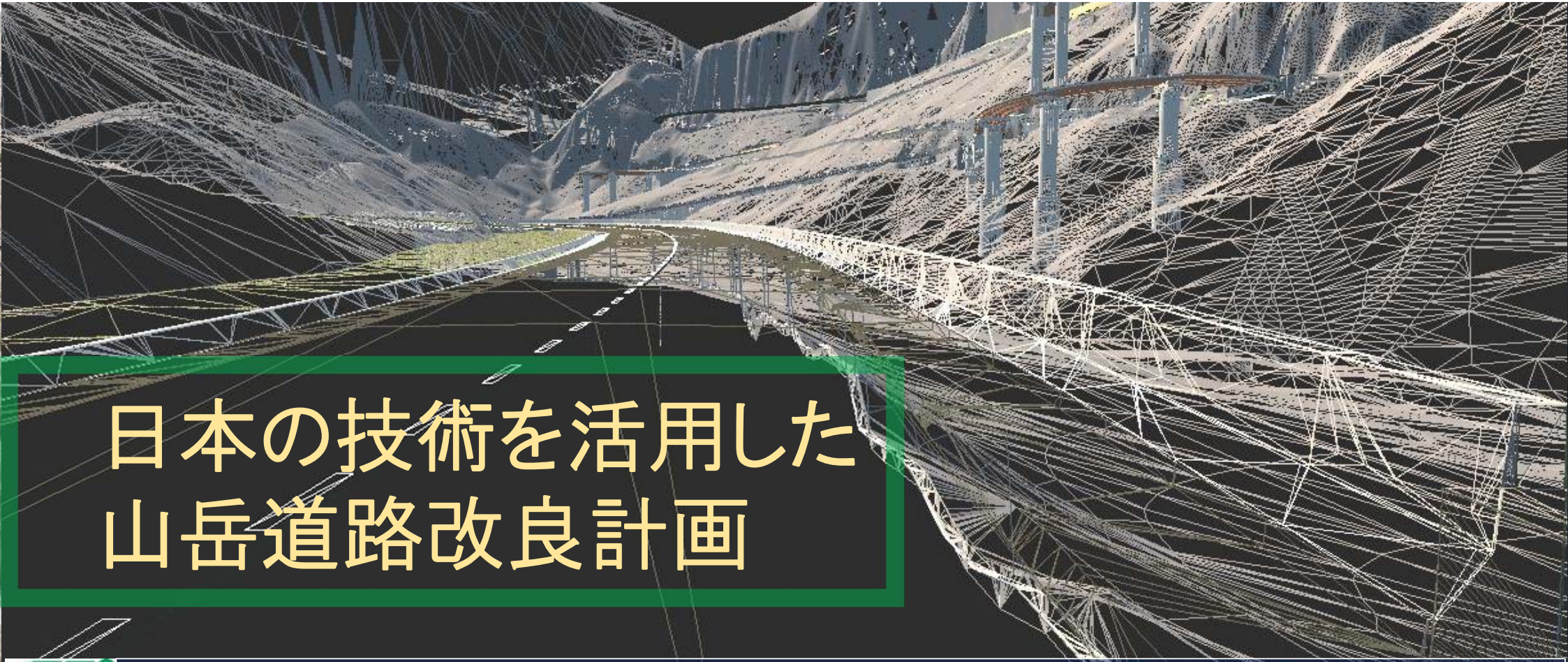


日本の技術を活用した山岳道路改良計画

株式会社建設技研インターナショナル　道路・交通部　岡﨑亮男

本日の説明内容

1. 事業概要
2. プロジェクトサイトの自然条件
3. 既存道路の状況
4. 道路改良計画
5. 急斜面上の道路構築
6. 鋼製橋梁を活用した道路線形改良
7. 道路斜面の災害対策
8. まとめ

1. 事業概要

事業の概要

(1) これまでの経緯

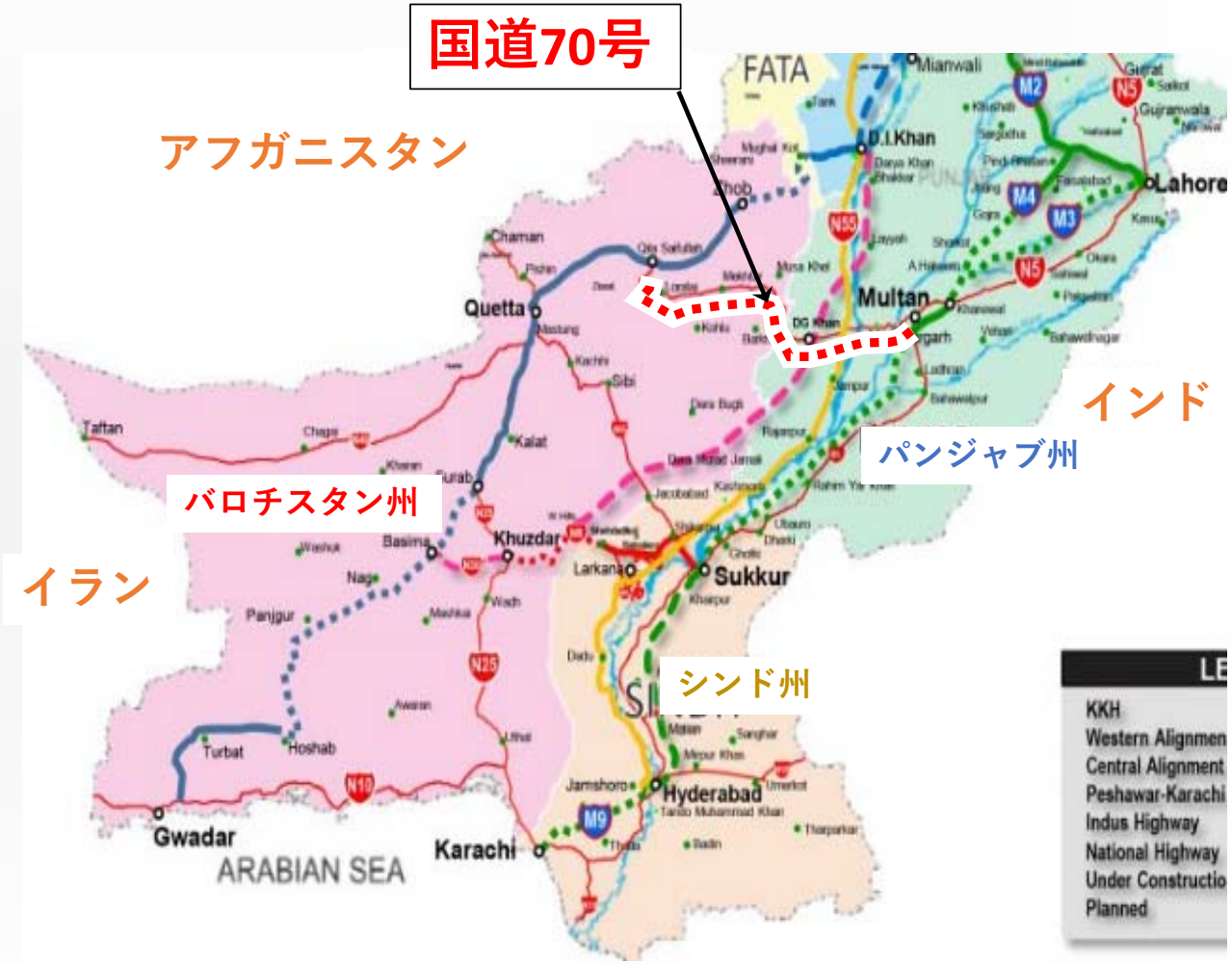
2005年　日本貿易振興機構（JETRO）F/Sの実施
2008年　円借款契約（本邦技術活用条件：STEP）調印
2009年　コンサルタント入札
2010年　詳細設計開始
2012年　施工業者入札
2016年　工事着工
2019年　道路供用開始

(2) 事業のステイクホルダー

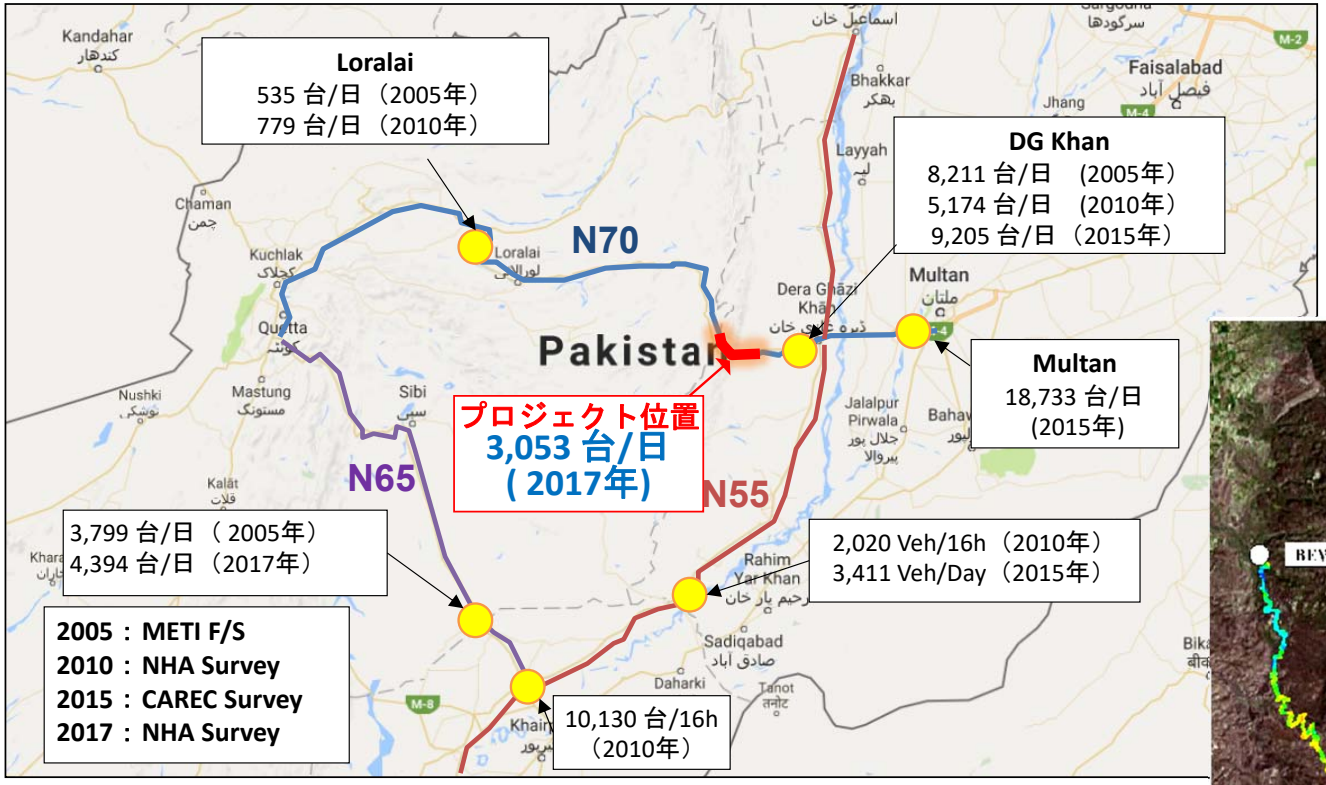
事業実施機関　：パキスタン国　国道公団（NHA）
事業実施管理　：独立行政法人　国際協力機構（JICA）
コンサルタント　：株式会社建設技研ｲﾝﾀｰﾅｼｮﾅﾙ・株式会社ｵﾘｴﾝﾀﾙｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ　JV
施工業者　：大成建設株式会社

