11.4 電気機器

11.4.1 一般

発電所は、ダム水路式、日負荷調整 6 時間ピーク対応可能な発電所で、総落差 125.8 m、最大出力 127 MW である。アッパーセティ水力発電計画の電気機器は、下記の主要設備から構成される。

a. 水車
b. 発電機
c. 主変圧器
d. 屋外開閉機器

11.4.2 単機出力と台数

一般的に水車発電機は、より大型の単機出力が経済的にスケール・メリットはあるが、水車発電機の最適単機出力については、下記の項目について検討し決定した。

a. 投入ユニット容量に対する電力系統への影響
b. ネパール国輸送ルート
c. 製作技術レベル
d. 保守運用の信頼性と柔軟性

上記考慮点 a.項について、発電出力 127MW を 1 台とした場合、FY2013/14 時点のピーク負荷は 1,148 MW で、この機器が持つ周波数調整の寄与度は 1.11 Hz となる。これはネパール国の周波数制限値（+/- 1.25 Hz）に近い値となり、この 1 台が系統から脱落した場合に INPS へ与える影響が大きい。これを 2 台案（63.5 MW × 2 台）とした場合には 0.56 Hz となり，脱落した場合の INPS に与える影響は 1 台案より大きくはなく、また、ネパール国の電力系統解析の結果からも許容できる。

b.項について、Marsyangdi 水力発電所の電気機器運搬ルートと同様に、インドからの道路を利用し Birganj ~ Hetauda ~ Narayangadh ~ Mugling 経由 Upper Seti 水力発電所となり、道路の重量制限は、Marsyangdi 水力発電所の建設時の調査から 24.8 t である。

電気機器の最重量物は主要変圧器（1 台案で約 200 t・2 台案で約 100 t、ただし、絶縁油を除く）と推定され、分解輸送変圧器を採用した場合には、輸送重量を 24.8 t 以下とすることが可能である。

なお、詳細設計段階においては、ネパール国の道路状況の再調査を行い、橋梁の補強あるいは付替工事の必要性を確認する必要がある。

c.項に関して、1 台の場合、大型の水力発電所に分類されるが、製作技術には問題ない。

d.項に関して、ネパール国においては Kali Gandaki A (48 MW/unit)、Kulekhani-II (16.5 MW/unit) および Marsyangdi (26 MW/unit)水力発電所がフランシス水車を採用しており、保守運用上問題ない。

上記検討結果から、系統規模が一番大きな要素と判明した。よって、単機出力は 63.5 MW、2 台案が妥当である。

11.4.3 水車

(1) 水車出力

水車出力は下記により、基準有効落差 112.5 m・100%開度で 65.1 MW とした。

$$Pt = 9.8 \times Hn \times Qt \times \eta t$$
$$= 9.8 \times 112.5 \times 63.7 \times 0.927$$
$$\fallingdotseq 65{,}100 \text{ kW}$$

ここで、

Pt ：水車定格出力（kW）
Hn ：定格有効落差（m）
Qt ：１台あたりの定格使用水量（m^3/s）
ηt ：水車効率（%）

(2) 水車形式

一般に、水車形式は、落差と水車出力の関係で決められる。本計画の落差と水車出力を考慮して、立軸フランシス水車とする。

なお、水車軸には、発電機を分解する事なく、かつ最小停止時間でランナーの点検補修が可能なように、中間軸を設ける。

(3) シルトによる水車の磨耗対策[2]

浮遊土砂による水車の磨耗が生じるかどうかは水車を通過する浮遊土砂の粒径・粒子の硬さおよび濃度による。NEAの観測によれば、プロジェクト地域での浮遊土砂の粒径は、50%粒径で 0.07 mm、年間平均濃度は 2.9 kg/m^3となる。土砂粒子の硬さについては、別途、鉱物組成分析を行い明らかにする必要がある。

本プロジェクトは貯水池を有するが、中国の浮遊土砂の多い河川では貯水池を有する発電所の水車でも磨耗対策を施している。

このため、電気機器設計上、次のような対策を考慮する必要がある。

- シルトに対する高耐摩耗材として 13Cr.4Ni.ステンレス・スチールの仕様とする。
- 耐砂摩耗に効果的なソフトまたはハード・コーティングを水車等に行う。

[2] 経験上Moh’s Scale 5 以上は害を及ぼす。ヒマラヤ地域のシルトは 90%が石英（SiO_2）でMoh’s Scaleは 7 であり、（ダイアモンドは 10）かなり硬いと言える。また、鋼材質への薄いコーティング（0.2 ~ 0.5 mm）は金属、非金属を使ってどちらも可能である。

(4) ランナー材質とスペアーパーツ

ランナー材質は、シルトに対する高耐摩耗材として 13Cr.4Ni.ステンレス・スチールを仕様する。また、フランシス水車のランナーやウェアーリングを磨耗するシルトの侵入が見込まれるため、ランナーやウェアーリング表面にコーティング（ソフトまたはハード）を施す。このコーティング方法は、詳細設計で仕様することとする。

ランナー補修取り替えのための予備ランナーを 1 台用意する。

(5) 水車据付けレベル

水車中心（放水位 EL.289.2 m からの標高差）は、吸出し高さ（Hs）に基づき決められる。Hs はランナーのキャビテーション係数により決定されるが、キャビテーション係数は水車の適用比速度に関係する。これらの関係を検討して Hs は(-)9.59 m を得た。従って、水車中心は EL.280.00 m とする。

(6) 水車ランナー・サイズ

水車ランナーの大きさは水車の体格と重量を知るために設計する。解析結果からランナー入口径 2.23 m、重量 15.3 t となる。しかし、実際の設計段階では、水車製作者（メーカ）の設計値のオッファーを受ける事とする。

(7) 回転数

フランシス水車の適用比速度(Ns)は、一般的に、Ns: 70 ~ 300 m-kW である。経験値からの有効落差－比速度の関係を求めた結果 Ns: 209 m-kW を得た。

この比速度を基に定格回転数を求めると 300 rpm となる。（ただし、数値は詳細設計段階で仕様する。）

(8) 水車吸気装置

水車ランナー、ドラフトチューブなどへの吸気用のパイプシステムを用意する。

(9) 水圧鉄管と入口弁

主水圧鉄管は、1 条で途中から 2 条に分岐され入口弁に接続される。入口弁は、蝶形弁（バタフライ弁）で弁口径約 3.06 m となる。

11.4.4 発電機

発電機の定格容量は、水車最大出力・力率および発電機効率から計算される。

$$Pg = Pt \times \eta g / p.f \text{（kVA）}$$
$$= 65{,}100 \times 0.975 / 0.85$$
$$\fallingdotseq 74{,}700 \text{ kVA}$$

ここで、

Pg ： 発電機定格容量（kVA）
Pt ： 水車定格出力（kW）
ηg ： 発電機効率（%）
p.f ： 力率（%）、遅れ

発電機の主な仕様は次の通りである。

- 回転方向 ：時計廻り
- 定格速度 ：300 rpm
- 定格出力 ：74.7 MVA
- 定格電流 ：3,270 A
- 力率 ：0.85（遅れ）
- 定格電圧 ：13.2 kV
- 定格周波数 ：50 Hz

発電機形式は立軸、3 相交流ブラシレス同期発電機、励磁装置（AVR）付で、発電機の回転子（ローター）と固定子（ステーター）の巻線は F 種エポキシ絶縁とする。通風冷却方式は、ファン通風方式で水冷熱交換器（エアークーラー）とファンにより冷却する。

11.4.5 天井走行クレーン

水車・発電機組立てや保守用機器の搬送に天井走行クレーンを設置する。

クレーン型式は、屋内用天井走行車輪付シングル・トロリーとし、回転子重量から最大荷重容量は 150 t（75 t、2 台：クレーンの容量の最終決定は詳細設計時に検討する）、さらに 10 t の補助クレーンを用意する。天井走行クレーンの走行レール巾は約 20 m、吊り上げ高さは約 6 m とする。

2 台のクレーンは最大重量物を吊る時にジョイント運転できるものとする。

11.4.6 主要変圧器

地下発電所の変圧器室に 2 台の主要変圧器を設置する。

主要変圧器の定格容量は，発電機の定格出力から決定され，以下の通りである。

- 定格容量　　: 74.7 MVA
- 定格電圧　　: 1 次　13.2 kV
　　: 2 次　220 kV
- 定格電流　　: 1 次　3,270 A
　　: 2 次　196 A
- 定格周波数　: 50 Hz
- 冷却方式　　: 屋内式、OFWF（送油水冷式）

主要変圧器の形式は、単相・普通 3 相・特別 3 相式および分解輸送 3 相変圧器があり、輸送制限、効率、据付スペースを考慮して設計される。計画地点への輸送重量は最大 24.8 t（トレーラー重量を含む）のため、変圧器の主要部品単位に分割し輸送して、現地で再組立を行う分割輸送 3 相変圧器を採用すれば、総重量 100 t で分割最大重量 13 t となり輸送可能である。従って、本計画においては、分割輸送式 3 相変圧器を採用する。

主要変圧器と開閉所間は、220 kV 電力ケーブル（架橋ポリエチレンケーブル：XLPE）で接続される。

11.4.7　付属機器

(1)　所内電源機器

所内電源は発電機回路から 2 系統とし、13.2 kV/400V の所内用変圧器 2 台を設置し、400V/230V、3 相 4 線式回路で配電する。この所内電源回路から発電所建屋内の電源、ダム設備、屋外開閉所、事務所、宿舎などの設備の電源をまかなう。

