

ネパール連邦民主共和国  
都市開発省 (MoUD)  
内務省 (MoHA)  
連邦地方開発省 (MoFALD)  
鉱山地質局 (DMG)

## 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

## ファイナルレポート

## 要 約

平成 30 年 4 月  
(2018 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

株式会社 オリエンタルコンサルタンツグローバル  
OYOインターナショナル株式会社

|        |
|--------|
| 環境     |
| JR     |
| 18-060 |

ネパール連邦民主共和国  
都市開発省 (MoUD)  
内務省 (MoHA)  
連邦地方開発省 (MoFALD)  
鉱山地質局 (DMG)

## 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

## ファイナルレポート

## 要 約

平成 30 年 4 月  
(2018 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

株式会社 オリエンタルコンサルタンツグローバル  
OYOインターナショナル株式会社

## ファイナルレポートの構成

Volume 1: 要約

Volume 2: 本編

Volume 3: 図面集

Volume 4: 別冊資料（本編補助資料（DVD））

Volume 5: 添付資料（パイロット市における復旧・復興計画、緊急対応標準手順書、地域防災計画等（DVD））

Volume 6: GIS データ（地震ハザード・リスク評価（DVD））

本報告書には以下の為替レートを適用

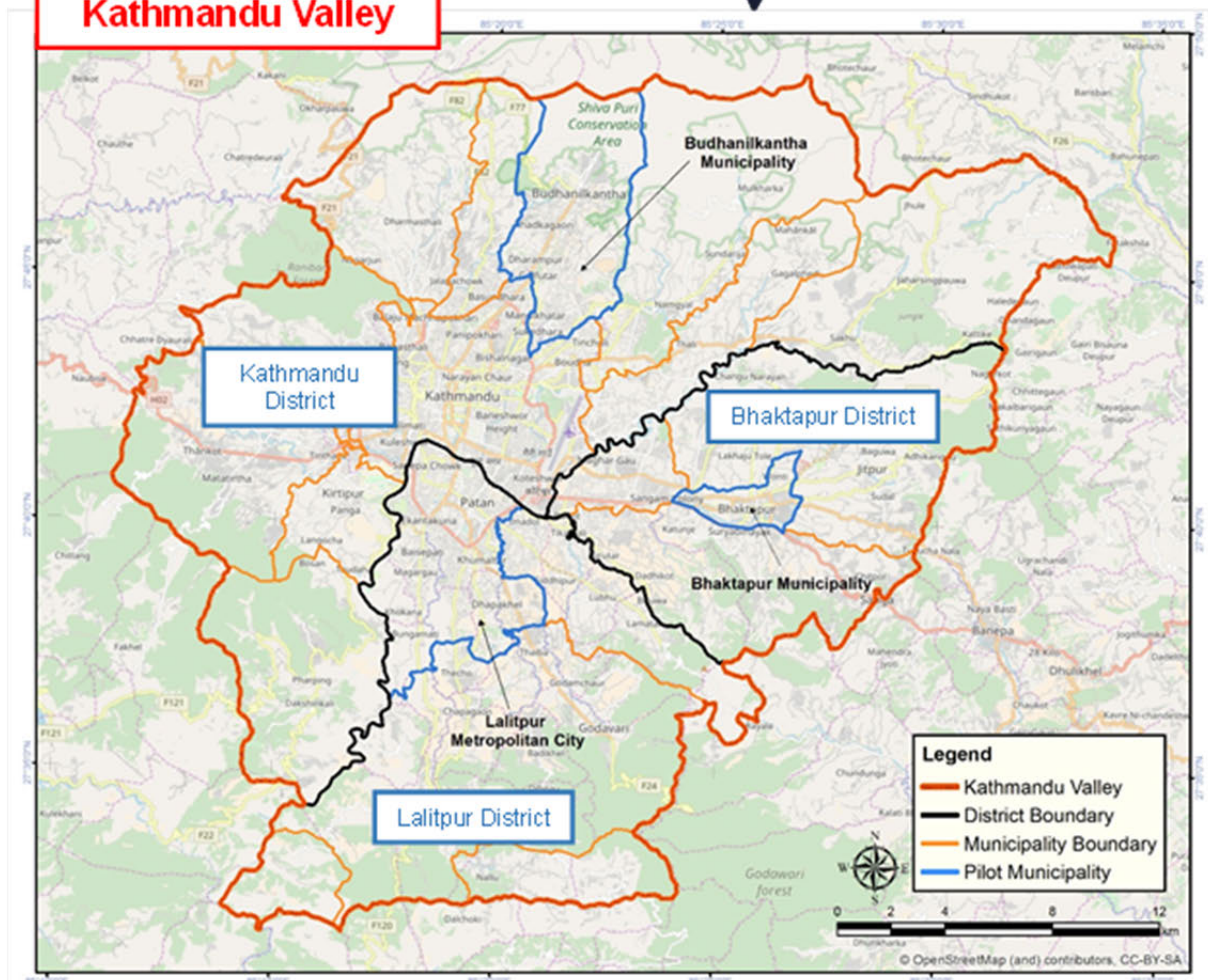
US\$1.00 = NPR108.44

(2016年12月)

## Location Map of the Project



## Kathmandu Valley





## 要 旨

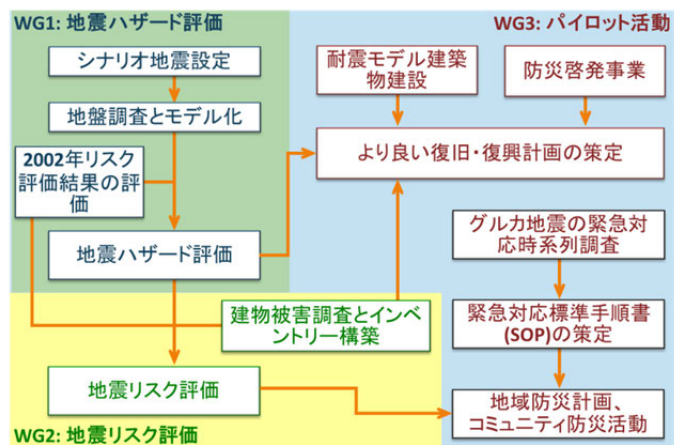
### 1 プロジェクトの背景・概要

ネパール国は、インドプレートとユーラシアプレートが衝突する地帯に位置し、ネパール国とその周辺地域は世界でも有数の地震地帯である。ネパール国の首都を擁するカトマンズ盆地は、過去に大きな地震災害が度々発生している。カトマンズ盆地では、地震の発生リスクが高いにも関わらず、建築物の耐震化や土地利用規制、建築基準法の遵守などの対策がほとんど進んでいない状況にある。さらに、都市部への急激な人口流入に伴う既存の建築物の増築、補強のない組積造に代表されるノンエンジニアド建築による市街地の拡大など、災害リスクも年々増している。ネパール国政府としても、法律・戦略の策定等に取り組んでいるものの、十分な実効性のある対策は講じられていない状況である。

各対策や計画の統一性の確保のためにも地震リスク評価結果の改訂は、ネパール国政府内外から強く求められており、喫緊の課題となっている。係る状況の下、ネパール国政府は日本政府に対し、カトマンズ盆地を対象とした地震リスクアセスメント調査を要請した。一方で、プロジェクト開始直前である 2015 年 4 月 25 日、首都カトマンズの西約 76km、インドプレートとユーラシアプレートの境界を震源とする Mw7.8 (USGS) の地震 (グルカ地震) が発生した。この地震はカトマンズ盆地を含む広い範囲に人的、物的な被害をもたらした。

グルカ地震からの復旧・復興が喫緊の課題ではあるが、同時に将来発生しうる地震に対して効果的な減災対策の実施を推進していく必要があるとの共通認識が JICA 及びネパール国政府との協議の中で確認された。さらに、本プロジェクトは、将来の地震リスク評価を実施するものであり、早期に本格的な活動を開始する必要があるとの見解がネパール国側から強く示された。また、グルカ地震の発生を受け、状況が大きく変化したことから、多くの活動の追加実施が必要となり、具体的には、より良い復興を目指した安全なモデル建築物実証事業の実施、防災啓発事業の実施、地震発生後の被害情報収集分析の実施、詳細地盤調査の実施、緊急対応時系列調査及び緊急対応標準手順書の策定、復旧・復興計画の策定等の実施の必要性が挙げられた。

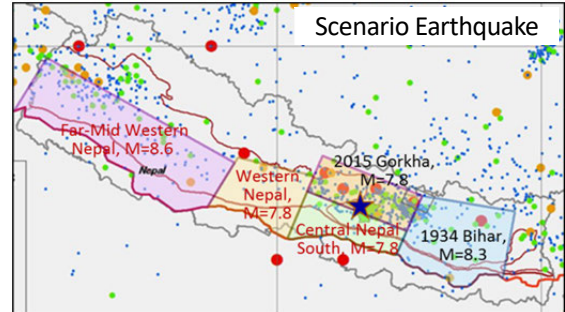
以上の経緯を基に、2015 年 6 月 18 日に開催された第 1 回合同調整委員会 (JCC) 会議において、本プロジェクト業務内容の変更及び実施スケジュールに関する合意を得て、本格的にプロジェクトが開始されることとなった。合意されたプロジェクトの主な活動を右図に示す。



## 2 地震ハザード評価

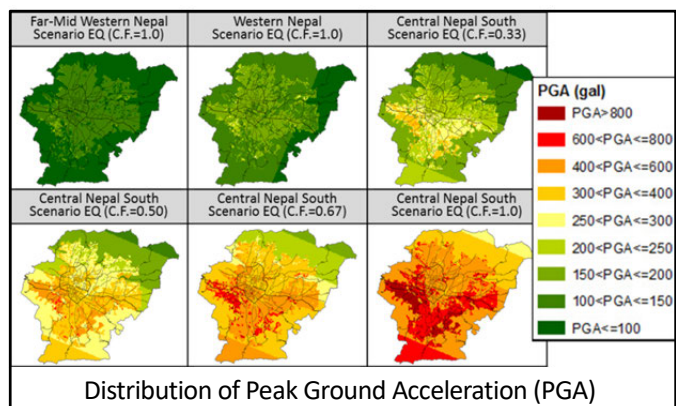
地震リスク評価、地震防災計画策定に先立ち、地震ハザード評価を実施した。本プロジェクトにおける地震ハザード評価は、計画策定時の目標になるような地表地震動の推定が主な目的である。

まず、歴史地震や最近の地震活動状況から、「Far-Mid Western Scenario 地震」、「Western Nepal Scenario 地震」、「Central Nepal South Scenario 地震」の3つのシナリオ地震を設定した。



次に、地震動の表層地盤による増幅を評価するため、地盤のモデル化を行った。空中写真判読と現地調査を行って、詳細な微地形区分図を作成した。400本以上のボーリング資料を収集し、これをもとに東西11断面、南北14断面の地質断面図（最大深さ約500m）を新たに作成した。地震基盤の分布は、重力探査結果とボーリングデータから推定した。土質物性の把握のための調査手法としては、常時微動探査を採用した。トリパタイトアレイ微動探査を5ヶ所を実施し、深さ数100mまでのS波速度分布を調査した。74ヶ所でL-shapeアレイ微動探査を実施し、深さ約50mまでの詳細なS波速度分布を把握した。これらの調査結果をもとに総計11,934個の250mグリッドにおいて、約500mの深さまでの地盤をモデル化した。

地震基盤での地震動は、最新の距離減衰式を用いて算定した。表層地盤の増幅度は、1次元応答解析で評価した。この段階で大きな課題となったのが、2015年グルカ地震の際に観測された地表加速度（PGA）が、距離減衰式を基に計算されたPGAと比べて著しく小さかったことであった。この原因については現時点でも科学的に十分な説明はなされていない。このため本プロジェクトでは、ハザード評価結果及びそれに基づくリスク評価結果を地震防災計画へ反映させていくことを念頭に、ネパール国内外の研究者、専門家との協議の結果、地震動評価の段階で「補正係数」を導入することとした。この補正係数は2015年グルカ地震と1934年ビハール・ネパール地震の観測値と計算値を比較して決定された。なお、「Central Nepal South Scenario 地震」に関しては、解析手法、パラメータ等の不確実性を考慮して、複数の補正係数を採用した。最終的に、6種類のPGA分布図と5種類のPGV分布図がハザードマップとして作成された。



シナリオ地震の地震動評価結果を用いて、液状化危険度と斜面崩壊危険度が評価された。カトマンズ盆地では、評価に必要な詳細な地盤物性等が得られなかったため、過去の災害履歴

を参考に、いくつかの推論のもとに防災計画への反映を考慮して評価を行った。

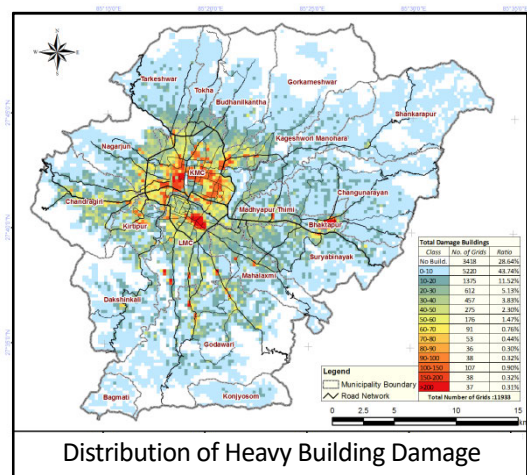
### 3 地震リスク評価

本プロジェクトの地震リスク評価は、JICA が 2002 年に実施した「カトマンズ盆地地震防災対策計画調査プロジェクト」の地震リスク評価結果を最新の知見や情報を基に見直すとともに、その結果をパイロット市の防災計画策定における基礎情報として活用することを目的として実施した。2002 年以降におけるカトマンズ盆地の人口や建物の急激な増加といった社会・経済条件の変化を反映すると同時に、リスク評価手法に関する新たな研究成果を取り入れ、また、プロジェクトが開始する直前 2015 年 4 月 25 日に発生したグルカ地震によるカトマンズ盆地の地震動特性、建物及び人的被害データを活用して地震リスクを推定した。

地震リスク評価では、一般建物、学校校舎、病院建物、政府庁舎といった建築物の被害、及び道路、橋梁、上水道配管、下水道配管、電柱、携帯通信基地局などのインフラ・ライフライン施設の被害、そして建築物やインフラ・ライフライン施設の被害に基づく人的被害、直接的経済損失を対象とした。また、一般建物の被害については、建物耐震化対策の効果を検討するため、防災計画対象期間終了の 2030 年時点における建物耐震化の進捗状況を 6 ケース仮定し、被害を評価した。人的被害については、地震発生時刻を深夜 2 時、平日昼 12 時、週末 (休日) 午後 6 時発生の 3 シーン設定し、それぞれの死者数、負傷者数、避難者数を推定した。

地震リスク評価において、建物、インフラ・ライフライン施設のインベントリーが必要であるが、ネパール国の現状としてそれらのデータはない、あるいは、不完全である。一般建物のインベントリーについて本プロジェクトでは、パイロット 3 市を含む 4 市については建物全棟調査結果を、また、その他地域については 4 市の全棟調査結果とカトマンズ盆地内の建物サンプル調査結果を基に推定した結果を評価に活用している。より現実的に即した地震リスク評価の実施と、その結果に基づく耐震化施策の推進のためには、建物、インフラ・ライフラインのイベントリーデータの収集とデータベース化が重要であり、喫緊な課題である。

地震リスク評価の主な結果を下表に示す。一例として、建物被害の分布を右の図に示す。建物及び人的被害は主に建物、人口密度が高い旧市街地(リングロード内)に集中している。全てのリスク評価の結果を示す図面は別冊の図面集にまとめている。



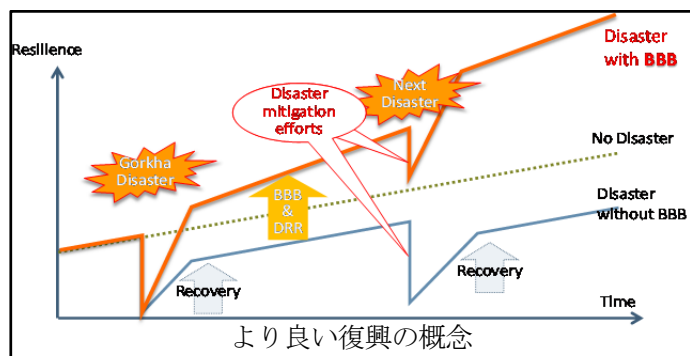
リスク評価結果の概要

| Category                 | Structural Damage and Human Casualty |                                   |        |         |         | Economic Loss (mil. NPR)          |         |         |           |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|-----------|
|                          | Status                               | Scenario Earthquake Ground Motion |        |         |         | Scenario Earthquake Ground Motion |         |         |           |
|                          |                                      | WN                                | CNS-1  | CNS-2   | CNS-3   | WN                                | CNS-1   | CNS-2   | CNS-3     |
| General building         | Heavy damage (No.)                   | 24,961                            | 65,314 | 136,060 | 199,643 | 132,999                           | 371,003 | 761,531 | 1,098,353 |
| Death                    | Night (2:00)                         | 3034                              | 9133   | 22179   | 35726   |                                   |         |         |           |
|                          | Weekday (12:00)                      | 2784                              | 8282   | 19959   | 31956   |                                   |         |         |           |
|                          | Weekend (18:00)                      | 2123                              | 6393   | 15526   | 25008   |                                   |         |         |           |
| School building          | Heavy damage (No.)                   | 237                               | 737    | 1,654   | 2,486   | 20,462                            | 51,231  | 98,171  | 134,932   |
| Health facility building | Heavy damage (No.)                   | 20                                | 64     | 153     | 235     | 27,534                            | 68,588  | 165,683 | 232,782   |
| Government building      | Heavy damage (No.)                   | 20                                | 59     | 126     | 186     | 2,444                             | 8,669   | 16,514  | 22,708    |
| Road                     | Possible damage (km)                 | 0                                 | 82.7   | 373.4   | 845.9   | 0                                 | 471     | 1,620   | 2,878     |
| Bridge                   | Heavy damage (No.)                   | 0                                 | 1      | 12      | 32      | 377                               | 898     | 1,359   | 1,914     |
| Water supply (Existing)  | Damage points                        | 982                               | 1,921  | 3,496   | 5,161   | 36                                | 71      | 129     | 191       |
| Water supply (Planned)   | Damage points                        | 124                               | 255    | 460     | 676     | 5                                 | 9       | 17      | 25        |
| Sewage                   | Damage Length (km)                   | 4.81                              | 8.15   | 11.94   | 18.21   | 76                                | 135     | 200     | 290       |
| Power pole               | Pole broken (No.)                    | 1,327                             | 3,991  | 9,156   | 13,992  | 19                                | 56      | 129     | 197       |
| Mobile BTS tower         | Tower damage (No.)                   | 43                                | 143    | 372     | 601     | 82                                | 272     | 707     | 1,142     |

4 パイロット活動

パイロット活動は、主に本プロジェクトで実施した地震ハザード、リスク評価結果を踏まえて実施した。本活動は、地域特性やグルカ地震の被害状況等から3つのパイロット地区（ラリトプール市、バクタプール市、ブダニールカント市）を選定して実施された。パイロット活動の目的は、パイロット地区における計画策定に関わる能力強化のみならず、リスクアセスメントに基づくネパール国の実状に即した体系的な災害リスク管理のモデルを構築することも含まれる。このため、パイロット活動を通じて得られた課題や成果を整理して、ネパール国地方政府への全国展開方策についても検討された。

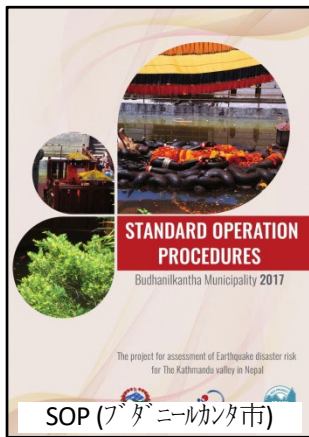
第1フェーズのパイロット活動では、2015年グルカ地震発生を受け、状況が大きく変化したことから、本プロジェクトの活動に緊急的に追加された、緊急対応、復旧・復興に係る活動が主に実施された。具体的には、パイロット地区のより良い復旧・復興計画の策定を目標に、選定されたパイロット地区3市におけるグルカ地震の被害状況を把握し、復興の方向性を明確に示すとともに、「より良い復興（BBB : Build Back Better）」の概念に基づき、復旧・復興の基本方針及び活動計画（アクションプラン）を提示した。また、グルカ地震の緊急対応時系列調査を実施して、実際の緊急対応状況の課題・問題点を明らかにした。防災啓発事業では、パイロット地区のコミュニティ、住民を対象に、地震及び地震に対して安全な建物に関する基礎地域を伝え、住民の地震への恐怖を和らげ、次の地震に対して正し





い備えができるようになることなどを目的に地震防災啓発パンフレットの作成・配布、ワークショップの開催、ラジオ啓発プログラムなどが実施された。

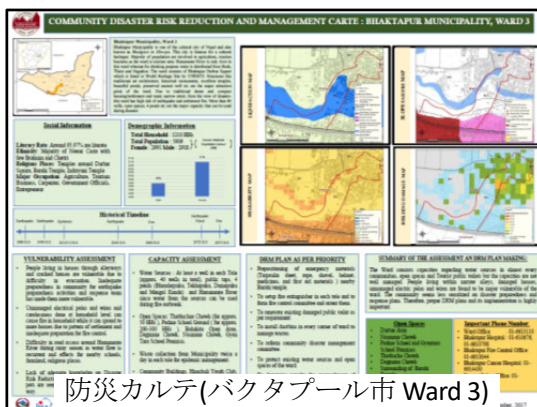
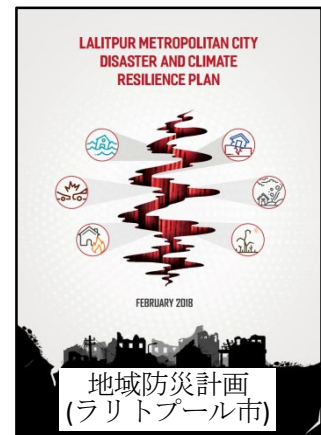
第2 フェーズの活動では、今後の防災・減災、効果的な災害対応への備えに向けた活動が実施された。具体的には、緊急対応標準手順書 (SOP) の作成、地域防災計画策定技術ガイドラインとそれに基づくパイロット地区の地域防災計画の策定、コミュニティ防災活動の実施である。



緊急対応標準手順書 (SOP) は、実災害に備えて、関係者が具体的な緊急対応内容を把握し、効果的な災害対応をするための手順書として作成された。SOP は 4 つの章及び、緊急対策委員会 (ERHQ) の設置や各部署の災害時における具体的対応を示したフロー図等を含む 4 つの添付資料から構成される。

地域防災計画策定技術ガイドラインは、市などの地方政府が効果的かつ実行性の高い地域防災計画を策定できることを目的に、計画の詳細な内容や策定手順、計画の記載例、策定に当たり考慮すべき事項等を整理した計画策定支援マニュアルである。また、このガイドラインに基づき各パイロット地区の地域防災計画が策定された。

策定された地域防災計画では、仙台防災枠組に基づく減災目標の検討や、目標達成のために実施が必要となる防災対策の検討等において、本プロジェクトで実施したリスク評価結果が活用された。各地域の実状に即した効果的な計画となるよう、多くの関係者が参加する形の計画策定ワークショップを各市で複数回開催し、議論が重ねられた。これらのワークショップの結果に基づき、パイロット地区の地域防災計画が最終化された。策定した技術ガイドラインは、ネパール国地方政府による防災戦略を含む地域防災計画策定の全国水平展開に活用でき、仙台防災枠組のグローバルターゲット(e)「2020 年までに、国家・地方の防災戦略を有する国家数を大幅に増やす」に貢献するものである。さらに、パイロット地区の地域防災計画は、ハザード、リスク評価による災害リスクの理解促進や、減災目標の設定等、モデル計画の位置づけとして、全国水平展開に活用できる。

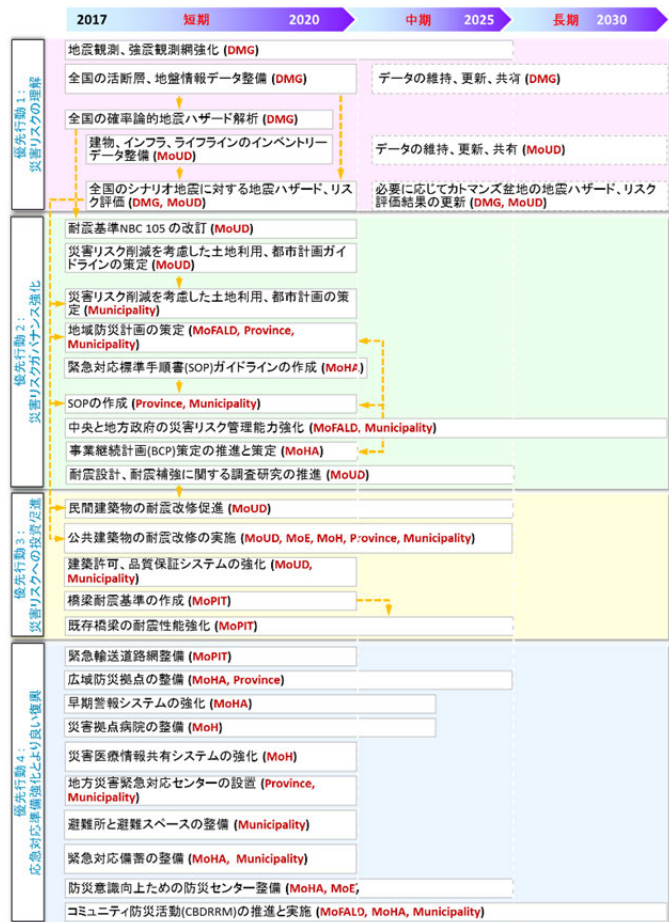


コミュニティ防災活動は、各パイロット市において、パイロット Ward をひとつ選定して実施した。コミュニティ防災活動は、仙台防災枠組のターゲットを達成するために重要な活動のひとつであり、また、パイロット市により良い復旧・復興計画の活動のひとつとして提案されたものである。まず市職員がコミ

コミュニティ防災活動の内容を理解するための3日間の研修を実施した。その後、市職員が主体的に活動に関わりながら、インターアクティブな講義や参加型の協議、地域のタウンウォッチングを含むワークショップの開催などのコミュニティ活動を実施した。これらの活動を基に、コミュニティ防災計画、防災カルテが最終化された。さらに、コミュニティ防災計画に記された優先活動の実施として、緊急対応用の資機材が整備された。

## 5 ネパール国の地震防災における課題と提言

カトマンズ盆地周辺には大地震発生の可能性があり、本プロジェクトの被害想定の結果によると、これらの大地震は2015年グルカ地震よりも大きな被害を引き起こす恐れがある。将来の地震被害を軽減するために、様々な構造物対策及び非構造物対策の措置が必要であり、喫緊の課題である。一方、仙台防災枠組で提唱されている優先行動、グローバルターゲットは、ネパール国における今後の防災に関する政策立案、防災活動の指針となっている。ネパール国の防災対策実施の現状とプロジェクトの実施を通じて認識された課題を基に、仙台防災枠組の優先行動に沿って、ネパール国の地震防災に対する主な提言をロードマップとして作成した。これら提言内容に基づく、着実な防災施策の実施に繋げるには、多岐に渡る防災施策を横断的に指揮する組織が必要であり、新防災法に基づく内務省のリーダーシップによる着実且つ継続的な防災施策の実施を進めていく必要がある。



## 目 次

### プロジェクト対象範囲図

### 要旨

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| <b>第 1 章</b> | <b>プロジェクトの背景・概要</b> .....               | <b>1-1</b> |
| 1.1          | プロジェクトの背景 .....                         | 1-1        |
| 1.2          | プロジェクトの概要 .....                         | 1-2        |
| 1.2.1        | プロジェクト名 .....                           | 1-2        |
| 1.2.2        | プロジェクト対象地域 .....                        | 1-2        |
| 1.2.3        | 上位目標 .....                              | 1-2        |
| 1.2.4        | プロジェクト目標 .....                          | 1-2        |
| 1.2.5        | 期待される成果 .....                           | 1-3        |
| 1.2.6        | 関係省庁及び機関 .....                          | 1-3        |
| 1.2.7        | 裨益者 .....                               | 1-3        |
| 1.3          | プロジェクトの目的 .....                         | 1-3        |
| 1.4          | プロジェクトの実施組織・メンバー .....                  | 1-3        |
| 1.4.1        | プロジェクト実施体制の全体像 .....                    | 1-3        |
| 1.4.2        | 各ワーキンググループの実施体制 .....                   | 1-4        |
| <b>第 2 章</b> | <b>地震ハザード評価</b> .....                   | <b>2-1</b> |
| 2.1          | シナリオ地震の設定 .....                         | 2-1        |
| 2.1.1        | Far-Mid Western Nepal Scenario 地震 ..... | 2-2        |
| 2.1.2        | Western Nepal Scenario 地震 .....         | 2-2        |
| 2.1.3        | Central Nepal South Scenario 地震 .....   | 2-2        |
| 2.2          | 地盤のモデル化 .....                           | 2-3        |
| 2.2.1        | 詳細微地形区分図の作成 .....                       | 2-3        |
| 2.2.2        | 岩盤深さの推定 .....                           | 2-6        |
| 2.2.3        | 地質断面図の作成 .....                          | 2-7        |
| 2.2.4        | 常時微動探査 .....                            | 2-9        |
| 2.2.5        | 地盤のモデル化 .....                           | 2-11       |
| 2.3          | 岩盤での地震動の算定 .....                        | 2-12       |
| 2.4          | 地表での地震動の算定 .....                        | 2-13       |
| 2.4.1        | 入力地震波形 .....                            | 2-13       |
| 2.4.2        | 応答解析のための地盤モデル .....                     | 2-14       |
| 2.4.3        | 検証用地震の地震動の計算 .....                      | 2-14       |
| 2.4.4        | 補正係数の検討 .....                           | 2-15       |



|              |                                       |            |
|--------------|---------------------------------------|------------|
| 2.4.5        | シナリオ地震の地表地震動の算定.....                  | 2-16       |
| 2.5          | 液状化の想定.....                           | 2-18       |
| 2.5.1        | カトマンズ盆地の液状化履歴.....                    | 2-18       |
| 2.5.2        | シナリオ地震の液状化の想定.....                    | 2-19       |
| 2.6          | 地震時斜面崩壊の想定.....                       | 2-20       |
| <b>第 3 章</b> | <b>地震リスク評価.....</b>                   | <b>3-1</b> |
| 3.1          | リスク評価の目的・意義.....                      | 3-5        |
| 3.2          | 評価対象地震動と地震発生シーン.....                  | 3-6        |
| 3.2.1        | シナリオ地震とリスク評価対象地震動.....                | 3-6        |
| 3.2.2        | 地震発生シーン.....                          | 3-6        |
| 3.3          | インベントリーデータ.....                       | 3-8        |
| 3.4          | 地震リスク評価.....                          | 3-9        |
| 3.4.1        | 建物の被害評価.....                          | 3-10       |
| 3.4.2        | 交通インフラの被害評価.....                      | 3-18       |
| 3.4.3        | ライフラインの被害評価.....                      | 3-20       |
| 3.4.4        | 人的被害評価.....                           | 3-24       |
| 3.4.5        | 経済的被害評価.....                          | 3-26       |
| 3.5          | カトマンズ盆地相対的脆弱性分析.....                  | 3-30       |
| 3.6          | リスク評価管理体制と将来の改訂に向けた提言.....            | 3-31       |
| <b>第 4 章</b> | <b>パイロット活動.....</b>                   | <b>4-1</b> |
|              | パイロット地区.....                          | 4-1        |
| 4.1          | パイロット地区のより良い復旧・復興計画の策定.....           | 4-3        |
| 4.1.1        | パイロット地区のより良い復旧・復興計画の概要.....           | 4-3        |
| 4.1.2        | 復旧・復興計画の構成の検討.....                    | 4-3        |
| 4.1.3        | 復旧・復興基本計画の策定.....                     | 4-6        |
| 4.1.4        | 土地利用方針の検討.....                        | 4-8        |
| 4.1.5        | 復旧・復興アクションプランの策定.....                 | 4-10       |
| 4.1.6        | 復旧・復興計画の最終化.....                      | 4-12       |
| 4.2          | 緊急対応標準手順書(SOP).....                   | 4-14       |
| 4.3          | ネパール国地方政府における地域防災計画策定技術ガイドラインの策定..... | 4-15       |
| 4.3.1        | 地域防災計画策定技術ガイドラインの概要.....              | 4-15       |
| 4.3.2        | 地域防災計画策定技術ガイドラインの構成の検討.....           | 4-16       |
| 4.3.3        | 地域防災計画策定技術ガイドラインの策定.....              | 4-18       |
| 4.4          | パイロット地区の地域防災計画の策定.....                | 4-20       |
| 4.4.1        | パイロット地区の地域防災計画の概要.....                | 4-20       |
| 4.4.2        | 地域防災計画の策定.....                        | 4-20       |
| 4.5          | コミュニティ防災活動.....                       | 4-26       |

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| 4.5.1        | コミュニティ防災活動に関するパイロット活動の概要.....                           | 4-26       |
| 4.5.2        | コミュニティ防災パイロット活動の結果.....                                 | 4-27       |
| 4.5.3        | コミュニティ防災パイロット活動における課題、および活動を通して得られた教訓.....              | 4-28       |
| 4.6          | ネパール国地方政府レベルの今後の防災・減災活動に向けた提言及びパイロット活動による成果の全国展開方策..... | 4-29       |
| <b>第 5 章</b> | <b>仙台防災枠組への貢献と災害リスク削減に向けた提言.....</b>                    | <b>5-1</b> |
| 5.1          | プロジェクト成果を通じた仙台防災枠組への貢献.....                             | 5-1        |
| 5.2          | リスク評価結果活用にかかる提言.....                                    | 5-2        |
| 5.3          | 地震災害リスク軽減における提言.....                                    | 5-5        |

## 図リスト

|          |  |      |
|----------|--|------|
| 図 1.4.1  | プロジェクト実施体制.....  | 1-4  |
| 図 1.4.2  | WG の構成.....  | 1-4  |
| 図 2.1.1  | 設定したシナリオ地震とその震源断層.....                                 | 2-3  |
| 図 2.2.1  | カトマンズ盆地の微地形区分図.....                                    | 2-6  |
| 図 2.2.2  | 重力探査結果とボーリングデータに基づく推定岩盤深さの分布.....                      | 2-7  |
| 図 2.2.3  | 新たに作成した地質断面図.....                                      | 2-8  |
| 図 2.2.4  | 微動探査地点分布.....  | 2-9  |
| 図 2.2.5  | トリパタイトアレイ微動探査の解析結果による深い地盤の S 波速度構造と地層名.....            | 2-10 |
| 図 2.2.6  | 測定した S 波速度と微地形区分の関係.....                               | 2-11 |
| 図 2.2.7  | 沖積低地(AL)の深さ 10M ごとの S 波速度構造と標高の関係.....                 | 2-11 |
| 図 2.2.8  | 地盤のグリッドモデルの表示例 (南北方向断面).....                           | 2-12 |
| 図 2.3.1  | 最大加速度推定に使用した距離減衰式 (NGA).....                           | 2-13 |
| 図 2.4.1  | 応答解析に使用した、Vs=600M/SEC 地盤に変換した入力地震波形 (下) と元波形 (上).....  | 2-14 |
| 図 2.4.2  | 補正係数 x1/1 の場合の検証地震の PGA 計算結果.....                      | 2-15 |
| 図 2.4.3  | グルカ地震と最大余震の PGA 計算結果 (観測値を説明できるように補正係数を設定).....        | 2-15 |
| 図 2.4.4  | グルカ地震と最大余震の観測値 (横軸) と計算値 (縦軸) の比較、(左) PGA、(右) PGV..... | 2-16 |
| 図 2.4.5  | シナリオ地震の PGA 計算結果.....                                  | 2-17 |
| 図 2.4.6  | シナリオ地震の PGV 計算結果.....                                  | 2-17 |
| 図 2.5.1  | カトマンズ盆地の液状化履歴.....                                     | 2-18 |
| 図 2.5.2  | 液状化の想定結果 (雨季).....                                     | 2-19 |
| 図 2.5.3  | 液状化の想定結果 (乾季).....                                     | 2-20 |
| 図 2.6.1  | 提案した表層崩壊の判定基準.....                                     | 2-21 |
| 図 2.6.2  | 想定地震により斜面が崩壊する可能性についての評価結果.....                        | 2-22 |
| 図 3.2.1  | 2016 年を対象とした地震発生シーン.....                               | 3-7  |
| 図 3.2.2  | 2030 年を対象とした地震発生シーン.....                               | 3-8  |
| 図 3.4.1  | 建物リスク評価のフロー.....                                       | 3-10 |
| 図 3.4.2  | 一般建物の被害関数 (左: 盆地一般(中央)部、右: 盆地周辺部).....                 | 3-11 |
| 図 3.4.3  | 歴史建造物の被害関数.....  | 3-11 |
| 図 3.4.4  | 2016 年時点の建物リスク評価結果 (CNS-2、左: 被害数、右: 被害率).....          | 3-13 |
| 図 3.4.5  | 学校校舎の被害リスク評価結果.....                                    | 3-16 |
| 図 3.4.6  | 病院・医療施設の建物の被害評価結果.....                                 | 3-16 |
| 図 3.4.7  | 政府庁舎の被害評価結果.....                                       | 3-17 |
| 図 3.4.8  | 3 ダルバール広場内の歴史建造物 (計 108) のリスク評価結果 (被害数と被害率).....       | 3-18 |
| 図 3.4.9  | 建物倒壊による緊急輸送道路の閉塞率(CNS-2).....                          | 3-19 |
| 図 3.4.10 | 橋梁の被害.....   | 3-20 |
| 図 3.4.11 | 上水道管路網の被害分布(CNS-2、左: 既存水道網、右: 建設中水道網).....             | 3-21 |

|          |   |      |
|----------|---|------|
| 図 3.4.12 | 下水道網の被害(CNS-2).....                                   | 3-22 |
| 図 3.4.13 | 電柱被害分布図(CNS-2).....                                   | 3-23 |
| 図 3.4.14 | 屋上通信アンテナ(屋上 BTS)の被害(CNS-2).....                       | 3-24 |
| 図 3.4.15 | 死者数(左)と死亡率(右)の分布.....                                 | 3-25 |
| 図 3.4.16 | シナリオ地震動別直接被害額とカトマンズ盆地 GDP の比較.....                    | 3-28 |
| 図 3.4.17 | シナリオ地震動別被害額と GDP の比較.....                             | 3-30 |
| 図 3.5.1  | カトマンズ盆地の相対的脆弱性分布.....                                 | 3-31 |
| 図 4.1.1  | 復旧・復興計画と地域防災計画、ハザード・リスク評価との関連図.....                   | 4-3  |
| 図 4.1.2  | 復旧・復興計画の構成.....                                       | 4-4  |
| 図 4.1.3  | より良い復興のコンセプト.....                                     | 4-5  |
| 図 4.1.4  | ビジョンの位置づけ、パイロット地区毎の差異.....                            | 4-6  |
| 図 4.1.5  | 復旧・復興計画 グランドデザイン (ラリトプール市の例).....                     | 4-7  |
| 図 4.1.6  | 復旧・復興計画 基本方針フレームワーク (ラリトプール市の例).....                  | 4-8  |
| 図 4.1.7  | 土地利用方針検討のプロセス.....                                    | 4-9  |
| 図 4.1.8  | 高密度地域及び被災地域と現況土地利用図の重合[左図]、脆弱地域[右図]<br>(ラリトプール市)..... | 4-10 |
| 図 4.1.9  | パイロット市復旧・復興計画 アクションプラン構成.....                         | 4-11 |
| 図 4.2.1  | 最終版 SOP の目次.....                                      | 4-14 |
| 図 4.3.1  | 地域防災計画策定技術ガイドラインの位置づけ.....                            | 4-16 |
| 図 4.3.2  | 地域防災計画策定技術ガイドラインの構成.....                              | 4-16 |
| 図 4.3.3  | VCA 及びリスクアセスメント(被害想定)による策定手順[技術ガイドライン内の図].....        | 4-18 |
| 図 4.3.4  | 防災対策の検討方法[技術ガイドライン内の図].....                           | 4-19 |
| 図 4.4.1  | 地域防災計画の策定手順.....                                      | 4-20 |
| 図 4.4.2  | 地域防災計画・SOP ワークショップの様子.....                            | 4-22 |
| 図 4.4.3  | ハザードマップ等 (ラリトプール市地域防災計画の事例).....                      | 4-23 |
| 図 4.4.4  | 優先対策図(ラリトプール市地域防災計画の事例).....                          | 4-24 |
| 図 4.4.5  | 地域防災計画の表紙 (ラリトプール市の例).....                            | 4-25 |
| 図 4.5.1  | パイロット活動の基本的な内容と流れ.....                                | 4-26 |
| 図 4.5.2  | ワークショップの様子.....                                       | 4-27 |
| 図 4.5.3  | ラリトプール市 WARD8 で作成した防災カルテ (表面) と防災マップ.....             | 4-28 |
| 図 5.3.1  | 地震災害リスク軽減に向けたロードマップ.....                              | 5-6  |

## 表リスト

|          |   |      |
|----------|---|------|
| 表 2.2.1  | カトマンズ盆地の詳細な微地形区分 .....                                  | 2-4  |
| 表 2.2.2  | デルター湖成段丘の <sup>14</sup> C 年代と高さ .....                   | 2-5  |
| 表 2.4.1  | 採用した補正係数 .....  | 2-16 |
| 表 3.2.1  | リスク評価の対象とするシナリオ地震動 .....                                | 3-6  |
| 表 3.2.2  | 地震発生シーンに想定される被害の特徴 .....                                | 3-7  |
| 表 3.3.1  | 建物及びインフラ・ライフラインのインベントリーデータ .....                        | 3-9  |
| 表 3.4.1  | 建物被害関数の分類と構造形式 .....                                    | 3-11 |
| 表 3.4.2  | 建物被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表 .....                       | 3-12 |
| 表 3.4.3  | 耐震性向上促進策の経済被害低減効果 .....                                 | 3-13 |
| 表 3.4.4  | 耐震性向上促進策によるコスト増 .....                                   | 3-14 |
| 表 3.4.5  | 建物被害推定結果 (2016 年、2030 年、及び 2030 年建物耐震化対策有の 5 ケース) ..... | 3-15 |
| 表 3.4.6  | 学校校舎の被害評価結果のまとめ(棟数と被害率) .....                           | 3-16 |
| 表 3.4.7  | 病院・医療施設の被害評価結果のまとめ(棟数と被害率) .....                        | 3-17 |
| 表 3.4.8  | 政府庁舎の被害評価結果のまとめ(棟数と被害率) .....                           | 3-17 |
| 表 3.4.9  | 道路被害の推定結果(上段：被害延長(KM)、下段：被害率)一覧表 .....                  | 3-19 |
| 表 3.4.10 | 橋梁被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表 .....                       | 3-20 |
| 表 3.4.11 | 上水道網被害の推定結果(上段：被害箇所数、下段：被害率)一覧表 .....                   | 3-21 |
| 表 3.4.12 | 下水道網被害の推定結果(上段：被害延長(KM)、下段：被害率)一覧表 .....                | 3-22 |
| 表 3.4.13 | 電柱被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表 .....                       | 3-23 |
| 表 3.4.14 | BTS 被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表 .....                     | 3-23 |
| 表 3.4.15 | 人的被害の推定結果 .....   | 3-25 |
| 表 3.4.16 | 2030 年人的被害の推定 .....                                     | 3-26 |
| 表 3.4.17 | 建物の被害推定額(単位:百万 NPR) .....                               | 3-27 |
| 表 3.4.18 | 学校・病院・政府庁舎・歴史的建造物の被害推定額(単位:百万 NPR) .....                | 3-27 |
| 表 3.4.19 | 交通インフラ、ライフラインの被害推定額(単位：百万 NPR) .....                    | 3-28 |
| 表 3.4.20 | シナリオ地震動別直接被害額(単位：百万 NPR) .....                          | 3-28 |
| 表 3.4.21 | 地震前後における観光セクターに於ける雇用者数の推移 .....                         | 3-29 |
| 表 3.4.22 | 地震前後に於ける外貨獲得額の推移 (単位:百万 USD) .....                      | 3-29 |
| 表 4.1.1  | 基本方針 .....  | 4-5  |
| 表 4.1.2  | パイロット市復旧・復興計画 基本計画概要 .....                              | 4-6  |
| 表 4.1.3  | 各パイロット市の土地利用方針 .....                                    | 4-10 |
| 表 4.1.4  | パイロット市復旧・復興計画 アクションプラン概要 .....                          | 4-11 |
| 表 4.1.5  | 復旧・復興計画の予算化状況 (ラトプール市の例) .....                          | 4-13 |
| 表 4.3.1  | 地域防災計画策定技術ガイドラインの目次 .....                               | 4-17 |
| 表 4.4.1  | 地域防災計画の目次と内容の基資料 .....                                  | 4-21 |
| 表 4.4.2  | 各パイロット地区の対象災害と優先順位 .....                                | 4-23 |
| 表 4.4.3  | パイロット地区の地域防災戦略 .....                                    | 4-24 |

|         |                                  |      |
|---------|----------------------------------|------|
| 表 4.4.4 | 建物の耐震補強にかかる概算費用（ラリトプール市の例） ..... | 4-25 |
| 表 4.6.1 | 日本の市町村における防災職員数の現状 .....         | 4-29 |
| 表 4.6.2 | パイロット活動による成果の全国展開方策 .....        | 4-31 |
| 表 4.6.3 | 地域防災計画の全国展開に要する期間及び費用の概算 .....   | 4-32 |
| 表 5.2.1 | 学校校舎被害と建替えに必要な費用の試算 .....        | 5-3  |