国道70号の特徴

- 国際幹線道路：インドとアフガニスタン・イランを連結する国際ルート
- 地域間連結幹線国道：パンジャブ州中核都市ムルタンとバロチスタン州都クエッタを最短で連結（全長420km）
- 基幹物流道路：バロチスタン州の農産物、石炭などをパンジャブ州の都市圏に輸送する重要な物流ルート

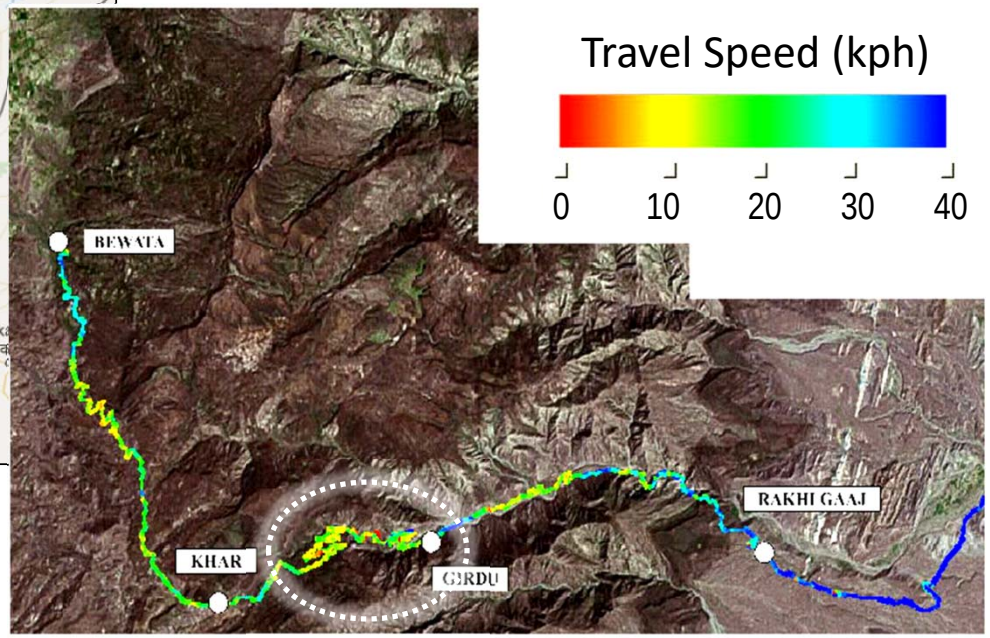


既存交通量



交通の特性

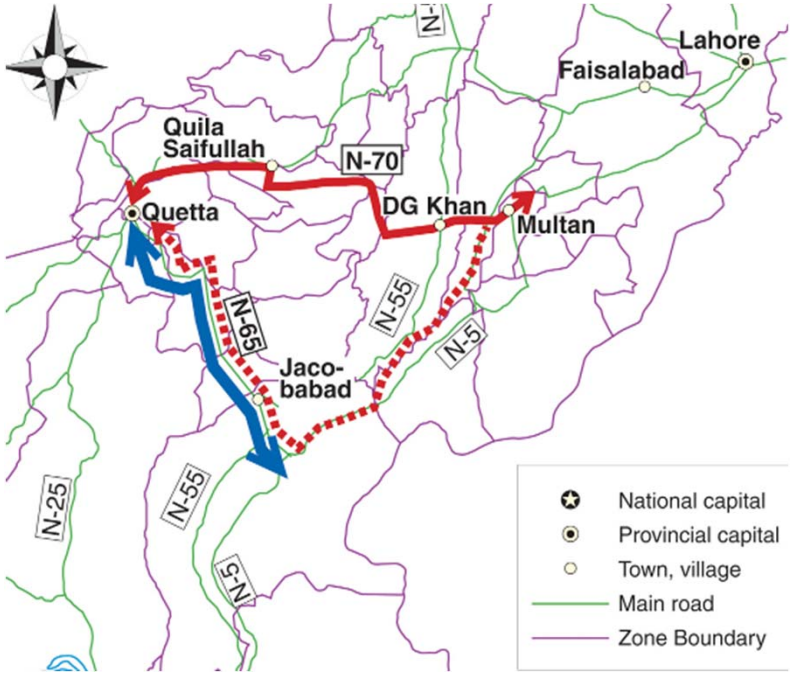
- 農作物の輸送が多いため、トラックの交通量は季節変動が激しい
- 夏季には、観光目的（避暑地）の旅行者が激増する



道路の平均旅行速度は10km/h程度。

交通量予測

- 路側インタビュー調査の結果、N70開通後、現在N65号を通過している交通量の約28%がN70に迂回する。
- 年率、約6.4%で交通量が増加する。



過去の調査交通量

N70	2005	2015	2017	伸び率
	1395	1,464	3,053	6.4 %
N65	2005	2015	2017	伸び率
	1,510		2,980	6.5 %

プロジェクト区間の予測交通量
(Rakhi Gajj-Bewata Section)

Unit: Vehicle/Day

	Without Project	With Project
2017	2,302	2,302
2019	2,442	2,775
2021	2,591	3,296
2024	2,749	3,497
2030	3,381	4,301

自動二輪の台数は除く

プロジェクトの効果

経済評価指標	NPV (Million PKR)	44,506
	B/C	3.03
	EIRR	29.3%

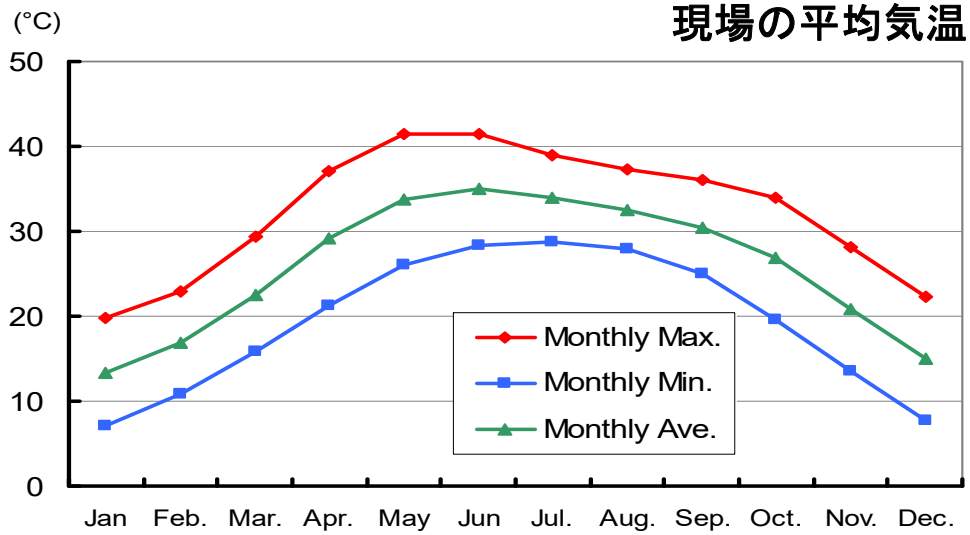
	事業効果
直接効果	1) 東西を結ぶ幹線道路の輸送距離が短縮（200km）する。
	2) 道路災害、交通事故が減少し、道路の安全性が高まる。
	3) 40ftコンテナ輸送トレーラーの通行が可能になる。
間接効果	1) バロチスタン州とパンジャブ州の間で、農産物、石炭の物流コストが削減
	2) 開発が遅れたバロチスタン州や対象道路周辺への経済効果
	3) 沿線の社会経済活動、特に医療、学校へのアクセス(BHN)が改善

2. プロジェクトサイトの自然条件

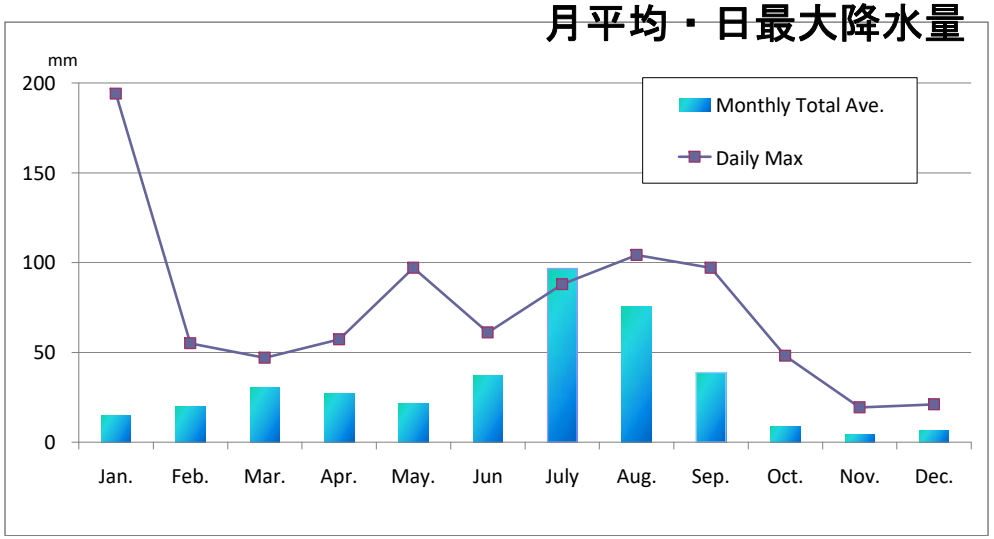
気象条件

- 気温は、最高で40度近くにまでに達することもあり、冬季との寒暖の差が激しい。
- 一般的に乾燥しており、降雨量は150㎜/年程度。モンスーン期（7月～8月）に集中。
- 降雨強度（1時間あたりの降雨量）が極めて高く、瞬間的な豪雨で土砂災害が発生しやす。

