

第IV章 構築した建物被害予測手法の検証

本章では、第II章、第III章で作成した被災建物の被害関数と余震発生シナリオの設定方法から構築した建物被害予測手法を検証する。

具体的には、まず、第III章で設定した余震発生シナリオについて建物被害に最も影響するパラメータを確認する。つぎに、地震調査研究推進本部（2008）で確率論的地震動予測地図の作成に使用された地震のうち、5地震について余震の影響を考慮した建物被害予測を試算する。また、余震発生順序の被害予測結果への感度の確認する。

1. 余震発生シナリオのパラメータスタディ

本節では、第III章で設定した余震発生シナリオについて、 D 値、 dM 値、余震発生位置を設定する下限マグニチュードを変化させて余震の影響を考慮した建物被害予測を行い、建物被害に最も影響するパラメータを確認する。

1-1. 本震の断層モデルと余震発生シナリオの設定

本震の断層モデルとして、表IV-1を設定する。これに対し、余震発生シナリオを設定するためのパラメータとして、表IV-2の4ケースを想定し、余震発生シナリオを設定する（表IV-3～表IV-6、図IV-1）。

表IV-1 パラメータスタディにおける本震の断層モデル

地震のタイプ	M_j	上端深さ (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	走向 θ (°)	傾斜 δ (°)
内陸地殻内地震	7.5	3.0	34	22	90	E 45

表IV-2 パラメータスタディにおける余震発生シナリオの設定に用いるパラメータ等

ケース	D 値	dM 値	M_j 下限値	備考
1	1.3	0.3	6.0	基本ケース、特定の内陸地殻内地震のその他地震の設定値
2	0.7	0.3	6.0	D 値を小さくした場合
3	1.3	0.2	6.0	dM 値を小さくした場合
4	1.3	0.3	5.5	M_j 下限値を小さくした場合

表IV-3 パラメータスタディにおける余震発生シナリオ（ケース1）

順番	地震のタイプ	M_j	上端深さ (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	走向 θ (°)	傾斜 δ (°)
1	内陸地殻内地震	6.2	3.0	12	8	90	E 45

表IV-4 パラメータスタディにおける余震発生シナリオ（ケース2）

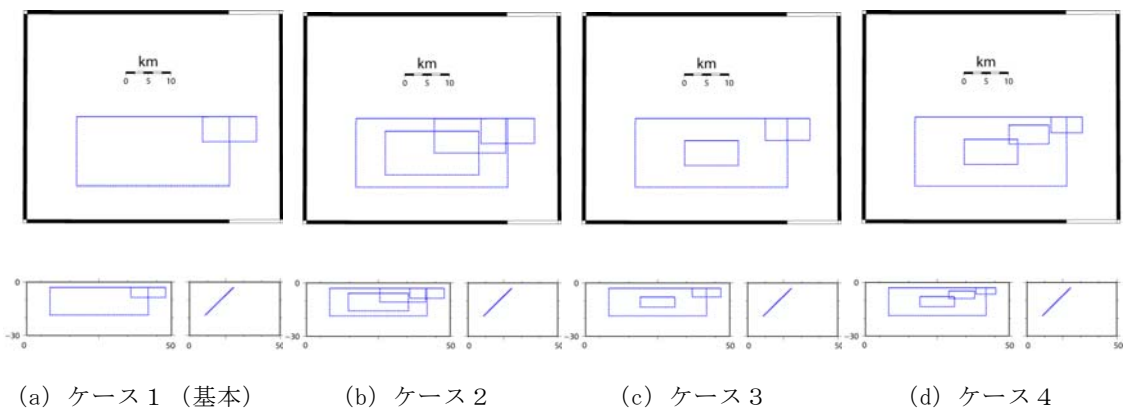
順番	地震のタイプ	M_j	上端深さ (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	走向 θ ($^\circ$)	傾斜 δ ($^\circ$)
1	内陸地殻内地震	6.8	5.8	21	14	90	E 45
2	内陸地殻内地震	6.5	3.0	16	11	90	E 45
3	内陸地殻内地震	6.2	3.0	12	8	90	E 45

表IV-5 パラメータスタディにおける余震発生シナリオ（ケース3）

順番	地震のタイプ	M_j	上端深さ (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	走向 θ ($^\circ$)	傾斜 δ ($^\circ$)
1	内陸地殻内地震	6.2	7.9	12	8	90	E 45
2	内陸地殻内地震	6.0	3.0	10	7	90	E 45

