

社会的要求性能を反映した耐震レベルの評価

Evaluation of the quakeproof level that reflected social demand performance

相内美紀*, 本城勇介**

Minori AINAI, Yusuke HONJO

* ADEKA総合設備株式会社, 開発部 (〒160-0014東京都荒川区東日暮里5丁目48番5号)

** 工博 岐阜大学教授, 工学部社会基盤工学科 (〒5011193岐阜県岐阜市柳戸1丁目1番)

A questionnaire focusing on finding out the acceptable damage level of ordinary citizens against earthquake hazards is carried out. One of the distinguished features of this questionnaire was to discover the acceptable level of infrastructures in comparison to private apartment buildings. It was also attempted to find out the acceptable damage rate to the structures by asking return period for damages in indirect and manipulative ways. Major findings of this study are (1) the acceptable annual rate for large earthquake damage seems to lie between 10 to -3 to -5, (2) most of the citizens consider infrastructures should be more seismic resistant than privately owned apartment buildings in concept, however if the same question is asked in more specific ways, this order can be reversed.

Keywords : Risk evaluation, Quake resistance, Social demand

リスク評価, 耐震性能, 社会的要求

1. 序論

本研究は, 特に我が国で関心の高い「地震リスク」に注目し, 構造物に対する市民の地震被害に対する受容レベルを明らかにしようとしたものである。本論でいう地震リスクとは, 地震により各種の被害を受ける確率と定義する。(ただし, 地震により被害を受ける危険そのものの意味でこの言葉を用いる場合もある。)阪神・淡路大震災以来, 市民の地震リスクへの関心は明らかに高まり, また変化してきていると思われる。また, 地震に関する種々の研究(発生確率や被害想定に関するものなど)も活発であり, 非常に多くの情報がマスコミやインターネットを通じて発信されている。そのような情報を受け止めている市民は, いったいそれをどのように感じ, 被害程度を予想し, それをどの程度まで受容しなければならないと思っているのだろうか。一方で, 性能設計における説明責任を適切に機能させるためのひとつの要素として, 社会基盤施設を使用する市民の要望を把握し, 反映することの重要性に注目が集まっている。しかしながらそこには, 市民の要望が定性的に表現されるため, 設計にそれを反映することが難しいという問題がある。実際の計画や設計に対して市民の要望を反映するには, 要望と反映の双方が定量的に表現されているということが必要である。社会的要求を考慮した耐震レベルの評価には, 平田¹⁾の研究があり, 住宅を設計する際の信頼性指標 β の算定において, アンケートを介して得られた市民の要求を反映させている。また, 宮路・川島²⁾は, アンケート調査により, 主に道路の復旧期間について, 土木技術者と市民の要望や認識を把握しようとしている。

研究の概要は, まず地震被害に対する許容被害レベルを中心としたアンケートを介して, 市民の耐震レベルに対する要求の程度を調査・分析し考察する。次にその結果から, 伺い知ることが難しいとされる, 市民の要求を反映した再現期間を定量的に求め, それが既存の研究³⁾から推定した構造物の損傷確率とどのような関係にあるかを比較するというものである。研究の流れを図-1に示す。

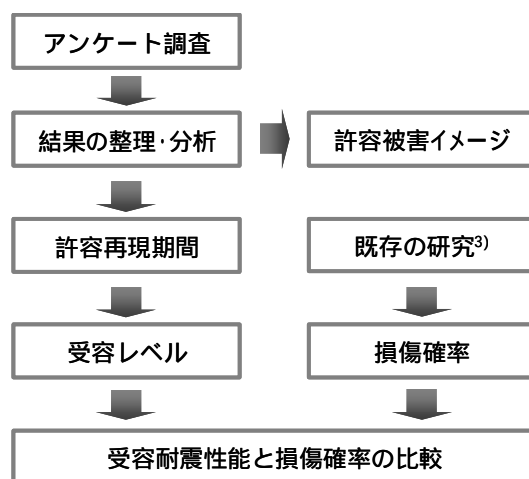


図-1 研究の流れ

2. 社会的要求の測定

2.1 リスク・イメージ

本研究では, 地震動の生起確率を被害の面から考察して

いる。この具体的表現は被害の再現期間ということになる。（再現期間を問うことは、生起確率を問うことになるのは言うまでもない。）

地震リスクは、日本人がさらされている種々の受動的なリスクにおいて、飛び抜けて大きいものではない。たとえば、年死亡率でみると、自動車交通事故が 10^{-5} 程度であるのに対して、地震によるものは $10^{-7} \sim 10^{-8}$ とかなり小さい⁴⁾。それにも係わらず地震リスクに人々の関心が高いのは、このリスクが大規模な経済的被害を伴い、かつ被害が地域全体に及ぶとともに、生活基盤全体が被害を被るといった特徴の他に、未知性（unknown）や恐ろしさ（Dread）といった要素が、一般市民に、より大きなリスクとして感じさせるという心理的な側面がある⁵⁾ことを見逃してはならない。さらに、この未知性と恐ろしさの要素が大きいほど、行政への期待も大きいということがわかっている。また、リスク心理学の研究⁵⁾などによると、種々の受動的なリスクの受容判断における境界線に明確な基準はなく、むしろそれは心理的な要因によって決まるといえる。つまり、リスクに対する反応とは、人間の内に持つ「イメージ」であり、そのリスク・イメージの定量的なレベルを知ることは、社会的要求（少なくともその重要な一部）を知ることになるといえる。そして、それを知る手段として市民に直接的に問うことができるアンケート調査を採用した。

2.2 アンケート調査の構成と特徴

アンケートの質問は33項目（Q1～33）より構成されており、内容の要約は表-1に示すとおりである。また、表現方法において工夫した点と特徴を以下に簡単にまとめる。

今回のアンケート調査の対象者は学生と一般市民である。また、後述する「震度6以上の大地震経験あり（以降、経験者）」のサンプル数は11で、全体の4%と少数ではあるが、比較を試みている。30代以上、および学生以外はほとんどが会社勤務であり、他に専業主婦が21名いる。回答者の属性は表-2に示すとおりである。

(1) 地震被害イメージと受容の調査

調査対象の中心を、地震の大きさではなく被害の大きさとした。また、イメージしやすいように具体的な対象構造物を示し、その対象構造物が受ける被害の程度を、定量的に（修復日数や金額）表現した。

(2) 被害イメージの具体化

質問する被害レベルを公共構造物と私的所有構造物である自宅（新築マンションと具体的に想定した）に分けている。まず、公共構造物（Q14～Q22）については、被害を大被害に固定して質問している。一方、自宅（Q23～Q33）の方は、被害を被害金額に応じて小被害（300万円）、中被害（1,000万円）、大被害（財産価値を失う）と変化させた。

