

ネパール国シンズリ道路建設プロジェクト

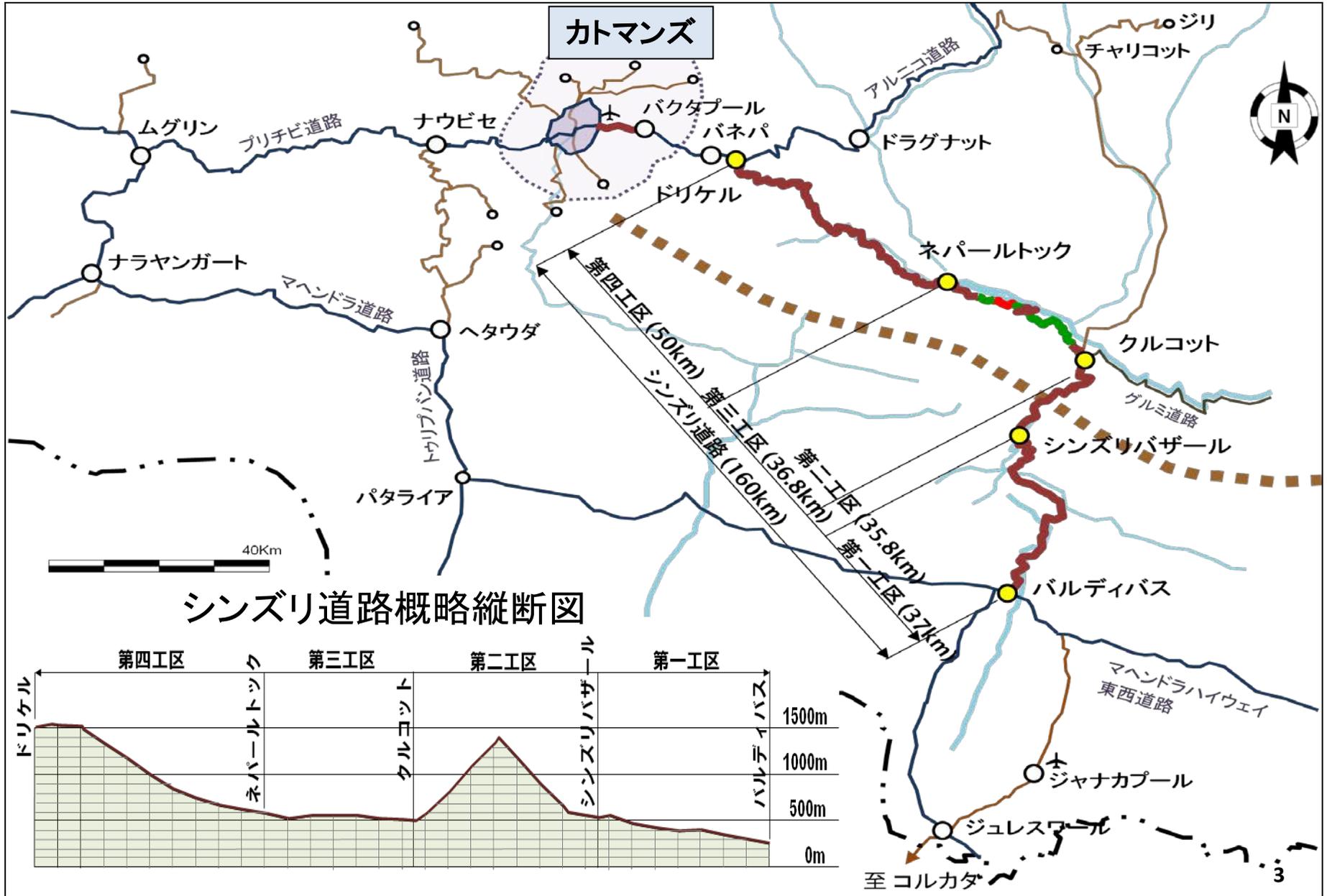
計画と設計

日本工営株式会社
コンサルタント海外事業本部
交通都市事業部 道路橋梁部
副技師長 山下 佳久
1992年から2000年までシンズリ道路建設事業に参加

シンズリ道路の計画と設計

1. 沿線の地形と地質
2. 事業の流れとコンサルタントの役割
3. フィージビリティ(実行可能性)調査
4. 基本設計・詳細設計(設計上の問題点と対応・工夫)
 - 路線確定
 - 急傾斜地形と擁壁設計
 - 自然河川と渡河構造物・護岸設計
 - 雨季の豪雨と排水施設設計
 - 環境配慮

シンズリ道路沿線の地形と地質



沿線の地質

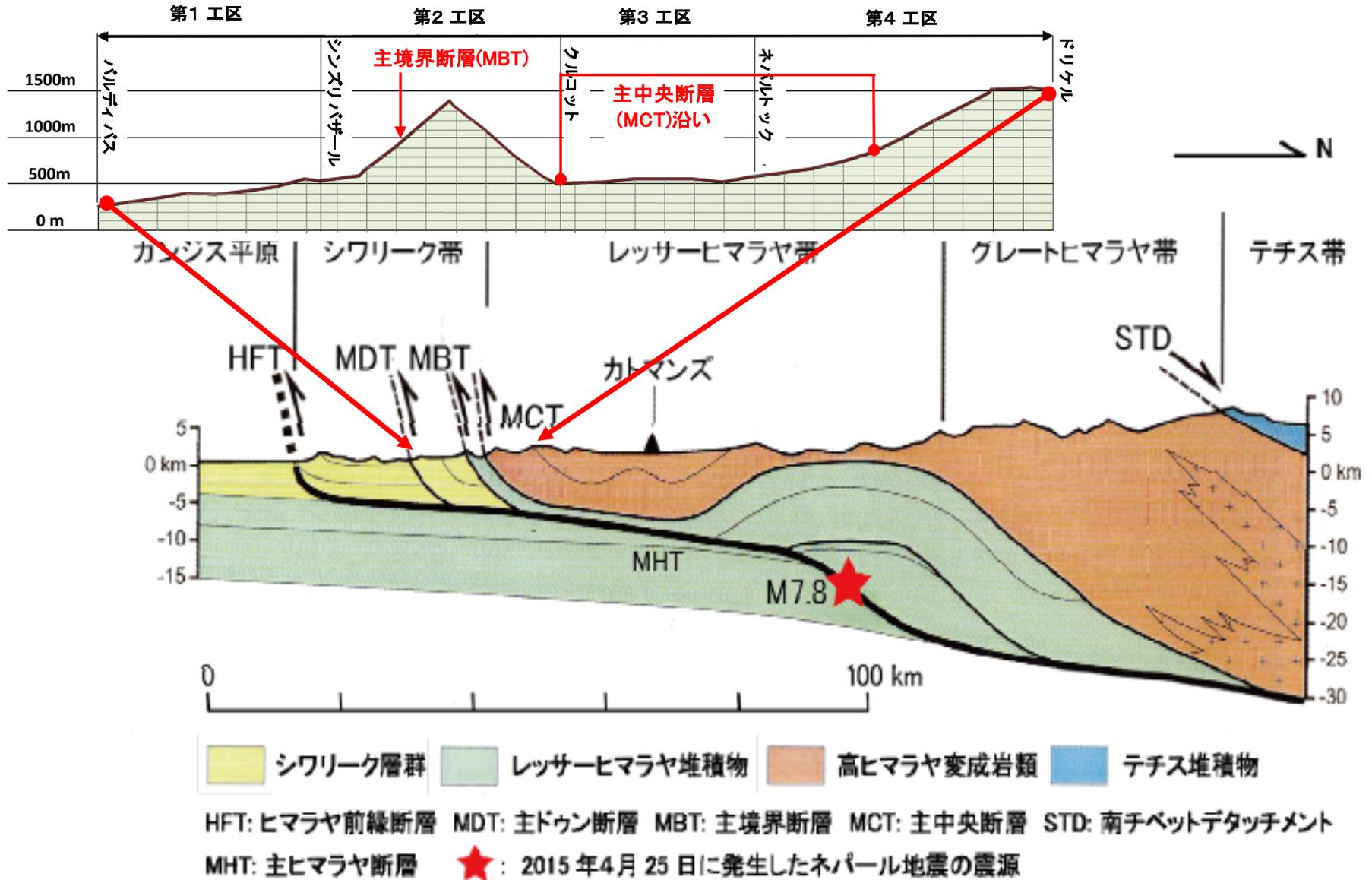


図2 カトマンズを南北に横断する地質断面図に投影した、M 7.8の地震の震源、(Pandey et al., 1999 を改変)

