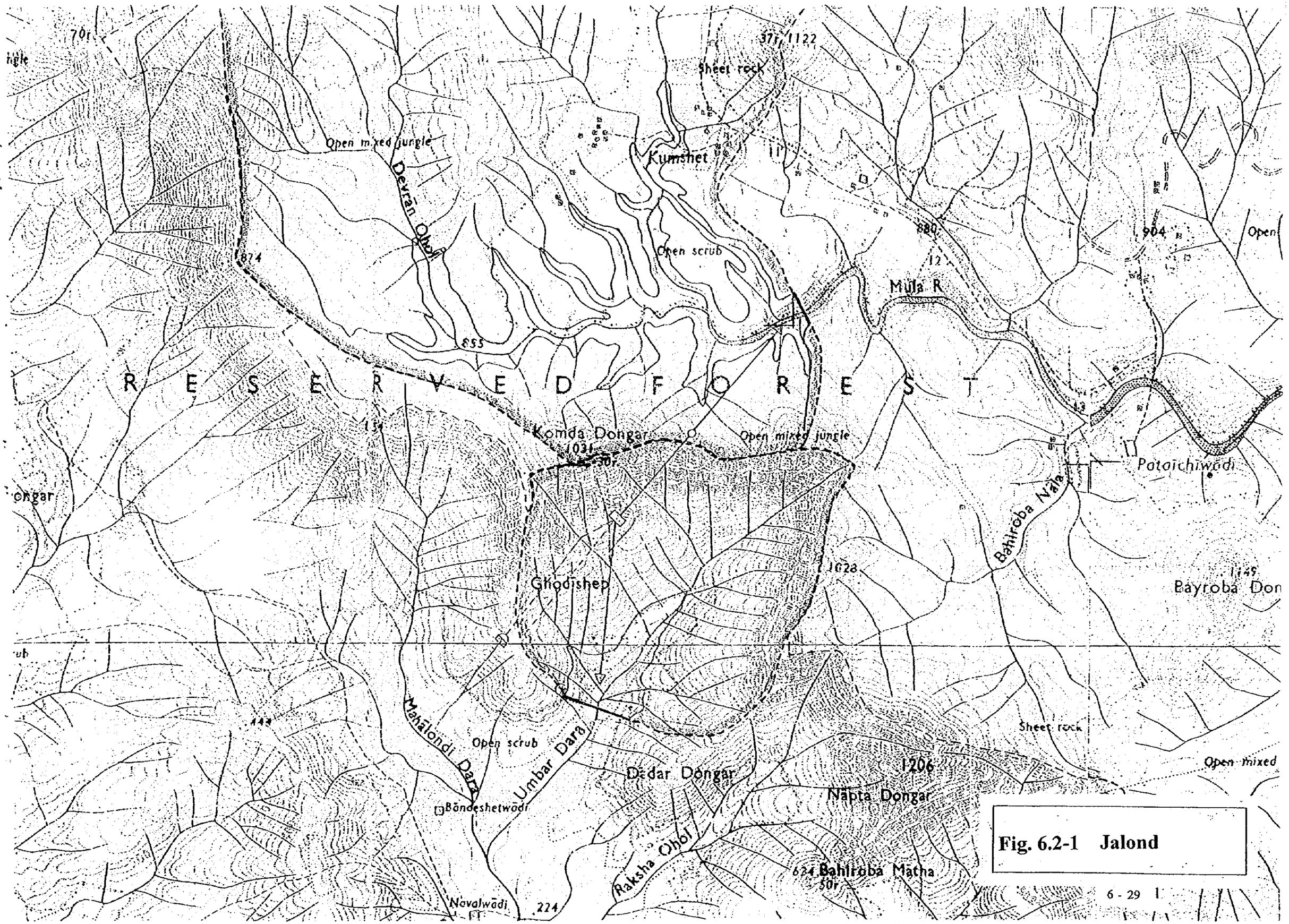


Fig. 6.2-1 Jalond

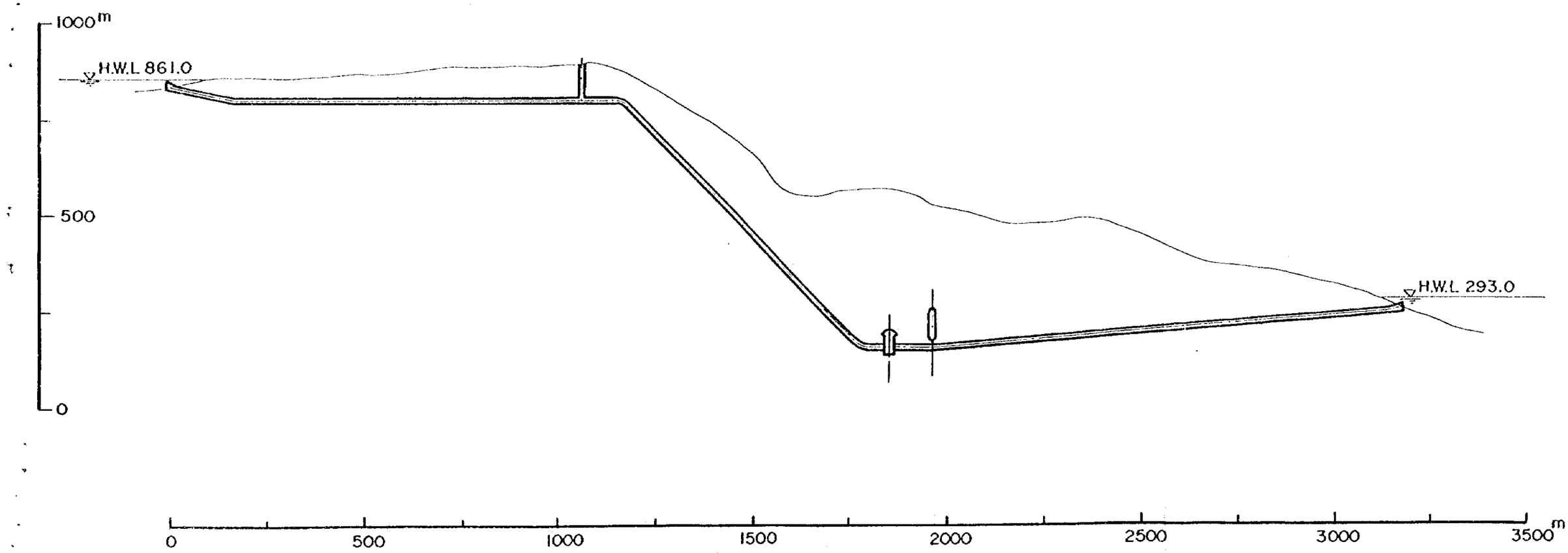


Fig. 6.2-2 Jalond

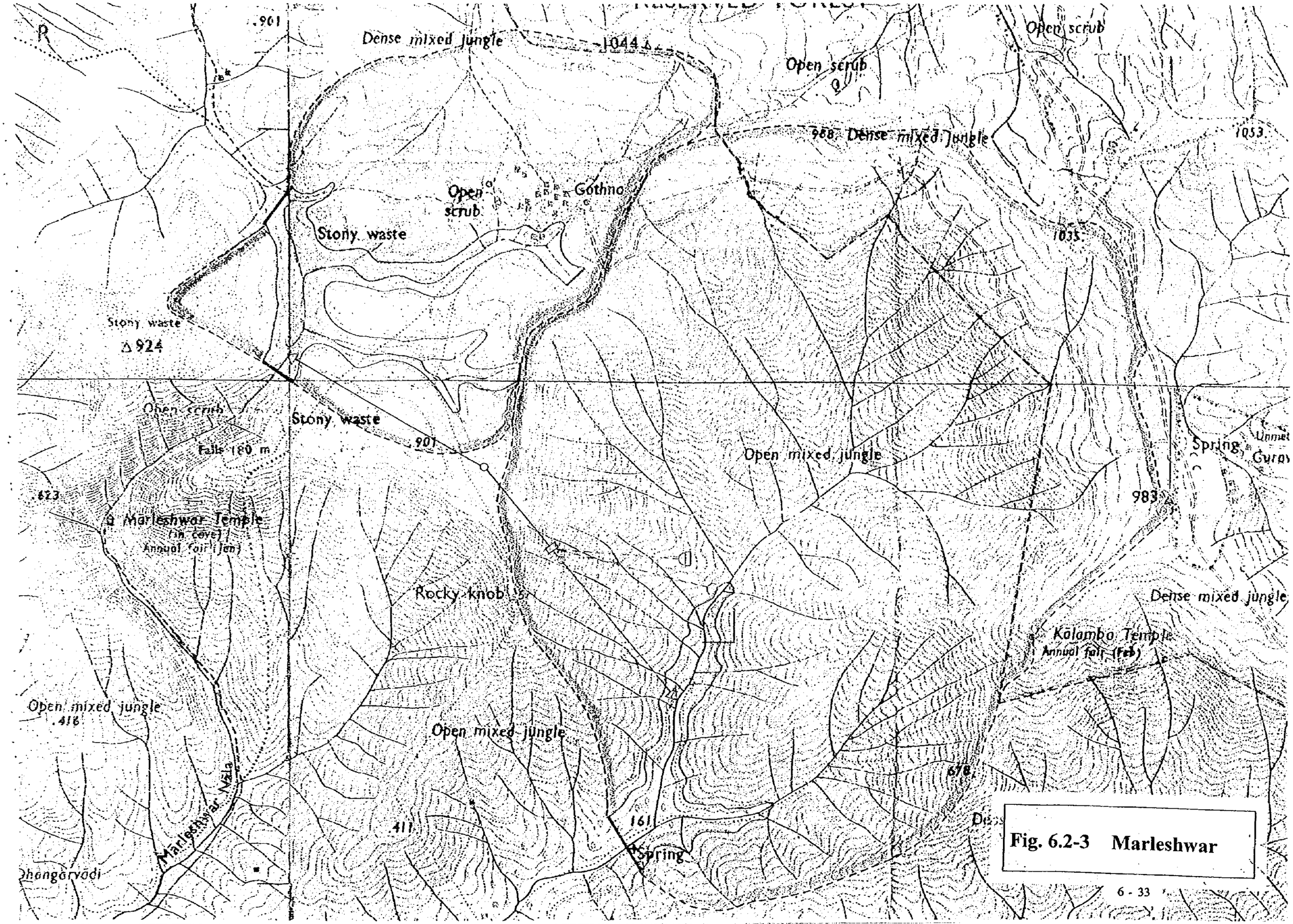


Fig. 6.2-3 Marleshwar

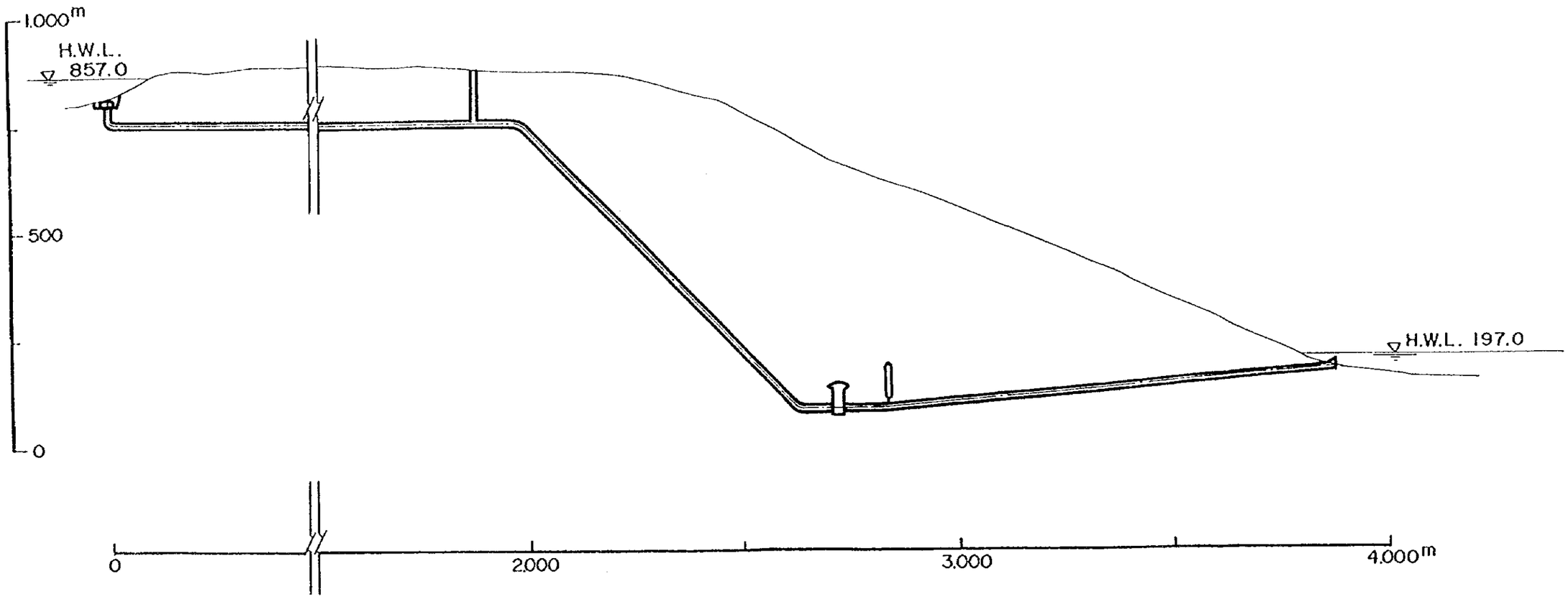


Fig. 6.2-4 Marleshwar

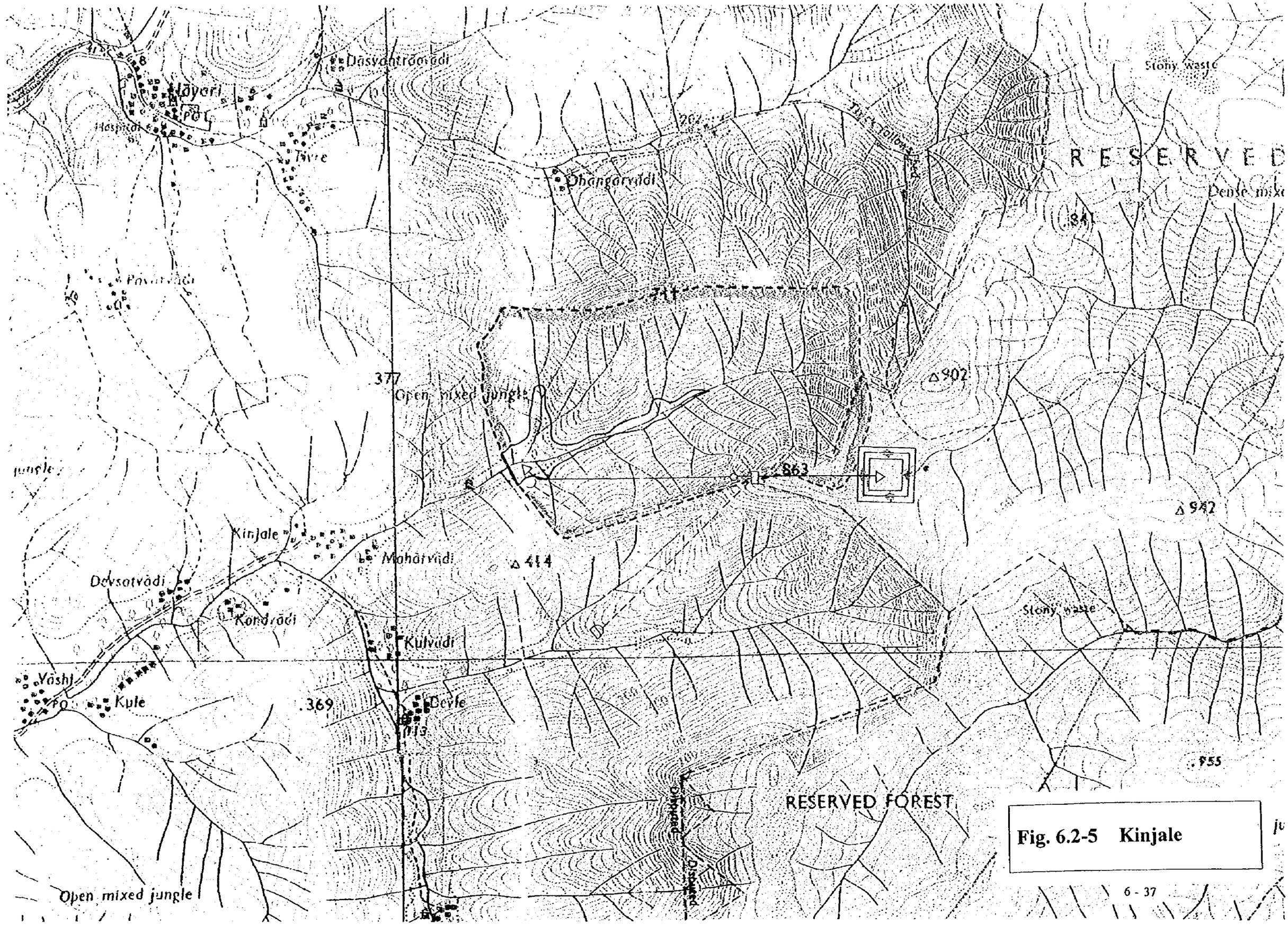


Fig. 6.2-5 Kinjale

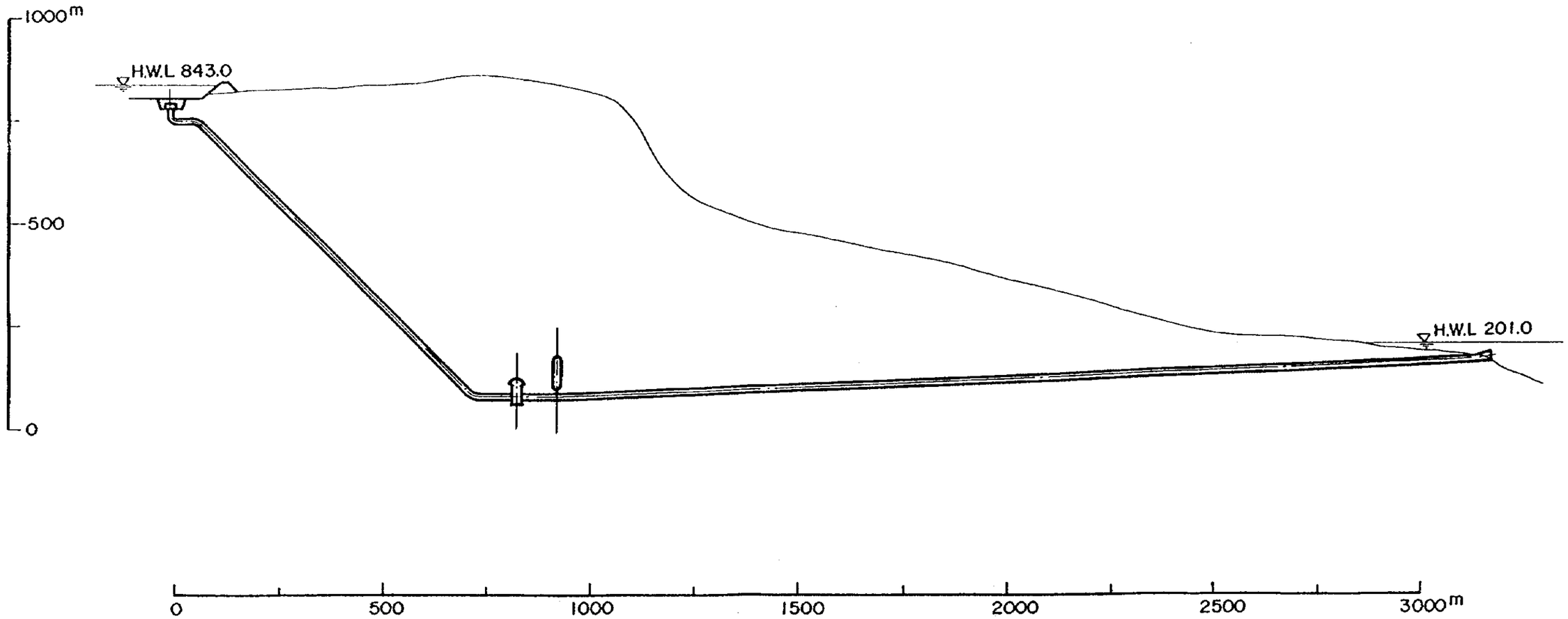


Fig. 6.2-6 Kinjale

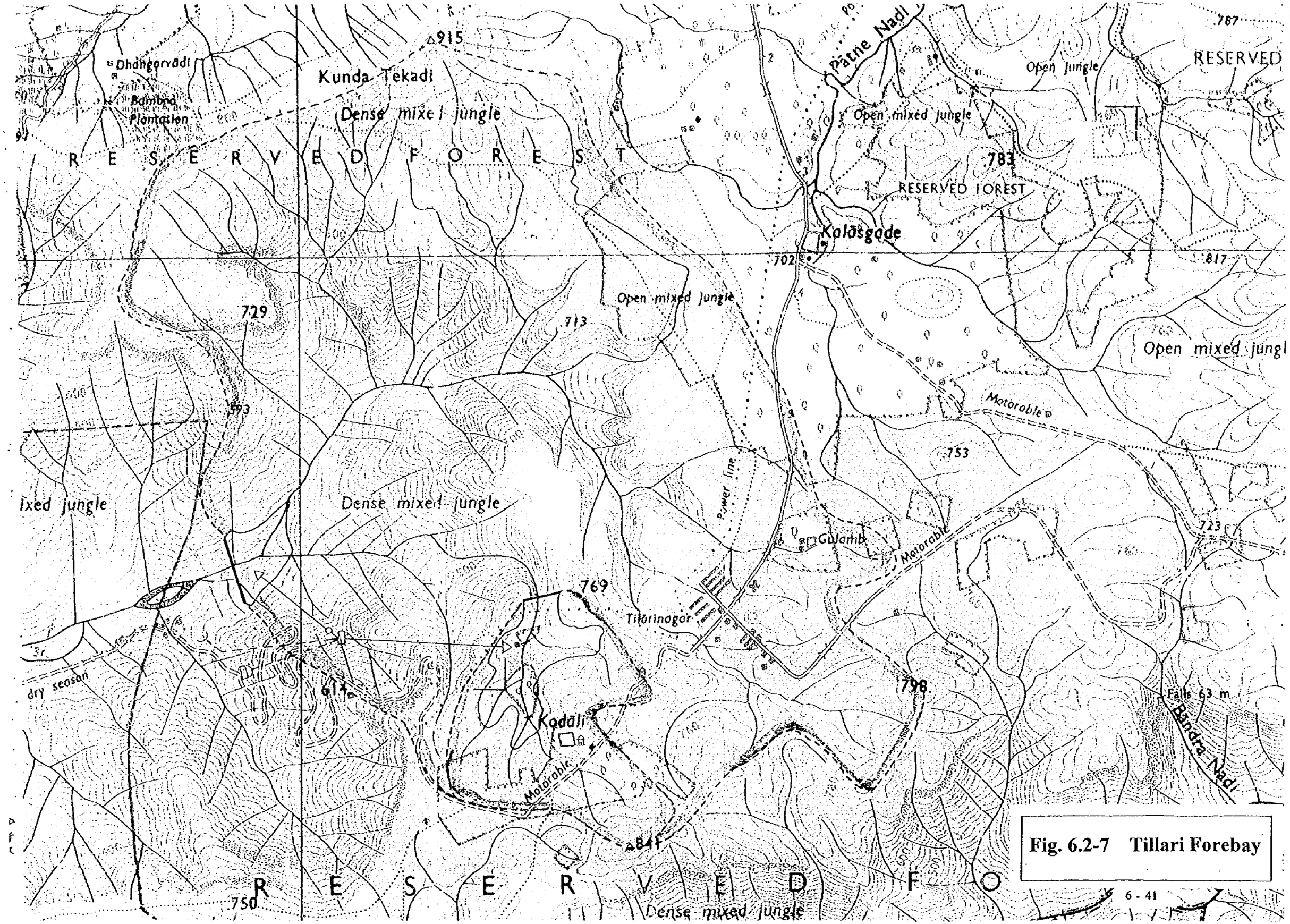


Fig. 6.2-7 Tillari Forebay

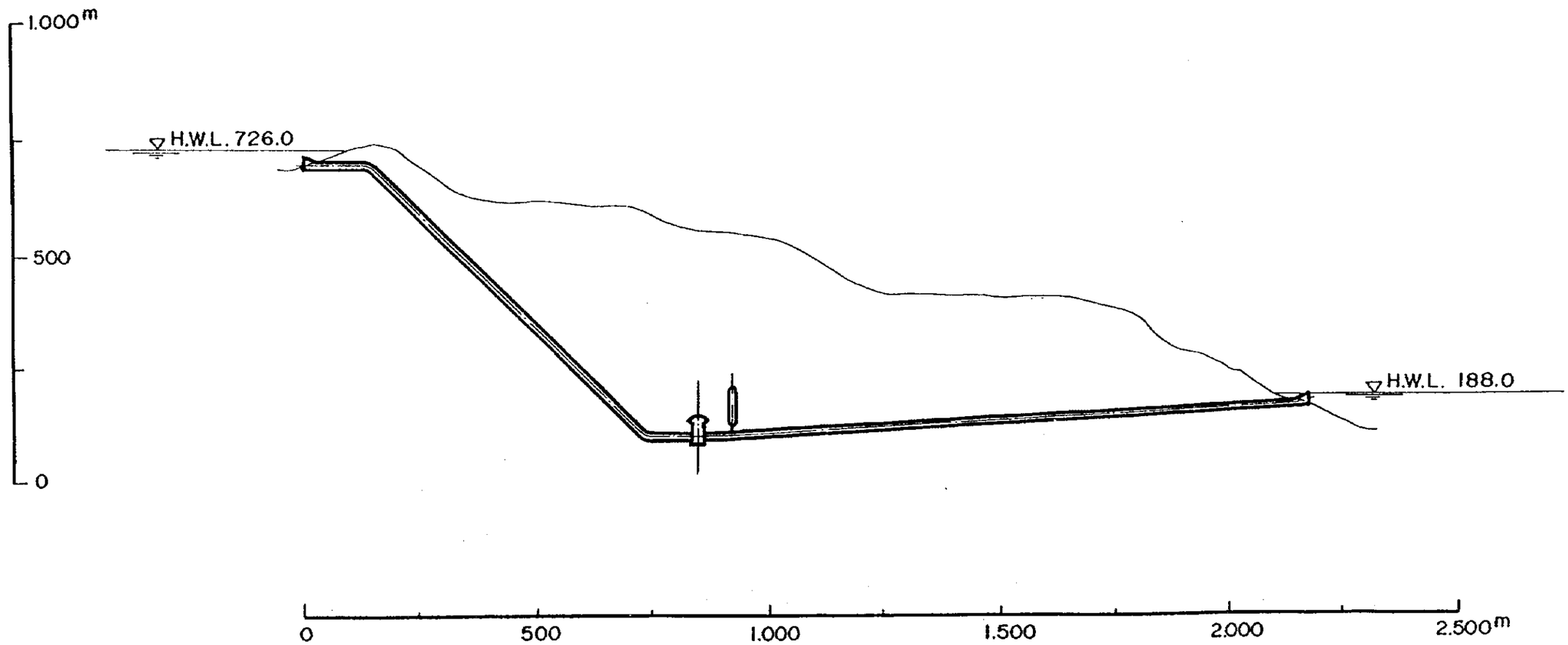


Fig. 6.2-8 Tillari Foreby

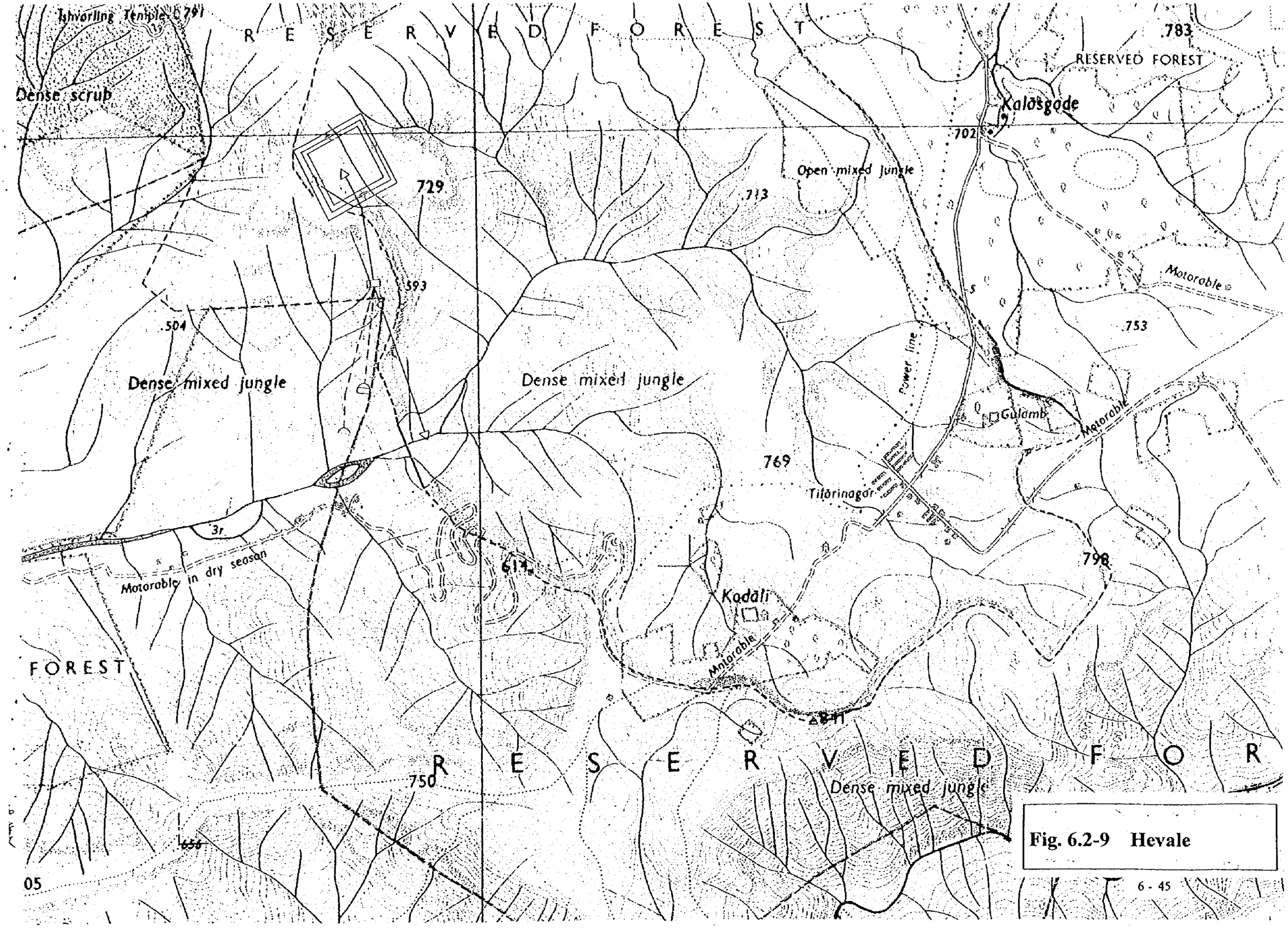


Fig. 6.2-9 Hevale

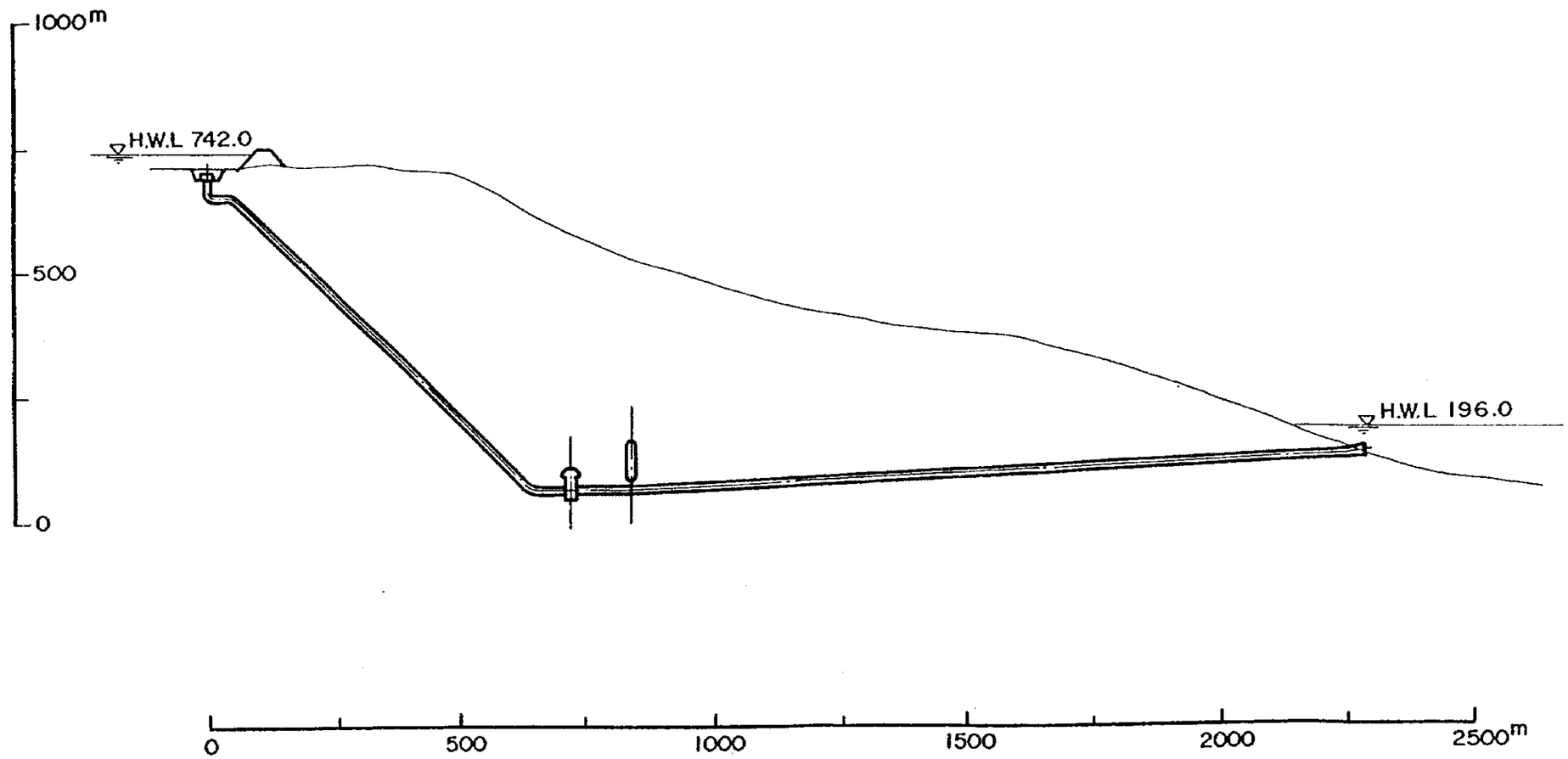


Fig. 6.2-10 Hevale

第７章　計画地域および周辺の一般概況

目　　次

第７章　計画地域および周辺の一般概況 …… 7-1
7.1　自然環境 …… 7-1
7.2　社会環境 …… 7-2

第７章　計画地域および周辺の一般概況

7.1　自然環境

本計画の３候補地は、多雨地帯であるKonkan地方の山岳部に位置している。この地方は、夏季（3月～5月）、モンスーン期（6月～10月中旬）及び冬季（10月中旬～2月）の季節に区分され、年間降雨量は2,000mmを超える。降雨の多くは、南西季節風によってもたされ、年間降雨量の約90%は雨期に集中する。1990年の夏季、モンスーン期及び冬季の平均気温は、それぞれ、30℃、27.5℃及び24℃であった。

マハラシュトラ州は、地質学的に非常に古く安定した地殻の一部と考えられるインド半島楯状地と呼ばれる半島の一部をなしている。また、地形的には、マハラシュトラ州の大部分は、長期に亘って風化作用を受け、準平原化している古い高原地帯である。この地帯は、Western Ghats又はSahyadriと呼ばれる海抜550m以上の山岳地帯であり、州の全長に亘って南北に連なっている。州の東部には、Maruthcoda、Khandesh及びVidgrbhaといった平原が分布し、Satpyra山脈から分岐したMelghtt山脈が州の北部に位置している。西部の海岸地帯が断層活動により形成されたことは、一般に知られている。Western Ghatsは、Deccan高原の溶岩堆積物で覆われており、海岸部で数百mの層厚を呈し、その地層は東方向に次第に薄くなっている。州でみられる鉱物分布は、この地質構造に関係している（この地方は、地質的に主として玄武岩層からなる）。本計画の上池地域は、海抜700～900mの標高にあり、下池地域は200～300mの標高にある。

各候補地が位置するWestern Ghatsは、インドの常緑樹林帯の一つとなっている。Hevaleサイトのほぼ全面積が半常緑樹林帯で覆われているのに対し、Jalond及びMarleshwarサイトは、森林と一部農地を含む非林地で覆われている。マハラシュトラ州の森林は、生物学的に多様性に富むことで知られている。インドには、75,000の動物種及び45,000の植物種が生息（自生）している。植物については、15,000種の草花類、5,000種の藻類、1,600種の苔類及び20,000種の菌類が確認されている。植物種の多くは薬草になる。Western Ghatsでは、動物種や植生分布についてまだ多様性が保たれているが、森林荒廃はひどくなっている。

7.2 社会環境

3候補地とも本計画によって直接影響を受ける村落はない（Jalond及びMarleshwarサイト近傍には数個の村落がある）。住民は自給自足の生活をしており、灌漑されてない痩せた土地を耕作し、牛を飼うことによって生計を立てている。一部の住民は、農閑期にはMumbai（ボンベイ）に出稼ぎに行っている。村には、1～2教室しかない小学校を除いて公共施設はない。電気の利用は可能であるが、全ての世帯が配電サービスを受けているわけではない。飲料水は、井戸水を使用しているが、まれに、河川水を使用している。乾期には、一部の住民に給水車による水の供給が行われている。