(3) 私的所有構造物と公共構造物の比較

普段分けて議論されている私的所有構造物と公共構造物を共に扱い、耐震レベルに対する要望に、有意な差はあるのかにも注目している。耐震性に関するイメージと要求の程度を、公共構造物と私的所有構造物との比較で答えてもらうという方法を取り、検証している。双方は別々に議論されることが多く、私的所有構造物と公共構造物とを同じ

尺度で比較する試みは筆者たちの知る限りない。しかしながら社会の枠組みにおいて、構造物として果たさなければならぬ安全性という性能の目的は同じであると考え、それを問うQ12, 13, 24, 25, 27, 28, 30, 31を作成した。

(4) 質問の順番

アンケートにおける質問の順番は、地震被害において最悪のケースである人命の損失に対して、イメージを具体化させてから本題に入るようにした（Q4～Q11）。これが、自分の中にある地震リスクを評価する場合の、相対的な座標の原点になると考えたからである。また、特に重要な質問は、間隔を置いて設け、相互矛盾がないかチェックした。たとえば、Q17と21, Q23, 26, 29などである。

(5) 大地震経験の有無

受容レベルの個人差を把握するためには、「経験」の有無は極めて興味深いものである。アンケートでは、「震度6以上の地震を経験したことがあるか」という問いを設けている。

(6) 震度に対する認知の確認

地震の大きさを示すものの中で、最も認知度が高いものは「震度階」である。しかしながら、認知の程度はどうであろうか。そこで、あえて現在設定されている震度階には無い「震度7より上」という選択肢を設けて、震度階の認知度を確認するためのひとつとした。

(7) 被害と地震の大きさ（震度）

被害と地震の大きさの関係も別途に質問して、この二つが一般的にどのような関係で認知されているのかを調べた。

(8) リスク・イメージの影響

リスクの実際と認知の間にはズレがあり、一般人のリスク・イメージは、未知性（Unknown）、恐ろしさ（Dread）、災害規模（Number of people involved）の3つの因子で構成されていることがわかっている^{5), 6)}。これをよく現しているのが自動車事故と原子力施設事故における認知のズレである。実際に調査してみると、死亡率が高い自動車事故よりも、死亡確率が非常に小さい原子力施設事故の方が怖いと思う人が多いのである。本研究ではアンケートを実施した対象者にも同様の質問をした。この質問により、アンケート対象者全体の認知のズレを既存の研究結果（リスク心理）と比較することで、アンケート結果の信頼性を確認している。さらに個々の回答者のリスク・イメージの特性と地震被害に相関があるのかについても確認している。

(9) 30年前 vs. 2000年以降建設した公共構造物

公共構造物を具体的に東名高速道路と指定して、許容する被害レベルを調査した（Q14～22）。また、新旧の構造物が混在する中、回答者のイメージを明確にする工夫として、構造物の建設時期を「30年前に建設」と「新しく建設（2000年以降）」の2つに分けた。

(10) 再現期間に関する質問形式

地震被害の再現期間に関する質問は、これを直接に表す「何年間に1回」という表現を用いず、「被害に遭いたくない期間」を質問した。そして、整理の段階でこの質問は、「回答年数の間にこの被害に遭う確率が α 以下になる」と、置き直すことで再現期間に換算した。 α は0.01, 0.05, 0.1と変化させて感度を調べた。再現期間を直接に問わなかつ

たのは、仮に「50年に1回」と回答しても、それが1年後あるいは50年後に生起するのでは、回答者にとって全く異なる意味を持ち、回答に戸惑うと考えたからである。

表 - 1 アンケート内容の要約

Q	アンケートの内容
1	年齢・性別・現住所
2	職業
3	震度6以上の地震を経験したことがあるか
4	地震防災の対策数
5	一番心配なもの（失うことがいや）
6	命の危険を感じて怖いと思う最小の震度
7	家族の身を案じて、慌てる震度
8	死亡原因で怖いと思う順番（最近10年間）
9	死亡者数が多いと思う順番（最近10年間）
10	大地震だと思ふ死亡者数（一万人中）
11	自分が死ぬことをあきらめる死亡者数（1,000人中）
12	公共構造物に対する安全性のイメージ
13	公共構造物に対する安全性の要求の程度
14	大被害を許容する震度（30年前に建設）
15	大被害を許さない震度（30年前に建設）
16	設計していると思う震度（30年前に建設）
17	大被害を許容する期間（30年前に建設）
18	大被害を許容する震度（2000年以降に建設）
19	大被害を許さない震度（2000年以降に建設）
20	設計していると思う震度（2000年以降に建設）
21	大被害を許容する期間（2000年以降に建設）
22	大地震時における公共構造物の許容する被害
23	自宅が小被害になるときに許容する期間
24	自宅が小被害時の鉄道に対する許容被害レベル
25	自宅が小被害時のライフラインに対する許容被害レベル
26	自宅が中被害になるときに許容する期間
27	自宅が中被害時の鉄道に対する許容被害レベル
28	自宅が中被害時のライフラインに対する許容被害レベル
29	自宅が大被害になるときに許容する期間
30	自宅が大被害時の鉄道に対する許容被害レベル
31	自宅が大被害時のライフラインに対する許容被害レベル
32	大地震時における自宅の許容被害
33	自宅が小被害、中被害、大被害になると思う震度

表 - 2 回答者の属性

回 答 者 数	304名
年 代	20代以下（201名）、30代以上（103名）
性 別	男性（216名）、女性（67名）
現 住 所	東海（183名）、東海以外（99名）
職 業	学生（188名）、学生以外（115名）
経 験	ある（11名）、ない（293名）

2.3 言葉の定義

アンケート中で重要な意味を持つ2つの言葉「大被害」と「大きな震度」を、今回の調査において以下のとおり定義している。これは、市民の要求（許容）する耐震性能を調査する上で、個人差によるイメージの違いを生じさせない

ことで、より正確に心理的イメージを把握するためである。

(1) 大被害

大被害の定義は、対象が公共構造物の場合は「使えるようになるまでに要する期間が、数日から数週間程度の被害」とし、私的所有構造物（新築マンション）の場合は「財産価値を失う」としている。限界状態という、修復限界と考えて設定した。

(2) 大きな地震

大きな地震は「阪神・淡路大震災をイメージ」とした。実際には震度6強の地震である。ここで、「兵庫県南部地震」としなかったのは、他の研究¹⁾ から、市民は阪神・淡路大震災と表現した方がよりイメージしやすいとの見解を参考としたからである。

2.4 アンケート調査による主な回答結果

(1) リスクに関する認知のズレ（Q8, 9）

今回、回答者にもリスク・イメージ（2.1参照）の認知についての質問をした。つまり、確率的な頻度は低くても、未知性・恐ろしさ・災害規模の大きい対象に対して、より大きなリスクを感じるという、広く知られている研究成果と比較することで、認知のズレを確認した。質問内容は、「火災、地震、交通事故、台風、航空事故、原子力発電施設被爆事故」の6項目について、怖いと思う、および死亡者が多いと思う順番に番号を付けてもらうというものである。

