

第1回海外応用地質学関連サイト調査団報告

ヨーロッパのダム（1）

第1回海外応用地質学関連サイト調査団報告

平成3年5月

日本応用地質学会
海外応用地質学関連サイト調査団

第1回海外応用地質学関連サイト調査団報告

目 次

1. はじめに (岡本 隆一会長)	1
2. 調査団概要 (市川 慧総務委員長)	3
3. ダムサイト調査報告	13
1) ブゼダム (新部 明郎)	13
2) ロズランダム (藤井 映)	22
3) ティニユダム (尾園 修治郎)	28
4) セルボンソングダム (西谷 正司)	34
5) キャステヨングダム (市川 慧)	42
6) マルパッセダム (Olivier Fabbri)	48
(福田 健大)	50
7) サンフェレオールダム及びランピダム (市川 慧)	78
8) バイオントダム (原口 強)	85
4. その他の見るべきもの	103
5. あとがき (宇田 進一)	105

1. はじめに

会 長 岡本 隆一

今回の日本応用地質学会本部組織の呼びかけによる第1回海外ダムサイト調査は、正直に申して、最初からきっちりと計画準備された後、実施に移されたものではなかった。

平成2年度、北海道支部における研究発表会、九州支部における講習会、平成3年度、東北支部の発足、関西支部20周年記念式典（11月予定）等、最近の学会地方支部の活発な活動に刺激を受けて、理事会等本部組織の会合においても、海外現地見学会は出来ないものかという声が出ていた。九州支部では毎年のように海外視察団が組織されて、見聞を弘めておられるようだが、東京では一度も実施されていないという訳である。特に、支部に在籍された事があって、現在、東京に居られる方や、他学会にも所属しておられて、そちらから海外へ行く機会があった方等からそう言われていた。

1991年度から、日本応用地質学会の国際版であるIAEG（国際応用地質学会）のアジア地区副会長に、小島圭二東大教授が就任された事、1992年8月、京都において開催されるIGC（万国地質会議）において、上記IAEGの総会、執行理事会が同時期に開催されることとなり、規約に基づいてホスト国である日本のIAEG National Groupがその面倒をみななければならないという事が起こってきた。

そこで、1991年5月予定のIAEGのシンポジウム（チュニジア、Sfax）に、日本からも組織的に参加し、会議の運営を見習った上で、帰途、フランスを中心にダムを見学したらどうかと言う話が熱を帯びてきた。そこへ、湾岸戦争である。チュニジアはPLOアラファト派の司令部が置かれている国でもあり、西側諸国と旨く行くわけがなく、シンポジウムの計画も宙に飛んでしまった。

当然、第1回目の現地調査団を組織して外国へ行こうという計画も挫折したものだと思っていた。ところが、熱心な人は居るもので、計画の後半部だけは生きているので是非やりましょうということになった。あとは、電話をかけまくるという事になったらしい。これが今回の第1回海外ダムサイト調査団の発足と実現のいきさつである。

見学の経過については、本文中にメンバーの中の殆どの人が書く予定であるので、ここでは改めて触れない。唯、今回の旅行が無事に成功を収めたと考えられるのは、

2. 調査団概要

総務委員長 市川 慧（建設省）

(1) 目的

地質とダムとの関係をダムの歴史の古いフランス、イタリアで踏査することを目的として調査行を実施した。この行程は別表のように、相当なハードスケジュールであったが、全員無事故で帰国した。

- 岩盤とダムの設計の初期の段階で、地質が原因の一つとなって破壊したブゼ、マルパッセ、バイオントの各ダム
- 歴史的価値の高い17～18世紀のブゼ（再建）、ランピ、サンフェレオール of 各ダム
- 当時のパイオニアあるいは特筆すべき特徴のあるロズラン（アーチ+バットレス）、ティニュ（アーチ、下流面に巨大なヘラクレスの絵）、キャストヨン（アーチ、巨大なロックアンカー）、セルポンソン（ロックフィル、100mの沖積層）等である。

これらの諸元を表2-1に示す。

(2) 行程

日次	月日 (曜)	地名	現地時間	交通機関	実施工程
1	1991年 5月4日 (土)	東京(成田)発 パリ着	12:50 18:05	A F 275	(所要:12時間55分) <パリ泊>
2	5月5日 (日)	パリ発 ナンシー着 } ブゼ(ダム) } ストラスブール	08:01 11:22	列車 専用バス	着後:ダム等視察・調査 <ストラスブール泊>

日次	月 日 (曜)	地 名	現地時間	交通機関	予 定
3	5月6日 (月)	ストラスブール 発 リヨン 着 } ブルサンモリス } ロズラン(ダム) } ティニュ(ダム) } ブルサンモリス } ムウティエ	10:25 11:15	I T 6047 専用バス	着後：ダム等視察・調査 ロズランは雪渓のため到達出来ず。 〈ムウティエ泊〉
4	5月7日 (火)	ムウティエ } ガ ッ プ } セルボンソン(ダム) } システロン		専用バス	終日：ダム等視察・調査 〈システロン泊〉
5	5月8日 (水)	システロン } キャストイオンダム } マルパッセ(ダム) } マルセイユ		専用バス	終日：ダム等視察・調査 〈マルセイユ泊〉
6	5月9日 (木)	マルセイユ } カルカソンヌ } ランビ(ダム) } サンフェレール(ダム) } トゥールーズ		専用バス	終日：ダム等視察・調査 〈トゥールーズ泊〉
7	5月10日 (金)	トゥールーズ発 ローマ 着 ローマ 発 ベネチア 着	08:00 10:40 13:20 14:25	A F 1636 A Z 146 専用バス	〈ベネチア泊〉
8	5月11日 (土)	ベネチア } バイオント(ダム) } ベネチア		専用バス	終日：ダム等視察 〈ベネチア泊〉
9	5月12日 (日)	ベネチア 発 ミラノ 着 ミラノ 発	11:25 12:10 15:00	A Z 600 A Z 1786	(所要11時間50分) 〈機中泊〉
10	5月13日 (月)	東京(成田) 着	09:50		通関後解散

これらを図2-1に示す。また、今回調査したフランスアルプス北部、南部、南フランスの地質図を図-2-2、2-3、2-4に示す。

また、各サイトには詳細な地図(1/20万、1/2.5万)を附したので、各サイトを将来訪れる人には参考になるものと思われる。

(3) 調 査 員

次に示す13機関から総勢22人に添乗員を加え、計23名。

建設省土木研究所、(株)アイ・エヌ・エー新土木研究所、(株)応用地質、(株)キタック、(株)建設技術研究所、(株)シーティーアイ新技術、スイモンリサーチ(株)、(株)ダイヤコンサルタント、(株)日本工営、(株)中央開発、復建調査設計(株)、八千代エンジニアリング(株)、(株)四電技術コンサルタント。

表 2-1 見学ダム一覽表 (ダム年鑑1984年版による)

番号	名称	竣工	河川名	近(の)都市	県	型式	止水位置 /型式	基礎	堤高 (m)	堤長 (m)	堤体積 (10 ³ m ³)	貯水容量 (10 ³ m ³)	湛水面積 (10 ³ m ²)	目的	最大 放流量 (m ³ /s)	洪水吐 型式	所有者	設計者	施工者
⑧	サン・フェルナンド	1675	ロド	ルダエル	オート・ピレネ	E	ア/ア-ス	岩・土	36	780	159	6,675	670	N	19	孔・調	フランス 航研会社		
⑦	ランジェ	1782	ランジェ	カマルグ	オート	G			19	130	12	1,673	225	N	21	調	フランス 航研会社	和エイ	
①	アゼ	1939	ラダエール	エビタル	ヴァンジュ	R			27	504	150	8,384		N	1.3	*	県土木		
④	キャスチヨン	1948	ヴェルダン	カマルグ	ピレネ	A		岩	101	200	125	149,000	5,000	P, A	128.3		EDF-GRPH 地中海	ア/ア・ア/ア	GTM
③	ティニエ	1952	イゼール	アルベール	ピレネ	A		岩	180	375	635	230,000	2,700	P	250	調	EDF-GRPH ピレネ	ア/ア・ア/ア	EI
⑥	マルパセ	1954	ラン	ラジュス	ヴァル	A		岩	59	225	47	49,300		A			ヴァル	ア/ア・ア/ア	
⑤	セル・ボンソ	1960	チュラス	ガブ	オートピレネ	E	ア/ア-ス	岩・土	129	600	14,100	1,270,000	28,000	P, A	3,430	調	EDF-GRPH 地中海	EDF-REH Alpes III	CITRA- OSSUDE
②	ロラン	1961	ロン・ド・ポワール	アルベール	ピレネ	A+B		岩	150	806	945	187,000	3,200	P	90	調	EDF-GRPH ピレネ	ア/ア・ア/ア	GBRU
⑨	ヴァイアント	1961	ヴァイアント	バル	ヴェネ	A			262	190	351	169,000		P	355	調	ENEL	SADE	TORUS

(注) 型式 : E : アース, G : 重力, R : ロックフィル, A : アーチ, B : バットレス

目的 : N : 航行, P : 発電, A : 灌漑

洪水吐型式 : 孔 : 孔あき, 調 : 調節施設有り

* 湛水は人工的に行い、満水時と放流前には供給しない。

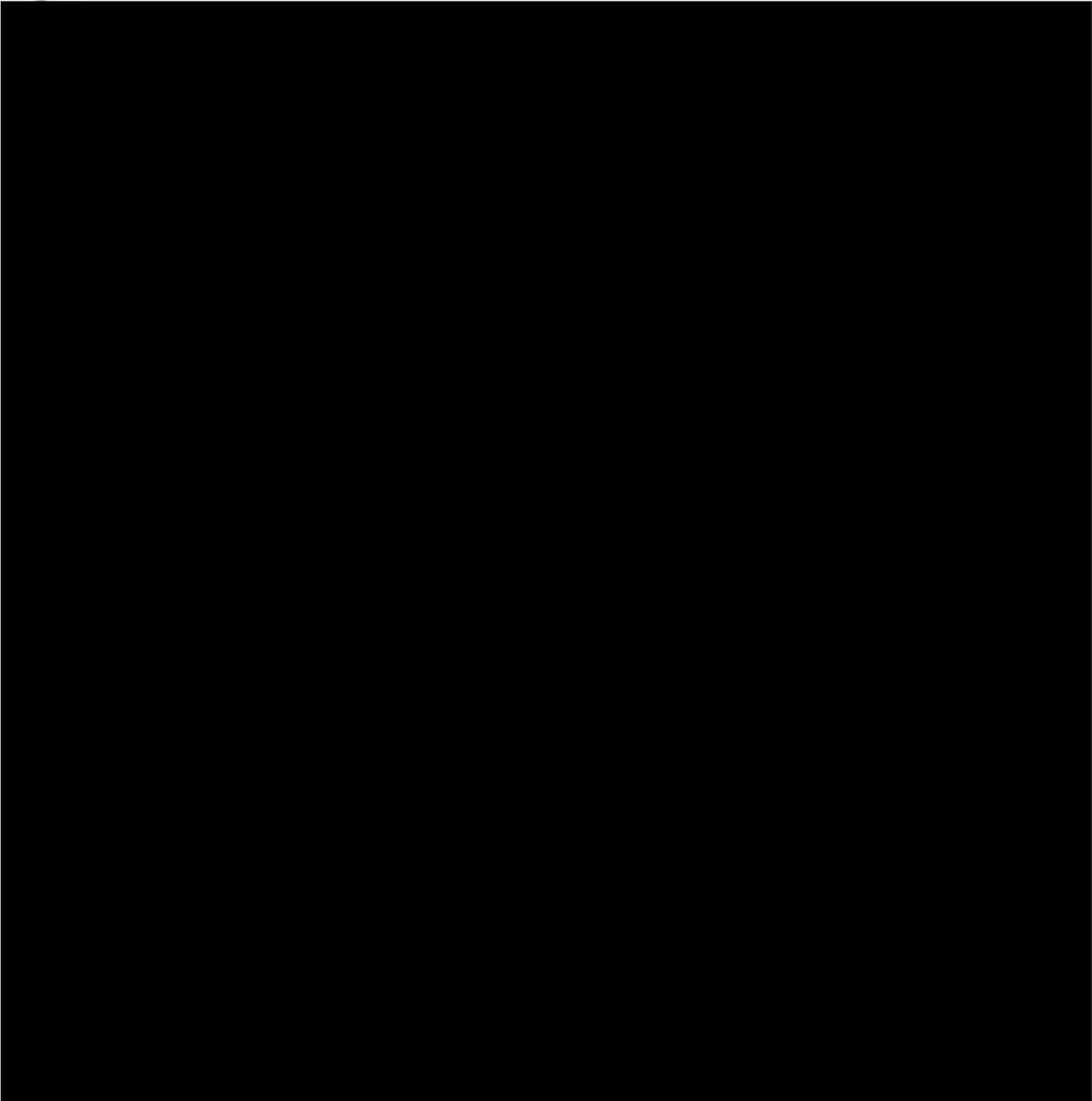


図 2 - 1 見 学 ダ ム 位 置 図

(番号は前頁の表 2 - 1 参照)

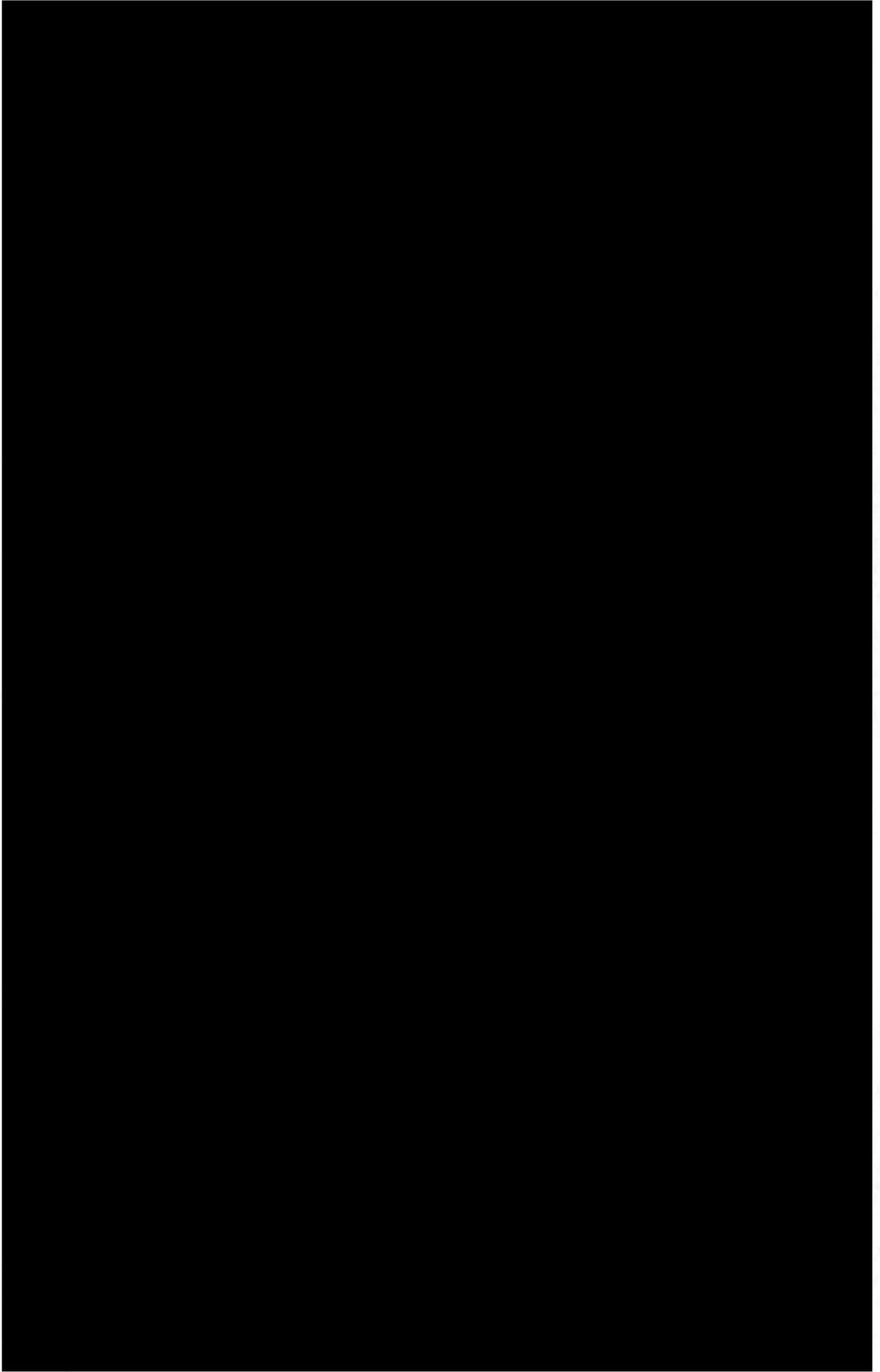


図 2 - 1 見 学 ダ ム 位 置 図

図 2 - 2 フランスアルプス北部地質図 (縮尺 1:1,500,000)

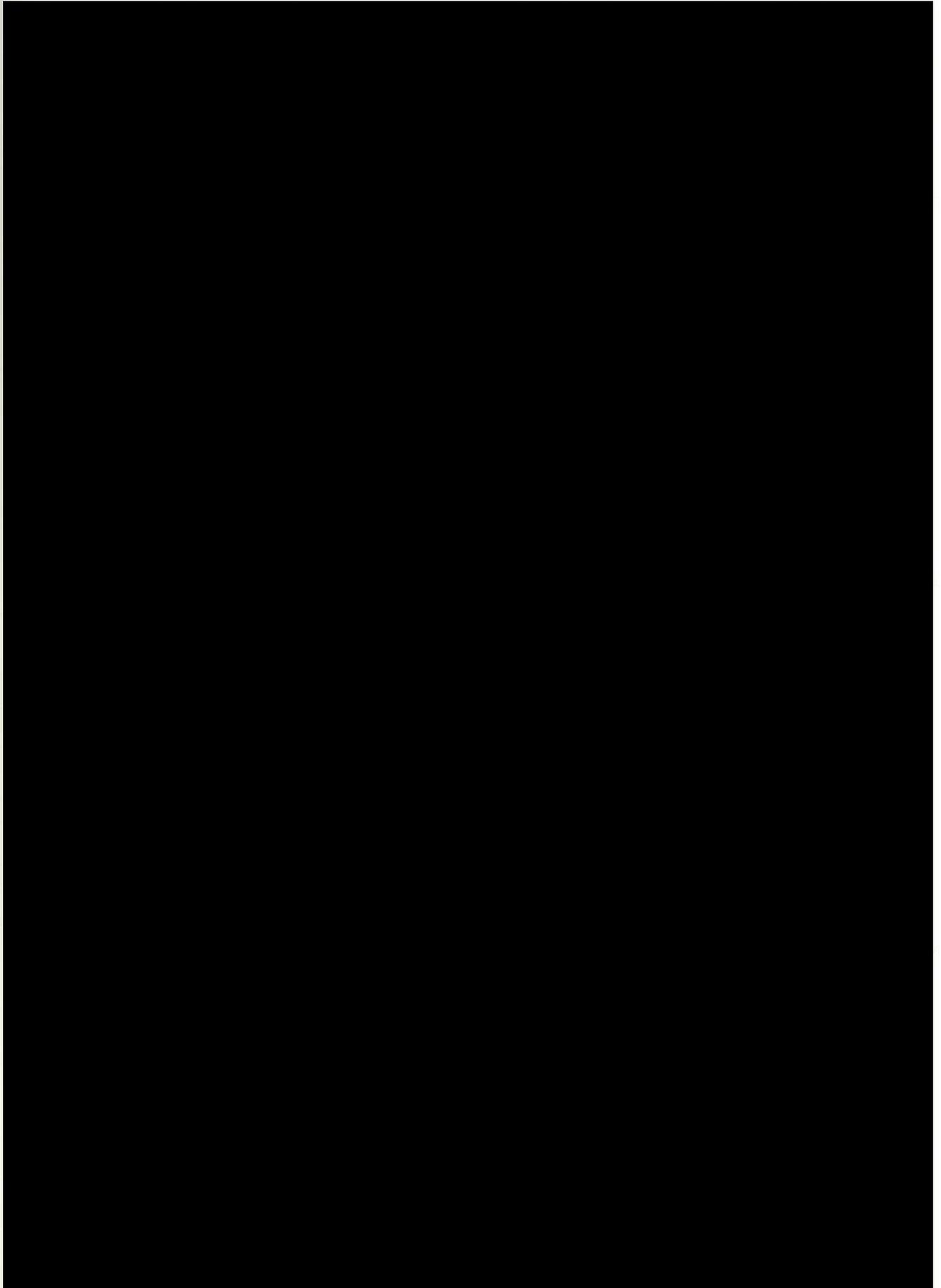


図2-3 フランスアルプス南部地質図 (縮尺 1:1,500,000)

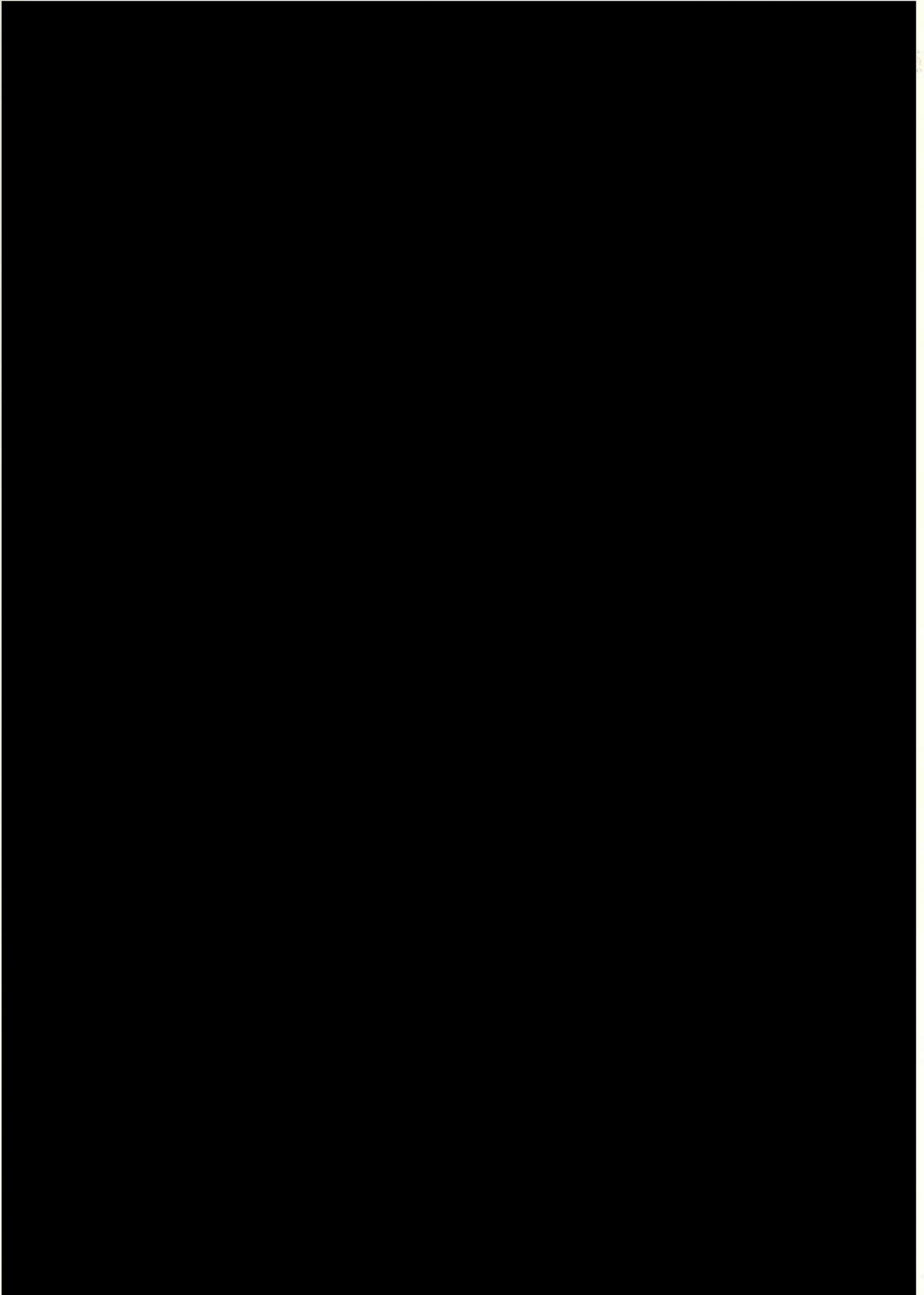
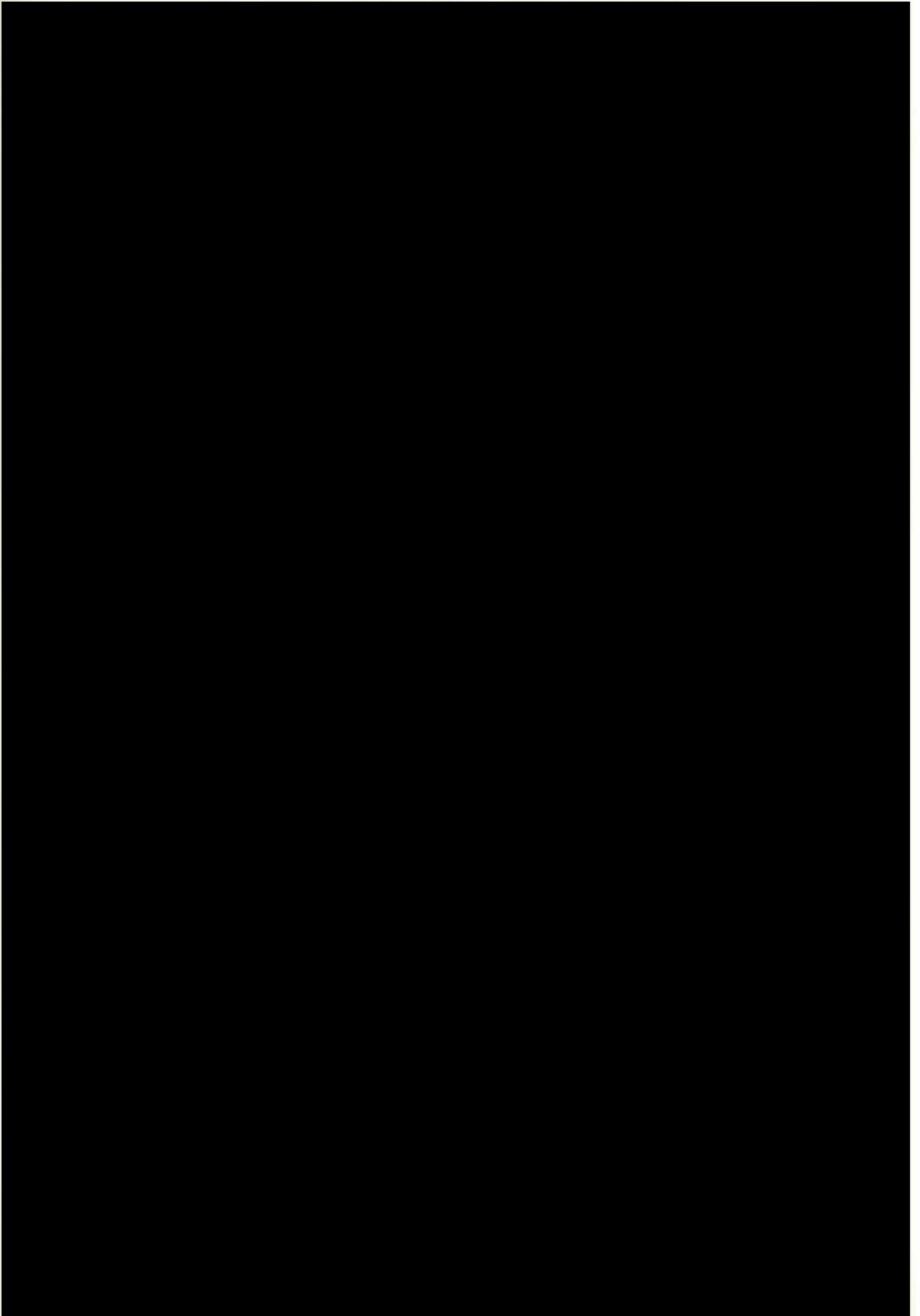


