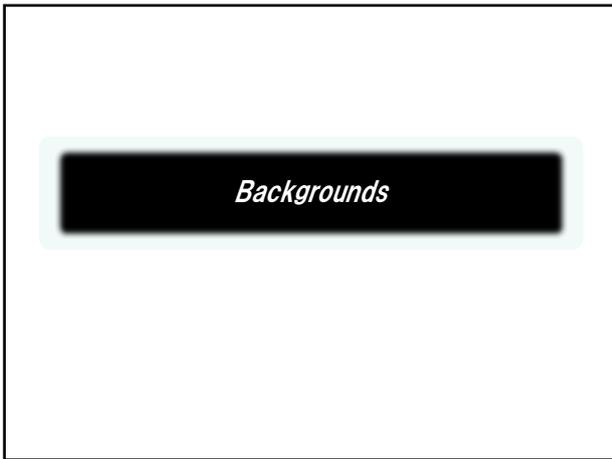


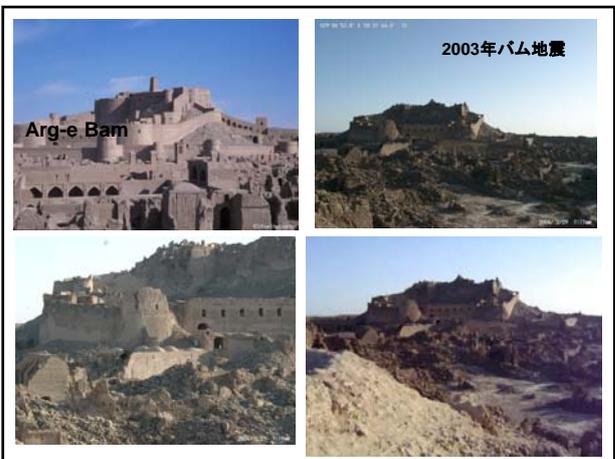
- ### 報告内容
- 背景
  - 近年の歴史的建造物被害
  - カトマンズの地震危険度
  - 歴史的建造物を対象とした建物調査
    - トモグラフィによる建物調査
    - 微動計による建物の振動調査
  - レンガ壁の要素試験
  - 実験・計測を基にした構造物のモデル化と解析
  - 狭隘地区構造物群の脆弱度評価への適用

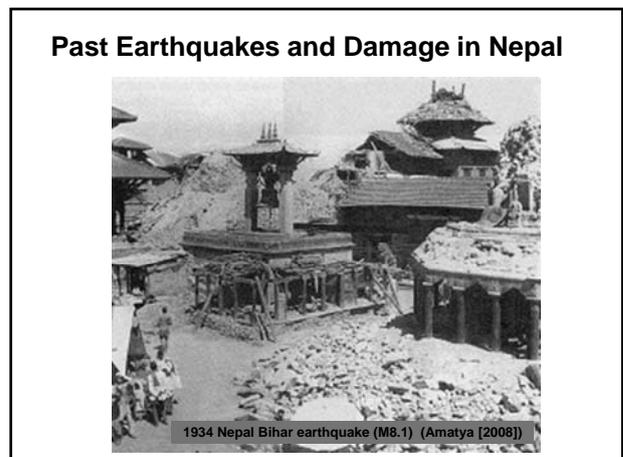
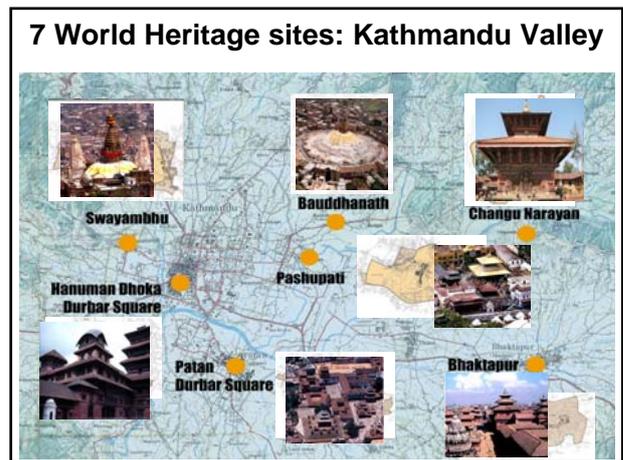
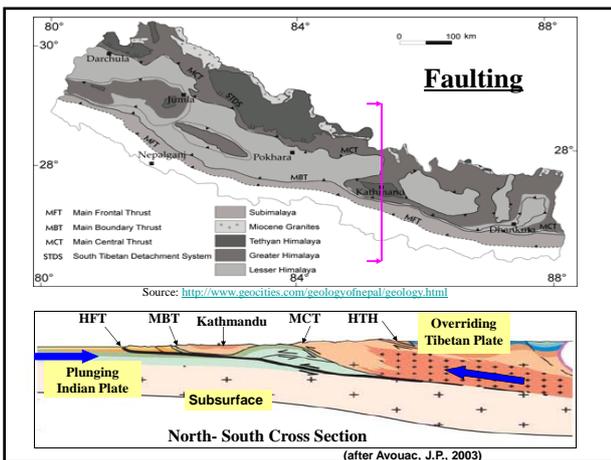


