

第Ⅱ編 手法編

目 次

第 II 編 手法編	II-1
第 1 章 地震動等の予測	II-1
1 地震動	II-1
(1) 地震動予測の概要	II-1
(2) 強震断層モデルの設定	II-4
(3) 地盤モデルの設定	II-17
(4) 地震動の予測	II-22
(5) 計算過程の検証	II-26
2 液状化	II-29
(1) 液状化危険度評価	II-30
3 土砂災害	II-35
(1) 急傾斜地崩壊危険箇所の評価手法	II-36
(2) 地すべり危険箇所の評価手法	II-38
(3) 山腹崩壊危険地区の評価手法	II-39
第 2 章 建物被害	II-40
1 液状化による建物被害の算定手法	II-41
(1) 液状化による建物被害	II-41
2 揺れによる建物被害の算定手法	II-44
3 土砂災害による建物被害の算定手法	II-47
4 地震火災による建物被害の算定手法	II-49
(1) 風速の設定	II-49
(2) 地震火災による建物被害の算定手法	II-50
5 屋外転倒、落下物の発生	II-56
(1) ブロック塀等・自動販売機の転倒数	II-56
(2) 屋外落下物の発生	II-59
第 3 章 人的被害	II-61
1 人口データの設定	II-62
(1) 構造別滞留人口（住宅）	II-62
(2) 構造別滞留人口（その他施設）	II-62
(3) 構造別滞留人口（合計）	II-63
2 建物倒壊による人的被害	II-63
(1) 建物倒壊による死者数	II-63

(2) 建物倒壊による負傷者数	II-64
(3) 建物倒壊による重傷者数	II-66
3 土砂災害による人的被害	II-67
4 地震火災による人的被害	II-68
(1) 火災による死者数	II-69
(2) 火災による負傷者数（重傷者数、軽傷者数）	II-70
5 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による人的被害	II-71
(1) 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による死者数	II-72
(2) 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による負傷者数（重傷者と軽傷者）	II-74
6 ブロック塀等の倒壊による人的被害	II-75
(1) ブロック塀等の倒壊による人的被害	II-75
(2) 自動販売機による人的被害	II-76
7 屋外落下物による人的被害	II-77
8 揺れによる建物被害に伴う要救助者（自力脱出困難者）	II-79
第4章 ライフライン被害	II-80
1 上水道	II-80
(1) 施設被害	II-81
(2) 復旧予測	II-85
2 下水道	II-86
(1) 施設被害	II-87
(2) 復旧予測	II-89
3 電力	II-89
(1) 施設被害	II-90
(2) 復旧予測	II-92
4 通信	II-92
(1) 施設被害	II-93
(2) 復旧予測	II-97
5 都市ガス	II-97
(1) 施設被害	II-98
(2) 復旧予測	II-99
6 LPガス	II-100
(1) 施設被害	II-100
(2) 復旧予測	II-100
第5章 交通施設被害	II-101

1	道路	II-101
(1)	施設被害	II-101
2	鉄道	II-102
(1)	施設被害	II-102
第6章 生活への影響		II-103
1	避難者	II-103
(1)	避難所避難者と避難所外避難者の割合	II-103
2	帰宅困難者及び滞留者	II-103
(1)	外出者数	II-103
(2)	帰宅困難者数	II-104
(3)	滞留者数	II-104
3	物資不足量	II-104
(1)	食料不足量に関する具体の設定	II-106
(2)	飲料水不足量に関する具体の設定	II-106
(3)	生活必需品不足量に関する具体の設定	II-106
(4)	仮設トイレ不足量	II-106
4	医療機能支障	II-106
(1)	要転院患者数	II-107
(2)	医療需要過不足数	II-107
第7章 災害廃棄物等		II-109
1	災害廃棄物発生量及び仮置き場の必要面積	II-109
(1)	災害廃棄物量の算定	II-109
(2)	仮置き場の必要面積	II-112
第8章 その他の被害		II-113
1	エレベータ内閉じ込め	II-113
(1)	地震時管制運転中の安全装置作動に伴う停止	II-114
(2)	揺れによる故障に伴う停止	II-115
(3)	停電に伴う停止	II-115
2	道路閉塞	II-116
3	避難行動要支援者	II-117
(1)	対象とする避難行動要支援者	II-118
(2)	避難所に避難する避難行動要支援者数(避難所避難者数の内数)	II-118
4	危険物施設被害	II-119
5	文化財	II-120
6	孤立集落	II-121

(1) 孤立可能性集落	II-121
(2) 孤立集落の抽出	II-121
7 ため池の被害	II-122
第9章 経済被害	II-124
1 経済被害の想定項目	II-124
2 資産等の被害	II-125
(1) 資産等の被害(建築物)	II-127
(2) 資産等の被害(資産)	II-128
(3) ライフライン・交通施設・その他	II-130
3 生産低下による影響	II-133
(1) 生産関数の分析	II-133
(2) 被災による喪失の算定	II-134
4 防災・減災対策の効果の試算	II-136
(1) 試算の想定	II-136
(2) 試算の方法	II-136

第II編 手法編

第1章 地震動等の予測

1 地震動

想定地震の規模、震源からの距離、地盤条件等を基に、250m メッシュごとの震度分布を次の手順で想定した。

(1) 地震動予測の概要

震源から射出された地震波は、地殻を伝播していわゆる地震基盤に到達し、地表近くにおける地盤での増幅現象によって変形され、地表において地震動として観測される。地震動を予測するにあたっては、それらの特性の組み合わせを次のように表現することができる。

$$\text{地表地震動} = \text{震源の特性} \times \text{伝播経路の特性} \times \text{地盤の増幅特性}$$

地震動の大小を左右する震源の特性としては、地震規模（マグニチュード）と震源の位置（範囲、深さ）がまず挙げられる。また、近年の地震研究により、震源断層の破壊過程（破壊方向や破壊速度など）が空間的な地震動分布に与える影響や、震源断層の中でも強震動生成域と呼ばれる領域が存在し、特に震源近傍において著しく強い地震動を発生させる現象などが解明されており、それらの特性を考慮する予測手法が研究されている。

また、震源から各地までの地中における地震動の伝達経路が、一様な岩盤であると見なせば、距離に応じた減衰を考慮することにより伝播特性を把握できるが、最近の研究によって日本の深部地盤構造が明らかになりつつあり、異常震域などの地質的地域特性を評価することも可能になってきている。

さらに、平野部や山間低地などに代表される軟弱な地盤における地震動の増幅程度が、地域の揺れに大きく影響するため、各地の地盤特性を詳細に把握した上で、増幅特性を評価することが重要である。

本調査では、これらの特性を考慮できるように、地震動の予測を次の手順で行った。

ア 断層モデルの設定

国の研究等に基づき、地震規模、破壊過程、強震動生成域などに関する断層パラメータを設定した。

イ 地盤モデルの設定

浅部地盤モデル（地表から深部地盤表面（Vs600m/s程度）までの地盤）は、J-SHIS地盤モデルを採用した。

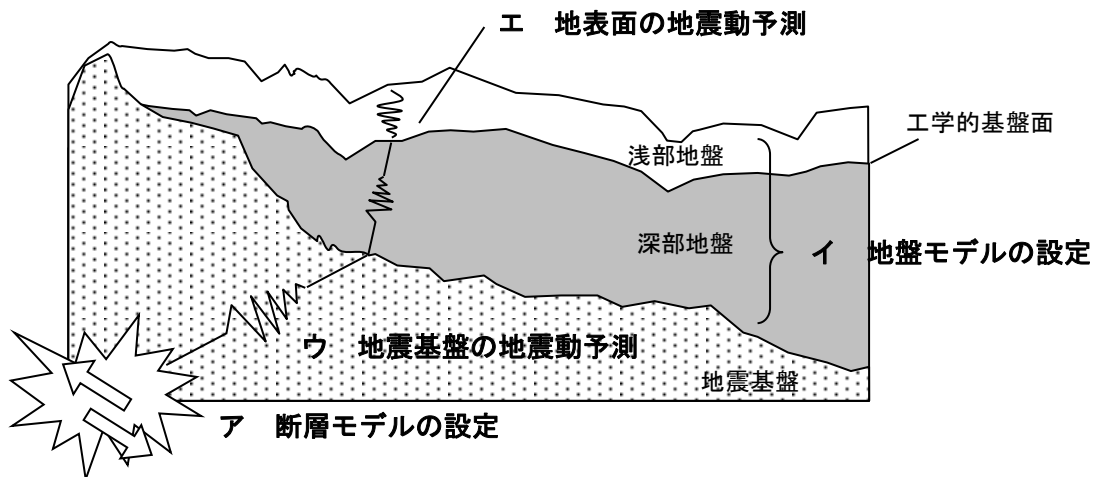
深部地盤モデルは、上部マントルから地震基盤（S波速度 3km/s 相当層）までの地殻構造、地震基盤から深部地盤（S波速度 400m/s～700m/s 相当層）までの構造を 1 km メッシュでモデル化した「全国 1 次地下構造モデル（暫定版）（2012：地震調査研究推進本部）」を採用した。

ウ 地震基盤の地震動予測

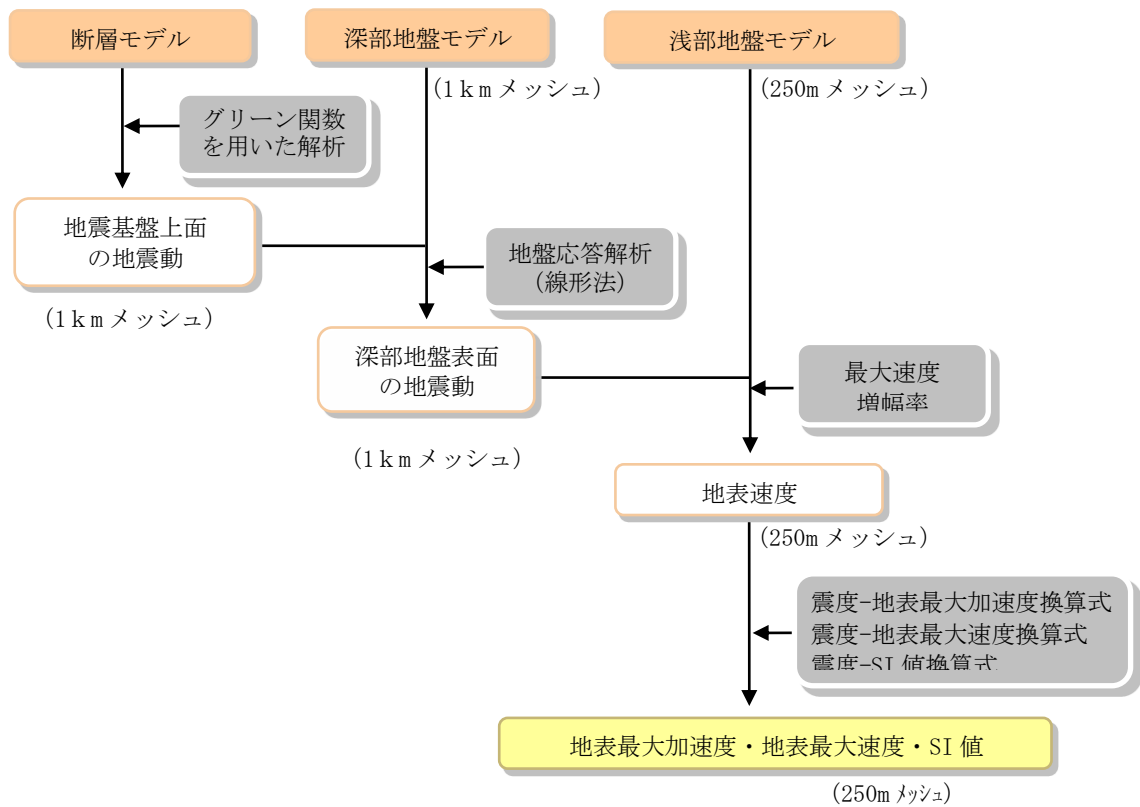
震源断層の破壊過程や強震動生成域等を考慮してグリーン関数を用いた計算手法により、地震基盤の地震動予測を行った。

エ 地表面の地震予測

県内の深部地盤及び浅部地盤を設定し、地盤の増幅特性を考慮した計算手法により地表面の地震動を予測した。



図Ⅱ. 1-1 地震動予測の概念



図Ⅱ. 1-2 地震動予測の流れ（東北地方太平洋沖地震以外の想定地震）

(2) 強震断層モデルの設定

震源断層の基本的な諸元は、地震調査研究推進本部（2004）¹による長期評価（以下、「長期評価」という。）、独立行政法人防災科学技術研究所（2009）²による全国地震動予測地図作成手法の検討（以下、「全国地震動予測地図」という。）に示される値を参考に設定した。また、各種の断層パラメータについては、地震調査研究推進本部（2009）³による震源断層を特定した地震の強震動予測手法（以下、「レシピ」という。）や、松田（1975）の式⁴などを参考に設定した。

断層パラメータとして設定している強震動生成域は、震源となる断層範囲の内、強い地震動を発する領域である。活断層等において強震動生成域の位置を予め推測できる情報があることは稀であり、ここでは全国地震動予測地図、首都直下地震対策専門調査会報告書（平成17年 中央防災会議）及びレシピを参考にして配置を決定した。

また、震源断層の破壊する方向に向けて強い揺れを呈することが知られており、断層の破壊開始点の位置及び破壊方向によって地震動の空間的分布が異なることになる。ここでは、広域的な影響に配慮するため、破壊開始点及び破壊方向を複数設定することとした。

設定した想定地震の断層パラメータを表Ⅱ.1-1表Ⅱ.に示した。また、図Ⅱ.1-3に震源断層における強震動生成域や破壊開始点の配置状況を示した。

表 II. 1-1 (1) 断層パラメータ：関谷断層を震源とする地震

項目		値	設定方法	
巨視的 パラメータ	活断層長さL	38 km	長期評価から	
	マグニチュードM	7.5	$\log L = 0.6M - 2.9$	
	傾斜角 δ	30°	15~40° 西傾斜	
	すべり角 γ	180°	長期評価で右横ずれ断層	
	上端深さ	2 km	微小地震の発生と地震基盤深さから	
	断層モデル長さLmodel	40 km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル幅Wmodel	18 km		
	断層モデル面積Smodel	720 km ²	$S_{model} = L_{model} \times W_{model}$	
	地震モーメントMo	2.85E+19 Nm	$\log Mo = 1.17M + 10.72$	
	モーメントマグニチュードMw	6.9	$Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$	
	断層モデルの等価半径R	15.1 km		
	静的応力降下量 $\Delta \sigma$	3.6 MPa	$\Delta \sigma = 7/16 Mo / R^3$	
	地震発生層の密度 ρ	2700.0 kg/m ³		
	S波速度 β	3.40 km/s		
剛性率 μ	3.12E+10 N/m ²	$\mu = \rho \cdot \beta^2$		
平均すべり量Dmodel	1.3 m	$Mo / (\mu \cdot S_{model})$		
短周期レベルA	1.62E+19 Nm/s ²	$A = 2.46 \cdot 10^{10} \times (Mo \times 10^7)^{1/3}$		
微視的 パラメータ	SMGA個数	2	地震規模より	
	全 SMGA	面積Sa	172.0 km ²	$Sa = \pi r^2$
		等価半径r	7.4 km	$r = 7\pi/4 \cdot Mo / (A \cdot R) \cdot \beta^{-2}$
		平均すべり量Da	2.5 m	$Da = \gamma D \cdot D_{model}, \gamma D = 2.0$
		実効応力 σa	15.1 MPa	$\sigma a = \Delta \sigma a = 7/16 \cdot Mo / (r^2 \cdot R)$
		地震モーメントMoa	1.36E+19 Nm	$Moa = \mu Da Sa$
	第1 SMGA	面積Sa1	114.7 km ²	$Sa1 = Sa * (2/3)$
		等価半径r1	6.0 km	$r1 = (Sa1 / \pi)^{1/2}$
		等価半径比 $\gamma 1$	0.8	$\gamma 1 = r1 / r$
		平均すべり量Da1	2.8 m	$Da1 = (\gamma 1 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a1$	15.1 MPa	
	第2 SMGA	SMGAMoa1	1.01E+19 Nm	
		SMGAMwa1	6.6	
		計算用面積	120.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sa2	57.3 km ²	$Sa2 = Sa * (1/3)$
		等価半径r2	4.3 km	$r2 = (Sa2 / \pi)^{1/2}$
	背景 領域	等価半径比 $\gamma 2$	0.6	$\gamma 2 = r2 / r$
		平均すべり量Da2	2.0 m	$Da2 = (\gamma 2 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a2$	15.1 MPa	$\sigma a2 = \sigma a$
		SMGAMoa2	3.56E+18	
		SMGAMwa2	6.3	
	計算用面積	60.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ	
	背景 領域	面積Sb	548.0 km ²	$Sb = S_{model} - Sa$
		平均すべり量Db	0.9 m	$Db = Mo_b / (\mu \cdot Sb)$
断層アスペクト比		2.2		
背景領域の幅Wb		16 km		
実効応力 σb		3.2 MPa	$\sigma b = (Db / Wb) \cdot (\sqrt{\pi} / Da) \cdot r \cdot \sum \gamma i^3 \cdot \sigma a$	
地震モーメントMob	1.49E+19 Nm	$Mob = Mo - Moa$		
計算用面積	540.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ		

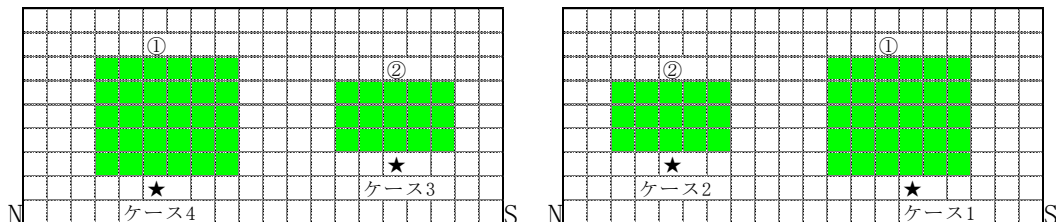
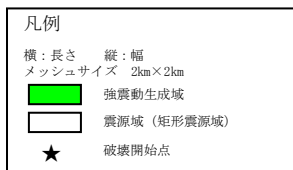


図 II. 1-3 (1) 断層モデル：関谷断層を震源とする地震

表II. 1-1 (2) 断層パラメータ：関東平野北西縁断層帯（主部）を震源とする地震

	項目	値			設定方法		
		高崎区間	深谷区間	綾瀬川区間			
巨視的パラメータ	単位区間長さLseg	26	38	18	km	長期評価から	
	単位区間幅Wseg	19.6	19.6	19.6			
	単位区間面積Sseg	509.6	744.8	352.8			
	断層総面積S	1607.2					
	セグメント長さ	26	38	18		長期評価から	
	傾斜角δ	60	60	60	°	長期評価で30~40°	
	すべり角γ	180	180	180	°	長期評価で右横ずれ断層	
	上端深さ	2	2	2	km	微小地震の発生と地震基盤深さから	
	断層モデル長さLmodel	26	38	18	km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル幅Wmodel	20	20	20	km	上端深さ、幅と傾斜角から	
	セグメント面積Smodel_seg	520	760	360	km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
	断層総面積S	1640					
	地震モーメントMo	1.44E+20			Nm	Mo=α・(S×10 ¹¹ /4.24) ² ×10 ⁻⁷	
	モーメントマグニチュードMw	7.4				Mw=(logMo-9.1)/1.5	
	地震発生層の密度ρ	2700.0			kg/m ³		
	S波速度β	3.40			km/s		
	剛性率μ	3.12E+10			N/m ²		
	静的応力降下量Δσ	3.1			MPa	Fujii and Matusu'ura(2000)	
平均すべり量Dmodel	2.8			m	Mo/(μ Smodel)		
断層モデルの等価半径R	12.9	15.6	10.7	km			
地震モーメントMoseg	4.30E+19	7.59E+19	2.48E+19		単位区間の1.5乗に比例して配分		
セグメントMw	7.0	7.2	6.9		Mw=(logMo-9.1)/1.5		
平均すべり量Dmodel	2.6	3.2	2.2	m	Mo/(μ Smodel)		
微視的パラメータ	アスぺリティ個数	2	2	1		地震規模より	
	全面積Sa	114.4	167.2	79.2	km ²	Sa=0.22×S	
	等価半径r	6.0	7.3	5.0	km		
	平均すべり量Da	5.2	6.4	4.4	m	Da=γ D・Dmodel, γ D=2.0	
	実効応力σa	14.1	14.1	14.1	MPa	σa=Δσa=7/16・Mo/(r ² ・R)	
	地震モーメントMoa	1.86E+19	3.34E+19	1.09E+19	Nm	Moa=μ DaSa	
	第1面積Sa1	76.3	111.5	79.2	km ²	Sa1=Sa*(2/3)	
	等価半径r1	4.9	6.0	5.0	km	r1=(Sa1/π) ^{1/2}	
	等価半径比γ1	0.8	0.8	1.0		γ1=r1/r	
	平均すべり量Da1	5.8	7.1	4.4	m	Da1=(γ1/Σγi ³)・Da	
	実効応力σa1	14.1	14.1	14.1	MPa	σa1=σa	
	アスぺリティMoa1	1.37E+19	2.47E+19	1.09E+19	Nm		
	アスぺリティMwa1	6.7	6.9	6.6			
	計算用面積	80.0	120.0	80.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ	
	第2面積Sa2	38.1	55.7	0.0	km ²	Sa2=Sa*(1/3)	
	等価半径r2	3.5	4.2	0.0	km	r2=(Sa2/π) ^{1/2}	
	等価半径比γ2	0.6	0.6	0.0		γ2=r2/r	
	平均すべり量Da2	4.1	5.0	0.0	m	Da2=(γ2/Σγi ³)・Da	
	実効応力σa2	14.1	14.1	0.0	MPa	σa2=σa	
	アスぺリティMoa2	4.85E+18	8.72E+18	0.00E+00			
	アスぺリティMwa2	6.4	6.6	#NUM!			
	計算用面積	36.0	48.0	0.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ	
	背景領域	面積Sb	405.6	592.8	280.8	km ²	Sb=Smodel-Sa
	等価半径rb	11.4	13.7	9.5	km		
平均すべり量Db	1.9	2.3	1.6	m	Db=Mob/(μ・Sb)		
背景領域の幅Wb	20	20	20	km			
実効応力σb	2.1	2.4	2.3	MPa	σb=(Db/Wb)・(√π/Da)・r・Σγi ³ ・σa		
地震モーメントMob	2.44E+19	4.25E+19	1.39E+19	Nm	Mob=Mo-Moa		
背景Mwb	6.9	7.0	6.7				
計算用面積	404.0	592.0	280.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ		

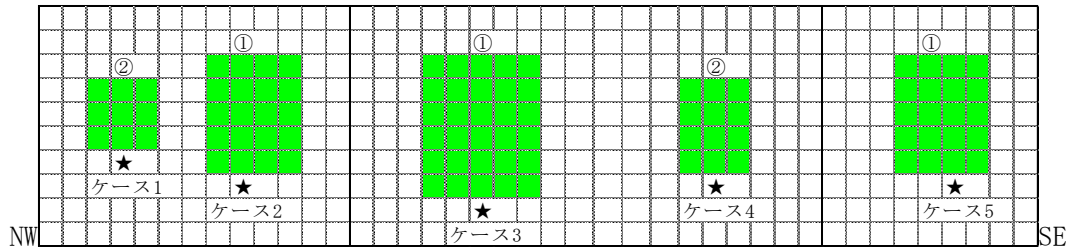
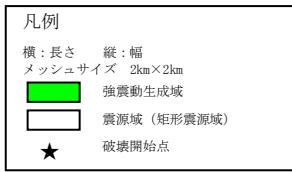


図 II. 1-3 (2) 断層モデル：関東平野北西縁断層帯（主部）を震源とする地震

表II. 1-1 (3) 断層パラメータ：東京湾北部を震源とする地震

	項目	値	設定方法	
巨視的 パラメータ	活断層長さL	63.64 km	$\log L = 0.6M - 2.9$	
	マグニチュードM	7.3		
	傾斜角 δ	23°		
	すべり角 γ	138°		
	上端深さ	18 km		
	断層モデル長さLmodel	64 km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル幅Wmodel	32 km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル面積Smodel	2024.82615 km ²	$\Delta\sigma = 7\pi^{1.5}/16 \times Mo/S^{1.5}$	
	地震モーメントMo	1.12E+20 Nm	$\log Mo = 1.5M + 9.1$	
	モーメントマグニチュードMw	7.3	$Mw = (\log Mo - 9.1)/1.5$	
	断層モデルの等価半径R	25.4 km		
	静的応力降下量 $\Delta\sigma$	3.0 MPa		
	地震発生層の密度 ρ	2800.0 kg/m ³		
	S波速度 β	3.50 km/s		
微視的 パラメータ	剛性率 μ	3.43E+10 N/m ²	$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	平均すべり量Dmodel	1.6 m	$Mo / (\mu \cdot Smodel)$	
	短周期レベルA	1.16E+19 Nm/s ²	$A = Mo \times (4.9 \times 10^6 V_s (\Delta\sigma / Mo)^{1/3} \times 2\pi)^2$	
	アスペリティ個数	2	地震規模より	
	全アスペリティ	面積Sa	450.0 km ²	$Sa = 0.22 \times S$
		等価半径r	12.0 km	
		平均すべり量Da	3.2 m	$Da = 2.01 \times Dmodel$
		実効応力 σa	12.7 MPa	$\Delta\sigma = 2.436 Mo / S^{1.5}$
		地震モーメントMoa	4.99E+19 Nm	$Moa = \mu \cdot Da \cdot Sa$
	第1アスペリティ	面積Sa1	325.0 km ²	
		等価半径r1	10.2 km	$r1 = (Sa1 / \pi)^{1/2}$
		等価半径比 $\gamma 1$	0.8	$\gamma 1 = r1 / r$
		平均すべり量Da1	3.6 m	$Da1 = (\gamma 1 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a1$	16.7 MPa	
アスペリティMoa1		4.03E+19 Nm		
アスペリティMwa1		7.0		
計算用面積	320.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ		
第2アスペリティ	面積Sa2	125.0 km ²		
	等価半径r2	6.3 km	$r2 = (Sa2 / \pi)^{1/2}$	
	等価半径比 $\gamma 2$	0.5	$\gamma 2 = r2 / r$	
	平均すべり量Da2	2.2 m	$Da2 = (\gamma 2 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$	
	実効応力 $\sigma a2$	16.7 MPa	$\sigma a2 = \sigma a$	
	アスペリティMoa2	9.60E+18 Nm		
	アスペリティMwa2	6.6		
計算用面積	120.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ		
背景領域	面積Sb	1574.8 km ²	$Sb = Smodel - Sa$	
	平均すべり量Db	1.2 m	$Db = Mob / (\mu \cdot Sb)$	
	断層アスペクト比	2.0		
	背景領域の幅Wb	28 km		
	実効応力 σb	2.4 MPa	$\sigma b = (Db / Wb) \cdot (\sqrt{\pi} / Da) \cdot r \cdot \sum \gamma i^3 \cdot \sigma a$	
	地震モーメントMob	6.23E+19 Nm	$Mob = Mo - Moa$	
計算用面積	1584.8 km ²	断層モデルメッシュサイズ		

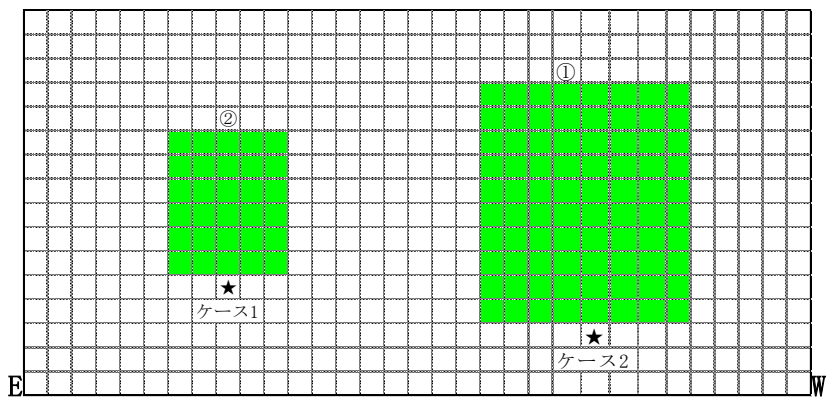
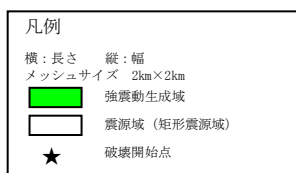


図 II. 1-3 (3) 断層モデル：東京湾北部を震源とする地震

表II. 1-1 (4) 断層パラメータ：茨城県南西部を震源とする地震

項目		値	設定方法	
巨視的パラメータ	活断層長さL	63.64 km	$\log L = 0.6M - 2.9$	
	マグニチュードM	7.3		
	傾斜角 δ	23°		
	すべり角 γ	138°		
	上端深さ	30 km		
	断層モデル長さLmodel	64 km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル幅Wmodel	32 km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル面積Smodel	2024.82615 km ²	$\Delta \sigma = 7\pi^{1.5}/16 \times Mo/S^{1.5}$	
	地震モーメントMo	1.12E+20 Nm	$\log Mo = 1.5M + 9.1$	
	モーメントマグニチュードMw	7.3	$Mw = (\log Mo - 9.1)/1.5$	
	断層モデルの等価半径R	25.4 km		
	静的応力降下量 $\Delta \sigma$	3.0 MPa		
	地震発生層の密度 ρ	2800.0 kg/m ³		
	S波速度 β	3.50 km/s		
	微視的パラメータ	剛性率 μ	3.43E+10 N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$
平均すべり量Dmodel		1.6 m	$Mo / (\mu Smodel)$	
短周期レベルA		1.16E+19 Nm/s ²	$A = Mo \times (4.9 \times 10^6 V_s (\Delta \sigma / Mo)^{1/3} \times 2\pi)^2$	
アスペリティ個数		2	地震規模より	
全アスペリティ		面積Sa	450.0 km ²	$Sa = 0.22 \times S$
		等価半径r	12.0 km	
		平均すべり量Da	3.2 m	$Da = 2.01 \times Dmodel$
		実効応力 σa	12.7 MPa	$\Delta \sigma = 2.436 Mo / S^{1.5}$
		地震モーメントMoa	4.99E+19 Nm	$Moa = \mu Da Sa$
第1アスペリティ		面積Sa1	325.0 km ²	
		等価半径r1	10.2 km	$r1 = (Sa1 / \pi)^{1/2}$
		等価半径比 $\gamma 1$	0.8	$\gamma 1 = r1 / r$
		平均すべり量Da1	3.6 m	$Da1 = (\gamma 1 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a1$	16.7 MPa	
		アスペリティMoa1	4.03E+19 Nm	
		アスペリティMwa1	7.0	
計算用面積		320.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ	
第2アスペリティ		面積Sa2	125.0 km ²	
		等価半径r2	6.3 km	$r2 = (Sa2 / \pi)^{1/2}$
		等価半径比 $\gamma 2$	0.5	$\gamma 2 = r2 / r$
		平均すべり量Da2	2.2 m	$Da2 = (\gamma 2 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a2$	16.7 MPa	$\sigma a2 = \sigma a$
		アスペリティMoa2	9.60E+18 Nm	
		アスペリティMwa2	6.6	
計算用面積		120.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ	
背景領域		面積Sb	1574.8 km ²	$Sb = Smodel - Sa$
		平均すべり量Db	1.2 m	$Db = Mob / (\mu \cdot Sb)$
	断層アスペクト比	2.0		
	背景領域の幅Wb	28 km		
	実効応力 σb	2.4 MPa	$\sigma b = (Db / Wb) \cdot (\sqrt{\pi} / Da) \cdot r \cdot \sum \gamma i^3 \cdot \sigma a$	
	地震モーメントMob	6.23E+19 Nm	$Mob = Mo - Moa$	
計算用面積	1584.8 km ²	断層モデルメッシュサイズ		

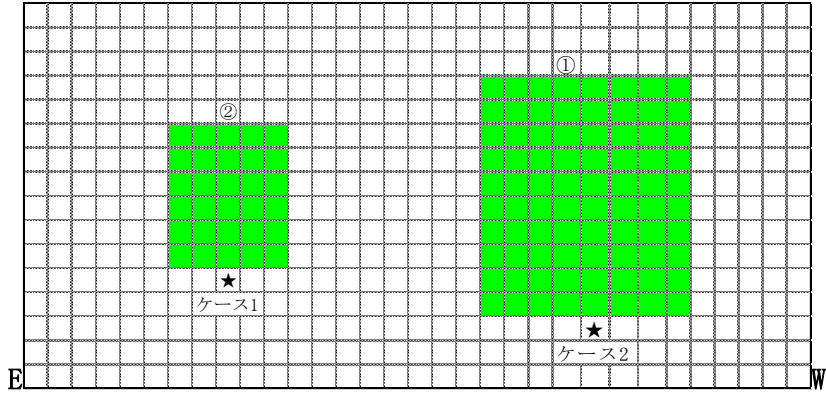
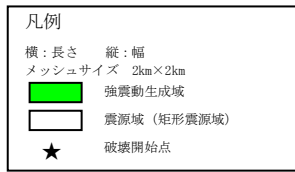
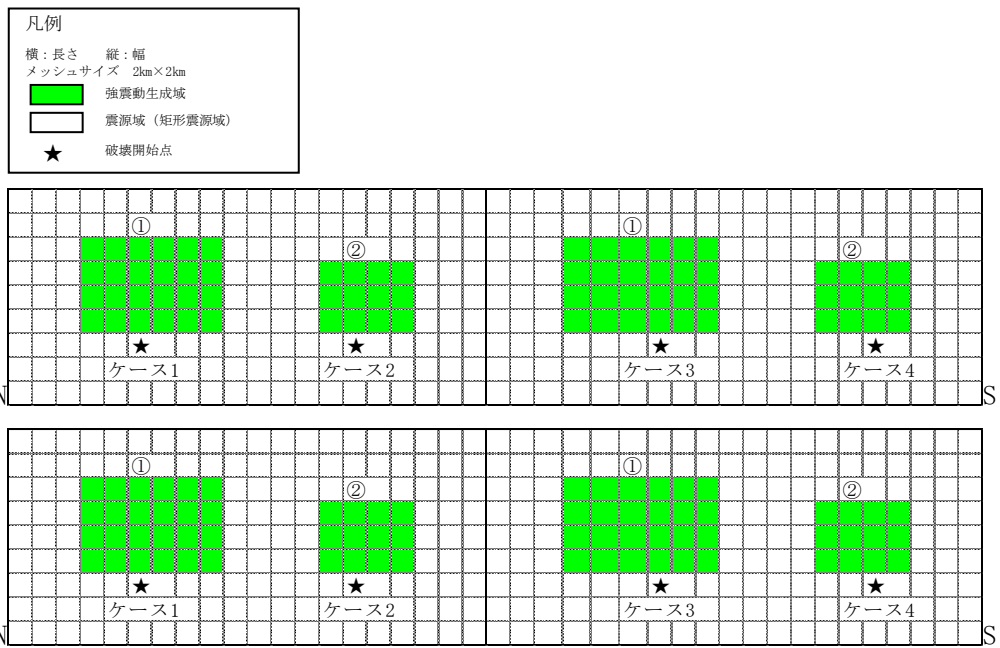


図 II. 1-3 (4) 断層モデル：茨城県南西部を震源とする地震

表II.1-1 (5) 断層パラメータ：県庁直下に震源を仮定した地震 (M8.0)

項目		値		設定方法		
		北側	南側			
巨視的 パラメータ	単位区間長さLseg	40	40	km	長期評価から	
	単位区間幅Wseg	18	18			
	単位区間面積Sseg	720	720			
	断層総面積S	1440				
	セグメント長さ	40	40		長期評価から	
	傾斜角 δ	30	30	$^{\circ}$	長期評価で30~40 $^{\circ}$	
	すべり角 γ	180	180	$^{\circ}$	長期評価で右横ずれ断層	
	上端深さ	2	2	km	微小地震の発生と地震基盤深さから	
	断層モデル長さLmodel	40	40	km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル幅Wmodel	18	18	km	上端深さ、幅と傾斜角から	
	セグメント面積Smodel_seg	720	720	km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
	断層総面積S	1440				
	地震モーメントMo	1.15E+20		Nm	$Mo = \rho \cdot (S \times 10^{11} / 4.24)^2 \times 10^{-7}$	
	モーメントマグニチュードMw	7.3			$Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$	
	地震発生層の密度 ρ	2700.0		kg/m ³		
	S波速度 β	3.40		km/s		
	剛性率 μ	3.12E+10		N/m ²		
	静的応力降下量 $\Delta\sigma$	3.1		MPa	Fujii and Matusu'ura(2000)	
	平均すべり量Dmodel	2.6		m	$Mo / (\mu \cdot Smodel)$	
	微視的 パラメータ	断層モデルの等価半径R	15.1	15.1	km	
地震モーメントMoseg		5.77E+19	5.77E+19		単位区間の1.5乗に比例して配分	
セグメントMw		7.1	7.1		$Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$	
平均すべり量Dmodel		2.6	2.6	m	$Mo / (\mu \cdot Smodel)$	
アスぺリティ個数		2	2		地震規模より	
全 ア ス ペ リ ティ		面積Sa	158.4	158.4	km ²	$Sa = 0.22 \times S$
		等価半径r	7.1	7.1	km	
		平均すべり量Da	5.2	5.2	m	$Da = \gamma D \cdot Dmodel, \gamma D = 2.0$
		実効応力 σa	14.1	14.1	MPa	$\sigma a = \Delta\sigma a = 7/16 \cdot Mo / (r^2 \cdot R)$
		地震モーメントMoa	2.57E+19	2.57E+19	Nm	$Mo = \mu \cdot Da \cdot Sa$
第 1 ア ス ペ リ ティ		面積Sa1	105.6	105.6	km ²	$Sa1 = Sa * (2/3)$
		等価半径r1	5.8	5.8	km	$r1 = (Sa1 / \pi)^{1/2}$
		等価半径比 $\gamma 1$	0.8	0.8		$\gamma 1 = r1 / r$
		平均すべり量Da1	5.8	5.8	m	$Da1 = (\gamma 1 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a1$	14.1	14.1	MPa	$\sigma a1 = \sigma a$
		アスぺリティMoa1	1.90E+19	1.90E+19	Nm	
		アスぺリティMwa1	6.8	6.8		
		計算用面積	96.0	96.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ
第 2 ア ス ペ リ ティ		面積Sa2	52.8	52.8	km ²	$Sa2 = Sa * (1/3)$
		等価半径r2	4.1	4.1	km	$r2 = (Sa2 / \pi)^{1/2}$
	等価半径比 $\gamma 2$	0.6	0.6		$\gamma 2 = r2 / r$	
	平均すべり量Da2	4.1	4.1	m	$Da2 = (\gamma 2 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$	
	実効応力 $\sigma a2$	14.1	14.1	MPa	$\sigma a2 = \sigma a$	
	アスぺリティMoa2	6.72E+18	6.72E+18			
	アスぺリティMwa2	6.5	6.5			
	計算用面積	48.0	48.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ	
背 景 領 域	面積Sb	561.6	561.6	km ²	$Sb = Smodel - Sa$	
	等価半径rb	13.4	13.4	km		
	平均すべり量Db	1.8	1.8	m	$Db = Mo / (\mu \cdot Sb)$	
	背景領域の幅Wb	18	18	km		
	実効応力 σb	2.5	2.5	MPa	$\sigma b = (Db / Wb) \cdot (\sqrt{\pi} / Da) \cdot r \cdot \sum \gamma i^3 \cdot \sigma a$	
	地震モーメントMob	3.20E+19	3.20E+19	Nm	$Mob = Mo - Moa$	
	背景Mwb	6.9	6.9			
計算用面積	576.0	576.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ		



図Ⅱ. 1-3 (5) 断層モデル：県庁直下に震源を仮定した地震 (M8.0)