(2)　非常予備電源

発電所所内電源全停止などによる事故時の再起動のために、非常用予備電源として、ディーゼル発電装置を設置する。ダム設備についてもダム側に予備電源としてのディーゼル発電装置を設置する。

(3)　火災予防・消火装置

火災予防・消火のための自動検知・消火装置は放水式とし発電機風洞内、発電所建屋内、主要変圧器室などの主要設備に設置する。ダム設備、屋外開閉所、事務所、宿舎などの設備には、移動式、壁掛け式CO_2（二酸化炭素ガス）方式とする。

(4)　水車発電機制御装置

水車発電機の運転制御は、中央制御室に設置された制御装置からすべての運転制御が行われる。また、ダム設備も中央制御室の制御装置とリンクし、モニターされる。

11.4.8 屋外開閉機器

(1) アッパーセティ開閉所

開閉所は屋外の EL 370 m に位置し、地下発電所に設置された主要変圧器の 2 次側は、220 kV の電力ケーブル約 680 m で結ばれ、電気機器制御室を含めた発電所管理事務所も設置する。

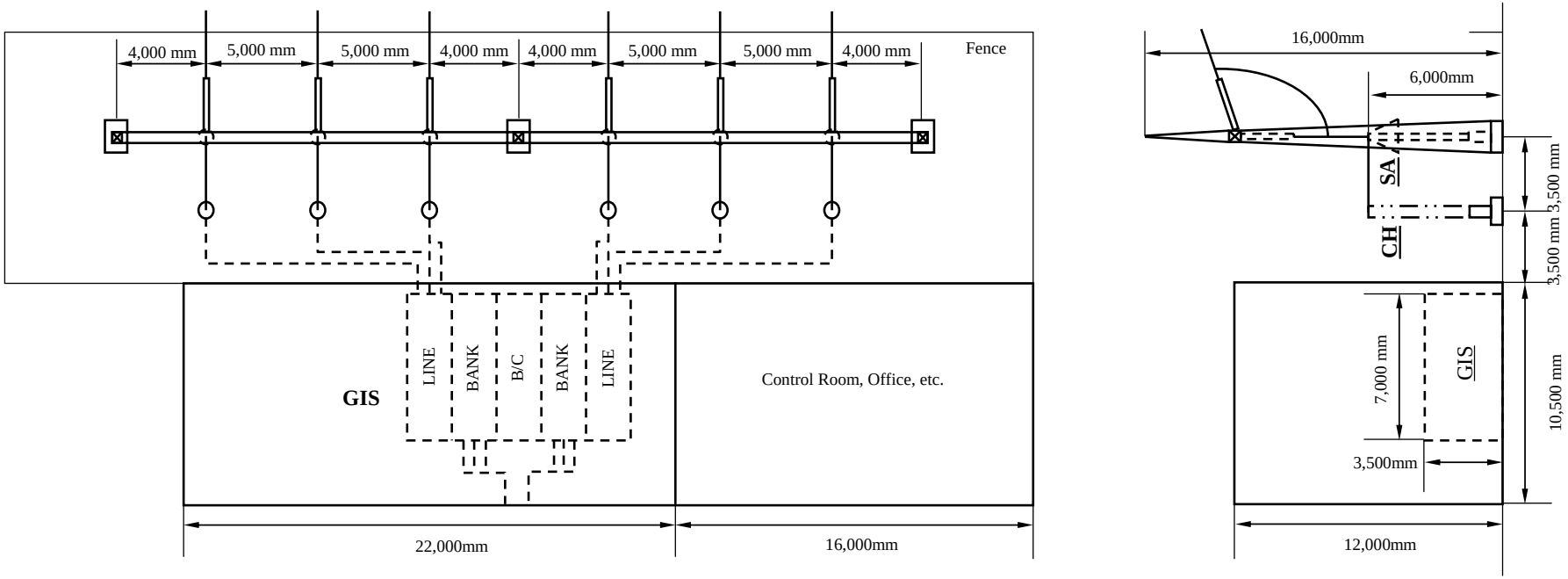
屋外開閉所と発電所を結ぶケーブル・トンネルに電力ケーブル、制御ケーブル等が敷設される。一方、重量物や保守員の地下発電所への進入はアクセストンネルにて可能である。

屋外開閉所は、ガス絶縁（GISタイプ）、220 kV一重母線方式でガス遮断器、断路器等の機器から構成される。屋外引出し線は 220 kV送電線の第 1 鉄塔に結ばれ、2 回線送電線で新Bharatpur開閉所に送電される。**Fig. 11.4.8-1**に屋外機器配置図を示す。

(2) 新 Bharatpur 開閉所

アッパーセティ開閉所の電力は、新しく建設された Narayangadh 市内の新 Bharatpur 開閉所に 220 kV で送られる。なお，この開閉所は、FY2013/14 には既に Hetauda および Bardghat から 220 kV・2 回線の送電線が接続されており，この送電線によりアッパーセティから発電された電力は，ネパール国の東部地方およびカトマンズに送電される。

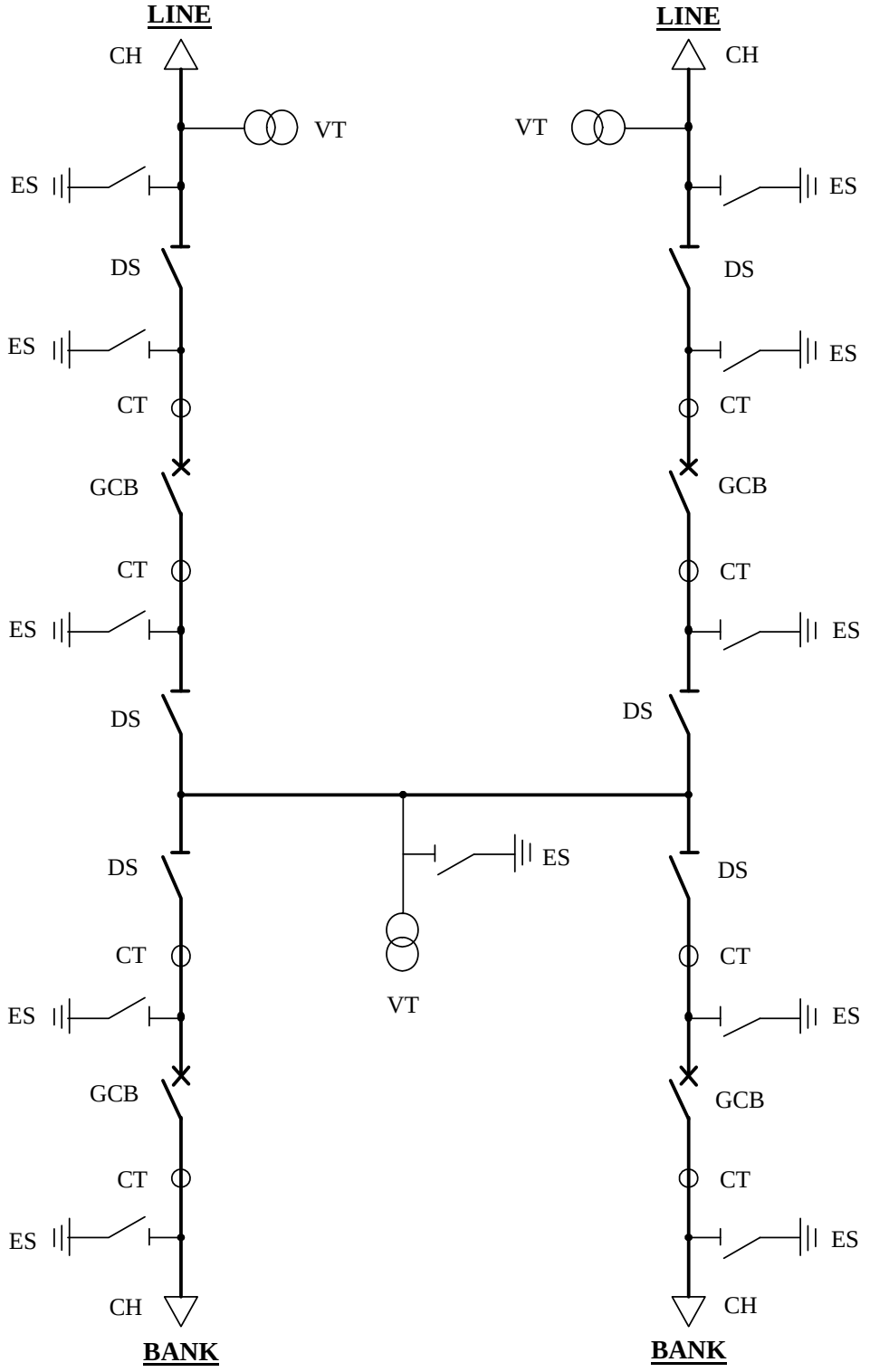
新 Bharatpur 開閉所は，従来形の 220 kV 二重母線方式でガス遮断器・断路器等の機器から構成される。



