

2015年ネパール・ゴルカ地震 被害調査報告



目 次

はじめに	1
1. 調査概要	2
2. ネパール国とカトマンズ盆地の概要	4
(1) ネパール国	
(2) カトマンズ盆地	
3. 地震の大きな特徴	12
4. 道路法面・斜面の被害	15
4.1 カトマンズ盆地内の被害	17
(1) バンスバリ地区	
(2) ファーピング地区	
4.2 カトマンズ盆地外の被害	39
(1) ファーピング～クルカニ道路	
(2) パサン～ラミュ・ハイウェイ（盆地西側）	
(3) アラニコ・ハイウェイ（盆地東側）	
4.3 カトマンズ盆地外における被害の特徴と応急復旧	50
5. 水道及び発電施設の被害	57
(1) 水道施設	
(2) 発電施設	
6. 道路の被害	63
7. 建物の被害	67
8. 現地のその他の状況	73
おわりに	76
謝辞	77
参考文献	78

はじめに

2015年4月25日日本時間の15:11に、ネパール連邦共和国で大地震が発生した。ネパールはインドプレートがユーラシアプレートの下に潜り込む位置にあり、北側のヒマラヤ山脈はインドプレートの上の堆積物の行き場が無く盛り上がったものであるから、M8クラスのプレート境界地震が直下で起きる大変厳しい環境にある。南海トラフ巨大地震の想定から類推すると、広範囲の地域が震度7に見舞われると思われた。

震源は首都カトマンズの北西約80km深さ約15kmで、マグニチュードはMw7.8であった。夕方から徐々に被害状況が報道され、壊滅的な町並みが映し出されたが、その組積造建物の倒壊とKB道路の陥没、および斜面崩壊の被害ばかりで、土木構造物の大きな被害は伝わって来なかった。後に、専門家からの情報で、市内の地震記録から最大加速度が200gal以下で周期5秒の成分が卓越していること、カトマンズ盆地の深部に柔らかく厚い層があることなどがわかった。

土木学会では、地盤工学会・日本地震工学会と連携して、緊急被害調査団（先遣隊）を4月30日～5月9日に派遣した。

当社は、災害リスク研究センターを2015年6月1日に設立して地震防災や土砂防災等を研究開発テーマとし被害調査も行っていく計画であったこと、国際事業本部がカトマンズの交通マスタープランや関連調査、水道施設改善計画、地震災害リスク評価等を行っていたこと、2014年11月にバンコクに駐在員事務所を開設し東南アジア事業の強化を始めたところであることなどから、上記の先遣隊の調査報告を確認した上で、学会と連携して、当社の調査隊を派遣することにした。

当社の調査隊は、日本地震工学会・土木学会・地盤工学会が共同派遣した調査団（本隊）のうち、土木学会調査団（団長：横浜国立大学 小長井教授）を構成する下記のグループの1つとして参加した。現地では土木学会調査団として、写真-1の腕章を付けて行動した。

- ・小長井グループ（横浜国立大学+琉球大学） 5/27～6/03
- ・宮島グループ（金沢大学+島根大学） 6/02～6/10
- ・田中グループ（エイト日本技術開発） 5/24～5/31

一企業のみで調査団の1つのグループが構成されるのは異例であった。当社技術者の土木学会地震工学委員会への長年の貢献と、現在も当社の7名が同委員会（委員総数103名）の委員になっていることなどに配慮されたものと思われる。

当社の調査結果は、7月6日に土木学会で開催された「土木学会・地盤工学会・日本地震工学会合同 2015年4月ネパール地震災害調査団報告会」にて、当社の調査隊メンバーから発表を行った。また、土木学会誌9月号（pp.32～35）に「2015年4月ネパール地震被害調査団（本隊）報告」として、一部を執筆した。



写真-1 土木学会調査団の腕章

本報告書は、道路法面・斜面、水道・発電施設、道路、建物の被害に着目し、我々技術者の目を見た被害の実態と、我々の耐震技術を向上させる上で役立つと思われる知見（私見）を整理したものである。本報告書により、発展途上国の災害と防災に対する認識が少しでも深まれば、この上ない喜びである。

1. 調査概要

本調査の概要を以下に示す。調査行程と調査地点の具体は次ページの表-1.1および図-1.1の通りである。

■調査期間

- ・平成27年5月24日（日）～5月31日（日）

■調査目的

- ・斜面崩壊・落石等の被害と普及状況の把握
- ・橋梁・水道・電力等のインフラ施設の被害と復旧状況の把握
- ・液状化の発生状況の把握
- ・建物の被害と復旧状況の把握

■調査隊

- | | | |
|--|-------|----------|
| ・災害リスク研究センター | センター長 | 田中 努（隊長） |
| ・災害リスク研究センター 土砂防災グループ
（防災保全事業部 関西支社 防災保全部長） | リーダー | 藤原康正 |
| ・災害リスク研究センター 地震防災グループ | 研究員 | 井上雅志 |
| ・防災保全事業部 関西支社 耐震保全グループ | GM | 濱野雅裕 |
| ・防災保全事業部 中国支社 地盤技術グループ | PL | 石田泰則 |
| ・国際事業本部 | 主任 | 菅恵里奈 |

■現地での連携・意見交換等

現地では、次の方々と同行または面談をして、被災状況・今後の対応などについて、情報や意見の交換を行った。

- ・トリブバン大学のRanjan Kumar Dahal准教授
- ・Nepal Electricity Authority（NEA）の水橋雄太郎氏（JICA専門家）
- ・JICAネパール復興支援調査団の運上茂樹氏（土木研究所構造物メンテナンス研究センター耐震研究監）
- ・土木学会調査団の小長井一男団長（横浜国立大学教授）・松原仁助教（琉球大学）
- ・日本地すべり学会緊急調査団の檜垣大助教授（弘前大学）・八木浩司教授（山形大学）・若井明彦教授（群馬大学）
- ・AIT CONSULTING CEOのNaveed Anwar博士（写真-1.1）



写真-1.1 調査隊メンバーとAITCのDr.Naveed氏（中央）
—ミーティング終了後ホテル前で—

表-1.1 調査行程

日程および調査・訪問先	
5/24(日)	羽田に集合、深夜便にて出国
5/25(月)	バンコク乗継ぎ、カトマンズに午後着／市内被害視察／トリブバン大学准教授 Ranjan Kumar Dahal 氏とミーティング
5/26(火)	NEA 水橋氏 (JICA 専門家) 同行で、ファーピング地区の地すべり被害調査(谷埋め盛土の道路と水道幹線)／Sisneri 南東部 Bagmati 川沿いの地すべり被害調査／クレカニダムの被害調査
5/27(水)	【地すべりチーム】 トリスリ川上流で3か所の地すべりを調査／トリスリ～ベトラワディ間の河岸段丘上の村で多くの建物被害を確認／中国国境に向かってダウンチェまで行って戻る。
	【インフラチーム】 KB 道路の被害、バンスバリ浄水場の地すべり被害、ホライズン(高層建物)の被害、バラジュの建物被害を調査
5/28(木)	NEA 水橋氏 (JICA 専門家) 同行で、シンドゥパルチョウクのバラビセ調査／激甚被害地の建物被害状況の他、途中のスンコシダム、地すべり被害を調査
5/29(金)	【地すべりチーム】 バンスバリ浄水場敷地内の斜面崩壊調査／ファーピング地区の地すべり調査 2
	【インフラチーム】 バクタプールの建物被害調査／KB 道路被害の調査(2回目)／液状化箇所(Bagdol～Basnetgaon)の調査
	【共通】 国土交通省復興支援調査団の運上氏とミーティング
5/30(土)	AIT コンサルティングの Dr.Naveed 氏と情報交換／カトマンズ発、バンコク乗継ぎ
5/31(日)	早朝羽田着

注：【地すべりチーム】;藤原・石田・菅、【インフラチーム】;田中・濱野・井上

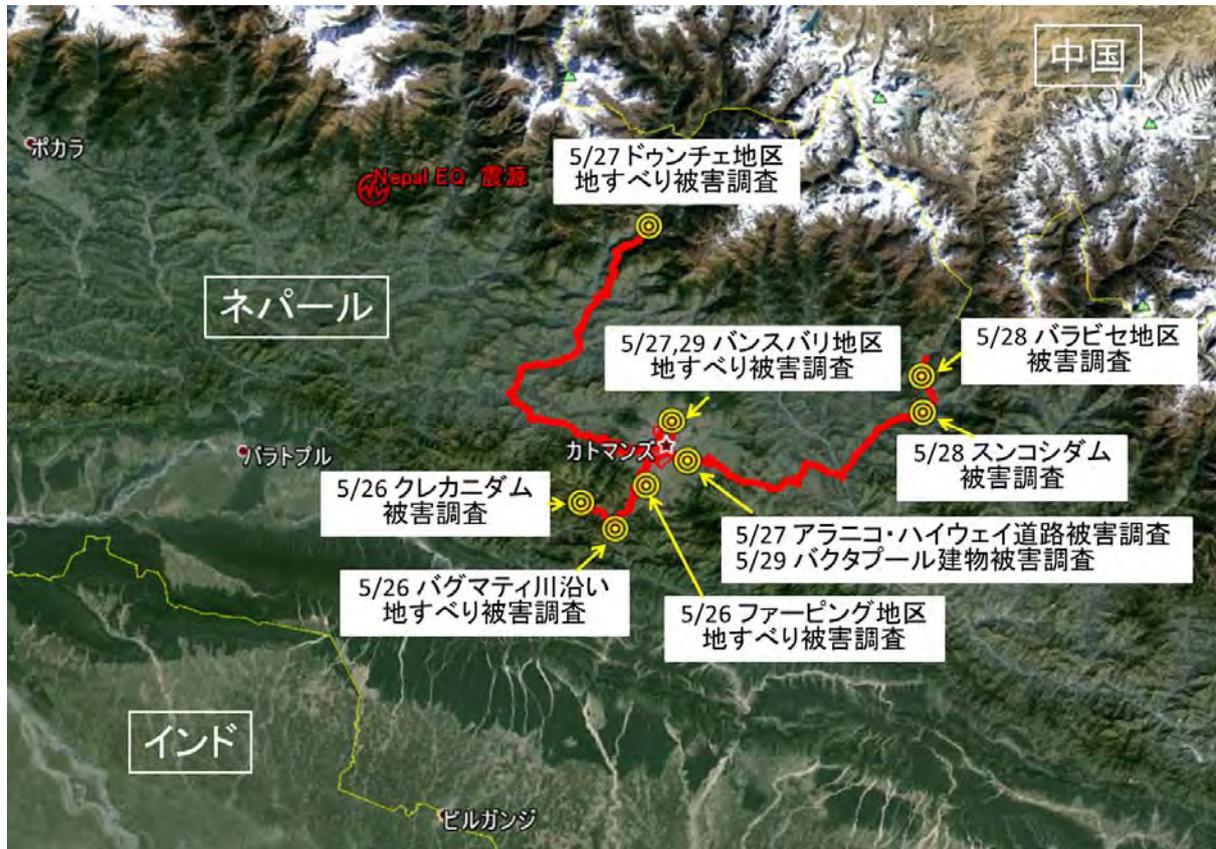


図-1.1 調査地点

2. ネパール国とカトマンズ盆地の概要

(1) ネパール国

ネパール国の概要は以下のとおりである。

- 地理：インドと中国の間に位置し、ヒマラヤ山脈からテライ平野を含む起伏のある地形
- 面積は約14.7万km²（日本の中部地方から東北地方ほどの面積）
- 人口は約2,650万人（2011年、人口センサス）
- 宗教はヒンドゥー教（約80%）、仏教（約10%）、イスラム教（約4%）
- ネパール語を母語とする民族、ネワール、マガール、タマン、シェルパ等の多民族社会
- 1人当たりGDPは約US\$703（2013/2014年度、ネパール中央統計局）、アジア最貧国の一つ。農業がGDPの33.9%（2013年、ADB Key Indicators 2014）を占め、製造業15.2%（2013年、同）、サービス業51.0%（2013年、同）である。他の南アジア諸国と比較して、農業割合が高く、製造業割合が低く、工業化が遅れている。



図-2.1 ネパール位置図（出典：認定 NPO 法人ヒマラヤ保全協会）

Regional Member	Agriculture				Industry				Services			
	1990	2000	2010	2013	1990	2000	2010	2013	1990	2000	2010	2013
South Asia												
Bangladesh	30.2	25.5	17.8	16.3	21.5	25.3	26.1	27.6	48.3	49.2	56.0	56.1
Bhutan	34.9	27.4	17.5	...	24.6	36.0	44.6	...	40.5	36.6	37.9	...
India	29.3	23.4	18.2	18.4	26.9	26.2	27.2	24.7	43.8	50.5	54.6	57.0
Maldives	...	...	4.1	3.9	...	...	14.9	14.5	...	...	81.0	81.6
Nepal	48.4	37.8	35.4	33.9	12.3	17.3	15.1	15.2	39.3	44.9	49.5	51.0
Sri Lanka	24.2	17.6	12.8	10.8	28.9	29.9	29.4	32.5	46.9	52.5	57.8	56.8

(% of GDP^a)

図-2.2 南アジア発展途上国の産業構造（出典：ADB Key Indicators 2014）

●地形の特徴

ネパールの国土は東西に細長く、短い南北の距離の中で急激に地形が変わる3層構造となっている。北部の中国国境地帯には世界最高峰8,848mのエヴェレストを有するヒマラヤ山脈をはじめとする標高4,000m以上の高地帯、一方、南部には、インド国土に連なる、農業に適した標高300m以下のタライ平原地帯があり、そして、北部と南部の間には標高300m～4,000mの丘陵地帯が広がっている。

ヒマラヤ地域は国土面積の15%を占め、世界14座中8座もの8,000m峰がここに位置している。ヒマラヤ高地は極寒の地であり、土地もやせており耕作はほとんど行われていないが、世界中からトレッカーや登山者が訪れる地である。

丘陵地帯は国土の2/3を占めており、首都カトマンズもこのエリアに属し、最も多くの人々が住んでいる。気候は温暖で、土地も肥沃である。

南部に広がるタライ平原はネパールの西国境から東国境まで、国の南部を細長くカバーし、国土面積の17%を占めている。ネパールの最低標高点（70m）もこのエリアにあり、亜熱帯気候に恵まれた非常に肥沃な土地で、食用穀物の大部分をこの地域で生産している。また、このエリアには世界自然遺産に登録されているチトワン国立公園をはじめとする数多くの保護区があり、バラエティーに富んだ野生生物が生息している。

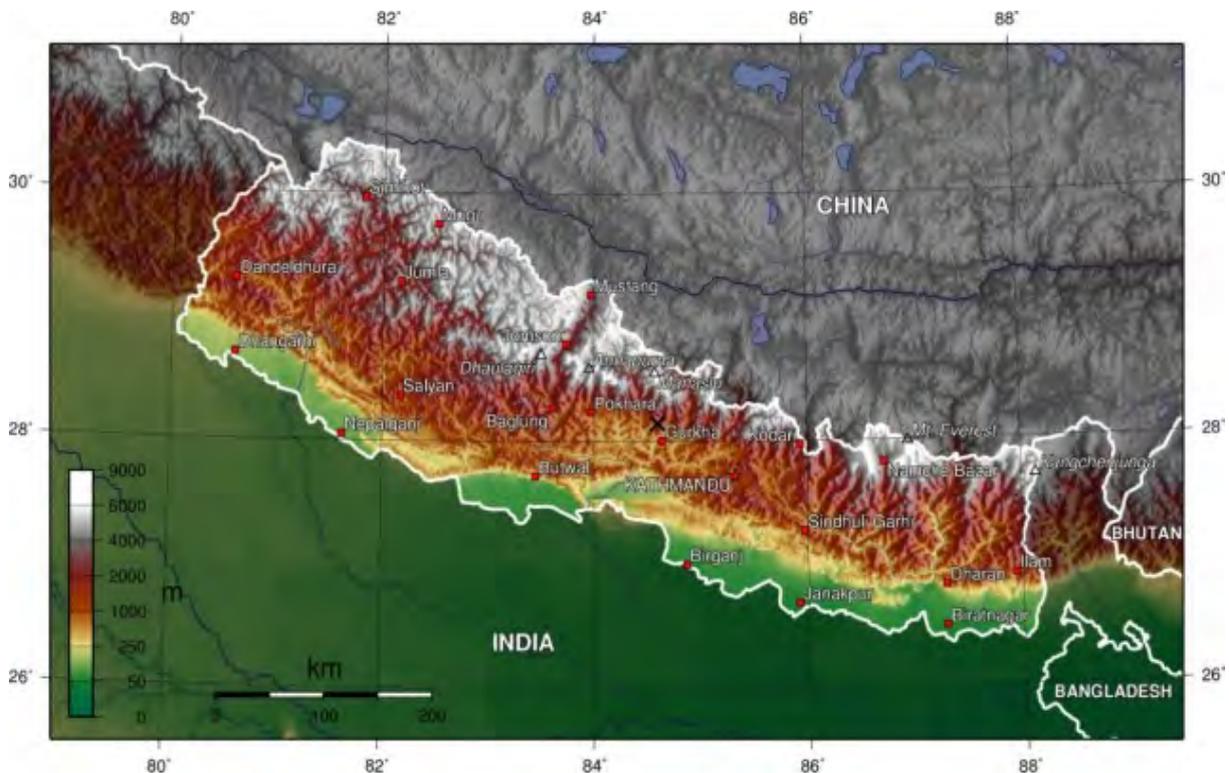


図-2.3 ネパールの地形 (出典：IWJ Independent Web Journal)

●気候

ネパールの気候は亜熱帯性気候で、大別すれば6月～9月の雨期と10月～5月の乾期に分けられる。ただし、国土は地理学的変化に富んでいるため、気温や降水量はエリアによって異なる。小さな国土ながら、5つの気候帯を持ち、標高1,200m以下の熱帯・亜熱帯ゾーン、標高1,200mから2,400mの冷温帯、標高2,400mから3,600mの寒冷帯、標高3,600mから4,400mの亜寒帯、標高4,400m以上の北極帯に分けられる。一般的に、南から北に向かって高度が上がるにつれて気温は下がり、東から西に向かってモンスーン時の降水量は少なくなる。

