

3 被害予測手法

(1) 重要建築物被害予測手法

ア 予測手法

災害応急活動拠点施設等の中でも特に重要な施設で、耐震診断の実施されている非木造建築物については、限界耐力法を用いて被害予測を実施した。

限界耐力法とは、建物の復元力特性と加速度応答スペクトルから求められる必要性能スペクトルの両者の交点である建物の応答値から、損傷度を想定する手法である。建物の復元力特性は、耐震診断結果から得られる強度 - 靱性特性 (C - F グラフ) により導いた。

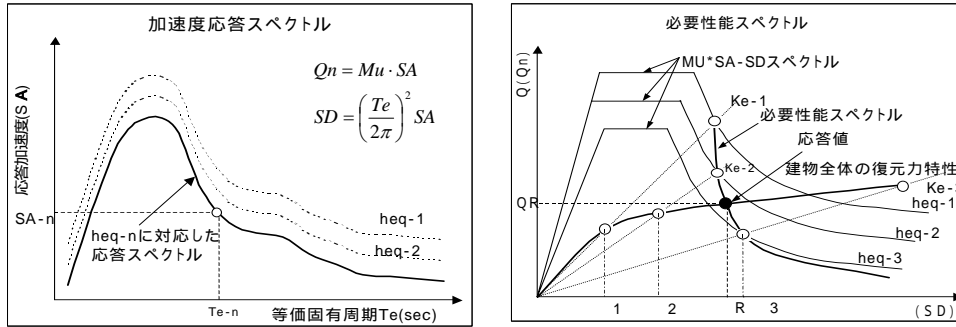


図 - 3.1 建物の復元力特性と必要性能スペクトル¹⁾

イ 被災度判定基準

被災度は、復元力特性のタイプ毎に限界耐力法により得られた応答値を用いて以下のように判定する。

- タイプ 1：塑性変形能力がある建物で降伏点が1つのもの
- タイプ 2：塑性変形能力がある建物で降伏点が2つのもの
- タイプ 3：脆性的な破壊をするもので降伏点が1つのもの
- タイプ 4：脆性的な破壊をするもので降伏点が2つのもの

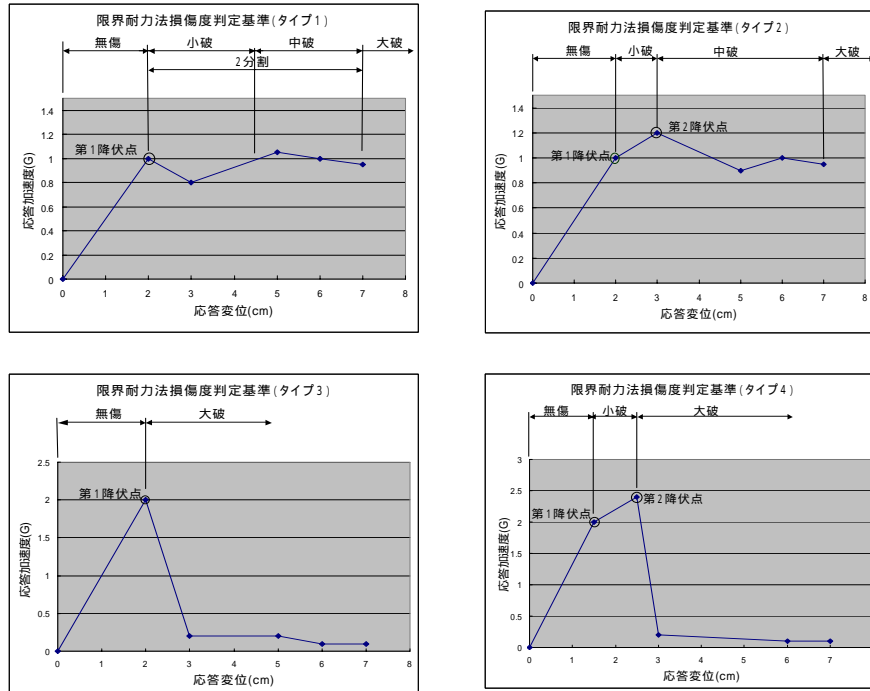


図 - 3.2 復元力特性タイプ毎の判定基準図

ウ 被災度と損傷イメージ

建築構造物の想定された被災度は、表 - 3.1 の損傷度の内容を想定している。

表 - 3.1 損傷度分類の基準

被災度	損傷状況イメージ
無傷	損傷がないか、軽微なクラック、変形のみで、継続して使用可能。特に、補修の必要はない。(ひび割れ幅 1mm 以下)
小破	変形は少なく、軽微な補修で再使用が可能な状況。 (ひび割れ幅 2mm 以下でコンクリートの剥落は極くわずかである)
中破	施設の変形量は小破に比べると大きいが倒壊の可能性はなく、補修により再使用が可能な状態である。 (ひび割れ幅 2mm 以上で、鉄筋がかなり露出している。)
大破	大きな変形 (1/30 程度以上) が発生し、復旧不可能若しくは復旧には多くの費用と時間がかかる可能性が高い。なかには、倒壊するものもある。 (鉄筋が曲がり、内部のコンクリートも崩れ落ちている。)



写真左：

2mm を超えるひび割れが生じ、コンクリートが剥落して鉄筋が見えるが座屈等の変形は見られない。

写真右：

激しいコンクリートの剥落が見られ、鉄筋がかなり露出しているが座屈や破断は見られない。

図 - 3.3 損傷度中破のイメージ²⁾



写真左：

主筋の座屈や帯筋フックの外れ、内部コンクリートの崩落が見られる。一見して柱の高さ方向及び水平方向の変形が生じていることが分かる。

写真右：

壁に大きなひび割れが生じ、壁の向こう側が透けて見える。壁の鉄筋も大きく曲がっている。

図 - 3.4 損傷度大破のイメージ²⁾

【参考文献】

- 1) 京都府建築士会，日本建築学会近畿支部（木造部会）：木造軸組構法の新しい耐震設計法 P-61 2002.7.3
- 2) (財)日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 P-21 2001.9.1

(2) 橋梁被害予測手法

ア 橋梁全体の耐震性能評価

橋梁の耐震性能は、「(社)日本道路協会 道路震災対策便覧(震前対策編)」の橋梁耐震調査表¹⁾により評価する。この方法は、既往の地震被害分析などから抽出した地盤種別、構造条件など各種のパラメータから既設橋梁の被災度を予測し、橋梁の耐震性を評価することが可能である。

評価点に対する耐震性能のランクは以下のとおりである。

- ・ A ランク 耐震性能高い 評価点 20 未満
- ・ B ランク 耐震性能中位 評価点 20 以上 60 未満
- ・ C ランク 耐震性能低い 評価点 60 以上

また、下記条件に該当する橋梁は、無条件に A ランク(耐震性能が高い)とした。

- ・ 昭和 55 年以降の道路橋示方書で設計されている橋梁
- ・ 橋長が 15m 未満の単純形式で両端が橋台で支持されている橋梁

交通機能障害の判定については、兵庫県南部地震における道路橋の被災状況及び震度階より以下のとおりとする。

- ・ 震度 7 の場合 A ランク(耐震性高い)以外はすべて機能障害有りとする。
- ・ 震度 6 強の場合 B ランク(耐震性中位)平均点 40 点以上は機能障害有りとする。
- ・ 震度 6 弱の場合 C ランク(耐震性低い)のみ機能障害有りとする。
- ・ 震度 5 強以下の場合 機能障害無しとする。

イ 詳細検討による橋梁の被害予測

詳細検討による被害予測の対象としては重要橋梁の 146 橋とし、このうちサンプルとして選定した 15 橋梁について、プッシュオーバー解析により既設橋脚の復元力特性を求め、限界耐力法により橋梁の被害予測を行う。(前述の重要建築物被害予測手法と同様である。)