現場の平均気温

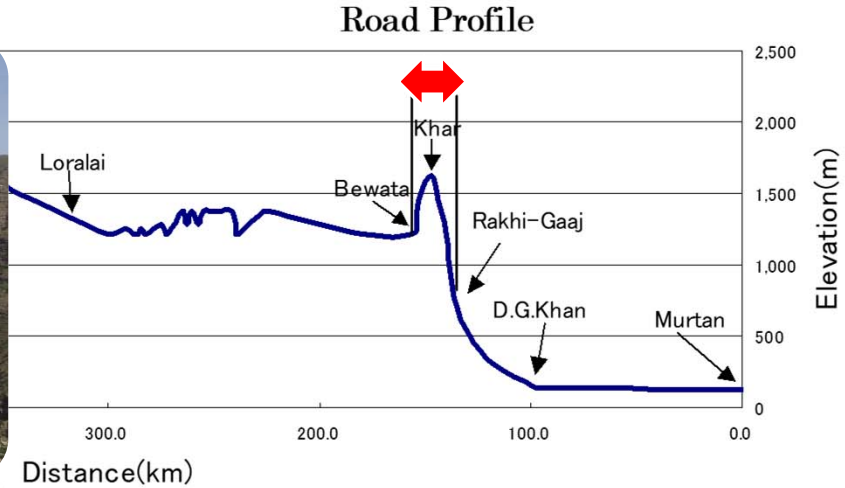


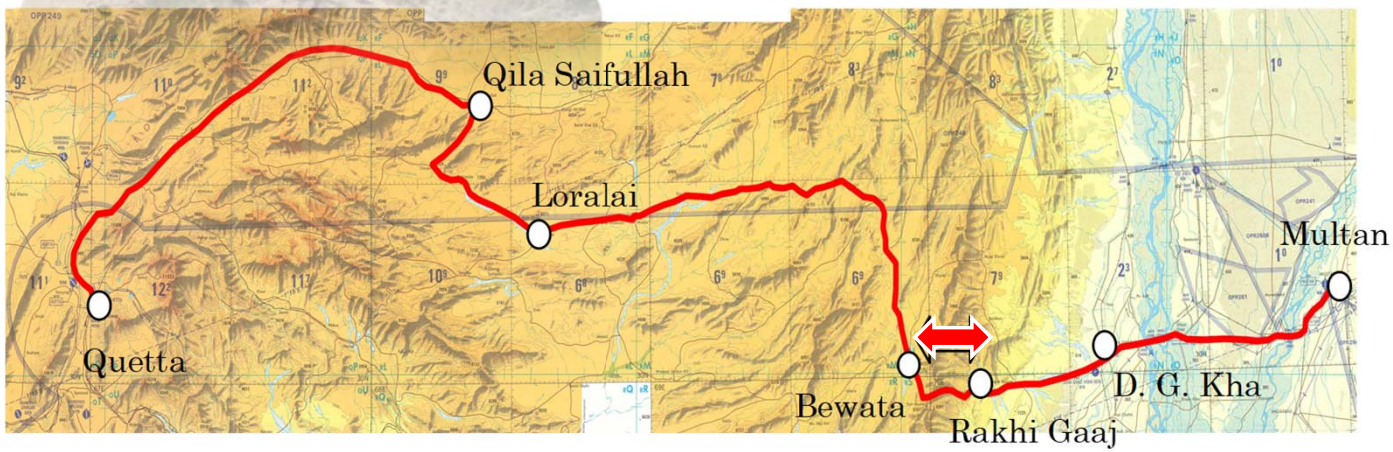
月平均・日最大降水量



地形概要

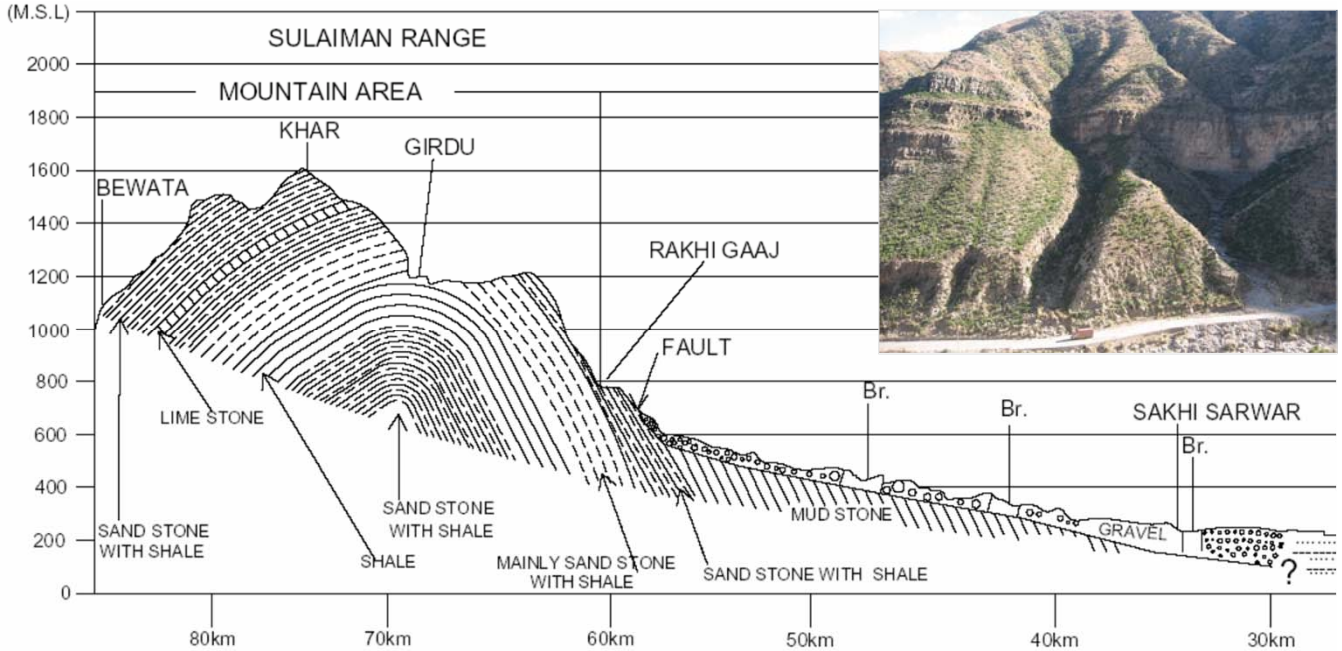
- 標高差500m（EL.1000m～EL.1500m）を通過。
- 急峻な山岳地形のため、通常の切土、盛り土などが困難。
- 道路全体が、玉石交じりの「崖錐層」の上に形成されている。
- 道路周辺には、降雨で浸食された渓谷が形成され、降雨時に土石流が発生。

