

パキスタン国
カラチ環状鉄道復旧整備事業
準備調査（Ⅱ）

ファイナル・レポート
（要約）

平成25年2月
（2013年）

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社
八千代エンジニアリング株式会社
電気技術開発株式会社

南ア
JR（先）
13-011

パキスタン国
カラチ環状鉄道復旧整備事業
準備調査（Ⅱ）

ファイナル・レポート
（要約）

平成25年2月
（2013年）

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社
八千代エンジニアリング株式会社
電気技術開発株式会社

為替交換レート

種類	レート
円 / 米ドル	78.7
パキスタンルピー / 米ドル	94.5
円 / パキスタンルピー	0.83

パキスタン国
カラチ環状鉄道復旧整備事業準備調査(II)

ファイナル・レポート
(要約)

目 次

為替交換レート	1-1
第1章 序論	1
1.1 調査の背景	1
1.2 調査の目的・主要項目	1
1.3 ファイナル・レポートの内容	1
第2章 現地調査	2
2.1 地形測量	2
2.2 水文調査	6
2.3 地質調査	12
2.4 KCR 運転電力の供給	23
第3章 需要予測	24
第4章 KCR 技術基準および線形計画のレビュー	26
4.1 KCR 技術基準	26
4.2 施工基面幅	27
4.3 駅部設計における基本方針	28
4.4 線形計画のレビュー	28
第5章 概略設計のレビュー	30
5.1 運転計画	30
5.2 土木構造物および軌道	30
5.3 電源設備	32
5.4 信号	39
5.5 まとめ	40
第6章 事業計画および事業費のレビュー	41
6.1 事業費	41
6.2 事業実施計画	41

6.3 調達計画	43
6.4 STEP ローンにおける調達条件	43
第7章 運営維持管理計画のレビュー	43
7.1 アジアの第3国における運営維持管理形態調査	43
7.2 KCR に適した運営維持管理形態	44
7.3 運営維持管理会社の組織と要員数	47
7.4 O&M コスト	48
7.5 運賃収入	48
7.6 関連事業による収入	49
7.7 KCR の事業収入と支出	49
第8章 事業効果の検証	53
8.1 経済評価	53
8.2 財務評価	53
8.3 運用・効果指標	53
8.4 気候変動緩和策による効果	55
第9章 事業実施体制に関する助言	57
9.1 事業実施段階と関係者の役割	57
9.2 KUTC 技術部門の組織	58
第10章 環境社会配慮	59
10.1 環境影響調査の概要	59
10.2 社会配慮調査	60
第11章 結論及び提言	61
11.1 結論	61
11.2 提言	65

第1章 序論

1.1 調査の背景

カラチ市は、シンド州に位置する人口 18 百万人を擁するパキスタン最大の都市であり、経済活動の中心となっている。しかし、都市交通インフラの整備は不十分で、移動手段の大半がバスと車のため、慢性的な交通渋滞と大気汚染を引き起こし、マストラの導入の必要性が高い。カラチ環状鉄道（KCR）は 1964 年に開通したものの、運営の悪さから利用者が減り続け、1999 年に運行が停止し、鉄道用地には広く不法住民が住み着いてしまった。

パキスタン政府、シンド州政府、カラチ市は、マストラ整備を重要課題として認識し、KCR 復旧事業を優先プロジェクトとして位置づけた。2006 年に JETRO によって F/S 調査が行われ、中央政府、地方政府の出資でカラチ都市交通公社（KUTC）が 2008 年に設立された。パキスタン政府からの借款供与要請を受け、JICA は STEP 条件に基づく円借款審査の準備のため、2009 年に SAPROF-I 調査を実施し、フォローアップ専門家を派遣してパキスタン政府、KUTC の支援を行った。

JICA は、さらに SAPROF-II として本調査を実施したものである。

1.2 調査の目的・主要項目

本調査の目的・主要項目は次の通り。調査は、全線開業案と部分開業案を対象とする。

- a) 地形測量、水文調査、地質調査、電力供給網調査
- b) 需要予測のレビュー
- c) 鉄道線形、土木構造物、軌道、車両基地、電力供給システム、運行に関わる計画のレビュー
- d) KUTC の実施体制に関わる提言
- e) 第三国における都市鉄道 O&M 調査及び本事業の O&M 計画の立案
- f) 事業工程、事業費積算、経済・財務分析のレビュー
- g) 住民移転計画（RAP）、環境管理計画のレビュー

1.3 ファイナル・レポートの内容

本ファイナル・レポートは、SAPROF-II 調査の全ての結果が記述され、現地状況調査、需要予測、鉄道設計基準と線形計画、予備設計、事業工程と事業費、O&M 計画、事業効果検証、実施体制の助言、環境社会配慮、結論と提言を含む。

第2章 現地調査

2.1 地形測量

2.1.1 作業方法

(1) 測量基準

使用した測量基準は以下のとおりである。

- ・ 座標系 : UTM 座標系 (42N ゾーン)
- ・ 楕円体 : World Geodetic System 1984 (WGS84)
- ・ 標高基準: カラチ港平均海水面

(2) 現地踏査及び基準点選点

現地踏査及び基準点の選点はハンディ GPS を用いて実施した。基準点は KCR 沿線約 1Km おきにコンクリート杭で設置した。

(3) 基準点測量

既設基準点はパキスタン政府によって承認された基準点を使用した。基準点測量はスタティック GPS 測量で観測時間は 1 時間、受信間隔は 15 秒、簡易併合誤差は 3ppm で実施した。

(4) 水準測量

既設水準点は KDA-112 (カラチ港平均海水面基準) を使用した。水準測量はデジタルレベル、データコレクターを使用し、往復観測を実施した。デジタルレベル、データコレクターを使用したことによって誤読、誤記載を無くすことが出来た。

(5) 標定点測量

標定点はスタティック GPS 測量によって観測を実施し、KCR 全路線をカバーするオルソ画像作成及びステレオ図化機による地形図作製に使用された。標定点は画像上明瞭かつ GPS 観測に適した個所に設置された。

(6) センターラインポスト設置

センターラインポストは KCR 路線上に 20mピッチで、木杭又は金属鋸で設置した。NIPA から COD 間については路線が水没している為、オフセットして設置した。

(7) 中心線測量

GPS または、トータルステーションを用いて中心線測量を実施した。また、基準点より水準測量を行い標高の取り付けも行った。

(8) 境界測量

KUTC スタッフと共に、現地にて境界線の確認を行い、境界点を GPS またはトータルステ

ーションを用いて測量を実施した。また、境界点 200 点に直径 3 インチのコンクリート杭を設置した。

(9) 横断測量

すべてのセンターラインポストにおいて横断測量を実施した。観測はトータルステーションを使用し、駅間は中心線より両側それぞれ 50m、駅部は 125m の横断幅で実施した。

(10) 縦断測量

すべてのセンターラインポスト及び地形の変化点、橋梁、立体交差部において縦断測量を実施した。

(11) 縮尺 1/2000 地形図作製

衛星画像を用いて縮尺 1/2000 地形図を作成した。

使用した衛星画像の仕様は以下のとおりである。

- ・ 衛星画像名 : WorldView-1
- ・ 画像タイプ : ステレオペア
- ・ プロダクトタイプ : パンクロマティック
- ・ 画像解像度 : 0.5 m
- ・ 購入画像数 : 4 シーン (2 ステレオペア)

(12) 縮尺 1/1000 地形図補備測量

以下に示す 21 か所の KCR 駅予定地及びデポ予定地で 1/1000 地形図補備測量を行った。

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1 Depot Hill | 12 SITE |
| 2 Gulistan-e-Johar | 13 Shah Abdul Latif |
| 3 Alladin Park | 14 Baladiya |
| 4 NIPA | 15 Liyari |
| 5 Gilani | 16 Wazir Mansion |
| 6 Yasinabad | 17 DCOS |
| 7 Liaquatabad | 18 Naval |
| 8 North Nazimabad | 19 Chanesar |
| 9 Orangi | 20 Shaheed-e-Millat |
| 10 HBL | 21 Karsaz |
| 11 Manghopir | |

補備測量は縮尺 1/1000 地形図を作成する為、衛星画像で判読できない個所を現地にて確認し、座標データの取得を実施した。1 次基準点を使用して補助基準点を設置し、GPS 及びトータルステーションで観測を実施した。

(13) 縮尺 1/500 地形図作製

以下に示す 4 か所の駅部については縮尺 1/500 地形図を作製した。

- | | |
|-----------------|----------------------|
| 1 Tower Station | 3 Cantt Station |
| 2 City Station | 4 Drigh Road Station |

基本基準点ならびに 1 次基準点を使用して補助基準点を設置し、GPS 及びトータルステーションを用いて地形測量を実施した。

2.1.2 基準点

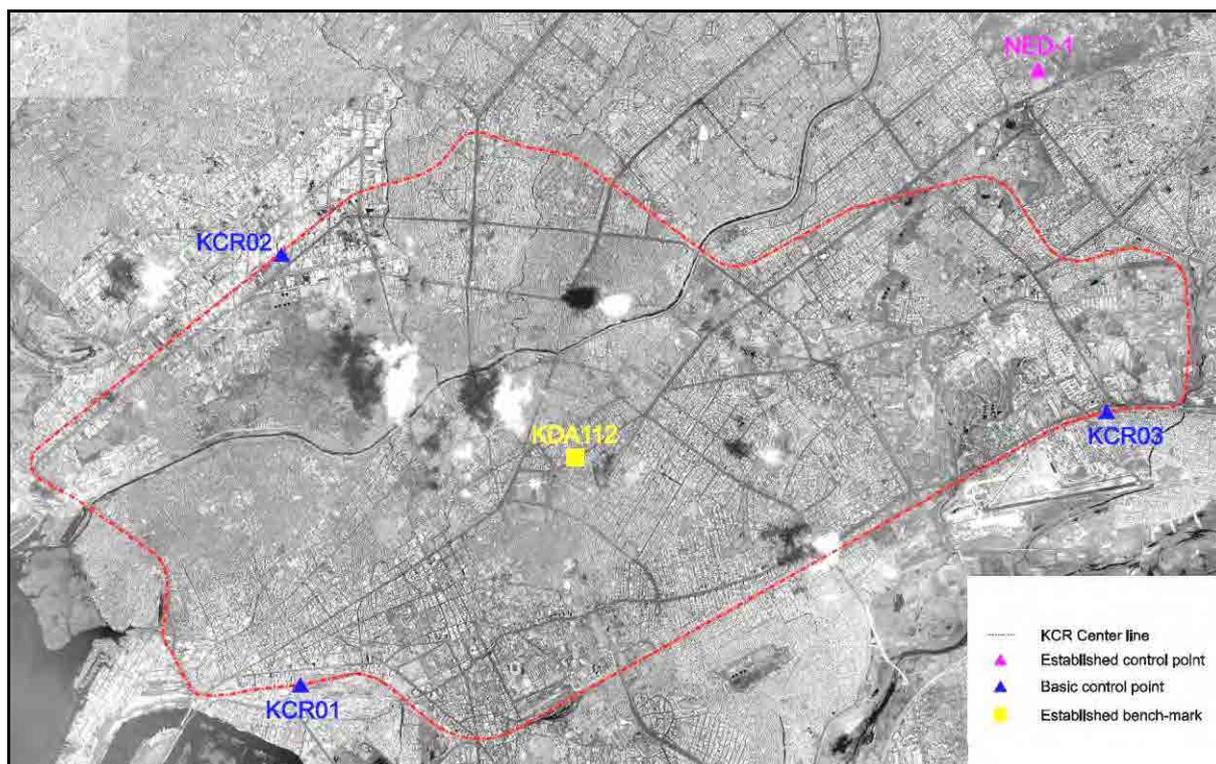
(1) 既知基準点

既知基準点 (X,Y) として NED-1 (NED University)、既知水準点 (Z) として KDA-112 を使用した。

(2) 基本基準点

以下の 3 か所に基本基準点を設置した。

- ・ Drigh Road Station
- ・ Mangohpir Station
- ・ Karachi city Station



出典：調査団

図 2.1 既知基準点及び基本基準点配点図

(3) 1 次基準点

1 次基準点を KCR 路線上約 1Km 毎に 40 点設置した。

2.1.3 地形測量データリスト

作成された地形測量データのリストは以下のとおりである。

- | | |
|------------------|--------------------|
| (1) 基準点測量 | (6) 横断測量 |
| - GPS観測データ | - 観測データまたは観測手簿 |
| - GPS 観測簿 | - 座標リスト |
| - 基準点の記 | - 横断図 |
| - 座標リスト | (7) 縦断測量 |
| (2) 水準測量 | - 観測データまたは観測手簿 |
| - 水準観測データまたは観測手簿 | - 座標リスト |
| - 座標リスト | - 縦断図 |
| (3) 標定点測量 | (8) 1/2000 地形図作成 |
| - GPS 観測データ | - 縮尺 1/2000 地形図データ |
| - GPS 観測簿 | - 縮尺 1/2000 地形図 |
| - 標定点明細簿 | (9) 1/1000 地形図補備測量 |
| - 座標リスト | - 縮尺 1/1000 地形図データ |
| (4) 中心線測量 | - 縮尺 1/1000 地形図 |
| - 観測データまたは観測手簿 | (10) 1/500 地形図作成 |
| - 座標リスト | - 縮尺 1/500 地形図データ |
| (5) 境界測量 | - 縮尺 1/500 地形図 |
| - 観測データまたは観測手簿 | |
| - 座標リスト | |
| - 境界点図 | |

2.2 水文調査

2.2.1 水文調査概要

カラチ環状鉄道線路用地内に家庭汚水の流入及び地下水等の浸潤により湛水している“P”地区がある。(図 2.4 参照。)カラチ環状鉄道復旧計画上、このような汚水等の線路用地内流入を阻止及び既存の湛水の排水が必要である。そのため、以下に示す事項を目的に、水文データ収集、既往洪水データ収集及び既設下水処理場情報収集等の調査を実施した。

- ・ 湛水“P”地区調査
- ・ 降雨データ、河川水位データ及び河川流況データの収集
- ・ 既往洪水記録調査
- ・ 水質調査
- ・ 既設の給水、排水及び下水システム調査



出典：調査団

図 2.2 水文調査範囲

2.2.2 調査結果

調査は 2011 年 10 月初旬から 2012 年 1 月末の間で実施した。調査結果を以下に示す。

(1) 湛水 'P'地区調査

1) 湛水量

湛水‘P’地区の湛水量を把握するために、簡易測水調査を実施した。その結果、湛水量は約 14,510m³ と推算された。

2) 家庭汚水流入箇所

現地踏査により 64 箇所の流入箇所数を確認した。(写真-1 に流入箇所の例を示す。)また、聞き取り調査の結果、流入量は 13,200 L/日と推算された。



出典：調査団

図 2.3 流入箇所例

(2) 降雨データ、河川水位データ及び河川流況データの収集

降雨データ、気温データ、蒸発量データはパキスタン気象庁を通じて収集できたが、Lyari 川及び Malir 川の水位及び流況データについては関係機関に問合せたが収集できなかった。

(3) 既往洪水記録調査

PDMA、CGDK、TMAs 等の関係機関をまわって収集に努めたが、既往洪水記録は収集できなかった。そのため、カラチ環状鉄道線路用地周辺において聞き取り調査を実施した。

(4) 水質調査

図 2.4 に示す地点においてサンプリングを行い、9 項目 (pH、BOD、COD 等) について水質分析を実施した。そして、下水処理場 (T.P-3) の処理水はパキスタン環境基準 (NEQS) を満足したが、下水処理場 (T.P-1) の処理水は満足していない結果となった。また、'P'地区の湛水は家庭汚水そのものの水質を示し、Nala に流入する水路は工場廃水の影響を受けていると判断されるほど劣悪な水質を示す。



出典：調査団

図 2.4 水質調査サンプリング箇所

(5) 既設の給水、排水及び下水システム調査

既設の給水、排水及び下水システム図面はカラチ給水・下水公社（KW&SB）とパキスタン鉄道住宅局より入手できたが、幹線以外の情報が不足している。一方、'P'地区沿いの下水管についての情報は各家庭から線路用地へ流入する家庭汚水処理に有用である。

2.2.3 湛水及び流入に対する対策

現行の湛水及び汚水等流入に対する環状鉄道復旧工事中の対策を以下に述べる。

(1) 家庭汚水の湛水及び流入汚水の排水対策

▶ 対策-1 水中ポンプ及びローリートラックによる排水

湛水量 15,000m³ を水中ポンプで吸い上げ、ローリートラックで既設下水処理場（T.P-3）へ移送する案。（総費用約 23 百万 PKR）

▶ 対策-2 既設下水管利用

家庭汚水を流入させている約 100 家庭の排水を既設下水管へ接続する案。（図 2.5 及び図 2.6 参照。）（総費用約 23.7 百万 PKR）

▶ 対策-3 線路用地のスラッジを掘削除去

スラッジを掘削除去して、湛水の排水後も浸潤してくる地下水を下流へ流下させる案。（図 2.7 参照。）（総費用約 12.9 百万 PKR）

▶ 対策-4 Rainstorm 排水路利用

不法住居からの家庭汚水を既設の Rainstorm 排水路により流下させる案。ただし、期間は不法住居者が移転するまでとする。(図 2.8 及び図 2.9 参照。)(費用不要)



出典：調査団

図 2.5 Nipa 周辺の既設下水管と新設管 (対策-2)



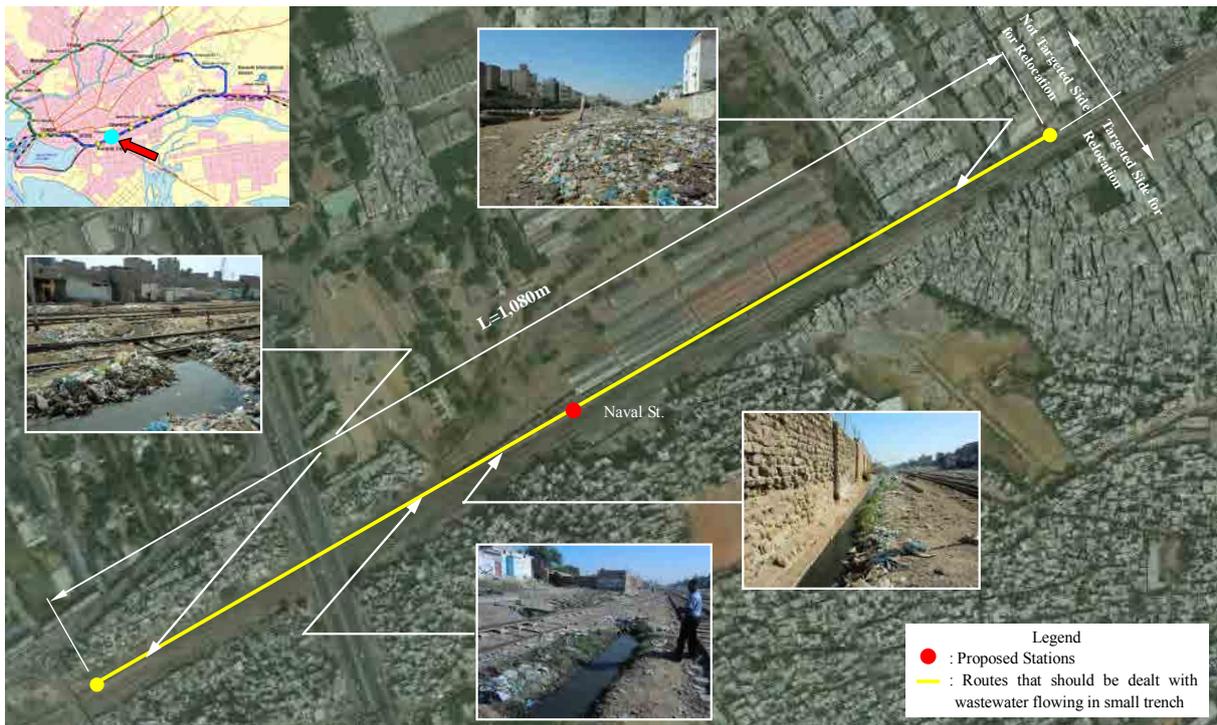
出典：調査団

図 2.6 Gulistan-e-Johar 周辺の既設下水管と新設管 (対策-2)



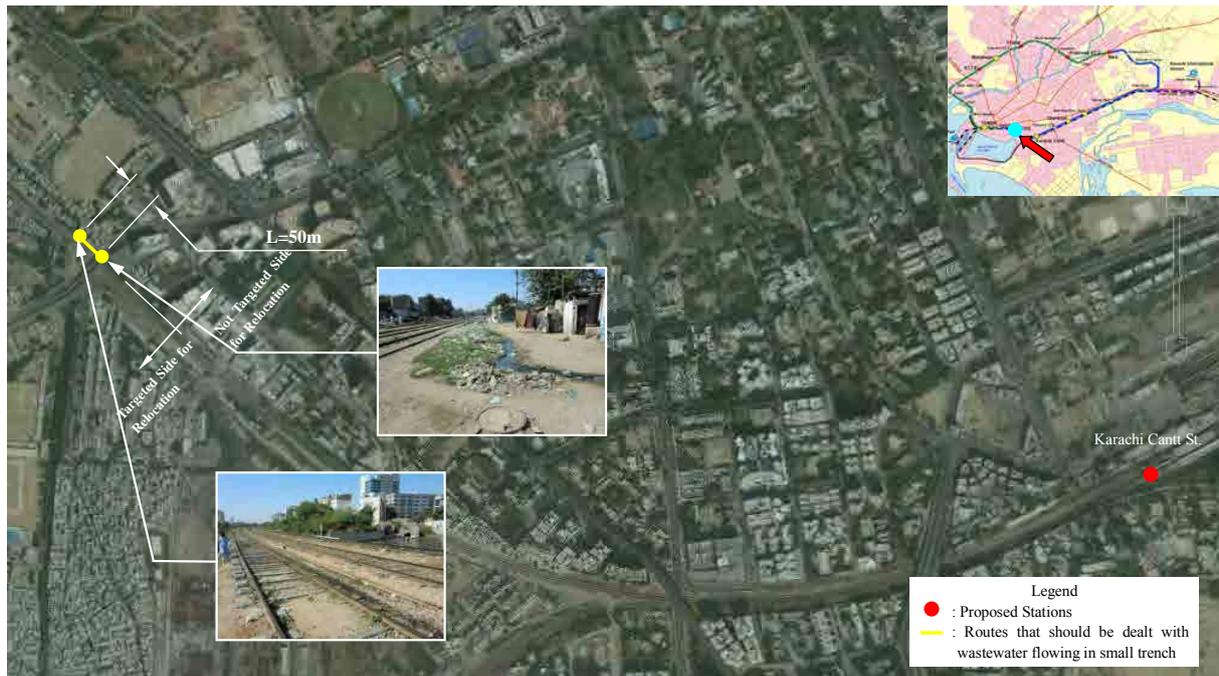
出典：調査団

図 2.7 汚水湛水地区 (対策-3)



