

2015年ネパール・ゴルカ地震による被害と 復興の現状

応用地質株式会社
プラダン オム

2017年6月



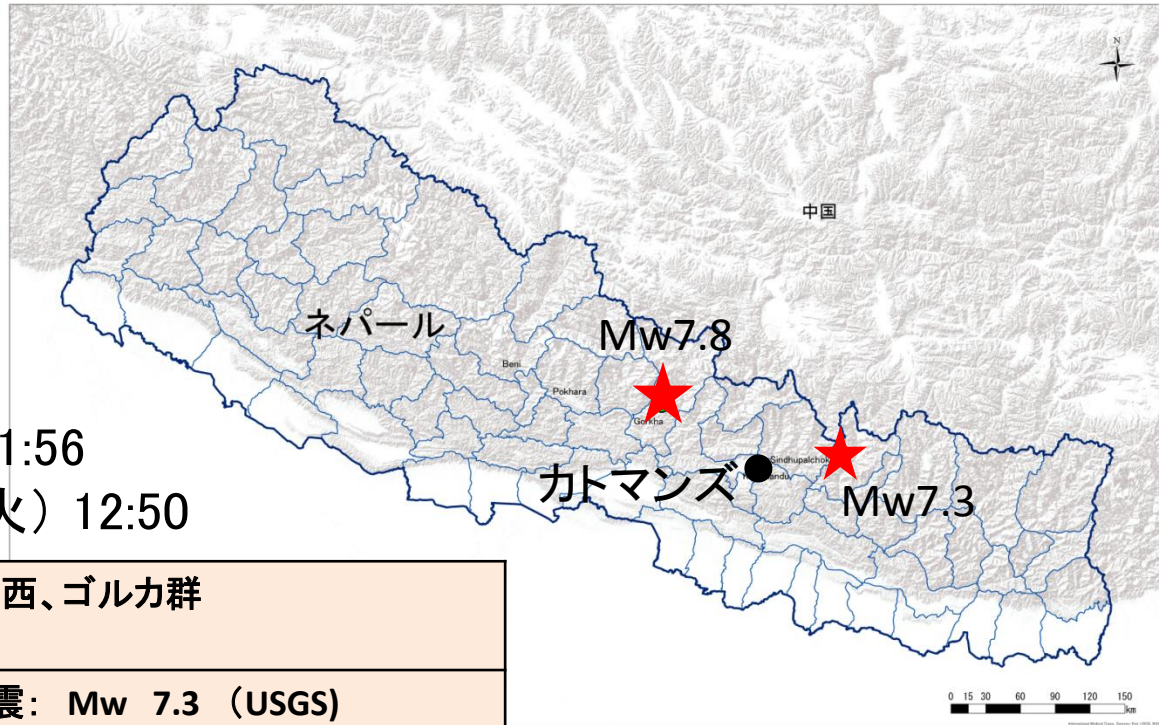
内容

- ネパール国の簡単な紹介
- 2015年のゴルカ地震の概要
- 歴史的な建造物の紹介・被害状況の報告
- 建物被害
- 地震による斜面倒壊
- 復興状況
- まとめ

ネパール: 紹介



ネパール・ゴルカ地震



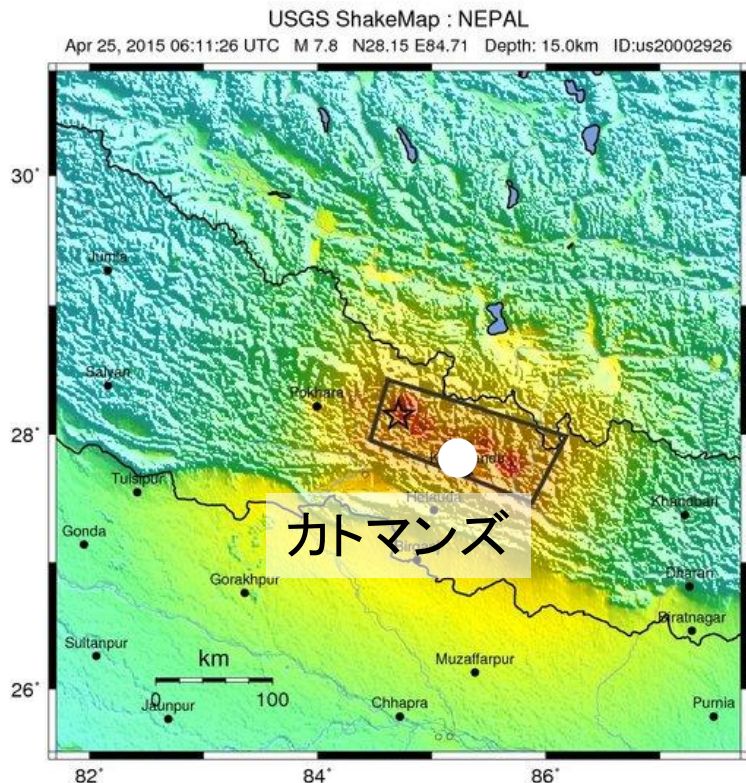
本震: 2015年4月25日(土) 11:56

最大余震: 2015年5月12日(火) 12:50

Epicerter 震央	首都カトマンズから約80北西、ゴルカ群
マグニ チュード	本震: Mw 7.8・最大余震: Mw 7.3 (USGS)
震度	カトマンズでは VII
被害の概要	死者: 約8,900(2015年6月9日)、負傷: 約2.3万人 建物の被害: 倒壊: 約50万件、損傷: 約26万件 レンガ/石造りの建物被害が多い、 RC構造物の被害が少ない 歴史的な建物の被害: レンガ/石造りが多く被害 斜面倒壊: 小規模な斜面崩れが多い

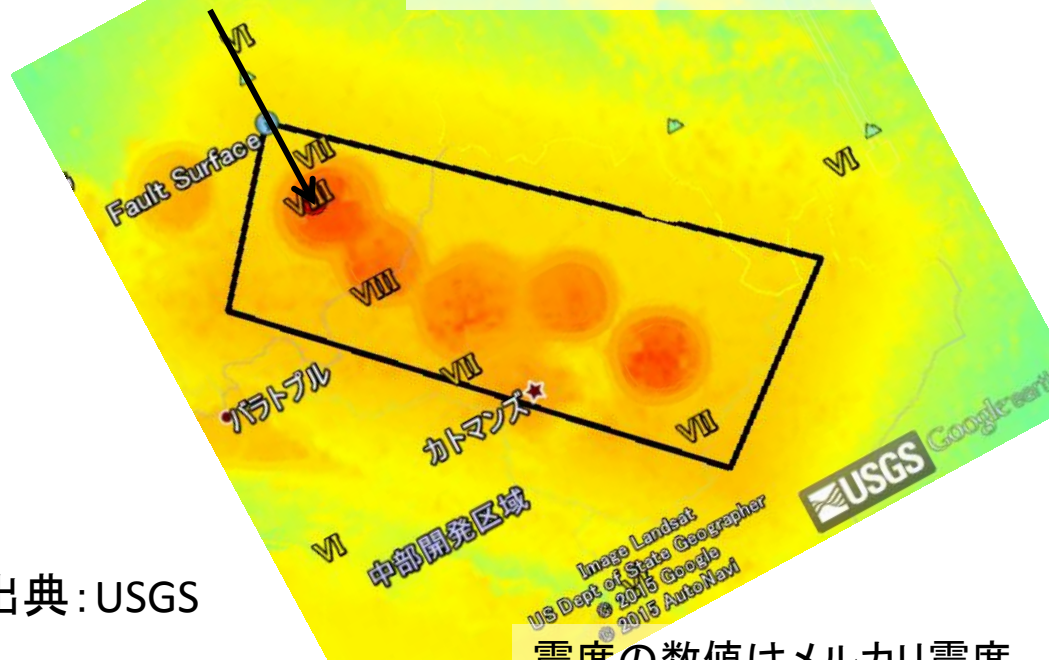


ネパール・ゴルカ地震



出典: USGS

カトマンズ盆地の
震度は5弱～6弱

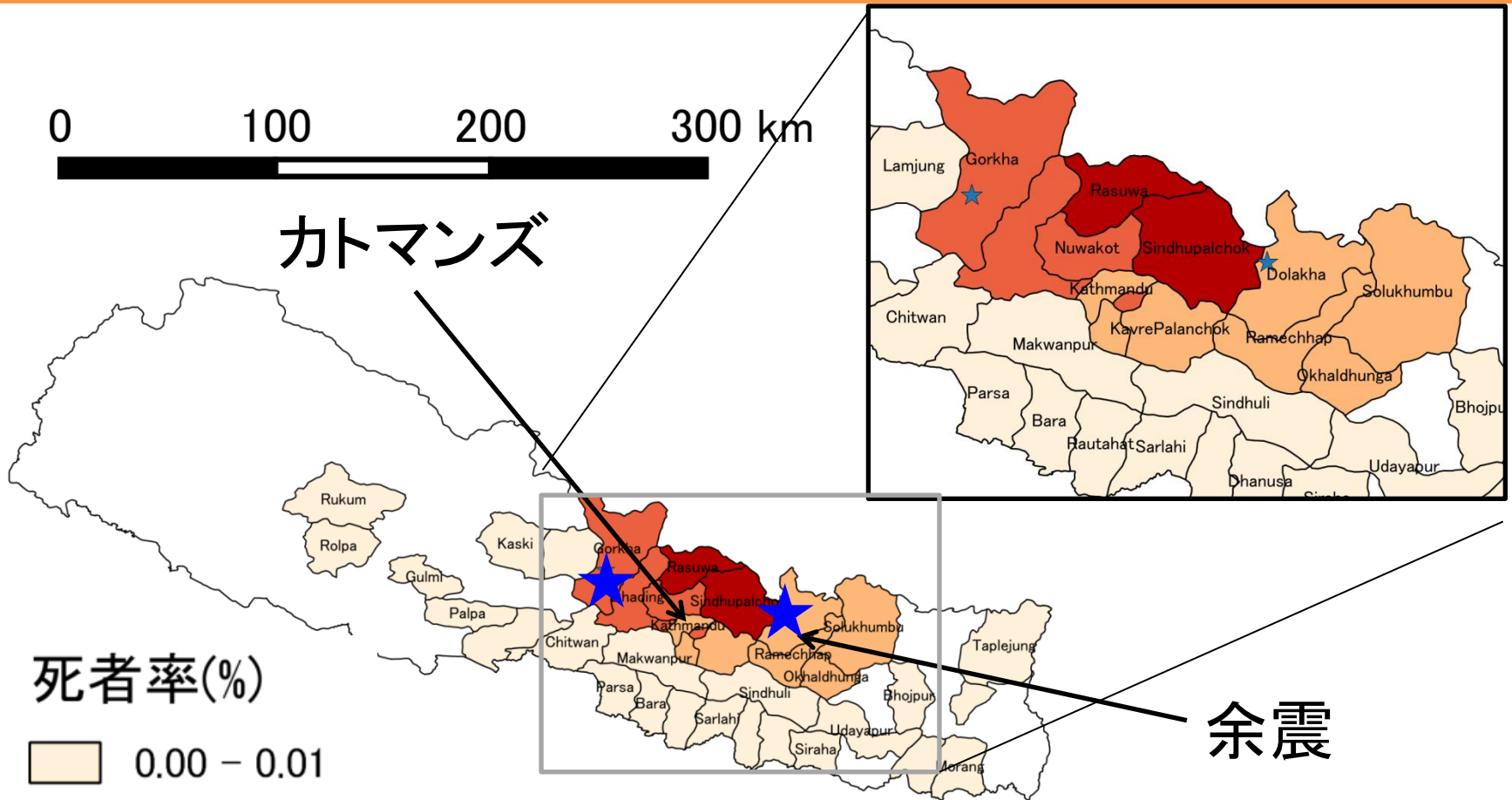


震度の数値はメルカリ震度

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)

