建築構造性能に関するアンケート調査による要求性能

A STUDY ON PERFORMANCE OF BUILDING STRUCTURES BY QUESTIONNAIRES

藤谷秀雄 — *1 谷 明勲 — *2
高橋郁夫 — *3 青木洋一 — *4

Hideo FUJITANI — *1 Akinori TANI — *2
Ikko TAKAHASHI — *3 Yoichi AOKI — *4

キーワード：
建築構造, 要求性能, アンケート調査, ファジィ理論, 性能指向型の設計

Keywords:
Building structure, Performance requirement, Questionnaires, Fuzzy theory, Performance-based design

The following were observed as the results of questionnaire survey for building users and experts. They all have a clear idea and they want to suppress hazard severity to a small level. This is more evident for "hazard to human life" and "loss of property value" than for "function of building". If the fuzzy relation is used, the membership functions with respect to the structural damage level can be obtained from the performance requirement level. The performance requirement level is determined by users and owners for "hazard to human life" and "loss of property value". It thus becomes possible to convert the performance requirement level determined by users and owners to a structural damage level.

1. はじめに

建築構造においては、ユーザーの多様化かつ高度化している要求を満足させるために、建築構造の保有する性能をできるだけ明確に説明し、発注者との合意に基づいた性能とその水準を設定して設計を行おうとする性能指向型の設計が重要視されつつある¹⁾²⁾。また具体的に、耐震性能レベルをユーザーの要望を反映して設定しようとする試み³⁾もある。

構造に起因する建築物の性能は、一般に「人命の保護」、「機能の維持」、「財産の保全」という3つの目的から議論されることが多いことから、筆者らは、これらの3つの目的に対して、一般の住民の方々はそれぞれどのような性能を要求し、一方で建築の専門家はどのような性能を付与すべきと考えているかを明らかにするため、アンケート調査を実施した。筆者らはアンケートによって、まず「身にかかる危険度(人命の保護に関わる状態)」、「建物を受ける影響(機能の維持に関わる状態)」、「不動産等の価値喪失(財産の保全に関わる状態)」に関する意識を調査し、その後、「構造被害」とこれらの関係に対する意識を調査した。本報は、これらの調査結果に基づき、ファジィシステムの手法⁴⁾⁵⁾を用いて、「身にかかる危険度」および「不動産等の価値喪失」の観点から、許容される構造被害の程度、言い換えれば、確保すべき性能の水準を示すことを試みた。

ファジィシステムの手法は、人間の思考や主観のように言語で表現されるものを数値化して取り扱える手法であり、本報のように要求を把握するという目的のためには有効な手段と考えられる。

2. アンケート調査の概要

まず一般住民の方に対するアンケート調査は、兵庫県南部地震から2年半が経過した、1997年の後半に実施された。建築専門家に対するアンケート調査は、1998年の春に実施された。それぞれの配布・回収状況を、表1、2に示す。一般住民の方については電話帳から、建築専門家については所属団体の名簿から、それぞれ無作為抽出しアンケート票を直接郵送し、返信用封筒を同封して回収した。

表1 一般住民の方へのアンケート票の配布・回収状況

地域	都市名	1 次			2 次		
		郵送 票数 a	回収 票数 b	回収率 b/a*100	郵送 票数 a	回収 票数 b	回収率 b/a*100
首都圏	都区部	1,200	411	34.2	411	248	60.3
	横浜市	200	90	45.0	91	57	62.6
	千葉市	200	72	36.0	71	45	63.4
	大宮市	100	37	37.0	36	21	58.3
	(不明)	—	3	—	1	1	100.0
	合 計	1,700	613	36.1	610	372	61.0
阪神圏	大阪市	350	95	27.1	94	56	59.6
	神戸市	350	155	44.3	153	97	63.4
	合 計	700	250	35.7	247	153	61.9
仙 台 市		300	107	35.7	108	70	64.8
福 岡 市		300	101	33.7	101	63	62.4
合 計		3,000	1,071	35.7	1,066	658	61.7

表2 建築専門家へのアンケート票の配布・回収状況

団体名	郵送票数 a	回収票数 b	回収率 b/a*100
(社)日本建築構造技術者協会 (JSCA)	200	100	50.0
(社)建築設備技術者協会(設備)	100	42	42.0
(社)日本建築家協会(JIA)	200	67	33.5
(社)日本建築士会連合会(JFABEA)	200	67	33.5
合 計	700	276	39.4

*1 建築研究所構造研究グループ 上席研究員・工博
(〒305-0802 つくば市立原1)

*2 神戸大学大学院自然科学研究科 助教授・博士(工学)

*3 清水建設㈱和泉研究室 主任研究員・博士(工学)

*4 東急建設㈱建築エンジニアリング部

*1 Department of Structural Engineering, Building Research Institute, Dr. Eng.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Dr. Eng.