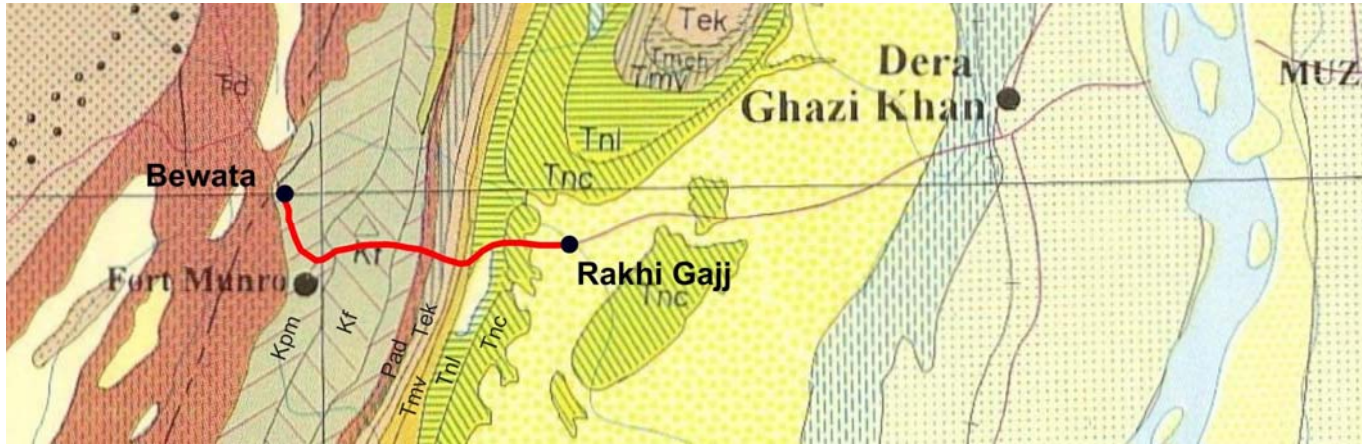




地質概要

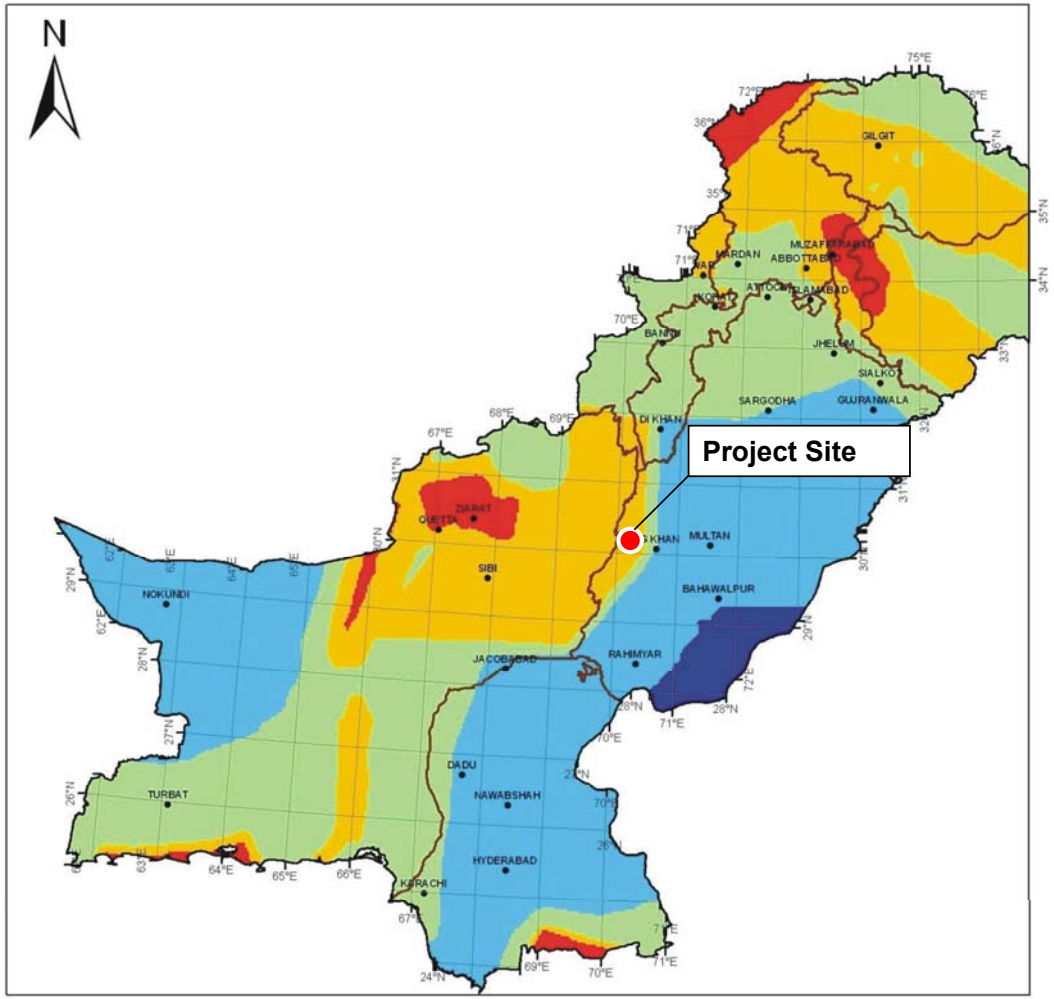
- プロジェクトサイトの道路沿線は、第三紀の堆積岩からなる。
- 砂岩、頁岩（けつがん）、砂岩頁岩互層、石灰岩の薄層などから成り、これらは「硬岩」に属する。
- 特に頁岩部の風化、浸食が激しく、ほとんどの区間で崖錐地形を形成。





地震の影響

- パキスタンは、活断層の影響による**地震多発国**
- 2005年にパキスタン北部で発生した**マグニチュード7.6**の大地震では、86,000人の犠牲者
- 上記の大地震後に作成された地震時の地表面加速度(PGA)マップによると、プロジェクトサイト（Zone-3）の最大地表面加速度は、**0.24gal～0.32gal**と推定



3. 道路の状況

プロジェクト区間の様子

道路幾何構造の課題

防災上の課題

- R<10mの九十九折の急こう配道路
- オーバーハング地形による建築限界の制約
- 崖錐層からの落石、斜面崩壊
- 洪水による道路遮断

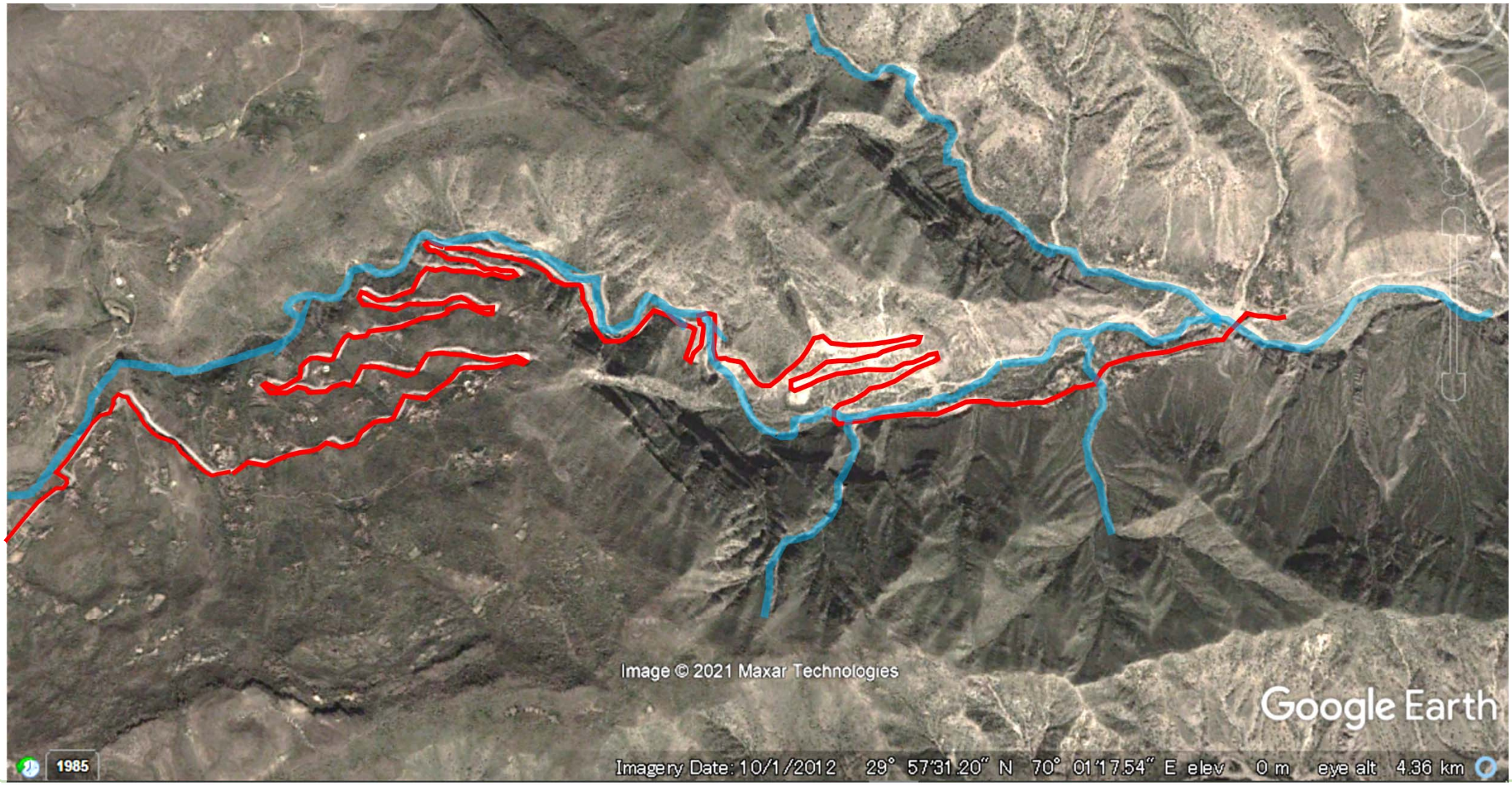


Image © 2021 Maxar Technologies
Google Earth
1985
Imagery Date: 10/1/2012 29° 57'31.20" N 70° 01'17.54" E elev 0 m eye alt 4.36 km

