

第 8 章 耐震建築ガイドライン作成・普及並びに人材育成

8.1 今後の震災に備えた建築・建築物に係る基準のレビュー、見直し要否の検討

8.1.1 ネパールの建築基準の概要

1988年のネパール東部地震（マグニチュード6.7）で721名の人命が失われ、3万棟の住宅や数多くの病院や学校が大きな被害を受け、建築物が中規模の地震でも非常に危険な状態にあることが明らかになった。耐震性を考慮する必要があるとの認識のもと、ネパール計画・公共事業省（MPPW 旧住宅・計画省、現 MOUD 都市開発省）の都市開発住宅建築局（DUDBC 旧建築局）において、1993年にネパール国家建築基準（NBC: National Building Code, Nepal）の原案が作成され、1994年にNBCとして公表された。NBCはネパールにとって最初の建築基準法である。DUDBCはその策定時に、国連開発計画（UNDP）および国際連合人間居住計画（UN-HABITAT）の支援を受けている。

8.1.2 建築基準の種類

ネパール建築基準は、その適用対象に応じて表 8.1.1 のとおり 4 つに分類できる。

表 8.1.1 適用条件による NBC の 4 分類

区分	建築基準の種類	目的
1.	国際的基準（一般原則）： NBC 000	構造は（インド等）既存の国際的基準に適合していること。
2.	工学基準： NBC101, NBC102, NBC103, NBC104, NBC105, NBC106, NBC107, NBC108, NBC109, NBC110, NBC111, NBC112, NBC113, NBC114, NBC206, NBC207, NBC208	工学士（大学の工学部を卒業した者）により設計・建設される建築物に適用。 建築面積が1,000平方フィート（約93㎡）以上、3階建て以上、柱間隔が4.5m以上、または不整形の建築物
3.	准工学基準 Pre-Engineered 基準：MRT: Mandatory Rules of Thumb: NBC 201, NBC 202, NBC 205	建築面積が1,000平方フィート（約93㎡）以下、3階建て以下、柱間隔が4.5m以下でかつ工学士のいない地域で技能者による
4.	遠隔地の建築物のための Guideline： NBC 203, NBC 204	2階建て以下で遠隔地の石工・大工による

出典：JICA プロジェクトチーム

また、ネパールの建築基準 NBC は 23 に分かれている。最初の NBC 000 は、国際的基準の適用を含む一般原則を示している。建築基準の番号とその表題を表 8.1.2 に示す。

表 8.1.2 NBC の番号と表題

基準番号	基準の表題
NBC 000	Requirements for State of the Art Design
NBC 101	Materials Specifications
NBC 102	Unit Weight of Materials
NBC 103	Occupancy Load
NBC 104	Wind Load
NBC 105	Seismic Design of Buildings in Nepal
NBC 106	Snow Load
NBC 107	Provisional Recommendation on Fire Safety
NBC 108	Site Consideration for Seismic Hazards
NBC 109	Masonry: Unreinforced
NBC 110	Plain and Reinforced Concrete
NBC 111	Steel
NBC 112	Timber
NBC 113	Aluminum
NBC 114	Construction Safety
NBC 201	MRT: Reinforced Concrete Buildings with Masonry infill
NBC 202	MRT: Load Bearing Masonry
NBC 203	Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Low Strength Masonry
NBC 204	Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building
NBC 205	MRT: Reinforce Concrete Buildings without Masonry Infill
NBC 206	Architectural Design Requirements
NBC 207	Electrical Design Requirements for Public Buildings
NBC 208	Sanitary and Plumbing Design Requirements

出典：JICA プロジェクトチーム

8.1.3 耐震基準の種類

全 NBC のうち耐震構造に関する基準を表 8.1.3 に示す。

NBC105（耐震基準）における地震力算出方法を以下に示す。

$$V = Cd * Wt$$

$$Cd = C * Z * I * K$$

V = 地震力

C = 基本せん断係数

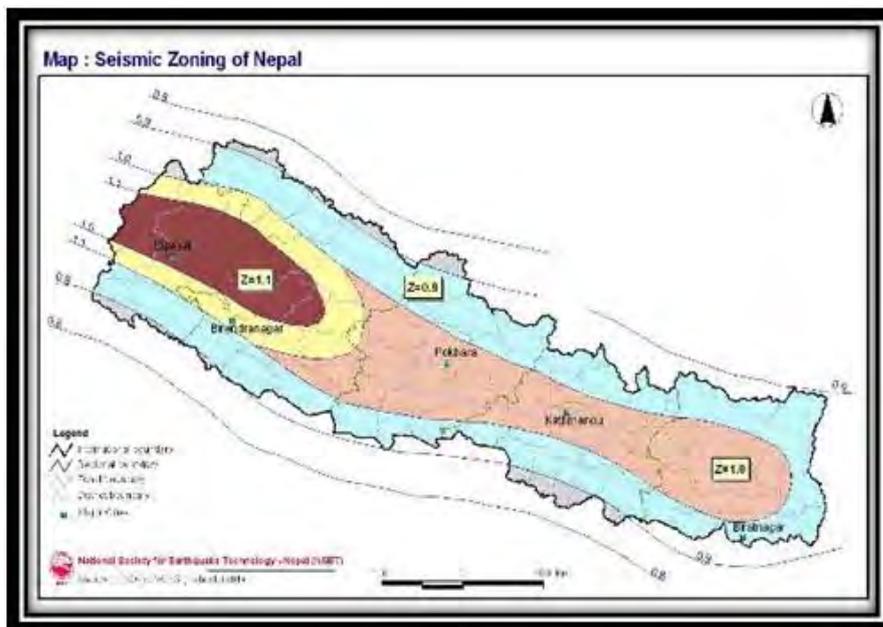
Z = 地域係数（図 8.1.1）

I = 重要度係数

K = 構造別係数

上記の式より、壁式組積造（K-factor = 4）の場合、のせん断係数は以下になる。

$$Cd = 0.08 * 1 * 1.0 * 4 = 0.32$$



出典：NBC105

図 8.1.1 地域係数 Z

表 8.1.3 構造に係る基準

基準番号	基準の表題
NBC 105	Seismic Design of Buildings in Nepal
NBC 202	MRT: Load Bearing Masonry
NBC 203	Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Low Strength Masonry
NBC 204	Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building
NBC 205	MRT: Reinforce Concrete Buildings without Masonry Infill

出典：JICA プロジェクトチーム

NBC200 番台の仕様規定の内、復興住宅の設計には主に NBC202、203、204、205 が該当する。これら仕様規定は詳細な図解で表されており非常にわかりやすい点の特徴である。組積造に関する NBC202、203、204 に掲載されている建設工法は、インドを中心に普及してきたノンエンジニアド建設における各種工法の耐震工法であり、これまでの地震被害の経験の基に提案されている工法である。しかし、これらの建設工法は、これまでの NBC105 の耐震基準に則っているのかこれまで検証がなされていなかった。

特に地震被害が甚大であった泥モルタル組積造に関しては、今後の地震に備えた耐震性の確保に向けて定量的に検証することが必要であるため、JICA プロジェクトチームは、これら各種工法のガイドラインに則ったモデルを NBC105 に準拠しているか否か構造検証を実施し、今後の復興住宅の耐震基準を統一するためネパール政府に提言を行ってきた。

その後、ネパール側でも構造検証を行い、NBC105 に則った構造計算等に基づいて、復興住宅の耐震基準を定量的に統一することとなった。

また NBC202、203、204 は、地震前より改定作業が進んでいるものの、定量的・技術的な統一基準に則って制定されておらず規定間での不整合が見られる。

今回、JICA プロジェクトチームが提言をした構造計算ベースの NBC105 準拠という構造検証を通して、ネパール側も検証を始めたことにより、NBC202、203、204 の改定を再考する必要があるとの見解が生まれてきた。

8.1.4 耐震基準 NBC105 のレビュー

ネパールの建築基準に係る一般原則を示している、NBC000 では、建物の耐震性に関して、「The return period for the onset of damage for a typical building of ordinary importance has been chosen as 50 years. The return period for the strength of buildings has been chosen as 300 years.」と記載されており、建物の損傷限界は、再現期間 50 年の中地震に、安全限界は、再現期間 300 年の大地震に対応するものと設定している。

また NBC 策定の際には耐震設計に係る基準である NBC105 は、“SESMIC HAZARD MAPPING AND RISK ASSESSMENT FOR NEPAL (SHM)” が参考とされている。同文献の中ではネパール全土における 50 年、300 年、500 年の再現期間で発生する地震に対する地表面加速度（Peak Ground Acceleration:PGA）が、3 種類の地盤種別ごとに図示されている。尚、この算出に当たっては、川島一彦氏の距離減衰式が用いられていることも明記されている。この図より、例えば地盤を Type II（Medium Soil Sites）であると仮定すると、カトマンズ近傍および今般の被災地域における PGA は表 8.1.4 のようになる。

表 8.1.4 再現期間と表面加速度

再現期間（年）	PGA（gal）
50	130
300	320
500	360

出典：SESMIC HAZARD MAPPING AND RISK ASSESSMENT FOR NEPAL

2015 年 4 月 25 日に発生した地震の規模は M7.8、強震観測記録は盆地中央の KantiPath での USGS による記録が最大加速度 164gal となっている。今回の地震で唯一地震波形が計測されているカトマンズ盆地では、地表面加速度は、再現期間 300 年で想定している地震（320gal）を下回っており、今回の地震よりも大きな地震力を想定して組み立てられていると言える。

一方、NBC105 耐震基準のせん断力係数（ベースシア係数）は、構造特性係数(K factor)の割増率によるところが大きく、組積造の建物に関しては、隣国インドの基準と比較しても厳しい耐震基準となる。しかし RC 造等の靱性の高い構造に関しては、割増率が低いためインド基準を下回る。このように構造種別の違いにより要求耐震性能が異なるため、構造特性係数(K factor)をふまえた議論が必用である。

また ERAKV では、カトマンズ盆地内で NBC の想定を超える揺れが起こる可能性あるとの結果もあるため、今後、表面加速度、構造特性係数や、昨今の建物高層化に対応した NBC 改定に向けた議論を進めていくべきと考える。

8.2 耐震建築ガイドラインの作成

8.2.1 今次震災において倒壊した住宅/学校の特性分析

2015 年 4 月 25 日 11 時 56 分（現地時間）、ネパール中北部を震源域とするマグニチュード（Mw）7.8 の地震が発生し、首都カトマンズを中心とする広い領域で、主としてレンガ組積造建物が倒壊による多くの被害が発生した。また 5 月 12 日にはカトマンズ北東のシンドゥパルチョーク郡で Mw7.3 の最大余震が発生した。これらの地震により、ネパールでは広範囲におよぶ全 71 郡のうち 31 郡が甚大な被害を受けた。住宅および学校の被害状況は以下に示す。

(1) 住宅

はじめにネパールの主な建築構造種別を以下に示す。

A. 鉄筋コンクリート構造（RC：RC frame + infill）

カトマンズ盆地をはじめ都市部の近代建物の多くはこの構造であり、3～5 階建てが多いが、最近の高層集合住宅では、15 階建てのものもある。

B. 枠組み組積造（CM：Confined Masonry）

先に組積壁を施工し RC フレームを後打ちすることが多い。組積壁が主要な構造体となる壁式工法。RC 柱は小断面のことが多い。カトマンズ盆地での住宅や小規模建築では近年多く採用されている。

C. 無補強組積造（URM：Un-reinforced Masonry）

組積部材は、焼成レンガ、石（片岩）、日干しレンガ、コンクリートブロックという地産地消の材料であり地域によって異なる。またそれらを定着する目地（ジョイント）材料は、セメントモルタル、泥モルタルである。

この工法は、都市部では築 30 年以上のもの、山間部では、庶民住宅建設に現在も使用されている。

またこれらの建築構造種別とは別に施工形態による特徴として、ノンエンジニアド建設が挙げられる。

ノンエンジニアド建設は、地域の職人あるいは住民自身によって建設され技術者が関与していない建設であり、特に地方部の庶民住宅の大半はこの建設形態によって建設されている。

ネパール政府が 2015 年 5 月に発表した住宅の建設工法別被害状況を表 8.2.1 に示す。

31 郡において計 755,549 戸の住宅が被害を受けた。そのうち 498,852 戸（66%）が全壊、256,697 戸（34%）が半壊を被った。755,549 戸の被害戸数のうち 85.8%にあたる 647,892 戸が、泥モルタル組積造による家屋であった。

表 8.2.1 住宅被害状況（ネパール全土）

被害状況	泥モルタル組積造	セメントモルタル組積造	鉄筋コンクリート造	計
全壊	474,025	18,214	6,613	498,852
半壊	173,867	65,859	16,971	256,697
計	647,892	84,073	23,584	755,549

出典：Post Disaster Needs Assessment (Vol. A: Key Finding)

次に表 8.2.2 に示すように 2015 年 8 月にゴルカ郡で入手した地震被害家屋調査結果によると、本震の震源地近傍のゴルカ郡 62VDC/Municipality では、全戸数 72,075 戸のうち、67,364 戸（93.5%）が被害を受けた。内訳は、全被害家屋の 88.4%にあたる 59,523 家屋が全壊と判定されている。また全壊家屋 67,364 戸のうち 98.3%にあたる 66,223 戸が泥モルタル組積造であった。

表 8.2.2 住宅被害状況（ゴルカ郡）

被害状況	泥モルタル組積造	セメントモルタル組積造	計
全壊	59,300	233	59,533
半壊	6,923	918	7,841
合計	66,223	1,151	67,374

出典：ゴルカ DDC

庶民住宅の被害状況の特徴として、典型的なノンエンジニアド建設に被害が集中している。

特に、都市部を離れると、その土地で入手可能な材料を使用し、無補強組積造が主な建設工法であり、特に泥モルタルを使用した石造の組積造が多く、これまでの地震同様、脆弱な構造体であり、被害が甚大になる一因としてあげられる。

1) 山間部での住宅被害事例（図 8.2.1）

今回の地震で被害が甚大であった山間部。建物の大半が被害を受け全壊も多い。

山間部での庶民住宅は、整形した片岩を組積材料とし、目地に泥モルタルを使用した石造が大半を占める。壁厚は 45cm 以上。2～3 階建ても多く、床は木組みであり、屋根は木組みに CGI シート（亜鉛メッキ波板）が多い。また天然スレートを整形した瓦屋根を多く見かけた。他の組積部材では、コンクリートブロック、焼成レンガ、アドベ（日干しレンガ）の建物も散見された。

 <p>Sindhupalchok 郡（石造建物の被害）</p>	 <p>Sindhupalchok 郡(石造建物の被害)</p>
 <p>Dolakha 郡（石造建物の被害）</p>	 <p>Nuwakot 郡(石造建物の被害)</p>
 <p>山間部での各種組積材料</p>	 <p>整形片岩による組積方法</p>
 <p>傾斜地に建つ集落が大多数を占める</p>	 <p>コンクリートブロック造の住宅</p>

出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.1 山間部での被害事例

2) カトマンズ盆地および郊外の住宅被害事例（図 8.2.2）

近年建設したと思われる RC 構造の建物（多くは 3～5 階建て）の被害は無傷あるいは軽微であるが、無補強組積造（2～4 階建て）の多くが全壊か半壊であった。組積材料は、日干しレンガか、あるいは外部に面するところのみ焼成レンガが使用されており、目地部材は泥モルタルが大半である。特に外周部に焼成レンガを使用している建物では、壁内での剥離が顕著に起こっていた。壁厚は 2 枚積みで最上階は 1.5 枚積みが多く見られた。古いものでは 3 枚積みの壁厚の構造体もあった。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.2 カトマンズ盆地および近郊の住宅被害事例

3) 被害事例の考察

今回の地震で甚大な被害を被った建物は、組積部材こそ様々であるが、目地に泥モルタルを使用しているものが大半である。泥モルタルは、低強度であり、特に付着強度が低いいため、建物の振動時に部材間の付着がなくなり、脆性破壊を起こす起因になっていると考えられる。特に異質部材である石と泥モルタルの付着は低いと考える。

通常、建物の地震被害の典型的な低層部分がせん断破壊を起こすケースは、RC造などの強度がある建物に見られるものの、泥モルタルを使用している建物では皆無に近い。泥モルタルの組積造建物は、壁上部の面外崩壊、または壁が組積体の一体性を失うことによる崩壊が多いと見られることから、1階壁にせん断力が伝わる以前に壁内部の破壊が起こっていると考えられる。（図 8.2.3）



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.3 1階部分面内被害と2階部分面外被害

次に、ネパール地震の被害事例を基に、面外破壊の崩壊モードと目地強度の関係を考察する。以下に目地強度が低い状態から、目地強度が高くなるにつれての崩壊モードを示す。

- Case 1. 目地強度がかなりの低強度であるため、微動または高周期の振動により目地部材の破壊（付着欠損、目地材の粒子化）により組積壁内の要素が分離し、組積部材の落下に至る。この崩壊は組積部材が広範囲に飛び散らず、既存壁周辺に垂直崩落している。
- Case 2. 目地強度が Case 1 より強い場合、あるいは変位がある程度ある振動の場合、典型的な面外崩壊が見られる。Case 1 より組積部材が壁高さ程度に飛散するケースが見られる。また目地強度があるため、壁を構成する組積体としてのセグメントとして壁上部から倒壊する。
- Case 3. 目地強度が比較的確保されている場合、壁一面の面外崩壊を起こす。直行壁との隅各部の剥離によるものが多く、隅各部の壁組積部の引張り破壊が顕著に発生する。

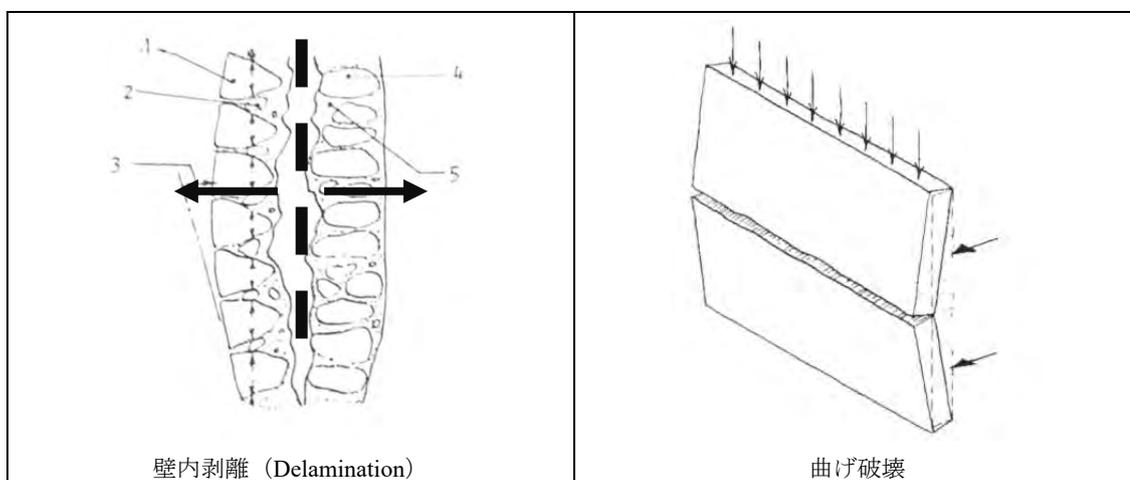
図 8.2.4 に、崩壊モードと各ケースの事例を示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.4 目地強度と崩壊モードの被害事例

既往研究^{8, 9}から、上記崩壊モードに関して、目地強度が低い場合の壁内の剥離 (Delamination) を図 8.2.5 左、壁が一体化している場合での自重による曲げ破壊を図 8.2.5 右に示す。Case1 では、Delamination が起こった後、組積体の石材が自重により落下している。



出典：GUIDELINES FOR EARTHQUAKE RESISTANT NON-ENGINEERED CONSTRUCTION

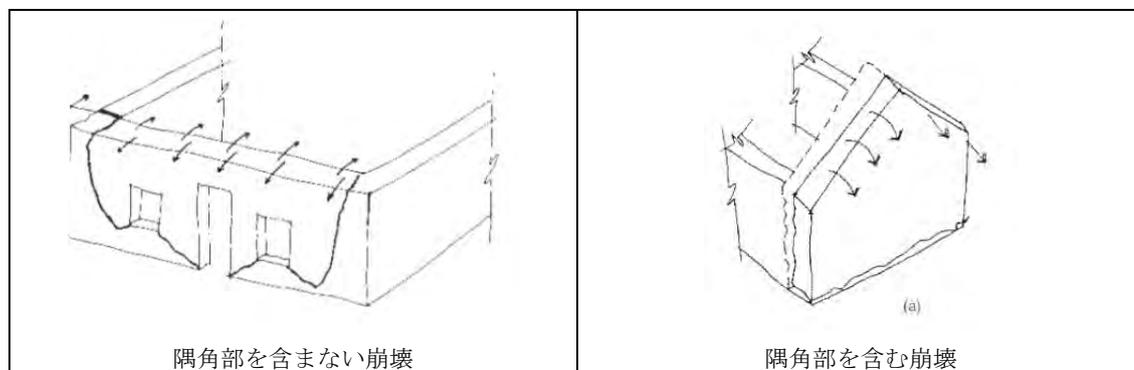
出典：Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structure

図 8.2.5 Case1 の崩壊パターン

⁸ 図 8.2.5 (右)、図 8.2.6、E.Leroy Tolles, et al., Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structure/E.Leroy Tolles, et. P55, P57

⁹ 図 8.2.5 (左)、IAEE, Anand S. Arya, Teddy Boen, Yuji Ishiyama, et al., GUIDELINES FOR EARTHQUAKE RESISTANT NON-ENGINEERED CONSTRUCTION, 1986, P1

また Case2 から Case3 への変化は、目地強度の差異により組積体としての壁強度が増すことで壁が一体化し耐力が向上する。その次の崩壊モードとして、建物の隅各部に応力が集中することにより、隅各部の直行壁との接合部に剥離が起これり、壁全体で面外崩壊を起こす（図 8.2.6）。



出典：Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structure

図 8.2.6 面外崩壊パターン

このように目地強度によって崩壊モードが変わるものの、面外崩壊が顕著に起こっており、上記したように 1 階壁にせん断力が伝わる以前に壁内部の破壊が起こっていることから目地強度が極度に不足していることが考えられる。

(2) 学校

学校の復旧・復興事業は、ADB、JICA、DOE の 3 組織で進められてきている。

今回の震災で主に被災した 14 郡の中で、JICA は 6 郡（ゴルカ、ダディン、ラスワ、ヌワコット、マクワンプル、ラリトプール）を支援し、ADB は 8 郡（カトマンズ、バクタプール、シンドパルチョーク、カブレプランチョーク、ドラカ、ラメチャップ、シンドゥリ、オカルドゥンガ）の早期幼児期開発(ECD: Early Childhood Development)と小中学校を（Grade1-12）を支援することになった。

1) 初期被害状況調査とサイト調査

表 8.2.3 は、震災後に DOE により実施された初期被害状況調査の結果である。JICA が支援する 6 郡には、2,419 校の小中学校（公立・私立の両方）が存在し教室数は 25,503 である。これらの被害状況は、9,058 教室（36%）が全体にわたる被害、2,819 教室（11%）が大規模な被害、3,969 教室（16%）が小規模な被害であり、6 割の教室が何らかの被害を受けたことになる。

6 郡の中で全体にわたる被害（倒壊を含む）を受けた教室数が最も多いのはゴルカでその次にヌワコット、そしてダディンと続く。一方で全体にわたる被害を受けた教室の割合が最も高いのはラスワである。

表 8.2.3 JICA 支援対象 6 郡の小中学校被害状況

郡	学校数	全教室数	全体にわたる被害を受けた教室		大規模な被害を受けた教室		小規模な被害を受けた教室	
			教室数	%	教室数	%	教室数	%
ゴルカ	495	5375	2975	55%	99	2%	1187	22%
ダディン	608	5894	2140	36%	946	16%	908	15%
ラスワ	98	1020	635	62%	13	1%	98	10%
ヌワコット	485	5188	2622	51%	823	16%	807	16%
マクワンプル	533	5572	383	7%	461	8%	969	17%
ラリトプール	200	2454	303	12%	477	19%	0	0%
小計	2,419	25,503	9,058	36%	2,819	11%	3,969	16%

出典：Education Cluster 3W analysis, 2015 年 7 月 14 日版

図 8.2.7 は、2015 年 7 月に実施した学校の被害状況の視察結果（ゴルカ郡 Palungtar VDC が 1 校、シンドパルチョーク郡 Pipaldada VDC が 1 校、カトマンズが 2 校の計 4 校）である。建物 A、C、D の構造は「鉄パイプのフレームと石による組積壁」で、すべての建物で組積壁に被害が確認された。A は破風部分周辺のみでの崩落、C は腰壁より上の壁面が崩落（崩落後の石は既に撤去されている）に対し、D は完全に壁面すべてが崩落している。建物 B の構造は「煉瓦による組積壁」で、建物 A と同様の破風部分周辺のみでの崩落が確認された。

建物 A、C、D は施工業者が請け負って建設したものでなく、住民主体のコミュニティ・ベースによる建設である。基本的に地域住民が組積壁の施工をするため、品質が一定でない可能性が指摘される。これらすべての建物の組積壁において、「臥梁（がりょう）や楣（まぐさ）」などの補強材がないこと、石と煉瓦の目地材がすべて泥モルタルであることが、崩落に大きく影響していると考えられる。特に泥モルタルは石や煉瓦の付着強度が低く、振動時に脆性破壊を起こす起因になるものと考えられる。また、最も被害が大きい D については、斜面に建設されていたことも影響している可能性がある。

カトマンズ市内に建設された建物 E、F の構造は「鉄筋コンクリートのフレームと煉瓦による組積壁」である。これらの建物ではフレームと壁面の両方とも被害は確認されなかった。これらは施工業者により建設されている。

場所	ゴルカ郡パルンタル VDC	
学校	Shree Bhawani Higher Secondary School	
写真		
	建物 A	建物 B
構造	鉄パイプ・フレーム+組積壁（石）	組積壁（煉瓦）
立地	平坦	平坦
施工	コミュニティ・ベース	施工業者

場所	シンドパルチョーク郡ピバルダダ VDC	
学校	名称不明	
写真		
	建物 C	建物 D
構造	鉄パイプ・フレーム+組積壁（石）	鉄パイプ・フレーム+組積壁（石）
立地	平坦	斜面
施工	コミュニティ・ベース	コミュニティ・ベース

場所	カトマンズ市	
学校	Ratna Rajya Secondary School	
写真		
	建物 E（外観）	建物 E（室内）
構造	鉄筋コンクリート・フレーム+組積壁（煉瓦）	
立地	平坦	
施工	施工業者	

場所	カトマンズ市	
学校	Sharada Secondary School	
写真		
	建物 F（外観）	建物 F（室内）
構造	鉄筋コンクリート・フレーム+組積壁（煉瓦）	
立地	平坦	
施工	施工業者	

出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.7 被害を受けた学校の視察結果

2) 学校構造被害評価

学校の詳細被害調査は世界銀行により実施されたが、結果の公開が当初の予定より遅れていた。その結果が2016年4月に「学校構造被害評価（SIDA（Structural Integrity and Damage Assessment））」報告書として公開された。以下に報告書に関する目次、構造被害評価結果の要点を記す。

a) SIDA 報告書の目次

SIDA 報告書は全体で8章からなり、目次は以下である。（表 8.2.4）

表 8.2.4 SIDA 報告書の目次

Title: SIDA: Structural Integrity and Damage Assessment of Educational Infrastructure in Nepal, phase 1	
Chapter	Main Contents
1	Scope and objectives
2	Public school infrastructure portfolio
3	School Access
4	Structural characterization and vulnerability 4-1 Overall School Infrastructure 4-2 Masonry School Buildings 4-3 Reinforced concrete framed school buildings 4-4 Steel framed school buildings 4-5 Timber school buildings
5	Damage assessment after the April 25th 2015 earthquake 5-1 Affected vs unaffected school buildings 5-2 Overall damage state of school buildings 5-3 Re-occupancy of school buildings after the earthquake 5-4 Masonry School Buildings 5-5 RC Framed Structure 5-6 Steel Framed Structure 5-7 Timber Framed Structure
6	Functional needs assessment
7	Emergency planning
8	Principal conclusions of Phase 1 of SIDA

出典：SIDA: Structural Integrity and Damage Assessment of Educational Infrastructure in Nepal, phase 1, results and findings

b) SIDA 報告書の要点

SIDA 報告書の構造被害評価結果の要点は以下である。（表 8.2.5）

表 8.2.5 SIDA レポートのキーファインディング

Key Findings
<p>1. School Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> • There are altogether 3,115 schools, 9,259 school buildings, 24,984 classrooms and 9,256 additional rooms in 8 districts. Approximately three fourth of the total rooms in the school infrastructures are used as classrooms. • The average school facility in all districts have an average of 3 buildings per school. • 52% of the overall school facilities are located in lands owned by the school. • The primary funders of school infrastructure are: DoE/MoE, local community and school, JICA, EAARRP. • 70% of school buildings are constructed by local craftsmen provided by the community. • 90% of school infrastructure is located in rural areas. The majority of urban schools are located in the Kathmandu valley. • The condition of the roads that provide access to school facilities are in general poor. • About 20% of the total toilet facilities are non-functional. Only half the total functioning toilets have good conditioned wash facilities. • Most of the schools have safe space available to assemble in case of an emergency event. Also there are two or more exit points from the school premises in most of the schools. <p>2. Basic structural categorization</p> <ul style="list-style-type: none"> • 52% of school buildings are made of masonry, followed by 29% of steel framed buildings and 12% of reinforced concrete buildings. • Masonry has been the structural typology most used on the construction of schools since it is based on locally available materials and construction technologies well known by the local community. • About 63% of masonry school buildings are made of stone masonry. Among these stone masonry buildings, the majority is laid on mud mortar and more than a half are made of rubble stone. • Almost all of the steel framed structures from all the eight districts are single storied except Lalitpur where two of the steel framed buildings are two storied. Most of these buildings are regular in plan and have rectangular shape. • Stones are mainly used as the infill masonry for the steel framed buildings. About 72% of the used stone in the masonry are rubble stone. • The infill walls in RC buildings are normally made of brick masonry laid in cement mortar, except in some remote districts of Okhaldhunga and Ramechhap. <p>3. Vulnerability Assessment</p> <ul style="list-style-type: none"> • About 50% of masonry school buildings are irregular in plan. Almost 90% of multi-story masonry school buildings are irregular in elevation. • The majority of masonry school buildings have large openings. The presence of large openings makes the building vulnerable to earthquake. Also, the majority of masonry school buildings have unbraced roof structures that are not properly anchored to the walls. • The inclusion of seismic enhancements in the design and construction of masonry school buildings is not a common practice till now. It is recommended to have such practice in future. • Only 6% of masonry school buildings have been retrofitted, being the majority of them located in Kathmandu valley. • About 68% of RC school buildings are non-engineered making them vulnerable to earthquake. • Most of the steel framed buildings in all districts have large openings in walls making it vulnerable during earthquakes. <p>4. Damage Assessment</p> <ul style="list-style-type: none"> • There are about 57% of the buildings (5,157) and about 56% (13,644) class rooms affected during earthquake. There are either structural damage or major nonstructural damages in these buildings. • 54% of single storied and 39% of the multi-storied buildings are affected. Multi storied timber framed buildings are more affected. • In RC buildings, the damage for non- engineered buildings as compared with engineered buildings are more in number. The cracks around the openings are found in most of the buildings. • In masonry buildings, limited number of walls (up to 49%) are collapsed in out of plane. About 40% of the gable walls are damaged fully or partially. • In general, there is no damage to the steel frame structures of the buildings. Though some of the frames are suffered from corrosion. Cracks around the openings were found in most of the walls. 13% of the walls are collapsed completely or partially and 12% of the walls have major in-plane failure. • More than half of timber framed buildings are damaged to some extent.

出典 : SIDA: Structural Integrity and Damage Assessment of Educational Infrastructure in Nepal, phase 1, results and findings

8.2.2 既存建築基準、設計・施工の実務実施状況レビュー、耐震面の課題整理、基準違反建築の背景およびメカニズムの背景

(1) 建築基準の執行体制

NBC は、1998 年の「建築法」によって設立された MPPW の建築建設システム改善委員会により 2003 年に施行が決定され、2006 年の MPPW の告示により「すべてのムニシパリティおよびいくつかの VDC で NBC の施行は義務化する」と官報に掲載された。NBC の成立からその後の展開に至る経緯と施行機関は表 8.2.6 のとおり。

表 8.2.6 建築基準関連法と関係省庁・機関

法制度	主務官庁	担当機関の業務
建築法 1998（2007 年改正） （Building Act 1998）	建築建設システム改善委員会	建築基準の制定、施行の促進、基準の普及、施行の監督、NBC 基準の改訂
	計画・公共事業省 （MPPW：現 MOUD）	建築基準の承認 建築基準の施行義務の公示の発行
	都市開発・住宅建築局 （DUDBC）	Municipality の管轄区域外での建築基準施行 建築基準順守の監督
	Municipality	建築基準順守の実施
地方自治法 1999（分権法）	Municipality	建築許可（建築基準の条文は含まず）
	Municipality の区域内の建築主	Municipality の条例順守と建設前の公的許可
建築基準 NBC 2003	すべての関係者・機関	承認された NBC
MPPW 告示（2006 年 2 月）	すべての Municipality、郡、VDC	建築法の施行の義務化

出典：JICA プロジェクトチーム

(2) NBC の実務実施状況のレビュー

地震前の NBC の実施状況とは、ネパールにおける建築許可制度の実施状況に置き換えられる。これらは、制定、施行はなされているが、実施されているのは一部の「Municipality」に限られる。それ以外の「Municipality」とすべての「VDC」については、建築許可制度が実施されていない。

建築許可制度の施行の経緯を以下に示す。2002 年、NBC の公式の施行に先立って、ラリトプールがネパールで最初に NBC の施行を開始した。2004 年には首都のカトマンズ、2006 年ダーラン、2008 年イラム、2010 年にヘタウダ、2011 年にビルガンジとビラス、2012 年にはブトゥワル、バラトプール、ドリケル、バネパとパナウティが NBC の施行を開始している（2012 年までに全 191 Municipality の内 12 Municipality）。その後、2013 年にさらに 5 都市、2014 年に 9 都市が開始し、2014 年末現在で計 26 都市がネパールで NBC を施行している。

地震以前より、実施可能な「Municipality」の数を増加させる計画があったものの、各 Municipality 役所での技術系職員の確保が課題となっていた。今回の震災を受けて、2016

年 11 月に NRA より発表した Inspection SOP にて、Municipality 内に建設する全復興住宅は建築許可を受けることとなった。

2015 年 4 月時点での、建築許可制度を執行している都市を図 8.2.8 に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.8 建築許可制度を施行している都市

(3) 耐震面から見た課題整理と違法建築物が建設される背景およびメカニズム

建築基準に準じた建物が普及することは、耐震性が向上した建物が増加することと同様の意味を持つ。建築許可制度は、行政の立場からその目的に対してのアプローチである。しかし、ネパールのような開発途上国では多くの課題が挙げられている。

- 耐震建築基準施行の諸課題
- 地方自治体や関係者の受容能力
- 公務員の建築監視技術の不足
- 低給与のスタッフ
- 専門的技術訓練および継続研修の欠如
- 建築士、請負業者そして現場従事者の技術および理解不足
- 耐震建築基準に対する技術者の動機不足
- 社会的・経済的障害
- 市民の意識の欠如

- 誤った認識－耐震建築基準に沿うには高コスト
- 多数を占める非公式建築

特にネパールでの違法建築が多い理由として、以下のケースを挙げる。

- 建築基準の実施市町村数がまだ少ない
(原因) 市町村での建築技術者の人材不足
国や技術者団体 NGO による普及活動不足
市町村長や住民の理解不足（今回の地震で改善か）
- 実施している市町村では、現場検査ができていない
(原因) 建築申請時のチェックはするが後の余裕がない
建設後の上階への増築が多く、完了報告が出ない

(4) NBCに関するネパール政府の対応

1) 2次設計としてプッシュオーバー解析

現行 NBC105 の耐震基準では、損傷限界が再現期間 50 年の地震、安全限界が再現期間 300 年の地震として設定されているものの、2 段階設計を取り入れておらず、実際には K factor などの係数を調整することで、1 次設計である再現期間 50 年の地震に対してクライテリアを満足していれば、300 年に対するクライテリアも満足するものとされている。

2 段階設計とは、1 次設計は損傷限界（各部材の弾性域）の許容応力度計算、2 次設計は、安全限界（各部材の塑性域）の終局耐力計算が行われる。日本では、1981 年の建築基準法施行令改正（新耐震）によって、1 次設計、2 次設計の概念が導入された。

2 次設計の方法として代表的なものはプッシュオーバー解析である。プッシュオーバー解析では、荷重を増加させた時の骨組内部の応力状態や骨組全体の変形状態を把握しつつ最終的な変形状態での耐力を求めることになる。したがって、プッシュオーバー解析では、部材や骨組の変形能力を直接反映させた検討が可能となる。

そこで今回の学校関係で政府と関係機関との耐震基準の議論の中で、2 次設計としてプッシュオーバー解析を取り入れることにより、これまでネパールの耐震建築基準では、仮定の領域であった終局までの性能を明らかにすることを提案している。尚 JICA はオプションでプッシュオーバー解析を実施している。

またこの考え方は、今次の地震によりカトマンズ盆地内で被害が多かった高層マンションに対しての耐震性向上に非常に有効的であり、NBC105 の改定案として提案できるものと考えられる。

2) NBC105の耐震基準とNBC200番台の仕様規定の検証

今次の地震被害が甚大であった泥モルタル組積造に関しては、今後の地震に備えた耐震性の確保に向けて定量的に検証することが必要であるため、JICAプロジェクトチームは、これら各種工法のガイドラインに則ったモデルをNBC105に準拠しているか否か構造検証を実施し、今次の復興住宅の耐震基準を統一するためネパール政府に提言を行ってきた。

その後、ネパール側でも構造検証を行い、NBC105に則った構造計算等に基づいて、復興住宅の耐震基準を定量的に統一することとなった。

またNBC202、203、204は、地震前より改定作業が進んでいるものの、定量的・技術的な統一基準に則って制定されておらず規定間での不整合が見られる。

今回我々が提言をした構造計算ベースのNBC105準拠という構造検証を通して、ネパール側も検証を始めたことにより、NBC202、203、204の改定を再考する必要があるとの見解が生まれてきた。

その他、NBC基準および実施体制を含めてのレビューは、2009年7月のUNDP/ERRP Project (NEP/07/010)¹⁰によってNBCの課題として既に詳細に整理されている。その中でもNBC200番台のMRTに関する議論が重要であるので、ここに記す。

ERRP報告書では、MRT (Mandatory Rules of Thumb)はNBCから外すべきと提言している。理由として、「多様なタイプの建築の内ほんの一例にすぎないものであり、NBC基準の詳細が描かれているからである。この文書は不完全であり、火災基準、設備基準や環境基準といった他の基準の要求事項に触れていない。品質基準や建設の複合性は考慮されていない。NBCを早くから採用しているラリトプール市では、MRTに一定の変更を加えている。この文書は、基準の要求を満たした適切な設計の指針となるモデル事例の開発とすべきで、建築基準の一部とするべきではない。」としている。しかし2009年6月29日に開かれたDUDBCとERRRPとのワークショップにおいて、DUDBC側から、「NBCの執行や改定は挑戦課題であるが、大規模建築物の安全は設計者が責任を負うべきで、MRTは最近パキスタン、イランやバングラデシュでも採用され始めネパールでは28,000棟の既存建築をMRTに照らして調査するなどし、NBCの一部として今後も国の威信をかけ位置付けることとしている」と回答されている。

この議論を通してだと考えられるが、NBC202、205の改訂版では、タイトルがMRTからガイドラインに改定されている。しかし技術的な内容に齟齬が多いため、NBC105に準じた構造検討を通して、整理し改定すべきである。

¹⁰ Recommendation for Update of Nepal National Building Code: Final Report
http://errrp.org.np/document/study_report/NBC%20Update-%20Final%20%20Report-Building%20Code%20July%2015%2009.pdf

(5) 各種学会等による調査結果の活用

日本建築学会調査団、防災科学技術研究所調査団、文化財関係者、SATREPS 関係者等と連携を図っており、耐震基準等に関して情報共有を行い、被害調査分析等、本事業にも活用している。

8.2.3 耐震設計ガイドラインの作成

(1) 住宅

1) 関係機関との協議

プロジェクト開始時より、耐震建築ガイドラインの策定に関して、先方政府、他ドナー、および有識者と協議を行ってきた。以下に、住宅再建に関する技術委員会を記す。

a) Technical Working Committee (TWG)

DUDBC, World Bank, JICA, Shelter Cluster, Local NGO らのメンバーにより 2015 年 8 月から、この委員会を通して今次震災による住宅再建の耐震建築ガイドラインの作成を行ってきた。耐震基準として、ネパール国の建築基準法であり、特に NBC200 番台にある各種工法のガイドラインの普及が喫緊の目標としてあげられている。まずテクニカルワーキンググループでは、NBC の守るべき最小基準として“Minimum Requirements”を策定している。2015 年 9 月 14 日、NPC 主催による復興住宅の耐震基準に関するワークショップ（Technical Workshop on Rural Housing Designs）が開催された。

b) 国内支援委員会

① 第 1 回国内支援委員会（2015 年 12 月 4 日）

第 1 回支援委員会では、プロジェクト全体像の共有と諸課題にかかる意見交換を行い、今後のプロジェクトの方向性について協議を行った。住宅再建関係の結論として、BBB の観点からもセメントモルタルの推奨と普及方策の検討を進めていくこととなった。しかし、地方部では約 77% が泥モルタル住宅を選択するとの予測もあることから、泥モルタルを含め、技術的根拠に基づく住宅デザインを検討する必要があることが確認された。各モデルの耐震性に関して、構造計算、解析により定量的に示す必要性が確認された。

② 第 2 回国内支援委員会（2016 年 2 月 5 日）

第 2 回支援委員会では、モデル住宅および MR が耐震基準である NBC105 を満たすか否か、構造計算、解析を行い耐震性能の検討を行った。それら結果に関して協議を行った。結論として、BBB の耐震強度の要件を、NBC105 として、耐震強度を満たすか満たさないかの検証は構造計算によることが確認された。これら構造計算結果を踏まえて、できるだけ住宅価格を低減させる工夫を行った上で、ネパール政府に必要な対応、提言を申し入れることとなった。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.9 第1回国内支援委員会



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.10 第2回国内支援委員会

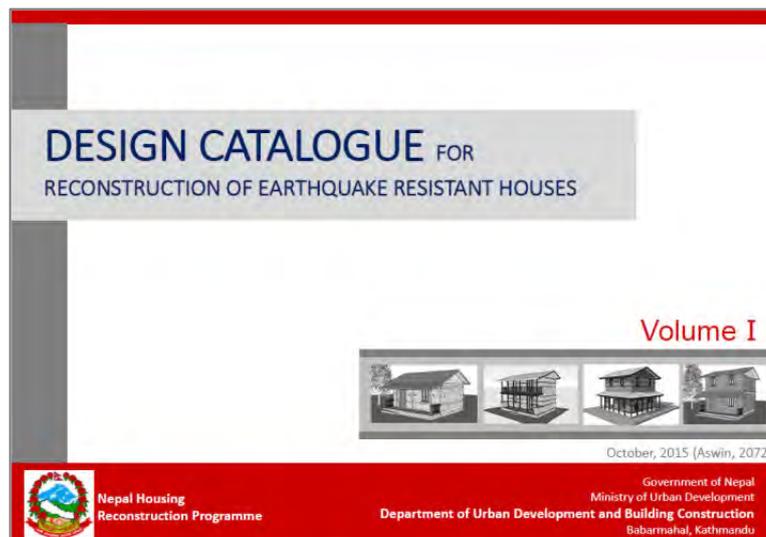
c) Technical Standardization Committee (TSC)

2015年12月にNRAが設立したことにより、技術委員会もNRA、JICA、WB、有識者のメンバーにより、新たな体制となった。国内支援委員会の結果を基に、JICAの構造検討を踏まえた構造基準に関して、TSCにて耐震基準設定の協議を重ね以下の結論に至った。

- 復興住宅の耐震基準をNBC105とする。
- 耐震強度を満たすか満たさないかの検証は構造計算による。
- 木バンドに関しては、再度NRA側でも木材の材料係数や接合部詳細を調査・検討の上、構造検証を行う。
- これら構造検証の結果を元に、今次の復興住宅の基準となるMRを作成する。
- MRは細部に渡るため、建築工法毎に作成する。

2) 復興住宅カタログ

2015年9月13日にNPC主催の復興住宅セミナーにてDUDBC、JICA、NGO、民間会社から復興住宅のプロトタイプが発表された。その後テクニカルワーキンググループ(TWG)の技術的検討を経て、11月にDUDBCより復興住宅カタログ第1巻(Design Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant houses, Vol.1)が公表された。復興住宅カタログには、NBC202とNBC203に準拠した組積造(石、レンガ)+目地(セメント、泥)が17タイプと、ミニマムリクワイヤメント(MR)(NBC202、NBC203)が掲載された。住宅再建する住民は、この住宅カタログから住宅タイプを選ぶことにより、耐震性を考慮した住宅設計を入手でき、建築許認可制度を簡易化することができる。JICAは、BBBのコンセプトを反映した復興住宅モデルをネパール政府に提案し、この復興住宅カタログ第1巻に6タイプの復興住宅モデルが掲載されている。JICAのモデルは、BBBの方針に基づき耐震性を最優先したセメントモルタルを使用した組積造(石、レンガ)に鉄筋コンクリート(RC)の水平バンドを配したモデルである。



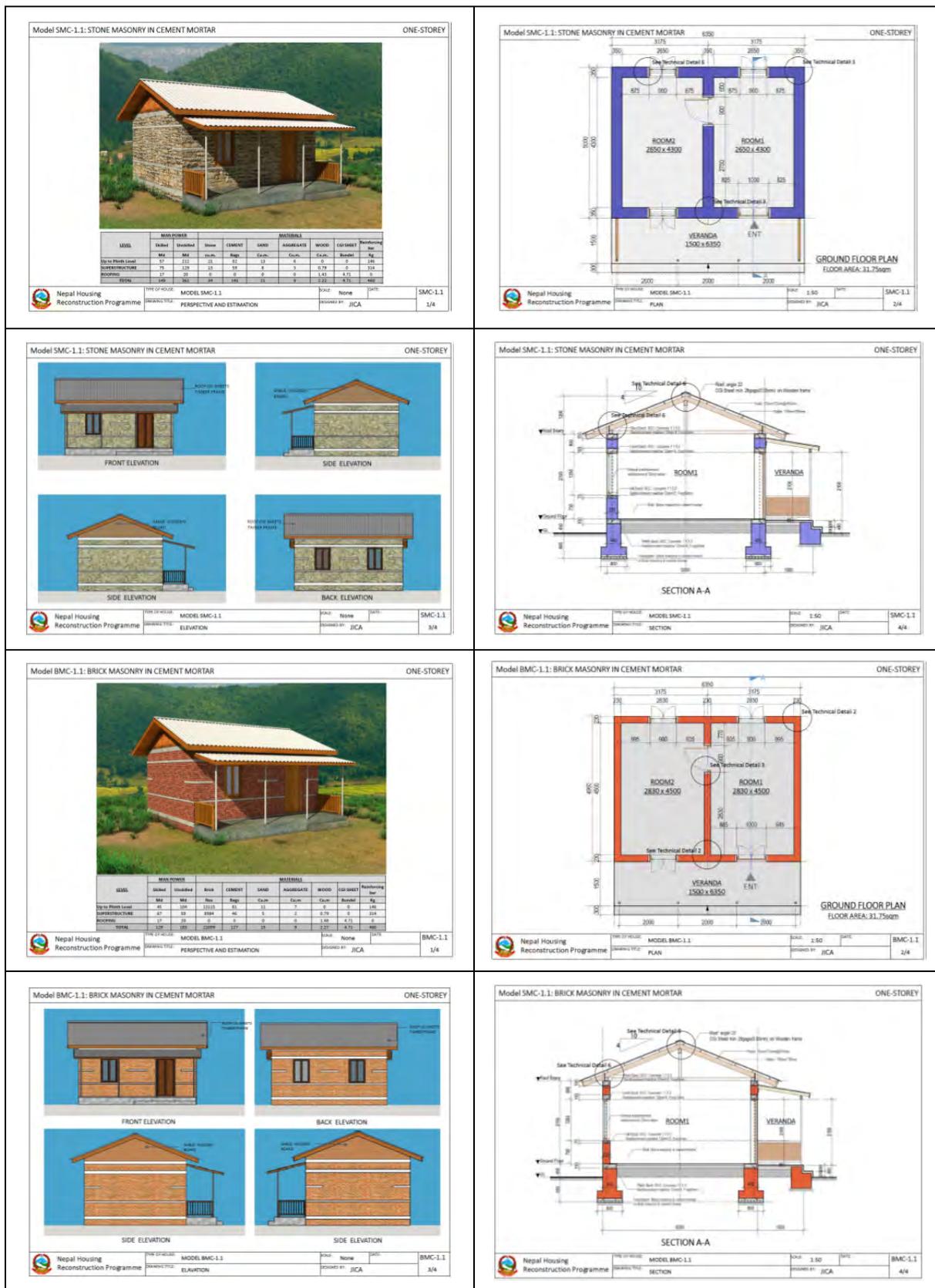
出典：Design Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant houses, Vol.1