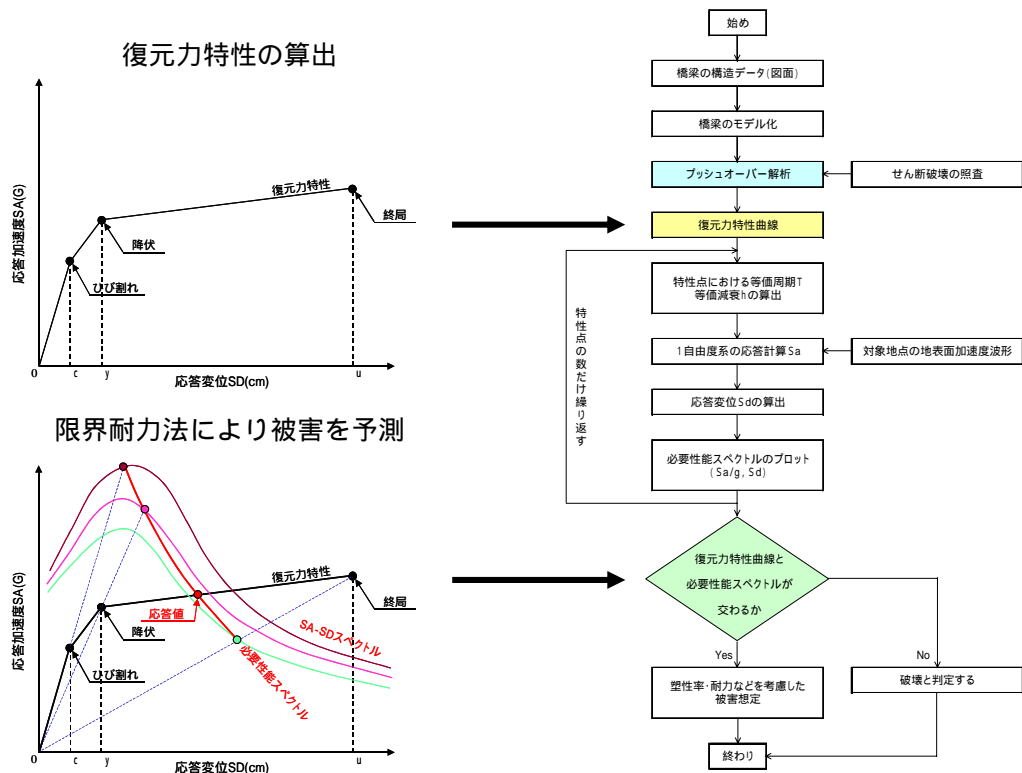


図 - 3.5 詳細検討による被害予測フロー

プッシュオーバー解析により復元力特性を算出するが、この解析は破壊までの挙動を求めることができない。したがって、解析途中でせん断破壊に至っていないか、終局限界を超えていないかなどの評価が重要である。

また、橋梁が受ける損傷の予測手法は、限界耐力法により復元力特性と必要性能スペクトルが交差する応答値の位置により被害の程度を判定する。

判定方法は以下のとおりとする。

- ・ 損傷なし 応答値が弾性限界内にある場合
- ・ ひび割れ程度 応答値がひび割れ点と降伏点の間にある場合
- ・ 軽微な損傷 応答値が降伏点と終局点の 1/3 以下にある場合
- ・ 中程度の損傷 応答値が降伏点と終局点の 1/3 から 2/3 以内にある場合
- ・ 大きな損傷 応答値が降伏点と終局点の 2/3 以上にある場合
- ・ 破壊 応答値が復元力特性と交わらない場合

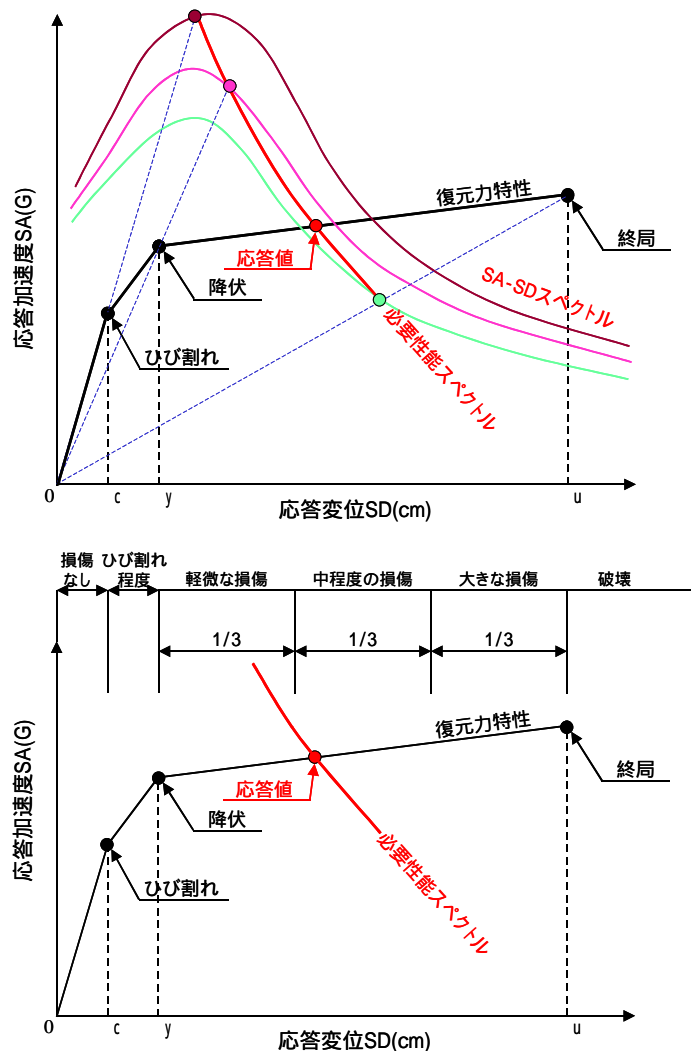


図 - 3.6 橋梁の損傷判定方法

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路震災対策便覧(震前対策編) 平成 14 年 4 月

(3) 上下水道被害予測手法

ア 管路施設

埋設管路は，上下水道機能上重要な幹線と，その他の支線に大別される。幹線の被害が機能に与える影響は，支線に比べると大きいことから，本地震被害想定では幹線と支線に分けて検討を行った。幹線及び支線の被害予測手法を以下に示す。

- ・幹線・・・現行の耐震設計指針「水道施設耐震工法指針・解説 1997年版」及び「下水道施設の耐震対策指針と解説 - 1997年版 -」に準じ，管路埋設地点の速度応答スペクトルを用いて，応答変位法により管体に発生する応力と歪み，管路継手部における抜け出し量及び屈曲角を求め，許容値との比較から安全性を照査した。
- ・支線・・・阪神・淡路大震災の水道及び下水道の被害データより，地震動と管路被害率の関係から標準被害率を設定し，これに管種，管径による耐震性の差や液状化危険度を考慮して，埋設管の被害件数を算出した。

