



1995 兵庫県南部

1997 イラン・ガエン

2001 インド・プジ

2004 新潟県中越

2007 能登半島

2009 インドネシア・パダン

✓ 人的被害最小: 最大の目標
 ✓ 文化遺産の災害からの防御
 → 『人』と『文化遺産』: かけがえないもの

近年の地震による世界遺産の被害

- ジャワ島中部地震
 2006/5/27, Mw6.3,
 死者5,716人
 ボロブドゥル寺院遺跡群(1991)
 プランバナン寺院遺跡群(1991)
- イラン・バム地震
 2003/12/26, Mw6.5,
 死者43,000人
 バムとその文化的景観(2004)
 すぐに危機遺産
- (ネパール)カトマンズバレー
 1979年文化遺産, 2003年危機遺産
- (イラン)タブリーズ
 2010年文化遺産

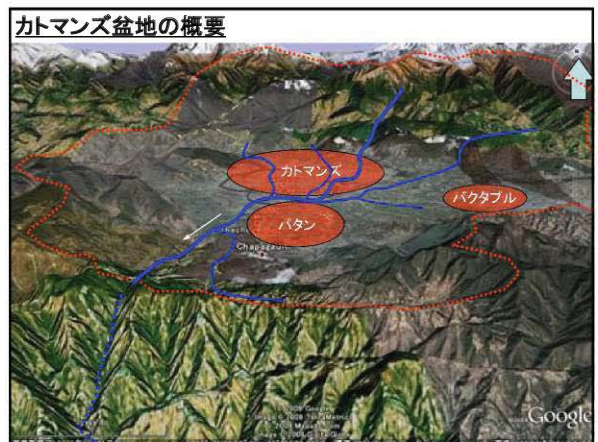
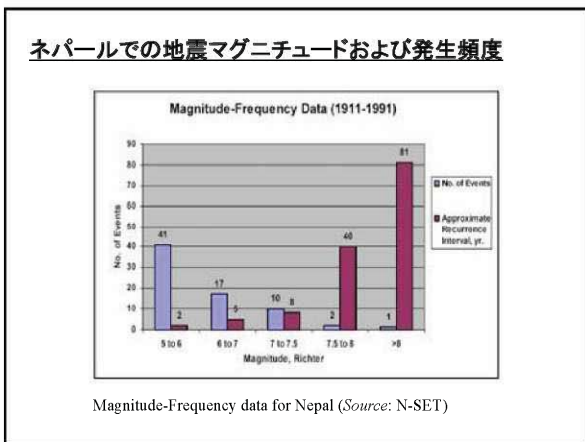
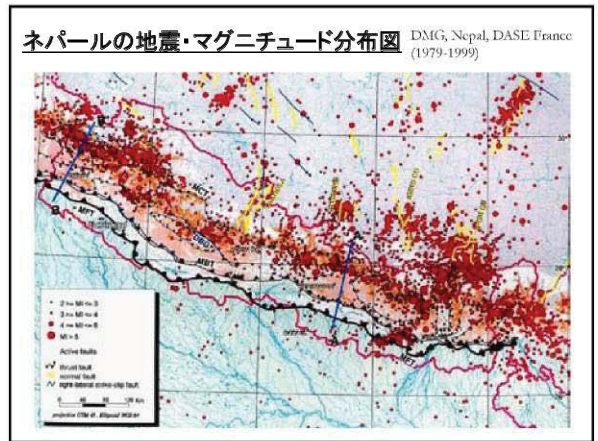
Prambanan
 (ヒンドゥー教寺院)
 ジョグジャカルタの東15km
 ロロ・ジョングラン寺院

Borobudur

世界最大級の仏教遺跡(世界遺産)
 高さ42m, 最下部の基壇一辺124mの正方形。
 AD800年ごろに建造, 千年以上メラピ火山の火山灰に埋没。
 ジャワ島中部地震による被害は軽微。

Arg-e Bam (バムの要塞)

(C) FreeS theDribling



カトマンズ盆地基本情報のまとめ

- カトマンズ、パタン、バクタブル 3都市からなる
- 人口:約300万(はっきりとした値は不明)
- 海拔標高:1300m(平均)
- 予想死者数:4~10万
- 予想軽重傷者数:約20万
- 大規模地震発生頻度:80~100年に一度
- 小規模地震発生頻度:10~20年に一度
- M3以下の地震は年に数回