出典：調査団

図 2.8 汚水流下地区 (対策-4)



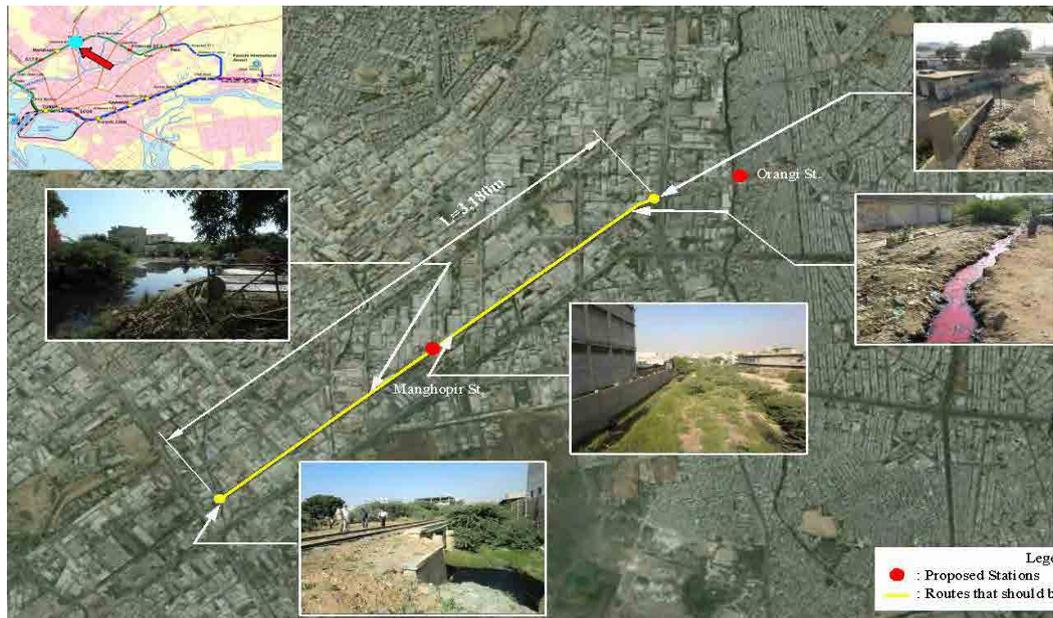
出典：調査団

図 2.9 汚水流下地区 (対策-5)

(2) 工場廃水対策

工場廃水による軌道浸水を防御するための対策案を以下に示す。(図 2.10 に工場廃水が流入している既設線路用地を示す。)

- ・ 軌道から Rainstorm 排水路を隔離するフェンスの設置
- ・ 掘削による既設 Rainstorm 排水路の断面拡大



出典：調査団

図 2.10 既設線路用地に工場廃水が流入している区間

(3) 洪水対策

軌道を洪水から防御する対策として軌道敷きの底上げが考えられる。既往洪水記録が無い
ため、軌道底上げ値は、聞き取り調査を参考に決定する。表 2.1 に聞き取り調査より設定した底
上げ値を示す。

表 2.1 区間別軌道底上げ値

区間	軌道底上げ値	距離	備考
A	3 inches – 36 inches	5.5 km	Drigh Road – Shaheed-e-Millat Flyover
B	3 inches – 60 inches	5.9 km	Shaheed-e-Millat Flyover – Clifton Bridge
C	3 inches – 36 inches	5.5 km	Clifton Bridge – Machhar Colony
D	9 inches – 24 inches	4.75 km	Machhar Colony – Sher Shah bridge
E	3 inches – 24 inches	5.0 km	Sher Shah bridge – Bara maidan
F	3 inches – 36 inches	5.05 km	Bara maidan – Gharibabad Furniture market
G	3 inches – 36 inches	5.5 km	Gharibabad Furniture market – Lal Flat/Railway Societ Bridge
H	3 inches – 18 inches	2.6 km	Lal Flat/Railway Societ Bridge – Rabia City

出典：調査団

2.3 地質調査

2.3.1 調査概要

(1) 調査の目的

地質調査の目的は、以下の通りである。

- 1) KCR 本線およびこれに関連する構造物（駅舎・橋梁・トレンチ・地下構造物・重量構
造物など）の基礎地盤の地質状況・地下水状況を把握するとともに、基礎地盤の特徴
を整理する。
- 2) 構造物基礎地盤の土質工学的特性を把握するとともに、設計・施工に必要な土質区分
ごとの土質定数を提案する。
- 3) 地形測量成果に基づいて、KCR ルートの地質断面図を作成する。

(2) 調査項目および実施数量

調査項目および実施数量は、次のとおりである（詳細は表 2.2 に示す）。

- ・ ボーリング(コア採取) 96 孔 2,100m
- ・ 標準貫入試験(SPT) 96 孔 820 回
- ・ 現場透水試験 7 回
- ・ 不攪乱試料採取 29 試料
- ・ 室内土質試験 1 式
- ・ 地下水位観測 1 式
- ・ 既往資料収集・整理 1 式
- ・ 地質解析 1 式

表 2.2 調査項目および数量一覧

SURVEY ITEMS								
I	Drill hole	Location		Length	Standard penetration test	Permeability test	Undisturbed sampling	Installation screen pipe
			chainage					
			(ft)	m	nos.	nos.	nos.	m
	1 B-1	Lyari River bridge (left bank)	81,088	40	40	0	1	40
	2 B-2	Jinnah Road Over Bridge	92,000	40	40	0	1	40
	3 B-3	Wallace Road over bridge	96,795	40	40	0	1	40
	4 B-4	Karachi Cantt Station	28,735	40	40	0	1	40
	5 B-5	Dirty water Pooling Area (Gulistan-E-Johar)	16,174	20	0	2		20
	6 B-6	Dirty water Pooling Area (Karachi Univ. Station)	21,120	20	0	2		20
TOTAL				200	160	4	4	200
II Laboratory Tests						samples		
SPT samples								
1.1 - Particle size analysis by sieve and hydrometer (ASTM D422):						40		
2 - Liquid limit, plastic limit, plastic index (ASTM D4318):						40		
3 - Specific gravity of soil (ASTM D854):						40		
4 - Natural water content of soil (ASTM D2216):						40		
Undisturbed samples								
1 - Particle size analysis by sieve and hydrometer (ASTM D422):						4		
2 - Liquid limit, plastic limit, plastic index (ASTM D4318):						4		
3 - Specific gravity of soil (ASTM D854):						4		
4 - Natural water content of soil (ASTM D2216):						4		
5 - Bulk & dry density (ASTM D1895 B):						4		
6 - Triaxial compaction test, UU (ASTM D2850):						4		
7 - Direct shear test (ASTM D3080):						4		
8 - Consolidation test (ASTM D2435):						4		
9 - Swell potential test (ASTM D4546):						4		
10 - Sulphate (SO4) content test on soil/water (ASTM C1580):						4		
11 - Chloride content test on soil/water:						4		
III Ground mapping						LS		
Ground mapping						1		
IV Water level monitoring						LS		
Water level monitoring (6 holes, 2 times/month)						1		

(2011 年実施)

出典：調査団

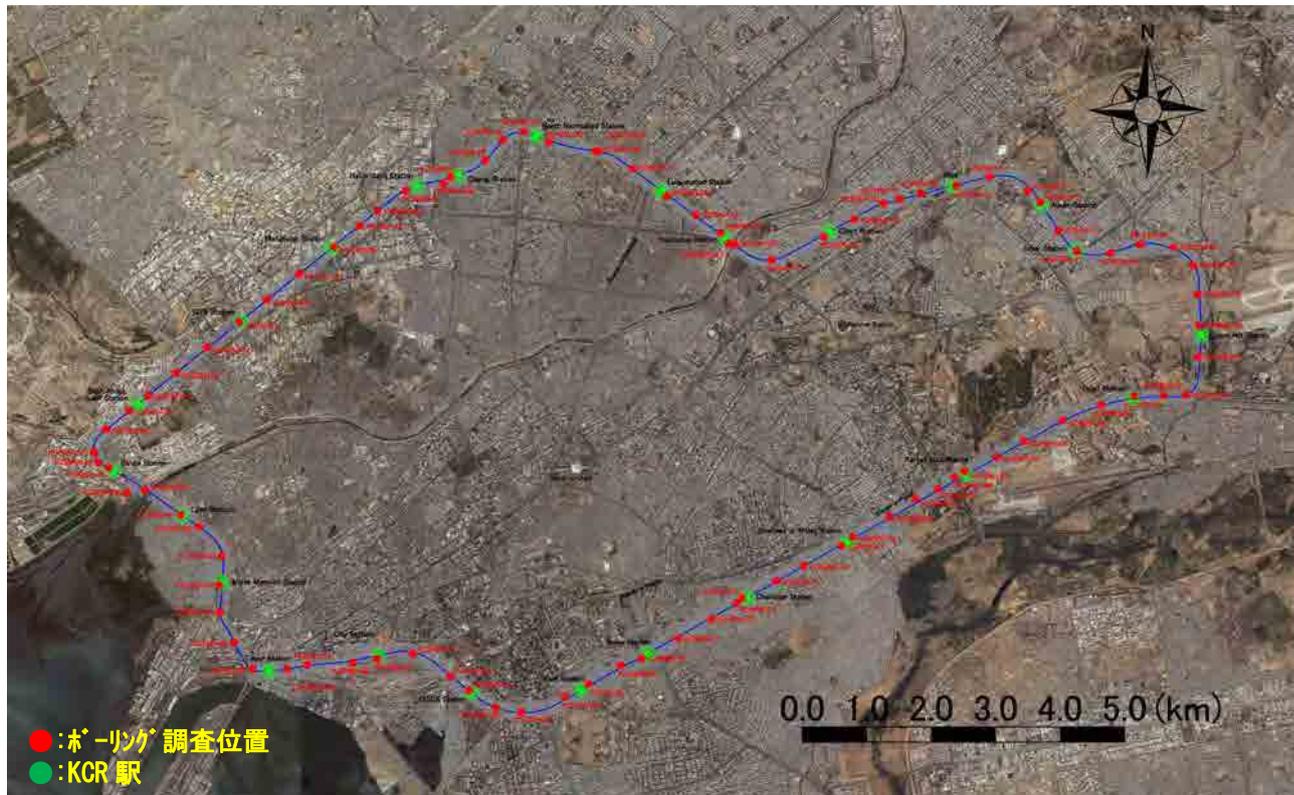
Borehole No.	Depth (m)	SPT (Nos)	Penneability Test (Nos)	Undisturbed Samples (Nos)	Installation of Driller Machine (Nos)	Installation of Screen Pipe (Nos)	Geologic Data (Nos)	Borehole No.	Depth (m)	SPT (Nos)	Penneability Test (Nos)	Undisturbed Samples (Nos)	Installation of Driller Machine (Nos)	Installation of Screen Pipe (Nos)	Geologic Data (Nos)	Borehole No.	Depth (m)	SPT (Nos)	Penneability Test (Nos)	Undisturbed Samples (Nos)	Installation of Driller Machine (Nos)	Installation of Screen Pipe (Nos)	Geologic Data (Nos)
KCR/BH-1	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-31	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-61	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-2	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-32	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-62	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-3	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-33	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-63	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-4	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-34	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-64	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-5	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-35	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-65	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-6	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-36	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-66	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-7	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-37	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-67	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-8	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-38	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-68	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-9	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-39	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-69	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-10	13.00	3			1	1	1	KCR/BH-40	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-70	15.00	5			1	1	1
KCR/BH-11	15.00	3			1	1	1	KCR/BH-41	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-71	15.00	5			1	1	1
KCR/BH-12	15.00	3	1		1	1	1	KCR/BH-42	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-72	15.00	5			1	1	1
KCR/BH-13	15.00	3	1		1	1	1	KCR/BH-43	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-73	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-14	15.00	4	1		1	1	1	KCR/BH-44	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-74	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-15	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-45	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-75	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-16	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-46	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-76	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-17	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-47	20.00	7			1	1	1	KCR/BH-77	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-18	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-48	30.00	10			1	1	1	KCR/BH-78	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-19	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-49	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-79	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-20	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-50	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-80	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-21	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-51	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-81	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-22	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-52	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-82	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-23	15.00	5			1	1	1	KCR/BH-53	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-83	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-24	20.00	7		1	1	1	1	KCR/BH-54	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-84	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-25	20.00	7		1	1	1	1	KCR/BH-55	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-85	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-26	20.00	7		1	1	1	1	KCR/BH-56	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-86	20.00	7			1	1	1
KCR/BH-27	20.00	7		1	1	1	1	KCR/BH-57	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-87	15.00	5			1	1	1
KCR/BH-28	20.00	7		1	1	1	1	KCR/BH-58	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-88	30.00	11			1	1	1
KCR/BH-29	20.00	7		1	1	1	1	KCR/BH-59	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-89	15.00	5			1	1	1
KCR/BH-30	20.00	7		1	1	1	1	KCR/BH-60	30.00	11			1	1	1	KCR/BH-90	15.00	5			1	1	1
Total		1900.00	660	3	25	90	90																

(2012 年実施)

出典：調査団

(3) 調査位置

図 2.11 にボーリング調査実施位置を示す。



出典：調査団

図 2.11 調査位置図

2.3.2 地形・地質

(1) 概要

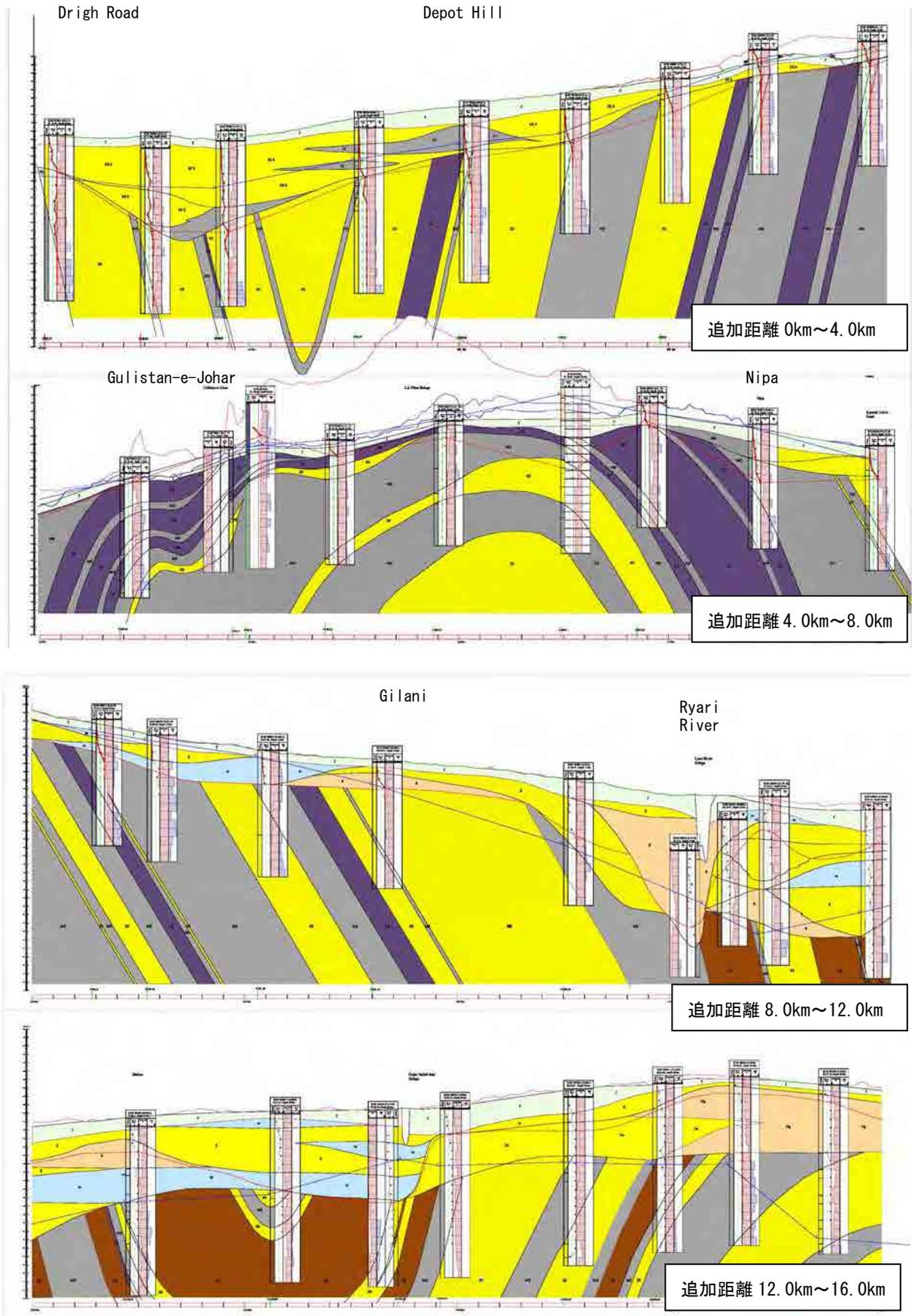
本調査地域周辺の地形は、概ね北東—南西方向に連なる標高 50～100mの丘陵部とアラビア海に面した海岸平野に分けられる。Lyari 川や Malir 川などの河口部には砂州(Sand Bar)やマングローブ沼地(Mangrove Swamp)や三角州(Alluvial Fan)などが認められる。

調査地域周辺の地質は、新生代新第三紀中新世の堆積岩類(砂岩、礫岩、泥岩、石灰岩等)、およびこれらを被覆する第四紀の未固結堆積層(礫、砂、泥、腐植土等)に区分できる(図 2.12)。

新第三紀の堆積岩類には、北東—南西方向に褶曲軸を有する背斜構造および向斜構造が認められる。背斜軸は丘陵の稜線にほぼ一致しており、向斜軸にあたる低地には Lyari 川が流下している(図 2.12)。

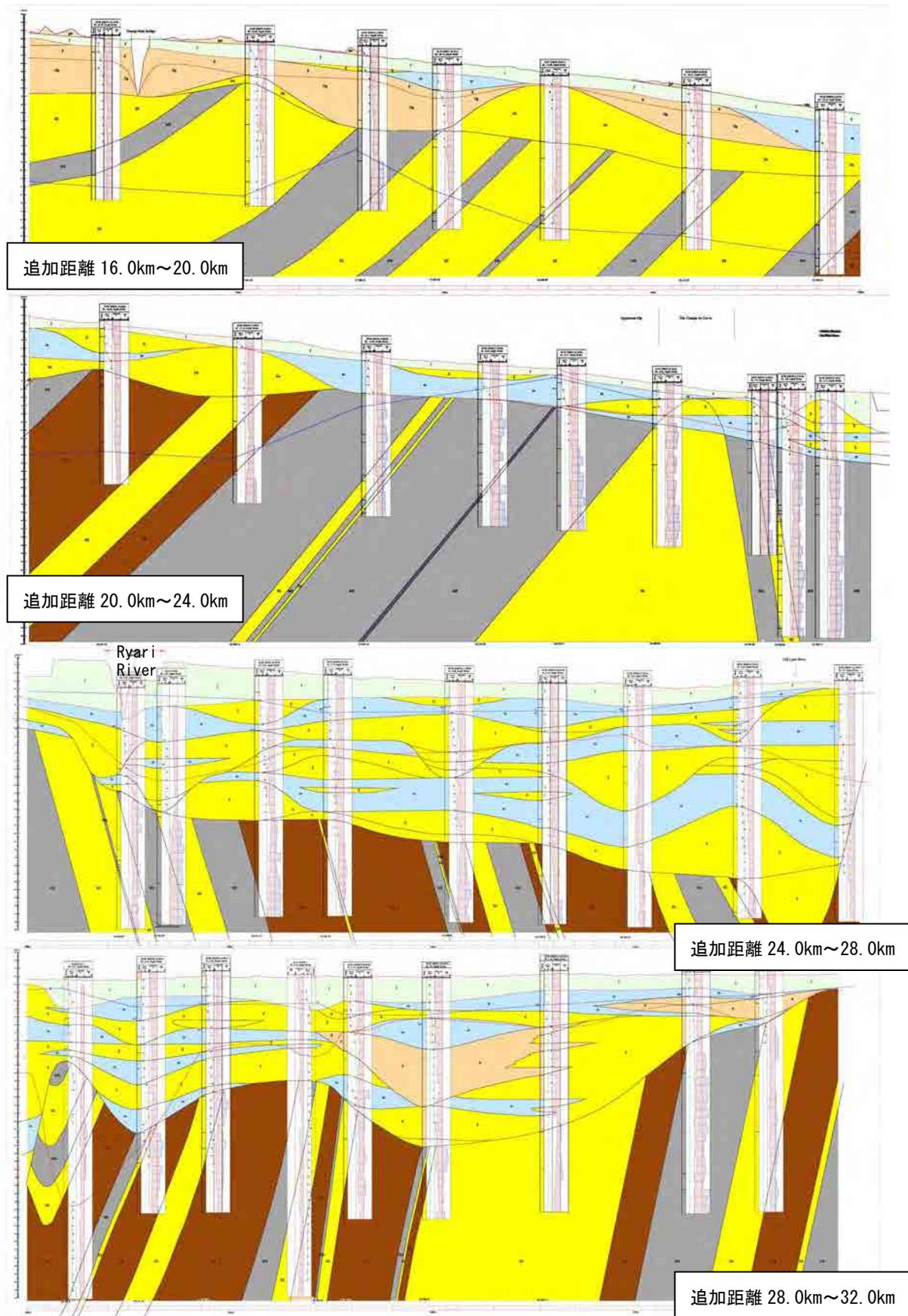
(2) KCR 沿線の地質状況

ボーリング調査の結果、KCR 計画路線沿いに分布する地層は、表 2.3 のように区分できる。図 2.14～図 2.16 は、“Drigh Road” 駅を起点として反時計回り方向に見た KCR 計画路線沿いの地質断面図である。基盤岩類としては、砂岩、礫岩、泥岩、石灰岩などで構成される新生代新第三紀中新世の”Gaj”累層 (Ngg)の”Gulistan-e-Jauhar 部層(Nggg)”が分布する(表 2.3)。