ア どこでも起こりうる直下の地震

首都圏直下地震対策専門調査会（平成 17 年 7 月）では、地表に活断層が認められていない地震の事例を踏まえ、全ての地域でいつ発生するかわからない地震の規模として M6.9 を設定している。

市町の防災行政の参考として設定する地震の規模は、上記の設定を参考とし M6.9 とした。

また、栃木県において防災行政の参考とする地震の規模は、首都圏直下地震対策専門調査会の設定を踏まえ、市町より一段安全側の想定として、地表に活断層が認められていなかった地域で発生した最大級の地震である鳥取県西部地震（2000 年 M7.3）相当の規模を設定した。

設定した断層パラメータは、表Ⅱ. 1-1 のとおりである。

なお、破壊開始点は断層の中心部とし、強震動生成域の下端に設定した。

※M6.9 の根拠について

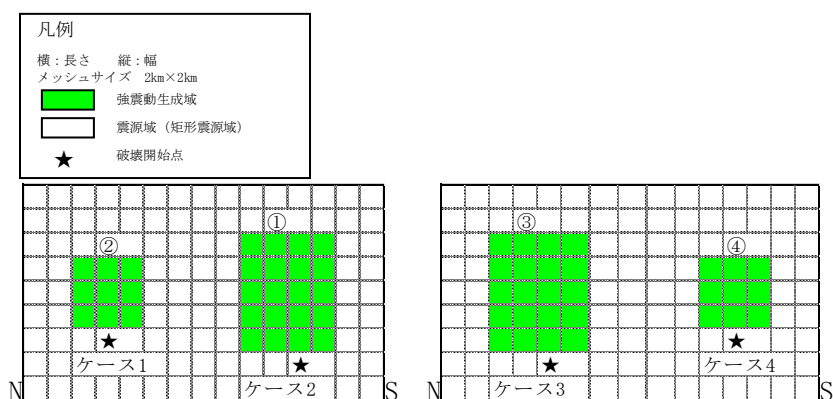
地震に対応する活断層が地表で認められない地震の規模の上限については、現在も学術的な議論がされているところである。過去の事例を見ると、M6.5 以下の地震ではほとんどの場合、地表で活断層が認められていない。これより地震規模が大きくなると、例えば 1925 年北但馬地震（M6.8）など、活断層が認められることが多くなるが、1984 年長野県西部地震（M6.8）のように地表で活断層が認められないものもある。

以上のことを踏まえ、活断層が地表で認められない地震規模の上限については、今後の学術的な議論を待つ必要もあるが、防災上の観点から、今回の検討では、M6 台の最大である M6.9 の地震を「全ての地域で何時地震が発生するか分からない」として想定した。

出典：「首都直下地震対策専門調査会報告（平成 17 年 7 月）中央防災会議」

表Ⅱ. 1-1 (6) 断層パラメータ：県庁直下に震源を仮定した地震 (M7.3)

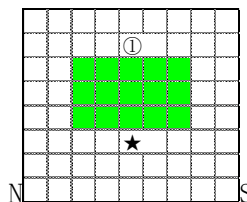
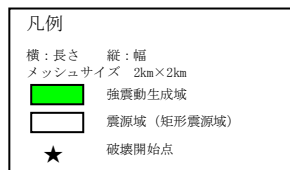
項目		値	設定方法	
巨視的 パラメータ	活断層長さL	30 km		
	マグニチュードM	7.3		
	傾斜角 δ	30°		
	すべり角 γ	180°		
	上端深さ	2 km		
	断層モデル長さLmodel	30 km	断層モデルメッシュサイズ	
	断層モデル幅Wmodel	18 km		
	断層モデル面積Smodel	540 km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
	地震モーメントMo	1.80E+19 Nm	logMo=1.17M+10.72	
	モーメントマグニチュードMw	6.8	Mw=(logMo-9.1)/1.5	
	断層モデルの等価半径R	13.1 km		
	静的応力降下量 $\Delta\sigma$	3.5 MPa	$\Delta\sigma=7/16Mo/R^3$	
	地震発生層の密度 ρ	2700.0 kg/m ³		
	S波速度 β	3.40 km/s		
	剛性率 μ	3.12E+10 N/m ²	$\mu=\rho\beta^2$	
平均すべり量Dmodel	1.1 m	Mo/($\mu Smodel$)		
短周期レベルA	1.39E+19 Nm/s ²	A=2.46×10 ¹⁰ ×(Mo×10 ⁷) ^{1/3}		
微視的 パラメータ	SMGA個数	2	地震規模より	
	全 S M G A	面積Sa	124.0 km ²	Sa= πr^2
		等価半径r	6.3 km	r= $7\pi/4 \cdot Mo/(A \cdot R) \cdot \beta^2$
		平均すべり量Da	2.1 m	Da= $\gamma D \cdot Dmodel$, $\gamma D=2.0$
		実効応力 σa	15.2 MPa	$\sigma a=\Delta\sigma a=7/16 \cdot Mo/(r^2 \cdot R)$
		地震モーメントMoa	8.27E+18 Nm	Moa= $\mu DaSa$
	第 1 S M G A	面積Sa1	82.7 km ²	Sa1=Sa*(2/3)
		等価半径r1	5.1 km	r1=(Sa1/ π) ^{1/2}
		等価半径比 $\gamma 1$	0.8	$\gamma 1=r1/r$
		平均すべり量Da1	2.4 m	Da1=($\gamma 1/\Sigma \gamma i^3$)·Da
		実効応力 $\sigma a1$	15.2 MPa	
	第 2 S M G A	SMGAMoa1	6.11E+18 Nm	
		SMGAMwa1	6.5	
		計算用面積	80.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sa2	41.3 km ²	Sa2=Sa*(1/3)
		等価半径r2	3.6 km	r2=(Sa2/ π) ^{1/2}
	第 2 S M G A	等価半径比 $\gamma 2$	0.6	$\gamma 2=r2/r$
		平均すべり量Da2	1.7 m	Da2=($\gamma 2/\Sigma \gamma i^3$)·Da
		実効応力 $\sigma a2$	15.2 MPa	$\sigma a2=\sigma a$
		SMGAMoa2	2.16E+18 Nm	
		SMGAMwa2	6.2	
	背景 領域	計算用面積	36.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sb	416.0 km ²	Sb=Smodel-Sa
		平均すべり量Db	0.7 m	Db=Mob/($\mu \cdot Sb$)
断層アスペクト比		1.7		
背景領域の幅Wb		16 km		
背景 領域	実効応力 σb	2.8 MPa	$\sigma b=(Db/Wb) \cdot (\sqrt{\pi}/Da) \cdot r \cdot \Sigma \gamma i^3 \cdot \sigma a$	
	地震モーメントMob	9.73E+18 Nm	Mob=Mo-Moa	
	計算用面積	424.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ	



図Ⅱ. 1-3 (6) 県庁直下に震源を仮定した地震 (M7.3)

表Ⅱ. 1-1 (7) 断層パラメータ：市役所、町役場直下に震源を仮定した地震

項目	値	設定方法		
活断層長さL	17.3780083 km	$\log L = 0.6M - 2.9$		
マグニチュードM	6.9			
傾斜角 δ	90°			
すべり角 γ				
上端深さ	3 km	微小地震の発生と地震基盤深さから		
断層モデル長さLmodel	18 km	断層モデルメッシュサイズ		
断層モデル幅Wmodel	16 km			
断層モデル面積Smodel	288 km ²	$S_{model} = L_{model} \times W_{model}$		
地震モーメントMo	6.21E+18 Nm	$\log Mo = 1.17M + 10.72$		
モーメントマグニチュードMw	6.5	$Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$		
断層モデルの等価半径R	9.6 km			
静的応力降下量 $\Delta\sigma$	3.1 MPa	$\Delta\sigma = 7/16 Mo / R^3$		
地震発生層の密度 ρ	2700.0 kg/m ³			
S波速度 β	3.40 km/s			
剛性率 μ	3.12E+10 N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$		
平均すべり量Dmodel	0.7 m	$Mo / (\mu S_{model})$		
短周期レベルA	9.74E+18 Nm/s ²	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (Mo \times 10^7)^{1/3}$		
SMGA個数	1	地震規模より		
巨視的パラメータ	全SMGA	面積Sa	56.2 km ²	$Sa = \pi r^2$
		等価半径r	4.2 km	$r = \sqrt{7\pi/4 \cdot Mo / (A \cdot R) \cdot \beta^2}$
		平均すべり量Da	1.4 m	$Da = \gamma D \cdot D_{model}, \gamma D = 2.0$
		実効応力 σa	15.8 MPa	$\sigma a = \Delta\sigma a = 7/16 \cdot Mo / (r^2 \cdot R)$
		地震モーメントMoa	2.42E+18 Nm	$Moa = \mu Da Sa$
	第1SMGA	面積Sa1	56.2 km ²	$Sa1 = Sa \cdot (2/3)$
		等価半径r1	4.2 km	$r1 = (Sa1 / \pi)^{1/2}$
		等価半径比 $\gamma 1$	1.0	$\gamma 1 = r1 / r$
		平均すべり量Da1	1.4 m	$Da1 = (\gamma 1 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a1$	15.8 MPa	
	第2SMGA	SMGAMoa1	2.42E+18 Nm	
		SMGAMwa1	6.2	
		計算用面積	60.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sa2	0.0 km ²	$Sa2 = Sa \cdot (1/3)$
		等価半径r2	0.0 km	$r2 = (Sa2 / \pi)^{1/2}$
	背景領域	等価半径比 $\gamma 2$	0.0	$\gamma 2 = r2 / r$
		平均すべり量Da2	0.0 m	$Da2 = (\gamma 2 / \sum \gamma i^3) \cdot Da$
		実効応力 $\sigma a2$	0.0 MPa	$\sigma a2 = \sigma a$
		SMGAMoa2	0.00E+00	
		SMGAMwa2	#NUM!	
	背景領域	計算用面積	0.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sb	231.8 km ²	$Sb = S_{model} - Sa$
		平均すべり量Db	0.5 m	$Db = Mo_b / (\mu \cdot Sb)$
		断層アスペクト比	1.1	
背景領域の幅Wb		14 km		
実効応力 σb	3.1 MPa	$\sigma b = (Db / Wb) \cdot (\sqrt{\pi} / Da) \cdot r \cdot \sum \gamma i^3 \cdot \sigma a$		
地震モーメントMob	3.78E+18 Nm	$Mob = Mo - Moa$		
計算用面積	228.0 km ²	断層モデルメッシュサイズ		

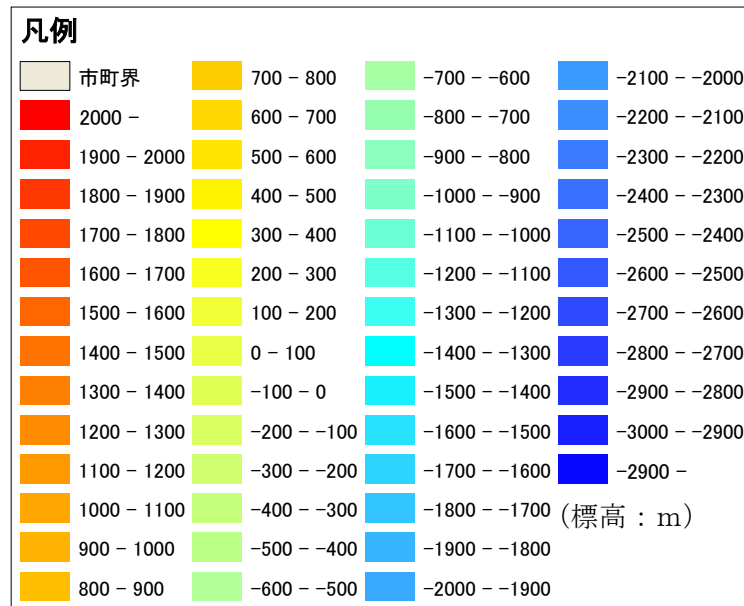


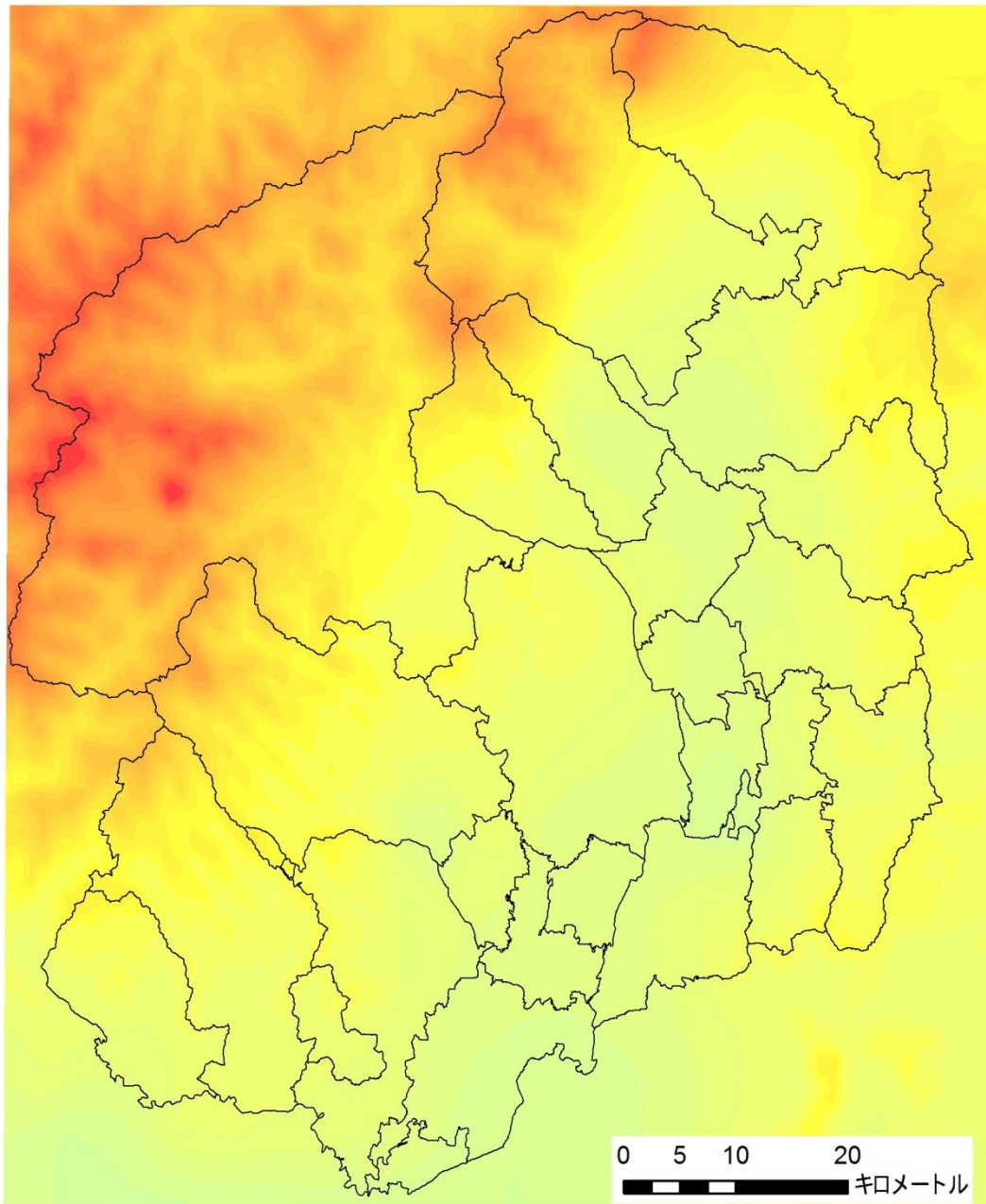
図Ⅱ. 1-3 (7) 断層モデル：市役所、町役場直下に震源を仮定した地震

(3) 地盤モデルの設定

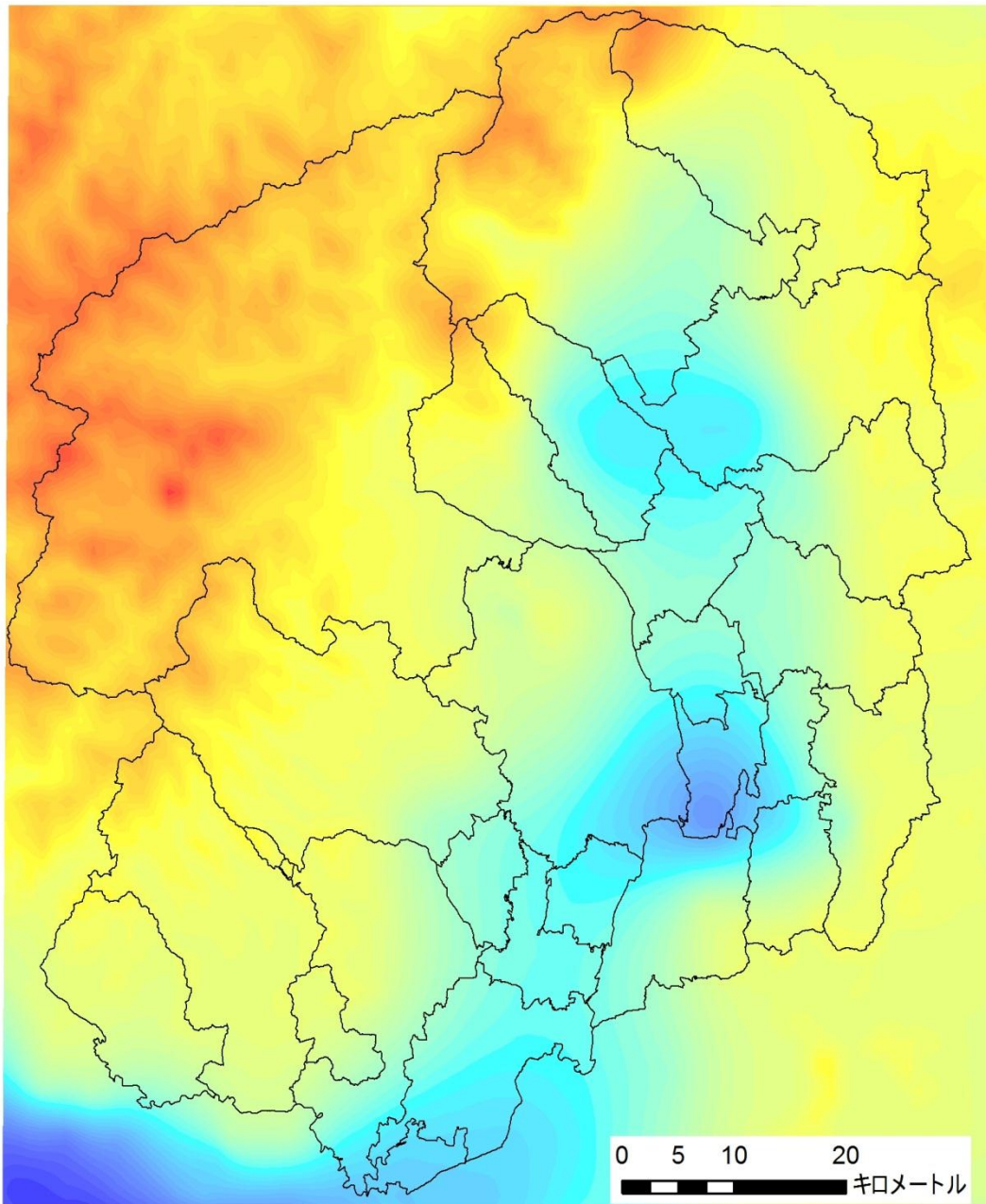
ア 深部地盤モデル

深部地盤モデルとしては、上部マントルから地震基盤（S波速度 3km/s 相当層）までの地殻構造、地震基盤から深部地盤（S波速度 400m/s～700m/s 相当層）までの構造を 1 km メッシュでモデル化した「全国 0.5 次モデル（2009；防災科学技術研究所）」を基に改良した「全国 1 次地下構造モデル（暫定版）（2012；地震調査研究推進本部）」を採用した。深部地盤モデルの S 波速度別の深度分布を図 II. 1-4 に示した。





図Ⅱ. 1-4 (1) 深部地盤モデル (全国1次地下構造モデル (暫定版) $V_s=600\text{km/s}$ の標高)



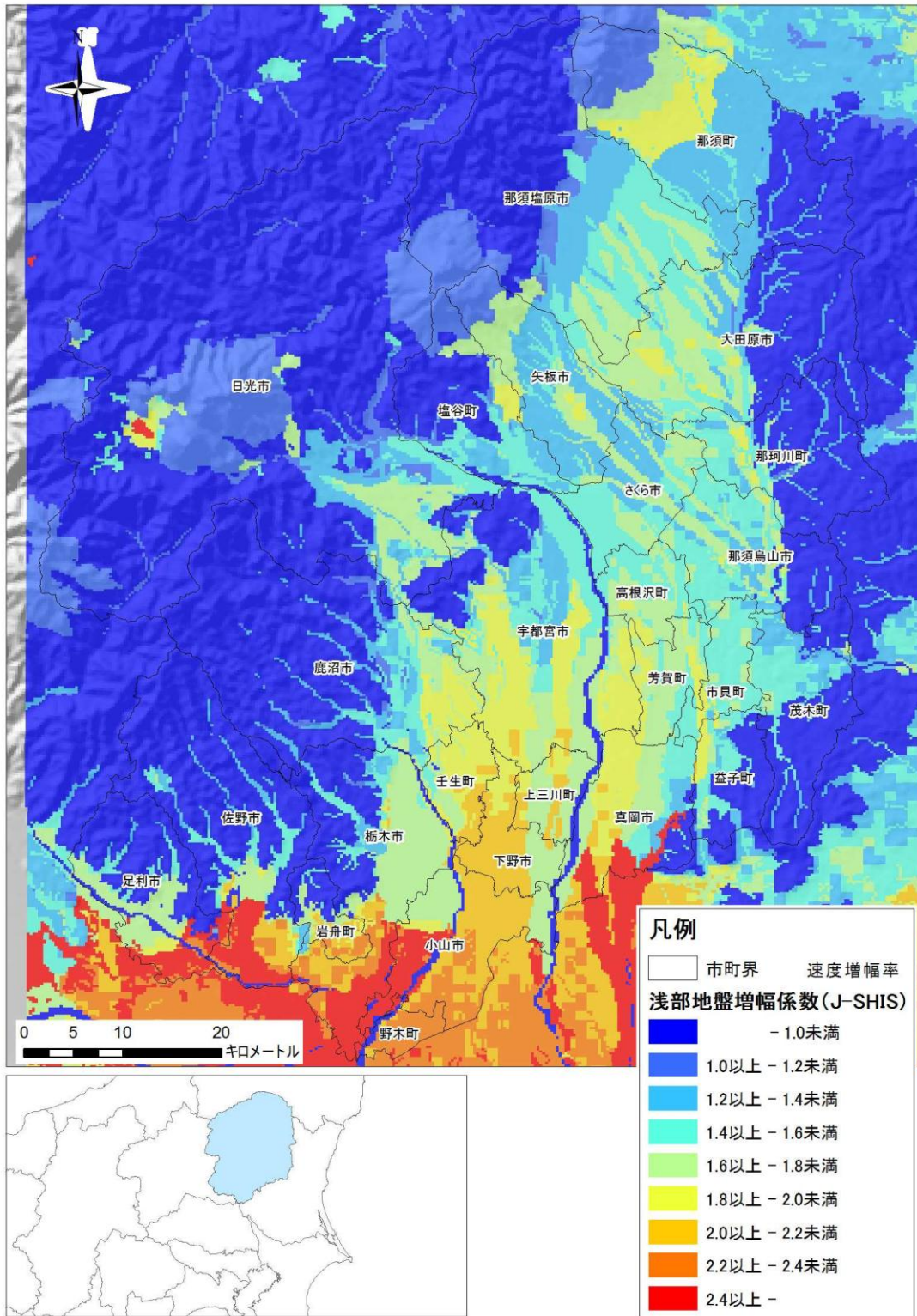
図Ⅱ. 1-4 (2) 深部地盤モデル(全国1次地下構造モデル(暫定版) $V_s=3, 200\text{km/s}$ の標高)

イ 浅部地盤モデルの作成

1) 浅部地盤モデル

浅部地盤モデルは、J-SHIS 地盤モデルを採用した。

J-SHIS 地盤モデルは、全国を網羅した表層地盤特性のベースマップである 250m メッシュの微地形区分等を用いて地表から深さ 30m までの地盤の平均 S 波速度 (AVS30) を設定し、AVS30 と浅部地盤の最大速度増幅率の経験的關係式から、各メッシュの最大速度増幅率を設定したものである。本県周辺の最大速度増幅率を図 II. 1-5 に示した。



図Ⅱ. 1-5 表層地盤の速度増幅率 (J-SHIS 地盤モデル $V_s=400\text{m/s}$ -地表)

(4) 地震動の予測

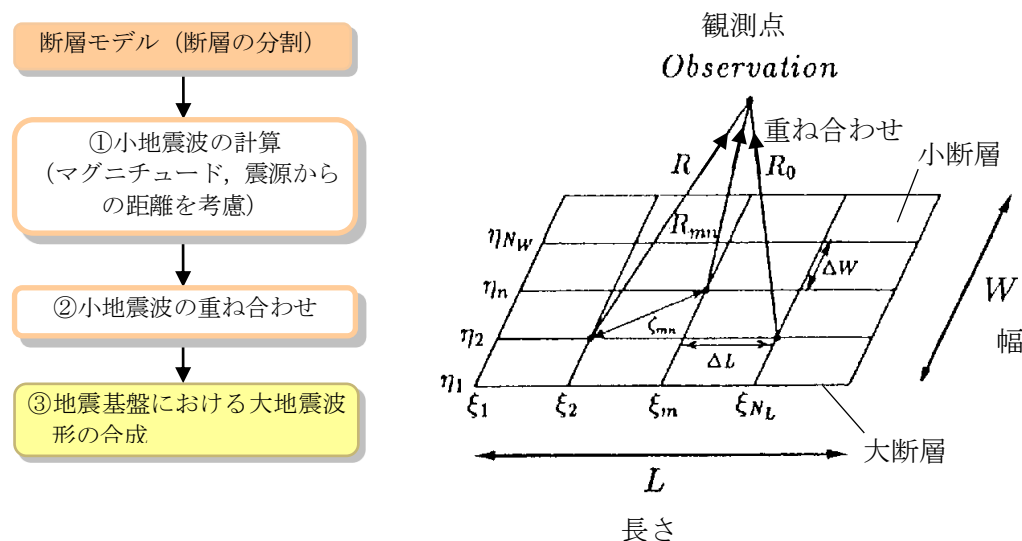
ア 地震基盤の地震動予測

活断層等を震源とする地震及びどこでも起こりうる直下の地震の地震基盤の地震動は、統計的グリーン関数を用いて強震動を予測する原田ら(1995)⁵,大角ら(1998)⁶の手法を用いて予測した。

1) グリーン関数法の特徴

グリーン関数法では、図Ⅱ. 1-6に示すように、発生する地震の規模によって震源断層を小さい領域(小断層:幅 ΔW 、長さ ΔL)に分割し、それぞれの小断層から発する小地震波を破壊の進行に要する時間と観測点までの距離を考慮して重ね合わせることにより、大断層(幅 W 、長さ L)の大地震波を合成する。

この方法により、震源の破壊方向に向けて強震動となる地域が現れる現象や、強震動生成域の近傍で、特に強い地震動が現れる現象などを表現することができるため、地震による揺れの平面的分布が実現象に近い状態として計算されるのが特徴である。



図Ⅱ. 1-6 統計的グリーン関数(原田ら(1995)⁵,大角ら(1998)⁶の手法)の計算

2) グリーン関数法による地震動の計算方法

①小地震波の計算

グリーン関数法による地震動(振幅スペクトル)の算定式及び各パラメータは次のとおりである。

まず、対象とする震源断層面を小断層(ここでは2kmメッシュ)に分割し、小断層ごとに ω^{-2} 則を満たす次式により振幅スペクトル $|A(\omega)|$ を求める。

$$|A(\omega)| = CA_s(\omega)A_D(\omega) \quad 1 \text{ 式}$$

ここで、 C 、 $A_s(\omega)$ 、 $A_D(\omega)$ はそれぞれ振幅数、震源スペクトル、地震波の減衰特性を現す係数で、次の各式となる。

$$C = \frac{R(\theta, \phi)FV}{4\pi\rho C_s^3} \quad 2 \text{ 式}$$

$R(\theta, \phi)$ は地震波の放射パターンに対する補正係数、 F は自由表面の影響による波動の増幅補正係数、 V は 2 方向の水平成分のエネルギー配分を説明する低減係数で、 ρ は媒質の密度、 C_s は媒質のせん断波速度である。

本調査では、 $R(\theta, \phi)$ 、 F 、 V は Hanks and McGuire(1981)⁷、 ρ 、 C_s は原田ら(1995)⁵により、次のとおりとした。

$$R(\theta, \phi) = 0.63$$

$$F = 2.0$$

$$V = 0.5$$

$$\rho = 2.7 \text{ (g/m}^3\text{)}$$

$$C_s = 3.4 \text{ (km/s)}$$

$$A_s(\omega) = \frac{M_0\omega^2}{1 + (\omega/\omega_c)^2} \quad 3 \text{ 式}$$

M_0 は地震モーメント、 ω_c はコーナ振動数で、コーナ振動数は地震モーメント M_0 と地震断層の応力パラメータ $\Delta\sigma$ により次式としている。

$$\omega_c = 2\pi \times 4.9 \times 10^6 C_s \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$$

本調査では、 $\Delta\sigma$ は、地震によらず

$$\Delta\sigma = 3.12 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

とし、 M_0 は各地震の震源パラメータとして設定した。

$$A_D(\omega) = \frac{1}{1 + (\omega/\omega_{\max})^n} \frac{1}{R} \exp\left(-\frac{\omega R}{2QC_s}\right) \quad 4 \text{ 式}$$

右辺第1因子は、地震波の高振動数を遮断するフィルターで、本調査では $n=1$ とした。第2因子は、せん断波（S波）の幾何学的減衰特性、第3因子は地震波のエネルギーが地殻や地盤材料の非弾性的性質により消費される材料減衰 Q の効果を表す。

本調査では、

$$\omega_{\max} = 2\pi \times 10^{(1.824-0.160M)}$$

$$Q = 10^{(q1 \log(\omega/2\pi) + q2)}$$

$q1$ 、 $q2$ は地域によって変る変数で、本調査では Kiyono(1992)⁸ による関東地方の値である $q1=0.62$ 、 $q2=2.4$ を採用した。

②小地震波の重ね合わせ

非定常スペクトル密度関数 $S_{aa}(t, \omega)$ を持つ時刻 t における非定常確率波 $a(t)$ を正弦波の級数和として次式により計算する。

$$a(t) = \sqrt{2} \sum_{j=1}^{N_\omega} \sqrt{2S_{aa}(t, \omega_j) \Delta\omega} \cos(\omega_j t + \phi_j) \quad 5 \text{ 式}$$

$$\omega_j = j\Delta\omega \quad \Delta\omega = \frac{\omega_u}{N_\omega} \quad j = 1, 2, \dots, N_\omega$$

このとき、 ω_u は振動数の上限値で、これ以上の振動数では非定常スペクトルの振幅が数学的又は物理的理由から十分に小さくゼロとみなされる振動数である。

また、 ϕ_j は $(0, 2\pi)$ の間で一様分布を持つお互いに独立な不規則位相角である。

本調査では、 $\omega_u = 2\pi \times 50(\text{rad/sec})$ 、 $N_\omega = 1,024$ として計算した。

なお、非定常パワースペクトル密度関数 $S_{aa}(t, \omega)$ は

$$S_{aa}(t, \omega) = \frac{1}{2\pi} |W(t, \omega)|^2 |A(\omega)|^2 \quad 6 \text{ 式}$$

により求め、このとき $A(\omega)$ は1式で求め、 $|W(t, \omega)|$ は、地盤加速度波形の非定常性を表すための変換係数で、原田ら(1995)⁵ による次式により求めた。

$$|W(t, \omega)| = \frac{e^{-(c_1\omega+c_2)t} - e^{-(c_3\omega+c_4)t}}{e^{-(c_1\omega+c_2)t^*} - e^{-(c_3\omega+c_4)t^*}} \quad 7 \text{ 式}$$

$$t^* = \frac{\ln(c_1\omega + c_2) - \ln(c_3\omega + c_4)}{(c_1\omega + c_2) - (c_3\omega + c_4)} \quad 8 \text{ 式}$$

$$c_1 = [(6.0\Delta - 1600.0)M + 14000.0 - 54.0\Delta] \times 10^{-6}$$

$$c_2 = [(4.0\Delta - 1000.0)M + 9500.0 - 36.0\Delta] \times 10^{-4}$$

$$c_3 = [(6.0\Delta - 1600.0)M + 15000.0 - 54.0\Delta] \times 10^{-6}$$

$$c_4 = [(4.0\Delta - 1000.0)M + 9510.0 - 54.0\Delta] \times 10^{-4}$$

M : マグニチュード、 Δ : 震央距離(km)

なお、1式は、加速度波形のスペクトル振幅幅を表すもので、速度は計および変位波形のスペクトル幅は次のとおりとなる。

$$|V(\omega)| = \frac{1}{\omega} |A(\omega)| \quad 9 \text{ 式}$$

$$|U(\omega)| = \frac{1}{\omega^2} |A(\omega)| \quad 10 \text{ 式}$$

③地震基盤における大地震波形の合成

大地震の地震断層を小断層が集合したものとして扱い、S波の距離減衰は震源から観測点までの距離 (R_{mn}) に逆比例するとして、大地震の地震動を小地震の地震動 $u_0(x, \omega)$ から 11 式により近似的に計算している。

$$u(x, \omega) = \sum_{m=1}^{N_L} \sum_{n=1}^{N_w} \frac{R_0}{R_{mn}} T_{mn}(\omega) e^{-i\omega(\tau_{mn}+t_{mn})} u_0(x, \omega) \quad 11 \text{ 式}$$

R_{mn} : 小断層 (m, n) から観測点までの距離

t_{mn} : 小断層 (m, n) から発生した S 波が観測点に到達する時間

τ_{mn} : 断層の破壊面が震源から小断層 (m, n) に到達するまでの時間遅れ

$T_{mn}(\omega)$: 伝達関数

本調査では、伝達関数は、原田ら (1995) ⁵を参考として、下記の Brune モデルを採用した。

$$T_{mn}(\omega) = \left[\begin{array}{c} \omega_2 + \left(\frac{N}{\tau}\right)^2 \\ \omega_2 + \left(\frac{1}{\tau}\right)^2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} i\omega - \left(\frac{1}{\tau}\right) \\ i\omega - \left(\frac{N}{\tau}\right) \end{array} \right] \quad 12 \text{ 式}$$

イ 地表面の地震動予測

浅部地盤表面、すなわち地表の地震動は、浅部地盤モデル (J-SHIS) による最大速度増幅率を深部地盤の最大速度に乗じて算定した。

なお、地表震度、地表加速度、SI 値は次の換算式で求めた。

震度-地表最大加速度換算式 (藤本・翠川 2005)

$$I = 2.002 + 2.603 \log PGV - 0.213 (\log PGV)^2$$

震度-地表最大速度換算式 (童・山崎 1996)

$$PGV = 10^{(-0.23+0.51 I)}$$

震度-SI 値換算式 (童・山崎 1996)

$$SI = 10^{(-1.16+0.5 I)}$$

(5) 計算過程の検証

ア 基盤地震動及び深部地盤地震動の検証

深部地盤地震動が、震源からの距離が遠くなるにつれて弱くなる特性を、過去の地震記録を用いて表現した式として距離減衰式がある。

ここでは、距離減衰式として司・翠川の式*と本調査で計算した深部地盤地震動を比較し、過去の地震記録とのおおよその整合を確認することで、本調査の計算過程の妥当性を検証した。

本調査による関谷断層の地震の計算結果を司・翠川の式を重ねて図 II. 1-7 に示した。図 II. 1-7 では、概ね震源断層からの距離と最大速度 (PGV) の関係が司・翠川の式に沿っていることから、本調査での基盤地震動及び深部地盤地震動の計算過程が妥当であると判定した。

*司・翠川の式 (1999)

司・翠川の式は、1968 年から 1997 年までに日本で発生した 21 地震から得られた強震記録を用いて深部地盤の最大速度の距離減衰を表している。

$$\log_{10} A = b - \log_{10} X_{eq} - k \cdot X_{eq}$$

$$b = a \cdot M_w + h \cdot D + d_i + e$$

$$c = 0.0028 \times 100.50 \cdot M_w$$

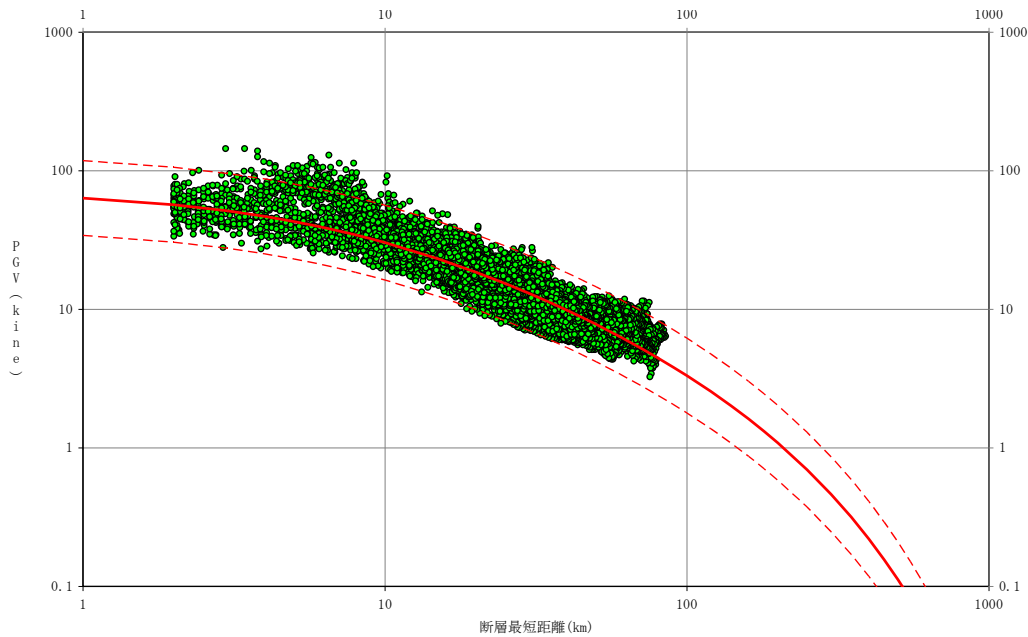
A : 最大速度 (cm/s)

X_{eq} : 等価震源距離 (km)

M_w : モーメントマグニチュード

D : 震源深さ (km)

$a = 0.58$, $h = 0.0031$, $e = -1.25$, $k = 0.02$, $d_i = 0$ (地殻内地震)



図Ⅱ. 1-7 深部地盤面における想定最大速度と距離減衰式 (司・翠川 1999) との比較 (関谷断層の地震)