図 8.2.11 復興住宅カタログ第1巻

表 8.2.7 住宅カタログ内のモデルリスト

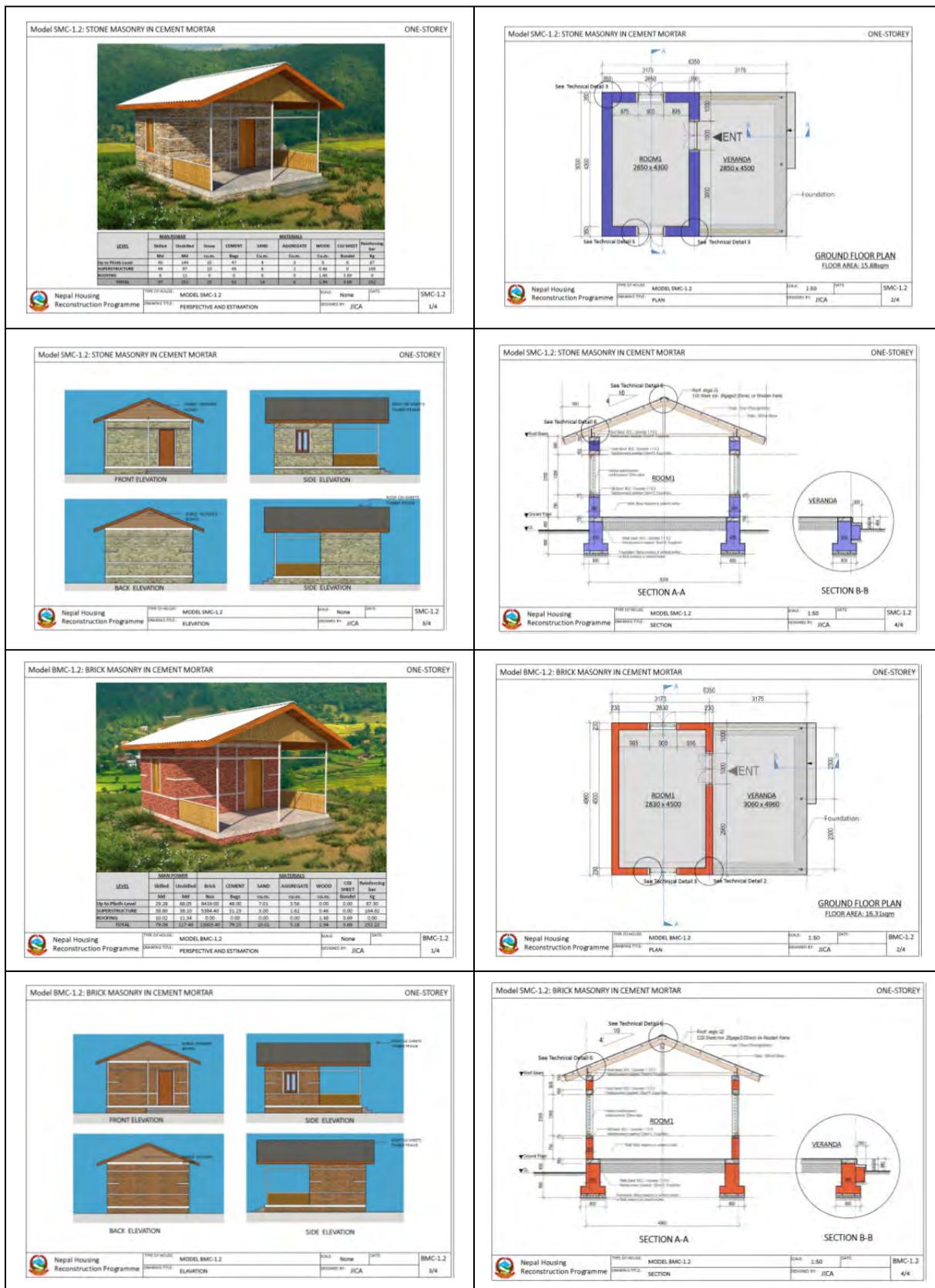
Structural Type	No. of Floor	Model No.	Designed by	Page
Stone masonry in cement mortar, P5-	1	SMC-1.1	JICA	9
	1	SMC-1.2	JICA	15
	2	SMC-2.1	JICA	21
	2	SMC-2.2	DUDBC	27
	2	SMC-2.3	DUDBC	33
	2	SMC-2.4	DUDBC	39
	2+ATTIC	SMC-2.5	DUDBC	45
	2+TERRACE	SMC-2.6	DUDBC	51
		Technical details		57
	Flexible design		67	
Brick masonry in cement mortar P71-	1	BMC-1.1	JICA	75
	1	BMC-1.2	JICA	81
	2	BMC-2.1	JICA	87
	2	BMC-2.2	DUDBC	93
	2	BMC-2.3	DUDBC	99
	2+ATTIC	BMC-2.4	DUDBC	105
	2+TERRACE	BMC-2.5	DUDBC	111
	Technical details		117	
	Flexible design		126	
Stone masonry in mud mortar, P129-	1	SMM-1.1	DUDBC	135
		Technical details		141
		Flexible design		143
Brick masonry in mud mortar, P147-	1	BMM-1.1	DUDBC	153
		Technical details		159
		Flexible design		161

出典：Design Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant houses, Vol.1



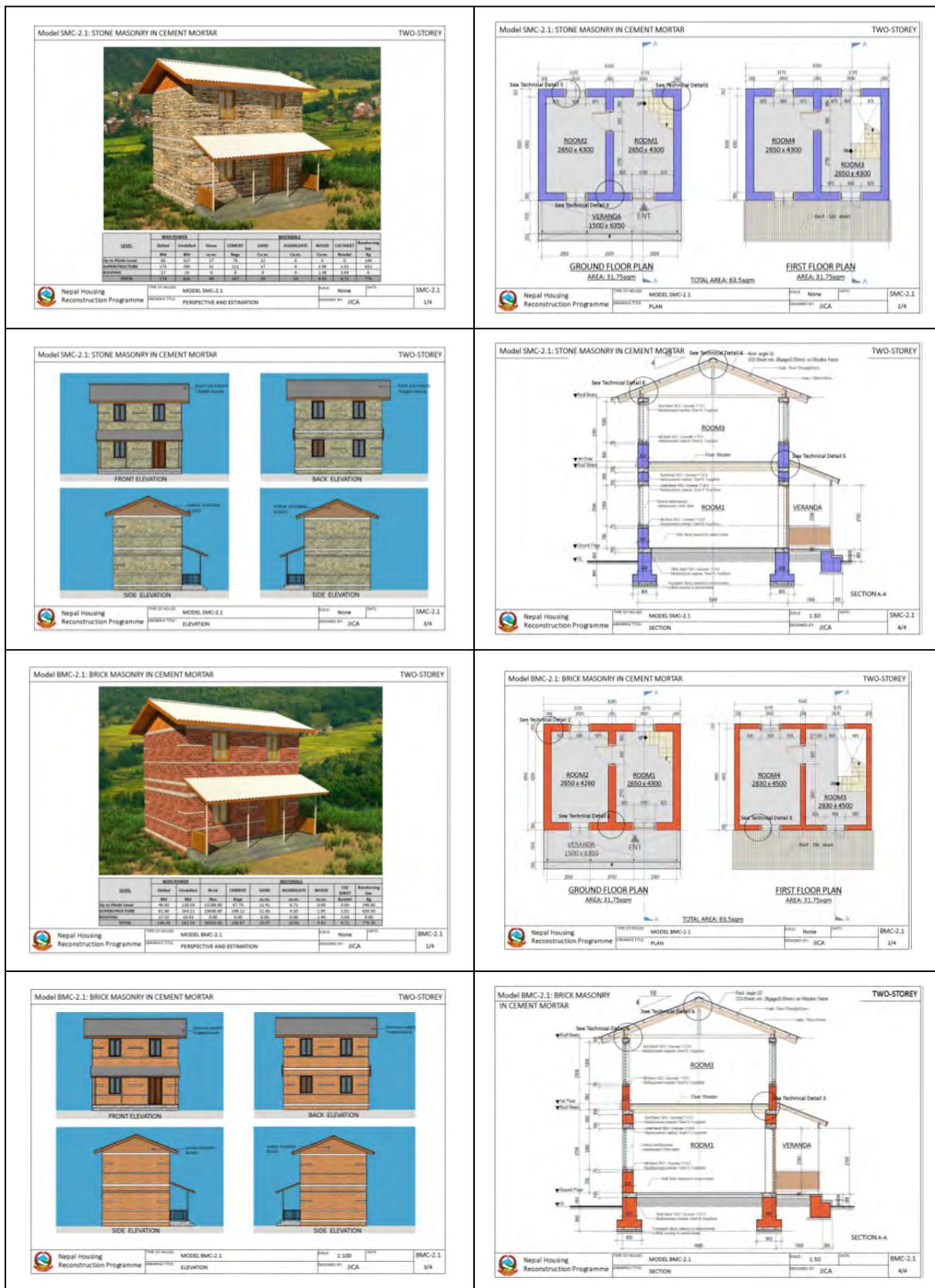
出典：Design Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant houses, Vol.1

図 8.2.12 JICA モデル (SMC-1.1 and BMC-1.1)



出典：Design Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant houses, Vol.1

図 8.2.13 JICA モデル (SMC-1.2 and BMC-1.2)



出典：Design Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant houses, Vol.1

図 8.2.14 JICA モデル (SMC-2.1 and BMC-2.1)

技術的根拠に基づく住宅デザインの検討として、構造計算と並行し、住宅カタログ内モデルに対して有限要素法を用いた構造解析を実施した。以下、に構造検討モデルとその構造検討方法を記す。構造計算は、石組積造のセメントモルタルと泥モルタルの4モデルで行った。また FEM 解析を用いた検討は、カタログ内の全 17 モデルに関して実施した。

表 8.2.8 構造検討を実施した住宅カタログ内モデル住宅

Structural Type in Volume 1	No. of Floor	Model No.	Static SC	FEM
Stone masonry in cement mortar	1	SMC-1.1	●	●
	1	SMC-1.2	●	●
	2	SMC-2.1	●	●
	2	SMC-2.2		●
	2	SMC-2.3		●
	2	SMC-2.4		●
	2+ATTIC	SMC-2.5		●
	2+TERRACE	SMC-2.6		●
		Technical Details Flexible design (MR)		
Brick masonry in cement mortar	1	BMC-1.1		●
	1	BMC-1.2		●
	2	BMC-2.1		●
	2	BMC-2.2		●
	2	BMC-2.3		●
	2	BMC-2.4		●
	2	BMC-2.5		●
		Technical Details Flexible design (MR)		
Stone masonry in mud mortar	1	SMM-1.1	●	●
		Technical details Flexible design (MR)		
Brick masonry in mud mortar	1	BMM-1.1		●
		Technical details		
		Flexible design (MR)		

出典：JICA プロジェクトチーム

a) 構造計算

① 検討項目

組積造の耐力を検討するため、以下の項目に関して構造検討を行った。

- 組積壁の地震力に対するせん断耐力検討
- 縦筋の地震力に対する強度検討
- 横筋の地震力に対する強度検討
- 組積壁の面外応力に対する強度検討
- 基礎梁の断面算定
- 基礎地耐力の検討

建物の全体の耐震性能を計るため、面内方向のせん断力、また組積造で被害が顕著に発生している面外破壊に関する検討を実施した。

② 構造計算結果（検定比（安全率））

SMC-1.1, SMC-2.1 共の構造計算の結果、NBC105 をクリアしていることを検証した。各検定比からも、ノンエンジニアド建設において、ある程度施工品質が低下したとしても充分安全側であると考えられる。表 8.2.9 に SMC-1.1、表 8.2.10 に SMC-2.1 の検定比一覧を表す。

表 8.2.9 SMC-1.1 検定比（安全率）

item	direction		safety ratio		
			Working stress method	Limit state method	
Shear strength of masonry wall	X		3.31	4	
	Y		5.11	6.18	
Flexural strength in plane of	X	Y1	W1	2.05	2.01
			W2	2.33	2.25
		Y2	W1	2.17	2.12
	W2		2.38	2.34	
	Y	X1	W1	5.79	5.82
			W2	2.21	2.16
X2		W1	2.31	2.08	
Ratio of designed horizontal band	X		3.54	3.41	
	Y		5.5	5.3	
Strength of out-of-plane flexural	X	X1	2.17	2.33	
	Y	Y1	5.79	5.59	
Strength of out-of-plane Shear	X	X1	1.82	2.2	
	Y	Y1	2.81	3.37	
bearing capacity	X	long time	1.9	1.88	
			2.99	3.74	
	Y	long time	1.62	1.6	
			2.24	3.09	

出典：JICA プロジェクトチーム

表 8.2.10 SMC-2.1 検定比（安全率）

item	direction			safety ratio		
				Working stress method	Limit state method	
Shear strength of masonry wall	X		2	2.85	3.43	
			1	1.73	2.09	
	Y		2	4.50	5.31	
			1	2.68	3.24	
Flexural strength in plane of	X	Y1	W1	2	2.04	2.73
				1	1.14	1.32
			W2	2	4.99	5.63
		Y2	W1	1	2.22	2.09
				2	2.17	2.88
			W2	1	1.21	1.41
	Y	X1	W1	2	5.68	6.27
				1	2.68	2.84
			X2	W1	2	2.75
		1			1.32	1.54
		W2		2	3.47	3.99
				1	1.68	1.96
Ratio of designed horizontal band	X		2	2.16	2.58	
			1	1.32	1.40	
	Y		2	3.36	4.10	
			1	2.04	2.44	
Strength of out-of-plane flexural	X	X1	1.49	1.79		
	Y	Y1	3.05	3.64		
Strength of out-of-plane Shear	X	X1	1.47	1.75		
	Y	Y1	2.11	2.53		
bearing capacity	X	Y1	long time	1.28	1.03	
			short time	1.33	1.35	
			long time	1.03	1.07	
	Y	Y1	short time	1.13	1.36	
			long time	1.07	1.07	
			X1	short time	1.02	1.64

出典：JICA プロジェクトチーム

b) 構造解析（有限要素法 FEM）

前項にて、各壁単位での面内せん断力、面外方向の曲げ耐力に関して検討を実施した。

ここでは、更に建物全体（BOX 型）での地震時の応力の算出また応力の集中箇所の特定を行うために有限要素法を使用して立体解析を行った。

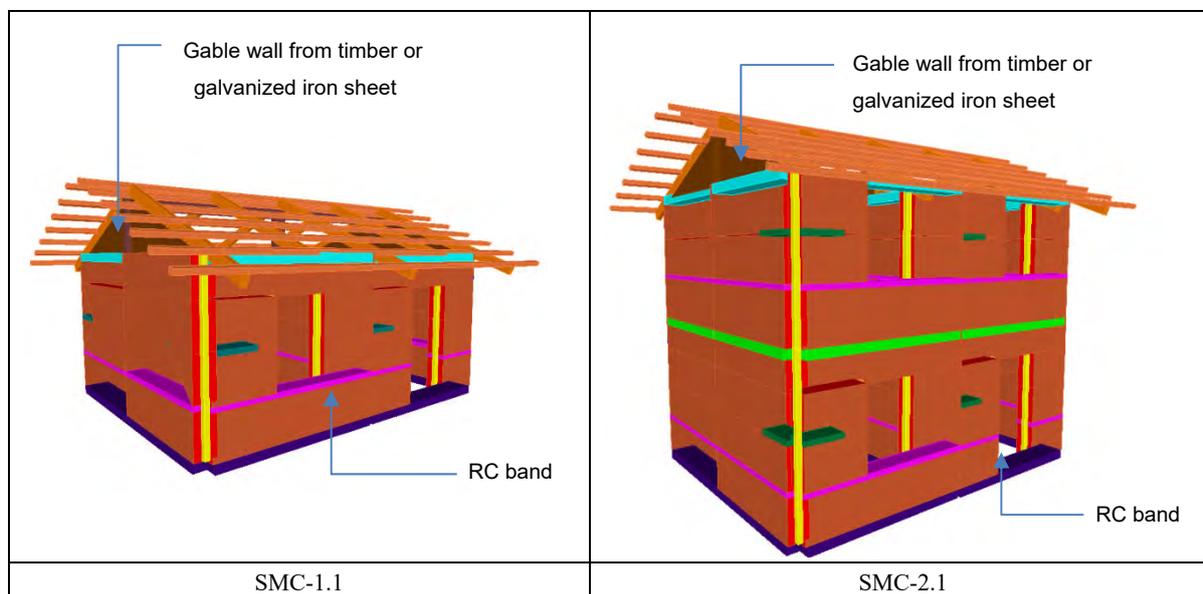
この解析により建物内の脆弱な部分の把握をすることができる。また時刻歴解析をすることにより、地震時の建物の挙動を推測することが可能である。住宅カタログ内全 17 モデルに関して FEM 解析を実施した。

① 解析方法

- 使用ソフトウェア：SAP2000 Ultimate v18 および
- 構造概要：壁式組積造
- 想定地耐力：150 kN/m² (soft to medium soil)

② 入力地震力および要求耐力

- NBC 105 : National Building Code of Nepal - Seismic Design of Buildings
- NBC 202 : National Building Code of Nepal - MRT Load Bearing Masonry
- IS 456 : Indian Standard – Plain and Reinforced Concrete - Code of Practice
- IS 1893 : Indian Standard – Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures
- IBC 2015 : International Building Code 2015



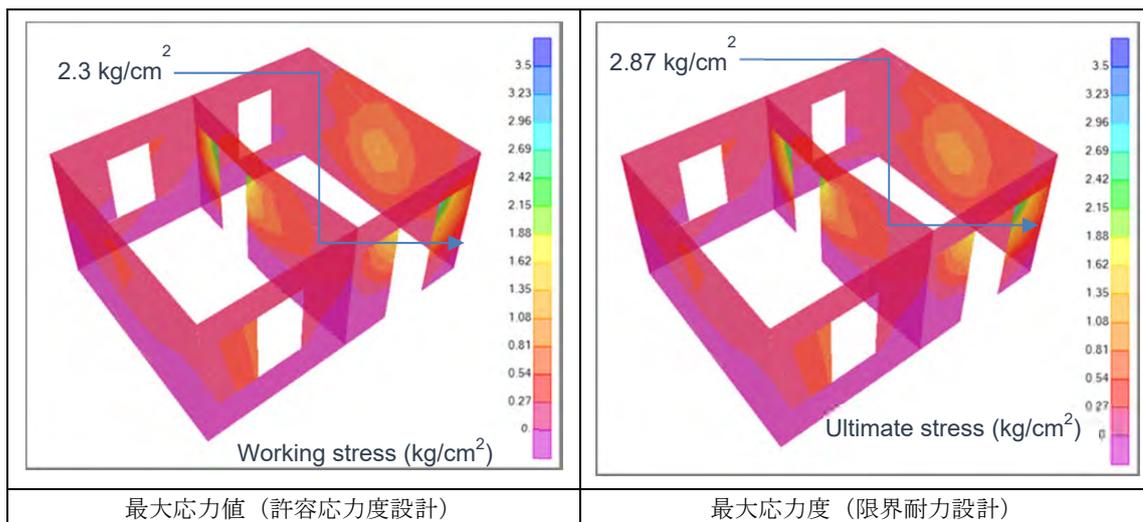
出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.15 構造解析（FEM）モデリング（SMC-1.1 and SMC-2.1）

③ 構造解析結果

構造検討の結果、SMC-1.1、SMC-2.1等のセメントモルタルを使用したモデルは、NBC105耐震基準の地震動に対しても、各壁の挙動、応力値は許容値内である結果が出ている。

一方、SMM-1.1等の泥モルタルを使用したモデルは、泥モルタルの材料強度の設定、部材間の付着強度の設定が困難であるため、ある仮定について構造検討した結果であるが、1階建て（Attic含む）の場合、RCバンドを配するとNBC105をクリア、一方、木バンドの場合は発生応力が許容値をオーバーする結果となった。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.16 FEM 解析結果 SMC-1.1

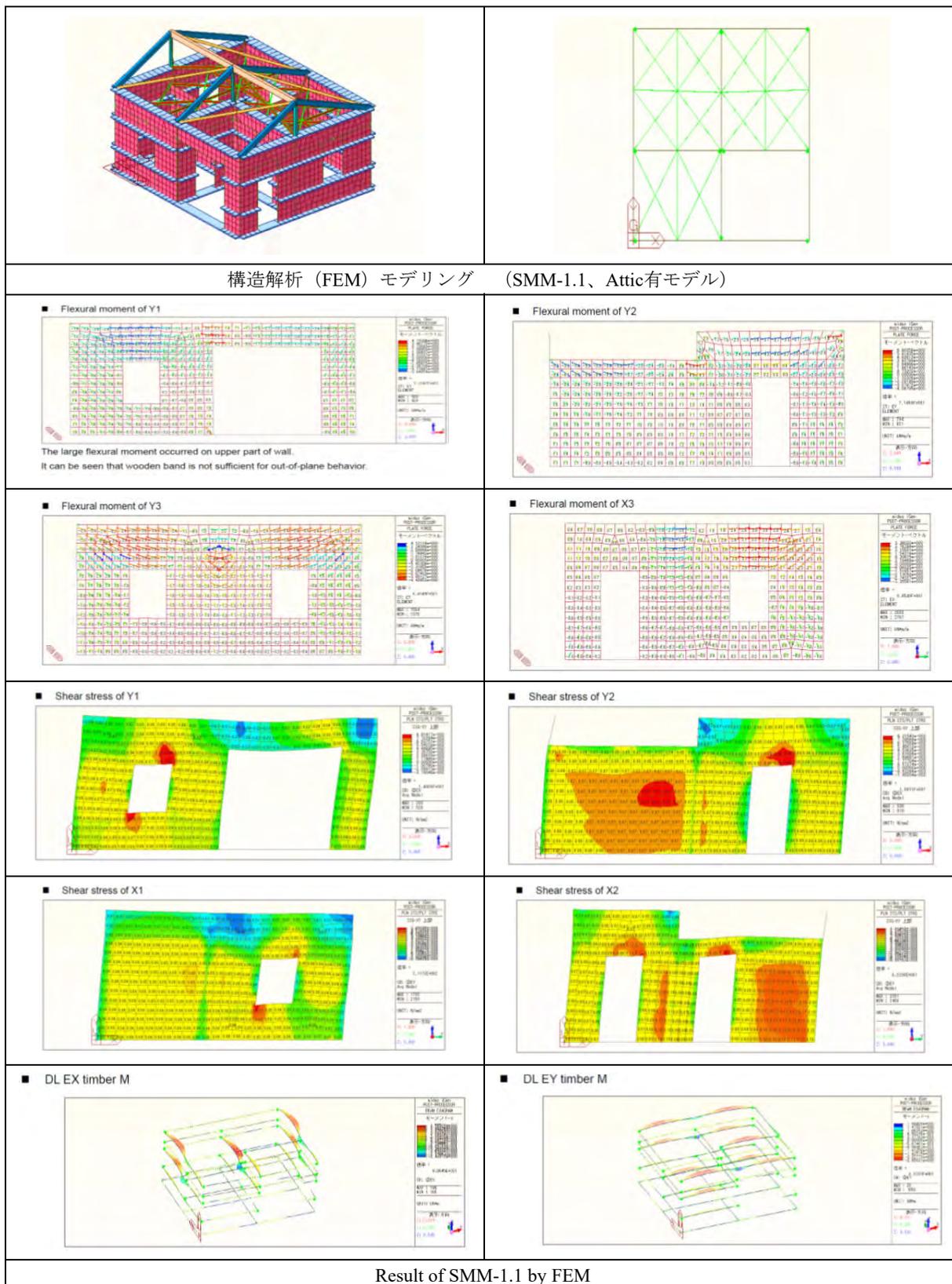
3) ミニマムリクワイヤメント（MR）

MRは以下の4種類になる。添付資料 8-1 に MR を、添付資料 8-2 にそのポスターを添付する。

- SMC : Stone masonry in cement mortar
- BMC : Brick masonry in cement mortar
- SMM : Stone masonry in mud mortar
- BMM : Brick masonry in mud mortar

住宅カタログ内に示された MR と構造解析の結果に基づいて変更された MR とで、セメントモルタルの SMC、BMC に大きな相違点はない。しかし SMM、BMM の泥モルタルモデルの構造検討の結果、標準設計での 2 階建ては危険であるとみなされた。これらは、RC バンドを用いた場合は、1 階 + Attic、木バンドを用いた場合は、1 階のみ建設可能となった。

MR は、表 8.2.11 に示すように、1. 敷地条件、2. 建物形状、3. 材料、4. 基礎、5. 垂直方向補強部材、6. 1F 床部分梁、7. 壁、8. 開口部、9. 水平方向補強部材、10. 屋根の 10 項目から構成される。これら 10 項目の守るべき最低基準は、住民に建築基準をわかりやすく伝えることを目的としている。また今後の建築審査でもこの 10 項目をベースにチェックシートが作成され、各地で建築審査が実施されていく。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.2.17 FEM 解析結果 SMC-1.1

表 8.2.11 ミニマムリクワイヤメント（SMC）

Minimum Requirements for building construction with Stone Masonry in Cement Mortar for Residential Building					
No.	Category				
1	Site selection	It shall be done to minimize risk against natural hazards. A building shall not be constructed if any of the following conditions exist.			
		<input type="checkbox"/> Geological fault or Ruptured Area	<input type="checkbox"/> Steep Slope > 20° (1:3, Vertical : Horizontal)		
		<input type="checkbox"/> Landslide susceptible Area	<input type="checkbox"/> River bank and Water logged Area		
		<input type="checkbox"/> Rock-fall Area	<input type="checkbox"/> Liquefaction susceptible Area		
		<input type="checkbox"/> Filled Area			
<i>*If it is in these areas, consult with expert.</i>					
2	Shape/Size of building	No. of storey	Not more than 2 plus attic		
		Clear span of room	Not more than 4.5m.		
		Size of room	Not more than 13.5 sq.m.		
		Height of wall	Floor height shall not be more than 3.0m. In case of attic floor, maximum height from floor level to ridge level shall be 1.8m and maximum height from floor level to eave level shall be 1.0m.		
		Proportion	Simple and regular shaped as square and rectangular. The length of building shall not be more than 3 times of its width. Avoid setbacks.		
3	Materials	Stone	Avoid use of rounded, subrounded, easily breakable soft stone and boulder stones in its natural shape. River stone shall be dressed. Size of stone shall not be smaller than 50mm in thickness and 150mm in length or breadth.		
		Mortar	Cement mortar shall not be leaner than 1:6 (1 part cement and 6 parts sand by volume) for masonry.		
		Concrete	It shall not be leaner than M20 grade concrete, or mix ratio of 1:1.5:3. (1 part cement, 1.5 parts sand and 3 parts aggregate by volume)		
		Rebar	High strength deformed bars with $f_y = 415\text{Mpa} / 500\text{Mpa}$.		
		Timber	Well seasoned hard wood without knots shall be used for structural purpose. Timber treatment such as use of coal tar or any other preservative can prevent timber from being decayed and attacked by insects.		
4	Foundation	General	It shall be continuous strip footing of uniform width at same level throughout the foundation in flat area. <i>* If the building has to be constructed in existing foundation, consult with expert.</i>		
		Depth of found. below GL	It shall not be less than 800mm for one storey, 900mm for two storey.		
		Base width	No. of storey	Types of soil	
				One storey	Soft
			Medium		Not less than 600mm
			Hard		Not less than 600mm
Two storey	Soft		Not recommended		
	Medium		Not less than 800mm		
	Hard	Not less than 600mm			

5	Vertical member	General	Shall be started right from the foundation and continue up to the roof band. Place vertical member at all corners, junctions of walls and adjacent to all doors and windows.
		Reinforcement	At corners and junctions vertical reinforcing bar shall be 12mm for one storey, and 16mm for two storey . They shall be covered with concrete or 1:4 mortar in cavities made around them during the masonry construction.
		Anchorage	Should be started right from the foundation and continue up to the band. In case of using existing foundation, it shall be anchored to plinth band. The anchorage length shall be 60 times diameter of the bar.
6	Plinth	General	The level of plinth shall not be less than 300mm from existing ground level.
		Thickness	The thickness of band shall be 150mm for medium and soft soil, 75mm band can be used for hard soil.
		Width	Not less than wall thickness.
		Reinforcement	Main reinforcement shall be 4-12 dia.2-12 dia. rebars in case of 150mm and 75mm height.respectively. Use 6mm dia. stirrups at 150mm centres. Bars shall have a clear cover of 25mm concrete.
7	Walls	General	Masonry shall not be laid staggered or straggled in order to avoid continuous vertical joints. At corners or wall junctions, through vertical joints shall be avoided by properly laying the masonry. It shall be interlocked.
		Thickness	It shall not be less than 230mm for one-storey, 350 and 230mm for ground floor and first floor of two-storey respectively.
		Joints	Mortar joints shall not be more than 20mm and less than 10mm in thickness.
		Buttresses	Buttresses should be provided if wall length is longer than above mentioned. Spacing of buttress shall not be more than 3m. Minimum base width shall be equal to one sixth of wall height. Minimum top width shall be equal to thickness of the wall.
		Gable wall	Provide light gables like wood and CGI sheets etc.
8	Doors/windows	General	Keep lintel level same for all doors and windows. Openings are to be located away from inside corners by a clear distance equal to at least 1/4 of the height of the opening, but not less than 600 mm.
		Total length	The total length of openings in a wall is not to exceed 50 % of the length of the wall between consecutive cross-walls in single-storey construction, 42 % in two-storey construction.
		Distance	The horizontal distance (pier width) between two openings is to be not less than one half of the height of the shorter opening, but not less than 600 mm.

9	Horizontal band	General	Horizontal bands shall be provided throughout the entire wall at plinth, sill, lintel, floor and roof level.
		Sill band	A continuous sill band shall be provided through all walls at the bottom level of opening (specially windows) except for doors. The minimum thickness is 75mm.
		Lintel band	A continuous lintel band shall be provided through all walls at the top level of opening. Where opening width do not exceed 1.25m and masonry height above opening do not exceed 0.9m, 75mm lintel is sufficient. For opening width upto 2m and masonry height above opening upto 1.2m, 150mm lintel band is necessary.
		Stitch band	At corners and junctions, stitches(dowels) shall be provided addition at a vertical spacing of 500-700mm. The minimum length is 1.2m. The minimum Thickness is 75mm.
		Roof band	It shall be provided at the top-level of walls, so as to integrate them properly at their ends and fix them into the walls. The minimum thickness is 75mm.
		Reinforcement	Main reinforcement shall be 4-12 dia. 2-12 dia. rebars in case of 150mm and 75mm Use 6mm dia. stirrups at 150mm centres. Bar shall have a clear cover of 25mm. *For stitch band main reinforcement can be 2-8 dia. rebars.
		Connection	Overlap length shall be 60 times diameter of the bar. Eg. Length shall be 480mm for 8mm bars, 600mm for 10mm bars, 720mm for 12mm bars and 960mm for 16mm bars
10	Roof	General	Use light roof comprising wooden or steel truss covered with CGI sheets.
		Connection	All members of the timber truss or joints shall be properly connected. Arrangements shall be done for connecting roof and wall.
		Bracing	Diagonal bracings shall be considered.

出典：Minimum Requirement for building construction with Stone Masonry in Cement Mortar for Residential Building

4) 能力強化

復興住宅の耐震建築ガイドラインの策定作業を、2015年のプロジェクト開始時には DUDBC と、また 2016 年 1 月に NRA が発足してからは、NRA と共同で実施してきた。

当初、復興住宅カタログ第 1 巻の出版においては、ネパール政府、ドナー、NGO から提案された復興住宅プロトタイプ of 技術的指針として、国家建築基準（NBC）200 番台の各工法の仕様規定を基準として進められた。

NBC の改定には、技術委員会での議論、政府の承認と時間がかかるため、今回の復興住宅の耐震基準は、NBC105 を基準とすることで先行して進めることとした。

JICA プロジェクトチームはこれらの検討、検証を DUDBC および NRA に JICA チーム用の場所を確保してもらい、連日ネパール側の担当者と議論を行いながら実施してきた。また、検討の過程で、技術委員会やワーキンググループにも数多く参加して技術的な見解を示してきた。このプロセスを通じて、ネパール側関係者の理解も深まったものとする。

(2) 学校

1) 耐震建築ガイドライン作成とその概要

学校の耐震建築ガイドラインの作成は、ADB、JICA、DOE の 3 組織で進められた。ADB が作成したガイドライン案に対して、JICA、DOE がレビューを行い、それを受けて ADB が修正する、という作業を何度も繰り返して作成された。

ガイドラインは、「建築計画、環境計画、構造計画」の設計方針を示しており、「建築計画、設備計画」と「構造計画」の 2 編から構成されている（図 8.2.18 を参照）。



出典：DOE

図 8.2.18 耐震構造ガイドラインの表紙

「建築計画、設備計画」と「構造計画」の 2 編の目次を表 8.2.12、表 8.2.13 に示す。

表 8.2.12 「建築計画、設備計画」のガイドラインの目次

SCHOOL DISASTER RISK REDUCTION: GUIDELINES FOR DEVELOPING TYPE DESIGNS FOR SCHOOL BUILDINGS IN NEPAL	
Chapter	Main Contents
1	Introduction
2	Identification of the Needs
3	Architectural and Space Planning Requirements
4	Integrated DR(Disaster Resilience) and ES(Environmental Sustainability) Considerations
5	Materials and Construction Considerations
6	Structural Design Considerations
7	Site Infrastructure Design Considerations

出典：SCHOOL DISASTER RISK REDUCTION: GUIDELINES FOR DEVELOPING TYPE DESIGNS FOR SCHOOL BUILDINGS IN NEPAL

表 8.2.13 「構造計画」のガイドラインの目次

SCHOOL DISASTER RISK REDUCTION: INTERIM STRUCTURAL DESIGN CRITERIA FOR TYPE DESIGN OF SCHOOL BUILDINGS	
Chapter	Main Contents
1	Introduction
2	Design Philosophy and Approach
3	Basic Materials
4	Load
5	Structural Systems
6	Code-based Design
7	Seismic Performance-based Evaluation

出典：SCHOOL DISASTER RISK REDUCTION: INTERIM STRUCTURAL DESIGN CRITERIA FOR TYPE DESIGN OF SCHOOL BUILDINGS

2) 耐震建築ガイドラインの基本方針（建築計画、設備計画、構造計画）

耐震建築ガイドラインは、様々な条件の地域・場所で適用される新たなプロトタイプ（以下：新プロトタイプ）の設計を前提としている。そして、新プロトタイプは数校ではなく数百校において使用されることを前提とした設計になる。ガイドラインにおける「建築計画、設備計画」の基本方針は以下である。

- 各部屋の寸法と配置の規格化
- 各棟の寸法と配置の規格化
- 各建材、窓、扉、照明器具などの規格化

また、ガイドラインにおける「構造計画」の基本方針は、JICA と ADB では方針が以下のように異なる。

- JICA の構造計画は、NBC とインド建築基準（IS）の双方を満たす設計とする。
- ADB の構造計画は、ネパール建築基準、インド建築基準、その他の国際的な建築基準（米国耐震基準（IBC）、均一建築基準法（UBC）など）を満たす、もしくは、参照した設計とする。

「建築計画、設備計画」、「構造計画」の2編のガイドラインは、JICA、ADB、DOE の3組織に限らず、様々なドナーが自ら学校の新プロトタイプを設計する際にも使用することとなる。その場合、構造計画に関しては JICA もしくは ADB の基本方針から選択することになる。

8.3 耐震建築ガイドラインに基づいたモデル住宅/学校の建設支援

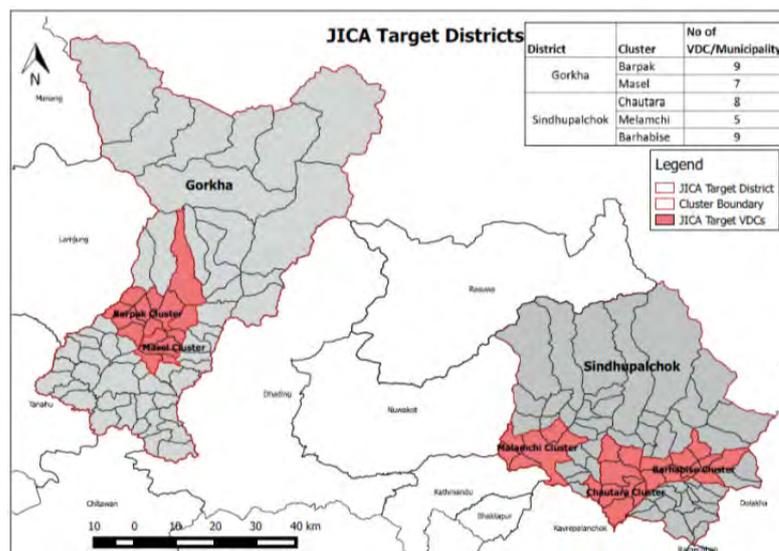
8.3.1 モデル住宅/学校の建設

(1) 住宅

JICA の支援対象地域は、被災した 14 郡の内最も被害状況の著しいゴルカ郡とシンドパルチョーク郡の中の VDC をまとめたクラスターとして、そのクラスター全体を対象とすることとしている。

JICA の対象クラスターは、以下の 5 ヶ所になっており、計 46VDC が対象となる。

- ゴルカ郡 Barpak クラスター (9VDC)
- ゴルカ郡 Bungkot クラスター (15VDC)
- シンドパルチョーク郡 Barhabise クラスター (9VDC)
- シンドパルチョーク郡 Chautara クラスター (8VDC)
- シンドパルチョーク郡 Melamchi クラスター (5VDC)



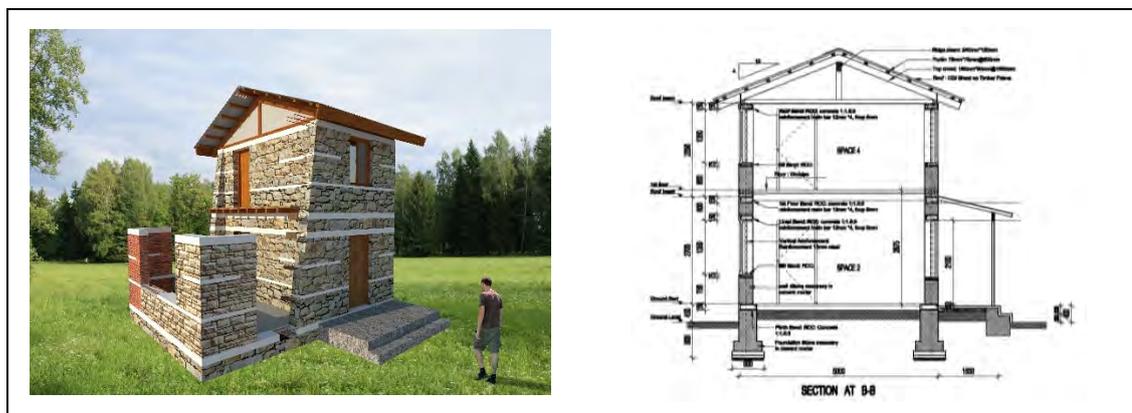
出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.1 JICA 住宅再建事業対象地域

モデル住宅として、復興住宅カタログ内の平屋、2 階建てのカットモデルの設計また各々のモデルの BOQ を作成した。

モデル住宅の建設は、当初、支援対象 VDC クラスター 5 ヶ所に建設を予定していたが、ネパール政府側が公共の土地を用意することが困難であったため 4 か所でキャンセルが発生し

た。現在（2017年9月）、ゴルカ郡 Barpak VDC でのモデルの建設が QIPs によって行われている。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.2 モデル住宅イメージと断面図

(2) 学校

1) 学校の新プロトタイプ的设计

DOE は学校の復興・復興事業において、JICA、ADB に対して学校の新プロトタイプ的设计を要請した。

a) 既存プロトタイプのレビュー

DOE はこれまでに NBC に準拠した 14 種類の教室プロトタイプを作成し、全国に多くの教室を建設してきた。これら既存のプロトタイプの構造、階数、広さ、寸法（幅、奥行、高さ）、建材の種類を比較・分類し、新たなプロトタイプを設計するうえでの参考資料とした。

b) 新プロトタイプ的设计

前項で述べたように、JICA が設計する新プロトタイプは耐震建築ガイドラインに準じて設計を行った。新プロトタイプ的设计において留意した点は以下である。

「利用面」

- 安全性（地震、火災、水害、風害）
- 快適性（気温、換気、採光、遮音、使いやすさ）
- 耐久性（扉、窓、壁、床など）
- 調和性（現状の学校に整合）

「施工面」

- 現地で普及している構法を用いる
- 現地で普及している材料を用いる

以下に具体的な設計方針を示す。

「構造設計」

新プロトタイプの構造は、被害を受けた学校の視察結果に鑑み、「鉄筋コンクリート・フレーム+組積壁（煉瓦）」とした。

「建築設計」

耐震学校ガイドラインでは、小中学校において、教室、教員室、図書室、理科室、多目的室、トイレなどが要求された。これまで DOE は教室棟、トイレ以外の既存プロトタイプを設計してこなかったため、こうした諸室を含んだ設計を行った。また、新プロトタイプは、平面計画において 6mx6m、7mx7m などのグリッドシステムを用い、様々な大きさの諸室に対応することとした。

「設備設計」

耐震学校ガイドラインに従う方針とした。

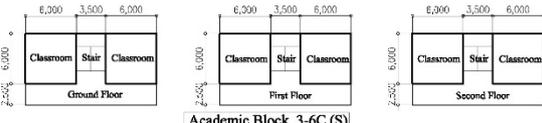
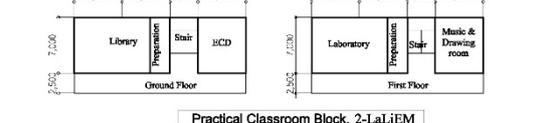
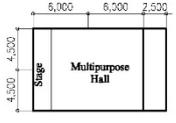
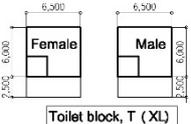
c) 新プロトタイプの種類

新プロトタイプは、数タイプのみでの設計からスタートしたが、早期幼児期開発（ECD）から後期中等学校をカバーするために最終的には 37 タイプの基本設計を実施した。機能別に、「教室棟、特別教室棟、事務棟、多目的室棟、トイレ棟」と分け、それぞれの学校のニーズに合うように、諸室の大きさも数種類のサイズを提案した。棟の階数は平屋から 3 階建てとし、学校の敷地が狭い場合にも対応できるようにした。以下がその詳細である。

表 8.3.1 新プロトタイプの種類

No	Category	Type Design Code	Description	Floor Area(m ²)
1	Primary & Academic Block	1C(S)	1 small room : Kitchen&Store	56.90
2		2C(S)	2 small rooms : Kitchen&Store, Head&Teacher	110.36
3		3C(S)	3 small rooms : ECD, 2 Classrooms	163.75
4		3C(S)-A	3 small Classrooms	163.75
5		3C(S)-B	3 small rooms : Library, Music&Drawing&PC, Head&Teacher	163.75
6		4C(S)	4 small Classrooms	217.15
7		4C(S)-A	4 small rooms: Library, Music, Drawing&PC, Head&Teacher, Kitchen&Store	217.15
8		2-4C(S)	2 storey 4 small rooms	285.50
9		2-4C(S)-A	2 storey 1Classroom, ECD, Library, Music, Drawing&PC	285.50
10		2-6C(S)	2 storey 6 small Classrooms	392.90
11		3-6C(S)	3 storey 6 small Classrooms	428.25
12		2-4C(M)	2 storey 4 medium Classrooms	357.20
13		2-6C(M)	2 storey 6 medium Classrooms	496.50
14		3-6C(M)	3 storey 6 medium Classrooms	535.80
15		3-9C(S)	3 storey 9 small Classrooms	616.20
16		3-9C(M)	3 storey 9 medium Classrooms	779.97
17	Practical Classroom Block	LaLi	Laboratory, Library	182.15
18		EMC	ECD, Computer, Music&Drawing	167.30
19		2-LaLiEMC	2 storey Laboratory, Library, ECD, Music&Drawing, Computer	436.80
20		2-LaLiEM	2 storey Laboratory, Library, ECD, Music&Drawing	436.80
21		2-LaLi2CM	2 storey Laboratory, Library, Computer, Music&Drawing	556.20
22	3-3LaLi2CM	3 storey 3 Laboratories, Library, 2 Computers, Music&Drawing	870.00	
23	Admin. Block	A(S)	Small Administration	181.55
24		A(M)	Medium Administration	199.36
25		A(L)	Large Administration	241.56
26		2-A(L)	2 story Large Administration	516.40
27		2-AC	2 story Administration with PC	436.80
28	Multipurpose Block	M(S)	Small Multipurpose hall	140.82
29		M(L)	Large Multipurpose hall	182.35
30	Toilet Block	T(S)	2 small Toilet blocks for male and female	68.06
31		T(M)	2 medium Toilet blocks for male and female	79.38
32		T(L)	2 large Toilet blocks for male and female	109.02
33		T(XL)	2 extra large Toilet blocks for male and female	124.02
34	Toilet Block Combine	Tc(S)	1 combine small Toilet blocks for male and female	64.89
35		Tc(M)	1 combine medium Toilet blocks for male and female	77.48
36		Tc(L)	1 combine large Toilet blocks for male and female	105.86
37		Tc(XL)	1 combine extra large Toilet blocks for male and female	119.26

出典：JICA プロジェクトチーム

<p>No. 11 : 3-6C(S)棟</p>	<p>No. 20 : 2LaLiEM 棟</p>
	
 <p>Academic Block, 3-6C (S)</p>	 <p>Practical Classroom Block, 2-LaLiEM</p>
<p>No. 28 : M(S)棟</p>	<p>No. 33 : T(XL)棟</p>
	
 <p>Multipurpose Block, M(S)</p>	 <p>Toilet block, T (XL)</p>

出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.3 新プロトタイプ の例

8.3.2 モデル住宅/学校建設に係る技術移転

(1) 住宅

1) 住宅再建トレーニング

当初、モデル住宅建設を通して、職人・住民への耐震構造の普及を実施する計画であったが、上記のように建設地確保に時間がかかったことから、ネパール国緊急復興支援事業実施支援【有償勘定技術支援】の住宅再建トレーニングを先行する形で実施行うこととなった。実施に当たり、緊急開調チームでは教材の作成、有償勘定チームはトレーニングのマネージメントを行った。

住民再建トレーニングは、BBB のコンセプトのもと、従来よりも質の高い住宅再建を促進するために、適切な建設技術の普及および住宅再建補助金システム等の普及を目的として実施した。研修は、住宅を再建する職人（石工・大工）に対する職人向けのトレーニングと、住宅を再建しようとする住民向けのトレーニングからなる。

a) 職人向けのトレーニング

職人（石工、大工）を対象とする技術研修は、DUDBCの公式カリキュラムに基づきJICAのセッションを追加した5日+1日の計6日間で行われた。JICAの追加セッション4コマでは、セメントの優位性をより明確に伝え、適切な建設工法と耐震効果に関して研修を実施した。その後、現場研修での実大モデル建設に時間を要することから7日間の研修へと変更している。

b) 住民向けトレーニング

今次の住宅再建は、オーナードリブンで実施されるため、住民の今後の災害に対する防災意識の啓発は欠かせない。また耐震構造普及には、住民自ら耐震性の高い建物を建てようとする意識が必要である。研修では、識字率が低いため演劇を通じて適切な技術での住宅再建の重要性を伝える活動が続けられている。

2017年3月時点での、研修項目と受講者数は、以下の通りである。

表 8.3.2 研修項目と受講者数

内容	受講者（のべ）	回数
職人向けトレーニング	2,157	72
職人向け再トレーニング	1,404	49
住民向けトレーニング	6,518	135

出典：JICAプロジェクトチーム

(2) 学校

1) JICA 新プロトタイプ（鉄筋コンクリート・フレーム+組積壁）の構造解析

JICAは37タイプの新プロトタイプ（構造は鉄筋コンクリート・フレームに組積壁）の基本設計を実施した。これらはADB、JICA、DOEの3組織によって作成された耐震建築ガイドラインに従って設計されている。構造計画に関するJICAの基本方針は、ネパール建築基準（NBC）とインド建築基準（IS）の双方を満たす設計とすることであったが、それ以外にコンピューターを使ったプッシュオーバー解析を実施することがオプションとして含まれていた。JICAは37タイプの中から最もプッシュオーバー解析での検証が必要と考えられる4タイプ（平屋1タイプ、2階建て1タイプ、3階建て1タイプ、多目的棟1タイプ）を選定し、ネパール国緊急復興支援事業実施支援【有償勘定技術支援】で現地再委託されたローカルコンサルタントの構造設計士が解析した。その結果、4タイプが解析の条件をすべて満たすことが確認された。

学校の復旧・復興事業は、ネパール国緊急復興支援事業実施支援【有償勘定技術支援】にその後引き継がれ、更に2017年の3月にはESRP (Emergency School Reconstruction Project)へと引き継がれている。現在、JICA対象の6郡において83サイトで実際の建設工事が始まっている。

8.3.3 モデル住宅に係るパンフレット

(1) 住宅

耐震性の高い再建を促進するために、ミニマムリクワイヤメント（MR）を準拠するよう下記のポスター、パンフレット、ガイドブック等の作成を行った。

1) MR ポスター

MR を広く普及するために各工法の MR をまとめたポスターを、NRA と協議の上、作成した。このポスターは、2016 年 9 月に正式に NRA で承認され、ネパール政府公認の建設工法紹介ポスターとして使用されている。

- 対象：住宅復興事業にかかわるすべての関係者
- 内容：MR 10 項目と工程ごとの重要ポイント紹介の 2 種
- 建設工法は、SMM、BMM、SMC、BMC の 4 種。
- 使用目的：ネパール建築基準の普及



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.4 MR のポスター（SMC）



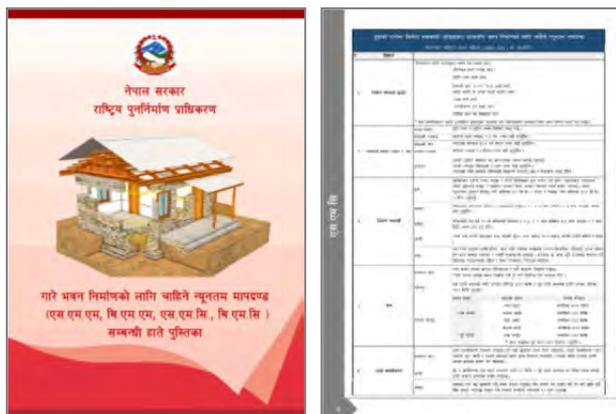
出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.5 MR のポスター（SMM）

2) MR 冊子

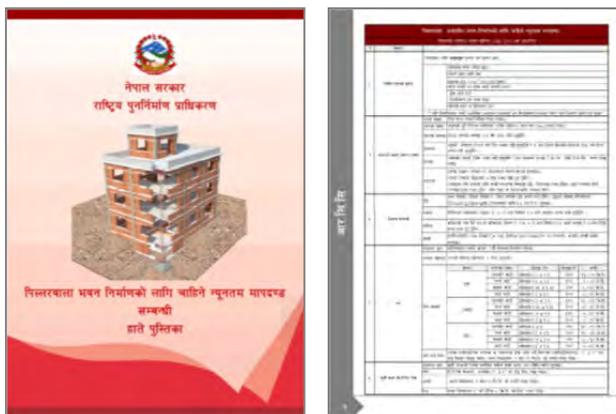
MR を広く普及するために各工法（組積造、RC 造）の MR をまとめた冊子も作成した。2016 月 12 月に各 12,000 部の印刷し、有償勘定事業のトレーニングや、VDC 事務所にて配布を行い、住民への普及を促進している。

- 対象：住宅復興事業にかかわるすべての関係者
- 内容：MR の内容
- 使用目的：ネパール建築基準の普及



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.6 MR の冊子 (SMM、BMM、SMC、BMC)



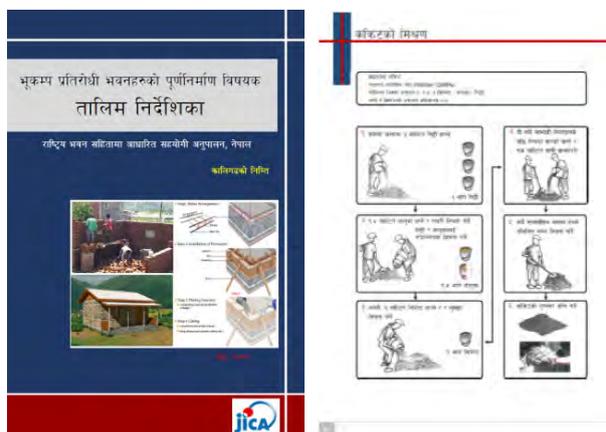
出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.7 MR のパンフレット (RC)

