

地震動等及び被害の想定手法

(日本海における最大クラスの地震・津波による被害想定)

平成 29 年 5 月

京都府

目次

第1章 地震動等の想定	1
1 地震動の想定	1
2 液状化の想定	24
3 津波の想定	29
4 急傾斜地崩壊の想定	41
第2章 建物被害の想定	42
1 液状化による建物被害の算定手法	43
2 揺れによる建物被害の算定手法	45
3 土砂災害による建物被害の算定手法	48
4 津波による建物被害の算定手法	50
5 地震火災による建物被害の算定手法	51
6 屋外転倒、落下物の発生	58
第3章 人的被害の想定	64
1 人口データの設定	64
2 建物倒壊による人的被害	66
3 土砂災害による人的被害	71
4 津波による人的被害	72
5 地震火災による人的被害	80
6 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による人的被害	83
7 ブロック塀等の倒壊による人的被害	88
8 屋外落下物による人的被害	90
9 揺れによる建物被害に伴う要救助者（自力脱出困難者）	92
10 津波被害に伴う要救助者・要搜索者	93
11 避難者数	94
12 防災・減災対策の効果の試算	95

第1章 地震動等の想定

1 地震動の想定

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）があげられる。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。

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¹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、原則として京都府の浅部地盤モデル（簡易モデル）を採用したが、京都府南部地域では、層構造をモデル化した地盤モデル²があるため、これを採用した。

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長周期地震動予測地図 2012 年試作版データ：地震調査研究推進本部」³のモデルを採用した。

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及びディレクティヴィティを考慮した等価距離減衰式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

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。

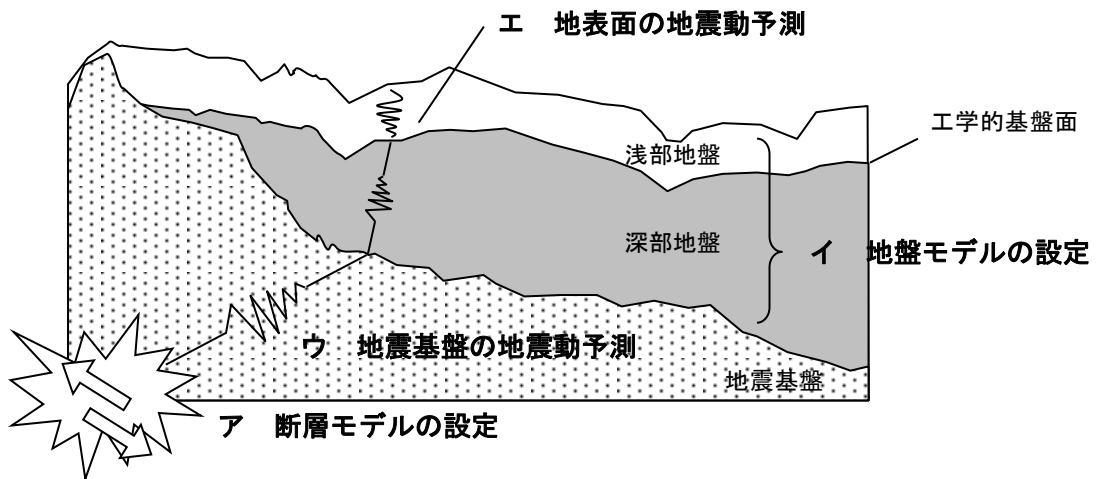


図 1-1 地震動予測の概念

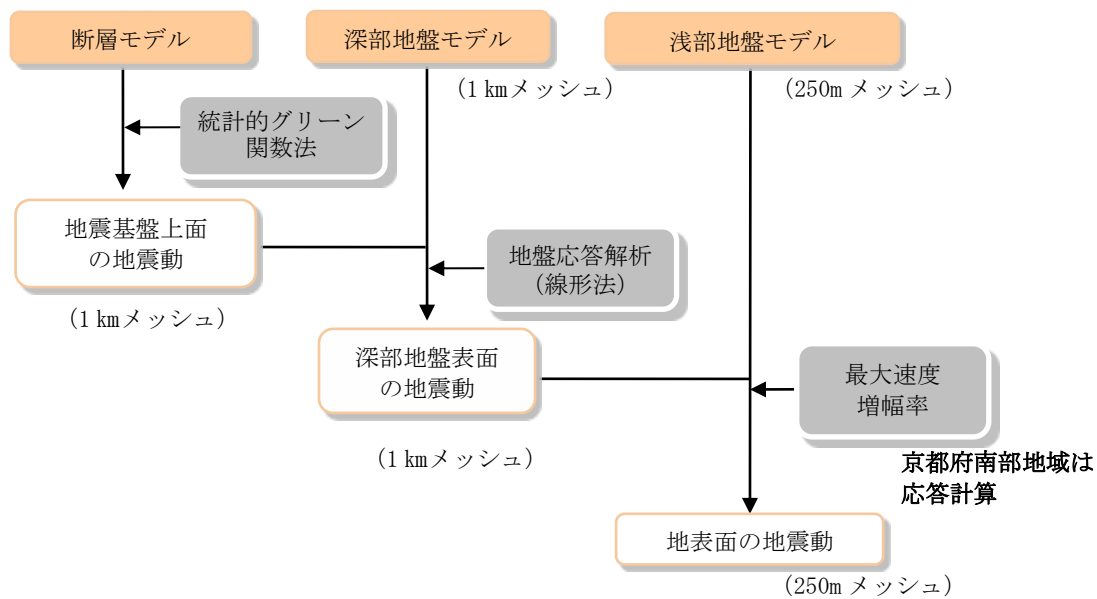


図 1-2 地震動予測の計算

(2) 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による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」¹に準じて設定した。

なお、各震源断層のモデルは、レシピを参考とし、本府北部において震度が大きくなるように強震動生成域、破壊開始点の配置を行った。

なお、日本海中部地震は、実際の地震であるため、各種の研究成果を参考として、同地震を再現する断層モデルを設定した。

設定した断層モデルを表 1-1 に示した。

表 1-1 (1) 断層モデル (F20)

項目		F20				設定方法	
巨視的 パラメータ	長さL	30.8	47.2	52.4	39.2		
	幅W	18.4	18.4	18.4	18.4		
	断層モデル長さLmodel	32	48	52	40	km	
	断層モデル幅Wmodel	18	18	18	18	km	
	走向θ	148.6	196.5	162.7	172.6	°	
	傾斜δ	45	45	45	45	°	
	すべり角γ	68	102	103	88	°	
	断層モデル面積Smodel	576	864	936	720	km ² Smodel=Lmodel×Wmodel	
	地震モーメントMo	9.79E+19	1.86E+20	2.17E+20	1.41E+20	Nm	
	モーメントマグニチュードMw	7.3	7.4	7.5	7.4		
			7.8			Mw=(LogMo-9.1)/1.5	
	断層モデルの等価半径R	13.5	16.6	17.3	15.1	km	
	静的応力降下量Δσ	17.2	17.8	18.5	17.7	MPa Δσ=7/16Mo/R ³	
	地震発生層の密度ρ	2,700	2,700	2,700	2,700	kg/m ³	
	P波速度α	6.0	6.0	6.0	6.0	km/s	
	S波速度β	3.4	3.4	3.4	3.4	km/s	
	剛性率μ	3.43E+10	3.43E+10	3.43E+10	3.43E+10	N/m ²	
平均すべり量Dmodel	5.03	6.23	6.57	5.68	m		
SMGA個数	2	2	2	2			
微視的 パラメータ	全 S M G A	面積Sa	126.7	190.1	205.9	158.4	km ² Sa=0.22×S
		等価半径r	6.4	7.8	8.1	7.1	km
	第 1 S M G A	平均すべり量Da	10.1	12.5	13.1	11.4	m Da=ξ・Dmodel, ξ=2.0
		実効応力σa	78.4	80.9	84.0	80.5	MPa Δσ=7/16Mo/R ³
	第 2 S M G A	地震モーメントMoa	4.38E+19	8.13E+19	9.28E+19	6.17E+19	Nm Moa=μ・DaSa
		面積Sa1	84.5	126.7	137.3	105.6	km ² Sa1=Sa
	背景 領域	等価半径r1	5.2	6.4	6.6	5.8	km r1=(Sa1/π) ^{1/2}
		等価半径比γ1	0.8	0.8	0.8	0.8	γ1=r1/r
	第 1 S M G A	平均すべり量Da1	11.157	13.812	14.553	12.587	m Da1=(γ1/Σγi ³)・Da
		実効応力σa1	78.383	80.942	83.968	80.531	MPa σa1=σa
	第 2 S M G A	地震モーメントMoa1	3.23E+19	6.00E+19	6.85E+19	4.56E+19	
		計算用面積	80.0	120.0	144.0	100.0	km ² 断層モデルメッシュサイズ
	第 2 S M G A	面積Sa2	42.2	63.4	68.6	52.8	km ²
		等価半径r2	3.7	4.5	4.7	4.1	km r2=(Sa2/π) ^{1/2}
	第 2 S M G A	等価半径比γ2	0.6	0.6	0.6	0.6	γ2=r2/r
		平均すべり量Da2	8.743	10.823	11.404	9.863	m Da2=(γ2/Σγi ³)・Da
	第 2 S M G A	実効応力σa2	78.383	80.942	83.968	80.531	MPa σa2=σa
地震モーメントMoa2		1.27E+19	2.35E+19	2.68E+19	1.79E+19		
第 2 S M G A	計算用面積	48.0	64.0	64.0	48.0	km ² 断層モデルメッシュサイズ	
	面積Sb	449.3	673.9	730.1	561.6	km ² Sb=Smodel-Sa	
背景 領域	平均すべり量Db	3.510	4.516	4.967	4.090	m Db=Mob/(μ・Sb)	
	断層アスペクト比	1.8	2.7	2.9	2.2		
背景 領域	背景領域の幅Wb	16	16	16	16	km	
	実効応力σb	14.3	18.7	21.1	16.9	MPa σb=(Db/Wb)・(√π/Da)・r・Σγi ³ ・σa	
背景 領域	地震モーメントMob	5.41E+19	1.04E+20	1.24E+20	7.88E+19	Nm Mob=Mo-Moa	
	計算用面積	448.0	680.0	728.0	572.0		

表 1-1 (2) 断層モデル (F24)

項目		F24				設定方法	
巨視的 パラメータ	長さL	12.4	41.3	30.8	47.2		
	幅W	28.2	28.2	28.2	28.2		
	断層モデル長さLmodel	12	42	30	48	km	
	断層モデル幅Wmodel	28	28	28	28	km	
	走向θ	19.1	19.1	346.9	347	°	
	傾斜δ	30	30	30	30	°	
	すべり角γ	74	74	80	80	°	
	断層モデル面積Smodel	336	1176	840	1344	km ² Smodel=Lmodel×Wmodel	
	地震モーメントMo	4.14E+19	2.52E+20	1.62E+20	3.08E+20	Nm	
	モーメントマグニチュードMw	7.0	7.5	7.4	7.6	Mw=(LogMo-9.1)/1.5	
	断層モデルの等価半径R	10.3	19.3	16.4	20.7	km	
	静的応力降下量Δσ	16.4	15.2	16.2	15.2	MPa Δσ=7/16Mo/R ³	
	地震発生層の密度ρ	2,700	2,700	2,700	2,700	kg/m ³	
	P波速度α	6.0	6.0	6.0	6.0	km/s	
	S波速度β	3.4	3.4	3.4	3.4	km/s	
	剛性率μ	3.43E+10	3.43E+10	3.43E+10	3.43E+10	N/m ²	
平均すべり量Dmodel	3.45	6.30	5.44	6.74	m		
SMGA個数	1	2	2	2			
微視的 パラメータ	全 S M G A	面積Sa	73.9	258.7	184.8	295.7	km ² Sa=0.22×S
		等価半径r	4.9	9.1	7.7	9.7	km
		平均すべり量Da	6.9	12.6	10.9	13.5	m Da=ξ・Dmodel, ξ=2.0
		実効応力σa	74.5	69.1	73.8	69.1	MPa Δσ=7/16Mo/R ³
	第 1 S M G A	地震モーメントMoa	1.75E+19	1.12E+20	6.90E+19	1.37E+20	Nm Moa=μ・DaSa
		面積Sa1	73.9	172.5	123.2	197.1	km ² Sa1=Sa
		等価半径r1	4.9	7.4	6.3	7.9	km r1=(Sa1/π) ^{1/2}
		等価半径比γ1	1.0	0.8	0.8	0.8	γ1=r1/r
	第 2 S M G A	平均すべり量Da1	6.908	13.970	12.064	14.935	m Da1=(γ1/Σγi ³)・Da
		実効応力σa1	74.479	69.139	73.759	69.139	MPa σa1=σa
		地震モーメントMoa1	1.75E+19	8.26E+19	5.10E+19	1.01E+20	
		計算用面積	80.0	168.0	120.0	196.0	km ² 断層モデルメッシュサイズ
	第 2 S M G A	面積Sa2		86.2	61.6	98.6	km ²
		等価半径r2		5.2	4.4	5.6	km r2=(Sa2/π) ^{1/2}
		等価半径比γ2		0.6	0.6	0.6	γ2=r2/r
		平均すべり量Da2		10.947	9.453	11.703	m Da2=(γ2/Σγi ³)・Da
背景 領域	実効応力σa2		69.139	73.759	69.139	MPa σa2=σa	
	地震モーメントMoa2		3.24E+19	2.00E+19	3.96E+19		
	計算用面積	0.0	80.0	64.0	100.0	km ² 断層モデルメッシュサイズ	
	面積Sb	262.1	917.3	655.2	1048.3	km ² Sb=Smodel-Sa	
背景 領域	平均すべり量Db	2.660	4.447	4.145	4.755	m Db=Mob/(μ・Sb)	
	断層アスペクト比	0.4	1.5	1.1	1.7		
	背景領域の幅Wb	25	25	25	25	km	
	実効応力σb	10.0	11.7	11.4	12.5	σb=(Db/Wb)・(√π/Da)・r・Σγi ³ ・σa	
	地震モーメントMob	2.39E+19	1.40E+20	9.32E+19	1.71E+20	Nm Mob=Mo-Moa	
計算用面積	256.0	928.0	656.0	1,048.0			

表 1-1 (3) 断層モデル (F49)

項目		F49			設定方法		
巨視的 パラメータ	長さL	21.1	36.3	29.9			
	幅W	14.5	14.5	14.5			
	断層モデル長さLmodel	22	36	30	km		
	断層モデル幅Wmodel	14	14	14	km		
	走向θ	81.7	47.6	54.4	°		
	傾斜δ	60	60	60	°		
	すべり角γ	264	145	215	°		
	断層モデル面積Smodel	308	504	420	km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
			1,232				
	地震モーメントMo	3.12E+19	7.05E+19	5.27E+19	Nm		
	モーメントマグニチュードMw	6.9	7.2	7.1		Mw=(LogMo-9.1)/1.5	
			7.4				
	断層モデルの等価半径R	9.9	12.7	11.6	km		
	静的応力降下量Δσ	14.1	15.2	14.9	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³	
	地震発生層の密度ρ	2,700	2,700	2,700	kg/m ³		
P波速度α	6.0	6.0	6.0	km/s			
S波速度β	3.4	3.4	3.4	km/s			
剛性率μ	3.43E+10	3.43E+10	3.43E+10	N/m ²			
平均すべり量Dmodel	2.98	3.90	3.54				
SMGA個数	1	2	2				
微視的 パラメータ	全 S M G A	面積Sa	67.8	110.9	92.4	km ²	Sa=0.22×S
		等価半径r	4.6	5.9	5.4	km	
		平均すべり量Da	6.0	7.8	7.1	m	Da=ξ・Dmodel, ξ=2.0
		実効応力σa	64.0	69.0	67.8	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³
	第 1 S M G A	地震モーメントMoa	1.38E+19	2.97E+19	2.25E+19	Nm	Moa=μ・DaSa
		面積Sa1	67.8	73.9	61.6	km ²	Sa1=Sa
		等価半径r1	4.6	4.9	4.4	km	r1=(Sa1/π) ^{1/2}
		等価半径比γ1	1.0	0.8	0.8		γ1=r1/r
	第 2 S M G A	平均すべり量Da1	5.953	8.653	7.853	m	Da1=(γ1/Σγi ³)・Da
		実効応力σa1	63.990	68.980	67.787	MPa	σa1=σa
		地震モーメントMoa1	1.38E+19	2.19E+19	1.66E+19		
		計算用面積	64.0	80.0	64.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ
	第 2 S M G A	面積Sa2		37.0	30.8	km ²	
		等価半径r2		3.4	3.1	km	r2=(Sa2/π) ^{1/2}
		等価半径比γ2		0.6	0.6		γ2=r2/r
平均すべり量Da2			6.781	6.154	m	Da2=(γ2/Σγi ³)・Da	
背景 領域	実効応力σa2		68.980	67.787	MPa	σa2=σa	
	地震モーメントMoa2		8.60E+18	6.50E+18			
	計算用面積	0.0	36.0	36.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ	
	面積Sb	240.2	393.1	327.6	km ²	Sb=Smodel-Sa	
背景 領域	平均すべり量Db	2.112	3.025	2.690	m	Db=Mob/(μ・Sb)	
	断層アスペクト比	1.6	2.6	2.1			
	背景領域の幅Wb	12	12	12	km		
	実効応力σb	15.1	16.8	14.7		σb=(Db/Wb)・(√π/Da)・r・Σγi ³ ・σa	
	地震モーメントMob	1.74E+19	4.08E+19	3.02E+19	Nm	Mob=Mo-Moa	
計算用面積	244.0	388.0	320.0				

表 1-1 (4) 断層モデル (F52)

項目		F52			設定方法		
巨視的 パラメータ	長さL	22.5	25.4	22.5			
	幅W	16.1	16.1	16.1			
	断層モデル長さLmodel	22	26	22	km		
	断層モデル幅Wmodel	16	16	16	km		
	走向θ	318.9	27	344	°		
	傾斜δ	60	60	60	°		
	すべり角γ	35	125	40	°		
	断層モデル面積Smodel	352	416	352	km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
			1, 120				
	地震モーメントMo	4.06E+19	4.86E+19	4.06E+19	Nm		
	モーメントマグニチュードMw	7.0	7.1	7.0		Mw=(LogMo-9.1)/1.5	
			7.3				
	断層モデルの等価半径R	10.6	11.5	10.6	km		
	静的応力降下量Δσ	15.0	14.0	15.0	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³	
	地震発生層の密度ρ	2,700	2,700	2,700	kg/m ³		
	P波速度α	6.0	6.0	6.0	km/s		
	S波速度β	3.4	3.4	3.4	km/s		
剛性率μ	3.43E+10	3.43E+10	3.43E+10	N/m ²			
平均すべり量Dmodel	3.26	3.47	3.26				
SMGA個数	1	1	1				
微視的 パラメータ	全 S M G A	面積Sa	77.4	91.5	77.4	km ²	Sa=0.22×S
		等価半径r	5.0	5.4	5.0	km	
		平均すべり量Da	6.5	6.9	6.5	m	Da=ξ・Dmodel, ξ=2.0
		実効応力σa	68.0	63.5	68.0	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³
		地震モーメントMoa	1.73E+19	2.18E+19	1.73E+19	Nm	Moa=μ・DaSa
	第 1 S M G A	面積Sa1	77.4	91.5	77.4	km ²	Sa1=Sa
		等価半径r1	5.0	5.4	5.0	km	r1=(Sa1/π) ^{1/2}
		等価半径比γ1	1.0	1.0	1.0		γ1=r1/r
		平均すべり量Da1	6.528	6.936	6.528	m	Da1=(γ1/Σγi ³)・Da
		実効応力σa1	67.998	63.481	67.998	MPa	σa1=σa
	第 2 S M G A	地震モーメントMoa1	1.73E+19	2.18E+19	1.73E+19		
		計算用面積	80.0	100.0	80.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sa2				km ²	
		等価半径r2				km	r2=(Sa2/π) ^{1/2}
		等価半径比γ2					γ2=r2/r
	背 景 領 域	平均すべり量Da2				m	Da2=(γ2/Σγi ³)・Da
		実効応力σa2				MPa	σa2=σa
		地震モーメントMoa2					
		計算用面積	0.0	0.0	0.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sb	274.6	324.5	274.6	km ²	Sb=Smodel-Sa
	背景 領域	平均すべり量Db	2.465	2.414	2.465	m	Db=Mob/(μ・Sb)
断層アスペクト比		1.4	1.6	1.4			
背景領域の幅Wb		14	14	14	km		
実効応力σb		16.0	15.0	16.0		σb=(Db/Wb)・(√π/Da)・r・Σγi ³ ・σa	
地震モーメントMob		2.32E+19	2.69E+19	2.32E+19	Nm	Mob=Mo-Moa	
計算用面積	272.0	316.0	272.0				

表 1-1 (5) 断層モデル (F53)