イ 浅部地盤地震動の検証

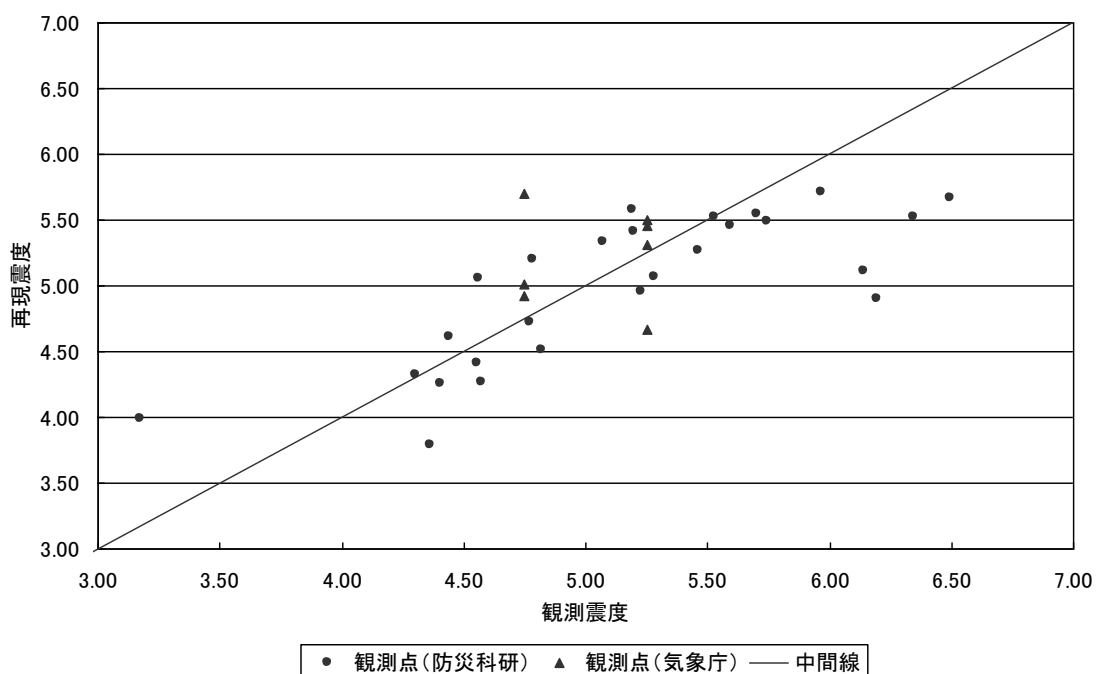
浅部地盤地震動の計算過程の検証は、浅部地盤の増幅率の検証とし、東北地方太平洋沖地震における地震観測点での観測値と浅部地盤モデルの増幅率による再現値の比較により、浅部地盤モデル (J-SHIS 地盤モデル) が地表の地震動を再現できているかを検証した。

検証は、次の手順でおこなった。

- ① 地震観測点の地震波形から地表の最大速度及び計測震度 (観測震度) を求める。
- ② 当該地点の地盤断面情報 (ボーリングデータ) から速度増幅率 (AVS30 から換算) により深部地盤表面の最大速度を求める。
- ③ ②深部地盤表面の最大速度から栃木県周辺の深部地盤表面の等最大速度線を作成し、各メッシュの深部地盤表面の最大速度を補間して求める。

- ④ 補間して求めた深部地盤表面の最大速度から、各メッシュの J-SHIS 浅部地盤モデルの速度増幅率により地表面の最大速度を求める。
- ⑤ 翠川らの式 (1999) により最大速度から震度を求める。
- ⑥ ①で求めた地震観測点の計測震度と⑤で求めた震度 (再現震度) を比較する。

地震観測点の観測震度と再現震度の関係を図Ⅱ. 1-8に示した。観測震度と再現震度は概ね 1:1 の関係に沿っており、表層地盤モデル (J-SHIS 地盤モデル) の速度増幅率は妥当であると判定した。



図Ⅱ. 1-8 地震観測点の観測震度と再現震度の関係

表Ⅱ. 1-2 震度階級と観測震度の関係

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度
0	0.5 未満	5 弱	4.5 以上 5.0 未満
1	0.5 以上 1.5 未満	5 強	5.0 以上 5.5 未満
2	1.5 以上 2.5 未満	6 弱	5.5 以上 6.0 未満
3	2.5 以上 3.5 未満	6 強	6.5 以上 6.5 未満
4	3.5 以上 4.5 未満	7	6.5 以上

2 液状化

液状化とは、地下水を豊富に含んだ砂質地盤が、地震動によって高くなった地下水圧により、砂の粒子間の結合と摩擦力が低下し、液体のように緩んで動く現象のことであり、流動化現象とも呼ばれる。このため、水・砂・泥を高く吹き上げる噴砂、噴泥によって地盤が盛り上がり、不同沈下、陥没を生じたりするので建物や土木構造物の転倒、沈下、傾斜につながり、次のような被害が生じる。

- ①地中のガス管・上下水道管・地下埋設物等、軽量構造物の浮上
- ②杭等の深い基礎で支えていない建物、橋梁等の重量構造物の沈下・傾斜
- ③堤防等、盛土の基礎地盤の液状化に伴う構造物沈下やすべり破壊の発生
- ④護岸や擁壁の側方流動、押し出し 等

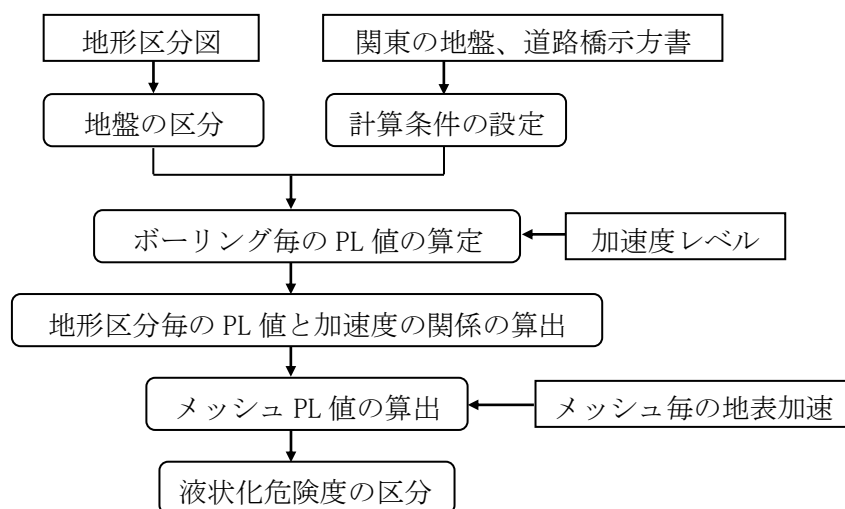
本調査では、震度分布と土質状況を基に、震度5強以上の地域を対象に、液状化が発生する危険度及びその影響の度合を評価するため、250mメッシュごとの液状化指数(PL値)を算定した。

PL 値：ある地点での液状化の可能性を総合的に評価するための指標であり、一般にPL 値が15以上の場合、液状化の危険がかなり高いとされている。

(1) 液状化危険度評価

ア 液状化危険度評価の流れ

液状化危険度評価は、図Ⅱ. 1-9 の手順で行った。



図Ⅱ. 1-9 液状化危険度評価の流れ

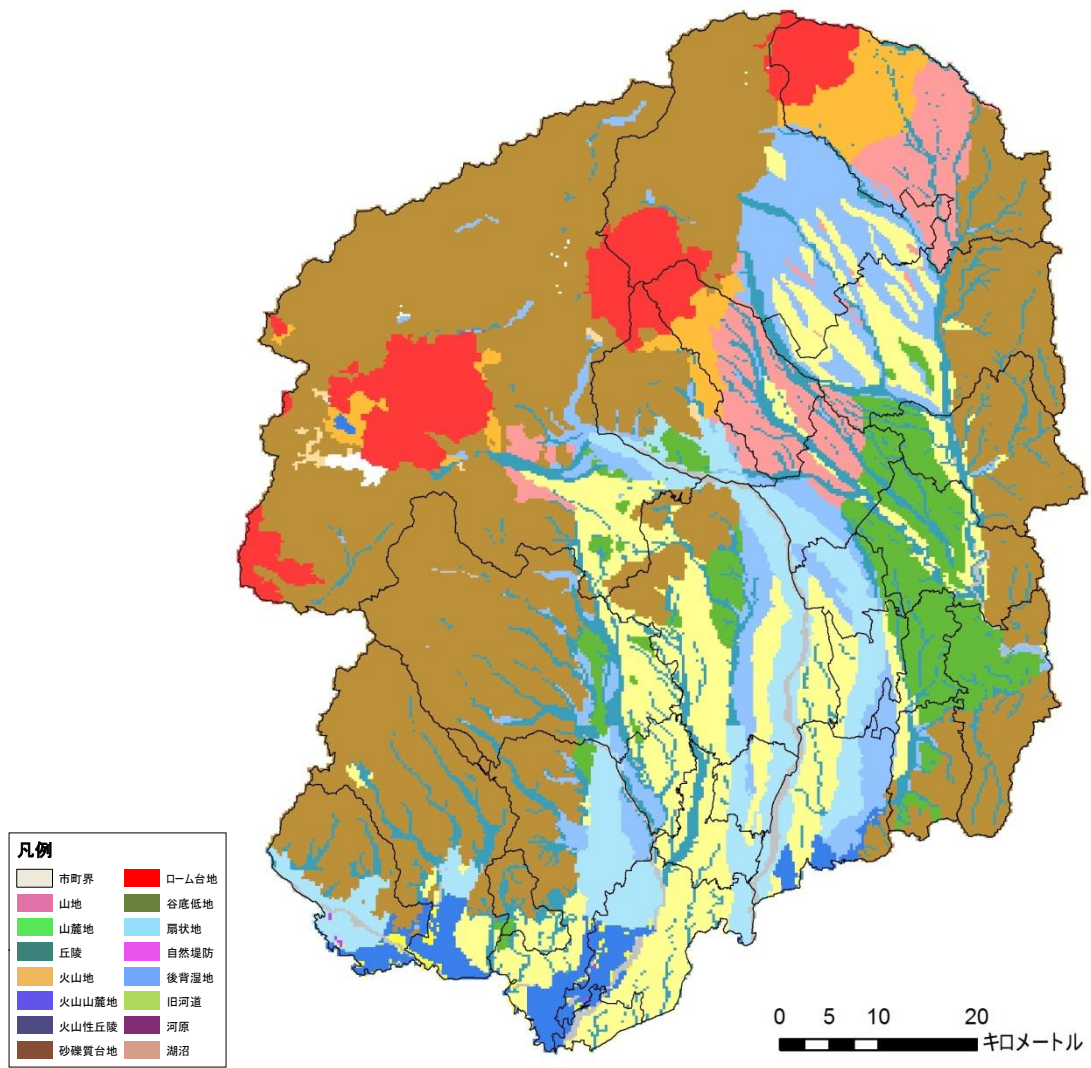
イ 液状化計算用地盤の区分（液状化用地盤モデルの設定）

液状化の可能性のある地盤モデル（液状化用地盤モデル）は、浅部地盤モデル（J-SHIS）から地形を基準に抽出し、設定した。

基準とした浅部地盤モデル（J-SHIS）の地形区分を図Ⅱ. 1-10に示した。

液状化の可能性のある地形として液状化判定に抽出した地形区分

谷底低地、扇状地、自然堤防、後背湿地、旧河道、河原



図Ⅱ. 1-10 液状化用地盤モデル（地形区分 J-SHIS）

ウ PL 値の算定

本県内では地盤工学会関東支部により「関東の地盤（2010年）」としてボーリングデータのデータベース化がなされている。このボーリングデータベースには栃木県内で2,500本が登録されている。これらのボーリングデータを用いてPL値を計算した。

なお、PL値の算定には、日本道路協会（1996）による液状化に対する安全率 F_L 値の算定手法を用いた。この手法は、平成7年兵庫県南部地震による液状化の発生状況を踏まえて改訂されており、対象とする地層は次の3つの条件にすべて該当するものとしている。

- ①地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- ②細粒分含有率 FC が35%以下の土層、または FC が35%をこえても塑性指数 I_p が15以下の土層
- ③平均（50%）粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層

地盤内の各深度における液状化に対する安全率 F_L 値は、地層が有する動的せん断強度比 R と作用する地震時せん断応力比 L によって定義し、この値が1.0以下の土層については液状化するものとみなす。

$$F_L = R / L$$

地震時せん断応力比 L は、地表最大加速度から次式で表される。

$$L = (\alpha / g) \cdot (\sigma_v / \sigma_v') \cdot \gamma_d$$

このとき、 α : 地表最大加速度 (gal)

g : 重力加速度 (=980gal)

σ_v : 全上載圧 (kgf/cm²)

σ_v' : 有効上載圧 (kgf/cm²)

γ_d : 低減係数 (=1.0-0.015 z 、 z : 地表面からの深さ (m))

地層が有する動的せん断強度比 R は、地盤の繰返し三軸強度比 R_L を用いて以下の補正式により求める。

$$R = C_w \cdot R_L$$

地震動特性による補正係数 C_w は以下のように定められている。

(プレート境界型の大地震の場合)

$$C_w = 1.0$$

(内陸直下型地震の場合)

$$C_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

繰返し三軸強度比 R_L は、以下の式により算出する。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{N_a/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} & (N_a \geq 14) \end{cases}$$

粒度の影響を考慮した補正N値 (N_a) は、次のように求める。

(砂質土の場合)

$$N_a = C_1 \cdot N_I + C_2$$

$$N_I = 1.7 \cdot N / (\sigma_v' + 0.7)$$

$$C_1 = \begin{cases} 1.0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases}$$

(礫質土の場合)

$$N_a = \{1 - 0.36 \cdot \log_{10}(D_{50}/2)\} \cdot N_I$$

ここに、 N : 標準貫入試験から得られるN値

N_I : 有効上載圧 1kgf/cm^2 相当に換算したN値

C_1 、 C_2 : 細粒分含有率によるN値の補正係数

上記の液状化安全率 (F_L) は、ある深度における液状化の発生の可能性を評価するものであり、地盤全体を評価する指標として液状化指数 P_L を次のように求めた。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot (10 - 0.5z) dz$$

($F_L \geq 1.0$ の場合、 $F_L = 1$ とする)

エ 計算条件の設定（土質定数等の設定）

1) 対象とする地盤

液状化の検討を行う地盤は、J-SHIS の浅部地盤モデルの地形区分で谷底低地、扇状地、自然堤防、後背湿地、旧河道、河原に分類された地域とした。

2) 地下水位

地下水位は、安全側を考慮して全域で一律 GL-1m と設定した。

3) 土質定数

単位体積重量 (γ_t)、50%粒径 (D_{50})、細粒分含有率 (F_c) は、道路橋示方書 V耐震設計編「土質分類と単位重量・平均粒径・細粒分含有率の概略値」を参考に設定した。

表 II. 1-3 採用した土質定数等

区分	γ_t	D_{50} (mm)	F_c (%)
砂	1.8	0.35	10
礫	1.9	2.00	0

オ ボーリング毎の PL 値の算出

「関東の地盤（2010 年）」に登録されているボーリング毎に地表加速度レベル毎に PL 値を算定した。

カ PL 値と加速度の関係の算出

ボーリング地点の存在するメッシュの液状化用地盤モデル毎に、ボーリング地点単位で地表加速度レベル毎に算定した PL 値の平均値とり、PL 値と加速度の関係を求めた。

キ メッシュ PL 値の算出

前項で求めた地形区分毎の PL 値と加速度の関係及びメッシュの想定地震における加速度を用いて、メッシュの PL 値を算出した。

ク 液状化危険度の区分

前項までで算出された P_L 値を用いて、液状化危険度を次の 5 段階に区分した。

$P_L = 0$	液状化の危険度はかなり低い
$0 < P_L \leq 5$	液状化の危険度は低い
$5 < P_L \leq 15$	液状化の危険度が高い
$15 < P_L \leq 30$	液状化の危険度がかなり高い
$30 < P_L$	液状化の危険度が極めて高い

3 土砂災害

通常時における斜面崩壊の危険性は、地形要因や地質・土質要因、環境要因を考慮した方法（既往地震による斜面崩壊事例を統計的に調査し、作成した判定基準をもとに危険度判定を行う手法）によって判定される。

地震時における斜面崩壊の危険性も、地震動の大きさのみならず、地形、地質等による影響も考慮する必要がある。

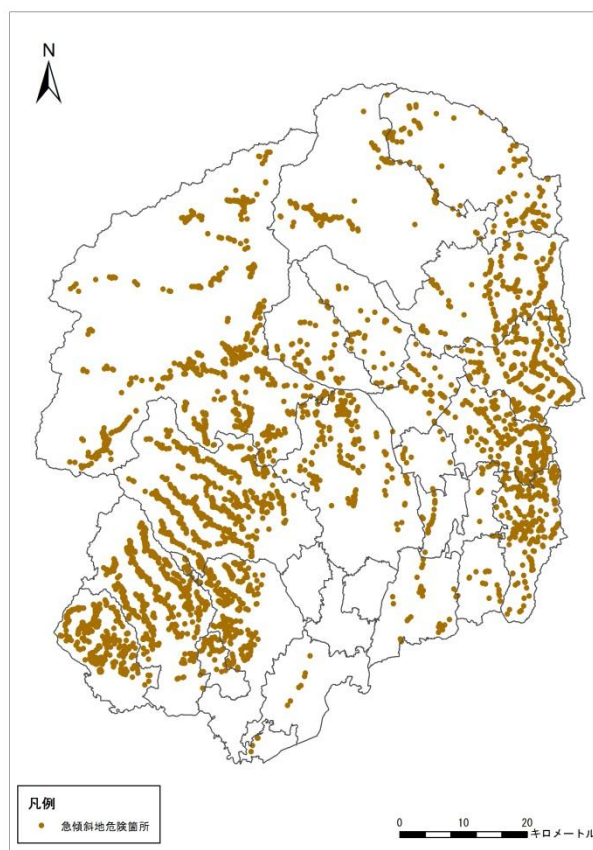
本調査では、斜面崩壊等の危険があるものの内、県内で設定されている急傾斜地崩壊危険箇所（3,549箇所）、地すべり危険箇所（96箇所）、山腹崩壊危険地区（1,713箇所）、地すべり危険地区（16箇所）を対象に、個々の斜面における地形や地質の状況（地震動に対し斜面のもつ崩壊の素因的条件）と、当該斜面の存在するメッシュにおける地震動の大きさから、斜面の崩壊危険度を予測した。

なお、土砂災害は、降雨などで土中の水分含有量が上昇すると、その発生確率が増加する危険性があることに注意が必要である。

(1) 急傾斜地崩壊危険箇所の評価手法

ア 対象と資料

「栃木県砂防水資源課調べ：平成25年3月31日」による急傾斜地崩壊危険箇所の内、保全対象人家（公共施設を含む）を有し、かつ対策工事が実施されていない箇所を対象に評価した。



図Ⅱ.1-1 1 急傾斜地崩壊危険箇所の分布

イ 判定方法

中央防災会議(2006)⁹を参考に、地形・地質状況等を点数付けし、その合計点数（基準要素点）に応じて耐震ランクを設定し、さらに当該急傾斜地崩壊危険箇所における震度から土砂災害危険度ランクを判定した。

表Ⅱ. 1-4 耐震ランクの配点⁹

大項目	小項目	点数
斜面の高さ	$50\text{m} \leq H$	10
	$30\text{m} \leq H < 50\text{m}$	8
	$10\text{m} \leq H < 30\text{m}$	7
	$H < 10\text{m}$	3
斜面勾配 (θ)	$59^\circ \leq \theta$	7
	$30^\circ (45^\circ) \leq \theta < 59^\circ$	4
	$\theta < 30^\circ (45^\circ)$	1
オーバーハング	有	4
	無	0
斜面の地盤	亀裂が発達、開口しており、転石、浮石が点在する	10
	風化、亀裂が発達した岩である	6
	礫混じり土、砂質土	5
	粘性土	1
	風化、亀裂が発達していない岩である	0
表土の厚さ	0.5m 以上	3
	0.5m 未満	0
湧水	有	2
	無	0
落石・崩壊履歴	新しい崩壊地がある	5
	古い崩壊地がある	3
	崩壊値は認められない	0

表Ⅱ. 1-5 耐震ランク

耐震ランク	基準要素点
a	24 点以上
b	14~23 点
c	13 点以下

表Ⅱ. 1-6 危険度ランク判定テーブル⁹

耐震ランク 震度階級	a	b	c
6 強以上	A	A	A
6 弱	A	A	B
5 強	A	B	C
5 弱	B	C	C
4	C	C	C

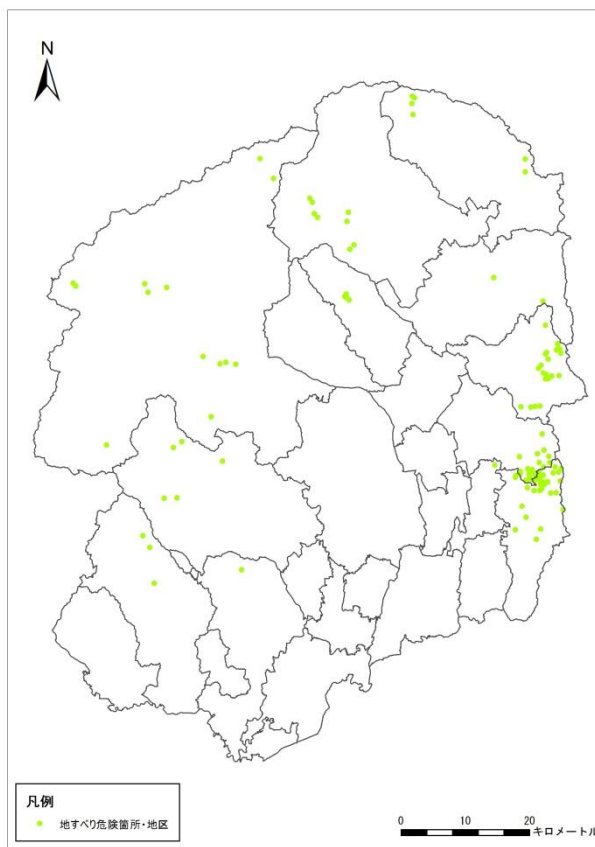
表Ⅱ. 1-7 土砂災害危険度ランク

ランク	危険度
A	発生する可能性が高い
B	発生する可能性がある
C	発生する可能性は低い

(2) 地すべり危険箇所の評価手法

ア 対象と資料

「栃木県砂防水資源課調べ：平成 25 年 3 月 31 日」、「山地災害危険地区調査：栃木県森林整備課平成 23 年 4 月 1 日」による地すべり危険箇所・地区の内、保全対象人家（公共施設を含む）を有し、かつ対策工事が実施されていない箇所を対象とした。



図Ⅱ. 1-1 2 地すべり危険箇所・地区の分布

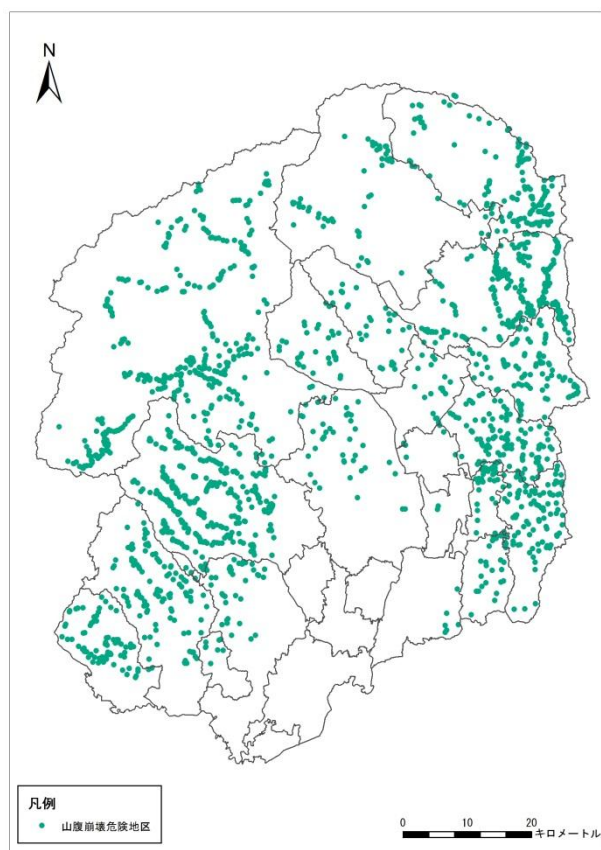
イ 判定方法

地すべり危険箇所の危険性については、地質条件、地形的変状、活動履歴等を考慮した手法によって個別に判定されている。地震時の地すべりの危険性は、その要因が落石や崩壊と比較して不明瞭であり、危険性を詳細に評価するためには個別の詳細な安定解析を行うか、既往調査結果を判断指標に用いる他ない。本調査では、上記既往調査の危険度ランク（A：発生する可能性が高い、B：発生する可能性がある、C：発生する可能性は低い）を耐震ランク（a, b, c）と読み替えて、耐震ランクとメッシュ震度から急傾斜地崩壊危険箇所と同様に危険度を判定した。

(3) 山腹崩壊危険地区の評価手法

ア 対象と資料

「山地災害危険地区調査：栃木県森林整備課平成23年4月1日」による山腹崩壊危険地区の内、保全対象人家（公共施設を含む）を有し、かつ対策工事が実施されていない箇所を対象とした。



図Ⅱ. 1-13 山腹崩壊危険地区の分布

イ 判定方法

上記既往調査の危険度ランク（A, B, C）を耐震ランク（a, b, c）と読み替えて、耐震ランクとメッシュ震度から急傾斜地崩壊危険箇所と同様に危険度を判定した。

第2章 建物被害

揺れ、液状化、土砂災害、火災を原因とする建物被害は、全壊棟数、半壊棟数を250mメッシュ単位で想定する。

対象とした建物は、課税台帳の建物及び公共施設台帳の建物としたが、課税台帳の建物のうち、建築面積20㎡未満のものや、自転車置き場、バイク置き場、渡り廊下、階段等通常の建物とは考えにくいものについては対象外とした。

また、建物は、揺れによって全壊した後、火災で焼失するなど、複数の要因で重複して被害を受ける可能性がある。本調査では、複数の要因の重複を避けるため、「液状化⇒揺れ⇒土砂災害⇒火災焼失」の順で被害を算定し、重複を除去する。

例) 揺れによる全壊棟数を計算する際は、液状化で全壊した建物を除く。液状化で半壊した建物が揺れにより全壊した場合、揺れによる全壊棟数として計上する。

表Ⅱ.2-1 築年別建物棟数（課税台帳データ集計）

（単位：棟）

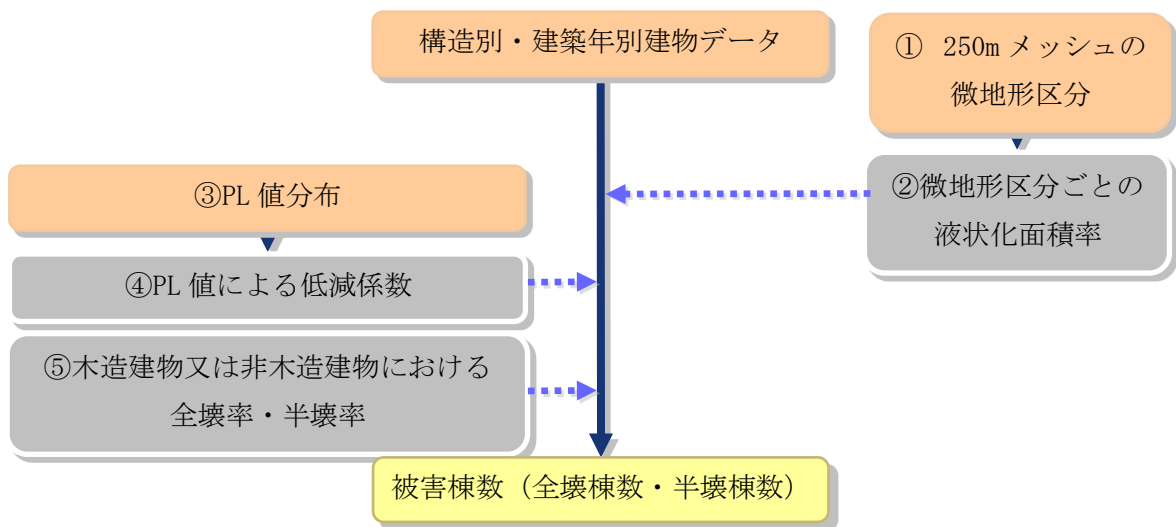
市町	木造							非木造					計	
	～1962年	1963～1971年	1972～1980年	1981～1989年	1990～2002年	2002年～	小計	～1971年	1972～1974年	1975～1980年	1981～1983年	1984年～		小計
宇都宮市	15,928	17,262	30,949	23,880	30,401	27,150	145,571	11,458	3,894	8,377	3,956	38,478	66,163	211,734
足利市	12,422	11,070	14,692	11,240	12,592	8,202	70,218	3,331	1,587	2,913	1,538	11,086	20,456	90,674
栃木市	19,749	11,882	18,114	14,310	14,443	8,588	87,085	4,122	2,053	4,473	1,867	13,211	25,726	112,811
佐野市	15,931	8,588	12,128	9,969	10,490	7,092	64,197	2,344	1,034	2,661	1,314	11,133	18,486	82,683
鹿沼市	11,549	5,596	8,699	8,604	9,806	5,810	50,064	4,076	1,266	2,366	1,025	9,234	17,968	68,032
日光市	11,704	6,488	9,378	8,072	10,132	4,268	50,043	2,600	1,008	1,860	704	6,885	13,057	63,100
小山市	10,600	7,471	10,687	8,974	11,741	8,442	57,914	2,580	1,513	2,927	1,188	14,799	23,008	80,922
真岡市	8,799	4,471	6,823	6,770	6,665	5,091	38,618	1,580	768	1,625	854	6,254	11,081	49,699
大田原市	11,309	4,171	8,297	7,539	9,098	4,277	44,691	3,454	950	2,931	901	7,882	16,119	60,810
矢板市	4,465	1,922	3,013	3,086	3,544	1,740	17,770	1,755	570	1,445	563	3,080	7,413	25,183
那須塩原市	6,293	6,029	10,377	9,302	14,310	7,579	53,890	2,764	1,382	3,123	1,054	10,608	18,930	72,820
さくら市	4,667	1,594	3,004	2,507	4,458	2,985	19,216	1,884	553	894	311	3,489	7,132	26,348
那須烏山市	5,743	2,492	4,408	3,321	3,661	1,682	21,307	853	375	912	391	2,174	4,705	26,012
下野市	4,626	2,423	3,968	3,494	5,560	3,184	23,255	970	449	940	392	5,500	8,251	31,506
上三川町	2,456	1,094	2,302	2,194	3,067	1,944	13,056	1,263	396	590	337	3,209	5,795	18,851
益子町	1,783	1,958	3,032	2,759	3,801	1,806	15,139	430	354	540	206	1,647	3,177	18,316
茂木町	5,124	1,507	2,266	1,999	1,918	714	13,528	556	103	366	112	1,158	2,296	15,824
市貝町	2,867	825	1,392	1,115	1,625	772	8,597	456	190	410	124	937	2,118	10,715
芳賀町	3,058	1,285	1,709	1,465	1,572	1,104	10,193	619	187	495	162	1,745	3,209	13,402
壬生町	3,806	1,807	3,590	3,736	3,930	2,268	19,138	864	403	822	417	3,624	6,129	25,267
野木町	1,456	907	2,025	2,998	2,505	1,394	11,287	289	128	304	222	2,037	2,979	14,266
岩舟町	2,471	1,539	2,137	1,852	2,043	939	10,980	381	148	417	232	1,582	2,761	13,741
塩谷町	2,439	839	1,594	1,309	1,595	614	8,390	993	273	672	268	1,477	3,683	12,073
高根沢町	3,238	1,416	2,215	2,009	2,465	1,584	12,927	1,141	187	666	247	2,545	4,786	17,713
那須町	5,049	3,172	4,958	4,976	9,236	5,224	32,615	1,309	606	1,193	547	3,559	7,215	39,830
那珂川町	5,306	1,449	2,387	1,911	2,469	1,037	14,558	738	279	663	180	1,377	3,238	17,796
県全体合計	182,837	109,260	174,144	149,391	183,126	115,489	914,247	52,813	20,656	44,586	19,114	168,712	305,881	1,220,128

1 液状化による建物被害の算定手法

(1) 液状化による建物被害

液状化による建物被害は、断層による地震の被害実績をよく反映した島根県(2012)¹⁰を参考に、メッシュごとの建物データと微地形区分から被害想定対象となる建物棟数を絞り込み、PL 値・微地形区分ごとの液状化面積率・全壊率・半壊率を用いて全壊棟数、半壊棟数を想定する。

(内閣府 2012)¹¹では、液状化に伴う地盤沈下量から建物被害を想定する手法を採用しているが、これは東日本大震災などで発生した大規模な液状化による被害を想定するものといえる。栃木県では、地盤の特性上、大規模な液状化が広範囲で発生しにくいことから、液状化面積率を取り入れた手法を採用する。



図Ⅱ. 2-1 液状化による被害棟数の算定フロー

- ① 地盤モデル作成に用いた 250m メッシュにより、微地形を区分する。
- ② 微地形区分ごとの液状化面積率は、損害保険料率算定機構 (2006)¹²を参考とする。

表Ⅱ. 2-2 微地形区分ごとの液状化面積率^{1 2}

微地形区分	1kmメッシュ 平均液状化 面積率(%)	根拠
埋立地	20	兵庫県南部地震の値
自然堤防	10	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
旧河道	25	新潟地震の値
砂丘末端緩斜面	太平洋側: 5	(砂丘と同じとする)
	日本海側: 15	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
砂丘間低地	太平洋側: 5	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
	日本海側: 5	(砂丘と同じとする)
砂丘	5	砂州・砂礫洲、砂丘間低地と同程度と仮定
砂州・砂礫州	5	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
後背湿地	3	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
三角州・海岸低地	太平洋側: 2	千葉県東方沖地震、兵庫県南部地震の値
	日本海側: 10	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
扇状地型谷底低地	3	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
デルタ型谷底低地	3	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
急勾配扇状地	1	兵庫県南部地震の値
緩勾配扇状地	1	兵庫県南部地震の値
干拓地	15	日本海中部地震・新潟県中越地震の値

③ PL 値を 250m メッシュごとに算定する。

④ PL 値による低減係数は損害保険率算定機構(2006)^{1 2}を参考として、表Ⅱ. 2-3 を用いる。

表Ⅱ. 2-3 PL 値による低減係数^{1 2}

PL値の範囲	PL値による 低減係数
PL=0	0.0
0<PL≤5	0.2
5<PL≤15	0.6
15<PL	1.0

- ⑤ 木造建物及び非木造建物における全壊率・半壊率は千葉県（2008）¹³を参考として、表Ⅱ. 2-4、表Ⅱ. 2-5を用いる。

表Ⅱ. 2-4 木造建物における全壊率・半壊率¹³

木造建物	液状化の発生状況	住宅基礎の状況	全壊率 (%)	半壊率 (%)	根拠
	埋立地・顕著な流動化が予測される地域 (日本海側の砂丘末端緩斜面)		基礎が全般的に強い (1971年以降の住宅)	5	65
基礎が全般的に弱い (1970年以前の住宅)			45	45	1983年日本海中部地震(砂丘性平坦地等)
上記以外の地域		基礎が全般的に強い (1971年以降の住宅)	1	30	2007年新潟県中越沖地震(橋場地区)
		基礎が全般的に弱い (1970年以前の住宅)	25	25	1983年日本海中部地震(砂丘地等)

表Ⅱ. 2-5 非木造建物における全壊率・半壊率¹³

	住宅基礎の状況	全壊率 (%)	半壊率 (%)
非木造建物	杭なし	23	30
	杭あり (4階以上の建物及び 1960年以降の1~3階 の建物の20%)	0	0

- ⑥ 被害棟数算定式は、次のとおりとする。

木造全壊建物棟数＝

木造建築年別建物棟数×微地形区分毎の液状化面積率×
PL値による低減係数×木造建物における全壊率

木造半壊建物棟数＝

木造建築年別建物棟数×微地形区分毎の液状化面積率×
PL値による低減係数×木造建物における半壊率

非木造全壊建物棟数＝

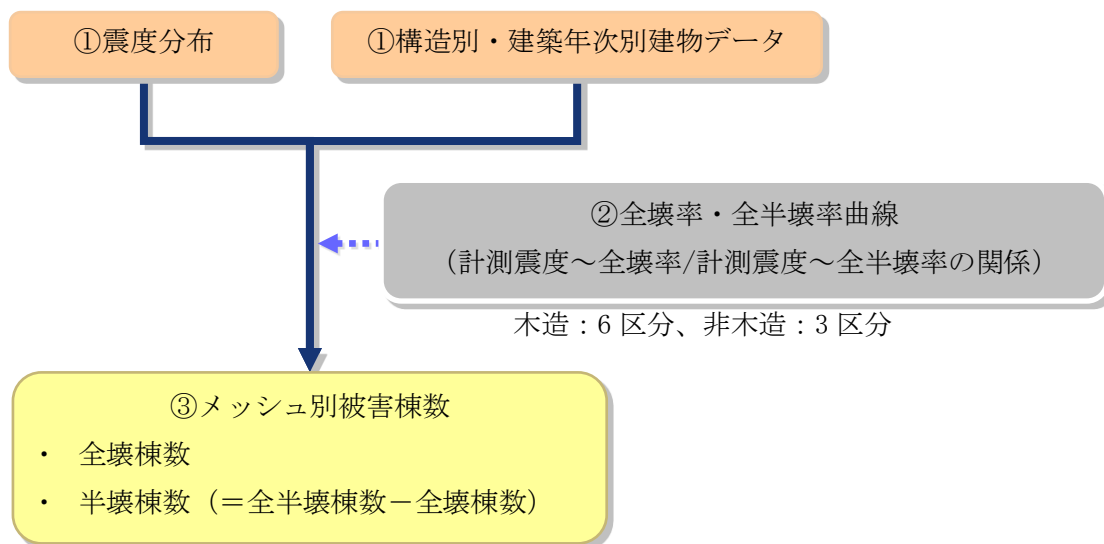
非木造建築年別建物棟数×微地形区分毎の液状化面積率×
PL値による低減係数×非木造建物における全壊率

非木造半壊建物棟数＝

非木造建築年別建物棟数×微地形区分毎の液状化面積率×
PL値による低減係数×非木造建物における半壊率

2 揺れによる建物被害の算定手法

震度分布と建物データから 250m メッシュデータごとの全壊棟数、半壊棟数を想定する。



図Ⅱ. 2-2 揺れによる建物被害の算定フロー

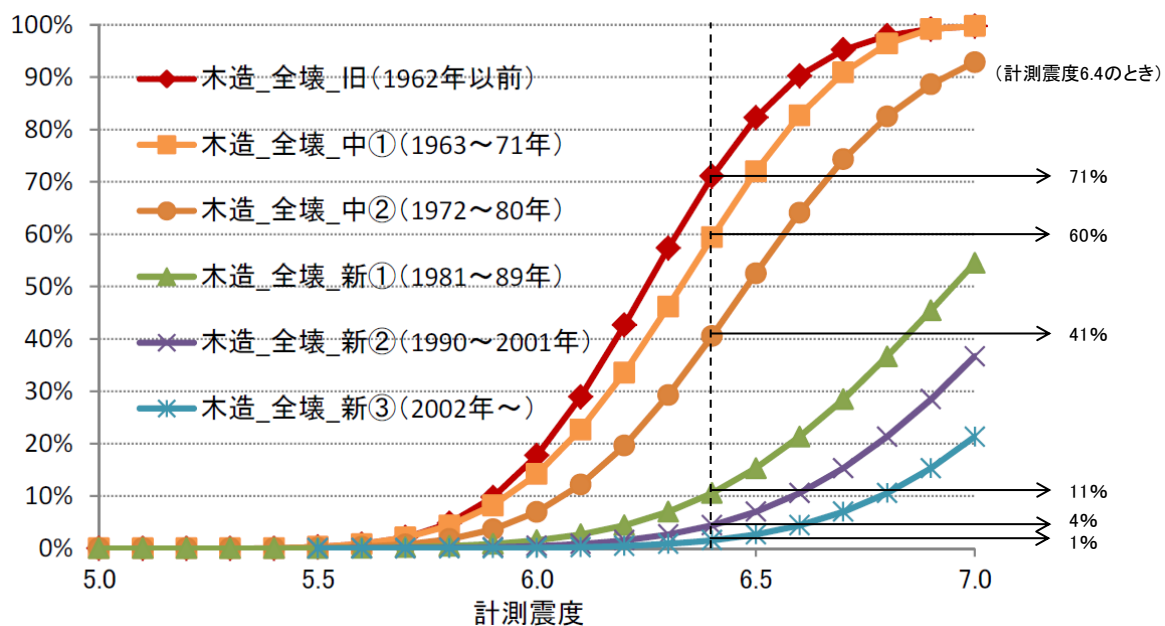
- ① 震度を 250m メッシュごとに算定する。
- ② 全壊率曲線、全半壊率曲線は内閣府（2012）¹¹（図Ⅱ. 2-3）を用いる。建物の分類は、構造（木造/非木造）、建築年代（木造 6 区分非木造 3 区分）とする。
- ③ 被害棟数算定式は、次のとおりとする。