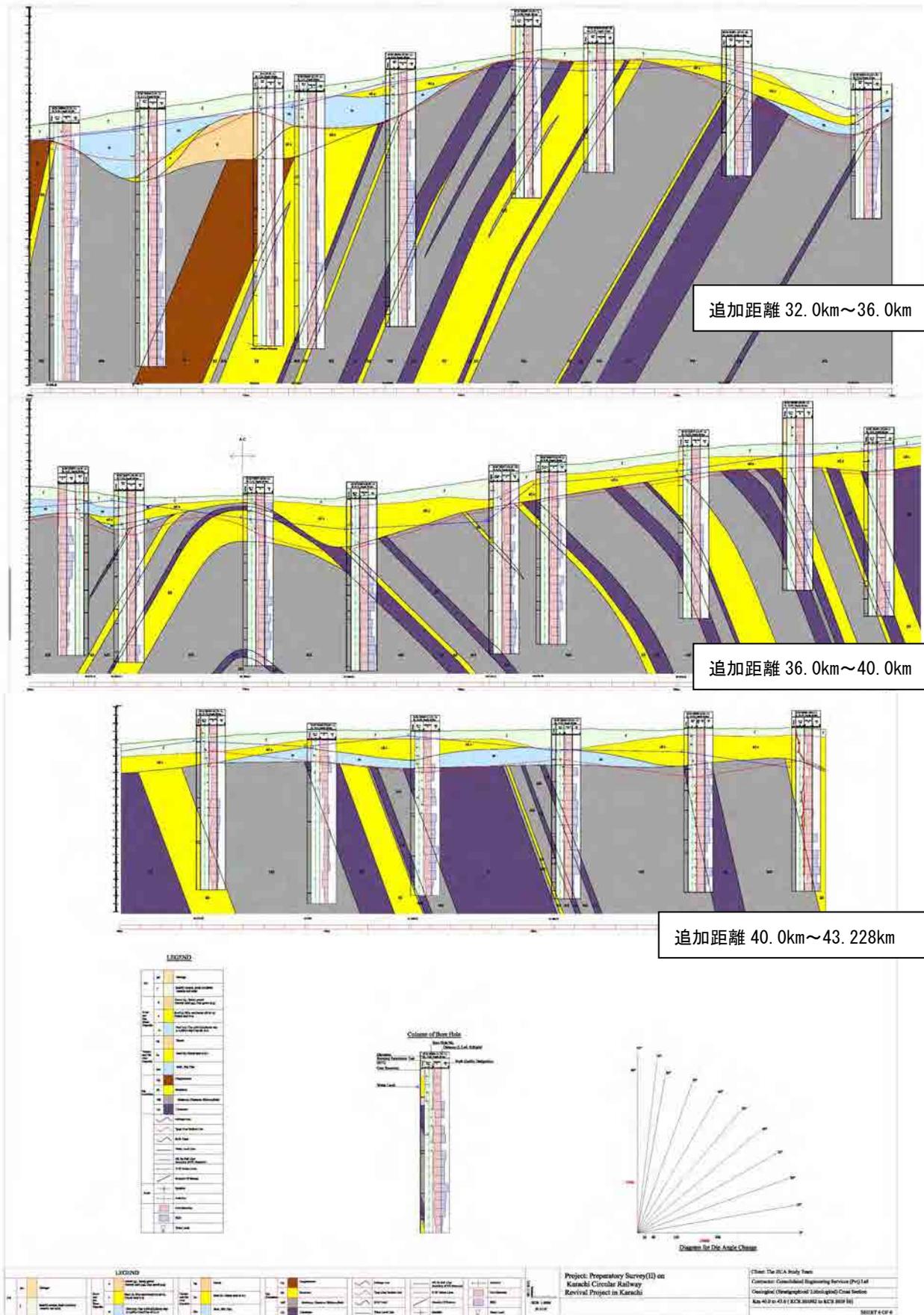
出典：調査団

図 2.14 KCR 計画路線沿いの地質断面図(1)



出典：調査団

図 2.15 KCR 計画路線沿いの地質断面図(2)



出典：調査団

図 2.16 KCR 計画路線沿いの地質断面図(3)

2.3.3 基礎地盤の工学特性

(1) N 値の分布特性

表 2.4 は、ボーリング孔ごとに深度別にみた N 値と地質の関係を示したものである。これによれば、N<50 を示す深度の傾向は、以下のとおりである。

表 2.4 ボーリング孔ごとの深度別にみた N 値と地質状況

Depth, m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Structure		
0.0 to 8.0 Km																																	
BH # 1	9	46	34	100	100	94	100	75	75	100	75	80	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 2	10	17	33	69	39	49	71	32	70	75	98	100	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 3	11	14	13	24	32	39	30	54	30	33	100	34	65	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 4	7	13	11	24	18	77	75	54	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 5	11	9	22	22	58	72	66	86	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 6	10	14	26	69	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 7	8	31	74	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 8	54	68	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 9	43	63	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 10	100																															VIADUCT	
BH # 11	100																															VIADUCT	
BH # 12	4	100																														VIADUCT	
BH # 13		100	100																													VIADUCT	
BH # 14	48	52	100																													VIADUCT	
BH # 15	5	13	25	37	44	45	100																									VIADUCT	
BH # 16	7	13	39	100																												VIADUCT	
BH # 17	8	14	19	50	100	100	100																									VIADUCT	
BH # 18	4	21	15	100	79	100	100																									VIADUCT	
BH # 19	13	18	42	49	100																											VIADUCT	
BH # 20	18	37	100	100																												VIADUCT	
BH # 21	17	7	13	11		48	100																									VIADUCT	
BH # 22	23	13	14	45	25	7	13	4	100	100																						VIADUCT	
BH # 23	27	10	52	57	48	52	100	100	100	100	100	100	100																			VIADUCT	
BH # 24	100	24	36	60	100	51	100	100																								VIADUCT	
BH # 25	14	12	4	20	100	100	47	65	24	100	52	100	100	100																		VIADUCT	
BH # 26	40	18	100	100	83	70	100	100																								VIADUCT	
BH # 27	12	33	83	60	68	100	31																									VIADUCT	
BH # 28	4	16	22	18	15	49	49	38	38	82	100	100	100	100	100																	VIADUCT	
BH # 29	17	17	60	76	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100																	VIADUCT	
BH # 30	10	48	36	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 31	16	32	52	100	100	100	100	47	100	54	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 32	31	59	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 33	40	100	100	100	100	100	100	43	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 34	25	44	79	45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 35	11	76	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 36	21	7	30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 37	12	12	14	62	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 38	100	56	100	100																													VIADUCT
BH # 39	49	42	55	100	100	100	40	100	100																								VIADUCT
BH # 40	8	6	9	28	100	100	100																										VIADUCT
BH # 41	8	11	10	17	75	100																											VIADUCT
BH # 42	54		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 43	22	38	36	39	100																												VIADUCT
BH # 44	9	12	13	100																													VIADUCT
BH # 45	4	5	19	42	77	100	100	100	100																								VIADUCT
BH # 46	17	19	16	100																													VIADUCT
BH # 47	18	19	42	37	76	100																											VIADUCT
BH # 48	19	21	12	54	62	97	99	100	100																								VIADUCT
BH # 49	15	14	16	15	31	54	58	100																									VIADUCT
8.0 to 16.0 Km																																	
BH # 50	4	3	7	10	25	37	44	45	70	80	85	90																				VIADUCT	
BH # 51	4	3	19	21	17	39	54	54	40	65	88	87	65	95	100	100	100	100	100													VIADUCT	
BH # 52	4	3	4	15	29	25	24	26	87	100	100	100	38	100	41	100	100	100	100	100	100											VIADUCT	
BH # 53	4	4	9	20	22	32	37	32	100	100	90	90	71	80	83	89	95	100	100	100													VIADUCT
BH # 54	22	4	18	18	21	42	100	57	58	82	100	100	41	41	100	100	100	100	100	100	100											VIADUCT	
BH # 55	10	23	3	5	5	51	100																										VIADUCT
BH # 56	19	26	13	12	20	21	21	48	100	100	100	86	80	85	80	56	64	66	75	80	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 57	5	6	10	7	6	7	14	50	54	35	45	75	72	92	88	70	56	49	37	37	60	61	60	62								VIADUCT	
BH # 58	12	17	8	18	5	22	23	39	34	45	32	30	45	86	100	100	84	100	39	45	47	58	100	100	100	100	100	100	100	100	100	VIADUCT	
BH # 59	3	9	9	12	16	36	45	50	57	46	57	100	55	58	68	79	50	55	56	52	55	80	83										

基盤の新第三紀層が表層部に露岩する箇所では、盛土直下より N<50 を示す。Ryari 川河口付近では概ね 5~12m であり、最大 22m(BH-58 孔)の深度まで確認されている。Deot Hill 付近(BH-3 孔など)および Ryari 川上流部周辺(BH-22~BH-28 区間)では、最大 10~11m 程度である。

(2) 基礎地盤の物性

表 2.5 は、土質別にみた N 値と q_u 、 ϕ 、 γ の関係をまとめたものである。一般に、N 値から諸物性値を推定する際に利用する。

表 2.5 SPT(N 値)と q_u 、 ϕ 、 γ の関係

【粘性土】						【非粘性土】					
Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense	Consistency		N_{60}	q_u (kPa)	Remarks	
Relative Density D _r	0	0.15	0.35	0.65	0.85	Very Soft	NC	0-2	<25	Squishes between fingers when squeezed	
SPT N ₆₀ ^{nc}	1-2	3-6	7-15	16-30	>40	Soft		3-5	25-50	very easily deformed by squeezing	
	2-3	4-7	8-20	21-40	>45	Medium	Increasing	6-9	50-100	Hard to deform by hand squeezing	
	3-6	5-9	10-25	26-45	>45	Stiff		10-16	100-200	Very hard to deform by hand squeezing	
ϕ (°)	20-28	28-30	30-34	33-38	>50	Very Stiff	OCR	17-30	200-400	Nearly impossible to deform by hand	
γ wet (kN/m ³)	11-16	14-18	17-20	20-23		Hard		>30	>400		

Empirical Values for ϕ , D_r and unit weight of granular soils based on the SPT at about 6m depth and normally consolidated [approximately, $\phi = 20^\circ + 15^\circ D_r (\pm 2^\circ)$].
[Ref: "Foundation Analysis and Design, 5th Edition" by Mr. Joseph E. Bowles, P.E., S.E.]

表 2.6 は、ボーリングコアから採取した供試体を用いて実施した室内試験結果を取りまとめたものである。土質・地質ごとに実施した試験結果より、密度(γ)・せん断抵抗角(ϕ)・一軸圧縮強さ(q_u)・圧密係数(C_v)・初期間隙比について、最小値・最大値・平均値をそれぞれ取りまとめた。これらの値は、概ね表 2.5 の範囲内にある。

表 2.6 室内試験結果のまとめ

Layer Designation	Subsoil	γ , gm/cc (kN/m ³)			ϕ°			Unconfined Compressive Strength 'q _u ' Mpa			Coeff. of Consol. C _c			Initial Void Ratio		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
SAND-1	Silty Sand/Sandy Silt	2.08 (20.8)	2.15 (21.5)	2.11 (21.1)	26	32	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CLAY-1	Clayey Silty Clay	1.78 (17.8)	2.32 (23.2)	2.10 (21.0)	—	—	—	0.04	0.53	0.26	0.13	0.27	0.19	0.215	0.568	0.415
SAND-2,3 & 4	Silty Sand/Clayey Sand/Gravelly Sand	1.60 (16.0)	2.61 (26.1)	2.21 (22.1)	26	32	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CLAY-2 & 3	Silty Clay/Clayey Silt	1.95 (19.5)	2.53 (25.3)	2.16 (21.6)	—	—	—	0.05	0.55	0.24	0.14	0.27	0.22	0.277	0.599	0.418
ROCK	Sandstone	1.72 (17.2)	2.73 (27.3)	2.21 (22.1)	30	32	31	0.05	9.83	2.03	—	—	—	—	—	—
	Mudstone	1.48 (14.8)	2.90 (29)	2.20 (22.0)	—	—	—	0.03	13.2	1.48	—	—	—	—	—	—
	Limestone	1.58 (15.8)	2.75 (27.5)	2.24 (22.4)	28	28	28	0.40	19.9	7.03	—	—	—	—	—	—
	Conglomerate	1.97 (19.7)	2.33 (23.3)	2.18 (21.8)	32	32	32	0.06	16.6	5.0	—	—	—	—	—	—

出典：調査団

(3) 地盤の液状化

表 2.7 は、N ≤ 25 の砂層が分布するボーリングと各孔の地下水位をまとめたものである。これによれば、地下水で飽和した N ≤ 25 の砂層が広く分布する下記地域において地盤の液状化の

影響を留意する必要がある。

表 2.7 N≦25 の砂層分布と地下水位

①Drigh Road～Depot Hill 区間

(BH-4～BH-7)

②Baldia～Lyari 川河口部付近～

Karachi Cantt 区間

(BH-46～BH-57)

③Halt～PAF 区間

(BH-72～BH-81)

調査地域に影響を与える地震と地震動などの、設計する際に必要なパラメータは、“Guidelines of Pakistan Building Code (PBC-2007)”に掲載されている。

Depth, m											EXTENT of SAND with N<25	GWT, m	SUBMERGENCE CONDITION	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
BH # 1	9											1	4.91	DRY
BH # 2	10	13										3	4.59	DRY
BH # 3	11	14	13	23								5	5.66	DRY
BH # 4	7	13	11									4	3.87	SUBMERGED
BH # 5	11	9	22	22								5	3.23	SUBMERGED
BH # 6	10	14										3	2.30	SUBMERGED
BH # 7	8											2	1.95	SUBMERGED
BH # 12	4											2	0.00	SUBMERGED
BH # 16	7	13										3	1.41	SUBMERGED
BH # 17	4	21										3	1.21	SUBMERGED
BH # 18	4	21										3	0.50	SUBMERGED
BH # 20	18	7	13	11								2	2.51	DRY
BH # 21	23	13	14									6	7.66	DRY
BH # 22	23	13	14			25	7	13	4			9	6.24	SUBMERGED
BH # 23	23	10										3	11.11	DRY
BH # 25	12		4	20								5	12.17	DRY
BH # 26	18									24		3	9.04	DRY
BH # 27	12											2	9.52	DRY
BH # 28	4	16				15						6	4.82	SUBMERGED
BH # 31	16											2	9.50	DRY
BH # 34	25											2	19.33	DRY
BH # 36	9	7										3	12.62	DRY
BH # 41	9	11	10									4	15.04	DRY
BH # 44	9											2	3.38	DRY
BH # 46	19	16										4	2.06	SUBMERGED
BH # 47	18	19										3	0.83	SUBMERGED
BH # 49	15	14	16	15								5	2.79	SUBMERGED
BH # 50						25						6	0.68	SUBMERGED
BH # 51				19	21	17						6	2.92	SUBMERGED
BH # 52							25	24				8	4.63	SUBMERGED
BH # 53		4			20	22						6	3.74	SUBMERGED
BH # 56					12	20	21	21				8	2.59	SUBMERGED
BH # 57	5	6	10	7								5	1.73	SUBMERGED
BH # 58							22	23				9	4.29	SUBMERGED
BH # 59			12	16								5	4.11	SUBMERGED
BH # 60							23					6	4.48	SUBMERGED
BH # 68	16	13										3	1.60	SUBMERGED
BH # 71		7										2	2.08	DRY
BH # 72				21								4	2.24	SUBMERGED
BH # 74		9	10									4	1.15	SUBMERGED
BH # 76	8	4	9	6								5	3.52	SUBMERGED
BH # 79	17	5										3	2.85	SUBMERGED
BH # 81	3	5										3	0.79	SUBMERGED
BH # 84	14	12	22									4	0.52	SUBMERGED
BH # 86			24	16								4	2.88	SUBMERGED
BH # 88				6								4	1.62	SUBMERGED
BH # 89	6											2	1.15	SUBMERGED

出典：調査団

2.3.4 構造物基礎地盤の評価

(1) KCR 計画路線沿いの基礎地盤

ボーリング調査に基づいて作成した KCR 計画路線沿いの地質縦断面図には、N<50 の境界線を記入した。これによれば、基礎地盤の分布状況は下記のとおりである。

① 新第三紀堆積岩類が分布する区間

- ・ 「Gilani ～Depot Hill」 および 「Drigh Road～PAF」 区間
- ・ 「North Nazimabad～Manghopir」 区間
- ・ 「Manghopir～Baldia」 区間

上記区間では“軟岩”が直接分布しており、構造物の基礎地盤として十分な強度が期待できる。

② 第四紀の未固結堆積物が厚く分布する区間

- ・ 「Baldia ～Karachi Cantt」 区間
- ・ 「Halt～PAF」 区間
- ・ 「Drigh Road～Depot Hill」 区間

本区間のうち Lyari 川河口付近では、最大層厚 30m に達する砂層・シルト層・粘土層などの未固結堆積物が分布している。構造物支持地盤の目安である N<50 の地盤の分布深度は概ね 5～12m であり、最大 22m(BH-58 孔)である。

- ・ 「Gilani～North Nazimabad」 区間

本区間では、未固結堆積物が Lyari 川上流域に 10～15m の層厚で分布している。N<50 の地盤の分布深度は概ね 10～11m である。

未固結堆積物が厚く分布する区間においても新第三紀堆積岩類を確認しており、構造物の基礎地盤はこれらの境界部付近より深くなることはないと思われる。

(2) 斜面の安定性

KCR 計画路線のうち追加距離 4.7km～6.5km には、旧軌道敷設の際に開削した“掘割”がある。

本掘割は、斜面勾配約 60°で、最大 15m の高さに達する。切土斜面直下には、崩落した岩石塊が認められる。斜面全体には新第三紀の硬質な石灰岩層と砂岩層が分布しており、現状では概ね安定しているものの、斜面表面には地下水の流出等に伴う浸食による凹凸が見られる。

しかし現状の状態で放置すれば、地下水や雨水等による斜面浸食が進行して、斜面が不安定化する恐れがあるので、再開発の際には、斜面の保護および補強を実施する必要がある。

(3) 軟弱地盤

N<4 の粘性土を主体とする軟弱地盤は、「Baldia ～Karachi Cantt」区間で深度 5m 以浅に広く分布する。これらの地域では地盤の圧密沈下が想定されるので、構造物の基礎形式を検討するには地盤特性に留意する必要がある。

2.4 KCR 運転電力の供給

KCR への運転用電力はカラチ電力公社 (KESC) の電力ネットワークから供給する計画としている。KESC の電力供給能力は 2012 年で公称 2,341MW とされているがガス・石油の燃料供給不足や設備の老朽化などから実質的な発電能力はこれより小さいため、管轄地域であるカラチ都市圏の需要に十分に答えることができず計画停電が継続的に実施されるなど厳しい状況に置かれている。

また 2011 年の実績では KESC 供給電力の約 50%は国営の電力開発公社 (WAPDA) や IPP からの購入電力により賄われている現状にある。今後もカラチ都市圏の電力需要は増加することが見込まれており、計画的に新規設備の増設や老朽化設備の更新により発電能力を増強していかないと将来の電力供給は厳しい状況に置かれることも予想される。

KESC の今後の発電設備強化計画として、ガス・石油燃料への供給不足に対処するため Bin Qasim 発電所の老朽化した既存のガス・石油火力発電設備を石炭火力発電設備に転換する計画を有しており、Phase1 として 210MW×2 ユニットの発電設備の更新計画が進行中であり、残り 4 ユニット中の 2 ユニットについても Phase2 として順次更新していく計画がある。また、イギリスの Oracle Coalfields との共同開発事業としてシンド州内の埋蔵量が豊富な Thar 石炭鉱山の開発と採掘された石炭を燃料とする火力発電所を建設する計画も進行中である。

