

# カトマンズ盆地における地震防災のための 建築物インベントリ調査と建物分布

## A Building Inventory & Building Typology Analysis in the Kathmandu Valley for Earthquake Disaster Assessment

大角 恒雄<sup>1</sup>, 金子 史夫<sup>2</sup>, 藤谷 秀雄<sup>3</sup>

Tsuneo OHSUMI<sup>1</sup>, Fumio KANEKO<sup>2</sup> and Hideo FUJITANI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 日本工営株式会社 中央研究所  
R&D Center, Nippon Koei Co., Ltd.

<sup>2</sup> 応用地質株式会社 技術本部  
Technical Center, OYO Corporation

<sup>3</sup> 独立行政法人 建築研究所構造研究グループ  
Department of Structural Engineering, Building Research Institute

A building inventory is important not only for building damage estimation due to earthquakes, but also for earthquake disaster management planning. "The study on earthquake disaster mitigation in the Kathmandu Valley (JICA, 2002)" was conducted to evaluate building vulnerability to strong earthquakes. However, until then, only partial databases on the existing buildings in the Valley have been prepared. A questionnaire format was newly developed. 69 sample areas were selected by the stratification multistage extraction method, and 1,183 buildings (0.4% of the Valley) were surveyed. Their results provided the outline of natures and characteristics in the Valley, and then, they were utilized to the damage assessment as well as the earthquake disaster management planning.

**Key Words :** Kathmandu Valley, inventory survey, masonry, building types

### 1. はじめに

とくに発展途上国における地震災害の危険度の最大要因は建物の脆弱性にあるといっても過言ではない。防災対策を推進し、地震災害を低減していくことが大きな課題であるにもかかわらず、建物に関する詳細なデータは揃っていないのが通例である。これを補いつつ、建物の実態や特性を明らかにして、地震被害想定を実施し、防災対策を企画・推進していく上で、インベントリ調査は重要である。

地震防災を目的としたカトマンズ地震災害軽減対策計画調査 (JICA, 2002) <sup>1)</sup> において、カトマンズ盆地での建物の地震被害想定を行うために、建築物インベントリ調査を実施した。実施に際しては、代表地点を層化多段階抽出法の概念により絞り込み、全棟数の約0.4%におよぶ調査によって建物の実態や特性に関する分布を想定した。

たとえば、建築物インベントリ調査の結果、伝統的な煉瓦造の建物と枠組煉瓦造建物の、都市部、旧市街部、郊外部、農村部での分布の違い、建設年代による建物種別の推移などの基礎的な要素を把握することができた。

こうした基礎的な統計資料は、地震をはじめとする自然的・社会的な災害に対する防災だけでなく、一般的な行政や都市計画には欠かせないものであり、あわせて、調査結果の今後の活用方法について考察した。

なお、ネパールでは、建築基準は発行されているが法律としては制定されていない状況にある。

### 2. 対象地点選定手法

建築物インベントリ調査を実施するにあたり、当該地域に適合する建物調査票を作成した。次に、代表地点を層化多段階抽出法の概念にもとづいて調査地点の絞り込みを実施した。

#### (1) 建物調査表の作成

建築物インベントリ調査用に、新たに当該地域に適合する建物調査票を作成した。

主な項目を以下に示す。

- i) 建物構造の聞き取り調査 (インタビュー)
- ii) 建物状況の目視調査
- iii) 調査対象建物の形状の測定

調査項目は100項目にのぼり、そのうち聞き取り (インタビュー) 調査の具体的内容は、所有者の帰属、居住者状況、建物位置、建設時代、修繕履歴、施設の状況、増築の履歴、建物の割れ目の状況等である。

トリブバン大学の協力を受け、15名の調査監督員を選定、共通の評価認識を得るための3日間の訓練を行い、3名の調査監督員と20名前後の班員を配した5つのグループを組織した。各班員にも2日間の訓練を施した後、実地調査を実施した。調査には集計の後、補足調査を行ったため、全体

としては約3ヶ月を要した。

また、目視調査により、建物の階数、建設材料、形状、建物同士の結合状況、地形・地質状況を知ることとした。

さらに、調査対象建物の形状測定は、調査票に記載される建物のスケッチを正確に記載するために実施した。その調査票には調査監督員の所感を記入し、調査対象建物の写真を記録し、添付することにより充実を図ったことがデータの整理上非常に有効であった。

