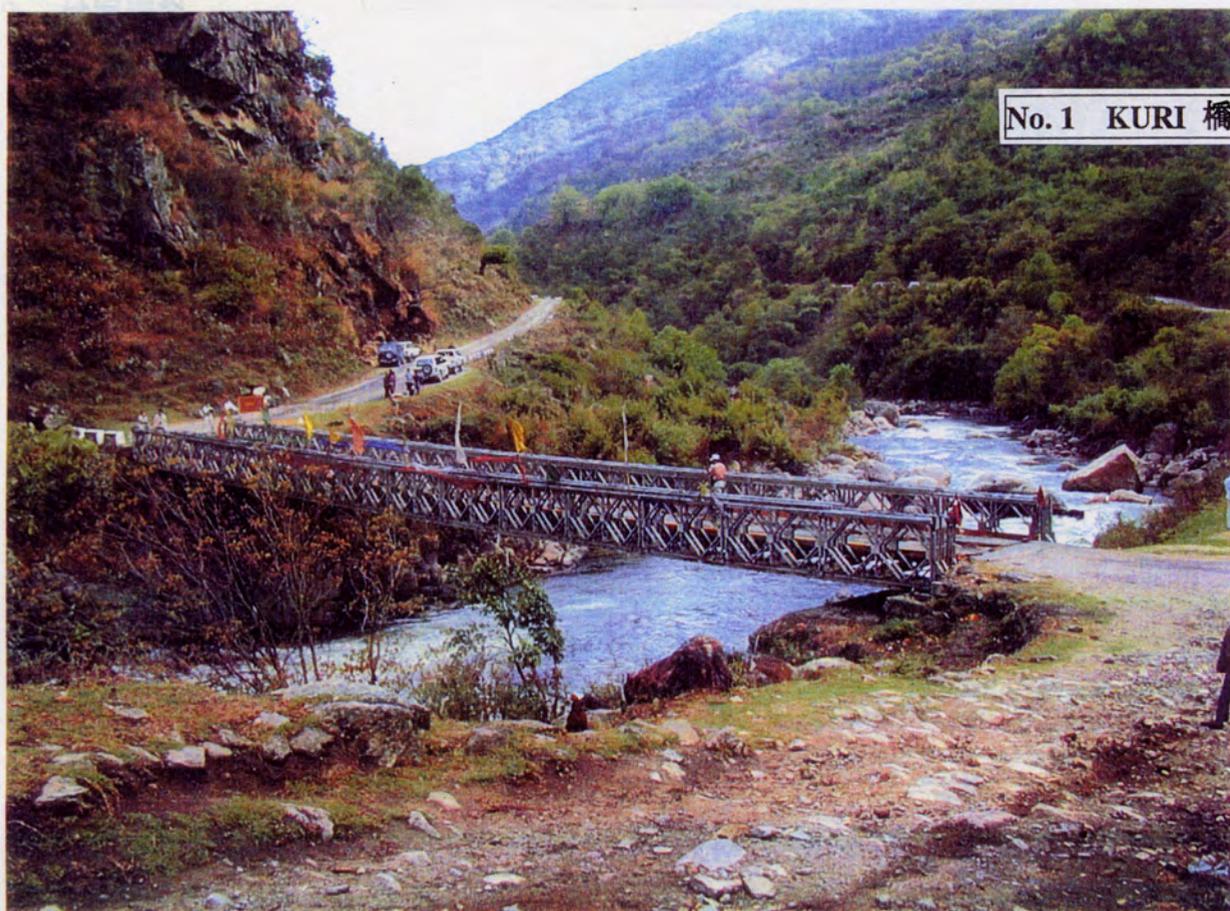
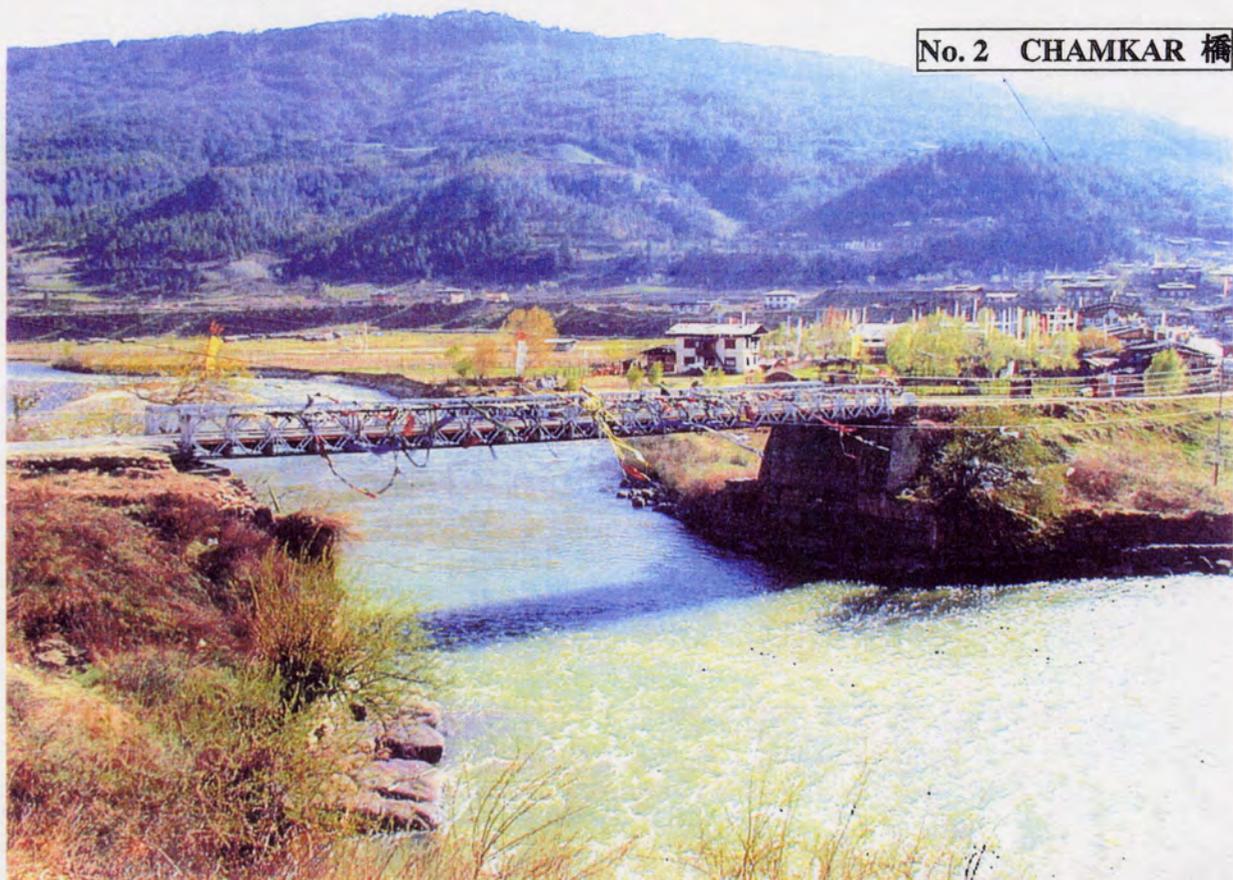