木造全壊建物棟数＝
木造建築年別建物棟数×木造建物における計測震度別全壊率

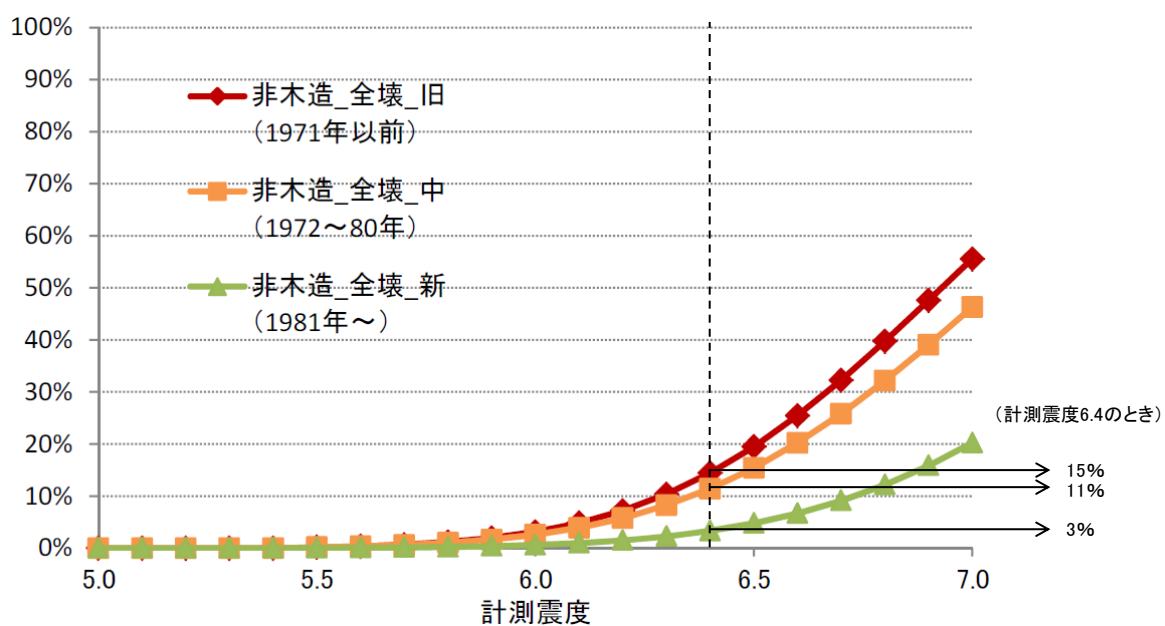
木造半壊建物棟数＝
木造建築年別建物棟数×木造建物における計測震度別全半壊率－
木造全壊建物棟数

非木造全壊建物棟数＝
非木造建築年別建物棟数×非木造建物における計測震度別全壊率

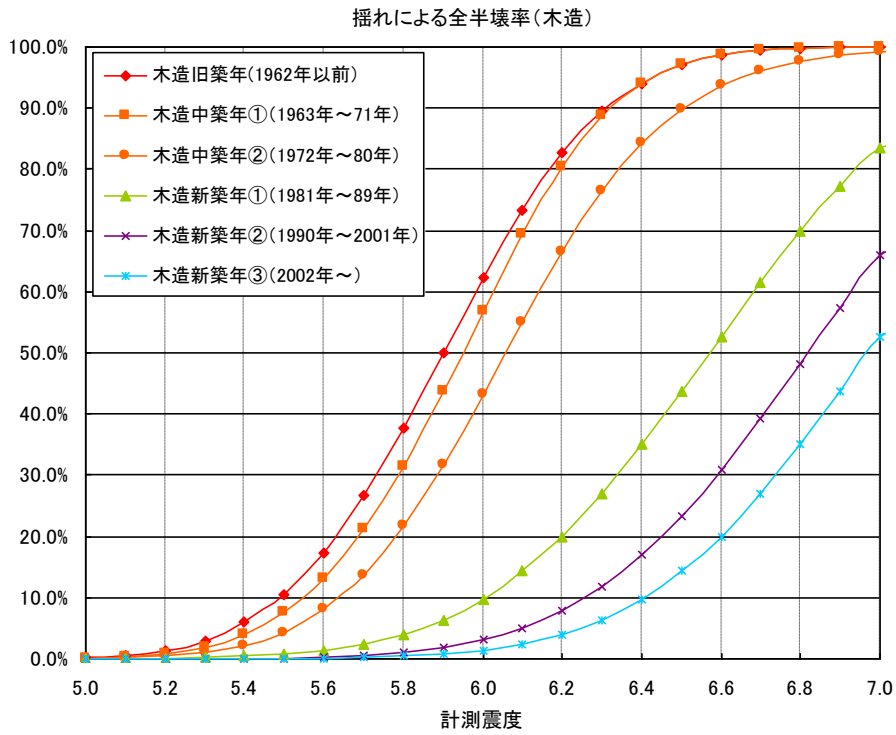
非木造半壊建物棟数＝
非木造建築年別建物棟数×非木造建物における計測震度別全半壊率－
非木造全壊建物棟数



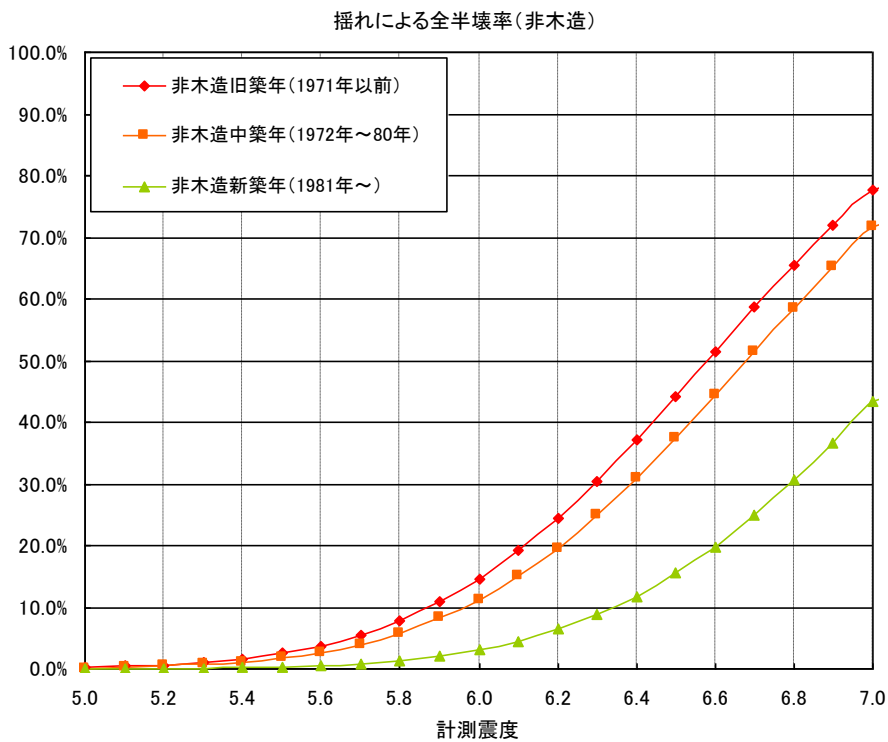
図Ⅱ. 2-3 (1) 全壊率曲線 (木造) ¹¹



図Ⅱ. 2-3 (2) 全壊率曲線 (非木造) ¹¹



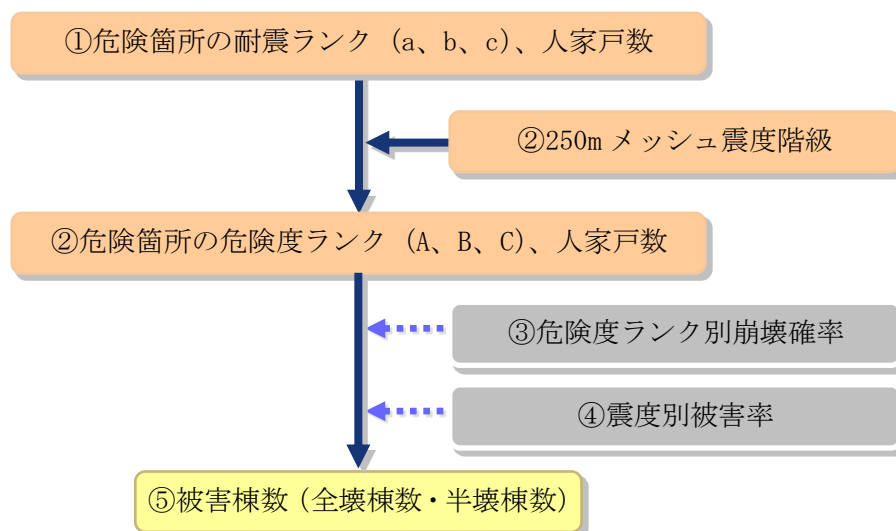
図Ⅱ. 2-3 (3) 全半壊率曲線 (木造) ^{1 1}



図Ⅱ. 2-3 (4) 全半壊率曲線 (非木造) ^{1 1}

3 土砂災害による建物被害の算定手法

土砂災害による建物被害は、危険箇所の保全人家戸数と危険度ランク、崩壊確率から 250m メッシュごとに全壊棟数、半壊棟数を想定する。



図Ⅱ. 2-4 土砂災害による被害棟数の算定フロー

- ① 急傾斜地崩壊危険箇所を対象として、地形・地質状況等を点数付けし、その合計点数（基準要素点）に応じて耐震ランク（a、b、c）を設定する。地すべり危険箇所、山腹崩壊危険地区については、既往調査の危険度ランクを耐震ランクと読み替える。
- ② 耐震ランクとメッシュ震度から危険度ランクを判定する。
- ③ 危険度ランク別の崩壊確率は、近年発生した直下地震の事例（新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震）を踏まえ、内閣府（2012）¹¹を参考として、表Ⅱ. 2-6を用いた（ランク B、C の崩壊確率はゼロ）。

表Ⅱ. 2-6 危険度に対する崩壊確率¹¹

ランク	崩壊確率
A	10%

- ④ 震度別被害率について、全壊率は中央防災会議(2006)¹⁴、半壊率は静岡県(2001)¹⁵を参考として表Ⅱ.2-7の被害率を用いる。

表Ⅱ.2-7 震度別被害率^{14、15}

震度階級	～震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
全壊率	0%	6%	12%	18%	24%	30%
半壊率	0%	14%	28%	42%	56%	70%

- ⑤ 被害棟数は内閣府(2012)¹¹を参考として、次の式により算定する。

$$\text{全壊棟数} = \text{危険箇所内人家戸数} \times \text{崩壊確率} \times \text{全壊率}$$

$$\text{半壊棟数} = \text{危険箇所内人家戸数} \times \text{崩壊確率} \times \text{半壊率}$$

4 地震火災による建物被害の算定手法

(1) 風速の設定

地震火災による建物被害は、風速による影響で被害量が変わることから、栃木県の風速の観測記録を分析し、実態に合った風速を設定・採用する。

ア 風速の設定条件

風速は、気象台・測候所によって異なるが、被害想定単位である市町別に設定することは気象台・測候所の配置等の状況から困難であるため、県内同一の値とし、風速の大きい気象台の値を用いることとする。

イ 統計処理方法

① 平均風速

平均風速は、10分間平均風速を収集し、その平均値に対して「10分間平均風速の標準偏差 $\sigma \times 2$ 」を加えた値を採用する。(2 σ を加えることで正規分布の95.45%値となる)

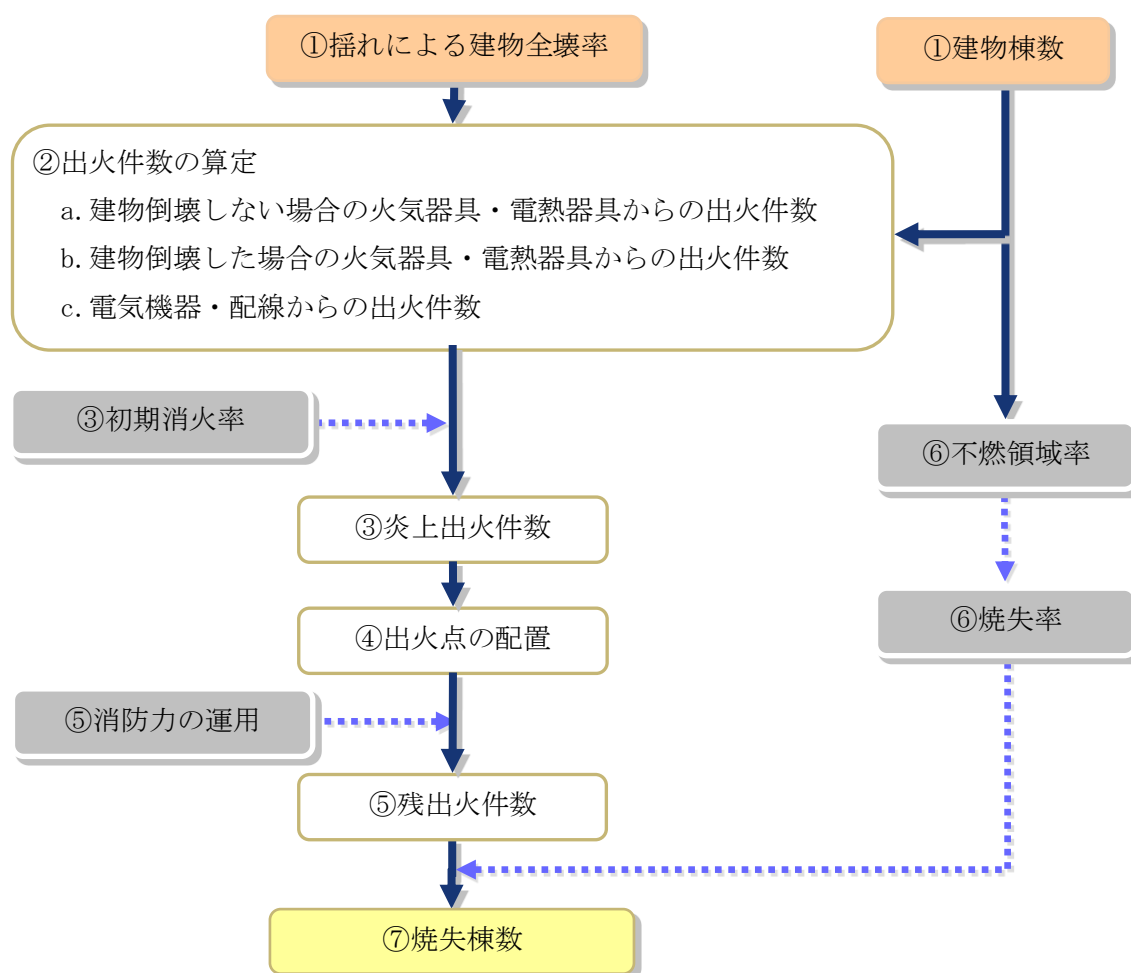
② 最大風速

最大風速は、日別最大風速を整理し、この日別最大風速の平均値に対して「10分間平均風速の標準偏差 $\sigma \times 2$ 」を加えた値を採用する。

(2) 地震火災による建物被害の算定手法

地震火災による建物被害は、出火件数と消防力の運用等を用いて焼失棟数を算定する手法により、焼失棟数を算定する。

また、被害想定は、季節・時刻、風速によって結果が異なることから、各条件で被害想定を行う。



図Ⅱ. 2-5 地震火災による焼失棟数の算定フロー

- ① 揺れによる建物被害を算定する 250m メッシュごとの建物棟数及び全壊率を整理する。
- ② 内閣府 (2012) ¹¹による震度別用途別出火率 (季節時間別) に基づき、出火件数を算定する。
 - ・ 出火要因の内、最も影響の大きい火気器具、電熱器具からの出火を対象
 - ・ 出火要因別に次の a から c に示す手法で出火件数を算定

- a. 建物倒壊しない場合の火気器具・電熱器具からの出火
- ・建物倒壊しない場合の出火は、震度別用途別出火率（季節時間別）（表Ⅱ. 2-8）を設定する。
 - ・算定式は次のとおりとする。

$$\text{全出火件数} = \text{震度別用途別出火率} \times \text{用途別建物棟数}$$

表Ⅱ. 2-8 震度別用途別出火率（季節時間帯別）¹¹

冬深夜

	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
飲食店	0.0003%	0.0009%	0.0047%	0.0188%	0.066%
物販店	0.0001%	0.0004%	0.0013%	0.0059%	0.051%
病院	0.0002%	0.0004%	0.0014%	0.0075%	0.118%
診療所	0.0000%	0.0002%	0.0005%	0.0018%	0.007%
事務所等その他事務所	0.0000%	0.0001%	0.0004%	0.0020%	0.011%
住宅・共同住宅	0.0002%	0.0006%	0.0021%	0.0072%	0.026%

夏 12 時

	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
飲食店	0.0029%	0.0076%	0.0346%	0.1152%	0.331%
物販店	0.0005%	0.0015%	0.0071%	0.0253%	0.123%
病院	0.0009%	0.0016%	0.0070%	0.0296%	0.313%
診療所	0.0004%	0.0004%	0.0016%	0.0050%	0.023%
事務所等その他事務所	0.0005%	0.0017%	0.0083%	0.0313%	0.183%
住宅・共同住宅	0.0003%	0.0003%	0.0013%	0.0043%	0.021%

冬 18 時

	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
飲食店	0.0047%	0.0157%	0.0541%	0.1657%	0.509%
物販店	0.0007%	0.0022%	0.0085%	0.0302%	0.158%
病院	0.0008%	0.0017%	0.0072%	0.0372%	0.529%
診療所	0.0004%	0.0010%	0.0036%	0.0130%	0.041%
事務所等その他事務所	0.0003%	0.0012%	0.0052%	0.0216%	0.177%
住宅・共同住宅	0.0010%	0.0034%	0.0109%	0.0351%	0.115%

b. 建物倒壊した場合の火気器具・電熱器具からの出火
内閣府（2012）¹¹を参考に次のように設定する。

- ・阪神・淡路大震災時の事例から、冬における倒壊建物 1 棟当たり出火率を 0.0449%とし、さらに時刻別に補正する。
- ・暖房器具類を使わない夏の場合には、倒壊建物 1 棟当たり出火率を 0.0286%とする。
- ・時刻補正係数は 1.0（深夜）、2.2（12 時）、3.4（18 時）とする。

建物倒壊した場合の全出火件数＝

建物倒壊棟数×季節時間帯別の倒壊建物 1 棟当たり出火率

季節時間帯別の倒壊建物 1 棟当たり出火率：

0.0449%（冬深夜）、0.0629%（夏 12 時）、0.153%（冬 18 時）

c. 電気機器・配線からの出火

- ・電気機器・配線からの出火は内閣府（2012）¹¹を参考に建物全壊の影響を強く受けると考え、全壊棟数との関係により設定する。

電気機器からの出火件数＝0.044%×全壊棟数

配線からの出火件数＝0.030%×全壊棟数

③ 内閣府（2012）¹¹による初期消火成功率から、炎上出火件数を算定する。

住宅の初期消火成功率は、内閣府（2012）¹¹では平成 23 年「東京都消防庁出火危険度測定」を元に表Ⅱ. 2-9 のように設定しており、この値を採用する。

表Ⅱ. 2-9 震度別初期消火成功率¹¹

震度階級	6 弱以下	6 強	7
初期消火成功率	67%	30%	15%

炎上出火件数＝（1-初期消火成功率）×（全出火件数）

④ 出火点を配置する。

- ・ 出火点の配置は、和歌山県(2006)¹⁶を参考として行う。
- ・ メッシュごとに求められた炎上出火件数の存在確率(メッシュごとの小数值)を大きい順に並べ替える。
- ・ 炎上出火件数の存在確率が大きい方から順に値を足し合わせていき、1を超えるところまでを1つのグループとする。このグループによる炎上出火件数は1件強となるため、このグループ内に1箇所の出火点を配置するものとし、このグループ内の最も大きい値のメッシュに出火点を配置する。
- ・ それ以降のメッシュについても同様に、炎上出火件数の和が1を超えるごとにグルーピングし、それぞれ出火点を配置する。

⑤ 消防力を評価し、残出火件数を算定する。

- ・ 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式を採用した。
- ・ 消防ポンプ自動車数、小型動力ポンプ数および消防水利数をもとに、消防本部・組合ごとに消火可能件数を算出した。

$$\text{消火可能件数} = \alpha \times (\text{消防ポンプ自動車数} / 2 + \text{小型動力ポンプ数} / 4) \\ \times \{1 - (1 - 61,544 / \text{市街地面積} (\text{m}^2)) \text{水利数}\}$$

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

上式の補正係数 α は、市町それぞれ平常時・強風時の風速値から風速6m/sは0.25、風速7m/sは0.23、風速10m/s以上は0.13の設定とした。

⑥ 全建物及び木造建物の分布から不燃領域率及び焼失率を算定する。

- ・ 不燃領域率は、三重県(2005)¹⁷を参考に、木造建物の棟数比と木造建物棟数密度から設定する。

$$F = 1.189 - 0.604 \times a - 0.00713 \times b \quad (\text{ただし、} F \text{ は } 1.0 \text{ を超えない})$$

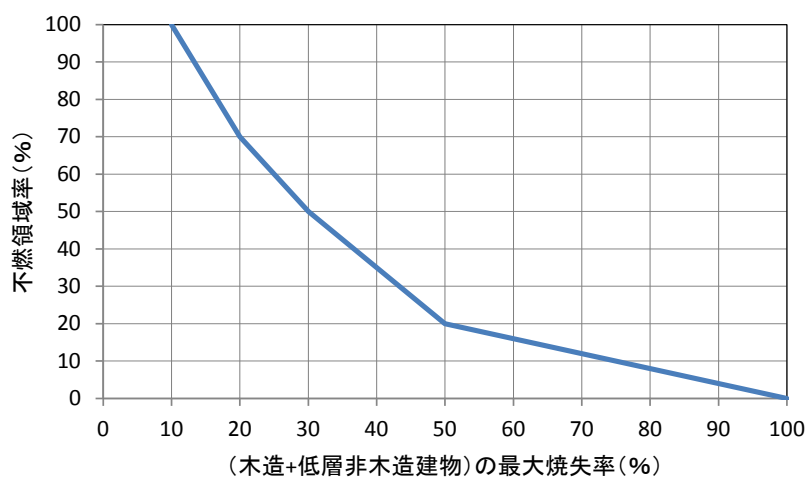
F : 不燃領域率

a : 木造建物棟数比 = 木造建物棟数 / 全建物棟数

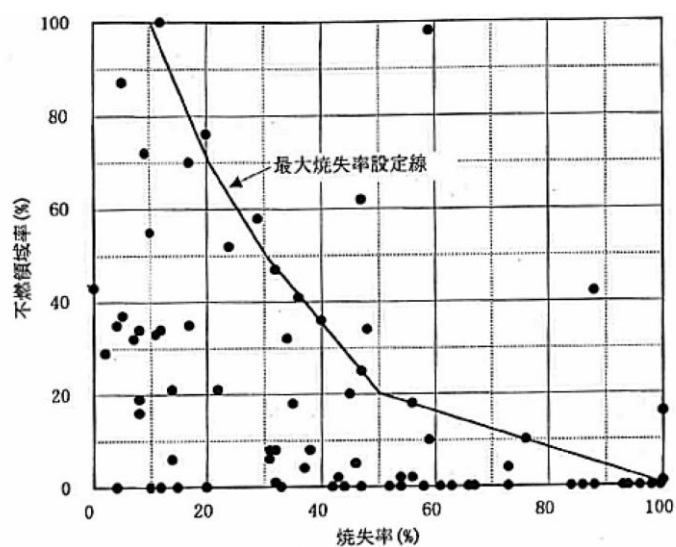
b : 木造建物密度 = 木造建物棟数 / メッシュの面積 (ha)

- ・ 焼失率は、大阪府(1997)¹⁸を参考とし、阪神・淡路大震災の被害実績(図II.2-7)や建設省総合技術開発プロジェクトによるシミュレーション結果から求められた不燃領域との関係式を用いた(図II.2-6)。

- ・ 図Ⅱ. 2-7は阪神・淡路大震災と同様の風速 3m/s の場合である。風速の変化に基づく焼失率の変化は、中央防災会議(2007)¹⁹での設定値を参考に設定する。



図Ⅱ. 2-6 不燃領域率と焼失率の関係 (風速 3m/s)



図Ⅱ. 2-7 阪神・淡路大震災時の延焼火災の町丁目別不燃領域率と焼失率の関係¹⁸

- ⑦ 焼失棟数を算定する。
- ・ 消防でも消火できなかった残出火点の属するメッシュを対象に、東京消防庁式（2001）²⁸を用いて延焼シミュレーションを行い、6時間後の延焼エリアを算定する。
 - ・ 延焼エリア内の焼失棟数は、図Ⅱ. 2-6 から求まるメッシュの不燃領域率に応じた焼失率を低層建物数に掛け合わせることで算定する。

$$\text{焼失棟数} = \text{低層建物数（木造建物+1、2階の非木造建物）} \times \text{焼失率} / 100$$

- ⑧ 隣接メッシュへの延焼を考慮する。
- ・ 延焼エリアが 250m メッシュを超える場合、隣接するメッシュへの延焼を考慮する。
 - ・ ただし、隣接メッシュの不燃領域率が 70%以上の場合、その隣接メッシュには延焼しないこととする。（大阪府 2007）²⁰
- ⑨ 消防力による消火成功メッシュにおける焼失を考慮する。
- ・ 炎上出火が発生し、消防力により消火が成功するメッシュにおいても、消火活動が開始されるまでの間に焼失棟数が生じるものとし、次のとおり一定の焼失棟数を計上する。（広島県 2007）²¹

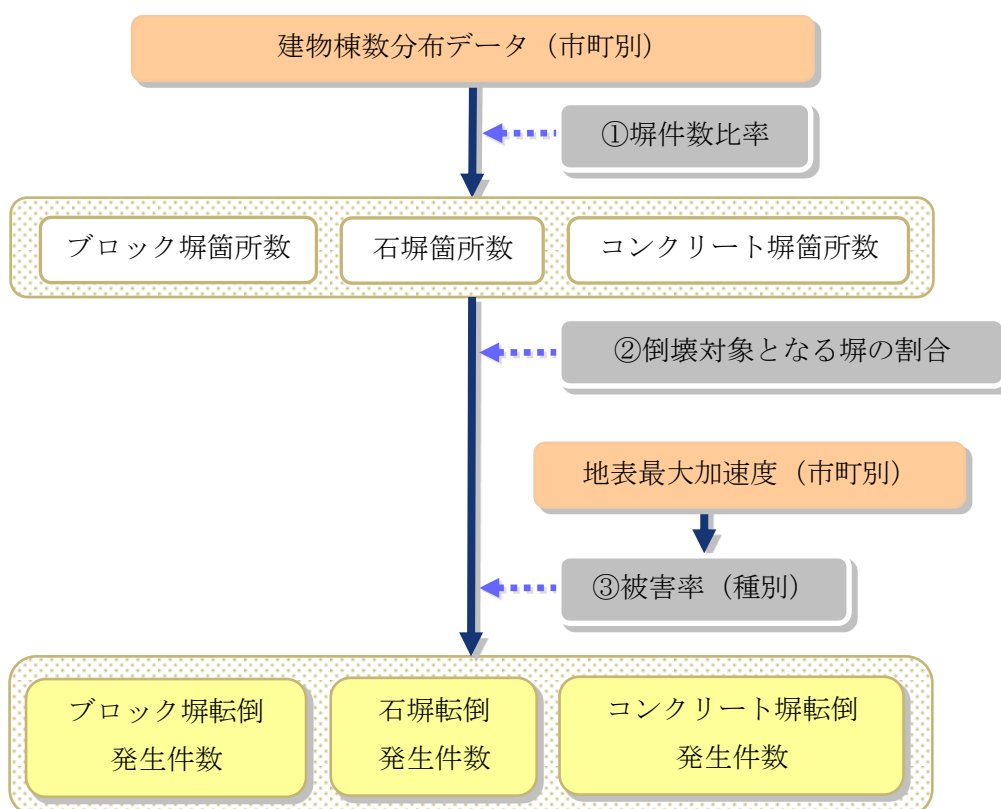
炎上出火 1 件につき、風速 3m/s の場合 7 棟、風速 15m/s の場合 10 棟が焼失

5 屋外転倒、落下物の発生

(1) ブロック塀等・自動販売機の転倒数

建物当たりのブロック塀等の存在割合からブロック塀、石塀等の分布数を求めるとともに、宮城県沖地震における地震動の強さと被害率との関係式を用いてブロック塀等及び自動販売機の転倒発生件数を算定した。

ア ブロック塀等の転倒数



図Ⅱ. 2-8 ブロック塀等の転倒発生件数の算定フロー¹¹

① ブロック塀の分布については、内閣府（2012）¹¹に示される木造住宅棟数との関係を用いて推定した。

表Ⅱ. 2-10 塀件数比率¹¹

ブロック塀	石塀	コンクリート塀
$0.16 \times (\text{木造住宅棟数})$	$0.035 \times (\text{木造住宅棟数})$	$0.036 \times (\text{木造住宅棟数})$

- ② 倒壊対象となる塀の割合は、東京都（1997）²²の手法により算定する。
- ・東京都（1997）²²では、塀の種類別に危険度調査が行われ、外見調査の結果から特に改善が必要ない塀の比率が設定されている。
 - ・東京都（1997）²²に基づき、このうちの半分は改訂耐震基準を十分満たしており、倒壊の危険性はないものとする。

表Ⅱ. 2-1 1 倒壊対象となる塀の割合²²

塀の種類	外見調査の結果から特に改善が必要ない塀の比率 (A)	倒壊対象となる割合 (1-0.5A)
ブロック塀	0.500	0.750
石塀	0.362	0.819
コンクリート塀	0.576	0.712

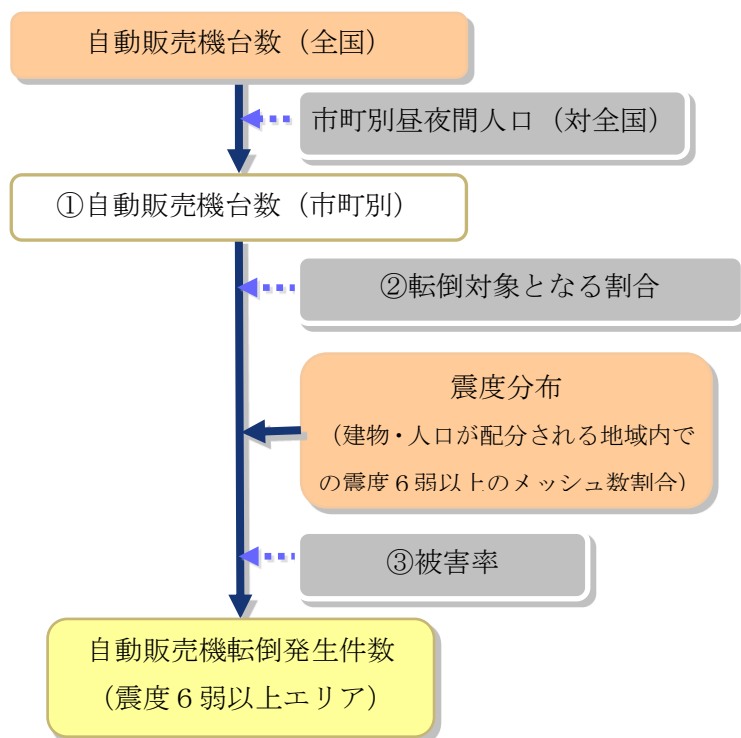
- ③ 被害率
- ・東京都（1997）²²に示される宮城県沖地震時の地震動の強さ（加速度）とブロック塀等の被害率との関係実態に基づき、設定する。

$$\text{ブロック塀被害率 (\%)} = -12.6 + 0.07 \times (\text{地表最大加速度}) (\text{gal})$$

$$\text{石塀被害率 (\%)} = -26.6 + 0.168 \times (\text{地表最大加速度}) (\text{gal})$$

$$\text{コンクリート塀被害率 (\%)} = -12.6 + 0.07 \times (\text{地表最大加速度}) (\text{gal})$$

イ 自動販売機の転倒数



図Ⅱ. 2-9 自動販売機の転倒数算定フロー¹¹

① 自動販売機台数(市町別)の算定

- ・市町別の自動販売機台数は、次の式により算定する。

全国の自動販売機台数は、5、084、340 台である。(2011 年末時点、日本自動販売機工業会調べ)

(市町別の自動販売機台数)

$$= (\text{全国自動販売機台数}) \times \{(\text{市町夜間人口}) + (\text{市町昼間人口})\} \div \{(\text{全国夜間人口}) + (\text{全国昼間人口})\}$$

② 転倒対象となる自動販売機の割合の設定

- ・転倒対象となる自動販売機の割合は、屋外設置比率 (約 6 割)²³と転倒防止措置未対応率 (約 1 割)²⁴から設定する。

※2 自動販売機転倒防止対策の進捗状況を踏まえて設定 (内閣府 2012)

③ 被害率

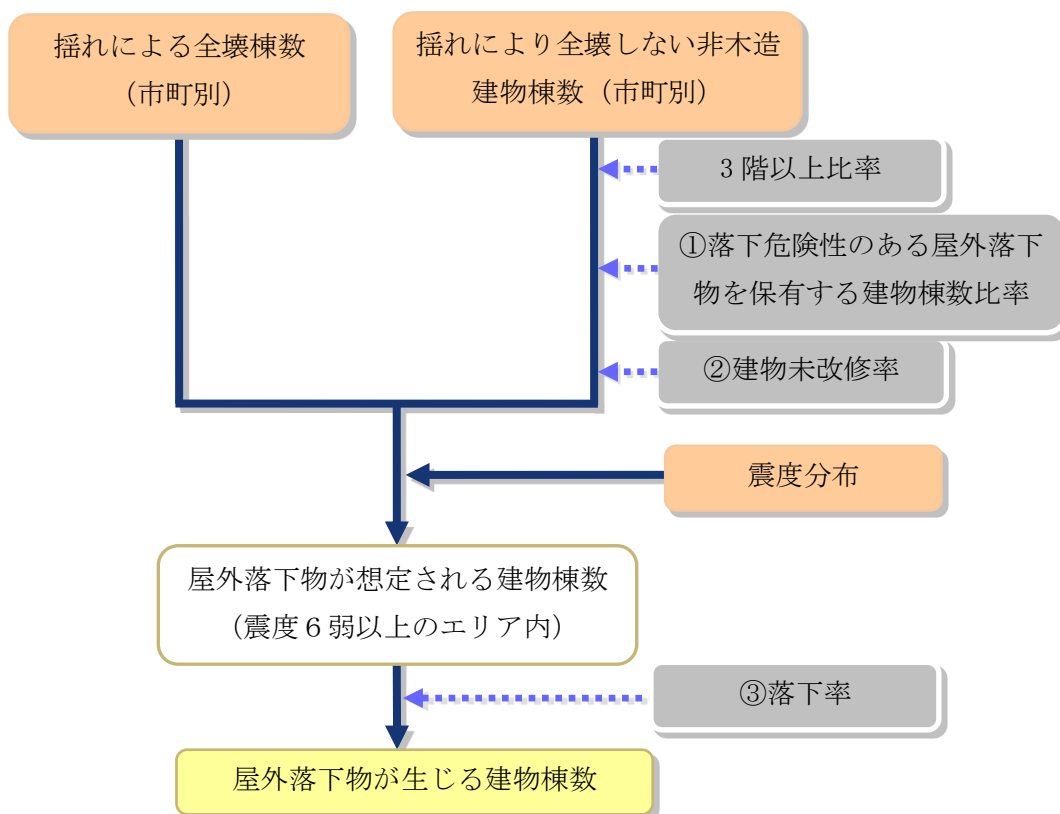
・被害率は、阪神・淡路大震災時の（概ね震度6弱以上の地域における）被害実態から、次の式により、設定する。

$$25,880 \text{ 台} / 124,100 \text{ 台} = \text{約} 20.9\%$$

（神戸市、西宮市、尼崎市、宝塚市、芦屋市、淡路島の全市町：全数調査）

(2) 屋外落下物の発生

全壊する建物及び震度6弱以上の地域における3階建て以上の非木造建物の内落下危険物を有する建物から、落下物の発生が想定される建物棟数を算定する。



図Ⅱ. 2-10 屋外落下物が生じる建物棟数の算定フロー¹¹

①落下危険性のある屋外落下物を保有する建物棟数比率

落下危険性のある屋外落下物を保有する建物棟数比率は、東京都（1997）²²の調査結果をもとに、対象となる建物の築年別に設定する。

表Ⅱ. 2-1 2 落下危険性のある屋外落下物を保有する建物棟数比率²²

建築年代	飛散物 (窓ガラス、壁面等)	非飛散物 (吊り看板等)
～1970年	30%	17%
1971年～1980年	6%	8%
1981年～	0%	3%

②建物未改修率

建物改修（落下対策実施）率は、東京都（1997）²²の平均改修率 87%を用い、13%を未改修率として設定する。

未改修の建物において、屋外落下物が発生するものとする。

③落下率

落下物の発生が想定される建物の内落下が生じる建物の割合（落下率）には、東京都（1997）²²で設定するブロック塀の被害率と同じ式を用いる。

$$(\text{落下率}) (\%) = -12.6 + 0.07 \times (\text{地表最大加速度}) (\text{gal})$$

第3章 人的被害

地震動、間接的に発生する土砂災害や火災等に起因する人的被害を想定する。

人的被害の想定にあたっては、その直接的な要因となる建物倒壊、土砂災害、火災、屋内収容物移動・転倒や屋内落下物及び屋外落下物について、要因別に死者数及び負傷者数等を算定する。

また、建物倒壊による要救助者数も算定する。

表Ⅱ. 3-1 市町別人口動態と世帯数（平成25年10月時点）および昼間人口

市町名	夜間人口 (人)	世帯数 (世帯)	1世帯当たり 人員	昼間人口 推定
宇都宮市	516,057	217,912	2.37	539,834
足利市	151,152	60,172	2.51	146,824
栃木市	143,235	51,762	2.77	138,305
佐野市	119,589	46,474	2.57	119,538
鹿沼市	100,369	35,610	2.82	97,942
日光市	86,166	33,661	2.56	82,066
小山市	165,175	65,777	2.51	166,955
真岡市	80,945	27,934	2.90	81,344
大田原市	76,206	28,700	2.66	80,423
矢板市	34,088	12,233	2.79	33,697
那須塩原市	117,506	45,843	2.56	111,691
さくら市	44,935	15,408	2.92	42,015
那須烏山市	27,822	9,573	2.91	25,831
下野市	59,661	21,408	2.79	54,138
上三川町	31,259	10,584	2.95	31,565
益子町	23,764	7,886	3.01	19,786
茂木町	14,049	4,728	2.97	12,323
市貝町	11,803	4,060	2.91	10,143
芳賀町	15,525	4,973	3.12	27,965
壬生町	39,708	14,716	2.70	35,910
野木町	25,431	9,373	2.71	20,427
岩舟町	17,717	6,151	2.88	14,961
塩谷町	11,821	3,811	3.10	9,781
高根沢町	29,796	11,304	2.64	24,705
那須町	25,817	8,809	2.93	26,839
那珂川町	17,523	5,848	3.00	15,501
県全体合計	1,987,119	764,710	2.60	1,969,768