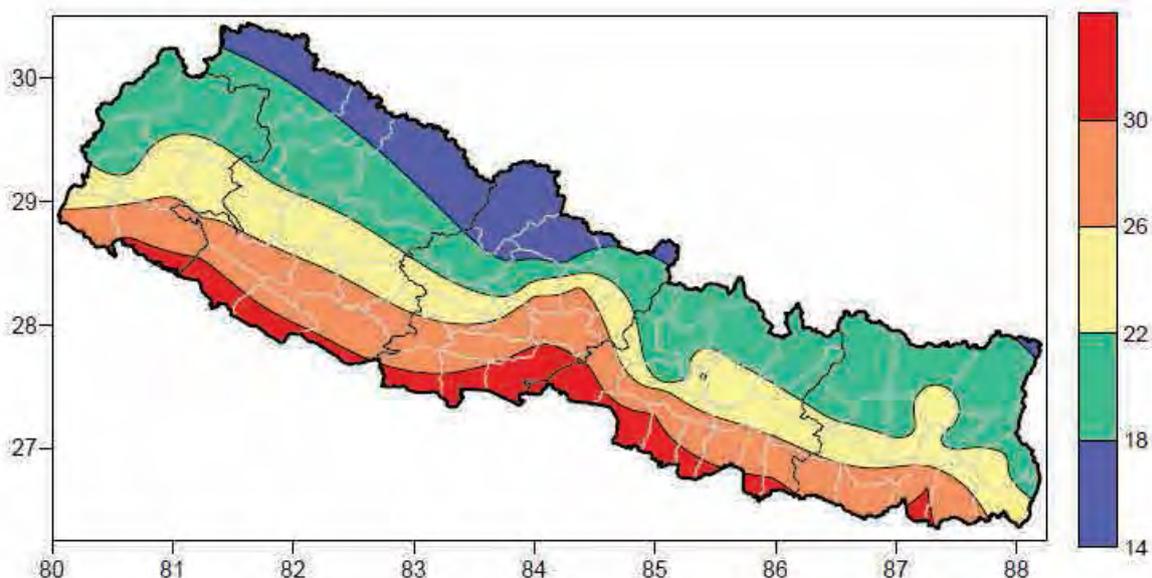


図-2.4 年平均気温 (出典 : Nepal Health Research Council, 2009)

●観光

ネパールは標高8,000m級の山を8峰有する自然豊かな国で、多くの登山客が来訪している。また、仏陀の生誕地ルンビニやカトマンズ盆地の7つの世界遺産など、多くの国際的観光資源を有し、地震前には海外から年間80万人前後の観光客が訪れていた。

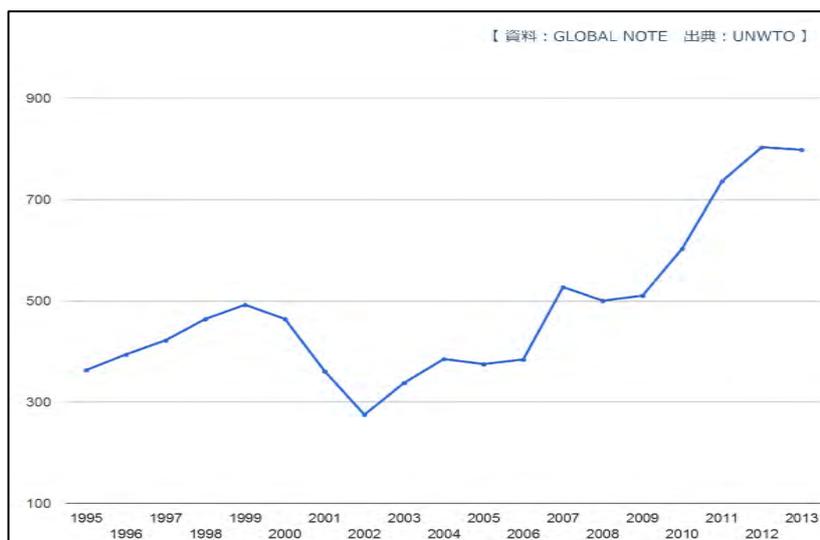


図-2.5 ネパールへの入国者数 (出典 : UNWTO)

●土地利用・市街地

カトマンズ盆地は、人口増加に伴い、市街地が急速に無秩序に拡大し、いわゆる郊外のスプロール化が問題となっている。1991年には半径約4～5kmのリングロード（環状道路）の内側にあった市街地が2000年にはリングロードの外側、すなわち5km圏をはみ出て拡大し、特に放射状に延びる道路沿いに市街化が進展した。さらには、2011年では市街地の拡大は10km圏外に及び道路整備水準の低い郊外がスプロール化している様子がみてとれる。

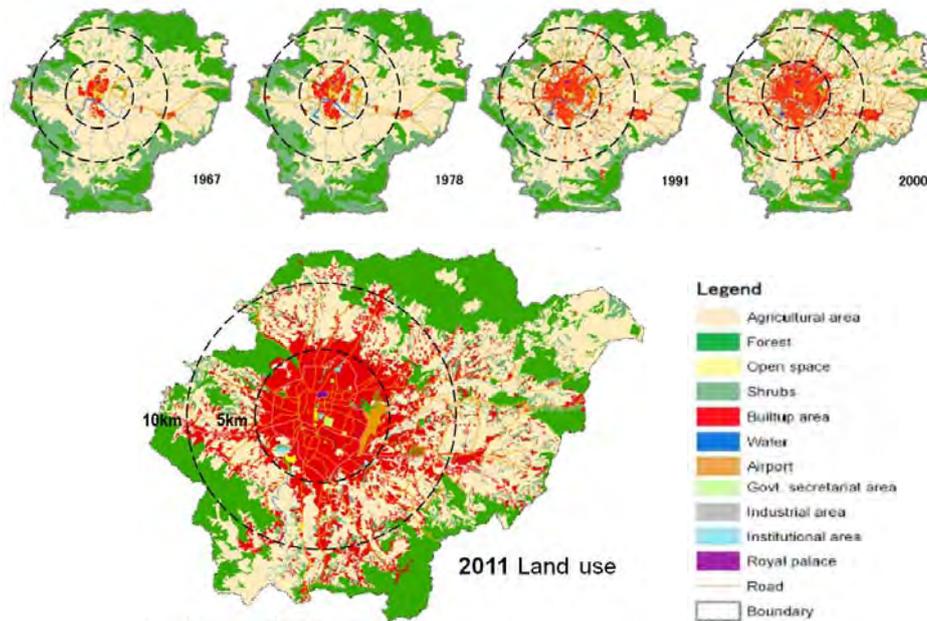


図-2.8 カトマンズ盆地内の市街化区域拡大

(出典:JICA(2012)カトマンズ盆地交通改善のための基礎情報収集・確認調査ファイナルレポート 要約編和文)



写真-2.1 カトマンズ盆地内の市街地

●交通

盆地内では鉄軌道系交通機関は運行しておらず、バイク、ミニバス、自動車が主役の交通状況である。道路交通需要が急速に増加している中で、道路整備が追いついておらず、朝夕のピーク時ではリングロード内側のエリアでは交差点部の渋滞が深刻で、走行速度10km/h未満の区間も多く存在する。

●観光

盆地内には7つの世界遺産指定された寺院があり、海外からの観光客が訪問する。

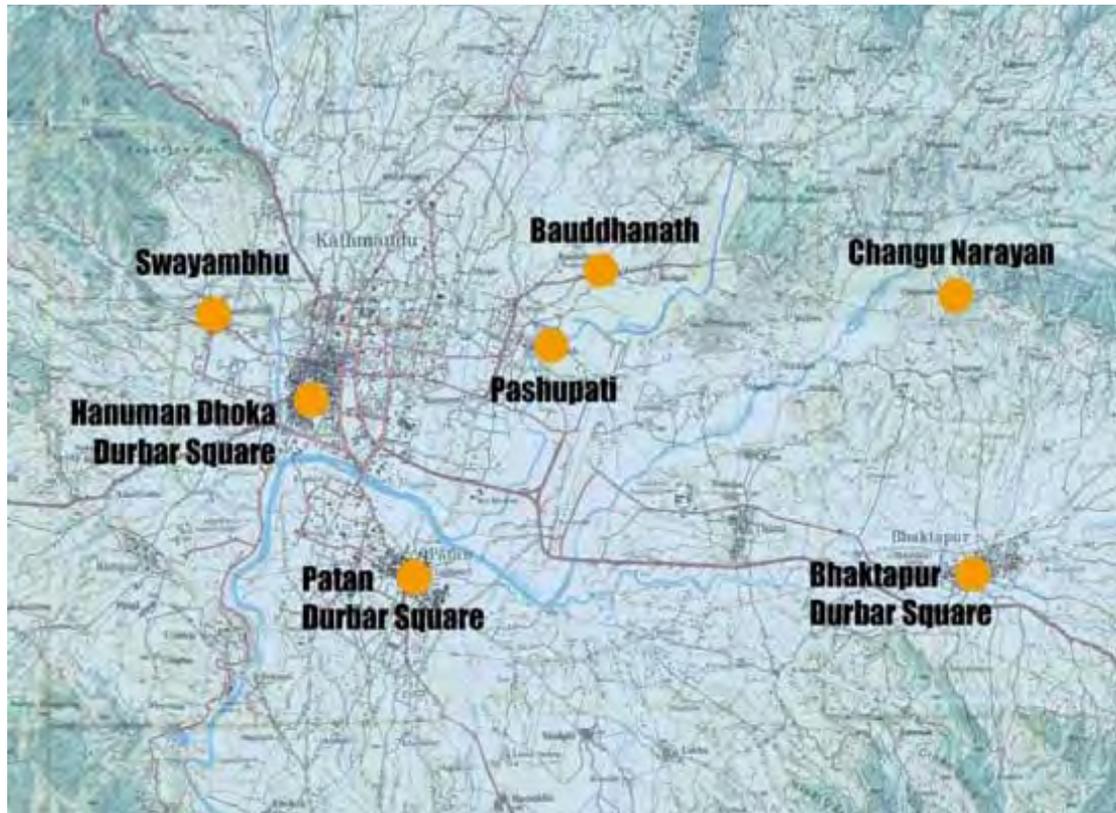
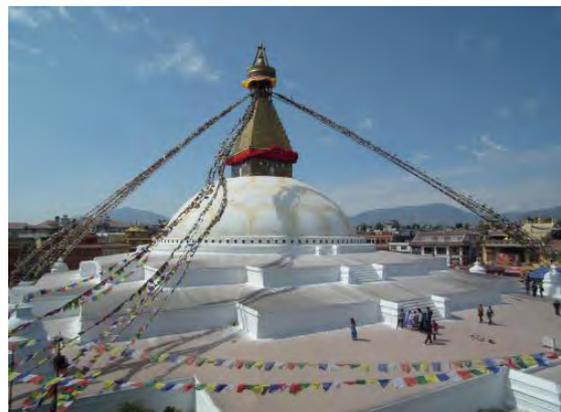


図-2.9 カトマンズ盆地内の世界遺産の所在
(出典：WHC ICOMOS Kathmandu RM Mission Report [modified])



Swayambhu (スワヤンブナート)



Bouddhanath(ボダナート)

写真-2.2 カトマンズ盆地内の世界遺産(1)



Kathmandu Durbur Square
(カトマンズ王宮広場)



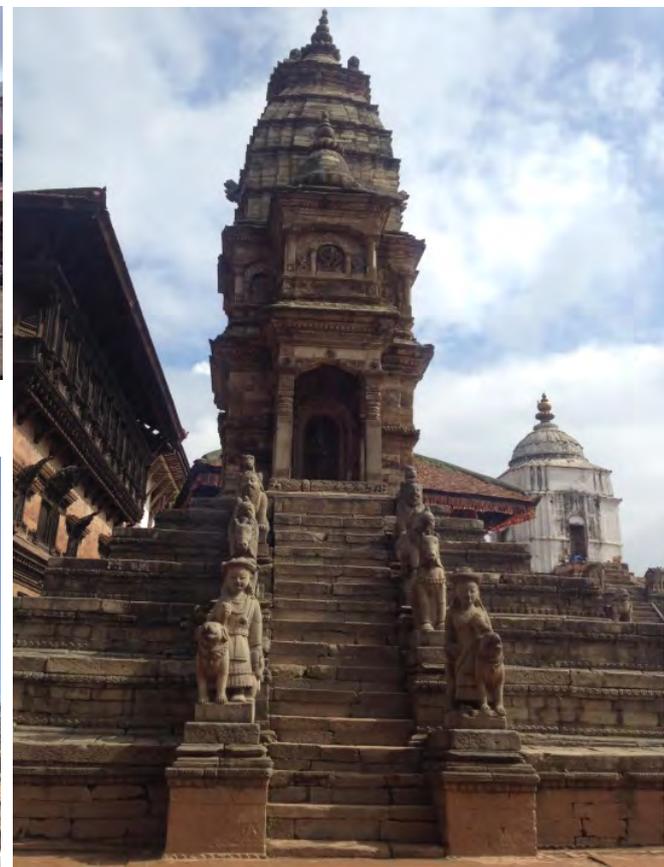
Pashupati(パシュパティナート)



Patan Durbar Square(パタン王宮広場)



Changu Narayan
(チャングナラヤン)



Bhakhapur Durbur Square
(バクタプル王宮広場)

写真-2.3 カトマンズ盆地内の世界遺産(2)

●大気汚染 (PM10)

カトマンズにおける大気汚染は深刻である。マスクをして歩く人が多い。地方からの人口流入、バイクや自動車交通量の増加、未舗装道路等により引き起こされる排気ガスや煙、砂埃等の汚染物質によって大気は汚染され、交通量の多い道路沿いでは年間を通してネパールの環境大気質基準を超過したPM10が観測されている。2003年から2007年までは継続的なモニタリングが行われているが、その間に改善は見られない。

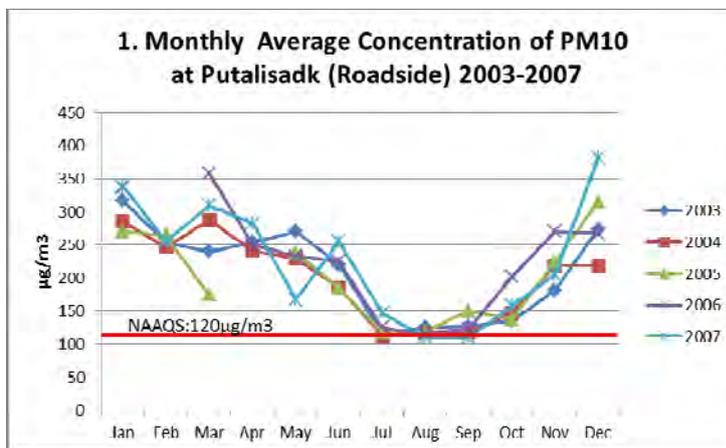


図-2.6 市内道路沿いのPM10観測値



写真-2.4 中心地区の車両の混雑

3. 地震の大きな特徴

地震および地震動の詳細は他機関の論文に譲り、ここでは、大きな特徴だけに触れることとする。

ネパールの北部にあるヒマラヤ山脈は、インドプレートとユーラシアプレートが衝突し、インドプレートが潜り込む際に、間にあったテチス海堆積物が圧縮されて盛り上がったものと言われ、2015年4月25日のネパール地震（本震）は、**図-3.1**のようにそのプレート境界⁷⁾で発生したマグニチュード7.8~7.9の大地震であった⁸⁾。5月12日の最大余震を合わせて、首都カトマンズとの位置関係を**図-3.2**に示す。

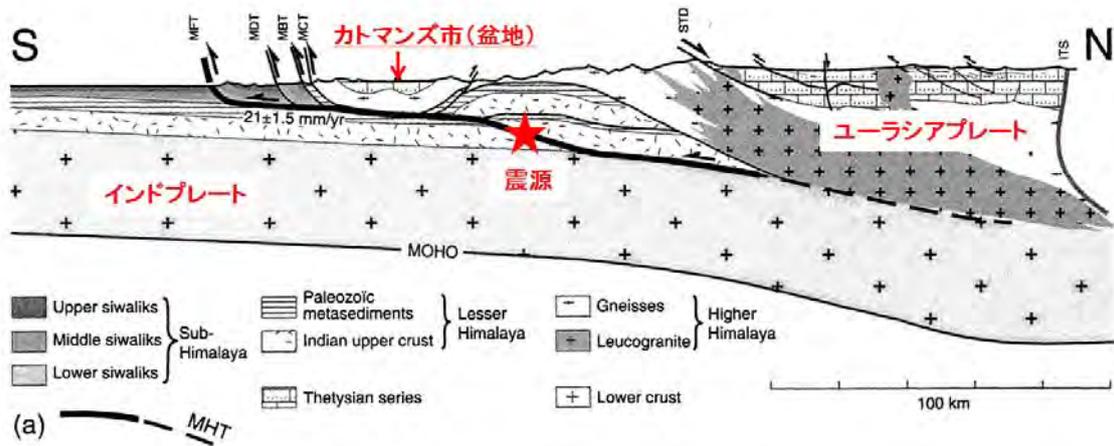


図-3.1 本震の震源断層の位置⁷⁾



図-3.2 本震および最大余震の震央位置

カトマンズのUSGS地震観測点では、**図-3.3**の加速度記録⁹⁾が得られ、最大加速度は200galに達しておらず、水平動に非常に長い周期の卓越が見られる。**図-3.4**の応答加速度スペクトル⁹⁾によると、NS成分では5秒に、EW成分で0.5秒と5秒に大きなピークが見られる。

カトマンズ市には、5秒のような長い固有周期を持つ超高層のビルやタワーが無かったことは幸いである。多くの建造物の固有周期が存在する0.5秒付近では、NS成分は200gal強で道路橋示方書のレベル1程度、EW成分は500gal程度とレベル1と2の間に位置づく。

今回の調査拠点にしたカトマンズ市は、震源断層の真上にあった割りには被害が少なかったが、このようにレベル1地震動を少し上回る程度であつたために、水平耐力の小さい石積・れんが積の建物に被害が集中したようである。