調査は、建物概要、建物詳細および耐震補強履歴の3項目で構成されている。以下には調査項目の細項目について示す。

建物概要: A

- 1) 所有者情報、住所
- 2) 地域用途 (都市, 郊外, 農業地域)
- 3) ローカリティ (旧市街, 周辺地域)
- 4) 地震, 洪水等の被災履歴
- 5) 施工者 (自築, 売家, 施工業者築)

建物詳細: B

- 1) 建設時期, 登記時期
- 2) 用途
- 3) 設計, 管理
- 4) 建物を囲むオープンスペースの存在の有無
- 5) 建物利用状況の時間帯分布 (地震発生時間帯の相違による被害想定の違いを考慮するため)
- 6) 構造要素 (平面構成, 空間, 扉・窓の有無等)
- 7) 立地状況 (地形, 隣接建物・道路)
- 8) 建物の形状, 配置状況
- 9) 基礎, 壁の様式 (石・煉瓦積様式, 壁厚)
- 10) 建物劣化 (クラック, はらみだし等)
- 11) 屋根・床状況
- 12) まぐさ, 補強壁, 屋根バンドの存在

耐震補強履歴: C

耐震補強履歴のある場合には、その補強方法に関して記載することとしたが、実際には、調査対象にはみうけなかった。

Part "A"  
GENERAL INFORMATION

100. Information of House Owner

101. Name of Owner: .....

102. Code

102.1. Building:  D  U/S  V/M  W  B

102.2. Photograph:  Film  Photo  Month  Day

103. District: .....

104. Name of Metropolitan/Sub-Metropolitan / Municipality/Village development committee: .....

105. Ward No.: .....

106. Tole: .....

107. Locality  
Urban  1 Sub-urban  2 Rural  3

108. Type of Settlement  
Core  1 Fringe  2

109. Did 1934 earthquake or 1988 earthquake or 1993 Flood/Landslide damage the building?  
Yes  1 No  2

109. If yes, was the building strengthened or repaired after damaged or reconstructed:  
Repaired  1 Strengthened  2 Reconstructed  3

110. Is this building retrofitted?  
Yes  1 No  2 If yes, please fill part "C" of this form

111. Process of building construction  
Owner built  1 Purchased  2 Constructed by contractor  3

Part "B"

BUILDING DETAILS

200. Details

201. Construction, Extension, Maintenance (fill in years B.S.) and use of each floor as mentioned below in the table:

Storey	Construction	Extension	Use	No. of Rooms	Maintenance	Registration
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Residential	1	Shop	2	Store/Ware House	3	Hostel/Dormitory	4
Restaurant	5	Office	6	Hotel/Lodge	7	School/Training	8
Factory	9	Clinic	10	Workshop	11	Others, if any	12

202. Who designed and supervised the building?

Storey	Designer			Supervisor				
	Self	Technician*	Contractor	Mason	Self	Technician*	Contractor	Mason
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

\* It includes Engineer/Architects/ Overseers/Drafts person.

203. Open Space

2031	Width of Street/Road leading to the building	.....m
2032	Is there open space connected with the building Block? .	Yes <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2
2033	If yes, how big is it?	.....m x m
2034	Is there any open space outside the building boundary, if yes how far is it?	.....m

202. Number of Occupans

Storey	Time Period			
	8-9 AM	9 AM-5 PM	5-8 PM	8 PM-6 AM
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Total				

203. Land Property :

Plot	First	Second	Third	Total
Land Area in (Ropani, Anna, Paisa)				

300 Plans and Sketches

Site Plan

400 Site Condition

Local Hazard (encircle the appropriate number)			
401	Is there any landslide area in the site? Yes <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2	403	Is the site of the Building Block Settling? Yes <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2
402	Is there any rock fall area in the site? Yes <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2	404	Is the Building block standing on filled site? Yes <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2

405 Terrain Type (encircle the appropriate number)			
1	2	3	4
Flat Terrain	Gentle Slope	Steep Slope	Terraced Land

406 Position of the building block (encircle the appropriate number)				
1	2	3	4	5
Free Standing	Confined by other building in one side	Confined by other buildings in two adjacent sides	Confined by other buildings in two opposite sides	Confined by other buildings in three sides

図-1a インベントリ調査票(1/2)

606	Mortar Type in Walls (Put (✓) mark in appropriate box)	Mortar	Storey Number											
			1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th		
			1	Day										
2	Mud													
3	Lime													
4	Cement and Sand													

