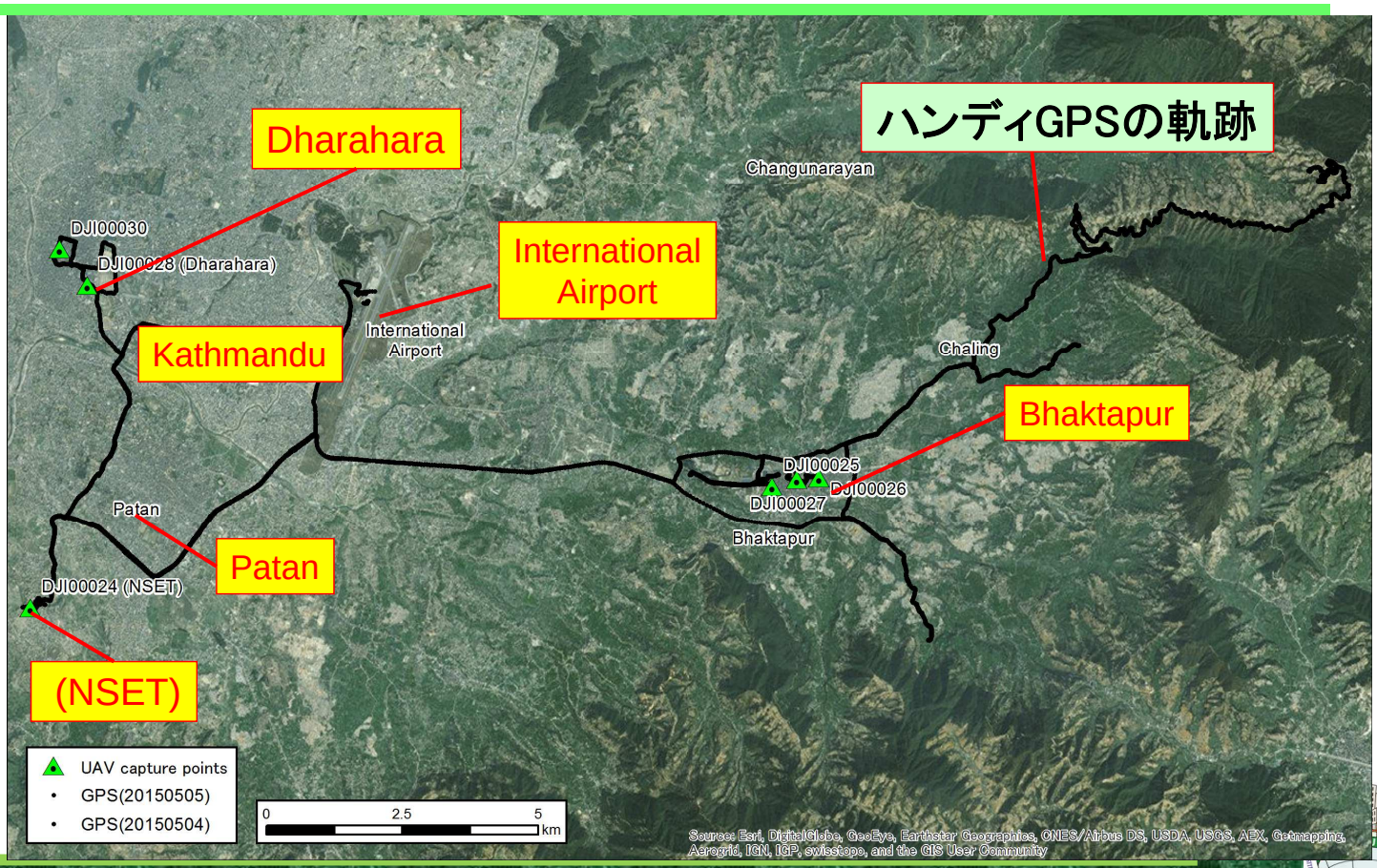
2015年ネパール・グルカ地震 被害調査速報（目黒グループ）

目黒 公郎[1),2)]・沼田宗純[1),2)]
藤生慎[3)]・Ramesh Guragain[4)]

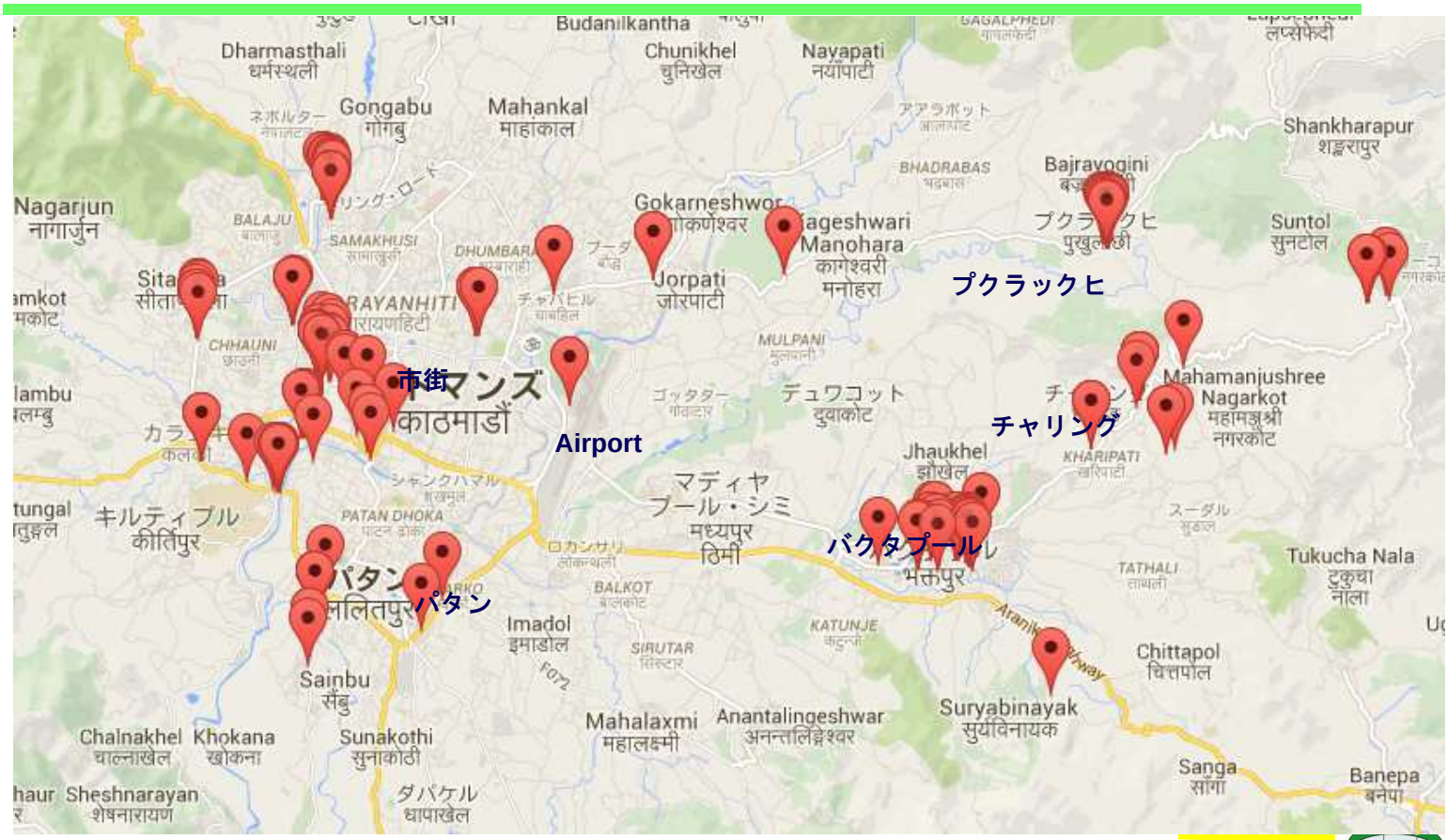
1) 東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター
2) 東京大学大学院情報学環境総合防災情報研究センター
3) 金沢大学 理工学域 環境デザイン学類
4) National Society for Earthquake Technology-Nepal (NSET)

協力：郷右近　英臣[1)]

調査経路（GPSの軌跡）



調査地点（現地調査をした場所）



カウンターパート: NSET

(National Society for Earthquake Technology-Nepal)

カウンターパート: NSET(National Society for Earthquake Technology-Nepal)

Dr. Ramesh
(Deputy Executive Director)
とのブリーフィング

NSET内の
災害対策本部の様子

■目次

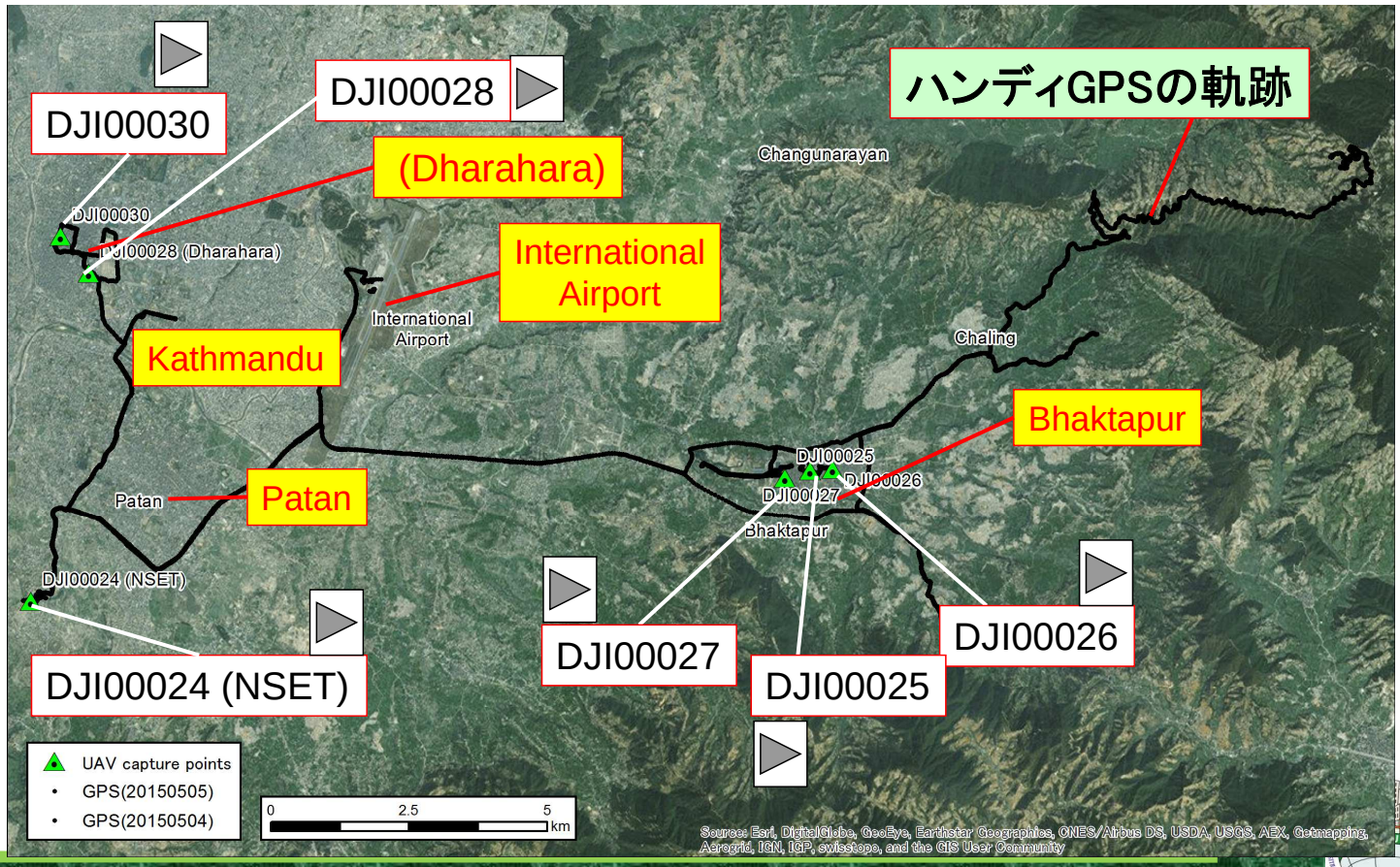
1. 上空から眺めてみると(被害は局所的)
2. 地震動はあまり強くなかったのでは
3. 被害の様子(個別の被害)
4. School safety project
5. PP-バンド耐震補強
6. 今後の我が国の支援に対して

UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

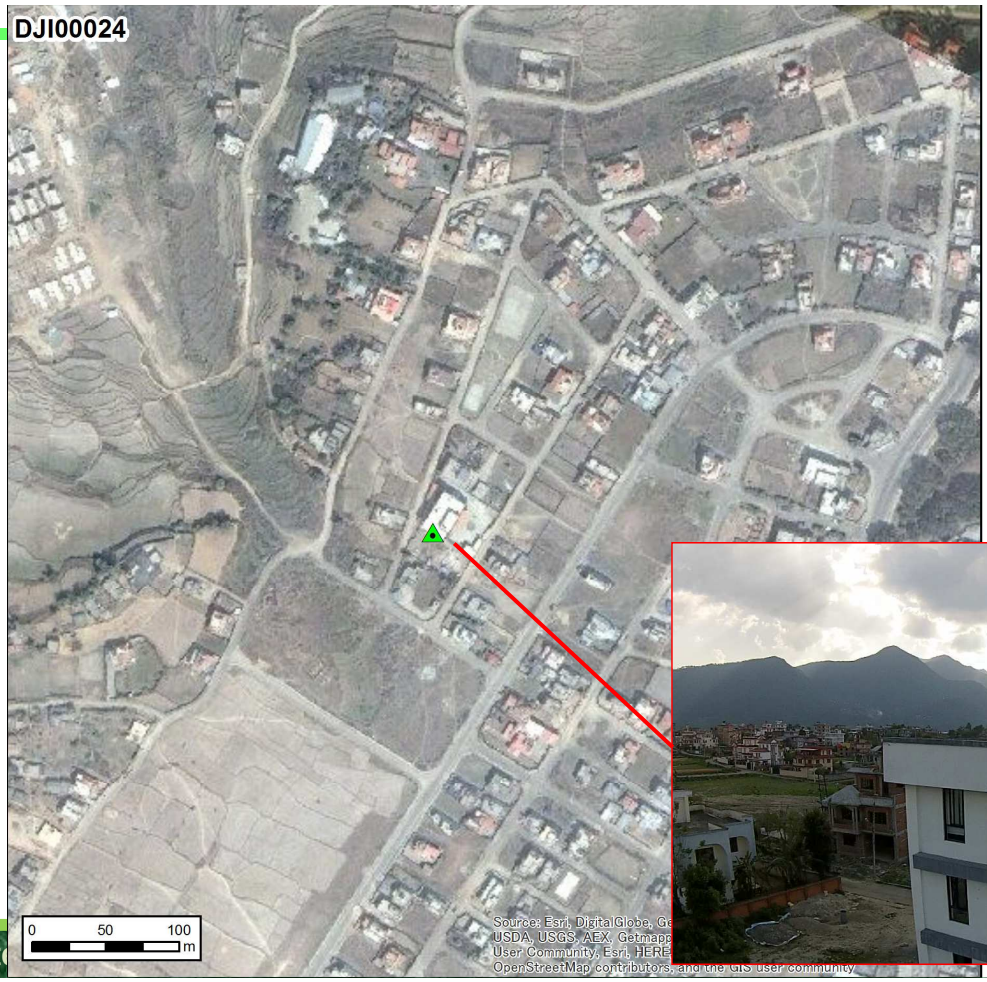
- 最大飛行時間：30 分
  （Phantom 2の場合）
- 飛行可能距離：操作者から
  300 m

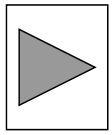
現地調査に使用したUAV
http://www.dji.com/product/phantomより転載

UAV撮影地点とハンディGPSの軌跡

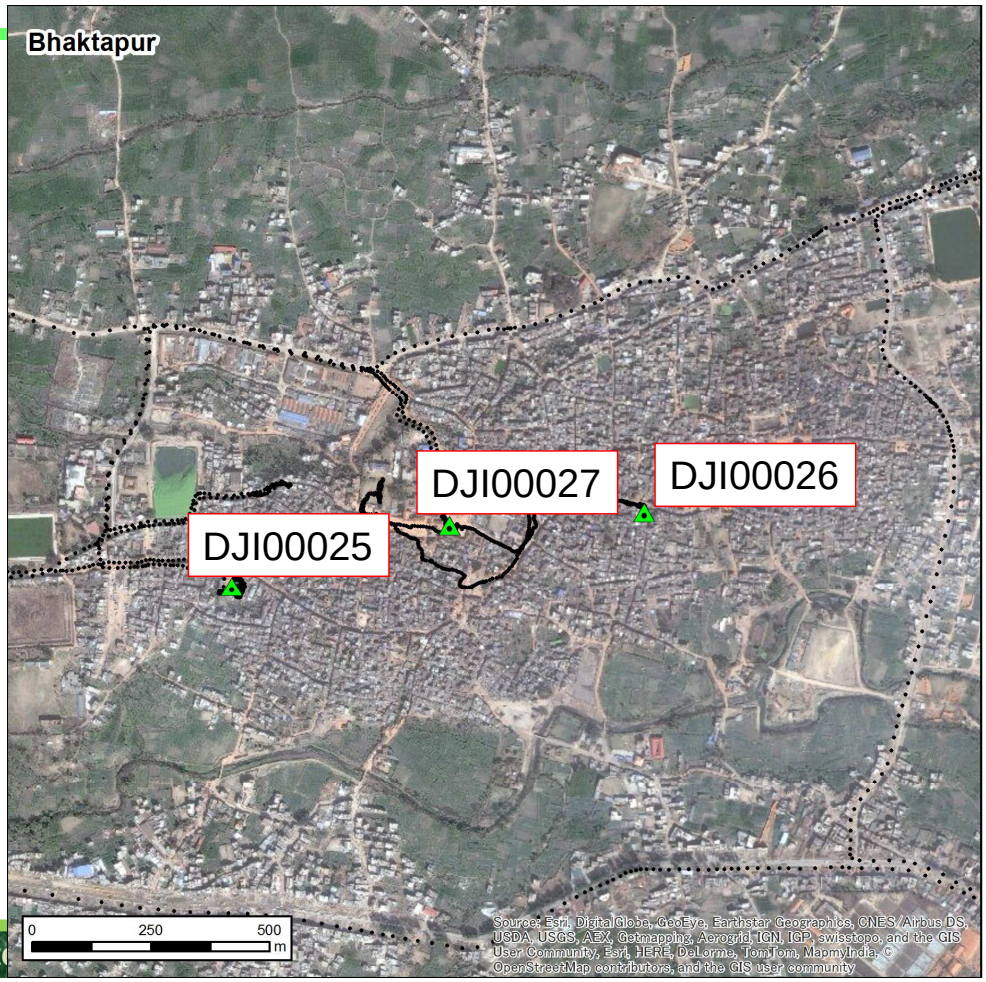


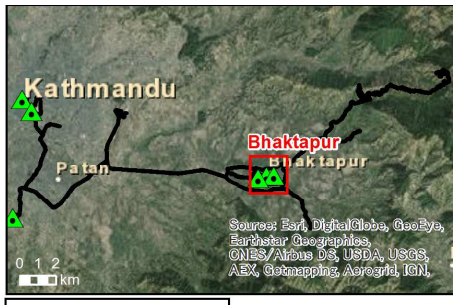
DJI00024 (NSET)