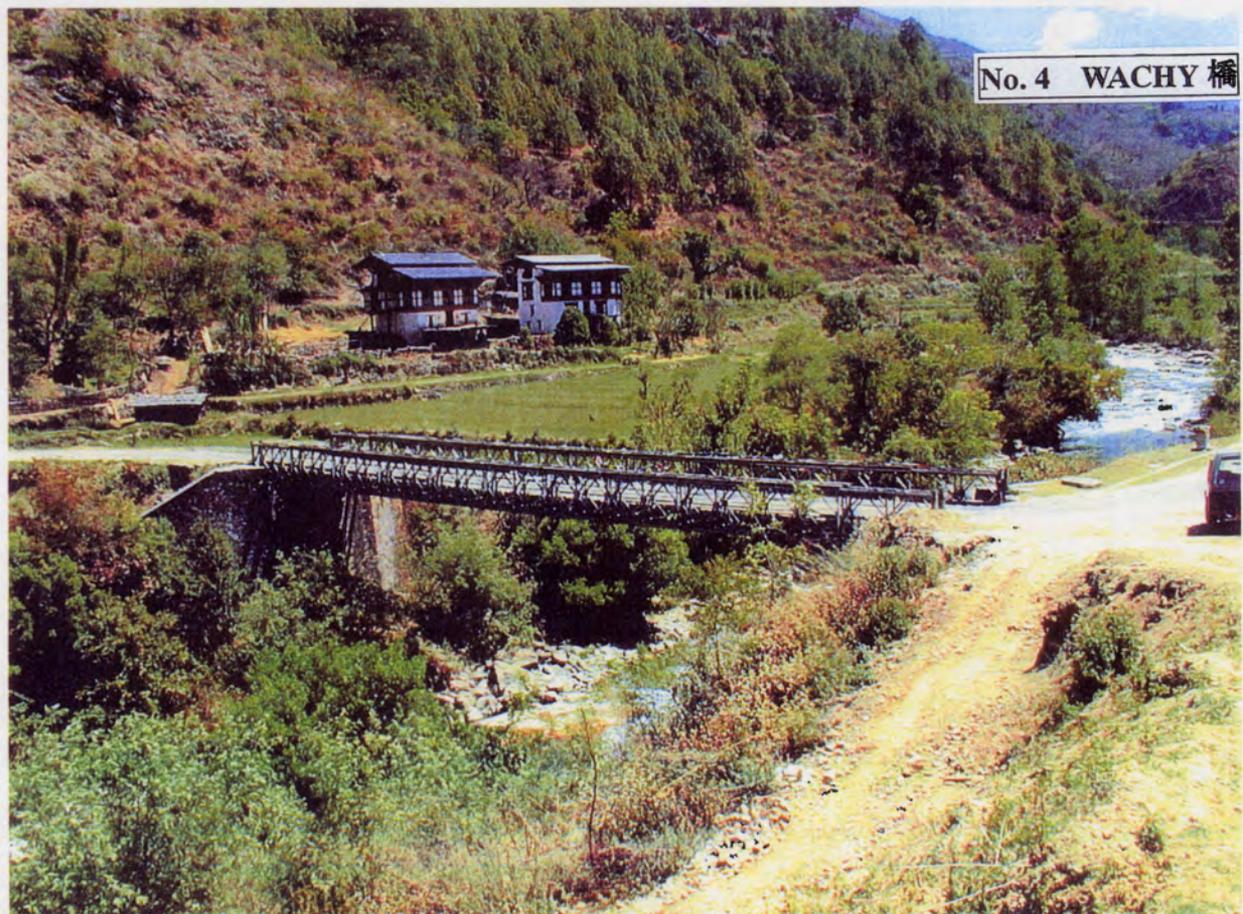
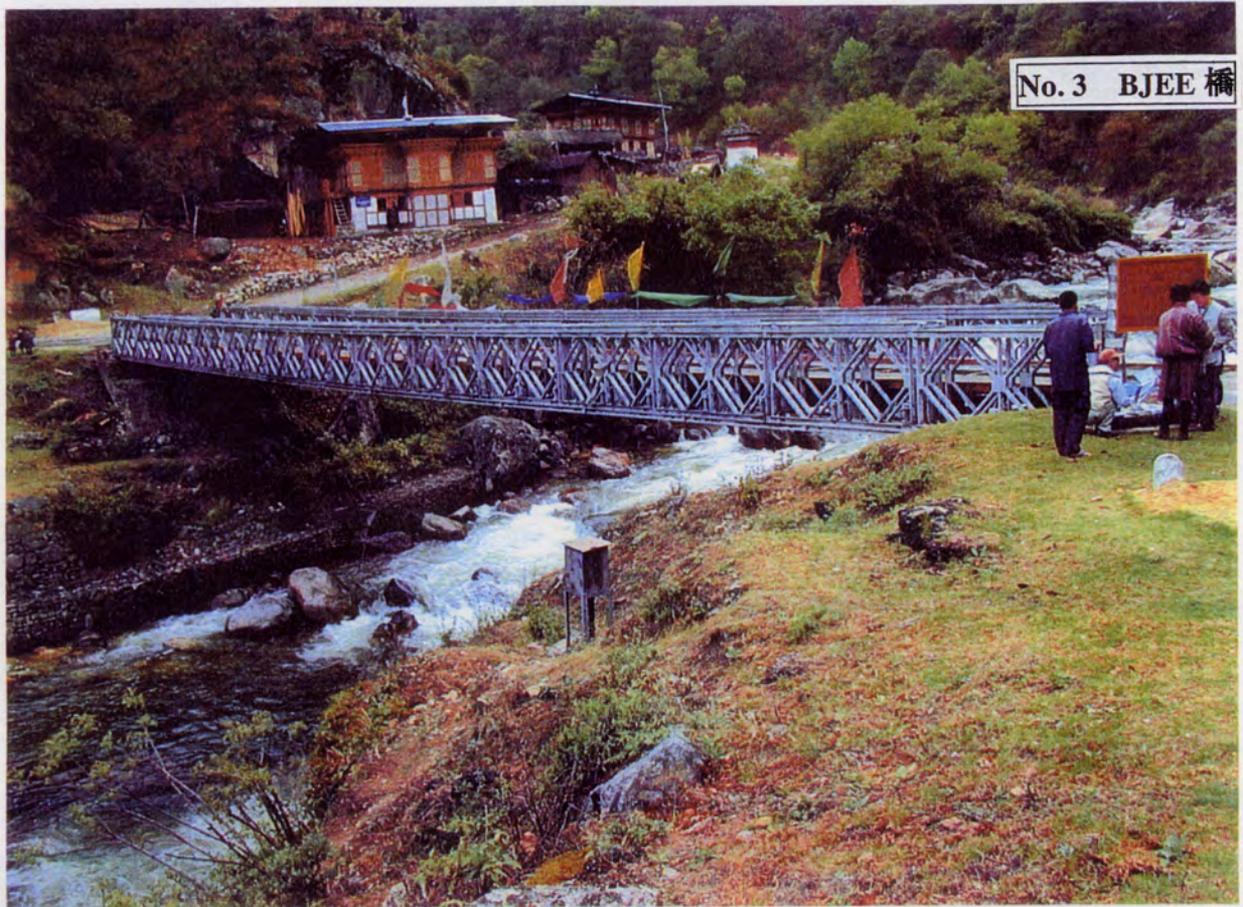
現況写真



No. 1 KURI 橋



No. 2 CHAMKAR 橋



No. 5 MANGDE 橋



# 要 約

## 要 約

ブータン王国（以下「ブ」国と称する）はヒマラヤ山中にある内陸国で、ほぼ日本の南西諸島と同緯度に位置している。北部国境は中国チベット自治区に接し、他はインドのアッサム地方と接しており、その国土面積は約 46,500km<sup>2</sup>、人口 75.9 万人(1998 年)である。国内総生産（GDP）は 1985~95 年の 10 年間の年平均伸び率は 6.8%で、一人当たりの GDP は 470 ドル（1998 年）となっている。

山岳内陸国の「ブ」国では、道路交通が唯一の移動・輸送機関である。「ブ」国の主要道路および橋梁の整備は、1959 年にインド国政府の援助を得て、全国の県庁所在地等の主要都市を結ぶ幹線道路網の整備を重点に行われてきた。しかしながら、耐用年数の過ぎた全国各地のベアリー橋の中には、損傷や老朽化が著しいものが増えている。加えて、近年の農業を中心とする地域経済の拡充による交通需要の伸び、また水力発電建設等の大型土木工事に伴う重車両交通の増加により、多くのベアリー橋には橋桁の変形、部材の摩損・腐食、結合部の緩みおよび橋桁変形に伴うたわみの増加等がみられる。

このような状況の下、「ブ」国政府は第 8 次五か年計画（1997~2001）における道路交通整備計画の中で、住民の基本的生活の確保、全国規模での経済発展および均衡ある地方の開発を目的に、幹線道路の改修整備と地方アクセス道路（支線）網の充実、老朽化が進んだ橋梁の架け替えを行う計画としており、その内、通信省道路局（DOR）が管轄している国道に架かる 22 橋梁の調査を日本政府に要請してきた。

これを受けて、日本国政府は 1997 年 8 月から 1998 年 8 月にかけて、開発調査「橋梁整備計画調査：F/S」を実施し、これら 22 橋梁の内、緊急に架け替えが必要な 12 橋梁を選定した。それらの橋梁について、将来交通量、推定裨益人口、社会経済評価、橋梁自体の耐荷力と危険度および架け替えの技術的困難性を相対的に比較検討した結果、5 橋梁が最優先整備対象として選定された。

この開発調査結果に基づき、「ブ」国政府はこれら最優先とされた 5 橋梁について、我が国に対し無償資金協力による架け替えを要請した。

この要請を受け、日本国政府は基本設計調査の実施を決定し、国際協力事業団（JICA）は基本設計調査団を平成 12 年 4 月 4 日から 6 月 4 日まで「ブ」国へ派遣した。調査団は当計画の実施機関である DOR と協議を行い、要請の内容についての協議・確認を行うとともに、プロジェクトサイト調査および必要な資料の収集を行った。

現地調査の結果を踏まえて、適切な施設内容および規模の検討、概算事業費の積算等を行い、基本設計および実施計画を提案した。これを基に、同事業団は平成 12 年 10 月 12

日から10月24日まで、基本設計概要説明調査団を派遣し、基本設計概要書の説明および協議を行った結果、「ブ」国政府との間で基本合意を得た。

最終的に提案された計画の内容は以下の通りである。

架け替え橋梁の概要

橋梁No.		1	2	3	4	5
橋梁名		Kuri	Chamkar	Bjee	Wachy	Mangde
橋長 (m)		54.0	50.0	43.0	50.0	95.2
支間長 (m)		53.0	49.0	42.0	49.0	93.8
総幅員 (m)		6.3	8.3*	6.3	6.3	6.3
車道幅員 (m)		5.5	7.5	5.5	5.5	5.5
橋面積 (m <sup>2</sup> )		340.5	415.0	270.9	315.0	599.8
橋梁形式	上部工	ポニートラス	ポニートラス	ポニートラス	ポニートラス	ラガー
	下部工	橋台	逆T式	逆T式	逆T式	逆T式
	橋脚	なし	なし	なし	なし	なし
	基礎工	直接基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎
護岸工		-	ガソ籠	ガソ籠	ガソ籠	-
取付道路工 (アスコン舗装)	右岸	50.4	95.5	40.5	93.5	74.4
	左岸	54.4	64.5	35.5	65.5	89.2
	合計	104.8	160.0	76.0	159.0	163.6

(注) 鋼材は耐候性鋼材使用

\* Chamkar橋は歩行者交通が多いため、安全性確保の観点から車道と歩道を分離する計画である。

本計画を日本の無償資金協力で実施する場合に必要な事業費は17.65億円(日本側負担事業費17.64億円、「ブ」国側負担事業費0.02億円)と見込まれる。また、本事業実施に必要な工期は、実施設計を含め36ヶ月を必要とする。

なお、「ブ」国側負担事業費規模は、1999/2000年道路局予算規模(約646百万ユートラム=約1,596百万円)からみて、十分確保可能なものである。

本計画の実施による主な効果は下記の通りである。

- ・ 老朽化した既存橋梁に対する重量制限が解消し、これまでの重車両等の大きな迂回通行が回避される。また、貨物の小分け輸送の必要がなくなり、輸送効率が向上する。
- ・ 老朽橋梁の崩壊等による道路輸送路寸断の危険性・不安感が解消し、安全・確実な輸送路確保は、民生の安定および国家開発計画の目標達成に貢献する。
- ・ 東西を結ぶ唯一の国道1号線の安全性・確実性が確保され、国土の均衡ある開発・発展を目指すブータンにとって大きく貢献する。
- ・ 「ブ」国中部を貫通する国道4号線上のボトルネック解消により、沿線各県における産業開発に大きなインパクトを与える。
- ・ 各橋梁整備に伴う想定裨益人口は、直接的人口は約10.5万人と予想される。

本計画の効果をより大きくし、事業実施をより円滑かつ効果的にするために、次の点が

改善・整備されることが望まれる。

- ・ 道路局および民間建設業者における橋梁設計・維持管理に携わる技術者の増員、教育・研修の充実を図る。
- ・ 国道のボトルネックである老朽橋梁の架け替えと同時に、大型車両の通行可能となるよう道路改良の促進を図る。
- ・ 橋梁維持管理予算の増額により既存橋梁の維持管理に努め、国道上の新たなボトルネックになることを避ける。
- ・ 橋梁機能維持のための点検・維持管理システムの確立を図る。

