

第8回 海外応用地質学調査団報告
(カナダ、アメリカ)

平成 11 年 9 月

日本応用地質学会
海外応用地質学調査団

序

市川 慧（第8回海外応用地質学調査団団長 日本応用地質学会会長）

この応用地質学調査団も8回目を無事終了し、報告書を作成する事が出来たことは非常に喜ばしい事である。

私は業務の都合で、全行程をおつきあいする事が出来ませんでした。後半のアメリカ視察の団長を日本応用地質学会副会長の田中芳則氏にお願いし、併せて全行程の副団長になっていただきご協力を願った。

今回の調査団の主な目的は前半のカナダのバンクーバー市でのIAEG総会、評議委員会及びシンポジウムへの参加と後半のセントヘレンズ火山噴火跡、テイトンダムの決壊跡及びイエローストーン国立公園の視察とに大きく分けられる。

私は主に前半に参加しているので、これらを中心に感想などを述べてみたい。

総会及び評議委員会には国際委員の伊藤一誠氏に書記として同行を願った。

この総会では会長選挙の結果、新会長にワン・シジン氏が選出された。ヨーロッパ中心のIAEGが凡世界的になった瞬間に立ち会えた事は感慨であった。

会長の交代だけでこのIAEGが大きく変わったと言うのは早計であるが、シンポジウムへ日本人の参加が10%程度を締めるようになったり、当学会総務委員長の三谷氏が日本のTBMの現状をキーノートスピーカーとして紹介し好評を得た他、多くの発表やポスターセッションでの活躍が目立つ大会でもあったといえる。

大会中に開催された、レセプションオンにも多くの団員が参加し国際交流の輪を広げる努力をしている姿も目立ち、前応用地質学会会長の岡本隆一氏が力を入られたこの調査団もいよいよ本物になりつつあるとの感を深くした大会でもあった。

ヨーロッパを中心とした会議が今回初めてアメリカ大陸のカナダのバンクーバー市で開催され、2002年の次回大会を南アフリカで開催する事も決まり凡世界的になり21世紀にふさわしいIAEGに拡大発展する事は望ましい事である。

この調査団の後半も温故知新の精神で大規模噴火の跡地とダム決壊跡地を視察し、地質屋の目で再度確認出来たことは参加された団員の喜びでもあり、これらを報告書としてとりまとめ会員にも知らせる事は、この学会の良き伝統であると考えます。

第9回の調査団はネパールに決定し9月26日の出発の段取りとなっていると聞いております。

この調査団が長く続き、多くの会員が参加し、国際交流に努めていただく他、報告書の形で会員にも伝達し、この日本応用地質学会が益々発展する事を期待しています。

目次

序 (市川慧)	I
1. はじめに (田中芳則)	3
2. 調査団の概要 (井上大榮)	5
3. セントヘレンズ火山	8
3. 1 セントヘレンズ火山の地質と噴火の経緯 (長谷川修一、大野 裕記)	8
3. 2 セントヘレンズ火山と砂防ダム (今野隆彦、藤原幹之)	18
3. 3 セントヘレンズ火山 ジョンストンリッジ観測所 (石戸谷公英)	29
4. テイトンダム	38
4. 1 テイトン ダム決壊22年経過後のダムサイト (高橋耕平、堀川明広) ..	38
4. 2 地質家の立場から見た テイトン ダムの決壊 (岩崎悦夫、高橋努)	53
4. 3 イエローストーン 国立公園 (藤田 崇)	67
4. 4 ラヴァーウオーク (村川壽朗、佐藤英一)	77
4. 5 アイダホのポテトと応用地質学 (太田保)	82
5. IAEG シンポジウムの概要	84
5. 1 テーマ1 : New Developments in Site Investigations (辻 應米、大野裕記)	84
.....	
5. 2 テーマ2 : Engineering Geology and Natural Hazard	
(長谷川修一、佐々木孝雄)	93
5. 3 テーマ3 : Engineering Geology and Environment (照屋純, 高橋 努) ..	100
5. 4 テーマ6 : Case histories and new developments in underground excavations	
(天野功二)	104
5. 5 テーマ6 : Case histories and new developments in underground excavations	
(三谷哲)	105
5. 6 テーマ 6: Key Note Speech ; 「The state of the art of TBM excavation and probing	
ahead techniques (三谷哲)	112
5. 7 IAEG 評議委員会委員会の概要 (市川慧、伊藤一誠)	120
6. スタディツアーに参加して	124
6. 1 Field Trip 6: Debris Torrents and Rockslides, Howe Sound to Whistler Corridor	
(長谷川修一)	124
6. 2 Field Trip: Stave Falls Power Plant Replacement Project part-1	
(大野 裕記)	140
6. 3 Field Trip: Stave Falls Power Plant Replacement Project part-2	
(石戸谷公英)	159
6. 4 Field Trip: Engineering Geology of the Eastern Fraser Valley	
(佐々木孝雄)	166

1. はじめに ことだが、特別顕著であったのはダムサイトにおいてメンバーの顔色が変わるということであった。時間さえも問 田中 芳則(日本応用地質学会副会長、東洋大学) を如実に伝え、当学会がよい会員に支えられていることを実感した。しかし、夜にはバンクーバーは日本の対岸とはいいながら、空路で9時間余り、太平洋という海の大きさをつくづくと感じさせる位置にあった。シアトル経由の飛行機が高度を下げて空港に近づくとつれて眼下には森に続いて住宅地があらわれ、やがて水の上に浮かぶように入り江を巡らせた高層ビル群が見えてきた。これそれ通常では得難い収穫をもつことができたこと。これまでの海外応用地質調査団7回のうち、実に6回までがヨーロッパ大陸で実施されていたが、今回は4年ごとに開催される第8回国際応用地質学会大会と連動させてはじめてアメリカ大陸に足跡を記すことになった。しかし、カナダとはいえアメリカ大陸の西海岸、大会後に出発するUSA北西部の調査団ツアーと併せて比較的日本人にはなじみがありそうな地域だけにどれほどの参加者があるか懸念されされるところであった。おそらく関係者の勧誘の成果もあったであろう、22名の参加者を得て会場の Hyatt Regency Vancouver にのり込むことができたのである。

9月21日のオープニングセレモニーから始まった大会は参加者リストによれば登録人数が449人、うち日本人が49名で、前回リスボンでの第7回大会からさらに日本の応用地質関係者の国際的活動が高まっていることが示された。日本からの参加者の研究発表は他の発表よりも精緻な内容のものが多かったように思えたのは、我田引水か。特記すべきはキーノートスピーチを行った三谷氏の発表で、日本のTBMの現状を会場参加者に明快に理解させ印象づけることに成功し、氏を送り出した当学会としても喜ばしいことであった。大会全体の運営は、研究発表プログラムの差し替えなど直前まで混乱していた様子が見受けられたものの、メリハリのあるセレモニー、中間日のテクニカルツアー、船上でのバンケットなど、結構変化があり、まずは成功したものといえよう。そして、バンクーバー自体が多民族都市であるためか、このような国際行事が街の一角で肩肘張ることなく自然に行われているという印象を持った。この大会に先だって開かれた国際応用地質学会執行委員会に出席した市川会長によれば、国際応用地質学会会長がマリノス氏から中国のワン・シジン氏に交代したとのこと。国際応用地質学会がヨーロッパ中心から脱してさらに汎世界的になりつつあることを象徴するものと受け取れる。併せて日本の当学会の役割を意識させられるとともに、このような国際大会を日本で開催する日がいつか来るであろうことを予感させられたのである。

大会終了後の9月25日、いよいよ調査団活動が始まることになり、一行はバンクーバーを後にした。以後、ポートランド、アイダホフォールズ、ジャクソンと経由しながら、セントヘレンズ火山、ティートンダムなどを視察調査したわけであるが、事前に当学会国際委員会の井上氏により周到な段取りがなされていたため、何の不都合もなくスムーズに経過できたことを感謝したい。セントヘレンズではUSGSで研究中の信州大学三宅康幸氏の案内を頂くという幸運もあった。詳細はそれぞれの報告にゆずるとして、どの調査地にお

いてもいえることだが、特別顕著であったのはダムサイトにおいてメンバーの顔色が変わるということであった。時間さえも問題でなくなり、議論をし石を叩く姿は日頃の仕事ぶりを如実に伝え、当学会がよい会員に支えられていることを実感した。しかし、夜にはこれまでの調査団行全出席を誇る宇田氏の薦めによるカリフォルニアワインを囲んで、一日の収穫を振り返るゆとりも持てたのであった。

このように、北から南から、全国から、日頃会うことのない人達が集まって2週間にわたって行を共にし、楽しく、しかもそれぞれ通常では得難い収穫をもつことができたことを、メンバーの一員として慶びたい。そして、全行程、晴天に恵まれ、大自然に恵まれた中での調査団全員の体験と熱気を、この報告書を通じて本学会会員の方々にくみ取って頂ければ幸いである。

この旅をお借りして、参加頂いた方々、また参加者を送りだして頂いた機関に厚いお礼の意を表したい。

2. 調査団の概要

井上大榮（電力中央研究所）

第 8 回応用地質学海外調査団は以下に示す 22 名が参加した。また、行程は表に示すとおりである。この調査団はカナダバンクーバーにおける第 8 回国際応用地質学会シンポジウムの参加とアメリカのセントヘレンズ火山災害跡、テイトンダム決壊跡を視察するという大きく分けて二つの目的があった。そのため、行程的にも 2 週間にわたった。そのため、日本応用地質学会会長の市川慧氏はバンクーバーの国際応用地質学会の評議委員会およびシンポジウムに参加されたが、御都合によりアメリカには参加できなかった。

これらの状況を鑑み、市川会長には第 8 回応用地質学海外調査団の団長をお引き受け頂き、全行程参加頂いた日本応用地質学会副会長の田中芳則氏にアメリカ視察の行程団長をお願いし、全行程の副団長として団を構成した。このほか、正式に団として参加ではないが、国際応用地質学会評議委員会には伊藤一誠氏に書記として陪席をお願いした。

また、初めての海外旅行を経験する方から、海外経験ベテランを含めた様々な方達の参加を得たが、家庭の事情があり途中で帰国された方があったが、とにかく全員無事で帰国出来たことはなによりである。

この項をお借りして、参加頂いた方々、また参加者を送りだして頂いた機関に厚いお礼の意を表したい。

表一 2 . 1 第 8 回 応 用 地 質 学 海 外 調 査 団 参 加 者 名 簿

			(敬称略・順不同)
	氏 名	会 社 名	所 在 地
01	市川 慧 (団長)	八千代エンジニアリング (株)	
02	天野 功二	(株) 開発土木コンサルタント	
03	石戸谷 公英	中央開発 (株)	
04	井上 大榮	(財) 電力中央研究所	
05	岩崎 悦夫	(株) ダイヤコンサルタント	
06	宇田 進一	ネットワーク・地球	
07	太田 保	(株) 復建技術コンサルタント	
08	大野 裕記	四国電力 (株)	
09	今野 隆彦	(有) ジオプランニング	
10	佐々木 孝雄	住鉱コンサルタント (株)	
11	佐藤 英一	(財) ダム技術センター	
12	高橋 耕平	北海道電力 (株)	
13	高橋 努	八千代エンジニアリング (株)	
14	田中 秀則 (副団長)	東洋大学	
15	辻 應米	北海道開発コンサルタント (株)	
16	照屋 純	日本工営 (株)	
17	長谷川 修一	(株) 四国総合研究所	
18	藤田 崇	大阪工業大学	
19	藤原 幹之	国際航業 (株)	
20	堀川 明広	鹿島建設 (株)	
21	松本 和正	北海道土質コンサルタント (株)	
22	三谷 哲	(株) 熊谷組	
23	村川 壽朗	(財) ダム技術センター	
24	森 和夫 (添乗員)	(株) 大成ツーリスト	

表一 2. 2 第 8 回応用地質学海外調査団工程

NO	月日曜日	都市名	現地時間	交通機関	摘 要	食 事
1	9/20 (日)	成田空港発	17:30	DL052	空路、ポートランドへ [所要時間: 8時間50分]	朝:× 昼:× 夕:機
		ポートランド着	10:20		---<日付変更線通過>---	朝:機
		ポートランド発	12:45	DL5947	到着・通関後乗り継ぎ 空路、バンクーバーへ [所要時間: 1時間05分]	昼:レ 夕:レ
		バンクーバー着	13:45	専用車	到着・通関後、ホテルへ ホテル到着後、大会受付登録 <バンクーバー泊>	
2 1 6	9/21 (月) | 9/25 (金)	バンクーバー滞在	終 日		終日 第8回IAEG CONGRESS 出席 <バンクーバー泊>	朝:ホ 昼:× 夕:×
7	9/26 (土)	バンクーバー着	10:20	DL5946	空路、ポートランドへ [所要時間: 1時間03分]	朝:ホ 昼:レ 夕:ホ
		ポートランド着	11:20	専用車	到着・通関後、ホテルへ <ポートランド泊>	
8	9/27 (日)	ポートランド滞在	終 日	専用車	終日セントヘレンズ火山調査 <ポートランド泊>	朝:ホ 昼:レ 夕:レ
9	9/28 (月)	ポートランド発	10:25	DL1098	空路、ソルトレイクシティへ [所要時間: 1時間40分]	朝:ホ 昼:レ 夕:ホ
		ソルトレイクシティ着	13:08		到着後、乗り継ぎ	
		ソルトレイクシティ発	15:00	DL5766	到着後、ホテルへ <アイダホフォールズ泊>	
		アイダホフォールズ着	16:00			
10	9/29 (火)	アイダホフォールズ滞在	終 日	専用車	終日、ティートンダム調査 <アイダホフォールズ泊>	朝:ホ 昼:レ 夕:ホ
11	9/30 (水)	ホテル発 ジャクソン着	終 日 夕 刻	専用車	終日イエローストーン国立公園、地熱地帯調査 <ジャクソン泊>	朝:ホ 昼:レ 夕:ホ
12	10/01 (木)	ジャクソン発	08:25	DL9769	空路、ソルトレイクシティへ [所要時間: 46分]	朝:ホ 昼:レ 夕:ホ
		ソルトレイクシティ着	09:16		到着後、乗り継ぎ	
		ソルトレイクシティ発	10:00	DL479	空路、ロサンゼルスへ [所要時間: 2時間01分]	
		ロサンゼルス着	11:05	1専用車	到着後、ホテルへ <アナハイム泊>	
13	10/02 (金)	ロサンゼルス発	11:05	DL079	空路、帰国 [所要時間: 11時間25分] <機 中泊>	朝:ホ 昼:機
14	10/03 (土)	成田空港着	14:30		到着後、解散 朝:× 昼:機 夕:×	

3. セントヘレンズ火山(St.Helens Mountain)

3. 1 セントヘレンズ火山の地質と噴火の経緯

長谷川 修一 ((株)四国総合研究所)、大野 裕記 (四国電力(株))

(1)カスケード火山帯

セントヘレンズ火山の位置する米国北西部のカスケーディア地方では、ファン・デ・フカ、ゴルダ、エクスプローラーの三つのプレートが沈み込んでいるため、大規模な地震や津波が数百年毎に生じ、カスケード火山群が形成された(図-1)。カスケーディアは、この火山群の名前にちなんでいる。

ここでは、ファン・デ・フカ・プレートが北米大陸の下に沈み込み、数百年に一度M9クラスの巨大地震を発生させている。最近の巨大地震はM9で、1700年1月26日に発生したことが、日本の津波の研究によって明らかにされている(Satake, et. al, 1997)。また、サンアンドレアス断層に沿って太平洋プレートが北西へ移動し、それがオレゴン州をワシントン州へ押し込む一方、東からはベースン・アンド・レンジも圧力を加えている。カスケード火山帯は、レーニア火山(4,392m)をはじめ、多くの活火山が形成されている。どの火山も最近数十万年間に生まれたものばかりである。しかし、その火山活動の歴史はさらに古く、現存の火山は古い火山の残骸の上に形成されているようである。

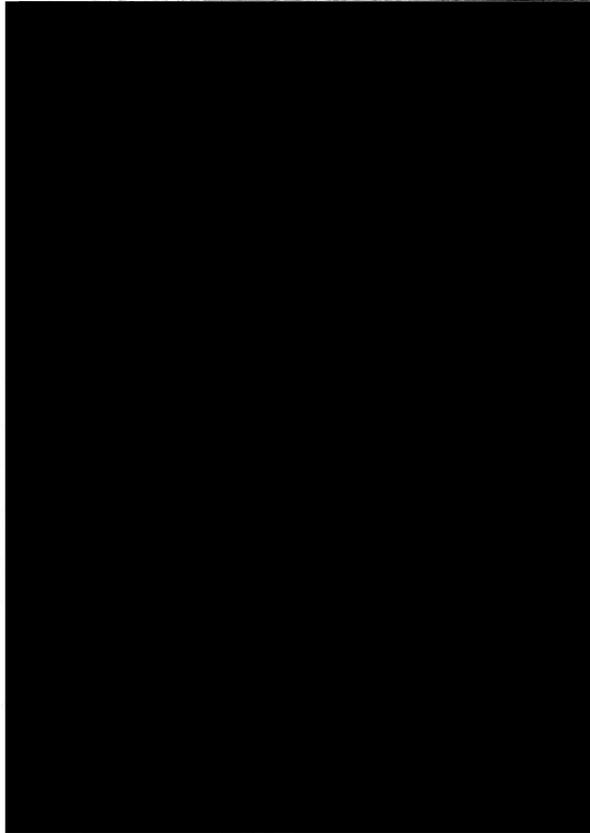
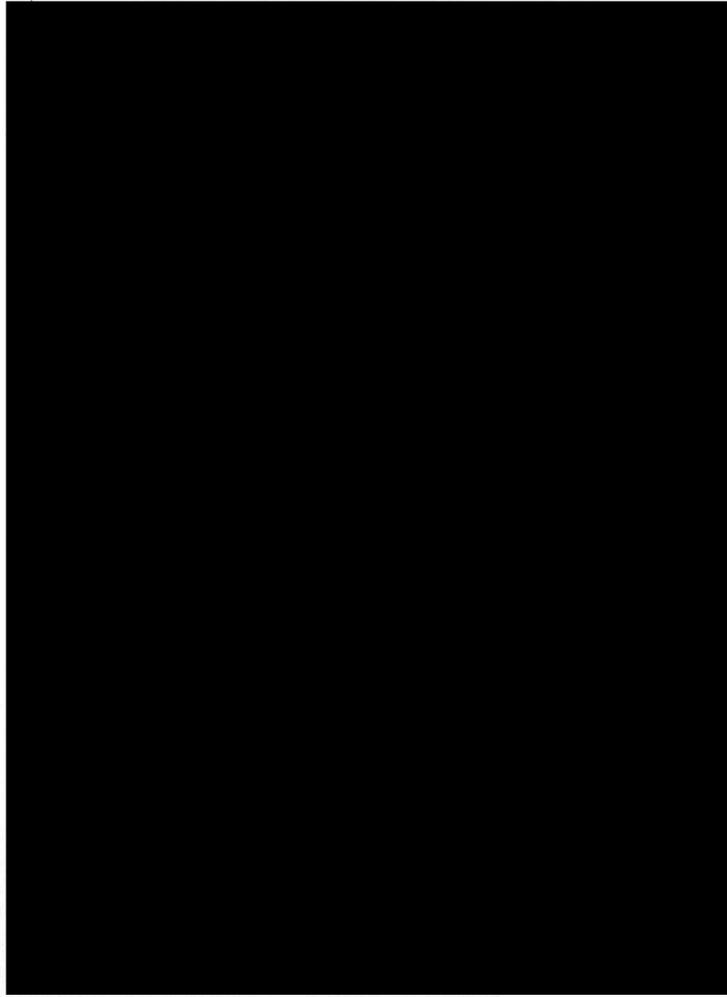
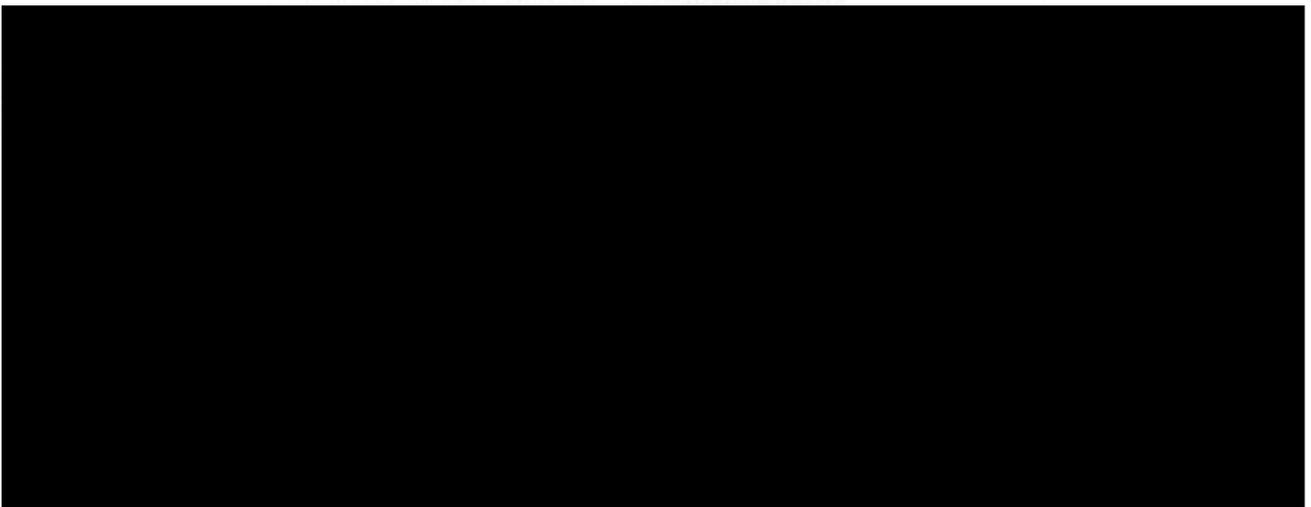


図-1 カスケード山脈のプレート配置

(National Geographics, 1998-5)



図一 2 St.Helens 火山および他の Cascade 山地の火山群



図一 3 カスケード火山帯の噴火 (National Geographics,1998-5)

(2)セントヘレンズ火山の地質と活動史

セントヘレンズ火山の地質と岩石について 荒牧重雄 (1981) に従って紹介する。

1)セントヘレンズ火山の地質

St.Helens 火山の直接の基盤は走向 N E で S E 方向に傾斜する砂岩や泥岩 (Verhoogen, 1937; 図一 5) や凝灰角礫岩から成る。その大部分は火山性物質に由来し、緑泥石、炭酸塩鉱物、粘土鉱物などに変質している。年代は不明だが始新世または漸新世ではないかと考えられている。中新世には、現在の St.Helens 火山の周辺に大量の安山岩質溶岩 (Keechelus andesite) が噴出した。これはすぐ後に変形され、安山岩、石英閃緑岩、ライオデイサイト、ひん岩などの小型岩体によって貫入された。

Verhoogen (1937) は砂岩や泥岩の基盤の上にかんらん石玄武岩の溶岩流が直接のってきて、これが St.Helens 火山地域の第四紀火山活動の先駆であるとしている。彼によればその後、デイサイトや角閃石安山岩やその火砕岩などから成る成層火山が生じた。図一 6 に St.Helens 火山の地下構造を示す (Pringle, 1993)。

2)セントヘインズ火山の活動史

St.Helens 火山の成長史は旧期と新期に 2 大別され、その時代的境界はほぼ 2,500 Y B P である (Crandell et al., 1975; Harris, 1980)。現在見られる成層火山帯の大部分は新期の火山帯であると考えられる。確認された最古の噴出物として 37,600 Y B P の軽石層と風化した泥流堆積物 (36,000 Y B P) がある (Harris, 1980)。旧期火山帯はデイサイトと安山岩の溶岩と火砕物から成る成層火山で、18,000~14,000 Y B P の氷河堆積物の構成要素としてそれらが含まれていることから、少なくとも 1 回の氷期を経験したことがわかる。降下軽石堆積物として顕著なものには、4,000~3,000 Y B P に噴出し北東麓を広く覆う Y pumice がある。Y pumice は少なくとも 10 枚の降下軽石層から成り、合計 10 km³ もの体積がある。また、種々の火砕流堆積物が広く分布することから推して、旧期火山帯ではデイサイト質~珪長安山岩質の火砕岩や溶岩円頂丘が卓越し、溶岩流は少なかったと考えられる。

新期火山帯の活動史は数多くの 14 C 年代決定によって詳しくわかってい (Crandell et al., 1975 他)。その大要を表一 1 に示す。旧期火山の活動の末期は、2500 B C ~ 1600 B C と 1200 B C ~ 800 B C の 2 期の活動と、その間に挟まれる休止期で代表される。2500 B C 以前は、異常に長い休止期 (4000 年続いた?) があつた。約 400~500 年の休止期を隔てて、400 B C 頃から噴出するマグマの組成が変化し、珪長質マグマと平行して玄武岩質溶岩が噴出し始めた。現在に至るまで、デイサイト質溶岩円頂丘や火砕流、安山岩質溶岩、火砕流、そして玄武岩質溶岩が交互に、あるいはほとんど同時に、異なった噴出口から放出されたという (Crandell et al., 1975)。新期火山帯の生長は A D 400 ~ A D 840 の顕著な休止期をはさんで二分されるようである。400 B C ~ A D 400 に至る活動期の初期に玄武岩~安山岩の溶岩流が比較的多く、後期には

火砕流が多くなった。約800年間を通じて、少なくとも安山岩～デイサイト質降下火砕物を2回、玄武岩質降下火砕物を6回、デイサイト～安山岩質の火砕流を3回以上、そして溶岩流を2回以上噴出した (Crandell et al, 1975)。

AD 1200～AD 1300から現在に至る活動期には1980年の活動を含めて少なくとも7回の大噴火(地質学的堆積物を残した噴火)があった。約100年に1回の割合である。この間も玄武岩質～デイサイト質まで広い組成範囲のマグマが噴出したが、爆発的噴火の極大は(1980年の噴火を除いて)AD 1500頃に起こった。約1km³の安山岩質軽石が北～東方へ降下した(WnおよびWeなど)。W軽石層は1980年の噴火で爆風により破壊された地域の東半部に広く分布し、地表から最初の大きな軽石層を形成している。1980年の大噴火まで、山頂部を形成していたデイサイト質溶岩円頂丘はAD 1600～AD 1700に生じたとされている。北麓にあるSpirit Lakeは主火山体から流下した泥流や火砕流堆積物によってToutle川がせき止められて生じたものだが、湖水面の最後の顕著な上昇(1980年以前の)はAD 1550頃起こったという(Harris, 1980)。その後150年位は活動度が低かったが、AD 1800頃北西山腹から噴火し、北東方向に主軸を持つ降下軽石層(Tpumice)を形成した(Hopson, 1971)。この軽石噴火の直後か(Hopson, 1971)あるいはしばらく経ってから(Crandell and Mullineaux, 1978)山体の北西側と南側に割れ目が開いて安山岩の溶岩流が流下した。この間、おそらく火砕流や泥流の発生があったと思われる。St. Helens 火山の噴火に関するインディアンの伝説は確かに存在するが、同定された噴出物に対比可能な噴火についての情報は得られない。白人による観察記録は1835年以来で、1831年または1835年に噴火が起こり、先に述べた北西および南側山腹に流出した溶岩流はこの時期のものである可能性がある(Harris, 1980)。

1980年に先立つ最後の大噴火は1842年11月から15年間続いた。1842～1843年にかけて頻繁に噴火し、近傍に火山灰や軽石を降下させたが、1840年代の後半は活動度が低下した。1850年頃の記述によると、この時期に活動した火口は山頂より北ないしは北東側にずれていることが明らかである。1980年の噴火以前に北側山腹8合目付近に突き出していたGoatRocksはデイサイト質の溶岩円頂丘であるが、その岩体の大部分はSt. Helens 主火山体の中に埋まっており、一種のクリプトドーム(cryptodome)であると考えられている。多くの研究者はこのGoat Rocksが1840～1880年代の活動によって貫入したのと考えている。

St. Helens 火山は1857年に東～南麓に火砕物を降下させた活動以来休止期に入り、1980年まで123年間静穏を保ってきた。

Crandell et al(1975)は、St. Helens 火山の活動史をVesuvius, Hekla, 富士火山のそれと比較している(図-7)。

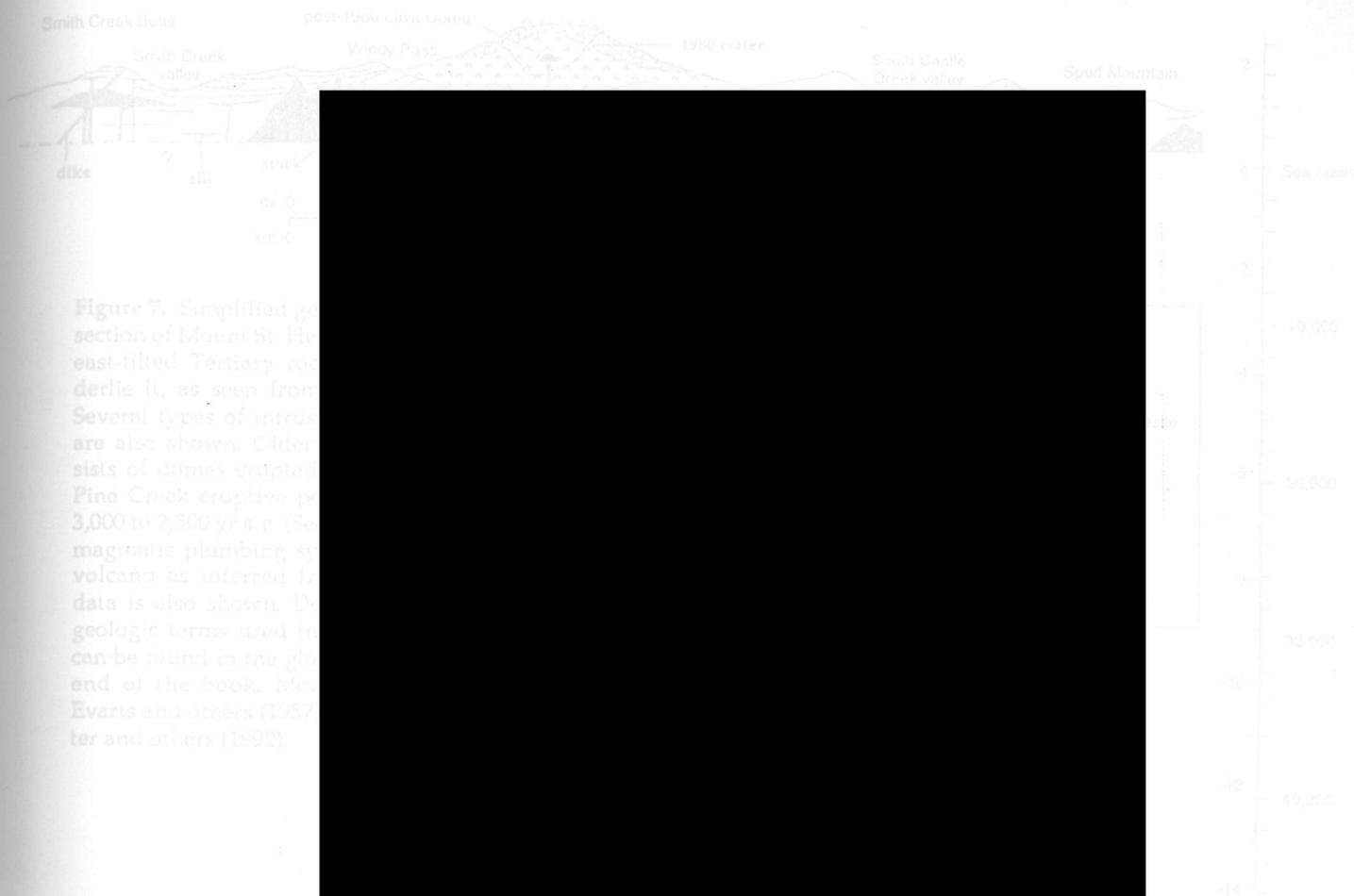


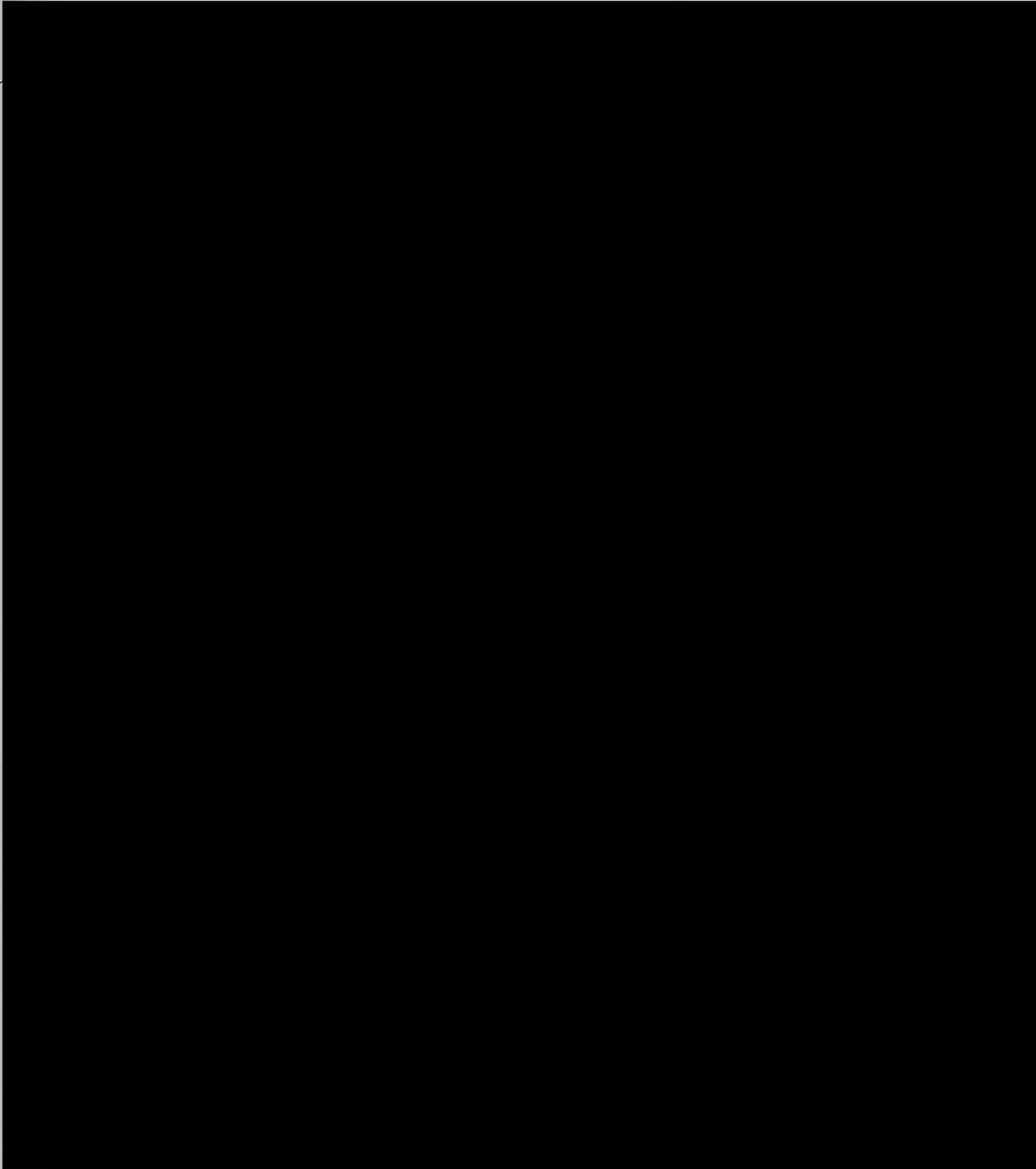
Figure 7. Simplified geological cross-section of Mount St. Helens. The diagram shows the following features from left to right: Smith Creek Butte, Smith Creek valley, post-1980 lava flows, Windy Pass, 1980 crater, South Castle Creek valley, and Spot Mountain. A vertical scale on the right indicates elevation in feet, with markers at 0 (Sea Level), 10,000, 20,000, 30,000, and 40,000. A large black rectangular area obscures the central part of the diagram.

14-7 St. Helens

（左向きは北）

史上の記録を、下欄のきざみ日は順序学的な記録を示す。Crandell et al. (1975)

図一5 Verhoogen(1937)による St.Helens 火山の地質図



図一七 St.Helens, Vesuvius, Hekla, 富士の各火山の火山活動の比較. 上側のきざみ目は歴史上の記録を、下側のきざみ目は層序学的な記録を示す. Crandell et al. (1975)

(3)セントヘレンズ火山の大噴火

1)大噴火までの経過

1980年5月18日8時32分マグニチュード(M)5.0の地震がセントヘレンズ火山直下に発生すると同時に、この地震が引き金となったとも考えられる大噴火が発生した。セントヘレンズ火山は米国ワシントン州の南部太平洋岸に沿う、カスケード火山群に属する火山であり、1857年の噴火以来123年ぶりの活動であった。また、米国本土での火山噴火は1914～1917年のラッセンピーク火山の噴火以後63年間なかった。

火山活動のスタートはセントヘレンズ火山の近くに3月20日15時48分に発生したM4(深さ5km)の地震の発生であった。27日12時36分の最初の水蒸気爆発までの間は前兆地震の活動は特に活発であり、M4～3級の地震が1時間に10回も発生していた。このあと小爆発は間欠的に繰り返し発生しており、3月29日には火山の北側斜面に泥流も発生した。4月はじめには山体の北側斜面に膨張が認められるようになった。4月22日には噴火の休止期があり、地震活動も低下してきた。5月上旬になると山体の膨張は急速に進み、4月25日以降の測量では1日当たり1.5～2mの割合で変形が進行し、北側斜面4km²に広がり、局所的には100m以上のせり出しが観測されていた。5月7日には噴火が再開するが、地震発生回数は減少の一途をたどっていた。しかし、火山性地震としては大型に属するM4級以上の地震は増加していた。以上の異変は、セントヘレンズ火山の活動開始以来米国地質調査所のメンバーが主力となって監視・観測を続けていた。約2ヶ月にわたる大噴火の準備期間において、セントヘレンズ火山には遂に5月18日の破局が訪れる—このことは観測陣には予測されていなかった。ちょうど上空で観測していた飛行機からも、この大爆発の瞬間の貴重な写真が撮られていて、全世界に放送されている。

2)5月18日の大噴火による災害

山体崩壊・爆風・乾燥粉体流(岩なだれ dry avalanche)・二次泥流・広範囲(北アメリカ全土)におよぶ火山灰の降下・成層圏に高濃度のエアロゾル層の生成等の火山噴火にともなう主な加害要因がすべて発生した。セントヘレンズ火山は、噴火前には2,950mもあった山頂部は噴火後400mも低くなり、崩壊の後は直径約2kmの馬蹄形の大火山口(崩壊カルデラ)を北に向けて大きく口を開ける山容と化した。噴火の警告はなされ、立入禁止の指示も出ていたが、加害範囲が広く、爆風と岩なだれによる犠牲者は62名、破壊された森林は600km²で林、木材資源の被害額は10億ドルと算定されている。

トウトル河に流入した粉体流は二次泥流となり、50km以上も流下し、家屋・道路・橋などを破壊し、主流のコロンビア川に流入し、河床に埋設して、船舶の航行が不可能となった。

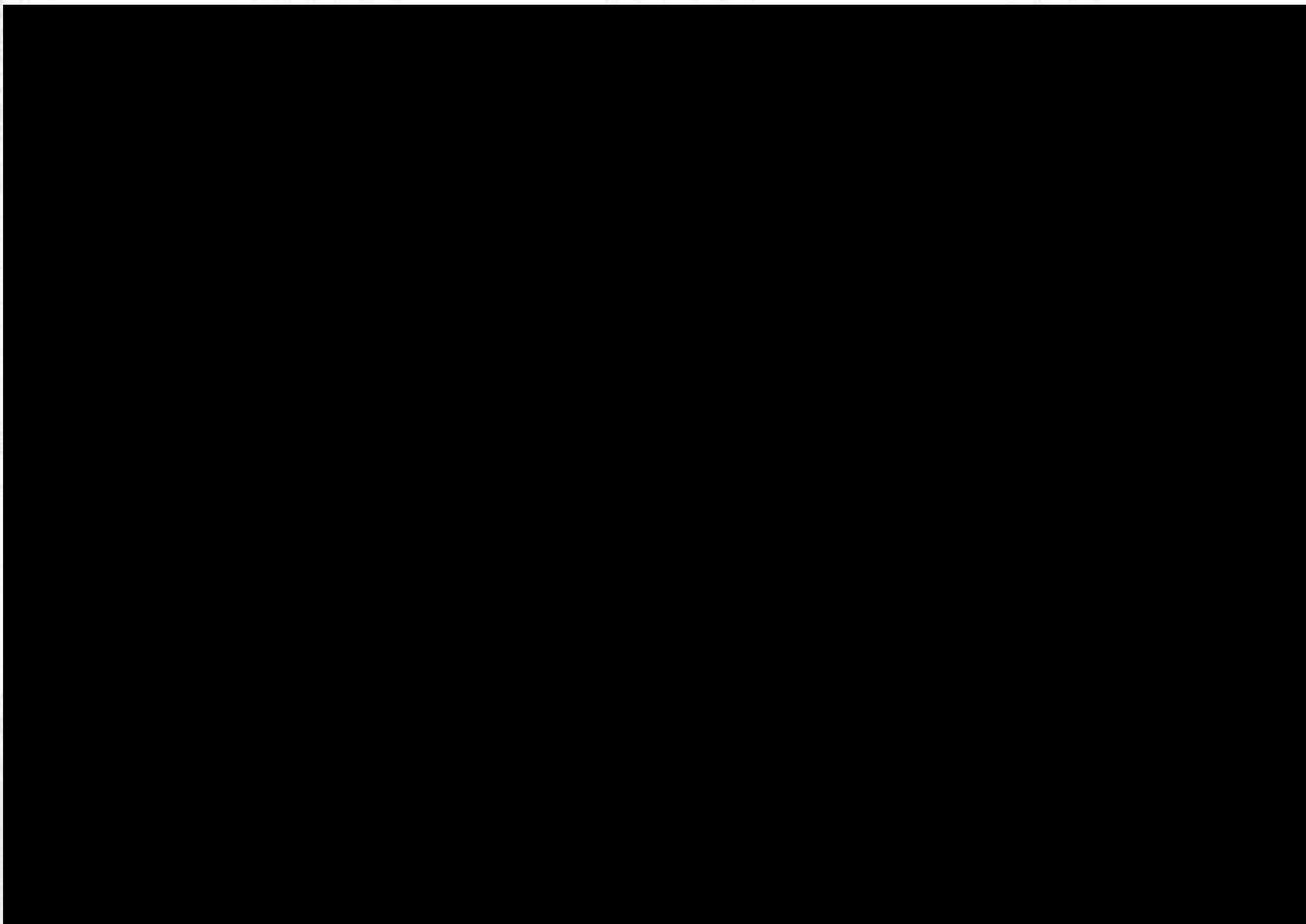


図-8 5月18日朝の大噴火の概念的スケッチ(荒牧,1981). 1,M=5の地震発生、山頂火口内に雪崩発生. 2,bulgeの部分が北側へ滑落を開始. 3,崩落が進み、水蒸気爆発が発生. 4,debrisavalancheとして裾野へ流下する. 水蒸気爆発激しさを増す. 5,流動化した流れの上部層が地形的障害を乗り越え、blasted areaを破壊. Debris avalancheの主流は Toutle Riverを流下. 中央火道からプリニアン噴煙柱が上昇する.

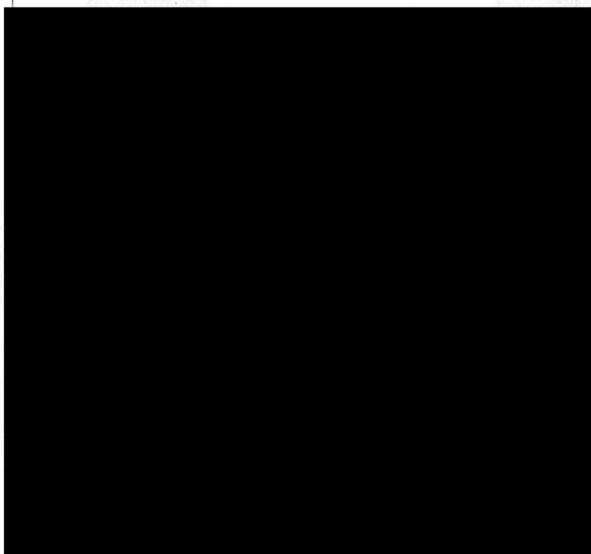
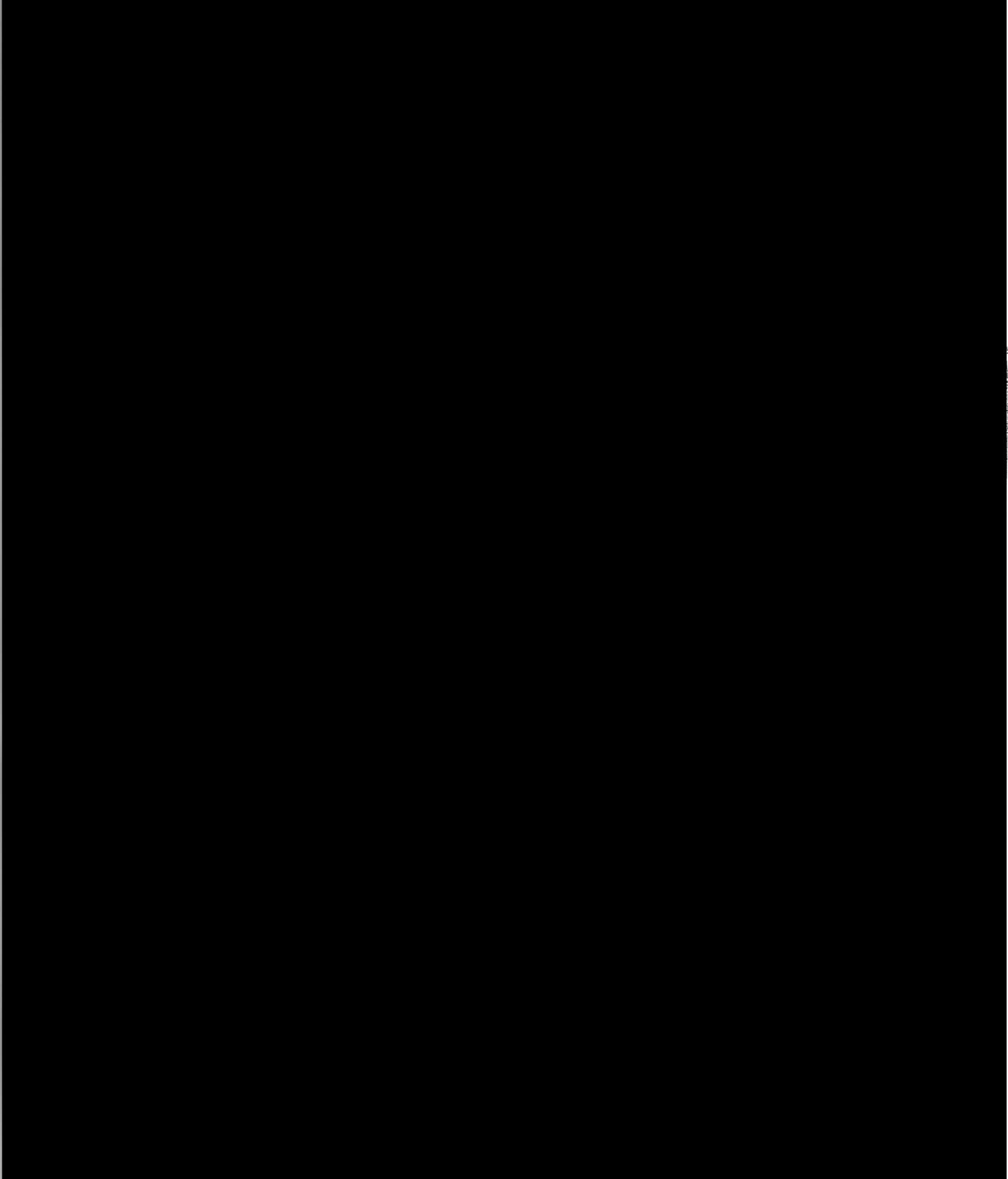


図-9 Fork と South Fork の Toutle River の泥流の先端は図からはみ出している (National Geographic Vol.159,1981よりスケッチ).