文化遺産の集積地

- 宗教的建築物・モニュメント
- 歴史的住宅群・・・バッファゾーンの構成要素

文化遺産周辺のバッファゾーン

- レンガ積み・・・最近:セメントモルタル、(古い建物はレンガ粉・石灰モルタル)
- 鉄筋コンクリート・・・柱・梁構造、コンクリートブロックやレンガ積み壁

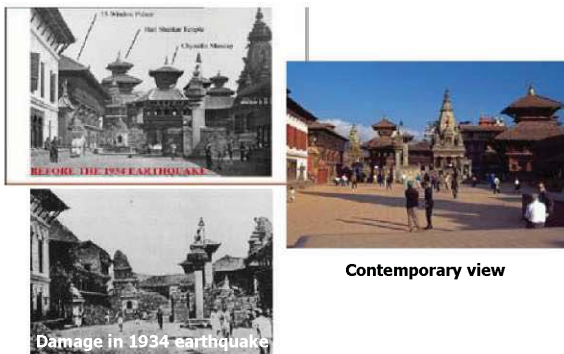
狭い道沿いに立ち並ぶカトマンズの建物(柱・梁構造)



今までの主な地震防災調査研究

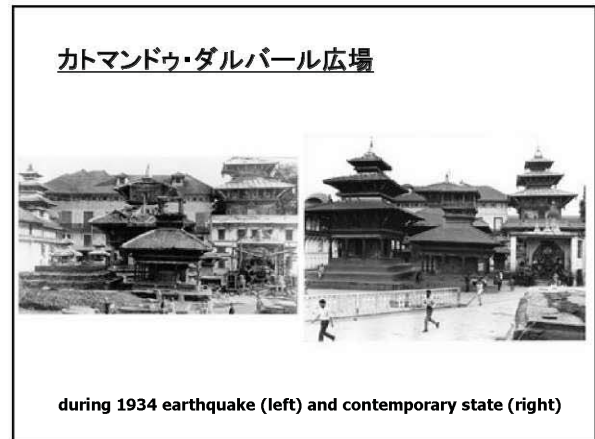
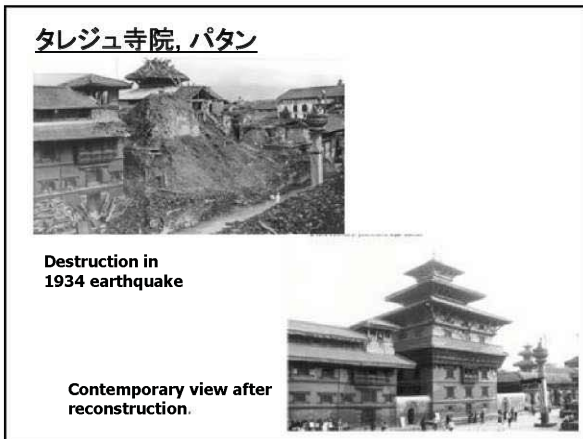
- ・ UNDPによる地震被害調査(1992年)
- ・ JICAによる総合地震防災調査研究(2001年)
 - ・ 想定地震(3つのケース)
 - ・ 液状化予測
 - ・ 斜面崩壊予測
 - ・ ライフライン被害(電線、水道、道路、橋、電話など)
 - ・ 建物・構造物被害予測
 - ・ 人的被害予測
 - ・ 避難経路、避難場所
 - ・ など

ネパールにおける過去の地震被害



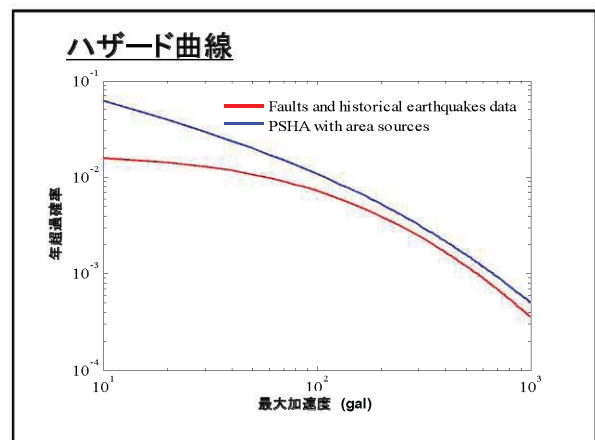
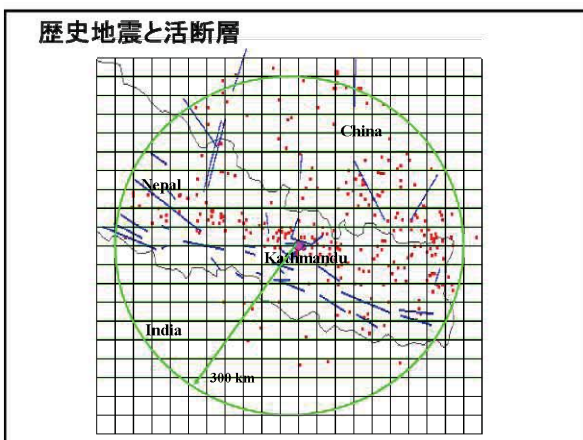
ニャタポラ寺院, バクタブル