## 報告書目次

序文  
伝達状  
位置図  
完成予想図  
現況写真

### 要約

第1章 要請の背景	1
1 - 1 要請の背景	1
1 - 2 要請の内容	2
第2章 プロジェクトの周辺状況	3
2 - 1 当該セクターの開発計画	3
2 - 1 - 1 上位計画	3
2 - 1 - 2 財政事情	4
2 - 2 他の援助国、国際機関等の計画	6
2 - 3 我が国の援助実施状況	7
2 - 4 プロジェクトサイトの状況	8
2 - 4 - 1 自然条件	8
2 - 4 - 2 社会基盤整備状況	20
2 - 4 - 3 既存橋梁の現状	20
2 - 5 環境への影響	23
第3章 プロジェクトの内容	24
3 - 1 プロジェクトの目的	24
3 - 2 プロジェクトの基本構想	24
3 - 3 基本設計	26
3 - 3 - 1 設計方針	26
3 - 3 - 2 設計条件	29
3 - 3 - 3 基本計画	40
3 - 3 - 4 基本設計図	50
3 - 4 プロジェクトの実施体制	83
3 - 4 - 1 組織	83
3 - 4 - 2 予算	86
3 - 4 - 3 要員・技術レベル	88

第4章 事業計画	-----	90
4-1 施行計画	-----	90
4-1-1 施工方針	-----	90
4-1-2 施行上の留意事項	-----	92
4-1-3 施工区分	-----	92
4-1-4 施工監理計画	-----	93
4-1-5 資機材調達計画	-----	94
4-1-6 実施工程	-----	103
4-2 概算事業費	-----	106
4-2-1 概算事業費	-----	106
4-2-2 維持・管理計画	-----	107
第5章 プロジェクトの評価と提言	-----	109
5-1 妥当性に係る実証・検証および裨益効果	-----	109
5-2 技術協力・他ドナーとの連携	-----	111
5-3 提言	-----	112

#### 資料編

資料-1	調査団員氏名、所属	-----	資-1
資料-2	現地調査日程	-----	資-2
資料-3	相手国関係者リスト	-----	資-4
資料-4	ブータン国の社会・経済事情	-----	資-5
資料-5	第8次五ヶ年計画 道路関連プロジェクトの進捗状況	-----	資-7
資料-6	河川現況調査	-----	資-11
資料-7	対象橋梁現況調査結果	-----	資-22
資料-8	測量調査結果	-----	資-42
資料-9	ボーリング調査結果	-----	資-63
資料-10	計画平面・縦断線形計算書	-----	資-73
資料-11	参考資料リスト	-----	資-75

## 第 1 章 要請の背景

### 1 - 1 要請の背景

山岳内陸国であるブータン国においては、道路交通が唯一の移動・輸送手段となっており、ブータン国の社会経済開発の促進は、効率的で安全確実な道路ネットワークの確保に大きく委ねられている。このため、ブータン国内における旅客・貨物の唯一の大量輸送が可能となる道路の基盤整備が、これまでの五か年計画で高い優先度を与えられてきている。

ブータン国の主要道路および橋梁の整備は、1950 年代後半にインドの援助を得て、全国の県庁所在地の主要都市を結ぶ幹線道路網整備を重点に行われてきた。しかしながら、国道上の多くの橋梁は仮設用の鋼製ベアリー橋であり、これらは 1960 年代に架橋され、既に耐用年数を過ぎており、多くは損傷や老朽化が著しい。近年の農業を中心とする地域経済の拡充による利用交通量や積載量の増加もあり、現在これらの橋梁は利用車両の重量制限をすることによりようやく使用している状況である。したがって、交通量・輸送需要増大の面および安全性の面からも、危険性の高い橋梁を永久橋に架け替えることが急務となっている。

このような状況を踏まえ、ブータン政府は第 7 次五ヶ年計画に引き続き、第 8 次五か年計画（1997～2002 年）における道路交通整備計画の骨子の中で、住民の基本的生活の確保、全国規模での経済発展および均衡ある地方の開発を目的に、幹線道路の改修・整備と地方アクセス道路網の充実、老朽化した橋梁架け替えを行うことを謳っている。

以上の考えに基づき、ブータン政府は国道整備および橋梁架け替えの緊急性に鑑み、1994 年開発調査の実施を我が国に要請した。これに対し、我が国は 1997 年 4 月に開発調査実施に向けての事前調査団を派遣し、当時の通信省公共事業局（PWD）{現在は通信省道路局（DOR）} が管轄する国道上の 22 カ所の橋梁を調査対象とすることで S/W が締結された。

右 S/W に基づき、1997 年 8 月から 1998 年 8 月にかけて、開発調査「橋梁整備計画調査」が実施された。この開発調査においては、第一段階として、要請された 22 橋梁を対象とし、現橋の許容荷重、建設年次、損傷状況、撓み量および周辺地区への施設立地数という 5 つの評価指標に基づき、緊急に架け替えが必要な 12 橋梁が選定された。さらに第二段階として、将来交通量、推定裨益人口、社会経済評価、橋梁自体の耐力と危険度および技術的困難性を相対的に比較検討した結果、5 橋が最優先架け替え対象として選定された。

この結果を受け、ブータン国政府は信頼性の高い道路ネットワークを確立する上からも、安全確実な橋梁を確保することが最も重要なことであるという考えに基づき、1998年2月に、開発調査にて最優先に架け替えが必要と提案された5橋について、我が国の無償資金協力による架け替えを要請してきたものである。

## 1 - 2 要請の内容

我が国への要請内容は、「国道1号線(Trasigang～Simtokha)上の4橋および国道4号線(Gelephu～Trongsa)上の1橋の合計5橋梁の架け替え」である。

架け替え対象橋梁は以下の通りである。

- No.1 Kuri 橋；橋長 約43m (Kuri 川), Mongar 県
- No.2 Chamkar 橋；橋長 約34m (Chamkar 川), Bumthang 県
- No.3 Bjee 橋；橋長 約43m (Mangde 川), Trongsa 県
- No.4 Wachy 橋；橋長 約34m (Dang 川), Wangdue Phodrang 県
- No.5 Mangde 橋；橋長 約97m (Mandge 川), Zhemgang 県

## 第2章 プロジェクトの周辺状況

### 2 - 1 当該セクターの開発計画

#### 2 - 1 - 1 上位計画

ブータン国は国土開発上、地勢・地形に起因する多くの制約が存在しているが、1960年代初頭からの7次にわたる五か年計画の実施により、これまでそれらの制約を克服し、インフラ整備の面では着実に進展が図られてきている。しかしながら、これらはまだ十分なものとは言えず、ブータンの経済開発上現在でもかなりの制約要因が存在しており、現在実施中の第8次五か年計画(1997-2002年)の中で、その制約要因として以下の事項を挙げている。

- 1) 内陸国ブータンは地勢上南西アジア地域の他の国々から孤立しており、最も近接したカルカッタ港からでも約800Kmの距離がある。このような孤立状況がブータンへの流出入貨物のコストを本来的に高いものにしている。
- 2) 急峻な山岳地形のため、農業に適した土地が大変限られている。このため、農業生産物の増産ポテンシャルは制限され、環境悪化の危険性は高い。
- 3) 住民は農業生産に適す限られた土地を求めて居住するため、人口は広範囲に分布している。
- 4) 上述のような要因により、道路および通信のサービス網供給を困難にし、さらには医療、教育サービス供給を高いものにしている。
- 5) 多くの開発途上国とは異なり、ブータンは相対的に人口が少なく、人的資源の供給が大きな制約となっている。したがって、経済開発を担う必要な人材の不足を克服するための近代的教育の導入も成功していない。
- 6) 最近まで住民のほとんどが基本的には農業従事者であったため、通貨流通の水準が低いままになっている。このため、政府の国内歳入増への施策が制限されることになり、開発資金を対外援助に頼らざるを得ない状況となっている。

ブータン政府は、上記の制約克服のための多角的なプロジェクトを計画している。特に、ブータン国通信省は、開発プロジェクトの進展により交通事情に大きな影響をもたらし、交通需要を変化させることはもちろん新規需要の発生をももたらすとの基本的認識を持っており、交通関連プロジェクトとして多くの計画を立案するとともに、着実に実施もしている。

現行第8次五か年計画のプロジェクトのうち、道路整備関連は次のとおりとなっている。

- プロジェクト MOC05：新規道路建設（対象：全国）  
地方道およびフィーダー道路網の拡大
- プロジェクト MOC06：国道の改良（対象：全国）  
拡幅、路線線形改良、永久構造物建設、路面改修など
- プロジェクト MOC07：路線の再調整（見直し）（対象：Chhukha 県）  
国道 2 号線（Thimphu-Piling）の一部区間路線付け替え
- プロジェクト MOC10：永久橋の建設（対象：全国）  
仮設橋（パイプ橋、木橋等）の永久橋への架け替え

本基本設計調査は、上記の中の「プロジェクト MOC10：永久橋の建設」の項目に対応するものである。

現行の第 8 次五か年計画のプロジェクトの内、上述の道路整備関連事業計画の現在までの進捗状況を巻末添付の資料 - 5 に示す。

## 2 - 1 - 2 財政事情

ブータン国の最近 5 年間の国家予算（当初予算要求額ベース）推移を示したのが表 2.1.1 である。1995 / 96 年から 99 / 2000 年までの 5 年間の国家予算額は、約 58 億 Nu.（ニュートラム）から約 99 億 Nu. と 1.7 倍になっており、年平均伸び率は 14.4% と高い伸び率を示している。

また、国家予算の歳入の内訳を見ると、自国財源による歳入の比率が年々高くなっており、1995 / 96 年には約 43% であったものが、99 / 2000 年には約 55% の自国財源を見込んでいる。歳出内訳を見ると、投資的経費がこの 5 年間ほぼ 52 ~ 59% を占めている。

本プロジェクトに関係する道路分野予算は、この 5 年間で約 3 億から 7 億 Nu. と急増（5 年間の年平均伸び率 約 15%）しており、国家予算に対する割合も 5 ~ 10% を占める状況にある。その財源は、海外からの無償資金援助および借款によるものの比率が高かったが、ここ 2 年間は約 8 割が自国財源による予算措置となっている。

表 2.1.2 は、現在ブータン政府が実行中の「第 8 次五か年計画」（1997 ~ 2002）における経費計画である。五か年計画期間中の総経費は約 352 億 Nu. と計画され、その内、道路分野を含む通信省経費が全体の約 20% 割り当てられて最も多くなっている。特に、資本的支出経費だけで見ると、総額約 191 億 Nu. のうち通信省関係が全体の約 30%、57 億 Nu. を占め、道路分野への支出割合は全体の約 17% となっている。因みに、道路分野への支出割合は、電力分野（約 18%）に次いで高い割合になっている。現五か年計画におけるブータン政府の道路・通信インフラ整備重視の姿勢が現れている。

表 2 . 1 . 1 最近 5 年間の国家予算推移 (当初要求ベース)

(100万Nu.)