Bhaktapur



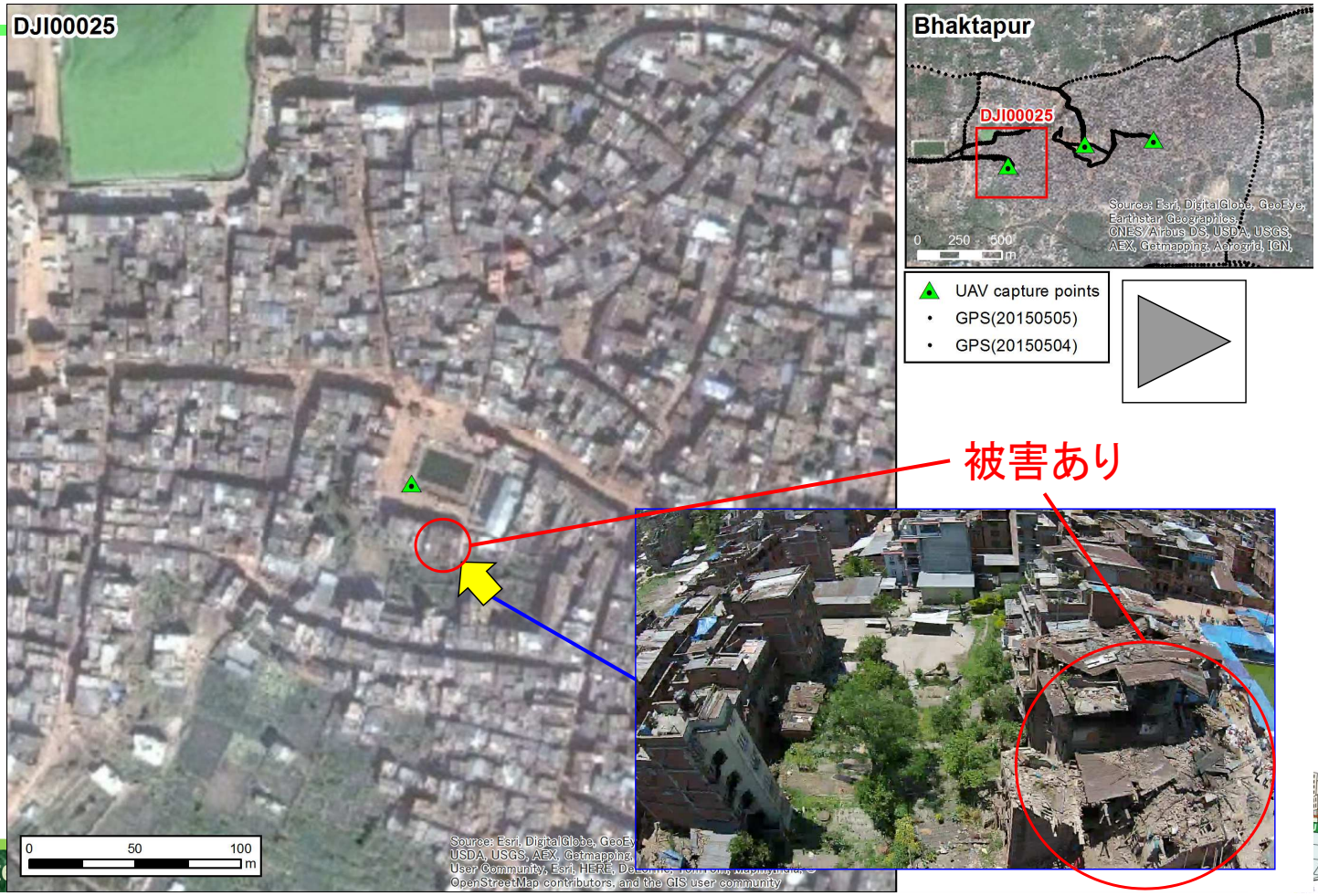


UAV capture points
- GPS(20150505)
- GPS(20150504)

- DJI00025
- DJI00026
- DJI00027

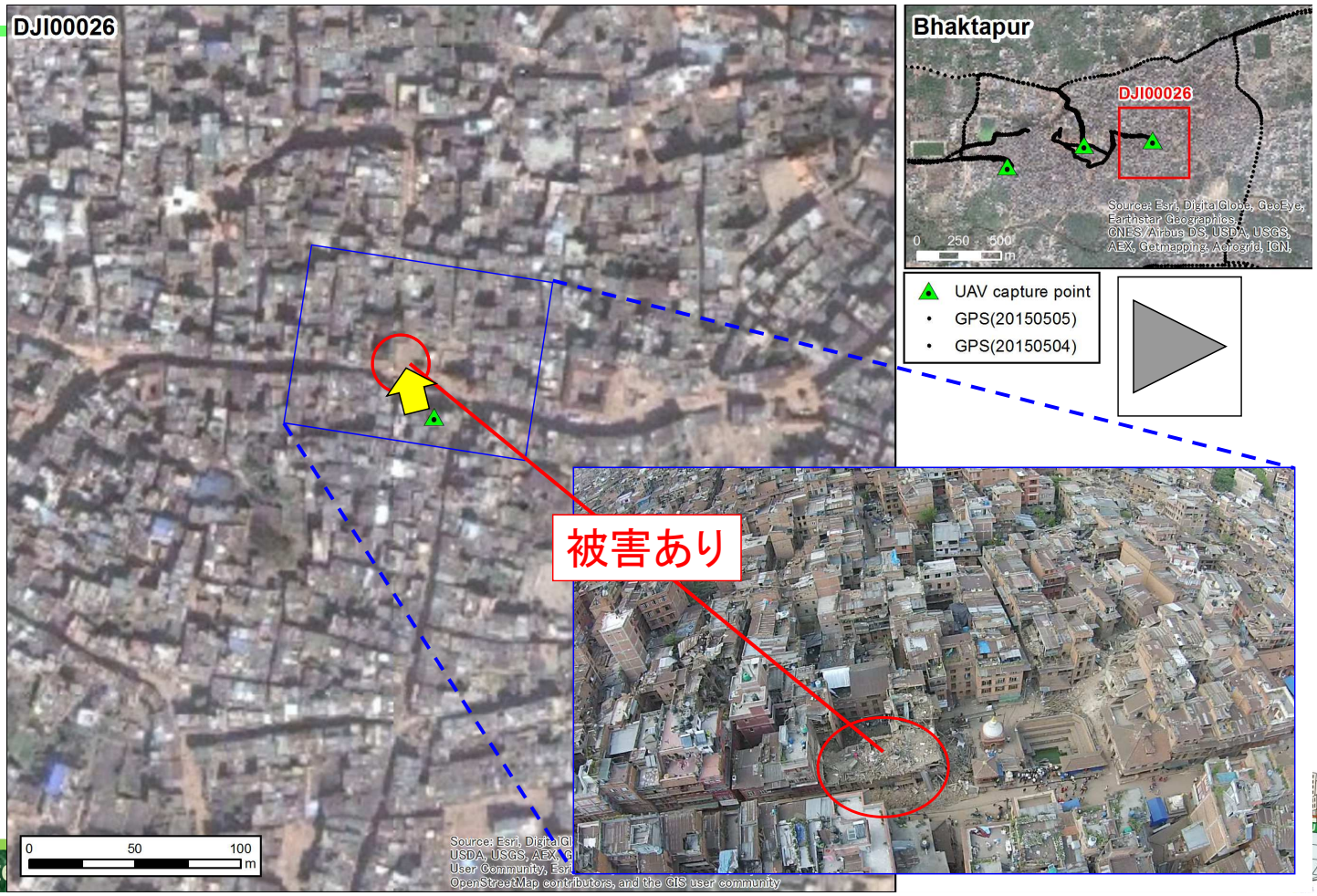
DJI00025

DJI00025

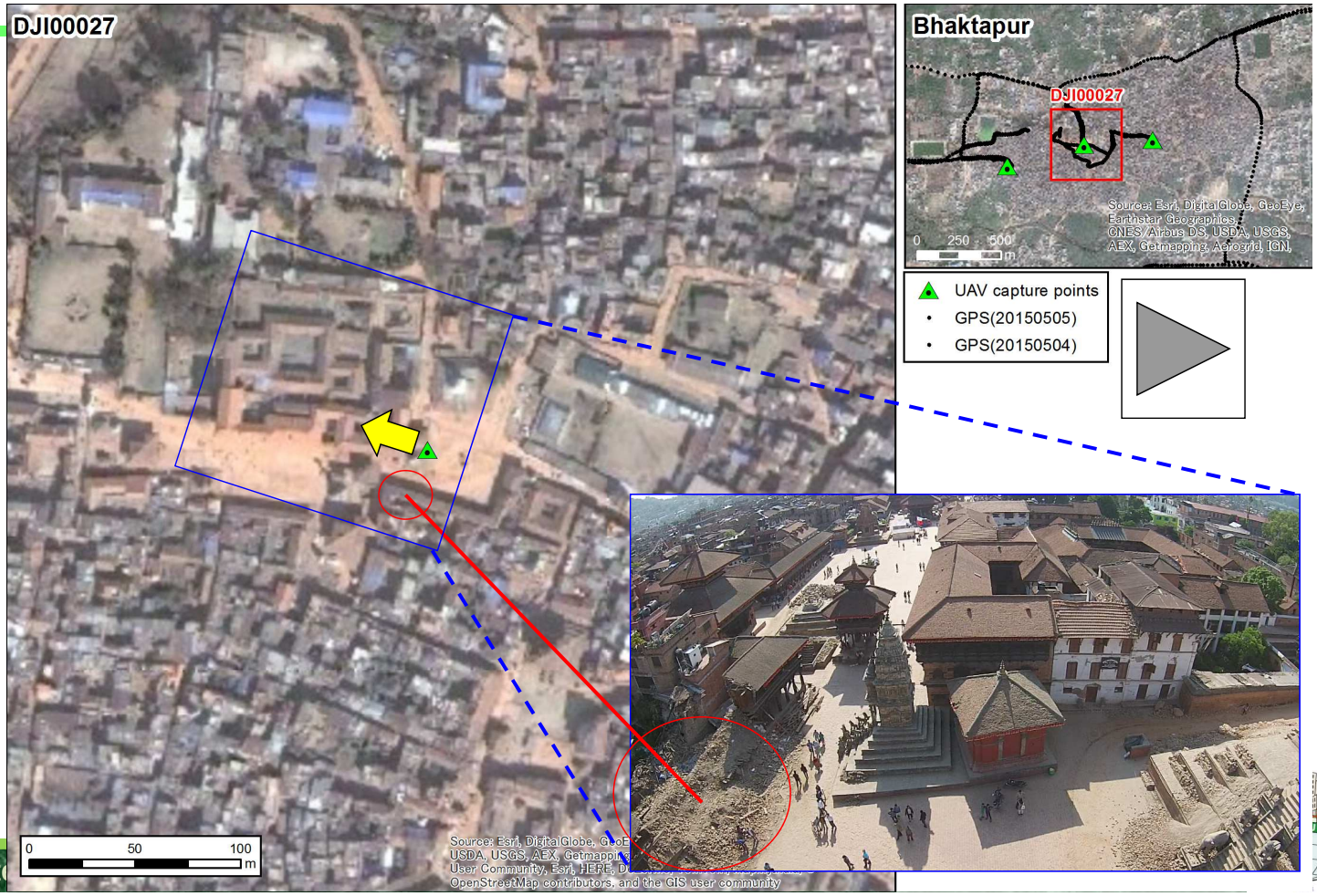


DJI00025

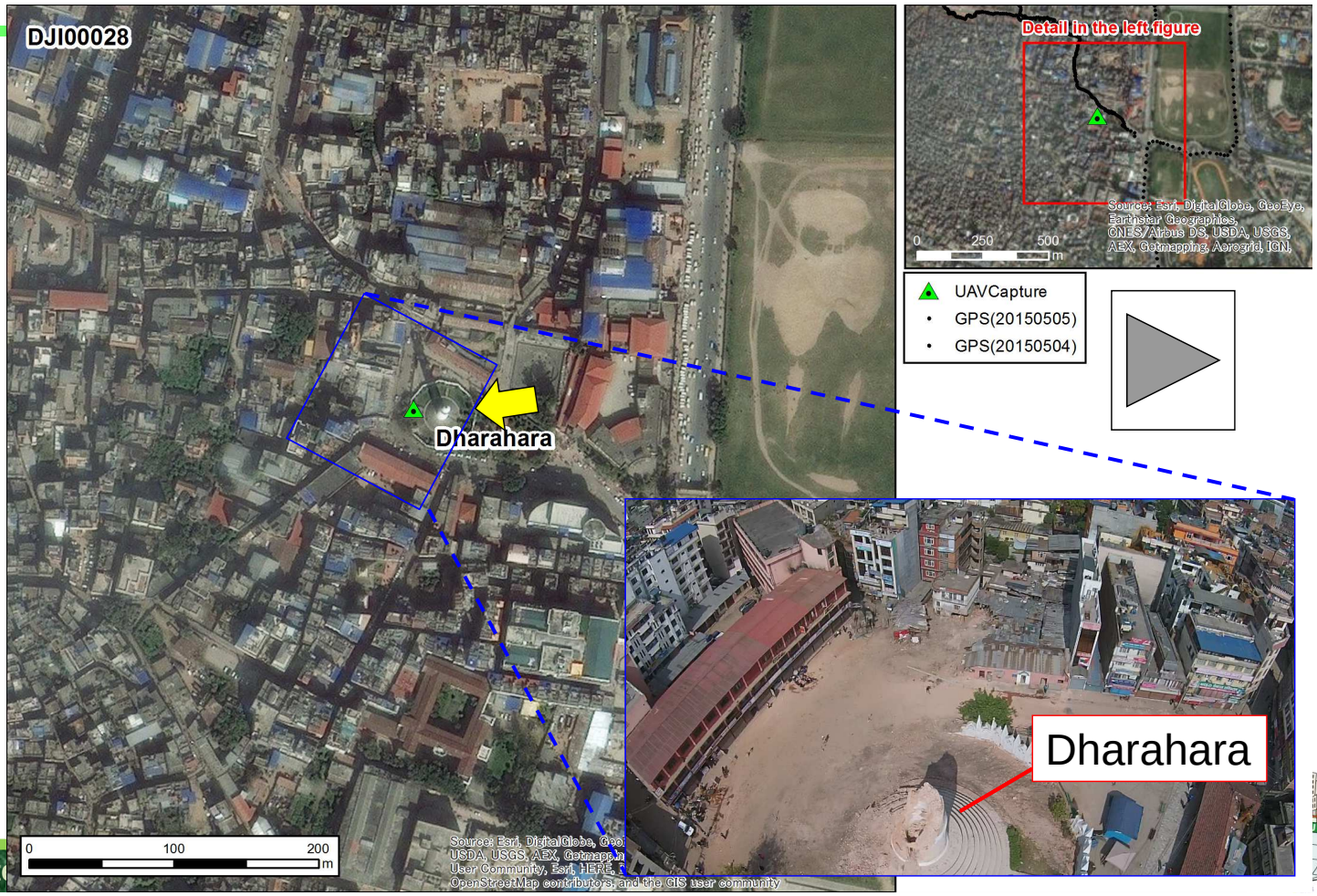
DJI00026



DJI00027

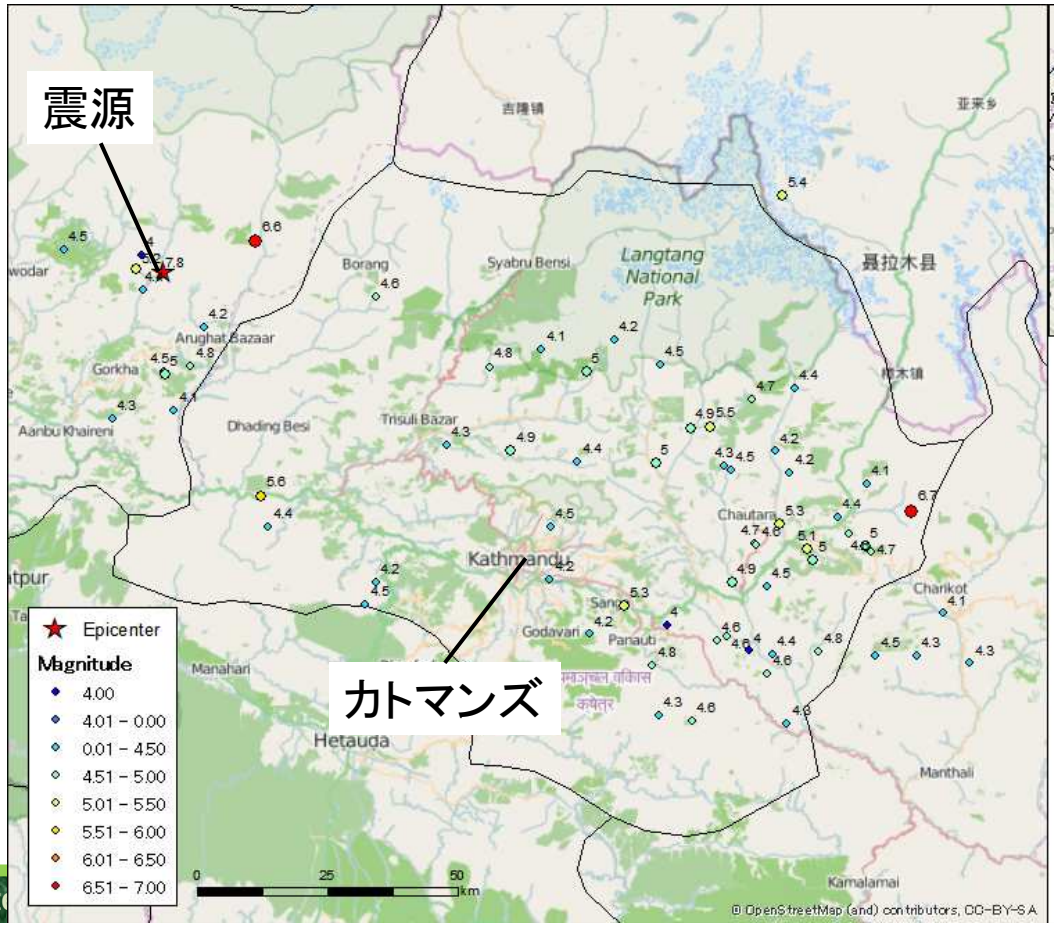


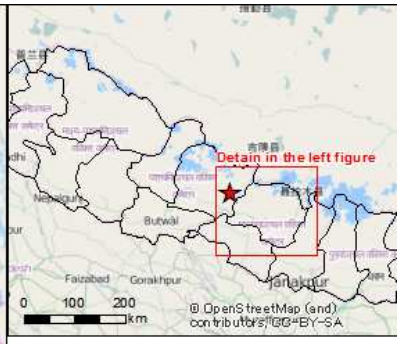
DJI00028



DJI00030

本震余震の分布とマグニチュード(USGS)





- Mw 4.0以上を表示
- 本震発生から一週間以内のデータを表示（USGSより）

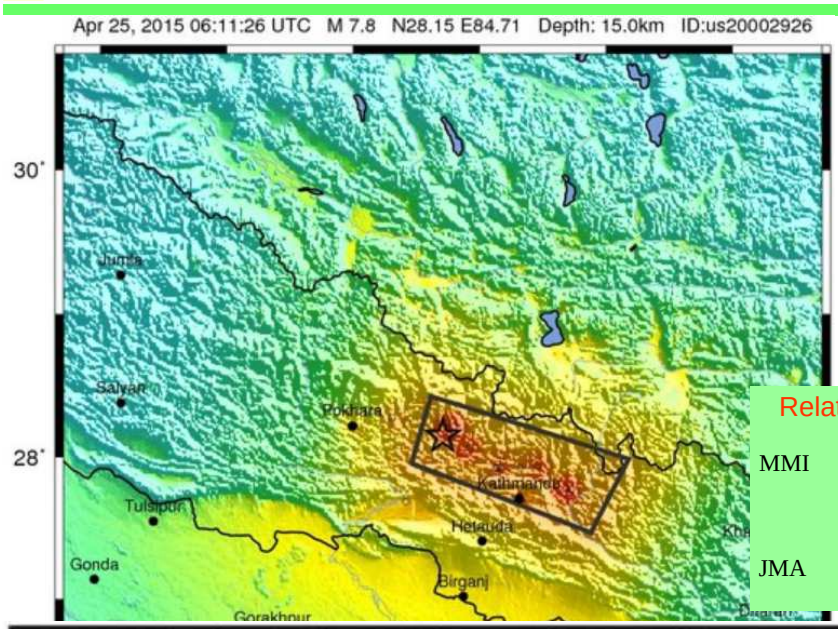
気象庁震度階とMMI震度階の比較

Relation between JMA and Modified Mercalli Intensity Scale

MMI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
JMA	0	1	2	3	4	5^- 5^+			6^- 6^+		7	

