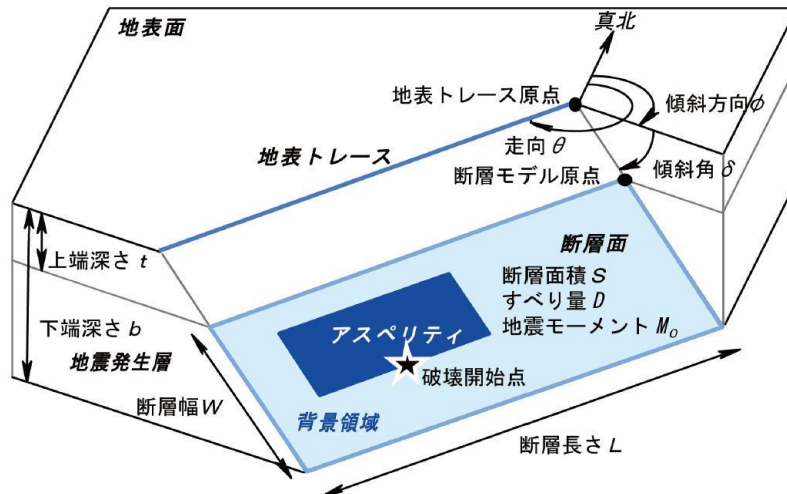


図 3-1-2 主な断層パラメータ※

※ 地震調査研究推進本部ホームページ、[http://www.jishin.go.jp/resource/column/jun\\_kyoshindo/](http://www.jishin.go.jp/resource/column/jun_kyoshindo/)

表 3-1-1 断層モデル設定の根拠

被害想定の対象地震	断層モデル	断層モデル設定の根拠
内陸直下型の地震	函館平野西縁断層帯 45_4	・防災科学技術研究所の地震ハザードステーション(J-SHIS) <sup>2)</sup> および地震本部のレシピを参考に断層モデルを設定
日本海側の地震	北海道南西沖 No. 2	・平成 5 年北海道南西沖地震の断層モデルを参考に設定
太平洋側の地震	三陸沖北部	・中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」および地震本部のレシピを参考に設定

被害想定の対象地震の断層モデルを次に示す。

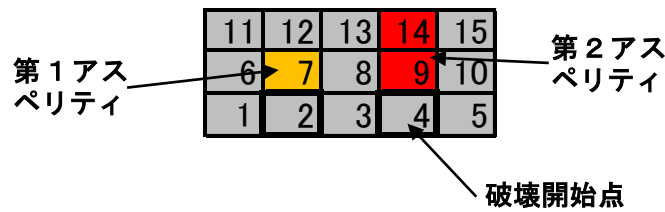
a. 内陸直下型の地震の断層モデル（函館平野西縁断層帯 45\_4）

○断層原点：41° 42' 29" ， 140° 36' 54" 走向：N7.048° E 断層上端深さ：2km  
断層長さ：26km 断層幅：18km 傾斜角：45° ， 30°

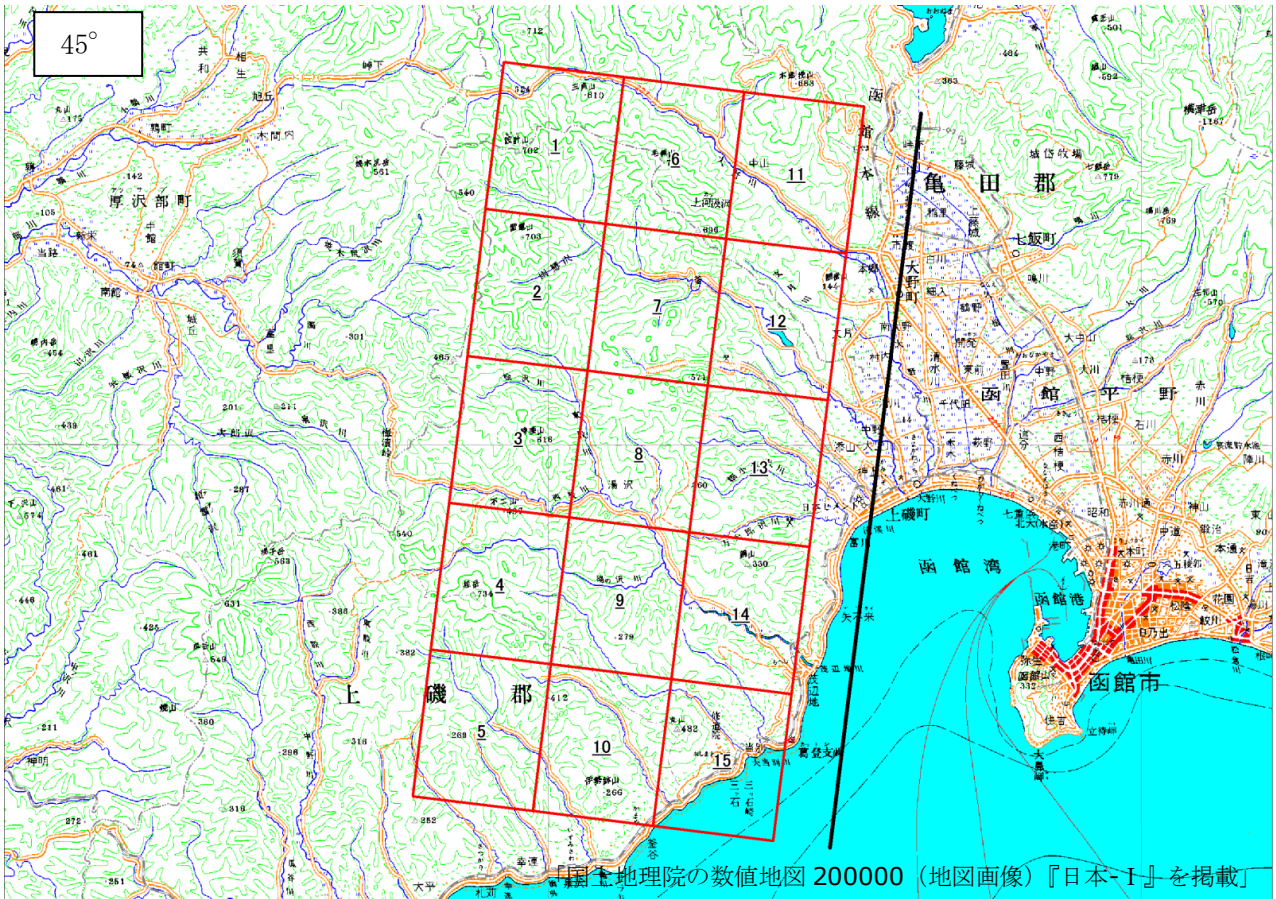
○Mw：6.6 Mo：1.17E+19 (N・m) 破壊伝搬速度：2.4(km/s) S波速度：3.4(km/s)  
断層分割数 5×3

アスペリティモデル：

	Mo	メッシュ数	Mo 比
第1アスペリティ	3.02E+18	2	2.39
第2アスペリティ	1.06E+18	1	1.68
背景領域	7.58E+18	12	



地震コード	45_4
傾斜角	45°
破壊開始点	4



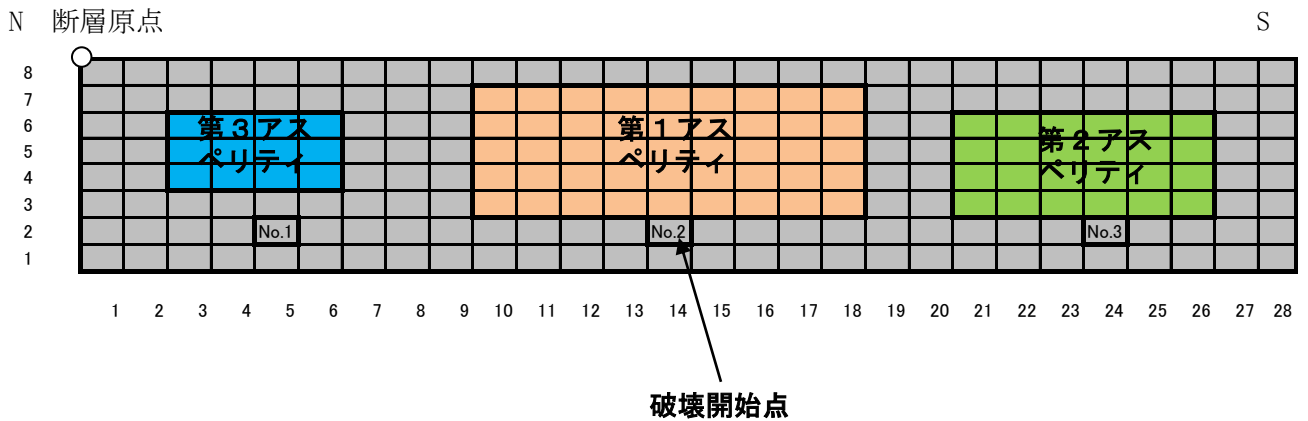
b. 日本海側の地震の断層モデル（北海道南西沖 No.2）

○断層原点：43° 12′ 48.9″ ， 139° 32′ 6.0″ 走向：N190° E 断層上端深さ：2km  
 断層長さ：140km 断層幅：35km 傾斜角：45°

○Mw：8.0 Mo：1.34E+21 (N・m) 破壊伝搬速度：2.52(km/s) S波速度：3.5(km/s)  
 断層分割数 28×8

アスペリティモデル：

	Mo	メッシュ数	Mo 比
第1アスペリティ	6.32E+20	45	5.01
第2アスペリティ	2.24E+20	24	3.32
第3アスペリティ	7.90E+19	12	2.35
背景領域	4.01E+20	143	1.0



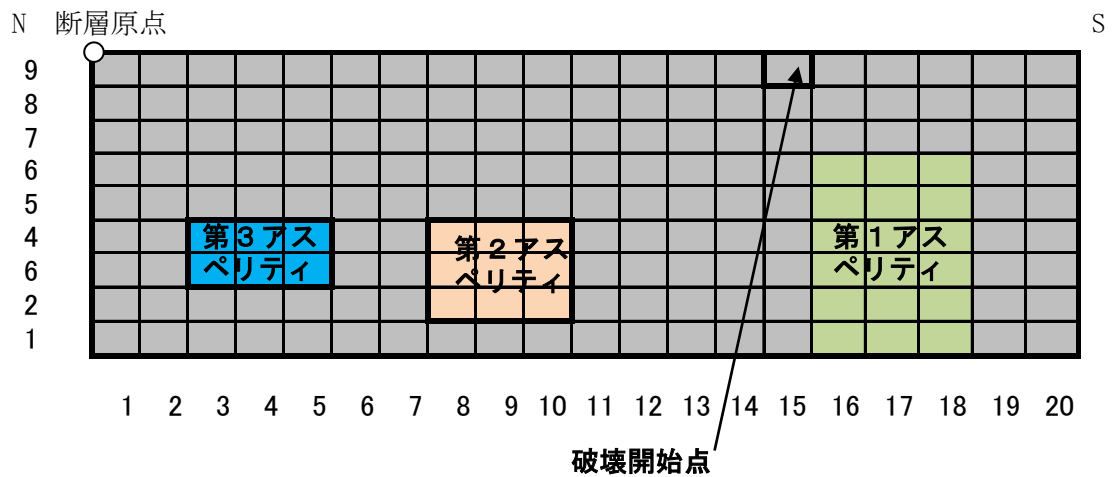
c. 太平洋側の地震の断層モデル（三陸沖北部）

○断層原点：41° 39′ 14.8″， 142° 30′ 12.5″ 走向：N142.2° E 断層上端深さ：10km  
 断層長さ：200km 断層幅：90km 傾斜角 (x)：13° (y)：9°

○Mw：8.3 Mo：3.49E+21 (N・m) 破壊伝搬速度：2.83 (km/s) S波速度：3.93 (km/s)  
 断層分割数 20×9

アスペリティモデル：

	Mo	メッシュ数	Mo比
第1アスペリティ	8.55E+20	15	4.11
第2アスペリティ	3.58E+20	9	2.87
第3アスペリティ	2.06E+20	6	2.48
背景領域	2.08E+21	150	1.0



## ② 工学的基盤面における地震動波形の算出

工学的基盤面における地震動予測手法 EMPR<sup>3)</sup>を用いて、工学的基盤面における地震動波形を算出する。EMPRとは、既往の観測記録に基づきスペクトル強度や波形の時間特性の回帰モデルを作成し、想定断層の3次元的広がりや断層破壊方向と着目点との関係などを考慮して波形を算定する方法であり、断層の広がりやアスペリティ分布、断層の破壊開始点を考慮できる手法である。

対象地域を500mメッシュに区画し、工学的基盤面(Vs600m/sec)における地震動の計算を行う。本報告では、概算計算<sup>1)</sup>において計算された工学的基盤面の地震動を利用する。

## ③ 地盤の増幅度 ARV の算定

内閣府の地震防災マップ作成技術資料<sup>4)</sup>における地盤の増幅率の算出方法を参考に、地形・地盤分類、ボーリングデータから深度30mまでの表層地盤の平均S波速度 AVS30 を計算する。AVS30 と表層地盤の速度増幅度の関係から、増幅度 ARV を算定する。

工学的基盤(S波速度600m/sec相当層)から地表面までの最大速度の増幅率は、藤本・翠川(平成18年)<sup>5)</sup>による表層地盤の速度増幅度の関係式(1-1-1)により計算される。

$$\text{Log ARV} = 2.367 - 0.852 \log \text{AVS}(30) \quad (100 < \text{AVS} < 1500) \quad \text{—————(1-1-1)}$$

ARV : 基準地盤(S波速度600m/sec)に対する地表の速度増幅度

AVS30 : 地表から地下30mまでの推定平均S波速度(m/sec)

ここでは、地表から地下30mまでの推定平均S波速度の計算は、以下の手順で行う。

- ① 地形・地盤分類に基づいた AVS30
- ② ボーリングデータを用いて AVS30 を計算
- ③ ①、②の結果をもとに空間的な平滑化処理を行い、250mメッシュ区画毎の増幅度を計算

### a. 地形・地盤分類と AVS30

地表から地下30mまでの推定平均S波速度:AVS30として、松岡・若松(平成20年)<sup>6)</sup>により、地形・地盤分類に基づいた250mメッシュ区画のAVS30が構築されている。

松岡・若松(平成20年)による地形・地盤分類の函館市の例を図3-1-3に、AVS30の函館市の例を図3-1-4に示す。

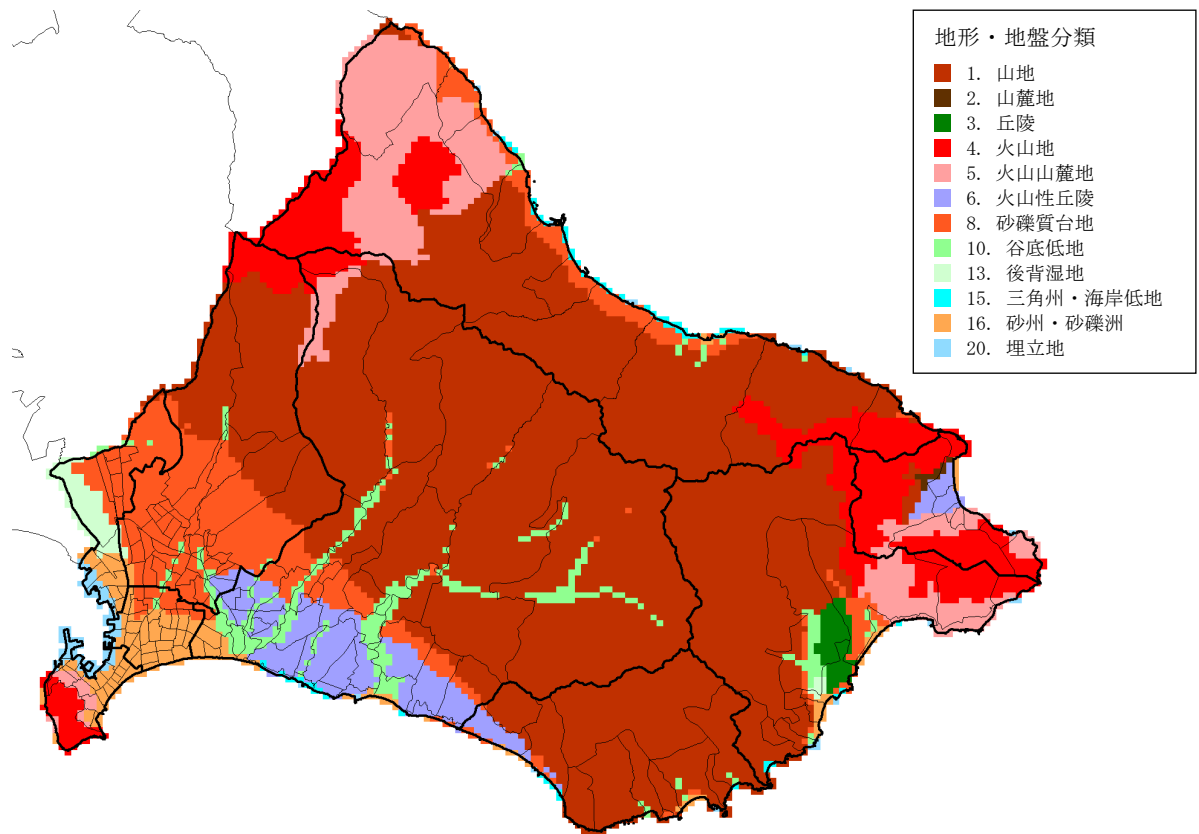


図 3-1-3 250mメッシュ地形・地盤分類の例

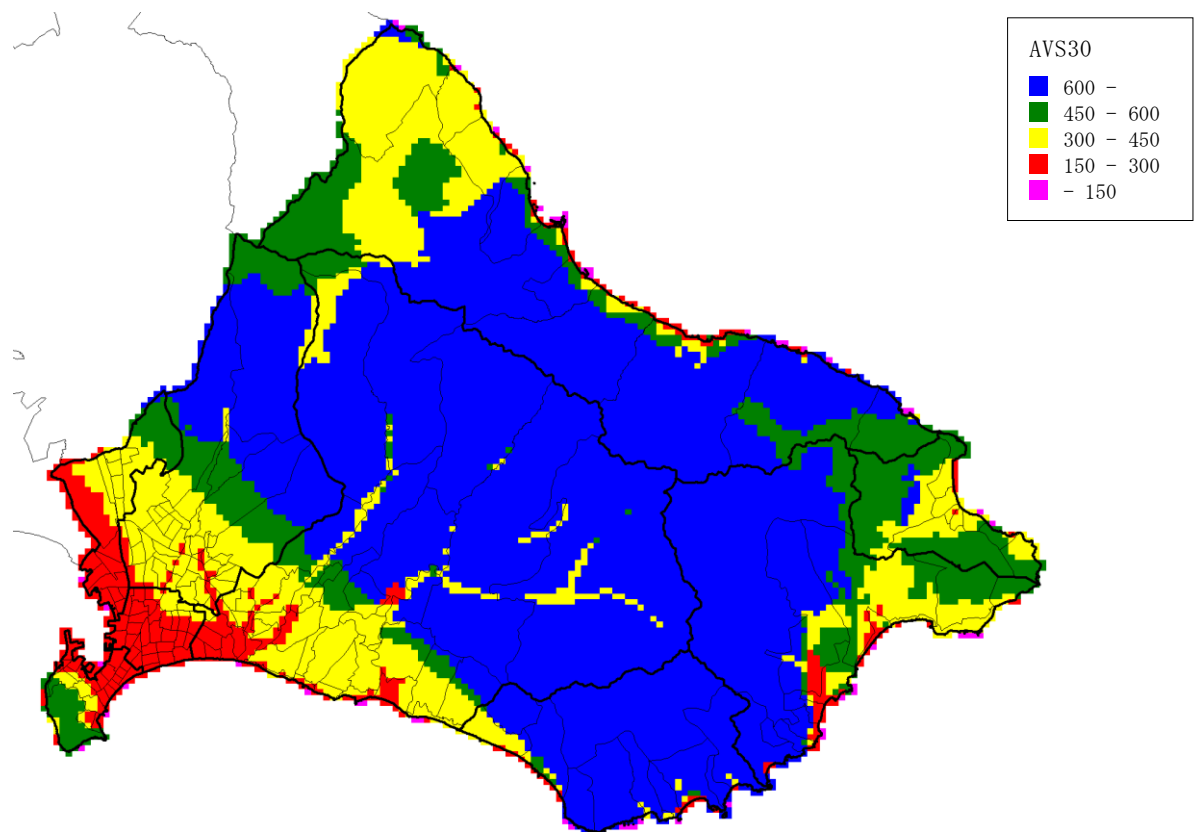


図 3-1-4 250mメッシュ地形・地盤分類による AVS30 の例



## b. ボーリングデータを用いた AVS30 の計算

今回収集したボーリングデータを用いて、内閣府による地震防災マップ作成技術資料<sup>4)</sup>の方法により AVS30 を計算する。

各層の S 波速度の推定には、内閣府による式 (1-1-2) を用いる。

$$V_s = a \cdot N^b \quad \text{—————(1-1-2)}$$

$V_s$  : S 波速度 (m/sec)     $N$  : N 値 (層ごとの平均 N 値 : 50 以上は 50 とする)