Upgrading Feasibility Study on Upper Seti (Damauli) Hydroelectric Project, NEPAL

Location of Switchyard Equipment

Fig. : 11.4.8-1 (1/2) | *Date : February, 2007*



Regend

GCB : Gas Circuit Breaker
DS : Disconnecting Switch
ES : Earth Switch
VT : Voltage Transformer
CT : Current Transformer
CH : Cable Head

Upgrading Feasibility Study on Upper Seti (Damauli) Hydroelectric Project, NEPAL

Single Line Diagram (Switchyard Equipment)

Fig. : 11.4.8-1 (2/2) | *Date : February, 2007*

11.4.9 維持流量発電設備

アッパーセティ水力発電所のダムには維持流量の放流管（2.4 m^3/s）が設置され、ダム上流部落の電化のために、この維持流量を利用して発電することとする。

この維持流量発電所の諸元は、以下の通りである。

発電所出力	: 1,900 kW
有効落差	: 95 m（取水位：EL 405 m、放水位：EL.310 m）
使用水量	: 2.4 m^3/s
送電電圧	: 11 kV または 33 kV
水車	: 横軸フランシス水車 1,960 kW
発電機	: 横軸 3 相同期発電機 1,970 kVA
主要変圧器	: 3 相油入変圧器、容量 1,970 kVA

11.5 送電線

11.5.1 送電線ルート

アッパーセティ水力発電所での発生電力は、**5.2.4** 項に述べたとおり、220 kV 送電線で、Bharatpur 地域まで送電し、新設が予定されている 220 kV Hetauda – Bardghat 送電線に連系する計画である。

本プロジェクトの送電線は、アッパーセティ水力発電所を始点とし、Bharatpur 地域における 220 kV Hetauda – Bardghat 送電線との連系点（開閉所）を終点とする。本送電線のルート測量は NEA により実施された。以下に、このルート調査のレビュー結果を記す。なお、ルート選定にあたっての環境面からの評価は、第 9 章に記されている。

(1) 送電線ルート計画

送電線測量では、まず 1/25,000 m 地図を使用し、机上でルート案を 3 案作成した。その後、現地踏査を行い経過地や工事の状況等を勘案しながら最適な送電線ルート案を選定した。その後、送電線ルート案の現地測量が実施され、平面図、地形縦断図が作成された。

(2) 送電線ルートの始点と終点

1) 第 1 鉄塔位置

アッパーセティ水力発電所の第 1 鉄塔位置は、開閉所予定地付近に位置しており、適正と判断する。

2) 最終鉄塔位置

最 Bharatpur 側の連系点は、既設 Bharatpur 変電所から北側に数 km 離れた Ganeshsthan 付近を開閉所の第 1 候補地点として選定している。この候補地点は、220 kV Hetauda – Bardghat 送電線の線路中心上で、測量杭（AP20B1）付近であり、現地を確認した結果、

周囲が森、住宅地であるが、地形が平坦であるため、開閉所の新設工事も、比較的容易であると考えられる。

(3) 机上ルート案の概要

机上 3 案のルートは 2 つの区間に分割される。第 1 区間はアッパーセティ水力発電所－Bagarkhola の区間、第 2 区間は Bagarkhola – Bharatpur の区間である。

1) 第 1 区間

第 1 区間である、アッパーセティ水力発電所 – Bagarkhola の机上ルート案は、以下の 2 案があった。

A. Rumsi 地点を経由して 132 kV Pokhara – Bharatpur 送電線に並行するルート
B. セティ川左岸の尾根近くを通過するルート

机上およびルート踏査の結果から、B.案はアクセス道路があるものの道路状況が悪かったこと、森林地帯を通過することから、伐採の観点からあまり好ましくないと判断され、ルート踏査終了時点では、第 1 区間は A.案が選定された。

アッパーセティ水力発電所 – Bagarkhola 区間の、A 案のルート概要は下記のとおりである。

送電線ルートは、アッパーセティ水力発電所から、Rumsi 地点を経由し、既設 132 kV Pokhara – Bharatpur 送電線に並行して Bagarkhola 地点に至る。経過地は、丘陵、農耕地、山地であるが、所々に民家がある。地形は Bagarkhola 地点に近くなると山地の様相を呈し、標高 900 m 近くを通過する。資材運搬は既設道路と徒歩道を利用し、トラック、人肩で実施することとなる。

2) 第 2 区間

第 2 区間では、ルート踏査終了時点で 3 ルート案が策定され、概要は以下に記載するとおりである。

（ルート案 1）

a) Bagarkhola ~ Duighare 区間

Bagarkhola 地点を通過した後、セティ川を横断、右岸の山地を Bargau 地点、Cherghare 地点、Saidada 地点を経由、Trishuli 川、幹線道路を横断して、Duighare 地点に至る。この区間では既設 132 kV Pokhara – Baratpur 送電線とは並走しない。標高 400 m 程度から 900 m 以上の山地を通過し、急峻な土地を通過することとなる。資材運搬は、相当な困難が予想される。

b) Duighare ~ Dasdhunga 区間

Duighare 地点からは、再び既設 132 kV Pokhara – Baratpur 送電線と並行して Dasdhunga に至る。この区間は、Kamatpur 地点付近の山地を通過しており、標高は 1,000 m に達する。その後、標高が下がるにつれ、比較的地形の穏やかな地域を通

過する。資材運搬の状況は前区間と同じである。

c) Dasdhunga – Bharatpur 連系点

Dasdhunga 地点を通過した後、Devitar 地点付近で、集落を避けながら、既設 132 kV Pokhara – Bharatpur 送電線を上部横断する。更に、Jugedi Bajar 地点では、既設 132 kV Marsyangdi – Bharatpur 送電線を上部横断し、2 本の既設送電線の東側を並行する。Jugedi Bajar 地点付近までは丘陵地であるが、その後は平坦な森林地帯を通過し、Bharatpur 連系点に至る。

ルート案 1 の特徴は、森林伐採を最小限にできることである。Bhartpur に比較的近い Juedi Bajar 地点付近から、ルートの最終地点までは、森林地帯を経過しているものの、既設送電線と並行するルートとなっていることから、伐採量が少なくなることが期待される。

（ルート案 2）

a) Bagarkhola – Duighare 地点

既設 132 kV Pokhara – Baratpur 送電線と並走するルートである。

b) Duighare – Bharatpur 連系点

Duighare 地点から、既設 132 kV Pokhara – Bharatpur 送電線の西側に沿って Bharatpur 地域に至る。Bharatpur 地域で、既設 132 kV の 2 線路を横断し、連系点に至る。本ルートは、Jugedi Bajar 等の集落を通過することとなる。

ルート案 2 の特徴は、既設 132 kV Pokhara – Bharatpur 送電線の西側に沿ったルートであるが、一部の居住集落を通過することから、ルート案 1 と比較した場合、実現性が低いものと考えられる。

（ルート案 3）

a) Bagarkhola ~ Kyuditar 区間

Bagarkhola 地点を通過した後、Saranghat 付近でセティ川を横断する。その後、Trishuli 川の右岸を南下する。運搬に係る主要道路は左岸に位置しており、右岸には道路が全くないことから、資材運搬については相当難しいものと推察される。

b) Kyuditar – Bharatpur 連系点

Trishuri 川を横断し、ルートは更に南下、平坦な森林、丘陵地帯を通過する。本ルートは既設 132 kV Pokhara – Bharatpur、Marsyangdi – Pokhara 送電線の西側に位置することから、この 2 つの送電線を Bharatpur に近い地域で上空横断の必要がある。この横断の後に、Bharatpur 連系点に至る。

ルート案 3 の特徴は、Bangarkhola ~ Kyuditar の区間において、アクセス道路がないことから運搬が著しく難しいこと、森林伐採の面から、森林地帯の通過が多いこと、既存送電線が周囲に存在しないことから、伐採量はルート案 1、2 に比して多くなることが想定される。以上のことから施工やメンテナンスの観点、環境配慮の観点から、あまり良いルートとは言えない。

(4) 各ルートの比較

第 1 区間をA案として、第 2 区間を(3)に示した 3 案とした場合の、各ルート案の比較を、**Table 11.5.1-1**のとおり取り纏めた。

この結果、NEAと同様に、第 2 区間は最も実現性が高く、総合的に良いと考えられるルート案はルート案 1 と判断できる。現地測量は、第 1 区間はA案、第 2 区間はルート案 1 を基準に実施された。机上 3 ルート案を**Fig. 11.5.1-1** に示す。また、測量を行った最終ルートを**Fig.11.5.1-2**に示す。

Table 11.5.1-1 Comparison of each of the Route plans

	Route plan 1	Route plan 2	Route plan 3
(Route data)			
Route length	39.0 km	37.1km	39.8 km
Number of angle points	13 points	7 points	10 points
(Evaluation)			
1) Economical view of facility	2	1	3
2) Deforestation	1	2	3
3) Site access (ease of transportation)	2	2	3
4) Topographic features	2	2	2
5) Transmission line crossing	1	2	2
6) Passing over villages	1	3	1
Comprehensive evaluation	1	2	2

* Legend; 1: Good, 2: Fair, 3: Not good, Not feasible
* Notes;

1) Economical view of facility

The Three Route Plans are ranked from the viewpoint of route length and the number of angle points.

2) Deforestation

The length of passing in forests is respectively compared. A route plan involving fewer trees to be cut down is ranked higher.