震度（MMI）分布

by USGS



気象庁震度階とMMI震度階の比較

Relation between JMA and Modified Mercalli Intensity Scale

MMI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
JMA	0	1	2	3	4	5^- 5^+			6^- 6^+		7	

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2012)

震度（MMI）と推定暴露人口

by USGS

	MMI	Shaking	Pop.
	I	Not Felt	--*
	II-III	Weak	--*
	IV	Light	7,053k*
	V	Moderate	82,752k*
JMA4	VI	Strong	55,057k
JMA5-	VII	Very Strong	2,355k
JMA5+	VIII	Severe	4,483k
JMA6-	IX	Violent	86k
JMA6+	X	Extreme	0k

*Estimated exposure only includes population within map area (K= x1,000)

JMA5+

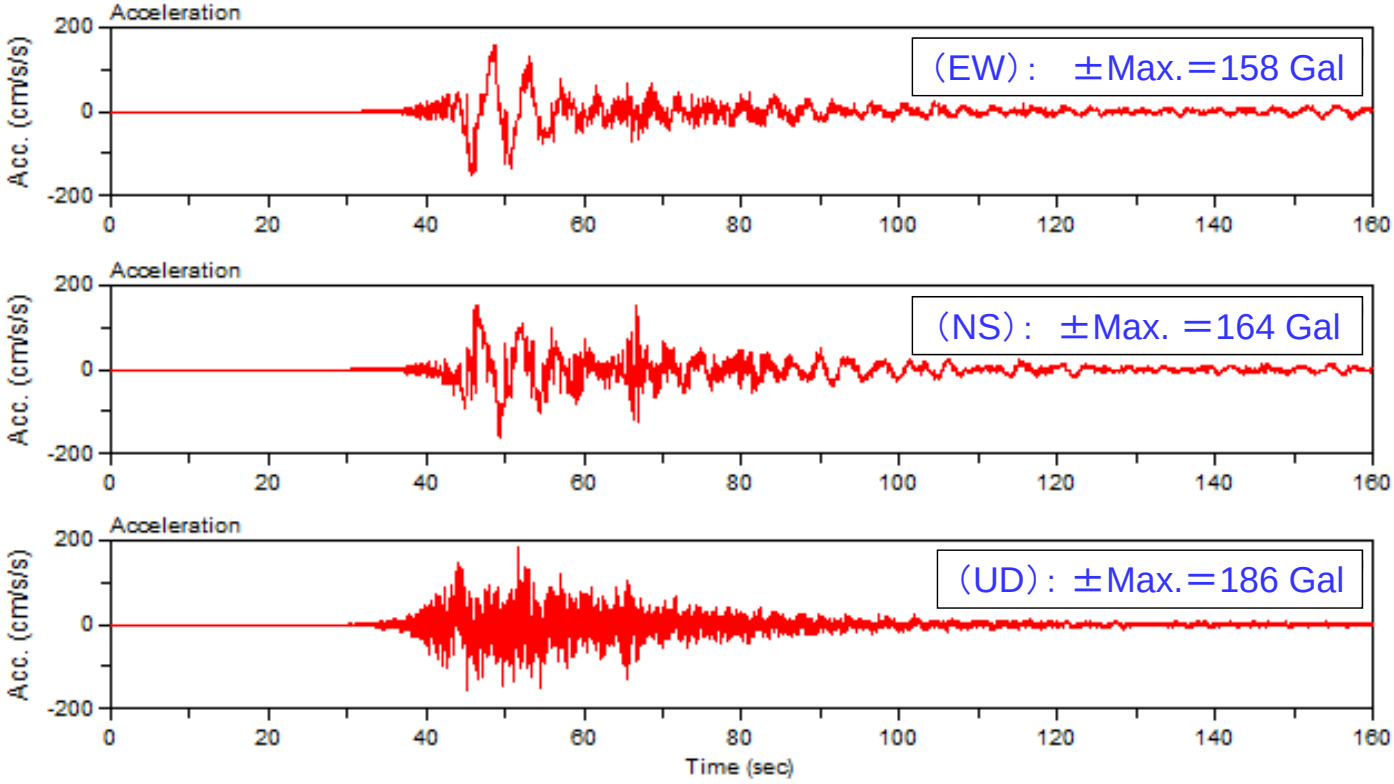
MMI	City	Pop.
VIII	Kathmandu	1,442k
VIII	Patan	183k
VIII	Kirtipur	45k
VIII	Bhaktapur	<1k
VIII	Banepa	17k
VIII	Panaoti	28k
VI	Pokhara	200k
VI	Muzaffarpur	333k
V	Gorakhpur	674k
V	Patna	1,600k
V	Dhankuta	22k

From GeoNames Database of Cities with 1,000 or more residents (K= x1,000)

強震記録

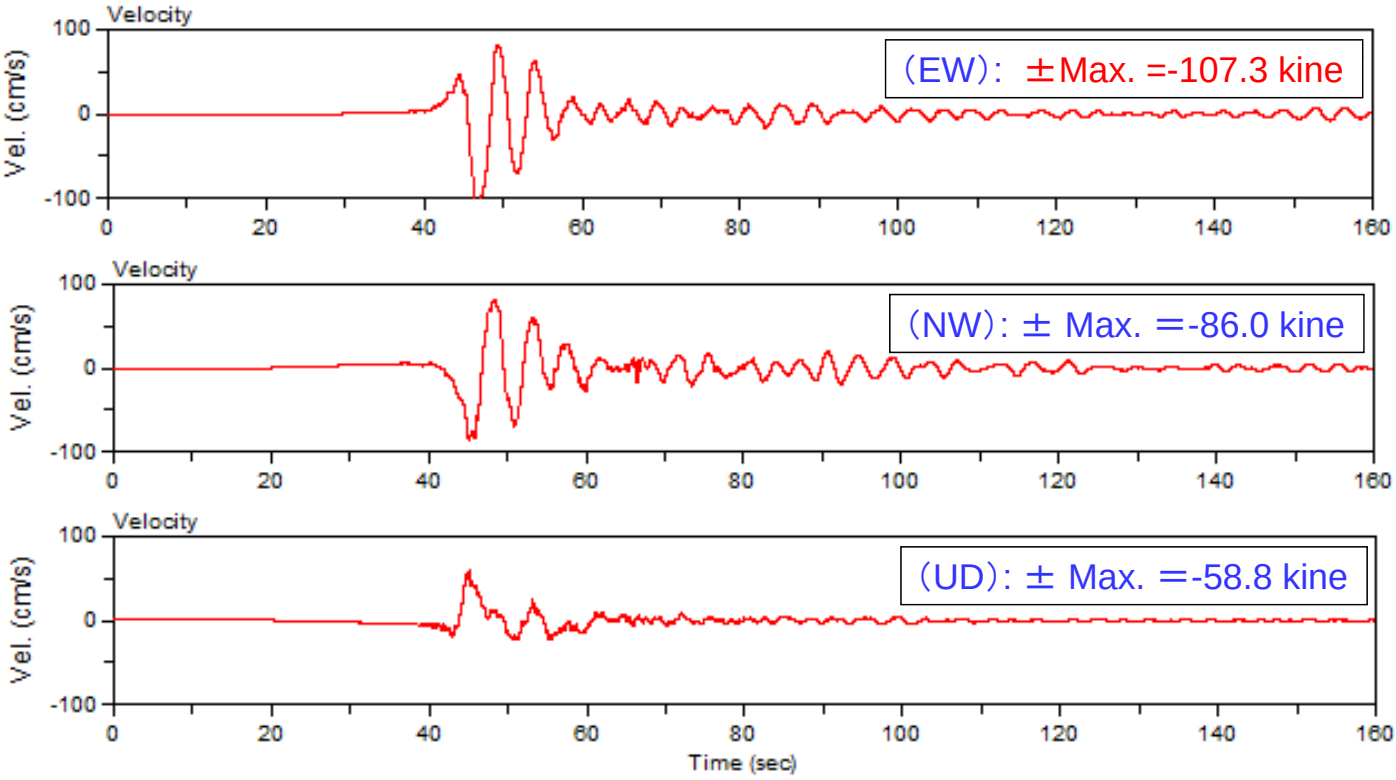
強震記録(加速度)

USGS Kathmandu Station（震央距離：59.9km）



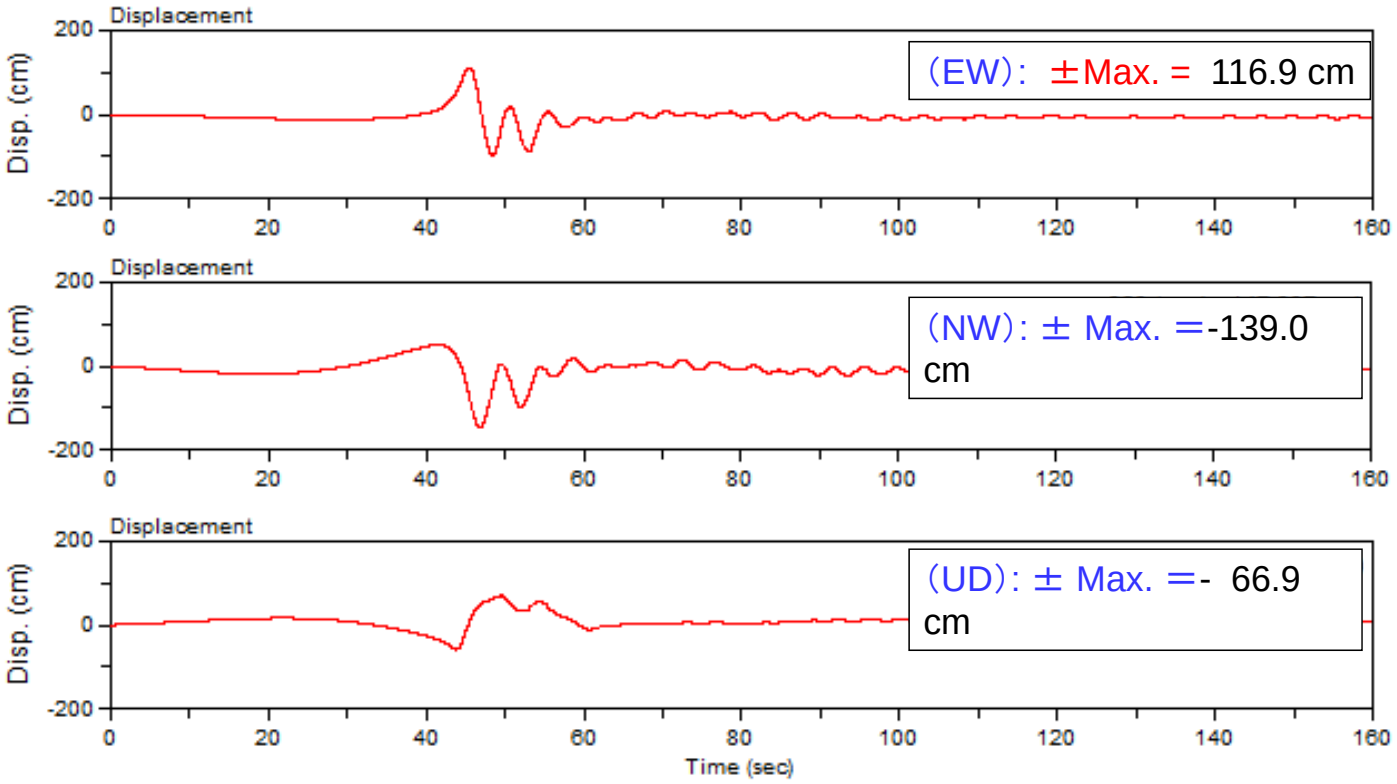
強震記録(速度)

USGS Kathmandu Station（震央距離：59.9km）

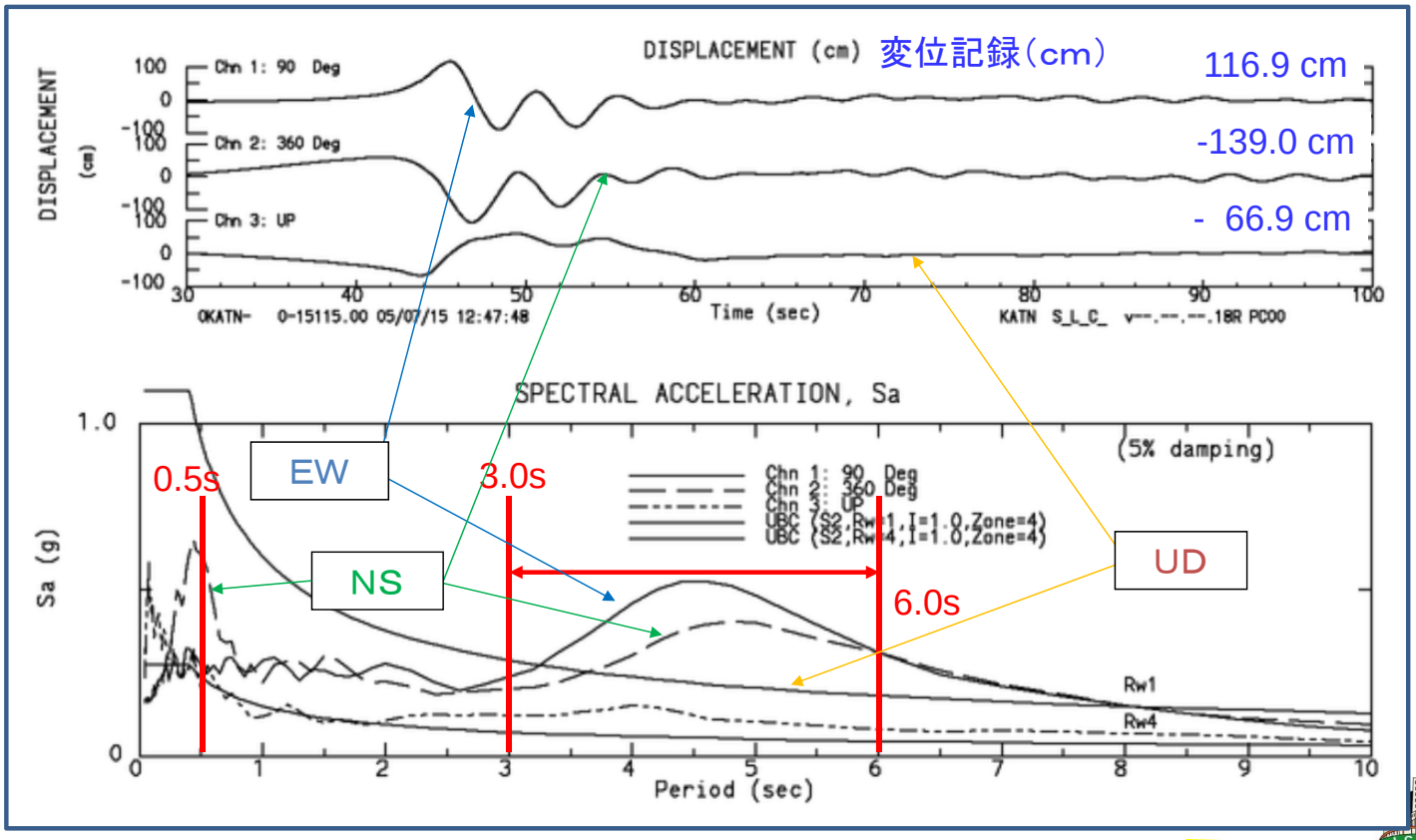


強震記録(変位)