$a$  : 土質係数 1 (粘土 : 111.30, 砂 : 94.38, 礫 : 123.05)

$b$  : 土質係数 2 (粘土 : 0.3144, 砂 : 0.3020, 礫 : 0.2443)

## c. 収集したボーリングデータの概要

ボーリングデータとして、各自治体から収集したボーリング調査資料を用いた。掘削深度、N 値、地質区分などのデータが整理されている。

収集したボーリング資料のうち、掘削長が 10m 以下のもの、あるいは 10m 以上であっても標準貫入試験が実施されていないものは AVS30 を算出することができない。これらを除いて計算に使用したボーリングデータの本数を表 3-1-2 に、位置を図 3-1-5 に示す。このうち、函館市内のボーリングデータ本数は、254 本である。

表 3-1-2 計算に使用したボーリング数 (箇所)

	ボーリングデータ数
函館地区	232
恵山地区	4
戸井地区	5
榎法華地区	4
南茅部地区	9
計	254

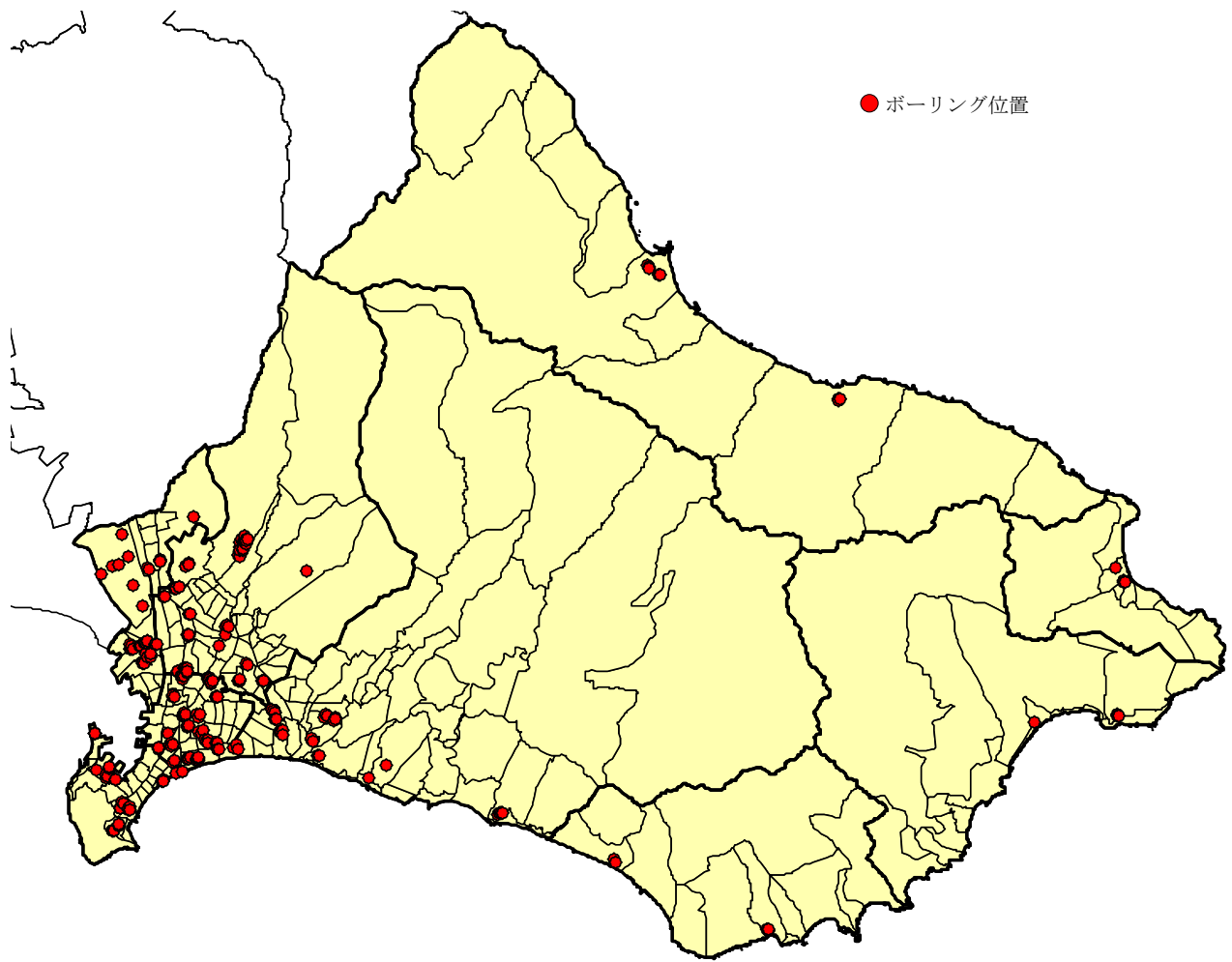


図 3-1-5 収集したボーリングデータ地点

#### d. AVS30 の計算

ボーリングデータごとの AVS30 の推定は掘進深度 30m 以上、掘進深度 30m 未満での場合の 2 ケースに分けて実施した。

##### i. 掘進深度 30m 以上のボーリング

ボーリングデータの層区分より、上から粘性土層(c)、礫質土層(g)、砂質土層(s)の3つの層で区分し、式(1-1-2)により各層ごとのS波速度を計算する。次に各層の層厚とS波速度から地表から深度30m までのS波速度の到達時間を式(1-1-3)により算定し、その値から式(1-1-4)よりボーリング地点の AVS30 を設定した。

$$T_{30} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{Si}} \quad (1-1-3)$$

$T_{30}$ : 地表から深度 30m までのS波速度の到達時間(sec)

$H_i$ : i 層の層厚 (m)

$V_{Si}$ : i 層のS波速度(m/sec)

$$AVS30 = \frac{30}{T_{30}} \quad (1-1-4)$$

AVS30: 地表から深度 30m までの平均S波速度(m/sec)

##### ii. 掘進深度 30m 未満のボーリング

まず、掘進深度 30m 未満のボーリングデータについて、N値 $\geq 50$  基盤が存在するかどうか確認する。N値 $\geq 50$  基盤の判定は、以下の基準で行っている。

- ボーリング孔底付近でN値 50 以上を連続3回以上確認してボーリングを止めている。
- ボーリング孔底付近でN値 50 以上の岩盤部を確認してボーリングを止めている。

AVS30 がN値 $\geq 50$  基盤深度 10m 未満のボーリング、加えて掘進深度 10m 未満のボーリングについては、AVS30 の推定の対象から外すこととする。

AVS30 の推定は、N値 $\geq 50$  基盤が確認できるケースと確認できないケースの2つに分けて設定を行う。

##### ○ N値 $\geq 50$ 基盤が確認できるケース

N値 $\geq 50$  基盤深度より浅く、10m、15m、20m、25m のうちで最もN値 $\geq 50$  基盤深度に近い値を設定し、その深度までの平均S波速度 AVS<sub>n</sub>(n=10, 15, 20, 25)を計算する。その値より、AVS<sub>n</sub>-AVS30 の経験式である、式(1-1-5)により AVS30 を推定する。

$$AVS30 = a_n \times AVS_n + b_n \quad (1-1-5)$$

n: 10, 15, 20, 25

AVS10: a<sub>10</sub>=1.441, b<sub>10</sub>=58.726

AVS15: a<sub>15</sub>=1.144, b<sub>15</sub>=43.528

AVS20: a<sub>20</sub>=1.083, b<sub>20</sub>=29.658

AVS25: a<sub>25</sub>=1.034, b<sub>25</sub>=7.937

##### ○ N値 $\geq 50$ 基盤が確認できないケース

掘進深度より浅く、10m、15m、20m、25m のうちで最も掘進深度に近い値を設定し、その深度までの平均S波速度 AVS<sub>n</sub>(n=10, 15, 20, 25)を計算する。その値より、AVS<sub>n</sub>-AVS30 の経験式である、式(1-1-6)

により AVS30 を推定する。

$$\text{AVS30} = a_n \times \text{AVS}_n + b_n \quad (1-1-6)$$

n : 10, 15, 20, 25

AVS10 : a10=0.832, b10=59.881

AVS15 : a15=0.909, b15=37.213

AVS20 : a20=0.946, b20=23.318

AVS25 : a25=0.983, b25= 9.113

ただし、N値 $\geq$ 50 基盤が確認できるケースで、周辺の地質から基盤が 30m より深いことが確実な場合には、基盤が 30m まで続いていると仮定して AVS30 を推定した。

図 3-1-6 に推定した AVS30 の例を示す。

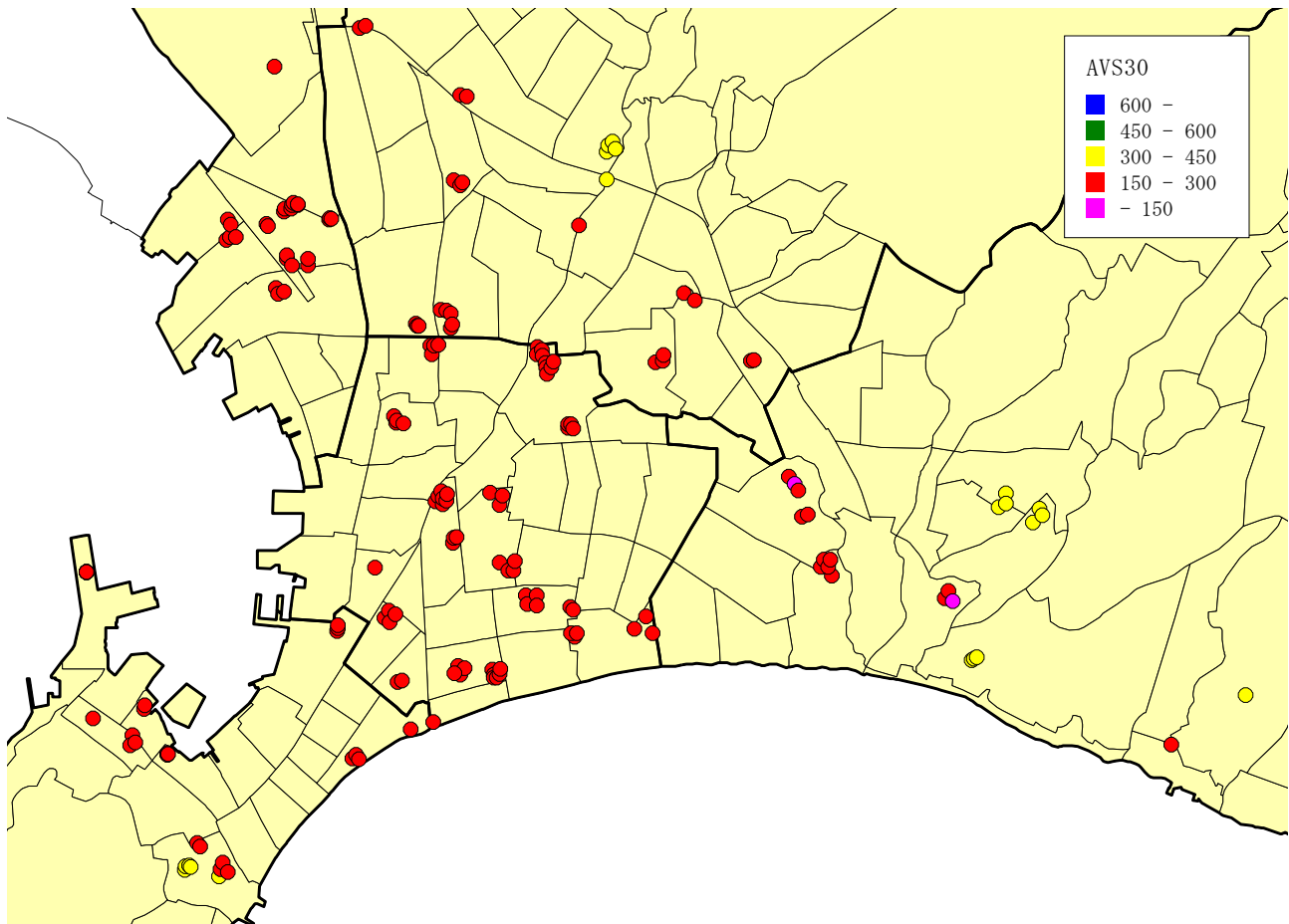


図 3-1-6 ボーリングの位置と AVS30 計算結果の例

e. 平滑化処理による 250mメッシュ区画における増幅度の計算

a の地形・地盤分類による AVS30 と b～d のボーリングデータによる AVS30 の値を空間的に平滑化処理し、250mメッシュ区画における AVS30 を計算する。

平滑化の方法は IDW（重みつき逆距離補完法）を用いる。平滑化を行う半径は、隣接するメッシュへの影響を考慮するため 500m とする。AVS30 は同一地盤・地形分類ごとに平滑化する。

求めた AVS30 と式(1-1-1)から増幅度 ARV を計算する。250mメッシュ区画における増幅度 ARV の結果の例を図 3-1-7 に示す。

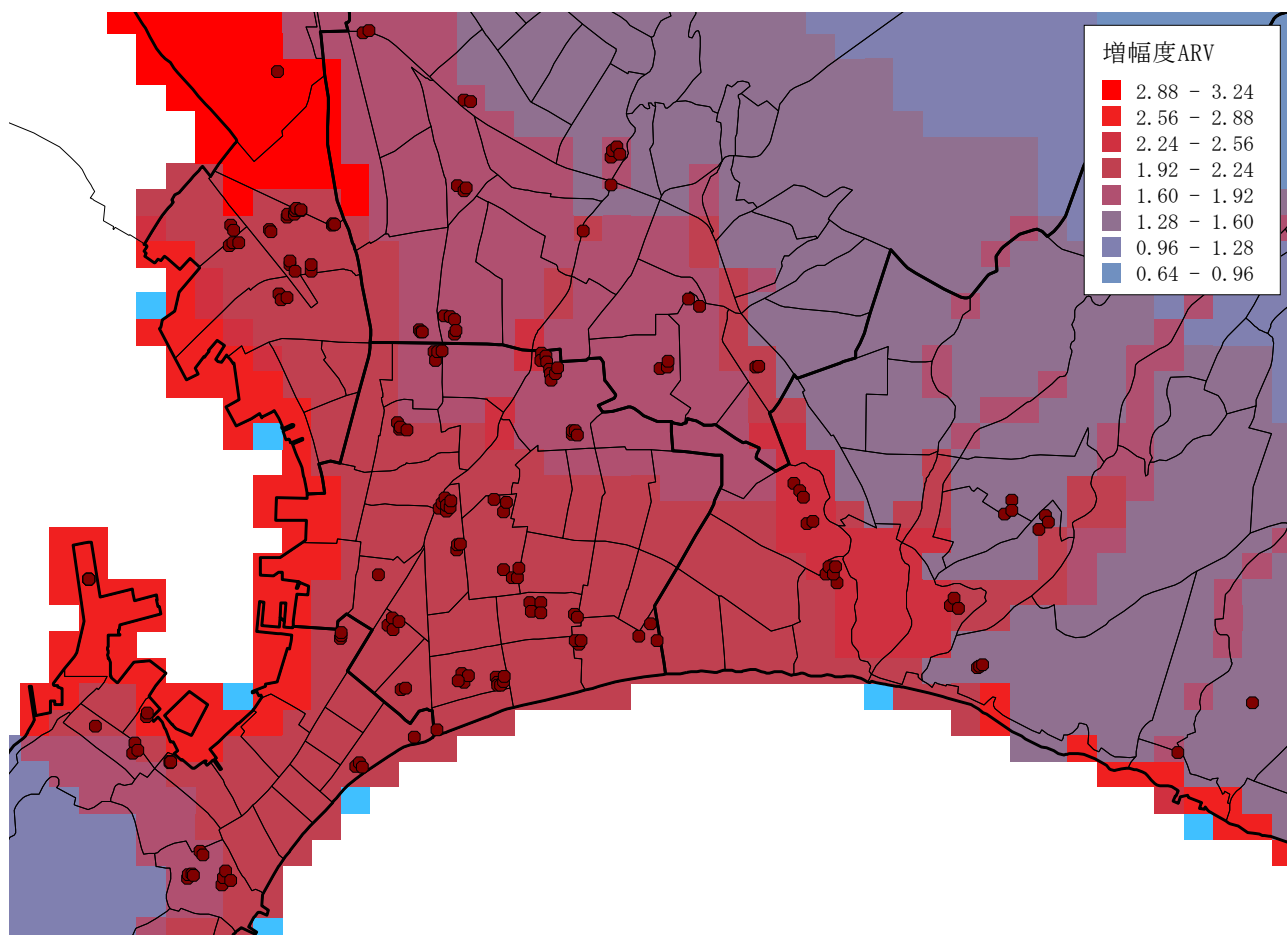


図 3-1-7 地盤増幅度の例

#### ④ 震度・最大速度を算出

工学的基盤面速度に増幅度 ARV を乗じて地表面最大速度 PGV (m/sec) を計算する。次に地表面最大速度 PGV (m/sec) から藤本・翠川 (平成 17 年)<sup>7)</sup> による計測震度と表面における最大速度の関係式である式 (1-1-7) により震度を計算する。

$$\begin{aligned} I &= 2.165 + 2.262 \cdot \log_{10}(\text{PGV}) && ( I < 4 ) \\ I &= 2.002 + 2.603 \cdot \log_{10}(\text{PGV}) - 0.213 \log_{10}(\text{PGV})^2 && ( I \geq 4 ) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} I &= 2.165 + 2.262 \cdot \log_{10}(\text{PGV}) \\ I &= 2.002 + 2.603 \cdot \log_{10}(\text{PGV}) - 0.213 \log_{10}(\text{PGV})^2 \end{aligned}} \right\} (1-1-7)$$

I : 計測震度  
PGV : 地表面における最大速度 (cm/sec)

### 【(1) 地震動の想定参考文献】

- 1) 北海道防災会議・地震火山対策部会地震対策専門委員会・想定地震見直しに係るワーキンググループ：検討報告書、平成 23 年 3 月
- 2) 独立行政法人 防災科学技術研究所 地震ハザードステーション(J-SHIS)ホームページ、  
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 3) Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T., Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, Auckland, New Zealand, January 2000.
- 4) 内閣府(防災担当):地震防災マップ作成技術資料、平成 17 年 3 月
- 5) 藤本一雄・翠川三郎：近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係、日本地震工学会論文集 第 6 巻、第 1 号、平成 18 年
- 6) 若松加寿江・松岡昌志：地形・地盤分類 250m メッシュマップ全国版の構築、日本地震工学会大会-2008 梗概集、pp. 222-223、平成 20 年 11 月
- 7) 藤本一雄・翠川三郎：近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法、地域安全学会論文集、Vol. 7、pp. 241-246、平成 17 年 11 月

## (2) 液状化危険度

### 1) 検討の流れ

液状化発生の予測には、地盤の硬さを示す指標であるN値や土質情報を用いた $F_L$ 法・ $P_L$ 法などが利用されている。しかし、これらの方法は詳細な地盤調査データが必要となるため、広域な評価単位を対象とした液状化予測には必ずしも適しているといえない。

松岡・若松・橋本(平成23年)<sup>1)</sup>は250mメッシュの地形・地盤分類から液状化危険度を推定する手法を提案している。これは最近の9地震(平成15年十勝沖地震を含む、平成12年鳥取県中部地震から平成20年岩手宮城内陸地震までの9地震)液状化の発生状況から、微地形区分ごとに震度と液状化発生確率との関係を推定したものである。

ここでは、地震動と同じ250mメッシュの地形・地盤分類データを活用でき、北海道の過去の液状化発生状況(平成15年十勝沖地震)を含んで推計されている、松岡・若松・橋本(平成23年)による手法を用いて、250mメッシュ単位の液状化危険度(液状化発生確率)を計算することとする。