第1工区 (1996~1998建設)



ガンジス平原に続く平坦な地形、シワリク層と呼ばれるヒマラヤの浸食土が堆積した丘陵地

第2工区 (2000~2009建設)

標高差800mでマハバラット山脈を越える。急峻山岳地、ルート沿いの斜面傾斜は65度に達する。

ピパルバンジャン・ジグザグ

主境界断層(MBT)

第3工区 (2009~2015建設)

ヒマラヤを源とするスンコシ川
(ガンジス河の上流部)の右
岸側の急峻な斜面を通過。

スンコシ川はこの付近では
主中央断層(MCT)沿いに流
れる。

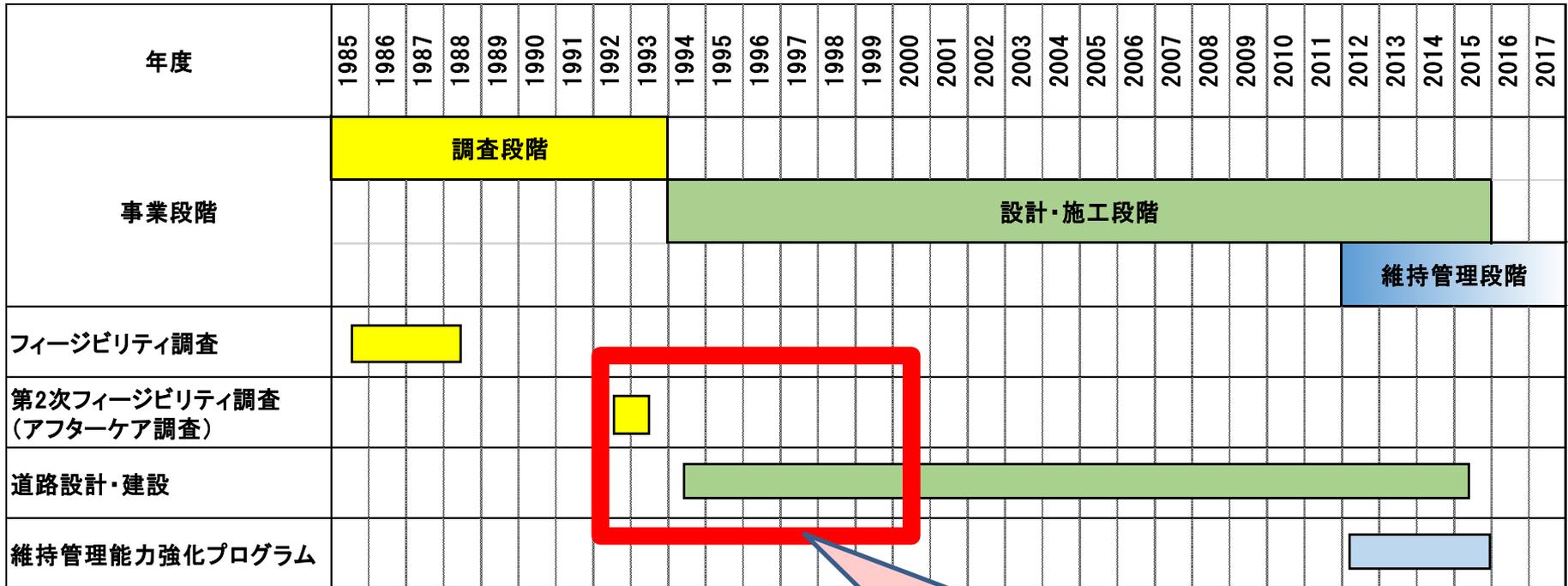
第4工区 (1998~2005建設)