略語表

| 略語             | 正式名 (英語)   | 日本語表記                                    |
|----------------|--|--|
| <b>BBB</b>     | Build Back Better  | より良い復興                                   |
| <b>BCP</b>     | Business Continuity Plan   | 事業継続計画                                   |
| <b>BSPS</b>    | Promotion on Building Seismic Performance Strengthening  | 建物耐震性向上促進策                               |
| <b>BTS</b>     | Base Transceiver Station   | 各携帯電話端末と無線通信網を繋ぐアンテナ                     |
| <b>CBDRRM</b>  | Community Based Disaster Risk Reduction and Management   | コミュニティ防災                                 |
| <b>CBS</b>     | Central Bureau of Statistics   | 中央統計局                                    |
| <b>CDMC</b>    | Community Disaster Management Committee  | コミュニティ防災委員会                              |
| <b>CNS-1</b>   | Central Nepal South Scenario Earthquake Ground Motion, PGA Correction Factor 1/3               | 中央ネパール南シナリオ地震動、PGA 補正係数 1/3              |
| <b>CNS-2</b>   | Central Nepal South Scenario Earthquake Ground Motion, PGA Correction Factor 1/2               | 中央ネパール南シナリオ地震動、PGA 補正係数 1/2              |
| <b>CNS-3</b>   | Central Nepal South Scenario Earthquake Ground Motion, PGA Correction Factor 2/3               | 中央ネパール南シナリオ地震動、PGA 補正係数 2/3              |
| <b>C/P</b>     | Counterpart  | カウンターパート                                 |
| <b>DCC</b>     | District Coordination Committee  | 郡調整委員会                                   |
| <b>DDC</b>     | District Development Committee   | 郡開発委員会                                   |
| <b>DMG</b>     | Department of Mines and Geology  | 鉱山地質局                                    |
| <b>DoE</b>     | Department of Education  | 教育局                                      |
| <b>DoH</b>     | Department of Health   | 保健局                                      |
| <b>DoLIDAR</b> | Department of Local Development and Agricultural Roads   | 地方インフラ開発農道局                              |
| <b>DoR</b>     | Department of Road   | 道路局                                      |
| <b>DoS</b>     | Department of Survey   | 調査局                                      |
| <b>DRRM</b>    | Disaster Risk Reduction and Management   | 防災                                       |
| <b>DUDBC</b>   | Department of Urban Development and Building Construction                                      | 都市開発建設局                                  |
| <b>EMS98</b>   | European Macroseismic Scale  | ヨーロッパ震度階 1998                            |
| <b>ERAKV</b>   | The Project for Assessment of Earthquake Disaster Risk for the Kathmandu Valley (This project) | 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 (本プロジェクト) |
| <b>ERHQ</b>    | Emergency Response Head Quarters   | 緊急対策委員会                                  |
| <b>GDP</b>     | Gross Domestic Product   | 国内総生産                                    |
| <b>GIS</b>     | Geographic Information System  | 地理情報システム                                 |
| <b>GoN</b>     | Government of Nepal  | ネパール国政府                                  |
| <b>HFA</b>     | Hyogo Framework for Action   | 兵庫行動枠組                                   |
| <b>HVCA</b>    | Hazard, Vulnerability and Capacity Assessment  | ハザード・脆弱性・キャパシティアセスメント                    |
| <b>IDNDR</b>   | International Decade for Natural Disaster Reduction  | 国際防災の 10 年                               |



| 略語               | 正式名 (英語)   | 日本語表記                       |
|------------------|--|-----------------------------|
| JCC              | Joint Coordinating Committee                                     | 合同調整委員会                     |
| JICA             | Japan International Cooperation Agency                           | 国際協力機構                      |
| JWG              | Joint Working Group  | ジョイントワーキンググループ              |
| KMC              | Kathmandu Metropolitan City                                      | カトマンズ市                      |
| KUKL             | Kathmandu Upatyaka Khanepani Limited                             | カトマンズ盆地飲料水会社                |
| KV               | Kathmandu Valley   | カトマンズ盆地                     |
| LDCRP            | Local Disaster and Climate Resilience Plan                       | 地域防災計画                      |
| LDRMP            | Local Disaster Risk Management Planning                          | 地域防災計画                      |
| LMC              | Lalitpur Metropolitan City                                       | ラリトプール市                     |
| MFT              | Main Frontal Thrust  | 主前縁断層                       |
| MHT              | Main Himalayan Thrust  | 主ヒマラヤ断層                     |
| M/M              | Minutes of Meeting   | 協議議事録                       |
| MMI              | Modified Mercalli intensity scale                                | 改正メルカリ震度階級                  |
| MoE              | Ministry of Education  | 教育省                         |
| MoFALD           | Ministry of Federal Affairs and Local Development                | 連邦地方開発省                     |
| MoHA             | Ministry of Home Affairs   | 内務省                         |
| MoHP             | Ministry of Health and Population                                | 保健人口省                       |
| MoPIT            | Ministry of Physical Infrastructure and Transport                | 公共インフラ・交通省                  |
| MoUD             | Ministry of Urban Development                                    | 都市開発省                       |
| Mw               | Moment Magnitude   | モーメントマグニチュード                |
| NBC              | Nepal National Building Code                                     | ネパール国建築基準                   |
| NEA              | Nepal Electricity Authority                                      | ネパール国電力公社                   |
| NGA              | New Generation Attenuation                                       | 距離減衰式                       |
| NGO              | Non-governmental Organization                                    | 非政府組織                       |
| NPR              | Nepal Rupee  | ネパールルピー (通貨)                |
| NRRC             | Nepal Risk Reduction Consortium                                  | ネパール国リスク軽減コンソーシアム           |
| NSC              | National Seismological Centre                                    | ネパール国地震センター                 |
| NSDRM            | National Strategy for Disaster Risk Management                   | 国家防災戦略                      |
| NTA              | Nepal Telecommunication Authority                                | ネパール国通信事業公社                 |
| NTC              | Nepal Telecom  | ネパール国テレコム                   |
| PDNA             | Post Disaster Needs Assessment                                   | 災害後ニーズ評価                    |
| PGA              | Peak Ground Acceleration   | 地表面最大加速度                    |
| PGV              | Peak Ground Velocity   | 地表面最大速度                     |
| PID              | Project Implementation Directorate                               | プロジェクト実行総局                  |
| RC               | Reinforced-Concrete  | 鉄筋コンクリート                    |
| RRNE             | The Project on Rehabilitation and Recovery from Nepal Earthquake | JICA ネパール国ネパール地震復旧・復興プロジェクト |
| SATREPS          | Science and Technology Research Partnership                      | 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム       |
| Sendai Framework | Sendai Framework for Disaster Risk Reduction                     | 仙台防災枠組                      |

| 略語              | 正式名 (英語)  | 日本語表記                     |
|-----------------|---|---------------------------|
| <b>SHM</b>      | Structural Health Monitoring  | 構造ヘルスマモニタリング              |
| <b>SI</b>       | Spectrum Intensity  | SI 値                      |
| <b>SOP</b>      | Standard Operation Procedure  | 緊急対応標準手順書                 |
| <b>TG LDCRP</b> | Technical Guideline for Formulation of LDCRP                          | 地域防災計画策定技術ガイドライン          |
| <b>UNDP</b>     | United Nation Development Program                                     | 国際連合開発計画                  |
| <b>USGS</b>     | United States Geological Survey                                       | 米国地質調査所                   |
| <b>VCA</b>      | Vulnerability and Capacity Assessment                                 | 脆弱性・キャパシティアセスメント          |
| <b>VDC</b>      | Village Development Committees  | 村落開発委員会                   |
| <b>WG</b>       | Working Group   | ワーキンググループ                 |
| <b>WN</b>       | Western Nepal Scenario Earthquake Ground Motion,<br>No PGA Correction | ネパール西部シナリオ地震動、<br>PGA 補正無 |
| <b>WS</b>       | Workshop  | ワークショップ                   |

## 第 1 章 プロジェクトの背景・概要

---

### 1.1 プロジェクトの背景

ネパール国は、インドプレートとユーラシアプレートが衝突する地帯に位置し、その周辺地域を含めて世界でも有数の地震地帯である。ネパール国の首都を擁するカトマンズ盆地は、過去に大きな地震災害が度々発生している。1934 年のビハール地震 (マグニチュード 8.4) では、カトマンズ盆地の建築物のうち約 20%が破壊され、9,040 人の死者を出した。2011 年 9 月 18 日のインド国内を震源としたシッキム地震 (マグニチュード 6.9) では、カトマンズ市内で 7 名の死者、136 名の負傷者が記録されている。

カトマンズ盆地では、地震の発生リスクが高いにも関わらず、建築物の耐震化や土地利用規制、建築基準法の遵守などの対策がほとんど進んでいない状況である。さらに、都市部への急激な人口流入に伴う既存の建築物の増築、補強のない組積造に代表されるノンエンジニアド建築による市街地の拡大など、災害リスクも年々増している。ネパール国政府としても、法律・戦略の策定等に取り組んでいるものの、十分な実効性のある対策は講じられていない状況である。

JICA が 2002 年に実施した開発調査「カトマンズ盆地地震防災対策計画調査」(以下、2002 年 JICA 調査)において、1934 年のビハール地震を基に試算した被害は、大破する建物 53,000 棟(盆地内全住宅建物の 21%)、死者数 18,000 人(盆地人口の 1.3%)、重傷者 53,000 人(盆地人口の 3.8%)となっている。2002 年 JICA 調査以降、人口及び建物数が大きく増加しており(2001 年からの 10 年間で盆地内の人口はおおよそ 1.5 倍、建築物は約 1.7 倍に増加したと推測されている)、想定被害も増加するものと考えられるが、ネパール国によるリスク評価結果の見直しや更新は行われておらず、現状に即した科学的データに基づく開発計画などの政策検討ができる状況ではない。

各対策や計画の統一性の確保のためにも地震リスク評価結果の改訂は、ネパール国政府内外から強く求められており、喫緊の課題となっている。係る状況の下、ネパール国政府は日本政府に対し、カトマンズ盆地を対象とした地震リスクアセスメント調査を要請した。JICA は本要請を受け、2014 年 4 月及び 9 月に詳細計画策定調査団を派遣し、開発調査型技術協力プロジェクトとして、2014 年 9 月 24 日に協議議事録 (M/M) を署名・交換した。

プロジェクト開始直前である 2015 年 4 月 25 日、首都カトマンズの西約 76km、インドプレートとユーラシアプレートの境界を震源とする Mw7.8 (USGS) の地震 (グルカ地震) が発生した。この地震はカトマンズ盆地を含む広い範囲に人的、物的な被害をもたらした (死者

8,790 人、負傷者 22,300 人、全壊建物約 500,000 棟、半壊建物約 250,000 棟 (PDNA) )。この地震の発生を受け、JICA は、5 月 6 日に本プロジェクトチームから 3 名の団員を緊急にカトマンズに派遣し、被害状況及び地震後のネパール国政府の復旧・復興ニーズの把握、そして、そのニーズを反映した本プロジェクトの業務内容変更に関するネパール国側のカウンターパートとの協議を実施した。

大きな被害をもたらしたグルカ地震ではあるが、地震の規模、深さ及び破壊の方向を考慮すると、より揺れは大きく、被害もより甚大になると考えられた。しかし、実際には、カトマンズ盆地での揺れは地震の規模に対して経験則的には小さく、建築物被害は脆弱性が非常に高い住宅等の構造物に集中し、インフラ・ライフライン被害も限定的であった。このような状況から、グルカ地震からの復旧・復興が喫緊の課題ではあるが、同時に将来発生しうる地震に対して効果的な減災対策の実施を推進していく必要があるとの共通認識が JICA 及びネパール国政府との協議の中で確認された。さらに、本プロジェクトは、将来の地震リスク評価を実施するものであり、早期に本格的な活動を開始する必要があるとの見解がネパール国側から強く示された。また、グルカ地震の発生を受け、状況が大きく変化したことから、多くの活動の追加実施が必要となり、具体的には、より良い復興を目指した安全なモデル建築物実証事業の実施、防災啓発事業の実施、地震発生後の被害情報収集分析の実施、詳細地盤調査の実施、緊急対応時系列調査及び緊急対応標準手順書の策定、復旧・復興計画の策定等の実施の必要性が挙げられた。このような状況から、2015 年 6 月 18 日に第 1 回合同調整委員会 (JCC) 会議が開催され、本プロジェクト業務内容の変更及び実施スケジュールに関する合意を得て、本格的にプロジェクトが開始されることとなった。

## 1.2 プロジェクトの概要

### 1.2.1 プロジェクト名

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

### 1.2.2 プロジェクト対象地域

- リスクアセスメント：カトマンズ盆地 (カトマンズ郡、ラリトプール郡、バクタプール郡に所属する 20 市)
- パイロット活動：ラリトプール市、バクタプール市、ブダニールカンタ市

### 1.2.3 上位目標

災害リスクに基づく施策が実施され、対象地域における地震災害リスクが減少する。

### 1.2.4 プロジェクト目標

グルカ地震発生後の状況を考慮した、将来のシナリオ地震に対するカトマンズ盆地における地震災害リスク評価が行われ、具体的且つ効果的な防災対策の推進のための防災計画が策定されること

### 1.2.5 期待される成果

- 1) 科学技術を用いたシナリオ地震に基づくカトマンズ盆地のハザード評価の実施及び地盤モデルの作成が行われる。
- 2) 1) のハザード評価に基づくリスク評価が実施され、複数の発生シナリオを用いた被害想定として取りまとめられる。
- 3) 社会状況の変化に伴ったリスク評価結果の改定にかかる体制が強化される。
- 4) パイロット地区においてハザード分析を用いた BBB 復興計画及びリスク評価結果を用いた地域防災計画が策定される。

### 1.2.6 関係省庁及び機関

- 責任機関： 都市開発省 (MoUD)
- 関係機関： 内務省 (MoHA)、連邦地方開発省 (MoFALD)、鉱山地質局 (DMG)、カトマンズ盆地内地方政府

### 1.2.7 裨益者

- 直接裨益者：中央政府及びカトマンズ盆地内地方行政機関  
(地方行政機関：カトマンズ郡、ラリトプール郡、バクタプール郡内の 20 市)
- 間接裨益者：カトマンズ盆地内住民 (人口約 250 万人)

## 1.3 プロジェクトの目的

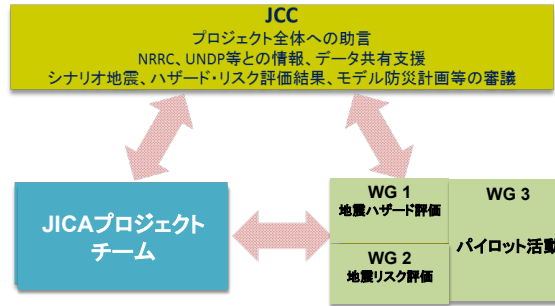
本プロジェクト実施の目的は、以下のとおりである。

- 1) グルカ地震発生を受けて状況が変化したことを受けて、新たなシナリオ地震を設定し、より詳細なハザード分析に基づいたリスク評価の実施を通じて、カトマンズ盆地における将来発生しうる地震災害の被害を想定する。
- 2) 上記 1) の結果を反映した強靱な都市づくりを実現するための、より良い (Build Back Better (BBB)) 復興計画及び防災計画を策定する。
- 3) 上記の活動を通じたカトマンズ盆地における具体的な防災・減災施策の早期実施を推進し、対象地域における地震災害リスクの軽減に貢献する。

## 1.4 プロジェクトの実施組織・メンバー

### 1.4.1 プロジェクト実施体制の全体像

プロジェクトは JCC と 3 つのワーキンググループ (WG) を設置し、JICA プロジェクトチームとカウンターパート機関が協働して進めた。(図 1.4.1) また、JCC とは別に、WG 間の情報共有の場として、Joint Working Group (JWG) の会議を適宜開催している。各 WG の詳細は 1.4.2 にて説明する。

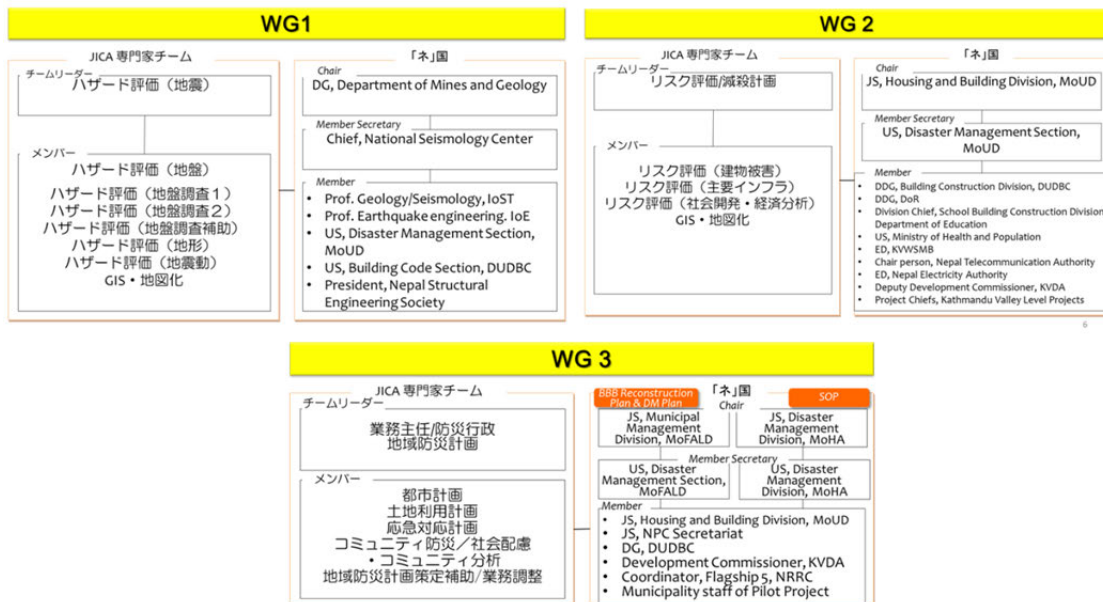


出典: JICA プロジェクトチーム

図 1.4.1 プロジェクト実施体制

### 1.4.2 各ワーキンググループの実施体制

本プロジェクトは、WG を技術的議論及びコンセンサスを得る場として最大限に活用し、また、WG 間の連携を持ってプロジェクトを進行した。各 WG の構成は図 1.4.2 に示すとおりである。



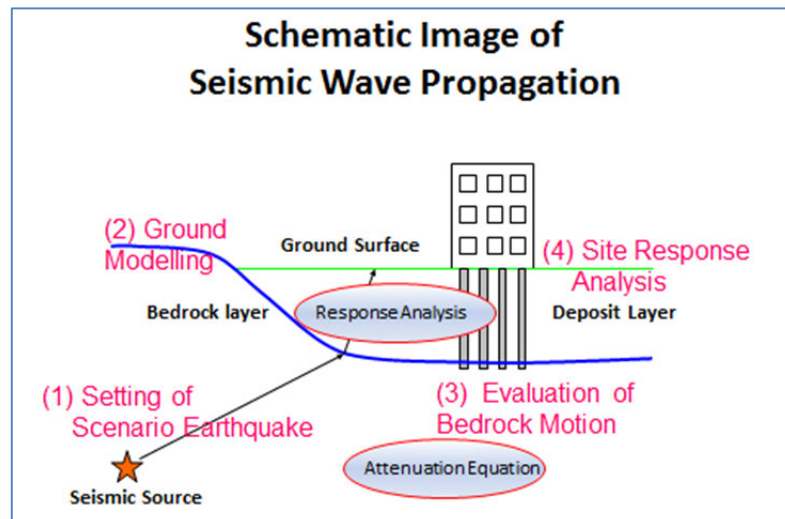
出典: JICA プロジェクトチーム

図 1.4.2 WG の構成

## 第 2 章 地震ハザード評価

この章では、後続する地震リスク評価及び地震防災計画などの策定に先立って実施した地震ハザード評価について述べる。主な内容は地震防災計画策定時の目標になるような地表地震動の推定である。

地震ハザード評価は、基本的に地震動の伝播の流れに沿って、(1) シナリオ地震の設定、(2) 地盤のモデル化、(3) 岩盤での地震動の推定、そして(4) 地震応答計算による表層地盤の地震動応答評価と地表での地震動の推定という流れで進めた (図 2.1)。また、地震に伴う液化と斜面崩壊についても想定を行った。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.1 地震ハザード評価の流れ

震源から放射された地震動は、深い岩盤中を伝播して、対象とするカトマンズ盆地の地下に達し、さらに表層地盤を伝播して地表に達する。本プロジェクトでは、シナリオ地震と検証用地震を設定し、岩盤での地震動は距離減衰式を用いて想定した。また、地盤モデルとしては、この岩盤から地表までの表層地盤を数値モデル化した。シナリオ地震と距離減衰式の設定と並行して、地盤資料の収集・整理と各種地盤調査を実施し、表層地盤モデルの作成とこれを用いた地震応答解析を行った。

### 2.1 シナリオ地震の設定

検討対象とした地震は、3つのシナリオ地震と2つの検証用地震である。シナリオ地震は、SATREPSの研究者とScientific Community (DMGが事務局となっている、ネパール国内外の研究者、専門家の集まり)と相談したうえでDMGとともに設定した、「Far-Mid Western



Scenario 地震」、「Western Nepal Scenario 地震」、「Central Nepal South Scenario 地震」である。検証用地震は「1934 年ビハール・ネパール地震」と「2015 年グルカ地震（最大余震を含む）」である。シナリオ地震の断層モデルを図 2.1.1 に示した。シナリオ地震の根拠と歴史地震の関係を以下に記す。

### 2.1.1 Far-Mid Western Nepal Scenario 地震

極西部～中西部ネパール地域では 1505 年に大きな地震が発生し、ネパール国、チベット自治区、インド国に大きな被害を与えている。この地震によるカトマンズでの被害の記録は確認されていないが、再来した場合の影響を検討するためにシナリオ地震とした。震源域は SATREPS チームの想定を基とし、南側の境界は Scientific Community のコメントに従って MFT（主前縁断層: Main Frontal Thrust）と一致させた。

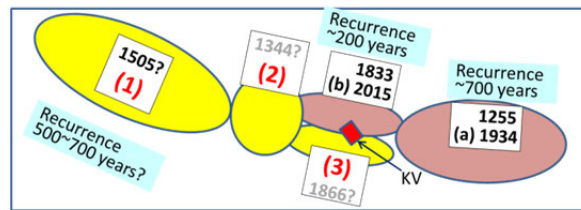
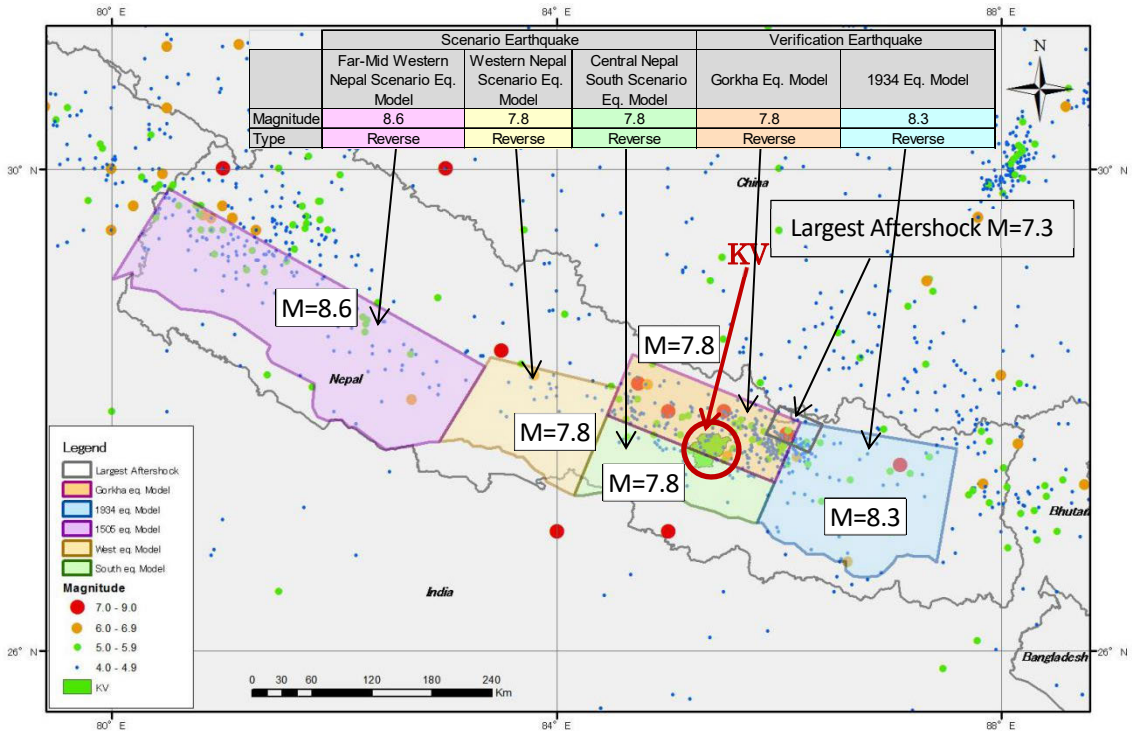
### 2.1.2 Western Nepal Scenario 地震

西部ネパールでは、1344 年または 1408 年の地震以降、600 年以上にわたって大きな地震が発生していない。東部ネパールでは 1255 年に大地震が発生してカトマンズに大災害をもたらしており、その 679 年後の 1934 年にも大地震が発生し、カトマンズは大きな被害を被った。このような地震の再来過程が西部ネパールでも共通であると仮定すれば、この地域での次の大地震は間近に迫っていることになる。このような想定のもとにシナリオ地震を設定した。震源域は SATREPS チームの想定を基とし、南側の境界は Scientific Community のコメントに従って MFT と一致させた。

### 2.1.3 Central Nepal South Scenario 地震

中部ネパールでは 1833 年にカトマンズの北でマグニチュード 7 クラスの地震が発生し、カトマンズとその周辺に被害をもたらしている。その 33 年後の 1866 年には再び同程度の規模の地震が発生し、これはカトマンズの南に震源があると推測されている。

2015 年グルカ地震の震源はゴルカ地方であるが、その震源断層域はカトマンズ盆地を含む中部ネパールの北側まで広がり、MFT では活動が確認されていない。このため、MHT（主ヒマラヤ断層: Main Himalayan Thrust）の中部ネパール区間のうち、グルカ地震で活動したのは北側のみで、南側は活動していないと考えられる(Elliot et al. (2016))。1833 年の地震と 1866 年の地震から類推すれば、近い将来にグルカ地震の震源域の南側で、同規模の地震が発生する可能性が考えられる。このような考えのもとにシナリオ地震を設定した。グルカ地震の震源域は Adhikari et al. (2016)の余震分布から設定し、これに隣接した MFT までの領域を震源とした。



**Three Scenario Earthquakes**

- (1) Far- Mid Western Nepal Eq., Magnitude = 8.6
- (2) Western Nepal Eq., Magnitude = 7.8
- (3) Central Nepal South Eq., Magnitude = 7.8

**Two Verification Earthquakes**

- (a) Recurrence of the 1934 Bihar-Nepal earthquake, Magnitude = 8.3
- (b) Recurrence of the 2015 Gorkha earthquake, Magnitude = 7.8, 7.3

Determined after taking into account of comments from Scientific Community

出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.1.1 設定したシナリオ地震とその震源断層

## 2.2 地盤のモデル化

### 2.2.1 詳細微地形区分図の作成

地盤のモデル化には、詳細な堆積環境を表す微地形区分図が重要であるが、カトマンズ盆地の既存の微地形区分図の精度は、本プロジェクトで使用するには不十分であった。そこで、DoS から空中写真（縮尺 1:15,000、一部 1:50,000）を購入し、地形判読と現地踏査を実施して、詳細な微地形区分図を DMG と共に新たに作成した。ただし、現地踏査には不十分な点も残っているため、今後 DMG が補足したうえで発行することを目指すことになっている。

(1) 手法

1998年12月に撮影された大縮尺の空中写真を実体視して地形分類を行った。カトマンズ盆地を撮影した写真は、ほぼ東西方向の9コースがあり、1コース当たり18枚の写真が撮影されている。縮尺は約1/15,000である。カトマンズ盆地のほぼ全域が1998年撮影の写真でカバーされているが、盆地の西部や南西部は写真が欠けていたため、1992年に撮影された縮尺約1/50,000の小縮尺の空中写真を補助的に使用した。空中写真は隣り合う写真の約60%が重複している。重複している箇所を、実体鏡を用いてあるいは肉眼で実体視し、3Dのイメージから微地形を判読した。

(2) 詳細な微地形区分

表 2.2.1 にカトマンズ盆地で判読された微地形区分を示す。カトマンズ盆地の地形は沖積平野（洪水氾濫原）、デルター湖成段丘、およびその他の地形に大きく区分される。図 2.2.1 に新たに作成したカトマンズ盆地の微地形区分図を示す。

表 2.2.1 カトマンズ盆地の詳細な微地形区分

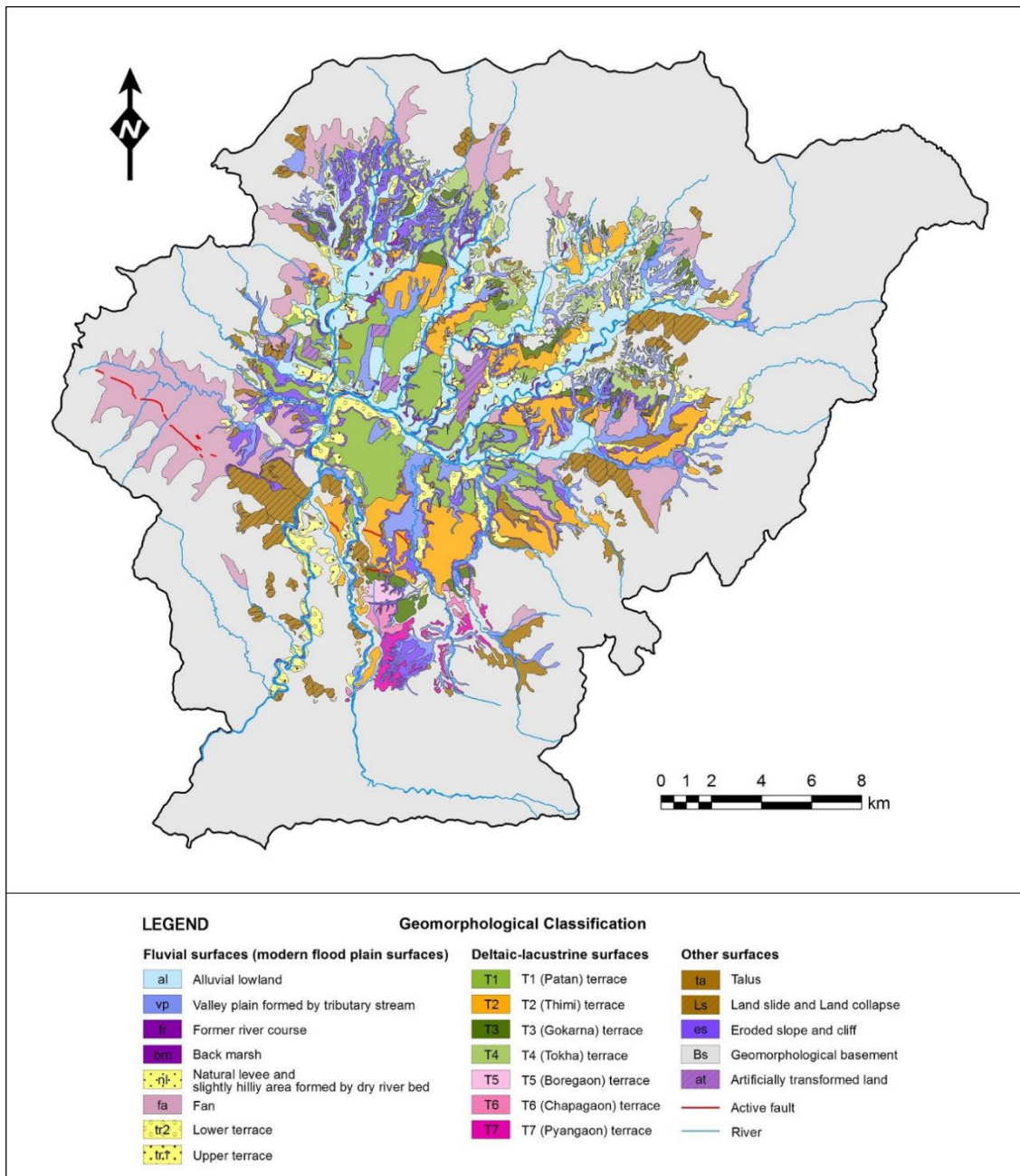
| Classification                           | Detailed classification       | abbr | Characteristics   |
|--|-------------------------------|------|---|
| Fluvial surfaces<br>(modern flood plain) | Alluvial lowland              | al   | Lowland along modern rivers   |
|  | Valley plain                  | vp   | Lowland in the narrow valleys   |
|  | Former river course           | fr   | Long and narrow depression  |
|  | Back marsh                    | bm   | Marshes between natural levees  |
|  | Natural levee                 | nl   | Long-narrow and slightly hilly area   |
|  | Alluvial fan                  | fa   | Gentle slope with concentric contours at the exit of valley   |
|  | Lower terrace                 | tr2  | Slightly hilly area   |
|  | Higher terrace                | tr1  | Fluvial terraces on the hillside  |
| Deltaic-lacustrine<br>terraces           | T1 (Patan) terrace            | T1   | Terrace formed under the environment of the Paleo-Kathmandu Lake. The terraces are subdivided into T1 to T7 depending on the altitudes (see Table 2.2.2). |
|  | T2 (Thimi) terrace            | T2   |   |
|  | T3 (Gokarna) terrace          | T3   |   |
|  | T4 (Tokha) terrace            | T4   |   |
|  | T5 (Boregaon) terrace         | T5   |   |
|  | T6 (Chapagaon) terrace        | T6   |   |
|  | T7 (Pyangaon) terrace         | T7   |   |
| Other surfaces                           | Talus                         | ta   | Relatively steep slope formed by collapse of cliff  |
|  | Landslide and slope failure   | Ls   | Relatively gentle slope formed by sliding of mountainous slope  |
|  | Eroded slope and cliff        | es   | Cliff at the side of terraces   |
|  | Geomorphological basement     | Bs   | Hill and mountainous slope where hard rocks and the Kathmandu basin Group expose  |
|  | Artificially transformed land | at   | Developed land by bank on the lowland Flat surface by cutting of terraces   |

出典：JICA プロジェクトチーム（参考文献から編集）

表 2.2.2 デルター湖成段丘の  $^{14}\text{C}$  年代と高さ

| Terrace        | Age of terraces<br>(cal ka years BP) | Altitude of terraces (m above sea level) |                 |
|----------------|--------------------------------------|--|-----------------|
|                |                                      | Northern region                          | Southern region |
| T1 (Patan)     | 17-10                                | 1,300-1,330                              | 1,310-1,330     |
| T2 (Thimi)     | 35-28                                | 1,330-1,350                              | 1,330-1,360     |
| T3 (Gokarna)   | >50-38                               | 1,350-1,390                              | 1,380-1,410     |
| T4 (Tokha)     | 23-17                                | 1,360-1,390                              | -               |
| T5 (Boregaon)  | >50                                  | -  | 1,420-1,440     |
| T6 (Chapagaon) | >50                                  | -  | 1,440-1,460     |
| T7 (Pyangaon)  | >50                                  | -  | 1,470-1,510     |

出典 : Gautam et al. (2009), Sakai et al. (2006), Sakai et al. (2008), Sakai et al. (2012)



出典：JICA プロジェクトチーム

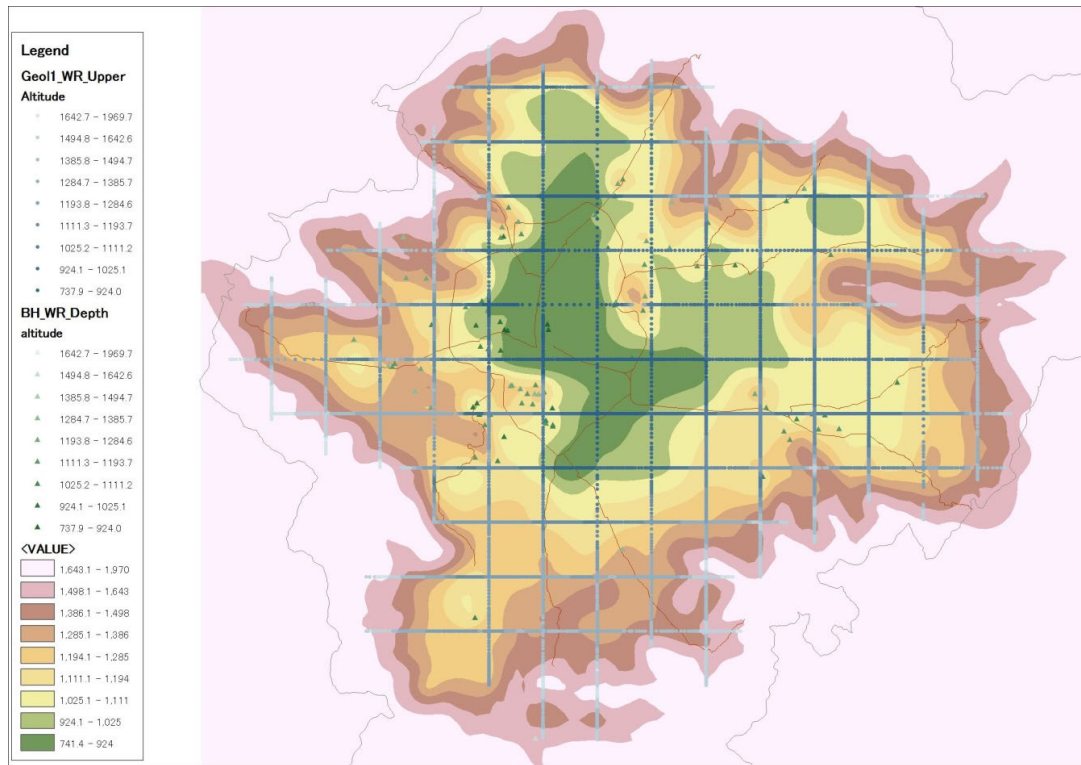
図 2.2.1 カトマンズ盆地の微地形区分図

## 2.2.2 岩盤深さの推定

岩盤に達しているボーリングは 56 本と不十分な数量だったため、その面的な形状を明らかにするために、重力異常の探査結果 (Moribayashi and Maruo, 1980) を活用した。すなわち、重力異常分布と岩盤の深さの関係を求め、それにボーリング資料による情報 (岩着している深さ、岩着していない深さ)、微地形区分図、地質図などの資料を交えて、岩盤の上面の深さ分布を推定した。

図 2.2.2 に結果を示すが、これだけを見ても、盆地の内部の構造は単純ではないことがわかる。既存の山間部の地形 (尾根や谷) が沈降して湖となり、次に周辺から土砂が流入して堆

積し、湖の水位の変化によって段丘層が形成されたことが窺える。全体にかなり複雑な入り組んだ地形で、岩盤の上面の最深部は地表から約 500m と深いにもかかわらず、様々な場所で岩盤が地表に露頭している状況が見える。



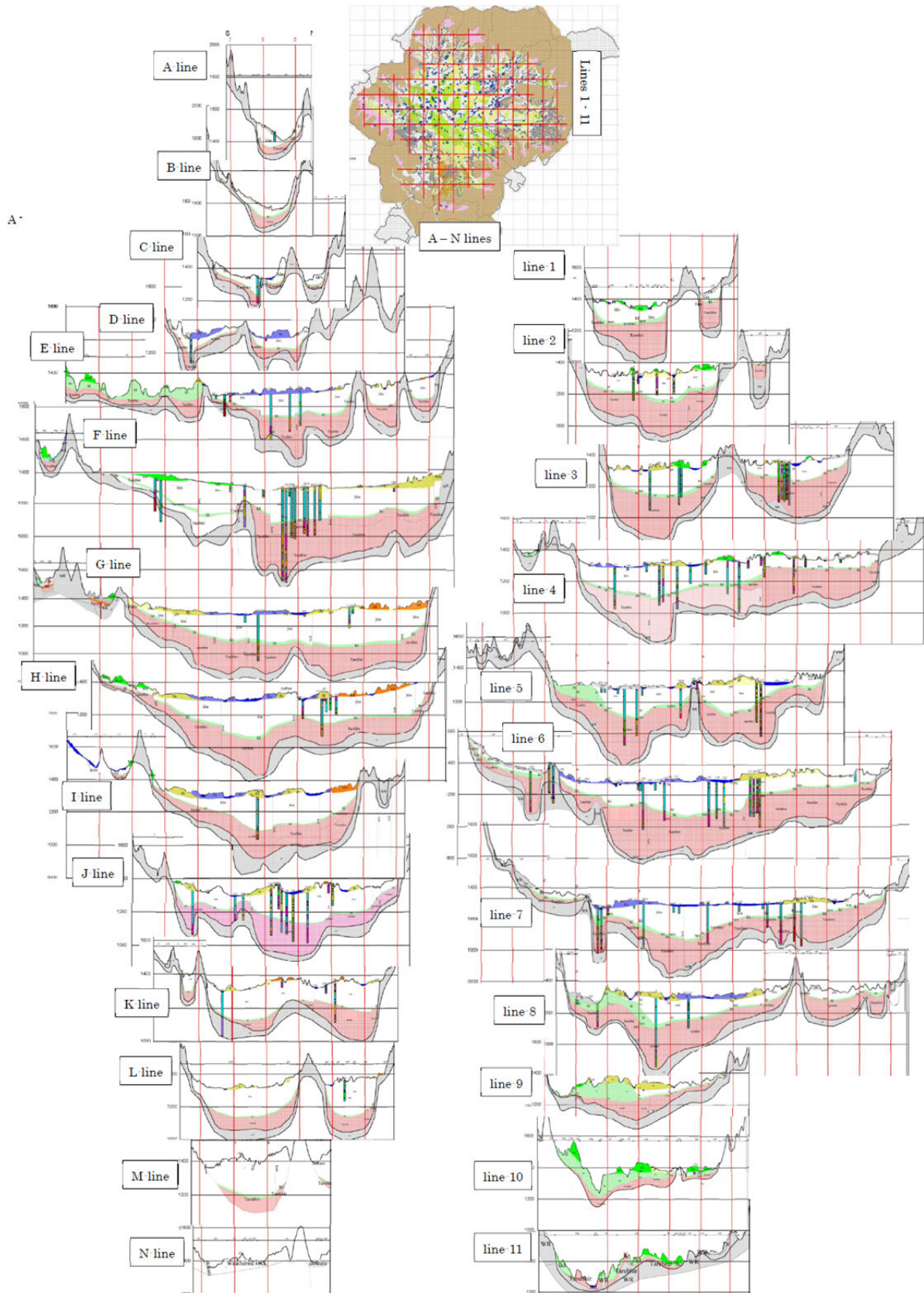
出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.2.2 重力探査結果とボーリングデータに基づく推定岩盤深さの分布

### 2.2.3 地質断面図の作成

カトマンズ盆地では使用に耐えうる内容の地質断面図が存在しなかったため、今回新たに作成した。作成した地質断面図は、2km 間隔の南北 14 断面、東西 11 断面の合計 25 断面である (図 2.2.3)。概略の地質構成としては、表層地盤の下に、比較的軟らかい湖成粘土を主体とするやや厚い Kalimati 層が分布し、その下にはやや硬質な、薄い Lukundol 層 (湖成粘土主体) と厚い Tarebhir 層 (湖成) が分布している。





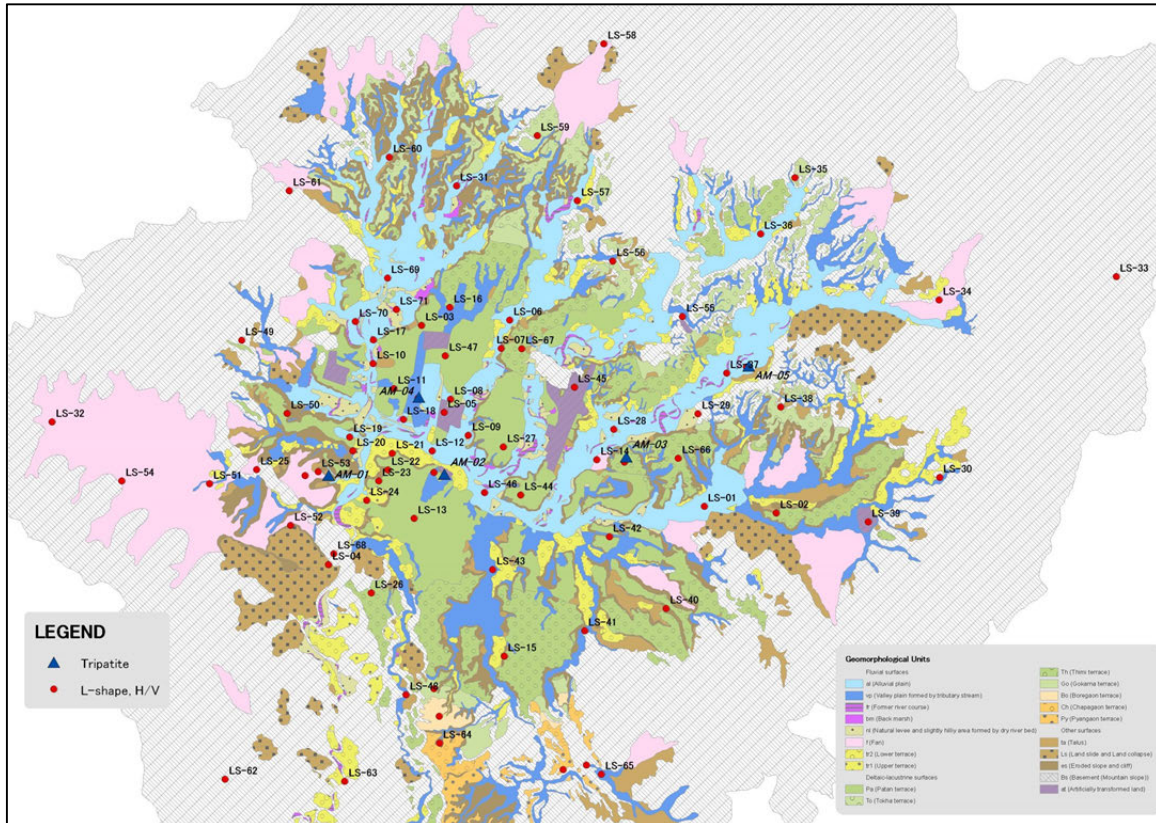
出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.2.3 新たに作成した地質断面図



## 2.2.4 常時微動探査

応答解析によって地盤による地震動の増幅特性を評価するためには、地盤の物性が必要である。このための地盤調査として、目的に応じた3種類の常時微動探査を実施した。トリパタイトアレイ微動探査では深さ数100mまでのS波速度構造の把握を目的とした。L-shapeアレイ微動探査は、深さ約50mまでのS波速度構造を対象として実施した。単点微動測定は、実測の地盤の卓越周期と地盤モデルを対比して検証を行うことを目的とした。図2.2.4にトリパタイトアレイ微動探査地点とL-shapeアレイ微動探査地点を示す。