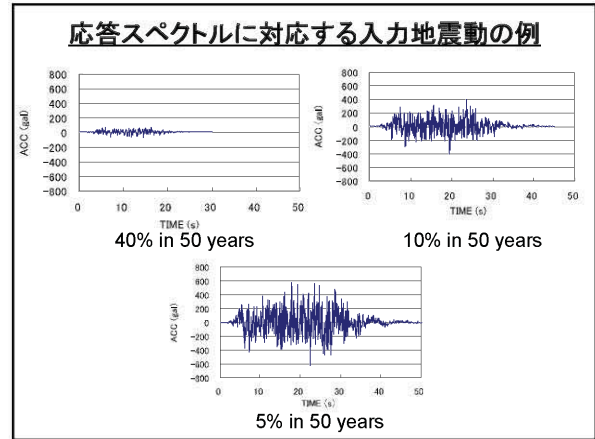
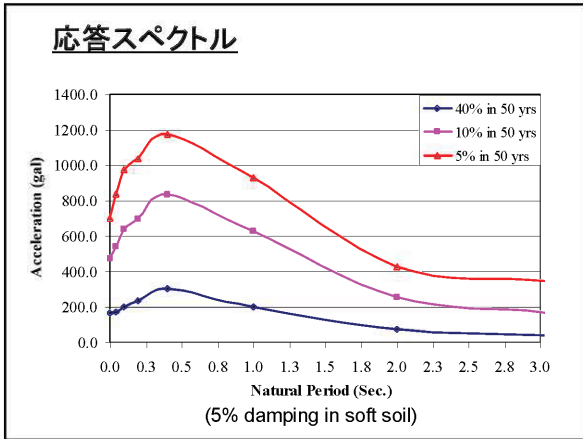




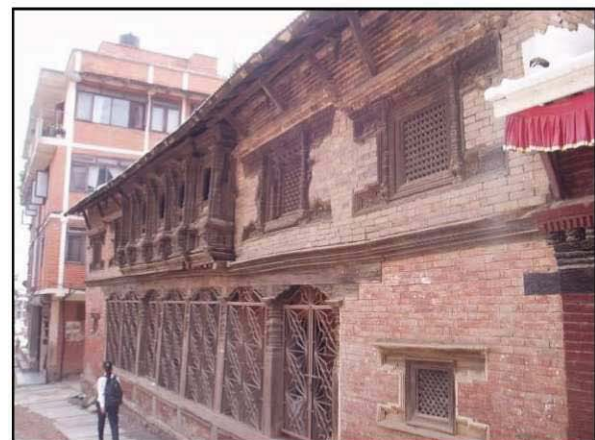
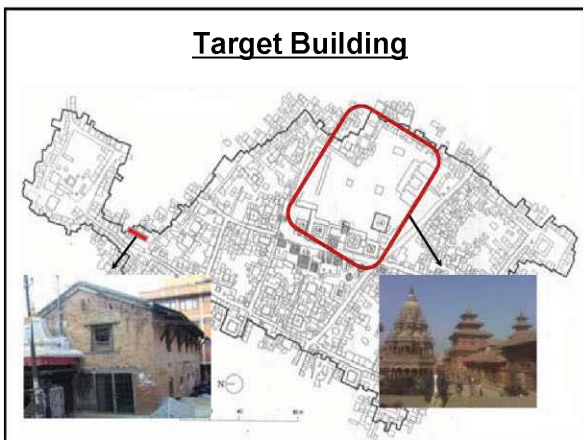
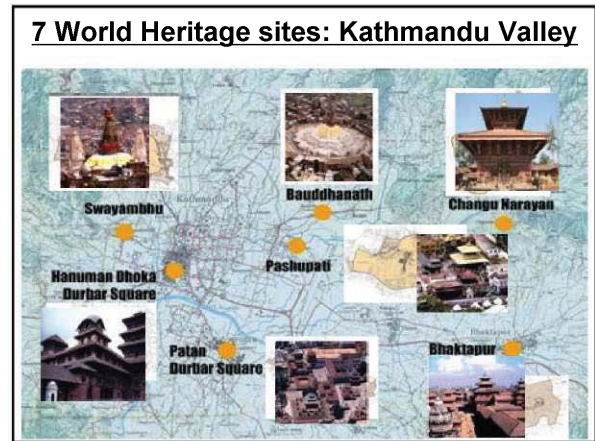
- 目的**
- ネパールの地震活動度の把握
 - 地震ハザード解析による入力地震動の設定
 - 弾性波トモグラフィによる壁の速度構造調査
 - 微動計測による歴史的建造物の動特性調査
 - 構造物の物理パラメータ推定のための要素試験
 - 歴史的建造物の地震時挙動検討のための数値シミュレーション
- ↓
- 歴史的建造物群の耐震性評価と補強方法の検討