607 Exterior Wall Thickness (put (✓) mark in appropriate box)

	Storey Number													
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th			
1	115 mm thick brick wall													
2	100mm to 150mm thick hollow concrete block wall													
3	230 thick brick wall													
4	300 mm thick hollow concrete block wall													
5	350 thick brick wall													
6	400 mm (two brick) or more thick brick wall													
7	Stone wall - less than 450 mm thick wall													
8	460 mm (Two brick) thick earth wall													
9	Stone wall - more than 450 mm thick wall													

500 General Planning

501 Shape of the building block in plan (encircle the appropriate number)

502 Shape of the building block in Elevation (encircle the appropriate number)

503 Cantilever with wall (encircle the appropriate number)

504 Configuration problem

Soft storey  1 Undefined load path  2 Short column effect  3

505	Number of stories	
506	Average floor height	.....m
507	Average width of passage	.....m
508	Average width of stair	.....m

509 Location of staircase  
Near the center of the building block  1 Near the end of the Building block  2

606 Building Structure (encircle the appropriate number)

601 Type of Foundation Sub-soil  
Rock  1 Gravel/Sand  2  
Soft / Med. Soil (Silt/mud)  3 Unknown  4

602 Type of foundation  
Strip  1 Isolated Pad  2 Raft  3 Pile  4 Other if any: .....  5

603 Basic construction Material of Foundation  
Adobe  1 Stone  2 Fired Brick  3 Reinforced concrete  4 Plain Cement Concrete  5 Steel  6

604 Mortar type in Foundation  
Dry masonry  1 Mud  2 Lime  3 Cement and Sand  4  
Other if any: .....

605 Basic structural system and Construction material, Wall/Frame (encircle the appropriate number)

図-16 インベントリ調査票(1/2)

608 Interior Wall Thickness (put (✓) mark in appropriate box)

	Storey Number													
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th			
1	115 mm thick brick wall													
2	100mm to 150mm thick hollow concrete block wall													
3	230 thick brick wall													
4	300 mm thick hollow concrete block wall													
5	350 thick brick wall													
6	400 mm (two brick) or more thick brick wall													
7	Stone wall - less than 450 mm thick wall													
8	460 mm (Two brick) thick earth wall													
9	Stone wall - more than 450 mm thick wall													

	Storey Number													
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th			
609	Total length of exterior walls in north face													
610	Total length of doors and windows in north face													
611	Total length of exterior walls in south face													
612	Total length of doors and windows in south face													
613	Total length of exterior walls in east face													
614	Total length of doors and windows in east face													
615	Total length of exterior walls in west face													
616	Total length of doors and windows in west face													

Defects in Building, Cracks should be through the wall thickness (Put (✓) mark in appropriate box)

617 Number of walls with diagonal cracks

618 Number of walls with Vertical cracks

619 Number of walls with Horizontal Cracks

620 Separation of walls at T and L junction

621 Bulging of walls

622 Delamination of walls

623 Tilting of walls

624 Dampness in wall

625 Types of Lintels (encircle the appropriate number)

626 Material of lintel  
Wood  1 Reinforced brick  3 Reinforced concrete  4

627 Roof band/Wall plate (encircle the appropriate number)

628 If wall plate/roof band used, then material used  
Wood  1 Reinforced brick  2 Reinforced concrete  3

629 In case of masonry building, are steel bars introduced at corners and/or junctions?

Yes  1 No  2

630 Are through stones used in walls at corners and junctions of the stone masonry building?

Yes  1 No  2

635	Floor structure and floor finish (encircle the appropriate number)	1	Wooden joint - plank	Storey
		2	Wooden joint - plank/wood or bamboo chiprut or brick - mud	
		3	Wooden joint - plank/wood or bamboo chiprut or brick - concrete	
		4	Reinforced concrete / Reinforced brick and concrete / Reinforced brick slab	
		5	Jack arch floor	

636 Roof shape (encircle the appropriate number)

637	Roof structure and roof covering (encircle the appropriate number)	1	CGI sheet on tubular / angle(steel)/timber / bamboo structure
		2	Tile or slate on steel / timber/bamboo structure
		3	Shingal on earth laid over timber / bamboo structure
		4	Thatch roof over timber / bamboo structure
		5	Reinforced concrete / Reinforced brick and concrete / Reinforced brick slab
		6	Jack arch roof