- ### 背景
- ◆ 立命館大学グローバルCOEプログラム (2008-2012) 『歴史都市を守る「文化遺産防災学」推進拠点』
    - ・ネパール・カトマンズプロジェクト
      - 歴史的建造物の耐震性評価
      - 狭隘地区の脆弱度評価
 (この研究は、立命館大学・谷口仁士教授、土岐健三教授、大窪健之教授、板谷直子准教授、京都大学・古川愛子准教授、トリバン大学・マスキー教授、ハリ講師と共同で行われたものです。)
  - ◆ カトマンズにおける他の地震防災関連調査
    - ・ JICA: 2002年「カトマンズ盆地地震防災対策計画調査」  
(カトマンズ盆地の地震防災計画の立案、地震防災のためのデータベースと地震被害想定を作成)
    - ・ WB: 2011年 Nepal Hazard Risk Assessment (ネパール全土)
    - ・ UNDP: 2012年 Multi Hazard Survey (カトマンズ)
    - ・ JICA: 2014年ネパール国カトマンズ盆地における地震災害リスクアセスメントプロジェクト詳細計画調査
    - ・ 愛媛大学: 2006年よりカトマンズにサテライトオフィス

### Damage to World Heritage due to Recent Earthquakes

- **Iran Bam Earthquake**  
2003/12/26, Mw6.5  
Fatality: more than 20,000  
Bam and its cultural Landscape (2004)  
Arg-e Bam, soon list of WH in danger (2004)
- **Central Java Earthquake**  
2006/5/27, Mw6.3  
Fatality: 5,716  
Borobudur Temple Compounds (1991)  
Pranbanan Temple Compounds (1991)
- **Nepal Kathmandu Valley**  
2015/4/24, Mw7.9  
Fatality: more than 8,000  
Cultural heritage in 1979  
List of WH in Danger (2003)





**Nyatapola (five tiered) Temple, Bhaktapur**



Damage in 1934 earthquake



Contemporary view

**Degu Taleju Temple, Patan Durbar**



Destruction in 1934 earthquake



Contemporary view after reconstruction.

**Kathmandu Durbar Square**



during 1934 earthquake (left) and contemporary state (right)

Photos in 1934: courtesy of Prof. Maskey (Tribhuvan Univ.)