結果を相対的に評価して、原子力発電施設被爆事故は認知のズレが大きく、交通事故では比較的小さいというものだった。この関係を、「怖いと思う順位 - (マイナス) 実際に死亡者が多いと思う順位」の関係でまとめたものが図 - 2である。たとえば、原子力被爆事故の「-5.0」とは、イメージの1位から死亡者数の6位を減算した値である。80%の人が「死亡者数が一番低いだろう」と答えた原子力施設の被爆事故が、イメージでは「一番怖い」という結果になった。これは、アンケート結果がリスク・イメージに関して広く知られた研究成果と同様の傾向が得られたということになる。このことから、以下に示す結果は地震による被害というリスクに対して、一般的な見解から逸脱するものではないと考える。

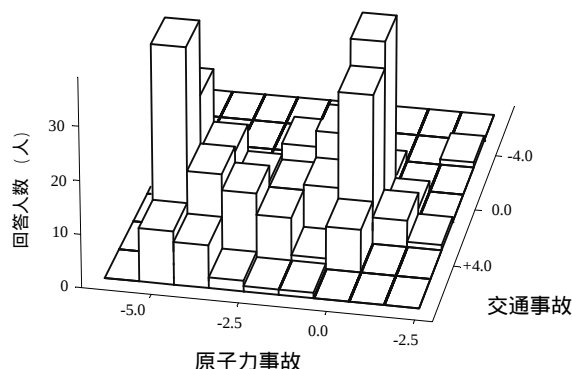


図 - 2 リスク（死）に関する認知のズレ

(2) 命の危険を感じる震度（Q6）

「命の危険を感じて怖い」と思う震度の度数分布を図 - 3に示す。もっとも多かった回答は震度5強で、次いで6弱と

なった。また経験者では6強が最も多かったが、全体的に大きな違いは見られない。

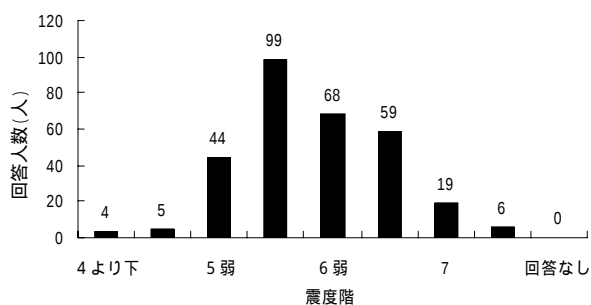


図 - 3 命の危険を感じて怖いと思う震度

(3) 人命に関する質問

人命に関する質問を2つしている。ひとつは「地震によって命を失う人数が一万人のうち、何人のとき大地震だと思うか(Q10)」そしてもうひとつは「地震によって命を失うのが1,000人中、何人なら自分がその内の1人となることを許容するか(Q11)」というものである。それぞれの結果を図 - 4、および図 - 5に示す。

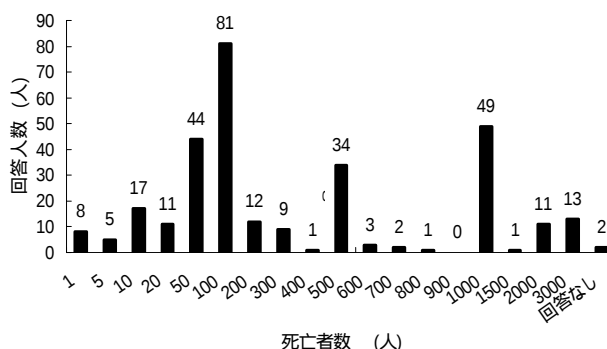


図 - 4 地震によって命を失う人が一万人のうち、何人のとき大地震だと思うか(Q10)

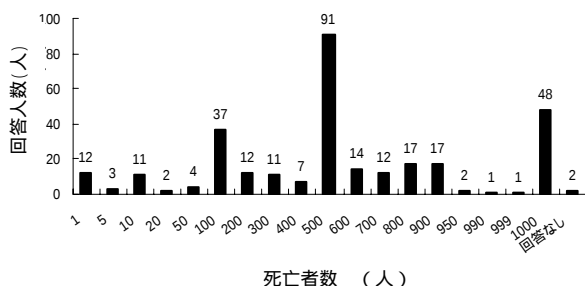


図 - 5 地震によって命を失うのが1,000人中、何人なら自分がその内の1人となることを許容するか(Q11)

図 - 4において、50%以上の方が対象人口における死亡者数が1%以下で大地震だと思うと答えている。その一方で10～30%の死亡者数でないと、大地震だとは思わないと答えている人は、およそ25%を占める。(ちなみに、阪神・淡路大震災では6,400人を超える尊い命が失われた。これは阪

神地区の人口のおおよそ1%程度であると思われる)さらに図 - 5を見ると、3人に1人が対象人口における死亡者数が半分以上ならば自分の命を失うことをあきらめると答えている。1%以下の死亡率が大地震であるという回答と比べると、自分がその立場に置き換わると、許容したくないと答えていることが強く現れている。また、15%を超える人が絶対に許容しないと答えている。

(4) 安全性のイメージ(Q12, 13)

調査における私的所有構造物は「自宅(3LDK、価格3千万円の新築マンション)」と設定した。これを基準(ゼロ)として公共構造物の安全性(性能)に対する、現在のイメージと要求の程度を回答してもらった。回答は基準0で、上下3段階を用意した。すなわち、マンションと比べて「非常に高い、高い、やや高い、同程度、やや低い、低い、非常に低い」(+3～-3)の7段階とした。また、対象とする公共構造物は、それぞれ病院、学校、デパート、オフィスビル、鉄道高架橋の5種類である。

まず公共構造物から見ていくと、今から30年前、および新しく(2000年以降)建設した構造物に対する震度のイメージとして、それぞれの設計震度と大被害を許容する震度が互いに一致するという結果になった。一方、マンションを対象とした場合、公共構造物よりも高い耐震性能を要求している(公共構造物の震度6.65に対して、6.15)という結果となった。前の質問(Q12, 13)で、自宅よりも公共構造物の方が安全でなければならないと答えている人が圧倒的に多いことと比べると、これは矛盾する結果と言える。この辺に、理性的には公共構造物は私的所有構造物よりも高い耐震性を持つ必要があると理解しながら、私的所有財産は低被害であって欲しいという、市民の意識が反映されていると見るべきであると考えられる。