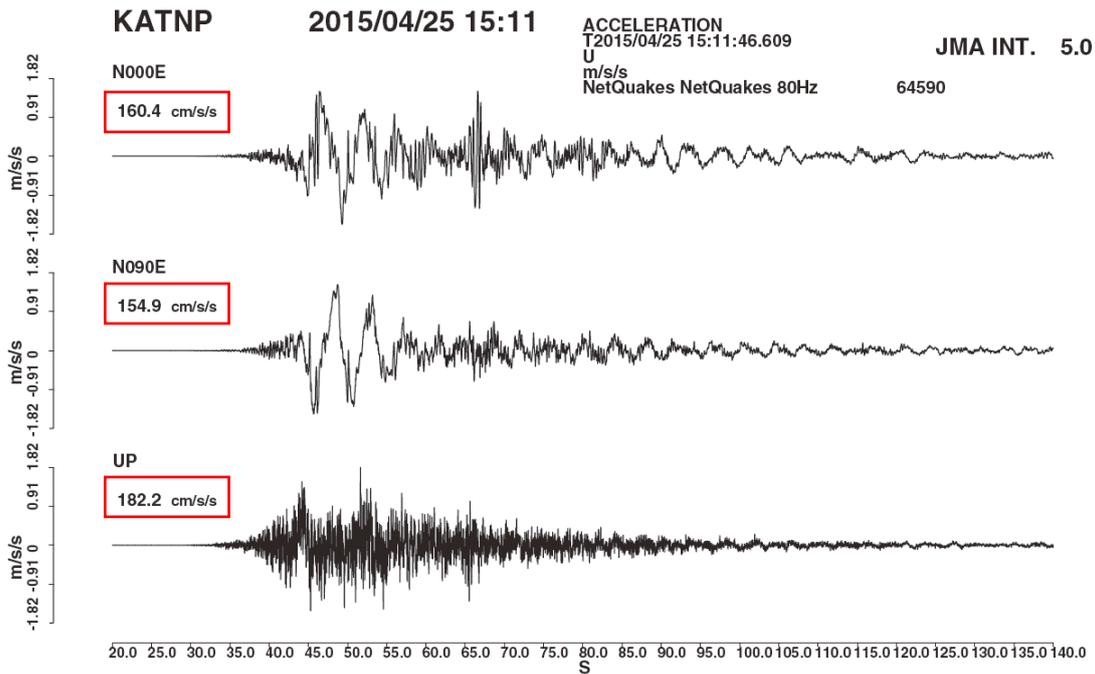


図-3.3 記録波形 (USGSによるカトマンズ観測点) ⁹⁾

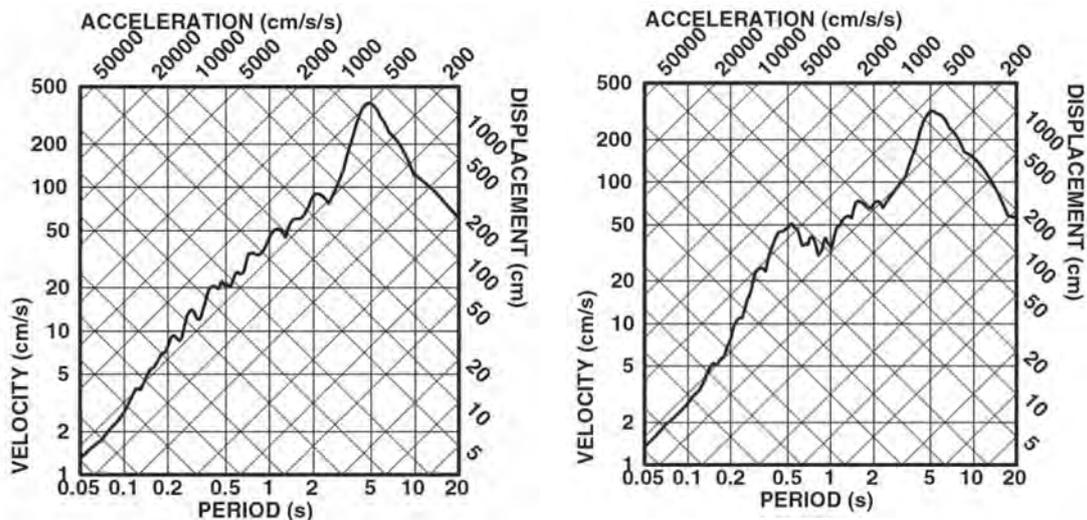


図-3.4 3重応答スペクトル (左NS、右EW、減衰5%) ⁹⁾

なお、ネパールは、プレート境界断層の上にあるため、これまでも大きな地震被害がたびたび発生している。近年は、急激な人口増加に伴い、建物密集化や市街地のスプロールの拡大が生じており、災害リスクは増大し、次のように問題指摘がされていた。

●地震発生履歴と対応

1934年：ビハール地震 (M8.1) (震源：ネパール東部)

死者数：9,040人 ※大地震の周期は70年と言われている

1982年：国家災害救済法制定。災害後の対応を重視。

1999年：地方自治体法制定。地方自治体が防災の責務を負う。

2002年：JICA「カトマンズ盆地地震防災対策計画調査」においてリスク評価実施

2011年：シッキム地震 (M6.9) (震源：インド北東部)

死者数：7名、負傷者数136名 (ともにカトマンズ市内)

●災害リスクの高さ

- ・急激な人口増加 (年4%) →建物密集化・市街地外延化
- ・法規制が不十分 (建物・インフラ耐震化、土地利用規制)
- ・ノンエンジニアド建築 (RCフレーム無補強)

国際協力機構 (JICA) は2002年に「カトマンズ盆地地震防災対策計画調査」を実施し、リスク評価を行っている。この調査においては、表-2.1の4つの想定地震に対して、カトマンズ盆地内の人的被害想定を行っている。これに対し、この地震 (本震と余震) による人的被害は下表最下行のとおりであり、想定地震による被害よりも大分少なかったことがわかる。

表-2.1 カトマンズ盆地内の人的被害想定と今回の地震被害の比較

対象地震		死者数	負傷者数 (重傷+軽傷)
想定 地震	中部ネパール地震 (M8.0)	17,695	146,874
	北バグマティ地震 (M6.0)	2,616	21,913
	カトマンズ盆地内地震 (M5.7)	14,333	119,066
	ビハール地震 (M8.4)	19,523	162,041
ネパール・ゴルカ地震 (M7.8)		8,891	22,302

注1) 想定値の出典は、JICA (2002) カトマンズ盆地地震防災対策計画調査

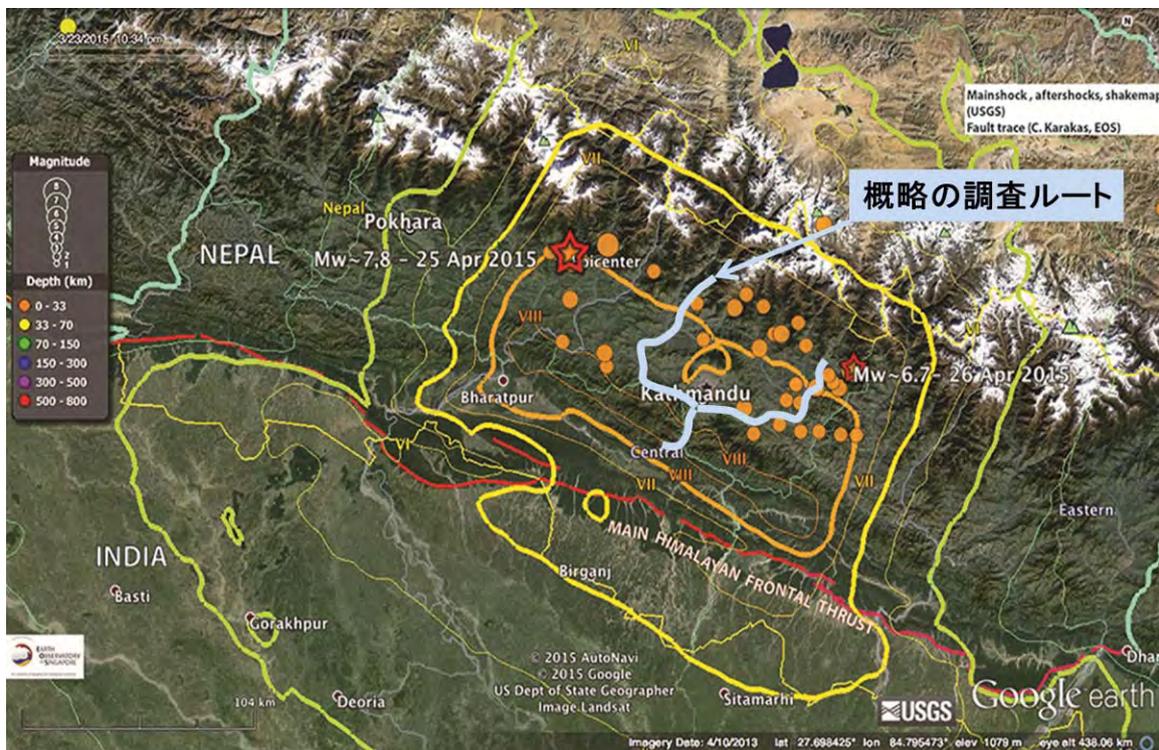
注2) この地震による被害数値は、Nepal Disaster Risk Reductionより、ネパール全土を適用

4. 道路法面・斜面の被害

道路法面・斜面の調査ルートを示す図-4.1～4.4に示す。

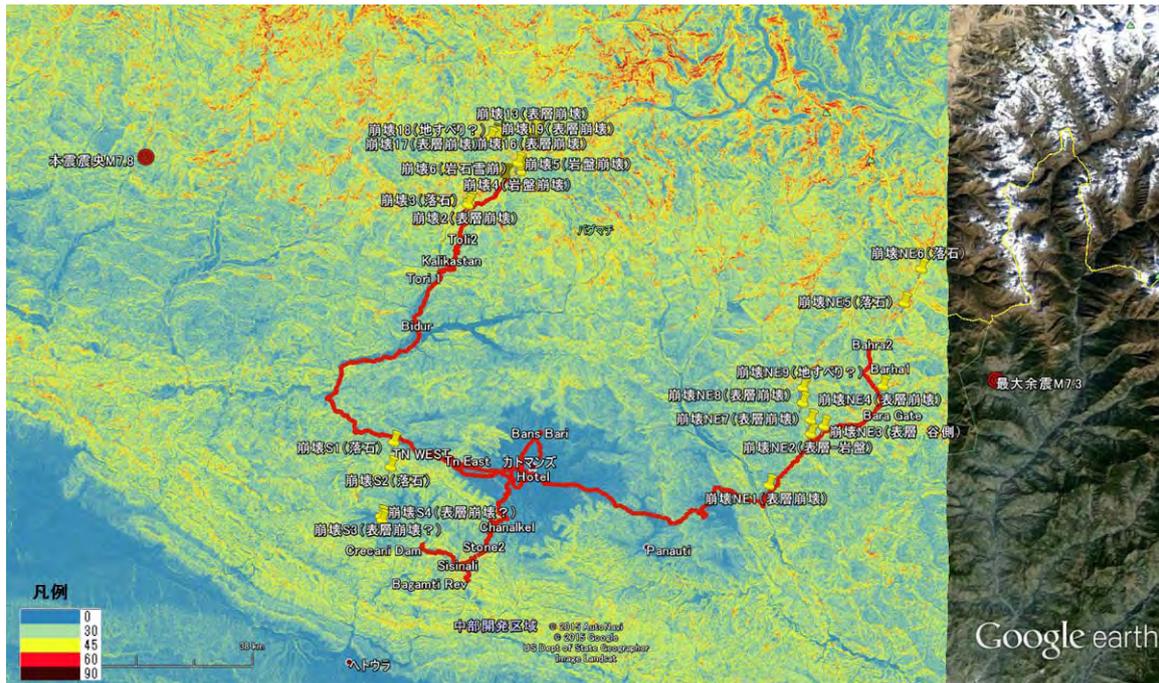


図-4.1 調査ルートと震央の位置関係



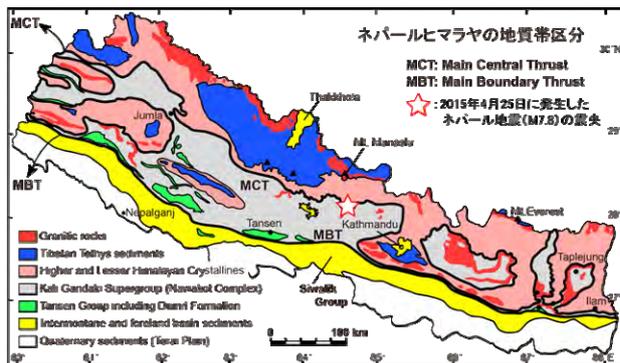
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20002926#impact_shakemap

図-4.2 調査ルートと地震断層の深さの位置関係



ASTER GDEMデータより作成

図-4.3 調査ルート周辺の傾斜区分



主に片岩類が分布
一部、花崗岩類が貫入
河川沿いには段丘が広がる

片岩類
(変成強い)



閃緑岩

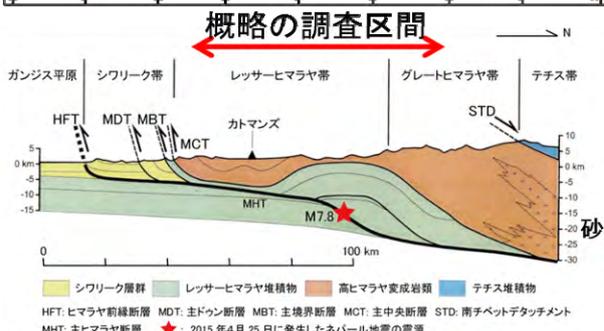


図2.カトマンズを南北に横断する地質断面図に投影した、M 7.8の地震の震源 (Pandey et al., 1999を改変)

<http://www.geosociety.jp/hazard/content0087.html>

日本地質学会HP 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 沼井治孝教授

図-4.4 調査ルート周辺の地質状況

4.1 カトマンズ盆地内の被害

カトマンズ盆地内では、2箇所の調査を実施した。

1箇所は、バンスバリ地区における段丘崖の崩壊であり、他の1箇所は盆地縁部ファーピング地区の河川沿い河岸段丘部に発生した地すべりである。

この両地区は、崩壊と地すべりという発生形態の違いのほか、地下水の関与の有無や継続的変動の有無など、地震による土砂災害を考える上では特徴的な相違点が見られた。

すなわち、バンスバリ地区の崩壊は、段丘崖の凸部が地震により急激に崩落したものであり、地下水の影響を全く受けず地震後の崩壊範囲の拡大は見られなかった。一方、ファーピング地区の地すべりは、地下水も豊富で地震後数日をかけて徐々に変状が拡大していた。

また、共通点も見られ、両箇所とも過去から隣接地ないしは当該地に変状が発生していたことが空中写真判読や現地調査の結果から判明した。

以下両地区の地形・地質を概観するとともに、空中写真判読結果、現地調査結果を示し、各々の崩壊発生機構を推定した上で、現地で対応可能な対策について検討を加えた。

(1) バンスバリ地区

a) 地形および地質状況

盆地内部には主に砂質土より構成される段丘堆積物により形成された丘陵地が随所にみられる。

この丘陵地が分布するバンスバリ地区において、表層崩壊が発生している。

b) 被災状況

バンスバリ地区の表層崩壊は、幅 15m、斜面高さ 25m、層厚 2m、崩壊土量 400m³程度の崩壊である。崩壊土砂は主に砂質土である。崩壊面には層厚 50 cm程度の粘性土が 3 層程度確認できたが、この粘性土付近では若干の湿潤傾向は認められるものの顕著な湧水は認められない。



写真-4.1 被災箇所全景

	<p>2010/01/23</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の崩壊箇所の隣接部で崩壊が発生している。
	<p>2012/02/06</p> <ul style="list-style-type: none"> ・崩壊箇所を含む周辺で植生回復。
	<p>2015/04/27</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震直後の赤外線画像。 ・崩壊地が明瞭に撮影されている。

写真-4.2 地形の変遷



- 崩壊箇所を下流側よりみる。
- 崩壊土砂により崩壊部を流れる小川が閉塞している。



- 崩壊箇所を上流側よりみる。
- 崩壊土砂により崩壊部を流れる小川が閉塞し、小規模な天然ダムを形成している。
- 水は畑内に越流している。



- 崩壊部を上から。
- 崩壊部は斜面傾斜 60-70°程度である。

写真-4.3 被災状況 (1)



- ・崩壊頭部背後の水道施設。
- ・直近の排水管マンホールまでの離隔は3m。

- ・崩壊部に隣接する壁の変状。
- ・今回の崩壊部より写真手前10m付近まで下記写真のような古いクラックが見られ不安定化傾向が地震前から生じていた。



- ・崩壊面の状況。
- ・ほぼ水平に堆積する段丘堆積物(半固結堆積物)。
- ・砂と粘土が繰り返し分布する。
- ・崩壊後の斜面は、新たな崩壊傾向はなく概ね安定している。

写真-4.4 被災状況(2)



・粘土層

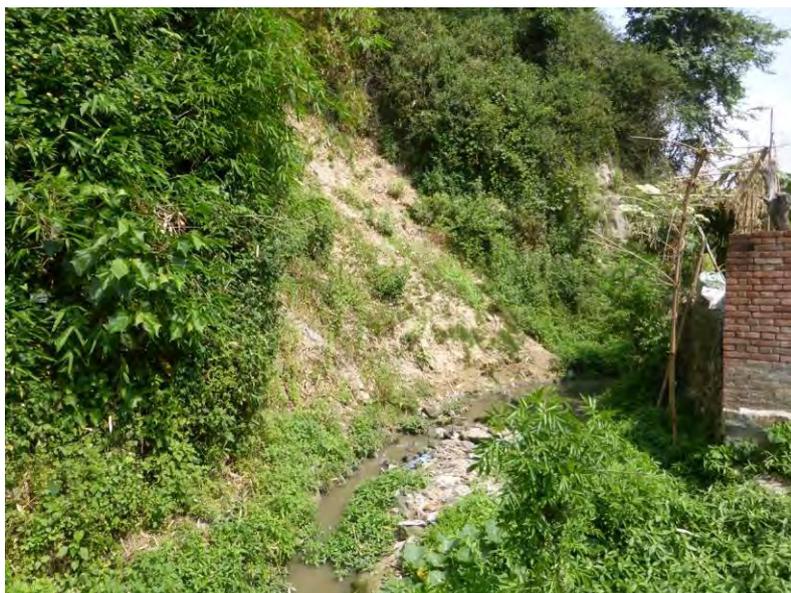


・砂層



・2010/01/23 の写真にみられる崩壊地滑落崖。
・層厚 2m 程度の崩壊跡が形成されている。(今回の地震での土砂移動はない)

写真-4.5 被災状況 (3)



- ・2010/01/23 の写真にみられる崩壊地。
- ・植生が乏しく、再度表層の浸食が進んでいる。(今回の地震での土砂移動はない)