図3-2-1に液状化危険度の算定の流れを示す。

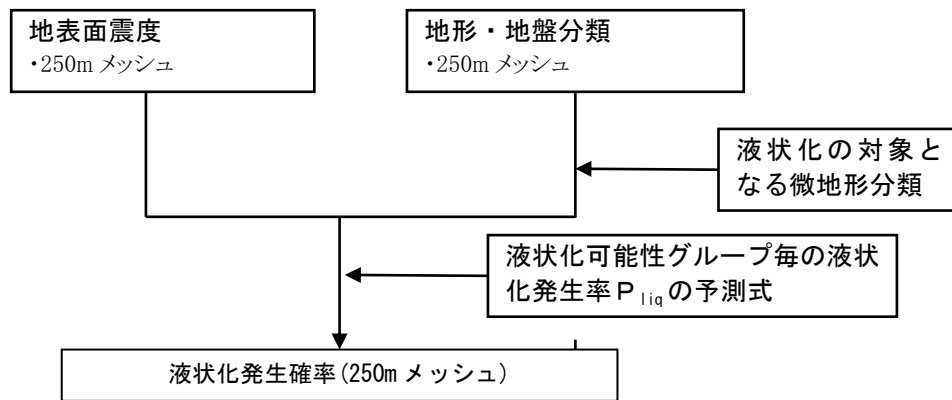


図3-2-1 液状化危険度の算定の流れ



## 2) 評価手法

### ① 液状化の対象となる地形・地盤分類

対象となる地形・地盤分類と松岡・若松・橋本(平成23年)によるグループ分類を表3-2-1に示す。液状化発生確率の判定対象とする地形・地盤分類は、液状化発生確率の非常に低い山地・台地(山地、山麓地、丘陵、火山地、火山山麓地、火山性丘陵、岩石台地、ローム台地など group5)を除いた250mメッシュ(group1~4)を対象とする。

表 3-2-1 グループと地形・地盤分類

グループ	微地形分類					
group1	NTL 自然堤防	LSD 砂丘末端緩斜面	LDB 砂丘間低地	ARC 旧河道	REC 干拓地	FLL 埋立地
group2	ALF 扇状地 (>=1/100)	AFS 扇状地 (<1/100)	BAR 砂州・砂礫州			
group3	BKM 後背湿地	DEL 三角州・海岸低地	DUN 砂丘			
group4	VBP 谷底低地 (>=1/100)	VPS 谷底低地 (<1/100)	GVT 砂礫質台地			
group5	上記以外					

### ② 液状化可能性グループ毎の液状化発生確率の予測

液状化可能性グループ毎の液状化発生率  $P_{liq}$  の予測式を式(1-2-1)に示す。また、震度と液状化発生確率との関係を図3-2-2に示す。

$$P_{liq}(I) = \Phi[(I - \mu) / \sigma] \quad \text{————— (1-2-1)}$$

表 3-2-2 液状化発生確率の予測式のパラメータ

グループ	平均値 $\mu$	標準偏差 $\sigma$
group1	6.96	0.761
group2	7.16	0.773
group3	7.906	0.933
group4	7.231	0.628

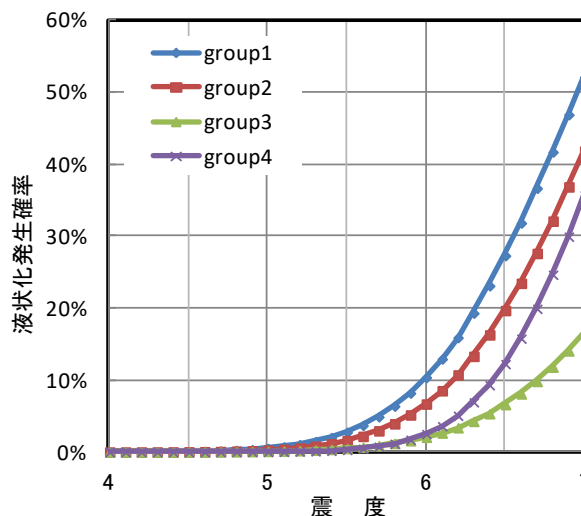


図 3-2-2 震度と液状化発生確率との関係

## 【(2) 液状化危険度の想定参考文献】

- 1) 松岡昌志、若松加寿江、橋本光史：地形・地盤分類 250mメッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法、日本地震工学会論文集、第11巻、第2号、平成23年

### (3) 急傾斜地崩壊危険度

#### 1) 検討の流れ

##### ① 使用するデータの概要

地盤崩壊危険性の予測は、北海道が指定する急傾斜地崩壊危険箇所を対象として、崩壊危険性の予測を行う。

急傾斜地崩壊危険箇所は、Ⅰ～Ⅲの分類に分かれている。地盤崩壊危険性の予測は、分類Ⅰ～Ⅲのうち特に人家に影響のある地域として、急傾斜地崩壊危険箇所現地調査表（北海道建設部土木局河川砂防課）<sup>1)</sup>が整備されているⅠ及びⅡの箇所を対象とする。対象とした箇所数は、北海道の地震被害想定で対象となった311箇所（Ⅰ：208箇所、Ⅱ：103箇所）とした。急傾斜地崩壊危険箇所の分類と被害想定対象を表3-3-1に示す。

表 3-3-1 急傾斜地崩壊危険箇所の分類

分類	説明	箇所数	崩壊危険度 想定対象
急傾斜地崩壊危険箇所Ⅰ	被害想定区域内に人家が5戸以上等（5戸未満であっても官公署、学校、病院、社会福祉施設等の災害弱者関連施設等のある場合を含む）ある箇所。	208	○
急傾斜地崩壊危険箇所Ⅱ	被害想定区域内に人家が1～4戸ある箇所。	103	○
急傾斜地崩壊危険箇所に準ずる斜面Ⅲ	被害想定区域内に人家がない場合でも、都市計画区域内であること等一定の要件を満たし、住宅等が新規に立地する可能性があると考えられる箇所。	25	×

##### ② 検討の流れ

急傾斜地崩壊危険箇所の地震時崩壊危険度評価は、急傾斜地崩壊危険箇所現地調査表を活用し、急傾斜地の状態及び対策工の有無を踏まえ、震度分布と重ね合わせることで評価する。

検討の流れを図3-3-1に示す。

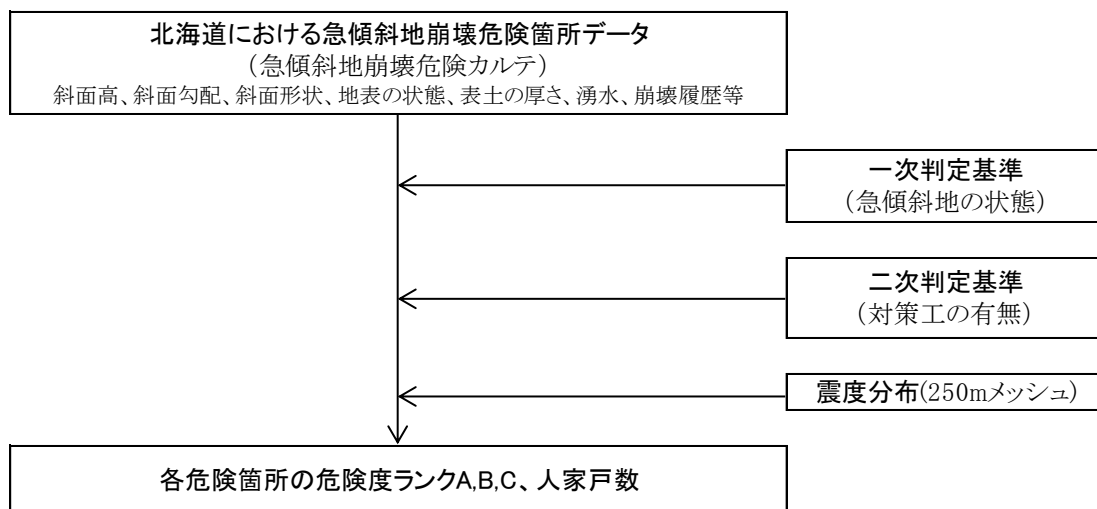


図 3-3-1 検討の流れ

## 2) 評価手法

評価手法は、一般的に自治体で用いられている、日本道路協会道路震災対策委員会(昭和61年)<sup>2)</sup>による法面・斜面耐震判定方法を採用する。

急傾斜地崩壊危険箇所現地調査表を活用し、急傾斜地崩壊危険箇所を崩壊危険度 A、B、C に判定する。地震による急傾斜地の崩壊危険度の考え方を表 3-3-2 に示す。

表 3-3-2 地震による急傾斜地の崩壊危険度の考え方

崩壊危険度	評価
A	崩壊の可能性が高い
B	崩壊の可能性がある
C	崩壊の可能性が低い

判定は三段階で行う。一次判定では、表 3-3-3 に示す 7 項目について判定基準を定め、急傾斜地崩壊危険箇所現地調査表との照合から採点を行い、点数の合計により一次判定ランク a、b、c を決定する。

表 3-3-3 斜面崩壊危険度判定基準（一次判定）

項目	小項目名	点数
斜面高	50m 以上	10
	30～50m	8
	10～30m	7
	10m 未満	3
斜面勾配	60° 以上	7
	45～60°	4
	45° 未満	1
オーバーハング 遷急線 縦断形状	オーバーハングあり、遷急線が非常に明瞭	7
	遷急線が明瞭、凸型斜面	4
	遷急線は不明瞭、直線型、凹型斜面	0
地表の状態	亀裂が発達、開溝しており転石・浮石が点在する	10
	風化、亀裂が発達した岩である	6
	礫混じり砂、砂質土	5
	粘性土	1
表土の厚さ	風化、亀裂が発達していない岩	0
	0.5m 以上	3
湧水	0.5m 未満	0
	有	2
崩壊履歴	無	1
	当該斜面に新しい崩壊地あり	5
	当該斜面に古い崩壊地あり	3
第一次判定ランク	崩壊地は認められない	0
	合計点数 24 以上	a
	合計点数 14～23	b
	合計点数 13 以下	c

二次評価では、表 3-3-4 に基づき、当該箇所に対する対策工の実施状況を加味して二次判定ランク

a'、b'、c' を決定する。

表 3-3-4 斜面崩壊危険度判定基準（二次判定）

二次判定基準	一次判定ランク		
	a	b	c
対策工なし、未完成	a'	b'	c'
対策工既成	c'	c'	c'

最後に、当該崩壊箇所に震度分布を重ね合わせ、表 3-3-5 に基づき地震時の斜面崩壊危険度判定 A、B、C を決定する。なお、急傾斜地の範囲が複数の震度メッシュに該当する場合は、その最大値を用いる。また海岸付近などで震度が計算されていない場合は直近のメッシュの震度を用いることとする。

表 3-3-5 地震時の斜面崩壊危険度

二次判定ランク	震度階級				
	～4	5弱	5強	6弱	6強～
a'	C	B	A	A	A
b'	C	C	B	A	A
c'	C	C	C	B	B

### 【(3) 急傾斜地被害の想定参考文献】

- 1) 北海道建設部土木局河川砂防課：急傾斜地崩壊危険箇所現地調査表
- 2) 日本道路協会道路震災対策委員会：道路の震災対策に関する調査報告―道路構造物の耐震調査及び震災対策後方に関する研究一、昭和 61 年

#### (4) 建物被害（揺れ、液状化、急傾斜地）

##### 1) 揺れによる建物被害

###### ① 検討の流れ

揺れによる建物被害は、木造建物・非木造建物の全壊棟数及び全半壊棟数について算定する。

算定方法としては、建物の応答解析に基づいて被害を算定する手法と、過去の地震の被害結果に基づく震度と建物被害率の関係から評価する経験的な手法の2つに分けられる。後者の経験的な手法が比較的簡便で多くの自治体で用いられている。また岡田・高井(平成16年)<sup>1)</sup>は、個別の住宅を対象として診断値と震度とから損傷度を確定的に計算する手法を提案している。これは、木造住宅の耐震精密診断(建築防災協会、平成7年)による総合評点(Is値)を指標に、震度、PGVを説明変数として、被害の程度(損傷度 Damage Index)を評価する手法である。被害想定を実施する地域の耐震診断結果の分布があれば、被害の地域性を考慮することが可能である。

本被害想定では、木造建物の被害評価手法として、岡田・高井の損傷度評価手法の考え方を採用し、北海道の木造住宅の耐震診断結果の地域分布を適用することで、北海道の地域性を考慮した被害の評価を行う<sup>2)</sup>。また、積雪荷重を考慮した耐震診断結果と考慮しない場合の診断結果とを適用することで、冬(積雪期)と冬以外(無積雪期)の被害想定を行う。なお、木造非住家の被害評価手法にも木造住家と同様の手法を適用する。

非木造建物の被害評価手法として、中央防災会議(平成18年)の経験的な手法<sup>3)</sup>を適用する。

図3-4-1に建築物被害の算定の流れを示す。

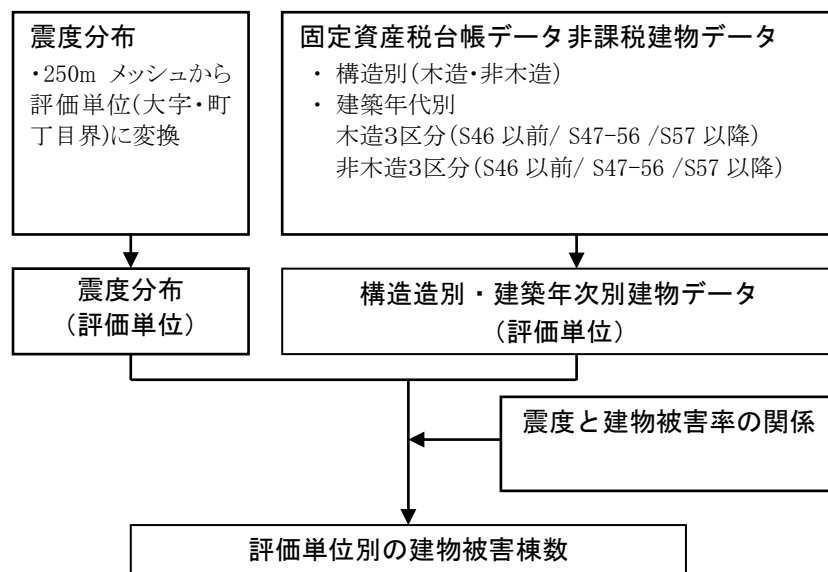


図3-4-1 揺れによる建物被害の算定の流れ

## ② 被害想定手法

### a. 建物データの構築

市町村から収集した用途別（住家、非住家）、構造別（木造、非木造）、年代別（被害計算方法に合わせた年代区分）の建物データを利用する。平成 25 年度に函館市から入手した固定資産税台帳の建物データおよび非課税建物データを用いる。

建物データの集計単位は、「GISMAP 町丁目・大字界（北海道地図株式会社、平成 24 年）」をベースに用いる。

表 3-4-1 建物データ（棟）

地区	住家木造棟数	住家非木造棟数	非住家木造棟数	非住家非木造棟数	建物
西部地区	7,446	448	726	917	9,537
中央部地区	15,465	1,163	1,048	1,131	18,807
東央部地区	15,414	1,868	1,184	1,280	19,746
北東部地区	28,853	1,841	1,070	1,288	33,052
北部地区	8,038	407	555	1,176	10,176
戸井地区	1,193	133	989	248	2,563
恵山地区	1,545	67	445	145	2,202
榎法華地区	520	17	257	62	856
南茅部地区	2,269	108	2,310	256	4,943
計	80,743	6,052	8,584	6,503	101,882

## b. 大字・町丁目界の代表震度

建物被害は、集計した大字・町丁目別に計算する。この際、被害計算には、大字・町丁目別の代表震度が必要となる。このため、250mメッシュ単位で計算された震度を大字・町丁目別に変換する必要がある。変換の方法は以下のとおりである。

国土地理院発行の数値地図 25000（地図画像）を背景として、建物の凡例を含む 250mメッシュを抽出する（図 3-4-2）。抽出されたメッシュを大字・町丁目界で分割する。分割されたメッシュごとの震度を基に、大字・町丁目界毎に面積を重み付けにした平均を計算し、大字・町丁目界の代表震度とする。

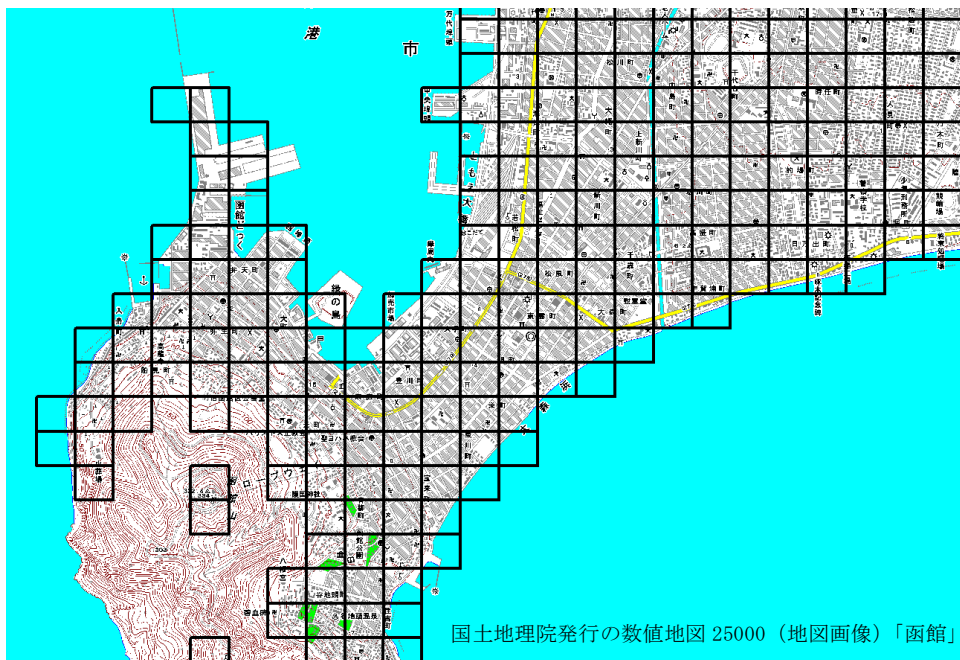


図 3-4-2 建物のあるメッシュの同定



c. 木造建物被害の予測手法

i. 一般診断法(平成 16 年)の診断結果を指標とした損傷度関数

岡田・高井の損傷度関数<sup>1)</sup>は、耐震精密診断((財)日本建築防災協会、平成 7 年)による耐震診断結果(上部構造評点=耐震診断によって計算される耐震性能を表す数値。以下、「評点」という)を指標としている。平成 16 年に改訂された(財)日本建築防災協会の一般診断法による耐震診断結果(評点)を利用するため、日本木造住宅耐震補強事業者協同組合(以下、「木耐協」という)が平成 17~20 年に行った一般診断法による耐震診断結果(評点)をもとに、損傷度関数を作成した<sup>2)</sup>。図 3-4-3 に示す。

$$F(s) = 1 - \exp(-s/\eta)^m$$

$F(s)$  : 損傷度

$s$  : 地震動強さ(気象庁震度)