項目		F53			設定方法		
巨視的 パラメータ	長さL	17.2	11.4	31.3			
	幅W	14	14	14			
	断層モデル長さLmodel	18	12	32	km		
	断層モデル幅Wmodel	14	14	14	km		
	走向θ	291	310.1	319.2	°		
	傾斜δ	90	90	90	°		
	すべり角γ	35	35	35	°		
	断層モデル面積Smodel	252	168	448	km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
	地震モーメントMo	2.06E+19	1.11E+19	5.06E+19	Nm		
	モーメントマグニチュードMw	6.8	6.6	7.1		Mw=(LogMo-9.1)/1.5	
			7.2				
	断層モデルの等価半径R	9.0	7.3	11.9	km		
	静的応力降下量Δσ	12.6	12.4	13.0	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³	
	地震発生層の密度ρ	2,700	2,700	2,700	kg/m ³		
	P波速度α	6.0	6.0	6.0	km/s		
S波速度β	3.4	3.4	3.4	km/s			
剛性率μ	3.43E+10	3.43E+10	3.43E+10	N/m ²			
平均すべり量Dmodel	2.50	2.03	3.37				
微視的 パラメータ	SMGA個数	1	1	2			
	全 S M G A	面積Sa	55.4	37.0	98.6	km ²	Sa=0.22×S
		等価半径r	4.2	3.4	5.6	km	
		平均すべり量Da	5.0	4.1	6.7	m	Da=ξ・Dmodel, ξ=2.0
		実効応力σa	57.1	56.6	59.1	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³
		地震モーメントMoa	9.49E+18	5.15E+18	2.28E+19	Nm	Moa=μ・DaSa
	第1 S M G A	面積Sa1	55.4	37.0	65.7	km ²	Sa1=Sa
		等価半径r1	4.2	3.4	4.6	km	r1=(Sa1/π) ^{1/2}
		等価半径比γ1	1.0	1.0	0.8		γ1=r1/r
		平均すべり量Da1	4.991	4.063	7.461	m	Da1=(γ1/Σγi ³)・Da
		実効応力σa1	57.053	56.556	59.086	MPa	σa1=σa
	第2 S M G A	地震モーメントMoa1	9.49E+18	5.15E+18	1.68E+19	Nm	
		計算用面積	64.0	36.0	64.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sa2			32.9	km ²	
		等価半径r2			3.2	km	r2=(Sa2/π) ^{1/2}
		等価半径比γ2			0.6		γ2=r2/r
	背景 領域	平均すべり量Da2			5.847	m	Da2=(γ2/Σγi ³)・Da
		実効応力σa2			59.086	MPa	σa2=σa
		地震モーメントMoa2			6.59E+18	Nm	
		計算用面積	0.0	0.0	36.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ
		面積Sb	196.6	131.0	349.4	km ²	Sb=Smodel-Sa
	平均すべり量Db	1.649	1.328	2.322	m	Db=Mob/(μ・Sb)	
	断層アスペクト比	1.3	0.9	2.3			
	背景領域の幅Wb	12	12	12	km		
	実効応力σb	11.4	9.1	12.1		σb=(Db/Wb)・(√π/Da)・r・Σγi ³ ・σa	
	地震モーメントMob	1.11E+19	5.97E+18	2.78E+19	Nm	Mob=Mo-Moa	
	計算用面積	188.0	132.0	348.0			

表 1-1 (6) 断層モデル (F54)

項目		F54	設定方法		
巨視的 パラメータ	長さL	57.6			
	幅W	13.9			
	断層モデル長さLmodel	58	km		
	断層モデル幅Wmodel	14	km		
	走向θ	332.5	°		
	傾斜δ	90	°		
	すべり角γ	35	°		
	断層モデル面積Smodel	812	km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
	地震モーメントMo	7.68E+19	Nm		
	モーメントマグニチュードMw	7.2		Mw=(LogMo-9.1)/1.5	
	断層モデルの等価半径R	16.1	km		
	静的応力降下量Δσ	8.1	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³	
	地震発生層の密度ρ	2,700	kg/m ³		
	P波速度α	6.0	km/s		
	S波速度β	3.4	km/s		
剛性率μ	3.43E+10	N/m ²			
平均すべり量Dmodel	2.80				
SMGA個数	2				
微視的 パラメータ	全	面積Sa	178.6	km ²	Sa=0.22×S
	S	等価半径r	7.5	km	
	M	平均すべり量Da	5.6	m	Da=ξ・Dmodel, ξ=2.0
	G	実効応力σa	36.7	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³
	A	地震モーメントMoa	3.43E+19	Nm	Moa=μ・DaSa
	第1	面積Sa1	119.1	km ²	Sa1=Sa
		等価半径r1	6.2	km	r1=(Sa1/π) ^{1/2}
		等価半径比γ1	0.8		γ1=r1/r
		平均すべり量Da1	6.196	m	Da1=(γ1/Σγi ³)・Da
		実効応力σa1	36.743	MPa	σa1=σa
	第2	面積Sa2	59.5	km ²	断層モデルメッシュサイズ
		等価半径r2	4.4	km	r2=(Sa2/π) ^{1/2}
		等価半径比γ2	0.6		γ2=r2/r
		平均すべり量Da2	4.855	m	Da2=(γ2/Σγi ³)・Da
		実効応力σa2	36.743	MPa	σa2=σa
	背景領域	面積Sb	64.0	km ²	断層モデルメッシュサイズ
		平均すべり量Db	1.957	m	Sb=Smodel-Sa
		断層アスペクト比	4.1		Db=Mob/(μ・Sb)
背景領域の幅Wb		12	km		
実効応力σb		10.2		σb=(Db/Wb)・(√π/Da)・r・Σγi ³ ・σa	
地震モーメントMob	4.25E+19	Nm	Mob=Mo-Moa		
計算用面積	628.0				

表 1-1 (7) 断層モデル (日本海中部地震)

項目		日本海中部地震		設定方法		
巨視的 パラメータ	長さL	40	60			
	幅W	30	30			
	断層モデル長さLmodel	40	60	km		
	断層モデル幅Wmodel	30	30	km		
	走向θ	22	355	°		
	傾斜δ	40	25	°		
	すべり角γ	90	80	°		
	断層モデル面積Smodel	1,200 3,000	1,800	km ²	Smodel=Lmodel×Wmodel	
	地震モーメントMo	3.13E+20	1.88E+20	Nm		
	モーメントマグニチュードMw	7.6 7.7	7.4		Mw=(logMo-9.1)/1.5	
	断層モデルの等価半径R	19.5	23.9	km		
	静的応力降下量Δσ	18.3	6.0	MPa	Δσ=7/16Mo/R ³	
	地震発生層の密度ρ	2,700	2,700	kg/m ³		
	P波速度α	6.0	6.0	km/s		
	S波速度β	3.4	3.4	km/s		
剛性率μ	3.43E+10	3.43E+10	N/m ²			
平均すべり量Dmodel	7.60	3.05	m			
微視的 パラメータ	SMGA個数					
	全 S M G A	面積Sa			km ²	
		等価半径r			km	
		平均すべり量Da			m	
		実効応力σa			MPa	
		地震モーメントMoa			Nm	
	第1 S M G A	面積Sa1			km ²	
		等価半径r1			km	
		等価半径比γ1				
		平均すべり量Da1			m	
		実効応力σa1			MPa	
	第2 S M G A	面積Sa2			km ²	
		等価半径r2			km	
		等価半径比γ2				
		平均すべり量Da2			m	
		実効応力σa2			MPa	
	背景 領域	地震モーメントMoa2			Nm	
		計算用面積			km ²	
		面積Sb	1,200.0	1,800.0	km ²	Sb=Smodel
		平均すべり量Db	7.600	3.050	m	Db=Dmodel
		断層アスペクト比	1.3	2.0		
背景領域の幅Wb	30	30	km			
実効応力σb	18.3	6.0	MPa	σb=Δσ		
地震モーメントMob	3.13E+20	1.88E+20	Nm	Mob=Mo		
計算用面積	1,200.0	1,800.0				

(3) 地盤モデルの設定

ア 深部地盤モデル

深部地盤モデルは、「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」を基に改良した「長周期地震動予測地図 2012 年試作版データ：地震調査研究推進本部」³のモデルを採用した。

このモデルは、地震基盤（S 波速度 3km/s 相当層）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ている。

イ 浅部地盤モデル

京都府域には二つの浅部地盤モデルが整備されている。

1) 詳細モデル（京都府南部地域）

京都府南部地域で整備されている浅部地盤モデルで、250m メッシュ毎に層構造で土質定数等が設定されている。各層の深度は全メッシュ共通で深さ 20m までは 1m 間隔、20m 以深は 5m 間隔で深さ 30m まで設定されている。各層には、N 値、S 波速度、土質種別（砂礫/砂/粘土）、密度が設定されている。

2) 簡易モデル（京都府全域）

京都府全域で整備されている浅部地盤モデルで、250m メッシュ毎に深部地盤からの最大速度増幅率、地形区分が設定されている。図 1-3 に簡易モデルによる京都府の最大速度増幅率の分布を示した。

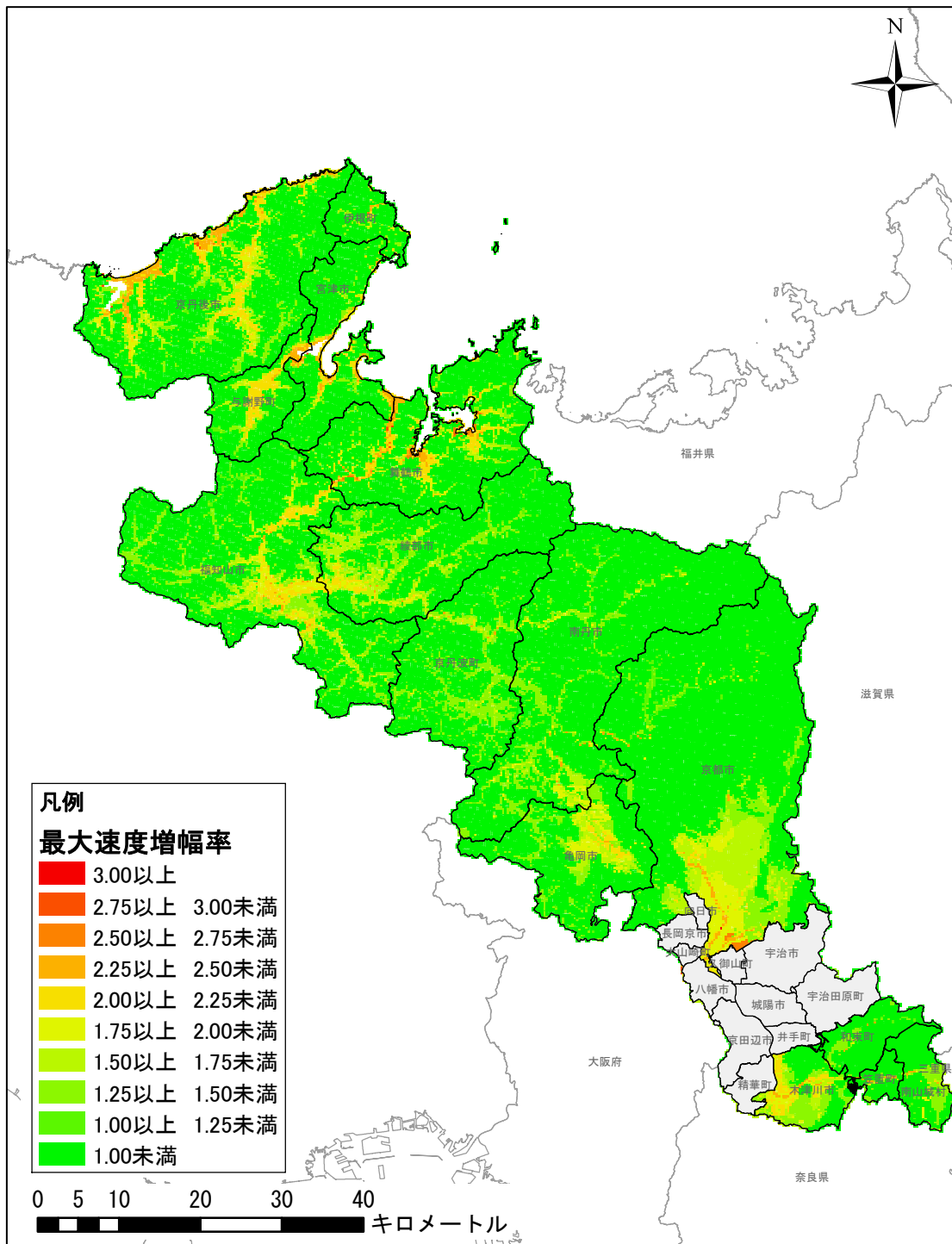


図 1-3 簡易モデル（京都府全域）による最大速度増幅率

(4) 地震基盤の地震動

地震基盤の地震動は、統計的グリーン関数法及びディレクティヴィティを考慮した等価震源距離減衰式を用いて強震動を予測し、各メッシュで大きい方の値を使用した。

ア グリーン関数法による地震動の計算方法

1) グリーン関数法の特徴

グリーン関数法では、図 1-4 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に近い状態として計算されるのが特徴である。

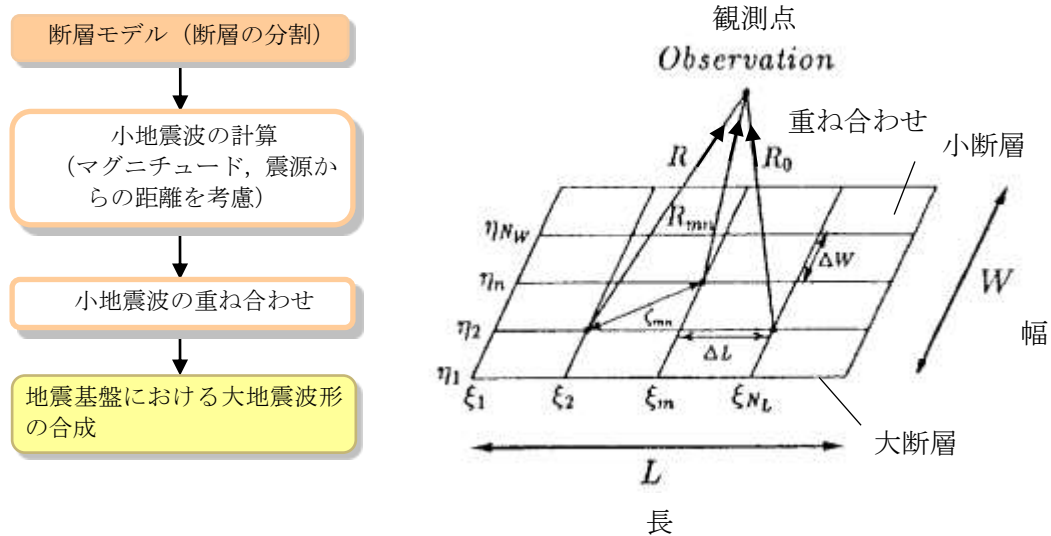


図 1-4 統計的グリーン関数の計算

2) 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 （満たすを求める）。

$$|A(\omega)| = CA_S(\omega)A_D(\omega)$$

1 式

ここで、 C 、 $AS(,)$ 、 $AD(,)$ 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。 $R(\theta, \phi)$ 、 F 、 V 、 ρ 、 C_s は次のとおりとした。

$R(\theta, \phi)$ は地震波の

$$F=2.0$$

$$V=0.5$$

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

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

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

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。

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

$\Delta \sigma$ は、地震によらず $\Delta \sigma$ は、地震によらず、 ω_c は コー^{-3} 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、ここでは $n=1$ 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。

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

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

q1、q2 は地域によって変る変数で、ここでは、q1=0.62、q2=2.4 を採用した。

3) 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また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。

ここでは、 $\omega_u = 2$ は、 ϕ_j (rad / sec) , $N_s = 1,024$ 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、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。

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

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

4) 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 $u_0(x)$ 、比例から 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

イ ディレクティビティを考慮した等価距離減衰式による地震動の計算方法

等価震源距離による距離減衰式は、司・翠川(1999)の次式を用い計算した。

$$\log PGV = 0.58 \cdot M_w + 0.0031 \cdot H - \log X_{eq} - 0.002 X_{eq} - 1.25$$

ここで、等価震源距離 X_{eq} は、次式で定義される。

$$X_{eq} = (\sum e_m \cdot X_m^{-2}) / \sum e_m$$

このとき

X_m : 観測点から断層面の各微小領域 m ※への距離 (km)

e_m : 断層面上の各微小領域 m ※からの地震波エネルギーの相対放出分布 (ここではすべり量の2乗と定義)

※: 実際の計算では断層面を 1km メッシュに分割している。

なお、 ω^{-2} 震源モデルに対して、Boore&Joyner(1989)は、線震源の場合、加速度フリー振幅の増幅率に与えるディレクティビティ係数 D を次式で与えている。

$$D = 1 / \{ 1 - (v/c) i_{rup} \cdot i_{ray} \}$$

このとき、 i_{rup} 、 i_{ray} は、それぞれ、破壊方向の単位ベクトル、サイトと震源の結ぶ方向の単位ベクトルで、両者の内積であるから両者の単位ベクトルがなす角を θ とすると、 $\cos \theta$ に置き換えられる。

また、 v は破壊伝播速度、 c は地震基盤のS波速度である。一般に $v/c=0.72$ を用いる (断層パラメータ設定において 0.72 を採用)。

また、 D は応力降下量の比例係数である。破壊伝播速度に影響されて生じる速度振幅へのディレクティビティ (時間) の係数としては、次式のように D の 0.5 乗と考える。

$$D^{0.5} = \{ 1 / (1 - 0.72 \cdot \cos \theta) \}^{0.5}$$

D の定義は線震源に対して適用されるから、ここでは断層の地表トレースを軸にとり、観測点となす方位角 θ を図 1-5のように定義する。 $\theta=0\sim 360$ 度で D 値は、図 1-6のように変化する。これより、 D 値は断層軸上の破壊進行方向 (前方) で最大値をとり、後方で最小値をとることがわかる。

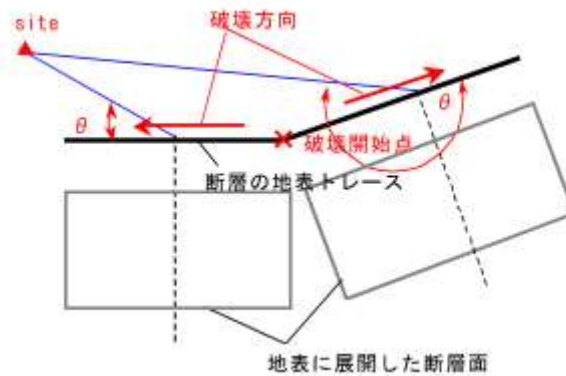


図 1-5 方位角 θ の定義 (震源とサイトのなす角)

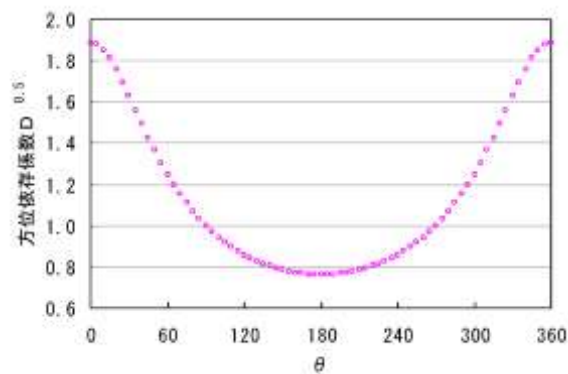


図 1-6 ディレクティビティ係数 $D^{0.5}$ と方位角 θ の関係

ディレクティビティ係数 $D^{0.5}$ を X_{eq} 式に導入して最大速度 PGV がディレクティビティ係数 $D^{0.5}$ に比例するように変換し、 X_{eq} と PGV は対数で負号が逆であるから逆比例関係にある (X_{eq} が 1/2 倍ならば PGV は 2 倍)。 X_{eq} は観測点から断層面の各微小領域 m への距離 X_m の-2 乗で平均されるため、ディレクティビティ係数 $D^{0.5}$ を PGV の比例係数とするために、 $(D_{0.5})^2 = D$ を係数として X_{eq} 式の分子に掛け合わせることで、ディレクティビティ係数を考慮した等価震源距離の算定式は次式で計算した。

$$X_{eq}^{-2} = (\sum e_m \cdot X_m^{-2} \cdot D) / \sum e_m$$

(5) 地表面の地震動の想定

ア 深部地盤表面での地震動

深部地盤は固結岩盤からなり、地震波は弾性波として伝わるため、深部地盤内（地震基盤面から深部地盤表面まで）においては弾性波として取り扱う線形応答解析を行い、深部地盤表面での地震波形を算定した。

深部地盤は、1km メッシュごとに地盤モデルを設定しており、深部地盤表面での地震動は1km メッシュ単位で求めている。

一方、浅部地盤は250m メッシュ単位で地盤モデルを設定しているため、深部地盤から浅部地盤への入力地震動は、周辺1km メッシュの深部地盤表面における最大速度の分布から、等値線法による按分計算を行い、各250m メッシュに割り当てた。

イ 地表での地震動（詳細モデル）

浅部地盤は未固結堆積物からなり、地震動により大きな力が加わると、地盤内に生じるせん断ひずみ (γ) によって、土の剛性率 (G) や減衰率 (h) が変化する。 G 及び h のひずみ依存性は、動的変形特性と呼ばれる。詳細モデルのある範囲は、応答解析を実施する際に土の非線形特性を加味することができる等価線形法 (FDEL) を用いた。等価線形法 (FDEL) に用いた動的変形曲線は、古山田ら (2003)⁴を参考として設定した。