図 2-4 南フランス周辺地質図 (縮尺 1:1,500,000)



3. ダムサイト調査報告

1) ブゼダム

新部 明郎 (株)アイ・エヌ・エー新土木研究所)

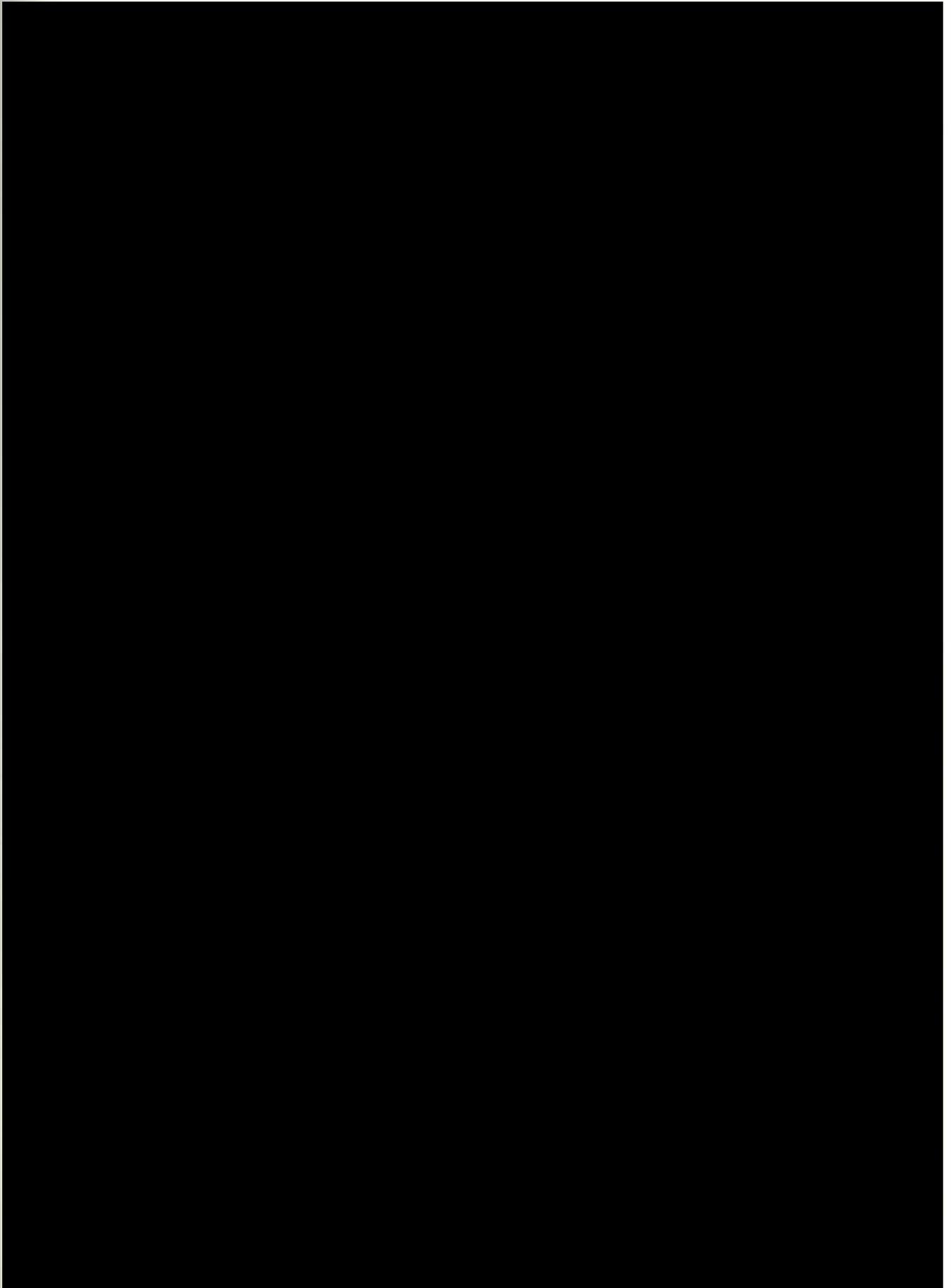
第1日目は、夜明けのパリ東駅から始まった。フランス北東部の鉄鋼の町ナンシーまで鉄道にて移動し、ナンシーの南南東約50kmに位置するエピナル郊外のブゼダムを見学する行程である。

パリからナンシー、エピナル付近まではパリ盆地東部にあたる。この盆地はそのまま堆積盆と対応しており、外縁部の三畳系から中央部の古第三系までの地層が盆地中央に向かって緩やかにほとんど水平に近い構造で分布している。しかし、これらの地層は、パリ盆地の緩やかな丘陵地形のおかげで車窓からほとんど見ることはできなかった。

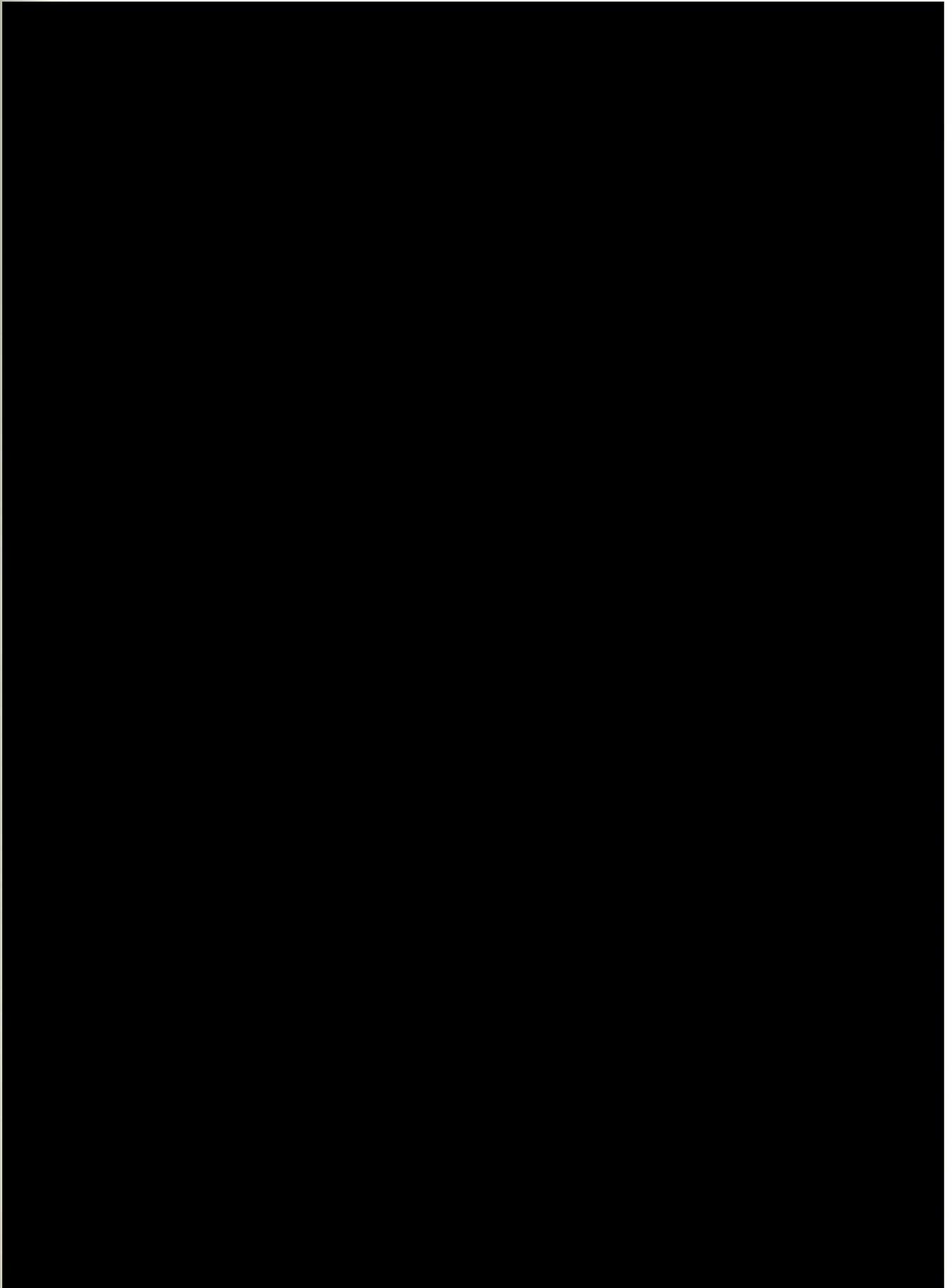
ブゼダムは、エピナルの西方約6kmに位置しており、1878～1881年に東運河(Canal d'est; ベルギー国境に近いセダンを流れるムーズ川からナンシー付近のモゼール川を經由してローヌ川水系サオーヌ川までを南北に結ぶ運河)南半の最高標高部に水門水位調整用水を供給する目的で建設された石工(メソンリー)ダムである。建設当時のダム諸元は以下のとおり。

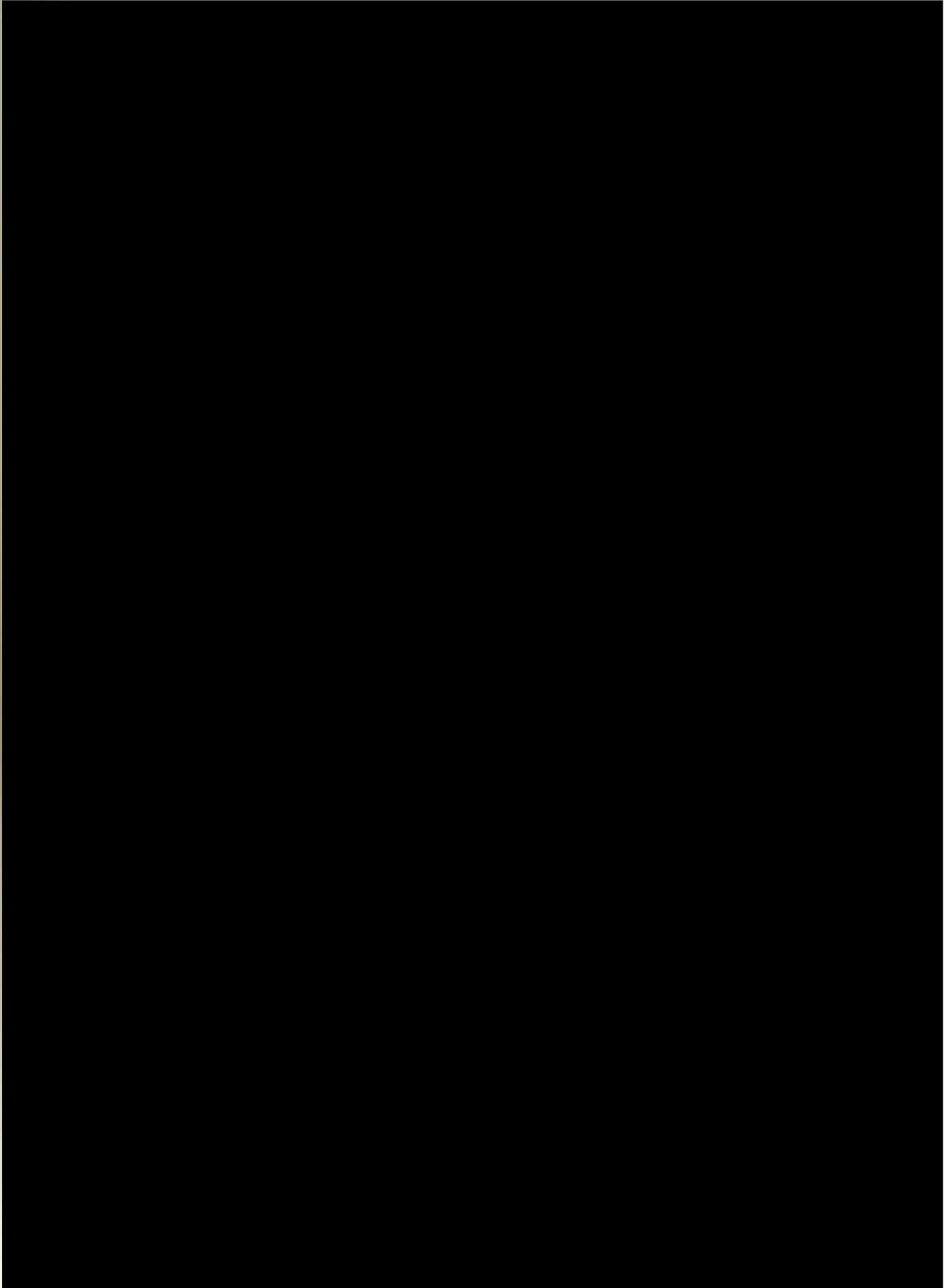
ダ ム 名:	ブゼ (Bouzey) ダム
河 川 名:	モゼール川水系アビエール川
ダ ム 形 式:	石工ダム
ダ ム 高:	22.7m
ダ ム 頂 長:	520m
ダ ム 天 端 幅:	4m
ダム基盤上下流幅:	11.35m
ダム天端標高:	EL. 372.1m
基盤岩標高:	349.4m
貯水容量:	7,000,000m ³
最高水位:	EL. 371.5m

視察ダム位置図 (縮尺 1:100,000 1:25,000)



視察ダム周辺地質図 (縮尺 1:50,000)





各種資料によれば、ダム基礎岩盤は三疊紀の砂岩層で、下位に分布する固く締まった砂岩層とその上位の柔らかく亀裂の多い砂岩層とによって構成されており、ほとんど水平～下流側に極めて緩く傾斜した地質構造を有している。また、上位の柔らかい砂岩層の中には粘土層が挟在している。経費節約のためにダムは基礎面を上位砂岩層に置き、ダム本体上流側で幅2mの固い心壁が基礎面下3.2mに分布する下位の硬質砂岩層にまで達するように建設された。

ダムは、1881年後期に完成し、同年11月から湛水が開始されるが、貯水位がEL.362mに達した時に基礎岩盤面から57ℓ/sec.程度の漏水が生じ始め、さらに貯水位がEL.364.5mの時点で漏水量は75ℓ/sec.に達した。1884年3月14日、貯水池水位がEL.368.8mに達した時、堤体のうち長さ137mの部分が突然下流側に最大380mm滑動し、漏水量が230ℓ/sec.に増加した。1885年秋に貯水位を下げて確認したところ堤体上流面に数多くのクラックが見られ、最大のものは水平方向に91mも広がっていた。クラックは基礎面にも発生しており、堤体は基礎岩盤から分離していた。

その後、1888～1889年にかけて滑動に対処するための工事が施され、ダム基礎下流部に堤体の厚みを増すように石積みが付加された他、堤体上流面のクラックにはグラウチングが行われた。これにより、ダム基礎部の上下流方向の厚みは17.45mとなり、さらに堤趾部の基礎は硬質砂岩層に置くようにされたが、ダム上半部の形状は従来そのままであった。

再湛水は、1889年11月に開始された。最高水位に達した後もダムには大きな変化がみられず運用が続けられた。1895年4月27日、堤体上半部の天端から10m、幅183mにわたる部分が破壊し、流出した水流のため約150人が死亡する事故が発生した。

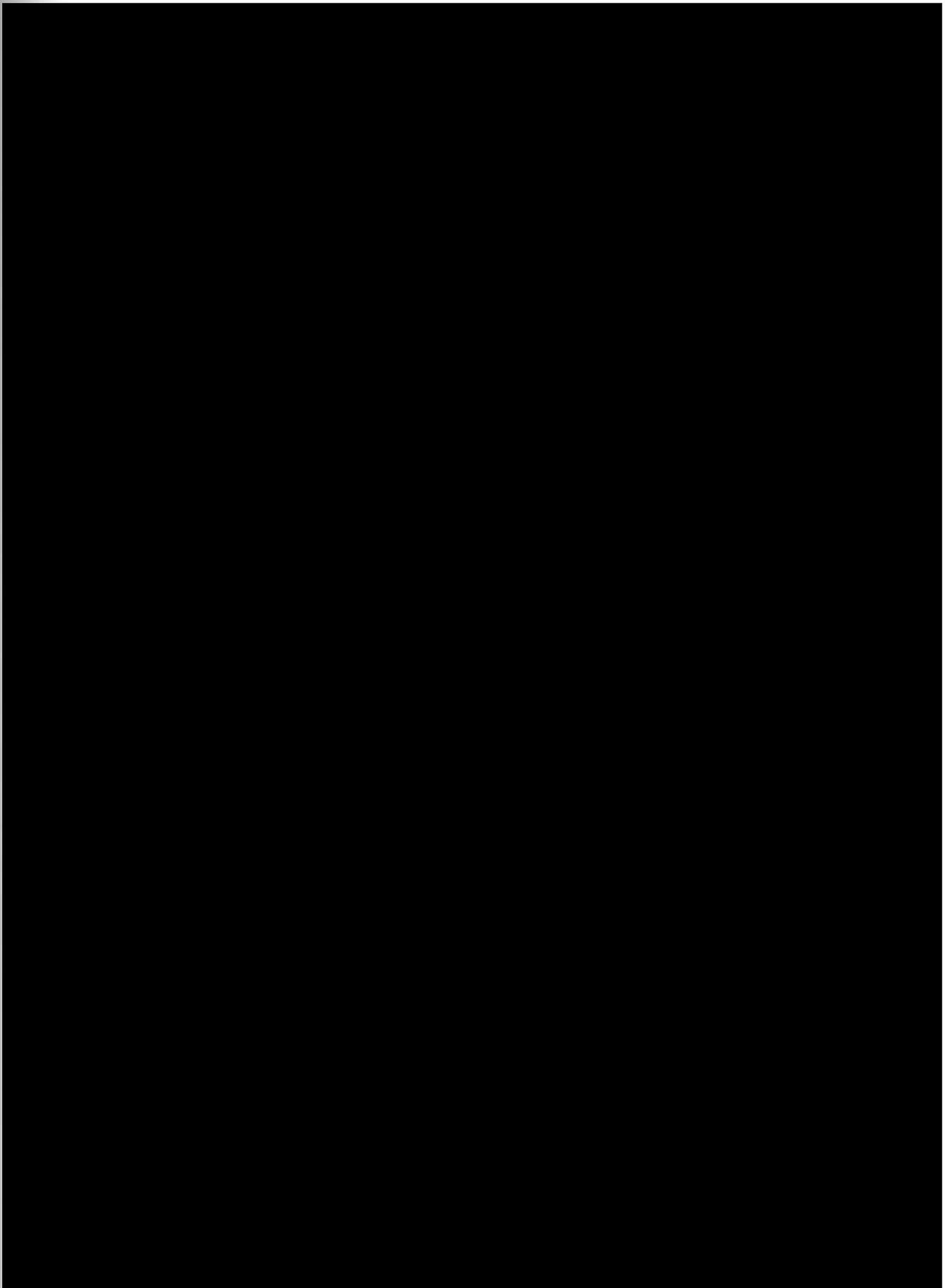
これら2回の事故は、いずれも揚圧力の作用によると推定されている。すなわち、1度目の際には透水性の基礎岩盤からの揚圧力を受けたことと、堤体基礎の厚みが少なかったためミドルサードの原則を満足しておらず、上流面基礎部に引っ張りが生じ基礎岩盤から分離されたことにより滑動したと考えられている。また、改修後においても堤体上半部は依然として厚みが不足しており上流面に張力を受け続けたことに加え、ダム高に比べて堤頂長が長いために温度差による膨張収縮を受け、石積みの堤体内部には多くのクラックが生じていたことが推定されている。これらのクラックによってメンソリー内部における内部水圧が作用して、堤体の決壊に及んだと考えられて

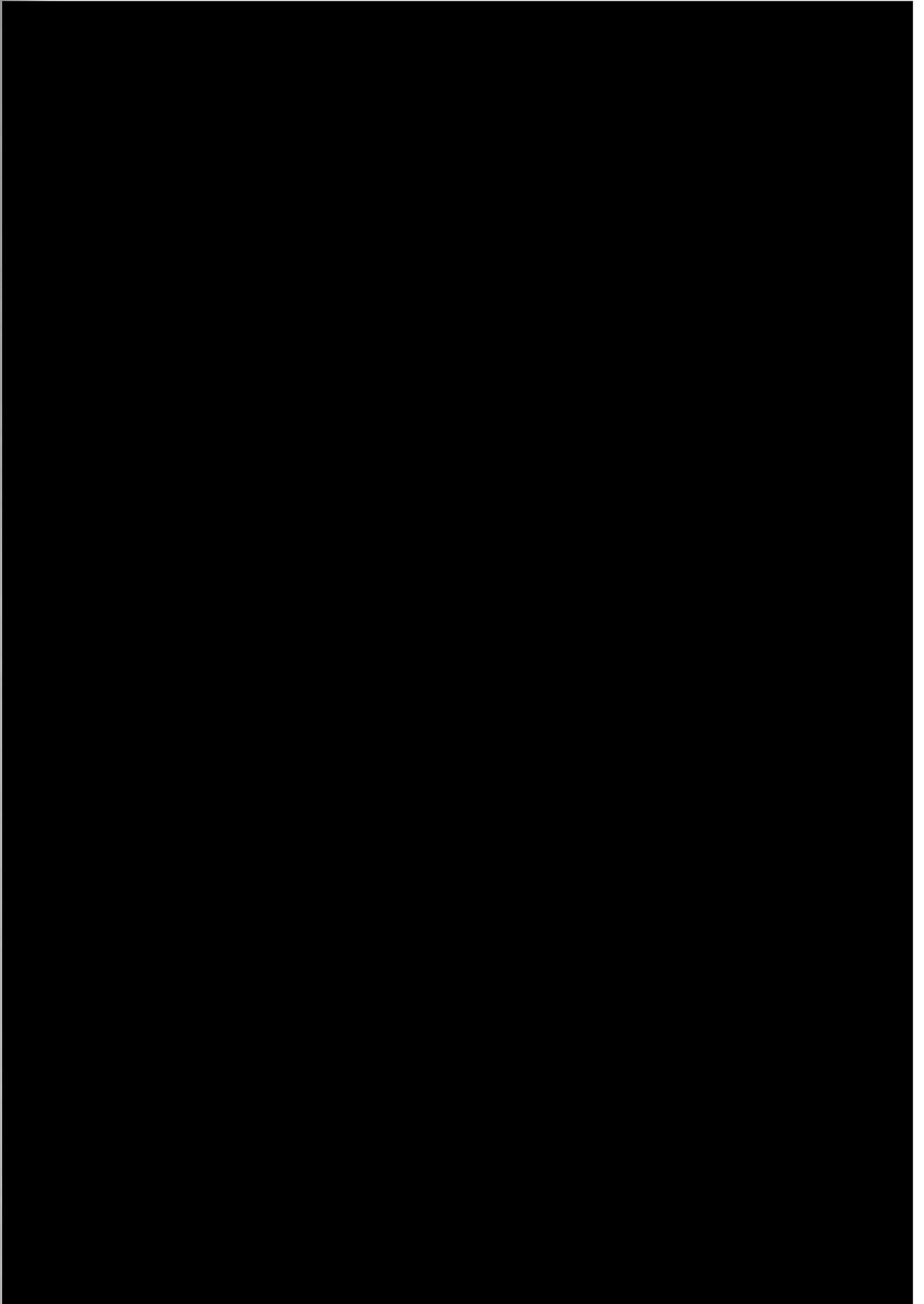
いる。

現在、我々が見ることのできるブゼダムは、1901～1902年に改築、高上げされたもので、銅板のジョイントが挟まれていたが、決壊の跡や基礎岩盤の性状を確認することはできなかった。東運河は現在も共用されているようで、貯水池はモゼール川上流からの導水により多くの水をたたえていた。また、エピナールの町では運河を引き込んだ荷上げ場所やモゼール川本流を立体交差して越える運河橋を見ることができる。