3) Site access / Ease of transportation

There are many places where transportation by manpower is necessary, meaning evaluation of access is not so good for any route plan. In particular, Route Plan 3, passing over an area where there are no access roads en-route, was considered to be the lowest ranked.

4) Topographic features

It is not impossible to construct steel towers, though each route passes through mountainous areas. It is considered that some towers will have to be located on steep slopes and the three Route Plans have similar topographic features.

5) Transmission line crossing

Because high towers are expected, route plans passing over flat areas and villages lowers the ranking.

6) Passing over villages

To cross the residential area in Route Plan 2, the evaluation was lowered.

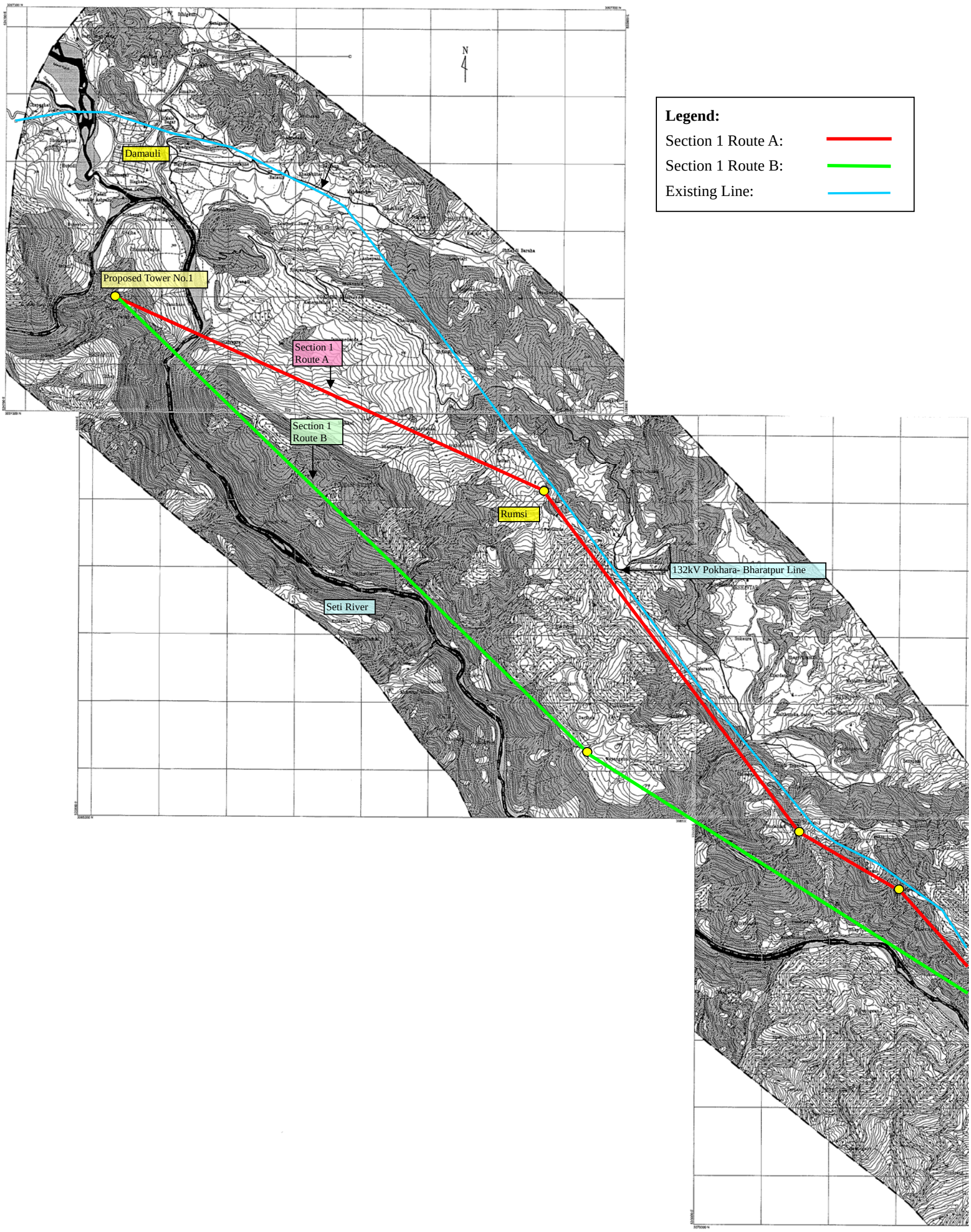


Fig. 11.5.1-1 (1)　Desk study route-1

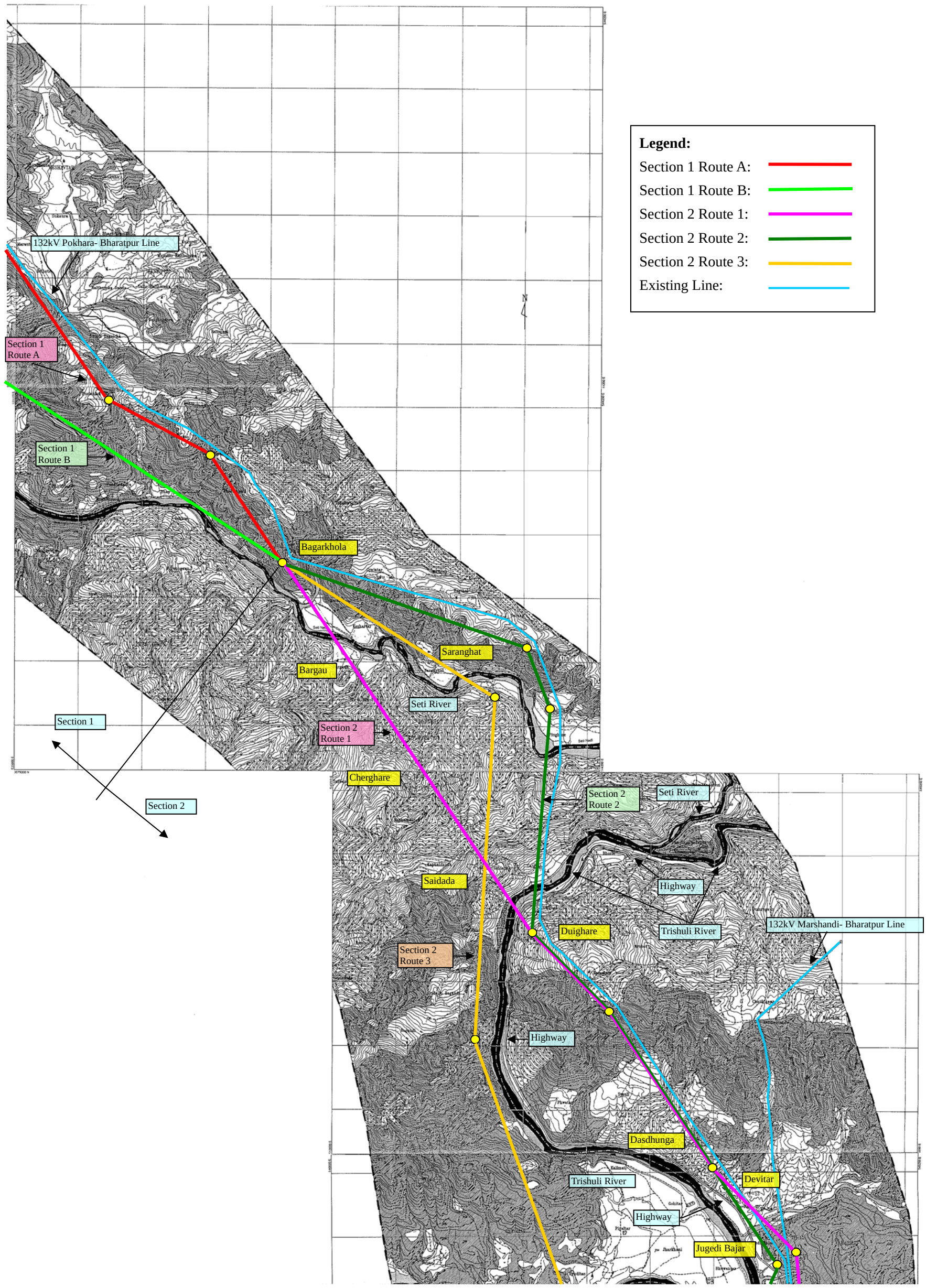


Fig. 11.5.1-1 (2) Desk study route-2

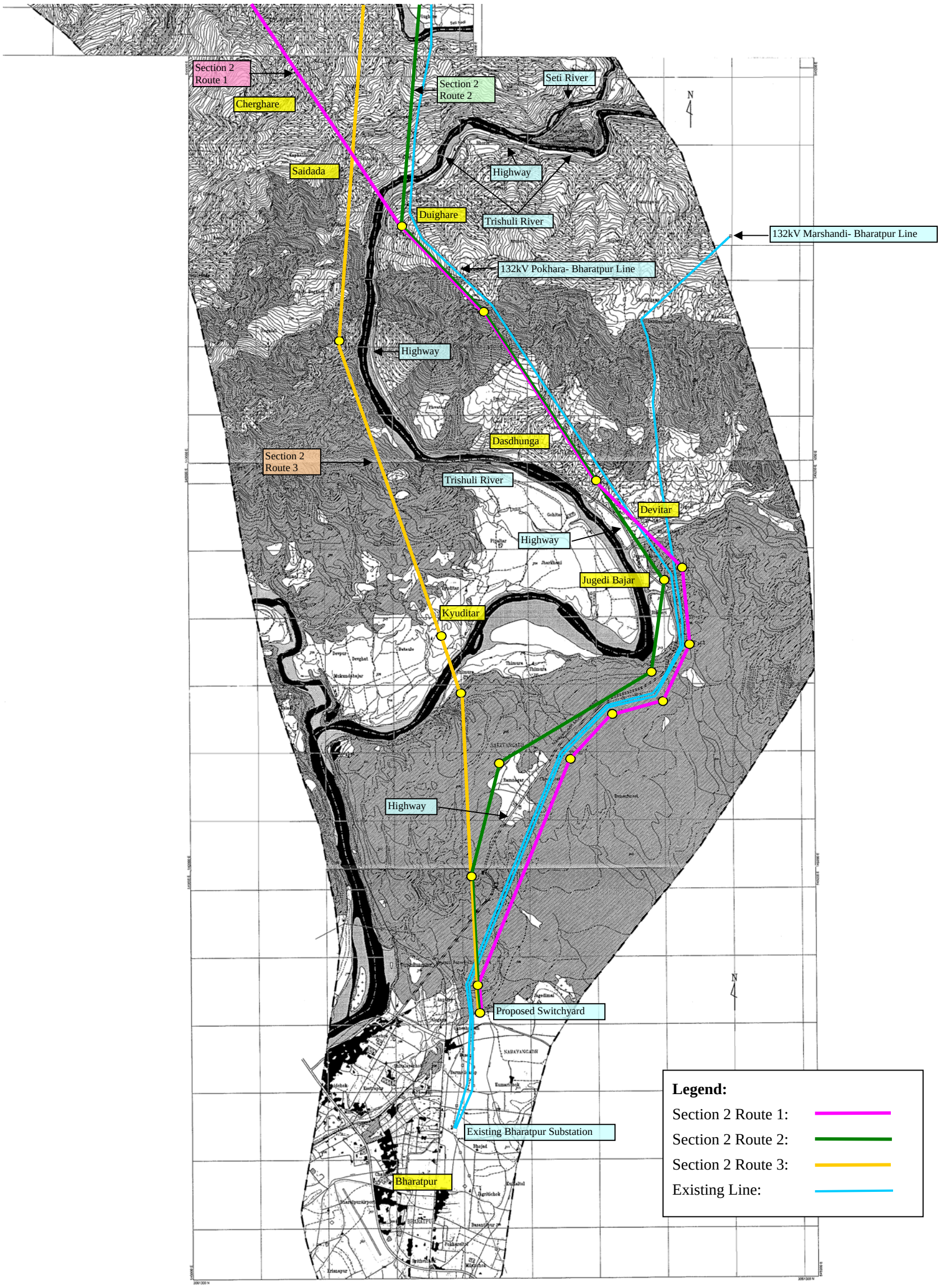