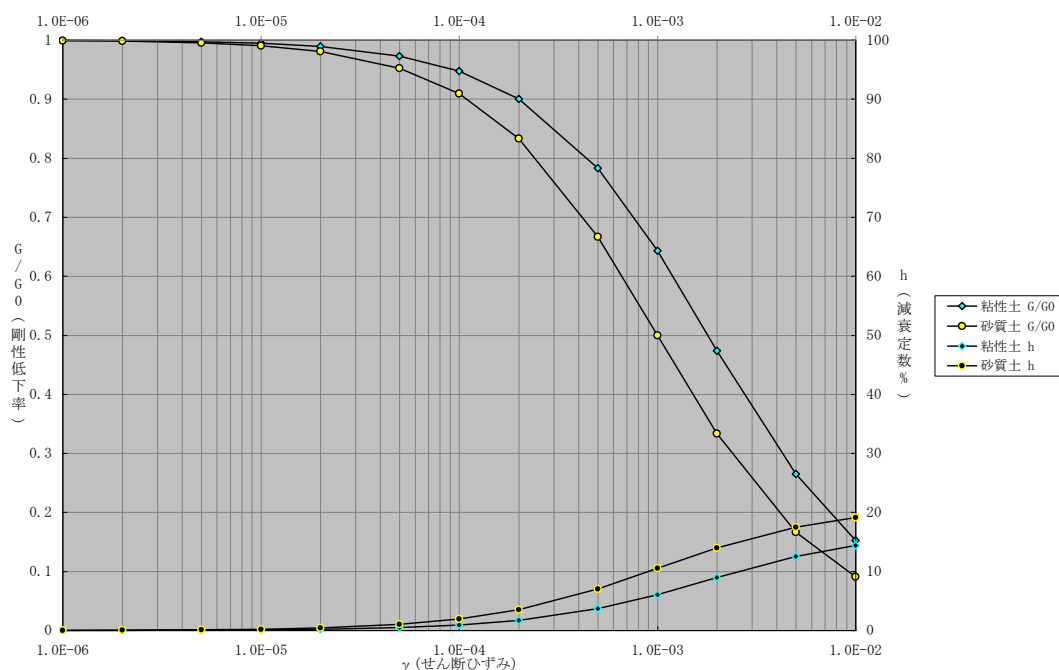


図 1-7 動的変形曲線

ウ 地表での地震動（簡易モデル）

詳細モデルのある範囲を含む全域に簡易モデルとして 250m メッシュの最大速度増幅率が整備されている。

詳細モデルの範囲以外は、簡易モデルを用いて、深部地盤表面の最大速度にメッシュの最大速度増幅率を乗じて最大速度を求めた。

エ 震度階級の決定手法

震度階級は、気象庁の計測震度である震度階級に準拠し、次の手法により求めた。

＜気象庁計測震度の算定法＞

- 1) 3成分（水平2，上下1成分）の加速度波形からフーリエスペクトルを計算する。
- 2) フーリエスペクトルの周期に関係した次の3フィルターを乗じる。

体感と震度の関係を考慮したフィルター

$$(k/f)^{1/2}$$

k：係数（1.00） f：周波数

ハイカットフィルター

$$(1+0.694X^2+0.241X^4+0.0557X^6+0.009664X^8+0.00134X^{10}+0.000155X^{12})^{-1/2}$$

$$X=f/f_c \quad (f_c=10\text{Hz})$$

ローカットフィルター

$$(1-\exp(-(f/f_0)^3))^{1/2}$$

f₀：震度算定に用いる周波数の下限（0.5Hzとする。）

- 3) フィルター処理したスペクトルを逆フーリエ変換により加速度と速度の中間的な時刻歴波形を求める。
- 4) 成分の時刻歴波形をベクトル合成する。
- 5) ベクトル波について、その絶対値が A' 以上である時間の合計が τ（継続時間：0.3secとする。）となる A' を求める。
- 6) 河角（1943）⁵による震度と加速度の関係式に A' を代入し、計測震度（I）を求める。

$$I=2 \cdot \log A' + 0.94$$

- 7) 計測震度から震度階級を決定する。

表 1-2 計測震度と震度階級の対比表

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

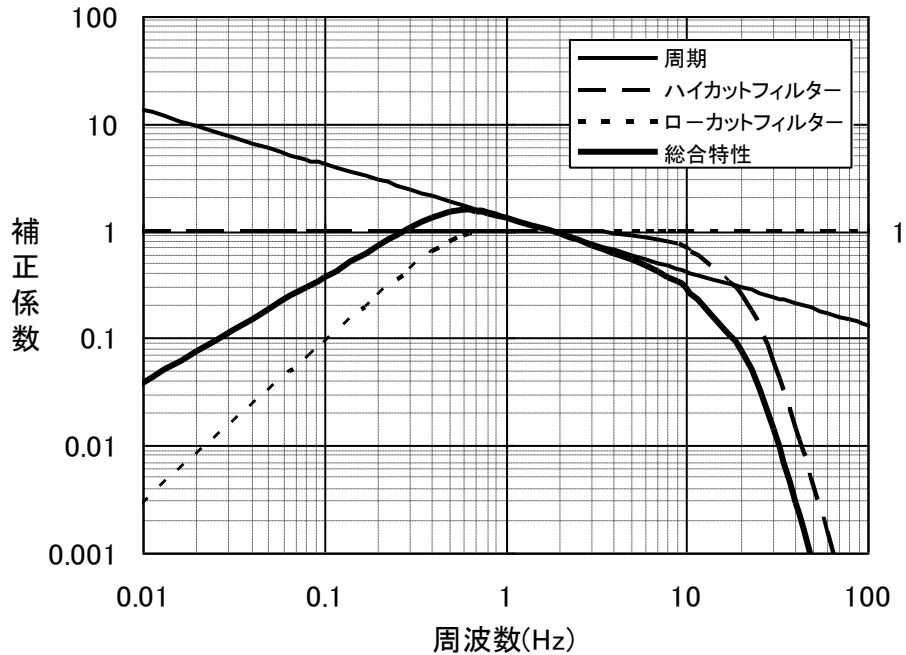


図 1-8 フィルターの総合特性

オ 地表最大加速度の計算手法

地表最大加速度 (PGA) は、地震動の強さを表す一般的な指標の一つである。物体に加わる力の大きさは、加速度に比例して増大する性質がある。そのため、最大加速度が大きい場合は、大きな破壊力を持つことになる。

ただし、加速度波形の一部分だけ振幅が大きくなる場合は、一般建物等の構造物に対してそれほど大きな被害を与えることは少ないといえる。

地表最大加速度 (PGA) は、震度 (I) と地表最大加速度 (PGA) の関係式 (童・山崎 (1996) ⁶) を用い、計測震度 (I) から求めた。

$$I = 0.59 + 1.89 \cdot \log \text{PGA}$$

カ 地表最大速度の計算手法

地表最大速度 (PGV) は、地表最大加速度と同様、地震動の強さを表す指標の一つである。速度は、物体が移動するときの速さと方向を合わせたものであり、最大速度が大きいほど大きな破壊力が働くことになる。最大速度と地震時の建物被害の相関関係は、最大加速度と建物被害の関係より強く、最大速度が大きくなればなるほど、地震時の建物被害状況とよく一致するとされている。地表最大速度 (PGV) は、震度 (I) と地表最大速度 (PGV) の関係式 (藤本・翠川 (2005) ⁷) を用い、計測震度 (I) から求めた。

$$I = 2.002 + 2.603 \cdot \log(\text{PGV}) - 0.213 \cdot (\log(\text{PGV}))^2 \quad (4 \leq I)$$

$$I = 2.165 + 2.262 \cdot \log(\text{PGV}) \quad (I < 4)$$

キ SI 値の計算手法

SI 値 (Spectral Intensity : スペクトル強度) は、地震動の強さの指標であり、地震動の周期 0.1~2.5 秒間の速度応答スペクトルの平均値 (単位カイン : cm/sec) である。建物の周期が 0.1~2.5 秒であるため、建物にどの程度の被害が生じるかを示す指標となる。SI 値は、震度 (I) と SI 値の関係式 (童・山崎 (1996) ⁶) を用い、計測震度 (I) から求めた。

$$SI = 10^{-1.16 + 0.5 \cdot I}$$

(6) 被害想定に用いる地震動の設定

被害想定に用いる地震動は、統計的グリーン関数法による計測震度とディレクティブィティを考慮した等価距離減衰式による計測震度を比較し、メッシュ毎に大きい方の値を採用した。

2 液状化の想定

液状化危険度の計算は、地形区分による評価⁸と PL 値の計算⁹による評価で行った。

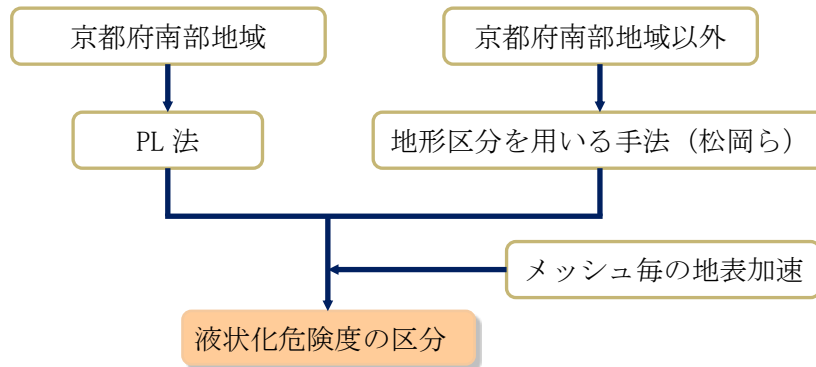


図 1-9 液状化危険度の評価

(1) 液状化危険度の評価 (京都府南部地域)

ア 液状化危険度の評価 (詳細モデル)

京都府南部の詳細モデルの範囲は、250m メッシュ毎に深さ 20m までは 1m 間隔、20m 以深は 5m 間隔で深さ 30m まで層区分されており、各層には N 値、S 波速度、土質種別 (砂礫/砂/粘土)、密度が設定されている。詳細モデルの範囲は、この層区分を用いて、液状化の可能性の評価を「道路橋示方書・同解説 (1996 年 12 月発行)」による手法 (いわゆる PL 法) により行った。PL 法は、表層部での地震動計算結果から地中のせん断応力を求め、液状化対象層ごとに液状化に対する抵抗率 (FL) を求め、地層全体の液状化指数 (PL) を評価するものである。

なお、地震時せん断応力比 (L) は、最大加速度ではなく地表震度の値から換算した SI 値を用いて求めた。

イ PL 値の計算

液状化指数 (以下「PL 値」) および FL 値の算定手法を示す。

$$F_L = R / L$$

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。

$$L = 0.01 \cdot SI / (\sigma_v')^{0.1}$$

このとき、 $SI = 10^{-1.16+0.50 \cdot I}$

I : 震度

σ_v' : 有効上載圧 (kgf/cm²)

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RL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Cwは内陸直下型地震の場合を採用した。

(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RL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(Na)は、次のように求める。

$$N_a = C_1 \cdot N_1 + C_2$$

$$N_1 = 1.7 \cdot N / (\sigma_v' + 0.7)$$

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

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

表 1-3 液状化の計算に用いる定数

	D50 (mm)	FC (%)
砂礫	2.0	0
砂	0.6	0
粘土	0.025	75

上記の液状化安全率 (FL) 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PL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 液状化危険度の評価

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

$0 < P_L \leq 5$	液状化の危険度は「低い」
$5 < P_L \leq 15$	液状化の危険度が「やや高い」
$15 < P_L$	液状化の危険度が「高い」

(2) 液状化危険度の評価 (京都府南部地域以外)

ア 簡易モデル (京都府南部地域以外)

簡易モデルの範囲は、地盤の層構造が整備されておらず、微地形区分のみがなされている。ここでは、微地形区分毎に液状化を発生せしめる最大速度を設定することで、微地形区分及び各メッシュの液状化危険度を評価した。

イ 液状化危険度の評価

松岡ら(1993)⁸は、N 値や土の粒度などの地盤調査結果を用いずに、微地形区分と地表最大速度から液状化危険度を評価する手法を提案している。この手法による千葉県東方沖地震(1987)時の液状化危険度の分布再現結果と、実際の液状化発生地点が比較的良好に対応していることが確認されている。ここでは、この手法による液状化を発生せしめる最大速度を京都府南部の詳細モデルの範囲で検討し、次のとおり設定した。

なお、検討にあたっては、各微地形区分に相当する地盤モデル(250mメッシュ)において SI 値を 5 倍刻みで大きくして PL 値を計算し、その平均値が 1 以上となる SI 値を液状化を発生せしめる最大速度として求めた(ここで最大速度を SI 値と読み替えている)。

さらに、液状化の危険度は、液状化を発生せしめる SI 値と各メッシュの最大速度(SI 値へ換算)との比により評価した。

表 1-4 液状化危険度の評価基準

液状化危険度	最大速度 /液状化を発生せしめる最大速度
高い	1.25 以上
やや高い	1.00~1.25
低い	0.75~1.00

表 1-5 計測震度と震度階級の対比表

微地形区分	松岡ら ⁸ (PGV換算値 ^{※1})	液状化を発生せしめるSI値
谷底平野	30 (25)	40
扇状地	-	30
自然堤防	18 (15)	35
後背湿地	30 (25)	30
旧河道	18 (15)	35
三角州・海岸低地 ^{※2}	30 (25)	30
砂州など	41 (35)	40
改変地	18 (15)	45
干拓地	18 (15)	30

※1 PGV=SI / 1.18 と換算 (童・山崎 1996)

※2 三角州・海岸低地は、後背湿地と同じとして扱う。

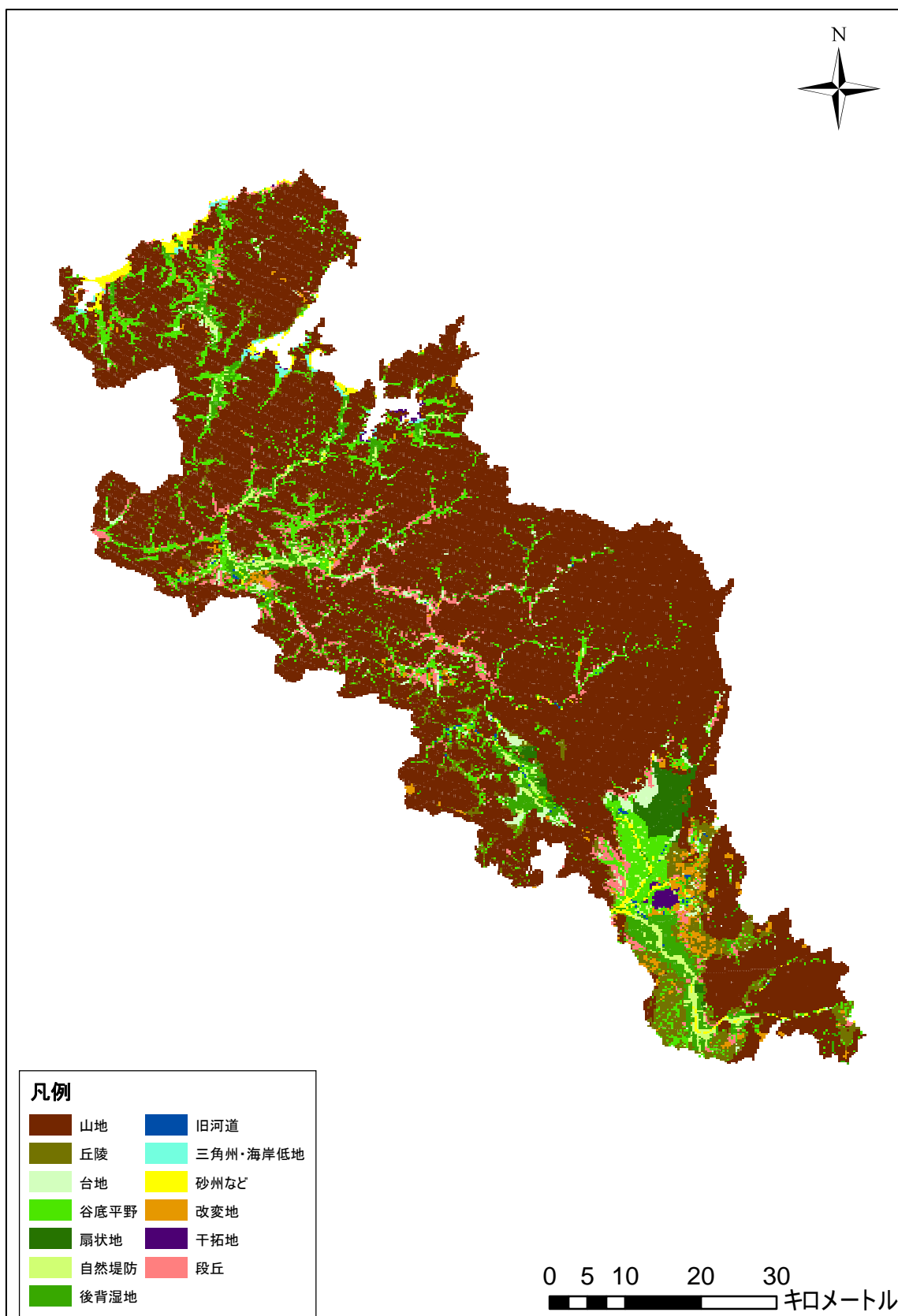


図 1-10 液状化評価用の地形区分（京都府簡易モデル）

3 津波の想定

(1) 津波浸水想定概要

津波浸水想定は、津波断層モデルから計算された上下地殻変動量を踏まえて、津波の初期水位を与え、

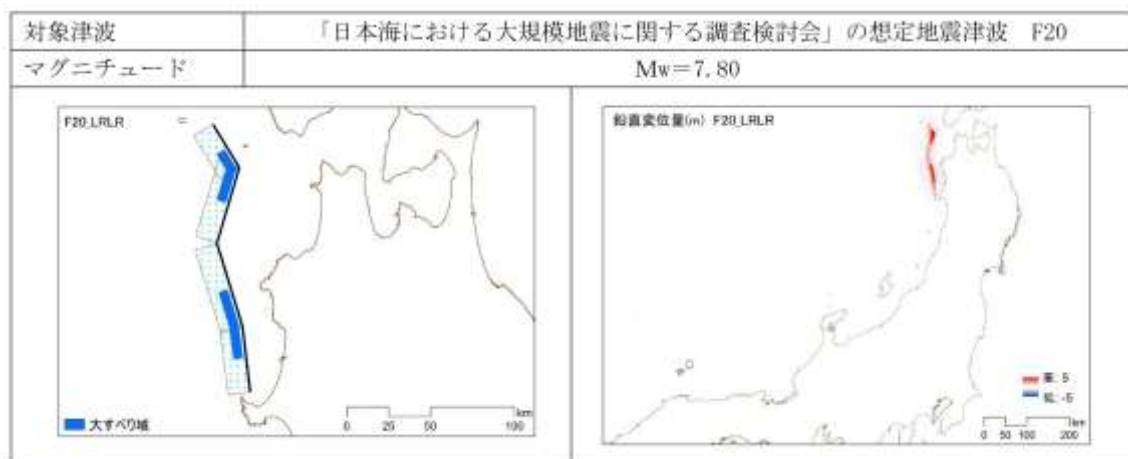
- ・外洋から沿岸への津波の伝播・到達
- ・沿岸から陸上への津波の遡上

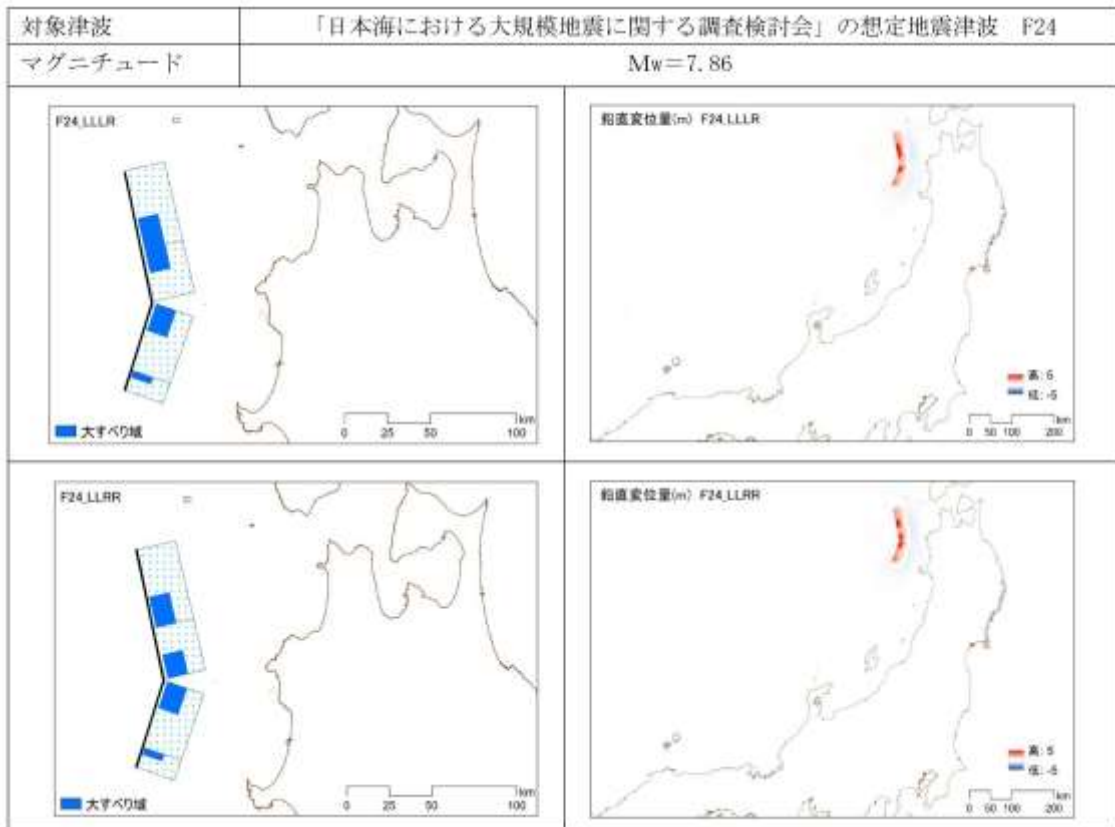
の一連の過程を連続して数値計算するものである。

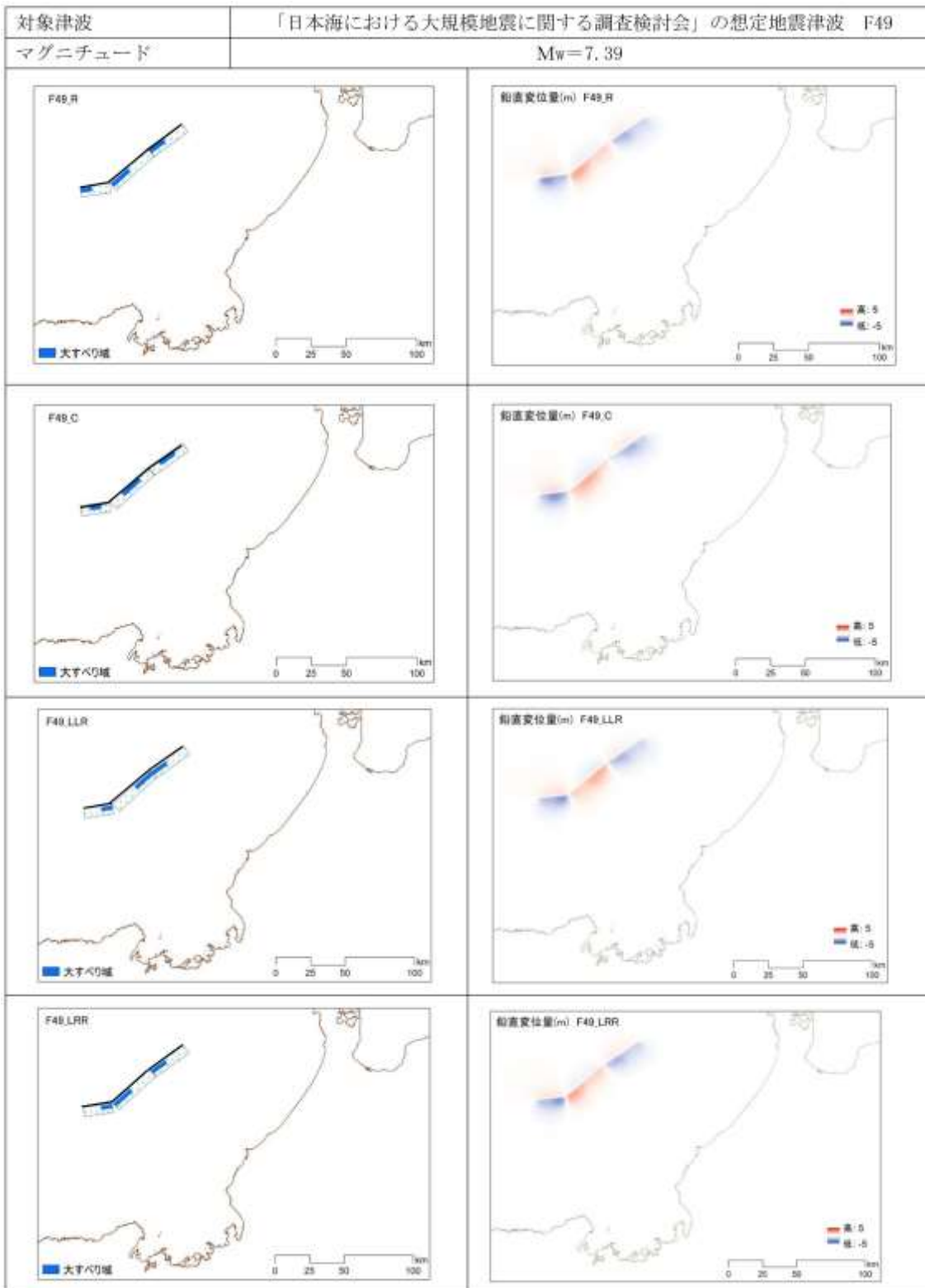
本調査における津波浸水想定は、国土交通省（2012）¹⁰に基づき、海底での摩擦及び移流項を考慮した非線形長波理論（浅水理論）により実施した。