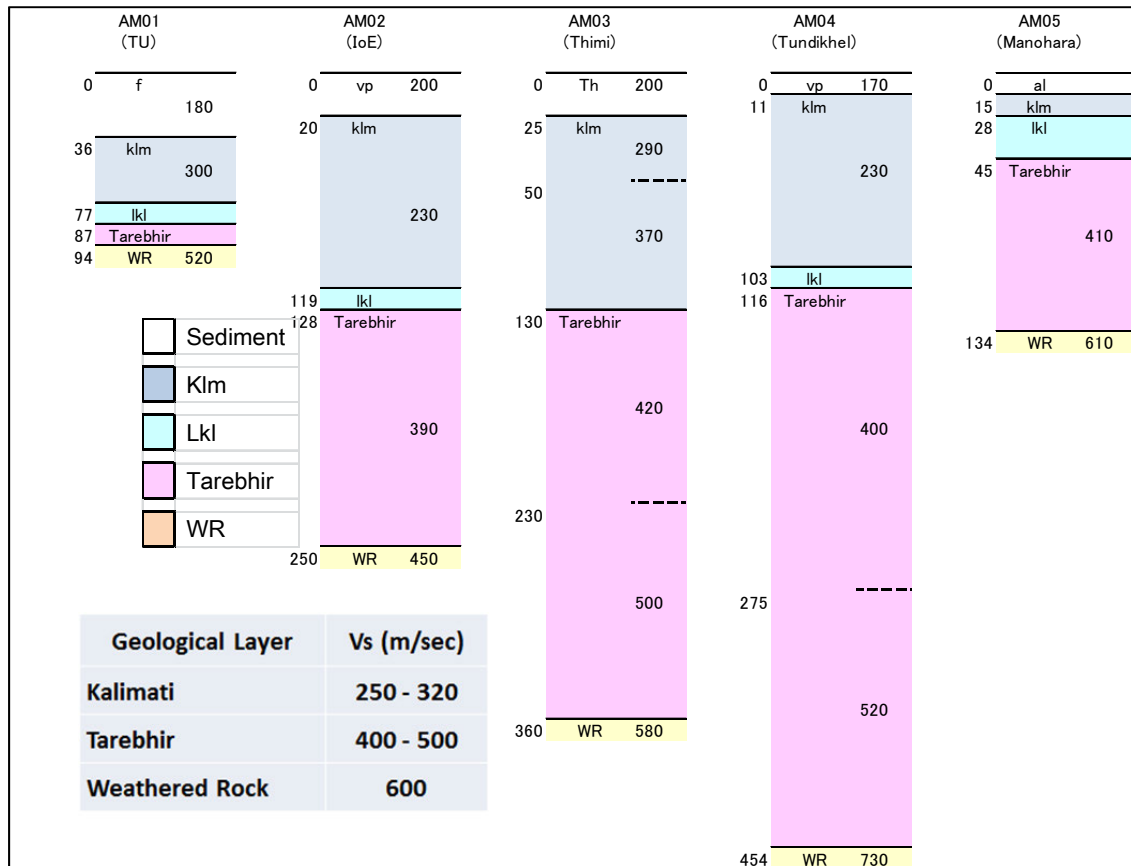


出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.2.4 微動探査地点分布

### (1) トリパタイトアレイ微動探査

岩盤から地表までのS波速度構造を知るため、トリパタイトアレイ微動探査を5地点で実施した。測定地点の選定にあたっては、DMG、USGS、北海道大学の既設強震観測地点の配置を考慮した。三角形の側線の1辺の長さを50m、100m、250m、500mとした配置による探査深度は、カトマンズ盆地の速度構造の場合最大約500mで、最深部のS波速度は不確定要素が大きいものの、600 - 800m/sec程度と解析された。図2.2.5は解析で得られたS波速度構造を地層と対応づけたモデルである。最深部の風化岩盤層の速度は600m/sec程度、その上部のTarebhir層が400 - 500m/sec程度、その上のやや軟弱な粘土層であるKalimati層が250 - 320m/sec程度と推定された。



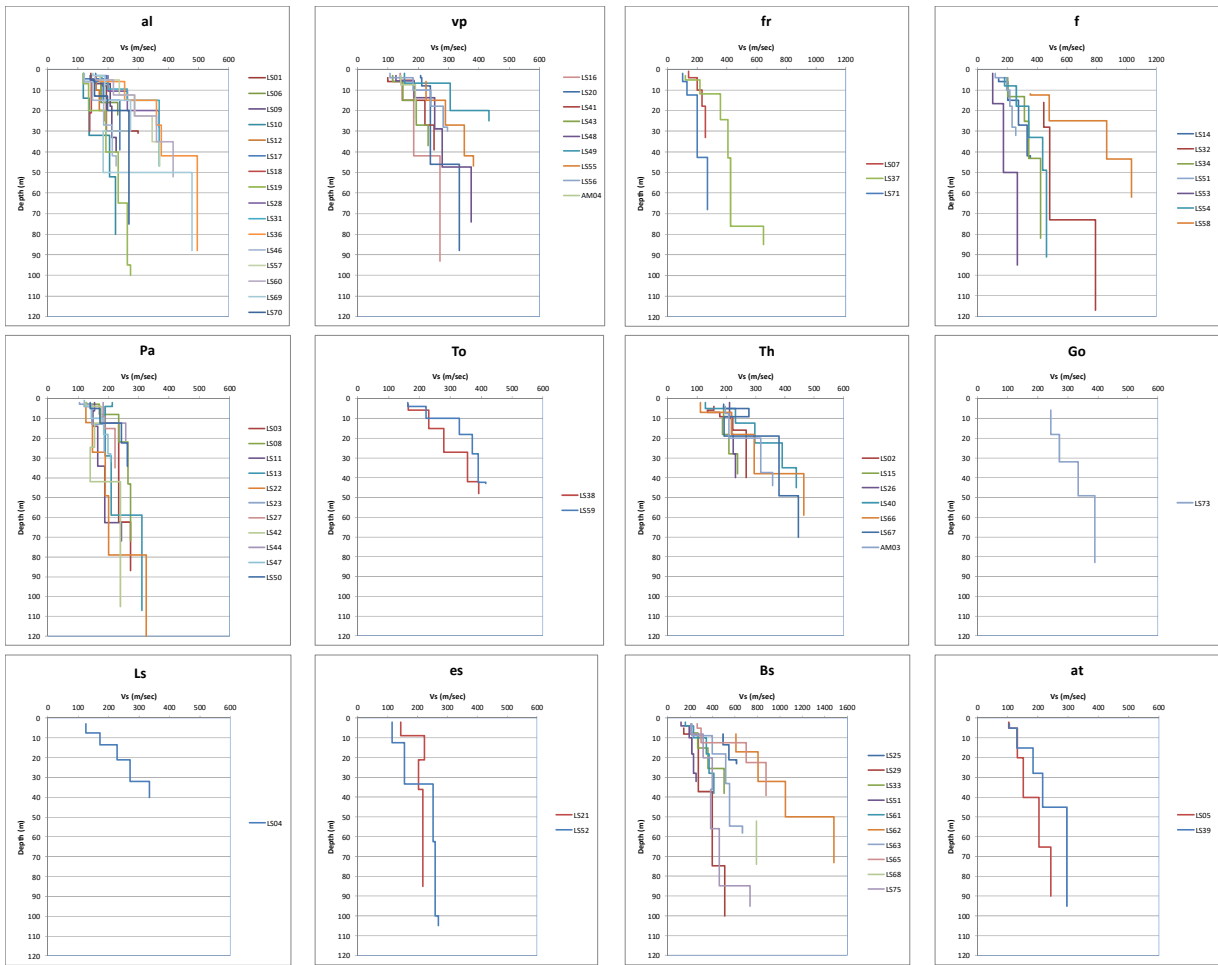
出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.2.5 トリパタイトアレイ微動探査の解析結果による深い地盤の S 波速度構造と地層名

## (2) L-shape アレイ微動探査と 3 点アレイ微動探査

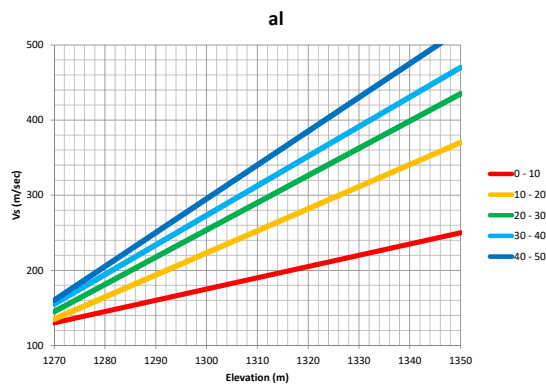
L-shape アレイ微動探査は、深さ 30 - 50m までの表層の軟弱地盤の S 波速度構造を把握するために行った。74 ヶ所の測定地点は複雑な表層地盤分布を考慮して、すべての微地形区分を網羅するように選定された。そのうち 39 地点については、探査深度 50m を確保するために、3 点アレイ微動探査も同時に実施した。

図 2.2.6 に微地形区分ごとに、S 波速度と深さの関係を示した。いくつかの微地形区分では測定結果は地点によらずほぼ同じ深さ分布を示すが、測定地点の標高による違いが見取れる微地形区分もある。例えば、沖積低地(al)では標高が低い場合は低速度が深くまで続くが、標高が高くなるにつれ低速度層が薄くなり、大きい S 波速度が浅い深度から現れるようになる。図 2.2.7 は標高との関係から作成された、沖積低地(al)の S 波速度構造モデルである。深さ 10m 間隔の速度構造モデルと標高との関係がグラフ化されている。表層の地盤モデルの作成は、このような速度構造モデルを用いて行われた。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.2.6 測定した S 波速度と微地形区分の関係



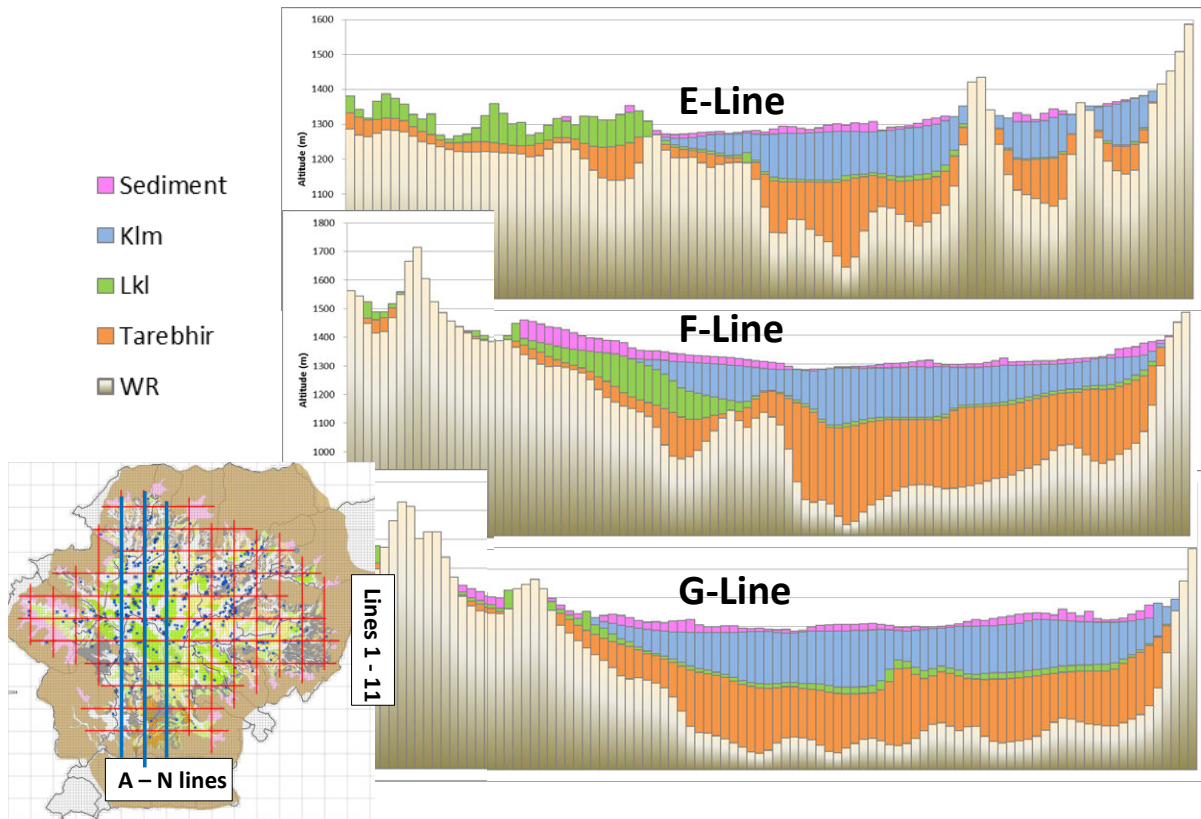
出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.2.7 沖積低地(al)の深さ 10m ごとの S 波速度構造と標高の関係

## 2.2.5 地盤のモデル化

推定岩盤深さ分布 (図 2.2.2)、地質断面図 (図 2.2.3) から、岩盤、Tarebhir 層、Lukundor 層(Lk)、Kalimati 層(Klm)の 3 次元上面深度分布を推定した。またこの際には微地形区分図 (図 2.2.1) に示された岩盤露頭の分布を考慮に入れた。各層の S 波速度はトリパタイトアレイ微動探査結果 (図 2.2.5) から推定した。

地表と Kalimati 層の間の S 波速度構造は、微地形区分図 (図 2.2.1) と L-hape アレイ微動探査結果 (図 2.2.6) を用いてモデル化した。まず 250m グリッド内で最大面積を占める微地形区分をグリッドの代表微地形区分とし、次に図 2.2.6 に基づいて深さ 10m 間隔の S 波速度構造モデルを設定した (岩盤露頭グリッドは除く)。微地形区分のうち al、bm、ta、nl、vp、fa については S 波速度と標高との関係 (図 2.2.7 が一例) も考慮した。地盤モデルは 250m グリッドごとに作成された。地盤のグリッドモデルの例を断面図として図 2.2.8 に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.2.8 地盤のグリッドモデルの表示例 (南北方向断面)

## 2.3 岩盤での地震動の算定

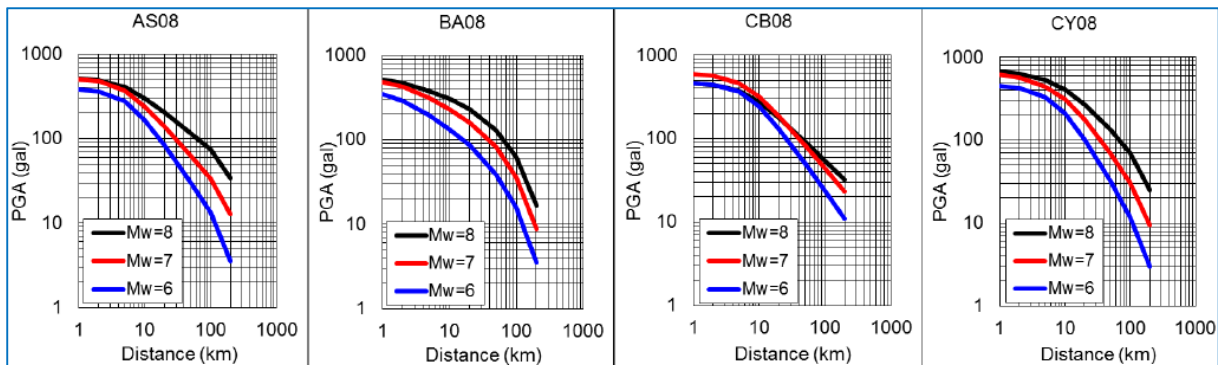
岩盤における地震動は距離減衰式を用いて、以下の条件で算定した。

- 「岩盤」の定義は、地盤モデルの最下層である風化岩盤層 ( $V_s=600\text{m/s}$ ) とする。
- 岩盤での地震動評価には既存の距離減衰式を用いる。

ネパール国では強震動観測データが限定的であり、ネパール国での観測データに基づく距離減衰式は現時点で提案されていない。このため、世界中の強震動観測データを基に断層種別、地盤条件等が考慮できる、近年に提案された距離減衰式 (NGA: New Generation Attenuation) を使用する。



- 採用した距離減衰式は、(AS08) Abrahamson N. and W. Silva (2008)、(BA08) Boore D. M. and G. M. Atkinson (2008)、(CB08) Campbell K. W. and Y. Bozorgnia (2008)、(CY08) Chiou B. S.-J. and R. R. Youngs (2008) (図 2.3.1)である。



出典：JICA プロジェクトチーム

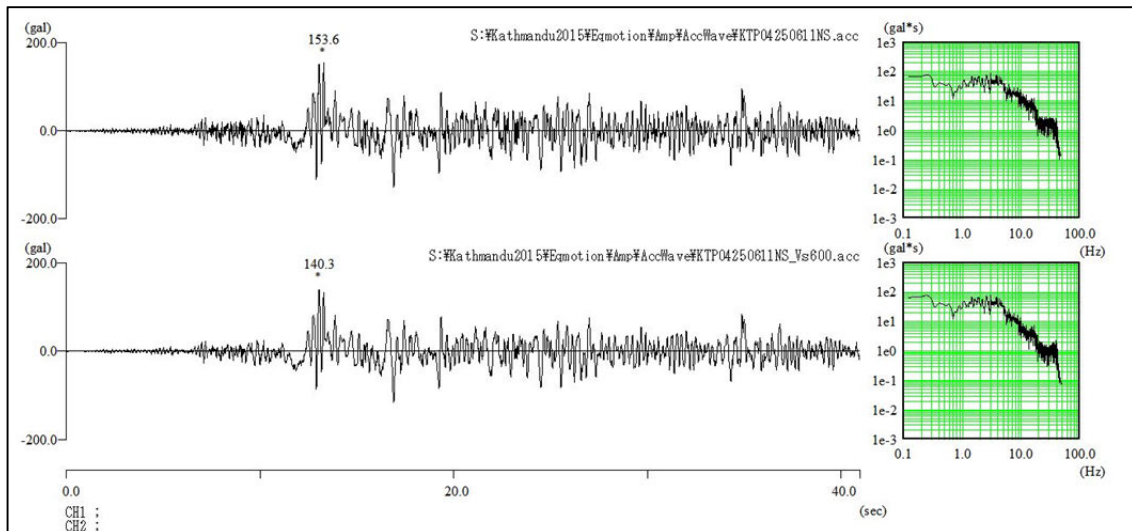
図 2.3.1 最大加速度推定に使用した距離減衰式 (NGA)

## 2.4 地表での地震動の算定

シナリオ地震の地表地震動(PGA)を算定した。表層地盤による地震動の増幅は1次元応答計算(SHAKE)で評価した。

### 2.4.1 入力地震波形

応答計算の入力波形としては、Kirtipur (KTP)観測点における2015年グルカ地震の本震波形(Takai et al. (2016))を用いた。KTP観測点における地震波形は、岩盤に近い地盤条件で観測された唯一の本震記録である。地震工学にかかわるプロジェクトでは、応答計算の入力波形として対象地点または近傍の岩盤上で観測された記録が用いられることが多い。KTP観測点は岩盤を薄い堆積層が覆っているため、逆応答解析によって観測波形を $V_s=600\text{m/sec}$ の岩盤上での波形に変換して用いた(図 2.4.1)。変換された波形は、その最大振幅が距離減衰式によって計算された岩盤上でのPGAと一致するように調整されたうえで、各グリッドの応答計算での入力波形として使用された。結果として、地表における加速度波形が計算された。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.4.1 応答解析に使用した、 $V_s=600\text{m/sec}$  地盤に変換した入力地震波形（下）と元波形（上）

## 2.4.2 応答解析のための地盤モデル

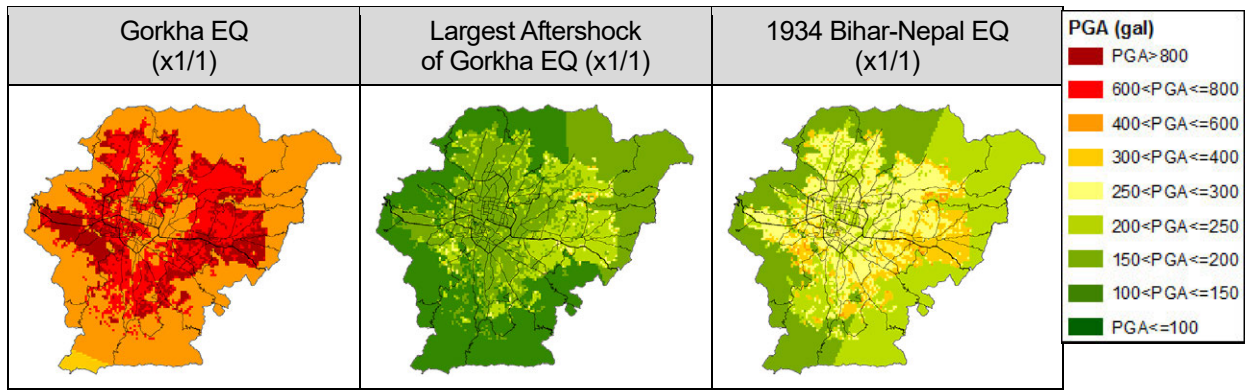
応答計算のための地盤モデルは、ボーリングデータ、微地形区分図、微動探査結果等から作成された。グリッドのサイズは、250m 正方形で、グリッドの総数は 11,934、地盤モデルの最大深さは約 500m である。

## 2.4.3 検証用地震の地震動の計算

2 つの検証用地震（グルカ地震の最大余震を含む）の地震動を計算し、図 2.4.2 に示した。計算された地表加速度(PGA)は、グルカ地震本震で 400 - 800 gal、最大余震で 150 - 200gal と算定された。実際に観測された PGA はそれぞれ 150 - 200 gal と 60 - 110 gal であり、計算値は観測値より明らかに大きい。1934 年ビハール・ネパール地震に関しては地震観測記録が存在しないため被害程度と計算加速度の比較を行ったところ、大きな矛盾は見られなかった。

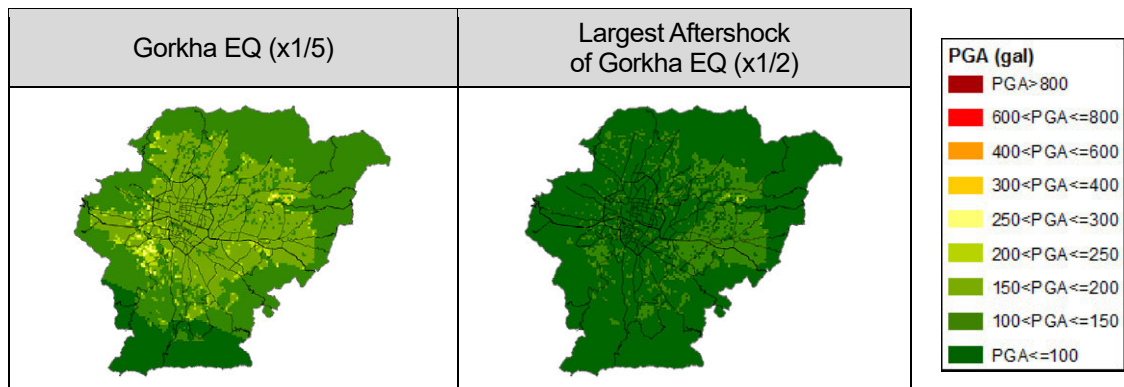
グルカ地震が PGA の距離減衰の観点からは世界の地震の平均像から大きく外れる地震であったことは、Takai et.al. (2016)、Dhakal et.al. (2015) および本プロジェクトでの検討から明らかであるが、今のところその理由について科学的に解明されていない。以上のような現実、および以下に示す検討、震源や伝播経路の科学的解明が十分ではないことを踏まえると、カトマンズにおける地震動想定においては「補正係数」の導入が必要となった。

まず、グルカ地震の PGA を再現するための補正係数を検討し、計算結果を  $\times 1/5$  すれば観測結果を平均として再現できることが分かった。同様に最大余震の場合は、 $\times 1/2$  が再現に必要なことが分かった (図 2.4.3)



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.4.2 補正係数 x1/1 の場合の検証地震の PGA 計算結果



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.4.3 グルカ地震と最大余震の PGA 計算結果 (観測値を説明できるように補正係数を設定)

#### 2.4.4 補正係数の検討

シナリオ地震の補正係数を検討するため、グルカ地震で観測された、KANTP (USGS)、DMG、Kirtipur、Tribhuvan University、IoE、SanoThimi (以上、北海道大学) の計 6 点の強震観測地点における PGA、PGV の観測値と、距離減衰式と応答計算による同地点での計算値との比較を行った。その結果、PGA の計算値は観測値の 4 倍程度大きく、PGV は 3 倍程度大きい結果となった (図 2.4.4)。最大余震についても同様な検討を行い、計算値は観測値の 2 倍程度大きい結果が得られた。PGV についても計算値は観測値より大きい、その比は PGA と違って同じ地震でも観測地点によってばらついた (図 2.4.4)。

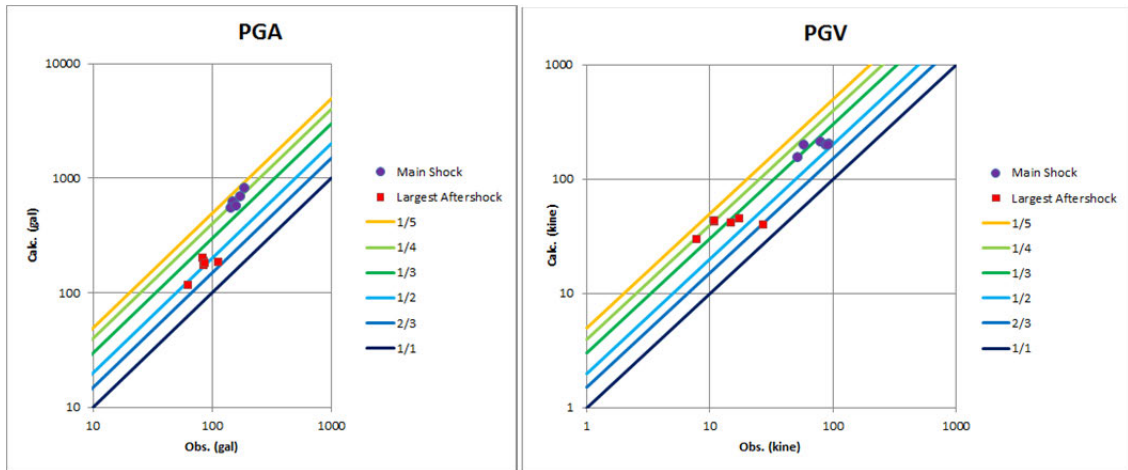
検討の結果は以下のようにまとめられる。

- 本震：
  - 観測 PGA は計算値の約 1/5 から 1/3 程度
  - 観測 PGV は計算値の約 1/4 から 1/2 程度
- 最大余震：
  - 観測 PGA は計算値の約 1/3 から 2/3 程度
  - 観測 PGV は計算値の約 1/4 から 2/3 程度

このように、同じ地震でも特性は地点によって異なっている。地震の震源や伝播経路の違いがその原因の一つかもしれない。また、同じ地域内でも、マグニチュードの違いが影響している可能性もある。シナリオ地震の中で、西側の 2 つの地震、すなわち、Far-Mid Western Nepal

Scenario 地震および Western Nepal Scenario 地震に関しては、震源や伝播経路に関する情報が少なく、補正係数を判断することは困難である。Central Nepal South Scenario 地震に関しても、中～大地震に関する情報は少ないが、その震源域がグルカ地震の震源に隣接していることから、震源特性やカトマンズまでの伝播経路の性質が似ていることが考えられ、補正係数はグルカ地震に関する検討結果から推定することとした。

解析手法、データ、検討期間の制限等から、今回のハザード解析においては、複数の補正係数を設定することが最適であると結論づけられた。採用した補正係数を表 2.4.1 に示した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.4.4 グルカ地震と最大余震の観測値（横軸）と計算値（縦軸）の比較、（左）PGA、（右）PGV

表 2.4.1 採用した補正係数

| Scenario Earthquake                       | Correction Factor (PGA)  | Correction Factor (PGV)  |
|---|--|--|
| Far-Mid Western Nepal Scenario Earthquake | x1/1 (Normal)  | x1/1 (Normal)  |
| Western Nepal Scenario Earthquake         | x1/1 (Normal)  | x1/1 (Normal)  |
| Central Nepal South Scenario Earthquake   | x1/1 (Normal)<br>x2/3 (cover max. aftershocks)<br>x1/2 (average of aftershock)<br>x1/3 (cover max. main shock) | x1/1 (Normal)<br>x2/3 (cover max. aftershocks)<br>x1/2 (cover max. main shock) |
| Verification Earthquake                   | Correction Factor (PGA)  | Correction Factor (PGV)  |
| 2015 Gorkha EQ.                           | x1/5 (observed average)  | x1/3 (observed average)  |
| Largest Aftershock of 2015 Gorkha EQ.     | x1/2 (observed average)  | x1/3 (observed average)  |
| 1934 Bihar-Nepal EQ.                      | x1/1 (Normal / damage level)   | x1/1 (Normal / damage level)   |

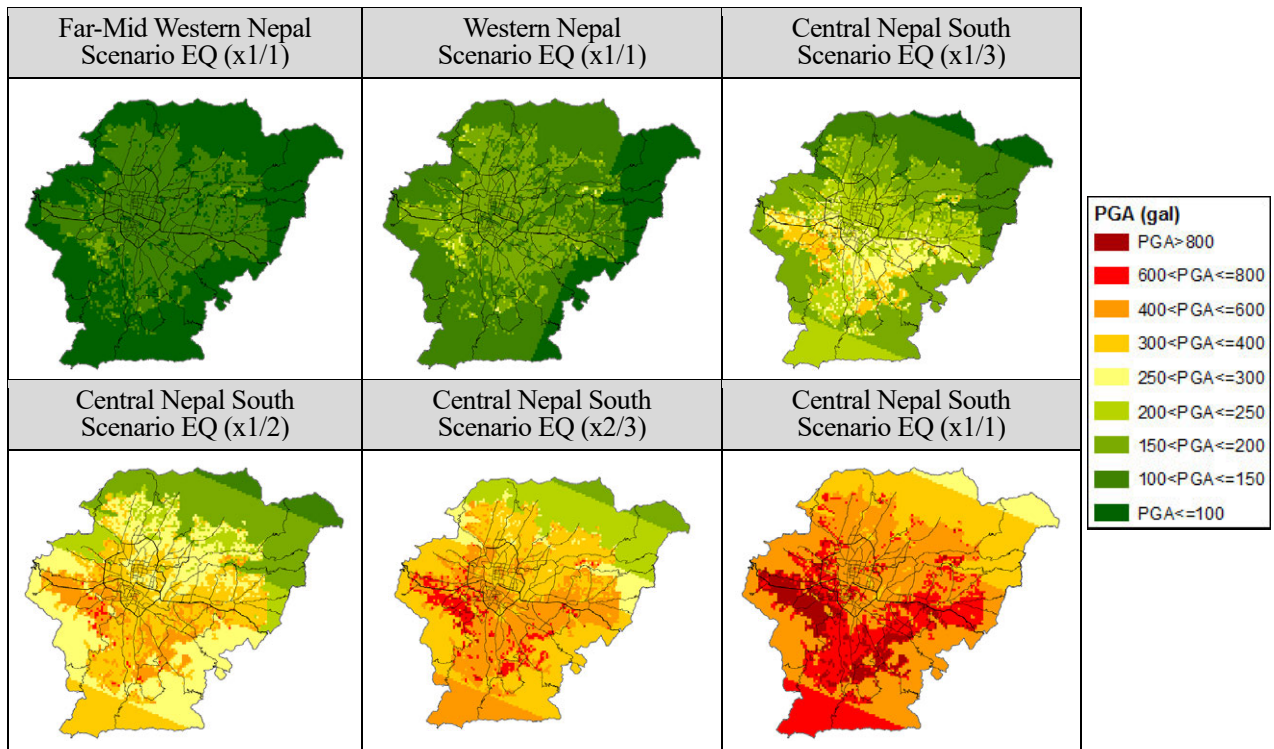
出典：JICA プロジェクトチーム

## 2.4.5 シナリオ地震の地表地震動の算定

シナリオ地震の震源域においては、地震の観測記録や被害記録がほとんど得られないので、補正係数を設定することが困難である。このため、補正係数=x1/1、すなわち、既存の距離減衰式を補正しないで用いることが第1の選択肢である。Central Nepal South Scenario 地震に関しては、グルカ地震との震源および伝播経路の類似性から、PGA の算定では補正係数=x1/3、

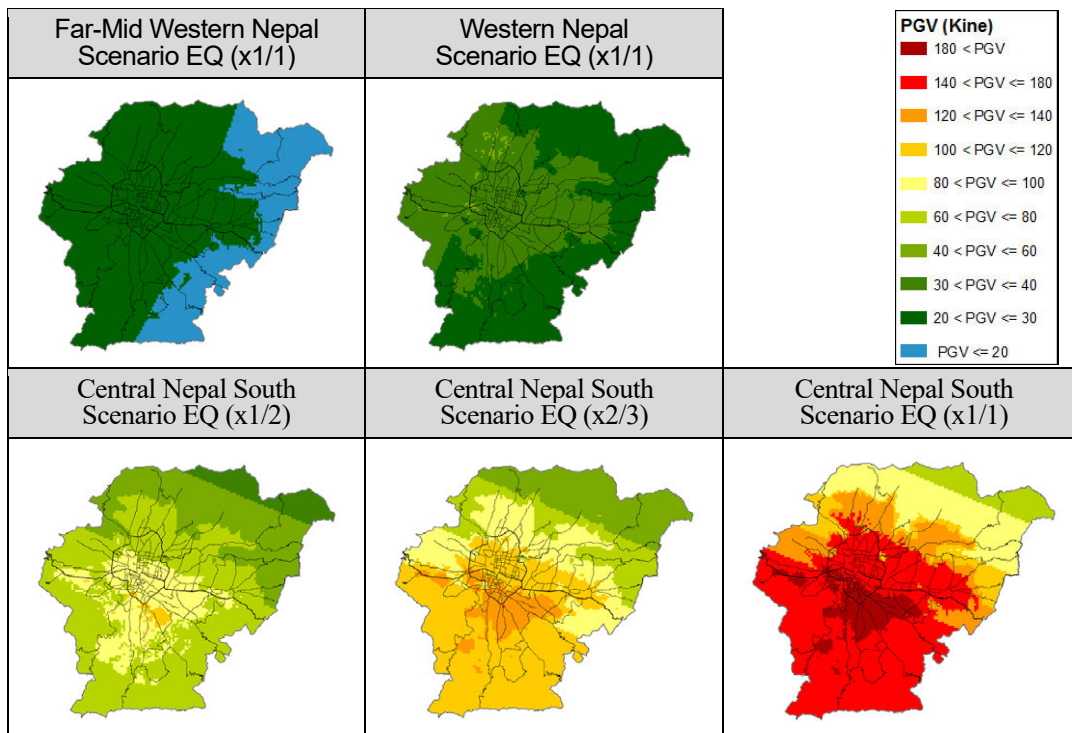


x1/2, x2/3 も採用したが、どれが最適であるかは判断できない。PGVに関しては補正係数=x1/2, x2/3, x1/1 を採用した。算定したシナリオ地震の PGA 分布、PGV 分布をそれぞれ図 2.4.5 と図 2.4.6 に示した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.4.5 シナリオ地震の PGA 計算結果



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.4.6 シナリオ地震の PGV 計算結果

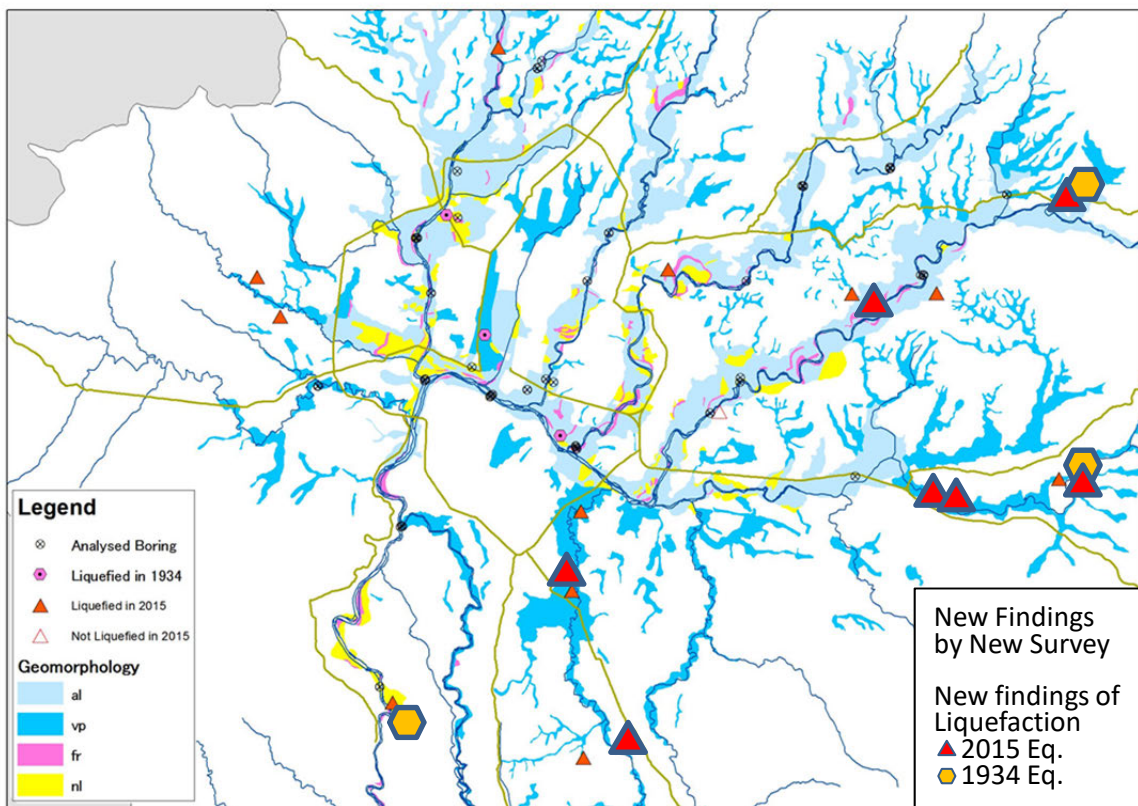
## 2.5 液状化の想定

カトマンズ盆地には液状化評価に必要な詳細な地盤情報が少ないため、過去の液状化事例を参照しつつ、いくつかの推論のもとに防災計画を考慮した評価を行った。

### 2.5.1 カトマンズ盆地の液状化履歴

Rana(1935)によれば、1934年ビハール・ネパール地震ではカトマンズ盆地の各所で液状化現象（噴砂、噴水、沈下）が発生したようである。2015年グルカ地震では本プロジェクトの現地調査で5ヶ所の液状化現象を確認し（Main Report, Attachment-12）、また、Okamura et al. (2016)はJ-RAPIDの調査で、11ヶ所（本プロジェクトで確認された5ヶ所を含む）の液状化を確認している。

さらに、1934年ビハール・ネパール地震および2015年グルカ地震における液状化現象を調べるため、住民を対象としたインタビュー調査を実施した。その結果、これまで知られていなかった5ヶ所で、2015年グルカ地震の際に液状化が発生していたことが新たに確認された。また、1934年ビハール・ネパール地震の際の液状化現象が新たに3ヶ所で確認された。この3ヶ所は、すべて2015年グルカ地震の際にも再度液状化が発生している地点だった（図2.5.1）。この調査結果は、液状化が同じ地点で繰り返し発生することの一つの証拠といえる。



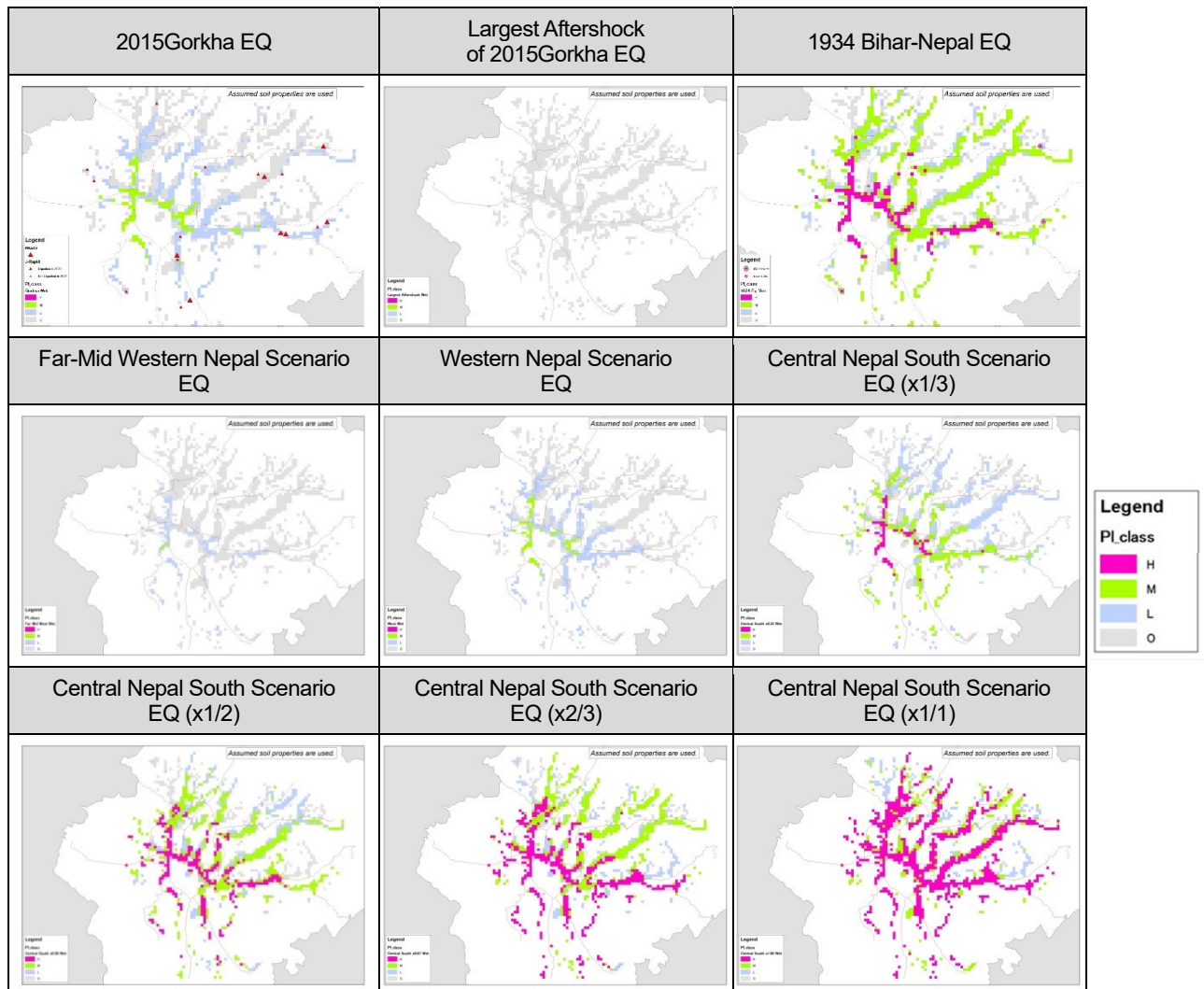
出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.5.1 カトマンズ盆地の液状化履歴

## 2.5.2 シナリオ地震の液状化の想定

本プロジェクトでは、日本建築学会の手法を用いて液状化評価を行った。まず、微地形区分のうち、al (沖積低地)、vp (谷底平野)、nl (自然堤防)、fr (旧河道) を検討対象として選定した。これらの微地形は主に河川沿いに分布している (図 2.5.1)。次に、対象地盤を古カトマンズ湖の堆積環境から、6つのグループに分類し、収集した60本のボーリング資料をもとに、6グループ別のN値と深さの関係性を求めた。密度、細粒分含有率、地下水位は2002年のJICA調査と現地調査で設定した。これらの物性値から、N値の存在する深度ごとに液状化を起こそうとする力と抵抗しようとする力を算出し、最終的に250mグリッドごとにシナリオ地震発生時の液状化発生の危険度を、雨季 (図 2.5.2)、乾季 (図 2.5.3) 別に算定した。

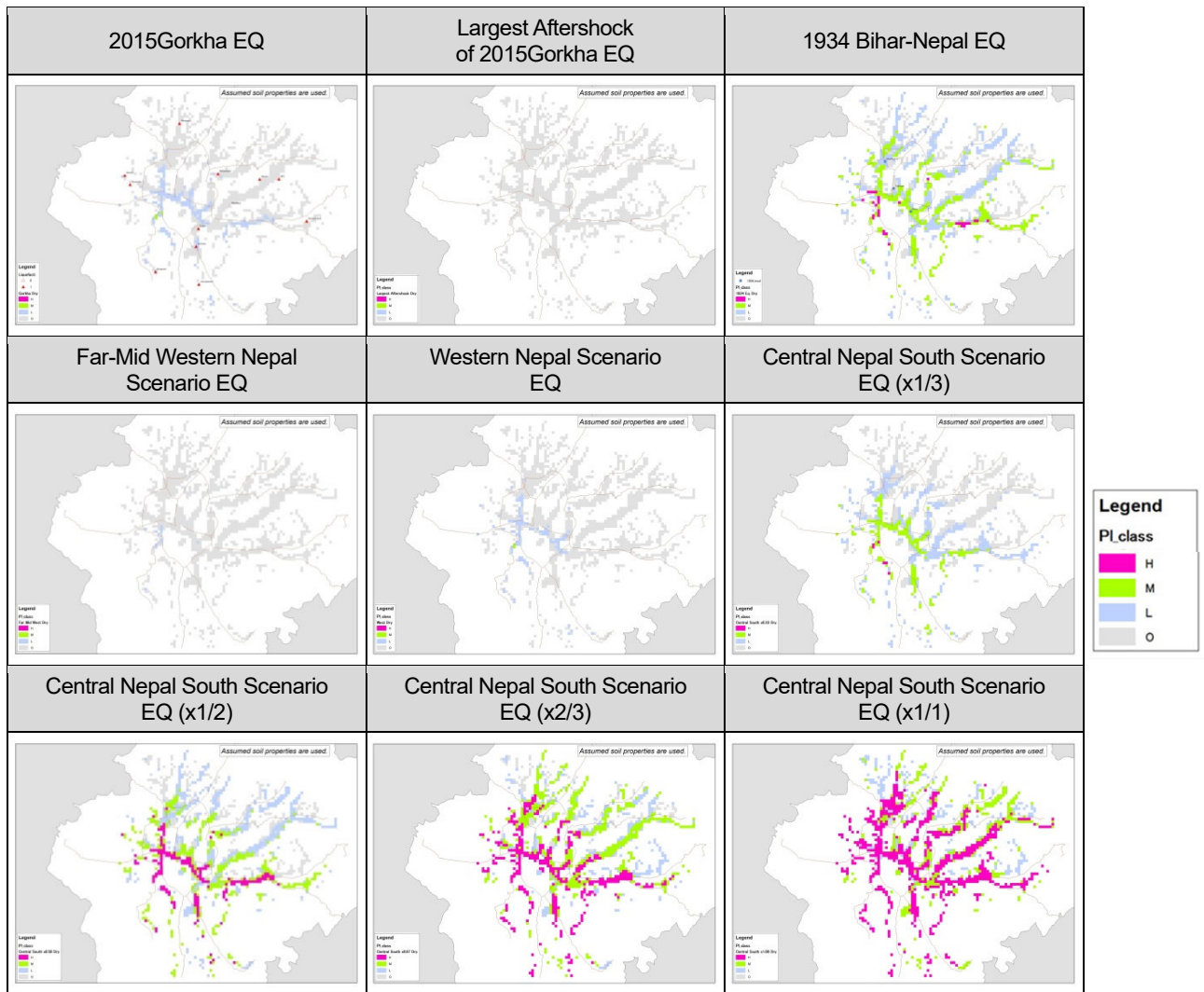
| Judgement of liquefaction possibility |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| $P_L=0$                               | (O) No possibility       |
| $0 < P_L \leq 5$                      | (L) Low possibility      |
| $5 < P_L \leq 15$                     | (M) Moderate possibility |
| $15 < P_L$                            | (H) High possibility     |