表IV-6 パラメータスタディにおける余震発生シナリオ（ケース4）

順番	地震のタイプ	M_j	上端深さ (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	走向 θ ($^\circ$)	傾斜 δ ($^\circ$)
1	内陸地殻内地震	6.2	7.9	12	8	90	E 45
2	内陸地殻内地震	5.9	4.8	9	6	90	E 45
3	内陸地殻内地震	5.6	3.0	7	5	90	E 45



図IV-1 パラメータスタディにおける余震発生シナリオ

（描画範囲は、計算領域（50km×50km）に対応する）

1-2. 地表地震動の計算

第II章3-2.と同様の計算を行い、工学的基盤（S波速度400m/s相当層）上の最大速度を求め、工学的基盤から地表までの最大速度の増幅率を1.4と仮定して、これに乗じて地表最大速度を求めた。増幅率を一定の値としたのは、感度解析において、増幅率の違いによる影響を除くためである。

なお、地表最大速度の計算範囲は、本震の断層中心を中心とした50km×50kmの正方形の範囲とし、第3次メッシュに対応する大きさのメッシュごとに地表最大速度を計算する。

1-3. ケースごとの建物被害の計算

第II章3-3.（1）と同様の計算を行う。

ケース1～4について、在来木造建物の建築年代別の各メッシュの $L(k)$ を、計算領域（50km×50km）の全体で平均し、その平均値を比較する。（表IV-7～表IV-9）

また、参考として、在来木造建物（1970年以前）の各メッシュの $L(k)$ について、本震による地表最大速度が44cm/s以上（式III-17で震度6弱以上に相当）となる領域で平均し、その平均値を比較する。（表IV-10）

本震に対する経済的損害の指標の増分（ $L(k)/L(0)$ ）に着目すると、表IV-7～表IV-10のいずれにおいても、ケース1、ケース3、ケース4での増分はほぼ等しく5%未満であるのに対し、ケース2での増分は20%程度であり、建物被害に最も影響するパラメータは D 値である。

表IV-7 在来木造建物（1970年以前）の建物被害予測（計算領域の平均値）

ケース	$\overline{P_3(k)}$	$\overline{P_2(k)}$	$\overline{P_1(k)}$	$\overline{P_0(k)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$
本震 (k=0)	0.00486	0.02376	0.05625	0.91513	0.01955	100.0 %
ケース1 (k=1)	0.00497	0.02462	0.05907	0.91133	0.02023	103.5 %
ケース2 (k=3)	0.00574	0.02942	0.06935	0.89549	0.02392	122.4 %
ケース3 (k=2)	0.00491	0.02461	0.06105	0.90943	0.02027	103.7 %
ケース4 (k=3)	0.00488	0.02447	0.06203	0.90862	0.02022	103.4 %

表IV-8 在来木造建物（1971-80年）の建物被害予測（計算領域の平均値）

ケース	$\overline{P_3(k)}$	$\overline{P_2(k)}$	$\overline{P_1(k)}$	$\overline{P_0(k)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$
本震 (k=0)	0.00377	0.01870	0.04592	0.93160	0.01542	100.0 %
ケース1 (k=1)	0.00385	0.01939	0.04795	0.92881	0.01594	103.4 %
ケース2 (k=3)	0.00443	0.02326	0.05577	0.91654	0.01885	122.2 %
ケース3 (k=2)	0.00381	0.01935	0.04925	0.92759	0.01595	103.4 %
ケース4 (k=3)	0.00379	0.01924	0.04985	0.92714	0.01590	103.1 %

表IV-9 在来木造建物（1981年以降）の建物被害予測（計算領域の平均値）

ケース	$\overline{P_3(k)}$	$\overline{P_2(k)}$	$\overline{P_1(k)}$	$\overline{P_0(k)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$
本震 (k=0)	0.00136	0.00749	0.02260	0.96868	0.00624	100.0 %
ケース 1 (k=1)	0.00138	0.00774	0.02322	0.96774	0.00641	102.7 %
ケース 2 (k=3)	0.00153	0.00924	0.02613	0.96301	0.00746	119.6 %
ケース 3 (k=2)	0.00137	0.00770	0.02340	0.96752	0.00639	102.4 %
ケース 4 (k=3)	0.00137	0.00765	0.02346	0.96746	0.00637	102.1 %