結果をまとめると、各公共構造物に対するイメージと要求の平均と標準偏差は表 - 3のようになる。まず、病院はイメージと要求に大きな差はなく、自宅よりも安全であり、かつ安全であって欲しいという傾向が非常に強い。次いで、学校、デパート、オフィスビルも同様の結果であるが、病院に比べるとその傾向はやや弱い。一方、鉄道高架橋はこれら4種類と異なる傾向となり、イメージと要求性能の間に大きな開きがあった。つまり、鉄道高架橋の性能イメージに対する評価は他の公共構造物と比べて低く、要求は他の公共構造物と同程度(自宅よりも高い)である。

表 - 3 自宅を基準としたときの、公共構造物の安全性に対するイメージと要求の程度

	イメージ		要求	
	μ	σ	μ	σ
病 院	1.769	1.153	2.477	1.027
学 校	1.384	1.262	2.191	1.241
デ パ ー ト	0.542	1.250	1.480	1.143
オフィスビル	0.470	1.251	1.480	1.114
鉄 道 高 架 橋	0.301	1.666	1.983	1.168
全 体	0.894	1.447	1.923	1.180

μ : 平均, σ : 標準偏差, $n=302$

(5) 大地震時に許容するマンション(財産)被害の程度とそのときの公共構造物被害との比較

アンケート(Q32)では、大地震が発生したときの損害の程度として、自分の財産(マンション)の損失が、どのくらいの金額ならしょうがないと認め、3,000万円の新築マンションを購入するかを問うた。具体的な被害金額は、表-4のとおりである。一方、上記のような状況になったとき、公共構造物に対しては「どの程度の被害ならしょうがない(許容する)と思うか」という形式で質問している。アンケートでは、公共構造物として、ライフラインと鉄道の2種類について質問している。ここでは特に、鉄道(Q24, 27, 30)に対する許容被害についてまとめる。被害の程度は使用できるまでの期間とし、少なからずマンションの被害を認める(ほとんど無被害以外)と回答した91%の人たちを対象に、鉄道における許容被害の回答を表-5にまとめた。また、購入を承諾するマンションの被害別に、許容する鉄道の被害を図-6に示す。

表-4 大地震時に許容する私的所有構造物の被害

被害の程度(マンションの被害金額)	回答(%)
ほとんど無被害	9
300万円の被害	32
1,000万円の被害	48
財産価値を失う	11

n=300

表-5 大地震時に許容する鉄道高架橋の被害

使えるようになるまでの許容する期間	回答(%)
ほとんど無被害	15
数時間以内	57
数日から数週間以内	0
数ヶ月以内	28

n=273

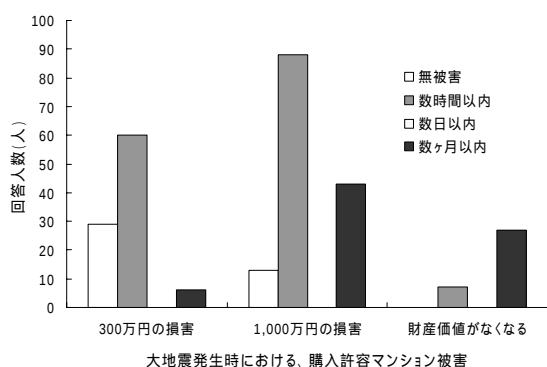


図-6 大地震発生時における許容マンション被害別、許容する公共構造物の被害の程度

先にも述べたように、本論文の目的のひとつは、公共構造物の耐震性能に関する市民の要望を把握する点にある。そして、それを私的所有構造物であるマンションとの対比を通して求めようとしている。これは、公共構造物の耐震

性を高めることには、自身の家計からの直接の支出を伴わないという問題を、間接的に回避するためである。そのような結果で見ても、市民の公共構造物(特に病院、学校、鉄道高架橋)に対する安全性の要求は高い。

表-5に示すように、鉄道の復旧に関する市民の要求はかなり高い。同様の調査²⁾による結果でも、一般市民は1日以内の復旧を要求したものが33%、3日以内が63%と高かった。また、図-6より、自宅マンションに高い要求を課していることが鮮明である。本アンケートでは、同様の質問を先のQ12, 13や、後のQ21, 29でも行っており、それらで示されている結果は、必ずしもこの表-5で示されている結果と一致しない。また、アンケートではその問いの出し方や順序により、答えが変化することを明記しなければならない。

(6) 大被害を受容できる震度

公共構造物を対象に、大被害が起きるという前提で、震度についての切り口を変えた質問(Q14, 15, 16, 18, 19, 20, 33(C))をいくつか行った。得られた結果の平均と標準偏差を表-6に示す。表は、上から3段までが公共構造物で、4段目は私的所有構造物である。また、ここでいう公共構造物は、東名高速道路をイメージして回答してもらった。

まず、公共構造物から見ていくと、今から30年前、および新しく(2000年以降)建設した構造物に対する震度のイメージとして、それぞれの設計震度と大被害を許容する震度が互いに一致するという結果になった。一方、これが財産として設定したマンションを対象とした場合、公共構造物よりも厳しい、すなわち高い耐震性能を要求しているという結果となった。前の質問(Q12, 13)で、自分の家よりも公共構造物の方が安全でなければならないと答えている人が、圧倒的に多いのと比べるとこれは矛盾する結果といえる。さらに、全体的に設計震度と大被害を許容する震度が一致している一方で、個々の回答者の解答結果では、設計震度と大被害を許容する震度の関係が必ずしも整合していなかった。

表-6 大被害に対する震度のイメージ

建設時期	30年前		2000以降	
	μ	σ	μ	σ
大被害を許容する	5.92	0.65	6.65	0.58
大被害を許容しない	4.95	0.75	5.70	0.82
設計時に想定	5.94	0.64	6.70	0.57
マンションが大被害になることを許容する			6.15	0.60

μ : 平均, σ : 標準偏差, 公共n=292, 私有n=299

(7) 命の危険を感じる vs. マンションが大被害になると思う震度

命の危険を感じる震度と私的所有構造物であるマンションが大被害になるかもしれないと思っている震度が、どのような関係にあるかを見る。図-7は、自宅が中被害および大被害になるとイメージしている震度と命の危険を感じて怖いと思う震度の差の関係を示したものである。たとえば、大被害になるかもしれないと思う震度を6弱、命の危険を感じる震度を5弱と回答した人の場合、6.0-5.0=1.0としている。