注：推定した地盤条件に基づいている  
 出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.5.2 液状化の想定結果 (雨季)





注：推定した地盤条件に基づいている  
 出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.5.3 液状化の想定結果 (乾季)

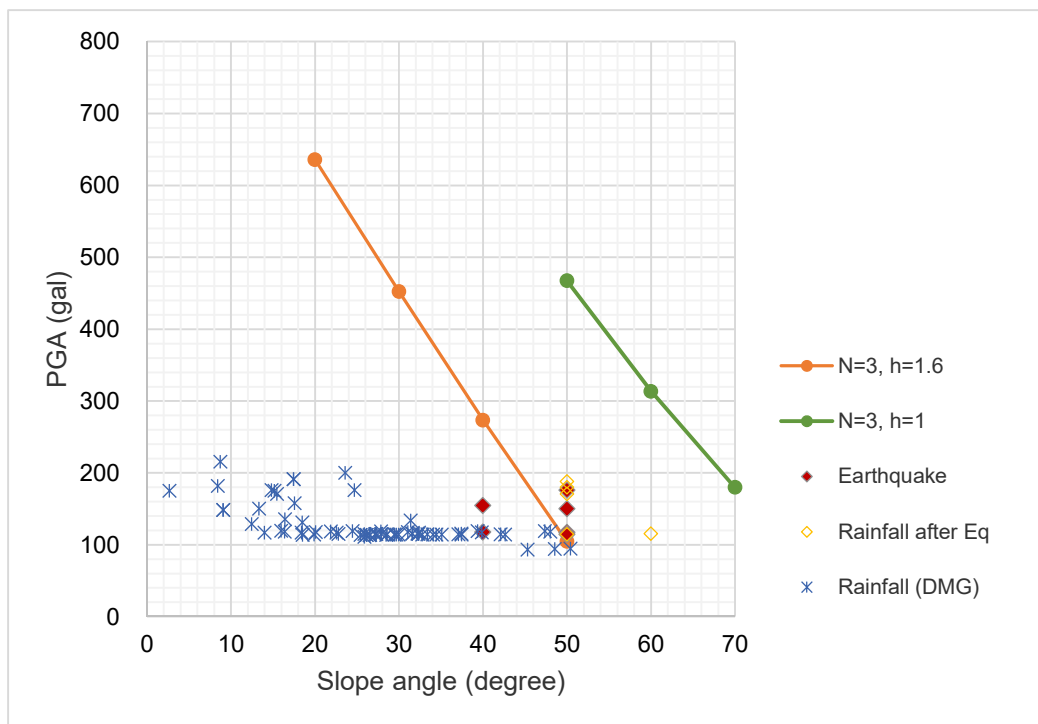
## 2.6 地震時斜面崩壊の想定

地震時の斜面崩壊危険性について、Wilson et al. (1979)、Tanaka (1982)の手法などを参考に、外力となる PGA を考慮したハザードマップを作製した。これらの手法では、斜面勾配のほか、 $C$  (粘着力)、 $\phi$  (内部摩擦角)、密度などの斜面を構成する土質の物性が必要であるが、これらの情報はカトマンズでは充分には得られない。したがって、本プロジェクトでは、推定した物性値を用いて、カトマンズ盆地全体の地震時斜面崩壊の傾向を示すこととした。

Wilson et al. (1979) や Tanaka (1982) によれば、 $C$  と  $\phi$  が与えられれば、安全率 ( $F$ ) が 1.0 となる場合の斜面勾配と PGA の関係が得られる。すなわち、斜面勾配または PGA のどちらかまたは両方が  $F=1.0$  となる条件より小さければ、斜面は安全である。図 2.6.1 に青い\*で示したのは 2015 年グルカ地震以前に降雨が原因で崩壊した履歴であるが、グルカ地震では

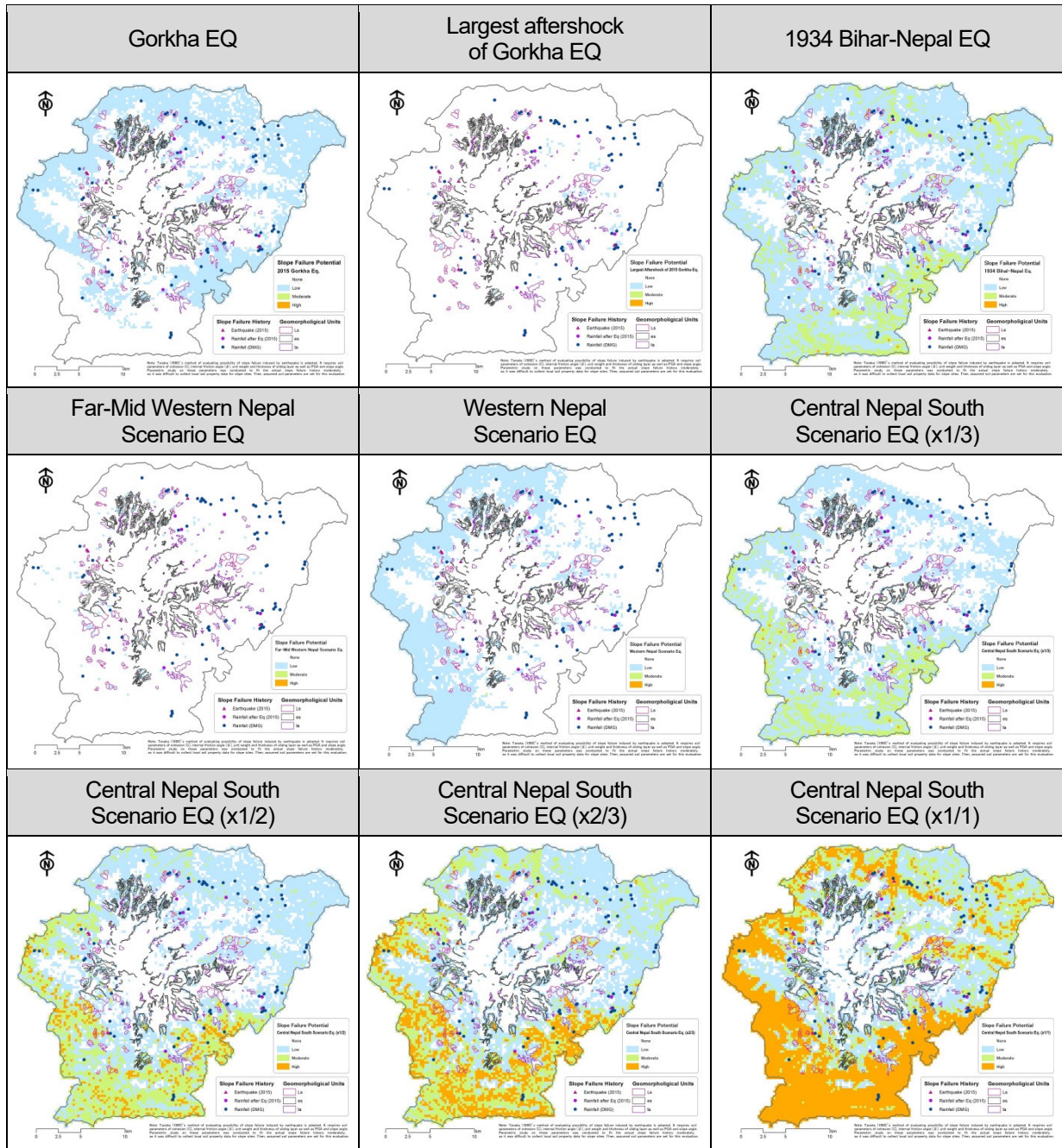
崩壊しなかった斜面である。同図中のオレンジ色の線は、Tanaka (1982)による  $F=1.0$  の線を、 $N$  値や崩壊深度の推定値を変化させた試行錯誤の結果得られた線で、2015 年グルカ地震で斜面崩壊が発生しなかった地点を分離している。この線を用いて評価を行った。また、ハザードマップ作成に当たっては、崩壊履歴からみると  $PGA$  が  $100gal$  以下では崩壊が生じないこと、斜面勾配が  $20$  度以下では斜面崩壊ではなく表層滑りが主体となること等を考慮した。

地震時の斜面安定性の判定を  $10m$  間隔で実施し、 $250m$  グリッド内の不安定な地点の割合で斜面崩壊危険度の評価を行った。図 2.6.2 にシナリオ地震発生時の斜面崩壊危険度判定結果を示した。また、同図には  $Ls$  (地すべり地形)、 $ta$  (崩壊地形)、 $es$  (浸食地形) も表示した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.6.1 提案した表層崩壊の判定基準



注：推定した地盤条件に基づいている  
 出典：JICA プロジェクトチーム

図 2.6.2 想定地震により斜面が崩壊する可能性についての評価結果

## 第 3 章 地震リスク評価

---

本プロジェクトの地震リスク評価は JICA が 2002 年に実施した「カトマンズ盆地地震防災対策計画調査プロジェクト」の地震リスク評価結果を最新の知見や情報を基に見直し、再評価する位置づけである。2002 年以降におけるカトマンズ盆地の人口や建物急激な増加といった社会・経済条件の変化を考慮すると同時に、地震リスク評価手法に関する新たな研究成果を取り入れ、また、プロジェクトが開始する直前 2015 年 4 月 25 日に発生したグルカ地震による被害特性も反映した。本調査リスク評価の特徴は以下のとおりである。

- カトマンズ盆地全域を対象とした建物の詳細なインベントリーが存在していない。このため、プロジェクトが実施した 2 市の建物全棟調査を含め、パイロット 3 市を含む 4 市の建物全棟調査データを活用した。また、その他の地域においては、高分解能衛星写真の判読により作成した建物分布データと 4 市の建物全棟調査結果、及び建物サンプル調査結果を基に、建物の数と構造種別割合を推定した。
- 建物被害関数の設定では、グルカ地震の建物被害、グルカ地震から見たカトマンズ盆地の地震動特性、ネパール国の耐震基準により設計された標準的な建物の保有耐力分析及び日本の経験等を総合的に考慮した。
- 橋梁の被害推定では、橋梁の材料、支承、構造形式、破壊モード、曲げ破壊強度等を総合的に考慮した被害評価手法を採用した。
- 死者、負傷者を含む人的被害の推定では、グルカ地震の被害データを基に、被害レベル、建物構造種別ごとの死者率を求め、それを用いてシナリオ地震毎の人的被害を推定した。また、地震発生時の建物内滞留人口を考慮する手法を適用した。
- 防災計画におけるリスク管理、減災目標の設定や緊急対応の対策を検討するための基礎情報として活用することを前提に、2016 年と 2030 年時点の建物及び人的被害を評価した。具体的には、2016 年時点での人的被害評価として、夜、平日昼間、休日夕方の複数の地震発生シーンを設定した。また、2030 年時点での被害評価は、将来における建物の耐震化対策の進捗度合いを複数のケースに分けて設定した。

本調査では、建物、インフラ・ライフライン、社会、経済等の基礎データを収集するとともに、必要に応じて作成し、インベントリーデータとして整理した。これらのデータを基に、建物、交通施設、上下水施設、電力施設、通信施設の地震被害を推定し、また、人的被害や直接経済損失、観光産業への影響についても評価した。リスク評価結果のまとめを表 3.1 に示す。

リスク評価結果を可視化するため、別冊で図面集を作成した。図面集は 3 章構成として、ハ

ザードとリスクの評価に必要な基本データ、ハザード評価結果、リスク評価結果を収録した。図面集に収録した図面の種類を表 3.2 に示す。報告書内では、紙面の都合上から評価結果の代表的な図面を例示した。全シナリオのリスク評価結果の図面については図面集を参考されたい。



表 3.1 リスク評価結果一覧表

| 項目                          | 構造物被害                  |        |        |         | 経済的被害(百万NPR) |         |         |         | 人的被害(人口: 2016: 2,786,929; 2030: 3,805,926) |              |         |         |           |           |
|-----------------------------|------------------------|--------|--------|---------|--------------|---------|---------|---------|--|--------------|---------|---------|-----------|-----------|
|                             | シナリオ地震動                |        |        |         | シナリオ地震動      |         |         |         | シナリオ地震動                                    |              |         |         |           |           |
|                             | WN                     | CNS-1  | CNS-2  | CNS-3   | WN           | CNS-1   | CNS-2   | CNS-3   | WN   | CNS-1        | CNS-2   | CNS-3   |           |           |
| 一般建物 (2016)<br>(444,554棟)   | 大破                     | 24,961 | 65,314 | 136,060 | 199,643      | 132,999 | 371,003 | 761,531 | 1,098,353                                  | 深夜 (2:00)    |         |         |           |           |
|                             |                        | 5.6%   | 14.7%  | 30.6%   | 44.9%        |         |         |         |  | 死者           | 3,034   | 9,133   | 22,179    | 35,726    |
|                             |                        |        |        |         |              |         |         |         |  | 負傷者          | 11,880  | 35,766  | 86,861    | 139,914   |
|                             |                        |        |        |         |              |         |         |         |  | 避難者          | 279,031 | 642,743 | 1,196,080 | 1,613,314 |
|                             | 中破                     | 21,967 | 42,940 | 62,691  | 67,418       |         |         |         |  | 平日正午 (12:00) |         |         |           |           |
|                             |                        | 4.9%   | 9.7%   | 14.1%   | 15.2%        |         |         |         |  | 死者           | 2,784   | 8,282   | 19,959    | 31,956    |
|                             |                        |        |        |         |              |         |         |         |  | 負傷者          | 10,905  | 32,435  | 78,168    | 125,152   |
|                             |                        |        |        |         |              |         |         |         |  | 避難者          | 285,850 | 652,798 | 1,206,530 | 1,619,792 |
|                             | 小破                     | 43,564 | 67,770 | 77,713  | 70,462       |         |         |         |  | 休日夕方 (18:00) |         |         |           |           |
|                             |                        | 9.8%   | 15.2%  | 17.5%   | 15.9%        |         |         |         |  | 死者           | 2,123   | 6,393   | 15,526    | 25,008    |
|                             |                        |        |        |         |              |         |         |         |  | 負傷者          | 8,316   | 25,036  | 60,803    | 97,940    |
|                             |                        |        |        |         |              |         |         |         |  | 避難者          | 279,942 | 645,483 | 1,202,734 | 1,624,032 |
| 一般建物 (2030)<br>(606,506棟)   | 大破(Case-0)             | 33,763 | 88,681 | 185,796 | 273,269      | 20,462  | 51,231  | 98,171  | 134,932                                    | 死者           | 4,121   | 12,508  | 30,583    | 49,381    |
|                             |                        | 5.6%   | 14.6%  | 30.6%   | 45.1%        |         |         |         |  | 負傷者          | 8,316   | 25,036  | 60,803    | 97,940    |
|                             | 大破(Case-1)             | 28,377 | 79,075 | 171,977 | 258,044      |         |         |         |  | 死者           | 3,434   | 11,017  | 27,930    | 46,017    |
|                             |                        | 4.7%   | 13.0%  | 28.4%   | 42.5%        |         |         |         |  | 死者           | 1,721   | 8,135   | 24,356    | 42,526    |
|                             | 大破(Case-2)             | 13,627 | 56,452 | 146,361 | 234,477      |         |         |         |  | 死者           | 1,438   | 6,733   | 20,526    | 36,715    |
|                             |                        | 2.2%   | 9.3%   | 24.1%   | 38.7%        |         |         |         |  | 死者           | 1,476   | 6,524   | 20,842    | 38,733    |
|                             | 大破(Case-3)             | 12,162 | 49,970 | 131,095 | 213,481      |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 2.0%   | 8.2%   | 21.6%   | 35.2%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 大破(Case-4)             | 16,147 | 52,413 | 129,904 | 210,181      |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 2.7%   | 8.6%   | 21.4%   | 34.7%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 大破(Case-5)             | 11,138 | 41,230 | 111,854 | 189,357      |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 1.8%   | 6.8%   | 18.4%   | 31.2%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 学校校舎<br>(5,731棟)            | 大破                     | 237    | 737    | 1,654   | 2,486        | 20,462  | 51,231  | 98,171  | 134,932                                    | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 4.1%   | 12.9%  | 28.9%   | 43.4%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 中破                     | 253    | 539    | 810     | 875          |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 4.4%   | 9.4%   | 14.1%   | 15.3%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 小破                          | 568                    | 916    | 1,057  | 960     | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002   | 6,555                                      |              |         |         |           |           |
|                             | 9.9%                   | 16.0%  | 18.4%  | 16.8%   | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673  | 25,671                                     |              |         |         |           |           |
| 医療施設建築物<br>(584棟)           | 大破                     | 20     | 64     | 153     | 235          | 27,534  | 68,588  | 165,683 | 232,782                                    | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 3.4%   | 11.0%  | 26.2%   | 40.2%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 中破                     | 24     | 55     | 83      | 94           |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 4.1%   | 9.4%   | 14.2%   | 16.1%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 小破                          | 51                     | 85     | 105    | 97      | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002   | 6,555                                      |              |         |         |           |           |
|                             | 8.7%                   | 14.6%  | 18.0%  | 16.6%   | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673  | 25,671                                     |              |         |         |           |           |
| 政府庁舎<br>(478棟)              | 大破                     | 20     | 59     | 126     | 186          | 2,444   | 8,669   | 16,514  | 22,708                                     | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 4.2%   | 12.3%  | 26.4%   | 38.9%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 中破                     | 20     | 44     | 66      | 73           |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 4.2%   | 9.2%   | 13.8%   | 15.3%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 小破                          | 44                     | 71     | 85     | 80      | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002   | 6,555                                      |              |         |         |           |           |
|                             | 9.2%                   | 14.9%  | 17.8%  | 16.7%   | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673  | 25,671                                     |              |         |         |           |           |
| 道路<br>(総延長5,811 km)         | 斜面崩壊区域にある<br>道路延長 (km) | 0      | 6.6    | 98.5    | 390.6        | 0       | 471     | 1,620   | 2,878                                      | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 0.0%   | 0.1%   | 1.7%    | 6.7%         |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 液状化区域にある道<br>路延長 (km)  | 0      | 76.1   | 274.9   | 455.3        |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 0.0%   | 1.3%   | 4.7%    | 7.8%         |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 橋梁<br>(145橋、評価対象45橋)        | 大破                     | 0      | 1      | 12      | 32           | 377     | 898     | 1,359   | 1,914                                      | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 0.0%   | 2.2%   | 26.7%   | 71.1%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 中破                     | 2      | 21     | 27      | 11           |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 4.4%   | 46.7%  | 60.0%   | 24.4%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
|                             | 小破                     | 18     | 17     | 6       | 2            |         |         |         |  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 40.0%  | 37.8%  | 13.3%   | 4.4%         |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 既存上水道管路<br>(総延長1,167 km)    | 被害箇所                   | 982    | 1,921  | 3,496   | 5,161        | 36      | 71      | 129     | 191  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 0.84   | 1.65   | 3.00    | 4.42         |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 計画(建設中)上水道管路<br>(総延長699 km) | 被害箇所                   | 124    | 255    | 460     | 676          | 5       | 9       | 17      | 25   | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 0.18   | 0.36   | 0.66    | 0.97         |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 下水道管路<br>(総延長1,192 km)      | 被害延長 (km)              | 4.81   | 8.15   | 11.94   | 18.21        | 76      | 135     | 200     | 290  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 0.4%   | 0.7%   | 1.0%    | 1.5%         |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 電柱<br>(190,851本)            | 折損                     | 1,327  | 3,991  | 9,156   | 13,992       | 19      | 56      | 129     | 197  | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 0.7%   | 2.1%   | 4.8%    | 7.3%         |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |
| 携帯基地局(BTS)<br>(1,043基)      | 機能喪失                   | 43     | 143    | 372     | 601          | 82      | 272     | 707     | 1,142                                      | 死者           | 444     | 1,545   | 4,002     | 6,555     |
|                             |                        | 4.1%   | 13.7%  | 35.7%   | 57.6%        |         |         |         |  | 負傷者          | 1,739   | 6,051   | 15,673    | 25,671    |

出典: JICA プロジェクトチーム

表 3.2 図面集に収録された図面の種類 (図面集の目次)

| 番号        | タイトル                      | 番号        | タイトル                      |
|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| <b>A.</b> | 基礎情報                      | <b>C.</b> | 地震リスク評価                   |
| A-1       | 対象地域とパイロット市               | C-1       | 2016 年建物大破棟数・被害率分布(WN)    |
| A-2       | 2016 年夜間人口分布              | C-2       | 2016 年建物大破棟数・被害率分布(CNS-1) |
| A-3       | 2030 年推定夜間人口分布            | C-3       | 2016 年建物大破棟数・被害率分布(CNS-2) |
| A-4       | 2016 年建物分布                | C-4       | 2016 年建物大破棟数・被害率分布(CNS-3) |
| A-5       | 2030 年推定建物分布(耐震対策無)       | C-5       | 2016 年建物中破棟数・被害率分布(WN)    |
| A-6       | 2030 年推定建物分布 (耐震対策有ケース 1) | C-6       | 2016 年建物中破棟数・被害率分布(CNS-1) |
| A-7       | 2030 年推定建物分布 (耐震対策有ケース 2) | C-7       | 2016 年建物中破棟数・被害率分布(CNS-2) |
| A-8       | 2030 年推定建物分布 (耐震対策有ケース 3) | C-8       | 2016 年建物中破棟数・被害率分布(CNS-3) |
| A-9       | 2030 年推定建物分布 (耐震対策有ケース 4) | C-9       | 2030 年建物大破棟数(耐震対策無)       |
| A-10      | 2030 年推定建物分布 (耐震対策有ケース 5) | C-10      | 2030 年建物大破棟数 (耐震対策有ケース 1) |
| A-11      | 学校建物分布                    | C-11      | 2030 年建物大破棟数 (耐震対策有ケース 2) |
| A-12      | 病院施設建物分布                  | C-12      | 2030 年建物大破棟数 (耐震対策有ケース 3) |
| A-13      | 政府庁舎建物分布                  | C-13      | 2030 年建物大破棟数 (耐震対策有ケース 4) |
| A-14      | 道路ネットワーク                  | C-14      | 2030 年建物大破棟数 (耐震対策有ケース 5) |
| A-15      | RRNE 提案した緊急輸送道路ネットワーク     | C-15      | 学校建物被害                    |
| A-16      | 橋梁分布                      | C-16      | 病院施設建物被害                  |
| A-17      | 上水道ネットワーク (既存)            | C-17      | 政府庁舎建物被害                  |
| A-18      | 上水道ネットワーク (計画)            | C-18      | 液状化による道路被害                |
| A-19      | 下水道ネットワーク                 | C-19      | 斜面崩壊による道路被害               |
| A-20      | 電柱分布                      | C-20      | 建物被害による道路閉塞               |
| A-21      | モバイル中継塔(BTS)分布            | C-21      | 建物被害による緊急輸送道路閉塞           |
|           |                           | C-22      | 橋梁被害                      |
| <b>B.</b> | 地震ハザード評価                  | C-23      | 橋梁耐震対策優先度ランク              |
| B-1       | 地質構造図                     | C-24      | 上水道ネットワーク被害 (既存)          |
| B-2       | 標高図                       | C-25      | 上水道ネットワーク被害 (計画)          |
| B-3       | ボーリング位置分布                 | C-26      | 下水道ネットワーク被害               |
| B-4       | 基盤標高とボーリング位置分布            | C-27      | 電柱被害                      |
| B-5       | 微動観測位置分布                  | C-28      | モバイル中継塔(BTS)被害            |
| B-6       | 地質断面－東西方向                 | C-29      | 2016 年死者数 (地震夜間発生ケース)     |
| B-7       | 地質断面－南北方向                 | C-30      | 2016 年死者数 (地震平日昼発生ケース)    |
| B-8       | 地盤モデルから推定した AVS30         | C-31      | 2016 年死者数 (地震休日午後発生ケース)   |
| B-9       | 地盤の卓越周期                   | C-32      | 2016 年死者率 (地震夜間発生ケース)     |
| B-10      | シナリオ地震の断層モデル              | C-33      | 2016 年死者率 (地震平日昼発生ケース)    |
| B-11      | 地表最大加速度(PGA)分布            | C-34      | 2016 年死者率 (地震休日午後発生ケース)   |
| B-12      | 地表最大速度(PGV)分布             | C-35      | カトマンズ盆地相対的脆弱性分析           |
| B-13      | 震度(MMI)分布                 |           |                           |
| B-14      | 雨季液状化地域分布                 |           |                           |
| B-15      | 乾季液状化地域分布                 |           |                           |
| B-16      | 斜面崩壊地域分布                  |           |                           |
| B-17      | 地質構造から推定した AVS30          |           |                           |
| B-18      | 潜在液状化地域分布                 |           |                           |
| B-19      | 潜在斜面崩壊地域分布                |           |                           |

出典：JICA プロジェクトチーム

### 3.1 リスク評価の目的・意義

世界で多発する自然災害は、人命の損失と経済被害をもたらすとともに、持続的発展にも大きな影響を与える。国連は、1987年の第42回国連総会において、1990年代を「国際防災の10年」(IDNDR: International Decade for Natural Disaster Reduction)とする決議をした。また、2005年に兵庫で開催された第2回国連防災世界会議において兵庫行動枠組(HFA: Hyogo Framework for Action)が採択された。以降、各国ではHFAに基づく防災活動が進められ、法体制の整備、防災組織の設置、組織間連携や地域間連携等の協働体制の構築、防災組織及び職員の能力強化、また、災害リスク評価等の脆弱性の把握に貢献するソフト分野の活動が中心に取り組みられ、一定の成果を上げてきた。一方、具体的な減災に直結する活動の実施については、予算の不足や知識の不足から、依然として限定的になっている。さらに、防災の主流化に基づく包括的で持続的な社会構築が必要とされ、2015年3月に行われた第3回国連防災世界会議にて、HFAに代わり仙台防災枠組(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction)を今後の防災活動の国際的基準として採択された。仙台防災枠組では4つの優先行動及び7つのグローバルターゲットが明記された。本プロジェクトのリスク評価結果は、仙台防災枠組の「優先行動1: 災害リスクの理解」、「優先行動2: 災害リスク管理のための災害リスクガバナンス強化」及びグローバルターゲットの死者数、被災者数、経済損失、重要インフラの損失の軽減の目標達成に必要な政策、計画の策定、防災活動の実施に向けた取り組みに貢献できるものと考えている。

地震被害推定の結果は地震リスク管理における基本情報を提供し、対象期間や予算などに基づくリスク管理の目標設定、リスク軽減に関する具体策の構築、実施などに活用できる。本プロジェクトのリスク評価の結果は、同じく本プロジェクトで実施されたパイロット市における防災計画策定、コミュニティ防災活動、緊急対応標準手順書策定に活用されるとともに、JICA「ネパール国ネパール地震復旧・復興プロジェクト」(RRNEプロジェクト)で策定されたカトマンズ盆地強靱化計画にも活用された。また、カトマンズ盆地のパイロット市以外の自治体の防災計画策定、政府機関やインフラ会社の事業継続計画(BCP)の策定に活用されることも期待される。

一方、地震リスク評価においては、ネパール国に限らず、多くの途上国での大きな課題は地震被害データや建物及びインフラ・ライフラインのインベントリーデータといった基礎情報の不足であり、既存の利用可能な情報の種類により、適用する手法が限定されてしまう。例えば、対象国での地震被害データの不足により、対象国独自の被害関数を設定することができず、他国の類似手法を適用せざるを得ないケースが多い。インベントリーデータの不足は、それを補完するために、ある程度の誤差を承知で推定することが必要であり、推定作業にも限界がある。従って、リスク評価結果を参照する際には、評価手法が一定の仮定に基づくことやデータに不確定要素が含まれていることを理解する必要がある。本調査においても、それらの課題は同様に存在するが、グルカ地震の実被害から得られた情報を最大限に活用し、地震リスク評価を実施している。今後、グルカ地震の特性に関する新たな知見が得られた場

合、また、建物及びインフラ・ライフラインのデータ整備が進んだ場合には、建物耐震化等のリスク軽減対策の進捗及びその効果を検証する為にも、リスク評価を再実施することが望まれる。

## 3.2 評価対象地震動と地震発生シーン

地震ハザード評価では3つのシナリオ地震を設定した。シナリオ地震の設定では、グルカ地震で実際に観測された最大加速度(PGA)等の地震動と地震動の評価に用いた距離減衰式から算出した地震動の関係性を考慮して、複数の地震動レベルを検討している。ここでは、3.2.1に、地震ハザード評価結果から地震リスク評価の対象とする地震動を設定した経緯を記述し、3.2.2では、2016年と2030年それぞれに設定した地震発生シーンを記述する。

### 3.2.1 シナリオ地震とリスク評価対象地震動

地震ハザード評価では、3つのシナリオ地震(Far-Mid Western Nepal Scenario Earthquake M = 8.6, Western Nepal Scenario Earthquake M = 7.8, Central Nepal South Scenario Earthquake M = 7.8)を設定した。Far-Mid Western Nepal Scenario 地震、Western Nepal Scenario 地震における地震動の推定では、距離減衰式をそのまま適用としたが、Central Nepal South Scenario 地震においては、震源域がグルカ地震の南に位置し、同じ発震機構の可能性があると考えられるため、グルカ地震の距離減衰特性との類似性を考慮して、距離減衰式から算定した最大加速度(PGA)に1/3、1/2、2/3、1/1の補正係数をかけ、4ケースの地震動を設定した。WG1における一連の会議、また、第4回JCC会議においてリスク評価に採用する地震動レベルが議論された。その結果、表3.2.1に示す4種類(WN, CNS-1, CNS-2, CNS-3)を本プロジェクトにおける地震動とすることが合意された。この4ケースの地震動をシナリオ地震と区別するため、今後の記述ではシナリオ地震動と称する。

表 3.2.1 リスク評価の対象とするシナリオ地震動

| シナリオ地震        | 加速度(PGA)補正係数     | 記号    |
|---------------|------------------|-------|
| ネパール西部シナリオ地震  | 1/1 (無補正)        | WN    |
| 中央ネパール南シナリオ地震 | 1/3 (本震最大値により補正) | CNS-1 |
|               | 1/2 (余震平均値により補正) | CNS-2 |
|               | 2/3 (本震最大値により補正) | CNS-3 |

出典：JICA プロジェクトチーム

### 3.2.2 地震発生シーン

地震発生日時による建物、インフラ・ライフラインの直接被害への違いは生じないが、日時により屋内にいる人口に差があるため、人的被害に違いが生じる。よって、本調査では、2016年時点のリスク評価に対して、防災計画や防災施策を策定する際の状況設定として、地震発

生シーンを夜間、平日昼、休日夕方に設定した。一方、2030年の将来のリスク評価においては、建物耐震化対策の効果を示すため、建物耐震対策有・無の2シーンを設定し、また、建物耐震対策有の場合については、建物の地震対策状況と被害軽減度合の関係を考察して、実施可能な減災目標を設定するために5ケースを設定した。

### (1) 2016年の地震発生シーン

2016年の地震発生シーンとしては、地震の発生に対して想定される被害の特徴から平日、休日(週末)、昼間、夜間、季節などの要素を考慮し、それを総合的に判断した結果、図3.2.1に示した夜間、平日昼間、休日夕方の3シーンを設定した。それぞれ地震発生シーンに想定される被害特徴を表3.2.2に示す。地震発生シーンごとの屋内滞留率は、アンケート調査結果により設定した。また、夜と週末の人口分布は、センサス調査の定住人口分布を用いて屋内人口を算出するのにに対し、平日昼の屋内人口はOD調査データ(The Project on Urban Transport Improvement for Kathmandu Valley, JICA)により通勤、通学の人口移動による昼間の人口分布を用いて計算した。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.2.1 2016年を対象とした地震発生シーン

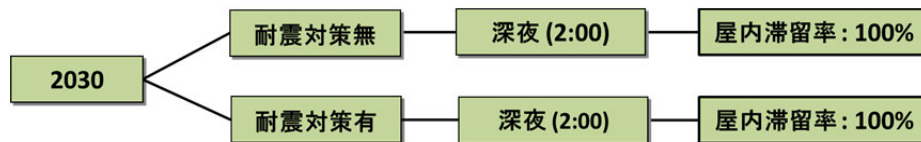
表 3.2.2 地震発生シーンに想定される被害の特徴

| 地震発生シーン                  | 地震発生シーンに想定される被害の特徴  |
|--------------------------|---|
| 深夜 2 時<br>(屋内滞留率 100%)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 屋内滞留人口はほぼ 100%であるため、家屋倒壊による死者が多くなる可能性が高い。</li> <li>◆ 深夜での地震発生は、緊急対応人員の招集や救急・救援作業が遅れる可能性がある。</li> <li>◆ 避難における移動は昼間より困難な場合があり、冬、あるいは、雨季での地震発生は、被害を拡大する恐れがある。</li> </ul> |
| 平日昼 12 時<br>(屋内滞留率 90%)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ オフィス、商業施設等に多数の滞留者があり、自宅外で被災する場合が多い。</li> <li>◆ 屋内滞留人口は夜より少なく、建物の倒壊による死者数は深夜と比較して少ない。</li> <li>◆ 道路、橋梁の被害や公共交通の停止により、オフィス、商業施設に多数の滞留者が発生する可能性が高い。</li> </ul>            |
| 週末夕方 18 時<br>(屋内滞留率 70%) | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 一日の中で屋内滞留率の低い時間帯であり、建物の倒壊による死者数は深夜と平日昼より少ない。</li> <li>◆ 週末であるため、また、道路、通信施設の被害により、緊急対応人員への連絡、招集や救急・救援作業が遅れる可能性がある。</li> </ul>   |

出典: JICA プロジェクトチーム

## (2) 2030年の地震発生シーン

防災計画でリスク軽減の目標を設定する参考材料として、2030年の建物耐震策有と無の2つのシーンを設定した(図 3.2.2)。地震対策無のシーンは2016年の建物の構造種別の構成比率をそのまま2030年の建物構造種別分布に適用する。一方で、地震対策有の場合では、5ケースを仮定して(表 3.4.5 を参照)、それらのリスク評価結果と耐震対策無の結果との比較により、耐震対策の効果を検証した。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.2.2 2030年を対象とした地震発生シーン

## 3.3 インベントリーデータ

前述の通り本調査では、地震リスク評価の対象として、建物（一般建物、学校校舎、病院建物、政府庁舎）、交通インフラ（道路網、橋梁）、上下水道施設（上水道配管、下水道配管）、電力施設（配電網）、通信施設（携帯通信基地局）の地震被害を推定した。また、これらの一般建物及び公共構造物の被害推定結果を基に、人的被害や直接経済損失についても評価している。地震被害の推定では、シナリオ地震に基づく対象地震動のデータと一般建物及び公共構造物のインベントリーデータを入力データとして、地震被害推定用の計算フォーム（スプレッドシート）を用いて計算される。また、計算フォームに入力するインベントリーデータの作成・編集や地震被害推定結果の図化において、GIS（Geographical Information System）が活用されている。

本調査では、地震ハザード及び地震リスクの分析・評価の最少単位として、250m×250mのメッシュグリッド（以下、“評価グリッド”と呼ぶ）を設定している。この評価グリッドの大きさは、地震ハザードの分析精度やインベントリーデータの縮尺、データ内の各オブジェクトの位置精度を考慮して決定された。カトマンズ盆地全体は11,933個の評価グリッドから構成されている。シナリオ地震に基づく地表面最大加速度(PGA)や地表面最大速度(PGV)などの値は、この評価グリッド毎に異なる値をとる。また、一般建物や道路網、上下水道網、配電網は、評価グリッド毎に被害総数や被害率が推定される。学校、病院、政府庁舎、携帯通信基地局といった建物個別の位置が明らかになっているリスク評価対象については、建物が立地する評価グリッドのPGA値を基に建物毎の被害率が推定される。なお、人的・経済的被害の推定については、人口や各種統計データが行政界レベルで整理されていることから、市界やワード(Ward)界といった行政界単位で分析される。

地震リスク評価の対象となる建物及びインフラ・ライフラインのインベントリーデータの種類を以下に示す。



表 3.3.1 建物及びインフラ・ライフラインのインベントリーデータ

| データの種類  | データタイプ                    | 出典   |
|---|---------------------------|--|
| 人口データ<br>(2001年及び2011年の国勢調査結果)  | Ward別データ<br>(Polygon)     | CBS, 2001・2011   |
| 昼間・夜間人口推定データ<br>・2016年推定：2,786,929人<br>・2030年推定：3,805,926人                            | Ward別推定データ<br>(Polygon)   | JICA ERAKV, 2017   |
| 一般建物データ<br>(2011年の国勢調査)   | Ward別データ<br>(Polygon)     | CBS, 2011  |
| 一般建物推定データ<br>・2016年：444,554棟<br>・2030年：606,506棟 (建物耐震化の有無と耐震化の進捗を考慮して全6ケースの建物構造比率を設定) | 評価グリッド別推定データ<br>(Polygon) | JICA ERAKV, 2017   |
| 学校インベントリーデータ<br>・2,115校、5,731棟  | 建物個別データ<br>(Point)        | DoE, 2015<br>Flagship 1 of NRRC, 2014<br>JICA ERAKV, 2017          |
| 医療施設インベントリーデータ<br>・363施設、584棟   | 建物個別データ<br>(Point)        | DoH, 2015<br>Flagship 1 of NRRC, 2014<br>JICA ERAKV, 2017          |
| 政府庁舎インベントリーデータ<br>・478棟   | 建物個別データ<br>(Point)        | DUDBC, 2015<br>JICA ERAKV, 2017                                    |
| 道路網データ (高速道路網、戦略的道路網、地方道路網、生活道路を含む全ての道路網)<br>・全長：5,811 km                             | ネットワークデータ<br>(Line)       | DoR, 2015<br>DoLIDAR, 2015<br>JICA ERAKV, 2017<br>UNDP/CDRMP, 2013 |
| 橋梁データ<br>・145橋  | 橋梁個別データ<br>(Point)        | DoR, 2015<br>JICA ERAKV, 2017                                      |
| 上水配水網データ (現状)<br>・全長：1,167 km   | ネットワークデータ<br>(Line)       | KUKL, 2005   |
| 上水配水網データ (敷設予定)<br>・全長：699 km   | ネットワークデータ<br>(Line)       | KUKL, 2016   |
| 下水排水網データ (現状)<br>・全長：1,192 km   | ネットワークデータ<br>(Line)       | KUKL, 2015   |
| 配電網電柱本数推定データ<br>・190,851本   | 評価グリッド別推定データ<br>(Polygon) | NEA, 2016<br>JICA ERAKV, 2017                                      |
| 通信モバイル基地局 (BTS) インベントリーデータ<br>・1,043棟   | 基地局個別データ<br>(Point)       | NTA, NTC, Ncell, 2015<br>JICA ERAKV, 2017                          |

### 3.4 地震リスク評価

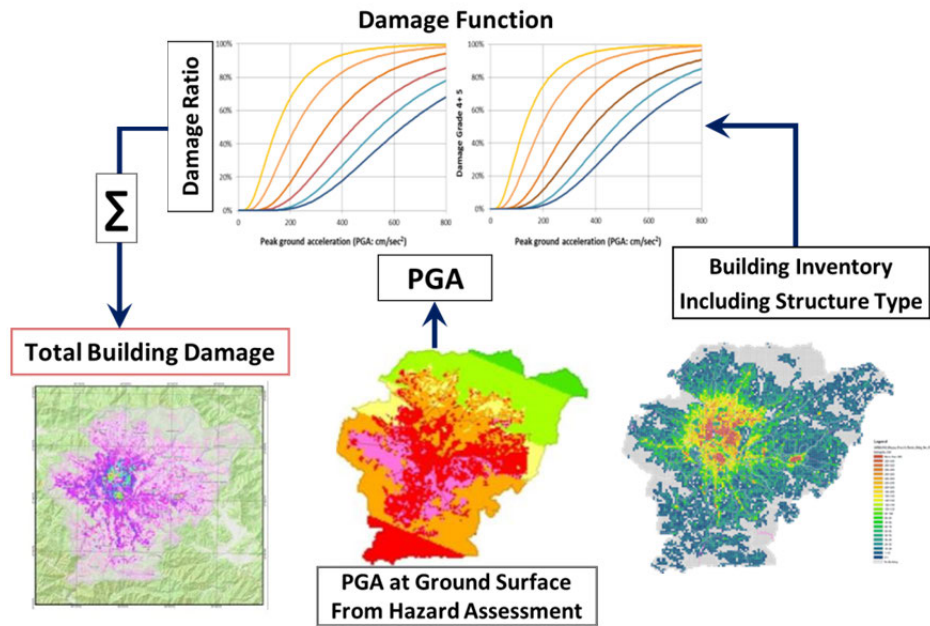
建物、インフラ・ライフラインの被害や人的・経済的損失に関わる各種地震リスク評価方法は、日本で用いられている評価手法を基に、2015年グルカ地震の被害データがある場合にはそれを考慮して検討された。地震リスク評価方法についてネパール国側関係者との共通認識を醸成するために、WG会合や関係機関との個別会合を通じて多くの関係者と何度も議論

が重ねられた。最終的に以下に説明する評価手法が決定されて、リスク評価が実施された。

### 3.4.1 建物の被害評価

#### (1) 被害評価フロー

建物リスク評価のフローを図 3.4.1 に示す。建物インベントリーデータ、シナリオ地震によるハザード評価データ、及び建物被害関数を用いて 250m x 250m グリッドを評価単位として建物被害が評価された。

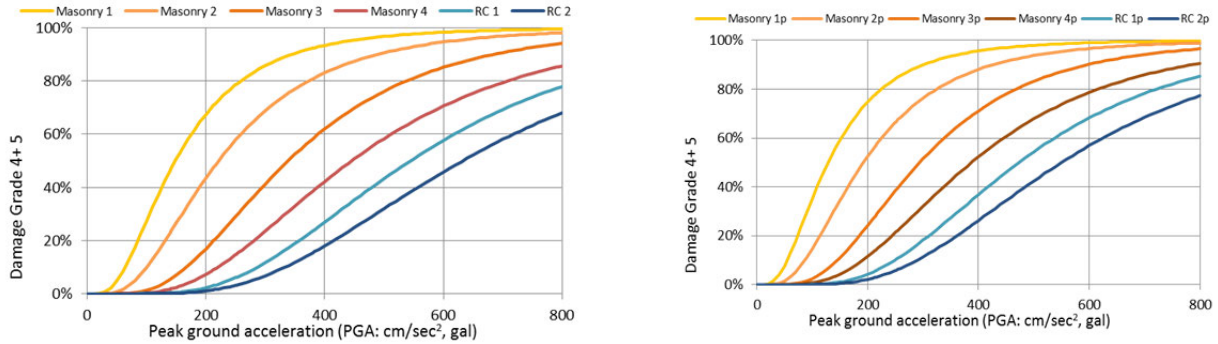


出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.1 建物リスク評価のフロー

#### (2) 被害関数

一般建物の被害関数を図 3.4.2 に示す。被害関数は盆地内の中層建物に対応する建物周期 0.3~0.7 秒に対する各グリッドの応答解析結果と地盤卓越周期の関係を評価して 2 つに分類することとした。つまり、盆地一般(中央部)( $T_g > 1.5\text{sec}$  &  $T_g \leq 0.3\text{sec}$ )と盆地周辺部( $0.3\text{sec} < T_g \leq 1.5\text{sec}$ )の被害関数をそれぞれ設定した。建物被害関数の分類と対応する構造形式を表 3.4.1 に示す。被害関数の横軸は該当する評価グリッドの PGA の値、縦軸は一般建築物の場合は評価グリッド内の建物の何パーセントが被害を受けるかを示す「被害率」を、学校や病院等の個別の建物の場合は当該建物 1 棟の「被害確率」を示す。



a) General (center) area of the Valley  
 (predominant period of the ground,  $T_g > 1.5\text{sec}$  &  $T_g \leq 0.3\text{sec}$ )

b) Perimeter area of the Valley, suffix p  
 (predominant period of the ground  $0.3\text{sec} < T_g \leq 1.5\text{sec}$ )

出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.2 一般建物の被害関数 (左: 盆地一般(中央)部、右: 盆地周辺部)

表 3.4.1 建物被害関数の分類と構造形式

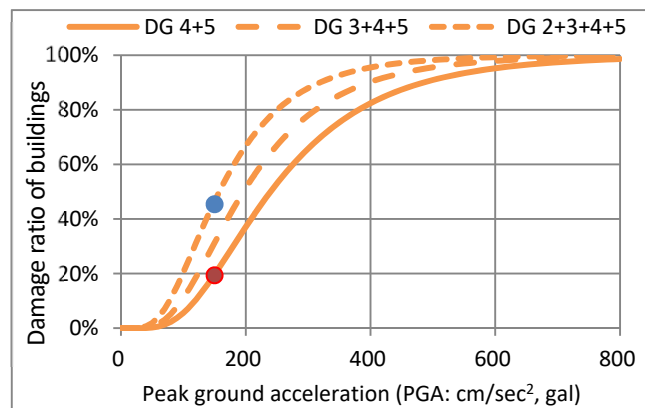
| 被害関数の分類 |                | 対象構造種別(番号は建物インベントリ調査での構造種別番号を示す) |             |       |
|---------|----------------|----------------------------------|-------------|-------|
| 1       | 組積造 1、組積造 1p   | 1. アドベ                           |             |       |
| 2       | 組積造 2、組積造 2p   | 4. レンガ組積造泥目地、木屋根かつ築 20 年以上       | 2. 石造泥目地    |       |
| 3       | 組積造 3、組積造 3p   | 4. レンガ組積造泥目地、RC 屋根及び木屋根で築 1-20 年 |             |       |
| 4       | 組積造 4、組積造 4p   | 5. レンガ組積造セメント目地                  | 3. 石造セメント目地 | 8 その他 |
| 5       | RC 造 1、RC 造 1p | 6. ノンエンジニアド RC                   |             |       |
| 6       | RC 造 2、RC 造 2p | 7. エンジニアド RC                     |             |       |