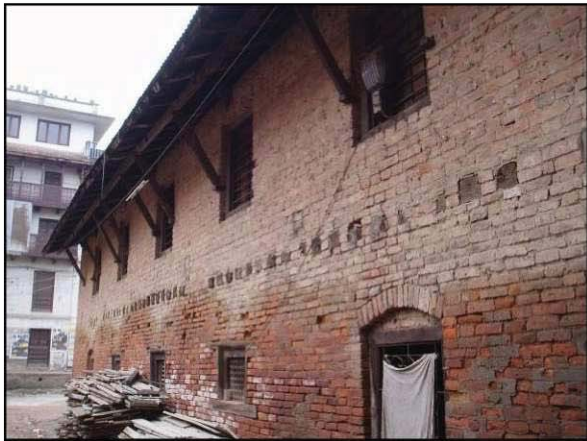
地震ハザード解析
Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)





対象とする歴史的建造物





対象建物の概要

- ・ パタン北西部に位置し、17世紀中ごろに建てられた
- ・ 地震や老朽化により、修復箇所が多数確認できる
- ・ 建物の大きさは長辺約16.5m、短辺約5.6m、最高高さ約7.5mの長方形型の煉瓦造2階建て
- ・ 煉瓦の大きさは約5cm × 10cm × 25cm



対象建物の概要

建物内の特徴

- ▶ 各フロア中央に長手方向に壁(幅約55cm)があり、その壁によって幅2~3mの細長い空間に分けられている
- ▶ 床は木製の板をコンクリートで覆っている
- ▶ 2階の天井はフロアの両端と中央の壁にかげられた梁のみ



弾性波トモグラフィによる 材料物性値の推定

ハンディAE装置を用いた計測



Single brick




Wall (Bricks and Mortar)


壁の計測 (1)



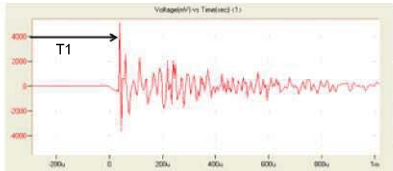


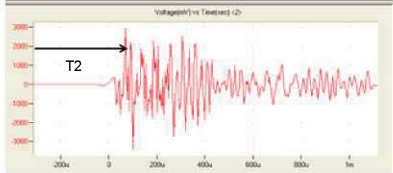
壁の計測 (2)