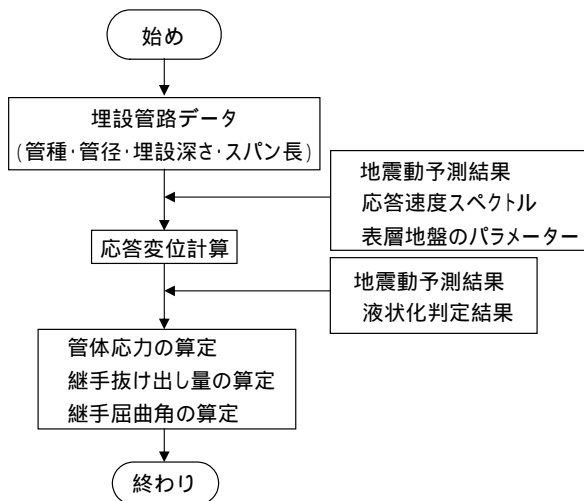


図 - 3.7 幹線の被害想定フロー

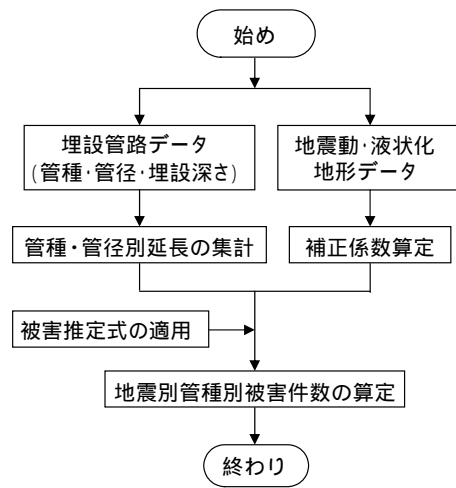


図 - 3.8 支線の被害想定フロー

表 - 3.2 には，幹線の検討内容や許容値などを示す。検討対象となる基本項目は，先に述べた現行の耐震設計指針に記載されたもので，地震動による影響と地盤の永久ひずみによる影響の2種類に大別される。

表 - 3.2 検討項目一覧

被害要因	検討対象	検討項目	許容値
地震動	管体応力	応力値	部材の降伏応力値を採用
	管きよと管きよの継手部	抜け出し量	上水道の許容抜け出し量は施工時の曲げ配管を考慮し，限界値の半分とした
		屈曲角	屈曲角及び下水道の抜け出し量は限界値を採用
	曲管及びT字管部 (上水道)	応力値	部材の降伏応力値を採用
	ボックスカルバート・シールド (下水道)	応力値	部材の降伏応力値を採用
地盤の永久ひずみ (液状化)	護岸近傍域における地盤の引張ひずみと変位分布	抜け出し量	液状化による側方流動の危険性が低いいため，照査の対象外とした
	河川流域の内陸部における地盤の引張ひずみと変位分布	抜け出し量	液状化による側方流動の危険性が低いいため，照査の対象外とした

イ 基幹施設

基幹施設の被害予測は、各施設（浄水場、主要配水場、処理場、主要中継ポンプ場）について、類の水槽構造物、類の地中埋設構造物、類の複合構造物と類の建築構造物の3つの施設に分類し、それぞれの被害予測手法に基づいて被害を算定した。

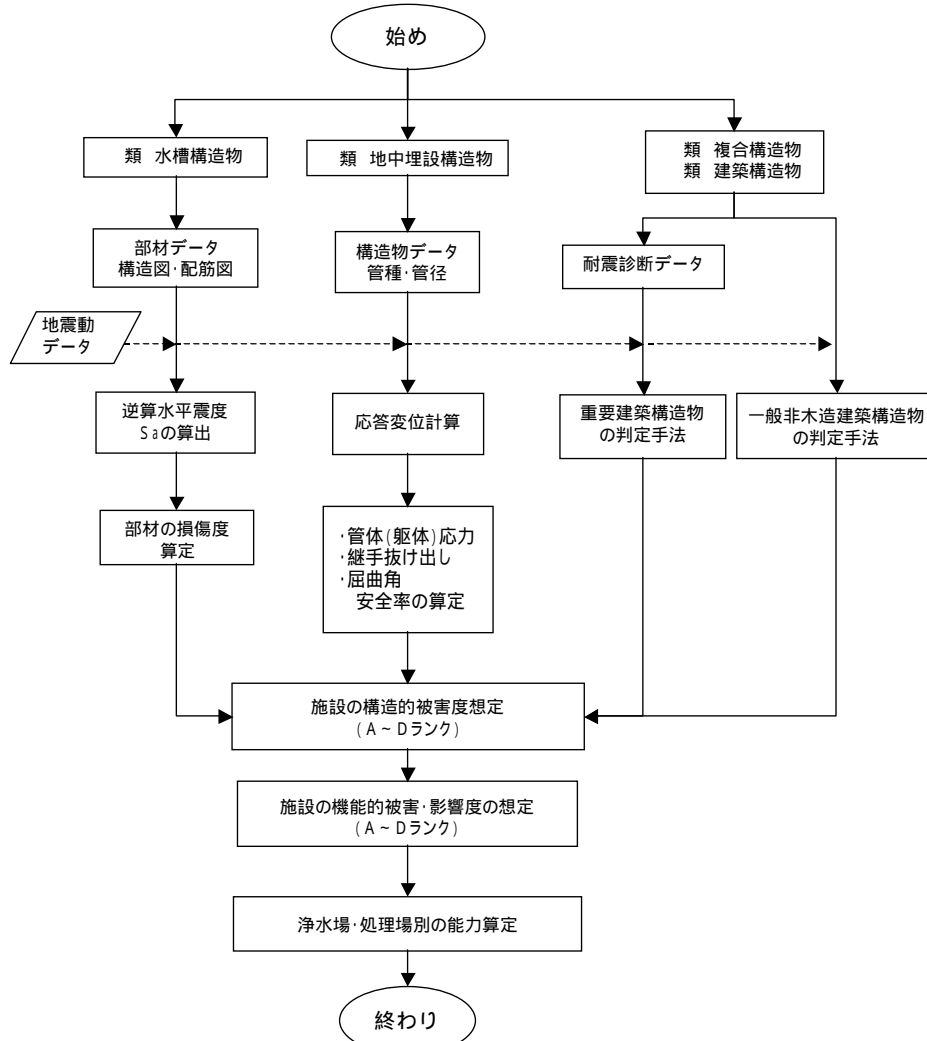


図 3.9 基幹施設の被害予測フロー

表 3.3 被災程度と施設の構造及び機能状況

構造的被害想定		機能的被害想定	
被災度	施設状況	影響度	機能状況
A	損傷がないか、軽微なクラック、変形のみで、継続して使用可能。特に、復旧、補修の必要はない。	A	機能低下なし。
B	変形は少なく、軽微な補修で再使用が可能な状況。	B	一時機能停止や機能低下。 応急対策により機能回復は容易、または応急対策不要。
C	施設の変形量はBに比べると大きい、復旧は可能である。	C	中期間の機能停止。 応急対策により、機能低下は軽減される。
D	大きく壊れ、箱形状は何とか保っているが、変形が進み、復旧不可能若しくは多くの費用と時間がかかる可能性が高い。	D	機能喪失または長期間の機能停止。 応急対策をしても大幅な機能低下。

(4) その他のライフライン被害予測手法

ライフラインは都市機能の維持に必須の社会基盤施設であり、先に述べた水道及び下水道の他に、電力、通信、ガスは民間ライフライン事業者によって供給されている。阪神・淡路大震災ではライフラインに未曾有の大きな被害が発生し、震災後の社会に多大な影響を与えた。ライフライン被害は、施設被害（構造的被害）に比べて、機能的被害すなわち震災後の人々の生活に与える影響が大きいことが特徴である。

京都市では主として、電力は関西電力株式会社、通信（電話）は西日本電信電話株式会社、都市ガスは大阪ガス株式会社によって供給されている。本被害想定では、各民間ライフライン事業者に協力を依頼し、想定地震発生による供給機能障害と復旧期間の予測を実施した。予測にあたっては、各想定地震の地震動データや建物被害予測結果などを各事業者提供し、これをもとに供給施設の被害や供給支障状況、復旧期間に関する予測を実施した。表-3.4に、各事業者へ提供した資料及び被害想定内容をまとめた。なお、今回の想定では、地震動や建物被害に起因する設備被害や機能支障を主体に考え、地盤災害（地割れ、斜面崩壊など）による設備被害などは想定外とした。被害予測にあたっての基本的な考え方を、以下に示す。