マハラシュトラ州の住民の主要職業は農業であるが、サトウキビを除いて州の1 ha当たりの農業生産高は全国平均よりも低い。農業は、モンスーン期の降雨に依存している。マハラシュトラ州の中部地方は、モンスーン期でも降雨量が少ない。州全土に占める灌漑面積の割合は、わずか13%である（他州の数値は、マハラシュトラ州より高く30～90%である）。州の肥料使用量は、66kg/haであり、他州における130 kg/ha以上の使用量に比べて著しく小さい。主要な穀物は、小麦、米、jowar（モロコシ）、bajari（トウジンビエ）及び豆類であり、重要な金銭作物は、綿花、サトウキビ、落花生及びタバコである。一部の村落は、少数部族の居住地域となっている。

一般的に、Jalond、Marleshwar及びHevaleの各候補地については、永住のための移動は発生していないが、他州又は地方から季節的な移住が発生している。しかし、これは、道路、ダム、建築物等の諸工事のために雇用された労務者に限られている。Hevaleサイトでは、労務者が竹の採取作業のために移住してきていることが報告されている。一般的に、これらの労務者は業務終了後、出身地に帰省している。

州政府は、地方の住民に安全な水を供給する計画を立てている。しかし、この計画の進捗ははかばかしくなく、住民は浅井戸の水に依存せざるを得ない状況にある。これらの浅井戸は、乾期には水枯れし、住民は遠くから水を運搬しなければならない。腸チフス、コレラ、赤痢等の伝染性の病気やギニア虫等の寄生虫の発生率は高いが、これらの病気は散発的に発生し、慢性化するまでには至っていない。

第８章　プロジェクトサイトへのアクセス

目　　次

第８章　プロジェクトサイトへのアクセス …… 8-1
8.1　アクセス道路の一般状況 …… 8-1
8.2　Joland …… 8-2
8.2.1　上池 …… 8-2
8.2.2　下池 …… 8-2
8.3　Marleshwar …… 8-3
8.3.1　上池 …… 8-3
8.3.2　下池 …… 8-4
8.4　Hevale …… 8-5
8.4.1　上池 …… 8-5
8.4.2　下池 …… 8-5

LIST OF FIGURES

Figure 8-1	Route Map
Figure 8-2	Route Map (Jalond)
Figure 8-3	Route Map (Marleshwar & Hevale)

LIST OF PHOTOS

Photo 8-1	National Highway
Photo 8-2	Highway
Photo 8-3	Jeepable Road (near Jalond)
Photo 8-4	Jeepable Road (near Jalond)
Photo 8-5	Jeepable Road (near Kinjale)
Photo 8-6	Site Investigation on Foot (near Jalond)

第8章　プロジェクトサイトへのアクセス

8.1 アクセス道路の一般状況

Mumbaiからプロジェクトサイトへの移動は主として車が利用された。さらに現地で借り上げたジープを使用して宿舎からダムサイトに隣接した村へ移動した。ほとんどの場合、これらの村からダムサイトまでの調査は徒歩で行われた。

各プロジェクトサイト間の移動には国道が利用された。これらの国道は片側1車線で道路は概ね直線で原野を横切っており道路からの見晴らしは良い。道路の路面状況は比較的良好であり、すべての国道は舗装されている。しかしながら雨期にはよく損傷が生じるため雨期明けにはいたるところで全面的に道路補修工事が行われる。

交通量は多い。これは主として資材運搬用トラック、マハラシュトラ州で運行されているバスおよび州間を運行されている長距離バスによるものである。これらの大型車両とともに自動車、ジープ、オートバイ、スクーター、自動三輪車および牛が引く荷車などが入り交じって走っている。

国道に接続している地方道の交通量はいくぶん国道のものと類似しているが大型車両が少ないことと道幅が狭い点が異なっている。

これらの地方道に沿っている町とダムサイト近傍の村とを結ぶアクセス道路は非常に異なっており道幅は狭く舗装されている区間は少なく路面状態も不良である。ダムサイト近傍の村の道は一般の乗用車の幅しかなくジープのみが通行可能な区間もある。

ダムサイト近傍の調査は徒歩で行われた。ダムサイトおよび貯水池地域は農地および草地となっている。これらは灌木で覆われており徒歩用の細道が網目状になっている。