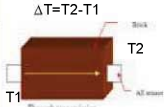




P波到着時刻の差

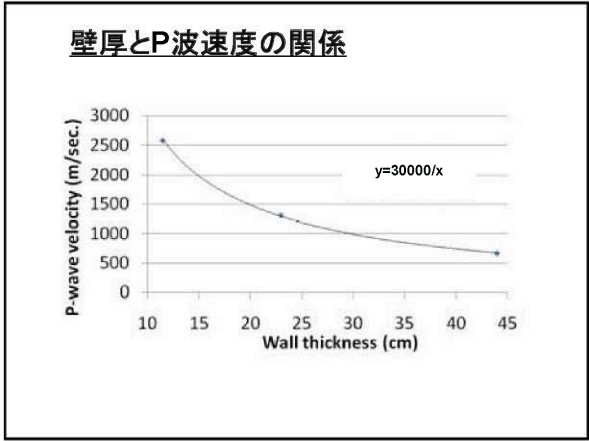


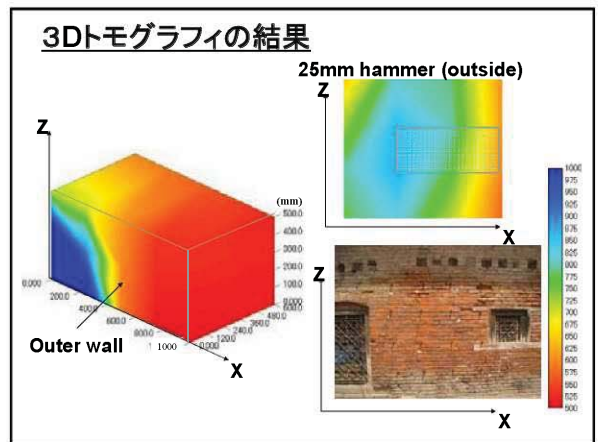
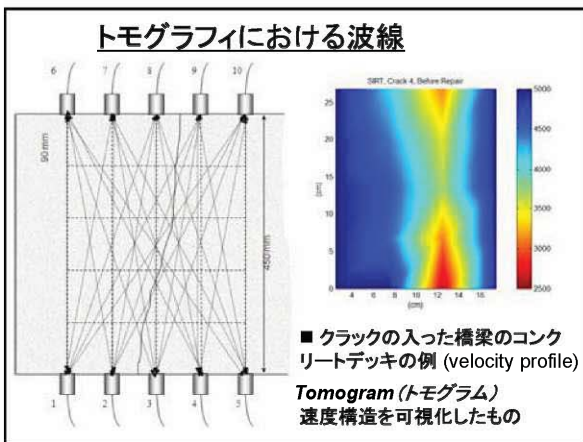
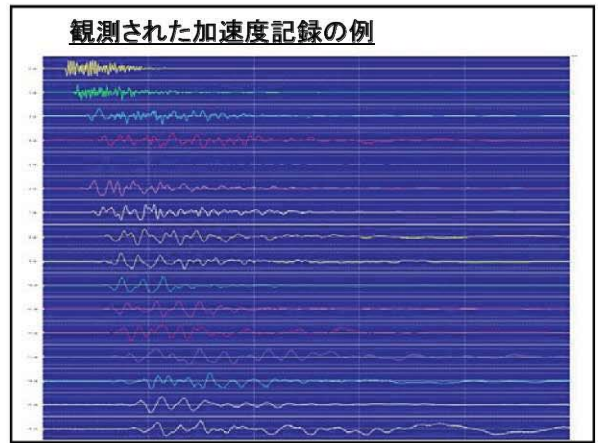
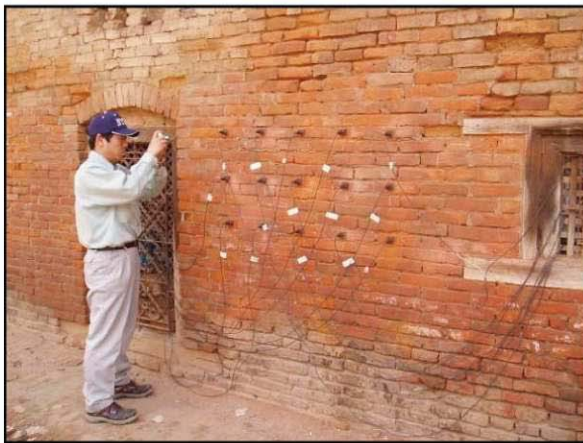
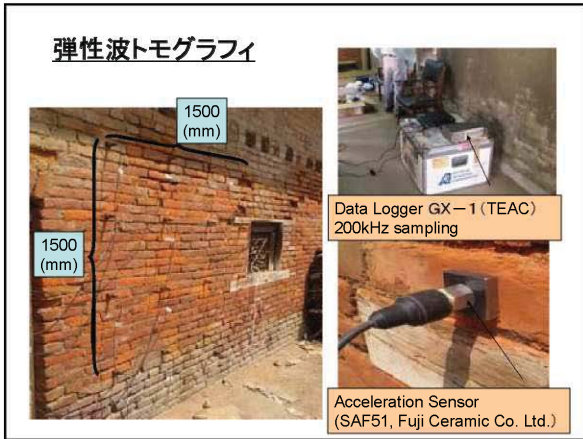