ア 電力

停電戸数は、変電所設備被害による電力供給支障と、電柱、変圧器などの配電設備被害による電力供給支障を合計して算出する。なお、停電戸数には、家屋倒壊による電力供給不能分は含まない。復旧は阪神・淡路大震災の復旧記録（実績）をもとに、同様の復旧率と考慮して復旧期間を予測する。

イ 通信

建物や局内設備、局外設備（電柱・架空ケーブル等）の被災状況及び被災加入数について、阪神・淡路大震災の復旧実績等をもとに算出する。なお、被災加入数については、住宅倒壊などの二次災害（架空ケーブル、引込線等）による被害影響も考慮している。復旧については、目標復旧日数を定め、これを達成するのに必要な作業人員を投入する方針をとっており、最長で2週間以内のサービス回復を目指している。

ウ ガス

「ガス地震対策検討会（資源エネルギー庁）」より示された地震時の供給停止判断の考え方に基づき、地震計のSI値が60kine以上を記録した地域（供給ブロック）を即時供給停止する。各整圧器は感震自動遮断機能を持ち、閾値以上のSI値を感震した場合、即時にガス供給を自動停止する。京都市内は19の供給ブロックに分割される。復旧は阪神・淡路大震災での実績をもとに復旧期間を予測する。尚、マイコンメーターは、震度5弱相当以上の地震で安全装置が働きガスを遮断する機能を有している。

表-3.4 民間ライフラインの被害想定項目

データ項目		データ単位		
地震現象：地表面加速度，計測震度等 構造物被害：建物被害(倒壊率)，(基礎データ：世帯数)		500mメッシュ(電力)，300m×400mメッシュ(ガス) 営業所エリア(通信)		
被害 想定 内容	予測項目	設備被害状況	機能支障	想定単位
	電力	発電，変電，送電，配電	停電戸数，復旧所要日数	行政区 供給ブロック
	ガス	輸送，供給，整圧	供給停止取付メーター数 復旧所要日数，ガス管被害件数	
	通信	局内，局外	被災加入数，復旧所要日数	

(5) 出火予測手法

小林正美(1984)の提案¹によると、出火率は全倒壊率よりむしろ震度との相関が高いとされている(日本火災学会編「火災便覧」より)。本地震被害想定では、この成果をもとに地震動の大きさより出火点の分布を予測する手法を採用した。

東京消防庁(1997)では火気器具や電熱器具の建物の用途別保有率の調査と、それらの器具の加速度レベル別出火率より用途別建物の出火確率を算定している(表-3.5)。

表 - 3.5 建物用途別出火率(加速度 - 出火率対応表)

建物用途	加速度 (gal)				
	150	250	350	500	700
キャバレー	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
幼稚園	0.000	0.001	0.005	0.009	0.012
公衆浴場	0.001	0.003	0.009	0.017	0.023
事務所	0.001	0.002	0.009	0.018	0.027
物品販売店	0.002	0.005	0.016	0.023	0.031
共同住宅(非木造)	0.001	0.004	0.014	0.027	0.036
住宅	0.001	0.004	0.014	0.027	0.036
寄宿舎	0.002	0.005	0.016	0.029	0.036
診療所	0.001	0.005	0.020	0.035	0.040
飲食店(油鍋不使用)	0.002	0.006	0.021	0.037	0.046
大学	0.002	0.005	0.021	0.037	0.047
共同住宅(木造)	0.002	0.005	0.023	0.042	0.056
飲食店(油鍋使用)	0.005	0.011	0.030	0.049	0.060
工場(非木造)	0.002	0.008	0.030	0.050	0.066
映画館	0.004	0.010	0.033	0.060	0.077
病院	0.003	0.009	0.035	0.064	0.075
保育所	0.002	0.009	0.038	0.069	0.086
小学校	0.003	0.012	0.048	0.083	0.098
旅館(非木造)	0.006	0.013	0.048	0.084	0.098
工場(木造)	0.003	0.014	0.048	0.080	0.106
百貨店	0.006	0.013	0.055	0.107	0.143
理髪店	0.009	0.020	0.063	0.110	0.135
旅館(木造)	0.010	0.041	0.137	0.226	0.230

また、京都市では常時の月別出火件数と地震発生時間帯による火気器具使用率より出火件数の季節別時刻変動係数を設定している(表-3.6)。

表 - 3.6 季節別時刻変動係数の設定

時刻			時刻		
	冬季	夏季		冬季	夏季
0~4	0.27	0.27	16~17	0.64	0.49
4~5	0.31	0.29	17~19	1.00	0.70
5~6	0.56	0.44	19~20	0.79	0.58
6~8	0.75	0.55	20~21	0.59	0.46
8~11	0.59	0.46	21~23	0.44	0.34
11~13	0.72	0.53	23~24	0.30	0.28
13~16	0.51	0.41			

¹ 小林正美(1984)「1923年関東地震における出火状況の分析」日本建築学会論文報告書

以上の基礎資料より各町丁目ごとの出火件数は、以下のようにして算定した。

ア.京都市家屋台帳の種類コードより町丁目ごとに用途別建物棟数を集計する。

イ.地震動予測結果より求めた町丁目ごとの地表最大加速度より、建物用途別出火率を算定する。

ウ.用途別建物棟数と用途別出火率、及び季節別時刻変動係数の積を集計して町丁目ごとの出火件数を算定する。

ここで算定された町丁目ごとの出火件数は非常に微小な数値であるが、行政区単位あるいは市全域で集計することにより有意な数字となる。

更に、単位面積あたりの出火件数は出火しやすさの指標として出火危険度として使用することができる。

本地震被害想定では、出火点分布予測結果として、各対象地震ごとに、この町丁目ごとの出火危険度を面積を考慮して集計した「元学区ごとの出火危険度分布」と、「各行政区ごとに集計された出火件数」を示している。分布として示しているものは、最大出火件数が予測される冬の夕方（18時）のものである。また、出火件数としては比較対照として「夏の18時及び最小出火件数が予測される夏・冬の深夜0時の出火件数」も示している。

さらに、阪神・淡路大震災では被災地全体で出火時刻の判明している地震火災が205件あり発災からの時間別出火件数が報告されている²。これを等間隔時間刻みに変換すると表-3.7に示すような時間分布を示す。この表の割合を用いて、「時間経過別出火件数の推移」も示している。

表 3.7 出火件数の時間分布

発災からの時間	全出火に対する割合
0～1時間	85%
1～2時間	7%
2～3時間	4%
3～4時間	1%
4時間以降	3%

²阪神・淡路大震災調査報告編集委員会「阪神・淡路大震災調査報告（建築編-6）」

(6) 焼失面積予測手法

以下に焼失面積予測手法の手順を示す。

ア. 隣棟間隔が8 m以上あれば延焼しないという仮定のもとに延焼阻止線（焼け止まりポリゴン）を設定する。すなわち放任時には、出火点が含まれたポリゴンが全て焼失するというモデル化である。この焼け止まりポリゴンに、出火点分布予測で算出した町丁目ごとの出火危険度を面積を考慮しながら投影する。ここで出火危険度は出火という「危険」の起こりやすさ・頻度である。一方、ポリゴンの面積は出火という「危険」が発生した際の過酷さである。頻度は大きくても面積の小さなポリゴンは全体の焼失面積を増加させるのに寄与は小さい。一方、頻度は小さくても面積の大きなポリゴンは、仮に火災が発生した場合、全体の焼失面積を増加させるうえで寄与が大きくなる。