※昼間人口は、夜間人口に平成22年国勢調査の昼夜間人口比率を乗じて推定

1 人口データの設定

人的被害は、被害の様相が異なる特徴的な深夜、昼 12 時、夕方 18 時の 3 ケースで被害想定を行う。

人的被害想定に使用する 3 ケースの人口データは、平成 22 年国勢調査による地域メッシュ統計データの夜間人口及び昼間人口を基本とし、時刻別人口は、和歌山県(2006)¹⁶を参考として次のように設定する。

表Ⅱ. 3-2 時刻別住宅滞留人口及びその他施設滞留人口の算定手法¹⁶

時刻	住宅滞留人口及びその他施設滞留人口	移動中人口比率
深夜	<ul style="list-style-type: none"> ・全人口[人]=夜間人口[人] ・住宅滞留人口[人]=屋内人口[人]=夜間人口[人] ・移動中人口[人]=0[人] 	0%
昼 12 時	<ul style="list-style-type: none"> ・全人口[人]=昼間人口[人] ・屋内人口[人]=0.95×昼間人口[人] ・住宅滞留人口[人]=0.35×夜間人口[人] ・その他施設滞留人口[人]=屋内人口[人]-住宅滞留人口[人] ・移動中人口[人]=0.05×全人口[人] 	5%
夕 18 時	<ul style="list-style-type: none"> ・全人口[人]= (2×夜間人口[人]+3×昼間人口[人]) /5 ・屋内人口[人]=0.90×{(2×夜間人口[人]+3×昼間人口[人]) /5} ・住宅滞留人口[人]=0.61×夜間人口[人] ・その他施設滞留人口[人]=屋内人口[人]-住宅滞留人口[人] ・移動中人口[人]=0.10×全人口[人] 	10%

(1) 構造別滞留人口(住宅)

木造住家と非木造住家の棟数を基に、木造住宅滞留人口と非木造住宅滞留人口を算定する。

木造住宅滞留人口＝

$$\text{住宅滞留人口} \times \{ \text{木造住家棟数} / (\text{木造住家棟数} + \text{非木造住家棟数}) \}$$

非木造住宅滞留人口＝

$$\text{住宅滞留人口} \times \{ \text{非木造住家棟数} / (\text{木造住家棟数} + \text{非木造住家棟数}) \}$$

(2) 構造別滞留人口(その他施設)

木造非住家と非木造非住家の棟数を基に、木造非住宅滞留人口と非木造非住宅滞留人口を算定する。

木造非住宅滞留人口＝その他施設滞留人口
 $\times \{ \text{木造非住家棟数} / (\text{木造非住家棟数} + \text{非木造非住家棟数}) \}$

非木造非住宅滞留人口＝その他施設滞留人口
 $\times \{ \text{非木造非住家棟数} / (\text{木造非住家棟数} + \text{非木造非住家棟数}) \}$

(3) 構造別滞留人口 (合計)

次の式により、木造建物内滞留人口と非木造建物内滞留人口を算定する。

木造建物内滞留人口＝木造住宅滞留人口＋木造非住宅滞留人口

非木造建物内滞留人口＝非木造住宅滞留人口＋非木造非住宅滞留人口

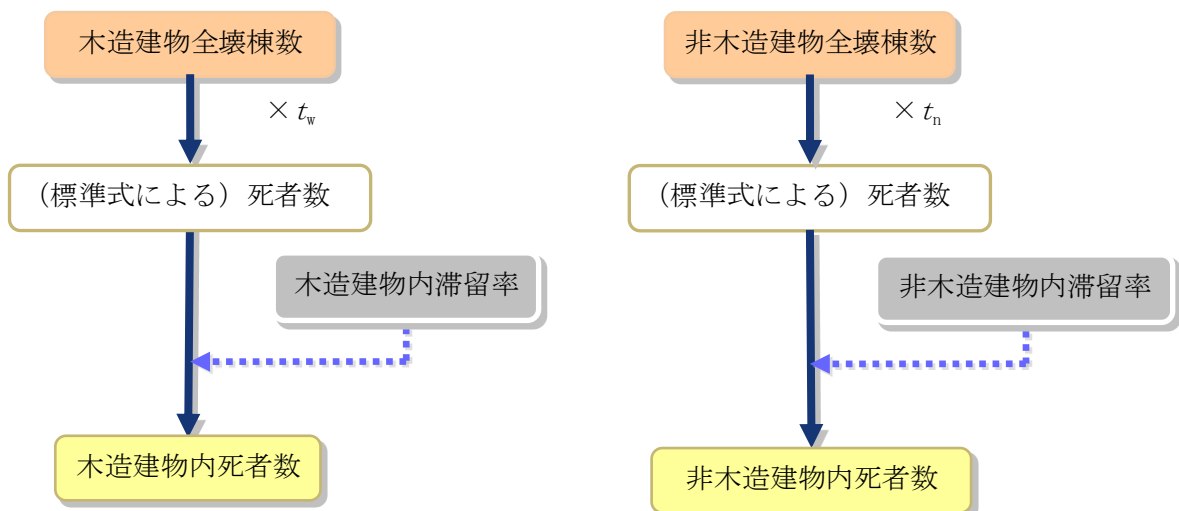
2 建物倒壊による人的被害

建物倒壊による人的被害は、内閣府 (2012) ¹¹ の手法に基づき、揺れによる建物被害と人口データから死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数^{*1} を算定する。

※1 軽傷者数＝負傷者数－重傷者数

(1) 建物倒壊による死者数

300人以上の死者が発生した近年の5地震(鳥取地震、東南海地震、南海地震、福井地震、阪神・淡路大震災)の被害事例から算定する全壊棟数と死者数との関係を基に算定する。



図Ⅱ. 3-1 死者数の算定フロー¹¹

算定に用いた式は、次のとおりである。

$$\text{(死者数)} = \text{(木造建物内死者数)} + \text{(非木造建物内死者数)}$$

$$\text{(木造建物内死者数)} =$$

$$t_w \times \text{(市町村別の揺れによる木造全壊棟数)} \times \text{(木造建物内滞留率)}$$

$$\text{(非木造建物内死者数)} =$$

$$t_n \times \text{(市町村別の揺れによる非木造全壊棟数)} \times \text{(非木造建物内滞留率)}$$

$$\text{(木造建物内滞留率)} =$$

$$\text{(発生時刻の木造建物内滞留人口)} \div \text{(深夜の木造建物内滞留人口)}$$

$$\text{(非木造建物内滞留率)} =$$

$$\text{(発生時刻の非木造建物内滞留人口)} \div \text{(深夜の非木造建物内滞留人口)}$$

$$t_w = 0.0676$$

$$t_n = 0.00840 \times (P_{n0}/B_n \div P_{w0}/B_w)$$

t_w : 木造建物の倒壊による標準式の死者率

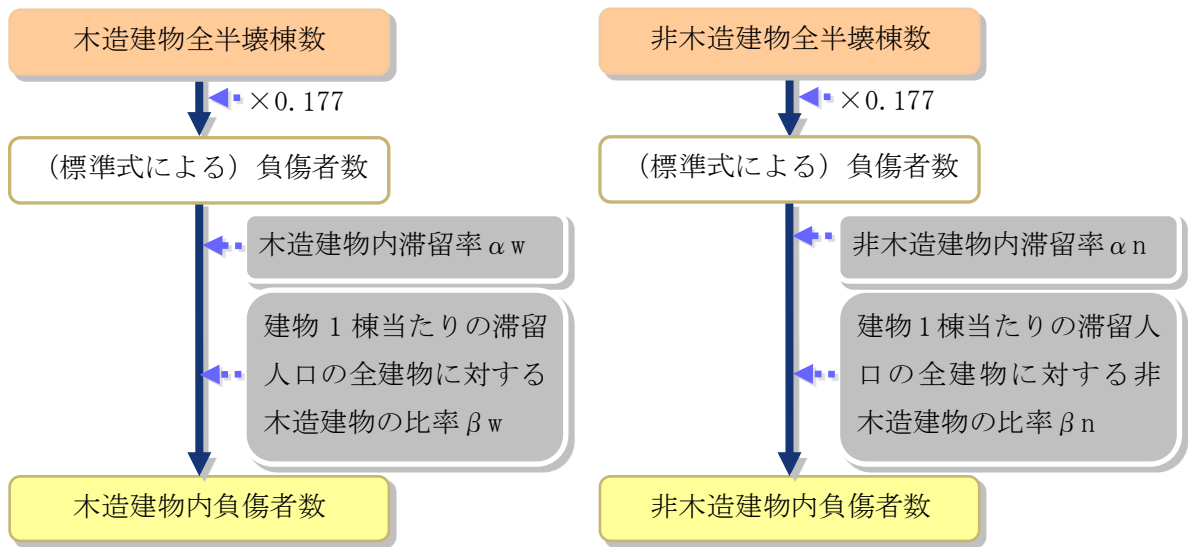
t_n : 非木造建物の倒壊による標準式の死者率

P_{w0} : 夜間人口 (木造) P_{n0} : 夜間人口 (非木造)

B_w : 建物棟数 (木造) B_n : 建物棟数 (非木造)

(2) 建物倒壊による負傷者数

建物倒壊による負傷者数は、近年の鳥取県西部地震、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、能登半島地震、岩手・宮城内陸地震の主な被災市町村、東北地方太平洋沖地震の内陸被災市町村の建物被害数（全壊棟数、全半壊棟数）と負傷者数・重傷者数との関係を基に算定する。



図Ⅱ. 3-2 建物倒壊による負傷者数（重傷者数と軽傷者数）の算定フロー¹¹

算定に用いる式は、次のとおりである。

（木造建物における負傷者数）＝

$$0.177^{*1} \times (\text{揺れによる木造全半壊棟数}) \times \alpha_w \times \beta_w$$

（非木造建物における負傷者数）＝

$$0.177^{*1} \times (\text{揺れによる非木造全半壊棟数}) \times \alpha_n \times \beta_n$$

※1 建物倒壊による標準式の負傷者率

α_w （木造建物内滞留率）

$$= (\text{発生時刻の木造建物内滞留人口}) \div (\text{深夜の木造建物内滞留人口})$$

α_n （非木造建物内滞留率）

$$= (\text{発生時刻の非木造建物内滞留人口}) \div (\text{深夜の非木造建物内滞留人口})$$

β_w （建物1棟当たり滞留人口の全建物に対する木造建物の比率（時間帯別））

$$= (\text{発生時刻の木造建物1棟当たりの滞留人口})$$

$$/ (\text{発生時刻の全建物1棟当たりの滞留人口})$$

β_n （建物1棟当たり滞留人口の全建物に対する非木造建物の比率（時間帯別））

$$= (\text{発生時刻の非木造建物1棟当たりの滞留人口})$$

$$/ (\text{発生時刻の全建物1棟当たりの滞留人口})$$

(3) 建物倒壊による重傷者数

重傷者数は、負傷者数の算定方法に順じ、重傷者率を適用して算定する。

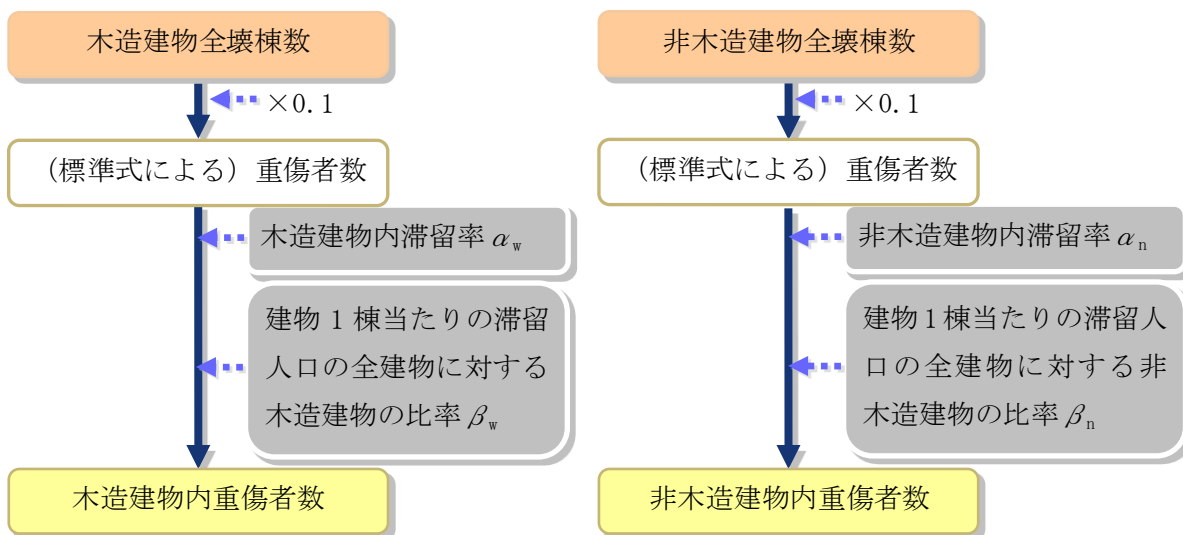


図 II. 3-3 建物倒壊による重傷者数の算定フロー¹¹

算定に用いた式は、次のとおりである。

(木造建物における重傷者数)

$$= 0.100^{※2} \times (\text{揺れによる木造全壊棟数}) \times \alpha_w \times \beta_w$$

(非木造建物における重傷者数)

$$= 0.100^{※2} \times (\text{揺れによる非木造全壊棟数}) \times \alpha_n \times \beta_n$$

※2 建物倒壊による標準式の重傷者率

α_w (木造建物内滞留率)

$$= (\text{発生時刻の木造建物内滞留人口}) \div (\text{深夜の木造建物内滞留人口})$$

α_n (非木造建物内滞留率)

$$= (\text{発生時刻の非木造建物内滞留人口}) \div (\text{深夜の非木造建物内滞留人口})$$

β_w (建物 1 棟当たり滞留人口の全建物に対する木造建物の比率 (時間帯別))

$$= (\text{発生時刻の木造建物 1 棟当たりの滞留人口})$$

$$/ (\text{発生時刻の全建物 1 棟当たりの滞留人口})$$

β_n (建物 1 棟当たり滞留人口の全建物に対する非木造建物の比率 (時間帯別))

$$= (\text{発生時刻の非木造建物 1 棟当たりの滞留人口})$$

$$/ (\text{発生時刻の全建物 1 棟当たりの滞留人口})$$

3 土砂災害による人的被害

土砂災害による人的被害は、土砂災害による建物被害と人口データから死者数、重傷者数、軽傷者数を算定する。

土砂災害に伴う人的被害は、東京都防災会議（1991）²⁵の手法に従い、1967年から1981年までの崖崩れの被害実態から求められた、被害棟数と死者数・負傷者数との関係式により、算定する。

なお、内閣府（2012）¹¹に基づき、負傷者数は死者数の1.25倍、重傷者数は負傷者数の1/2倍とする。

（土砂災害による死者数）

$$= 0.098 \times (\text{土砂災害による大破棟数}) \times 0.7 \times (\text{木造・非木造建物内滞留人口比率})$$

（土砂災害による負傷者数） $= 1.25 \times$ 土砂災害による死者数

（土砂災害による重傷者数） $= (\text{土砂災害による負傷者数}) / 2$

（土砂災害による軽傷者数） $=$

$$(\text{土砂災害による負傷者数}) - (\text{土砂災害による重傷者数})$$

木造・非木造建物内滞留人口比率は、内閣府（2012）¹¹に基づいて次の式のとおりとし、木造・非木造建物内滞留人口の24時間平均は、深夜と昼12時の平均値とする。

（木造建物内滞留人口比率）

$$= (\text{発生時刻の木造建物内滞留人口}) \div (\text{木造建物内滞留人口の24時間平均})$$

（非木造建物内滞留人口比率）

$$= (\text{発生時刻の非木造建物内滞留人口}) \div (\text{非木造建物内滞留人口の24時間平均})$$

4 地震火災による人的被害

火災による人的被害は、内閣府（2012）¹¹に基づき、出火件数と屋内滞留人口比率から想定する手法により、死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数を算定する。

なお、火災による人的被害は、3つの発生要因により想定する。

表Ⅱ. 3-3 火災による死者発生要因¹¹

死者発生のシナリオ	備考
1) 炎上出火家屋内からの逃げ遅れ	出火直後：突然の出火により逃げ遅れた人（揺れによる建物倒壊を伴わない）
2) 倒壊後に焼失した家屋内の救出困難者（生き埋め等）	出火直後：揺れによる建物被害で建物内に閉じ込められた後に火が出し、逃げられない人
	延焼中：揺れによる建物被害で家屋内に閉じ込められた後に延焼が及び、逃げられない人
3) 延焼拡大時の逃げまどい	延焼中：建物内には閉じ込められていないが、避難にとどまっている間に延焼が拡大し、巻き込まれて焼死する人

(1) 火災による死者数

ア 逃げ遅れによる死者数

炎上出火家屋からの逃げ遅れによる死者数は、次の式により算定する。

$$\begin{aligned}(\text{死者数}) &= 0.046^{*1} \times \text{出火件数} \times (\text{屋内滞留人口比率}) \\ &\quad \text{ここで、(屋内滞留人口比率)} \\ &= (\text{発生時刻の屋内滞留人口}) \div (\text{屋内滞留人口の 24 時間平均})\end{aligned}$$

※1 係数 0.046 : 平成 17 年～22 年の 5 年間の全国における 1 建物出火（放火を除く）当たりの死者数

イ 家屋内の死者数

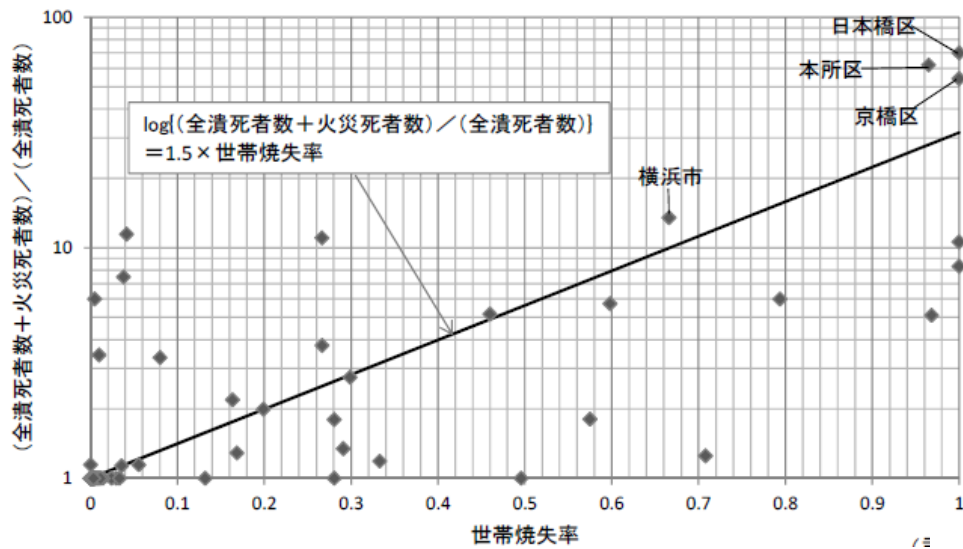
家屋内の死者数は、次により算定する。

$$\begin{aligned}(\text{死者数}) &= (\text{全壊かつ焼失家屋内の救出困難な人}) \times (1 - \text{生存救出率}(0.387)) \\ &\quad \text{ここで、} \\ (\text{全壊かつ焼失家屋内の救出困難な人}) \\ &= (1 - \text{早期救出可能な割合}(0.72)) \times (\text{全壊かつ焼失家屋内の要救助者数}) \\ (\text{全壊かつ焼失家屋内の要救助者数}) \\ &= (\text{建物全壊による自力脱出困難者数}) \times (\text{全壊かつ焼失の棟数/全壊建物数}) \\ (\text{建物全壊による自力脱出困難者数}) \\ &= 0.117 \times (\text{揺れによる建物全壊率}) \times (\text{屋内滞留人口})\end{aligned}$$

ウ 延焼拡大時の逃げまどいによる死者数

延焼拡大時の逃げまどいによる死者数は、諸井・武村（2004）²⁶による関東大震災における「火災による死者の増加傾向」に係る推定式を適用して算定する。このとき、同推定式における全潰死者数を全壊死者数と考え、図Ⅱ.3-4の式を変形して算定を行う。

$$(\text{死者数}) = (10^{1.5 \times \text{世帯焼失率}} - 1) \times (\text{全壊死者数})$$



図Ⅱ. 3-4 火災による死者の増加傾向¹⁾

(注) 揺れ・液状化による建物被害と火災延焼による建物被害の重複算定の除去を行う。

(2) 火災による負傷者数 (重傷者数、軽傷者数)

ア 逃げ遅れによる負傷者数 (重傷者数・軽傷者数)

炎上出火家屋からの逃げ遅れによる負傷者数 (重傷者数・軽傷者数) は次により算定する。

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

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

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^{※2)})

※2 滞留人口の24時間平均は、深夜と昼12時の平均値とする。

イ 延焼拡大時の逃げまどいによる負傷者数 (重傷者数、軽傷者数)

延焼拡大時の逃げまどいによる負傷者数 (重傷者数・軽傷者数) は次の式により算定する。

$$(\text{延焼火災による重傷者数}) = 0.0053 \times \text{焼失人口}$$

$$(\text{延焼火災による軽傷者数}) = 0.0136 \times \text{焼失人口}$$

ここで、焼失人口 = (市町別焼失率) × (発生時刻の市町別滞留人口)

5 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による人的被害

屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による人的被害は、震度分布や人口データ、転倒防止措置の実施状況に応じた被害率等から死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数^{※1}を算定する。

なお、屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による死傷者数は、揺れによる建物被害に基づく人的被害の内数として取り扱う。

※1 軽傷者数＝負傷者数－重傷者数

屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による人的被害は、木造建物、非木造建物の震度別死傷者率に対して補正係数を乗じて算定する。

算定にあたっては、阪神・淡路大震災当時の阪神地区の事例を参考とした上で、当時の阪神地区と本県の転倒防止実施率の違いによる被害低減状況を補正する。

さらに震度別死傷者率に対して屋内滞留の時間変化を考慮し、時間帯別補正係数（深夜：1.0、12時・18時：0.82）を乗じて危険性の違いを補正する。

なお、転倒防止措置ありの場合は、ない場合の転倒率の0.23倍とした（北浦ら（1996）²⁷）。

家具転倒防止実施率の補正係数^{※2}（阪神・淡路大震災当時の阪神地区と本県の比）

※2 補正係数＝{（100－本県の転倒防止率）＋0.23×本県の転倒防止率}／{（100－5）＋0.23×5}

表Ⅱ.3-4 家具転倒防止実施率

阪神・淡路大震災時の阪神地区の転倒防止実施率 ¹⁹	5%
栃木県の転倒防止実施率（全国平均値を採用）	26.2%

(1) 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による死者数

屋内収容物の移動・転倒、屋内落下物による死者数の算定の流れ及び死者率を次に示す。

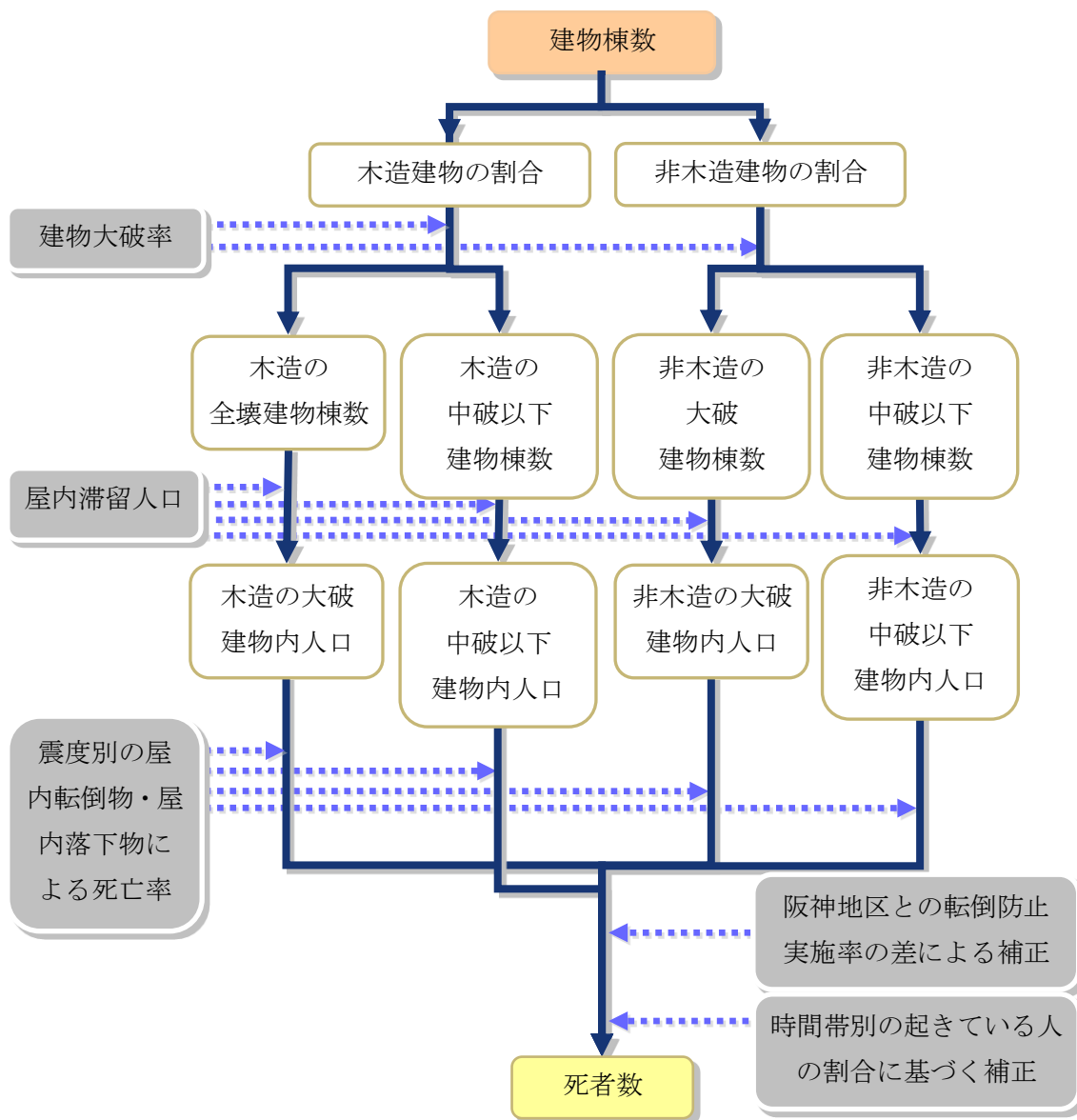


図 II. 3-5 屋内転倒物による死者数の算定フロー¹¹

表Ⅱ. 3-5(1) 屋内転倒物による死者率¹¹

震度階級	大破の場合		中破以下の場合	
	木造建物	非木造建物	木造建物	非木造建物
震度 7	0.314%	0.192%	0.00955%	0.000579%
震度 6 強	0.255%	0.156%	0.00689%	0.000471%
震度 6 弱	0.113%	0.0688%	0.00343%	0.000208%
震度 5 強	0.0235%	0%	0.000715%	0.0000433%
震度 5 弱	0.00264%	0%	0.0000803%	0.00000487%

(ここで木造大破率=木造全壊率×0.7、非木造大破率=非木造全壊率)

表Ⅱ. 3-5(2) 屋内落下物による死者率¹¹

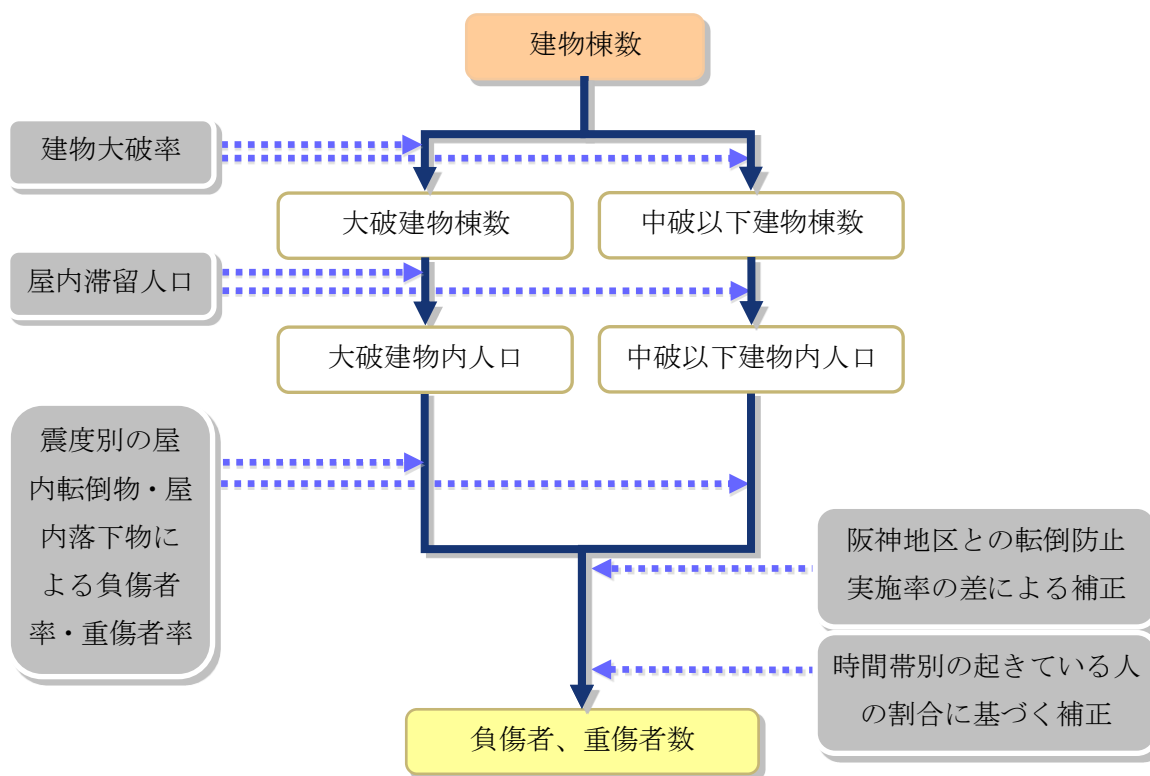
震度階級	大破の場合		中破以下の場合	
	木造建物	非木造建物	木造建物	非木造建物
震度 7	0.0776%	0.0476%	0.00270%	0.000164%
震度 6 強	0.0542%	0.0351%	0.00188%	0.000121%
震度 6 弱	0.0249%	0.0198%	0.00087%	0.000068%
震度 5 強	0.0117%	0%	0.000407%	0.0000404%
震度 5 弱	0.00586%	0%	0.0002036%	0.00002275%

表Ⅱ. 3-5(3) 屋内ガラスによる死者率¹¹

震度階級	死者率
震度 7	0.00030%
震度 6 強	0.00026%
震度 6 弱	0.00018%
震度 5 強	0.00010%
震度 5 弱	0.000022%

(2) 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による負傷者数（重傷者と軽傷者）

屋内収容物の移動・転倒、屋内落下物による負傷者数の算定の流れ及び負傷者率を以下に示す。



図Ⅱ. 3-6 屋内転倒物による負傷者数の算定フロー¹¹

表Ⅱ. 3-6(1) 屋内転倒物による負傷者率¹¹

震度階級	大破の場合		中破以下の場合	
	負傷者率	重傷者率	負傷者率	重傷者率
震度 7	3.69%	0.995%	0.112%	0.0303%
震度 6 強	3.00%	0.809%	0.0809%	0.0218%
震度 6 弱	1.32%	0.357%	0.0402%	0.0109%
震度 5 強	0.276%	0%	0.00839%	0.00226%
震度 5 弱	0.0310%	0%	0.000943%	0.000255%

表Ⅱ. 3-6(2) 屋内落下物による負傷者率¹¹

震度階級	大破の場合		中破以下の場合	
	負傷者率	重傷者率	負傷者率	重傷者率
震度 7	1.76%	0.194%	0.0613%	0.00675%
震度 6 強	1.23%	0.135%	0.0428%	0.004710%
震度 6 弱	0.566%	0.0623%	0.0197%	0.00216%
震度 5 強	0.266%	0%	0.00926%	0.00102%
震度 5 弱	0.133%	0%	0.00463%	0.000509%

表Ⅱ. 3-6(3) 屋内ガラス被害による負傷者率¹¹

震度階級	負傷者率	重傷者率
震度 7	0.056%	0.0080%
震度 6 強	0.049%	0.0069%
震度 6 弱	0.034%	0.0048%
震度 5 強	0.019%	0.0027%
震度 5 弱	0.0041%	0.00058%

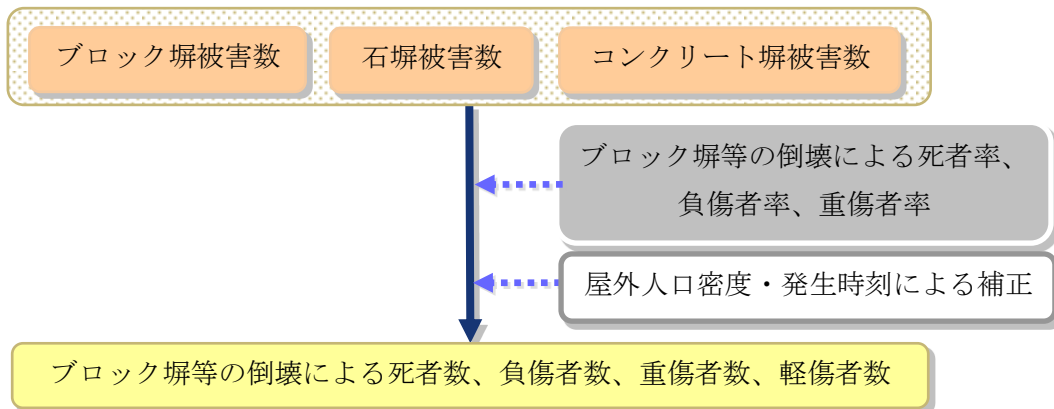
6 ブロック塀等の倒壊による人的被害

ブロック塀等の倒壊による人的被害は、ブロック塀等被害数から倒壊による死者率、負傷者率、重傷者率を乗じ、屋外人口密度・発生時刻の補正を考慮し、死者数、重傷者数、軽傷者数^{※1}を算定する。

※1 軽傷者数＝負傷者数－重傷者数

(1) ブロック塀等の倒壊による人的被害

ブロック塀等の倒壊による人的被害は、1978年宮城県沖地震時のブロック塀等の被害件数と死傷者数との関係から求めた死傷者率を用いた、東京都(1997)²²及び静岡県(2001)¹⁵の手法を参考に算定する。



図Ⅱ. 3-7 ブロック塀等の倒壊による
死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数の算定フロー¹¹

表Ⅱ. 3-7 死者率、負傷者率、重傷者率 (=倒壊 1 件当たり死傷者数) ¹¹

死者率	負傷者率	重傷者率
0.00116	0.04	0.0156

さらに時刻別の屋外移動者数を考慮し、時間帯別補正を行う。

$$\begin{aligned}
 (\text{死者、負傷者、重傷者}) = & \\
 & (\text{死者率、負傷者率、重傷者率}) \times (\text{市町別のブロック塀等被害件数}) \\
 & \times (\text{市町別時刻別移動者数}) / (\text{市町別 18 時移動者数}) \\
 & \times ((\text{市町別屋外人口密度}) / 1689.16^{*2} (\text{人}/\text{km}^2))
 \end{aligned}$$

※2 宮城県沖地震時の仙台市の屋外人口密度

(2) 自動販売機による人的被害

自動販売機による人的被害は、内閣府 (2012) ¹¹のブロック塀の倒壊による死傷者数算定手法を用いて算定する。

ただし、ブロック塀と自動販売機の幅の違いによる死傷者率の違いを考慮することとし、自動販売機とブロック塀の幅の平均長の比 (1 : 12.2) によって補正する。

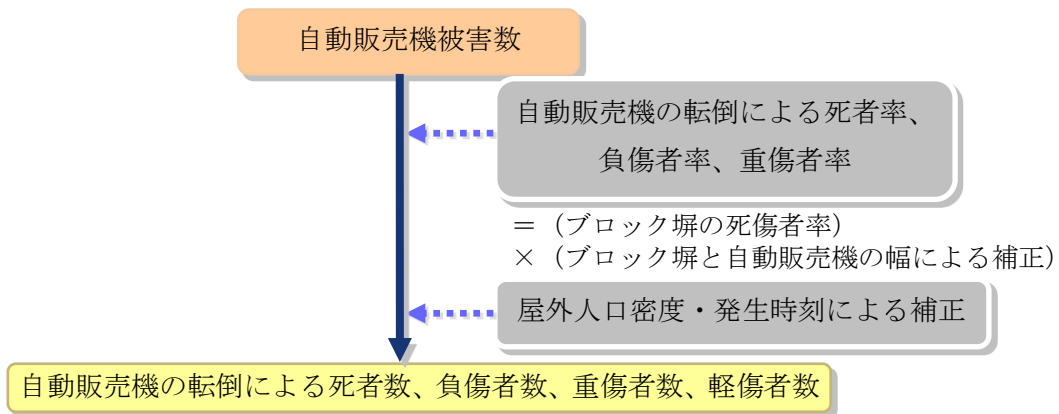


図 II. 3-8 自動販売機の転倒による死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数算定フロー

(死者数、負傷者数、重傷者数)

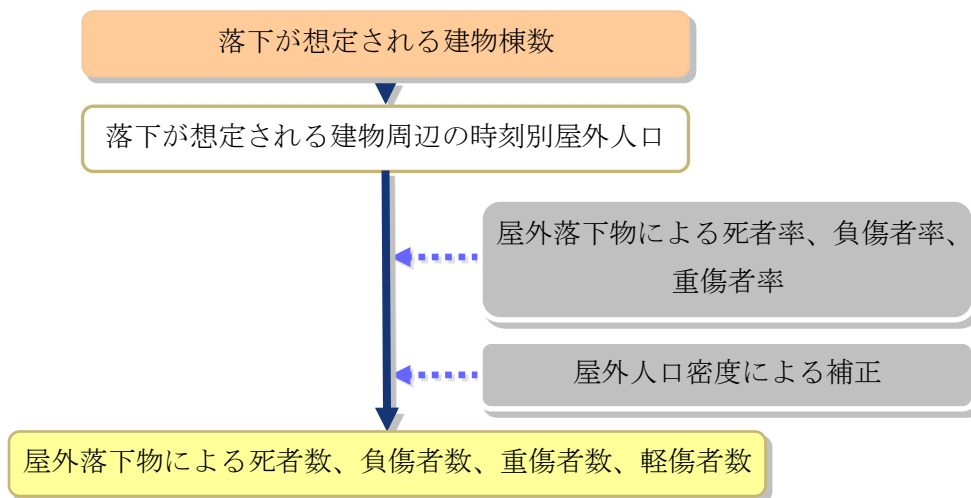
$$= (\text{死者率、負傷者率、重傷者率}) \times (\text{市町別の自動販売機被害数}) \times (\text{市町別時刻別移動者数}) / (\text{市町別 18 時移動者数}) \times ((\text{市町別屋外人口密度}) / 1689.16^{*3} (\text{人}/\text{km}^2))$$

※3 宮城県沖地震時の仙台市の屋外人口密度

7 屋外落下物による人的被害

屋外落下物による人的被害は、屋外落下物及び窓ガラスの屋外落下による死者率、負傷者率、重傷者率から死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数^{※1}を算定する。

※1 軽傷者数＝負傷者数－重傷者数



図Ⅱ. 3-9 屋外落下物による死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数の算定フロー¹

屋外落下物及び窓ガラスの屋外落下による死傷者率は、宮城県沖地震（1978）時の落下物による被害事例を基に算定する。

（死者、負傷者、重傷者）

$$= (\text{死者率、負傷者率、重傷者率} \times \{(\text{市町別の落下危険性のある落下物を保有する建物棟数}) / (\text{市町別建物棟数}) \times (\text{市町別時刻別移動者数})\} \times ((\text{市町別屋外人口密度}) / 1689.16^{*2} (\text{人}/\text{km}^2)))$$