- ・地域住民への聞き取りによると降雨時には、擁壁の天端付近まで水位が上昇するとのことであった。
- ・水位上昇量は約 0.7m である。

写真-4.6 被災状況(4)

c) 崩壊発生機構の推定

崩壊発生機構としては、施設管理者への聞き取りや空中写真判読結果、現地調査結果より以下のように推定した。

浄水場職員への聞き取り結果

- 浄水場施設にはクラック等の変状は発生していない。
- 崖の下部は川で掘られていた。
- 雨が降ると、斜面下方の小川は約 70 cm 程度の水位上昇が生じる。

現地調査結果

- 台地地形の隅角部（角）が崩落している。
- 崩壊地両端は過去の崩壊地であり、今回崩壊地が不安定化傾向にあった。
- 崩壊地背後への拡大傾向はない。（壁に古いクラックはある）
- 崩壊部は砂と粘土が繰り返す半固結土砂であり、浸食に弱い。
- 湧水は見られないが、粘土層の上位砂質土は若干湿っている。

崩壊発生機構

- 小川の斜面末端部の浸食により、急な崖が形成されていた。
- 台地隅角部に地震動が集中した。

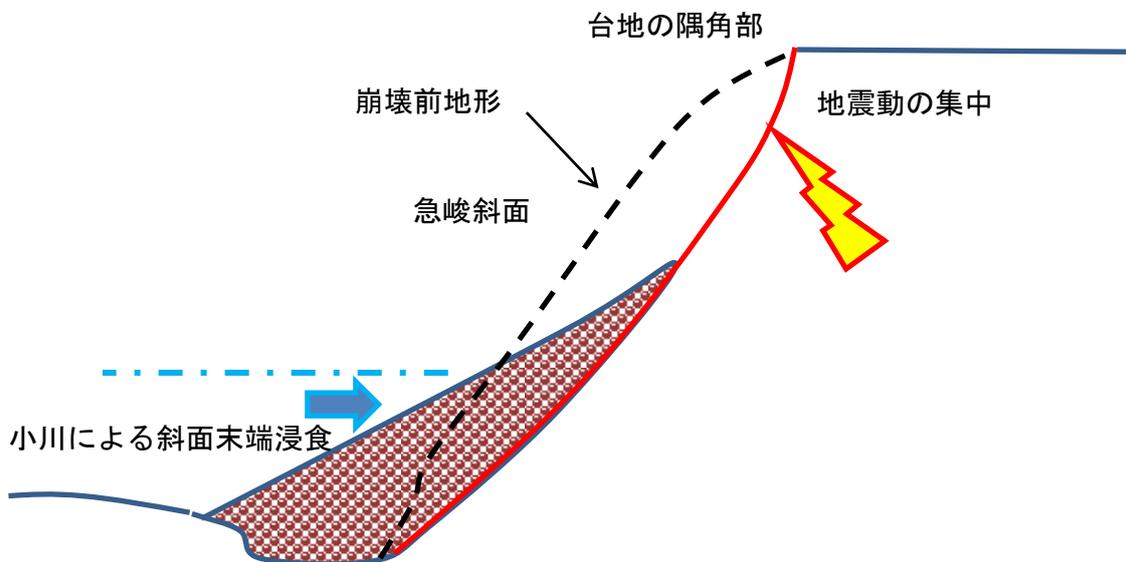


図-4.6 崩壊発生機構のイメージ

d) 現在の安定度の推定

現状では崩壊背後への拡大傾向や崩壊面からの土砂崩落も見られないため、崩壊箇所そのものは概ね安定した状態にある。

ただし、小川を崩壊土砂が閉塞しており、今後の降雨により閉塞部の決壊、土石流の発生が懸念される。

また、崩壊面は急斜面を形成し、侵食に弱い砂質土が多く分布していることから、降雨による浸食に伴う再崩壊の危険性は考えられる。



崩壊地背後への拡大傾向なし



崩壊地上流側より下流側を望む。崩壊地下流に民家があり、閉塞部が決壊した場合には民家を直撃する可能性がある

写真-4.7 現在の状態

e) 応急対策工案

【目的】崩壊の拡大防止および下流側民家への二次災害防止

- ✓ 崩壊部への雨水侵入防止
- ✓ 崩土撤去による河道の確保

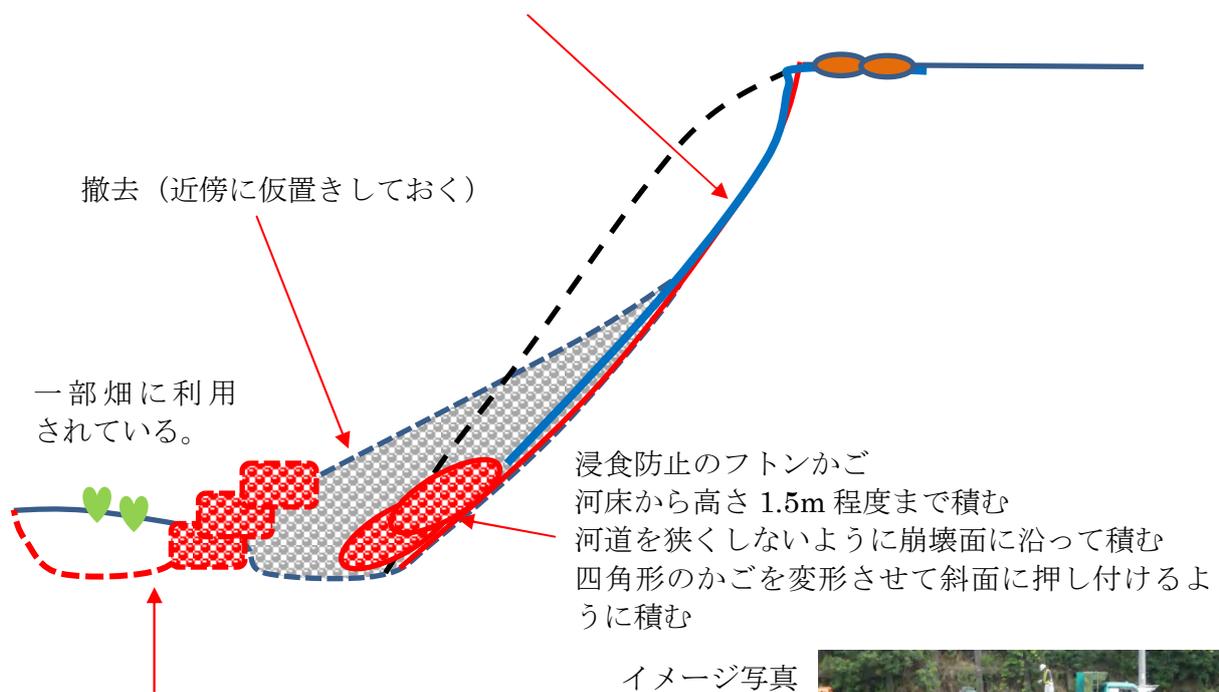
【応急対策】

- ◇ 崩土撤去
- ◇ 崩壊側の浸食防止（フトンかご）
- ◇ 崩壊部への雨水浸透防止シート敷設

イメージ写真



シート掛け
上部から雨水が入らないように土を袋に詰めて敷き並べる



土砂撤去困難な場合には、掘削して河道を確保する。
その場合、崩壊側にフトンかごを設置し浸食防止を図る。

イメージ写真



図-4.7 応急対策イメージ

f) 恒久対策工案

【目的】崩壊斜面の安定化

- ✓ 崩壊部への雨水侵入防止
- ✓ 崩土撤去による河道の確保

【恒久対策】

- ◇ 押え盛土による法面安定
- ◇ 管敷設による流下断面確保

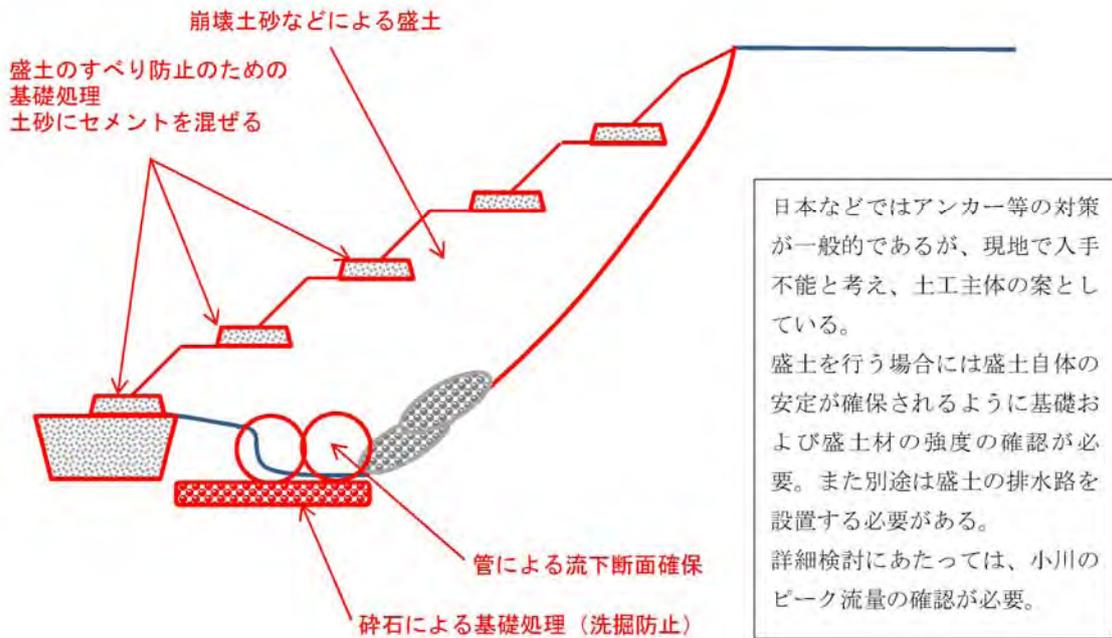


図-4.8 応急対策イメージ

(2) ファーピング地区

a) 地形および地質状況

ファーピング-クルカニ道路から延びる支線に顕著な地すべり被害が発生している。

この付近は、カトマンズ盆地縁部にあたり30度以下の比較的緩斜面が広がり丘陵状の地形を呈している。被災箇所付近では、前面を流れる河川による浸食が顕著であり、周辺には河岸侵食崖も認められた。地質は、砂質片岩および泥質片岩を主体としている。河川沿いではこの基盤岩の上部を段丘堆積物が覆っている。



写真-4.8 周辺の地形 丘陵地が広がる



写真-4.9 河川侵食による急崖



写真-4.10 河床には基盤岩が露出しその上位には段丘堆積物が分布する。下方侵食より側方侵食が卓越していると想定される

b) 被災状況

ファーピング地区において写真-4.11に示す顕著な地すべりが発生し、道路が完全に崩落するとともに、道路に埋設されていた水道の送水管が破断した。

聞き取り調査によると、地震発生前から亀裂などの変状があった箇所が地震動により拡大し、その後3日程度かけて大きく変動したとのことであった。現地調査の結果では、地すべり規模は幅45m、斜面長170m、推定移動土塊量約20,000m³、水平移動量は約27mであった。

基盤岩は軟質化した泥質片岩であり、その上位を崩積土および段丘堆積物が被覆していた。主な移動土塊はこの崩積土、段丘堆積物である。また、地すべり頭部付近では、多量の湧水が認められた。

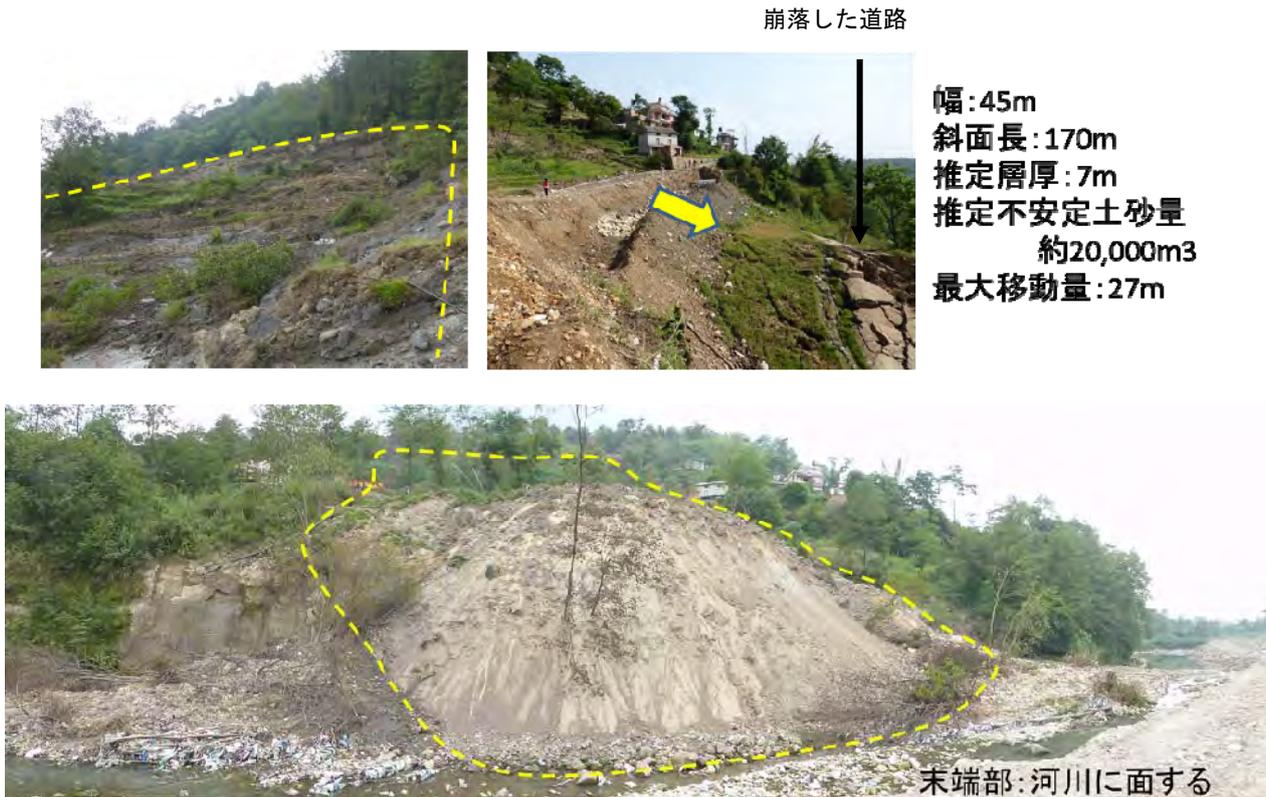


写真-4.11 ファーピング地区の地すべり

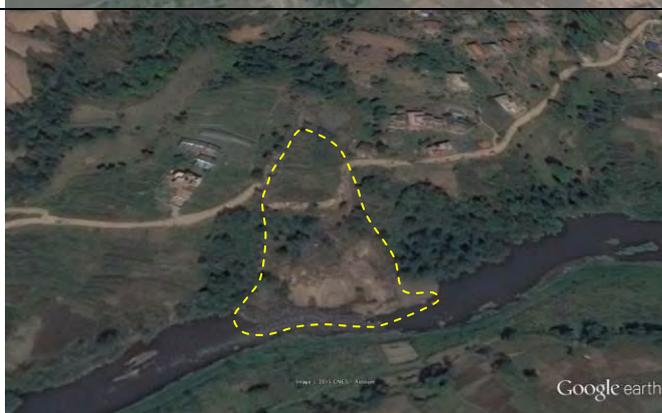
	<p>2003/10/21 ・地すべり発生前地形。</p>
	<p>2014/03/14 ・河川部に急流が生じている。対岸の寄り洲は、畑に利用されている。 ・地すべりに伴う河道の上昇等が発生していた可能性がある。</p>
	<p>2014/11/13 ・下流側にみられる露岩の大きさが上記の写真に比較して小さく、2014/03/14 写真に比較して水位が上昇している可能性がある。ただし地すべり箇所前面の浅瀬の範囲が広がっており、斜面変動による河床隆起が続いていた可能性がある。</p>
	<p>2015/05/03 ・地震発生後の地すべり発生状況。 ・河川を半分程度、閉塞している。道路は川側に大きく押し出されている。 ・土塊の押し出し範囲は概ね 2014/11/13の浅瀬の位置に一致している。</p>

写真-4.12 地形の変遷

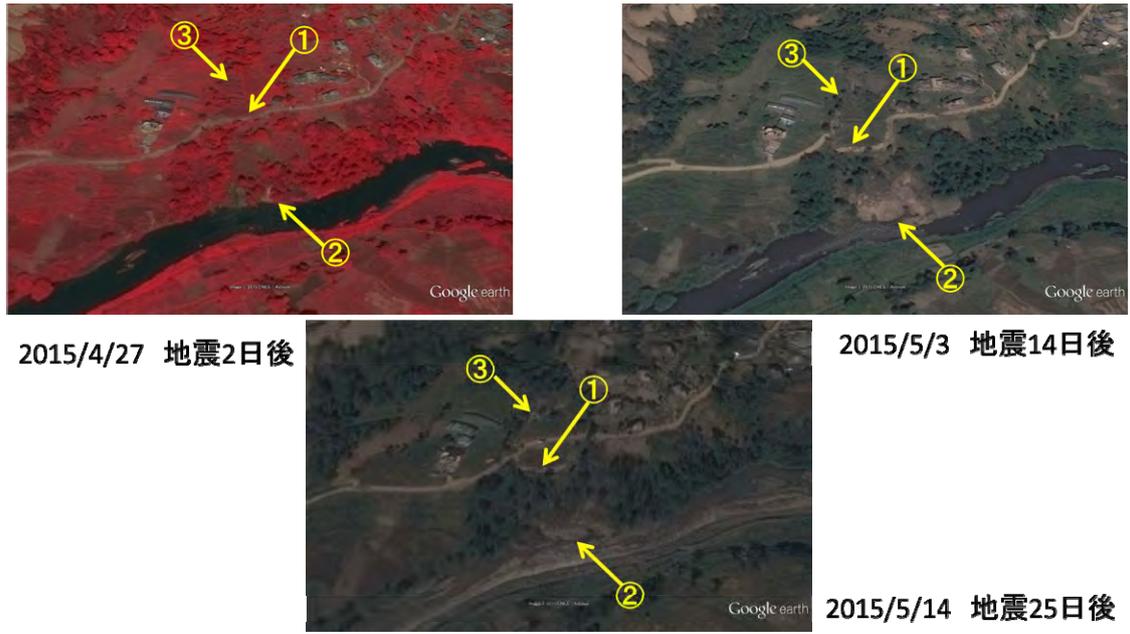


図-4.9 聞き取り調査による地形の変化



写真-4.13 現地調査結果 (1)



回転運動ではなく、スライドしている
(頭部から滑っていない)