一旦雨が降ると・・・

通行止め、道路復旧などの維持管理に膨大な時間とコストが必要・・・

道路の幅員不足により離合ができない区間も・・

オーバーハング地形で幅員が狭い。また、過積載トラックが道幅を占有。

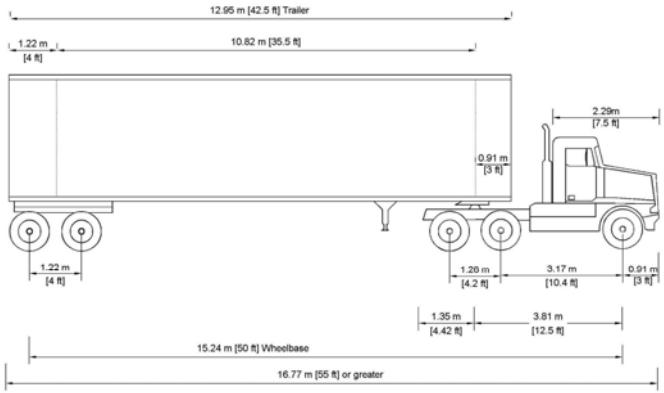
年に1度、遊牧民の大移動により、羊とヤギの大群で道路が占有される。

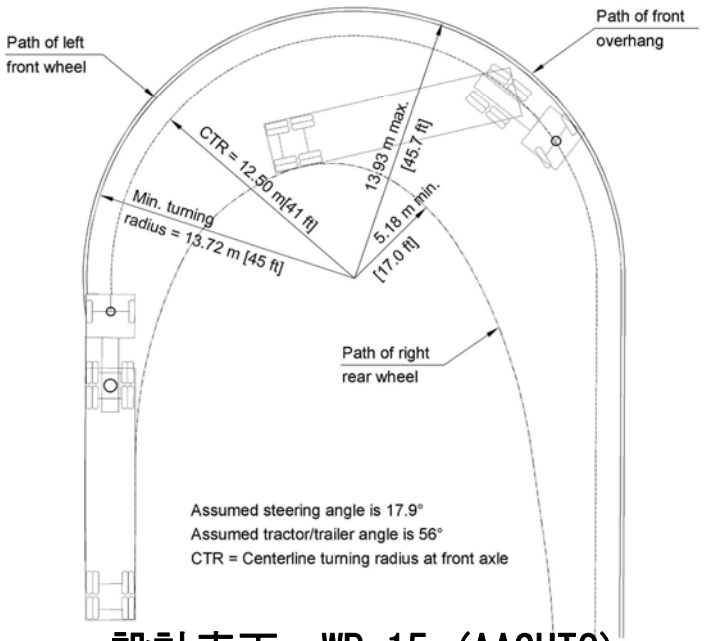
4. 道路改良計画

道路の設計条件

パキスタン国独自のスタンダードが無いため、各国の基準を比較して設定

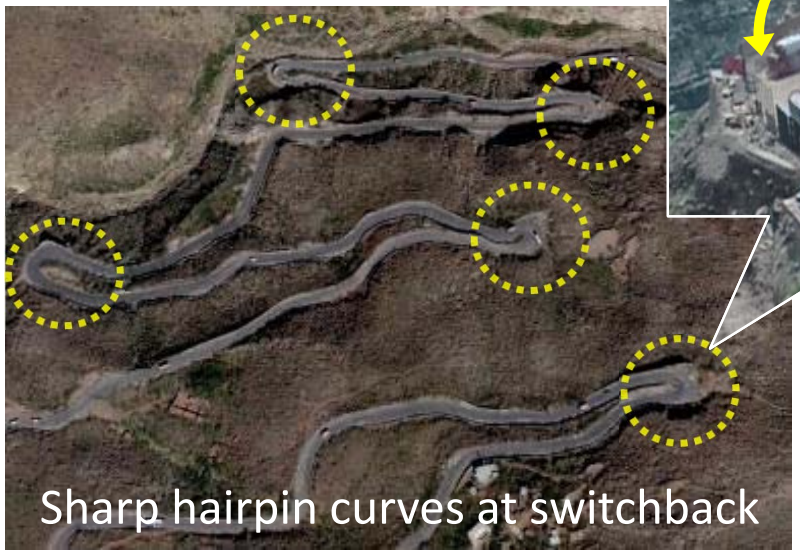
Items			AASHTO	AH	JS	Design
Design speed (km/h)			30	30	30	30
Minimum Radius (m)			21	30	30	30
Non-superelevated Rad(m)			421		500	500
Maximum Grades (%)			11	7	8	6
Vertical Curve (m)	Crest	Radius	200		250	400
		Length			25	25
	Sag	Radius	600		250	900
		Length			25	25
Max. superelevation (%)			8	10	6	6
Max. composed grades (%)					8	8
Stopping site distance (m)			35		30	35





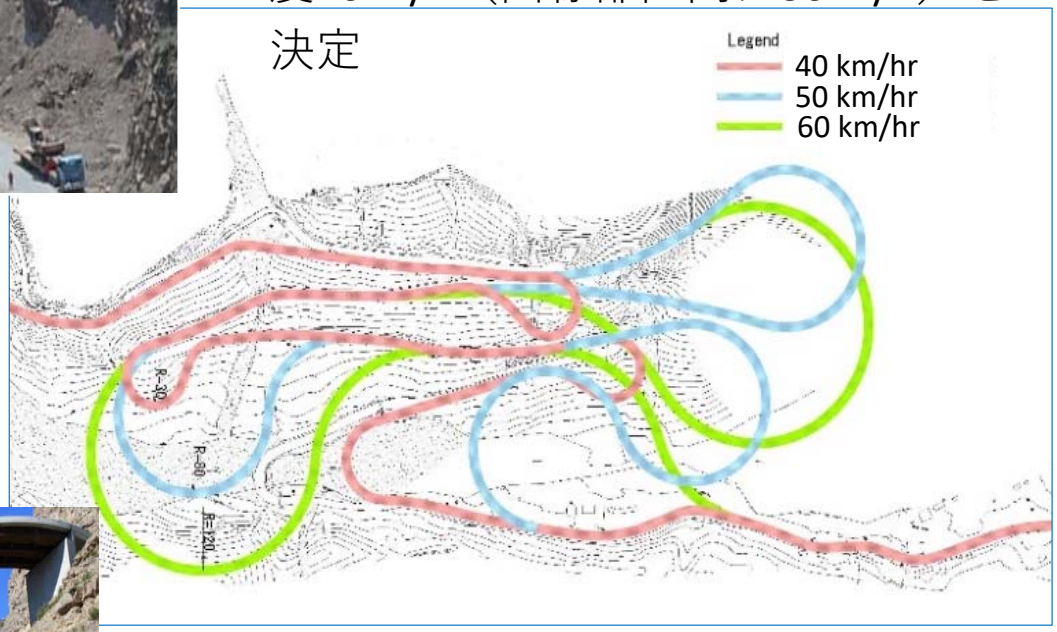
設計車両：WB-15（AASHTO）

道路線形の検討



九十九折部は、大型車両が通行可能な十分な曲線半径と幅員が必要。

- 九十九折部の線形改良は、設計速度による比較を行い、最終的に設計速度40km/h（曲線部区間は30km/h）を決定



- 最小曲線半径は30mを採用し、曲線部の道路拡幅最大1mを確保。

改良前と改良後の比較

5. 急斜面上の道路構築

急傾斜地の道路構築

- 道路全体が崖錐地形上に構築されるため、以下の課題を克服する必要があった。

課題①：現地では石積み工法が主流であるが、耐震性に課題

課題②：不安定な斜面上に高盛土が必要な場合は？

課題③：地形が急峻過ぎて施工ができない場合は？

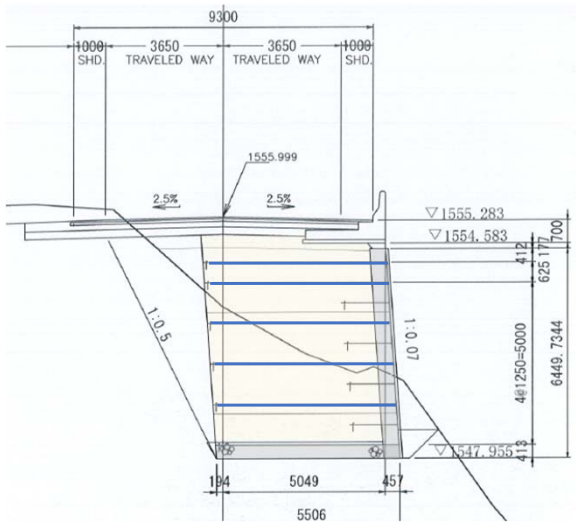
補強土壁工法 (H>3m)

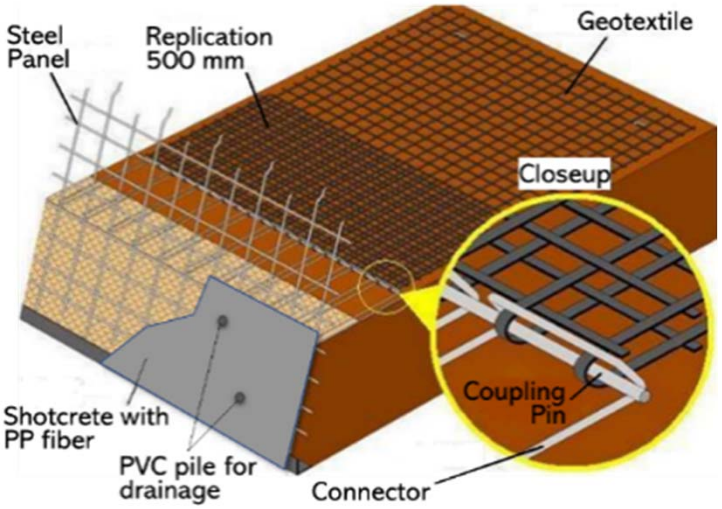
軽量盛り土工法（FCB工法）

鋼製ラーメン橋

補強土壁工法

- 耐震性が高く、日本でも多くの実績。
- 急傾斜地での人力作業性を考慮し、ジオテキスタイル補強土壁を採用。
- 約１.2m間隔でジオテキスタイルを敷き詰め、地盤のせん断耐力を強化
- 外壁には吹付けコンクリートで浸食を防止
- 高さが3m<H<15mの盛り土部に適用。