現地調査中には地元民および牧草地で草を食べている牛や羊にはほとんど会うことがなかった。

現地調査の移動にはまったく問題はなかった。それは調査が乾期に行われたからである。しかしながら雨期での移動は非常に困難なものと考えられる。これらはまた、この時期の国道での移動でも同じと考えられる。

8.2 Joland

8.2.1 上池

上池近傍の村は Ahmednagar 地域にある Kumshet 村である。Kumshet 村への出発点は国道 3 号線 の Ghoti と国道 50 号線の Sanammner を接続する地方道の Rajur である。

以下にサイトへのアプローチを示す。

出発点	目的地	道路の種類	距離 (km)
(1) Mumbai	Ghoti	国道	115
(2) Ghoti	Rajur	簡易舗装	30
(3) Rajur	Kumshet	ジープ通行可能	25
(4) Kumshet	ダムサイト	徒歩	2

Rajur および Kumshet の間の道路はジープタイプの車両で通行可能である。これらの道は舗装された区間と舗装されていない区間が混在している。この道は Kumshet から 11 kmのところで西に曲がり、その後道路は非常に狭く路面状態は不良な状態となっている。

ダムサイトそのものを除き現在の計画での貯水池地域は農地でありジープによる移動は可能である。

Kumshet へは 1 日 1 回の定期バスが運行されている。

8.2.2 下池

下池近傍の村は Thana 地方の Merdi である。Merdi 村への出発点は国道 3 号線の Bhiwandi と国道 50 号線の Ale を結ぶ地方道の Otur から Bhiwandi の方に 42 km入ったところにある。

Merdi はこの分岐点から北へ 6 kmのところにある。

以下にこのサイトへのアプローチ経路を示す。

出発点	目的地	道路の種類	距離（km）
(1) Mumbai	Bhiwandi	国道	25
(2) Bhiwandi	分岐点	国道	85
(3) 分岐点	Merdi	簡易舗装	6
(4) Merdi	Navalwadi	ジープ通行可能	2
(5) Navalwadi	ダムサイト	徒歩	2

調査団は宿泊地の Merdi の Bandaradara ダムのレストハウスから Rajur および Otur を経由して移動した。

分岐点と Merdi との間の道路はアスファルト舗装となっており視界は良く運転も容易であった。Merdi へはバスが出ている。調査団は Merdi で自動車からジープに乗り換え、さらに奥地にある Navalwadi 村へ移動し、そこからダムサイトまで歩いた。Merdi から Navalwadi 村の間はジープを使用したが整備された道路はなく農地のようなところを横切った。

8.3 Marleshwar

8.3.1 上池

上池近傍の村は Ratnagiri 地方の Gothna である。Gothna 村への出発点は国道 17 号線にある Pali と国道 4 号線の Kolhapur とを結ぶ地方道にある Sakharpa から Kolhapur の方へ 26 kmの地点にある。調査団は、この地点からさらに 24 km前進し、そこから北方の Gothna 方面へ移動した。Kavi ダムは、この分岐点から 8 kmのところで建設中であった。

以下にこのサイトへのアプローチ経路を示す。

出発点	目的地	道路の種類	距離（km）
(1) Mumbai	Pali	国道	290
(2) Pali	分岐点	国道	42
(3) Merdi	Gothna への入口	ジープ通行可能	24
(4) Gothna への入口	Gothana	ジープ通行可能	6
(5) Navalwadi	ダムサイト	徒歩	2

調査団はKolhapurの方向にあるSakharpaから18 kmのところにあるAmbaの民宿に宿泊した。分岐点からGothnaへの入口までの道路は一車線のみである。この道路の交通量は比較的多い。それは、おそらくKadviダムの建設のための土砂運搬のトラックと思料される。道路の他の部分は舗装されておらずダムから先はヘアピンカーブの多い急峻な坂道となっている。

Gothnaへの入口とGothnaとの間の道路はGothnaとダムサイト間に予定されている貯水池エリアを横断している。これらのエリアの大部分は平坦な農地や牧場である。

8.3.2 下池

下池近傍の村はRatnagiri地方にあるBamnoli村である。Bamnoli村への分岐点は国道17号線のSakharapaとSangameshwarを結ぶ地方道にあるDevrukhからSakharpaの方向に2 kmのところにある。