図 - 3.10 に花折断層を震源とする地震時の冬の夕方 18 時の出火危険度を焼け止まりポリゴンに投影した分布を示す。

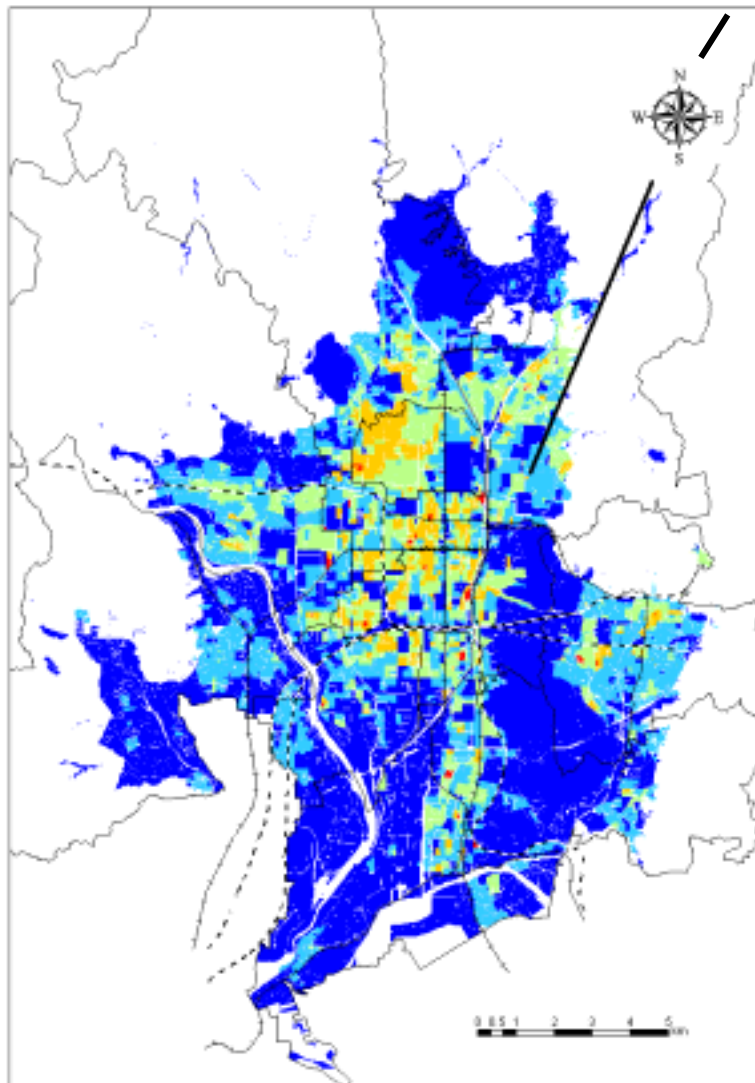


図 - 3.10 焼け止まりポリゴンに投影した出火危険度の例
(花折断層を震源とする冬の夕方)

青色から水色，緑，オレンジを経て赤色に近づくほど出火危険度は高いと表現されている。

- イ. 出火危険度を全市にわたって集計した累積出火危険度分布図を作成する。
出火危険度の大きなポリゴンでは累積出火危険度分布は急な勾配を示す。逆に出火危険度が小さなポリゴンでは勾配は緩やかになる。
- ウ. 0 から累積出火危険度の最大値の間で一様に分布する乱数を発生させる。累積出火危険度分布が急傾斜を示しているポリゴンでは、乱数とその区間内の値を示す確率は高くなる。発生させた乱数が、あるポリゴンの累積出火危険度の区間内の値を示した場合、そのポリゴン内で火災が発生し、放任時にはポリゴンの面積が全て焼失するものとする。
- エ. 出火点予測で算出した出火件数回、乱数を発生させて出火するポリゴンを決定し、そのポリゴンの面積を積算することで、焼失面積算定の一回の試行とする。
- オ. エの試行を多数回繰り返し、平均値をとることで予測結果の精度を向上させる。(モンテカルロ・シミュレーションの手法)

更に、阪神・淡路大震災では住民による初期消火により約 20% の出火が火元で消し止められたと報告されている¹。この結果を考慮して、出火件数を 20% 減じて同様のシミュレーションを実施する(初期消火 20%)。また、京都市には平時には 55 隊の消防隊が存在する。消防隊の効果の評価は大変困難であるが、仮に 1 隊が一つの火災を火元で消し止めると仮定したうえで、更に同様のシミュレーションで焼失面積を算出し、消防力の効果の評価した(平時消防)。更に、非常応召及び他府県の応援隊の到着、二次運用などの効果によって、さらに焼失面積は減少する可能性も充分にあるが、その検討は更に困難であるため、本地震被害想定では平時消防をもって最小被害、放任時をもって最大被害として想定を行っている。

焼失面積予測結果として、各対象地震ごとに最大出火が予想される冬の夕方 18 時の焼失面積及びその区域内に含まれる家屋戸数を行政区ごとに「放任時、初期消火 20%、平時消防の焼失面積 (m²) と焼失棟数」として示している。

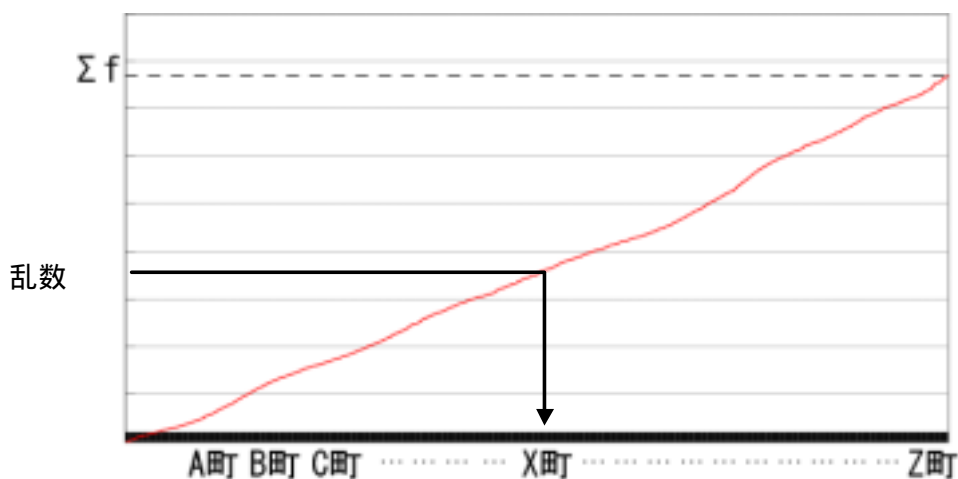


図 - 3.11 累積出火危険度分布の例

¹ 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会「阪神・淡路大震災調査報告(建築編-6)」

(7) 家屋被害予測手法

一般の建物の被害想定は、建物の構造（木造・非木造の区分）、建物の建築年代、建物の階数等による耐力の違いを反映できる手法を採用した。

ア 木造建物の被害予測

京都市内の木造建物を各町丁目毎に建築年代等によって表-3.8に示される7グループに分類し、それぞれのグループ毎に、建物の固有周期・復元力特性を設定し1自由度のトライリニアな振動系としてモデル化した。このとき個々の建物の耐力には統計的なばらつきを持たせた。また在来の伝統的な木造軸組工法によって建築されたと考えられるグループ（いわゆる京町家が含まれる）に対しては、最近の研究成果を考慮してモデル化を行なった。（図-3.12参照）

表-3.8 木造グループニング
(広島市1997年等による)

区分	専住 1階	専住 2 階以上/ 非専住	非専住 2階以 上
昭和25年以前	1	1	1
昭和26年～35年	3	2	2
昭和36年～45年	4	4	3
昭和46年～55年	5	5	4
昭和56年～平成2年	6	6	5
平成3年以降	7	7	6