3) 石工向けの安全な家づくりのためのガイドブック

石工向けの安全な家づくりのためのガイドブック

- 対象： 建設職人(石工、大工等)
- 内容： 地震メカニズム、典型的な組積造被害、ネパール建築基準、耐震工法（設計、施工）等
- 組積造と RC 造の 2 種類。
- 使用目的： トレーニング教材



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.8 石工向けの安全な家づくりのためのガイドブック

4) 住民向け安全な家づくりのためのガイドブック

- 対象： 住民、施主、土地所有者
- 内容： 耐震工法、住宅カタログデザイン等
- 使用目的： トレーニング教材

これら教材は、ネパール国緊急復興支援事業実施支援（有償勘定技術支援）が実施している職人および住民トレーニングで使用され受講者に配布している。2015年12月から2016年10月までの受講者数は、職人2,726名、住民3,478名である。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.9 住民向け安全な家づくりのためのハンドブック

5) 安全な家づくりのための研修用映像

安全な家づくりを人々にわかりやすく理解してもらうために、上記職人用ガイドブックをまとめた動画を作成した。

- 対象：建設職人（石工、大工等）
- 内容：地震メカニズム、典型的な組積造被害、ネパール建築基準、耐震工法（設計、施工）等
- 使用目的：トレーニング教材



出典：JICA プロジェクトチーム

図 8.3.10 安全な家づくりのための研修用映像

8.4 普及メカニズムの検討

住宅再建事業のガイドラインは、復興庁より「Distribution Guideline for Completely Destroyed Private Houses by Earthquake, 2072（2015）」として公開されている。

Project Operation Manual（POM）は、JICA および World Bank（WB）の融資による住宅再建事業の実務マニュアルとして位置付けられており、POM の制定は融資条件の一つになっている。

8.4.1 補助制度による支援メカニズム

(1) 被災住宅に対する一時金支給

地震発生直後に実施した簡易的な緊急地震被害家屋調査において、全被害や部分被害と判定された家屋の世帯に対し、ネパール政府は一律 NPR15,000 の一時金を支給した。また、ネパール政府は被災者全員に顔写真付き“地震被害者 ID”を発行し、その裏面に一時金支給の記録を残している。

(2) 住宅再建用補助金の支給

住宅再建補助金に関して、2016年5月20日に復興庁より発行された「Distribution Guideline for Completely Destroyed Private Houses by Earthquake, 2072（2015）」に規定された。地震により住宅が被害を受けた世帯が住宅を再建するための支援として、当初、1) 一世帯当たり NPR200,000 の補助金支給を実施する、2) 補助金の支給は、①合意書（Participation Agreement）署名後 NPR50,000、②Plinth Band 施工後 NPR80,000、③壁工事完了後 NPR70,000 の3段階に分け実施される、3) その後 2016年9月26年に開催された復興庁ステアリングコミッティーで補助金額を NPR300,000（①NRP50,000、②NRP150,000、③NRP100,000）に増額する、ことが決定された。また被災住宅を再建せず補強工事のみを実施する場合は、NRP100,000 の支給が決定された。

住宅再建用の補助金は、銀行口座を通してプログラム参加世帯に支給される。

(3) 住宅再建のための低金利融資制度

政府から普及される補助金では、従前の規模の住宅を建設するには十分ではない。そのため、補助金とは別に住宅再建用に低利の融資を、ネパール政府は民間銀行を通じて実施しようとしている。この低利融資は、貧困世帯とそれ以外の世帯とで、融資条件が異なる。

この低利融資を受けるためには、どの世帯もプログラムに参加し、モデル住宅から再建用住宅を選ぶ必要がある。貧困世帯は融資に対する担保は必要ないが、その他の世帯は担保が必要となる。担保としては、土地や住宅などの不動産が一般的で、銀行は不動産の市場価格の60%を評価額としている。評価額が融資額を下回る場合は、中央銀行が定めるガイドラインにより、融資を行うことが出来ない。

融資は一括ではなく、プログラムで実施される段階施工の検査結果を基に、段階毎に分割して行われる予定である。

表 8.4.1 低金利住宅融資制度

世帯	最大融資枠	金利	担保
貧困世帯住宅	Rp.200,000	2%	担保不要
一般世帯住宅	カトマンズ盆地内:Rp.2,500,000 カトマンズ盆地外:Rp.1,500,000	2%	要担保 市場価格の60%を評価額とする

出典：JICA プロジェクトチームによる Nabil Bank へのヒアリング

8.4.2 補助金に基づかない普及メカニズム

耐震補強でも使用可能な比較的安価に脆性破壊を回避するジャケッティング工法に関して検討を行った。

第9章 無償資金協力

9.1 本コンポーネントの目的

本コンポーネントにおいて、被災施設、および被災地域の復旧復興を支援する施設の調査を行った。調査結果に基づき、プログラム無償にて支援される施設を選定した。

また、現地調査および自然条件調査結果に基づき、各サブプロジェクトの概略設計結果に基づく実施工程および概略積算をまとめた。

本項において、サブプロジェクト選定経緯および各サブプロジェクトの概略設計、概略積算結果について、詳述する。

9.2 援助対象施設の選定

9.2.1 医療施設再建計画

(1) 計画の背景・選定経緯

今回の対象地域である、ゴルカ郡、シンドパルチョーク郡およびカトマンズ盆地の計5郡において、各DDCから入手した被災施設リストおよびMOUDからのヒアリング等により被災度が大きく、無償資金協力の対象の可能性がある施設について、ロングリストを作成した。

その後、ロングリストとして選択した、合計66施設において基礎情報の収集調査を行った。各郡の調査施設数は以下の通りである。

- | | | | |
|--------------|------|----------|------|
| ● シンドパルチョーク郡 | : 21 | ● カトマンズ郡 | : 8 |
| ● ラリトプール郡 | : 17 | ● ゴルカ郡 | : 13 |
| ● バクタプール郡 | : 7 | | |

以上の調査施設のうち、ADBによる郡関係各事務所、他国ドナーによる郡病院への支援等を除く施設から、カトマンズ市役所等の行政庁舎、ダルバール学校等の学校施設を含む候補が選定されショートリストとなった。

ショートリストされた各候補施設については、次ページ表9.2.1で示す通り19項目のクライテリアにより評価するのに加え、関係省庁との協議、事業費の検討、土木候補案件等とのバランスを考慮した結果、無償案件の候補施設として最終的に以下の2病院が選定された。

- パロパカール産婦人科病院
- ビル病院

ネパールには5つの総合病院と16つの専門病院が国立の第3次医療機関として指定されている。本プロジェクトにおいて整備する2病院のうちパロパカール産婦人科病院は専門病院として、ビル病院は総合病院として、国の中心的医療を担う重要な病院である。



パロパカール産婦人科病院（メイン棟）



ビル病院（新ICU&がん病棟）

出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.2.1 パロパカール産婦人科病院（左）およびビル病院（右）

表 9.2.1 候補施設評価表

	施設名称	パロパカール産婦人科病院	ビル病院	カトマンズ市役所	ダールバール学校	ゴルカ郡病院	道路局	道開発局	地方基盤イニシアチブ	同庁舎	バリハル・バヴァン合同庁舎
		ンカトマ	ンカトマ	ンカトマ	ンカトマ	ンカトマ	ゴルカ	ンカトマ	プーリト	プーリト	プーリト
1	甚大な被害	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	震災復興に貢献	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	他ドナー重複なし	○	○	○	ADB他	KfW	○	○	○	○	○
4	多くの裨益人口	○	○	○	△	○	×	×	×	×	×
5	アクセスが容易（建設時）	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○
6	一定規模以上の整備（>約5億円）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	本邦企業による実施の適切性（規模、品質等）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	環境カテゴリーC	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	無償の工期に合う（仮施設で2年間機能維持）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	サイトの分散が少ない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11	BHNに資する	○	○	△	○	○	×	×	×	△	△
12	歴史的意匠の保存・継承の縛り	○	○	△	×	○	○	△	△	△	△
13	災害拠点としての貢献	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
14	実施機関の数（実施難易度）	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4
15	緊急決定可能性	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○
16	先方負担工事	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	良好な敷地条件	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○
18	周辺からの視認性	○	△	×	○	○	○	×	×	△	△
19	その他（アピール度等）	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△
優先順位		1	2	3	不適	不適	4	5	6	6	6

注：ハリハル・バヴァン合同庁舎：国立人権委員会、国立図書館、国立法科アカデミー、公務員記録事務所のコンプレックス

出典：JICA プロジェクトチーム

9.2.2 土木施設再建計画

(1) 計画の背景・選定経緯

今回の対象地域である、ゴルカ郡、シンドパルチョーク郡およびカトマンズ盆地の計5郡において、道路・橋梁、給水設備および配電設備に関する被災度に対してヒアリング、現地調査を実施した。その結果、地方道改修事業、ジュレにおける大規模地滑り改修や地方部配電設備の改修を含む無償資金協力の対象の可能性がある施設について、ロングリストを作成した。

その後、ロングリストとして選択した、合計23施設において基礎情報の収集調査を行った。各郡の調査施設数は、以下の通りである。

- カトマンズ盆地 : 8
- シンドパルチョーク郡 : 6
- ゴルカ郡 : 9

以上の調査施設のうち、無償資金協力としての規模を満たさない施設、他国ドナーによる支援を受ける施設等を除いた施設から、バラキローバルパック道路斜面防護施設を含む候補が選定されショートリストとなった。

ショートリストされた各候補施設については、無償資金協力候補施設としての選定基準、関係省庁との協議、事業費の検討、建築案件等とのバランスを考慮し、表9.2.3に示す比較表を基に、無償案件の候補施設として最終的に以下の2施設が選定された。

- チョータラ市導水システム改善計画
- バラキローバルパック道路 橋梁建設計画

なお、郡道橋梁建設事業については、対象施設がゴルカ郡およびシンドパルチョーク郡全域に広がっているため、適用は困難である。ただし、郡道橋梁建設事業の対象橋梁の一つにバラキローバルパック道路沿いを流れるダラウディ河を渡河する橋梁が提案された。本橋梁の建設により、ネパール地震の震央に位置し、甚大な被害を受けたサウルパニ市へのアクセスが容易となり、当地の震災復興に大きく寄与することより、郡道橋梁建設事業の対象橋梁から、本橋梁をバラキローバルパック道路橋梁建設計画に加えることとした。

一方で、本件供与額の上限の範囲内で調整をした結果、下表のサイトについては、本サブプロジェクトから除外されたが、代替として現地政府もしくは成果4 優先緊急復旧事業（QIPs）で実施することとなった。

表 9.2.2 最終的に削除されたコンポーネント

サブプロジェクト	除外サイト	代替資金源
導水道システム改善計画	タルカルカ No.1, 2 導水管	現地政府
	タルカルカ No.2, 3 導水管	現地政府
	マジユワ導水管	QIPs
橋梁建設計画	カーレ橋	QIPs
	ジャヤラ橋	QIPs

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.2.3 ショートリスト案件比較表

選定基準	チョータラ市導水システム改善	バラキロ-バルパック道路橋梁建設	バラキロ-バルパック道路 斜面防護施設建設	郡道橋梁建設
地震による被災施設の復旧	○	×	×	×
地震被害からの復興への寄与	○	○	○	○
他ドナーとの非重複	○	○	○	○
多数の受益者	○	○	○	×
建設現場へのアクセス容易性	○	○	○	○
一定規模の工事規模	○	○	○	×
日本技術の適用	○	○	○	○

出典：JICA プロジェクトチーム

9.3 援助対象施設の選定：パロパカール産婦人科病院およびビル病院再建計画

9.3.1 設計条件／自然条件

(1) 対象施設の概況

1) パロパカール産婦人科病院（PMWH）

パロパカール産婦人科病院はカトマンズ市の南部、バクマティ川沿いにある 1959 年設立のネパール国唯一の公立産婦人科専門病院である。複数の建物から構成される病院のメイン棟の被害が大きく DUDBC の診断により使用禁止措置がた。

本病院は全国から妊婦および患者を受け入れているトップレファラル施設であり、医学教育機関である National Academy of Medical Science の産婦人科学の教育病院として医師、看護師の教育および修士学位認定機関として指定されている。

提供している医療サービスは、産婦人科外来、分娩サービスをはじめ、外科手術、超音波検査、病理検査、生理機能検査、緊急外来検査の他、妊娠中絶のケア、不妊治療等である。

病床数は地震前 415 床（産科 241 床、婦人科 61 床、新生児 34 床、その他サービス床 79 床）であったが、メイン棟が震災で使用できなくなり、元々あった機能を他の建物へ移設したため、これまでの病床を確保できておらず、現在では約 360 床で活動している。

出産は毎年 20 万件を越す出産件数を推移してきたが、ここ 2 年間は減少傾向にある。しかし 1 日当たり約 50 件の分娩となっており、特に帝王切開のケースが非常に多く、出産件数全体の 25%以上となっている。なお、出産時妊婦死亡率が、10 年前にくらべ半分に、新生児死亡率も年々減少傾向にある。

なお、本プロジェクトにおいて、パロパカール産婦人科病院は、MOH（保健省）の監督、および協力のもと実施機関として進めることになる。

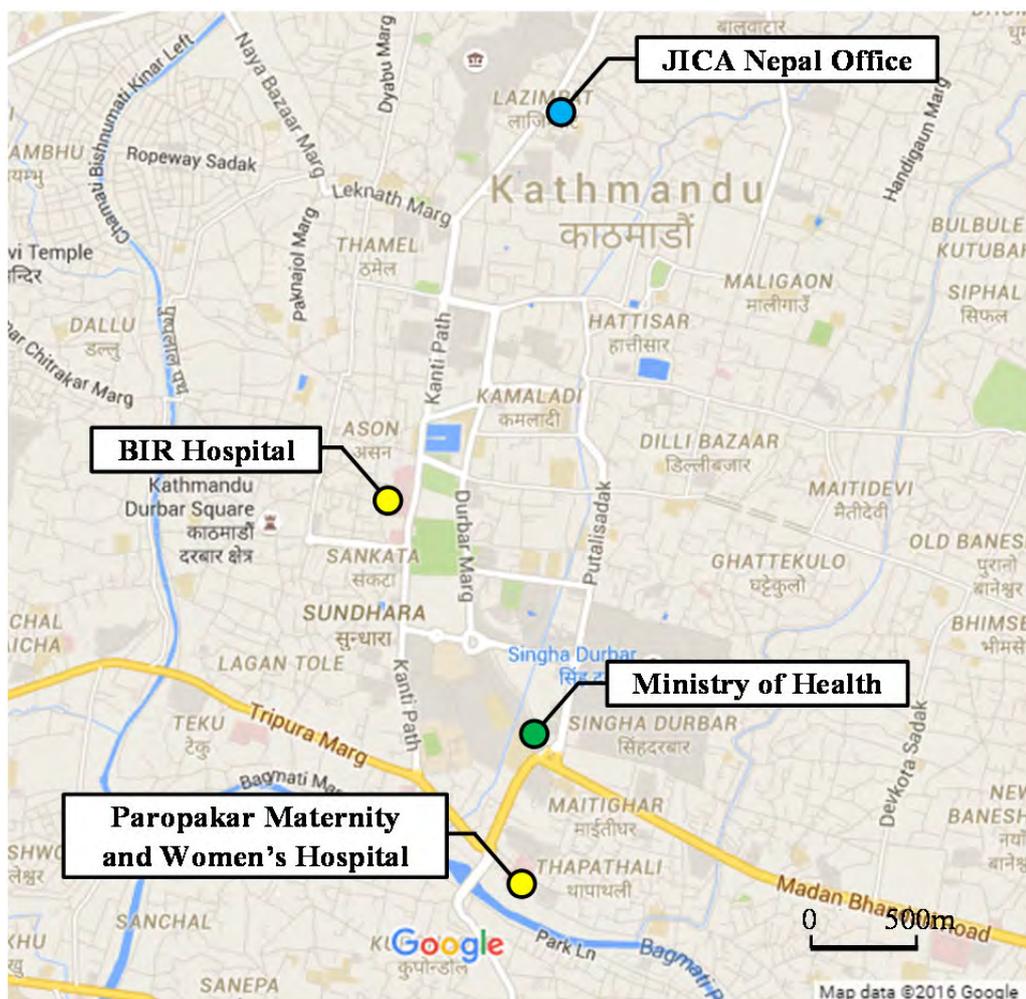
2) ビル病院 (BH)

ビル病院はカトマンズ市の中心部、ラトナ公園前にある 1889 年設立のネパール国で最も古い公立総合病院である。複数の建物から構成される病院のがん・ICU 病棟の被害が大きく DUDBC の診断により使用禁止措置がとられた。

本病院は、国立のトップレファラル病院だけでなく、National Academy of Medical Science の傘下の病院として、医学教育機関として医師、看護師の教育および修士学位認定機関となっている。病床数は 535 床で 16 の診療科、外科は更に専門科に分かれており、皮膚移植、腎臓移植を実施している。また当院には人工透析器センター12床があり、無料で透析治療を実施している。本計画において対象となる診療科は、心臓科 (ICU 病棟)、消化器内視鏡科 (検査室)、人工透析器室である。

なお、本プロジェクトにおいて、ビル病院は、MOH の監督、および協力のもと実施機関として進めることになる。

パロパカール産婦人科病院およびビル病院の位置図を以下に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.3.1 対象病院位置図

(2) 自然条件調査

1) 地形測量

両病院の敷地において、敷地境界塀位置、現状地盤レベルおよび既存建物施設位置情報を含む地形測量を実施した。測量に当たっては、仮設のベンチマークを複数個設置し、測量点間の位置およびレベルの相対関係を明確にして、施設計画および施工に資するよう配慮した。

2) 地質調査

両病院の敷地において、地盤と液状化の確認のため、地質調査（含むボーリング調査、標準貫入試験およびラボテスト）を行った。

ボーリング調査は深さ 30m まで行い、その N 値は PMWH で平均 6～9、BH で平均 7～10 であった。これらのことから、両病院とも再建建物を支持する地盤としては緩いものの、杭を打つ必要はない程度と判断された。

また、標準貫入試験結果から、両病院とも液状化の可能性は全くないとは言えないものの、総合すると、液状化の恐れはないと判断された。

(3) 平板載荷試験

地表面近くの地盤が直接基礎にて再建建物を支持することができるか確認するため、平板載荷試験を実施した。

現状地盤面から深さ 2m において調査した結果は以下の通りである。

表 9.3.1 平板載荷試験結果

PMWH	長期許容地耐力度 = 106 kN/m ²
BH	長期許容地耐力度 = 94 kN/m ²

出典：JICA プロジェクトチーム

(4) 水質試験

両病院の敷地内において使用されている既存井戸の水質について試験を行った。結果は両病院とも同様であり、以下の通りであった。

成分分析結果：高い色度および濁度、浮遊物質、アンモニア、マンガン、鉄、細菌

加圧濾過および殺菌処理は、活性炭フィルター、色度除去フィルター、アンモニア除去フィルターを適用した。

9.3.2 建築計画

(1) 施設整備方針

以下の基本方針に基づき、関係機関との協議・現地調査を踏まえて、施設の設計を行うこととした。

方針1：以下の主要な規約、基準、ガイドライン等に従って設計する。

- 建築基準法令：National Building Code (NBC)※
- 建築基準細則：Bylaws2064 of Kathmandu valley
- インド国建築基準（IS）
- その他：日本国内建築基準

※ NBC に準拠を原則とするが、円借款の学校の基準と整合性をとりつつ、病院の重要性を考慮した数値を設定する

方針2：地震に対する耐力性能が高い建物で、災害時にも稼働し続けられるよう非常用発電機や無停電電源装置、貯水タンクを装備した病院のモデルタイプになりうるものとする。

方針3：Build Back Better の理念に基づき、工法や使用材料は今後ネパール国政府が独自に展開するときに適用可能なモデルとなりうるものとする。

(2) 概略設計

1) パロパカール産婦人科病院

被災建物は震災前、産科と婦人科、低リスク分娩室や新生児集中治療室が混在した施設であり、さらに高リスク分娩室や手術室が別棟に分散する施設構成となっていた。計画建物は、産科救急外来や手術室・分娩室、産前病棟・集中治療室等の一部の産後病棟を除いた産科部門と教育部門に機能集約を行い、産科と教育機能に特化した機能的な建物とした。

以下に再建建物に入る主要施設を示す。

表 9.3.2 施設内容（パロパカール産婦人科病院）

階	主要施設
1階（GF）	産前病棟、救急部門、緊急分娩室、手術部門、設備機械室
2階（1F）	分娩センター、手術後病棟、褥婦集中治療室（MICU）、血液銀行、緊急検査室、薬局、診療材料保管庫、教育施設（共用会議室）、副院長室
3階（2F）	産後病棟、新生児室、新生児集中治療室（NICU）、新生児特別治療室（SBCU） 教育施設（教室、教員室）
塔屋（RF）	電気室、エレベーター機械室

出典：JICA プロジェクトチーム

既存施設にあった教育機能の多くは震災後、被災建物からの機能移転の受け皿となり教育機能の一部が使用できない状況となっているため本計画建物の教育機能を盛り込むものとし、今後起こり得る災害時に一時的な機能移転のスペースにもなり得る。なお、計画建物が竣工した後、旧棟は解体し、災害時の一時避難場所やトリアージスペースとして利用する構想である。

2) ビル病院

本病院は震災前より施設リニューアルのマスタープランが作成されていた。

本病院は、道路を挟んだ3街区にまたがり、マスタープランでは北側街区に救急外来や手術室、外科系集中治療室等が入る外科系コンプレックスが計画され本年度分の予算措置も取られたことから本年中に着工を開始した。（マスタープラン：Phase1、2）

計画建物のある街区は南北3街区の中間に位置する街区で、当該街区は外来機能と内科系コンプレックスに充てられる。（マスタープラン：Phase3、4）

本計画は、マスタープランのPhase3の内科系コンプレックスの一部を担うもので、各階ごとに検査・処置機能等と病棟が一体となった臓器別センター化された建物とし、機能的で効率的な計画とした。以下に再建建物に入る主要施設を示す。

表 9.3.3 施設内容（ビル病院）

階	主要施設
1階（GF）	腎臓科病棟、人工透析室
2階（1F）	消化器科病棟、内視鏡室、共用会議室
3階（2F）	循環器科病棟、血管造影治療室
塔屋（RF）	電気室、エレベーター機械室、吸引ポンプ室
設備棟	水処理室、受水槽、医療ガス室、発電機室

出典：JICA プロジェクトチーム

なお、南側街区は既存のトラウマセンターであり、リニューアルマスタープランには含まれていない。

(3) 計画地概要

計画地の概要を以下に示す。

表 9.3.4 計画地概要

施設名	所在地	敷地面積
和名：パロパカール産婦人科病院 英名：Paropakar Maternity and Women's Hospital	Thapathai, Kathmandu	約 3,810 m ²
和名：ビル病院 英名：Bir Hospital	Kantipath, Kathmandu	約 2,850 m ²

出典：JICA プロジェクトチーム

(4) 建築概要

両病院との協議により決定した建築概要は以下の通りである。

1) パロパカール産婦人科病院

表 9.3.5 建築概要（パロパカール産婦人科病院）

建物名（仮称）	病床数	構造	階数	床面積 [m ²]	
				階	面積
再建建物	192床	RC	3	1階（GF）	1,799
				2階（1F）	1,700
				3階（2F）	1,700
				塔屋（RF）	207
				合計	5,406

出典：JICA プロジェクトチーム

2) ビル病院

表 9.3.6 建築概要（ビル病院）

建物名（仮称）	病床数	構造	階数	床面積 [㎡]	
再建建物	94 床	RC	3	1 階 (GF)	959
				2 階 (1F)	917
				3 階 (2F)	917
				塔屋 (RF)	152
				合計	2,945
設備棟		RC	1	1 階 (GF)	174
				合計	174
				総合計	3,119

出典：JICA プロジェクトチーム

(5) 仕上げ概要

現地での調達が可能であり、現地の技術で維持管理が容易な仕上げ材として以下の内容で計画した。

1) パロパカール産婦人科病院

表 9.3.7 外装（主要部）

床	壁	屋根
アスファルト舗装/ インターロッキングブロック	レンガタイル張り/ モルタル・複層塗材塗り	保護コンクリートを有する アスファルト防水

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.3.8 内装（主要部）

室名	床	壁	天井
病室	強化セラミックタイル	塗装	岩綿吸音板
分娩室	ノンワックス塩ビシート	塗装	岩綿吸音板
手術室	ノンワックス塩ビシート	化粧ケイ酸カルシウム板	化粧ケイ酸カルシウム板
教育施設	タイルカーペット	塗装	岩綿吸音板

出典：JICA プロジェクトチーム

2) ビル病院

表 9.3.9 外装（主要部）

床	壁	屋根
インターロッキングブロック	レンガタイル張り/ モルタル・複層塗材塗り	保護コンクリートを有する アスファルト防水

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.3.10 内装（主要部）

室名	床	壁	天井
病室	強化セラミックタイル	塗装	岩綿吸音板
放射線室	ノンワックス塩ビシート	塗装（コンクリート遮蔽）	岩綿吸音板
内視鏡室	強化セラミックタイル	化粧ケイ酸カルシウム板	化粧ケイ酸カルシウム板

出典：JICA プロジェクトチーム

(6) 構造概要

構造設計方針を以下に示す。

a) 設計基準と耐震目標

設計基準は、ネパール国建築基準（NBC）とインド国建築基準（IS）の両方を満足するよう計画した。また、両病院ともネパール国におけるトップレファレル病院であり、災害時の拠点病院でもあることから、建物用途に対する重要度係数は $I=2.0$ とした。

b) 基礎方式

標準貫入試験および平板載荷試験の結果から、経済的で工期短縮に有効な直接基礎とした。

c) 構造フレーム方式

靱性および十分な強度を有する耐震壁を配したラーメン架構形式とした。

d) 使用材料

現地調達可能な以下の材料とした。

- コンクリート設計基準強度 : @28days $f_c=25$ (N/mm²)
- 鉄筋 : Fe500 ($\sigma_y=510$ N/mm 2級)

(7) 設備計画

1) インフラへの接続

a) PMWH における電気および通信

再建建物には、構内既存受電設備から 250KVA、単相 230V、三相 400V を供給する。

配電盤は既存の特別外来棟の電気室に設置され、境界扉に沿って架空にてケーブルを回し接続する。電話およびインターネットについては、既存の受付・管理部門の電話交換器から架空にてケーブル接続を行う。テレビ用配線についても同様である。

b) BH における電気および通信

2016年4月に 500KVA の構内サブステーションが設置され、架空および地中埋設方式にて再建建物に配線する。電話およびインターネット配線は、既存電話交換器から南側敷地境界に沿って架空にて設置する。テレビ用配線についても同様である。

2) 給排水

両病院ともに、既存給水系統へ接続し、再建建物に供給する計画とする。ただし、ビル病院については、主たる水源としていた既存井戸が 2016年5月に不具合により使用できなくなったため、水源の安定的供給の可能性について JICA プロジェクトチームの自然条件調査として深さ 300m 試験井戸を 2017年6月から7月に掘削のうえ揚水試験を実施した。この

結果、再建建物と現状の病院本館部分の需要をまかなうに十分な水量が得られることが確認された。なお、排水については、基準水質に処理したうえで構内下水道に接続し、公共下水道へ排水する。

3) 設備設計の概要

a) 電力設備

低圧商用電源（400V/230V）を構内サブステーションから供給する。頻繁に起こる停電に備えてディーゼル発電機を設置する。また無停電電源装置は透析室、CCU、血管造影治療室、NICU、MICU、手術室に設置する。

表 9.3.11 設計容量

設備項目	PMWH	BH
想定需要電力	250 kVA	200 kVA
発電機容量	250 kVA	200 kVA
UPS 容量	15 kVA	15 kVA

出典：JICA プロジェクトチーム

b) 通信設備

内線電話については、既存電話交換器を使用して再建建物に設置する。テレビ受信も既存設備を利用して再建建物に設置する。LANはナースステーションおよびスタッフルームに配線する。監視カメラは防犯、業務管理および教育を目的として設置する。火災報知設備は現地法規に準拠して設置する。

4) 給水

給水方式は受水槽＋高置水槽方式とし、衛生器具および医療機器へ給水する。水源は井水とし、維持管理を考慮した井水処理設備を設置する。受水槽容量は一日使用水量の50%とした。必要給水量の算出は現地法規（NBC 206: 2015）に準拠している。

表 9.3.12 1日使用水量および受水槽容量

病院名	病床数	病床あたり使用水量 (NBC206:2015)	1日使用水量	受水槽容量
PMWH	192床	450L/床	86,400L	44m ³
BH	94床	450L/床	42,300L	22m ³

出典：JICA プロジェクトチーム

BHの透析室については、井戸設備の故障に備え専用の高置水槽および単独配管を設置する。

温水の主な供給箇所は、スタッフ用流し台、手術用手洗器、シャワー、沐浴槽とし、太陽熱集熱器によるセントラル給湯と電気温水器による局所給湯方式の併用とする。

5) 排水

両病院の再建建物には浄化槽を設置して処理水は公共下水道に放流する。処理水質は現地法規（Environmental Protection Act- 2054）に準拠している。

表 9.3.13 許容放流水質

分類	許容放流水質
公共下水道放流の場合	BOD400mg/L, COD1,000mg/L, SS600mg/L

出典：JICA プロジェクトチーム

6) 空調設備

両病院ともに電気式マルチパッケージヒートポンプを採用する。空調箇所は下記の通りである。中央制御システムは過剰利用を防止するため用いない。

空調を設けない居室については天井扇を設置する。

表 9.3.14 空調対象室

PMWH	救急部門、緊急分娩室、手術部門、分娩センター、薬局、血液銀行、緊急検査室、MICU、NICU、新生児室、新生児特別治療室
BH	人工透析室、内視鏡室、CCU、血管造影治療室、共用会議室

出典：JICA プロジェクトチーム

設計用温度は下記の通りである。カトマンズにおける月ごとの気象データより 30 年平均最高気温および最低気温を採用し、空調能力を算定した。

表 9.3.15 設計用外気温度

Summer 夏季	乾球温度：29.1℃（6月）
Winter 冬季	乾球温度：2.4℃（1月）

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.3.16 設計用室内温湿度条件（目標値）

一般室		新生児室		手術室	
温度		温度	湿度	温度	湿度
夏季	26.0℃	26.0℃	55%	25.0	55%
冬季	22.0℃	25.0℃	55%	25.0	55%

出典：JICA プロジェクトチーム

7) 医療ガス設備

供給ガスは酸素（O）と吸引（V）とした。酸素はマニフォールドを設置しセントラルパイピング方式とした。吸引は吸引ポンプを設置しセントラルパイピング方式とした。

医療ガスアウトレットの設置室、個数は下表の通りである。

表 9.3.17 部門別医療ガスアウトレット設置基準（パロパカール産婦人科病院）

部 門	種類・設置数
救急部門	特別処置室 に O、V を設置 各診察ベッドに O、V を設置 観察 6 ベッドに対して O、V を設置
緊急分娩室	分娩 3 ベッドに対して O、V を設置 新生児処置コーナーに O、V を設置
手術部門	各手術室に 3 セットの O、V を設置 各術前・術後ベッドに O、V を設置 新生児処置コーナーに O、V を設置
産前病棟	3 ベッドに対して O、V を設置
分娩センター	各分娩ベッドに O、V を設置 新生児処置コーナーに O、V を設置
産後病棟	病棟に 1 か所 O、V を設置
手術後病棟	5 ベッドに対して O、V を設置
新生児部門	新生児室／新生児特別治療室（SBCU）に 30 セットの O、V 設置 NICU に 10 セットの O、V を設置 カンガルーケア 2 ベッドに対して O、V を設置
褥婦集中治療室（MICU）	各ベッドに O、V を設置

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.3.18 部門別医療ガスアウトレット設置基準（ビル病院）

部 門	種類・設置数
人工透析	各ベッドに O、V を設置
内視鏡	各内視鏡室に O、V を設置 ERCP（胆膵内視鏡）室に O、V を設置
CCU	各ベッドに 2 個の O、V を設置
一般病棟 （各科共通）	各重症者用ベッドに O、V を設置（全体の 40%） その他 2 ベッドに対して O、V 設置（全体の 60%）

出典：JICA プロジェクトチーム

(8) 機材計画

計画機材は、新棟の建築方針により計画された診療部門と病院側が作成した新産科棟設立に必要な機材リストをもとに以下の方針に基づき適正機材、数量を選定した。

- 新設の産科病院が適正に機能する機材
- 新棟の人員計画、技術レベルと整合のとれた数量、仕様
- 維持管理の面で病院全体の予算規模の過度の負担とならないことを配慮
- 現有機材数量を考慮
- 被災時においても当院のサービスが適正に機能できる機材の配置を考慮

表 9.3.19 主な調達機材（パロパカール産婦人科病院）

部 門	主な医療機材	主仕様
産科救急部	<ul style="list-style-type: none"> - インファントウォーマー - 患者モニター - ドップラ胎児検出器 - 超音波診断装置 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - 開放式 - ECG、呼吸数、SpO₂、体温、 - 携帯式 - 2プローブ、携帯式 - 吸引器
分娩センター	<ul style="list-style-type: none"> - 分娩台 - 患者モニター - ドップラ胎児検出器 - 超音波診断装置 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - ステンレス製 - ECG、呼吸数、SpO₂、体温 - 携帯式 - 携帯式2プローブ、腹部用 - 吸引器
分娩室	<ul style="list-style-type: none"> - 分娩台 - 患者モニター - ドップラ胎児検出器 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - ステンレス製 - ECG、呼吸数、SpO₂、体温 - 携帯式 - 吸引器
手術室／滅菌室	<ul style="list-style-type: none"> - 无影灯 - 手術台 - 滅菌器 - 患者モニター - 滅菌器 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - LED 式 - 電動コントロール式 - 流量計3種、気化器2種、電気駆動人工呼吸器 - ECG、SpO₂、呼吸ガス濃度、血圧、体温 - 高圧蒸気滅菌器、蒸気発生器付き - 電気メス、除細動器、輸液ポンプ
集中治療室 新生児集中治療室	<ul style="list-style-type: none"> - 患者中央監視システム - 人工呼吸器 - 血液ガス分析器 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - ECG、SpO₂、呼吸ガス濃度、血圧、体温 - 呼吸モード；SIMV、Assist / CMV、CPAP / PSV、PEEP 呼気量 2000ml、電気駆動人工呼吸器 - pH、pCO₂、pO₂ - 輸液ポンプ、パルスオキシメーター、吸引器、
病棟	<ul style="list-style-type: none"> - 診察灯 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - LED 電球 - 輸液ポンプ
産科検査室	<ul style="list-style-type: none"> - 生化学分析器 - 化学発光免疫測定装置 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - オープン試薬、半自動 - 自動式、甲状腺、ホルモン、腫瘍マーカー、TORCH - 顕微鏡
血液銀行	<ul style="list-style-type: none"> - 遠心分離器 - 冷凍機 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - 血漿分離 - 庫内温度 -40℃ - 献血椅子

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.3.20 主な調達機材（ビル病院）

部 門	主な医療機材	主仕様
集中治療室	<ul style="list-style-type: none"> - 患者中央監視システム - 人工呼吸器 - 血液ガス分析器 - その他機材 	<ul style="list-style-type: none"> - ECG、SpO₂、呼吸ガス濃度、血圧、体温 - 呼吸モード；SIMV、Assist / CMV、CPAP / PSV、PEEP 呼気量 2000ml、電気駆動人工呼吸器 - pH、pCO₂、pO₂ - 輸液ポンプ
心臓科病棟	<ul style="list-style-type: none"> - 心電計 	<ul style="list-style-type: none"> - 12 リード、液晶モニタ
内視鏡ユニット	<ul style="list-style-type: none"> - ビデオ内視鏡 	<ul style="list-style-type: none"> - 視野角 100 度以上、視野長 50mm 以上、キセノン光源、ビデオプロセッサ、電気メス装置、吸引器、ラック装備
人口透析室	<ul style="list-style-type: none"> - 人工透析器 	<ul style="list-style-type: none"> - 個人用、使用水処理装置装備

出典：JICA プロジェクトチーム

9.3.3 施工計画／調達計画

(1) 施工方針／調達方針

1) 基本事項

- 本プロジェクトは、日本国政府により閣議承認された後、ネパール国政府と日本国政府の間で交換公文（E/N）が署名され、引き続きネパール国政府と JICA の間で贈与契約（G/A）が締結されることにより正式に実施に移される。
- G/A 締結後は本邦法人であるコンサルタントとネパール国政府との間で実施設計、および監理契約を結び、直ちに詳細設計作業に入る。

表 9.3.21 工程表（実施設計および入札）

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
実施設計	現地調査	■												
	詳細設計		■											
	入札図書承認									■				
	PQ／入札／業者契約										■			

出典：JICA プロジェクトチーム

2) 入札

- 入札は、JICA の無償資金協力に係る調達ガイドラインに沿って実施される。
- 入札の形態は施設建設および機材調達を合せた単独型、もしくは施設と機材を分けた分離型の二通りの方法が考えられるが、施設と機材双方の工事上での技術的取り合いの調整を図るうえで利点のある単独型が望ましいと考える。
- 入札執行者は実施主体であるが、JICA の指導を受けながらコンサルタントが入札執行に関し十分協力することとする。

3) 建設および機材調達・据付

- 現地調査の結果から、現地での建設資機材のうち一部の仕上げ材（手術室用塩ビシート等）や建具（X線防禦ガラス等）の現地調達は困難であるため、日本からの輸入品が主流となる。また、隣国であるインドを経由して流通している資機材も多い。したがって、輸送ルート、および輸送方法による建設コストへの影響については慎重に検討する必要がある。
- 前項に示す通り仕上げ工事の一部について現地調達が困難な工種については熟練工が現地にはいないため、日本、或いは第三国からの指導技術者派遣が必要になると考えられ、建設および機材据付労務計画ではその点を慎重に検討する必要がある。一方、一般労務者については現地にて確保することが可能である。
- 施設建設と機材納入・据付の両工事が円滑に進むように密実な工程管理技術が求められる。施設建設工程に合わせてタイムリーに機材の搬入が可能となるように輸送計画についても十分検討する必要がある。

- 施工に先立って、既存建物の解体撤去がネパール国側にて行われたが、安全で適切な撤去工事实施のため、本プロジェクトにて技術アドバイザーを派遣してこれを支援した。

4) 実施体制

本無償資金協力事業の実施体制は以下の通りである。

- ネパール国側の主管官庁は MOH である。
- 本プロジェクトの実施機関は PMWH および BH である。

(2) 施工区分／調達・据付区分

全体事業のうち日本側が負担する範囲とネパール国政府側が負担する範囲をまとめると以下の通りとなる。

表 9.3.22 負担範囲

日本国側負担分	ネパール国側負担分
1. 施設 (1) 建築工事 構造躯体、建築仕上げ、家具等 (2) 電気設備工事 受変電設備、動力・幹線設備、非常用発電機設備、電灯・コンセント設備、エリア内外灯、通信設備、放送設備、電話設備、雷保護設備、太陽光発電設備等 (3) 機械設備工事 (ア) 給排水衛生設備工事 1) 給水工事 井水処理設備、受水槽、高置水槽、衛生設備、太陽熱温水・電気温水設備等 2) 排水工事 浄化槽 3) 消火設備 4) 敷地内外灯 (イ) 空調・換気設備工事 冷房設備、ヒーター、換気設備、天井扇等 (4) 外構工事 構内道路、通路、排水設備、植込 (5) 施工中の工事用水および電力の料金 2. 機材 (1) 医療機材一式	(1) 敷地準備 a) 事前準備 b) 工事用地の確保 c) 既存建物撤去および敷地準備工事 d) アクセス道路の確保 e) 既設物等の移動 (2) 基幹工事 a) 電力引込関連工事 b) 電話引込関連工事 (3) 建築計画通知申請手続き、各設備接続申請手続き (4) 関税・通関手続き、および免税措置等の措置 (5) 銀行取決め B/A (Banking Arrangement) に基づく支払い授權書 A/P (Authorization to Pay) の発行 (6) 維持管理に要する費用 (7) 本病院施設内の什器、備品等の調達・設置 (8) 日本人技術者および第三人技術者のネパール国出入国、および滞在に必要な便宜供与 (9) 備品（カーテン、ブラインド等） (10) 外構工事のうち植樹、植栽

出典：JICA プロジェクトチーム

(3) 施工監理計画／調達監理計画

工事期間中におけるコンサルタントの具体的な業務内容は次の通りである。

1) 施工計画、安全計画、施工図の承認

施工業者より提出される施工計画書、工程表、施工図が契約書、図面、仕様書に適合しているかを審査し、承認を与える。

2) 安全管理

両病院の施工時の安全管理にあたっては「ODA 建設工事安全管理ガイドライン」に従う。施工業者は、全体計画としての「安全対策プラン」および施工段階ごとの「安全施工プラン」を提出し、コンサルタントは無償実施機関とレビューを行う。

- 両病院ともに稼働中の病院コンプレックスにおける一部再建であるため、利用者を含め、工事中の安全管理については最優先とする。
- 工事車両や重機は、病院敷地への工事車両進入ゲートを入ってのちに工事エリア内に入場することになるため、病院敷地内の事故防止については細心の注意をもって管理を行う。工事車両用の病院ゲートは1か所とし、可能な限り利用者の動線とは分離を図る。また常時複数の監視員を配置して、車両案内時にも利用者監視・保護を切れ目なく行える体制とする。
- 工事エリアは仮囲いをして工事関係者以外の誤進入を防ぐとともに、場外への接触や飛来事故等を防ぐ。
- 24時間稼働中の病院であり、入院患者もいることから、騒音、振動および粉じん等の害がないように配慮し、夜間の工事も原則的に行わない（内装工事等は検討することができる）。

3) 工程管理

施工業者より提出された全体工程表をベースに、毎月の進捗状況を月報として報告を受ける。工事進捗報告書は予想出来高曲線に月末の実施工程を反映させ、その比較から遅れや進み具合が数字で見えるようにモニターする。計画工程から深刻な遅れが発生した場合は、その原因を追究・把握してその対処・キャッチアップに向けて適切な指示指針を与える。

4) 工程表

表 9.3.23 工程表（PMWHの施工）

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
建設	準備工事	■	■	■																
	土工事/基礎/躯体工事			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	仕上げ工事						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	造作家具・調達家具															■	■	■	■	■
	検査/引き渡し																			■
機材調達	製作/調達/据付										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	操作指導/検査/引き渡し																			■

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.3.24 工程表（BHの施工）

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
建設	準備工事	■	■	■															
	土工事/基礎/躯体工事			■	■	■	■	■	■	■									
	仕上げ工事						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
	造作家具・調達家具												■	■	■	■			
	検査/引き渡し															■			
機材調達	製作/調達/据付						■	■	■	■	■	■	■	■	■				
	操作指導/検査/引き渡し													■	■				

出典：JICA プロジェクトチーム

5) その他

ネパール国の制度に従い、EIA/IEE はネパール国側によって実施されることが MD に明記されている。EIA/IEE の実施については、MOH が NRA へ確認し、BH については 2016 年 8 月に“Working Guideline for Environmental Impact Assessment of Reconstruction Work of Structure Affected by Earthquake, 2072” に従って EIA および IEE は免除されることが確認された。PMWH については、当初 EIA は不要であるものの IEE は必要とされていたが、2017 年 2 月に“Guideline for Environmental Impact Assessment of Reconstruction Work of Structure Affected by Earthquake, 2072 (Revised)” に従って IEE についても免除されることが確認された。

9.3.4 既存施設の解体・撤去

(1) 解体工事のアドバイザー業務

無償資金協力事業案件の対象となった、次の 2 病院の被災した建物はネパール側の負担で解体撤去工事が行われた。

- パロパカール産婦科病院（PMWH）
- ビル病院（BH）

2016 年 3 月よりネパール国の要請により解体撤去工事に対する技術的なアドバイスを行った。再建計画のための既存解体工事に関わる諸機関と協力し、現地調査の後、「解体工事テクニカルノート（解体工事 T/N）」を 2016 年 4 月 11 日に締結した。本業務は解体工事 T/N 記載した方針に基づき、モニタリングとアドバイスを行い、工期工程の調整を行いながら、2016 年 8 月まで、延 50 日間、4 回に渡り現地業務を行った。解体工事の完了予定は 8 月 31 日であったが、未成工事がある為に、11 月 30 日まで工期を延長して、全ての「解体工事 T/N」合意事項を完了させることに 8 月 22 日に文書で合意した。病院被災建物解体撤去に関する主要な課題は、次の通りであった。

- 病院運営を継続しながらの解体工事となるため、工事の安全のみならず患者やスタッフの安全を確保すること。
- 解体により発生する産業廃棄物処理を現地の法に従い適切に処理すること。
- 再建計画につなげるため、現病院の運営に支障なく、設備ケーブルや配管のルート替えを行い、安全に環境負荷を低減しつつ解体工事を行うこと。
- 撤去後の敷地を、再建建物の建設用地として適切な状態にすること。

1) 調査の実施概要

第1回～第4回調査を通して「1) 設備工事のルート替えの確認、2) 工事の安全の確保の確認、3) 環境配慮の確認、4) 工期工程の進捗の確認と調整、5) 再建建物の基礎支持地盤の保全の確認」を行い、関係諸機関との合同会議の場で工事状況のプレゼンテーションとアドバイスをを行った。実施概要は次の通り。

a) 第1回調査；2016年3月23日～4月13日（21日間）

「解体工事 T/N（2016年4月11日）」の締結。合意事項は1) 解体工事配置計画、2) 解体対象建物の特定、3) 工事工程、4) 責任機関と実施機関、5) 病院利用者の安全と解体工事の安全（ODA 建設工事安全管理ガイダンス（2014年9月 JICA）を参照し作成）、6) 解体工事手順（案）であった。

PMWH はネパール各地で被災建物の撤去を続けていた国際移住機関（IOM）が担当することになり、JICA プロジェクトチームは現地にて打合せを重ねるとともに、被災したトリブヴァン大学校舎（4階建）の IOM の解体工事現場を視察し、安全装具を身に付け重機を使用した解体工事を確認した。IOM は被災建物撤去に際して1階床を含む基礎の再利用を促し、撤去しない工事を各地で続けており、PMWH についてもこの部分の撤去の実施機関は未定であった。

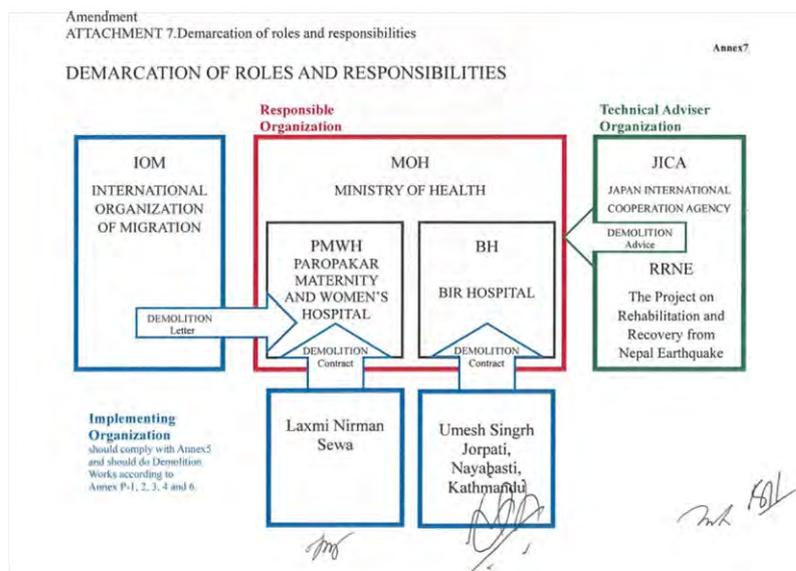
BH は民間工事会社 Umesh Singrh Jorpati、Nayabasti、Kathmandu1 社が担当しており、2月より解体工事を始め、NEW ICU BUILDING の最上階の3階がハンマーおよびバイブレーターによる手作業で解体されていた。

b) 第2回調査；2016年5月22日～5月31日（10日間）

「病院利用者の安全と解体工事の安全」の合同検討会議開催。

c) 第3回調査；2016年7月16日～7月24日（9日間）

「AMENDMENT 解体工事 T/N（2016年7月21日）」の締結。合意事項は「責任と役割の範囲図」の追加であった。PMWH の地上部分の撤去が IOM により完了し、民間工事会社の Laxmi Nirman Sewa が1階床を含む基礎と地下工作物を撤去すると MOH, PMWH から報告を受けた。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.3.2 責任と役割の範囲図

d) 第4回調査：2016年8月21日～8月31日（11日間）

工事完了期限を迎えるにあたり、「解体工事完了・未成工事確認書（2016年8月22日）」を締結し、「解体工事 T/N（2016年4月11日）」に照らして未成工事を明確にした。現地調査を進め、追記が必要になった未成工事は AMENDMENT ATTACHMENT として締結し、「解体工事 T/N」で合意した全ての被災建物撤去に伴う解体工事の終了期限を2016年8月31日から11月30日に延期することを合意した。この延期工程は、当初2016年12月中旬に両病院再建の入札が予定されていたため、質疑回答やアジェンダ発行を考慮し決定した。

2) 解体工事完了確認

第4回調査の後には、国内において工事の実施状況をモニタリングし、両病院の解体工事が完了したことを確認した。詳細は以下の通り。

表 9.3.25 解体工事の完了確認

病院	項目	責任機関	確認方法	進捗状況
パロパカール産婦人科病院	基礎と地下工作物の撤去	MOH, PMWH	工事報告書および工事写真	完了済（2016年10月23日）
	OLD BUILDING の底			完了済（2016年10月23日）
	排水管の移設			完了済（2016年12月27日）
	南側敷地境界の仮設壁設置			完了済（2016年11月2日）
ビル病院	基礎と地下工作物の撤去	MOH, BH	JICA 事務所による現場視察	完了済（2017年1月19日）

出典：JICA プロジェクトチーム

3) 敷地測量図

2016年7月17日付の RRNE-MOH 合意文書（645R7108/222）に基づき、MOH はビル病院とパロパカール産婦人科病院の解体工事完了後の設備機器を含む敷地現況図を作成した。

9.4 バラキロ - バルパック道路橋梁建設計画

9.4.1 対象施設

9.2.2 項に示す通り、カーレ橋とジャヤラ橋については、QIPs による整備とするが、本項において、プログラム無償としての調査概要および概略設計結果について、他の3橋と同様に提示する。

9.4.2 設計条件／自然条件

(1) 気象条件

1) 概要

ケッペン気候区分システムによれば、5橋梁の調査地域は、「温帯冬季乾燥暖夏気候」（「Cwb」）に分類される。（下流の Rampur 観測所は「温帯冬季乾燥暑夏気候; Cwa」である。）

ネパール国の気候は海洋性と大陸性の要因による影響を受け、四季をもつ。春は3月から5月まで続き、驟雨があつて暖かい。6月から8月までの夏は、丘陵地は緑豊かな色に変わりモンスーンの季節となる。9月から11月までの秋は、晴れ渡った空で涼しい。12月から2月までの冬は、時折、零度を下回る気温となり夜間は寒い。しかしながら、最高気温はなお20℃まで達する。そして、山岳地は、一部の高い丘陵地を含め雪で覆われる。