ブゼダム旧堤体（手前石積）と新ダムの上流面（岡本氏撮影）





2) ロズランダム

藤井 映 (株 建設技術研究所大阪支社)

Bourg-St. Mauriceから西方へ、途中小雪溪に阻まれてダム見学は断念せざるをえませんでした。本ダムについては「大ダムNo.113(1985-93)」に記載した資料から以下に引用しておきます。特徴としてはアーチダムとバットレスダムとの複合ダムで、特に左・右岸側に高さ数10m、堤頂長数100mのバットレスダムという長大な薄い堤体が水を支えている様子は日本では見られない雄大な光景であったものと思います。

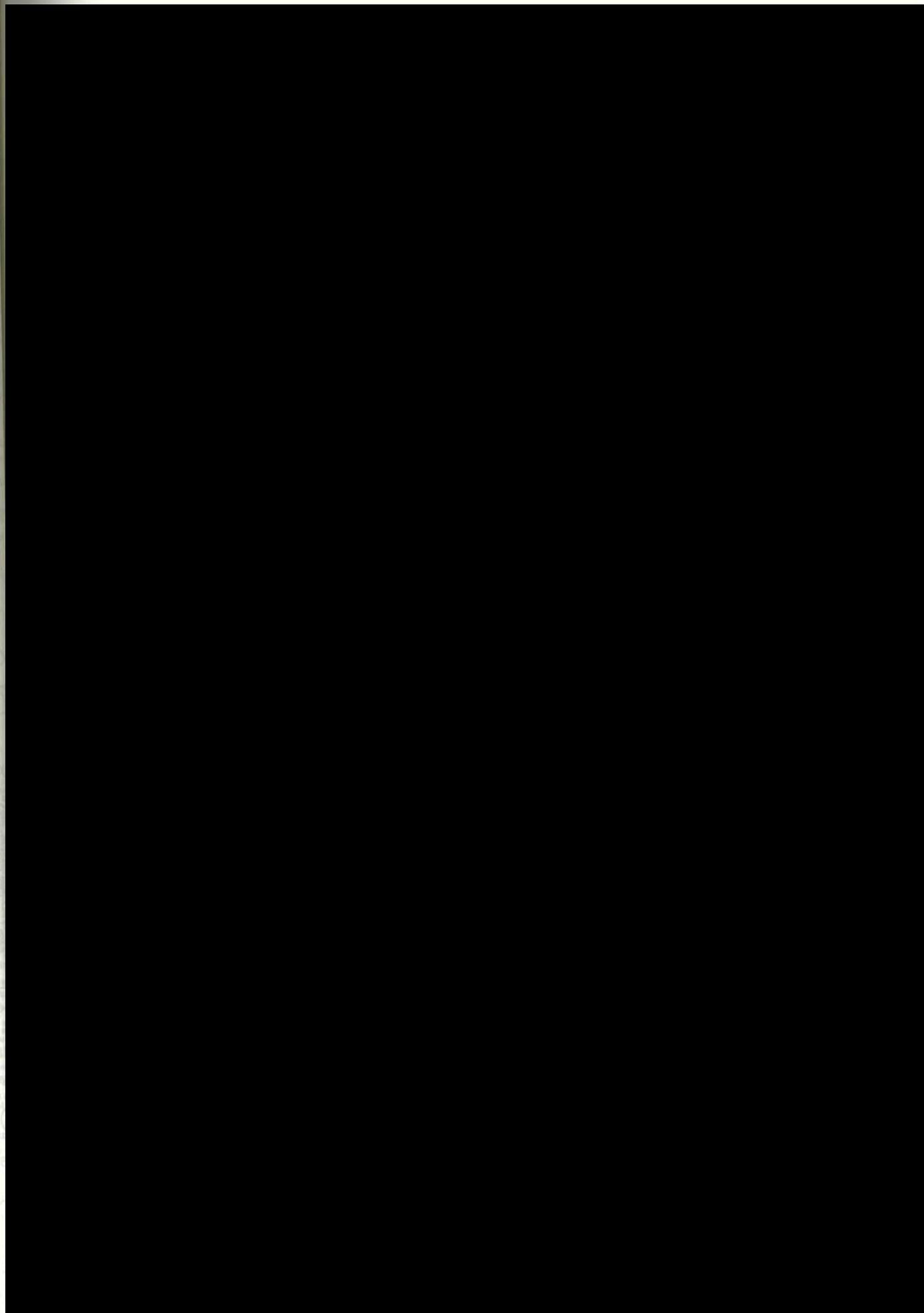
『本ダムは Sivoie 地方の Doron de Beaufort 川に建設されたもので、総貯水量 185,000,000m³の Arch and Buttres タイプのダムである。本ダムは Isere川流域開発計画の主要施設の1つで、その他に Saint-Gurein ダム (13,000,000m³)、Gittaz ダム (13,000,000m³)、総計45kmに及ぶ水路および 540MWの能力をもつ地下発電所から計画されている。

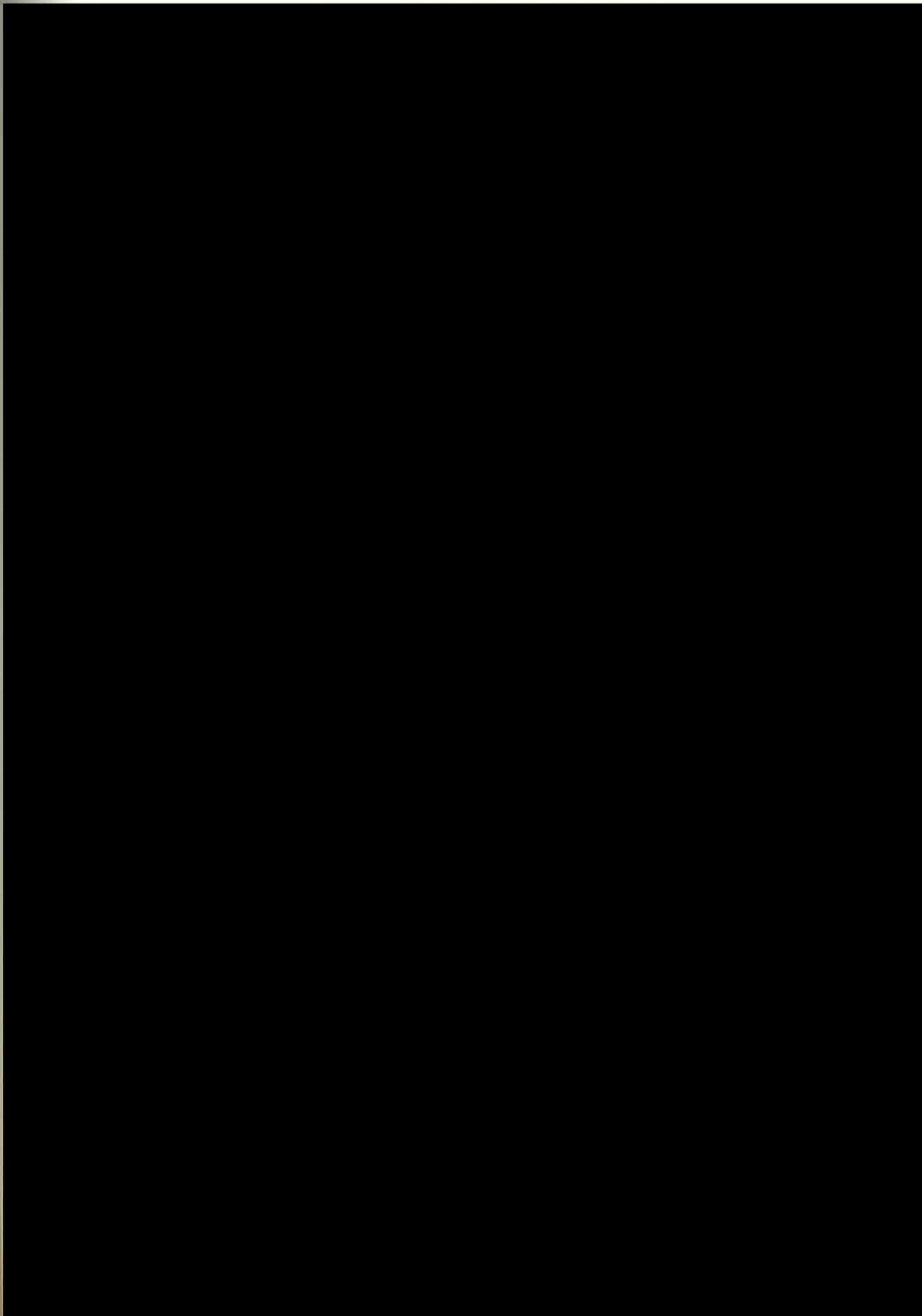
本ダムはアーチダムとバットレスダムの複合ダムであるが、ダムサイトの地形は低部で結晶片岩が侵食された深い峡谷をなしている。右岸部はコンパクトな岩盤で高いアーチダムの建設が可能であったが、左岸部に断層があり、また岩盤の立ち上がりも標高 1,500mまでであったことから、高いアーチダムの建設は不可能であった。そこで峡谷の低部をアーチダムとし、両岸の結晶片岩の突出部をバットレスタイプとすることでバットレスに加わる荷重をアーチ作用で両岸のアバットに伝達することが可能となったものである。

本ダムの左岸部においてコンクリートと岩盤の境界、及びコンクリートにクラックが発生し、EL. 1,567mの満水時で約 540ℓ/min の漏水が生じた。このため池敷側にコンクリートのブランケットウォールを施工するとともに、監査廊から Sipro-gel grouting を実施した結果、漏水量は約90ℓ/min に減少した。原因は岩盤の掘削とコンクリート形状からこの部分に大きな回転モーメントが作用したためと考えられている。』

ダム諸元を以下に示す。

- (i) タ イ プ …… Arch and Buttresタイプ
- (ii) 堤 高 …… 150 m





堤 頂 長	……	804 m
(iii) 総 貯 水 量	……	185,000,000 m ³
(iv) 堤 体 積	……	945,000 m ³
(v) 洪 水 吐	……	表面洪水吐なし
底 設 排 水 工	……	45m ³ /s × 2
(vi) 流 域 面 積	……	45km ²
(vii) 目的及び完成年	……	発電、1961年



ダム手前の標高 1,925mの峠 … 雪溪のため通行不能



ダム全景〔写真提供 —— 和作 幹雄氏（建設技研）〕

3) ティニユダム

尾園 修治郎 (株 建設技術研究所大阪支社)

このダムは1952年に建設されたEDF (Electricite de France) 所有のアーチダムで、その規模こそ堤高 180m とかなり大きいものの堤体の形状、基礎岩盤などには特に顕著な特異点はない。しかしながら下流面一杯に描かれた半神の巨人ヘラクレスは、訪れた者に強烈な印象を与えずにおかない。

ダムサイトへは、イタリア国境、アルプス山脈の最高峰モンブランへもほど近い Bourg-St. Maurice の町から Isere 川に沿って約 22km、所々にオーバーハング気味の露岩が迫り出す山道を車で約 30 分の行程である。ダムサイト周辺地域はスキー場、温泉場などを中心とするリゾート地で、ダムサイト左岸のアバット付近にもスキー宿、レストハウス、リフト小屋などが立ち並んでいる。

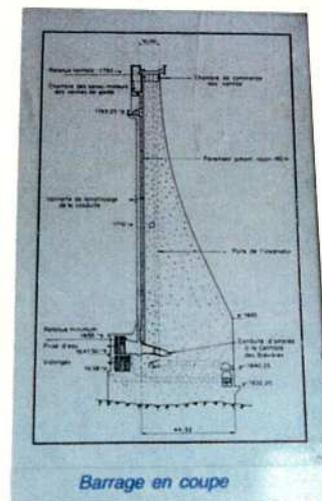
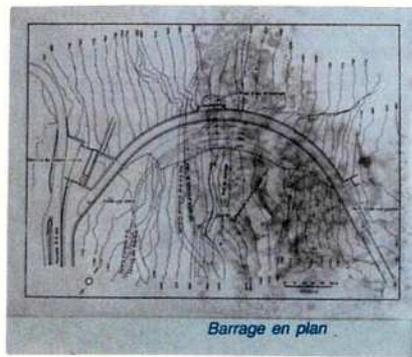
ダムサイト～貯水池周辺は、先上部石炭紀の雲母片岩類を基盤岩として、二疊紀～古第三紀始新世にかけての石灰岩、泥灰岩、結晶片岩、石英質砂岩などからなるオフィライトを含む石灰質片岩を主とする最も大規模なナップ (= Schistres lustres) が載っている。なお、この Schistres lustres の下限はダムサイトの下流約 5 km 付近で Isere 川をかすめ通っているが、今回の道中では確認できなかった。

ダム基礎岩盤は三疊系下部の石英質砂岩を主とする地層により構成されている。展望台から見渡すかぎり左右岸ともに比較的単純な構造の地層が懸崖をなして連続しており、岩盤状況はかなり良好であったものと推定された。アバット面付近を見ても、基礎掘削は相当に浅い印象を受けた。

さて、既述のようにこのダムの特徴は何といても下流面に描かれたヘラクレス像のみごとさであった。林を抜けてダムサイトに到着すると、それまでおぼろげに見えていた人物の上半身のようなものが突如眼光鋭いヘラクレスとなって現れ、訪れた人を圧倒する——展望台はちゃんと下流側に設けられている。彼は下流を見据え、右腕は右岸アバットをガッチリ押さえて両肩にのしかかるダムを支えている。その大きさはと言えば顔の長さは約 30m、目の大きさは約 3 m はある。しかも大きいばかりではなく、ゆるやかにカールした髪は今にも風に揺れそうだし、浮き出した血管までが見えるようである。さらには実際に彼がそこに立っていれば映るであろう影までが描

かれており、その存在感には言葉を失う。

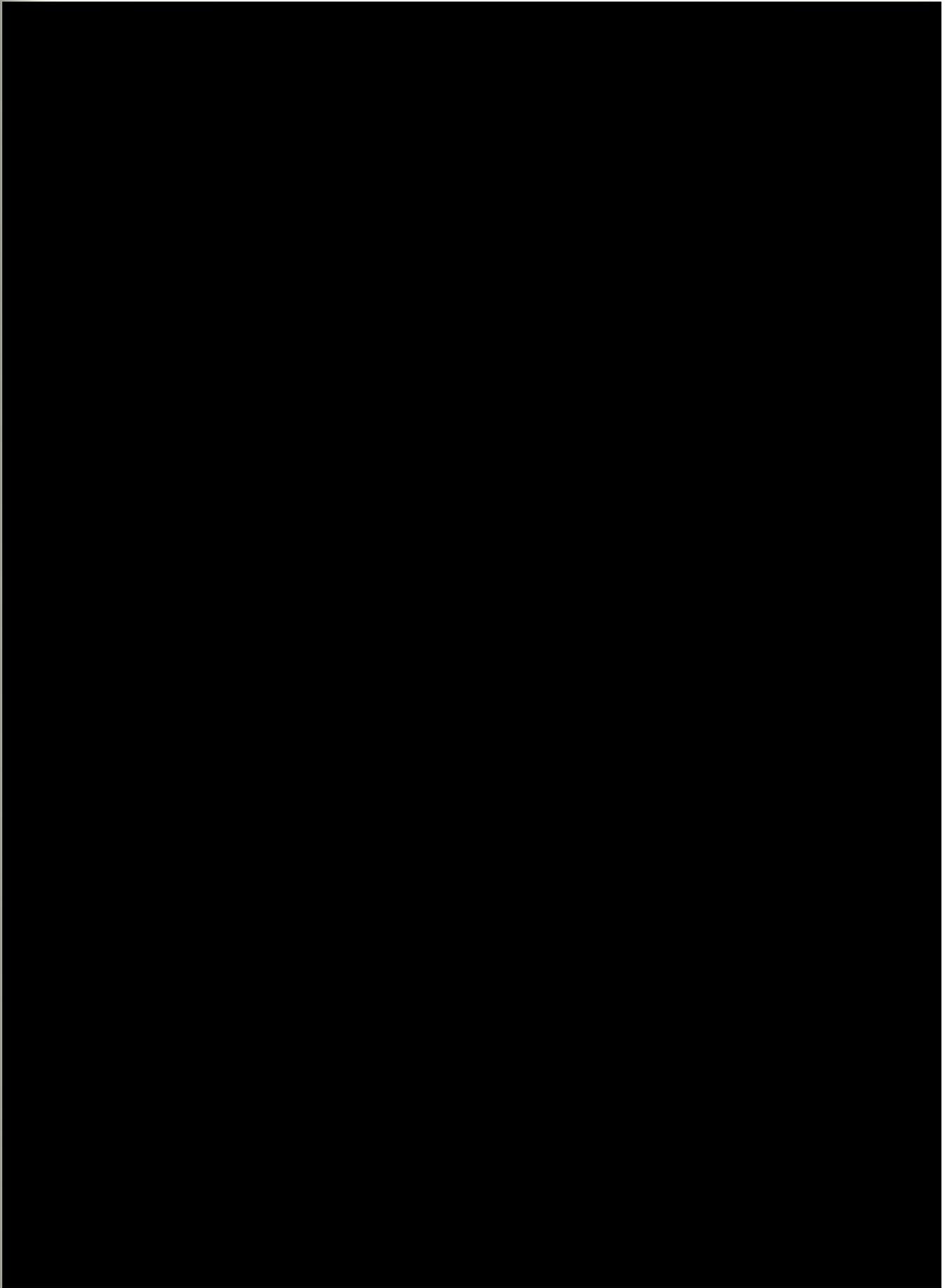
アーチダムの下流面に絵を描く、しかもこれほどまでにリアルな絵を描くフランス人のセンスには感服せざるを得ない。しかしなぜか彼には左腕がない。これはどうしたことであろうか。地質図は P25 に示す。



CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES	
Type : barrage «Voûte»	
Cote de la route sur le couronnement	1792 m
Niveau normal de la retenue	1790 m
Longueur totale en crête	420 m
Hauteur	180 m
Épaisseur en crête	10 m
Épaisseur à la base en clé	43,57 m
Volume de béton	633 000 m ³
Capacité normale	235 millions de m ³
Superficie inondée	270 ha
Total des bassins «amont» capté	270 km ²
Débit maximum de la prise d'eau	50 m ³ /s
Coût (en 1952) 55 milliards de francs	
5000 personnes ont travaillé sur les différents ouvrages	

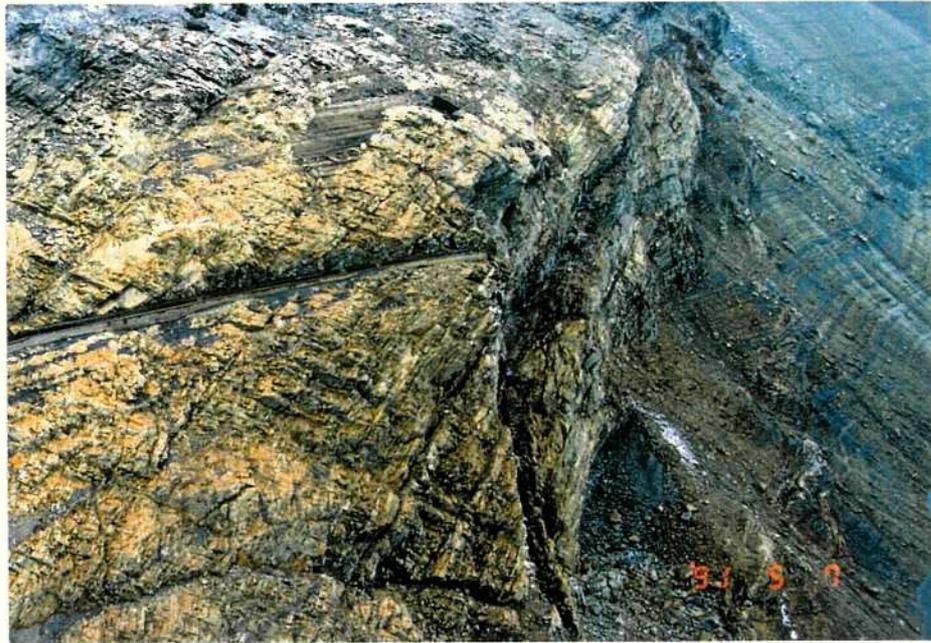
ティニュダム諸元 (市川氏撮影)

視察ダム位置図 (縮尺 1:200,000 1:25,000)

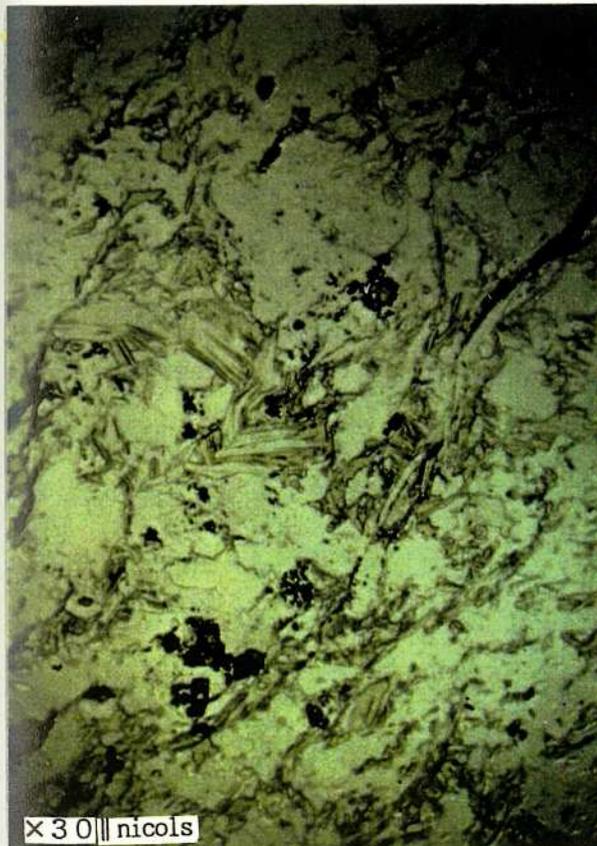




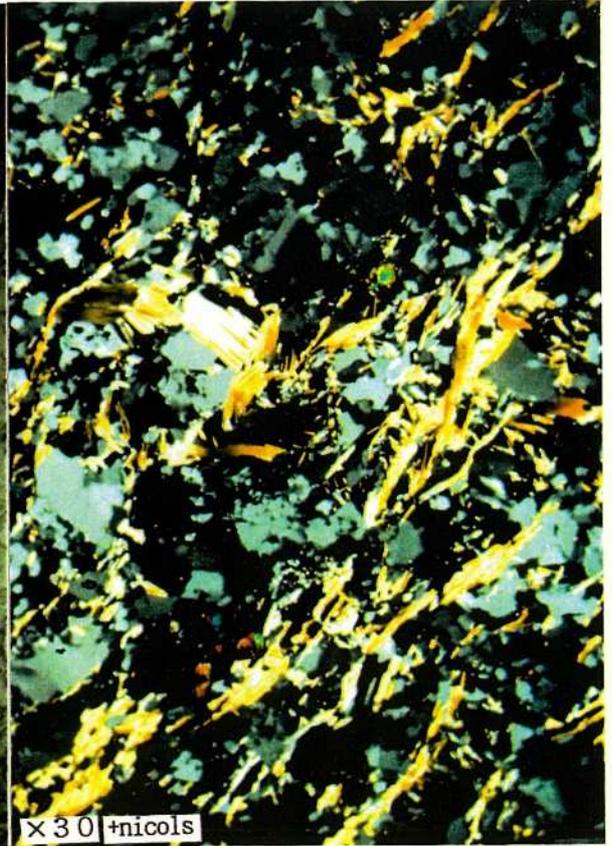
テイニョダム（岡本氏撮影）



ティニューダム右岸アバットメント付近の岩盤
 (石英質砂岩) (岡本氏撮影)



×30 || nicols



×30 +nicols

2. TIGNES DAM.

変成岩.