●地殻の構造 図-10 セントヘレンズ火山大噴火の連続写真
セントヘレンズ火山の大噴火 (ライフ地球発見「火山」より)

3.2 セントヘレンズ火山と砂防ダム

今野隆彦((有)ジオプランニング)、藤原幹之(国際航業(株))

(1) 行程

セントヘレンズ火山はポートランドの北北西、約 100km の距離にある。ポートランドを出発し、Interstate Highway 5 号線を北上した後、Castle Rock (exit49) からノースフォークトートル川 (North Fork Toutle River) 沿いに東進 (State Highway 504) するコースをとり、セントヘレンズ火山の調査を行った。

この間の主な調査地点は以下の 3 地点である。

- Mount St.Helens Visitor Center (10:30~11:30)
- A-FRAME (12:00~12:20)
- 大規模砂防ダム (12:30~13:30)

(2) 調査内容

1) ホテル出発 (バス移動)

9:00 にポートランド・マリオット・ダウンタウンホテルのロビーにて、コーディネーターの三宅康幸氏 (信州大学理学部、米国地質調査所カスケード火山観測所へ出向中) と合流し、セントヘレンズ火山調査に出発した。

三宅氏は玄武岩の研究が専門で、ワシントン州・オレゴン州東部をフィールドとして研究中とのことである。バスでの移動中に、セントヘレンズ火山の概要説明と調査上の留意点について説明が行われた。特に以下の点について強調された。

- ・ セントヘレンズ火山周辺地域は The Mount St.Helens National Volcanic Monument に指定されている
- ・ 11 万エーカー (440km²) の土地が大規模火山砕屑物における植生回復の実験場として厳重に管理されている
- ・ 大規模火砕流の研究、レクリエーションや教育の場として位置付けられている
- ・ 特に自然の生態系に対する人工的な影響を極力排除する方針がとられている
- ・ 指定された歩道以外は立ち入り禁止、ハンマーで岩石をたたくことは禁止
- ・ 石・草木の持ち出しは一切禁止されている (パトロールにより監視されている)

移動の大半は快適な高速道路であり、緩やかにうねる丘陵上の林の合間からセントヘレンズ火山が遠望できた。

(3) Mount St.Helens Visitor Center

●施設の概要

セントヘレンズ火山周辺にある 3 つの Visitor Center のなかで最初に出会うもので、セ

ントヘレンズ火山を遠望する Silver Lake のほとりに位置する。セントヘレンズ火山を訪れる観光客の大半が通過するルート沿いにあり、日曜日ということもあり家族連れなど多数の見学者で賑わっていた。

入場料は 8 ドルで、施設内には写真集、地図、書籍などの販売コーナーがある。

●展示の内容

スライドを約 10 分間、ビデオを約 20 分間見た後、館内を見学した。スライド・ビデオでは上空からの噴火、泥流などの映像を交え、噴火後の様子をわかりやすく解説していた。

館内の見学コースは、地球史、プレートの沈む込みによる火山の噴火機構、環太平洋の火山分布など地学一般から、セントヘレンズ火山の噴火状況、噴火による地形変化、動物への影響、降灰の範囲などのパネル展示があり、小さいながらも充実した内容であった。

また、植生の回復や動物の回帰など、自然の復元能力の高さに関する説明も見受けられた。さらに、現在のセントヘレンズ火山のモニタリングについて展示したパネルもあり、広報活動にも力を注いでいる様子が伺えた。

(4) A-FRAME

A-FRAME は土石流に埋もれた二階建ての山小屋風の建物が保存されているもので、外観がアルファベットの A に似ていることから名付けられたようである。土石流により建物の 1 階部分が埋まり、1~1.2m の厚さで土石流が堆積している。説明用パネルでは直径が 0.8 m もある大木が窓を突き破って入り込んでいる様子などを写真入りで説明していた。

現在では、ほぼ平坦な土石流上面に草が生え、少し離れたところにはカンバ類の広葉樹が群生している。この広葉樹は土石流の面上に密生しており、噴火後約 18 年で高さ 7~10 m になっている。

(5) 大規模砂防ダム (The Sediment Retention Structure)

●ダムの概要

火山噴火時の泥流の主要な流路であるノースフォークトートル川上流に設置された土砂貯留用ダムである。この流域に堆積していると推定されている約 2.8k m³ の土砂による土砂災害を防ぐための恒久施設で、その規模は以下の通りである。

- ・ 有効高 : 38m
- ・ 堤頂長 : 550m
- ・ 貯砂容量 : 約 2 億 m³
- ・ 放水路の流下能力 : 約 6500 m³/秒

ダムが完成した 1987 年から 1993 年までの貯砂量は約 2500 万 m³ に達しており、貯砂容量の約 13% に相当している。1998 年時点では約 23% に達していると推定される。セントヘレンズ火山の土砂災害対策プロジェクトの実施期間は 2025 年までの 50 年間であり、現在も進行中である。ただし、今後新たな砂防ダム等の施設設置の計画はない。

●ダムの現況

当初はダム下流の展望台からの遠望だけの予定であったが、ダム堤体まで達する歩道が整備されていたことから、予定時間を大幅に延長してダム堤体も含めた調査を行った。ダムの堤体は堆積物を整形して、コンクリートで越流部を構築したと推定され、堤体には多数の水抜き孔が設置されていた。ダムの右岸側には堤体がなく流路が開かれており、河川水はダムに遮られることなく流下していく構造となっている。この開かれた流路の底には基盤と思われる岩が露出していた。

また、ノースフォークトートル川上流からの水路は堤体の前を蛇行して通過するようにして開削されており、その間に土砂を堆積、大きな丸太を連結した流木除けが設置されていた。

●その他の土砂災害対策工

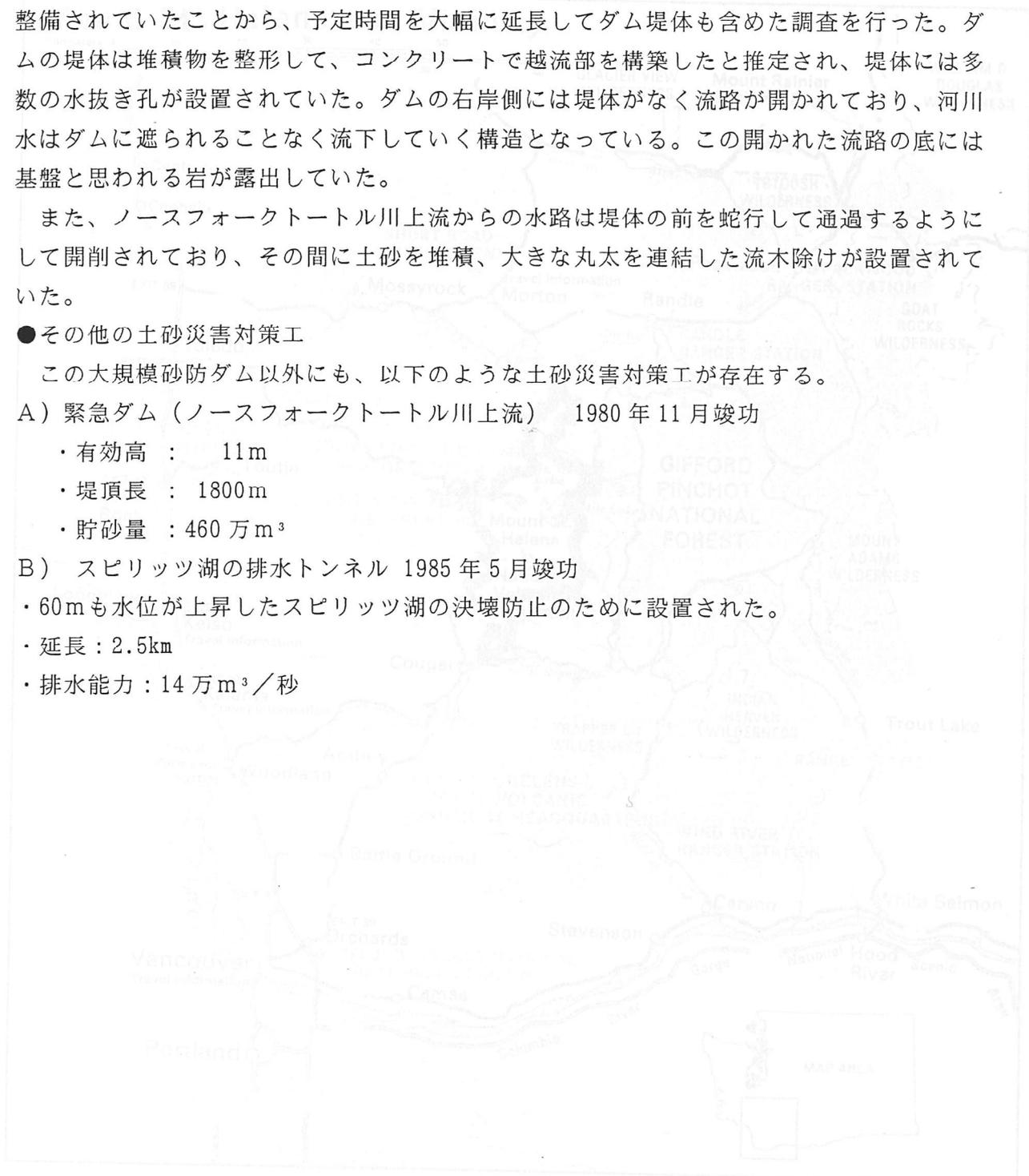
この大規模砂防ダム以外にも、以下のような土砂災害対策工が存在する。

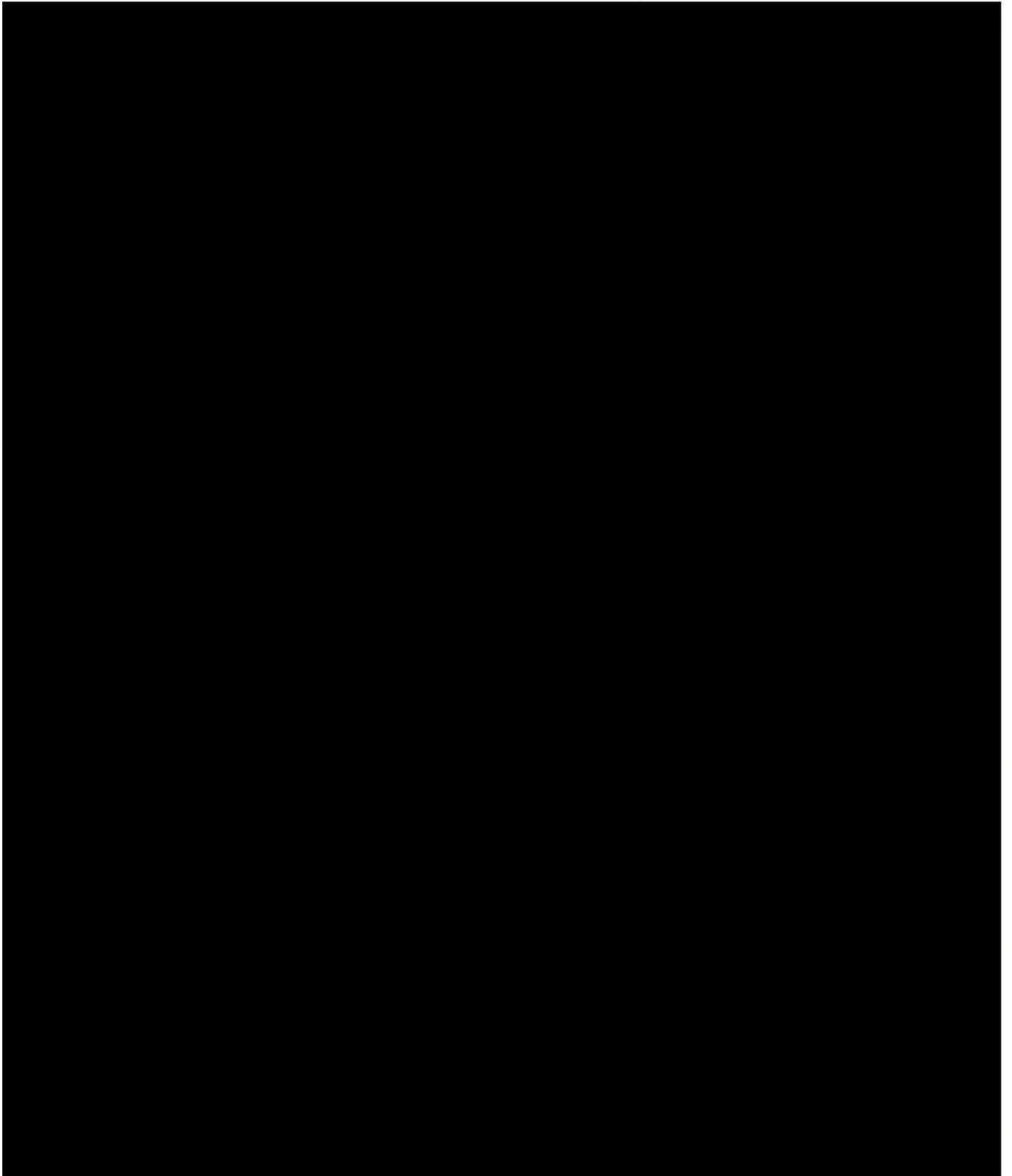
A) 緊急ダム（ノースフォークトートル川上流） 1980年11月竣工

- ・有効高 : 11m
- ・堤頂長 : 1800m
- ・貯砂量 : 460万 m^3

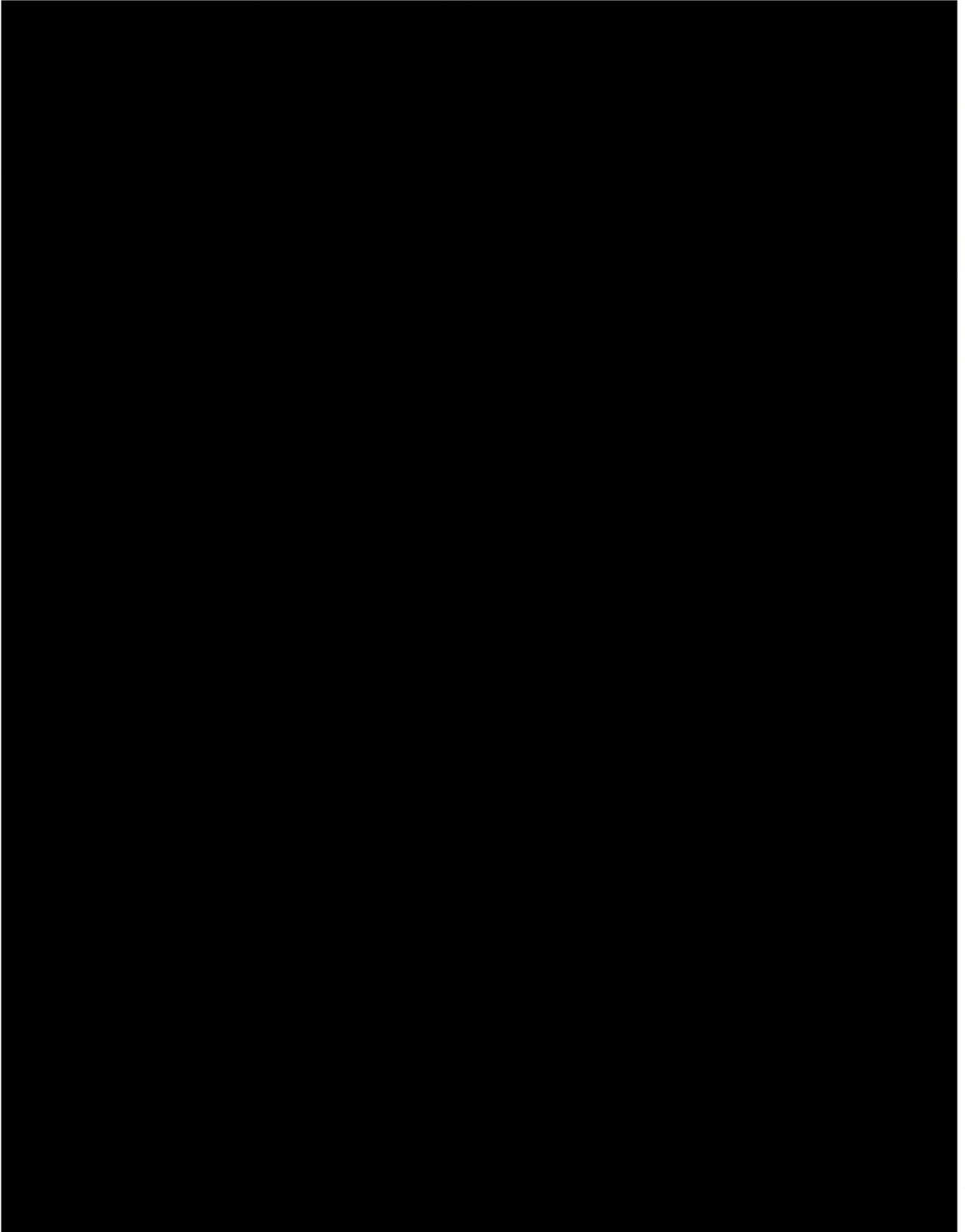
B) スピリッツ湖の排水トンネル 1985年5月竣工

- ・60mも水位が上昇したスピリッツ湖の決壊防止のために設置された。
- ・延長 : 2.5km
- ・排水能力 : 14万 m^3 /秒





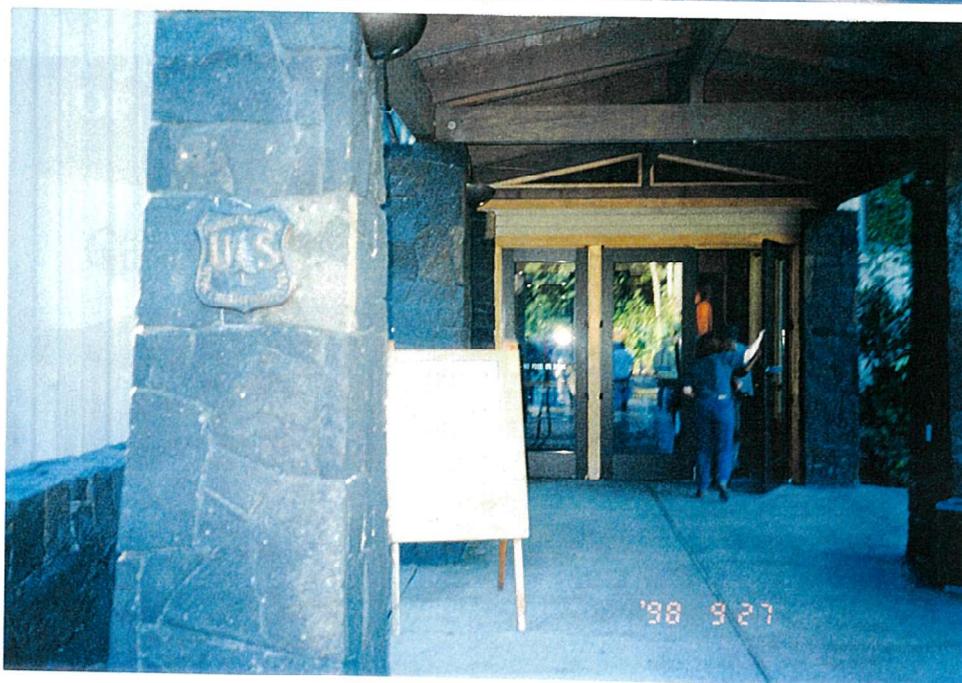
図一 1 調査対象位置図



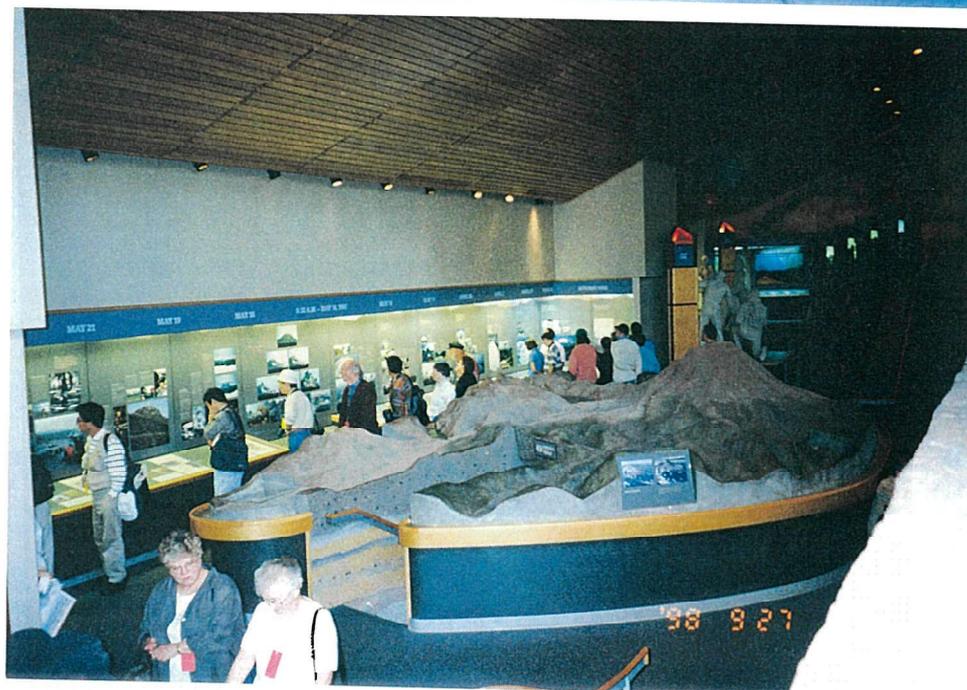
图一 2 全体行程图



写真一 1
Mount St. Helens
Visitor Center
全景



写真一 2
Mount St. Helens
Visitor Center
玄関



写真一 3
Mount St. Helens
Visitor Center
館内風景



写真-4
セントヘレンズ火山の模型
(St. Helens
-Observation Center)

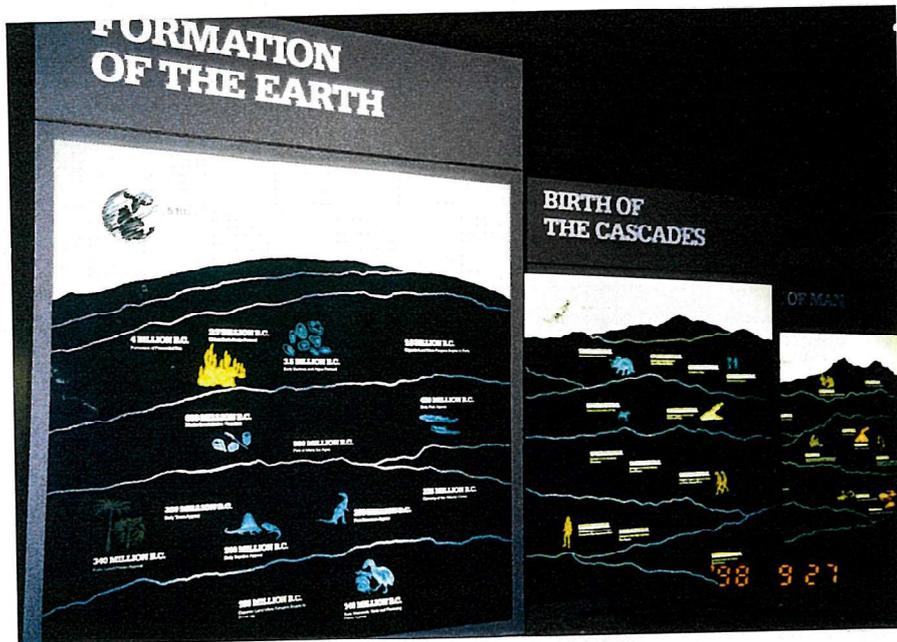


写真-5
地史の解説パネル

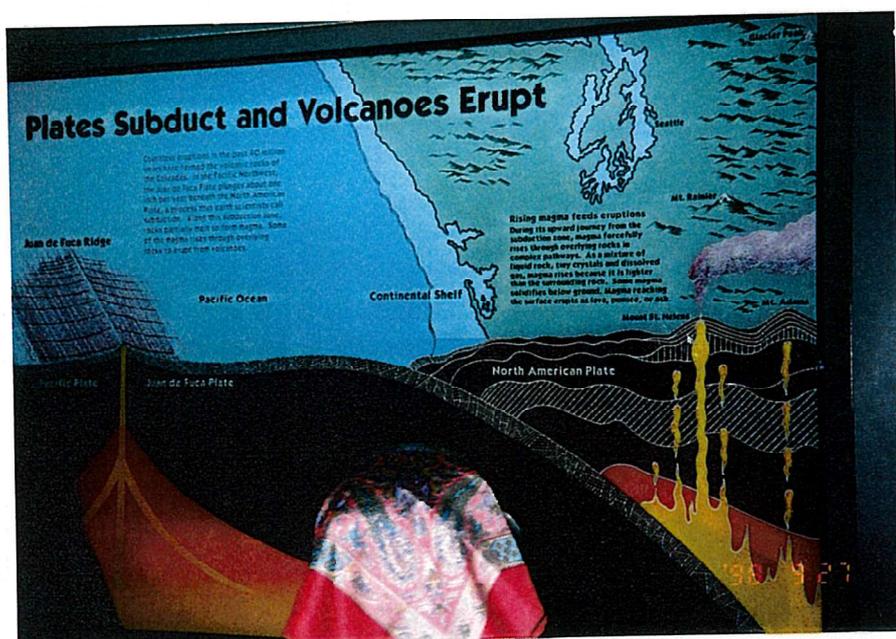


写真-6
噴火機構の解説パネル

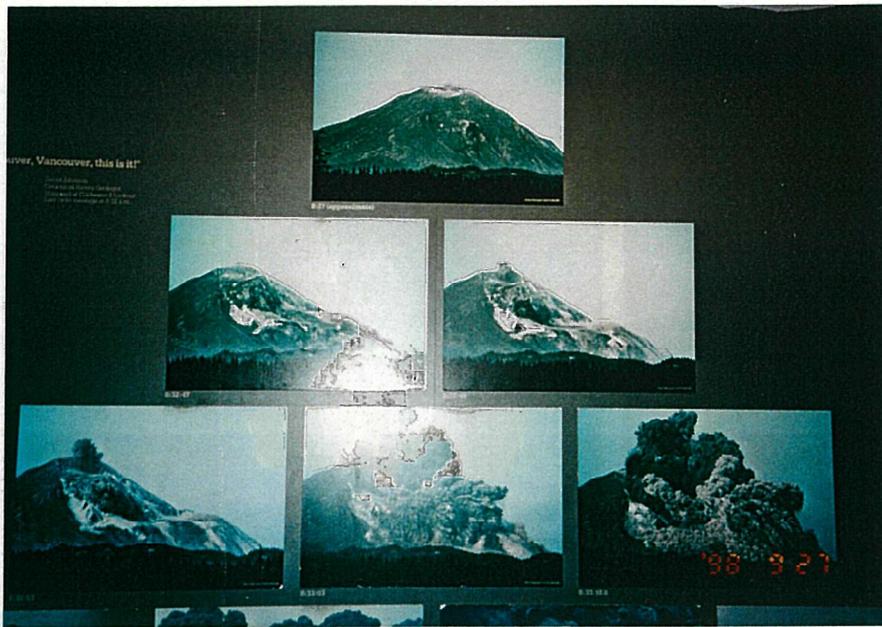


写真-7
セントヘレンズ火山の噴火状
(1980年5月18日)



写真-8
爆風によりなぎ倒された針葉
直径1~2mもある。

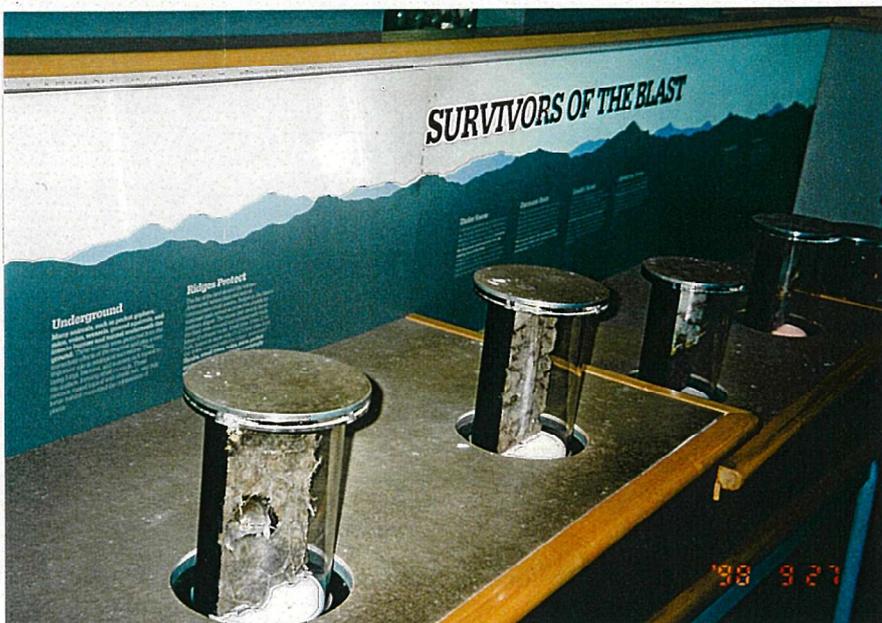


写真-9
噴火でも生き残った生物。
(動物は穴に住んでいた
ものが多い)

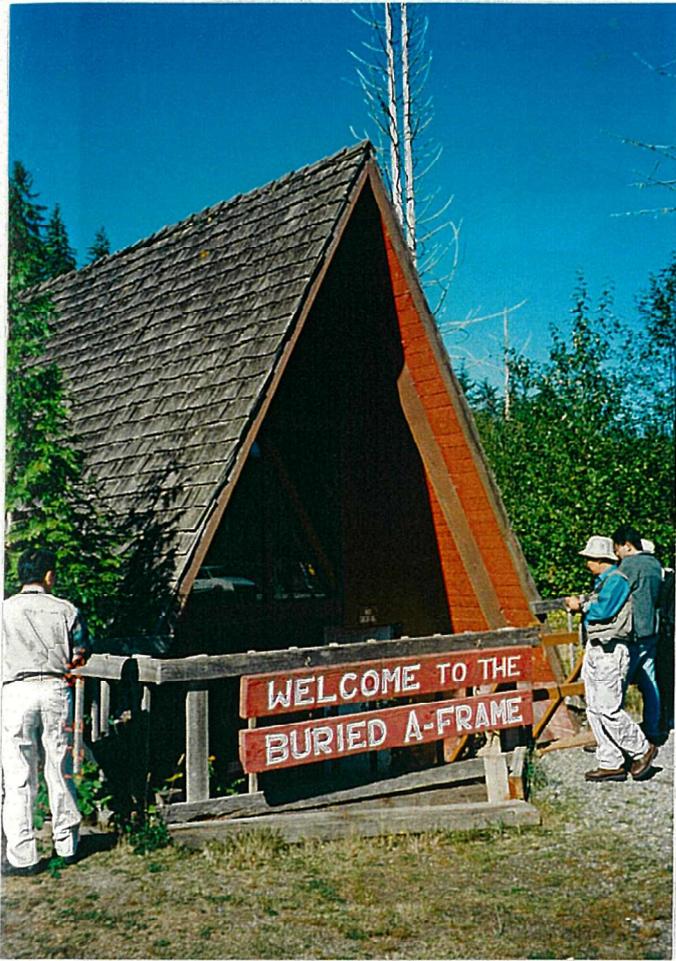


写真-10 A-FRAME全景

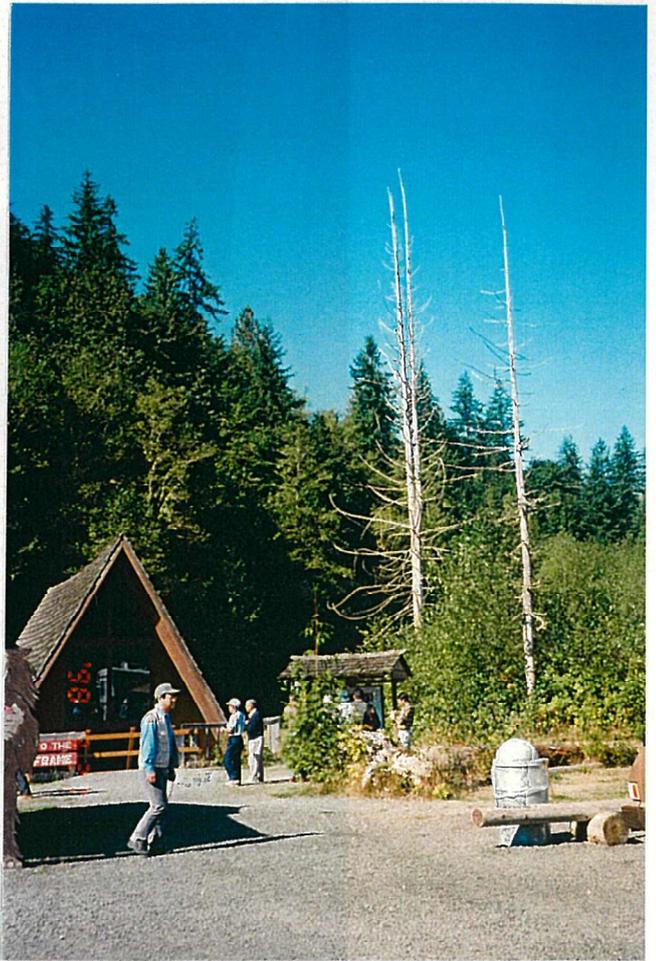


写真-11 A-FRAME周辺の林
(樹齢18年)



写真-12
A-FRAME
2階部分の状態
1階部分は埋没

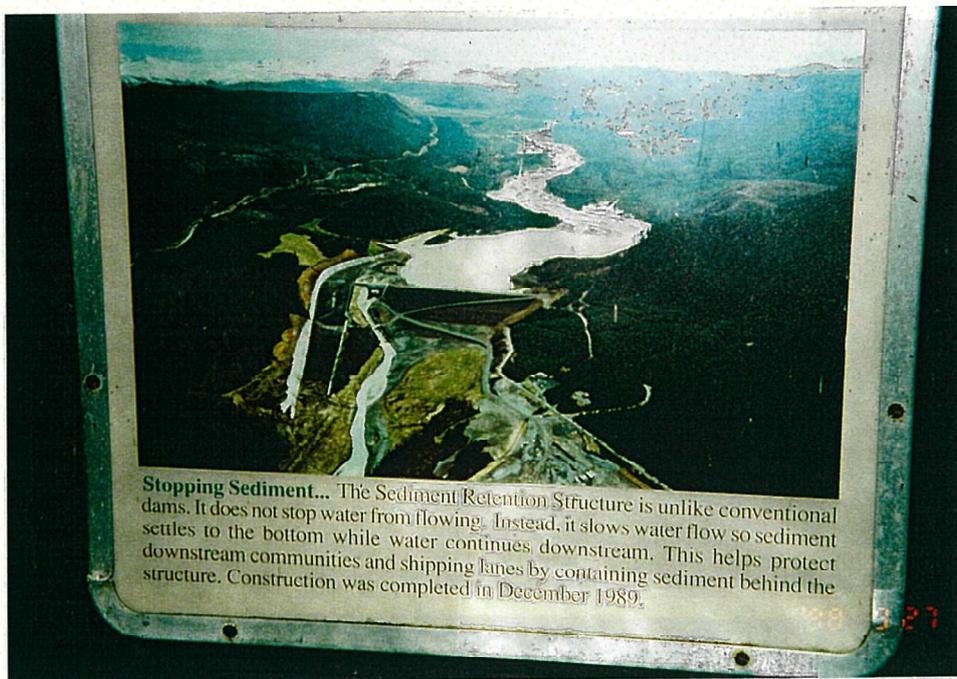


写真-13
大規模砂防ダム全体の写
（案内看板）



写真-14
大規模砂防ダム
下流側からの全景

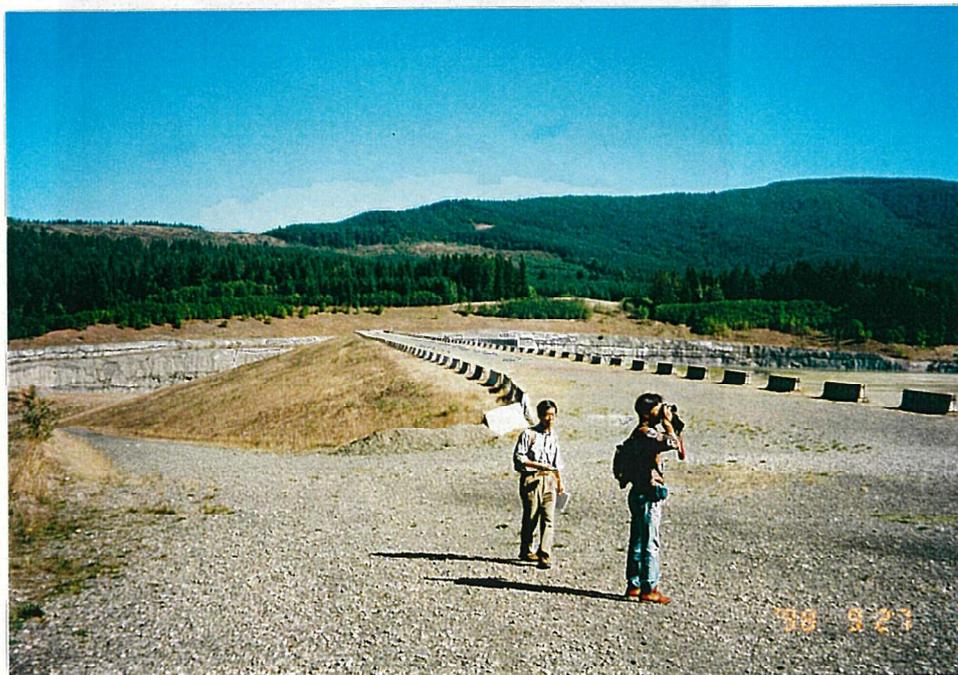


写真-15
大規模砂防ダムの
左岸天端より
右岸方向を望む。

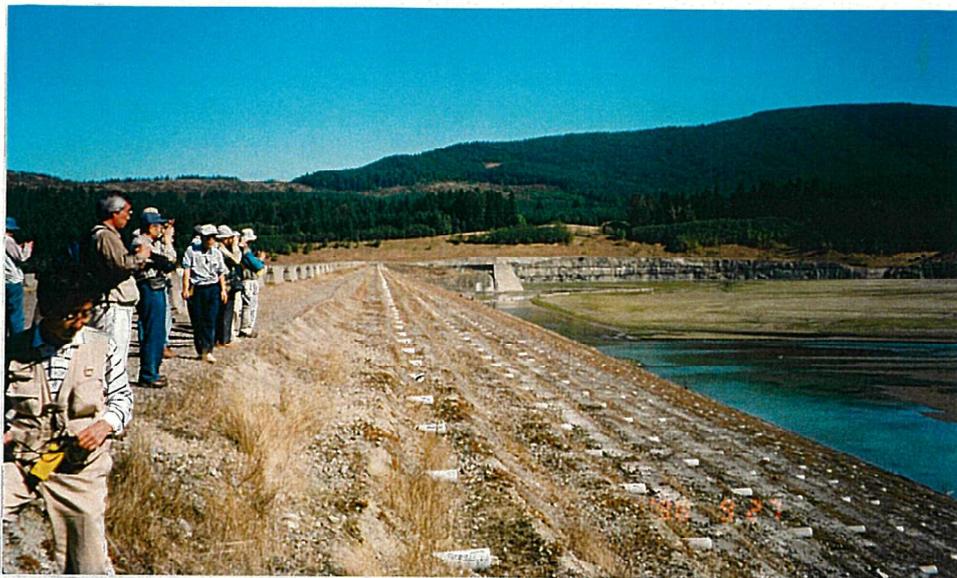


写真-16
大規模砂防ダム
堤体上から上流側を眺
排水管が多数見える

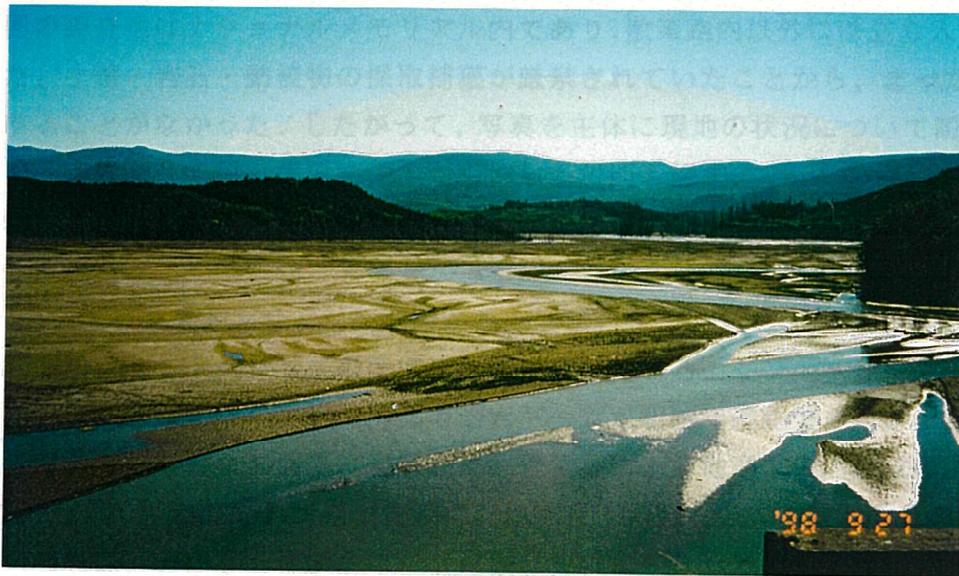


写真-17
砂防ダム上流側の
堆砂状況。

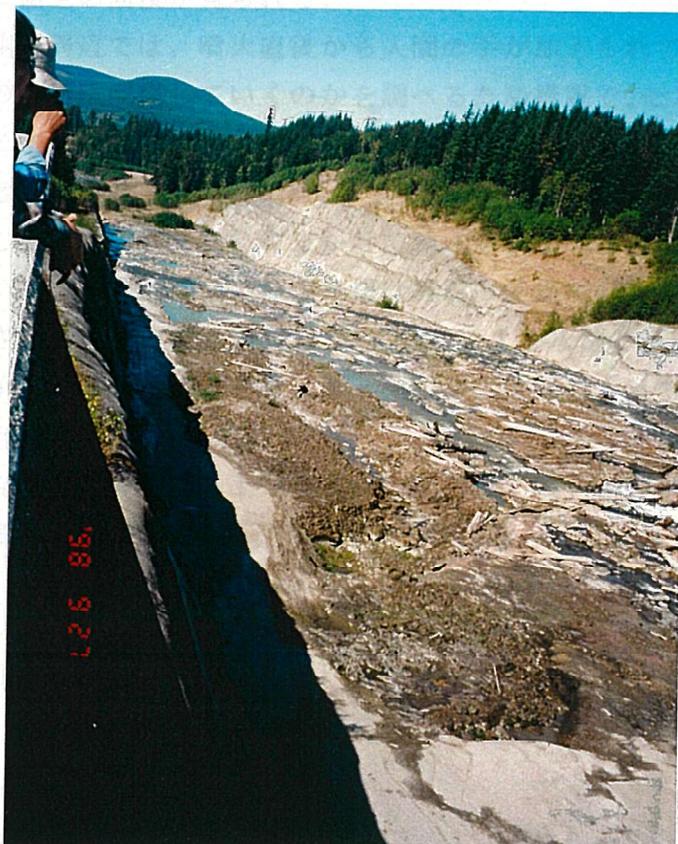


写真-18
大規模砂防ダム
堤体の右岸側の流路

3. 3セントヘレンズ火山ジョンストンリッジ観測所 受け、根元からではなく途中から倒
さちぎられた直径1.5mほどの樹木であった。資料によると 石戸谷公英（中央開発(株)）

(1) はじめに時と見損もられているようであるが、確かに相当な威力の爆風が吹き
荒 9月27日に行われた Mt.セントヘレンズ巡検の午後の行程は、14:45 スタートと遅くな
ってしまっただが、これは午前部の最後に泥流止めのダム見学を行ったことによる。(短時
間で済ませる予定のところ、現地討論が活発に行われ時間を割いてしまったことによる。
ダム好きの人が多いうのである。)

ヘレンズの全容現われ、感動を新たにするような心憎い
昼食後は一路セントヘレンズ火口の北側正面に位置するジョンストンリッジ観測所に向
かい、観測所、展示物の見学および記録映画の鑑賞、周辺の地形地質状況の見学を行った。
今回の調査地はナショナルメモリアル内であり、散策路内以外には立ち入ることができず、
また、土壌・岩石・動植物の採取捕獲が厳禁されていたことから、まったくハンマーを使
用することがなかった。したがって、写真を主体に現地の状況について説明をする。また、
今回、案内をして頂いた三宅先生から伺った説明も記す。

三宅先生の話によると、「今年 図一1には位置案内図、写真番号および撮影位置を示した。され、その時は水蒸気爆発が
あった。研究者としては、今年も水蒸気爆発があるのではと期待していたが…」というこ

(2) ジョンストンリッジ観測所からの展望。

観測所はセントヘレンズのほぼ真北に位置している。セントヘレンズの火口が北に向い
て開いていることから、火口内部の溶岩ドームが明瞭に確認できた。また、火砕流堆積物
からなるなだらかな斜面や、岩屑なだれ堆積物による地形、火山泥流の流下跡などが良く
観察できる。岩屑なだれが尾根を超えた地点まで到達している状況も目の当たりにできる。
噴火当時は、あたり一帯がさながら月面世界のような風景であったようであるが、現在は
所々に植生の回復が見られる。

観測所周辺では、噴火直後から人間の手が加えられていないので(大噴火後に動植物系
がどのように回復していくのかを調べるため措置で、モニュメント内全てがそうである)、
爆風による倒木は当時の状態そのままに観察される。このあたりが、日本とは比較になら
ない考え方で有る。後日訪れたイエローストーンでも、国立公園であるがゆえに、山火事が
発生しても、すべて自然にまかせて消さないとのことである。最もどこへ行っても人が住
んでいるわが国とはその様な発想は異なって当然のことであろう。改めて、アメリカの懐
の広さと言うものが思い知らされた。このような国と昔は本気で戦争し、ついこの前まで経
済戦争をしていたことを考えると、わが国は何をもってして、戦うのか、非常に難しいも
のが有る。

先生の話では「噴火の爆風に対する地形条件(爆風に対して正面に位置するが、
尾ちなみに、ジョンストンリッジの地名は、噴火当時現地で観測に当たっていたCVOの
研究者名に由来している。(写真2, 3, 8, 9, 10)られたところであろう。」というこ
とであった。なお、現地の調査は、US Forest Service の研究者が各自テーマを持って取

(3) ジョンストンリッジ観測所内部展示物等②

観測所内には、一般人向けに火山災害がいかなるものかをアピールする展示物が多かつ

たかったが、中でもひときわ目を引いたのが、爆風を受け、根元からではなく途中からひきちぎられた直径 1.5mほどの樹木であった。資料によると噴火のエネルギーは広島型原爆の 500~2500 倍と見積もられているようであるが、確かに相当な威力の爆風が吹き荒れたことは容易に想像できる。三宅先生の話によると、噴火直後にはロスアラモスの研究者が現地調査を行っているとのことである。(写真4, 7)

また、観測所内では噴火当時の記録映画を上映しているが、上映終了後にスクリーンが開かれると真正面に現在のセントヘレンズの全容現われ、感動を新たにするような心憎い演出がなされていた。

(4) 現在の観測状況

セントヘレンズでは現在も様々な観測が行われているようであるが、周辺部での地震計観測は3箇所で行われている。その記録装置が観測所内に設置されており、一般人でもリアルタイムでその記録を見ることができるようになっている。三宅先生の話によると、「今年7月に活動がやや活発化した。1990年にも同じ傾向が観測され、その時は水蒸気爆発があった。研究者としては、今年も水蒸気爆発があるのではと期待していたが…」ということであった。(写真5, 6)

(5) 岩屑なだれ堆積物

メモリアル内は散策路以外立ち入り禁止であるので詳細な調査ができなかったが、唯一間近で観察できた岩屑なだれ堆積物を写真11に示した(ただし、ハンマーは使用していない)。一般に岩屑なだれ堆積物は、その表面に細かく破碎されなかった元々の山体ブロックによる小山状の突起地形(いわゆる流山地形)を作るようであるが、写真のものは、一見、元来の成層構造をまったく残していないようである。三宅先生の話によると、「ジグソーパズル状にクラックが発達し、かなり脆弱である」ということであった。写真12でも流れ山地形が良く見えるが、なかには風化浸食により崩れかかっているものも見られる。

このような岩屑なだれ堆積物は写真12の地点よりさらに下流まで分布しているが、資料によると、噴火から僅か10分たらずで約28km下流にまで到達したようである。

(6) 植生の回復状況

1980年の大噴火後18年を経ているが、植生の回復状況は場所によってまちまちであった。三宅先生の話では「噴火の爆風に対する地形条件(爆風に対して正面に位置するか、尾根の背後か)や火口からの距離によるものであろう。植生回復の遅い箇所は、火山噴出物が厚く覆っているか、または爆風により表土が剥ぎ取られたところであろう。」ということであった。なお、現地の調査は、US Forest Serviceの研究者が各自テーマを持って取り組んでいるということであった。(写真8, 12)

(参考文献) Roadside Geology of Mount St..Helens National Volcanic Monument
and Vicinity: Patrick T. Pringle (部分)

第8回海外応用地質学調査 資料概要版: 応用地質学会 国際委員会

火山噴火と災害: 宇井忠英, 東京大学出版会

図-1 セントヘレナ1980年火山災害実績図 (US FOREST SERVICE のマップを使用)
① → 写真番号および撮影位置 (写真2~8はジョイントリッパ観測所周辺および内部)

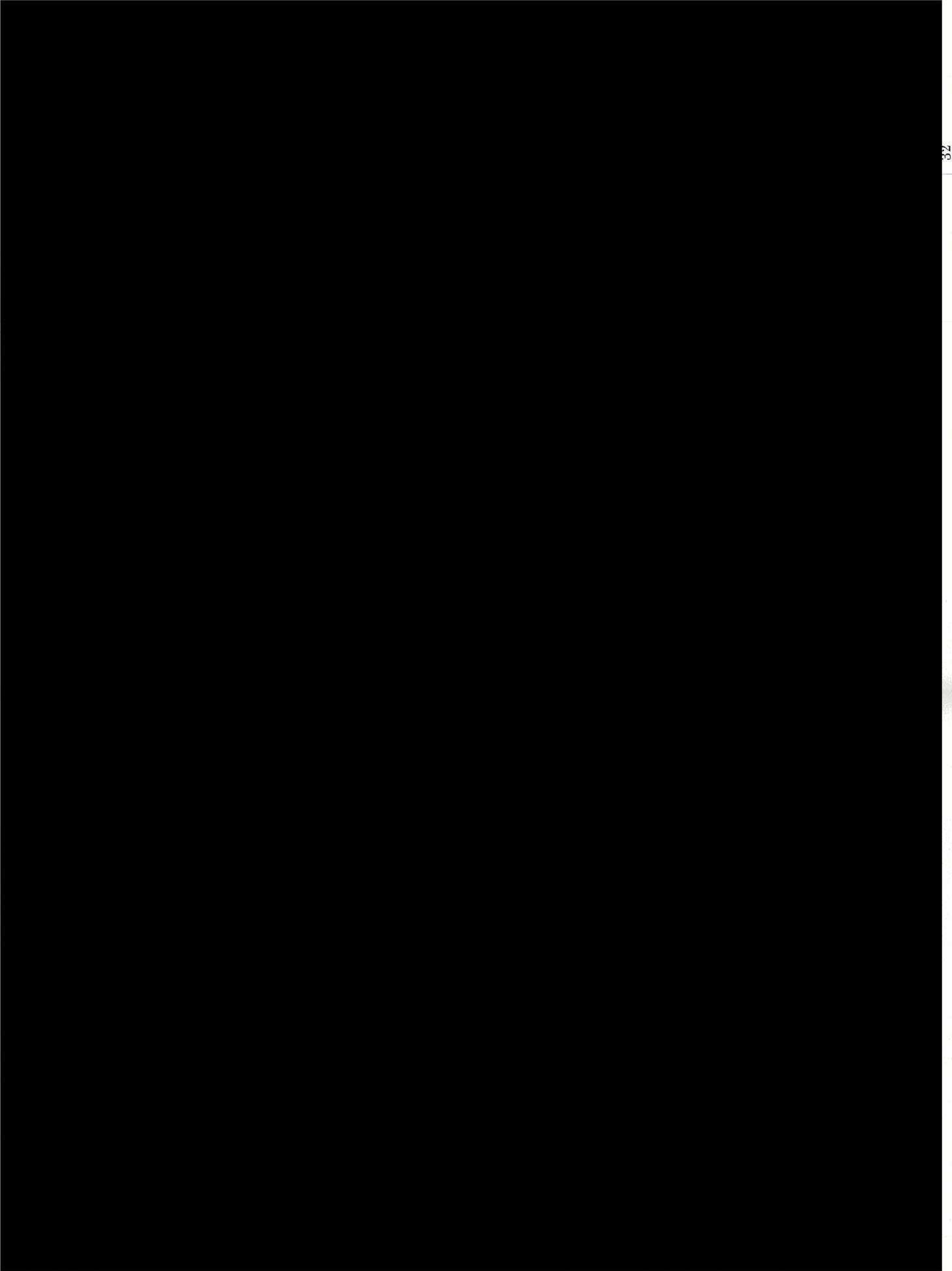




写真1

ジョンストンリッジ観測所
に向かう途中で見られるブ
ラストゾーン。噴火の爆風
により樹木がなぎ倒されて
いるのが分かる。写真の区
域はナショナルモニュメン
ト外であり、植林により森
林の回復が図られている。