ネパール国は、洪水、土石流、土砂崩れ等の自然災害に起因する異常気象などの影響を受けている。ネパール国の脆弱な地質条件、地形学上の極端さ、気候の極端さや地震活動は、森林伐採と非科学的な農業、非科学的な土地利用変化、および、道路、灌漑システム、水力発電の建設などの開発行為と相俟って、さまざまな自然災害による被害を受け易くしている。

モンスーン時期の異常な降雨事象は、ネパール国によく見られる。過去数年間での異常暴風雨は、ネパール国の低気圧に関連する場合はベンガル湾から発生するモンスーン性低気圧の経路の異常な動きによって導かれている。

本稿では、計画橋梁の調査地域の気象学、水文学、超過洪水事象、およびその洪水に対する防護対策の概要を述べるものとする。

2) データ収集項目

図9.4.1に示す通り、調査対象地域とその周辺流域に、気象観測所および水文観測所が位置する。科学技術環境省の下部組織である水文気象局（DHM）は、気象観測や河川流量の測定を行っている。雨量計のみ設けられている観測所がある一方、一部の観測所では、温度計、湿度計、風速計と蒸発計も設置されている。表中の気象・水文観測所の中で、Rampur 観測所のみ全ての項目が測定されており、他の観測所はただ降雨量のみが測定されている。

調査地域と周辺流域での関連する気象/水文観測所でのデータ収集の項目と期間を表9.4.1と表9.4.2に示す。

表 9.4.1 各気象観測所での収集データ

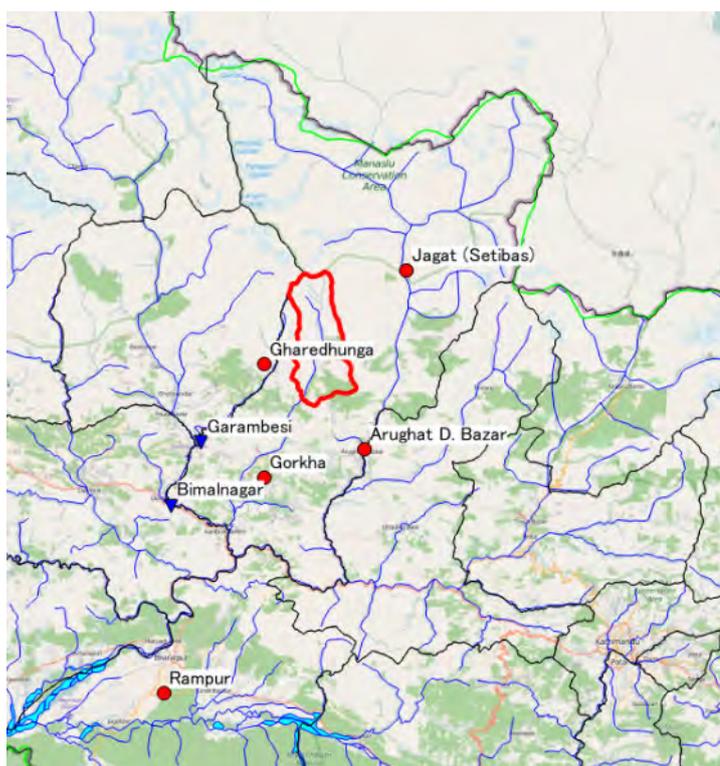
S.N.	Station Name	District	Log. (X)	Lat. (Y)	Elevation (m)	Established Date	Collected Items							Remarks
							Monthly Temperature	Monthly Relative Humidity	Monthly Wind Speed	Monthly Evaporation	Monthly Rainfall	Daily Rainfall	Annual Maximum Daily Rainfall	
118	Jagat (Setibas)	Gorkha	84.90000	28.36667	1334	Jul-57	-	-	-	-	1985-2014	1995-2014	1990-2014	
125	Gorkha	Gorkha	84.61667	28.00000	1097	Jun-56	-	-	-	-	1985-2014	1995-2014	1990-2014	
136	Gharedhunga	Lamjung	84.61667	28.20000	1120	Jul-76	-	-	-	-	1985-2010, 12, 14	1993-2014	1990-2010, 12, 14	
167	Arughat D. Bazar	Dhading	84.81667	28.05000	518	Jun-57	-	-	-	-	1985-2008	1991-2008	1990-2008	
146	Rampur	Chitawan	84.41667	27.61667	256	Jan-67	1985-2014	1985-2014	1968-2012	2001-2010	1985-2014	1995-2014	1990-2014	

出典：DHM

表 9.4.2 各水文観測所での収集データ

S.N.	Station No.	River Name	Station Name	Log. (X)	Lat. (Y)	Elevation (m)	Established Date	Instruments	Collected Items			Remarks
									Monthly Discharge (Minimum, Average, Maximum)	Daily Discharge	Annual Maximum Discharge (Extreme)	
17	439	Marsandi River	Bimalnagar	84.43000	27.95000	354	Mar-87	Cable Way	1987-2010	1988-2010	1988-2010	
18	440	Chepe Khola	Garambesi	84.48972	28.06139	442	Nov-63	Cable Way	1964-2010	1964-2010	1964-2010	

出典：DHM



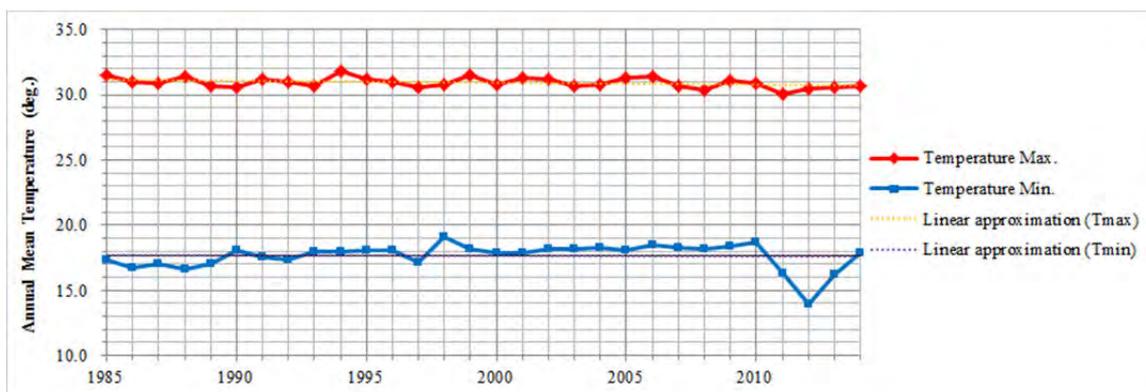
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.1 気象および水文観測所の位置

3) 一般気象条件

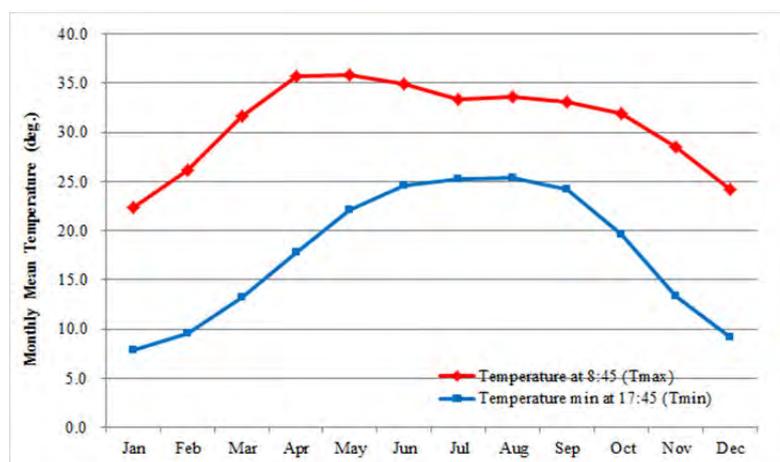
a) 気温

1985年から2014年の月平均最高/最低気温を図9.4.2に示す。最高気温は22度から36度に変化し、そのピークは4月から6月に発生する。一方、最低温度は、8度から25度まで変化しており、そのピークは6月から8月にある。年平均気温の長期変動を図9.4.3に示すが、地球温暖化を示す兆候は特に見られない。



出典：DHM

図 9.4.2 Rampur 観測所での年間平均気温の長期変動

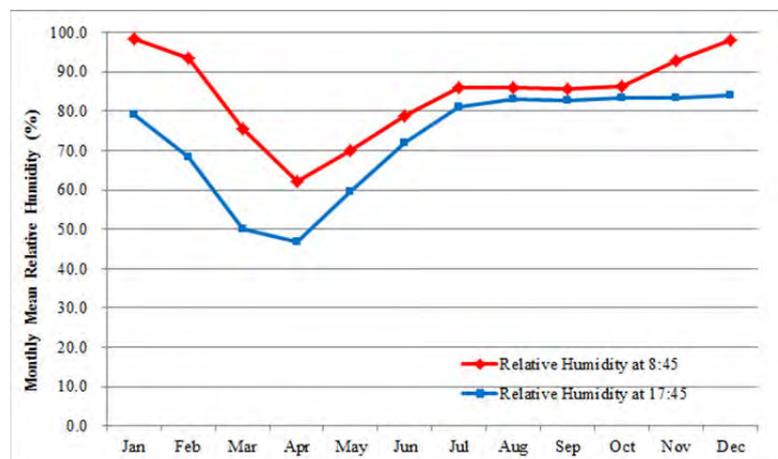


出典：DHM

図 9.4.3 Rampur 観測所での月間平均気温

b) 相対湿度

1985年から2014年の午前8時45分と午後05時45時での月平均相対湿度を図9.4.4に示す。相対湿度のパターンとして、湿度の高い時期が、春季（3月-5月）を除いて継続し、そのピークは12月から1月に発生する。



出典：DHM

図 9.4.4 Rampur 観測所での月間平均相対湿度

c) 風速

1968年から2012年の月平均風速を図9.4.5に示す。月平均風速は0.4 m/秒から1.4 m/sまで変化し、そのピークは春季（3月-6月）に発生する。



出典：DHM

図 9.4.5 観測所での月間平均風速 (m/sec)

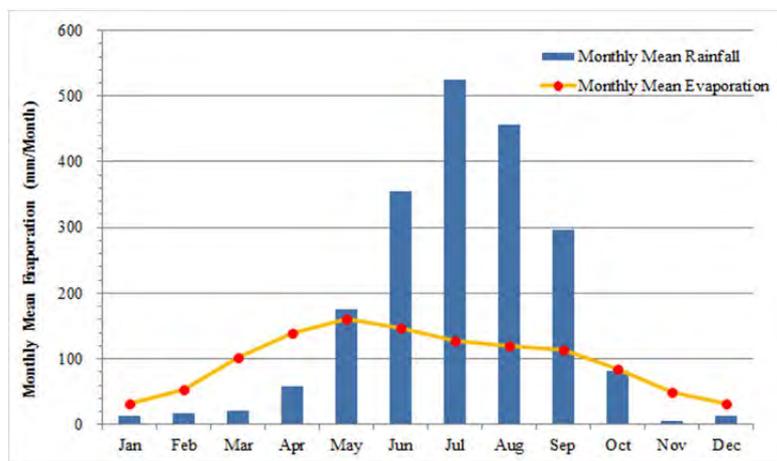
d) 蒸発散

2001年から2010年の月平均蒸発散量を表9.4.3と図9.4.6に示す。月平均蒸発散量は32mmから160mmまで変化し、降水量のピークは6月から9月までに発生するが、蒸発散のピークは5月から7月に発生する。蒸発散量と降水量の比率の観点から4月から10月までの季節は乾燥していることがわかる。

表 9.4.3 Rampur 観測所での月間平均蒸発散量（2001-2010）

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Evaporation (mm)	Annual Rainfall (mm)	Remarks (Evapo./Ram.)
2001	(gap)	(gap)	(gap)	(gap)	(gap)	171.0	127.1	102.3	96.0	74.4	45.0	27.9	(643.7)	2340.1	-
2002	37.2	61.6	102.3	129.0	127.1	123.0	120.9	133.3	111.0	86.8	51.0	37.2	1120.4	2643.9	42.4%
2003	31.0	53.2	86.8	129.0	148.8	114.0	117.8	99.2	81.0	77.5	45.0	34.1	1017.4	2693.5	37.8%
2004	31.0	52.2	93.0	117.0	173.6	111.0	55.8	120.9	87.0	71.3	42.0	31.0	985.8	2042.0	48.3%
2005	31.0	50.4	114.7	150.0	186.0	150.0	111.6	89.9	99.0	71.3	42.0	37.2	1133.1	1732.0	65.4%
2006	31.0	53.2	114.7	135.0	151.9	144.0	139.5	124.0	129.0	96.1	51.0	27.9	1197.3	1997.2	59.9%
2007	27.9	47.6	96.1	144.0	145.7	198.0	155.0	124.0	150.0	102.3	63.0	34.1	1287.7	2742.6	47.0%
2008	43.4	58.0	114.7	150.0	186.0	171.0	198.4	161.2	138.0	96.1	60.0	49.6	1426.4	1786.0	79.9%
2010	24.8	50.4	99.2	159.0	164.3	135.0	117.8	127.1	132.0	86.8	39.0	15.5	1150.9	2399.5	48.0%
Monthly Mean Evaporation	32.2	53.3	102.7	139.1	160.4	146.3	127.1	120.2	113.7	84.7	48.7	32.7	1161.2	2023.6	57.4%
Monthly Mean Rainfall	14.1	18.0	21.3	59.2	176.4	355.0	525.4	457.0	295.9	81.6	5.7	14.0	-	2023.6	1985-2014
Evaporation / Rainfall	228.8%	295.9%	482.0%	235.1%	91.0%	41.2%	24.2%	26.3%	38.4%	103.8%	850.3%	234.1%	-	-	

出典：DHM のデータを基に JICA プロジェクトチーム作成



出典：DHM

図 9.4.6 Rampur 観測所での月間平均蒸発散量（mm）

e) 降雨

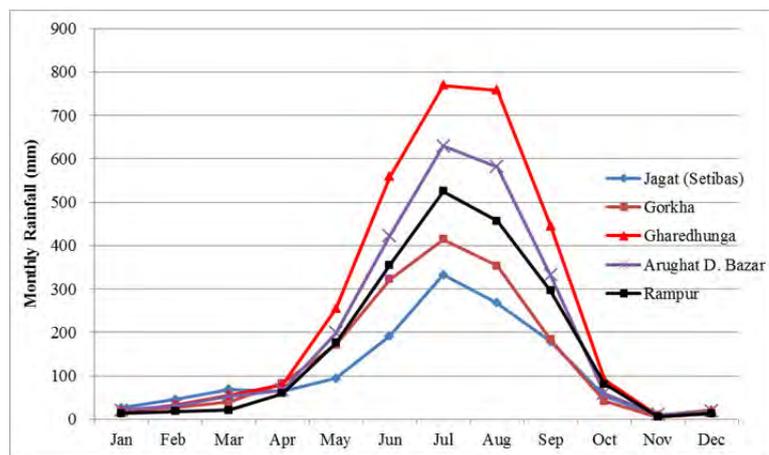
① 日・月間、年間降水量

対象5観測所での月平均降水量を表9.4.4と図9.4.7に示す。月平均降水量は5mmから769mm/月まで変化し、そのピークは6月から9月に発生する。5観測所での年平均降水量はJagat Setibasの1,347mmからGharedhunga観測所の3,096mmまで変化する。

表9.4.4 周辺5観測所の月間平均降水量

Station Name	Observed Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Jagat (Setibas)	1985-2014	26.9	45.4	68.9	65.5	93.9	191.7	333.2	268.0	178.8	53.8	7.6	12.9	1347
Gorkha	1985-2014	20.3	26.6	40.1	83.2	171.1	322.2	414.5	353.5	183.4	41.6	5.3	13.9	1676
Gharedhunga	1985-2010, 2012, 2014	18.7	32.9	55.8	80.0	254.9	559.4	769.2	758.1	445.6	92.0	9.0	21.0	3096
Arughat D. Bazar	1985-2008	20.7	31.0	53.7	67.6	198.1	422.7	629.6	581.3	332.1	59.6	10.7	19.2	2426
Rampur	1985-2014	14.1	18.0	21.3	59.2	176.4	355.0	525.4	457.0	295.9	81.6	5.7	14.0	2024
Average		20.1	30.8	48.0	71.1	178.9	370.2	534.3	483.6	287.2	65.7	7.7	16.2	2114

出典：DHM のデータを基に JICA プロジェクトチーム作成



出典：DHM

図9.4.7 5観測所での月間平均降水量分布

施工計画上の参考資料として、不稼働日が10mm以上の日降水量となる年間の総日数に基づき求められる。5観測所での過去の日降水量から求めた推定結果を表9.4.5に示す。

表9.4.5 5観測所での10mm/日以上の降雨日数

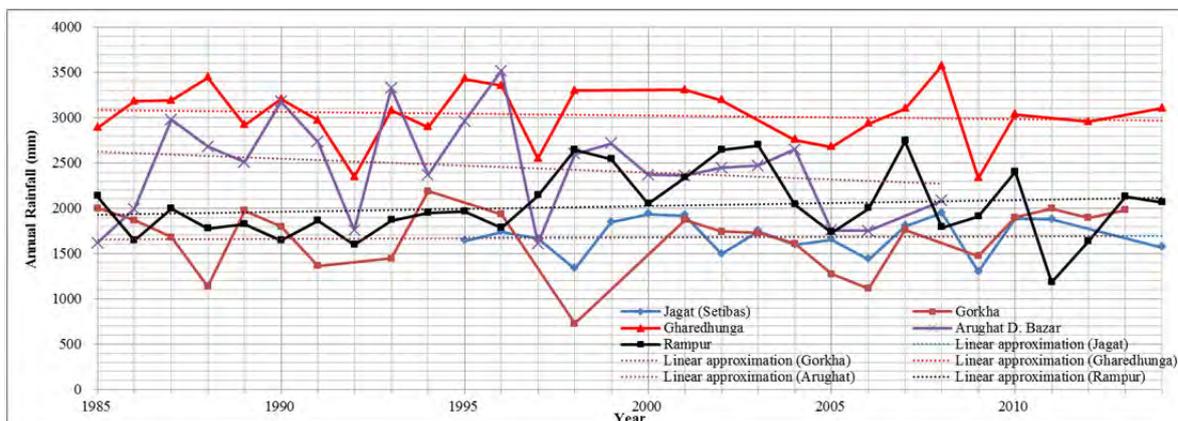
Station Name	Collected Records	Rainy days more than 10mm/day	Rate of Rainy Days	Remarks
		a	b=a/365	
Jagat (Setibas)	1995-2014	65.5	0.179	
Gorkha	1995-2014	51.4	0.141	
Gharedhunga	1993-2014	82.5	0.226	
Arughat D. Bazar	1991-2008	72.7	0.199	
Rampur	1995-2014	55.2	0.151	

Note. Unworkable days assume that daily rainfall is higher than 10mm.

出典：DHM のデータを基に JICA プロジェクトチーム作成

② 年間降水量の長期変動

5 観測所での年間降水量の長期変動を図 9.4.8 に示す。5 観測所での年間降水量は 728 mm から 3,573 mm まで変化する。このことから、地球温暖化を示唆する増加の兆候は特に見られない。



出典：DHM

図 9.4.8 5 観測所での年間降水量の長期変動

③ 観測所での降雨超過確率および強度曲線

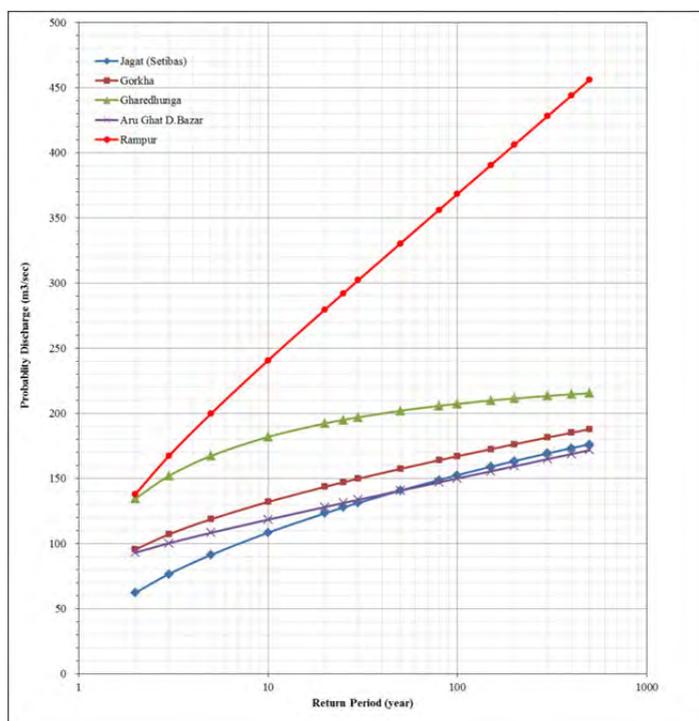
表 9.4.6 と図 9.4.9 に示す通り、5 観測所での確率降雨量は、収集された過去の年間最大降水量（極値）から計算される。確率降雨量は、以下に従って計算される：

- 各種手法から確率分布に適したモデル - 指数分布, グンベル分布, 平方根指数型最大値分布, 一般化極値分布, 対数ピアソンⅢ型分布（実数空間法や対数空間法）、岩井法, 石原・高瀬法, 対数正規分布 3 母数クォンタイル法や Slade II 法）など
- SLSC（標準最小二乗規準）値または確率値などの妥当性を参照することによって選択された分布モデル（0.04 以下の SLSC が望まれる。）
- 2, 3, 5, 10, 20, 25, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400 年および 500 年確率の計算

表 9.4.6 5 観測所での確率日降水量

Station Name	Jagat (Setibas)	Gorkha	Gharedhunga	Aru Ghat D.Bazar	Rampur	Remarks	
River Name	Buri Gandaki	Daraudi	Chepe	Buri Gandaki	Narayani		
Station S.N.	118	125	136	167	146		
Long. (X) of Location	84.9000	84.6167	84.6167	84.8167	84.4167		
Lat. (Y) of Location	28.3667	28.0000	28.2000	28.0500	27.6167		
Elevation of Station (m)	1,334	1,097	1,120	518	256		
Data No. of Extreme Value	25	25	23	19	25		
Probable Daily Rainfall (mm/day)	(Year)	(%)					
	2	50%	62.4	95.6	134.6	93.1	138.1
	3	33.3%	76.6	107.1	152.0	100.3	167.3
	5	20%	91.3	118.7	167.3	108.3	199.7
	10	10%	108.4	132.0	181.9	118.4	240.6
	20	5.0%	123.3	143.6	192.3	128.1	279.7
	25	4.0%	127.8	147.1	195.0	131.2	292.1
	30	3.33%	131.3	149.9	197.0	133.7	302.3
	50	2.0%	140.7	157.4	202.0	140.7	330.4
	80	1.25%	148.9	164.0	205.8	147.0	356.2
	100	1.0%	152.6	167.1	207.3	150.1	368.4
	150	0.667%	159.0	172.5	209.9	155.5	390.5
	200	0.5%	163.4	176.3	211.4	159.4	406.2
	300	0.333%	169.3	181.5	213.4	164.9	428.3
	400	0.25%	173.3	185.1	214.6	168.8	444.0
500	0.2%	176.3	187.9	215.5	171.8	456.2	
X-COR(99%)	0.981	0.993	0.976	0.945	0.984		
P-COR(99%)	0.983	0.997	0.319	0.961	0.990		
SLSC(99%)	0.040	0.024	0.039	0.069	0.035		
Probabilistic Distributed model	Generalized extreme value distribution	Iwa's method	Log Pearson type III distribution (Real space method)	Gumbel distribution	Gumbel distribution		

出典：DHM のデータを基に JICA プロジェクトチーム作成

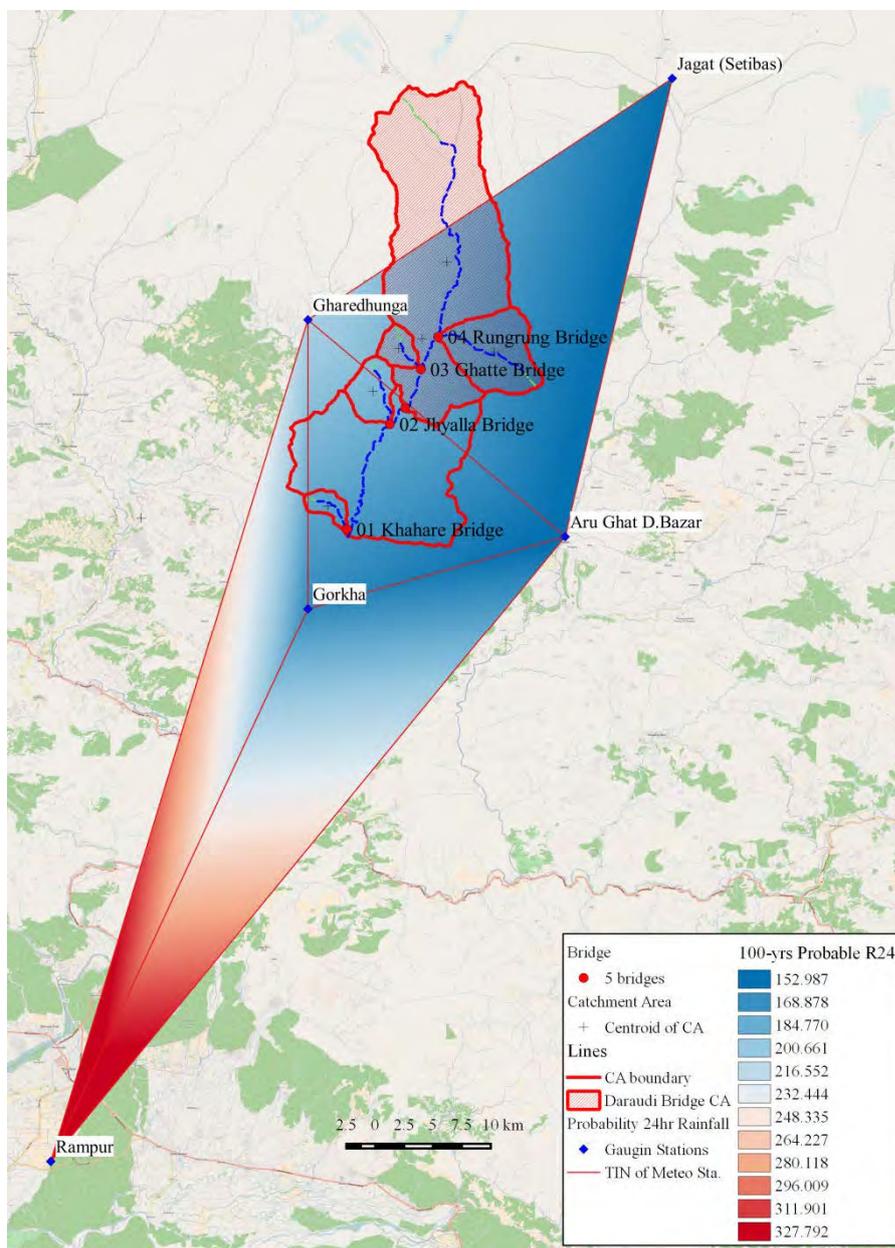


出典：DHM

図 9.4.9 5 観測所での確率日降水量

④ 橋梁位置での降雨超過確率および強度曲線

一例として、表 9.4.6 の 100 年確率降雨量の空間分布を図 9.4.10 に示す。各橋梁の 2 年から 100 年確率降雨量は、GIS ソフトウェアの TIN（不規則三角形網）上の各流域面積の重心位置での確率値を読み取ることにより推定した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.10 確率降水量の空間分布（100 年確率洪水のケース）

それから、短時間降雨継続時間の降雨強度と 24 時間確率降雨量との相関を見出すために物部式を、適用した。（この式は、ネパール国でもよく使用される。）

各計画橋梁位置での確率降雨強度を表 9.4.7 に示す。全流域の IDF 曲線を図 9.4.11 に示す。

表 9.4.7 計画橋梁位置での確率降雨強度

100-yrs Probability Rainfall Intensity

Bridge No.	Chainage	Bridge (River) Name	Catchment Area (km ²)	100-yrs Probable Dairy Rainfall: R ₂₄ (mm/day)	100-years Probable Rainfall Intensity each rainfall duration (mm/hr): It = R ₂₄ /24*(24/t) ^m , m=2/3													Remarks
					24 hour													
					24	12	8	6	3	2	1.5	1	0.75	0.5	0.333	0.167	It= A/t ^{2/3}	
				1,440 min.	1,440	720	480	360	180	120	90	60	45	30	20	10		
1	km16	Khahare Khola	5.72	178.94	7.5	11.8	15.5	18.8	29.8	39.1	47.3	62.0	75.2	98.5	129.0	204.8	A= 62.035	
2	km27	Jhayalla Khola	13.94	190.17	7.9	12.6	16.5	20.0	31.7	41.5	50.3	65.9	79.9	104.7	137.1	217.7	A= 65.927	
3	km31	Ghatte Khola	7.43	188.86	7.9	12.5	16.4	19.8	31.5	41.2	50.0	65.5	79.3	103.9	136.2	216.2	A= 65.474	
4	km37	Rungrung Khola	34.43	171.27	7.1	11.3	14.8	18.0	28.5	37.4	45.3	59.4	71.9	94.3	123.5	196.1	A= 59.377	
5	km29	Daraudi Khola	214.5	184.26	7.7	12.2	16.0	19.3	30.7	40.2	48.7	63.9	77.4	101.4	132.9	210.9	A= 63.880	
-	km16	Daraudi Khola	347.9	185.09	7.7	12.2	16.0	19.4	30.8	40.4	49.0	64.2	77.7	101.9	133.5	211.9	A= 64.167	

50-yrs Probability Rainfall Intensity

Bridge No.	Chainage	Bridge (River) Name	Catchment Area (km ²)	50-yrs Probable Dairy Rainfall: R ₂₄ (mm/day)	50-years Probable Rainfall Intensity each rainfall duration (mm/hr): It = R ₂₄ /24*(24/t) ^m , m=2/3													Remarks
					24 hour													
					24	12	8	6	3	2	1.5	1	0.75	0.5	0.333	0.167	It= A/t ^{2/3}	
				1,440 min.	1,440	720	480	360	180	120	90	60	45	30	20	10		
1	km16	Khahare Khola	5.72	170.73	7.1	11.3	14.8	17.9	28.5	37.3	45.2	59.2	71.7	94.0	123.1	195.4	A= 59.188	
2	km27	Jhayalla Khola	13.94	183.56	7.6	12.1	15.9	19.3	30.6	40.1	48.6	63.6	77.1	101.0	132.4	210.1	A= 63.637	
3	km31	Ghatte Khola	7.43	181.99	7.6	12.0	15.8	19.1	30.3	39.7	48.1	63.1	76.4	100.2	131.2	208.3	A= 63.094	
4	km37	Rungrung Khola	34.43	162.77	6.8	10.8	14.1	17.1	27.1	35.5	43.1	56.4	68.4	89.6	117.4	186.3	A= 56.430	
5	km29	Daraudi Khola	214.5	176.45	7.4	11.7	15.3	18.5	29.4	38.5	46.7	61.2	74.1	97.1	127.2	202.0	A= 61.170	
-	km16	Daraudi Khola	347.9	177.81	7.4	11.8	15.4	18.7	29.6	38.8	47.0	61.6	74.7	97.9	128.2	203.5	A= 61.644	

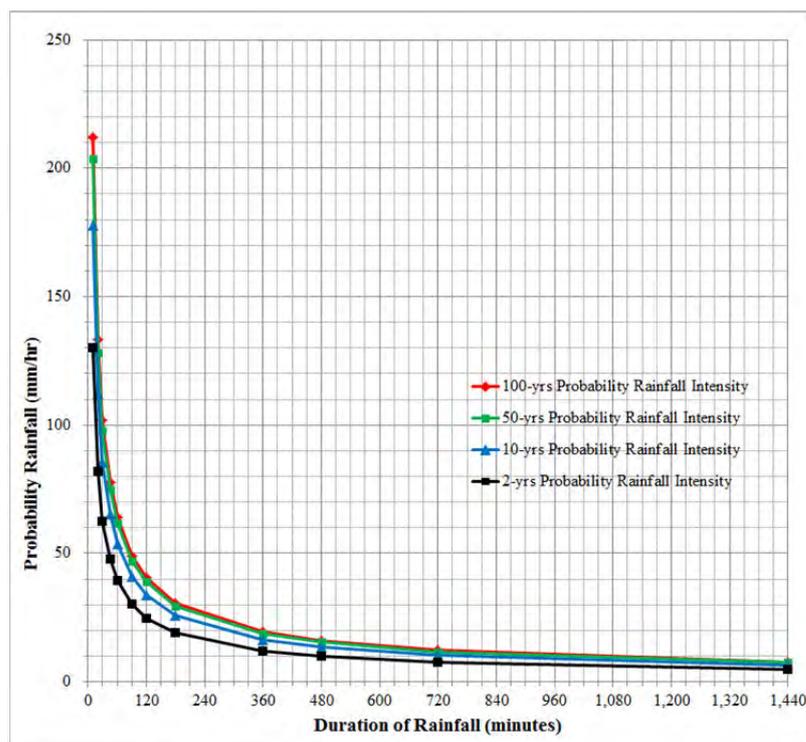
10-yrs Probability Rainfall Intensity

Bridge No.	Chainage	Bridge (River) Name	Catchment Area (km ²)	10-yrs Probable Dairy Rainfall: R ₂₄ (mm/day)	10-years Probable Rainfall Intensity each rainfall duration (mm/hr): It = R ₂₄ /24*(24/t) ^m , m=2/3													Remarks
					24 hour													
					24	12	8	6	3	2	1.5	1	0.75	0.5	0.333	0.167	It= A/t ^{2/3}	
				1,440 min.	1,440	720	480	360	180	120	90	60	45	30	20	10		
1	km16	Khahare Khola	5.72	147.36	6.1	9.7	12.8	15.5	24.6	32.2	39.0	51.1	61.9	81.1	106.3	168.7	A= 51.088	
2	km27	Jhayalla Khola	13.94	162.61	6.8	10.8	14.1	17.1	27.1	35.5	43.0	56.4	68.3	89.5	117.3	186.1	A= 56.374	
3	km31	Ghatte Khola	7.43	160.27	6.7	10.6	13.9	16.8	26.7	35.0	42.4	55.6	67.3	88.2	115.6	183.5	A= 55.561	
4	km37	Rungrung Khola	34.43	138.95	5.8	9.2	12.0	14.6	23.2	30.3	36.8	48.2	58.4	76.5	100.2	159.1	A= 48.172	
5	km29	Daraudi Khola	214.5	152.20	6.3	10.1	13.2	16.0	25.4	33.2	40.3	52.8	63.9	83.8	109.8	174.2	A= 52.766	
-	km16	Daraudi Khola	347.9	155.40	6.5	10.3	13.5	16.3	25.9	33.9	41.1	53.9	65.3	85.5	112.1	177.9	A= 53.874	

2-yrs Probability Rainfall Intensity

Bridge No.	Chainage	Bridge (River) Name	Catchment Area (km ²)	2-yrs Probable Dairy Rainfall: R ₂₄ (mm/day)	2-years Probable Rainfall Intensity each rainfall duration (mm/hr): It = R ₂₄ /24*(24/t) ^m , m=2/3													Remarks
					24 hour													
					24	12	8	6	3	2	1.5	1	0.75	0.5	0.333	0.167	It= A/t ^{2/3}	
				1,440 min.	1,440	720	480	360	180	120	90	60	45	30	20	10		
1	km16	Khahare Khola	5.72	108.33	4.5	7.2	9.4	11.4	18.1	23.7	28.7	37.6	45.5	59.6	78.1	124.0	A= 37.555	
2	km27	Jhayalla Khola	13.94	121.67	5.1	8.0	10.5	12.8	20.3	26.6	32.2	42.2	51.1	67.0	87.7	139.3	A= 42.180	
3	km31	Ghatte Khola	7.43	118.26	4.9	7.8	10.2	12.4	19.7	25.8	31.3	41.0	49.7	65.1	85.3	135.4	A= 41.000	
4	km37	Rungrung Khola	34.43	100.94	4.2	6.7	8.7	10.6	16.8	22.0	26.7	35.0	42.4	55.6	72.8	115.6	A= 34.995	
5	km29	Daraudi Khola	214.5	107.39	4.5	7.1	9.3	11.3	17.9	23.5	28.4	37.2	45.1	59.1	77.4	122.9	A= 37.232	
-	km16	Daraudi Khola	347.9	113.79	4.7	7.5	9.9	11.9	19.0	24.9	30.1	39.4	47.8	62.6	82.1	130.3	A= 39.449	

出典：DHM のデータを基に JICA プロジェクトチーム作成



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.11 対象全流域の IDF（降雨強度-継続時間-頻度）曲線

(2) 地形条件

架橋予定箇所における地形条件把握のため、地形測量を現地再委託にて実施した。本結果を用いて、概略設計の実施を行った。

地形測量は、以下に占める 5 橋梁において、実施された。

- カーレ河橋
- ジャヤラ河橋
- ガッテ河橋
- ラングルン河橋
- ダラウディ河橋

対象 5 橋梁に関する、地形測量内容の概要と平面測量結果について、それぞれ、表 9.4.8～表 9.4.12、および図 9.4.12～図 9.4.16 に示す。

表 9.4.8 カーレ河橋地形測量概要

項目	概要	単位	数量
地形測量	対象範囲は、架橋予定地点より 500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点とする。	m ²	274,040
河川測量	横断測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点で実施。なお、測量ピッチは、50m とする。）	m	5,325
	中心線測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流までの区間で実施）	m	750
路線測量	中心線測量（起点および終点をそれぞれ 100m 延長した区間で実施）	m	477
	横断測量（上記の路線沿いに 20m ピッチで実施。なお、幅は、中心線よりそれぞれ 15m 幅を考慮）	m	715

出典：JICA プロジェクトチーム



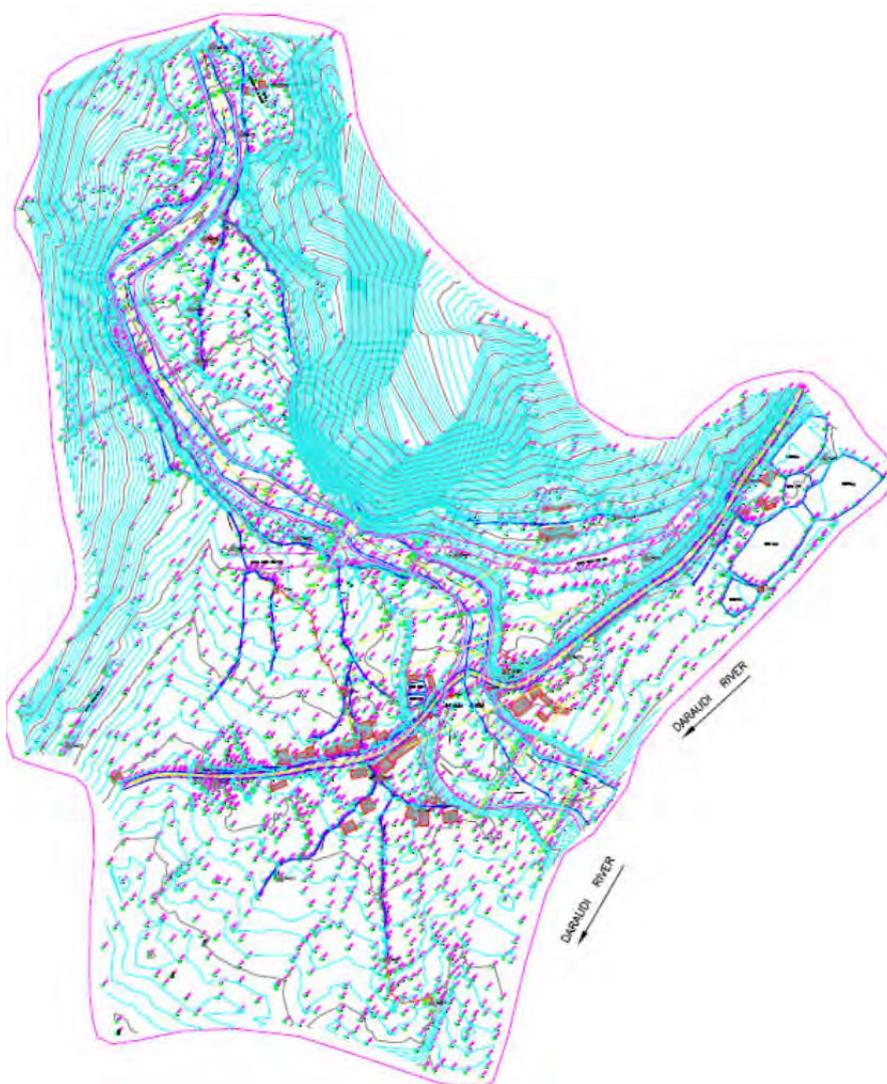
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.12 カーレ河橋平面測量結果

表 9.4.9 ジャヤラ河橋地形測量概要

項目	概要	単位	数量
地形測量	対象範囲は、架橋予定地点より 500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点とした。	m ²	253,450
河川測量	横断測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点で実施。なお、測量ピッチは、50m とした。）	m	4,940
	中心測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流までの区間で実施）	m	685
路線測量	中心線測量（起点および終点をそれぞれ 100m 延長した区間で実施）	m	542
	横断測量（上記の路線沿いに 20m ピッチで実施。なお、幅は、中心線よりそれぞれ 15m 幅を考慮）	m	813

出典：JICA プロジェクトチーム



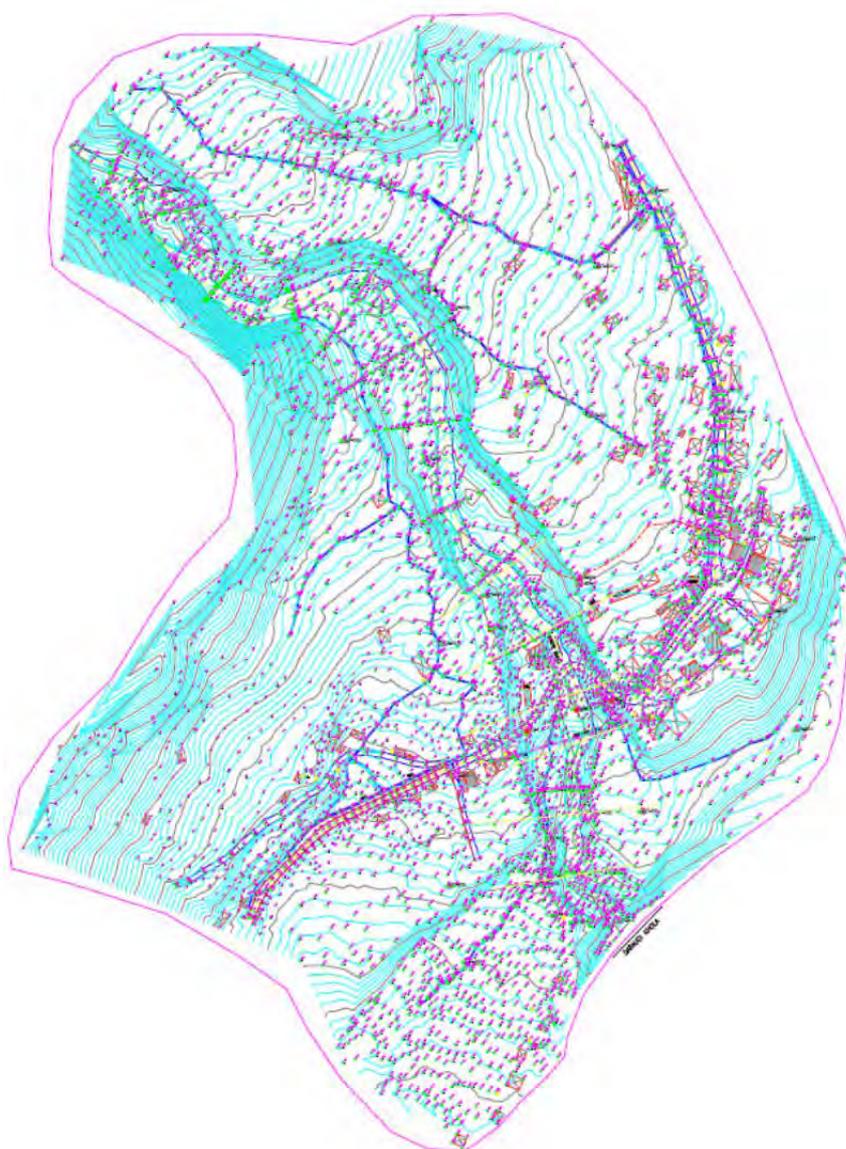
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.13 ジャヤラ河橋平面測量結果

表 9.4.10 ガッテ河橋地形測量概要

項目	概要	単位	数量
地形測量	対象範囲は、架橋予定地点より 500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点とした。	m ²	210,880
河川測量	横断測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点で実施。なお、測量ピッチは、50m とした。）	m	5,600
	中心測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流までの区間で実施）	m	695
路線測量	中心線測量（起点および終点をそれぞれ 100m 延長した区間で実施）	m	659
	横断測量（上記の路線沿いに 20m ピッチで実施。なお、幅は、中心線よりそれぞれ 15m 幅を考慮）	m	989

出典：JICA プロジェクトチーム



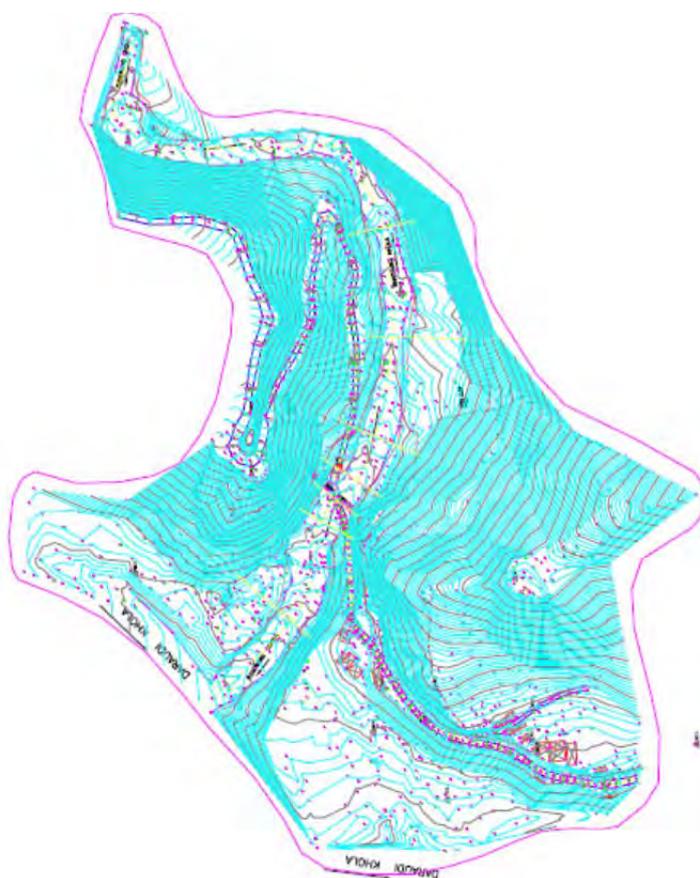
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.14 ガッテ河橋平面測量結果

表 9.4.11 ラングルン河橋地形測量概要

項目	概要	単位	数量
地形測量	対象範囲は、架橋予定地点より 500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点とした。	m ²	195,000
河川測量	横断測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点で実施。なお、測量ピッチは、50m とした。）	m	5,625
	中心測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流までの区間で実施）	m	660
路線測量	中心線測量（起点および終点をそれぞれ 100m 延長した区間で実施）	m	1,492
	横断測量（上記の路線沿いに 20m ピッチで実施。なお、幅は、中心線よりそれぞれ 15m 幅を考慮）	m	995

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 9.4.15 ラングルン河橋平面測量結果

表 9.4.12 ダラウディ河橋地形測量概要

項目	概要	単位	数量
地形測量	対象範囲は、架橋予定地点より 500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点とした。	m ²	331,850
河川測量	横断測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流まで、また河川両岸からそれぞれ 200m 離れた地点で実施。なお、測量ピッチは、50m とした。）	m	5,850
	中心測量（架橋地点より、500m 上流から 200m 下流までの区間で実施）	m	786
路線測量	中心線測量（起点および終点をそれぞれ 100m 延長した区間で実施）	m	2,700
	横断測量（上記の路線沿いに 20m ピッチで実施。なお、幅は、中心線よりそれぞれ 15m 幅を考慮）	m	4,051

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 9.4.16 ダラウディ河橋平面測量結果

(3) 地質条件

1) 概要

橋梁架橋地点における地質構成や支持層深度測定のため、地質試験を現地再委託にて実施した。調査箇所は、想定橋台や橋脚位置において実施し、5橋梁全体で、15か所のボーリング試験を実施した。

表 9.4.13 カーレ河橋地質調査結果概要

項目	概要	数量
ボーリング調査	右岸側	表層土：1m 礫質土：15m
	左岸側	礫質土：10m
標準貫入試験	右岸側	6か所
	左岸側	9か所
室内試験（土）	右岸側	1供試体
	左岸側	1供試体
室内試験（礫・岩）	右岸側	2供試体
	左岸側	2供試体

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.4.14 ジャヤラ河橋地質調査結果概要

項目	概要	数量
ボーリング調査	右岸側（河川より離れた地点）	表層土：1m 礫質土：4.5m 岩：9.5m
	右岸側（河川内）	礫質土：7.5m 岩：9.5m
	左岸側	表層土：1m 礫質土：7m 岩：7m
標準貫入試験	右岸側（河川より離れた地点）	5か所
	右岸側（河川内）	8か所
	左岸側	8か所
室内試験（土）	右岸側（河川より離れた地点）	1供試体
	右岸側（河川内）	2供試体
	左岸側	2供試体
室内試験（礫・岩）	右岸側（河川より離れた地点）	1供試体
	右岸側（河川内）	-
	左岸側	2供試体

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.4.15 ガッテ河橋地質調査結果概要

項目	概要	数量
ボーリング調査	右岸側	礫質土：15m
	河川内	礫質土：15m
	左岸側	礫質土：15m
標準貫入試験	右岸側	11 か所
	河川内	11 か所
	左岸側	11 か所
室内試験（土）	右岸側	1 供試体
	河川内	2 供試体
	左岸側	-
室内試験（礫・岩）	右岸側	-
	河川内	2 供試体
	左岸側	-

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.4.16 ラングルン河橋地質調査結果概要

項目	概要	数量
ボーリング調査	左岸側	表層土：1m 礫質土：5m 岩：9m
	左岸側河川内	表層土：1m 礫質土：7.5m 岩：6.5m
	右岸側	礫質土：15m
標準貫入試験	左岸側	11 か所
	左岸側河川内	11 か所
	右岸側	11 か所
室内試験（土）	左岸側	1 供試体
	左岸側河川内	-
	右岸側	1 供試体
室内試験（礫・岩）	左岸側	1 供試体
	左岸側河川内	2 供試体
	右岸側	1 供試体