$m, \eta$  :  $I_s$  値によって定まる値

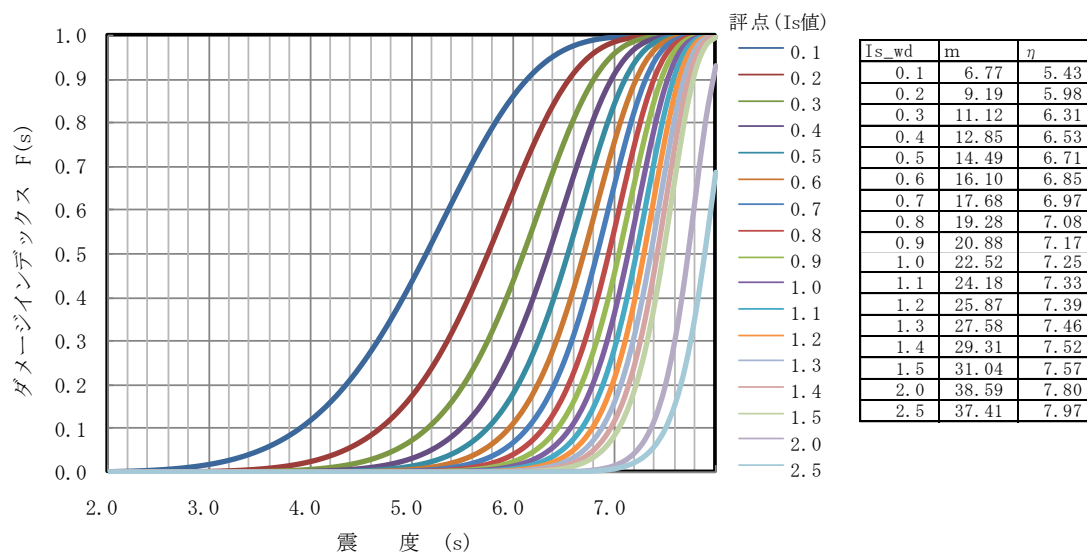


図 3-4-3 一般診断法の診断結果(評点)を指標とした損傷度関数

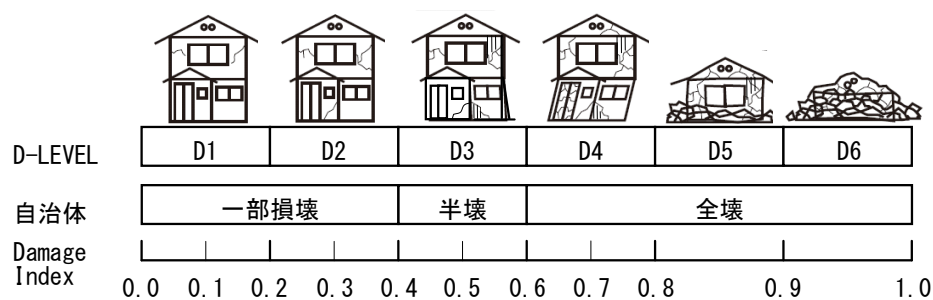


図 3-4-4 破壊パターンとダメージレベルと損傷度<sup>4)</sup>

## ii. 木造建物被害の予測手法

北海道が行った木造住家の耐震診断結果(評点)<sup>※1</sup>を基に、積雪荷重がない場合の建築年代別の耐震診断結果(評点)の統計分布を推定した。結果を図3-4-5に示す。

地域における被害レベルごとの震度と被害率との関係は、道内の木造住家の年代別の耐震診断結果(評点)が一様に分布していると仮定し、一般診断法の耐震診断結果(評点)を指標とした損傷度関数から計算した<sup>2)</sup>。

なお、診断結果件数が少ない昭和46年以前の診断結果の分布について、件数の少なさによる偏りを補正するため、全国の耐震診断結果<sup>※2</sup>を用いてベイズ更新を行うことによって分布を見直した。

結果を図3-4-6に示す。函館市は、垂直積雪量100センチメートル未満の区域<sup>※2</sup>のため、冬季についても同じ被害率関数を用いて計算する。

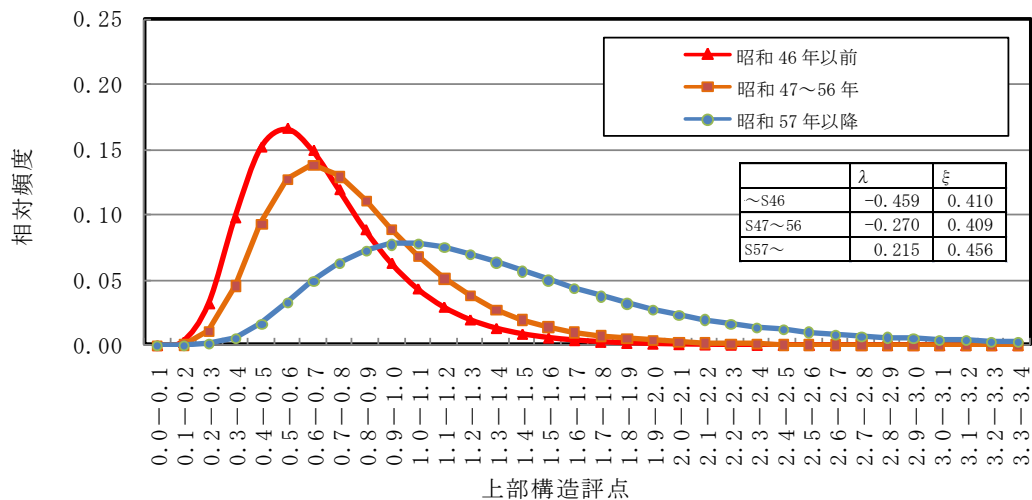
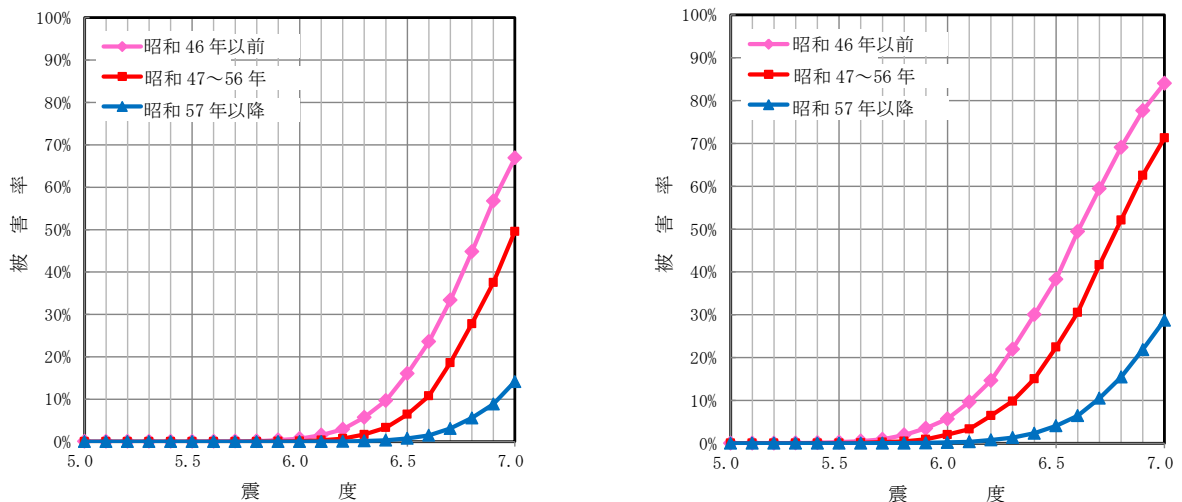


図3-4-5 建築年代別の耐震診断結果(評点)の分布

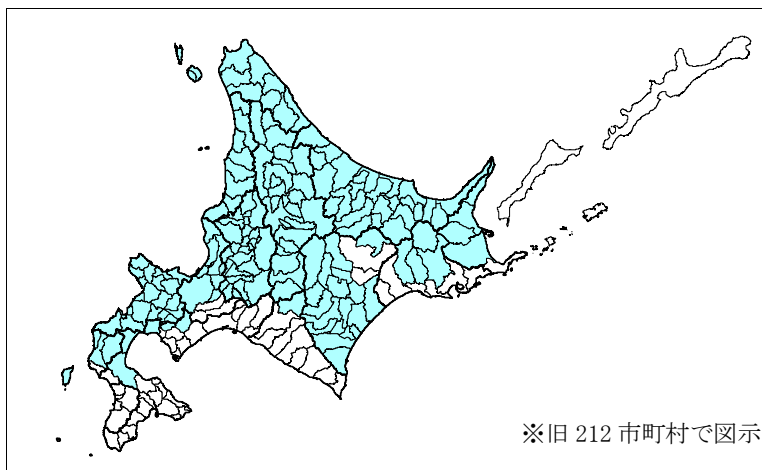


a) 建築年代別の震度と全壊率との関係

b) 建築年代別の震度と全半壊率との関係

図3-4-6 年代別の震度と被害率との関係

- ※ 1 北海道建設部住宅局建築指導課が、一般居住者を対象に実施した木造住宅の無料耐震診断のうち、平成 18 年から 21 年までの診断結果 433 件を利用した。
- ※ 2 日本木造住宅耐震補強事業者協同組合（木耐協）が、全国を対象に実施した一般診断結果
- ※ 3 建築基準法施行細則第 17 条第 1 項で規定される建築基準法施行細則第 17 条第 1 項で規定する多雪区域（垂直積雪量 100 センチメートル以上の区域）



〈参考〉 建築基準法施行細則第 17 条第 1 項で規定される多雪区域  
（垂直積雪量 100 センチメートル以上の区域）

〈参考〉 木造建物の震度と被害率との関係

前出の条件を基に計算した、木造建物の震度と被害率との関係について参考に掲載する。

〈被害棟数の算定式〉

$$\begin{aligned} \text{全壊棟数} &= (\text{各年代別の木造建物棟数} \times \text{震度による全壊被害率}) \\ \text{全半壊棟数} &= (\text{各年代別の木造建物棟数} \times \text{震度による全半壊被害率}) \\ \text{半壊棟数} &= \text{全半壊棟数} - \text{全壊棟数} \end{aligned}$$

木造建物の震度と被害率の関係

震度	全壊被害率			全半壊被害率		
	S46 以前	S47 -56	S57 以降	S46 以前	S47 -56	S57 以降
5.0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5.1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5.2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5.3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5.4	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
5.5	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
5.6	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.1%	0.0%
5.7	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	0.2%	0.0%
5.8	0.1%	0.0%	0.0%	1.9%	0.4%	0.0%
5.9	0.4%	0.1%	0.0%	3.5%	0.9%	0.1%
6.0	0.7%	0.1%	0.0%	5.7%	2.0%	0.2%
6.1	1.5%	0.3%	0.0%	9.7%	3.3%	0.3%
6.2	2.9%	0.7%	0.1%	14.6%	6.4%	0.8%
6.3	5.7%	1.7%	0.1%	22.0%	9.8%	1.3%
6.4	9.7%	3.3%	0.3%	30.0%	15.0%	2.3%
6.5	16.0%	6.4%	0.8%	38.3%	22.4%	4.1%
6.6	23.5%	10.8%	1.5%	49.4%	30.6%	6.4%
6.7	33.3%	18.6%	3.1%	59.4%	41.6%	10.5%
6.8	44.8%	27.8%	5.6%	69.1%	52.1%	15.5%
6.9	56.7%	37.5%	8.8%	77.7%	62.6%	21.8%
7.0	66.9%	49.6%	14.1%	84.0%	71.3%	28.7%

#### iv. 非木造建物被害の予測手法

中央防災会議の経験的な手法は、評価単位毎に算定された震度を基にして構造別・建築年代別の被害率を求め、評価単位毎の構造別・建築年代別の棟数に掛け合わせ合算することで算定される。

以下に被害棟数の算定式と震度と被害率の関係を示す。

〈被害棟数の算定式〉

$$\begin{aligned} \text{全壊棟数} &= (\text{各年代別の非木造建物棟数} \times \text{震度による全壊被害率}) \\ \text{全半壊棟数} &= (\text{各年代別の非木造建物棟数} \times \text{震度による全半壊被害率}) \\ \text{半壊棟数} &= \text{全半壊棟数} - \text{全壊棟数} \end{aligned}$$

表 3-4-2 非木造建物の震度と被害率の関係

震度	全壊被害率			全半壊被害率		
	S46 以前	S47 -56	S57 以降	S46 以前	S47 -56	S57 以降
5.0	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%
5.1	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.2%	0.0%
5.2	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.4%	0.1%
5.3	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	0.7%	0.1%
5.4	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%	1.1%	0.2%
5.5	0.2%	0.2%	0.0%	2.5%	1.8%	0.3%
5.6	0.4%	0.4%	0.1%	3.7%	2.7%	0.6%
5.7	0.7%	0.6%	0.1%	5.5%	4.0%	0.9%
5.8	1.2%	1.0%	0.2%	7.8%	5.8%	1.4%
5.9	2.0%	1.7%	0.4%	10.8%	8.2%	2.1%
6.0	3.1%	2.6%	0.6%	14.6%	11.2%	3.1%
6.1	4.8%	3.9%	1.0%	19.1%	15.0%	4.5%
6.2	7.2%	5.8%	1.5%	24.5%	19.6%	6.4%
6.3	10.4%	8.2%	2.3%	30.5%	24.9%	8.8%
6.4	14.5%	11.4%	3.3%	37.2%	30.9%	11.8%
6.5	19.5%	15.4%	4.8%	44.2%	37.4%	15.5%
6.6	25.5%	20.2%	6.7%	51.5%	44.3%	19.8%
6.7	32.3%	25.8%	9.1%	58.6%	51.4%	24.9%
6.8	39.7%	32.2%	12.2%	65.5%	58.5%	30.6%
6.9	47.6%	39.1%	15.9%	72.0%	65.3%	36.7%
7.0	55.6%	46.3%	20.2%	77.7%	71.6%	43.3%

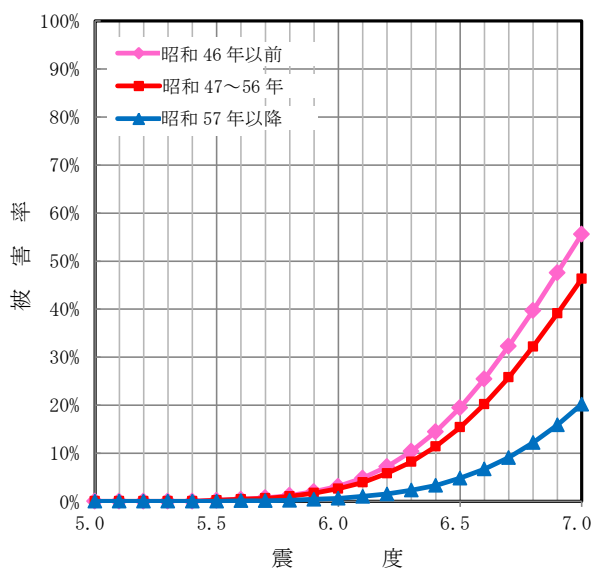


図 3-4-7 震度と非木造全壊率との関係

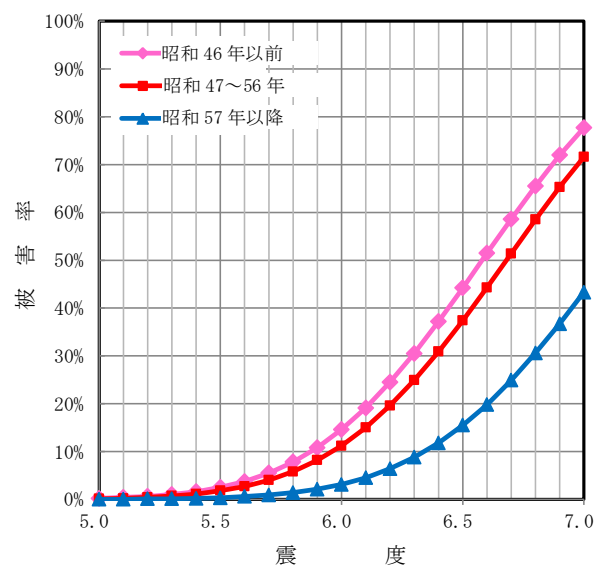


図 3-4-8 震度と非木造全半壊率との関係

## 2) 液状化による建物被害

### ① 検討の流れ

液状化危険度の想定では、一般的に自治体で利用されている、計算した液状化発生確率と収集した建物データから、過去の地震における液状化による建物被害率を用いて、全壊棟数および半壊棟数を計算する方法を用いる。液状化による建物被害の算定の流れを図 3-4-9 に示す。

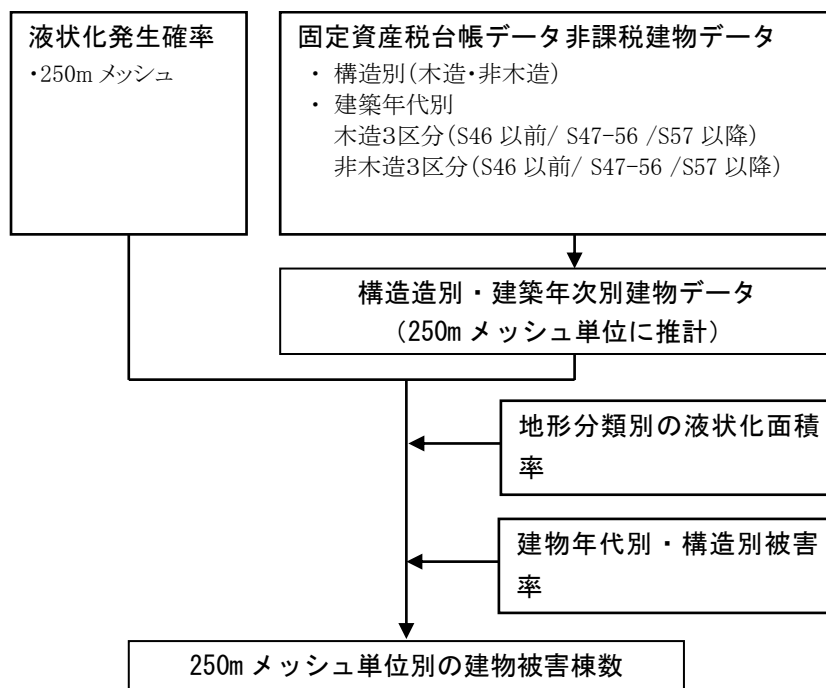


図 3-4-9 液状化による建物被害の算定の流れ

## ② 被害想定手法

液状化による被害計算式を次式に示す。液状化面積率については、昭和 58 年日本海中部地震および平成 16 年新潟県中越地震に加え、過去の地震の液状化面積率を参考に損害保険料率算出機構<sup>5)</sup>がまとめた表 3-4-3 を利用する。液状化面積率が整理されていない砂礫質台地については、松岡・若松・橋本(平成 23 年)の液状化危険度予測式で砂礫が広く堆積する同じグループとされている谷底低地と同じ液状化面積率とする。

液状化による建物被害率について、中央防災会議(平成 18 年)では半壊率が示されていない。ここでは、中央防災会議(平成 18 年)のもととなった静岡県(平成 13 年)・愛知県(平成 15 年)の手法を参照して、液状化発生地域内の全壊率・半壊率を設定した埼玉県(平成 19 年)<sup>6)</sup>による被害率を用いる。

木造の被害率については静岡県(平成 13 年)の大破・中破率を、東京都(平成 18 年)を参考にして、全壊・半壊の 7 割程度と仮定して、全壊率・半壊率が設定されている。非木造の被害率については愛知県(平成 15 年)の大破・中破率を、東京都(平成 18 年)を参考にして、非木造の場合は全壊・半壊と同等と設定されている。建物種別と液状化による建物被害率を表 3-4-4 に示す。

非木造建物の杭の有無別の建物棟数については、東京都(平成 18 年)を参考にして、4F 以上の建物及び、昭和 47 年以降の 1~3F の建物の 20%を杭ありと推計する。

<被害棟数の算定式>

$$\text{被害棟数} = (\text{液状化発生確率}) \times (\text{液状化面積率}) \times (\text{建物被害率}) \times (\text{各年代} \cdot \text{杭の有無別の建物棟数})$$

表 3-4-3 液状化面積率

微地形分類	液状化面積率
扇状地型谷底低地	3%
デルタ型谷底低地	3%
急勾配扇状地	1%
緩勾配扇状地	1%
自然堤防	10%
後背湿地	3%
旧河道	25%
三角州・海岸低地	2%
砂州・砂礫州	5%
砂丘間低地	5%
砂丘	5%
埋立地	20%

表 3-4-4 建物種別と液状化による建物被害率

区分	木造		非木造	
	35 年以前	36 年以降	杭なし	杭あり※
全壊率	19.0%	13.7%	23.0%	0.0%
半壊率	18.4%	25.7%	30.0%	0.0%

※ 杭あり：4F 以上の建物及び S47 以降の 1~3F の建物の 20%

### 3) 急傾斜地崩壊による建物被害の想定

#### ① 検討の流れ

急傾斜地崩壊による建築物被害は、「(3)急傾斜地崩壊危険度」によって判定した斜面崩壊危険度判定ランク及び、急傾斜地崩壊危険箇所現地調査表で把握されている影響人家戸数を使用し、棟数<sup>7)</sup>換算して危険度ランク別崩壊確率及び震度別人家被害率を掛け合わせることで被害住家棟数を推計する。検討の流れを図 3-4-10 に示す。