Fig. 11.5.1-1 (3)　Desk study route-3

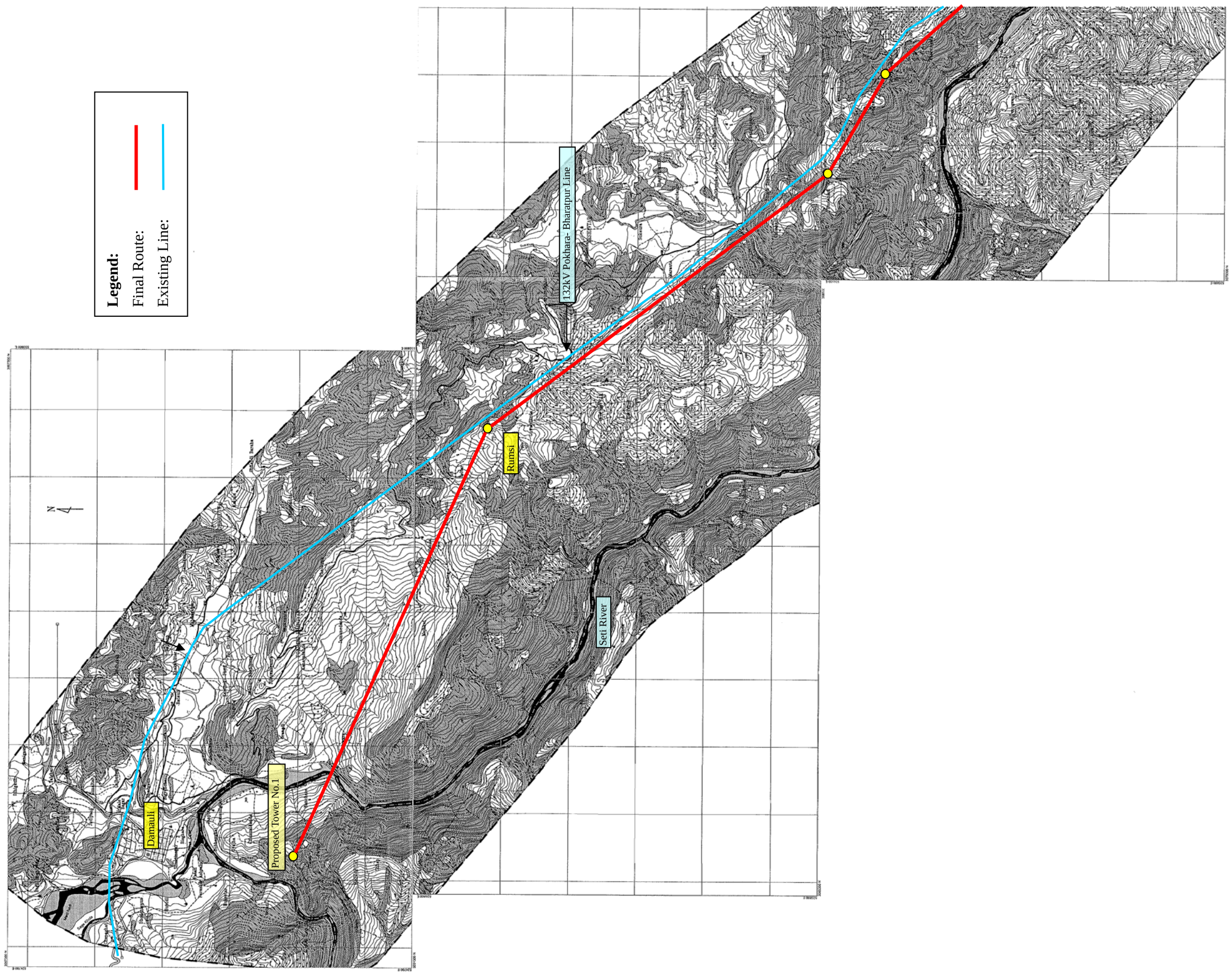


Fig. 11.5.1-2 (1) Final route-1

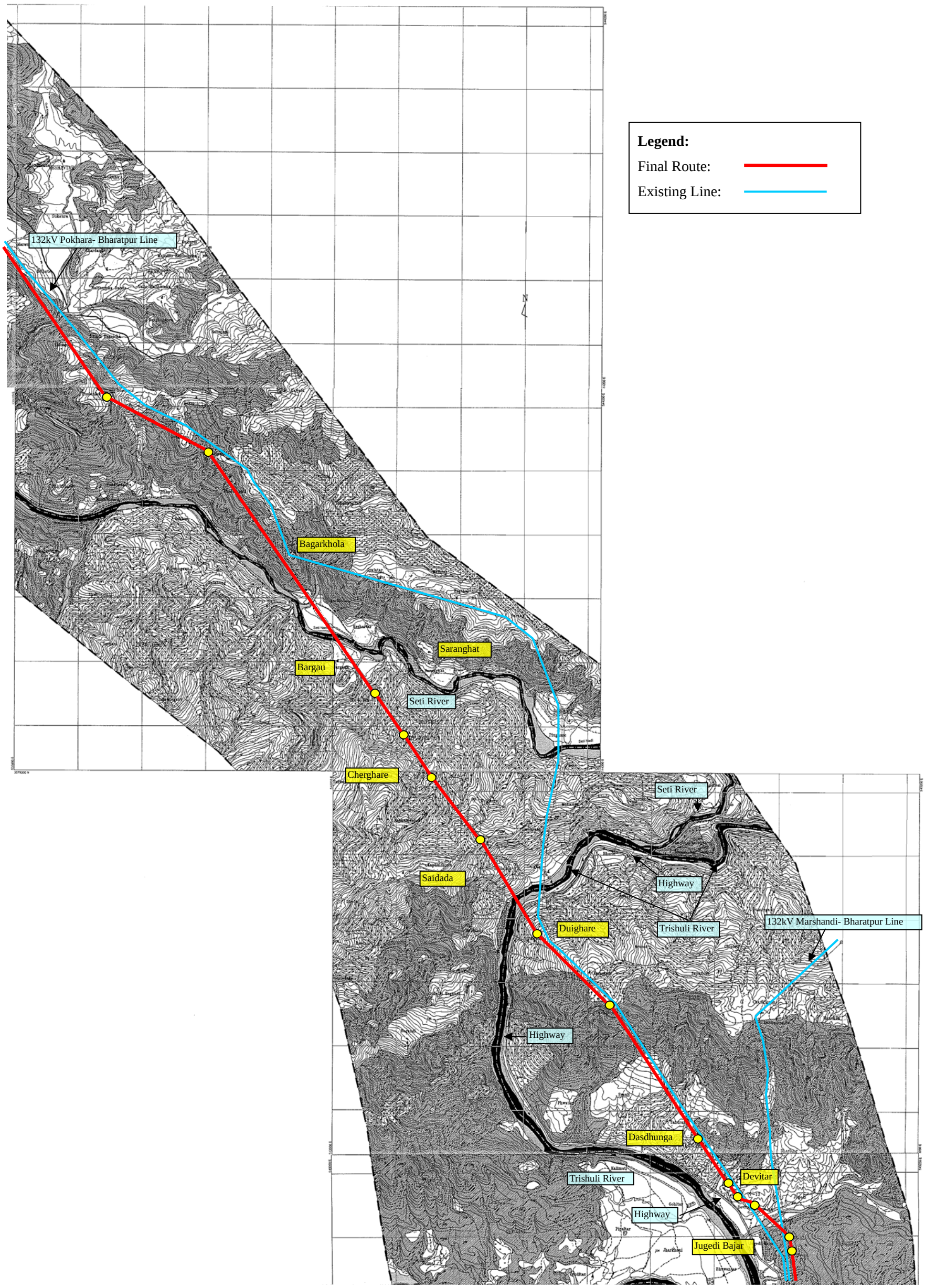


Fig. 11.5.1-2 (2) Final route-2

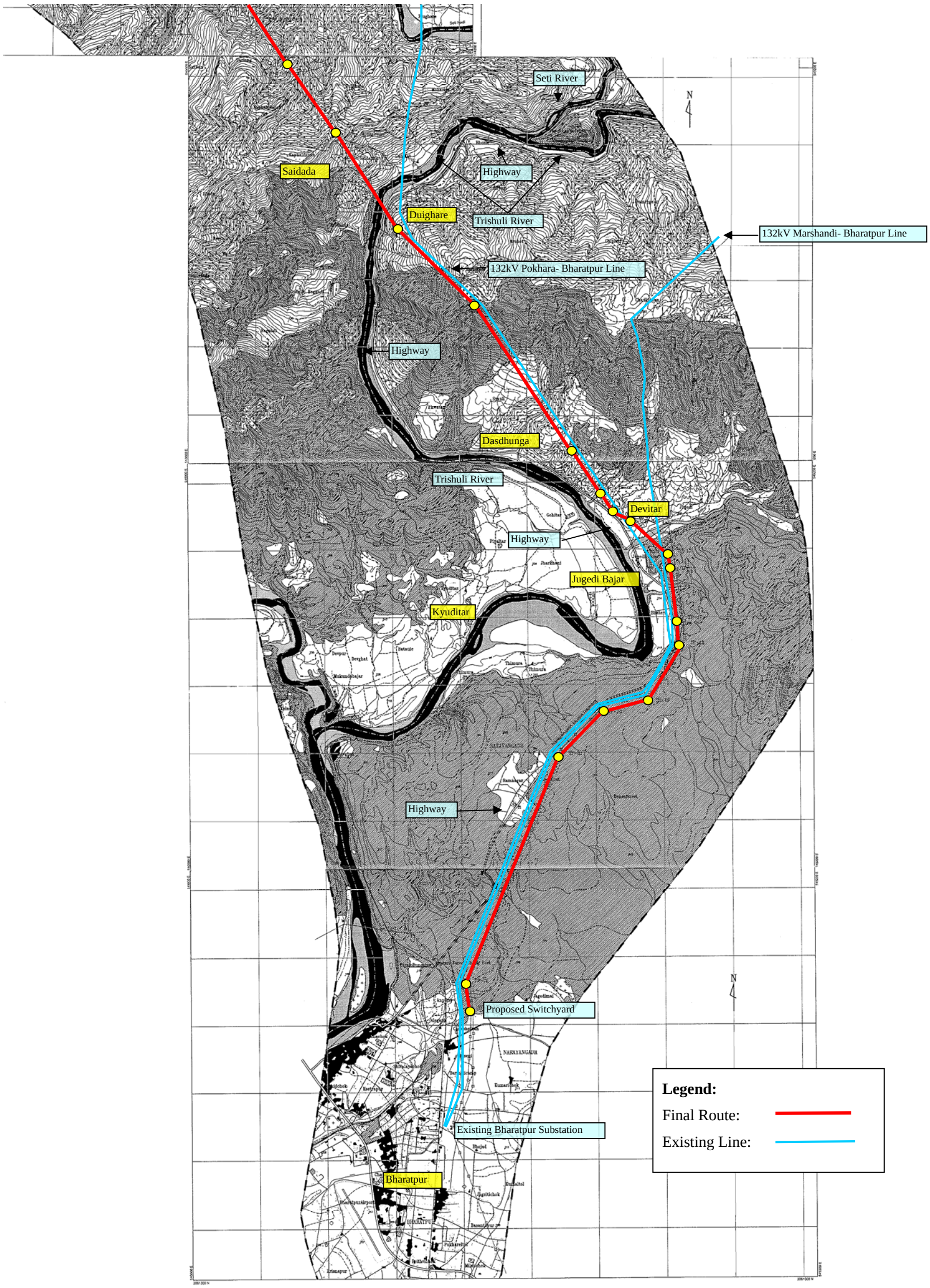


Fig. 11.5.1-2 (3) Final route-3

11.5.2 Bharatpur連系について

アッパーセティ水力発電所で発生した電力は、建設が予定されている 220 kV Hetauda – Bardghat 送電線に Bharatpur 周辺で連系することとしている。

220 kV Hetauda – Bardghat 送電線は、既に円借款の要請があがっているものの、本送電線を接続する Bharatpur 地域の変電所、開閉所の計画は含まれていない。

連系するだけであれば、電線を接続するだけの T 分岐等の方法が考えられる。しかし、T 分岐による連系は、ネパールにおける重要基幹送電線となる Hetauda – Bardghat 送電線（約 140 km）に、本送電線（約 40 km）が電気的に常時接続され、切り離すことが難しくなる。事故時の影響や保守作業等にも大きな影響が想定されることから、T 分岐による連系は推奨されない。以上から、送電線の連系に関しては、開閉所を設置することが推奨される。

11.5.3 送電設備の仕様

主たる送電設備の仕様について、以下に概要を記載する。

(1) 基本諸元

区間	:	アッパーセティ水力発電所 – 新 Bharatpur 開閉所予定地
亘長	:	約 40 km
公称電圧	:	220 kV
電気方式	:	交流 3 相 3 線式
回線数	:	2
電力線条数	:	1 条／相
架空地線数	:	2 条
周波数	:	50Hz

(2) 電線

ネパール国は内陸国であるので、海塩による電線腐食は心配されない。現地調査の結果、経過地域には、工場、火山等の腐食ガスを発生させる要因は存在しないことから、通常の鋼心アルミより線を使用することとする。