(羽田氏撮影)

4) セルボンソンダム

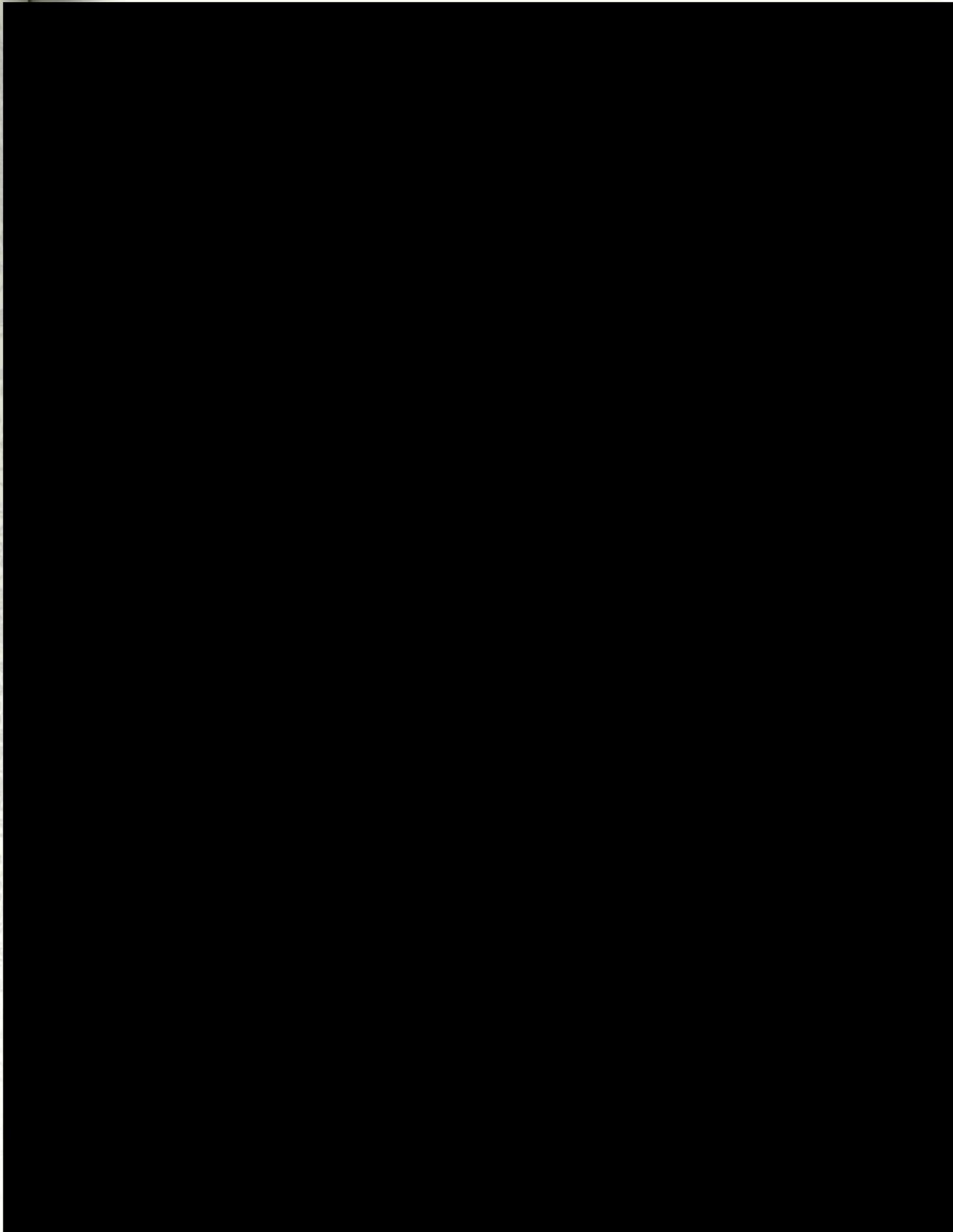
西谷 正司 (株 日本工営)

セルボンソンダムはフランス南東部、イタリアとの国境山岳地帯に位置し、ローヌ川支流デュランス川に発電及び灌漑を目的として1960年に建設された高さ129m、総貯水量1,270,000,000m³のフィルダムである。ダムサイトは中生代ジュラ紀下部の石灰岩層が全面露出する峡谷であり、河川合流点直下のV字谷の狭隘部に位置しており、地形的にダムサイトとして理想的な所である。この石灰岩層は上流側へ約30°傾斜する堆積構造を示しており、ダムサイト周辺の尾根地形は明瞭なケスタ地形を呈している。

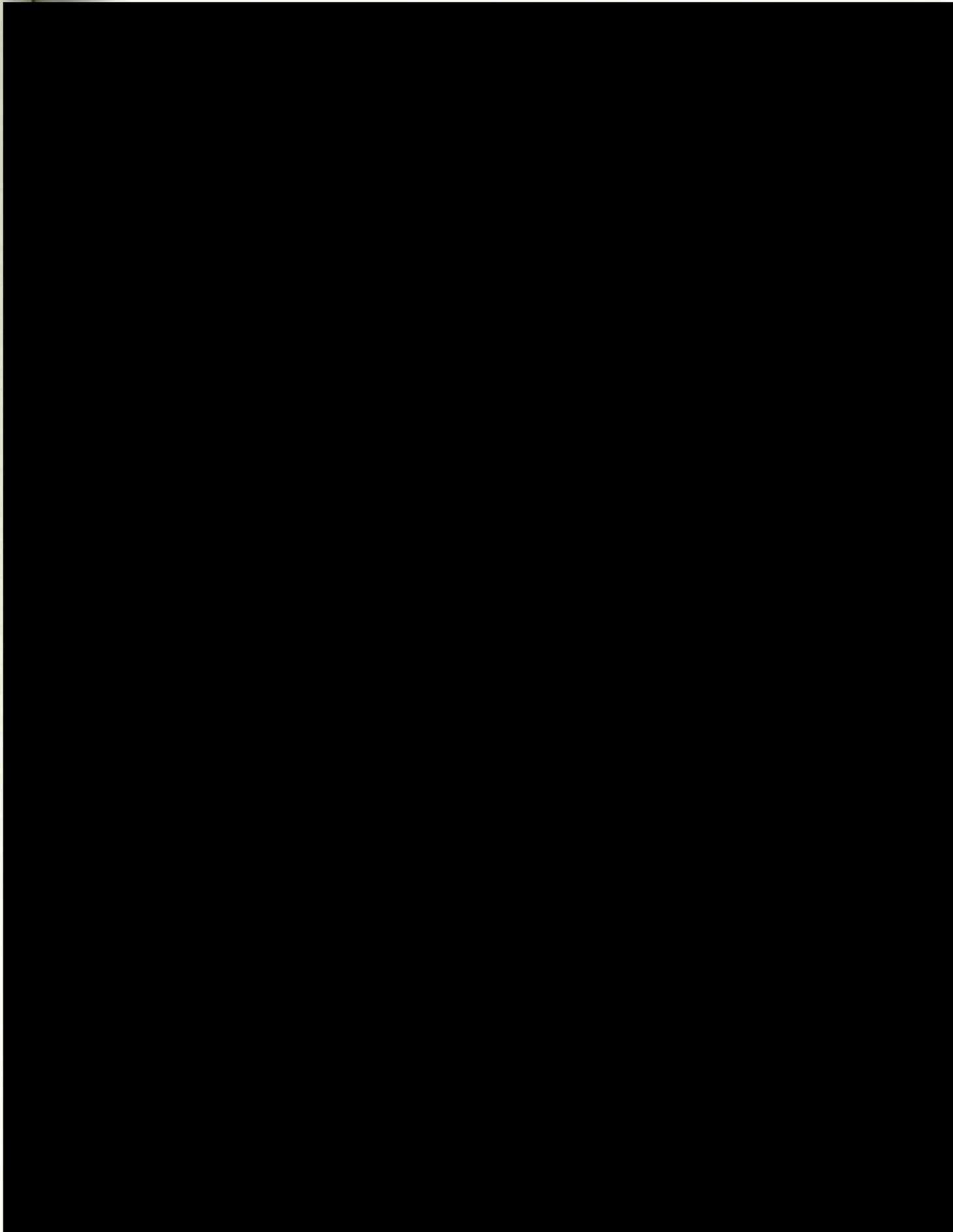
このダムの特徴は、V字谷に堆積した約110mの水河堆積物上にダムが建設されている事と、ダム中央部付近に残存する小尾根を取込む形で築堤していると共に、この部分から堤体が上流側へ屈曲している事である。この水河堆積物は、貯水池内の斜面で見ると、礫分の混入がかなり多いもののマトリックス部分は粘土・シルト等の細粒分が多く、良く締まっている様に観察された。ただ、このような未固結層の上にコアゾーンを乗せると共に、止水処理もグラウチング(約100,000m³の粘土セメントグラウト)により施工している例は日本では考えられないことである。また、築堤材料は河床に分布する水河堆積物を利用し、細粒分はコアゾーンへ、粗粒分及び礫分はシェルゾーンあるいはリップラップとして盛っていると思われ、ダムサイト周辺の利用できる材料でダムを建設するというフィルダムの特質を最大限生かしたダムではないだろうか。このダムでは建設後、定点観測、ピエゾメーター、間隙水圧計、漏水観測等のモニタリングを実施しているが、変位及び漏水量は問題となるものではない事が確認されている。

本ダムの視察は日程上わずかな時間であったが、雄大なケスタ地形中に形成されたV字谷峡谷の地形を最大限利用し、現況の地形をほとんど改変することなく(洪水吐もトンネルスピルウェイ)、しかも未固結層をダム基礎に残したままダムを建設する等の発想と技術的チャレンジには敬服するばかりである。また、貯水池と冠雪のアルプスの山々との見事な調和、そしてフィルダムならではの周囲の自然とマッチした景観には、あらためてダムの美しさを認識すると共に、自然環境との調和の大切さを痛感した。

視察ダム位置図 (縮尺 1:200,000 1:25,000)

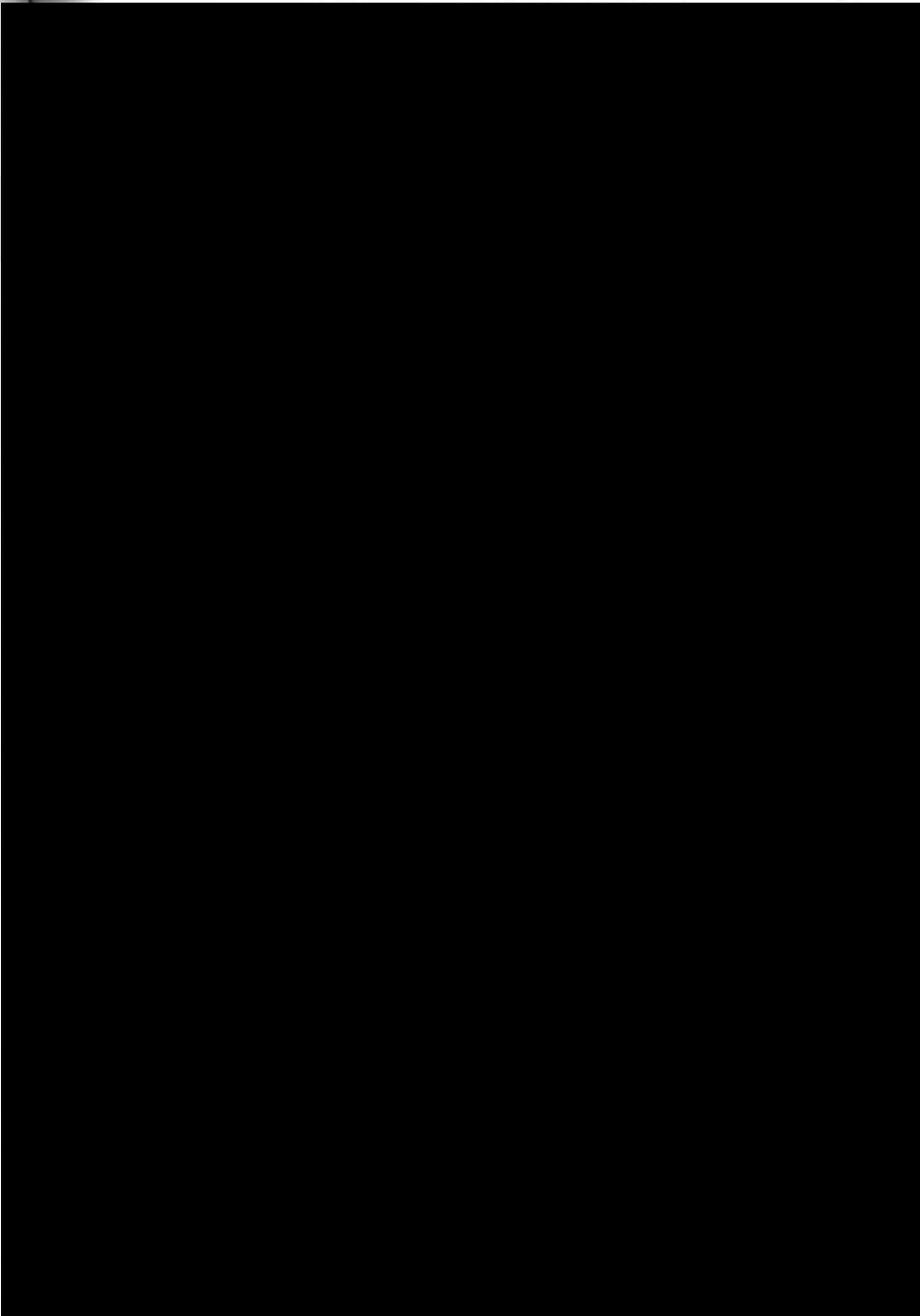


視察ダム周辺地質図 (縮尺 1:250,000)



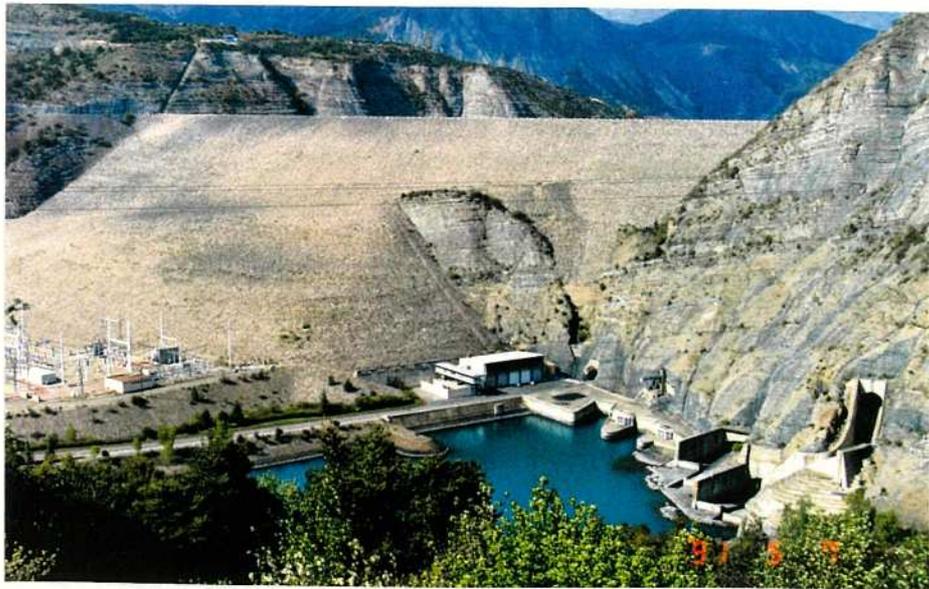
次に、本ダムの諸元をまとめた。

- ・ダム形式 : 中央遮水型ロックフィルダム
- ・堤高 : 129m
- ・堤頂長 : 600m
- ・堤体積 : 14,100千 m^3
- ・総貯水容量 : 1,270,000千 m^3
- ・湛水面積 : 28 km^2
- ・洪水吐 : 表面洪水吐1,800 m^3/s 、底設排水口600 $m^3/s \times 2$





セルポンソングダム上流面（金子氏撮影）



セルポンソングダム下流面、洪水吐、発電所（岡本氏撮影）

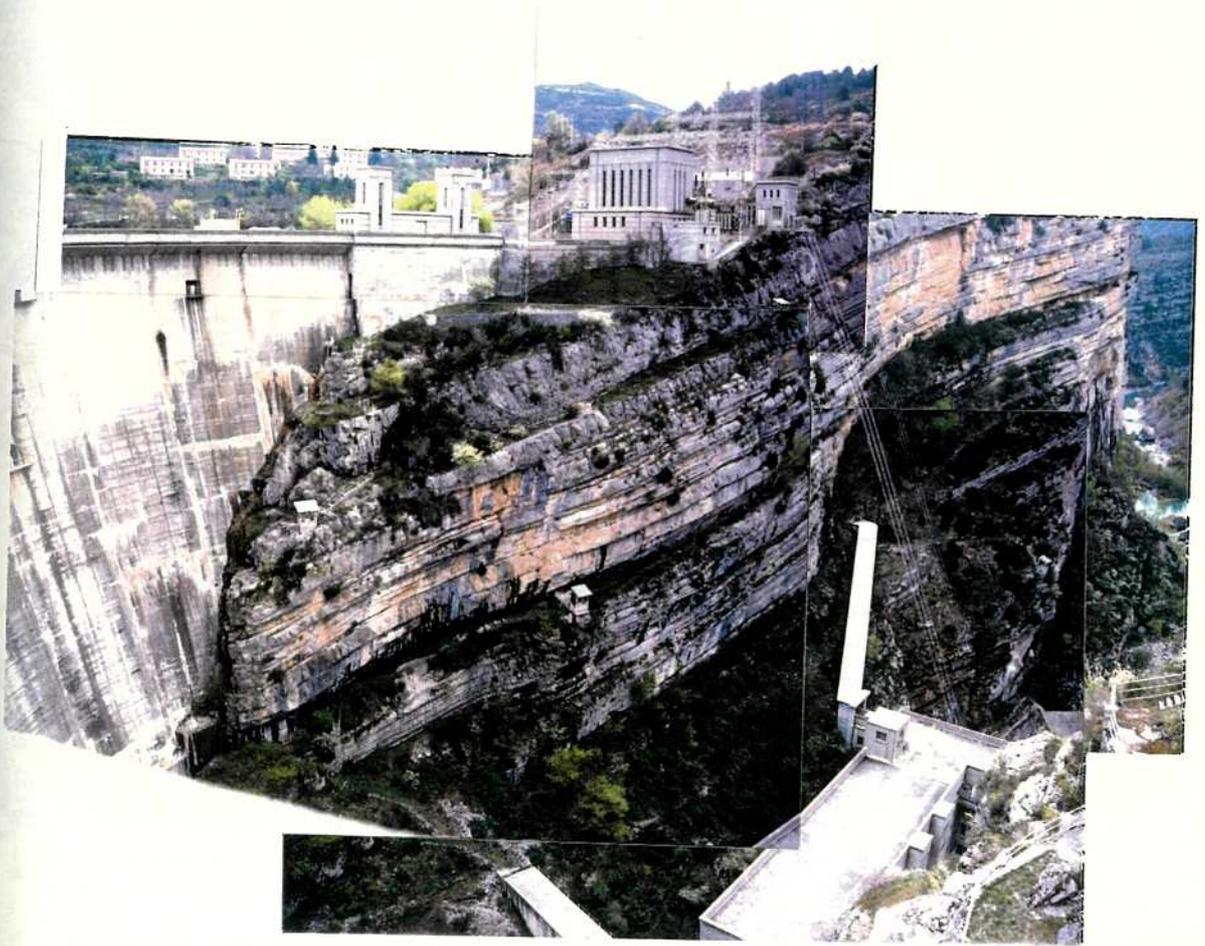
5) キャステヨンダム

市川 慧 (建設省土木研究所)

本ダムは当初予定に入っていなかったが、行程の途中、少し寄り道をすれば、サイトに到達できる事が判り、立ち寄ったものである。このダムに関する資料は大ダム会議や各種の雑誌からは発見出来なかった。

写真で見るとおり巨大なロックアンカーで岩盤処理しており、日本ではなかなか見られないものである。また、左岸側山体は写真のように薄く、種々の計測器が配置されているようであった。



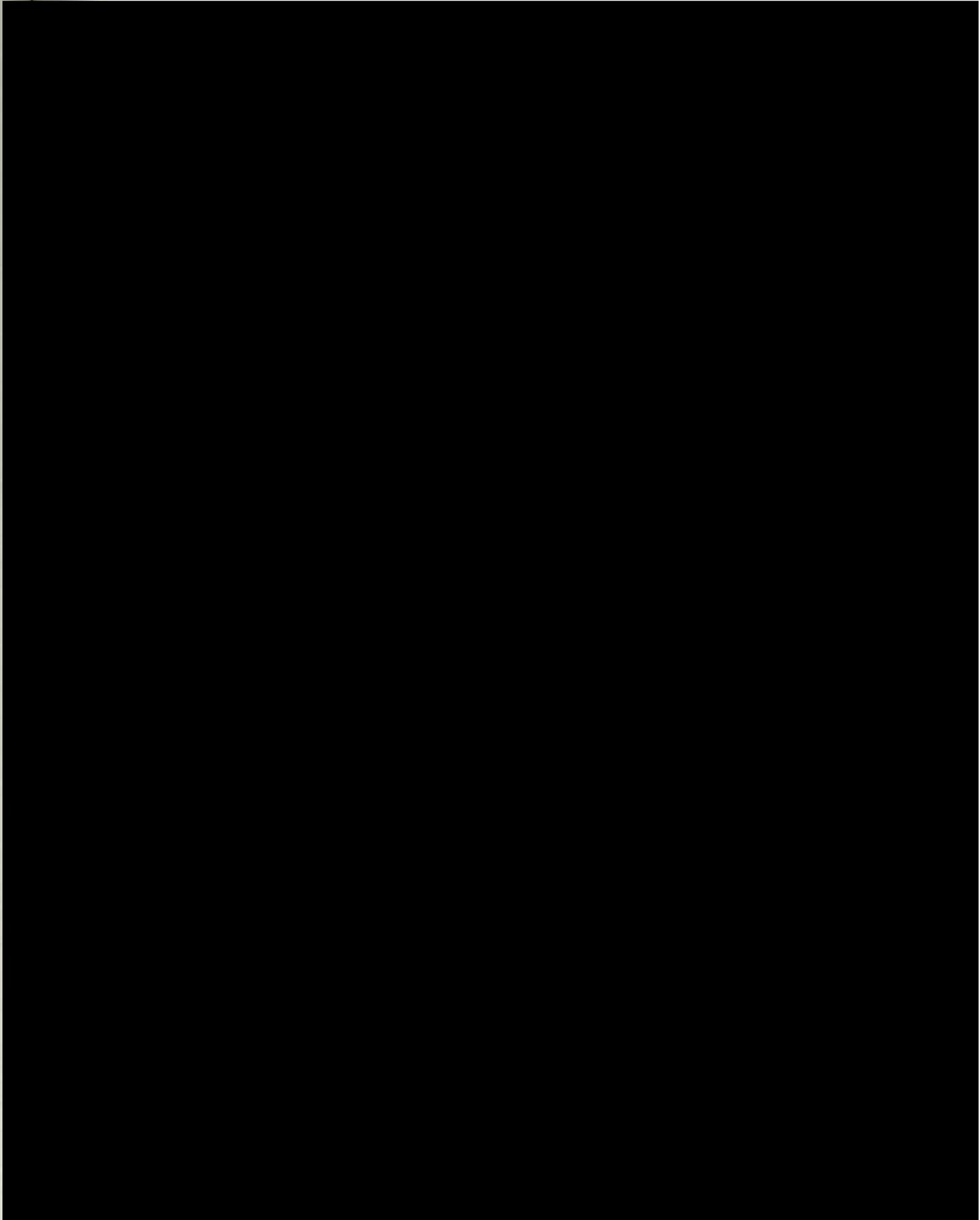


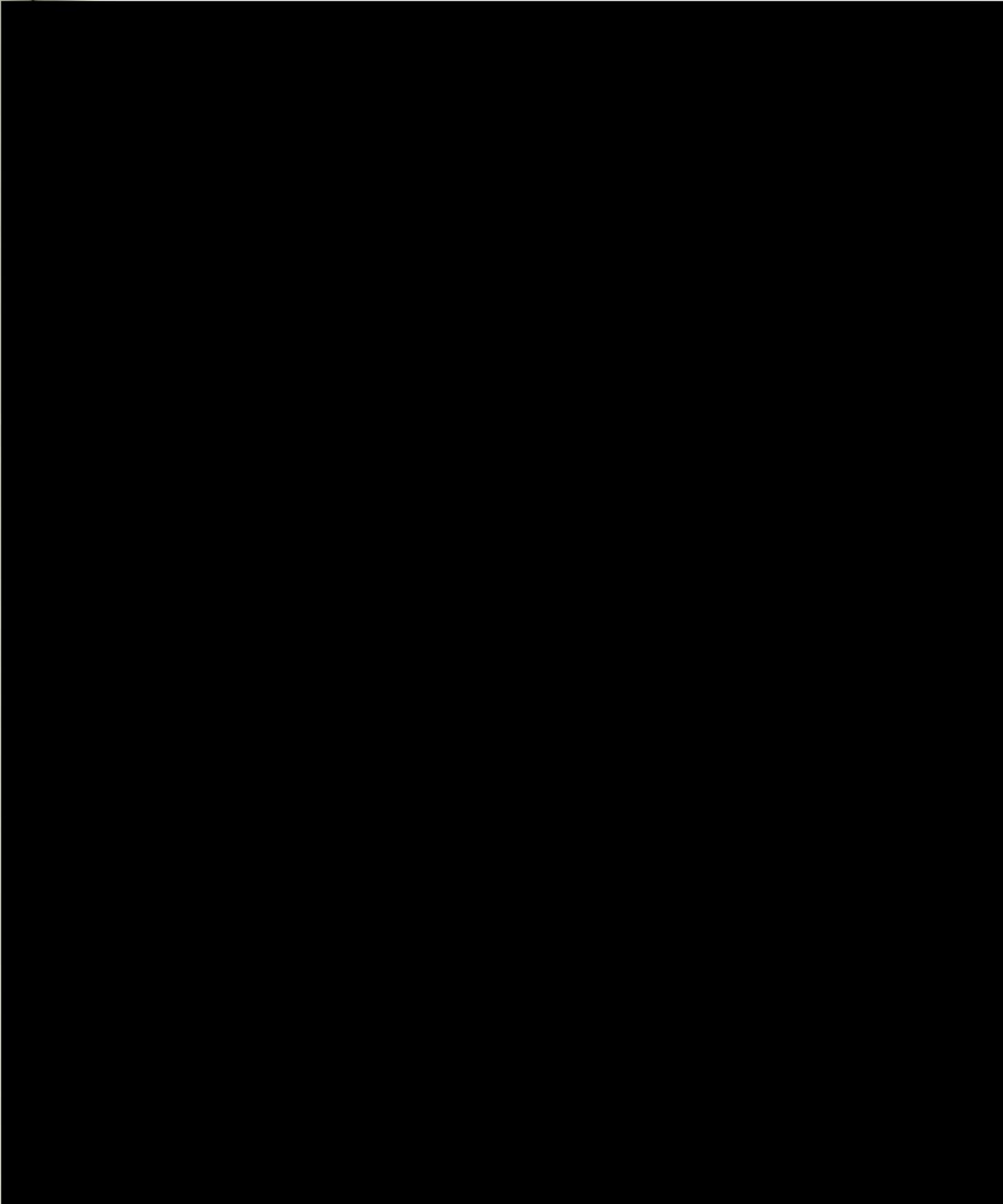
写真（市川氏撮影）



写真（金子氏撮影）

視察ダム周辺地質図 (縮尺 1:250,000)





6) マルパッセダム

Oliver Fabbri (株 建設技術研究所福岡支社)

Every engineering geologist, every dam designer should pay a visit to the Malpasset dam site. Indeed, when one can see the ruins which remain impressive (height of the dam : 59m), when one imagines the catastrophic flooding of the villages and towns located downstream, when one remembers the psychological disarray of the French population following the announcement of the failure, one wants to know why the dam collapsed and if it could have been avoided.