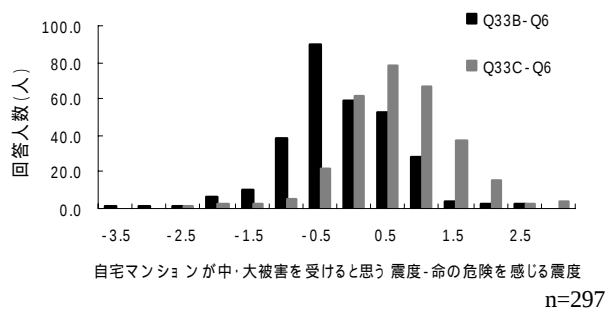


図 - 7 命の危険を感じるvs.大被害を許容する震度

まず、命の危険を感じる震度と中被害が起こると思う震度について比較してみる。中被害が起きるときの方を若干大きくイメージしているが、ほぼ同じくらいであることがわかる。すなわち、購入したマンションが1,000万円の被害を受けるような地震と命の危険を感じる震度は同程度をイメージしているという結果である。また、財産を失うような大被害をもたらすと思っている地震は、命の危険を感じる地震よりも、震度階でいうと2段階程度大きくイメージしている。たとえば、命の危険を感じる震度を5強と回答した人は、財産を失う被害は6強以上だと答えているという結果である。

この回答からは、それぞれが地震に対して命と直結した恐怖があり、それは震度階で評価しているものの、構造物に対して「このくらいの震度以下なら」構造物は安全だと思っていることを意味していると考えられる。言い換えれば、私的所有構造物の耐震性能に対するイメージとして、回答者の要求の下限にあたるのではないかと考える。

(8) 経験の有無別、許容被害の程度

大地震に対する経験の有無が、要求する耐震レベルに影響するかについても注目したが、予想と反して顕著な差がなかった。その中で、比較的、経験者と非経験者に顕著な差があったのがQ22（新旧公共構造物に対する許容被害の程度）における回答である。新しく建設したものに対する許容被害の程度に、ばらつきが小さいという特徴があった。結果を表-7に示す。この問いにおける被害は、軽微な被害、小被害、中被害、大被害、倒壊の5段階（データをまとめる上で、それぞれを1~5とした）の被害について、大地震時に許容する被害を選んでもらうというものである。被害の対象は「新旧の構造物が大地震時に被害が生じたときに、我々が使えるようになるまでの期間」としている。

表 - 7 大地震の経験による許容被害(Q22)

項 目		経験者	非経験者
30年前の 公共構造物	μ	3.091	3.328
	σ	0.315	0.053
新しい 公共構造物	μ	1.909	2.086
	σ	0.163	0.047

μ：平均，σ：標準偏差，n=経験なし(290)，経験あり(11)

市民の震度に対する認知度（アンケート調査の信頼性）市民にとって、地震による損失のうち、最も失いたくないものが命、次が財産であることはアンケート調査で確認し

た(Q5)。アンケートではさらに、そのイメージが「震度」を尺度とした場合にも同じ結果となるかを検証している。

結果、回答者は財産を失うとイメージする震度よりも、命を失うとイメージする震度の方が、より低い震度であると答えている（Q6，Q33(C)）。つまりこれは、市民が自分の意思を震度によって表現することができていることを意味していると考えられる。一方で、5人に1人は「震度7より上」があると認識しているなど、見落としとしてはならない点もあるが、相対的に見て震度を中心とした質問構成となる本アンケート調査の結果には信頼性があると考えられる。なお、本アンケートの実施は、耐震強度偽装問題が社会的に大きな問題となる前に実施したものである。したがって、そのことによる回答への影響はない。

(9) 意識の違いによる許容レベル

アンケート内で「地震による死亡人数が何人なら、自分も命を失うことを許容するか（Q10）」という質問を設けた。この質問から得られた結果からは、他に見られない傾向があった。特に、再現期間（何年後に大被害になるのかもしれないと思う年数）には明確な差が見られた。新しく建設される構造物に対して、大被害にならないで欲しい期間について、それぞれの結果を図-8、図-9に示す。

前者（受容しない人）では、90%が50年以上でないと、構造物が大被害を受けることを許容しないと答えている。一方それとは対照的に、後者は50%が25年以下でも許容すると答えている。他の項目についても後者は比較的、許容レベルが低い傾向にある。これは、性別、年代別、経験などでは見られなかった傾向である。

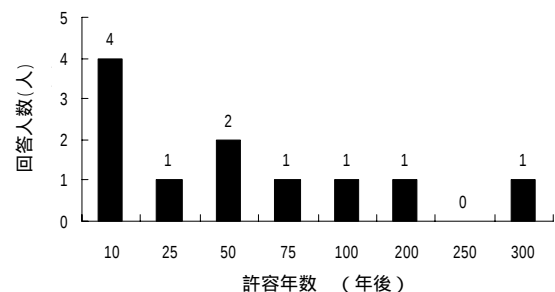


図 - 8 地震で死ぬことを絶対に受容しない人の許容年数

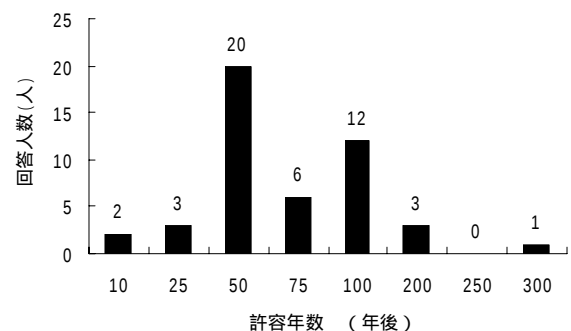


図 - 9 地震で死ぬのが自分だけでも受容する人の許容年数

2.5 地震被害の再現期間の算定と結果

一般市民に直接「地震被害の再現期間」について質問をしてもその意味が明確にはならないと考え、質問の表現を

工夫したことは、上述したとおりである。ここでは、それをどのように再現期間に変換したのかを説明するとともに、算定方法とその結果を示す。

(1) 質問内容から再現期間算定までのプロセス

本アンケートでは、それぞれの被害について「 n 年後ならしょうがないと思うか」と問うた。これを別の表現にすると「 n 年間は、その被害に遭いたくない」と言い直すことができる。この問いはさらに「 n 年間にこの被害に遭う確率は α %である」と解釈する。これを市民が大被害を許容する再現期間とし、以下のように算定した。このとき α は、1,5,10(%)など、小さい値であることは言うまでもない。具体的な再現期間 t_r の算定方法は以下のとおりである。

$$\alpha = 1.0 - \left(1.0 - \frac{1}{t_r}\right)^n \quad (1)$$

α : n 年間は、当該被害に遭わない確率
 n : 期間（アンケートで回答された年数）
 t_r : 再現期間

よって、再現期間は式(2)のとおりとなる。

$$t_r = \left[1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{n}}\right]^{-1} \quad (2)$$

たとえばアンケートにおいて、対象とする被害が「50年後に起きるならならしょうがないと思う。」と回答した場合、 $\alpha = 0.1$ 、すなわち被害に遭遇する確率90%の場合、許容する再現期間は $t_r = 475$ 年となる。