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.4.17 ダラウディ河橋地質調査結果概要

項目	概要	数量
ボーリング調査	右岸側丘陵部	表層土：1.5m 礫質土：13.5m
	右岸側河川内	礫質土：15m
	左岸側河川内	礫質土 15m
	左岸側丘陵部	礫質土：9.5m 岩：5.5m
標準貫入試験	右岸側丘陵部	9 か所
	右岸側河川内	11 か所
	左岸側河川内	11 か所
	左岸側丘陵部	11 か所
室内試験（土）	右岸側丘陵部	-
	右岸側河川内	-
	左岸側河川内	1 供試体
	左岸側丘陵部	-
室内試験（礫・岩）	右岸側丘陵部	1 供試体
	右岸側河川内	1 供試体
	左岸側河川内	-
	左岸側丘陵部	-

出典：JICA プロジェクトチーム

2) 現地写真

地質調査時の現地写真を以下に示す。また、次ページ以降に、地質調査時に得られたコアサンプルの写真も示す。



写真 1 地質調査の現場



写真 2 地質調査の現場

写真 3 採取されたコアサンプル (1/3)



写真3 採取されたコアサンプル (2/3)

<p>JBH 1</p>  <p>Soil Investigation Jhyalla Khola Bridge Site, R/B JBH-1 Box No-2/2 9.50-15.00m</p>	<p>JBH 2 (1/2)</p>  <p>Soil Investigation Jhyalla Khola Bridge Site, R/B JBH-2 Box No-1/2 0.00-11.00m</p>	<p>JBH 2 (2/2)</p>  <p>Soil Investigation Jhyalla Khola Bridge Site, R/B JBH-2 Box No-2/2 11.00-17.00m</p>
<p>JBH 3 (1/2)</p>  <p>Soil Investigation Jhyalla Khola Bridge Site, L/B JBH-3 Box No-1/2 0.00-11.00m</p>	<p>JBH 3 (2/2)</p>  <p>Soil Investigation Bridge Site, Jhyalla Khola, L/B JBH-3 Box No-2/2 11.00-15.00m</p>	<p>DBH 1 (1/2)</p>  <p>Soil Investigation Daraudi Khola Bridge Site, R/B DBH-1 Box No-1/2 0.00-10.00m</p>
<p>DHB 1 (2/2)</p>  <p>Soil Investigation Daraudi Khola Bridge Site, R/B DBH-1 Box No-2/2 10.00-15.00m</p>	<p>DBH 2 (1/2)</p>  <p>Soil Investigation Daraudi Khola Bridge Site DBH-2 Box No-1/ 0.00-10.00m</p>	<p>DBH (2/2)</p>  <p>Soil Investigation Daraudi Khola, R/B Bridge Site DBH-2 Box No-2/2 10.00-15.00m</p>
<p>DBH 3 (1/2)</p>  <p>Soil Investigation Bridge Axis Daraudi Khola, L/B DBH-3 Box No-1/2 0.00-8.00m</p>	<p>DBH 3 (2/2)</p>  <p>Soil Investigation Bridge Axis Daraudi Khola, L/B DBH-3 Box No-2/2 8.00-15.00m</p>	<p>DBH 4 (1/2)</p> 
<p>DBH 4 (2/2)</p> 	<p>GBH 1 (1/2)</p>  <p>Soil Investigation Bridge Axis GBH-1 Box No-1/2 Ghatta Khola, R/B 0.00-11.00m</p>	<p>GBH 1 (2/2)</p>  <p>Soil Investigation Bridge Axis Ghatta Khola, R/B GBH-1 Box No-2/2 11.00-15.00m</p>

写真3 採取されたコアサンプル (3/3)

<p>GBH 2 (1/2)</p> 	<p>GBH 2 (2/2)</p> 	<p>GBH 3 (1/2)</p> 
<p>GBH 3 (2/2)</p> 	<p>RBH 1 (1/2)</p> 	<p>RBH 1 (2/2)</p> 
<p>RBH 2 (1/2)</p> 	<p>RBH 2 (2/2)</p> 	<p>RBH 3 (1/2)</p> 
<p>RBH 3 (2/2)</p> 		

出典：JICA プロジェクトチーム

(4) 河川条件

1) 水理設計基準

a) 設計確率年

「ネパールの橋梁設計基準-2067」では、恒久橋梁の全てに100年確率流出量にて設計されるべきであると記載されている。よって、本検討においては100年確率を採用した。

b) 設計上の余裕高およびクリアランス

上記と同様に、ネパール国基準より、橋梁上部工底部との設計最小余裕高が規定される（表9.4.18を参照）。

表 9.4.18 橋梁の設計最小余裕高

Discharge m ³ /sec	Minimum Free board, mm
Less than 200	1000
201-500	1200
501-2000	1500
2001-5000	2000
5000 and above	More than 2000 (depending on the reliability of the available data for the calculation of discharge)

出典：ネパール橋梁基準-2067（国土開発省，ネパール）

c) 橋梁水理の設計基準

洪水に対する開口部の大きさは、設計流出量の規模に応じて決定した。橋梁水路の開口を設計するために、下記の水理設計基準が求められる。

- 橋梁上流の物的資産に対し、背水による洪水被害を大幅に増加させない。
- 橋梁の通過流速が、道路施設に損傷を与えない、または、下流の物的資産へ損害を与えない。
- 既設の流量配分は実用上の範囲内に保持されている。
- 橋脚や橋台は流れの阻害を最小化している。
- 起こり得る局所洗掘は許容範囲内である。
- 構造物のクリアランスは予想される如何なる流送物を安全に流下させるのに十分に確保されている。

本検討において、設計基準は、世界的に良く利用される基準である FHWA（米国連邦高速道路局）の HEC（水理工学サーキュラー）に基づくものとした。

2) 河川および河川流量特性

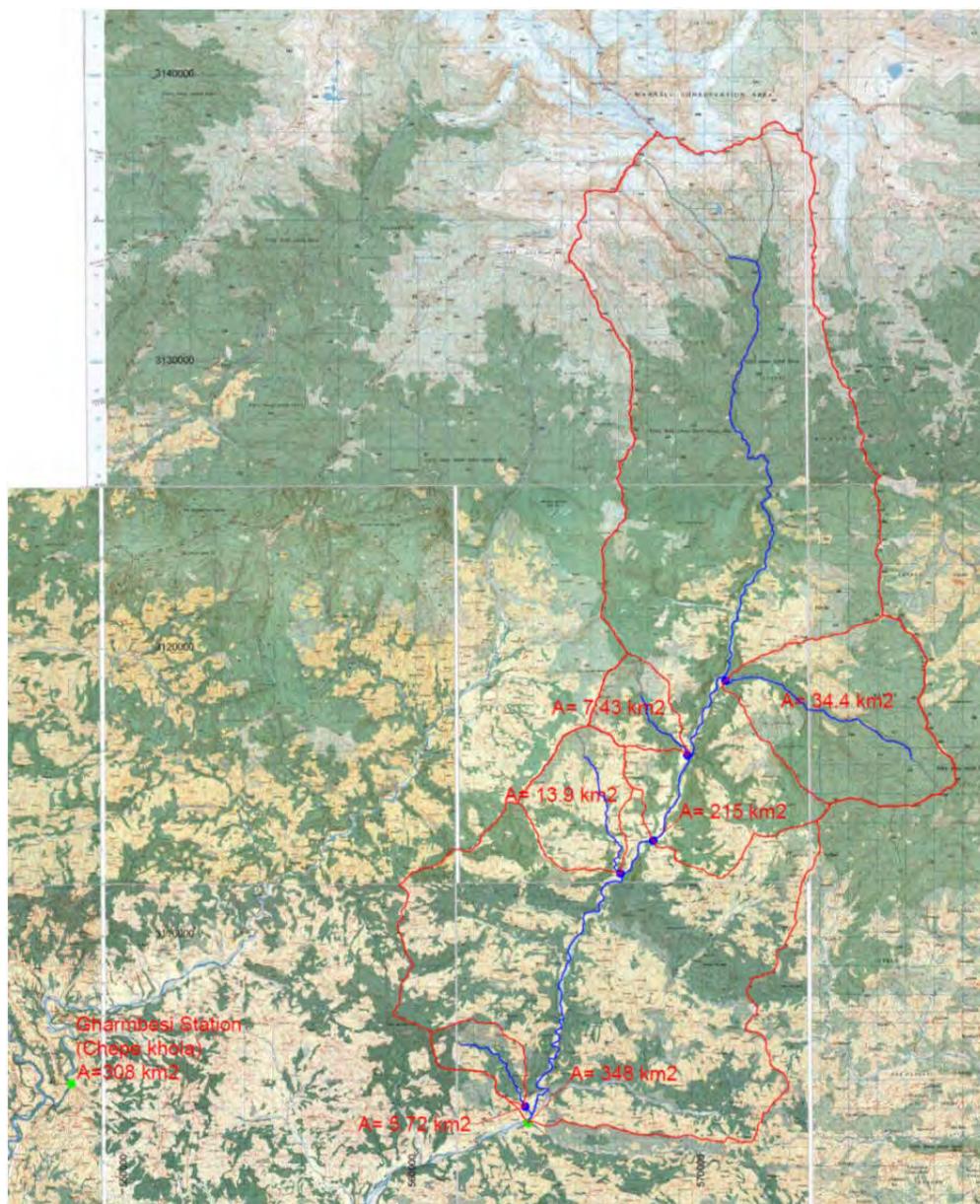
a) 対象河川

調査地域の計画5橋梁は、Daraudi川とその支川に計画した。

Daraudi川（Khola）流域は、（インドではGandaki川としても知られる）Narayani川水系支流であり、ネパール国の西部開発区域に位置し、ガンダキ県を通過する。Daraudi川は、マナスル山塊の南方に源を発し、Daraudi溪谷を南下し、Trishuli川との合流部から8km上流にあるMarsyangdi川の下流域に合流する。河川の全長は約60kmで、その流域はBudhigandaki川の東、およびMarsyangdi川の別の支流であるChepe川の西に隣接している。

計画5橋梁に関連する流域を図9.4.17に示す、Khahare橋梁（No.1橋梁）のすぐ下流のDaraudi川本川流域としては347.9km²となる。このDaraudi流域には水文観測所はないが、隣のChepe川流域のGarambesi観測所（ID 440）にて、1964年よりDHMが観測業務を行っている。

Chepe川は、同じMarsyangdi川の支川であり、マナスル山の南方に源流があり、河川は南の方向に流れている。Chepe川流域の殆どは3000m以下にあり、その総流域面積は308km²で、源流からGarambesiの水位観測所までの河川の全長は32kmである。この水位観測所では、水位を観測しており流出量も定期的に測定し、それ故、日流量のみではなく月平均流量データも利用可能である。Garambesi観測所の水文データは、Daraudi川との流量特性を比較検証するために収集されている。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.17 対象河川の流域図

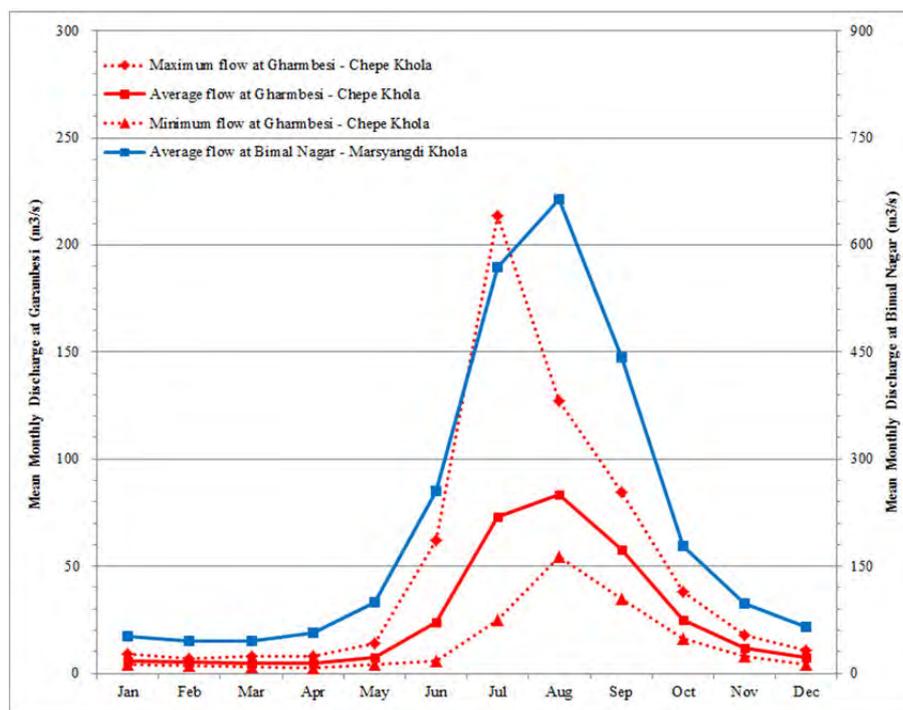
b) 河川特性

① Chepe 川流量特性

- 月間/日流量パターン

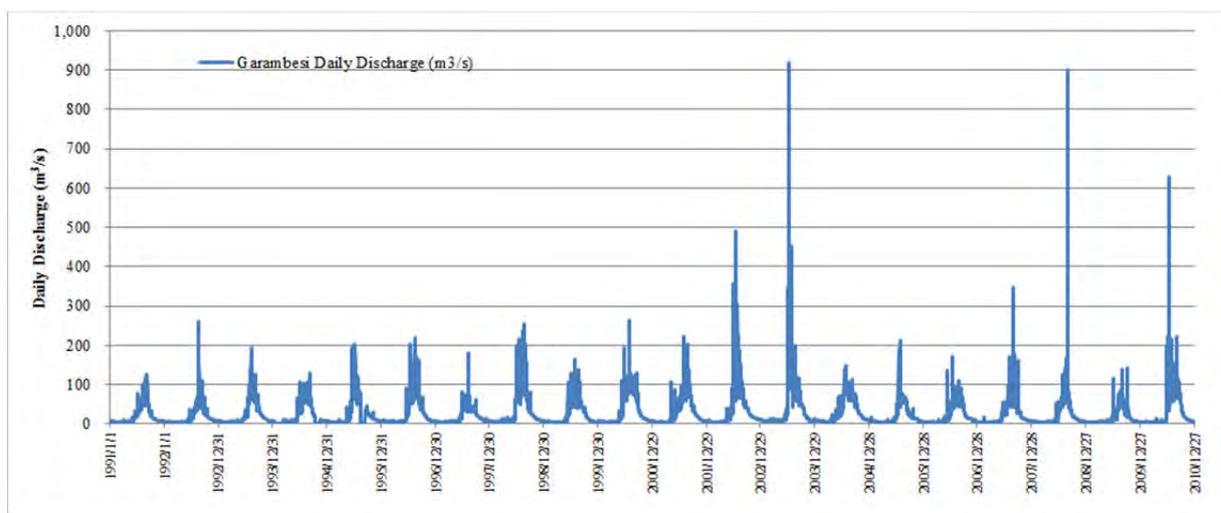
Garambesi と Bimalnagar 水位観測所での近年の 20 か年のデータより求めた月平均流量パターンを図 9.4.18 に示す。また、観測所での日流量の長期変動を図 9.4.19 と図 9.4.20 に示す。

最大瞬時流出量は 6 月から 9 月に発生し、その中の既往最大流出量は、Garambesi 観測所で $1,040 \text{ m}^3/\text{s}$ (2008 年 8 月)、Bimalnagar 観測所で $2,520 \text{ m}^3/\text{s}$ (2000 年 6 月) と観測されている。



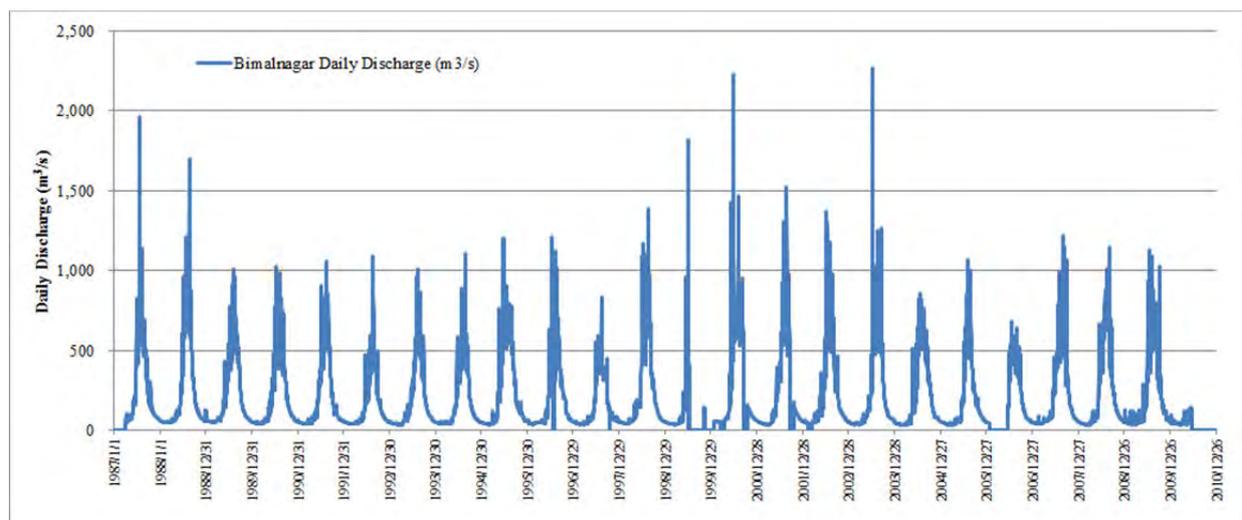
出典：DHM データを基に JICA プロジェクトチーム作成

図 9.4.18 1991-2010 年の Garambesi および Bimalnagar 観測所での月間平均流量分布



出典：DHM データを基に JICA プロジェクトチーム作成

図 9.4.19 1991-2010 年の Garambesi 観測所での日平均流量の長期変動



出典：DHM データを基に JICA プロジェクトチーム作成

図 9.4.20 1987-2010 年の Bimalnagar 観測所での日平均流量の長期変動

● 流況

流況曲線（豊平低渇流量曲線）は 1 年を通じた河川のポテンシャル表流水特性を把握するのに使用される。流動様式（流況）は、各水位観測所での日流量を利用した年間流動状態を示し、日流量と超過日数で示される。年間の流況は下記のように定義される；

- 豊水量（年間最大より 95 番目の流量）
- 平水量（年間最大より 185 番目の流量）
- 低水量（年間最大より 275 番目の流量）
- 渇水量（年間最大より 355 番目の流量）

河状係数は、河川の任意の点での最小流量と最大流量の比であり、河川流量の定量的な安定性を示す。河状係数の大きさは、流量変動が大きいことを示し、それが大きい場合には、通年の取水が困難であり、洪水被害が発生しやすいことを示す。

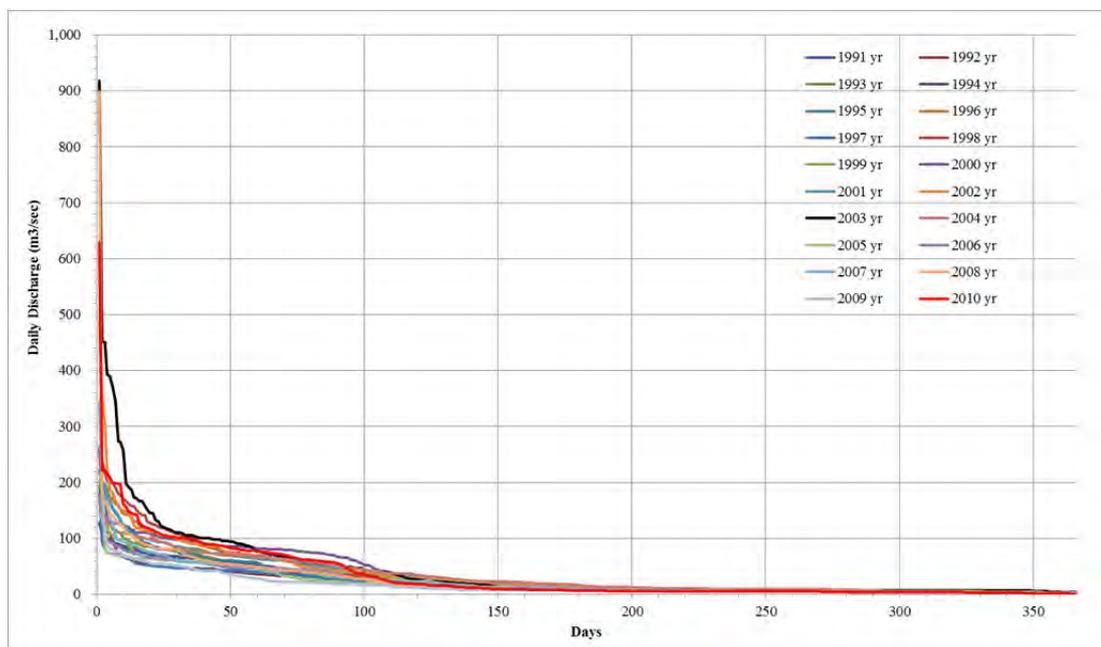
20 年間の Garambesi (Chepe 川)と Bimalnagar (Marsandi 川)観測所での流況計算をとりまとめると、

表 9.4.19 から表 9.4.20、および、図 9.4.21 から図 9.4.22 のとおりである。Chepe 川は Daraudi 川と同様、急流河川で、河状係数は高い。一方で、Marsandi 川の中流部である Bimalnagar 観測所の係数は、Chepe 川の Garambesi 観測所に比べて、低くなる。

表 9.4.19 Garambesi 観測所での各種流出量（Chepe 川）

Year	Annual Maximum Discharge	Plentiful Discharge	Ordinary Discharge	Low Discharge	Drought Discharge	Annual Minimum Discharge	Coefficient of River Rregime Max/Min	Remarks
	1-day	95-day	185-day	275-day	355-day	365-day		
1991	127.00	24.20	7.06	5.06	4.06	3.80	33.42	
1992	260.00	20.90	7.40	4.06	2.55	2.22	117.12	
1993	194.00	25.00	8.40	4.81	3.80	3.30	58.79	
1994	128.00	30.30	7.06	4.81	-	-	-	89days missing
1995	201.00	24.20	7.73	4.56	-	-	-	31days missing
1996	217.00	41.00	7.74	5.67	4.36	4.14	52.42	
1997	180.00	27.90	8.60	4.90	3.59	3.15	57.14	
1998	255.00	35.00	9.04	6.21	4.57	4.25	60.00	
1999	164.00	39.40	6.87	4.57	3.37	3.15	52.06	
2000	263.00	62.00	10.80	5.56	4.57	4.57	57.55	
2001	223.00	40.70	10.80	5.56	1.37	1.37	162.77	
2002	490.00	41.30	12.80	5.23	3.44	2.26	216.81	
2003	919.00	48.80	9.47	7.40	5.23	3.06	300.33	
2004	148.00	47.30	14.40	8.52	2.79	2.79	53.05	
2005	213.00	20.50	8.14	5.16	3.84	3.06	69.61	
2006	172.00	28.90	9.13	4.37	1.87	1.87	91.98	
2007	345.00	29.20	8.38	4.20	3.51	3.28	105.18	
2008	899.00	30.10	7.54	5.14	3.08	2.57	349.81	1day missing
2009	143.00	17.90	5.92	4.10	2.74	2.40	59.58	
2010	629.00	43.20	6.63	4.79	1.84	1.28	491.41	
Average	308.50	33.89	8.70	5.23	3.37	2.92	105.73	
Maximum	919.00	62.00	14.40	8.52	5.23	4.57	491.41	
Minimum	127.00	17.90	5.92	4.06	1.37	1.28	33.42	

出典：DHM データを基に JICA プロジェクトチーム作成



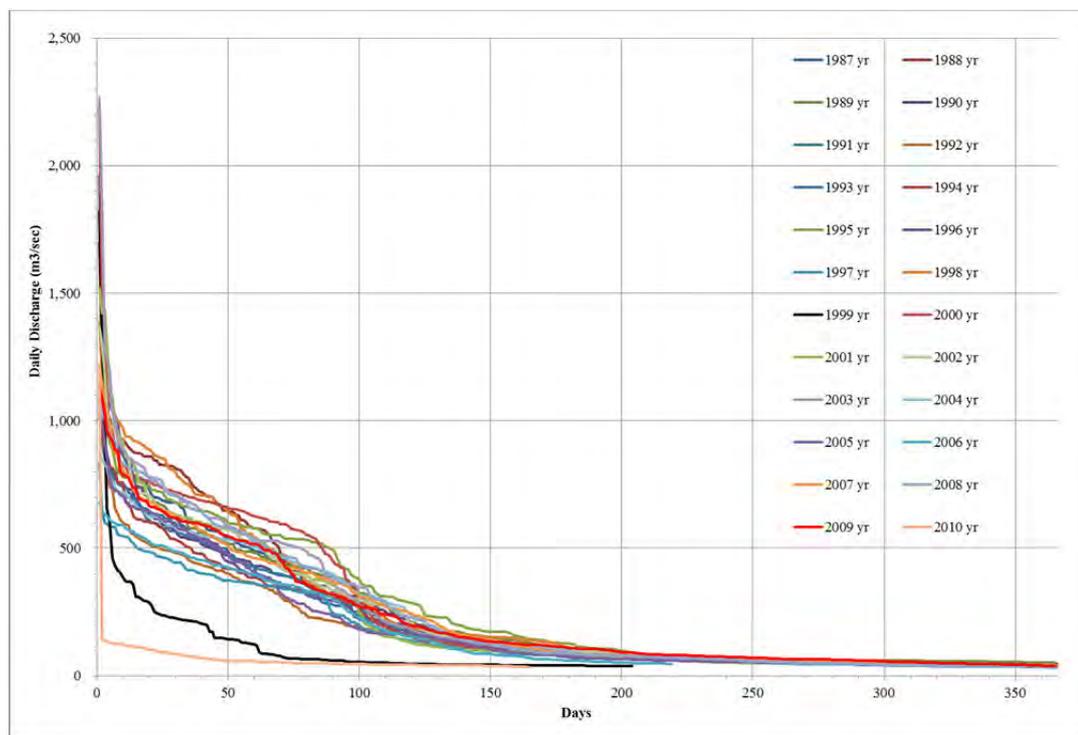
出典：DHM データを基に JICA プロジェクトチーム作成

図 9.4.21 Garambesi 観測所での流況曲線（Chepe 川）

表 9.4.20 Bimalnagar 観測所での各種流出量 (Marshyangdi 川)

Year	Annual Maximum Discharge	Pentiful Discharge	Ordinary Discharge	Low Discharge	Drought Discharge	Annual Minimum Discharge	Coefficient of River Rregime	Remarks
	1-day	95-day	185-day	275-day	355-day	365-day	Max/Min	
1987	1960.00	280.00	96.00	51.70	-	-	-	89days missing
1988	1700.00	302.00	93.70	62.00	47.90	46.30	36.72	
1989	1010.00	367.00	102.00	62.00	51.70	50.20	20.12	
1990	1030.00	320.00	96.00	52.60	41.20	39.00	26.41	
1991	1060.00	288.00	87.90	50.90	40.50	39.70	26.70	
1992	1090.00	197.00	74.40	50.70	42.60	40.70	26.78	
1993	1010.00	269.00	86.90	47.90	36.30	34.40	29.36	
1994	1110.00	291.00	73.40	47.90	39.00	38.30	28.98	
1995	1200.00	419.00	114.00	47.90	38.30	36.90	32.52	
1996	1210.00	272.00	68.90	49.90	-	-	-	13days missing
1997	832.00	226.00	73.00	47.20	38.30	-	-	4days missing
1998	1390.00	307.00	99.80	55.60	43.30	42.10	33.02	
1999	1820.00	57.90	39.70	-	-	-	-	161days missing
2000	2230.00	380.00	76.60	52.40	-	-	-	88days missing
2001	1520.00	316.00	78.70	44.30	-	-	-	30days missing
2002	1370.00	314.00	99.30	56.10	-	-	-	30days missing
2003	2270.00	325.00	90.40	49.60	40.00	37.50	60.53	
2004	855.00	364.00	89.80	44.10	33.70	30.40	28.13	
2005	1070.00	207.00	71.70	49.00	35.90	34.90	30.66	
2006	679.00	261.00	56.60	-	-	-	-	146days missing
2007	1220.00	352.00	85.20	56.90	42.30	39.20	31.12	
2008	1150.00	361.00	83.60	48.90	37.00	35.30	32.58	
2009	1130.00	305.00	106.00	63.80	42.00	37.30	30.29	
2010	1220.00	46.10	-	-	-	-	-	200days missing
Average	1297.33	284.46	84.50	51.97	40.63	38.81	31.59	
Maximum	2270.00	419.00	114.00	63.80	51.70	50.20	60.53	
Minimum	679.00	46.10	39.70	44.10	33.70	30.40	20.12	

出典：DHM データを基に JICA プロジェクトチーム作成



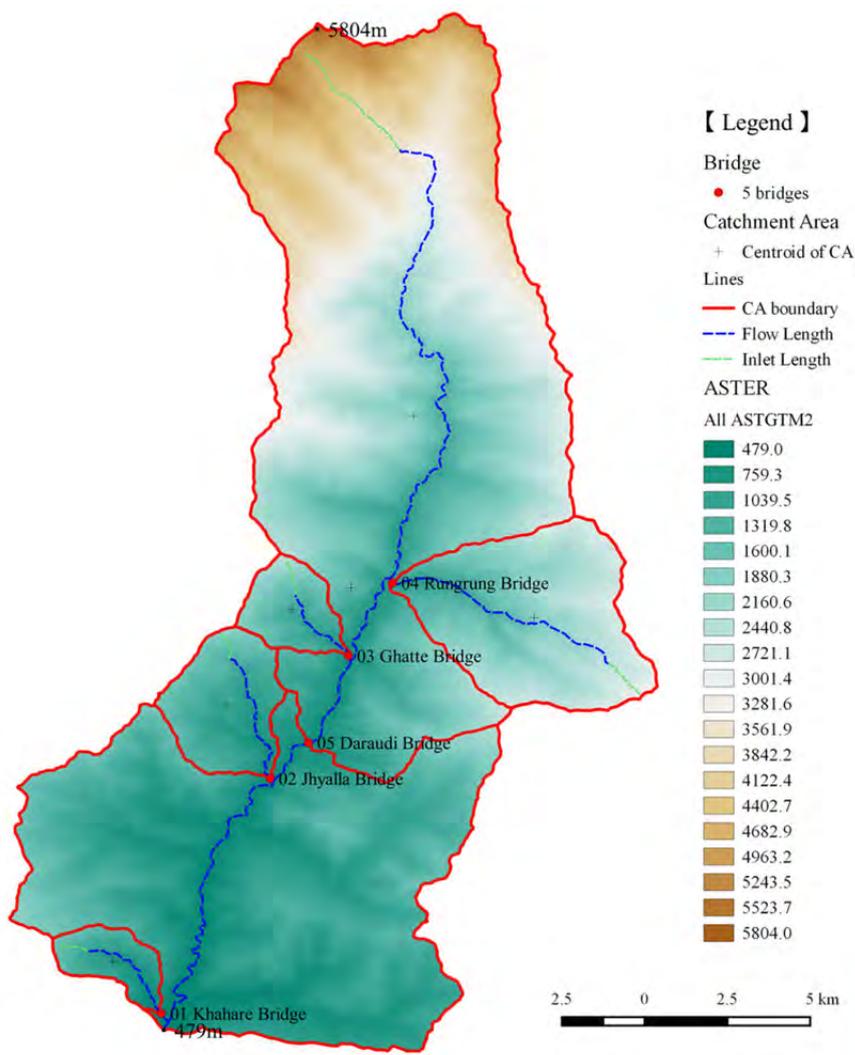
出典：DHM データを基に JICA プロジェクトチーム作成

図 9.4.22 Bimalnagar 観測所での流況曲線 (Marshyangdi 川)

② Daraudi 川の河道特性

Daraudi 川の検討区域の標高分布図を図 9.4.23 に示す。対象となる Daraudi 川は、マナスル山の南方の 5,804 m の標高に源を発し、川の流れは南方の 479 m の地点に流下する。流域面積は、土地被覆区分の観点から、耕作地 30%、草地 22%および森林 48%に分けられる。

（表 9.4.21 および図 9.4.25 を参照。これらのパーセンテージは、合理式の流出係数を推定するのに利用される。）

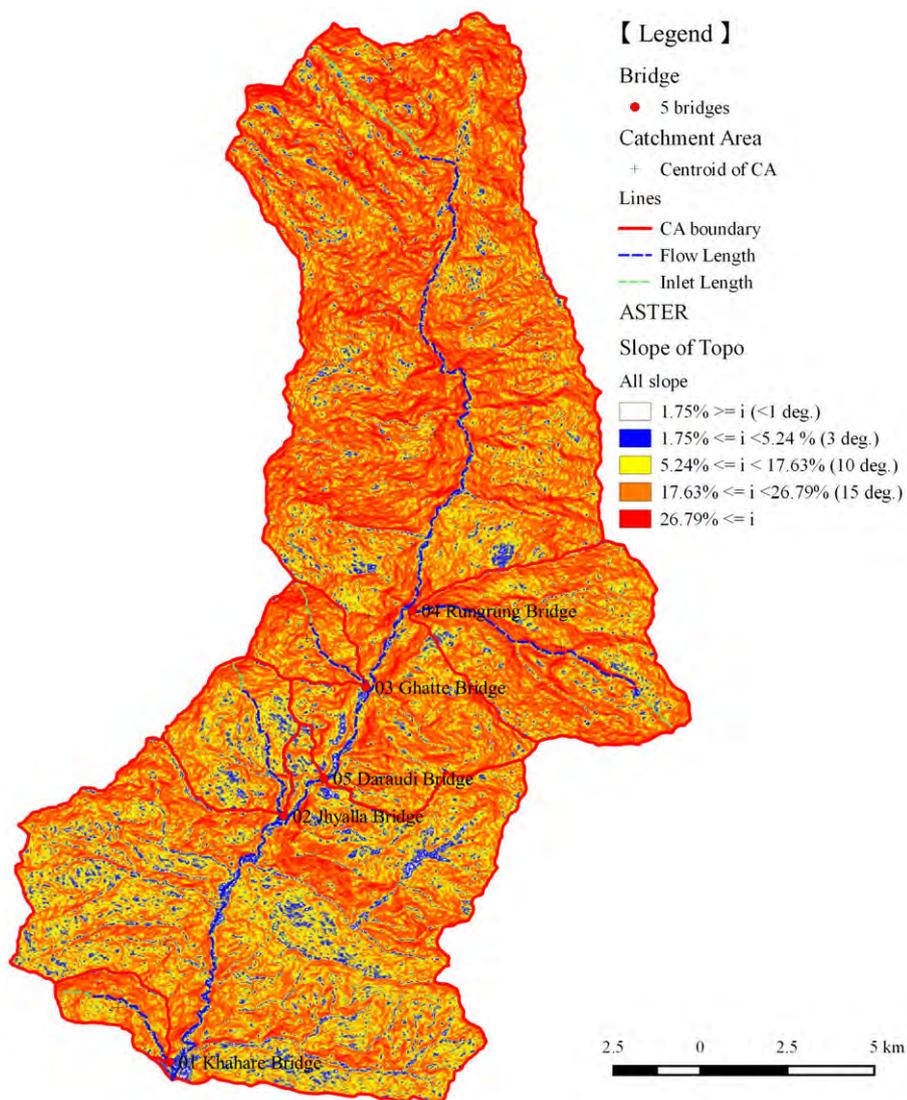


出典：ASTER GDEM データ（衛星搭載型地球観測光学センサ - 全球三次元地形データ、日本の経済産業省および米国航空宇宙局）基に JICA プロジェクトチーム作成

図 9.4.23 Daraudi 流域の標高の空間分布図

流域面積の大部分は、傾斜地であり、その勾配は非常に大きい。各勾配の面積の割合は 1 度以下が 0.1%、1 度から 3 度が 1.1%、3 度から 10 度が 17%、10 度から 15 度が 29%および 15 度以上が 53%を占める（図 9.4.24 参照）。日本の土石流対策指針によれば、15 度以上の勾配の場所で発生し、おおむね 10 度で堆積を開始し、3 度までに停止すると記載されている。土石流は、発生場の条件や、その成因などにより、それぞれ異なった発生形態を

とるのが一般的である。土石流の発生を成因別にみた場合に、土石流は、大きく「河床堆積物の移動型」、「斜面崩壊/地すべり型」、「自然ダム決壊型」および「火山活動型」に分類される。（天然ダム決壊型を除き、残り全ての土石流は、短時間降雨強度が主として関係する。）これらの指針にあるように、本検討区域の土石流の発生リスクは高く、高速流やその侵食作用により河川の河床低下や河道変遷の恐れがある。さらに、Daraudi 川を除く計画橋梁では、河床勾配が3度より急峻で、土石流の通過の恐れが高いと推定できる。



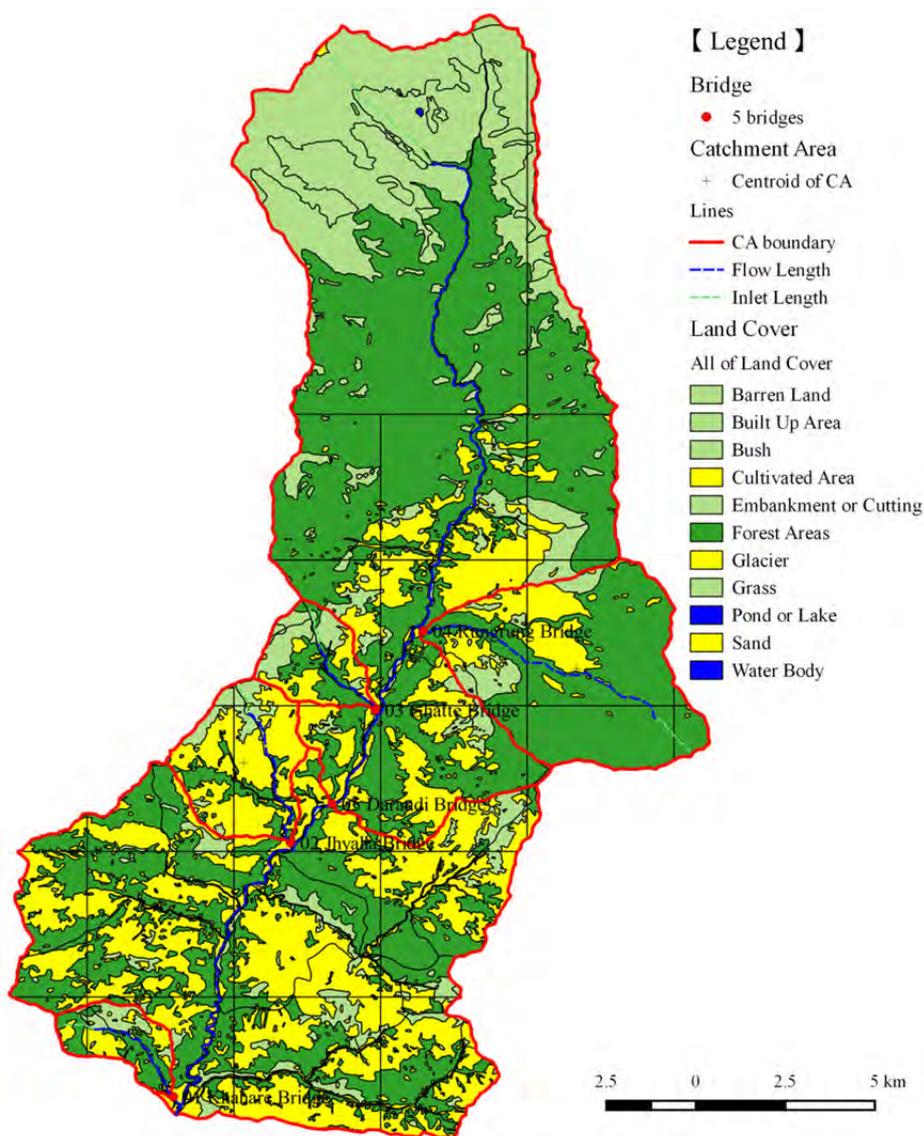
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.24 Daraudi 流域の斜面勾配の空間分布図

表 9.4.21 計画橋梁位置での流域の土地被覆分類

Land Cover Classification		No.1 Khahare Khola			No.2 Jhayalla Khola			No.3 Ghatte Khola			No.4 Rungrung Khola			No.5 Daraudi Khola			Low Point of Daraudi Khola		Remarks
		Area (km ²)		(%)	Area (km ²)		(%)	Area (km ²)		(%)	Area (km ²)		(%)	Area (km ²)		(%)	Area (km ²)	(%)	
Cultivation	Cultivated Area	1.90			9.38			2.22			6.72			31.46			98.79		
	Glacier	0.00	1.92	33.62%	0.00	9.49	68.07%	0.00	2.30	31.03%	0.00	6.80	19.76%	0.09	32.86	15.32%	0.09	102.17	29.37%
	Sand	0.02			0.11			0.08			0.08			1.31			3.30		
Grass, Barren	Barren Land	0.00			0.00			0.00			0.03			21.89			21.90		
	Built Up Area	0.00			0.00			0.00			0.00			0.00			0.00		
	Bush	1.30	1.32	23.01%	2.25	2.28	16.33%	1.80	2.71	36.44%	2.52	2.69	7.82%	9.74	65.09	30.35%	22.05	78.13	22.46%
	Embankment or Cutting	0.00			0.00			0.01			0.00			0.54			0.64		
	Grass	0.01			0.03			0.89			0.15			32.92			33.54		
Forest	Forest Areas	2.48	2.48	43.37%	2.18	2.18	15.60%	2.42	2.42	32.53%	24.94	24.94	72.42%	116.24	116.24	54.20%	166.79	166.79	47.94%
Water	Pond or Lake	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.04	0.27	0.13%	0.06	0.80	0.23%
	Water Body	0.00			0.00			0.00			0.00			0.23			0.74		
Total Area (km ²)		5.72	5.72	100.0%	13.94	13.94	100.0%	7.43	7.43	100.0%	34.43	34.43	100.0%	214.5	214.5	100.0%	347.9	347.9	100.0%

出典：GIS データを基に JICA プロジェクトチーム作成



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.25 Daraudi 流域の土地被覆の空間分布

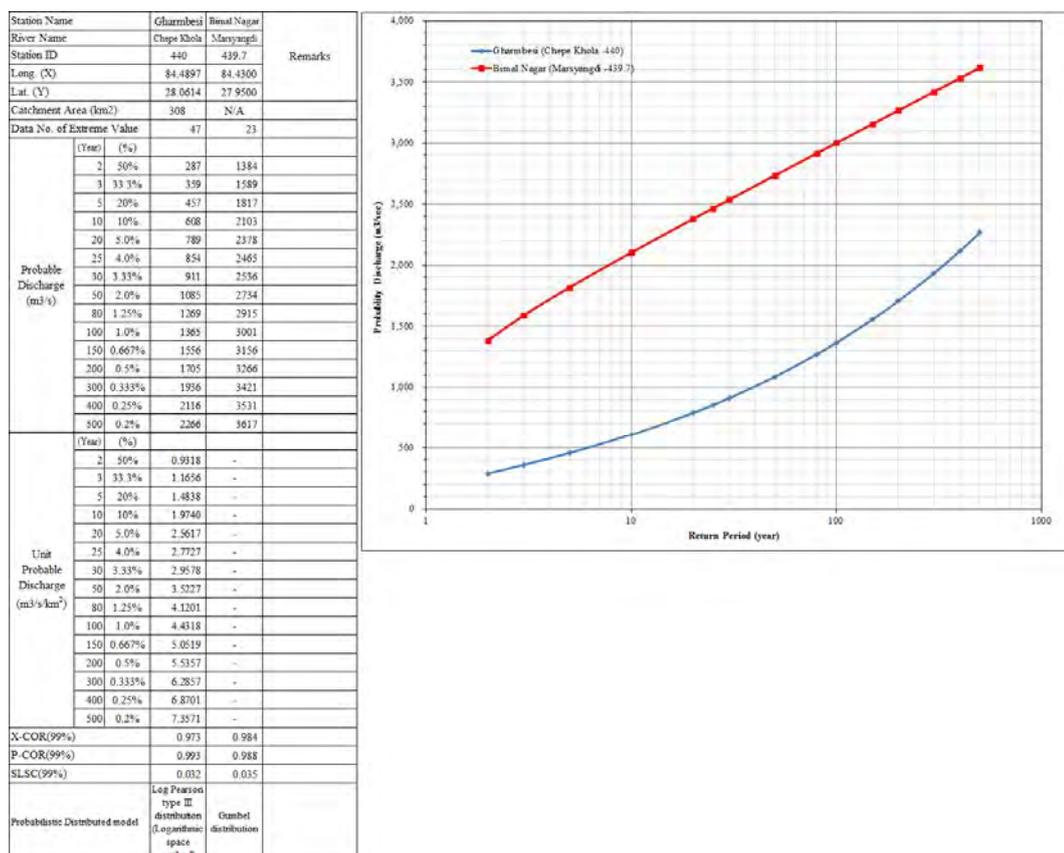
3) 確率洪水量の推定

一般的に、洪水予測に関して、多くの手法と手段がある。その多くの手法に対する理論は、様々な機関で開発され、観測データ（統計）か決定論的原理の何れかに基づくか、経験則による。統計的手法を除いて、これらの手法は、特定の地域や洪水事象のために、「キャリブレーション」され、適用可能な流域面積の大きさによって制限される。本検討区域の場合、山岳地帯であり、洪水予測は、一般的洪水予測式の他に、ネパール国などの山岳地域に適用される独自の式を考慮すべきである。

a) 統計データに基づく観測所での確率洪水量

時系列の最大流出量が利用可能な場合（観測所のある流域）、統計頻度解析が設計ピーク洪水量を計算する場合に選択される。検討区域には水文観測所が存在しないが、検討区域の Daraudi 川の隣に位置する Chepe 川流域に観測所（Garambesi, ID 440）がある。2つの河川の流域面積はおおむね同じであり、同じマナスル山系に源流域をもち、両方の洪水特性は相対的に似通っていると推察できる。

確率降雨量の計算で用いた同様の手順で、観測所位置での確率流出量が、年間最大流出量（極値）より計算される。Bimal-Nagar 観測所の結果と共に、Garambesi 観測所での計算結果を、図 9.4.26 に示す。（Bimal-Nagar 観測所の結果は参考までに算出した。）



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.26 水文観測所での確率洪水量の計算結果

b) 計画橋梁の設計流量（確率洪水量）

上述の統計データによる頻度解析に加えて、ネパール国の観測所がない流域で良く使用される他の経験式を以下に示す。本検討においては、これらの中の代表的な3つの予測式を使用した。

- 合理式
- WECS（ネパール水エネルギー委員会事務局）／DHM（水文気象局）法
- 修正 Dicken 法
- （PCJ：Prem Chandra Jha 法）
- （Sharma、Adhikari 法）など

9.4.2 (4) 2) に示すとおり、Daraudi 橋梁 (No.5) を除き、排水流域内には多くの急斜面地があるために、土石流が発生するリスクは高い。したがって、上記式に加えて、4 橋梁に対しては、土石流の流量を日本の基準を準用し推定するものとした。

各予測式の確率洪水量の計算を表 9.4.23 に示し、各橋梁の設計流出量を表 9.4.22 にまとめる。（平水量／低水量／濁水量は、Garambesi 観測所の過去の流況曲線より、単位面積当たり流量より計算した。）

表 9.4.22 計画橋梁毎の各種確率洪水量

Bridge No.	Chainage	Bridge (River) Name	Drainage Area (km ²)	Design Discharge							Remarks		
				Debris 100yrs	100yrs	50yrs	10yrs	2yrs	Ordinary Dis.	Low Dis.		Drought Dis.	
Barakilo - Barpak Road										0.0282321	0.0169935	0.0109271	Chepe Khola
1	km16	Khahare Khola	5.72	98.81	52.66	47.14	40.69	29.91	0.162	0.097	0.063		
2	km27	Jhayalla Khola	13.94	186.61	101.26	90.06	79.78	59.70	0.394	0.237	0.152		
3	km31	Ghatte Khola	7.43	170.42	85.21	82.11	72.31	53.36	0.210	0.126	0.081		
4	km37	Rungrung Khola	34.43	356.45	195.30	169.38	144.59	105.04	0.972	0.585	0.376		
District Road to Saurpani													
5	km29	Daraudi Khola	214.5	1,764.4	950.5	844.8	728.7	514.2	6.055	3.644	2.343		
-	km29	Daraudi Khola	347.9	2,007.5	1,541.8	964.3	842.7	617.1	9.822	5.912	3.801		

Note. Numerical values listed in boldface shows the design discharge.

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.4.23 各計画橋梁位置での確率洪水量と土石流の計算結果

Bridge No.	Chainage	Bridge (River) Name	Drainage Area (km ²)	Design Scale	1. Catchment Area Ratio Method (to 100-yr flood of Chepe Khola)		2. Rational Formula										3. WECS/DHM Method			4. Modified Dicken's Method				Design Discharge 100-yr Q (m ³ /s)	Applied Estimation Method	Necessary Bridge Opening B (m)	Remarks		
					100-yr Unit Discharge (m ³ /s/km ²)	Peak Discharge Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Concentration Time T	Inlet Time: T1	Travel Time: T2	Inlet Length (m)	Flow Length (m)	Rainfall Intensity: I ₁ (mm/hr)	Rainfall Intensity: I _{1.5} (mm/hr)	Rainfall Intensity: I ₅ (mm/hr)	Rainfall Intensity: I ₁₀₀ (mm/hr)	Runoff Coefficient	Peak Discharge: Q ₁ (m ³ /s)	Peak Discharge: Q _{1.5} (m ³ /s)	Peak Discharge: Q ₅ (m ³ /s)	Drainage Area under 3000 m elevation: A ₃₀₀₀ (km ²)	Peak Discharge: Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Snow Cover Area: A _s (km ²)	% of Snow-fed Area: P					Dicken's Coefficient: C ₁₀₀	Peak Discharge: Q ₁₀₀ (m ³ /s)
Barakilo - Bargak Road																													
1	km16	Khahare Khola	5.72	100 yrs	4.43182	25.36	41.21	19.20	22.00	897	3,653	48.24	65.63	76.03	79.69	0.39	29.91	40.69	49.40	5.72	52.66	0.0	104.848	8.39	31.03	52.7	WECS/DHM Method	34.5	Minimum Freeboard is 1 m
2	km27	Jhavalra Khola	13.94	100 yrs	4.43182	61.80	49.17	18.61	30.57	971	4,983	48.16	64.37	72.66	75.28	0.32	59.70	79.78	93.30	13.94	101.26	0.0	43.030	10.00	72.13	101.3	WECS/DHM Method	47.8	Freeboard is 1 m
3	km31	Ghante Khola	7.43	100 yrs	4.43182	32.92	37.36	20.58	16.78	1,300	2,904	56.23	76.20	86.53	89.79	0.46	53.36	72.31	85.21	7.43	65.77	0.0	80.785	8.86	39.85	85.2	Rational Formula	43.8	Freeboard is 1 m
4	km37	Rungrong Khola	34.43	100 yrs	4.43182	152.60	61.78	26.33	35.46	1,463	7,813	34.32	47.24	55.34	58.23	0.32	105.04	144.59	178.23	34.11	195.30	0.0	17.425	11.65	165.34	195.3	WECS/DHM Method	66.4	Freeboard is 1 m
District Road to Saurpani																													
5	km29	Darandi Khola	214.5	100 yrs	4.43182	950.5	156.89	45.64	111.25	4,619	23,272	19.62	27.80	32.23	33.66	0.44	514.2	728.7	882.2	149.1	576.8	2.1	3.775	14.40	806.9	930	Catchment Area Ratio Method (specific Discharge)	146.44	Freeboard is 1.5 m
-	km29	Darandi Khola	347.9	100 yrs	4.43182	1,541.8	224.38	45.64	178.74	4,619	38,924	16.37	22.36	25.59	26.63	0.39	617.1	842.7	1003.8	282.5	922.2	2.1	2.327	15.27	1,230.3	1,542	Catchment Area Ratio Method (specific Discharge)	-	-

Note. 1. In the calculation of Catchment Area Ratio Method by using the statistical data of Ghazimesi (Chepe Khola) station, the extreme value prediction method is adopted the Log Pearson type III distribution (Logarithmic space method) from among several methods.
 2. In the calculation of Rational Formula, the time of concentration is calculated by Kirpich formula for Travel time and Kerby formula for Inlet time. The rainfall intensity formula use the Monzonko equation, the extreme value prediction method of daily rainfall is adopted a preferred method from among several distribution-models. Also, the probable 24hr-rainfall amount of each site / station is adjusted by considering the spatial distribution of them.
 3. Necessary Bridge Opening Width is calculated by Lacey's equation, in order to prevent contraction scour.