写真2

ジョンストンリッジ観測所
周辺の倒木状況。樹径1m
程度の大木でも見事に倒さ
れている。

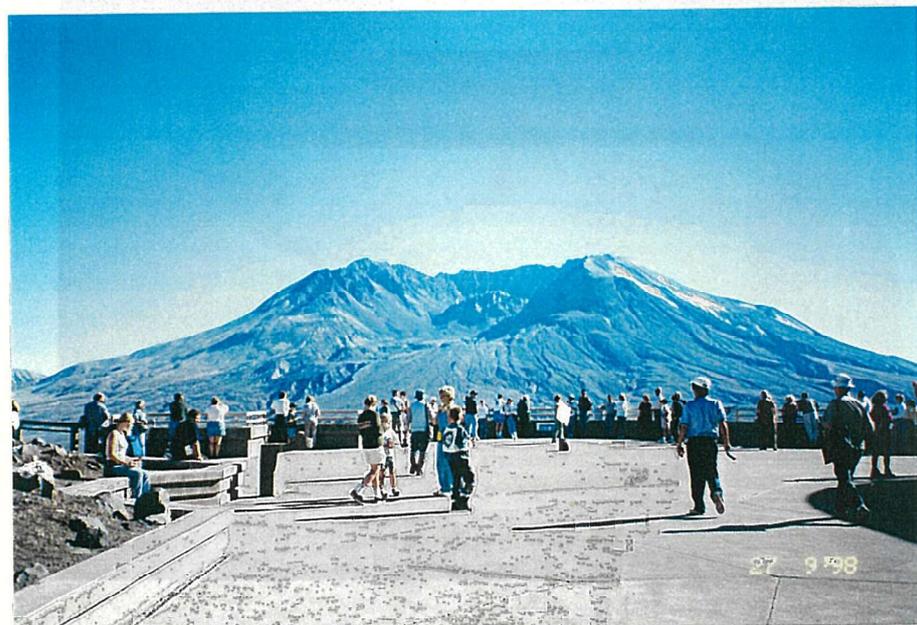


写真3

ジョンストンリッジ観測所
前の広場からセントヘレン
ズを望む。火口中央部に溶
岩ドームが見える。右側斜
面に白く見えるのは万年雪
ということであった。

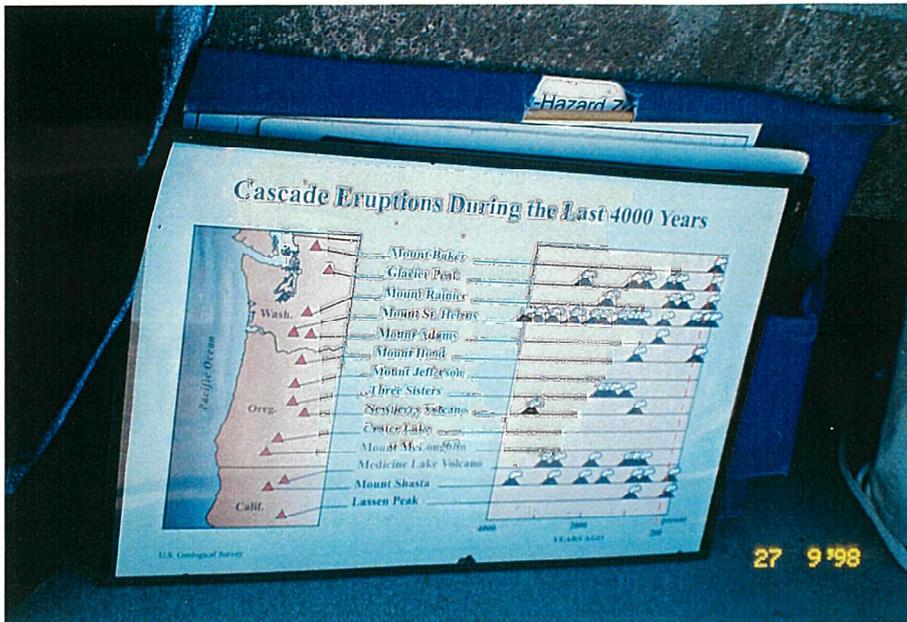


写真4
 ジョンストンリッジ観測所内の展示物。カスケード火山群の噴火の歴史を示している。セントヘレンズは噴火の回数が多いようである。



写真5
 ジョンストンリッジ観測所内に設置されている地震計の記録装置。リアルタイムで記録を見ることができる。

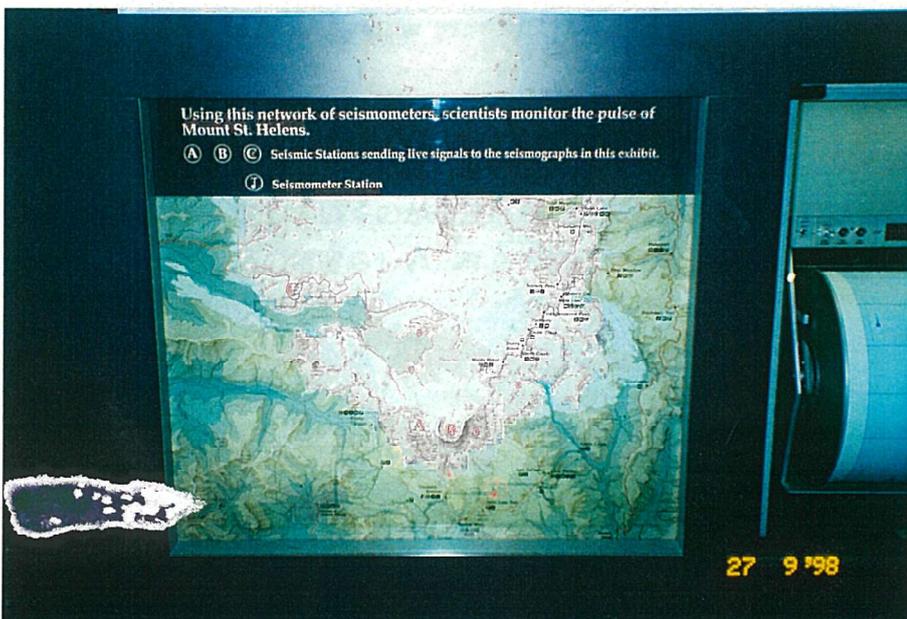


写真6
 地震計設置箇所の位置図。



写真7 ジョンストンリッジ観測所内に展示されている爆風を受けた樹木。根からではなく途中からひきちぎられており、爆風の威力を物語っている。元々この場所にあったのか他から持ってきたのかは確認していない。



写真8 散策路脇の立ち入りの看板。

立ち入り禁止は、動植物系が大噴火後にどのように回復していくのかを調べるため、人間の影響を避けるための措置らしい。写真の箇所では若干の草本類の回復が見られた。

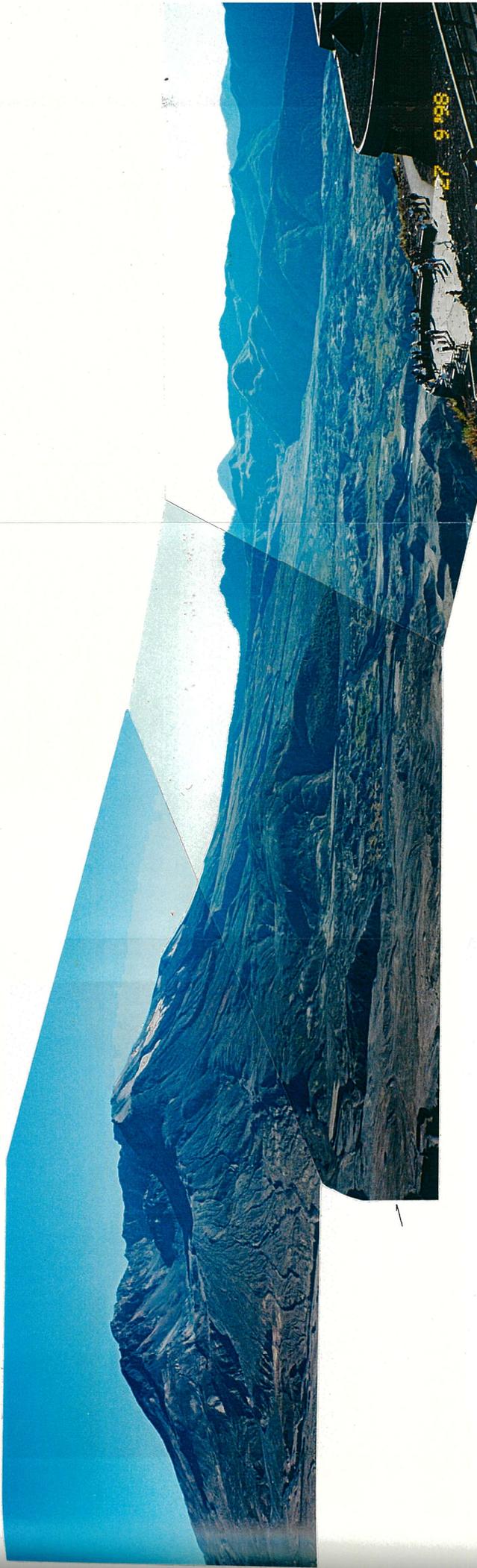


写真9 ジョンストレッジからセントヘレンズ火口へ南東斜面を望む。火口全面のなだらかな斜面は火砕流堆積物からなる。写真中央下部から右側にかけて分布しているのが岩層なだれ堆積物(Debris Avalanche)である。火山泥流が流下した跡が良く見える。矢印の箇所にはクレータ一様のもものも見られる。右端の建物はジョンストレッジ観測所。

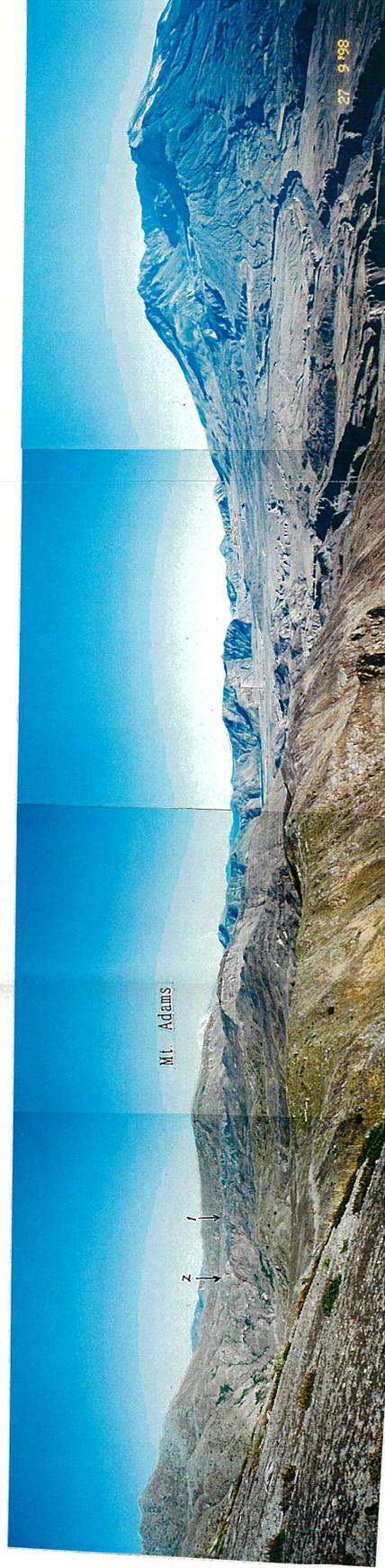


写真10 ジョンストレッジからセントヘレンズ火口へ東側の地形を望む。中央やや左側の奥に見えるのが Mt. Adams。岩層なだれは写真中央の尾根部を乗り越え、矢印の箇所まで到達している。岩層なだれ堆積物には黒色系(矢印1)のものと白色系のもの(矢印2)があるが、これは岩質の違いによるものらしい(安山岩、玄武岩質なものは黒色、石英安山岩質は白)。

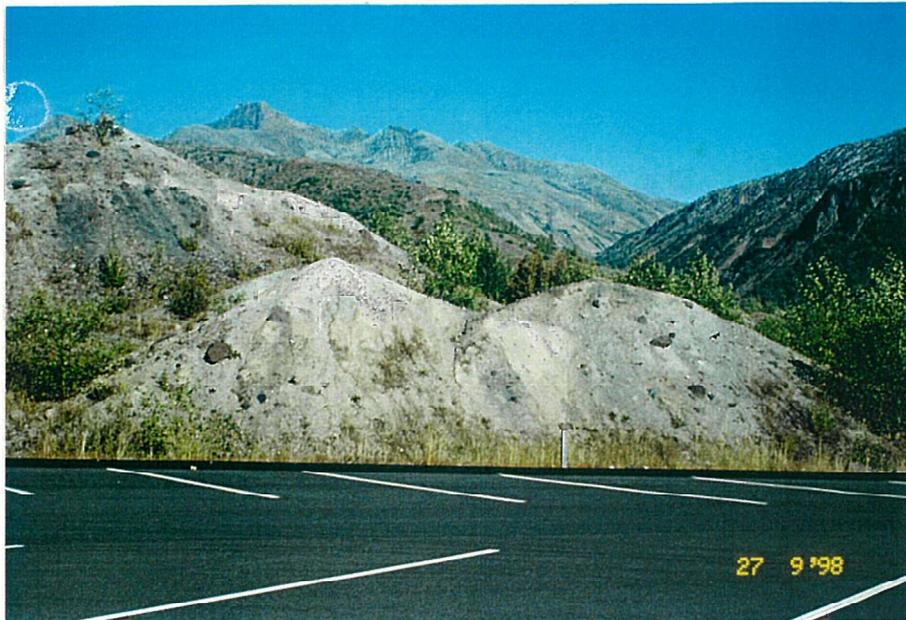


写真11 ハモックトレールヘッド付近の駐車場脇で見た岩屑なだれ堆積物（いわゆる流山）。成層構造をあまり残していないらしい。また、モザイク状に割れ目が発達し、脆弱であるらしい（ハンマー使用不可につきあしからず）。



写真12 エルクロックビューポイントから上流側を望む。岩屑なだれ堆積物は、さらに下流まで続いている。写真左下の斜面には倒木が残存しているものの、植生の回復も認められる。噴火の爆風に対して尾根の前面と背後では植生の回復に差があるように見える。

4. ティートンダムにダムの平面図及び断面図を示す。図一3にダム全体計画図、図一4にダ
 4. 1 ティートンダム決壊ー22年経過後のダムサイト視察

高橋耕平（北海道電力(株)）、堀川明広（鹿島建設(株)）

(1) はじめに

9月29日午後から、アイダホフォールズのホテル（カバナズホテル）をバスにて出
 発し、レックスバーグにある「ティートンダム決壊記念館」でビデオ鑑賞後、再びバス
 にてティートンダム右岸側に到着した。

(2) ティートンダム決壊事故について

1976年6月5日アメリカ内務省開拓局が建設したアイダホ州にあるティートンダ
 ムが洪水を始めて水位が満水面に達しようとした時点で決壊し、ダム下流に多大の被害
 を与えた。この決壊事故のニュースは、日本はもとより世界のダム技術者にとって非常
 にショッキングな出来事であったとともに、その後のフィルダムの設計・施工・安全管
 理基準に大きな影響を与えた。

ティートンダム決壊事故に関する報告書や文献は、調べられる範囲でも40編以上のも
 のが公表されている。本文では事故直後に結成された「政府調査団」と「独立調査委員
 会」による「ティートンダム決壊事故原因調査最終報告書」を中心に、改めてこのダム
 決壊事故がもたらした影響や原因について考察するとともに、ダム経験者としてまた今
 後もダム建設に携わる者として自らを戒める上で概説する。

(3) ティートンダムの概要

ティートンダムの概要を、表一1に示す。

表一1 ティートンダムの概要

所 管	アメリカ内務省開拓局	
ダ ム	形 式	ゾーン型アースフィルダム
	堤 高	93.0m (基礎岩盤から 118.9m)
	堤 頂 長	930m
	堤 体 積	約 726 万 m ³
	堤 頂 幅	10m
	堤頂標高	EL.5,305ft (1,617m)
	貯水池	面 積	8.5km^{2}
総貯水量		3 億 5 千万 m ³
有効貯水量		2 億 4 千万 m ³
目 的	多目的ダム	洪水調節、発電、野生動物・魚類の保護、 レクリエーション、かんがい用水供給
工 期	1971年2月～1975年10月（本体竣工）	
施工業者	Morrison-Knudsen Co.&Peter Kiewitsons' Co.	
総工費	165 億円	

図-1、図-2にダム平面図及び断面図を示す。図-3にダム全体計画図、図-4にダム掘削断面図を示す。

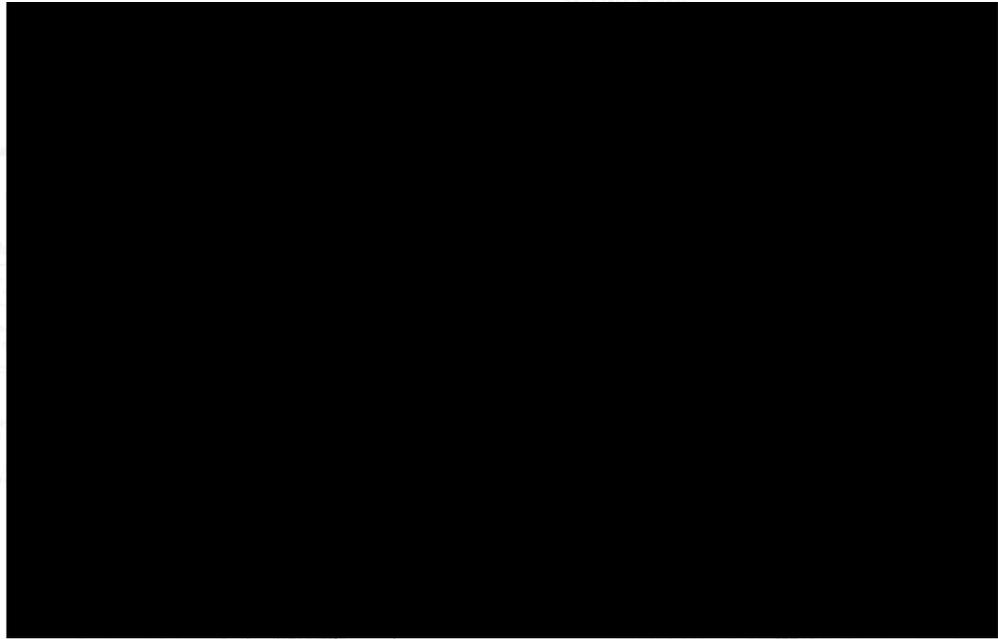


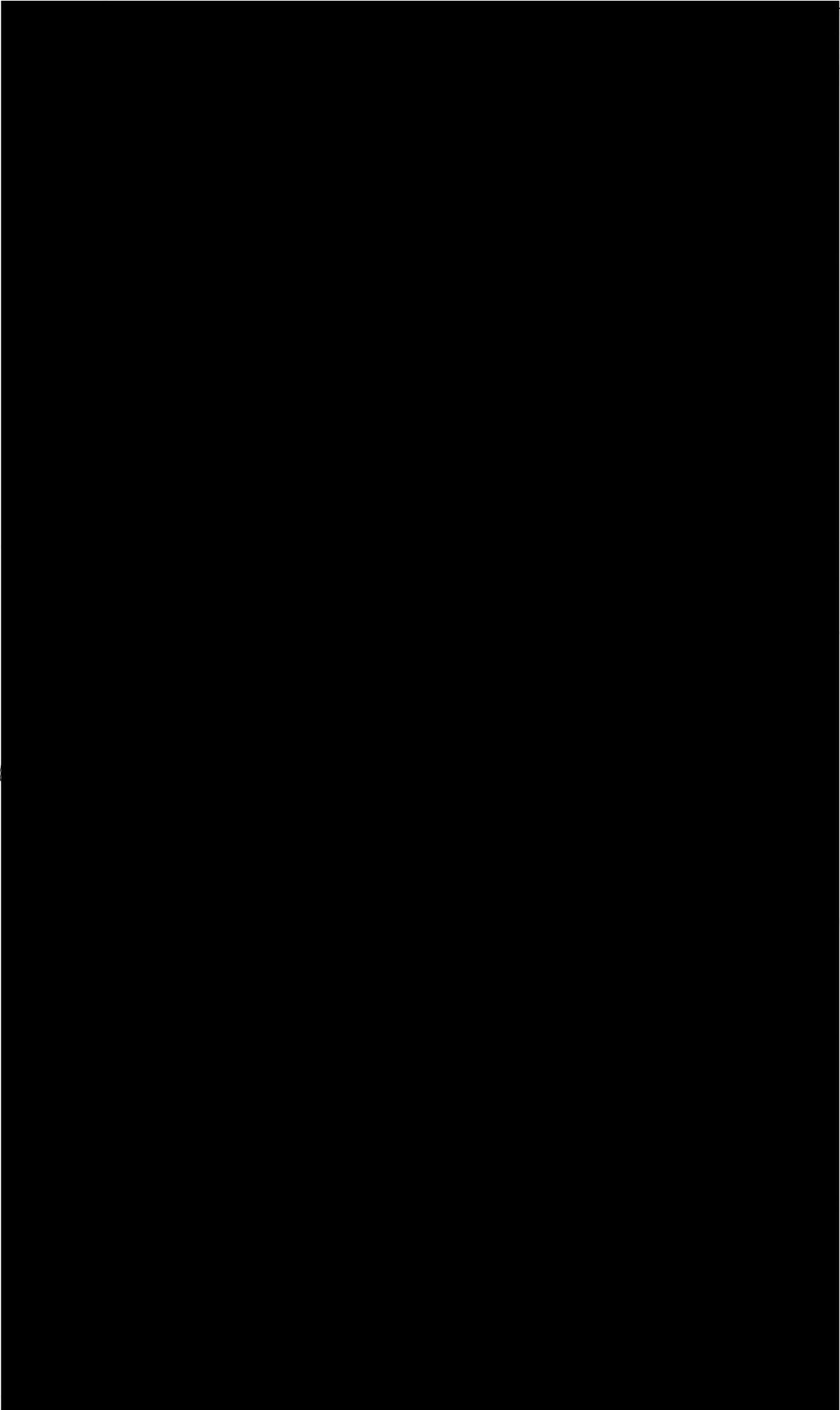
図-1 ダム平面図（'76/6/3-6/5に観測された諸現象の位置）

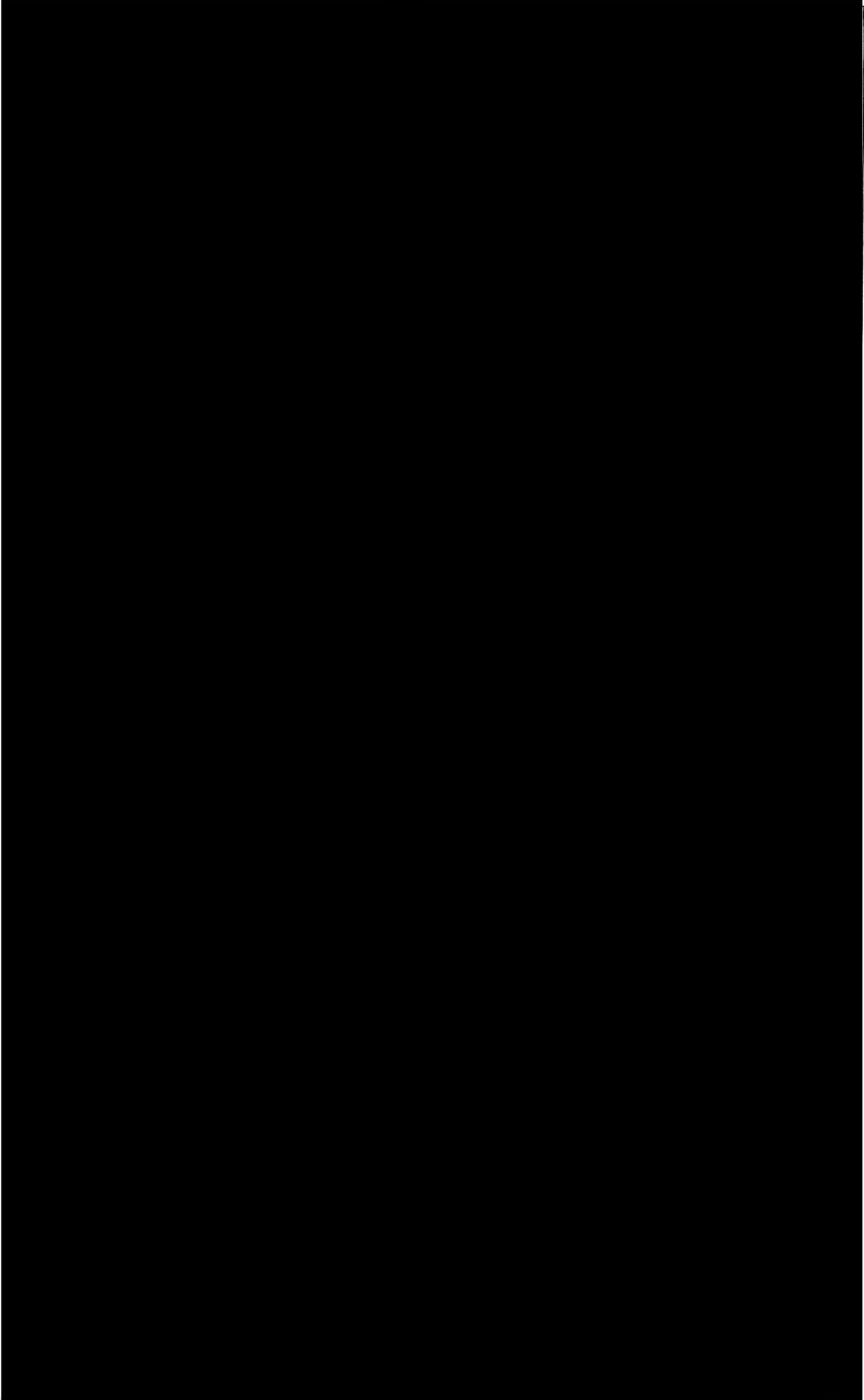


図-2 ダム断面図(クレスト中心線)

FIG. 1-2.

U. S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR — STATE OF IDAHO
INDEPENDENT PANEL TO REVIEW CAUSE OF TETON DAM FAILURE





図一 ダム掘削断面図

(4) 漏水の発見からダム決壊までの経緯

ダム右岸下流部での漏水の発見から決壊に至るまでの経過については目撃者の証言や写真記録等から、表-2のようにまとめられている。

なお、1975年10月3日に湛水開始し、湛水期間中は堤体、付属構造物、アバットについて、毎日検査、地下水は観測井を用いて週一回観測していた。

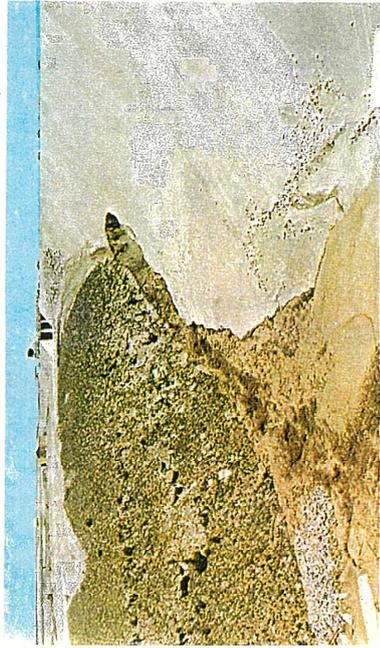
表-2 ダム決壊に至るまでの経緯 (1976年)

日 時	時 間	経 緯
6月3日		右岸アバットメントのダム下流側法尻から400m及び460m下流でそれぞれ約150 ㍻/分、230 ㍻/分の漏水が見られた。
6月4日		右岸アバットメントのダム下流側法尻から約50m~60m下流で76 ㍻/分の漏水が見られた。(漏水は澄んでいた。)
6月5日	07:00	EL5,200ftの右岸アバットメントから少し濁った湧水が始めて認められた。
	07:30~ 08:00	EL5,045ftの右岸アバットメントから濁った湧水が認められた。
	08:30	ダム軸上の測点17+30から約230m下流のEL5,045ftの漏水量をRingel氏が調べたが約9.5 ㍻/分~14.2 ㍻/分であった。
	09:10	ダム軸上の測点15+25から約85m下流のEL5,200ftの漏水量をRobison氏とAberle氏が調べたが約1.0 ㍻/分であった。堤体と右岸アバットメントの接触部で侵食が進行していた。
	09:20	EL5,045ftの漏水をRobison、Aberle、Ringel氏が調べたが約18.3 ㍻/分~23.3 ㍻/分であった。
	10:15	EL5,200ftの右岸アバットメントより4.5~6m離れたところに急に湿潤な部分ができ、それから漏水と侵食が始まった。
	10:30	Robison、Aberle氏及び他の人々が大きな音を聞いた。
	10:43	郡治安官を電話で呼び出し、下流住民を立ち退かせるよう伝えた。
	11:00	ダム軸から40m上流の測点13+75の近くの貯水池で渦が発生した。
	11:45	測点14+00とEL5,315ftの所で穴が生じた。
	11:55	ダム堤頂が崩壊した。
	11:57	ダムが決壊した。
	17:00~ 18:00		貯水池がほとんど空になった。

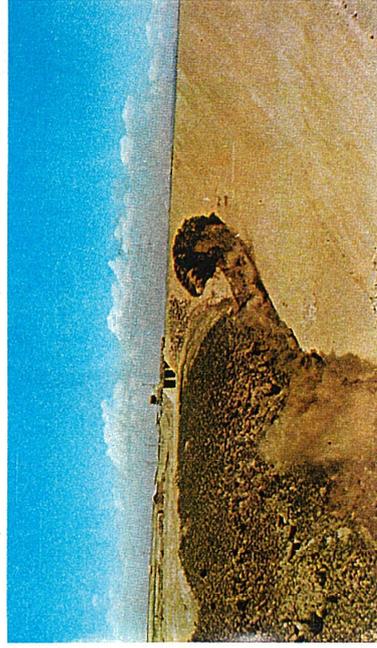
図-5にダム決壊に至る状況写真を示す。



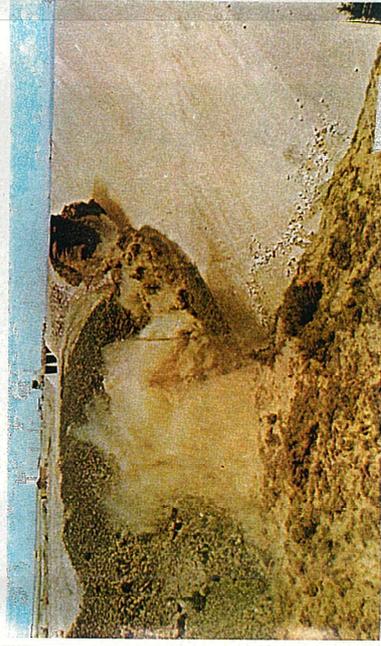
6月5日10時45分頃のダム浸蝕状況



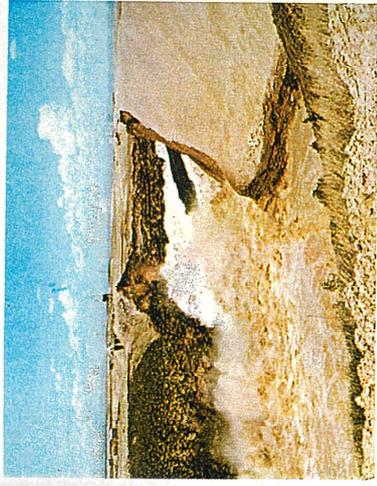
同11時20頃の浸蝕状況



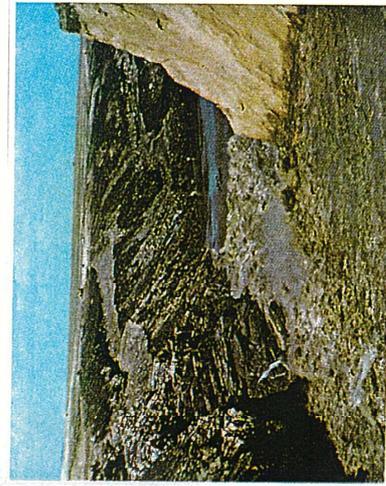
11時50分頃のダム浸蝕状況



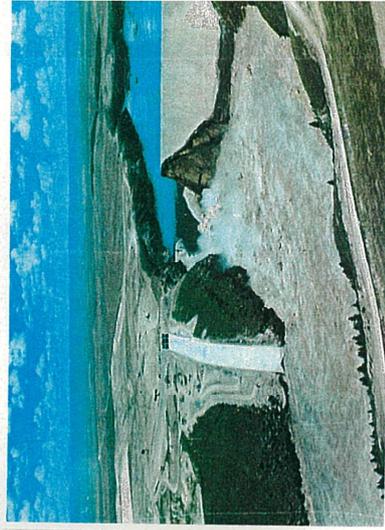
11時55分に堤頂が水中へ崩れ落ち、11時57分にダムは決壊した。



6月5日の正午過ぎの状況



6月5日の午後おそくの状況



ダム下流左岸(上空)より貯水池からの流出状況を撮影したものの被写体は、ダム下流約80マイル下流のアメリカーナフォールズ貯水池であった。



ダム上流右岸(上空)より貯水池からの流出状況を撮影したものの。

(5) 被害状況の原因

ダム決壊による洪水で発生した被害は、「政府調査団」の報告書によると下記のとおりである。下に記す。

- ・死者：12人
 - ・家を失った人：25,000人
 - ・浸水面積：780 km²
 - ・死んだ家畜：16,000～20,000頭
 - ・破壊された道路：51.5 km
 - ・冠水した農地：40,468 ha
 - ・損害賠償要求件数：5,616件（1977年3月16日現在）
 - ・損害賠償要求額：750億円
- 最終的賠償金額：1,200億円

図-6に、被災地平面図を示す。

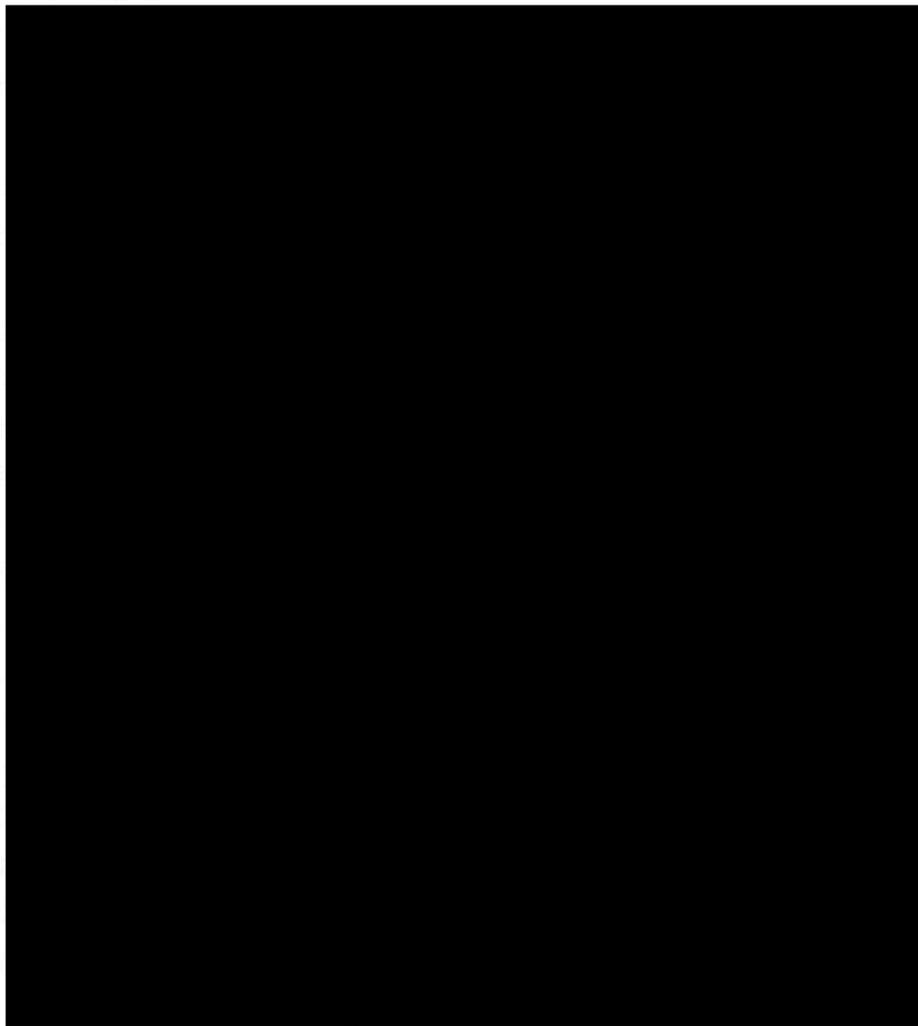


図-6 被災地平面図

(6) 決壊事故の原因

事故後の詳細な調査の結果について、「政府調査団」「独立調査委員会」の結論の要約を以下に記す。

1) ダム決壊原因についての結論

・ティートンダムは仕様書に規定したとおりに建設されたが、ゾーン①材を内部侵食から保護するための配慮をしていなかったために決壊した。

・ゾーン①材中に亀裂が入ったために侵食が始まった可能性が最も大きい。ゾーン①材と岩盤表面との接触部でのパイピングによって、侵食が始まった可能性もある。

・開拓局は、そのような侵食に対する防御策を立てるのに必要な知識を持っていた。したがって、ダム設計当時知られていた設計概念を用いて、安全なダムを建設できたはずである。

2) ダムサイトの選定、設計、施工及びダムの操作に関する結論

A) ダムサイトの選定

・ダムサイトの選定手順は妥当であった。この事業の目的に適した種々のダムサイトの中、このダムサイトは最良の場所であった。

B) 設計

・ダムを正しく設計するために必要な地質的データは十分であった。グラウトカーテンのみで浸透を全部コントロールできると考えたため、決壊を防ぐための他の設計法を採用しなかった。堤体中に発生する亀裂や、ゾーン①材の不透水性コアと岩盤との接触部を通る浸透水に対して防御策を講じていなかった。

・岩盤の亀裂や節理をふさぐための表面処理や適当なフィルタを設けることは、ティートンダム設計当時十分技術的に知られていたことであり、したがってそのような対策を立てておくべきであった。

アバットメントのキートレンチの形状は、不透水性コア中に亀裂を発生させるような応力分布状態を作り出しやすいものであった。キートレンチ底の基礎岩盤の幅が狭く、しかもキートレンチ両側の岩盤の透水性が著しく大きかったため、トレンチを横断する動水勾配が急なものとなった。ティートンダムの設計当事は「ハイドロリック・フラクチャリング」については一般に知られていなかったが、急なアバットメントやアバットメント中のキートレンチの近くで不等沈下が生じ亀裂が発生する可能性のあることは、その当時のダム設計者には知られていたことである。

開拓局とは別個に「設計検討委員会」などを設置してティートンダムの設計を検討していたなら、設計上の欠陥が指摘できたのではないと思われる。

堤体の構造的不安定が決壊の原因ではない。堤体と基礎に観測計器を設置し、ダムの挙動を観測することが望ましかった。しかし、そのような計器が設置してあったとしても今

回のような事故を未然に防ぎ得たような情報が事前に得られたかどうかはわからない。

C) 施工

グラウトカーテンは、浸透量を通常の範囲内に十分コントロールしていた。盛土前の基礎処理とは契約と仕様書どおりに行われた。堤体の盛土方法は、アースダム建設の通常の手順に従ったものであった。盛土中の施工管理のための試験は妥当であり、一般的に認められた方法に従って行われた。

D) ダム操作

貯水速度が大きかったことが決壊に関係あったかどうかは分からない。放水設備が未完成であったため貯水速度をコントロールできなかったことが、ティートンダムの決壊に重要な意味を持ったものとは考えられない。

3) 「政府調査団」の勧告

ティートンダムのような事故の再発を防止するために、以下のことを勧告している。

- a) 主要なダムの計画には、その内容を検討するための独立委員会を設けるべきである。
- b) 設計を決定する過程を公式な文書として残すべきである。
- c) 設計担当者は、建設中も頻繁に現場に行くなどして、建設にも積極的に関与しなければならない。
- d) 主要なダム及びその基礎には、観測計器を埋設し建設中及び建設後の挙動を観察しなければならない。測定データはすぐに解析し、その意味を検討しなければならない。

図-7～9に、上述した右岸アバットメントのキートレンチ周辺における浸透破壊想定図を示す。また、図-10に右岸アバットメント周辺におけるFEM解析によるハイドロリック・フラクチャリングの発生可能領域図を示す。

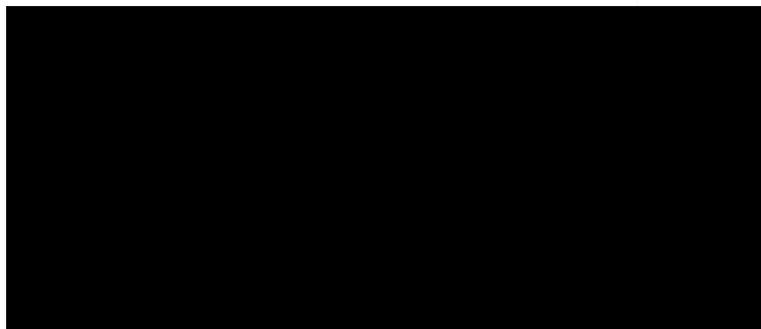
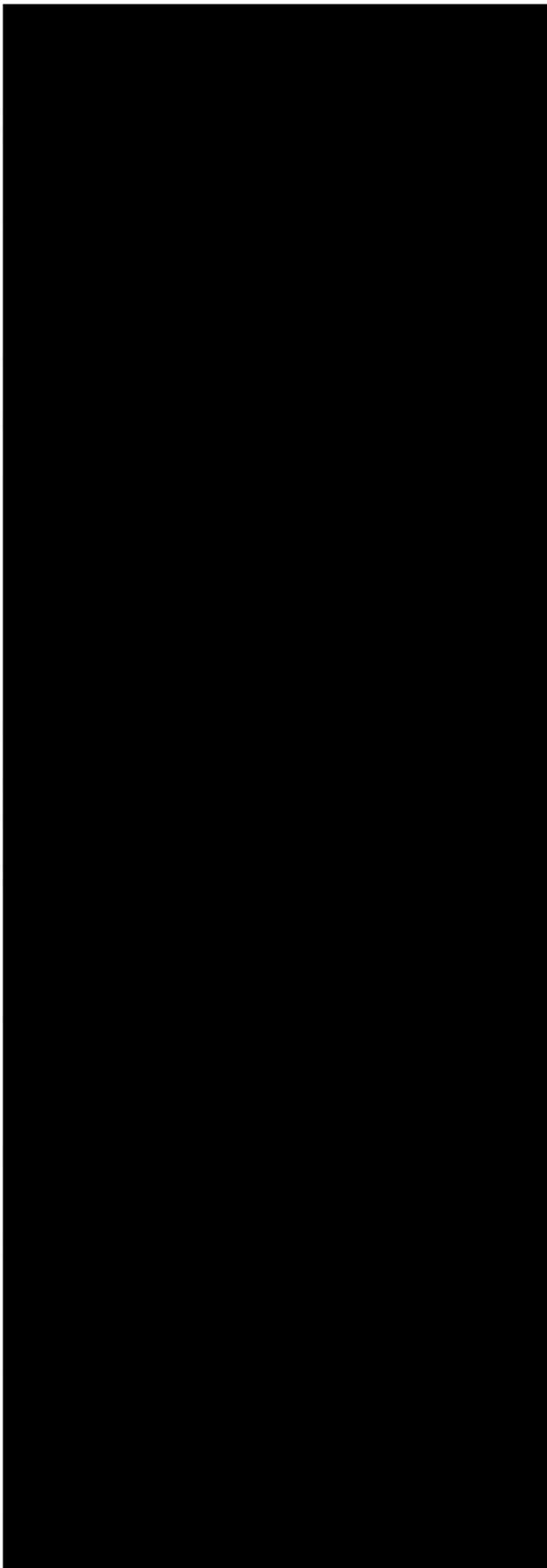


図-7 右岸アバットメントのキートレンチ周辺からのパイピング

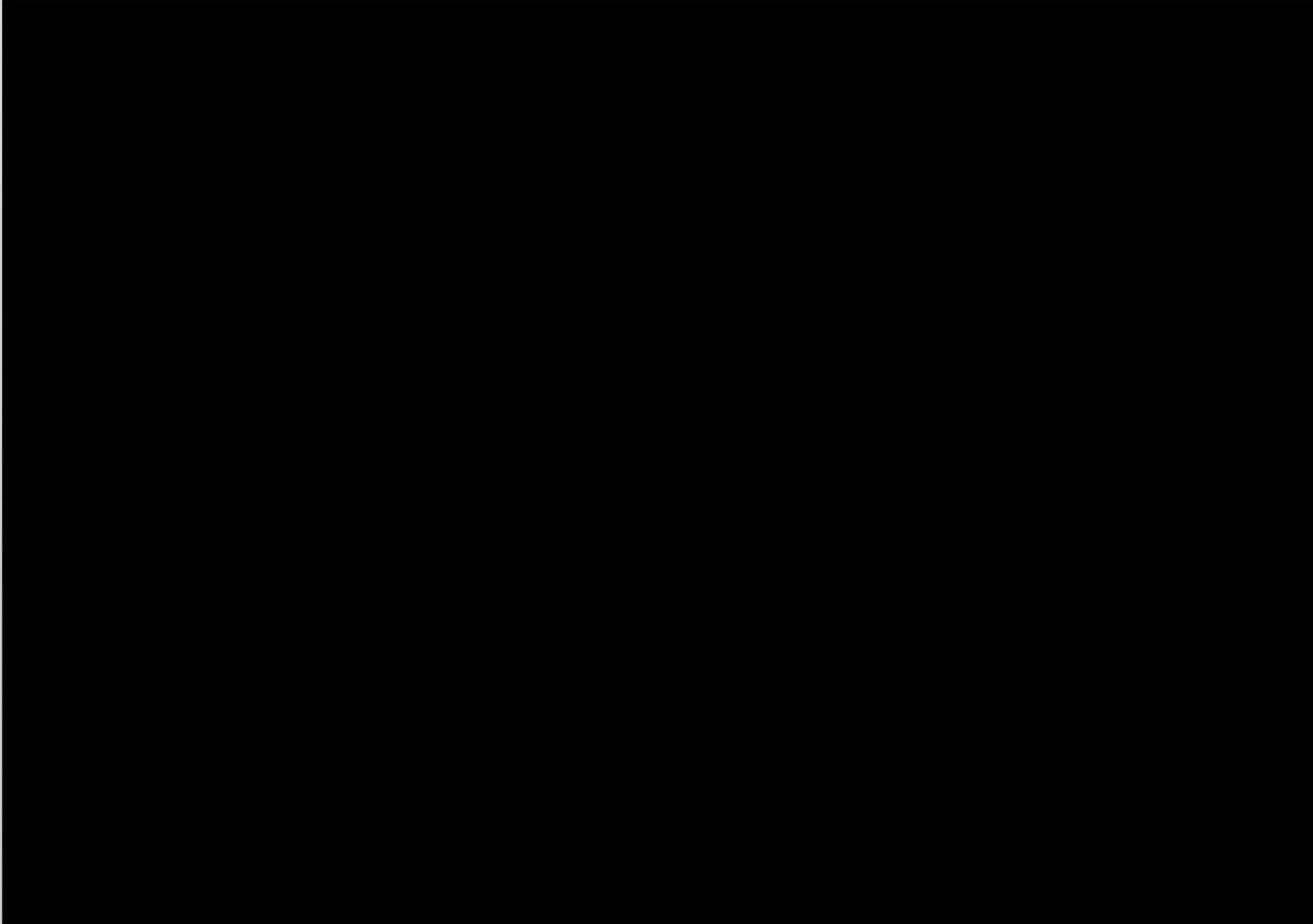


図一八 右岸アバットメントの逐次的な破壊想定図

「ティートンダム決壊事故の原因」について、「事故をともに建設したが、最終的な原因が「設計ミス」一トンダムの設計に責任の所在を争った日本人に対し賠償故で明らかになった問題点を検討し、今後建設者どもは、地質部門と地質工学部門の組織改革を行ってティートンダム決壊による被害については上達すれば加納は早く人口過密な日本で発生していたものかあったであろう。

「ティートンダム決壊後22年が経過し、原因調査初期にはその内容は、その作業を続けてきた」と記すことになり、「（その資料としての現況）

図一九 キートレンチの底面における浸透破壊経過想定図



図一10 右岸アバットメント周辺のハイドロリック・フラクチャリングの発生可能領域図

(7) 感想

ティートンダム決壊事故の原因について、「政府調査団」「独立調査委員会」の最終報告をもとに概説したが、最終的な原因が「設計ミス」との判断が下されたため内務省はティートンダムの設計に責任のあった24人に対し辞職命令を出している。開拓局は今回の事故で明らかになった問題点を検討し、今後は設計責任者と地質担当責任者を明確にするとともに、地質部門と地質工学部門の組織改革を行っている。

ティートンダム決壊による被害については上述のとおり悲惨なものであったが、もしこれが面積は狭く人口過密な日本で発生していたらと考えると、その被害は計り知れないものがあつたであろう。

ティートンダム決壊後22年が経過し、原因調査も終了したダムサイトを訪れてみて最初に目にしたのは、その惨めな残骸であつた。以下にダムサイトの現況を感想も交えて記すことにする。(添付資料としての現地写真を参照のこと)

バスでサイトの右岸側に到着し、目に入ってきたのが完全な形で残っている洪水吐

(ゲートは無い)と、対岸には風雨にさらされながらも多少原形をとどめる堤体の一部があり、すでに雑草が生えていた。

右岸側は溶結凝灰岩が露出した崖が続き、ダム軸センターに近づくと原因調査で剥き出しにされたままのキートレンチ部が洪水吐ぎりぎりまで迫っていた。想像以上に亀裂が発達しており、岩塊が積み重なっているように見えるほど全体に開口していた。

左岸側河床部の上流にはキャンプにでも来たのか、2台のRV車が止まっていた。通常は左岸側からダムサイトを見るのが一般的らしく、右岸側には進入防止の柵が張り巡らされていた。右岸側は最近、暴走族もどきの若者が集まってはピストルを打ったり、酒盛をしたりと危険なため取られた措置との説明があった。確かにピストルの薬きょうや酒ビンが落ちていた。

洪水吐の中に入ることができたが、壁中に落書きがされており既に無用となった構造物の末路を感じさせた。

バスの運転手がダムの工事中にはトラックで工事用木材を運んでいたと話していたが、この工事に携わっていた技術者が現在の光景を見たときどのような感想を抱くのか非常に興味を覚えたと同時に、我々土木技術者としてそのような状況に置かれないことを心から祈った。

技術の進歩には失敗がつきものだとはよく言われることではあるが、絶対に日本ではこのティートンダムでの失敗を繰り返してはいけないと改めて痛感するとともに、ティートンダムでの失敗が日本におけるフィルダムの安全性に大きく貢献していることも再確認することができた。

上述の事故報告は、推論の域を出るものではないが、結果として人為的に作られた構造物が自然の力を侮ったとき、生じるダメージの大きさを今も我々技術者に語りかけているという意味で、ティートンダム決壊後の残骸は歴史的意味を持っているのかもしれない。

(8) おわりに

ダムサイトの視察を終えてバスでホテルに戻る途中、バスの運転手から「かんがい用水」の需要は今も増加しており、地元でダムの再建を望む声が過半数を超えていると聞いた。ティートンダムの決壊で一番大きな被害を受けた地域でありながら生活基盤としてダム建設の必要性を訴えている。社会基盤整備を最大の使命とする土木技術者として、真摯に受け止めなければならない現実であると考えます。

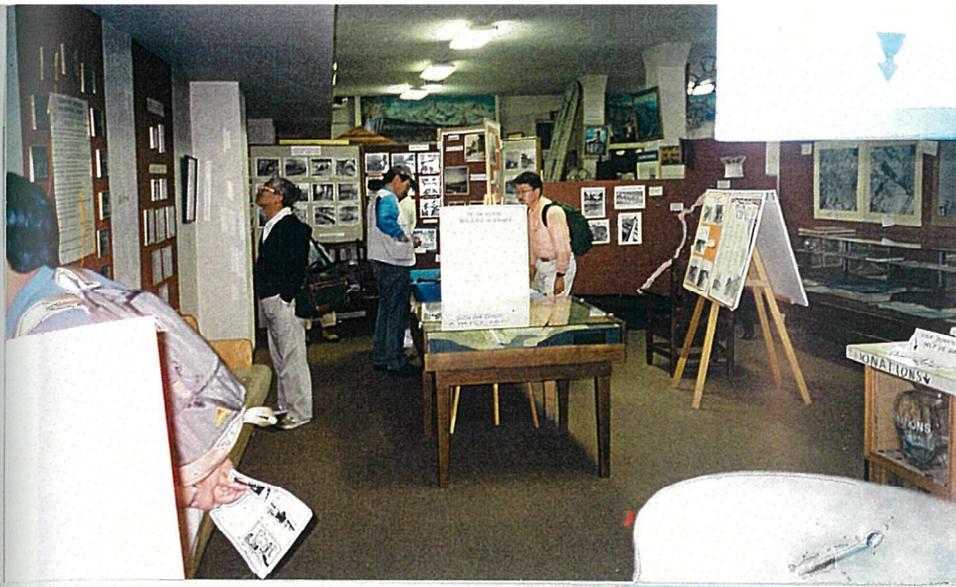
最後に、我々のような土木技術者が「第8回海外応用地質学調査団」に参加する機会を与えていただいた国際委員長の井上氏を始め、ご同行頂いたメンバーの皆さん及び本文を執筆するにあたり多くの資料をご提供頂いた方々に深くお礼を申し上げます。