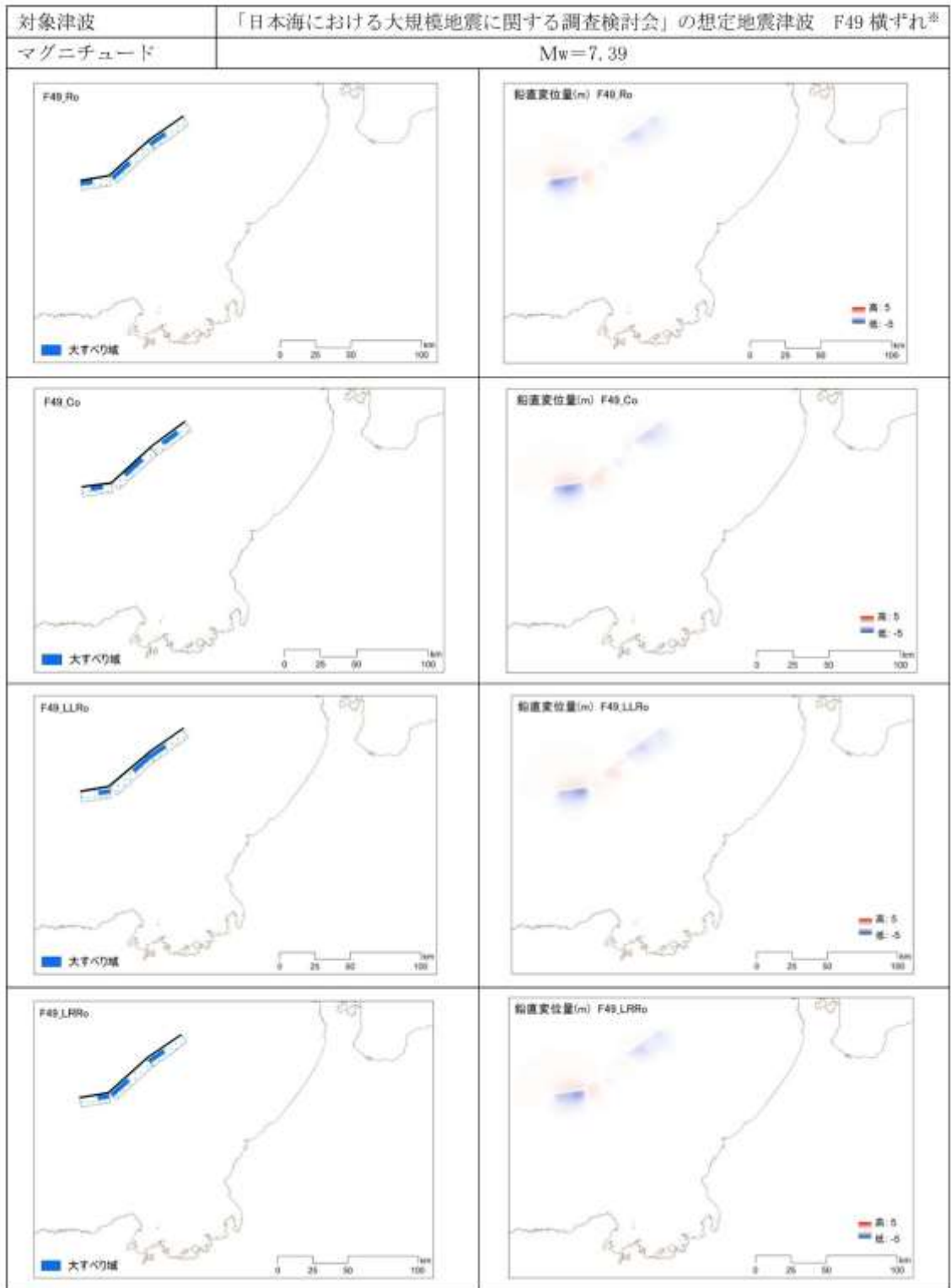
(2) 津波断層モデルの設定

想定する津波断層は、F20、F24、F49、F52、F53、F54、日本海中部地震とし、次の津波断層モデルを設定した。



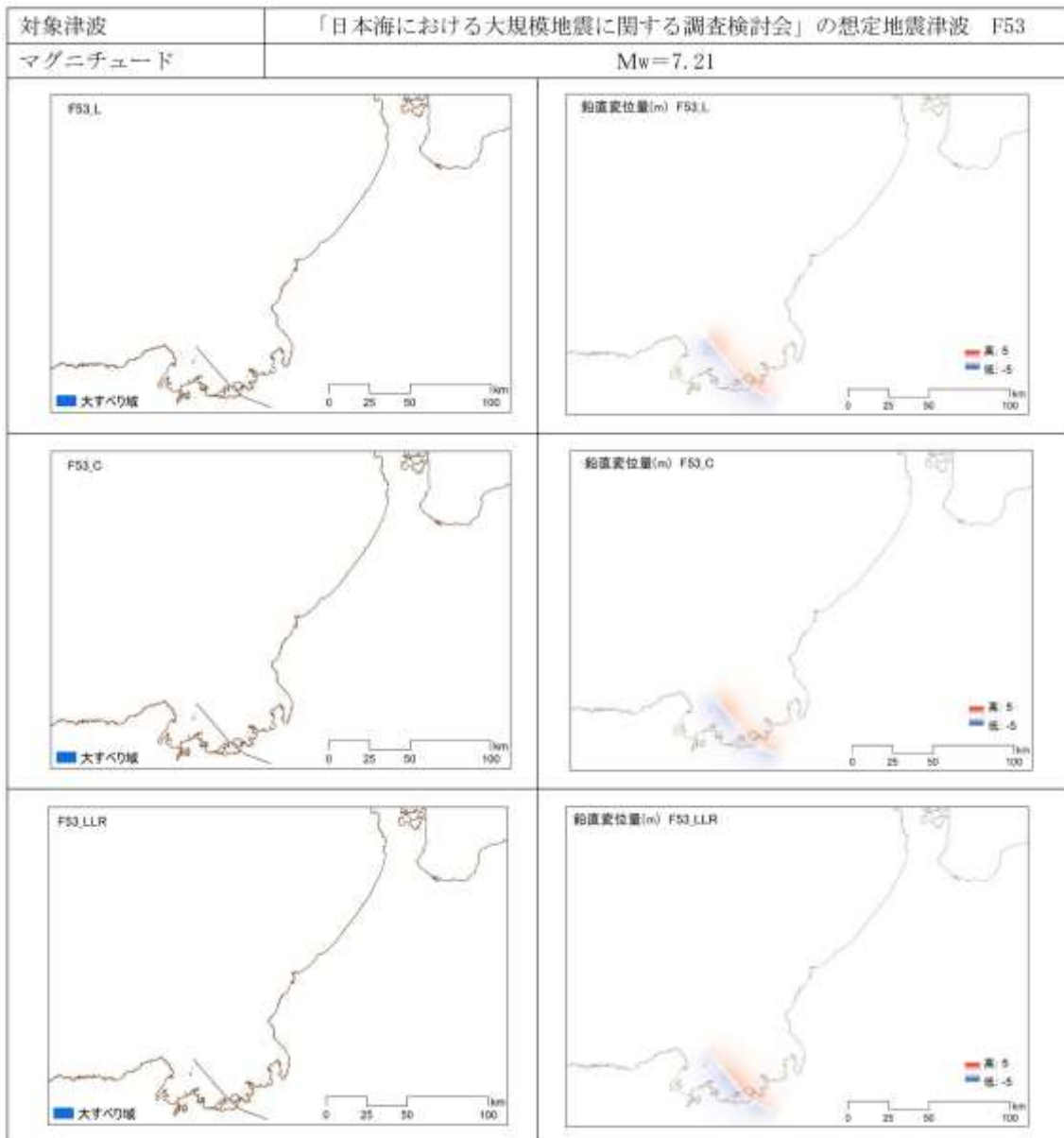


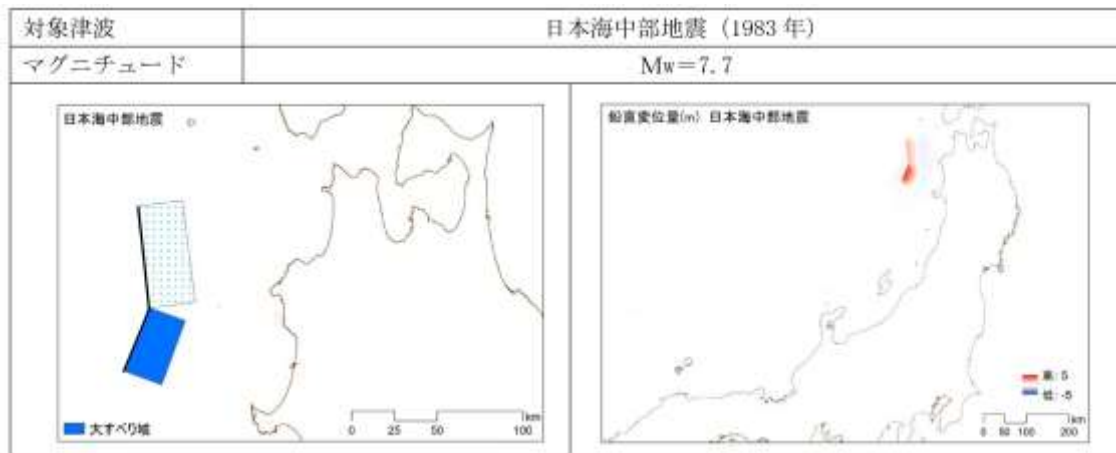
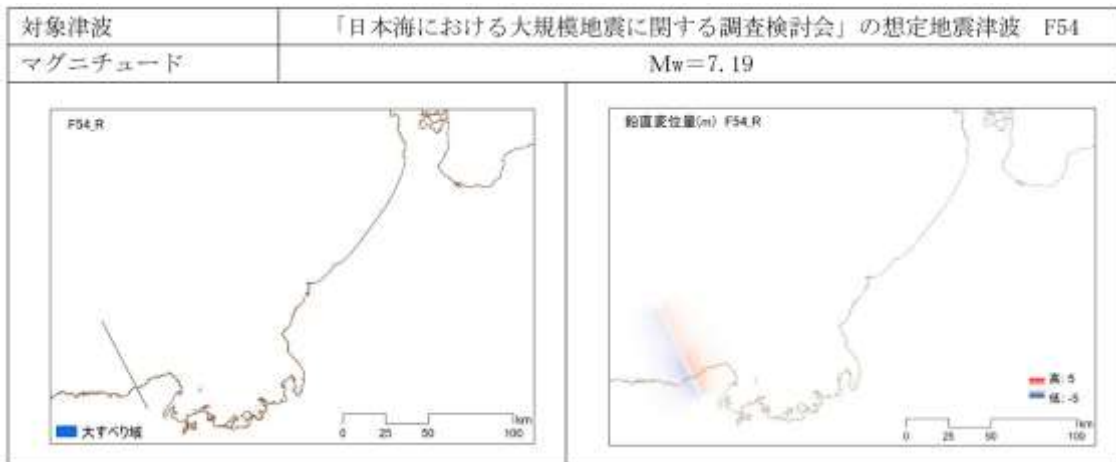




※F49 横ずれ断層は、「日本海における大規模地震に関する調査検討会」において設定された、F49 断層のすべり角が補正される前の断層

対象津波	「日本海における大規模地震に関する調査検討会」の想定地震津波 F52
マグニチュード	Mw=7.34





(3) 津波浸水想定

津波浸水予測計算のフローと基本方程式は以下のとおりである。津波浸水予測計算においては摩擦・移流を考慮した非線形長波理論に基づく計算手法を用いた。

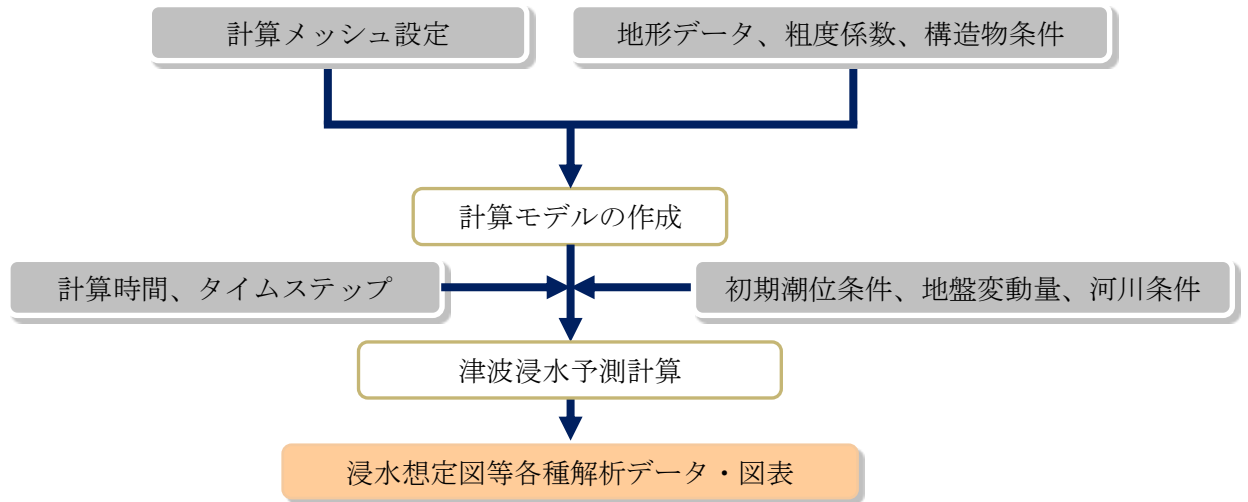


図 1-11 津波予測の計算

ア 基本方程式

鉛直方向の積分流量 M , N を以下の様に定義する。

$$M = u(h + \eta) = uD \quad 1 \text{ 式}$$

$$N = v(h + \eta) = vD \quad 2 \text{ 式}$$

この積分流量 M , N を用い、断層による地盤変動を考慮し、非回転、長波近似、非粘性を考慮すると基本方程式は次式のような方程式として表される。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{\frac{7}{3}}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad 3 \text{ 式}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{\frac{7}{3}}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad 4 \text{ 式}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad 5 \text{ 式}$$

ただし、

u , v : x , y 方向の流速成分

M , N : 海面から海底まで積分した質量輸送の成分

η : 静水面からの水位変化量

D : 水底から水面までの全水深

h : 水底から静水面までの水深

g : 重力加速度 (9.8m/sec²)

n : マニングの粗度係数

である。なお、各変数の定義は図 1-12 のようになる。

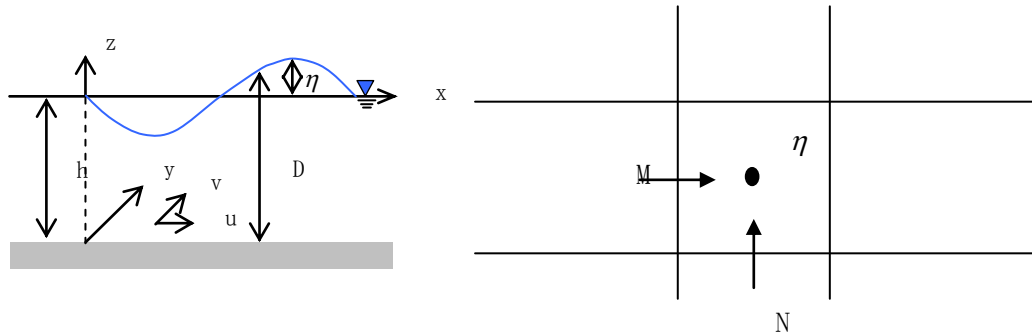


図 1-12 変数の定義と、流量及び水位定義点配置

イ 基本方程式の差分化

上で得られた式を計算機で解くために、海底から海面までの質量輸送を表す運動方程式(3式)、(4式)及び連続の式(5式)を差分化して時間積分を行った。

ウ 計算領域

津波浸水シミュレーションの計算領域は、波源域を含み、屈折、反射、遡上等が精度よく推計できるような領域として、図 1-13 に示す範囲で設定した。

津波の空間波形および地形の状況に応じて、全体では大きく、対象地域に向かって徐々に細くなる計算格子間隔の領域を接続して同時に計算する方法(ネスティング)が用いられる。

このような接続計算では、小領域で発生した短波長成分の一部が大領域に伝播せず再反射してしまう影響を軽減するため、成分格子間隔を 1/3~1/2 程度の割合で小さくするのが一般的である。

エ 潮位

京都府内では、舞鶴海洋気象台において潮汐観測が行われており、年平均朔望平均満潮位を集計した結果を表 1-6 に示す。

朔望平均満潮位とは、朔（新月）および望（満月）の日から前 2 日後 4 日以内に観測された、各月の最高満潮面を 1 年以上にわたって平均した高さの水位である。

表 1-6 舞鶴海洋気象台 年平均朔望平均満潮位

単位：(cm)

年平均朔望平均満潮位	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	5 年平均
観測基準面	183.48	179.92	185.48	185.13	181.48	183.08
T.P. 換算	51.38	47.82	53.38	53.03	49.38	50.98

※ 舞鶴海洋気象台の観測基準面は T.P. 下 -132.1cm

以上により、潮位条件として以下の値を用いることとした。

初期潮位：T.P. + 0.51m

オ 境界条件

津波の挙動を適切に表現できるように境界条件を設定した。

表 1-7 境界条件

項目	内容
沖側境界条件	津波が境界上で反射せず透過する自由透過境界を設定する
遡上境界条件	津波先端部での計算打ち切り水深については、1cm 程度を目安とする
越流境界条件	水位が防波堤・堤防等の天端高を越える場合は、本間式を用いて越流量を計算する

カ 構図物

1) 計測震度 4 以上の場合

耐震性の調査を実施している構造物は府内にはなかったため、すべて耐震性の調査を実施していない構造物として、コンクリート構造物は地震と同時に破壊することとし、盛土構造物は地震と同時に 75%沈下することとした。

2) 計測震度 4 未満の場合

地震動による構造物の破壊及び沈下は考慮しないこととした。

3) 津波による破壊

構造物については、津波が越流し始めた時点で破壊するものとした。

4) 構造物が破壊しない場合の検討

10m の計算領域ごとの最大の浸水が想定されるケースにおいて、構造物が破壊しない場合に破壊する場合よりも上流で浸水が拡大するかどうか検討を行った。

キ 地震による地盤変動

陸域の沈降量、海域の隆起量及び沈降量を考慮し、陸域の隆起量は考慮しないこととした。

ク 計算時間及び計算時間間隔

計算時間は、6 時間を基本とするが、東北沖の断層の場合は最高津波水位の到達する時間を考慮し、12 時間計算することとした。

計算時間間隔は、計算の安定性を考慮して 0.1 秒とした。

4 急傾斜地崩壊の想定

急傾斜地崩壊の想定は、「京都府地震被害想定調査（平成 19 年 3 月）」において作成された急傾斜地崩壊危険箇所の斜面危険度ランクをもとに、当該危険箇所が立地するメッシュの震度の関係による判定した。

なお、「京都府地震被害想定調査（平成 19 年 3 月）」における急傾斜地崩壊危険箇所の斜面危険度ランクの作成は、急傾斜地危険箇所調査表をもとに、「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－本編」に示される地震時の斜面危険度判定表に従って、一部の急傾斜地崩壊危険箇所を抽出して現況調査により斜面危険度ランクを判定し、その判定結果と既存の急傾斜地危険箇所調査表との違いを比較し、現地調査を実施していない急傾斜地危険箇所については、その結果をフィードバックすることで、評価精度を向上させる方法を採用している。

- 地震危険度 A 崩壊の危険性が高い
- 地震危険度 B 崩壊の危険性がやや高い
- 地震危険度 C 崩壊の危険性が低い

表 1-8 現地調査による崩壊危険度と地震による崩壊危険度との関係

斜面危険度 ランク	震度階級				
	～ 4	5 弱	5 強	6 弱	6 強～
危険度 a	C	B	A	A	A
危険度 b	C	C	B	A	A
危険度 c	C	C	C	B	B

第2章 建物被害の想定

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。

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。ここでは、複数の要因の重複を避けるため、

液状化 ⇒ 揺れ ⇒ 土砂災害 ⇒ 津波 ⇒ 火災焼失

の順で被害を算定し、重複を除去する。

例えば、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き、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。

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、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。