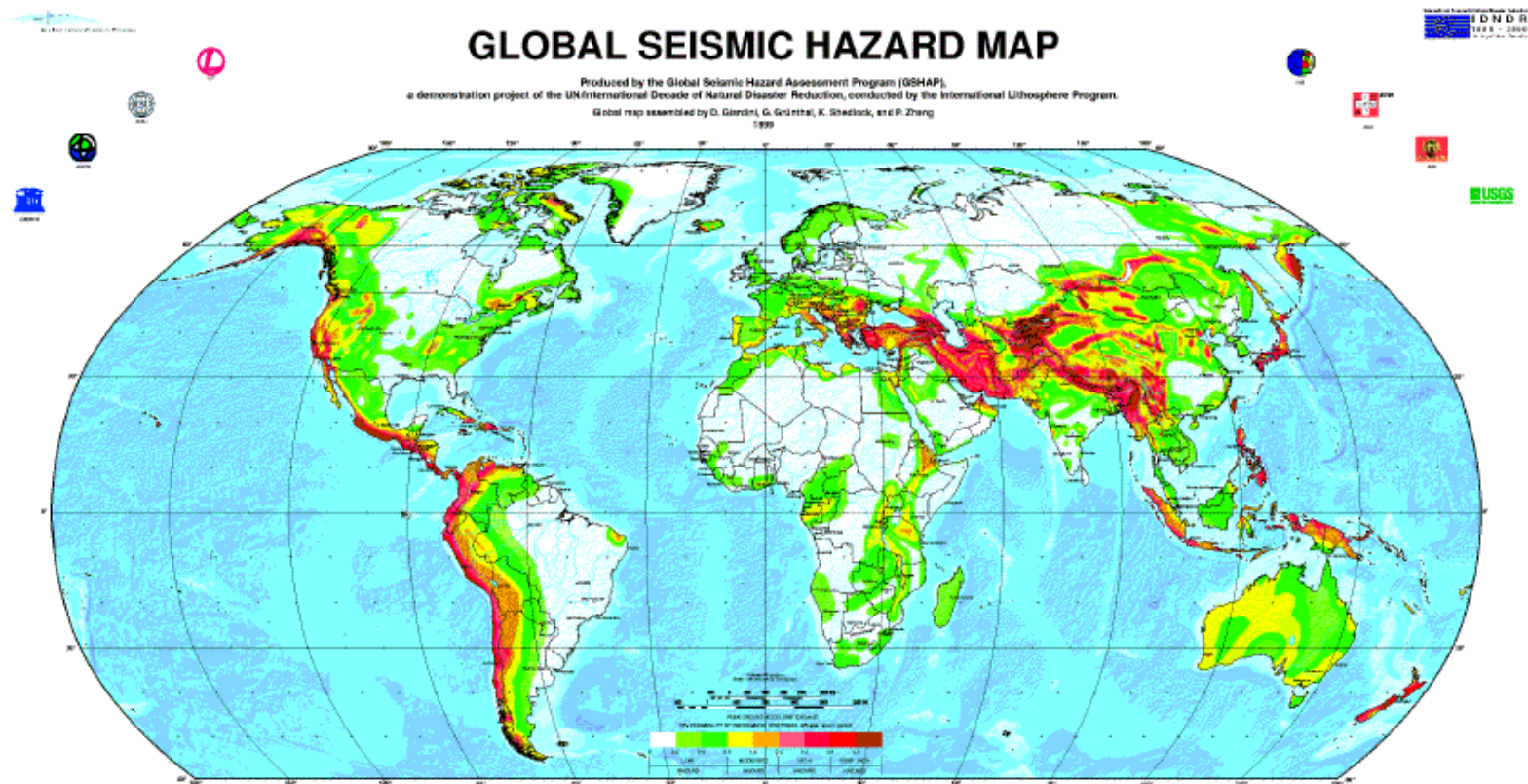
ネパール・ゴルカ地震による死者率分布



Data source (2015/6/1時点)

https://ditaangraeni.cartodb.com/viz/041aa150-f02d-11e4-b4d8-0e018d66dc29/public_map