参考文献

・「Tetonダム決壊事故の原因について」：仲野良紀 Jour. JSIDRE May 1978

- ・「ティートンダム決壊事故原因調査最終報告書」抄録：独立調査団 発電水力
No.148 1977
- ・「Tetonダムの決壊原因」：林正夫 土木学会誌 1997年4月号
- ・「Tetonダムの事故調査」：岡本舜三 土木学会誌 1996年11月号
- ・「ティートンダム事故 現地調査報告会記録及び資料」：(財)国土開発技術研究センター
1977年
- ・「ティートンダム事故 写真集」：(財)国土開発技術研究センター 1977年

ティートン
ダム決壊事故(国土開発部より)
写真集

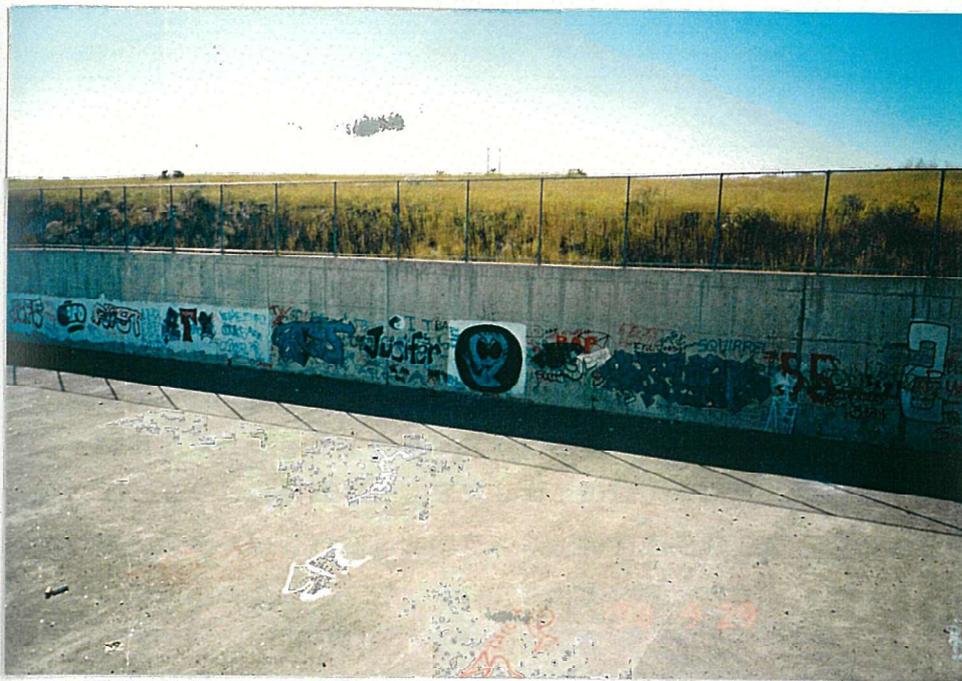


写真一 2
洪水吐ゲート部(上流部より)
落書きだらけ



写真一 3
右岸側キートレンチの上部と
洪水吐





写真—4
右岸側洪水吐導流壁の落書き



写真—5
右岸側キートレンチの状況
溶結凝灰岩の柱状節理が良く見える



写真—6
右岸側から下流側を望む

4.2 地質家の立場から見た ティートン ダムの決壊

岩崎悦夫 ((株) ダイヤコンサルタント)、高橋努 (八千代エンジニアリング (株))

(1) はじめに
中ティートンダムの決壊状況については、4.1で詳細に述べられているので、ここでは地質家として現地を調査した感想を記しておきたい。現地調査は9月29日午後2時から5時頃まで行い、ティートンダムの決壊を記念して作られた Rexburg 博物館と決壊後残されているダムを訪問した。アメリカンの偉大な所は、失敗を公にして2度とこのようなことは起こさないということのために、博物館を残して、ダムもそのままにしておくところであろう。

(2) 位置および地形

ティートンダムは、アメリカ合衆国のロッキー山脈の西麓、アイダホ州西部に位置している(図-1, 2)。コロンビア川水系スネーク川の支流ティートン川は、アイダホ州とワイオミング州境界付近のティートン山群に源を発している、ダムサイトは、広大な流紋岩質火砕岩からなる台地を下刻したティートン川の渓谷部に位置している。

のダムサイト両岸高標高部は台地を形成しており、ティートン川は幅約50m、深さ約100mでこの台地を箱形に削り込んでいるため、河川の両側は急崖を形成している。右岸台地から現地をバスで訪れた際には、じゃがいも畑を主体とした耕作地が広がり、どこにダムが有るのか解らなかった。唯一洪水吐のゲート部のみが台地上に頭を出しているのが目印であった(写真-1, 2)。現況では、決壊した堤体右岸側と決壊後原因究明のために掘削された左岸部以外は、ほぼ当時のまま放置されており、河川中央部に約1/3の堤体が存在している(写真-3)。

河床部の標高は約4,350フィートで台地部が約5,350フィートである。

(3) 地質概要

ダム周辺には、北西に位置するワイオミング州のイエローストーン周辺から連続する鮮新世から更新世の流紋岩質凝灰岩が広く分布している、左岸よりの河床砂礫下には、これらを覆う玄武岩溶岩が厚さ38mで小規模に分布している。玄武岩は、ティートン渓谷を埋めた渓谷玄武岩の侵食残留体とみなされている。兩岸の台地状平坦面には、締まり不良の風成シルト層が0.3~1.5mで薄く覆っている、河床堆積物の厚さは30mにまで及ぶ。なお、国道沿いのLava Trailで見学したSnake River Basaltと一連のもので、ホットスポットにその噴出の期限が求められているいわゆる”洪水玄武岩”の一部とみなされる。

ダム基礎の主体をなす、凝灰岩は灰色~灰白色を呈し、溶結しており、低標高部出は軽石がレンズ状に潰れた明りような溶結構造が認められる。場所による溶結度の相違はあるものの、1mm以下の斜長石および角閃石は少量ながら普遍的に含まれる。岩片は比較的

柔らかくハンマーの打撃で容易に割れる程度で、一軸圧縮強度で250～520 kgf/cm²、比重も2.24～2.40とやや小さい。

溶結凝灰岩に発達する割れ目は、写真一7に示すように高標高部での低角度節理の発達、中～低標高部での幅の広い高角度節理（写真一8）で特徴づけられる。また、高角度割れ目は、右岸アバット部で写真一9に示すように10cm程度開口しているヶ所が認められ、カーテングラウト近傍でも未充填の部分が認められるようである。

（4）感想

ダムサイトの調査を行った際の現地での第一印象は、ダム天端の高さが周辺台地部標高とさほど差が無いこと、すなわち地形に対して目一杯のダムをつくっていることにアメリカらしさを感じた。また、写真一11に示すように洪水吐側壁の厚さが一定でなく、途中で不連続に減少していることに代表されるように、施工が日本に比べ、全体にラフで有ることに強い印象を受けた。

右岸アバット部におけるカーテングラウト周辺の節理には、前にも述べたように10cmも開口しているものが有り、直感的にフィルダムの基礎処理に問題が有ると思われた、このような岩盤状況は、施工時には明らかになっていたはずで、施工技術としてはカーテングラウチングと急勾配のキートレンチのみでは、安全性に対する不安を持っていたのが実情ではないだろうか。加えて、下記に示すグラウトの管理基準に見られるように表層の6mは注入圧が低く、ルジオン値も20ルジオン以上で、良いとされており、それ自体に欠陥が有るように思われる、このような基礎処理は、設計に沿って施工し、工期を短くするという経済性を優先させた結果と見られる。公には施工に問題が無かったとされているが、安全なダムを築造するという観点からすれば、施行者サイドにも、少なからず否が有るように思われる。

表一1 施工時の管理基準

鉛直深度	0-6m	-12m	-28m	-24m	-30m	-45m	-60m	-75m
注入圧 (kg/cm ²)	0.7	1.75	2.8	3.85	4.9	5.95	8.6	11.2
ルジオン値	26.6	10.6	6.6	4.8	3.8	3.1	1.4	1.1

施工時に置ける基礎岩盤に体する的確な再評価が地質技術者および設計技術者によって、実施され、設計、施工へのフィードバックがなされていれば、ダム決壊と言う惨事は回避出来たかもしれない。

今回の現地調査を通して、施工段階での掘削岩盤の調査とその結果に基づく設計へのフィードバック、調査—設計—施工の連携の重要性を再認識できたと共に、改めて地質技術者の判断の重要性を痛感した。日本ではこのような連携はあたり前のように行われており、その意味においてはダム安全性に対する安心感がある。反面、何らかの問題が発生した場合、この連携の中には技術的責任の所在の不明確さが内在されていることも心にとどめておく必要も有るように思われる。

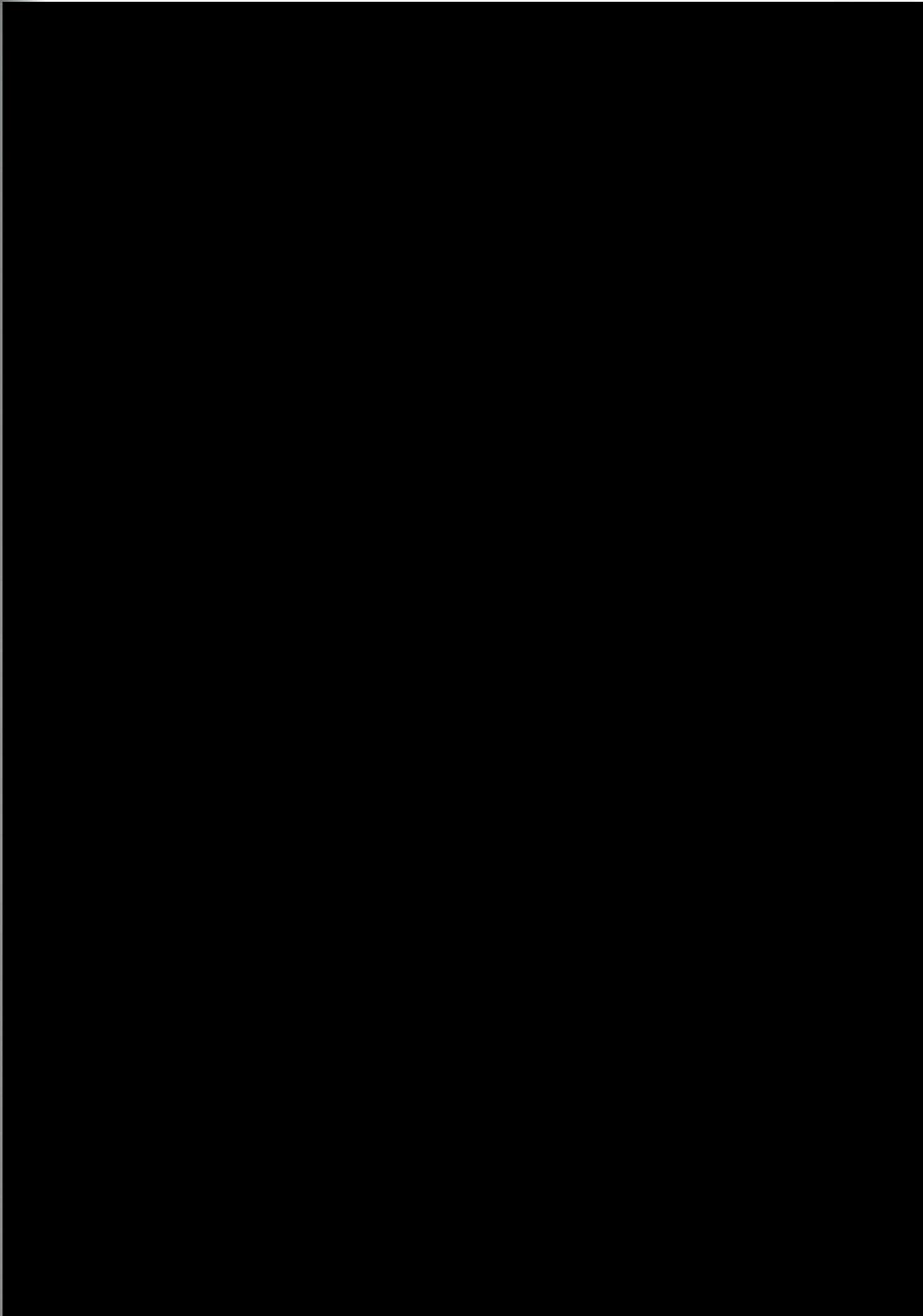
(5) Rexburg Museum とエピソード

現地調査に先立って訪れたRexburg Museumは、小さな石造りの教会のような建物で、(写真12)館内ではダム決壊直後の洪水被害を示す写真が多数展示されていた。館内へ入ってすぐに、ダム決壊までの過程と決壊後の下流の洪水被害を記録した15分程度のビデオを視聴した。ダム決壊シーンやその後の洪水による現地の被害に大きなショックを受けた。もし、日本でダム決壊が怒ったならば、人的、物的被害は想像を絶するものになるだろうと身の毛もよだつ思いであった。

ビデオ視聴の後に、調査団のメンバーはダム決壊に関する展示資料の見学や記録ビデオ、資料の購入に夢中で、博物館に展示してあった民俗資料にはほとんど目を向けていない様子であった。時間のない我々が、ビデオや資料を立て続けに買い求めたため、鳴りやまぬレジの音とともに、小さな博物館は熱気と異様な興奮に包まれた。その余韻を残したまま、我々は博物館を後にして一路ダムサイトに向かった。

現地へのルートは、地元のバス運転手も知らなかったため、運転手の知り合いを通じて地元郵便局に勤める主婦にルートを訪ねていく予定であった。ところが、その主婦は自宅前からわざわざ自分の車で現地まで先導してくれた、この親切な案内に感激したメンバーの一人は、車に同乗していた子供に心ばかりの御礼と、自分のカラーボールペンをプレゼントする一幕もあった。

現地に到着した調査団一向は、はやる気持ちを抑えつつ、記念の集合写真撮影と集合時間の確認の後、それまでの調査工程の中で石をたたけず積もりに積もったフラストレーションから解放されたかのごとく、目を輝かせながら我先にと四方八方に散々していった。ガラガラ蛇が出没するとのことで、最初のうちは恐る恐るだったのもつかの間、ダムアバット斜面を猿のごとく降りて行く者や、草むら入って行く者と地質屋基質丸出しで現地調査が行われた。午後5時現地地質調査を終え、明日訪問予定の遥かかなたに見える、グランドテートンの山並みを背に、宿泊地アイダホフォールズへの帰路についた。



UTAH

To I-80

図-1 ティートンダム位置

To Ogden

WYOMING
UTAH
To Back Sections

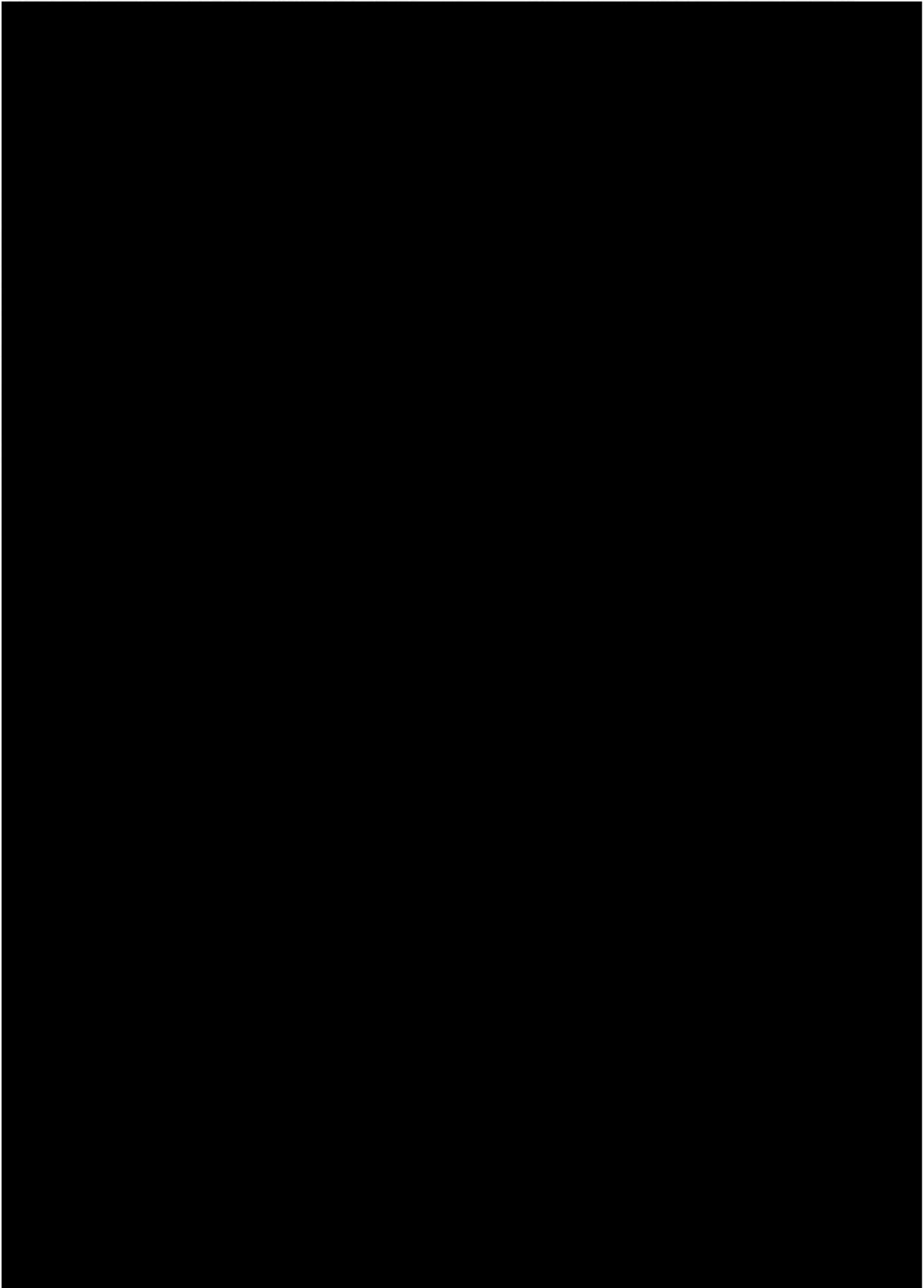


図-2 ロケーションマップ

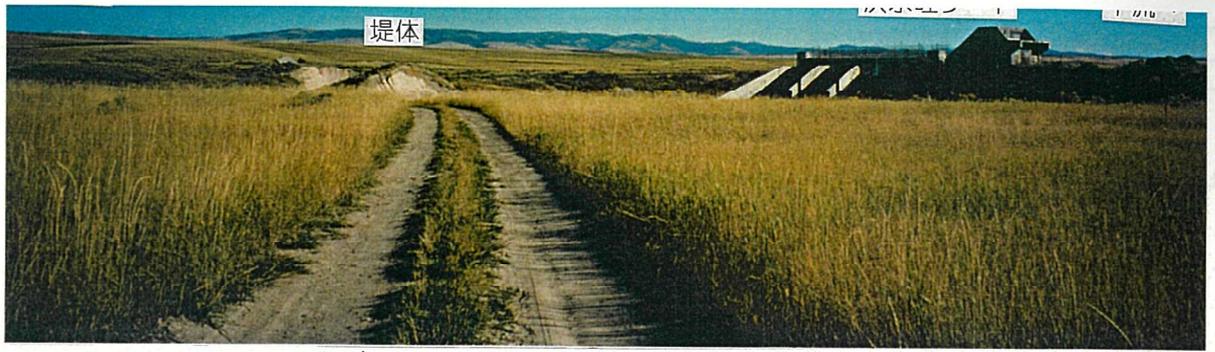


写真-1 台地上に顔を出す洪水吐ゲート部

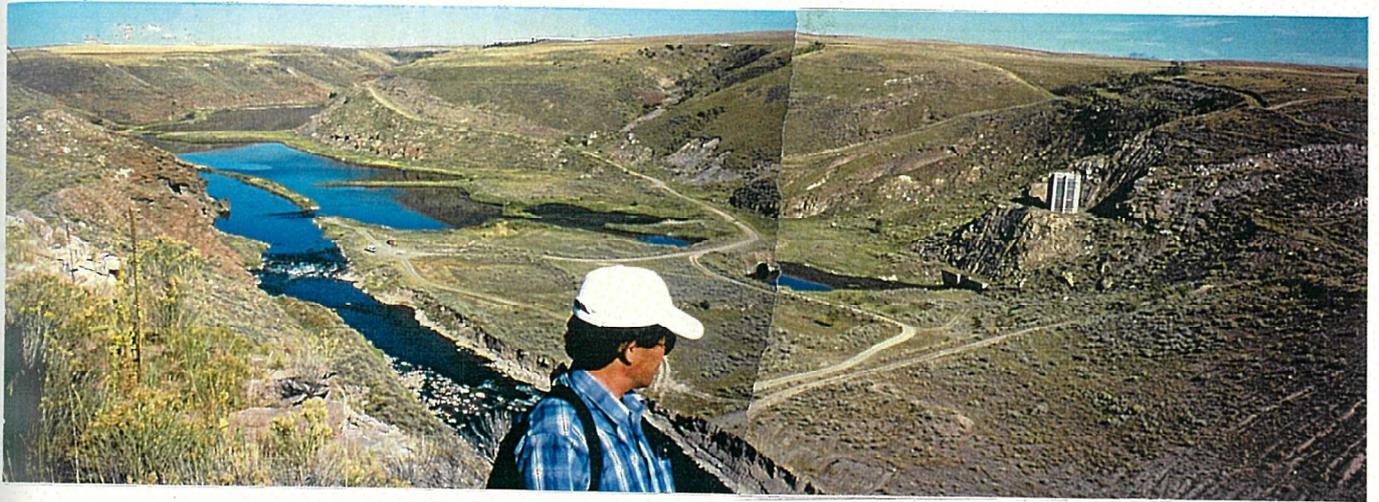


写真-2 ダムサイト直上流の地形

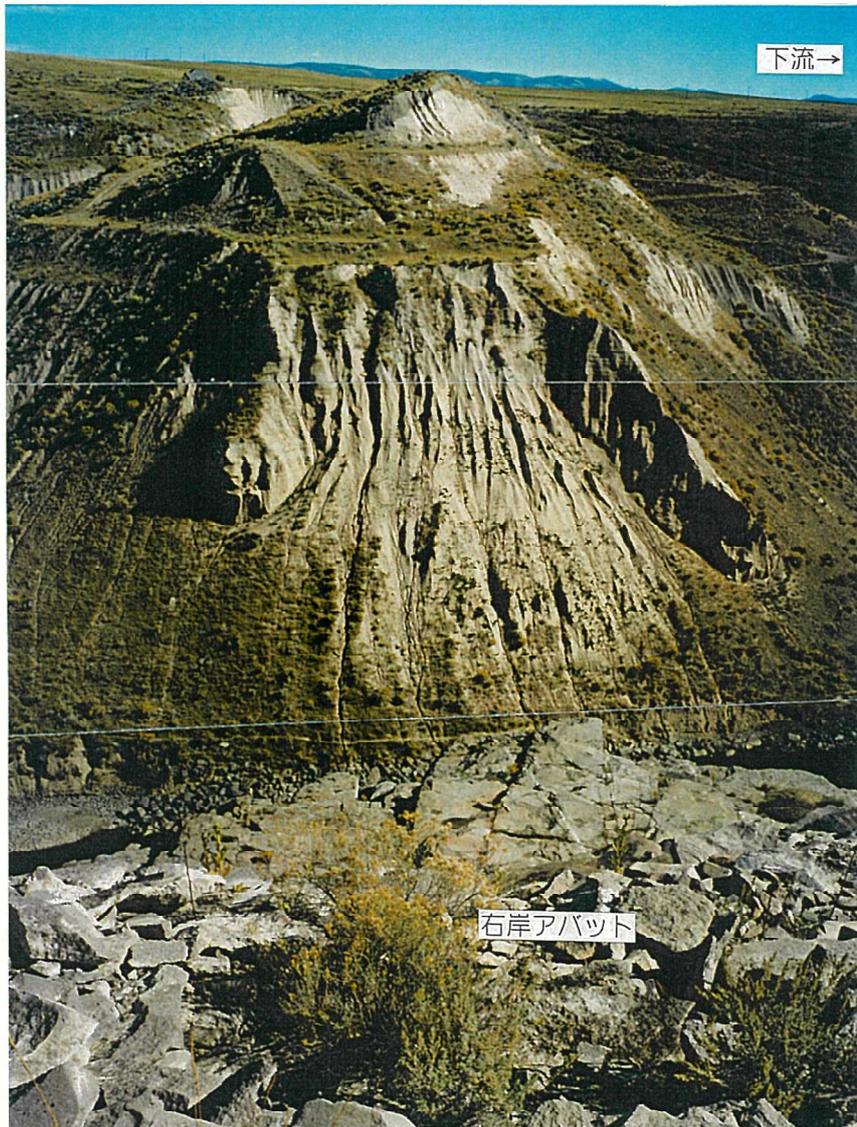
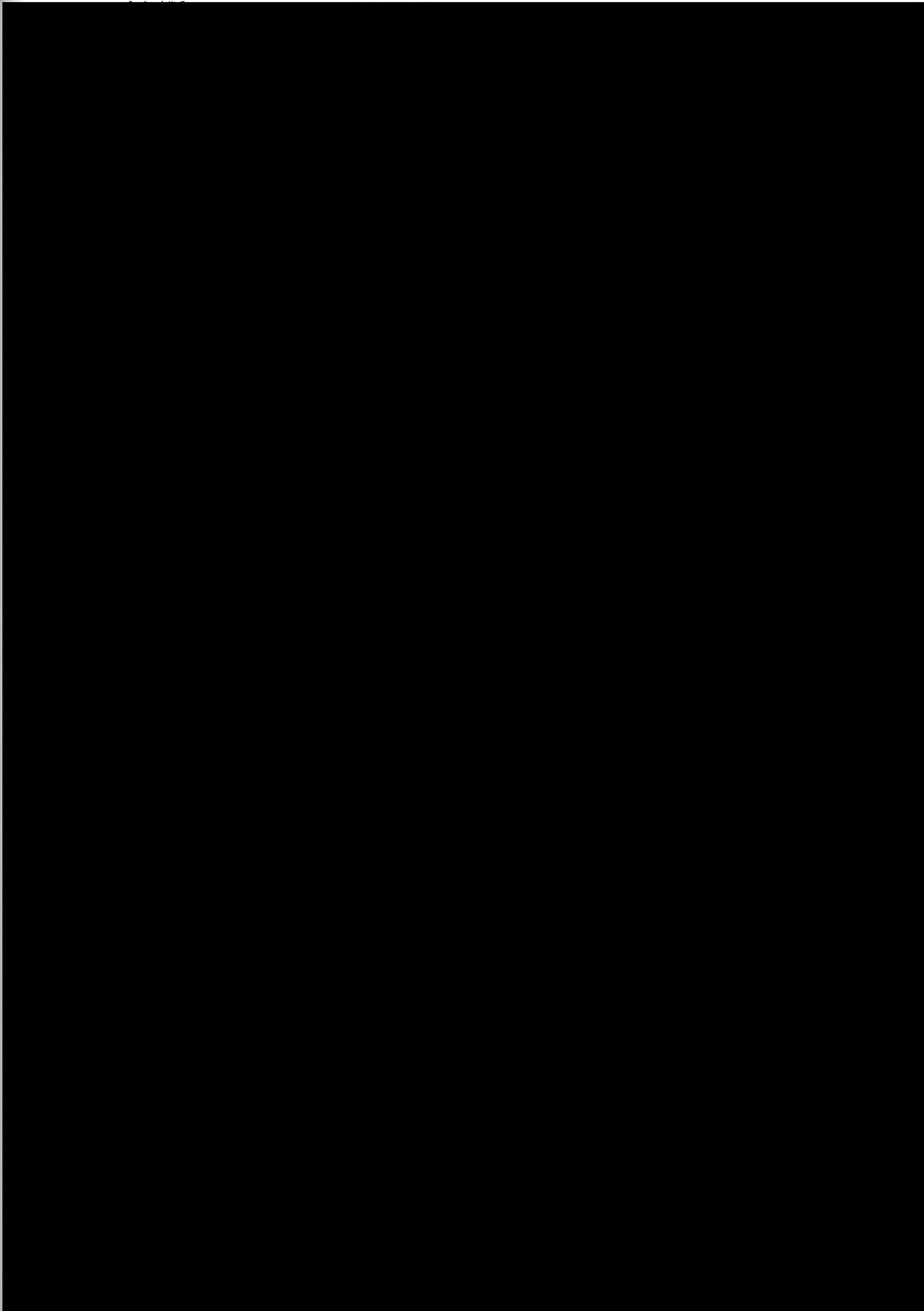
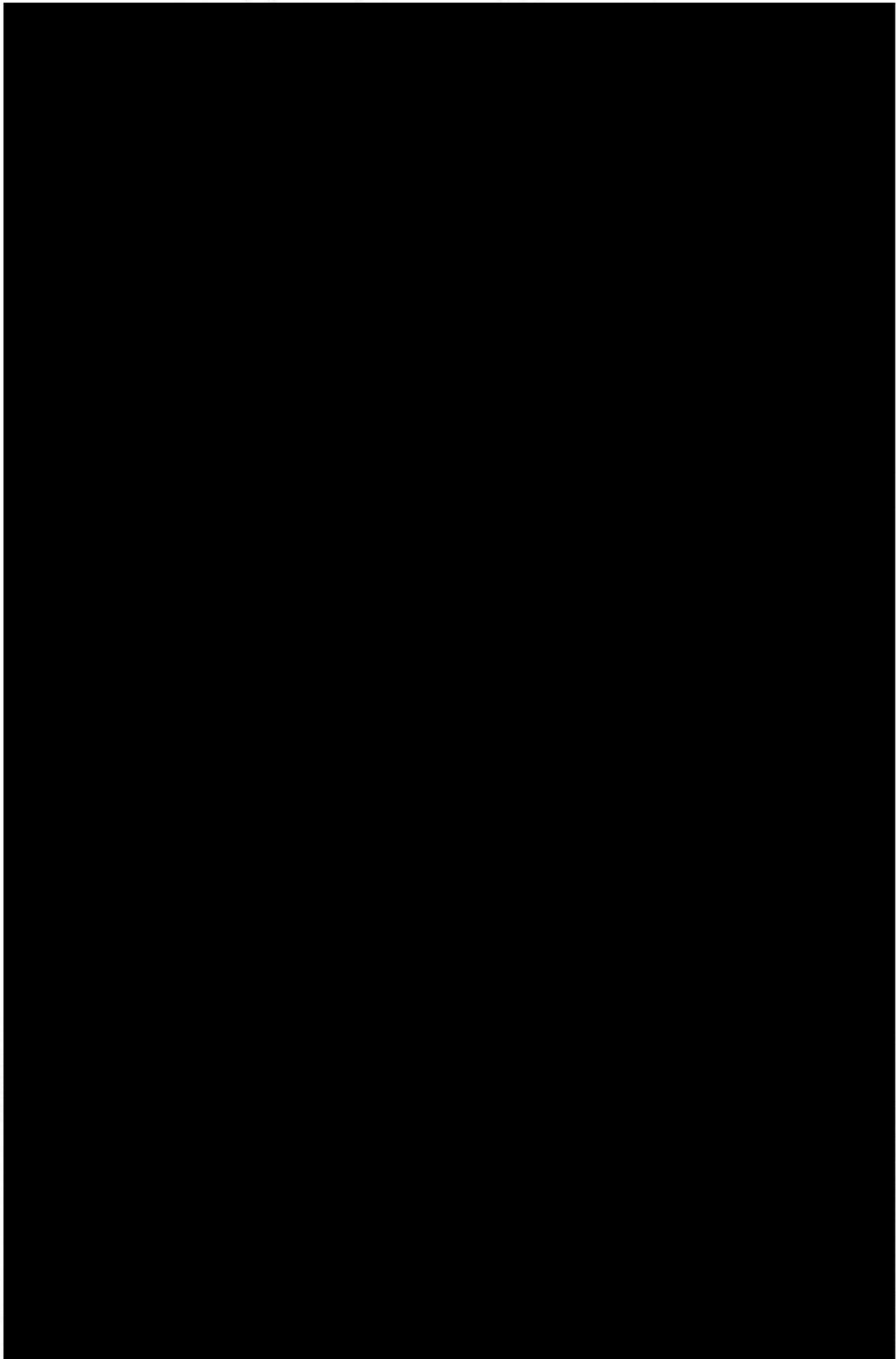


写真-3
河床中央部に放置され
たままの堤体中央部

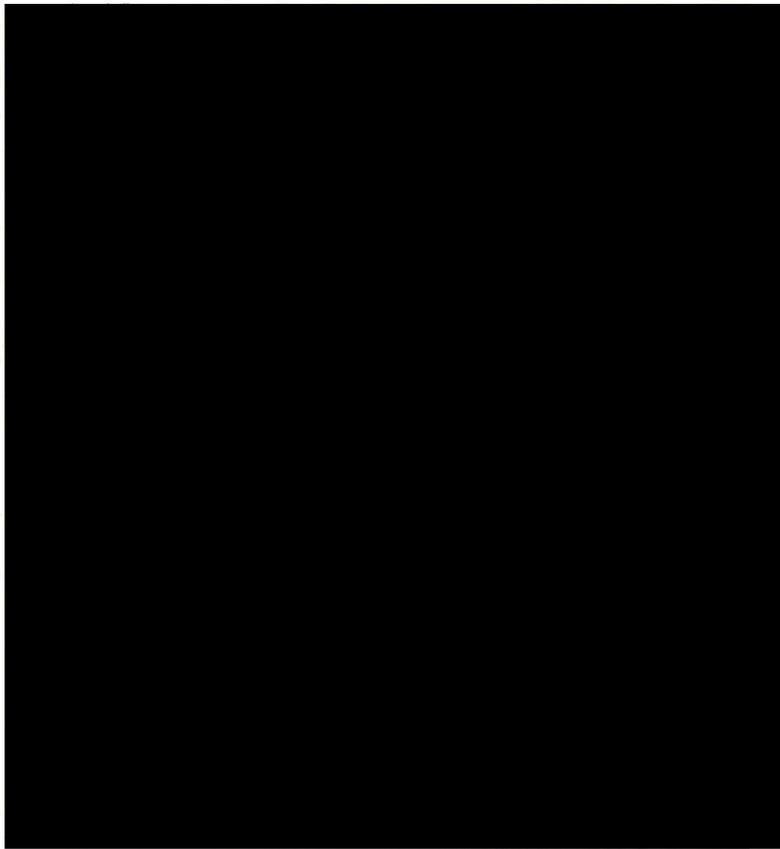


7.8m
7.8m

図一4 グラウト配置



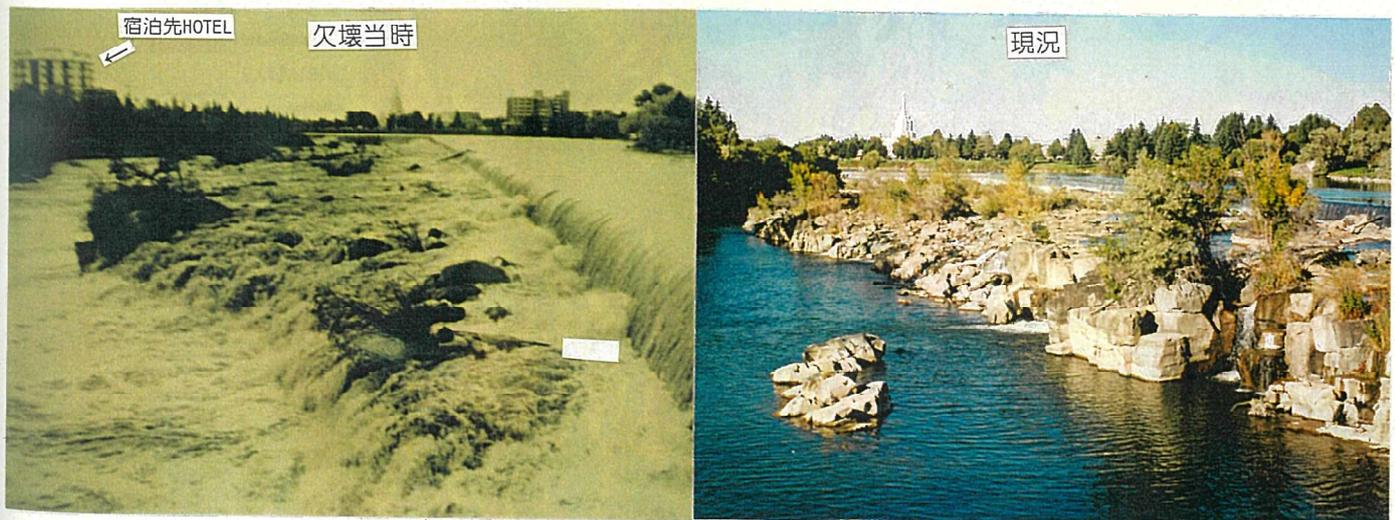
図一五 ダム決壊の経緯



図—6
ダム決壊による下流の被害



写真—4 ダム下流Rexburgでの被害状況



写真—5 ダムサイトから下流40マイルのIdaho Falls における欠壊当時と現況
(左上に今回の宿泊先のCAVANAUGHS ON THE FALLS HOTELが見える)

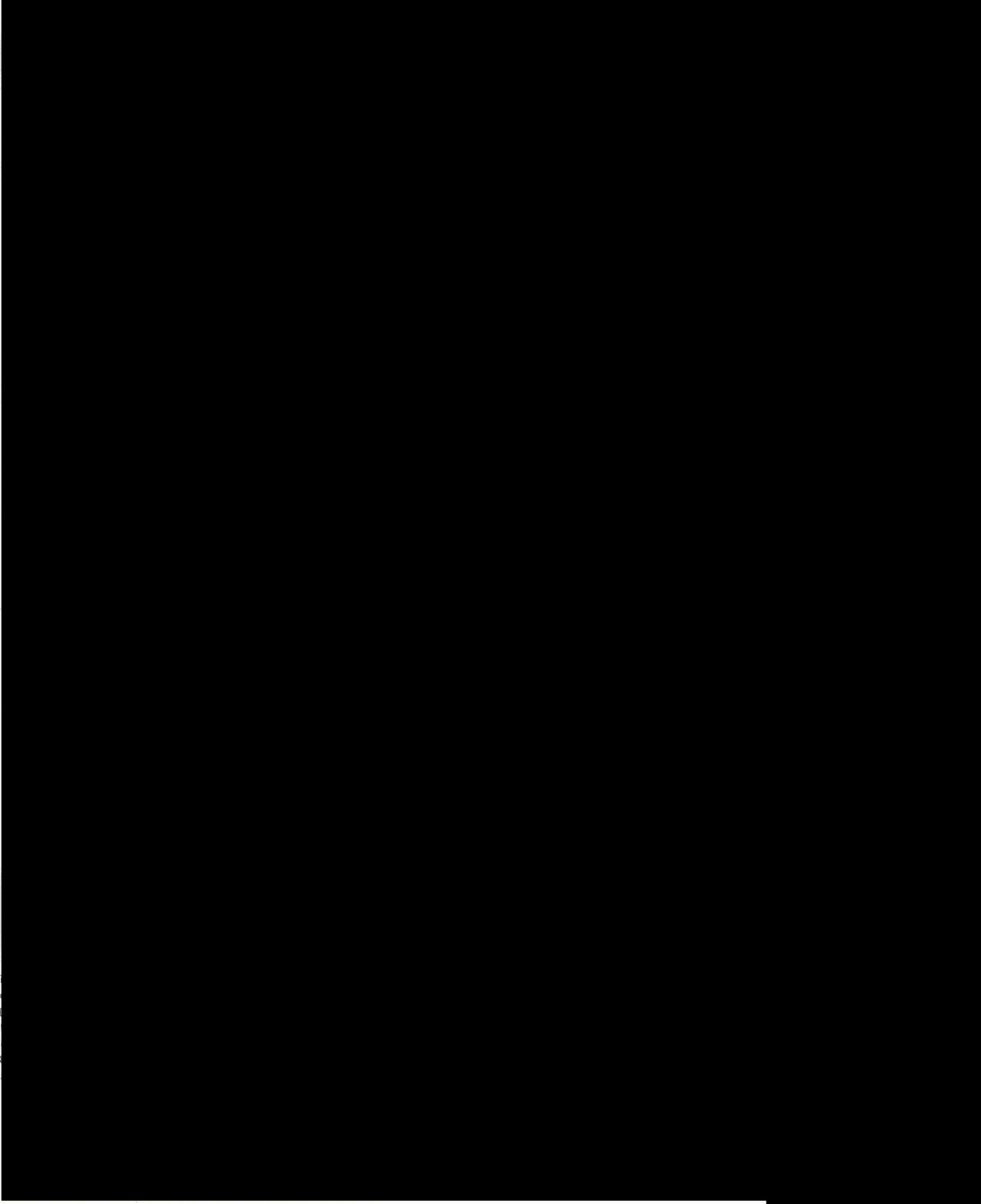


図-8 ダムサイト地質平面

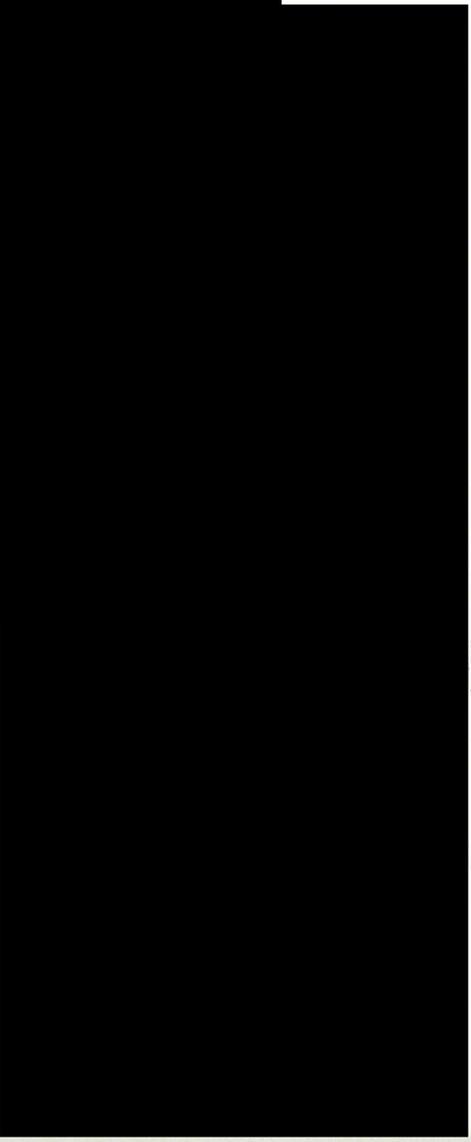
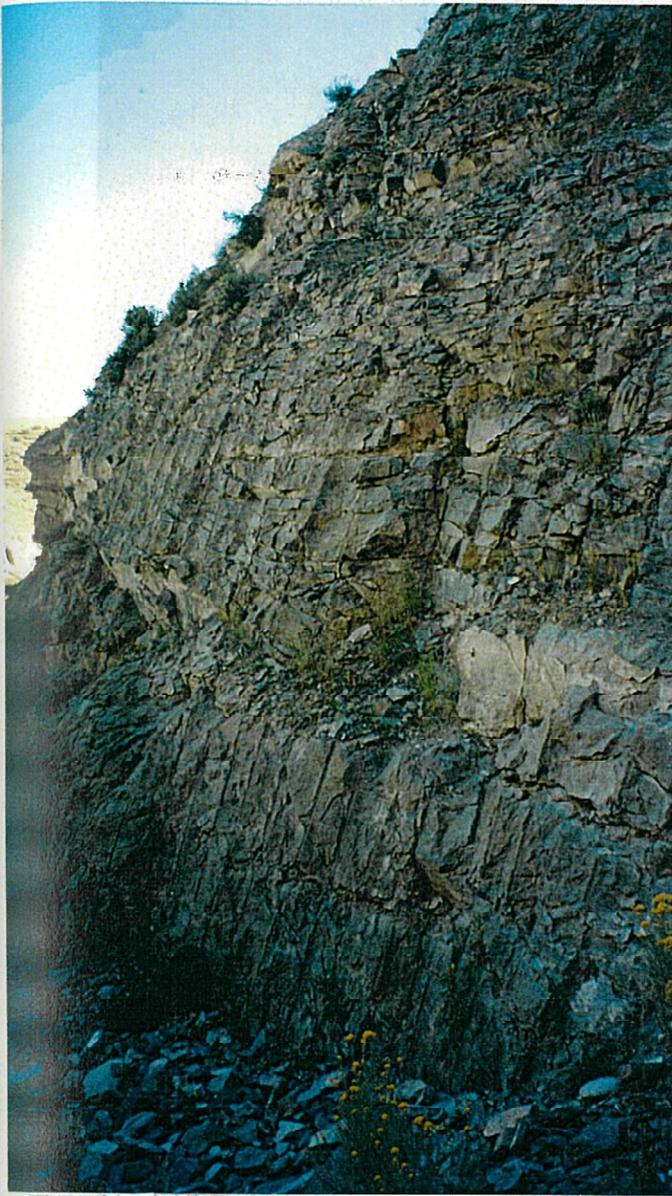
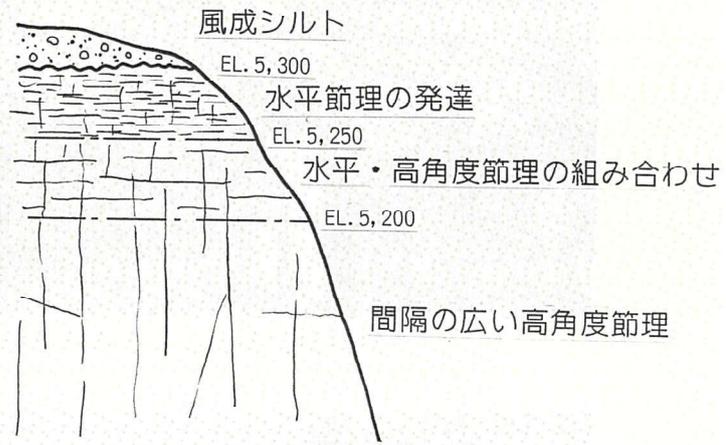


図-9 ダム軸地質断面概要



写真一 6. 左岸アバット高標高部の水平節理



図一 1 0 右岸に分布する節理の概要



写真一 7 左岸アバット中～低標高部の高角度節理

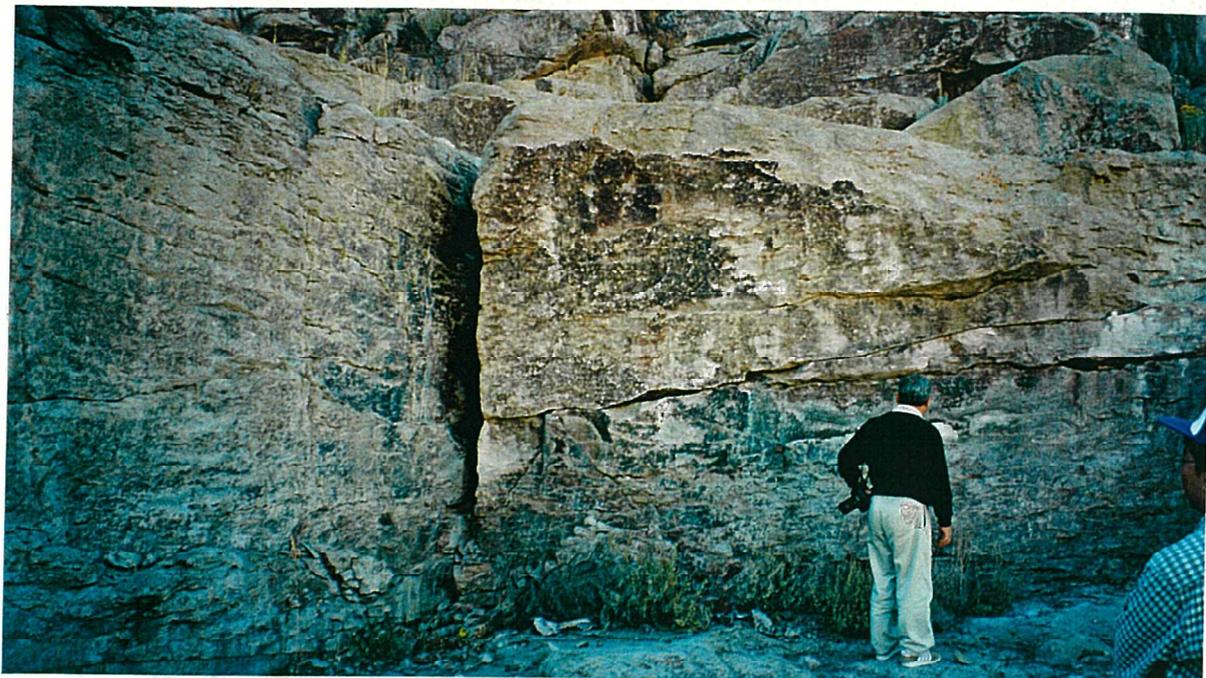


写真-8 左岸アバット中～低標高部の開口した高角度節理

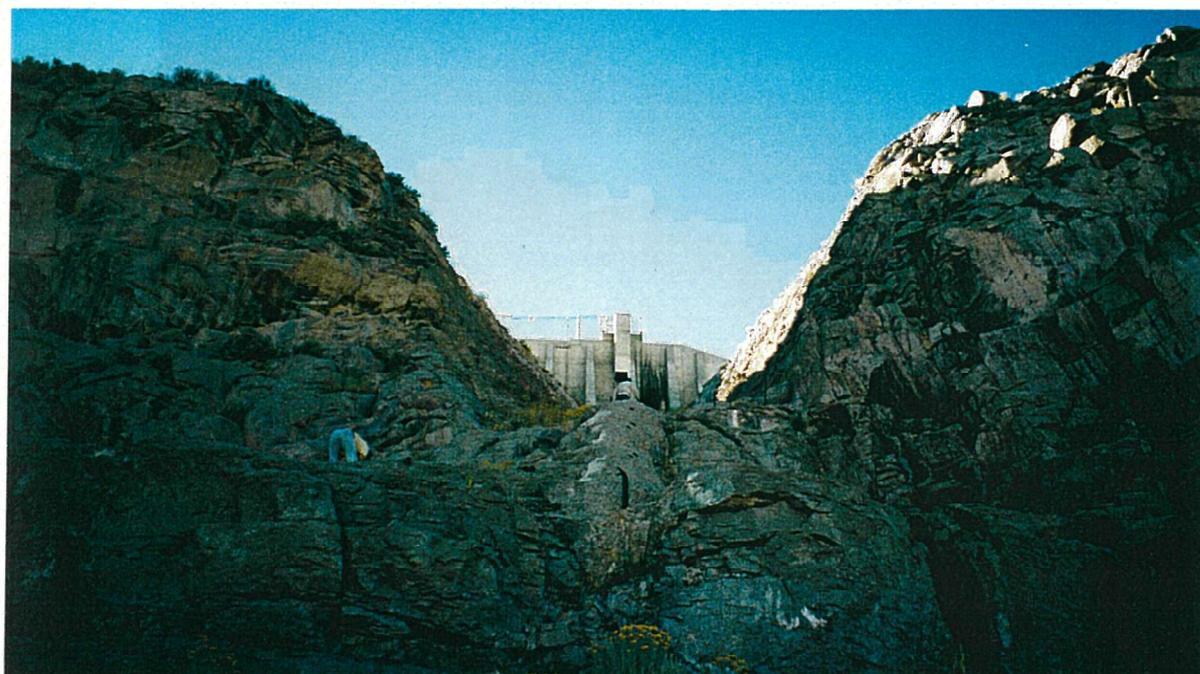


写真-9 急勾配のキートレンチ

アーチアクション

岩盤亀裂を流れる浸透流の概念

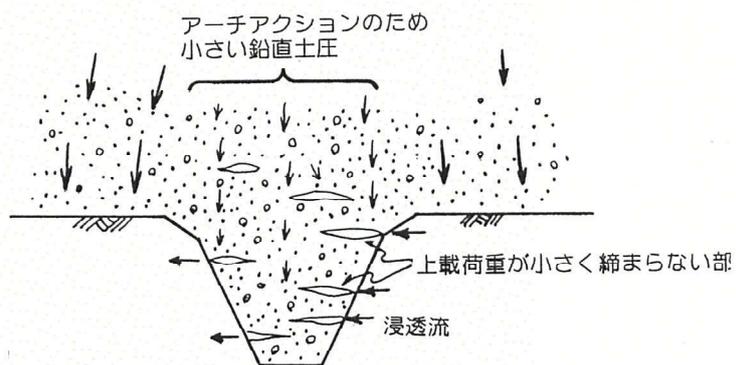
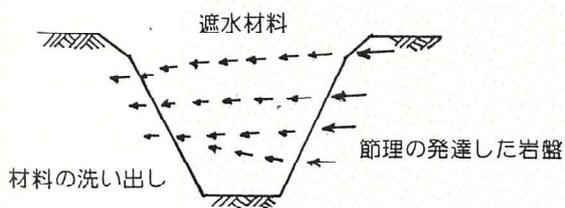