費目	会計年度	歳出				歳入				
		経常的	資本的	貸付/返済	合計	国内	海外			合計
							無償	借款	計	
総予算	1995/96	2,038.616	3,357.912	407.112	5,803.640	2,507.301	2,922.422	373.917	3,296.339	5,803.640
	1996/97	2,457.343	3,650.577	393.933	6,501.853	3,128.869	2,856.388	516.596	3,372.984	6,501.853
	1997/98	2,831.008	3,491.139	358.224	6,680.371	3,850.727	2,481.815	347.829	2,829.644	6,680.371
	1998/99	3,381.971	4,805.088	329.659	8,516.718	5,058.437	3,051.666	406.615	3,458.281	8,516.718
	99/2000	3,796.958	5,812.147	321.147	9,930.296	5,443.358	3,830.671	656.267	4,486.938	9,930.296
通信省 関連予算	1995/96	194.108	466.449	-	660.557	333.301	274.478	52.778	327.256	660.557
	1996/97	227.093	962.822	4.800	1,194.715	466.221	608.145	120.349	728.494	1,194.715
	1997/98	231.916	920.665	2.615	1,155.196	505.449	592.924	56.823	649.747	1,155.196
	1998/99	232.356	887.864	1.400	1,121.620	859.670	261.949	0.000	261.949	1,121.619
	99/2000	261.825	891.004	0.871	1,153.700	861.338	256.340	36.022	292.362	1,153.700
道路分野 予算	1995/96	98.072	211.858	-	309.930	185.306	71.846	52.778	124.624	309.930
	1996/97	119.969	549.405	-	669.374	316.991	232.034	120.349	352.383	669.374
	1997/98	108.811	492.646	-	601.457	290.704	253.930	56.823	310.753	601.457
	1998/99	105.694	516.920	-	622.614	509.039	113.575	0.000	113.575	622.614
	99/2000	121.670	568.114	-	689.784	569.674	120.110	0.000	120.110	689.784

(資料) 道路局

(注) ブータン国の会計年度は毎年7月1日開始、次年度6月30日終了である。

表 2 . 1 . 2 第 8 次五か年計画の経費

(百万Nu.)

経費項目	経常的支出	資本的支出	合計	構成比 (%)
国王秘書事務局	35.17	1.47	36.64	0.10
ブータン国民議会	31.28	3.06	34.34	0.10
国王顧問会議	21.39	0.53	21.92	0.06
宗教委員会	259.98	32.49	292.47	0.83
文化特別委員会	81.63	207.99	289.62	0.82
司法関連	123.16	118.19	241.35	0.69
王立会計検査院	61.78	21.02	82.80	0.24
王立市民サービス委員会	40.79	2,035.18	2,075.97	5.90
ブータンオリンピック委員会	26.49	43.72	70.21	0.20
ゾンカ開発委員会	13.96	3.11	17.07	0.05
国家環境委員会	5.25	120.17	125.42	0.36
警察、刑務所、消防サービス	688.29	355.01	1,043.30	2.97
内務省	208.09	266.65	474.74	1.63
大蔵省	5,498.69	552.10	6,050.79	17.20
外務省	734.01	22.42	756.43	2.15
保健教育省	3,662.79	2,607.49	6,270.28	17.83
王立経営大学	50.41	137.08	187.49	0.53
農業省	1,453.98	2,844.95	4,298.93	12.22
通商産業省	1,077.40	3,638.12	4,715.52	13.41
(内 電力サービス)	(896.43)	(3,397.59)	(4,294.02)	(12.21)
通信省	1,451.09	5,664.04	7,115.13	20.23
(内 道路サービス)	(650.46)	(3,218.26)	(3,868.72)	(11.00)
計画委員会	55.47	61.86	117.33	0.33
ゾンカ管理(民生)	495.84	255.69	751.53	2.14
合計	16,076.94	19,092.34	35,169.28	100.00

(出典) Eighth Five Year Plan (1997-2002) Vol.I Main Document

## 2 - 2 他の援助国、国際機関等の計画

ブータン国の道路整備分野に対する各国および国際機関からの援助、協力の状況について取りまとめたものが表 2.2.1 である。

なお、本調査対象橋梁を含め、JICA が実施した開発調査時の要請対象橋梁（22 橋）について他の援助機関に架け替えを要請しているものは現段階ではない。

表 2 . 2 . 1 道路分野への他国からの援助状況

援助国・援助機関	期間	援助形態	援助金額 (単位:百万)	プロジェクト概要	本プロジェクトとの関係	プロジェクトの進捗状況
アジア開発銀行	92 - 95	借款	US\$ 6.900	道路プロジェクトII 道路復旧と定期的維持管理	無	完了
スイス / HELVETAS, SDC	85 - 95	無償	US\$ 5.829	歩行者用吊り橋建設 フェーズ I & II 公共事業局吊り橋セクションへの技術・資金援助	無	完了
国連資本開発基金 (UNCDF)	89 - 95	無償	US\$ 2.033	歩行者用吊り橋建設 フェーズ III 同上	無	完了
世界食糧計画 (WFP)	89 - 95	無償	US\$ 9.775	道路網の維持管理と改良、ならびに 環境に優しい陸上輸送の効率的システムの確保	無	完了
HELVETAS	99 - 2005	無償	Nu. 81.591	ブナツアンチャー橋梁建設、関連橋梁の維持管理、橋梁セクションの人材育成および車両と各種事務機器の購入（総プロジェクト費用の40%を無償援助）	無	～2005
世界銀行 / NEDA	2000 - 2004	クレジット 無償	US\$ 11.600 US\$ 1.000	ハイウェイ道路の建設、技術援助	無	～2004
インド政府	97 - 2000	無償	Nu. 63.000	永久橋3橋建設 (アイ橋、ロンコーラ橋、サルバンコーラ橋)	無	～2002
インド政府	97 - 2001	無償	Nu. 36.000	ブルコーラ橋建設	無	橋梁建設終了、アクセス道路工事中 (2000年完)
インド政府	97 - 2002	無償	Nu. 34.000	ハイウェイ道路の建設	無	～2002
インド政府	97 - 2002	無償	Nu. 179.000	ティンブー～パロ国道改良	無	～2002
インド政府	97 - 2000	無償	Nu. 350.000	パサカ～モニター国道建設	無	～2002

(資料) 道路局

## 2 - 3 我が国の援助実施状況

我が国の道路分野に対する援助実施状況は次の通りとなっている。

### ( 1 ) 無償資金協力

- 「道路建設機材整備計画」 1987年度 4.12億円
- 「第二次道路建設機材整備計画」 1995年度 5.57億円

ブータン国の道路整備、維持管理のための機材不足を補うことを目的に、我が国の無償資金協力により道路建設機材を調達し、通信省公共事業局(PWD) {現在の道路局(DOR)}へ供与したものである。

### ( 2 ) 開発調査

- 「橋梁整備計画調査」 1997～1998年度

ブータン政府の要請に基づき、同国の国道に架る22橋梁を対象に現況調査を行い、緊急に架け替えが必要な12橋梁を特定し、将来交通量、裨益人口、社会経済評価、橋梁自体の耐力と危険度および技術的困難性を相対比較し、優先整備すべき5橋を選定した。これら5橋について概略設計(B/Dレベル)積算を行い、フィージビリティ調査を実施したものである。

### ( 3 ) 専門家派遣

- 通信省道路局に長期専門家(橋梁設計)を派遣中(1998年6月～)

1997～98にJICAが実施した開発調査「橋梁整備計画調査」の結果を受けて、本基本設計調査の実施がブータン政府から要請されたものである。

## 2 - 4 プロジェクトサイトの状況

### 2 - 4 - 1 自然条件

#### (1) 地形概要

ブータン国は北緯 26 度 45 分から 28 度 15 分、東経 80 度 05 分から 92 度 10 分に位置し、国土面積は約 46,500 km<sup>2</sup>、東西の距離は約 330km、南北約 180 km である。北部は中国チベット地方と国境を接し、他はインドと国境を接している。標高は南北でその違いは大きく、最も低いインドのアッサム地方に接する地域では約 160 m、最も高いチベット国境に近い Kulakangri 山では 7,554 m である (図 2-4-1 ブータン全国地図参照)。

ブータンでは第三紀から第四紀地質時代に起こった、活発な隆起運動のために急流河川や侵食した深い V 字形溪谷が多く見られる。このような地形のために国道の多くは急峻な山腹を通らざるを得ず、本対象橋梁のうち 1 橋 (Chamkar 橋) を除き、他 4 橋の架橋地点はいずれも峡谷の急崖下にある。

ブータンの地形は標高差によって三つに分類される。すなわち、標高が 1000 m 以下の南部山麓地域、標高 1000 m から 4000 m の中央地域、標高 4000 m 以上で人間の居住環境には適していない北部ヒマラヤ地域である。本調査対象地域は中央地域の南部山麓地帯である。

調査対象地域にはブータンを南北に流れる Mangde 川、Chamkar 川、Kuri 川の 3 つの主要河川があり、東西には Doch-la、Pele-la、Yutong-la および Thrumshing-la の 4 つの峠がある。峠やその周囲の標高は 2,300 m から 3,800 m となっており、道路には積雪、路面氷結、斜面崩壊、岩盤滑落等の多くの危険箇所がある。

調査対象橋梁のうち国道 1 号線 (Trashigang から Semtokha 間) にある Kuri 橋、Chamkar 橋、Bjee 橋、Wachy 橋はそれぞれ Kuri 川、Chamkar 川、Mangde 川、Dang 川に架かっている。このうち Kuri 橋、Bjee 橋、Wachy 橋は峡谷の急崖下に位置しており、一方 Chamkar 橋は Jakar 市街の平坦地にある。標高は Chamkar 橋が 2,400 m、Kuri 橋、Bjee 橋、Wachy 橋は 580 ~ 900 m である。さらに、調査対象橋梁のうち、国道 4 号線 (Trongsa から Sarpang) にある Mangde 橋は Mangde 川に架かり、峡谷の急崖下に位置して、標高は約 600 m である。

BHUTAN: GENERAL PURPOSE MAP (DRUK YUL)  
1 : 500 000

図 2. 4. 1 ブータン全国地図



Cartography including necessary data collection by H.B. CHHETRI (Survey of Bhutan, Thimphu) as a final Project work during the D.S.E. Training Programme 1993, under the guidance of Dipl. Ing. PATRICK CLOS and direction of Prof. Dr. U. RIPKE