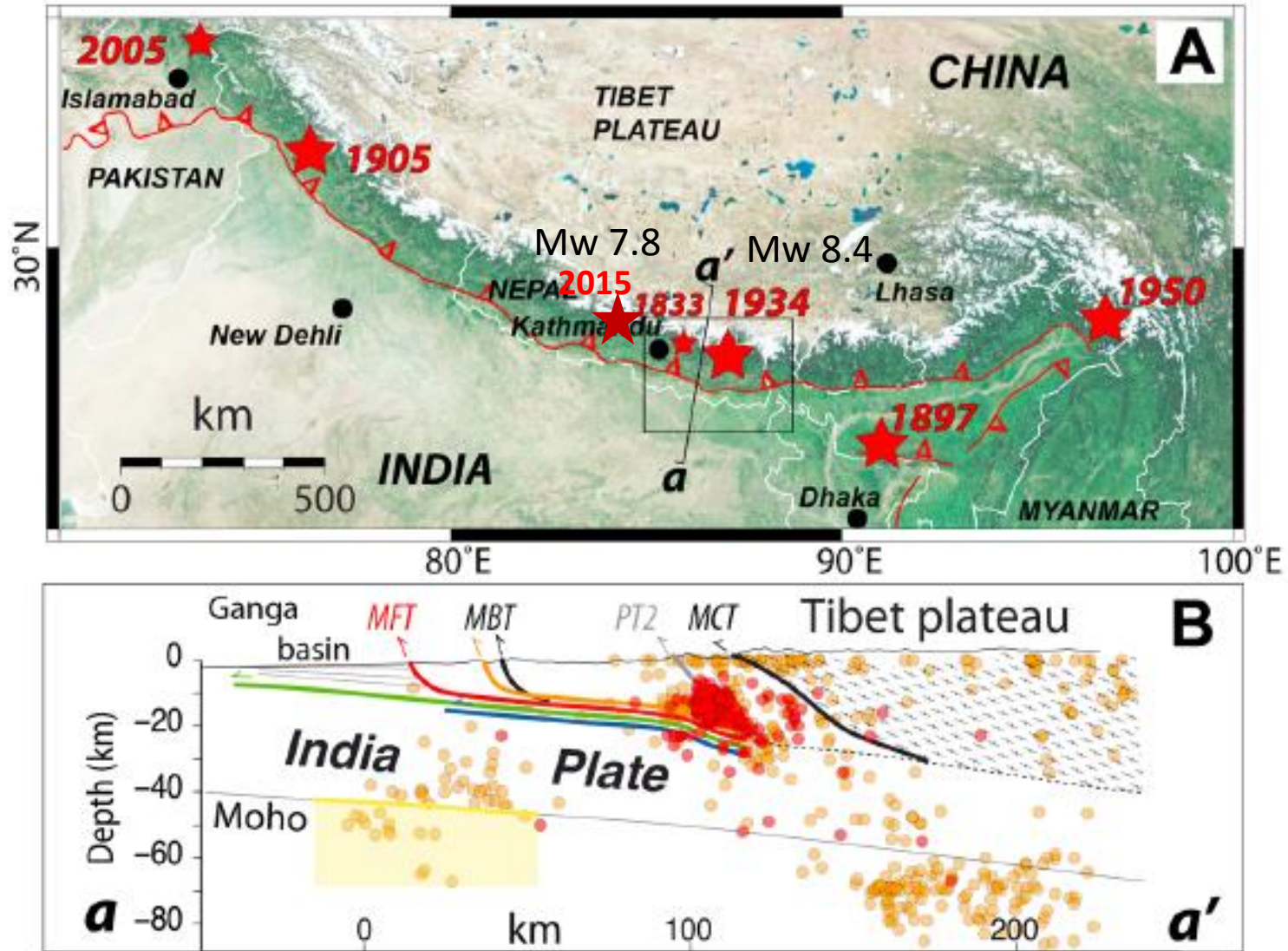
なぜネパールで地震起きたか？



グローバル地震ハザード図

Source: <http://static.seismo.ethz.ch/GSHAP/global/>

ネパール・ゴルカ地震

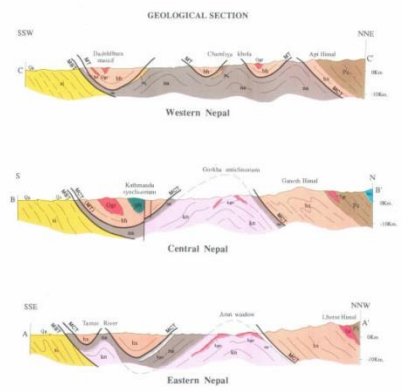
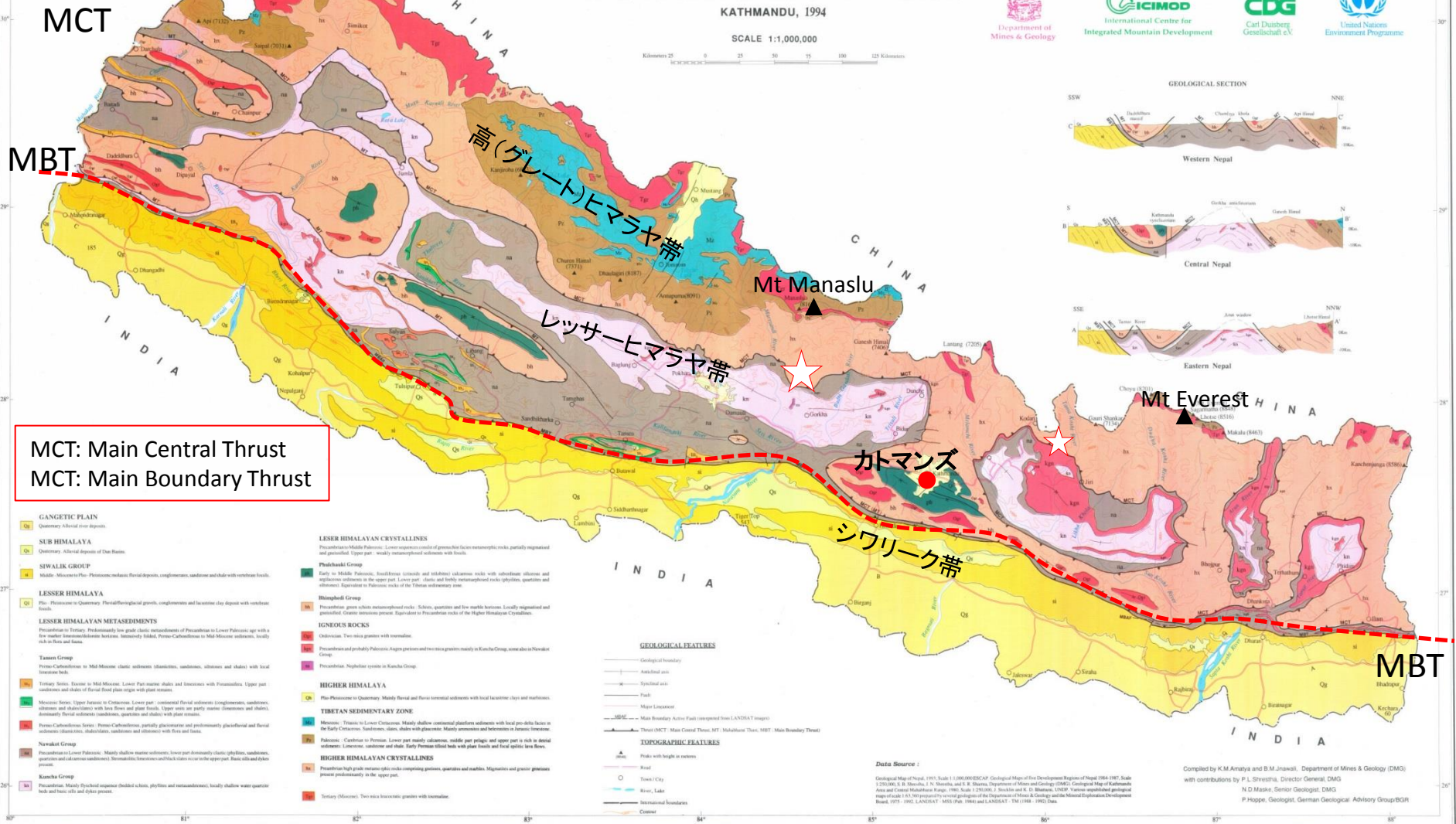


ネパール地質帯区分

GEOLOGICAL MAP OF NEPAL KATHMANDU, 1994

KATHMANDU, 1994

SCALE 1:1,000,000



MCT: Main Central Thrust
MBT: Main Boundary Thrust

- GANGETIC PLAIN**
Quaternary Alluvial river deposits
- SUB-HIMALAYA**
Quaternary Alluvial deposits of the Bhanu
- SIRWALK GROUP**
Middle-Miocene-Pliocene: medium to fine-grained, conglomerates, sandstones and shales with vertebrate fossils
- LESSER HIMALAYA**
Pliocene to Quaternary: Partially lithological gneiss, conglomerates and lacustrine clay deposit with vertebrate fossils
- LESSER HIMALAYAN METASEDIMENTS**
Precambrian to Tertiary: Proterozoic fine-grained shales, interbedded with Precambrian to Lower Paleozoic argill. with a few mafic dykes and siltstone lenses. Locally, Precambrian to Mid-Miocene metasediments, locally rich in iron and base
- Taxson Group**
Pliocene-Carboneiferous to Mid-Miocene: clastic metasediments (sandstones, siltstones and shales) with local limestone beds
- Tertiary Series, Division to Mid-Miocene**: Lower Part massive shales and limestones with Pliocene-like upper sandstones and shales of forest floor (open grass with pine forest)
- Miocene Series**: Upper Part massive shales and limestones with Pliocene-like upper sandstones, siltstones and shales (clastic) with lava flows and glacial facies. Upper units are partly marine (limestones and shales), dominantly fluvial (sandstones, siltstones, and shales) with glacial facies
- Pliocene-Carboneiferous Series**: Pliocene-Carboneiferous, partially glaciomarine and predominantly glaciolacustrine and fluvial sandstones (siltstones, shales, shales and siltstones) with local limestone
- Nawalok Group**
Precambrian to Lower Paleozoic: Mostly shallow marine sediments; lower part dominantly clastic (shales, sandstones, quartzites and calcareous sandstones); some shallow limestone and black shales occur in the upper part. Basal silt and siltstone
- Kanchak Group**
Precambrian: Mostly flysch-like sequence (shales, shales and siltstones); locally shallow water quartzite beds and basic silt and siltstone

- LESSER HIMALAYAN CRYSTALLINES**
Precambrian to Middle Paleozoic: Lower sequence consists of gneiss, mica schists, metagabbros, quartzites, partially migmatized and granulitic; Upper part: weakly metamorphosed sandstones with fossils
- Paikshahi Group**
Early to Middle Paleozoic: Sandstone, siltstone and shales; calcareous shales with subordinate siltstone and siltstone; locally rich in iron and base
- Bhimgohar Group**
Precambrian: gneiss, mica schists, metagabbros, quartzites, shales, and shales; locally rich in iron and base
- IGNEOUS ROCKS**
Dioritization: Two mica granites with hornblende
Precambrian and probably Paleozoic: Andesite granites and fine-grained granites in Kanchak Group, sometimes in Nawalok Group
Precambrian: Nepheline syenite in Kanchak Group
- HIGHER HIMALAYA**
Pliocene to Quaternary: Mostly fluvial and fluvio-lacustrine sediments with local limestone (clays and marlstones)
- TIBETAN SEDIMENTARY ZONE**
Miocene: Tertiary to Lower Cretaceous: Mostly shallow continental platform sediments with local pre-delta facies in the Early Cretaceous. Sandstones, shales, shales with glauconite. Mostly argillaceous and bedded in terraces. Limestone: Carboniferous to Permian. Lower part mainly calcareous, middle part argillaceous and upper part is rich in fossiliferous sediments. Limestone, sandstone and shale. Early Permian siltstone beds with glacial facies and fossil siltstone (see Bhanu)
- HIGHER HIMALAYAN CRYSTALLINES**
Precambrian high grade metamorphic gabbro, quartzites and mafics. Migmatites and gneiss granites present predominantly in the upper part
- Tertiary (Miocene)**: Two mica granites with hornblende

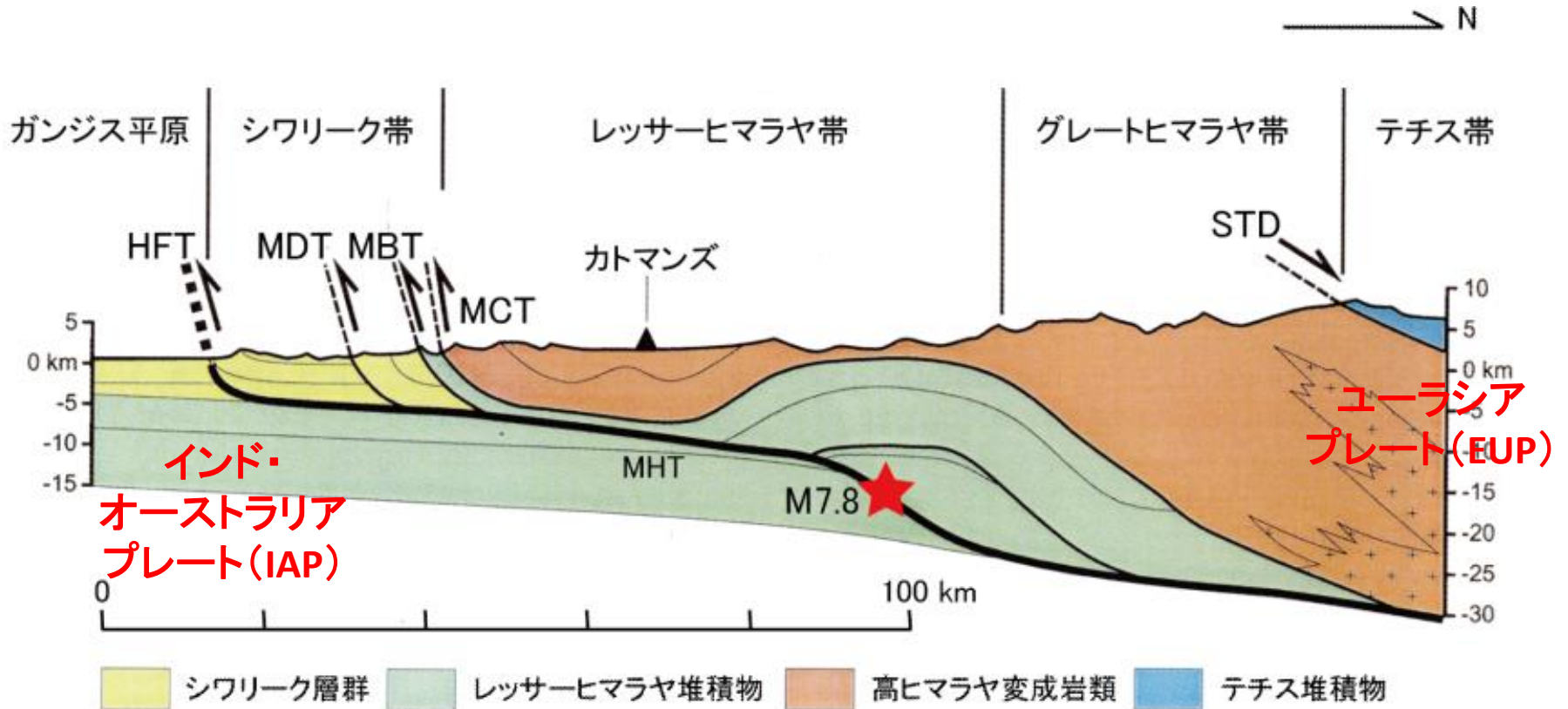
- GEOLOGICAL FEATURES**
Geological boundary
Anticline axis
Synclinal axis
Fault
Major Limestone
Main Boundary Active Fault (intercepted from LANDSAT image)
- TOPOGRAPHIC FEATURES**
Peak with height in meters
River
Lake
Water, Lake
International boundaries
Tributary