The site basement consists of metamorphic rocks ("gneiss" in the French literature, but they can also be called schists as well), a few pegmatitic veins, and rare minor rhyolitic dykes. If no major fault can be seen on the site, seams (a few centimeters thick) and fractures are conspicuous, if not abundant. This obviously would deserve at least investigations by drilling or even by digging adits. This feeling is confirmed by Professor Corroy who was in charge of the geological investigation of the site, and who wrote in his report : "all the surface observations show that the Reyran gneiss series is far from being homogeneous, and that the basement of a dam at that place should be carefully investigated. It is particularly important to note that the downstream dip of the gneiss and the existence of pegmatite veins, with phenocrysts which can be easily weathered, can lead to water infiltration through the rock basement below or beside the dam". But these investigation works were only partly achieved. The reason is that a government inspector from the Ministry of Agriculture estimated that the rock conditions were good enough, and reduced by more than two third the budget for the geotechnical investigation of the site.

A second problem consists of the filling of the reservoir. The dam was completed in the summer of 1954, and the filling began during the rainy autumn of the same year. But this filling was limited to elevation 85m (elevation of normal water level : 98.5 m) because of legal and administrative problems related to the expropriation of owners in the reservoir area upstream. It is only in the autumn of 1959 that the water level was raised up significantly, reaching for the first time, on December the 2nd, 1959 (a few hours before the collapse), the surcharge level. This last stage of filling, which is the most critical in the life of a dam, was not done with enough care. In particular, a few days before, there had been measurement of the arch downstream motion, but the results were known by the designers only after the collapse.

These two points (limited geotechnical investigation, lack of care during the final stage of reservoir filling) deserve to be checked on the official reports of the various legal investigations which took place after the accident.

マルパッセダム視察報告

福田 健大 (株)ダイヤコンサルタント 東京支店)

〔視 察 日〕：平成3年5月8日

〔ダムの概要〕：所在地；フランス南部カンヌ地方レラン川

(河口のフレジュスから約13km上流)

形 式；薄肉コンクリートアーチダム

堤 高；61m

貯水容量；4,930万 m^3

地 質；片麻岩

〔施 工 年〕：1954年

〔視察の目的〕：1959年(昭和34年)に崩壊事故を起こし、基礎岩盤の滑動が原因であったため、ダムサイトの立地環境(地形・地質及び基礎岩盤)を視察する。

〔視 察 結 果〕

- ・河床に沿って下流側からダムサイトに踏査を行った。
- ・ダムサイトに近づくにしたがって、河床には破壊したコンクリートの大きな破片が多くなる。1個の破片は大きい物で3～5mあり、岩盤の一部が付いている物も認められる(ブロックせん断試験の跡の様な感じ)。
- ・谷の形状は比較的開いたV字谷であり、山腹斜面に露岩が多いことを除くと、必ずしもアーチダムに適した谷ではない。
- ・ダムサイトはリビエラ川が曲流する地点に設けられており、右岸側は攻撃斜面で、左岸側は小さな尾根になっている。
- ・河床の砂礫層は露岩が点在することから比較的薄いと想定される。
- ・ダムサイト右岸斜面の傾斜は約35度程度で、岩盤が河床から尾根まで露出している。岩盤自体は個々のブロックを見ると比較的新鮮で堅硬であるが、亀裂が発達しており、地表から比較的浅いところでは亀裂に沿う風化が認められる。亀裂の卓越方向は河川と平行方向の走向で、谷川に35度内外で傾斜している(この地区の一般的な地質構造と思われる)。また、谷に直交する方向で高角の亀裂も発達

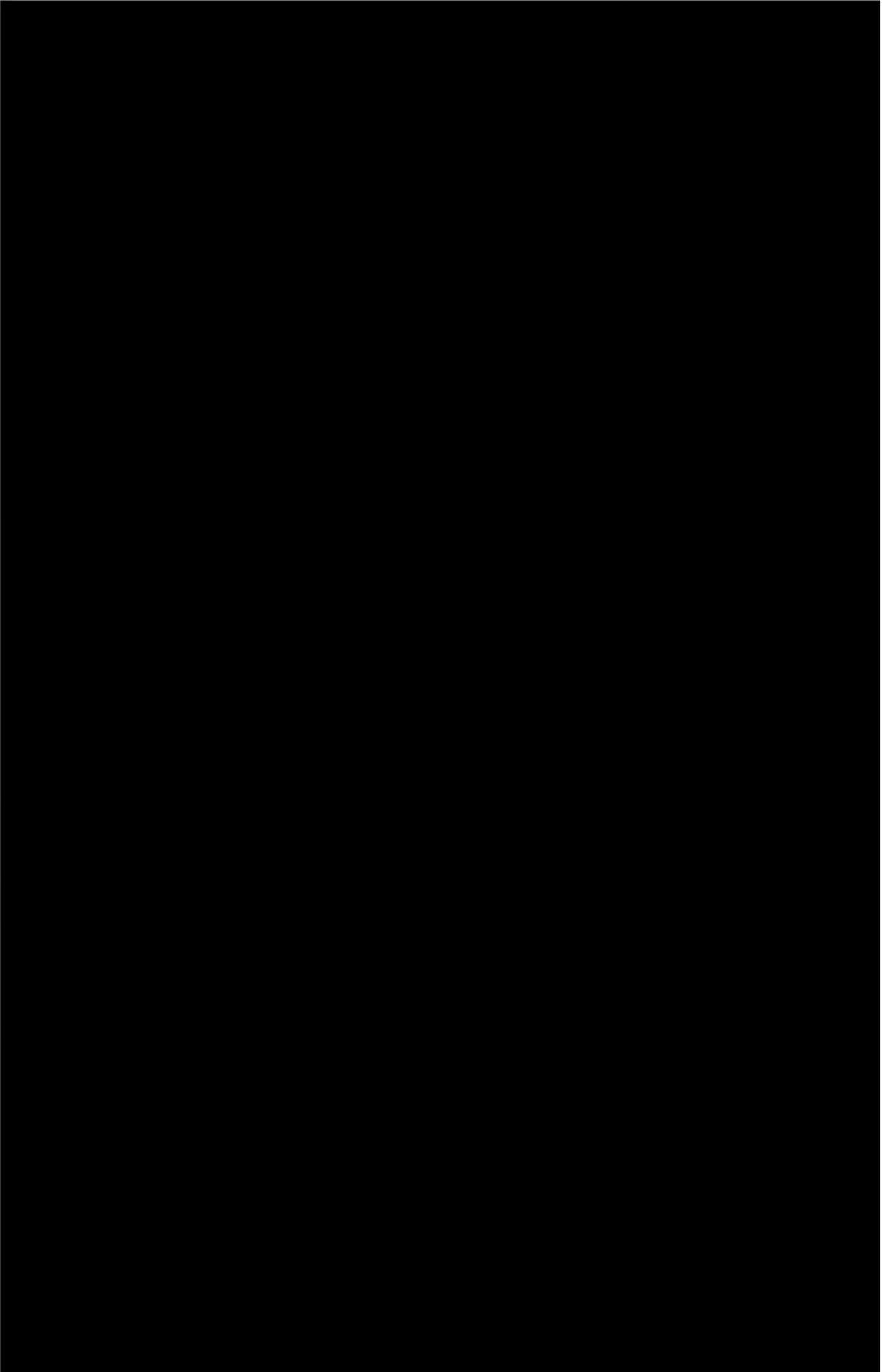
しており、右岸側も必ずしもアーチダムに適した岩盤ではない。

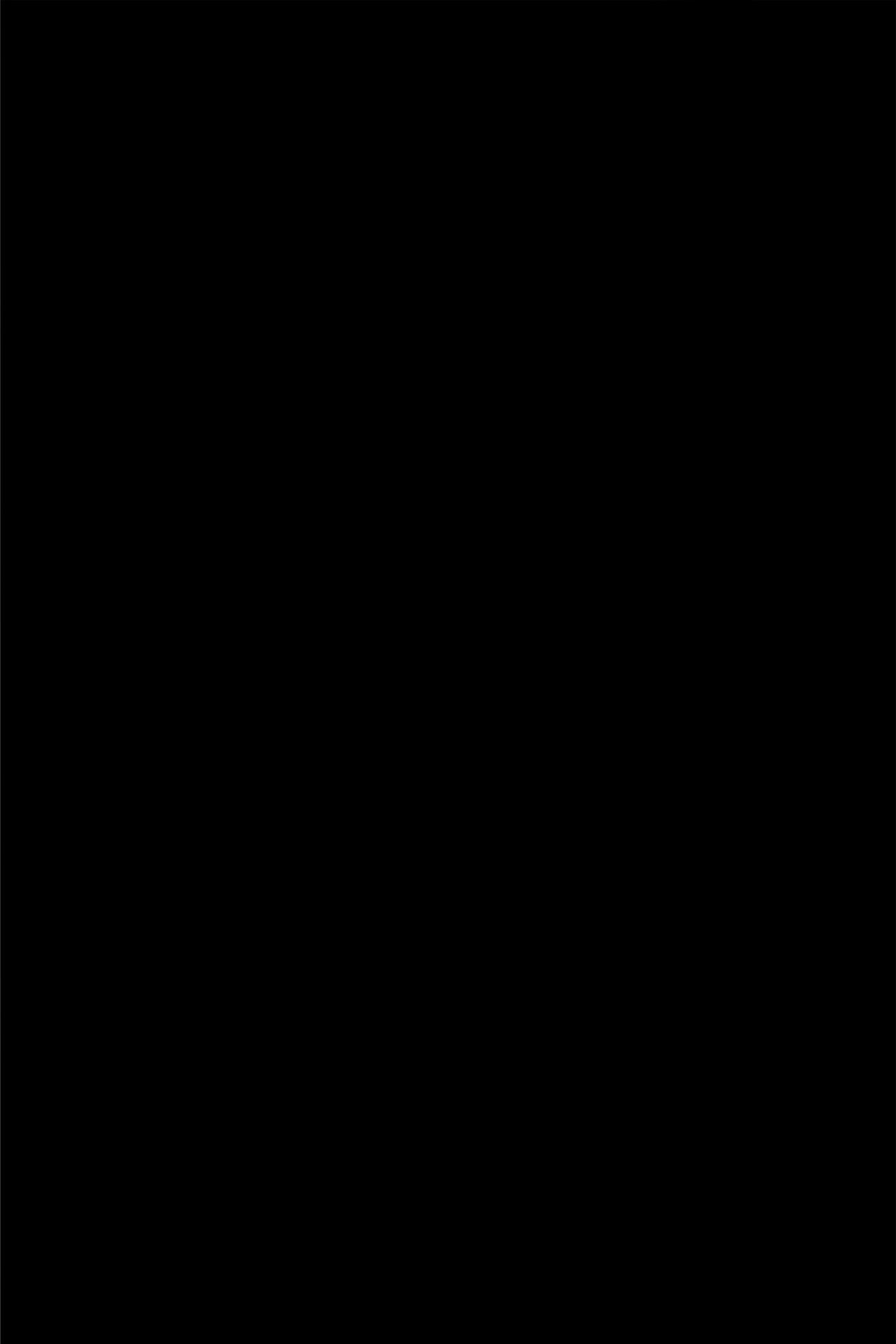
- ・ダムサイト左岸斜面は山腹の小さな張り出した部分に当たっており、右岸側に比べると全体的に岩盤がやや風化している。アバットの直下流で粘土化したシームを視察した。左岸の岩盤滑動の原因となった滑り面が直接露出しているのが観察される。この滑り面は下流側へ約35度傾斜するものと、上流側へ約35度傾斜するものがあり、2つの面で囲まれた楔状のブロックが飛んでしまって現在では凹部をなしているのが観察される。
- ・残存するコンクリート堤体は、左岸側には上部にスラストブロックの一部が残っているのみで、ほとんど存在せず、河床から右岸にかけて堤体の下部が残っているのみである。
- ・現場を視察して強く印象に残ったことは、地表に調査横坑の跡が全く無いことと、ほとんど基礎掘削がされておらず、自然の岩盤面に直接コンクリートを打設してダムを建設した印象を受けた。
- ・崩壊事故の最大の原因は、土木地質的観点からの基礎岩盤調査が不足していたことと、当時の薄肉アーチダムという最新の設計思想に過信があったことが考えられる。
- ・現在の日本のダム技術からすれば、このようなことは考えられないことであるが、この事故を教訓にしてダム技術が進歩したことを考えると、マルパッセダムの現場は永久にこのまま保存してほしいと思う次第である。
- ・フランスのマルパッセダムにしても、この後視察したイタリアのバイオントダムにしても、重大事故を起こした現場がそのままの状態ですぐに片付けられるとされている。失敗は失敗として教訓を後世に残すという割り切った考え方によるものと思われるが、わが国では仮にこのような重大事故を起こした場合、その現場を永久に保存出来るであろうか？ このような不都合な現場はすぐに片付けられると予想されるが国民性の違いを強く感じた。

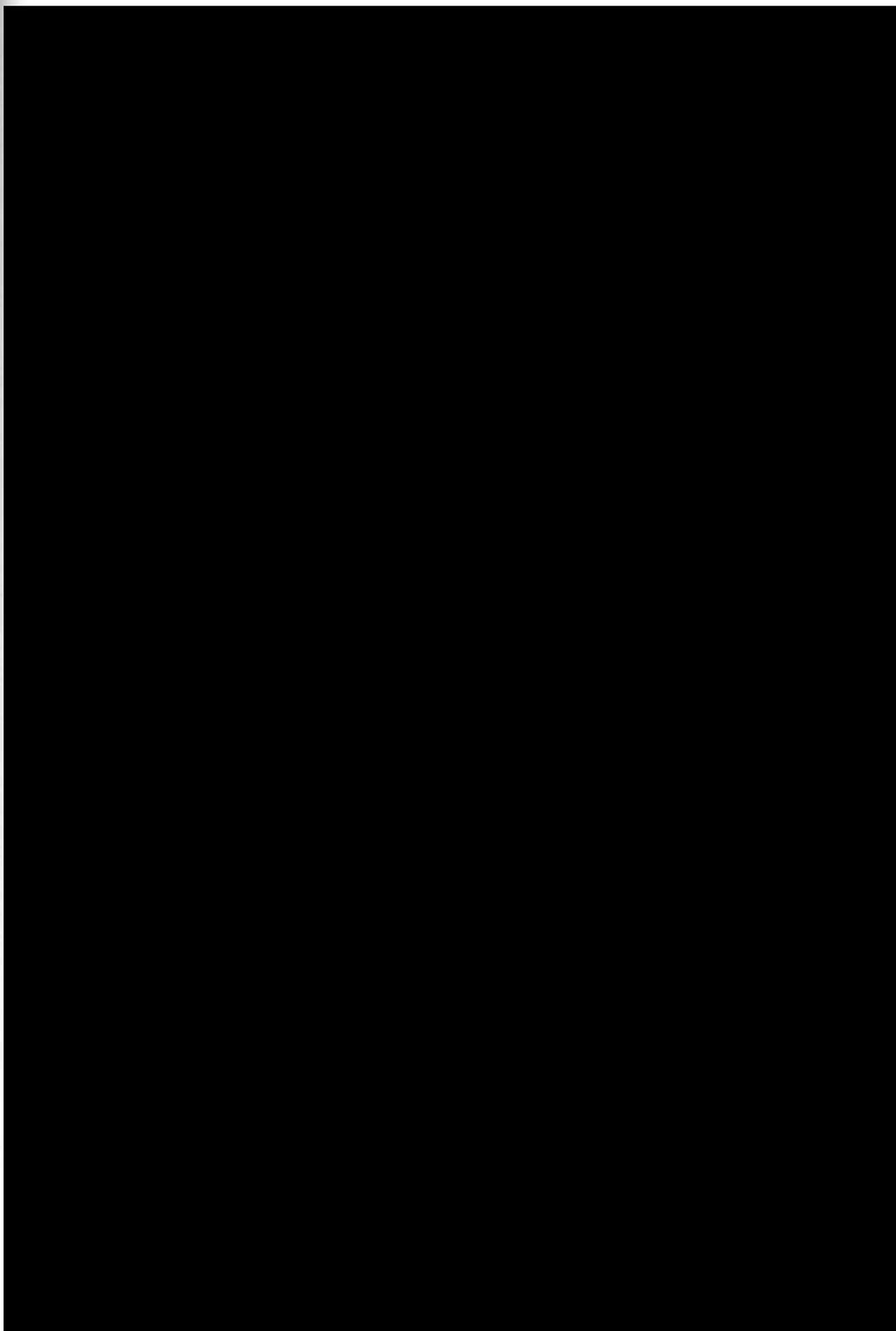
マルパッセダムの概要

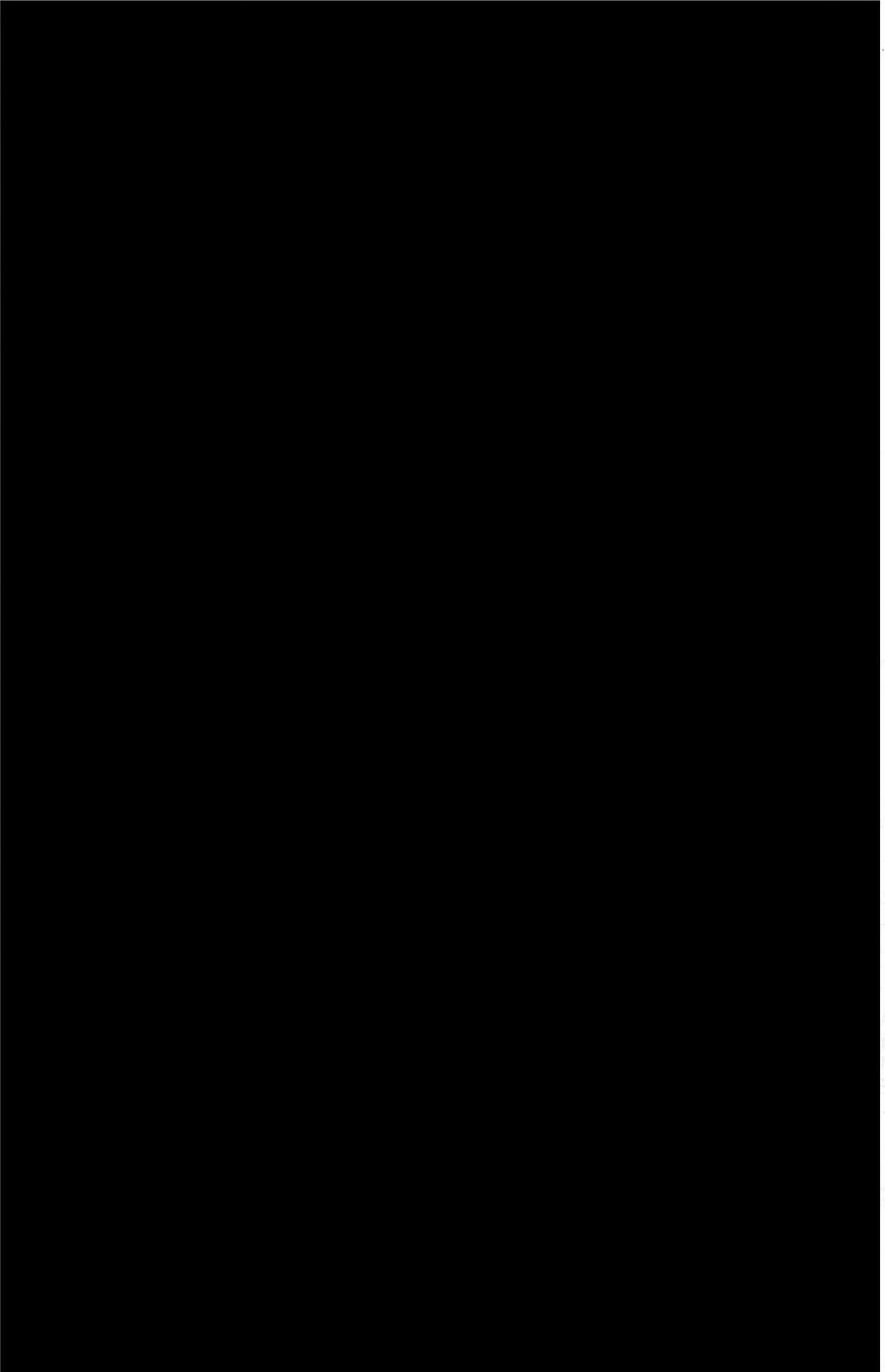
ダム名	マルパッセダム (Malpasset Dam)		
所在地	フランス南部カンヌ地方レラン川	形式	薄肉コンクリートアーチダム
堤高	61m		堤頂長
堤体積	貯水容量	4,930万 m ³	竣工年 1954年
地質	片麻岩		目的 発電
特記	基礎岩盤が破壊してダムが決壊し、地中海に至る11kmの河川路に沿って被害を与え、死者 421人を出した。		
特 徴 ・ 問 題 点	<p>最大厚6.7 mで、この高さのダムで世界一薄いダム。ダム軸半径 105m、中心角 121 度。左岸には地形の関係からウイングウォールを設ける。</p> <p>1952年春 着工。 1954年 4月20日 竣工。湛水開始。 1959年11月中旬まで 貯水位は標高95.2m (常時満水位以下5.2 m)を保つ。 11月中旬 激しい豪雨が流入し、ダムから20m下流の右岸に漏水を発見。 11月28日始め 再び激しい豪雨。 11月29日 貯水位は標高95.75 m (常時満水位以下4.65m)。 29日夜激しい豪雨あり。 11月30日18時 貯水位は標高97.00 m (常時満水位以下3.40m)。 漏水増大。 12月 2日12時 貯水位は標高100.00m (常時満水位以下0.40m)。 午後6時、放水開始。その結果貯水位は標高100.12mとなる。 12月 2日13時30分 貯水位は標高100.09m (常時満水位以下0.31m)。 12月 2日20時45分 保守員ダムを去る。貯水池から1.6 km下流の丘陵斜面の自宅に帰る。 12月 2日21時10分 保守員ダムの破壊音を聞く。 12月 2日21時13分 マルパッセダム発電所送電線が遮断。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ダムの破壊後、ダムの右岸側と中央部の底部は残っているが、左岸側はウイングウォールとスラストブロック以外は崩壊した。 ・スラストブロックは残ってはいるがウイングウォールから分離して下流側に滑動した。 ・残ったダムの部分には亀裂が発生し、継目は変位した。 ・左岸側のダムから下流側のアバットメント岩塊は消失してしまった。 ・右岸側のアバットメント岩塊とダム堤体との間に人間が入れる大きな開口亀裂が生じた。この開口亀裂は人が8 mも降りて行けた。 ・ダム堤体は明らかに右岸の端を中心にして回転している。 		