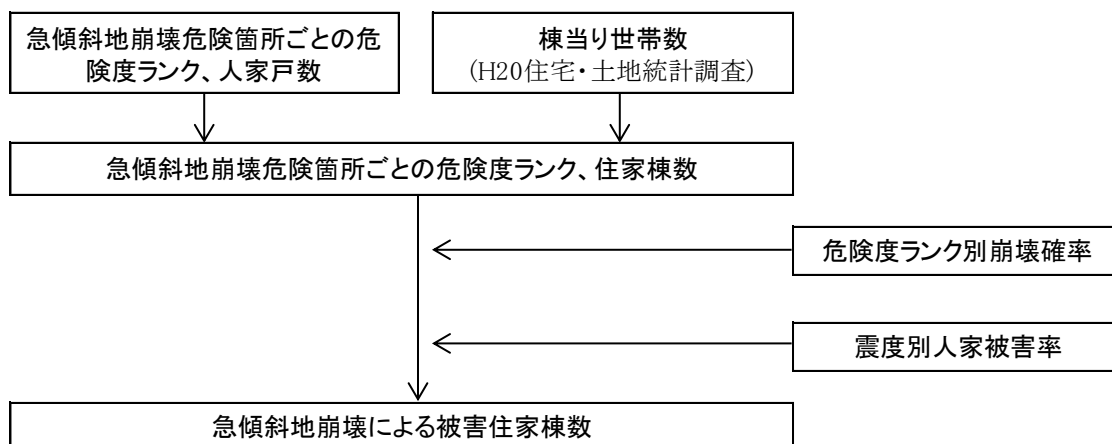


図 3-4-10 検討の流れ

#### ② 被害想定手法

評価手法は、危険度箇所内の人家棟数に、危険度ランク別崩壊確率及び震度分布に基づく震度別人家被害率を乗じて算出する鳥取県(平成 17 年)<sup>8)</sup>の手法を用いる。

$$\text{急傾斜地崩壊による住家被害棟数} = \text{危険度箇所内の影響住家棟数} \times \text{危険度ランク別崩壊確率 (表 3-4-5)} \times \text{震度別人家被害率 (表 3-4-6)}$$

鳥取県(平成 17 年)では、昭和 53 年宮城県沖地震での被害事例を参考に危険度ランク別崩壊確率を設定している(表 3-4-5 参照)。また、震度別人家被害率を、昭和 53 年宮城県沖地震と伊豆大島近海地震での被害事例を参考に設定している(表 3-4-6 参照)。

表 3-4-5 危険度ランク別崩壊確率

危険度ランク	崩壊率
A (崩壊の可能性が高い)	59%
B (崩壊の可能性がある)	12%
C (崩壊の可能性が低い)	0%

表 3-4-6 震度別人家被害率

	震度階級					
	～4	5弱	5強	6弱	6強	7
全壊率	0.0%	2.5%	5.5%	8.0%	11.0%	14.0%
半壊率	0.0%	6.0%	13.0%	19.0%	26.0%	33.0%

#### 【(4) 建物被害（揺れ、液状化、急傾斜地）の想定参考文献】

- 1) 岡田、高井：木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用－地震動入力を確定的に扱う場合－、日本建築学会構造系論文集、第 582 号、平成 16 年
- 2) 竹内、岡田、戸松、南、石井：北海道の木造住宅の診断結果を考慮した建物被害予測手法の検討、日本建築学会北海道支部研究報告集、No. 83、平成 25 年 6 月
- 3) 中央防災会議・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：第 17 回日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について、平成 18 年 1 月
- 4) 岡田、高井：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集、第 524 号、pp. 65-72、平成 11 年
- 5) 損害保険料率算出機構：微地形区分データを用いた広域の液状化発生予測手法に関する研究、地震保険研究 15、pp. 74、平成 20 年 6 月
- 6) 埼玉県：平成 19 年度埼玉県地震被害想定調査報告書、平成 19 年
- 7) 総務省統計局：住宅の建て方(4 区分)、構造(2 区分)、階数(4 区分)別むね数一市区町村、住宅・土地統計調査、平成 20 年
- 8) 鳥取県：鳥取県地震防災調査研究報告書、平成 17 年 3 月



## (5) 火災被害

発生時刻および季節について、冬の早朝および夕方、夏の昼間を想定し、火災被害（出火件数、焼失棟数）を検討した。

### 1) 出火件数の検討の流れ

地震時に発生する全ての出火件数と家人、隣人、自主防災組織等の初期消火による効果を踏まえて、残りの組織的な消防力が必要とされる炎上出火件数を評価する。

本被害想定では、阪神・淡路大震災時の揺れによる建築物の倒壊と出火の関係に基づいた出火件数の評価手法である中央防災会議(平成18年)<sup>1)</sup>の方法を用いる。

出火件数の算定の流れを図3-5-1に示す。

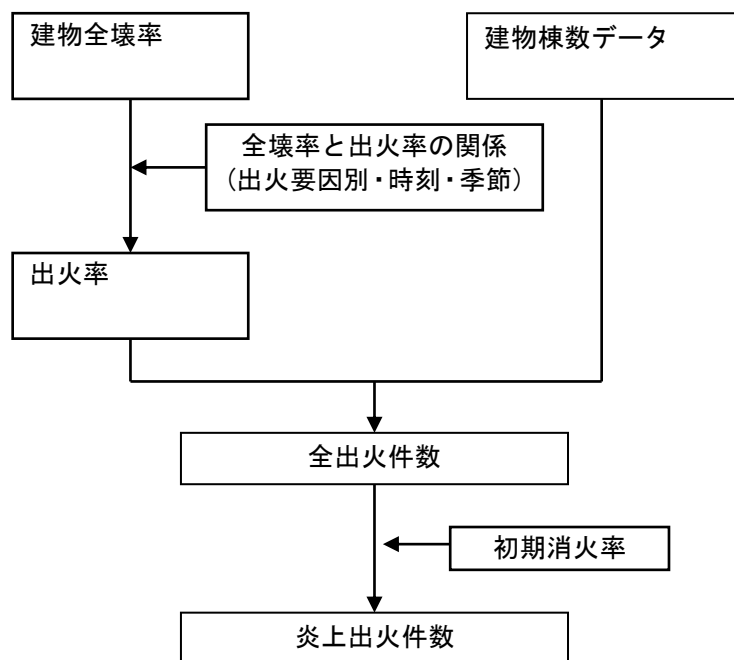


図3-5-1 出火件数の算定の流れ

※ 全出火件数 = 初期消火件数 + 炎上出火件数

## 2) 出火件数の被害想定手法

全出火件数の算定手法を以下に示す。

〈全出火件数の算定式〉

$$\text{全出火件数} = \text{住家棟数} \times \text{出火率}$$

阪神・淡路大震災の建築物全壊と出火の関係に基づき標準出火率が設定される。

$$\text{出火率} = \text{要因別出火率} \times 0.0011 \times (\text{揺れによる建物全壊率})^{0.73} \times \text{時刻係数} \times \text{季節係数}$$

住家からの出火を想定し、出火要因は一般火器具（ガス・コンロ・石油ストーブ等）、電熱器具（電気ストーブ・電気コンロ等）、電気機器・配線（電気製品、屋内配線）とする。一般火器具及び電熱器具は、季節や時間帯によって使用率に差が生じるため、時刻と季節を考慮する。出火要因別の出火率と時刻係数、北海道の季節係数を表 3-5-1 に示す。

表 3-5-1 要因別出火率と時刻係数、季節係数

出火要因	要因別出火率	時刻係数			季節係数（北海道）				
		5時	12時	18時	春	夏	秋	冬 18時	冬 5時
一般火器具	16.4%	1.0	5.5	12	2.29	0.14	2.29	3.01	3.33
電熱器具	32.7%								
電気機器・配線	32.6%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

出火率の算定式と表 3-5-1 から要因別の出火率は、

a) 一般火器具

$$\text{出火率 a} = R_1 \times (\text{揺れによる建物全壊率})^{0.73}$$

ただし  $R_1$  は、冬 5 時：0.00060、夏 12 時：0.00014、冬 18 時：0.00652

b) 電熱器具

$$\text{出火率 b} = R_2 \times (\text{揺れによる建物全壊率})^{0.73}$$

ただし  $R_2$  は、冬 5 時：0.00120、夏 12 時：0.00028、冬 18 時：0.01299

c) 電気機器・配線

$$\text{出火率 c} = 0.00036 \times (\text{揺れによる建物全壊率})^{0.73}$$

以上から出火率は、各火災要因別の出火率を合計した値となる。全出火件数の算定手法を以下に示す。

$$\text{出火率} = \text{出火率 a} + \text{出火率 b} + \text{出火率 c}$$

炎上出火件数の算定手法を以下に示す。

〈炎上出火数の算定式〉

$$\text{炎上出火件数} = (1 - \text{初期消火率}) \times (\text{全出火件数})$$

表 3-5-2 初期消火率

震 度	初期火率
震度 5 弱～5 強	78.6%
震度 6 弱～6 強	51.8%
震度 7	43.9%

### 3) 焼失棟数の検討の流れ

延焼による火災被害（焼失棟数）の計算方法としては、市街地をメッシュ区画に分割して予測する手法や建物単体のデータを用いる手法がある。メッシュ区画に基づいた方法では、メッシュ内は均一な市街地として扱われ、大規模空地など延焼遮断効果が反映されにくい。また出火点の位置を仮定する必要があり、位置により被害数が変わる。

ここでは、建物の延焼限界距離や隣棟間隔など市街地の空間特性を考慮でき、出火点を仮定することなく市街地の焼失棟数の期待値を算出できる、建物単体データを用いた火災被害の計算方法として加藤ら（平成 18 年）の延焼クラスターに基づく焼失棟数の予測手法<sup>2)</sup>を用いる。加藤ら（平成 18 年）の手法は、中央防災会議（平成 24 年）や東京都（平成 24 年）、横浜市（平成 24 年）などで利用されている。

延焼クラスターとは、建物構造から延焼限界距離を求め、この距離内に連坦する建物群を一体的に延焼する可能性があると思なしたものである。

図 3-5-2 に火災被害（焼失棟数）の検討の流れを示す。

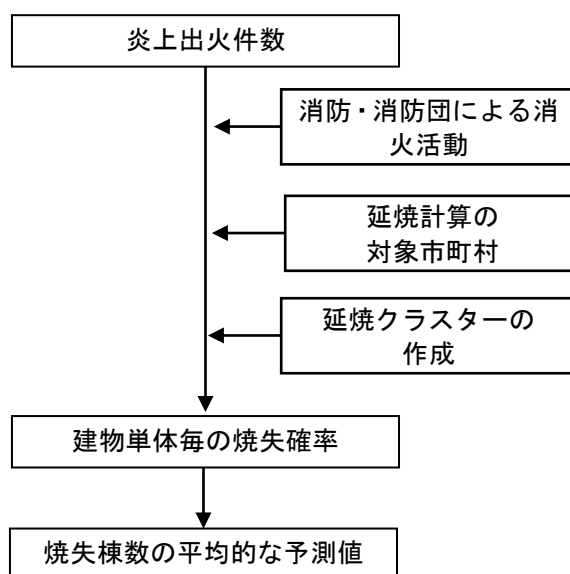


図 3-5-2 焼失棟数の検討の流れ

#### 4) 焼失棟数の評価手法

##### ① 消防運用（消火可能火災件数と残火災件数）

消防運用には、風向・風速や延焼速度から火面延長を求め、現有の消防力・拠点からの到達時間などから消火可能件数を計算する方法と、消防ポンプ自動車数・小型動力ポンプ数及び消防水利数などから経験的に消火可能件数を計算するマクロ式を利用する方法とがある。

ここでは全道の火災被害をマクロに捉える観点から、中央防災会議(平成 24 年)<sup>3)</sup>や愛知県(平成 15 年)<sup>4)</sup>、札幌市(平成 20 年)<sup>5)</sup>で利用されている現況の消防力と阪神・淡路大震災での消火実績等をもとにしたマクロ式を利用し、市町村単位の消火可能件数を算定する。

予測式を下記に示す。阪神・淡路大震災の事例（平均風速 3m/s）をもとに推計された式である。予測式は、発災 1 時間後に出勤可能な場合の消防運用に該当する。

$$\text{消火可能火災件数} = 0.3 \times (\text{消防ポンプ自動車数}/2 + \text{小型動力ポンプ数}/4) \\ \times \{1 - (1 - 3.14 \times 140^2 / \text{宅地面積}(\text{m}^2))^{\text{水利数}}\}$$

$$\text{残出火件数} = \text{炎上出火件数} - \text{消火可能火災件数}$$

消火可能件数を市町村毎にマクロに計算するにあたり以下の仮定を行った。

現有の消防力（消防ポンプ自動車数・小型動力ポンプ数及び消防水利数）は、「平成 27 年消防年報・北海道」の統計資料を元に推計する。消防組合毎に消防力がまとめられている場合、人口規模に基づいて市町村毎に按分する。ただし、地震時には水道管破損のため消火栓は用できない可能性が高いため、消防水利数に消火栓を含まないこととする。市町村単位の市街地面積（宅地面積）は、市町村毎の統計値がないことから、全道の宅地面積（平成 25 年度土地所有・利用の概況、国土交通省土地・建設産業局土地市場課資料）を収集した建物棟数で按分することで推計する。

## ② 延焼計算の対象市町村

出火が火災延焼に繋がる恐れのある建物密度の高い地域として、市町村の境域内で人口密度の高い地域として設定された平成 22 年度国勢調査による人口集中地区（DID）を含む都市計画区域（ゾーン区域）を選定した。上記市町村の該当地域は都市計画基礎調査により建物単体データが整備されており、想定地震により残火災件数が見込まれる場合は、延焼クラスターに基づく焼失棟数の予測を行う。

上記以外の市町村は、基本的に延焼しないとし、炎上出火件数をそのまま焼失棟数とする。

函館市の場合、旧函館市地区については、想定地震により残火災件数が見込まれる場合は、延焼クラスターに基づく焼失棟数の予測を行う。恵山地区、戸井地区、榎法華地区、南茅部地区については炎上出火件数をそのまま焼失棟数とする。

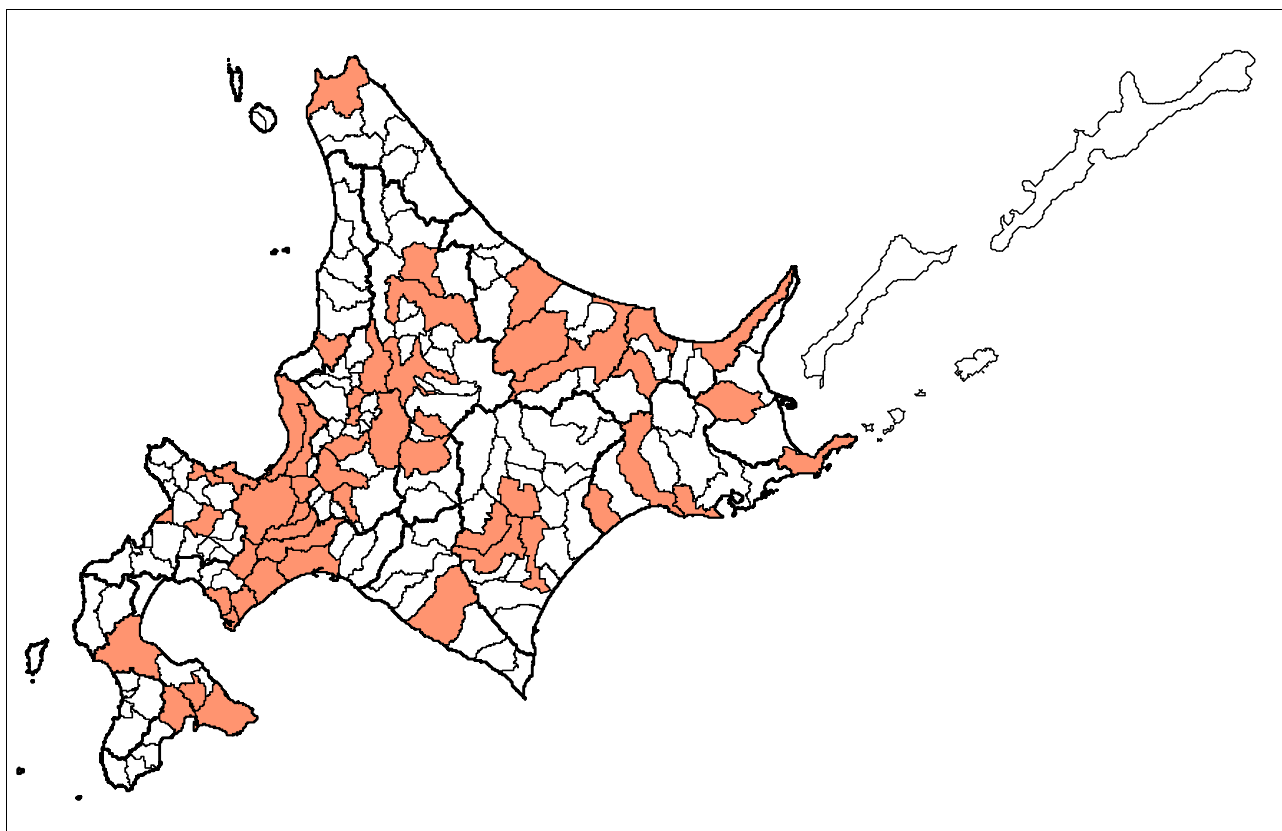


図 3-5-3 人口集中地区（DID）を含む都市計画区域をもつ市町村

### ③ 延焼クラスターの作成

各地域の都市計画基礎調査の建物単体データを用いて、延焼クラスターを作成する。

#### a. 構造の推定

延焼限界距離を計算するために、建物単体データを「裸木造」「防火造」「準耐火造」「耐火造」に分類する。都市計画基礎調査の構造分類は「木造」「簡易耐火造」「耐火造」「不明」であるため、以下のとおりに仮定する。

建物構造については、平成 22 年度函館市都市計画基礎調査の構造種別を用いる。ただし、構造不明のもの、木造の裸木造・防火木造の区別は次のとおり仮定する。

##### ○構造未記入のもの

- ・住居系（建物用途 中分類 4）のもので、面積が 20 m<sup>2</sup>以下のものは、置き物置や置き車庫と推定することができることから、その火災性状を考慮し、準耐火造とする。
- ・住居系（建物用途 中分類 4）のもので、面積が 300 m<sup>2</sup>以上のものに関しては耐火造とする。
- ・それ以外の住居系は、木造とする。
- ・その他の用途で、面積が 1,000 m<sup>2</sup>以下のものは木製の倉庫等も考えられることから、安全側を考慮し木造とする。
- ・棟番号が 2 以上の場合は、主となる建物の用途を考慮し決定する
- ・1,000 m<sup>2</sup>を超えるものは耐火造とする。

##### ○裸木造と防火木造の区別

建築年が昭和 35 年以前の木造を裸木造と仮定し、函館市が設定した防火地域・準防火地域見直しの対象区域内の裸木造該当建物及び最大焼損面積が 5000 m<sup>2</sup>を超えるクラスター内の裸木造該当建物についてのみ平成 26 年度に函館市において「準防火地域の見直しに関わる数値解析」の際に実施した構造判定調査を行い、裸木造・防火造の構造判定を行う。

#### b. 延焼限界距離の計算

国土交通省総合技術開発プロジェクト「まちづくりにおける防災性能評価・対策技術の開発（平成 10～14 年度）」<sup>8)</sup>で示された各構造の延焼限界距離の算定式を用いる。

##### ○裸木造：

$$D = 12 \cdot \left( \frac{a}{10} \right)^{0.442} = 4.34 \cdot a^{0.442} \quad [\text{m}]$$

##### ○防火造：

$$D = 6 \cdot \left( \frac{a}{10} \right)^{0.322} = 2.86 \cdot a^{0.322} \quad [\text{m}]$$

##### ○準耐火造：

$$D = 3 \cdot \left( \frac{a}{10} \right)^{0.181} = 1.98 \cdot a^{0.181} \quad [\text{m}]$$

##### ○耐火造：

$$D = 0 \quad [\text{m}]$$

\* 建築面積を A[m<sup>2</sup>]とすると a=√A

ここで、耐火造の延焼限界距離を 0m としているが、これは耐火造を空地と同等の防火的機能を有するものとするによる。

### c. バッファーによるクラスターの作成

市街地の中で各建物から構造・規模に応じて延焼限界距離の半分のバッファーを発生させ、その論理的和集合を取ることで、それぞれの建物間に延焼経路を持つクラスターを作成する。