図-11 キートレンチ部に作用するアーチアクション



写真-10 洪水吐き側壁厚の不連続

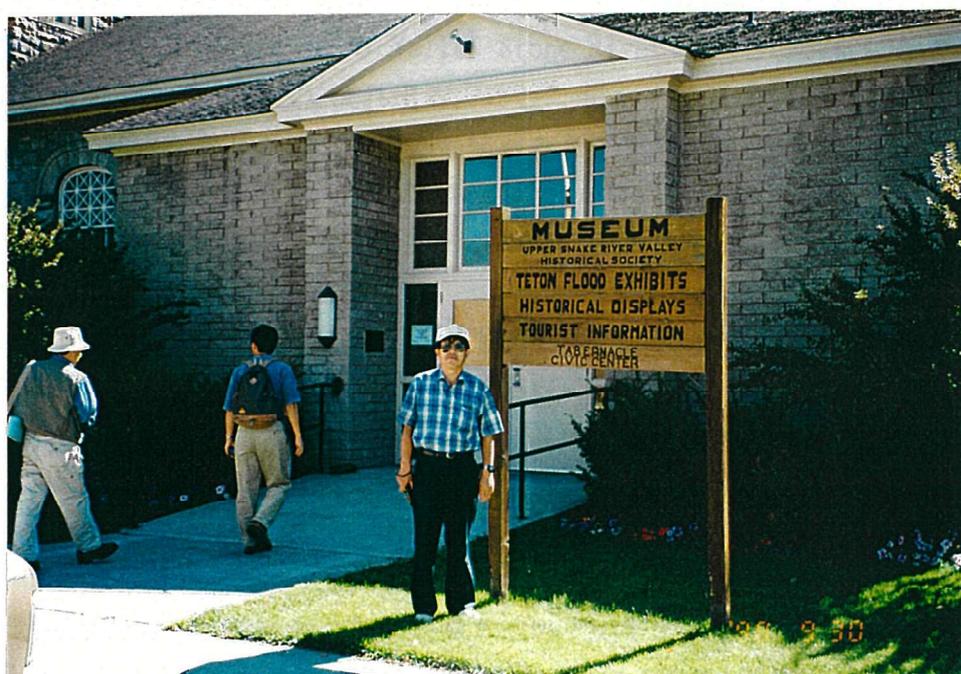


写真-11 Rexburg Museum (TETON FLOOD MUSEUM)

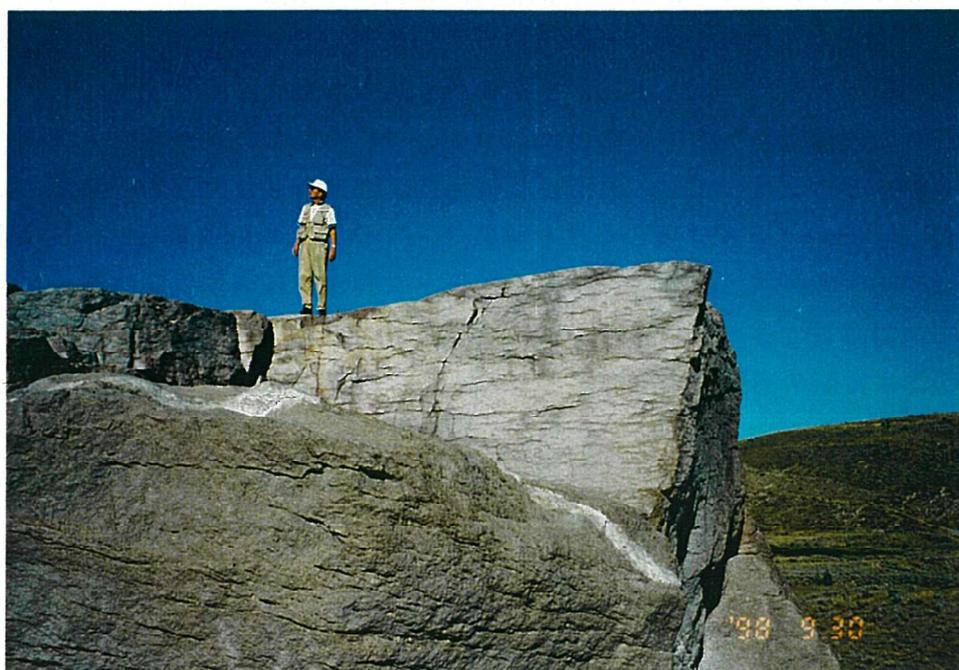


写真-12 右岸アバット岸壁にたたずむ調査団のメンバー

4. 3 イエローストーン 国立公園

藤田 崇 (大阪工業大学)

(1) Yellow Stone 国立公園のあらまし

Yellow Stone 国立公園は、総面積 8,993km²、四国の約半分の広さを有するアメリカ最大の国立公園である。その大部分は Wyoming 州の北西部にあり、一部は Idaho ならびに Montana 州に及んでいる。ちなみに 1972 年に指定された世界最初の国立公園でもある。高い噴水を見せる old faithful geyser をはじめとする多数の間欠泉はあまりにも有名であるが、園内の中央部に存在する山岳湖としてはアメリカ最大の Yellow Stone Lake などの美しい湖があり、ここを源流とする Yellow Stone River は長さ 38km におよぶ Grand Canyon と呼ばれる大峡谷をなして流れ出る。ことに upper fall と lower fall がおりなす峡谷は息を呑む壮大な美しさである。この峡谷をインディアンが「Mitsi a da zi (黄色い岩の川)」と呼んだことから Yellow Stone の地名が付けられた。

(2) Yellow Stone 国立公園の自然

9月30日、Idaho Falls のホテルを日の出前の 7時 (Summer Time) に出発、バスの車窓に大平原の風景を見つつ約 2 時間、公園の西口に到着した。ガイドは前日と同じ小川氏である。彼は大学を卒業後、生物が専攻でアメリカの自然環境に興味を覚えて渡米したそうである。生物に詳しいのは当然であるが、地質や気候など自然環境に精通している。欧米に見られるような自然学者 (Naturalist、昔流に言えば博物学者) に相当する。Naturalist は自然を身の回りの気候・気象などとともに地形・地質情報がを重要視し、そのような自然環境のもとで動植物の生態を考えていくのである。彼の目指すのもこのような Naturalist であろう。ちなみに、北米では地質に関する情報が手軽に得られ、売店でも Roadside Geology と称する地質の書籍が必ず置かれている。以下のこともこの書籍に基づいている。

園内で目についたのは多数の倒木が見られたことである。これは 1978 年 7 月の火災によるもので、園内の自然をそのまま保存するために火災が発生しても公園外にひろがることを避けつつ、公園内は消火せずに放置したとのことである。このようなことは、日本では考えられないことで、さすがは広大なアメリカならではの話であろう。火災後 20 年を経過しているので、新たに芽を吹きだした木も成長しており、倒木と対照的である。これら園内の大部分の樹木は松の一種で、Lodgepole Pine と呼ばれている。これはインディアンがこれで家屋を建てたことから命名されたとのこと、園内の現在の建物もこの樹木で建てられている。

これら樹間には多くの小鳥が飛び交い、草花が咲き乱れている。この中を Elk、Bison、Coyote、Bear などの動物が自由に闊歩している。まさに野生動物の天国である。人間が近

づいても通常は何の反応も示さないが、うかつに触れたりすると襲われることもあり得るという。日本では野生動物に接する機会が少ないので、動物を見るとすぐ触ったり、エサを与えることがしばしばであるが、ここではそのようなことしない。野生動物とのつき合い方を知っているからである。また、園内でははすべて自己の責任で行動するのが原則である（これだけに限らないが）。仮に、動物から危害を加えられるような場面に遭遇しても自分の責任で対処しなければならない。日本との文化の相違であろうが、われわれも見習う必要があるだろう。ただし、園内の必要な情報はいくつかの公園事務所で用意されており、自由に見ることができる。

(3) Yellow Stone 国立公園の間欠泉

Yellow Stone 国立公園で最大の見ものは、やはり間欠泉である。中でも Old Faithful Geyser (Great Geyser) はほぼ 70 分ごとに数 10m の高さにまで熱水（水蒸気）を吹き上げている。もっとも日によって、時間によって噴出する熱水の量が異なるので、時間の無い観光客にとってはどのような噴出が見られるかはその時の運としか言いようがない。噴出量の推定は難しいとのことであるが、噴出量により次回の噴出時間はかなりの確度で推定でき、次回の噴出時間がすぐ掲示される。われわれが見た時の高さは 15~25m 程度であり、中規模クラスのものであったが、青空に向かってまっすぐに高く吹き出す様はやはり壮観である。

園内は、大小さまざまな温泉がいたるところにある。日本で言う「〇〇地獄」に当たる。ごく小さなものまで含めると総数約 10,000 となり、世界の温泉の約半数に相当するという。温泉は日本のものというイメージがあるが、どうもこの公園は別物としか言いようがない。これらの地表に見られる熱水の噴出のうち、約 350 以上が間欠泉として噴出した経験を有し、現在は約 200~250 の温泉が間欠泉として熱水を噴出している。

(4) Yellow Stone 国立公園の地質

Yellow Stone 国立公園および周辺地域の地質に若干触れておく。表一 1 のように、この地域の最古の岩石は、先カンブリア代の 27 億年前に形成された花崗岩・片麻岩が主体であり、主な分布域は公園の北方にある。その後は長い間にわたって隆起し、それに伴って浸食作用を受けた。その堆積物は、Montana 州西部や Idaho 州北部に主に分布する先カンブリア代後期の Belt Supergroup の一員である。この後、再び浸食作用を受けて、古生代から中生代にかけて、浅海成・湖沼成・河成の堆積岩類が形成された。これらの地層には多種の植物化石や動物化石が見出されている。

北米プレートと太平洋プレートの衝突によって引き起こされた 1 億~5,000 万年前の間の Laramido 変動は、ほぼ南北に延びる長大なロッキー山脈を形成した。その隆起後まもなく、約 5,000 万年前に火山活動が中部 Idaho、西南 Montana、北西 Wyoming および Yellowstone の諸地域に起こった。安山岩溶岩、玄武岩溶岩、降下火山灰、岩屑流と泥

流、河成の砂礫層から成る Absaroka Supergroup がこれに相当する。この火山活動は約 4,000 万年前に終わり、その後の Yellowstone 地域は隆起とそれに伴う浸食作用が卓越し、約 250 万年前から再び Yellowstone Plateau volcanic field と呼ばれる火山活動の場となるとともに、一部の地域は河成および湖成堆積物が形成された。

(5) Yellow Stone 国立公園の火山活動

Yellowstone Plateau volcanic field の火山活動史を表一 2 に示す。これによれば、200 万年～60 万年の間にクライマックスを迎え、3 つの大規模な火山活動のサイクルが認められる。中間のやや規模の小さい噴火活動は 7 万年前まで続き、その間一つの小さなカルデラを作り出した。約 15 万年前までには Yellowstone Lake の West Thumb 付近に埋没した。Yellowstone Plateau の輪郭部におけるこれらの噴火活動は、大規模なカルデラ、あるいはクレーター状の盆地を埋積した。深部のマグマはこの地域すべての温泉や間欠泉となる地下水を熱水化している。最後の噴火の後、2 度にわたる氷河時代は地表の形状に変化を与えた。さらに、その後の河川の作用は浸食と堆積を繰り返しながら、Yellowstone 地域をなお変えつつある。

今日でさえ、Yellowstone 地域の変動はたいへん活動的である。今世紀に始まったかと推定される隆起運動は、Yellowstone 地域中央部でフットボール類似の楕円形の形状で、今日まで年間約 1 インチに達しており、将来の噴火現象の前兆と見なすこともできる。この地域全般におけるこのような隆起作用と山脈の形成に寄与する営力は、陸地を形成するような地震を起こし、Yellowstone 地域でもいくつかの温泉や間欠泉の状況を変えた。例えば、1983 年後半の Idaho 州中部の Mount Borah 地震は、Old Faithful Geyser の噴出の平均間隔をわずかながら増大させるとともに、それまでは休眠中であった温泉を再び間欠泉として噴出させた。同様の、またこれ以上のドラマティックな現象は、Yellowstone の丁度北西に当たる西南 Montana 州における 1959 年の Hebgen Lake 地震で起こった。

Yellowstone の呼び物の間欠泉を起こす要因はこの地域の火山活動である。Yellow Stone 国立公園中央部はすべてカルデラ、ならびに現存しない火山活動による巨大なクレーターである (図一 1 参照)。第四紀の火山活動とそれに伴う熱水の活動の歴史は、現存する Yellowstone カルデラより古いおよそ 200 万年前の稀にみる巨大な火山活動に始まり、少なくとも 7 万年前まで断続的に続いた。この間の火山活動は 3 つのサイクルに大別される。第三のサイクルに形成された Yellowstone カルデラは園内の中央部に位置しており、カルデラ壁の一部はその後の溶岩に覆われて見えなくなっているが、大部分は観察できる。

この最初の活動の際に、600mi³ものきわめて膨大な量の火山物質を噴出したが、これは St. Helens 火山の噴出量 (0.25～0.50mi³) の約 5,000 倍以上に相当する。これを Huckleberry Ridge Tuff と呼ばれている。

その後、2 つの大規模噴火が 130 万年前と 60 万年前に起こった。前者は Ahenrys Fork カルデラからの 67mi³に達する Mesa Falls Tuff であり後者は Yellowstone カルデラから

噴出した Lava Creek Tuff であり、その噴出量は最初の活動に次ぐ 240mi³であった。また、流紋岩・玄武岩などの溶岩の噴出など小規模の火山活動を繰り返した。

(6) 氷河時代を経た Yellow Stone 国立公園

Yellowstone 地域には、200 万年以降少なくとも 2 回以上の氷河期を経験した。最初は、Bull Lake 氷河期と呼ばれる 160 万年と 130 万年の間であり、さらに新しい Paindale 氷河期は 7 万年と 1.3 万年の間である。この時期、Washington 州西部の内陸域は積雪量が多く、厚い氷河に覆われた。しかし、Wyoming では乾燥気候なので、必ずしも氷河を形成する条件を具えた訳ではない。火山活動の激しい時期に寒冷でやや湿潤な気候になったため、山岳における積雪が融けずに氷河となって流動した。Paindale 氷河は、Yellowstone 公園のほぼ全域を覆った時期があるが、Yellowstone 地域西北部あるいは西南部の山岳地帯から流出して Yellowstone 公園の地域に集まり、その後北部と南部、あるいは東部に流れていった(図-2 参照)。従って、公園内には氷河性の地形とともにモレーンなどの堆積物がいたるところに残されている。氷河の消滅後、急峻となった斜面には多くの地すべりが発生した。

(7) おわりに

Yellow Stone 国立公園を後にしてわれわれのバスは一路南方の Jackson 市を目指した。その車窓に 4,000m 級の力強い山容を見せる大山脈が聳え、青々とした湖と大平原とともに美しい対照をなす風景に魅了された。これが Grand Teton 国立公園である。夕刻到着した Jackson 市は小さな街であるが、アメリカ有数の高級リゾートタウンとのことで、ハリウッドのプロデューサーたちの別荘地であり、金満家の老人の”5 度目の新婚生活”を送るための町と言われているそうである。高級な店が軒を連ね、中でも全米一のコレクションを誇るインディアン・ジュエリーの専門店がある。われわれもこれらの店に立ち寄りながら町を散策し、その雰囲気を楽しんだ。

表 - 1 Yellowstone 地域の基盤地質層序

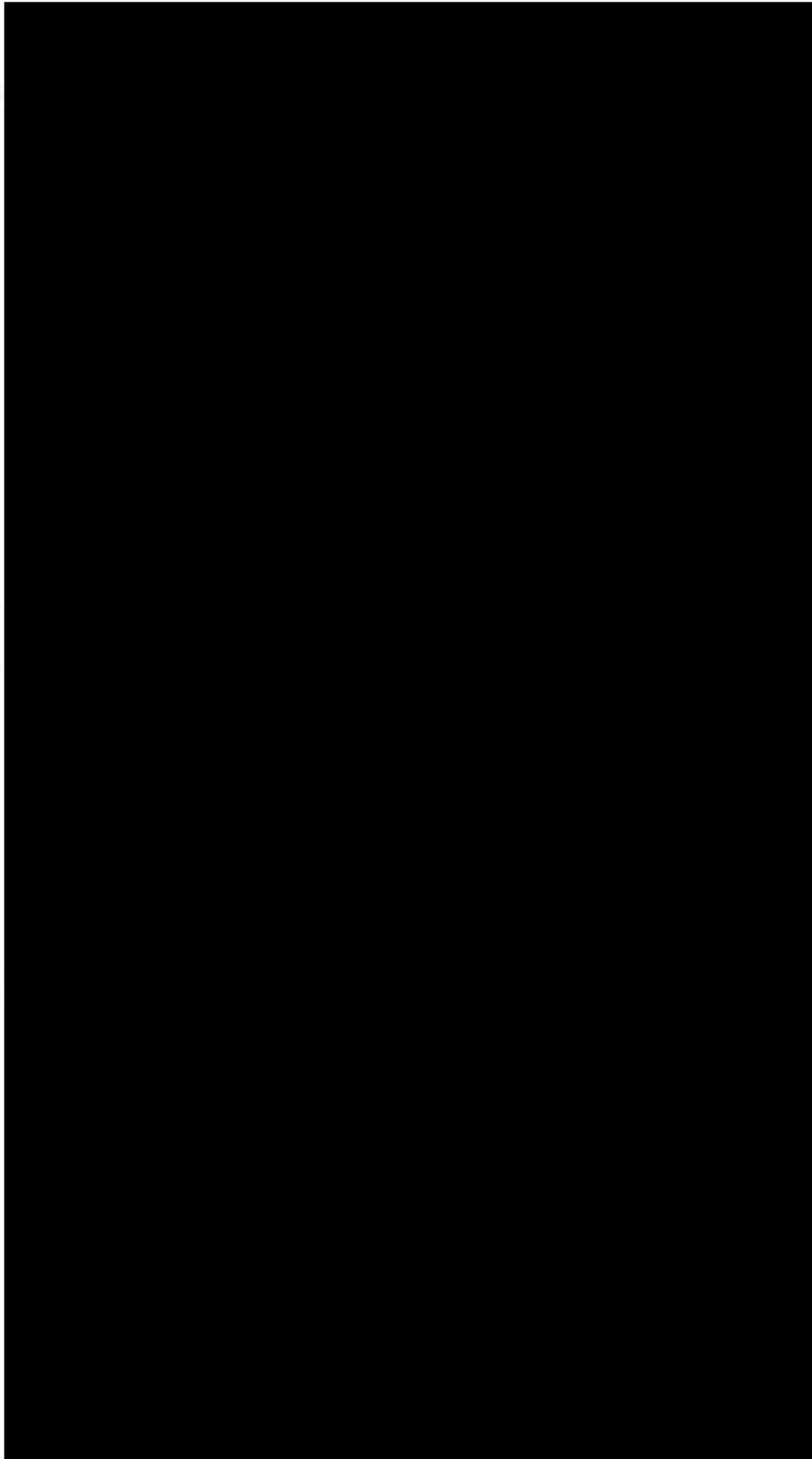


表-2 Yellowstone 地域の火山活動サイクル

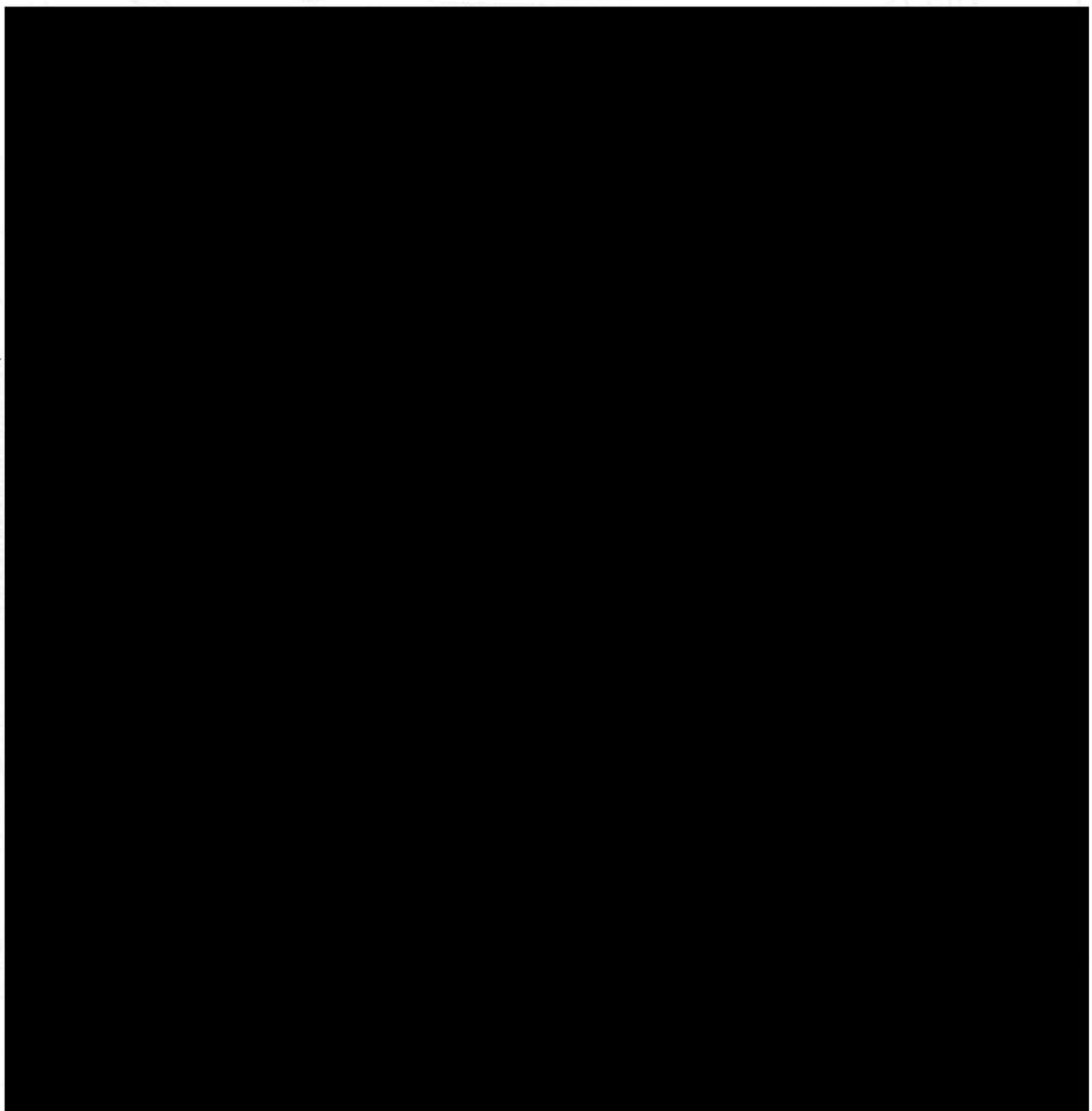


図-1 Yellowstone 地域の第四紀火山活動の場とカルデラの位置

① 中央部のもみり帯領域がカルデラを示す。

② 南北部には河まれの凝灰岩の分布域が古いカルデラを示す。

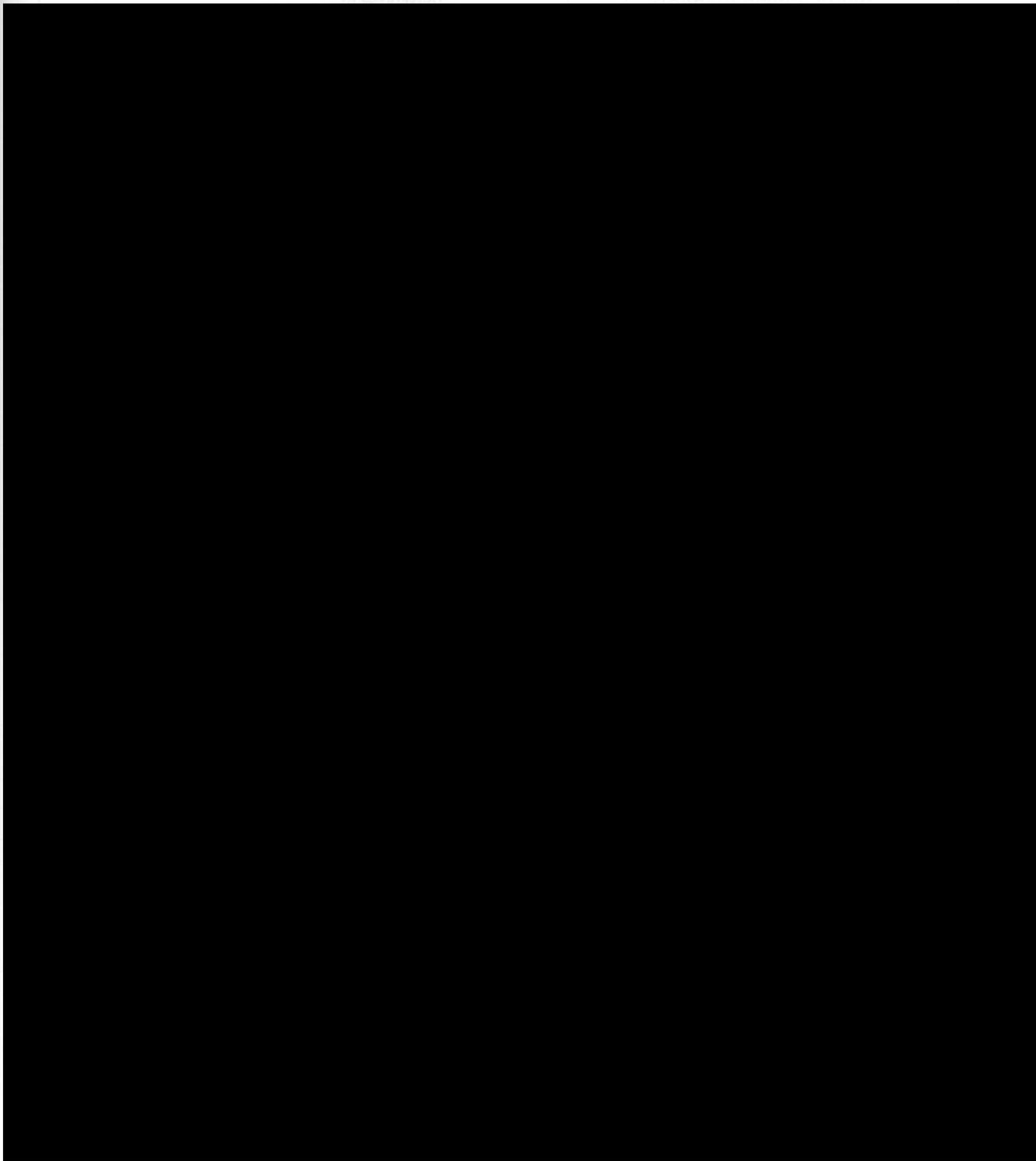


図 - 1 Yellowstone 地域の第四紀火山活動の場とカルデラの位置

中央部の太い閉曲線がカルデラを示す。

溶結凝灰岩に囲まれた流紋岩の分布域が古いカルデラの跡を示す。

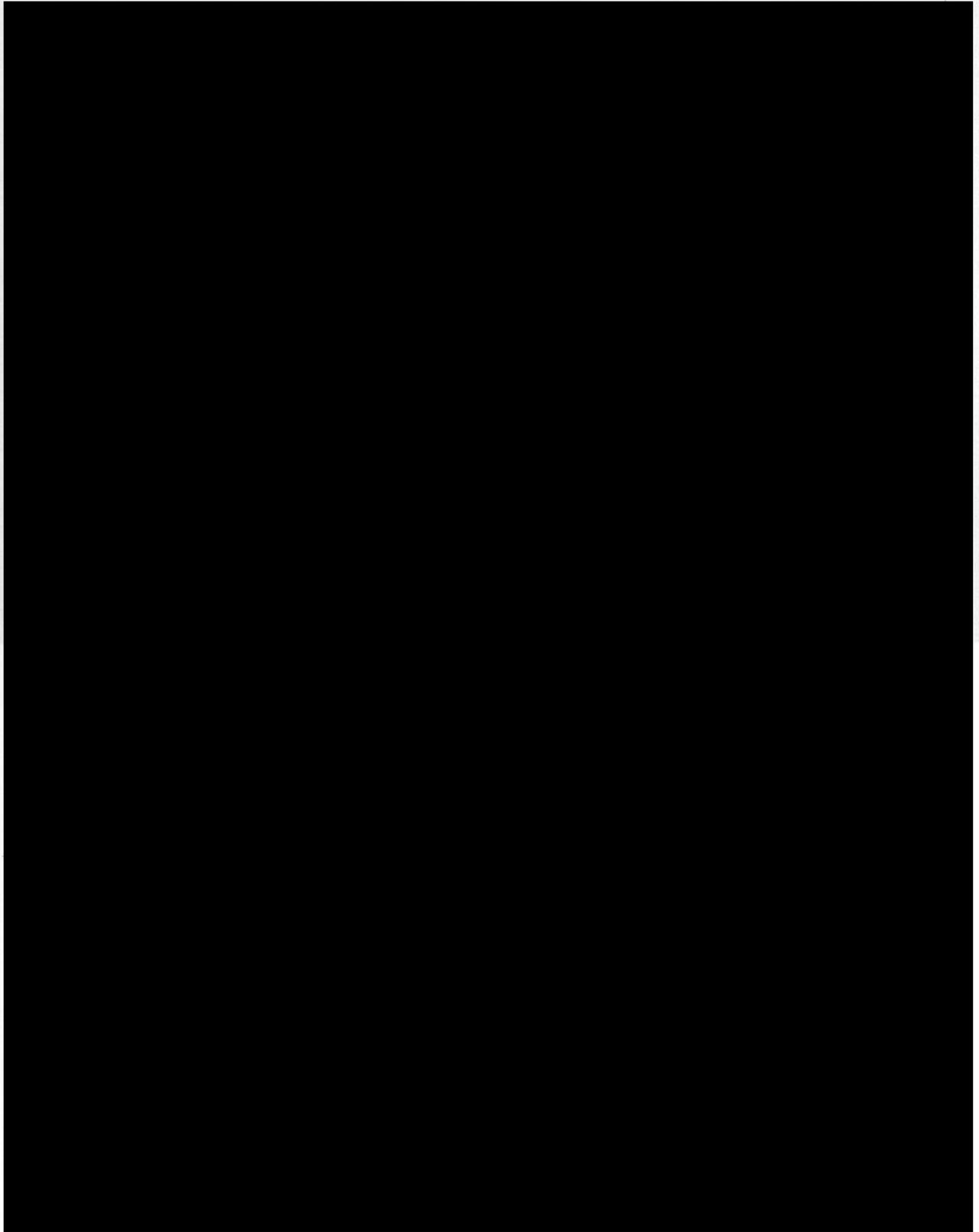


図 - 2 Pinedale 氷河期における氷河の流動

矢印が氷河の流動方向を示す。

Yellowstone 公園内は大部分が氷河に覆われている。



写真1 Yellowstone 公園最大の間欠泉, Old Faithful Geyser



写真2 小さな間欠泉をバックに移動する温泉と枯れ木



写真3 小規模の温泉群と Yellowstone Lake

4. 4 ラヴァーウオーク (Hell' Half Acer)

村川壽朗、佐藤英一 (財団法人ダム技術センター)

9月29日、雲一つない快晴である。日頃の行いが良いと見え、今回の巡検旅行は、全くの雨知らずである。今日は、ティートンダムの決壊現場調査予定であるが、時間に余裕が出来たため、午前中は、自由行動組と巡検組の二班に分かれて行動した。巡検組は、バスで溶岩流跡(ラヴァーウオーク)とアイダホポテトの選別工場見学を行った。ポテト工場については、太田団員から報告されると思うので、ここでは、溶岩流跡について簡単に報告した。

午前9時にバスでホテルを出発する。この日の朝の気温は7度位とかなり寒いですが、これが昼になると気温は30度以上、湿度25%程度の乾燥気候になってしまう。湿度の高い日本と比べると、気温が上がってもそれ程暑さは感じられない。このような乾燥地域では、日中水分を摂らずにいると脱水症状を起こしてしまうので、水分の補給は欠かせないとのことである。日本では考えられないことである。と言うことで、バスは先ずミネラルウォーターを買うためにスーパーへと向かい、そこで仕入れたミネラルウォーターとバスに備え付けの観光バス会社名の入ったベースボールキャップを皆に配られ、スーパーを後にしてバスは溶岩流跡へと向かう。アメリカ合衆国の4日、日本を出発してからすでに10日が過ぎていることもあってか、皆、少々疲れてきた様子で、バスの中も睡眠不足を補う人もいて、巡検当初に比べて静かに思える。また、疲れのためかどうかは不明であるが、フィールドへ行くというのに、ハンマーをもってこない人も一部見受けられた。バスは町を抜け出てハイウエーをひた走る。地平線の彼方まで一面のジャガイモ畑が続き、その中をハイウエーが一直線に伸びている。所々にジャガイモを栽培している農家が点在しているだけで、人の姿はほとんど見られない。ここアイダホでは、1農家平均約2,000tのジャガイモを生産しているそうである。

まさにアイダホポテトの生産地である。しかし、ジャガイモは溶岩地帯では生産できないために、溶岩地帯にはいると途端に畑がなくなり、荒涼とした風景に変わるので、その区別は容易である。

さて、今回我々の訪れたラヴァーウオークの溶岩流跡は、アイダホフォーズからフリーウエー20号線を西へ約30km程行ったところに位置する(図-1)この溶岩流は約4,500~2,000年前に噴出したものであり、その景観は浅間山の鬼押し出しのようである。この溶岩流を含む周辺一帯は、スネイクリバーベースンとよばれ、約1,500万年前の火山活動による溶岩流によって形成されたものである。その幅は約10~80km、長さ約500kmの広大な平坦地である。当初、スネイクリバーはこのベースンの北端部を流れていたが、溶岩の流出により現在は平原の南縁を流れるようになったそうである。

我々はラヴァーウオークの南部に位置するHell's Half Acer Trailへと向かった。アイダホフォールズからフリーウエー15号線で約30km程南下し、93番出口(Black foot)

でフリーウエーを降りて、国道 26 号線で北西方向へしばらく走ったところにあるトレッキングコースである（写真一 1、2）。道路脇の駐車場にバスを止め、早速トレッキングを開始と思いきや、駐車場には観光バス会社の社長が我々を待っており、このラヴァーウオークの説明をしてくれた（写真一 3）。この後約 30 分のトレッキングを社長と一緒に楽しんだ。なかなか、サービス精神旺盛な社長である。この周辺の溶岩流は、古いものが約 4,500 年前、新しいものが約 2,000 年前の噴出によって形成されたもので、13 箇所存在する火口あるいは割れ目から溶岩が噴出したものである（写真一 4：13 箇所の火口うちの 1カ所）。

ここを構成する溶岩の岩質は、多孔質な玄武岩質のものが多く、ハワイのキラウエア火山などで見られる、パホイホイ溶岩やアア溶岩が観察できる（写真一 5、6）。この溶岩流地帯に生えている植物は、栄養が十分でないためか、低木や草が目立つが、中には人の背以上ある木も見られる（写真一 3）。低木はセージの一種あり、よもぎに似た香りがする。また高木は、ユタジュニパーと呼ばれており、木の実は、リキュールのジンを作る際に用いられるそうである。動物に関しては、このようなところにも草木を餌にするうさぎやリスなどの小動物が生息し、また、これらの小動物をを餌にする蛇（ガラガラ蛇）が生息しているそうである。特に、岩の割れ目や茂みの中は蛇の格好の住みかとなっているそうである。トレッキングコースを外れて溶岩上を、短パンにスニーカー姿で縦横無尽に飛び回る元気な人も見受けられた。残念なことに（?）、ガラガラ蛇は発見できなかった。

約 30 分と短い時間ではあったが、ガラガラ蛇の住みかの中、ほどよい緊張感の中でのトレッキングが出来、また、日本では見られない光景（風景）を見学でき、楽しい時間が過ぎた。この後、社長の紹介によって、アイダホポテトの選別工場の見学へと向かった。



図一 1 アイダホフォールズ周辺地図

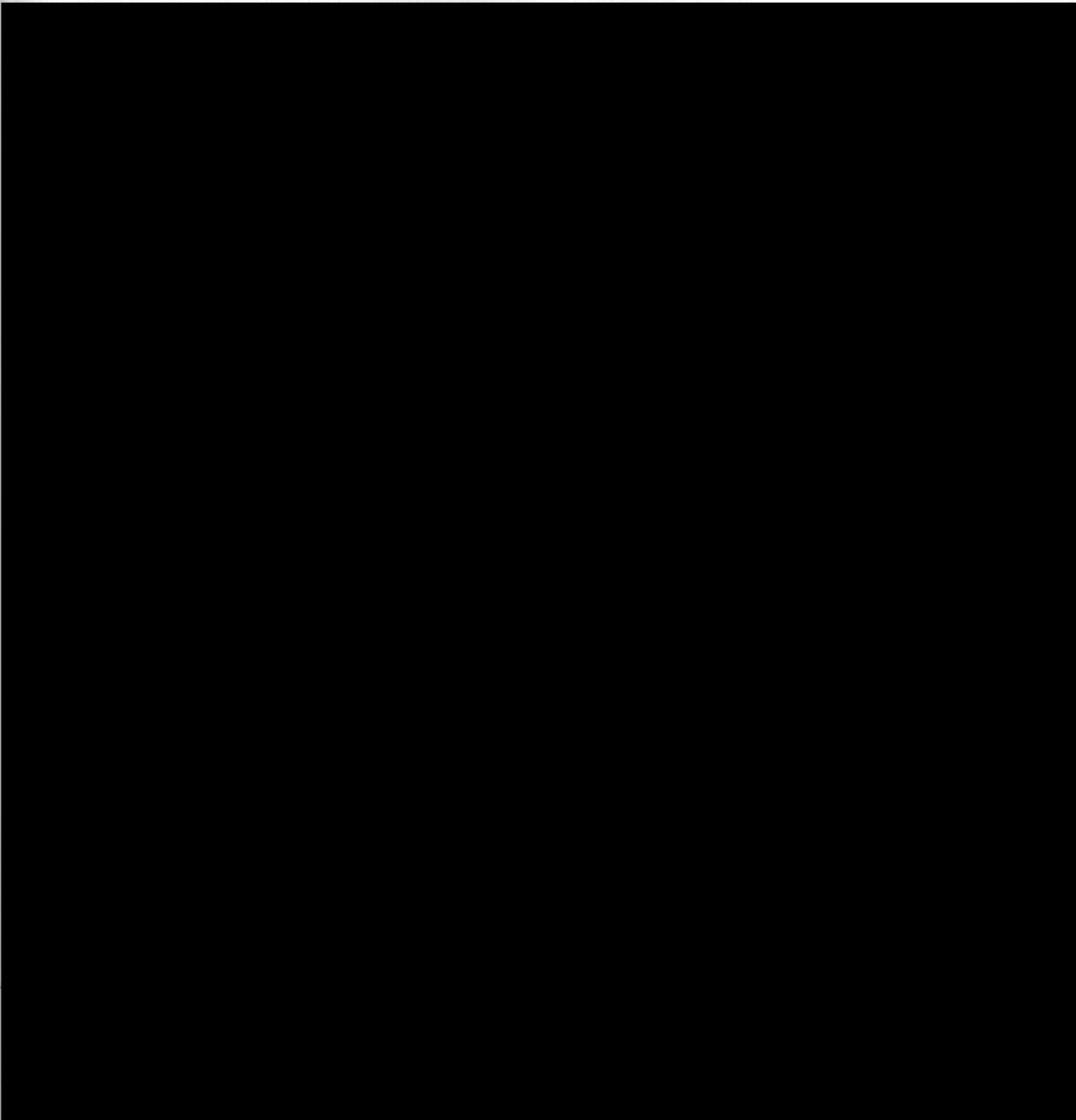
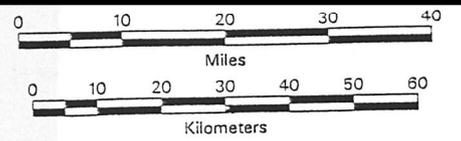
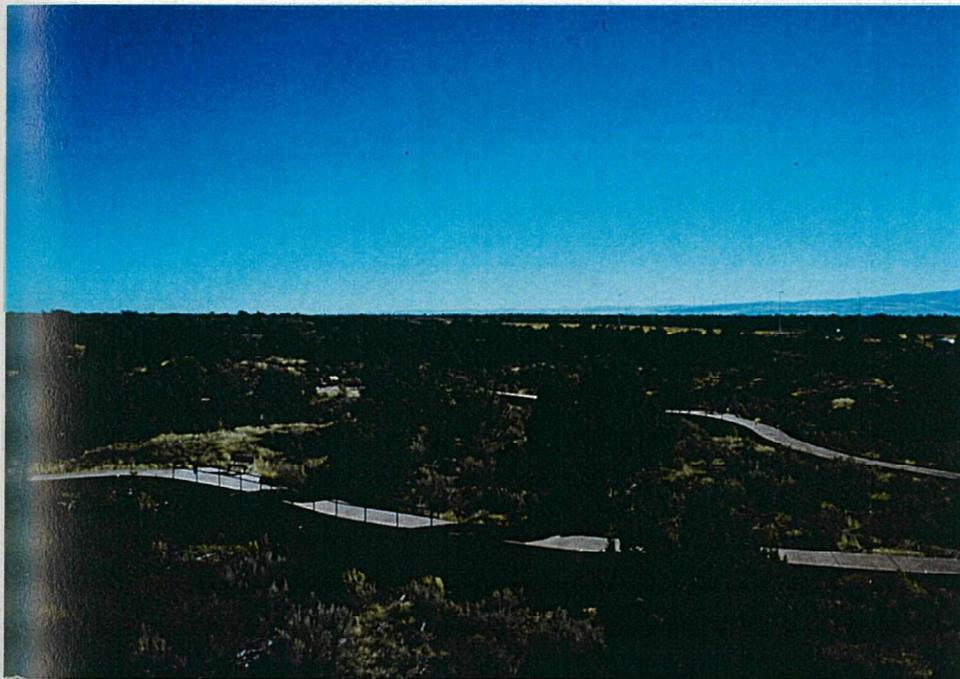


図-1 アイダホフォールズ周辺地図





写真—1
Hell's Half Acre Trail 案内図



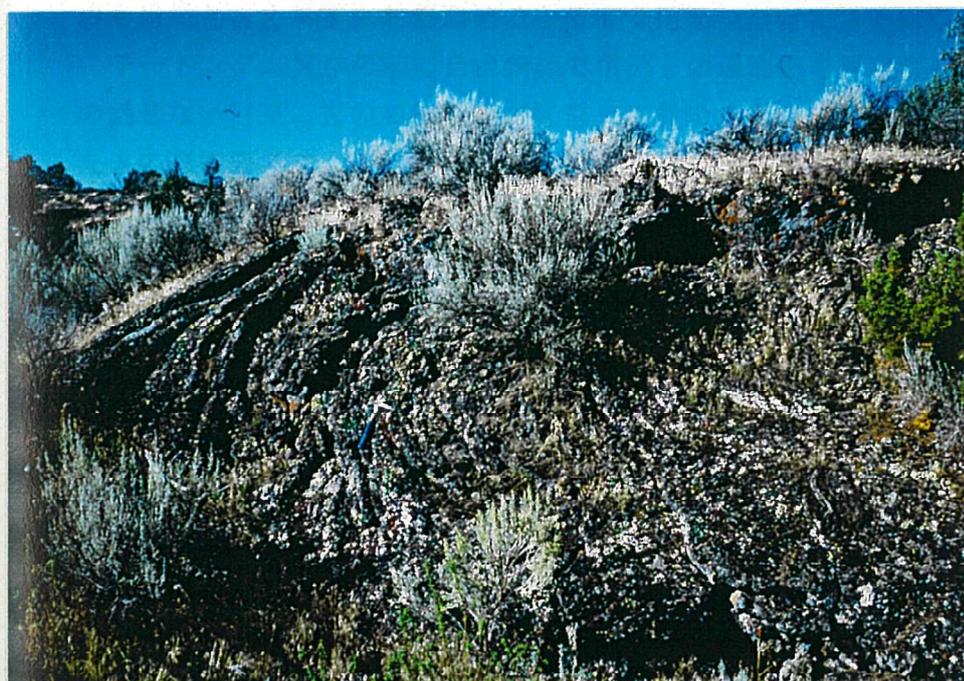
写真—2
Hell's Half Acre Trail の景観



写真—3
バス会社社長とユタジェニファーの木 (左側が社長)



写真—4
13 箇所ある火口の一つ



写真—5
パホイホイ溶岩とアア溶岩



写真—6
パホイホイ溶岩とアア溶岩

4. 5 アイダホのポテトと応用地質学

太田保(復建技術コンサルタント(株))

アイダホ州はアメリカ北西部の州でロッキー山脈の西翼部に位置し標高2000m程度の高地であるがカルデラや段丘地形からなる広大な平原が発達しています。大陸性気候で朝晩の気温差が大きい他、湿度25%の世界です。この州はポテトチップスの宣伝で日本人の誰もが親しみを持っているとも言えます。広大な耕地に灌漑設備を生かした畑作が大規模に行われ殆どがポテト畑と行っても過言では無く、大円形の灌漑用のスプリクラーが特徴的です。日本の北海道が広いといっても山が見えますが、ここでははるか彼方にグラントテートの山が見える程度で、北海道の比ではありません。この広大な土地でポテトを主に作り出荷しています。この土地の広さを見ると、第二次世界大戦で日本が負けるのも当然と言えます。お釈迦様の手の中で指をつついている孫悟空のようですから。

テートンダム見学の前に自由参加でポテトの選別場を見学しました。この施設は日本語の話せない日系二世の和田さんが経営する農場でこの地方のアメリカンドリームを達成した人の選別場です。この計らいはチャーターしたバス会社の社長によるもので和田さんとは幼なじみであるそうです。

選別場は機械化がされており自動選別が基本となっていますがハイテク機械も導入されX線による品質検査も行われていると聞きびっくりしました。

大中小に選別され、箱詰めされたものを解体して、大きなものを日本にお土産にしたらどうですかと進められ成田通関の事も忘れ、ビックリするほど大きなものを2つ程度特製の袋に入れて持ち帰り、各自の食卓に乗ったはずです。

説明者は、日本にも行った事のあるモルモン教徒で日本語と英語を交えて説明してくれましたが使わないと日本語はどんどん忘れるそうです。私達も英語をどんどん使うように毎年この調査団に参加しましょう。

ポテトの栽培は日本と同じで4月に植え、10月頃収穫しますが当然大型機械を使用した農業です。1日中でイヤになるでしょう。

このポテトを生む土は何かということていろいろ聞き取り、25トントラックで運搬されたポテトについての土を調べましたが詳細は分かりません。広大な大地形成歴史やメカニズムを重ね合わせて考えるとカルデラに伴う火山灰質の土が有力の様です。

ポテトに付着した土を選別場で調べましたが火山灰質シルトでした。これはテートンダムの材料と同じ土質と言う事になります。しかし、案内人の話によれば子供の頃、畑の石拾いが仕事で苦労したと言うことでしたが、取り尽くしてしまったのか選別場ではこの石にお目にかかれませんでした。この石はどんな石なのでしょう。興味がありますが分かりません。

やはり、これらを解決するには芋掘りに参加して体験する必要があります。

地質屋から観光客に成り下がった結果、または年のためチャレンジ精神を忘れたためかポテトを育てた肝心な大地の土質を調べる事が出来なかったのは今後の反省点とすべきと

考えました。

次に、このポテトがどのように変身して私達の口に入ったかについてお話します。写真に示したように当然、ステーキと一緒にでましたがその大きさにびっくり、とても美味しいのですがこれだけで満腹となります。ここに滞在中は毎回、皿の上に出て、メインデッシュの様な存在感があり、アイダホだと実感しました。

今後はこのポテトを育てたアイダホの事、地質、土質などについて語学研修の一環としてアメリカ大使館等にも聞いてみたいと考えています



写真一 1 メインデッシュに添えられた巨大なポテト、ステーキに負けず存在感がある



写真一 2 ポテト選別場のモルモン教徒の案内人と特大ポテト

5. IAEG シンポジウムの概要

第 8 回応用地質学会国際会議 —8th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment— に参加して

5. 1 テーマ 1 : New Developments in Site Investigations (現地調査における新しい発展)

辻 應米 (北海道開発コンサルタント(株))、大野裕記 (四国電力(株))

(1) 概 要

A) 開催場所

バンクーバー市内のほぼ中心にあるホテルハイアット リージェンシー (HYATT REGENCY) のホールで開催された。

B) プログラム

会議は延べ 5 日間開催された (表-1)。

なお、中日の 9 月 23 日 (水) には学会主催のテクニカルツアーが開催され、10 コースの内の 1 つを選択出来るようになっていた。

(2) 研究発表会 (Congress) の概要

A) 会場の雰囲気

国際学会ということもあるのか、土地柄か、会場は黒ずくめであり、重々しい雰囲気が強かった (アメリカ的なのか?) (写真-1)。会場の外のバンクーバーの青い空、すがすがしい気候との違いが激しく、一層身の引き締まる思いであった。日本での国際会議ではこれほど雰囲気作りには気を使っていないのに対して、プレゼンテーションを重んじる雰囲気が良く伝わってくる。

B) 言語

本応用地質学会は、西欧を中心に発展し、過去に西欧での開催が多かった開催経緯もあってか、カナダという土地柄か英語とフランス語の 2 ヶ国語が許されている。正直なところ、英語での発表を聞くのにも苦労しているのに、フランス語はきつかった (フランス語の発表の際には英語での同時通訳があることはあったが)。

C) テーマ (Theme)

研究発表は大きく 7 テーマに分かれて開催された。発表総件数はポスターセッションも含めて約 260 件である (表-2)。

なお、論文集（5分冊、計約4000ページ）は、今回発表されなかったものも含めて編集されており、その総数は約550件であった。全体の約50%が発表されたようである。日本からの発表は22件であり、8%に相当する。