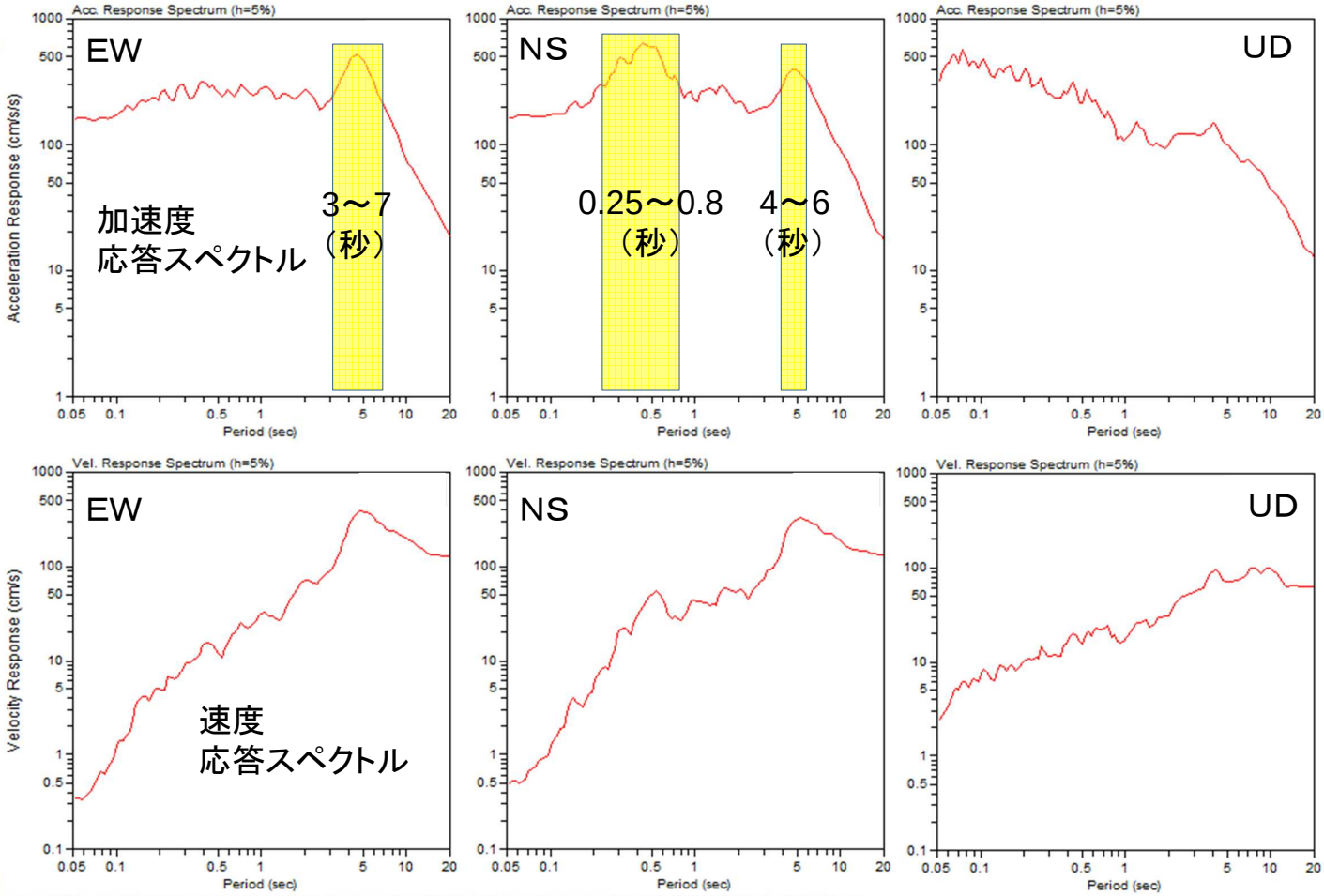
USGS Kathmandu Station（震央距離：59.9km）



強震記録

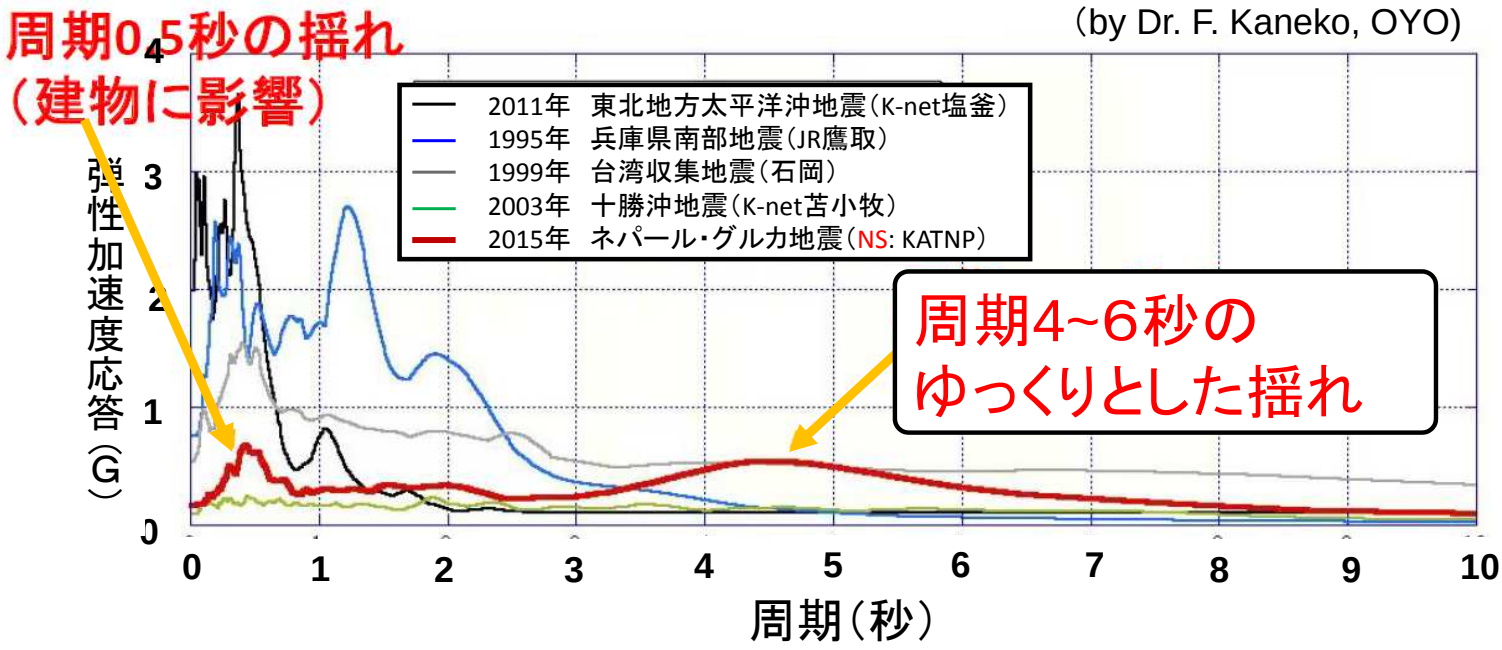


応答スペクトルUSGS Kathmandu Station（震央距離：59.9km）



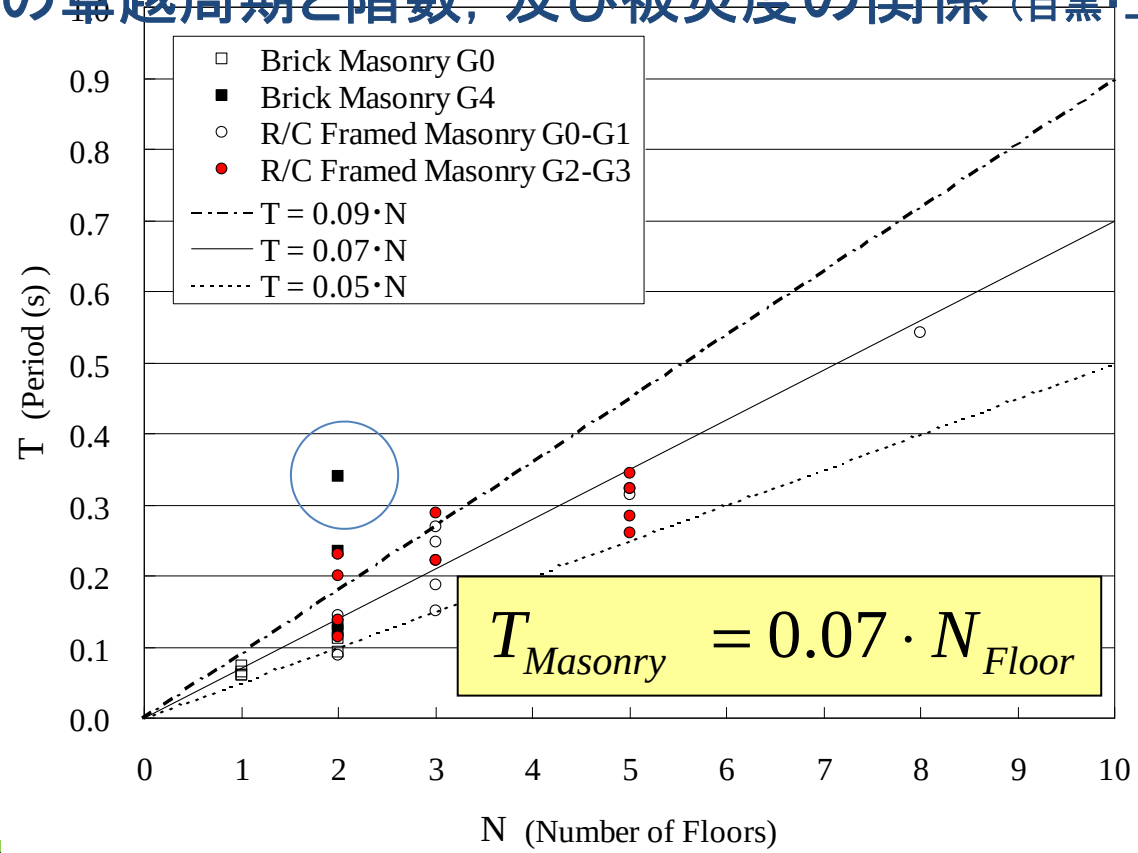
応答スペクトル（他の地震動との比較）

（by Dr. F. Kaneko, OYO）



参考：組積造の動特性（2001年インド・グジュラート地震時の観測結果）

建物の卓越周期と階数，及び被災度の関係（目黒・上半、2001）



地震動は、・・・・

地震の規模（M7．8），震源深さ（15km）、
Directivityなどの割に弱かったと思われる地震動

幾つかの証拠

- 脆弱な組積造が大きな被害を受けていない。
- 建物の屋上の水タンク（華奢な金属のフレーム上に設置）の多くが無被害
- 室内の置物（不安定な形状のものを含め）の落下や移動がない

建物の応答を受ける屋上の水タンク

無被害の水タンク

カトマンズ市内の住宅の室内の様子

組積造建物の耐震性の関係

高

耐震性

低

アドベ（日干しレンガ）

- セメントモルタル
- 貧配合セメントモルタル
- 泥＋石灰モルタル
- 泥モルタル

焼成レンガ

低温焼成

- セメントモルタル
- 貧配合セメントモルタル
- 泥＋石灰モルタル
- 泥モルタル

高温焼成

- セメントモルタル
- 貧配合セメントモルタル
- 泥＋石灰モルタル
- 泥モルタル

脆弱な建物の被害

日干しレンガや（低温）焼成レンガを泥モルタルで積み上げた建物（手前の建物）

脆弱な建物の被害

非補強組積造建物（手前）とRCフレームインフィル組積壁構造（奥）の被害の違い

脆弱な建物の被害

脆弱な建物の被害

柱梁の接合部分が弱いため、柱も梁も強度を十分発揮する前に崩壊している。

脆弱な建物の被害

1階（地上階）部分の崩壊

脆弱な建物の被害

上階部分の崩壊

1階(地上階)部分の崩壊

脆弱な建物の被害

隣のRC建物とのコントラスト

脆弱な建物の構造が良くわかる写真

脆弱な建物の被害

脆弱な建物の被害

柱も梁もないレンガ積み組積造は
弱い揺れでも崩壊した。

地震動が強くなかった
ためにRCの細い柱梁でも
被害を免れた

脆弱な建物の被害

典型的な非補強組積造建物。
床を支える木製の柱、壁は組積壁。
隣のRC構造は、細い柱梁でも被害を免れた。

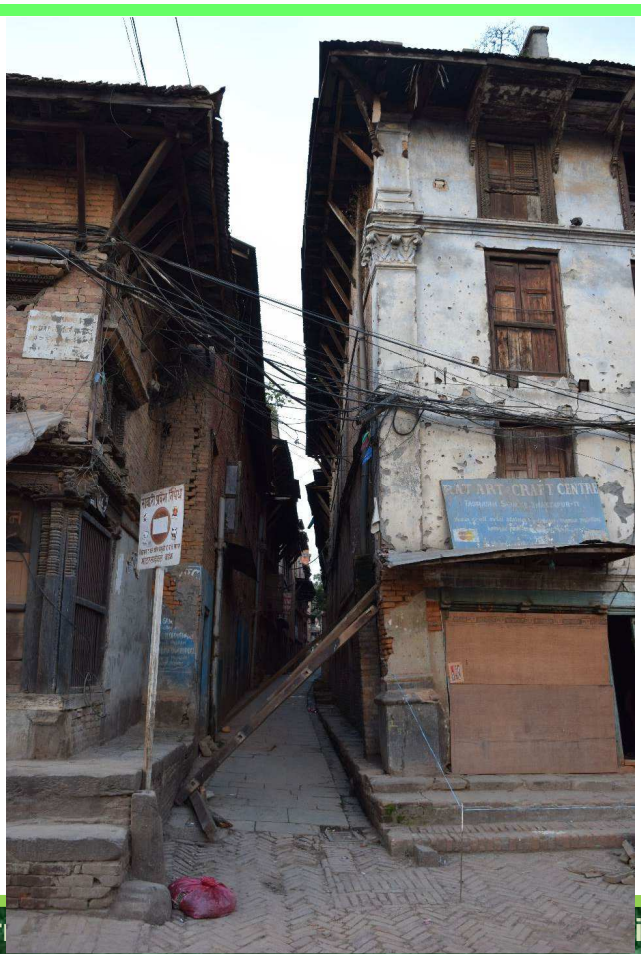
脆弱な建物の被害

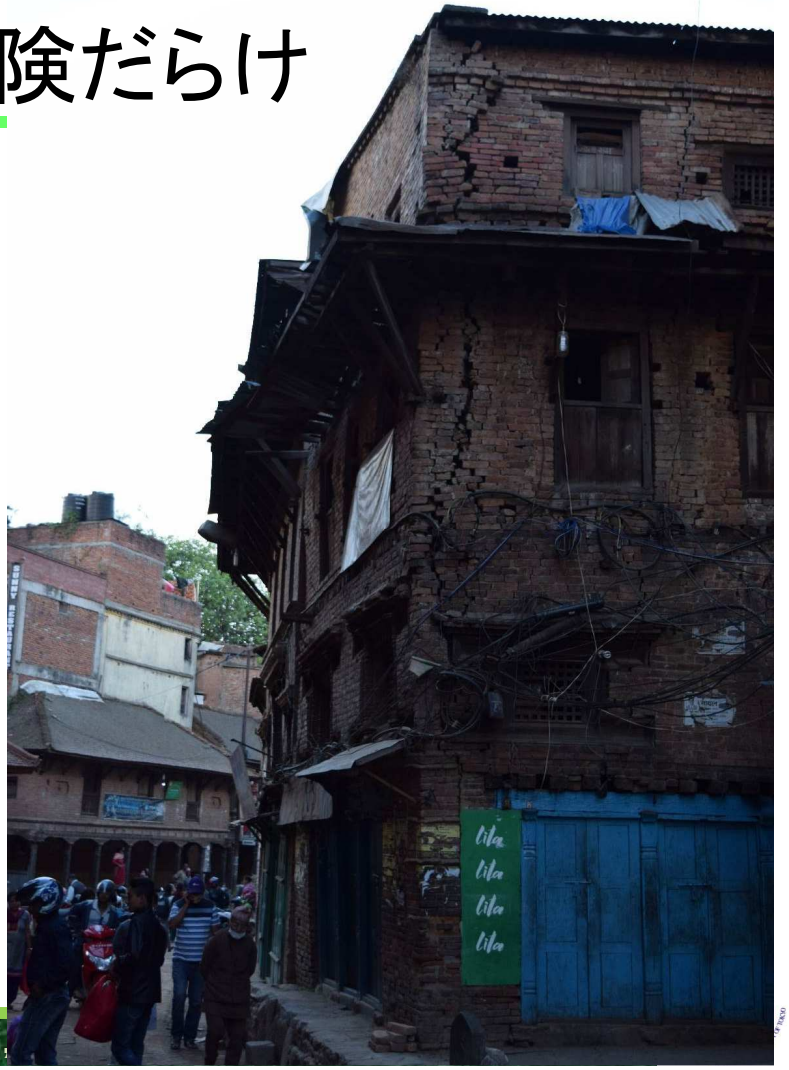
典型的な非補強組積造建物。

郊外の石積み組積造建物の被害

被災地の街中は危険だらけ

被災地の街中は危険だらけ





被災地の街中は危険だらけ

被災地の街中は危険だらけ

被災地の街中は危険だらけ

被災地の街中は危険だらけ

レンガの需要が高いので・・・

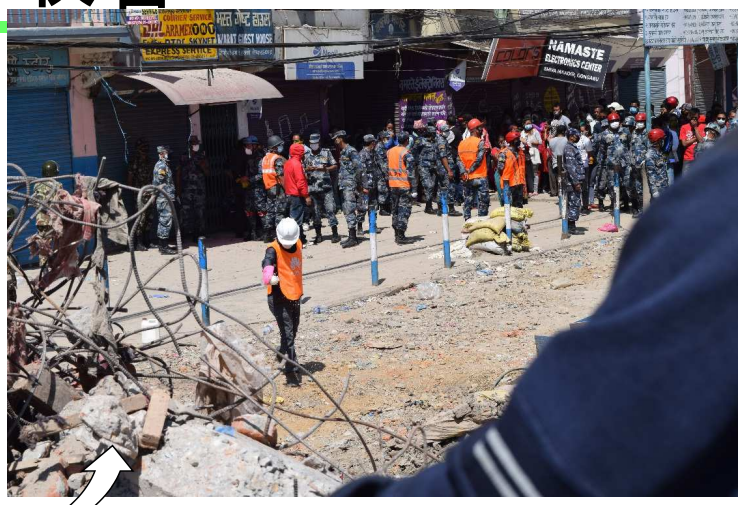
道路の被害

道路の被害

レンガ壁の崩壊

救助・がれき処理活動も進行中

犠牲者の収容

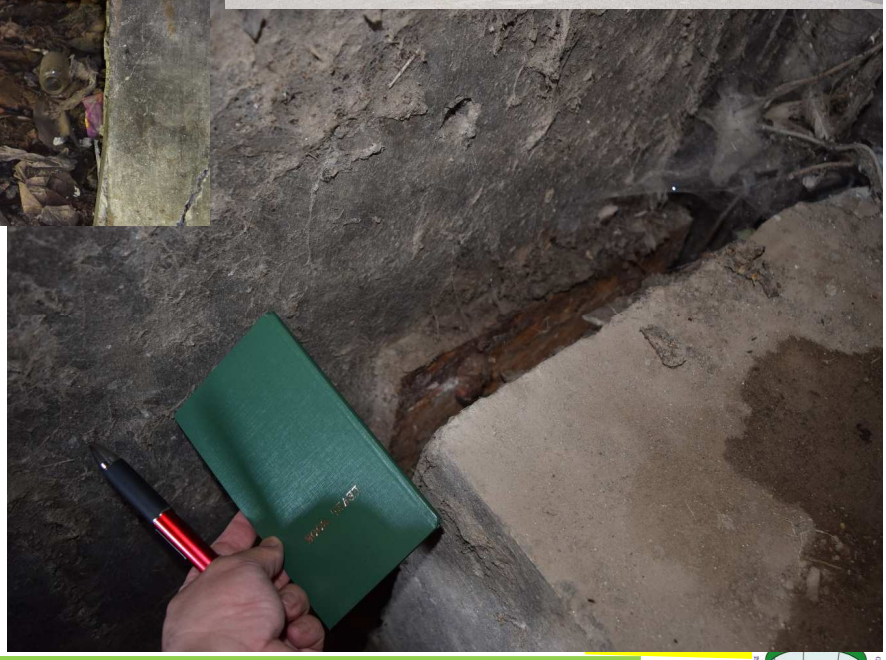


倒壊建物による自動車の被害

橋梁の被害概要

橋梁の調査地点（11橋梁）

Sobhavagbati bridge （465：被害）



707: 軽微な被害

下の写真の左サイドの取り付け部

下の写真の左サイドの取り付け部

クラック

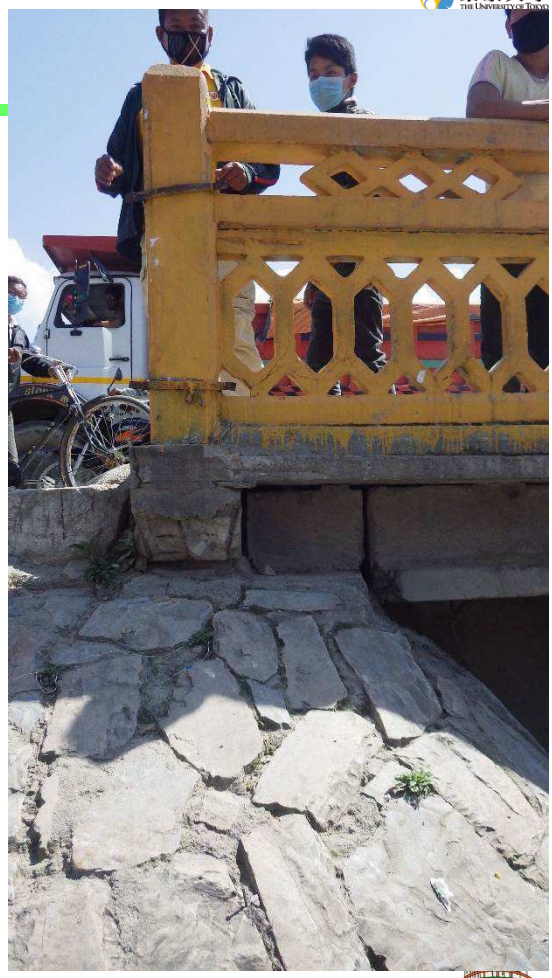
736:軽微な被害

727:軽微な被害

クラック

橋の下はゴミだらけで非常に汚い

663:無被害



444：無被害

474：無被害

487：無被害

427：無被害

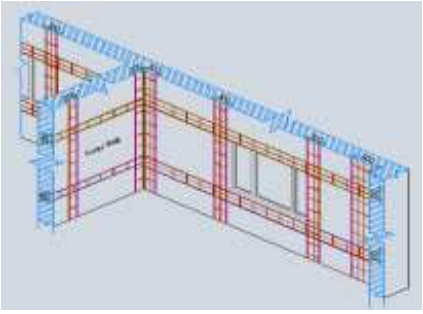
767

School safety project

- NSETが1999年から開始。
- 地震の前までにカトマンズ盆地内で約200棟（盆地外ではデモンストレーションとして10棟程度）の小中学校の校舎の耐震補強の実施
- 補強法としては、建物の状況に応じて、全面ジャケッティングやSplint and Bandage Method（建物内外に鉛直と水平のRCバンドを設置）を採用。
- 元々の構造の多くは、焼成レンガと泥モルタル、焼成レンガと貧配合のセメントモルタル（最も弱い校舎から補強）。
- 補強した校舎の被害は、4棟でマイナーなクラックが見られただけで、ほとんどの校舎が避難所として活用されている（補強前の耐震性が高かった周りの校舎は被災している場合が多い）
- 今回の地震では約6,000棟の学校校舎が修理不能なレベルの被災。カトマンズ盆地内では、約300棟が修理不能なレベルの被災。