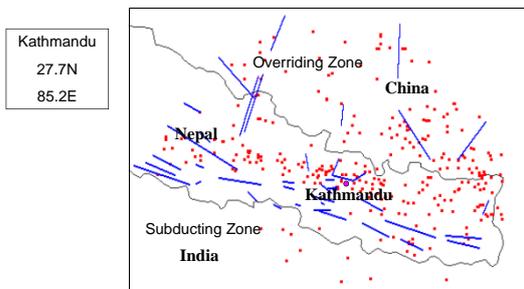
*Hazard Analysis in Kathmandu*

**Historical Earthquake Data Used**

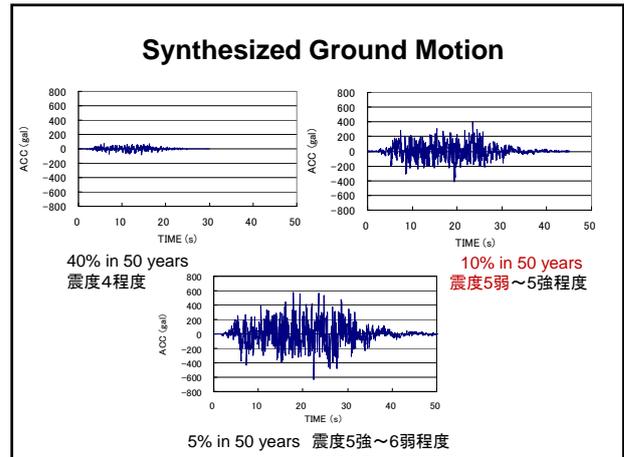
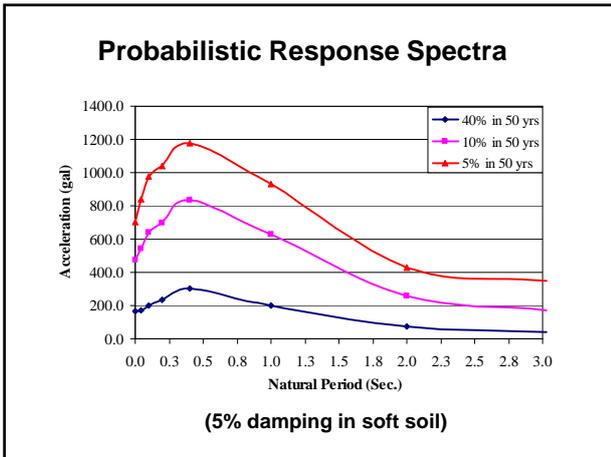
Year		Magnitude					Total events
Start	End	4.0-4.9	5.0-5.9	6.0-6.9	7.0-7.9	8.0-8.9	
1100	1931	1	2	5	5	2	15
1932	1936	1	2	1	1	1	6
1937	1941		2				2
1942	1946		1				1
1947	1951		1				1
1952	1956		4	2			6
1957	1961		2				2
1962	1966	7	5	1			13
1967	1971	11	3	1			15
1972	1976	13	3				16
1977	1981	12					12
1982	1986	14					14
1987	1991	29	2	1			32
1992	1996	19	1	1			21
1997	2001	23	2				25
2002	2006	16					16
Total events		146	30	12	6	3	197

United States Geological Survey/National Earthquake Information Center – NEIC  
<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>

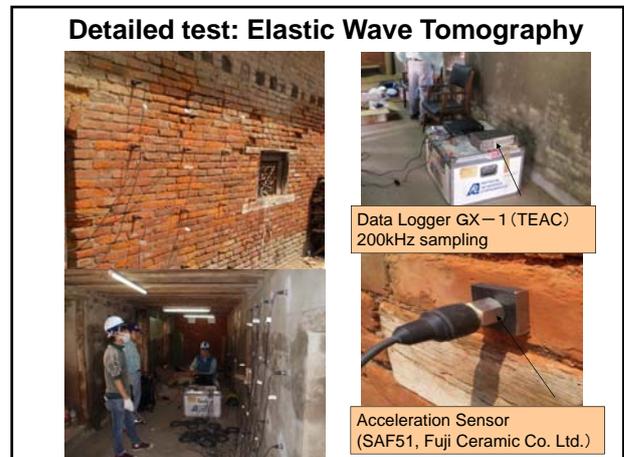
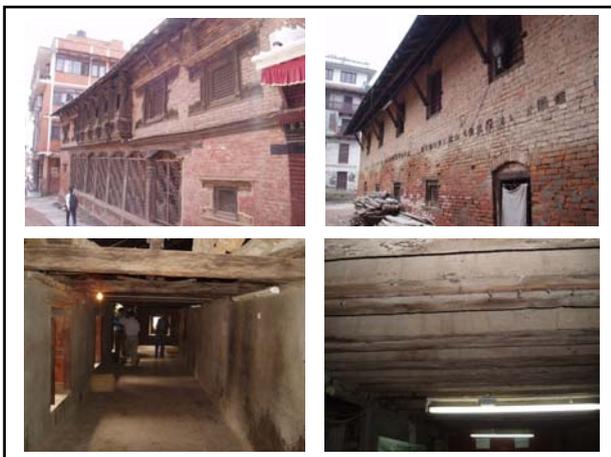
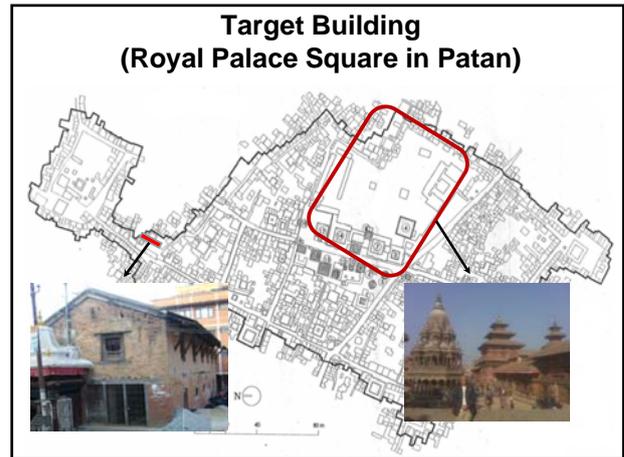
**Seismic Activities**