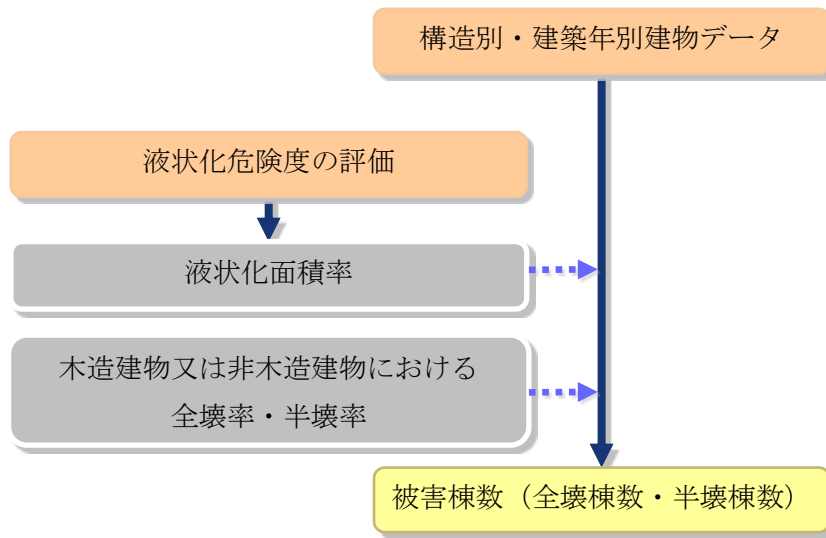


図 2-1 液状化による被害棟数の計算

- ア 各 250m メッシュの液状化危険度を評価する。
- イ 表 2-1 により液状化危険度に対応する液状化面積率を求める。
- ウ 表 2-2 によりメッシュに分布する建物数に液状化面積率及び全壊率・半壊率を乗じて被害棟数を求める。
- エ 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×
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×
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×
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×
非木造建物における半壊率

表 2-1 液状化面積率¹¹

液状化危険度	液状化面積率
高い	18%
やや高い	5%
低い	2%

表 2-2 液状化による全壊率及び半壊率¹¹

構造	年代等	全壊率	半壊率
木造	1960年以前	13.3%	12.9%
	1961年以降	9.6%	18.0%
非木造	杭なし	23.2%	30.0%
	杭あり	0.0%	0.0%

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。

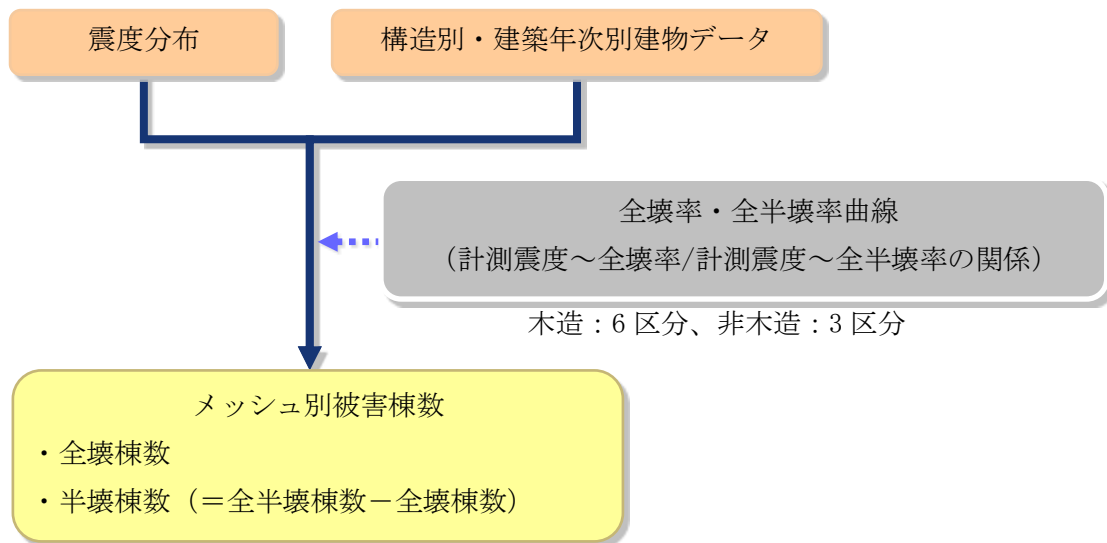


図 2-2 揺れによる建物被害の計算

ア 震度を 250m メッシュごとに算定する。

イ 全壊率曲線、全半壊率曲線は内閣府（2012）12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。

ウ 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

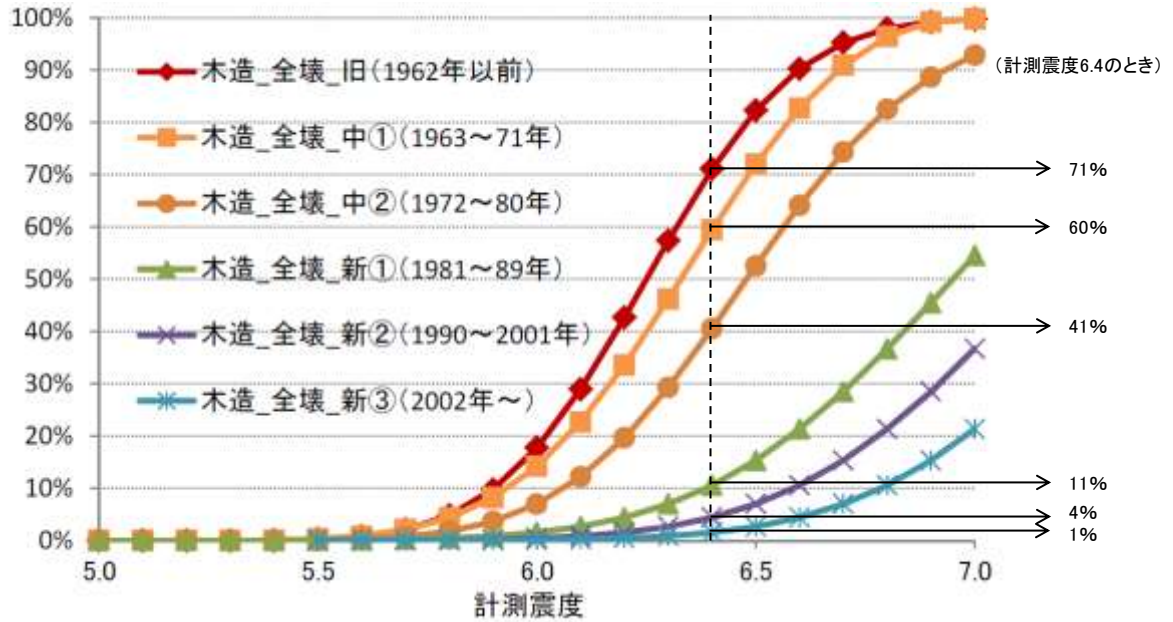


図 2-3 全壊率曲線 (木造) ¹²

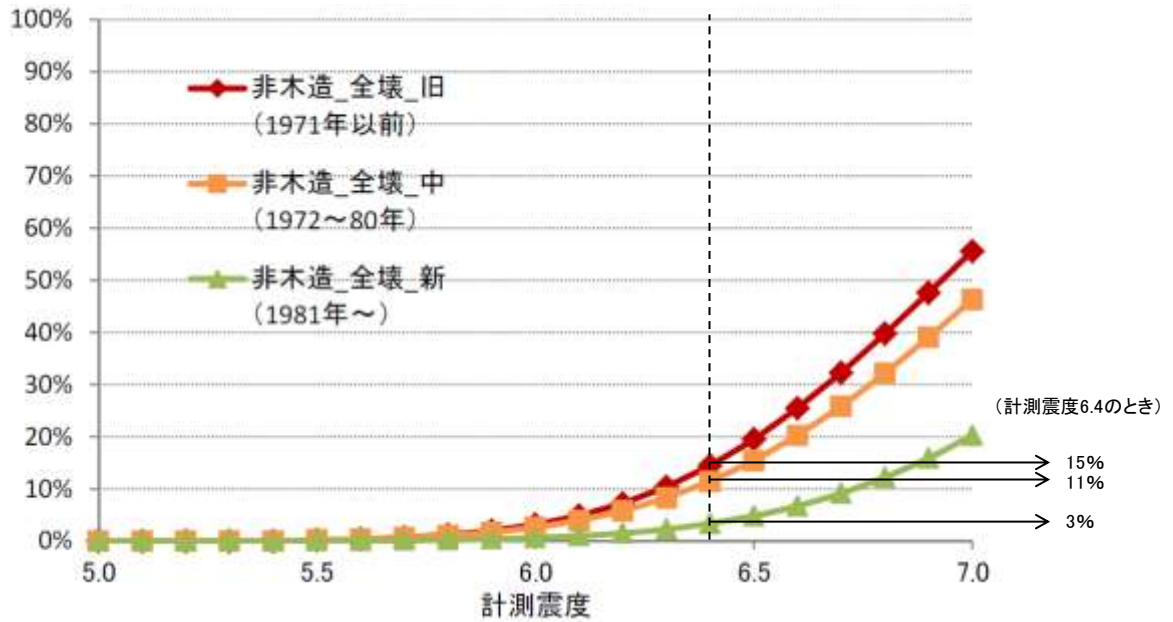


図 2-4 全壊率曲線 (非木造) ¹²

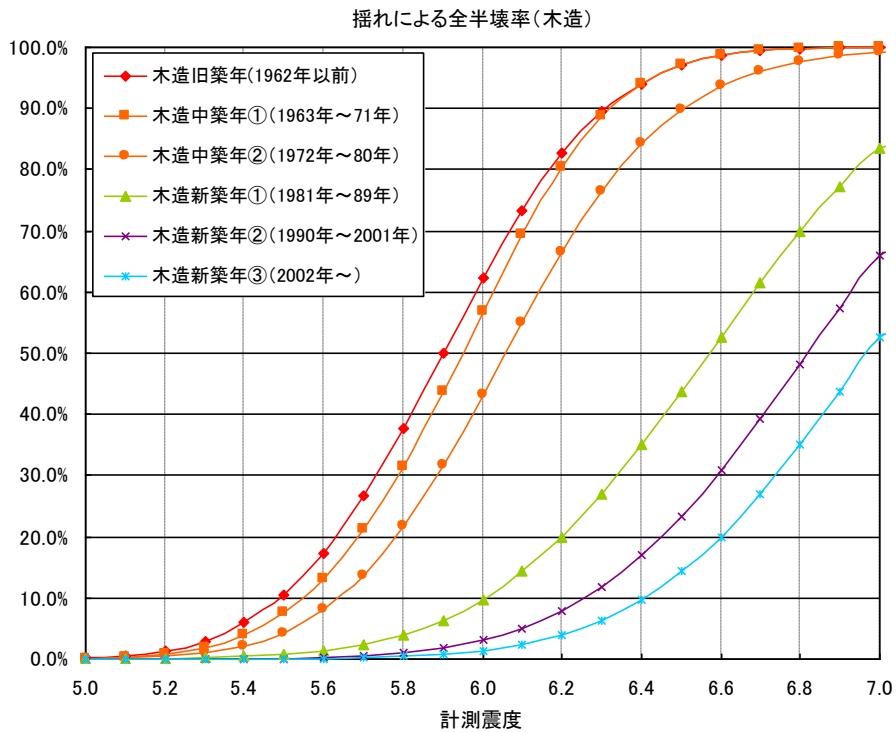


図 2-5 全半壊率曲線 (木造) ¹²

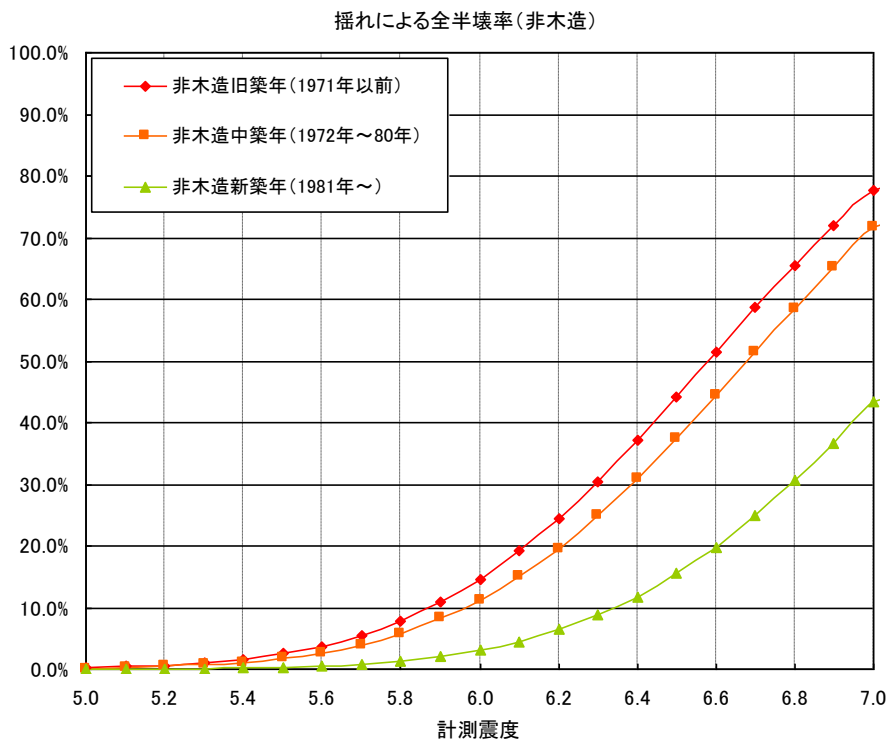


図 2-6 全半壊率曲線 (木造) ¹²

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。

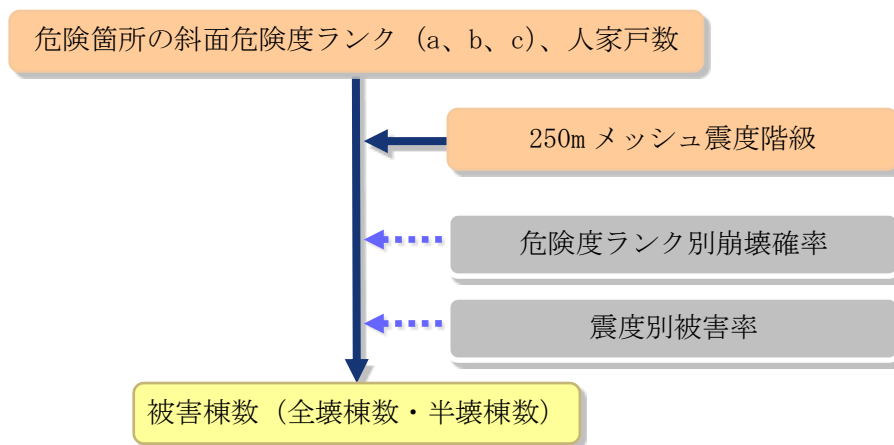


図 2-7 土砂災害による被害棟数の計算

- ア 斜面危険度ランクとメッシュ震度から地震危険度ランクを判定する。
- イ 地震危険度ランク別の崩壊確率は、近年発生した直下型地震の事例（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）¹²を参考として、表 2-3 を用いる（ランク B、C の崩壊確率はゼロ）。

表 2-3 危険度に対する崩壊確率¹²

ランク	崩壊確率
A	10%
B	0%
C	0%

- ウ 震度別被害率について、全壊率は中央防災会議（2006）¹³、半壊率は静岡県（2001）¹⁴を参考として表 2-4 表 2-5 震度別被害率の被害率を用いる。

表 2-4 表 2-5 震度別被害率^{13,14}

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%

エ 被害棟数は内閣府（2012）¹²を参考として、次の式により算定する。

全壊棟数＝危険箇所内人家戸数×崩壊確率×全壊率

半壊棟数＝危険箇所内人家戸数×崩壊確率×半壊率

4 津波による建物被害の算定手法

津波による建物被害は、浸水深別・建物構造別被害率を設定して算定する手法により、10m メッシュごとに全壊棟数、半壊棟数を算定し、250m メッシュ単位に集計する。

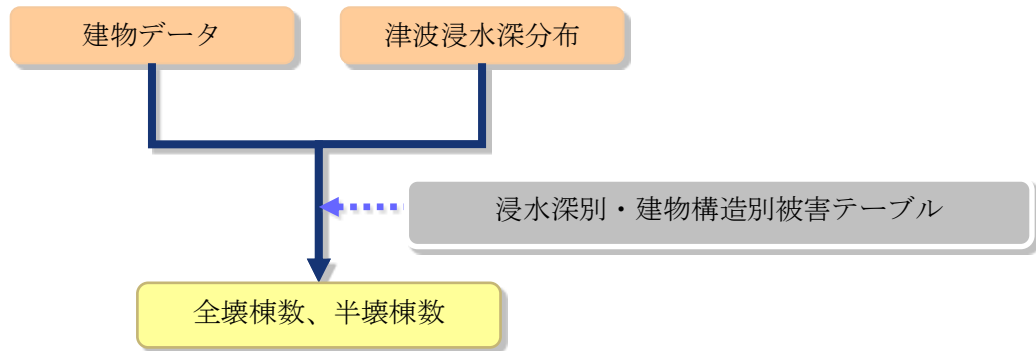


図 2-8 津波による被害棟数の計算

ア 建物棟数データと津波浸水深データから、250m メッシュごとの建物分布、10 メッシュごとの浸水深の分布を整理する。

イ 浸水深別・建物構造別の被害率を乗じ、全壊棟数、半壊棟数を算定する。

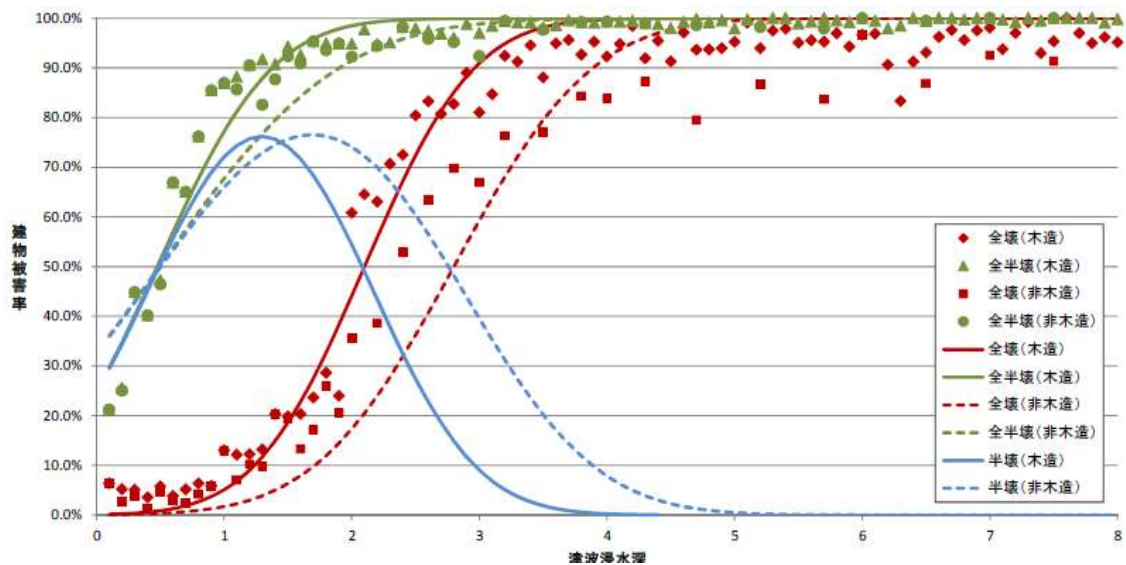


図 2-9 津波浸水深ごとの建物被害率¹²

5 地震火災による建物被害の算定手法

(1) 風速の設定

想定シーンは、防災上の観点から、特徴的な次の4つを設定する。

このシーンには冬、夏、秋の3季があり、さらに季毎に風速を2つ設定する。

表 2-6 想定シーン

シーン設定	想定される被害の特徴等
冬・早朝 5 時	多くの人が自宅で就寝中 家屋倒壊による圧死者が発生する危険性が高い
夏・昼 12 時	市街地での人の活動が多い時間帯 海水浴客の被害が想定される
秋・昼 12 時	市街地での人の活動が多い時間帯 日中において地震による出火が平均的な条件
冬・夕 18 時	通勤、通学の帰宅時間帯 地震による出火が最も多くなる条件

風速、風向は、被害想定が津波と合わせた被害想定であるため、京都府北部に焦点を当てることとし、風速は、京都府内の日本海沿岸の観測点である間人、宮津、舞鶴の平均及び最大風速をとり、風向は3点の最多風向とし、表 2-7 のとおり設定する。