No.	Target / River Bridge	Cobbles Density	Water Density	Internal Friction Angle	Slope of Stream Bed		Slope of Down-Stream Bed		Cardinality of Debris Flow		Cardinality of Deposited Debris	Unit Weight of Debris Flow	C _v /(C _w -C _d)	Discharge only Water flow	Debris Flow Discharge	Remarks
					α (deg.)	tan θ	tan θ	θ (deg.)	C _d	C _w						
Barakilo - Bargak Road																
1	Khahare Khola	2.60	1.2	30.0	0.0714	4.085	0.0701	4.011	0.121	0.300	0.6	2.18	2.00	49.404	98.808	
2	Jhavalra Khola	2.60	1.2	30.0	0.0383	2.194	0.0648	3.710	0.061	0.300	0.6	2.18	2.00	93.304	186.608	
3	Ghante Khola	2.60	1.2	30.0	0.0662	4.924	0.1185	6.759	0.150	0.300	0.6	2.18	2.00	85.211	170.423	
4	Rungrong Khola	2.60	1.2	30.0	0.0669	3.827	0.1022	5.835	0.112	0.300	0.6	2.18	2.00	178.227	356.454	
District Road to Saurpani																
5	Darandi Khola	2.60	1.2	30.0	0.0140	0.800	0.0257	1.470	0.021	0.300	0.6	2.18	2.00	882.21	1764.41	
-	Darandi Khola	2.60	1.2	30.0	0.0108	0.617	0.0108	0.617	0.016	0.300	0.6	2.18	2.00	1003.77	2007.53	

出典：JICA プロジェクトチーム

4) 計画橋梁位置での水理計算と設計洪水位

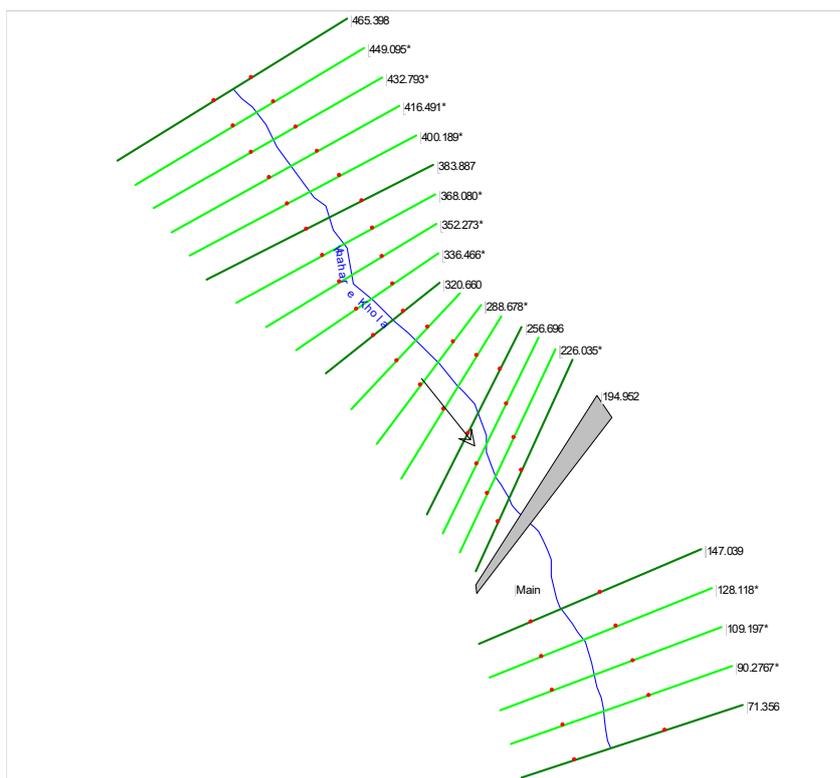
a) 水理計算

検討区域の5橋梁位置にて、各種水理量と橋梁洗掘量を確認するために、平均流量条件下で、一次元水理解析を行った。一次元水理解析は、米軍陸軍工兵隊によって開発されたHEC-RAS（水文技術センター河川解析システム）を使用した。

5橋梁位置の水理計算モデルを図9.4.27から図9.4.31に示す。水理計算用断面は地形測量結果を利用して計算した。

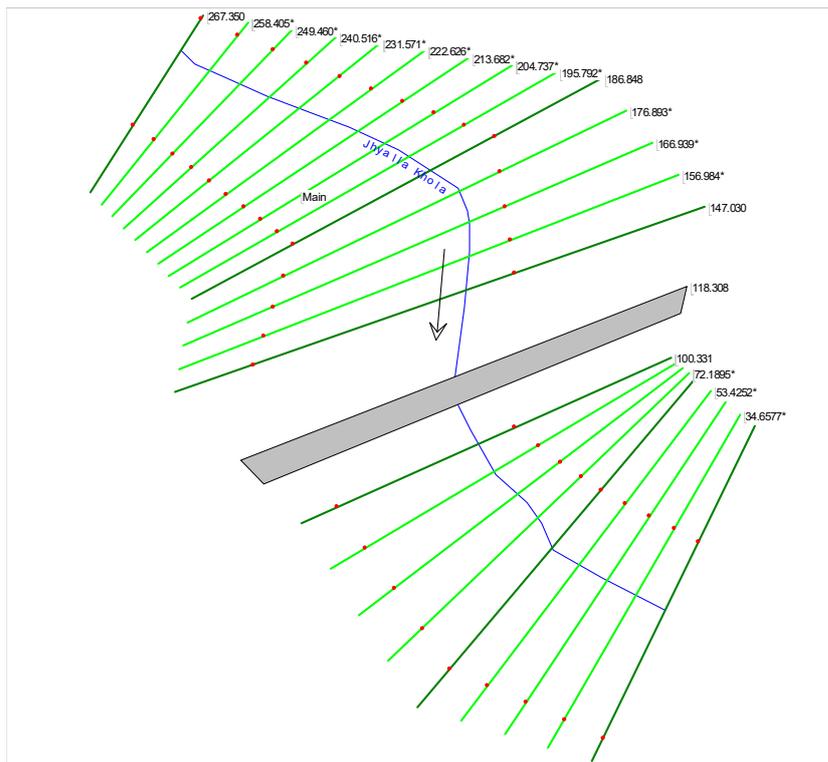
水理解析は下記条件にて行われ、計算結果としての水理縦断を図9.4.32から図9.4.36に示す。

- 計算ケース – 「橋梁無し」と「橋梁有り」の2ケース
- 流出量 – 渇水量、低水量、平水量、2、10、50、100年確率洪水量および100年確率土石流量（設計規模はNo.1からNo.4橋梁には100年確率洪水の土石流量、Daraudi本川のNo.5橋梁には通常の100年確率洪水量を適用した）



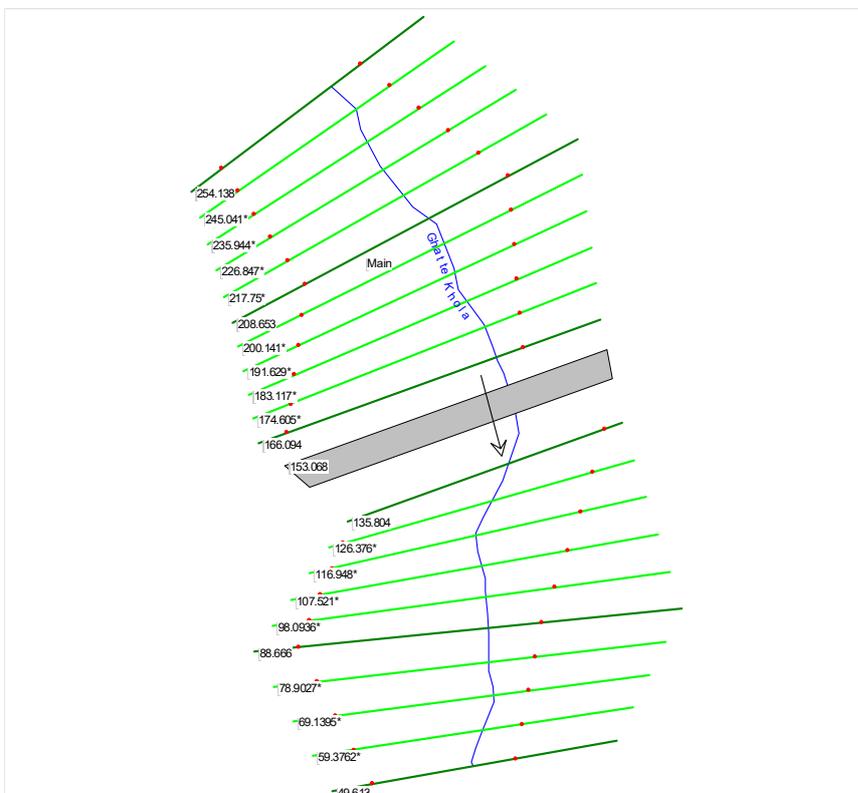
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.27 No.1 橋梁の水理計算モデル（Khahare 川）



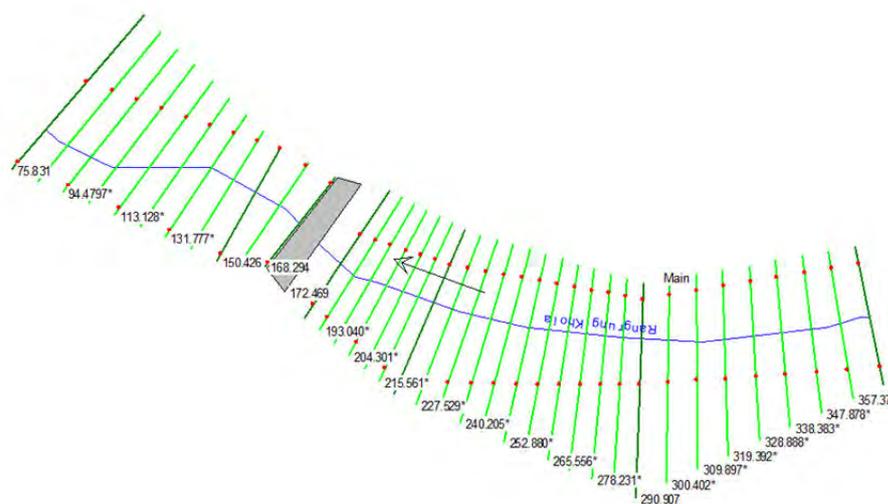
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.28 No.2 橋梁の水理計算モデル (Jhyalla 川)



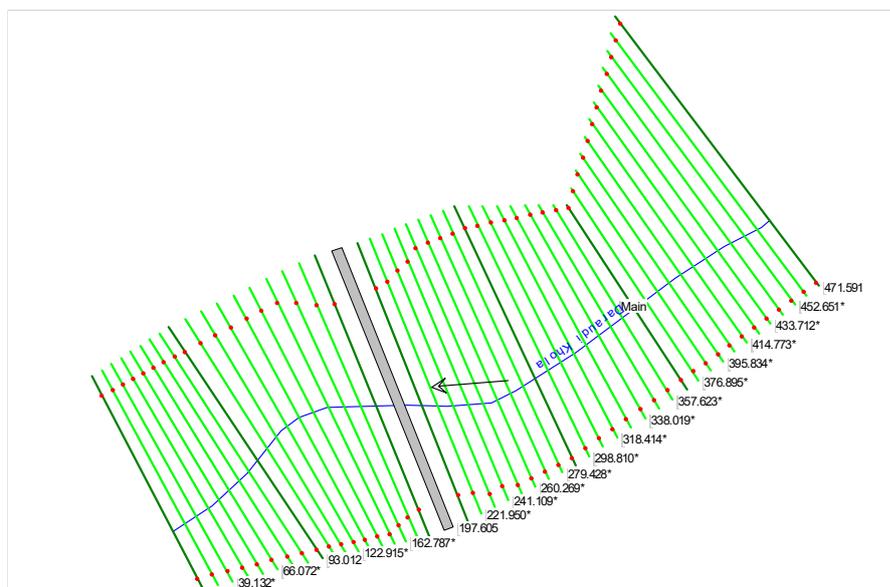
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.29 No.3 橋梁の水理計算モデル (Ghatte 川)



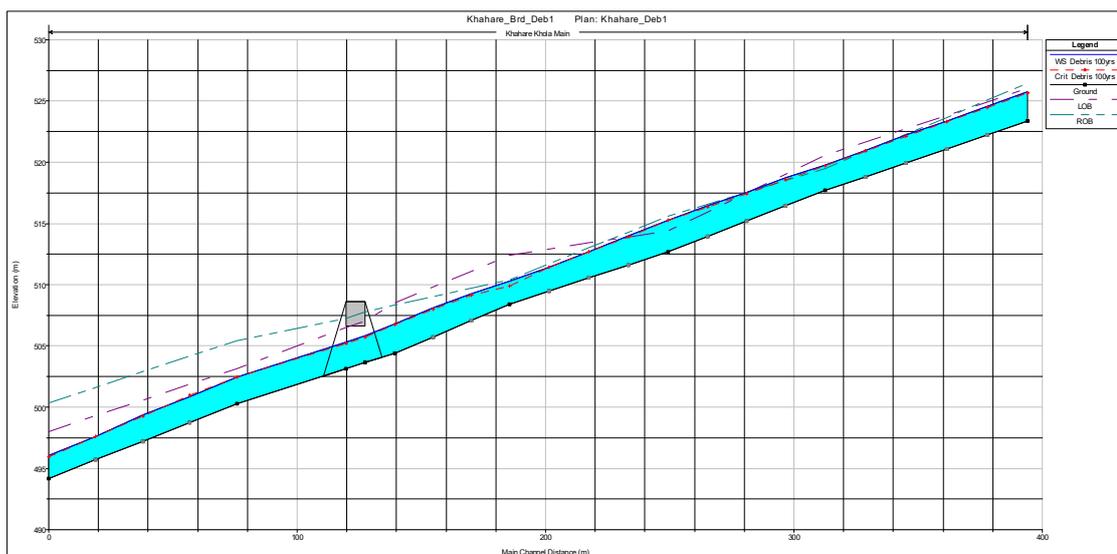
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.30 No.4 橋梁の水理計算モデル（Rangrung 川）



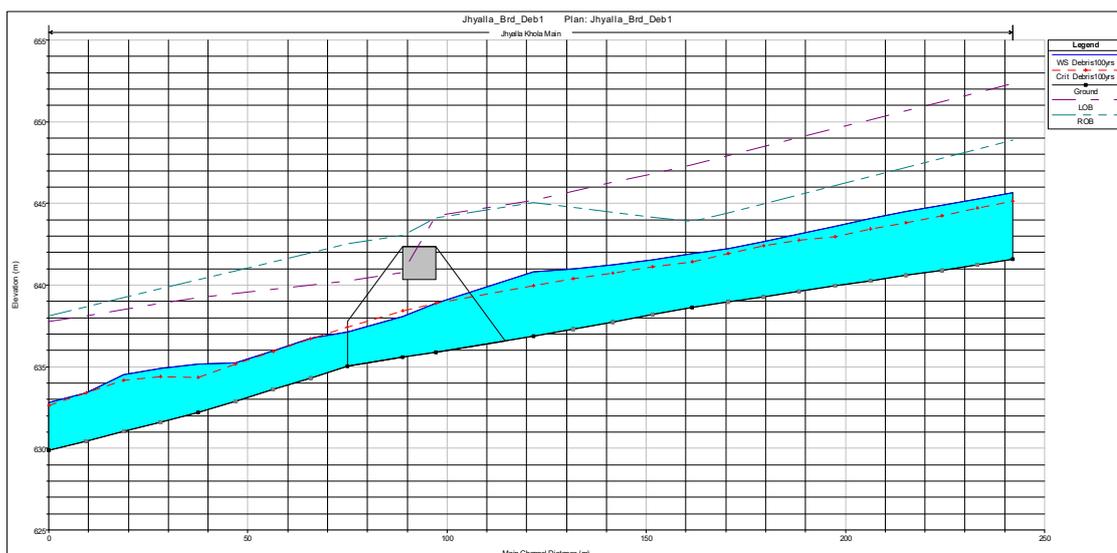
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.31 No.5 橋梁の水理計算モデル（Daraudi 川）



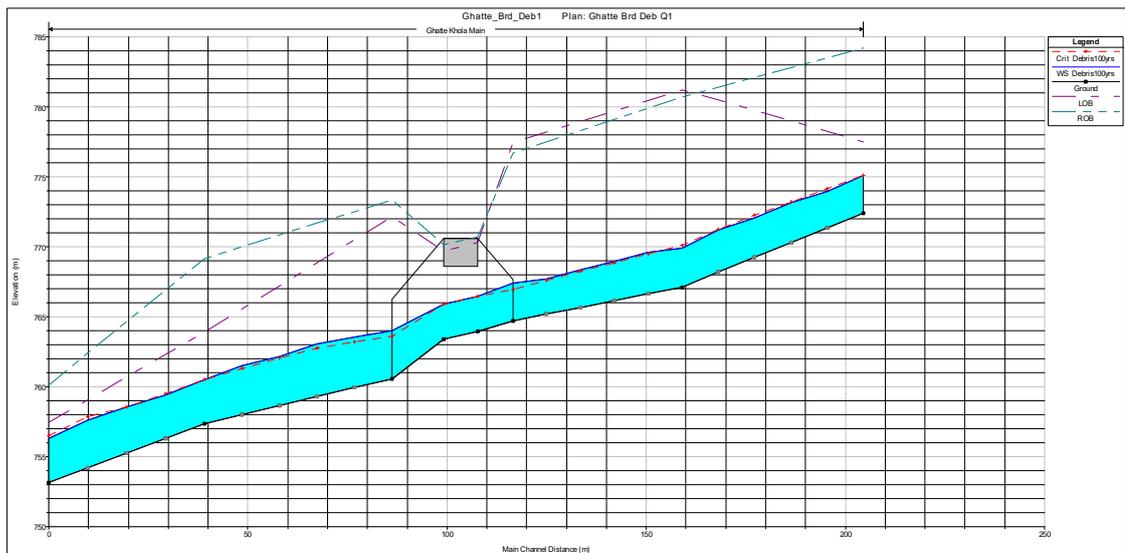
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.32 No.1 橋梁の水理計算結果（水理縦断）（Khahare 川）



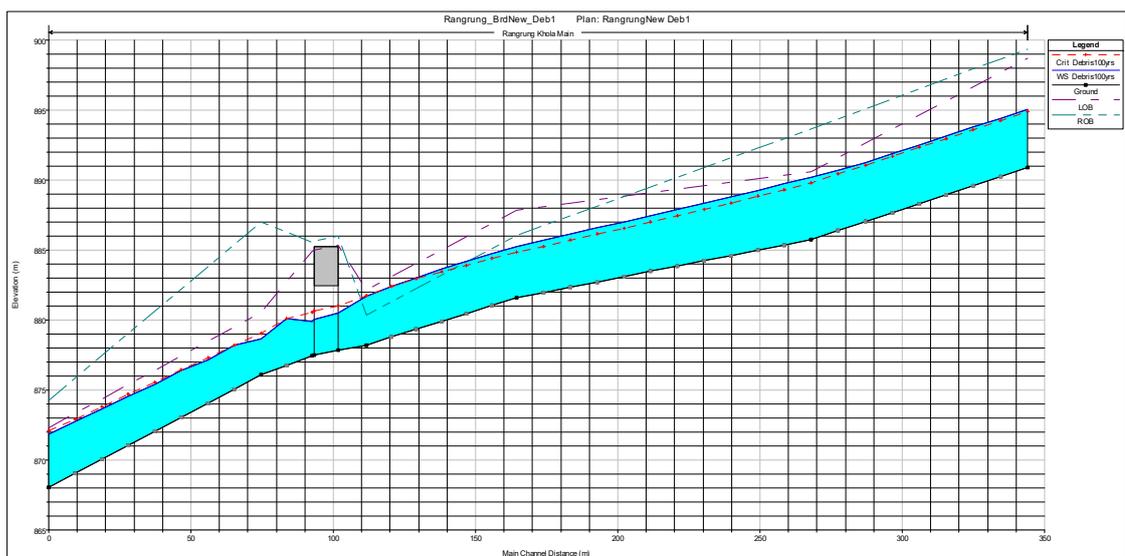
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.33 No.2 橋梁の水理計算結果（水理縦断）（Jhyalla 川）



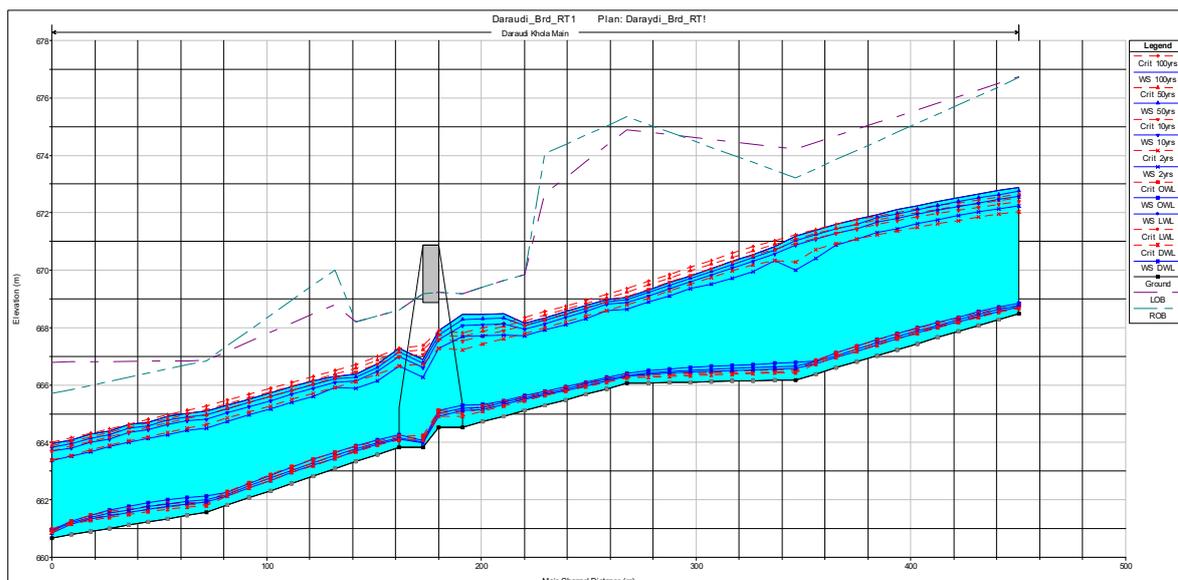
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.34 No.3 橋梁の水理計算結果（水理縦断）（Ghatte 川）



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.35 No.4 橋梁の水理計算結果（水理縦断）（Rangrung 川）



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.36 No.5 橋梁の水理計算結果（水理縦断）（Daraudi 川）

b) 計画橋梁位置での設計洪水位（HFL）

各計画橋梁位置の設計洪水位（HFL）を表 9.4.24 に示す。設計確率年の規模は、4 橋梁には土石流を見込んだ 100 年確率洪水、Daraudi 川（No.5）橋梁には（土石流なしの）100 年確率洪水を適用した。

表 9.4.24 各計画橋梁位置での設計洪水位（HFL）

Bridge No.	Chainage	Bridge (River) Name	Bridge Width (m)	Bridge Up Chainage	Water Level with Bridge (existing)							
					Debris 100yrs	100yrs	50yrs	10yrs	2yrs	Ordinary Dis.	Low Dis.	Drought Dis.
Barakilo - Barpak Road												
1	km16	Khahare Khola	8.45	0+129.218	505.99	504.89	504.84	504.78	504.64	503.86	503.84	503.83
2	km27	Jhayalla Khola	8.45	0+099.731	639.06	638.20	638.05	637.93	638.00	636.20	636.17	636.13
3	km31	Ghatte Khola	8.45	0+108.095	766.49	765.47	765.45	765.41	765.29	764.15	764.12	764.10
4	km37	Rungrung Khola	8.45	0+124.905	882.70	881.02	880.89	880.76	880.53	879.31	879.27	879.24
District Road to Saurpani												
5	km29	Daraudi Khola	7.20	0+180.033	-	667.89	667.75	667.59	667.28	665.11	665.01	664.92
-	km29	Daraudi Khola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

出典：JICA プロジェクトチーム

(5) 設計条件

1) 準拠指針

本計画においては、ネパール国における以下の主要な規約、基準、ガイドラインを使用し設計条件を構成した。

- ネパール橋梁設計基準, 2010 : Nepal Bridge Standard – 2067 (DOR により 2010 年に制定)
- ネパール道路設計基準, 2013 (主要道路に関する基準・第 3 版) : Nepal Road Standards 2070, Design Standards for Feeder Roads (Third Revision) (DOR により 2013 年に制定)

- ネパール地方道路設計基準 1998(第2版 2014年):Nepal Rural Road Standard (2055), 2nd Revision, 2071 (DOLIDARにより2014年に制定)
- その他：日本国内土木設計基準

2) 道路設計条件

a) 道路種別

本プロジェクトは、DORが管轄するバラキロ-バルパック道路（以下、“本線”と称す）沿いに建設される4か所の橋梁とダラウディ河を渡河する群道橋梁であるダラウディ橋で構成される。本線は、Feeder Roadと規定されており計画交通量他より、Class III/IVとなり、設計速度は30km/時（山地・急峻地形）を採用することとなる。また District Roadに属する Daraudi 川渡河橋梁についても、新規に本線と接続することより、30km/時の設計速度を採用した。

表 9.4.25 道路種別

道路種別	概要	適用
幹線道路 Feeder Road	幹線道路は地方部における重要な道路である。これらは国道または他の幹線道路と地区中心地、主要な経済中心地や観光中心等のコミュニティとを接続する。	ゴルカ・バルパック道路
地方道路 District Road	地方道路は地域内の生産・市場地点を結び、地方道路相互や主要ハイウェイを接続する重要な路線である。	スワラ・サウラパニ・バルパック道路

出典：JICA プロジェクトチーム

b) 道路規格と機能

本設計で採用する道路規格は、下表に基づきクラス III/IV とした。

表 9.4.26 道路規格

道路規格	概要	適用
クラス III Class III	クラス III 道路は20年の推計期間で2,000~5,000 PCU※/日の交通量を有する。この規格の平地部に存する道路の標準となる適用設計速度は80 km/時とする。	ゴルカ・バルパック道路
クラス IV Class IV	クラス IV の道路は20年の推計期間で2,000PCU/日未満の交通量を有する。この規格の平地部に存する道路の標準となる適用設計速度は60 km/時とする。	スワラ・サウラパニ・バルパック道路

※PCU: Passenger Car Unit (乗用車換算台数)

出典：JICA プロジェクトチーム

c) 設計速度

本設計で採用する設計速度は、計画地点の地形と下表に基づき $V_s = 30\text{km/時}$ とした。

表 9.4.27 道路規格と設計速度

道路規格	平地	丘陵地	山地	急峻地	適用
クラス I	120	100	80	60	ゴルカ・バルパック道路およびスワラ・サウラパニ・バルパック道路
クラス II	100	80	60	40	
クラス III	80	60	40	30	
クラス IV	60	40	30	20	

出典：JICA プロジェクトチーム

d) 最少曲線半径

本設計で採用する最少曲線半径は、下表に基づき $R_{min} = 30m$ とする。但しヘアピンカーブを採用する場合（ダラウディ橋梁部他）は、同基準に基づき、 $V_s = 20km/時$ の $R_{min} = 15m$ を最小値として用いることとした。

表 9.4.28 最小曲線半径規定

道路種別	設計速度 Km/時	最少曲線半径 m			適用
		片勾配 2.5%	片勾配 10%	自動車運転走行性の最大値	
クラス III	80	440	210	190	ゴルカ・バルバック道路およびスワラ・サウラパニ・バルバック道路
		60	200	110	
	クラス IV	40	70	40	
		30	30	20	
		20	20	10	

出典：JICA プロジェクトチーム

e) 最急縦断勾配

本設計で採用する最急縦断勾配は、下表に基づき $i_{max} = 10\%$ とした。但し現況道路との接続部では、現道の引き出し勾配を用いることより、特例として規定値以上の値を採用する場合もある。

表 9.4.29 最急縦断勾配規定

設計速度 km/時	20	30	40	60	80	100	120
最急縦断勾配 %	12	10	9	7	6	5	4

出典：JICA プロジェクトチーム

f) 車線幅員

本設計で採用する標準車線幅員は、下表に基づき 3.75m とした。

表 9.4.30 車道幅員規定

1 車線道路の車線幅員 m	中位の道路の車線幅員 m	多車線道路の車線の車線幅員 m
3.75	5.5	3.5

出典：JICA プロジェクトチーム

g) 路肩幅員

本設計で採用する標準路肩幅員は、現在、DOR により改良工事が実施されている本線の標準断面に基づき、それぞれ 1.875m とした。なお標準設計における標準幅員は、クラス III で 2.00m、クラス IV で 1.50m となっている。

h) 曲線部の拡幅

標準設計において曲線部の拡幅は、1 車線道路で $R=20-40m$ の場合、0.6m と規定している。一方、本設計では十分な路肩幅員を有することより、曲線部の拡幅は行わないものとした。

3) 橋梁設計条件

上述したネパール国橋梁設計基準によると、橋梁に作用する荷重については、インドの IRC 基準に基づき設定するように求められている。そこで、本プロジェクトにおいても、以降に示すように、IRC 基準に基づいた条件設定を行った。

a) 活荷重

「Standard Specifications and Code of Practice for Road Bridges (IRC: 6-2014)」にて規定される Class 70R および Class A 荷重を適用した。

b) 地震荷重

同様に、「Standard Specifications and Code of Practice for Road Bridges (IRC: 6-2014)」に準拠し、以下に示すように設定した。

- 重要度係数：1.20
- 地域係数：0.36

c) 舗装荷重

ネパール国においては、依然として、アスファルトコンクリートを使用した舗装の適用が一般的に行われていない。対象路線においても、一般土工部では、簡易舗装のみの適用であり、橋梁部においては、舗装がなされていない。そのため、本プロジェクトにおいても橋面舗装の適用は考慮しない。しかし、DOR によると、将来的には、アスファルトコンクリートを用いた舗装を全路線に適用する計画であるとの事である。そのため、将来的にアスファルトコンクリート舗装を敷設可能となるよう 75mm 厚の舗装荷重を考慮し橋梁設計を実施した。

d) 材料強度

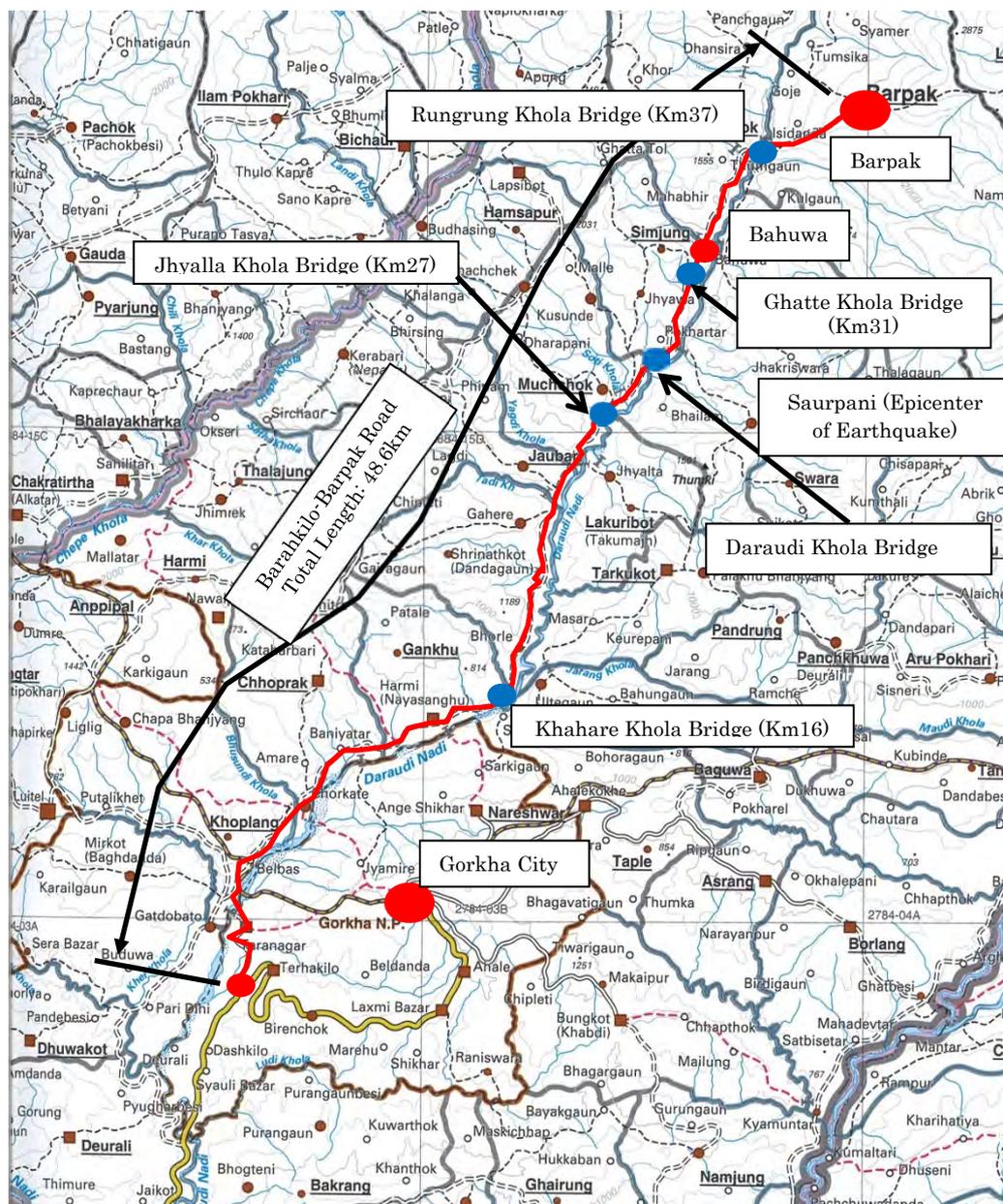
本プロジェクトにおいて使用する各種材料の強度は下記の通りとした。

- PC 上部工用コンクリートの設計基準強度
PC 上部工に用いるコンクリートの設計基準強度は、 $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ とする。
- 鉄筋コンクリートの設計基準強度
下部工、基礎工および地覆等鉄筋コンクリート部材に用いる鉄筋コンクリートの設計基準強度は、 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ とする。
- 無筋コンクリートの設計基準強度
均しコンクリートおよび歩道部間詰コンクリート等無筋コンクリート部材に用いるコンクリートの設計基準強度は、 $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ とする。
- 鉄筋
ネパール国における市場性を考慮し、インド基準である IS 1786:2008 に準拠した Grade 500 の鉄筋を使用する。

9.4.3 概略設計

(1) 対象橋梁

本プロジェクトでの対象となる5橋梁の位置について、図9.4.37の位置図に示す。また、各渡河地点における現況についても、以下に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図9.4.37 対象橋梁位置図

1) カーレ川渡河橋梁

カーレ川渡河橋梁計画はバラキローバルパック道路の Km16 地点に位置する。乾季では川の水量は僅かである一方、雨期には車両での渡河が難しい状況が多く見られる。現地状況は、現在の流速は約 3～4m/秒である。河床・河川敷では、数十 cm の大きさの岩礫が観察される。またカーレ川の左岸付近に 10 件程度の家屋、右岸では数百メートル離れた地点で 10 件程度の家屋が存する。

2) ジャヤラ川渡河橋梁

ジャヤラ川渡河橋梁計画はバラキローバルパック道路の Km27 地点に位置する。川幅は約 10～15m、水深は 10 数 cm 程度、流速は約 2～3m/秒程度である。河床・河川敷では、数 10cm から 1m 程度の大きさの岩礫が観察される。またジャヤラ川の右岸付近に 10 件程度の家屋、渡河地点の上流の両岸で農地が存在する。

3) ガッテ川渡河橋梁

ガッテ川渡河橋梁計画はバラキローバルパック道路の Km31 地点に位置する。川幅は約 10～15m、水深は 10 数 cm 程度、速度は約 2～3m/秒である。河床・河川敷では、数 10cm から 1m 程度の大きさの岩礫が観察される。またガッテ川の右岸近傍に 100 件程度の村落があり、両岸付近には農地が広がっている。

4) ラングルン川渡河橋梁

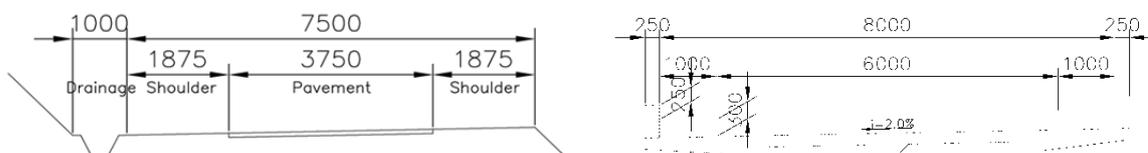
ラングルン川渡河橋梁計画はバラキローバルパック道路の Km37 地点に位置する。川幅は約 20m 程度、水深さは 10 数 cm 程度、流速は約 3m/秒である。河床・河川敷河では、数十 cm から 1m 程度の大きさの岩礫が観察される。またラングルン川付近は河川手前に民家が数件のみで、ほとんどは森林である。

5) ダラウディ川渡河橋梁

ダラウディ川渡河橋梁計画はバラキローバルパック道路の Km29 地点、今回の地震の震源地であるサウラパニ村とバラキローバルパック道路とを結ぶ地点である。川幅は約 30m 程度、水深はは 1～2m、流速は約 2～3m/秒である。計画地点付近には住宅は存してない。なお水力発電所の建設工事が、約 1km 下流で進行中である。

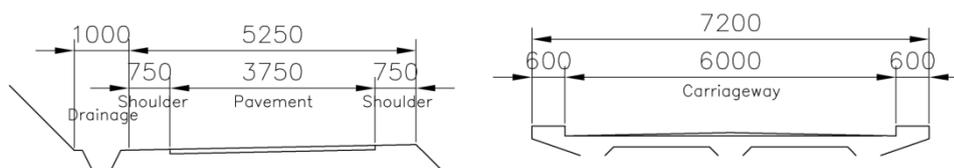
(2) 標準横断面

前項にて、整理した設計条件により、本プロジェクトに適用する標準横断面を下図に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.38 本線部道路標準横断（土工部、橋梁部）



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.39 郡道部道路標準横断（土工部、橋梁部）

(3) 道路概略設計

各道路・橋梁設計箇所における幾何構造採用値とコントロールポイントを以下に示す。本設計では、コントロールポイントとの調整や工事費の低減を念頭に設計を進めた。

1) カーレ川渡河橋梁部平面縦断設計

表 9.4.31 カーレ川渡河橋梁部平面縦断設計

道路種別	道路種別	設計速度 Km/時	最少曲線半径 m		最急縦断勾配 %	
			規定最小値	採用値	規定最小値	採用値
幹線道路 Feeder Road	クラス III	30	30	20 ヘアピンカーブ	10	10.00
コントロールポイント						
平面・ 縦断	測点 (Sta.)	コントロールポイント 名称	設計対応			
平面	0+00	設計始点	現道とセンターを合せるとともに 20m の距離で道路幅員、舗装を摺り付ける			
	0+30 - 0+55	橋梁部線形	橋長を極力短くするためにヘアピンカーブ (R=20) を採用			
	0+110 左右	民家	コントロールとして避ける			
	0+120	設計終点	現道とセンターを合せるとともに 20m の距離で道路幅員、舗装を摺り付ける			
縦断	0+00	設計始点	現道高さとも合わせる			
	0+30 - 0+55	橋梁部線形	HWL=505.80m の条件のもと、桁下余裕=1.0m、想定桁高=1.8m として、道路計画高 \geq 508.6m を条件に設計する			
	0+120	設計終点	現道高さとも合わせる			

出典：JICA プロジェクトチーム

2) ジャヤラ川渡河橋梁部平面縦断設計

表 9.4.32 ジャヤラ川渡河橋梁部平面縦断設計

道路種別	道路種別	設計速度 Km/時	最少曲線半径 m		最急縦断勾配 %	
			規定最小値	採用値	規定最小値	採用値
幹線道路 Feeder Road	クラス III	30	30	60	10	5.25
コントロールポイント						
平面・ 縦断	測点 (Sta.)	コントロールポイント 名称	設計対応			
平面	0+00	設計始点	現道とセンターを合せるとともに 20m の距離で道路幅員、舗装を摺り付ける			
	0+00 - 0+50 左右	始点側民家	コントロールとして避ける			
	0+70 左	養殖池	コントロールとして避けるとともに、ギャビオン工を設置し保護する			
	0+81 - 0+111	橋梁部線形	橋長を極力短くするために河川と極力直行させる			
	0+140 右	民家	コントロールとして避ける			
縦断	0+00	設計始点	現道高さとも合わせる			
	0+81 - 0+111	橋梁部線形	HWL=638.84m の条件のもと、桁下余裕=1.0m、想定桁高=2.0m として、道路計画高 \geq 641.84m を条件に設計する			
	0+190	設計終点	現道高さとも合わせる			

出典：JICA プロジェクトチーム

3) ガッテ川渡河橋梁部平面縦断設計

表 9.4.33 ガッテ川渡河橋梁部平面縦断設計

道路種別	道路種別	設計速度 Km/時	最少曲線半径 m		最急縦断勾配 %	
			規定最小値	採用値	規定最小値	採用値
幹線道路 Feeder Road	クラス III	30	30	60	10	8.77
コントロールポイント						
平面・ 縦断	測点 (Sta.)	コントロールポイント 名称	設計対応			
平面	0+00	設計始点	現道とセンターを合せるとともに 20m の距離で道路幅員、舗装を摺り付ける			
	0+00 右	始点側民家	コントロールとして避ける			
	0+39- 0+69	橋梁部線形	橋長を極力短くするために河川と極力直行させる			
	0+106 右	民家	コントロールとして避ける			
	0+120	設計終点	現道とセンターを合せるとともに 20m の距離で道路幅員、舗装を摺り付ける			

平面・縦断	測点 (Sta.)	コントロールポイント名称	設計対応
縦断	0+00	設計始点	現道高さ合わせる。現道勾配と合わせるため引き出し勾配が20.73%と大きくなるが、縦断曲線長を長く (L=60m) し K 値を満足させる
	0+39- 0+69	橋梁部線形	HWL=768.78m の条件のもと、桁下余裕=1.0m、想定桁高=2.0m として、道路計画高 \geq 768.78m を条件に設計する
	0+120	設計終点	現道高さ合わせる

出典：JICA プロジェクトチーム

4) ラングルン川渡河橋梁部平面縦断設計

表 9.4.34 ラングルン川渡河橋梁部平面縦断設計

道路種別	道路種別	設計速度 Km/時	最少曲線半径 m		最急縦断勾配 %	
			規定最小値	採用値	規定最小値	採用値
幹線道路 Feeder Road	クラス III	30	30	200	10	7.00
コントロールポイント						
平面・縦断	測点 (Sta.)	コントロールポイント名称	設計対応			
平面	0+00	設計始点	現道とセンターを合せるとともに20mの距離で道路幅員、舗装を摺り付ける。民家（納屋）を避けるため摺り付け部を折った線形とする			
	0-07 左	始点側民家	コントロールとして避ける			
	0+35-0+55 右	地山	地山の切土を避ける			
	0+60- 0+110	橋梁部線形	施工性を考慮し橋梁を大きな線形 (R=200) 内に配置する			
	0+110-0+130	地山	地山の切土を避ける			
	0+150	設計終点	現道とセンターを合せるとともに20mの距離で道路幅員、舗装を摺り付ける			
縦断	0+00	設計始点	現道高さ合わせる。現道勾配と合わせるため引き出し勾配が22.17%と大きくなるが、縦断曲線長を長く (L=60m) し K 値を満足させる			
	0+60- 0+110	橋梁部線形	HWL=881.34m の条件のもと、桁下余裕=1.0m、想定桁高=2.8m として、道路計画高 \geq 885.14m を条件に設計する			
	0+120	設計終点	現道高さ合わせる			

出典：JICA プロジェクトチーム

5) ダラウディ川渡河橋梁部平面縦断設計

表 9.4.35 ダラウディ川渡河橋梁部平面縦断設計

道路種別	道路種別	設計速度 Km/時	最少曲線半径 m		最急縦断勾配 %	
			規定最小値	採用値	規定最小値	採用値
地方道路 District Road	クラス IV	30	30 15 (ヘアピンカーブ)	200 15	10	7.65
コントロールポイント						
平面・ 縦断	測点 (Sta.)	コントロールポイント 名称	設計対応			
平面	0+00	設計始点	ゴルカ・バラキロ道路と三枝平面交差を形成する。交差点付近として車両の転回を考慮し R=15を採用する			
	0+140 付近	A1 アバット付近	橋梁が直橋となるようヘアピンカーブ (R=15)を採用			
	0+156- 0+288	橋梁部線形	施工性を考慮し橋梁を直橋とする			
	0+300 付近	A2 アバット付近	橋梁が直橋となるようヘアピンカーブ (R=15)を採用			
	0+320	設計終点	現道とセンターを合せるとともに 20m の距離で道路幅員、舗装を摺り付ける。地山と整合させる			
縦断	0+00	設計始点	ゴルカ・バラキロ道路の高さに合わせる。交差点付近の緩勾配 $i \leq 2.5\%$ (採用値は $i=1.5\%$) を満足させる			
	0+00-0+150	橋梁アプローチ部	HWL を満足する線形とする			
	0+200.5	現道との交差	現道の車両通行を考慮し、H=3m の桁下空間を確保する			
	0+156- 0+288	橋梁部線形	HWL=66.7.37m の条件のもと、桁下余裕=1.5m、想定桁高=2.0m として、道路計画高 $\geq 670.87m$ を条件に設計する			
	0+320	設計終点	現道高さと合わせる			

出典：JICA プロジェクトチーム

(4) 橋梁概略設計

1) 橋梁計画の基本方針

以下に示す方針に基づき、橋梁計画を実施した。

- Build Back Better の理念に基づき、耐震性や耐久性に優れた工法や使用材料を選定する。
- ダラウディ河を除く 4 河川については、河床勾配も急峻であり、洪水時に流木や流石が生じる可能性が高い。そのため、単径間橋梁とし、流木や流石の影響を極力避けた計画とする。

2) 上部工形式検討

a) 橋梁1次形式検討

道路線形および河川条件の検討の結果、各橋梁における必要支間長を以下に示す。

- カーレ橋：25m
- ジャヤラ橋：30m
- ガッテ橋：30m
- ラングルン橋：50m

この支間長に対して適用が可能な橋梁形式を、表 9.4.36 に示す上部工形式と推奨適用支間長の関係より、求めた。

表 9.4.36 上部工形式と適用支間表

上部工形式		適用支間長 [m]			桁高・ 支間比
		50m	100m	150m	
鋼桁橋	単純合成鉄桁	—	—	—	1/18
	単純鉄桁	—	—	—	1/17
	単純箱桁	—	—	—	1/22
	単純トラス	—	—	—	1/9
	逆ランガー桁	—	—	—	1/6.5
	逆ローゼ桁	—	—	—	1/6.5
	アーチ	—	—	—	1/6.5
PC橋	プレテン桁	—	—	—	1/22
	中空床版	—	—	—	1/18
	2主桁	—	—	—	1/18
	単純T桁	—	—	—	1/18
	単純箱桁	—	—	—	1/18
	π形ラーメン	—	—	—	1/32

出典：JICA プロジェクトチーム

上表より、支間長より定まる推奨上部工形式としては、以下の橋種が考えられた。

- 鋼桁橋（支間長：30m および 50m）：単純合成鉄桁、単純鉄桁、単純箱桁
- PC橋（支間長：30m）：中空床版、2主桁、T桁、単純箱桁
- PC橋（支間長：50m）：単純箱桁、π形ラーメン

b) 橋梁2次形式検討

橋梁1次形式検討により選定された上部工形式について、比較検討をした結果を表9.4.37に示す。同表より、支間長30mでは、PC2主桁橋、50mでは、PC箱桁橋が妥当であると考えられた。

表 9.4.37 橋梁2次形式比較検討表

上部工形式	評価	判定
鋼桁橋 単純合成鉄桁	主構造の多くが日本国内で生産されるため、海上輸送や内陸輸送が必要であり、PC桁に比べ経済的に不利となる。 施工箇所が山間部の狭隘な場所に位置しており、部材の輸送に問題がある。 床版、鋼桁、支承等維持管理の煩雑な構造が多い。	×
鋼桁橋 単純鉄桁	同上	×
鋼桁橋 単純箱桁	同上	×
PC橋 中空床版	現場打ちの工法であり、山間部の資材輸送に問題がない。 中空部材を輸入する必要がある。追加のコストが必要となる。	×
PC橋 2主桁	現場打ちの工法であり、山間部の資材輸送に問題がない。	○
PC橋 T桁	桁製作後、各橋梁施工箇所までの桁輸送に問題がある。ある。 ネパール国内には、PC桁を吊上げる設備がなく、必要資機材を輸入することになり、輸送費等、経済的に不利となる。	×
PC橋 箱桁	現場打ちの工法であり、山間部の資材輸送に問題がない。	○
PC橋 π形ラーメン	現場打ちの工法であり、山間部の資材輸送に問題がない。 斜材部が河川断面を侵さないよう縦断を上げる必要がある、経済的に不利となる。	×

出典：JICAプロジェクトチーム

3) 基礎工形式

プロジェクト対象地域は、地盤条件が良好であり、地表面以下1～2mで、礫層が確認できる。そのため、本橋梁の基礎形式としては、直接基礎を適用した。

(5) 概略設計結果

概略設計結果を下表にまとめる。なお、概略設計図面については、添付資料9-1に添付する。

表 9.4.38 概略設計結果一覧

橋梁名称	橋長 [m]	取付道路延長 [m]	橋梁形式
カーレ橋	25	始点側：30m 終点側：65m	PC2主桁橋
ジャヤラ橋	30	始点側：81m 終点側：79m	PC2主桁橋
ガッテ橋	30	始点側：39m 終点側：51m	PC2主桁橋
ラングルン橋	50	始点側：60m 終点側：40m	PC箱桁橋
ダラウディ橋	134 (4@32.5)	始点側：154m 終点側：32m	PC2主桁橋

出典：JICAプロジェクトチーム

(6) 護岸概略設計

1) 概要

護岸や堤防建設の主たる目的は、洪水状況から橋梁を守るためであり、より多くの河岸浸食を発生させないことを意図するものである。副次的効果としては既往の保全区域内の農地やインフラなどを守ることである。

計画5橋梁の場合、河床勾配が非常に急勾配であり、流速は非常に高速であるために、流況はほぼ射流の条件下で、侵食の危険性は高い。また、Daraudi橋梁を除く4橋梁では土石流の危険性も高い。（25年前にKhahare橋の計画対象地域では、実際にあったこととして土石流が発生している。）

土石流の制御方法には、(i) 土石流の運動を開始させない、(ii) 運動を開始した土石流を成長させない、(iii) 土石流の勢力を減じ停止させる、という3つの方法が一般に考えられる。

それぞれの区域ごとの主たる土石流対策工をもとめると以下のとおりである。

- 発生域：土留め工、床固工、谷止工など
- 流下域：貯砂型砂防ダム工、透過型砂防ダム工、サンドポケットなど
- 堆積域：護岸工、導流工、流路工、ダム工など

砂防ダムは土石流対策の最も主要な手段であり、土石流を停止・堆積させるという貯留機能の他、流送土砂量調節機能、浸食防止機能、運搬形式変換機能、粒径分級機能がある。しかしながら、その対策工は大規模で且つ施工費用も膨大である。

本検討において、プロジェクトの主目的は地震に対する強度を有する橋梁の建設であり、土石流は橋梁開口部を通過させることを第一義的な目標として設定するものとする。（土石流を通過させる対策は、トータルの橋梁コストを低減させる。また、抜本的対策、つまり、構造物対策や土石流の警戒／避難体制の整備は別のプロジェクトとして考慮すべきである。）
よって、土石流の通過機能のみを持つ護岸工を検討するものとした。

2) 洗掘計算

橋梁の破損の最も一般的な原因は、橋梁基礎（橋台および橋脚）廻りの河床材料を侵食する洪水に因る場合が多い。よって、安全な橋梁設計としては橋梁の耐用年数の中で起こり得る洗掘状況を考慮すべきである。HEC-RASの定常流解析による洗掘量の想定では、発生し得る最大流出量と高水位を用いて米国連邦道路庁（FHWA）の水理工学通達 No.18（HEC-18）に基づいて行われる（図9.4.40参照）。

洗掘量の想定結果を表9.4.39に示す。Daraudi橋梁においては、一部の流れを阻害する道路盛土建設による浸食や水理損失を軽減するために、河川工事（RTW）を実施する。よって、この表の結果にはRTW施工後の結果を示す。

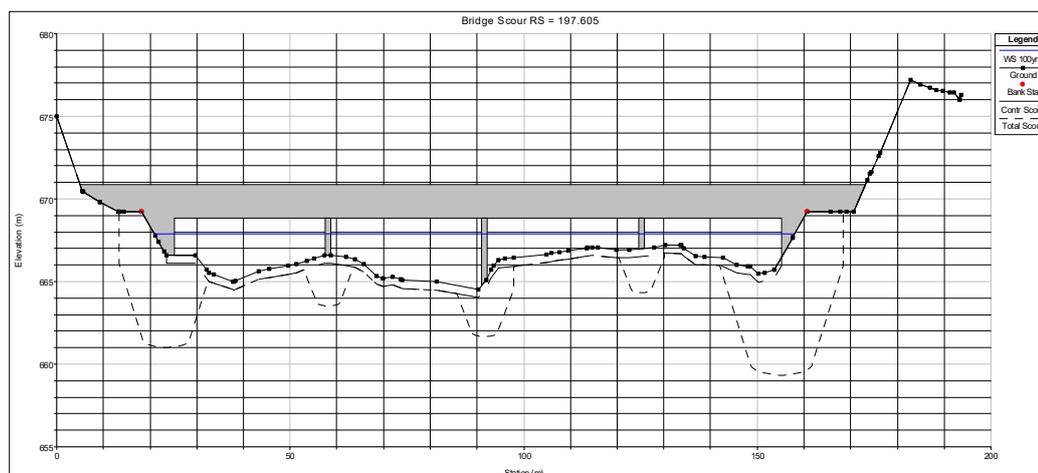
全ての橋梁にて、想定された橋梁洗掘深さは比較的大きく、各橋梁の河岸／河床は適切な防護工（布団籠や捨石等）により防護する必要がある。

表 9.4.39 橋梁洗掘量の演算結果

Location	Scouring Items	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
		Khahare Khola	Jhayalla Khola	Ghatte Khola	Rungrung Khola	Daraudi Khola
Abutment-1 (Left Bank)	Contraction Scour	0.01	1.14	0.06	0.60	0.50
	Local Scour	-	1.55	-	-	5.07
	Total Scour	0.01	2.69	0.06	0.60	5.57
Pier-1	Contraction Scour	-	-	-	-	0.50
	Local Scour	-	-	-	-	2.57
	Total Scour	-	-	-	-	3.07
Pier-2	Contraction Scour	-	-	-	-	0.50
	Local Scour	-	-	-	-	2.84
	Total Scour	-	-	-	-	3.34
Pier-3	Contraction Scour	-	-	-	-	0.50
	Local Scour	-	-	-	-	2.18
	Total Scour	-	-	-	-	2.68
Abutment-2 (Right Bank)	Contraction Scour	0.01	1.14	0.06	0.60	0.50
	Local Scour	4.87	5.31	-	6.96	6.61
	Total Scour	4.88	6.45	0.06	7.56	7.11
Remarks						with RTW

Note. Flow condition is under 100-years flood with debris-flow for 4 bridges except Daraudi and 100-years flood for Daraudi Bridge.