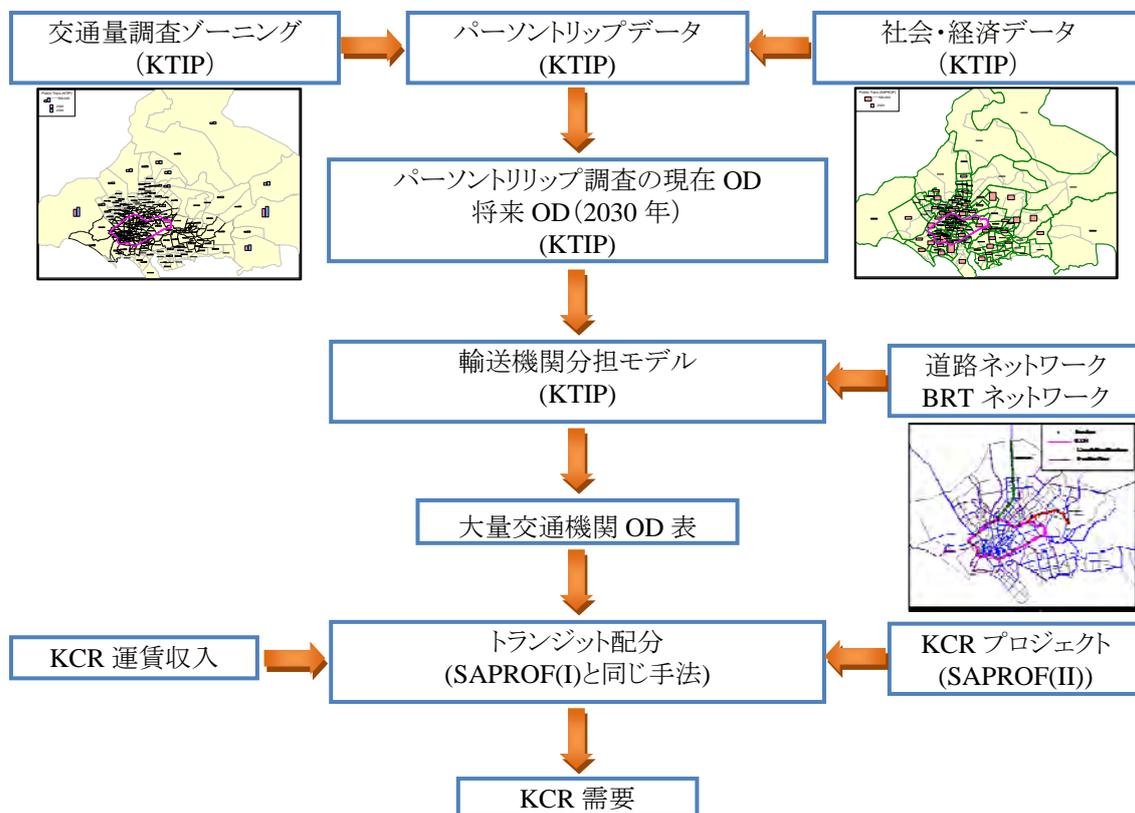
一方、KCR 用最大ピーク電力として、①N-A1 ケースの場合 2022 年開業時のピーク時間帯に最大 26MW 程度 (2051 年には 60MW)、②N-B1 ケースの場合 2022 年開業時のピーク時間帯に最大 26MW 程度 (2051 年には 62MW) の電力が必要になると予想される。KESC は市民生活に重大な影響を与える公共事業実施機関あるいは軍関係には Strategic Customer として計画停電対象から除外するとの基本方針の下で優先的な電力供給を実施してきている。KESC は KCR に対し Strategic Customer として安定的な電力供給を約束しており、公共事業機関として重要な役割を有する KCR への優先的な電力供給が期待できるものと考えられる。

現状として、Strategic Customer であるカラチ水道公社(KWSB)や KCR と同じ専用送電線を新設し KESC から受電している大規模な化学工場は過去 2~3 年深刻な停電の実績がないことから、Strategic Customer として指定されることが安定的な電力を受電するための必須条件と言える。なお、カラチ都市圏の電力事情としては国からの電力供給への依存度がかなり高いことから、事業の実施段階においては KESC の電源強化に向けた取り組みへの注視だけでなく国全体の電力事情についても十分に留意する必要がある。

第3章 需要予測

(1) 概要

需要予測の見直しは、KTIP の OD 表をもとに SAPROF(I)と同じ手法を用い、下記フローに従って行った。

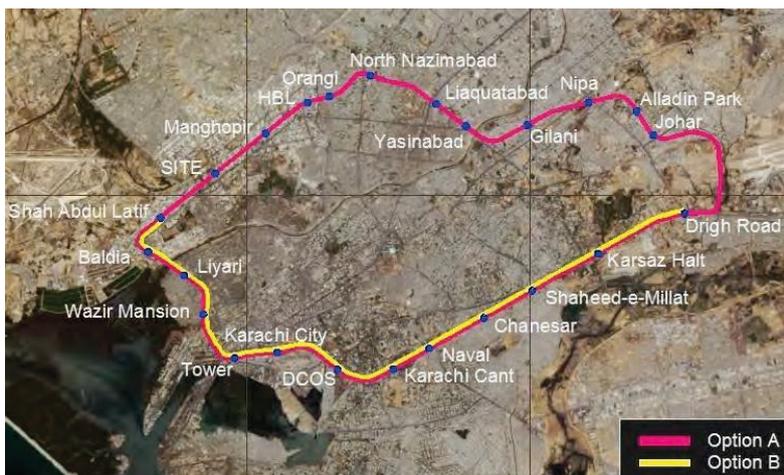


出典：調査団

図 3.1 需要予測フロー

需要予測を行う際の条件としては以下に示す項目について考慮した。

- ・ 検討ケースの設定(図 3.2)
- ・ 乗り換え距離を考慮した KCR と他の公共交通機関との乗り換えモード
- ・ BRT 開発計画
- ・ 公共交通のサービスレベル



出典：調査団

図 3.2 検討ケース

表 3.1 需要予測条件

Year	Case	2022	2030	2040
KCR	N-A	環状運転	環状部+KCR 延伸線	環状部+KCR 延伸線
	N-B	Shah-Abdul-Latif ~ Karachi Cantt ~ Drigh Road	Shah-Abdul-Latif ~ Karachi Cantt ~ Drigh Road & Extension line	
路線バス	1	<ul style="list-style-type: none"> 既存バスネットワークの郊外延伸 環状線北部に到達する新規バス路線の発達(BRT 路線をのぞく) 		
	2	<ul style="list-style-type: none"> 既存バスネットワークの郊外延伸 		
BRT		<ul style="list-style-type: none"> Green, Red Line 環状線外側のみ 	<ul style="list-style-type: none"> Green, Red, Brown, Aqua, Orange, Yellow and Purple Line 環状線の外側は時速 25km 運転、内側は時速 15km 運転 	<ul style="list-style-type: none"> Green, Red, Brown, Aqua, Orange, Yellow and Purple Line 時速 25km 運転
道路		建設中	マスタープランによる	マスタープランによる

出典：調査団

(2) KCR 需要

需要予測の結果は以下の通りとなった。

表 3.2 需要予測結果

ケース	項目	1日あたり合計旅客者数		最大断面交通量	
		2022	2030	2022	2030
N-A1		578,362	1,223,066	236,999	448,476
N-A2		526,738	1,174,107	219,548	426,870
N-B1		306,236	828,018	225,101	449,858
N-B2		283,543	798,716	207,820	427,397

出典：調査団

第4章 KCR 技術基準および線形計画のレビュー

4.1 KCR 技術基準

KCR のフィージビリティ調査は 2005 年に JETRO により実施され、その後パキスタン国鉄の委託により Scott Wilson Railway によりレビューされた。その後 2008 年 12 月に、パキスタン政府より KCR プロジェクトに対する STEP ローン供与を要請された。このため、本プロジェクトは日本の鉄道基準により行われることを、ECNEC による修正 PC-1 にて確認されている。以上を踏まえて本調査においては、これまでの調査結果をさらにレビュー・更新し、技術的諸元を以下のようにまとめた。

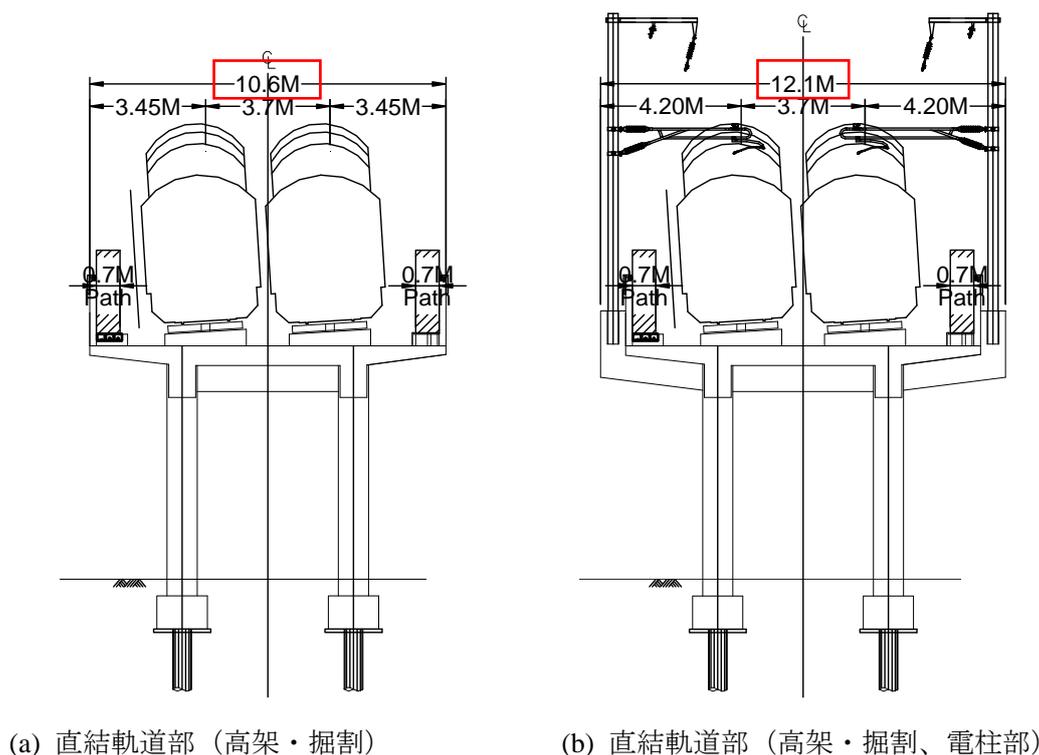
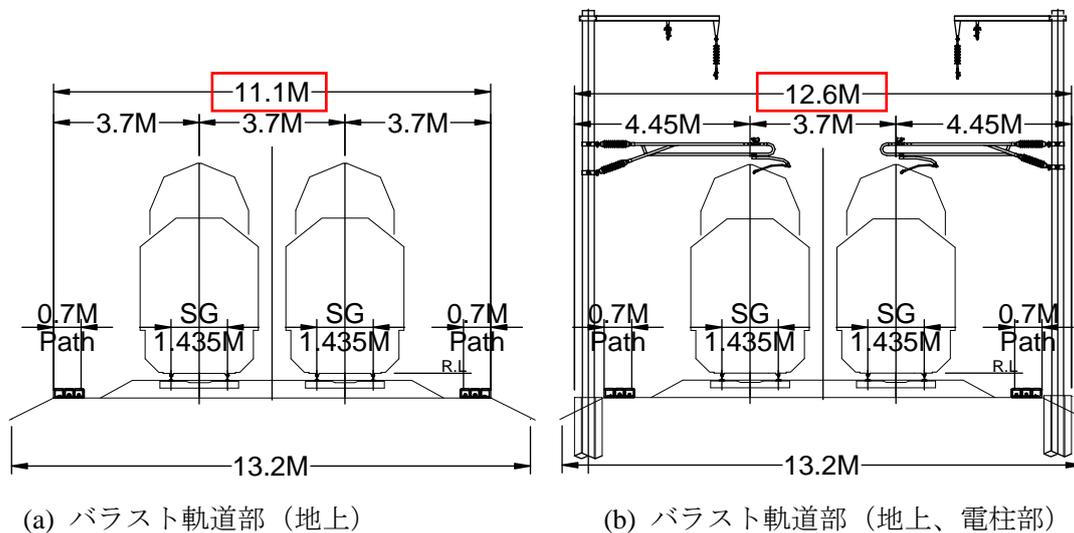
表 4.1 KCR 技術基準(案)

項目		諸元	備考
最大曲線半径 (m)	本線	400 (200)	(): 地形その他の理由でやむをえない場合
	車両基地内	100	
建築限界幅 (mm)		3,400	調査団提案の車両導入時
カント (mm)	均衡カント	$11.3 * V^2/R$	軌間 1435m を採用
	最大カント	150	類似路線の実績考慮
	最大許容カント不足量(C_d)	90	
設計速度 (km/h)		110	到達時間の短縮
最大勾配 (%)		35	下り勾配の速度制限: 85km/h
緩和曲線長 (mm)	種類	三次放物線	設定・保守が容易
	L_1	$300C_m$	C_m : 実カント
	L_2	$7.4C_mV(5.9C_mV)$	
	L_3	$6.7C_dV(5.2C_dV)$	
分岐器	Main line	10 番	SAPROF(I)時は 12 番
	Depot	8 番 (枝線は 6 番)	SAPROF(I)時は 10 番
車両限界幅 (mm)		3000	
軌道中心間隔 (mm)		3700	調査団提案の車両導入時 (曲線部拡幅不要)
縦曲線半径 (m)	10/1000 or more	$R=2000$	SAPROF(I)時は 3000m
	Less than 10/1000	不要	ただし、平面曲線と競合する場合は 3,000m とする
曲線中の偏い量 (mm)		$24400/R$	$L_0=2,100mm, L_1=13,800mm$ 曲線半径 200m の場合、拡大幅は 122mm
R.L.~プラットフォーム天端 (mm)		1100	車両床高さを考慮
曲線区間における軌道中心からプラットフォーム端までの距離(mm)	曲線内側	$K=W+s+C*h/G$	K, K': 建築限界拡大幅 W: 偏い, C: カント G: 軌間, h: プラットフォーム高 (1,100mm) ※ スラックは考慮しない
	曲線外側	$K'=W-C*h/G$	
PR 在来線の上方限界 (mm)		6350	PR 技術基準によると、将来電化時 (25kV AC)、6,325mm

出典: 「国土交通省監修 解説・鉄道に関する技術基準」より調査団作成

4.2 施工基面幅

KCR の構造物区分は、地上部、高架部、掘割部の3つに分けられる。調査団では、表 4.1 に基づき、各部の施工基面幅を以下のように定めた。この施工基面をもとに、片幅 0.5m ずつを施工余裕として付加し、KCR 用地幅を決定した。



出典：調査団

図 4.1 施工基面幅

4.3 駅部設計における基本方針

調査団では、KCR 駅部の設計に対する基本方針を以下の通りとした。

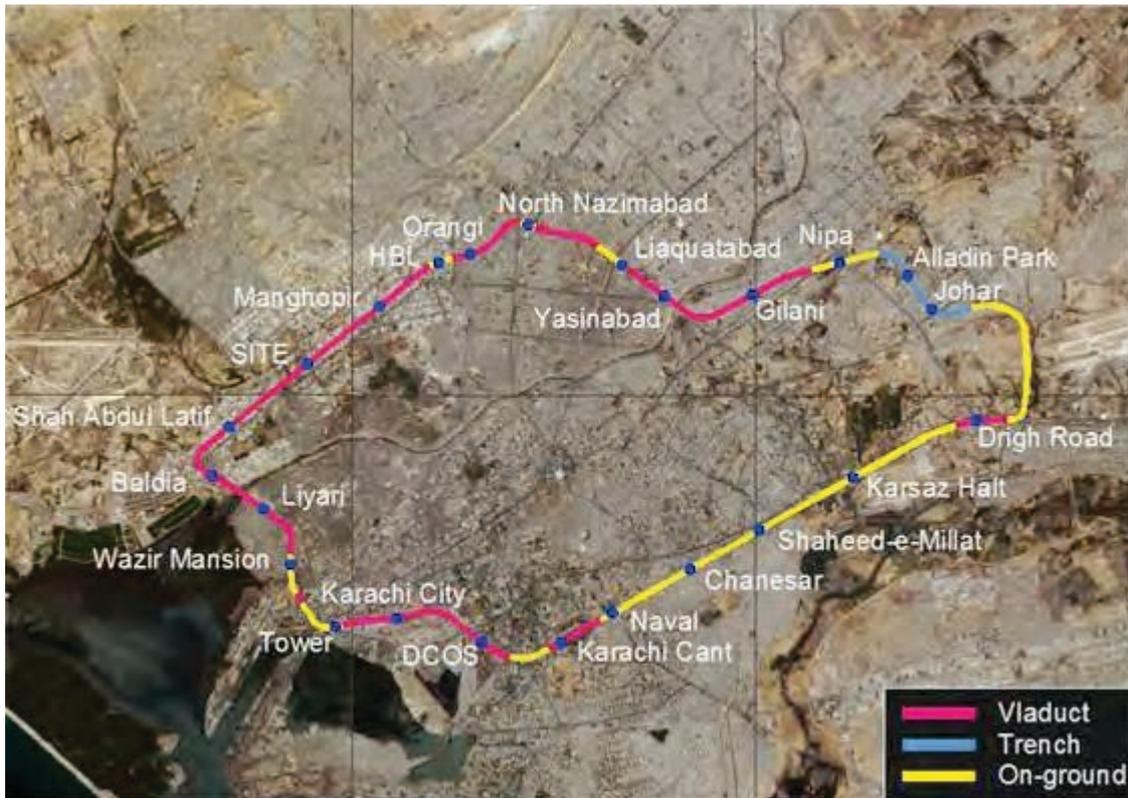
- (1) KCR では全踏切を解消し、全交差道路とは立体化する計画となっている。このため、KCR の路線計画にあわせて、駅形式も「地上駅」「高架駅」「地下駅」の3タイプが適用される。
- (2) 上記3タイプのうち、地上駅は「橋上駅舎」タイプのみで、高架駅は改札を地上に置くタイプと、改札を中層階に設けるタイプとに分かれる。道路交差部に駅があるような場合は、旅客を安全かつスムーズに地上へと誘導できる改札階を設けるタイプとなる。
- (3) プラットフォームタイプは、KCR 用地幅を考慮し、島式と相対式の2タイプとし、基本的に用地の制約がない箇所は、線形を考慮し相対式としている。
- (4) 各駅のプラットフォーム幅は、需要予測に基づく乗降旅客数、エレベーターおよびエスカレータの設置、プラットフォーム旅客および運行列車の安全確保、用地幅の観点から、島式、相対式ホームのそれぞれについて、必要最低幅として算定した。
- (5) 交通結節点としての駅前広場および乗り換え設備計画については、現在、KUTC の駅前開発プランが確定していない状態のため、調査団の提案する「推奨案」と、開業までに最低限整備が必要な「暫定案」の2つを提起することとし、レポートにまとめた。

4.4 線形計画のレビュー

調査団は、路線計画として、N-A 案と N-B 案の2つを提案している。N-A 案は全線開業案、N-B 案は Shah Abdul Latif 起点をとして、Karachi Cantt. を経由し、終点を Drigh Road とするルートを提案している。

路線計画のレビューにあたっては、以下の点に留意している。

- (1) 地形測量成果、用地境界測量成果
- (2) SAPROF(I)報告書、住民移転計画 (RAP) 報告書
- (3) KUTC との協議内容
- (4) パキスタン国鉄 (PR) 作成の KCR 路線計画図面
- (5) KCR 路線と交差する道路空頭 (コントロールポイント)
- (6) Wazir Mansion~Karachi Cantt.~Drigh Road 間のパキスタン国鉄在来線の移設量
- (7) パキスタン国鉄在来線建築限界
- (8) 駅計画



出典：調査団

図 4.2 KCR 路線図

第5章 概略設計のレビュー

5.1 運転計画

SAPROF(II)では、需要予測の見直しが行われたため、運転計画についても見直す必要があった。このため、概略設計のレビューは基本条件までとし、この基本条件をもとに、運転計画の再検討を実施した。本報告書における、運転計画の手順は以下の通りである。

- (1) KCR 運行計画の基本条件（提案車両の性能、諸元、駅での停車時分、ピークアワー、混雑率の設定など）のレビュー
- (2) 見直された需要予測と路線計画をもとに、各案（N-A1, N-A2, N-B1）における運転間隔と1編成の車両数の検討
- (3) ランカーブ（運転曲線）の作成
- (4) 駅停車時分を考慮した基準運転時分の設定
- (5) ダイアグラム（運行図表）の作成、列車キロの算定
- (6) 必要車両数の算定

レビューおよび計画の再検討の結果、開業時（2022年）における必要車両編成数は、N-A1, N-A2案では25編成100両（4両/編成）、N-B1案では16編成64両（4両/編成）となった。

なお、開業時に提供する時間帯別の列車ヘッドは下表のようになる。

表 5.1 開業時に提供する時間帯別の列車ヘッド

	Peak hour	Semi-peak hour	Off-peak hour
Option	7:00-11:00	11:00-13:00	6:00-7:00
	16:00-21:00	15:00-16:00	13:00-15:00
		21:00-22:00	22:00-23:30
N-A1	6 min (10 trains/h)	6 min 40 sec (9 trains/h)	8 min (7.5 trains/h)
N-A2	6 min (10 trains/h)	7min 30 sec (8 trains/h)	8 min (7.5 trains/h)
N-B1	5 min (12 trains/h)	6 min 40 sec (9 trains/h)	8 min (7.5 trains/h)

出典：調査団

5.2 土木構造物および軌道

(1) 土木構造計画

路線計画に基づき、一般部（駅部以外）の構造は、地上走行部における①一般盛土区間および②切土区間（擁壁含む）と、高架部における③高架橋および橋りょう区間とに分けられる。