電線サイズ、相条数は、送電線の熱容量、コロナの観点から検討した。この結果、電線サイズは送電線の熱容量面から Bison 単導体とした。

ACSR Bison 単導体は、電線の表面電位傾度がやや高く、日本の実績によると、コロナの観点からは、運用次第では若干の懸念がある（**Appendix** 参照）。Bison 単導体は、ADB の援助で 1998 年に実施した Transmission System Master Plan で 220 kV 用として選定された電線の 1 つであり、NEA は Transmission System Master Plan に則った電線の仕様で設備を統一したいとの意向であった。以上から今回は ACSR Bison 単導体を採用することとした。

Bison 単導体の熱容量は以下のとおり計算された。Bison 単導体は、アッパーセティ水力発電所の出力を送電することが可能である。

ACSR Bison 単導体 ;
導体許容電流 : 670A（at 80°C）
送電線の熱容量 : 1cct（連続）240 MW

なお、**Fig. 11.5.1-2(2), (3)**に示すとおり、Bharatpur近郊では本送電線を含めて 3 ルートの送電線が通過することになり、今後、別電源による新たな送電線ルートの確保は難しいと考えられる。従って、詳細設計に当たっては、最新のNEAの電源開発計画を考慮して、電線サイズを決定することが必要と考えられる。

(3) 架空地線

架空地線は、主に電線への直撃雷の防護、落雷時に雷電流を分流させることで鉄塔電位を下げ、鉄塔逆フラッシオーバを防止するために設置する。

5.2.4で述べたように、架空地線は 2 条設置することとした。また、遮蔽角は 0 度を採用することとした。

架空地線の線種は、NEA の標準である EHS を採用することとした。

EHS ;
より線構成 : 7/35
外径 : 10.05 mm

(4) 絶縁設計の概要

各種絶縁設計を行なった結果、碍子の個数、離隔を下記のとおりとした。

碍子個数 : 250 mm ボールソケット型 標準懸垂がいし 17 個
連結長 146 mm
最小絶縁間隔 : 1,500 mm
標準絶縁間隔 : 2,300 mm