(2) アンケート調査による地震被害の再現期間に関する回答結果

地震被害の再現期間に関する質問は全部で5つしており、公共構造物についてはQ17と21で、私的所有構造物（マンション）についてはQ23、26、29でそれぞれ行っている。いずれの場合も、大地震が発生したときを想定している。ここでは α を0.1としたときの結果を対数正規分布に当てはめたものを図-10に、式(2)より求めた再現期間の結果を表-8に示す。

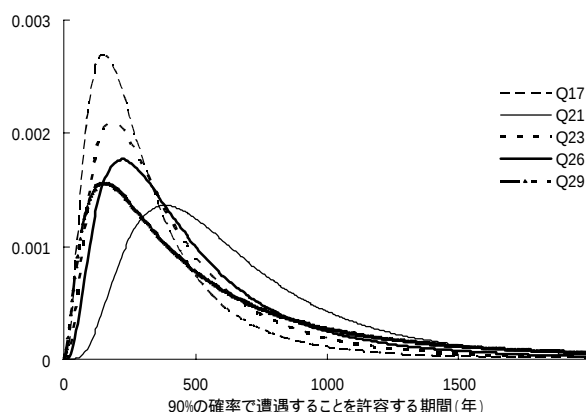


図-10 許容再現期間

表-8 許容再現期間の算定結果

質問		Q17	Q21	Q23	Q26	Q29
α	n	37	72	46	54	65
0.10	μ	350	680	430	500	610
	σ	310	400	360	400	560
	$1/t_r$	0.00286	0.00147	0.00233	0.00200	0.00164
0.05	μ	720	1390	880	1040	1260
	σ	640	830	740	830	1150
	$1/t_r$	0.00139	0.00072	0.00114	0.00096	0.00079
0.01	μ	3,670	7,090	4,510	5,290	6,410
	σ	3280	4,240	3,800	4,230	5,880
	$1/t_r$	0.00027	0.00014	0.00022	0.00019	0.00016

Q17：公共構造物30年前に建設したものが大被害
Q21：公共構造物2000年以降に建設したものが大被害
Q23：新築の私的所有構造物が300万円の被害
Q26：新築の私的所有構造物が1,000万円の被害
Q29：新築の私的所有構造物の財産価値が無くなる
 n ：回答した年数（年）
 α ：遭遇する確率
 μ ：再現期間 t_r の平均（ラウンドナンバー）
 σ ：標準偏差
 $\frac{1}{t_r}$ ：年再現確率

はじめに公共構造物の結果から説明する。許容する再現期間の平均は、30年前に建設したものが350年、新しく建設したものが680年となり、この二つの差は、回答した年数でいうと35年に相当する。質問は今現在を基準に回答してもらっているため、この35年は建設時期のズレである30年にほぼ相当するといえる。したがって、この結果からは、新旧の構造物に対する要求性能（期間）に明確な差を見ることはできない。しかしながら、この結果からいえることは、公共構造物に対して要求している耐震性は、建設した時代背景などではなく、建設した時点からの期間で評価をしているということである。すなわち、建設した時期に関係なく、70年後程度に、大地震が起きたときに大被害（修復限界）になるものを耐震性として要求しているということになる。

次に、マンションでは小被害と大被害の平均の差は180年で、これは回答した年数ではおよそ20年に相当する。

一方、市民が自宅よりも公共構造物の方が耐震レベルを高く要求していることは、前述した。これを踏まえて最後に、公共構造物とマンションが大被害となる場合を比較する。マンションが大被害になることを許容する平均再現期間は610年、そして公共構造物の大被害を許容する平均再現期間は680年となった。これは回答した年数でいうと7年の差に相当する。圧倒的に公共構造物への要求性能が高いのに比べ、これは必ずしも大きな差であるとはいえない。

また、回答年数のばらつきの幅にも特徴がある。Q17、21、23、26の標準偏差が回答年数でいう40年前後であるのに対し、Q29だけが60年を超えている。すなわち私的所有構造物であるマンションが大被害になることを許容する再現期間については、短い期間でも認める人と、非常に長い

期間を要求している人で二極化しているのではないかと考える。しかしながら、全体の結果を総合的に判断すると、公共構造物も私的所有構造物も同程度の要求性能であるということが言える。

3. 地震被害調査などによる耐震性能の算定

3.1 耐震性能算定の概要

前項までで、社会的要求のひとつである、市民が大被害を許容する再現期間に関する結果をまとめた。ここでは、林ほか³⁾に従い、実際の地震予測データを基に、性能(Is値：RC構造物の構造耐震指標)と地震の規模に即した構造物の耐震性能として、損傷確率を図-11の手順により算定する。

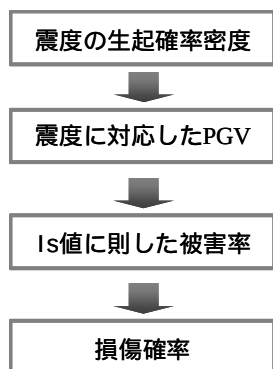


図-11 損傷確率の算定手順

- 本研究では、次のような点を考慮して解析を行った。
- 林ほか³⁾の研究は、兵庫県南部地震の被害調査の結果に基づく経験則的な被害評価方法を提案しており、現存構造物の被害評価にはある程度の精度があると考えられる。さらにこの調査は、1981年の新耐震法導入前後を区別しており、興味深い。
- 当大学が立地している近隣の地震被害を対象とし、この地域を対象とした確率的地震動予測の最近の研究成果⁷⁾を利用した。
- 本研究で行ったアンケート調査は、サンプル数等から見て、日本の市民の総意を反映しているとはとても言えない。ここでは、このような本調査の精度も考慮し、この精度に見合ったリスク方法を採用していると考え。したがって、結果はあくまでもオーダーレベルで評価するべきであると考え。