638. Condition of Building: Good  1 Satisfactory  2 Bad  3 Very bad  4



各調査個数は、全体サンプル数として1,000程度を目標とし、各選定地域の人口増加を考慮した推定戸数<sup>9)</sup>から各地点に比例配分を基本として分配した。

### 3. 調査結果

#### (1) 建物分類

既存の分類と構造的な特徴から、石積造(ST), アドベ造(AD), 泥目地煉瓦造(BM), セメント目地煉瓦造(BC), 枠組煉瓦造(RC), さらに、上記建物が混在しているものに分類した。図-3にカトマンズ盆地における建物分類を示す。

図-4(巻末)には、各地点における建物種別の割合を示している。都市部では、主な建物はBM, RC および BC である。

RCの割合は都市の旧市街より周辺部においてより高く、ADの比率は特に都市部の旧市街で高い。郊外部でも急速に人口増加が生じている地区では、旧市街、周辺部問わずBCが支配的で、ついでBMとADも高い比率である。一方、RCは、郊外部の旧市街および郊外部の周辺部で10%台と低いが、今後増加してゆく傾向は間違いない。

農村部では、主な建物はAD, ST および BM である。

#### (2) 建物種別年代

表-2 および図-5 に示す建物種別の年代推移から、当該地域での急速な都市化の進行が読み取れる。一方、建物の約21%は50年以上と老朽化が懸念される。特に古い建物は、地域を問わず、AD, ST あるいは BM である。

表-2 カトマンズ盆地内の建物年代

10年 以下	10- 20 年	20- 30 年	30- 40 年	40- 50 年	50- 60 年	60- 70 年	70 年 以上
29%	25%	13%	8%	4%	4%	6%	11%

また、70年以上を経た建物が11パーセントを占めており、1934年ビハール・ネパール地震(カトマンズ盆地でMMI震度VIIIからX)を経験し、残存した建物であることを意味する。当時の記録によれば、カトマンズ盆地内の建物の60%はこの地震により何らかの破損を受けた<sup>9)</sup>。

さらに、カトマンズ盆地東部でMMIVの震度をもたらした1988年東部ネパール(Udayapur)地震<sup>7)</sup>をも経験していることになる。盆地内では約2,500におよぶ古い建物が、この地震被害を被っている。

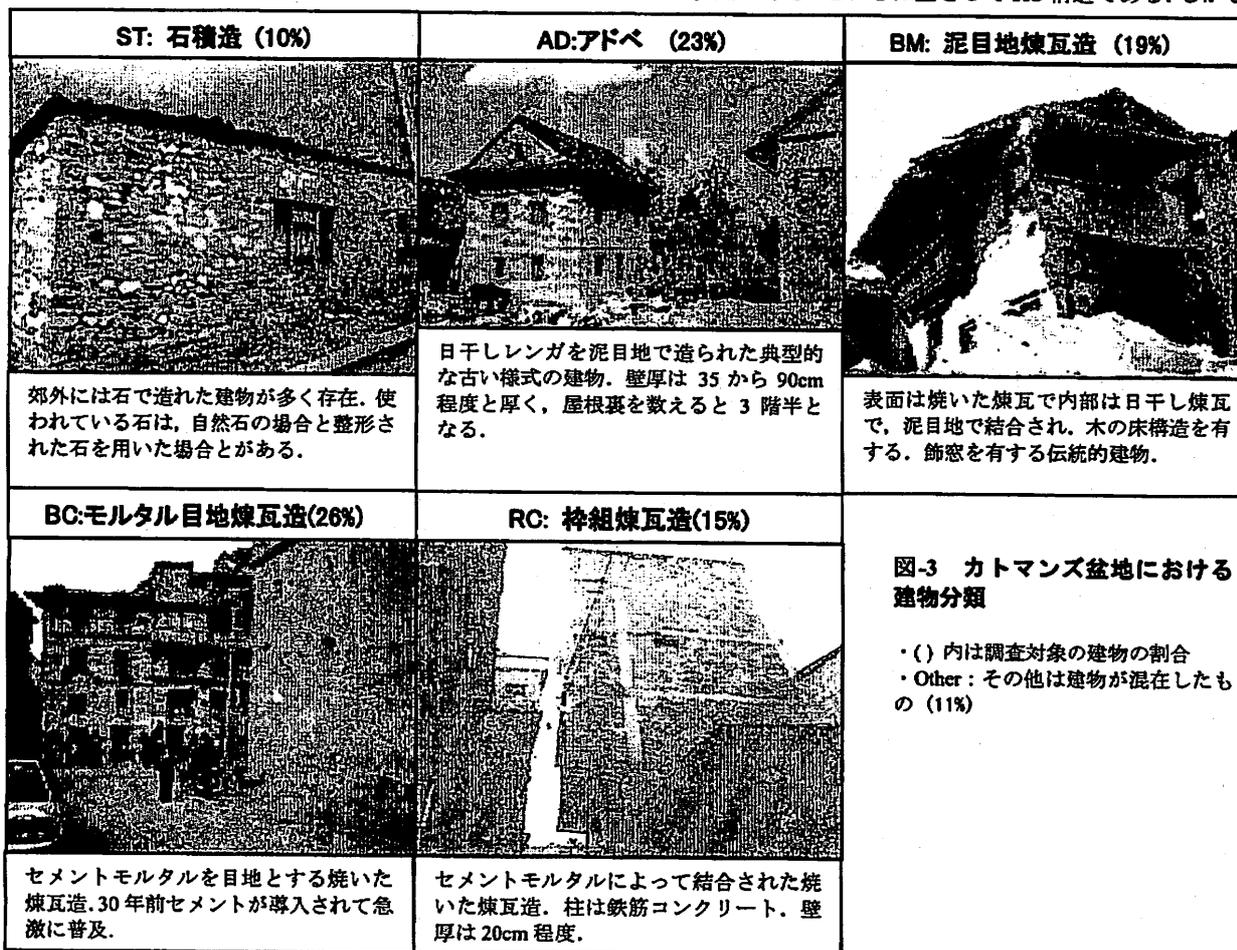
建物種別を10年ごとに整理する(図-5;巻末)と、ADは、30年以上以前では主流であった。20-30年前からセメントの導入とともにRCが建設されはじめ、BCとともに過去10-20年間で著しく増加している。