SAPROF(I)では、補強盛土形式を提案していた。その後、SAPROF(II)での KUTC との協議の中で、調査団が日本の都市鉄道と同じく、高架下利用による関連事業の可能性について提案してきた結果、KCR においても、高架部においては高架下を店舗利用したいとの要望が出たため、補強盛土部についても、高架橋形式を採用することとした。

掘割区間においては、カルバートおよび擁壁を用いた構造形式を提案し、構造比較、経済比較等を行った。また、掘割区間では特に問題になる、排水設備計画や火災対策に関する提案も行っている。

(2) 軌道構造

SAPROF(I)では、バラスト軌道、コンクリート直結軌道の 2 タイプを提案しているが、SAPROF(II)では、この 2 案の比較を行い、以下のような結論を導いている。

- a) メンテナンスの容易性およびその構造特性から、高架橋区間および掘割区間では、コンクリート直結軌道を採用する
- b) 地上走行区間および車両基地では、施工性、経済性の観点から、バラスト軌道を採用する

(3) 軌道材料

軌道材料に関して、経済性、施工性、維持管理の容易性の観点から総合的に判断した結果、調査団の提案は以下の通りとなった。

- a) レールは、UIC 60 kg を KCR 本線に適用、UIC 54 kg を車両基地内に適用
- b) 締結装置は、バンドロール型とする
- c) 分岐器は、本線では 10 番、車庫内主要部は 8 番、それ以外は 6 番を適用

(4) 駅建築計画

駅の建築計画は、タイプ別に 5 駅 (Karachi Cantt. Johar, HBL, Manghopir, DCOS の各駅) を抽出し、それぞれについて検討を行った。また、この 5 駅については完成予想図 (CG) を作成している。

(5) 車両基地および工場

車両基地および工場は、1 編成すべてが納まる検査設備や留置線が必要となるため、十分な土地が確保できる場所とすることが必須条件である。このため、調査団は KUTC と再度協議し、SAPROF(I)でも提案していた WazirMansion 駅海側の国鉄ヤードおよび、Depot Hill の 2 箇所決定した。需要予測および運転計画をレビューした結果、今回確保した用地内に、全車両収容可能であることが確認できた。

Wazir Mansion には全検査設備および工場を配置し、Depot-Hill は用地が十分に確保されていないため、留置主体とした。また、列車運用の観点から、Gilani、Manghoir、Liyari 駅に留置線および折り返し設備を設けることとした。

5.3 電源設備

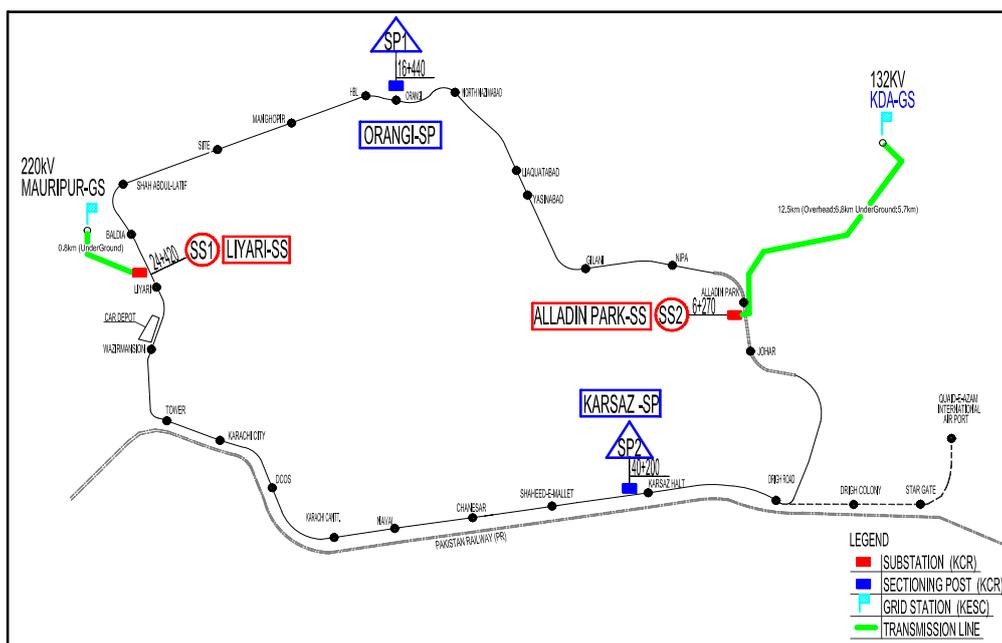
(1) 電力供給システム

(a) システム構成

本システムは送電線設備、変電設備、配電線設備、電車線設備により構成される。送電線設備はカラチ電力公社 (KESC) の電力事情を詳細に調査して十分な電力量の確保および最適なルートを選定が可能な系統変電所(GS)を選択した。変電設備は変電所(SS)2カ所、き電区分所(SP)2カ所を計画路線で最適な位置を敷地確保の容易性とGSと位置関係を考慮しながら決定した。本線の配電線は2変電所間を3相11kV2回線、車両基地にはLiyari変電所から同様の専用2回線を計画した。また、非常用電源として車両基地と地下駅に発電機を計画した。電車線は2×25ATき電方式で最も標準的な架線構成、電化柱は高架区間には美観及び耐震性を考慮して鋼管柱、地上部はH形鋼柱を計画した。また、設備決定の基本となる気象条件、パキスタン国鉄の設備標準、KESCの送電網・規定等を調査、取得した。

(b) SS、SPの位置と所要面積

SSはLiyari(MauripurGS 220kV~)とAlladin Park(KDA GS 132kV~)、SPはOrangi、Karsazに計画した。GS,SSおよびSPの概略位置を図5.1に示す。



出典：調査団

図 5.1 GS,SS 及び SP 位置図

- Liyari SSはMauripur GSから送電線敷設ルートで約0.8km、Liyari川沿いに位置している。屋外式の変電所を計画しておりシンド州土地利用局から3.50acres(14,160m²)の取得が約束されている。予定地は軟弱地盤が予想されることより、実施段階には綿密な地質調査と強固な基礎工事が必須と思われる。

- Alladin Park SS は KDA GS から送電線敷設ルートで約 12.5km、KCR 計画路線に隣接している。屋外式の変電所を計画しており 3.05acres (12,340m²)の民有地取得に向けての交渉が KUTC と地主との間で進められている。
- Orangi SP は Orangi 駅構内の約 2,500m² の土地を確保した。
- Karsaz SP は Karsaz Halt 駅に近くの KWSB(Karachi Water and Sewerage Board)が所有する 3,200m²(進入道路を含む) の土地取得に向けての交渉が進められている。

(c)送電線

GS の候補場所を決定するにあたっては電力シミュレーションから算出した必要電力量を KESC に提示して供給能力、技術的な問題点を検証して上記 2 か所の GS から受電することを決定した。

- Liyari SS への Mauripur GS からの送電線敷設ルートは既設架空送電線と競合するため架空線による架設は困難であり地下埋設ケーブルでの敷設を計画した。
- Alladin Park SS への KDA GS からの送電線敷設ルートは現場踏査の結果 GS から 6.8km は架空線、5.7km は地下埋設ケーブルでの敷設を計画した。

(2) 電力シミュレーション

全線開業時(N-A1)の通常き電時、全線開業時(N-A1)の延長き電時、部分開業時(N-B1)の 3 ケースで電力シミュレーションを実施した。シミュレーション条件はピーク時間帯における①全線開業時の 2051 年運転ダイヤ、環状線 4 両編成 15 本/時、延伸線折返運転 8 両編成 7.5 本/時、②部分開業時 2051 年ダイヤ、8 両編成 15 本/時、運転区間 Drigh Road～Shah-Abdul-Latif を使用した。

➤ 最大ピーク電力:

1) 2051 年運転ダイヤ

(a)全線開業時(N-A1)

- ① 列車運転用最大ピーク電力: 28,679kW
 - ② 安全率 30% $28,679 \times 30\% = 8,604\text{kW}$
 - ③ サービス電力 (駅、車両基地、OCC、信号通信設備) $28,679 \times 80\% = 22,943\text{kW}$
- 最大ピーク電力: ①+②+③ = 60,226 kW \approx 60MW

(b)部分開業時(N-B1)

- ① 列車運転用最大ピーク電力: 29,674kW
 - ② 安全率 30% $29,674 \times 30\% = 8,902\text{kW}$
 - ③ サービス電力 (駅、車両基地、OCC、信号通信設備) $29,674 \times 80\% = 23,739\text{kW}$
- 最大ピーク電力: ①+②+③ = 62,315kW \approx 62MW

2) 2022 年開業時ダイヤ

2051 年運転ダイヤの約 40%程度の運転用電力およびサービス電力を想定した場合、概算ピーク電力は下記のとおり。

- (a) 全線開業時(N-A1) 26MW
- (b) 部分開業時(N-B1) 26MW

表 5.2 最大ピーク電力

		N-A1	N-B1
き電用変電所		2TSS Alladin Park TSS Liyari TSS	1TSS Liyari TSS
最大ピーク電力	2022 年運転ダイヤ	26MW	26MW
	2051 年運転ダイヤ	60MW	62MW

出典：調査団

➤ 受電側：

- ・受電電圧変動率、受電電圧不平衡率はいずれも規制値である 5%以下。
- ・列車運転用電力

(a)全線開業時(N-A1)の通常き電時

Alladin Park TSS の最大ピーク電力は 15,439kW、2 時間の消費電力量は 11,257kWh。
Liyari TSS の最大ピーク電力は 22,874kW、2 時間の消費電力量は 19,560kWh。

(b)全線開業時(N-A1)の延長き電時

Alladin Park TSS の延長き電の最大ピーク電力は 28,553kW、2 時間電力量は 29,182kWh。
Liyari TSS の延長き電の最大ピーク電力は 28,679kW、2 時間電力量は 29,197kWh。

(c)部分開業時(N-B1)

Liyari TSS の最大ピーク電力は 29,674kW、1 時間の消費電力量は 11,042kWh。

➤ き電側：

- ・最大電流

全線開業時(N-A1)の通常き電時における Alladin Park TSS の母線電流の最大は 331A、Liyari TSS は 819A、延長き電時における Liyari TSS の母線電流の最大は 906A。部分開業時(N-B1)における Liyari TSS の母線電流の最大は 997A。

- ・き電用変圧器容量

全線開業時(N-A1)の通常き電時におけるき電用変圧器容量は列車乱れによる 30%の安全率を考慮すると Alladin Park TSS は 23MVA、Liyari TSS は 56MVA 以上必要となる。

しかしながら一方の変電所が供給不能になった場合、延長き電時の最大負荷に対応可能

な変圧器容量が必要となるため、Alladin Park TSS、Liyari TSS ともに変圧器容量は 62MVA 以上が必要となる。

部分開業時(N-B1)における Liyari TSS の変圧器容量は 68MVA 以上が必要となる。なお全てのケースで 2 重系とするために同じ容量の変圧器を 2 台設置する必要がある。

・ AT 容量

全線開業時(N-A1)の AT 自己容量は列車負荷では 4MVA、部分開業時(N-B1)は 3MVA となる。AT の短絡強度により AT 自己容量が変化するため、短絡強度を勘案した TSS の AT 自己容量および SP の AT 自己容量の設計が必要となる。なお、AT の線路容量は自己容量の 2 倍になる。

・パンタ点電位、レール電位

全線開業時(N-A1)および部分開業時(N-B1)の列車ダイヤ負荷では、常にパンタ点電圧は規制値の 20kV 以上、レール電位は規制値の 120V 以下であった。なお、トロリ線-レール間の短絡故障時におけるレール電位は PW 接地方式とした場合でも最大値 1,342V であった。したがって事故時のレール電位を下げるためには埋設接地線の敷設が必要となる。ただし実際の現場の接地抵抗値、接地間隔によりレール電位が変化するため、また事故遮断時間によっても許容電圧値が変わるため、基本設計段階では各種条件を整理したうえで事故時レール電位を検証し、埋設接地線の必要性の検証が必要となる。

・トロリ線温度上昇

Liyari TSS における全線開業時(N-A1)における通常き電時で最大温度上昇 10.1℃、延長き電時で 10.6℃、また部分開業時(N-B1)における最大温度上昇は 10.4℃であり、いずれも外気温 50℃を加えても許容値である 90℃以下であった。

・回生電力による省エネルギー効果

(a) 消費電力量(MWh)に対する省エネルギー効果

全線開業時(N-A1): 2時間当たり消費電力量(MWh)に対し、通常き電の場合 Alladin Park TSS が 6.5MWh の省エネルギーとなり回生率は 36.6%、Liyari TSS は 14.5MWh の省エネルギーとなり回生率が 42.5%であった。延長き電時の Liyari TSS は 22.2MWh の省エネルギーとなり回生率が 43.2%であった。

部分開業時(N-B1): 1時間当たり消費電力量(MWh)に対し、Liyari TSS では 6.9MWh の省エネルギーとなり回生率は 38.6%であった。

なお、回生率 = (回生電力有無の場合の電力量差) / (回生電力がない場合の電力量) × 100(%)である。

(b) 最大ピーク電力(MW) に対する省エネルギー効果

全線開業時(N-A1): 最大ピーク電力(MW) に対し、通常き電の場合 Alladin Park TSS

においては 1.4MW、Liyari TSS においては 4.0MW の省エネルギー効果があった。延長き電時の Liyari TSS においては 9.7MW の省エネルギー効果があった。

部分開業時(N-B1): 最大ピーク電力(MW) に対し、Liyari TSS においては 5.9MW の省エネルギー効果があった。

(3) 配電設備

- ▶ 11kV の配電線路は現地で一般的に使用されているので関連製品の現地調達は可能であると思われる。但し技術仕様書作成の際には特性・緒元等を日本規格に照合して精査する。
- ▶ 電気室設備は各駅、総合指令所(OCC)、検修庫、工場等に設備する。11kV 2 回線配電、変圧器は 1 号系、2 号系の 2 バンク構成、さらに地下駅と車両基地には非常用発電機(ディーゼル)を計画した。
車両基地には水銀灯を標準として電車線ビーム上にハイウェイ灯、通路にはブラケット灯、ポール灯、本線筋では地下部分にトンネル照明を上下線別に設備する。
地下駅には排水ポンプ設備 (3 台; 常用・予備・点検予備、並列運転) を設備する。
- ▶ 今後の課題
 - ・ 地上部分のケーブル、電線類は盗難・障害防止を考慮して堅固な保蔵物で防護する具体的な敷設方法は既存の技術基準を参考にして決定する。
 - ・ 準拠すべき防災基準について今後パキスタン側と協議する。

(4) 電車線設備

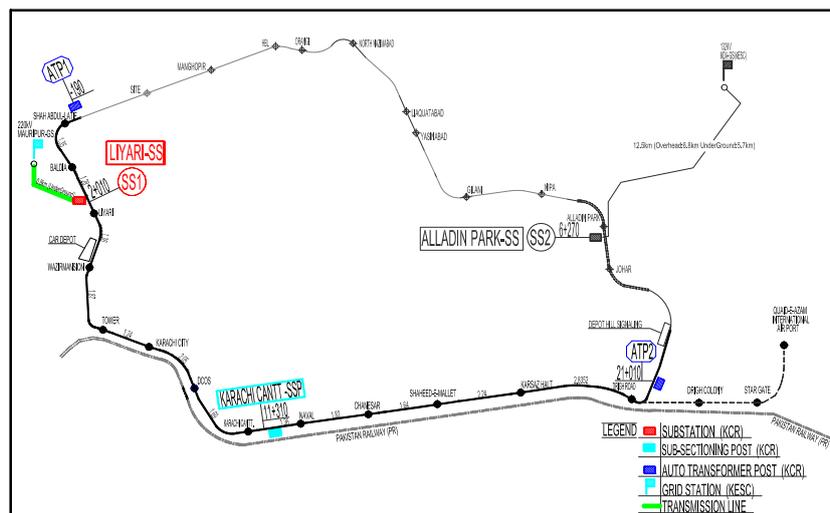
日本の大都市通勤圏における AT 電化方式を念頭に設備を構成した。併せてカラチの気象条件、社会風土、パキスタン国鉄の電化標準、KESC の技術仕様等を参考にしながら設計の前提条件を提示した。

- ▶ き電方式は単巻変圧器(AT)き電方式(交流 25kV 50Hz 方面別異相き電)、架線方式はシングルカテナリー方式とする。
- ▶ 気象条件と汚損区分に関し、本計画地域には電化設備は無く鉄道側からの規定値は得られないがラホールを中心とした北部の電化区間の設備標準と KESC の送電線設備の技術仕様及び防衛省・気象管理所のデータを参考にして気象条件と汚損区分を提示した。
 - ・ 大気温度(°C) ; 標準 30、最低 10、最高 40
 - ・ 風速値(m/s) ; 支持物計算適用値 30、偏位計算適用値 20
 - ・ ガイシの汚損区分 ; 重汚損
- ▶ 電車線設備を構成する支持物、架空電車線、き電線、保護線・中性線別に種別、線種、標準張力を規定し標準装柱を決定した。さらにそれらを電力シミュレーションの計算条件の一部とした。

- ▶ GS と送電線ルートを選定と同時に SS、SP の候補地は変電機器の配置、機器搬入方法、土地取得の容易性等を考慮しながら決定した。
- ▶ き電系統は SS と SP の相互バランスと 1 変電所脱落時の延長き電を考慮のうえ決定し、電力シミュレーションで位置の妥当性を検証した。
- ▶ 高架区間、地上区間、半地下区間別に標準的な装柱を提案した。
- ▶ 今後の課題；
 - ・ 電車線の支持物は土木構造物との調和、周辺景観との融合、保守の容易性を考慮して提案する。
 - ・ U 字擁壁、こ線橋、歩道橋、道路橋付近に設備する電車線、き電線、保護線は一般人が感電する恐れがあるので保護板、防護柵による感電防止対策を行う。
 - ・ 計画路線を跨ぐ道路橋、歩道橋(計画中也含めて)の高さ・幅を調査して架線構成の可否を基本設計の早い段階で精査する。
 - ・ レール電位上昇の低減方法として埋設地線を採用する場合は現場状況を踏まえて敷設方法を考慮する。
 - ・ 現地産の骨材、鋼材、電線類を採用する場合は品質、性能を日本規格に照合して精査する。

(5) 部分開業案(N-B1)

需要予測の見直しに伴い N-B1 案として Shah Abdul Latif を起点とし環状線の南側 Karachi Cantt を経由して Drigh Road までの約 21km、さらに Drigh Road から Depot Hill までの入出場線 2.3km の路線が提示され変電設備として SS1 カ所、停電範囲を限定するための補助き電区分所(SSP)1 カ所、ATP2 カ所を計画した。



出典：調査団

図 5.2 N-B1 案 GS、SS、SSP 及び ATP 位置図

➤ N-B1 案における SSP、ATP の位置と所要面積

SS は Liyari SS、SSP(屋外式 1,320m²)は Karachi Cantt 構内、ATP は Shah Abdul Latif 構内の高架下(屋内式 200m²)及び Drigh Road 駅から 0.3km Depot Hill 寄りの遊休地(屋外式 1,260m²)に計画した。何れの用地も新たな土地収用の必要はない。

➤ N-B1 案における異常時の電源対策

Liyari TSS からの給電が停止した場合、Alladin Park TSS に設備した簡易変電設備からき電用電力を終端駅である Shah Abdul Latif まで供給し駅間で停車している列車を最寄り駅まで運行し乗客を避難させる。一方、付帯用電力(駅構内の照明、防災設備、列車運行・指令業務の通信設備用)は Wazir Mansion の総合指令所(OCC)に設備した非常用ディーゼル発電機により即座に供給されるシステムとする。

➤ N-B1 案における列車退避用の補助電源設備

列車運行時間帯に Liyari TSS からの給電が停止した場合、乗客を最寄り駅まで運ぶための補助電源の確保が重要となる。以下の補助電源設備案が考えられる。

① 簡易変電設備;

Depot Hill は昼夜を問わず車両が移動するので本線の運転用電源とは別に専用電源が必要である。Alladin Park TSS の敷地内に単相 25kV を生成する簡易変電設備を新設し Drigh Road まで送電する。本電源は常時は Depot Hill 車両入換用と Drigh Road~Depot Hill 間の入出場用として運用し、Liyari TSS 脱落時は Shah Abdul Latif までの延長き電用として運用する。

② 地上補助電力供給装置;

地上に設備した蓄電池電源により駅間停止中の車両を救済する。常時は交流き電用電源で充電、非常時に放電する装置であり、現在日本では交流電化区間での実績はないため今後の技術動向を見据えて導入の可否を検討する。

③ 車載蓄電システム;

列車編成単位毎に余剰回生電力を車載の蓄電池に貯蔵し自走で最寄り駅まで退避する。

本調査では、①簡易変電設備案を採用する前提で事業費を計上した。

5.4 信号

SAPROF(I)では、AF 軌道回路を用いた、固定閉塞方式による列車検知システムを用いた、自動列車運転装置 (ATO)、自動列車保安装置 (ATP) を導入した信号システムを提案した。しかしながら、近年、移動閉塞による通信ベース列車制御システム (CBTC) が多くの都市交通プロジェクトに導入されている状況を踏まえて、SAPROF(II)では、AF 軌道回路方式と CBTC の比較検討を行った。

検討の結果、調査団は KCR の運行により適している、CBTC 方式を提案した。

CBTC は以下の点で、固定閉塞方式に対して有利である。

- ・ 軌道回路を必要としない移動閉塞方式をベースとするため、地上設備が少なく済み、初期導入コストが従来の固定閉塞方式に比べ安価となる。
- ・ CBTC では、需要増に伴う運転間隔の変更や、車両数の増加によるシステムの変更に対して、大規模な改良をすることなく柔軟に対応できる。