特	<p>《ダム破壊の原因》 <u>左岸のアバットメントの弱い岩盤の存在がダム崩壊の第一原因である。</u></p>
徴	<p>《事故調査委員会報告》 「ダム自体の施工状態は非常に良好で、特にコンクリートの品質と、コンクリート・岩盤間の接着強度は十分であった。施工中の状況については、大事故の原因になるような要因は見あたらなかった。コンクリートと岩盤の接着そのものは適切であった。」</p> <p>《Karl Terzaghi 教授の論評》 「左岸アバットメントが、広い面積にわたって連続した弱い物質のシーム沿いに滑ったために破壊を起こしたように見える。」</p>
問	<p>地表踏査、ボーリング調査、横坑調査等の地質調査が不十分であった。また、岩盤中の最小抵抗面の位置とか、この面に沿った滑動抵抗の大きさなどについて、数学的な解析を行っていなかった。</p>
題	<p>左岸アバットメントの岩盤中の弱面は、ダムから約30mのところ存在し、アーチの安定に対して危険なものとは考えられていなかった。当時、まだよくわかっていなかったが、ダム地点の片麻岩の特性として、その透水性は圧縮の時よりは引張り応力下では100～1,000倍も増大する。その結果、ダムに貯水荷重が作用すると、これに応じたアバットメントの応力によって、急速な水の浸透と基礎弱面に垂直な水圧を発生させた。このため、岩盤の楔を吹き飛ばし、ダムの崩壊の引金になった。</p>
点	

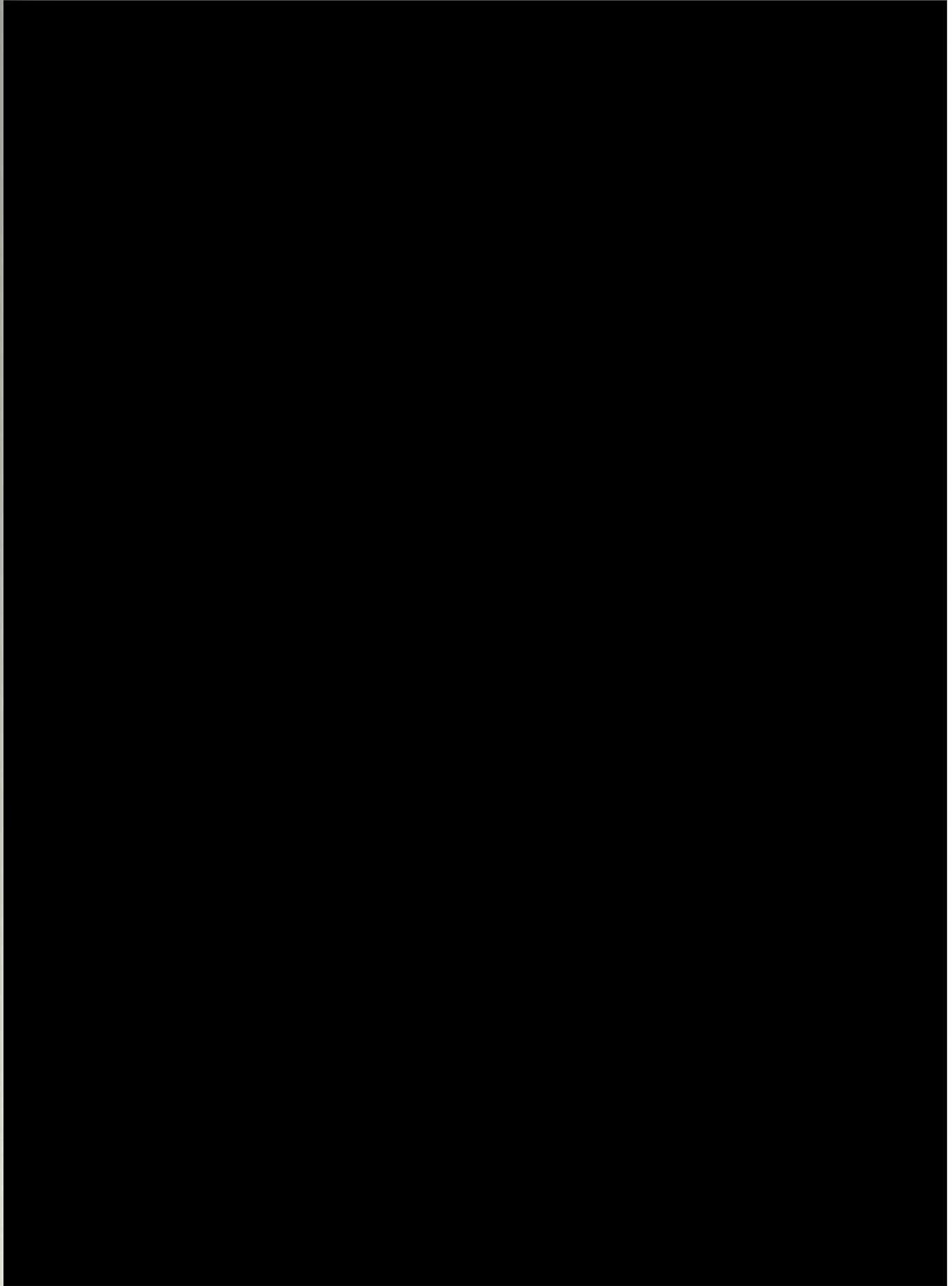




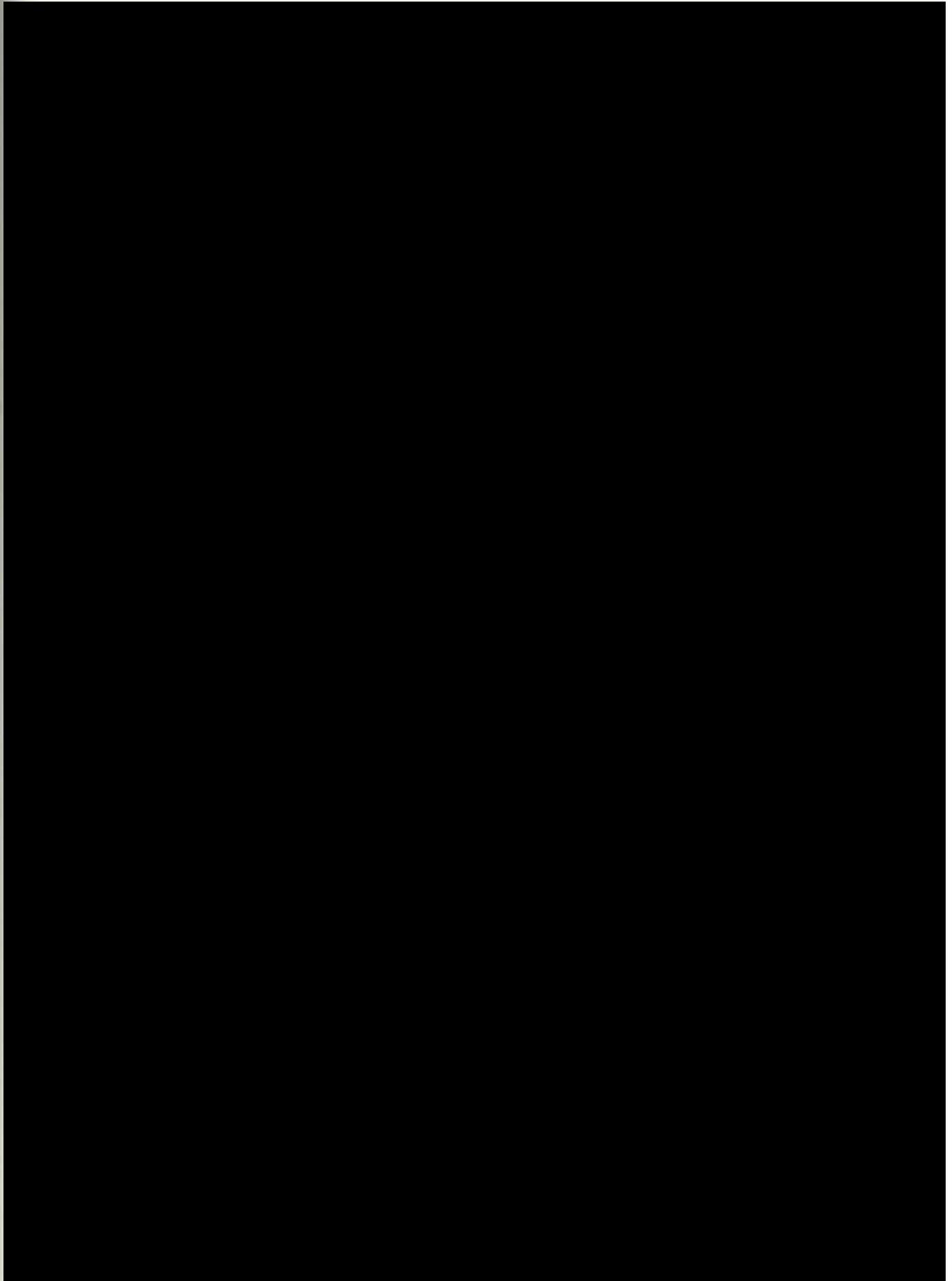


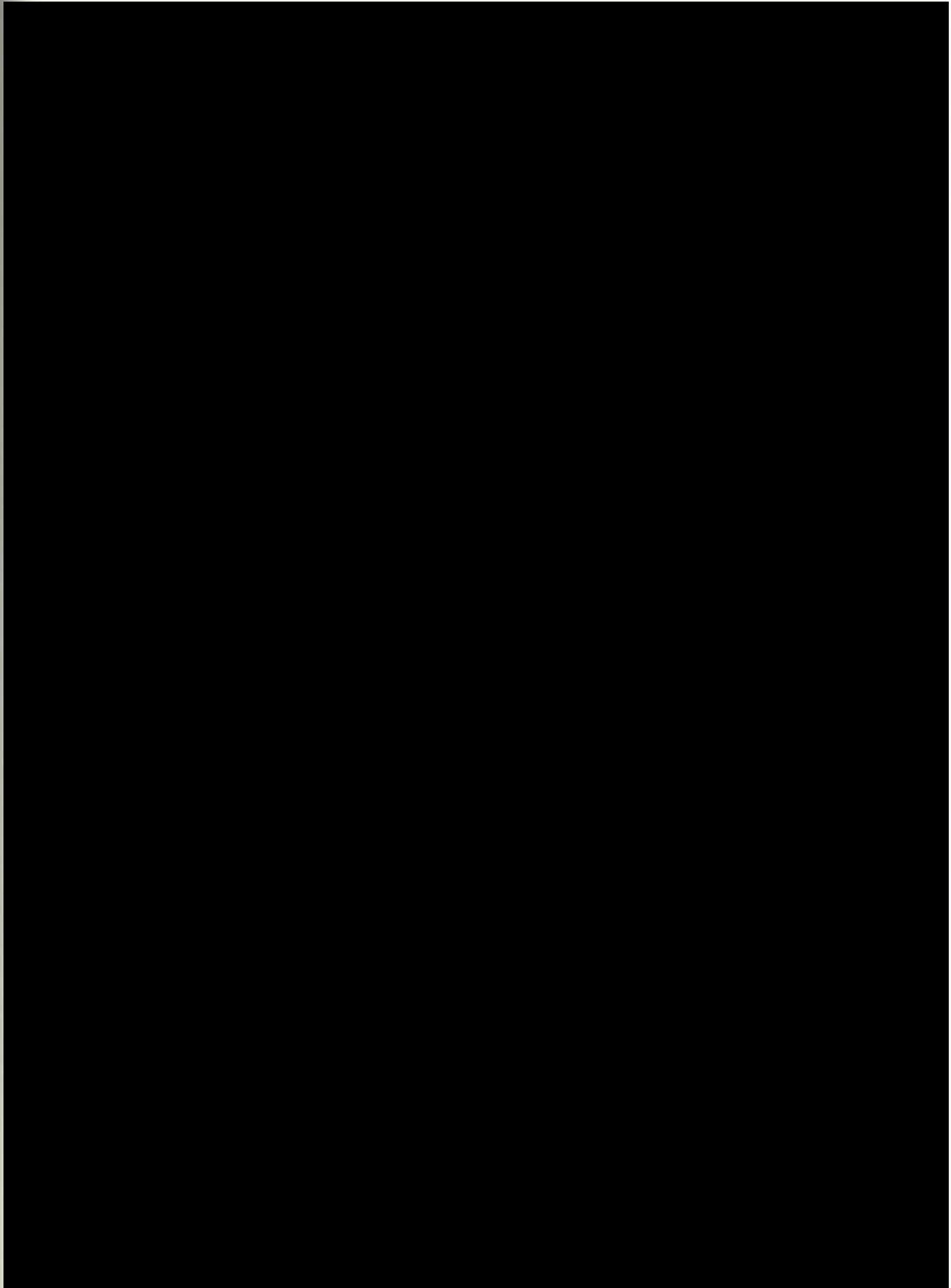


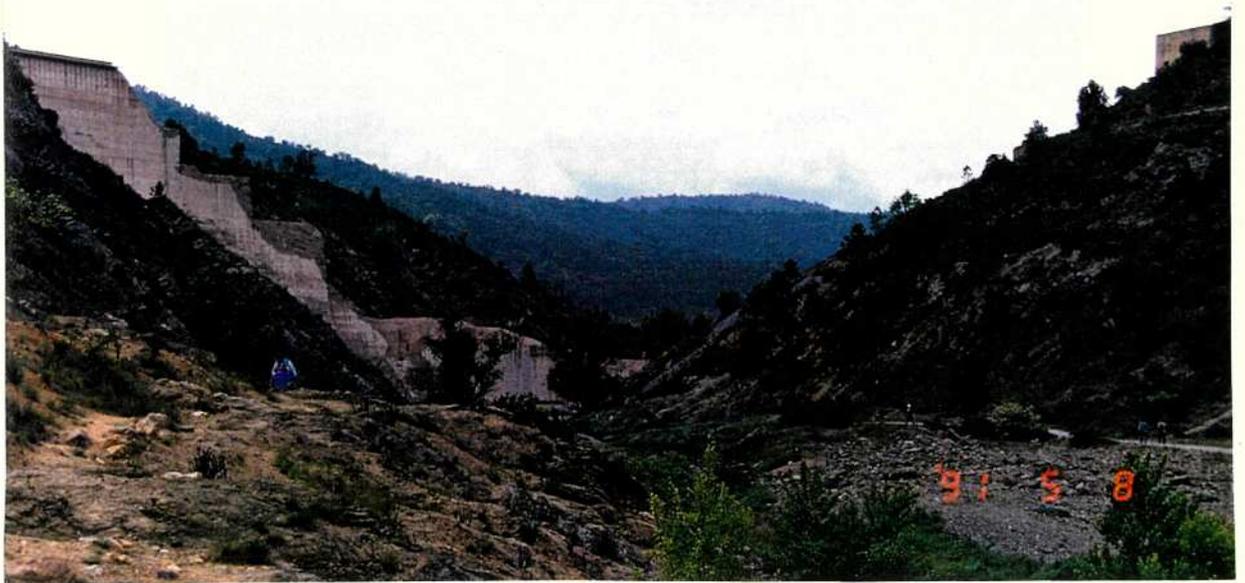
視察ダム位置図 (縮尺 1:200,000 1:25,000)



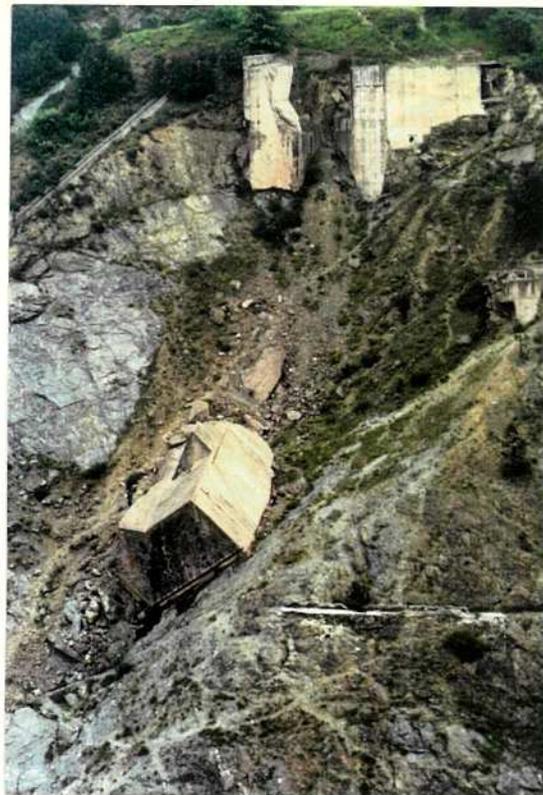
視察ダム周辺地質図 (縮尺 1:250,000)







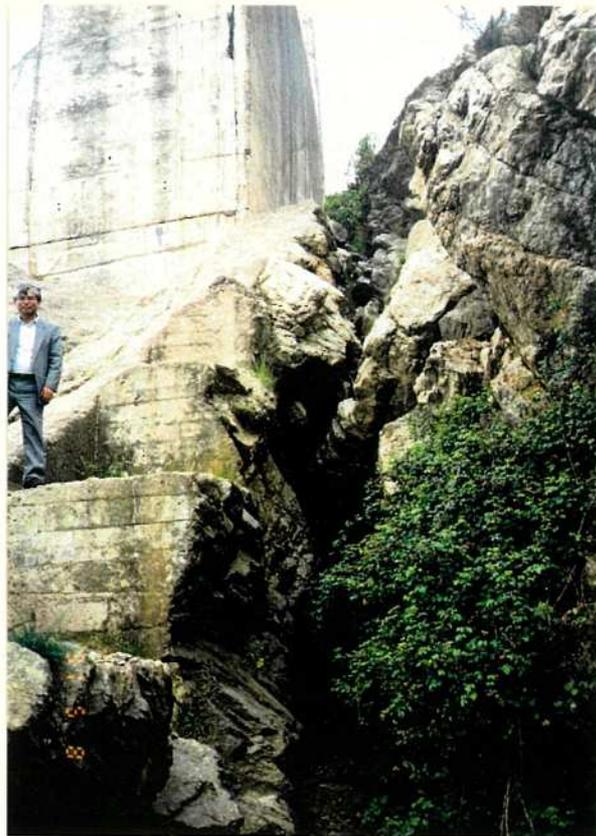
マルパッセダム下流側から望む（岡本氏撮影）



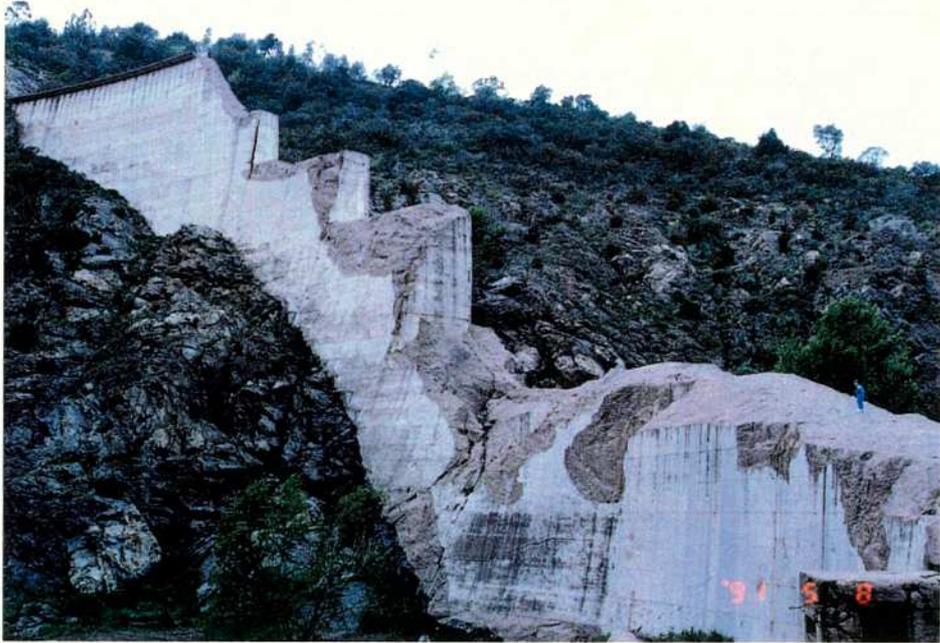
左岸側アバットメント（市川氏撮影）



右岸残存アーチ部及び河床（新部氏撮影）



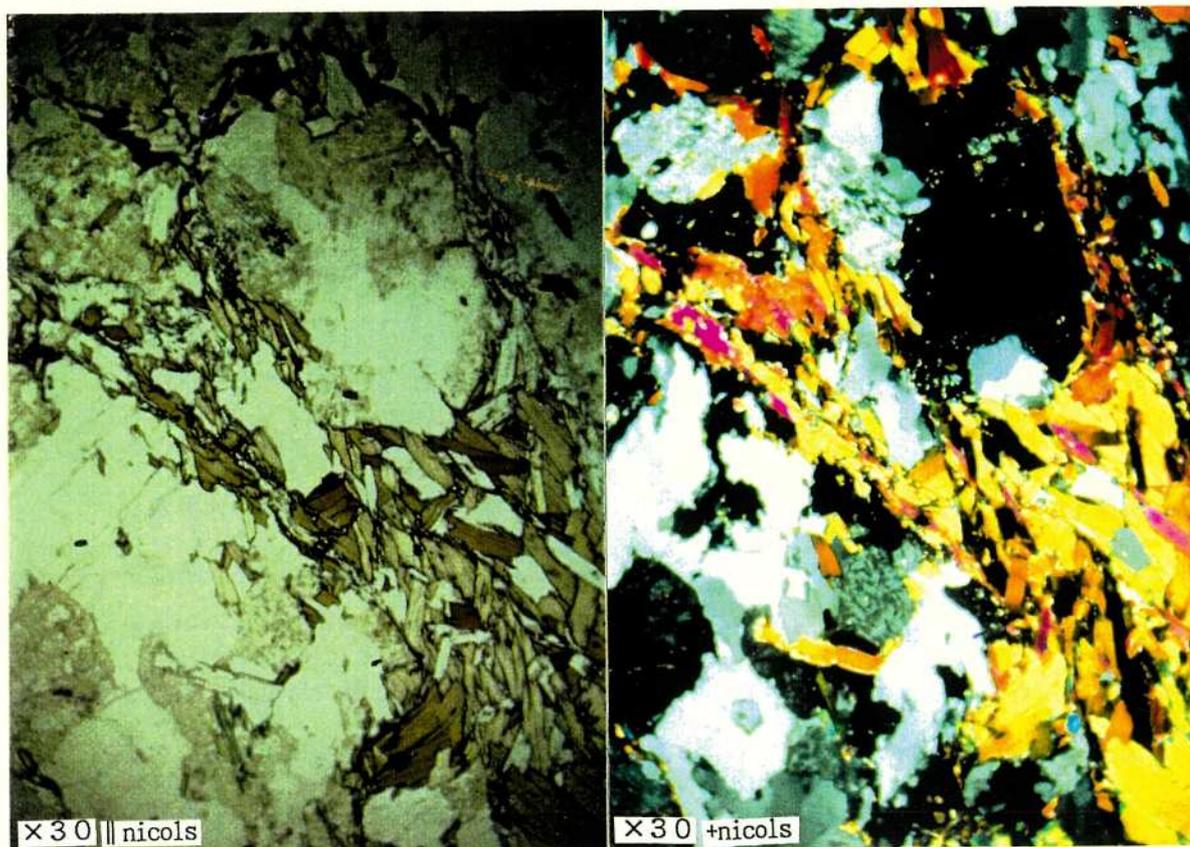
右岸に生じた岩盤（地山）内部のクラック
（永峰氏撮影）



崩壊後に残骸として残った右岸堤体部（石橋氏撮影）



レイラン川下流域に点在する破壊したコンクリートブロックと付着している岩盤
（金子氏撮影）



3. MALPASSET DAM. 結晶片岩. 片麻岩.
(羽田氏撮影)



左岸河床部付近の脆弱部 Mica schist (岡本氏撮影)

7) サンフェレオル及びランピーダム

市川 慧 (建設省土木研究所)

それぞれ1675年と1782年という2300年以上前に建設されたものが、現在も供用されているのは驚異である。ダムに関する資料は既に古文書になっており、ここでは唯一入手できたノーマン・スミス著「ダムの歴史」によった(この本も20年以上前のもので、今では古本屋でもないそうである)。ダム建設の背景などが分かりやすく述べてあるので同書をそのまま引用する。