※2 宮城県沖地震時の仙台市の屋外人口密度

表Ⅱ. 3-8 屋外落下物による死傷者率（＝死傷者数÷屋外人口）¹¹

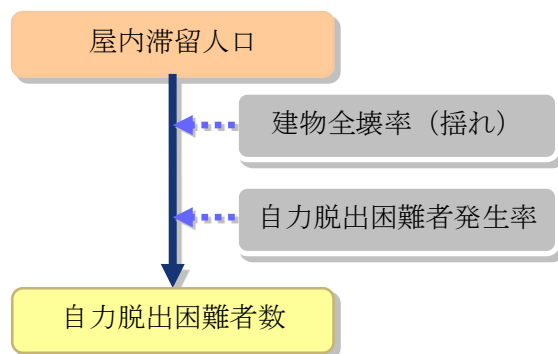
震度階級※	死者率	負傷者率	重傷者率
震度 7	0.005043%	1.69%	0.0816%
震度 6 強	0.00388%	1.21%	0.0624%
震度 6 弱	0.00239%	0.700%	0.0383%
震度 5 強	0.000604%	0.0893%	0.00945%
震度 5 弱	0%	0%	0%
震度 4 以下	0%	0%	0%

注：東京消防庁火災予防審議会（2005）²⁸における屋外落下物（壁面落下）と屋外ガラス被害による死者率の合算値

※ 震度 7 を計測震度 6.5 相当、震度 6 強以下を各震度階級の計測震度の中間値として内挿補間する

8 揺れによる建物被害に伴う要救助者（自力脱出困難者）

揺れによる建物被害に伴う要救助者（自力脱出困難者）は、阪神・淡路大震災時における建物全壊率と救助が必要となる自力脱出困難者の数との関係を用いた、東京都（1997）^{2.2}及び静岡県（2001）^{1.5}の手法を参考に算定する。



図Ⅱ. 3-10 自力脱出困難者数の算定フロー¹¹

自力脱出困難者数（木造、非木造別）

$$=0.117 \times (\text{揺れによる建物全壊率}) \times (\text{屋内滞留人口})$$

第4章 ライフライン被害

ライフラインとは、上水道、下水道、電力、通信、ガス等の生活に必要な不可欠なインフラ設備のことをいい、建物のように独立した構造物でなく、管路網、通信網などのネットワークで機能するものである。

ライフラインの被害は、住民の生活に密接に関係していることから、施設被害を算定するとともに、生活への支障を定量的に把握するため断水や下水道機能支障などを算定する。

1 上水道

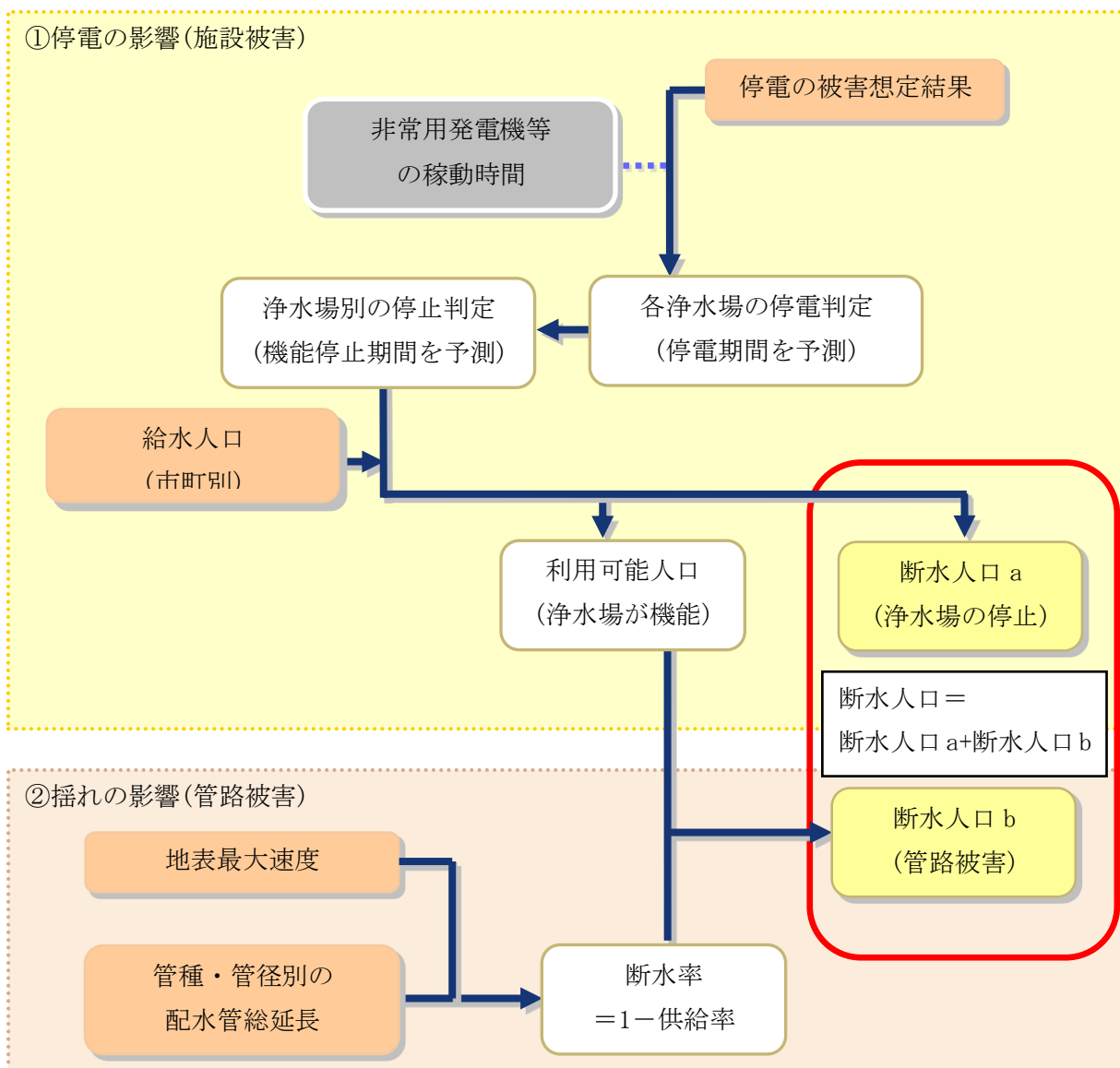
上水道の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、停電による浄水場の機能停止判定を行い、断水人口を算定する。

また、震度から管路被害を算定し、断水人口を算定する。さらに両者の断水人口から断水率、復旧日数を算定する。

上水道の管路延長や給水人口等は、各市町から資料提供を受けた。

(1) 施設被害

上水道管被害箇所数、断水人口の算定フローを図Ⅱ. 4-1 に示す。



図Ⅱ. 4-1 断水人口の算定フロー²⁹

① 停電の影響 (施設被害)

停電の影響は、浄水場の停電予測結果と非常用発電機の整備状況を考慮した。

電力系統は、配電線が多重化されており、浄水場位置に該当する 250m メッシュにて停電被害が想定された場合でも、他の配電経路を經由して電力を供給することが可能と考えられる。

したがって、浄水場の停電は、電力系統が市町面積の 50%以上の広範囲にわたって停電した場合にその影響を受けると仮定し、停電期間中は浄水場が停止する

ものとする。停電による停止は、「(3)電力 復旧予測」で示した供給率復旧曲線に合わせて復旧するものとする。

② 揺れの影響 (管路被害)

揺れの影響は、管種・管径別の被害率(首都直下地震防災・減災特別プロジェクト^{※1})を用いて管路被害を算定する。

※1 文部科学省の委託を受け、東京大学地震研究所、(独)防災科学技術研究所、京都大学防災研究所が首都直下地震の解明、被害軽減と首都機能維持に資することを目的として実施。

$$D=C_g \cdot C_d \cdot C_p \cdot C_l \cdot R(v) \cdot L$$

R : 標準被害率(箇所/km)

v : 地表最大速度(cm/s)

C_g : 地盤補正係数

C_d : 口径補正係数

C_p : 管種補正係数

C_l : 液状化補正係数

L : 管路長(km)

D : 被害箇所数

$$\text{標準被害率曲線} = R(v) = C \Phi \left((\ln v - \lambda) / \zeta \right)$$

C、λ、ζ : 標準被害率曲線の回帰定数

表Ⅱ. 4-1 上水道管の標準被害率曲線の回帰定数³⁰

管種	ζ	λ	C
CIP・VP・その他	0.860	5.00	2.06
DIP (ダクタイル鋳鉄管)	0.864	6.04	4.99

※耐震継手のダクタイル鋳鉄管は、過去の実績から被害が生じないものとした。

表Ⅱ. 4-2 管種・管径補正係数³¹に一部加筆

管種	管種補正係数 C _p
ACP(石綿セメント管)	1.2
CIP(鋳鉄管)	1.0
VP(塩化ビニル管)	1.0
SGP(ねじ鋼管)	2.0
SP(溶接鋼管)	0.3
PEP(ポリエチレン管)	0.1
CP (コンクリート管)	1.0
LP(鉛管)	1.0
OP (その他管)	1.0

表Ⅱ. 4-3 口径補正係数³¹

管径	口径補正係数 C _Φ
～φ75mm	1.6
φ100～150mm	1.0
φ200～450mm	0.8
φ500mm～	0.5

表Ⅱ. 4-4 上水道管被害予測式の地形・地盤係数³⁰

地形区分	微地形分類	地形補正係数 C _g
良質地盤	山地	0.4
	山麓地	
	丘陵	
	火山地	
	火山山麓地	
	火山性丘陵	
	岩石台地	
	砂礫質台地	
	岩礁・磯	
	河川敷	
沖積平地	扇状地	1.0
	自然堤防	
	後背湿地	
	旧河道	
	三角州・海岸低地	
	砂州・砂礫州	
	砂丘	
	砂州・砂丘間低地	
	干拓地	
埋立地		
谷・旧水部	谷底低地	3.2
	河川・水路	
	湖沼	
段丘	ローム台地	1.5

表Ⅱ. 4-5 液状化係数³⁰

PL 値	液状化係数 (C _l)
0<PL≤5	1.0
5<PL≤15	2.0
15<PL	2.4

③ 断水人口

断水人口は、浄水場の停止及び管路被害から求められる断水率に給水人口を掛け合わせることで算定する。

給水人口は、浄水場1箇所当たりが受け持つ給水人口は同じとして仮定した(給水人口が多い地域は、給水区域が広く、浄水場箇所数が多いと仮定)。

断水率については、阪神・淡路大震災を含む過去の地震時の被害をもとに配水

管の被害率と水道供給支障率（断水率）の関係を設定した川上（1996）³²の手法を改良した神奈川県（2009）³¹の予測手法を用いる。

a. 停電の影響

浄水場の停止による断水人口＝機能停止浄水場数/全浄水場数×給水人口

b. 揺れによる影響

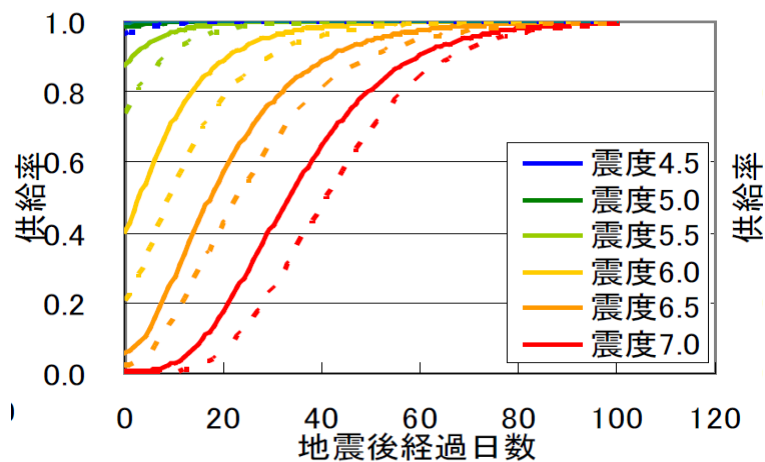
揺れによる断水率＝ $1 \div \{1 + 0.00789 \times (\text{配水管被害率})^{-2.801}\}$

配水管の被害による断水人口＝断水率×利用可能人口

利用可能人口＝給水人口－浄水場の停止による断水人口

(2) 復旧予測

「供給率復旧曲線は、東京大学地震研究所ら（2012）³³に示される1995年兵庫県南部地震の被災事例に基づくモデルを用いて算定する。



図Ⅱ. 4-2 上水道の供給率復旧曲線(破線：オリジナル、実線：改良モデル)³³

2 下水道

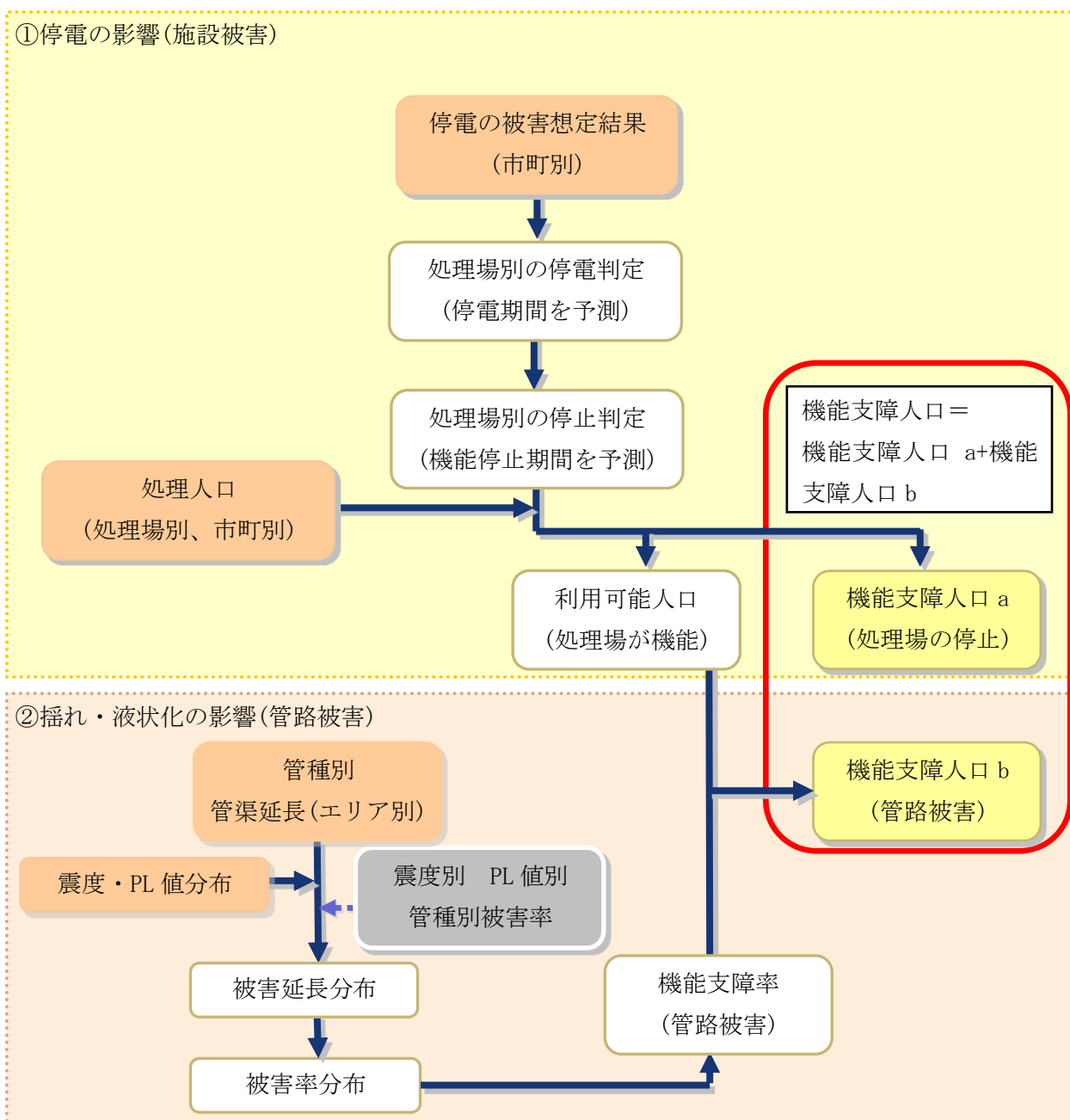
下水道の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、停電による処理場の停止判定を行い、機能支障人口を算定する。

また、震度及び PL 値から管路被害を算定し、処理場被害の影響を受けないエリアの機能支障人口を算定する。さらに機能支障人口から支障率、復旧日数を算定する。

下水道の管路延長や処理人口等は、各市町から資料提供を受けた。

(1) 施設被害

下水道管被害延長、下水道機能支障人口の算定フローを図Ⅱ. 4-3に示す。



図Ⅱ. 4-3 下水道機能支障人口の算定フロー²⁹

① 停電の影響（施設被害）

停電の影響は、処理場の停電の予測結果から算定する。

電力系統は、配電経路が多重化されており、処理場位置に該当する 250m メッシュにて停電被害が想定された場合でも、他の配電経路を経由して電力を供給することが可能と考えられる。

したがって、処理場の停電は、電力系統が市町面積の 50%以上の広範囲にわたって停電した場合にその影響を受けると仮定し、停電期間中は処理場が機能しないものとする。停電による停止は、「3 電力（2）復旧予測」で示した供給率復旧曲線に合わせて復旧するものとする。

② 揺れ・液状化の影響（管路被害）

揺れ・液状化の影響は、新潟県中越地震により下水道施設が大きな被害を受けたことを踏まえ、次表の震度別 PL 値別の管種別被害率を用いて管路被害を算定する。

表Ⅱ. 4-6 下水道 管種別被害率^{3 4}

管種	震度 液状化		震度階級				
			5 弱	5 強	6 弱	6 強	7
塩ビ管 ・陶管	PL 値	全て	19.0%	30.8%	39.3%	48.6%	57.0%
その他 の管	PL 値	15<PL	11.4%	17.4%	23.1%	28.0%	33.4%
		5<PL≤15	8.7%	13.6%	17.0%	20.8%	24.6%
		0<PL≤5	8.0%	12.6%	15.6%	19.1%	22.5%
		PL=0	7.6%	12.1%	14.6%	18.1%	21.2%

③ 機能支障人口は、処理場別の停止判定結果及び管路被害から推計される機能支障率を考慮して算定する。

a. 停電の影響

機能支障人口＝機能停止処理場の処理人口

b. 揺れ・液状化の影響（島根県（2012）を参考）

機能支障人口＝処理人口×機能支障率

機能支障率＝管渠被害延長÷管渠延長

管渠被害延長＝管種別管渠被害延長×管種別被害率

(2) 復旧予測

ア 揺れ・液状化の影響

揺れ・液状化の影響による管渠被害の復旧は、上水道の復旧に合わせて実施されると考えられることから、復旧作業単位の設定は困難である。

よって、下水道の復旧は中央防災会議（2006）を参考に、30日で完了すると仮定し、地震発生1日後から等比級数的に回復すると仮定する。

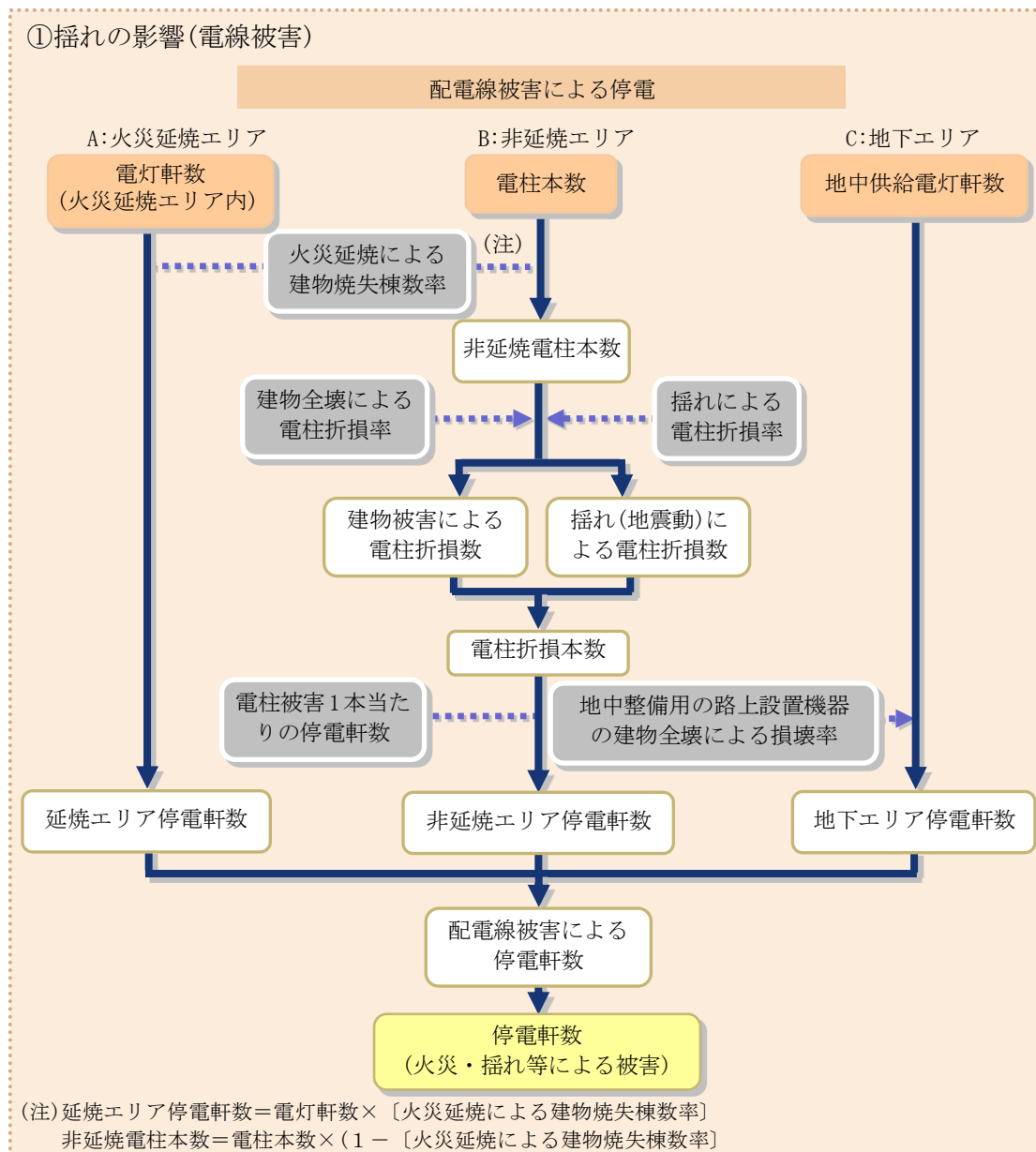
3 電力

電力の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、「火災延焼による建物焼失棟数率」、「建物全壊及び揺れによる電柱折損率」、「地中整備用の路上設置機器の建物全壊による損壊率」から停電軒数を算定する。

なお、発電所の被害想定は、停電被害が生じる条件の設定及び被害が生じた場合の影響範囲や復旧予測等を想定することが困難であることや、県内の電力需要に対応する発電所が県内外に分散して立地しているなど、個別に特定することが困難であることから、本調査の想定対象外とする。

(1) 施設被害

電柱被害数、停電軒数の算定フローを図Ⅱ.4-4に示す。



図Ⅱ.4-4 停電軒数の算定フロー²⁹

① 揺れの影響(電線被害)

想定手法は、中央防災会議(2006)¹⁴の手法により、配電線による停電は、火災延焼エリア、非延焼エリア、地下エリアに分類し、火災による延焼と電柱折損を考慮して算定する。

a. 火災延焼エリアの停電軒数

火災延焼エリアでの停電軒数は、火災による建物被害で設定された火災延焼による建物焼失棟数率を電灯軒数に掛け合わせることで算定する。

b. 非延焼エリアの停電軒数

非延焼エリアでの停電軒数は、架空線被害による停電率を予測する。架空線被害は、「建物被害による電柱折損数」、「揺れによる電柱折損数」を算定し、停電軒数を算定する³⁵。

停電軒数=電柱被害本数×電柱被害一本当たりの停電軒数

$$\begin{aligned} \text{電柱被害に関する停電比} &= \text{停電回数比} \times \text{配電係数} \times \text{電灯軒数} / \text{配電線数} \\ &= 0.143 \times ((\text{配電線数} / \text{電柱本数}) / 1.303 \times 100) \times \text{電灯軒数} / \text{配電線数} \\ &= 0.143 \times \text{電灯軒数} / \text{電柱本数} / 1.303 \times 100 \\ &= \text{電灯軒数} / \text{電柱本数} \times 10.975 \end{aligned}$$

揺れによる電柱被害本数=電柱本数×揺れによる電柱折損率

表Ⅱ.4-7 揺れによる電柱折損率

震度	揺れによる電柱折損率
震度5	0.00005%
震度6	0.056%
震度7	0.8%

建物全壊による電柱被害本数=電柱本数×建物全壊による電柱折損率

建物全壊による電柱折損率=0.17155×木造建物全壊率

c. 地下エリア停電軒数

地下エリアは、地中設備につながる路上設置機器の建物全壊に起因する損壊により停電が生じると想定する。停電軒数の算定にあたっては、東日本大震災を踏まえた被害率の変更がないため、阪神淡路大震災の実態による中央防災会議（2006）¹⁴の手法を採用して、地中整備用の路上設置機器の建物全壊による損壊率を乗じて求める。

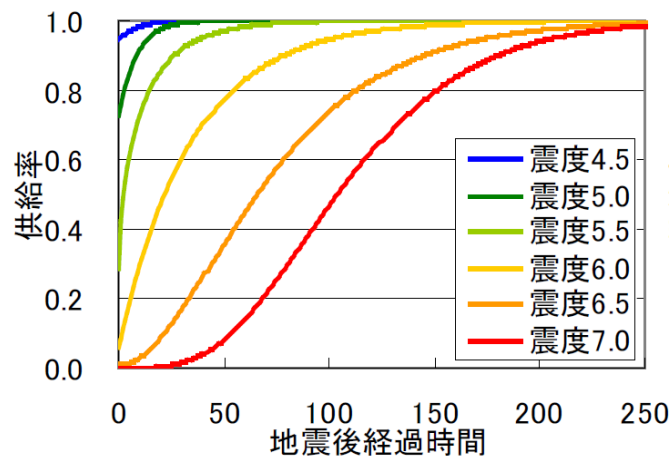
$$\text{建物全壊による地中設備の路上設置機器の損壊率} = \text{建物全壊率} \times 0.005$$

③ 停電軒数

「火災・揺れ等による被害」の合計値とする。

(2) 復旧予測

供給率復旧曲線は、東京大学地震研究所ら（2012）³³に示される1995年兵庫県南部地震の被災事例に基づくモデルを用いて算定する。



図II.4-5 電力の供給率復旧曲線³³

4 通信

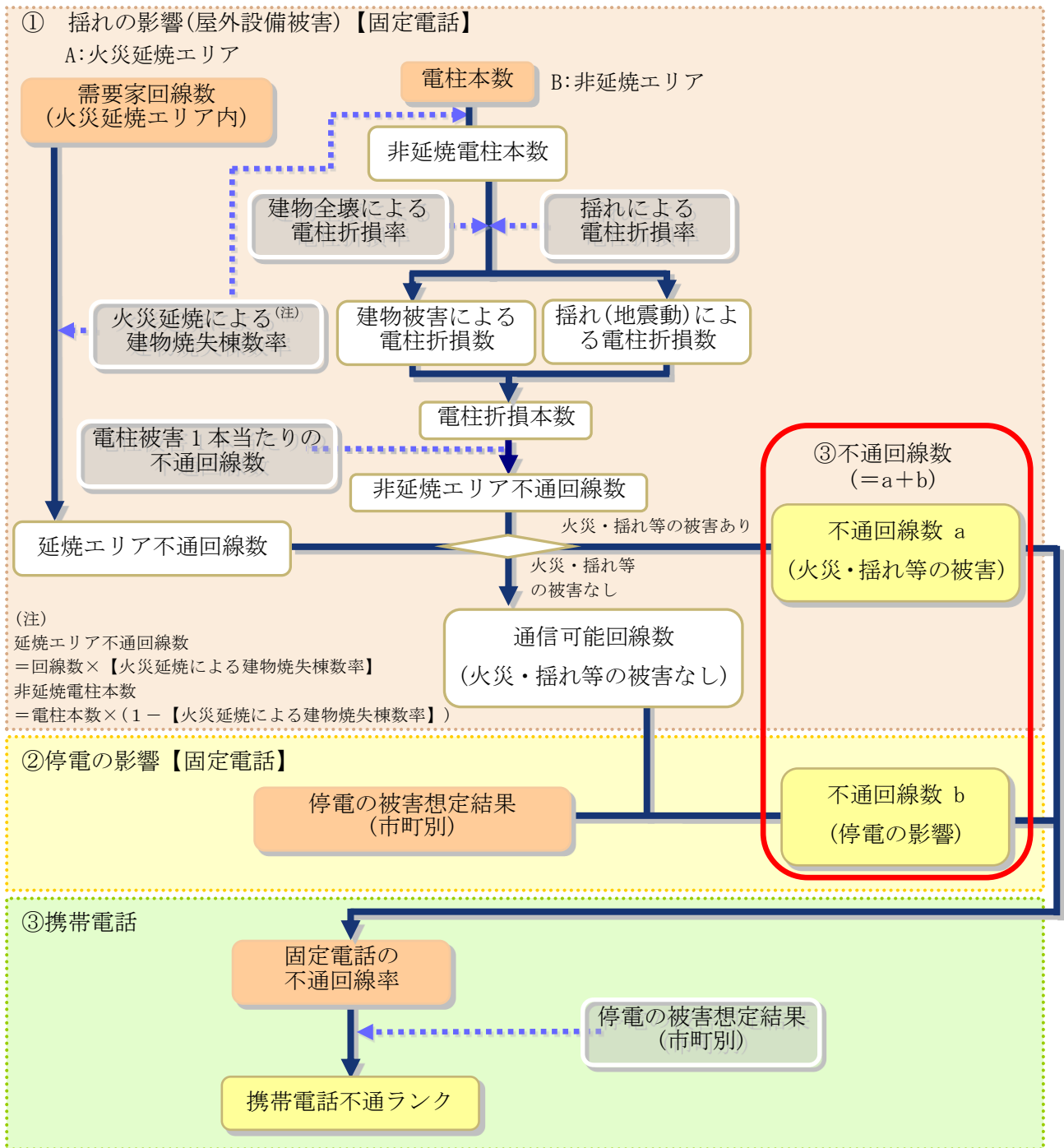
通信の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき実施した。

固定電話は、停電に伴う不通回線数を算定する。停電に伴う被害の影響を受けないエリアは、「火災延焼による建物焼失棟数率」、「建物全壊及び揺れによる電柱折損率」による不通回線数を算定する。さらに、不通回線数から不通回線率、復旧日数を算定する。

携帯電話は、「固定電話の不通回線率」、「停電による停波基地局率」から携帯電話不通ランクを算定する。

(1) 施設被害

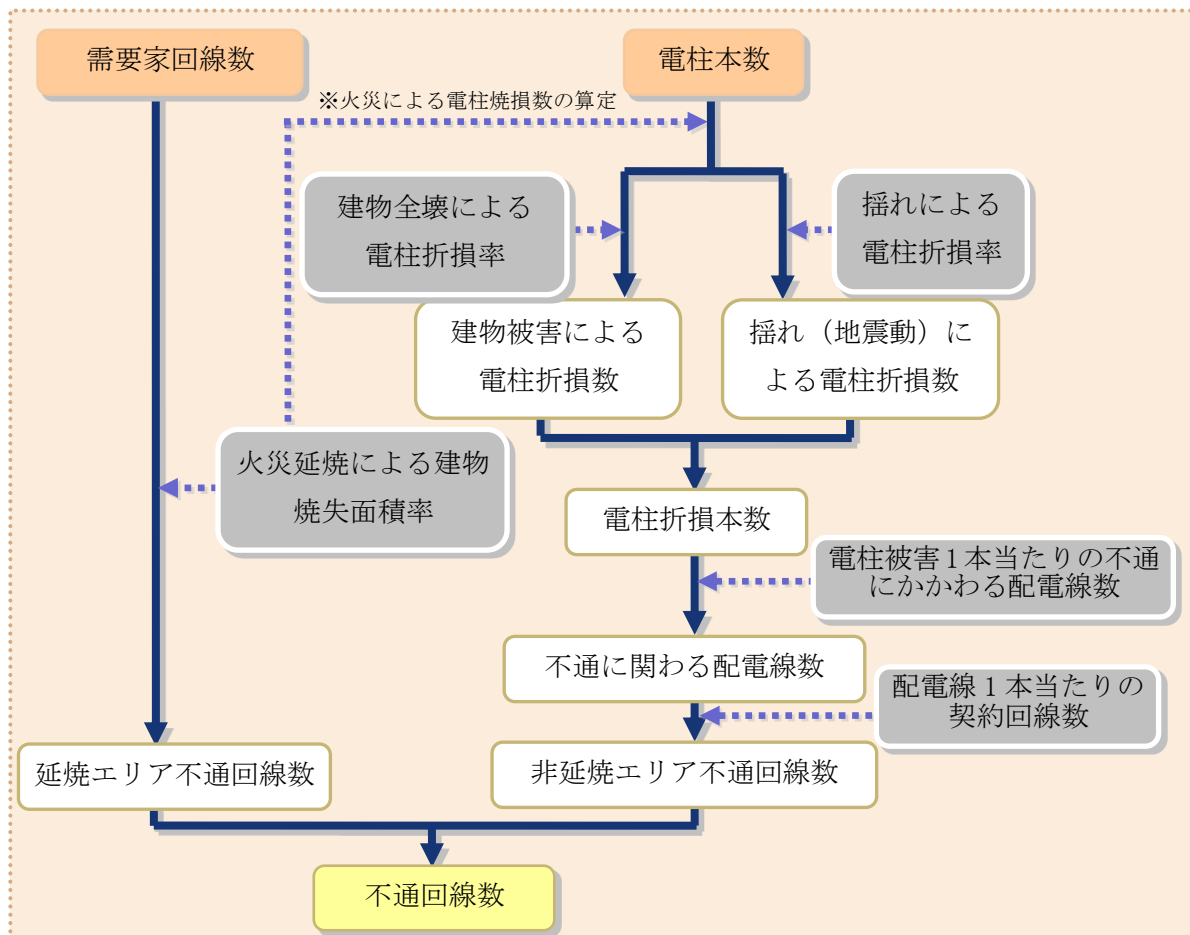
不通回線数等の算定フローを図Ⅱ. 4-6に示す。



図Ⅱ. 4-6 不通回線数等の算定フロー²⁹

① 揺れの影響(屋外設備被害)【固定電話】

揺れの影響による不通回線数は、中央防災会議(2006)¹⁴の手順で算定する。



図Ⅱ. 4-7 揺れの影響による通信屋外設備被害の算定フロー¹⁴

a. 火災延焼エリア不通回線数

火災延焼エリアでの不通回線数は、火災による建物被害で設定された火災延焼による建物焼失棟数率を需要家回線数に掛け合わせることで算定する。

b. 非延焼エリア不通回線数

火災による影響は、交換機と需要家端末がほぼ同一地域にあり、交換機設置環境を考慮した場合、屋外設備(架空ケーブル)被害の影響の方が大きいと考えられる。そのため、非延焼エリアでの不通回線数は、「揺れ」、「建物全壊」による電柱被害によるものとし、建物被害及び揺れによる電柱折損数により算定する。

不通回線数 = 電柱被害本数 × 電柱被害一本当たりの不通回線数

電柱被害一本当たりの不通回線数 =

電柱被害一本当たりの不通配電線数 × 配電線一本当たりの契約回線数

電柱被害一本当たりの不通配電線数 = 0.36

配電線一本当たりの契約回線数 =

地上部の需要家数 / {電柱本数 × 電柱一本当たりの配電線数 (1 と仮定)}

地上部の需要家回線数 =

需要家回線数 × 架空ケーブル延長距離 / (架空ケーブル延長距離 + 地下ケーブル延長距離)

揺れによる電柱被害本数 = 電柱本数 × 揺れによる電柱折損率

表 II. 4-8 揺れによる電柱折損率

震度	揺れによる電柱折損率
震度 5	0.00005%
震度 6	0.056%
震度 7	0.8%

建物全壊による電柱被害本数 = 電柱本数 × 建物全壊による電柱折損率

建物全壊による電柱折損率 = 0.17155 × 木造建物全壊率

② 停電の影響【固定電話】

停電の影響は、固定電話が給電を要するため、非常用発電機を有する交換機と比較した場合、停電の影響は需要家端末のほうが大きいと考えられる。そのため、

電力における停電の被害想定結果を用いて、停電による不通回線数を算定する。

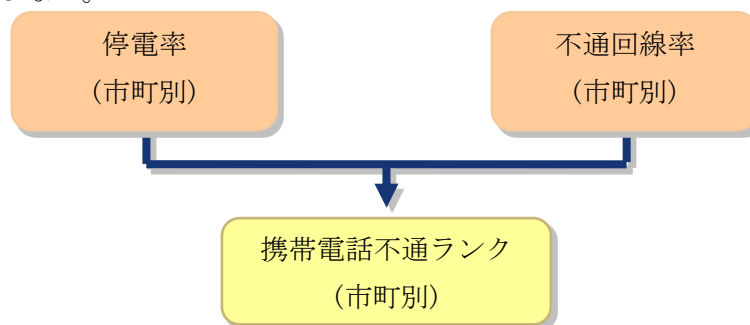
停電の影響による不通回線数

$$= \text{停電率} \times \text{通信可能回線数 (火災・揺れの被害なし)}$$

③ 携帯電話

携帯電話は中央防災会議（2006）¹⁴の手順を参考に、固定電話の不通回線率と停電の影響を考慮して携帯電話不通ランクを算定する。

このとき、携帯電話不通ランクは、電力の被害想定結果として得られた停電率（電力の供給軒数に対する停電軒数の割合）と固定電話回線の被害想定結果として得られた不通回線率（固定電話回線数に対する不通回線数の割合）から、携帯電話が不通となる可能性をエリアごと4段階で評価し、通話規制による輻輳については考慮しない。



図Ⅱ. 4-8 携帯電話の不通ランクの算定フロー

表Ⅱ. 4-9 携帯電話不通ランク

不通 ランク	状態	判定基準
ランク A	非常につながりにくい	停電率・不通回線率の少なくとも一方が 50%超
ランク B	つながりにくい	停電率・不通回線率の少なくとも一方が 40%超
ランク C	ややつながりにくい	停電率・不通回線率の少なくとも一方が 30%超
ランク D	ランク A、B、C 以外	停電率・不通回線率のいずれも 30%未満