表IV-10 在来木造建物（1970年以前）の建物被害予測（本震で震度6弱以上の領域平均値）

ケース	$\overline{P_3(k)}$	$\overline{P_2(k)}$	$\overline{P_1(k)}$	$\overline{P_0(k)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$
本震 (k=0)	0.09803	0.25909	0.34362	0.29926	0.24476	100.0 %
ケース 1 (k=1)	0.10080	0.27547	0.34846	0.27527	0.25596	104.6 %
ケース 2 (k=3)	0.12068	0.35224	0.34576	0.18132	0.31409	128.3 %
ケース 3 (k=2)	0.09943	0.27747	0.35268	0.27042	0.25580	104.5 %
ケース 4 (k=3)	0.09856	0.27619	0.35423	0.27102	0.25437	103.9 %

2. 余震の影響を考慮した建物被害予測の試算

本節では、地震ハザードステーションJ-SHIS（防災科学技術研究所）のホームページに公開されている確率論的地震動予測地図の作成に使用された地震のうち、下記の地震を対象に、余震の影響を考慮した建物被害予測を試算する。

①内陸地殻内地震

- ・六甲・淡路島断層帯主部
- ・十日町断層帯西部

②海溝型地震

- ・東南海地震
- ・南海地震
- ・大正型関東地震

2-1. 本震の断層モデルと余震発生シナリオの設定

第Ⅲ章で検討した余震発生シナリオの設定方法に基づき、地震調査研究推進本部（2008）の本震の断層モデルに対して、余震発生シナリオを設定する。（表Ⅳ-11，図Ⅳ-2～図Ⅳ-6）

なお、海溝型地震（東南海地震，南海地震，関東地震）の断層モデルは、点の集合として面震源が表現されているため、本震の断層モデルの断層長さ，断層幅，走向，傾斜角，断層上端深さは，余震発生シナリオを設定する上で矩形に換算して扱った。

表Ⅳ-11 試算の対象とする本震の断層モデルと余震発生シナリオ（1/2）

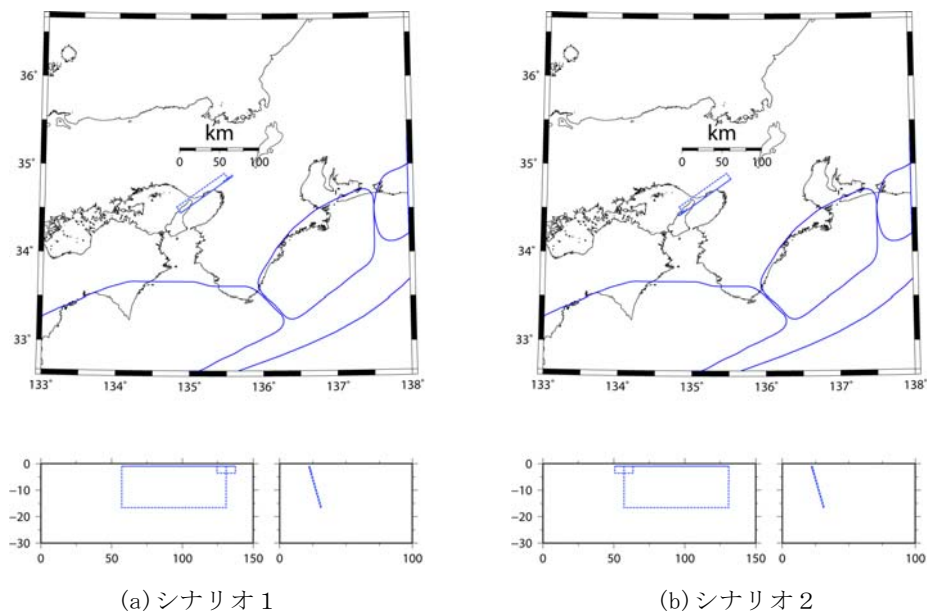
本震	名称	M_j	上端深さ (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	走向 θ ($^{\circ}$)	傾斜角 δ ($^{\circ}$)
六甲・淡路島断層帯主部	本震	7.9	1.0	74.0	18.0	54.5	60
	余震1	6.0	1.0	13.0	3.0	54.5	60
十日町断層帯西部	本震	7.4	5.0	34.0	18.0	30.4	45
	余震1	7.1	5.7	28.0	15.0	30.4	45
	余震2	6.9	5.6	23.0	12.0	30.4	45
	余震3	6.7	5.4	19.0	10.0	30.4	45
	余震4	6.5	5.3	16.0	9.0	30.4	45
	余震5	6.3	5.1	13.0	7.0	30.4	45
	余震6	6.1	5.0	11.0	6.0	30.4	45