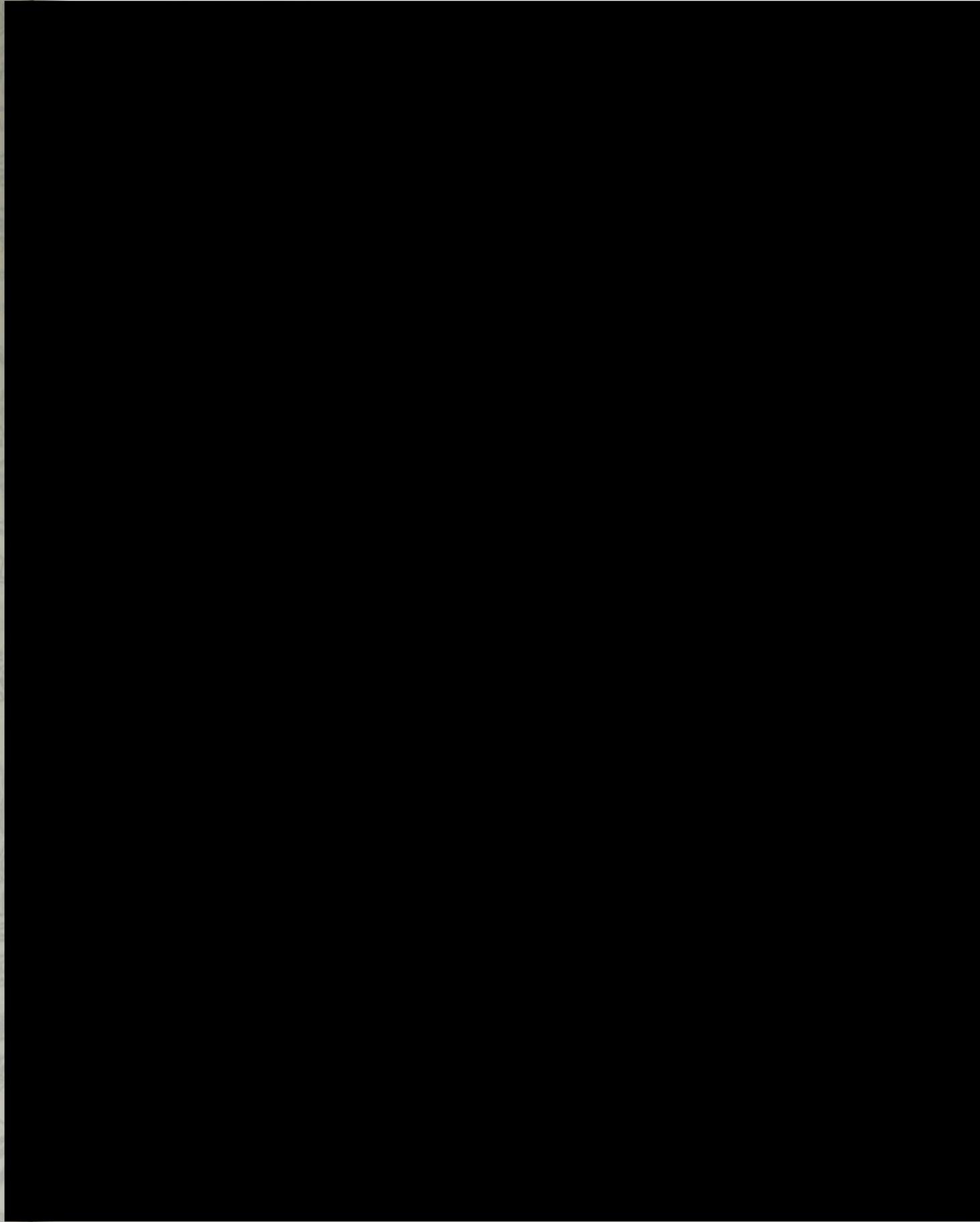
南運河 (Canal du Midi)すなわちラングドック (Languedoc)運河は、150年前にレオナルド・ダ・ヴィンチが考案したもので、フランスのみならず17世紀のヨーロッパで最大の土木工事であった。今でも完全に機能しているこの運河は長さ 240kmで、ツールーズで頂点に達してガロンヌ川より 62.8 m高くなり、そこからトゥ (Thau) 池まで 189m下がる。これには 100の閘門、3つの大きな導水路橋、1つのトンネルと無数の堰、道路橋、管理設備がある。これは壮大な土木工事で、ルイ (Louis) 14世の宰相のコルベール (Jean Colbert) と偉大な才能と献身の技術者のリケ (Pierre-Paul Riquet)の二人の勝利である。

リケが主として扱った課題の一つに、彼の運河の最高位に給水する問題があり、これは正に丘陵地や山地を横切る運河の建設の基本的な問題で、次第に分かってくることだが、ダム建設に重大な反響をもたらした。

運河の頂上の北にはモンターニュ・ノワール (Montagne Noire) の河川に適当な水源があり、唯一の障害は冬季には必要以上の水があるが夏期には少ないことであった。そこでリケは冬季の余剰の流出を次の夏期に使うために貯溜する貯水池を建設するという理論的な手順を踏んだ。

サン・フェレオル (St-Ferreol) ダムはルヴェル (Revel)の南東約 3 kmのロード (Laudot)川に建設されている。問題の場所では河川は天然の盆地を流れ、その南西端を堰き止めて 6,660,800m³の容量の貯水池にした。谷は広く浅い形をしていたことから、リケは非常に大きいアースダムを建設することを考えた。ダムは堤頂長 780m、河床からの最大高さ32.0m、中央での基礎の厚さは 137.1m以上である。

視察ダム位置図 (縮尺 1:200,000 1:25,000)



堤体を構成しているアースフィルは上下流面が二つの厚い石積みの壁で支えられており、上流側の壁は高さ約14.6mで平均厚さ 6.1m、下流側の壁の高さ36.3m、厚さは基礎で約 9.2m、堤頂で 5.2mである。これらの石積みの壁の間にはダムの高さにわたる厚さ 5.2mの石積みのコアがあり、その頂上がダムの天端になっている。これらの3つの石積みの壁は断面上にそれぞれの位置を保ってダムの全長に達し、いずれも基礎の岩盤に 3.0～ 4.0mの深さで堅固に造られている。

壁の空間は土と石の混合物で埋められ、工事中に定位置によく搗き固めてある。フィルの上流側の区間は中央のコアウォールの堤頂まで達していない。その結果貯水池が満水の時にはアース堤体の全面が水没するので、漏水を防ぐために 1.8m以上の厚さの粘土の層で覆ってある。この層に浸透した水はすべて石積みのコアウォールで止められる。

ダムには元のロード川の流路に沿ってダムの基礎を通る大きな低位放流口があり、このギャラリーが中央のコアウォールと交差するところに一組の放流バルブが設置されている。ここにはダムの下流の擁壁にある入口から行くことができる。低位放流トンネルは上流端では孔のあいた鉛直のウェルにつながっており、湛水した水が豎孔に流入することができる。この配列はスペインのダムに使われている仕掛けを思わせる。もっと著しい類似点は貯水池の堆砂を排砂する手法を使っていることである。低位放流口が非常に大きいので、この必要性に合っている。放流ウェルの基礎にある大きい扉をダムの中にあるその他の水門と同様に開けると、後は水圧がやってくれる。

貯水池がほとんど満水であれば、二つの高位の放流水門から取水することができる。高い方はダムの左岸の端に近く、近くには越流洪水吐がある。ダムの天端を水がながれるままにしておけばすぐに下の土の堤体に切り込むことになるので、これは設計の主要な部分である。

ダムの工事は、1667年11月に始まり4年後に完成した。工事の全体の体積は、159,000 m³で、その中の 118,500 m³はアースフィルであり、全てが人手によって行われた。ド・フロドゥール (Louis de Froidour)が工事中にサイトを訪れたときに、何百人という地元の労働者が掘削した土を背負ってあちこちで働いているのを見ている。一回動く毎に1ペニーが支払われている。ここに示したのはフロドゥールのダムの

スケッチである。これは構造物の最終の形の正確な描写になっていないが、初期のダム
の製図として関心がもてる（図-3-7-1）。

頂上の高さの運河に給水するために初めて建設されたサン・フェレオルダムは300
年近くにわたって所期の目的に使われ、分かっている限り問題が生じた形跡もない。
しかし100年ほどの間はこれが南運河に供給する唯一のダムであった。1667年4月に
リケはコルベールに手紙で「必要な給水はすべて得られ、私が貯水池群を考え出した
ことで夏の間も常に航行を可能にするだけのものが得られる」と述べている。

リケが「貯水池群」と言っているのが面白く、事実ある段階では一つ以上の計画が
あったらしい。運河の建設中のリケの技術者の中に、1633年にパリでイタリア人の両
親から生まれたアンドレオッシ（François Andreossi）がいた。彼はアンドレオッシ
（A. F. Andreossi）の曾祖父であるが、彼は給水の貯水池をロード川ではなく約13km
東のランピー（Lampy）川に造る考えであったと述べている。18世紀の終わりに南運河
がさらに多量の交通を通すようになるとランピーダムが必要になった。これは1777年
から1781年にかけて建設され、未だに供用されている。

ランピーダムはサン・フェレオルダムとは少しも似ていない。これは堤頂長117.3
m、高さ16.2mの石積みダムで、堤頂の厚さは5.2mで上下流面とも急な傾斜となっ
ている。堤頂から9.9m下は上流面に水平の棚があって厚さが7.2mから8.4mに増
大している。ここから下はダムの基礎の厚さの11.3mまで広がっている。

構造物の厚さは14m、高さ2.0mの石積みの台に載っており、この下面は岩盤にし
っかりと固定してある。台はダムの下流面の基礎から数呎突出しており、これによっ
てダムに沿って10.7m間隔にある10基のバットレスを支えることができる。それぞ
れのバットレスは堤頂高さでは幅2.3mで、下流に2.1m突出している。基礎ではバ
ットレスの幅は4.0mに広がっているが、長さは僅か2.0mである。

ランピーダムはヨーロッパで二番目のバットレスダムで、スペインのアルメンドラ
レホダムの30年後に建設が始まった。ダムを設計したガリピュイ（M. Garipuy）がス
ペインの構造物を知っていたことは確かである。サン・フェレオルダムの若干の特徴
は、南西フランス技術者はスペインで行われたことをよく知っていたことを示してい
る。しかし、ランピーではバットレスの原則は十分に発展しておらず、ダムの安定性

に役立つには余りにも華奢である。実際にランピーダムは完全に納得の行く構造物ではなかった。

アンドレオッシは1804年の著書で、構造物に浸透して行き、漏水が起きている割目を塞ぐことを目的としてダムの上流面の側に大量の石灰を投入したことに触れている。彼はこれを非常に巧妙なアイデアで、成功するだろうとさえ思った。しかし結局これは解答にはならず、ダムの下流面には今でもかなりの漏水が見られる。

それよりももっと驚くべきことは、ダムの堤頂に数十の大きなナットが飛び出していることである。これはある時点で堤体を通して基礎に挿入した長い鉄の棒の上端にねじ込んで、上端を緊張したもので、ダムが自力で水圧に対抗するには重量が足りず、バットレスも十分でないことを懸念していることは明らかである。

ランピーダムには異なった高さに三つの放流口があり、それぞれがダムの上流面にある滑動式の水門扉で開閉された。堤頂に近い放流トンネルは1780年のもので、その側には洪水吐がある。

大規模な山越え運河 (summit-level canal) は17世紀と18世紀のフランスの最も優れた土木工学の成果である。フランスで大ダムが最初に建設されたのはこれらに給水するためであった。フランスでダム建設の刺激となったもう一つは、規模では小さかったが、水力であった。イギリスでもダムの建設を助長したのは同じ二つの要因、すなわち航行と水力であった。

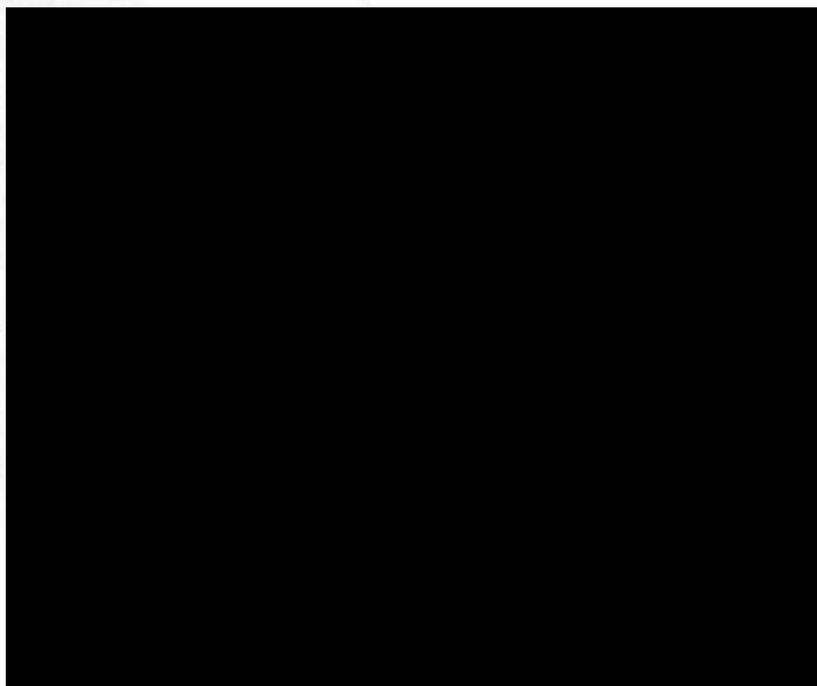
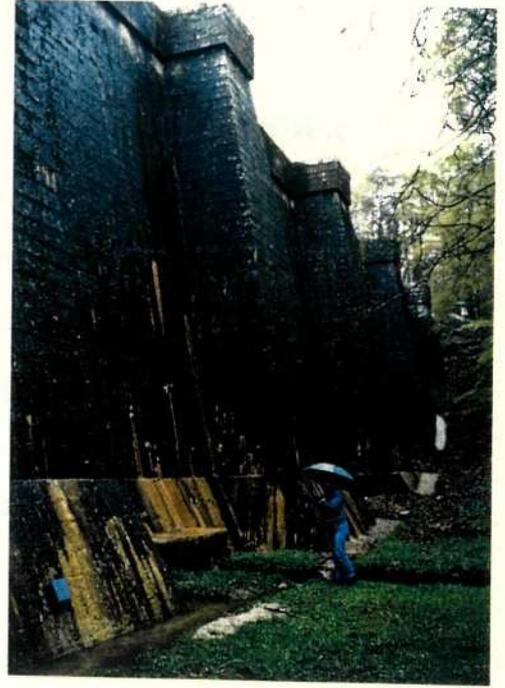


図3-7-1 建設中にダムを訪れたド・フロワドールによる
サン・フェレオルダムのスケッチ



ランビダムを締めつけているボルト（福田氏撮影）



ランビダムの下流面及びバットレス（宇田氏撮影）



サン・フェレオルダムサイトのリケの碑（平田氏撮影）



サン・フェレオルダム全景（中島氏撮影）

8) バイオント (Vaiont) ダム

原口 強 (復建調査設計株式会社)

1963年10月9日に発生した Vaiont ダム (図3-8-1に位置を示す) 貯水池の大
地切りは、死者 2,125人を数える歴史上稀にみる災害を引き起こしている。実際には
ダム直上流左岸で発生した大規模地切りにより約3億 m^3 の山塊が流出し、その結果生
じた想像を絶する洪水による災害が発生したわけである。

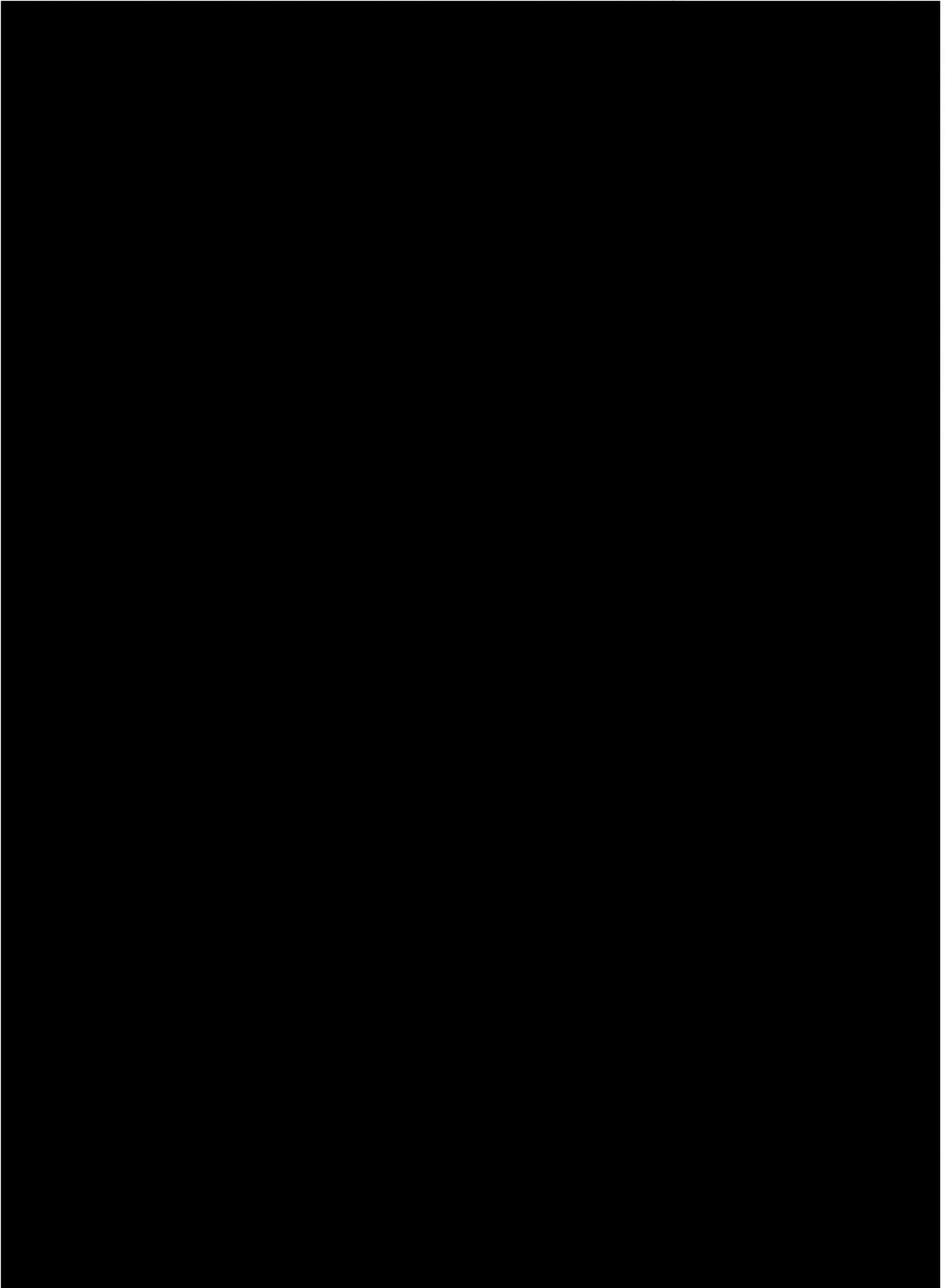
一方、これだけの大災害に見舞われたものの、ダム自体はほとんど損傷がなく左岸
非越流部に当時の爪痕を残したまま30年近くを経過した今も現存している。

ここではこれまでに報告された文献を基に、ダム及び事故とその被害の概要等につ
いて記述する。



図3-8-1 バイオントダム位置図

視察ダム位置図 (縮尺 1:250,000 1:50,000)



(1) ダムの概要

バイオンダムは発電専用のダムで、その工事は1958年7月22日にイタリアのアドリア電気会社によって着手され、1960年11月30日に竣工した。

ダムの諸元は、堤高 262m、堤頂長 191m、堤体積 353,000 m^3 であり、貯水池の総貯水量は 169,000,000 m^3 である。図3-8-2にバイオンダム概略図を示す。

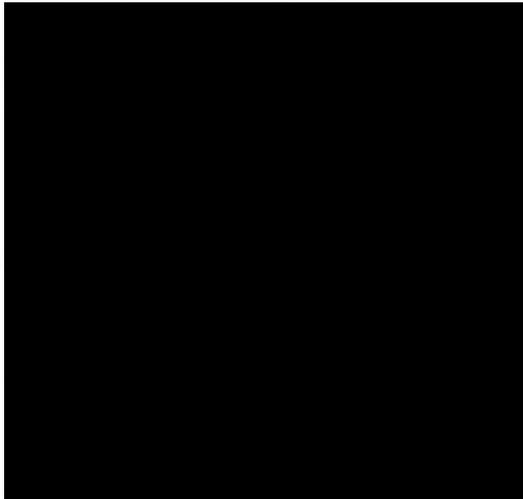


図3-8-2

バイオンダム概略図

このダムは Semenza博士により設計されたもので、その特徴はアーチダムとしては世界最高であるということ、基礎岩盤への応力の伝達をサドルによって緩和しているということ、大量のタイロッドによる岩盤締固め工事が行われたということである。

放流設備としては中央越流型余水吐と、左岸に3本のトンネル余水吐、ダム基部のプラグ内に1本のコンジットが設けられている。

堤体基礎岩盤は白亜紀及びジュラ紀の石灰質の岩石で構成されている。

図3-8-3にバイオン貯水池付近の概略図と地質断面図を示す。

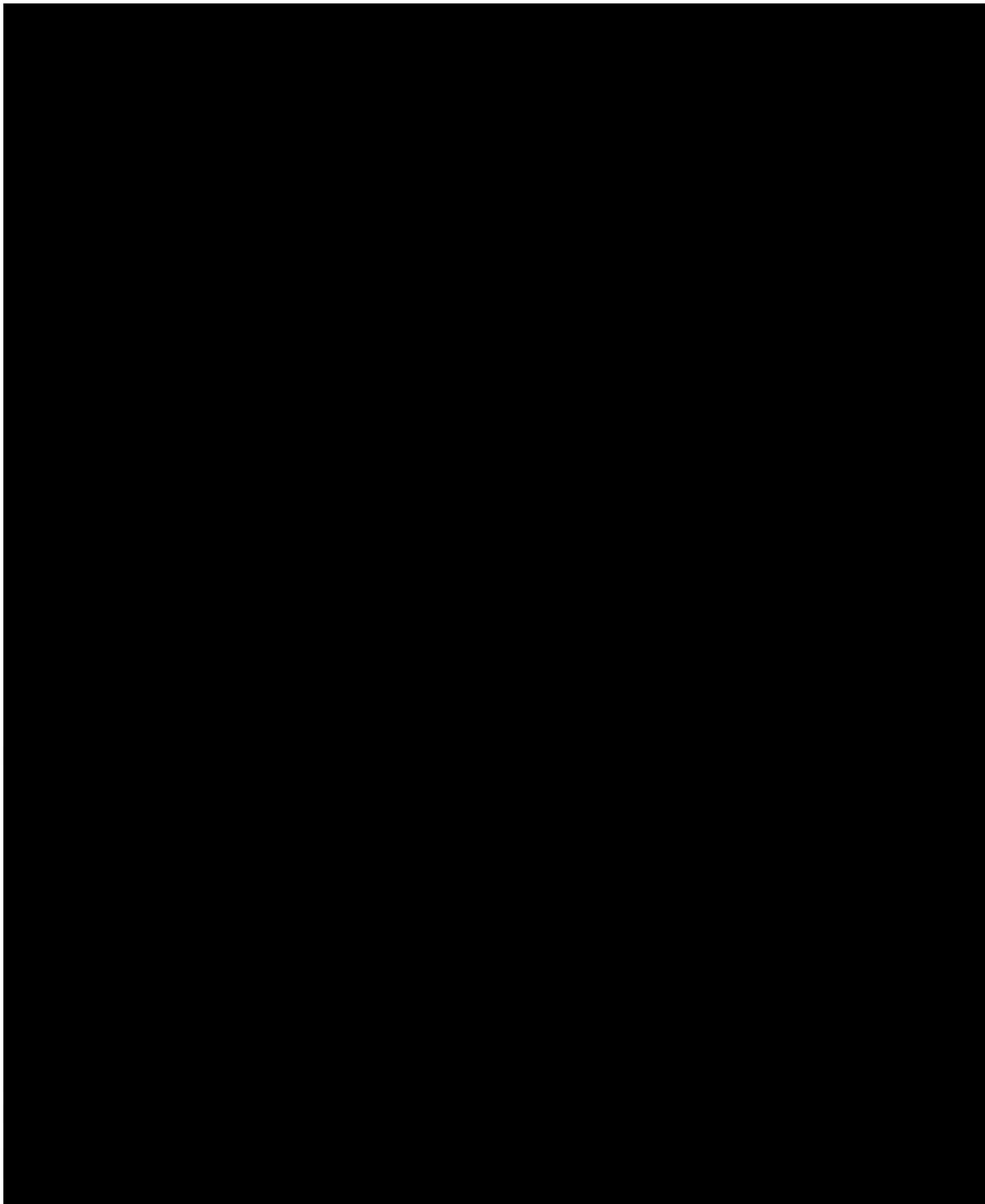


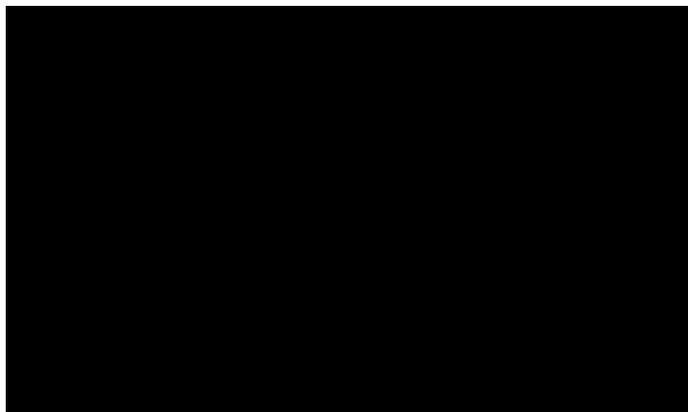
図 3 - 8 - 3 バイオント貯水池付近の概略図と地質断面図

(2) 事故とその被害

1963年10月9日午後10時半頃、バイオンダム貯水池左岸直上流に大規模な地切りがあり、貯水池の水が流出してバイオン峡谷を流下後、下流のピアベ川沿岸を襲った。地切りの崩壊量は約3億 m^3 に達し、この岩石は貯水池を1.8kmにわたって、貯水面上140mまで埋めた。