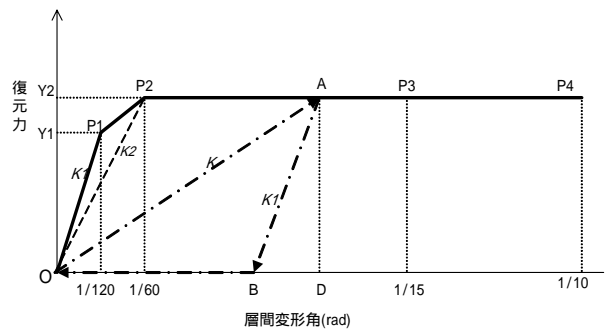


図-3.12 復元力特性の設定例
(グループ1～2)

以上のモデルに対して、各町丁目を代表する地震動波形を入力とする限界耐力法計算（本報告書 2.(1)項参照）を実施し、構造的な被災度を大破・中破という形式で判定した。

イ 非木造建物の被害想定

非木造建物は鉄筋コンクリート造(RC造)、鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)、鉄骨造(S造)に大別される。これらの建物の被害想定は、建物に作用する地震力(ベースシア係数 I_{so})と建物の保有耐力 I_s を比較する方法(東京都防災会議1991、神奈川県1993等)を用いる。具体的には町丁目の代表波形を入力として、建物の構造別・階数別の固有周期を実験式から推定し、これに対応する地震力 I_{so} を加速度応答計算から推定し、 I_s と比較する。この際 I_s の統計的な分布を考慮して被害率を算出する。RC造・SRC造・S造はパラメーターだけが異なる同一の手法である。建物の保有耐力 I_s は、最近の調査結果の統計的な集約値を採用した。

被害の判定基準は I_s と I_{so} の大小判定による下式(神奈川県(1985)・川崎市(1997))によった。

$$\text{神奈川県 RC系 大破: } I_s \quad (I_{so} + 0.1) / 2$$

$$\text{中破: } (I_{so} + 0.1) / 2 < I_s \quad (2I_{so} + 0.1) / 3$$

なお川崎市では、神奈川県の判定基準を採用する前に I_{so} を0.6倍している。

今回の被害想定では、RC・SRC造建物に対しては、神奈川県(1985)を基にした川崎市(1997)の方法を採用し、S造建物は神奈川県(1985)の基準をそのまま採用した。

ウ 木造家屋の被害評価

一方、岡田・高井(1999)¹では木造家屋の、地震による被害状況を目に見えるチャートの形でパターン分類を行っており、幾つかの研究ではこの被害パターンごとの家屋被害率と地震動の関係式(家屋被害関数)を構築している。例えば、堀江(2003)²では西宮 Built Environment データベースの阪神・淡路大震災における被害写真データ(11,908棟)と地震動分布シミュレーションデータより、被害家屋をパターン分類し、地震動(地表最大速度)との関係式を求めている。

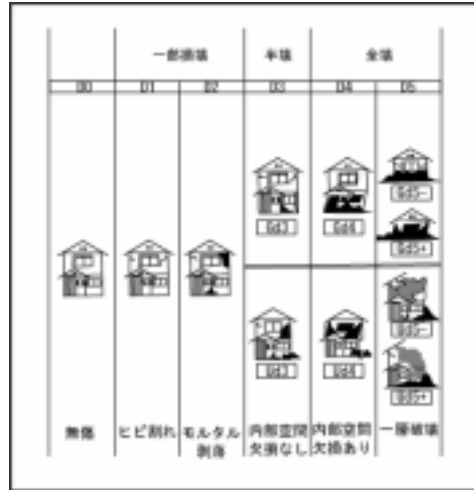


図 - 3.13 木造家屋の被害パターンチャート(岡田・高井, 1999)

木造建物の限界耐力法による被害予測結果を、累積正規分布関数を仮定し、地表最大速度との間で最小二乗法で近似式を構築したところ、両者の間には非常によい相関が見られ、かつパターンチャートに示されるダメージグレードとの間に単純な比例関係が見られることが判った。

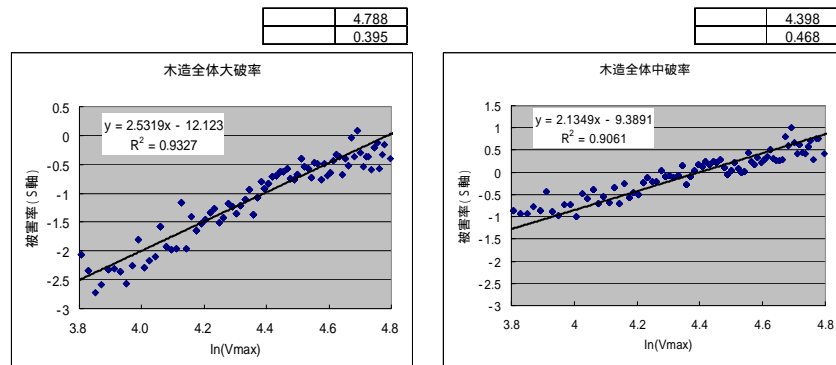


図 - 3.14 大破率・中破率の被害関数の構築

この知見に基づき、限界耐力法より求めた大破棟数・中破棟数との関係から全壊棟数(D4)・半壊棟数(D3)を推定している。本地震被害想定では、家屋被害予測結果として、各対象地震ごとに、「家屋大破率の分布」と「行政区ごとの全半壊家屋数」、さらに上述の被害パターンで分類した「行政区ごとの被災家屋数」を示している。

¹ 岡田成幸・高井伸雄(1999)「地震被害調査のための建物分類と破壊パターン」, 日本建築学会構造系論文集

² 堀江啓(2003)「被害写真を用いた建物被害の評価と被害関数の構築」

(8) 人的被害予測手法

人的被害（死者数，負傷者数）の予測に用いる人口分布には， - 2 - (2)で述べた時刻別の人口分布を使用している。

堀江（2003）¹によると，死者数の80%以上が先の家屋被害予測手法で述べたD5パターン（層破壊）に被害を受けている家屋内に発生している（図 3.15）。そこで，層破壊を強く考慮した死者数の算定手法を採用した。

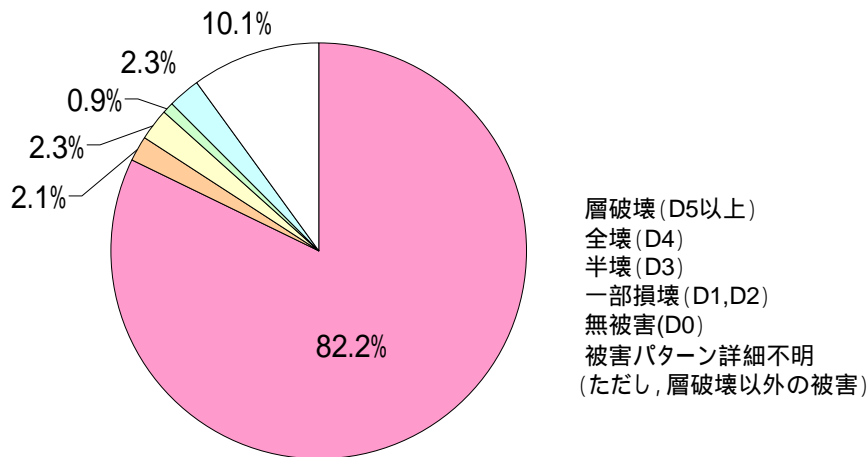


図 - 3.15 家屋被害パターンごとに分類した死者数の割合

以下に死者数推定の手順を示す。

- ア. 各町丁目ごとの年代別木造家屋棟数に家屋被害予測より算出された大破率より換算した層破壊率を掛けることで各町丁目ごとの層破壊棟数を推定する。
- イ. 各町丁目ごとの地震発災時刻の屋内滞留人口をその町丁目の家屋棟数で割って，町丁目ごとの屋内滞留人口を算出する。
- ウ. 西宮 Built Environment データベースより算出された層破壊家屋内に滞留している人口に対する，層破壊による死者の割合（死亡率）を算出する。（=7.24%）
- エ. アで求めた層破壊棟数とイで求めた屋内滞留人口を掛けて各町丁目ごとの層破壊家屋内の滞留人口を求め，これに死亡率を掛けて，死者数を算定する。