Bamnoliは、この分岐点から北東へ13 kmのところに位置している。その途中、上池の低部にある滝の横に位置しているMarleshwar寺院への脇道がある。

以下にこのサイトへのアプローチ経路を示す。

出発点	目的地	道路の種類	距離 (km)
(1) Mumbai	Sangameshwar	国道	355
(2) Sangameshwar	分岐点	簡易舗装	18
(3) 分岐点	Bamnoli	簡易舗装	15
(4) Bamnoli	ダムサイト	徒歩	2

調査団はDevrukhのレストハウスに宿泊した。Devrukhへの簡易舗装道路はSangameshwarからSakharpaへのバイパスとなっている。道路は舗装されているが道幅は地方道より狭くなっている。Bamnoliへの道路の状態はほとんど同じである。しかしBamnoliの1km手前からは舗装されていない。調査団はBamnoliからダムサイトへは河岸の農耕地沿いに徒歩で移動した。

8.4 Hevale

8.4.1 上池

Hevale の上池サイトに到達するためには Changad と Tilarinagar をつなぐ道路上の Tilarinagar の手前 11 kmの Motanwadi で右折し、次にさらに 5 km走って Ishvarling 寺院近くに出る。その後ブッシュの生えた土地をさらに 2 km南に歩く。

以下にこのサイトへのアプローチ経路を示す。

出発点	目的地	道路の種類	距離 (km)
(1) Mumbai	Kudai	国道	470
(2) Kudai	Chandged	簡易舗装	68
(3) Chandged	Motanwadi	簡易舗装	13
(4) Motanwadi	Ishvarling 寺院	簡易舗装	7
(5) Ishvarling 寺院	ダムサイト	徒歩	2

8.4.2 下池

下池は、この同じ道路を使用する Tillari 水力発電所の近傍に位置している。直接のアクセス道路は国道 17 号線にある Kundai と国道 4 号線にある Karnataka 州の Helgumu との間にある Chandged の南 25 kmの地点にある。

以下にサイトへのアプローチを示す。

出発点	目的地	道路の種類	距離 (km)
(1) Mumbai	Kudai	国道	470
(2) Kudai	Chandged	簡易舗装	68
(3) Chandged	Tilarinagar	簡易舗装	24
(4) Tilarinagar	ダムサイト	簡易舗装	5

Tilarinagar からサイトへのアプローチは比較的容易なものであるが下池サイトへ行くためには MSEB の許可が必要となる。それは MSEB の管理下にある発電所を通る必要があるからである。Tilarinagar から下池への道路は急峻な道路で多くのヘアピンカーブとなっている。

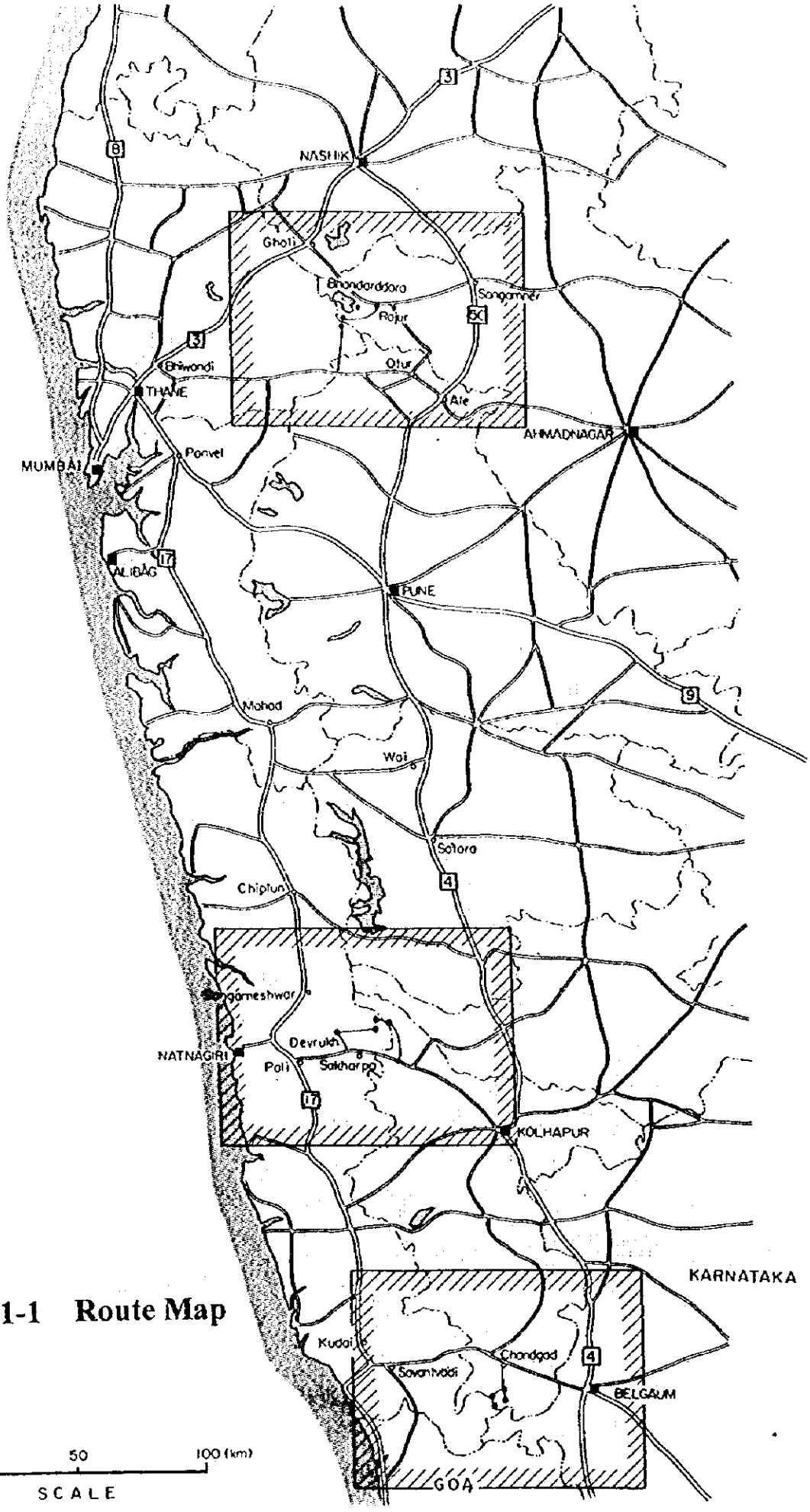


Fig. 8.1-1 Route Map

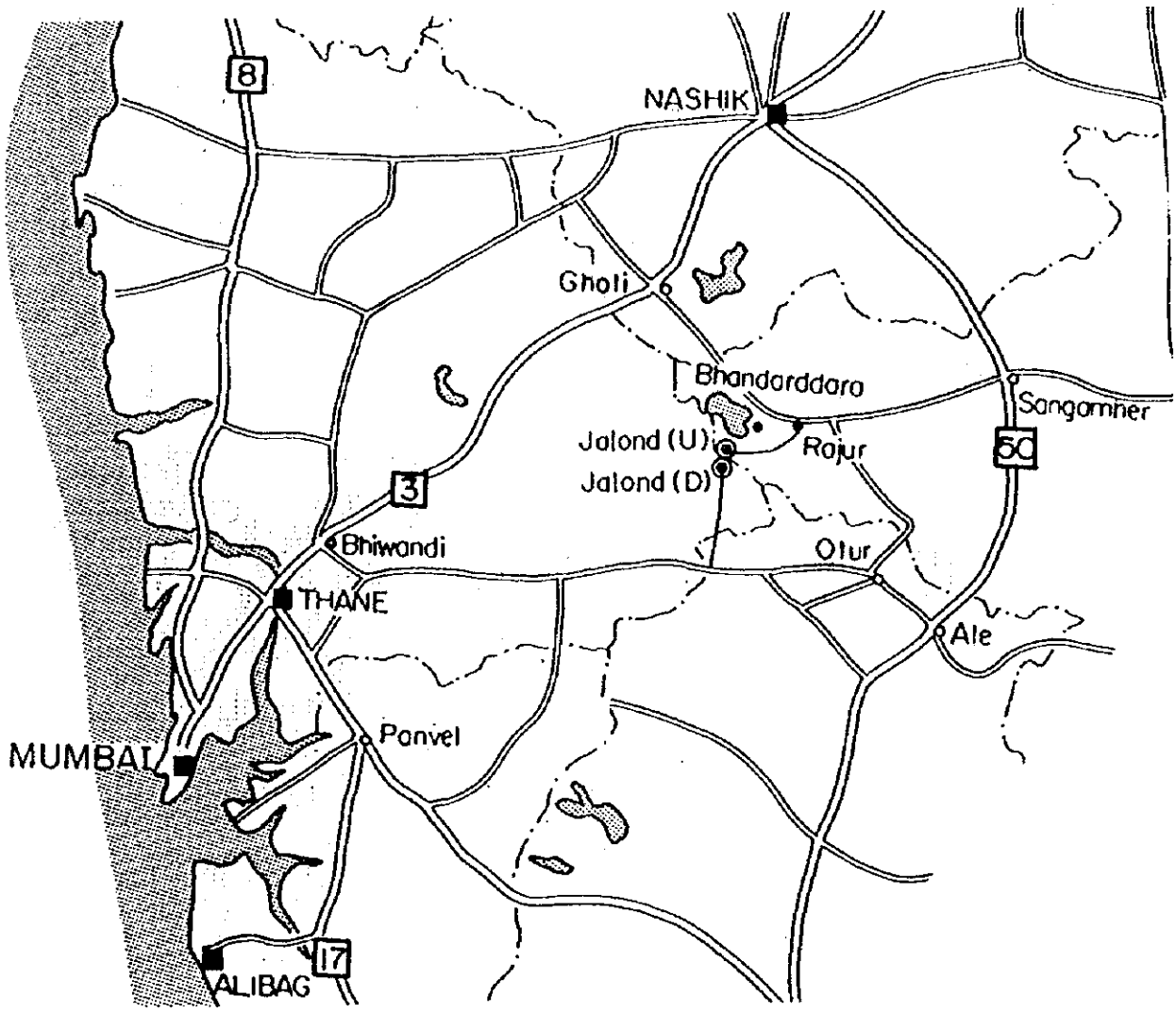


Fig. 8.2-1 Access Route (Jalond)

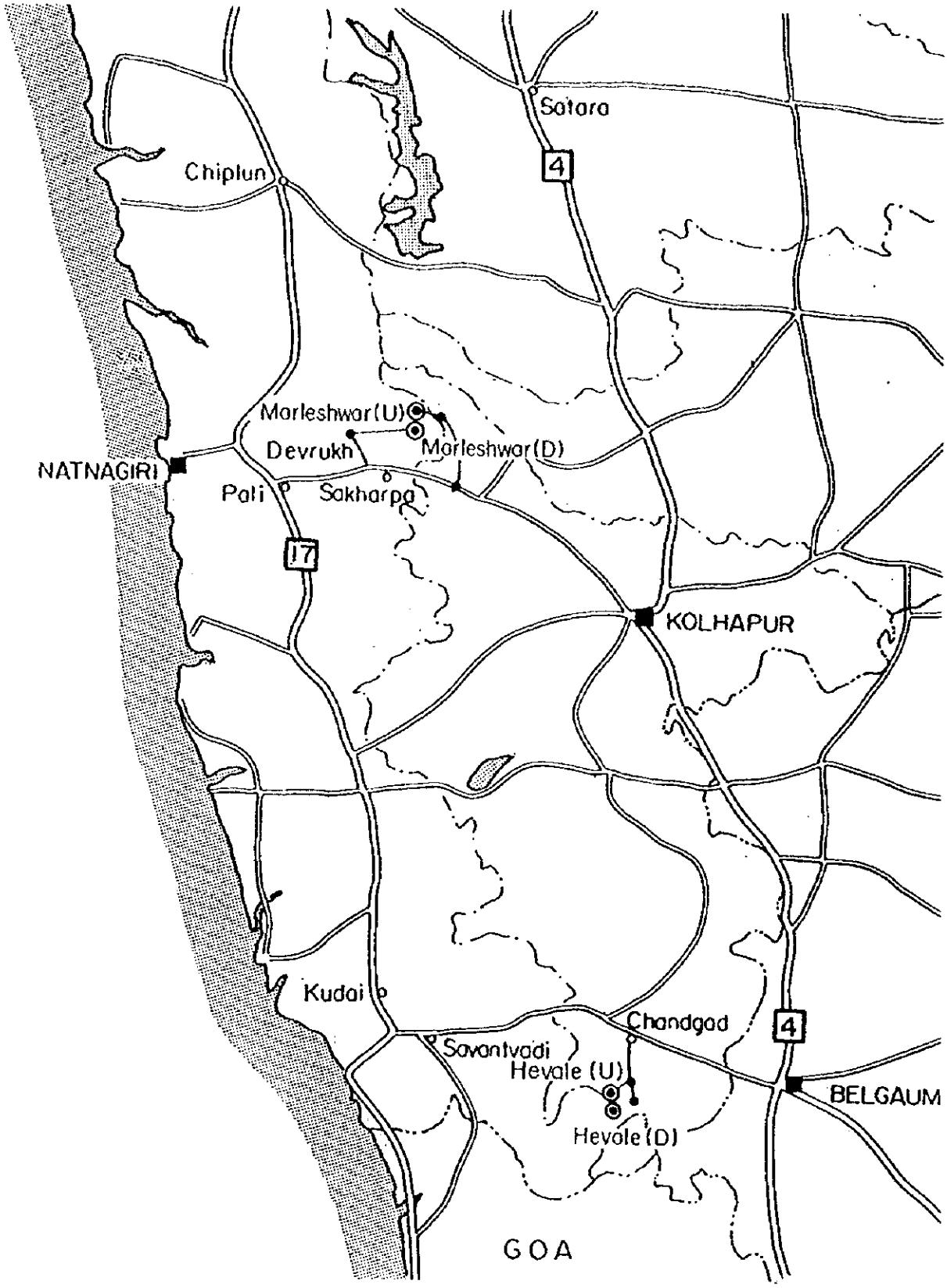


Fig. 8.3-1 Access Route (Marleshwar and Hevale)

Photo 8-1 National Highway

Photo 8-2 Highway

Photo 8-3 Jeepable Road (near Jalond)

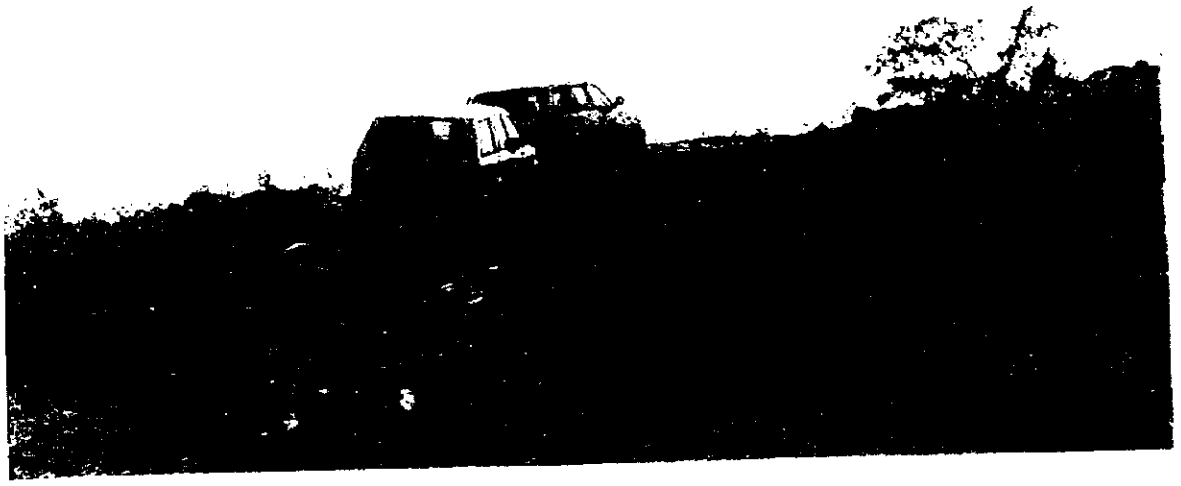


Photo 8-4 Jeepable Road (near Jalond)