表 2-7 平均及び最大風速と最多風向

平均的風速	最大風速	風向
3m/s	14m/s	西北西

表 2-8 観測点の最大風速

観測点	間人	宮津	舞鶴
最大風速	11.2m/s	6.7 m/s	13.5 m/s
観測月日	2月7日	2月14日	2月6日

観測期間は2015年12月1日～2016年11月30日

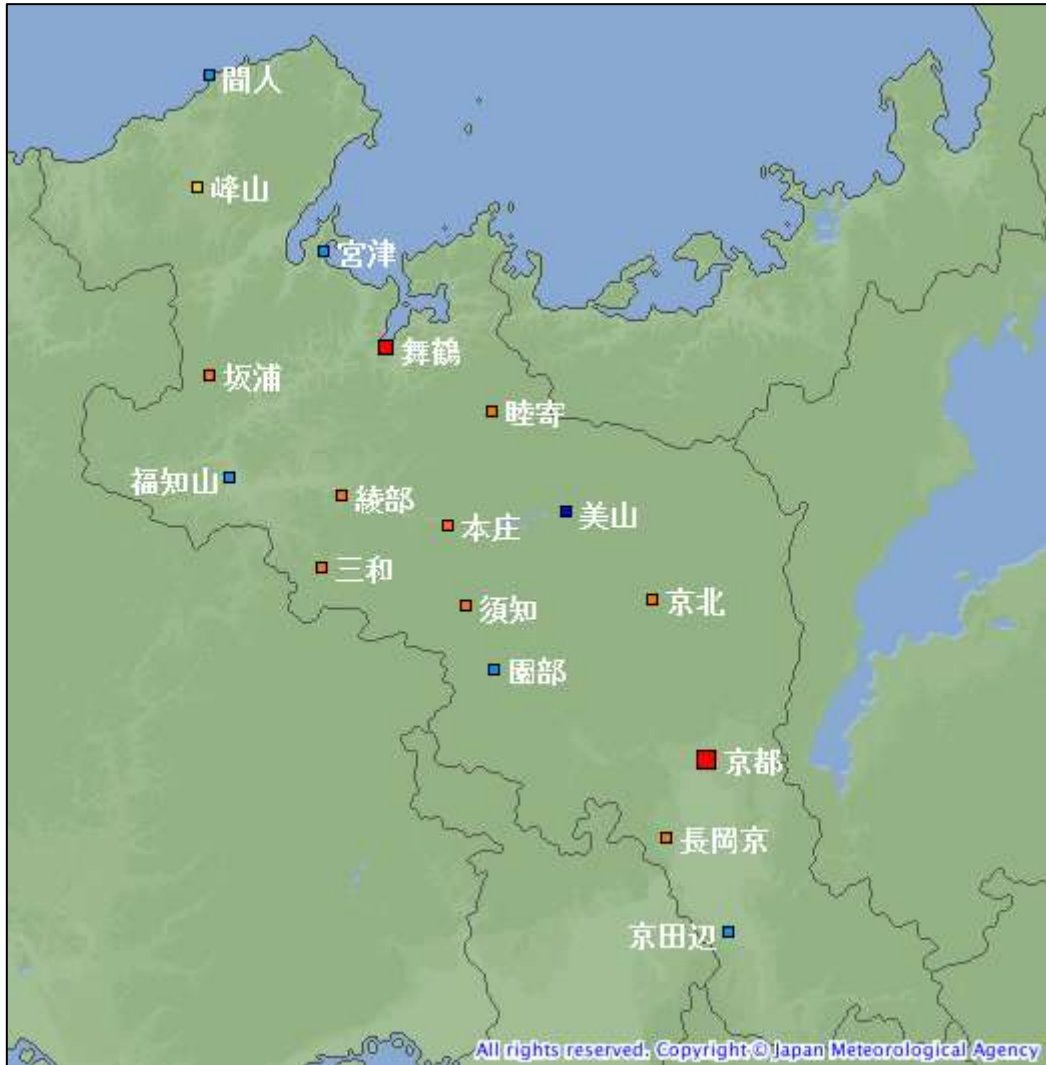


図 2-10 京都府の気象庁観測点 (出典：気象庁HP)

(2) 地震火災による建物被害の算定手法

ア 出火件数の算定方法

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。

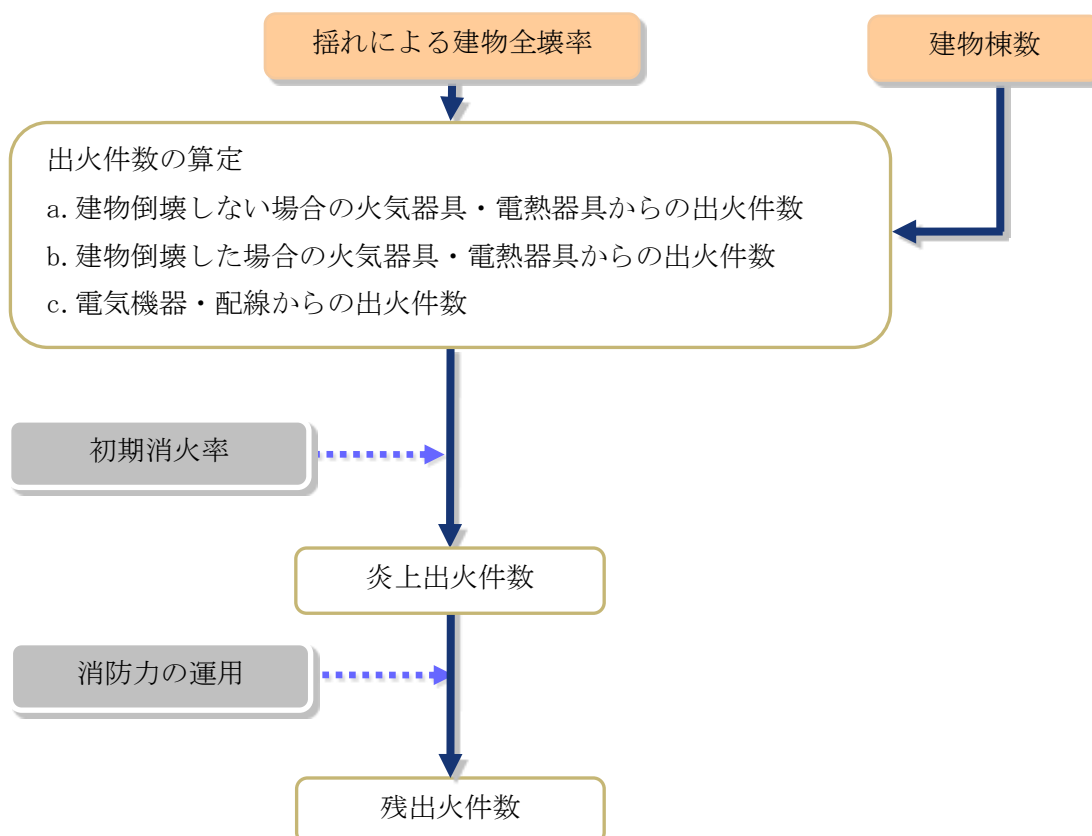


図 2-11 地震火災による残出火件数の計算

- 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) ¹² 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）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 2-9 震度別用途別出火率（季節時間帯別）¹²

冬 5 時

	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・秋 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）¹²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（5時）、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5時）、0.0629%（夏12時・秋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）¹²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）¹²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）¹²では平成23年「東京都消防庁出火危険度測定」をもとに表2-10のように設定しており、この値を採用する。

表 2-10 震度別初期消火成功率¹²

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) 消防力の運用

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する。

消防ポンプ自動車、小型動力ポンプ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する。

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

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

消火可能件数の補正係数 α は、平均風速時0.3、強風時0.2の設定とする。

炎上出火が発生し、消防力により消火が成功する場合においても、消火活動が開始されるまでの間に焼失が生じるものとし、1消火件数あたり5棟が焼失するものとする。

イ 延焼による建物被害の算定手法

延焼による建物被害（焼失棟数）は、残出火点からの中央防災会議（2013）¹²を参考に、延焼シミュレーションにより算定する。

隣接メッシュの延焼は、各メッシュの延焼速度と出火点から当該メッシュまでの距離から到達時刻として求めた。延焼が到達したメッシュは、新たな出火点として扱い、さらに隣接メッシュへ延焼するものとし、焼け止まりまたは24時間経過するまで計算をおこなう。ここで、延焼速度式は、東消式2001のマクロ式とする。

なお、延焼シミュレーションは、出火点を、出火率の高さに応じて乱数により配置し、100回繰り返して当該メッシュが焼失すると判定された割合をもって、メッシュの焼失率とすることで、出火点の配置による偏りを均している。

得られた焼失率を低層建物数に掛け合わせることで焼失棟数を算定する。

$$\text{焼失棟数} = \text{低層建物数（木造建物} + 1, 2 \text{階建の非木造建物）} \times \text{焼失率}$$

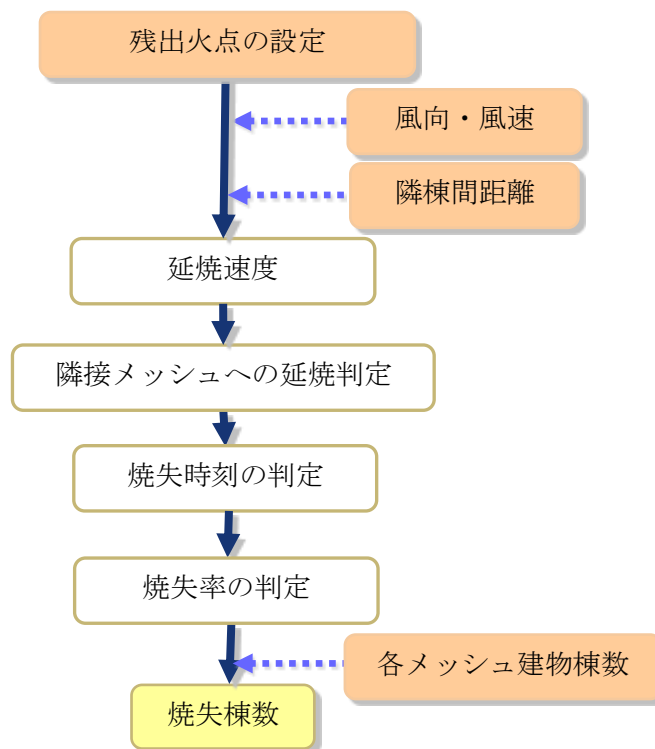


図 2-12 地震火災による焼失棟数の計算

6 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する。

ア ブロック塀等の転倒数

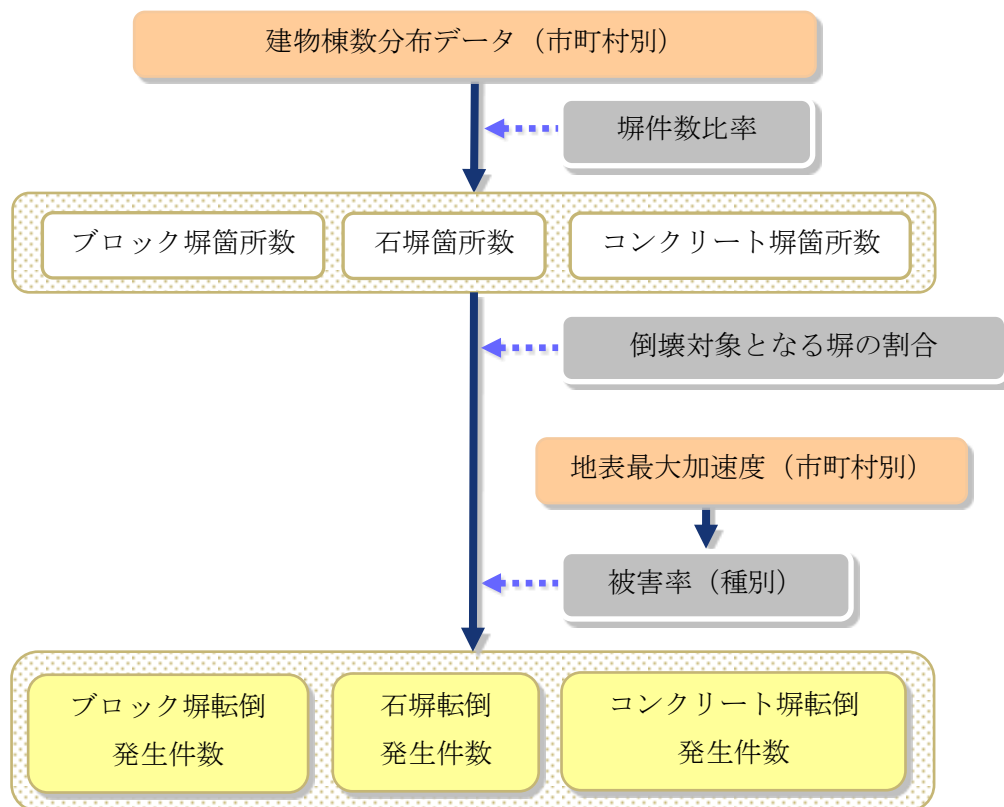


図 2-13 ブロック塀等の転倒発生件数の計算¹²

1) ブロック塀の分布については、愛知県（2005）による木造住宅棟数との関係を用いて推定する。

表 2-11 塀件数比率¹²

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）¹⁵の手法により算定する。
- ・東京都（1997）¹⁵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）¹⁵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 2-12 倒壊対象となる塀の割合¹⁵

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）¹⁵によ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

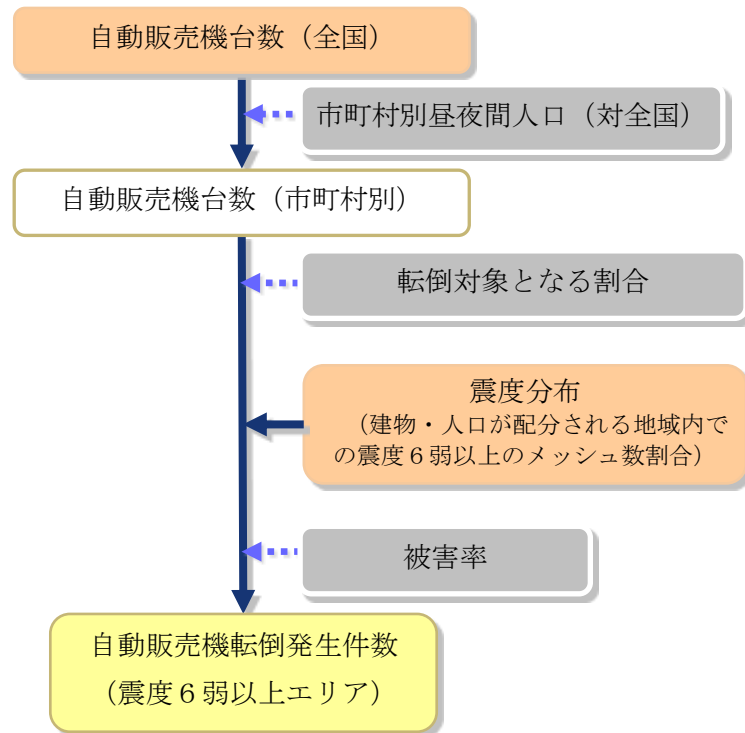


図 2-14 自動販売機の転倒数の計算¹²

1) 自動販売機台数(市町村別)の算定

市町村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、5,001,700台である。(2015年末時点、日本自動販売機工業会調べ)

(市町村別の自動販売機台数)

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

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)¹⁶と転倒防止措置未対応率(約1割)¹⁷から設定する。

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。

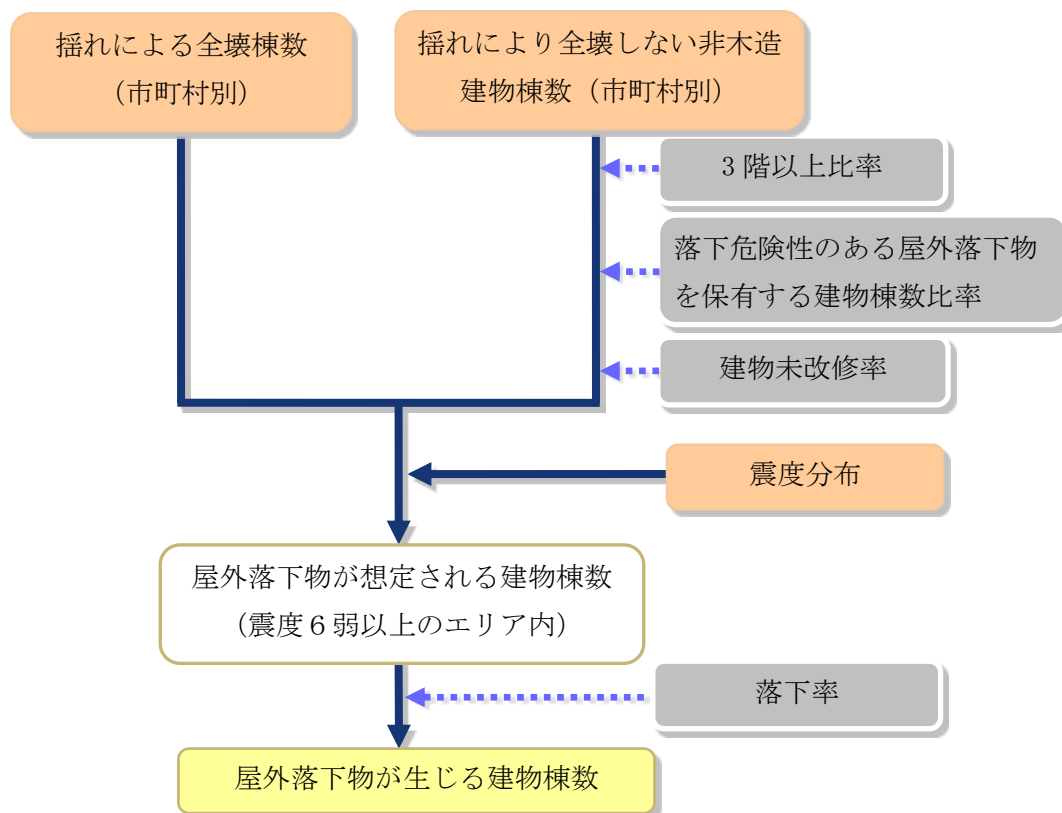


図 2-15 屋外落下物が生じる建物棟数の計算¹²

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）¹⁵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 2-13 落下危険性のある屋外落下物を保有する建物棟数比率¹⁵

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）¹⁵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）¹⁵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 人的被害の想定

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。

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早朝 5 時、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、内閣府（2012）¹²を参考として次のように設定する。

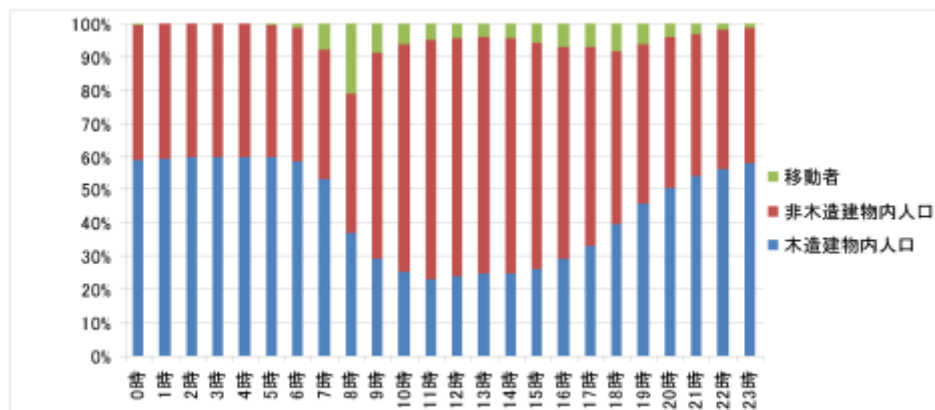


図 3-1 時間帯別の滞留者・移動者比率（全国）¹²

（パーソントリップ調査、国勢調査、住宅・土地統計調査から内閣府が推定）

（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＝

$$\text{住宅滞留人口} \times \left\{ \frac{\text{木造住家棟数}}{\text{木造住家棟数} + \text{非木造住家棟数}} \right\}$$

非木造住宅滞留人口＝

$$\text{住宅滞留人口} \times \left\{ \frac{\text{非木造住家棟数}}{\text{木造住家棟数} + \text{非木造住家棟数}} \right\}$$

(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。

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

(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。

$$\begin{aligned} \text{木造建物内滞留人口} &= \text{木造住宅滞留人口} + \text{木造非住宅滞留人口} \\ \text{非木造建物内滞留人口} &= \text{非木造住宅滞留人口} + \text{非木造非住宅滞留人口} \end{aligned}$$

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）¹²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。

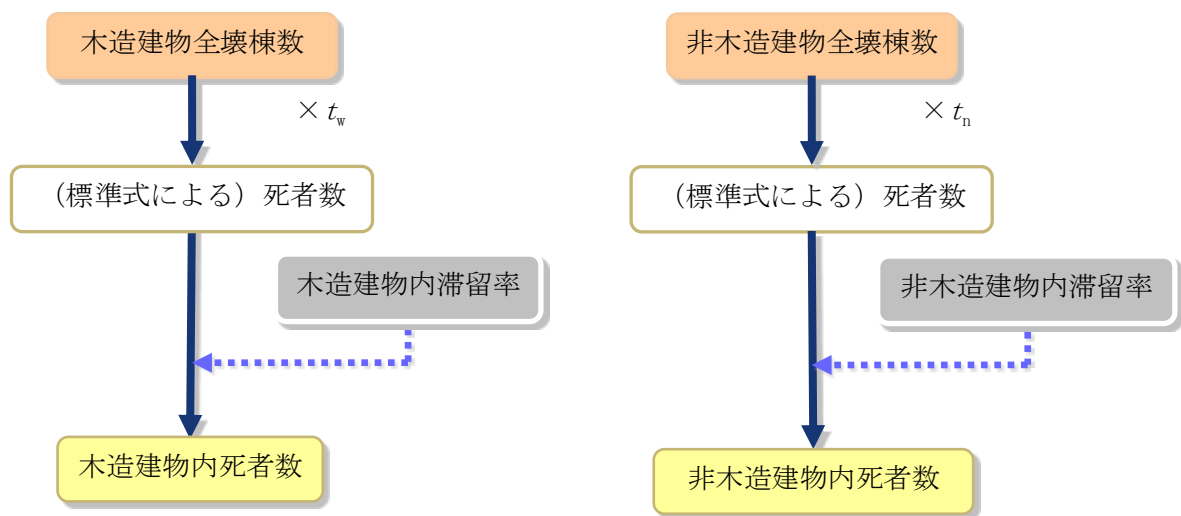


図 3-2 死者数の計算¹²

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。

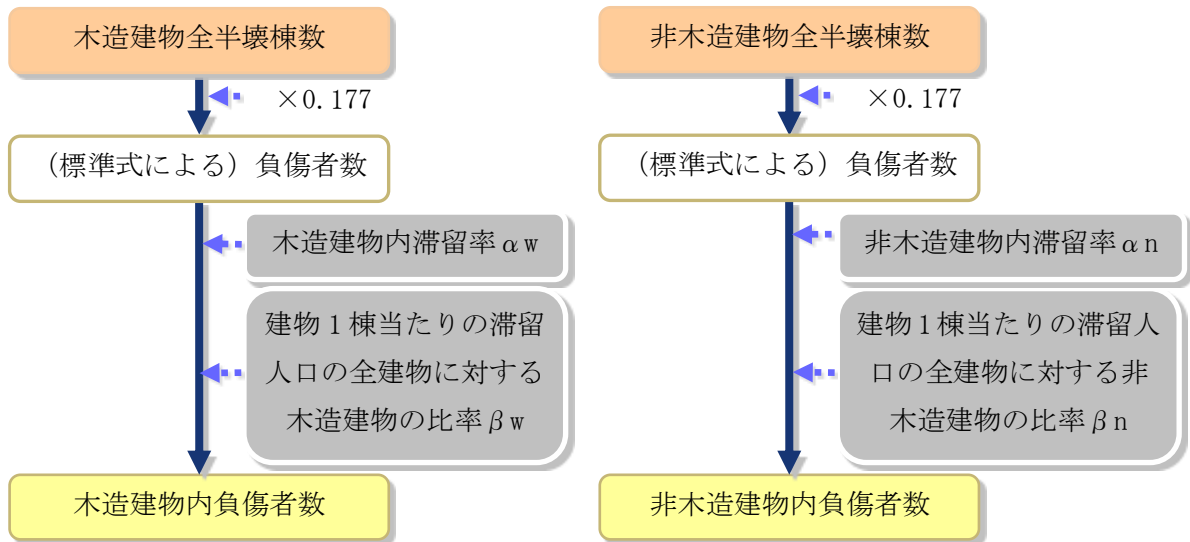


図 3-3 建物倒壊による負傷者数（重傷者数と軽傷者数）の計算¹²

算定に用いる式は、次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{(木造建物における負傷者数)} &= \\ &0.177^{*1} \times (\text{揺れによる木造全半壊棟数}) \times \alpha_w \times \beta_w \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(非木造建物における負傷者数)} &= \\ &0.177^{*1} \times (\text{揺れによる非木造全半壊棟数}) \times \alpha_n \times \beta_n \end{aligned}$$