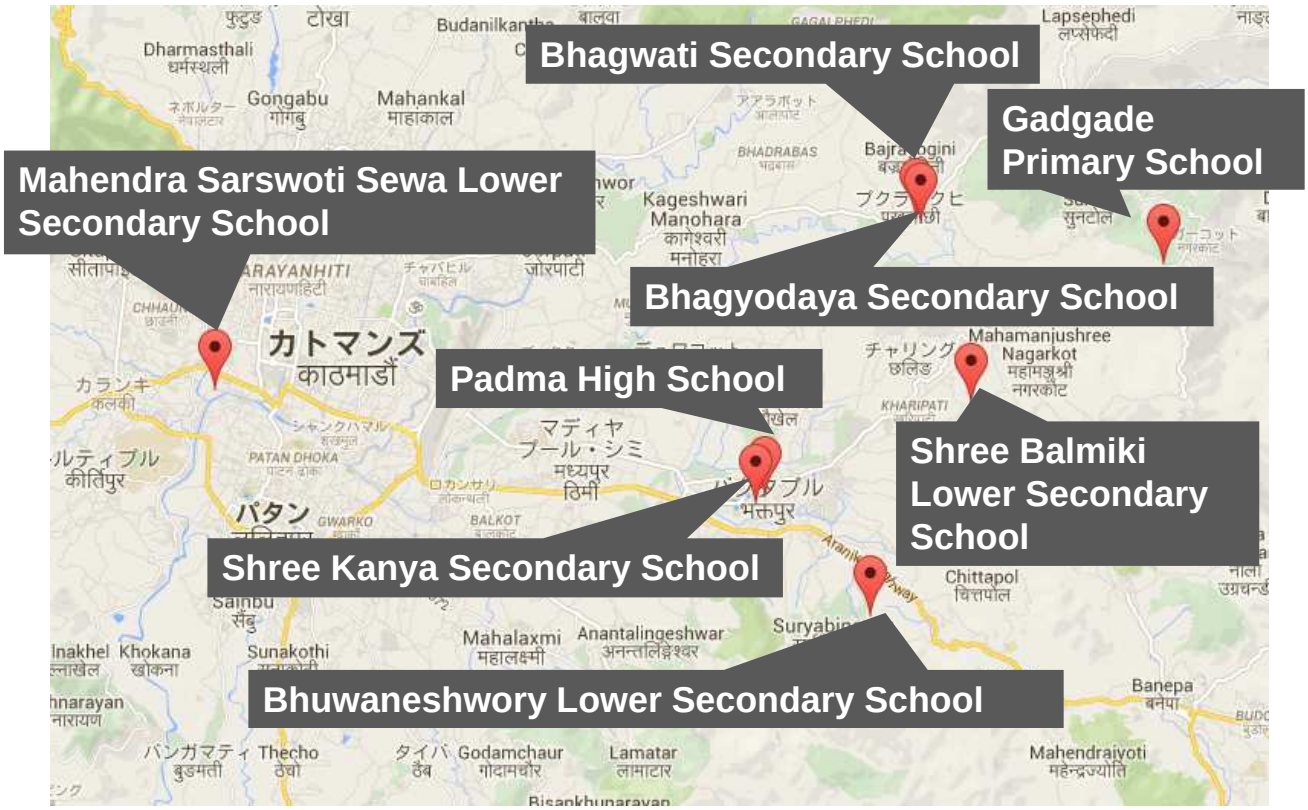
NSETが主として採用する耐震補強法

Splint and Bandage Method



Full Wall Jacketing こちらの方が効果は高いが、高価

調査した学校

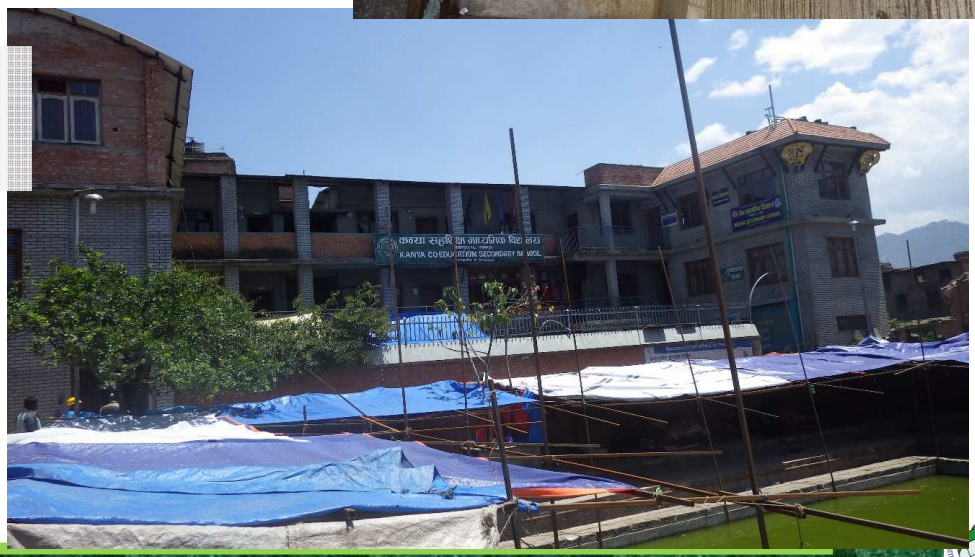


Mahendra Sarswoti Sewa Lower Secondary School

周辺の建物が大破する中でNSETによる耐震補強済み被害は見られない

Shree Kanya Secondary School

NSETによる耐震補強済み.
被害は見られない.
避難所として利用されている.



Shree Kanya Secondary School

NSETによる耐震補強済み.
被害は見られない.
避難所として利用されている.

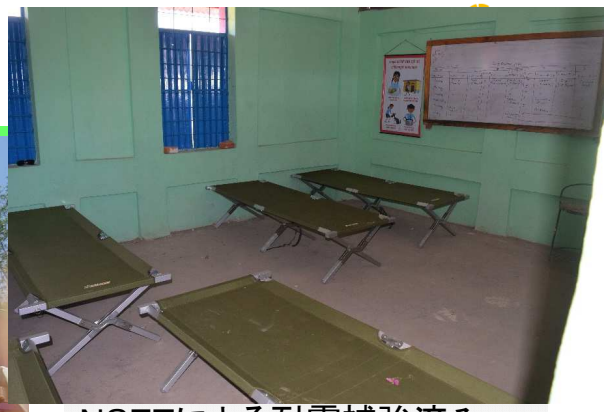
Bhuwaneshwory Lower Secondary School

NSETによる耐震補強済み.
被害は見られない.

Shree Balmiki Lower Secondary School

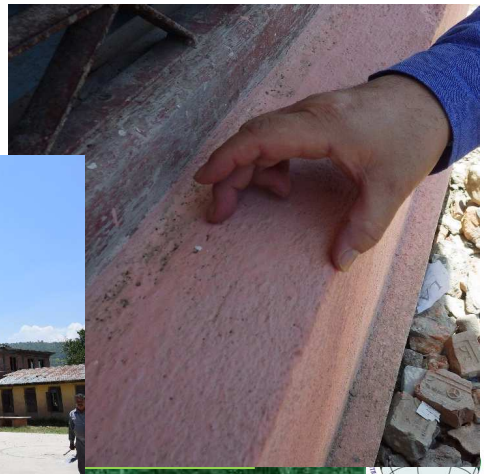
NSETによる耐震補強済み.
顕著な被害は見られない.

Bhagwati Secondary School



NSETによる耐震補強済み.
被害は見られない.
避難所として利用されている.

Bhagyodaya Secondary School



補強済み校舎の内部
被害がなく避難所として利用

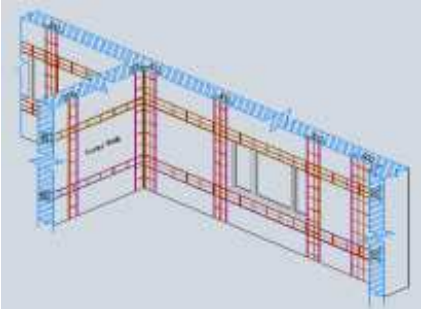
Gadgade Primary School

NSETによる耐震補強済み.
被害は見られない.
避難所として利用されている.

全面ジャケッティングとSplint and Bandage Method

NSETが主として採用する耐震補強法

Splint and Bandage Method



Full Wall Jacketing こちらの方が効果は高いが、高価

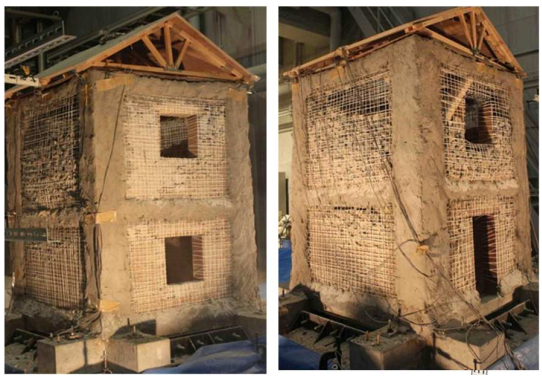
NSETが今後予定していた耐震補強法

1) Full Wall Jacketing（FWJ）：壁の全面を覆うので耐震性は高いが、高価である。

2) Splint and Bandage Method（SBM）：重要な箇所に鉛直・水平のRCのバンドを設置するだけなので割安。しかし、激しい地震動が作用した場合には、非補強箇所の組積壁が崩落し、利用者を死傷させる可能性がある。

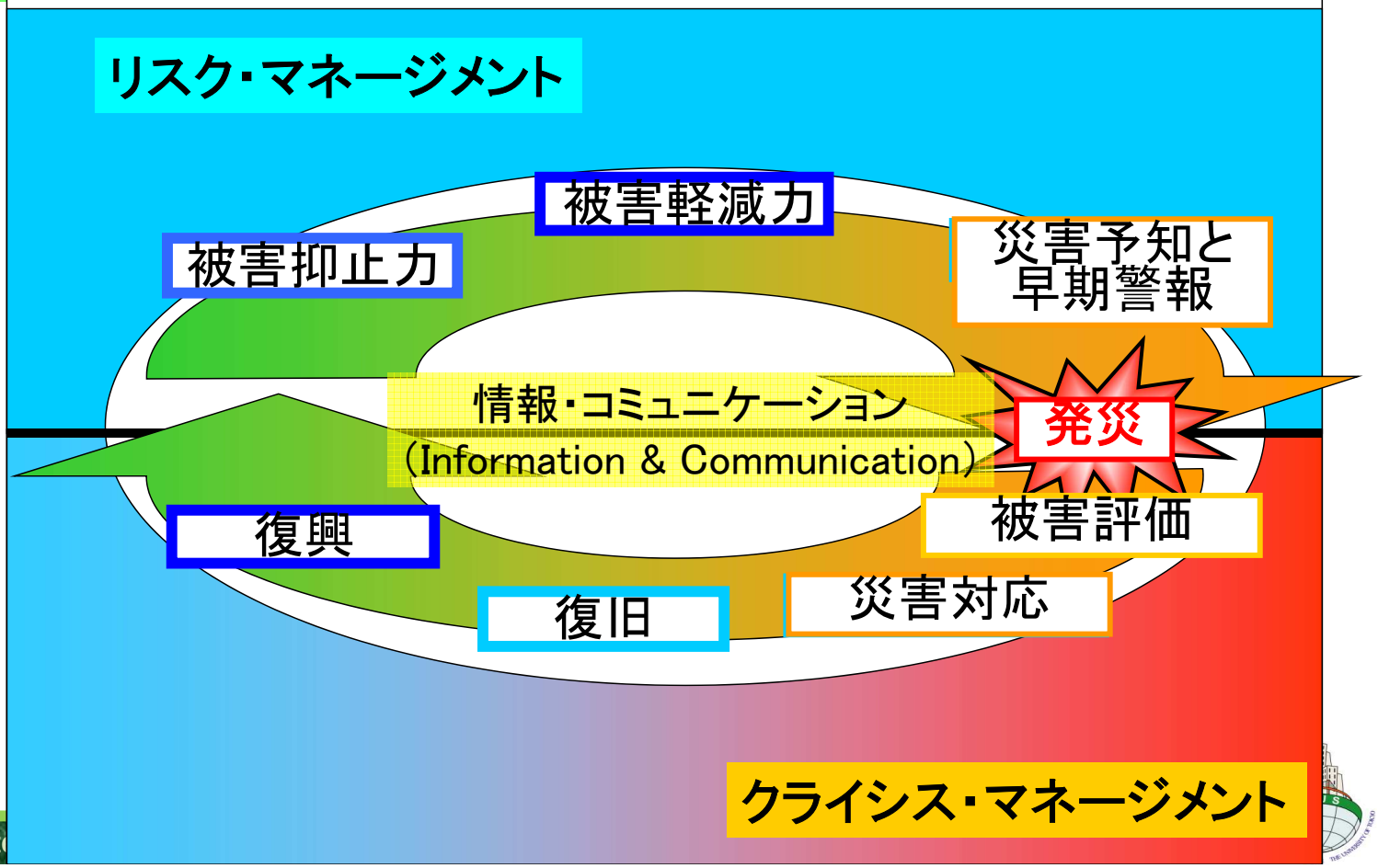
3) Splint and Bandage + PP-band Method （SB-PPM）：非補強壁部分をPPバンド補強することで組積壁の崩落を防ぎ、利用者を守る。価格はPPバンド補強が安価なので、2)に少しのプラスだけ。

SBMによる補強供試体

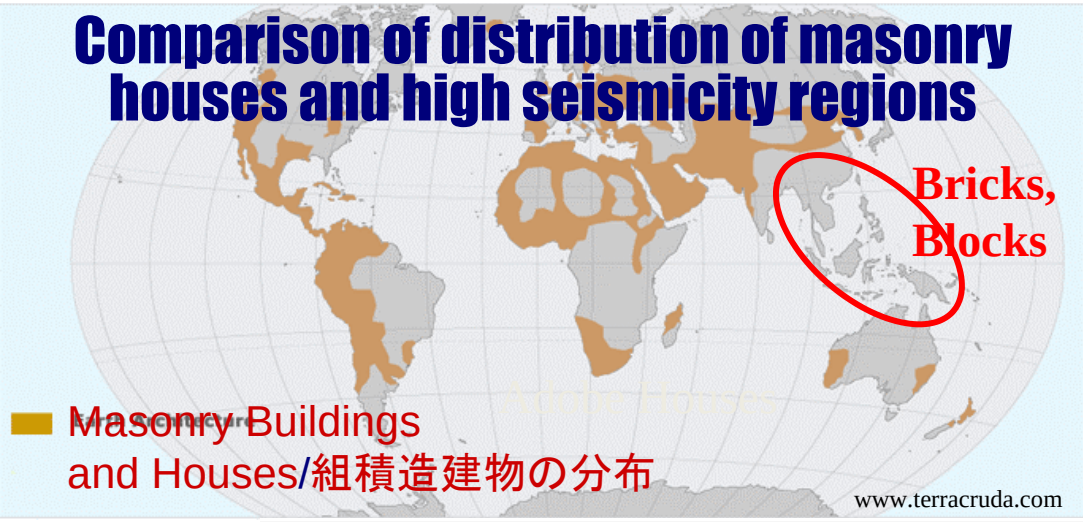


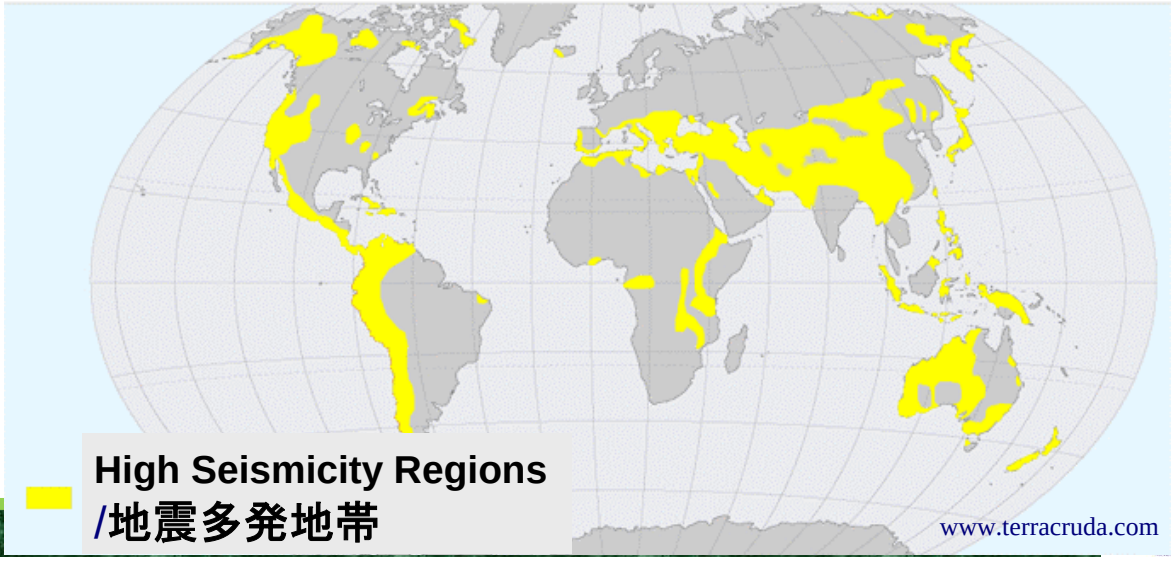
SB-PPMによる補強供試体

総合的な災害マネージメントシステム

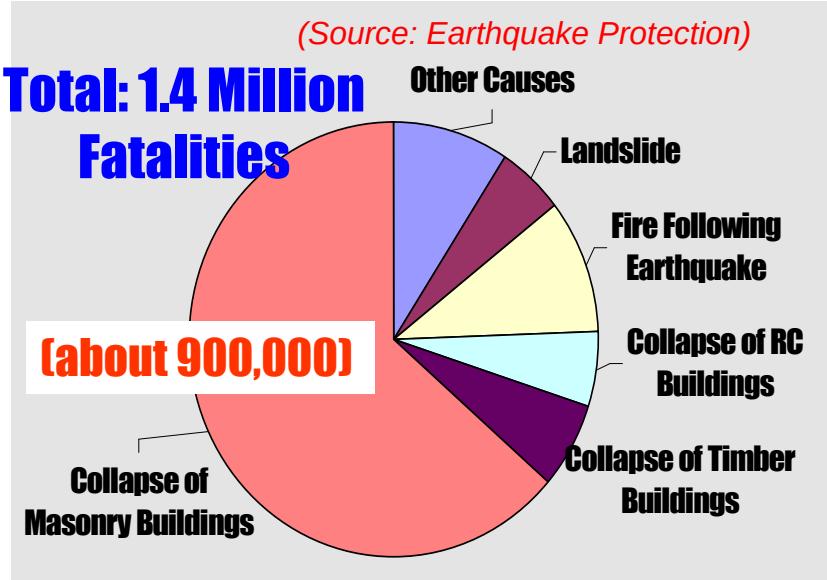


Comparison of distribution of masonry houses and high seismicity regions





組積造建物の被害による人的被害の占める割合



Breakdown of Fatalities Attributed to Earthquake (1900-1999)