#### (3) 建物の階層

一般に、建物の階層は地震時の強度と関係する重要な項目である。表-3にカトマンズ盆地での地域別の建物階数を示す。

盆地内の76%に及ぶ建物は2-4階建てである。また、1階建て、5階建ての建物は11%である。

伝統的建物が多く存在する都市部の旧市街では、4階建て以上の建物が支配的であり、そのうちの3分の1が5階建て以上である。これらは主としてRC構造である。しかし、



多くの建物は、古いBMやBCの3階あるいは3階半の建物の上に、増築されたものもあることが明らかになった。さらに、ネパールの習慣として、家族が独立すると、家屋を分断・細分し、限られた敷地内で増築を行うために、高層化およびオーバーハングへと走ることが、建物の耐震性の低下につながっている。

表-3 カトマンズ盆地地域別の建物階数(%)

建物階数	1	2	3	4	5	6	7	計
都市部 旧市街	0	9	13	40	31	6	1	100
都市部 周辺部	10	34	31	21	4	0	0	100
郊外部 旧市街	21	38	24	14	2	0	0	100
郊外部 周辺部	16	43	38	3	0	0	0	100
農村部 旧市街	10	17	28	37	8	0	0	100
農村部 周辺部	9	36	52	3	0	0	0	100
計	11	25	30	21	11	2	.2	100

(4) 建物の損傷状況

損傷についての調査結果によれば、泥を目地等に用いた伝統的建物(AD, BM, ST)は、割れ目、剥離、はらみだし、壁の傾きの損傷・劣化を多く有する構造物であり、調査対象の半数をこえていた(図-6:巻末)。

それらの損傷・劣化の原因は、経年的な地盤の湿度の浸透、乾燥の繰り返しによって引き起こされていることが考えられる。これらの構造物は、耐震性が低減している。

一方、BCやRCのより新しいタイプのセメントを用いた構造では、BCの約12%が垂直の割れ目を、6%はせん断方向と水平の割れ目を有し、また、約6%は、壁の剥離を呈している。一方、RCの問題は、5%ではあるが、梁に沿って、水平の割れ目が発達している。これは明らかに施工不良および建材の品質管理の不徹底によるものであると考えられる。