(注) 本震ひとつに対して，シナリオを2通り考えるため，表中では断層原点の座標は割愛する。

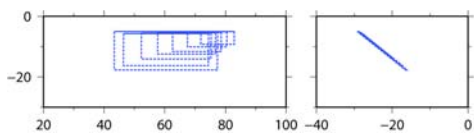
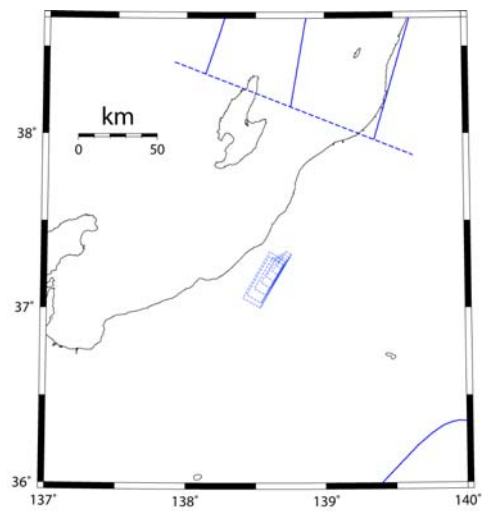
表IV-11 試算の対象とする本震の断層モデルと余震発生シナリオ (2/2)

本震	名称	M_j	上端深さ (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	走向 θ ($^\circ$)	傾斜角 δ ($^\circ$)
東南海地震	本震	8.1	9.9~ 32.7	-	-	-	-
	余震1	6.6	16.1	26.0	17.0	50	20
	余震2	6.4	16.1	21.0	14.0	50	20
	余震3	6.2	16.1	17.0	11.0	50	20
	余震4	6.0	16.1	13.0	9.0	50	20
南海地震	本震	8.4	9.9~ 30.7	-	-	-	-
	余震1	6.9	18.3	60.0	19.0	70	20
	余震2	6.7	18.3	47.0	15.0	70	20
	余震3	6.5	18.3	38.0	12.0	70	20
	余震4	6.3	18.3	30.0	9.0	70	20
	余震5	6.1	18.3	24.0	8.0	20	
大正型関東地震	本震	7.9	4.6~ 31.3	-	-	-	-
	余震1	7.3	11.8	47.0	30.0	115	25
	余震2	7.0	10.6	33.0	21.0	115	25
	余震3	6.7	8.7	23.0	15.0	115	25
	余震4	6.4	6.3	17.0	11.0	115	25
	余震5	6.1	5.5	12.0	8.0	115	25

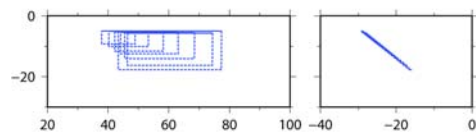
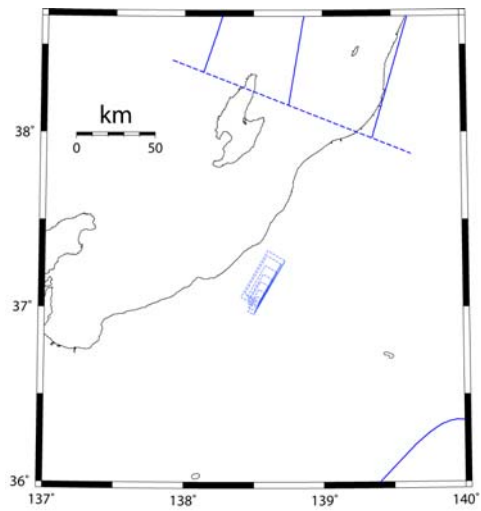
(注) 第三章5. のとおり、本震ひとつに対して、シナリオを2通り考えるため、表中では断層原点の座標は割愛する。