SOURCES:  
1. Historical Places in Bhutan (Map printed at Survey of Bhutan, Thimphu). 2. Services of various Departments under Ministry of Communication & Tourism (Map printed at Survey of Bhutan). 3. Bhutan Himalaya (Published by the Swiss Foundation for Alpine Research), scales 1, 2, 3, - 1 : 500 000

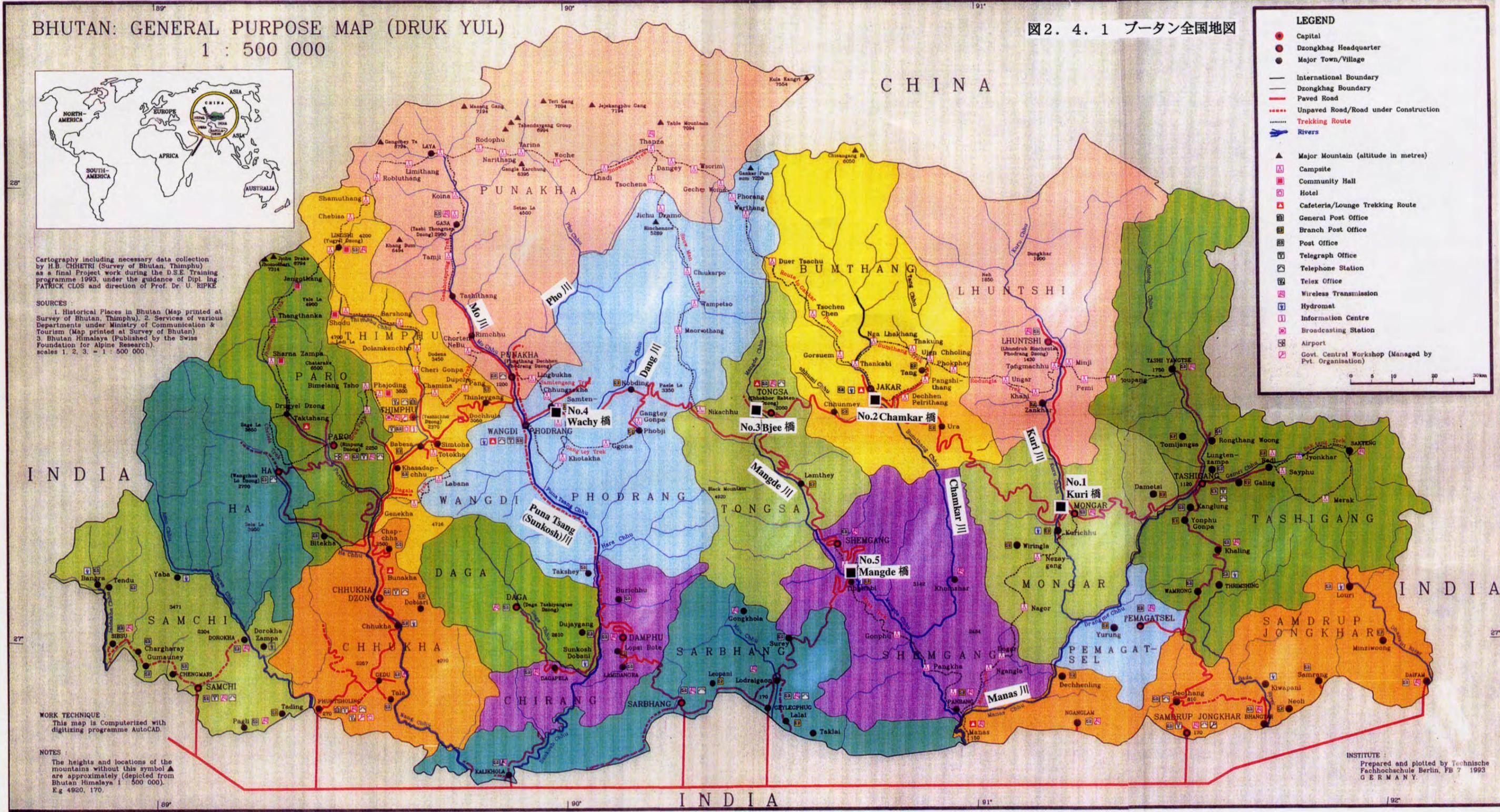
WORK TECHNIQUE:  
This map is Computerized with digitizing programme AutoCAD.

NOTES:  
The heights and locations of the mountains without this symbol are approximately depicted from Bhutan Himalaya 1 : 500 000. E.g. 4920, 170.

**LEGEND**

- Capital
- Dzongkhag Headquarter
- Major Town/Village
- International Boundary
- Dzongkhag Boundary
- Paved Road
- Unpaved Road/Road under Construction
- ..... Trekking Route
- Rivers
- ▲ Major Mountain (altitude in metres)
- △ Campsite
- Community Hall
- Hotel
- Cafeteria/Lounge Trekking Route
- General Post Office
- Branch Post Office
- Post Office
- Telegraph Office
- Telephone Station
- Telex Office
- Wireless Transmission
- Hydromat
- Information Centre
- Broadcasting Station
- Airport
- Govt. Central Workshop (Managed by Pvt. Organisation)

0 5 10 20 30km



INSTITUTE:  
Prepared and plotted by Technische Fachhochschule Berlin, FB 7 1993 GERMANY.

( 2 ) 気象・水文

本調査における気象・水文の現況把握のため、現地踏査、洪水聞き込み調査およびデータ収集・解析を行った。以下に収集データに基づく調査対象橋梁の架る各河川について、高水位を中心に現地調査結果概要を述べる。

( a ) 気象・水文観測網および収集データ

調査対象橋梁の周辺に存在する気象・水文観測所は表 2.4.1 および表 2.4.2 に示すとおりで、各観測所での収集データは以下の通りである。

収集データ

降雨データ ( 日雨量、月雨量、年雨量 )

気温データ ( 平均最高気温、平均最低気温、最高気温、最低気温 )

相対湿度、平均風速、平均日照時間

表 2 . 4 . 1 対象橋梁周辺の気象観測所

No.	流量データ		気象データ			備考		
	関係橋梁	流量観測所の標高(m)	所在県	気象観測所	標高(m)		観測期間	
1	Kuri	540	Lhuntshe	Austsho	800	1982-1999	Not available	
2			Mongar	Mongar	1,600	1994-1997		
3			Mongar	Tsakaling	1,640	1991-1999		
4			Mongar	LingmethahnꞄ	700	1991-1999		*
5			Lhuntshe	Khomachu	1,230	1993-1999		
6	Chamkar	2,600	Bumthang	Chamkar	375	1993-1998	Not available	
7			Bumthang	Gyetsa	2,630	1993-1998		
8	Bjee	1,390	Trongsa	Bjizam	1,840	1993-1999	Not available	
9			Trongsa	Kuengarabten	1,780	1985-1999		
10			Trongsa	Langthel	1,150	1985-1993		*
11			Trongsa	Trongsa	2,120	1985-1999		*
12	Wachy	1,190	W/Phodrang	Nobding	2,600	1990-1999	Not available	
13			W/Phodrang	Card	1,180	1990-1999		*
14			W/Phodrang	Samtengang	1,960	1986-1988		
15	Mangde	565	Zhemgang	Zhemgang	1,905	1985-1999	*	

(注) \*印は調査対象橋梁付近のものを示す。

( b ) 気象・水文概要

ブータンは、南部山麓の亜熱帯性気候、中央部の温帯性気候および北部ヒマラヤ気候の大きく 3 気候帯に区分される。年間降雨量は、南部山麓の丘陵地帯では 5,000mm

～2,500mm、中央部では2,500mm～1,000mm、北部山岳地帯では、1,000mm～500mmである(表2.4.3および図2.4.2参照)。

ブータンの気候はベンガル湾で発生する南モンスーンの影響を受ける。一般に、ブータンのモンスーンは6月に始まり9月の第1週頃まで継続するが、時には10月～11月に至ることもある。11月～3月は乾期であるがインド平原で発生する西風による気候変化の影響を受けて時折降雨を伴うことがある。また、西風の影響によりヒマラヤ山麓には冬期の降雨をもたらす。5月、6月はプレモンスーンの月であり、たびたび激しいヒョウや雷を伴った雨が降る。

表2.4.2 対象橋梁周辺の水位・流量観測所

NO	橋梁名 (標高:m)	河川名	観測所	流域面積 (km <sup>2</sup> )	水位 データ	流量 データ	流速 データ	観測 期間	備考	
1	Kurizampa  (540)	Kuri	Kurizampa	8,600	○	○	○	1991-1999	Principal Sta.	
			Kurizampa	8,600	○	○		1995-1999	TMO	
		Kuri	Autsho	8,453	○	○	○	1987-1999	Secondary	
		Khoma	Lhunsi	641	○	○	○	1986-1999	Secondary	
2	Chamkar  (2,600)	Chamkar	Kurjey	1,350	○	○	○	1991-1999	Principal Sta.	
			Chamkar	Chamkar	1,350	○			1984-1990	TMO
		Khaoang	Chhumy	178		○	○	1993-1999	Secondary	
3	Bjee (1,390)	Mangde	Bjee	1,390	○	○	○	1994-1999	Principal Sta.	
4	Wachy (1,190)	Dang								
			Pho+Mo	Wandi Rapids	5,640	○	○	○	1991-1999	Principal Sta.
				Yebesa	2,320	○	○	○	1991-1999	Principal Sta.
		Maza				○		1990-1991	Secondary	
5	Mangde  (565)	Mangde	Tintibi	3,200	○	○	○	1991-1999	Principal Sta.	
				Tintibi		○	○		1995-1999	TMO
		Dakupai	Tintibi	90		○	○	1990-1999	Secondary	