5.5 まとめ

概略設計のレビューの結果、KCR プロジェクトの規模は表 5.3 に示す通りである。

表 5.3 KCR プロジェクトの規模

項目		Option N-A	Option N-B
土木および 駅計画	路線延長	43.24 km	20.73 km
	地上区間	15.68 km	9.77 km
	高架区間	23.86 km	10.20 km
	掘割区間	2.28 km	-
	橋りょう	1.42 km	0.76 km
	駅全数	24	13
	地平駅	10	6
	高架駅	12	7
	掘割駅(カルバート)	2	-
車両基地	留置能力	31 編成 (開業時) 43 編成 (将来計画)	19 編成 (開業時) 22 編成 (将来計画)
	Wazir Mansion 車両基地	19 編成 (開業時) 23 編成 (将来計画)	15 編成 (開業時) 18 編成 (将来計画)
	Depot-Hill 車庫	4 編成 (開業時) 10 編成 (将来計画)	4 編成 (開業時) 4 編成 (将来計画)
	Manghopir 車庫	2 編成 (開業時) 2 編成 (将来計画)	-
	Gilani 車庫	6 編成 (開業時) 8 編成 (将来計画)	-
軌道	軌間	標準軌 1435 mm	
	レール	UIC 60 kg (本線)・UIC 54 kg (車両基地)	
	軌道	・ バラスト軌道(地上区間) ・ コンクリート直結軌道(高架・掘割区間)	・ バラスト軌道(地上区間) ・ コンクリート直結軌道(高架・掘割区間)
電力	Grid Station (GS)	2 箇所 Mauipur & KDA	1 箇所 GS at Mauipur
	送電線	220 kV (Mauripur-Liyari) 132 kV (KDA-Alladin Prak)	220 kV(Mauripur-Liyari)
	変電所 (TSS)	2 箇所 Alladin Park & Liyari	1 箇所 Liyari
	(SP)	2 箇所 Orangi & Karsaz	1 箇所 Karachi Cantt
	電化方式	A/C-25kV×2 AT き電システム	
	架線	カテナリー	
信号・通信	信号システム	自動列車運転装置(ATO), CBTC, 車内信号	
	通信システム	光ファイバー通信、列車無線 監視・防犯カメラシステム、案内放送、案内表示装置等	
車両	形式	電車列車	
	車両編成	開業時 4 両編成 (2M2T)	
	編成数	開業時 25 編成 (100 両)	開業時 16 編成 (64 両)
その他設備	料金徴収システム 自動料金徴収システム		
運行計画	運行時間	6:00 ~ 23:30	
	平均速度 (表定速度)	43 km/h	
	運転間隔	6-8 分 (開業時)	5-8 分 (開業時)

出典：調査団

第6章 事業計画および事業費のレビュー

6.1 事業費

機材調達、プロジェクトの実施等に当たり、公正を図るため一定期間公開しないこととする。

6.2 事業実施計画

本調査における事業実施計画は以下の基本事項をもとに策定された。

- 1) 移転住民調査 (RAP 調査) に基づいた住民移転が確認されてから鉄道建設を始める計画とする。住民移転が完了するまでの期間はローン締結から5年間と見積もられている。
- 2) パキスタン国鉄 (PR) の既存営業線の移設、送電線工事用地など追加用地の確保、KCR 用地内の PR 所有の既存物の撤去、工事の安全確保などの理由から KCR 用地境界壁工事などを鉄道建設工事の先行工事として行う。
- 3) 鉄道建設工事は数量清算方式の通常の建設契約形態を前提とした。従ってコンサルタントの詳細設計及び入札図書作成期間は24カ月と見積もられた。
- 4) 鉄道建設はインフラ工事、コア設備工事及び車両調達は51カ月、それに続く試運転と試験運行は9カ月の合計60か月と見積もられた。
- 5) 鉄道運営及び保守会社 (O&M 会社) の設立と O&M 会社職員の教育及び訓練期間は約4年間と見積もられている。

事業実施計画を示した工程のバーチャートを以下に示す。

6.3 調達計画

機材調達、プロジェクトの実施等に当たり、公正を図るため一定期間公開しないこととする。

6.4 STEP ローンにおける調達条件

パキスタン政府は本件事業実施に係る資金調達に日本政府の ODA である STEP ローンを適用することを決定し、2008 年 12 月に日本政府に対し正式に要請した。STEP ローンの特徴は返済猶予期間及び返済期間が長期であること、利息が低いことなど本件事業のように経済性は高いものの事業が大規模であり公共性が高い事業には最も妥当なローンであると言える。STEP ローンの調達条件は以下に示すとおりである。

1) STEP ローンの項目及び条件

- ・ 貸付利息: 0.2% (コンサルティングサービスに対しては 0.01%)
- ・ 返済期間: 40 年間 (当初 10 年間の返済猶予期間を含む)

2) 調達条件

- ・ プライムコントラクターは日本企業に限定される。
- ・ JV アソシエーションのメンバーは貸付国の業者 (パキスタン企業) も認められる。ただし JV リーダーは日本企業でなければならない。
- ・ 日本パキスタン以外の全ての国の企業はサブコントラクターとして応札が認められる。

3) STEP ローンにおける機材・材料及びサービスの原産国条件

- ・ STEP ローン供与額の 30%以上は、日本から機材・材料及びサービスを調達しなければならない (ただし、コンサルティングサービスはこの 30%枠には含めない)。
- ・ STEP ローンは、事業費のうち税金、土地収用費、補償費、相手政府の一般管理費などは対象とならないが、それ以外の全ての事業費に適用が可能である。

第7章 運営維持管理計画のレビュー

7.1 アジアの第3国における運営維持管理形態調査

パキスタンでは、これまで高密度運転を前提とした都市鉄道の運営経験がなく、2000年にKCRを廃線とするまで同鉄道に1日当たり100万ルピーの赤字を出していた状況から、パキスタン政府及びKUTCはKCRの運営維持管理を経験豊富な海外の民間オペレーターに委託することを望んでいた。カラチ環状線SAPROF(I)では、上記の背景を考慮し、O&Mスキームとして海外の民間オペレーターに運営維持管理を委託し、以下の流れで運営維持管理業務を行うことを提案した。

- ① 運営開始後の当初3年間はフランチャイズ契約により民間オペレーターに運営維持管理業務を委託する。KUTCは自らKCRの鉄道収入から、民間オペレーターへの報酬支払いを行い、さらにローン返済をする。

- ② それ以降については、民間オペレーターとのフランチャイズ契約をコンセッション契約に変更し、需要や料金収入、及び駅設備や高架下などで展開するスペースレンタルビジネス、及び駅前開発事業など、全ての開発や事業展開を民間オペレーターの創意に任せる契約とし、KUTCは民間オペレーターが支払う施設・車両等のリース料の中からローン返済を行う。

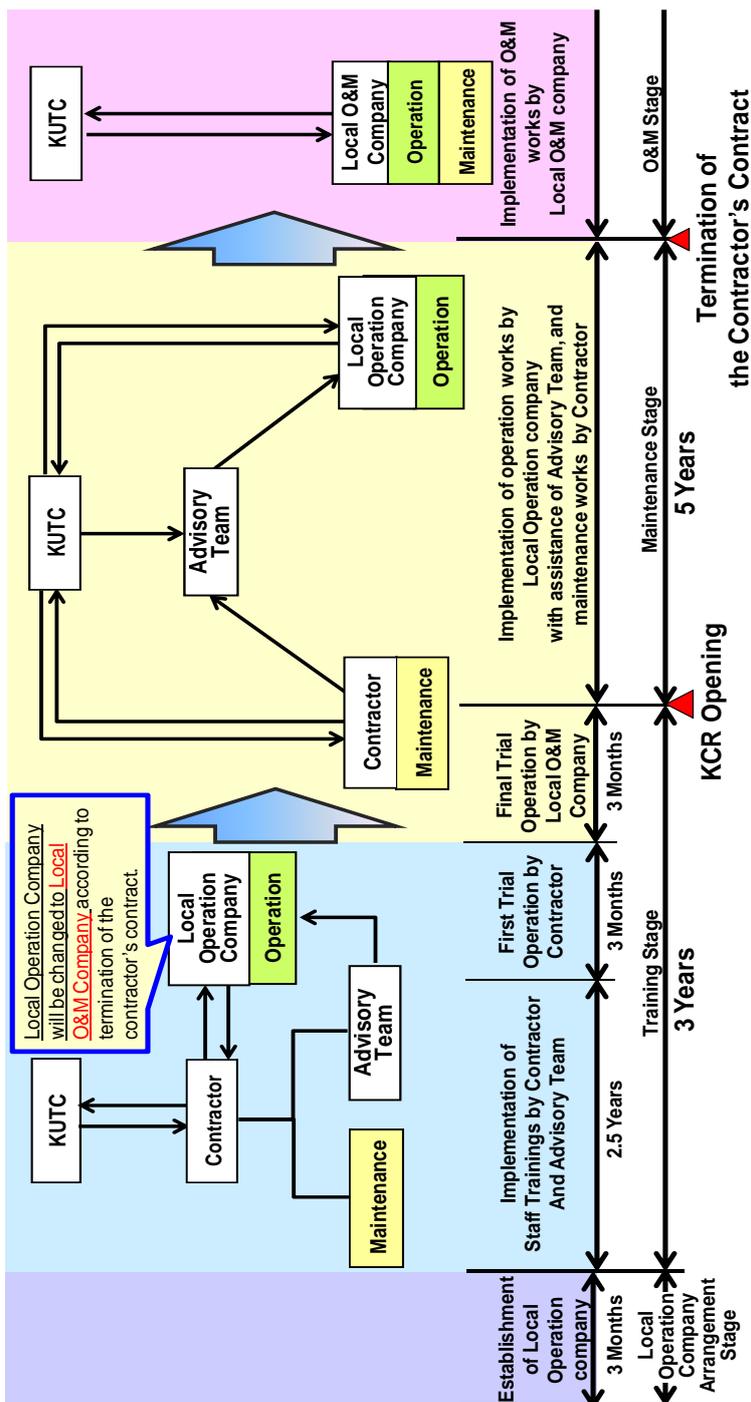
しかしながら、2008年に開通したドバイメトロは、運営主体であるRTA（Roads and Transport Authority）が海外の民間オペレーター（SERCO）との間で運営維持管理業務の委託契約を結んだ際の契約額が12.5年間で5億ポンド（約630億円）にもなることが判明した。本調査では、SAPROF(I)で提案した海外の民間オペレーターによる運営維持管理だけでなく、広くアジアの都市鉄道（シンガポール、デリー、日本）で採用されている運営維持管理形態を調査し、費用面・運営面でKCRに最も適した運営時管理形態の再検討を行った。

7.2 KCR に適した運営維持管理形態

本調査において見直した需要予測結果は、SAPROF(I)で検討した数値を下回っている。SAPROF(I)で提案した上記のフランチャイズ契約とコンセッション契約を組み合わせた運営維持管理形態をKCRに適応した場合、以下のリスクが想定される。

- ① 需要予測値が低く、需要変動のリスクがあるため、SAPROF(I)で提案した海外の民間運営維持管理会社とコンセッション契約を結ぶことは難しい。
- ② 仮に海外の民間運営維持管理会社とコンセッション契約が結べたとしても、事業のリスクの高さから契約金額が膨大になる可能性がある。
- ③ 契約金額が比較的安い新興国の民間運営会社がKCRの運営維持管理に興味を示す可能性はあるが、一方で経営状態が芳しくない状況となった場合に撤退し、折角整備したKCRが良質の都市鉄道サービスの提供が出来ない事態が懸念される。

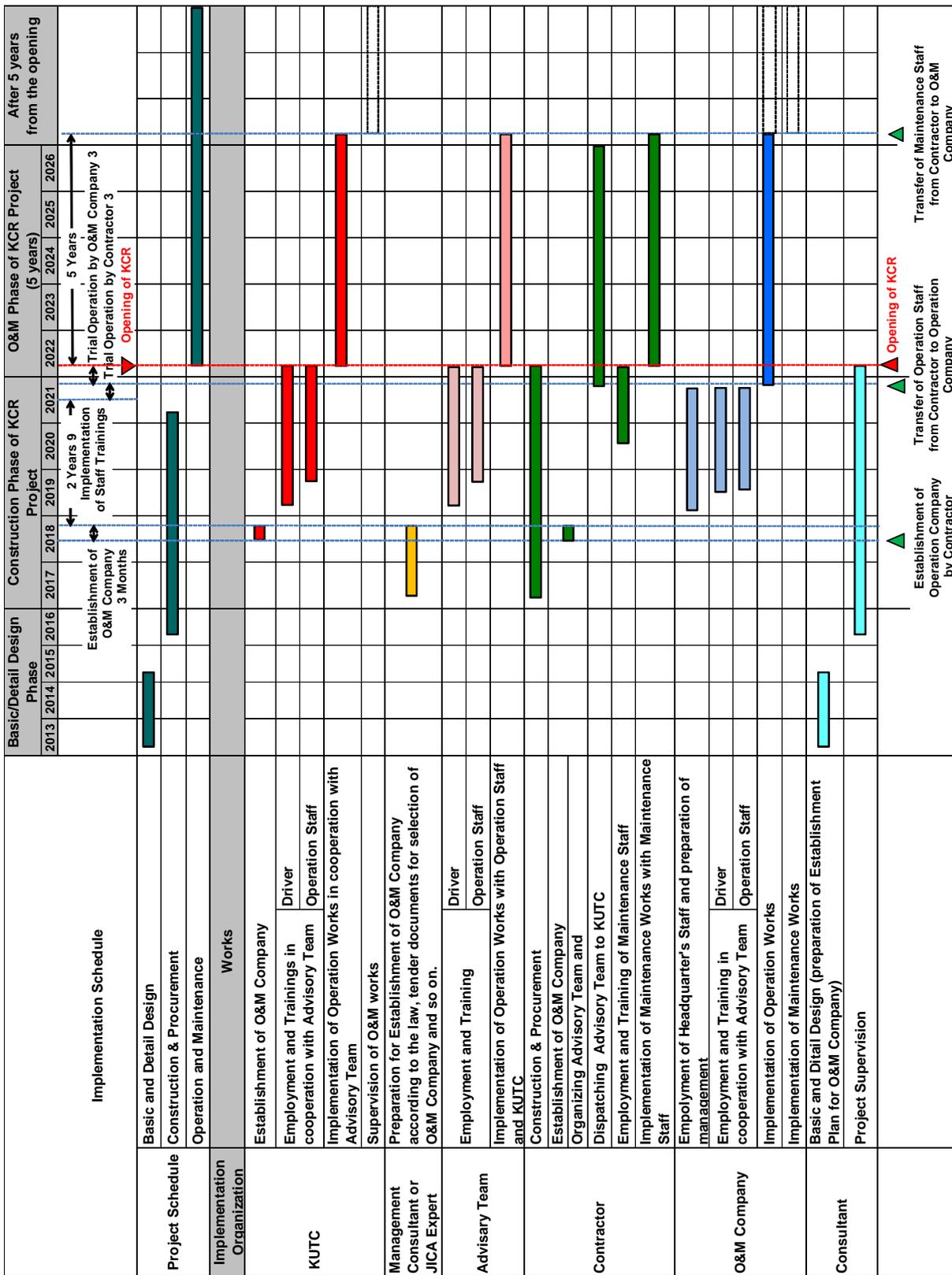
したがって、本調査では SAPROF(I)が提案した海外民間運営維持管理会社に KCR の運営維持管理を任せるのではなく、民間出資者による現地に運営維持管理会社を設立し、KCR の運営維持管理業務を任せることを提案した。これにより、運営コスト増大の抑制を図った。課題はKUTCに運賃収入がない開業前に民間O&M会社を設立して指導訓練を行う場合の費用をどこから支払うかであるが、開業準備費用として円借款に含めることを提案した。新たに設立した民間O&M会社にかかる費用すべてを円借款の中で賄えることを前提として、コントラクターが民間O&M会社の設立をアレンジし、設立された運営会社（後に維持管理運営会社）と契約雇用し、教育・訓練・海外O&M On-the-Job 研修・6か月試運転のうち前半3か月間までをコントラクターが実施して、KUTCに引き渡す。なお、都市鉄道の経験のない民間O&M会社及びKUTCによる維持管理をサポートするために、開業後5年間の維持管理についてはコントラクターが実際の作業を通じて維持管理ノウハウの技術移転し、運営についてはコントラクターの下アドバイザーチームがノウハウの技術移転することを提案した。開業後5年が過ぎた時点でコントラクターの維持管理契約が切れるため、その後は維持管理運営会社がKCRの維持管理運営を行う（図7.1参照）。



出典：調査団

図 7.1 維持管理運営スキームの概要

以下に、民間運営会社（後の維持管理運営会社）設立から、開業後の維持管理に至るまでの実施スケジュールを提案する。

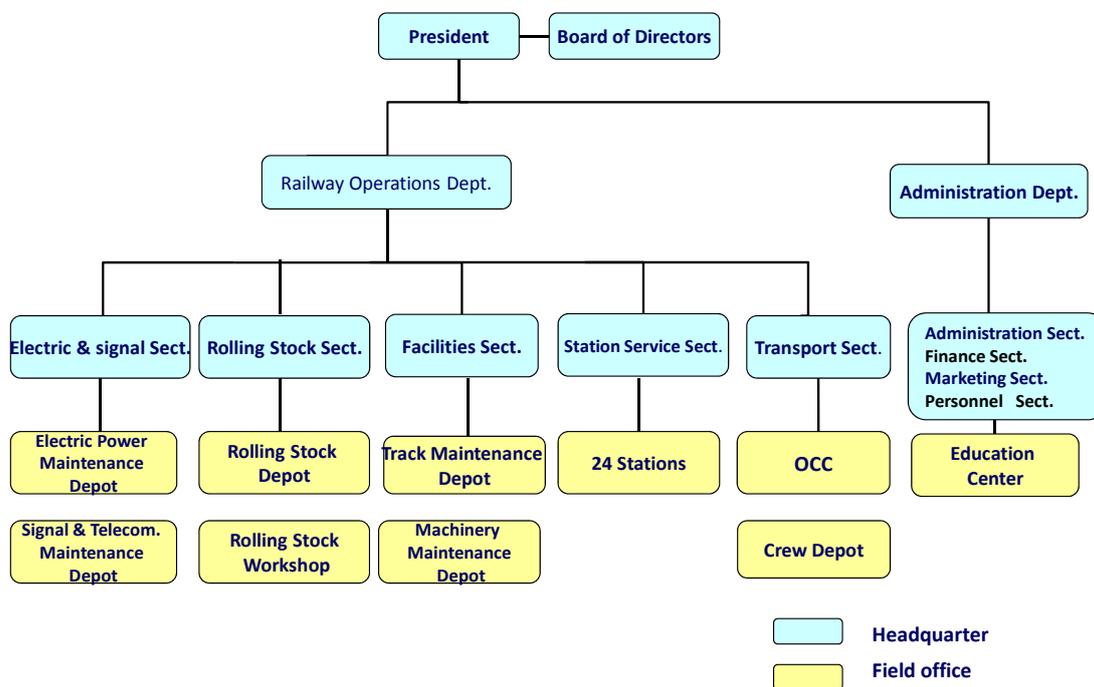


出典：調査団

図 7.2 KCR 維持管理運営実施スケジュール

7.3 運営維持管理会社の組織と要員数

需要予測、運転計画の検討結果、及び第3国調査の結果に基づき、運営維持管理会社の組織体制及び要員数を以下のとおり提案する。



出典：調査団

図 7.3 運営維持管理会社の組織体制

運転計画では午前6時から午後12時までの営業時間を計画しており、連続的な業務が発生することを考慮して交代勤務制を導入した。交代勤務制が敷かれる部署の運営スタッフ及び維持管理スタッフは、休日・休暇等を考慮しても連続的に作業ができるような人員を確保する必要があるため、要員の算定では予備率（1年間の日数/1年間の総勤務日数：1.54）をかけて必要な要員数を見積もった。各部署の要員数及び各開発ケースにおける開業時（2022年）から2050年までの要員数は、以下のとおりである。

表 7.1 組織体制に応じた要員数

Location	Working Place	Total number of staff		
		N-A1	N-A2	N-B1
Head office	Headquarter	40	40	26
	Education center	15	15	9
Field office	OCC	18	18	13
	Crew Depot	114	112	68
	Rolling Stock Depot and Workshop	80	80	48
	Track and Civil Structure Maintenance Depot	45	45	33
	Machinery Maintenance Depot	10	10	8
	Electric Power Maintenance Depot	45	45	33
	Signal & Telecom. Maintenance Depot	45	45	34
Station	Station	561	561	299
Total		973	971	571

*単位：人

出典：調査団

表 7.2 各開発ケースにおける開業時(2022年)から2050年までの要員数

Case N-A1				
Year	Headquarter	Field office	Station	Total
2022	40	372	561	973
2030	48	472	598	1,118
2040	48	487	614	1,149
2050	48	574	642	1,264

Case N-A2				
Year	Headquarter	Field office	Station	Total
2022	40	370	561	971
2030	48	439	593	1,080
2040	48	457	599	1,104
2050	48	498	621	1,167

Case N-B1				
Year	Headquarter	Field office	Station	Total
2022	26	246	299	571
2030	26	317	341	684
2040	29	332	357	718
2050	32	397	380	809