頭部付近は移動土塊がほとんど残っていない 多量の湧水が発生



頭部付近の移動土塊は崖錐 層厚3m程度まで



頭部付近の底面に露出する泥質片岩 不透水層を形成

写真-4.14 現地調査結果 (2) 地すべり上部



水道公社により送水管、道路復旧中



桝を設置し湧水の一部を処理している



道路下方部 山側に樹木傾動



道路下方 山側が落ち込んでいる一部、山側土塊が谷側土塊に乗り上げる

写真-4.15 現地調査結果 (2) 地すべり中腹部

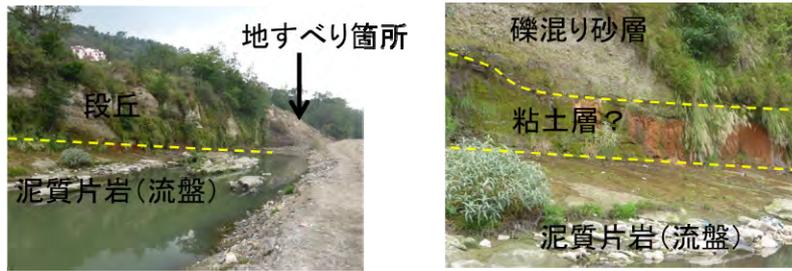


写真-4.16 現地調査結果 (3)

- ・上部ブロック: ほぼ土塊は滑落し、崩壊前道路付近に堆積
- ・下部ブロック: 河川に押し出し



写真-4.17 現地調査結果 (4)



谷側 フトンかご



山側 フトンかご



山側 排水処理



河川内

写真-4.18 現地調査結果（5）水道公社による応急対策状況

c) 地すべり発生機構の推定

地すべり発生機構としては、地域住民への聞き取りや空中写真判読結果、現地調査結果より以下のように推定した。

地域住民への聞き取り結果

- もともとキレツがあった。
- 地震でキレツが大きくなった。
- その後、2-3日かけて、滑っていった。

現地調査結果

- もともと地すべり地帯であった。
- 地すべり頭部付近から多量の湧水が発生しており地下水が高い。
- 川沿いは急峻な斜面が連続しており、河川の浸食が盛んであった。
- 地すべり土塊の上部は粘性土を主体としており、強度の低下が著しい特徴があった。
- 下部は半固結土砂が移動しており、キレツが多いものの、原地形の形状が残っている。

地すべり発生機構

- 川の浸食と高い地下水位により不安定化が進んでいた。
- 地すべり斜面下方が急峻な斜面で、不安定化しやすい形状であった。
- 上記のような地形地質要因に地震動が加わり、大規模な移動が発生した。

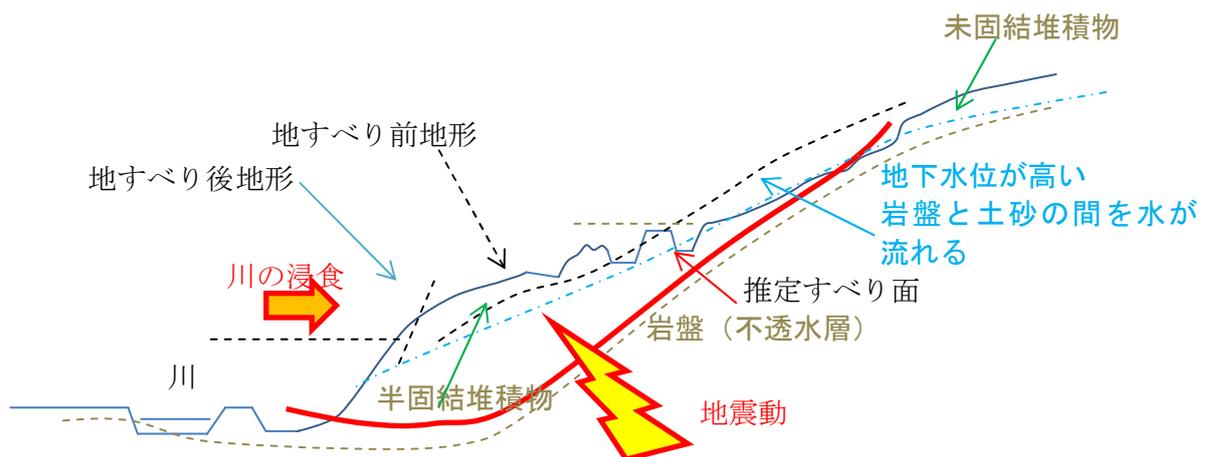


図-4.10 地すべり発生機構の推定

d) 現在の安定度の推定

現状では川の流が直接、地すべり末端に影響していないため、末端の浸食は押さえられており、大規模な変動は発生しないと考えられる。

ただし、湧水により側方部（地すべり両側）の浸食が進みつつあるため、側方の浸食が進むと、急激な変動が生じる可能性がある。

また、地すべり土塊内に多くのキレツが発生しており、雨水が浸透しやすい状態となっており、雨による不安定化が発生しやすい状態である。



地すべり土塊内には大きな亀裂が多く形成され雨が浸透しやすい

写真-4.19 現在の状態

e) 応急対策工案

【目的】 当面の多雨期に大きな変動を発生させない。

- ✓ 湧水に伴い側方崩壊の抑制
- ✓ 雨水の浸透抑制

【応急対策】

- ◇ 湧水点から水路ないしは管により湧水を浸透しないように確実に地すべり外へ排水する。
- ◇ キレットを周辺の土砂で埋め、雨の浸透を抑制する。埋めた後には可能であればシートを掛ける。

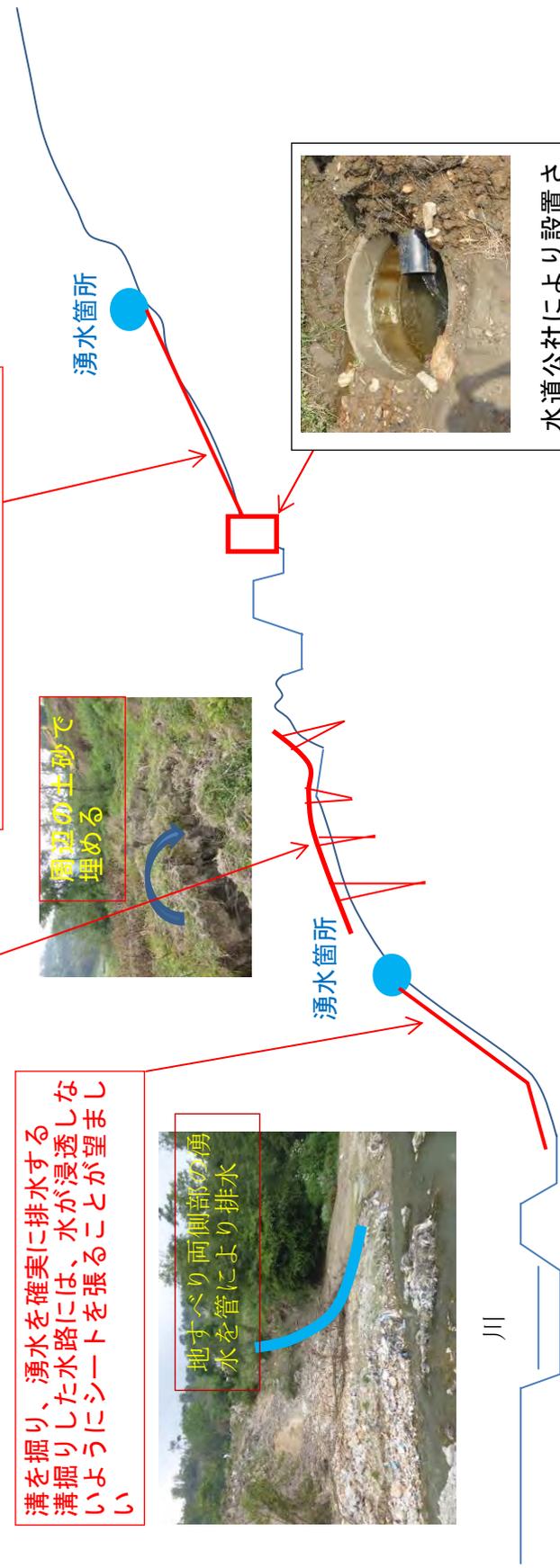
溝を掘り、湧水を確実に応急設置した樹に導く
溝掘りした水路には、水が浸透しないようにシートを張ることが望ましい
管で導水してもよい
(シートを張る場合、下から張る。下側シートが下に来るように注意)



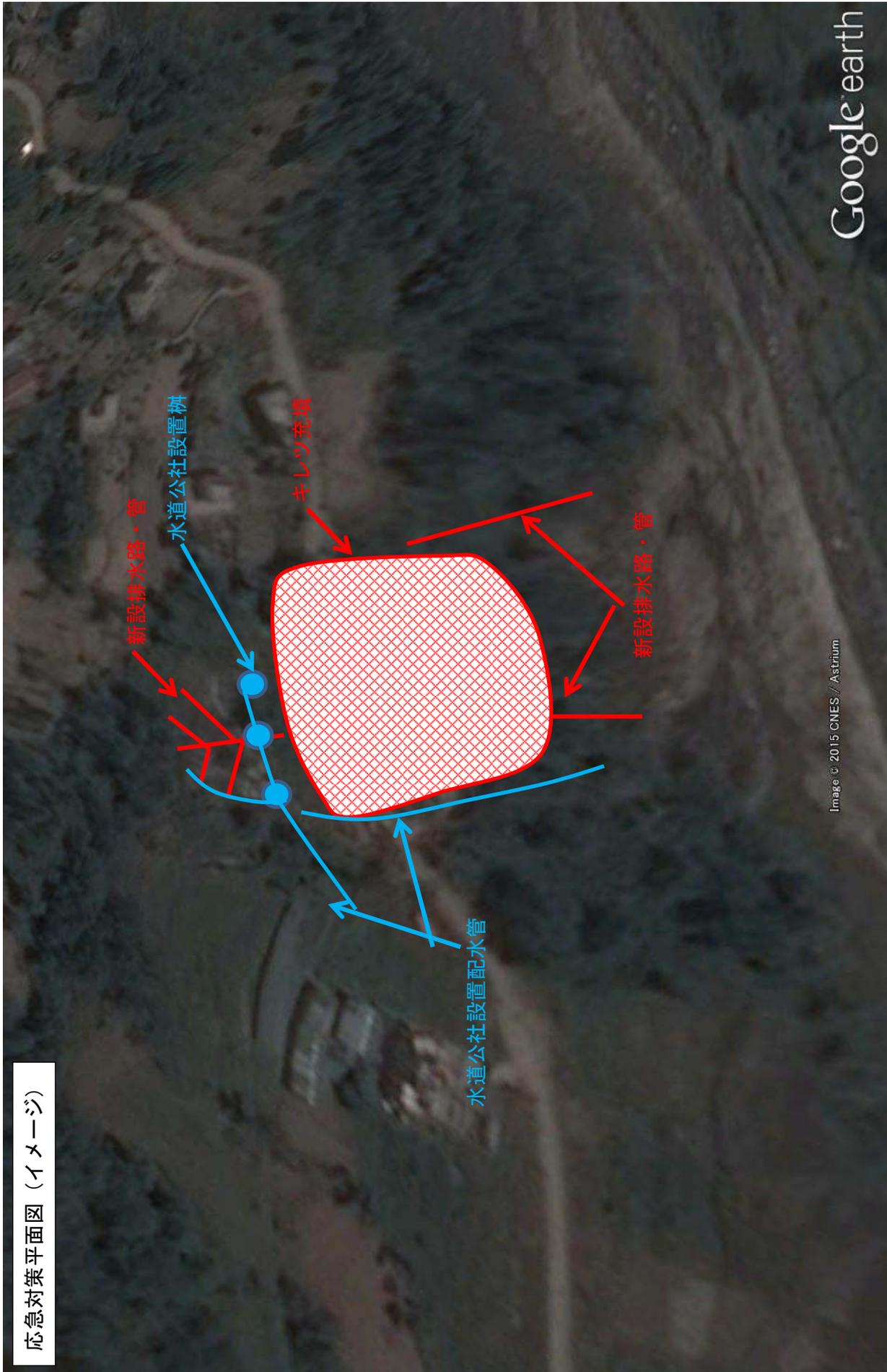
溝を掘り、湧水を確実に排水する
溝掘りした水路には、水が浸透しないようにシートを張ることが望ましい



周辺の土砂によりキレットを埋める



応急対策平面図 (イメージ)



f) 恒久対策工案

【目的】恒久的地すべり安定化による水道施設および道路の変状の防止（背後の畑の安定化は含まない）



水抜きボーリングによる地下水位低下

畑利用部の掘削による河道確保と押え盛土、斜面部



盛土を行う場合には盛土自体の安定が確保されるように盛土材の強度の確認が必要。また別途は盛土の排水路を設置する必要がある。詳細検討にあたっては、河川のピーク流量や流速の確認が必要。



川

4.2 カトマンズ盆地外の被害

カトマンズ盆地外の調査ルートとしては、これまでにあまり着目されていないカトマンズ盆地南側のパーピング・クルカニ道路、本震震央とカトマンズ盆地の間に位置するパサンラミュ・ハイウェイおよび最大余震とカトマンズ盆地間に位置するアラニコ・ハイウェイの調査を実施した。

前者2つの調査ルートにおいては、現地の急峻な山岳斜面の影響や無処理の切り取り法面の影響のため道路脇斜面の崩壊や落石が確認できた。

一方、アラニコ・ハイウェイ沿いでは、元来地すべり地形を呈する箇所も多く、これらの再滑動と思われる変状も確認された。

以下に、ルート毎に地形・地質を概観と被災状況を示す。

(1) ファーピング-クルカニ道路

震源から離れたカトマンズ盆地南側については、これまで地震被害の情報は少ないが、私たちは事前の衛星画像判読により、地震により発生した可能性がある斜面崩壊地形をいくつか把握した。この地震による崩壊可能性箇所を確認すべく、ファーピング-クルカニ道路およびその支線の状況を調査した。

a) 地形および地質状況

ファーピング-クルカニ道路は、カトマンズ盆地より南南西に延びる道路である。道路周辺斜面は、カトマンズ盆地内では30度以下の比較的緩斜面が広がり丘陵状の地形を呈している。一方、調査区間南部の山岳部では30～45度程度の急斜面が広がっている。

地質としてはカリガンダキ変成岩類の分布域¹⁰⁾であるが、調査区間南部では花崗岩類の貫入岩が確認できた。

b) 被災状況

ファーピング-クルカニ道路の被災としては、道路切土法面の表層崩壊や、斜面部の微小な凸型部から発生した大規模な落石が見られたが、調査区間で確認できた被災箇所数は3箇所程度であり、少ないものであった。

次の事例は、盆地地外になるが、バグマチ川沿いの表層崩壊である。ここは、次のような状況で、これからの余震や豪雨により、新たな落石が発生する可能性がある。

- ・ 基盤岩（貫入岩：花崗閃緑岩）が露出している急斜面で発生。
- ・ 崩壊の深度は浅く、幅も狭いが、崩壊面上に不安定な岩塊が多く残留している。
- ・ 道路上の崩土は谷側に排土しているのみ。
- ・ 幅30m、斜面長250m程度、推定崩壊土量7,000m³



写真-4.20 バグマチ川沿いの表層崩壊箇所



写真-4.21 バグマチ川沿いの崩壊状況

(2) パサン-ラミュ・ハイウェイ (盆地西側)

a) 地形および地質状況

パサン-ラミュ・ハイウェイは、本震の震央とカトマンズ盆地のほぼ中央を南北にトリスリ川に沿って通過する道路である。調査区間のうちラハレポウア付近までの南側は河岸段丘面上を通過しほぼ平坦である。このため、道路被害は認められなかったが、河岸段丘の縁部では幅30m程度の表層崩壊が多く発生していた。

一方、ラハレポウアより北側では傾斜40度程度の急斜面が広がっている。ラハレポウアからカリカズサン区間は急峻な尾根部を九十九折で標高を上げていき、カリカズサン付近からドゥンチェ付近では、概ね山頂から河床までの間の中腹部を通過している。河床と道路の比高差は数百mに達する。この山岳部ではカリガンダキ変成岩類および高ヒマラヤ変成岩類が分布¹⁰⁾している。ラハレポウアから山岳部に至る九十九折区間では非常に風化し土砂化した花崗閃緑岩が一部にみられた。



写真-4.22 調査ルート周辺の地形

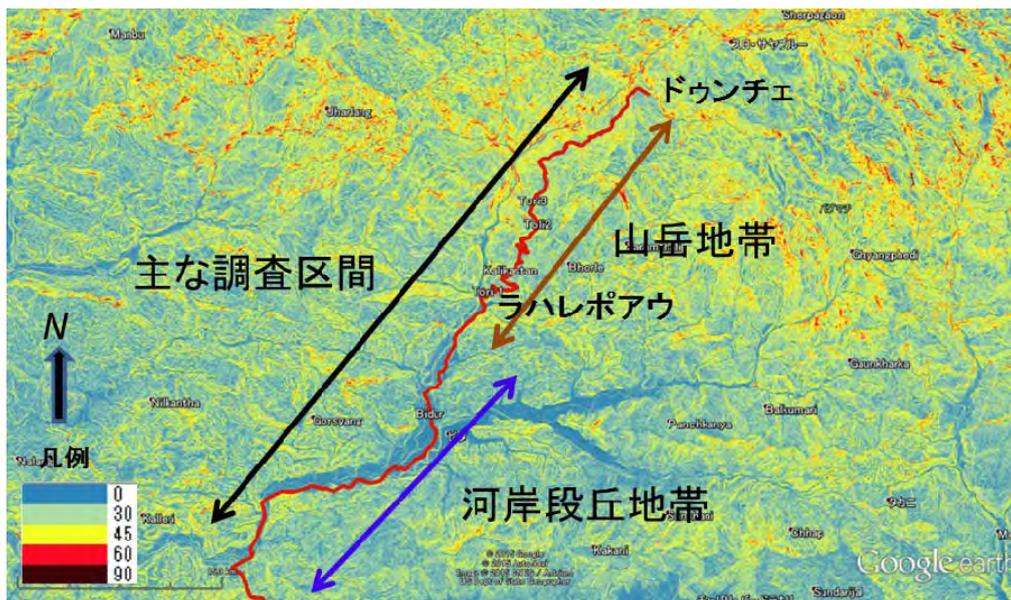


図-4.11 調査ルート周辺の傾斜区分



図-4.12 調査ルート周辺の標高

b) 被災状況

ラハレポアウからカリカズサン区間の花崗閃緑岩分布区間で、写真-4.23に示す尾根先端のやや深いすべり崩壊が発生していた。崩壊規模は幅60m、斜面長50m、推定移動土塊量16,000m³程度であった。移動形態としては、尾根部にほぼ直線状の亀裂が多数発生しており、滑落崖の傾斜もほぼ垂直であることから、トップリング的な変位がやや卓越していた。被災原因としては、移動土塊がほぼ乾燥していること、湧水も認められなかったことから、地震動が直接作用して崩壊に至ったものと考えられる。また、この被災区間では、周辺に古い滑落崖が見られることから、過去にも崩壊が発生し、落ち残っていた土塊が地震動により不安定化したものと考えられる。