Note: ○ : Collected data

出典:通産省DOP及びTMO

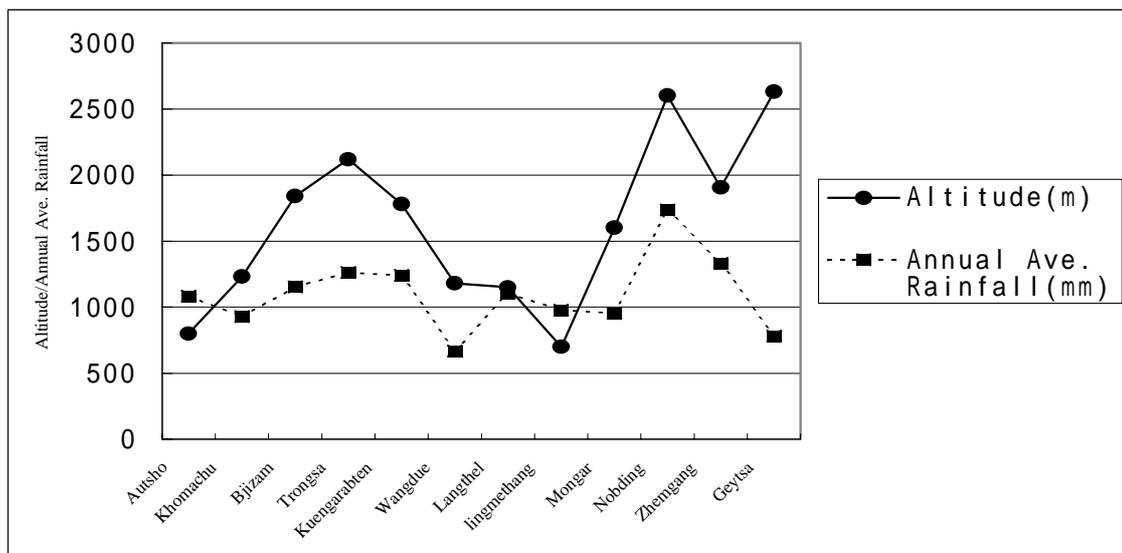
調査対象地域の中央部に位置する Wangdue Phodrang および Trongsa の気象は以下のとおりである。

	Wangdue Phodrang (標高：1,180m)	Trongsa (標高：2,120m)
年平均降水量	: 670mm (1990-1999)	1,260mm (1985-1999)
平均最大気温	: 23	21
平均最小気温	: 14	9
相対湿度	: 87%	90%
風速	: 1.7m/s	-
日照時間	: 5.2 時間/日	-

表 2 . 4 . 3 気象観測所の標高と降水量

観測所	所在県	標高(m)	年降水量(mm/年)	年最大日雨量(mm/日)
Autsho	Lhuentse	800	1,085	78.4
Khomachu	Lhuentse	1,230	928	98.0
Bjizam	Trongsa	1,840	1,153	43.2
Trongsa	Trongsa	2,120	1,261	55.8
Kuengarabten	Trongsa	1,780	1,240	65.0
Wangdi	W/Phodrang	1,180	668	61.0
Langthel	Trongsa	1,150	1,105	79.6
lingmethang	Mongar	700	978	98.0
Mongar	Mongar	1,600	954	108.7
Nobding	W/Phodrang	2,600	1,737	75.6
Zhemgang	Zhemgang	1,905	1,333	120.0
Geytsa	Bumthan	2,630	780	36.0

図 2 . 4 . 2 標高と降水量の関係



### (c) 現況河道特性

調査対象橋梁地点の河川現況調査結果は次の通りである。なお、巻末添付の資料-6 に河川現況調査状況を示した。

#### No.1 Kuri 橋 (Kuri 川)

##### 1) 流域概要

Kuri 橋は、Mongar から西に約 4 km に位置する Kuri 川を横断する橋梁である。Kuri 川は中国チベット地方にその源を發し、チベットの高山岳地帯を流下した後、プータン国内に注ぐ。途中、左右岸から大小の支川を併せ、Lhuentse にて Bodo 山および Komakchu kang を水源とする左支川を合流し、さらに、Kuri 橋を経て、Zhonggar と Mongar にはさまれた地域を流下し、下流にてプータンの国土面積の 70% の流域を有する Manas 川に合流する。チベット地方を含む Kuri 橋までの流域面積 8,600 km<sup>2</sup>、中国国境からの流路延長は 90 km である。Kuri 川下流部に発電用のダム(堰)の建設計画があるが、ダムによる背水の影響はないことが確認されている。

##### 2) 既往洪水

- ・ 水位、流量観測施設は既設橋梁左岸側に設置されており、1991 年 5 月から観測が行われている。過去 9 年間における河川水位は、最大 13.2m(1998 年 8 月 17 日)、最小 5.32m(1992 年 2 月 19 日)を記録している。
- ・ 当該橋梁は 1969 年に建設された。以来、洪水被害を受けていないという住民の報告から、上記水位はここ 30 年間における最大水位の記録であると想定される。この水位と既設橋の床版までのクリアランスは約 3.0m 程度ある。
- ・ 上記高水位における流量は 1,531m<sup>3</sup>/s であり、流域面積から算定した比流量(1 km<sup>2</sup>あたりの流出量)は 0.18m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>と他流域より小さい。これは、他の流域と比較すると流域の規模が大きいことと上流流域は降水の少ないチベット地方(年間雨量 500mm 以下)の高山岳地帯を含んでいるためであると考えられる。

##### 3) 既設橋付近の河道特性

- ・ 既設橋梁上下流の河道はほぼ直線河道で上下流の法線幅は概ね 35m ~ 45m である。
- ・ 河道の横断形状は単断面の掘り込み河道であり、河岸部の斜面勾配は 1:0.2 ~ 1:0.5 と急である。既設橋の橋台は左右岸ともに強固な岩盤上に築造されており橋梁部およびその上下流の河道の洗掘は見られない。
- ・ 既設橋付近の河床材料は岩である。

##### 4) 架橋部の河道断面

- ・ 既設橋の架け替えは既設橋梁から約 23m 下流に計画されている。両岸部の計画橋台の基礎は岩盤が想定され、常時水位以上の標高での基礎工事が可能である。特に河岸および河床洗掘に対する問題は少ない。
- ・ 既設橋の上下流の河床材料は岩または巨レキで構成されており現況河道は安定している。現況河岸および河床の洗掘、侵食現象は発生していない。

- ・ 計画橋梁のクリアランスは地形的に橋面の標高が既設橋のそれよりも高くなること、および下流部にシフトすることによって動水勾配が期待できることから既設橋より大きくなり、高水位に対する治水上の安全度はさらに高まるものと考えられる。

## No.2 Chamkar 橋 (Chamkar 川)

### 1) 流域概要

Chamkar 橋は Jakar の市街化された区域 (標高 2,600m) を流下する Chamkar 川を横断する橋梁である。Chamkar 川は標高 7,000m の Melungi Kang を水源とし、Chamkar 地点での流域面積は 1,350km<sup>2</sup>、流路延長は 65km である。橋梁地点の標高は 2,600m であり、流路の平均勾配は 6 ~ 7 % と急勾配である。当河川は、既設橋より 80 km 余り下流にて Mangde 川に合流する Mangde 川の左支川である。

### 2) 既往洪水

- ・ 水位、流量観測は、1980 年代に既設橋直上流部で観測されていたが、現在は廃止されている (通産省 Hydromet Office 管轄)。1991 年 6 月から数 km 上流の Kurjey 観測所 (通信省 Power Division 管轄) にて観測が開始された。過去 9 年間の最大流出量は、336m<sup>3</sup>/s であり、比流量は 0.25m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> である。この値は、ブータン国中央部の平均的な流出量に相当している。
- ・ 年平均最大水位は、既設橋直上流部の根固工上面より 0.5m 程度の水位である。
- ・ 既設橋は 1973 年当時まで存在していた橋梁に架け替えられたもので、建設後の洪水被害は特に報告されていない。

### 3) 河道特性

- ・ 左岸側は丘陵地であり右岸側は比較的平坦な地形である。河床勾配は変化に富んでおり、河川の平面形状は複雑で川幅は場所によって大きく異なっている。既設橋の 50m 上流側には最大幅 60m の樹木が繁茂する安定した砂州が発達している。また、既設橋の下流約 80m 付近から大きな砂州が形成されている。
- ・ 既設橋横断部の河道幅は河床で 35m、天端部で上下流の川幅 (60m ~ 100m) に対して極端に狭くなっている。これは、1973 年当時に建設されていた橋梁構造が木橋構造であったため、建設工事に対する技術的な配慮から河道幅を人工的に狭めたものと考えられる。
- ・ 上流部の川幅が広い断面から既設橋断面に至る河川幅縮小区間 (トランジション) の右岸側には護岸と根固工を兼ねたフトン籠が適切に配置されており流水に対する安全度を確保している。
- ・ 既設橋上流部の砂州が発達している区間は、砂州の両側に流路が形成されている。2 つの流れは橋梁直上流部で合流しているが、主流は左岸橋台部の岩盤に向かった流れとなっている。左岸橋台水衝部の流れは、右岸側に向きを変えて下流部で再び 2 つの流路を形成し、下流部砂州の両側を流下している。既設橋下流側の流水は右岸側が主流である。

- ・ 現在水衝部になっている左岸側の橋台基礎は岩で構成されており、流水により河床の洗掘および侵食等の現象は発生していないが、下流部右岸側の低地付近には、わずかな侵食がみられる。
  - ・ 既設橋建設当時（1972年）から現在に至る間の河床および澗筋の変動は少ないことが聞き込み調査により確認された。
- 4) 架橋部の河道断面
- ・ 架け替え橋梁は、既設橋梁の下流約15mの位置に計画されており、河道法線幅は既設橋部28mに対して32mとやや広がっている。
  - ・ 橋台基礎左岸側は岩盤、右岸側はレキで構成されている。既設橋梁の橋台は新橋架け替え後も残しておき、現況河道特性を変えないように配慮する必要がある。

### No.3 Bjee 橋 (Mangde 川)

#### 1) 流域概要

Bjee 橋は Trongsa から西に約 10 km に位置する Mangde 川を横断する橋梁である。Mangde 川は Kankar Punsam 山（海拔約 7,550m）にその源を發し、溪谷を流下して、途中 Gphu 山（海拔 5,300m）からの右支川を合流する。さらに下流にて大きな右支川を合流して Bjee 橋（海拔 1,860m）を流下し、Trongsa と Candebi の間を流下する。既設橋までの流域面積は 1,390km<sup>2</sup>、流路延長 55km の急流河川である。水源地から Bjee 橋までの平均流路勾配は 10 % 程度である。

#### 2) 既往洪水

- ・ 水位、流量観測施設は Bjee 橋の直下流の左岸側に設置されており、1994年4月から観測が行われている。5年間の観測期間における河川水位は、最大 4.88m（1994年7月14日）、最小 2.14m（1995年2月18日）で、その水位差は 2.74m である。
- ・ 既設橋梁建設（1969年）後、1989年には近年で最も高い水位を記録し、橋梁桁下約 1.0m の高さまで上昇したことが現地聞き取り調査によって確認された。

#### 3) 既設橋付近の河道特性

- ・ 既設橋より上流部は直線河道であるが下流部は左岸側にやや湾曲している。河道法線幅は、40～45m である。
- ・ 既設橋付近の横断形状は単断面の掘込河道であり、法線幅 50m、最深河床高から天端までの高さは 10m 程度である。河道の縦断勾配は大きいため流下流量が大きくなると流れは滝のような流れが発生する。
- ・ 右岸橋台前面にあるフトン籠は、1992年に設置されてものであるが、何の損傷もなく健全である。
- ・ 河床材料は、粒径 50cm～300cm 程の巨レキで構成されている。