Data Source 1

Geological Map of Nepal, 1994, Scale 1:1,000,000 (ICIMOD/Geological Map of the Development Region of Nepal 1984, Scale 1:1,000,000, B. Banerjee, J. S. Banerjee, and S. B. Sharma; Department of Mines and Geology (DMG), Geological Map of Kathmandu Area and Central Himalayan Range, 1961, Scale 1:250,000, J. Banerjee and S. B. Banerjee, USGS; Nepal Geological Survey, 1967, Scale 1:50,000; Department of Mines and Geology and the Mineral Exploration Development Board, 1979-1982, LANDSAT MSS Data and LANDSAT TM Data (1984-1992) Data.

Compiled by K.M. Amatya and B.M. Jirawat, Department of Mines & Geology (DMG) with contributions by P.L. Shrestha, Director General, DMG
N.O. Maske, Senior Geologist, DMG
P. Hoppe, Geologist, German Geological Advisory Group (GGAR)

ネパール地質



HFT: ヒマラヤ前縁断層 MDT: 主ドゥン断層 MBT: 主境界断層 MCT: 主中央断層 STD: 南チベットデタッチメント
 MHT: 主ヒマラヤ断層 ★: 2015年4月25日に発生したネパール地震の震源

図2.カトマンズを南北に横断する地質断面図に投影した, M 7.8の地震の震源, (Pandey et al., 1999を
 改変)

被害調査

第1回調査期間：平成27年7月12日－7月22日

調査員：早川、プラダン、長谷川の3名

調査目的：斜面崩壊・建物被害

死者率(%)

0.00 - 0.01

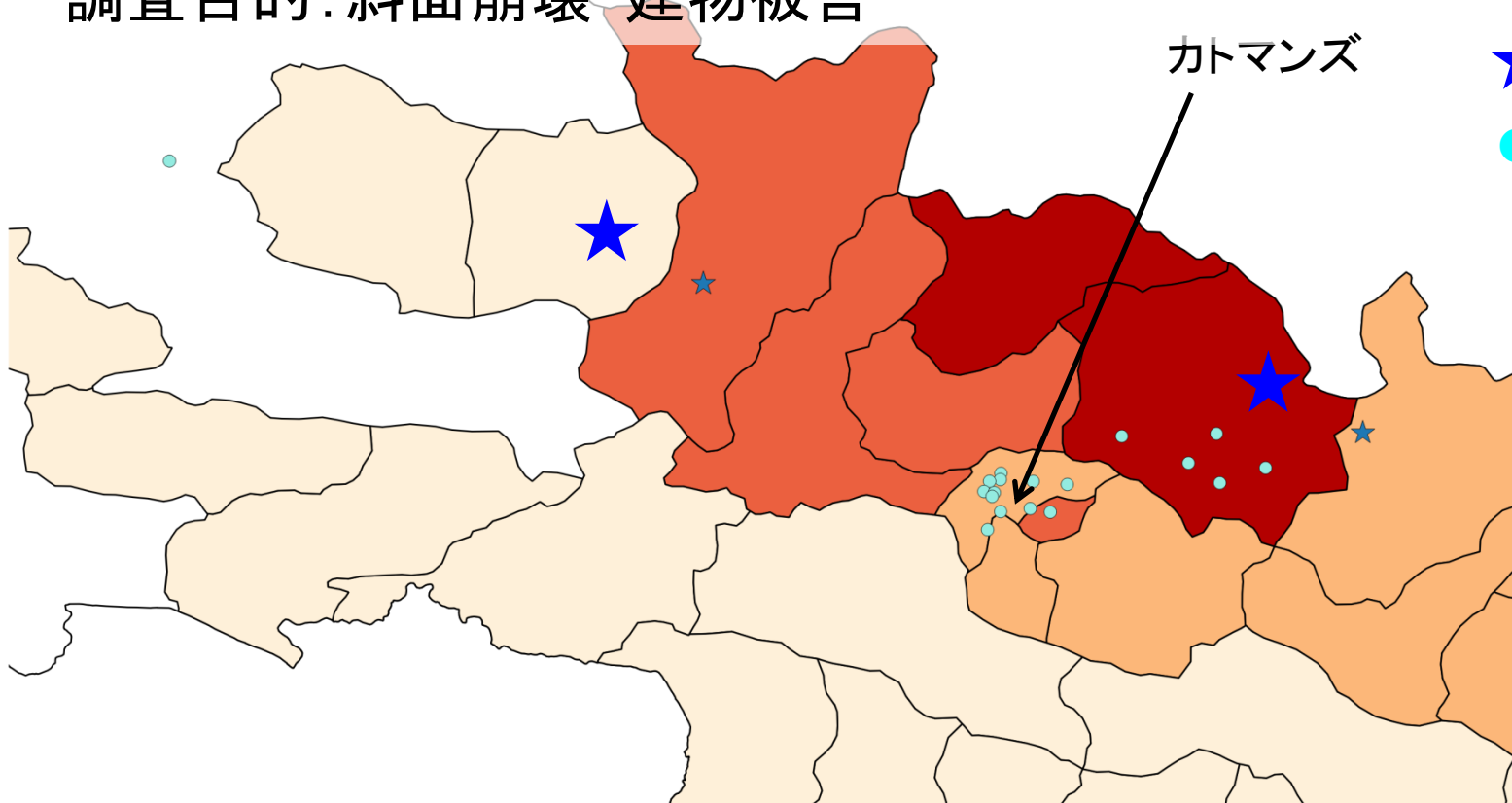
0.01 - 0.10

0.10 - 1.00

1.00 - 1.50

★震源

●調査場所



0

100

200 km

2017/8/24

OYO Corporation

11

第1回 調査スケジュール

日程	行動予定	内容	宿泊地
2015/7/12	日本発	移動、バンコク又は香港等経由	経由地
	カトマンズ着	調査準備・打合せ等	カトマンズ
7/13	カトマンズ市内	Kathmandu調査、Dolalghat移動	Dolalghat
7/14	Barabise、Jalbire	Barabise視察（中腹斜面）・Jalbire視察（中腹斜面）	Dolalghat
7/15	Melamchi、Chautara	Chautara視察（中腹斜面）・Melamchi視察（道路沿い）・カトマンズ移動	カトマンズ
7/16	Kathmandu	Kathmandu調査	カトマンズ
7/17	Pokhara・Gorkha	Pokhara 移動	Pokhara
7/18	Pokhara→Kaligandaki川	Kaligandaki斜面崩壊調査 Armala Sinkhole調査	Pokhara
7/19	Pokhara・Armala	Sinkhole視察・打合せ・カトマンズ移動	カトマンズ
7/20	カトマンズ発		

カトマンズ盆地—歴史的な建造物

スワヤンブナート



カトマンズ ダルバール広場



バクタプル ダルバール広場



UNESCO
世界遺産

ボッダナート



ダッタトラヤ寺院

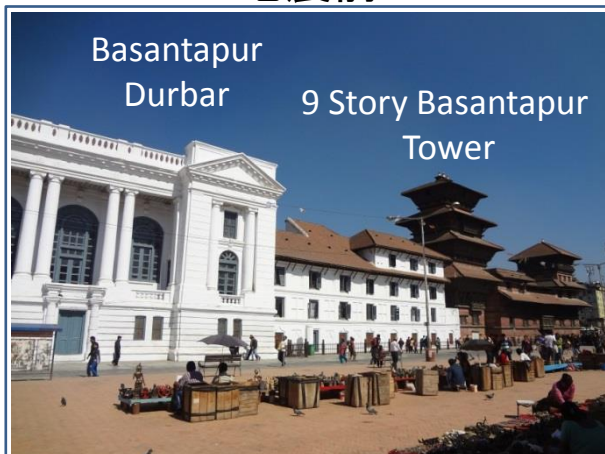
2017/8/24

パタン ダルバール広場



カトマンズ盆地—歴史的な健物の被害

地震前



地震3か月後(7月)



地震半年後(11月)



カトマンズ ダルバール広場

カトマンズ盆地—歴史的な健物の被害

地震前



地震3か月後(7月)



地震半年後(11月)