注: p は盆地周辺部分(perimeter)の被害関数を表す

盆地一般(中央)部: 地盤卓越周期  $T_g > 1.5\text{sec}$  &  $\leq 0.3\text{sec}$ 、盆地周辺部:  $0.3\text{sec} < T_g \leq 1.5\text{sec}$

出典: JICA プロジェクトチーム

歴史建造物はダルバール広場 3 か所の建造物保護地域 (Protected Monument Zone, PMZ) 内の計 108 の歴史建造物を対象としている。被害関数は図 3.4.3 のように「盆地中央部用のタイプ 2 とタイプ 3 の中間値」を採用する。



● : グルカ地震被害 DG 4+5      ● : グルカ地震被害 DG 2+3+4+5

出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.3 歴史建造物の被害関数

### (3) 評価結果

シナリオ地震動に対して推定した建物被害の一覧を表 3.4.2 に示すし、被害分布などについては以下に述べる。

表 3.4.2 建物被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表

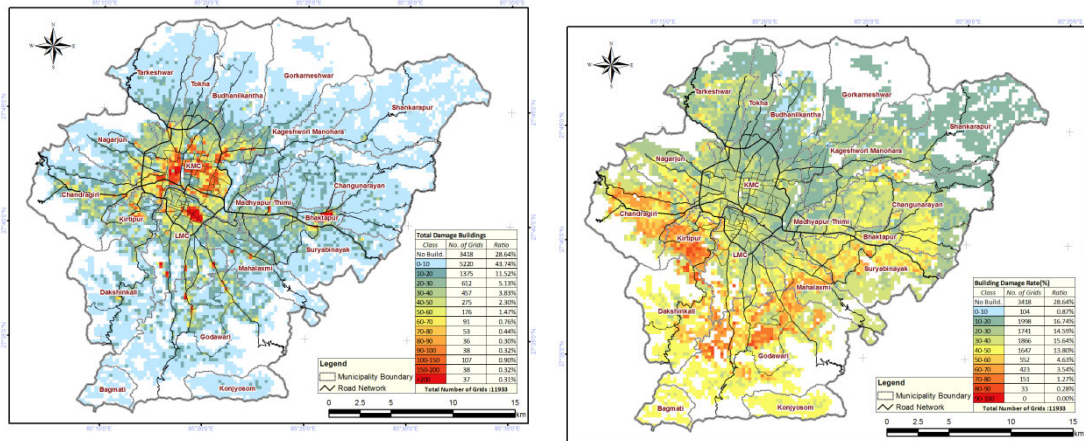
| Category   | Damage Level              | Scenario earthquake Ground Motion |        |         |         |
|--|---------------------------|-----------------------------------|--------|---------|---------|
|  |                           | WN                                | CNS-1  | CNS-2   | CNS-3   |
| Building (2016) (Total building 444,554)               | Heavy damage (EMS DL4&5)  | 24,961                            | 65,314 | 136,060 | 199,643 |
|  |                           | 5.6%                              | 14.7%  | 30.6%   | 44.9%   |
|  | Moderate damage (EMS DL3) | 21,967                            | 42,940 | 62,691  | 67,418  |
|  |                           | 4.9%                              | 9.7%   | 14.1%   | 15.2%   |
|  | Slight damage (EMS DL2)   | 43,564                            | 67,770 | 77,713  | 70,462  |
|  |                           | 9.8%                              | 15.2%  | 17.5%   | 15.9%   |
| Building (2030) (Heavy damage, Total building 606,506) | Case-0                    | 33,763                            | 88,681 | 185,796 | 273,269 |
|  |                           | 5.6%                              | 14.6%  | 30.6%   | 45.1%   |
|  | Case-1                    | 28,377                            | 79,075 | 171,977 | 258,044 |
|  |                           | 4.7%                              | 13.0%  | 28.4%   | 42.5%   |
|  | Case-2                    | 13,627                            | 56,452 | 146,361 | 234,477 |
|  |                           | 2.2%                              | 9.3%   | 24.1%   | 38.7%   |
|  | Case-3                    | 12,162                            | 49,970 | 131,095 | 213,481 |
|  |                           | 2.0%                              | 8.2%   | 21.6%   | 35.2%   |
|  | Case-4                    | 16,147                            | 52,413 | 129,904 | 210,181 |
|  |                           | 2.7%                              | 8.6%   | 21.4%   | 34.7%   |
|  | Case-5                    | 11,138                            | 41,230 | 111,854 | 189,357 |
|  |                           | 1.8%                              | 6.8%   | 18.4%   | 31.2%   |
| School (Total building 5,731)                          | Heavy damage              | 237                               | 737    | 1,654   | 2,486   |
|  |                           | 4.1%                              | 12.9%  | 28.9%   | 43.4%   |
|  | Moderate damage           | 253                               | 539    | 810     | 875     |
|  |                           | 4.4%                              | 9.4%   | 14.1%   | 15.3%   |
|  | Slight damage             | 568                               | 916    | 1,057   | 960     |
|  |                           | 9.9%                              | 16.0%  | 18.4%   | 16.8%   |
| Health facility (Total building 584)                   | Heavy damage              | 20                                | 64     | 153     | 235     |
|  |                           | 3.4%                              | 11.0%  | 26.2%   | 40.2%   |
|  | Moderate damage           | 24                                | 55     | 83      | 94      |
|  |                           | 4.1%                              | 9.4%   | 14.2%   | 16.1%   |
|  | Slight damage             | 51                                | 85     | 105     | 97      |
|  |                           | 8.7%                              | 14.6%  | 18.0%   | 16.6%   |
| Government building (Total building 478)               | Heavy damage              | 20                                | 59     | 126     | 186     |
|  |                           | 4.2%                              | 12.3%  | 26.4%   | 38.9%   |
|  | Moderate damage           | 20                                | 44     | 66      | 73      |
|  |                           | 4.2%                              | 9.2%   | 13.8%   | 15.3%   |
|  | Slight damage             | 44                                | 71     | 85      | 80      |
|  |                           | 9.2%                              | 14.9%  | 17.8%   | 16.7%   |

出典: JICA プロジェクトチーム

#### a) 一般建物

##### 2016年時点での被害

建物総数は 444,554 棟である。例として、シナリオ地震動 CNS-2 における建物被害数と被害率の分布を図 3.4.4 に示す。CNS-2 による建物の大破(EMS 98 による DL4 以上)は 136,060 棟、全体の 30.6%に及ぶと評価される。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.4 2016年時点の建物リスク評価結果 (CNS-2、左:被害数、右:被害率)

### 2030年時点での被害

建物総数は 606,506 棟と推定されている。被害は建物の耐震性向上促進策 (BSPS) が実施されない場合 (Case0) と実施される場合の異なる耐震化進捗度合いを想定した 5 つのケース (Case1-5) に対して評価した。評価結果を表 3.4.5 に示す。建物の耐震性向上促進策 (BSPS) が実施されない場合、シナリオ地震動 CNS-2 に対する建物の大破は 185,796 棟、被害率は 2016 年と同様、全体の 30.6%である。つまり、耐震性向上がない場合、建物数の増加により、被害も増加される。

耐震性向上促進策の有無による CNS-1 の場合の地震被害と被害額の比較を表 3.4.3 に示す。評価対象のケースにおいては、大破となる建物の数は約 11%から 53%まで軽減され、被害額は約 8%から 30%まで減少される。耐震性向上促進策に必要な費用を表 3.4.4 に示す。Case1 では 2016-2030 年の間に建設される新築のアドベ、レンガ造泥目地をレンガ造セメント目地にする事で、建築コストが約 9%増加する。Case2 では新築と既存のアドベ、レンガ造泥目地を全てレンガ造セメント目地にする事により建築コストが約 14%増加される。一方、Case4 および Case5 では、新築と既存のアドベ、レンガ造(泥目地、セメント目地)の大部分を RC に建替える場合、表 3.4.4 に示すとおり対象建物の増加と高い建築単価により、建設コストが大きく膨れ上がる。

表 3.4.3 耐震性向上促進策の経済被害低減効果

| Case  | Building with heavy damage | Reduce ratio of building damage | Loss amount (mil. NPR) | Reduce of loss amount (mil. NPR) | Reduce ratio of loss amount |
|-------|----------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Case0 | 88,681                     |                                 | 269,789                |                                  |                             |
| Case1 | 79,075                     | 10.8%                           | 247,974                | 21,815                           | 8.1%                        |
| Case2 | 56,452                     | 36.3%                           | 227,573                | 42,216                           | 15.6%                       |
| Case3 | 49,970                     | 43.7%                           | 187,832                | 81,956                           | 30.4%                       |
| Case4 | 52,413                     | 40.9%                           | 221,349                | 48,440                           | 18.0%                       |
| Case5 | 41,230                     | 53.5%                           | 207,520                | 62,269                           | 23.1%                       |

出典: JICA プロジェクトチーム

表 3.4.4 耐震性向上促進策によるコスト増

| Case  | Building to be rebuilt or new constructed | Construction Cost (mil. NPR) | Cost increase to Case0 (mil. NPR) | Ratio of increase cost | Cost increase per year |
|-------|---|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|
| Case1 | 161,953                                   | 881,718                      | 79,718                            | 9%                     | 5,694                  |
| Case2 | 243,047                                   | 1,072,452                    | 148,391                           | 14%                    | 10,599                 |
| Case3 | 452,543                                   | 2,690,179                    | 299,228                           | 11%                    | 21,373                 |
| Case4 | 293,099                                   | 2,263,313                    | 894,945                           | 40%                    | 63,925                 |
| Case5 | 389,795                                   | 3,009,995                    | 1,233,103                         | 41%                    | 88,079                 |

注: 2016年から2030年の間に増加する想定の新築建物161,952棟、建築コスト802,000百万NPR  
 年単位のコスト増は2017年から2030年までの14年間として計算

出典: JICA プロジェクトチーム



表 3.4.5 建物被害推定結果 (2016年、2030年、及び2030年建物耐震化対策有の5ケース)

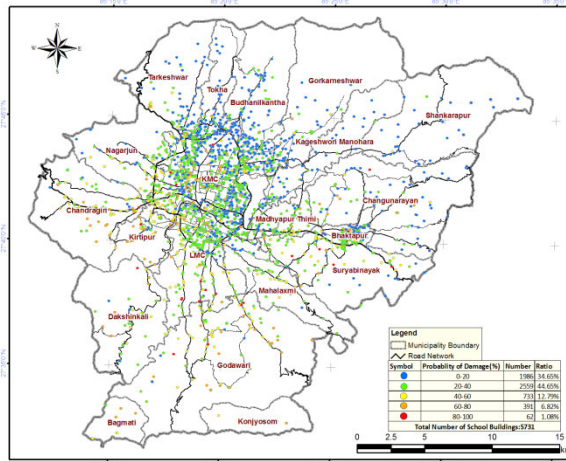
| Year                   | Building Type Distribution (Pie Chart) | Total Number | Scenario Eq. | Building Damage |            |              |            | Rate of Mitigating Damage by BSPS (※2) |        |
|------------------------|--|--------------|--------------|-----------------|------------|--------------|------------|--|--------|
|                        |  |              |              | Heavily (DG4+5) |            | Partly (DG3) |            | Heavily                                | Partly |
|                        |  |              |              | Count           | Percentage | Count        | Percentage |  |        |
| 2016                   |  | 444,554      | WN           | 24,961          | 5.6%       | 21,967       | 4.9%       |  |        |
|                        |  |              | CNS-1        | 65,314          | 14.7%      | 42,940       | 9.7%       |  |        |
|                        |  |              | CNS-2        | 136,060         | 30.6%      | 62,691       | 14.1%      |  |        |
|                        |  |              | CNS-3        | 199,643         | 44.9%      | 67,418       | 15.2%      |  |        |
| 2030 without BSPS (※1) |  | 606,506      | WN           | 33,763          | 5.6%       | 29,831       | 4.9%       |  |        |
|                        |  |              | CNS-1        | 88,681          | 14.6%      | 58,470       | 9.6%       |  |        |
|                        |  |              | CNS-2        | 185,796         | 30.6%      | 85,520       | 14.1%      |  |        |
|                        |  |              | CNS-3        | 273,269         | 45.1%      | 91,892       | 15.2%      |  |        |
| 2030 with BSPS Case01  |  | 606,506      | WN           | 28,377          | 4.7%       | 26,558       | 4.4%       | 16.0%                                  | 11.0%  |
|                        |  |              | CNS-1        | 79,075          | 13.0%      | 55,103       | 9.1%       | 10.8%                                  | 5.8%   |
|                        |  |              | CNS-2        | 171,977         | 28.4%      | 83,859       | 13.8%      | 7.4%                                   | 1.9%   |
|                        |  |              | CNS-3        | 258,044         | 42.5%      | 92,321       | 15.2%      | 5.6%                                   | -0.5%  |
| 2030 with BSPS Case02  |  | 606,506      | WN           | 13,627          | 2.2%       | 18,881       | 3.1%       | 59.6%                                  | 36.7%  |
|                        |  |              | CNS-1        | 56,452          | 9.3%       | 50,010       | 8.2%       | 36.3%                                  | 14.5%  |
|                        |  |              | CNS-2        | 146,361         | 24.1%      | 83,717       | 13.8%      | 21.2%                                  | 2.1%   |
|                        |  |              | CNS-3        | 234,477         | 38.7%      | 95,133       | 15.7%      | 14.2%                                  | -3.5%  |
| 2030 with BSPS Case03  |  | 606,506      | WN           | 12,162          | 2.0%       | 16,590       | 2.7%       | 64.0%                                  | 44.4%  |
|                        |  |              | CNS-1        | 49,970          | 8.2%       | 45,067       | 7.4%       | 43.7%                                  | 22.9%  |
|                        |  |              | CNS-2        | 131,095         | 21.6%      | 78,997       | 13.0%      | 29.4%                                  | 7.6%   |
|                        |  |              | CNS-3        | 213,481         | 35.2%      | 93,462       | 15.4%      | 21.9%                                  | -1.7%  |
| 2030 with BSPS Case04  |  | 606,506      | WN           | 16,147          | 2.7%       | 17,900       | 3.0%       | 52.2%                                  | 40.0%  |
|                        |  |              | CNS-1        | 52,413          | 8.6%       | 45,293       | 7.5%       | 40.9%                                  | 22.5%  |
|                        |  |              | CNS-2        | 129,904         | 21.4%      | 79,695       | 13.1%      | 30.1%                                  | 6.8%   |
|                        |  |              | CNS-3        | 210,181         | 34.7%      | 95,190       | 15.7%      | 23.1%                                  | -3.6%  |
| 2030 with BSPS Case05  |  | 606,506      | WN           | 11,138          | 1.8%       | 14,252       | 2.3%       | 67.0%                                  | 52.2%  |
|                        |  |              | CNS-1        | 41,230          | 6.8%       | 40,974       | 6.8%       | 53.5%                                  | 29.9%  |
|                        |  |              | CNS-2        | 111,854         | 18.4%      | 77,650       | 12.8%      | 39.8%                                  | 9.2%   |
|                        |  |              | CNS-3        | 189,357         | 31.2%      | 96,203       | 15.9%      | 30.7%                                  | -4.7%  |

※1: BSPS: Promotion on Building Seismic Performance Strengthening  
 ※2: Rate of Mitigating Damage by BSPS Compared to 2030 Without BSPS

出典: JICA プロジェクトチーム

## b) 学校校舎

2016年時点の学校校舎インベントリ(5,731棟)に基づくシナリオ地震動 CNS-2 における被害リスク評価結果を図 3.4.5、4シナリオ地震動の評価結果のまとめを表 3.4.6 に示す。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.5 学校校舎の被害リスク評価結果

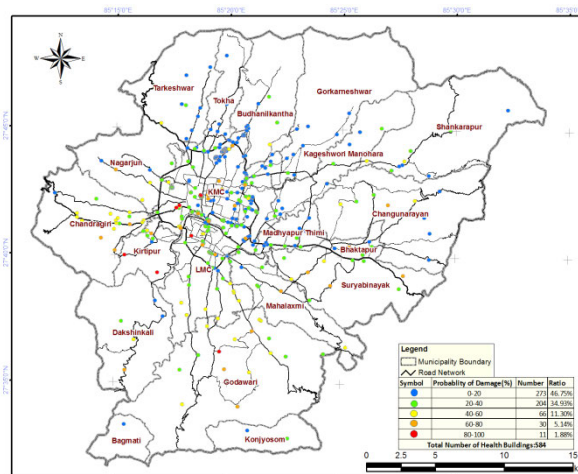
表 3.4.6 学校校舎の被害評価結果のまとめ(棟数と被害率)

| Scenario<br>Earthquake | Damage Level |     |          | Total (5,731) |       |
|------------------------|--------------|-----|----------|---------------|-------|
|                        | DL2          | DL3 | DL 4 & 5 |               |       |
| WN                     | 568          | 253 | 237      | 1,058         | 18.5% |
| CNS-1                  | 916          | 539 | 737      | 2,192         | 38.2% |
| CNS-2                  | 1,057        | 810 | 1,654    | 3,521         | 61.4% |
| CNS-3                  | 960          | 875 | 2,486    | 4,321         | 75.4% |

出典: JICA プロジェクトチーム

c) 病院施設

2016年時点の病院施設インベントリ(584棟)に基づくシナリオ地震動 CNS-2 における病院建物の被害評価を図 3.4.6、4シナリオ地震動の評価結果のまとめを表 3.4.7 に示す。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.6 病院・医療施設の建物の被害評価結果

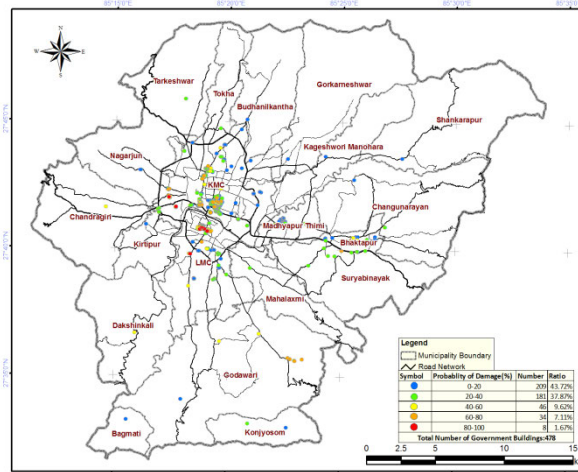
表 3.4.7 病院・医療施設の被害評価結果のまとめ(棟数と被害率)

| Scenario<br>Earthquake | Damage Level |     |          | Total (584) |       |
|------------------------|--------------|-----|----------|-------------|-------|
|                        | DL2          | DL3 | DL 4 & 5 |             |       |
| WN                     | 51           | 24  | 20       | 95          | 16.3% |
| CNS-1                  | 85           | 55  | 64       | 204         | 34.9% |
| CNS-2                  | 105          | 83  | 153      | 341         | 58.4% |
| CNS-3                  | 97           | 94  | 235      | 426         | 72.9% |

出典: JICA プロジェクトチーム

#### d) 政府庁舎

2016 年時点の政府庁舎インベントリー (478 棟) に基づくシナリオ地震動 CNS-2 における政府庁舎の被害評価結果を図 3.4.7、4 シナリオ地震動の評価結果のまとめを表 3.4.8 に示す。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.7 政府庁舎の被害評価結果

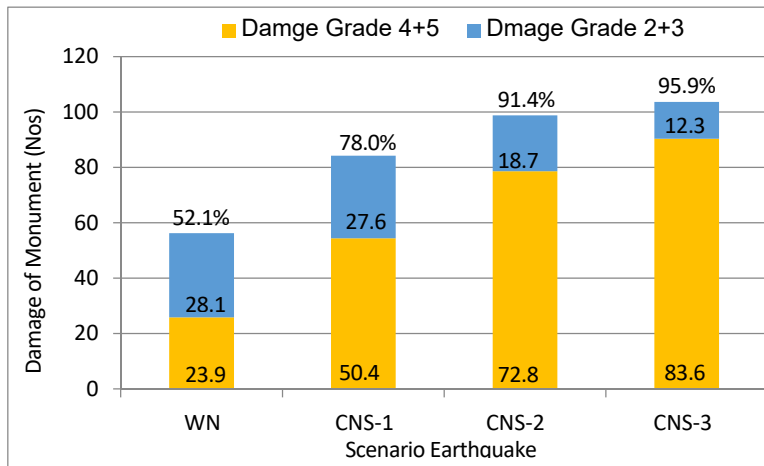
表 3.4.8 政府庁舎の被害評価結果のまとめ(棟数と被害率)

| Scenario<br>Earthquake | Damage Level |     |          | Total (478) |       |
|------------------------|--------------|-----|----------|-------------|-------|
|                        | DL2          | DL3 | DL 4 & 5 |             |       |
| WN                     | 44           | 20  | 20       | 84          | 17.6% |
| CNS-1                  | 71           | 44  | 59       | 174         | 36.4% |
| CNS-2                  | 85           | 66  | 126      | 277         | 57.9% |
| CNS-3                  | 80           | 73  | 186      | 339         | 70.9% |

出典: JICA プロジェクトチーム

#### e) 歴史建造物

歴史建造物は 3 ダルバール広場 (Hanumandhoka、Patan、および Bhaktapur World Heritage Site (WHS)、Protected Monument Zone (PMZ)) の建造物を被害評価対象としている。シナリオ地震動において 3 ダルバール広場の地動加速度に大きな違いはなく、3 ダルバール広場(計 108 の建造物)合計の被害数と被害率を図 3.4.8 に示す。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.8 3 ダルバール広場内の歴史建造物 (計 108) のリスク評価結果 (被害数と被害率)

### 3.4.2 交通インフラの被害評価

#### (1) 道路

道路のリスク評価は災害後の交通阻害の程度を知ることが目的である。本プロジェクトにおける災害後の交通阻害は、地震動により発生する恐れがある斜面崩壊、地盤の液状化、建物倒壊による道路閉塞の3項目の事象に対して検討した。

##### a) 斜面崩壊：

地震動による斜面崩壊により、山間部の道路は寸断や土砂による道路閉塞による交通阻害のリスクがある。本プロジェクトでは、シナリオ地震に基づくグリッド毎の斜面崩壊ポテンシャルの評価結果と道路網データを空間的に重ね合わせて比較・分析することにより、震後交通阻害の発生リスクが高い地点を推定した。

##### b) 液状化：

地震動による液状化の発生リスクが高い地域に位置する道路は、地盤の沈下や構造物の変動に伴う交通阻害のリスクがある。本プロジェクトでは、斜面崩壊と同様のアプローチで、シナリオ地震に基づくグリッド毎の液状化ポテンシャルの評価結果と道路網データを空間的に比較・分析することにより、液状化による震後交通阻害の発生リスクが高い地点を推定した。

##### c) 細街路の道路閉塞：

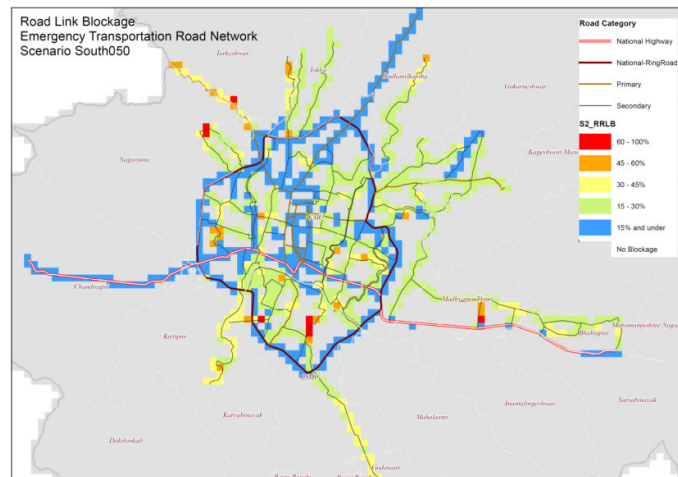
比較的道路幅員が狭い細街路では、地震動による建物倒壊により道が塞がる交通傷害のリスクがある。本プロジェクトでは、細街路が密集する中心市街地を対象に、グリッド毎に「道路リンク閉塞率」を計算して、建物倒壊に伴う震後交通阻害の発生リスクを推定した。

各シナリオ地震動の斜面崩壊及び液状化の危険性が高いと判定されたグリッド内の道路延長を整理した結果を表 3.4.9 に示す。また、緊急輸送路ネットワーク(RRNE プロジェクト提案)を対象に道路閉塞を評価した結果を図 3.4.9 に示す。

表 3.4.9 道路被害の推定結果(上段：被害延長(km)、下段：被害率)一覧表

| Category                           | Damage                 | Scenario earthquake Ground Motion |       |       |       |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|                                    |                        | WN                                | CNS-1 | CNS-2 | CNS-3 |
| Road<br>(Total length<br>5,811 km) | Length in landslide    | 0                                 | 6.6   | 98.5  | 390.6 |
|                                    | area (km)              | 0.0%                              | 0.1%  | 1.7%  | 6.7%  |
|                                    | Length in liquefaction | 0                                 | 76.1  | 274.9 | 455.3 |
|                                    | area (km)              | 0.0%                              | 1.3%  | 4.7%  | 7.8%  |

出典: JICA プロジェクトチーム



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.9 建物倒壊による緊急輸送道路の閉塞率(CNS-2)

## (2) 橋梁

橋梁の地震時リスクを道路交通の機能喪失の可能性と捉えるなら、それは橋梁下部構造の崩壊として評価できる。本プロジェクトでは、橋梁下部構造の崩壊可能性を地震時の「応答塑性率」から評価し、橋梁の地震時リスクを評価するための定量的な指標とした。応答塑性率の評価方法について、国総研の「即時震害予測 System(SATURN)」(国総研資料第 71 号)で提案した手法を参考に設定した。被害程度(大破、中破、小破)を判断する閾値は「インテリジェントセンサを用いた橋梁地震被災度判定手法の開発に関する研究(運上茂樹)」の結果を適用した。

カトマンズ盆地内にある 145 橋のうち、多径間、RC 橋脚を有する 45 橋を上記の方法を用いて橋梁の被害を評価した。上記方法により応答塑性率を計算するに当たり、橋脚の外形寸法、

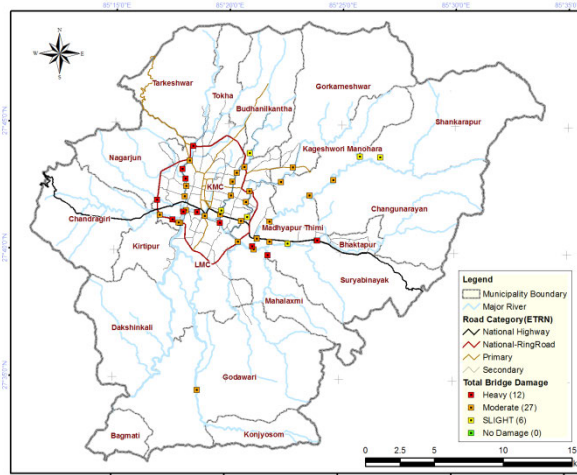


上部工質量が必要であるから、現場作業により採寸した。各シナリオ地震動に対して、小破 (Slight damage)、中破 (Moderate damage)、大破 (Heavy damage) の推定結果を表 3.4.10、橋梁被害分布の一例を図 3.4.10 に示す。橋梁は社会基盤施設の中で重要項目であること、また、耐震補強をするための基本データの整備が必要であり、1 橋ずつ耐震診断を行って安全性を判定することが望まれる。

表 3.4.10 橋梁被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表

| Category                        | Damage   | Scenario earthquake Ground Motion |       |       |       |
|---------------------------------|----------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|                                 |          | WN                                | CNS-1 | CNS-2 | CNS-3 |
| Bridge<br>(45 bridges assessed) | Heavy    | 0                                 | 1     | 12    | 32    |
|                                 |          | 0.0%                              | 2.2%  | 26.7% | 71.1% |
|                                 | Moderate | 2                                 | 21    | 27    | 11    |
|                                 |          | 4.4%                              | 46.7% | 60.0% | 24.4% |
|                                 | Slight   | 18                                | 17    | 6     | 2     |
|                                 |          | 40.0%                             | 37.8% | 13.3% | 4.4%  |

出典: JICA プロジェクトチーム



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.10 橋梁の被害

### 3.4.3 ライフラインの被害評価

#### (1) 上水道

最新の地震被害知見を反映する上水道被害の推定式では、標準被害率  $R(v)$  は地表最大速度 (PGV) の関数で与えられる。地下埋設管路の被害は、管そのものの振動ではなく、地盤が地震動によって変形することに起因すると考え、慣性力を代表する PGA を説明変数とした場合に比べて、変位の変化率を代表する PGV を説明変数とした方が現象を良く説明するとされている。以上の背景の基、本調査では、日本水道技術研究センターが提案した方法を用い、PGV を説明変数に、液状化の可能性の有無、微地形の種類、管種・管径の特徴を反映して、上水道の地下埋設管路の被害を推定した。管路の推定被害率は、管路延長 km 当たりの被害箇所数で表現される。



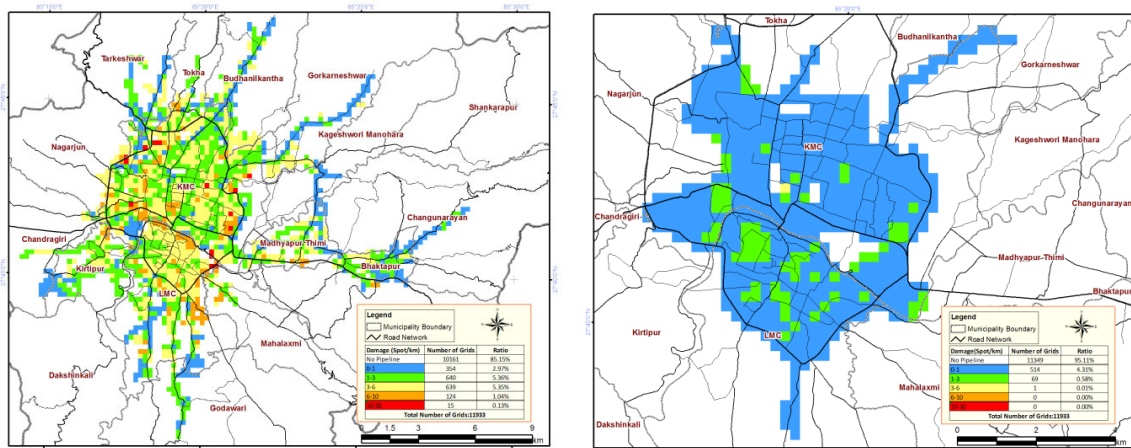
上水道管路のリスク評価は250m×250mのグリッドに対し、グリッド単位で被害率を算定する。各グリッドでは管種や口径の異なる複数のパイプラインが存在する。この場合、各管種、口径別に管路の推定被害率(件/km)を計算し、管路延長比率をそれぞれの推定被害率にかけ合わせることで対象グリッドの総推定被害率(件/km)を計算する。

上水道管路の被害推定結果を表 3.4.11 に示す。上水道網被害分布の一例(CNS-2) を図 3.4.11 に示す。

表 3.4.11 上水道網被害の推定結果(上段：被害箇所数、下段：被害率)一覧表

| Category   | Damage                     | Scenario earthquake Ground Motion |       |       |       |
|--|----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|  |                            | WN                                | CNS-1 | CNS-2 | CNS-3 |
| Water supply (Existing)<br>(Total length 1,167 km) | Damage points              | 982                               | 1,921 | 3,496 | 5,161 |
|  | Damage ratio<br>(point/km) | 0.84                              | 1.65  | 3.00  | 4.42  |
| Water supply (Planned)<br>(Total length 699 km)    | Damage points              | 124                               | 255   | 460   | 676   |
|  | Damage ratio<br>(point/km) | 0.18                              | 0.36  | 0.66  | 0.97  |

出典: JICA プロジェクトチーム



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.11 上水道管路網の被害分布(CNS-2、左：既存水道網、右：建設中水道網)

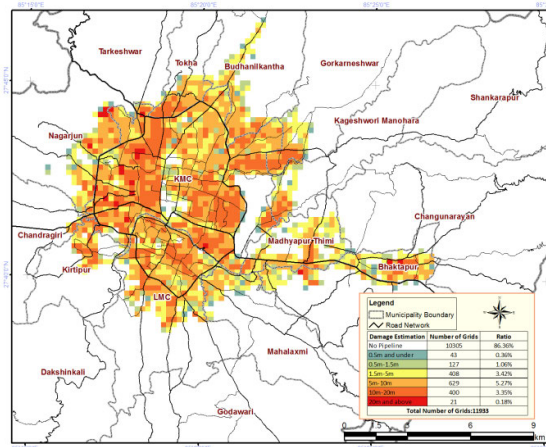
## (2) 下水道

下水管路の断面は空虚部分があるので周囲地盤が液状化した場合には浮き上がり易い傾向にあることが知られている。地震動とともに液状化の影響についても留意することが重要となる。一定の水圧を保たなければならない上水道の配管に比べて、下水道は汚水の自然流下であることから日本とネパール国での管路の状況は基本的に類似していると考えられる。本調査では、上記点を考慮して国土交通省や東京都、神奈川県などが適用している下水道のリスク評価方法を採用することとした。推定被害はグリッド毎の被害管路延長(km)で表現される。下水道網に対する評価結果を表 3.4.12、被害分布の一例(CNS-2)を図 3.4.12 に示す。

表 3.4.12 下水道網被害の推定結果(上段：被害延長(km)、下段：被害率)一覧表

| Category                          | Damage             | Scenario earthquake Ground Motion |       |       |       |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|                                   |                    | WN                                | CNS-1 | CNS-2 | CNS-3 |
| Sewage<br>(Total length 1,192 km) | Damage Length (km) | 4.81                              | 8.15  | 11.94 | 18.21 |
|                                   |                    | 0.4%                              | 0.7%  | 1.0%  | 1.5%  |

出典: JICA プロジェクトチーム



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.12 下水道網の被害(CNS-2)

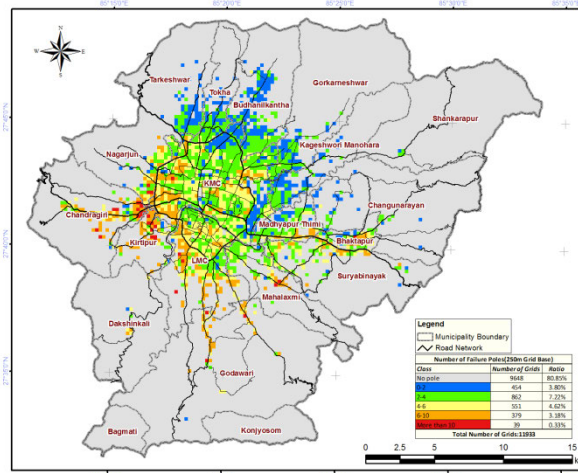
### (3) 電力

日本における電力に関するリスク評価は、配電網の被害を推定することにより実施されるのが一般的である。東京都が実施している事例では、配電区域内の電柱の折損率から停電所帯数を算定する方法が採用されている。本調査における電力のリスク評価においても日本で実施されているアプローチを踏襲する。地震による電柱折損は、地盤震動によるものと近接建物が倒壊することによる巻き添えに分けられる。ネパール国における電柱の形状は日本のそれと異なる品質、形状であり、ネパール国の実状を考慮した電柱折損率を設定することが望ましい。しかしながら、ネパール国の実状を反映することは他のライフラインの評価と同様に、被害データの蓄積を待つことになる為、本調査では日本の被害履歴を基に計算された電柱折損率を適用することとした。電柱折損本数及び停電建物数の推定結果を表 3.4.13 に示す。

表 3.4.13 電柱被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表

| Category                                   | Damage      | Scenario Earthquake Ground Motion |       |       |        |
|--|-------------|-----------------------------------|-------|-------|--------|
|  |             | WN                                | CNS-1 | CNS-2 | CNS-3  |
| Power distribution<br>(Total pole 190,851) | Pole broken | 1,327                             | 3,991 | 9,156 | 13,992 |
|  |             | 0.7%                              | 2.1%  | 4.8%  | 7.3%   |

出典: JICA プロジェクトチーム



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.13 電柱被害分布図(CNS-2)

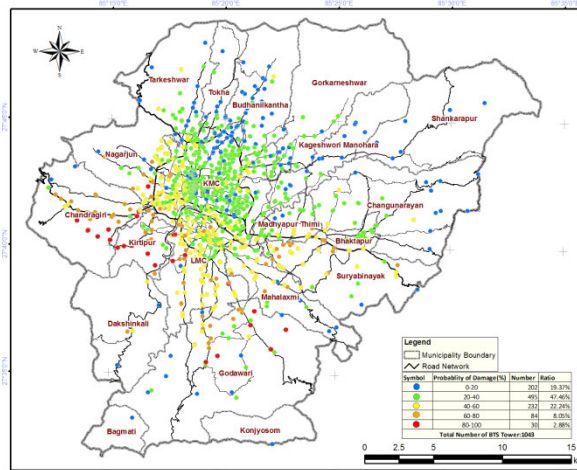
#### (4) 通信

現在、ネパール国における電話契約回線件数の約 94%が携帯電話の契約であることから、調査対象地域の通信障害リスクは携帯電話のネットワーク被害に代表されると考え、携帯電話基地局の被害数を推定した。各携帯電話網の末端で送受信を行う基地局は BTS (Base Transceiver Station)と呼ばれ、建物屋上にアンテナと伝送装置を組み合わせた機器が設置されている場合と、それらが地上に設置されている場合があり、前者の場合が多い。携帯電話網の機能は基地局の損壊により失われるとし、アンテナの被害関数を設定した。建物屋上に設置されている場合にはアンテナの被害と建物の被害の両方を回避する場合にのみ機能が保持されるとする。BTS の被害推定結果を表 3.4.14、被害分布の例(CNS-2)を図 3.4.14 に示す。BTS 被害の主な原因は建物の被害によるものである。また、BTS に使われている建物はノンエンジニアド RC 建物の割合(約 77%)が多く、それが BTS の被害の一因と考えられる。

表 3.4.14 BTS 被害の推定結果(上段：被害数、下段：被害率)一覧表

| Category                                | Damage       | Scenario earthquake Ground Motion |       |       |       |
|---|--------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|   |              | WN                                | CNS-1 | CNS-2 | CNS-3 |
| Mobile BTS tower<br>(Total tower 1,043) | Tower damage | 43                                | 143   | 372   | 601   |
|   |              | 4.1%                              | 13.7% | 35.7% | 57.6% |

出典: JICA プロジェクトチーム



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.14 屋上通信アンテナ(屋上 BTS)の被害(CNS-2)

### 3.4.4 人的被害評価

地震による人的被害は、地震動による建物の倒壊が主な原因である。建物の被害による人的被害(死者)の推定手法として、建物被害棟数の関数とする推定手法や死者を建物被害、建物内にいる人口を考慮する推定する手法等がある。前者の推定手法は簡便で、パラメータが少ない。後者の推定手法は死者推定に至る各段階の要素を考えているが、多くの場合ではそのパラメータの設定が困難である。本調査では、使用可能なネパール国の地震被害データを勘案し、異なる地震発生時刻の人的被害が評価できることを考え、死者の推定は被害を受けた建物内の人口に基づく推定する手法を適用する。つまり、

$$\text{死者数} = \text{死者率} \times (\text{建物被害数} \times \text{建物内常住人口} \times \text{地震時の屋内滞留率})$$

負傷者数の推定においては、死者数と負傷者数の関係を用いて推定する。

$$\text{負傷者数} = \text{負傷者率} \times \text{死者数}$$

建物の被害による避難者数(仮設住宅を必要とする人口)の推定において、被害のあった建物の常住人口をベースに算出する。ただし、死者数を除く。仮設住宅が必要とする建物の被害は、中破(EMS 被害レベル 3: 中度的な構造部材被害及び重度的な非構造部材被害)以上の被害建物とする。

$$\text{避難者数} = \text{被害レベル 3 以上の建物の常住人口} - \text{死者数}$$

死者率、負傷者率の評価において、グルカ地震の被害データを基に評価する。グルカ地震の被害から、組積造と RC 造建物の被害による死者率に差異があると見られ、死者率は組積造、RC 造、また、被害レベル 4 と 5 に対して、それぞれ推定した。その結果、組積造被害レベル 4 の死者率は 0.0101、被害レベル 5 の死者率は 0.0160、RC 造被害レベル 4 の死者率は 0.0180、被害レベル 5 の死者率は 0.0284 である。被害レベルによる死者率の違いは被害レベル 4 より被害レベル 5 の方が大きく、完全倒壊のケースもあると考えられる。グルカ地震では、ノンエンジニアド RC 建物の 1 階が完全に潰れ、パンケーキのような崩壊が見られる。このような崩壊に巻き込まれた人間は生存空間がほとんどなく、組積造に対して相対的に高い死者率



になっている一因と考えられる。評価した死者率は世界中で発生した既往の地震による死者率と比べほぼ中間の位置にある。

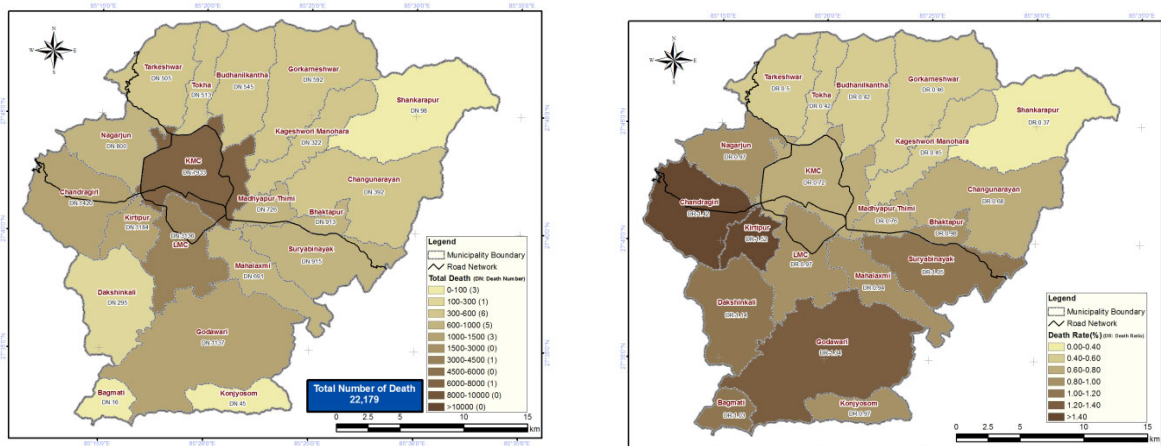
(1) 一般建物被害による人的被害

4つのシナリオ地震動と3つの地震発生シーンに対して、建物被害に基づき、死者数、負傷者数、避難者数を推定し、表 3.4.15 に示す。また、死者数、死者率の分布の一例(CNS-2、夜)を図 3.4.15 に示す。人的被害は人口密度が高い中心部(リングロード内及び周辺)に集中する一方、被害率では、カトマンズ盆地南部、南西部が相対的に大きい。これは、Central Nepal South シナリオ地震に対して、南部地域は震源に近く、地震動が相対的に強く、建物の被害率が大きくなるのが原因と考えられる。

表 3.4.15 人的被害の推定結果

| Human Casualty | Scenario EQ. Ground Motion | Earthquake Occurrence Scene |       |                 |       |           |       |
|----------------|----------------------------|-----------------------------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|
|                |                            | Weekend (18:00)             |       | Weekday (12:00) |       | Night     |       |
|                |                            | Number                      | Ratio | Number          | Ratio | Number    | Ratio |
| Death          | WN                         | 2,123                       | 0.1%  | 2,784           | 0.1%  | 3,034     | 0.1%  |
|                | CNS-1                      | 6,393                       | 0.2%  | 8,282           | 0.3%  | 9,133     | 0.3%  |
|                | CNS-2                      | 15,526                      | 0.6%  | 19,959          | 0.7%  | 22,179    | 0.8%  |
|                | CNS-3                      | 25,008                      | 0.9%  | 31,956          | 1.1%  | 35,726    | 1.3%  |
| Injured        | WN                         | 8,316                       | 0.3%  | 10,905          | 0.4%  | 11,880    | 0.4%  |
|                | CNS-1                      | 25,036                      | 0.9%  | 32,435          | 1.2%  | 35,766    | 1.3%  |
|                | CNS-2                      | 60,803                      | 2.2%  | 78,168          | 2.8%  | 86,861    | 3.1%  |
|                | CNS-3                      | 97,940                      | 3.5%  | 125,152         | 4.5%  | 139,914   | 5.0%  |
| Evacuee        | WN                         | 279,942                     | 10.0% | 285,850         | 10.3% | 279,031   | 10.0% |
|                | CNS-1                      | 645,483                     | 23.2% | 652,798         | 23.4% | 642,743   | 23.1% |
|                | CNS-2                      | 1,202,734                   | 43.2% | 1,206,530       | 43.3% | 1,196,080 | 42.9% |
|                | CNS-3                      | 1,624,032                   | 58.3% | 1,619,792       | 58.1% | 1,613,314 | 57.9% |

Note: Total population: 2,786,929、出典: JICA プロジェクトチーム



出典: JICA プロジェクトチーム

図 3.4.15 死者数(左)と死者率(右)の分布

## (2) 学校校舎被害による死者

リスク評価対象地域では、公立及び私立学校は計 2,115 校、学生数は 851,121 人である。学校校舎の被害による学生の死者数を推定した。推定に当たり、最悪のケースとして学生全員が校舎内にいると仮定して推定した。シナリオ地震動 WN による死者数は 444 人、CNS-1 は 1,545 人、CNS-2 は 4,002 人、CNS-3 は 6,555 人である。

## (3) 2030 年の人的被害推定

2030 年の建物被害の 6 ケースに対して人的被害を評価した。結果を表 3.4.16 に示す。2016 年カトマンズ盆地の人口は 2,786,929 人に対して、2030 年の人口は 3,805,926 人と推定し、これは 2016 年比で約 1.37 倍である。Case-0 の場合、つまり、2016 年の建物種別構成と同じと仮定した場合は、人的被害が人口の増加倍率と約同程度の倍率で増加する。他のケースでは、建物種別の分布により人的被害が異なり、また、人的被害は建物の被害数と高い相関性があるため、人的被害の軽減には、言うまでもなく、建物の耐震化が重要である。