比較的勾配の緩い北向き斜面を終点のドリケルにむけて徐々に高度をあげる、ヒマラヤハイウェイとも呼ばれる区間。

事業の流れとコンサルタントの役割

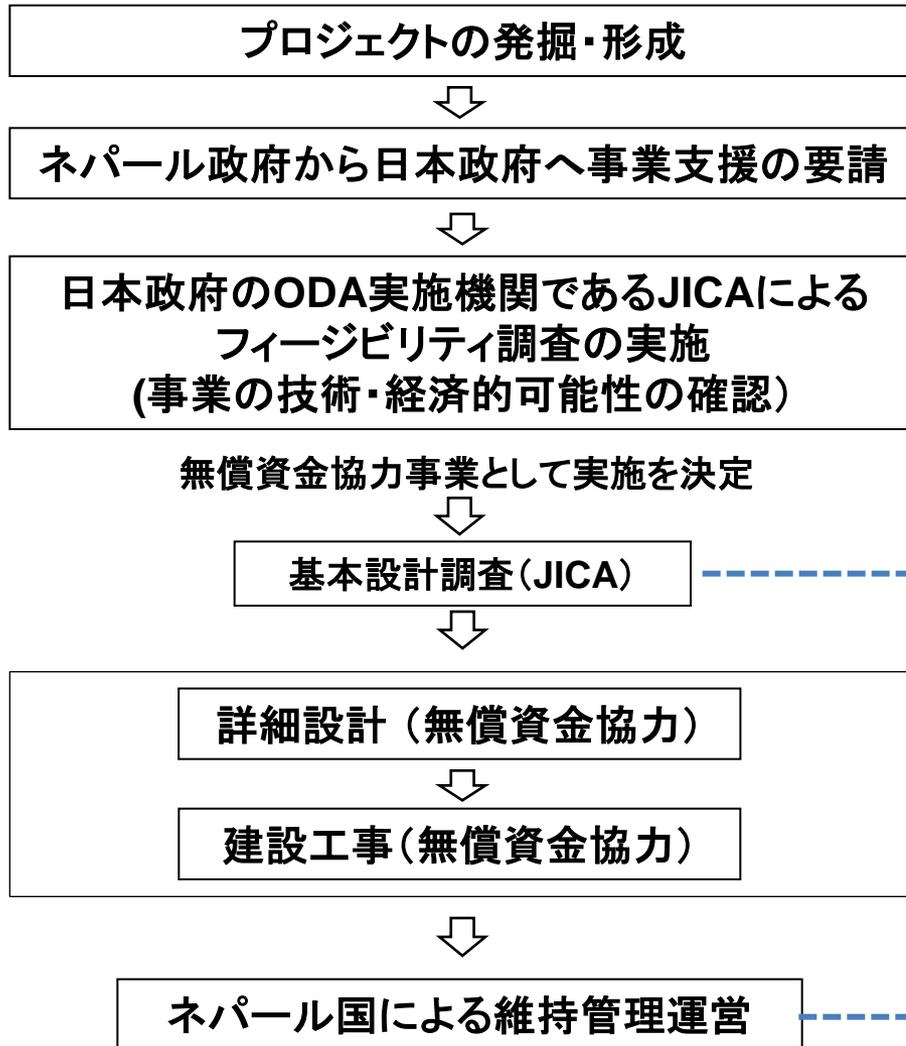
シンズリ道路建設事業の全体スケジュール



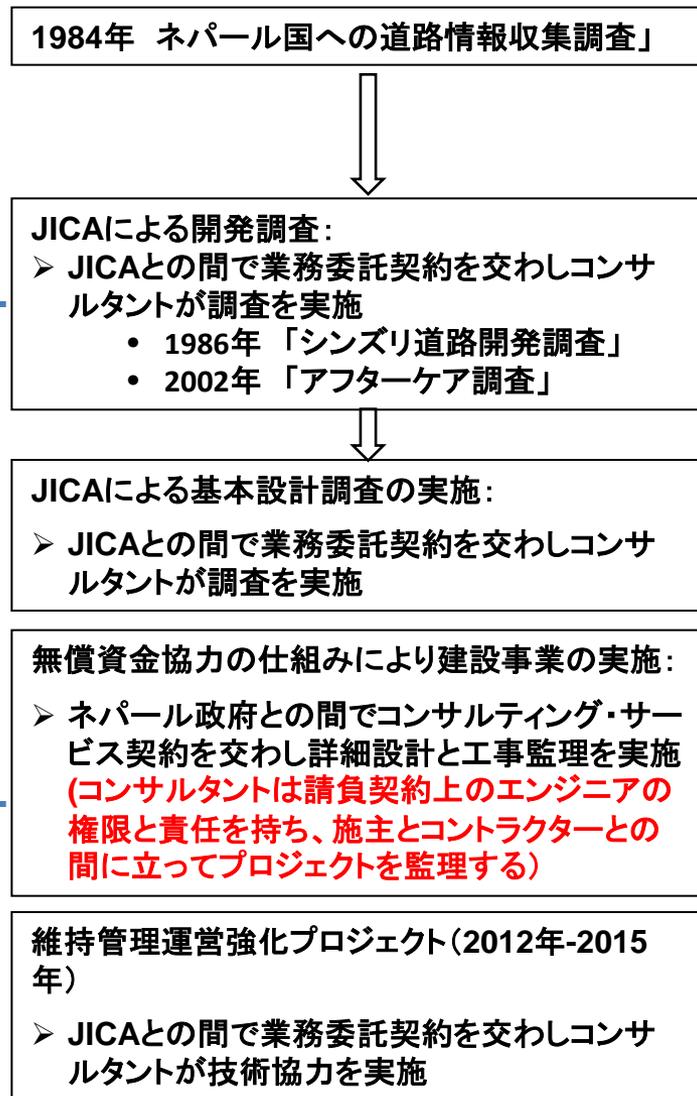
プロジェクト参加期間

事業の流れとコンサルタントの役割

シンズリ道路建設事業の流れ



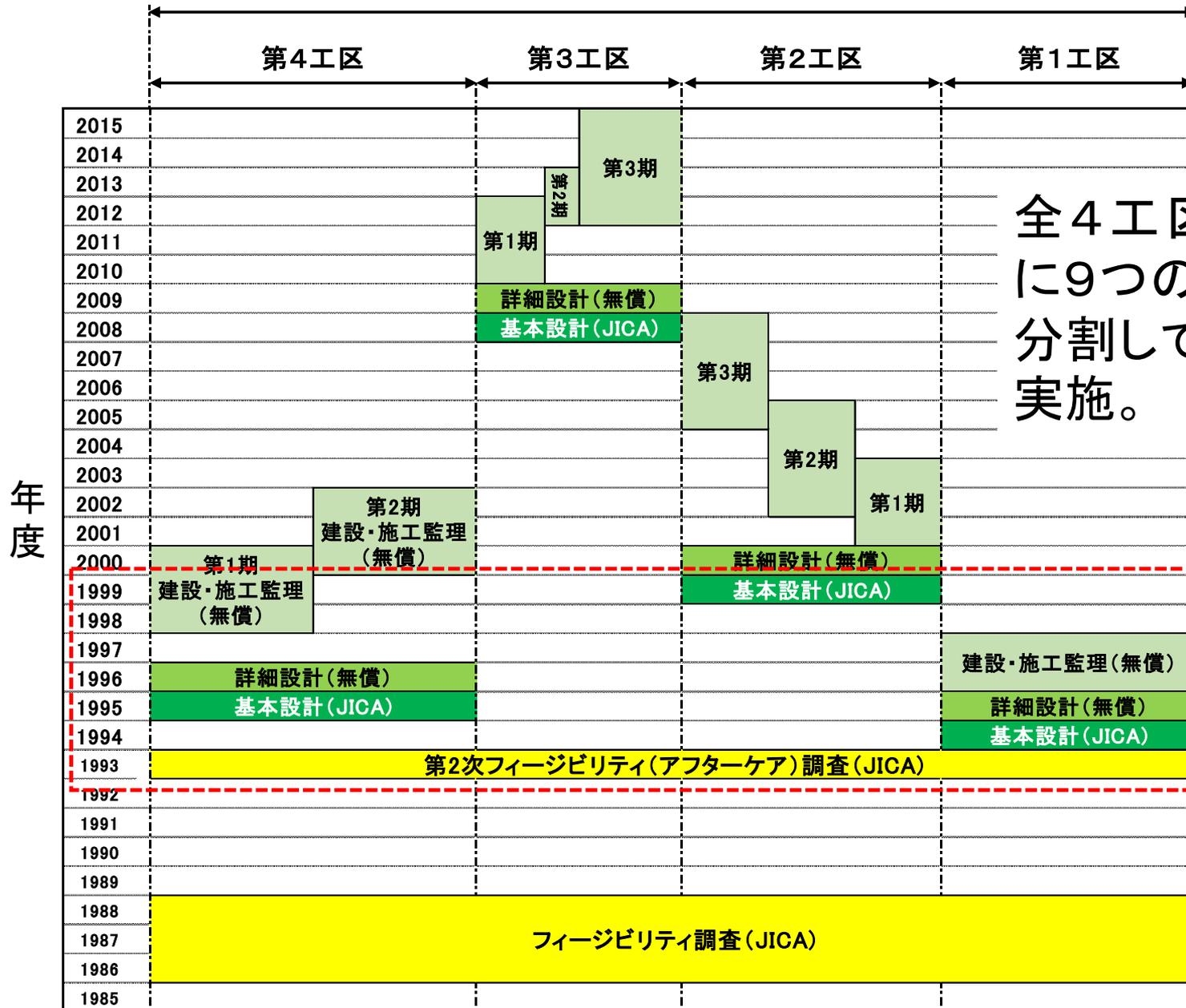
コンサルタントの役割



コンサルタントは案件発掘・形成から調査・計画・設計・入札支援、
工事監理・運営監理と幅広く事業に参画

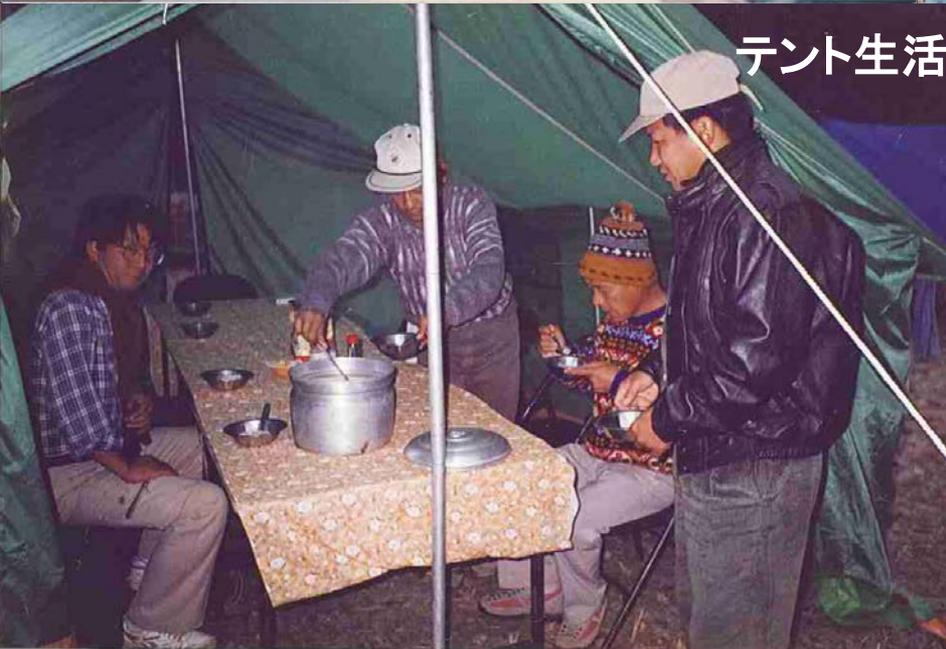
詳細な事業の流れ

シンズリ道路 160km



全4工区をさらに9つの工事に分割して建設を実施。

フィージビリティ(実行可能性)調査



フィージビリティ調査の結果は？

1. フィージビリティ調査(シンズリ道路開発調査)