図IV-2 六甲・淡路島断層帯主部の本震の断層モデル，余震発生シナリオ

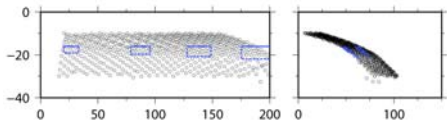
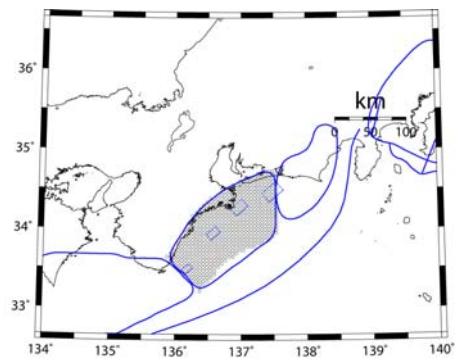


(a) シナリオ 1

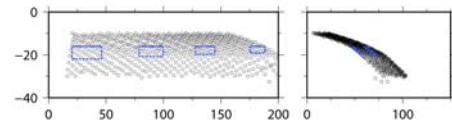
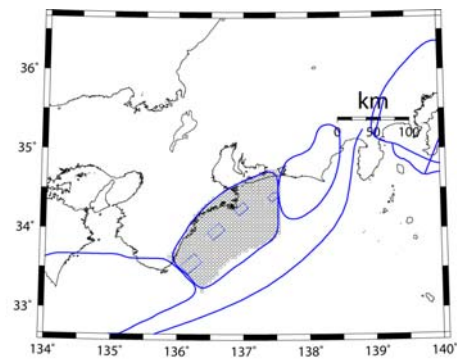