表 3.4.16 2030 年人的被害の推定

| Scenario<br>Ground Motion | 2016   | Cases for Building Structure Type Distribution in 2030 |        |        |        |        |        |
|---------------------------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
|                           |        | Case-0   | Case-1 | Case-2 | Case-3 | Case-4 | Case-5 |
| WN                        | 3,034  | 4,121  | 3,434  | 1,712  | 1,438  | 2,052  | 1,476  |
| CNS-1                     | 9,133  | 12,508   | 11,017 | 8,135  | 6,733  | 7,887  | 6,524  |
| CNS-2                     | 22,179 | 30,583   | 27,930 | 24,356 | 20,526 | 23,086 | 20,842 |
| CNS-3                     | 35,726 | 49,381   | 46,017 | 42,526 | 36,715 | 41,146 | 38,733 |

出典: JICA プロジェクトチーム

### 3.4.5 経済的被害評価

地震による経済的な被害は、資産の物理的な被害による「直接被害」と地震による生産活動の低下をもたらす経済的な被害、すなわち「間接被害」から構成される。直接被害の評価対象は、建物被害と交通インフラ、ライフライン施設被害とし、それらの復旧費用を被害額とする。間接被害の定量的評価は、因果関係を明確にすることが困難であるので、ネパール国経済及びカトマンズ盆地にとって非常に重要なセクターである観光セクターのみ定量的に評価する。

シナリオ地震動別に市別の建物の被害額を表 3.4.17 に示す。建物被害推定額のうち、学校・病院・政府庁舎・歴史的建造物の被害額を表 3.4.18、また、交通インフラ、ライフラインの被害推定額を表 3.4.19 に示す。



表 3.4.17 建物の被害推定額(単位:百万 NPR)

| 郡      | 市                | CNS-1   | CNS-2   | CNS-3     | WN      |
|--------|------------------|---------|---------|-----------|---------|
| バクタプール | アナンタリングেশュー      | 9,405   | 18,920  | 26,548    | 2,284   |
|        | バクタプール           | 11,570  | 22,392  | 31,529    | 4,536   |
|        | チャングナラヤン         | 5,031   | 11,768  | 18,369    | 2,064   |
|        | マディヤプール・シミ       | 11,378  | 23,877  | 34,396    | 3,426   |
|        | マハマンジュシュリ・ナガルコット | 2,789   | 6,630   | 10,838    | 1,039   |
|        | スルヤビナヤック         | 9,672   | 19,976  | 28,515    | 2,598   |
|        | 計 (バクタプール)       | 49,845  | 103,563 | 150,195   | 15,947  |
| カトマンズ  | ブダニールカンタ         | 7,490   | 21,198  | 36,607    | 4,279   |
|        | チャンドラギリ          | 25,664  | 48,190  | 64,429    | 8,275   |
|        | ダクシンカリ           | 6,016   | 11,976  | 16,947    | 1,583   |
|        | ゴガルネシュワ          | 7,981   | 20,586  | 34,319    | 4,117   |
|        | カゲシュウオリ・マノハラ     | 6,045   | 15,452  | 25,248    | 2,622   |
|        | カトマンズ            | 118,000 | 244,421 | 352,694   | 49,390  |
|        | キルティプール          | 18,771  | 33,123  | 42,936    | 5,833   |
|        | ナガールジュナ          | 14,650  | 31,653  | 46,616    | 5,959   |
|        | シャンガラプール         | 1,441   | 3,931   | 7,090     | 939     |
|        | タルケシュワ           | 6,875   | 17,998  | 30,095    | 4,521   |
|        | トカ               | 5,911   | 15,983  | 27,094    | 3,396   |
|        | 計(カトマンズ)         | 218,844 | 464,511 | 684,075   | 90,914  |
| ラリトプール | バガマティ            | 272     | 574     | 860       | 67      |
|        | ゴダワリ             | 27,257  | 51,396  | 69,725    | 6,227   |
|        | ラリトプール           | 57,355  | 107,349 | 145,934   | 15,861  |
|        | マハラクシュミ          | 16,670  | 32,493  | 45,053    | 3,837   |
|        | コンジョソム           | 761     | 1,649   | 2,511     | 147     |
|        | 計(ラリトプール)        | 102,314 | 193,460 | 264,083   | 26,138  |
|        | 総計               | 371,003 | 761,534 | 1,098,353 | 132,999 |

出典：JICA プロジェクトチーム

表 3.4.18 学校・病院・政府庁舎・歴史的建造物の被害推定額(単位:百万 NPR)

| シナリオ地震動 | 学校      | 病院      | 政府庁舎   | 歴史建造物 |
|---------|---------|---------|--------|-------|
| WN      | 20,462  | 22,534  | 2,444  | 1,321 |
| CNS-1   | 51,231  | 68,588  | 8,669  | 1,925 |
| CNS-2   | 98,171  | 165,683 | 16,514 | 2,267 |
| CNS-3   | 134,932 | 232,782 | 22,708 | 2,377 |

出典：JICA プロジェクトチーム

表 3.4.19 交通インフラ、ライフラインの被害推定額(単位：百万 NPR)

| シナリオ地震動 | 道路    | 橋梁    | 水道   | 下水    | 電力   | 通信    | 計      |
|---------|-------|-------|------|-------|------|-------|--------|
| WN      | 0     | 377   | 36   | 76    | 19   | 82    | 590    |
|         | 0.0%  | 63.9% | 6.1% | 12.9% | 3.2% | 13.9% | 100.0% |
| CNS-1   | 471   | 898   | 71   | 135   | 56   | 272   | 1,903  |
|         | 24.8% | 47.2% | 3.7% | 7.1%  | 2.9% | 14.3% | 100.0% |
| CNS-2   | 1,620 | 1,359 | 129  | 200   | 129  | 707   | 4,144  |
|         | 39.1% | 32.8% | 3.1% | 4.8%  | 3.1% | 17.1% | 100.0% |
| CNS-3   | 2,878 | 1,914 | 191  | 290   | 197  | 1,142 | 6,612  |
|         | 43.5% | 28.9% | 2.9% | 4.4%  | 3.0% | 17.3% | 100.0% |

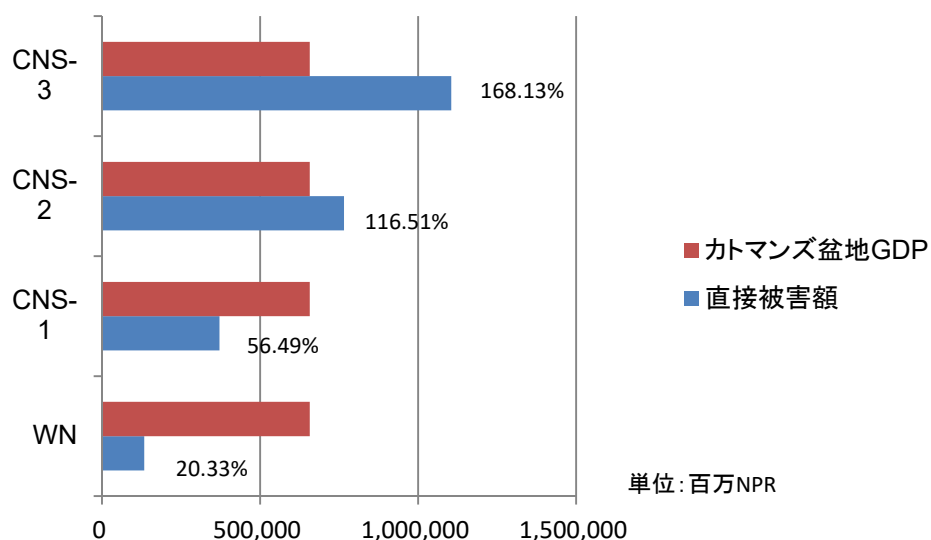
出典：JICA プロジェクトチーム

シナリオ地震動別直接被害額(表 3.4.20)と推定カトマンズ盆地 GDP の比較を図 3.4.16 に示す。現状のネパール国の GDP は、約 2,120 billion NPR でその約 31%をカトマンズ盆地が占めると推定されている(657,200 million NPR)。シナリオ地震動 CNS-2 及び CNS-3 の場合、直接被害額だけで、現状のカトマンズ盆地の GDP を超える結果となっている。

表 3.4.20 シナリオ地震動別直接被害額(単位：百万 NPR)

| シナリオ地震動 | 建物        | インフラ<br>・<br>ライフライン | 合計        |
|---------|-----------|---------------------|-----------|
| WN      | 132,999   | 590                 | 133,589   |
|         | 99.4%     | 0.6%                | 100.0%    |
| CNS-1   | 371,003   | 1,903               | 371,275   |
|         | 99.5%     | 0.5%                | 100.0%    |
| CNS-2   | 761,531   | 4,144               | 765,675   |
|         | 99.5%     | 0.5%                | 100.0%    |
| CNS-3   | 1,098,353 | 6,612               | 1,104,965 |
|         | 99.6%     | 0.4%                | 100.0%    |

出典：JICA プロジェクトチーム



出典：Nepal Rastra Bank のデータを基に JICA プロジェクトチームが作成

図 3.4.16 シナリオ地震動別直接被害額とカトマンズ盆地 GDP の比較

地震発生により歴史的建造物が倒壊するなど直接的な被害も大きいですが、より重要な事は間接的な影響も大きくかつ継続的に生じるということである。地震が発生することで、観光客が減少し、観光客の1日当たりの支出額も減少する。観光客が減少することにより、観光産業に従事していた人の雇用も失われ、観光支出の減少、更に海外からの観光客の減少により外貨獲得額も減少し、GDPにも大きな影響を与えることとなる。2015年4月25日に発生したグルカ地震の際には、前年(2014年)の観光客数79万人が、55万人まで減少し、約30%減少した。このデータを参考に各シナリオ地震動に対する観光客数への影響を推定した。地震規模の一番小さいシナリオ地震動 WN でも、地震発生から1年くらいは観光客数が27%位減少すると予想され、地震規模の一番大きい CNS-3 の場合は、地震発生から1年以内は、40%観光客数が減少すると予想される。

文化・観光・民間航空省(Ministry of Culture, Tourism & Civil Aviation)によれば、現状観光セクターで雇用されている人は、138,148人である。現状の年間の観光客数は約80万人で、観光セクターに従事している一人で、約6人の観光客の面倒を見ていることとなる。これをベースに地震の影響により減少した観光客数からシナリオ地震動別に観光セクターでの雇用者数を推定し、表 3.4.21 に示す。

表 3.4.21 地震前後における観光セクターに於ける雇用者数の推移

| シナリオ地震動 | 地震前      | 地震後     | 失職者数    | 失職率(%) |
|---------|----------|---------|---------|--------|
| WN      | 138,148人 | 96,718人 | 41,430人 | 30.0%  |
| CNS-1   | 138,148人 | 92,573人 | 45,575人 | 33.0%  |
| CNS-2   | 138,148人 | 89,810人 | 48,338人 | 35.0%  |
| CNS-3   | 138,148人 | 82,902人 | 55,246人 | 40.0%  |

出典：文化・観光・民間航空省の統計を基に JICA プロジェクトチームが作成

現状(地震前)の観光セクターの外貨獲得額へ占める割合は、全体の4.7%程度で、470 million \$程度に相当する。この外貨獲得額が地震の影響により、現状の観光客(約80万人)の減少及び観光客の1日当たりの支出額の減少(\$43→\$35)により、外貨獲得額は表 3.4.22 のように減少することが推定される。地震の発生により、現状の外貨獲得額470 Million \$から、267.9 Million \$～230.3 Million \$に、減少率は43%～51%になると推定され、いずれのシナリオ地震動においても影響が大きいと推定される。

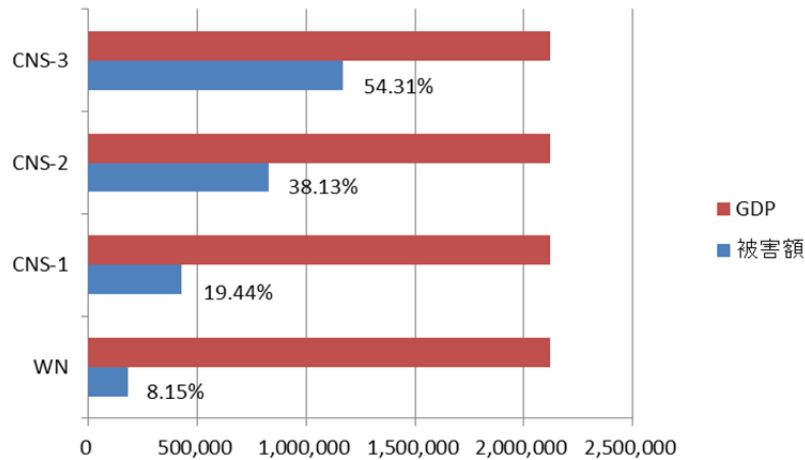
表 3.4.22 地震前後に於ける外貨獲得額の推移 (単位:百万 USD)

| シナリオ地震動 | 地震前 | 地震後   | 減少額   | 減少率(%) |
|---------|-----|-------|-------|--------|
| WN      | 470 | 267.9 | 202.1 | 43.0%  |
| CNS-1   | 470 | 258.5 | 211.5 | 45.0%  |
| CNS-2   | 470 | 249.1 | 220.9 | 47.0%  |
| CNS-3   | 470 | 230.3 | 239.7 | 51.0%  |

出典：文化・観光・民間航空省の統計を基に JICA プロジェクトチームが作成

シナリオ地震動別に直接被害額(建物被害額とインフラストラクチャー被害額)と間接被害額(観光セクターのみ)を合わせたネパール国経済への影響を図 3.4.17 に示す。これを見ても

と、CNS-3 の場合、直接被害額及び間接被害額の一部(観光セクターのみ)だけでも、GDP の50%以上の額となり、その他のセクターの間接被害額も含めると甚大な被害額となることが予想される。



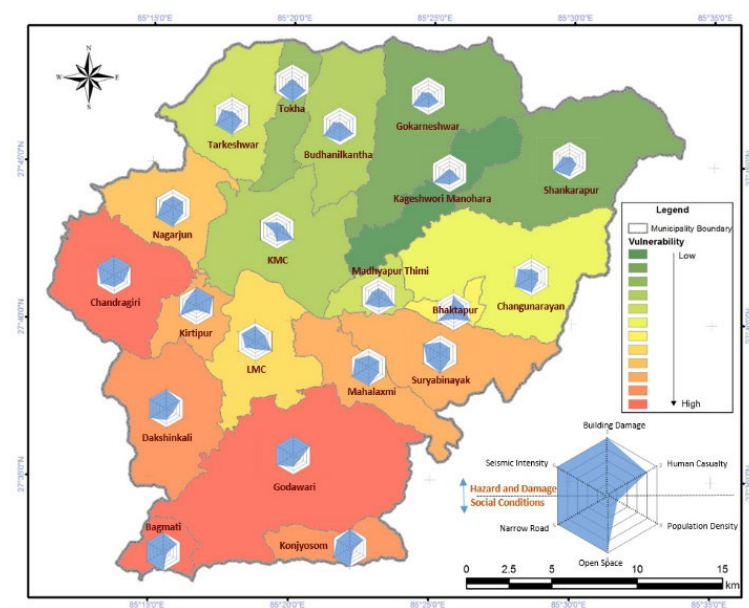
出典：JICA プロジェクトチーム

図 3.4.17 シナリオ地震動別被害額と GDP の比較

### 3.5 カトマンズ盆地相対的脆弱性分析

地震ハザード及びリスクの評価結果と社会条件を考慮して、カトマンズ盆地内にある 20 市の相対的な脆弱性を評価した。評価に用いた地震ハザード及びリスクの指標としては、「震度(MMI)」、「建物被害率」、「人的被害率」、社会条件の指標としては、「人口密度」、「人口 1 人あたりのオープンスペースの割合」、「狭い道路の割合」である。相対的脆弱性評価は 6 種類の各指標をそれぞれ相対的に 5 段階で点数付けすることにより実施した。各指標の特性を考慮し、一般軸、あるいは、対数軸上に 20 市のデータを分布させて、その分布範囲内を 5 等分して、1 から 5 までの点数を与える。

カトマンズ盆地内にある 20 の市に対して、Central Nepal South Scenario 地震の CNS-1 地震動のハザード及びリスク評価結果を用いて相対的脆弱性評価を実施した。各市、各指標の評価点及びカトマンズ盆地の脆弱性分布を図 3.5.1 に示す。この図からは Bagmati 市, Godawari 市 と Chandragiri 市の脆弱性が相対的に高いことが分かる。それは、これらの市はシナリオ地震の震源に近いことが主な原因であると考えられる。このように脆弱性評価はシナリオ地震に依存し、特定のシナリオ地震の対策策定に有効であると考えられる。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 3.5.1 カトマンズ盆地の相対的脆弱性分布

### 3.6 リスク評価管理体制と将来の改訂に向けた提言

本調査のリスク評価では、ネパール国の現状データを最大限に活用し、不足するデータは、現地調査、または、条件を仮定して補完した。これらのデータは GIS データとしてデータベース化し、プロジェクト終了時にネパール国側と共有する。リスク評価の結果には、グルカ地震の発生を考慮したネパール国の地震活動やカトマンズ盆地の地震動特性を反映したが、グルカ地震発生直後にプロジェクトが開始したため、将来的に明確となるであろう、最新のグルカ地震からの知見が反映できない。また、将来的には、都市化がさらに進み、これに合わせて都市構造が変化していくことから、建物、インフラ・ライフラインの GIS データの整備も将来的に進んでいくことが想定される。このことから一定の期間で、リスク評価を更新することが求められる。ここでは、本プロジェクトで実施したリスク評価の実施プロセスで明らかとなった課題などを整理したうえで、将来、ネパール国側で実施する際のリスク評価に向けての提言をまとめる。

#### (1) リスク評価全体にかかる提言

- ◆ 地震リスク評価の結果は地震ハザードの評価結果に大きく依存する。将来、地震リスク評価を更新する際には、グルカ地震の地震動が一般的な距離減衰式より小さくなった原因の究明が重要である。
- ◆ 建物のリスク評価にあたり、カトマンズ盆地 20 市のうち 4 市の建物インベントリーに限定され、その他の建物インベントリーは推定によるものである。建物インベントリーはリスク評価の結果の精度に直接影響するため、建物インベントリーの構築が重要である。
- ◆ インフラ・ライフラインのリスク評価においては、関係機関から収集したデータを基に

実施した。一部のデータには、データの不備や、GIS データとして整備されていないものもあった。不足を補完するため、本プロジェクトでは、橋梁や屋上に設定されている携帯通信基地局 (BTS) などを直轄で調査し、また、電柱分布の推定も行った。リスク評価を更新するには、インフラ・ライフラインのデータを継続的に整備、更新する必要がある。

- ◆ 建物、インフラ、ライフラインなどのインベントリーのデータ整備が、リスク評価の精度向上に必要なだけでなく、地震防災計画の策定、耐震対策を実施する上でも重要である。
- ◆ 建物の地震リスク評価に当たり、既存建物の耐震性能、つまり、被害関数の評価が重要である。一方、ネパール国では建物被害データが少なく、それを補完するため、それぞれの構造タイプに対して数値解析、あるいは、振動台実験を実施することが重要である。
- ◆ カトマンズ盆地においては、SATREPS や RRNE プロジェクトなど他のプロジェクトが進んでおり、また、グルカ地震に関して多くの研究者が研究している。それらのプロジェクト、研究によりデータが蓄積され、新しい知見が得られた場合は、リスク評価の更新を実施することが望ましい。
- ◆ 本プロジェクトの対象地域はカトマンズ盆地に限定されている。カトマンズ盆地以外の地域においては、特に、地震リスクがカトマンズ盆地相当、あるいはカトマンズ盆地以上の西部地域において、地震リスク評価の実施が必要である。

## (2) リスク評価個別項目にかかる提言

### a) 建物

建物インベントリー、特に構造種別と GIS データを含めた公共建築物インベントリーに不備がある。2003 年施行の NBC105 では公共建築物の設計で重要度係数 1.5 が考慮されている。構造種別のエンジニアド RC で重要度係数が考慮されていれば被害度は 70%程度までに低減されると見られる。重要度係数考慮の有無を含めた公共建築物インベントリーの整備が望まれる。

2015 年グルカ地震による被害率を活用して建物被害関数を作成した。被害関数は解析結果に基づいて盆地中央部と周辺部に分けた。観測加速度は盆地中央部 4 か所のデータを利用したが、盆地周辺部の地震動データはなかった。盆地周辺部の地震観測体制の整備と観測データの盆地周辺部被害関数への反映による検証が望まれる。また、建物被害と地震動データの蓄積により被害関数の更新を望ましい。

### b) 道路

道路の地震時リスクは路面崩壊、液状化、橋梁の崩壊、沿線建物による細街路の閉塞などの総合結果である。それら個々の現象の発生可能性を検討するためのデータを収集蓄積して道路管理者が一元的に管理することが必要である。しかしながらこれら非常に広範な対象に対応することは容易なことではない。少なくとも各道路の重要度設定、台帳整備から始めるこ



とが求められる。台帳整備は統一フォーマットを作成することによって進められる必要がある。

### c) 橋梁

各橋梁の正確な耐震性評価をするには竣工図が必要であるが、カトマンズ盆地内の橋梁で図面が入手できたのは日本の支援による数例のみであった。耐震性を評価する上で配筋図や基礎の図面が保持されていないことから、評価結果の信頼性は十分には保証されない。まずは現存橋梁について図面が保持されている状態を目標とすべきである。さらに、準拠した設計基準および使用材質を把握することが必要である。ネパール国では、DoR の橋梁データベースが存在するが、リスク評価に必要な重要な情報が不足している。橋梁台帳のさらなる整備改善が必要である。

### d) 上水道

本プロジェクトのリスク評価で適用した回帰式は日本国内で綿密な漏水調査をした結果から誘導されたものである。将来リスク評価を更新するため、今後の地震に対して綿密な漏水調査により被害の検証が重要であり、地震後漏水調査の手順や技術の把握が必要である。

### e) 下水道

カトマンズ盆地の下水システムの現状は盆地全体を網羅しておらず、下水システムの建設、管理は複数の団体が関わり、統一された GIS データの整備が必要である。グルカ地震では下水被害の報告は見られないが、下水道の一部は破損したと推定される。リスク評価の精度向上には、被害データの蓄積が不可欠であり、地震後の被害詳細調査は重要である。

### f) 電気

カトマンズの電柱は日本の RC 円柱と大きく異なり、矩形断面の PC コンクリートである。その弱軸周り強度（電線の張られている方向の水平力に対する耐力）は脆弱で、場合によっては日本の一般的被害想定式より大きな被害が発生することも考えられる。今後リスク評価を更新するには、カトマンズに独特の事情を考察した上で被害予測式を作成することが望まれる。

### g) 通信

本プロジェクトのリスク評価では、移動通信の基地局(BTS)を対象とした。その基地局は建物の屋上に設置される場合が多い。リスク評価では建物の被害により基地局を被害するケースが多く見られる。従って、基地局を載せた各建物の耐震診断及び必要な場合の耐震補強が必要である。

### h) 人的被害

人的被害を評価するには、建物、人口等基礎データの整備が重要である。一方、ネパール国では、戸籍がカトマンズ盆地以外にあるが実際にはカトマンズ盆地に居住している人が多数

いると言われており、これらの人口は統計上含まれていないため、統計上の人口と実際の人口とに乖離があると言われている。人的被害を評価するためには、実態に沿った人口のデータ整備が重要である。

#### **i) 経済被害**

本プロジェクトのリスク評価においては、データが整備されていないために資産の物理的な被害（直接被害）のみの評価にせざるを得なかった。例えば、インフラの被害額等の場合、直接被害額よりも間接被害額（二次被害）の方がはるかに大きくなるのが実情である。その意味合いから言えば、シナリオ地震動に基づく、経済被害は、実情よりも少なめに推定された結果であると認識すべきである。リスク評価に基づく経済被害を実情に近いものにするためにも社会経済関係のデータ整備、特に産業連関表の整備をする必要がある。産業連関表が整備されていれば、被害想定に基づいて間接被害額（二次被害）も推定することができ、実情により近い被害推定が可能となる。

## 第 4 章 パイロット活動

---

本章では、主にハザード、リスク評価結果を踏まえて実施したパイロット活動の内容を記す。パイロット活動は、異なる地域特性やグルカ地震の被害状況等から選定した3つのパイロット地区（ラリトプール市、バクタプール市、ブダニールカンタ市）において実施した。パイロット活動の目的は、計画策定等の活動自体やパイロット地区の能力強化だけでなく、リスクアセスメントに基づくネパール国の実状に即した体系的な災害リスク管理のモデルを構築するためのものでもある。そのため、パイロット活動を通じて得られた成果や課題を整理することで、ネパール国地方政府への全国展開方策を検討した。本章は、選定したパイロット地区を対象に、より良い復旧・復興計画(4.1)、グルカ地震の緊急対応時系列調査、防災啓発事業等、グルカ地震の発生を受けて緊急対応、復旧・復興に係る活動を実施した。さらに今後の防災・減災、効果的な災害対応への備えに向けて、緊急対応標準手順書(SOP)(4.2)、パイロット地区の地域防災計画の策定(4.4)、コミュニティ防災活動(4.5)を実施した。地域防災計画については、全国展開のための地域防災策定技術ガイドライン(4.3)を併せて策定し、ネパール国地方政府レベルの今後の防災・減災活動に向けた提言及びパイロット活動による成果の全国展開方策(4.6)を検討した。

### パイロット地区

パイロット活動の実施に当たり、本プロジェクトのパイロット地区の選定を行った。具体的には、ラリトプール市（Lalitpur Sub-Metropolitan City）、バクタプール市（Bhaktapur Municipality）、ブダニールカンタ市（Budhanilkantha Municipality）の3市を選定した。パイロット地区の選定は、カトマンズ盆地内の各郡（カトマンズ郡、ラリトプール郡、バクタプール郡）からそれぞれ1市を選定し、また、策定する復旧・復興計画、地域防災計画等が他市のモデル計画となるように、地域特性、被害状況等が異なる3市を選定した。このパイロット地区は、第1回JCCで合意された。

プロジェクト開始当初、カトマンズ盆地は3郡21市から構成されていた。しかし、プロジェクト活動を進めていく中で、新憲法が制定され、2017年にはネパール国全土に渡って市及びVDC（村落開発委員会）を含む地方政府の再編が行われた。カトマンズ盆地でも同様に市域の再編が行われ、図4.1に示すように、現在（2018年2月）は、2つのRural Municipalityの一部を含む20市から構成されるようになった。特に第1回JCCで合意されたパイロット地区においては、ラリトプール市がKaryabinayak市の一部と統合し市域が拡大するとともに、Sub-Metropolitan Cityから、Metropolitan Cityに昇格し、併せてWard境界も再編された。バクタプール市とブダニールカンタ市は、市域の変更はないが、Ward境界は再編された。これにより、パイロット活動は以下のとおり、実施時期により対象地域が異なる。

グルカ地震後に追加されたパイロット活動:

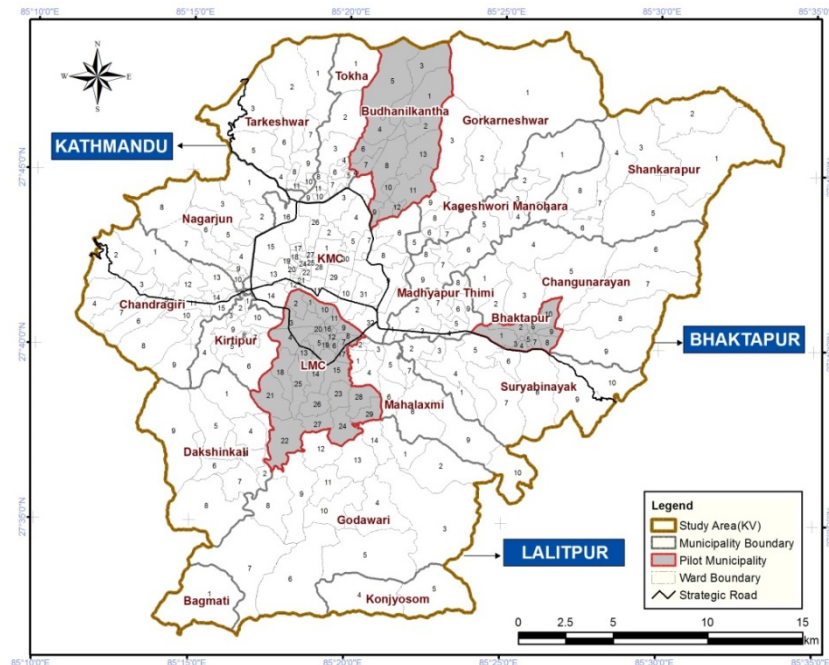
旧市域(ラリトプール市 (Lalitpur Sub-Metropolitan City) , バクタプール市、ブダニールカンタ市) 及び旧 Ward 域

- 4.1 より良い復旧・復興計画
- グルカ地震の緊急対応時系列調査、防災啓発事業 (詳細は Volume4 別冊資料を参照。)

当初から予定されたパイロット活動:

新市域(ラリトプール市 (Lalitpur Metropolitan City) , バクタプール市、ブダニールカンタ市) 及び新 Ward 域

- 4.2 緊急対応標準手順書 (SOP)
- 4.4 地域防災計画 (4.3 地域防災計画策定技術ガイドラインを含む。)
- 4.5 コミュニティ防災活動



出典: JICA プロジェクトチーム

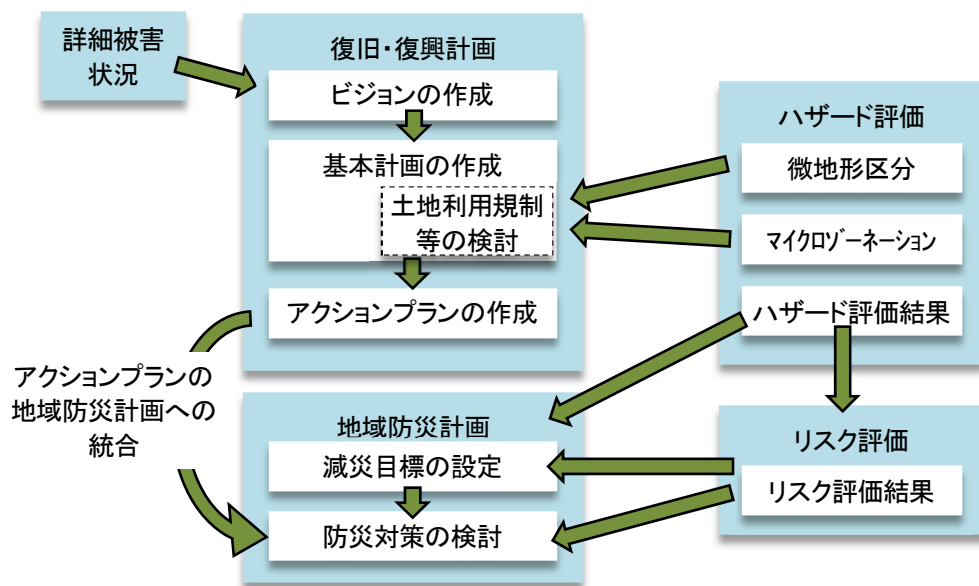
図 4.1 現在のカトマンズ盆地の行政界及びパイロット地区の位置図

## 4.1 パイロット地区のより良い復旧・復興計画の策定

### 4.1.1 パイロット地区のより良い復旧・復興計画の概要

グルカ地震による被害の迅速な再建、復興のため、選定したパイロット地区3市における復旧・復興計画を策定した。当計画は、復興の方向性を明確にし、すべての復興事業の根幹となる計画であり、優先的に作成すべき計画として位置付けた。計画の策定では、仙台防災枠組で提唱している「より良い復興 (Build Back Better (BBB))」の概念に基づき、日本の復旧・復興経験を活用し、ネパール国の実情を考慮しながら、復旧・復興のビジョン、基本方針及び活動計画 (アクションプラン) を提示した。

また、本プロジェクトで策定した復旧・復興計画は、既存の開発計画や上位計画等と整合性を図りながら、本プロジェクトで実施するハザード評価の進捗に合わせて結果を反映し、リスク評価に基づく地域防災計画へ統合されるような構成とした。復旧・復興計画と地域防災計画、ハザード・リスク評価との関係性を下図に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

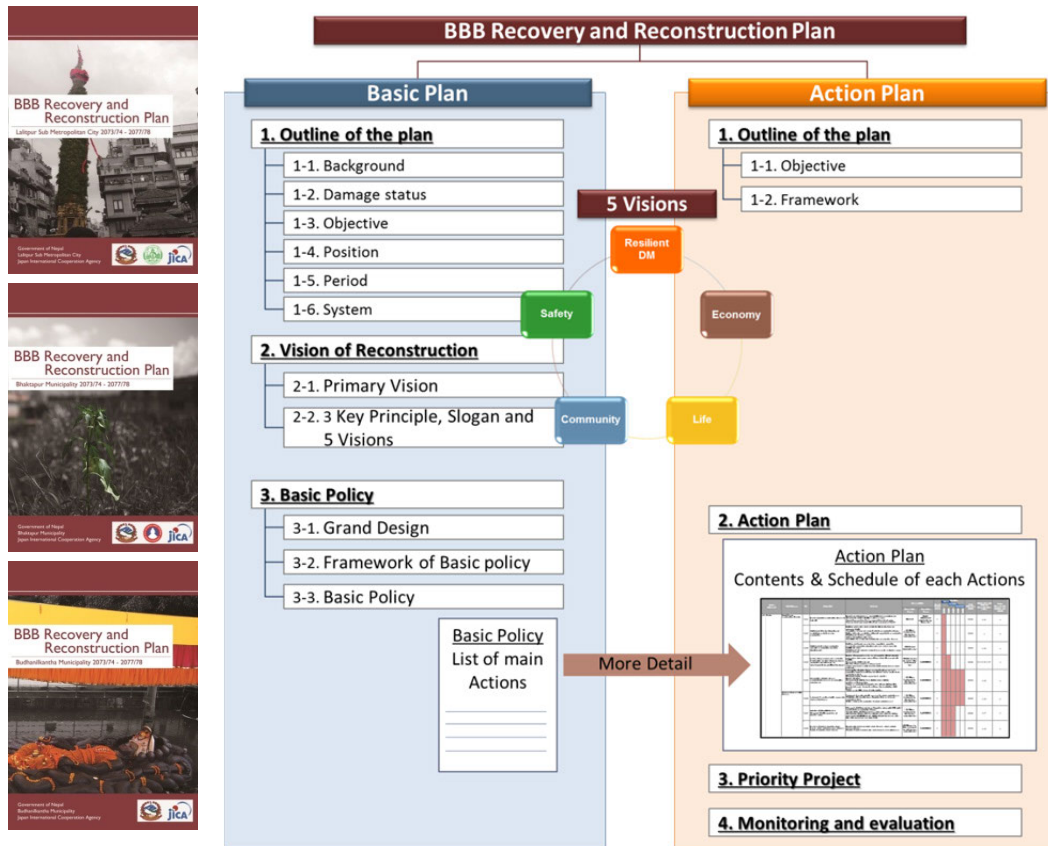
図 4.1.1 復旧・復興計画と地域防災計画、ハザード・リスク評価との関連図

### 4.1.2 復旧・復興計画の構成の検討

#### (1) 復旧・復興計画の構成

復旧・復興計画は、各市のビジョンを基にし、復興方針を示す基本計画、実際の事業実施のためのアクションプランの2段階計画で構成することとした。基本計画では、グルカ地震による被害状況及び将来の方向性から、復旧・復興の全体イメージ、ビジョン、ランドデザイン等やビジョン毎に提示した基本方針及び主な事業を記載する構成とした。アクションプランでは、基本計画で示した事業をさらに詳細化し、スケジュール、担当機関等を明示した

事業計画を記載する構成とした。また、アクションプランにおいては、優先的に実施する事業を幾つか選定し、さらに詳細化した事業シートも記した。復旧・復興計画の構成は、下図に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

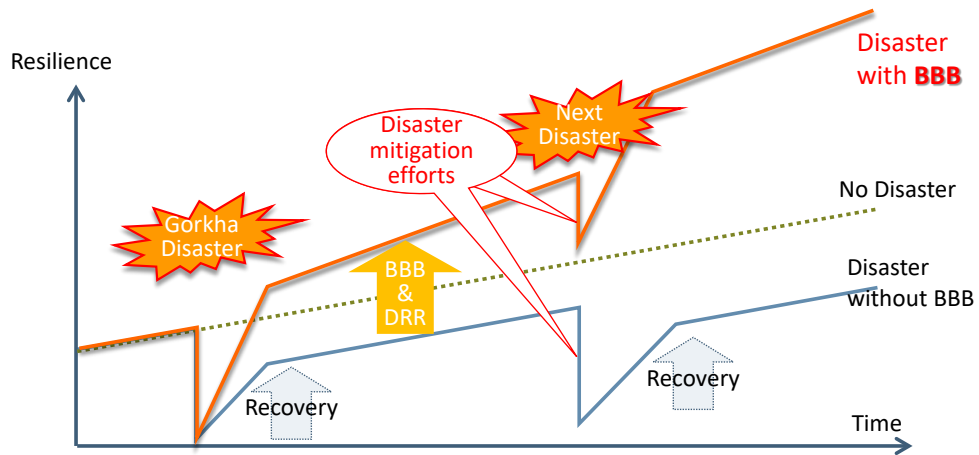
図 4.1.2 復旧・復興計画の構成

## (2) 復旧・復興ビジョンの検討

### 1) 前提となるビジョン より良い復興(Build Back Better (BBB))

大前提となる共通のビジョンは、より良い復興 (BBB) である。災害リスク管理は、「予防・減災」「事前準備」(災害発生)「応急対応」「復旧・復興」のサイクルで考えられる。これに対して、BBB の考え方に基づき、復旧・復興の段階では、災害前の状態に戻す以上に、より災害に強い状態にすることを目指し、さらに、減災、事前準備も考慮して、将来起こりうる地震等の災害を最小限に抑えることを目指す。このコンセプトは、2015年3月に仙台市で開催された第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」の優先行動の1つとして取り入れられたものであり、日本が災害の度に実践してきた概念である。グルカ地震は、仙台防災枠組の採択後、最初に発生した大規模災害であり、より良い復興のコンセプトを具現化するため、復旧・復興計画を策定する大前提となるビジョンとして設定した。





出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.1.3 より良い復興のコンセプト

## 2) 基本指針の検討

BBB を大前提として、復旧・復興計画策定に当たり、基本指針 (Key Principle) を設定した。これはパイロット地区のみならず、すべての復旧・復興計画策定に係り、全体を束ねる重要な指針となるものである。基本指針は、日本の事例研究から、共通の指針となっていた「生活」「安全」「経済」を採用した。以下に詳細を記す。

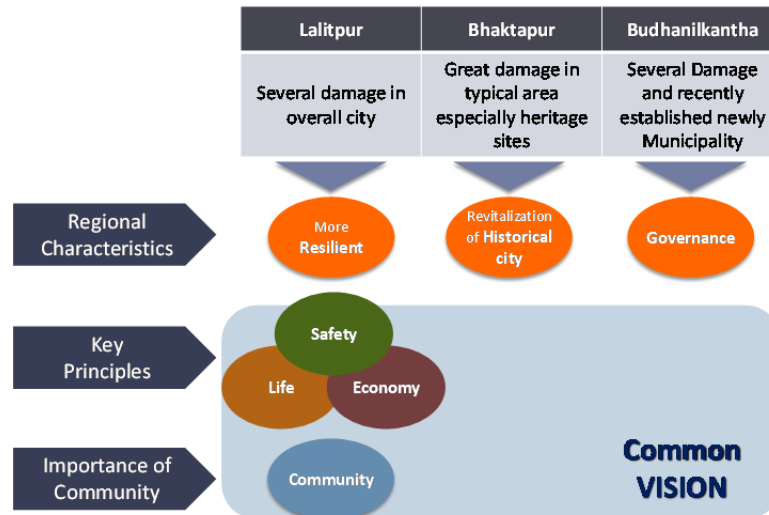
表 4.1.1 基本方針

|              |  |
|--------------|--|
| 生活 (Life)    | 被災者の日常の生活を取り戻すことが第一の課題となる。さらに、BBB の考え方のもと、復旧・復興計画は、今後より豊かな生活を送ることができるための計画とならなければならない。                                       |
| 安全 (Safety)  | 都市の安全性を高め、今後起こりうる同様の災害に対して強い都市をつくる必要がある。復旧・復興計画で示される施策はこれを重視し、人々の安全が保障されなければならない。  |
| 経済 (Economy) | 震災で被害を受けた経済活動を復旧させ、今後の都市活動の活力とすべきである。更に経済活動の基盤となるインフラ、道路ネットワークについても整備も必要となる。復旧・復興計画では、地域的な経済活動の早期復旧と、さらなる成長を目指したものでなければならない。 |

出典：JICA プロジェクトチーム

## 3) パイロット地区ごとのビジョンの検討

大前提となる BBB、さらに、上述の基本指針を踏まえ、各パイロット地区のビジョンを検討した。パイロット地区ごとに5つのビジョンを設定したが、内4ビジョンについては、基本的には市の特徴に限らず必要不可欠なものとして、共通のビジョンを設定した。具体的に、3ビジョンについては、基本指針である「生活」「安全」「経済」から設定することとした。また、上記以外の1ビジョンについては、防災、減災、被害軽減において、コミュニティによる共助は非常に重要であることが、日本のこれまでの災害による教訓及びグルカ地震においても確認されていることから、「コミュニティ防災」を設定することとした。5つのビジョンの内、最後の1つについては、下図のように、各市の被害及び復興の方向性、地域特性を考慮し、パイロット地区ごとに設定した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.1.4 ビジョンの位置づけ、パイロット地区毎の差異

### 4.1.3 復旧・復興基本計画の策定

上記における検討を踏まえ、主に基本方針を示したパイロット地区の復旧・復興計画を策定した。以下に基本計画の概要を示す。

表 4.1.2 パイロット市復旧・復興計画 基本計画概要

| 目次   | 概要  |
|--|---|
| <b>CHAPTER 1. OUTLINE OF PLAN</b>                  |   |
| 1-1. Background                                    | グルカ地震の概要、被害の概要及び復旧・復興計画策定の必要性の概要について  |
| 1-2. Damage Status                                 | グルカ地震における市の被害概要、被害マップ、PDNA、建物被害詳細調査の概要について  |
| 1-3. Objective                                     | 復旧・復興計画の目的について<br>・復旧・復興の目標、方向性の設定、共有<br>・復興プロジェクトの調整（役割分担の明確化）<br>・効果的な復興プロジェクトの実施 |
| 1-4. Position                                      | 復旧・復興計画の位置づけについて  |
| 1-5. Period  | 復旧・復興計画の計画期間について（5年をベースとし、防災計画への統合を図っていく）   |
| 1-6. System  | 復旧・復興計画の構成、体制について   |
| <b>CHAPTER 2. VISION OF RECONSTRUCTION</b>         |   |
| 2-1. Primary Vision                                | BBBのコンセプトについて   |
| 2-2. Three Key Principles, Slogan and Five Visions | 復旧・復興の基本原則（Life, Safety, Economy）、市ごとに設定したスローガン、5ビジョンについて                           |
| <b>CHAPTER 3. BASIC POLICY</b>                     |   |
| 3-1. Grand Design                                  | 基本方針の全体的な構想、連携のイメージ図  |
| 3-2. Framework of Basic policy                     | 基本方針の全体的な構成図  |
| 3-3. Basic Policy                                  | 各ビジョン、セクター毎に基本方針、主なアクションリスト、アクションのイメージを示した図表等                                       |

出典：JICA プロジェクトチーム

#### (1) 復旧・復興グランドデザインの検討

復旧・復興グランドデザインでは、基本方針の全体的な構想、連携のイメージ図を示すこととした。設定したビジョンごとの基本方針を示すとともに、各ビジョンを複数のセクターに

分類し、それらのつながりが分かるような図として作成した。作成した復旧・復興グランドデザイン例を図 4.1.5 に示す。

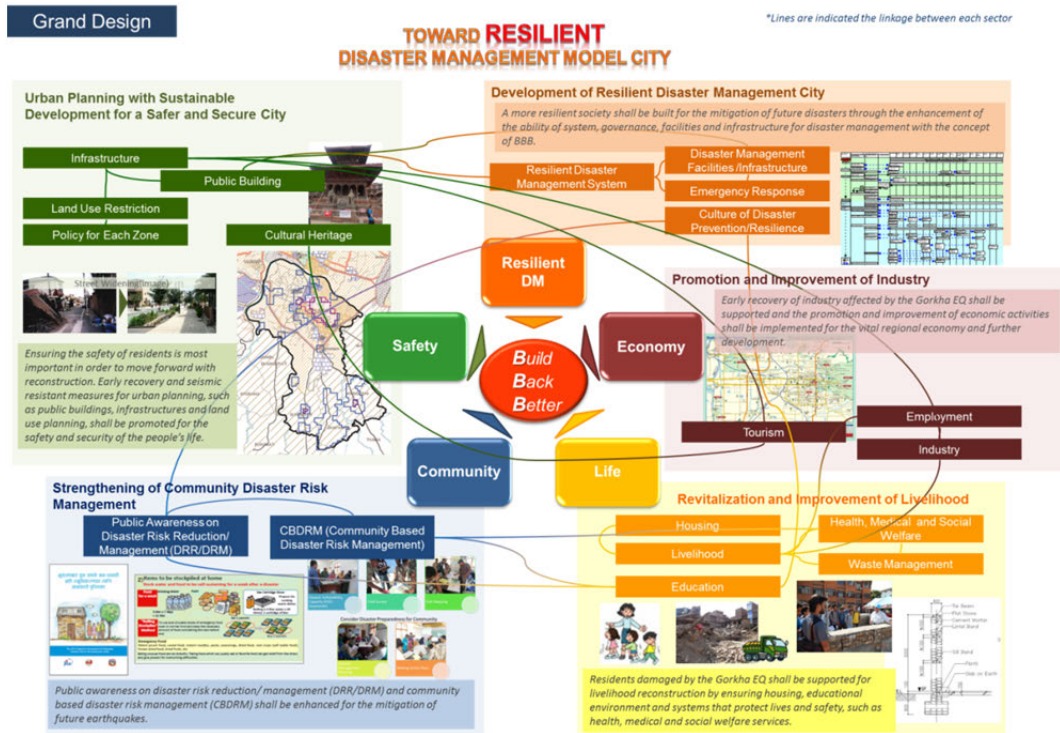


図 4.1.5 復旧・復興計画 グランドデザイン (ラリトプール市の例)

## (2) 基本方針の検討

復旧・復興計画における基本方針を検討するにあたり、基本方針の全体的な構成、フレームワークの検討を行った。ビジョン毎に複数のセクターに分類し、さらにセクターを具体化するために、サブセクターを設けた。それらサブセクター毎に復興事業（アクション）を検討した。セクター及びサブセクターは、日本の事例及びネパール国の PDNA を踏まえながら検討した。基本方針の全体構成の例を図 4.1.6 に示す。