カトマンズ盆地—歴史的な建造物の被害



地震前

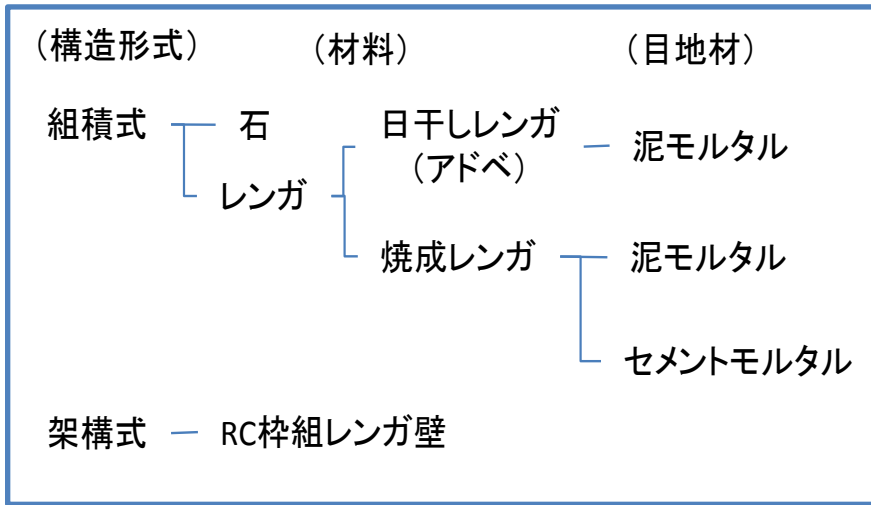
Fasi Dega Temple



バクタプル
ダルバール広場



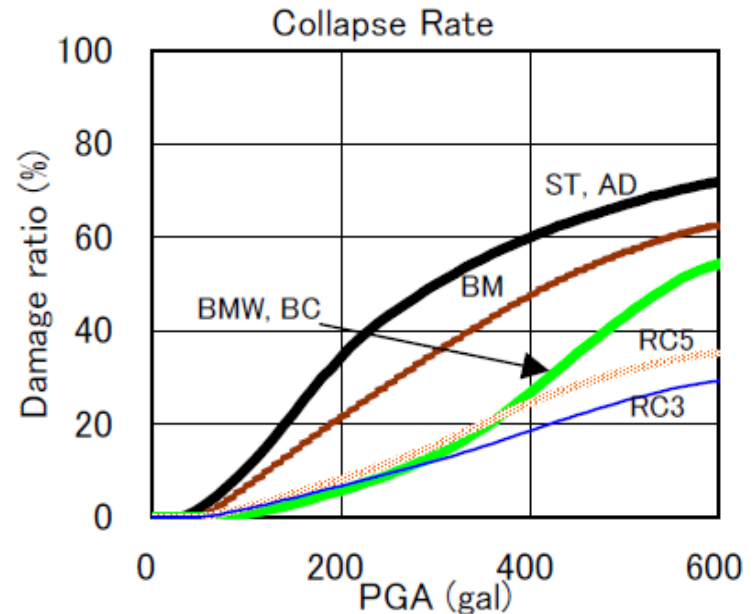
建造物の被害



ネパールの建築様式



アドベ造倒壊例



建築様式ごとのフラジリティカーブ (JICA, 2002)






ST(石), AD(アドベ),
 BM(レンガ(泥モルタル)), B
 MW(レンガ(泥モルタル良好)),
 BC(レンガ(セメントモルタル)),
 RC5(5階建以上のRC造),
 RC3(3階建以下のRC造)

日干しレンガ

建造物の被害

Classification of damage

Note: the way in which a building deforms under earthquake loading depends on the building type. As a broad categorisation one can group together types of masonry buildings as well as buildings of reinforced concrete.

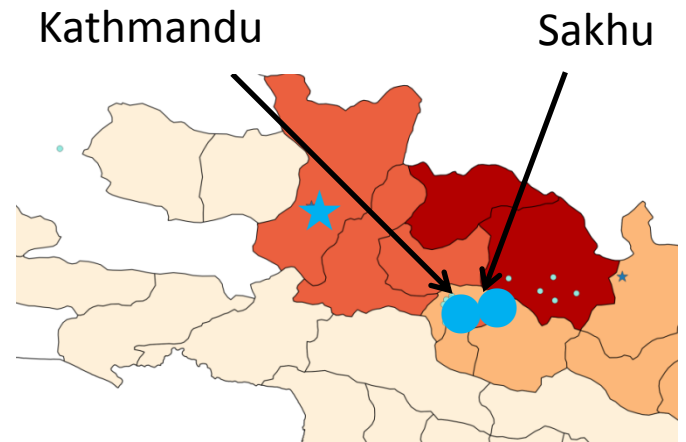
Classification of damage to masonry buildings	
	Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.
	Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.
	Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural 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).
	Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls, partial structural failure of roofs and floors.
	Grade 5: Destruction (very heavy structural damage) Total or near total collapse.

European microseismic Scale, 1998より提供

建造物の被害

- レンガ造り建物の被害
- 石積建物の被害
- RCコンクリート建物の被害

レンガ造り建物の被害



サク(Saku)の映像
OYO Corporation

レンガ造り建物の被害

バクタプル市内



バクタプル市内



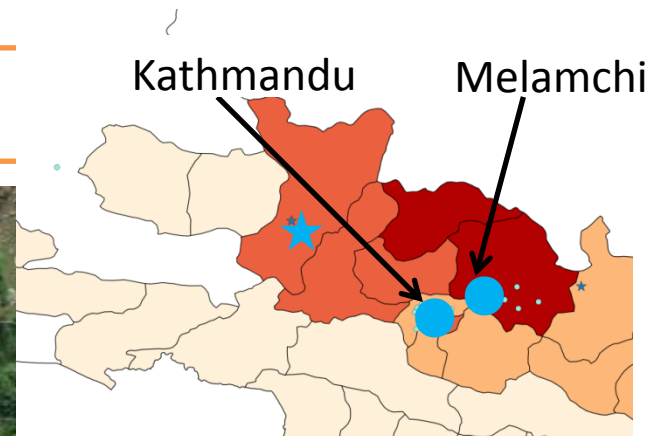
カトマンズ市内



カトマンズ市内



石積建物の被害：メラムチ



RCコンクリート建物の被害

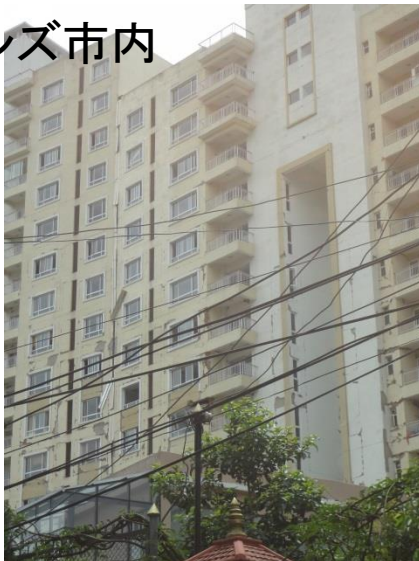
カトマンズ市内



カトマンズ市内



カトマンズ市内



ゴルカ市内



RCコンクリート建物の被害



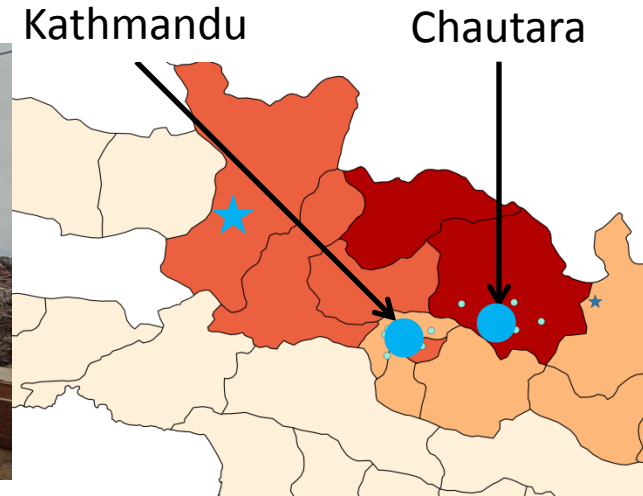
1階、2階部分が倒壊



カトマンズ市内



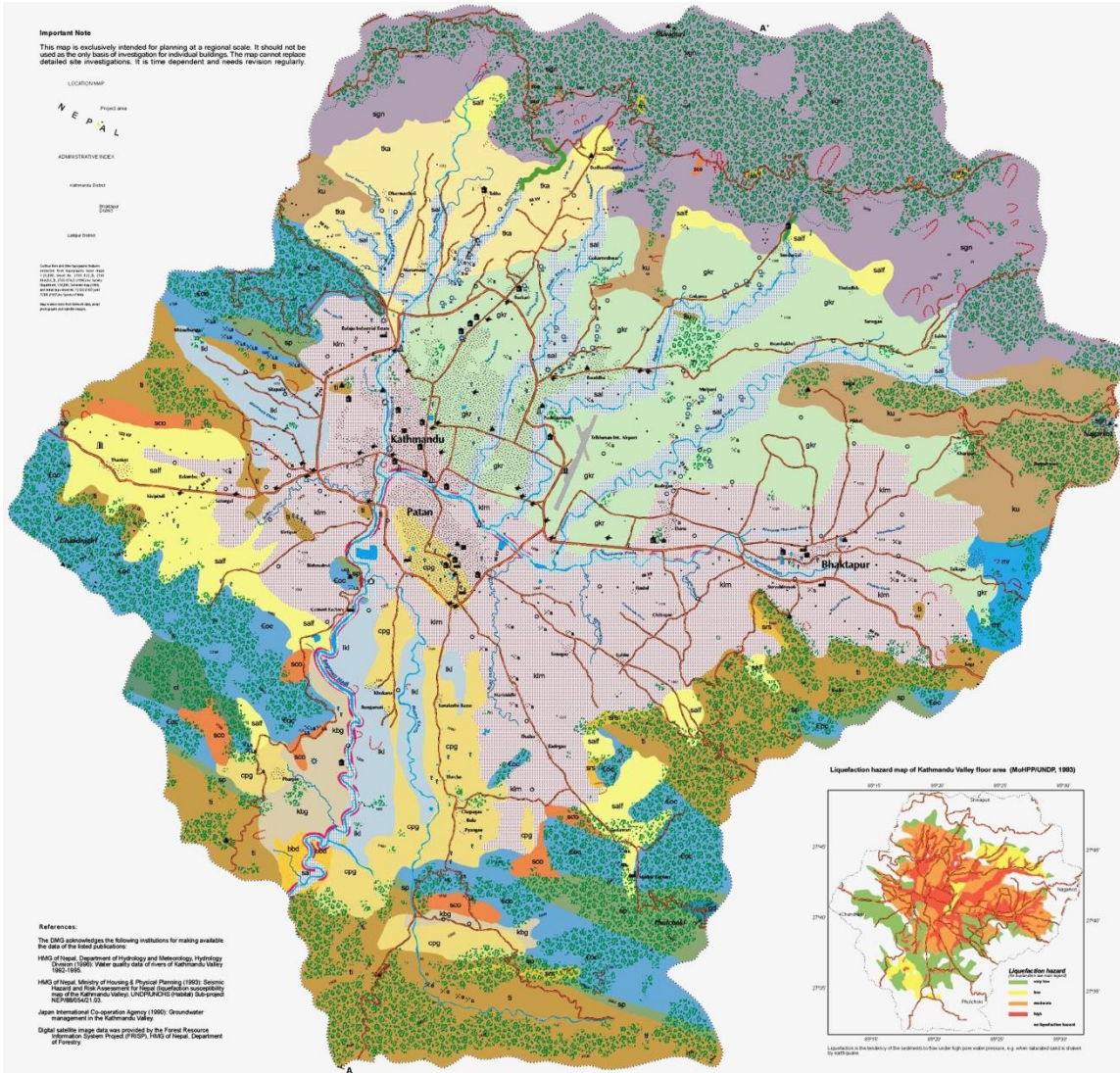
斜面にある建物の被害



RC建物(柱と梁はRC,壁はレンガ; Chautara)