(b) シナリオ 2

図IV-3 十日町断層帯西部の本震の断層モデル，余震発生シナリオ

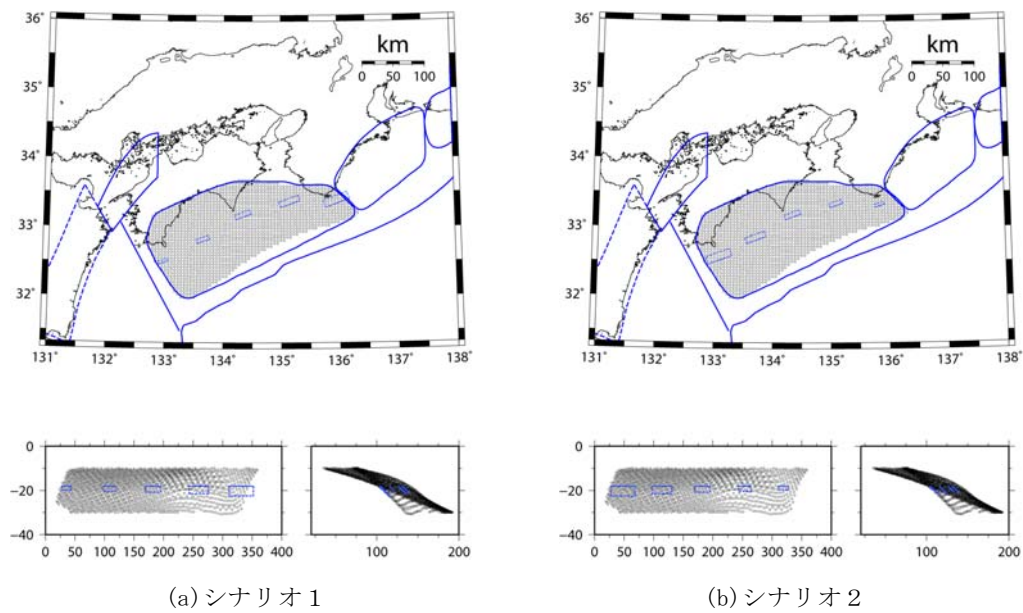


(a) シナリオ 1

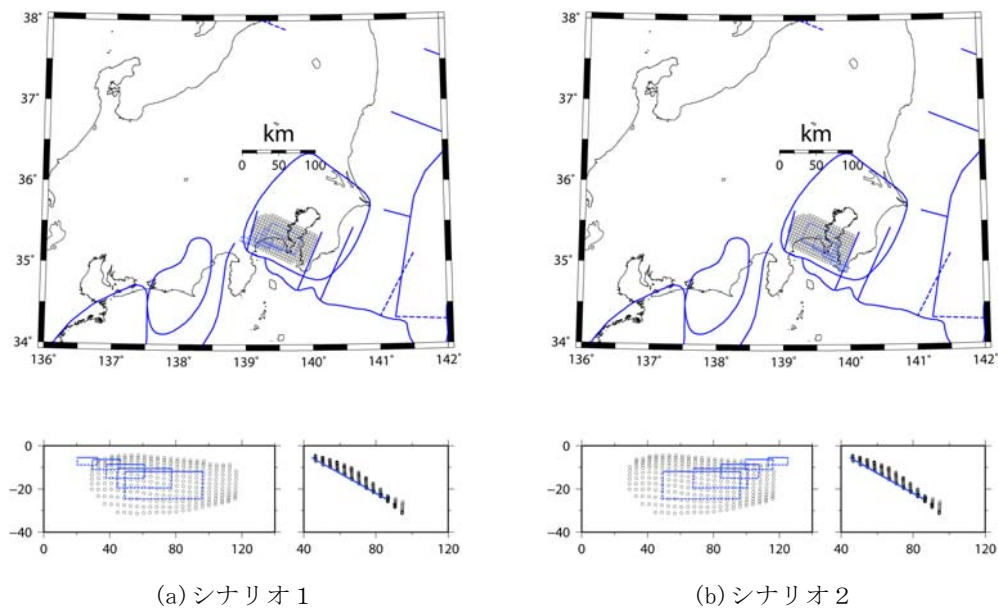


(b) シナリオ 2

図IV-4 東南海地震の本震の断層モデル，余震発生シナリオ



図IV-5 南海地震の本震の断層モデル，余震発生シナリオ



図IV-6 大正型関東地震の本震の断層モデル，余震発生シナリオ

2-2. 地表地震動の計算

第II章3-2.と同様の計算を行う。なお，地表最大速度の計算範囲は，本震による地表最大速度が概ね 3cm/s 程度（式III-17で概ね震度4に対応）以上となる範囲とし，第3次メッシュごとに地表最大速度を計算する。ただし，②海溝型地震については，地震により地表最大速度の下限値を上げ，計算領域が広大にならないように調整した。

2-3. 建物被害の試算

第II章3-3. (1)と同様の計算を行う。

各本震について、在来木造建物の建築年代別の各メッシュの $L(k)$ を、計算領域（地表最大速度が概ね3cm/s程度以上となる範囲）の全体で平均し、その平均値を比較する。

(表IV-12～表IV-14)

その結果、いずれの建築年代の建物群でも、十日町断層帯西部で余震の被害量の増大が大きく、その原因として D 値が0.3と他の地震に比べて小さいためと考えられる。また、十日町断層帯西部の次に大正型関東地震の被害量の増大が大きい。一方で、六甲・淡路島断層帯主部、東南海地震、南海地震は、被害量の増大がほとんどなく、これは D 値がそれぞれ1.9, 1.5, 1.5と大きいためと考えられる。

表IV-12 在来木造建物（1970年以前）の建物被害予測（計算領域の平均値）

本震	本震	シナリオ1		シナリオ2	
	$\overline{L(0)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$
六甲・淡路島断層帯主部 ($k=1$)	0.00368	0.00373	101.4 %	0.00372	101.1 %
十日町断層帯西部 ($k=6$)	0.00198	0.00421	212.8 %	0.00405	204.9 %
東南海地震 ($k=4$)	0.01063	0.01072	100.8 %	0.01070	100.6 %
南海地震 ($k=5$)	0.01717	0.01730	100.7 %	0.01725	100.5 %
大正型関東地震 ($k=5$)	0.01188	0.01362	114.7 %	0.01351	113.7 %

表IV-13 在来木造建物（1971年～1980年）の建物被害予測（計算領域の平均値）

本震	本震	シナリオ1		シナリオ2	
	$\overline{L(0)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$
六甲・淡路島断層帯主部 ($k=1$)	0.00298	0.00302	101.2 %	0.00301	101.0 %
十日町断層帯西部 ($k=6$)	0.00146	0.00310	212.9 %	0.00297	203.8 %
東南海地震 ($k=4$)	0.00833	0.00839	100.7 %	0.00837	100.5 %
南海地震 ($k=5$)	0.01359	0.01367	100.6 %	0.01365	100.4 %
大正型関東地震 ($k=5$)	0.00961	0.01102	114.6 %	0.01093	113.7 %