(1) 生起確率密度 (p_i) の算定

本研究で用いる対象地域データ(震度と50年生起確率)は、現行の地震防災対策強化地域に指定されている、G県N市のデータ⁷⁾を採用した。また、そのデータをプロットしたものを図-12に示す。さらにその結果、近似式(3)を得た。ここで、以下より震度の項目に表記する数値はそれぞれ、5.5は震度階の5強、6は6弱、6.5は6強、7.0は7を意味し、計算をする上での都合上の表現である。

$$I = -0.3574 \ln(p_i) + 4.891 \quad (3)$$

p_i：生起確率，I：震度

この式(3)を、生起確率を求める式に書き改めると、式(4)のとおりとなる。得られた結果を表-9に示す。

$$p = e^{\frac{4.891-I}{0.3574}} \quad (4)$$

表-9 震度と実データから変換した50年生起確率密度

I	7.0	6.5	6.0	5.5
p	0.0042	0.0171	0.0694	0.281

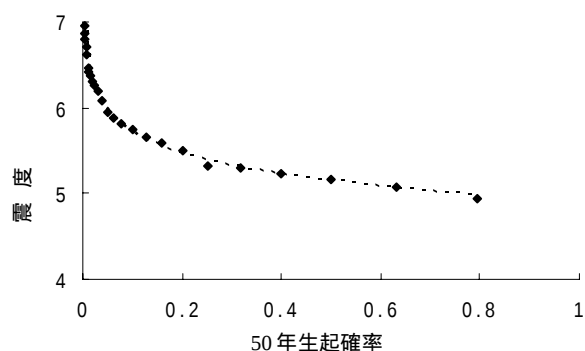


図-12 G県N市における震度に対応する生起確率

(2) 震度階に対応した最大速度 (PGV) の算定

まず、地表における最大速度PGVと計測震度Iとの関係式⁸⁾を用い、震度階に対応した最大速度PGVを求める。

$$I = 2.68 + 1.72 \log(PGV \pm 0.21) \quad (5)$$

I：計測震度 (4 < I < 7)

PGV：最大速度(cm/s)

式(5)からPGVを求める式に書き改めると、式(6)となる。この式より、計測震度からPGV(最大速度)を算出すると、表-10のようになる。

$$PGV = 10^{\frac{I-2.68}{1.72}} \quad (6)$$

表-10 震度に対応するPGVの計算値

I	7.0	6.5	6.0	5.5
PGV(cm/s)	325	166	85	44

(3) Is値に対応した最大速度 (PGV) の算定

まず、Is値について説明する。Is値とは構造耐震指標といい、RC造建物の耐震性を表すひとつの指標である。この数値が大きいほど耐震性が高いことを意味する。ひとつの報告として、Is値が0.8以上の場合、被害率は0に近づくと考え、近年、学校は0.7を目標に補修が進められている。

ここで、Is値=0.4の場合の被害率50%に対応するPGVが、各被害レベルについて一定であると仮定した、林ほか³⁾を参考に、任意のIs値とPGVの組合せに対応する被害率を式(7)より算定する。

$$PGV = PGV_R \left(\frac{I_s}{I_{sR}} \right) \quad (7)$$

ここで損傷確率の算定にも用いる I_{SR} 値は、自治体の建物被害想定で用いられることも多い、年代別・階数別 I_S 値の分布のうち、6階建てにおける I_S 値の平均と標準偏差を基に被害の推定を行う。このときの I_S 値の平均と分散を表 - 11 に示す。また、式(7)より算定したPGVの値と、被害率が50%になるときの I_{SR} 値を、表 - 12にまとめる。

表 - 11 年代別・階数別 I_S 値、6階建ての I_S 値

	昭和46年以前	昭和47～56年	昭和57以降
μ	0.486	0.661	0.805
σ	0.217	0.247	0.247

表 - 12 被害レベル別PGVの決定

被害レベル	I_{SR} 値	PGV(cm/s)
軽 微	1.00	50
小 被 害	0.50	100
中 被 害	0.35	150
大 被 害	0.20	250
倒 壊	0.17	300

以上より、各被害レベルについて（PGV， I_S ）の組合せを2点ずつ求めることができる。これを内外挿することにより、任意の I_S 値における、被害率50%に対応するPGVを求めることができる。

3.2 損傷確率の算定

(1) 損傷確率の算定手法

損傷確率とは、構造物の性能と地震規模によって生じる損傷の確率を言う。ここで用いる被害率曲線は、兵庫県南部地震時の神戸市から宝塚・伊丹・尼崎市に至る広域で推定された最大速度と、RC造建物被害率の平均的關係を示す曲線であり、式(8)で示される。ただし、 λ は前節で求めた I_S 値に対応した被害率50%のときのPGVに対応する I_S 値を、 ζ は0.6とする³⁾。

$$P_i(PGV, I_S) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda_R(I_S)}{\zeta_i(I_S)}\right) \quad (8)$$

Φ ：標準正規分布関数

λ ： $\ln(I_S)$ の平均

ζ ： $\ln(I_S)$ の標準偏差

以上より、震度ごとの各 I_S 値に対する被害率を求める。ここでは大被害について求めた結果を例として表 - 13に示す。

表 - 13 大被害時における I_S 値ごとの損傷確率

震度		7	6.5	6	5.5
PGV(cm/s)		325	166	85	44
Is値	0.3	0.820	0.420	0.094	0.008
	0.6	0.406	0.087	0.007	0.000
	0.9	0.180	0.021	0.001	0.000
	1.2	0.082	0.006	0.000	0.000

(2) 被害レベル別の損傷確率

最後に、対象地点（地域）における被害レベルごとのRC造構造物の損傷確率を式(9)により算定する。

$$P(D) = \sum_{I_S=0.1}^{1.6} \sum_{S_i=5.5}^7 f(D|I_S, S_i) f(I_S) f(S_i) \quad (9)$$

$f(D|I_S, S_i)$ ：被害レベル

$f(I_S)$ ：対象構造物の I_S 値

$f(S_i)$ ：震度の生起確率密度

さらに、最近公表された「確率論的地震動予測地図」⁹⁾を見ると、今回モデルに採用した地域よりも、1オーダー高い地震発生確率が複数確認できた（ただし、今後30年以内）。それを受けて、震度5強から7までの生起確率を10倍し、各年代別の損傷確率の感度を調べた。その結果を表 - 14に示す。

表 - 14 年代別・被害レベル別の年損傷確率

		軽 微	小被害	中被害	大被害	倒 壊
S57年	A	1.5×10^{-3}	4.3×10^{-4}	1.9×10^{-4}	6.0×10^{-5}	4.0×10^{-5}
	B	1.1×10^{-2}	3.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	5.2×10^{-4}	3.3×10^{-4}
S47～56年	A	2.1×10^{-3}	7.2×10^{-4}	3.5×10^{-4}	1.3×10^{-4}	9.0×10^{-5}
	B	1.4×10^{-2}	5.5×10^{-3}	2.8×10^{-3}	1.1×10^{-3}	7.3×10^{-4}
～S46年	A	3.1×10^{-3}	1.3×10^{-3}	6.9×10^{-4}	2.8×10^{-4}	2.0×10^{-4}
	B	1.8×10^{-2}	8.8×10^{-3}	5.0×10^{-3}	2.2×10^{-3}	1.6×10^{-3}

A：生起確率から推定した年生起確率

B：生起確率を10倍したものから算定

(3) 要求性能との比較

ここで、推定した年代別・被害レベルごとの損傷確率とアンケート調査より得られた年発生確率とを比較する。まず、表 - 15にアンケート調査により得られた許容再現期間から標準偏差を考慮して算定した年発生確率を、それぞれ3種類の α ごとにまとめる。