#### 4) 架橋部の河道断面

- ・ 橋台基礎は右岸がレキ、左岸は岩盤からなり安定している。橋梁基礎の施工は河川の常時水位以上の位置で可能である。

- ・ 取付道路の高さが地形的に既設橋のそれよりも高くなることおよび下流部にシフトすることによって動水勾配が期待できることから既設橋のクリアランスが大きくなり、さらに高水位に対する治水上の安全度は高まるものと考えられる。
- ・ 急勾配河川で流速が速く、現況の河床材料の大きさからみると掃流力は大きいものと考えられる。このため、高水位以下の河道内に影響を及ぼさないように橋梁計画を行う必要がある。

#### No.4 Wachy 橋 (Dang 川)

##### 1) 流域概要

Wachy 橋は Wangdue Phodrang から 10km 西方に位置する Dang 川を横断する橋梁である。Dang 川は、Karigura 山 (海拔約 4,500m) にその源を發し、比高の高い谷間を流下して Wangdue Phodrang の下流部にて Mo 川に合流する流域面積は 600km<sup>2</sup>、流路延長 45km の急流河川である。流域分水界は、海拔 3,000m~4,500m の山脈からなり既設橋地点での標高は 1,400m で水源地との標高差は 3,100m、地形勾配は平均 6~7% である。

##### 2) 既往洪水

- ・ 洪水観測施設が設置されていないため、観測に基づいた水位記録は入手不可能である。現地聞き取り調査におよび洪水痕跡調査により既往洪水位の実態を把握した。
- ・ 既設橋地点における既往最高水位痕跡は、右岸橋台部の川側に HFL の水位マークとして刻まれている。この水位は既設橋梁の桁下から約 4.5m、河床より 6.0m の水位であり、右岸上流部の水田の高さと一致している。
- ・ 既設橋は 1969 年に建設されたもので建設後 31 年を経過しているが、この間、特に橋梁基礎および堤内地の洪水による被害は受けていない。

##### 3) 既設橋付近の河道特性

- ・ 直線河道であり河道法線幅は 30~35m である。
- ・ 既設橋地点は単断面矩形の掘り込み河道で、河床幅 25m、天端幅は 45m、流路高は 10m である。
- ・ 既設橋の橋台左岸は岩盤、右岸は巨レキの上に築造されており橋台周辺の洗掘はみられない。
- ・ 河床材料は粒径 50 から 200cm の巨レキで構成されている。

##### 4) 架橋部の河道断面

- ・ 架橋部は既設橋梁部の下流 40m 下流に計画されている。
- ・ 設計上の水位は右岸橋台に明示してある既往の洪水痕跡、上流側の水田面高を考慮して設定する必要がある。

#### No.5 Mangde 橋 (Mangde 川)

##### 1) 流域概要

国道4号線のTingtibi付近でMangde川を横断する橋梁である。Mangde川はKankar Punsam山(海拔約7,550m)にその源を発生し、渓谷を流下して、途中Gphu山(海拔5,300m)からの右支川を合流する。さらに右支川を合流してBjee橋を流下し、TrongsaとCandebiの間を流下し、Panbang付近でManas川に合流する。Bjee橋地点の流域面積は3,200km<sup>2</sup>、流路延長110kmの急流河川である。Mangde橋より上流約55kmの地点に今回の基本設計対象になっているBjee橋がある。

## 2) 既往洪水

- ・ 水位、流量観測施設は、通産省 Power Division 及び Hydromet Office 所管の2ヶ所の施設が既設橋右岸下流側に設置されており、それぞれ1991年及び1995年から観測が行われている。当該橋梁は1965年に建設された。既往最大水位と既設橋梁の床版までクリアランスは十分あるため、下路橋形式の橋梁であれば高水位に対する治水上の問題は少ない。
- ・ 観測期間における最大流量は2099m<sup>3</sup>/sであり、流域面積から算定した比流量(1km<sup>2</sup>あたりの流出量)は0.66m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>である。この値はブータン中央部の他の流域に比較して大きな値である。
- ・ 平均年最大高水位は、左右岸に堆積している巨レキの高さと想定される。

## 3) 既設橋付近の河道特性

- ・ 既設橋梁上下流の河道はほぼ直線河道で上下流の法線幅は概ね80m~100mである。
- ・ 河道の横断形状は単断面の掘り込み河道であり河岸部の斜面勾配は1:0.3~1:0.5と急峻である。
- ・ 既設橋はつり橋形式であるため、その基礎は直接河岸に接していない。右岸側橋台は強固な岩盤上に、また左岸側はレキ上に築造されている。既設橋地点の河床幅は、河床で50m、天端付近で70m程度である。
- ・ 河床材料は、粒径20cm~100cmの巨レキで構成されていて河道は安定しており、河床変動の形跡はみられない。

## 4) 架橋部の河道断面

- ・ 架け替え橋梁は、既設橋下流50mに計画されている。この付近の河道法線幅は既設橋部より広がっていて架け替え橋梁の橋長は長くなる。
- ・ 計画橋梁のクリアランスは、地形上、取り付け道路部の標高が既設橋のそれよりも高くなることおよび下流部にシフトすることによって動水勾配が期待できることから、さらに高水位上のクリアランスは大きくなる。
- ・ 兩岸の橋台基礎はレキ層で構成されており、常時水位以上のところでの施工が可能である。施工中の流水に及ぼす濁水流出問題は少ないものと考えられる。

表 2 . 4 . 4 調査対象橋梁地点の河川現況調査総括表

区分	調査項目	No.1 Kuri橋	No.2 Chamkar橋	No.3 Bjee橋	No.4 Wachy橋	No.5 Mangde橋
河川名		Kuri川	Chamkar川	Mangde川	Dang川	Mangde川
流域諸元	橋梁計画地点の流域面積(km <sup>2</sup> )	8,600	1,350	1,390	600	3,200
	橋梁計画地点までの流路延長(km)	90	65	55	45	110
	流域最上流端の標高(m)	2,600	5,250	7,550	4,500	7,550
	(ブータン国内)					
	橋梁計画地点の標高(m)	540	2,470	1,860	1,400	565
勾配	1/43.7	1/23.4	1/9.7	1/14.5	1/15.7	
河川諸元	平面形状	直線河道	橋上流より漸縮 上下流に砂州	下流部で湾曲	橋上流で湾曲	直線河道
	横断形状	単断面掘込み	単断面掘込み、 右岸一部盛土	単断面掘込み	単断面掘込み、 右岸一部盛土	単断面掘込み
	(m)	43	35	49	35	71
	流路高(m)	20	9	10	11.5	21
	根固工(ガビワ)		上流側右岸	右岸橋台側面		
	縦断勾配(1)	1/200	1/170	1/20	1/30	1/140
	河床変動の状況	無し	無し	無し	無し	無し
	計画橋台部の土質					
	右岸	岩	岩	レキ	レキ	レキ
	左岸	岩	レキ	岩	レキ	レキ
河岸の侵食状況	無し	無し	無し	無し	無し	
河床の洗掘状況(m)	無し	無し	無し	無し	無し	
水理諸元	既往洪水痕跡水位(m)	左岸橋台側面 13.2m	平均年最大は根 固工上0.5m	橋床版下約1.0m	橋上面より4.5m	-
水位、流量観測期間	1991-1999	1991-1999	1994-1999	-	右岸上流田面高	1991-1999
最大流量(m <sup>3</sup> /s)	1531	336	408	-	-	2099
最高水位(m)	13.2	-	4.88	-	-	-
定期観測最大流速(m/s)	2.53	-	2.29	-	-	-
定期観測流量(m <sup>3</sup> /s)	794	-	242	-	-	-
特記事項		・既設橋下流部にダム計画があるが、背水の影響はない	・既設橋上流下流部の河道線形は複雑であるが河道は、安定している	・水位計の移設及びガビワレションを要する根固工は8年前に建設		

## (3) 地質概要

ブータンの地質はユーラシア大陸プレートとインド大陸プレートとの衝突境界にある。ヒマラヤ山脈はこの二つの間に存在していた Tethys 海の堆積物の隆起によって形成された。大陸同士の衝突はブータンが属しているヒマラヤの隆起地帯が原因となって地質第三紀始新世からはじまった。ブータンの南部地域には三つの地質構造運動線が東西方向に走っており、調査対象地域の北部地域はインド大陸の変成岩(片麻岩、水晶、珪岩等)が広く分布している。

調査対象地域の地質分類を既存資料から概観すると、国道1号線の Semtokha ~ Trongsa 間は、一部、珪岩や石灰岩を含む Tirkhola 層からなるが、多くは雲母と珪岩等を含む片麻岩、花崗岩、片岩の Thimphu 層からなっている。Trongsa ~ Mongar 間は、

主に片岩、片麻岩、花崗岩の Thimphu 層から成っており、この中で Ura 地域は珪岩、石灰岩を含む Tirkhola 層からなっている。ブータン中央の主中央衝上断層地域を越えた Mongar 区間は石英や千枚岩からなる Shumar 構造からなっている。

南北を走る国道 4 号線は花崗岩、片麻岩を含む Thimphu 構造と石灰岩や珪岩からなる Tirkhola 構造および石灰岩やメタ火成岩からなる Wachila 構造からなっている。

調査対象地域に広く分布している岩盤の種類としては、片麻岩、珪岩、硬質礫岩等の変成岩である。各橋梁サイトにおける岩盤は節理や風化の程度で違いはあるが、総体的に岩盤そのものは非常に堅固である。

また、各サイトに存在している礫層は河岸段丘砂礫層と崖錐層に分けられ、段丘砂礫層は硬質の片麻岩、珪岩、花崗岩等からなる玉石や砂利の層で、固結度は高い。崖錐層は硬質の片麻岩、珪岩、花崗岩等からなる大小の角礫、砂等の円錐状の堆積層となっており、これらの崖錐層の固結度は段丘砂礫層に比べ相対的に低い。なお、各サイトにおける地質調査結果によると、礫層に対する標準貫入試験は礫障害等で測定が非常に難しい面はあるが、N 値は 50 以上の値が期待できる。