表IV-14 在来木造建物（1981年以降）の建物被害予測（計算領域の平均値）

本震	本震	シナリオ1		シナリオ2	
	$\overline{L(0)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$	$\overline{L(k)}$	$\overline{L(k)} \div \overline{L(0)}$
六甲・淡路島断層帯主部 ($k=1$)	0.00136	0.00138	100.9 %	0.00137	100.6 %
十日町断層帯西部 ($k=6$)	0.00044	0.00090	204.3 %	0.00085	192.0 %
東南海地震 ($k=4$)	0.00327	0.00328	100.4 %	0.00328	100.2 %
南海地震 ($k=5$)	0.00544	0.00547	100.4 %	0.00545	100.2 %
大正型関東地震 ($k=5$)	0.00424	0.00478	112.8 %	0.00475	112.1 %

3. 余震発生順序の被害予測結果への感度の確認

本節では、余震発生順序の被害予測結果への感度の確認する。

具体的には、第2節で試算した想定地震のうち、最も余震による被害の増大が大きい十日町断層帯西部による在来木造建物（1971年以前）の被害予測結果について、表IV-15の3ケースの余震発生順序で試算を行い、余震発生順序の被害予測結果を比較する。

在来木造建物（1971年以前）の $L(k)$ を、計算領域（地表最大速度が概ね3cm/s程度以上となる範囲）の全体で平均し、その平均値の推移を表IV-16、表IV-17に示す。

表IV-16、表IV-17より、ケース1、ケース2のいずれの場合も、余震発生順序は最終的な被害予測結果にほとんど影響しないことが分かる。

表IV-15 余震発生順序の検討ケース

ケース	余震発生順序
ケース1（設定値）	余震のマグニチュードの降順 (余震1→余震2→余震3→余震4→余震5→余震6)
ケース2	ケース1について余震1と余震2の順序を入れ替えた場合 (余震2→余震1→余震3→余震4→余震5→余震6)
ケース3	余震のマグニチュードの昇順 (余震6→余震5→余震4→余震3→余震2→余震1)

表IV-16 在来木造建物（1971年以前）の十日町断層帯西部の建物被害予測（シナリオ1）

名称(k)	ケース1（設定値）		ケース2		ケース3	
	$\bar{L}(k)$	$\bar{L}(k) \div \bar{L}(0)$	$\bar{L}(k)$	$\bar{L}(k) \div \bar{L}(0)$	$\bar{L}(k)$	$\bar{L}(k) \div \bar{L}(0)$
本震 (k=0)	0.00198	100.0 %	0.00198	100.0 %	0.00198	100.0 %
余震1 (k=1)	0.00295	149.0 %	0.00256	129.3 %	0.00206	104.0 %
余震2 (k=2)	0.00351	177.3 %	0.00352	177.8 %	0.00219	110.6 %
余震3 (k=3)	0.00383	193.4 %	0.00384	193.9 %	0.00241	121.7 %
余震4 (k=4)	0.00402	203.0 %	0.00403	203.5 %	0.00275	138.9 %
余震5 (k=5)	0.00414	209.1 %	0.00414	209.1 %	0.00332	167.7 %
余震6 (k=6)	0.00421	212.6 %	0.00421	212.6 %	0.00423	213.6 %

表IV-17 在来木造建物（1971年以前）の十日町断層帯西部の建物被害予測（シナリオ2）

名称(k)	ケース1（設定値）		ケース2		ケース3	
	$\bar{L}(k)$	$\bar{L}(k) \div \bar{L}(0)$	$\bar{L}(k)$	$\bar{L}(k) \div \bar{L}(0)$	$\bar{L}(k)$	$\bar{L}(k) \div \bar{L}(0)$
本震 (k=0)	0.00198	100.0 %	0.00198	100.0 %	0.00198	100.0 %
余震1 (k=1)	0.00295	149.0 %	0.00252	127.3 %	0.00204	103.0 %
余震2 (k=2)	0.00347	175.3 %	0.00348	175.8 %	0.00214	108.1 %
余震3 (k=3)	0.00376	189.9 %	0.00376	189.9 %	0.00230	116.2 %
余震4 (k=4)	0.00391	197.5 %	0.00391	197.5 %	0.00260	131.3 %
余震5 (k=5)	0.00400	202.0 %	0.00400	202.0 %	0.00313	158.1 %
余震6 (k=6)	0.00405	204.5 %	0.00405	204.5 %	0.00407	205.6 %