Photo 8-5 Jeepable Road (near Marleshwar)

Photo 8-6 Site Investigation on Foot (near Jalond)

第9章　地　形　図

目　　次

第９章　地形図 …… 9-1
9.1　地形図作成 …… 9-1
9.1.1　目的 …… 9-1
9.1.2　作業項目および数量 …… 9-1
9.1.3　測量の基準 …… 9-1
9.1.4　業務計画 …… 9-2
9.2　業務内容の変更 …… 9-3

第9章　地形図

9.1　地形図作成

9.1.1　目的

地形図作成業務の目的は発電開発計画である本調査での地域を確定するためのもので、マスタープラン調査段階で有望とされた3地域（Jalond, Marleshwar, Hevale：総計285k m²）について縮尺1:20,000の空中写真撮影を行い、縮尺1:10,000（等高線間隔5m）の地形図を作成することである。各地域 の地形図の作成範囲は以下のとおりである。

(1) Jalond　95 km^2

(2) Marleswar　110 km^2

(3) Hevale　80 km^2

9.1.2　作業項目および数量

項目	数量	備考
対空標識設置	22点	
埋石	22点	
空中写真撮影	145ライン km	縮尺1:20,000
標定点測量	22点	GPS測量
水準測量および刺針	230km	直接水準測量
現地調査	285km^2	
空中三角測量	75モデル	
図化、編集、製図	285m^2	縮尺1:20,000

9.1.3　測量の基準

(1) 準拠楕円体　：エベレスト1830

(2) 高さの基準　：インド測量局設置の水準点

(3) 図法　　：ランベルト等角

(4) 図化縮尺および等高線　　：縮尺 1:10,000

主曲線　5m 間隔

(5) 図式　　：インド測量局採用方式

(6) 図の精度

1) 明瞭な地物　　：図上 1.0mm 以下

2) 標高点　　：等高線間隔の 2/3 以下

3) 等高線　　：等高線間隔の 1/1 以下

4) 方眼　　：図上 10cm 間隔にランベルト図法の方眼

9.1.4 業務計画

本地形図作成業務は 1995 年 3 月より 1996 年 6 月にわたる 3 段階で実施されたものであり各段階の業務を以下に示す。

なお第 1 段階は調査団が行うが、第 2 段階と第 3 段階はインド測量局に再委託して実施されたものであり調査団はこの管理、監督をを行った。

(1) 第 1 段階

資料の整理および P/O の作成

現地踏査

(2) 第 2 段階

対空標識設置

埋石

空中撮影

標定点測量

水準測量および刺針

現地調査

空中三角測量

(3) 第 3 段階

図化、編集、製図

9.2 業務内容の変更

当初の業務内容ではJalond,MarleshwarおよびHevaleの3地点を対象に航空写真撮影を実施し、それをもとに縮尺1:10,000の地形図を作成する予定であった。しかしながらインド測量局は3地点の航空写真を既に撮影していることが判明したため航測図化部門の調査団は航空写真撮影を中止しインド測量局が作成する地形図作成の管理および監督を実施した。

なお、GOMIDは今回作成した地形図の国外持ち出しをインド国防省に申請したが許可されなかった。

第10章　地　質

目　　次

第10章　地　質 …… 10-1
10.1　地質概要 …… 10-1
10.1.1　インド亜大陸の地質とマハラシュトラ州の地質 …… 10-1
10.1.2　各サイトの地質 …… 10-12
10.2　地質調査工事 …… 10-25
10.2.1　調査項目と数量 …… 10-25
10.2.2　Jalond Site …… 10-32
10.2.3　Marleshwar Site …… 10-34
10.2.4　Hevale Site …… 10-43

LIST OF FIGURES

Figure 10.1-1	Geological Map of Maharashtra
Figure 10.1-2	Quaternary Geological Map of Maharashtra
Figure 10.1-3	Location Map of Borrow Pits (Jalond)
Figure 10.1-4	Location Map of Borrow Pits (Marleshwar)
Figure 10.1-5	Location Map of Borrow Pits (Hevale)
Figure 10.1-6	Layout of Investigation at Upper Jalond Site
Figure 10.1-7	Layout of Investigation at Lower Jalond Site
Figure 10.1-8	Layout of Investigation at Upper Marleshwar Site
Figure 10.1-9	Layout of Investigation at Lower Marleshwar Site
Figure 10.1-10	Layout of Investigation at Upper Hevale Site
Figure 10.1-11	Layout of Investigation at Lower Hevale Site
Figure 10.1-12	Geological Cross Section of Jalond Upper Reservoir
Figure 10.1-13	Geological Cross Section of Jalond Lower Reservoir
Figure 10.1-14	Geological Cross Section of Marleshwar Upper Reservoir
Figure 10.1-15	Geological Cross Section of Marleshwar Saddle Dam
Figure 10.1-16	Geological Cross Section of Marleshwar Lower Reservoir (Axis.-I)
Figure 10.1-17	Geological Cross Section of Marleshwar Lower Reservoir (Axis.-II)
Figure 10.1-18	Geological Cross Section of Hevale Upper Reservoir
Figure 10.1-19	Geological Cross Section of Hevale Lower Reservoir

第10章　地　質

10.1　地質概要

10.1.1　インド亜大陸の地質とマハラシュトラ州の地質

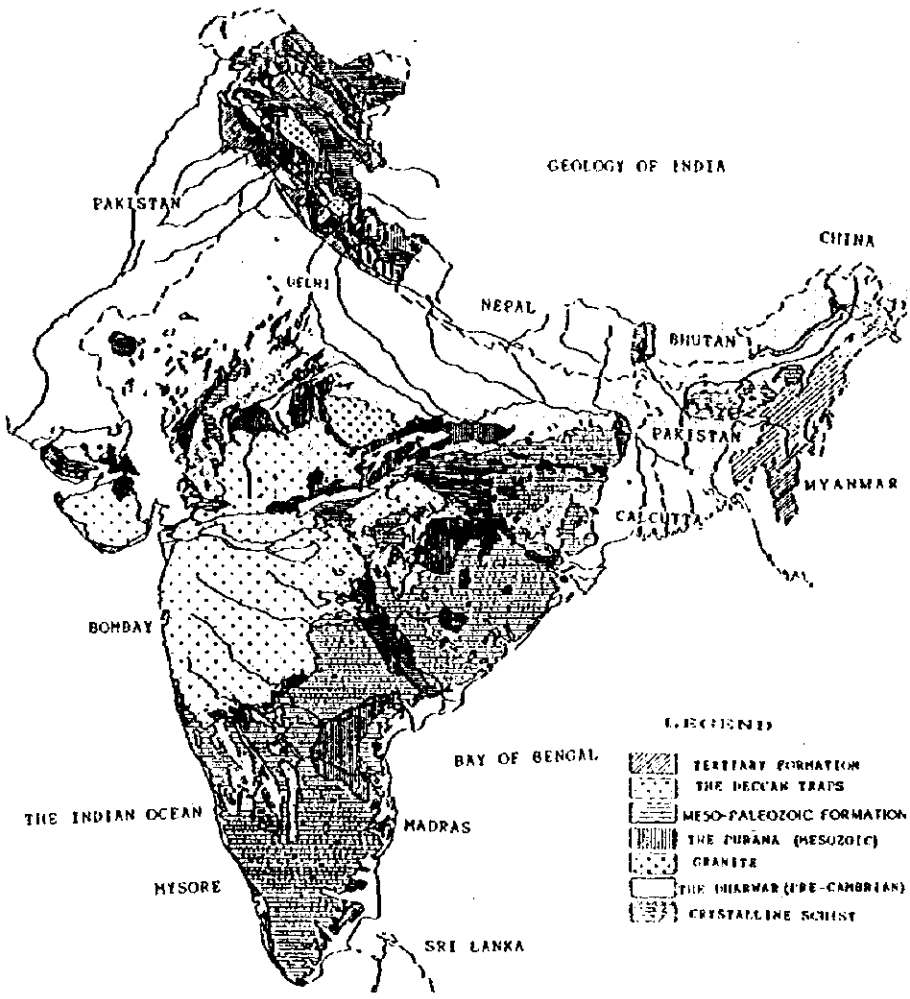
(i)　インド亜大陸の地質

インドは、地形・地質的に1）ヒマラヤ（Hlimalaya）地域、2）ガンジス（R. Ganga）河地域および3）デカン高原（Deccan Traps）地域に分けられる。ヒマラヤ地域は、カシミール(Kashmir)からビルマ（Myanmar）に至る2,414kmの大山岳地域であり、南西より北上するモンスーン止め、平原地帯に多くの雨を降らせる原因の1つになっている。

ガンジス河流域は、ヒマラヤからカルカッタ（Calcutta）の大三角州間で東西に連なる広大な沖積平野である。この平野は、上流ほど乾燥気候になり、下流ほど湿潤な気候となる。

デカン高原地域は、海抜 400m～1,200m の台地を形成し、西ガトウ山脈（Western Ghatso Sahya dri）が最も高く、東に接く傾斜している。高原全体としては、準乾燥地帯であり灌漑に依存出来るところが少ないので、改善されつつあるものの、ひでりの被害を受けやすい地域である。

次ページにインド全体の地質図を示す。



インドの地質

次にインド全体の地質の概要を述べる。

1) 第四系

第四系の代表的な例としては高原地帯のラテライト及びガンジス河の沖積層があるが、前者ではその生成期が更新世起源と云われている。また後者では、Bihar 州で約 1,830m、カルカッタ (Calcutta) で約 2,000m の層厚と推測されている。

2) 第三系

第三系の代表的な地層は、ヒマラヤ地域の南部山麓地帯の Kashmir 州から Assam 州 Brahmaputra 谷に分布し、最下部から海成相、潟湖相、三角州相に至る始新世～下部中新世の地層があり、その上に中部中新統～下部更新世に至る淡水成堆積物の Siwalik 統がある。この Siwalik 統は、河成～亜風成 (Subaeolial) の堆積物が特徴

でその厚さは約5,000mあり、ヒマラヤ造山運動の末期に押し被せ断層運動を受けたと言われている。またこの他に亜炭を含むLaki統、油徴のあるSurma統も知られている。

3) 第三系～白亜系（デカン高原）

デカン高原の下位に海成、淡水成、潟湖成、石灰岩の他、Cenomanian大海進による堆積物等がある。一方、Deccan Trapsを形成する玄武岩類については多くの研究がなされており、またMaharashtra州の西部地域に分布する玄武岩流（Basalt Flow）が今回の調査対象となった。この玄武岩類は、割れ目噴火による薄い熔岩が無数（Countless）に重なり、熔岩の間に暗黒色の薄い凝灰岩や場所によっては淡水成の堆積物を挟む。玄武岩の他に流紋岩（Rhyolites）、粗面岩（Trachytes）、閃長岩（Syenites）、閃緑岩（Diorites）など広い成分範囲の熔岩、貫入岩がある。

4) 中生界、古生界

a) 中生界

一例としては、Lilang系やKioto石灰岩がありKioto石灰岩はSpiti頁岩層に連続している。また白亜系のGiumal統は、砂岩、頁岩質珪岩、Lameta層は、厚い河成層或いは潟湖成層である。

b) 古生界

一例としては、カンブリア系としてはHaimanta系、或いは石灰岩、千枚岩、石灰質砂岩、砂質ドロマイトからなるGarbyang統がある。この他にオルドビス～シルル系、シルル系～デボン系 石炭系～二畳系が発見されており、砂質頁岩、石灰岩、礫岩、珪岩、千枚岩等が複雑な構造を示している。

5) Gondwana系（System）

大局的に見るとDamodar, Manadi, Son, Narmada, 及びGodavariの各谷に関連した淡水成、湖成または河成堆積物の礫岩、砂岩、頁岩、石炭層等からなる二畳系、三畳系、ジュラ系の地層である。なおゴンドワナ（Gondwana）の名称は、この地層が発見されたNarmada地方が古代インドのゴンド王国（Gondo Kingdom）の南にあたる事から由来している。またこの地層は、南アフリカ、マダガスカル、オーストラリア、南ア

メリカにも分布し、かつてはゴンドワナ大陸として繋がっていたと考えられている。

6) Granite

花崗岩類は、先カンブリア紀の Champion 片麻岩期、半島部片麻岩期、Closept 花崗岩期があり、この他、前期古生代、後期始新世と中新世に第二、第三の造山運動上昇期に貫入があったと言われている。

7) Dharwar 系

Dharwar 系は、緑色岩類、角閃石片岩、石英片岩類、片麻岩類、縞状鉄岩類、晶質石灰岩、菫青石片麻岩類、花崗岩類からなっているが地質年代が明確ではなく、「基盤複合岩体」(Basement Complex) として一括で分類され、 最下部先カンブリア界とされている。

8) 結晶片岩類 (Crystalline Schist)

結晶片岩類は、南インド地方にかけて広く分布してるが、前述の Dharwar 系との関係が明らかではなく年代の確定が出来ていない。 ただ Hevale Site では Deccan Traps の下位に不整合で分布している。

(2) マハラシュトラ州の地質

マハラシュトラ州の地質は、**Fig. 10.1-1** にマハラシュトラ州の地質図と **Fig. 10.1-2** にマハラシュトラ州の第四系の地質を示した。また地質層序を次表に示した。

Geological Formations of Maharashtra

地質年代	地層名	主な地質
第四系		Older Alluvium of flood planes of rivers. Laterite and bouxite
Eocene ～ Cretaceous	Deccan Traps	Basalt, Rhyolite, Trachyt, Diorit, etc. In the Deccan Trap basalt the vesicles are usually filled with one or more of the secondary minerals such as zeolites or different forms of silica or chloro-phaeite.
Cretaceous	Infratrappeans	Cherty limestone, Calcareous sandstone.
Lower Cretaceous ～ Upper Carboniferous	Gondowanas	Buff and olive colored shale. Sand-stone, Conlomerat, Coal bed etc.
Early Cambrian ～ Late Pre-Cambrian	Vindhyans	Limestone, Shale, Sandstone,
Pre-Cambrian	Kaladgis	Conglomerate, Quartzit, Sandstone, Shale, Limestone etc.
Pre-Cambrian	Dharwar	Mica schist, Quartzit, Hematite, Calcgranulit, Mable, Amphibolit.