図 3-5-4 延焼クラスターの例

### d. 焼失棟数の予測

以下の方法で、焼失棟数の平均的な予測値を計算する。

i 評価単位ごとの炎上出火件数から、建物単体の出火確率を設定する。

ii 建物の焼失確率は、建物が属するクラスターから1件以上出火する確率に等しいことから、クラスターを構成する建物を  $n$  棟、クラスターに属する建物の出火確率の平均値を  $\bar{p}$  とすると、各建物の焼失確率  $P$  は、次の式で求められる。

$$P = 1 - \exp(-n\bar{p})$$

iii 集計単位（評価単位など）における焼失棟数の平均的な予測値  $\chi$  は、集計単位に含まれる建物の焼失確率  $P$  の総和に等しくなることから、次の式で求められる。

$$\chi = \sum P$$

なお、ここで焼失棟数の対象となる建物は都市計画基礎調査において「母屋」となっているデータを用いることとする。

### 【(5)火災被害の想定参考文献】

- 1) 中央防災会議・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：第17回日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について、平成18年1月
- 2) 加藤孝明・程洪・亜力坤玉素甫・山口亮・名取晶子：建物単体データを用いた全スケール対応・出火確率統合型の地震火災リスクの評価手法の構築、地域安全学会論文集 No. 8、平成18年
- 3) 中央防災会議・防災対策推進検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告)資料2-1 南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、平成24年8月
- 4) 愛知県防災会議地震部会：愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書―想定地震に基づく被害想定―、平成15年3月
- 5) 札幌市：平成19年度地震動及び被害の評価事業報告書、平成20年3月
- 6) 岡田成幸・戸松誠・西川忠：7. 北海道の住家の耐震性(北海道・東北地方の地震防災力向上を目指して)、自然災害科学、vol. 23、No4、pp. 489-495、平成17年
- 7) 戸松誠・大柳佳紀、南慎一：北海道旭川市における都市防火性能評価による防火地域・準防火地域指定基準の策定、日本建築学会計画系論文集、第75巻、平成22年
- 8) 国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクトまちづくりにおける防災性能評価・対策技術の開発、平成15年3月



(6) 人的被害（揺れ・火災・急傾斜地による死傷者数、避難者数）

1) 揺れによる人的被害

① 検討の流れ

a. 死者数の予測

地震による人的被害は、建物倒壊、火災、津波、ブロック塀などの転倒、土砂災害、また避難生活のストレスによるものなどによって発生することが予想される。ここでは阪神・淡路大震災の死者の大部分が家屋の倒壊などによる圧死が占めていたことから、建物被害を主な要因とする死傷者数の算定手法を用いる。

木造建物の死者数の評価手法は、死者発生に強く関係のある住宅の崩壊形態（損傷度）を考慮し、対象建物周辺の全壊率という地域性を考慮している田畑・岡田（平成 19 年）<sup>1)</sup>の手法を用いる。

非木造建物の死者数の評価手法は、中央防災会議（平成 18 年）<sup>2)</sup>の全壊棟数と建築物倒壊による死者数の関係式を適用する。

建物倒壊による死者数の算定の流れを図 3-6-1 に示す。

発生時間ごとの人口動態（施設内滞留人口など）が死傷者発生に関わる大きな要因とされているため、冬の早朝、夏の昼間、冬の夕方の場合を想定する。

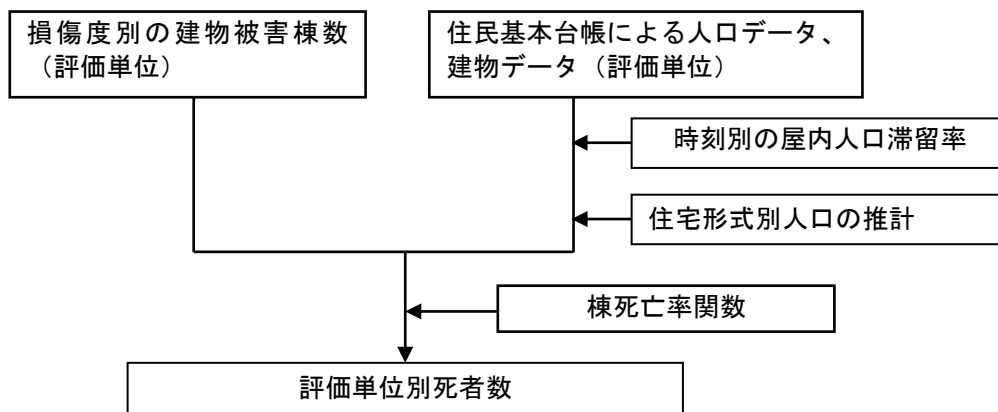


図 3-6-1 建物倒壊による死者数の算定の流れ

## b. 負傷者数・重傷者数の予測

負傷者数・重傷者数の評価手法は、阪神・淡路大震災における建物被害率と負傷者率との関係及び負傷者に占める重傷者の割合（重傷者比率）を用いた大阪府の手法（平成9年）<sup>3)</sup>を適用する。

建物倒壊による負傷者数・重傷者数の算定の流れを図3-6-2に示す。

発生時間ごとの人口動態（施設内滞留人口など）が死傷者発生に関わる大きな要因とされているため、冬の早朝、夏の昼間、冬の夕方の場合を想定する。

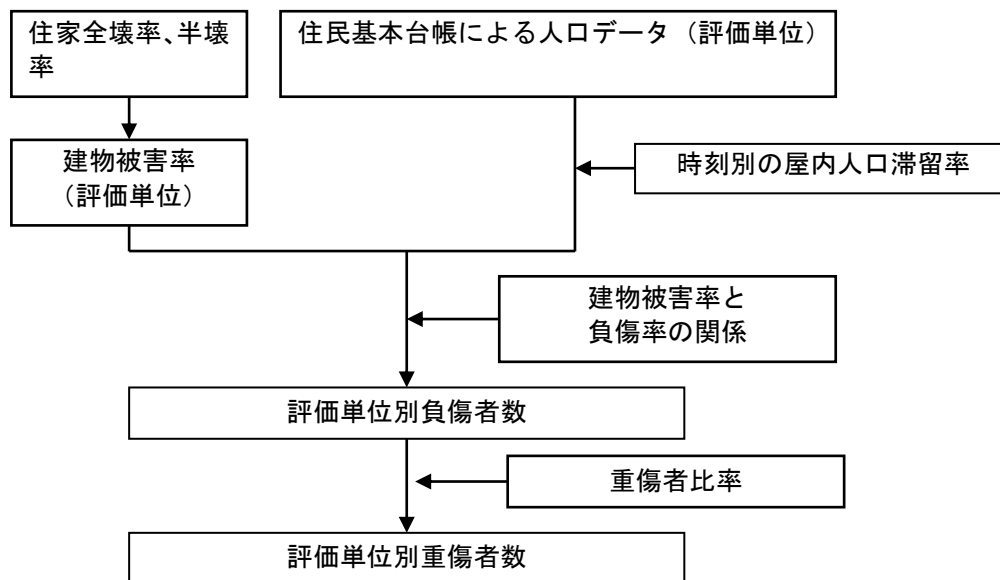


図3-6-2 建築物倒壊による負傷者数・重傷者数の算定の流れ

## ② 被害想定手法

### a. 人口データの構築

市町村から収集した年齢構成別の人口データを利用する。函館市の人口は、平成 25 年 1 月末日時点の住民基本台帳である。集計単位は、建物データと同様に「GISMAP 町丁目・大字界（北海道地図株式会社、平成 24 年）」をベースに用いる。

表 3-6-1 人口データ（人）

地区	15 歳未満	15 歳～65 歳未満	65 歳以上	計
西部地区	1,944	12,060	8,015	22,019
中央部地区	5,022	32,343	16,654	54,019
東中部地区	6,029	35,273	18,505	59,807
北東部地区	11,303	62,122	25,255	98,680
北部地区	4,129	18,478	6,164	28,771
戸井地区	246	1,713	1,116	3,075
恵山地区	265	1,917	1,371	3,553
榎法華地区	92	627	451	1,170
南茅部地区	577	3,447	2,010	6,034
計	29,607	167,980	79,541	277,128

## b. 屋内人口滞留率と屋内滞留人口の推定

想定地震の発生時刻毎の被害予測のため、早朝、昼間、夕方の屋内滞留人口を推定する。

### i. 昼間人口・夜間人口

夜間人口（常住人口）は、市町村より収集した人口データをあてはめる。昼間人口については、平成17年国勢調査および平成18年事業所統計をもとに推計された昼夜間人口比と、収集した人口データから推計する。

### ii. 屋内人口滞留率

住家の場合の屋内人口滞留率（以下、「屋内人口滞留率(在宅)」という）は、「データブック国民生活時間調査」（NHK放送文化研究所）<sup>4)</sup>から平日の時間帯別在宅人口比率データを設定する。

人口規模別の屋内人口滞留率（在宅）を下記の図3-6-3に示す。時刻別の屋内人口滞留率（在宅）を表3-6-2に掲げる。

西部地区、中央部地区、東中部地区、北東部地区、北部地区（旧函館市）は「10万人以上の市」の屋内人口滞留率を、戸井地区、恵山地区、樞法華地区、南茅部地区は「5万人未満の市町村」の屋内人口滞留率を用いる。

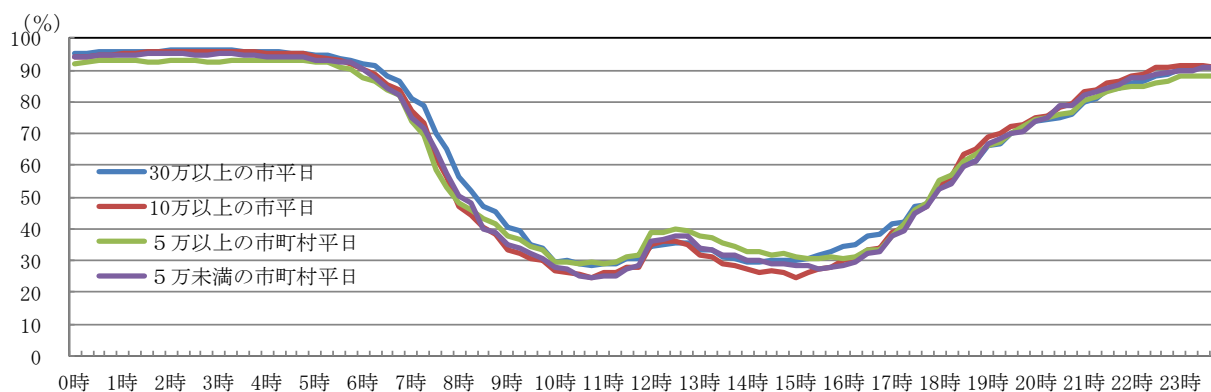


図 3-6-3 屋内人口滞留率（在宅）

表 3-6-2 時刻別の屋内人口滞留率（在宅）

	早朝	昼間	夕方
30万人以上の市	96.3%	34.7%	54.2%
10万人以上の市	95.9%	35.2%	54.1%
5万人以上の市町村	93.3%	38.7%	55.4%
5万人未満の市町村	95.0%	36.3%	52.8%

※ 早朝の屋内人口滞留率は、住宅で最も被災受ける人数が多い時間とし、深夜から早朝の間で最も高い割合を採用した  
 昼間の屋内人口滞留率は12時、夕方は18時の屋内人口の割合を採用した

非住家の場合の屋内人口滞留率（以下、「屋内人口滞留率（勤め先その他）」という）は、内閣府被害想定支援マニュアル<sup>5)</sup>で設定されている、時間帯別生活行為別人口比率を屋内人口滞留率に変換するための生活行為別の屋内・屋外比率（表 3-6-3）を用いて推計した。

人口規模別の屋内人口滞留率（勤め先その他）を図 3-6-4、表 3-6-4 に示す。

西部地区、中央部地区、東央部地区、北東部地区、北部地区（旧函館市）は「10 万人以上の市」の屋内人口滞留率を、戸井地区、恵山地区、樞法華地区、南茅部地区は「5 万人未満の市町村」の屋内人口滞留率を用いる。

表 3-6-3 生活行為別の屋内・屋外比率の設定

生活行為		屋内（勤め先その他）	屋外
仕事関連	仕事	0.5	0.5
	仕事のつきあい	0.5	0.5
学業	授業・学内の活動	1	0
	学校外の学習	0.5	0.5
家事	買い物	0.5	0.5
社会参加		0.5	0.5
会話・交際		0.5	0.5
レジャー活動	スポーツ	0.5	0.5
	行楽・散策	0	1
	趣味・娯楽・教養	0.5	0.5

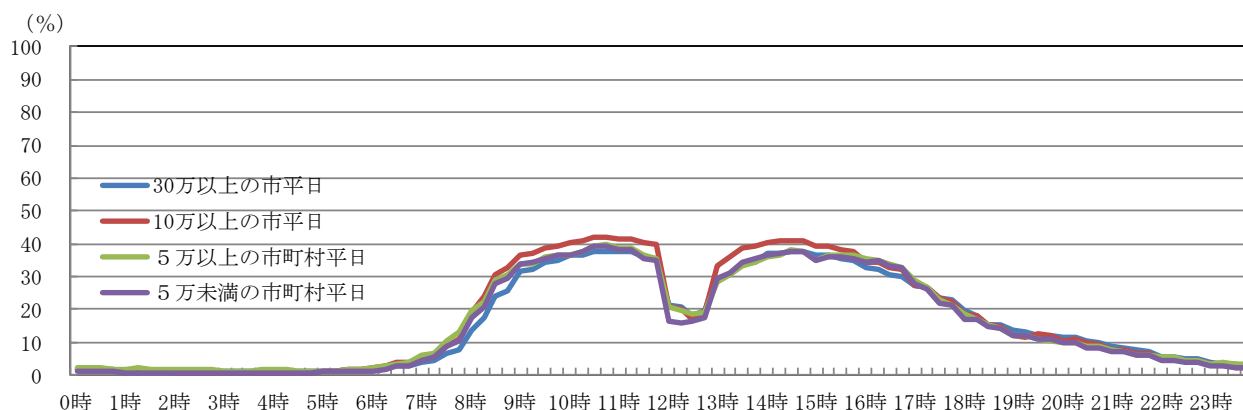


図 3-6-4 屋内人口滞留率（勤め先その他）

表 3-6-4 屋内人口滞留率（勤め先その他）

	早朝	昼間	夕方
30 万人以上の市平日	1.6%	21.4%	19.3%
10 万人以上の市平日	1.7%	20.9%	18.3%
5 万人以上の市町村平日	2.1%	20.8%	18.3%
5 万人未満の市町村平日	1.1%	16.2%	17.1%

※ 早朝の屋内人口滞留率は、深夜から早朝の間で最も高い割合を採用した  
 昼間の屋内人口滞留率は 12 時、夕方は 18 時の屋内人口の割合とした。

### iii. 屋内滞留人口の推定

求めた昼夜間人口や屋内人口滞留率から、時刻別の在宅および勤め先その他における滞留人口を以下の式で求める。

午前9時から午後6時に該当する場合は昼間人口を、午後7時から午前8時までは夜間人口とする。

[早朝、夕方]

屋内滞留人口（在宅） = 屋内人口滞留率 × 夜間人口

屋内滞留人口（勤め先その他） = 屋内人口滞留率 × 夜間人口

[昼間]

屋内滞留人口（在宅） = 屋内人口滞留率 × 昼間人口

屋内滞留人口（勤め先その他） = 屋内人口滞留率 × 昼間人口

b. 木造建物の倒壊による死者数の予測

i. 木造建物の倒壊による死者数の予測

死者数の予測のために、独立・集合（長屋、共同）住宅別の人口を推計する。推計方法は、住宅・土地統計調査結果から「木造一戸建」、「木造長屋建」、「木造共同住宅」、「非木造一戸建」、「非木造長屋建」、「非木造共同住宅」別の人口比率を求めて、時刻別の滞留人口を掛け合わせることで、構造別・建て方別の人口を求める。

ii. 木造建物の倒壊による死者数の予測

田畑・岡田(平成 19 年)<sup>1)</sup>の手法による木造住家の死者数の予測式を式(2-6-1)に示す。xは損傷度であり、0.6未達の半壊以下では死者は発生しないとしてカウントしない。yは周辺全壊率、a、b、cは住宅形式毎の係数である。表 3-6-5 に木造低層建物棟死亡率関数パラメータを示す。破壊パターンとダメージレベルと損傷度を図 3-6-5 に示す。

$$Dr(x, y) = ae^{bx} + cxy^2 \quad \text{式(2-6-1)}$$

表 3-6-5 木造低層建物棟死亡率関数パラメータ

住宅形式	木造独立	木造集合（長屋・共同建）
a	0.0104	0.000580
b	6.68	9.32
c	11.0	6.69

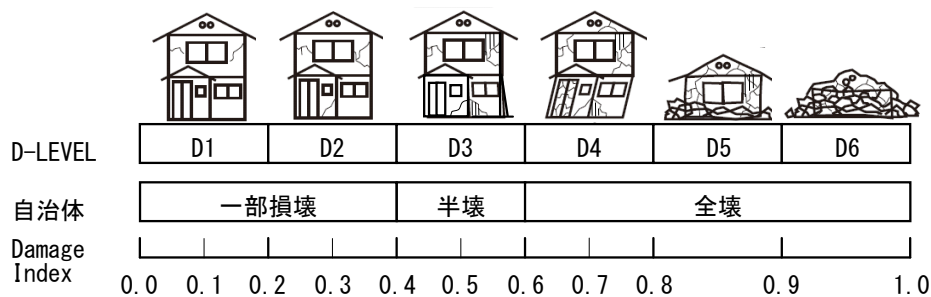


図 3-6-5 破壊パターンとダメージレベルと損傷度

c. 非木造建物の倒壊による死者数の予測

中央防災会議(平成 18 年)の手法を用い、全壊棟数に係数と建物内滞留率を掛けることで算定する。以下に算定式を示す。

〈死者数の算定式〉

非木造建築物被害による死者数 = 0.003 × 非木造建築物全壊棟数 × 建物内滞留率

住家内滞留率は、屋内人口=夜間人口を想定することから 1.0 とする。

d. 建物の倒壊による負傷者数の予測

建物の倒壊による負傷者数は、大阪府の手法(平成 9 年)<sup>3)</sup>による建物被害率と負傷者率との関係から算定する。以下に算定式を示す。図 3-6-6 に、阪神・淡路大震災における建物被害率と負傷者率の関係を示す。

〈負傷者数の算定式〉

負傷者数 = 負傷者率 × ( 人口 × 住家内滞留率 )

負傷者率 = 0.12 × 建物被害率 (0 ≤ 建物被害率 < 0.25)

負傷者率 = 0.07 - 0.16 × 建物被害率 (0.25 ≤ 建物被害率 < 0.375)

負傷者率 = 0.01 (0.375 ≤ 建物被害率)

建物被害率 = 全壊率 + 半壊率 × 1/2

図 3-6-6 阪神・淡路大震災における建物被害率と負傷者率の関係<sup>5)</sup>



重傷者数は、大阪府(平成9年)の手法による負傷者に占める重傷者の割合(重傷者比率)から算定する。算定式は以下のとおりである。

$$\text{重傷者比率} = 0.10 \quad (0 \leq \text{建物被害率} < 0.10)$$

$$\text{重傷者比率} = 0.15 - 0.5 \times \text{建物被害率} \quad (0.10 \leq \text{建物被害率} < 0.20)$$

$$\text{重傷者比率} = 0.05 \quad (0.20 \leq \text{建物被害率})$$

これより、重傷者数及び軽傷者数は、

$$\text{重傷者数} = \text{重傷者比率} \times \text{負傷者数}$$

$$\text{軽傷者数} = \text{負傷者数} - \text{重傷者数}$$

## 2) 火災による人的被害

### ① 検討の流れ

火災による死者の発生要因として、以下の3つのシナリオに基づき想定する。予測は、東京都(平成9年)<sup>6)</sup>、中央防災会議(平成24年)<sup>7)</sup>の手法を用いる。

表 3-6-6 火災による死者発生シナリオ

シーン	死者発生シナリオ	備考
出火直後	A. 炎上出火家屋内からの逃げ遅れ	突然の出火により逃げられなかった人 (揺れによる建物倒壊を伴わない)
	B. 倒壊後に焼失した家屋内の救出困難者(生き埋め等)	揺れによる建物被害で建物内に閉じ込められた後に出火し、逃げられない人
延焼中	C. 延焼拡大時の逃げまどい	建物内に閉じ込められていないが、避難にとまどっている間に延焼が拡大し、巻き込まれて焼死