(5) 碍子装置

碍子は下記の碍子を使用することとした。

碍子強度の検討は、縦断設計に基づくため、詳細設計時に再検討が必要である。

碍子装置 :
１連懸垂装置 （*70kN* ボールソケット型 250 mm 標準懸垂碍子 17 個連）
２連懸垂装置 （*70kN* ボールソケット型 250 mm 標準懸垂碍子 17 × 2 個連）
２連耐張装置 （*120kN* ボールソケット型250 mm 標準懸垂碍子 17 × 2 個連）

なお、碍子装置にはアークホーンを設置する。

(6) 鉄塔

鉄塔は、四角鉄塔を採用することとし、想定される鉄塔形状を **Fig. 11.5.3-1** に示す。

(7) 基礎

鉄塔基礎は、現地地盤の状況によるが、概ね下記の基礎型が想定される。

- 逆丁字基礎
- ロックアンカー基礎
- 杭基礎

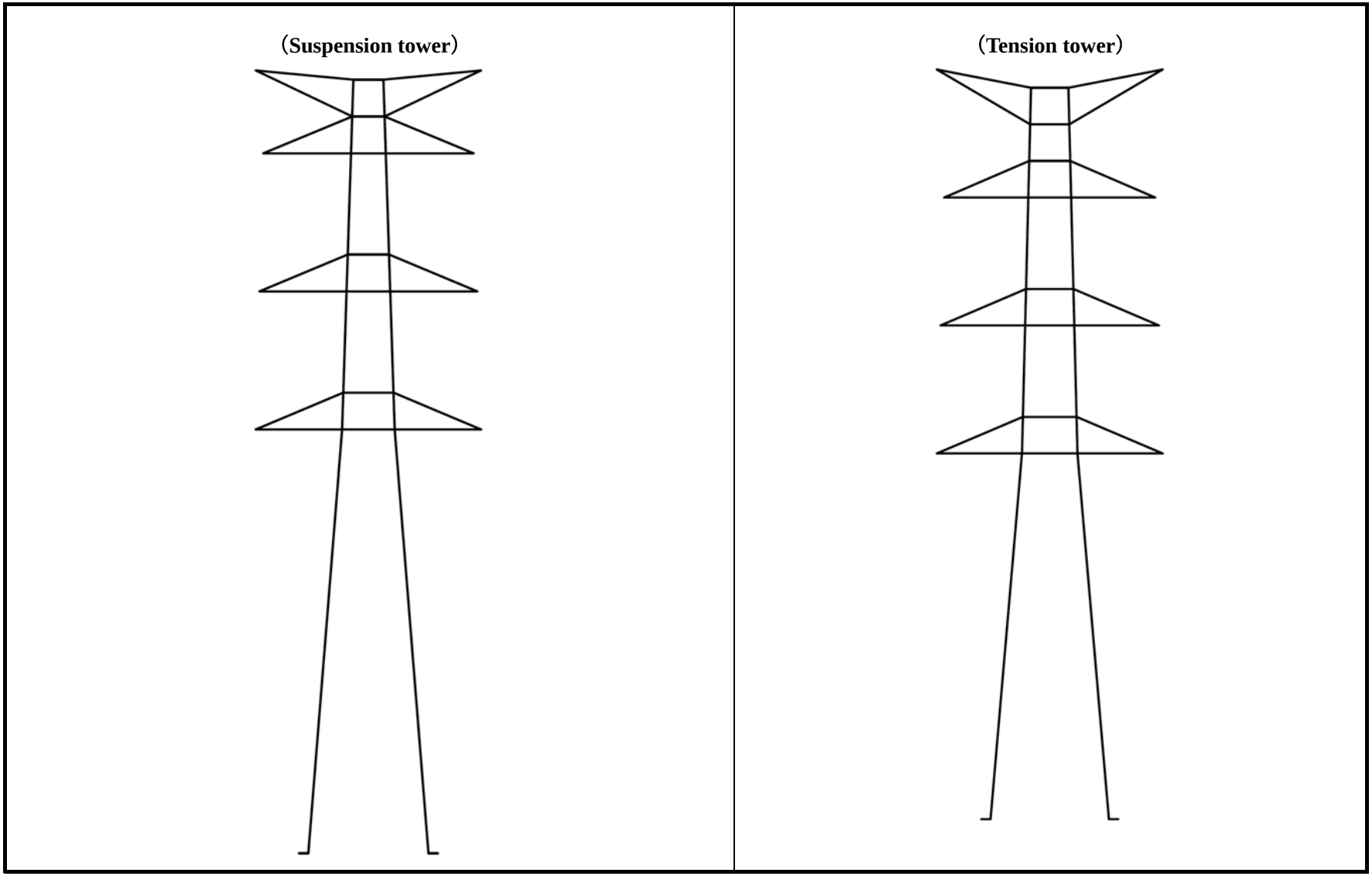


Fig. 11.5.3-1 Typical Tower Drawing

11.6　年間発生電力量

ここでは、貯水池の堆砂、排砂操作を考慮した年間発生電力量の算定方法について述べる。

11.6.1　貯水池運用ルールの最適化

最適規模決定においては比較条件を揃えるために､出水状況を加味して一定の貯水池運用ルールを設定して電力量の計算を行ったが、ここでは最適案における年間発生電力量を最大化するべく、貯水池運用ルールの最適化を行った。

貯水池運用ルーツの最適化は、ダイナミック・プログラミング（DP）手法によった。DP とは、数学的には、与えられた拘束条件のもとで評価関数を極値化（最大、最小）するような制御ベクトルの系列を決定することであり、これは最適性の原理に基づく。最適性の原理とは、系の初期状態および初期決定がいかなるものであっても初期決定から結果する状態に関して、その後の決定が最適となるような最適計画である。

貯水池運用ルールの最適化においては、評価関数は年間発生電力量であり、与えられたダム地点の流入量に対する放流量や貯水量（貯水池水位）が拘束条件に相当し、上記の制御ベクトルが貯水池運用ルールとなる。

10 章で示した通り、電力量計算に際し 1964 年から 1999 年までの 36 年間の月流量が与えられているが、目標貯水量の導き方の概念は、**Fig 11.6.1-1**に示す通りである。

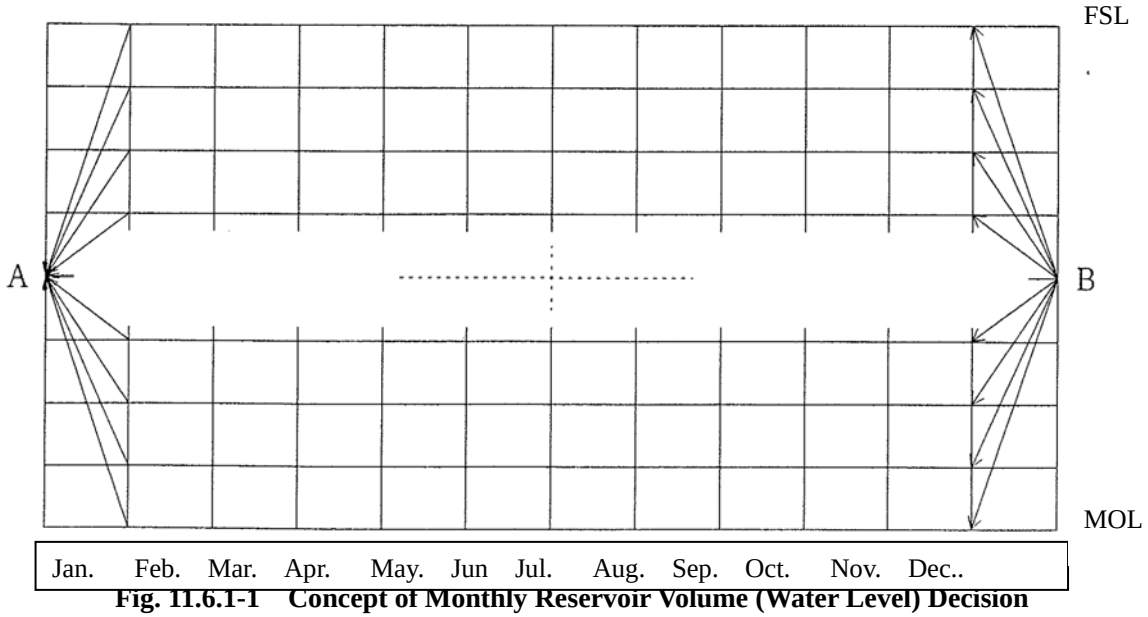


Fig. 11.6.1-1　Concept of Monthly Reservoir Volume (Water Level) Decision

はじめに 1 月当初の目標貯水池水位を設定し、36 個の流入量に対して 36 個の放流量が決定される。なお、目標貯水量は最低水位と満水位間の貯水池水位を 20 分割されており、水位～容量曲線により 20 通りの目標貯水量が決まる。以下、36 個の放流量により順次、翌月の目標貯水量が定まり、最終的に 12 月の目標水位において 36 個の流入量に対して 36 個の放流量が決定され、翌年の 1 月当初の目標貯水池水位が決まる。こうして何通りかの貯水池の運用ルールが決定するが、仮にすべての年で 1 月当初の初期値に対して 12 月末の目標貯水量が一致すれば、導かれた目標貯水量は妥当な貯水池運用ルールと言えるが、往々にしてこれらが一致し