(1986年11月～1988年3月)

- 事業規模: 240億円
- 技術的、経済的に実行可能
- しかしながら、事業規模はネパールに対する日本の援助額として過大 → **事業中断**

2. 第2次フィージビリティ調査(アフターケア調査)

(1993年3月)

ネパール側の継続的な強い要望を受け、5年後の1993年に事業規模縮小を前提にしたアフターケア調査を実施することとなった。

第2次フィージビリティ調査（アフターケア調査）で 求められた道路計画方針

1. **国道としての機能**: カトマンズと東テライを結ぶ第2の幹線道路としての機能を有し、交通安全に可能な限り配慮した道路であること
2. **事業費の最小化**: 無償資金協力事業として取り組むことが可能な事業規模にまで縮小を図ること
3. **維持管理費の最小化**: ネパール国の財政事情を考慮し、完成後の道路維持管理費用の最小化を図ること
4. **環境影響への配慮**: ネパールの自然保護及び沿線住民への影響を最小限するよう配慮した事業計画であること
5. **技術移転**: 現地建設業者にシンズリ道路の建設を通して日本の山岳道路建設の技術移転を図る事

アフターケア調査で提案された事業縮小案

項目	フィージビリティ調査	第2次フィージビリティ調査 (アフターケア調査)
1. 道路整備方針	クラスI(国道)としての道路構造規格を採用。トンネル案は建設コスト、維持管理、整備不良車両による事故等を考慮して不採用。	国道としての機能確保を基本方針とするが、段階建設の導入、ヘビーメンテナンス(重度の補修)が必要となることを容認して、第1段階での特例値の道路構造規格の採用、および土砂災害等を被るリスクの高い施設を採用。
2. 道路構造規格		
道路クラス	クラスI(国道)	段階建設の第1段階では幅員、設計速度等がネパールの国道の道路構造規格を満たさないケースを容認
設計速度	30～50km/時	20～40km/時(特例15km/時)
道路幅員	2車線 6.5m(車道幅員5.5m)～7.5m (車道幅員6m)	第1工区は2車線7.5m(車道幅員6m)、第2工区-第4工区は1車線4.75m(車道幅員3.75m) 基本設計から建設段階で、セミレーラーが車道幅を使って通行できる拡幅を施す等により、ほぼ全区間にわたって5.5m(1.5車線)を確保。
舗装構造	アスファルトコンクリート舗装	砂利道 基本設計から建設段階で、環境配慮の観点から全区間に簡易舗装を採用。
3. 渡河構造物		
橋梁	85橋	14橋
コースウェイ (築堤道)	なし	37か所(その内13か所は段階建設の第2段階で橋梁を建設)
4. 擁壁等構造物	コンクリート構造物を主体として計画	ギャビオン(ジャカゴ)擁壁の積極的利用
5. 建設工期	8年	交通量の増に応じて1車線から2車線に拡幅する段階建設を提案。
6. 事業費	240億円	115億円

第2次フィージビリティ調査の結果、シンズリ道路建設を日本の無償資金協力で実施することが決定された。

アフターケア調査の道路整備方針により シンズリ道路の姿が決まった

1. 5車線、大型車と小型車のすれ違いは問題ないが、大型車同士だとどちらかが停車する必要がある。



アフターケア調査の道路整備方針により シンズリ道路の姿が決まった

地形と道路が調和した景観は設計速度を20km/hとした結果生まれた。

基本設計・詳細設計



ヘリコプターでの現地観察



テント生活をしながら各工区5～7日かけて
現地調査



第2工区基本設計現地調査メンバー
(1999年当時)



カトマズで設計作業

設計上の問題点

- 設計基礎データがほとんど無い、予算の制約から高価な橋梁・のり面対策・地すべり対策を考えられない・・・、ないない状態での路線確定・設計
- 最大65度に達する急斜面での谷側擁壁
- 自然のままに残された川の渡河構造物・護岸構造物
- 6月から9月の雨季に集中する強い雨への対応
- 環境配慮の具体化
 - 生活・農業用水路機能の確保
 - のり面緑化

経験豊富なエンジニアによる調査・設計・監理

- 現場が僻地で地形・地質が急峻・複雑なため、また、時間と予算がないため、国内で実施しているような詳細設計前の路線測量、原位置での地盤調査ができない(JICA道路案件でも特殊ケース)。
- 結果、すべて推定での土砂、軟岩、硬岩区分となり、試験結果に基づく諸定数がない。
- 豊富な設計・現場監理経験に基づく設計・監理となった。



歴代のチーム・リーダー

- 新開: 1986～1988(FS調査)
1992～1993(AC調査)
2013～2015(維持管理)
- 山下: 1992～2000(1, 2, 4工区)
- 片桐: 1999～2013(2, 3, 4工区)
- 藤澤: 2012～2015(3工区)