表 - 15 アンケート結果による α 別許容年発生確率

α		Q17	Q21	Q23	Q26	Q29
0.1	平均	1.6×10^{-3}	1.5×10^{-3}	2.2×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1.6×10^{-3}
	上限	1.1×10^{-3}	9.2×10^{-4}	1.2×10^{-3}	1.1×10^{-3}	8.4×10^{-4}
0.05	平均	7.7×10^{-4}	7.2×10^{-4}	1.1×10^{-3}	9.5×10^{-4}	7.9×10^{-4}
	上限	5.1×10^{-4}	4.5×10^{-4}	5.8×10^{-4}	5.2×10^{-4}	4.1×10^{-4}
0.01	平均	1.5×10^{-4}	1.4×10^{-4}	2.1×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.5×10^{-4}
	上限	1.0×10^{-4}	9.0×10^{-5}	1.1×10^{-4}	1.0×10^{-4}	8.0×10^{-5}

次に、先に示した表 - 14と表 - 15で得られた結果を図 - 13に示す。図は推定した年損傷確率を示している。また、矢印で示された範囲は標準偏差を考慮した年発生確率であり、これはアンケート調査より得られた年発生確率の分布から算定している。さらに、アンケート結果による再年発生確率は3種類の「遭遇しない確率 $1-\alpha$ 」によって分類している。 α は上述したとおり、0.1、0.05、0.1である。

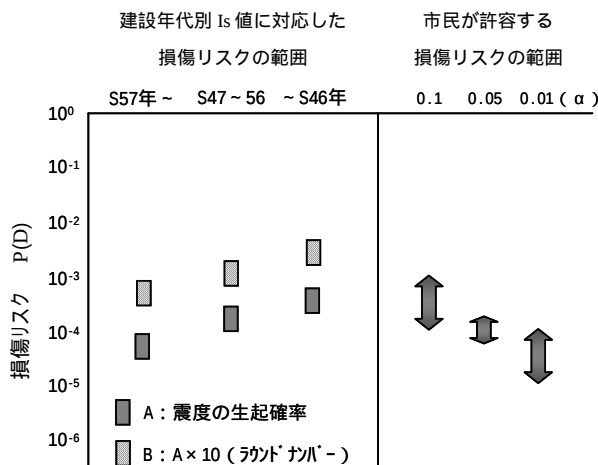


図 - 13 推定結果と市民の要求性能より得られた年発生確率

年損傷確率（損傷リスク）は、 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ の範囲にあり、おおよそ 10^2 程度の範囲にある。一方、市民が大被害に遭遇したくない年再現確率も $10^{-5} \sim 10^{-3}$ 程度と同程度であり、実際のリスクを市民の受容レベルが内包していると読み取ることができる。つまりこれは、命の次に大事な（アンケート結果より）財産を失うというリスクを受容する程度は、死亡リスクとして高いと認識されている自動車事故を受容するということに相当するということである。

今回のアンケート調査では、地震災害に対して怖いと思う要因のうち、おおよそ3人に1人が命よりも財産を失うことが心配だと回答しており、全体でも命に次いで2位であった。死亡確率としての地震リスクは突出したものではないが、命の次に大切だと思っている財産を失うというリスクは決して低いものではない。地震災害における財産を失うというリスクは思っているよりも高く、また市民はそれを失うことを強く心配しているにもかかわらず、一方ではそれを潜在的に受け止めようとしていることが結果からわかった。

4. 結論

アンケート調査を作成、実施ならびに整理を通して反省すべき点が少なからずあるものの、得られた結果は、大変興味深い情報である。以下に研究の結果をまとめる。

- (1) 市民は、地震被害イメージを測る尺度として、震度を抵抗なく、かつかなり正確に認識している。これは、Q6, 7, 14~20に関する問いに、それほど的確はずれの震度が回答されなかった点により類推される。
- (2) 新旧の構造物に対し市民は、設計していると思う震度と大被害を許容する震度に対する要求の程度には差があるのに対し、そこから推定される許容する地震被害の再現期間には差がなかった。つまり、アンケート結果は再現期間に関して一貫していたといえる。
- (3) 大被害に遭い、財産に大きな損失を受けることに対して、許容されるリスクは $10^{-5} \sim 10^{-3}$ /年であり、これは、交通事故死（ 10^{-5} /年）と同程度のリスクである。

- (4) 市民の耐震レベルに対する要求は、観念的には私的しかし、実際のマンション被害を想定した問いに対して、その差は顕著ではなかった。
- (5) 地震リスクに対する要求耐震レベルは、年齢や性別をはじめ、職業や居住地域、さらには大地震の経験などには依存していなかった。
- (6) 今回の調査結果における大被害（修復限界を想定）の許容再現期間は、「その被害に何年後に遭遇してもしょうがないと思うか」の問いに対し、地震被害に遭遇する確率を0.1とした場合、平均600年強程度であった。また、これ以下の回答者が約75%である。
- (7) 大被害を許容する地震の規模に対し、震度6強以上と回答した割合は、全体の約80%であった。
- (8) 設計していると考えている震度と大被害を許容する震度は一致した。言い換えると、要求する設計震度を満たしているならば、大被害を許容するということであり、市民はそれを震度によって判断している。市民は過度な期待はしていない。
- (9) 既存の文献等により、予測される各被害レベルのリスクを評価し、これを今回のアンケート結果と比較した。この結果、アンケートが示した許容するリスク範囲は、実際のリスク範囲を内包するものであった。

参考文献

- 1) 平田京子(2002): 社会的要求を反映した目標耐震安全性レベルの評価に関する研究, 日本女子大学博士学位論文。
- 2) 宮路健太郎, 川島一彦(2006): 市民から見た橋梁の耐震性能目標第9回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.303-310。
- 3) 林康裕, 鈴木祥之, 宮腰淳一, 渡辺基史(2000): 耐震診断結果を利用した既存RC造建物の地震リスク表示, 地域安全学会論文集 No.2
- 4) 本城勇介・伴亘(2006): 統計資料に基づいた日本人のリスクの比較, 安全問題研究論文集(土木学会), Vol.1, pp.67-72。
- 5) 岡本浩一(1995): 「リスク心理学入門」サイエンス社
- 6) Solvic, P. (2000): The Perception of Risk, Earthscan Publications Ltd.
- 7) 石川裕, 能島暢呂(2005): 地震ハザード評価体系化に向けて確率的評価とシナリオ型評価の融合, 第28回地震工学研究会発表会, 土木学会, 論文番号062(論文), CD-ROM。
- 8) 司宏俊・翠川三郎(1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文報告集, 第523号, pp. 63-70.
- 9) 地震調査研究推進本部(2005): 「全国を概観した地震動予測地図」
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_yosokuchizu/
63-70。

(2006年9月11日受付)