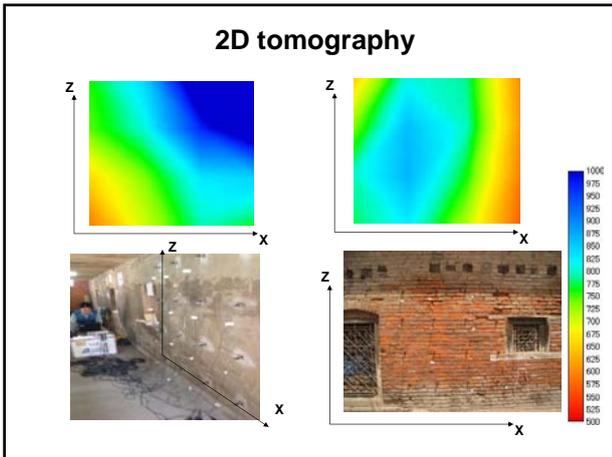


(by H.R. Parajuli., J.Kiyono, et.al [2008])



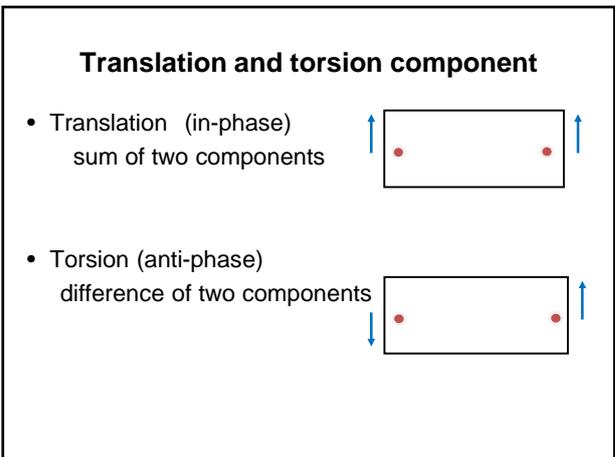
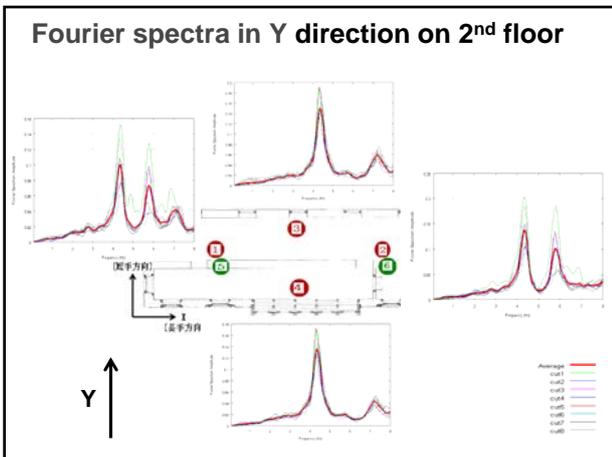
*Investigation of Historic Building (1)*  
*(Elastic Wave Tomography)*