路線確定

シンズリ道路で最も人気のある観光スポットはなぜつくられたか？

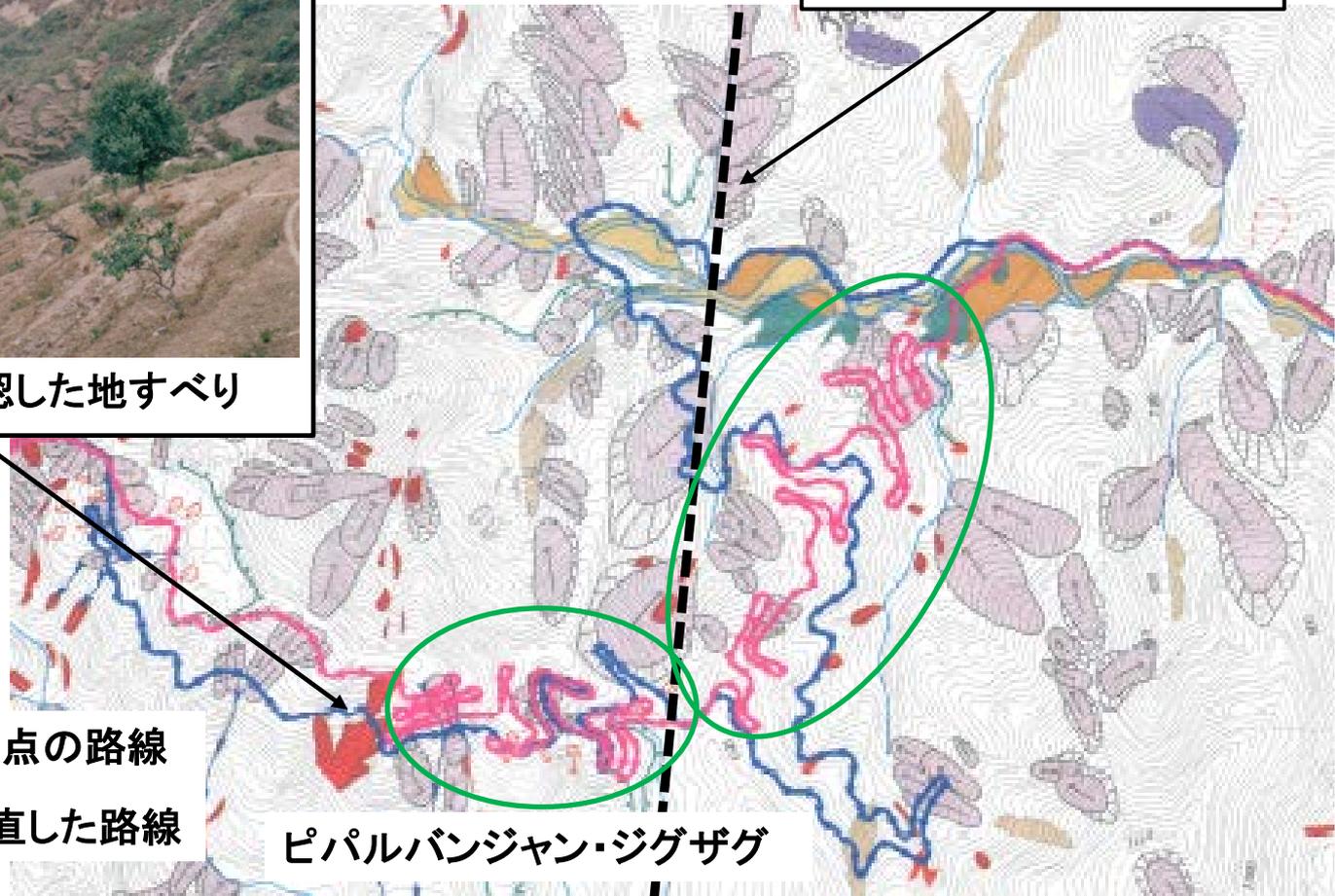
ピパルバンジャン・ジグザグ

路線確定



1993年豪雨の後に確認した地すべり

主境界断層(MBT)



— アフターケア調査時点の路線

— 基本設計調査で見直した路線

ピパルバンジャン・ジグザグ

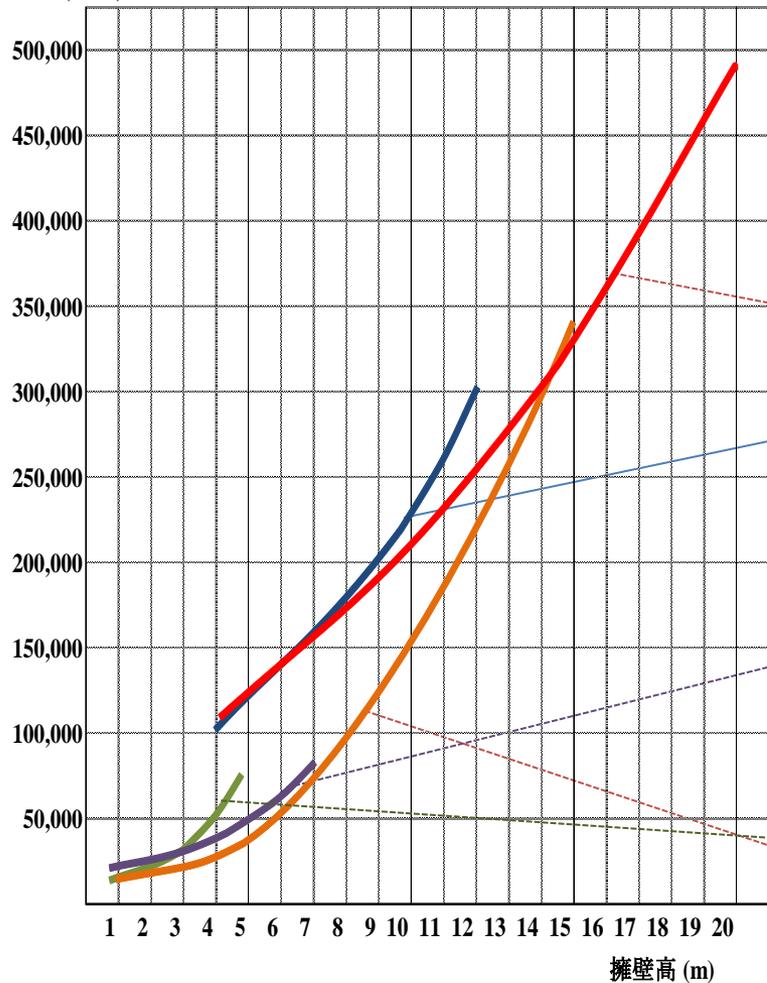
ハザード図の作成等、地形情報・現地踏査で得られた地表面情報を最大限に活用して路線を確定した結果。

谷側擁壁設計のポイント

- 急傾斜地における擁壁高さの抑制
 - 地形に調和させた道路線形
- 現地発生材を利用した経済的かつ維持管理性の高い構造形式
 - 練石積、蛇籠の活用
- 65度に達する急傾斜地に対応できる谷側擁壁
 - 山岳国ネパールでも例がない、前面1:0.1勾配で15mを越える高さの擁壁が必要とされ、
 - 前面1:0.1勾配のガビオン(蛇籠)擁壁・ジオテキスタイル補強土壁の採用

各種盛土擁壁の構造・経済性に基づいた適用実績

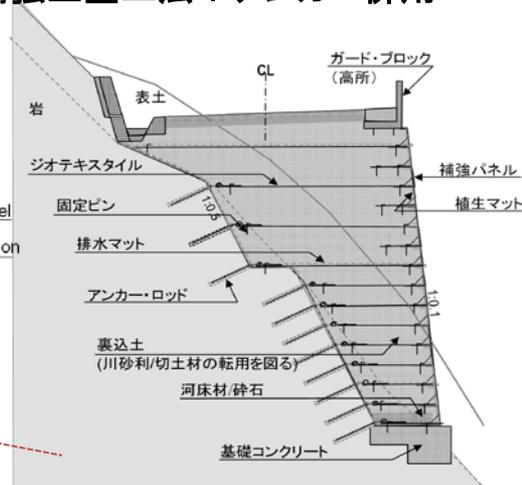
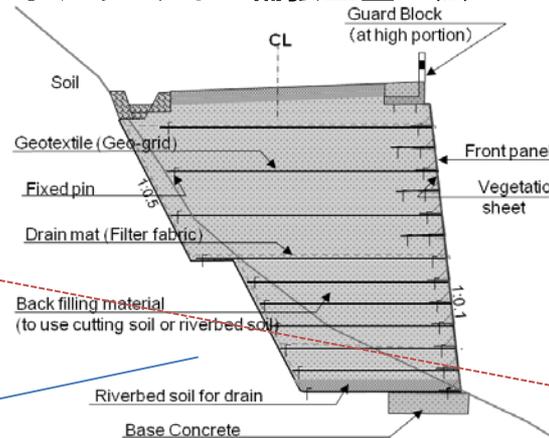
工事費 (円/m)



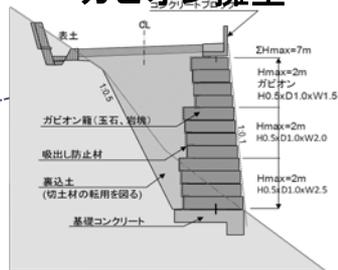
擁壁高と工事費の関係

ジオテキスタイル補強土壁工法+アンカー併用

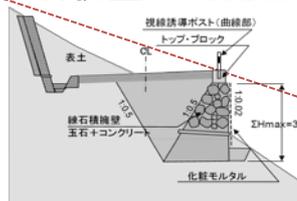
ジオテキスタイル補強土壁工法



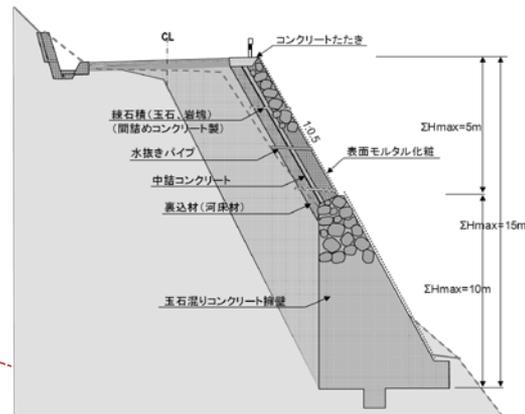
ガビオン擁壁



練石積重力式擁壁



練石もたれ擁壁 混合擁壁 (練石もたれ+コンクリート擁壁)