SCIENTIFIC PROGRAM

Time	Topic	Speaker	Topic	Speaker	Topic	Speaker
9:00 AM	Registration		Registration		Registration	
9:30 AM	Opening Ceremony	Mr. T. K. ...	Opening Ceremony	Mr. T. K. ...	Opening Ceremony	Mr. T. K. ...
10:00 AM	Session 1: ...	...	Session 1: ...	...	Session 1: ...	...
10:30 AM	Session 2: ...	...	Session 2: ...	...	Session 2: ...	...
11:00 AM	Session 3: ...	...	Session 3: ...	...	Session 3: ...	...
11:30 AM	Session 4: ...	...	Session 4: ...	...	Session 4: ...	...
12:00 PM	Lunch		Lunch		Lunch	
1:00 PM	Session 5: ...	...	Session 5: ...	...	Session 5: ...	...
1:30 PM	Session 6: ...	...	Session 6: ...	...	Session 6: ...	...
2:00 PM	Session 7: ...	...	Session 7: ...	...	Session 7: ...	...
2:30 PM	Session 8: ...	...	Session 8: ...	...	Session 8: ...	...
3:00 PM	Session 9: ...	...	Session 9: ...	...	Session 9: ...	...
3:30 PM	Session 10: ...	...	Session 10: ...	...	Session 10: ...	...
4:00 PM	Session 11: ...	...	Session 11: ...	...	Session 11: ...	...
4:30 PM	Session 12: ...	...	Session 12: ...	...	Session 12: ...	...
5:00 PM	Session 13: ...	...	Session 13: ...	...	Session 13: ...	...
5:30 PM	Session 14: ...	...	Session 14: ...	...	Session 14: ...	...
6:00 PM	Session 15: ...	...	Session 15: ...	...	Session 15: ...	...
6:30 PM	Session 16: ...	...	Session 16: ...	...	Session 16: ...	...
7:00 PM	Session 17: ...	...	Session 17: ...	...	Session 17: ...	...
7:30 PM	Session 18: ...	...	Session 18: ...	...	Session 18: ...	...
8:00 PM	Session 19: ...	...	Session 19: ...	...	Session 19: ...	...
8:30 PM	Session 20: ...	...	Session 20: ...	...	Session 20: ...	...
9:00 PM	Session 21: ...	...	Session 21: ...	...	Session 21: ...	...
9:30 PM	Session 22: ...	...	Session 22: ...	...	Session 22: ...	...
10:00 PM	Session 23: ...	...	Session 23: ...	...	Session 23: ...	...
10:30 PM	Session 24: ...	...	Session 24: ...	...	Session 24: ...	...
11:00 PM	Session 25: ...	...	Session 25: ...	...	Session 25: ...	...
11:30 PM	Session 26: ...	...	Session 26: ...	...	Session 26: ...	...
12:00 AM	Session 27: ...	...	Session 27: ...	...	Session 27: ...	...
12:30 AM	Session 28: ...	...	Session 28: ...	...	Session 28: ...	...
1:00 AM	Session 29: ...	...	Session 29: ...	...	Session 29: ...	...
1:30 AM	Session 30: ...	...	Session 30: ...	...	Session 30: ...	...
2:00 AM	Session 31: ...	...	Session 31: ...	...	Session 31: ...	...
2:30 AM	Session 32: ...	...	Session 32: ...	...	Session 32: ...	...
3:00 AM	Session 33: ...	...	Session 33: ...	...	Session 33: ...	...
3:30 AM	Session 34: ...	...	Session 34: ...	...	Session 34: ...	...
4:00 AM	Session 35: ...	...	Session 35: ...	...	Session 35: ...	...
4:30 AM	Session 36: ...	...	Session 36: ...	...	Session 36: ...	...
5:00 AM	Session 37: ...	...	Session 37: ...	...	Session 37: ...	...
5:30 AM	Session 38: ...	...	Session 38: ...	...	Session 38: ...	...
6:00 AM	Session 39: ...	...	Session 39: ...	...	Session 39: ...	...
6:30 AM	Session 40: ...	...	Session 40: ...	...	Session 40: ...	...
7:00 AM	Session 41: ...	...	Session 41: ...	...	Session 41: ...	...
7:30 AM	Session 42: ...	...	Session 42: ...	...	Session 42: ...	...
8:00 AM	Session 43: ...	...	Session 43: ...	...	Session 43: ...	...
8:30 AM	Session 44: ...	...	Session 44: ...	...	Session 44: ...	...
9:00 AM	Session 45: ...	...	Session 45: ...	...	Session 45: ...	...
9:30 AM	Session 46: ...	...	Session 46: ...	...	Session 46: ...	...
10:00 AM	Session 47: ...	...	Session 47: ...	...	Session 47: ...	...
10:30 AM	Session 48: ...	...	Session 48: ...	...	Session 48: ...	...
11:00 AM	Session 49: ...	...	Session 49: ...	...	Session 49: ...	...
11:30 AM	Session 50: ...	...	Session 50: ...	...	Session 50: ...	...
12:00 PM	Session 51: ...	...	Session 51: ...	...	Session 51: ...	...
12:30 PM	Session 52: ...	...	Session 52: ...	...	Session 52: ...	...
1:00 PM	Session 53: ...	...	Session 53: ...	...	Session 53: ...	...
1:30 PM	Session 54: ...	...	Session 54: ...	...	Session 54: ...	...
2:00 PM	Session 55: ...	...	Session 55: ...	...	Session 55: ...	...
2:30 PM	Session 56: ...	...	Session 56: ...	...	Session 56: ...	...
3:00 PM	Session 57: ...	...	Session 57: ...	...	Session 57: ...	...
3:30 PM	Session 58: ...	...	Session 58: ...	...	Session 58: ...	...
4:00 PM	Session 59: ...	...	Session 59: ...	...	Session 59: ...	...
4:30 PM	Session 60: ...	...	Session 60: ...	...	Session 60: ...	...
5:00 PM	Session 61: ...	...	Session 61: ...	...	Session 61: ...	...
5:30 PM	Session 62: ...	...	Session 62: ...	...	Session 62: ...	...
6:00 PM	Session 63: ...	...	Session 63: ...	...	Session 63: ...	...
6:30 PM	Session 64: ...	...	Session 64: ...	...	Session 64: ...	...
7:00 PM	Session 65: ...	...	Session 65: ...	...	Session 65: ...	...
7:30 PM	Session 66: ...	...	Session 66: ...	...	Session 66: ...	...
8:00 PM	Session 67: ...	...	Session 67: ...	...	Session 67: ...	...
8:30 PM	Session 68: ...	...	Session 68: ...	...	Session 68: ...	...
9:00 PM	Session 69: ...	...	Session 69: ...	...	Session 69: ...	...
9:30 PM	Session 70: ...	...	Session 70: ...	...	Session 70: ...	...
10:00 PM	Session 71: ...	...	Session 71: ...	...	Session 71: ...	...
10:30 PM	Session 72: ...	...	Session 72: ...	...	Session 72: ...	...
11:00 PM	Session 73: ...	...	Session 73: ...	...	Session 73: ...	...
11:30 PM	Session 74: ...	...	Session 74: ...	...	Session 74: ...	...
12:00 AM	Session 75: ...	...	Session 75: ...	...	Session 75: ...	...
12:30 AM	Session 76: ...	...	Session 76: ...	...	Session 76: ...	...
1:00 AM	Session 77: ...	...	Session 77: ...	...	Session 77: ...	...
1:30 AM	Session 78: ...	...	Session 78: ...	...	Session 78: ...	...
2:00 AM	Session 79: ...	...	Session 79: ...	...	Session 79: ...	...
2:30 AM	Session 80: ...	...	Session 80: ...	...	Session 80: ...	...
3:00 AM	Session 81: ...	...	Session 81: ...	...	Session 81: ...	...
3:30 AM	Session 82: ...	...	Session 82: ...	...	Session 82: ...	...
4:00 AM	Session 83: ...	...	Session 83: ...	...	Session 83: ...	...
4:30 AM	Session 84: ...	...	Session 84: ...	...	Session 84: ...	...
5:00 AM	Session 85: ...	...	Session 85: ...	...	Session 85: ...	...
5:30 AM	Session 86: ...	...	Session 86: ...	...	Session 86: ...	...
6:00 AM	Session 87: ...	...	Session 87: ...	...	Session 87: ...	...
6:30 AM	Session 88: ...	...	Session 88: ...	...	Session 88: ...	...
7:00 AM	Session 89: ...	...	Session 89: ...	...	Session 89: ...	...
7:30 AM	Session 90: ...	...	Session 90: ...	...	Session 90: ...	...
8:00 AM	Session 91: ...	...	Session 91: ...	...	Session 91: ...	...
8:30 AM	Session 92: ...	...	Session 92: ...	...	Session 92: ...	...
9:00 AM	Session 93: ...	...	Session 93: ...	...	Session 93: ...	...
9:30 AM	Session 94: ...	...	Session 94: ...	...	Session 94: ...	...
10:00 AM	Session 95: ...	...	Session 95: ...	...	Session 95: ...	...
10:30 AM	Session 96: ...	...	Session 96: ...	...	Session 96: ...	...
11:00 AM	Session 97: ...	...	Session 97: ...	...	Session 97: ...	...
11:30 AM	Session 98: ...	...	Session 98: ...	...	Session 98: ...	...
12:00 PM	Session 99: ...	...	Session 99: ...	...	Session 99: ...	...
12:30 PM	Session 100: ...	...	Session 100: ...	...	Session 100: ...	...

8th Congress

WEEK AT A GLANCE

表一 1 SCIENTIFIC PROGRAM

Time	Monday, 21 September Registration in Regency Ballroom Foyer 07:30 - 18:30	Tuesday, 22 September Registration in Regency Ballroom Foyer 07:30 - 18:30	Wednesday, 23 September Registration in Regency Ballroom Foyer 07:30 - 18:30	Thursday, 24 September Registration in Regency Ballroom Foyer 07:30 - 18:30	Friday, 25 September Registration in Regency Ballroom Foyer 08:00 - 12:00
08:00					
08:30					
09:30	OPENING CEREMONY		IAEG Activities Technical Tours	KEYNOTE - MITAHNI UNDERGROUND EXCAVATIONS	KEYNOTE - READ SURFACE WORKINGS
10:30	REGISTRY EAST	SITE INVESTIGATIONS Final Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre	Departures 07:00-09:00 Engineering Geology and Geomorphology of the Fraser Valley Geotechnics and Forestry Hawa Sound Walking Tour of Downtown Vancouver CANCELLED Capsula Geology of Vancouver Engineering Geology of the Fraser Delta Slave Falls Powerplant Replacement Project Landfills Victoria and Southern Vancouver Island	NATURAL HAZARDS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre	SURFACE WORKINGS ENVIRONMENT Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre
11:20	ENGINEERING GEOLOGY OF THE CANADIAN CORRIDORA	SITE INVESTIGATIONS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre		NATURAL HAZARDS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre	TAC - TUNNELS Plaza East
12:30	REGISTRY EAST	SITE INVESTIGATIONS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre	Director's Meeting 09:00 - 16:00 Turner Room	NATURAL HAZARDS Plaza Centre Lunch in Exhibit Hall, Regency West/Centre	TAC - TUNNELS Plaza East
14:00	ENGINEERING GEOLOGY OF THE CANADIAN CORRIDORA	BREAK			
14:40	REGISTRY EAST	SITE INVESTIGATIONS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre			
15:20	REGISTRY EAST	KEYNOTE - JONES SITE INVESTIGATIONS		KEYNOTE - LACASSE OFFSHORE ENGINEERING	
16:00	REGISTRY EAST	KEYNOTE - LETTIS NATURAL HAZARDS		NATURAL HAZARDS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre	
16:30	REGISTRY EAST	CONSTRUCTION MATERIALS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre		NATURAL HAZARDS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre	
18:00	REGISTRY EAST	CONSTRUCTION MATERIALS Plaza Centre Coffee Break in Exhibit Hall, Regency West/Centre		KEYNOTE 1 - HATHWAY ENVIRONMENT REGISTRY EAST KEYNOTE 2 - MAGAR ENVIRONMENT REGISTRY EAST	
19:00		IAEG - General Meeting Regency East			

Accompanying Persons Vancouver City Tour
14:30-16:00
Welcoming Reception
20:30-23:00
Perspectives Level

Exhibit Hall is open 10:30-17:00 - Regency West/Centre

Accompanying Persons day tour of Whistler Village
06:00-16:00
Cultural Event
Vancouver Trails and Convention Centre
20:00 - 22:00
Harbourlaw Room

Exhibit Hall is open 10:00-17:00 - Regency West/Centre

CGS Engineering Geology Division Reception
(in honour of Hans Chios Mould recipient - O. White)
18:00-21:00
Percorcks Room

Exhibit Hall is closed

Harbour Cruise and Congress Banquet
Science World
15:00 - 24:00
Bus Departures 18:00-18:50
Cruise Departure 19:00

Exhibit Hall is open 10:00-17:00 - Regency West/Centre

Exhibit Hall is open 10:00-16:30 - Regency West/Centre

表-2 テーマ別発表状況

THEME TITLE (THEME LEADERS)	Entry	Accept % (Poster)
1. New Developments in Site Investigations (Al Imrie)	72 件	41 件 (19) 57%
2. Engineering Geology and Natural Hazards (Oldrich Hungr)	237 件	91 件 (36) 38%
3. Engineering Geology and the Environment (Mike Wise)	74 件	41 件 (17) 55%
4. Construction Materials (Graham Rawlings)	28 件	17 件 (7) 60%
5. Case Histories and New Developments in Surface Workings (Tom Stewart)	86 件	32 件 (8) 37%
6. Case Histories and New Developments in Underground Excavations (Bruce Ripley)	40 件	32 件 (19) 80%
7. Coastal and Offshore Engineering (Bryan Watts)	12 件	5 件 (0) 42%
Total	549 件	259 件 (106) 47%

(3) テーマ1 (New Developments in Site Investigations) の概要

A) テーマリーダー (Thema Leader)

本テーマのリーダーは A I Imrie 氏であった (写真-2)。Imrie 氏は British Columbia Hydro の社員 (技術者) である。(詳細には Manager, Technical Services Principal Engineer, Geotechnical Power Supply Engineering)

B) テーマの細分類

サイト調査のセッションには、72 編の論文が掲載されている。これらの論文は、調査手法あるいはとりまとめ内容により、大きく7つに分類される (表-3)。

表-3 Site Investigations 細分類

1	現場計測に新技術を導入しているもの
2	現場の状況を、主に通常の室内試験あるいはその結果に基づき提案されたモデルにより評価しているもの
3	現場の状況を、主に現場計測の結果あるいはその結果に基づき提案されたモデルにより評価しているもの
4	現場の事例 (現場紹介)
5	調査手法あるいは検討項目を概説しているもの (総論的)
6	モデルの提案が主で、室内試験あるいは現場の計測がされていないもの
7	その他

(4) 発表内容の概説

各項目ごとに、その内容あるいは調査手法等を以下に概説する。

A) 現場計測に新技術を導入しているもの

論文は 10 編で、レーダーや比抵抗値によるトモグラフィー等の実施により、断層、地層境界あるいは風化の範囲等について評価している。地層内の空洞の評価あるいは貯留層の評価や石積壁背面の空洞の評価を実施している例もある。新技術の紹介が主の論文もあるが、GIS も利用しハザードマップを作成したもの、あるいは、ノイズが大きい都市調査で効力を発揮する調査方法を紹介しているものもある。

掲載された主な調査方法は、以下の通りである。

- (1) ground penetrating radar (GPR)
- (2) high resolution geo-electrical prospecting (HIREP)
- (3) resistivity
- (4) resistivity imaging
- (5) seismic reflection method
- (6) seismic geophysical method
- (7) transient electromagnetic sounding method (EM)
- (8) drillhole and crosshole tomographic methods
- (9) special analysis of surface wave (SASW)
- (10) electrical imaging (EI)
- (11) vertical electrical soundings (VES)
- (12) the surface SH-wave refraction method
- (13) near surface resistivity tomography (NSRT)
- (14) radar surface arrival detection (RSAD)
- (15) time domain reflectometry (TDR)

B) 現場の状況を、主に通常の室内試験あるいはその結果に基づき提案されたモデルにより評価しているもの

室内試験を中心とした論文が 20 編掲載されている。内容別に以下の通りに分類できる。

(1) 粘土の評価あるいは膨張性粘土の挙動を評価している

粘土の力学的な評価あるいはスレーキング、スウェリング特性を評価しているもの、あるいは、膨張性粘土の挙動を調査しているものが 6 編ある。膨張性粘土の論文では、調査法として以下の方法が使用されている。

- ・ thermogravimetric (TG)
- ・ differential thermal analysis (DTA)
- ・ X-ray diffraction analysis

このほか、氷礫土あるいはレスの微細構造あるいは性状を室内試験および REM-image 等によって評価した論文が 3 編ある。

(2) 土あるいは岩盤を室内試験結果により強度あるいは状況別に分類している

コーン貫入試験、一軸圧縮試験、含水比等、通常の室内試験結果に基づき土あるいは岩盤を分類している論文が 7 編ある。一軸圧縮試験と各試験結果の相関を検討しているものが多いが、特に、風化を考慮したものが 2 編含まれる。

(3) その他

メチレンブルー法を MTC 法と比較し、その使用法を検討しているもの、集塊岩中の凝灰岩の比率と一軸圧縮強度の相関を指摘しているもの、地すべりあるいは採石場の斜面の安定評価を室内結果より論じているものが 4 編ある。

C) 現場の状況を、主に現場計測の結果あるいはその結果に基づき提案されたモデルにより評価しているもの

計測結果に基づき現場の評価を論じているものが 4 編ある。

坑道のクリープに関して、計測間隔の影響を検討したもの、傾斜計の結果に新しい解釈を加えたもの、原位置でのベーンテストの結果の評価、high quality borehole logging の事例適用がある。

一方、モデルを提案し現場を評価したものが 4 編ある。モデルには Sedimentology model、地質統計モデル、FEM に使用された hyperbolic model および global firch information system (GEIS) がある。

D) 現場の事例（現場紹介）

どちらかという現場紹介的な論文が 8 編ある。

ダム、堤防、港湾あるいは飛行場等の事例で、変位の計測による沈下の検討、シェアーテスト、コーン貫入テストによる強度の検討、あるいは、重力異常とコーン貫入テスト組み合わせた調査事例等がある。

E) 調査手法あるいは検討項目を概説しているもの（総括的）

検討項目に関して総括している論文が 9 編ある。

ダムの調査で、ボーリングの量と建設費の関係をまとめたもの、あるいは、原位置調査がコストとスケジュールを狂わせないための重要性をまとめたものがある。また、粘土の調査法あるいは特性を評価したもの、岩石の急速な風化と劣化について概説したもの等がある。また、GIS とボアホールデータをコンバインした原位置データの適用についてまとめたものもある。

F) モデルの提案が主で、室内試験あるいは現場の計測がほとんどなされていないもの
論文数は5編で、ジョイントや粘土をモデル化したもの(マイクロレオロジーモデル)、
カルストのモニタリングの原理と手法を提案したもの、調査の効率化を計るためにベイズ
の確立論を利用したもの、あるいは、GISに基づき開削の評価と分類を行ったものがある。

G) その他

その他として、現場を評価していない論文が12編ある。このうち、膨潤性岩盤等の組織
構造、構成鉱物を検討するために、走査顕微鏡あるいは中性子放射分光測定器(neutron
activation analysis: NAA)を使用したものが3編ある。また、リングシェアーテストで
動的な繰り返し荷重をかけた試験、異方性をポイントロード試験で評価したもの、三軸下
のクリープ試験および一軸圧縮試験中の電気抵抗を測定した論文がある。また、弱層や粘
土などを、通常の室内試験や、x-ray tomographyで評価したものがある。圧裂引張り試験
および靱性により、静的破碎材の使用について評価したものもある。

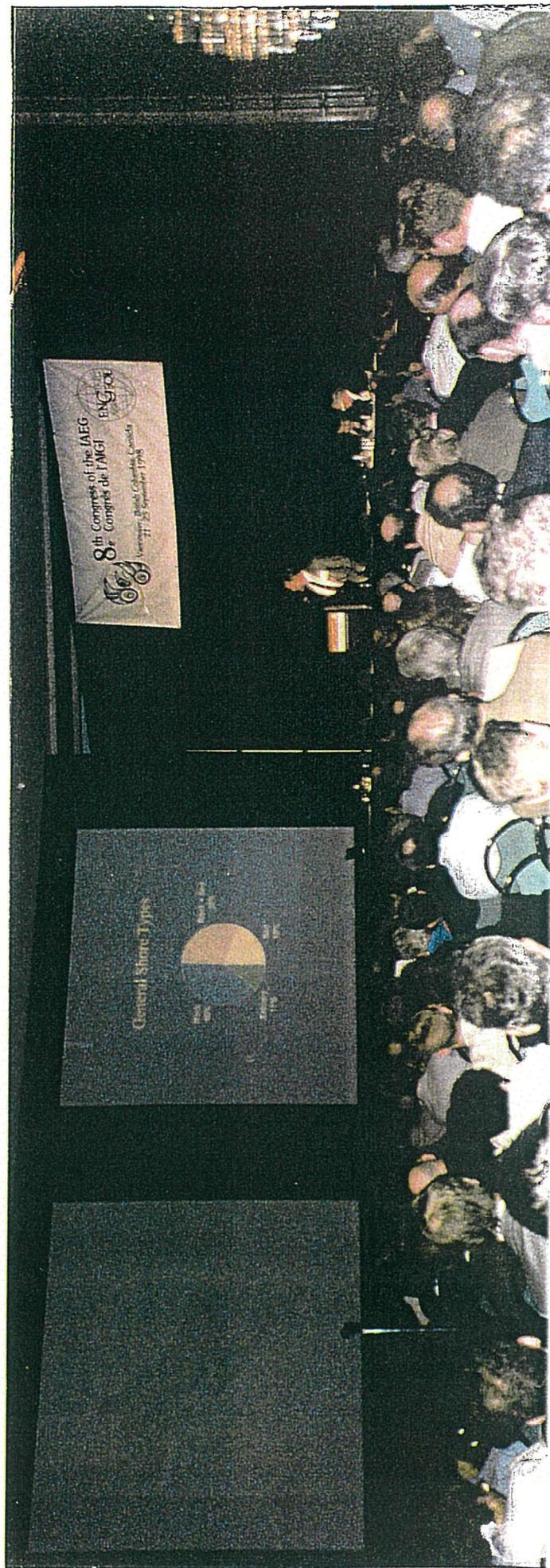


写真-1 学会メイン会場

(黒づくめで重々しい雰囲気漂う)

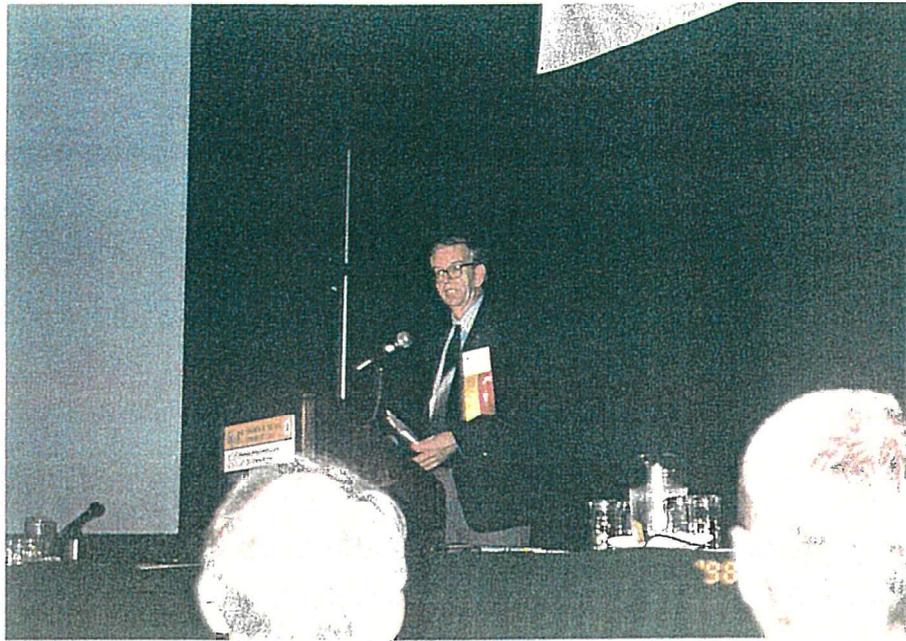


写真-2 A I Imrie 氏 (THeme Leader として公演中)
Imrie 氏はB C hydro の技術者
(詳細にはManager, Technical Services
Principal Engineer, Geotechnical
Power Supply Engineering)

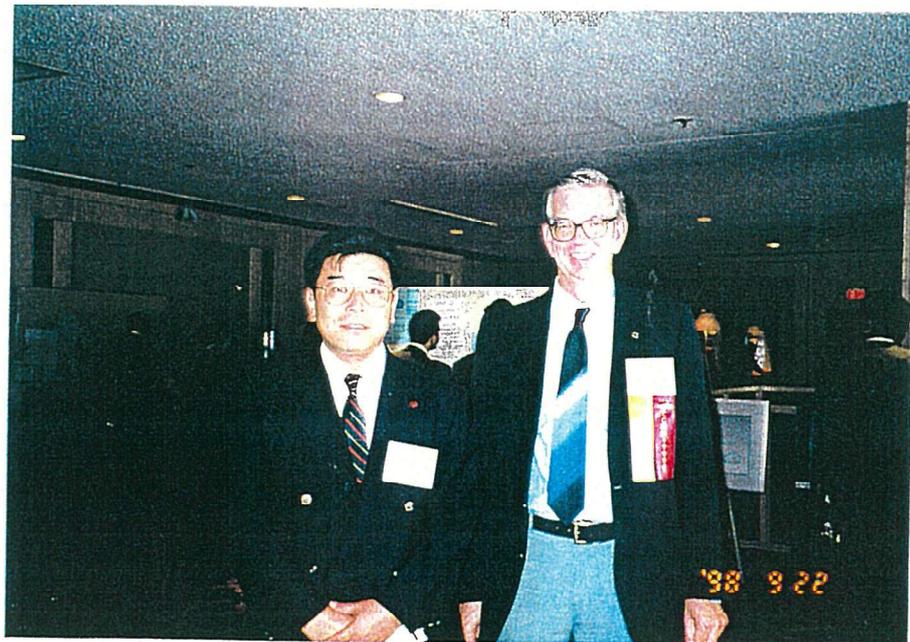


写真-3 学会会場にて
(A I Imrie 氏の胸の2つのリボン：
1つはCommittie
もう1つはSponsor)

5.2 テーマ2 : Engineering Geology and Natural Hazard (土木地質学と自然災害)

長谷川修一 ((株)四国総合研究所)、佐々木孝雄 (住鋳コンサルタント(株))

(1) 投稿論文の傾向

当部門は次の5つのトピックスに関係する応用地質学の研究発表があった。

- ・斜面安定と地すべり災害
- ・地震活動とネオテクトニクス
- ・地盤沈下
- ・洪水
- ・火山活動
- ・災害およびリスク管理システム

当分野は、国際的にも見て、応用地質部門の1つの柱である。事実、当分野へは、総数237件、計1660ページにおよび膨大な論文発表があり、論文集は2冊の分冊になっている。この内訳は、目次の区分によれば次のようになる。

・地震災害	35件(5)	* ()は日本からの発表数
・斜面災害	185件(13)	
・地盤沈下	9件(0)	
・洪水	8件(0)	
計	237件(18)	

なお、災害およびリスク管理システムは、この中に含まれている。また、地震時の地すべりのように、複合するものは斜面災害として一括した。

この論文投稿から見ると、世界的に斜面災害が重要なテーマ、飯の種になっていることが判る。地震災害は問題になる地震に限られるし、火山災害の発表がなかったのは、ここ数年顕著な火山災害がなかったためであろう。

このうち、日本からの投稿は、地震災害5件、斜面災害の13件で、全体の約8%である。

(2) 講演の概要

本テーマのリーダーは、主催者でかつ編集者であるブリティッシュ・コロンビア大学のOldrich Hungr教授である。

講演は9月21, 22, 24日の3日間にわたって行われた。

内訳はプログラムによると以下の通りである。

基調講演	: 1件	* ()は日本からの発表数
パネルディスカッション	: 2件(1)	
口頭発表	: 48件(3)	

ポスター発表 : 35件(3)
計 : 86件(7)

これによると、発表の機会を得た論文は全体の 1/3 である。

日本からは以下の論文発表があった。

パネルディスカッション	: 京都大学	佐々 恭二	教授
口頭発表	: 大阪工業大学	藤田 崇	教授
	北海道開発局	小林氏ほか	
	佐賀大学	岩尾 雄四郎	教授
ポスター発表	: 四国電力	大野 裕記	氏ほか
	山口大学	金折 裕司	教授
	京都大学	千木良 雅弘	教授

(3) 基調講演

座長 : Roy Shlemon(USA)

: Oldrich Hungr(Canada)

演者 : William R.Lettis(Canada)

テーマ : Is a fault a fault by any other name ? Differentiating tectonic from non-tectonic faults. (断層は単に断層と呼ぶだけで良いのか、他に適当な用語がないものか? 非構造性の断層と(地震を発生させる)構造性の断層との識別)

基調講演をされたレティス博士は、カリフォルニアでコンサルタント会社を経営する経営者であり、地質技術者である。また、座長であるシューマン博士も同じくカリフォルニアでコンサルタント会社を経営する地形技術者である。

地震災害調査では、地震を発生させ、地表に変形を与える活断層の評価が重要である。カリフォルニアはサンアンドレアス断層系をはじめ、数多くの活断層があるため、発電所、ダムなどの重要構造物から住宅の建設に至るまで、活断層の評価が求められている。この調査で重要な点は、地表に表れた断層が地震を発生させる構造性の断層か、地震動や地震に伴う地すべりなどの現象によって生じた非構造性の断層かを識別することである。そして、そのポイントは、断層の認定とその特徴を捉えることである。そのため、Engineering geologist は、研究者と社会との橋渡し役として重要な役割がある。

断層を構造性か非構造性かに識別する基準としては、以下のものを挙げている。

Geological Tectonic Context

Scale

Geometry and Down - dip Extent

Seismicity

Keynote address として、高度かつ先端的な発表を期待したが(そうだったら難しすぎ

て理解不能)、意外と平凡で判りやすい内容であった。これくらいのことなら、常に活断層調査で意識しているという印象であった。最も、兵庫県南部地震以来、活断層調査バブルであるので、engineering geologist は、基本を大切にしろというメッセージかも知れない。

(4) パネルディスカッション: Earthquake Risk Assessment
Methodology

「地震危険度評価の方法論」

パネリスト: E.Leroi (フランス), L.Veuson (カナダ), P.Marinos (ギリシャ), R.Shlemon (アメリカ)

1) Marinos (ギリシャ)

地震災害を①永久的な地盤の変形②地盤震動③クリープによる災害の3つに分けて紹介した。また、断層の問題として、次の点を挙げている。

- 地震を発生させる活断層と地表の変形帯
- 断層長とセグメント (地表の延長か地下の延長か)
- 構造モデル—変位が主断層か副断層か
- 再来期間
- 変位が構造物の許容範囲か

2) Leroi (フランス)

フランス語のため理解不能

3) Levson (カナダ)

地震災害予測図の作成について、カナダのブリティッシュ・コロンビア州 (B.C.州) の実例の紹介があった。

地震災害のマイクロゾーネーションの基本資料としては、地質図 ボーリングデータ 物性値の深度変化 を使用している。

また、B.C.州では、地震のマグニチュード 発生頻度 距離 から想定地震を設置している。

4) Shlemon (アメリカ)

アメリカでは、サンフェルナンド地震(1971)以降活断層図を公表し、活断層法によって毎年数百件のトレンチ調査が行われている。この調査では、15m以内に完新統を切る断層の有無を調べている。しかし、1994年のノースリッジ地震のように伏在する逆断層の場合には、トレンチ調査では地下に活断層があるかどうかは判らないことが新たな問題となっ

ている。

また、カリフォルニア州では、活断層図 液状化危険図 地震活動に関する地震災害図を公表しているが、これが次のような問題も生じさせている。

地方政府、州、市、郡によって取扱いが違う

心理上の問題

個々のサイトでどう取扱うか

保険料の値上がり

(5) 斜面崩壊リスクアセスメントのパネルディスカッション

1) パネラーの話題

- ・住宅が密集地（リオデジャネイロ）における斜面リスクを表示した地質図
- ・香港における土石流リスク評価
- ・広範囲を簡便に斜面安定評価するシステム（浅層崩壊を対象）
- ・GISを用いたハザードマップの作成例

2) これらに対する質問と議論

- ・リスクマップを実際に使用するときに、最終的な決定は誰が下すべきか
- ・リスクマップは公開すべきか
- ・危険家屋の移転は強制できるか
- ・作る人（地質屋）によって内容も変わるが、安全側ラインとすべきなのか
- ・警告システムはどのような内容を持つべきか
- ・リスクマップとハザードマップを区別する必要性
- ・時間と共に変化する要素をどう取り込むのか

会場の関心はどのようにして有効なリスクマップを作成し、いかに効果的に利用しているのか、の点に集中していた。リスクに関する考え方が大きく異なると感じた。

なお、パネルの題目である「LANDSLIDE」は日本での斜面崩壊ぐらゐの意味で用いられている模様である。

(6) 特別講演

「イタリアにおける豪雨によって発生した巨大泥流の報告」

石灰岩の基盤を軽石を主とする火山灰が覆っている地帯。斜面崩壊は頭部から進行し巨大化したと考えられるが、林道が初生崩壊部分に関与している可能性を指摘。

講演後の議論は降雨の浸透経路と崩壊メカニズムとの関係に集中した。素因（地質）と誘因との関係からリスクを評価しようとする方法が検討されている。

(7) 口頭発表

口頭発表プログラムは次ページの通りである。主な発表内容は、次の通りである。

1) 発表内容

- ・ 軟弱地盤上の盛土による送電線の被災の例
- ・ 氷河性堆積物（粘土）の土質工学的区分
- ・ 斜面崩壊多発地帯の原因（降雨が誘因）の究明例
- ・ 集中豪雨による大規模崩壊の例
- ・ 豊浜トンネルの坑口対策工の設計
- ・ 巨大なデブリフローの頻発地の調査例
- ・ 小規模な斜面クリープの調査例

全て具体的な解析事例の報告である。豊浜トンネル以外は、いわゆる構造物を用いた斜面对策を行っていない。大規模な事例が多く、被害は甚大であるが、今後の対策としてこれらを止めるのではなく、リスクとして評価するための研究材料との位置づけをしている。

2) 発表内容

- ・ 複合すべり面の地すべり解析
- ・ 世界最大規模の地すべりの機構解析
- ・ 切土に伴う地すべりの報告
- ・ 豪雨による斜面崩壊の報告
- ・ 斜面崩壊の統計的分析による斜面分類例
- ・ 出水市の土石流災害報告
- ・ 豪雨による泥流の発生メカニズム解析例
- ・ 断層による地すべりの三次元解析例
- ・ デルタの成長と内包する液状化記録による歴史地震の解析例
- ・ 落石を対象とした海岸地帯のリスクマップの作成例
- ・ 氷河湖からのデブリフローの発生メカニズム調査の中間報告

質問は世界最大という地すべりを発表した講演者に集中した。各講演の内容は斜面崩壊現象の調査報告がほとんどであり、止める方法までを議論する日本国内と比べると物足りない感もある。調査に於ける着目点は日本の場合とほとんど共通する（例えばブロック分け、降雨応答、地下水のブロック分け etc.）日本の斜面技術は世界で有数なものであるのは周知だが、日本の技術者が世界の斜面を扱うには、スケールとリスクがポイントになると考える。

(8) ポスターセッション

ポスターセッションでは、学会初日の9月21日に以下の35の発表があった。プログ

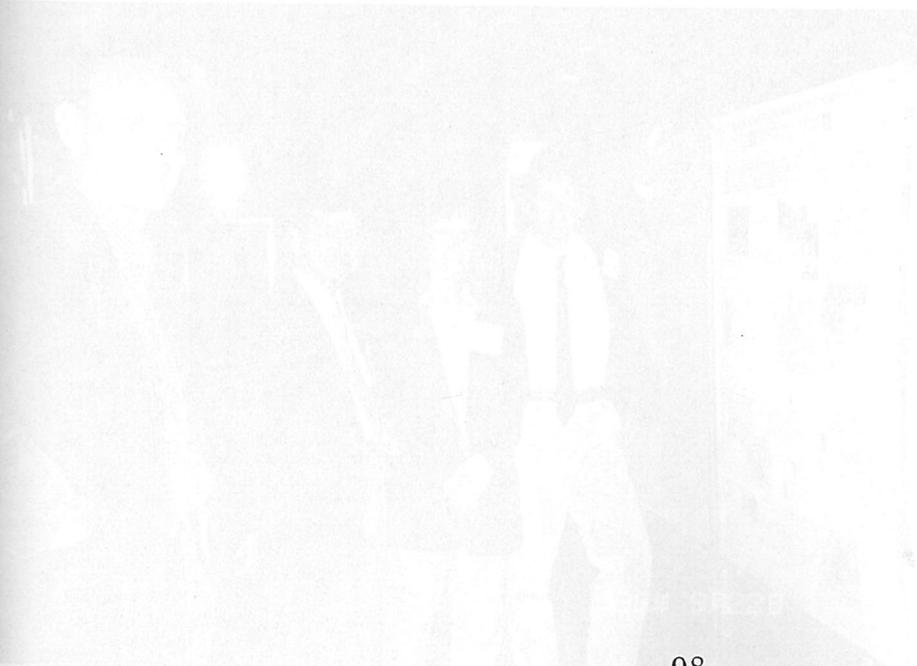
ラムの関係上基調講演などと重なり、また、会場がメイン会場と離れていることなどもあり、やや盛り上がりには欠ける状況だった。

発表内容およびプレゼンテーションもピンからキリまであり、視覚的に魅力的なものから、論文のコピーだけ貼った横着なものまであった。

日本からの発表者（金折、千木良、大野・長谷川）の内容やポスターも引きを取らないと思われたが、日本の地質への関心はあまり高くなさそうだったのが残念であった。世界的に有名な災害事例に関心が集まるように感じた。



大野哲也氏（左）と千木良氏（右）

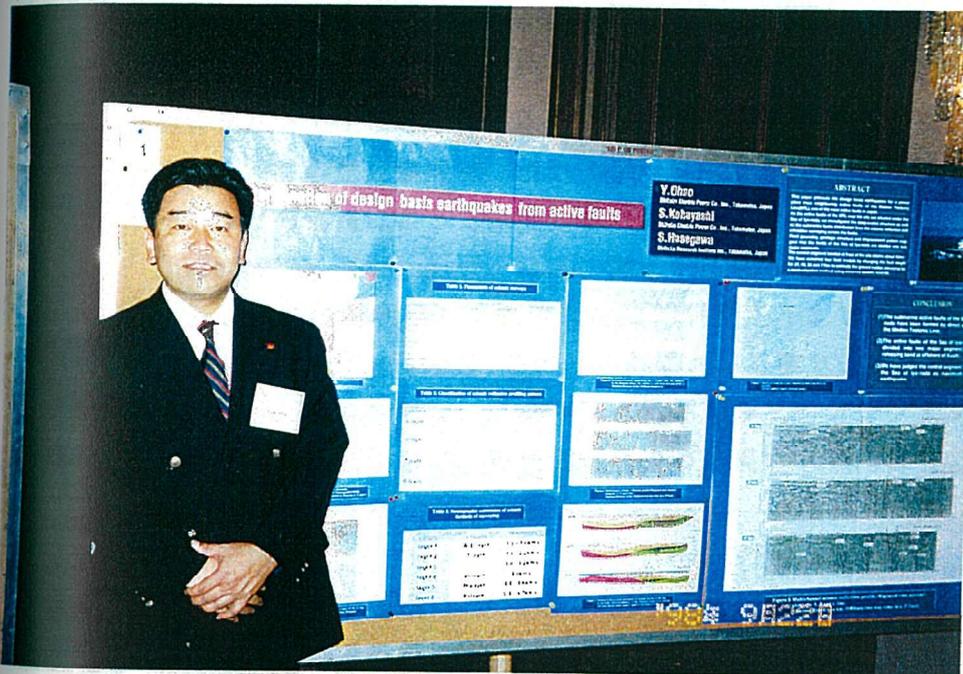


千木良氏（左）と大野哲也氏（右）



写真一

パネルディスカッション
 (地震災害危険度評価の
 方法論) で発表する
 R. Shlemon氏
 (写真の日付は日本時間;
 現地時間は9月21日)



写真二

大野裕記氏 (四国電力)
 のポスター発表



写真三

千木良雅弘氏 (京都大
 学) とイタリアの研究者
 との意見交換風景

5.3 テーマ3 : Engineering Geology and Environment (応用地質学と環境)

照屋 純 (日本工営 (株))、高橋 努 (八千代エンジニアリング (株))

(1) キーノート スピーチ

Engineering Geology と環境問題をテーマで2件の基調講演があった。以下ではそれぞれの講演の内容について要約する。

1) 「応用地質と環境」 A.W.Hatheway (U.S.A)

Engineering Geologists は、社会的要請に応じて環境的仕事を行い、人間活動により過去に破壊された環境の修復に携わるべき重要な役割をもっている。これまでの Engineering Geologists は計画や設計など、一連のプロジェクトの中で地道に基礎知識を収集・蓄積してきた。また、我々の役割は野外で事実を収集するのみならず、開発や計画の中で技術者として展開する能力を身につけ維持してきた。

Engineering Geologists は本来、フィールドにおいて現象を目視し、思考することで、適切な判断を下すことが可能な数少ない知的職業である。しかしながら、地質、土木分野の将来の一つの懸念事項は、地下のデータ収集や探知、評価などが教育的段階からコンピュータなどの活用によって様変わりしていることにある。

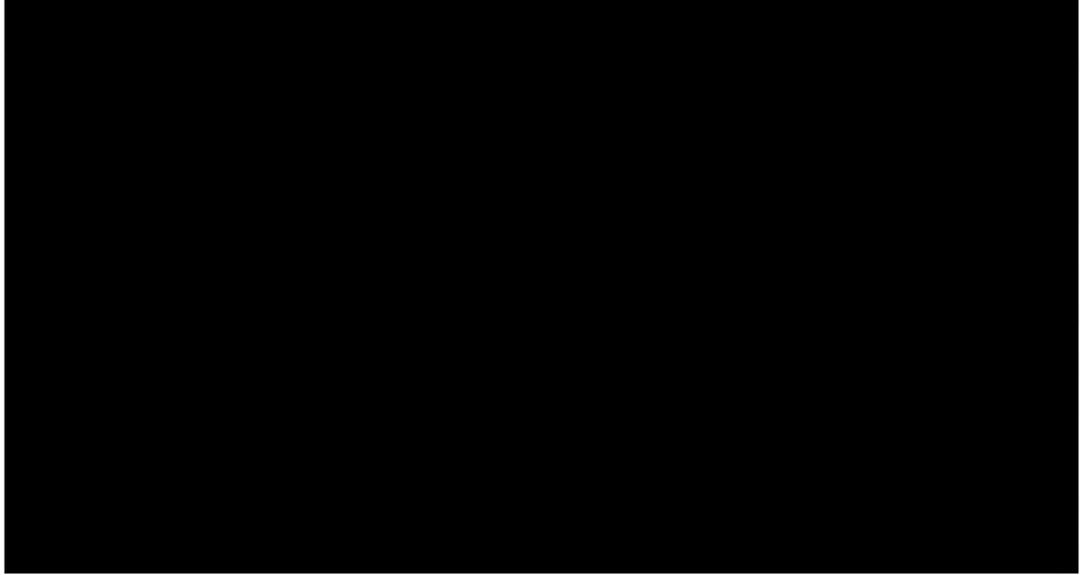
Engineering Geologists には、従来からもっている野外での能力を維持しつつ、これらの新しい技術を利用して的確な地質的判断を下していくことが今求められている。我々 Engineering Geologists は、そのサイトにおける概念的な地質モデル(the Site Conceptual Geologic Model) を念頭に、必要とされる環境上のプロジェクトに参画し、成功を収めて行く義務があると同時に、環境問題解決の過程の中で、自らの役割の重要性を認識し、アピールしていくことが必要である。

2) 「最新地質環境保護 — 応用地質のチャレンジ —」 K.Maga (Germany)

ドイツにおける応用地質の発展を外観すると、地質に関する知識の広がりとともに工学教育に重点が置かれたことが指摘できる。

Engineering Geologists は地質環境保護に従事する主要な一員であることを認識し、今日の様々な地質環境問題に取り組む準備をすべきである。また地質と水理地質の基本的知識をもっていることで環境問題の分野で活躍する資格を与えられているとともに、他分野との連携においてコーディネーター的立場にあることを認識する必要がある。

このように Engineering Geologists には、他分野の環境技術者の中にあって重要な役割を率先して果たして行くこと求められている。



Development and interaction of geotechnical sciences (地質工学としての科学の
発展と相互の関係)

これらの2件の基調講演では、「リオ宣言」以来地球環境問題の主流をな論調／持続可能な開発とともに、何れも環境問題に関わる Engineering Geologists の役割の重要性と意義、「地球を救うのは Engineering Geologists しかいない、自分達の出番だ」という姿勢が強調されたが、その鼻息の荒さとは別に、概念的議論が中心で方法論や役割の具体性に欠けている感が拭い去れず、講演会場からも同様の声が聞かれた。

(2) 一般講演

一般講演は以下の3つのテーマに対し、22編の発表がなされた。

- 1) 土地利用計画とリスクアセスメント
- 2) 廃棄物処理 (埋め立て)
- 3) 地下水分析と汚染

1) Land use planning and risk assessment (土地利用とリスクアセスメント)

「都心部計画ツールとしての地質情報の利用 —マレーシア・クアラルンプール Klang Valley の事例—」 J.J.Pereira (Malaysia)

「南アフリカにおける土地利用計画における応用地質学からの情報システム —ヨハネスブルグ地域の結果—」 L.Croukamp (South Africa)

「イランにおける新しい都市選定のための応用地質学的検討」 H.Memarian (Iran)

「イタリア Bologna 市地域における地盤沈下とその結果生じた問題」 G.C.Carloni

(Italy)

「排水処理のための湿地帯 (Wetland) 設計 一真の相互懲戒的努力一」 C.C.Mathewson

(USA)

「都市土壌における空間的リスクアセスメント予測のための統計学的アプローチ」

C.P.Nathanail (UK)

以上の発表のうち、3件は地質情報やGIS情報などを活用して整理された地形・地質ファクターや土地利用などの基本情報を利用して様々な都市計画やリスクマネジメントに活用した事例であった。これらは、コンピューターによる情報技術の活用という時代の流れを反映していた。また、2件は地下水位の汲み上げによる地盤沈下の影響、及び排水処理における地下水汚染の分析を行ったもので、技術的には日本でもなじみの手法による事例報告であった。

最後の講演は、統計学的処理によって土壌汚染の濃縮シュミレーションを実施したもので、地球化学的地質(土壌)汚染シュミレーション、具体的には鉛やカドミウムなどの濃集領域の分布表示や健康に対するリスク条件などに言及している。この結果、居住地や地域計画においてガイドライン値を超過する確率分布把握やリスクアセスメントの活用には有効な手段となることが強調された。これは英国地質調査所が実施した事例であり、土壌汚染問題に関する公的機関における対応としては先駆的事例と思われた。

2) Waste Disposal (Landfills) 廃棄物処理(埋め立て)

「埋め立ての持続力 一密閉と希釈と分散一」 A.R.Allen (Ireland)

「モーリシアス国火山帯における埋め立てサイトの選定」 V.Proag (Mauritius)

「Ash haul back 燃焼法による石炭の埋め立て」 R.E.Gray (USA)

「むかし製作されたガスプラントにおける負の環境条件が示唆する技術史と地質」
A.W.Hatheway (USA)

「都市部における固体物埋め立ての地質技術的特性の研究」 O.M.Vailar (Brazil)

「廃棄物処理サイトカバーシステムにおける毛細現象バリアの効果」 Z.Kudrna (Czech)

「密閉された熱帯土壌内でのKとCl拡散一線形釣り合い法一」 A.L.Leite (Brazil)

最初に総括的な埋め立て問題の講演があった後、具体的な埋め立て時の問題点と地域条件に関して報告された(モーリシアスとブラジル2編)。また、石炭処理に関する現代の処理技術とかつてのガスプラント技術の紹介があり、アメリカの石炭産業の現状を垣間見ることができた。後半の2編は拡散や浸透に関する室内実験結果の報告で、現象のモデル化とフィールドでの検証実験結果から、その有効性を述べたものであった。

3) Groundwater analysis and Contamination (地下水の分析と混合)

- 「汚染サイト及び埋め立て地からの滲み出しの評価」 W. Entenmann (Germany)
- 「古い背面処理のない埋め立てサイトの溶解対流拡散のアセスメント」 N. Depountis (U.K.)
- 「埋め立てゴミ処理法のコントロールと汚染モニタリングについての放射性 元素利用手法 — イタリア Parma 近郊のゴミ処理埋め立て場における事例」 M. Pellegrin (Italy)
- 「工学的及び環境的地球物理学の収束性—事例による説明—」 G.P. Merkler (Germany)
- 「佐賀平野における地下水挙動と貯留層の解析」 岩尾 (Japan)
- 「中央ベルリンにおける巨大建設サイトでの地下水管理」 F.J. Struffert (Germany)
- 「ロックフィルダムの水質化学の要素解析と解釈」 J. Ghayoumian (Iran)
- 「カルスト地帯 (バンクーバー) での地下水環境と森林活性度影響測定のためのトレーサー染料利用」 T. Stokes (Canada)
- 「Pianura Pontina (中央イタリア) に発生した水質汚染管理地域へのリモートセンシングと GIS の利用」 A. Marino (Italy)

地下水分析と汚染の講演は大きく次の3項目に分類される。

- a) 地下水の汚染のモニタリングと浸透、拡散等のシュミレーション 4編
- b) 土地利用と地下水管理、そのアセスメント 3編
- c) 物理計測、リモートセンシング等地下水管理のための調査解析手法 2編

地下水解析の技術は水質化学分析、物理探査トモグラフィー、放射性元素を用いたピーゾメーター試験、フローエッセンを用いたトレーサー試験等ほとんどがなじみのある手法によるもので、これらを用いた調査手法フローは、講演の中でも何度か提示されていた。環境および工学両方の観点から地球物理学的手法を用いることにより、問題解決へのアプローチが可能であるという論調が主流であった。

リモートセンシング、GIS については、地下水の基礎データをインプットした上で、土地条件、森林密度等の情報やリスクを重複させた総合的な管理図を作成するという土壌汚染に関するハザードマップ作成と同様な活用がなされていた。アウトプットされた Impact Map (影響評価図) は、色分けされ視覚的にイメージしやすい形となっていた。

いずれのセッションテーマにおいても、これまで実施されてきた調査手法を用いたものであったが、幾つかの報告では解析や評価の面で、従来より一步踏み込んだものと言える。これらは、影響評価・アセスメント・リスクマネジメントなどが一般化する日が近いことを伺わせている。また、地質情報が他の自然・社会的条件と同様に重要な要素であることがあらためて示され、それらの条件を組み合わせた総合情報図を作成していくという学際的分野において、Engineering Geologist の存在位置の高さが強く印象づけられた。

5. 4 テーマ6 : Case histories and new developments in underground excavations
(地下掘削における事例及び新技術開発)

天野功二 ((株)開発土木コンサルタント)

このテーマには日本代表として、熊谷組の三谷さんがキーノートスピーチとして招待されており、大盛況であった。これについては三谷さんが次章で述べているので、個々では、上記課題で講演された地下開発に関する講演のうち TBM design and performance prediction(TBM の設計と利用予測) について、以下の5題の講演と質疑応答が大ホールで行われた内容について記すにとどめておく。9月24日(木)11:00~12:30、大会4日目、お昼近くということで参加に疲れがでてきているのか、あるいは関係する技術者が少ないのか、人出は会場の半分程と大会2日目までと比べやや少なかったが、他のセッション同様に意欲的な発表と熱心な質疑が行われたとの印象を受けた。

講演のテーマは、

1. Gripper design of hard rock TBM's studies for economical tunneling (経済的なトンネル掘削を行う硬岩用TBMにおけるグリッパの設計) ヨーロッパでのTBMの使用事例を挙げ、ripper pressure について理論的な検討を加えている。
2. Design of high speed TBM drives (高速施工を行うTBMの設計) 高速掘削を行うTBMの設計には高い掘進速度と高い利用率の割合に対する設計が必要であり、岩盤の性状及びTBMの掘削データからTBMのパラメータを見積もる方法を概説した。
3. The influence of rock mass properties in the assessment of TBM Performance (TBM利用の評価における岩盤特性の影響) マレーシアの Kelinchi Transfer トンネルで集められたTBM掘削データ(Field Penetration Index、1回転あたりの掘進量等)と、岩盤の地質情報(RQD、ジョイントの間隔や体積、シュミットハンマー試験結果等)との関連を検討し、両者により相関が認められることから、事前の地質調査結果からTBM利用の予測が可能と報告している。講演内容は、私自身が初めて経験する分野であったので、なじみのない単語が多く、事前準備の必要性を感じた。
4. Use of the punch test for estimating TBM parameters (TBMのパラメータ見積もりにおけるパンチテストの利用)
5. Predicting the performance of a mechanical excavation system (機械掘削システムの施工を予測する)