カトマンズ盆地 地質

盆地充填堆積物 (Basin fill Sediment)



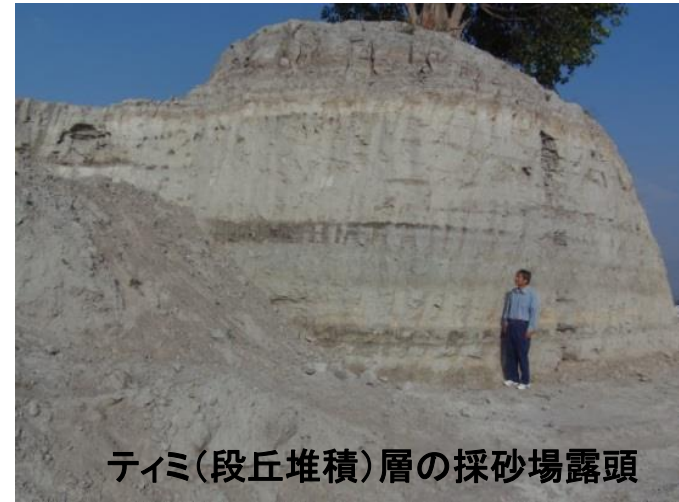
2017/8/24

OYO Corporation

Source: Department of Mines and Geology, Nepal

26

カトマンズ盆地 地質



ティミ(段丘堆積)層の採砂場露頭

粘土層

砂層

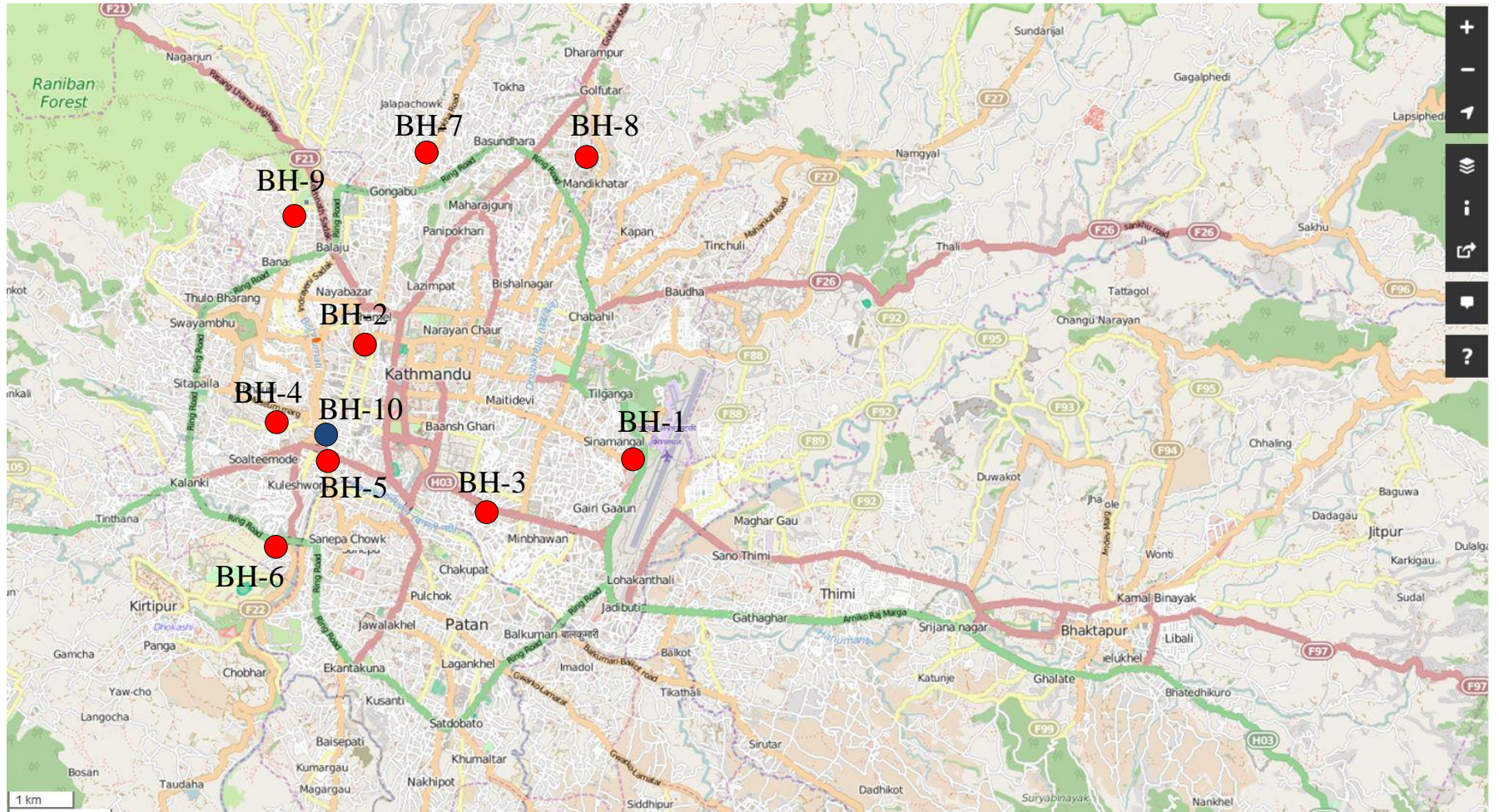


記図の近接写真(各種ラミナの発達が著しく浅い湖域での著しい流向変化を示唆する)