(2) 復旧予測

復旧予測は、東日本電信電話株式会社へのヒアリングなどを行い、想定する。

5 都市ガス

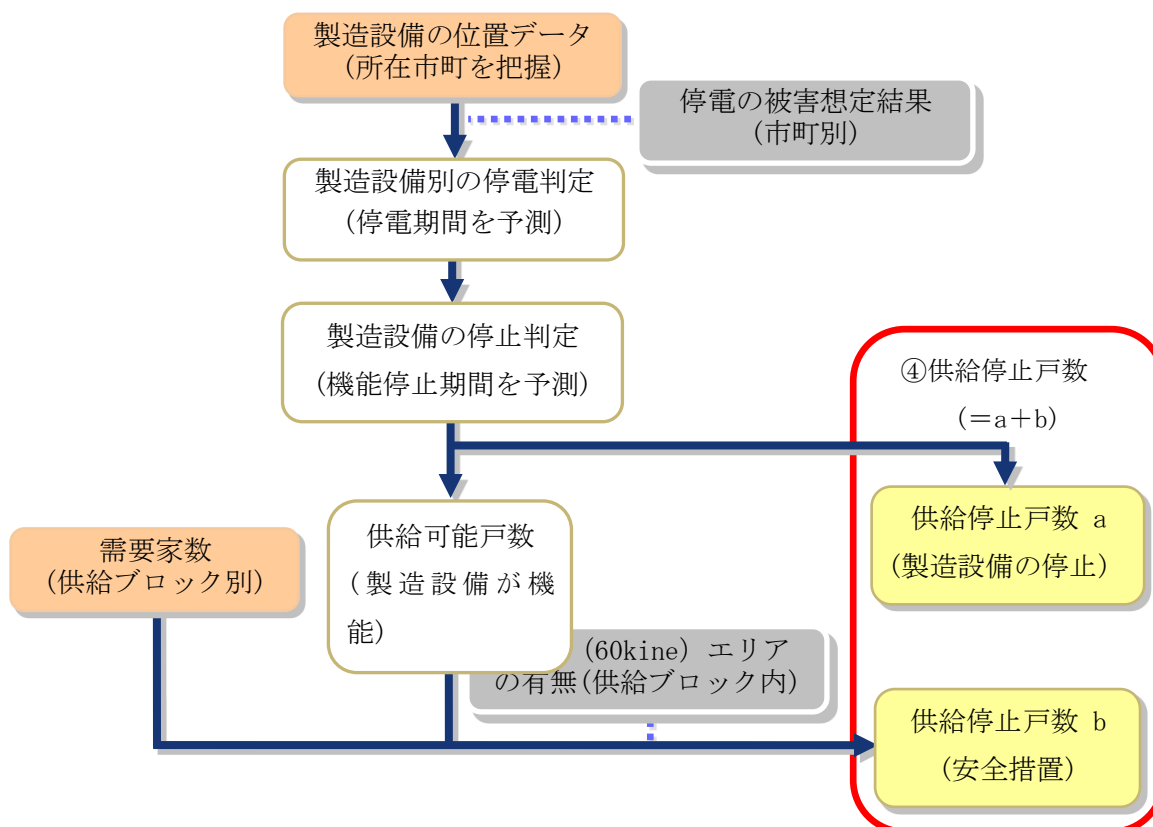
都市ガスの被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、停電に伴う製造設備の停止判定を行い、供給停止戸数を算定する。

また、停電に伴う被害の影響を受けないエリアは、SI 値(60kine)から供給停止戸数を算定する。

都市ガス供給戸数等は、県内のガス会社から情報提供を受けた。

(1) 施設被害

都市ガス供給停止戸数の算定フローを図Ⅱ. 4-9に示す。



図Ⅱ. 4-9 都市ガス供給停止戸数の算定フロー²⁹

① 停電の影響

電力系統は、配電線が多重化されており、都市ガス製造設備位置に該当する250mメッシュにて停電被害が想定された場合でも、他の配電経路を経由して電力を供給することが可能と考えられる。

したがって、ガス製造設備の停電は、電力系統が広範囲にわたって停電した場合にその影響を受けると仮定し、電力被害想定による市町別停電軒数が市町別全電灯軒数の50%以上となる市町で発生することとする。

② 安全措置としての供給停止

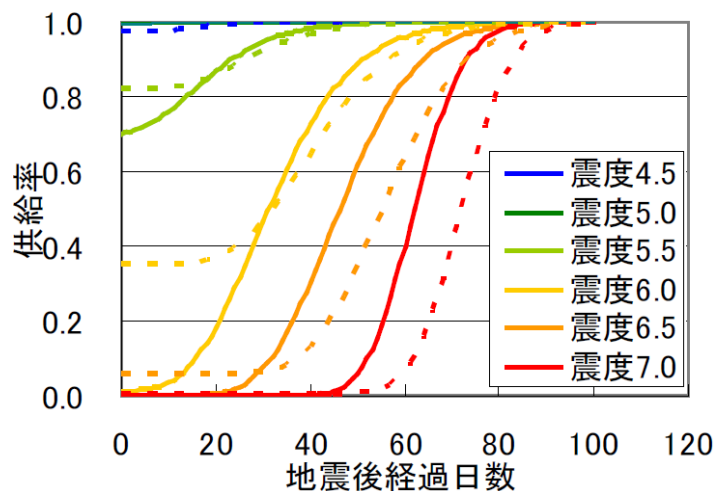
中央防災会議(2006)¹⁴を参考に、各供給ブロック内のSI値の60kineの超過率から供給停止戸数を算定する。

③ 供給停止戸数

供給停止戸数は、停電による影響を考慮した供給停止戸数と安全措置としての供給停止戸数を足し合わせて算定する。

(2) 復旧予測

供給率復旧曲線は、東京大学地震研究所ら（2012）³³に示される1995年兵庫県南部地震の被災事例に基づくモデルを用いて算定する。



図Ⅱ. 4-10 ガスの供給率復旧曲線(破線：オリジナル、実線：改良モデル)³³

6 LP ガス

LP ガスの被害想定は、関沢ら（2012）³⁶の手法に基づき、LP ガス容器のガス漏洩の被害を算定する。

LP ガス供給戸数は、都市ガスがないエリアは 100%の世帯で LP ガスを使用していると仮定し、都市ガスがあるエリアは、50%の世帯で LP ガスを使用していると仮定した。

（1）施設被害

ガス漏れ戸数＝震度別ガス漏洩率×LP ガス消費者戸数

表Ⅱ. 4-10 震度別容器転倒率、ガス漏洩率

ガス漏洩率	ガスボンベ重量	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強以上
	10 キロ	0%	0%	35.6%	35.6%
	20 キロ	0%	4.8%	9.6%	32.1%
	50 キロ	0%	1%	1.3%	2.1%

（2）復旧予測

LP ガスの復旧は、阪神・淡路大震災において約 162,700 世帯の復旧を発災から 12 日後に完了した実績があることから、復旧速度を 10,000 件／日として応急復旧日数を想定する。

第5章 交通施設被害

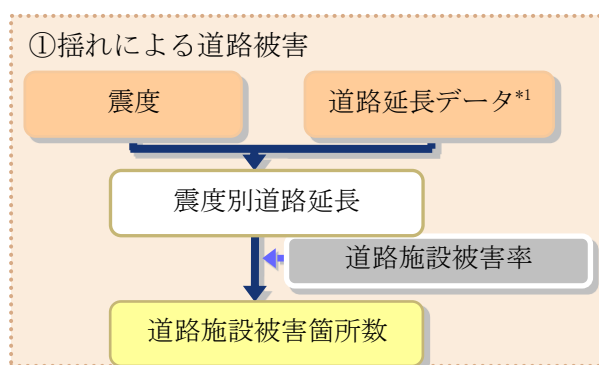
地震時及び地震後に交通機関が機能するかどうかは、災害の応急活動、復旧復興を円滑に行う上で重要な要因であるため、交通機関の被害想定として、道路、鉄道の被害想定を行う。

1 道路

道路延長は、「道路統計 2012：国土交通省」を使用した。

(1) 施設被害

道路の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、揺れによる被害を算定する。



図Ⅱ.5-1 道路施設被害箇所数の算定フロー²⁹

① 揺れによる道路被害

$$\text{被害箇所数} = \text{震度別道路延長 (km)} \times \text{道路施設被害率 (箇所/km)}$$

表Ⅱ.5-1 道路施設被害率²⁹

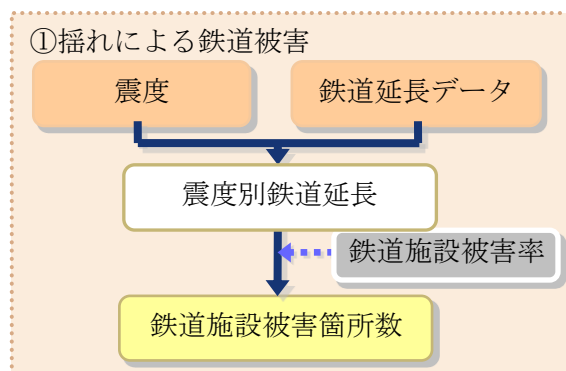
震度	被害率(箇所/km)	
	直轄国道	補助国道・県道・市町道
震度4以下	—	—
震度5弱	0.035	0.016
震度5強	0.11	0.049
震度6弱	0.16	0.071
震度6強	0.17	0.076
震度7	0.48	0.21

2 鉄道

鉄道延長は、1/25,000 地形図から図測により設定した。

(1) 施設被害

鉄道の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、揺れによる被害を算定する。



図Ⅱ. 5-2 鉄道施設被害箇所数の算定フロー²⁹

① 揺れによる鉄道被害

被害箇所数 = 震度別鉄道延長 (km) × 鉄道施設被害率* (箇所/km)

※東日本大震災の鉄道施設被害率を用いる

表Ⅱ. 5-2 鉄道施設被害率²⁹

震度階級	新幹線被害率 (箇所/km)	在来線等被害率 (箇所/km)
震度 5 弱	—	0.26
震度 5 強	0.26	1.01
震度 6 弱	0.4	2.03
震度 6 強以上		2.8

※JR 東日本の被害データ (浸水域外) に基づく (土木・保線のみ)

第6章 生活への影響

1 避難者

避難者の想定は、地震により自宅を失う、あるいは断水により自宅での生活が困難となり避難所への避難が必要となる人数として算定する。

なお、避難者数は、発災日から当日・1日後、1週間後、1ヶ月後の推移も算定する。全避難者数は、次の式により算定する。

$$\text{全避難者数} = (\text{全壊棟数} + 0.13 \times \text{半壊棟数}) \times 1 \text{棟当たりの平均人員} \\ + \text{断水人口}^{*1} \times \text{断水時生活困窮度}^{*2}$$

※1 断水人口は、自宅建物被害を原因とする避難者を除く断水世帯人員を示す。

※2 断水時生活困窮度とは、自宅建物は大きな損傷をしていないが、断水が継続されることにより自宅で生活し続けることが困難となる度合を意味する。時間とともに数値は大きくなる。阪神・淡路大震災の事例によると、水が手に入れば自宅の被害がひどくない限りは自宅で生活するようになり、半壊の人でも水道が復旧すると避難所から自宅に帰っており、逆に断水の場合には生活困窮度が増す。

このとき、断水時生活困窮度は、(当日・1日後)0.0 ⇒ (1週間後)0.25 ⇒ (1ヶ月後)0.90 とする。

(1) 避難所避難者と避難所外避難者の割合

阪神・淡路大震災の実績による被害の甚大性・広域性を考慮して、発災当日・1日後、1週間後、1ヶ月後の避難所避難者と避難所外避難者の割合を次のように想定する。

避難所避難者：避難所外避難者

(当日・1日後)60:40 ⇒ (1週間後)50:50 ⇒ (1ヶ月後)30:70

2 帰宅困難者及び滞留者

帰宅困難者として、外出者数、帰宅困難者数及び滞留者数を算定する。

(1) 外出者数

外出者数は、居住ゾーンの外へ通勤・通学していて、地震後の混乱の中で安全確保等のために少なくともしばらくの間は待機する必要がある者の人数を算定する。

算定にあたって外出者は、平成22年国勢調査結果の集計表の「従業地・通学地に

よる常住市町村、男女別 15 歳以上就業者数及び 15 歳以上通学者数(15 歳未満通学者を含む通学者一特掲)一 都道府県、市町村」による各市町外からの通勤者・通学者数とする。

(2) 帰宅困難者数

帰宅困難者数は、代表交通手段が鉄道、バス、自動車、二輪車の「帰宅距離別滞留人口」に対して、東日本大震災の帰宅実態調査結果に基づく外出距離別帰宅困難率を乗じて算定する。

なお、想定するシーンは、外出者数が最も多い昼 12 時とし、算定にあたっては、次の前提を設定する。

- 1) 震度 5 強以上の市町において交通機関の停止が生じるものとする。代表交通手段が徒歩・自転車の場合、災害時においても徒歩・自転車で帰宅すると考え、全員が「帰宅可能」とみなす。
- 2) 通勤・通学者の利用交通機関の設定においては、平成 22 年国勢調査結果の小地域集計表「利用交通手段(9 区分)、男女別 15 歳以上自宅外就業者数及び通学者数一町丁・字等」を用いて設定する。
- 3) 具体的設定にあたっては、「通勤・通学距離が短い人は、歩行・自転車を用いる」ことを前提として配分することとし、自市町内への通勤・通学者に歩行・自転車を優先的に配分し、以降、市町役場間の直線距離が近い自治体に対する通勤・通学者に割り当てる。
- 4) 外出距離別帰宅困難率は、東日本大震災発災当日の状況も踏まえて、以下の式を以って求めることとし、外出距離には「市町役場間の距離」を用いる。

$$\text{外出距離別帰宅困難率 (\%)} = (0.0218 \times \text{外出距離 km}) \times 100$$

(3) 滞留者数

地震後しばらくして混乱等が収まり、帰宅が可能となる状況となった場合において、遠距離等の理由により外出先で足止めされ、滞留する人口を算定する。

想定するシーン及び前提は、帰宅困難者と同様とする。

3 物資不足量

地震発生時に必要となる物資の不足量を、需要量と供給量との差から算定する。

また、燃料不足や被災地外への影響について被害の様相を整理した。

なお、物資不足量を次の基本式で算定する。

栃木県内の物資不足量 = 需要量－供給量

供給量 = 被災地域内の市町の供給量＋被災地内外の市町からの応援量※
 ＋栃木県の供給量

※ 市町の供給余剰の半分を不足市町への応援量として拠出するものとする。

表Ⅱ. 6-1 物資備蓄量

市町名	備蓄食料 (食)	飲料水 (L)	毛布 (枚)	簡易トイレ (個)
県	70,922	15,000	19,791	1,490
宇都宮市	74,590	0	16,700	106
足利市	40,130	9,756	1,200	20
栃木市	32,074	12,730	4,274	122
佐野市	18,640	25,488	590	22
鹿沼市	11,179	1,092	2,533	10
日光市	18,300	10,958	4,761	102
小山市	51,146	18,600	4,570	71
真岡市	19,032	37,574	1,708	0
大田原市	25,967	288	2,413	15
矢板	6,050	2,904	460	0
那須塩原市	7,056	2,250	1,500	8
さくら市	5,585	1,457	330	1,500
那須烏山市	1,430	1,212	440	0
下野市	1,712	3,408	320	5
上三川町	430	1,000	300	5
益子町	1,500	0	0	0
茂木町	2,100	0	100	0
市貝町	4,046	960	583	0
芳賀町	3,052	240	311	0
壬生町	800	3,000	900	5
野木町	2,241	892	0	9
岩舟町	736	72	560	0
塩谷町	500	480	500	0
高根沢町	16,448	0	2,555	137
那須町	0	5,000	200	0
那珂川町	11,010	5,400	600	0
県全体合計	426,676	159,761	68,199	3,627

※各市町から収集した情報を集計

(1) 食料不足量に関する具体の設定

- ・ 食料需要は阪神・淡路大震災の事例に基づき、避難所避難者の 1.2 倍を対象者として、1 日 1 人 3 食とする。
- ・ 食料の供給は、県、市町のもつ公的備蓄量及び家庭内備蓄量を対象とする。
- ・ 対象とする備蓄食料は、乾パン、即席めん、米、主食缶詰とする。

(2) 飲料水不足量に関する具体の設定

- ・ 断水人口を給水需要者として、1 日 1 人 3 リットルとする。
- ・ 飲料水供給量は県、市町によるペットボトルの公的備蓄量・家庭内備蓄量及び給水資機材による応急給水量を対象とする。

(3) 生活必需品不足量に関する具体の設定

- ・ 生活必需品は毛布を対象とし、住居を失った避難所避難者の需要(1 人 2 枚)とする。

(4) トイレ不足量

地震発生後に必要となる簡易トイレについて、現状の備蓄量を考慮し、避難所生活者、下水道機能支障人口を対象に、不足基数を算定する。

なお、算定にあたっては、次の条件を設定する。

- ・ 被害が最大となる冬の夕方 18 時かつ強風（今後設定）の条件を想定する。
- ・ 需要は、避難所における避難者数及び下水道の機能支障人口を対象とし、仮設トイレについては 100 人当たり 1 基、簡易トイレについては 10 人当たり 1 個を必要個数とするものとする。（1 日後の仮設トイレ不足量算定には、簡易トイレを仮設トイレ 0.1 基に換算する）
- ・ 供給は県・市町の持つ簡易トイレの備蓄量とする。

4 医療機能支障

地震による医療機能への支障について、医療施設の損壊、ライフラインの途絶により転院を要する患者数（要転院患者数）を病床数等が把握できる二次医療圏ごとに算定する。

また、新規入院需要、外来需要から医療機関の受入れ許容量を差し引いた医療需要過不足数を二次医療圏ごとに算定する。

さらに、東日本大震災で課題となった転院を要する患者の発生や医療機関における燃料、水の不足等の被害の様相を整理した。

なお、医療機能支障の算定は、最悪の条件で算定することとし、「死者数の合計が

最大となり、負傷者も多くなることで最も医療需要が多くなる想定シーン」として冬深夜を採用する。

医療機関の病床数、外来診療数は、「平成 24 年病院報告第 2 3 表 病床利用率，療養病床—一般病床（再掲）・二次医療圏別：厚生労働省」を使用した。

（1）要転院患者数

被災した医療機関からの転院を要する患者数（要転院患者数）は、平常時在院患者数³⁷を基本に、医療機関建物被害率、ライフライン機能低下による医療機能低下率、転院を要する者の割合を乗じて算定する。

$$\begin{aligned} \text{要転院患者数} &= \text{平常時在院患者数} \times \text{医療機関建物被害率} \\ &\quad \times \text{ライフライン機能低下による医療機能低下率} \\ &\quad \times \text{転院を要する者の割合} \end{aligned}$$

ここで、医療機関建物被害率、ライフライン機能低下による医療機能低下率、転院を要する者の割合は、次の仮定により設定する。

医療機関建物被害率：（全壊・焼失率+1/2×半壊率）

ライフライン機能低下による医療機能低下率：市町単位で断水あるいは停電した場合、震度 6 強以上の地域では医療機能の 60%がダウンし、それ以外の地域では 30%がダウン

転院を要する者の割合：50%

（2）医療需要過不足数

医療対応力不足数は、重傷者及び一部の死者への対応（入院）、軽傷者への外来対応（外来）とし、医療需給の過不足として算定する。

ア 入院需要（新規入院需要発生数）及び外来需要

$$\begin{aligned} \text{入院需要（新規入院需要発生数）} &= \text{重傷者} \\ &\quad + \text{医療機関で結果的に亡くなる者（全死者数の 10\%と設定）} \\ &\quad + \text{被災した医療機関からの転院患者数} \\ \text{外来需要} &= \text{軽傷者} \end{aligned}$$

イ 医療供給数

医療供給数は、医療機関の病床数、外来診療数を基本として、医療機関建物被害率（全壊率・焼失率+1/2×半壊率）、空床率、ライフライン機能低下による医療

機能低下率を乗じて算定する。

医療供給数（入院）＝医療機関の病床数

× 医療機関建物被害率（全壊率・焼失率+1/2×半壊率）

× 空床率 × ライフライン機能低下による医療機能低下率

医療供給数（外来）＝外来診療数

× 医療機関建物被害率（全壊率・焼失率+1/2×半壊率）

× ライフライン機能低下による医療機能低下率

第7章 災害廃棄物等

災害廃棄物等は、地震によるがれき等の発生量及びその仮置きに必要な面積を算定する。

1 災害廃棄物発生量及び仮置き場の必要面積

災害廃棄物発生量は、阪神・淡路大震災における災害廃棄物発生量（木造・非木造別）原単位を用いて震災廃棄物対策指針（厚生省、平成10年10月）のがれき発生量の推定式から算定する。

また、災害廃棄物量は、上記で算定された木造、非木造別の1棟当たりの災害廃棄物発生量をもとに、新潟県中越地震における建物1棟当たりの項目別災害廃棄物量の比率（可燃、不燃）を参考として項目別に区分する。

(1) 災害廃棄物量の算定

災害廃棄物発生量は、厚生省（1998）³⁸の震災廃棄物対策指針におけるがれき発生量の推定式を用いて算定する。

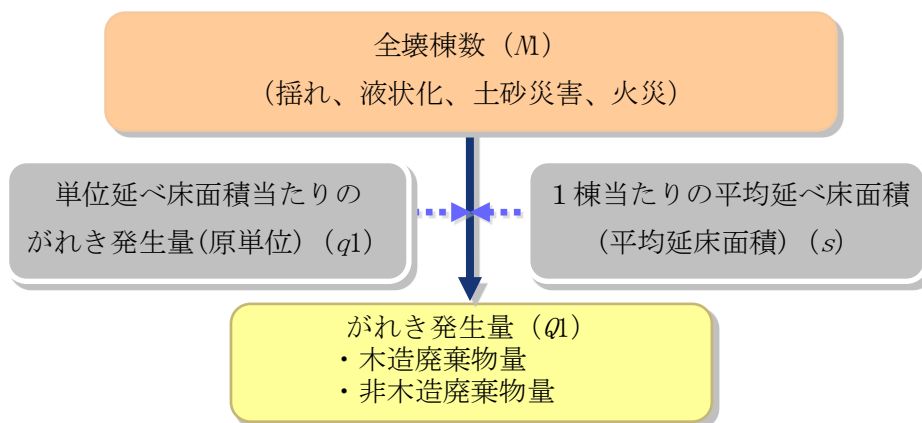
$$Q1 = s \times q1 \times N1$$

Q1：がれき発生量(t)

s：1棟当たりの平均延べ床面積(平均延床面積)(m²/棟)

q1：単位延べ床面積当たりのがれき発生量(原単位)(t/m²)

N1：解体建築物の棟数(解体棟数=全壊棟数)(棟)



図Ⅱ. 7-1 災害廃棄物量の算定フロー²⁹

ア 単位延べ床面積当たりのがれき発生量

単位延べ床面積当たりのがれき発生量（ q_1 ）は、阪神・淡路大震災における木造、非木造別の単位床面積当たりの可燃・不燃廃棄物量を用い、1棟当たりの平均のべ床面積は、栃木県の1住宅当たりの木造平均延べ床面積128.36 m^2 、非木造平均延べ床面積167.77

m^2 （栃木県の着工建築物：市区町村別、構造別（建築物の数、床面積の合計、工事費予定額）を用いる。

栃木県における1棟当たりの木造、非木造別の可燃・不燃災害廃棄物量(A)

$$\text{木造可燃災害廃棄物量} = 0.194 \text{ (t/m}^2\text{)} \times 128.36 \text{ (m}^2\text{)} = 24.90 \text{ t}$$

$$\text{木造不燃災害廃棄物量} = 0.502 \text{ (t/m}^2\text{)} \times 128.36 \text{ (m}^2\text{)} = 64.44 \text{ t}$$

$$\text{木造廃棄物量 合計} \quad 89.34 \text{ t}$$

$$\text{鉄筋可燃災害廃棄物量} = 0.120 \text{ (t/m}^2\text{)} \times 167.77 \text{ (m}^2\text{)} = 20.13 \text{ t}$$

$$\text{鉄筋不燃災害廃棄物量} = 0.987 \text{ (t/m}^2\text{)} \times 167.77 \text{ (m}^2\text{)} = 165.52 \text{ t}$$

$$\text{非木造廃棄物量 合計} \quad 185.65 \text{ t}$$

イ 項目別災害廃棄物量

災害廃棄物量は、アで算定する木造・非木造別災害廃棄物量を9項目（①可燃物、②木くず、③不燃物、④金属くず、⑤コンクリートくず、⑥家電・自動車、⑦船舶、⑧危険物・PCB廃棄物・石綿含有廃棄物等、⑨火災が発生した場所にある廃棄物）に分類して算定する。

9項目の内、①可燃物、②木くず、③不燃物、④金属くず、⑤コンクリートくず、⑥家電については、建物倒壊による災害廃棄物との関連性が高いことから、新潟県中越地震における長岡市の事例を参考とし、島岡・山本（2009）³⁹による災害廃棄物量の分類別重量比率を用いて算定する（表Ⅱ.7-1）。

また、表Ⅱ.7-1の小分類ごとに算定する災害廃棄物量は、表Ⅱ.7-2の項目欄に示す「処理指針」の①～⑥として再整理・集計した。

なお、⑥自動車、⑦船舶、⑧危険物・PCB廃棄物・石綿含有廃棄物等、⑨火災が発生した場所にある廃棄物は、建物との関連性が低いいため算定していない。

栃木県における1棟当たりの分類別災害廃棄物量(C)

$$= \text{栃木県における1棟当たりの木造、非木造別の可燃・不燃災害廃棄物量(A)}$$

$$\times \text{項目別重量比率(B)}$$

表Ⅱ. 7-1 新潟県中越地震における建物1棟当たり分類別災害廃棄物重量³⁹

大分類	小分類 (C) ※1	小分類 ※2	原単位	単位	可燃・不燃別 重量比率 (B)
可燃物	可燃粗大ごみ	①可燃物	1.0	t	7.9%
	可燃ごみ	①可燃物	2.3	t	18.3%
	木くず	②木くず	2.1	t	16.7%
	廃木材	②木くず	7.2	t	57.1%
	計		12.6	t	
不燃物	不燃粗大ごみ	③不燃物	0.1	t	0.3%
	不燃ごみ	③不燃物	2.2	t	6.0%
	鉄・アルミ	④金属くず	0.7	t	1.9%
	コンクリート殻	⑤コンクリートくず	24.0	t	65.6%
	廃家電	⑥家電	0.1	t	0.3%
	廃プラスチック	③不燃物	0.5	t	1.4%
	ガラス・陶磁器	③不燃物	0.3	t	0.8%
	瓦	③不燃物	1.5	t	4.1%
	石膏ボード	③不燃物	1.7	t	4.6%
	壁土	③不燃物	3.1	t	8.5%
その他	③不燃物	2.4	t	6.6%	
計		36.6	t		
その他	テレビ		0.9	台	—
	冷蔵庫		1.1	台	—
	洗濯機		0.6	台	—
	エアコン		0.8	台	—
合計					

※1 島岡・山本(2009)における項目

※2 「処理指針」における項目

表Ⅱ. 7-2 栃木県における建物1棟当たり項目別災害廃棄物量

分類	項目※1	項目※2	1棟当たり項目別 災害廃棄物量 (t)		算出式	
			木造	非木造	木造	非木造
可燃物	可燃粗大ごみ	①可燃物	1.49	0.92	$7.9\% \times 18.74t = 1.49t$	$7.9\% \times 11.59t = 0.92t$
	可燃ごみ	①可燃物	3.42	2.12	$18.3\% \times 18.74t = 3.42t$	$18.3\% \times 11.59t = 2.12t$
	木くず	②木くず	3.12	1.93	$16.7\% \times 18.74t = 3.12t$	$16.7\% \times 11.59t = 1.93t$
	廃木材	②木くず	10.71	6.62	$57.1\% \times 18.74t = 10.71t$	$57.1\% \times 11.59t = 6.62t$
	計		18.74	11.59		
不燃物	不燃粗大ごみ	③不燃物	0.13	0.26	$0.3\% \times 48.48t = 0.13t$	$0.3\% \times 95.32t = 0.26t$
	不燃ごみ	③不燃物	2.91	5.73	$6.0\% \times 48.48t = 2.91t$	$6.0\% \times 95.32t = 5.73t$
	鉄・アルミ	④金属くず	0.93	1.82	$1.9\% \times 48.48t = 0.93t$	$1.9\% \times 95.32t = 1.82t$
	コンクリート殻	⑤コンクリートくず	31.79	62.51	$65.6\% \times 48.48t = 31.79t$	$65.6\% \times 95.32t = 62.51t$
	廃家電	⑥家電	0.13	0.26	$0.3\% \times 48.48t = 0.13t$	$0.3\% \times 95.32t = 0.26t$
	廃プラスチック	③不燃物	0.66	1.30	$1.4\% \times 48.48t = 0.66t$	$1.4\% \times 95.32t = 1.30t$
	ガラス・陶磁器	③不燃物	0.40	0.78	$0.8\% \times 48.48t = 0.40t$	$0.8\% \times 95.32t = 0.78t$
	瓦	③不燃物	1.99	3.91	$4.1\% \times 48.48t = 1.99t$	$4.1\% \times 95.32t = 3.91t$
	石膏ボード	③不燃物	2.25	4.43	$4.6\% \times 48.48t = 2.25t$	$4.6\% \times 95.32t = 4.43t$
	壁土	③不燃物	4.11	8.07	$8.5\% \times 48.48t = 4.11t$	$8.5\% \times 95.32t = 8.07t$
その他	③不燃物	3.18	6.25	$6.6\% \times 48.48t = 3.18t$	$6.6\% \times 95.32t = 6.25t$	
計		48.48	95.32			
その他	テレビ		—	—		
	冷蔵庫		—	—		
	洗濯機		—	—		
	エアコン		—	—		
合計			67.22	106.91		

※1 島岡・山本(2009)における項目

※2 「処理指針」における項目

ウ 体積への換算

中央防災会議(2006)¹⁴に基づき、災害廃棄物量を体積に換算する。災害廃棄物の比重は、次のとおりである。

木造建物による瓦礫：1.9m³/t 非木造建物による瓦礫：0.64m³/t

(2) 仮置き場の必要面積

中央防災会議(2010)⁴⁰で示されている次の式を用いて、仮置き場の必要面積を算定する。

仮置き場の必要面積

$$= \text{仮置き量} \div \text{見かけ比重} \div \text{積み上げ高さ} \times (1 + \text{作業スペース割合})$$

仮置き量 = 災害廃棄物発生量 - 年間処理量

年間処理量 = 災害廃棄物発生量 ÷ 処理期間(3年：神戸市の実績)

見かけ比重：可燃物 0.4(t/m³)、不燃物 1.1(t/m³)

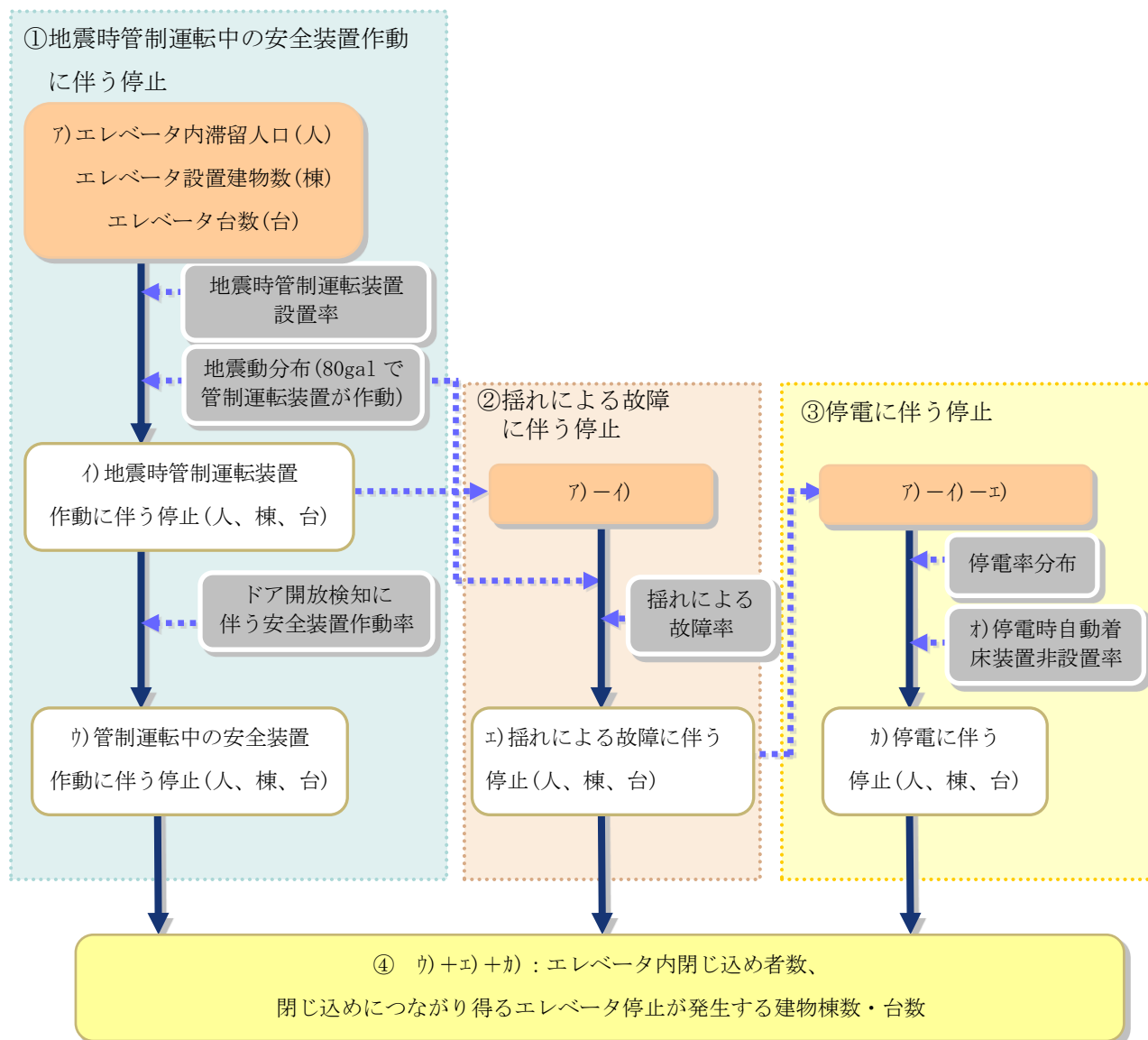
積み上げ高さ：5m

作業スペース割合：1(100%)

第8章 その他の被害

1 エレベータ内閉じ込め

エレベータ内閉じ込めの想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、安全装置作動に伴う停止、揺れによる故障に伴う停止、停電による停止を考慮し、エレベータ内閉じ込め者数、エレベータ停止が発生する建物棟数、台数を算定する。



図Ⅱ. 8-1 エレベータ内閉じ込めによる被害の算定フロー²⁹

(1) 地震時管制運転中の安全装置作動に伴う停止

ア エレベータ内滞留人口、エレベータ設置建物数、エレベータ台数

エレベータ設置建物数及びエレベータ台数は、中央防災会議（2006）¹⁴の手法に従い、非木造建物数を対象に表Ⅱ. 8-1に示す設置率によって算定する。このとき、建物1棟当たりのエレベータ設置基数は、1基と仮定する。

表Ⅱ. 8-1 エレベータ設置率¹⁴

用途	エレベータ設置率
事務所	73%
住宅	37%

また、エレベータ内滞留人口はエレベータ内滞留人口比率によって算定する。

表Ⅱ. 8-2 エレベータ内滞留人口⁴¹

用途	エレベータ内滞留人口
事務所	事務所内滞留人口（昼12時）×0.5%
住宅	1時間当たり人口変化*×30秒/1時間

※エレベータの利用者の多くは、朝の通勤、通学のために利用する朝7～8時の時間帯が最も多いと考えられる。そこで、深夜人口を7時の屋内人口、昼12時人口を8時の屋内人口に置き換えて考え、この差分を1時間当たりの人口変化と想定する。

イ エレベータ内閉じ込め者数、エレベータ停止が発生する建物棟数、台数

エレベータは、80galで管制運転装置が作動するとして、地震時管制運転装置作動に伴う停止（人、棟、台）を算定し、さらに「ドア開放検知に伴う安全装置作動率」を掛けることで階と階の間での停止数（人、棟、台）を算定する。

表Ⅱ. 8-3 地震時管制運転装置設置率⁴²

地震時管制運転装置設置率
63.77%
(428、621台/全国672、097台)

表Ⅱ. 8-4 ドア開放検知に伴う安全装置作動率⁴³

ドア開放検知に伴う安全装置作動率
0.114%
(2005年千葉県北西部地震では、地震時管制運転装置が作動して緊急停止した台数64,000台の内73台で閉じ込めが発生)

(2) 揺れによる故障に伴う停止

揺れによる故障に伴う停止は、揺れによる故障率から設備の故障や破損等によるエレベータ停止数(人・棟・台)として算定する。

なお、対象とするエレベータは、地震時管制運転中の安全装置作動に伴う停止が発生していないエレベータとする。

表Ⅱ. 8-5 揺れによる故障率⁴⁴

震度階級	故障率
7	24%
6強	22%
6弱	15%
5強	8%
5弱	1%

(3) 停電に伴う停止

停電に伴う停止は、停電時自動着床装置非設置率から停電エリアにあるエレベータの停止数(人・棟・台)として算定する。

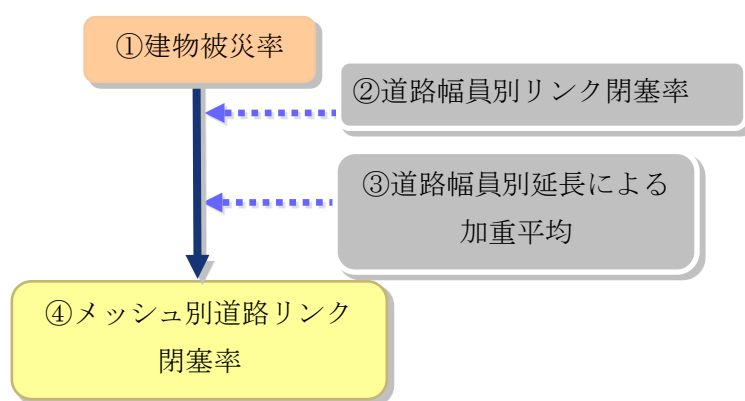
なお、対象とするエレベータは、地震時管制運転中の安全装置作動に伴う停止及び揺れによる故障に伴う停止が発生していないエレベータとする。

表Ⅱ. 8-6 停電時自動着床装置非設置率⁴⁵

停電時自動着床装置非設置率
68.4%
(中部・近畿圏の内陸地震の被害想定(H20.12)で用いられた値)

2 道路閉塞

道路閉塞の想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、幅員 13m未満の道路を対象に、阪神・淡路大震災時の調査データに基づく建物被災率との統計的な関係から、幅員別の道路リンク閉塞率をメッシュごとに算定する。



図Ⅱ. 8-2 道路リンク閉塞率算定フロー²⁹

道路閉塞の算定は次の手順により行う。

①建物被災率

建物被災率 = 全壊率 + 1/2 × 半壊率
(揺れ・液状化による被害率)

②幅員 13m 未満の道路を対象に道路幅員別リンク閉塞率を算定する。幅員別道路延長は、「国土数値情報道路 1km メッシュデータ 国土交通省」から取得する。

【幅員 3m未満の道路】

道路リンク閉塞率 (%) = 1.28 × 建物被災率 (%)

【幅員 3m以上 5.5m未満の道路】

道路リンク閉塞率 (%) = 0.604 × 建物被災率 (%)

【幅員 5.5m以上 13m未満の道路】

道路リンク閉塞率 (%) = 0.194 × 建物被災率 (%)

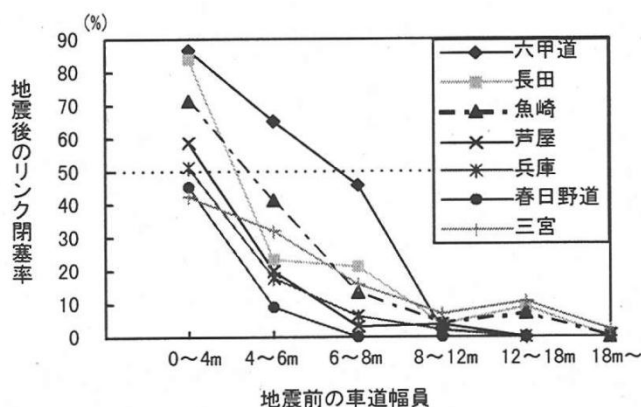


図 II. 8-3 阪神・淡路大震災時における道路幅員と道路リンク閉塞率の実態⁴⁶

③メッシュ別道路閉塞率を算定する。

④結果を加重平均してメッシュ別道路リンク閉塞率を算定する。

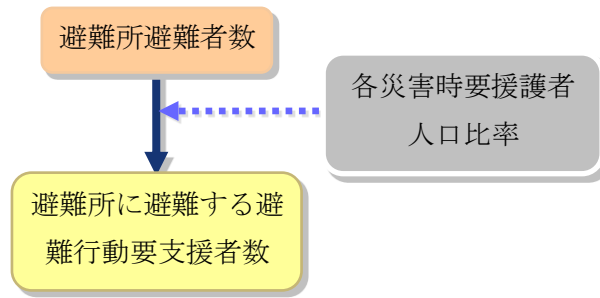
このとき、交差点間の道路を1つのリンクと考え、閉塞によって残存車道幅員(遮蔽されていない幅員)が3m以下になったリンクの割合をリンク閉塞率とした(家田ら(1997)⁴⁶)。