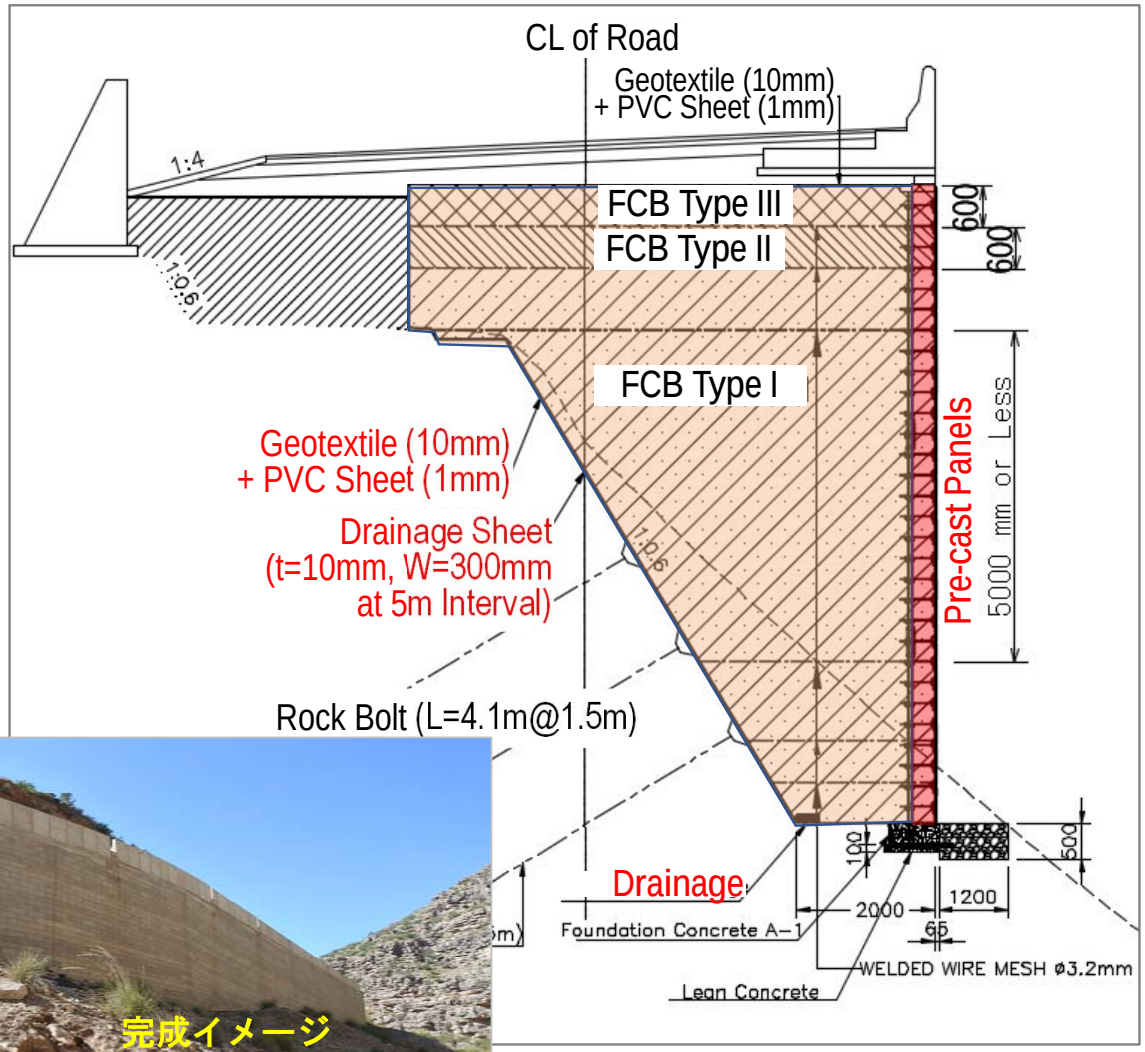
MSE Structure

FCB（気泡混合軽量土）工法 (Foamed Cement Banking)

設計のポイント：

①橋台背面等、不安定な地盤上の高盛土に適用
②円弧滑りで地盤の安定を確認
③水平土圧は非作用(ロックボルトの併用)
④地下水対策（防水）が重要

タイプ	強度 (f'c) kN/m²	γ kN/m³	W/C	水 (ℓ)	気泡 (ℓ)
FCB Type-I	300	5.1	0.70	210	695
FCB Type-II	500	5.5	0.64	224	665
FCB Type-III	1000	6.2	0.58	232	641



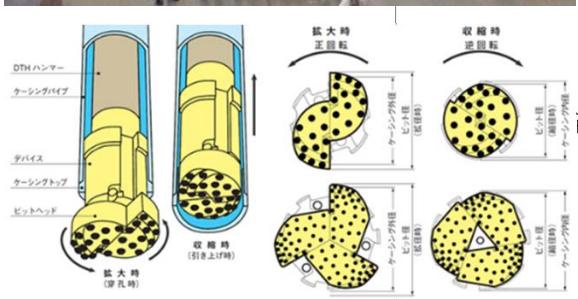
外壁（化粧型枠）と防水シート

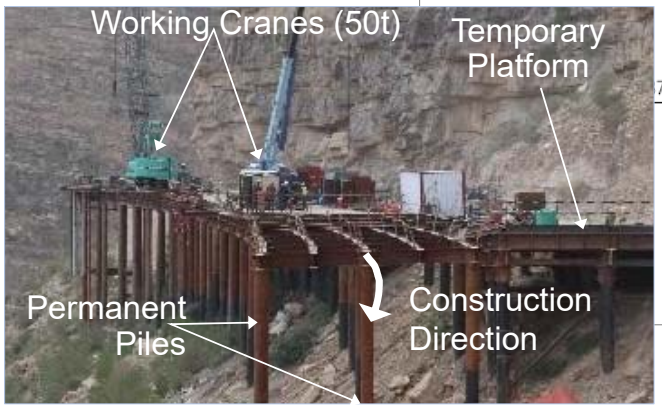
気泡混合セメントの打設

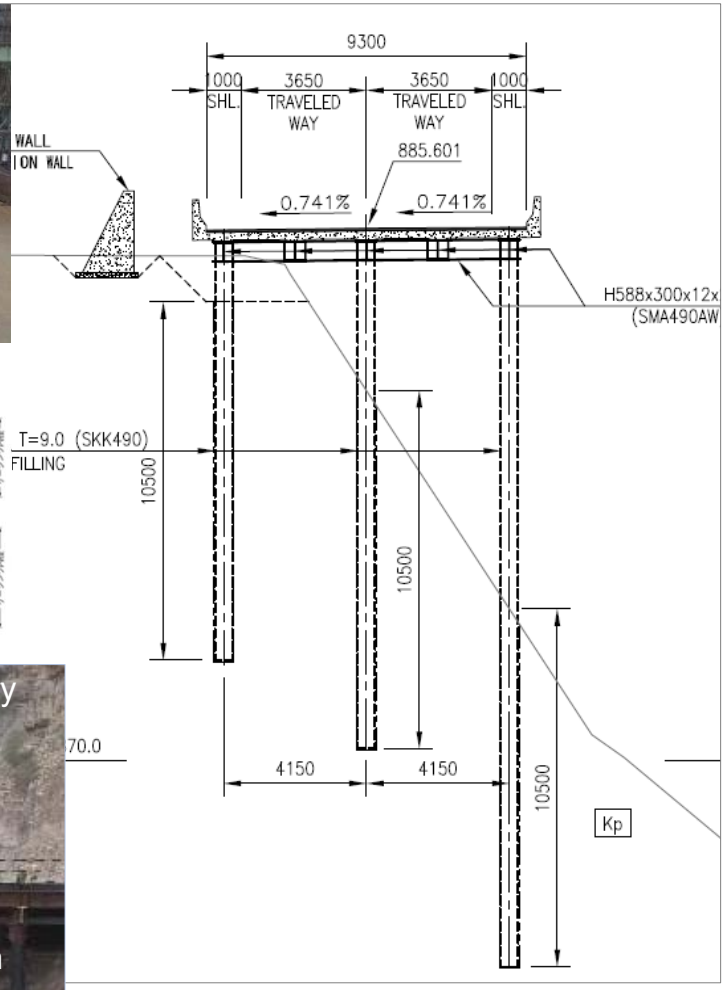
完成イメージ

鋼製ラーメン橋

- 盛り土構築が困難な超急斜面に適用。
- 工場製作の鋼製フレーム（上部工）と、鋼管杭（基礎）を現場で接合
- 鋼管杭は、ダウンザホールハンマー工法（超合金の先端ビットを有する回転式パーカッションハンマー）によりプレボーリング工法で施工
- 鋼製フレームの完成後、コンクリート床版を施工し完成





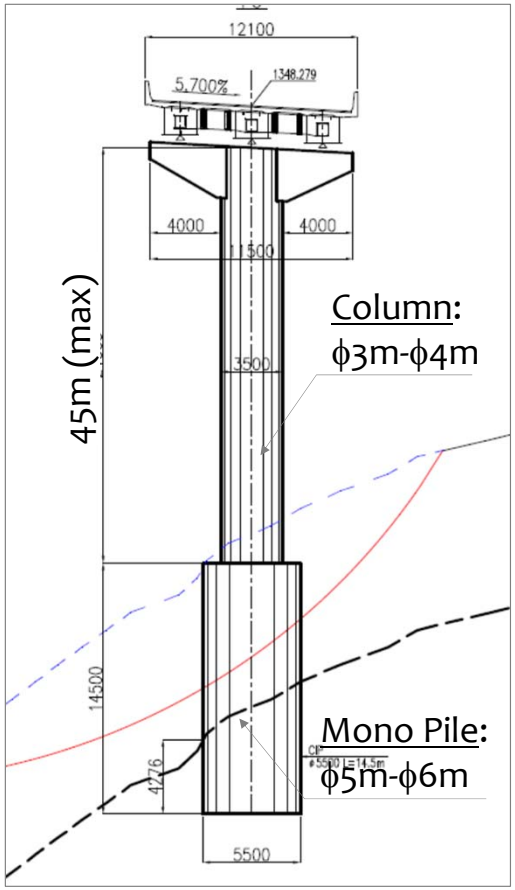


標準横断図

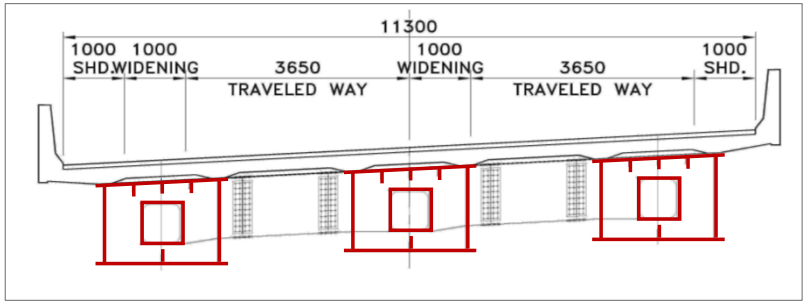
6. 鋼製橋梁を活用した道路線形改良

橋梁計画

- 4径間連続(耐候性)鋼箱桁橋（R=30m)
- コンクリート製橋脚（Hmax＝45m）
- ラーメン式橋台で橋長を最短化
- 深礎杭と竹割工法による斜面上の基礎



MONO PILE PIER



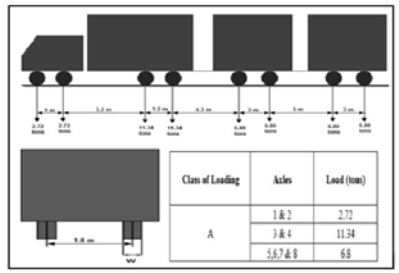
Typical Steel Box Section

深礎杭の施工

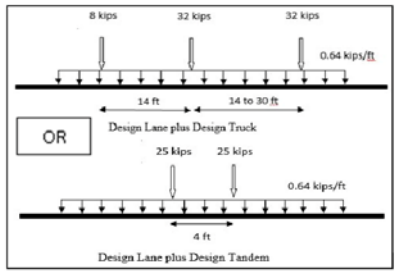
竹割工法

設計条件

- 活荷重: Pakistan's Class A, 55 tons (WHPC) and Class AA, 70 tons (WHPC) & AASHTO HL-93