*単位：人

出典：調査団

7.4 O&M コスト

他法人に関する情報のため、一定期間公開しないこととする。

7.5 運賃収入

SAPROF(I)では、KCRの料金システムは当時の公共交通を基に提案した。しかしながら、カラチにおける現況の公共交通の料金レベルは低く設定されているものの、空調付きのバス車両に乗るために35パキスタンルピーを支払うユーザも出始めている。加えて、デリーメトロの料金は距離制が採用され、パキスタンルピー換算で17~37のレベルにある。本調査では、空調付きバス車両の料金及びデリーメトロを参考に料金システムを以下のとおり提案した。

$$17.0 + 1.0 \times (d-3.0)$$

ここに、単位はPRs, dはトリップ長 (km)を示す。

各ケース (N-A1、N-A2、N-B1) における運賃収入は、以下のとおりである。

表 7.3 各ケースにおける KCR の運賃収入

(Unit: Rs in thousands)

	2022		2030		2040		2050	
	Pax./day	Revenue (PRs)	Pax./day	Revenue (PRs)	Pax./day	Revenue (PRs)	Pax./day	Revenue (PRs)
Case N-A1	578,362	14,115	1,223,006	27,888	1,436,499	32,756	1,721,611	39,258
Case N-A2	526,738	12,849	1,174,107	26,597	1,382,386	31,315	1,660,829	37,622
Case N-B1	306,236	7,348	828,018	19,268	998,125	23,227	1,203,178	28,003

*Pax: passengers

出典：調査団

7.6 関連事業による収入

他法人に関する情報のため、一定期間公開しないこととする。

7.7 KCR の事業収入と支出

本調査ではKCRのO&Mコスト、運賃収入、関連事業の収入をそれぞれ検討した。これまでの検討結果を踏まえ、各ケース（N-A1、N-A2、N-B1）の収入及び支出を以下のとおり示す。

(1) KCR 収入

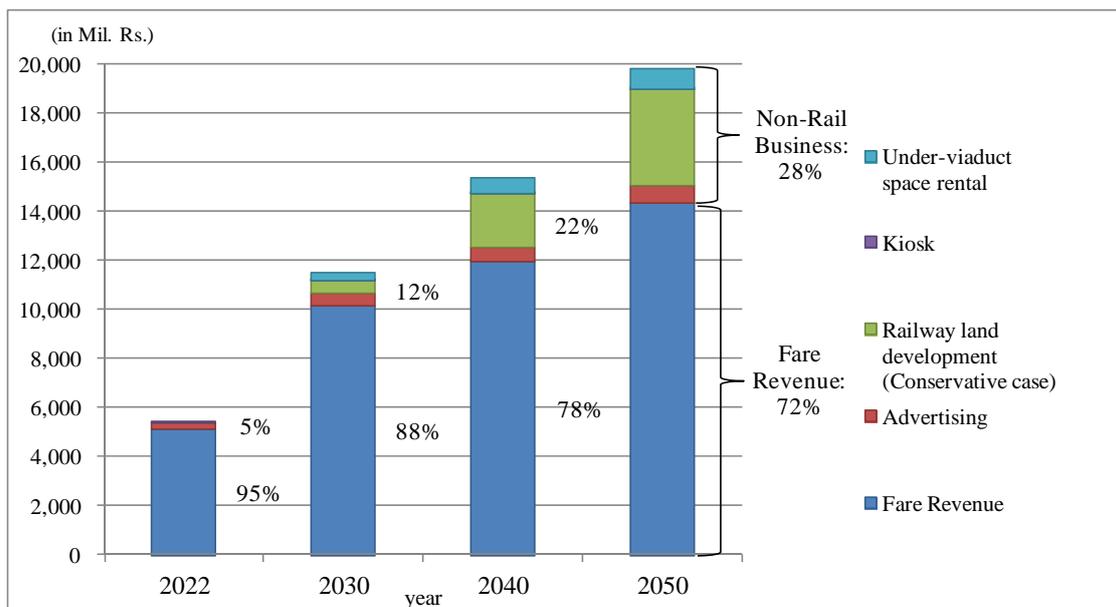
表 7.4 KCR 年間収入(ケース N-A1)

【Case N-A1】

PKR million at 2011 constant price

Year	Fare Revenue	Advertising	Railway land development (Conservative case)	Kiosk	Under-viaduct space rental	Total
2022	5,152.5	257.6	0.0	6.0	0.0	5,416.1
2030	10,179.3	509.0	523.8	10.0	294.0	11,516.1
2040	11,955.7	597.8	2,192.6	10.0	644.8	15,400.9
2050	14,328.6	716.4	3,933.8	10.0	865.1	19,853.9

出典：調査団



出典：調査団

図 7.4 KCR 年間収入(ケース N-A1)

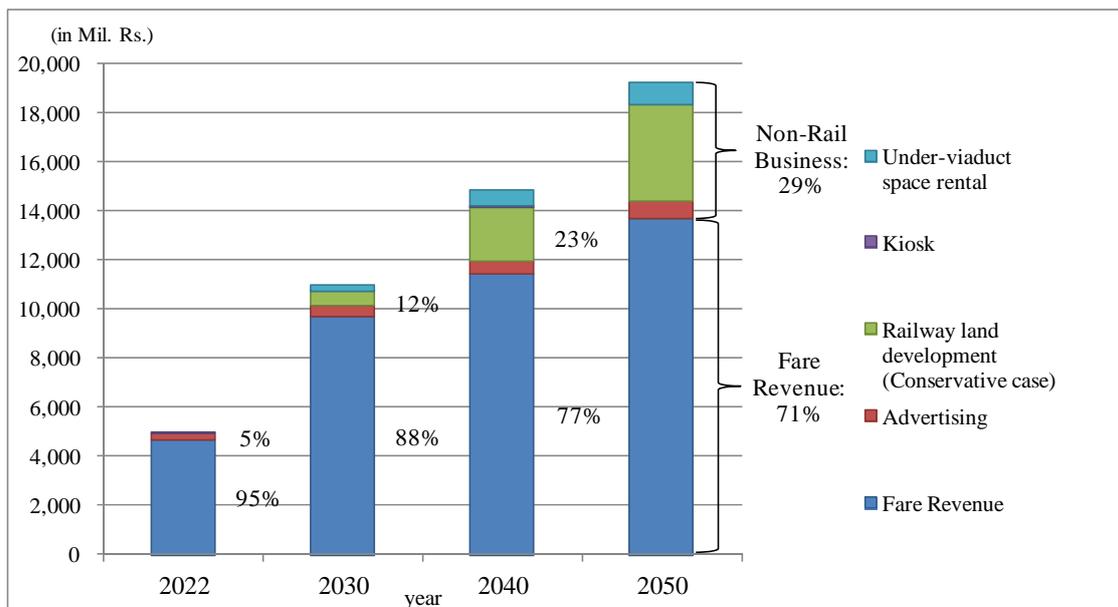
表 7.5 KCR 年間収入(ケース N-A2)

【Case N-A2】

PKR million at 2011 constant price

Year	Fare Revenue	Advertising	Railway land development (Conservative case)	Kiosk	Under-viaduct space rental	Total
2022	4,690.2	234.5	0.0	6.0	0.0	4,930.7
2030	9,708.0	485.4	523.8	10.0	294.0	11,021.3
2040	11,430.1	571.5	2,192.6	10.0	644.8	14,849.1
2050	13,732.4	686.6	3,933.8	10.0	865.1	19,227.9

出典：調査団



出典：調査団

図 7.5 KCR 年間収入(ケース N-A2)

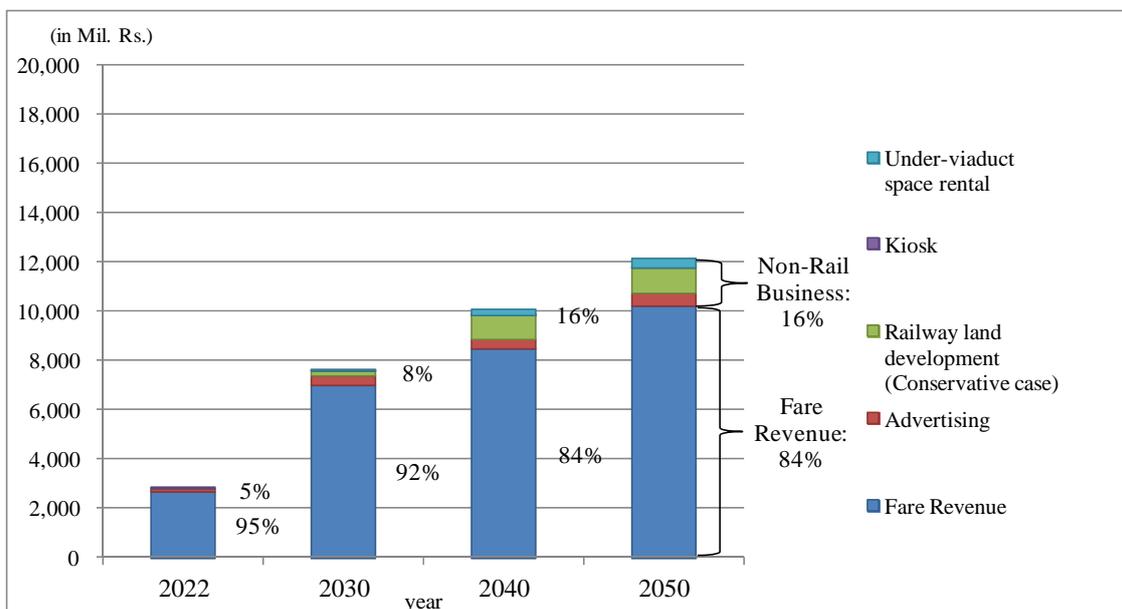
表 7.6 KCR 年間収入(ケース N-B1)

【Case N-B1】

PKR million at 2011 constant price

Year	Fare Revenue	Advertising	Railway land development (Conservative case)	Kiosk	Under-viaduct space rental	Total
2022	2,681.9	134.1	0.0	3.2	0.0	2,819.1
2030	7,033.7	351.7	179.5	5.3	88.6	7,658.8
2040	8,478.7	423.9	924.4	5.3	261.3	10,093.7
2050	10,220.5	511.0	1,065.6	5.3	351.2	12,153.7

出典：調査団



出典：調査団

図 7.6 KCR 年間収入(ケース N-B1)

(2) KCR 支出

表 7.7 KCR 年間支出(ケース N-A1)

【Case N-A1】

PKR million at 2011 constant price

Year	Staff Training of O&M Company	O&M Cost	Overhead cost by contract	Land Lease	Total
2019	3.2	-	-	-	3.2
2020	23.9	-	-	-	23.9
2021	162.3	-	-	-	162.3
2022	-	2,311.4	462.3	3.1	2,776.8
2030	-	3,230.9	646.2	3.1	3,880.2
2040	-	3,389.0	677.8	3.1	4,069.9
2050	-	3,833.6	766.7	3.1	4,603.4

出典：調査団

表 7.8 KCR 年間支出(ケース N-A2)

【Case N-A2】

PKR million at 2011 constant price

Year	Staff Training of O&M Company	O&M Cost	Overhead cost by contract	Land Lease	Total
2019	3.2	-	-	-	3.2
2020	23.9	-	-	-	23.9
2021	162.3	-	-	-	162.3
2022	-	2,244.7	448.9	3.1	2,696.8
2030	-	3,135.0	627.0	3.1	3,765.1
2040	-	3,320.7	664.1	3.1	3,987.9
2050	-	3,679.5	735.9	3.1	4,418.5

出典：調査団

表 7.9 KCR 年間支出(ケース N-B1)

【Case N-B1】

PKR million at 2011 constant price

Year	Staff Training of O&M Company	O&M Cost	Overhead cost by contract	Landn Lease	Total
2019	2.4	-	-	-	2.4
2020	14.7	-	-	-	14.7
2021	112.6	-	-	-	112.6
2022	-	1,205.8	241.2	3.1	1,450.1
2030	-	2,091.0	418.2	3.1	2,512.3
2040	-	2,193.4	438.7	3.1	2,635.2
2050	-	2,503.1	500.6	3.1	3,006.9

出典：調査団

第8章 事業効果の検証

8.1 経済評価

機材調達、プロジェクトの実施等にあたり、公正を図るため一定期間公開しないこととする。

8.2 財務評価

機材調達、プロジェクトの実施等にあたり、公正を図るため一定期間公開しないこととする。

8.3 運用・効果指標

都市鉄道の運用・効果指標として、下表に整理した。施設・設備の活用状況および運営状況を確認・評価することを目的とした運用指標、また事業実施による効果の発現を定量的に把握し事業の目的が計画通り達成されているかを確認・評価するための効果指標を設定した。プロジェクト効果指標として設定した「移動時間短縮」、「渋滞緩和率」は事業が開始する前年から代表的なバスルートの移動時間と平均速度の調査を行い、KCR 開業以降との比較により事業効果を検証する。表 8.1 に運用効果指標 (N-A1)、

表 8.2 に運用効果指標(N-B1)を示す。

表 8.1 運用効果指標 (N-A1)

	指標	指標内訳	2024 年目標値 (開業 2 年後)	
運用指標	旅客輸送量	乗客数/年	218,886,000 人/年	
		乗客数-km/年	2,385,500 千人-km/年	
	列車本数	列車本数/日	358 本	
	車両稼働率	%/年	90%	
	車両走行キロ	車両-km/年	21,537,000 Car-km	
	遅延時間	分/列車・年	1 分	
効果指標	旅客輸送量	乗客数/年 乗客数-km/年	218,886,000 人/年 2,385,500 千人-km/年	
	移動時間短縮	バスと KCR の移動時間の差	North Nazimabad - Karachi Cantt	KCR:28 分 20 秒 バス:モニタリング調査
			NIPA - Baldia	KCR:23 分 20 秒 バス:モニタリング調査
	渋滞緩和率	KCR 開業前・後 バス平均速度の差	North Nazimabad - Karachi Cantt	バス:モニタリング調査
			NIPA - Baldia	バス:モニタリング調査

出典：調査団

表 8.2 運用効果指標運用効果指標 (N-B1)

	指標	指標内訳		2024 年目標値 (開業 2 年後)
運用指標	旅客輸送量	乗客数/年 乗客数-km/年		116,032,000 人/年 1,103,486 千人-km/年
	列車本数	列車本数/日		389 本
	車両稼働率	%/年		90%
	車両走行キロ	車両-km/年		11,107,000 Car-km
	遅延時間	分/列車・年		1 分
効果指標	旅客輸送量	乗客数/年 乗客数-km/年		116,032,000 人/年 1,103,486 千人-km/年
	移動時間短縮	バスと KCR の移動時間の差	Drigh Road - Baldia	KCR:27 分 50 秒 バス:モニタリング調査
	渋滞緩和率	KCR 開業前・後 バス平均速度の差	Drigh Road - Baldia	バス:モニタリング調査

出典：調査団

8.4 気候変動緩和策による効果

近年、地球表面の大気や海面の平均気温が上昇することで発生する地球温暖化（気候変動）の問題が顕在化している。これらは人為的な化石燃料の消費過多が原因の一つであると考えられており、今日、様々な対策（気候変動緩和策）が検討、実施されている。なかでも国際的に普及している取組みとして京都メカニズムにおけるクリーン開発メカニズム（CDM）がある。

鉄道事業に関して言えば、都市部における自家用車やバス、モーターバイク等による人の移動に伴う化石燃料の消費を抑制すること（モーダルシフト）や列車停止時に発生する回転手以降を発電源として有効利用すること（回生ブレーキ）等の適用が期待されている。本調査では、鉄道事業における気候変動緩和策として“モーダルシフト”及び“回生ブレーキ”の適用可能性を検討した。

モーダルシフト	<p>利点： 大量交通機関の特徴を活かし、大規模なGHG 排出削減が期待される。</p> <p>欠点： GHG 排出削減効果を特定するプロジェクト範囲の設定が困難であると共に、モーダルシフト量のモニタリングとしてインタビュー調査等の実施が必要となる。</p>
回生ブレーキ	<p>利点： 鉄道事業運営に係る電力消費量等をモニタリングすることで、比較的容易に CDM への適用ができる。</p> <p>欠点： 電車駆動電力量に限定されるため、大規模なGHG 排出削減は期待できない。</p>

注：本事業（KCR）に回生ブレーキの効果を検討した場合、全線開通（N-A1及びN-A2）ではそれぞれ128,309 [tCO2/10年間]、123,389 [tCO2/10年間]となり、部分開通（N-B1）では69,857 [tCO2/10年間]と算定された。

2008年の京都議定書第一約束期間の開始から、CDMは世界的な気候変動緩和策として実施されているが、その実績は国・地域そしてセクターによりまちまちである。本事業の対象国であるパキスタンは、これまで15件¹のCDM登録実績を持っているが、この数は決して多いものではなく、同国が気候変動緩和策（CDM）に積極的であるとは言えない。また、交通セクターに関して言えば、エネルギーセクターや省エネルギーセクターと比べ、登録件数は23件¹と少ない。以下に交通セクター及びパキスタンに係る気候変動緩和策（CDM）のポテンシャルを検討した。

(1) 交通セクターのポテンシャル

交通セクターは、産業単位ではエネルギーセクターに次いで大きなGHG排出源であるにも関わらず、モニタリング対象が分散している点、交通施設建設に伴う誘発交通量の発生、広範なプロジェクト範囲等の問題から、CDMの適用が困難と考えられ、これまでCDMとして手つかずのセクターであった。しかしながら、2009年末にCDM理事会にてモーダルシフトに係る

¹ 2012年10月末現在。因みに同時期でのCDM登録総数は5,511件である。

CDM方法論²が承認されたことを契機に同案件のCDM登録検討が活発化し、2010年以降の僅か2年間でモーダルシフトに係るCDM案件（申請中含む）は10件を数えている。また、都市部での鉄道事業においては列車往来の頻度も高くなることが予想されるため、回生ブレーキ技術のCDM適用も併せて検討されつつある。

(2) パキスタン国のポテンシャル

2008年の京都議定書第一約束期間の開始から現在まで約5,500件のCDM案件が計画、登録されているが、その60%が中国とインドで占められている。パキスタンにおいては、これまで15件の案件が主に発電セクター、省エネルギーセクターより登録されており、インドネシア、マレーシア、韓国、タイ、ベトナムに次ぐ6番目となっている。しかしながら、今後の登録案件を予想することができる登録申請中案件数（有効化審査過程の案件数）では、インドネシア、タイ、ベトナムに次ぐ4番目と順位を上げ、今後、CDMとして登録が期待される案件が多いことがうかがえ、今後の普及が期待される。また、同国ではCDM実施に対する優遇措置（CDMクレジット転売に係る所得税の免除等）を公表していること、そして、国内におけるCDM認証手続き（ホスト国承認）についても目立った遅延等が生じていないことから、今後、パキスタンにおいてGHG排出削減が期待される活動に、漏れなくCDMが適用されることになると期待される。

パキスタンは、これまでCDMを積極的に実施してきたアジア諸国と同様、エネルギーセクターや省エネルギーセクターでの実績を積み、徐々にではあるが登録件数を伸ばしている。また、同国政府からのCDMに対する支援も明確となっている。気候変動緩和策（CDM）にとって未開であった交通セクターが近年徐々に普及していることを考慮しても、同国において鉄道事業をCDMとして登録することは難しいことではなく、同事業を進めて行くきっかけの一つになるのではないかと考えられ、本事業に係る今後の調査においてCDM適用のための調査実施を行うことが望ましいと考える。

² CDM実施においてGHG排出削減量を算定する方法論のこと。CDM方法論はCDM候補案件同様、CDM理事会（CDM-EB）から承認されなければ使用することができない。

第9章 事業実施体制に関する助言

9.1 事業実施段階と関係者の役割

国際援助機関の支援で行われるインフラ事業は、実施機関（KUTC）、コンサルタント、コトラクター、融資機関といった関係者によって進められる。各実施段階における関係者の組織体制を図 9.1 に示す。