※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))

$$= (\text{発生時刻の木造建物1棟当たりの滞留人口})$$

$$\beta_n \text{ (建物 1 棟当たり滞留人口の全建物に対する非木造建物の比率 (時間帯別))} \\ = \frac{\text{(発生時刻の非木造建物 1 棟当たりの滞留人口)}}{\text{(発生時刻の全建物 1 棟当たりの滞留人口)}}$$

(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。

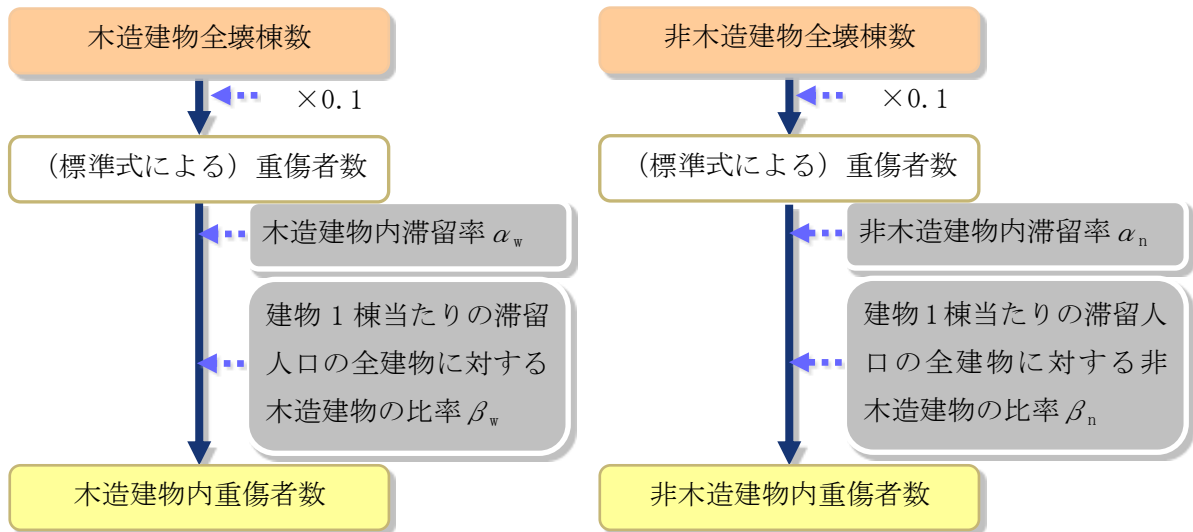


図 3-4 建物倒壊による重傷者数の計算¹²

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）¹⁵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）¹²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 × 土砂災害による死者数

（土砂災害による重傷者数） = （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）¹²に基づいて次の式のとおりとする。

（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 津波による人的被害

津波による人的被害は、津波浸水域（浸水深 30cm 以上の地域）における滞留人口と津波浸水時間の関係をもとに津波避難シミュレーションを行い、死者数、負傷者数、重傷者数を算出する。

このとき、津波浸水域における死者、負傷者は、次のア～カがいると考え、建物倒壊によるアを除く、イ～カを津波による人的被害として算定する。

- ア 建物倒壊死者数（揺れによる建物被害によるもの）
- イ 自力脱出困難者数（建物倒壊生存者のうち避難行動を取れないもの）
- ウ 早期津波死者数（津波到達時間が 5 分未満（5 時のときは 10 分未満）かつ津波浸水深 30cm 以上の地域のため避難行動を取れないもの）
- エ 早期津波負傷者数（津波到達時間が 5 分未満（5 時のときは 10 分未満）かつ津波浸水深 30cm 以上の地域のため避難行動を取れないもの）
- オ 津波死者数（津波到達時間が 5 分以上（5 時のときは 10 分以上）かつ津波浸水深 30cm 以上の地域のため避難行動の選択をとるもの）
- カ 津波負傷者数（津波到達時間が 5 分以上（5 時のときは 10 分以上）かつ津波浸水深 30cm 以上の地域のため避難行動の選択をとるもの）

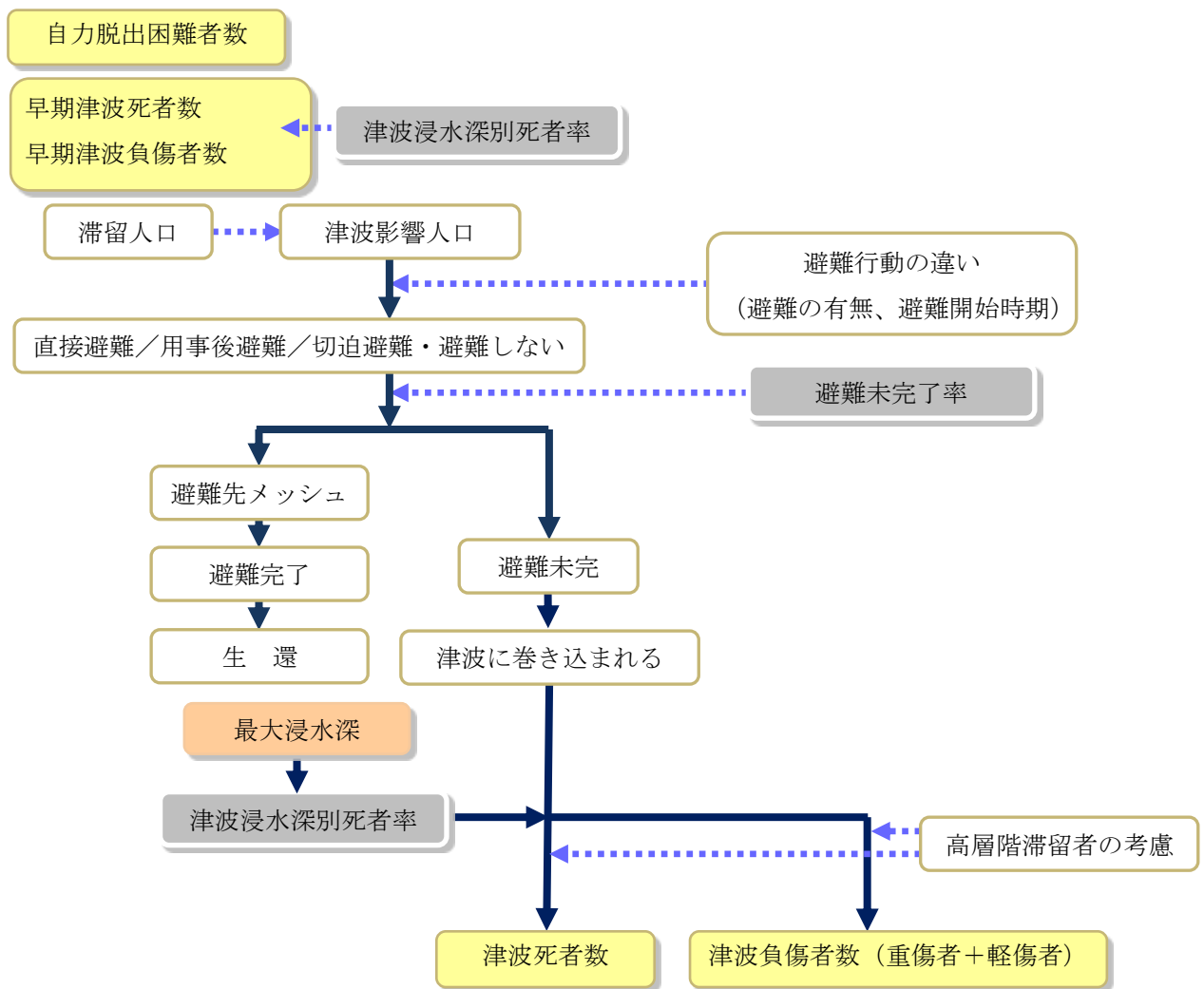


図 3-5 津波死者数・負傷者数の計算¹²

(1) 避難行動の違い（避難の有無、避難開始時期）

東日本大震災の被災地域での調査結果（「津波避難等に関する調査結果」（内閣府・消防庁・気象庁））および過去の津波地震（北海道南西沖地震、日本海中部地震）の避難の状況を踏まえ、次表のうち、早期避難者比率が低い場合の避難パターンで想定を行う（直接避難者 20%、用事後避難者 50%、切迫避難者 30%）。

表 3-1 避難の有無、避難開始時期の設定¹²

	避難行動別の比率		
	避難する		③切迫避難あるいは避難しない
	①すぐに避難する (直接避難)	②避難するがすぐには避難しない (用事後避難)	
避難開始時間 (12時・18時)	発災 5 分後	発災 15 分後	津波到達後避難開始
避難開始時間 (5時)	発災 10 分後	発災 20 分後	津波到達後避難開始
全員が発災後すぐに避難を開始した場合	100%	0%	0%
早期避難者比率が高く、さらに津波情報の伝達や避難の呼びかけが効果的に行われた場合	70% ^(※1)	30% ^(※2)	0% ^(※3)
早期避難者比率が高い場合	70% ^(※1)	20% ^(※2)	10% ^(※4)
早期避難者比率が低い場合	20% ^(※5)	50% ^(※2)	30% ^(※6)

※1 すぐに避難した人の割合が最も高い市で約 67%であった。また、従来の被害想定では北海道南西沖地震の事例から意識の高いケースとして 70%としている。これらを踏まえて、従来想定どおりの 70%と設定。

※2 全体から「すぐに避難する」＋「切迫避難あるいは避難しない」の割合を引いた数値として設定。

※3 津波情報や避難の呼びかけを見聞きしている中でそれをもって避難のきっかけとなった場合、切迫避難の割合が一番低い市で 0%である。また、従来の被害想定では意識が高い場合に 2%としている。これらを踏まえ 0%と設定。

※4 従来の被害想定では意識が高い場合に避難しない人の割合を 2%としているが、東日本大震災では意識の高い地域でも 6.5%の人が避難しなかった（死者含む）ことを踏まえて設定。

※5 すぐに避難した人の割合が最も低い市で約 35%であった。また、従来の被害想定では日本海中部地震の事例から意識の低いケースとして 20%としている。この市は避難意識の高い地域と考えられるが、それでも予想を超えて津波浸水の被害を受けた地区が多いこと等もあり、早期避難率は低い。他の地域は相対的により意識の低い地域が多いと考えられる。これらを踏まえて、従来想定どおりの 20%と設定。

※6 切迫避難（死者含む）の割合が高い市で約 25%～27%であった。また、従来の被害想定では意識が低い場合に 32%としている。これらを踏まえて 30%と設定。

(2) 避難未完了率

発災時の所在地から安全な場所まで避難完了できない人の割合（避難未完了率）については次の考え方で算出する。

ア 避難判定方法

避難判定を次の条件で判定する。

1) 要避難メッシュの特定

最大津波浸水深が 30cm 以上となる要避難メッシュを特定する。

2) 避難先メッシュの設定

各要避難メッシュ（避難元メッシュ）から最短距離にあり、かつ避難元メッシュよりも津波浸水深 1cm 到達時間が長い、津波浸水深 30cm 未満の避難先メッシュを特定する。

3) 避難距離の算出

要避難メッシュと避難先メッシュの中心間の直線距離の 1.5 倍を避難距離とする（東日本大震災の実績）。

※ 国土交通省（2012）18によると、避難距離は直線距離の 1.5 倍。

4) 避難完了所要時間の算出

各要避難メッシュについて、避難距離を避難速度（東日本大震災の実績）から平均時速 2.65km/h（夜間の場合は昼間の 80%の 2.12km/h）で割って避難完了所要時間を算出する。

なお、避難開始時間は、昼間発災の場合には、直接避難者で発災 5 分後、用事後避難者で 15 分後、夜間発災の場合には、直接避難者で発災 10 分後、用事後避難者で 20 分後とし、切迫避難者は当該メッシュに津波が到達してから避難するものとする。

また、夜間発災の場合は、避難速度が低下するものとする。

※ 国土交通省(2012)¹⁸によると、東日本大震災の沿岸被災地における徒歩での避難速度は 2.65 km/h であり、これまでの目安(3.60 km/h)よりも低い値となっている。一方、夜間に発生した 1993 年北海道南西沖地震(22 時 22 分発生)では、平均的な避難速度は 51.3m/min(3.08 km/h) (東京都立大学都市研究センター¹⁹)であり、東日本大震災のほうが避難速度は遅い。ただし、東日本大震災を含め過去の地震災害における犠牲者は 60 歳以上の高齢者の占める割合が高く、60 歳以上に限定した分析をしたところ、東日本大震災の 2.59 km/h(ただし、津波到達前に避難を開始した人で、一人で徒歩避難した人)に対して、北海道南西沖地震では 2.09 km/h であった。ここでは、夜間の場合には、避難開始は昼間に比べてさらに 5 分準備に時間がかかると仮定するとともに、避難速度も昼間の 80%(2.09/2.59)に低下すると仮定する。

5) 避難成否の判定

各要避難メッシュについて、避難先メッシュの隣接メッシュにおける浸水深30cm 到達時間と避難先メッシュまでの避難完了所要時間を比較し、避難行動者別に避難成否を判定する。

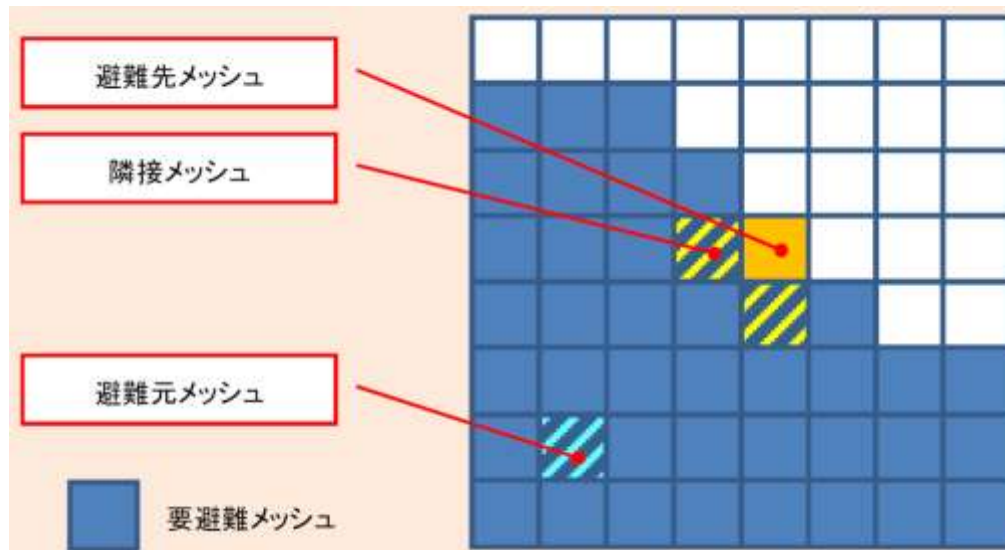


図 3-6 避難元メッシュおよび避難先メッシュ、隣接メッシュのイメージ¹²

イ 浸水時間が5分未満の地域の取り扱いについて

要避難メッシュのうち、5分未満に津波浸水深が30cmとなる箇所は、避難が完了しなかったもの（避難行動の選択が出来なかったもの）とし、所在メッシュでの浸水深をもとに死亡か負傷かを判定する。

ウ 高層階滞留者の考慮

- 1) 襲来する津波の最大浸水深に応じてそれよりも高い高層階の滞留者は避難せずにとどまることができる場合を考慮する。
- 2) 最大津波浸水深別の避難対象者を下表赤枠内のように設定する。

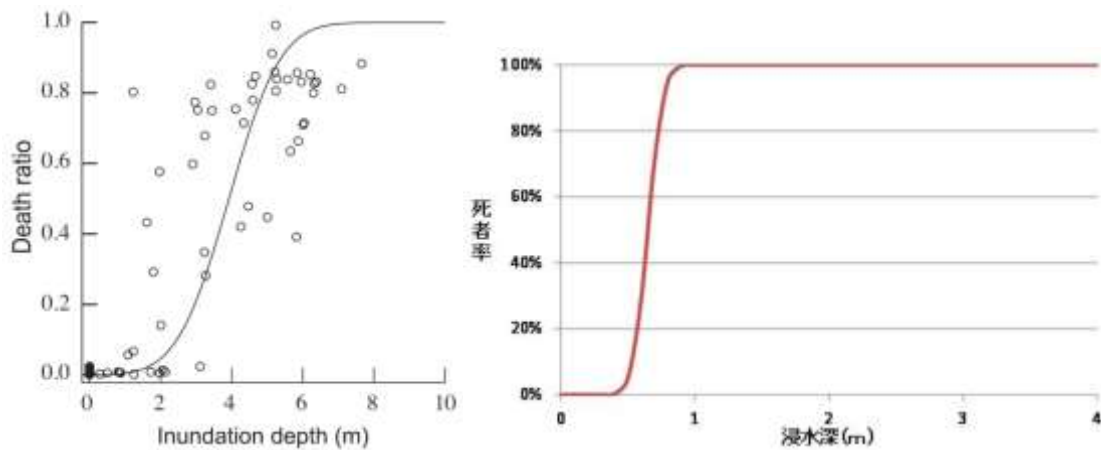
表 3-2 最大津波浸水深別避難対象者¹²

最大津波浸水深	避難対象者
30cm 以上 6m 未満	1、2 階滞留者が避難
6m 以上 15m 未満	1～5 階滞留者が避難
15m 以上 30m 未満	1～10 階滞留者が避難
30m 以上の場合	全員避難

(3) 津波浸水深別死者率

ア 条件設定

- 1) 津波に巻き込まれた際の死者率については、図 3-7 (右図) の死者率を適用する。なお、生存した人も全員が負傷するものと仮定する。負傷者における重傷者と軽傷者の割合については、北海道南西沖地震における奥尻町の人的被害の事例を参考とし、重傷者数：軽傷者数=34：66 とする。
- 2) 各要避難メッシュにおける、避難未完了者（避難失敗者）に関して、死亡率曲線（浸水深 30 cm 以上で死者発生、津波浸水深 1m で全員死亡という正規分布の累積分布関数）を用いて、死亡者数を算出する（内閣府（2012）¹²）。
- 3) 死亡者以外（生存と想定される人）は負傷者とするが、津波浸水深 30 cm 未満の避難未完了者は巻き込まれても負傷しないものとする。



左図：越村俊一・行谷佑一・柳澤英明（2009）²⁰より 右図：内閣府（2012）¹²より

図 3-7 津波に巻き込まれた場合の死者率¹²

2004年スマトラ島沖地震津波におけるバンダ・アチェでは多くの人々が地震に伴う津波の理解がなく、津波が見えてから初めて避難を始めていることから、津波に対する避難意識の低い中での死者率であると言ったことができ、逃げたが避難、切迫避難あるいは避難しなかった状況に近いと推察できる。ここでは、越村ら（2009）⁹によるバンダ・アチェでの浸水深別死者率（図）を参考に、右図のような津波に巻き込まれた場合の浸水深別死者率関数を検討する。これは津波浸水深 30cm 以上で死者が発生し始め、津波浸水深 1m では津波に巻き込まれた人のすべてが死亡すると仮定した関数である。

イ 揺れによる建物倒壊に伴う死者および自力脱出困難者の考慮

- 1) 津波浸水域内における揺れによる建物倒壊に伴う死傷者については、建物倒壊による死傷者としてカウントし、津波による人的被害からは除く。
- 2) 津波浸水域内における揺れによる建物倒壊に伴う自力脱出困難者(うち生存者)については、津波による死者としてカウントするものとする(近隣住民等による救助活動が行われずに、建物倒壊により閉じ込められた状態で浸水する可能性があるとともに、浸水地域の救助活動が難航し、一定時間を経過すると生存率が低下することを考慮)。

ウ 年齢構成を考慮した死傷者数の算出

- 1) 東日本大震災における岩手、宮城、福島の被災地域では、生存者においては高齢者ほど直後の避難率が高い傾向があるが、65歳以上および75歳以上の方は結果として死者率が他年齢に比べて高い。ここでは、年齢構成が東日本大震災の被災地の状況よりも高齢化していれば津波に巻き込まれる可能性がより高いものとする。
- 2) 各市町村における年齢構成を考慮した人的被害を推定するため、平成22年国勢調査に基づく市町村別の年齢区分比率をもとにして、次式により人的被害補正係数を算出し、算出した市町村別死傷者数に掛け合わせるものとする。

市町村別の人的被害補正係数

$= \Sigma (\text{年齢区分別比率} \times \text{年齢区分別重み係数})$

$= (15 \text{ 歳未満人口比率}) \times 0.34 + (15 \sim 64 \text{ 歳人口比率}) \times 0.62$

$+ (65 \text{ 歳} \sim 74 \text{ 歳人口比率}) \times 1.79 + (75 \text{ 歳以上人口比率}) \times 2.81$

(4) 夏期の海水浴客等観光客の考慮

- ア 津波浸水域内に海水浴場等が存在するところでは、夏期のピーク時には住民数(夜間人口・昼間人口)と比較しても無視できない人数の海水浴客が存在することから、津波による人的被害の算出において、海水浴客の被害を想定する必要がある。

- イ 市町村単位の海水浴入り込み数をもとに、休日および盆休み等に集中すること、ピーク時には一日単位利用者数の100%がいることを仮定し、これらの海水浴客等観光客の分だけ津波浸水域内人口が増加すると考えて、海水浴客人的被害増加率を設定する。