2001 Bhuj India: Death 19,700+

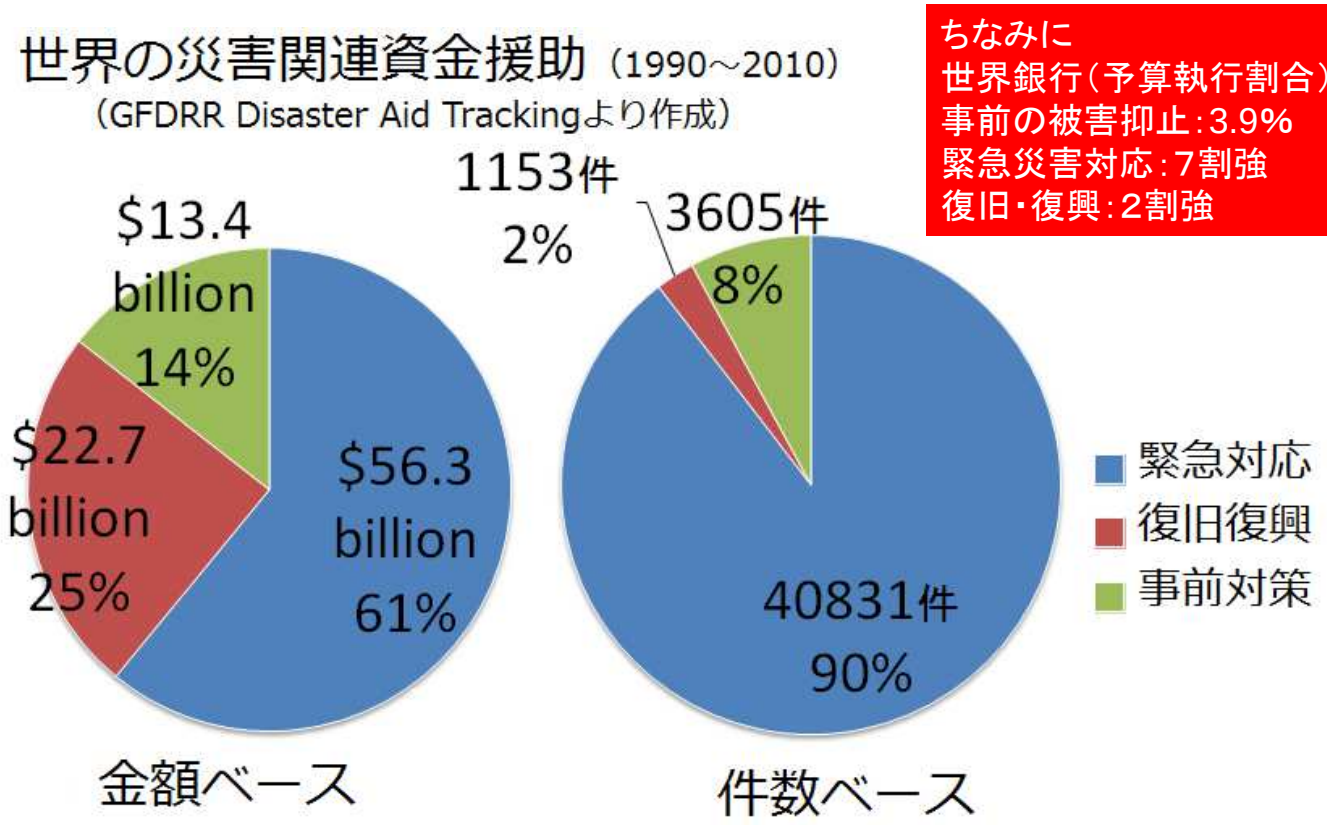
2003 Bam, Iran: Death 43,200+

2005 Kashmir, Pakistan: Death 80,000+

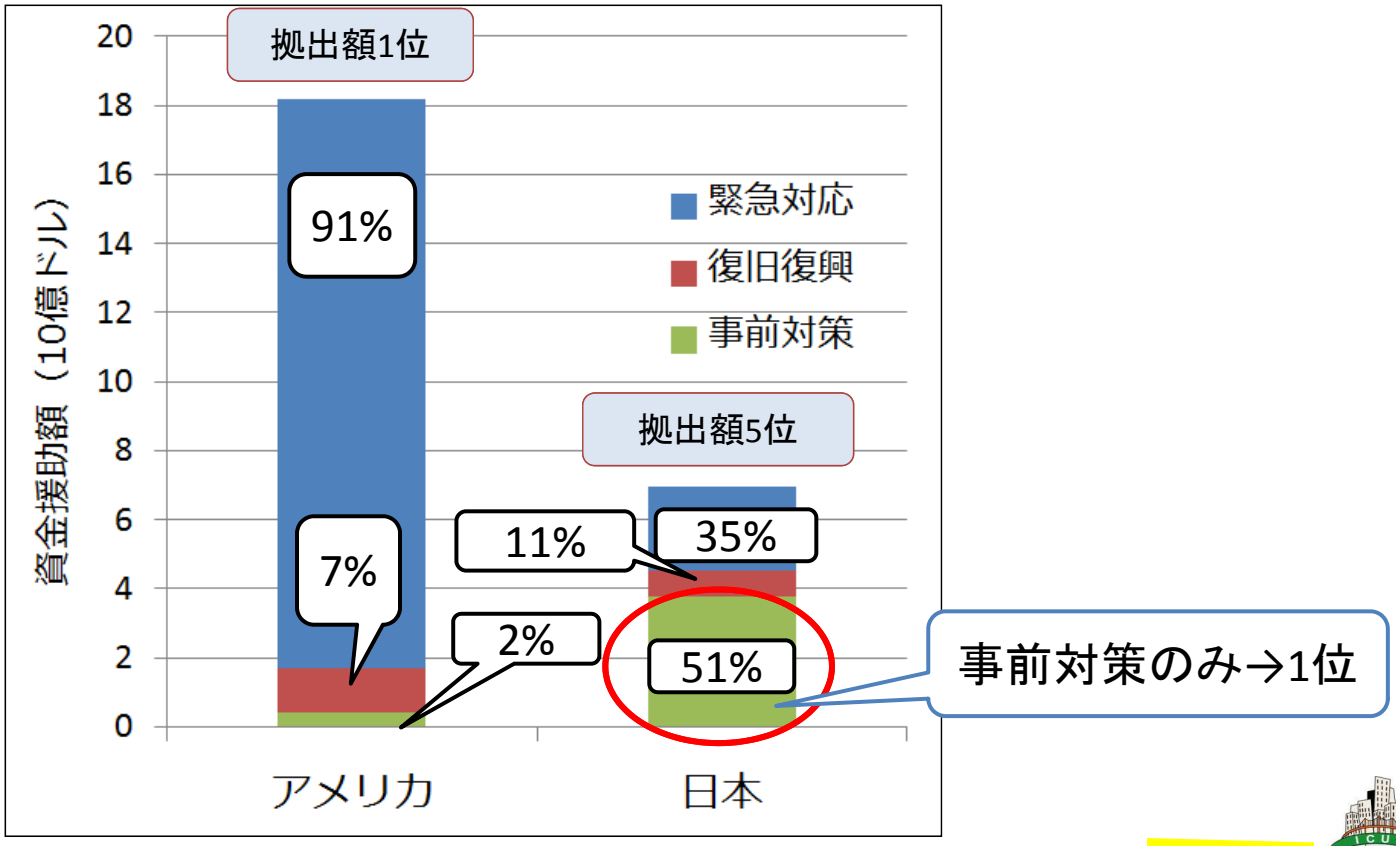
組積造建物の被害で多くの死傷者が出る3大理由
1）破壊様式が脆性破壊(瞬時に壊れ、逃げる時間がない)、2）崩壊後の建物内に生存空間ができにくい（レンガなどが隙間を埋める）、3）崩壊時に大量の土埃を発生（窒息する）

国際的な災害関連の資金援助の内訳

ちなみに
世界銀行（予算執行割合）は、
事前の被害抑止：3.9%
緊急災害対応：7割強
復旧・復興：2割強

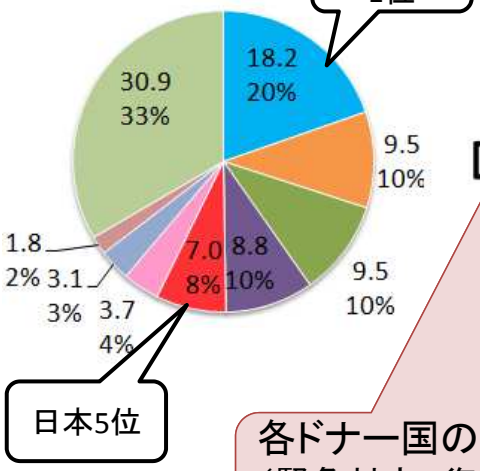


災害関連の資金援助の内訳（米国と日本）

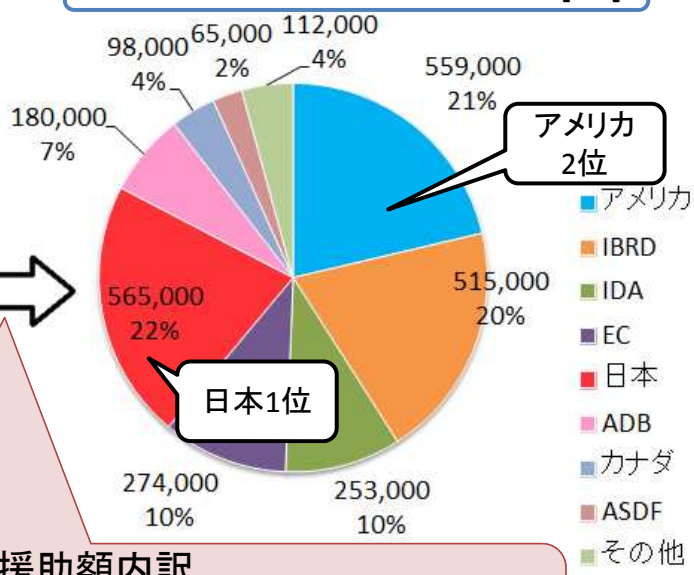


過去の援助案件再評価　ドナー国ごと

ドナー国別援助額[10億ドル]
（1990-2010）



ドナー国別死者数軽減効果 [人]



各ドナー国の援助額内訳
（緊急対応、復旧復興、事前対策）
に算出した死者数軽減効果（平均値）をかけた

・援助額総額5位の日本が死者数軽減効果では1位
・援助額総額1位のアメリカが死者数軽減効果では2位

参考：救助犬/捜索犬の活動　NPO法人日本レスキュー協会の報告

フランス：遺体2体、イギリス：遺体2体、スイス：遺体9体の発見　（阪神・淡路大震災の例）

年	地震名	死者数（人）	派遣頭数	実績
1995	メキシコ中西部地震	６０	２頭	５遺体を発見
1996	ペルー・ナスカ地震	４０	２頭	捜索できず
1999	トルコ コジャエリ地震	18, 000	２頭	生存者1名、 ５遺体を発見
1999	トルコ・ボルー地震	４００	３頭	３遺体を発見
1999	台湾・集集地震	2, 500	２頭	９遺体を発見
2001	インド グジャラート地震	20, 000以上	３頭	生存者1名、 ４遺体を発見
2001	アフガニスタン 北東部地震	８００	２頭	入国断念（緊急ビザでず）
2003	イラン・バム地	46, 000	２頭	２１遺体を発見
2005	パキスタン 北部カシミール地震	75, 000以上	２頭	６遺体を発見

参考：救助犬/捜索犬の活動 NPO法人日本レスキュー協会の報告

発生日時	災害名	被害規模	派遣頭数	捜索結果
平成7年10月9日	メキシコ中西部沖地震	死者60名	2頭	5遺体発見
平成8年11月12日	ペルーナスカ地震	死者40名以上、重軽傷者40名	2頭	鉱山入口が判明せず捜索できず
平成8年12月6日	長野県小谷村土石流災害	死者14名	4頭	1遺体、人体の一部発見
平成9年7月10日	鹿児島県出水市土石流災害	死者21名	3頭	1遺体発見
平成10年9月9日	高知県安芸郡馬路村土砂崩落	死者3名	3頭	発見できず
平成11年6月28日	広島県豪雨災害	死者32名、行方不明者1名	3頭	発見できず
平成11年8月17日	トルコ北西部地震	死者17,127名	2頭	生存者1名、5遺体発見
平成11年9月21日	台湾大地震	死者2,415名	3頭	6遺体発見
平成11年11月12日	トルコボルー地震	死者818名	3頭	3遺体発見
平成13年1月26日	インド西部大地震	死者20,000名以上	3頭	生存者1名、4遺体発見
平成13年3月12日	岡山県総社市採石工場崩落事故	死者3名	3頭	1遺体発見
平成13年9月11日	アメリカ同時多発テロ事件	死者3,025名	待機	FEMAより、待機依頼
平成14年3月25日	アフガニスタン北東部地震	死者1,000名以上	3頭	アフガニスタンへの緊急ビザ発給されず隣国パキスタンにて入国断念
平成15年7月20日	熊本県水俣市土砂災害	死者19名	3頭	発見できず
平成15年12月26日	イラン南東部地震	死者26,271名	3頭	21遺体発見
平成16年9月29日	三重県宮川村土石流災害	死者7名	3頭	1遺体発見
平成16年10月18日	岡山県玉野市土石流災害	死者9名	3頭	現地到着までに行方不明者発見されたため、出動回避
平成16年10月24日	新潟県中越地震	死者68名	2頭	捜索はできず、自衛隊と協力して住民避難を手伝う
平成17年10月8日	パキスタン大地震	死者87,300名以上	2頭	6遺体発見
平成18年7月19日	京都府京丹後市土砂災害	死者2名	3頭	発見できず
平成19年7月16日	新潟県中越沖地震	死者15人	4頭	発見できず
平成20年6月14日	岩手・宮城内陸地震	死者17人、行方不明者6名	4頭	救助犬反応した箇所を消防隊員に示し、後日同所よりご遺体発見に至る
平成21年7月21日	山口県防府市土石流災害	死者17名	4頭	3遺体発見
平成21年8月9日	台風9号兵庫県佐用町豪雨災害	死者18名、行方不明者2名	4頭	発見できず
平成21年9月30日	ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ・ｽﾏﾄﾗ沖地震	死者1,100名以上	3頭	発見できず
平成22年7月15日(出動9月18・20日)	岐阜県可児市豪雨災害	死者4人、行方不明2名	4頭	発見できず
平成23年3月11日	東日本大震災	死者15,889名、行方不明者2,601名	3頭	生存者の発見には至らず
平成23年9月7日	台風12号豪雨災害和歌山県・奈良県	死者61名、行方不明者18人	3頭	和歌山県伏菟野現場にて反応した場所よりご遺体が発見される
平成26年8月20日	平成26年8月豪雨広島豪雨災害	死者74名	3頭	1遺体発見

我が国の国際緊急援助隊・救助チームの活動

•国際緊急援助隊・救助チーム：USAR（Urban Search and Rescue）都市型災害に対応する捜索救助のチーム（地震等で倒壊した建物等の下から負傷者を救出することに専門性を有する。今回は、70名から構成）4月26日（日曜日）に日本を発ち、28日（火曜日）から活動を実施。5月8日に現地を出発，9日に日本到着。

•救助チーム撤収後も日本の国際緊急救助隊・医療チーム及び自衛隊医療部隊は活動を継続。医療チームについては第2次隊（34名）が5月7日に日本を出発。

- 国際緊急援助隊・救助チームは，ネパール当局による捜索・救助活動を支援してきました。その貢献については，ネパール政府及び同国民より高い評価と謝意が表明されています（政府発表）。

上記の政府の発表の一方で、日本チームによる生存者の救出はゼロ、遺体1体の収容のみ。医療チームによる怪我人や病人のケアは可能だが、被災建物やがれきの中から生存者の発見と救出は本当に難しい。同じ資源（お金と人材）を事前対策に活用すれば、・・・

Preparation of Adobe by local person

Very fine powder from broken Adobe

Full scale shaking table tests
実大構造物による振動台実験

同じ地震動を作用した場合の実験結果
補強済：問題なし
非補強：完全崩壊

Rtf

提案工法（PPバンド工法）
による補強建物

Non-Rtf

非補強建物

Test Results in case the same input motion is applied
Rtf: No problem
Non-Rtf: Collapsed

PP-band retrofit Method
(Kashmir Earthquake Affected Region)

Retrofitting material cost: 30 US$

After finishing plaster

Shaking Table Experiment

- Comparison of Un- and Rtrft MSR with Wooden Roof
- Reinforced MSR with Wooden Roof

  - Comparison of Un- and Rtrft MSR with Arch Roof
  - Reinforced MSR with Arch Roof

Extension of Application of the Method

- Other masonry:
  - Stone masonry houses
  - Two-story houses

- Other material for mesh:
  - Pet-band mesh
  - Bamboo mesh
  - FRP + PP-band mesh
  - Abaca mesh
  - RC + PP-band mesh (NSETが予定していたもの)

PPバンドメソッドによる現地の住宅の補強(2009)

アドベ・泥モルタル2Fの住宅
【最も耐震性が低い建物】

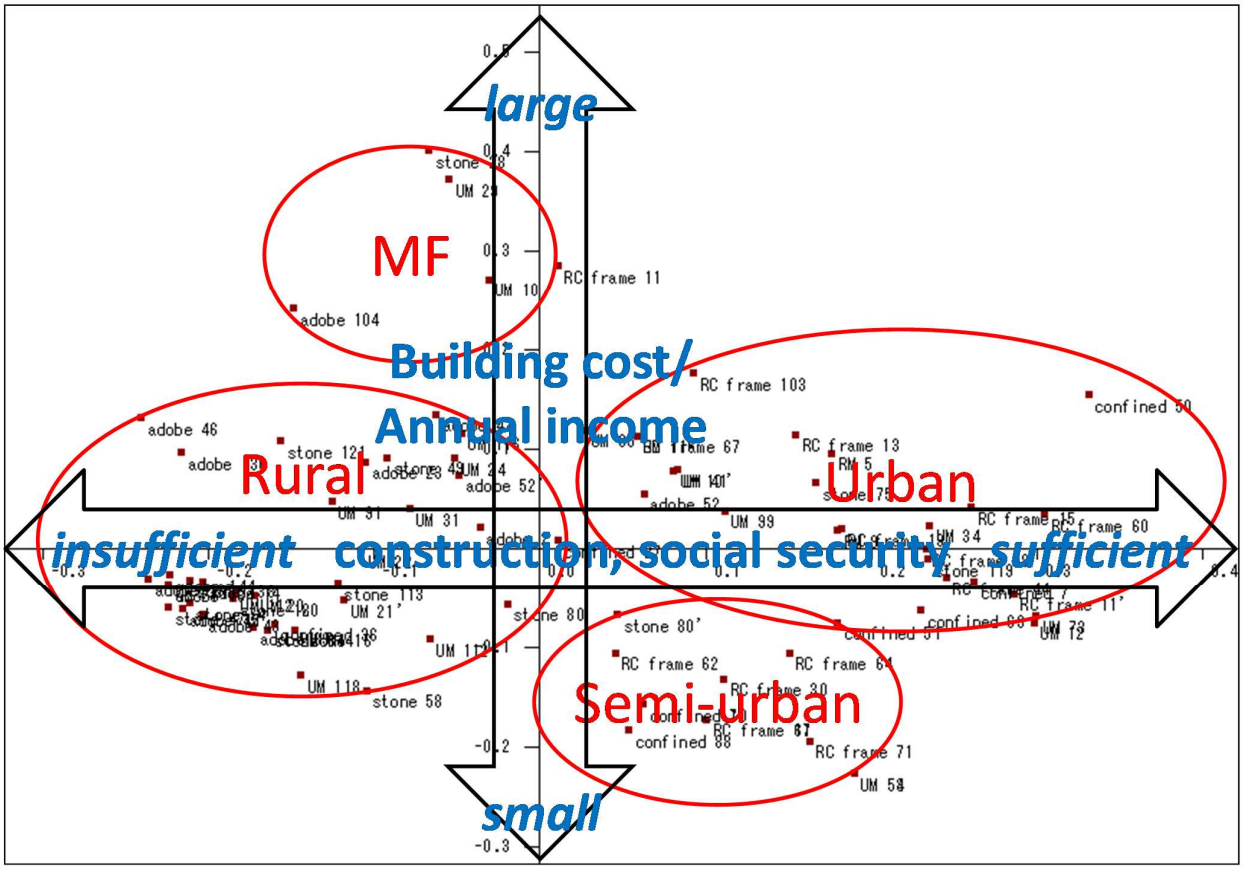
電気と溶接機がないので、PPバンドの交点は溶着していない。上下(波状)に編み込んだだけ。