(3) Deccan Trap の Basalt の特徴

上記の地層のうち調査地域に広く分布した Deccan Traps の Basalt の一般的な特徴についてその概要を述べる。

1) 大部分の玄武岩は、ソレイアイト玄武岩（Tholeiite basalt）で、石基は一般に完晶質で斑晶として斜長石(灰長石、亜灰長石類)、普通輝石、橄欖石があり、橄欖石を含む玄武岩は、Olivine Basalt と呼ばれている。斜長石は、普通 0.3～1cm 内外の大きさを示す。中には 5～10cm の斑晶のものもあり、Giant phenocryst basalt と呼ばれているが、今回の現場には分布していない。

2) 現場的な名称として、ガス穴（Gas cavities、普通は Vesicular と呼ばれている）の大きさや量によって視覚的に堅緻な玄武岩（Compact basalt）と杏仁状玄武岩（Amygdaloidal basalt）に区分している。中間的な性状を示すものに対しては、斑状玄武岩（Porphyritic Compact basalt）、或いは斑状の杏仁状玄武岩（Porphyritic Amygdaloidal basalt）と便宜的に呼んでいるが、現場的には分か

りやすい。ガス穴の充填物には沸石（Zeolites）、珪酸鉱物、クロロフェニサイト（Chlorophoenicite）等がある。

3) この他に Marleshwar の上池及び下池には、赤色の厚さ 4～10m の火山色礫岩（Volcanic breccia）が１～２枚挟まれている。この角礫岩（Breccia）には厚さが 1m～1.5m 内外が玄武岩質ガラス質（Tachylytic）な部分がしばしばあり、これらはバラバラに崩れ易い。礫の間のマトリックスが弱く割れ易い所も多いが、変質度が弱ければダム基礎として必ずしも不適当ではない。

4) 各サイトでは、一部の玄武岩流（Basalt flow）の表面にガラス質の非常に脆い玄武岩が 0.5～3m の厚さで形成されている場合があり、玄武岩質ガラス（Tachylytic basalt）と呼ばれている。色は、Hevale の上池では黒色、Marleshwar では赤色をなし、マイクロクラックが無数に入っており、硬いコアで採取されても３日後にはバラバラに崩れるので、ワックスでコーティングして保存している。施工的には、根切り面や切土のり面に現れると数日でバラバラに崩れるので、基礎やのり面の安定にかなり留意している。耐圧、耐水共にグラウト効果が期待出来ないので、殆どの場合置換している。

5) Marleshwar や Jalond の玄武岩類は、一部或いは全体に弱い熱変質（Hydrothermal alteration）を受けているが、変質の度合いにはバラツキがある。

6) Compact basalt は、連続性がよく、表面が平坦で厚さも厚く、広範囲に広がって分布する特徴がある。サイトでは、厚さが 20～50m 以上確認されている。また Deccan Trap の玄武岩類は一般に水密だが、無多孔質な堅緻な玄武岩（Non-vesicular compact basalt）では亀裂が多く、塊状でない事が多いので、Amygdaloidal basalt より地下水を通し易い。材料としては特に問題は無いが、亀裂が多いので所定の大きさの石材を確保出来ない場合がある。

7) Amygdaloidal basalt は、横の連続性がなく、１枚の熔岩流（1 flow）の厚さも薄いが何枚も重なり合っていて、結果的にはかなりの厚さを示す。また亀裂が少

なく塊状なので水密であり、強度的にも 300 kg/cm² を下回る事も殆どないので、ダム基礎として Compact basalt より勝ると言われている。

8) Amygdaloidal basalt のガス穴に含まれる沸石は、かつてはセメントと反応すると言われた時期もあったが、その後、沸石を含んでいても問題が無いと修正され、また玄武岩中の沸石がセメントと反応したという報告も無い。従って現在は、盛んに材料として利用されている。

9) 調査地域の Deccan Trap の河川は、河床が露岩しているか、巨礫を含む礫層が大半で、砂の堆積物はほとんど期待出来ない。また玄武岩から砂を生産する場合は、非常に亀裂が密着したものか亀裂の少ないものが対象となり、それ以外の性状の玄武岩はロスが多く砂粒の材料を生産するのには不適な場合が多い。特に長距離の運搬に適さないので、現場に近い小さな採石場で生産している。なお、砂の中に沸石が当然多く入ってくるが、セメントと反応する訳ではないので、そのまま使用している。

10) 玄武岩の物理特性

Compressive strength and Absorption

Rock type	Compressive strength (kg/cm²)						Absorption (%)		
	Dry			Wet			Min.	Min.	Ave.
	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.			
Compact Basalt	344 (102)	2,814 (1,616)	1,295	315	2,710	1,290	0.10 (0.50)	1.76 (6.10)	0.67
Amygdaloidal Basalt	180 (262)	1,433 (1,070)	681	90	1,360	659	0.55 (1.02)	6.40 (4.20)	3.44
Volcanic Basalt	117	522	406	21	168	90	0.52	6.88	4.46

Modulus of Elasticity and L-wave Velocity

Rock type	Modulus of elasticity ($\times 10^5$ kg/cm²)						L-wave velocity (m/sec)		
	Dry			Wet			Min.	Max.	Ave.
	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.			
Compact Basalt	6.77 (1.23)	9.95 (10.12)	8.25	—	—	--	5,441 (2646)	6,055 (4930)	5,837
Amygdaloidal Basalt	1.87 (1.50)	3.56 (9.30)	2.56	1.67	3.20	2.47	3,774 (3231)	5,761 (5190)	4,573
Volcanic Basalt	1.04	2.54	1.32	0.30	1.89	1.04	1,558	3,139	2,132

(Data obtained by the survey in this study as shown in parenthesis)

11) ラテライトは、上池の玄武岩台地に厚く分布し、Ilevale では約 15m、N値＝50～貫入不能、Marleshwar の上池では、ダム軸で 30～35m、N値＝8～35（一部貫入不能）、サドルダムでは、9～11m、N値＝6～32 であった。粒度組成は、砂：23～40%、シルト：28～35%、粘土：27～37%、自然含水比：7%、最大乾燥密度：1.57～1.60 g/cm³ である。試験結果だけから土質材料として見ると、細粒分が多く、砂、礫分が少なく、最大乾燥密度も小さい。自然含水比から判断すると、恐らく採取した試料は、表土に近いものと考えられる。実際にはラテライト中に風化岩塊が複雑に残っているので、材料の採取方法、混合方法によって 200 番通過量を

10～15%内外に調節し、また風化岩塊の圧砕効果によって、密度、不透水性の確保を図る必要がある。なお、河床材料は、砂分が極端に少ないのが調査地域の玄武岩台地を流れる河川の特徴なので、ラテライトとの混合は不可能と考えられる。

ちなみにマハラシュトラ州で一般に使われているコア材の材料特性は以下のとおりである。

最適含水比	:	23～26%
最大乾燥密度	:	1.33～1.71 g/cm^3
C	:	0.0976～0.488 kg/cm^2
Tan φ	:	0.00～0.48
透水係数	:	1.8×10^{-7}～2.88×10^{-6} cm/sec

(4) 岩盤分類と岩盤評価法について

1) 岩盤分類および評価

岩盤分類の方法については、さまざまな方法が試みられているが、ここではコアについて、EPDC (Electric Power Development Co., Ltd.)の分類基準に従った。分類基準を採用するに当たり、現地の地質状況、例えば亀裂は多いが岩片の堅い Compact basalt、あるいは亀裂は少ないが変質が見られる Amygdaloidal basalt 及び角礫化した Volcanic breccia 等と、これらのコアの状況を当てはめて検討したが、コアの観察結果と岩盤に対する印象及び基準による結果がほぼ一致したので、英文の基準内容を特に変更せず、そのままの形で使用した。なお、調査地域の大部分は、上述のような Deccan Trap の玄武岩であり、Hevale Site の下池にのみ先カンブリア紀の結晶片岩が分布するが、分類基準は変更せず、そのまま両者に適応した。

岩盤評価については、室内試験結果のバラツキを見る限り、コアの輸送方法、試験精度等に問題がある可能性が否めないため、一軸圧縮強度、透水係数、RQD 等の試験結果だけでなく、目視観察およびインドにおける類似経験を加味して総合的な見地から行った。

Standard of Rock Mass Classification for Drilled Core

Weathering		Hardness		Crack spacing	
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	A	Very hard. Broken into Knifeedged pieces by strong hammer blow.	I	Over 30 cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually no brown crack.	B	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	II	10 - 30 cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered material.	C	Brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	III	3 - 10 cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	D	Very brittle. Easy broken into pieces by medium hammer blow.	IV	1 - 3 cm
5	Strongly weathered. Most minerals are weathered and altered to second minerals.	E	Soft. Able to dig with hammer.	V	Under 1 cm

2) 岩盤評価法の提案

一般的に、岩盤評価については、下表のようにR.Q.D. (Rock Quality Designation, Deere et al, 1966)によって行うことが出来る。

RQDと岩盤の良好度表示

RQD%	状態
0～25	非常に悪い
25～50	悪い
50～75	普通
75～90	良好
90～100	非常に良好

また、一軸圧縮強度と超音波速度を下記のようにクロスさせてグルーピングしたものと、上述のコアの岩盤分類によるグルーピングの結果とをクロスさせて、コアと強度から岩盤全体の評価を行う方法も考えられる。

圧縮強度および超音波速度に基づくグルーピング

・圧縮強さなどの要素	H_1 ： 一軸圧縮強さが 1,000 kg/cm^2 以上である H_2 ： 一軸圧縮強さが 500～1,000 kg/cm^2 以上である H_3 ： 一軸圧縮強さが 300～500 kg/cm^2 以上である
・超音波速度の要素	V_1 ： 供試体 Vs が 5 km/sec 以上である V_2 ： 供試体 Vs が 4～5 km/sec 以上である V_3 ： 供試体 Vs が 3～4 km/sec 以上である V_4 ： 供試体 Vs が 2～3 km/sec 以上である
・２要素をクロス	Ｘグループ：V_1 H_1, V_1 H_2, V_2 H_1（極めて良好） Ｙグループ：V_2 H_2, V_2 H_3, V_3 H_2（普通） Ｚグループ：V_3 H_3, V_4 H_2, V_4 H_3（やや軟質）

EPDC 分類法に基づくコアのグルーピング

Class	Description	Subdivision combination (Example)
〔A〕	Good	A Ⅰ a, A Ⅰ b, B Ⅰ a, B Ⅰ b
〔B〕	Moderately good	A Ⅰ c, A Ⅱ a, A Ⅱ b, B Ⅰ c, B Ⅱ a, B Ⅱ b, C Ⅰ a
〔C〕	Moderately poor	A Ⅱ c, C Ⅰ b, C Ⅰ c, C Ⅱ a, C Ⅱ b
〔D〕	Poor	The rest

以上のグループを次表のようにクロスさせる事によって、コアの状況が良く強度も大きいので岩盤としてもかなり信頼できるグループ、コアの状況も強度も良いほうで岩盤として重力式が可能なグループ、コアの状況は余り良くなく強度も軟質なので岩盤としてフィルタイプを検討した方が良いグループ、その他のグループなどに合理的に分類することが可能であるが、強度試験の信頼性も含めて、今後検討すべき課題も多い。

岩盤評価法（案）

	A	B	C	D
X	AX (G)	BX	—	—
Y	AY	BY (MG)	CY	— (MP)
Z	AZ	BZ	CZ	—

G : Good
MG : Moderately good
MP : Moderately Poor

10.1.2 各サイトの地質

今回ここで報告する揚水発電計画地点は、北から Jalond, Marleshwar, Hevale の三地点である。Jalond, Marleshwar 及び Hevale の上池の地質はデカン溶岩台地玄武岩(Deccan Trap Basalts)である。これに対し Hevale の下池のみが、玄武岩の下盤となる先カンブリア系(Precambrian System)の堅緻な結晶片岩(Crystalline schist)が分布している。

ダム計画地点は、大局的には溶岩台地の大規模でかつ複雑な侵食地形と、それを構成する玄武岩からなる岩石段丘によって特徴づけられている。玄武岩のラテライト化は、メカニズムそのものが複雑で、侵食面の古い大地面または段丘面ほど厚く形成されているとは限らない。こうした地形地質の両面からの状況を考慮しながら岩盤の風化深度、ダム基盤としての強度、変形、透水性を把握する目的で、各計画地点の上池、下池のダムサイトで弾性波探査とボーリング並びに室内試験を実施した。また土質材料の調査は、ダム計画地の周辺部からテストピットによって土質試料を採取し、室内試験を行った。ただ Jalond の上池は Sanctuary 地域に入るので、ハンマー（非破壊）によるスタッキング法による弾性波探査のみを実施した。「Jalond の上池および下池の岩盤状況はともに良好だが、Sanctuary の範囲に入る。Marleshwar については、下池の場合は、ダム基盤中に除荷によって数日でバラバラに崩れてしまうタキリテック玄武岩(Tachylytic Basalt)の挟みがある事並びに湛水域に地辷り地形が認められ事等の課題があり、上池に関しては主ダム計画箇所の河床に良好な岩盤が分布しているが、左右のアバットと副ダム地点に厚いラテライトが形成されている等、今後の詳細調査を必要とする事が判明した。Hevale については、上池の岩盤状況は良好であるが、ダム敷の基盤中にタキリテック玄武岩(Tachylytic Basalt)が形成されており、下池の結晶片岩自体は問題はないが、上流の渓流が荒廃し、土石流が形成されている。このように、各サイトそれぞれに今後の調査にゆだねるべき課題がある。

以下に各サイトの要約を記す。

(1) Jalond Site

1) 上池

このサイトでは、Sanctuary の関係で重錘を震源とするスタッキング方式による弾性波探査のみを実施した。

i) 弾性波探査

この地点は、簡単な２層構造（基盤と被覆層）である。基盤の玄武岩は、左岸でP波速度が 4.5 km/sec、右岸で 4.0 km/sec と基盤速度に開きがある。河岸の露岩では堅緻な玄武岩（Compact basalt：以下 Compact basalt を用いる）の水平層が浅い深度に分布するので、この速度はこの Compact basalt の速度を代表していると判断される。Compact basalt のコアの超音波速度は、4.0～5.2 km/sec（Marleshwar では 4.2～4.9 km/sec)内外であり、亀裂の多い岩盤と判断される。また Hevale 上池の玄武岩の速度 4.9～5.0 km/sec や同じく Marleshwar の下池の 4.0 km/sec と比較すると、左岸では Hevale に近い速度、右岸では Marleshwar に近い速度を示すので、この地点の玄武岩は左岸では基本的に緻密な斑状玄武岩(Compact Porphyritic basalt：以下 Compact Porphyritic basalt を用いる）と杏仁状玄武岩(Amygdaloidal basalt：以下に Amygdaloidal basalt を用いる）が優勢な地層であり、右岸では、Amygdaloidal basalt が優勢な地層であると考えられる。

ii) ボーリング、ルジオンテスト、室内試験

Sanctuary の関係でボーリング調査は未着手であり、ルジオンテストおよび室内試験も行われていない。今後ボーリングによる地質状況の確認をする必要がある。

iii) 材料調査

地形的にダムサイト地点は急峻な谷なので、Masonry Type が考えられる。ダムサイトでは Compact basalt が分布しているが、前述したようにその弾性波速度から、Compact basalt の分布は、左岸で有力なようである。ただ Compact basalt は、亀裂が多いので、必要な形状の材料が入手出来ない場合がある。この場合は、Amygdaloidal basalt は亀裂が少ないので、必要な強度が得られるのであれば、これも含めて稼行対象と考えることになる。

iv) ダムサイトの岩盤評価

コア及び各種試験結果は無いが、P波速度及び露頭の状況より、重力式ダムの構築が可能ではないかと推察される。ただCompact basaltが、ダム基盤として分布するときは、ルジオン値が小さいにも拘わらず湛水を始めると漏水が大きく、セメントによるグラウトを実施しても止水効果が少ないという報告がある。漏水は、亀裂の他にAmygdaloidal basaltとの境界付近からも起こり得ると考えられるが、Compact basaltにこのような傾向があるのならば、その対策工の一つとして、ダムサイトに限らず湛水域も含めたブランケットやフェーシングの検討を要する。