各パイロット地区の復旧・復興基本方針を検討するため、各市に共通する復興方針及び取り組むべき活動リスト案を作成し、活動リストを基に各パイロット市と協議を行った。このリストはパイロット地区で共通のため、各市の特徴、被害状況、優先度に応じて内容を修正し、最終化させた。活動リストの表はアクションプランの作成まで継続して使用できるよう予め構成した。表を最終化させた後、基本計画の主要部分となる基本方針、活動部分を文書化するとともに、活動のイメージについては、図表等を用いて視覚的に分かりやすいものとした。

| Vision                                    | Sector  | Sub-Sector  | Action  |  |
|---|---|---|---|--|
| Life                                      | Housing   | Support for own reconstruction of housing   |   |  |
|   |   | Seismic resistance and safety of houses   |   |  |
|   | Livelihood  | Support for the reconstruction of livelihood  |   |  |
|   | Health, Medical and Social Welfare                                | Recovery and enhancement of medical, health care and social welfare services                            |   |  |
|   |   | Disaster waste treatment measures   |   |  |
|   | Education   | Recovery and seismic resistance for schools   |   |  |
|   |   | Enhancement of school education   |   |  |
|   |   | Care for students   |   |  |
|   | Safety  | Public Building   | Recovery, seismic resistance and safety of public buildings |  |
|   |   |   | Development of disaster management park                     |  |
| Infrastructure                            |   | Recovery, seismic resistance and safety of road and bridges   |   |  |
|   |   | Recovery, seismic resistance and safety of lifelines  |   |  |
| Cultural Heritage                         |   | Recovery, seismic resistance and safety of cultural heritage sites                                      |   |  |
| Land Use Restriction                      |   | Promotion of land use restriction   |   |  |
| Policy for Each Zone                      | Development of reconstruction promotion zone                      |   |   |  |
| Economy                                   | Employment  | Support for employment  |   |  |
|   | Tourism   | Support for the recovery and reconstruction of tourism  |   |  |
|   |   | Disaster management measures for tourist sites  |   |  |
|   | Industry  | Support for Agriculture   |   |  |
| Support for Commerce and Industry         |   |   |   |  |
| Resilient DM                              | Resilient Disaster Management System                              | Establishment of a resilient disaster management system   |   |  |
|   |   | Promotion of a disaster management cooperation system   |   |  |
|   | Disaster Management Facilities /Infrastructure                    | Development of disaster management facilities and enhanced functionality                                |   |  |
|   |   | Development of information/communication infrastructure   |   |  |
|   | Emergency Response  | Capability enhancement of emergency response  |   |  |
|   |   | Capacity enhancement of rescue, first-aid and emergency medical activities                              |   |  |
| Culture of Disaster Prevention/Resilience | Traffic/transportation and lifeline management                    |   |   |  |
| Community                                 | Public Awareness on Disaster Risk Reduction/ Management (DRR/DRM) | Transferring earthquake experience/ lessons learned and establishment of culture of disaster resilience |   |  |
|   |   | Enhancement of public awareness of DRR/DRM  |   |  |
|   | CBDRM (Community Based Disaster Risk Management)                  | Enhancement of CBDRM  |   |  |

出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.1.6 復旧・復興計画 基本方針フレームワーク (ラリトプール市の例)

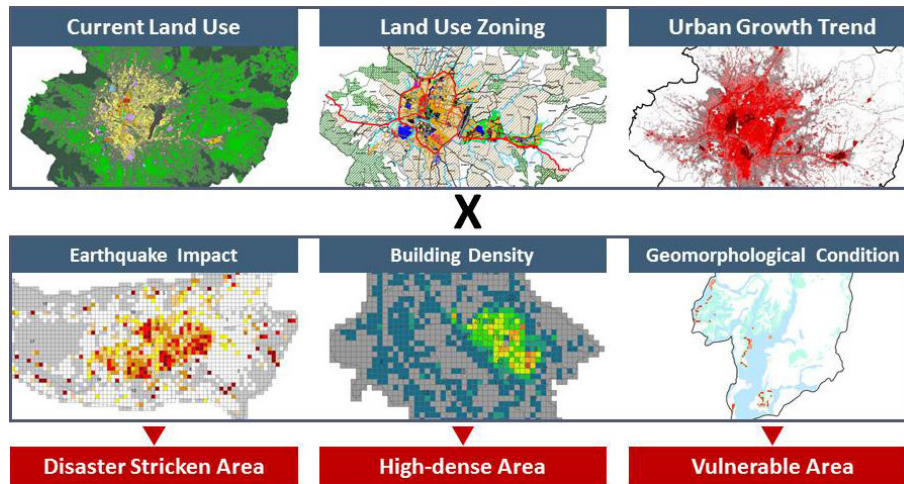
### (3) 復旧・復興基本計画の策定

上記について、各パイロット地区のカウンターパートとともに協議を行い、検討結果を踏まえて、各パイロット地区の復旧・復興基本計画を策定した。

#### 4.1.4 土地利用方針の検討

都市計画における土地利用の方針を定めるにあたり、「高密度地域」および「被災地域」を建物被害調査による詳細データから指定し、「脆弱地域」を危険度分析から指定した。これらの地域は、カトマンズ盆地全体および3つのパイロット市において、現況土地利用、ゾーニングプラン、都市拡大の状況と、GISを用いて重ね合わせることで検討を行った。これにより、3つのパイロット市の特徴に応じた方針を定め、さらに復旧・復興計画における優先プロジェクトとして整理した。





出典：JICA プロジェクトチーム

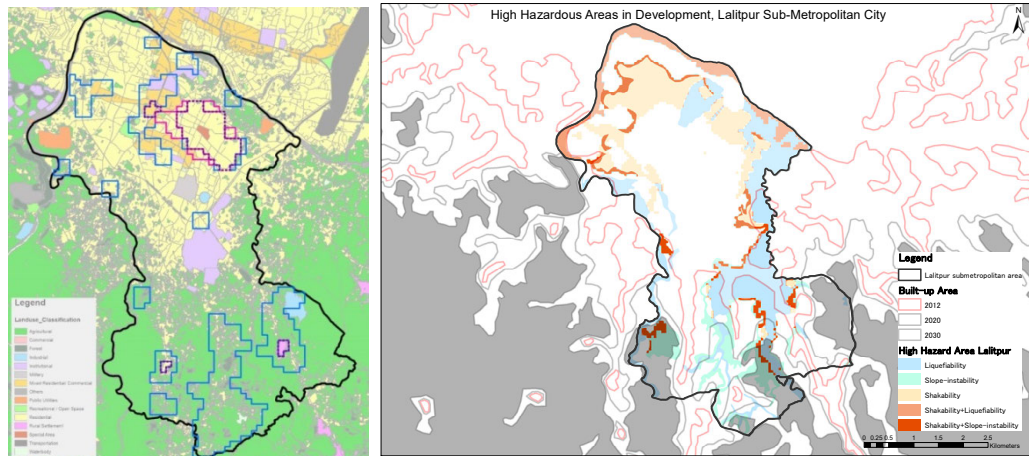
図 4.1.7 土地利用方針検討のプロセス

### (1) 建築密度および建物被害からの検討

高密度地域および被災地域の指定は、基本的に都市化地域における検討のためであり、地震による被害からの復旧とこれ以上の被害を抑制することを目的とする。高い密度で建築物が集中している地域は、一般的に災害に対して脆弱であり、復興にあたって特に注意を要する。地震による被害が集中した地域では、総合的な復興対策と実施が必要となる。これら地域の検討にあたっては、ラリトプール市、バクタプール市においては、本プロジェクトの再委託による建築物の詳細にわたる被害調査の結果を用いた。ブダニールカンタ市においては、検討時点で調査の結果を入手できなかった。そのため、建物被害については分析対象外とし、建築物の密度については、衛星写真から建築面積を推定して指定を行った。

### (2) 危険度の高い地域の特定

微地形区分からみた危険度の高い地域の特定は、都市化を促進する地域と都市化を調整する地域の指定に必要な基礎的な情報となる。危険度の高い地域の分析には、①ゆれやすさ (shakability)、②液状化しやすさ (liquefiability)、③斜面崩壊生じやすさ (slope-instability) の3つの指標を活用した (危険度の指標を示す各英単語は容易な理解を促すために本プロジェクトで作成した造語である)。利用したデータは、本プロジェクト作成のもので、それぞれ sub-surface geology zonation, liquefaction susceptibility、および slope failure susceptibility と 30 度以上の傾斜地区の組み合わせである。これらを重ね合わせ、5段階評価にて最も危険度が高い地域をカトマンズ盆地と3つのパイロット市でそれぞれ抽出し、検討を行った。



注：高密度地域をピンク色、被災地域を青色で示した。

出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.1.8 高密度地域及び被災地域と現況土地利用図の重合[左図]、脆弱地域[右図]  
 (ラリトプール市)

### (3) パイロット市ごとの土地利用の指針

土地利用の検討のため、高密度地域、被災地域、および脆弱地域を具体的に分析した結果、以下のとおり、優先すべき対策を整理した。この際、特に高密度地域および被災地域からの分析が重要となる都市化地域での対策、そして、脆弱地域からの分析が重要となる将来都市化が想定される地域での対策を分けて整理した。

表 4.1.3 各パイロット市の土地利用方針

|           | 地域             | 優先すべき対策                                  |                                     |
|-----------|----------------|--|-------------------------------------|
|           |                | 都市化地域                                    | 将来都市化が想定される地域                       |
| ラリトプール市   | 高密度地域<br>／被災地域 | 密度の高い歴史的市街地および郊外の都市 >総合的な復興対策と適切なゾーニング指定 | N/A                                 |
|           | 脆弱地域           | 液状化対策 >地盤の改良<br>揺れやすさへの対策 >耐震化の向上        | 液状化対策 >都市開発の抑制<br>斜面崩壊への対策 >都市化の禁止  |
| バクタプール市   | 高密度地域<br>／被災地域 | 密度の高い歴史的市街地 >総合的な復興対策                    | N/A                                 |
|           | 脆弱地域           | 液状化対策 >地盤の改良<br>揺れやすさへの対策 >耐震化の向上        | 液状化対策 >都市開発の抑制<br>揺れやすさへの対策 >耐震性の向上 |
| ブダニールカクタ市 | 高密度地域<br>／被災地域 | >都市化および危険度を反映したゾーニングの更新                  | N/A                                 |
|           | 脆弱地域           | 液状化対策 >地盤の改良                             | 液状化対策 >都市開発の抑制<br>斜面崩壊への対策 >都市化の禁止  |

出典：JICA プロジェクトチーム

#### 4.1.5 復旧・復興アクションプランの策定

4.1.3 で策定した復旧・復興基本計画を基に、パイロット地区の復旧・復興計画におけるアクションプランの策定を行った。以下にアクションプランの概要を示す。



表 4.1.4 パイロット市復旧・復興計画 アクションプラン概要

| 目次                                   | 概要  |
|--------------------------------------|---|
| CHAPTER 1. OUTLINE OF PLAN           |   |
| 1-1. Objective                       | アクションプランの目的について   |
| 1-2. Framework                       | アクションプランの構成について   |
| CHAPTER 2. ACTION PLAN               | ビジョン毎に示したアクションプラン<br>・セクター<br>・アクション名、詳細な内容<br>・責任機関、サポート機関<br>・スケジュール<br>・概算費用<br>・国の復興方針との連携<br>・地域防災計画への統合 |
| CHAPTER 3. PRIORITY PROJECT          | アクションプランの中から選定した優先プロジェクトについての詳細   |
| CHAPTER 4. MONITORING AND EVALUATION | アクションプランを実施に移す際のモニタリング及び評価手法について  |

出典：JICA プロジェクトチーム

(1) Formulation of BBB RR Action Plan

復旧・復興基本計画、基本方針で示された項目を具体的に達成するためのアクションプランを検討し、策定した。アクションプランには、各市に関連する事項を全て盛り込み、責任機関を明確に示すことで、国や郡等の上位機関との調整を図れるようにした。それぞれのアクションプランは予算、重要度、緊急性、期間等を踏まえ、優先順位から3段階程度（復旧期、復興期、発展期等）に分けて構築した。

| Sector            |                                       | Action List |  |   |  | Responsibility |      |      |      |      | Duration               |   |                                      |   |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|--|---|--|----------------|------|------|------|------|------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Sector (Category) | Sub-Category                          | No.         | Action list  | Cost acts   | Responsible Agency   | Duration       |      |      |      |      | Cost Estimation (MUSD) | Collaboration with National Reconstruction policy | To be integrated in DM Plan (Yes/No) |   |
|                   |                                       |             |  |   |  | 2074           | 2075 | 2076 | 2077 | 2078 |                        |   |                                      |   |
| 1-1 Housing       | Support for reconstruction of housing | 1-1-1       | Financial support for reconstruction of houses of Gorkha BS  | Financial support for the house owners build their houses by their own.<br>(Understanding of affected buildings and house owners)<br>Support for loan to national government through bank system.<br>Management and arrangement with national government and district.  | NRA, MUF   |                |      |      |      |      |                        | -----   | 4.1.1                                | - |
|                   |                                       | 1-1-2       | Establishment of housing information and consultation bases for the housing reconstruction   | Establishment of section which deal with the following functions and assignment of staff.<br>- Consultation of design and construction for the reconstruction of houses.<br>- Public relations for consultation and financial support for the reconstruction.<br>- Establishment of public counter.<br>- Guide for building permit system.<br>- Consultation for securing materials for the reconstruction of houses.   | LSMO Urban Development and Infrastructure construction (No.)             |                |      |      |      |      |                        | -----   | -                                    | - |
|                   |                                       | 1-1-3       | Establishment of housing reconstruction community reconstruction support for vulnerable people   | Establishment of housing reconstruction community to support the reconstruction support for vulnerable people such as single women, the disabled, the elderly.<br>Establishment of a system to construct houses one by one forming a group among local people.  | LSMO General Administration (No.)  |                |      |      |      |      |                        | -----   | 4.1.9                                | - |
|                   |                                       | 1-1-4       | Provision of temporary houses in consideration of social welfare (provision of temporary houses reserved for vulnerable people and deprived/marginalized people/Po/hadya/w/o target) | Provision of temporary houses to care and support for affected vulnerable people such as single women, orphan children, elderly citizens, people with disabilities.<br>Understanding of affected people.<br>Provision of temporary houses and management.<br>A long-term placement or another provision for the homeless house owners and tenants.  | LSMO Infrastructure Development and Social Welfare and Environment (No.) | MoDD/DEO       |      |      |      |      |                        | -----   | 4.1.5, 4.4.1, 4.4.2                  | - |
|                   |                                       | 1-1-5       | Implementation of training of house reconstruction for masons, local communities, technicians, etc.  | Implementation of training of house reconstruction for masons, local communities, technicians, etc. and artists to develop safety of safe construction methods.<br>- Planning for training (Training course, target, schedule)<br>- Examples of training.<br>- Understanding the Building Code & Building System, Building regulations and other provisions.<br>- Training on construction/Construction of Load Bearing Building (Brick, stone, Wood Masonry), Construction of Frame Structure Building (RCC, Frame)<br>- Training on retrofitting design of existing building. | LSMO Urban Development and Infrastructure construction (No.)             | MoDD/DEO       |      |      |      |      |                        | -----   | 4.1.6                                | - |
|                   |                                       | 1-1-6       | Development of seismic resistant and safety of houses  | Development of seismic and public awareness for seismic resistant houses.<br>Distribution of Flyers, Brochures, Pamphlets, Books on design and construction method.<br>Holding Workshops for construction of seismic resistant houses.  | LSMO Urban Development and Infrastructure construction (No.)             | MoDD/DEO       |      |      |      |      |                        | -----   | 4.1.6                                | ✓ |
|                   |                                       | 1-1-7       | Application of National Building Code (Reform of building permission and inspection system)  | Reform of building permission and inspection system applied NBO model contracts for the reconstruction of houses.<br>- Clearing building of building permission and inspection section.<br>- Strengthening of inspection section for such as high-rise buildings.<br>- Improvement of E-SPS (Electronic - Building Permit System) such as the listing of the persons who were trained T.O.T.  | LSMO Urban Development and Infrastructure construction (No.)             | MoDD/DEO       |      |      |      |      |                        | -----   | 4.1.2                                | ✓ |

出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.1.9 パイロット市復旧・復興計画 アクションプラン構成

## (2) 優先プロジェクトの選定

アクションプランの中から、緊急性及び優先度の高い事業を選定し、事業実施のためのより詳細な方策を検討し、事業開始に移せるよう、優先プロジェクトの事業シートを作成した。具体的には、予算化の見込みがあり、建物の耐震化において非常に優先度の高い **Mason Training** 等を採用した。また、優先度の高いプロジェクトとして、本プロジェクトでは地域防災計画の策定とコミュニティ防災活動を実施した。

### 4.1.6 復旧・復興計画の最終化

#### (1) パイロット市での WS の開催

復旧・復興計画の紹介・普及、及びパブリックコメントの位置づけで、各パイロット地区それぞれでワークショップを開催した。市議会議員、市職員、各ワードリーダー、地域災害管理委員会 (CDMC) リーダーらを招待し、2016 年 5、6 月に開催した。

#### (2) 復旧・復興計画の承認

計画の内容については最終化させ、復旧・復興計画の包括的な実行に向けて、公的承認の支援を実施した。承認は市のプロセスに則り、市 **Executive Officer** から本計画を市議会に諮り、市の公式文書として承認に至るものである。最終的には、ラリトプール市では 2016 年 8 月、ブダニールカンタ市では 2016 年 9 月に、市議会による承認を得られた。その後、いくつかのプロジェクトについては、予算化され実施が進んでいる。表 4.1.5 には、ラリトプール市の復旧・復興計画の予算化の状況を示す。全てが復旧に関連する活動ではなく、より良い復興のコンセプトの基、減災や事前準備に資する活動についても予算化されている。

表 4.1.5 復旧・復興計画の予算化状況 (ラリトプール市の例)

| BBB Recovery and Reconstruction Plan  |  | 2073/74  |              | 2074/75   |              |
|---|--|--|--------------|---|--------------|
| No  | Action list  | Approved programs (Sept. 16, 2016)                 | Budget (NPR) | Approved programs   | Budget (NPR) |
| <b>1. Revitalization and Improvement of Livelihood</b>                            |  |  |              |   |              |
| 1-1-1   | Financial support for the reconstruction of houses damaged by the Gorkha EQ  |  |              | Exemption on municipal drawing permit (building construction permit) charges for new construction and reconstruction for both residential and commercial buildings  |              |
|   |  |  |              | Tax exemption for completely damaged houses   |              |
| 1-1-5   | Implementation of training of house reconstruction for masons, local communities, technicians, etc.  |  |              | Mason training  | 500,000      |
|   |  |  |              | Provide trainings for contractors as well as site visits for seismic design and construction  | 150,000      |
| 1-1-6   | Development of capacity and public awareness for seismic resistant houses  |  |              | Awareness program for earthquake resistant building construction (booklet, brochures, TV programs, radio, display, etc.)  | 150,000      |
| 1-2-1   | Financial support for the livelihood reconstruction of victims   |  |              | Charges exemption for recommendations based on the ID of earthquake victims   |              |
| 1-2-2   | Establishment of a livelihood help desk  |  |              |   |              |
| 1-5-4   | Training for teachers  |  |              | Training for school teachers (form School DM committee) in 5 schools  | 300,000      |
| <b>2. Urban Planning with Sustainable Development for a Safer and Secure City</b> |  |  |              |   |              |
| 2-1-10  | Development of open spaces as evacuation sites and disaster management bases   | Construction of park and management                | 1,600,000    | Conservation of public land/open spaces and management and establishment of new parks   | Several      |
|   |  |  |              | Select a open space and develop it as a model park for DM   | 500,000      |
| 2-2-2   | Improvement of earthquake resistant roads for smooth transportation and evacuation, especially for designated emergency transportation roads and evacuation routes                         | Road construction, maintenance and expansion works | Several      | Road expansion  | Several      |
|   |  |  |              | Road maintenance  | Several      |
| 2-2-8   | Development of sustainable stockpiling of water and fuel for emergency use stored in earthquake resistant and safe   |  |              | Mapping of emergency routes within municipality building and community building and manage for emergency exit   | 300,000      |
| 2-2-9   | Improvement of the sanitation management system  |  |              | Conservation of ponds   | Several      |
|   |  |  |              | Conservation of water sources   | Several      |
| 2-2-10  | Continuous development of the expansion of the supplying area and upgrading of existing facilities to be seismic resistance and with a stable water, sewage, and electricity supply system | Construction and maintenance of sewer lines        | Several      | Construction/maintenance of public toilets (including those near open spaces)   | Several      |
| 2-3-2   | Prioritizing recovery through the judgement of urgency from seismic diagnosis and historical importance  | Prepare inventory of heritages                     | 150,000      |   |              |
| 2-3-3   | Recovery of the prioritized cultural heritage sites in consideration of seismic resistance and their original value  | Recovery and reconstruction of various heritages   | 8,182,000    | Reconstruction and maintenance of various heritages   |              |
| <b>3. Promotion and Improvement of Industry</b>                                   |  |  |              |   |              |
| 3-1-1   | Support for the employment of victims who have lost work (financial support)   |  |              |   |              |
| 3-1-2   | Support for employment, employment training in consideration of vulnerable people and deprived/marginalized people (Pichadiyeko barga)   |  |              | Skill development training for women who were victim of earthquake  | 200,000      |
| 3-3-3   | Recovery support for stores, shops and cottage industries  |  |              | The business run in completely damaged houses shall get 50% exemption in business tax   |              |
| <b>4. Development of Resilient Disaster Management City</b>                       |  |  |              |   |              |
| 4-1-1   | Formulation of disaster management plan  |  |              | Disaster management   | 6,000,000    |
|   |  |  |              | Enhancement of DM fund  | 500,000      |
| 4-2-2   | Development of stockpile warehouses, and ensuring disaster stockpiles  |  |              | With the view of making policy for DM, gather the earthquake victims and share their experience, and prepare reports so to make it easier to prepare plans for them | 250,000      |
|   |  |  |              | Select three ward with earthquake resistant building and manage for emergency stockpile   | 500,000      |
|   |  |  |              | Manage emergency stockpile in Ward 9  | 500,000      |
| 4-2-3   | Construction and management of disaster management training centre   |  |              | Establish exhibition room for management of various photographs, preparedness materials, safe materials for contractors, etc.                                       | 100,000      |
| 4-3-4   | Implementation of disaster management exercises for emergency response   |  |              | Trainings and Management for fire control   | 300,000      |
| 4-3-5   | Designation of disaster base hospitals, medical centres  |  |              | Inspect the emergency management plans of some important hospitals in the municipality and prepare report including activities that have to be implemented          | 250,000      |
| 4-4-2   | Implementation of events for promoting the establishment of culture of disaster prevention/ resilience   |  |              | Conduct various programs on EQ safety day   | 200,000      |
| <b>5. Strengthening of Community Disaster Risk Management</b>                     |  |  |              |   |              |
| 5-1-2   | Implementation of awareness-raising programmes on DRR/DRM  |  |              | Awareness programs  | Several      |
| 5-2-4   | Implementation of DRR/ DRM capacity development programmes for community leaders   |  |              | DM related programs and trainings in each ward (compulsory fire control related training)   | 1,500,000    |

出典：JICA プロジェクトチーム

## 4.2 緊急対応標準手順書(SOP)

緊急対応標準手順書 (Standard Operation Procedure (以下、SOP)) は、実災害に備えて、関係者が具体的な緊急対応内容を把握することができる手順書である。そこで本活動においては、2015年に発生したグルカ地震の経験に基づいて、各対象3市におけるSOPを策定することを目的とした。

SOP策定に係る活動は2016年12月に開始され、既存の関連する資料等を収集し、初稿SOPを作成する研究調査の活動を実施した。その後、カウンターパートであるMoHAとの会議を重ねて実施し、さらに対象3市におけるワークショップを複数回開催し、初稿SOP改定のための意見収集を行った。最後に、収集した意見および提案に基づいてSOPの最終化を行った。

|   |  |
|---|--|
| <b>1. Preface</b>   |  |
| 1-1. Introduction   |  |
| 1-2. Objectives   |  |
| 1-3. Preparedness of Officials                                    |  |
| 1-4. Duration of this SOP and Basic Flow                          |  |
| <b>2. Mobilization of officials</b>                               |  |
| 2-1. Flow of Mobilization (On and Off-duty)                       |  |
| 2-2. Preparation for Mobilization                                 |  |
| <b>3. Establishment of Emergency Response Head Quarter (ERHQ)</b> |  |
| 3-1. Establishment of ERHQ  |  |
| 3-2. Structure of ERHQ  |  |
| 3-3. Function of ERHQ   |  |
| 3-4. Relationship of ERHQ with other Organizations                |  |
| 3-5. Role of Ward Office  |  |
| <b>4. Preparedness and Response Activities against Earthquake</b> |  |
| 4-1. Preparedness Activities                                      |  |
| 4-2. Response Activities  |  |
| <b>[APPENDICES]</b>   |  |
| Appendix A: Activity Flowchart                                    |  |
| Appendix B: Disaster Information Format                           |  |
| Appendix C: List of Evacuee at Evacuation Shelter                 |  |
| Appendix D: Personal Data of Officials                            |  |

図 4.2.1 最終版 SOP の目次

図 4.2.1 は最終版 SOP の目次を示している。第 1 章では、SOP の概要説明、目的、対象とする職員の心得が記載されている。各職員は、平常時においてそれぞれの具体的役割や責任感を把握することが必要である点について触れている。また、本 SOP は災害発生から 3 日間の対応行動を範囲としている点についても述べている。第 2 章では、緊急時における職員の参集と事前準備について整理している。本 SOP は日本の知見に基づいて、業務時間内 (On-duty) および業務時間外 (Off-duty) の対応についても説明を加えている。第 3 章では、本 SOP での提案として、緊急対策委員会 (ERHQ) の設置について説明している。最初に、ERHQ の概要と、設置に係る決定権限について、次に、各市の組織体制に基づいた ERHQ の構造、機能、メンバー、具体的な協議内容についても整理している。また、災害時には、関係機関および外部団体との連携が必須になるため、それら機関との協調についても述べている。職員がわかりやすく理解できるようにするため、本 SOP においては出来る限

り簡単な文章や図面で説明するよう心掛けて整理している。最後の第4章では、平時における職員の準備活動について述べている。例えば、病院及び学校の数、想定する避難所の箇所や受け入れ可能人数などの把握に努めるよう説明している。

本 SOP では、4種類の図表および様式を添付した。添付 A は災害時における具体的対応を示したフロー図である。この図は実災害を想定した内容で、いつ、どこで、各職員が何をするか説明している。本フロー図は各市の組織体制を考慮して、部局ごとにシートを分けて作成されている。添付 B は災害情報フォーマットである。本 SOP 開始前の調査においては、対象3市共通の統一フォーマットは整理されていなかった。そのため、本 SOP において新たなフォーマットを提案した。添付 C は避難所における被災者情報の管理シートである。本シートは、日本国内の自治体で整備されている SOP を参考にしたもので、被災者への支援や安全を確保することを目的としている。添付 D も同様に日本の知見を参考にしたもので、職員の基礎情報を収集するためのシートである。実災害においては、各職員との連絡が必須になるため、平常時において職員の基礎情報を整理し管理することが重要であると提案している。これらの様式は、各パイロット市のワークショップで合意された。今後は、添付 A、B および C については、非常時での利活用を目的としており、実際の災害時や訓練等を通じて、経験を蓄積することが重要である。一方で、添付 D は平時での情報集約と運用が可能であり、ワークショップで理解を深めた各職員の方々が、本様式を日常的に利用されることを期待する。

次の災害に備えて、本 SOP は最新情報を反映させて適宜更新をする必要がある。具体的には、実際の組織体制に応じた SOP の改定、平常時において職員がそれぞれの役割、責任について理解することを求める。さらに、学校の数および位置、病院数および位置、市内各コミュニティの体制などの最新統計データを把握していることが重要となる。

## 4.3 ネパール国地方政府における地域防災計画策定技術ガイドラインの策定

### 4.3.1 地域防災計画策定技術ガイドラインの概要

ネパール国地方政府における地域防災計画策定技術ガイドラインを策定した。地域防災計画策定技術ガイドラインは、市などのネパール国地方政府が効果的かつ実行性の高い地域防災計画を策定できることを目的とし、計画の詳細な内容や策定手順、計画の記載例、策定に当たり考慮すべき事項等を整理した、計画策定支援マニュアルである。本技術ガイドラインは英語とネパール語の両方で策定した。

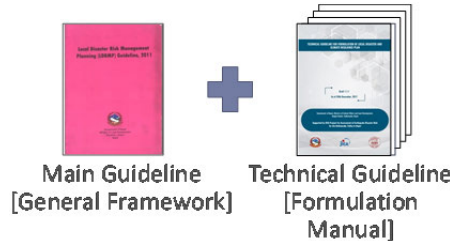
本技術ガイドラインを策定するにあたり、MoFALD が 2011 年に発行した既存の地域防災計画ガイドライン（以下、2011 年 MoFALD ガイドライン）の問題点を整理した。さらに、MoFALD と議論していく中で、MoFALD が NRRC Flagship4 のメンバーとともに 2011 年 MoFALD ガイドラインを改定する予定であることが判明し、その改定ガイドライン（以下、改定 MoFALD ガイドライン）の内容についても整理を行った。このような状況を踏まえ、

策定する地域防災計画策定技術ガイドラインの位置づけ、構成に関して MoFALD と議論を重ね、本技術ガイドラインを最終化した。

#### 4.3.2 地域防災計画策定技術ガイドラインの構成の検討

##### (1) 地域防災計画策定技術ガイドラインの位置づけ

地域防災計画策定技術ガイドラインの位置づけを図 4.3.1 に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.3.1 地域防災計画策定技術ガイドラインの位置づけ

##### (2) 地域防災計画策定技術ガイドラインの構成

地域防災計画策定技術ガイドラインは、上記の位置づけから、改定 MoFALD ガイドラインの内容に従うものである。地域防災計画策定技術ガイドラインのコンセプトは、ネパール国地方政府が地域防災計画の全体像を把握でき、効果的に計画を策定できることにある。地域防災計画策定技術ガイドラインの構成は図 4.3.2 に示す。地域防災計画策定技術ガイドラインは、ネパール国地方政府が地域防災計画を策定する際に、どのような内容を含めるべきか、どのように記載すべきかを容易に理解できるよう、具体的な記載例や記載イメージを示している。しかし、本技術ガイドラインは、計画の単なるテンプレートではなく、データや情報の収集方法、実施すべき防災活動の優先順位の検討方法等、計画策定に必要なとなる参考情報も含んだマニュアルとして構成している。

**Chapter 3. Hazard, Vulnerability, Capacity and Risk Assessment**

This chapter aids to understand the level of disaster which might occur in your Municipality/Rural Municipalities and Wards, and the possible risks induced. This assessment will enable you to understand priority of each disaster type and consider necessary disaster countermeasures to mitigate damages from occurrence of those disasters.

**3-1. Historical Disaster Events**

Historical disaster events in the Municipality/Rural Municipality should be summarized. Please describe this section including the following contents.

Contents

- Summary of historical disaster events in the Municipality/ Rural Municipality

Example of Description

Historical disaster events have been prepared for the disasters to get information on the type of severe results due to disasters in the XXX Municipality/Rural Municipality in the past. From this information about the condition of trend and frequency of the disasters can be obtained. Historical disaster events in XXX Municipality/Rural Municipality are shown in Table 3-1.

| Date  | Type | Year | Location | Damage   | Social Loss             | Economic Loss         | Damage on Infrastructure  | Damage on Environment | Method of Countermeasures |
|-------|------|------|----------|--|-------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Flood | 2020 | May  | 3        | The wall of the temple was destroyed. Condition of surrounding area has families who staying in temporary shelter. | One person was injured. | 4 shops were damaged. | 11 Rights were destroyed. | 10 Lakh 11 million.   |                           |

Note: Please refer to Annex-5 of LDCRP guideline, 2074 and collect the information in past 30 years.

出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.3.2 地域防災計画策定技術ガイドラインの構成



本技術ガイドラインの目次は、改定 MoFALD ガイドラインによる規定を参考に、ネパール国地方政府が参照しやすいよう、実際の地域防災計画の目次と同様にしている。本技術ガイドラインの目次を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 地域防災計画策定技術ガイドラインの目次

| Table of Contents   |   |
|---|---|
| <b>Chapter1 Introduction</b>  |   |
| 1.1   | Background  |
| 1.2   | Objective of Plan   |
| 1.3   | Rationale and Significance of Plan  |
| 1.4   | Limitation of Plan  |
| 1.5   | Methodology   |
| 1.6   | Plan Implementation Strategy  |
| <b>Chapter2 General Description</b>                                 |   |
| 2.1   | Physical Condition  |
| 2.2   | Social Condition  |
| <b>Chapter3 Hazard, Vulnerability, Capacity and Risk Assessment</b> |   |
| 3.1   | Historical Disaster Events  |
| 3.2   | Hazard Identification and Ranking   |
| 3.3   | Hazard Analysis   |
| 3.4   | Vulnerability Analysis  |
| 3.5   | Capacity Analysis   |
| 3.6   | Risk Identification and Assessment  |
| <b>Chapter4 Local Disaster and Climate Resilience Policy</b>        |   |
| 4.1   | Vision and Mission  |
| 4.2   | Disaster and Climate Resilience Strategy  |
| 4.3   | Institutional Structure of Disaster and Climate Resilience  |
| <b>Chapter5 Local Disaster and Climate Resilience Activities</b>    |   |
| 5.1   | Understanding disaster risk   |
| 5.2   | Strengthening disaster risk governance to manage disaster risk  |
| 5.3   | Investing in disaster risk reduction for resilience   |
| 5.4   | Enhancing disaster preparedness for effective response, and to «Build Back Better» in recovery, rehabilitation and reconstruction |
| <b>Chapter6 Monitoring, Evaluation and Update of LDCRP</b>          |   |
| 6.1   | Monitoring and Evaluation   |
| 6.1   | Review and Update of LDCRP  |

出典：JICA プロジェクトチーム

第1章では、序章として地域防災計画の基礎となる内容である背景や目的を示す。第2章では、地方政府の地域的特徴の概要を整理する。この章で示す地形・地質や人口等の情報は、市の対象災害や災害リスク管理上の課題を特定するために役立つ基本情報となる。技術ガイドラインでは、必要となる情報の収集先、情報の整理方法等を記している。第3章では、市で起こり得る災害を理解するためのハザード、脆弱性・キャパシティアセスメントとリスク評価の内容及び結果を整理する。ここでは、各分析に用いるフォーマットの例やマップの例を記載している。第4章では、地域防災のビジョンやミッション、戦略等の地域防災政策を示す。ここでは、ビジョンやミッションの検討方法、仙台防災枠組を考慮に入れた戦略や指標の設定方法、また、上位機関となる国や州の防災アクションプランの確認や残余リスクの把握について言及している。第5章では、地域防災計画の核となる、地域の防災、強靱性を高めるために実施が必要となる活動、対策を示す。技術ガイドラインでは、それまでの章で記した情報や、第4章で設定した防災戦略に基づいた活動の検討方法等について記している。第6章では、計画のモニタリングや評価、改定についての方針を示す。ここでは、モニタリングや評価、改定のコンセプトやフォーマットを記載している。さらに、地域防災活動の事例集や本プロジェクトで実施した地震災害リスクアセスメントの概要については、添付資料

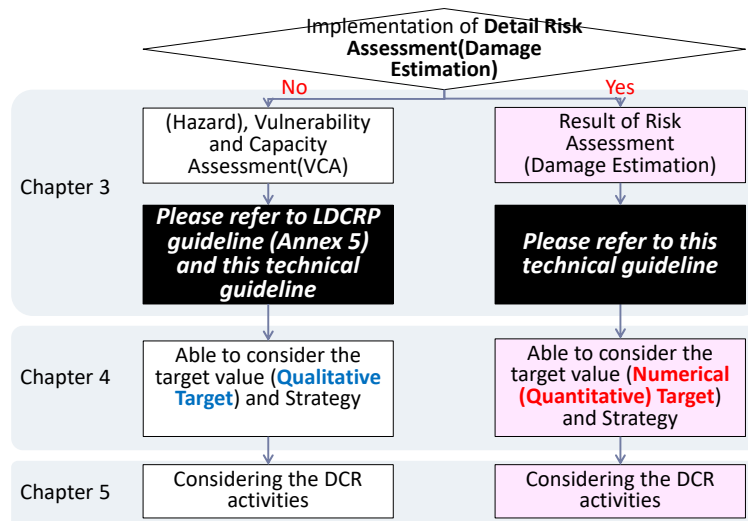
として整理した。

### 4.3.3 地域防災計画策定技術ガイドラインの策定

表 4.3.1 で示した構成を基に地域防災計画策定技術ガイドラインを策定した。以下に、本技術ガイドラインで示した特長的な内容を記す。

#### 1) 脆弱性・キャパシティアセスメント (Vulnerability and Capacity Assessment (VCA) ) とリスクアセスメント

ハザード及びリスクアセスメントの項目について、2011年 MoFALD ガイドラインでは、脆弱性・キャパシティアセスメント (Vulnerability and Capacity Assessment) (以下、VCA) による1つの手法が示されていた。しかしながら、本プロジェクトで実施したようなリスクアセスメント (被害想定) の効果について MoFALD と議論を行い、改定 MoFALD ガイドラインにおいては、リスクアセスメントの活用に係る項目を統追加し、2つの方法 (VCA、リスクアセスメント) を体系的に整理することとした。そこで、地域防災計画策定技術ガイドラインにおいては、改定 MoFALD ガイドラインに沿った形で、VCA、リスクアセスメントの違いや詳細について記している。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.3.3 VCA 及びリスクアセスメント(被害想定)による策定手順[技術ガイドライン内の図]

地域防災計画策定のためのリスクアセスメントの優位性は以下のとおりである。

- 工学的結果に基づく防災・減災の数値目標の設定が可能となる。
- 設定した数値目標に基づき、目標を達成するための防災対策を検討することが可能となる。
- リスク評価に基づき、学校や病院、政府庁舎、橋梁等の重要インフラの対策に係る優先順位づけに活用できる。
- 減災目標に基づき達成度合いを把握することができるため、効果的なモニタリングとともに対策を実行できる。

## 2) 仙台防災枠組に沿った構成

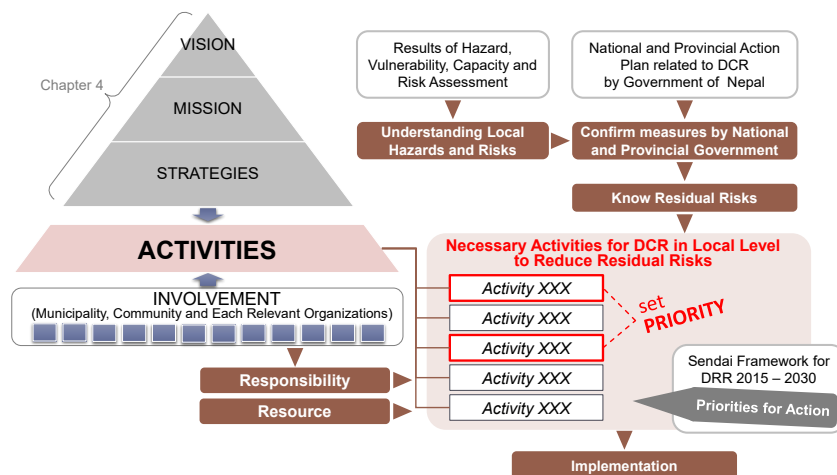
地域防災計画策定技術ガイドラインにおける以下の項目は、仙台防災枠組に基づいている。地域防災計画の4章で示す防災戦略の検討においては、仙台防災枠組のグローバルターゲットを参照したフォーマットの例を示している。また、仙台防災枠組の優先行動は、「予防・減災」「事前準備」「応急対応」「復旧・復興」の災害リスクマネジメントサイクルに直結している。そのため、地域防災計画の5章である地域防災対策は、優先行動に沿って4項に分けて整理することとした。

## 3) 法的枠組みとの整合性

ネパール国における防災・減災に関連する法的枠組みについては、近年大きく変革が起きた。主に憲法が制定され、防災法、地方自治法も2017年に改正された。地域防災計画策定技術ガイドラインは、これらの改正を含め、現在の法的枠組みを適切に反映したものとしている。

## 4) 防災対策の検討

防災対策の検討は、計画において最も重要な項目である。そのため、地域防災計画策定技術ガイドラインでは、詳細に防災対策の検討方法を記している。図4.3.4には、技術ガイドラインで記した防災対策の検討方法を示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.3.4 防災対策の検討方法[技術ガイドライン内の図]

防災対策は、ハザード、リスク評価の結果に基づいて検討される必要がある。また、それらを踏まえて設定したビジョンやミッション、戦略等を基に優先順位付けされることが肝要である。さらには、地域防災計画を効果的なものとし、実行性を高めるためには、上位機関となる国や州の防災アクションプランを確認し、上位機関の対策のみでは対処しきれない残余リスクを把握した上で、それらのリスクを軽減するための対策を検討することが、地方政府レベルでは重要である。

## 5) 防災対策事例集の構築

ネパール国地方政府職員が、防災対策を検討する際に参考となるよう、地域防災計画策定技

術ガイドラインの添付資料として、防災対策事例集の開発を行った。防災対策事例は対策の項目名だけでなく、内容の詳細を含んだものとした。これにより、ネパール国地方政府職員は各対策の内容を把握することができ、必要性の議論とともに効果的、効率的に防災対策を検討することが出来る。

## 4.4 パイロット地区の地域防災計画の策定

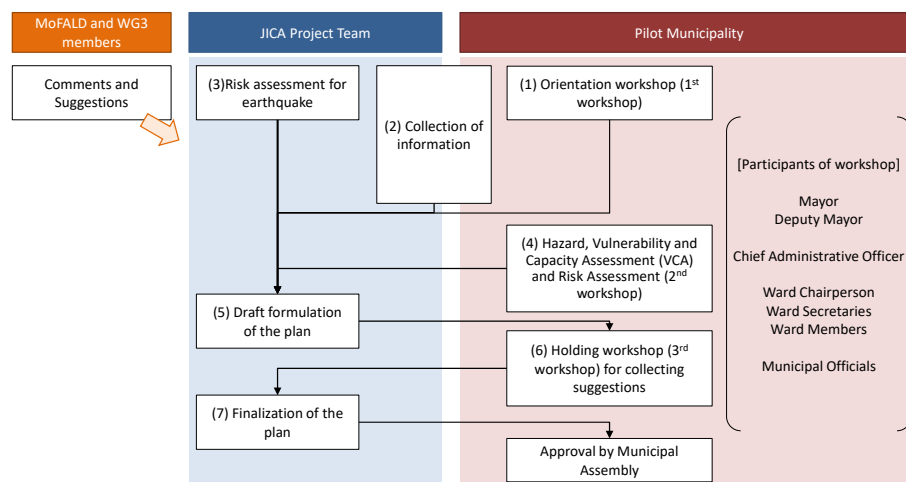
### 4.4.1 パイロット地区の地域防災計画の概要

本プロジェクトでは、各パイロット地区の地域防災計画を策定した。第2章及び第3章に記した、本プロジェクトで実施した地震災害のハザード、リスク評価の目的は、評価自体ではなく、評価結果をリスクの軽減のための防災・減災対策へつなげることにある。そのため、策定したパイロット地区の地域防災計画では、仙台防災枠組に基づく減災目標の検討や、目標達成のために必要となる防災対策の検討等において、リスク評価結果を活用した。地域防災計画の基本的な構成や内容については、改定 MoFALD ガイドライン及びそれに付随する、本プロジェクトで策定した地域防災計画策定技術ガイドラインの内容を踏襲している。

地域防災計画の策定に先立ち、2011年 MoFALD ガイドラインを基に策定された既存の地域防災計画のレビューを行った。また、計画策定に必要となる情報を各市から収集した。これらの情報を踏まえ、各地域の実状に即した効果的な計画となるよう、多くの関係者が参加する形の計画策定ワークショップを各市3回開催し、議論を重ねた。これらのワークショップの結果に基づき、パイロット地区の地域防災計画を策定、最終化させた。詳細を以下に記す。

### 4.4.2 地域防災計画の策定

パイロット地区の地域防災計画は、資料収集だけでなく、参加型の計画としてワークショップを開催し、その結果を基に策定した。図 4.4.1 には、地域防災計画の策定手順を示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.4.1 地域防災計画の策定手順

パイロット地区の地域防災計画の目次構成は、4.3 で示した地域防災計画策定技術ガイドラ

インと同様である。地域防災計画の各内容は、表 4.4.1 に示すように、改定 MoFALD ガイドライン、地域防災計画策定技術ガイドライン、収集資料、ハザード・リスク評価結果、ワークショップの結果を踏まえて策定した。

表 4.4.1 地域防災計画の目次と内容の基資料

| Contents  |  | Basis of contents   |
|---|--|---|
| <b>Chapter 1. Introduction</b>  |  |   |
| 1-1   | Background   | - Summary of history, population and location   |
| 1-2   | Objective of Plan  | - Objectives of Plan  |
| 1-3   | Rationale and Significance of Plan                             | - Rationale and Significance of Plan  |
| 1-4   | Limitation of Plan   | - Limitation of Plan  |
| 1-5   | Methodology  | - Methodology   |
| 1-6   | Plan Implementation Strategy                                   | - Plan Implementation Strategy  |
| <b>Chapter 2. General Description</b>                                 |  |   |
| 2-1   | Physical Condition   | 1) Topographic & geological conditions (Data & GIS)   |
|   |  | 2) Land use (Data and GIS Map)  |
|   |  | 3) Climate conditions (Data)  |
| 2-2   | Social Condition   | 1) Population (Data & GIS Map)  |
|   |  | 2) Building (Data and GIS Map)  |
| <b>Chapter 3. Hazard, Vulnerability, Capacity and Risk Assessment</b> |  |   |
| 3-1   | Historical Disaster Events                                     | - Historical Disaster Events (Table)  |
| 3-2   | Hazard Identification and Ranking                              | - Hazard Ranking in Municipality  |
| 3-3   | Hazard Analysis  | - Earthquake  |
|   |  | - Results of VCA for Other disasters  |
| 3-4   | Vulnerability Analysis   | - Results of VCA for Other disasters  |
| 3-5   | Capacity Analysis  | - Results of VCA for Other disasters  |
| 3-6   | Risk Identification and Assessment                             | - Earthquake  |
|   |  | - Other disasters   |
| <b>Chapter 4. Local Disaster and Climate Resilience Policy</b>        |  |   |
| 4-1   | Vision and Mission   | - Vision and Mission for disaster and climate resilience  |
| 4-2   | Disaster and Climate Resilience Strategy                       | - Target and strategy for disaster and climate resilience   |
| 4-3   | Institutional Structure of Disaster and Climate Resilience     | 1) Framework of related organizations   |
|   |  | 2) Organization chart of municipality   |
| <b>Chapter 5. Local Disaster and Climate Resilience Activities</b>    |  |   |
| 5-1   | Understanding disaster risk                                    | - Necessary Activities for understanding disaster risk  |
| 5-2   | Strengthening disaster risk governance to manage disaster risk | - Necessary Activities for strengthening disaster risk governance to manage disaster risk             |
| 5-3   | Investing in disaster risk reduction for resilience            | - Necessary Activities for investing in disaster risk reduction for resilience                        |
| 5-4   | Enhancing disaster preparedness for effective response, and    | - Necessary Activities for enhancing disaster preparedness for effective response, and to «Build Back |