本地震被害想定では死者数の人的被害予測結果として，各対象地震ごとに，「平日18時の元学区ごとに集計された死者数の分布」と「行政区ごとに集計された死者数の分布」，「各曜日別（平日，土曜，日曜）・時刻別（3時間ごと）の行政区ごとに集計された死者数」を示している。

また，焼失棟数と火災による死者数との関係を阪神・淡路大震災から統計式を作成し，焼失面積予測で算出された初期消火20%のシナリオにおける焼失棟数より予測された「火災による死者数」を示している。

さらに，東京都のサンプル調査より推定したブロック塀箇所数と落下物危険建物数を算出し，宮城県沖地震の事例により推定した死亡率より「ブロック塀・屋外落下物による死者数」を示している。

¹ 堀江啓（2003）「被害写真を用いた建物被害の評価と被害関数の構築」

負傷者の予測については、表 - 3.9 に示すように地震による負傷者の被害原因は多岐にわたり、死亡原因の大多数を占める家屋被害についても負傷の原因としての比率は小さいため、死者の予測とは別の手法を用いる必要がある。

呂・宮野(1995)²では地表面最大加速度: $x(\text{gal})$ と負傷者率: $y(\%)$ の間に

$$\begin{array}{ll} x > 363\text{gal のとき} & \log_{10}(y) = -4.061 + 0.010 \times x \\ 363\text{gal} < x < 600\text{gal のとき} & \log_{10}(y) = -3.052 + 0.007 \times x \\ x > 600\text{gal のとき} & y = 14 \end{array}$$

の関係があるとされている。

そこで、上式に基づき地震動予測より求めた地表面最大加速度により各町丁目ごとの負傷者率を算定し、各町丁目ごとの滞留人口に掛けることで各町丁目ごとの負傷者数を算定した。

本地震被害想定では、負傷者数の人的被害想定結果として、各対象地震ごとに、「平日 18 時の元学区ごとに集計された負傷者数の分布」と「行政区ごとに集計された負傷者数の分布」、「各曜日別（平日、土曜、日曜）・時刻別（3 時間ごと）の行政区ごとに集計された負傷者数」を示している。

ここで負傷の程度（重傷、中等傷、軽傷）としては兵庫県南部地震時の神戸市内の医療機関アンケート調査結果³に基づき重傷者 25%、中等傷者 18%、軽傷者 57%としている。

重傷、中等傷、軽傷の定義は以下のとおりとしている。

重傷・・・3 週間以上の入院治療を必要としたもの。

中等傷・・・3 週間未満の入院治療もしくは 3 週間以上の外来治療を必要としたもの。

軽傷・・・1 週間以内の入院もしくは 3 週間未満の外来治療を必要としたもの。

なお、呂・宮野(1995)では、1960 年以後の地震による負傷者の被害原因内訳が示されており、その原因別割合は表 - 3.9 のとおりである。

表 - 3.9 地震による負傷者の被害原因別割合

被害原因	割合(%)
斜面崩壊	4.2
塀倒壊	4.2
家屋倒壊	4.8
火傷熱傷	12.2
落下物	19.5
転倒物体	6.4
転倒転落	31.7
ガラス	8.4
衝突	3.0
その他	5.8
合計	100.0

² 呂恒俊・宮野道雄(1995)「地震時の人的被害と地動加速度の関係に関する検討」自然災害科学 14-2

³ 石井昇, 中山伸一, 松田均(1999)「地震災害にみられる損傷の特徴」東濃地震科学研究所報告

(9) 避難者数分布予測手法

避難者の定義として、避難所に宿泊した人を指すべきか、避難所において弁当の配給を受けるなど食事を行った人を指すべきかは議論の分かれるところである。ここでは、避難所に宿泊した避難者を避難者(就寝者)、避難所において食事の配給を受けた人を避難者(要給食者)と呼ぶ。

震災後 10 時間における避難所への避難者数(就寝者数)の予測については、阪神・淡路大震災における実態に基づく地震動の強さと発災当日の避難率の関係をを用いる手法を採用した。

木村・林他(2003)¹では、1999 年、2001 年に実施された社会調査結果を踏まえて、阪神・淡路大震災の被災者の避難行動から、将来の地震災害における避難者数の推定式の構築を行なっている。木村・林らは推定される外力としては地震動の強さを用い、その地震動の強さには神戸大学・兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ(1996)²によるアンケート震度を計測震度に変換して用いている。これらの要因より発災後 10 時間における避難者(就寝者)の推定式 y_{10} を図-3.16 に示す。

$$y_{10} = (0.0863x^2 - 0.7935x + 1.8108) \times \text{人口} \quad x: \text{計測震度}$$

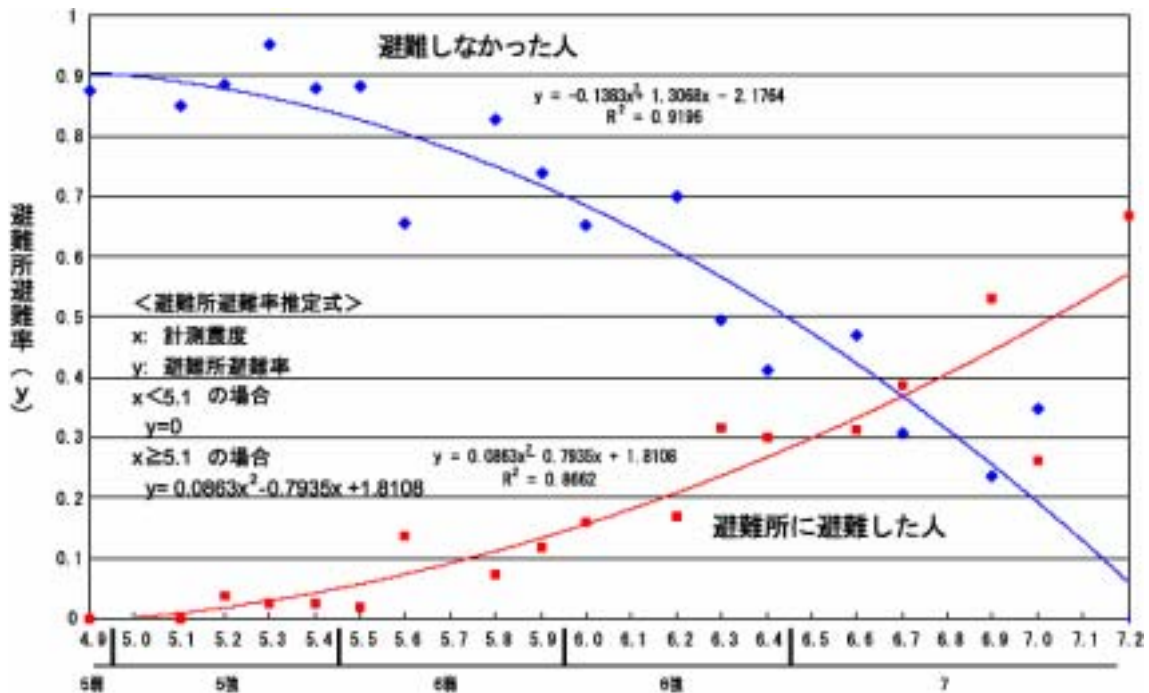


図 - 3.16 震災当日の避難所への避難者数の推定

¹ 木村玲欧・林春男他(2003)「社会調査結果を用いた地震による避難者推定手法の開発 - 2003 年京大防災研復興調査 - 」

² 神戸大学兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ(代表高田至郎): 兵庫県南部地震に関するアンケート調査 - 集計結果報告所