地震後のPPバンドメソッド補強住宅の様子

地震後のPPバンドメソッド補強住宅の様子

PPバンドが貢献したことを示す局所的な剥離

Grouping of Masonry Houses

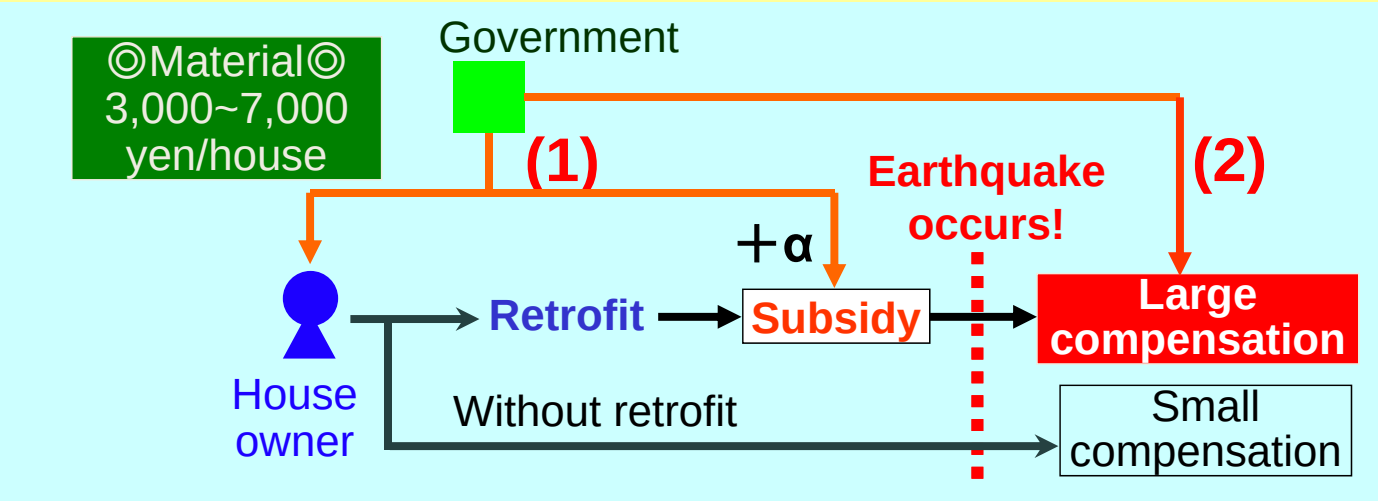


Social promotion systems proposed for retrofit of weak masonry structures

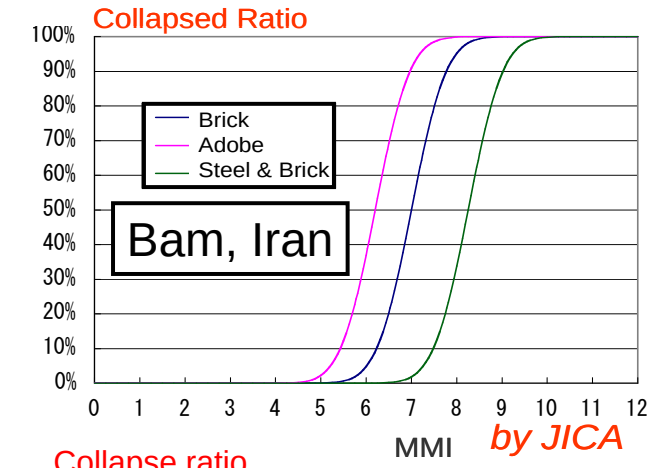
1. Two-step incentive promotion system
2. Micro earthquake insurance based promotion system
3. Government micro earthquake reinsurance based promotion system
4. Micro-finance based promotion system

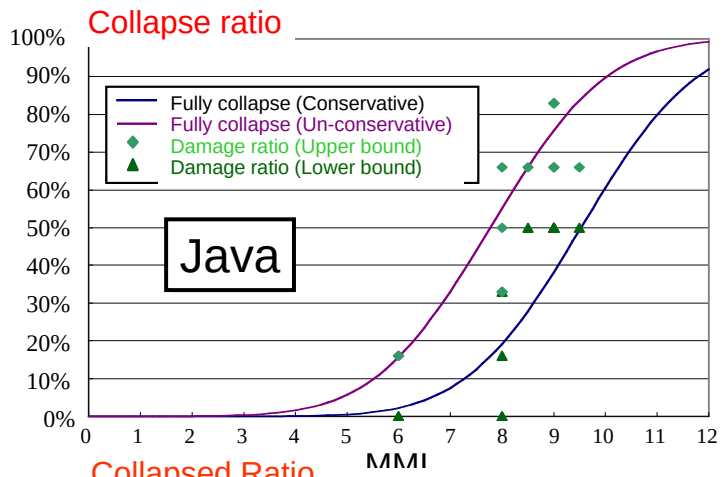
Cost analysis from government and house owner viewpoints

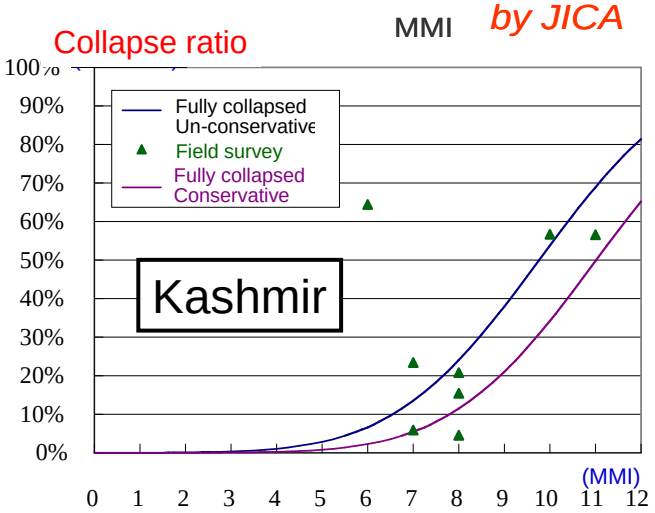
- Calculation considering **10,000 houses located in one Intensity area**
- Owner side: Retrofitting cost + Repairing cost (if damaged by earthquake)
- Government side: Introducing a "2-Step incentive" Program
  - 1）Subsidy for retrofitting（Material＋α）
  - 2）Compensation after the earthquake (Larger for retrofitted houses)

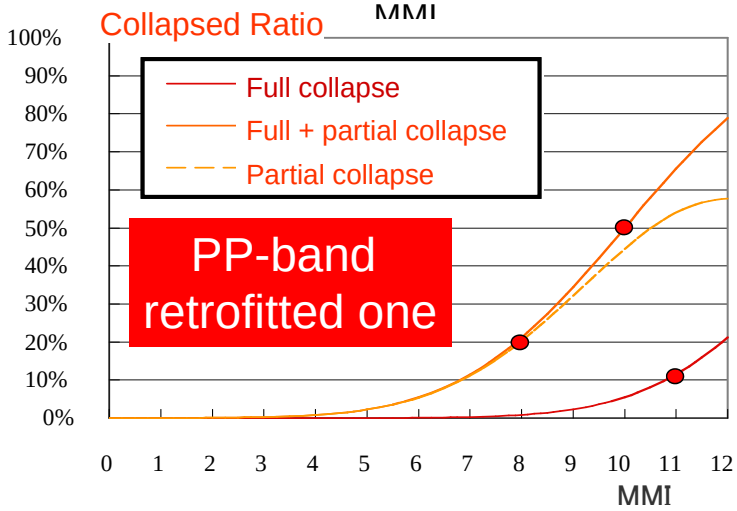


Comparison of Fragility Functions





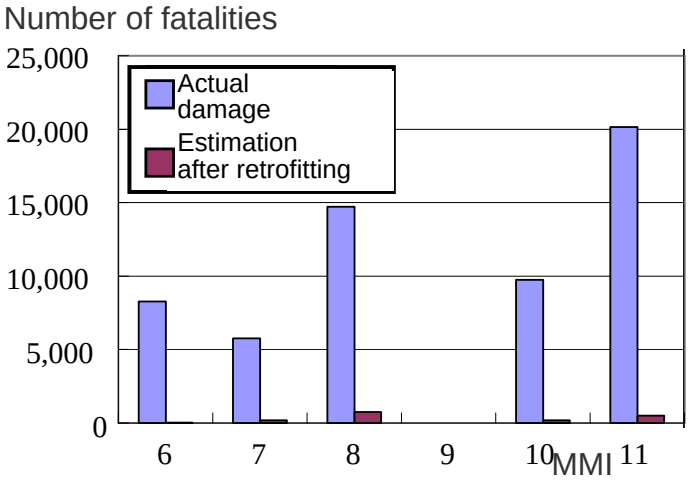


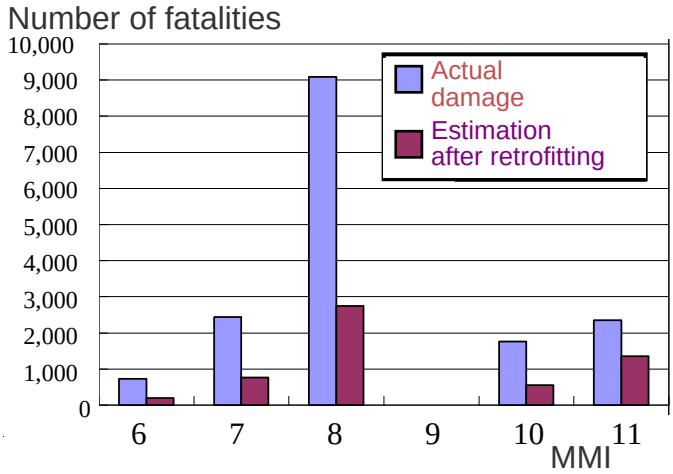


Kashmir Earthquake Death Toll

Full collapse:
3.47 house unit/fatality

Partial collapse:
12.01 house unit/fatality





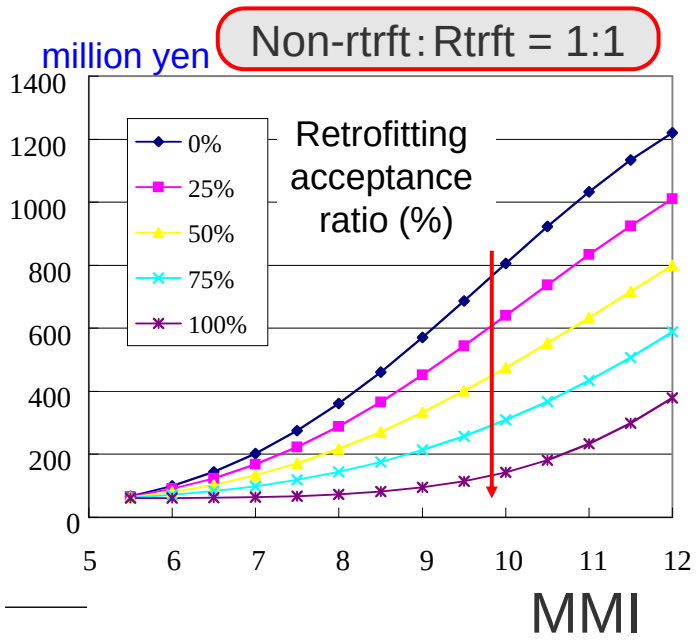
The number of fatalities could have been reduced from **75,036** to **7,310** **(4,521)** 90～94%

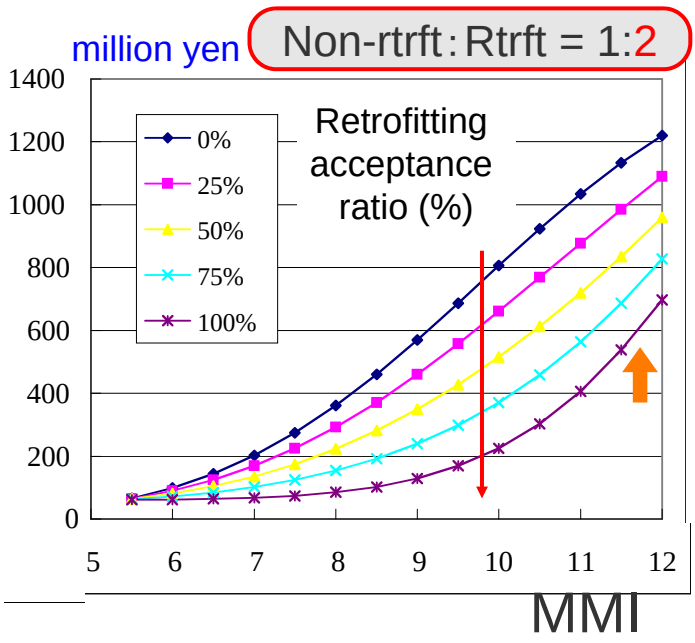
2nd step incentive: Compensation

Owner

Government

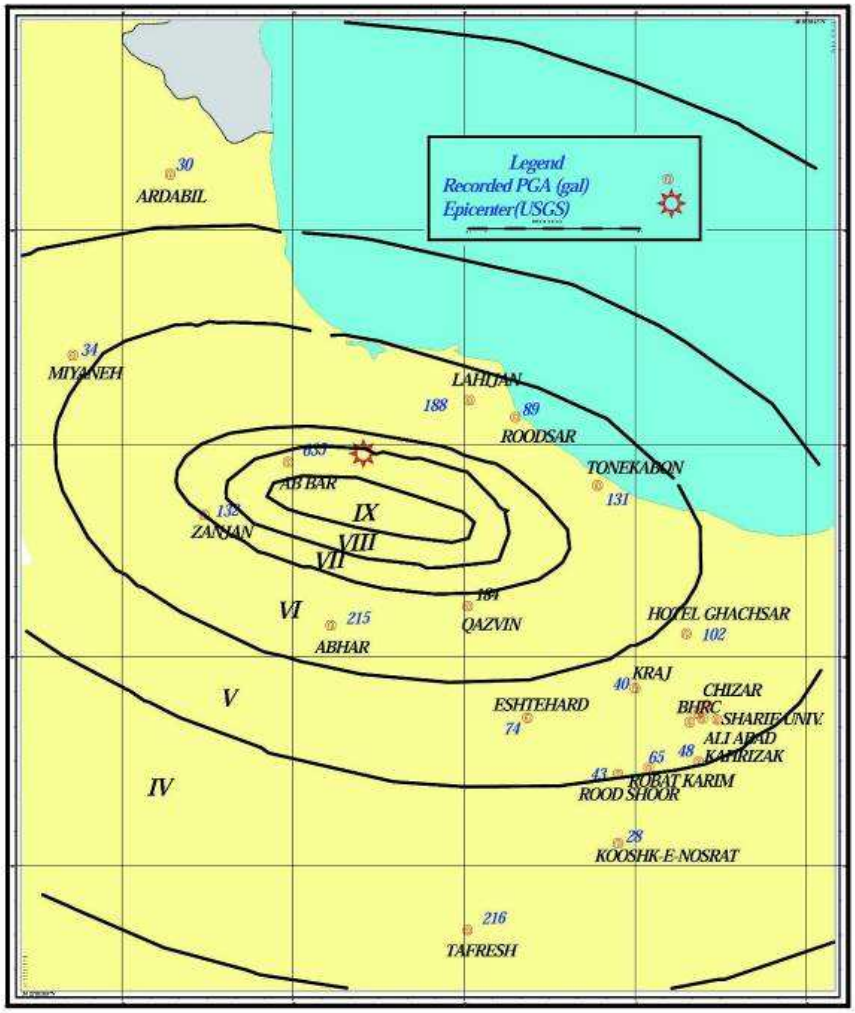
Total cost for government ※ Kashmir





Even if government increases compensation for retrofitted houses, the total cost decreases due to reduced damage

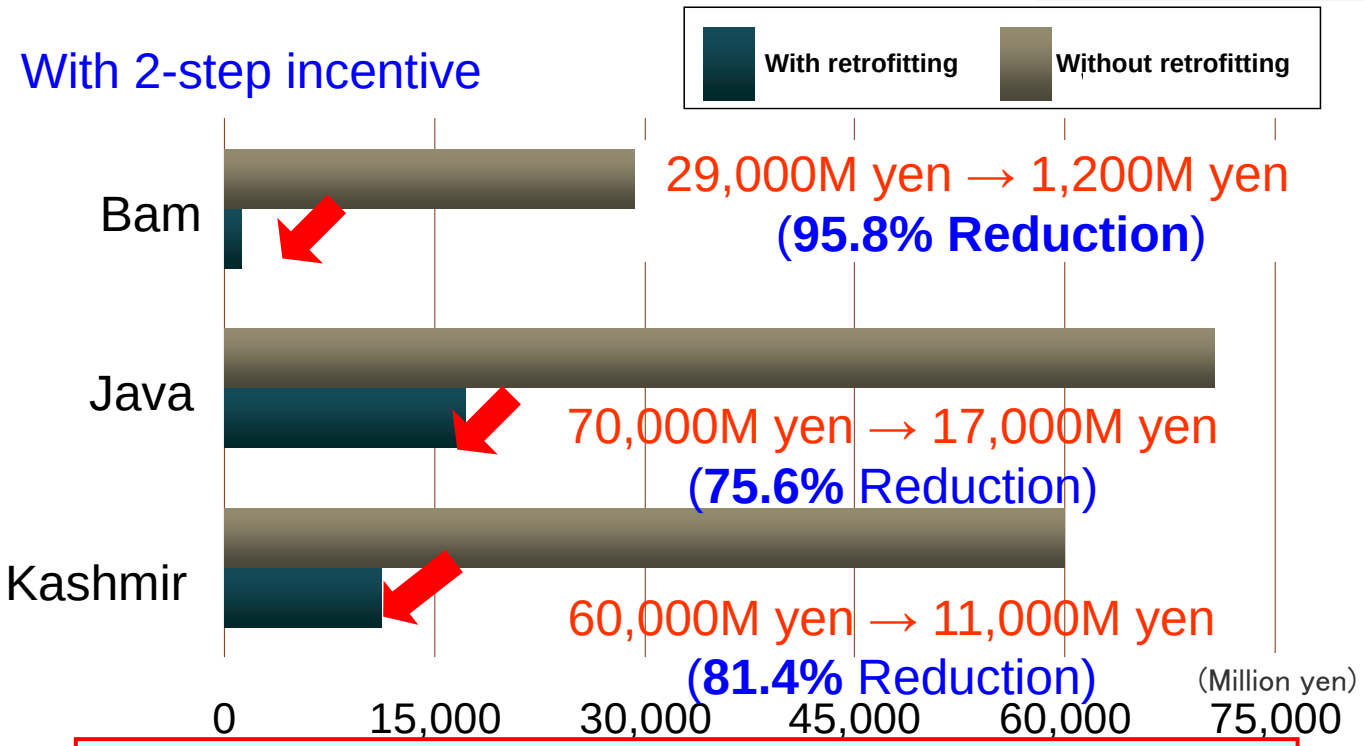
実際の震度分布
（震度別の建物の数）
を考慮すると



On Wednesday, Jun-20-1990 at 21 hours of GMT (Thursday, Jun-21-1990), a destructive and devastating earthquake with an approximate magnitude of mb7.3 and Ms7.7 occurred in Gilan and Zanjan provinces.

Considering a realistic intensity distribution (1)

Total amount of money from government



The government borne expenses are drastically reduced !