ない年が発生する。（**Fig 11.6.1-2**）

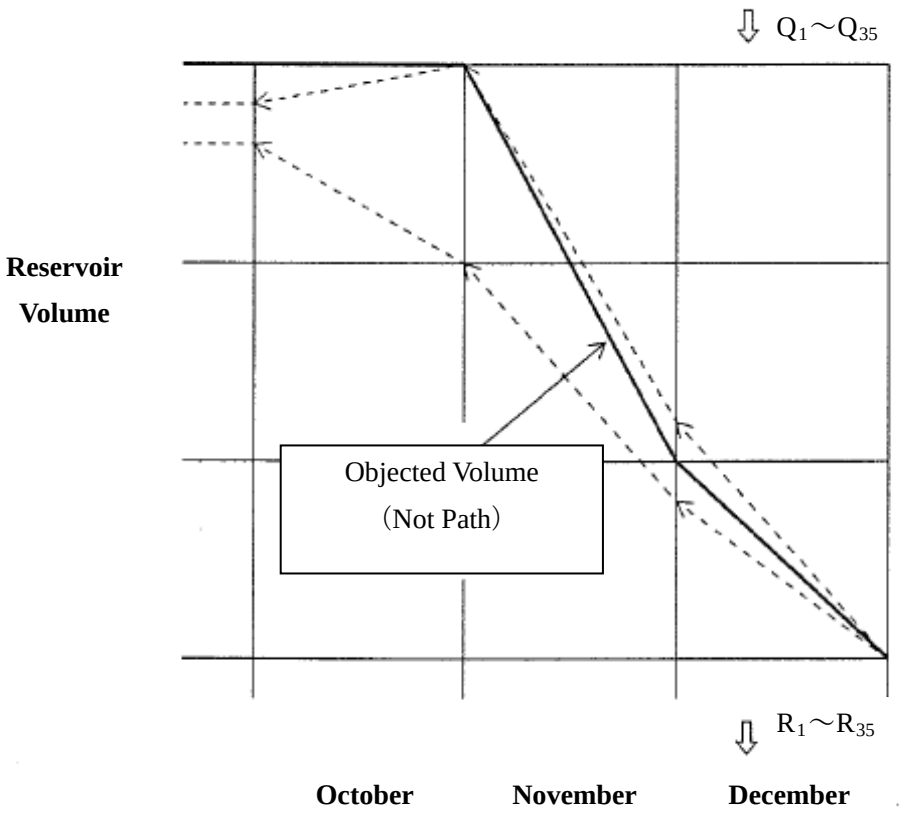


Fig. 11.6.1-2　How to decide Reservoir Rule Curve

目標貯水量はあくまで目標であり、年によっては図中の破線で示すように目標貯水量に到達できない年も存在する。この場合、1 月当初の 20 個の目標貯水量を再度 12 月末の初期値として与え、収束するまで計算を実行する。この条件を満たす貯水池運用ルールのうち年間発生電力量が最大となる貯水池運用ルールを最適ルールとして選択することになる。

上記のように求めた、排砂のためのフラッシングを考慮しない場合に電力量が最大となる貯水池運用ルールを、**Fig. 11.6.1-3**に示した。

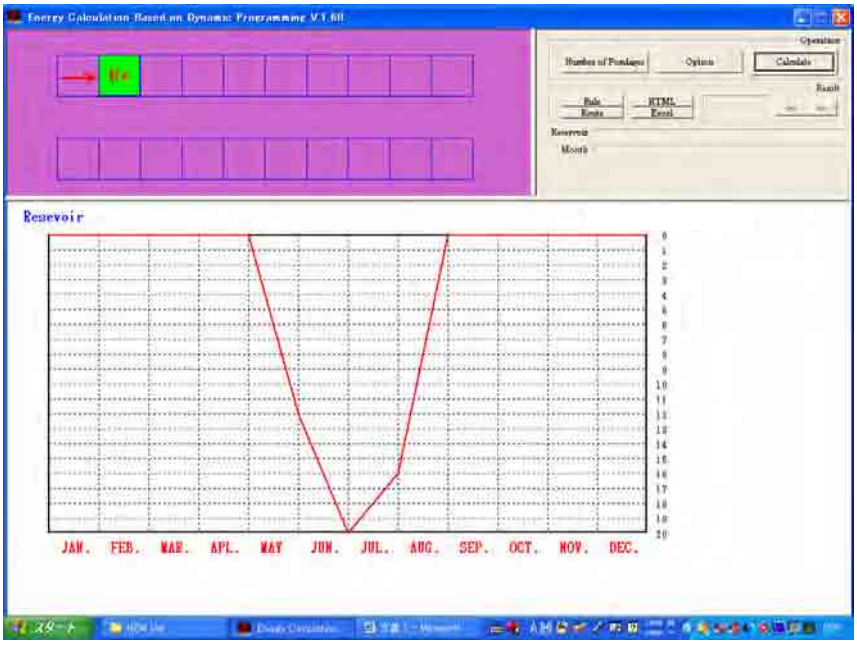


Fig. 11.6.1-3　Optimized Reservoir Operation Rule Curve

11.6.2　算出条件

(1)　排砂操作の考慮

第10章で考慮しなかった排砂操作による水位低下を考慮する。第6章で検討したように、毎年排砂のために

a.　6 月 1 日~ 20 日で水位を MOL から排砂ゲート敷の EL. 320 m まで低下させる。

b.　6 月 20 日~ 7 月 31 日までフラッシングを行う。

c.　8 月 1 日~ 2 日で水位を MOL まで上昇させる

という水位条件を電力量の計算に取り入れる。

(2)　堆砂の影響

第6章で述べたように排砂操作を実施しても流入する流砂を完全に貯水池から排出することはできないので、年毎に貯水池内の堆砂量は増加し、貯水容量は減少していく。よって、本計画では、同じ水文条件であっても、発生電力量は年毎に変化していく。そこで、水力発電プロジェクトにおいては、その経済・財務評価はプロジェクトの完成後 50 年間を対象として実施するので、50 年間の平均的な貯水容量カーブを使用して電力量を計算することにする。

第 6 章の**6.6.4**で実施したFSLがEL. 415 mの場合の毎年排砂操作をする場合、プロジェクト完成後から 50 年間の平均堆砂量は、71.5 百万m^3であり、これは完成後 23 年後の堆砂量（71.3 百万m^3）にほぼ等しい。よって、電力量計算には 23 年目の貯水容量カーブを用いる。**Fig, 11.6.2-1** に堆砂を考慮しない場合と 23 年目の堆砂を考慮した場合の貯水容量カーブを示す。

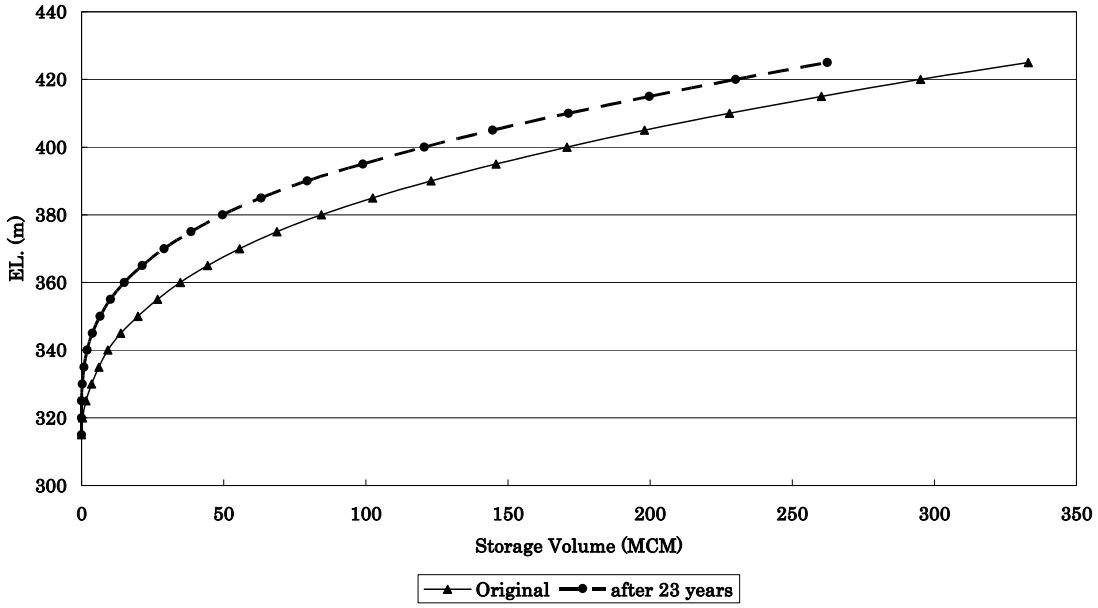


Fig. 11.6.2-1　Reservoir Capacity Curve without Sediment and after 23 Years

11.6.3　電力量計算結果

11.3で決定した最適水路径、NEAの地質調査の途中結果による発電所位置の変更を考慮した有効落差及び出力の計算は、**AppendixのChapter 11**に示したとおりであり、設備出力は 127MW となる。

この設備出力と**11.6.2**に記した電力量計算条件により、電力量を計算すると以下のようになる。

アッパーセティ発電所	1 次電力：	216.9 GWh
	2 次電力：	252.5 GWh
維持流量発電（2 次電力）:		15.0 GWh
	2 次電力計	267.5 GWh
	計	484.4 GWh