4. 考察および今後の課題

本インベントリ調査の主な目的は、カトマンズ地域における建物分類およびその特徴の分布を把握することにある。主な成果と課題を以下に示す。

- a) 主要な建物分類は、ST,AD,BM,BCおよびRCである。  
古いタイプの建物(ST, AD, BM)は、都市部の旧市街や郊外部・農村部の人口密度が高い地域に集中している。一方、新しいタイプの建物(BC, RC)は、急速に発展したいわゆる新興住宅地域で支配的である。
- b) カトマンズ盆地における建物分類の分布把握には、インベントリ調査の他に地域全域をくまなく廻り、建物の目視による分類調査を実施した。  
また、全域にわたり、空中写真による判定を実施したが、上空からの写真判読は種別の判読には適さなかった。その理由は、当該地域では屋上、屋根はRCであっても増築によるもので、複合的な建物が多く存在したからである。  
これらの調査により得られた建物種別の分類および比率は、盆地内を500m×500mのメッシュで区切った卓越建物分類として地震被害想定に活用した<sup>9)</sup>。
- c) 建物の建設年代を建物種別に10年毎で整理した。10年毎の建物の建築傾向によれば、30年前からセメントの導入により、BC, RCが近年急激に増加する傾向

が明らかになった。

- d) 床や建物の劣化による脆弱性、既存の建物の構造強度、増築やメンテナンスおよび使用法による建物の実態を知ることができた。
- e) 今回の調査では、壁のはらみだし、割れ目に関しては、ほとんどすべての調査対象で認められた。この傾向は、BCまたはRCの様な新しい構造より、古いタイプの構造(ST,AD,BM)に多くみられる。原因は、湿気の地面からの上昇による煉瓦の劣化および構造設計的な強度不足からくるものと考えられる。その欠陥を有効にしかも経済的に改善していくには、今後さらなる専門家による建物診断が必要となる。
- f) 本調査結果を反映させ、今後、住宅の簡易診断票(図-7:巻末)を作成し、一般の住民自身が自宅の診断を行える状況を作り上げることが有効であると判断された。その調査項目の評点は、インベントリ調査結果により作成することが、調査の活用の一つとなる。
- g) ADやBMのように泥を目地等に用いた伝統的建物は、過去にいくつかの被災経験を経たものである。一方、RCやBCは建物の損傷状況もより軽微で、急速に戸数が増加しているが、当該地域の大地震の洗礼を受けていない構造物である。このため、地震に対する強度の評価が重要となる。

したがって、1999年コジャエリ(トルコ)地震や2001年グジャラート(インド)地震によって悲惨な被害を蒙った当該建物の脆弱性を地域住民が認識すること、行政の制定手続上の理由から1994年に提示されたままになっているネパールの建築基準<sup>8)</sup>が実際に制定、施行、普及されていくことが重要である。

謝辞

本調査の過程で多くのご指導をいただき、本論文を発表することをお認め頂いたJICA各位に御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) JICA (2002); "The study on earthquake disaster mitigation in the Kathmandu Valley", a report prepared for His Majesty's Government of Nepal under a JICA-sponsored project.
- 2) Cochran, W.G (1977). "Sampling techniques, Wiley series in probability and mathematical statistic", New York, Second edition, ISBN: 047116240X.
- 3) Rao, S.P.S., and Sedransk, J. (1984). "W. G. Cochran's Impact on Statistics, Wiley series in probability and mathematical statistics. Probability and mathematical statistics", pp.321-330; ISBN: 0471099120
- 4) The Engineering and Environmental Geological Map, DMG, 1988
- 5) His Majesty's Government, Kathmandu valley Town Development Committee on 2054/02/23
- 6) Rana, B. S. J. B. (1984). "The Great 1934 Earthquake of Nepal (in Nepali language)"; 3rd edition, Sahayogi Press; Kathmandu.
- 7) Dikshit, A. M. (1991). "Geological Effects and Intensity Distribution of the Udayapur (Nepal) earthquake of August 20, 1988", Journal of NGS (Nepal Geological Society), Vol.7, pp.1-17, Department of Mines & Geology, Kathmandu, Special Issue.
- 8) BCDP (1994). "Building Code Development Project: Seismic Hazard Mapping and Risk Assessment for Nepal", UNDP/UNCHS (Habitat) Subproject: NEP/88/054/21.03. Min. Housing & Physical Planning, His Majesty of Government, Nepal
- 9) 瀬川秀恭, 金子史夫, 大角恒雄, 香川秀郎, 藤谷秀雄 (2002); "カトマンズ盆地における建物被害想定および耐震性の改善に関する検討", 地域安全学会論文集, No.4. (投稿中)

(原稿受付 2002.6.4)