2) 下池

i) 弾性波探査

下池のサイトも基盤と被覆層の簡単な2層構造になっている。玄武岩の基盤速度は、右岸、左岸共に4.5～4.6 km/secであり、河床でも同様に4.6 km/secを示すので、かなり良好な岩盤が期待できる地点である。また河川に沿った低速度帯もない。岩盤を覆う0.35～0.4 km/secの速度帯は、その速度から主に崖錐と判断される。崖錐は、右岸の斜面全体に7～10mの厚さで分布するのに対し、左岸の斜面では大半が1m内外と薄く、5m程度の厚さを示す箇所は、あっても部分的である。また右岸では山脚線まで河床レベルで岩盤が分布し、それを7m内外の崖錐が覆っている。一方、調査初期にはこの地点の右岸アバットの尾根の風化が懸念されたが、4.5 km/secの岩盤が分布するようである。ただ尾根では、10m内外が開口亀裂のある風化帯が形成されていると考えられる。

ii) ボーリング調査

下池は、基本的にはCompact Porphyritic basaltとAmygdaloidal basaltが分布する。一部にCompact Porphyritic basaltが分布するが、Compact basaltと異なり、亀裂が少なくコアを叩くと金属音がする。これらの岩盤を覆って、厚さ2～3m内外の崖錐と1.5m厚程度の河床礫が分布している。着岩してから10m程度は玄武岩の風化帯で、R.Q.D.は60～80%である。全体にコアの状態は良好である。

iii) 岩盤の透水性

Compact basalt の亀裂の開口部で3～4ルジオン、密着しているところでは0～1ルジオンである。風化帯でも4ルジオンを越える所はないが、貯水を開始すると漏水すると言われている。

iv) 室内試験

Compact Porphyritic basalt の一軸圧縮試験の結果は、800～1500 kg/cm^{2}であり、Amygdaloidal basalt では415～780 kg/cm^{2}であった。サンプリングや保存の方法、運搬方法によって一軸圧縮強度にバラツキが見られたが、平均で 500～600 kg/cm^2 なので Masonry 工法は可能である。

v) 材料調査

下池では、石材としても良好な Compact Porphyritic basalt、Porphyritic Amygdaloidal basalt および Amygdaloidal basalt が互層していることが確認されているので、Masonry 工法を採用した場合の石材は、ダムサイト周辺で簡単に入手出来ると判断される。またフィルタイプダムを考慮した場合の遮水性材料として、Fig. 10.1-3 で示した位置でラテライト及び河床堆積物を、また中間層としての河床堆積物を検討した。

河床堆積物は、広く分布しているが、層厚が 2m 内外と薄いようなので稼行能率は悪いと考えられる。また必要とする砂材が少なく礫径が大きいので、クラッシャーで粒径を調節する必要がある。遮水材としてのラテライトは量的には計算上 300 万 m^{3}入手できると見積もられる。

vi) ダムサイトの岩盤評価

この地点は、河床及び左右アバットの玄武岩の性状が良く、ダム基盤としては問題が無い。透水性は、風化帯でも4ルジオン以下で、ルジオンテストの結果からは特に問題点はない。また強度に関しても問題がないので、骨材の確保のしやすさを考慮すると Masonry 工法が可能と判断される。またフィルタイプについては、ラテライト、及びラテライト化した玄武岩を含めて土質材料の対象となるが、ラテライト層の厚さが薄い。一方、河川堆積物は砂分が少ない上に、粒度調整を要する礫が多く、また層厚が薄いので稼行対象としては効率が良くない。

(2) Marleshwar Site

1) 上池

i) 弾性波探査

このサイトは、基盤とラテライトと表土からなる簡単な3層構造である。河床では4.6 km/secの基盤が分布しているが、アバットにかけての基盤の盛り上がりが無く、左岸、右岸共にP波速度0.7～1.5 km/secのラテライトが32～33mの厚さで分布している。右岸では、ラテライトの下に4.6 km/secの岩盤が一部確認されているが、ラテライトの層が厚いので、解析の上で速度層の境界が不明瞭である。従って実際に総合断面図に示されているようにアバット区間で基盤の高まりがあるかどうかは疑問だが、ここではUM1地点のボーリングを参考にラテライトの厚さを約30m程度と予測した。また河川に平行に取った測線は、河川敷そのものが巨岩が積み重なっている状態なので、右岸斜面に設定しているため0.4～0.5 km/secの5～10m厚の崖錐が認められた。その下は、0.7～1.2 km/secのラテライトが18～20mの厚さで分布する。このラテライトの下に4.6 km/secの基盤が確認されているが低速度帯はない。一方、2箇所のサドルダム位置では、同様に1.1～1.5 km/secのラテライト（厚さ20m内外）が確認されている。このラテライトの下の基盤は、4.0 km/secのやや風化したPorphyritic basaltである。

ii) ボーリング調査

上池ダムサイトは、左右両岸が深度32～33mまでラテライトまたはラテライト化した部分で、その下に続く岩盤との境界付近も2～3mに渡って亀裂の多い風化帯になっている。また河床では、着岩してから9m付近までが開口亀裂のある風化帯である。岩盤は、Porphyritic basaltが主体だが、変質が見られ全体に暗緑色を呈する。また着岩してから深度15～33m付近に厚さ3～8mのVolcanic breccia があり、その一部がTachyritic basalt になっている。サドルダムでは基盤の確認深度が浅いので、Tachyritic basaltの存在は確認されていない。

iii) 岩盤の透水性

ダムサイトの岩盤のルジオン値は、いずれもLu<1であり、ラテライトとの境界付近の風化帯でも同様な結果である。ラテライト及びラテライト化した部分ではケーシン

グが入っているので現位置での透水試験を行っていないが、ラテライト化の状態によって$\times 10^{-1}$～$\times 10^{-6}$ cm/sec の範囲で非常に不均一なバラツキのある値を示すと言われている。

iv) 室内試験

基盤岩の一軸圧縮強度は、河床に分布する Compact Porphyritic basalt では 870～1,090 kg/cm2（自然含水比：1.5～2.6%）、アバットに分布する Porphyritic Amygdaloidal basalt では、100～440 kg/cm2（自然含水比：2.2～9.8%）であり、両者の間に強度的な開きがある。

v) 材料調査

上池の調査段階では、Fig. 10.1-4 で示したように Gothna 村周辺のラテライトを対象とした試験を実施したが、粒度組成は、CL～CH に属し、細粒分が 52～88%と多い。最適含水比は、22～30.5%、最大乾燥密度は、1,455～1,550 g/cm^2 である。前述したように、土質材料として使用する場合には、周辺の材料を利用して粒度調整を行う一方、混合材料の透水性試験を繰り返し行う必要がある。さらに施工時期、最適含水比の調整、貯蔵方法等、雨期に関連した問題があるが、これらは今後全体計画の中で検討することになる。

vi) ダムサイトの岩盤評価

ダムサイトは、アバットにかけての岩盤の高まりが無く、ラテライトが 30m 内外と深い。従って、重力式は強度的な問題と、ラテライトの透水性の問題があり、フィルタイプのダムはラテライトの透水性の問題がある。そこで、掘り込み式の貯水池が考えられるが、基盤となるラテライトは、厚いところでも 23～24m 付近から岩塊状になっており、標準貫入試験において貫入不能になるので、掘削基礎としては強度的なバラツキに検討の余地がある。

2) 下池

i) 弾性波探査

a) 下流案 [Dam Axis I]

この地点は、基盤と被覆層の簡単な２層構造である。基盤速度は、河床、アバットとなる左右斜面共に 4.0 km/sec で、特に低速度帯は無い。基盤を覆っている左右両斜面は共にＰ波速度 0.35～0.4 km/sec の崖錐または崩積土であり、その厚さは 5～10m である。特に左岸斜面では現河床に面する比較的急な２次斜面とその上の比較的に緩い傾斜の１次斜面とがあり、標高 230m 付近に両者の地形変換点がある。崩積土に相当すると考えられるものは、主に１次斜面に形成されている。これに対し２次斜面は、薄い崖錐が形成されている程度である。一方、右岸は標高 240m 付近に変換点があり、LM1 地点のボーリング結果では、２次斜面の表土は薄い。

b) 上流案 [Dam Axis II]

このサイトは、下流案と同じく簡単な２層構造で、その基盤速度は 4.0 km/sec であり、低速度帯は無い。ここでも標高 230m 付近に１次斜面と２次斜面の地形変換点がある。いずれも２次斜面は、崖錐が 5m 厚程度であり、右岸では露岩が見られる。また左岸の１次斜面は、Ｐ波速度 0.4 km/sec の崩積土が形成されていると推定した。これに対し右岸の１次斜面の 0.35～0.4 km/sec の速度層は、崖錐と予想しているが、地辷り地か否かの問題があるので、空中写真等による地形解析を必要とする。

ii) ボーリング調査

a) 下流案 [Dam Axis I]

基盤は、基本的に暗緑色の緑泥石の斑晶をもった Compact Porphyritic basalt だが、そこに厚さ 10～13m の赤色の Volcanic breccia を 1～2 枚と、同じく薄い層を 1～2 枚挟んでいる。特に Volcanic breccia は、赤色の Tachylytic basalt を伴う。

Tachylitic basalt は、斜長石や普通輝石(Augite)を含むが、全般にガラス質でマイクロクラックが入っている為、掘削するとボロボロに崩れる。特に粘土鉱物は含まない。一軸圧縮強度は、100～450 kg/cm² であるが、地表にさらされると完全に崩壊するので、施工ではコンクリートに置き換えるのが一般的である。また掘削基礎面に出る事が予想されるときは、完全に取り去るか、またはその上に 3～5m 厚の玄武岩を残

した方が良いと言われている。特にダム基礎の場合は、通常、取れるものは全部コンクリートに置き換えている。このサイトでも、河床のLM2地点において、着岩してから深度5m付近から9m付近まで厚さ4mの熱変質を受けた赤色のVolcanic basaltの上面に、厚さ2～3m内外の赤色のTachylytic basaltが形成されている。このTachylytic basaltは必ずしも水平に形成されているとは限らず、厚さを変えながら傾斜していたり、途中で途切れて再び現れる等の性状があるので、ダム安定の上からも、更に詳細な調査が必要である。いずれにしても60mの調査深度以内に問題の地質がPorphyritic basaltと互層する形で形成されている。

b) 上流案［Dam Axis II］

このサイトは、下流案と同じくPorphyritic basaltと赤色のVolcanic breccia及び問題のTachylytic basaltが分布する。岩盤として良好なのは左岸のみで右岸は、下流案と比較してやや良好である。河床は着岩してから深度約10m内外から厚さ約13mの赤色のVolcanic breccia となり、その上下両面が厚さ3～4mの赤色のTachylitic basaltとなっているので、明らかに下流案より悪い条件となっている。上述したようにTachylitic basaltの性状が複雑なので、更に詳細な調査を要するが、基礎処理の面では上流案の方が困難を伴う可能性がある。

iii) 岩盤の透水性

a) 下流案［Dam Axis I］

右岸は、着岩してから15～16m付近までLu=8～12、河床では、最初からLu<1、左岸では着岩してから7m内外までLu<9である。ここで問題なのは、Volcanic basaltやTachylytic basaltがLu<1を示し、グラウトによる改良が殆ど不可能であるという既存の報告を裏づけている点である。

b) 上流案［Dam Axis II］

このサイトは、右岸では着岩してからLu=0、河床では着岩してから53m付近のVolcanic breccia の所でLu=3～13、それ以外ではLu=0，左岸では着岩してから深度約50m以深に分布するVolcanic breccia でLu<1、それ以外ではLu=0である。

iv) 室内試験

a) 下流案 [Dam Axis I]

このサイトでは、Compact Porphyritic basalt の一軸圧縮強度が 650～1,460 kg/cm^2 (自然含水比 2.6～2.8%) である。その他の変質した Porphyritic basalt は、110～570 kg/cm^2 (自然含水比 2.53～4.79%) であり強度が低い。

b) 上流案 [Dam Axis II]

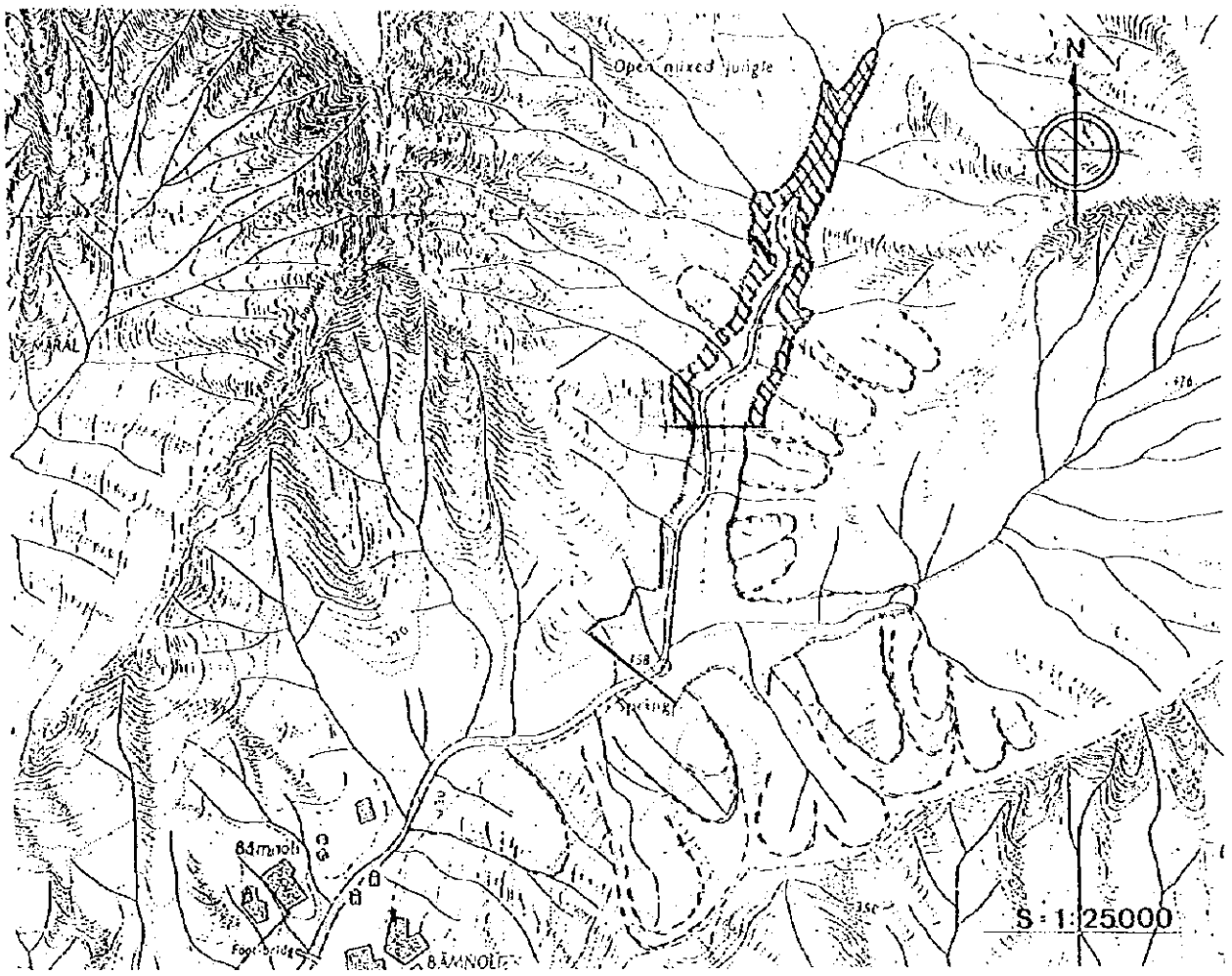
このサイトは、Porphyritic basalt の一軸圧縮強度が 130～830 kg/cm^2 (自然含水比 2.77～4.33%) であり、試験値にバラツキがある。

v) 材料調査

このサイトの土質材料は、Bav Nadi (川) の下流一帯の河川堆積物および崖錐を対象に調査したが、崖錐が Soil Classification で SM～GP を示し、厚さも 4～5m あり、計算上は 5,000,000m^3 の土量を確保できると推定される。石材としては、上流案左岸尾根近くの Compact Porphyritic basalt が良いと考えられる。(Fig. 10.1-4 を参照)

vi) ダムサイトの岩盤評価

岩盤の評価は、変質度、亀裂、強度等と Tachylytic basalt の入り方を勘案すると、「やや悪い」方に位置づけされる。しかし、このサイトでは、岩盤の性質以上の問題として、湛水域及びダムサイトに地辷り地形が認められ、施工、湛水によってその安定を失う可能性がある。成因的には今まで述べてきたように岩盤自体の変質が進んでいる事と Tachylytic basalt の存在によって風化されやすい性質があり、もともと1次斜面に崖錐が溜まっていたものが、2次斜面の形成によって崖錐の山脚が洗われ安定を失ったと考えられる。2次斜面は、第四紀に入ってからの侵食によるものなので、地辷りも第四紀に入ってから動き出したものと推定されるが、下流案のダムサイトのやや下流では現在も活動中のものがある等、今後も空中写真などによって崩壊地形も含めた地形解析が必要である。