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 9.4.40 Daraudi 橋梁洗掘の計算例

3) 洗掘対策

河床の侵食および洗掘防護工としては、柔軟性のある護岸タイプが最も望ましいものであることから、捨石や布団籠タイプが選択肢として考慮される。しかしながら、捨石防護工を採用すると、その必要捨石サイズは非常に大きくなり、施工が難である。（例えば、捨石の平均粒径は、堤防と水平面との勾配を「1:2」と仮定すると 1.0 m から 3.2 m のサイズを必要とする。表 9.4.40 参照。）

したがって、侵食に対する許容流速が比較的高い布団籠防護工を標準の護岸タイプとして採用した。布団籠の許容最大流速は、「砂利混り（小）丸石」の河床材料の条件下で 6 m/s であ

る。（亜鉛メッキかビニール被覆の鉄線が採用されても、将来、劣化する恐れもあるし、個々の籠が下流へ動いたり、高速流の使用条件下で材料の籠が変形する恐れがある。よって、結果として信頼性が失われるため、定期的に布団籠のメンテナンスや交換を要する。）

Rangrung 川橋梁についてのみ、その地盤は堅固な基礎であり、流速も最も速いことから、コンクリート護岸工を採用した。

護岸タイプは、設置される部位によって3タイプに分けられる。護岸の標準横断を図9.4.41から図9.4.43に示す。

表 9.4.40 捨石の平均粒径 (D50) の計算サイズ (参考)

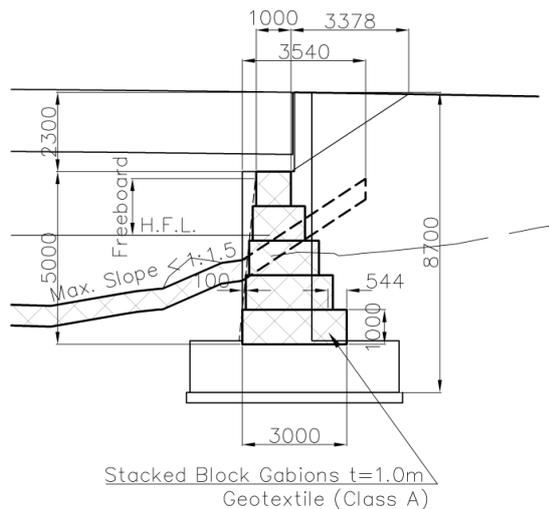
Installation slope of riprap = 1: 2

No.	Location		Slope of Stream Bed		Velocity V (m/s)	Average Flow Depth d _{avg} (m)	Bank angle with horizontal θ (H: L) (1: m)	Riprap material's angle of repose φ (deg.)	Coefficient K ₁	Correction factor C	Median Riprap particle size D ₅₀ (m)	Remarks
			Upstream 200m	Downstream 100m								
			tanθ (m/m)	tanθ (m/m)								
	Barakilo - Barpak Road						41.0		1.00			
1	Khahare Khola	0+000.355	0.07142	0.07012	5.44	0.61	2.0	41.0	0.73	1.00	1.96	
2	Jhayalla Khola	0+000.866	0.03831	0.06485	5.03	1.41	2.0	41.0	0.73	1.00	1.02	
3	Ghatte Khola	0+000.461	0.08615	0.11851	4.90	0.69	2.0	41.0	0.73	1.00	1.34	
4	Rungrung Khola	0+002.138	0.06689	0.10219	7.04	1.06	2.0	41.0	0.73	1.00	3.22	
	District Road to Saurpani											
5	Daraudi Khola	0+013.313	0.01396	0.02565	5.76	1.31	2.0	41.0	0.73	1.00	1.58	

Installation slope of riprap = 1: 0 (0 deg.)

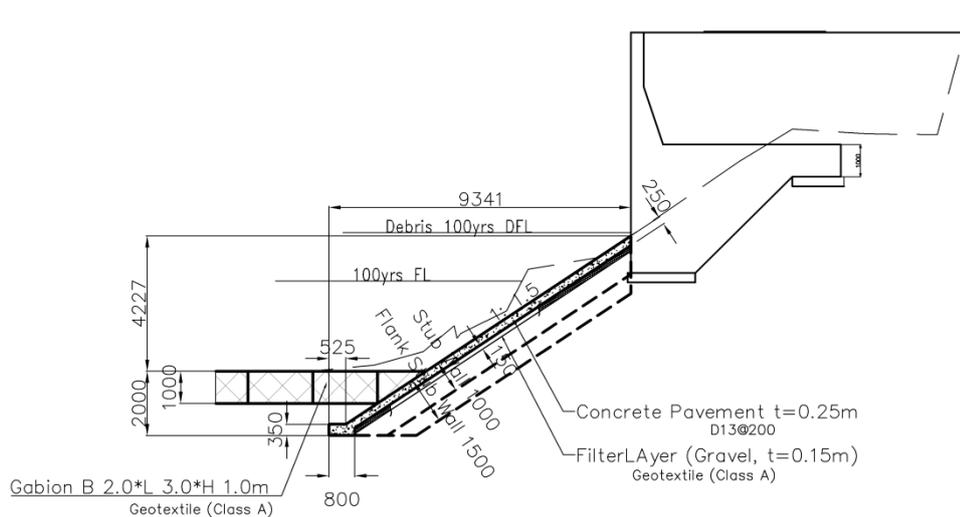
No.	Location		Slope of Stream Bed		Velocity V (m/s)	Average Flow Depth d _{avg} (m)	Bank angle with horizontal θ (H: L) (1: m)	Riprap material's angle of repose φ (deg.)	Coefficient K ₁	Correction factor C	Median Riprap particle size D ₅₀ (m)	Remarks
			Upstream 200m	Downstream 100m								
			tanθ (m/m)	tanθ (m/m)								
	Barakilo - Barpak Road						41.0		1.00			
1	Khahare Khola	0+000.355	0.07142	0.07012	5.44	0.61	99999.0	41.0	1.00	1.00	1.22	
2	Jhayalla Khola	0+000.866	0.03831	0.06485	5.03	1.41	99999.0	41.0	1.00	1.00	0.64	
3	Ghatte Khola	0+000.461	0.08615	0.11851	4.90	0.69	99999.0	41.0	1.00	1.00	0.84	
4	Rungrung Khola	0+002.138	0.06689	0.10219	7.04	1.06	99999.0	41.0	1.00	1.00	2.01	
	District Road to Saurpani											
5	Daraudi Khola	0+013.313	0.01396	0.02565	5.76	1.31	99999.0	41.0	1.00	1.00	0.99	

出典：JICA プロジェクトチーム



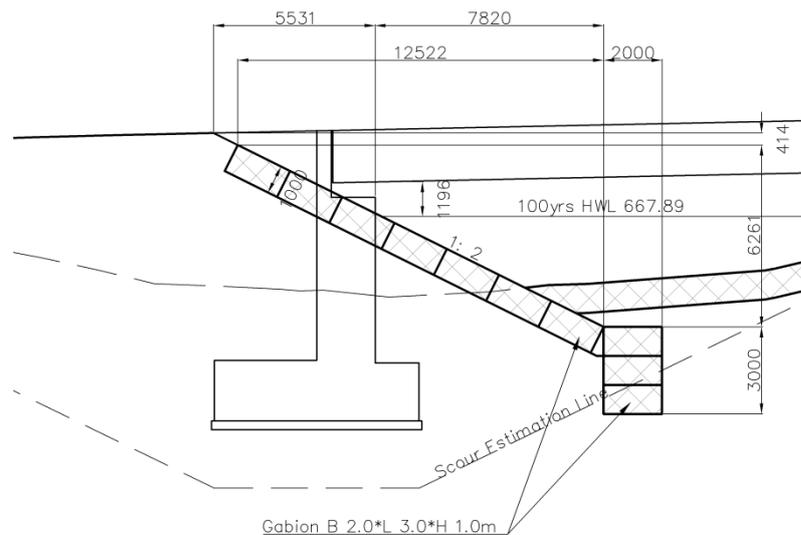
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.41 橋梁の積み布団籠護岸の標準断面



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.42 Rangrung 橋梁のコンクリート護岸の標準断面



出典：JICA プロジェクトチーム

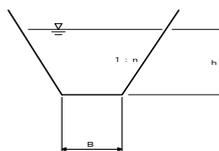
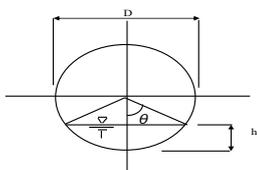
図 9.4.43 Daraudi 橋梁の布団籠護岸の標準断面

4) 仮排水路工

各橋梁の施工期間には、その建設が開削工法によって行われるため、河川の本流は迂回させる。仮排水路工の規模は、一般に、施工期間中の統計上の最大流量を考慮することにより決定した。本検討では、Chepe 川の過去 20 年間の統計上の排水面積当たり流量の中で、年間最大流量から 125 番目の日流量（すなわち、年間最小値から 240 日目の流量）を施工期間の基準となる流量として採用した。各橋梁の仮排水路工の大きさ／寸法を表 9.4.41 に示す。

表 9.4.41 仮排水路工の水利計算と断面

Bridge Name / Items	125th Average Q during 20 yrs records	125th Average Q during 20 yrs records	125th Maximum Q during 20 yrs records	125th Maximum Q during 20 yrs records	Remarks
No.1 Khahare Khola Bridge					
• Circular section item					
Total flow rate	Q= 0.355	0.355	0.591	0.591	(m ³ /s)
Cell No.	N= 2	1	2	1	
flow rate:	Q= 0.178	0.355	0.295	0.591	(m ³ /s)
Diameter:	D= 0.60	0.60	0.60	0.60	(m)
Roughness coefficient :	n= 0.024	0.024	0.024	0.024	Coorrugated-metal pipe
Gradient of channel:	I= 70.12	70.12	70.12	70.12	(%) Existing slope
• Calculation result					
neutral depth :	h= 0.183 30.5%	0.265 44.2%	0.239 39.9%	0.360 59.9%	(m)
Area :	A= 0.073	0.121	0.105	0.177	(m ²)
hydraulic radius :	R= 0.104	0.138	0.128	0.166	(m)
Water Velocity :	V= 2.437	2.948	2.807	3.339	(m/s)
full bobbin flow rate	Qm= 0.881	0.881	0.881	0.881	(m ³ /s)
Frude No.:	Fr= 2.144	2.094	2.118	1.945	
surface width :	T= 0.552	0.596	0.588	0.588	(m)
No.2 Jhayalla Khola Bridge					
• Circular section item					
Total flow rate	Q= 0.866	0.866	1.440	1.440	(m ³ /s)
Cell No.	N= 2	1	2	1	
flow rate:	Q= 0.433	0.866	0.720	1.440	(m ³ /s)
Diameter:	D= 0.60	0.80	0.80	1.00	(m)
Roughness coefficient :	n= 0.024	0.024	0.024	0.024	Coorrugated-metal pipe
Gradient of channel:	I= 38.31	38.31	38.31	38.31	(%) Existing slope
• Calculation result					
neutral depth :	h= 0.358 59.6%	0.455 56.9%	0.406 50.8%	0.539 53.9%	(m)
Area :	A= 0.176	0.295	0.256	0.432	(m ²)
hydraulic radius :	R= 0.166	0.216	0.202	0.262	(m)
Water Velocity :	V= 2.463	2.935	2.807	3.337	(m/s)
full bobbin flow rate	Qm= 0.651	1.402	1.402	2.542	(m ³ /s)
Frude No.:	Fr= 1.441	1.536	1.584	1.620	
surface width :	T= 0.589	0.792	0.800	0.997	(m)
No.3 Ghatte Khola Bridge					
• Circular section item					
Total flow rate	Q= 0.461	0.461	0.767	0.767	(m ³ /s)
Cell No.	N= 2	1	2	1	
flow rate:	Q= 0.231	0.461	0.383	0.767	(m ³ /s)
Diameter:	D= 0.60	0.60	0.60	0.70	(m)
Roughness coefficient :	n= 0.024	0.024	0.024	0.024	Coorrugated-metal pipe
Gradient of channel:	I= 86.15	86.15	86.15	86.15	(%) Existing slope
• Calculation result					
neutral depth :	h= 0.198 33.1%	0.290 48.3%	0.261 43.5%	0.359 51.2%	(m)
Area :	A= 0.082	0.135	0.118	0.198	(m ²)
hydraulic radius :	R= 0.111	0.147	0.137	0.178	(m)
Water Velocity :	V= 2.824	3.403	3.245	3.865	(m/s)
full bobbin flow rate	Qm= 0.976	0.976	0.976	1.473	(m ³ /s)
Frude No.:	Fr= 2.373	2.288	2.326	2.319	
surface width :	T= 0.564	0.600	0.595	0.700	(m)
No.4 Rangrung Khola Bridge					
• Circular section item					
Total flow rate	Q= 2.138	2.138	3.555	3.555	(m ³ /s)
Cell No.	N= 2	1	2	1	
flow rate:	Q= 1.069	2.138	1.778	3.555	(m ³ /s)
Diameter:	D= 0.80	1.00	1.00	1.20	(m)
Roughness coefficient :	n= 0.024	0.024	0.024	0.024	Coorrugated-metal pipe
Gradient of channel:	I= 66.89	66.89	66.89	66.89	(%) Existing slope
• Calculation result					
neutral depth :	h= 0.436 54.5%	0.579 57.9%	0.517 51.7%	0.705 58.8%	(m)
Area :	A= 0.280	0.472	0.410	0.691	(m ²)
hydraulic radius :	R= 0.211	0.273	0.255	0.330	(m)
Water Velocity :	V= 3.816	4.531	4.337	5.143	(m/s)
full bobbin flow rate	Qm= 1.852	3.359	3.359	5.462	(m ³ /s)
Frude No.:	Fr= 2.057	2.094	2.163	2.148	
surface width :	T= 0.797	0.987	0.999	1.181	(m)
No.5 Daraudi Khola Bridge					
• Trapezoid section item					
flow rate :	Q= 13.313	13.313	22.142	22.142	(m ³ /s)
Bottom width :	B= 3	8	5	13	(m)
Side gradient :	l: n= 2.000	2.000	2.000	2.000	
Roughness coefficient :	n= 0.03	0.03	0.03	0.03	Riprap
Gradient of channel :	I= 1.396	1.396	1.396	1.396	(%) Existing Slope
channel height :	H= 1.60	1.20	1.60	1.20	(m)
Upper width :	B2= 9.40	12.80	11.40	17.80	(m)
• Calculation result					
neutral depth :	H= 0.938 58.6%	0.583 48.6%	0.991 61.9%	0.597 49.8%	(m)
Area :	A= 4.574	5.344	6.919	8.474	(m ²)
hydraulic radius :	R= 0.636	0.504	0.734	0.541	(m)
Water Velocity :	V= 2.911	2.493	3.203	2.614	(m/s)



出典：JICA プロジェクトチーム

9.4.4 施工計画／調達計画

(1) 施工方針

1) 基本事項

本プロジェクトのネパール国側実施機関は、「道路局（DOR）」であり、DORの監督下で、現在、実施中のバラキローバルパック改良工事の工事事務所が実際の工事監理に当たる。本プロジェクトの実施に係るコンサルタント契約や請負者契約はネパール国インフラ運輸省（MoPIT）の委任の下、DORが行う。

日本国無償資金協力のスキームに従い、初めに事業実施に関する交換公文（E/N）が両国間で締結され、その後、JICAとネパール国政府との間で贈与契約（G/A）が締結された。

コンサルタントは、詳細設計、入札図書作成、入札業務代行、建設工事の施工監理を担当する。

請負業者は入札によって選定され、実施機関との契約締結後、建設資機材の調達、現地ベースヤードの設営を行い、資機材の到着後、施設建設を開始している。

ネパール国側はE/N締結後、直ちに銀行取極（B/A）を行い、支払授權書（A/P）の発行、資機材の輸入に係る免税措置に必要な手続きを財務省と協力して実施する。

2) 施工方法

本プロジェクトの対象橋梁は、橋長が最も長いダラウディ河から、上流側に2橋梁、下流側に2橋梁が計画されている。そのため、ダラウディ橋、上流側（ラングルン橋、ガッテ橋）、下流側（カーレ橋、ジャヤラ橋）の3チームでの施工を考える。

また、ダラウディ河付近に大きな施工ヤードが確保できるため、この地点にコントラクターおよびコンサルタントの現場事務所や資機材の集積地と考え、施工計画を立案する。

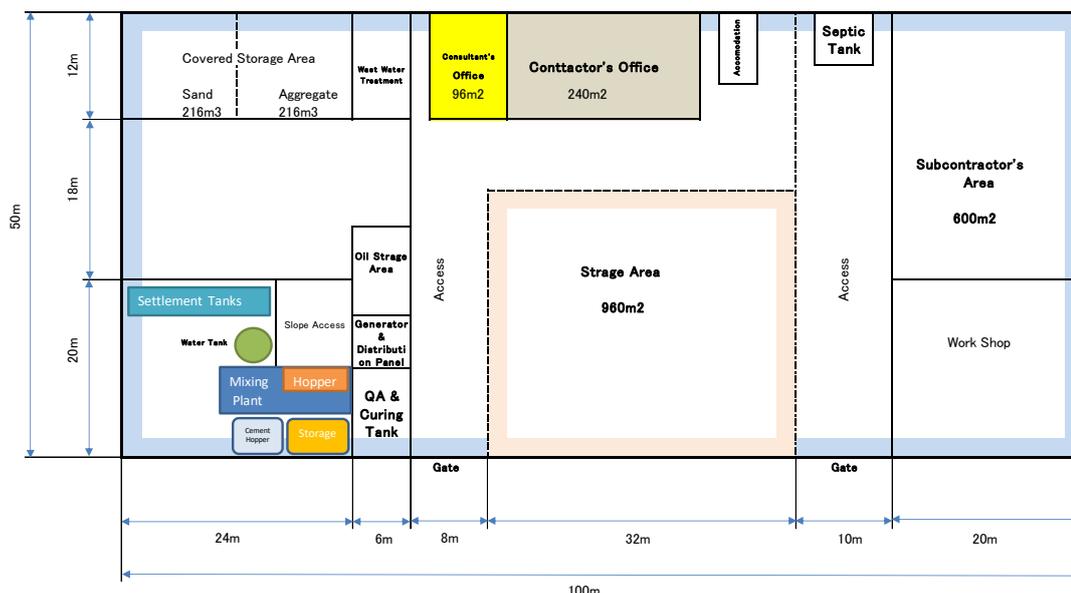
なお、本プロジェクトでは、ネパール国では施工実績が少ないプレストレストコンクリート橋を適用するため、実施機関側の技術員に対してその施工手順や取扱い方法などを丁寧に伝え、技術移転が促進されるように配慮する。

(2) 直接工事

1) 準備工

前項に示す通り、ダラウディ橋架橋地点に業者およびコンサルタントの現場事務所、および資機材集積地として、施工ヤードを設ける計画とする。

Borkha-Barpak Bridge Project Area - Layout



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.44 施工ヤード平面図（案）

図広さは、上図に示す通り、100m×50m 程度とし、周囲を仮設フェンスで囲う。当該用地は、近隣に村があり、バラキローバルパック道路に沿った位置にあるため、不審者が侵入する危険が高い。そのため、盗難防止のため、警備員を常駐させる。

2) 基礎工・下部工

a) 構造物掘削

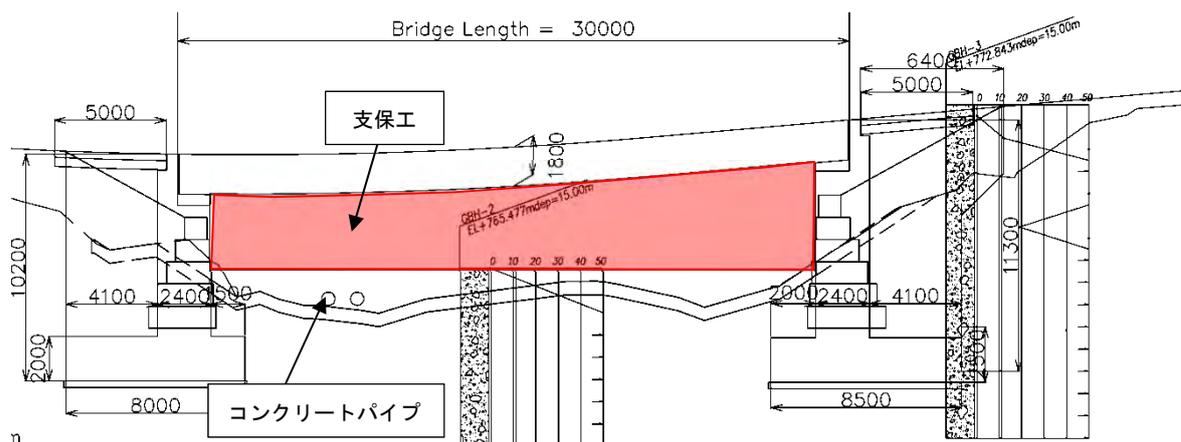
地表面から床付け面までの深さが、3～4m と深いため、構造物掘削は、鋼矢板を用いた締切を考える。しかし、現場の土質は、礫質土で非常に硬質であるため、本邦よりオーガ付き鋼矢板圧入機を輸入し、これを用いて締切構築作業を実施する計画とする。

b) コンクリート製造

施工サイトは山岳部に位置するため、生コンの調達是不可能である。本プロジェクトは橋梁建設工事であり、十分に品質管理がなされたコンクリートの製造は不可欠である。そのため、コンクリートバッチングプラントを調達し、前述の施工ヤードに設置する。なお、施工ヤードから、各橋梁建設箇所へは、コンクリートミキサー車を用いて、生コンの運送を行う。

3) 上部工

本プロジェクトで適用する橋梁形式は、PC2 主桁、および PC 箱桁で、いずれもオールステージング工法による現場打ちにより施工をする。上部工打設は、乾季での実施を基本とするが、河川の流量については、下図に示すようにコンクリートパイプを敷設し、その上に支保工を設置することで確保することとする。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.4.45 上部工施工模式図

(3) 施工監理計画

1) コンサルタントの設計・施工監理計画

本プロジェクトを実施する上で、コンサルタントは以下の事項に留意する。

- ネパール国と日本国政府間で締結される交換文書（E/N）の内容を把握する。
- ネパール国と JICA 間で締結される贈与契約（G/A）の内容を把握する。
- ネパール国政府側の負担事項の内容とその進捗を確認する。その内容が日本側工事着手前の完了が必要であれば、その完了の確認を行い、日本側工事の実施工程との調整を行う。
- 機材の持込みに伴う通関、免税処置等の手続きを再確認し、工期に影響を及ぼさないよう、実施機関と協議する。

2) 実施設計

実施設計では現地調査と国内作業を行う。実施設計に従事するコンサルタント業務担当者の要員を以下に示す。

a) 現地調査

自然条件、地形・地質、建設資材の調達事情、労務調達事情、補足測量、施工方法等のデータの補完を行い、詳細設計に必要な諸条件を再確認する。また、先方実施機関負担事項に関する工程調整やそのための予算措置等について確認を行う。

b) 国内作業

現地調査結果をもとに、構造計算、構造物寸法の決定、詳細設計図の作成を行い、施工計画の立案と工事費積算を行うとともに、工事仕様書の作成を行う。また入札図書の作成も行う。

表 9.4.42 実施設計の要員計画

担 当	格付	業務内容	人月		渡航
			国内	現地	回数
業務主任	2	プロジェクトの総括	0.23	0.23	1
橋梁計画	3	橋梁計画の策定	0.50	-	-
橋梁設計1（上部工）	4	橋梁上部工の詳細設計	3.00	-	-
橋梁設計2（下部工）	4	橋梁下部工の詳細設計	3.00	-	-
道路計画・設計	4	取付道路の計画および詳細設計	0.67	-	-
施工計画積算	4	詳細事業費の積算/施工計画の立案	3.50	-	-
入札図書作成	4	入札図書の作成	1.00	-	-
合 計			11.90	0.23	1

出典：JICA プロジェクトチーム

3) 入札関連業務

入札関連業務は入札図書の作成、入札図書の承認・配布、入札結果評価、業者契約締結の補助入札業務を行う。入札関連業務の日本技術者要員を以下に示す。

表 9.4.43 入札関連業務1の要員計画

担 当	格付	業務内容	人月		渡航
			国内	現地	回数
業務主任	2	入札図書の承認	-	0.33	1
橋梁計画	3	入札図書の承認	-	0.33	1
入札図書作成	4	入札図書の承認	-	0.33	1
合 計			-	0.99	3

※入札図書承認に係る現地調査は、現地7日+移動3日=10日間(0.33M/M)と設定した。

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.4.44 入札関連業務2の要員計画

担 当	格付	業務内容	人月		渡航
			国内	現地	回数
業務主任	2	公示・図渡し・現地説明	0.23	-	-
		入札・入札評価	-	0.33	1
橋梁計画	3	公示・図渡し・現地説明	0.23	-	-
		入札・入札評価	-	0.33	1
入札図書作成	4	公示・図渡し・現地説明	0.23	-	-
		入札・入札評価	-	0.33	1
合 計			0.69	0.99	3

出典：JICA プロジェクトチーム

4) 施工監理

施工業者の現地入りに合わせて、コンサルタント側技術者が現地入りし、工事着工前のミーティング、サイト確認、関係機関との調整を行う。その後、常駐施工監理技術者による施工監理が工事完了まで続けられる。施工監理に従事するコンサルタント業務担当者の日本技術者要員と現地雇人要員計画を以下に示す。コンサルタントは以下の事項の監理を実施する。

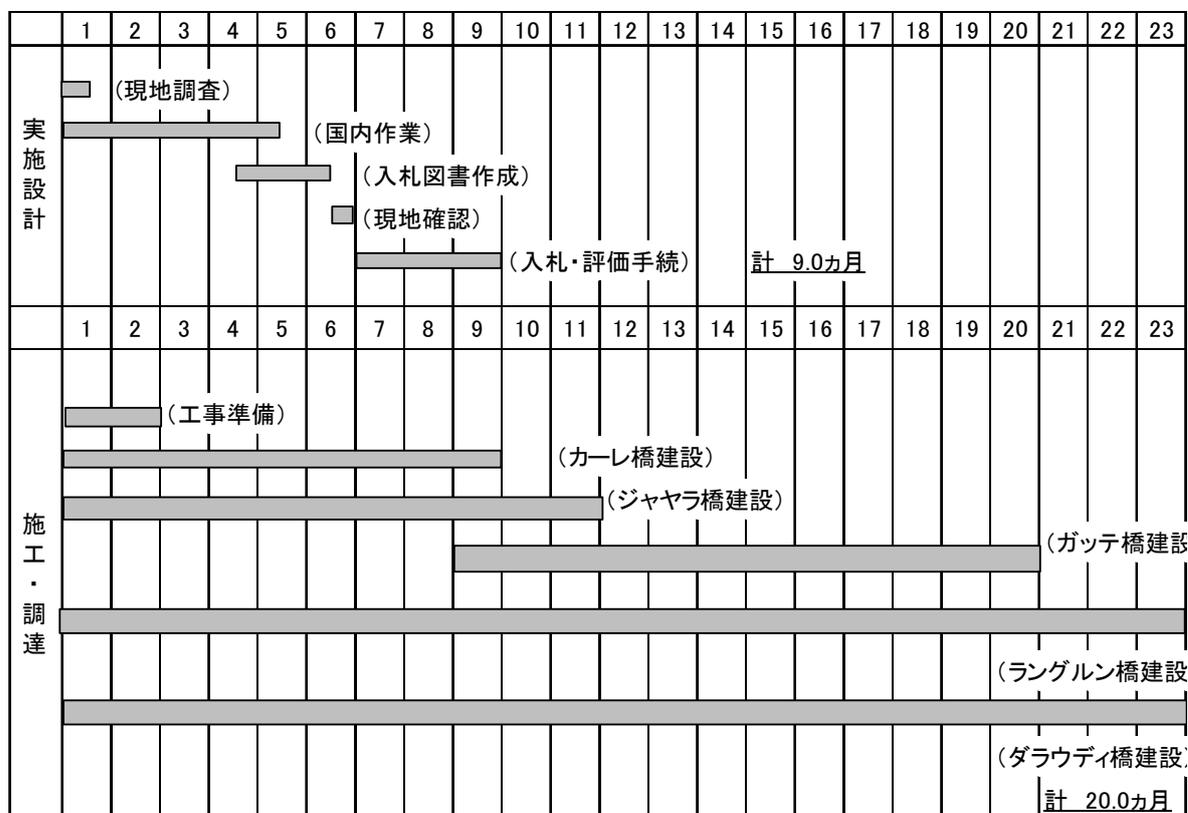
表 9.4.45 施工管理の要員計画

担当	格付	業務内容	人月		渡航	
			国内	現地	回数	
施工監理業務						
本邦技術者	業務主任	2	着工時協議、竣工時協議・調整、統括管理	—	1.50	3
	常駐管理者 1	3	工事監理現場責任者	—	20.00	3
	常駐管理者 2	4	工事管理現場責任補佐	—	7.00	1
	橋梁架設工管理者	3	橋梁上部工施工担当	—	3.00	1
	舗装工事管理者	4	道路舗装施工担当	—	2.00	1
	完成検査員	3	工事竣工時の完成検査	—	0.27	1
小計①				—	33.77	10
現地備人	監理技術者 1	-	カーレ橋およびジャヤラ橋施工監理に関する補助	—	11.00	—
	監理技術者 2	-	ダラウディ橋施工監理に関する補助	—	20.00	—
	監理技術者 3	-	ガッテ橋およびラングルン橋施工監理に関する補助	—	20.00	—
	事務員	-	事務補助全般	—	20.00	—
小計②				—	77.00	—
合計（小計①+小計②）				—	110.77	10

出典：JICA プロジェクトチーム

(4) 実施工程

表 9.4.46 事業実施工程



出典：JICA プロジェクトチーム

工期設定のための条件は以下のとおりである。

表 9.4.47 工期設定の前提条件

項目	時期
交換公文 (E/N)	2015年12月下旬
贈与契約 (G/A)	2016年2月中旬
コンサルタント契約	2016年3月上旬
P/Q 公示	2016年8月上旬
施工業者契約	2016年10月下旬
工事着手	2016年11月上旬
工事竣工	2018年6月下旬

出典：JICA プロジェクトチーム

9.5 チョータラ市導水システム改善計画

9.5.1 設計条件／自然条件

(1) 対象施設の概況

シンドパルチョーク郡の中心都市であるチョウタラ市は、2015年4月のネパール地震で甚大な被害を受けた都市の一つである。市内の公共施設や個人住宅の大部分は倒壊し、市民生活の回復には様々な支援が必要とされている。

市から北部へ10km以上離れた山間部には3つの水源地があり、導水管路は地震による土砂崩れや管路破断といった被害を受け、地震直後は大きく給水制限を余儀なくされた。その後、緊急的に軍の支援が入り、郡上下水道事務所（WSSDO）、水利用者委員会（WUSC: Water Users & Sanitation Committee）による努力もあって応急補修が施された。

しかしながら、導水管路は現在入手できる資材を用いて簡易に補修されただけであり、現在の敷設ルートは土砂崩れの影響を受けやすく、部分的に地表に露出しているところも多く、今後も地震や土砂崩れによる被災リスクは依然として高い。

本計画は、プログラム無償のスキームを活用して基幹施設である導水管を、耐震性を有するダクタイル鋳鉄管へ更新し、導水システムの能力強化、安定化、強靱化を図るものである。

本事業で復旧・復興に対象となる施設は、北部の水源地帯の集水チャンバー、市内へ導水する管路および空気弁・排水弁等の附帯設備である。

1) ホルチェ (Holche) 導水系統

現在の導水系統のうち、ホルチェ (Holche) 導水系統の更新は最も優先度が高い。

本導水系統は約40年前に建設された最も古い管路である。管路の大部分は鋳鉄管と亜鉛メッキ鋼管から構成されているが、現在の敷設ルートは土砂崩れの影響を受けやすく、部分的に地表に露出しているところも多くみられる。これまでに補修されたところではポリ

エチレン管による応急措置にとどまっており、土砂や岩石の落下や車両の通行により管路が損害を受ける可能性は極めて高い。

2) マジュワ (Majuwa) およびタルカルカ (Thalkharka) 導水系統

この2つの導水路線はホルチェ系統よりも後に整備された路線であり、建設後約25年を経過している。整備時期が異なるため、それぞれの水源から独立して管路が敷設されている。

それぞれの導水系統の置かれた劣悪な敷設状況や応急補修の程度に大きな差異はない。敷設ルートや水理条件はほとんど同じであるため、将来的に水量の大幅な拡大がない限り、現在2本ある管路を1本に集約することとする。

なお、チョウタラ市内まで達する間には複数の小村落への分水が行われているため、所定の箇所にサドル式分水栓を設ける必要がある。

3) 水源周辺地域

各導水系統の水源地域には、取水チャンバーがある。マジュワ水源では大きな損傷は見られないが、タルカルカの取水チャンバーは地震により被害を受け、壁からの漏水が見られる。ホルチェの取水チャンバーは底盤からの漏水があり、補修は不可能である。

タルカルカについては既存の石積みチャンバーの内部に鉄筋コンクリートの水槽を新たに設けて、湧水の集水状況を改善する。ホルチェの場合は取水チャンバーの再建設が必要である。

タルカルカ水源地域の導水管は現在、2系統あり、地震により大きく被害を受けたが、現在は応急補修が完了している。しかし、管路は山間部の急峻な地形に敷設されており、斜面崩壊による損傷の危険性は依然として高い。

なお、検討の結果、タルカルカ取水点およびマジュワ取水点からの管路については、本プログラム無償の対象としないが、別途協力方法が検討される予定である。

導水システムの現況図を下記に示す。

(2) 基本方針

1) 上位目標とプロジェクト目標

上位目標：チョウタラ市の給水状況が改善する。

プロジェクト目標：チョウタラ市および導水管沿線の住民が安定した給水サービスを受ける。

2) BBB コンセプト

地震発生直後の応急対応から復旧・復興に入るこの時期において、災害発生前よりも災害に強い社会を構築することが重要であり、「Build Back Better : BBB コンセプト」を設計内容に反映させる。

3) 計画年次

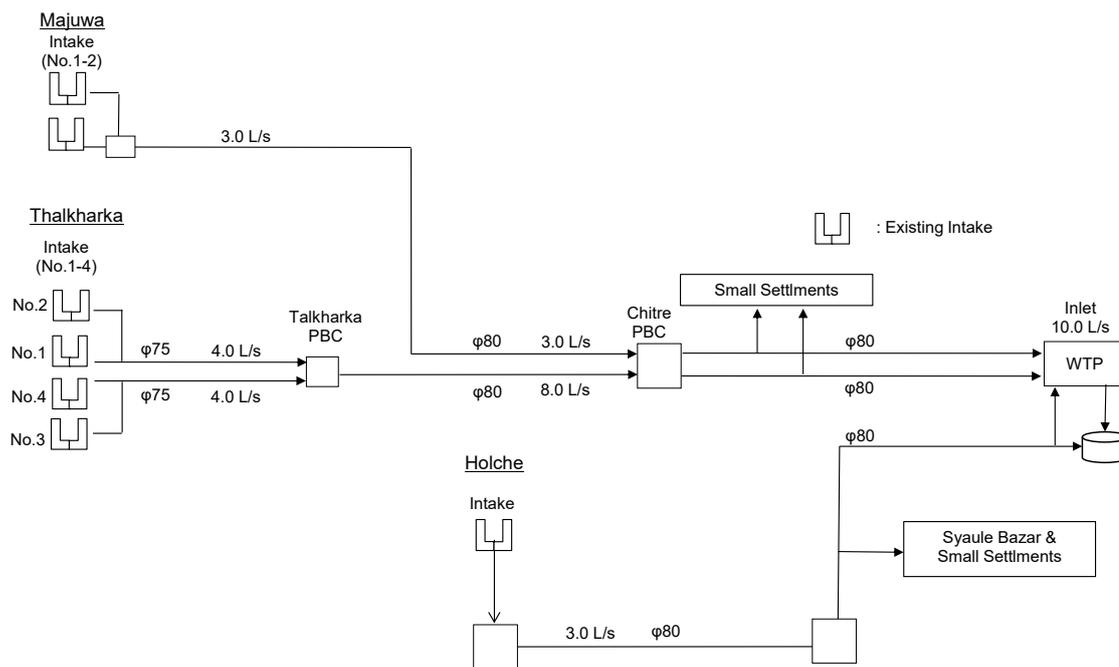
本プロジェクトは、地震による被害を受けた導水施設の改善を通じて、チョウタラ市の給水安定化をもたらし、今後の復興事業が円滑に進むための基礎インフラを提供するものである。

基本的に、被災施設の復旧に主眼を置いた支援である。対象地域では、家屋倒壊や居住者の移転など、震災直後の混乱が続いている状況にあるため、具体的な計画年次の設定は困難である。しかし、設計容量の設定では、現時点の取水量実績や既存浄水場の能力に加えて、新たな水源の能力も考慮しつつ、WSSDO が予定する水源拡張計画にも対応できるように配慮した。

(3) 現在の水源水量と導水システム

現在の水源の取水量とチョウタラ市への導水フローは以下のとおりである。3 つある水源（マジュワ、タルカルカ、ホルチェ）の集水チャンバーからは、口径 75mm/80mm の鋼管（一部はポリエチレン管）によって、市内へ導水されている。管路ルート上に位置する小規模な村落に対しては口径 20mm の給水管で分水されている。

チョウタラ市で導水量の測定はされておらず、建設当時の水源水量から現在の給水量が推定されている。測定の結果、既存管路の通水能力は以下のように確認された。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.5.2 調査時点の導水フロー

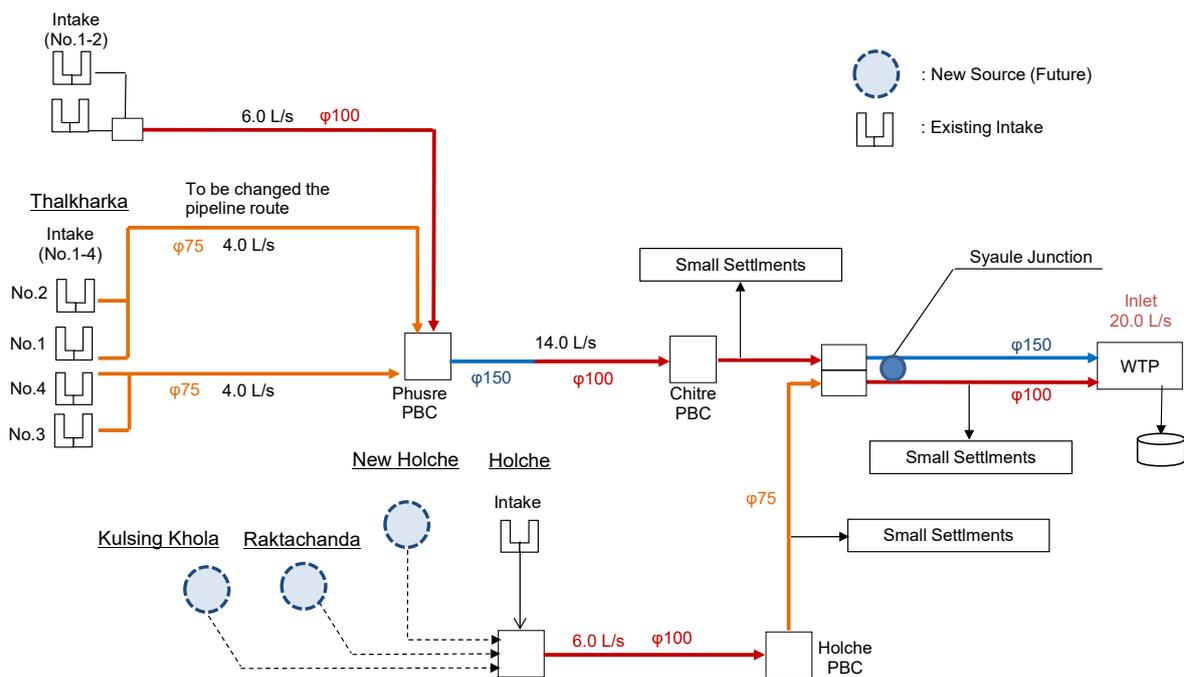
表 9.5.1 管路の能力評価

区 間		管路の能力評価
起点	終 点	
マジュワ取水 チャンバー	チトレ減圧 チャンバー	ルート上約 600m の区間は標高が高くなり、現在の管路の導水勾配では 3L/sec が限界水量である。雨期は 2 本のうち 1 本の取水管しか使用せず、マジュワ取水チャンバーがオーバーフローするほどの水量がある。管路の口径を上げて、通水能力を向上することが望ましい。
タルカルカ取 水チャンバー	タルカルカ減 圧チャンバー	標高差が十分あり、現在の水量 (4L/sec) であれば導水勾配に問題は ない。
タルカルカ減 圧チャンバー	チトレ減圧 チャンバー	標高差が十分あり、現在の管路の通水能力、導水勾配に問題は ない。
チトレ減圧 チャンバー	浄水場	地形の標高差が大きく、途中減圧用の接合井が設けられている。現在 の水量であれば導水勾配に問題は ない。
ホルチェ集水 チャンバー	浄水場	起点から 3km 区間までは標高差が小さく、現在の導水勾配では 3L/sec が限界水量と思われる。ホルチェには近隣に有望な水源が複数ある が、管路の通水能力に制約があるため取水量の増加に着手できない。 3km 以降の区間は他の路線と同様、地形の標高差が大きく、途中に減 圧用の接合井が設けられている。現在の水量 (3L/sec) であれば導水 勾配に問題は ない。

出典：JICA プロジェクトチーム

(4) 計画導水シナリオ

導水管の更新計画の策定では、既存管路の通水上の問題点を考慮し、以下のとおり将来シナリオを設定した上で、管路口径を決定した。なお、流量については、ネパール国側の要請、将来的な水源開発量、既存の浄水場の処理能力を勘案して設定され、導水管路のもつ最大能力の決定に使用した。



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.5.3 計画導水シナリオ

1) ホルチェ導水系統

ホルチェ水源については、近隣の水源を含めた取水量を 6.0L/sec と設定した。計画水量に対する適切な導水勾配を確保するために、口径は 100mm を基本とした。一部急勾配の区間については 75mm として、導水量のバランスが取れるように配慮した。

2) マジュワ水源導水系統

マジュワ水源については、雨期にオーバーフローしている水量を導水量に含めることが可能と考えられ、取水量を約 6.0L/sec と設定した。新設するプシュレ減圧水槽へ接続するためには、一部布設ルートの変更と導水勾配を改善する必要があるため、口径 100mm とした。

3) タルカルカ水源導水系統

タルカルカ水源については、No.1～No.4 取水点からは、現在と同程度の水量 (8.0L/sec) が将来的に見込まれる。ただし、No.1/No.2 取水地点からの導水管は、より安全なルートへ変更できる可能性があるため、新規ルートを提案した。

4) タルカルカ/マジュワ共通系統

プシュレ減圧チャンバーからチトレ減圧チャンバーまでは、適切な水理条件を確保するために上流区間は口径 150mm、その後 100mm の管路を計画した。

プシュレ減圧チャンバーからシャウレ合流点までは、高低差が大きく、十分な導水勾配が確保できるため、マジュワ導水路と統合する。プシュレ直下の区間は口径 150mm、その後口径 100mm の管路を計画した。

シャウレ合流点から浄水場までは比較的緩やかな勾配となるため、適切な導水勾配を確保するために管路口径は150mmとした。

(5) 附帯設備

1) 減圧チャンバー

現時点の地形情報を考慮して、ホルチェ系統には2箇所、タルカルカ/マジュワ系統には5箇所計画した。導水施設の建設用地はチョウタラ市給水委員会がコミュニティの了解の下で確保した。

2) 既存浄水場の処理能力

チョウタラ市北部の浄水場は約10年前に建設されたもので、粗ろ過池（1池）と緩速ろ過池（3池）から構成されている。水源の水質は雨期でも非常に良好であり、濁度の上昇もほとんど見られないことから、緩速ろ過池の条件が整っている。

1池当たりの寸法は15.5m×8.2mであり、ろ過速度を5mとすれば2池で約15L/secの処理が可能である。導水シナリオでは導水量の合計は20L/secとしたが、途中の村落への分水などを考慮すれば、浄水場への導水量は処理可能な範囲内にある。