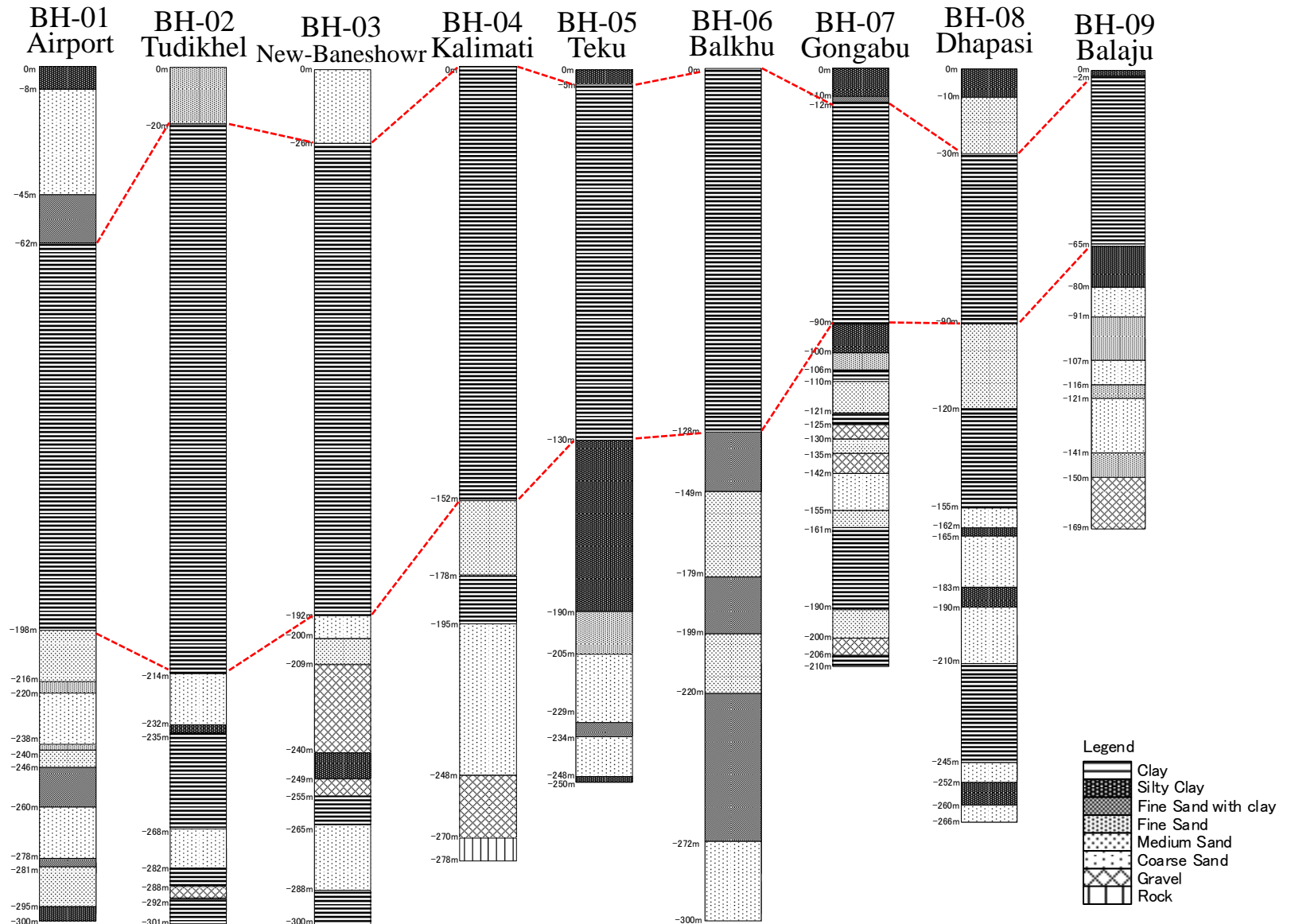
カトマンズ盆地 地質



カトマンズ盆地 地質-ボーリングホール位置

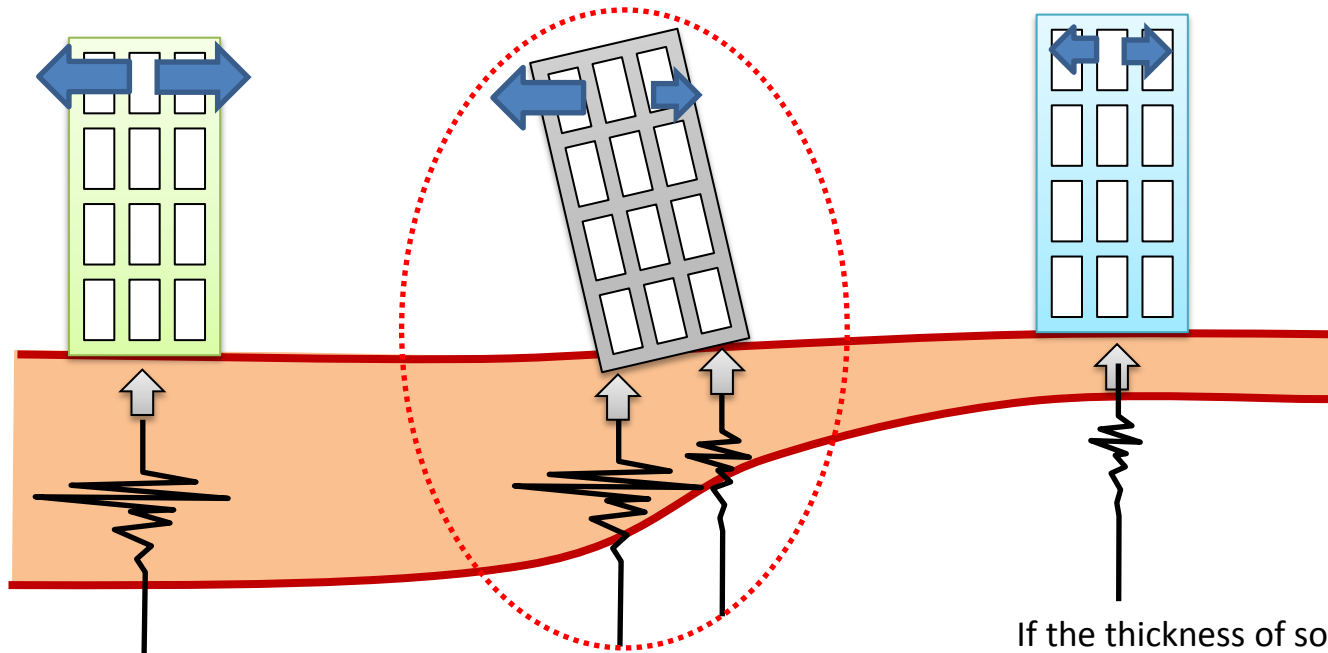


カトマンズ盆地地質 - ボーリングデータ



地質構造と建物の被害

カトマンズの北西部の地域での
RCビルの被害が多かった理由と考えられる



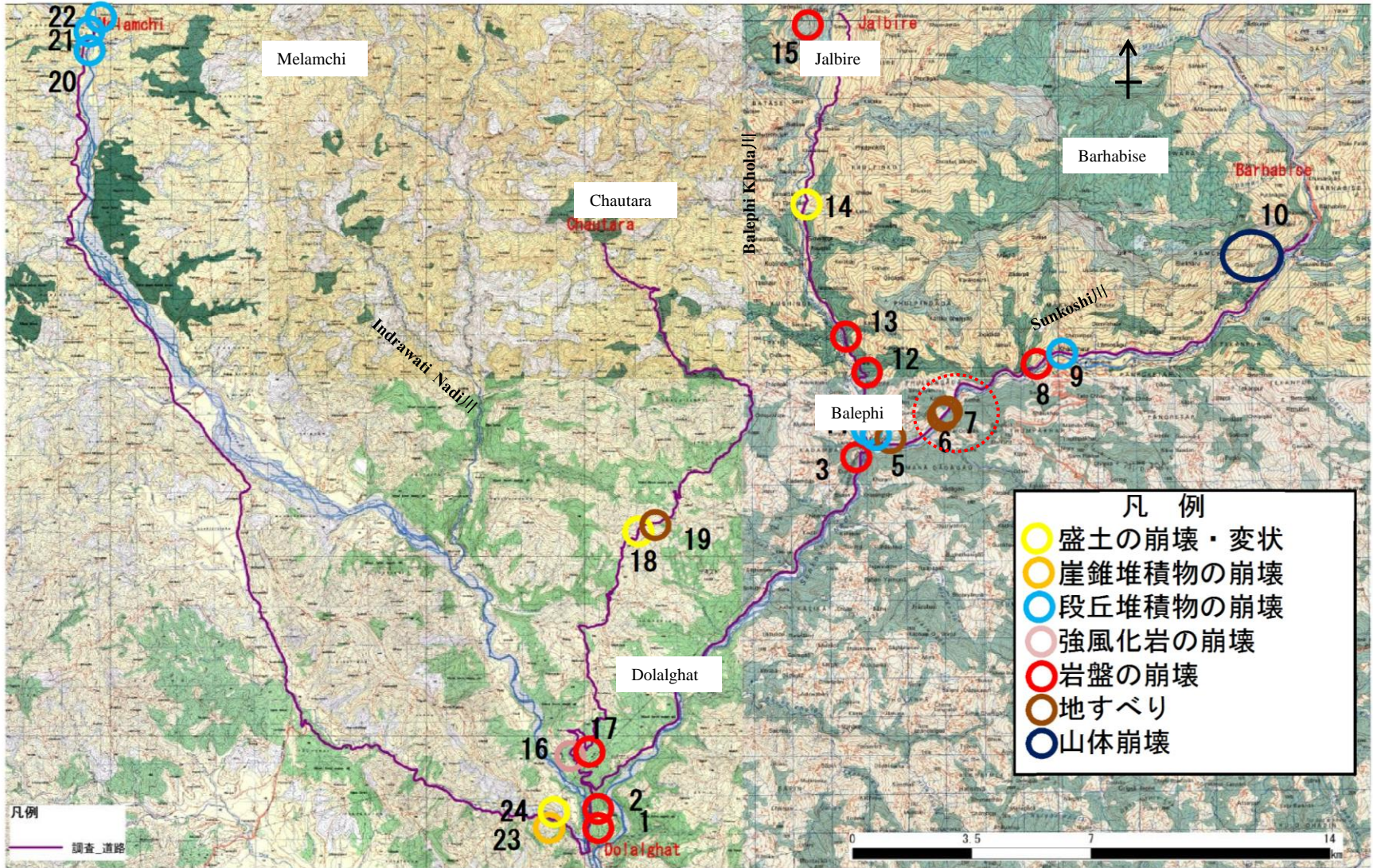
If the shallow soft layer would be thick, the ground motion would be amplified and the amplified strong ground motion would incident to buildings on the ground.

Due to the influence of the inclination of geological structure, ground motion is incident to a building at an angle. This effect is same in slope area.

If the thickness of soft layer is thin, ground motion does not become strong.

When the natural period of building and predominant period of ground motion is same, serious damage to the building occurs.

地震による斜面崩壊



斜面崩壊

崩壊パターンの分類

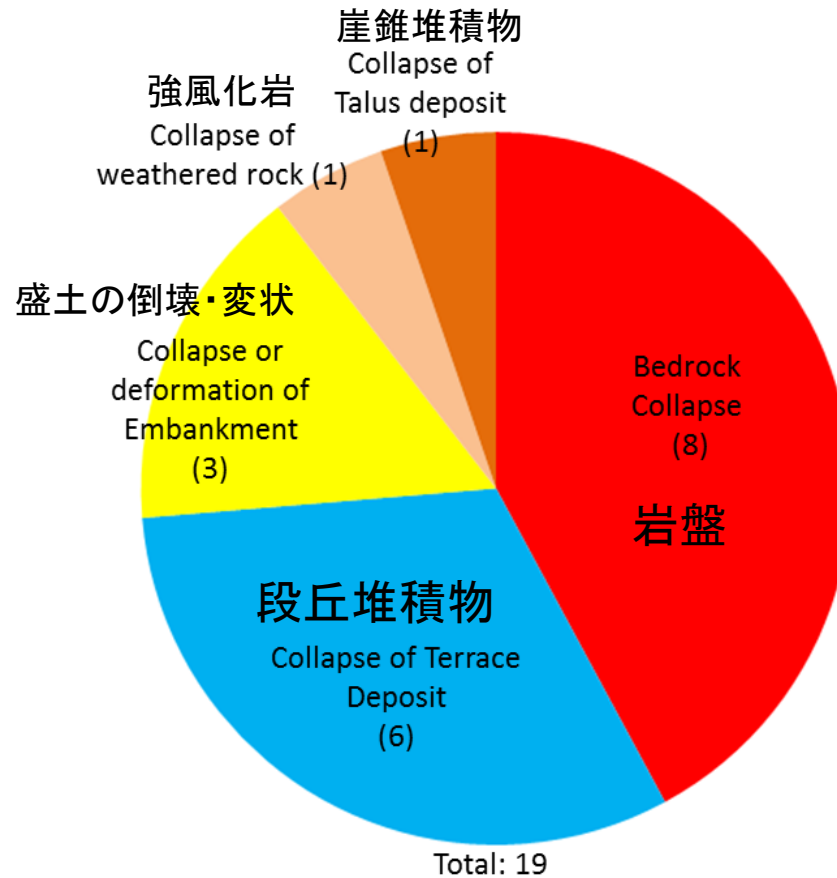
規模	移動速度	分類
小	大	盛土の崩壊・変状
		崖錐堆積物の崩壊
		段丘堆積物の崩壊
		強風化岩の崩壊
		岩盤の崩壊
大	小	地すべり
大	大	深層崩壊

Lesser Himalayan meta-sedimentary rock
レッサーヒマラヤ・メタ堆積岩類
(脆弱な地質)