地辷り地形の予測

(3) Hevale Site

1) 上池

i) 弾性波探査

このサイトは、平坦な玄武岩台地なので、基盤とラテライトの簡単な２層構造である。ラテライトに相当する速度層は0.45～0.5 km/sec で、厚さは6～13m 内外である。基盤は4.0～5.0 km/sec で柱状節理の入った Compact Porphyritic basalt が主体である。ただこの中に3～5m 厚の黒色の Tachylytic basalt が２枚挟まれているが、この層は速度が遅いので、解析断面では抽出出来ない。

ii) ボーリング調査

このサイトは、金属音のする Compact Porphyritic basalt が主体で、間に Tachylytic basalt が出るが、掘り込み式上池の側壁あるいは掘削基礎面に出たとしても、層厚が

薄いので完全な除去が可能である。Tachylytic basalt は、ボーリングでコアを採取したときは棒状を呈するが、2～3 日でボロボロに崩れる性質がある。粘土鉱物を含んではおらず、単なるマイクロクラックによるといわれている。圧縮強度は 100～450 kg/cm^2 程度と報告されている。施工面に現れたときは、コンクリートによる置き換えで対処している。

iii) 岩盤の透水性

基盤は、いずれも Lu=1 であった。ただ柱状節理の入った玄武岩には、グラウトが効かない反面、水を溜めると漏水する傾向があるので、掘削面の止水対策が必要である。

iv) 室内試験

材料調査の対象となった UH1 地点の Amygdaloidal basalt は、一軸圧縮強度が 130～350 kg/cm^2（自然含水比 1.91～2.55%）である。また掘り込み式となる上池地点では、基盤の Compact Porphyritic basalt は、570～1,620 kg/cm^2（自然含水比 0.17～1.33%、密度 2.77～3.18 g/cm^3）であり、強度として特に問題が無い。

v) 材料調査

当初、ラテライトを対象とした材料調査において、UH1 地点で厚さ約 12m のラテライト厚を確認したが、これは細粒分が多く粒度調整を必要とする。掘り込み式貯水地の工事で多量の玄武岩のズリが発生するので、それを堤体材料に利用し、切り盛りのバランスを図ることができる。したがって、ラテライトを堤体材料とする必要がないと考えられる。

vi) ダムサイトの岩盤評価

基盤の状態も良く、Tachylytic basalt も層厚が薄く、また分布深度も処理しやすい深度にあるので、このサイトの地質的な問題は少ない。

2) 下池

i) 弾性波探査

このサイトは、基本的には基盤と崖錐等の被覆層からなる簡単な２層構造である。

基盤は、先カンブリア紀の金属音のする結晶片岩で 4.8～5.0 km/sec を有する。崖錐は、0.4～0.5 km/sec で約 10m の厚さがある。また現河床には、1.5 km/sec の砂礫層があり、その下盤に旧河床と思われる凹地形があるので、ダムは、この旧河床の存在も考慮して検討する必要がある。

ii) ボーリング調査

斜面表面は、厚さ 10～15m 内外の転石の多い崖錐層で、標準貫入試験は不能である。基盤は極めて珪質な点紋を有する結晶片岩(雲母片を含む)であり、多くの石英脈が見られる。片理面はほぼ水平である。ただ LH-1 と露頭では下流側に 30° 程度で片理が傾斜している所もあるので、ある程度、片理面は波をうっていると判断した。また開口亀裂は、岩盤の 2～5m 程度まで見られるがそれ以深は、密着している。

iii) 岩盤の透水性

左岸の深度 12～15m の崖錐との境界付近で Lu=12 を示した以外では Lu<1～±1 である。

iv) 室内試験

結晶片岩の一軸圧縮強度は、右岸で 790～1,350 kg/cm^2、河床で 410～960 kg/cm^2、左岸で 660～1,330 kg/cm^2 であり、試験時の自然含水比は、0.2～0.81%、密度は、2.65～3.13 g/cm^3 である。場所によって試験値にバラツキがある。

v) 材料調査

土質材料としては斜面に厚く形成している崖錐、及びダムサイトから Kharal Nadi (川)に沿って下流約 5km までを対象とした河床堆積物が考えられるので、Fig. 10.1-5 に位置を示した。ただ河川堆積物は計算上 3,000,000m^3 は分布するが層厚が 2m 程度しか無く、稼行能率は悪い。また Masonry の石材としては、運搬道路の勾配を考慮すると、ダムサイト下流 3km 内外の右岸側の結晶片岩が対象となる。

vi) ダムサイトの岩盤評価

ダムサイトとして特に結晶片岩に問題は無いと考えられる。ただし、片理構造の傾

斜や線構造の傾斜がダムの安定に影響する場合がある事と圧縮強度にバラツキが見られる事に留意する必要がある。このサイトでは、崖錐の土石流化した堆積物が河川に沿って形成されており、枝沢の流路を変えるような動きがあったように見受けられる。地形的にもダムサイト上流の斜面に崖錐が形成されているような緩傾斜があるので、湛水域への流入土砂について留意する必要がある。

以上、各サイトにおける地質状況を述べたが、地質的な優位性を考慮しながら以下に要点をまとめる。

① Jalondは、上池、下池共に地質的な問題は無いが、上池は平坦な台地で予定していた地形の高まりが無いことと、計画の見直しと、Sanctuary の問題がある。材料面からはMasonry type が得策であると考える。

② Marleshwarは、上池のダムサイトのラテライトの厚さが30m前後あり、岩盤の高まりがない。従って、掘り込み式の方が得策であると考えられる。また下池は、上下流案共に湛水域に地辷り地形がある事と一部がダムサイトにからむ懸念があるので、空中写真等による地形解析が必要である。また地質的にも変質した玄武岩や火砕岩、タキライトが分布し「やや悪い」地質と判断される。

③ Hevaleでは、上池の玄武岩中に火砕岩とタキライトが分布するが、施工的に十分対処可能と考えられる。また下池は金属音のする先カンブリア紀の結晶片岩が分布し、特に問題は無いが、片理構造および線構造の傾斜に留意する必要がある。また河川に沿って崖錐が土石流化した溜まり方をしているので、湛水域に流入する埋積土砂量に留意する必要がある。

なお、各サイトの総合地質断面図をFigs. 10.1-12～10.1-19として添付した。

10.2 地質調査工事

10.2.1 調査項目と数量

(1) 調査の概要

今回ダムサイトの計画地点で実施された地質調査は、弾性波探査、ボーリング、ルジオン試験、室内試験、材料調査及び土質試験等である。

弾性波探査の測線に沿って、TOPCON GTS-6によって高低測量を行った。各サイトではインド測量局の地形図に準拠して仮ベンチマークを設けた。測量はまず、計画地点にダム軸の見通しをたて、ダム軸に沿った基線を設定し、次いで基線にそって水平に5m間隔の測点を設定した。各測点に杭をたて高低測量を行うと同時に起振点を設定した。

上記の理由から、本報告で使用している「標高」は、三角水準点に基づくものではなく、現地の「概略の地盤高」を示すものである。

1) 弾性波探査

弾性波探査は、各測線に沿って24チャンネルある増幅器に、5m毎に設置した地震計を24個接続し測定した。次の区間を測定する時は、最後の1つをオーバーラップさせながら測定区間を展開した。また各測線で6～7ヵ所の起振点から重複観測を行った。さらに遠隔起振点を測線端から100m外側に設け、重複観測を補完した。起振点では、地下1mの所に必要な装薬（20%の黒色火薬、及び0遅発雷管）を行った。またハンマーによるスタッキング法は、被覆層の薄いところで活用した。

2) ボーリング調査

ボーリングは、SWANSKA と CALYX の２機種を使用し、ダイアモンドビット、ダブルコアチューブ(Nx タイプ)、循環泥水方式で行った。従ってコア径は 51.7～78mm である。採取されたボーリングコアは、Government of Maharashtra, Irrigation Department (GOMID)に運搬され、保管されている。

3) 標準貫入試験(SPT)

標準貫入試験は、ASTM D 1586-67、または、それに代わる IS:2131 に従って表土や風化土で実施した。この方法は、直径 50mm のレイモンドサンプラーを重さ 63.5kg の重錘を高さ 0.75m から自由落下させ、風化土の中に打ち込んでいく。最初の 15cm は先打ちで、次の 30cm の貫入時の打撃回数がＮ値である。たまたま土壌が固くて 30cm の打ち込み打撃数が 50 回を越える場合は、試験はそこで終了した。得られたＮ値は、コアの状態と共に柱状図に記載した。

4) 透水試験（ルジオンテスト）

透水試験（ルジオンテスト）は、BS 5930:1981/IS:5529 に従って、ダブルパッカー方式により孔底から順に上の方に向かって実施した。ダブルパッカーの間の透水管の長さは 3m である。試験では、あらかじめ指定された圧力で決められた時間の間、水を試験区間に圧入した。１回の試験は４段階の圧力で昇圧し、次いで降圧し、それを１サイクルとする。各圧力段階で注入量が一定になったときの注入量を測定する。ルジオン値は、注入応力が 10 kgf/cm^2 のもとで試験孔長 1m 当たりの毎分の注入量を表したもので、l/m/min./10 kgf/cm^2 の単位で示す。

5) 室内試験

室内試験は、標準貫入試験とテストピットの乱した試料を用いて以下の試験を行った。

i) 粒度試験（ふるい分けと沈降法）
ii) 比重試験
iii) 最大乾燥密度と最適含水比
iv) 最大乾燥密度の 95%時における CBR 値
v) 含水比

6) 岩石試験

コアから選別された試料により、原則として次の試験を行った。

i) 一軸圧縮試験

ii) 空隙率

iii) 含水比

iv) 嵩比重

v) 超音波速度

vi) 密度

vii) 圧裂試験

(2) 調査数量

次ページに調査数量表を示す。

Quantities of Geological Investigation (1/2)

Description	Unit	Tender Quantity	Final Quantity
1. Mobilization and Demobilization	Ls	1	1
2. Rotary Boring for Rock			
a. Setting, Dismantling and shifting of equipment	No	23	20
b. Rotary Core drilling	m	1300	1110
c. Standard penetration test	No	120	77
3. Field Permeability Test	No	434	277
4. Laboratory Tests for Core Samples taken by Boring			
a. Specific gravity, absorption, water content and dry desnity test	No	115	114
b. Unconfined compression test including elastic modulus and Poisson's ratio measurement	No	115	114
c. Tensile test	No	115	100
d. Ultra sonic waves measurement	No	115	106
5. Laboratory Tests for Disturbed Soil Samples at Borrow Pits including sampling			
a. Specific gravity, absorption, water content and dry desnity test	No	12	32
b. Grain-size analysis	No	12	31
c. Atterberg limits	No	12	31
d. Compaction test	No	12	12
e. Permeability test	No	12	12
f. Water content	No	12	12
6. Laboratory Tests for Concrete Aggregate at Borrow Pits			
1) For coarse aggregate			
a. Specific gravity and absorption	No	6	6
b. Sieve analysis	No	6	6
c. Abrasion loss test	No	6	6
d. Alkali aggregate reaction test	No	6	6

Quantities of Geological Investigation (2/2)

Description	Unit	Tender Quantity	Final Quantity
e. Soundness test	No	6	6
2) For fine aggregate			
a. Specific gravity and absorption	No	6	6
b. Sieve analysis	No	6	6
c. Alkali aggregate reaction test	No	6	6
d. Soundness test	No	6	6
e. Organic impurities	No	6	6
f. Clay content and friable particle	No	6	6
7. Seismic Refraction Survey including analysis	km	9.5 (12 lines)	9.31 (11 lines)
8. Reporting	Ls	1	1

Detail Quantity of Field Works

Tender Quantity Final Quantity

<Investigation with Rotary Core Drilling>

Location	Borehole No		Drilling Depth (m)		S.P.T. (No)		Field Permeability Tes (No)		Laboratory Test : No a	b	c	d
Jalond Site U / D	UJ 1		70	-		-	24	-	-	-	-	-
	UJ 2		50	-	-	-	17	-	-	-	-	-
	UJ 3		70	-		-	24	-	-	-	-	-
L / D	LJ 1		70	70		3	24	18	6	6	6	6
	LJ 2		70	70	24	1	24	22	6	6	6	6
	LJ 3		70	70		3	24	20	5	5	5	5
Marleshwar Site U / D	UM 1		50	60		11	17	10	8	8	7	8
	UM 2		80	60		4	27	16	8	8	6	7
	UM 3		50	60	24	9	17	10	8	8	6	7
	UM 4		30	30		9	10	Nil	2	2	2	2
	UM 5		30	30		4	10	Nil	1	1	1	1
L / D	LM 1		60	60		1	19	17	7	7	6	7
	LM 2		60	60		5	19	17	5	5	5	5
	LM 3		60	60	24	4	19	17	5	5	5	5
	LM 4		60	60		5	19	17	5	5	5	5
	LM 5		60	60		Nil	19	18	7	7	5	7
	LM 6		60	60		3	19	18	5	5	5	5
Hevale Site U / D	UH 1		30	30		5	10	Nil	6	6	5	5
	UH 2		30	30	24	Nil	10	9	6	6	5	5
	UH 3		30	30		Nil	10	9	6	6	5	5
L / D	LH 1		70	65		6	24	18	6	6	5	5
	LH 2		70	80	24	1	24	23	6	6	5	5
	LH 3		70	65		3	24	18	6	6	5	5
TOTAL	23	20	1300	1110	120	77	434	277	114	114	100	106

a : Specific gravity, absorption, water content and dry density test

b : Unconfined compression test including elastic modulus and Poisson's ratio measurement

c : Tensile test d : Ultra sonic waves measurement

Quantity of Field Works

<Seismic Refraction Survey>

Location	JALOND	MARLESHWAR	HEVALE	TOTAL
U / D	0.8 km x 1 line 0.4 km x 1 line	0.8 km x 1 line 0.5 km x 3 lines	1.3 km x 1 line	4.8 km x 7 lines
	0.69 km x 1 line	0.81 km x 1 line 0.5 km x 3 lines	1.38 km x 1 line	4.38 km x 7 lines
L / D	1.4 km x 1 line	1.0 km x 2 lines	0.9 km x 1 line 0.4 km x 1 line	4.7 km x 5 lines
	1.4 km x 1 line	1.035 km x 2 lines	1.0 km x 1 line 0.46 km x 1 line	4.93 km x 5 lines
TOTAL	2.6 km x 3 lines	4.3 km x 6 lines	2.6 km x 3 lines	9.5 km x 12 lines
	2.09 km x 2 lines	4.38 km x 6 lines	2.84 km x 3 lines	9.31 km x 11 lines

Tender Quantity
Final Quantity