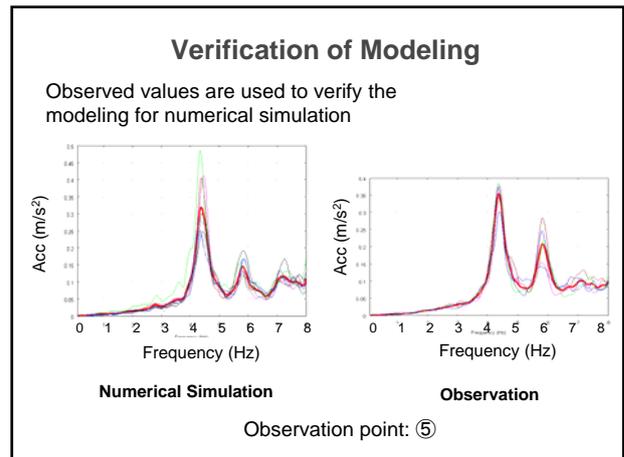
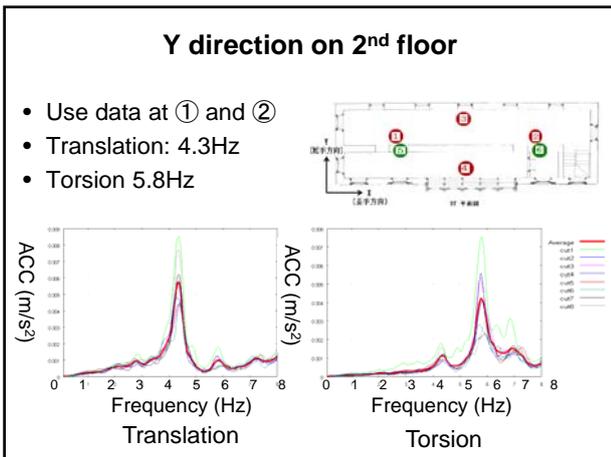




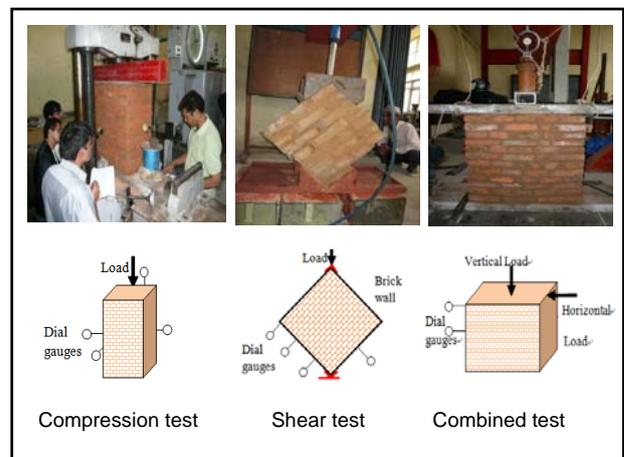
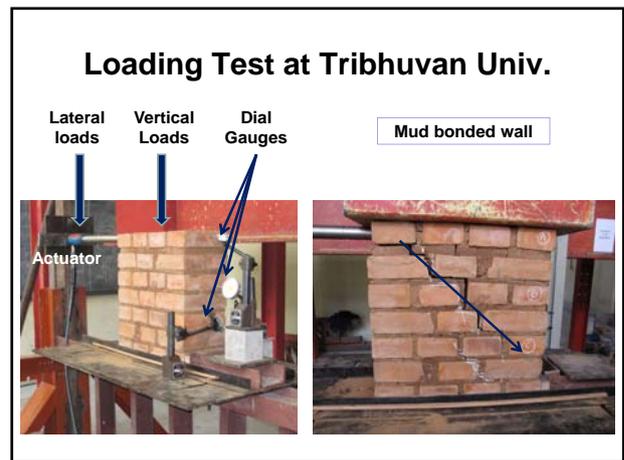
- ### Results
- P-wave velocity of Intact brick
    - about 2,500m/sec
  - Apparent P-wave velocity of wall :
    - $30,000/x$  (x: thickness of wall[cm])
  - Average P-wave velocity of masonry wall:
    - 500m/sec~1000m/sec
  - Brick quality is very poor because of the aging and underground water absorption