*3 Izumi Research Institute, Shimizu Corporation, Dr. Eng.

*4 Architectural Engineering Department, Tokyu Construction Co., Ltd.

(a) やむを得ない状態

(b) 本来あるべき状態

図1 大地震時に身にかかる危険度に対する意識（一般住民）

(a) やむを得ない状態

(b) 本来あるべき状態

図2 大地震時の建物への影響に対する意識（一般住民）

(a) やむを得ない状態

(b) 本来あるべき状態

図3 大地震時の財産の喪失に対する意識（一般住民）

3. やむを得ない被害と本来あるべき状態

大地震に遭遇した際、起こりうる被害として、「身にかかる危険の度合い」、「新築の建物が受ける影響の度合い」、「不動産や財産の喪失の度合い」の3点について、それぞれ「やむを得ない状態」と「本来あるべき状態」について調査した。具体的には、「身にかかる危険の度合い」に関しては、7つの選択肢（無傷、軽いケガ、骨折程度のケガ、重傷、場合によっては死亡、その他、わからない）を、「新築の建物が受ける影響の度合い」に関しては、6つの選択肢（そのまま住み続けられる、部分的に補修が必要、補修すれば住める、建て替えもやむを得ない、その他、わからない）を、「不動産や財産の喪失の度合い」に関しては、6つの選択肢（価値が失われてはならない、多少失われてもやむを得ない、半分程度失われてもやむを得ない、ほとんど失われてもやむを得ない、その他、わからない）を設定し、それぞれ「やむを得ない状態」と「本来あるべき状態」を選択する形式で質問した。なお想定する建築物は、一般住民に対しては「新築の住宅」、建築専門家に対しては「新築の建物」とした。

一般住民に対する集計結果を図1～3に、建築専門家に対する集計結果を図4～6に示す。ここでは、その他、わからないの回答は集計から除いた。なお、評価の割合は、各設問の各選択肢の回答者数を全回答者数で除して求め、言語表現された被害程度に対するファジィ理論⁶⁾の帰属度関数の形式で表現した。すなわち、各選択肢が選択された割合（評価）が、その選択肢に対する帰属度 μ となる。一般住民の場合、身にかかる危険度に関しては、やむを得ない状態

(a) やむを得ない状態

(b) 本来あるべき状態

図4 大地震時に身にかかる危険度に対する意識（建築専門家）

(a) やむを得ない状態

(b) 本来あるべき状態

図5 大地震時の建物への影響に対する意識（建築専門家）

(a) やむを得ない状態

(b) 本来あるべき状態

図6 大地震時の財産の喪失に対する意識（建築専門家）

と本来あるべき状態で評価の定性的傾向に大きな差は見られないが、本来あるべき状態の評価では、やむを得ない状態の評価と比べて、若干、より危険度が小さいことが高く評価されている（図1）。

建物が受ける影響の度合い（図2）および不動産・家財の喪失度（図3）に関しても、やむを得ない状態と本来あるべき状態ともに、評価の定性的傾向に大きな差は見られないが、やむを得ない状態の評価の方が、若干、より被害が小さいことが高く評価されている。

建築専門家の場合でも、一般住民の結果とほぼ同様の傾向（図4～6）であるが、新築の建物が受ける影響の度合い（図5）については、やむを得ない場合、本来あるべき状態共に、「補修後使用可」の評価に関して所属団体による若干の差が見られ、構造技術者が多くを占める（社）日本建築構造技術者協会（JSCA）の結果では、「補修後使用可」に対する帰属度が他の団体の結果に比べて大きくなり、構造技術者が他の建築専門家に比べて、補修の意義をより重要視する傾向が見られる。