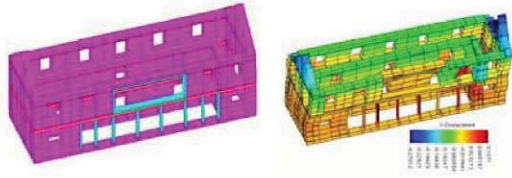
推定された材料物性値

Type	V_p (m/sec.)	G (N/mm ²)	V_s (m/sec.)	E (N/mm ²)
Single brick	2499	4537	1531	10889
11 cm wall	2576	4820	1677	11567
23 cm wall	1312	1250	803	3000
44 cm wall	670	326	410	782





数値解析モデルへの適用例



結果

- 通常のレンガのP波速度：
 - 約 2,500m/sec
- 壁厚に対する見かけのP波速度：
 - $30,000/x$ (x: 壁厚[cm])
- 今回の組積造の平均的なP波速度：
 - 500m/sec~1000m/sec
- レンガの劣化が激しい：
 - 経年劣化や地下水の影響

微動計測による構造物動特性の把握

観測の概要

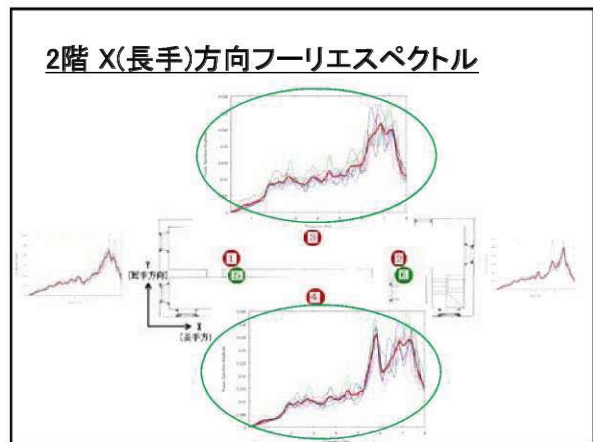
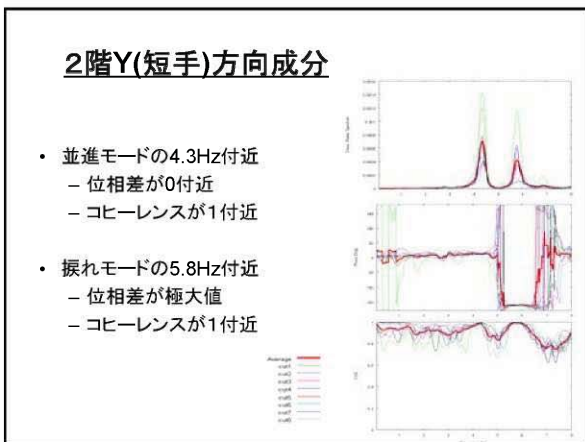
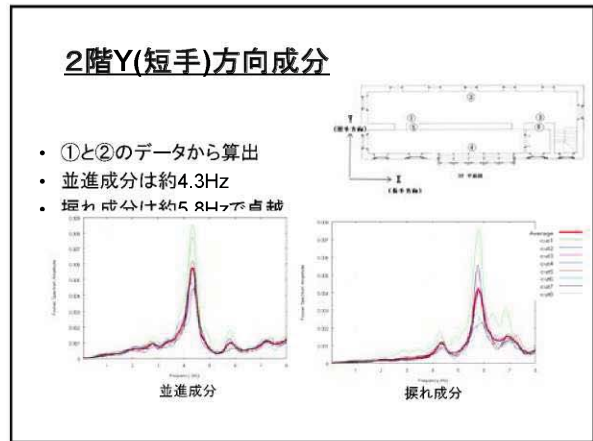
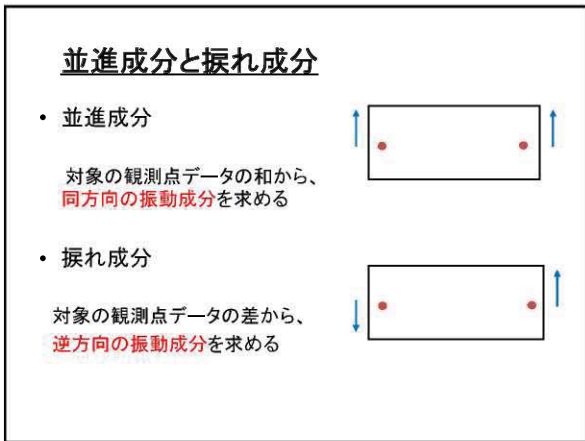
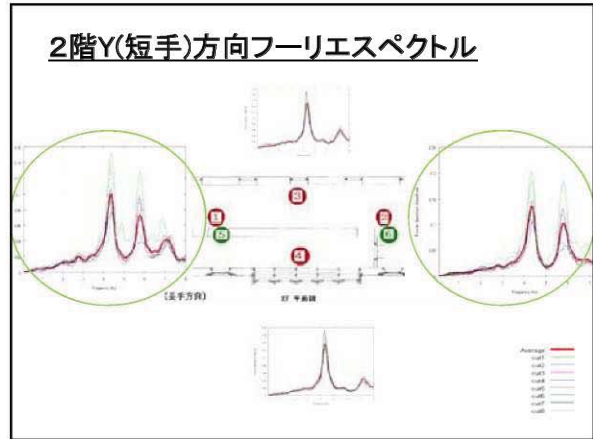
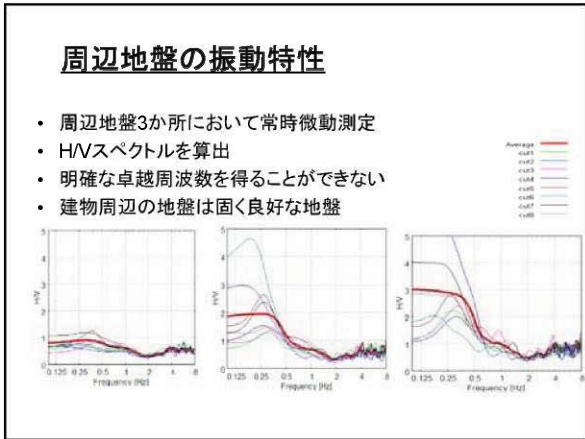
- ポータブル地震計 (GPL-6A3P) を使用
- サンプリング周波数は100Hzで、収録時間は20分間
- 建物内の観測点は、1階と2階、2階の壁の上で行った
- 1階と2階の観測点は同じ位置