被害の概要を図3-8-4に示す。また、地切り前と地切り後の地形を図3-8-5に示す。

地切りはまったく急激で、大きな波を誘起し、貯水池右岸のカーソ、エルト地区を一掃した。ある所では当初の水位より250mも高い標高950mまで達した。ダム軸付近では越流水深がその痕跡より、天端上それぞれ右岸230m、左岸130mの高さまで達し、余水吐上の橋梁は吹き飛ばされている。こうして莫大な水がバイオン峡谷を流下し、ピアベ川と合流する。合流付近のピアベ川の川幅は約500m程度であるが、ここでは河床から50mも水位が上がり巨大な洪水流がロンガローネ地区を徹底的に破壊し、その後ピアベ川沿岸に大きな損害を与えながら流下していった。



- 1) ダム現場 死者(ダム工事関係労務者)70名
- 2) エルト地区 被害甚大 死者157名(人口1,827名)
- 3) コティサゴ地区 死者119名
- 4) バイオン及びマルコニー地区 全滅家屋42
- 5) ロンガローネ地区 全滅家屋361(全家屋372)、死者1,190名(人口1,269名)
- 6) ピラゴ及びリバルタ地区 全滅家屋159、死者503名(人口531名)
- 7) ピラノーバ地区 全滅家屋32(全家屋59)、死者86名(人口195名)

図3-8-4 被害の概略図

地回り前の地形

地回り後の地形

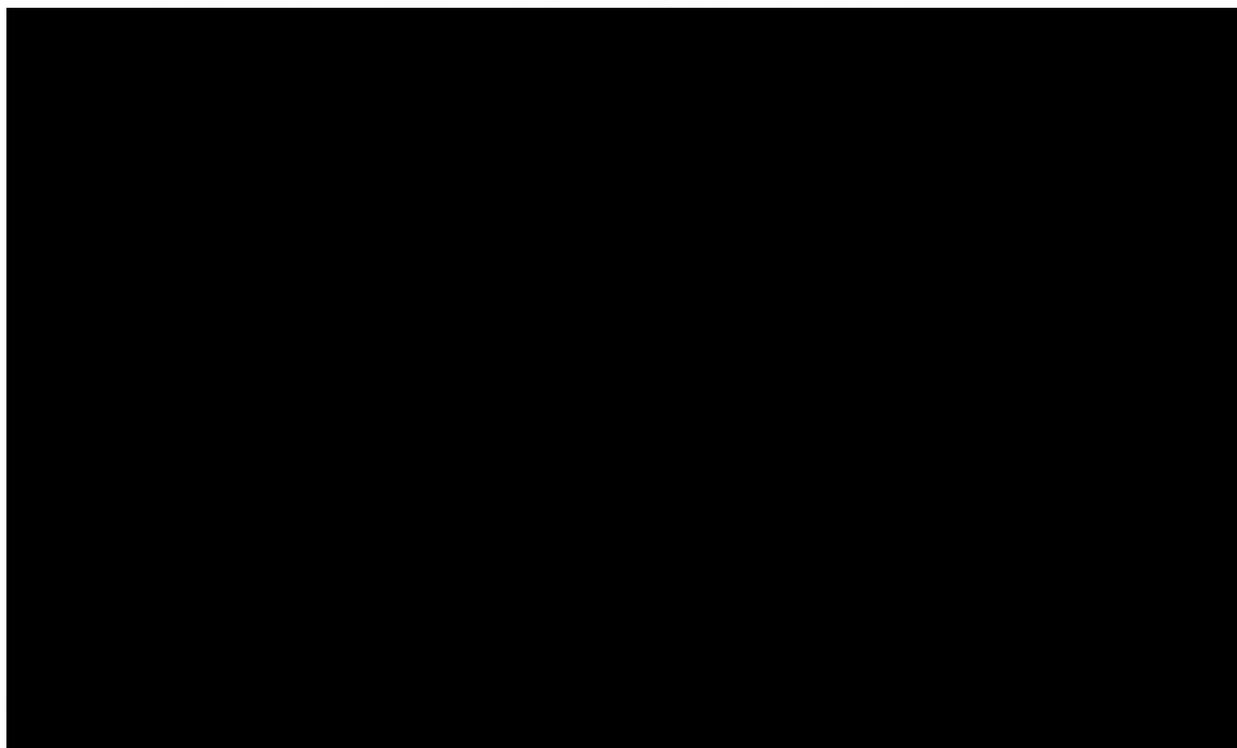


図 3 - 8 - 5 地回り前と地回り後の地形

(3) 貯水池周辺の地質と地回りとの関係

貯水池周辺を構成する地層としては下部より、Dogger の石灰質岩（上部ジュラ系）、Malm の薄く成層した石灰質岩（最上部ジュラ系）、下部白亜系・上部白亜系の石灰質岩で、東側では沖積層、河床礫層が乗る。地質構造は大局的には大きく横臥した向斜軸がバイオント川方向にあり、軸はやや西側に突っ込んでいる。

地回りの発生した部分はダム直上流左岸側であり、局部的にみると、基本的には貯水池に対して“流れ盤”を形成する地質構造となる。また、地回りブロックは西側（A-A断面）と東側（B-B断面）に2分されるが、貯水池に対しては東側がより急勾配となっている。

層序的には各層を多くの単層に分ける事ができ、すべり土塊に見られる部分の層準は、部分的に結晶質の石灰岩、固結した礫状の部分を含む石灰岩、泥灰岩質石灰岩、泥灰岩である。Dogger と Malm の最下部にある石灰岩の層はすべりとは関係なく、Malm の層内のいずれかの層理面か階段状のすべり面系で起こり、すべり面は上部では40~45°、下部にかけて急に変化し水平となっている。

すべり面についてはボーリングの結果から、主として砂、シルト、粘土質の材料からなる数mに及ぶミロナイトが確認されている。このことより、真の“すべり面”ではなく、“おそらく数mにわたると考えられるすべり帯”が推定されている。

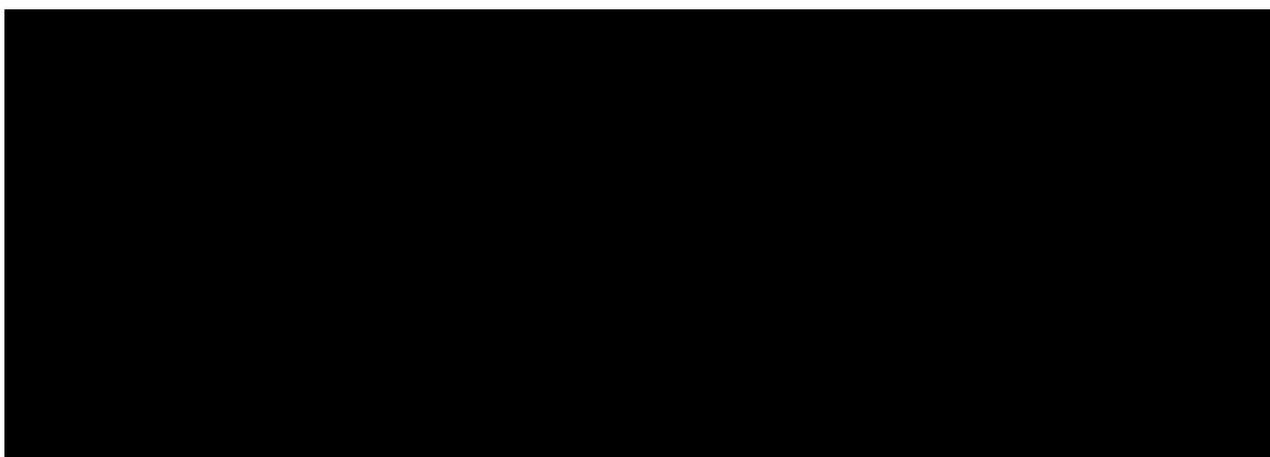


図3-8-6 バイオント峡谷を中心とした地質断面図（大局的地質構造）

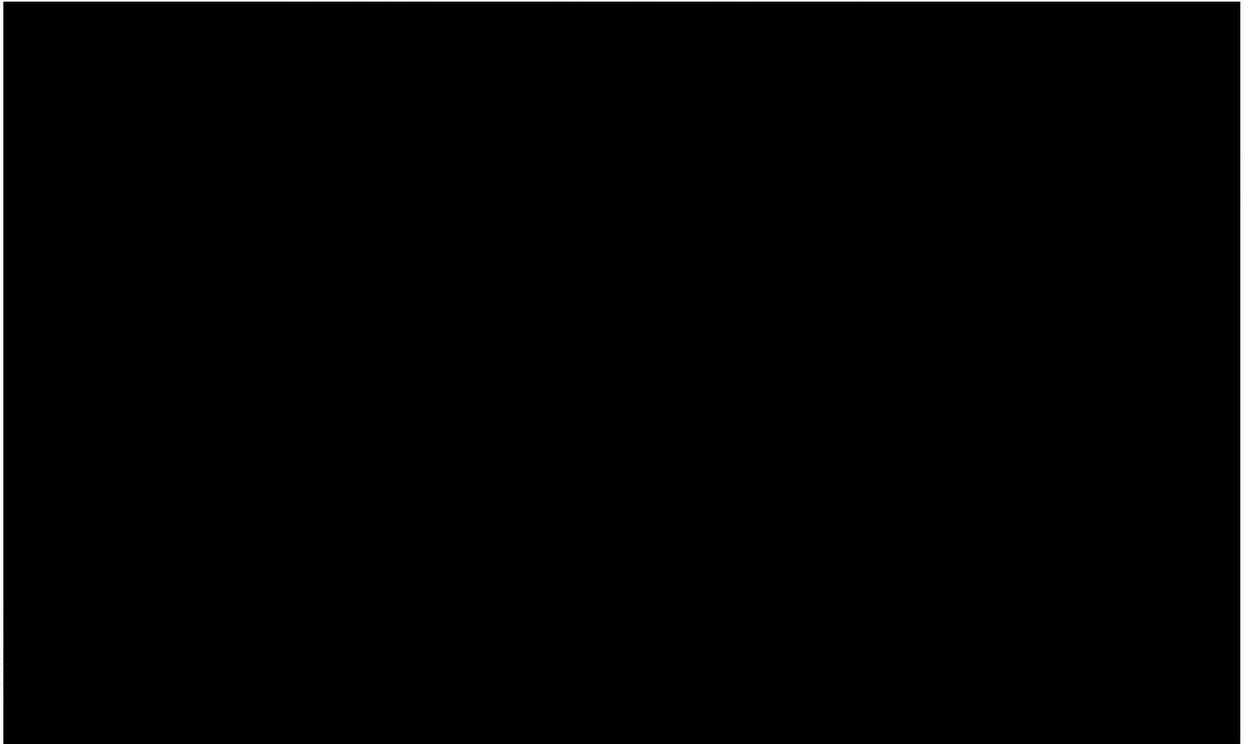


図3-8-7 バイオント貯水池付近の地質平面図及び地質断面図

(4) 事故(1963.10.9)に至る地送り経緯の要旨(C. Jaeger, 1972)

- ① 設計者の Semenza氏は、Toc 山の斜面に沿う岩盤の不安定に関して懸念していたが、調査の結果地送りは表層に近いものであるとの地質報告(1958)がなされている。
- ② 1958~59年の調査で、2.5億 m^3 の岩塊が深いすべり面上で徐々にクリープを起こしており、このすべり面は Dogger 統と Malm 統の接触面と考えられた。
- ③ ダム完成前の1960年初めに貯水池の湛水が開始され、このとき水位の上昇に伴い70万 m^3 の岩層が約10分間に貯水池に滑落したが、このすべりは緩速の岩すべりと考えられた。その後の水位変化に伴い、山腹にM字型の滑落崖が大きく発達(1960.11.6)する。本地区では種々の観測が行われてきたが、特に1960~1963年の初めまでの観測では岩盤の変位が水位の低下により遅くなり、最終的には停止することが確認され、水位の上昇と岩盤の変位との相関が明らかとなっている。また、この変位は水位がかつての最高水位に達したが、これを越えたときに再び発生しており、「自己安定型」の期間が間に挟まる事も確かめられている。
- ④ 1963年7月から10月までの最後の局面では、水位が700mを越えて710mまで上昇し、これに伴い岩盤の変位は突然に驚くほど大きくなり、岩盤の分離が非可逆的に生じた。地送りの底部における脆性破壊による破断が突然生じた結果と見られる。
- ⑤ 最初の地送りから最後の局面に至るまでは、粘弾性クリープは表面だけに現れていたが、もっと深いところでは圧力とモーメントの蓄積を伴っており、地送り下端の岩盤が弱くなり、クラックが入り、岩盤の細片化を招いた。この結果、最終的には1963年10月9日夜、脆性破壊のため降伏したものである。また、パイオントの破壊にあっては揚圧力の作用が主要因となっている。

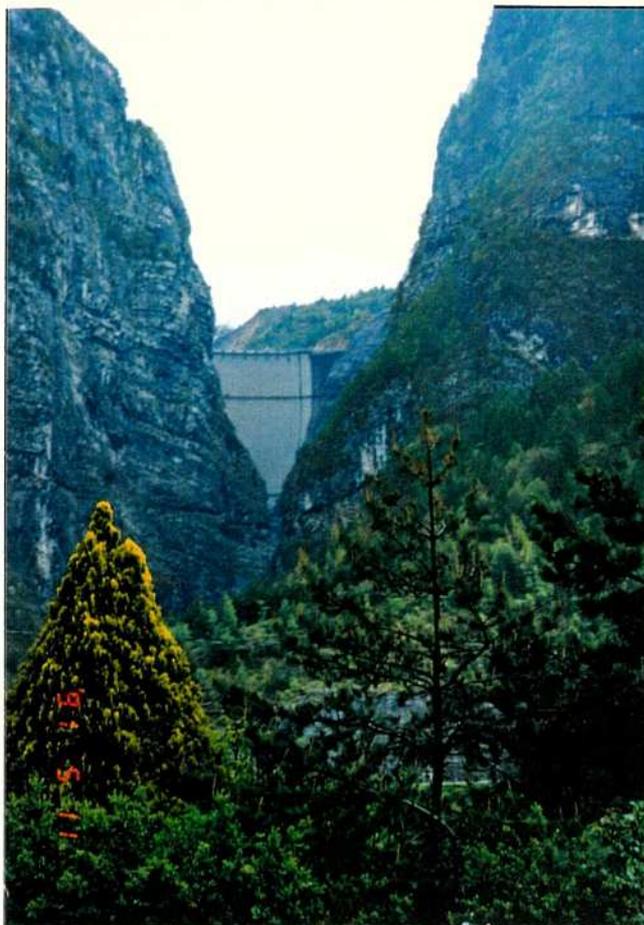
(5) あ と が き

山口はバイオントの事故(1964)のなかで、「バイオント貯水池の大地迂りが異常な自然現象であったとしても、貯水池管理の点が弱体であったことは否めない事実のようである。この際、ダム管理について深く反省してみる事は意義深い事である。」と結んでいる。

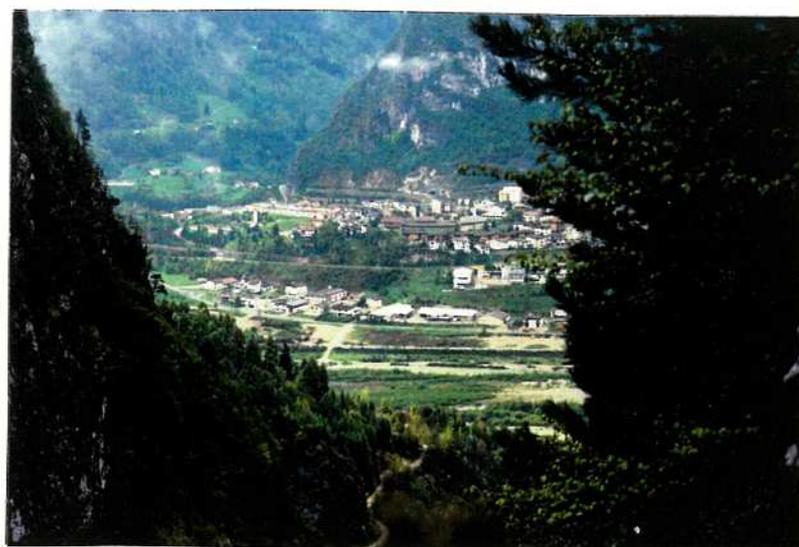
今回、事故後30年近くを経てなお当時の爪痕を残した現場を訪ねる機会を得、関係論文を読むにつけバイオントの残した教訓を深く心に刻み、犠牲者の冥福を祈るものである。



バイオントダム貯水池左岸の大地すべりのすべり面 (岡本氏撮影)



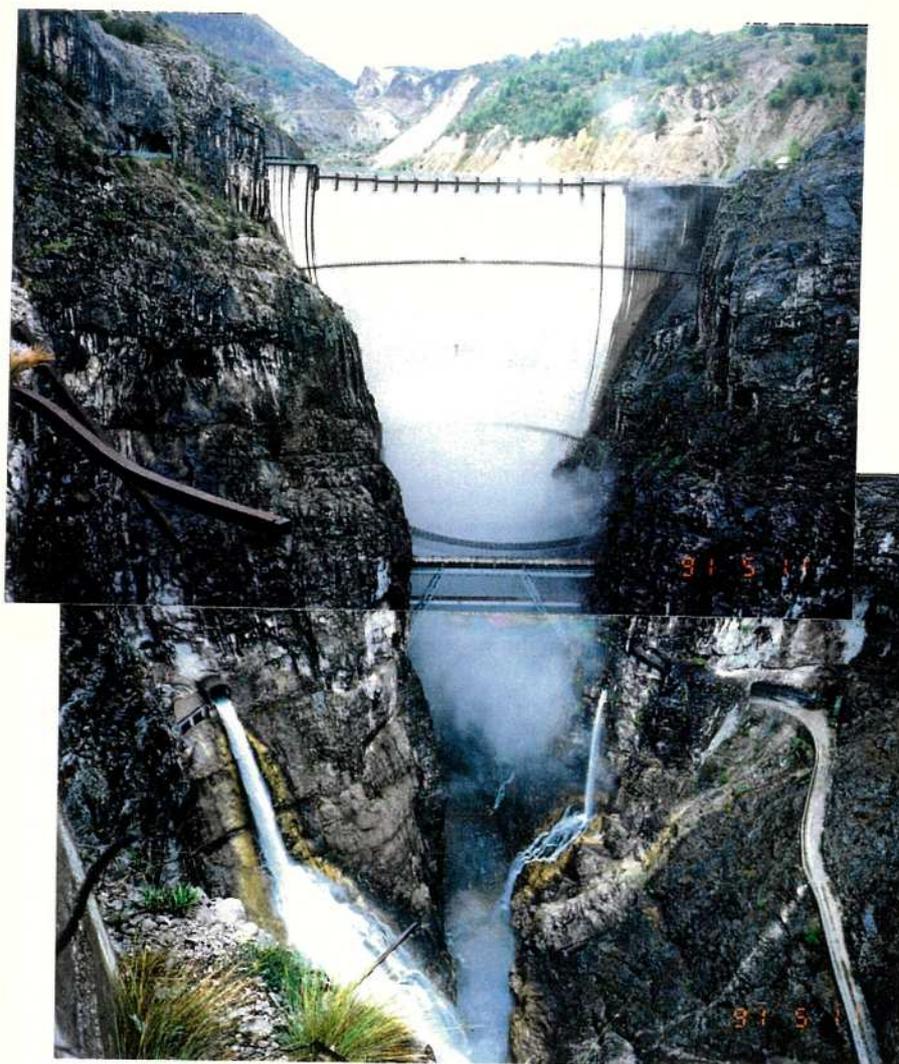
ロンガローネよりバイオントダムを望む（岡本氏撮影）



バイオントダム右岸下流よりロンガローネを望む（市川氏撮影）



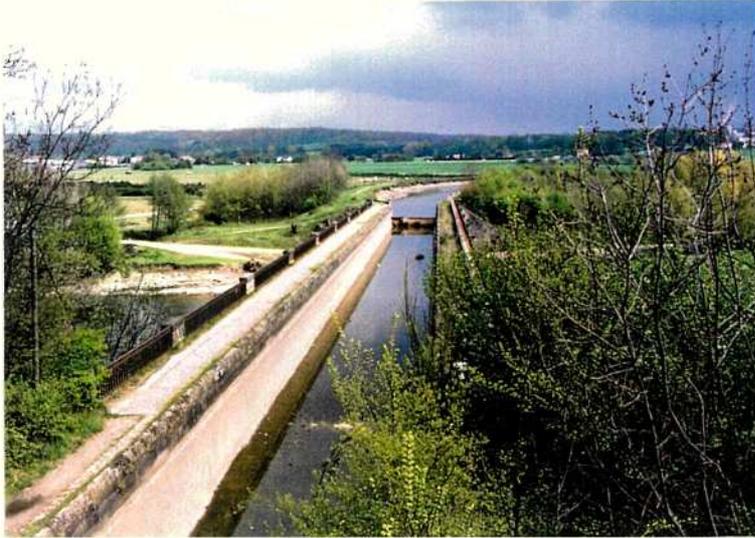
すべり面と地すべり土塊（宇田氏撮影）



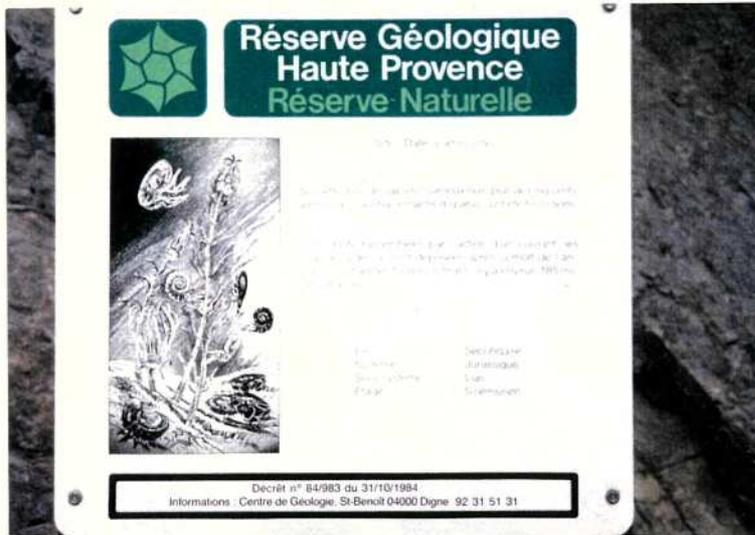
バイオントダムを下流より望む。地すべり土塊によって、さえぎられた河川水はトンネルによって転流されている（中島氏撮影）

4. その他の見るべきもの

ダムの外にいくつかの地質現象を見る事が出来たので、それらの資料を以下に示す。



モゼール川と立体交差する運河橋
(平野氏撮影)



デールにおけるアンモナイトの産地



全部アンモナイトです

GOLBEY.
川を渡る運河。
石橋。



河津橋
May 5, 91 5:44

(羽田氏スケッチ)

5. あ と が き

宇田 進一 (株 建設技術研究所)

Sfaxに Faxしても返事が来ない！ 湾岸戦争の影響で、I. A. E. G. チュニジアシンポジウムの開催が危ぶまれた。I. A. E. G. 事務局の Dr. Primelに TELする。秋に延期と決定の由。そこから今回の第1回海外ダムサイト調査団が始まった。

我々ダムの調査に従事する Geologistにとって、Malpasset Dam、Vaiont Damを見学する事は長年の夢であった。幸にもチュニジアシンポジウムが催される。この帰りにこれらのダムを見ようと二、三の理事と話し合う。ところが上記の事態となり、前後策を再度話し合う。「行こう。秋の開催では繁忙期に入り、参加出来ない人が増える。」

参加者は、Geologist及び Dam Engineer なので、強行軍でもかまわないだろうという事で、二章で述べたような超ハードスケジュールとなった。

5時半のモーニングコールが二度もあり、おまけに時差ボケとの戦い、肉体的にはつらい旅であったが、精神は若者のように（若者も実際にいたが）高揚していた。バスの中で仮眠をと思っても、雄大な地形、壮大な褶曲に車内に歓声が上がる。すると、ガバと目が覚めて、写真を取りまくる。たった5分のトイレ休みもものかわ、団員は町に飛び出しマップを買う、両替に走る、チーズを買う、化石を買う、本を買うと忙しい。各ダムの説明担当者は車内でも文献を読み、現地での説明に備える。とりわけ、Dr. Olivier Fabbriは最前列に陣取って、母国の地質の説明に余念がない。彼には団員一同本当に感謝！

日程の関係で各サイトで十分な時間が取れず、残念ではあったが、眼前に広がる光景にただただ圧倒される。来てよかったと誰もが思った。しかし、最後に Vaiont Dam siteに亡くなった方々の碑（写真も掲げてあった）があり、命日が全員1963年10月9日となっていた。思わず戦慄が走る。我々ダムに携わる技術者にとって、このことは肝に銘じておかなければならないと深く心に刻んだ次第であった。亡くなった方々の御冥福をお祈りし、合掌した。

全長 2,000kmに及ぶバスでの旅で、ハードスケジュールであったが、全員無事に帰国出来て、何よりであった。また、異文化に触れて、啓蒙される所も大であった。何よりも食事が2時間以上もかかるのには閉口したが、そのうち慣れる……、いや日本でもこ

れぐらいはかけるべきに変わる。

次回は、アフリカのリフトバレー、アイスランド、ピレネー、スペイン、ティートンダムとセントヘレンズ火山だと、いろいろ候補地が挙がる……乞御期待。