一般住民、建築専門家の評価の結果を比較すると、両者とも身にかかる危険度、不動産・家財の喪失度に対する考え方の方が、新築の建物（住宅）の受ける影響に対する考え方と比べて、最大の評価値（帰属度）がより大きく、また分布の広がり方が小さい形状となっている。このことから、建物への影響度（機能の維持）に比べて、身にかかる危険度（人命の保護）および不動産・家財の喪失度（財産の保全）に対して、より明瞭な意識を有していることがわかる。

図7 構造被害と身にかかる危険度（一般住民）

図9 構造被害と身にかかる危険度（建築専門家）

図8 構造被害と財産等の価値の喪失度（一般住民）

図10 構造被害と財産等の価値の喪失度（建築専門家）

4. 建物の構造被害と人命の危険度および財産価値の関係

建物の構造被害と人命に対する危険度や財産価値の喪失度は、それぞれ単独に評価されるものではなく、何らかの相関を有して評価されるものと考えられる。そこで、構造被害を条件とした場合の人命に対する危険度、及び不動産・家財の価値の喪失度に関するアンケートを実施した。具体的には、構造被害として5段階（無被害・軽微、小破、中破、大破、倒壊）を設定し、それぞれの構造被害が生じた場合の人命の危険度として5段階（無傷、軽傷、骨折程度のケガ、重傷、場合によっては死亡）、財産的価値の喪失度として5段階（損失無し、半分程度の喪失、ほとんど喪失とその中間の評価）を設定し、それぞれの構造被害に対して生じると考えられる範囲を回答する形式（単一の回答も可）とした。一般住民の集計結果をみると、人命の危険度（図7）においては、構造被害の程度に対して選択の割合高い選択肢は以下になっている。

（構造被害）無被害・軽微	→	無傷	（人命の危険度）
小破	→	無傷～軽傷	
中破	→	軽傷～骨折程度のケガ	
大破	→	骨折程度のケガ～重傷	
倒壊	→	重傷～死亡	

すなわち、構造被害が大きくなるにしたがって人命の危険度も大きくなる評価となっているが、評価が分散する傾向が見られる。また、財産的価値の喪失の場合（図8）も同様に、構造的被害が大きくなるに伴って財産的損失も大きくなる評価となっており、切妻状の分布形状となっている。

建築関係者の集計結果でも、人命の危険度（図9）、財産的価値（図10）ともに、多少の数値的なバラツキは見られるが、定性的傾向に関しては一般住民の場合と同様である。

5. アンケート結果から求めた構造被害

このアンケートで実施した質問は、図11に示すようなファジィシステム⁴⁾で表現することができる。また、ファジィシステムを用いた建築構造物の耐震安全性の工学的、社会的評価に関する研究も行われ、その有効性が検討されている⁵⁾。また、ここで得られたアンケート結果は、これらのファジィシステムにおけるファジィ関係 $(\mu_{R1}(x, y), \mu_{R2}(x, z))$ を与えるものと考えられる。

今回実施したアンケートでは、3章で示した、身にかかる危険度、新築の建物の不動産価値や家財の価値の喪失度に関して、やむを得ない状態と本来あるべき状態に対する設問を設定している。これらの結果を、図11(a)、(b)に示す2つのファジィ関係の入力として設定すれば、人命の危険度、財産的価値の喪失それぞれの評価から、以下の式を用いて構造被害の帰属度関数を $\mu_A(x)$ を求めることができる。

$$\mu_A(x) = \max_{y \in Y} \{ \mu_B(y) \wedge \mu_{R1}(x, y) \} \quad (1)$$

$$\mu_A(x) = \max_{z \in Z} \{ \mu_C(z) \wedge \mu_{R2}(x, z) \} \quad (2)$$

ここで、 x, y, z は構造被害、身にかかる危険度、財産的価値それぞれの言語表現された評価に対応し、 X, Y, Z はそれぞれの台集合全体を表している。また、式中 $\wedge$ は、両側の値の小さい方の値をと

(a) 構造被害と人命の危険度

(b) 構造被害と財産的価値の喪失

図11 構造被害と人命あるいは財産の被害との関係

図12 身にかかる危険度の意識から求めた構造被害(一般住民)

図13 財産の喪失の意識から求めた構造被害(一般住民)

る min 演算を表す。また、総合的な構造被害に対する帰属度関数は、式(1)、(2)から得られる帰属度関数をファジィ最大化決定⁷⁾することにより求めることができる。