Importance of the 2nd Incentive

目黒グループからの提案

Clean and Safe City, (CSC) Kathmandu

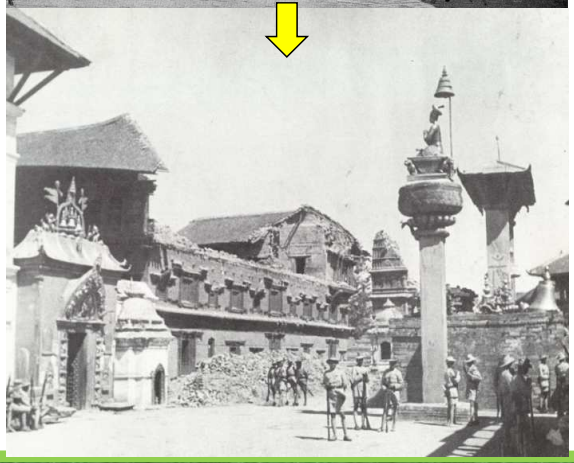
観光産業が主産業であるネパール、特に首都カトマンズ市では、観光客にとって魅力的な復旧・復興が重要である。
そのためのキーワードは、
「清潔と安全」、
「防災対策のコストからバリュウへの変換」。
これを実現する活動を支援すべき、具体的には、・・・

目黒グループからの提案

Clean and Safe City, (CSC) Kathmandu

具体的には、・・・
・長期的な発展を視野に入れた復興計画の立案支援
・「自助・共助・公助」別の総合的災害マネジメントシステムの導入支援
・電力の安定供給
・ゴミ処理システムの実現（職の創造）
・エンジニアード構造物の設計・施工管理システムの導入支援
・ノンエンジニアード構造物の耐震性向上の技術と制度の実現支援
・防災への民間セクタの参画法の支援、など

1934 Earthquake (M8.3, Death toll: 8,519)



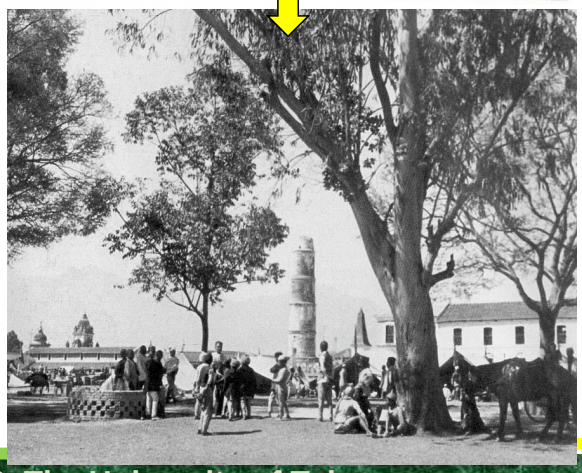


Photo from: Images of Century

世界遺産の完全性と真正性

- 完全性とは、その物件の「顕著な普遍的価値」を証明するために必要な要素が全て揃っていることなど。
- 真正性とは、特に文化遺産について、そのデザイン、材質、機能などが本来の価値を有していることなど。

如何に安全な構造で世界遺産としての価値を有するものを実現するか

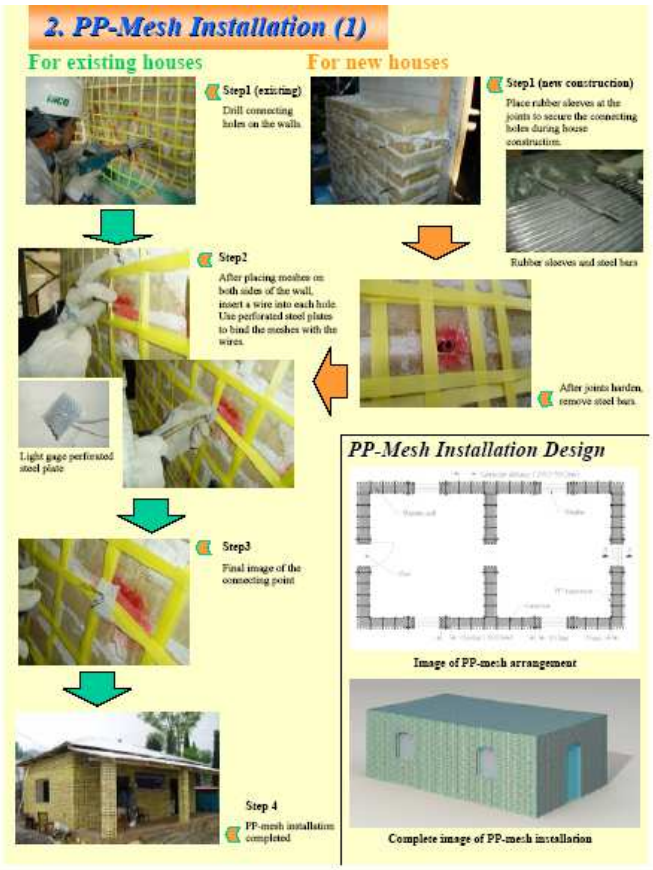
2003年に壊滅的な被害を受けた「アルゲバム」を、2004年にユネスコは「危機遺産」として世界遺産に登録。遺跡はイラン政府によって修復・保全され、2013年に危機遺産リストから除外された。

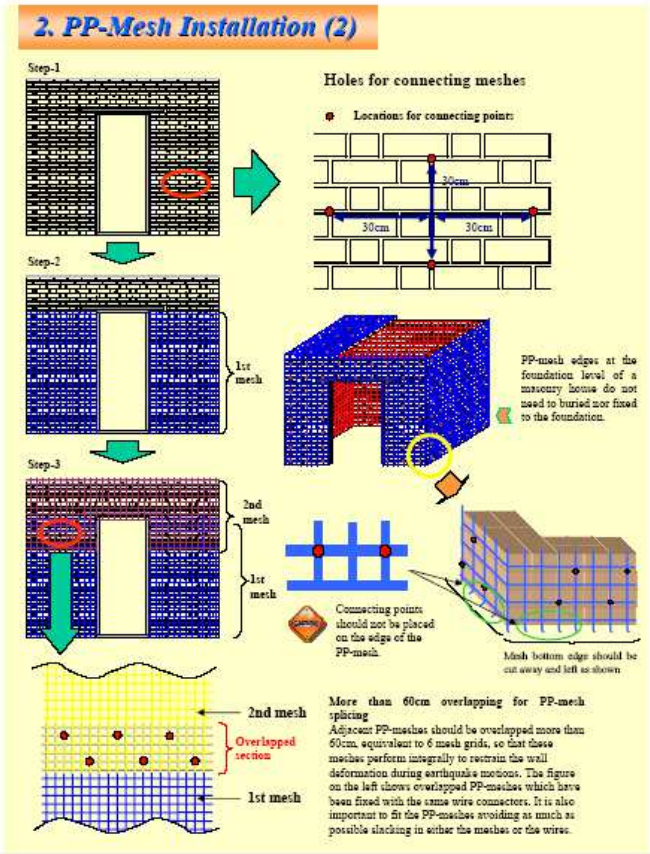
ご清聴、どうもありがとうございました。

以下は参考まで。

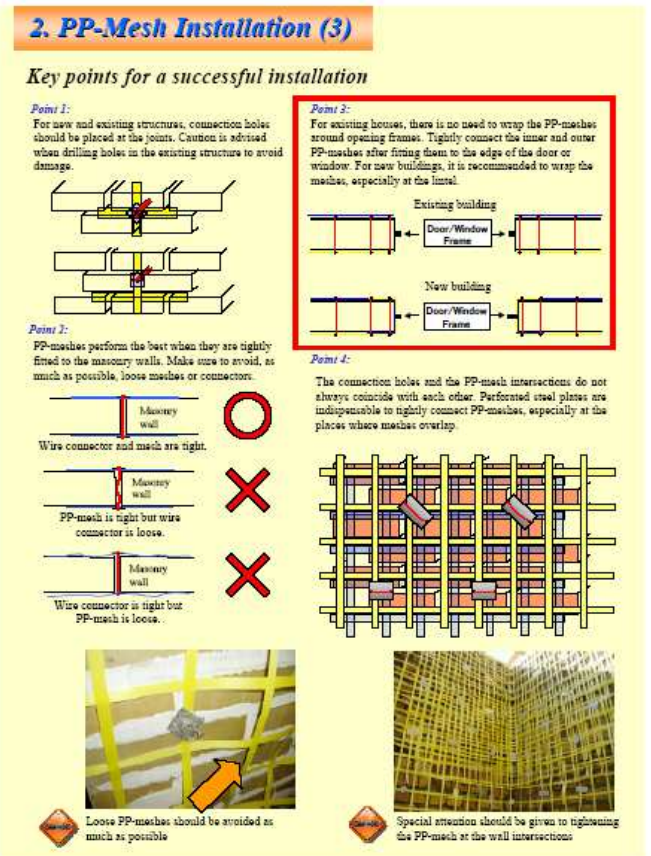
Pamphlet prepared by two languages (English and local language)

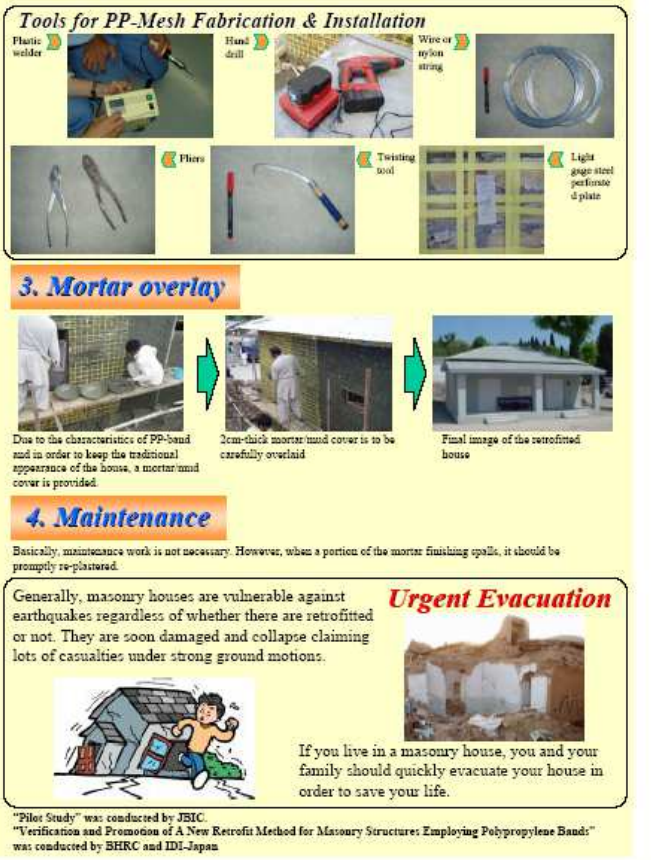
Pamphlet prepared by two languages (English and local language)



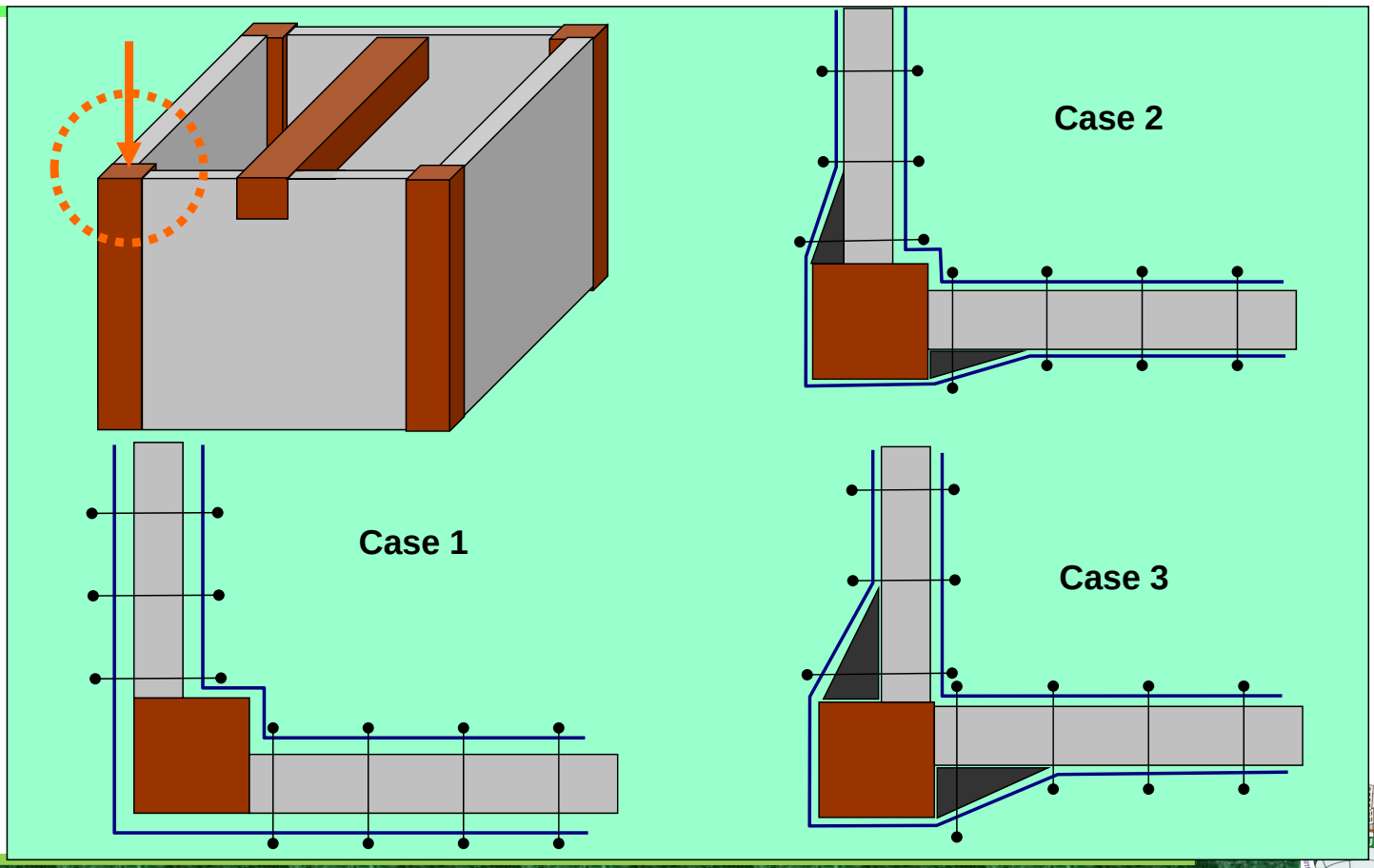


Pamphlet prepared by two languages (English and local language)

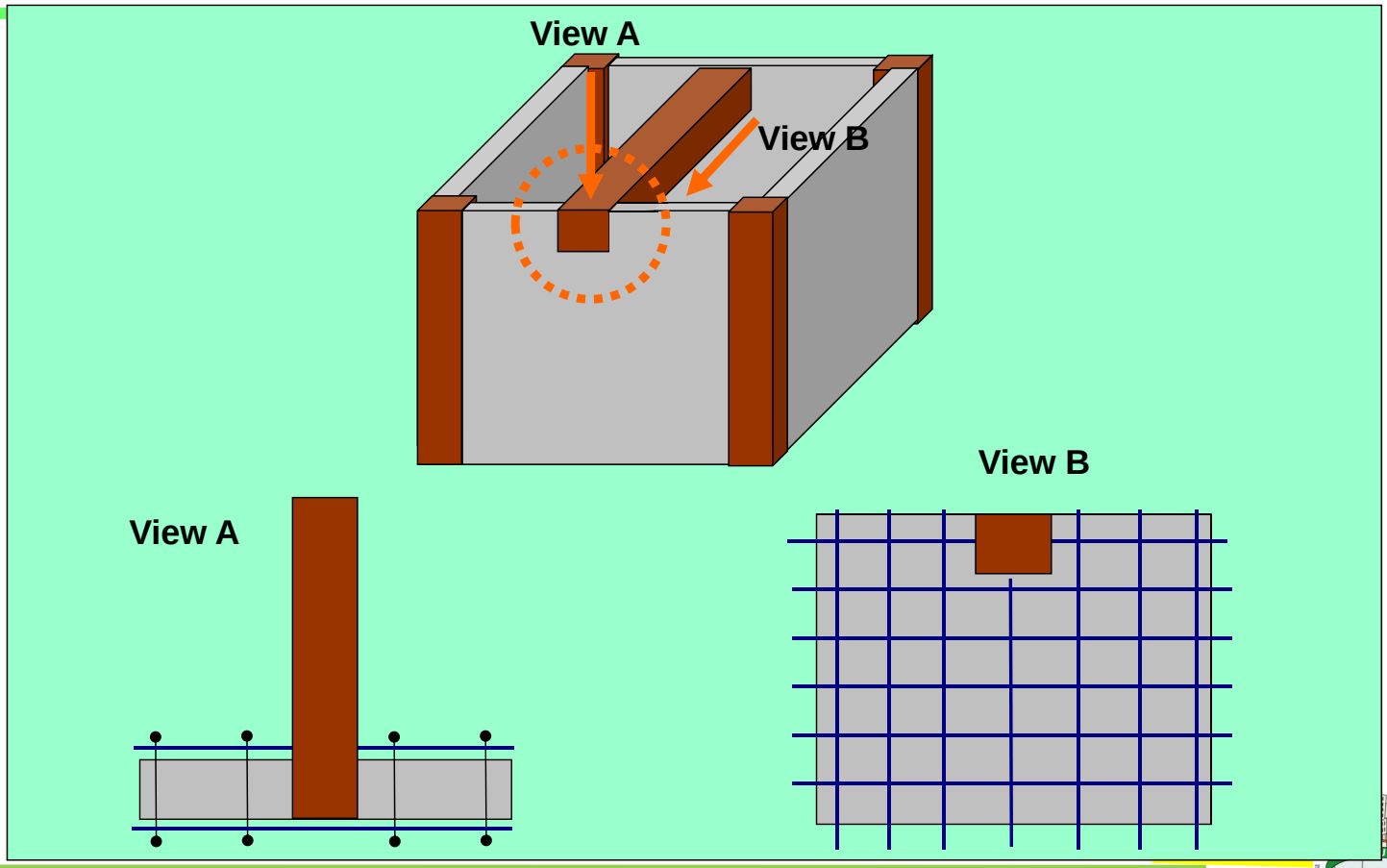




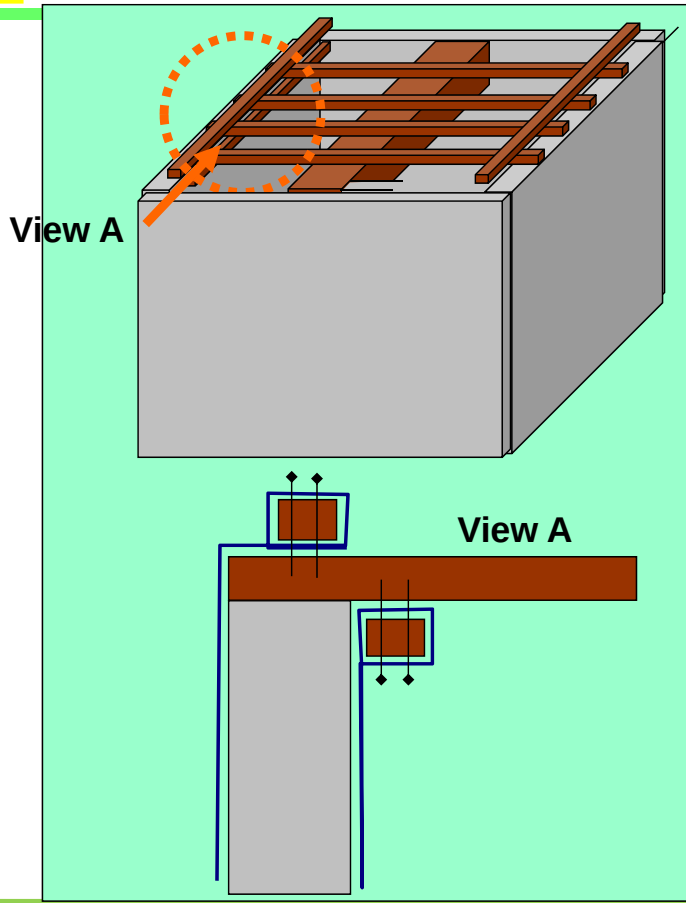
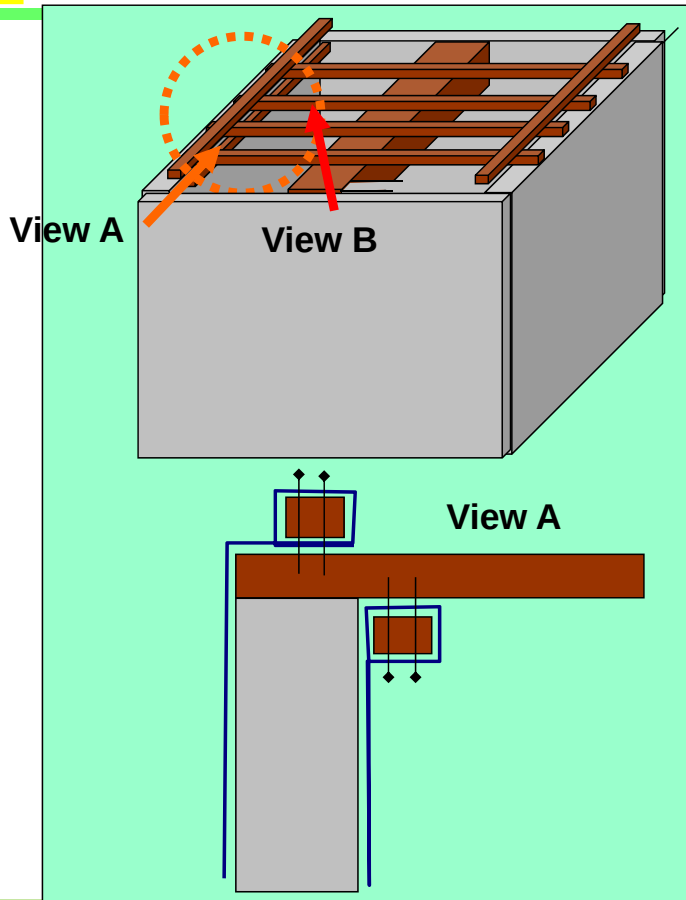
PPバンドの設置法



PPバンドの設置法



PPバンドの設置法



PPバンドの設置法