5 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）¹²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 3-3 火災による死者発生要因¹²

死者発生のシナリオ	備考
1) 炎上出火建物内からの逃げ遅れ	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) 倒壊後に焼失した建物内の救出困難者（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出火し、逃げられない人
	延焼中：揺れによる建物被害で建物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。

$$(\text{死者数}) = 0.046^{*1} \times \text{出火件数} \times (\text{屋内滞留人口比率})$$

ここで、(屋内滞留人口比率)

$$= (\text{発生時刻の屋内滞留人口}) \div (\text{屋内滞留人口の24時間平均})$$

※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。

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

ここで、

$$(\text{全壊かつ焼失家屋内の救出困難な人})$$

$$= (1 - \text{早期救出可能な割合 (0.72)}) \times (\text{全壊かつ焼失家屋内の要救助者数})$$

$$\begin{aligned}
 & \text{(全壊かつ焼失家屋内の要救助者数)} \\
 & = \text{(建物全壊による自力脱出困難者数)} \times \text{(全壊かつ焼失の棟数/全壊建物数)} \\
 & \text{(建物全壊による自力脱出困難者数)} \\
 & = 0.117 \times \text{(揺れによる建物全壊率)} \times \text{(屋内滞留人口)}
 \end{aligned}$$

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）²¹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 3-8 火災による死者の増加傾向¹²の式を変形して算定を行う。

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

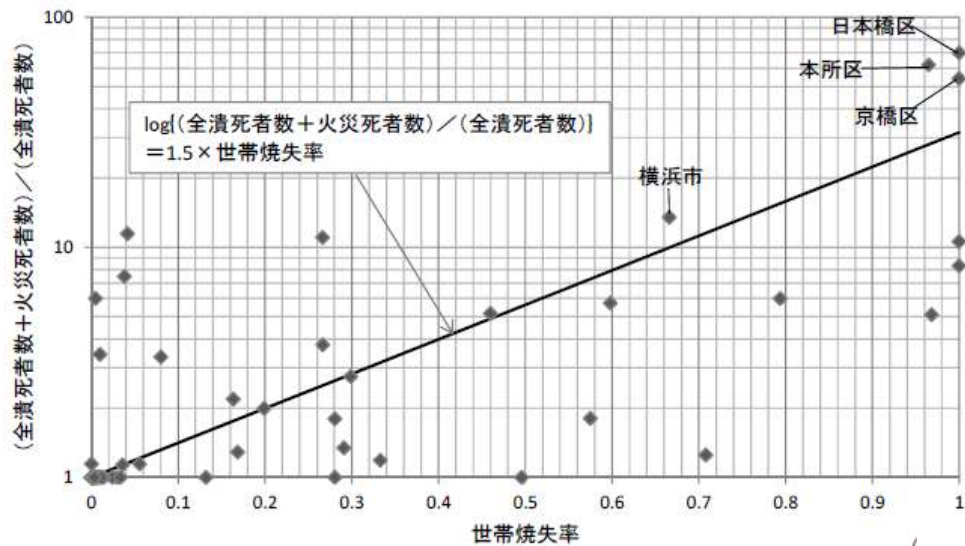


図 3-8 火災による死者の増加傾向¹²

(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。

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

（出火直後の火災による軽傷者数）＝ $0.187 \times$ 出火件数 \times （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） \div （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。

（延焼火災による重傷者数）＝ $0.0053 \times$ 焼失人口

（延焼火災による軽傷者数）＝ $0.0136 \times$ 焼失人口

ここで、焼失人口＝（市町村別焼失率） \times （発生時刻の市町村別滞留人口）

6 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、内閣府（2012）¹²に基づき、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府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（5時：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）²²）。

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全国平均値の比）

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

表 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 ²³	5%
全国平均値を採用（京都府の値として全国値を採用）	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。

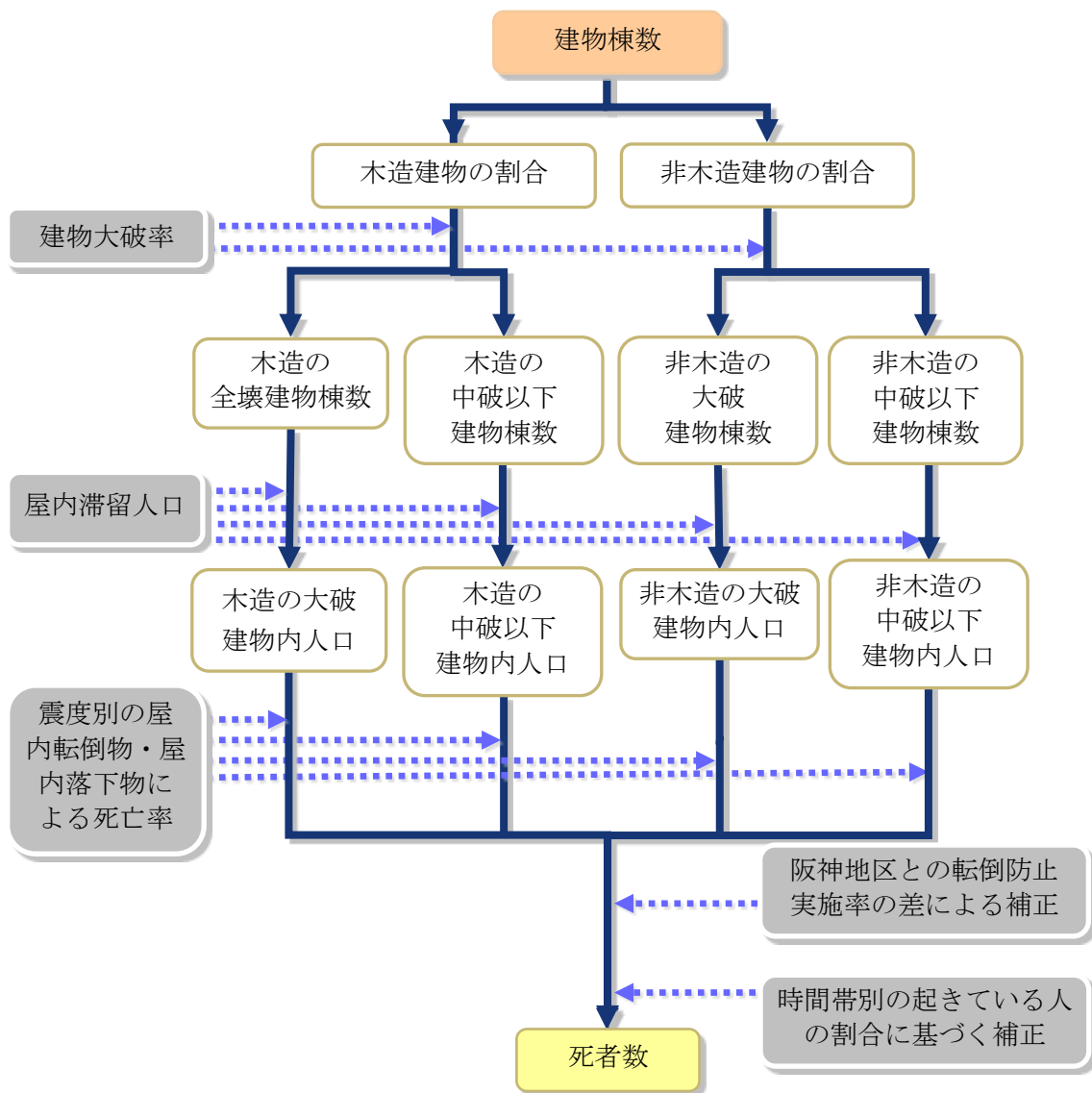


図 3-9 屋内転倒物による死者数の計算¹²

表 3-5 屋内転倒物による死者率¹²

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 3-6 屋内落下物による死者率¹²

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%	0.000865%	0.0000682%
震度 5 強	0.0117%	0%	0.000407%	0.0000404%
震度 5 弱	0.00586%	0%	0.000204%	0.0000227%

表 3-7 屋内ガラスによる死者率¹²

震度階級	死者率
震度 7	0.000299%
震度 6 強	0.000259%
震度 6 弱	0.000180%
震度 5 強	0.000101%
震度 5 弱	0.0000216%

(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。

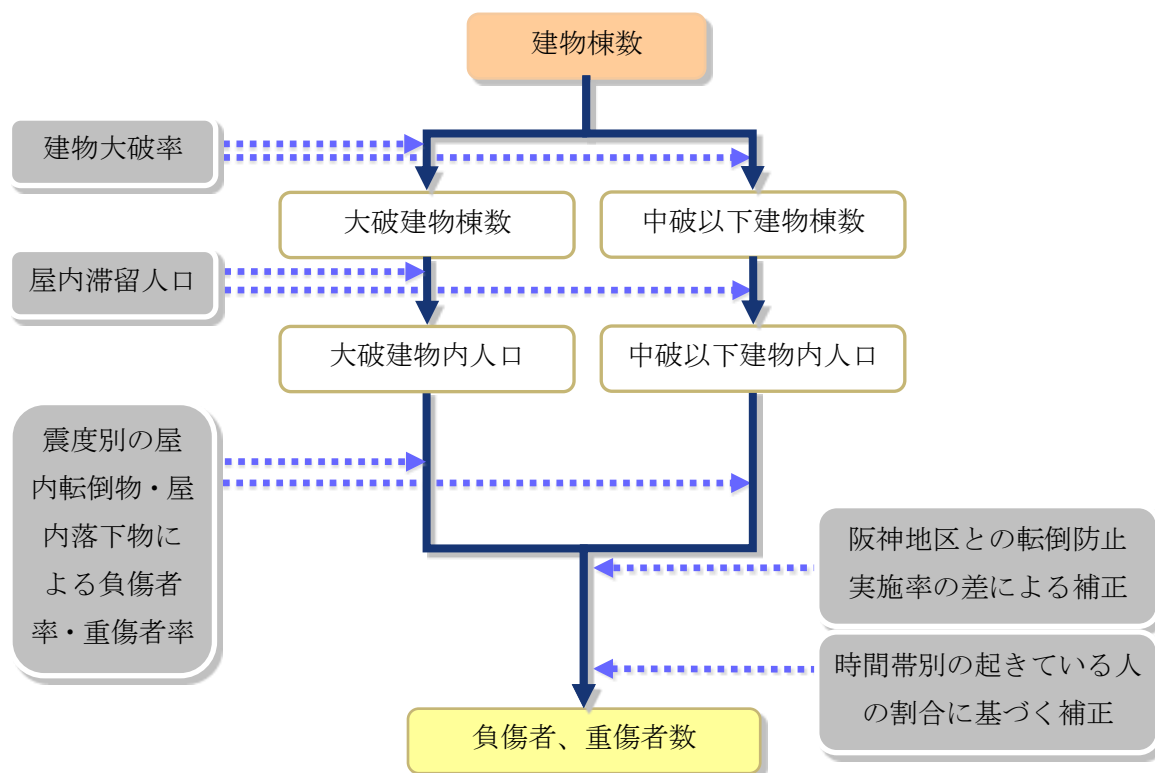


表 3-8 屋内転倒物による負傷者数の計算¹²

表 3-9 屋内転倒物による負傷者率¹²

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 3-10 屋内落下物による負傷者率¹²

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 3-11 屋内ガラス被害による負傷者率¹²

震度階級	負傷者率	重傷者率
震度 7	0.0564%	0.00797%
震度 6 強	0.0490%	0.00691%
震度 6 弱	0.0340%	0.00480%
震度 5 強	0.0190%	0.00269%
震度 5 弱	0.00408%	0.000576%

7 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)¹⁵及び静岡県(2001)¹⁴の手法を参考に算定する。

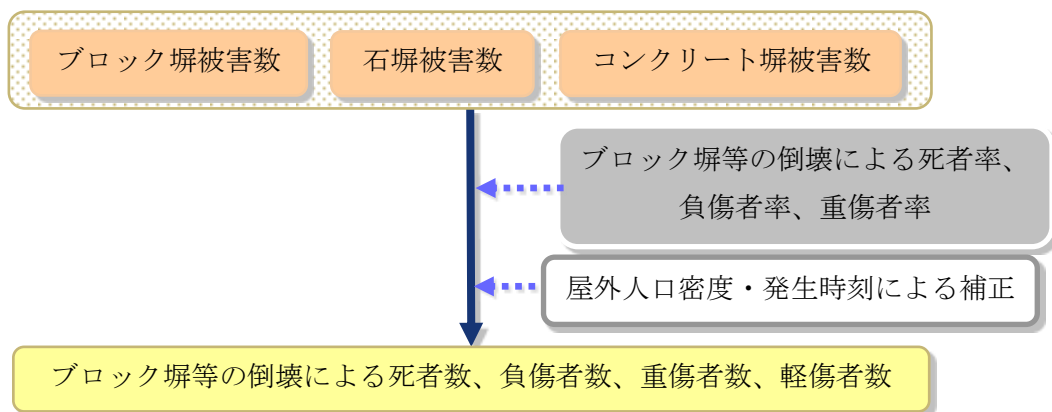


図 3-10 ブロック塀等の倒壊による死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数の計算¹²

表 3-12 死者率、負傷者率、重傷者率 (=倒壊1件当たり死傷者数)¹²

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。

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

※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)¹²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。

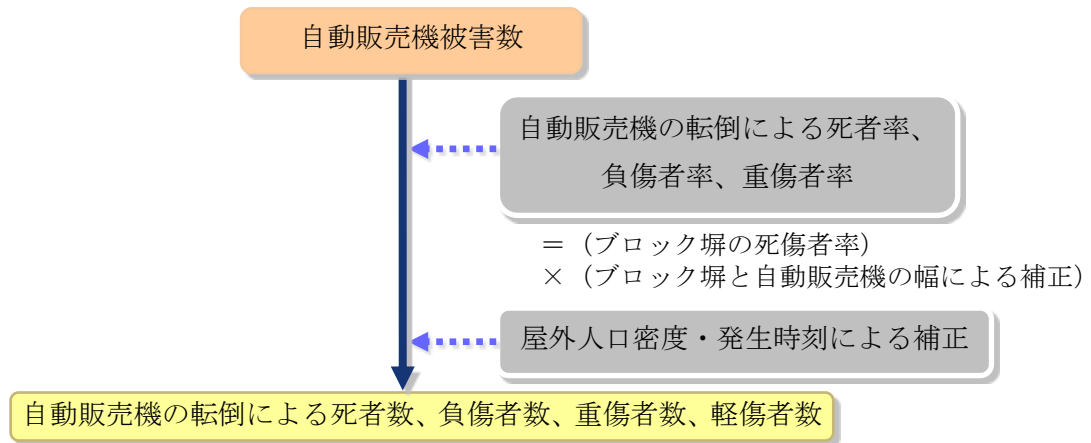


図 3-11 自動販売機の転倒による死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数の計算

(死者数、負傷者数、重傷者数)

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

※3 宮城県沖地震時の仙台市の屋外人口密度

8 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

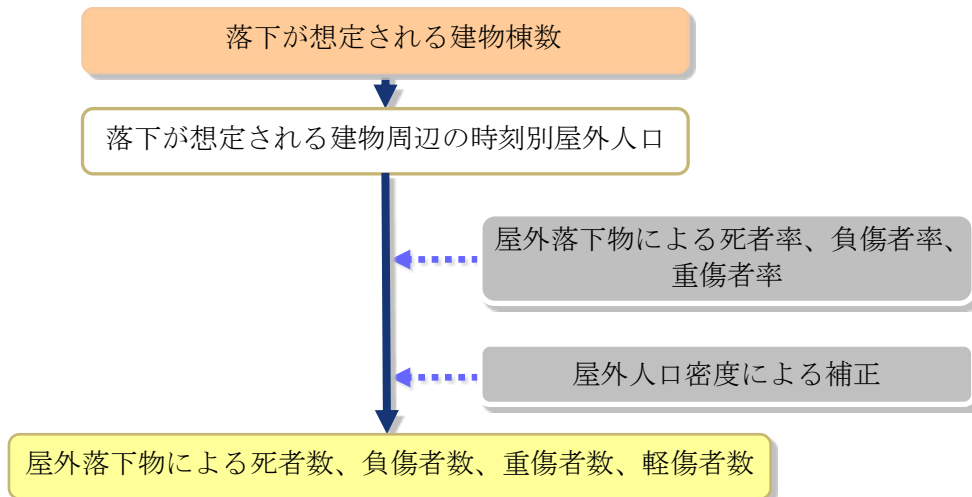


図 3-12 屋外落下物による死者数、負傷者数、重傷者数、軽傷者数の計算¹²

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）

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

※2 宮城県沖地震時の仙台市の屋外人口密度

表 3-13 屋外落下物による死傷者率（＝死傷者数÷屋外人口）¹²

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）²⁴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

9 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）¹⁵及び静岡県（2001）¹⁴の手法を参考に算定する。

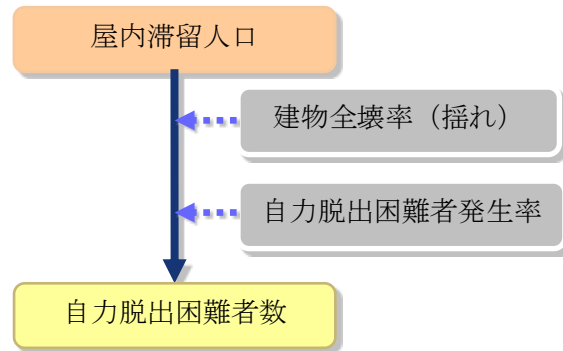


図 3-13 自力脱出困難者数の算定フロー¹²

自力脱出困難者数（木造、非木造別）

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

$$=0.5 \times (\text{揺れによる建物全壊率}) \times (\text{屋内滞留人口}) \quad \text{【非木造】}$$

要救助者数＝木造建物による自力脱出困難者数＋非木造建物による自力脱出困難者数

10 津波被害に伴う要救助者・要搜索者

津波被害に伴う要救助者・要搜索者は、内閣府（2012）¹²に基づき、津波の最大浸水深よりも高い階に滞留する者を要救助者として、また、津波に巻き込まれた人を要搜索者として算定する。

（1）要救助者数

要救助者数は、津波の最大浸水深よりも高い階に滞留する者は避難せずにその場にとどまる場合と想定し、表 3-14 により算定する。

なお、津波到達時間が 1 時間以上の地域では、中高層階滞留者の 3 割が避難せずにとどまるとして要救助対象とする。

表 3-14 中高層階滞留に伴う要救助者の想定¹²

最大浸水深	中高層階滞留に伴う要救助者の想定
1m 未満	（自力脱出可能とみなす）
1m 以上 6m 未満	3 階以上の滞留者が要救助対象者
6m 以上 15m 未満	6 階以上の滞留者が要救助対象者
15m 以上	11 階以上の滞留者が要救助対象者

（2）要搜索者数

津波に巻き込まれた人（避難未完了者＝津波による死者、負傷者、重傷者、軽傷者）を要搜索者数として算定する。

11 避難者数

避難者数は、建物被害等により、避難生活または疎開を必要とする人数として、短期避難者数と長期避難者数を算定する。

短期避難者： 地震直後に避難所で過ごす避難者
避難所におけるピーク時の就寝者数

長期避難者： 建物が全壊または焼失し、仮設住宅を必要とする避難者

なお、想定を行うにあたっては、兵庫県南部地震での神戸市における避難状況と建物の被害から推定した人数および建設した仮設住宅数を照らし合わせて、次式により避難人口に対する比率を推定する。

短期避難者数＝住家人口×（全半壊率＋焼失率－全半壊率×焼失率）

長期避難者数＝住家人口×（全壊率＋焼失率－全壊率×焼失率）×65%

12 防災・減災対策の効果の試算

防災・減災対策の効果は、次の条件で試算する。

(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
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%

-
- ¹震源断層を特定した地震の強震動予測手法;地震調査研究推進本部地震調査委員会;平成28年6月
- ²平成17年度 京都府地震被害想定基礎調査業務;京都府;平成18年3月
- ³「長周期地震動予測地図」2012年試作版-南海地震(昭和型)の検討-;地震調査研究推進本部;平成24年1月
- ⁴多地点での現位置採取資料から評価した表層地盤の非線形特性;古山田耕司・宮本裕司・三浦賢治;第38回地盤工学研究会発表講演集, pp.2077-2078;2003
- ⁵震度と震度階;河角廣;震度と震度階, 地震, 第15巻, pp.6-12;1943
- ⁶地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係;童華南・山崎文雄;生産研究, 第48巻, 11号, pp.547-550;1996
- ⁷近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法;藤本一雄・翠川三郎;地域安全学会論文集, No.7, pp.241-246;2005
- ⁸国土数値情報を利用した広域液状化危険度予測;松岡昌志, 翠川三郎・若松加寿江;日本建築学会構造系論文報告集, pp.39-45;1993
- ⁹道路橋示方書・同解説;日本道路協会;2002
- ¹⁰津波浸水想定の設定の手引き;国土交通省;2012
- ¹¹京都府地震被害想定業務報告書;2007
- ¹²建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要;内閣府(南海トラフの巨大地震対策検討ワーキンググループ);2012
- ¹³首都直下地震対策専門調査会(第15回)資料3;中央防災会議;2006
- ¹⁴第3次地震被害想定結果;静岡県;2001
- ¹⁵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);東京都;1997
- ¹⁶清涼飲料水メーカーへのヒアリング結果;内閣府;2012
- ¹⁷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
- ¹⁸津波避難を想定した避難路、避難施設の配置および避難誘導について;国土交通省;平成24年4月
- ¹⁹1993年北海道南西沖地震の総合調査研究報告;東京都立大学都市研究センター;1994
- ²⁰津波被害関数の構築;越村俊一・行谷佑一・柳澤英明;土木学会論文集B, Vol.65, No.4, pp.320-331;2009
- ²¹関東地震(1923年9月1日)による被害要因別死者数の推定;諸井孝文・武村雅之, 2004;日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, pp.21-45
- ²²居室などへの影響および怪我とその要因;北浦かほる・萩原美智子・山崎かほる;兵庫県南部地震に関する日本建築学会近畿支部所属会員アンケート調査第2次集計結果;日本建築学会近畿支部
- ²³東南海、南海地震等に関する専門調査会;中央防災会議;2007
- ²⁴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;東京消防庁火災予防審議会;2005