Microtremor Source

- Human activity: traffic, etc. (<1s)
- Natural phenomena: wind, wave, air pressure, etc. (>1s, not clear)





2階X(長手)方向成分

- 観測点③と④から並進、振れ成分を算出
- 並進成分は6.8Hz、振れ成分は5.8Hzで卓越

2階X(長手)方向成分

- 並進モード6.8Hz
 - 位相差にばらつきがない
 - コヒーレンスの値が1付近
- 振れモード5.8Hz
 - 位相差にばらつき
 - コヒーレンスは他の周波数に比べ小さな値

2階での常時微動測定

	固有振動数(Hz)	
	Y方向	X方向
1次	4.3 (並進)	5.8 (振れ)
2次	5.8 (振れ)	6.8 (並進)

減衰定数

- X・Y両方向にそれぞれ3回人力加振し、建物を自由振動
- 観測点は2階壁の上(⑤と⑥)
- 対数減衰率により減衰定数を求めた
- Y(短手)方向 約3.1%
 - 鉄骨鉄筋コンクリート造構造物と同程度
- X(長手)方向 約5.6%
 - 鉄筋コンクリート造構造物と同程度

実測とFEM解析との比較

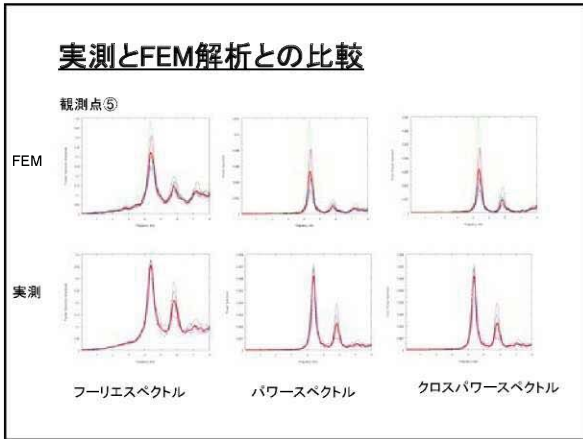
- FEMモデル
 - 過去の研究(Hariら)により、建物の物性値から作成
 - 未だ振動特性は確認されていない
 - 微動観測データを用いて振動特性を評価