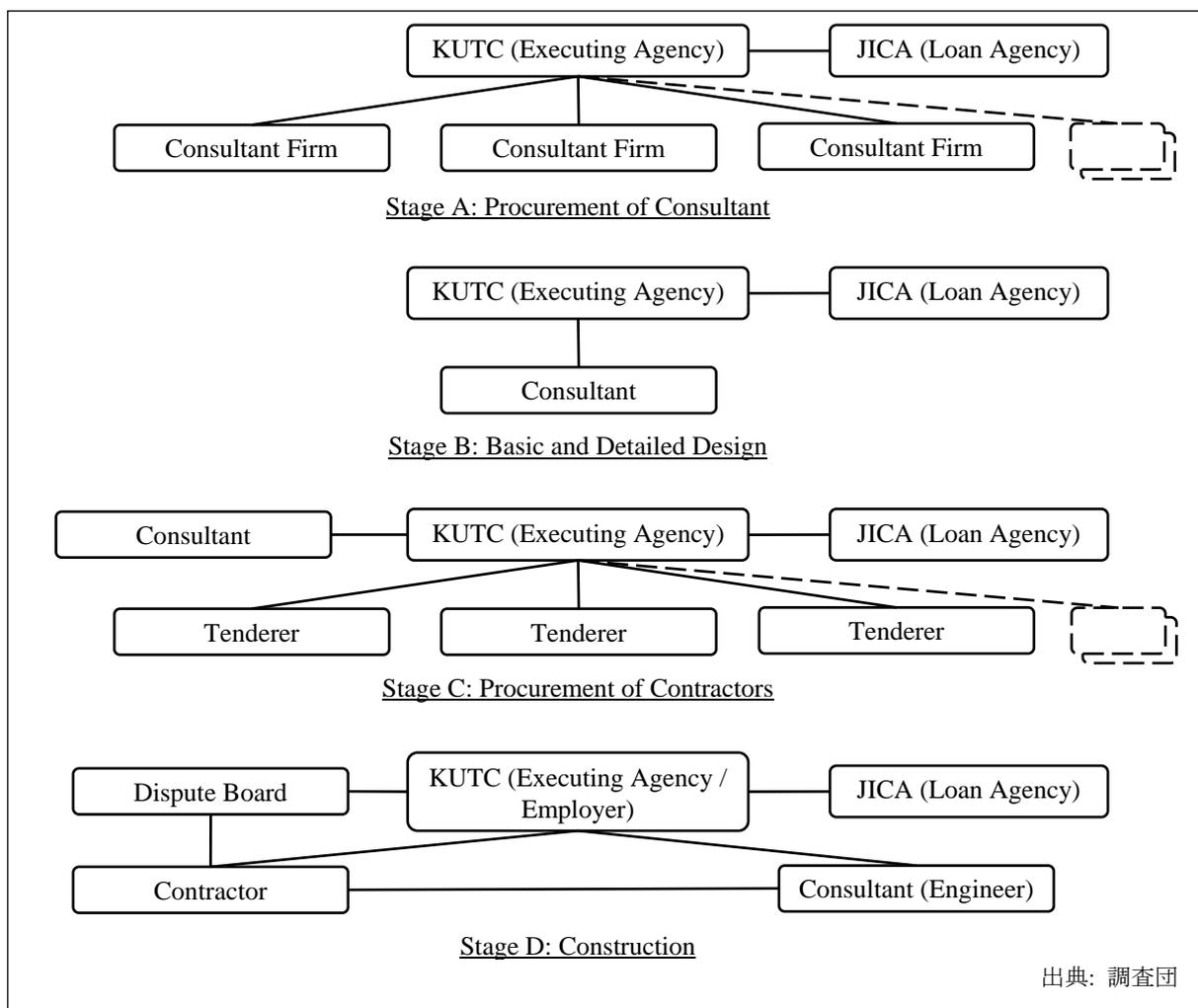


図 9.1 各実施段階における組織体制

KUTC は、各段階で求められる役割があり、それらを適切に果たすことが事業の円滑な実施に不可欠である。特に、書類、支払い、契約などの承認は重要であり、KUTC 以外の政府機関による多重承認を最小限とし、一元責任に基づくタイムリーな意思決定を行うべきである。また、KUTC は技術的、契約管理的な事項は、基本的に雇用したコンサルタントに任せ、コンサルタント契約、工事契約に従って諸問題を処理し、効率的に事業を進めることが推奨される。

9.2 KUTC 技術部門の組織

KUTC の技術部門は、図 9.2 に示すように、計画・調達部、土木・建築部、システム部の 3 部体制とし、各部はさらに複数の技術／機能のグループから構成される組織を提案する。

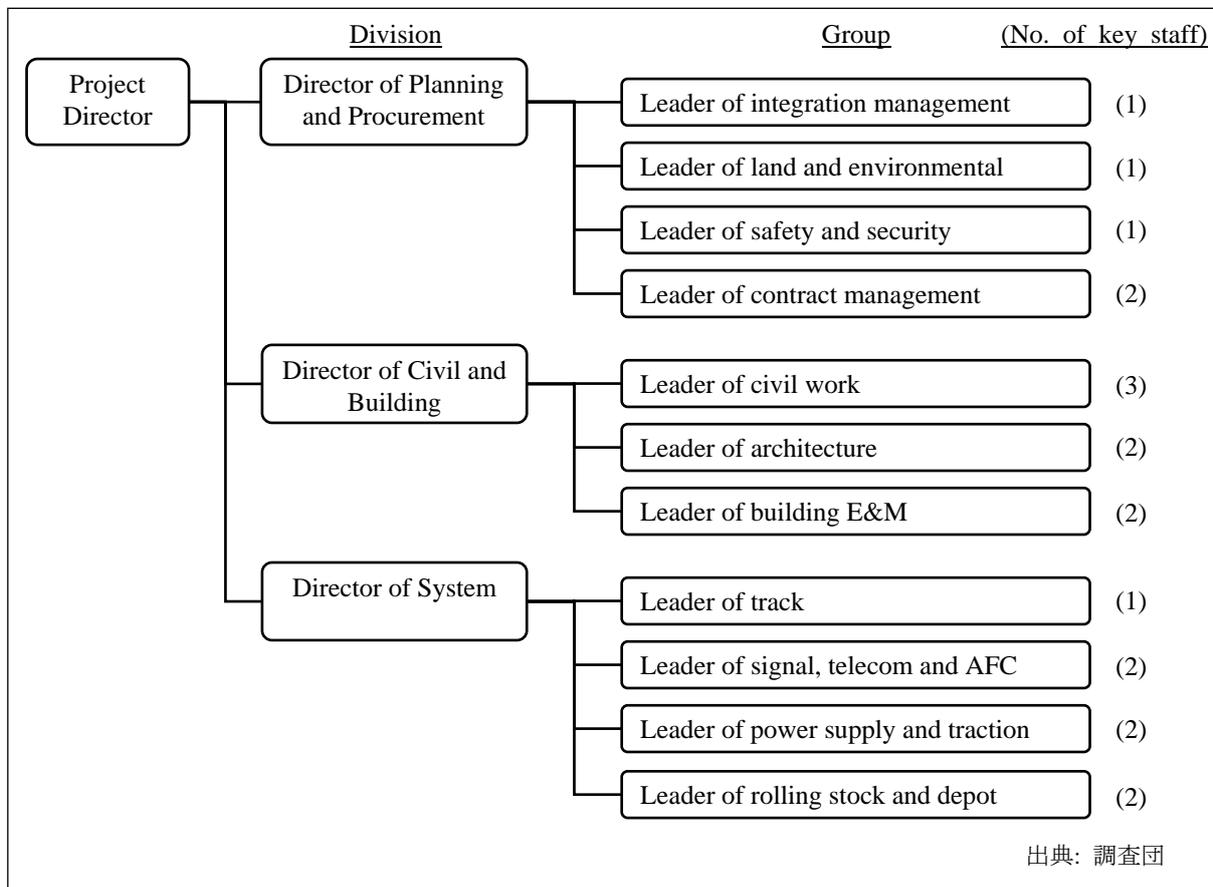


図 9.2 提案する KUTC 技術部門の組織

各部は、豊富な経験を有する厳選されたディレクターが指揮する。ディレクターには部が管轄する事項に関して責任と権限が与えられ、各部間のインターフェースも対応する。

グループのリーダーは、それぞれの業務についての専門家であり、誠実でリーダーシップを持つ人物が求められる。ただし、年齢は比較的若い中堅クラスで、経験は多くなくとも有能でポテンシャルの高い人物を選定し、KCR の設計や工事を通じて、将来の KUTC を支える幹部として養成することが推奨される。

採用に当たっては、縁故による圧力を排除すること、過去の経験よりも潜在能力や人格を重視すること、優秀な人材を集めるための給与体系を整えることを基本方針とすべきである。

第10章 環境社会配慮

10.1 環境影響調査の概要

▶ パキスタン国における環境配慮制度

「パ」国における環境配慮は、“パキスタン環境保護法（1997）”により規定されており、この法律に基づき事業実施主体に対して初期環境調査（IEE）または環境影響評価（EIA）の実施および事業計画の中に環境影響緩和対策を盛り込むことを義務付けている。IEEとEIAの詳細な手順については、“パキスタン環境保護法に基づいた初期環境調査（IEE）および環境影響評価（EIA）の審査に係る規定（2000）”に定められている。この規定により、住民移転地整備事業にはIEE、カラチ環状鉄道復旧整備事業にはEIAの実施が必要となる。

▶ 住民移転地初期環境調査（IEE）

住民移転地IEEは、ローカルコンサルタントである Environmental Management Consultantsにより実施され、2010年5月26日にシンド州政府環境保護局により承認された。承認の際の主な付帯条件は以下の通りである。

1. 環境モニタリング計画・環境管理計画が確実に実施されること。
2. 生活の質に係る移転者との確約が満たされること。
3. インフラ整備は移転の前に完了していること。
4. 建設工事において移転者が優先的に雇用されること。
5. 独立した環境モニタリングコンサルタントを雇用し、環境モニタリングを実施すること。
6. 建設期間中の廃棄物は登録された埋め立て場に処分すること。また、全ての廃棄物を管理するための包括的な廃棄物処理計画を作成すること。

本調査により、移転地内に流れ込む汚水および不法に投棄された廃棄物による環境汚染への懸念が指摘されたため、追加的に移転地の土壌や水質、廃棄物状況を調査し、その報告書をIEEの付属資料とすることになった。また、IEEのレビューでは以下を結論とした。

環境レビュー時に必要な本事業の環境社会配慮として、「パ」国承認済みの移転整備事業IEEに、1. SAPROF-IIの提案、2. KUTC主催“移転地F/S”の調査内容に関連する部分、3. 新たに2012年7月からのJICA主催の調査”Supplemental Study on Resettlement of KCR”で調査した結果を反映し、その内容をカラチ環状鉄道EIAと一体化したものを、JICAのアプレイザルのための環境社会配慮文書とする。カラチ環状鉄道EIAと移転地整備の調査内容を統合するにあたっては、移転地整備事業に係る部分を別冊資料のようにすることも可とする。但し、移転地事業に係る記載は内容に一貫性があること。

➤ カラチ環状鉄道環境影響評価(EIA)

カラチ環状鉄道 EIA は、上記の IEE に先だって同じく Environmental Management Consultants により実施され、2009 年 7 月 4 日にシンド州政府環境保護局により承認された。承認の際の主な付帯条件は以下の通りである。

1. 国内外のガイドラインに従った住民移転計画を作成し、実行すること。
2. 必要とされる建設用地は公開の場で住民に対して知らされること。
3. 独立した環境モニタリングコンサルタントを建設段階および供用段階に従事させること。
4. 騒音や振動を緩和させるための先進的な技術を採用すること。
5. 適切な廃棄物収集・管理計画が準備されること。
6. 衛生・安全・環境規定が順守されること。

10.2 社会配慮調査

- 住民移転スケジュールの見直し
- 住民移転実施体制の計画作成
- 住民移転地内の公共施設に係る運営・維持管理の計画作成
- 生計回復プログラムの計画作成

大規模住民移転が発生した「パ」国の Lyari Expressway Project, バングラデシュ国の Padma Multipurpose Bridge Design Project を参照し、短期・長期の生計回復プログラムを示した。同プログラムが確実に実施されるためには、KUTC と NGO との連携が必要である。

- ROW 境界確定後の境界線の差異の特定
- ステークホルダー会議の開催計画の策定

第11章 結論及び提言

11.1 結論

現地状況調査の結果、特に事業に悪影響を及ぼす問題は見出されなかった。需要予測は、KCR 駅を結ぶフィーダーバス路線の整備がなされる場合 (N-A1、N-B1) となされない場合 (N-A2、N-B2) の2ケースについて、全線開業案、Shah Abdul Ratif-Karachi Cantt-Drigh Road 20.7km 間部分開業案のそれぞれに対して行われ、フィーダーバス路線が整備されない場合は、N-A2 の場合、需要が約10%、N-B2の場合は20%強減少することを確認した。運転計画以降の作業はN-A1、N-A2およびN-B1の3ケースに絞って実施し、経済・財務評価を行い、この3案とも技術的・経済的にフィージブルであり、財務面・環境社会配慮面でも許容可能であるとの評価となった。

上記経済・財務評価まで実施した3案のうち、N-A2を除いてN-A1およびN-B1のうち、どちらの案をSAPROF-II調査団の推奨案とするかについて以下により評価を行った。N-A2を除いた理由は、カラチのバス路線網を支えているのは大部分民間のミニバスであり、KCR開業後はKCR駅を経由する方がより多くの客を確保できより大きな利益が得られることから、フィーダーバス路線網の形成は早急に進むと考えるのが自然だからである。

(1) 各案の予想需要・予想運賃収入評価

表 11.1は、2022年開業時のN-A1およびN-B1のkmあたりの予想需要および予想運賃収入、および所要車両数をまとめたものである。

表 11.1 N-A1 案とN-B1 案の開業時需要および運賃収入評価

項目	N-A1	N-B1
ルート延長(km)	43.24	20.73
開業時予想乗客数(1000人/日)	578	306
km当たり乗客数(1000人/日-km)	13.4	14.8
運賃収入(百万Rp/日)	14.1	7.3
運賃収入/日-km(1000Rp/日)	326	352
開業時所要列車編成両数(車両数)	25(100)	16(64)
需要評価	可	やや良

出典：調査団

表 11.1から、kmあたりの需要および運賃収入はN-B1がやや大きく、路線延長が短いため、所要車両数も少なく済む。通常路線延長が短くなると一般的にはkmあたりの需要も大幅にダウンする傾向がみられるが、N-B1はN-A1より需要のダウンが認められるものの、kmあたりで見れば需要も収入面でもわずかではあるがN-A1を上回っており、効率的な部分開業であると評価される。

(2) 都市鉄道としての輸送サービスレベル

都市鉄道のサービスレベルは、定時性、ピーク時の列車運転頻度（一般に5分以内の運転時隔が良いとされている）、および混雑度の3点が重要である。運転計画では混雑度をいずれの案もピーク時150%で計画し、180%程度まで許容することとして策定しているため差がなく、また定時性についてもいずれの案もATO等の導入が計られているため差のないサービスの提供が実現する前提で計画されている。差がでるのは経済性を考慮して需要に対し同じ基準の混雑度で運転計画を策定した場合、ピーク時列車密度にあらわれる。表 11.2は各案の時間帯別列車運転頻度をまとめたものである。

表 11.2 N-A1 案と N-B1 案の時間帯別列車運転頻度

ケース		N-A1	N-B1
列車時隔	ピークアワー 7:00-11:00 16:00-21:00	6分	5分
	セミピークアワー 11:00-13:00 15:00-16:00 21:00-22:00	6分40秒	6分40秒
	閑散時 6:00-7:00 13:00-15:00 22:00-23:30	8分	8分
都市鉄道としての輸送サービス レベル評価		良	優

出典：調査団

N-A1はピーク時列車運転時隔6分に対し、N-B1は5分で明らかにN-B1が優れている。

(3) 初期投資と投資効率

表 11.3は、この2案の初期投資額と単位ルート延長（km）あたりの初期投資額、および需要1000人／日あたりの初期投資額をまとめたものである。

表 11.3に示されているように、N-B1案はN-A1案に対し明らかに割高である。これは鉄道投資の場合、ルート延長にかかわらず一定の規模の中央列車運転管理センター（OCC）や工場等の設備が必要となるため、単位ルート延長km当たりや需要1000人／日あたりで評価すると割高となる。

しかし投資規模の面で見るとN-B1がN-A1の67%であり、パキスタン初めての都市鉄道であることを考慮すると、投資規模を抑えてKCRの実現を図る方が望ましいとも考えられ。このような評価から、投資効率に優れたN-A1は“良”、N-B1は投資規模がコンパクトである点を評価して“やや良”とした。

表 11.3 N-A1 案と N-B1 案の初期投資額・投資効率

項目	N-A1	N-B1	備考
ルート延長(km)	43.24	20.73	
開業時需要(千人/日)	578	306	
初期投資額(億円)	2,238	1,498	課税案の場合
km当たりコスト(億円)	52	72	N-B1案は N-A1案に対し40%高い
需要1000(人/日)当たりコスト(億円)	3.9	4.9	N-B1案はN-A1案に対し26%高い
初期投資規模	大	小	N-B1案の投資規模はN-A1案の67%
初期投資額評価	良	やや良	鉄道投資の場合、ルート延長が短くなると中央列車運行管理センター(OCC)や工場等の設備負担が大きく割高となる

出典：調査団

(4) 経済・財務評価

N-A1案とN-B1案の経済・財務評価の結果をまとめたものが表 11.4である。

表 11.4 N-A1 案と N-B1 案の経済・財務評価比較

項目	N-A1		N-B1	
	課税案	免税案	課税案	免税案
EIRR	13.8%		12.3%	
FIRR(実質ベース)	-0.01%	0.87%	0.07%	0.92%
FIRR(名目ベース)	5.31%	6.16%	5.40%	6.23%
FIRR(キャッシュフロー)	9.45%	19.30%	9.22%	17.88%
評価	不十分	可	不十分	可

出典：調査団

EIRRは、N-A1、N-B1ともに12%を超えており、公共事業としてはフィージブルである。実質ベースのFIRRは、課税ケースの場合、N-A1はわずかにマイナス、N-B1はプラスとなっているが、両者ともにほぼゼロを示している。免税案では0.9%程度となる。カラチ市民の支払い能力を重視した、他国の鉄道運賃と比較してもかなり低い運賃レベルに設定しての算出値であることを考慮すると、本事業の実施を見送るほどの値ではないと考える。

(5) O&Mの容易性の観点からの評価

近代的な都市鉄道としてのフル装備の設備が整備されても、きちんとしたO&Mが行われないと、KCRはカラチ市民に計画された列車時隔により定時性に優れた質の高い都市鉄道サービスの安定的な提供はできない。従って良質のO&Mの提供が行われるか否かは、都市鉄道投資を判断するうえで最重要事項の一つである。

一方、KCRはパキスタンで初めて実施される近代的な電車列車による都市鉄道であり、この国には近代的な都市鉄道運営の経験やノウハウの蓄積がない。このためSAPROF-Iではパキスタン政府の強い意向もあり、海外の名の通った鉄道運営会社に委託する案が提案された。

しかし最近開業したドバイの都市鉄道運営を引き受けた鉄道運営会社への委託契約額が非常に高額であることが判明し、KCRの運賃収入では海外鉄道運営会社への運営委託は不可能なことが分かった。この結果、パキスタン国内に民間の鉄道運営会社を設立し、KCR建設事業

を担当するコントラクターが派遣する都市鉄道運営の経験とノウハウを保有する各分野の鉄道O&M専門家から構成されるアドバイザーチームを派遣して、この民間O&M会社の指導訓練にあたらせる案が本SAPROF-IIでは提案されている。

現地に民間O&M会社を立ち上げ、教育・訓練してKCRの運営をきちんとできるように仕上げるには、どちらの案がより容易であるかについて評価することも最重要事項の一つと考えられる。表 11.5は規模、列車運転等の面から、開業時のKCRのO&Mのし易さの観点から評価したものである。

表 11.5 開業時 O&M の容易さの観点からの評価

項目	N-A1	N-B1	備考
(1) 路線延長 (km)	43.24	20.73	路線延長は短いほど O&M は容易
(2) 駅数	24	13	駅数は少ないほど O&M 管理が容易
(3) 列車運転	環状運転	単純折り返し 運転	環状運転の場合、列車時隔の変更時に高い O&M 技術を要する。
(4) 近代的な 都市鉄道運営経験	なし	なし	KCR はパキスタン最初の近代的な都市 鉄道である。
(5) 開業時 O&M 会社 要員規模	973	571	O&M 会社の要員規模が小さいほど会 社立ち上げが容易である
評価	非常に大変	両案比較では やや良	-

出典：調査団

評価の結果、現地民間O&M会社立ち上げ、KCRの運営を安心して任せる状態になるまで教育・訓練して仕上げる仕事は、N-A1およびN-B1のいずれの案であっても必ずしも容易とは言えないが、これらの2案を相対評価した場合は、N-B1の方が容易であることは表 11.5から明白である。

(6) 結論

以上の評価項目(1)から(5)までについて、不可：-5点、不十分：-1点、可：1点、やや良（比較してやや容易を含む）：2点、良：3点、優：5点の評価方法により評価を行ったものが表 11.6である。

総合評価は、N-B1がN-A1に対しわずかに優位の評価となった。SAPROF-II調査団は、表 11.6の結果に基づき、N-B1案を推奨案として推奨することとしたい。

表 11.6 N-A1 案および N-B1 案の総合評価

評価項目	N-A1	N-B1
(1) 開業時需要	1	2
(2) 都市鉄道としての輸送サービスレベル	3	5
(3) 初期投資	3	1
(4) 経済・財務評価	1	1
(5) O&M の容易性	1	3
総合評価	9	12

出典：調査団

11.2 提言

- (1) KUTC は、コンサルタントの検討結果やコメントに基づき必要な承認事項を速やかに処理し、政府関係機関との調整を適切に行うことで、事業を円滑に進める役割を担うべきである。
- (2) DCOS から Drigh Road の区間及び Tower、Karachi City、Karachi Cantt の各駅において、KCR 工事開始前に既設 PR 線を移設する必要がある。KUTC は、早急に PR との協議を行い、移設に必要な準備を行うべきである。
- (3) 早急に KCR 本線の中心線測量を実施して中心線杭と用地境界杭を確定させることが推奨される。
- (4) 現地民間 O&M 会社について、有能な経営者を参加させるため良いサービスにインセンティブが働くような仕組みを作ること、会社の選定に当たっては経営者の人格、誠実さ、公共交通サービスへの取り組み姿勢を評価すること、実務スタッフに海外 OJT を含む教育・研修を行うことを提言する。
- (5) KCR の運賃水準は、関連事業に過度に依存せず、鉄道事業からの収益によって健全な鉄道運営が行われるように設定すべきであり、実際の需要に応じて調整する必要がある。
- (6) KUTC に関連事業専門部局を設置して専門家による運営を実施するとともに、不動産開発、高架下開発においてはリスクを小さくするように留意すべきである。
- (7) KCR の計画運転時分を達成するため、モデルとした TX2000 と同等以上の性能を有する車両を調達する必要がある。
- (8) 部分開業案が採用された場合は、RAP に基づいて KCR 全体の住民移転を完了させること、未開通部分に BRT を運行してサービスの向上と用地の保全を図ることを推奨する。
- (9) パキスタン政府とシンド州政府は、関連事業の初期投資やキャッシュフロー上必要な短期借入への資金支援および本事業への免税措置の適用を行うことを推奨する。
- (10) 鉄道省に、経験豊富な鉄道専門家を JICA 長期専門家として派遣することを提言する。