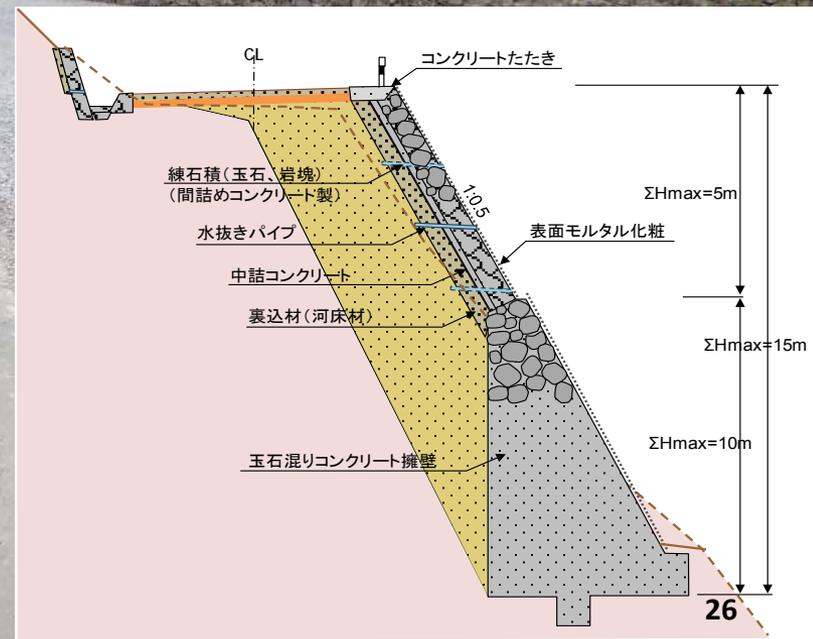
重力式練石積擁壁工(適用高~3m)

- 現地発生材を利用した経済的な谷側盛土部の低擁壁
- 間詰め材には、品質管理の難しいモルタルではなくプラント練りコンクリートを使用



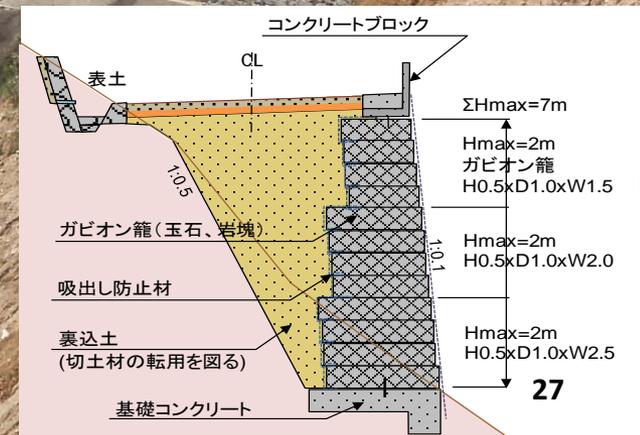
練石もたれ式/複合擁壁(適用高~15m)

- 第4工区の沿線は比較的緩やかな傾斜の斜面のため、谷側擁壁には、練石もたれ式から最大高さ15mの複合擁壁を採用



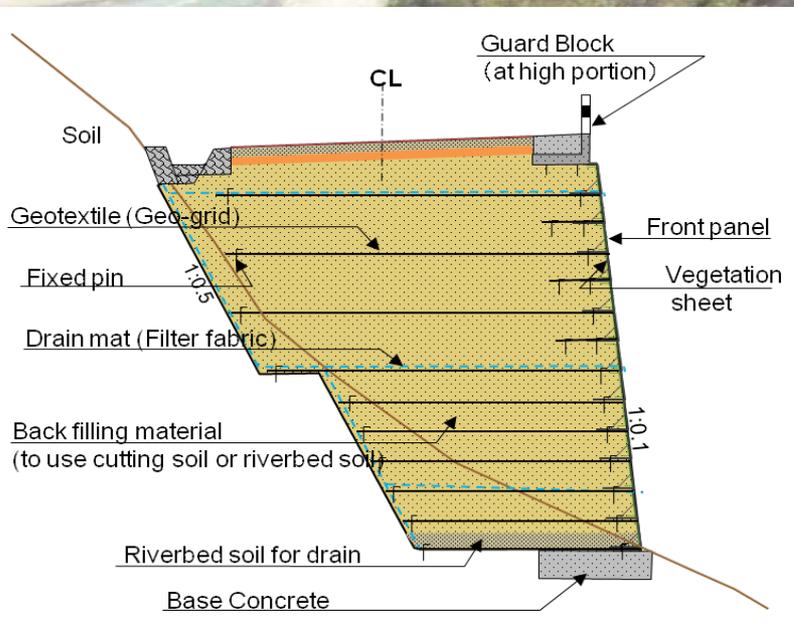
ギャビオン擁壁 (適用高3~7m)

- ギャビオン擁壁は谷側盛土部擁壁の核となる現地発生材を利用した構造物
- 前面勾配を1:0.1とし、低く(50cm)奥行きの高いかご枠を採用



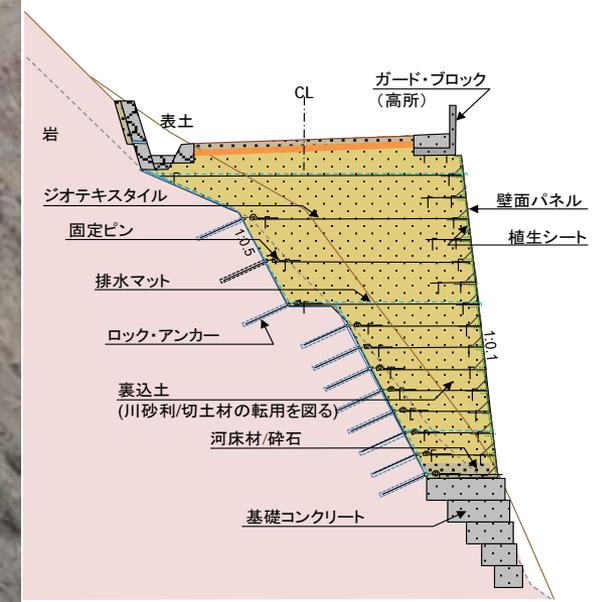
ジオテキスタイル補強土式擁壁（～12m程度）

- 急傾斜地の高い谷側盛土部には本邦技術の補強土式擁壁を導入
- 日本でも前例の少ない壁前面勾配1:0.1の鋼製パネル（人為的な山火事対策）、植生シートにより緑化



ロックアンカー併用補強土式擁壁（～18m程度）

- さらに厳しい急傾斜地ではジオテキスタイルの敷設幅が確保できない。
⇒ ロックアンカーとジオテキスタイルの併用工法を適用



切土のり面保護

コンクリートもたれ擁壁
(風化・亀裂・緩んだ岩盤に対応)

腰石積擁壁
(のり尻侵食に対策)

ギャビオンもたれ擁壁
(湧水対策)

シンズリ道路の道路構造物形式選定基準

のり面区分	地質区分	のり面保護／擁壁工	のり面勾配 /前面勾配	のり面高さ
切土のり面	硬岩	無処理	1:0.5	7 m以下
		無処理	1:0.3	5 m以下
		練石もたれ擁壁工	1:0.5	7 m以下
		コンクリート吹付工+ 鉄筋補強土工	1:0.3	7 m以下
	軟岩	植生工	1:0.8	7 m以下
		練石もたれ擁壁工	1:0.5	7 m以下
		現場打ち法枠工	1:0.8	7 m以下
	土砂 (礫混り)	植生工	1:1.0	7 m以下
		練石もたれ擁壁工	1:0.5	7 m以下
		現場打ち法枠工	1:1.0	7 m以下
		ガビオン工	1:0.5	7 m以下
	土砂 (赤土)	植生工	1:1.5	7 m以下
練石もたれ擁壁工		1:0.5	7 m以下	
現場打ち法枠工 (緑化、練石詰め)		1:1.2	7 m以下	
盛土のり面 (谷側擁壁)	礫混り 砂質土	植生工	1:1.5	5 m以下
		重力式擁壁工 (練石積み)	1:1.8	5~10 m
		練石もたれ擁壁工	1:0.02	3 m以下
		混合擁壁工 (練石もたれ+コンクリート擁壁)	1:0.5	5 m以下
		混合擁壁工 (練石もたれ+コンクリート擁壁)	1:0.5	15 m以下
		ガビオン擁壁工	1:0.1~0.5	7 m以下
		ジオテキスタイル補強土壁工 (アンカー無し)	1:0.1	12 m程度
ジオテキスタイル補強土壁工 (アンカー併用)	1:0.1	20 m程度		