次に木村・林他（2003）では，社会調査結果の分析より震災後 100 時間目における避難者数を規定する要因は「10 時間での避難状況」「住宅が層破壊したか全壊したか」の 3 点であると結論し，100 時間の時点における避難所における避難者（就寝者）数を 10 時間の時点における避難者数(y_{10})と層破壊した家屋に居住する人の数 (X_1) および全壊被害を受けた家屋に居住する人の数 (X_2) より 100 時間避難者数推定式を導出している。

$$y_{100}=0.833y_{10}+0.171X_1+0.109X_2 \quad (100 \text{ 時間避難者数推定式})$$

図-3.17 に阪神・淡路大震災時の神戸市と西宮市における避難者の日ごとの推移を示す。阪神・淡路大震災において避難者の集計値にある程度信頼が期待できるようになったのが発災後ほぼ 100 時間目にあたる震災から 4 日目のことであるので，図の縦軸は 4 日目にあたる 1 月 20 日の避難者数を 1.0 として正規化した避難者（就寝者）数を示している。また，横軸は震災当日を 1 日目とした発災後の日数である。

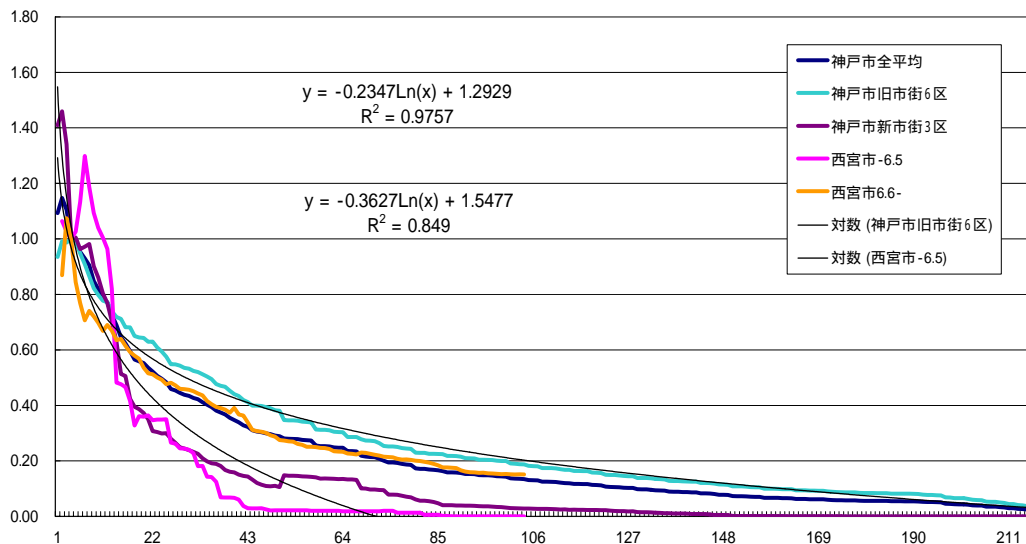


図 - 3.17 阪神・淡路大震災時の神戸市と西宮市における避難者の日ごとの推移

発災後 2 週間目ごろより，グループによって差はあるもののどれも対数回帰式で近似することが可能となっている。したがって木村・林他（2003）では発災後の時間経過による避難者（就寝者）数の推移は上記の対数回帰式を用いて推定可能であるとしている。その際，最も避難者数の減少が早かったグループ（西宮市計測震度 6.5 以下）と最も避難者が多く存在するグループ（神戸市旧市外 6 区）の対数回帰式をもって，推定値の最小値・最大値として用いている。

さらに木村・林他（2003）では，阪神・淡路大震災時に神戸市が配給した弁当から推定した避難者（要給食者）数と宿泊者数から集計された避難者数（就寝者数）との比を用いて日ごとの食事係数を算出している。表-3.10 に発災後 215 日目までの食事係数を示す。

本被害想定では，以上の知見をもとに避難者数分布予測結果として，各対象地震ごとに避難所への避難者数（即時）の分布として「元学区ごとに集計された発災後 10 時間の避難者数(y_{10})」及び行政区ごとの避難者数として「各行政区ごとの発災後 10 時間・100 時間・1000 時間における避難者（就寝者）数の推移」を示している。

表 - 3.10 食事係数

日	食事係数	日	食事係数	日	食事係数	日	食事係数
1	1.00	61	1.84	121	1.23	181	1.12
2	1.00	62	1.83	122	1.25	182	1.13
3	1.00	63	1.77	123	1.24	183	1.11
4	1.00	64	1.77	124	1.24	184	1.11
5	1.00	65	1.82	125	1.24	185	1.12
6	1.10	66	1.73	126	1.25	186	1.12
7	1.14	67	1.74	127	1.22	187	1.12
8	1.21	68	1.74	128	1.23	188	1.12
9	1.28	69	1.69	129	1.26	189	1.12
10	1.32	70	1.50	130	1.25	190	1.11
11	1.37	71	1.49	131	1.25	191	1.11
12	1.37	72	1.50	132	1.25	192	1.11
13	1.44	73	1.43	133	1.25	193	1.11
14	1.49	74	1.41	134	1.24	194	1.11
15	1.50	75	1.41	135	1.24	195	1.11
16	1.55	76	1.39	136	1.26	196	1.10
17	1.50	77	1.40	137	1.21	197	1.17
18	1.50	78	1.36	138	1.21	198	1.14
19	1.51	79	1.35	139	1.21	199	1.12
20	1.50	80	1.39	140	1.21	200	1.07
21	1.47	81	1.36	141	1.19	201	1.07
22	1.47	82	1.35	142	1.18	202	1.08
23	1.53	83	1.35	143	1.20	203	1.08
24	1.52	84	1.33	144	1.19	204	1.08
25	1.59	85	1.30	145	1.19	205	1.09
26	1.75	86	1.29	146	1.19	206	1.15
27	1.73	87	1.31	147	1.21	207	1.11
28	1.74	88	1.28	148	1.19	208	1.11
29	1.73	89	1.28	149	1.19	209	1.11
30	1.74	90	1.28	150	1.22	210	1.12
31	1.69	91	1.31	151	1.20	211	1.11
32	1.68	92	1.28	152	1.20	212	1.12
33	1.70	93	1.28	153	1.20	213	1.16
34	1.75	94	1.30	154	1.22	214	1.16
35	1.77	95	1.23	155	1.19	215	1.18
36	1.82	96	1.23	156	1.20		
37	1.81	97	1.23	157	1.23		
38	1.84	98	1.24	158	1.22		
39	1.89	99	1.21	159	1.21		
40	1.94	100	1.21	160	1.21		
41	1.96	101	1.25	161	1.22		
42	1.98	102	1.23	162	1.19		
43	2.00	103	1.24	163	1.19		
44	1.99	104	1.23	164	1.20		
45	1.95	105	1.25	165	1.20		
46	1.93	106	1.23	166	1.13		
47	1.96	107	1.23	167	1.11		
48	1.88	108	1.26	168	1.08		
49	1.87	109	1.24	169	1.07		
50	1.86	110	1.24	170	1.07		
51	2.01	111	1.24	171	1.08		
52	1.98	112	1.24	172	1.11		
53	1.94	113	1.23	173	1.12		
54	1.92	114	1.23	174	1.12		
55	1.90	115	1.24	175	1.12		
56	1.79	116	1.21	176	1.11		
57	1.78	117	1.21	177	1.11		
58	1.87	118	1.21	178	1.13		
59	1.87	119	1.24	179	1.13		
60	1.85	120	1.22	180	1.13		