なお、この他の道路被害としては道路切土法面の表層崩壊や斜面部の微小な凸型部から発生した大規模な落石が多数見られた。

道路切土法面の表層崩壊は幅30m程度のものが多く、発生箇所としては写真-4.24に示すように尾根側部のものが多く見られた。

一方、落石は、斜面上の微小な凸型部や遷急線付近を発生源としているものが多く見られた。



崩壊箇所



背後への拡大傾向を示すキレツ

写真-4.23 尾根先端に発生したやや深い崩壊



N28° 2'27.85'' E85° 13'11.74''
尾根脇の表層崩壊



N28° 3'51.92'' E85° 13'32.26''
尾根脇の地形変換線からの表層崩壊



対岸の急峻斜面部では、深層崩壊や表層崩壊が随所に発生している。

写真-4.24 表層崩壊の例

南部河岸段丘地帯には、道路沿いの被害はないが、河川に面した河岸段丘端部の表層崩壊が一部に発生していた。



(N27° 58'10.25"" E85° 10'44.21""付近)

写真-4.25 南部河岸段丘地帯

(3) アラニコ・ハイウェイ (盆地東側)

a) 地形および地質状況

アラニコ・ハイウェイは2015年5月12日に発生した最大余震とカトマンズ盆地間を東西に通過する道路である。比較的河床付近を通過しておりパサン-ラミュ・ハイウェイと異なり河床との比高差は100m程度までの区間が多い。道路脇の斜面傾斜は30~40度以上と急峻である。特にバラビセ以北では、部分的には60度以上の斜面が点在する。

地質的には、やや低変成のカリガンダキ変成岩類が主体を占めるが、ところどころで変成度の高い高ヒマラヤ変成岩類も認められた。

アラニコ・ハイウェイ沿いには多くの地すべり地形が見られる他、この地すべり活動により生じたと考えられる大規模でほぼ垂直に近い露岩地帯が道路上部に広がっている特徴がある。

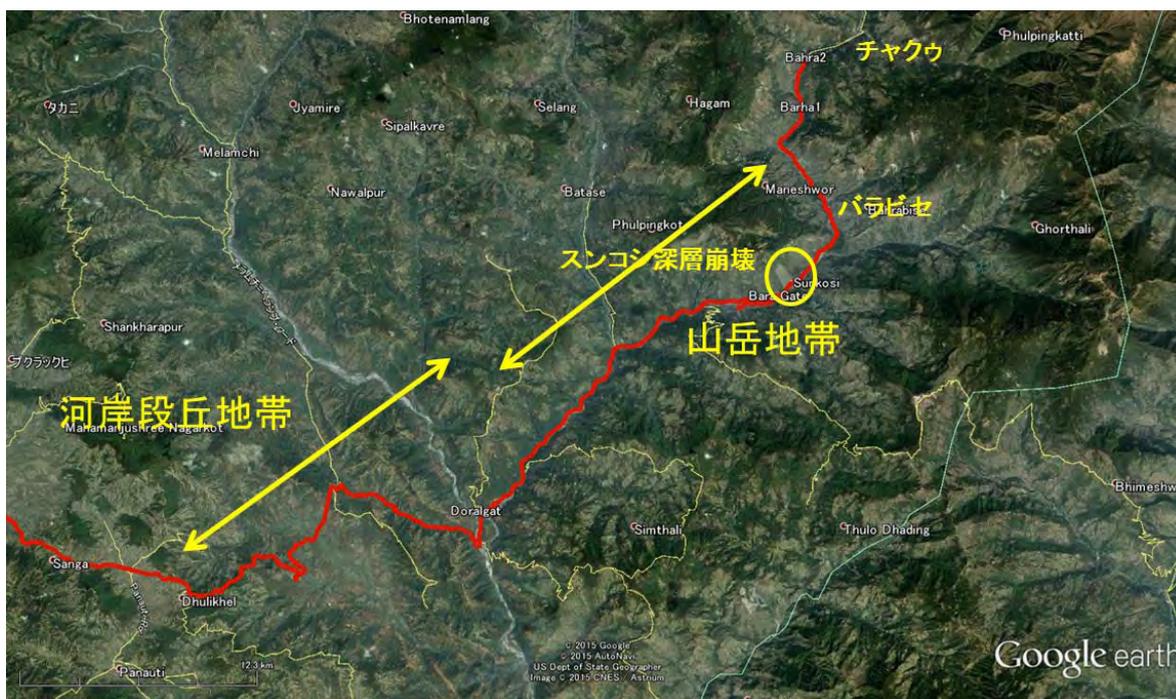


写真-4.26 調査ルート の位置



写真-4.27 調査ルート 周辺の地形

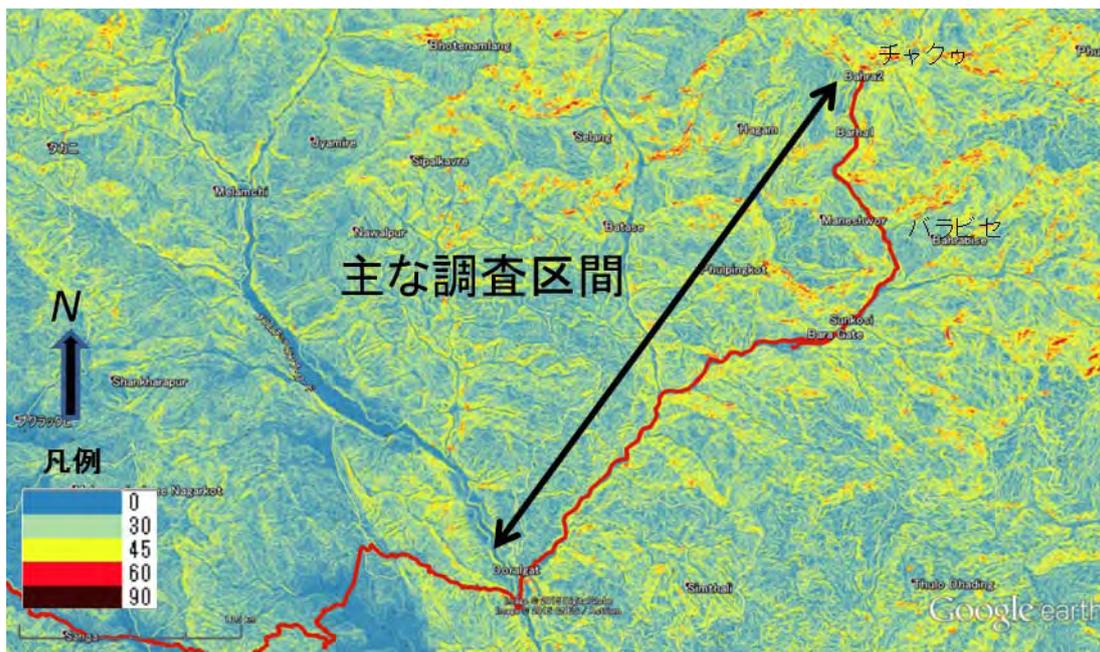


図-4.13 調査ルート周辺の傾斜区分



図-4.14 調査ルートの標高

b) 被災状況

アラニコ・ハイウェイでは、落石、表層崩壊、地すべりなど変動形態の異なる多くの道路被害が認められた。

落石は最も多く見られた被害形態である。落石の規模は様々であるが、大きいものは写真-4.28に示すような径4m程度に達するものも認められた。落石の多くは、道路上部斜面の地すべりにより形成されたと考えられる急峻な岩盤露頭から供給されたものと考えられる。

写真-4.28は、バラビセ北方 (N27°50'2.32" E85°52'16.73"付近) の巨大な落石で、5/12余震で発生した。道路沿いの急崖部から供給された落石で、発生頻度は中。硬質で若干変成度の低い砂質片岩である。

表層崩壊は、落石について多く発生している。発生箇所としては、無処理の道路切土法面に多く、幅30m程度のものが主体であった。表層崩壊ではグーグルマップ等の確認により本震により発生し最大余震により拡大したのも確認された。崩壊規模としては幅30m程度のものが多いが、写真-4.29に示すバラビセ付近のものでは幅100m程度に達するものも認められた。崩壊土塊としては、スンコシからバラビセ区間では段丘堆積物が主体であり、これより北側の高標高部にあたるバラビセからチャクウ区間では段丘堆積物が分布せず岩盤を主な崩壊土塊としていた。表層崩壊の発生原因としては、土塊の湿潤化や湧水が見られないこと

から、地震動により直接的に崩壊したものと考えられる。

写真-4.29に、バラビセ付近の崩壊状況を示す。基盤岩に張り付いていた段丘堆積物の崩壊で、幅130m×斜面高さ30mで、崩壊土量は6,000m³程度と思われる。

写真-4.30は、バラビセ北方の山側斜面の崩壊である。古い滑落崖付近が再度崩壊しており、崩壊跡地の再崩壊と思われる。延長40mで、推定崩壊土量は900m³程度と思われる。

地すべりは、主にバラビセからチャクゥ付近で認められた。写真-4.31に示す代表的な地すべり変状は道路路面での幅が150m程度であり、明瞭な段差を形成している。発生原因は不明確であるが、元来の地すべり地が地震動により再滑動したものと考えられる。

写真-4.31は、バラビセ北方の谷川斜面の変状で、次のような状態であった。

- ・谷側斜面の変状は、延長50m程度に渡り20～40cm程度の段差が発生している。
- ・谷側にはフトンかごが施工されており、フトンかごに転倒的な変形が発生している。
- ・路面の変状はフトンかご施工区間以外にも広がっている。
- ・明瞭な地すべり地形末端にあたり、地すべりが不安定化している可能性も考えられる。

写真-4.32は、バラビセ北方の山側と谷川斜面の変状で、次のような状態であった。

- ・山側斜面は表層崩壊が発生している。
- ・路面には20cm程度の段差が発生しており、山側の崩壊箇所に連続している。
- ・河川への押し出し地形が見られ、地すべり変動が生じているものと考えられる。
- ・大規模な変動が発生した場合には河道閉塞の危険性がある。
- ・変状区間は幅150m、斜面長250m、推定不安定土量550,000m³



写真-4.28 バラビセ北方の巨大な落石
(N27°50'2.32" E85°52'16.73"付近)



写真-4.29 バラビセ付近の崩壊状況
(N27°48'0.03" E85°53'41.33"付近)



写真-4.30 バラビセ北方の山側斜面の崩壊
(N27°51'0.70" E85°52'51.44"付近)



写真-4.31 バラビセ北方の谷川斜面の変状
(N27°48'44.32" E85°53'7.16"付近)



写真-4.32 バラビセ北方の山側・谷川の変状
(N27°52'16.16" E85°52'59.12"付近)

4.3 カトマンズ盆地外道路における被害の特徴と応急復旧

a) 被災発生箇所の特徴

ネパールでは急峻な山腹に切土を主体とした道路を建設している。特に近年、車両の大型化の影響もあり、切土規模が大きくなっている。また、この切土法面は無処理法面であり、法面整形も十分になされていないため、①落石、②表層崩壊、③狭義の地すべりが発生しやすい状態にある。それぞれの特徴は表-4.1のようであった。

これらの落石や表層崩壊、やや深い崩壊については、地下水の影響が認められないものが多く、主に地震動を直接的な発生原因としているものと考えられる。カトマンズ盆地内で観測された長周期の地震動とは、異なる地震動特性が影響している可能性も考えられる。

地すべりについては、河床との比高の大きなパサン・ラミュ・ハイウェイの道路沿いではほとんど確認できず、相対的に河床との比高の小さいファーピング・クルカニ道路の支線やアラニコ・ハイウェイに見られた。いずれも地すべり末端は河川に達していると考えられることから、河床侵食により現時点で地すべりが形成されている斜面が地震動そのものや地震動による過剰間隙水圧の発生により再滑動したのと考えられる。

表-4.1 被害の種類と特徴

災害の種類	特徴
1) 落石	<ul style="list-style-type: none"> 地形変換線や部分的な凸型斜面から発生。今回の地震で新たに発生したと思われる箇所が多い。 地震前からの落石多発箇所での発生はあまり多くないようである。
2) 表層崩壊	<ul style="list-style-type: none"> 主に無処理の切土法面で発生している。特に台地地形の端部や尾根地形の側部や段丘堆積物分布域での発生が多い。 過去からの表層崩壊跡の再崩壊や新たな崩壊発生箇所の双方が見られる。
3) 地すべり (狭義)	<ul style="list-style-type: none"> やや深いすべりについては、発生箇所自体は少ないが、尾根先端を切るような形で発生しており、トップリング的な変動形態を示しているものも見られた。 過去から変動のあったと考えられる箇所や地すべり地形を示す箇所での再滑動が多い。

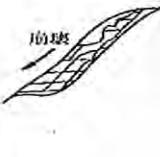
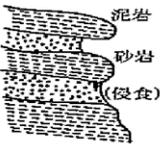
被災程度を判定してみると、表-4.2～4.4のように評価できる。

表-4.2 落石の被災度判定

斜面被災パターン		被災度	被害の形態 (被災度の説明)
落石 型 (R)	抜落ち (転石) 型 型 R-I型 	A	落石土量が 100m ³ 以上のもの
		B	" 100~5m ³ のもの
		C	" 5m ³ 未満のもの
	剥離 (浮石) 型 型 R-II型 	A	落石土量が 100m ³ 以上のもの
		B	" 100~5m ³ のもの
		C	" 5m ³ 未満のもの

道路震災対策便覧 (震災復旧編): (社)日本道路協会

表-4.3 表層崩壊の被災度判定

斜面被災パターン		被災度
I型 (浅・表層崩壊)	I-1型 模式図 	B 斜面が部分的に崩壊する。
		C 斜面のごく1部に 変状が発生する。
		A 斜面が全体的に崩壊する。
	I-2型 模式図 	B 斜面が部分的に崩壊する。
		C 斜面のごく1部に 変状が発生する。
		A 斜面が全体的に崩壊する。
	I-3型 模式図 	B 斜面が部分的に崩壊する。
		C 斜面のごく1部に 変状が発生する。
		A 斜面が全体的に崩壊する。

道路震災対策便覧 (震災復旧編): (社)日本道路協会

表-4.4 深い崩壊（地すべり）の被災度判定

斜面被災パターン		被災度
II型 (基盤に及ばないや深い崩壊)	II型 模式図 	基盤をおおっている風化土や崩積土（崖錐層）が厚くやや深い位置から崩壊する。（基盤には及ばない）
		A 斜面が全体的に崩壊する。
		B 斜面が部分的に崩壊する。
III型 (基盤に及ぶ深い崩壊)	III型 模式図 	C 斜面のごく1部に変状が発生する。
		As 斜面が全体的に崩壊し、復旧には工法の変更が必要である。
		A 斜面が全体的に崩壊する。
		B 斜面が部分的に崩壊する。
		C 斜面のごく1部に変状が発生する。

道路震災対策便覧(震災復旧編):(社)日本道路協会

b) ネパールの応急復旧と道路事情

日本では表-4.5に基づいて多くが全面通行止めとし、表-4.6、写真-4.33のような対策を講じるが、ネパールでは、基本的に道路面だけの軍の重機除去や道路公社の人力除去のみで、写真-4.34の状態である。今回土砂崩壊が無かった箇所も、写真-4.35のような危険な箇所が多く、地震でさらに脆弱化している急峻山岳地帯の道路で二次災害の心配がある。

表-4.5 被災度に応じた応急復旧の目安

被災度	被害程度	通行規制措置	応急復旧の目安
As	特大被害	全面通行止め	迂回路
A	大被害	全面通行止めまたは車線規制	迂回路、仮設道路 被災パターンに応じて崩土防止対策の上、崩土除去等
B	中被害	全面通行止めまたは車線規制	必要に応じて崩土防止対策の上、崩土除去等
C	小被害	車線規制または走行注意表示	必要に応じて、崩土除去等

道路震災対策便覧(震災復旧編):(社)日本道路協会

表-4.6 日本で応急復旧でよく用いられる工種

工種	工種細分
崩土除去工	崩土除去工
地表水排除工	地表水排除工(仮排水路工)
	シート被覆工
切土工	不安定部分の切土工
ネット工	ネット工(落石防止網工)
崩土防護工	崩土防止柵工(仮設防護柵工)
	H鋼矢板(親杭横矢板工)
杭工等	木杭工
押え盛土工	土のう積み工

急峻な山岳国家であるネパールでは地形的制約や資材、施工機器の調達が課題



写真-4.33 国内でよく用いられる仮設防護柵



写真-4.34 道路復旧の状態



写真-4.35 今回土砂崩壊が無かったが危険な箇所

c) 道路被災の今後の対応について

このように今回の本震やその余震により調査区間では多くの道路被害が発生していることが確認できた。ネパールでは6月から9月にかけて雨季を迎えているため、地震動により緩んだ斜面や変動した斜面が降雨によりさらに滑動を活発化させる可能性が高い。特に表層崩壊や落石など移動速度の速い現象では、今後の復旧・復興への支障となることも予想される。

現状での対応は崩落土砂の撤去、段差の埋戻し程度であり、抜本的な対策は実施されていない。また地形的にも抜本的な対策の実施は困難である。このような現状を踏まえ、二次被害を防ぐためには道路管理者等による継続的な監視体制の構築や通行者への啓発活動が重要になると考えられる。

d) ニュージーランド クライストチャーチ地震による被災との比較

2011年2月22日に発生したクライストチャーチ地震による斜面被害との比較を行った。

ネパール、ニュージーランドともに道路脇の法面斜面は無処理である場合が多く、盛土側構造物についてもフトンかご等の柔構造物が多い特徴がある。

このため比較的似通った災害形態を呈していることがわかる。また、地下水位状態では、ネパール、ニュージーランドともに低い箇所では崩壊形態を示すものが多く、地震動を直接的な要因と発生しているように見える。この傾向は東日本大震災でも見られ、地下水位の低い低い箇所では崩壊形態の被災が主である。

一方、クライストチャーチ地震では確認されなかったがチャルナケルで発生している地すべりのように、高地下水位地帯においては流動化し移動量の大きい地すべり形態を示す被災が発生している。これは地震動による過剰間隙水圧の発生を主な発生要因としていることがわかる。