↓

FEMモデルの振動特性を実際の構造物と一致させ、地震波を入力することで、対象建物の地震耐力を考察

実測とFEM解析との比較

- 入力データ:1階③の観測データ
- 要素数は2995個
- 橙色:1階と2階の境界
- 紫色:煉瓦
- 青:窓枠の木
- 最上部⑤と⑥の応答を算出

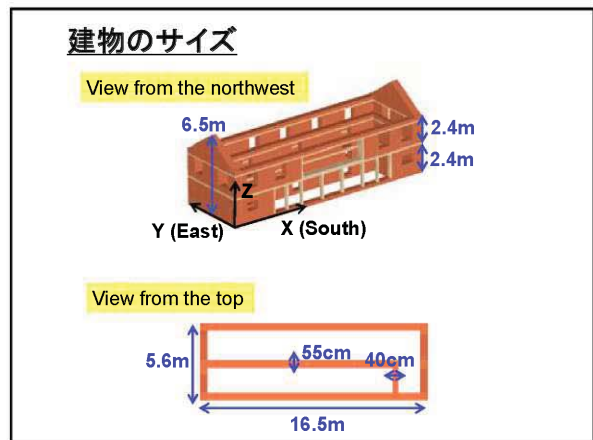
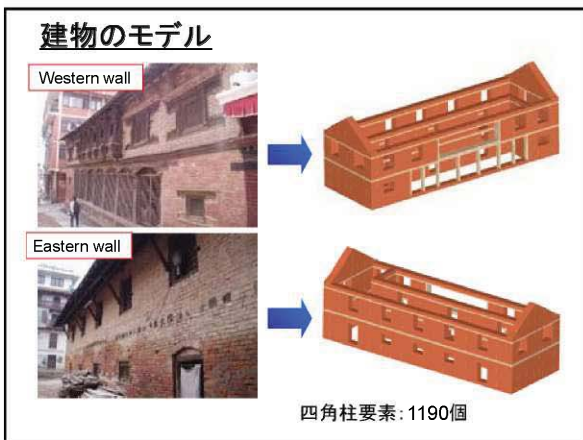


実測とFEM解析との比較

NS方向	フーリエスペクトル		パワースペクトル		クロスパワースペクトル		
	周波数	振幅	周波数	振幅	周波数	振幅	
観測	1次	4.37	0.32	4.37	0.0053	4.35	0.0032
	2次	5.81	0.15	5.81	0.0011	5.83	0.0023
FEM	1次	4.37	0.36	4.36	0.0062	4.37	0.0062
	2次	5.83	0.21	5.83	0.0023	5.82	0.0023

- ### 得られた結果
- ▶ 対象建物の周辺地盤は、H/Vスペクトルに明確なピークが現れず、固く良好な地盤であると考えられる
 - ▶ 対象建物の固有振動数は、
 - ▶ X(長手)方向
 - ▶ 1次固有振動数は5.8Hzで振れモード
 - ▶ 2次固有周波数は6.8Hzで並進モード
 - ▶ Y(短手)方向
 - ▶ 1次固有振動数は4.3Hzで並進モード
 - ▶ 2次固有振動数は5.8Hzで振れモード
 - ▶ 減衰定数は、
 - ▶ X(長手)方向は約5.6%
 - ▶ Y(短手)方向が約3.1%

歴史的建造物の数値解析



入力地震動

ハザード解析の結果を用いる

- 1) 50年5% (PGA=6.3m/s²)
- 2) 50年10% (PGA=4.2m/s²)

• 各ケーススタディの概要(入力条件)

Direction	Case X	Case Y	Case Z	Case XZ	Case YZ	Case XY	Case XYZ
X	○	—	—	○	—	○	○
Y	—	○	—	—	○	○	○
Z	—	—	○	○	○	—	○

3方向入力:再現期間の違い

50年 5%
(再現期間:975年)

50年 10%
(再現期間:475年)

Weak

Normal

モルタル強度の違い

Strong

水平・鉛直载荷試験

Lateral loads Vertical Loads Dial Gauges

Actuator

斜めせん断载荷

結論と今後の予定

- ネパールの地震活動度を評価し入力地震動を策定した
- 弾性波トモグラフィによる壁の速度構造を調査した
- 微動計測による歴史的建造物の動特性を調査調査した
- 物理パラメータ推定のための要素試験を行った
- 歴史的建造物の地震時挙動検討のための詳細な数値シミュレーションを行う
- 歴史的建造物群の耐震性評価と補強方法の検討を行う