であり、発表者は、オーストラリア、ドイツ、マレーシア、アメリカ人であった。これらの演題のうち、2及び3の演題については、講演内容が講演集に掲載されている。

講演は、主にOHPを使用して行われ、それぞれの講演について2~3の質問があった。

5.5 テーマ6 : Case histories and new developments in underground excavations
三谷哲((株)熊谷組)

Theme 6 : Underground excavation において、キーノートスピーチは熊谷組の三谷による40分間の招待講演、引き続き Dr. Corbin と Professor Marinos (IAEG 会長) それぞれの25分づつの招待講演と質疑応答が行われた。

三谷のキーノートスピーチは5.6章で紹介するが、本章では Dr. Corbin と Professor Marinos 講演の内容について紹介する。

(1) Dr. Korbin の講演 ; 「Claims and tunnel boring machines: Contributing factors and lessons learned」 (賠償請求とTBM, 貢献すべき要素とそれから学ぶこと)

TBM 施工に伴って発生する賠償請求が、主に、TBM の設計、掘削施工と維持保守、地山の3つの原因に由来し、これは言い換えれば、掘削性能と稼働率に影響を与えるものである。

1) TBM の設計

機械の設計は最終的には貫入速度、カッターコスト、稼働率に影響を与えるものであり、装備トルクと推力、カッターの形式・配置・間隔、シールドの有無などが問題となる。最近ではTBM のトルクや推力が問題となるのは、中古の機械を使用した場合や中古機械を改造して使用した場合に限定される。

稼働率への影響の面では、カッターヘッドの形状とカッターの装着部、ずりバケットの設計(形状、位置、開口寸法)、無支保パソ(鏡面とカッターヘッドサポートやシールドとの距離)、シールドの有無、湿った環境での絶縁電気系統の使用、一次支保の位置と形式、グリッパー支持面積と補助推進システムなどが含まれる。シールドを装備したTBM については、短いシールドでは方向制御が難しく、長いシールドは不良地山で捕まりやすい。また、各種のTBM について特徴や欠点などが示されたが、硬岩から土にまで対応できるようなTBM はまだ夢であり、変化する地山に稼働率の低下を最小限にできるような要素を設計に織り込んだTBM の採用が現実的であると言っている。

2) 機械の運転と保守

TBM の運転と保守は請負業者の経験とオペレーターの能力に負うところが大きい。掘削性能と稼働率に影響する保守項目は、カッター、ずりバケットとカッターヘッドの磨耗、ならびに運転系統である。事業主にとって当該プロジェクトに似た工事経験のある請負者を選ぶことは、未経験からくるミスを避ける上で有効なことである。経験ある請負者は、使用するTBM と地山に見合った保守管理表を作成して、TBM の能力を最大限に発揮できるよう努める。しかし、どんなTBM でもオペレーターが未経験だとすぐに壊されてしまう(Colorado 州 Stanley Canyon の異常磨耗の例)。ずりバケットの磨耗はずりを下部に

残してしまい、そこでの再磨耗によりカッターやカッターヘッドを磨耗させ、またTBMの姿勢を上向きに変えてしまう。カッターの磨耗は切削能力と稼働率に影響を与える。刃先の細かいカッターを使用することを前提にTBMの推力やトルクを設計していた場合に、カッターが磨耗して刃先が広くなると、もはや設計前提が崩れてしまうこととなり、原設計が妥当であったかどうかという問題にも波及する。いかなるTBMも意図的であろうと無かろうと、ある能力以下で運転すと施工性は悪くなる（シールドを被ることに伴う実推力低下など）。

3) 地山条件

切削能力の低下は健岩の強度、亀裂の程度、磨耗性などについての事前評価の不正確さに関係し、稼働率の低下は地山の安定性、反力不足や過度の湧水などに関係する。

切削能力の低下についてのクレームは主に岩石の強度や硬度の誤った評価に起因する。その多くは、岩石の強度範囲を示しているだけで、平均値や健岩の強度範囲などの記述がない；供試体が不適切であったり、弱面で破壊したかどうかの記載がない；TBM掘削にとって有利となる亀裂や組織の記載がない などである。一軸強度試験用のサンプル入手が難しい時は他の強度推定手法を考慮すべきで、ポイントロード試験は有効である。研磨性の高い岩ではカッターの磨耗で貫入速度が低下する。細粒のミロナイト、石英やガーネットの存在、熱変質などは健岩の強度や研磨性に影響する。岩石の組織（葉理や層理などの異方性）や節理・亀裂も重要な要素で、TBM掘削におけるこれらの有利さを無視すると、掘削性の評価は低いものとなる。これらを考慮した試験手順が大事で、また、空隙率は2%を超えると悪い方へと作用する。

最近多いのは普通の岩のように掘れない‘おかしな’効果（タイプ2クレーム）である。スポンジのような、バイモーダルな粒度分布、縫合線状の粒子境界、多量のあるいは微量の微亀裂などが切削不良の説明として使われているが、これは予測モデルが間違っているためである（岩石の種別に関わりなく予測していることによる）。火成岩と堆積岩では強度が同じでも貫入速度は後者が倍早く、ロビンスのような経験あるメーカーはこれらの岩種の差を反映した予測を行っている。

稼働率の低下についてみると、自立時間が短い場合、切羽やその前方で崩壊を生じる。ある業者はこれはTBM掘削を不可能にすると言うが、イタリアの業者のように平気で対応できる業者もある。これは経験の差であり、イタリアのSELIはこのような不安定地山に対応できるダブルシールドTBMを使っており、カッターヘッドはできるだけ滑らかにし、また、ずりの取り込みを制限し、また、余掘り（崩壊部）にウレタンを充填し、崩壊が切羽の前方へと進行したりコントロールできなくなることを防いでいる。

崩壊性の地山ではカッターや台座を岩塊から守る他にジャミングを防ぐ上からも埋め込み型カッターが重要である。こういう状態ではSELIはカッターヘッドからのカッターはみ出しは前面で80mm、ゲージで50mmが有効としている。カッターヘッドのジャー

ミングは面盤上のずりの摩擦のせいではなく、カッターやバケット先端部の張り出しのせいであり、滑らかな形状のカッターヘッドではほんのわずかなトルクで回転を維持できる。

ダブルシールドタイプのようにより長いシールドを装備した機械の欠点は大きい土圧がシールドにかかりやすいことであり、これに対処するため SELI は前部と後部のシールドを分離し、ここからシールド上部へ出られるようにしている。不幸にも、カッターヘッドの設計が悪かったり、運転が下手だったりすると、ぎりぎり安定している地山を不安定地山にしてしまい、‘この山は岩でなくて土砂である’とか‘硬岩用 TBM でなく、土砂用 TBM を指定すべきだった’などの申し立てが出てくることになる。

湧水は極めて予測困難であるが、影響はカッター磨耗の増加や細粒分の洗い流しといった一時的なものに限定される。突っ込み施工のように長く湧水にさらされるような極端な場合は、メインベアリングシールの破壊が起きることがある。業者は一般には湧水に対してはグラウトよりも一時的な稼働率の低下の方を選択するが、最近では環境面から排水工法への問題が浮上してきている（地下水位の低下や湧泉の枯渇）。

ブロック状岩盤ではカッター、台座、ずりバケットやカッターヘッドの破損が起きるが、これらはカッター設計に負うところが大きい。

カッター磨耗は研磨性岩、ブロック状岩盤、カッターの選択、カッター装着の不適切や TBM 運転の不適切さ（ステアリングの切り過ぎや過大なスラスト）に負う。カッター寿命を延ばすために炭化物を混入すると衝撃荷重で壊れ安くなり、一時は硬岩には不向きな安価なカッターが市場に出ていた。これらが硬岩に出くわしたときに壊れたり、短寿命になったりしても誰も驚きはしないし、冶金状の問題から生じた不良なカッターリングを買ってしまうこともある。

4) 監視と検査

クレームのメリットについて適切な決定を下す上で、事業者は機械の挙動についてのきちんとしたデータを得る必要がある。これには施工監視と適切な検査チームの雇用が必要である。可能なら自動データ収集システムの使用が望ましい。記録すべき内容は、1 サイクル毎の時間と切羽位置、駆動モーター消費電力、平均スラストとストローク位置の精度良い時系列記録である。可能であるならば、平均スラストは機械の摩擦損失を補正できればよい。これらデータは事業者の事務所に送られてリアルタイム監視しながら保存されることが必要である。

事業者の承認のもとに、請負業者にシステムの設置から運転までさせることが重要である。請負業者に後でデータが悪いなど言わせないように結果を保証させる。

TBM の仕様や提出書類を綿密にチェックし、請負者にその正確さを保証させる。これには TBM 駆動モーターの性能曲線が含まれる。

事業者側の管理者は TBM 経験者であること。彼はデータ収集の必要性を理解し、クレームがありそうなときには、データをきちんと再調査することが必要である。

5) 仕様書とG B R (Geotechnical Baseline Report)

仕様書やG B Rには以下のことが考慮あるいは含まれている必要がある。良好な地山に達する以前にT B Mを発進させないよう、請負者に早期発進意欲を与えてはならない。

請負者によりT B Mの選択がなされたならば、事業者はT B Mコストを全額支払い、後で工事遅延やクレームに伴う機器レンタルコストの発生を防止する。

G B Rは想定される地山条件を評価し、予測される挙動を特定の手段や手法と関連付けしておく。もし全断面で切羽崩壊がありそうであれば、そのように書いておき、経験ない請負者がその状態を一層悪くすると思うときにはより悲観的になるべき。事業者はBASELINEを設定する権利を持っているが、G B Rがどこまで慎重になれるかについては論議がある。事業者は期待するリスク分担に応じて望むとおりに慎重になる権利を持っているが、慎重さの程度は論理的であるべきで、あまりに慎重では利益がないが、適度に慎重であれば低価格を支払うだけでよい。

G B Rや仕様書は設計と混同してはならない。たとえば、ブロック岩盤では埋め込み型カッターが必要というのは設計ではないが、前面では 80 ± 15 mm必要というのは設計である。

資格については、入札者に当該プロジェクトと同種の工事を同様の方法で成功裏に完成したという条件を求めることは受け入れられる。低価格入札者が明らかに資格がないと思われる場合には、事業者がこの要求を課す意志の程度に応じて有利となる。

6) 結論

T B Mの施工性に関するクレームは、T B Mの設計、機械の運転と保守、それに地山などの原因に伴うものである。設計については、機械の施工性はT B Mが地山に適合しているかどうかと、地山条件が異なった場合のT B Mの適応性に依存する。効率的な運転と保守は請負者の経験による。良好な地山ではだれでもある程度の施工が可能であるが、経験ある業者はよりうまく施工でき、不良地山において勝るであろう。クレームの評価に当たっては、それが正当であろうと無かろうと、事業者はこれまでのような検査だけでなく、自動記録システムを用いて機械挙動の詳細なデータを集める必要がある。最後に、地山条件が適切にG B Rに記載されていないと、請負者は適切な手法の採用やT B Mの設計ができなくなり、または公平な入札ができなくなる。

(2) Prof. Marinou の講演 ; 「TBM excavation in weak and heterogeneous rock mass for the Athens metro」 (アテネの地下鉄における弱い岩盤の掘削)

極めて地山条件が変化しやすいアテネ片岩をT B M掘削するに当たって、岩相、構造、風化、岩質、地下水などの条件から地山を 'friendly', 'moderate', 'adverse' と区分し、切羽安定性の評価や適切な補助工法との関連付けを行った。

1) 概要

1991年11月からアテネ首都圏鉄道の建設が進められている。これはすべて地下鉄道で全長18km、21の駅、29の換気立坑などからなっている。9.5m径の2台のTBMがそれぞれの複線トンネル（ほぼ土被りは10-20m）を掘削し、既に70%程度のTBM掘削が終了している。

ここで用いられた地山評価手法は地山挙動を成功裏に予測でき、掘削経験を重ねる中でさらに手法が発展中である。

2) アテネの地山条件

地下鉄建設深度のアテネの地質は、アテネ片岩と呼ばれる一連の地質から成っている。アテネ片岩は極めて不均質でフリッシュ様の白亜紀の地層に命名されたもので、片岩、千枚岩、変堆積頁岩、シルト岩、砂岩などからなる。石灰岩や泥灰岩も含まれ、火成活動は所により橄欖岩～輝緑岩質の貫入岩を生じている。始新世には強い褶曲や衝上・断層活動を受けた結果広く破壊されている。これらに風化と変質が加わって、岩質を支配している。概して、絹雲母変砂岩と片岩が上部ユニットをなし、この下位には暗灰色頁岩、千枚岩細粒変砂岩が分布する。

こうして、アテネ片岩の岩盤の特徴は『岩相の多様な変化が不規則な風化でさらに変化する』『強度的には土から硬岩にまたがる多様さ(トンネルの尺度ではしばしば混在)』『数多いせん断や断層の多様な構造』である。

このように岩盤は極めて不均質で、それは隣接したボーリングの対比が困難で、正確な断面図を作るのが難しいということにも現れている。このプロジェクトでは、請負者によって、MR (Mass Rating System) を使って地山が分類されている。これはRMRを修正したもので、RQDと不連続面間隔それぞれの最下点部分（最不良部分）を細分しており、不連続面の方向については評価から除いている。アテネ片岩がときに土壌の様相を呈するので、TBM掘削に対する地山安定性を推定するのにRMRには依存できない。同一のMR区分がTBM掘削時に全く異なった挙動を呈する地山に当てはまることもあり得る。しかし、MR区分はMRが22以上の場合にはすべての他の要素とともに、トンネル切羽と上部の領域について評価されている。土木地質断面図にはボーリング孔に隣接してMR値が示され、低いMRのところでは、極めて弱い岩盤や土に近くなった中に岩塊や硬い岩のレンズが存在する時にそれを理解しやすくなっている。

3) 予想される掘削による影響：予測手法の必要性

使われたTBMはシールドタイプで、ディスクカッターと切削ビットを装備し、ずり取り込み口の開口度は面盤の30%、各種のコンベアを経てずりは列車に積まれる。TBMは基本的に岩と土の混在する地山に対応できるよう設計され、実際に主要部の掘削ではな

かなか良い成果を上げた。しかし、周辺地山が不良な場合は崩壊を防ぎきれない。地山の崩壊は鏡面あるいは天端から生じ、オーバーブレイクは引き続いて上方へと進展する。

TBM前方の地山条件はこのオーバーブレイクリスク（地表沈下による構造物への悪影響や地上での崩壊の発生による予想もできない被害の発生）について事前評価される。ある種の地山条件ではこのような崩壊は簡単に発生してしまう。混在地山の場合には、せん断破碎で粘土化した中に岩塊があると、TBMのカッターで掘削されずにこれが回転したり移動することによってオーバーブレイクが生じてしまう。

オーバーブレイク進展条件は湧水によりさらに悪くなる。TBM掘削中に露出する掘削面は無限の透水性媒体となるが、アテネ片岩ではその透水性が低いため、一般的にはトンネルに向かう垂直方向の流入は大きくなく、内部浸食に伴うオーバーブレイクは典型的な崩壊モードではないが、水に飽和すると岩盤がより軟弱になり、不連続面強度も低下する。

古代のあるいは古い井戸や水槽の出現は、トンネル切羽や上部地山の計り知れない崩壊を招くことになる点を強調しておきたい。井戸自体からの水や泥の流入の他に周辺岩盤の劣化や崩壊を招きやすくなり、また、古い下水道からの水漏れが同様に劣化させる。さらに、トンネル掘削の結果生じるアテネ市街地での地表沈下の予測とその回避という困難がつきまとう。

4) ボーリング情報とその評価

A) ボーリングコアの応用地質学的位置づけ

コアの記載では、構造的な変形様式（ブレッチャ化、強い破碎、硬い内成ブレッチャ）、不連続面の充填物や鏡肌の有無、緩い岩材料存在程度と地層の肌落ちしやすさ、強風化岩や節理充填物などにおける土砂状部分の存在程度、軟弱なマトリクス中の岩塊の存在などを総合的に記載。

B) TBM掘削に対する地山評価

評価は上記した記載から岩盤を図3の例のように分類することに基づいている。主な着眼点はトンネル部とその上部について、competent（岩）と non-competent（土砂状）の比率や構造であり、評価は既掘削経験から見直している。トンネル上部領域では破壊の地表への伝播を防止できるかどうかの評価、トンネル部では岩の硬度と崩壊しやすさの評価に注目している。

5) その他の情報源

水理情報は、地下水位、透水性、降雨、などの資料をルートに沿ってとりまとめ、土砂部分では沖積層や埋没水路とトンネルとの位置関係のチェックに、片岩部分では宙水や透水性の高い部分の評価に役立てた。

空隙や埋没構造物はTBM施工に大きいリスクをもたらすため、これらの情報は物理探査、ボーリング、あるいは可能な場合にはパイロットトンネルなどを利用して集めた。

上記の情報から必要と考えられる場合には、径3 mのパイロットトンネル（TBMのクラウンから1.5 m下の位置）により調査した。パイロットトンネルは連続した地山条件の把握、井戸や空洞が交差あるいは近接しているかどうか、岩盤からの排水、岩盤挙動の観察と崩壊モードの予測を可能とするもので、その調査結果は土木地質断面図に追加して危険領域の可視化に役立てた。

6) 最終地山評価—TBM掘削にとっての‘Friendly, Moderate and Adverse’の評価

これまで述べた情報から最終地山評価が得られる。TBM掘削にとっての地山評価は、Friendly（リスク小）、Moderate（リスク中）、Adverse（リスク大）に区分し、これらは地質工学的な災害とその結果のオーバーブレイクの指標となると同時に、地区の弱点（建物の影響の受け易さや、古い構造物や井戸、下水道などの存在）にも関わっている。

7) 不良地山との遭遇

TBM掘削中の地山条件の早期予測によって適切な対処法や解決策を事前に得ることができる（とりわけここで使っているTBMは切羽での地山処理が困難なものである）。この対処法は請負人、エンジニア、施主の3者によって設計、修正されてきた。‘Adverse’地山とはTBMがこの地山をうまく掘削できず、広大なオーバーブレイクを生じ、地表に影響を与えることを意味する。これに対する対策は次のようなものに分類される。

この不良地山がかなりの区間連続するか、地上に重要な構造物がある場合には、可能であればルートを迂回するという方法。これはKeramikosという考古学遺跡で実際にとられた方法である。

線形を変更できない場合には、TBMに先行してパイロットトンネルを施工するのが良策である。この利点は、しばしば崩壊の引き金となる空洞の検知と充填が可能、岩盤からの排水ができる、岩盤が改良可能な場合、TBM前方で補強可能となる（grouted fiberglass nail など）、パイロットトンネル自体の支保にグラスファイバー補強吹き付け工を施工することによりTBM掘削時の切羽崩壊の防止に役立つなどである。もし、地上からの補強が可能であればグラウト、ジェットパイリングなどの適切な施工が可能である。

上記のような解決策は事前に地山を処理してTBM掘削の安全を確保するものであるが、それらの方法が適用できない（建物の下の通過やパイロットトンネル中に処理不可能な地山が多く出現する場合）ときには、代わりの手段を真剣に考えねばならない。それには、オープンシールドの採用や、NATMの採用などが考えられよう。

8) 結論

ここに示した地山区分手法の原理は、アテネ地下鉄ばかりでなく、他のプロジェクトにおいても掘削方法に対して影響を受けやすい指標さえ見いだせば適用可能である。

5.6 テーマ 6:「The state of the art of TBM excavation and probing ahead techniques」 (TBM 掘削と先端掘削技術の現状)

三谷哲 ((株)熊谷組)

1) TBM 掘削の概要と施工実績

TBM 掘削のメリットとデメリットの説明、TBM の機種とそれぞれの特徴、日本と海外における TBM 実績と特徴について。

TBM は円形トンネルを急速掘削でき、周辺地山の緩みが少なく、振動や騒音が少なく、安全で効率的なトンネル施工を可能とする反面、不良地質や地質変化への対応が困難であり、機械が大きく重いことから輸送や組立が簡単にはいかず、また切羽区域には狭い作業空間しか得られないため、発破工法の場合と比べて補助工法の施工に苦勞があり、機械価格が高く、また製作に時間がかかる、転用機会が少ない、などのメリット、デメリットがあり、これらについて十分比較検討した上で TBM 工法を採用する必要がある。

TBM の機種と特徴ならびにこれまでの施工実績の紹介の中で、日本と海外での実績データから、日本での TBM が主として地方都市域での下水道トンネルや小水力発電の導水路に使われてきており、これは標準設計に基づいているため TBM の転用機会が多いことによっていること、しかし、トンネル延長が短く、トンネル径が小さく、進行が遅いという特徴が生まれてきた原因として、日本の地質の複雑さや困難さばかりでなく、契約環境にも大きい問題があることを解説。

2) TBM の施工性を左右する要因

立地要因、機械的な要因、地質要因それぞれについての解説、不良地山における TBM 施工の困難な事例の紹介ならびにエンジニアの責任についての言及。

TBM 施工の経済可能性を左右する要因は、現場の立地条件とトンネルの規模、輸送のためのアクセス条件、TBM の転用可能性、地質条件などである。トンネル規模はプロジェクトの経済性に大きい影響を与える。これはもちろん TBM の転用可能性にも負うものであるが、トンネル延長は径が大きくなるに従って長いことが望ましい。現場の立地条件については、TBM が大きく重量がある機械であるため、港湾施設、輸送道路や橋、現場組立条件なども経済性に影響を与える。

機械的な条件については、TBM の稼働率は地質変化への TBM の対応性、切羽区域での作業性ならびに坑外設備を含めた工法設備全体としての効率性に左右され、全体システム設計はこれらを十分考慮する必要がある。貫入速度は地山強度に対するスラストとトルクの大きさに影響を受ける。

地質要因に関しては、稼働率は地山の自立性、地山の支持力と湧水の程度に大きく影響を受ける。貫入速度は岩盤の強度と割れ目の発達程度に、カッターコストは岩の強度、亀裂の程度とともに石英含有率とその粒径に影響を受け、地山が極めて不良な場合にはしば

しばカッターが回転不良となり偏磨耗したり、カッターのハウジングや面板自体の磨耗を発生する。

TBM施工にとって極めて困難な地山は、掘削切羽が自立しない（あるいは自立時間が極端に短い）ため、切羽崩壊を発生し、掘削を停止せざるを得ない地山で、このような現象は極めて破碎された地山や断層破碎帯に出現し、これに湧水がつくと事態は最悪となる。支持力がほとんどない軟弱地山で、TBMが沈下したり、グリッパー反力が取れず、しばしば大きい変形を受けてTBMがつかまってしまう。このような地山は岩そのものが軟質、岩盤が極度に風化あるいは破碎され又は熱水変質を受けているような場合に出現する。

このような不良地山の事例として、台湾の高速道路トンネルと日本のトンネルの例を紹介。前者では古第三紀の砂岩、頁岩から成る付加体が大小の規模の断層群の影響で極めて破碎され、膨大な地下水が胚胎されている地山でのTBM施工であり、トンネル（延長約13kmの道路トンネルで、パイロットトンネル：径4.8m、本線トンネル2本：径各12mからなる）の立地環境の制約からいずれもTBMで計画されたが、パイロットTBM掘削中に度重なる地山崩壊のため、3年間で1000m程度しか掘削できず、その後NATM掘削に切り替えて施工中であり、地山が良好となるところまで（約2km区間）NATMで掘削した上で再度TBM掘削に切り替えることが計画されている。本坑のTBMもNATM掘削区間を引き込んで掘削開始した直後に同様の地山崩壊に出会っており、現在上半部分をNATMで先行掘削中である。

この不良地山の状態については、1）極めて破碎された地山が崩壊し、それがカッターヘッドと切羽のすきまを埋めてしまい、あるいは崩壊ブロックが噛み込んでジャーミングを起こした、2）極めて破碎された断層破碎帯で、背面の大量の被圧水とともに破碎帯物質がTBM内に流入したという2つに分類できる。この不良地山の存在については、事前調査結果から当然想定が可能であったにもかかわらず（したがって、当然他の工法との比較検討や不良地山区間を当初からNATM掘削するというような工法の組み合わせの検討を行うべきであった）、極めて安易にTBMを投入した結果このような大変な事態を招いたものである。

後者の例については、鮮新世の砂岩礫岩と第四紀の火山性未固結堆積物の境界に活断層が分布し（富士川断層系）、径3.5mのダブルシールドTBMがこの部分で地山の押し出しに伴って締め付けられて、動けなくなっており、また、その後の第四系の掘削では大量の湧水に伴って地山の流動崩壊を発生する可能性が極めて高いと予想される。本来ならば、これら予想される現象に対して事前に十分な対応策を検討した上でTBM施工について計画すべきであり、ここでも極めて安易にTBMが投入されたと言わざるを得ない。

本来、エンジニアの立場・責任は、地質調査を指導し、その結果について十分熟知した上で、必要な補助工法の選定や他の工法との慎重な比較検討を行い、その結果有利であると判断してはじめてTBM工法と機種を選定すべきである。これに対し、前述した事例では、計画時点で慎重な地山評価が行われているとは言い難く、TBMの施工性についての

十分な評価や他の工法との比較検討が十分に行われないうちに安易にTBMが採用されていると言わざるを得ず、エンジニア（あるいは企業者）の責任は大きい。

3) 地山条件の評価とTBMの選定

応用地質に携わる技術者（Engineering Geologist）の役割は、地質調査結果からTBM施工が果たして妥当であるのかどうか、また、残されたリスクにはどのようなものがあるのか、そのリスクを最小限にするためには施工中にどのような調査をする必要があるのか等について評価し、その結果を設計技術者に十分に伝達することにある。そのためには少なくともTBM施工に影響を与える地質要因についての十分な知識を持っている必要がある。

TBMの施工性は図4.2に示したような評価尺度で行うが、地山条件の評価はTBMの稼働率との関係で見ることが大切である。

図4.7には地山条件を地山の自立性を尺度にとり、これとTBM稼働率の関係を示した。説明のしやすさから、図ではこれらの関係をa)、b)、c)の3ゾーンに区分している。ゾーンa)は掘削切羽が安定し、ほとんど支保工を必要としない領域である。このような領域では稼働率はカッター磨耗程度と全体後方設備の効率の善し悪しに左右される。この意味から、地山評価は貫入速度に影響を与える岩盤の硬さとカッター磨耗に影響を与える岩石中の石英含有量とその粒径に焦点を当てるのが肝要である。

ゾーンb)は通常支保工が必要となる地山で、稼働率は支保工の施工位置と支保工方法に大きく依存する。支保工が切羽に近づくに従って稼働率の低下が大きくなる。したがって、地山評価は地山の自立時間と湧水に焦点を絞ることが重要となる。

ゾーンc)は不良～極めて不良な地山が主体の領域であり、支保工は一段と切羽に近づく。最悪の状態ではTBM掘削は停止せざるを得なくなるような地山である。したがって、地山評価は不良地山の性状ととくに不良な地山の性状および規模、湧水などに焦点を当てる必要がある。

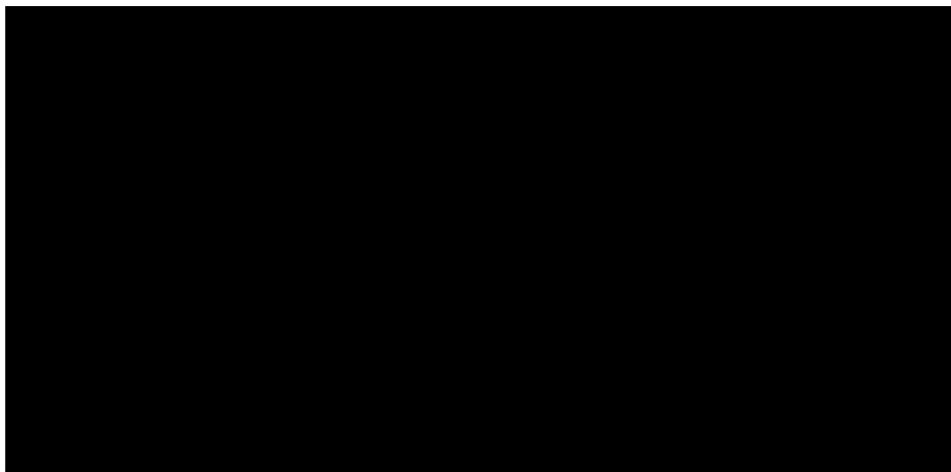


図4.2 TBM施工性の評価尺度

TBM工法の選定、機種を選定は、サイトの立地条件、地山条件、不良地山対策、機械設備全体システムの設計、施工工期とコストなどについて十分な検討評価を行い、かつ、TBM工法と他の工法との比較検討を十分に行った上で、有利であると判断してはじめて選定されるべきである。その結果、地山がゾーン（a）主体であるときには、急速施工がターゲットとなり、オープン型TBMが選定され、TBMと全体システム（輸送補給含め）を最大の進行が得られるように効率的な設計を行うことが肝要となる。

ゾーン（b）が主体の場合には、ダブルシールド型TBMが一般的には選定され、支保位置がTBMに近接して施工する必要がある場合にはトンネルライナーを支保として計画し（ただし、コストは高くなる）、しば

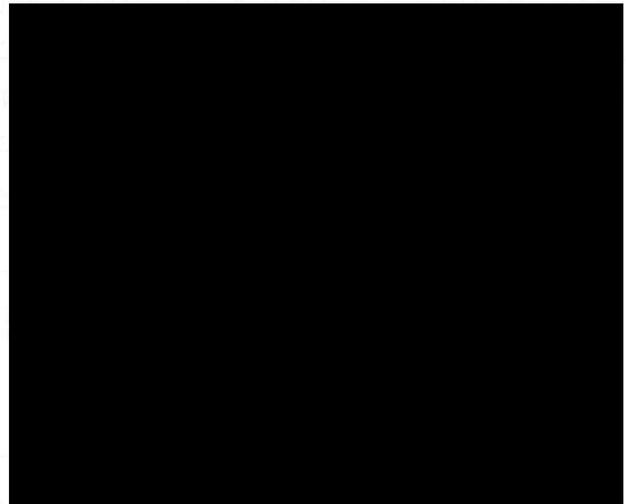


Fig. 4.7 Relation between geotechnical condition and the rate of utility of TBM

図4.7 地山の自立性と稼働率の関係

しば出現する可能性があるゾーン（c）対策についても検討しておくと共に、その予知のための切羽前方探査も計画に織り込んでおく必要がある。

ゾーン（c）が主体の地山の場合、特殊な条件が無い限りTBM工法の採用はあり得ない。もしTBMで施工せざるを得ない場合には、1つはダブルシールド型TBMを採用し、剛性の高いトンネルライナーを二次覆工を兼ねた支保として計画し、極めて不良な地山への対応策を十分に練っておく必要がある。もし、地山が密閉型TBMに適応する場合にはこれも選択肢の1つとなる。この場合には、しかし、工期やコストを含めて他の工法との慎重な比較検討を行うことが条件となる。

4) エンジニアの役割

エンジニアの役割は、事前調査を注意深く計画し推進すること、その結果を慎重に評価すること、その結果、TBM工法以外の工法との工事費や工期の比較を慎重に行うこと、こうして残されるリスクを最小限にすること、その結果、TBM工法が最良であると確信し、入札に際して工法を指定し、入札を評価すること、施工中の必要な調査を的確に指示

し、残されているリスクを最小限にすること、こうして自信と確信を持ってプロジェクトを完成させることがエンジニアの役割であろう。

5) 切羽前方探査の役割と現状

切羽前方探査の役割は、極めて不良な地山の位置、規模、性状を、できる限り精度良く、できる限り短時間で調査し、TBMがこの不良地山に突っ込む前にそれに対処できる機会を与えることにある。

表 5.2.1 に示したように、有効と考えられる調査法がある中で、反射法地震探査が最もこの要求にかなった方法である。この方法は短時間で150m程度までの前方の探査を可能とし、その結果見つかった不良地山に事前に対処するための十分な時間を与えてくれる。大量の地下水を胚胎した不良地山で事前にこれを排水する場合には相当な時間が必要であり、この観点からはとりわけ有効な手法といえる。

表 5.2.1 TBMを対象とした切羽前方調査の手法と得失

手法名	手法の概要	得失、課題、その他
切羽地質観察	目視観察により、事前調査結果と対比しながら前方地質を予測する。	掘削ずりの観察も含めれば定性的な予想はできるが、相当精度の高い事前調査結果が必要。
TBM機械データ	TBM掘削中のスラスト、トルクや貫入速度等の機械的なデータを利用して地山を評価する。	掘削切羽の状態は評価できるが、地質観察、事前調査結果等と対比せねば前方予測につながらない。
先進ボーリング	コアを採取する場合とノンコアの場合がある。また、TBM機械データ同様、削孔中の機械データから地山を評価することも可能。	湧水の情報も含めて精度高い予測が可能。削孔に時間がかかり、TBMの急速施工には阻害となる。
弾性波探査	坑壁に測線を設け、複数の起震による反射波の解析から前方地質を予測する。HSP法、TSP法	短時間で探査解析ができ、TBM掘削のダウンタイムを利用して調査が可能。100～200m先までの地質を調査できるが、解析結果の精度や解釈に確実性が欠ける。水の情報が得られない。
レーダー探査	送信アンテナから発信した電磁波が前方から反射してきたものを受信アンテナで連続的にとらえ、地質を予測する。	開発途上の技術であり解析結果の評価のための展開が必要。前方20m程度までの探査が可能。今後、TBMと組み合わせたシステム開発による新しいモニタリング手法となる可能性がある。

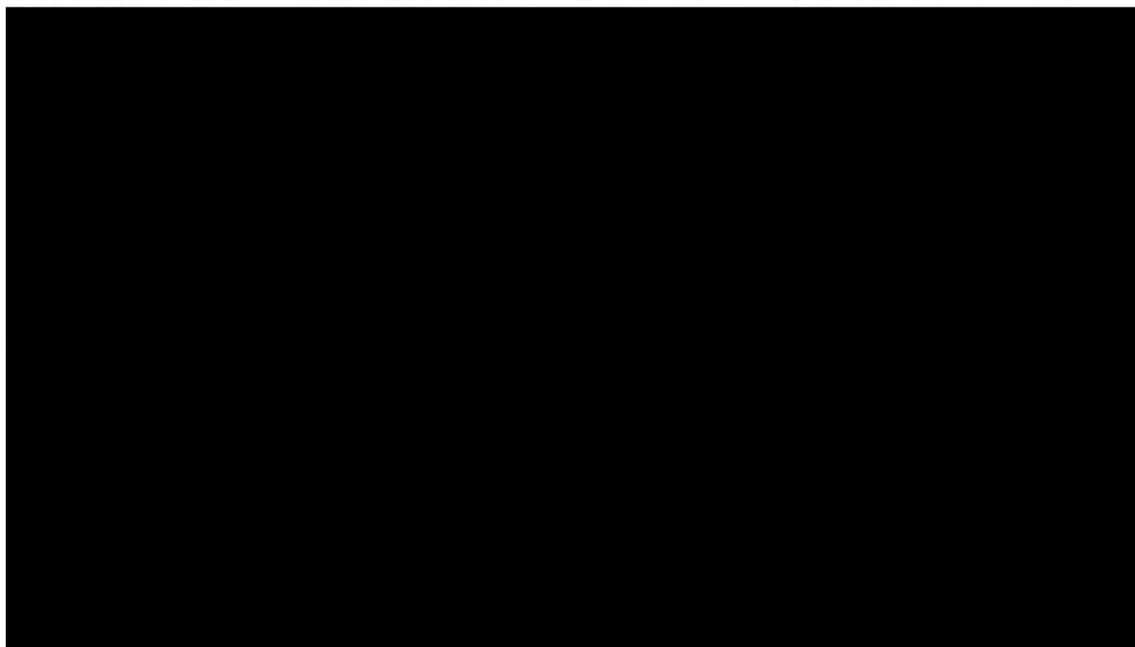
事例（図．5.2）に示したものは、良好な花崗岩中の幅数mの粘土化した熱水変質帯でのHSPの適用事例であり、探査で捉えた顕著なイベントがこの変質帯を精度良く捉えた例である。

しかし、一方で、他の現場で適用した事例（図．5.3）では、HSPによって多くのイベントが捉えられたものの、これらは実際のTBM掘削ではなんらの困難ももたらさなかった。TBM掘削後の詳細な地質調査の結果、これらのイベントは小断層、節理や岩相の漸移部分に当たっており、このように岩盤中に不良地山が顕著な幅で存在しない場合、不良地山を予知するための探査結果の評価には未だに大きい困難がある（亀裂などとTBM施工に困難をもたらす不良地山の仕訳が困難である）。

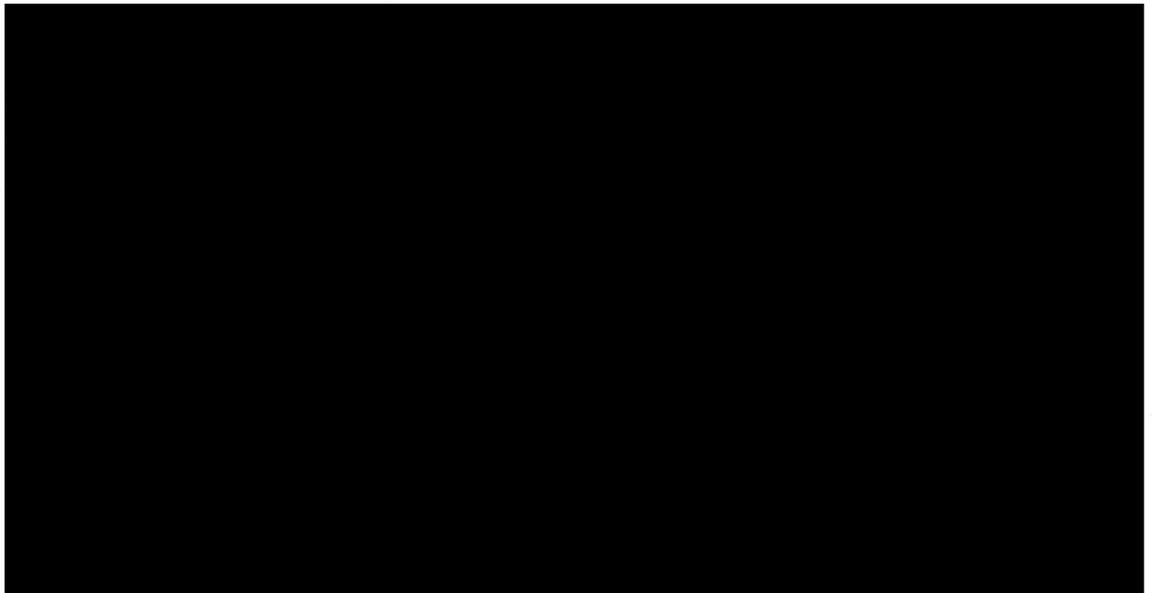
この技術をさらに発展させるためには、経験を積み上げ、予測結果を実際の地山条件に適合するような努力が必要で、そのためには掘削したトンネルの詳細な地質調査を行いながら、探査技術者、地質技術者、トンネル技術者が集まって議論・検討を進めていくことが肝要である。

6) 課題と将来展望

結論に変えて、TBMの将来像、切羽前方探査法と切羽前方処理法の課題と将来展望を述べ、長大トンネルTBMの計画がもたらすであろう成果について展望した。



図一5.2 HSPによる調査結果と実際の掘削結果との対応



図一五．三 HSP を適用した結果と掘削結果をマッピングした例

TBMは材料技術の進歩に伴い、スラストやトルクの増強、回転速度の増大、カッターやベアリングの材質やサイズの増大などが行われ、急速施工に向けての数々の改良が進められてきた。また、不良地山対策ではダブルシールド型の機会の開発やカッターヘッド形状の改良、カッターの内部からの交換、後続設備の改良などさまざまに改良がなされてきた。しかし、極度に不良な地山への対応性については未だに困難がある。

このような不良地山に対応するためには、不良地山の位置や性状、規模を事前に精度良く把握しておくことが極めて重要である。そのためには、切羽前方探査技術と地山処理技術の一層の向上が必要であり、それらがTBMにシステムとして一体化される必要がある。一方では、TBM自体がシールド工法との技術交換を進める中で、密閉型のTBMのさらなる進歩改良が望まれる。現在、1MP程度までの水圧に対応できる技術が開発されているといわれているが、さらなる耐圧性の向上と信頼性の向上、長延長に亘る硬岩掘削におけるそれらの機能の維持などに向けてさらなる技術開発が必要である。

切羽前方探査技術については、トンネルが線状の長延長構造物であるため、複雑な地質構造を呈するところでは、事前に地下条件を十分に明らかにすることが困難であり、施工中に切羽前方を調査することがどうしても必要となる。TBM工法に利用される切羽前方探査技術は切羽前方100～200mを短時間で精度良く調査できるものであることが必要で、現在のところ弾性波を用いた手法が最も可能性が高いが、実績地質の詳細な調査を並行して行うことにより、予測の精度を一層高めていくことが肝要である。現状ではレーダーを用いた探査は10m程度の範囲しか調査できないが、精度の信頼性を高めれば、弾性波の手法と併用することによりTBMが不良地山に突っ込んで大きなトラブルを生じることは回避できよう。将来的にはこれらをTBMと一体化して、航空機や船舶のようなシステムを作り上げることが目標となろう。

最後に、アルプスをはじめ山岳地帯での長大トンネルの計画が進んでいるが、これらは

アクセスの困難さ、大きい土被りなどからTBMを利用せざるを得ない計画である。不良地山の存在、山はね、湧水などに伴う困難が巨大な土被りに加速されて、実現には相当な困難を伴うことが懸念されるが、一方では、これらこそがさまざまな新技術の開発をもたらし、また、高い資質の応用地質技術者やエンジニアを訓練し、育ててくれる可能性を持っている。これらプロジェクトが成功裏に進行することを願ってやまない。日本からはNational Groupを代表して、IARG Japanの市川一男代表(日本応用地質学会会長)が参加し、国際委員会事務伊藤一武が出席した。参加国は30ヶ国程度であり、事務局まで含めて約100名程度の参加者数であった。

市川代表の親身な自己紹介に引き続き、Maribos 会長が開会宣言および UNESCO からのレター(International Association of Hydrology)からのレターの紹介を行った。続いて、Agencia de Estudios de Aguaの会議が運営された。討議事項等を以下に示す。

(1) Maribos 会長による活動レポートおよび1998年~1999年のAction Planの説明

1) BY Labの改正

環境問題への取り組み強化(その一例としてアテネ・シゴジウムの閉鎖)

新規小 National Group 創設活動(1996~97で8グループ新規創設、各費の区分導人)

2) Bulletinの改良

姉妹学会や他学会との連携活動(IAG, ISRM, ISSMFE と様々なレベルでのコミュニケーション)

コミュニケーションポータル(ホームページ <http://www.crii.ac.cr/iaeg/index.html>を通じて、レジストレーション等を可能に)

3) その他

1995~98年の間に、IAEG-Sponsoredの上巻会議としては、1997年(アテネ)と1998年(ブエノスアイレス)の2回開催された。また、Membershipは、1998年10月1日現在、アジア83等で、アメリカ合衆国でのメンバー増加、ヨーロッパに増加のイニシアチブ増加がもたらされている。

(2) 事務局長によるレポート

Primer 事務局長より、事務局長報告があった。内容は以下の通り。

会員数は現状5,200名以下(3年以上滞納者を除く)、特にLatviaは120名から約100名に減少

1997年の新規参加 National Group(NG)は、エストニア、イラン、シンガポール、パキスタンの4国

連絡のとれないNGもいくつか存在する(後述)。

BulletinのPapers(個人への郵送には特別料金はなし)

会長報告および事務局長報告は満場一致で承認された。

5.7 IAEG 評議委員会報告

市川 慧（日本応用地質学会会長）、伊藤 一誠（日本応用地質学会国際委員）

1998年9月20日（日）に、翌日から開催される第8回 IAEGCongress に先立ち、各 NationalGroup 代表が一堂に会する、IAEG 評議委員会が開催された。日本からは NationalGroup を代表して、IAEGJapan の市川 慧代表（日本応用地質学会会長）が参加し、国際委員会幹事伊藤一誠が陪席した。参加国は 50ヶ国程度であり、事務局まで含めて 60名程度の参加者数であった。

全代表の簡単な自己紹介に引き続き、Marinos 会長が開会宣言および UNESCO、IAH (International Association of Hydrology)からのレターの紹介を行った。続いて、Agenda に従い会議が運営された。討議事項等を以下に示す。

(1) Marinos 会長による活動レポートおよび 1998年～1999年の Action Plan の説明。

1) BY LAW の改正

環境問題への取り組み強化（その一環としてアテネシンポジウムの開催）

新規小 NationalGroup 増員活動（1995～97で6グループ新規参加、会費の区分導入）

2) Bulletin の改良

姉妹学会や他学会との連携活動（IAH, ISRM, ISSMFE と様々なレベルでのコミュニケーション）

コミュニケーションポリシー（ホームページ <http://www.civil.ntua.gr/IAEG.html>を通じて、レジストレーション等を可能に）

3) その他、

1995～98年の間に、IAEG-Sponsored の主要会議としては、IGC、アテネ、バンクーバー、コペンハーゲンの4会議が開催された。また、Membership は、現在ヨーロッパ 67%、アジア 8%等で、アメリカ合衆国でのメンバー増加、ヨーロッパ以外でのメンバー増加が必要である。

(2) 事務局長によるレポート

Prinel 事務局長より、事務局長報告があった。内容は以下の通り。

会員数は現状 5,200 名以下（3年以上滞納者を除く）、特に SEAsia は 120 名から 60 名に減少

1997年の新規参加 National Group (NG) は、エストニア、イラン、シンガポール、パキスタンの4国

連絡のとれない NG もいくつか存在する（後述）。

Bulletin の Renewal（個人への郵送には特別料金はなし）

会長報告および事務局長報告は満場一致で承認された。

(3) 会計レポート

1994年を境として会計状況は改善された。決算および予算は全会一致で承認された。

(4) 副会長レポート

各地域代表副会長から、活動レポートがあった。アジアはWang副会長が報告を行い、第1回アジアシンポジウムの報告を行うとともに、後述する第2回アジアシンポジウム(マレーシア)の計画を報告した。

(5) 会費滞納 NG 取り扱い

現在、モロッコ、ナイジェリア、ガーナ、インド、ボリビア、コスタリカのNGとはコンタクト不能な状況となっており、事務局としては、1999年始めまでに会費払い込みがない場合には除名とする。ただし、再加入可能とする形とする意向であることが示された。

(6) Bulletin 報告 (編集委員長 Dr.B.Hawkins)

Bulletinの出版をSpringer Verlagに移行した。第2号は9月末までに出る予定。Reviewのスピードアップを心がけているため、論文、Discussionの投稿を呼びかけた。また、個人会員宛にSpringerから送付するので、事務局宛に会員のアドレリストを送るよう依頼があった。

(7) Newsletter (事務局長)

発行頻度増加等についてコメントがあった。

(8) コミッションレポート

現在稼働中の以下の6委員会から活動報告があった。

Mapping

Landslide and other mass movement

Education and Training

Building and Ornamental Stones

Underground Disposal of Wastes

Protection of Ancient Works

新たな委員会としては、

Aggregates (SwedenのChair)

Collapsible Soils (U.K.のChair)

Hydrogeology

Geoinformatics

が承認された。

1999-2002年の役員選挙が行われた。

(9) 8th IAEG Congress 報告
運営委員長より、翌日から開始される Congress 準備状況の報告があった。

(10) IUGS、ISRM、ISSMFE との関係について
・ IUGS とは、CoGeoenvironment シンポジウムを開催、Urban Geology WG、IGCP425(Landslide Hazards Assessment and Cultural Heritage) 京大佐々先生が Chair 等の協力プログラムで関係を強化
ISRM、ISSMFE とは、Conference の Special Lecture、President, Secretary General Meeting、Council Meeting への Invitation、Geo-Eng2000 等の協力関係
・ IAH とは、Joint WG 企画中
ITA とともに Conference、Council Meeting レベルでの交流開始

(11) 2002年 IAEG International Congress
南アフリカ共和国 Durban において開催されることが決定した。

(12) Forecoming Events
IGC (リオデジャネイロ) においては、IAEG 関係の Special Symposium が開催される。また、関連セッションとしては、Environmental 関係 8 セッション、Engineering Geology 関係 3 セッションが予定されている。
1998/10/12-14 ナポリ 2nd international Symposium on << Geotechnical Engineering on hard soils - soft rocks >>
1999/2/15-18 チューリッヒ Symposium << Alp Transit >>
1999/9/9-11 バンギ (マレーシア) 2nd Asian Symposium
1999/9/28-30 カトマンズ << Engineering Geology, Hydrogeology and Natural Hazards in Asia >>
2000/6/26-30 カーディフ 8th International Symposium on Landslides
2000/10/10-13 ハノーバー << Engineering Geology and environmental planning >>
2000/11/19-24 メルボルン GeoEng 2000
2001/7/30-8/2 エカテリナブルグ << Engineering geological problems of urban areas >>
2001/8 ヘルシンキ << Aggregate 2001. Environmental and Economy >>
2001/9/8-10 ローザンヌ << Modeling in Engineering Geology >>
が予定されている。

(13) 選挙

1999-2002年の役員選挙が行われた。会計は、全会一致で、Pierre Potherat(France)。事務局長は同様に、Michel Deveughele(France)。副会長(アフリカ)は、R.Richard Maud(South Africa)。同(北米)は、Richard Grey(U.S.A.)。同(南米)は、Paulo Teixeira de Cruz(Brasil)同(アジア)は、Ibrahim Komoo(Malaysia)同(オセアニア)は、Bruce Riddolls(New Zealand)が満場一致で選出された。

ヨーロッパ代表副会長(2名)は、4名立候補の中から投票が行われ、Antonio Gomes Coelho(Portugal)およびNiek Rangers(The Netherlands)の2名が選出された。

会長は、Brian HawkinsとWangSijingの2名立候補で投票となったが、1回目、2回目とも同数であり、3回目に2票差でWang Sijingが選出された。

(14) 新規加盟 National Group

新規加盟として、Estonia, Indonesia, Iran, Pakistan, Singaporeの5グループの加盟が承認された。

(15) Executive Committee 報告

前日の執行委員会において、BY LAWの改正問題、名誉会員等について議論したこと等紹介された。

(16) 次回 Meeting

次回の Council Meetingは、1999/9/28-30 <<Engineering Geology, Hydrogeology and Natural Hazards in Asia>>に併せてKatmanduで開催される。

(17) その他

第2回アジアシンポジウム

評議委員会前にマレーシアのProf.Komooと会った際に、第2回アジアシンポジウムの1st Circularをわたされた。マレーシアが開催を予定していること等全く情報がなく驚いたが、WangSijingの副会長報告でも開催予定が報告され、IAEGCo-Sponsoredとなることも決定した。Komooの希望としては、日本からkeynote 1名、発表10名程度、参加30~50名程度とのことである。国際委員会、本学会等での今後の対応協議が必要である。また、Wang Sijingが会長となったため、これから、日本NGとしての協力を求められる機会が増大することが予想される。これに対しても協議を必要とする。

6. スタディツアー

6. 1 Field Trip 6: Debris Torrents and Rockslides, Howe Sound to Whistler Corridor

長谷川 修一 ((株)四国総合研究所)

(1) はじめに

ツアーリーダーは、B.C.大学のHungry先生と地元の地質コンサルタントであるSkermmer氏である。

本ツアーでは、両氏の案内でハウサウンドからウィスラーにかけての道路（ハイウェイ99号線）沿いの、土石流や崩壊地を見学すると共に、氷河地形や氷河堆積物を観察することができた（図-1）。