斜面崩壊が多い

斜面崩壊

地震に確認した崩壊パターンの割合：Araniko道路沿い



小規模な斜面崩壊

バレフィ



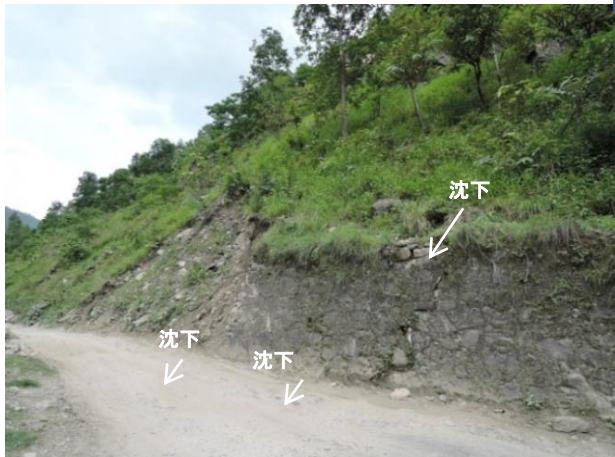
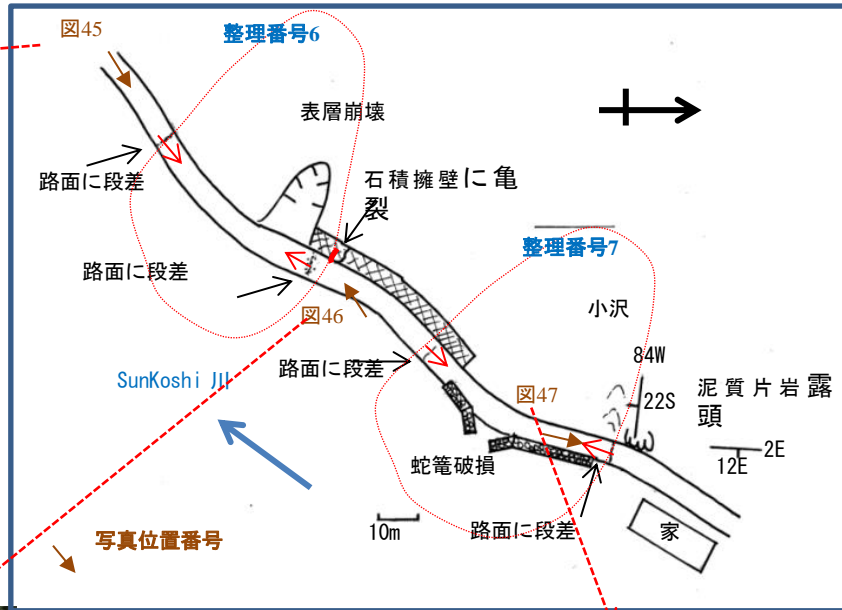
Araniko道路沿い



Jalbire道路沿い

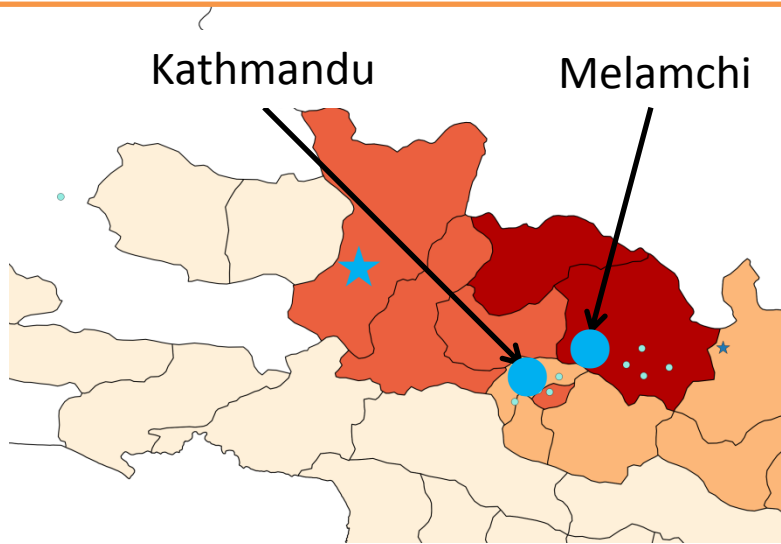


小規模な斜面崩壊



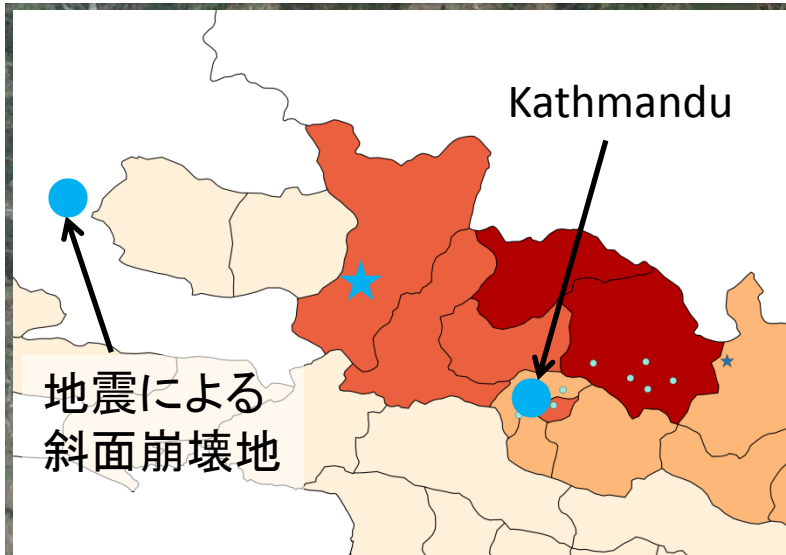
Araniko道路沿い

小規模な斜面崩壊：段丘堆積物の崩壊



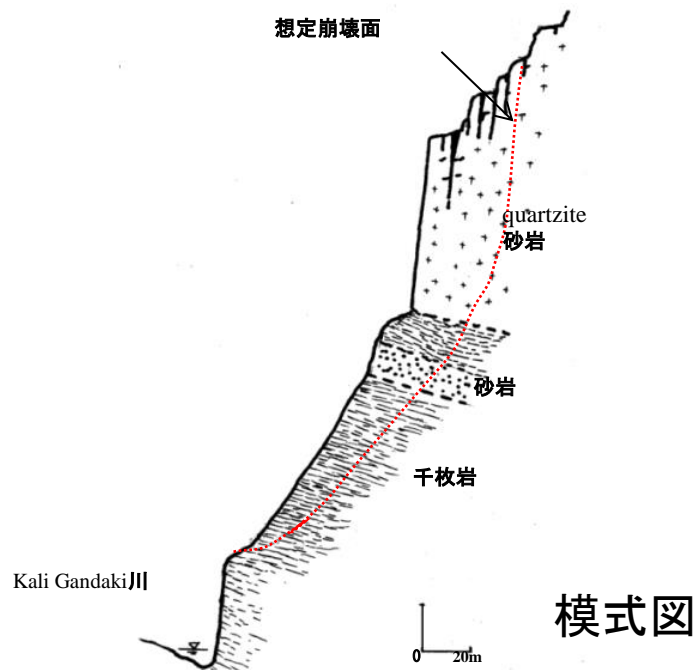
(メラムチ： 6家屋が倒壊し、2人が死亡)

大規模な斜面崩壊



斜面崩落 (Beni北方。大崩壊により河道を一時閉塞して天然ダムを形成。ベニの住民が一時、避難)

大規模な斜面崩壊



大規模な斜面崩壊



復興状況

- 地震後の緊急対応:
- 優先順: 仮設住宅、食料、衣料、薬物など
- 地震被害のデータ収集
- 国際ドナーズ会議: 2015年6月15日にカトマンズで開催した
- ネパール復興局の設置: 復興状況は非常に遅れている
- NGO/INGO, 一般市民の参加



復興状況



建設作業が急激に増えている(例)

復興状況

ガイジャトラ祭り: 2016年8月撮影
カトマンズ市民は元の生活を取り戻しつつある。

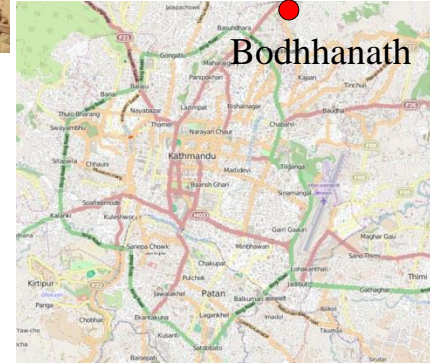


復興状況:ボツダナート

2015年7月



2015年11月



2016年8月

2016年11月



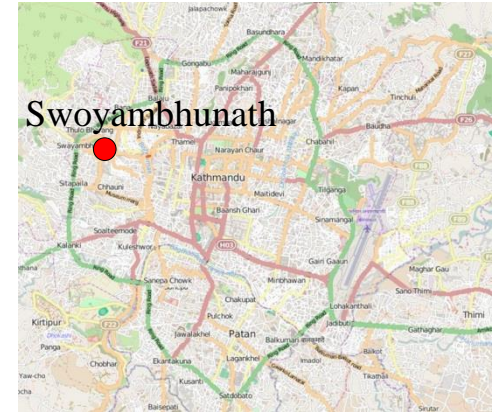
復興状況：スワヤンブナート



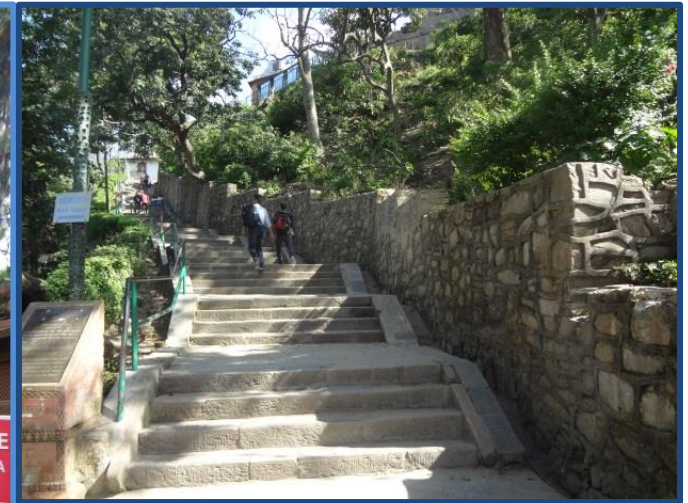
2015年7月



2015年11月



2015年7月



2015年11月

復興狀況

2017年4月撮影



2015年11月

2017/8/24

OYO Corporation

46

まとめ

• 地震被害

- 石積、レンガ(日干しレンガ)健造物→被害が多い
- レンガ・RC建造物の被害が比較的すくない。特に新しく建てられた建造物に被害が少ない
- 山の尾根でRC建造物の被害が多い→被害が多い
- カトマンズでは、歴史的な古い建造物の被害が多い
- 構造がよわい健物へ被害が多い→Structural Failure
- 脆弱な地質の山地では小規模な斜面崩壊が数多く発生した
- 被害パターンと地質の連携が必要である

• 復興

- カトマンズは地震発生3か月を経たところ、一部の地域では普通の生活を取り戻していた。6か月後は観光スポットなどの営業が開催していた
- 地震被害が多かった地域でも個人商店の再開は早い
- 地震発生2年が経過していたが、復興が遅れている

Thank you very much for your attention



Mt Annapurna(7219m) from Gandruk Village