## Investigation of Historic Building (2) (Microtremor Observation)





*Element Test for Brick and Wall*



**Parameters Obtained**

Variable	Brick	Mortar
Mass density (kg/m <sup>3</sup> )	1.76 × 10 <sup>3</sup>	1.71 × 10 <sup>3</sup>
Young's modulus (N/m <sup>2</sup> )	3.87 × 10 <sup>8</sup>	3.30 × 10 <sup>7</sup>
Poisson's ratio	0.11	0.19
Tensile strength $f_t$ (N/m <sup>2</sup> )	-	0.0
Shear strength $c$ (N/m <sup>2</sup> )	-	9.0 × 10 <sup>4</sup>
Friction angle $\phi$	-	42.5°
Compressive strength (N/m <sup>2</sup> )	-	1.58 × 10 <sup>6</sup>

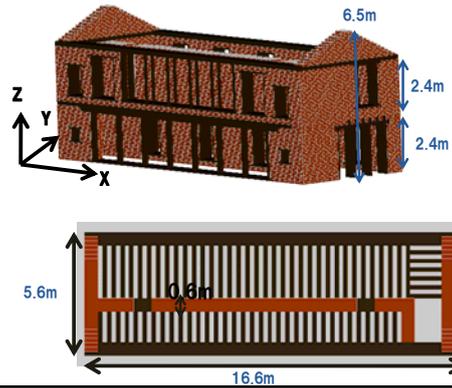
*Numerical Simulation*

**Modeling with Refined DEM**

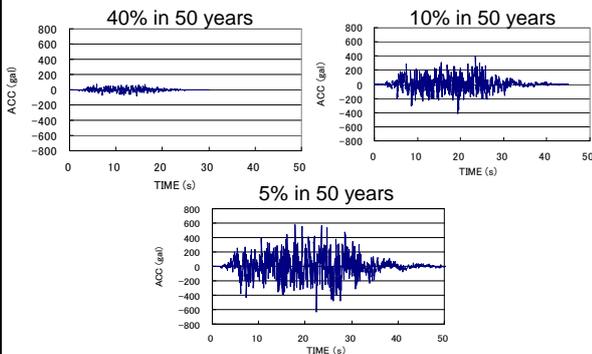


- Total number of elements 63,978  
Rectangular parallelepiped
- Size of bricks 10cm × 10cm × 20cm