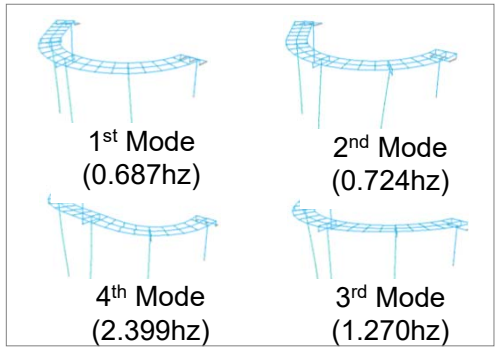


(a) Train Loading Class A (PHB CODE, 1967) – 8 Axle

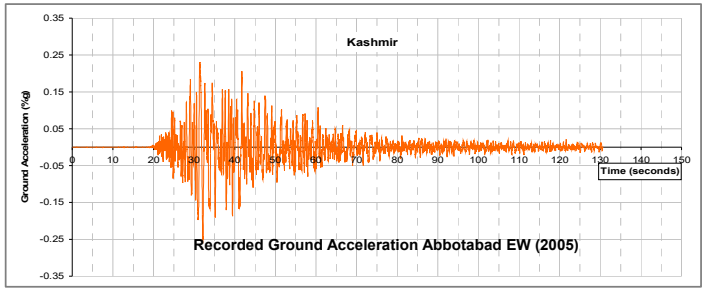


(b) AASHTO Design Vehicle – HL-93

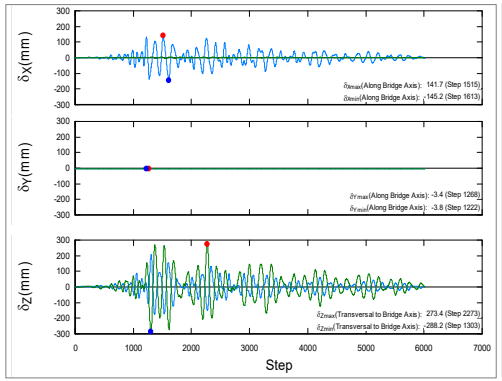
- 温度荷重: : 8.5ºC- 43.5ºC
- 地震荷重： :Seismic Zone 3
- 風荷重： : 144km/hr.
- 鋼材(SMA400/490) :fy = 235/325 MPa
- コンクリート強度 :f'c = 28 MPa
- 鉄筋(ASTM A615) :fy = 414 MPa



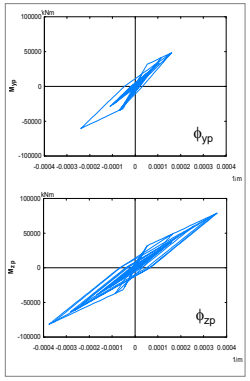
Vibration Modal Shapes



Input Ground Acceleration



(a) Displacement Response



(b) M-ϕ Response

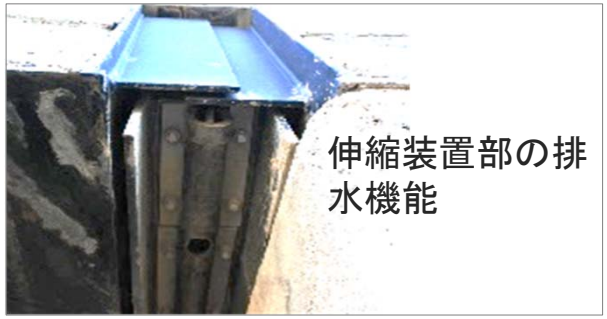
Typical Non-linear Response History

橋脚の耐震設計

維持管理への配慮

- 耐候性鋼材の適用により、鋼材の再塗装などに係る維持管理コストを軽減
- 湿度の影響を受けやすい桁の端部、箱桁内部は、防食のための塗装
- 支承には、防食性能の高い溶融亜鉛メッキを適用
- 雨水の鋼材表面拡散を防ぐ“水切り”の設置
- 雨水のたまりやすい伸縮装置部には、排水機能を確保

※日本では当たり前ですが、維持管理に対する細かい配慮が施されています。



7. 道路斜面の災害対策

斜面防災リスクの判定

サイト調査

↓

岩盤分類 — Rock Mass Rating (RMR)

↓

岩盤斜面の安定度 — Slope Mass Rating (SMR)

↓

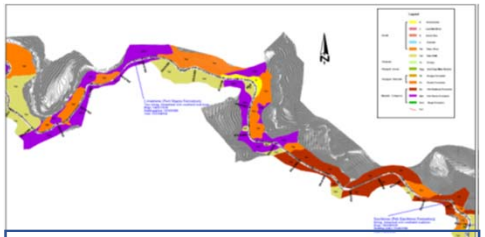
落石の危険度 — Rock Fall Rating(RFR)

↓

落石対策箇所の決定

↓

対策工の計画



地質・リスクマップの作成

Contract for Consultacy Services of Detailed Design, Tender Assistance and Construction Supervision
of RakhiGaji-Bewata 33.84 km (Section N-70) of East West Road Improvement Project

Rock Fall Rating

Slope Number: SSN-10
STA 10+420 - 10+550

Parameter	Values	Rating
Exposure Ratio	Over2/3	2
Slope Face Dip	60° - 45°	2
Slope Height	<10m	5
Rock Fall Rating		9
Rock Fall Rating Class		C
Description		Unstable
Counter Measure		Locally Required

落石対策の計画

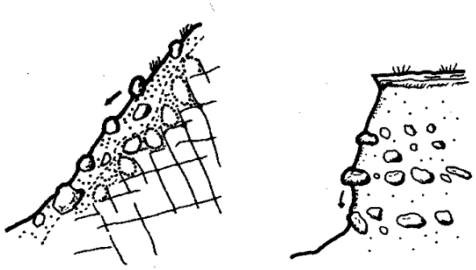
危険度の高い落石対策範囲が多すぎるため、全区間に落石防護対策を実施することはコスト高。

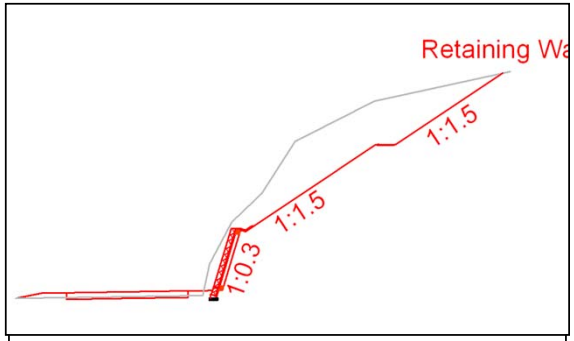
➡対応方針

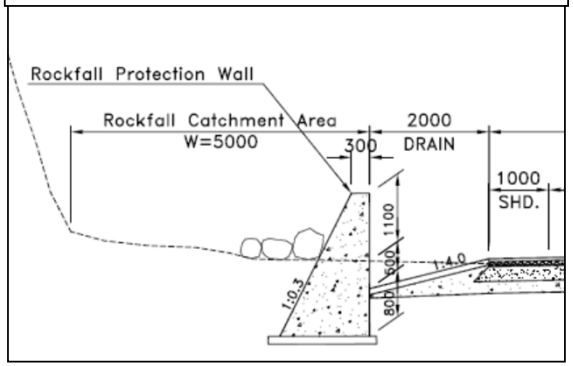
① 斜面が低い場合：切土による斜面安定、転石除去

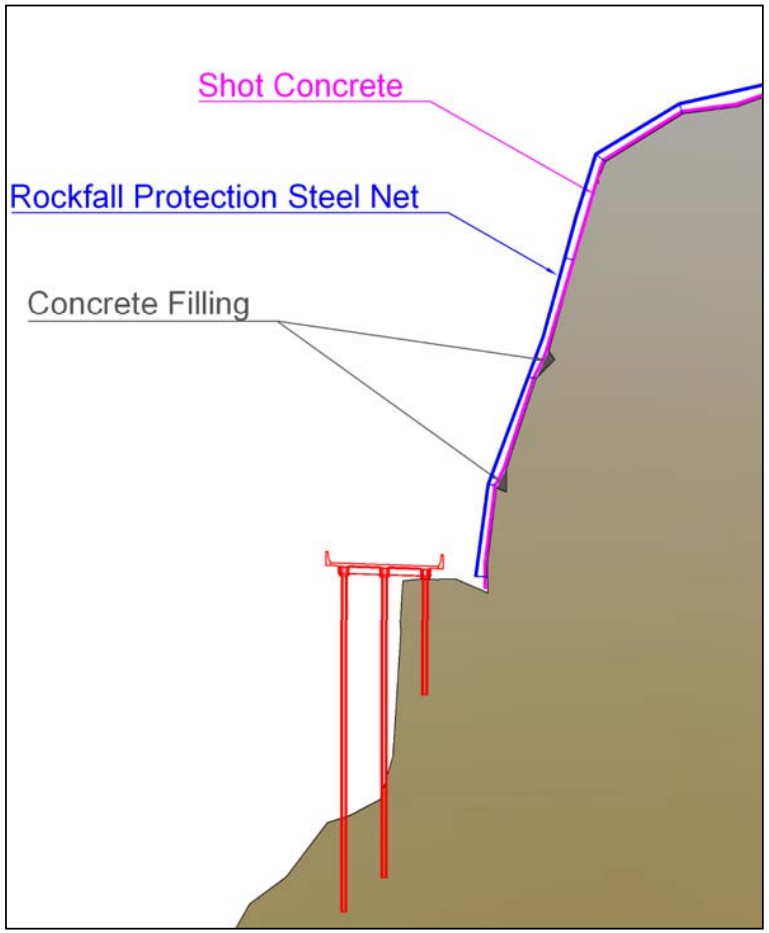
② 斜面が高い場合：落石ポケットおよび落石防止壁（Rock fall Catchment Area Design Guide (FHWA-OR-RD-02- 04m)”)