一般住民の場合、身にかかる危険度に関する回答から求めた構造被害に関する帰属度関数(図12)は、やむを得ない状態では、小破から中破に対する帰属度の値が高くなっているが、無被害・軽微の場合との差は小さく、分布に明瞭なピークは見られない。本来あるべき状態でも、小破から中破に対する帰属度の値が高くなっており、無被害・軽微の場合との差はやむを得ない場合の結果よりも若干大きい。不動産・家財の喪失度に関する回答から求めた構造被害に関する帰属度関数(図13)は、やむを得ない状態と本来あるべき状態で定性的傾向に大きな差は見られない。この場合、身にかかる危険度の場合よりもピークが明瞭に見られ、一般住民としては、身にかかる危険度よりも不動産・家財の価値の喪失に対する意識の方が明瞭であることがわかる。

建築専門家の場合、身にかかる危険度に関する回答から求めた構造被害に関する帰属度関数(図14)は、やむを得ない状態では、小破から中破に対する帰属度の値が高くなっているが、無被害・軽微の場合との差は小さく、分布に明瞭なピークは見られない。本来あるべき状態では、小破の被害に対してピークを有する分布となっている。これより、建築専門家は身にかかる危険度と構造被害に関して、一般住民の場合より、明瞭な意識を有していることがわかる。また、(社)日本建築構造技術者協会(JSCA)の場合、他の団体に比べて大きな被害(中破、大破)に対する帰属度の値が大きくなっている。不動産・家財の喪失度に関する回答から求めた構造被害に関する帰属度関数(図15)は、やむを得ない状態と本来あるべき状態で定性的傾向に大きな差は見られない。この場合、構造被害としては小破にピークを有する分布となり、身にかかる危険度の場合よりもピークが明瞭に見られ、建築専門家としても、一般住民の場合と同様に、身にかかる危険度よりも不動産・家財の価値の喪失に対する意識の方が明瞭であることがわかる。

図14 身にかかる危険度の意識から求めた構造被害(建築専門家)

図15 財産の喪失の意識から求めた構造被害(建築専門家)

6. まとめ

アンケート調査の結果、一般住民、建築専門家ともに、身にかかる危険度、不動産・家財の喪失度に対する考え方の方が、新築の建物(住宅)の受ける影響に対する考え方と比べて、より明瞭な意識を有していることが明らかとなった。

今回のアンケートで得られたファジィ関係を用いることによって、一般住民が設定した身にかかる危険度や財産的価値の喪失に対する要求水準から、構造被害の程度に対する帰属度関数を求めることができた。これにより、一般住民が設定した要求水準を構造被害のレベルに変換することが可能となり、性能指向型の設計において、種々の応用が期待される。

このアンケート調査は、建設省(現、国土交通省)総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発(総合委員会委員長:岡田恒男 芝浦工業大学教授)」の目標水準分科会(主査:青木義次 東京工業大学教授)、性能水準WG、要求性能調査SWGによって、平成9年度に行われたものである。関係各位に、心から感謝申し上げます。最後に、アンケートにご回答いただいた方々と、調査にご協力いただいた関係各団体に、心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (社)建築研究振興協会編: 建築構造における性能指向型の設計, 技報堂出版, 2000. 7.
- 2) 沼田竜一, 石川孝重, 平田京子: ユーザーの要望を踏まえた性能設計の構築に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集B-1, 2000. 9, pp. 59-62.
- 3) 平田京子, 石川孝重: ユーザーの要望を反映した耐震性能レベルの確率的設定手法の提案, 構造工学論文集 Vol. 47B, 2001. 3, pp. 637-645.
- 4) 河村廣, ヤブ, J. T. P.: 条件付きファジィ集合に基づくファジィシステムの構造工学への応用に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 36B, 1990. 3, pp. 51-56.
- 5) 中島賢二, 河村廣, 谷明勲, 田崎宗邦: アンケートとファジィシステムを応用した建物の耐震安全性の工学的並びに社会的評価に関する研究, 第5回ファジィ建築土木応用シンポジウム講演論文集, 1998. 3, pp. 113-120.
- 6) Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, pp. 338-353, 1965.
- 7) Bellman, R. E. and Zadeh, L. A., *Decision-Making in a Fuzzy Environment, Management Sciences*, Vol. 17, No. 4, B-141-B-164, 1970.

[2001年4月20日原稿受理 2001年7月27日採用決定]