3) 小規模村落への分水

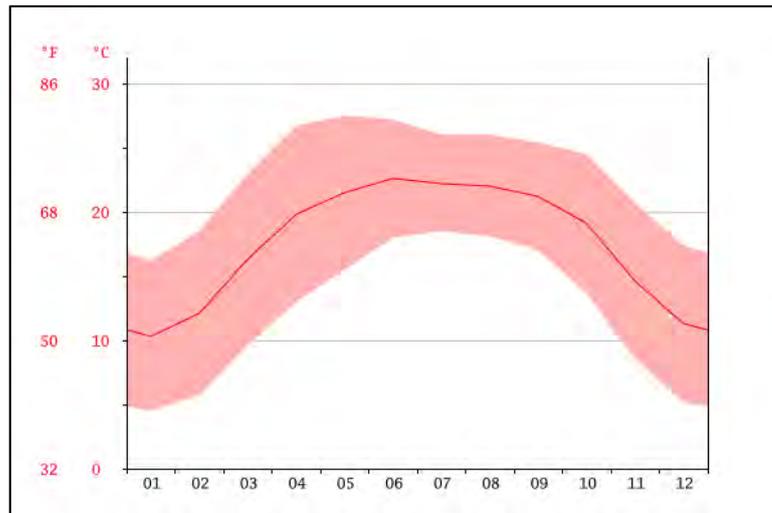
ホルチェ導水系統は途中でシャウレをはじめとする小規模集落へ分水を行っている。これらの村落は昔から水質の極めて良好なホルチェ水源の水を使っていたこともあり、異なる水源からの分水や、複数の水源水の混入は望んでいない。したがって、ホルチェ路線は今後も独立した管路として維持しなければならない。

また、マジュワ導水系統やタルカルカ導水系統においても、浄水場までの間に複数の小規模村落へ分水を行っているが、水源はほとんど同じ地域にあるため両水源水の混合に対する問題はない。

新設する管路にはサドル式分水栓を設置し、現状と変わらない状態で給水が可能となるように配慮した。

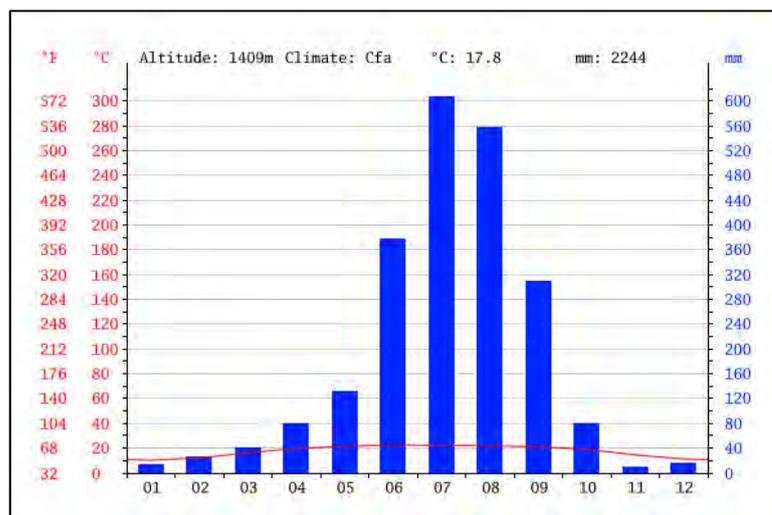
(6) 自然条件に対する方針

プロジェクト対象地域は、高温多湿な亜熱帯気候であり、雨期（6～9月）のモンスーン、乾期（10～5月）と明確に分かれている。年間降雨量は約2,200mmで、雨期にはその8割が集中する。特に導水管路線は、地震に伴う土砂崩れによって被害を受けている箇所が多く、急峻な山間地に敷設しなければならないため、施工条件は極めて悪い。資材運搬計画や施工計画には、こうした特殊な現地事情を反映させた。



出典：http://en.climate-data.org

図 9.5.4 チョウタラ市の平均気温



出典：http://en.climate-data.org

図 9.5.5 チョウタラ市の平均降水量

(7) 社会経済条件に対する方針

導水システムは自然流下によるものであり、復旧後の運転・維持管理に動力費は必要ない。管路の日常点検、分水施設の管理などの条件は従来から変わらない。

新設される導水管の沿線には、100 世帯以下の小規模村落がいくつか存在し、新設管路からの分水（給水）は現在と同等の条件で実施する必要がある。従って、導水管の要所にはサドル式分水栓を設ける。

(8) 法律・制度・基準に関する方針

本プロジェクトは既存導水管の復旧・改善を協力対象としているため、法律、制度、基準について特に配慮する事項はない。なお、管路敷設ルートでの掘削による地形改変はあるものの、施工範囲の大部分は道路用地内、既存管路沿線であるため、環境面の負の影響はわずかである。

(9) 実施機関の運営・維持管理能力に対する方針

本プロジェクトで採用する資材は、カトマンズでも一般的に使われているものであり、特別な技術や運転管理の経験を要する施設は計画しない。導水管からの分水には、ダクティル鑄鉄管に適した分水栓が必要となるため、施工を通じて分水作業を実施機関とともに行うことで維持管理上の留意点を指導する。

(10) 施設・機材等のグレード設定に関する方針

既存管路の大部分は亜鉛メッキ鋼管で、継手はネジ式カップリングを採用している。鋼管は軽量であるだけでなく、引張りや曲げ強度が高く、耐衝撃性も高いという利点があるが、可とう性や伸縮性がないため、今回の地震により多くの部分で被害を受けている。

一方、ダクティル鑄鉄管は重量が大きいといった欠点はあるものの、強靱で地盤の変動に追従する可とう性が高いため、導・送管路などの基幹管路に広く用いられる。プッシュオン継手は施工が容易であり、日本製は地震時の離脱防止機構を有する特徴がある。また、掘削底部が平滑であれば、玉石やレキを除いた発生土を用いて埋め戻すことができる。

新設する導水施設には、今後の地震や自然災害によって生じる土砂崩れがもたらす被災リスクを最小限にとどめるべく、BBB コンセプトに基づき、ダクティル鑄鉄管を採用する。このため、バルブや分岐部を除く継手には、施工性が良いプッシュオンタイプで、地震や地殻変動に伴う離脱を防止する機能を伴ったものを採用した。

(11) 施設建設の工法、調達方法、工期に関する方針

1) 安全施工の確保

工事対象地域は、急峻な山間部に位置し、特に雨期のアクセスが困難である。

施工区間の大部分はクレーンやダンプトラックなどの大型機械が通行できず、山道区間では人力を主体とした掘削や管路敷設作業が必要となる。

また、施工現場までの山岳道路は狭く、運搬上の制約があるため、管材や土木資材の運搬時には、作業員に過大な負荷をかけないような配慮が必要である。

2) 適正土被りの設定

既存の道路は未舗装の山岳道路であり、雨期の豪雨によって洗掘され、車両の通行によって管路が破損する事態が多く生じている。今後の豪雨による洗掘や道路損傷などにも十分耐えられるよう、最小土被りを道路下の埋設で1.0m、山道では0.6mとした。

3) 地上配管

トレイルロード沿いの管路布設では、車両のアクセスが困難だけでなく、急傾斜区間や岩盤の露出区間が存在する。こうした区間ではコンクリート基礎の上に管を固定する地上配管を採用した。

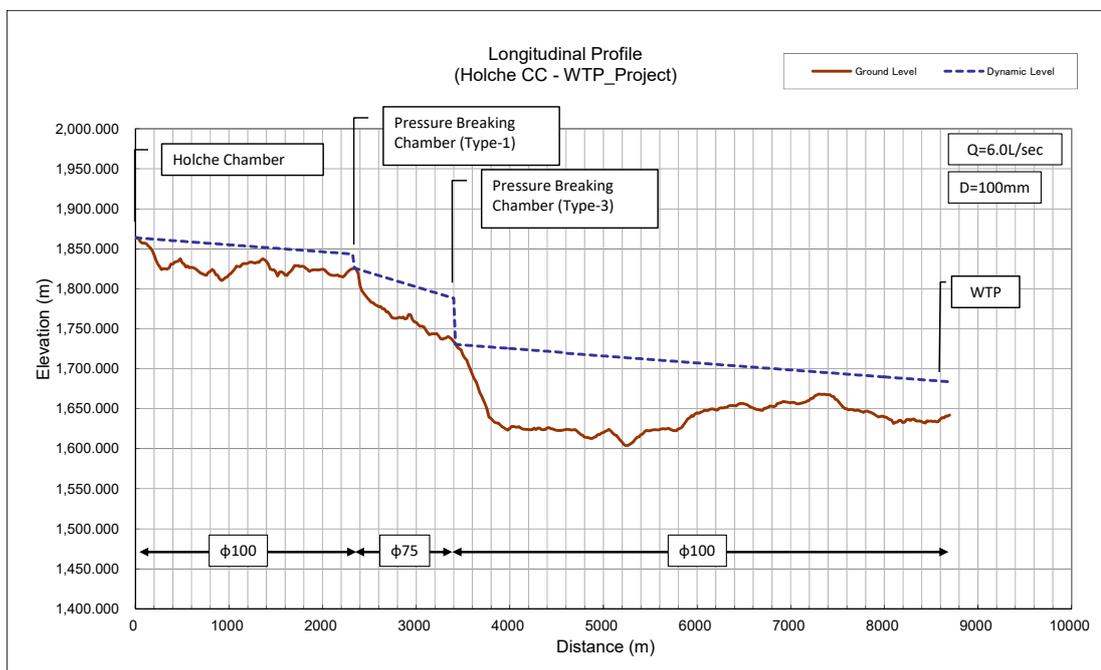
(12) 土砂災害区間の施工に対する方針

3本ある導水管の中で、ホルチェ導水管の一部区間では、大規模な土砂崩れによる落石によって大きく損害を受けた。当該区間（約150m）には巨大な岩石が無数に斜面に残っている状態であり、施工時の安全確保に十分配慮しなければならない。

詳細設計時点で安全な施工条件が確保できないと判断された場合、日本側の施工対象区域外として扱い、ポリエチレン管による仮設配管で対処する。なお、この場合でも将来的にネパール国側で施工ができるよう、当該区間のダクタイル管調達は日本側の協力範囲に含める。

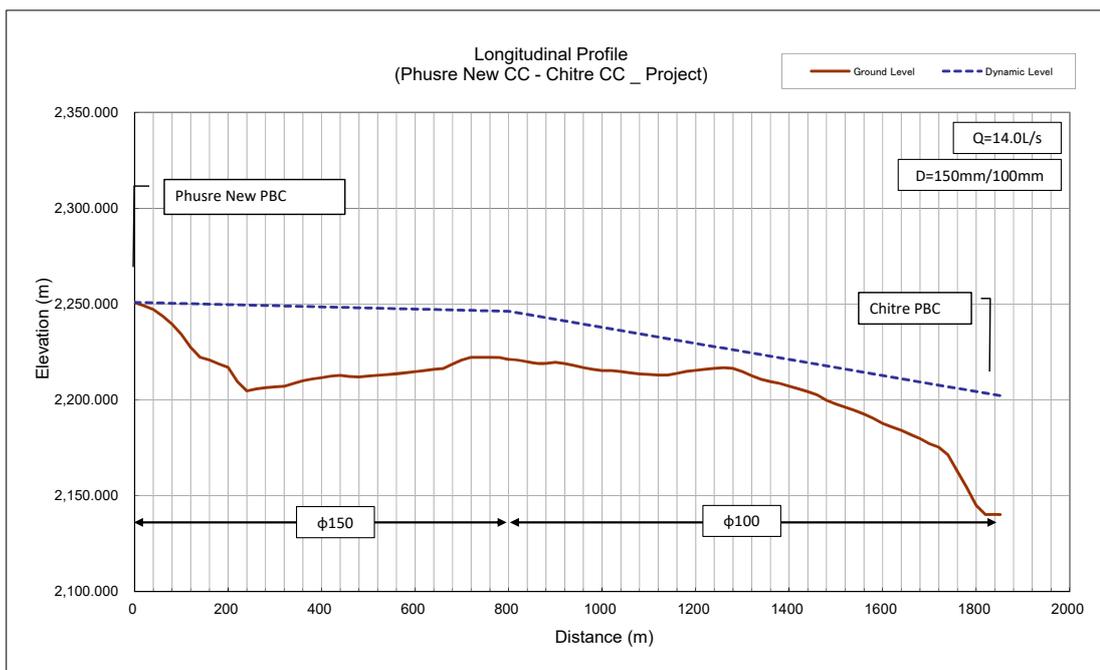
9.5.2 概略設計

概略設計図は添付資料9-2に示す。また、2015年10～11月に実施した管路ルート of 路線測量（縦断測量）の結果から水理条件を確認し、以下のような導水勾配が計画された。



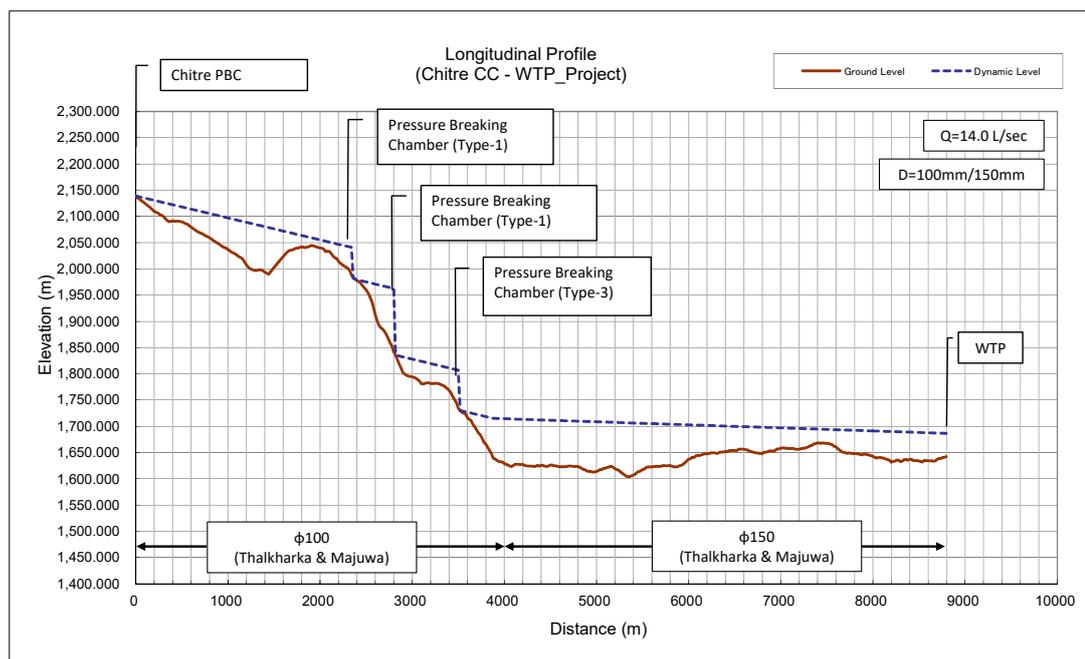
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.5.6 導水勾配図（C2-C1：ホルチェ集水チャンバー～浄水場）



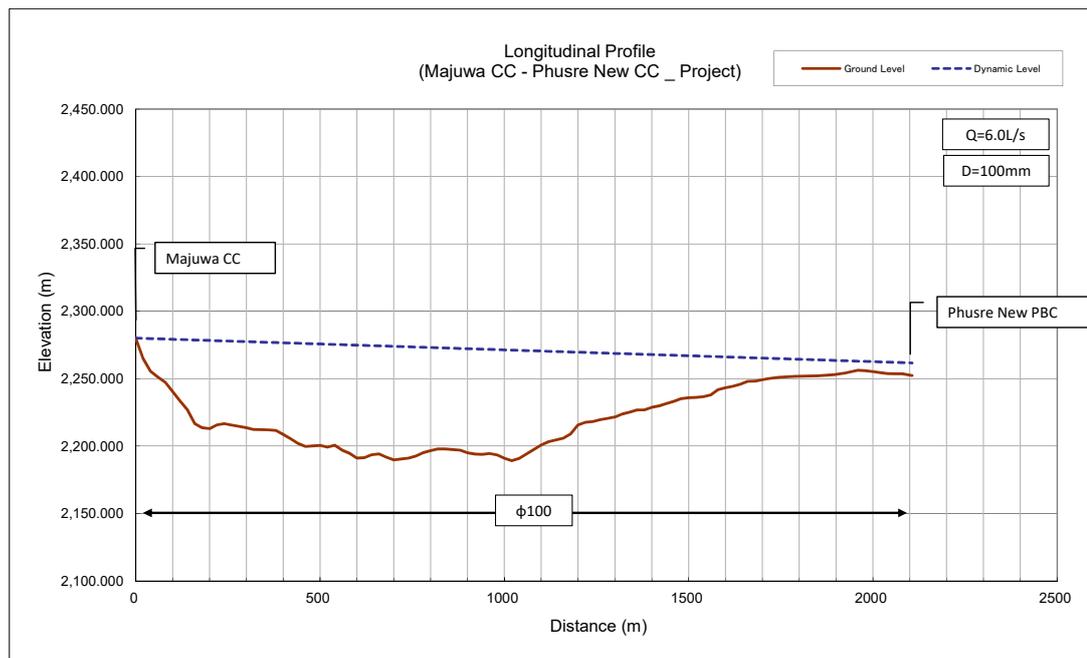
出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.5.7 導水勾配図（C4：プシュレ減圧チャンバー～チトレ減圧チャンバー）



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.5.8 導水勾配図（C3-C1：チトレ減圧チャンバー～浄水場）



出典：JICA プロジェクトチーム

図 9.5.9 導水勾配図（マジュワ集水チャンバー～プシュレ減圧チャンバー）

表 9.5.2 導水管路線の施工数量

【C1 シャウレ合流点～浄水場】

測点	管路	布設条件	布設形態	空気弁	排水弁	減圧水槽
0+000～3+840 (L=3,840m)	φ100(Holche 系統)	未舗装車道	埋設	9	9	-
	φ150(Talkharka 系統)	未舗装車道	埋設	9	9	-
3+840～4+080 (L=240m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	-	-	-
	φ150(Talkharka 系統)	山道	埋設	-	-	-
4+080～4+280 (L=200m)	φ100(Holche 系統)	山道	地表	-	-	-
	φ150(Talkharka 系統)	山道	地表	-	-	-
4+280～4+730 (450m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	2	3	-
	φ150(Talkharka 系統)	山道	埋設	2	3	-
4+730～4+760 (30m)	φ100(Holche 系統)	山道	地表	1	-	-
	φ150(Talkharka 系統)	山道	地表	1	-	-
4+760～4+918 (158m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	-	1	-
	φ150(Talkharka 系統)	山道	埋設	-	1	-
L=4918m			小計	24	26	-

※第1 荷卸場: 測点 3+840、第2 荷卸場: 測点 4+918 (シャウレ)

出典: JICA プロジェクトチーム

【C2 ホルチェ取水チャンバー～シャウレ合流点】

測点	管口径	布設条件	布設形態	空気弁	排水弁	減圧水槽
0+000～0+130 (L=130m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	1 (チャンバー)	-	-
0+130～0+400 (L=270m)	φ100(Holche 系統)	山道	地表	-	1	-
0+400～0+440 (L=40m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	-	-	-
0+440～0+800 (L=360m)	φ100(Holche 系統)	山道	地表	2 (管路)	2	-
0+800～1+260 (L=460m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	1 (管路)	1	-
1+260～1+400 (L=140m)	φ100(Holche 系統)	山道	地表	1 (管路)	-	-
1+400～2+350 (L=950m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	3 (管路)	4	1 (Type-1)
2+350～2+600 (L=250m)	φ75(Holche 系統)	山道	地表	1 (チャンバー)	-	-
2+600～3+420 (L=820m)	φ75(Holche 系統)	山道	埋設	3 (管路)	3	1 (Type-3)
3+420～3+480 (L=60m)	φ100(Holche 系統)	山道	埋設	1 (チャンバー)	-	-
3+480～3+778 (L=298m)	φ100(Holche 系統)	山道 (急傾斜)	埋設 (アンカー)	-	-	-
L=3778m			小計	10 (管路) 3 (チャンバー)	11	2

※第3 荷卸場: 測点 0+800、第2 荷卸場: 測点 3+778 (シャウレ)

出典: JICA プロジェクトチーム

【C3 チトレ減圧チャンバー～シャウレ合流点】

測点	管口径	布設条件	布設形態	空気弁	排水弁	減圧水槽
0+000～1+445 (L=1445m)	φ100(Talkharka 系統)	未舗装車道	埋設	1(チャンバー) 1(管路)	-	-
1+445～2+040 (L=595m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	埋設	2(管路)	2	-
2+040～2+240 (L=200m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	地表	-	-	-
2+240～2+320 (L=80m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	埋設	-	-	-
2+320～2+360 (L=40m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	地表	-	-	-
2+360～2+500 (L=140m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	埋設	1(チャンバー)	-	1(Type-1)
2+500～2+900 (L=400m)	φ100(Talkharka 系統)	山道 (急傾斜)	埋設 (アンカー)	1(チャンバー)	-	1(Type-1)
2+900～3+400 (L=500m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	埋設	1(管路)	1	-
3+400～3+520 (L=120m)	φ100(Talkharka 系統)	山道 (急傾斜)	埋設 (アンカー)	-	-	-
3+520～3+877 (L=357m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	埋設	1(チャンバー)	-	1(Type-3)
L=3877m			小計	4(管路) 4(チャンバー)	3	3

※第4 荷卸場: 測点 1+445、第2 荷卸場: 測点 3+877 (シャウレ)

出典: JICA プロジェクトチーム

【C4 プシュレ減圧チャンバー～チトレ減圧チャンバー】

測点	管口径	布設条件	布設形態	空気弁	排水弁	減圧水槽
0+000～0+200 (L=200m)	φ150(Talkharka 系統)	山道	埋設	1(チャンバー)	-	-
0+200～0+240 (L=40m)	φ150(Talkharka 系統)	山道 (急傾斜)	埋設 (アンカー)	-	1	-
0+240～0+800 (L=560m)	φ150(Talkharka 系統)	未舗装車道	埋設	1(管路)	-	-
0+800～1+740 (L=940m)	φ100(Talkharka 系統)	未舗装車道	埋設	1(管路)	1	-
1+740～1+800 (L=60m)	φ100(Talkharka 系統)	山道 (急傾斜)	埋設 (アンカー)	-	-	-
1+800～1+851 (L=51m)	φ100(Talkharka 系統)	山道	埋設	-	1	1(Type-1)
L=1851m			小計	2(管路) 1(チャンバー)	3	1

※第5 荷卸場: 測点 0+000 (プシュレ)

出典: JICA プロジェクトチーム

9.5.3 施工計画／調達計画

(1) 施工方針

1) 基本事項

本プロジェクトのネパール国側実施機関は、「上下水道局（DWSS）」であり、DWSS の監督下でチョウタラ市の郡上下水道事務所（WSSDO）が実際の工事監理に当たる。本プロジェクトの実施に係るコンサルタント契約や請負者契約はネパール国都市開発省（MoUD）の委任の下、DWSS が行う。

日本国無償資金協力のスキームに従い、初めに事業実施に関する交換公文（E/N）が両国間で締結され、その後、JICA とネパール国政府との間で贈与契約（G/A）が締結された。

コンサルタントは、詳細設計、入札図書作成、入札業務代行、建設工事の施工監理を担当する。

請負業者は入札によって選定され、実施機関との契約締結後、建設資機材の調達、現地ベースヤードの設営を行い、資機材の到着後、施設建設を開始している。

ネパール国側は E/N 締結後、直ちに銀行取極（B/A）を行い、支払授權書（A/P）の発行、資機材の輸入に係る免税措置に必要な手続きを財務省と協力して実施する。

2) 施工方法

本プロジェクトの施工サイトのうち、水源に近いところは雨期のアクセスが非常に困難である。こうした地域で予定されている管路布設や集水チャンバーの施工は、乾期に集中して実施する。

また、ダクティル鋳鉄管の接合方式には耐震性の高い離脱防止機構のついたものを採用するため、実施機関側の技術員に対してその施工手順や取扱い方法などを丁寧に伝え、技術移転が促進されるように配慮する。

(2) 直接工事

1) 準備工

a) 資機材集積ヤード

ダクティル鋳鉄管や付属品、建設機械類は本邦調達され、コンテナにより陸送される。ネパール国に到着した資機材は、カトマンズ盆地内のバクタプール市の資機材ヤードに集積され、そこから工事スケジュールに応じて施工サイトまで小口運搬される。

資機材ヤードとしては 50m×50m 程度を確保し、周囲を仮設フェンスで囲う。当該用地は幹線道路に面しており、不審者が侵入する危険が高いため、盗難防止のために警備員を常駐させる。

b) チョウタラ市サブヤード

工事工程に応じて小口運搬される資機材はチョウタラ市の仮置場を經由して、施工ルート沿線に運搬される。チョウタラ市の仮置場は、市内の公共用地の一部が貸与されることを想定し、20m×20m程度の範囲に仮囲いを設置する。

2) 基礎・土工

a) 導水管工事

土工はオープンカットで行い、車道の掘削に際してはバックホウ（0.10m³平積）を使用し、車両のアクセスができない山道では人力による掘削とする。山岳地帯の道路は未舗装であるが、玉石やレキが広範囲に混ざっているため、管頂部10cm程度まで購入土（砂又は良質土）で埋戻しを行う必要がある。砂の埋戻しの後、掘削土で道路表面までの埋戻しを行う。埋戻し時は、30cm厚毎にタンパを用いて転圧締固めを行う。

b) チャンバー工事

チャンバーの施工場所は車両や重機でアクセスできないため、掘削・埋戻しはすべて人力によって行う。基盤面整形後、砕石（15cm厚）を敷き均し、均しコンクリート（5cm厚）を打設、その上に型枠、鉄筋を設置し、底版のコンクリートを打設する。

3) コンクリート工

a) 仮設工

ホルチェ取水チャンバー以外はいずれも小規模で壁高は2m以下であり、枠組足場は不要である。また、平均設置高4m未満の場合、頂版はパイプサポートにて型枠を支えて打設する。

b) コンクリート製造

施工サイトは山岳部に位置するため、生コンの調達は不可能である。本プロジェクトのコンクリート構造物は小規模であるため、ポットミキサーを用いてコンクリートを現場製造する。

コンクリートの打設は、底版、側壁、頂版の順序で実施し、打設と平行してバイブレーターによる締固めを十分に行う。底版と側壁の継ぎ目には塩化ビニル製の止水板を挿入し、止水効果を高める。気温が高い場合のコンクリートの養生については、常に湿潤状態が保たれるように散水などの対策を万全にする。

4) 管路敷設

a) 管路敷設手順

配管敷設はダクタイル鉄管協会の推奨する手順に従う。配管布設前に床付面が平滑であること、玉石やレキのないことを確認の上、管の吊込み布設を行う。岩盤の露出などで部分的に平滑が確保できない場合には、購入砂を10cm厚程度敷き、管底部の損傷を防止する。

未舗装車道での施工では、配管材のストックヤードからクレーン付トラック（4t積2.9t吊）で運搬し、同クレーンを用いて吊込みを行う。その他の山道での布設は人力により行う。

なお、山道や山林内の敷設ルートでは、地表部まで岩盤が露出している区間、急傾斜のため広範囲に掘削することが困難な区間が存在する。こうした場所では、配管底部にコンクリートの支持ブロックの上に配管する地表配管を採用する。また、20°を超える勾配が続く区間では、管の滑動を防ぐためのコンクリートブロックを地中に設ける。

b) 管路付帯設備

管路は山岳部の起伏に合わせて布設されるが、以下の付帯工事が発生する。

- 空気弁： 縦断上の凸部の空気排除と水撃圧を防止するための吸排気弁
- 排水弁： 縦断上の凹部にたまる砂分を定期的に排除するための分岐管および仕切弁
- 減圧水槽： 管内圧力を適正範囲に軽減するための水槽

(3) 施工監理計画

1) コンサルタントの設計・施工監理計画

本プロジェクトを実施する上で、コンサルタントは以下の事項に留意する。

- ネパール国と日本国政府間で締結される交換文書（E/N）の内容を把握する。
- ネパール国と JICA 間で締結される贈与契約（G/A）の内容を把握する。
- ネパール国政府側の負担事項の内容とその進捗を確認する。その内容が日本側工事着手前の完了が必要であれば、その完了の確認を行い、日本側工事の実施工程との調整を行う。
- 機材の持込みに伴う通関、免税処置等の手続きを再確認し、工期に影響を及ぼさないよう、実施機関と協議する。

2) 実施設計

実施設計では現地調査と国内作業を行う。実施設計に従事するコンサルタント業務担当者の要員を以下に示す。

a) 現地調査

自然条件、地形・地質、建設資材の調達事情、労務調達事情、補足測量、管路埋設ルート、減圧チャンバーの用地確認、施工方法等のデータの補完を行い、詳細設計に必要な諸条件を再確認する。また、先方実施機関負担事項に関する工程調整やそのための予算措置等について確認を行う。

b) 国内作業

現地調査結果をもとに、構造計算、構造物寸法の決定、詳細設計図の作成を行い、施工計画の立案と工事費積算を行うとともに、工事仕様書の作成を行う。また入札図書の作成も行う。

表 9.5.3 実施設計の要員計画

担 当	格付	業務内容	人月		渡航
			国内	現地	回数
業務主任	2	プロジェクトの総括	0.25	0.23	1
導水管敷設計画・設計	4	管路全般に関する詳細設計	0.67	-	-
配水槽等構造設計	4	チャンバー構造に関する詳細設計	3.00	-	-
施工計画・積算	4	詳細事業費の積算/施工計画の立案	3.00	-	-
入札図書作成	4	入札図書の作成	1.00	-	-
合 計			7.92	0.23	1

出典：JICA プロジェクトチーム

3) 入札関連業務

入札関連業務は、入札図書の承認・配布、入札結果評価、業者契約締結の補助入札業務を行う。入札関連業務の日本技術者要員を以下に示す。

表 9.5.4 入札関連業務 1 の要員計画

担 当	格付	業務内容	人月		渡航
			国内	現地	回数
業務主任	2	入札図書の承認	-	0.33	1
導水管敷設計画・設計	4	入札図書の承認	-	0.33	1
施工計画・積算	4	入札図書の承認	-	0.33	1
合 計			-	0.99	3

※入札図書承認に係る現地調査は、現地7日+移動3日=10日間(0.33M/M)と設定した。

出典：JICA プロジェクトチーム

表 9.5.5 入札関連業務 2 の要員計画

担 当	格付	業務内容	人月		渡航
			国内	現地	回数
業務主任	2	公示・図渡し・現地説明	0.23	-	-
		入札・入札評価	-	0.33	1
導水管敷設計画・設計	4	公示・図渡し・現地説明	0.23	-	-
		入札・入札評価	-	0.33	1
施工計画・積算	4	公示・図渡し・現地説明	0.23	-	-
		入札・入札評価	-	0.33	1
合 計			0.69	0.99	3

出典：JICA プロジェクトチーム

4) 施工監理

施工業者の現地入りに合わせて、コンサルタント側技術者が現地入りし、工事着工前のミーティング、サイト確認、関係機関との調整を行う。その後、常駐施工監理技術者による施工監理が工事完了まで続けられる。施工監理に従事するコンサルタント業務担当者の日本技術者要員と現地雇人要員計画を以下に示す。コンサルタントは以下の事項の監理を実施する。

- 工事資機材の検査（日本およびネパール国）
- 日本側負担による施設建設の施工監理、現場における各種検査

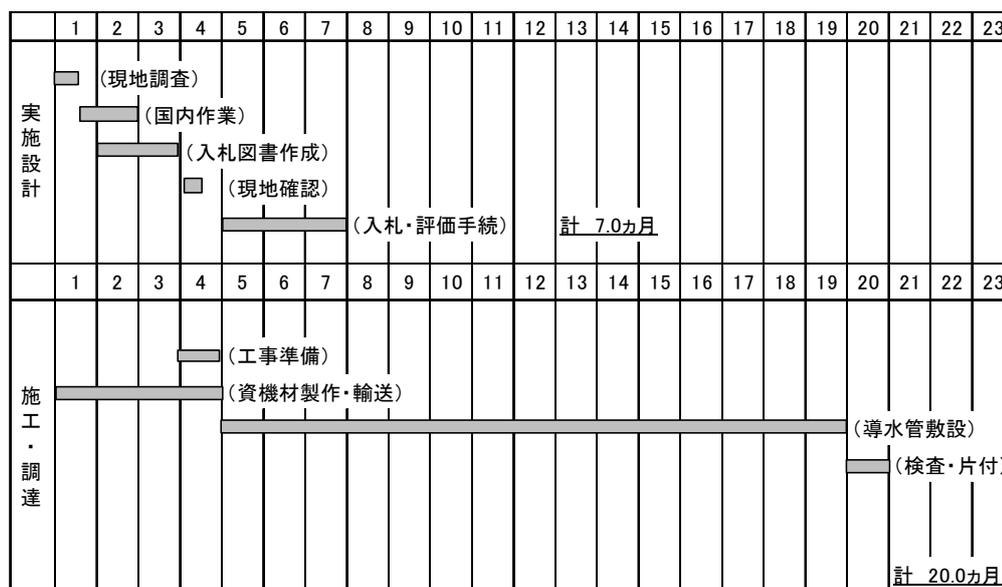
表 9.5.6 施工管理の要員計画

担当	格付	業務内容	人月		渡航回数	
			国内	現地		
施工監理業務						
技術者 本邦	業務主任	2	着工時協議、竣工時協議・調整、統括管理		2.00	4
	常駐施工監理	3	工事監理現場責任者	-	16.00	3
	完成検査員	3	工事竣工時の完成検査	-	0.23	1
小計①				-	18.23	8
現地 備人	施工監理技術者 1	-	施工監理全体に関する補助	-	16.00	-
	施工監理技術者 2	-	施工監理全体に関する補助	-	10.00	-
	事務員	-	事務補助全般	-	16.00	-
小計②				-	42.00	-
合計（小計①+小計②）				-	60.23	8

出典：JICA プロジェクトチーム

(4) 実施工程

表 9.5.7 事業実施工程



出典：JICA プロジェクトチーム

1) 工事施工順序

ネパール国の乾期が始まる段階で工事を開始し、まず雨期のアクセスが困難となる区間より管路敷設を開始する。未舗装車道では、バックホウとクレーン付きトラックを用いて2班体制で施工を行うが、アクセスの困難な水源に近い区間から順に市内に向かって敷設する。2017年の雨期に入る頃には、シャウレ合流点～浄水場の施工が予定されるが、ここは雨期でも比較的アクセスが容易な区間であり、大幅に工事が遅れるリスクは少ない。

車両のアクセスができない山道での布設では、異なる路線を同時に施工することで工事期間の短縮を図る必要があるが、品質管理が行き届くよう、各路線3班程度での施工にとどめる。

チャンバー工事は管路敷設と同時並行で実施するが、一定区間の管路敷設が完了するタイミングですぐに満水試験が迅速に行えるよう、両者工事の調整が必要である。水源地域の集水チャンバーの新設・補修工事は乾期に実施される。

導水管とチャンバー工事に要する施工期間を含めた事業実施工程表は表 9.5.7 に示す。

2) 工期設定の条件

工期設定のための条件は以下のとおりである。

表 9.5.8 工期設定の前提条件

項目	時期
交換公文 (E/N)	2015 年 12 月下旬
贈与契約 (G/A)	2016 年 2 月中旬
コンサルタント契約	2016 年 3 月上旬
P/Q 公示	2016 年 6 月上旬
施工業者契約	2016 年 8 月下旬
工事着手	2016 年 10 月上旬
工事竣工	2018 年 5 月下旬

第10章 教訓と提言

本プロジェクトの実施の過程の中で直面した困難や課題を通じて、多くの価値ある教訓が得られた。以下に、本レポートの対象となっている成果1～3に係る教訓と得られた教訓を整理する。

10.1 成果1：各種計画の策定に係る教訓

10.1.1 カトマンズ盆地強靱化計画（KVRP）に係る教訓と提言

KVRPは、Build-Back-Better（BBB）のコンセプトに基づき、ネパールで今後、起こりうる最大規模の地震災害からの被害を軽減する総合的な政策の枠組みであり、大規模な自然災害に対し強靱な社会を作ることと呼びかける仙台防災枠組の考え方を組み込んだ、ネパールで初めての計画文書である。

KVRPで示した重要な課題の一つは、政府支出の中で開発と強靱化を如何にリンクさせるかである。現在、ネパールには、災害管理全体を管轄する単一の機関は存在しておらず、また、KVRPは、現時点で実施にあたっての法的根拠を持つものではない。そのような状況の中、強靱化を目指した中・長期的な施策を実現して行くためには、中央政府の強いリーダーシップが必要となることが強く認識された。

KVRPは今後、カトマンズ盆地開発公社（KVDA）により策定される戦略的開発計画（SDMP）の別冊資料として位置づけられるが、KVDAは都市開発省（MOUD）の下部組織で、その責任は、カトマンズ盆地の開発ガイドラインの策定準備までである。

これまで、KVRPの重要性は、復興庁（NRA）が議長を務めるJCCやTCで確認されてきた。今後、カトマンズ盆地の強靱化を進めるためには、短期的には、NRAを中心に、関連する省庁が連携してKVRPを実行に移していくことともに、長期的な視点で強靱化を進めるために、全ての災害管理を管轄する永続的な組織の設立も検討する必要がある。

10.1.2 2郡における復旧・復興計画（RRP）に係る教訓と提言

(1) 復興計画の制度化

ネパールではこれまで、災害復興計画が法律で規定されておらず、災害後に復興計画を策定し、その結果に基づき復興事業を進めるというプロセスが行われてこなかった。このような状況の下、本プロジェクトの開始当初から、復興計画の実効性を担保することが、大きな課題であった。本プロジェクトでは、法定計画である郡開発5カ年計画（PDDP）に復興計画の要素を含めるべく、MoFALD、ゴルカ、シンドバルチョーク各郡に働きかけ、PDDPとRRPを一緒に策定することを提案し、理解を得た。すなわち、今回策定されたPDDPを

実施することでRRPも実施することとなる。本プロジェクトでは、郡レベルの関係者を巻き込んでRRP策定を行った。復興計画の策定はPDRFにも示されており、復興への第一歩は、計画の策定であることの理解が進んだと考えている。

(2) 災害リスクの理解

復興計画では、災害で被害を受けた物理的な被害を元戻すだけでなく、BBBのコンセプトに基づき、将来の災害の危険性を考慮する必要がある。今回のRRPでは、BBBの実現にも資するべく、災害リスクを科学的に理解するための地滑りハザードマップの策定を行った。また、このような科学的な根拠の検証を基に、将来の地滑りの危険性を考えた復興計画策定を行った。ハザードマップの重要性はネパール側にも理解され、ハザードマップの利活用、作成方法のワークショップの開催を通して、ネパール側に地すべりハザードマップの技術移転を行った。今後はネパール国の予算で他の郡でもハザードマップの作成を行うこととなっている。RRP策定を通じて、科学的な根拠に基づき復興を進めるBBBのコンセプトへの理解が深まった。

(3) 復興計画への理解

PDDPは計画策定プロセスを重視しており、ボトムアップで計画を策定するものである。RRPもPDDP策定プロセスと一緒に策定したことにより、政府関係者だけでなく、政治家や地域住民にも理解を得ることが出来たと考えている。また、復興は物理的な再建だけではなく、生計の復興、経済の復興も含む幅広い概念であることに関しても理解が深まった。

(4) RRPの実施に向けて

RRP策定の最終段階では、地方政府の変更により、計画策定の責任と権限が、郡から市およびルーラルムニシパリティに委譲されることとなった。したがって、今回策定したPDDP/RRPも、各自治体用に分割することが必要となった。今後、これらの分割をネパール側で実施して、復興計画を早期に実施に移してほしいと願っている。

10.1.3 地滑りハザードマップに係る教訓と提言

(1) ハザードマップ作成時

衛星画像の判読と代表的な現地確認をもとに、ゴルカ郡とシンドパルチョーク郡の土砂災害ハザードマップを作成し、ネパール政府に提供した。

今回の作業では、前例がないため、どのようなカテゴリーを評点に組み合わせ、正判別率を上げていくかについて、JICAプロジェクトチームのみで検討を進め、ある程度完成した段階で、ネパール側の関係機関にも説明し、理解を得た。

作成の初期段階においては、相当の試行錯誤があった。その中でカテゴリーとして抽出された、斜面の傾斜度・傾斜方向・地質構造との関係・震源との関係については、その他の地域においても斜面安定評価に適用するべき普遍的なカテゴリーを含んでいる。

従って、ネパール以外の国においても、同様なハザードマップを作成する場合は、上記カテゴリーを基本としつつ、対象国の関連機関と協議し、対象地域に特有なその他のカテゴリーも含めて包括的に整理し、解析作業に入ることが効果的である。さらに、対象国関係諸機関の専門家とあらかじめ協議・協力する体制を構築してハザードマップを作成することが効果的である。

(2) ゴルカ郡およびシンドパルチョーク郡ハザードマップの活用

特定のエリアでハザードマップを作成し、利活用する場合、地形情報をどのように活用しているか、どのような手順で作成されたか、その適用性と限界などについて、明示することが重要である。既に作成したハザードマップには、そのような注意書きを記載しているので、今後作成されるハザードマップでも、同様の対応を継続するべきである。記載すべき重要なポイントは下記の通り。

- 活用された情報：2015年4月の震災後に撮影された衛星画像による地図情報と、そこから判読された地すべり情報が活用された。
- 手順：斜面崩壊リスクは、各情報を重ね合わせた50m×50mのメッシュ毎に、ブルーゾーンからレッドゾーンまで段階的に評価された。
- 活用の見通しと適用限界：このHMは広いエリアの斜面崩壊リスクについて示すことを目的としている。これに必要な情報を追加的に重ね合わせることで、防災計画などの意思決定ツールとすることができる。ただし、特定のエリアにおける斜面防災計画の立案や推進に際しては、追加の調査や検討が必要となる。

(3) 地方9郡のハザードマップ作成

2017/18年度には、NRAに地方9郡でのハザードマップ作成の予算が計上されているが、現時点では、何時実施されるかは不明確である。今後、被災地域におけるBBBを実現するためにも、早急なハザードマップの作成が望まれる。各軍でのハザードマップの作成は、下記の手順で行うことを推奨する。

- JICAからNRAに供給された衛星画像、地すべり判読結果、DEM情報を重ね合わせ、50m×50mのメッシュに区切る。
- GIS機能を用いて、メッシュ毎の斜面傾斜・斜面方向・震源やMCTからの距離について計算する。
- その他の要素で、地すべりと関連があるものについては、導入を検討する。
- 導入すべきファクターを確定した後、NRAに提供された数値化プログラムなどを用いて、各要素の重み付けを決定する。
- 上記重み付けに従って、ハザードマップを作成する。
- 全郡のHMが作成された後、その過程で発生した問題点の解決や、エンジニアの技術レベル向上に向け、発表セミナーを開催する。

10.2 成果2：耐震建築・構造物の普及促進に係る教訓と提言

10.2.1 住宅耐震建築に係る教訓と提言

(1) 住宅の制度設計

地震災害からの緊急復旧・復興プロセスにおいて、住環境の早期復旧・復興、そして将来に向けての災害に強い町づくりは最重要課題であることが再認識された。それらを実現するためには被害調査の結果を基にした受益者選定、制度設計（補助金制度、建築審査制度）、ネパール政府内の実行体制の構築、そして再建住宅に適応しうる耐震技術の開発が必須である。

今回の復興では、被害世帯の再認定のために住宅再建登録調査（HRHS）にかなり時間を要し、甚大被災11郡の調査を完了するために2016年6月下旬まで要した。また、耐震技術に関するガイドラインとして、2015年10月に復興住宅カタログ、2016年3月にフリーデザイン用のミニマムリクアイヤメントが先行して完成しているが、補助金を受領するための建築審査制度は2016年9月に策定され、約2000人の技術者が急遽雇用され、10月に審査方法等のトレーニングが実施、現場で審査が開始されるまで、地震から1年半の月日が経っている。

2015年12月にNRAが設立されるまで時間がかかっていることも要因の一つであるが、住宅再建に関しては、BBB実現のための耐震技術的な検討を進めるだけでなく、並行して①被害調査の早期完了、②審査・支援金配布の制度設計及び③実施体制構築を着実に進める必要がある。耐震技術の議論が先行しやすいが、復興住宅の再建に向けての制度設計・実行体制の早期策定・構築、実行が、住環境の整備をスムーズに実行することにつながると考える。

(2) 住宅の耐震技術

今般の地震に限らず世界各地の地震で、甚大な人的被害を被っている要因は、途上国で庶民住宅の一般的な建設工法である組積造の脆弱性が挙げられる。これら庶民住宅の多くは、地域の職人あるいは住民自身によって建設され、技術者が関与していないノンエンジニアド建設である。

ネパールでは、地震前より庶民住宅の耐震性向上に向けた試みが行われてきており、その土地に適した耐震建築工法が、建築基準に採用されており、それらを基に耐震構造の検証を行い、設計提案が行われてきた。しかし、多くの工法は十分な普及には至っておらず、住民の耐震工法に関する理解も深まっているとはいえない。このため、今回の地震でも多くの住宅が被災し倒壊することになった。

今後、地震に強い社会を構築するには、この復興支援の期間で建設される建物のみならず、耐震建築の工法、知識が、地域に根付くことを熟慮すべきと考える。特に組積造の場合は、素材の要素や施工性によるところが大きいと、地産地消の材料も十分に考慮した上で、検討すべきである。統括的に途上国においてノンエンジニアド建設の耐震性の高い建物を普及するには、技術的な耐震性確保を大前提としつつも、Affordability（安価な経済性）、

Feasibility（簡易な施工性）、Adaptability（適応性）も踏まえた復興住宅の提案が必要であると考える。

(3) 住宅再建に係る人材育成の重要性

今回の震災のように被災地域が広範囲におよぶ場合、携わる技術者の人材育成は不可避である。建築審査する政府系技術者、施工に携わる職人、また住宅オーナーに対しても技術トレーニング・ワークショップを実施し、広く普及する必要がある。

各地で建築審査する政府系技術者は、震災後、一時的に雇用されるため、新卒の若手技術者が大半を占め、実務経験者が少ない。しかし彼らの技術力が再建住宅の品質に大きく影響する。技術トレーニングは、中央レベル（カトマンズ）、地方レベル（各郡）で行われているが、実務経験者が少ない新卒の若手技術者が大半を占めるため、十分時間をとり実施する必要がある。また、このトレーニングでレクチャーする講師も少ないため、ToT等、人材育成が必用である。

住宅主による再建は、施主としての住民の耐震技術の基礎知識習得も重要である。建設コストの厳しい庶民住宅建設では、住民自身の知識が建物の耐震性に直結してくる。そしてその耐震技術を適切に施工する職人の技術力も必要である。

(4) 住宅の耐震基準の決定プロセス

ドナーやNGOによって多様な考え方が混在する中で、統一的な耐震基準を確立し、住民まで広く普及させるためには、耐震に関する技術要素を根本原則的なレベルから段階的に設定していく必要がある。

今回の復興ガイドラインの策定では、まず復興住宅カタログで、従来の工法に耐震要素を追加する建設工法に絞り、また一般住民にも理解しやすいようイメージ図を多用し、耐震構造を紹介した。その後、NBC105を根本原則として共通認識を形成した上で、自由設計に対応するよう耐震基準をわかりやすく10項目にまとめた守るべき最低基準（ミニマムリクアイヤメント）、そして実際再建が始まって現場での問題点や、特殊な事例に対応するためには正処置/例外規定（コレクション/エクセプションマニュアル）と段階を踏むことによって、関係ドナーやNGO、技術者から住民まで統一した耐震知識を普及することができた。初めから緩和や妥協を前提とすることなく、BBB確保のために守るべき根本原則を固めた上で、実施上の実効性向上策を補完的に検討していくという順番が重要である。

(5) 住宅の構造検証

被災地域の主要建設工法は、石と泥モルタルの組積造である。この構造は、これまで研究が進んでいない工法である。石造は、個々の石の形状によるところも大きく、これにより、構造解析が難しい。このため今回の復興では同建設工法に関して、構造解析を実施するにあたり要素耐力の調査研究に時間を要している。構造解析を、実際の挙動に近づけるためには、この構造の耐震性能を把握する必要がある、実大振動台実験が有益である。特に、人的被害を及ぼす倒壊に至る破壊性状の把握することが可能となる。日本は振動台実験を

通して、最先端の耐震建築の研究を実施しているため、石造に関しても振動台実験の実施が望まれる。

(6) 学会、研究機関との連携

まず日本の研究機関、学会との情報共有、連携をする上で、対象を明確にする必要がある。歴史的建造物、近代建築（RC造等）、バナキュラー建築等、区別をすべきである。特に日本国内では、組積造の研究はあまり進んでいないため、既往研究として、国際的な学会での研究を参照する必要がある。

10.2.2 学校耐震建築に係る教訓と提言

(1) 学校のガイドライン策定に係る業務の流れ

学校における復旧・復興計画の業務は、時系列で整理すると「建物の被害状況の確認・分析」、「既存の学校の設計図のレビュー」、「耐震建築ガイドラインの作成」、「耐震建築ガイドラインに沿った学校のプロトタイプ的设计」という4つのフェーズであった。今後、類似案件では、これらのフェーズを意識して実施する事が重要である。

(2) 対象校の調査

TA（有償勘定案件）に業務が移行して支援対象校の選定時になってから、多くの支援対象校の敷地が予想以上に狭いことが明らかになった。本プロジェクトでは当初から平屋～3階建てのプロトタイプを合計で37種類設計していたので問題は起きなかったが、当初、平屋のプロトタイプ的设计をしていたADBは、追加で2階建て以上のプロトタイプ的设计を開始したほか、JICAのプロトタイプを一部使用することになった。今後類似案件がある際はこうしたことが起きないように、設計をする前段階で対象になりそうな学校についての簡易なサンプリング調査（アクセス、生徒数、学年数、地形、面積など）を実施することが有効と考える。

10.3 成果3：優先復興事業（プログラム無償）に係る教訓と提言

10.3.1 無償案件形成時

調査を開始した当初、無償案件の形成時に、他ドナーが先に入って支援をオファーしていたため、案件発掘が極めて困難な状況だった。これは、必要とする情報をコンサルタントもJICAも把握できていなかった等、情報の入手に遅れがあったためである。緊急案件において、調査の最初から、案件発掘と並行して他ドナーの動きを詳細に収集し、速く案件のオファーができるシステムを検討する必要がある。

また、対象案件選定時において、プログラム無償として40億円の縛りがある中で、土木や建築、様々な分野の案件をバランスよく提案することが困難であった。プログラム無償の援助金額に幅を持たせる事で、案件の組合せについても迅速に対応が可能となると考える。なお、地質調査や測量といった基礎データ収集前での検討結果を用いて、当初の対象案件

を決定したため、その後の調査結果を踏まえた対象案件の修正が必要となった。そのため、測量や地質調査といった基礎調査実施後に対象案件を決定するという対応が必要と考える。

10.3.2 先方負担事項取り扱い

案件の採択後、災害直後のため、先方政府は必要な予算を緊急に準備できないこと、また、実施組織の形成も困難なことから、既存撤去工事に時間がかかるとともに、質の高い工事の実施が困難であった。そのため、通常は無償工事の取り扱いでは、先方負担工事になる内容であっても、緊急援助案件の性格上、日本のスコープの中にも含めることができるようなシステムも考える必要がある。