メッシュ別道路リンク閉塞率 =

$$\frac{\sum \{(\text{道路幅員別延長}) \times (\text{道路幅員別リンク閉塞率})\}}{\sum (\text{道路幅員別延長})}$$

3 避難行動要支援者

避難行動要支援者の人口比率と避難所避難者数より、避難所に避難する避難行動要支援者数を算定する。



図Ⅱ. 8-4 避難行動要支援者数の算定フロー²⁹

(1) 対象とする避難行動要支援者

対象とする避難行動要支援者は次に示すとおりとし、※1～5 までの調査結果を基本に避難行動要支援者数を把握する。

- ① 65 歳以上の単身高齢者^{※1}
- ② 5 歳未満の乳幼児^{※1}
- ③ 身体障害者^{※1}
- ④ 知的障害者^{※1}
- ⑤ 精神障害者^{※1}
- ⑥ 要介護認定者（要支援者を除く）^{※1}
- ⑦ 特定疾病患者^{※1}
- ⑧ 妊産婦^{※2}
- ⑨ 外国人^{※1}

※1：栃木県提供資料

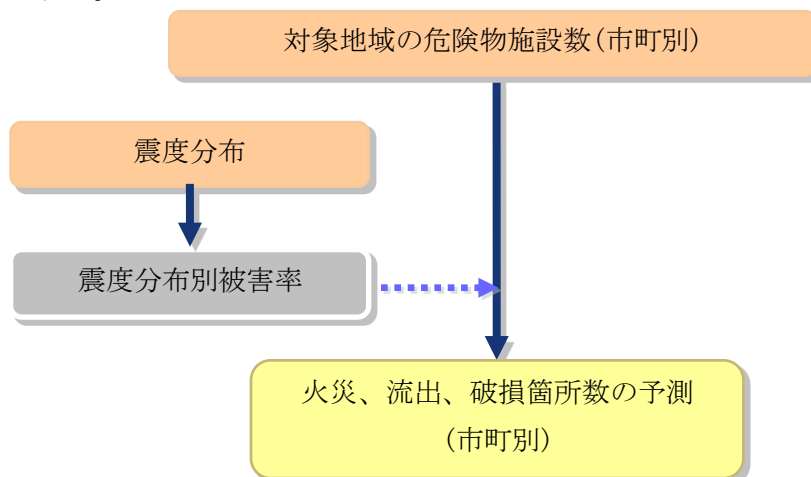
※2：平成 23 年度, 地域保健・健康増進事業報告(地域保健編)

(2) 避難所に避難する避難行動要支援者数(避難所避難者数の内数)

当日・1 日後、1 週間後、1 ヶ月後の避難所避難者数に避難行動要支援者の人口比率を乗じることで、それぞれの時期における避難行動要支援者数を算定する。

4 危険物施設被害

危険物等の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、危険物施設への揺れによる影響として、危険物施設数に震度別の被害率を乗じ、火災、流出、破損箇所の予測数を算定する。



図Ⅱ. 8-5 危険物施設の被害数の算定フロー²⁹

表Ⅱ. 8-7 危険物施設の被害率²⁹

製造所等の区分	震度6弱							震度6強						
	施設数	被害数			被害率			施設数	被害数			被害率		
		火災	流出	破損等	火災	流出	破損等		火災	流出	破損等	火災	流出	破損等
製造所	918	0	1	54	0.0%	0.1%	5.9%	177	0	0	17	0.0%	0.0%	9.6%
屋内貯蔵所	7,160	0	27	24	0.0%	0.4%	0.3%	2,918	0	35	60	0.0%	1.2%	2.1%
屋外タンク貯蔵所	6,988	0	10	254	0.0%	0.1%	3.6%	3,051	0	13	301	0.0%	0.4%	9.9%
屋内タンク貯蔵所	1,758	0	1	1	0.0%	0.1%	0.1%	578	1	1	8	0.2%	0.2%	1.4%
地下タンク貯蔵所	10,043	0	7	36	0.0%	0.1%	0.4%	5,176	0	16	98	0.0%	0.3%	1.9%
移動タンク貯蔵所	6,970	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	3,850	0	0	3	0.0%	0.0%	0.1%
屋外貯蔵所	1,573	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	904	0	0	33	0.0%	0.0%	3.7%
給油取扱所	6,799	0	1	245	0.0%	0.0%	3.6%	3,572	0	5	329	0.0%	0.1%	9.2%
移送取扱所	104	0	3	14	0.0%	2.9%	13.5%	29	0	2	8	0.0%	6.9%	27.6%
一般取扱所	6,805	0	7	82	0.0%	0.1%	1.2%	3,556	4	14	153	0.1%	0.4%	4.3%

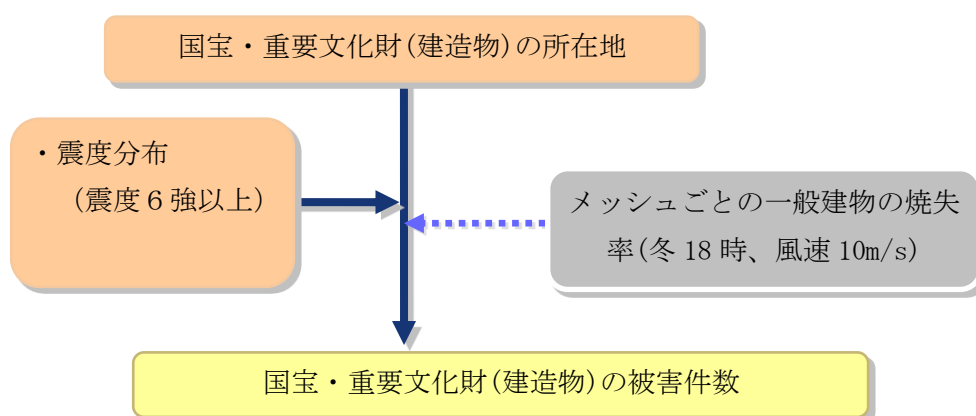
注) 阪神・淡路大震災と東日本大震災の被害数を合算して被害率を求める。

注) 破損は、施設において火災、爆発若しくは漏洩事故は発生せず、当該施設の建築物又は設備等が損傷した場合に選択

5 文化財

文化財の被害想定は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、国宝・重要文化財（建造物）の位置データと、震度6強以上又は焼失可能性の高いメッシュ^{※2}とを重ね合わせ、当該メッシュに所在する重要文化財（建造物）の数を被害件数として算定する。

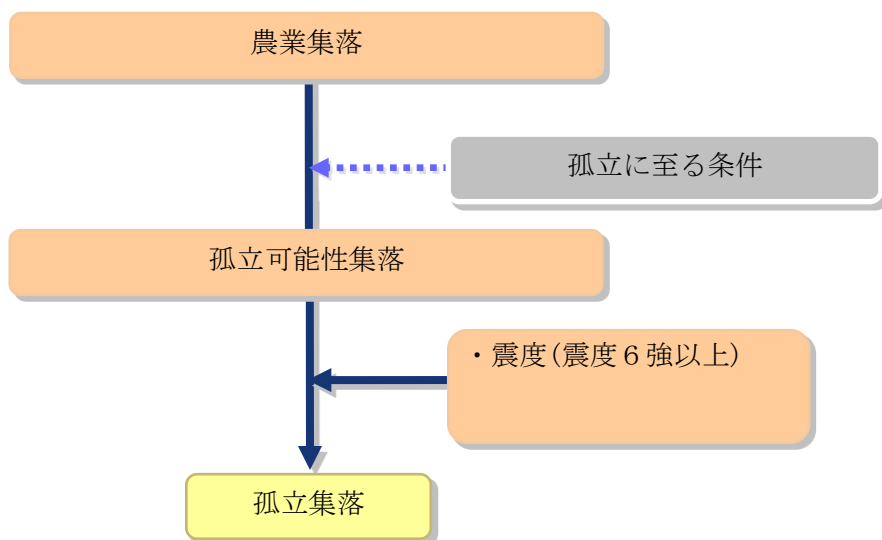
※1 焼失可能性の高いメッシュとは、震度6強の下限値における1961年以前の木造建築物の全壊率（=約20%）に相当する焼失率となるメッシュとする。



図Ⅱ.8-6 国宝・重要文化財の被害件数の算定フロー²⁹

6 孤立集落

孤立する集落は、内閣府（2013）²⁹の手法に基づき、農業集落を対象に孤立に至る条件、震度分布を用いて算定する。



図Ⅱ. 8-7 孤立集落算定フロー²⁹

(1) 孤立可能性集落

孤立可能性集落は、次の孤立に至る条件を満たす集落とする。

集落への全てのアクセス道路が土砂災害危険箇所等に隣接しているため、地震に伴う土砂災害等の要因により道路交通が途絶し外部からのアクセスが困難となるおそれのある集落

(2) 孤立集落の抽出

農業集落は、孤立可能性集落の内、震度6強以上の250mメッシュに位置する集落を抽出する。

7 ため池の被害

破堤時に人家及び公共施設への被害が想定される総貯水量 1,000m³ 以上の農業用ため池を対象として、堤体・基礎地盤の耐震性と震度分布から地震時の影響度を評価する。

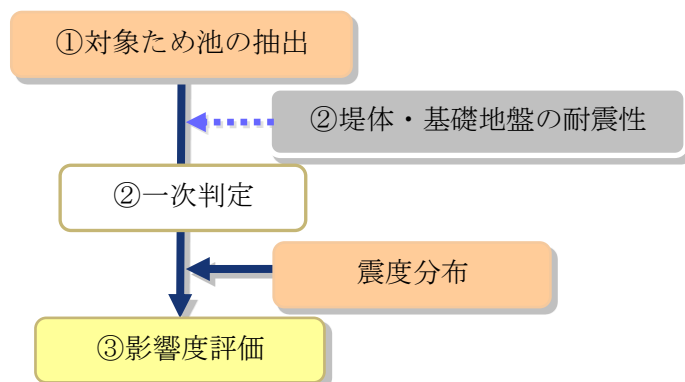


図 II. 8-8 重要ため池の影響度評価フロー²¹

- ① 重要ため池として破堤時に人家及び公共施設に被害が想定される総貯水量 1,000m³ 以上の農業用ため池を抽出する。
- ② 建設省河川局(1978)⁴⁷は、河川堤防の耐震性を簡易的に判定する手法として、堤防の高さ、平均幅(堤防天端と堤防敷の平均)、堤体の締固め度、地盤種別などの要因から堤防の耐震性を判定し、さらに基礎地盤の耐震性ランクを組み合わせることで河川堤防の耐震性を判定している。この手法を参考に、想定される地震動の大きさを考慮し、地震時の影響度を評価した上で、次のとおりため池堤防の耐震性を評価する。

表 II. 8-8 堤防の耐震性の一次判定⁴⁷

堤体の耐震性 基礎地盤の耐震性	1	2	3
1)	a	a	b
2)	a	b	c
3)	b	c	c

【堤体の耐震性】

- 1…堤防高(H) $\geq 6\text{m}$ かつ 平均幅 $\leq 3H$ かつ アースダム
- 2…1、3 以外のもの
- 3…堤防高(H) $< 3\text{m}$ かつ 平均幅 $> 6H$ 、もしくは 重力式ダム

【基礎地盤の耐震性】

- 1)…旧河道、旧湖沼などの地震時に液状化しやすい地域、地震応答解析結果より液状化の可能性が高い地域、設定した T_G が 1.5 以上
 - 2)…1) 以外のⅢ種地盤
 - 3)…Ⅰ～Ⅱ種地盤
- ※液状化が高い地域：PL>15 のメッシュ
- ※ T_G ：地盤の特性値であり、耐震設計上の地盤種別をⅠ～Ⅲ種で分類する際に用いる指標

表Ⅱ. 8-9 基礎地盤の耐震性^{4 7}

地盤種別	地盤の特性値 T_G (S)	該当する一般的な地盤
Ⅰ種	$T_G < 0.2$	岩盤
Ⅱ種	$0.2 \leq T_G < 0.6$	洪積層
Ⅲ種	$0.6 \leq T_G$	沖積層

③ ため池の影響度評価

想定地震時の影響度については、次のとおり評価する。

表Ⅱ. 8-10 ため池の影響度評価

一時判定	震度 5 弱以下	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強以上
a	C	B	A	A
b	C	C	B	A
c	C	C	C	B

- A…ため池の破堤による災害発生の影響度が高い
- B…ため池の破堤による災害発生の影響度がやや高い
- C…ため池の破堤による災害発生の影響度は低い

第9章 経済被害

1 経済被害の想定項目

経済被害の想定項目は、次のとおりである。

本被害想定では、「観光客の減少による経済被害」や「生産低下に伴う波及的被害」などは含まれていないことに注意が必要である。

表Ⅱ. 9-1 被害額の項目²⁹

定量評価対象項目		概要	
資産等の被害 (直接被害額)	建物被害	建物(木造、非木造)	・復旧費用を原単位とする被害額
		資産(家庭用品、償却資産、棚卸資産)	
	ライフライン・ インフラ施設被害	上下水道	・復旧費用を原単位とする被害額
		電気、通信、ガス	
		交通施設 (道路、鉄道)	
その他公共土木施設	河川 等	・復旧費用を原単位とする被害額	
災害廃棄物処理	災害廃棄物の撤去/処理に要する費用		
生産低下による影響 (間接被害額)	生産低下による影響	県内の生産低下	

2 資産等の被害

資産等の被害は、被害を受けた施設及び資産について、現在価値ではなく、復旧・再建に要する費用の総額を当該施設及び資産の被害額と捉えることとし、表Ⅱ.9-2の①被害量(物的被害の想定結果)に②原単位(単位当たり復旧額等)を乗ずることにより算定する。

資産等の被害額＝

$$\text{①被害量(物的被害の想定結果)} \times \text{②原単位(単位当たり復旧額等)}$$

表Ⅱ.9-2(1) 資産等の被害²⁹に加筆

定量評価対象項目		①被害量	②原単位
建 物	木造住宅	被害のあった住宅数 ^(注1) (全壊棟数+半壊棟数×0.5)	新規住宅1棟当たり工事必要単価【市町】 ^(注2) (木造住宅の工事費予定額の合計 /木造住宅の数の合計)
	木造非住宅 (事務所、工場 建屋)	被害のあった建物数 ^(注1) (全壊棟数+半壊棟数×0.5)	新規建物1棟当たり工事必要単価【市町】 ^(注2) (木造非住宅の工事費予定額の合計 /木造非住宅の数の合計)
	非木造住宅	被害のあった住宅数 ^(注1) (全壊棟数+半壊棟数×0.5)	新規住宅1棟当たり工事必要単価【市町】 ^(注2) (非木造住宅の床面積当たり工事費予定額 ×1棟当たり床面積)
	非木造非住宅 (事務所、工場 建屋)	被害のあった建物数 ^(注1) (全壊棟数+半壊棟数×0.5)	新規建物1棟当たり工事必要単価【市町】 ^(注2) (非木造非住宅の床面積当たり工事費予定額 ×1棟当たり床面積)
資 産	家庭用品	被害のあった住宅の建物数 (全壊棟数+半壊棟数×0.5)	1世帯当たり評価単価【県】
	償却資産	建物被害率(非住宅の全壊 建物率+半壊建物率)	償却資産評価額【県】 (産業分類別従業者1人当たり評価額【県】 ×産業分類別従業者数【県])
	棚卸資産 (在庫)	同上	在庫資産評価額【県】 (産業分類別従業者1人当たり評価額【県】 ×産業分類別従業者数【県])

(注1)実際には全壊家屋の全てが建替えとならず、一部補修となる場合もある。

(注2)建替え時の費用は最近の住宅、非住宅1棟当たりの価格と同等であると仮定。

(注3)農林水産業は、財政金融統計月報「法人企業統計年報特集」

表Ⅱ. 9-2(2) 資産等の被害

定量評価対象項目		①被害量	②原単位
ライフライン	上水道	断水人口	人口当たり復旧額
	下水道	管渠被害延長	管渠被害延長当たり復旧額
	電力	被害電柱数	電柱1本当たり復旧額(発電所被害を除く)
	通信	不通回線数 (固定電話)	回線当たり復旧額
	都市ガス	延べ復旧作業日数	支障戸数1戸当たりの復旧額
交通施設	道路	被害箇所数	箇所当たり復旧額(道路種別)
	鉄道	被害箇所数	箇所当たり復旧額
	その他の 公共土木施設	道路、下水道等と公共土木施設等の復旧費を比較することで推計	
その他	災害廃棄物	災害廃棄物発生量	1t 当たり処理費用

(1) 資産等の被害(建築物)

建築物の経済被害として、建築物を新たに建設するための費用を算定する。

建物被害の復旧額の原因単位は、「2013年 建築統計年報 用途別、構造別/建築物の数、床面積、工事費予定額」を用いて設定する。

建物被害の復旧額の原因単位は、上記の統計値である栃木県の「用途別工事予定額・床面積」および「構造別工事予定額・床面積」を基に収束計算を行い、市町別に床面積あたり用途別・構造別工事予定額を設定した。

表Ⅱ. 9-3 建築物単価

(単位：万円)

市町名	木造住宅	木造非住宅	非木造住宅	非木造非住宅
	m ² あたり単価	m ² あたり単価	m ² あたり単価	m ² あたり単価
宇都宮市	16.5	14.2	18.3	16.4
足利市	14.6	12.6	18.6	16.6
栃木市	15.4	15.2	17.2	13.7
佐野市	16.2	16.9	14.9	17.5
鹿沼市	15.4	11.2	19.2	13.5
日光市	15.7	15.6	11.6	12.0
小山市	14.5	15.2	15.7	16.5
真岡市	15.5	13.6	18.9	17.8
大田原市	16.4	14.9	18.4	16.0
矢板市	16.0	15.3	17.2	14.0
那須塩原市	13.8	16.2	18.7	21.0
さくら市	15.7	13.2	21.6	20.2
那須烏山市	17.0	22.4	14.4	13.4
下野市	16.0	13.9	20.3	17.9
上三川町	15.6	12.0	22.4	13.8
益子町	15.2	13.8	17.9	12.7
茂木町	15.4	15.1	16.7	14.3
市貝町	16.2	7.2	51.4	25.0
芳賀町	15.6	8.0	34.3	18.8
壬生町	18.4	17.6	30.8	31.7
野木町	16.2	12.9	18.9	14.3
岩舟町	16.0	11.6	19.0	18.3
塩谷町	13.4	6.1	34.4	13.5
高根沢町	15.3	9.3	22.4	14.4
那須町	15.4	14.3	18.8	18.9
那珂川町	16.3	16.8	18.1	16.6

(2) 資産等の被害(資産)

資産の経済被害として、家庭用品の損失額及びその他償却資産・棚卸資産の損失額を算定する。

ア 家庭用品

家庭用品(家財)の原単位は、1世帯当たりの家庭用品の評価額を用いて設定した。

1世帯当たりの家庭用品の評価額は、内閣府(2013)²⁹に基づき、次表のとおりとする。

表Ⅱ.9-4 世帯構成別家庭用品原単位

世帯主の年齢	夫婦	独身
29歳以下	500万円	300万円
30歳～39歳	800万円	
40歳～49歳	1,100万円	
50歳以上	1,150万円	

イ 償却資産・棚卸資産

償却資産・棚卸資産(在庫資産)の原単位は、内閣府(2013)²⁹に基づき、国土交通省「治水経済調査マニュアル(案)」各種資産評価単価デフレーター(平成24年2月)の産業分類別償却資産評価額・在庫資産を採用する。

県内の産業分類別従業者数は、平成18年事業所・企業統計年報を採用する。

表Ⅱ. 9-5 その他償却資産、在庫資産原単位

(千円/人)

大分類 符号	中分類 符号	産業分類 産業名	償却資産		在庫資産	
			22年 評価額	23年 評価額	22年 評価額	23年 評価額
D		鉱業	12,788	12,563	3,489	4,392
E		建設業	1,411	1,386	2,768	3,484
F		製造業	4,370	4,344	5,005	4,671
	9	食料品製造業	2,363	2,348	1,652	1,542
	10	飲料・たばこ・飼料製造業	8,777	8,724	8,478	7,912
	11	繊維工業	2,825	2,808	3,503	3,269
	12	衣服・その他の繊維製品製造業	585	582	1,577	1,472
	13	木材・木製品製造業	1,971	1,960	4,407	4,112
	14	家具・装備品製造業	1,586	1,577	2,750	2,567
	15	パルプ・紙・紙加工品製造業	7,682	7,636	4,265	3,981
	16	印刷・同関連業	2,544	2,529	1,057	986
	17	化学工業	10,213	10,152	11,587	10,813
	18	石油製品・石炭製品製造業	34,356	34,149	45,526	42,485
	19	プラスチック製品製造業	3,580	3,559	2,672	2,493
	20	ゴム製品製造業	3,628	3,606	1,988	1,855
	21	なめし革・同製品・毛皮製造業	611	607	2,604	2,430
	22	窯業・土石製品製造業	5,146	5,115	5,049	4,712
	23	鉄鋼業	14,312	14,226	15,719	14,669
	24	非鉄金属製造業	8,254	8,204	8,824	8,235
	25	金属製品製造業	2,605	2,590	3,550	3,313
	26	一般機械器具製造業	3,327	3,307	6,971	6,505
	27	電気機械器具製造業	2,778	2,762	4,274	3,988
	28	情報通信機械器具製造業	2,331	2,317	5,156	4,812
	29	電子部品・デバイス製造業	5,997	5,961	3,703	3,456
	30	輸送用機械器具製造業	5,349	5,317	4,542	4,238
	31	精密機械器具製造業	2,413	2,398	4,112	3,838
	32	その他の製造業	2,383	2,369	7,220	6,738
G		電気・ガス・熱供給・水道業	114,287	112,275	3,652	4,597
H		情報通信業	5,674	5,574	776	977
I		運輸業	5,643	5,544	1,009	1,270
J		卸売・小売業	1,957	1,922	2,077	2,159
	49~54	卸売業	2,186	2,147	3,986	4,143
	55	各種商品小売業	1,821	1,789	1,591	1,654
	56	織物・衣服・身の回り品小売業	1,821	1,789	2,227	2,315
	57	飲食料品小売業	1,821	1,789	365	379
	58	自動車・自転車小売業	1,821	1,789	1,854	1,927
	59	家具・じゅう器・機械器具小売業	1,821	1,789	2,358	2,452
	60	その他の小売業	1,821	1,789	1,492	1,551
K		金融・保険業	4,618	4,537	255	321
L		不動産業	23,771	23,352	8,857	11,149
M		飲食店・宿泊業	1,870	1,837	126	159
N		医療、福祉	1,476	1,450	41	52
O		教育、学習支援業	1,127	1,108	198	249
P		複合サービス事業	4,618	4,537	255	321
Q		サービス業	4,618	4,537	255	321
R		公務	4,618	4,537	255	321

(3) ライフライン・交通施設・その他

ライフライン・交通施設・その他の原単位は次のとおり算定した。

ア 上水道

原単位は、東日本大震災による復旧が現在も継続しており確定値を算定することが困難であるため、内閣府（2013）による阪神・淡路大震災時の実績をもとに次のとおり設定した。

$$\begin{aligned} \text{断水人口当たり復旧額} &= \text{復旧額} / \text{供給停止実態} \\ &= \text{約 } 55,764 \text{ (百万円)} / \text{約 } 3,513,000 \text{ (人)} = \text{約 } 1.59 \text{ (万円/人)} \end{aligned}$$

$$\text{被害額} = \text{断水人口} \times \text{人口当たり復旧額}$$

イ 下水道

原単位は、東日本大震災による復旧額(国土交通省提供の災害査定額)をもとに次のとおり設定した。

$$\begin{aligned} \text{管渠被害延長当たり復旧額(※)} &= \text{復旧額} / \text{被害延長} \\ &= \text{約 } 354,980,196 \text{ (千円)} / \text{約 } 1,110,503 \text{ (m)} = \text{約 } 31.97 \text{ (万円/m)} \end{aligned}$$

$$\text{被害額} = \text{被害延長} \times \text{延長当たり復旧額}$$

ウ 電力

原単位は事業者算定の東日本大震災の実態データ（東京電力管内、東北電力管内）より次のとおり設定した。

$$\text{電柱 1 本当たり復旧額} = 121.52 \text{ (万円)}$$

$$\text{被害額} = \text{被害電柱数} \times \text{電柱 1 本当たり復旧額}$$

エ 通信

原単位は、東日本大震災による復旧が現在も継続しており確定値を算定することが困難であるため、阪神・淡路大震災時の事例を参考とし、次のとおり設定した。

停止回線当たり復旧額＝414,508(円)

被害額＝停止回線×回線当たり復旧額

オ 都市ガス

被害額は、東日本大震災での仙台市ガス局、塩釜ガスの復旧額（高知県（2013））の事例を参考とし、次のとおり設定した。

被害額＝7.4万円/戸

カ 道路

被害箇所当たり復旧額は、東日本大震災による復旧額（国土交通省提供の災害査定額）をもとに次のとおり設定した。

被害箇所当たり復旧額
＝ 約9,857万円/箇所（直轄国道※高速道路にも適用）
＝ 約2,153万円/箇所（地方自治体管理）

被害額＝被害箇所数×箇所当たり復旧額

キ 鉄道

被害箇所当たり復旧額は、東北の鉄道震災復興誌編集委員会（2012）⁴⁸における東日本大震災での三陸鉄道、仙台空港鉄道等の被害額を参考とし、次のとおり設定した。

被害箇所当たり復旧額
＝166.2(億円)/722(箇所)＝約23百万円/箇所

被害額＝被害箇所数×箇所当たり復旧額 で算定する。

ク その他の公共土木施設

その他の公共土木施設の被害額は、宮城県（2013）⁴⁹における東日本大震災の実績を参考とし、

A：道路（高速道路、国道、地方道を含む）・下水道の合計

B：その他（河川、空港等を含む）

の比率から算定した。

被害額＝本推計による道路・下水道の合計×B/A

表Ⅱ. 9-6 宮城県 東日本大震災による被害額²⁹

項目	(千円)	
高速道路	12,420,000	
国直轄道路	145,696,000	
道路	248,348,000	
河川	248,017,000	
下水道	371,690,000	
その他公共土木施設等（砂防、公園等を含む）	42,126,000	
合計	1,256,821,000	
項目	被害額(百万円)	割合
道路関係、下水道合計	886,951	70.6%
上記以外の公共土木施設合計	369,870	29.4%
合計	1,256,821	100.0%

ケ 災害廃棄物等

災害廃棄物等処理費用については、東日本大震災における額について現在取りまとめ中であるため、阪神・淡路大震災時の平均的な費用を参考とし、次のとおり設定した。

1tあたり災害廃棄物費用＝2.2万円/t

被害額＝災害廃棄物(t)×1tあたり廃棄費用

3 生産低下による影響

生産低下による影響（間接被害額）は、生産関数を用いて県内総生産の減少を求めた。

生産関数は、「建物被害等による民間資本ストックの喪失」、「人的被害、失業者の発生による労働力の喪失」を加味している。

(1) 生産関数の分析

栃木県の県内総生産（Y）、民間資本ストック（Kp）、労働力（L）を用いて回帰分析を行い、栃木県の生産関数を構築した。

生産関数は、県内総生産が民間資本ストックと労働力によって決定されるものとし、次式に示す形で得られるものである。

$$Y=A \times K_p^\alpha \times L^\beta$$

県内総生産の減少は、次のとおり算出した。

$$Y(\text{地震発生前}) - Y(\text{地震発生後}) = A \times K_p(\text{地震前})^\alpha \times L(\text{地震前})^\beta - A \times K_p(\text{地震後})^\alpha \times L(\text{地震後})^\beta$$

分析に使用した統計データは、県内総生産、民間資本ストック、労働力（労働時間×労働者数）が揃う平成13年度から平成18年までの6年分とした。（平成19年度以降の県内総生産は、民間企業資本ストックが増加しているにもかかわらず減少していることから、生産関数の回帰分析から除外した。）

構築した生産関数および使用した統計データを次に示す。

$$Y=9804.7 \times K_p^{0.290} \times L^{0.111}$$

統計年度	県内総生産	民間企業資本ストック	労働力	労働者数	1人・月あたり平均労働時間
	百万円	百万円	人×時間	人	時間
平成13年度	7,982,904	9,842,720	95,321,257	616,434	155
平成14年度	7,942,313	9,931,107	89,507,927	574,936	156
平成15年度	7,933,895	10,171,732	88,519,459	565,108	157
平成16年度	8,137,825	10,626,337	88,466,540	564,770	157
平成17年度	8,175,702	11,012,369	89,199,599	577,624	154
平成18年度	8,299,467	11,488,348	92,922,634	589,704	158

※地震前の県内総生産は、平成21年度の民間企業資本ストックと労働力から関数により算出した。

(2) 被災による喪失の算定

地震発生後の県内総生産を算定するため、民間資本ストック喪失額及び労働力の喪失量を整理した。

地震後の県内総生産は、神戸商工会議所（1995）⁵⁰がまとめた阪神淡路大震災での実績を基に、事業所建物が概ね復旧した5年後まで算定した。

想定シーンは、建物被害が最も多く発生する「夕方18時」を対象とする。

ア 民間資本ストック

民間資本ストックは、木造・非木造別に木造非住宅被害率・非木造非住宅被害率と同じ割合で失われるとする。

建物被害の復旧は、神戸商工会議所（1995）⁵⁰を基に表Ⅱ. 9-7のとおり設定する。

栃木県内の製造業、非製造業の構成比率は、県内総生産額の産業別の割合から設定する。

表Ⅱ. 9-7 阪神・淡路大震災時の社屋等の建て直しに要する期間と建物復旧率⁵⁰

	1年後	2年後	3年後	4年後	5～6年後
製造業	58.8%	11.8%	23.5%	2.9%	2.9%
非製造業	53.6%	20.2%	13.1%	2.4%	10.7%

民間資本ストックの喪失額

$$\begin{aligned} &= \text{被災前の民間資本ストック（木造非住宅）} \\ &\quad \times \text{各年の年央建物被害率（木造非住宅）} \\ &+ \text{被災前のストック額（非木造非住宅別）} \\ &\quad \times \text{各年の年央建物被害率（非木造非住宅）} \end{aligned}$$

各年の年央建物被害率は、製造業、非製造業の構成比率を用いて各年の平均損失率を分配し、n年後とn₊₁年後の平均値を採用する。

イ 労働力

喪失する労働力として、死者及び失業・休業者を算定する。

$$\begin{aligned} \text{労働力の喪失量} = \\ \text{被災前の労働力} \times (\text{死者率} + \text{失業・休業者（一時離職者含む）率}) \end{aligned}$$

失業・休業者率は、阪神淡路大震災時の実績を基にして設定し、3.6%とする。

被災地域の失業・休業者率

= 被災地域の失業・休業者数÷被災地域における被災前の従業者数

= 約 5.9 万人÷163 万人=3.6%

阪神淡路大震災における被災地域は、兵庫県神戸市、尼崎市、西宮市、芦屋市、宝塚市、伊丹市、川西市、明石市、洲本市、三木市、三田市、津名郡、三原郡、川辺郡、美嚙郡とされ、概ね震度 6 弱のエリアと重なる。

このことから、今回の被害想定では、震度 6 弱以上のエリアにおいて 3.6%の労働力が失われるものとして推計を行う。

4 防災・減災対策の効果の試算

(1) 試算の想定

防災・減災対策の効果は、次の条件で試算する。

【試算の想定条件】

①建物の耐震化率 100%と仮定

旧耐震基準の建物を新耐震基準に改善した場合を想定する。既に新耐震基準の建物は、現状のままとする。

建物の構造を新耐震基準にすることで、建物基礎が強固となり、液状化に対する強度も増加すると考える。

②急傾斜地崩壊危険箇所等の土砂災害危険箇所・区域の対策整備率 100%と仮定

急傾斜地崩壊危険箇所等の対策を完了した場合を想定する。

③家具等の転倒・落下防止対策実施率 100%と仮定

家具の転倒・落下防止対策を行うことで、転倒や落下が発生しないこととする。

④ブロック塀等の転倒防止等実施率の向上 100%と仮定

ブロック塀、石塀、コンクリート塀および自動販売機の転倒防止対策を 100%完了させ、転倒が発生しないこととする。

⑤電熱器具等からの出火を防止する感震ブレーカー等の設置率 100%と仮定

感震ブレーカーを設定することで、倒壊しない建物の「火気器具、電熱器具」から出火しないこととする。

⑥家庭用消火器等の消火資機材保有率の向上等による初期消火成功率の向上（仮定）

現状初期消火率	改善後 初期消火率 ^{5 1}
震度 6 弱以下 : 67%	震度 5 : 78.6%
震度 6 強 : 30%	震度 6 : 67.0%
震度 7 : 15%	震度 7 : 43.9%

【試算の想定シーン】

- ・想定シーンは、想定項目毎に被害が最大となるシーンを選択し、人的被害を冬・深夜、風速 10m/s、それ以外を冬・18時、風速 10m/s とした。

(2) 試算の方法

防災・減災対策の効果は、防災・減災対策による被害量の減少量を算定する。

参考文献

- ¹ 地震調査研究推進本部(2004):日向灘および南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価について.
- ² 独立行政法人防災科学技術研究所(2009):「全国地震動予測地図」作成手法の検討.
- ³ 地震調査研究推進本部(2009):震源断層を特定した地震動予測手法.
- ⁴ 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について,地震,第2輯,第28巻,pp.269-283.
- ⁵ 原田隆典・田中剛・田村好文(1995):震源特性を考慮した地震動のシミュレーションの方法,土木学会論文集, No.507, I-30, pp.209-217.
- ⁶ 大角恒雄・原田隆典・泉谷恭男(1998):確率論的グリーン関数を用いた強震動の波形合成法とその検証例による震源パラメータの考察,土木学会応用力学論文集, Vol.1, pp.595-606.
- ⁷ Hanks, T. C. and R. K. McGuire (1981):The character of high frequency strong ground motion, Bull.Seism. Soc. Am. 71, pp.2071-2095.
- ⁸ Kiyono,J.(1992):Identification and synthesis of seismic ground motion in structural response analysis, PhD thesis, Dept. of Civil Engineering, Kyoto University.
- ⁹ 中央防災会議(2006):首都直下地震対策専門調査会(第15回)資料3.
- ¹⁰ 島根県(2012):島根県地震被害想定調査報告書.
- ¹¹ 内閣府(2012):南海トラフの巨大地震対策検討ワーキンググループ,建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要.
- ¹² 損害保険料率算定機構(2006):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, No.15.
- ¹³ 千葉県(2008):平成19年度千葉県地震被害想定調査報告書.
- ¹⁴ 中央防災会議(2006):首都直下地震対策専門調査会(第15回)資料3.
- ¹⁵ 静岡県(2001):第3次地震被害想定結果.
- ¹⁶ 和歌山県(2006):和歌山県地震被害想定調査報告書.
- ¹⁷ 三重県(2005):三重県地域防災計画被害想定調査報告書.
- ¹⁸ 大阪府(1997):大阪府地震被害想定調査報告書.
- ¹⁹ 中央防災会議(2007):東南海、南海地震等に関する専門調査会.
- ²⁰ 大阪府(2007):大阪府地震被害想定調査(大阪府自然災害総合防災対策検討(地震被害想定)報告書).
- ²¹ 広島県(2007):平成19年度広島県地震被害想定調査報告書.
- ²² 東京都(1997):東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書(被害想定手法編).
- ²³ 内閣府(2012):清涼飲料水メーカーへのヒアリング結果.
- ²⁴ 内閣府(2012):自動販売機転倒防止対策の進捗状況を踏まえて設定.
- ²⁵ 東京都防災会議(1991):東京における地震被害の想定に関する調査研究.
- ²⁶ 諸井孝文・武村雅之(2004):関東地震(1923年9月1日)による被害要因別死者数の推定,日本地震工学会論文集,第4巻,第4号,pp.21-45.
- ²⁷ 北浦かほる・萩原美智子・山崎かほる(1996):居室などへの影響および怪我とその要因.
- ²⁸ 東京消防庁火災予防審議会(2005):東京都第16期火災予防審議会答申 地震時における人口密集地域の災害危険要因の解明と消防対策について.
- ²⁹ 内閣府(2013):南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要,ライフライン被害、交通施設被害、被害額など.
- ³⁰ 丸山喜久・山崎文雄(2009):近年の地震データを考慮したマクロな配水管被害予測式の改良,第30回土木学会地震工学論文集, Vol.30, pp.565-574.
- ³¹ 神奈川県(2009):神奈川県地震被害想定調査報告書.
- ³² 川上英二(1996):震災フォーラム-10kmに1カ所以上の被害が、上水道の機能を左右する-,土木学会誌, No.1.
- ³³ 東京大学地震研究所・(独)防災科学技術研究所・京都大学防災研究所(2012):首都直下地震防災・減災特別プロジェクト総括成果報告書.
- ³⁴ 大規模地震による下水道被害想定検討委員会(第1回)参考資料.
- ³⁵ 群馬県(2012):群馬県地震被害想定調査報告書.
- ³⁶ 関沢愛・座間信作・細川直史・畑山健・新井場公德・久保田勝明・鄭炳表・遠藤真・胡哲新(2003):3.2.9 地方自治体の災害対策本部における応急対応支援システムの開発、大都市大震災軽減化特別プロジェクト.
- ³⁷ 厚生労働省(2011):医療施設(静態・動態)調査・病院報告の概況、厚生労働省ホームページ.
- ³⁸ 厚生省(1998):震災廃棄物対策指針.
- ³⁹ 島岡隆行・山本耕平(2009):廃棄物資源循環学会シリーズ3, 災害廃棄物、中央法規.
- ⁴⁰ 中央防災会議(2010):地方都市等における地震防災のあり方に関する専門調査会.
- ⁴¹ 火災予防審議会(1999):地震発生時における人命危険要因の解明と対策.
- ⁴² 日本エレベータ協会(2012):2011年度昇降機台数調査報告.
- ⁴³ 藤田聡(2006):地震災害とエレベータ、予防時報、227, pp.42-48.
- ⁴⁴ 火災予防審議会・東京消防庁(1999):地震発生時における人命危険要因の解明と対策.
- ⁴⁵ 内閣府(2009):中部・近畿の内陸地震の被害想定による日本エレベータ協会の東京23区における調査資料.
- ⁴⁶ 家田仁・上西周子・猪股隆行・鈴木忠徳(1997):阪神・淡路大震災における「街路閉塞減少」に着目した街路網の機能的障害とその影響,土木学会論文集IV, No.576, pp.69-82.
- ⁴⁷ 建設省河川局(1978):河川・海岸施設の耐震性調査要領.

-
- ⁴⁸ 東北の鉄道震災復興誌編集委員会(2012):よみがえれ!みちのくの鉄道～東日本大震災からの復興の軌跡～.
- ⁴⁹ 東日本大震災の地震被害等状況及び避難状況について 平成 25 年 3 月 11 日現在被害額, 宮城県ホームページ.
- ⁵⁰ 神戸商工会議所(1995):阪神大震災に関する被害及び今後の神戸経済に関する調査結果.
- ⁵¹ 中央防災会議(2006):首都直下地震防災戦略における被害軽減量の算出手法について.