写真-4.36 ゴルカ地震とクライストチャーチ地震の被害形態の比較



写真-4.37 東日本大震災の被害形態 (低地下水位地帯)



写真-4.38 チャルナケル地すべり (高地下水位地帯)



写真-4.39 東日本大震災の被害形態 (高地下水位地帯)

5. 水道及び発電施設の被害

(1) 水道施設

カトマンズ盆地内には10箇所の給水システムが存在し、これらはカトマンズ盆地水道公社 KUKL (Kathmandu Upatyaka Khanepani Limited) が経営している。カトマンズ盆地内に関しては、今回の地震で施設そのものが大きな被害を受けたものは報告されていないが、4章で示したようにファーピング地区での斜面災害の影響で送水管が破断したものや、写真-5.1に示すようにバンスバリ浄水場がある高台の敷地境界で斜面崩壊が発生し、応急対策が必要となったものがあつた。

斜面崩壊箇所は、写真-5.2 (右上) のように、施設のマンホールから3m程度の離れしかなかったが、同写真 (左上) のように沈殿池の躯体に損傷はなく、同写真 (左下) のように敷地外壁に亀裂があつたが古い物のように思われた。



写真-5.1 バンスバリ浄水場沈殿池



浄水場



浄水場と崩壊箇所の位置関係



周辺にみられる変状



周辺の建築物には変状なし

写真-5.2 沈殿池周辺の被害

(2) 発電施設

ネパールは電力の9割を水力発電に依存していることから、国内に発電用ダムが各地に建設されている。ここでは2箇所の調査結果を報告する。

a) クレカニダム

クレカニダムは 1982 年に建設された写真-5.3 のようなロックフィルダム（堤高 114m、堤頂長 406m、有効貯水量 7300 万 m³）である。



写真-5.3 クレカニダム

図-5.1 に示すように、主な被害は堤体クレスト部にクラックが長さ約 100m にわたって生じたもので、写真-5.4（右上）に示すようにこのクラックの上流側が最大約 10cm 沈下しており、上流側法肩部分がすべり変形したものと見られる。ただし被害は軽微であり、クラックもグラウト充填により補修済のため、直ちに安全上問題となる状況ではないと考えられる。

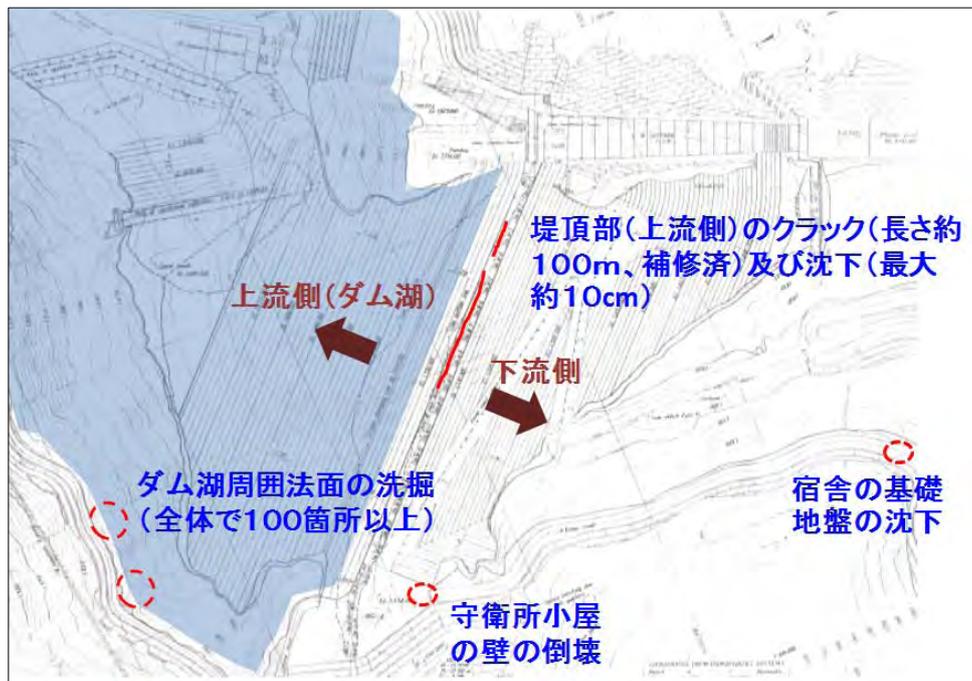


図-5.1 クレカニダムの主な被害箇所

一方、写真-5.4 (右下) に示すようにダム湖周囲の法面がダム湖のスロッシングにより洗掘されており、全体で 100 箇所以上同様の被害を受けたとのことである。スロッシングは周期 10 秒程度の非常にゆったりとしたものだったようである。地震時の水位は、H.W.L より 6m 低い状況であった。その他、写真-5.5 のようにダムを守衛するネパール軍の宿舎等に一部被害が見られた。



写真-5.4 ダム堤体と法面の被害



写真-5.5 関連施設の被害

b) スンコシダム

スンコシダムは、1971年に中国政府の援助により建設された写真-5.6に示すような取水堰形式の発電用ダムである。このダムは、図-5.2に示すように昨年8月、直上流の大規模地すべりで形成された天然ダムの決壊による土石流で被災し、復旧工事に着手しようとした矢先に今回の地震に見舞われ、被害が拡大した。



写真-5.6 スンコシダム全景



図-5.2 スンコシダムにおける被害概要

主な被害は、写真-5.7に示すようにRC造の門柱基部に曲げ破壊が生じ、柱上の操作台床版も下流側に10～15cm程度移動した。ただし、操作台の移動は去年の土石流によるものかも知れない。また、写真-5.8に示すように取水ゲートから発電所に通水する開水路の底版に大きな亀裂と沈下が見られた。この水路は無筋である。

ここは盆地外の山間部のため、地震の揺れはカトマンズ市内のものより短周期成分が卓越し、構造物の固有周期に近づく方向の揺れであったと予想される。ただしその大きさは不明である。開水路の底版の亀裂は、地震前にも発生していたようで、過去にグラウト充填の補修をしている区間がいくつか存在した。恐らく過去に発生した亀裂から底版下面の基礎地盤が流水によって洗掘され、空隙が発生していた可能性が考えられる。実際に底版を研った箇所空隙の存在が認められた。施設管理者には、空隙の分布を調査し、空隙の充填による補修を提案した。



写真-5.7 取水ゲートの門柱および操作台の被害

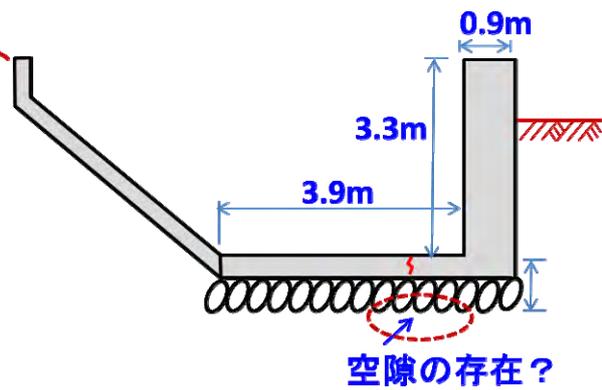


写真-5.8 開水路底版の亀裂

6. 道路の被害

カトマンズ市内からバクタプールに向かうアラニコ・ハイウェイは、KB 道路もしくは Japan road と呼ばれ、JICA 支援により 3 年前に建設された 4 車線の幹線道路である。被害はトリブバン国際空港の東方 1km 付近で生じ、路面に発生した顕著な亀裂や段差等により、通行障害が発生した。

主な被害は図-6.1 に示すように旧河道部を横断する谷埋め盛土の前後で生じており、その範囲は延長約 300m に及ぶ。

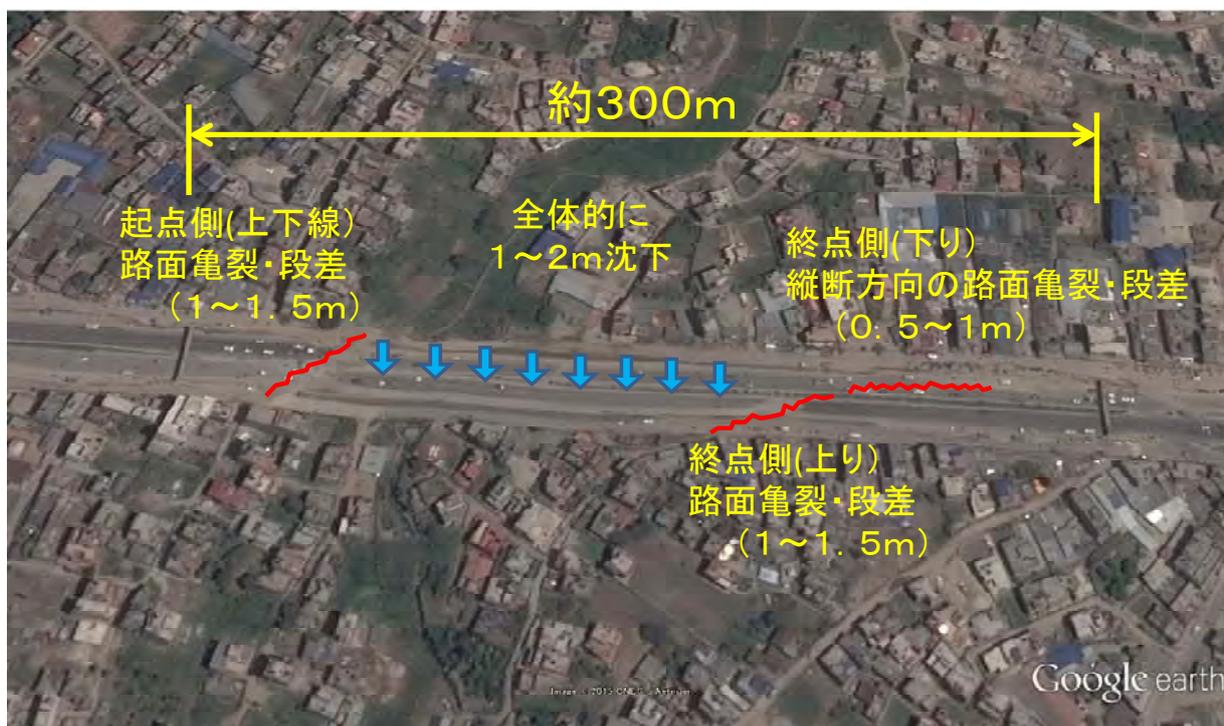


図-6.1 KB 道路の被害発生箇所

段差は道路横断方向や縦断方向に最大で 1.0~1.5m 程度生じており、調査時点では、写真-6.1~6.2 のようにすりつけによる応急復旧がなされていた。また、道路周辺の地盤にも図-6.2 のように多くの地点で亀裂や段差が生じており、谷埋め盛土の問題というよりは、地盤そのものが局部的に変形したように見られる。

なお、近隣住民によると、写真-6.3~6.4 のような大きな亀裂や段差は地震の直後に生じたとのことであり、また、この付近には Black Soil という軟弱層が存在しているという情報を得た。

この300m間の道路構造は、谷を埋めた盛土であるが、その盛土が滑ったり沈下したりした訳ではなく、その下の在来地盤に問題があると考えられる。地盤の亀裂には連続性が認められるので、問題と考えられる軟弱層の分布範囲は概ね予想できる。この範囲内で、今後詳細な調査とこれに基づく抜本的な対策が望まれる。



写真-6.1 起点側の被害状況



写真-6.2 終点側の被害状況



図-6.2 道路周辺の被害



写真-6.3 道路南側の住宅地における地盤の段差と亀裂

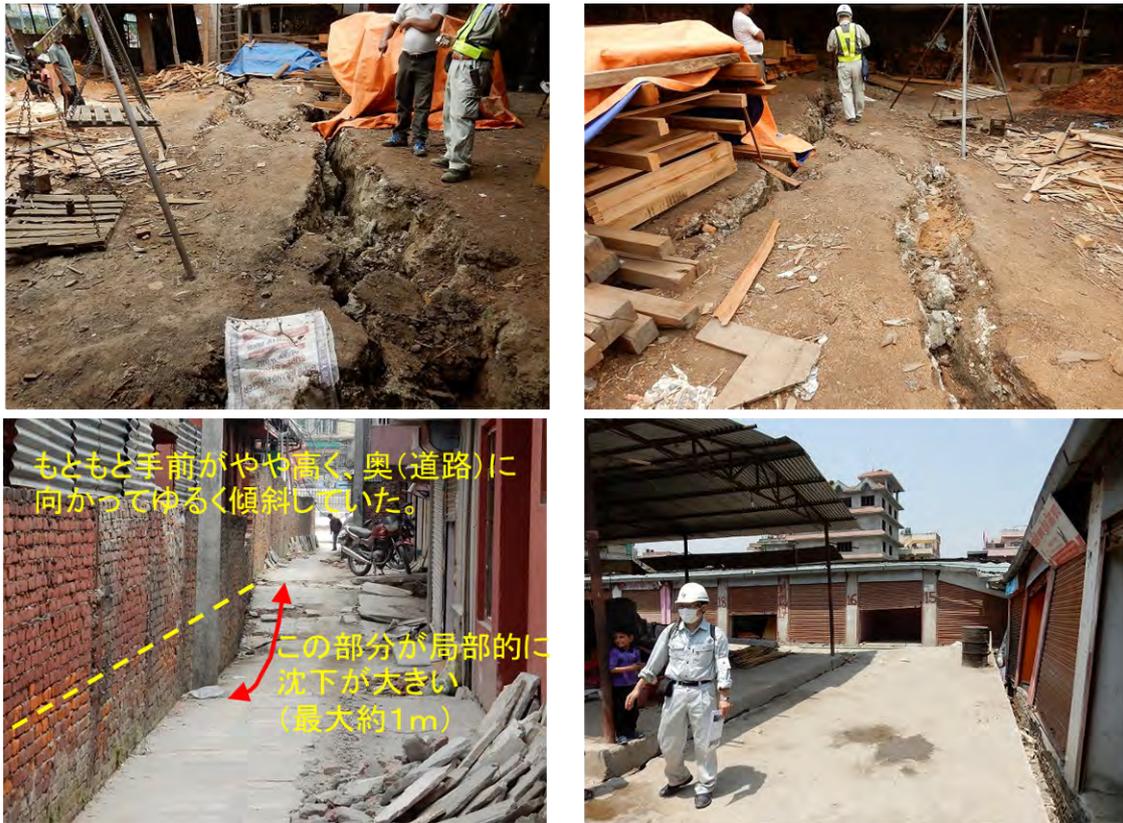


写真-6.4 道路北側の材木工場における地盤の亀裂と路地の段差

●KB道路復旧の報道

2015年9月10日、JICAがネパール道路復旧の初弾となるKB道路の復旧工事が完成したことを報じた。

日刊建設工業新聞には、「4月に大地震に見舞われたネパールで国際協力機構(JICA)が進める震災復興支援プロジェクトで、カトマンズ～バクタプール間(約9・1キロ)の主要道路のうち、特に被害が甚大だったローカントリ～コーサルタル間(約0・6キロ)の応急復旧工事が完了した。JICAが関わる被災インフラの復興事業で初の完成案件。8日に現地で完工検査を行い、ネパール政府に引き渡した。調査・設計・工事監理はエイト日本技術開発(代表)、日本工営、玉野総合コンサルタントで構成するJVが担当した。」と紹介された。

7. 建物の被害

ネパールの建築物は、組積造（masonry：れんが積、石積）が大半を占め、粗悪なれんがが建築のため、次の①から③の「三重苦で被害が拡大した（東京大学目黒教授談¹²⁾）」と言われる。

- ①瞬時に壊れるため、逃げ出す余裕がない。
- ②倒壊すると細かいがれきに埋もれ、生存に必要な空間がなくなってしまう。
- ③ほこりを大量に吸い込むと呼吸もできなくなる。

一方で、RC柱・梁構造の建物は、ほとんど倒壊していない。以下に、4つの地区での典型的な被害を示す。

a) カトマンズ市内

市内はRC柱・梁構造の5～6階建ての建物が多く、総じて被害が少ない。RC柱・梁構造は崩れにくく、写真-7.1（右上）の奥の建物群のように大きな損傷は見られないが、柱・梁の架構内の壁に詰めたれんがが崩れ落ちると同写真の手前のように瓦礫の山になるようである。れんがが抜けると層間変位が大きくなり、ハンチのない細い柱・梁では抵抗できず、建物が倒壊すると推測される。写真-7.1（右上）の手前のように鉄筋だけになってしまっている部分が長く、異形鉄筋の節が小さいこともあり、コンクリートとの付着力が小さいと思われる。



写真-7.1 倒壊して瓦礫と化した柱・梁構造の建物

b) バクタプール

倒壊等の甚大な被害は、ダーバースクエア（ダルバール広場）の東部地区で多く認められた。この地区の建物は、柱も壁と同様のれんが積みで、戸・窓の枠と床が木造の組積造が多い。れんがが古いのか強度が低いのか、れんがが崩れると写真-7.2～7.3のように粉々になってしまう。倒壊しなかった建物も、れんがの目地に隙間が空いたり面外にはらみ出している。



図-7.1 バクタプールの位置



写真-7.2 粉々になった倒壊建物



写真-7.3 粉々になった倒壊建物

c) バラビセ

この地区では、れんが積建物の被害より、石積建物の被害が多く見られた。目地材はマッド・モルタルと思われ、崩れた石には目地材の付着が少なく、れんが積みと同程度以下の目地のせん断強度と思われる。したがって、単位体積重量が大きく、接触面が整形されていない石積建物の方が、先に壊れたのであろう。崩れると写真-7.4～7.5の左のようにバラバラになる。倒壊を免れた石積建物の柱・壁も目地材の付着が少ないことが分かる。



図-7.2 バラビセの位置



写真-7.4 粉々になった倒壊建物



写真-7.5 倒壊を免れた建物も石積の建物

なお、写真-7.6に示すように、携帯電話の基地局と思われる建物は無被害であり、バクタプールでも同様にこのような建物は無被害であった。アンテナ設置個所の選定にあたっては、建物の耐震性の確認がなされているように思える。



写真-7.6 無被害であった携帯電話の基地局と思われる建物

d) パークビューホライゾン (市内)

カトマンズ市内の高台に、17階建ての高級マンション「パークビューホライゾン」がある。前掲の図-3.4の長周期成分の影響が気になったが、日本建築学会の「建築物の耐震設計資料」に示される階層数を元にした固有周期の推定式(谷口式 $T = 0.07 \sim 0.09 N$)では1.4秒程度であり、共振は起きなかったようである。