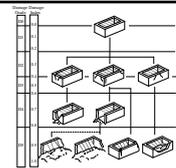
**Dimension**



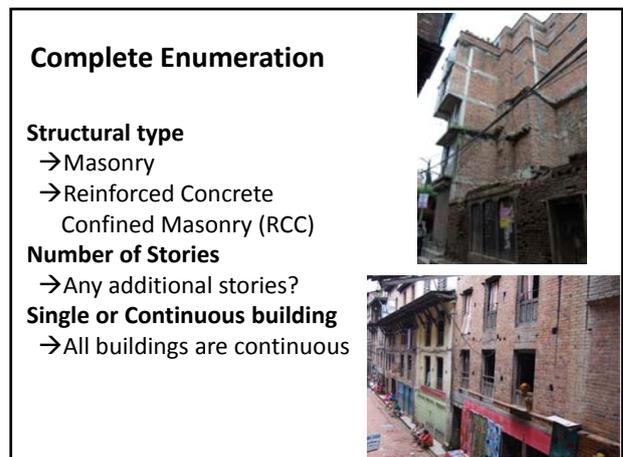
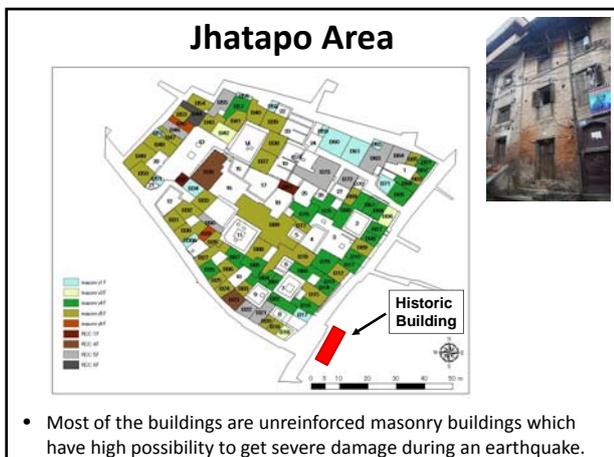
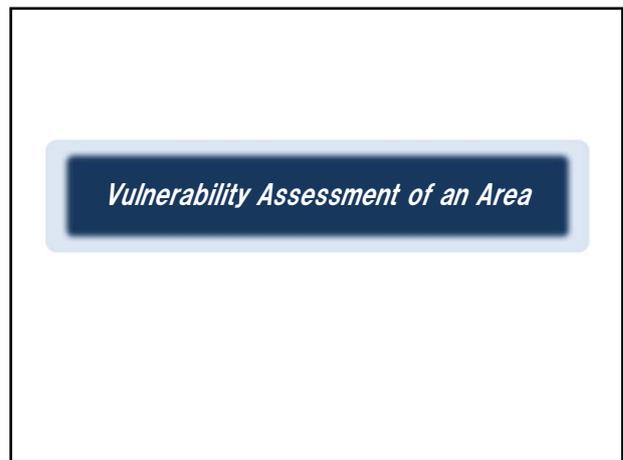
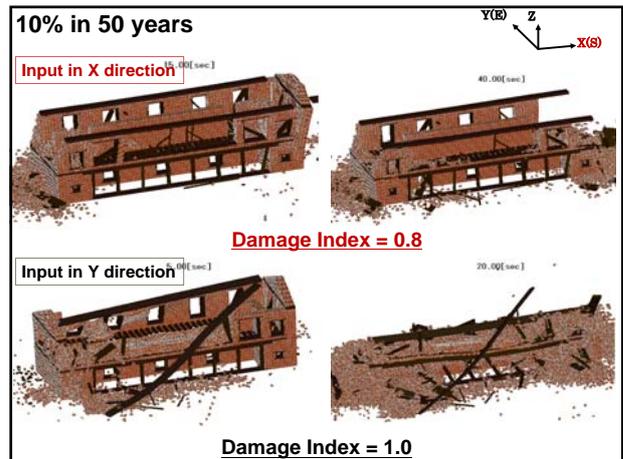
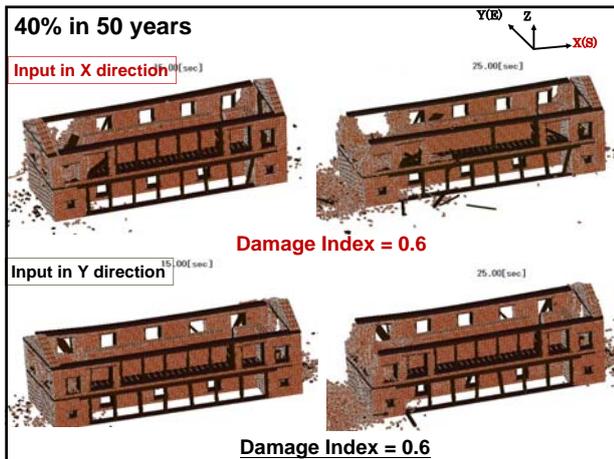
**Input Ground Motion**