ネパールの道路設計の標準になることを期待。

自然河川を相手にした橋梁設計

- 河川縦断・横断測量、観測ステーションの流量データ解析から計画洪水位を算定、
- 流量データの無い河川では降雨強度、合理式により計画洪水位を算定



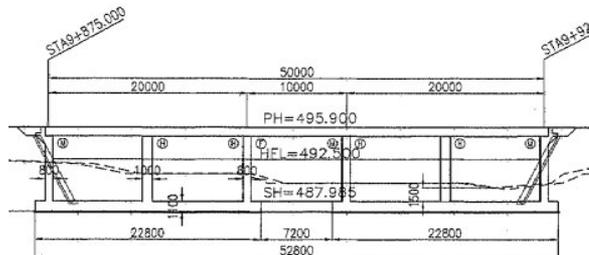
丘陵地や山岳部の深い溪谷地形では、方杖ラーメン、上路トラス、I桁などの鋼橋梁を採用



テライ平原ではPC橋(写真左)、急こう配で土石流の流れる河川では橋梁に替えて、連続ボックス型式の構造(コーズウェイ)を採用

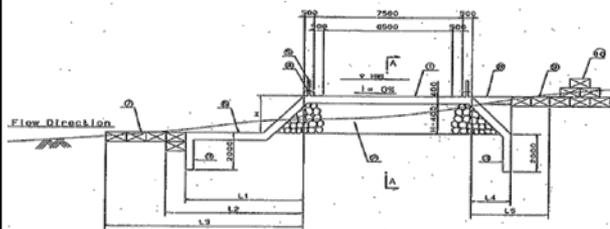
コーズウェイ(土手道とか築堤路..)の採用

連続
ボックス
型



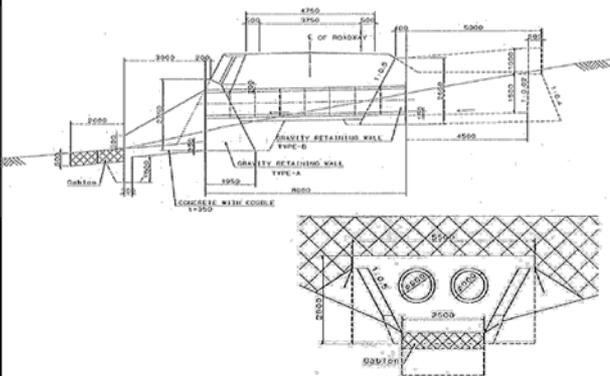
流量が多く、かつ土石流の流れる川では連続ボックス型を適用

越流型
(天井川
状の支流等へ
採用)