国道沿線にある斜面の状態について、1 号線 Jakar ~ Mongar 間にある Namling 地区、4 号線 Trongsa ~ Zhemgang 間の Pnjarmani 地区および Zhemgang ~ Gelephu 区間の斜面は、崖錐層や強風化岩盤の滑落、固結度の低い地層がモンスーン期の豪雨ならびに融雪水による地下水位上昇に伴う斜面の深層崩壊が度々発生している。したがって、対象橋梁サイトにおいても斜面の切土は、斜面を一層不安定にさせ、斜面の表層崩落や岩盤滑落を誘引しかねないため、でき得る限り避けるべきであろう。

#### (4) 地震

ブータンでは地震に関する研究および調査実績がないので、過去の地震の正確な大きさや頻度を把握することは難しいが、過去に数度の地震によって大きな被害に見舞われたことが知られている。地質学上から見ると、ブータンの地殻構造はインドやネパールに存在している活断層の活動が誘因となって起こる地震の影響を受けやすい。

インド大陸の地震活動に関するインドの研究資料<sup>注1)</sup>によると、インド大陸の震央分布から、ブータンとその近隣地域において過去にマグニチュード 7.0-8.0 の地震が起きていることを示している。また、インド大陸が 5 つの地震地域に分けられ、ブータン地域はその最も地震の大きい "V" 地域 (木造、石積の建物崩壊、急斜面、土堤の滑り、地表の地割れ、レールの屈曲等に相当) に属していることが示されている。

過去においてブータンでは構造物の設計の際に地震の影響を考えてこなかったが、現在では、建築物、橋梁、石積等の構造設計に地震の影響を反映させることを検討している。

注 1) "Elements of Earthquake Engineering" Professor A.R.Chandrasekaran, School of Research & Training in Earthquake Engineering University of Roorkee, Roorkee, India, 1976

## 2 - 4 - 2 社会基盤整備状況

### ( 1 ) 道路整備状況

対象橋梁に至る国道 1 号線および国道 4 号線は、現在、視距の確保、線形改良、拡幅および舗装修復が実施されており、幹線道路の走行安全性の確保、确实性の向上、高速化を図っている。特に、国道 1 号線の Thimphu(Simtokha) ~ Wangdue Phodrang 間において実施された狭小カーブ区間の拡幅工事が、走行時間の短縮と走行安全性に大きな成果を上げたことから、この方法で全国の国道の改良を進める方針を採っており、実際国道 1 号線の各所で改良工事が進められている。

さらに、国道 1 号線の Wangdue Phodrang ~ Trongsa 間の Nobding から約 2km 東にある Dungdungnyelsa から Pele-la (Pele 峠) 区間では、既存の地方道路(Phobji 道路)の一部区間 5km を利用してバイパス化を図る事業が進行中で、本年中には 8.2Km の新設道路が完成する予定になっている。これによって、大規模な地すべりと法面崩壊箇所が存在する既存のルートよりも距離が約 7.0km 短縮することになり、走行安全性の確保、确实性の向上、高速化が多いに期待されている。

### ( 2 ) 電気、通信の敷設状況

各プロジェクトサイトにおける電気の供給は、満足できる状況にあるとは言えない。ブータン国内では未だ送電ネットワークが十分整備されておらず、首都圏周辺地区を除く各地区ごとに小水力発電による電力供給が行われているに過ぎない。

また、電話等の通信ネットワークは、日本の無償資金協力による「通信網整備計画」実施の結果、全国の主要都市をネットワークすることが可能になった。本プロジェクトサイトの近傍都市では電話およびファクシミリ等の利用が可能となっている。

### ( 3 ) 水供給状況

各プロジェクトサイトには上水道施設が整備されていない。したがって、飲用水はミネラルウォーター購入ないしは湧き水に頼らざるを得ない。また、工事用の用水は河川水を利用することになる。

## 2 - 4 - 3 既存橋梁の現状

### ( 1 ) 橋梁利用交通量

交通調査は、対象 5 橋梁を利用している車種別交通量を把握し、本基本設計調査における施設(橋梁)の適切な規模を確認するために実施するものである。

交通調査の実施内容は次の通りである。

- 調査地点： 架け替え対象橋梁 5 地点
- 調査項目および調査方法：  
午前 6 時から午後 6 時までの 12 時間、橋梁利用交通量を車種別（歩行者含む）、方向別、時間帯別に、5 日間連続観測する。

調査結果を整理一覧表にしたものを表 2.4.5 に示す。

表 2.4.5 橋梁利用交通量調査結果

観測地点	項目	観測交通量				
		17 Apr. (Mon)	18 Apr. (Tues)	19 Apr. (Wed)	20 Apr. (Thur)	21 Apr. (Fri)
No.1 Kuri橋	歩行者(人/12時間)	62	56	46	66	50
	小型車(台/12時間)	108	123	104	98	86
	大型車(台/12時間)	30	51	48	26	21
	全自動車台数(台/12時間)	138	174	152	124	107
No.2 Chamkar橋	歩行者(人/12時間)	679	684	704	668	679
	小型車(台/12時間)	608	438	540	612	737
	大型車(台/12時間)	93	101	147	148	156
	全自動車台数(台/12時間)	701	539	687	760	893
No.3 Bjee橋	歩行者(人/12時間)	167	150	162	129	129
	小型車(台/12時間)	169	142	118	116	133
	大型車(台/12時間)	49	34	37	29	36
	全自動車台数(台/12時間)	218	176	155	145	169
No.4 Wachy橋	歩行者(人/12時間)	59	133	74	123	96
	小型車(台/12時間)	88	88	99	96	97
	大型車(台/12時間)	43	24	19	32	22
	全自動車台数(台/12時間)	131	112	118	128	119
No.5 Mangde橋	歩行者(人/12時間)	514	371	341	365	320
	小型車(台/12時間)	78	92	88	77	99
	大型車(台/12時間)	27	14	23	16	23
	全自動車台数(台/12時間)	105	106	111	93	122

(注) 歩行者交通量には自転車交通量を含む。

## (2) 橋梁現況

調査対象 5 橋の開発調査以降の状況把握を目的に、橋梁老朽化の進行、洪水痕跡、周辺道路と土地利用等の変化状況に着目し対象橋梁現況調査を実施した。

橋梁現況調査結果を巻末添付の資料 - 7 に示す。対象 5 橋の開発調査以降の主なる変化は以下の通りである。

### No.1 Kuri 橋

補修等の履歴なし。主構造および橋面の状況は開発調査時と変化なし。死荷重状態での支間中央たわみは 21cm と前回より 4cm 増加している。

### No.2 Chamkar 橋

1999 年 4 月に塗装, 1999 年 11 月に木製床版の取り替えと舗装が行われた。塗装は橋面上から行える範囲に限定され, 床組部の横桁や縦桁は塗装されず放置されたままである。また, 再塗装は上塗りのみであり, ケレン等は行われていない。支承部も未塗装で部分的に錆び落ちている。

外観上, 開発調査時と大きな変化はないが, 死荷重状態での支間中央たわみは 16cm と以前より 4cm 増加している。

### No.3 Bjee 橋

1999 年 10 月に塗装, 木製床版の取り替えおよび舗装が行われた。塗装は橋面上から行える範囲に限定され, 床組部の横桁や縦桁は塗装されず放置されたままである。また, 再塗装は上塗りのみで, ケレン等は行われていない。

外観上, 開発調査時と大きな変化はなく, 死荷重状態での支間中央たわみも以前の

調査時同様 17cm 程度である。

#### No.4 Wachy 橋

木製床版は右岸側の一部（2.4m の範囲）に補修跡があった。地覆は中央付近から左岸側にかけて欠落し、舗装も含めて橋面の状態は開発調査時より悪化している。主構造は外観上、以前の調査と大きな変化はなく、死荷重状態での支間中央たわみも以前の調査時と同様 15cm 程度である。

#### No.5 Mangde 橋

毎年定期的な支承回りへの注油、主ケーブルの緊張、必要に応じて橋面補修のメンテナンスを行っている。また、主ケーブルの損傷については、補修不可能とのことであった。開発調査時に、未舗装であった橋面には、舗装が施工されていた。また、メインケーブル固定部のクリップは、1本あたり1個で固定されていたが、今回調査ではクリップ2個での定着に変更されたものが数本あった。全体的には従来と大きな変化はない。

上記の様に、木製床版の一部または全部の取り替え、舗装の補修が Kuri 橋以外の他の4橋について開発調査時以降に実施され、また Mangde 橋では定期的な注油（グリースの塗布等）が実施されている。

しかし、いずれの橋梁も橋面から可能な範囲での維持管理であり、損傷したトラス部材の補修・取替えおよび塗装等を行われていない状況である。しかしながら、Mangde 橋を除き、緊急に処置を施さないと落橋の恐れがあるという状態ではない。すなわち、Mangde 橋以外の4橋については架け替え完了まで使用は可能である。

Mangde 橋の場合は、メインケーブルの固定にワイヤーロープ1本当たり1または2本のクリップを使用しているにすぎず、非常に危険な状態であると言える。

参考までに「鋼構造架設設計指針 Design Rules for Erection of Steel Structures」（土木学会）および「鋼道路橋施工便覧」（社団法人日本道路協会）によると、クリップ数とその間隔は以下の通りである。

<u>ワイヤーロープの 直径(mm)</u>	<u>クリップの数</u>	<u>クリップの間隔(mm)</u>
9 - 16	4 以上	80
18	5 以上	110
22	5 以上	130
24	5 以上	150
28	5 以上	180
32	6 以上	200

Mangde 橋のワイヤーロープの直径は 25mm であるから、ワイヤーロープ1本当たり少なくとも5個のクリップを必要とする。すなわち、ワイヤーロープ1本当たり1または2

本のクリップを使用している現橋は非常に危険な状態であり、緊急に使用クリップ数を増やし、ワイヤーロープ1本当たり5個のクリップ使用とする必要がある。

## 2 - 5 環境への影響

本プロジェクトの環境への影響については、開発調査（F/S）時の初期環境調査、および同調査の提言に基づきブータン政府が実施した環境影響調査（EIA）から、次のような結論が得られている。

当該プロジェクトは現橋の架け替えであり、しかもプロジェクトサイトは現橋に近接していることから、自然環境に与える重大な問題はない。ただし、建設工事中には建設現場からの排水等による河川汚濁が想定されることから、工事期間中には何らかの対策を講ずるとともに監視が必要であろう。対策の例を以下に示す。

- （１）建設労務者宿舎からの生活排水・ごみ等の処理対策
- （２）建設現場における油脂類による河川水・土壤汚染対策 など

また、対象橋梁 No.2 Chamkar 橋および No.4 Wachy 橋の建設にあたっては、取付け道路が私有地を通過することになるため用地取得が必要であり、工事着工前までに早めの土地収用手続きが必要となる。