### ② 死者数の評価手法

#### a. 炎上出火家屋内からの逃げ遅れ

突然の出火により逃げられず被災した死者数を中央防災会議(平成24年)の次式より計算する。

$$(\text{炎上出火家屋内から逃げ遅れた死者数}) = (\text{死者発生率 } 0.046) \times (\text{出火件数}) \times (\text{屋内滞留人口比率})$$

※死者発生率:0.046は、平成17年～22年の5年間の全国における1建物出火あたりの死者数

※ここで(屋内滞留人口比率) = (発生時刻の屋内滞留人口) ÷ (屋内滞留人口の24時間平均)

#### b. 倒壊後に焼失した家屋内の救出困難者

倒壊後に焼失した家屋内の救出困難者による死者数を東京都(平成9年)の次式より計算する。

$$(\text{閉じ込めによる死者数}) = (\text{全壊かつ焼失家屋内の救出困難な人}) \times (1 - \text{生存救出率 } 0.387)$$

※(全壊かつ焼失家屋内の救出困難な人) = (1 - 早期救出可能な割合 0.72) × (全壊かつ焼失家屋内の要救助者数)

※(全壊かつ焼失家屋内の要救助者数) = (自力脱出困難者発生率 0.117) × (全壊率)

× (全壊かつ焼失棟数 / 全壊棟数) × (発生時刻の出火家屋内滞留人口)

#### c. 延焼拡大時の逃げまどい

延焼拡大時の死者数は、過去の大火における焼失棟数と死者数の関係に基づいた東京都(平成9年)の次式より計算する。

$$(\text{延焼火災による死者数}) = 0.0218 \times (\text{焼失棟数}) \times (\text{屋内滞留人口比率})$$

※ここで(屋内滞留人口比率) = (発生時刻の屋内滞留人口) ÷ (屋内滞留人口の24時間平均)

### ③ 負傷者数の評価手法

#### a. 炎上出火家屋内からの逃げ遅れ

突然の出火により逃げられず被災した死者数を中央防災会議(平成24年)の次式より計算する。

(出火直後の火災による重傷者数) =  $0.075 \times \text{出火件数} \times (\text{屋内滞留人口比率})$

(出火直後の火災による軽傷者数) =  $0.187 \times \text{出火件数} \times (\text{屋内滞留人口比率})$

※ここで(屋内滞留人口比率) = (発生時刻の屋内滞留人口) ÷ (屋内滞留人口の24時間平均)

#### b. 延焼拡大時の逃げまどい

延焼火災による負傷数は、東京都(平成9年)の次式より計算する。

(延焼火災による重傷者数) =  $0.053 \times 0.1308 \times \text{焼失棟数} \times (\text{屋内滞留人口比率})$

(延焼火災による軽傷者数) =  $0.137 \times 0.1308 \times \text{焼失棟数} \times (\text{屋内滞留人口比率})$

※ここで(屋内滞留人口比率) = (発生時刻の屋内滞留人口) ÷ (屋内滞留人口の24時間平均)

### 3) 急傾斜地崩壊による人的被害の想定

#### ① 検討の流れ

急傾斜地崩壊による人的被害は、「(4)-3 急傾斜地崩壊による建物被害の想定」によって算出した急傾斜地崩壊危険箇所ごとの被害人家戸数を用いて、市町村ごとの世帯人員から影響人口を算出し、自治体人口規模別の時間別滞在率、急傾斜地崩壊による人的被害発生率を掛け合わせて算出する。

検討の流れを図 3-6-7 に示す。

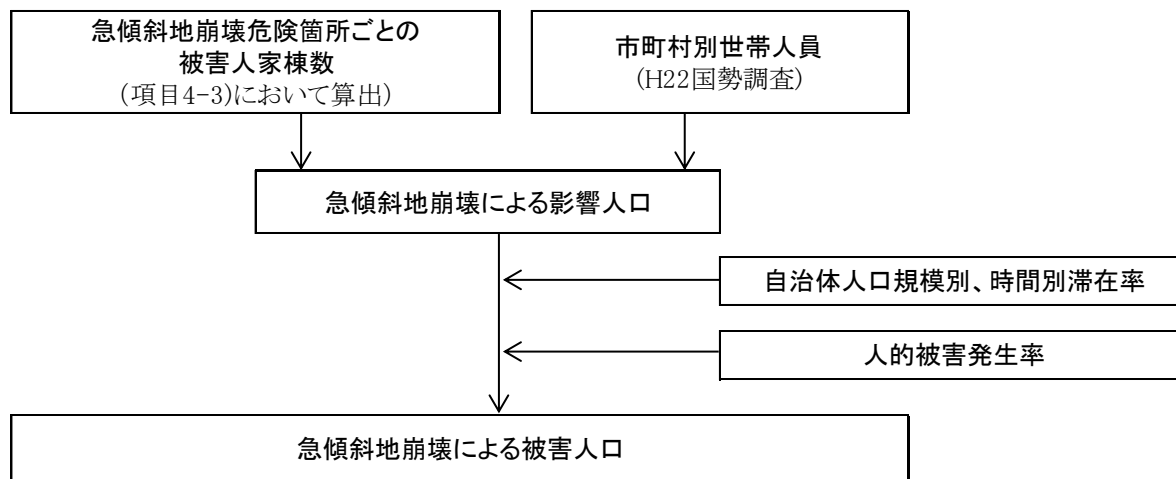


図 3-6-7 検討の流れ

#### ② 被害想定手法

急傾斜地崩壊による人的被害は、昭和 53 年伊豆大島近海地震での崖崩れによる建物被害での人的被害発生率から予測する東京都(平成 9 年)<sup>6)</sup>の手法を用いて予測する。

東京都では人的被害発生率について、昭和 53 年伊豆大島近海地震を参考に、死者を被災戸数の 8.7%、重傷者数を 14.8%、軽傷者数を 47.4%と設定し、世帯人員で補正している。

$$\text{崖崩れによる死者数} = 0.087 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物 1 戸あたり存在者数} / 3.51)$$

$$\text{崖崩れによる重傷者数} = 0.148 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物 1 戸あたり存在者数} / 3.51)$$

$$\text{崖崩れによる軽傷者数} = 0.474 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物 1 戸あたり存在者数} / 3.51)$$

ただし、3.51：東伊豆町・河津町における 1 世帯あたり人員

$$\text{木造建物 1 棟あたり存在者数} = \text{市町村ごと 1 世帯あたり人員} \times \text{滞留率}$$

滞留率は、前掲した平日の時間帯別在宅人口比率データ<sup>4)</sup>を使用する(表 3-6-7 参照)。

表 3-6-7 屋内人口滞留率(在宅)

市町村規模	早朝	昼間	夕方
30 万人以上の市	96.3%	34.7%	54.2%
10 万人以上の市	95.9%	35.2%	54.1%
5 万人以上の市町村	93.3%	38.7%	55.4%
5 万人未満の市町村	95.0%	36.3%	52.8%

#### 4) 避難者数の想定

##### ① 検討の流れ

避難者は、地震による建物の倒壊や、火災で住宅を失うことで発生する。また、平成7年兵庫県南部地震では、自宅建物に被害がない場合でも、ライフラインの途絶による避難者があった。東京都(平成9年)<sup>6)</sup>は、避難者を避難所避難者数と避難所外避難者数に分類し、表3-6-8のように定義している。

表 3-6-8 避難者の定義

避難者分類	避難の状況
避難所避難者	建物被害やライフライン被害により避難所生活を強いられる住居制約者数
避難所外避難者	建物被害やライフライン被害により疎開を強いられる住居制約者数(避難所以外への避難者)

本想定では、前章までに算出した建物被害のうち、揺れによる季節別住家全半壊棟数、急傾斜地による住家全半壊棟数、液状化による建物全半壊棟数、火災による時間帯別建物焼失棟数を活用するとともに、次章で算出している上水道被害による断水率に基づき、避難所避難者数と避難所外避難者数を計算する。

避難者数は字・町丁目単位で計算する。字・町丁目単位の上水道管路被害率から字・町丁目単位の断水率を求める。また建物焼失棟数はクラスター単位での計算結果だが、建物棟数の比を用いて、字・町丁目単位に按分する。

なお、液状化及び火災焼失に関する建物被害については住家・非住家の区がないが、本項では避難者数を安全側で把握することとし、全数を住家と仮定して計算する。また、災害発生1日後の避難者数を推計する。

検討の流れを図3-6-8に示す。

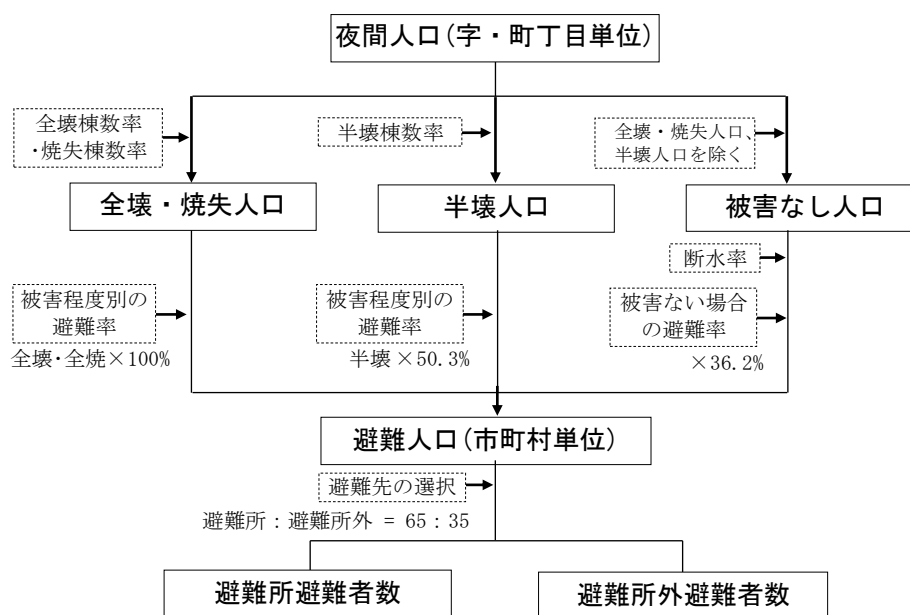


図 3-6-8 検討の流れ

## ② 被害想定手法

避難者数は、被害程度別に避難率を設定して計算可能な手法である、東京都(平成9年)<sup>6)</sup>の手法を用いる。東京都(平成9年)の手法は、建物被害別の避難率とライフライン被害による避難率により避難者数を算出する

室崎・流郷(平成8年)<sup>8)</sup>は、平成7年兵庫県南部地震における住民アンケート結果から、発災翌日に住宅から避難所へ避難する人は、全壊・大破が100%、半壊・中破が50.3%、被害軽微・被害なしが36.2%であり、避難者数のうち避難所へ避難する人と避難所以外へ避難する人の割合は65:35であったとしている。

また、住宅に被害が生じていない世帯の避難者数は、断水を指標として推定している。

避難人口(字・町丁目単位)

$$= 1.000 \times \text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口} + 0.362 \times \text{断水率} \times \text{被害なし人口}$$

避難所避難者数(字・町丁目単位) = 0.65 × 避難人口

避難所外避難者数(字・町丁目単位) = 0.35 × 避難人口

ただし、

全壊・焼失人口(字・町丁目単位) = {全壊棟数率 + 焼失棟数率 - (全壊棟数率 × 焼失棟数率)} × 夜間人口

半壊人口(字・町丁目単位) = {半壊棟数率 - (半壊棟数率 × 焼失棟数率)} × 夜間人口

被害なし人口(字・町丁目単位) = 夜間人口 - 全壊・焼失人口 - 半壊人口

全壊棟数率(字・町丁目単位)

$$= \text{揺れによる建物全壊率} + \text{液状化による建物全壊率} + \text{急傾斜地による建物全壊率}$$

半壊棟数率(字・町丁目単位)

$$= \text{揺れによる建物半壊率} + \text{液状化による建物半壊率} + \text{急傾斜地による建物半壊率}$$

全壊・焼失人口の計算に際して、揺れによる建物全半壊に比較し、液状化による被害数が少ないため、ダブルカウントを除去していない。また揺れに比べ急傾斜地の崩壊による被害の影響が大きいいため、ダブルカウントを除去していない。

## 【(6)人的被害の想定（揺れ・火災・急傾斜地による死傷者数、避難者数）の参考文献】

- 1) 田畑直樹・岡田成幸・高井伸雄：建物損傷度関数と棟死亡率関数の地震防災への利用法—人命損失に着目した木造低層建物の被害率関数の作成と震害予測例—、日本建築学会構造系論文集、第 611 号、pp. 39-46、平成 19 年 1 月
- 2) 中央防災会議・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：第 17 回日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について、平成 18 年 1 月
- 3) 大阪府：大阪府地震被害想定調査報告書、平成 9 年
- 4) NHK放送文化研究所：データブック国民生活時間調査 2010、平成 23 年 3 月
- 5) 内閣府：地震被害想定支援マニュアル、<http://www.bousai.go.jp/manual/index.htm>、平成 13 年
- 6) 東京都防災会議：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書、平成 9 年 8 月
- 7) 中央防災会議・防災対策推進検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）資料 2-1 南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、平成 24 年 8 月
- 8) 室崎益輝・流郷博史：阪神淡路大震災における市民の初期対応行動に関する研究、地域安全学会論文報告集 No. 6、pp. 205-212、平成 8 年

(7) ライフライン被害（上水道、下水道）

1) 上水道被害の想定

① 検討の流れ

a. 使用する上水道データの概要

上水道の管路データとして、市町村が管理する上水道や簡易水道などを対象とする。

管路データは、函館市より提供された管路資料にもとづき構築した。

被害想定の対象となる上水道管路延長を表 3-7-1 に示す。

表 3-7-1 被害想定の対象となる上水道管路延長

地区	上水道管路延長
西部地区	139 km
中央部地区	229 km
東央部地区	259 km
北東部地区	310 km
北部地区	142 km
戸井地区	33 km
恵山地区	30 km
楸法華地区	12 km
南茅部地区	47 km
計	1,201 km



b. 検討の流れ

上水道管路の被害想定は、市町村ごと上水道管路網に標準被害率、液状化による係数、管種・管径係数を掛け合わせて被害箇所数、被害率を算出する。また、上水道被害箇所数、被害率に基づき、断水世帯数を算定するとともに、被害箇所数に基づき復旧日数を算定する。

検討のフローを図 3-7-1 に示す。

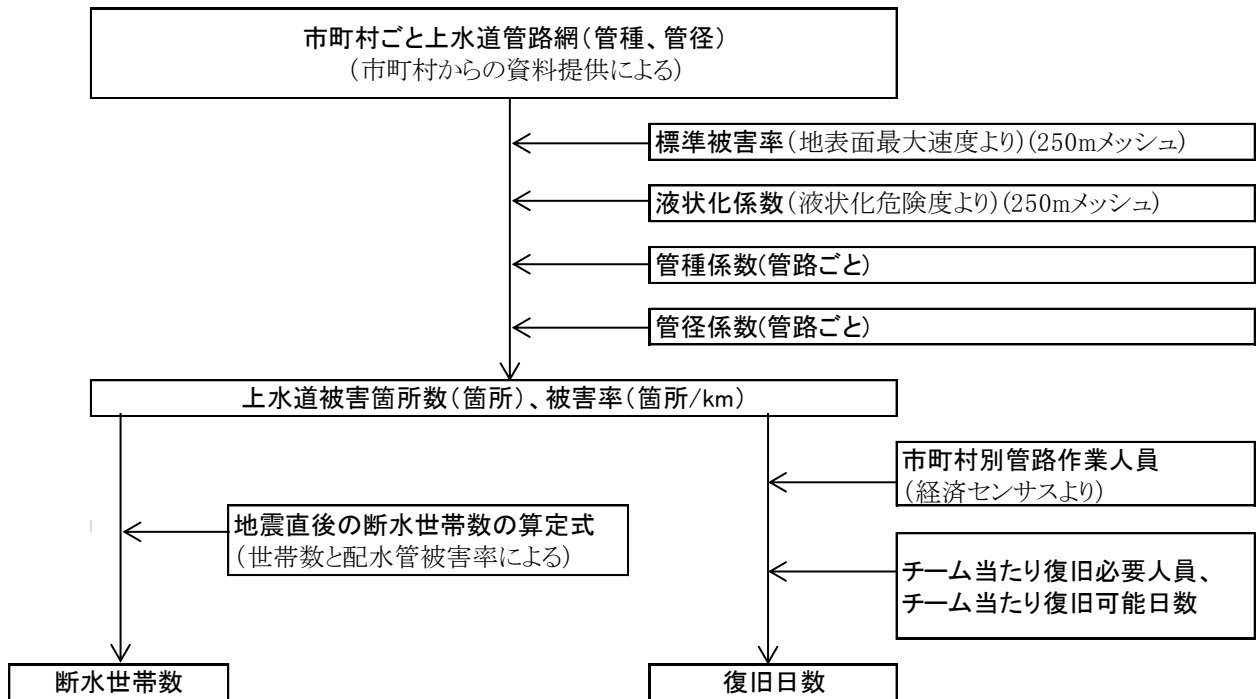


図 3-7-1 検討のフロー

## ② 被害想定手法

上水道の被害想定は、一般的に自治体で利用されている手法を用いる。

### a. 管路被害

管路被害は、阪神・淡路大震災等の過去の震災における水道管（普通铸铁管）の被害データから得られた標準被害率 R（箇所/km）と地表最大速度 PGV（cm/sec）との関係から算出した標準被害率を用いて、液状化危険度、管種、管径による被害率の違いを加味し、管路延長（km）に乗じることで算出する。

上水道管路被害箇所数の計算式を以下に示す。

$$N_h = R \cdot L$$

$$R = R_1 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$$

$N_h$ ：管路被害箇所数  $R$ ：被害率（箇所/km）  $R_1$ ：標準被害率（箇所/km）

$C_1$ ：液状化係数  $C_2$ ：管種係数  $C_3$ ：管径係数  $L$ ：管路延長（km）

また、標準被害率  $R_1$  の計算式<sup>1)</sup>を以下に示す。

$$R_1 = 2.24 \cdot 10^{-3} (PGV - 20)^{1.51}$$

PGV：地表最大速度

液状化係数  $C_1$  は、日本海中部地震の被害事例より、以下の計算式で求められる。

$$C_1 = \text{液状化被害率 (11)} \cdot \text{液状化発生面積率} + 1 \cdot (1 - \text{液状化発生面積率})$$

管種係数  $C_2$ 、管径係数  $C_3$  は、表 3-7-2 に示すとおりである。

表 3-7-2 管種係数  $C_2$ 、管径係数  $C_3$

管 種	$C_2$	管 径(mm)	$C_3$
ダクタイル铸铁管	0.3	～75	2.00
		100 ～450	1.00
		500 ～900	0.30
		1000 ～	0.15
铸铁管	1.0	～75	1.70
		100 ～250	1.20
		300 ～900	0.40
		1000 ～	0.15
鋼 管	0.3	～75	2.80
		100 ～250	1.40
		300 ～	0.80
塩化ビニール管	1.5	～75	1.00
		100 ～250	0.80
石綿セメント管	3.0	～75	2.30
		100 ～250	0.90
		300 ～	0.40
ポリエチレン管	0.1	～1200	1.00
		1200 ～	0.50

## b. 断水人口

断水世帯数は、阪神・淡路大震災を含む近年の地震による各市町村の配水管の物的被害率と地震直後の断水率の関係から得られた式（川上、平成 8 年）<sup>2)</sup>で算出した断水世帯率に世帯数を乗じて算出する。求めた断水世帯数に、国勢調査の世帯人員を掛け合わせて、断水人口を求める。

$$\text{地震発生直後} \quad y_0 = H \cdot 1 / (1 + 0.0473 \cdot R^{-1.61})$$

$$1 \text{ 日後} \quad y_1 = H \cdot 1 / (1 + 0.307 \cdot R^{-1.17})$$

$$2 \text{ 日後} \quad y_2 = H \cdot 1 / (1 + 0.319 \cdot R^{-1.18})$$

y : 断水世帯数 H : 世帯数（国勢調査の世帯人員で人口を除いて算出）

R : 被害率（箇所/km）

## c. 復旧日数

復旧日数は、埼玉県（平成 10 年）<sup>3)</sup>等で用いられている水道管の管径別復旧効率及び必要人員を用いて、管路の被害箇所数及び各自治体で動員可能な復旧作業員数から復旧期間を予測する。

復旧は、管径を 3 段階に分け、復旧作業必要人員の合計および 1 件当たり復旧作業時間を適用して復旧に必要な時間を算出し、1 日当たりの作業時間を 8 時間として復旧日数を算出する（表 3-7-3）。