緩勾配、堆積土砂撤去が容易な土石流が主となる天井川状の支流では越流型を採用

越流型
管渠併
用型

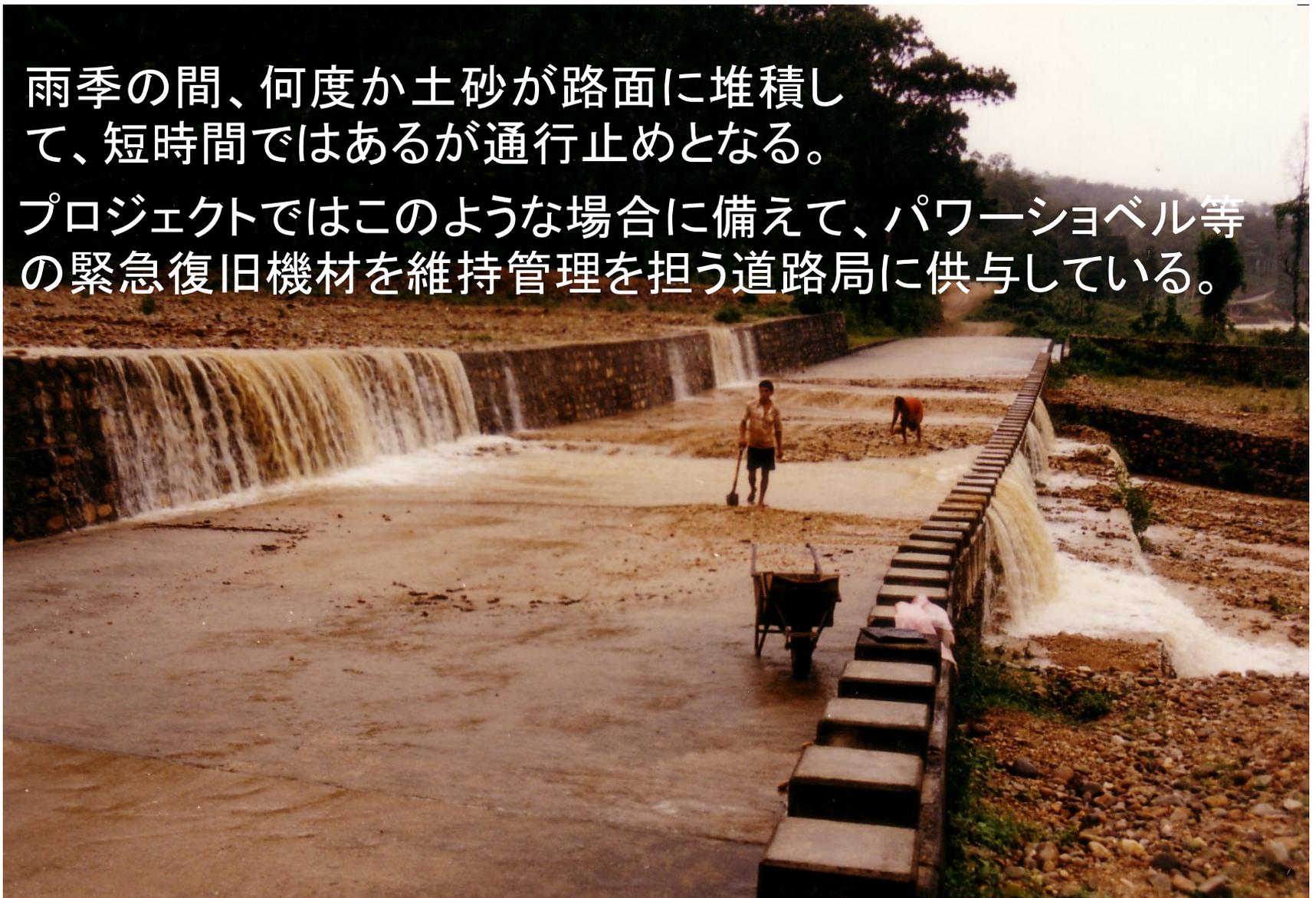


乾季も常時流れのある河道部には管渠を併用

コースズウェイの問題点と対応

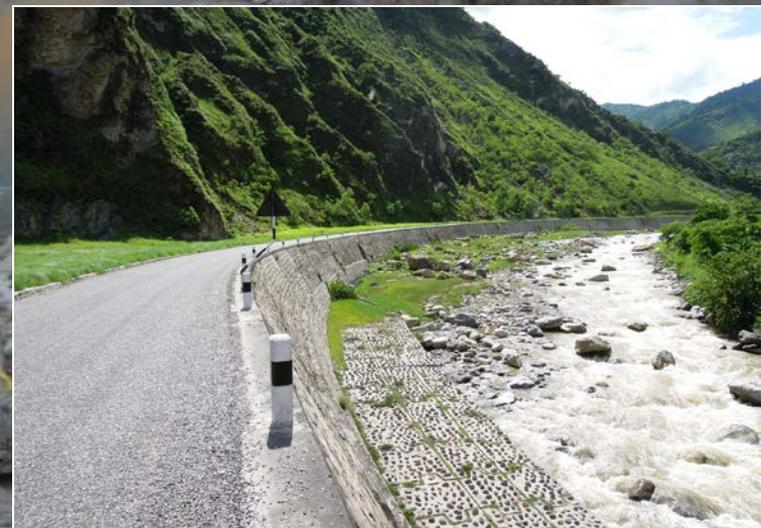
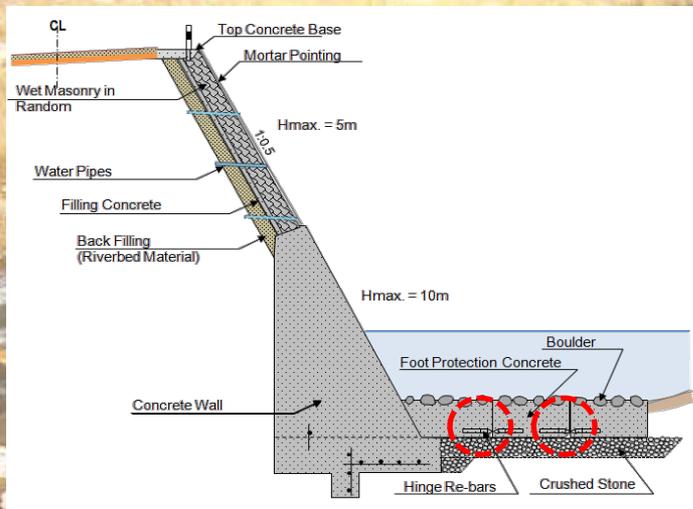
雨季の間、何度か土砂が路面に堆積して、短時間ではあるが通行止めとなる。

プロジェクトではこのような場合に備えて、パワーショベル等の緊急復旧機材を維持管理を担う道路局に供与している。



自然河川を相手にした護岸工・根固め工

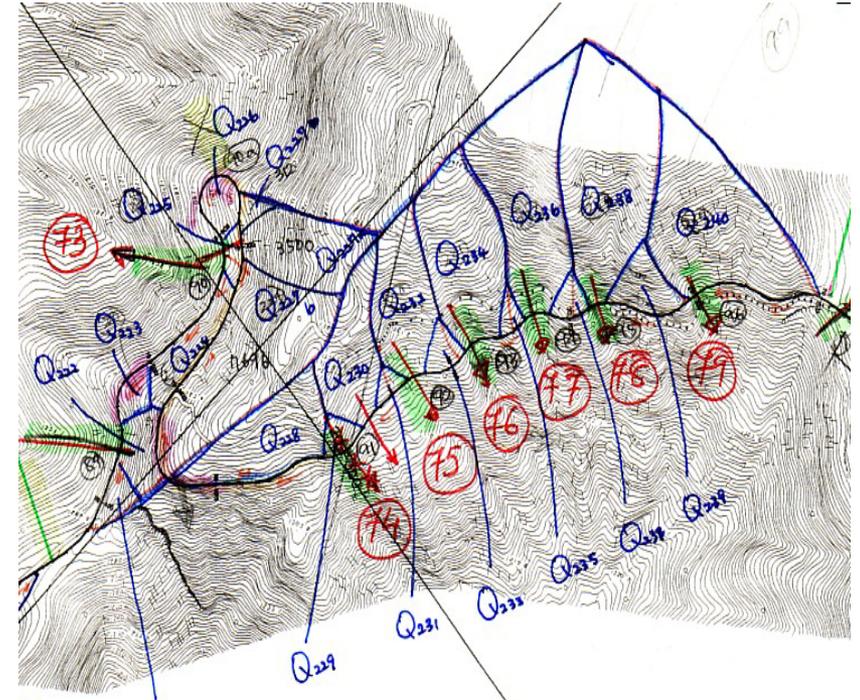
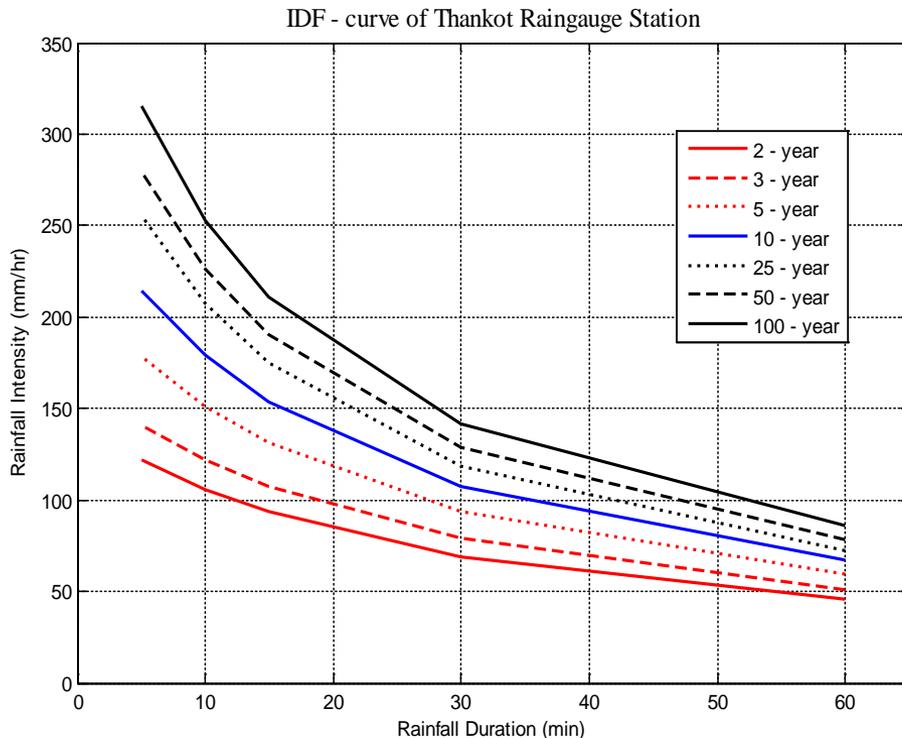
- 設計作業は50年確率の計画洪水位の算定から始まる
- 床固め工等がまったく無いいため河床の変動は？
- 洪水時の流速等から、14トンの根固コンクリート・ブロック間をヒンジ鉄筋でつなぎ、洗掘に追従できる構造を水衝部に採用



雨季の豪雨への対応：降雨強度の算定から

- 1993年の記録的豪雨の観測データを取り込み、
- ネパールで唯一の短時間降雨量観測データ(カトマンズ国際空港)を探し出して降雨強度 - 継続時間 - 頻度曲線を算定し、
- 詳細な流出量計算。

降雨強度 - 継続時間 - 頻度曲線の例



流出量計算用流域図

環境配慮(1): 用水路と路面排水施設を分離

- 川沿いの古い歴史のある用水路の機能補償



環境配慮(2) : のり面緑化



- 当時ネパールでは、イギリス、スイスの指導で人力集約型で、現地材料を使った低コストの斜面、のり面緑化技術が導入されていた。
- このネパールの植生工法を大幅に採用して全面緑化を達成
- 特に効果のあった植生工は切芝マットをのり面に50%の密度で張り付ける張芝工



シンズリ道路全線開通を迎えて

「Most Beautiful Road in Nepal」 YouTube 6000件

日本の諸基準・ガイドラインに準拠し、通常の設計手法で、一般的な道路施設を、現地に合うように工夫しながら、日本ではあたりまえのきめ細かさで設計した結果。

2015・7・15 全線開通式典



調査から完成までかかわる機会をいただいたこと、その間に指導・支援していただいた方々、一緒に仕事をしたネパールと日本の仲間に感謝。



42年間の技術者人生の半分。たいへんな時期もあったが、それも含め得難い経験。

1995・12・23 第4工区基本設計現地調査

ナマステ
ご静聴ありがとうございました