どの階も、写真-7.7のように、柱・梁と壁・窓枠の間、および壁内に下層ほど大きなクロスのせん断ひびわれが入っていた。このような高層ビルでも、壁はれんが積みであった。

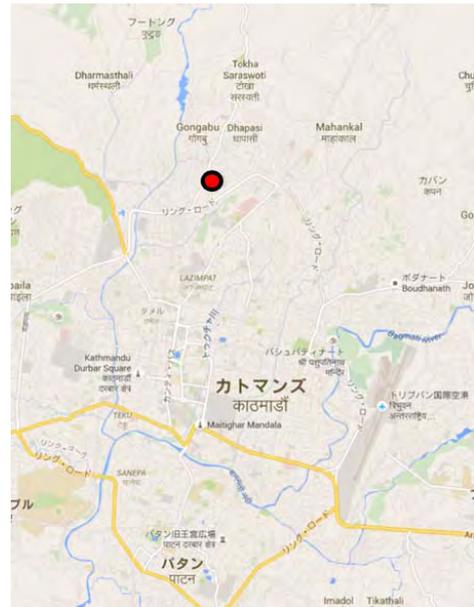


図-7.3 パークビューホライゾンの位置



写真-7.7 高層マンションのひびわれ

e) れんがは瓦礫にあらず

カトマンズ市内のダルバール広場では、写真-7.8のように世界遺産のシヴァ・パールヴァティー寺院が崩壊してしまった。寺院に使われていたれんがと木材が分別されて積まれており、このれんがについては、写真-7.9のように何やら看板が立てられ、緩やかではあるが管理されていた。

個人所有と思われる建物でも、写真-7.10のように、親族と近所の友人と思われる住民が、崩れたれんがを1つ1つ屋内から運び出し、丁寧に積み上げていた。

れんがを積み直して再構築するのが慣習のようである。



写真-7.8 カトマンズ・ダルバール広場の様子



写真-7.9 崩れた宮殿のれんがを集めてある



写真-7.10 崩れた建物のれんがをの整理

8. 現地のその他の状況

a) 液状化

市内リングロードの南西部外側のバグドールという地区の調整池内で、**写真-8.1**のような噴砂の痕跡が数か所で認められた。発災から1ヶ月が立ち、雨期を目の前に夕立が降り始めているせいもあり、ここが私たちの調査で唯一確認できた液状化の痕跡である。調整池の西側にはバグマチ川が流下しており、この付近はバグマチ川の氾濫原とみられる。



写真-8.1 調整池内の噴砂跡

b) 避難所（テント村）・トラック・自作の小屋

避難所は、被災しなかった学校の建物も利用されているようであったが、調査の移動時に確認できたものだけを紹介する。

まだ雨期に入っていないせいもあるだろうが、避難所は、基本的にはテント村のようである。**写真-8.2**左上はカトマンズ市内の避難所区域で様々な中小のテントが並んでいたもので、**写真-8.2**右上はカトマンズから東へ12kmほどの町バクタプルで見られた中国からの支援で設置された大型テントである。**写真-8.2**下のようにカトマンズ市内の大きな広場にも中国支援のテント村が出来ていた。

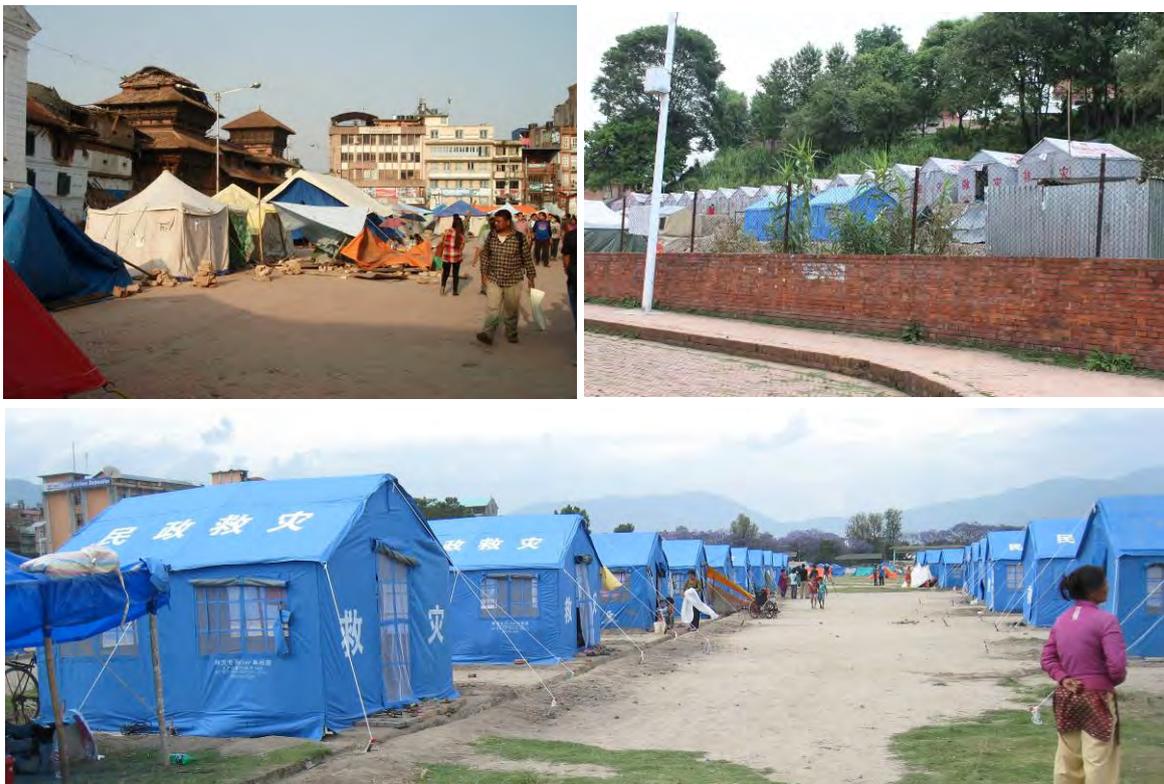


写真-8.2 カトマンズ市内外の避難テント村

一方、共助・自助に相当すると思われる仮住まいがある。写真-8.3左は市外のバラビセであるが、多数の大小のバンボディのトラックを空き地に運び入れて寝泊まりしているようである。日中は暑いので中に人はいなかった。写真-8.3右は、カトマンズ市内で自宅の庭か空き地に、自宅の崩れたれんがを積んでトタン屋根を葺き、家族が住んでいた。組積造のメリットでもあるが、人々の逞しさを感じた。



写真-8.3 トレーラーやれんが積みの仮住まい

c) 給水タンク

カトマンズ市内は被害が大きい地区が限定的であったせいと思われるが、給水タンクは避難テント村のみに置かれているようであった。写真-8.4のように、諸国からの支援のようで規模も形も材質も様々なタンクが使われていた。



写真-8.4 避難テント村に置かれた様々な給水タンク

d) 仮設トイレ

仮設トイレも、避難テント村のみに設置されていた。ニュージーランドでは日本の工事現場で使用されるのと同様の仮設トイレを設置していたが、ここでは、テント村の敷地の端に、穴を掘り、**写真-8.5**のように、便器がセットされた床板を載せて、竹で組んだ骨組に覆いを取り付けてある。「設置」と言うより「構築」である。



写真-8.5 避難テント村に構築された仮設トイレ

e) 支援物資の配給

写真-8.6は、市外のバラビセでちょうど出会った配給の様子である。地区長さんが鍵を持って現れ倉庫のシャッターを開け、集まった人々に袋を手渡していた。あまり均等とは思えなかったがもめることはなかった。お菓子もあったようで子供達が喜んでいました。



写真-8.6 支援物資の配給風景

おわりに

ネパールの首都カトマンズは、Mw7.8の地震を震央距離約80kmの近さで受けたが、最大加速度がレベル1地震動を少し上回る程度であったことが幸いし、大被害は、耐震設計をしていない組積造の建物と、周辺の無処理の切土法面と自然斜面に集中していた。

加速度が大きくならなかった理由については、プレート境界の固結具合や面圧によりそうであるが、地震学の研究に期待したい。

組積造の建物は、目地材がセメントでなくマッド（泥）モルタルを使われるものが多いようで、壁の面外方向の慣性力でレンガや積石がずれ落ちると上階や屋根を支える力を失い、瞬時に瓦礫の山と化し、多くの人命を奪ったと推察される。耐震補強法は自明であるが、ネパール国民の経済力では日本と同じ仕様は適用できない。これはわが国においても、過疎化した村のインフラ施設に大都市と同じ耐震性能を要求して費用を負担するのが望ましいのかという問題に通じると思う。その国や地域の経済力や風土・文化に基づく価値基準に応じて復旧を含めて考える耐震性能を合理的に設定できる考え方の開発が望まれる。

この目標とすべき耐震性については、故佐伯光昭元最高顧問が、「平成23年度 中国地方建設技術交流会」の特別発表の中で、**図-1**のような最適な「減災」目標水準設定の概念を示し、これを踏まえた耐震補強水準と補強事業費の負担に関する社会的合意形成実現の必要性を述べている。本件はまさしくこの概念に関わるものと思うが、この図はわが国をイメージした大小関係で、ネパールの組積造建物の場合は**図-2**のようになるのではないかと思う。つまり、レンガの多くはリサイクルでき復旧費もそう高くなく、間接損害も限定的で、しかし、耐震補強費はより高い性能水準を求めると構造的に変更が必要で、総費用はどんどん高くなる。したがって、最適目標水準は比較的低いところに落ち着く。

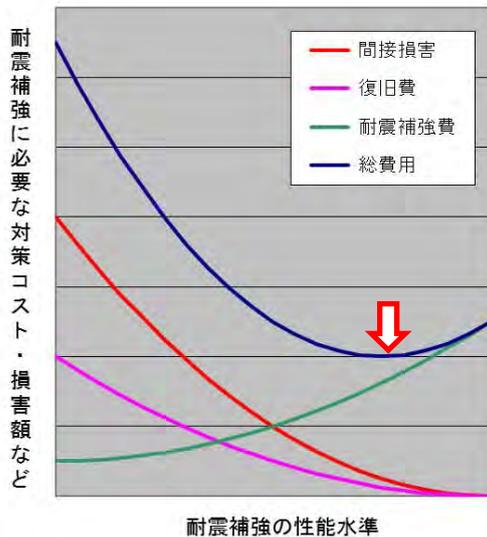


図-1 最適な「減災」目標水準の設定の概念
(H23中国地方建設技術交流会/特別発表)

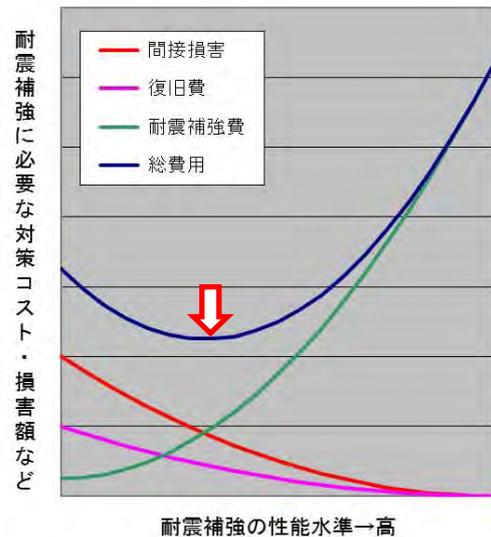


図-2 最適な「減災」目標水準の設定の概念
(復旧費と間接損害が小さく耐震補強費が高額な場合)

さて、私たちが帰国した後の6月に、世界銀行等が主催してPDNA (Post Disaster Needs Assessment=災害後ニーズアセスメント) が行われ、今回の地震からの復興に必要な費用を約67億ドル(約8,200億円)と試算した¹³⁾。これには、第3回国連防災世界会議において採択された「仙台防災枠組2015-2030」に基づき、「Build Back Better」すなわち被災地を単に被災前の状態に戻すのではなく、より強靱な状態への復興を実現するというコンセプトが反映され、そのための費用も計上されている。

一般に、災害が発生したときの個人の生活や自治体の機能など多くの組織の活動レベルは、復旧により図-3のように変化していく。事前の防災対策により、図のA点を高いレベルに留めることができ、B点はより高くより近い時点にすることができ、「事前復興計画」などの対策も行っていれば、C点やD点までの期間も短くすることができる。上記の「Build Back Better」とは、図-3のD点をC点より高いレベルにしようというものであり、わが国ではPDCAによるスパイラルアップの概念に基づく、リスクマネジメントやBCPに取り組んでいる方たちにとっては、一般的な考え方である。極普通に考えても、C点で止まると災害による大変な思いだけが残るが、D点を高めれば、大変な思いをしたが前よりくなったと思えるようになる。「復興」とは、一度衰えたものが再び勢いを取り戻すことを言うが、C点とD点では、人の心の中に生まれる「勢い」には大きな違いがあると思う。

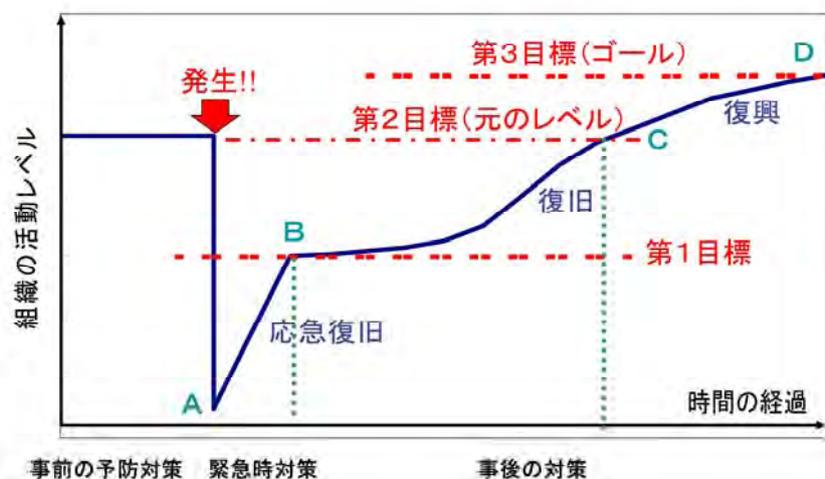


図-3 災害からの復旧における活動レベルの変化の概念

今回の地震を契機として、ネパールがより災害に強い国になるよう、日本の知見と経験を活かした支援を続けていくことが求められると思う。私たちが、その一端を担えることを願って止まない。

謝辞

今回の被害調査では、クレカニダムとスンコシダムで、施設の管理責任者に、直接、構内を案内していただき、被災時の状況をお聞きすることが出来ました。また、ファーピング地区の地すべりによる水道幹線の復旧工事現場や壊滅的な被害を受けた住宅街を見て歩き、工事関係者や住民の話を聞くことも出来ました。これらは、Nepal Electricity Authorityの水橋雄太郎氏にご同行いただいたことと、土木学会の正式な調査団として認定していただき、日本国旗とJAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERSと記した腕章を付けていたことの賜と思います。水橋雄太郎氏（JICA専門家）および土木学会地震工学委員会の澤田純男委員長（京都大学）と池田隆明幹事長（飛鳥建設）他の関係者に深く感謝し、この場を借りて御礼申し上げます。

また、調査の初日にトリブバン大学のRanjan Kumar Dahal准教授と面談することができ、日本では分からなかった現地の様子や広域の土砂災害や液状化の概要について情報をいただいたことは、その後の調査に非常に有効でした。深く感謝申し上げます。

さらに、JICA復興支援調査団の運上茂樹氏（土木研究所耐震研究監）には、私たちの宿泊先において下さり、インフラ施設の被災状況全体について情報交換をさせていただき、私たちの認識を深めることが出来ました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 三宅弘恵:2015年ネパール・Gorkha 地震テクトニクス・震源・地震動について、ネパール地震地震被害調査結果速報会、2015.
- 2) 清野純史:ネパールの構造物事情について、ネパール地震地震被害調査結果速報会、2015.
- 3) Okamura, M., Mori, S., Bhandary, N.P., Narayan, S., Deepak, Sweeta, Umesh, Hazarika H., and Fukuoka, H.: Nepal Gorkha Earthquake, 2015, ネパール地震地震被害調査結果速報会、2015.
- 4) Kiyota T., Katagiri, T., Pokhrel R.M., Chiaro, G., Goda, K., and Sharma, K.: Preliminary damage survey report on 2015 Nepal Gorkha Earthquake, ネパール地震地震被害調査結果速報会、2015.
- 5) 目黒公郎、沼田宗純、藤生慎、R. グラゲン:2015年ネパール・ゴルカ地震被害調査速報(目黒グループ)、ネパール地震地震被害調査結果速報会、2015.
- 6) 国際協力機構: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結果報告書、2014.
- 7) J. Lave and J. P. Avouac, Fluvial incision and tectonic uplift across the Himalayas of central Nepal, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.106, NO.B11, pp. 26, 561-26, 591, 2001年11月に加筆.
- 8) R. K. ダハル、長谷川修一:ネパール・ヒマラヤ、カリガンダキ川トレッキング・ルートの応用地質学、日本応用地質学会中国四国支部平成19年度研究発表会発表論文集、pp.67-72、2007.
- 9) 京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野、2015年4月25日ネパールの地震の共振記録について、地震調査委員会(2015年5月14日)提出資料、< sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/topics/20150514KATNP.pdf >
- 10) 酒井治孝:日本地質学会 HP<<http://www.geosociety.jp/hazard/content0087.html>>
- 11) JICA 専門家、水橋雄太郎氏提供資料に加筆
- 12) 産経ニュース:粗悪れんが 被害集中/発生から1カ月/震度5、瞬時に倒壊、2015.5.24、<<http://www.sankei.com/world/news/150524/wor1505240017-n1.html>>
- 13) International Conference on Nepal's Reconstruction 2015: Post Disaster Needs Assessment, 2015.

2015年ネパール・ゴルカ地震
被害調査報告

発 行 2015年10月28日(第2版)
編 者 災害リスク研究センター
発行所 株式会社エイト日本技術開発
〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11
<http://www.ejec.ej-hds.co.jp/>

本書の著作権は、株式会社エイト日本技術開発に帰属します。著作権者の事前の承諾なく、本書の全部もしくは一部を複写・複製・転載することはできません。

現地の1日も早い復旧・復興をお祈りいたします。



 **株式会社エイト日本技術開発**
Eight-Japan Engineering Consultants Inc.
災害リスク研究センター
EJ-Research Center for Disaster Risk Mitigation