出典：JICA プロジェクトチーム

以下に地域防災計画の特長的な点を記す。



(1) ワークショップの開催

計画策定ワークショップは、以下に示すとおり、各市においてそれぞれ3回開催した。ワークショップでは、地域防災計画だけでなく、4.2で示したSOPの議論も合同で行った。第1回ワークショップでは、地域防災計画の基本方針となるビジョンやミッションについて議論を行った。本プロジェクトのリスクアセスメントは、地震災害のみを対象としたが、地域防災計画は全対象災害を含める必要がある。そのため、第2回ワークショップでは、地震以外の災害に係るハザード、脆弱性・キャパシティアセスメント、リスク評価の議論を行った。第3回ワークショップでは、各防災対策の必要性、優先順位づけ等について議論を行い、ワークショップの結果を基に地域防災計画を最終化した。ワークショップには、市長をはじめとする市議会のメンバーや市職員が参加した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.4.2 地域防災計画・SOP ワークショップの様子

(2) ハザード、脆弱性、キャパシティ、リスクアセスメント

本プロジェクトで実施したハザード、リスク評価は、最も優先すべき災害である地震のみを対象とした。しかし、過去の災害や将来の発生可能性を鑑みると、地震災害のみが各パイロット地区における対象災害ではない。地域防災計画は、市の対象災害すべてのリスク軽減のための総合計画である。そのため、第2回ワークショップでは、各災害のハザードや脆弱性、キャパシティについて議論を行い、その結果を基に災害リスクの理解を図った。



## 1) 対象災害の検討

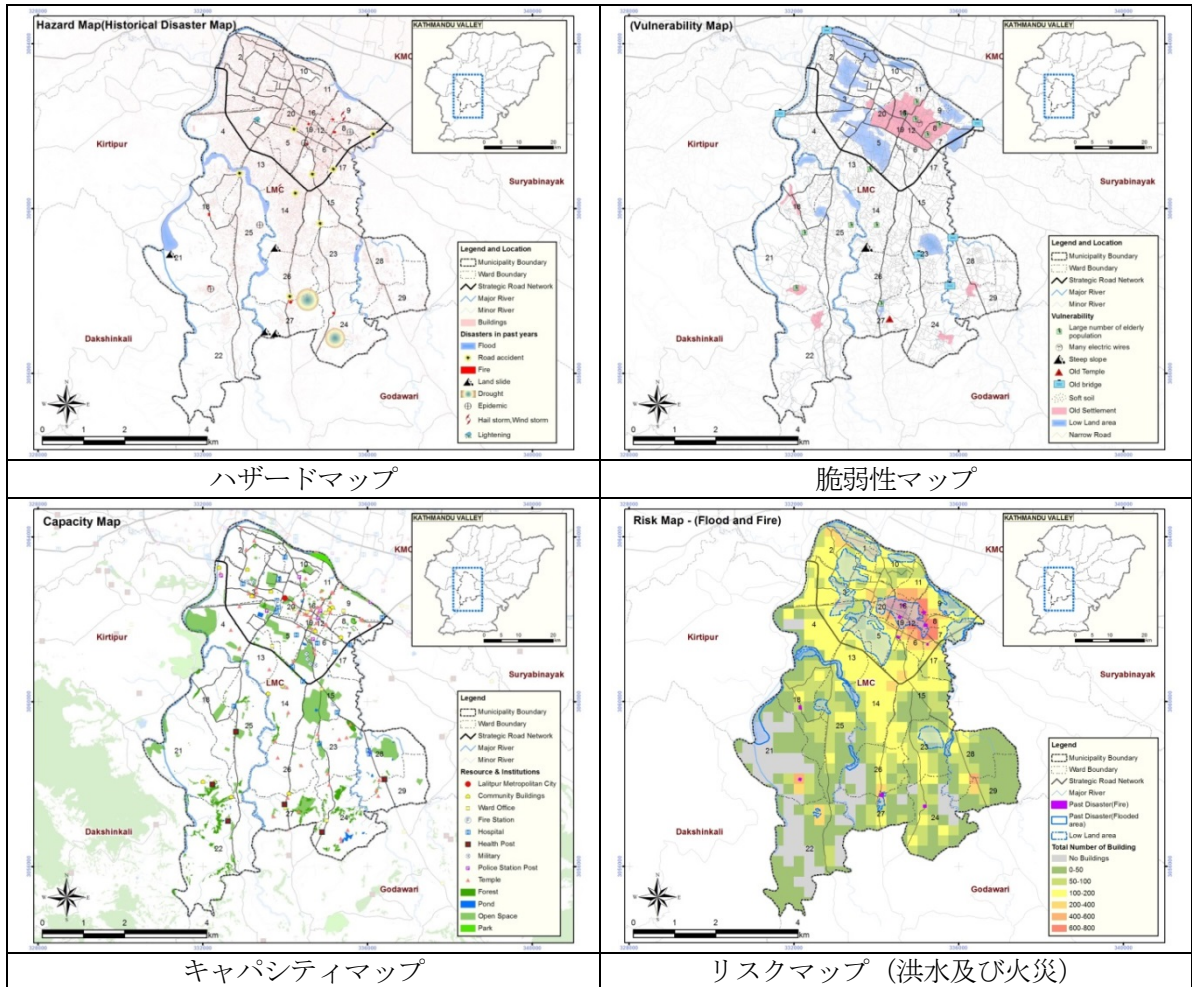
第2回ワークショップでの議論を踏まえ、パイロット地区の対象災害と優先順位を以下のように整理した。

表 4.4.2 各パイロット地区の対象災害と優先順位

| 優先順位 | ラリトプール市 | バクタプール市 | ブダニールカンタ市 |
|------|---------|---------|-----------|
| 第1位  | 地震      | 地震      | 地震        |
| 第2位  | 洪水      | 洪水      | 洪水        |
| 第3位  | 交通事故    | 火災      | 土砂災害      |
| 第4位  | 火災      | 暴風雨     | 森林火災      |
| 第5位  | 土砂災害    | 交通事故    | 野生動物による災害 |
| 第6位  | 干ばつ     | -       | -         |

注：ワークショップに基づく結果、 出典：JICA プロジェクトチーム

## 2) ハザード、脆弱性、キャパシティ、リスクアセスメント



注：ワークショップに基づく結果、及び JICA RRNE プロジェクト (キャパシティマップ)

出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.4.3 ハザードマップ等 (ラリトプール市地域防災計画の事例)

地震以外のハザードについては、過去の災害履歴を基に、第2回ワークショップで整理された。地震以外のリスク評価については、第2回ワークショップで得られたハザード、脆弱性、

キャパシティアセスメントの結果とともに、暴露量を考慮して、市街地域等の土地利用状況を重ね合わせることで整理した。

### (3) 地域防災戦略

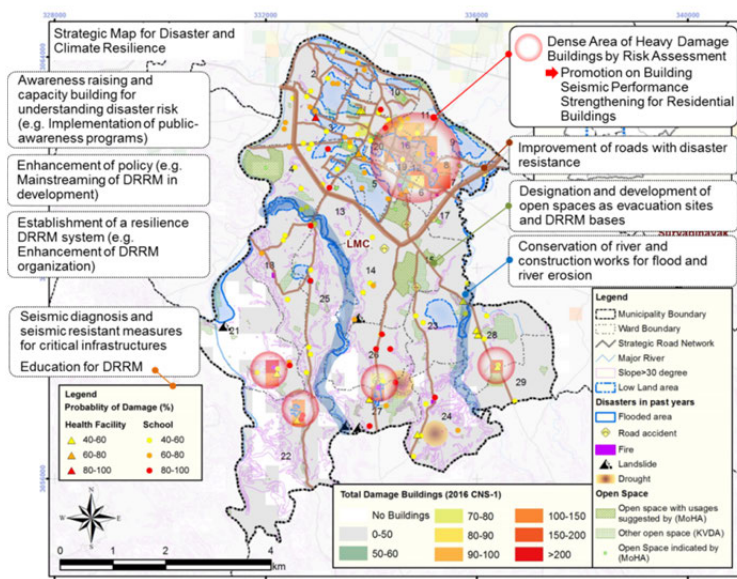
第3章で記載したように、本プロジェクトで実施したリスクアセスメントは、2016年時点の評価とともに、2030年時点の評価を行った。2030年における建物評価は、人口増予測に伴う建物数の増加や建物耐震対策状況を考慮し、複数のケースを設定し評価を行い、各ケースにおける減災効果を算出した。第2回ワークショップでは、これらの数値を基に議論し、各市における建物大破棟数軽減のための減災目標（減災率）を設定した。設定した減災目標に基づき、表4.4.3に示すとおり、仙台防災枠組のグローバルターゲットに沿って、各防災戦略の設定を行った。

表 4.4.3 パイロット地区の地域防災戦略

| 2030年における減災目標           | ラリトプール市                                  | バクタプール市                                | ブダニールカンタ市                              |
|-------------------------|--|--|--|
| 建物大破棟数                  | 35%<br>(12,362 ⇒ 8,035)                  | 40%<br>(3,730 ⇒ 2,238)                 | 40%<br>(1,380 ⇒ 828)                   |
| 仙台防災枠組における指標            |  |  |  |
| (a) 死者数                 | 約 35% 減少<br>(1,761 ⇒ 1,150)              | 約 40% 減少<br>(546 ⇒ 330)                | 約 40% 減少<br>(235 ⇒ 140)                |
| (b) 被災者数                | 約 35% 減少(避難者数)<br>(118,485 ⇒ 77,000)     | 約 40% 減少(避難者数)<br>(37,843 ⇒ 22,700)    | 約 40% 減少(避難者数)<br>(20,803 ⇒ 12,000)    |
| (c) 直接経済損失(建物大破棟数によるもの) | 約 15% 減少<br>(43,377 ⇒ 37,000 (mil. NPR)) | 約 20% 減少<br>(8,433 ⇒ 7,000 (mil. NPR)) | 約 20% 減少<br>(4,373 ⇒ 3,500 (mil. NPR)) |
| (d) 重要インフラ              | 減少                                       | 減少                                     | 減少                                     |

注：括弧内数字、左は耐震対策無しの場合の数値、右は減災目標を達成した場合の数値

出典：JICA プロジェクトチーム



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.4.4 優先対策図(ラリトプール市地域防災計画の事例)

リスク評価結果及び各市でのワークショップ結果を踏まえて、必要となる防災対策を検討した。図 4.4.4 には、優先対策の例を示す。上記の減災目標を達成するには、第一に建物の強化が必要不可欠である。新築時に耐震性の高い建物を建築することが重要であることは元より、カトマンズ盆地全体で 40 万棟を超える既存建築物の耐震補強が目標達成に大きく寄与すると考えられる。そこで、耐震補強にかかる費用について、リスク評価結果を基に、ラリトプール市を例に概算する。本プロジェクトで実施したリスク評価の建物にかかる経済被害推定額は、被害レベル別の修復費用を算出したものである。この修復費用の 2 割に当たる費用で耐震補強できると仮定すると、ラリトプール市の既存建物の耐震補強に要する費用は、表 4.4.4 に示すとおり概算され、その費用は約 110 億ルピーとなる。ラリトプール市の年間予算 (2016-2017) は、10.8 億ルピー程度であり、その額には 10 倍以上の開きがある。そのため、建物の強化を促進させ、減災目標を達成するためには、上位機関となる国、州による財政的な支援とともに、市民が耐震補強の重要性を理解し、市民自ら耐震補強を進めていけるよう、技術的な支援も重要である。

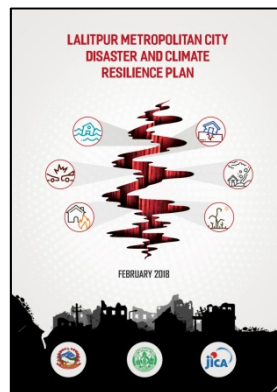
表 4.4.4 建物の耐震補強にかかる概算費用 (ラリトプール市の例)

|                  |    | 建物被害          | 経済被害<br>(百万 NPR) | 概算耐震補強費用<br>(百万 NPR) |
|------------------|----|---------------|------------------|----------------------|
| 建物棟数<br>(52,821) | 大破 | 9,603 (18.2%) | 57,335           | 11,471               |
|                  | 中波 | 6,277 (11.9%) |                  |                      |
|                  | 小破 | 9,322 (17.6%) |                  |                      |

出典：JICA プロジェクトチーム

#### (4) 地域防災計画の最終化

ワークショップでの意見等を踏まえ、パイロット地区の地域防災計画を最終化した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 4.4.5 地域防災計画の表紙 (ラリトプール市の例)

## 4.5 コミュニティ防災活動

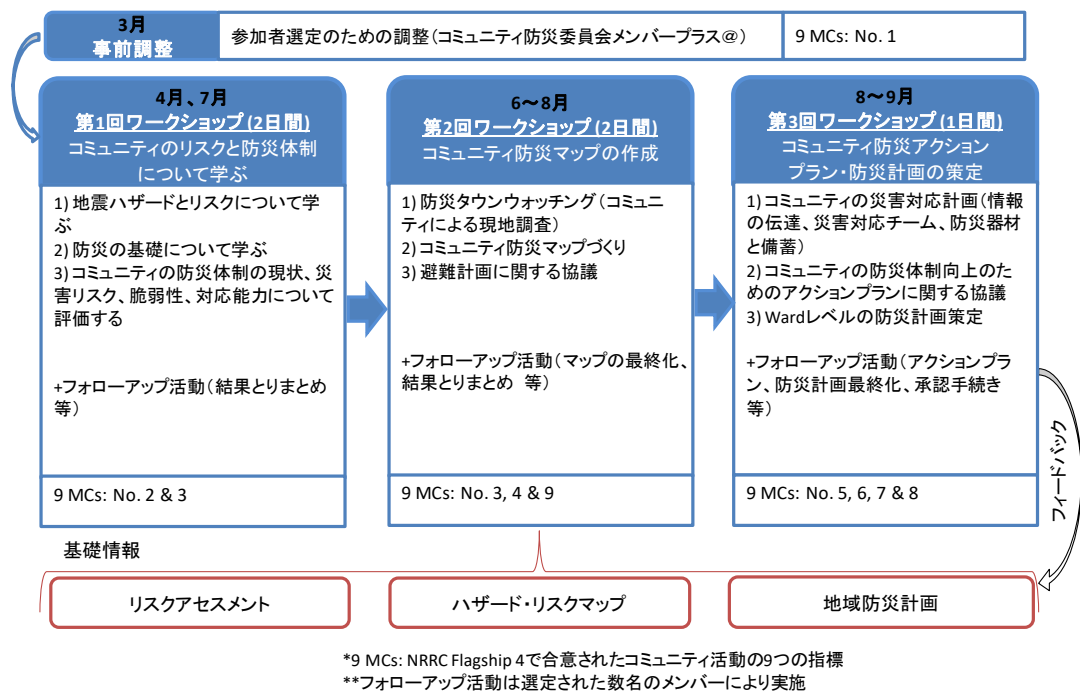
### 4.5.1 コミュニティ防災活動に関するパイロット活動の概要

コミュニティ防災活動は、仙台防災枠組みのターゲットを達成するために重要な活動のひとつであり、また、パイロット市のよりよい復興計画の活動のひとつとして提案されたものである。こうした背景のもと、各パイロット市において、パイロット Ward をひとつ選定して、コミュニティにおける防災活動のパイロット活動が実施された。

活動の流れは、MoFALD が主導してきたネパール国リスク削減コンソーシアム (Nepal Risk Reduction Consortium、 NRRC) の Flagship 4 によって提案された「ネパール国における災害に強いコミュニティのための 9 つの指標 (Nine Minimum Characteristics)」、および本プロジェクトで実施したコミュニティベースライン調査の結果をもとに検討された。また、持続的なコミュニティ防災活動を行っていくため、市職員のコミュニティ防災調査にかかる能力の強化を活動の実施過程において考慮した。

パイロットとして選定した Ward でコミュニティ防災活動を実施する前に、まず市職員がコミュニティ防災活動の内容を理解するための 3 日間の研修を実施した。その後、市職員が活発に活動に関わりながら、出典: JICA プロジェクトチーム

図 4.5.1 に示すような流れと内容でコミュニティにおける活動を実施した。



出典: JICA プロジェクトチーム

図 4.5.1 パイロット活動の基本的な内容と流れ



#### 4.5.2 コミュニティ防災パイロット活動の結果

第1回ワークショップにおいてパイロット Ward の参加者は、ハザード・脆弱性・対応能力のアセスメント (HVCA) などインターアクティブな講義や参加型の協議を通して、自らのコミュニティにおける災害リスクや防災体制について学んだ。グルカ地震の経験は、参加者の活発な協議を促し、自らの災害リスクの理解や把握のよりよい理解につながった。

第2回ワークショップにおいて、参加者は地域のタウンウォッチングと防災マップづくりを通して、また HVCA の協議結果を用いながら、防災上の問題点や課題について検討を行った。また、それらをもとに「地域防災計画 (LDRMP) ガイドライン 2011 年」を参照しながら、防災計画づくりを行った。

第3回ワークショップでは、参加者は第1回、第2回ワークショップの結果を取りまとめて作成された防災計画案と防災カルテの内容の確認を行った。さらに、防災計画における優先活動について協議し、その中から、本プロジェクトのサポートを受けて実施する活動の選定を行った。ワークショップ終了後、何度かのフォローアップ会合を通して、防災計画と防災カルテを最終化する作業を行った。

選定された優先活動の実施は、各パイロット Ward において 2017 年の 12 月に実施された。優先活動として、3つのパイロット Ward はすべて、緊急対応用の資機材を整備することを選択した。プロジェクト活動の最終成果物および緊急対応用の資機材の譲渡式は資機材のオリエンテーションプログラムと同時に実施され、予定されていたすべてのコミュニティにおける活動を終了した。



第1回ワークショップにおける  
HVCA 協議



第2回ワークショップにおける  
タウンウォッチング



第2回ワークショップにおける  
防災マッピング



第3回ワークショップにおける  
防災計画最終化活動

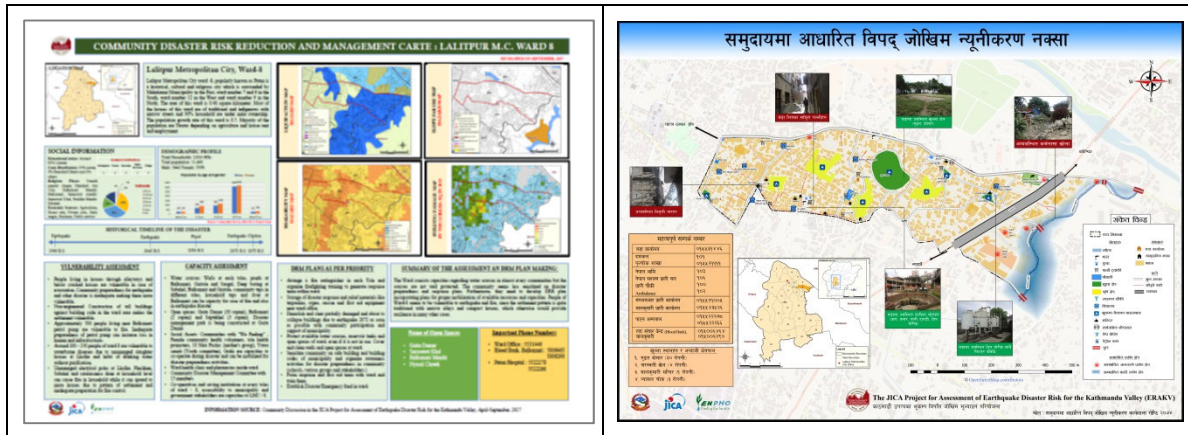


最終ワークショップにおける防  
災機材のオリエンテーション



プロジェクト成果物・防災機材の  
譲渡式

図 4.5.2 ワークショップの様子



出典: JICA プロジェクトチーム

図 4.5.3 ラリトプール市 Ward 8 で作成した防災カルテ (表面) と防災マップ

#### 4.5.3 コミュニティ防災パイロット活動における課題、および活動を通して得られた教訓

パイロット活動の実施を通してコミュニティ防災活動を進めるにあたって、下記の課題があることが分かった。

- 市における防災担当職員数の少なさ
- 市の職員が防災やコミュニティ防災について学ぶ定期的な機会の不足
- 持続的にコミュニティ防災活動を実施するための予算配分の少なさ
- 頻繁な地方自治体行政域の改変や地方自治体体制の不安定さ

また、パイロット活動の経験を通して、活動を効果的に成功裏に実施するには、以下の点が必要で大切であることが分かった。

- NRRC の Flagship 4 が提言した「ネパール国における災害に強いコミュニティのための 9 つの指標」のようなコミュニティ防災活動のためのガイドラインを改定し、推奨していくこと
- Ward の代表者がコミュニティ防災活動を十分に理解し、積極的に関与すること
- コミュニティに現存するグループとコミュニティ防災コミッティの協力の推進を検討すること
- コミュニティ防災活動実施を支援する NGO 等の組織の関与を得るための予算の確保
- コミュニティ防災活動にコミュニティのさまざまな層からの参加を得るために、活動の実施時期や場所等の工夫をすること
- 公園を災害時の避難や対応活動のために「オープンスペース」として利用する際には、公園の管理体制について留意し調整を行うこと



## 4.6 ネパール国地方政府レベルの今後の防災・減災活動に向けた提言及びパイロット活動による成果の全国展開方策

### (1) ネパール国地方政府レベルの今後の防災・減災活動に向けた提言

本プロジェクトで対象とした市、Ward へのパイロット活動を通じて、防災活動実施上での問題や課題が明らかとなった。ここでは、それらの問題や課題を踏まえ、ネパール国地方政府レベルの今後の防災・減災活動に向けた提言を以下のように整理する。

- 地方政府においては防災に従事する職員の数が非常に限られており、防災活動への関与が困難な状況にある。2015 年に制定された憲法や、2017 年に制定された防災法、地方自治法によって、多くの防災活動が現在、市の責務となっている。そのため、今後、防災活動を継続的に実施していくためには、防災に係る部署の設置や、防災に従事する職員の増員が求められる。

防災部署の役割としては、防災法で定められている事項を推進していくことが必要となり、その業務は非常に多岐に渡る。そのため、防災に従事する職員の増員が重要であり、参考に、表 4.6.1 には、日本の市町村における人口規模別の防災職員数を示す。パイロット市の人口規模である 5 万人から 30 万人程度を見ると、日本においては、5 人～10 人以上が防災に従事している。しかし、パイロット市では、現状、数人の従事に留まっている。また、日本では、高知県幡多郡黒潮町のように、全職員が防災業務を兼務し、職員地域担当制を導入している市町村もあり、これらを参考に、防災体制の強化を進めることが重要である。

表 4.6.1 日本の市町村における防災職員数の現状

| 市町村の人口規模         | 1 市町村あたりの防災職員数 (平均)     | 1 市町村あたりの一般行政職員数 (平均) | 一般行政職員数に占める防災職員数の割合 (平均) |
|------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 5 万人未満           | 1.66                    | 131.87                | 1.26%                    |
| 5 万人以上 10 万人未満   | 5.15                    | 387.27                | 1.33%                    |
| 10 万人以上 15 万人未満  | 7.08                    | 602.11                | 1.18%                    |
| 15 万人以上 20 万人未満  | 8.98                    | 841.34                | 1.07%                    |
| 20 万人以上 30 万人未満  | 11.29                   | 1,207.44              | 0.93%                    |
| 30 万人以上 50 万人未満  | 14.14                   | 1,791.90              | 0.79%                    |
| 50 万人以上 100 万人未満 | 22.33                   | 3,098.75              | 0.72%                    |
| 100 万人以上         | 41.27                   | 8,273.36              | 0.50%                    |
| 全体平均             | (人口に対する一般行政職員の割合:0.53%) |                       | 1.00%                    |

出典：総務省 平成 29 年地方公共団体定員管理調査結果、平成 27 年国勢調査

- 防災対策を実施していくためには、現状では予算が極めて少ない。地方政府レベルで防災活動を持続的に行うための予算配分の検討が求められる。ネパール国政府は現在、国家防災戦略実施計画(National Strategic Action Plan for Disaster Risk Reduction 2017-2030)を策定中であり、当計画内には、全ての開発セクターにおいて、少なくとも

も年次予算の 5%を防災関連に配分する旨が記されている。当計画が本規定のとおり承認され、市レベルに適切に予算配分されることが期待される。

- 現在、ネパール国の防災関連組織は大きな変革期にあると言える。具体的には、制定された憲法、防災法等により、国家防災局 (National Disaster Risk Reduction and Management Authority) の設立や、州政府の設立、DDC の DCC (District Coordination Committee (DCC)) への移行等が挙げられる。このことから、上位機関となる国、州レベルの組織体制の最新状況を把握するとともに、国、州レベルの対策による残余リスクを理解し効果的な防災対策を実行していくためにも、各政府間で調整、連携することが求められる。
- 地域の強靱化に向けて、市の政策の中で防災活動を優先付けし、予算を確保するためには、開発プロセスへの防災の主流化の促進が必要不可欠である。予算計画や予算の配分プロセスについては、2017年に制定された地方自治法に明記されている。地域防災計画と、定期開発計画、年次開発計画等を連携させるためには、地域防災計画の策定時期に配慮する必要がある。
- 防災活動の実施においては、継続的なモニタリングと評価によって、進捗だけでなく問題も把握することができる。改定 MoFALD ガイドラインに従って、市にモニタリング・評価分科会を設置することが望ましいと考える。また、市の社会環境や組織体制、活動のニーズ等は時間の経過とともに変化するため、本プロジェクトで作成した地域防災計画、緊急対応標準手順書、コミュニティ防災計画は、定期的にレビュー、改定されることが求められる。
- 現状、市の職員がコミュニティ防災を含め防災・減災について学ぶ機会が無い。そのため、活動の多くは NGO や他の組織に委任している状況にあり、市職員の能力強化、持続的な防災活動の実施につながっていない。コミュニティ防災活動の重要性への意識啓発や、コミュニティ防災活動の理解・管理能力強化のために、研修プログラム等の定期的に学ぶ機会を検討することが求められる。
- 頻繁な行政組織の再編や、行政域の改変は、活動の持続可能性に大きな影響を与える。地方政府体制の安定がコミュニティ防災活動を継続していく上で重要な要素となる。

## (2) パイロット活動による成果の全国展開方策

パイロット活動による成果は、パイロット地区への支援とともに、ネパール国地方政府への全国展開にも寄与するものである。ここでは、地域防災計画策定を含めた、パイロット活動による成果の全国展開方策を検討する。

### 1) パイロット活動による成果の全国展開方策

パイロット活動を通じて策定・実施した全ての成果は、下表のとおり、他市へ活用することが可能である。主に、ネパール国地方政府へのモデルや見本としての活用が考えられる。

表 4.6.2 パイロット活動による成果の全国展開方策

| 本プロジェクトの成果        | 対象   | 他市への展開方策  |
|-------------------|------|---|
| より良い復旧・復興計画       | 市    | モデルや見本としての活用、内容や構成、活動リスト等は、復興と防災・減災の連携（より良い復興）に向けた参考として活用 |
| 緊急対応標準手順書（SOP）    | 市    | 市レベルの SOP の作成はネパール国では初めてのため、モデルやプロトタイプとしての活用              |
| 地域防災計画策定技術ガイドライン  | 市    | 以下 2)に記載  |
| 地域防災計画            | 市    | 以下 2)に記載  |
| コミュニティ防災活動の成果     |      |   |
| コミュニティ防災計画        | Ward | モデルや見本としての活用  |
| コミュニティ防災マップ、防災カルテ | Ward | 内容の参考、見本としての活用  |

出典：JICA プロジェクトチーム

## 2) 地域防災計画策定の全国展開方策

本プロジェクトでは、ネパール国地方政府への全国展開のために、パイロット地区の地域防災計画とともに地域防災計画策定技術ガイドラインを策定した。本プロジェクトで策定した地域防災計画には、地域防災戦略を含んだものとした。仙台防災枠組のグローバルターゲットの1つは、「2020年までに、国家・地方の防災戦略を有する国家数を大幅に増やす」（グローバルターゲット(e)）である。したがって、本プロジェクトの成果である地域防災計画、地域防災計画策定技術ガイドラインは、仙台防災枠組に貢献するものである。この観点から、地域防災計画の全国展開方策を検討する。

- 地域防災計画策定技術ガイドラインの活用

地域防災計画は災害リスク管理の総合計画、マスタープランとして、非常に多岐に渡る内容から構成されるため、市職員の現状の能力を鑑みると、一から自らの手で策定することは難しいのが現状である。そのため、本プロジェクトでは地域防災計画策定技術ガイドラインを策定した。これは、実効性の高い効果的な計画を策定するためのものであり、計画の詳細な内容や策定手順、計画の記載例、策定に当たり考慮すべき事項等を整理した計画策定支援マニュアルとして策定を行った。本技術ガイドラインを活用することで、ネパール国地方政府への地域防災計画策定、防災戦略設定を支援し、全国展開を図ることが可能となる。

- モデルとしてのパイロット地区地域防災計画の活用

3つのパイロット地区は、異なる地域特性を踏まえて選定し、対象災害もそれぞれ異なる。特性が類似している他市が、パイロット地区の地域防災計画をモデル計画として参考にし、計画策定に活用することができると考える。さらに、パイロット地区地域防災計画は、本プロジェクトで実施したハザード、リスク評価に基づいて策定している。ネパール国においてはこれまで、このようなハザード、リスク評価（被害想定）を基に策定された防災計画は無かった。そのため、地域防災計画策定技術ガイドライ

ンとともに、パイロット地区の地域防災計画は、ハザード、リスク評価による災害リスクの理解促進や、減災目標の設定等、モデル計画の位置づけとして活用できると考える。

- 全国展開に要する体制及び費用の概算

本プロジェクトで策定した成果を活用し、実際に地域防災計画の策定を全国展開するための体制及び費用について検討する。まず、全国展開に当たっては、MoFALD の関与が必要不可欠である。先述のとおり、MoFALD は地域防災計画策定ガイドラインを改定中であり、本プロジェクトではその改定ガイドラインの内容に従い、技術ガイドラインを策定した。すなわち、MoFALD は、ガイドラインを活用し、ネパール国地方政府の地域防災計画策定を推進していく立場にある。さらに、技術ガイドラインは、MoFALD と協議を行いながら策定したものであり、内容に精通しているとともに、本プロジェクトのメインカウンターパートとして、本プロジェクトで実施したハザード、リスク評価に基づく防災計画策定の重要性も理解している。そのため、今後も MoFALD が中心となって改定 MoFALD ガイドライン及び技術ガイドラインを広く周知（各市を集めたセミナー等の開催）し、展開されることが望まれる。

また、各市が計画策定の実施主体となるが、計画策定に必要となる期間及び予算規模を概算すると、表 4.6.3 に示すとおりであり、1 市当たり 300 万ルピー程度が必要になるとと思われる（職員人件費、ワークショップ開催費用、印刷費等）。もしくは、予算の確保が可能であれば、NGO、コンサルタント会社等のリソースの活用も現実的には考えられる。全市での策定を並行的に進めていくことは非常に困難であるため、ネパール国全体として、より効果的に計画策定を推進していくためには、大都市を優先的に策定していくことが、減災効果が高いと考える。

表 4.6.3 地域防災計画の全国展開に要する期間及び費用の概算

|      | 1 市当たりの期間及び費用 | 全市（753 市）完了に要する総期間及び総費用 | 備考             |
|------|---------------|-------------------------|----------------|
| 策定期間 | 1 年           | 5 年                     | 約 150 市策定／年を想定 |
| 費用   | 3,000,000 NPR | 2,250,000,000 NPR       |                |

出典：JICA プロジェクトチーム

## 第 5 章 仙台防災枠組への貢献と災害リスク削減に向けた提言

本プロジェクトは、グルカ地震の直後に開始され、地震災害からのリスク削減のための地震ハザード・リスク評価の実施、BBB 復旧・復興計画、防災計画、緊急対応手順書(SOP)の作成、コミュニティ防災などの活動を実施してきた。それらの活動を通じて、仙台防災枠組の優先行動及びのグローバルターゲットへの達成に向けたネパール国の取り組みに大きく貢献してきた。本プロジェクトの中心的活動である、地震ハザード・リスク評価は限られたデータを基に実施したこと、また、プロジェクトで策定したパイロット市における地域防災計画の防災施策実現に向けては長い道のりであるが、地震リスクを削減するための活動を計画的に実施していかなければならない。

本プロジェクトのまとめとして、本章では、仙台防災枠組へのプロジェクトの貢献、プロジェクト活動の結果を活用した災害リスク削減とカトマンズ盆地及びネパール国の強靱化に向けた提言をまとめる。また、最後には災害リスク削減を支援するためのロードマップを提案する。本プロジェクトの成果が多くの関係者に広く活用され、ネパール国における災害リスク軽減に資することを期待する。

### 5.1 プロジェクト成果を通じた仙台防災枠組への貢献

2005年に兵庫で開催された第2回国連防災世界会議において採択された兵庫行動枠組(HFA)以降、各国ではHFAに基づく防災活動が行われ、法体制の整備、防災組織の設置、組織間連携や地域間連携等の協働体制の構築、防災組織及び職員の能力強化等の組織強化、また、災害リスク評価等の脆弱性の把握に貢献するソフト分野の活動を中心に取り組み、一定の成果を上げてきた。一方、具体的な減災に直結する活動の実施については、予算の不足や知識の不足から、依然として限定的になっている。

2015年3月に行われた第3回国連防災世界会議にて、HFAに代わり仙台防災枠組(Sendai Framework)が採択され、今後15年間の防災活動の国際的基準とすることとなった。仙台防災枠組では、防災の主流化を強調し、4つの優先行動、7つのグローバル目標を設定した。グルカ地震は、仙台防災枠組の採択直後に発生した大規模災害であり、仙台防災枠組の優先行動の一つである「より良い復興(Build Back Better)」の対象として各国から高い関心が寄せられた。本プロジェクトの成果は、仙台防災枠組のグローバルターゲット(達成目標)、優先行動と密接に関わっていると共に、今後の仙台防災枠組に基づく防災活動の実施に向けた取り組みへ直接的に貢献するものとなっている。

グルカ地震の経験及びプロジェクトの活動を通じて、本プロジェクトのC/Pのみならず、ネパール国全体の防災意識は高まっている。その一方、時間の経過と共に、その意識は低下し



ていくことが懸念される。グルカ地震の経験及び本プロジェクト実施を防災の主流化を推進する契機と捉え、ネパール国側が精力的に防災活動を実施していくことが求められる。

本プロジェクトの成果であるリスク評価結果、パイロット市での地域防災計画に基づいた具体的かつ効果的な防災施策の実施に繋げていく必要がある。特に、減災に資する活動として事前投資は直接的な効果が期待できることから、経済的な制限はあるもののネパール国においても段階的に実施していく必要がある。

## 5.2 リスク評価結果活用にかかる提言

シナリオ地震に基づくリスク評価の結果として以下のことが分かった。

- ◇ グルカ地震震源域の南にあるヒマラヤ前縁断層 (HFT: Himalayan Frontal Thrust) を震源とする Central Nepal South シナリオ地震は、断層がカトマンズ盆地南部の直下まで到達している為、グルカ地震より多くの建物、インフラ、ライフライン被害をもたらす可能性があり、大きな人的被害、経済損失が発生すると想定されている。
- ◇ グルカ地震後、ネパール国耐震基準 (NBC) や DUDBC の仕様規定に従い被災した建物の再建が進められているが、既存の建物、インフラ、ライフライン施設、特に学校、病院、政府庁舎など防災上重要と考えられる施設でも、脆弱性の高いものが多数残されており地震リスクは依然として高い。
- ◇ カトマンズ盆地では、さらなる都市化が進むことにより、今後人口、建物が継続的に増加すると予想される。都市計画、建物耐震化等により対策が十分に取られない場合、人口、建物の増加により将来の地震被害は現在より大きくなる。
- ◇ 建物の耐震化対策は、新築だけではなく、既存建物の耐震補強や建て替えの推進も重要である。また、建物全体の耐震性能向上には、耐震基準の改訂、建材、施工技術の開発などに関する検討が重要と考えられる。

将来の地震被害を軽減するため、中央政府及び地方自治体がそれぞれの政策策定、実施体制の整備が重要であり、長期的且つ一貫した努力が必要である。リスク評価結果を受け、実現可能な減災目標の設定、また、それを達成するために、利用可能な資源を動員し、予算措置を含め、具体的な方策、活動を含む防災計画の策定、脆弱な建築物、インフラ、ライフラインの耐震化対策等を今すぐに着手する必要がある。学校、病院、政府庁舎、主要道路上の橋梁等、防災上重要な施設、インフラにおいて優先的に実施することが求められている。リスク評価結果を警鐘として、将来の地震災害リスクを軽減するため、リスク評価結果の活用にかかる提言を以下の通りとりまとめた。

- ◆ ネパール国の建築耐震基準では、設計地震動が明記されていないが、160gal 前後と推測される。リスク評価の CNS-1 の PGA はカトマンズ盆地中心の部では約 150-300gal であり、地方政府の防災計画では CNS-1 のリスクを災害リスク管理のベースラインとすることが考えられる。一方、重要構造物においては、耐震基準では一般建築物に対して

1.5の重要度係数が規定されている。CNS-2の地震動はCNS-1の約1.5倍であり、CNS-2のリスクが重要構造物のリスク管理対象として設定することができる。

- ◆ CNS-1では大破を受ける建物数は6万5千棟以上（全棟数の約15%）に上り、この被害を軽減するためには、新築建物だけではなく、既存建物の耐震性能向上も必要である。これを実現するためには、個人的な防災意識の向上とともに、国としての法整備、技術、予算を含めた推進策が必要である。
- ◆ 本プロジェクトのリスク評価は統計的な手法を用いて評価している。その結果は地域全体の被害程度の理解や、地域間の相対的なリスクの高低の把握に適しており、またリスク管理のベースラインとして活用するのに有効である。その一方、個別の重要構造物等の評価には適しておらず、これら個別重要構造物等に対する耐震補強、建替えを検討する際には個別の耐震性能の詳細評価が必要となる。
- ◆ 個別の構造物に対する評価には適さないとしているが、本プロジェクトでは個別の建物の情報を利用して評価していることから、大破発生確率の高い公共施設建物の評価結果に基づき、その耐震化対策の立案に活用することは可能である。学校を例とすると、大破発生確率80%以上の校舎は62棟、全校舎の約1%を占め、確率50%以上の校舎数は750棟、全校舎の約13%である。被害確率が高いと評価された校舎のほとんどはアドベ、レンガ造であり、特に泥目地の校舎に対しては、耐震補強より優先的に建替えが必要である。校舎の建替えに必要な費用は下表に試算した。建替えは全てエンジニアードRC構造とし、一棟当たりの面積は1,000平方メートルと仮定する。MoUDとMoEは公立学校に対して計画的に耐震補強、建替えの実施及び私立学校に対して耐震化促進策の推進が必要である。

表 5.2.1 学校校舎被害と建替えに必要な費用の試算

| 構造種別          | 校舎被害と建替えに必要な費用 (百万 NPR) |        |            |       |
|---------------|-------------------------|--------|------------|-------|
|               | 大破確率 50%以上              |        | 大破確率 80%以上 |       |
|               | 被害校舎数                   | 建替え費用  | 被害校舎数      | 建替え費用 |
| アドベ           | 9                       | 635    | 8          | 565   |
| レンガ造泥目地、20年以上 | 288                     | 20,333 | 48         | 3,389 |
| レンガ造泥目地、20年未満 | 103                     | 7,272  | 5          | 353   |
| レンガ造セメント目地    | 301                     | 21,251 | 1          | 71    |
| ノーエンジニアードRC   | 46                      | 3,248  | 0          | 0     |
| エンジニアードRC     | 3                       | 212    | 0          | 0     |
| 合計            | 750                     | 26,475 | 62         | 2,189 |

- ◆ リスク評価結果では、多くの学校、病院、政府庁舎等の重要構造物被害が想定された。これら重要構造物の安全性確保は緊急対応時の円滑な対応への貢献だけでなく、未来を担う子供や病人の生命を守ることに繋がり、防災施策の優先順位は高い。その一方、膨大な予算が必要になることから、それらの建物の耐震化施策において、ネパール国の建材、技術を活用して普及しやすい補強技術の開発が求められる。
- ◆ リスク評価の結果は本プロジェクトのパイロット市での防災計画策定、コミュニティ防災活動等にも活用されたが、対象はカトマンズ盆地全域で実施したことからパイロット活動の水平展開活動として、カトマンズ盆地内の他の市において、防災計画策定、コミ

コミュニティ防災活動等を本プロジェクトの活用内容を参考に実施することができる。  
MoFALD の関与による早期実現が求められる。

- ◆ 2016 年及び 2030 年における複数のケースに関するリスク評価結果は、リスク軽減の数値目標の設定に有用な情報を提供し、対象期間、予算などを考慮した減災目標の設定に有効に利用することが可能である。具体的な数値目標を示すことはより具体的な施策が立案できることから積極的な活用が期待される。
- ◆ 地震リスク評価の結果は、地域間、施設間、個別構造物間の相対的なリスクが示されており、防災対策上の優先順位付に活用できる。多くの施策を実施する必要がある災害対策では、優先順位付けが非常に重要であり、地震リスク評価を実施する大きな意義である。
- ◆ ネパールにおいて歴史建造物は主産業である観光の重要な資源であり、地震による被害を最小限に抑える必要がある。天然資材の使用が求められる歴史建造物の維持管理方法として、これら天然資材の活用が脆弱性の一因となっていることが多々あることから、構造ヘルスマニタリング (SHM : Structural Health Monitoring) の定期的な実施が必要となる。雨水による木材の劣化、レンガ壁目地モルタルの劣化の影響は無視できない。外観調査を主とし、木材や屋根タイルの劣化が見つければ定期的に補修・交換することが重要であり、歴史建造物維持管理計画等の整備と共に体系的、計画的に実施する必要がある。
- ◆ カトマンズ盆地内の橋梁は 2015 年グルカ地震によっては重大な機能喪失に至る被害がなかったが、本プロジェクトでシナリオ地震として想定している程度の大きさの地震動を受ければ落橋など重大な被害が発生すると想定されている。これら橋梁の落橋等による被害が発生すれば交通機能は麻痺し緊急車両の交通も妨げられ、発災後の緊急対応活動に絶大な影響をもたらす、この交通機能のマヒにより被害の拡大が懸念される。このような最悪の状況に陥らない為にも特に、緊急道路網上にある橋梁においては、耐震補強や架け替えなど耐震性能向上策の実施が重要である。
- ◆ 地震発生から全ての被害を削減することは困難であるが、如何に早急に都市機能を回復できるかはその後の復旧、復興活動に大きく影響する。地震後の行政機能、インフラ、ライフラインの迅速な機能回復のため、リスク評価結果を活用し、それぞれの事業体の事業継続計画 (BCP) の策定が求められる。
- ◆ 本調査の地震ハザード、リスク評価はカトマンズ盆地における地域防災計画策定、コミュニティ防災活動に情報提供を目的とし、確定論的な手法を用いて実施した。一方、耐震基準で地震荷重の設定には、確率論的な手法が一般に用いられる。よって、本調査の地震ハザードの評価結果はネパールの耐震設計基準 NBC 105 の改訂には直接適用できない。ただし、シナリオ地震の設定時に地震活動に関する検討で得られた知見、カトマンズ盆地の地盤増幅特性に関する検討及び既存建物の耐震性能評価などは耐震基準改訂の参考になりうる。

## 5.3 地震災害リスク軽減における提言

ネパール国では、防災に関する法律の見直しや統合が進められ 2017 年に「防災法 2017 (通称)」が成立した。また、国家防災戦略実施計画 2017-2030 の策定が進められるなど、災害リスク軽減に向けた様々な施策が主に中央政府によって決定され始めている。地震防災に関連した中央政府による具体的な活動も同時並行的に進められており、建築分野では、アドベ構造物、レンガ組積造構造物、RC 造構造物の耐震補強に関するガイドラインが公表されたところである。

一方で、必要とされる構造物対策及び非構造物対策は多岐に渡り、これら対策の実施が喫緊の課題である。ネパール国において地震災害リスク軽減に向けた効果的な施策をさらに継続的に実施していくためには、国・地方・企業・住民の各レベルにおける多様な組織の横断的な連携がより重要となる。限られた予算、人材を効果的・効率的に投入するためにも、必要となる様々な活動の優先順位を検討し、実施計画を立案して計画的に防災施策を実施していく必要がある。

これらの点を踏まえて、プロジェクトの実施を通じて認識された課題を基に、仙台防災枠組の優先行動の内容に沿って、ネパール国の地震災害リスク軽減に向けたロードマップを作成した。その結果を図 5.3.1 に示す。

これら提言内容に基づく、着実な防災施策の実施に繋げるには、実施体制の構築が重要となる。多岐に渡る防災施策を横断的に指揮する組織が必要であり、新防災法に基づく内務省のリーダーシップによる着実且つ継続的な防災施策の実施を進めていく必要がある。各提案施策の予算規模には大きな違いがあるが、比較的予算規模の小さい非構造物対策では、例えばガイドラインや計画の策定には数百万ルピーから数千万ルピーの予算で波及効果や防災施策の実施推進が期待できるため、早期の実施が効果的である。また、構造物対策は直接的に地震リスクの削減に繋がるが、建物の耐震化施策は非構造物対策よりも膨大な予算が必要となることから、学校、病院、政府庁舎等の重要施設や特に脆弱な構造種別からの耐震化、緊急道路ネットワーク沿いの橋梁や空港等の重要インフラから対応する等の優先順位を付けた対策の実施が必要になり、本プロジェクトの結果が有効に活用できる。防災施策は、災害が発生しないことには、その効果が見えにくいことから推進がしにくい性質があるが、一度発生した場合には、持続的な都市の発展に計り知れない負のインパクトを与える。防災施策の実施を単なる支出と捉えるのではなく、投資として捉える土壌づくりが必要であり、本プロジェクトの結果が防災投資を推進するのに有効に活用されることが求められる。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 5.3.1 地震災害リスク軽減に向けたロードマップ