③ 道路幅が狭く②が不可能な場合：落石防止網＋吹付コンクリート



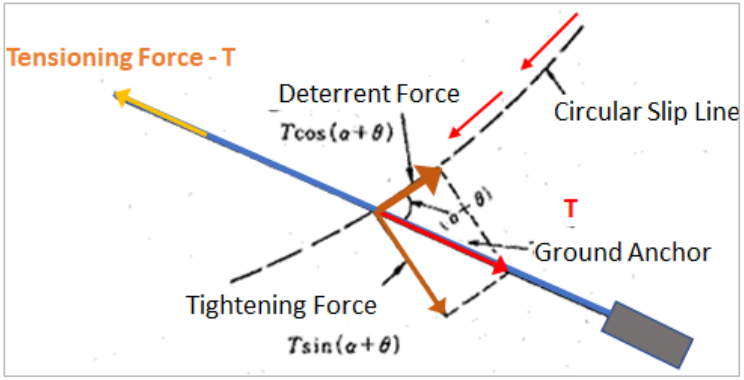




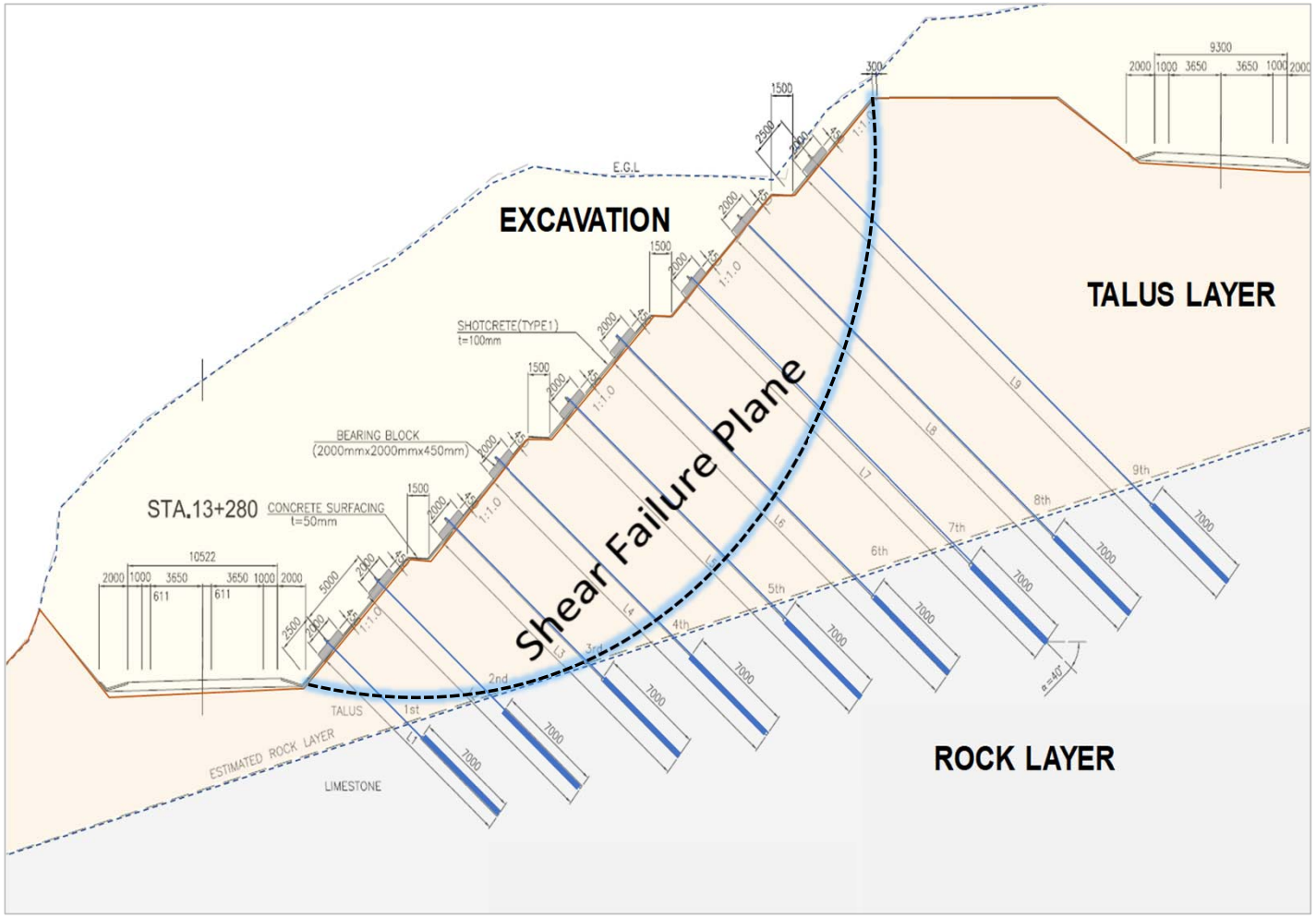


地すべり対策

大規模な掘削を伴う不安定な斜面には「グラウンドアンカー工法」を適用し、斜面安定化を図る。

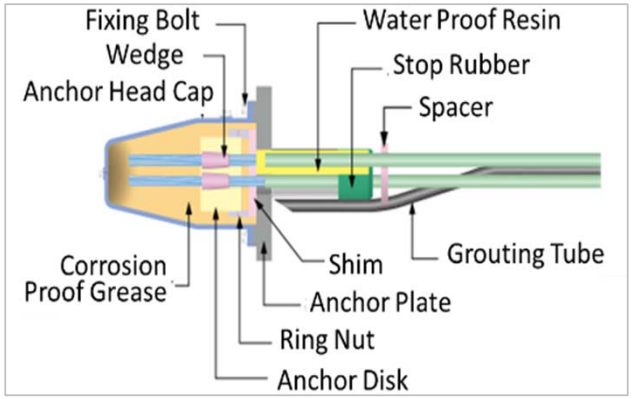


Force Transfer Mechanism

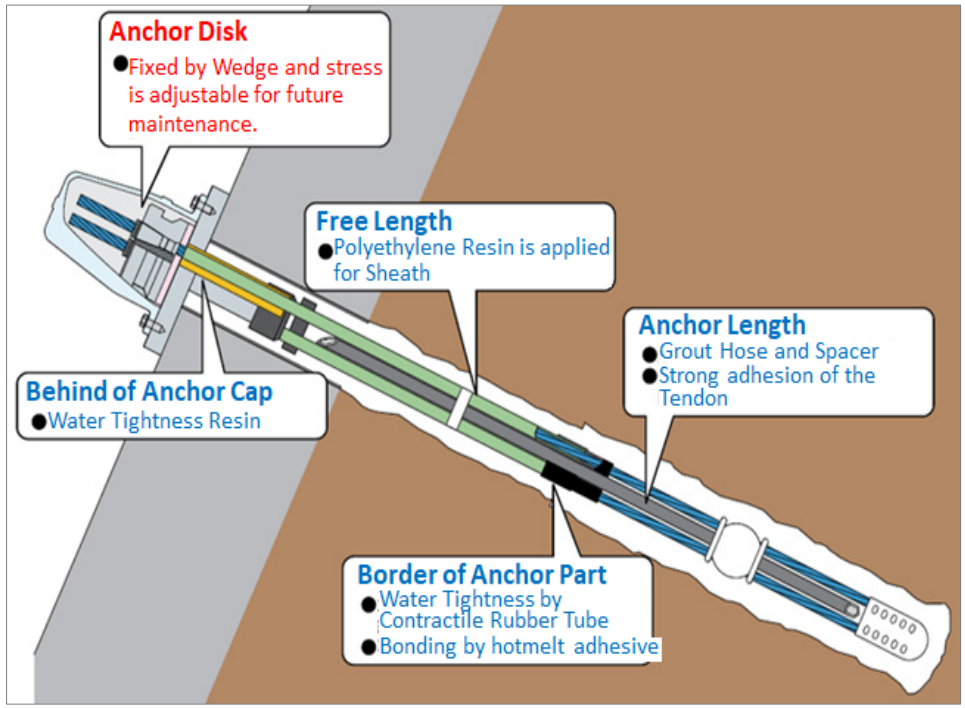


グラウンドアンカーに使用される様々な技術

- 摩擦引張型アンカータイプ
- グラウト注入の施工性がよく確実な品質管理
- 耐食性の高い二重防食のPCストランド
- アンカーヘッドの防水機能
- 供用後、再緊張が可能な維持管理機能

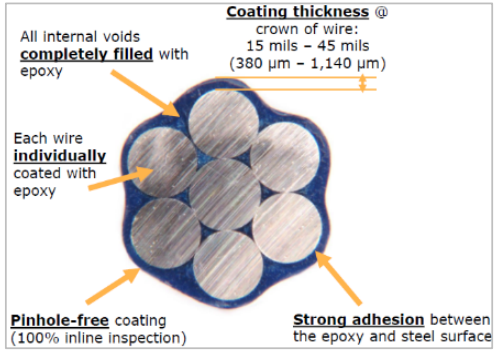


アンカーヘッド部詳細図

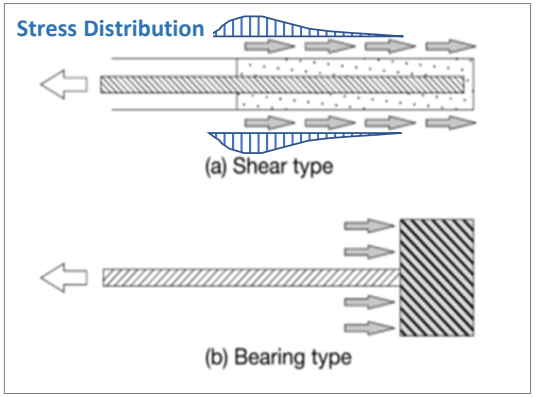


グラウンドアンカー本体

出典：「フロテックアンカー技術研究会HPより」



PC ストランドの防食



アンカータイプ

8. まとめ

教訓と課題

- 将来の交通需要を見越した道路線形の改良効果により、**大型トレーラーの通行**が増加し、物流が効率化。
- 落石、洪水などによる交通遮断リスクを排除し、**オールシーズン通行可能**な道路を構築
- **日本で活用されている様々な技術**を活用することで、これまでパキスタンでは困難とされてきた課題を克服(技術の普及に期待)
- 山岳道路計画では、地元住民の利便性に加え、**家畜・動物の道路利用**にも配慮が必要。

ご清聴ありがとうご
ざいました。
「日本の技術を活用した山岳道路改良計画」