表 3-7-3 復旧作業必要人員、1 件当たり復旧作業時間（埼玉県（平成 10 年）等）

区 分	復旧作業 必要人員 (職員数・人)	復旧作業 必要人員 (作業員数・人)	復旧作業 必要人員 合計 (人)	1 件当たり 復旧作業 時間(h)
φ 400mm 以上	4	12	16	63
φ 100～350mm	2	6	8	13
φ 100mm 未満	0.5	3	3.5	4

復旧工事は、管内の管路被害を当該振興局の作業員のみで復旧すると仮定する。そのため、復旧日数の評価単位は振興局単位となる。また、作業員のうちすべてが災害後に作業を行うことは難しいことから、総数のうち上水道の復旧に当たることができる割合を作業人員の 1/4、または 1/2 と想定した場合の復旧日数を算出する。

作業員数は、振興局単位の上水道工事業者及び管路工事業者数（平成 21 年経済センサス）<sup>4)</sup>（表 3-7-4 参照）を用いる。

冬期の復旧工事遅延の影響については、復旧効率が夏期の 7 割（札幌市、平成 24 年）<sup>5)</sup>とする。

表 3-7-4 上水道作業員（人）

振興局	上水道業と管工事業の合計
空知	939
石狩	9,231
後志	683
胆振	1,845
日高	195
渡島	1,404
檜山	112
上川	1,920
留萌	132
宗谷	219
オホーツク	1,052
十勝	1,164
釧路	1,007
根室	262
上水道作業員全道合計	20,165

（平成 21 年経済センサス-基礎調査 参考表 第 3 表 産業（小）別民営事業所数、従業者数—市区町村）<sup>4)</sup>

## 2) 下水道被害の想定

### ① 検討の流れ

#### a. 使用する下水道データの概要

下水道の管路データとして、市町村が管理する下水道の埋設管渠を対象とする。管路データは、市町村より提供された管路資料にもとづきデータ化した。被害想定の対象となる下水道管路延長を表 3-7-5 に示す。

表 3-7-5 被害想定の対象となる下水道管路延長

地区	下水道管路延長
西部地区	166 km
中央部地区	299 km
東央部地区	349 km
北東部地区	623 km
北部地区	246 km
戸井地区	33 km
計	1,716 km

## b. 検討の流れ

下水道の被害想定は、市町村ごと下水道管路網（管種、管径）データに、震度および液状化危険度をふまえて管種別に設定した被害率を掛け合わせて被害延長及び被害率を算出する。また、被害率、被害延長に基づき、機能支障人口、復旧日数を算出する。検討のフローを図 3-7-2 に示す。

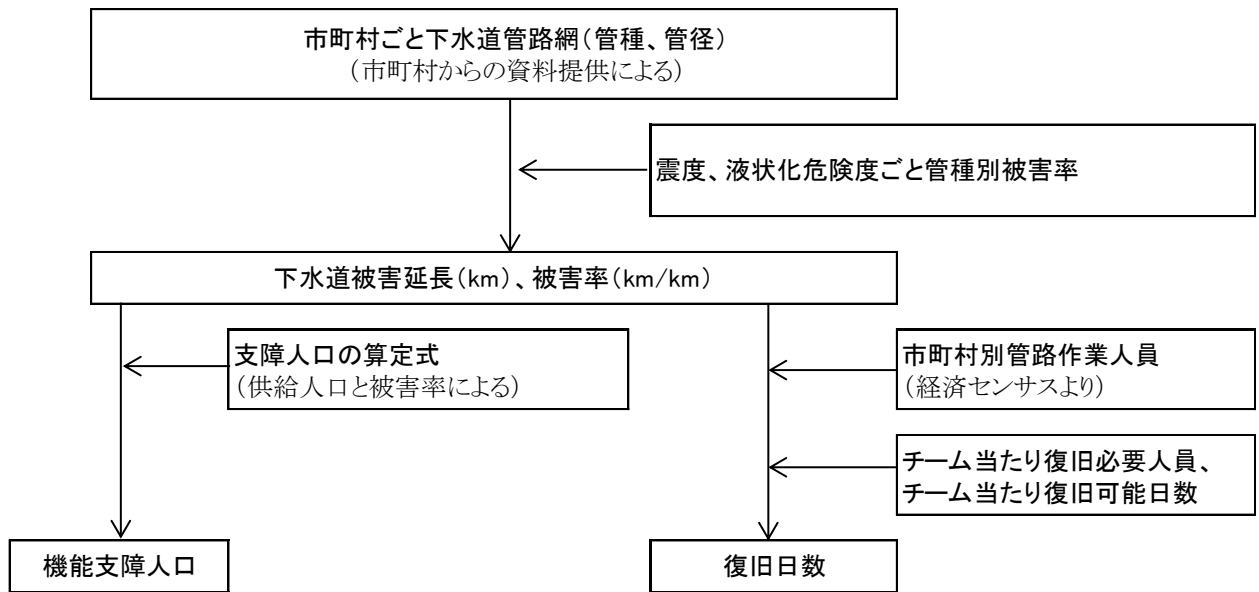


図 3-7-2 検討のフロー

## ② 被害想定手法

下水道の被害想定は、管路被害については兵庫県南部地震、新潟県中越地震および日本海中部地震など近年の地震被害実態に基づいた手法を、機能支障人口および復旧日数については一般的に自治体で利用されている手法を用いる。

### a. 管路被害

下水道管渠の被害想定手法は、管種・管径や地盤情報により設定した被害率により被害延長を算出する方法<sup>6)</sup>や、液状化危険度と土被り厚から土砂堆積延長を算出する手法<sup>7)</sup>等がある。

本被害想定では、前者の手法である、兵庫県南部地震、新潟県中越地震および日本海中部地震など近年の地震被害実態に基づいた、地震動分布と液状化の分布などにより設定した管渠の管種別被害率から被害延長を求める手法(大規模地震による下水道被害想定検討委員会、平成18年)<sup>6)</sup>を採用する。

下水道管路被害延長の計算式を下記に、下水道の管種別被害率を表3-7-6に示す。

下水道管路被害延長の計算式

$$Nd = R \cdot L$$

$Nd$  : 管路被害延長 (km)     $R$  : 被害率 (km/km)     $L$  : 管路延長 (km)

表 3-7-6 下水道の管種別被害率R

管種	液状化危険度	PL 値	震度階級				
			5弱	5強	6弱	6強	7
		計測震度基準値	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
塩ビ管・陶管	A~D	ALL	1.0%	2.3%	5.1%	11.3%	24.8%
その他の管	A	15 < PL	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%
	B	5 < PL ≤ 15	0.5%	1.0%	2.2%	4.8%	10.7%
	C	0 < PL ≤ 5	0.4%	0.9%	2.0%	4.5%	9.8%
	D	PL = 0	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%

### b. 機能支障人口

機能支障人口は、評価単位を単位として、機能支障率が当地区の下水道の被害率に等しいと仮定(東京都、平成9年)<sup>1)</sup>し、地区の下水道被害率に人口を乗じて算出する。

求めた機能支障人口を、1世帯あたりの人数(国勢調査の人口を世帯人員で除して算出)で割ることで、機能支障世帯数を求める。

機能支障人口  $yp$  の計算式

$$yp = \text{供給人口} \cdot R$$

### c. 復旧日数

復旧日数は、事前調査に1日、2日後から応急復旧作業が開始されるとし、作業効率は200m/班、必要作業員数は6人/班（東京都、平成9年）<sup>1)</sup>とする。

復旧工事は、管内の管路被害を当該振興局の作業員のみで復旧すると仮定する。そのため、復旧日数の評価単位は振興局単位となる。また、作業員のうちすべてが災害後に作業を行うことは難しいことから、総数のうち下水道の復旧に当たることができる割合を作業人員の1/4、または1/2と想定した場合の復旧日数を算出する。

管工事業者は、上水道作業員数としても見込んでいるが、下水道は上水道が復旧しなければ使用できないことから、復旧工事は基本的に上水道が優先され、上水道の復旧後に下水道の復旧が戦略的に行われると想定されるため、本想定では作業員の上下水道への配分は行っていない。

作業員数は、振興局単位の下水道工事業者及び管路工事業者数（平成21年経済センサス）<sup>4)</sup>（表3-7-7参照）を用いる。

冬期の復旧工事遅延の影響については、復旧効率が夏期の7割（札幌市、平成24年）<sup>5)</sup>とする。

表 3-7-7 下水道作業員数（人）

振興局	下水道業と管工事業の合計
空知	1,012
石狩	9,696
後志	783
胆振	1,897
日高	236
渡島	1,456
檜山	132
上川	2,057
留萌	132
宗谷	270
オホーツク	1,191
十勝	1,213
釧路	1,032
根室	270
下水道作業員全道合計	21,377

（平成21年経済センサス-基礎調査 参考表 第3表 産業（小）別民営事業所数、従業者数-市区町村）<sup>4)</sup>



## 【(7) ライフライン被害の想定（上水道、下水道）の参考文献】

- 1) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書、平成9年8月
- 2) 川上英二：道路交通システムの形状と連結確率の関係、第1回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集、pp.169-172、平成8年
- 3) 埼玉県：埼玉県地震被害想定調査報告書、平成10年3月
- 4) 総務省統計局：-基礎調査 参考表 第3表 産業（小）別民営事業所数、従業者数-市区町村、経済センサス、平成21年
- 5) 札幌市：第3次地震被害想定について（想定結果、要点）、第3次地震被害想定、平成24年3月
- 6) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会：管路施設の被害予測手法について、第1回大規模地震による下水道被害想定検討委員会資料 及び 大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル、平成18年3月

## (8) 交通施設被害（道路、橋梁）

### 1) 道路被害の想定

#### ① 検討の流れ

##### a. 使用する道路データの概要

道路データは、（一財）日本デジタル道路地図協会製のデジタル道路地図データ（DRM）<sup>1)</sup>を基本とし、DRMでは網羅されていない道路データについては市町村より収集した道路網図から構築した。

本被害想定では、道路データを主要な道路（高速道路、国道、主要道道）と、その他の道路（一般道道、市町村道他）を合わせた道路延長を対象に被害想定を行う。

道路被害想定の対象となる道路延長を表 3-8-1 に示す。

表 3-8-1 被害想定の対象となる道路延長

地区	主要な道路 (高速道路、国道、主要道道)	その他の道路 (一般道道、市町村道他)	道路延長 (被害想定の対象)
西部地区	4 km	125 km	129 km
中央部地区	9 km	226 km	235 km
東中部地区	57 km	366 km	423 km
北東部地区	32 km	446 km	478 km
北部地区	26 km	171 km	197 km
戸井地区	16 km	83 km	99 km
恵山地区	24 km	81 km	104 km
楸法華地区	7 km	46 km	53 km
南茅部地区	48 km	103 km	151 km
計	224 km	1,647 km	1,870 km

## b. 検討の流れ

道路区間の評価手法は、一般的に、一般国道、主要地方道などを評価対象として、過去の地震で発生した被害(路面亀裂・法面崩壊など)と地盤種別との関係から被害率を算定する手法が利用されている<sup>2)</sup>。

本被害想定では、地盤情報と震度分布による車両の通行不能となる被害率から被害箇所数を求める方法を用いて、主要な道路(高速道路、国道、主要道道)における市町村ごとの道路被害箇所数を推計する。また、参考として、その他の道路(一般道道、市町村道他)についても同様の手法で被害想定を行う。

検討の流れを図 3-8-1 に示す。

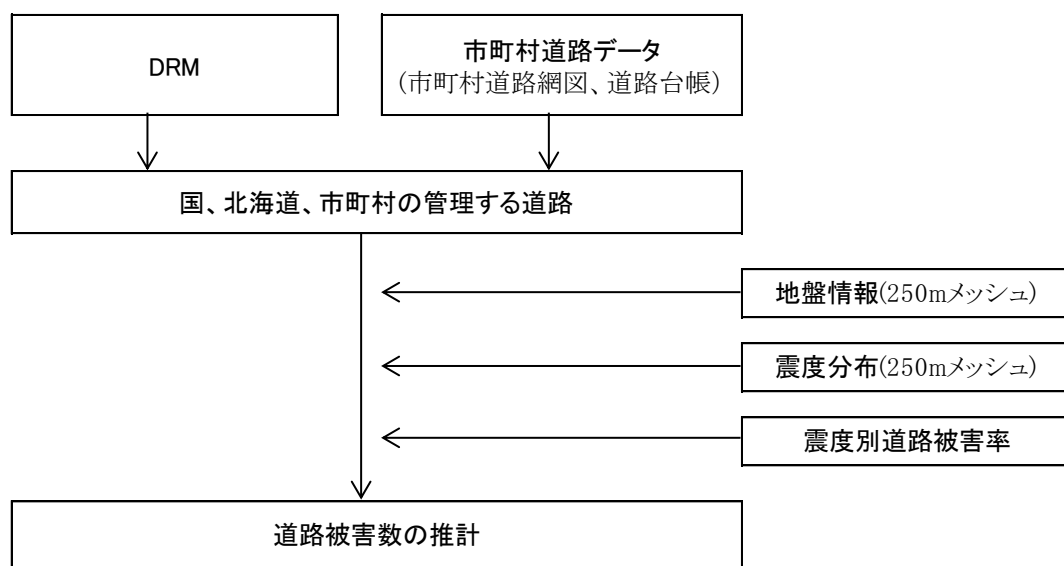


図 3-8-1 橋梁被害検討の流れ

## ② 被害想定手法

道路の被害想定は、車両の通行不能となる被害率を求める埼玉県防災会議<sup>2)3)</sup>の手法を用いて、道路データと震度分布との重ね合わせから、震度別被害率により道路被害延長を推計する。

埼玉県防災会議では、下記の式により道路の被害箇所数を算定している。

$$\text{道路の被害箇所数} = \text{震度別・地盤種別道路被害率} \times \text{道路延長}$$

震度別・地盤種別の道路被害率は、表 3-8-2 のとおりである。

表 3-8-2 震度別・地盤種別道路被害率（単位：箇所/km）

震 度	地 盤 種 別		
	1・2種	3種	4種
7	0.11	0.16	0.25
6強	0.09	0.13	0.20
6弱	0.07	0.10	0.16
5強	0.05	0.07	0.12
5弱	0.03	0.04	0.06
～4	0.00	0.00	0.00

※地盤種別は「道路橋被害示方書・同解説(昭和63年)」<sup>4)</sup>の分類による。

また、日本道路協会による地盤種別<sup>4)</sup>の定義と今回利用した地形分類との関係を表 3-8-3 に示す。地形分類との関係は青森県<sup>5)</sup>や内閣府<sup>6)</sup>の地盤種別と地形分類の関係を参考として定めた。

表 3-8-3 地盤種別と地形分類との関係

地 盤 種 別		地 形 分 類
1種	第3紀以前の地盤 岩盤までの洪積層厚さが10m未満	古第三紀以前、新第三紀
2種	岩盤までの洪積層厚さが10m以上 岩盤までの沖積層厚さが10m未満	第四紀火山、丘陵地、ローム台地、砂礫台地
3種	沖積層厚さが10m以上25m未満でかつ軟弱層の厚さが5m未満	扇状地、砂州・砂丘
4種	上記以外の地盤	谷底平野、デルタ・後背湿地

## 2) 橋梁被害の想定

### ① 検討の流れ

#### a. 使用する橋梁データの概要

橋梁データは、国および北海道、市町村が管理する橋梁台帳及び橋梁位置図に基づき、GIS データを構築した。

被害想定の対象橋梁は、国道、道道、市町村道に架設されている橋梁とする。被害想定の対象となる橋梁データを表 3-8-4 に示す。

参考に橋長が 15m 以上の橋梁と橋長 15m 未満の橋梁について箇所数を示す。橋長の不明な橋梁については、道路台帳等を活用して橋長を推定し、その他不明分は橋長 15m 未満の橋梁に分類する。

表 3-8-4 被害想定の対象となる橋梁データ（箇所）

地区	橋長 15m 以上の橋梁	橋長 15m 未満の橋梁	橋梁 (被害想定対象)
西部地区	2	1	3
中央部地区	19	0	19
東央部地区	41	70	111
北東部地区	31	27	58
北部地区	39	32	71
戸井地区	8	16	24
恵山地区	18	55	73
榎法華地区	4	15	19
南茅部地区	20	43	63
計	182	259	441

## b. 検討の流れ

橋梁の被害想定は、国道、道道、市町村道の橋梁データをもとに、橋梁の示方書年と震度分布の関係から設定される被害率を掛け合わせて被害箇所数を算出する。

検討の流れを図 3-8-2 に示す。

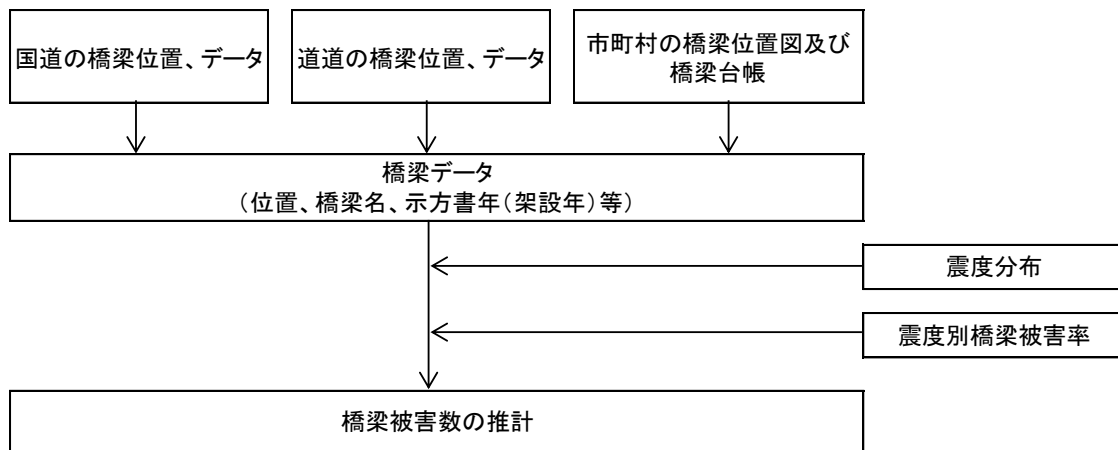


図 3-8-2 橋梁被害検討の流れ

## ② 被害想定手法

橋梁の被害想定は、道路橋示方書準拠年を基準とし、平成7年兵庫県南部地震の被災事例を基に示方書年別に設定された通行支障（通行制限を指す）及び不通となる確率（箇所/箇所）を設定している宮崎県（平成9年）<sup>2)7)</sup>の手法を用いる。

道路橋示方書準拠年別の震度と橋梁被害率の関係を表3-8-5に示す。

なお、道路橋示方書準拠年は、橋梁の耐震化後の適用示方書が反映されているものを利用しており、耐震化がなされた橋梁については昭和55年、平成2年の被害率が適用されている。一方、市町村から収集した道路橋の中には、適用示方書年が不明なものがある。これらについては、架設年からそれ以前の示方書年を推計するほか、架設年が不明な場合は、最も被害の大きい示方書年を適用する。

なお、橋梁の震度であるが、GIS上で橋梁の中心点の座標を求め、その点のメッシュ震度を用いた。中心点の震度が計算されていない場合は直近メッシュの震度を用いた

表 3-8-5 震度と橋梁被害率の関係

被害程度	通行支障(通行制限)		不 通	
	昭和39年、46年	昭和55年、平成2年	昭和39年、46年	昭和55年、平成2年
震度5強以下	0.00	0.00	0.00	0.00
震度6弱	0.03	0.00	0.03	0.00
震度6強	0.13	0.02	0.12	0.00
震度7	0.14	0.04	0.14	0.02

## 【(8)交通施設被害の想定（道路、橋梁）の参考資料】

- 1) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会：「デジタル道路地図データベース（DRM）＜全国デジタル道路地図データベース標準＞」、平成24年3月
- 2) 損害保険料率算出機構：5. 交通・輸送施設被害の予測、自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査、p231-248、平成18年7月
- 3) 埼玉県：地震被害想定策定調査報告書、昭和57年
- 4) (社)日本道路協会：道路橋被害示方書・同解説、昭和63年
- 5) 青森県：平成8年度青森県地震・津波被害想定調査報告書、平成9年3月
- 6) 内閣府(防災担当)：地震防災マップ作成技術資料、平成17年3月
- 7) 宮崎県：宮崎県地震被害想定調査報告書、平成9年3月