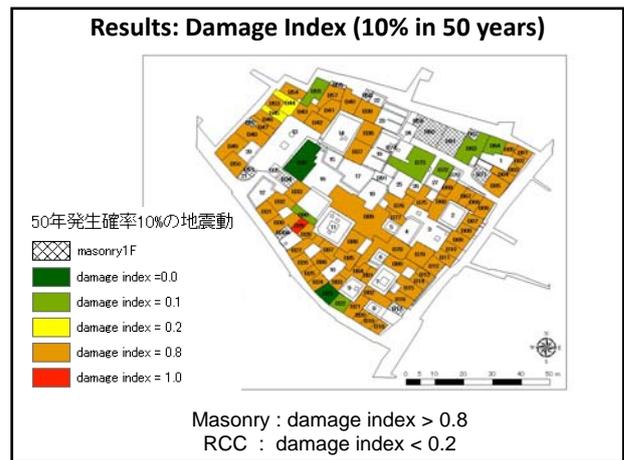
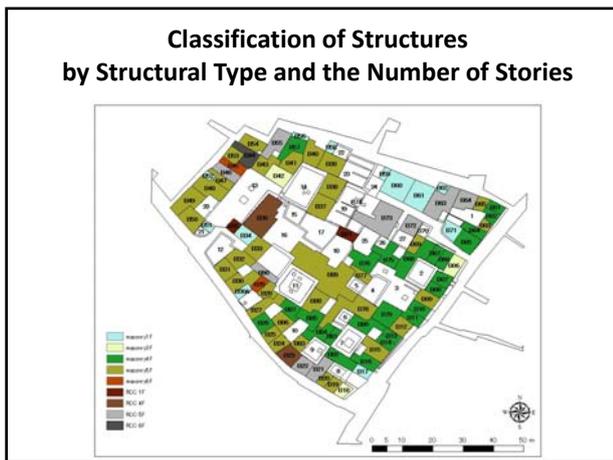
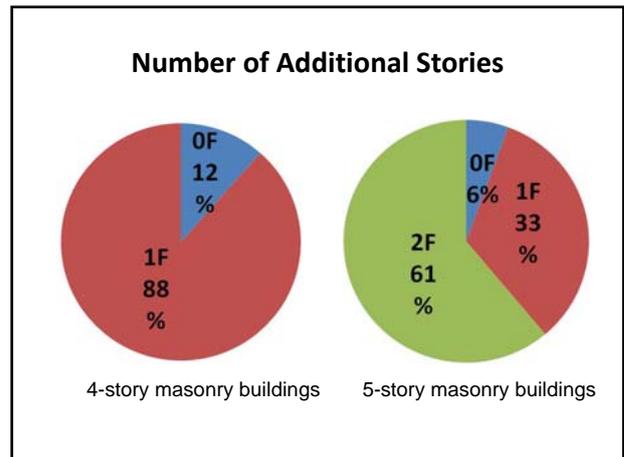
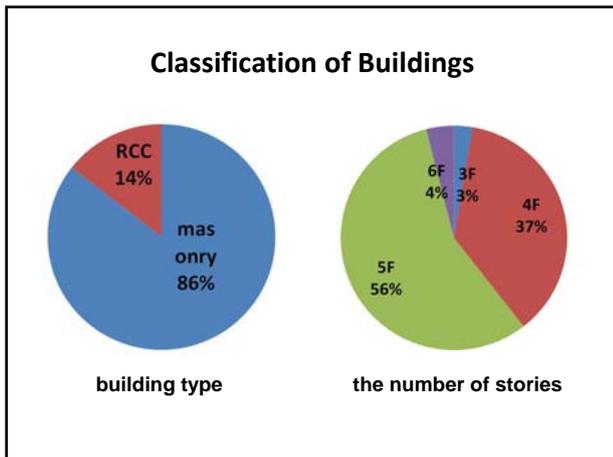


**Damage Index**



Damage Grade	Damage Index	Damage Description	Damage State
D0	0.0	No damage	No damage
D1	0.0 ~ 0.2	Negligible to sight damage	Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.
D2	0.2 ~ 0.4	Moderate damage	Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.
D3	0.4 ~ 0.6	Substantial to heavy damage	Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).
D4	0.6 ~ 0.8	Very heavy damage	Serious failure of walls, partial structural failure of roofs and floors
D5	0.8 ~ 1.0	Destruction	Total or near total collapse





- ### まとめ
- ✓ ネパールの歴史的建造物群は過去の地震でも大きな被害を経験してきた。そしてその都度、また元の材料を使って再建されてきた。
  - ✓ ハザード解析より、50年40%、10%、5%の震度階級は、それぞれ震度4、震度5弱～5強、震度5強～6弱程度に対応する。
  - ✓ 経年劣化や地下水の吸収等によって組積造建物のレンガの質が落ち、弾性波トモグラフィーの結果より、本来の波速の1/3～1/5程度にまで減少している。
  - ✓ 2階建て歴史的組積造の卓越振動数は、短辺方向で並進・ねじれそれぞれ4.3Hzと5.8Hzであった。
  - ✓ 歴史的建造物に使用されているレンガとレンガ壁の要素試験により、密度やヤング率、圧縮強度やせん断強度の値を得た。
  - ✓ 弾性波トモグラフィーや要素試験で得られた値を利用して、歴史的建造物の解析モデルを作成し、微動観測による振動特性で妥当性を検証した。
  - ✓ 数値解析により、耐震補強法の評価を行うとともに、歴史的建造物群の脆弱性評価を行った。震度5弱程度で歴史的建造物群は大被害を受ける。
  - ✓ 近傍にすべりの大きな領域、地盤の弱い盆地構造、耐震補強を行う余裕なし、建て増しや古く耐震性のない組積造建物群、1934から80年経過・・・