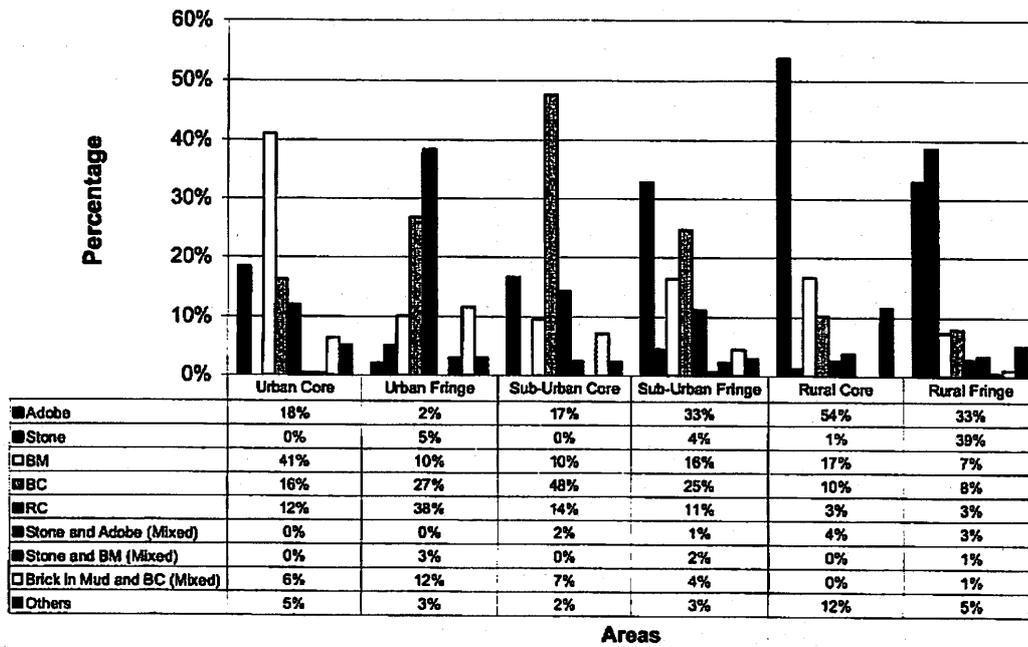


図-4 各地域区分における建物種別の比率

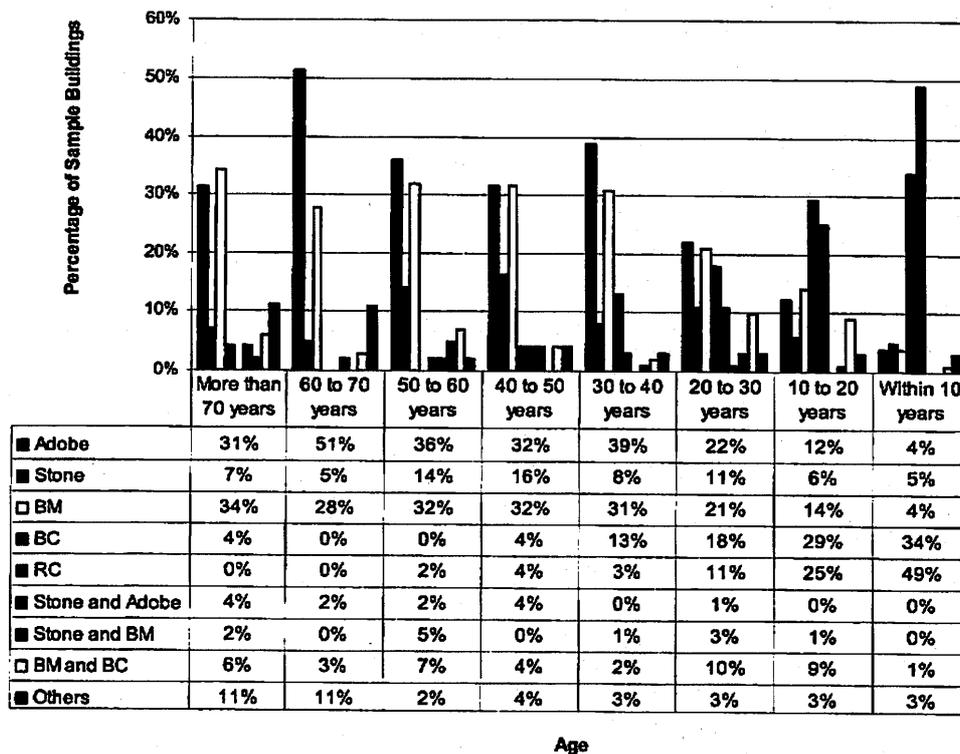


図-5 建物種別年代(10年毎)の変化

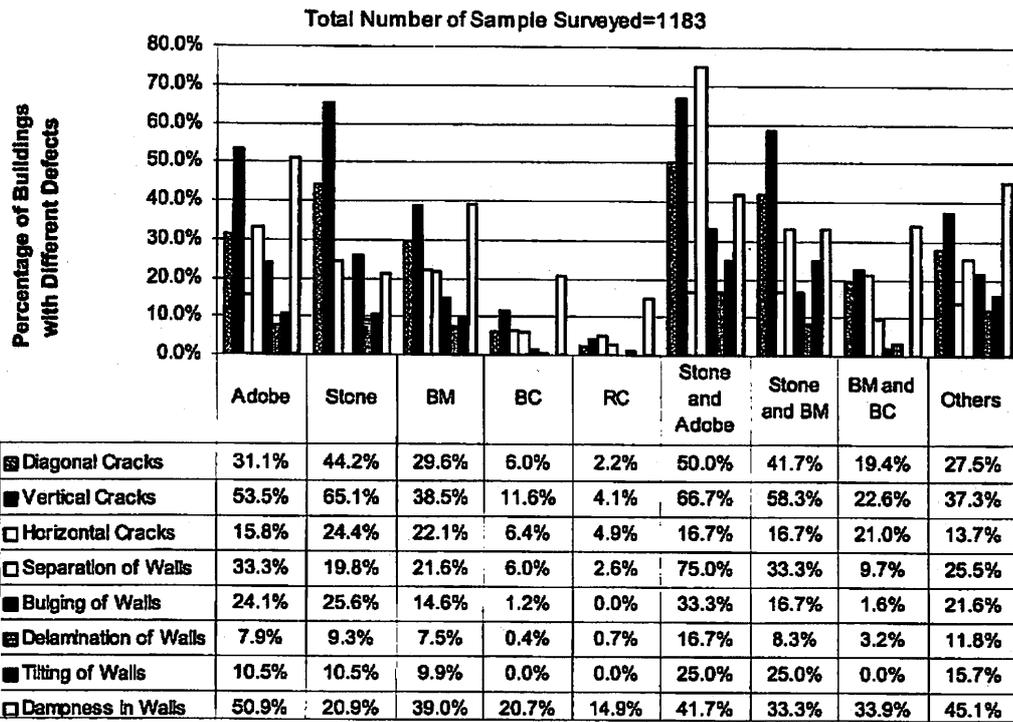


図-6 建物の損傷分類比率

### Diagnose the Earthquake Resistance of Your House

**Why does need diagnose in your house?**

In Katsunaka Valley three earthquakes of similar size occurred in the 17th Century. In 1818, 1823, and 1866 A.D. The recent record of the region, which extends back to 1250 A.D., suggests that earthquakes of this size occur approximately every 25 years, indicating that a devastating earthquake is inevitable in the long term and likely in the near future.

To improve masonry houses to be more earthquake resistant, the actual state of the houses must be understood.

This booklet explains a method for roughly estimating the earthquake resistance of masonry houses. The method, which was developed based on the seismic resistance guidelines of the Inventory Survey in Katsunaka Valley and studies on earthquake resistance and damage by past earthquakes, is easy to make rough assessment. Try and estimate the resistance of your house against an earthquake.

**Characteristics of this method**

**The operation method:**

- 1) Is for masonry houses built with the traditional Nagai construction method.
- 2) Does not require special knowledge of construction.
- 3) Does not require field survey or plans, and
- 4) Is for making rough estimation only.

**Procedure**

Let's start diagnosing. Use the simple earthquake-resistant estimation chart on page 7. You need to answer six items (A to F). Read the explanation of the items on pages 4 to 6. For each item, choose and enter the score of the item appropriate nearest in the □. When two or more answers seem appropriate, use the lower score.

Enter the scores in the Matrix for "Comprehensive Evaluation." Multiply the values and determine the total score.

**図-7 住宅の簡易診断票イメージ**

- ・立地状況 (地形, 隣接建物・道路)
- ・建物の形状, 配置状況
- ・基礎, 壁の様式 (石・煉瓦積層式, 壁厚)
- ・建物劣化

等の記入