カナダ西海岸有数のリゾート地ウィスラーへの人気のコースのため、大型バス2台で出発し、途中1台のバスがエンジントラブルでリタイアするなどのアクシデントがあったが、ピクニック気分で楽しい見学をすることができた。

(2) 見学地の概要

1) STOP 1 : Horseshor Bay

バンクーバーを出発し、ノースショアを通り、ホースショア湾で最初の見学。ハンガー先生からハウサウンドの地形、地質の説明を受ける。

ハウサウンドは、南北方向に約45km延びるフィヨルドである。音波探査によれば、ハウサウンドの水深は最大300m以上、また、基盤岩までの深度500m以上である。基盤の地質はコースト貫入岩体に属する石英閃緑岩花崗閃緑岩およびGambier層群に属する変成した泥質岩、安山岩、デイサイト、流紋岩である。海岸山地では、これらの基盤岩を貫いて最近200万年間に形成されたGaribaldi火山帯の火山が分布している。

ハイウェイ99号線沿いでは、氷河の侵食によって風化をほとんど受けていない新鮮な岩盤が切土法面に露出している。法面はほとんど直切りで、法面長も少ないため、景観上優れている。また、フィヨルドの急斜面を通るルートにもかかわらずトンネルが全くないのには驚いてしまう。切土法面には、ほとんど保護工などなく、ところどころに鉄筋補強土工やネットが施されている程度である。岩盤が良好なのと、災害も自己責任のルールのためか、極めてコストパフォーマンスと景観に優れた道路である。

2) STOP 2 : Newman Creek

Newman Creekでは、土石流対策工を見学した。ここでは、上流の崩壊から供給された“debris torrent”と呼ばれる土石流が頻発している。“debris torrent”は北米で特徴的な未風化の深成岩や変成岩の岩塊からなり、細粒分のほとんど伴わないdebris flowである。通常の土石流堆積物が泥質の基質にクラストが支持されている(matrix support)のに対して、debris torrentはクラストサポートである。

残念ながら、debris torrent 堆積物は観察できなかったが、debris torrent から道路や人家を守る流路工を観察した。対策工は次の3点からなる。

- ①砂防ダムによる土砂の流出防止
- ②床固めによって、debris torrent をスムーズに海へ流す
- ③導流壁および橋梁によって、道路や人家を守る

3) STOP 4 : Porteau Bluffs

Porteau Bluffs ハイウェイ 99 号線の切土法面から 1969, 1970, 1991 年と落石が多発し、特に 1970 年には家 (カナダサイズ?) の落石があった。また、1982 年には、Porteau Bluffs の北で、落石が車を直撃し、死者 1 名、重傷者 1 名の事故が発生している。

この斜面は、ほとんど風化を受けていない石英閃緑岩からなるが、流れ目 (50° 道路側に傾斜) と東西走向でほぼ鉛直の 2 つの顕著な節理面を利用して、くさび状に落石を発生している。落石は、特に冬期の凍結融解時に発生するようである。

当地点の落石対策としては、1991 年にロックボルトが施工されたとのことである。しかし遠目には、ほぼ鉛直の切土法面なのにほとんど対策していないように見えた。

4) STOP 5 : Britannia Creek

Britannia Creek では、ゴールドラッシュの時代の金山跡に鉱山博物館がある (時間の都合で見学できなかった)。鉱山は、1905~1974 年に掘削され、現在は重金属を含む酸性の汚染水の流出が、環境問題となっている。

Britannia では、1915 年に大規模 (105 m³) な Jane Camp Rockslides が発生しているが、当時の記録がほとんど残っていないので発生機構はよくわかっていないとのことである。

また、1921 年には洪水によって 60 家屋が破壊されている等、Britannia Creek は大洪水をしばしば発生させている。

5) STOP 6 : Stawamus Chief

Stawamus Chief は、石英閃緑岩からなる岩体が氷河によって侵食された、高さ 652 m の一枚岩で、ロッククライミングの名所でも有名である。ここでは、節理面などの分離面もほとんどなく、落石も希である。大きな落石は、1946 年のバンクーバー島地震 (M 7.2) によって発生したという。

崖の下には円礫からなる氷河堆積物が分布している。この氷河堆積物上に送電用鉄塔が建設され、その巡視路は絶好の遊歩道、サイクリングロードとして利用されている。また、道路サイドには氷河による削痕が残っている石英閃緑岩の岩体が露出している。鏡のように磨かれた表面に、削痕が明瞭に形成されている。

6) STOP 7 : Cheekye River

ハイウェイから少しはずれた展望台から、対岸の氷河を遠望する。Hungr 先生によれば万年雪も全て glacier と呼んでいるとのことである。この glacier も温暖化のためか年々後退しているようである。

7) STOP 8 : Rubble Creek

Rubble Creek では、Garibaldi 火山の溶岩が大崩壊して発生した土石流堆積物を利用したダムを見学した。

1855～56年の冬に Rubble Creek landslide は、Garibaldi 火山近くのバリアー (The Barrier) から発生した大崩壊が土石流状に流出したもので、流出土砂は $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ に達する。

このダムは、Rubble Creek landslide という Cheakamus 川を堰き止めた土石流堆積物上に建設されている。建設に当たっては、土質力学の創始者で有名なテルツァギー先生が研究され、landslide の上でも安全とのおすみつきを得たため、別名テルツァギーダムと呼ばれている。要は、大規模土石流による天然ダムをかさ上げたダムである。B.C.Hydro (電力会社) に所属しているダムの金網越しの見学は少々残念であった。

8) STOP 9 : Whistler

有名なスキーリゾート地のウィスラーで、後続のバスを待って、ゆっくりと休憩。美しい町並みと背景の山をバックに記念撮影して、このフィールドトリップを終了した。

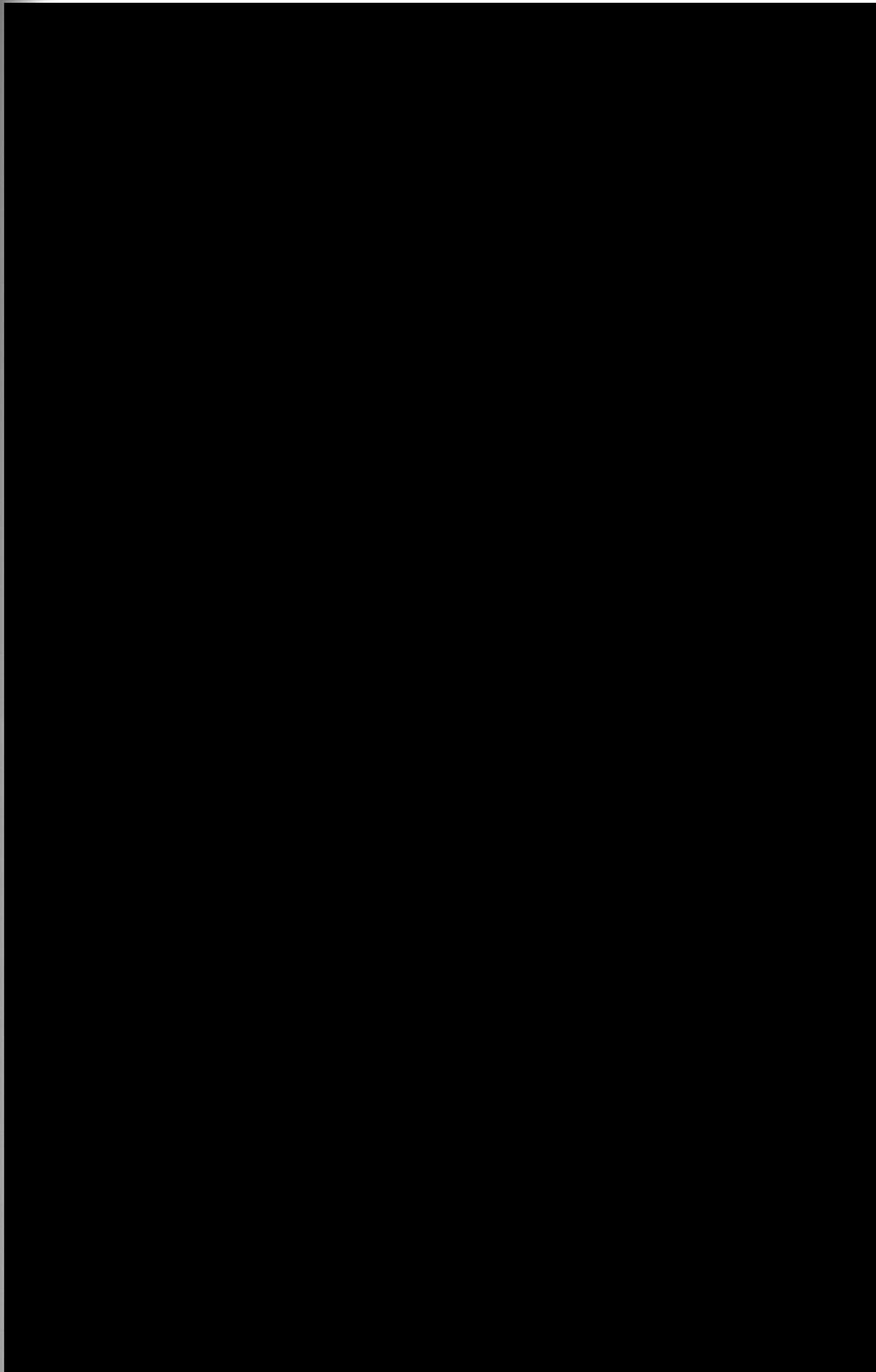


Figure 1 Sketch map of the route of the trip: (a) Horseshoe Bay to Squamish to Whistler. Figure 1 Sketch map of the route of the trip: (a) Horseshoe Bay to Squamish; (b) Squamish to Whistler (continued).

図一1 Trip 6の見学コース (Hungr & S Kermer, 1998)

of Howe Sound north to Squamish, and then wind
beyond. Travellers pass a mine that once was the
th, a volcano that last erupted in the Ice Ages.

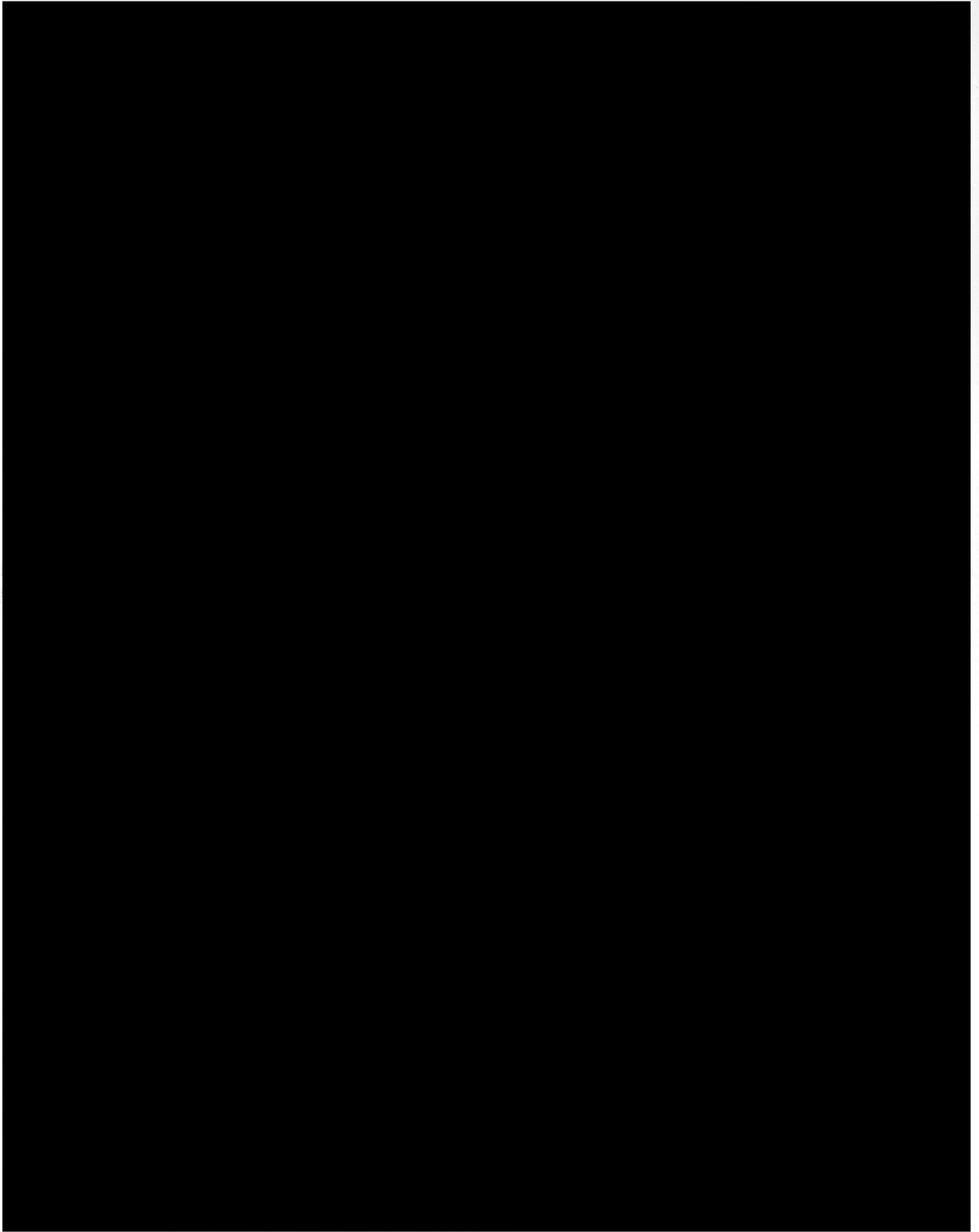


Figure 2 Simplified bedrock geology of the area.

図-2 ハウサウンドの地質 (Hungr & S Kermer, 1998)

図-3 ハウサウンドの本河地形 (G. S. Canada, 1996)

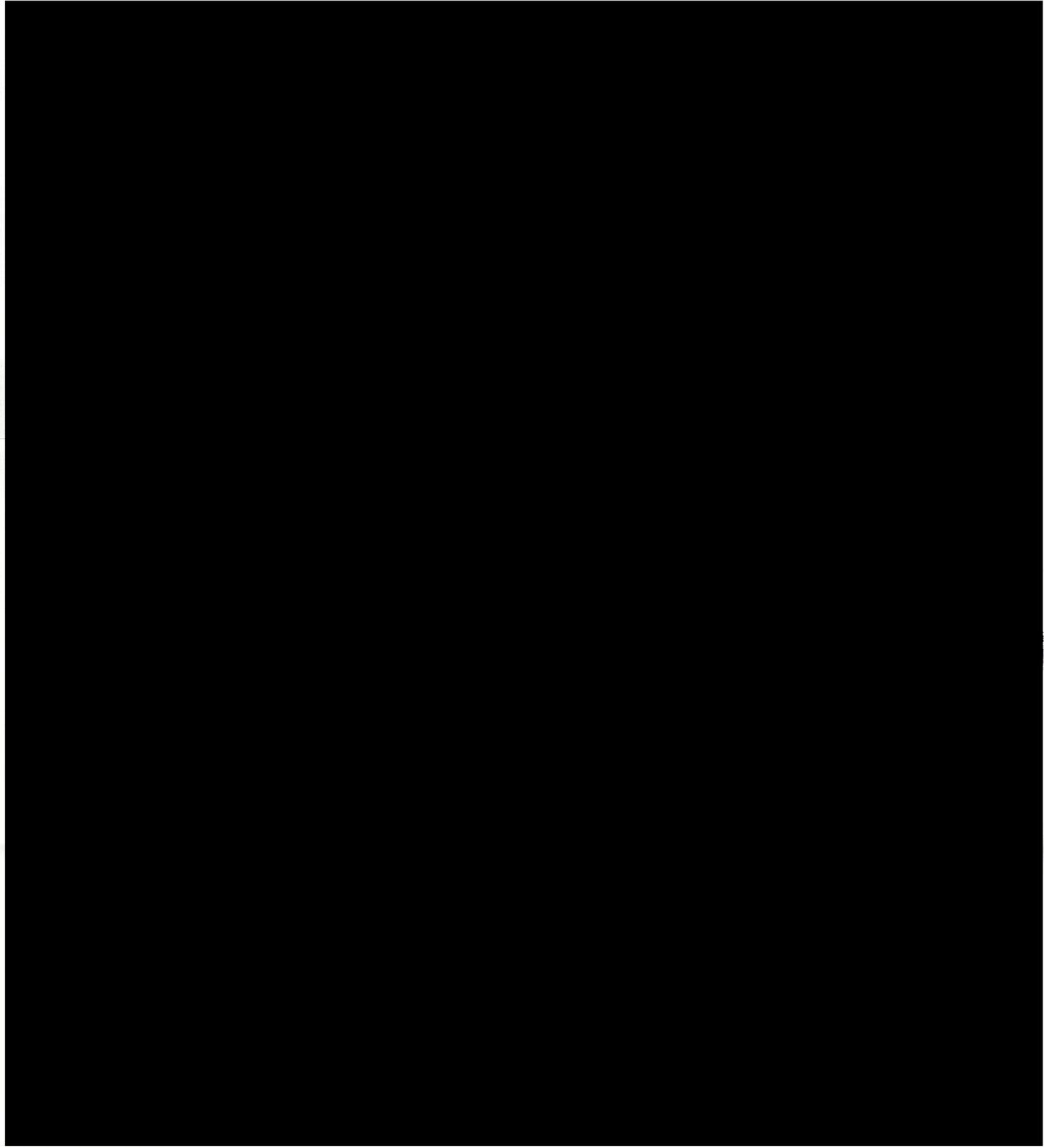


図-3 ハウサウンズの氷河地形 (G. S. Canada, 1993)

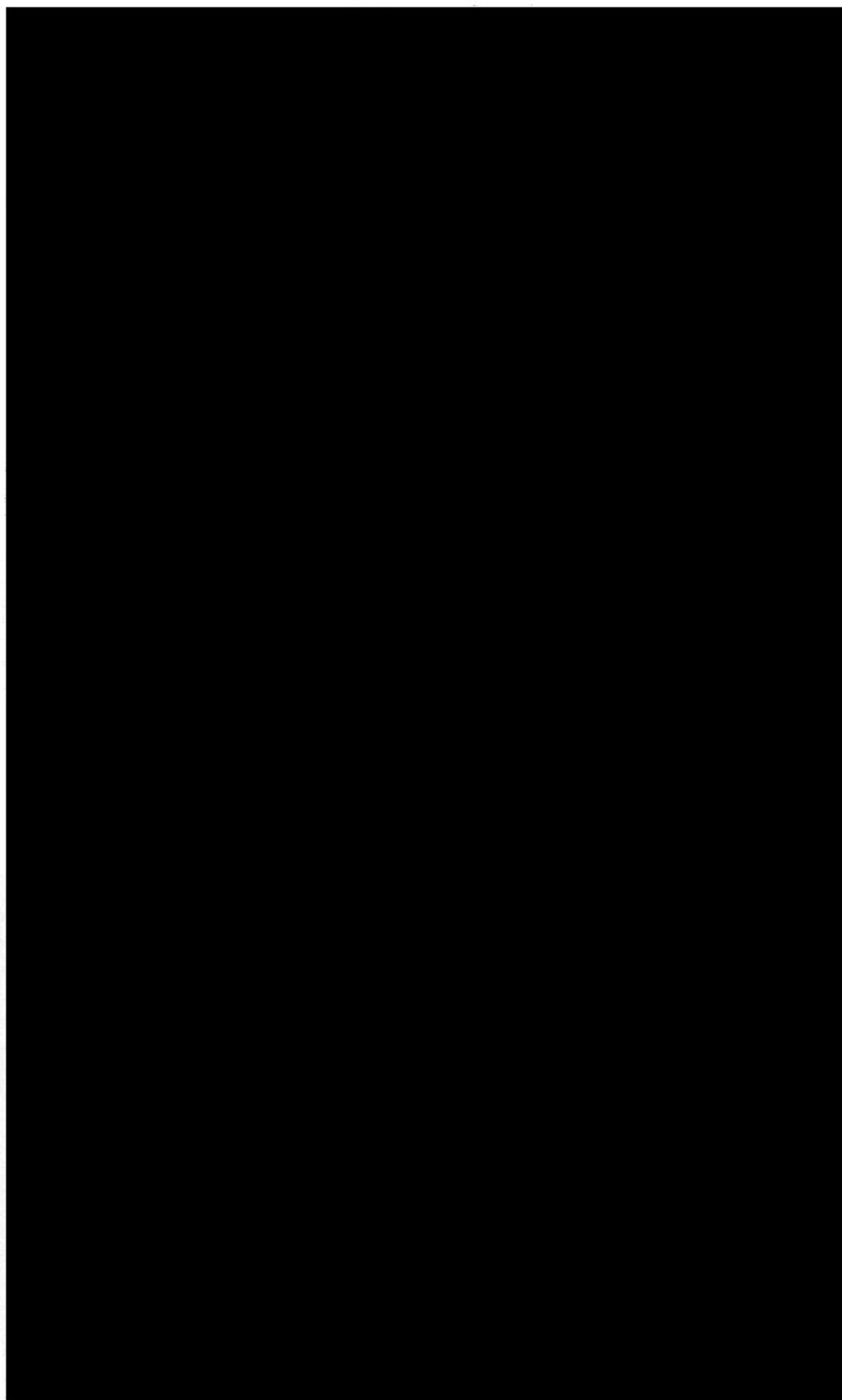


図-4 Garibaldi (ガリバルディ) 火山の地図 (Hungar & S Kermer, 1998)

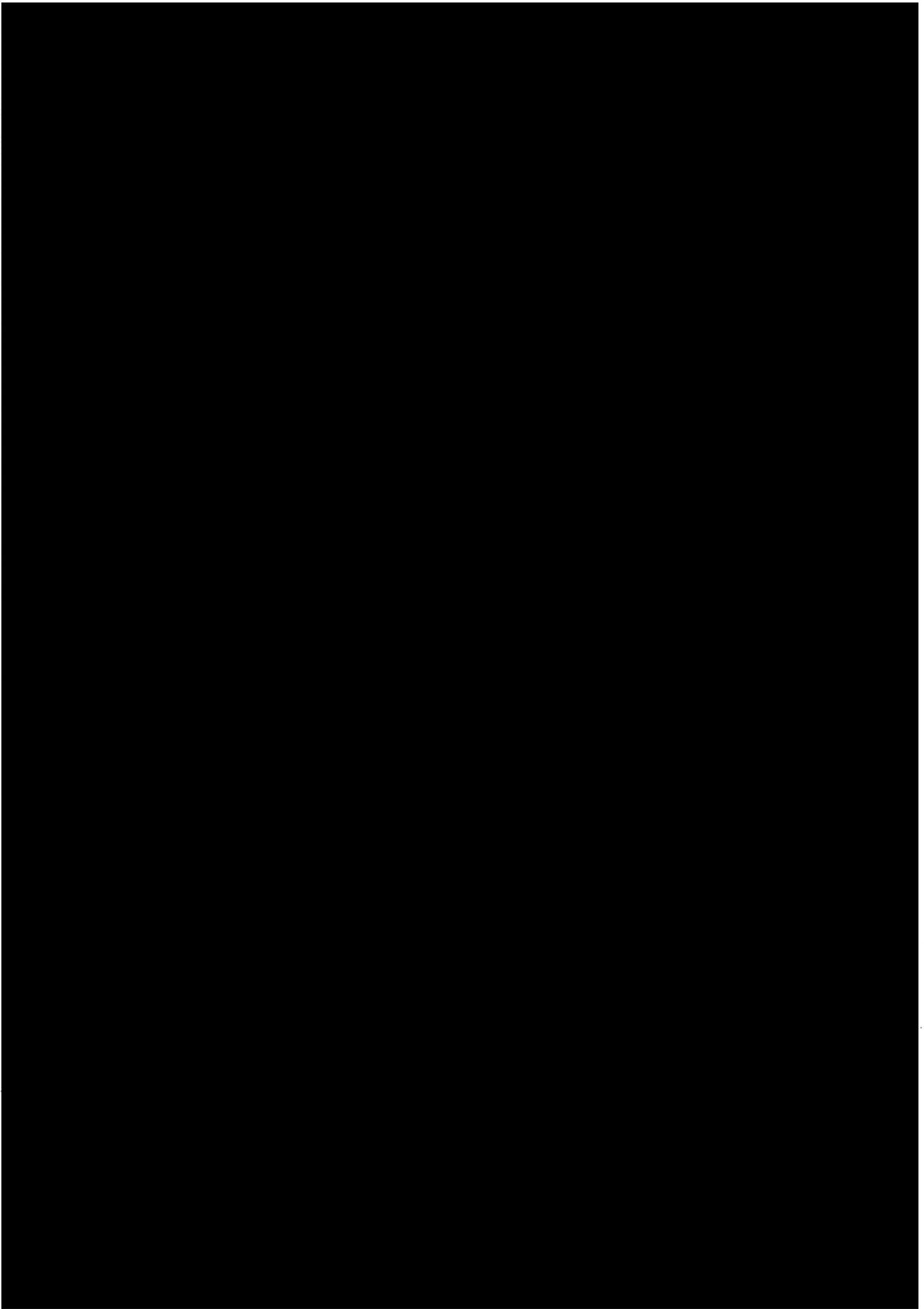
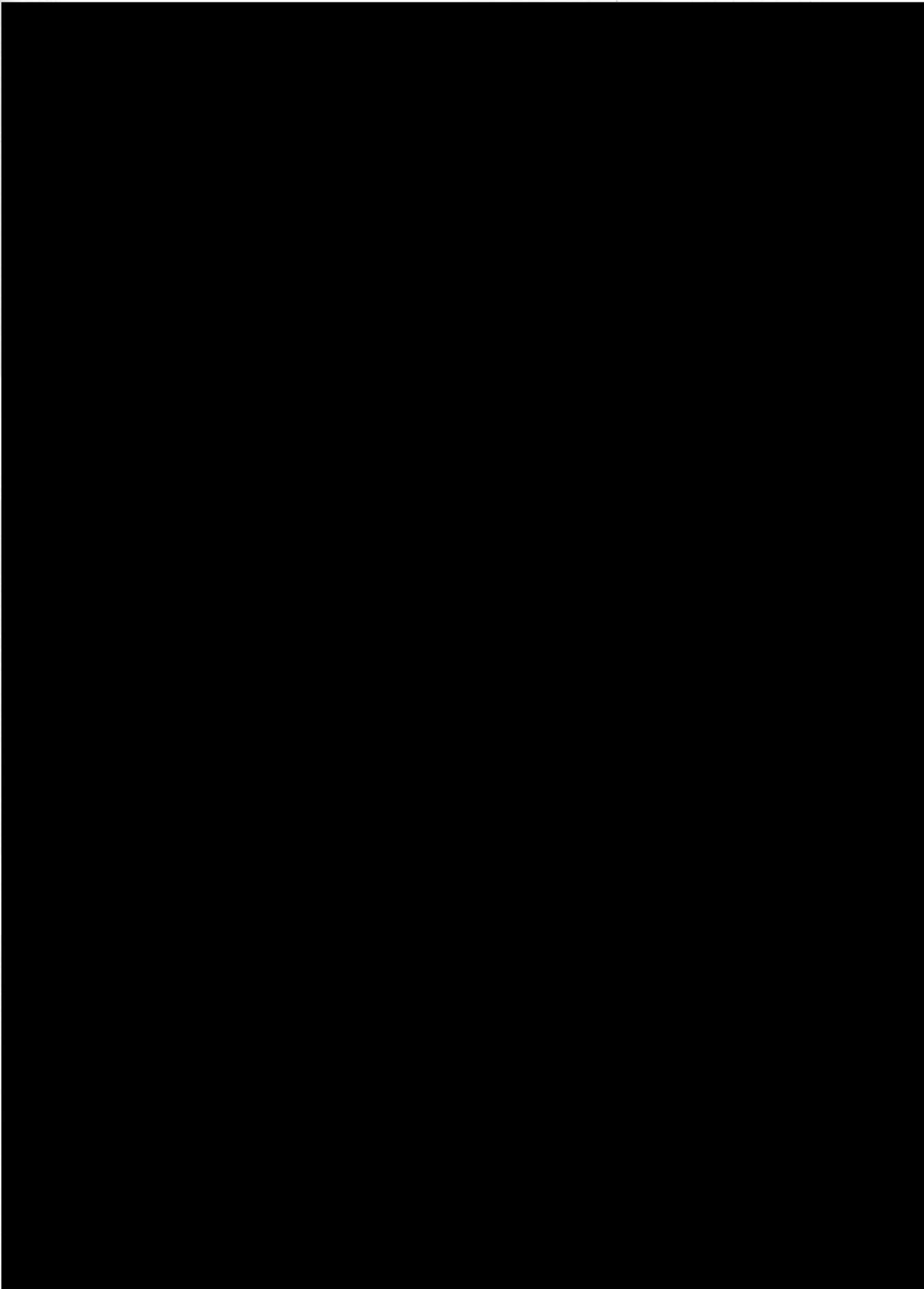


図-5 Mt. Garibaldi の斜面災害 (G. S. Canada, 1996)



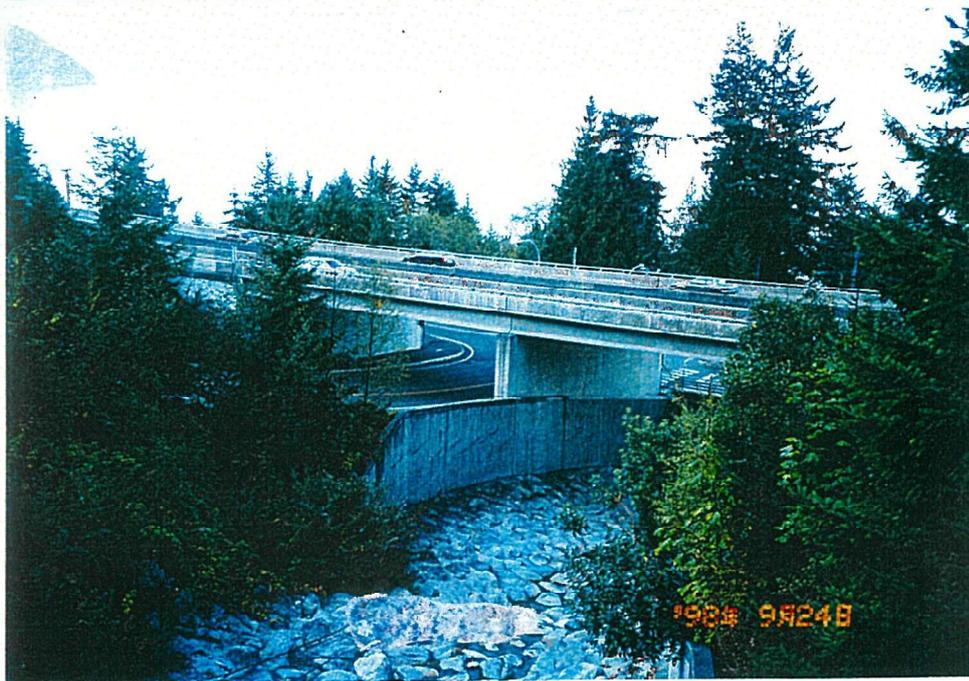
☒ - 6 Rubble Creek landslide (Hungr & S Kermer, 1998)



(STOP 2)
Newman creek の土石
流対策工
最上流の崩壊地から
debris torrent が発
生する。
手前は砂防ダムと流路
工 (床固め)



導流壁と橋梁で
debris torrent の
直撃を避ける



導流壁と橋梁で
debris torrent の
直撃を避ける



(STOP 4)
Porteau Bluffs
ハウサウンドのフィヨル
ルド地形と Porteau
Bluffsの岩盤斜面(右側)



石英閃緑岩からなる
岩盤斜面(流れ盤)から
落石が頻発しているが、
保護工はない。
切土法面はほぼ鉛直で
切りっぱなし。

(STOP 6)

Stawamus Chief のたん崖 (右側)
崖の下には氷河堆積物がある。(崖錐ではない)
遠方の山は Garibaldi 火山 (2678m)



円礫からなる氷河堆積物の上に送電鉄塔がある。
送電線の巡視路は、快適な遊歩道、サイクリングロードとして利用されている。



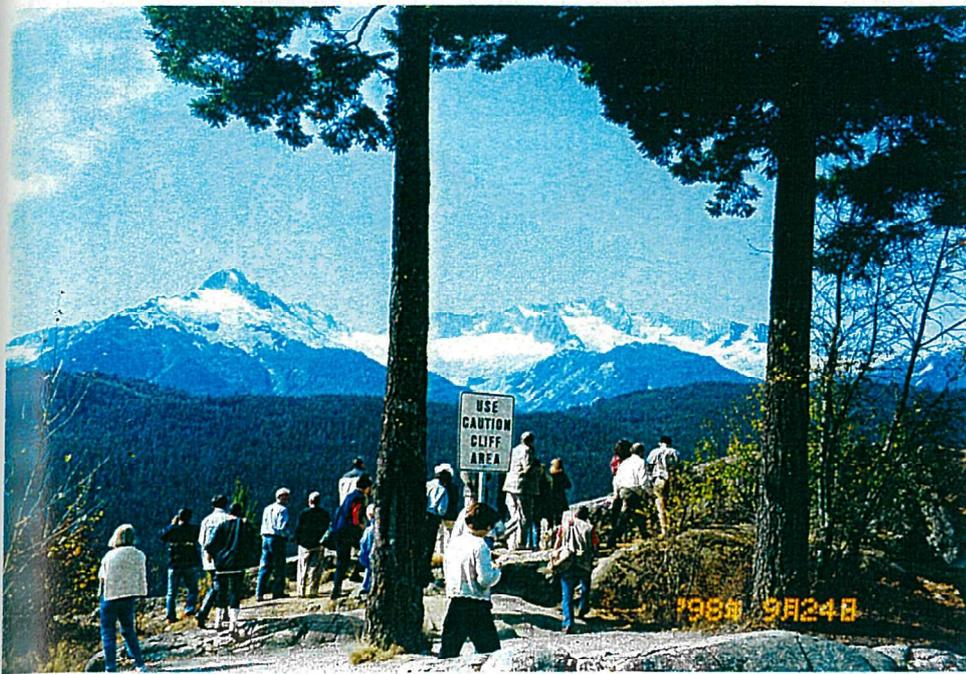
(STOP 6)
Stawamus Chief
石英閃緑岩に形成された
氷河による削痕



同上拡大



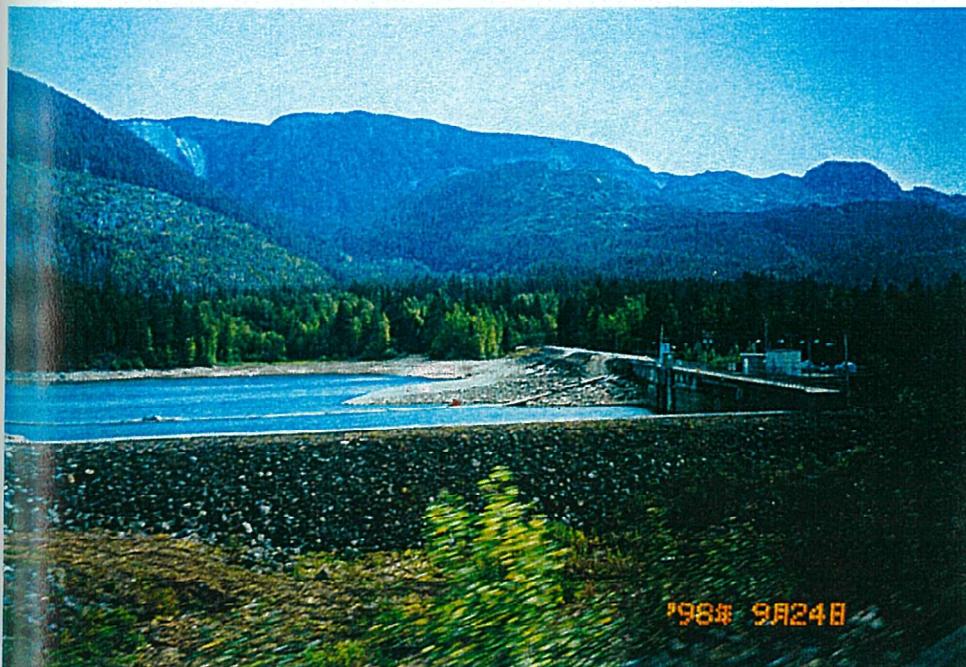
円礫からなる氷河堆積物。
礫積は、石英閃緑岩、花崗
閃緑岩、泥質変成岩、安山
岩など後背地の地質を反映
している。



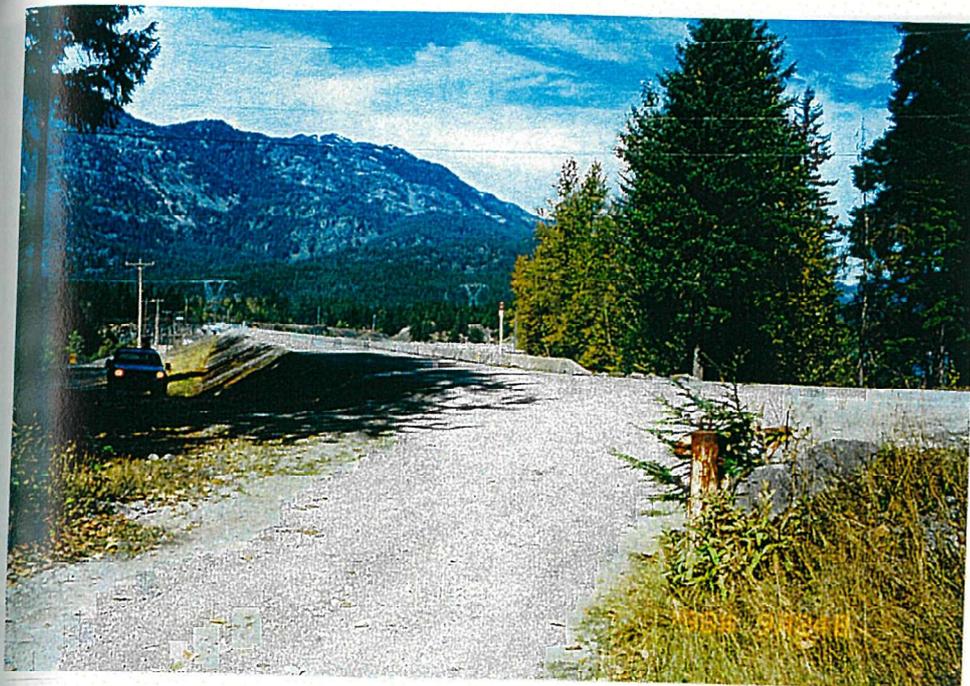
(STOP 7)
Cheekye River の展望台
棚はなく、注意の看板だ
け。全ては自己責任。



氷河と氷河地形
温暖化の影響か年々後退
しているようである。



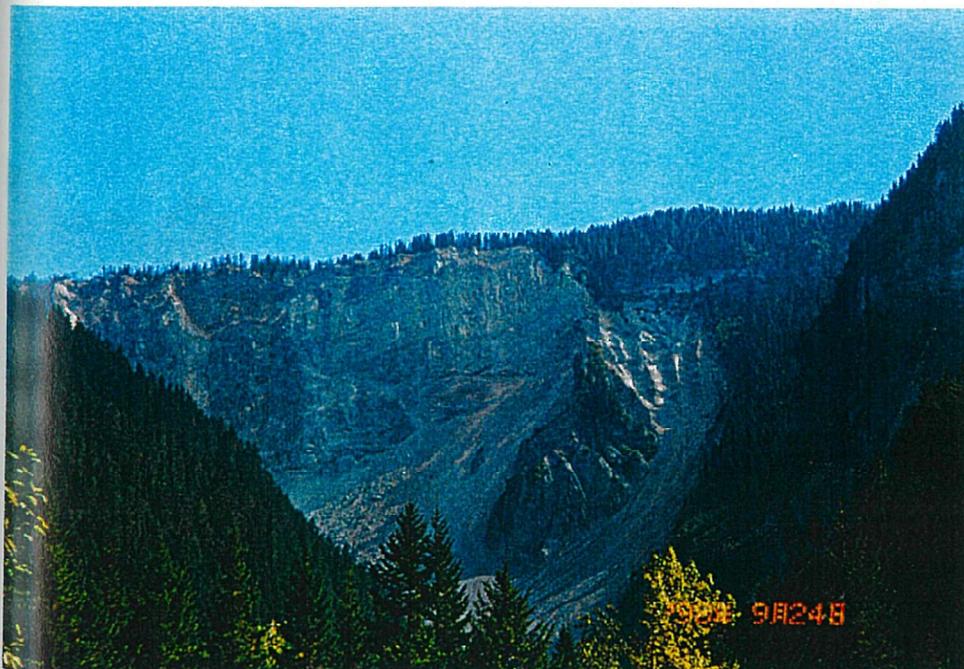
(STOP 8)
Rubble Creek landslide
の上に建設された
テルツァギダム。
背後に The Barrier が
顔を出している。



テルツァギダム



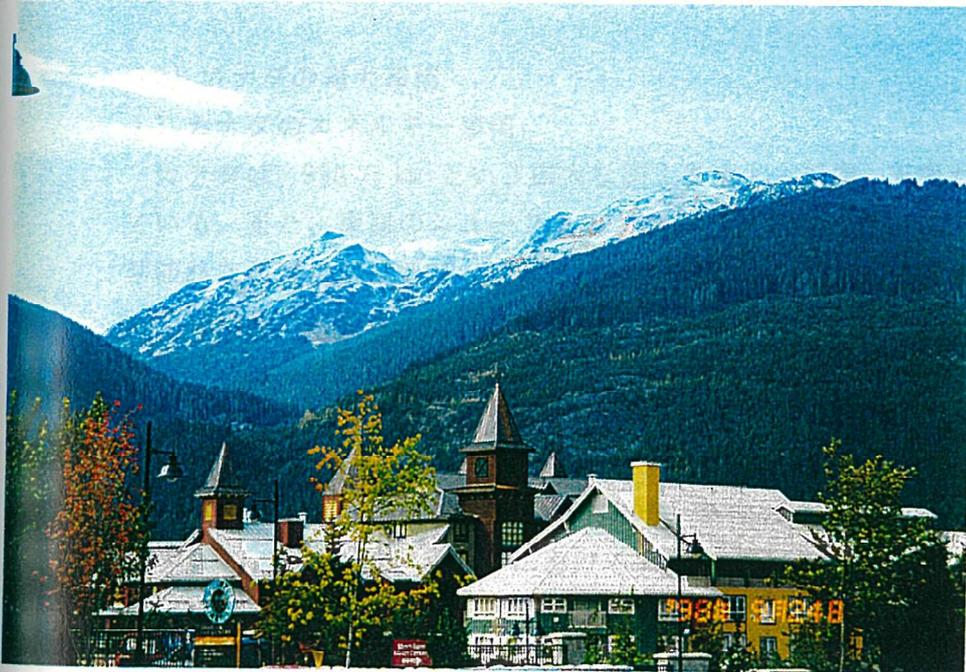
(STOP 8)
Rubble Creek
Rubble Creek landslide
の発生源の The Barrier
を遠望



The Barrier
Garibaldi 火山の溶岩が
大崩壊地を形成している



Rubble Creek landslide
の堆積物
土石流堆積物と区別つか
ない



(STOP 9)
Whistler
美しいリゾート地



ルーマニアの Popescu
教授と記念撮影

6.2 Field Trip: Stave Falls Power Plant Replacement Project part-1

大野裕記（四国電力(株)）

(1) はじめに

テクニカルツアー「Stave Falls Power Point Replacement Project」への参加者は約40名であり、日本からの参加者は、東洋大学田中芳則教授、中央開発石戸谷公英氏と私の計3名であった。内容が、水力発電所のリプレースに関するものであり、限られたメンバーとなったのかもしれない。

なお当水力発電所は、第8回応用地質学会国際会議のスポンサーでもある BC Hydro 所有のものであり、現地においても BC Hydro の技術者（男女2名）による詳細な説明を受けた。以下、テクニカルツアーの内容について報告するが、その前段として、カナダの電力事情等についても併せて掲載させていただいた。

(2) カナダの電力事情

1) カナダのエネルギー事情

カナダは、998万km²という広大な国土を有し、石炭、天然ガスなどの天然資源に恵まれている。また、東部のニューファンドランド、ケベック、中央部のマニトバ、ならびに今回訪れた西部のブリティッシュ・コロンビア州は、水力資源が豊富である。

このため、エネルギー関連産業による経済活動は、カナダの国民総生産（GDP）の約7%を占め、重要な産業の一つになっている。そして、エネルギー生産量の約2/3は、石油と天然ガスによって賄われており、その割合は1970年以降、ほとんど変化していない。

一方、エネルギーの消費については、広い国土をカバーするための輸送及び北方の寒冷的な気候を快適なものにするための暖房が、全体の約40%を占めていることが特徴として挙げられる。表-1に、カナダにおけるエネルギーの需給バランスを示す。

2) 電気事業の形態

カナダの電気事業は、州営、私営、市町村営、自家発電業者などで構成されており、発電設備容量は、州営83%、私営7.5%、市町村営1.6%、自家発電業者5.4%である。カナダの主要な電気事業者を、表-2に示す。

3) 電力需給

カナダの総発電電力量は、1995年現在で、5,348.7億kWhであり、このうち4,915.5億kWhが国内で消費され、残りの433.2億kWhが輸出されている。

そして、燃料別の発電電力量は、表-3に示すように水力が62%、火力が21%、原子力が17%である。

また、カナダの総電力消費量は、1995年現在で、4,989.8億kWhであり、用途別シェアは、表-4に示すように工業用43%、住宅用27%、商業用23%、総配電ロス7%となって

いる。

4) 発電設備

カナダの総発電設備容量は、1995年現在で1億1,550万kWであり、これを電源別で見ると、水力56%、火力30%、原子力14%である(表-5)。

(3) BCハイドロ社の概要

BCハイドロ社は、カナダ西部に位置するブリティッシュ・コロンビア州の州営電気事業者であり、1962年に設立された。同社は現在、カナダ国内ではハイドロケベック社、オンタリオハイドロ社に次ぐ3番目の規模の発送電会社であり、州内43地点にダム61、水力発電所32、火力発電所1を持つ。発電設備容量は、カナダ全体の9%に当たる1,085万kW、発電電力量は、同じく11%に当たる580億kWhで、約150万戸の需要家に電力を供給しており、総収入は23億カナダドル(約2,300億円)、従業員は約6,000人である。

(4) Stave Falls Powerplant Replacement project

1) スティーブフォールズ周辺の水力開発

スティーブフォールズは、バンクーバから東へ65km、スティーブ川とフレイザー川の合流点の北8.5kmに位置している(図-1、2)。当地点は、古くから水力開発の適地として注目され、周辺には3つの貯水池と発電所があり、自然の落差を有効に利用した発電が行われている。(図-3)。平面図(図-2)及び縦断模式図(図-3)に示すように、最も標高の大きいアロエットレイク貯水池の水は、3つの発電所を経てフレイザー川に流入する。

各発電所の最大出力は、以下のとおりである。

- アロエット発電所 ; 8MW
- スティーブフォールズ発電所 ; 52 MW
- ラスキン発電所 ; 105 MW

2) プロジェクトの経緯

スティーブフォールズのダムサイトは、自然の滝が形成されるという地形的特徴をもった場所で、大きなスティーブレイクが30mの落差を持つ滝に接続しているという水力発電には理想的な立地条件であった。

1909年にWestern Canada Power Companyが発電所工事に着手し、1924年までに1~5号機の運転を開始(写真-6)、1925年にはダムのかさ上げ、ならびに洪水吐きの工事を実施して現在に至っている。

この間、約75年間に亘って地域の電力供給の役割を担ってきたが、老朽化が進んで補修が困難になってきた。さらには、現在の安全基準を満たしていない等の問題もあって、結局既存の発電所を廃止し、近傍に新しい発電所を作ることになった。

工事が完成すると、現在の 52 MW は 45 MW × 2 基に増強され、年間の発電電力量は約 350GWh を見込んでいる。

工事は、1995 年に認可を受けて着手し、1999 年 12 月の完成を目指しており、総事業費は 1 億 8400 万カナダドル（約 184 億円）である。

3) ダム・取水口

ダムは、取水ダムと洪水吐きダムの 2 つがあり、いずれも既設のダムを今後とも引き続き用いる（図-4、写真-4）。

ただし、取水ダムは、地元住民の要望で現在 1 車線の天端道路を 2 車線にすることになっており、下流側にロックフィルを継ぎ足して耐震補強を兼ねることになっている。

ダムの諸元を、表-6 に、取水ダムの平面図及び横断面図を図-5~7 に示す。

取水口は、取水ダムの左岸側に新設し、直径 6.75m、延長 200m の導水管を接続する。

表-6 ダムの諸元

項目	洪水吐きダム	取水ダム
ダム高	18m	26m
堤頂長	195m	120m
洪水量	2,700m ³ /s	—
貯水池面積	61.4km ²	
貯水容量	580,000,000m ³	

4) サイトの地質・岩盤状況

サイトの基盤岩は、ほとんどがジュラ紀後期の石英閃緑岩からなり、様々な先第三紀の岩脈が貫入している（図-8、9）。

サイトには、特徴的な 3 つの小規模なシェアーが存在する（表-7）。典型的なものは m 長さは 2~20m、幅は 1~100mm である。

また、特徴的な 3 つのジョイントが存在し、その特徴は表-8 の通りである。

岩盤は A、B、C および D の 4 クラスに分類されており（表-9）、それぞれ Barton の Q 値、Bieniawski の RMR 値で評価（評点）されている。

現地ですべてに岩盤を観察すると、岩盤は非常に良好である。これは、プレスプリットの孔が明瞭に残っていることから十分読みとれるものである（写真-7）。

日本での水力発電所地点と比べてしまうが、地形の良好な所（水の豊富さ含む）で、岩盤も良好な場所との印象を非常に強く受けた次第である。

5) 支保工

上記のように、岩盤は新鮮・堅硬でジョイントも少なく非常に良好であり、オープンカット法面はほぼ直切りのものが多く、支保工としてはロックボルトと吹き付けコンクリート程度である（写真-7、10、11）。ロックボルトは長さ 2.6m あるいは 3.6m のものが用い

られているが、その打設は、地質状況に応じて実施されている（写真-12）。

また、ロックボルトでも特徴的なのは、オープンカット法面に打設するロックボルト総数のおよそ5%のものは、天端あるいは次のベンチの天端からほぼ鉛直に、次の発破の前に打設されている（写真-8、9）。

なお、吹き付けコンクリートも全面に施工しているのではなく、地質状況に応じて実施されている。

このあたりに、BC Hydro の従業員総数約6000名のうち水力部150名、更にこのうち50名が土木で22名が地質という構成が反映されているものと思われる。

6) その他（ツアーを振り返っての雑感）

①受付状況

ツアー当日の朝集合場所に行くと、昼食用のパンと飲み物を配布される。なかなかシンプルである。

バス付近に案内役の女性が一人いて、大きな声でコースの名を叫んでいる。こちらから話しかけて確認すると、このバスに乗れと指示される。バスにはコースの名称も何も表示していない（写真-15）。バスに乗り込む際にも名前の確認も何もない。時間がくればあっさりと出発。時間に遅れるのは個人の責任か。よく言えば合理的、悪く言えばおおざっぱ。

思わず日本での同様のテクニカルツアーの段取り状況と比べてしまう。日本であれば、バスにはきちんとコース名を表示して、あるいはバス付近にプラカードか何かで表示して、なおかつメガホンか何かでアナウンスして、更に担当者が参加者名簿を持ち、乗り込む際にはマーカーでチェックする。一人でも来て無ければ担当者は探し回る。バスの出発時間は大抵の場合若干遅れる。

どちらが良いのか直ちには判断しかねるが、全てにおいて合理的であり、責任は個人が負っているのは確かである。担当者としては合理的な方が楽であるが、これは、ある意味で文化の違いか。

なお、このような状況は研究発表会での段取り状況でも同様であり、自分の発表に関することは自ら質問し確認しないと、事務局からは何の連絡もない。全ては各自の責任である。

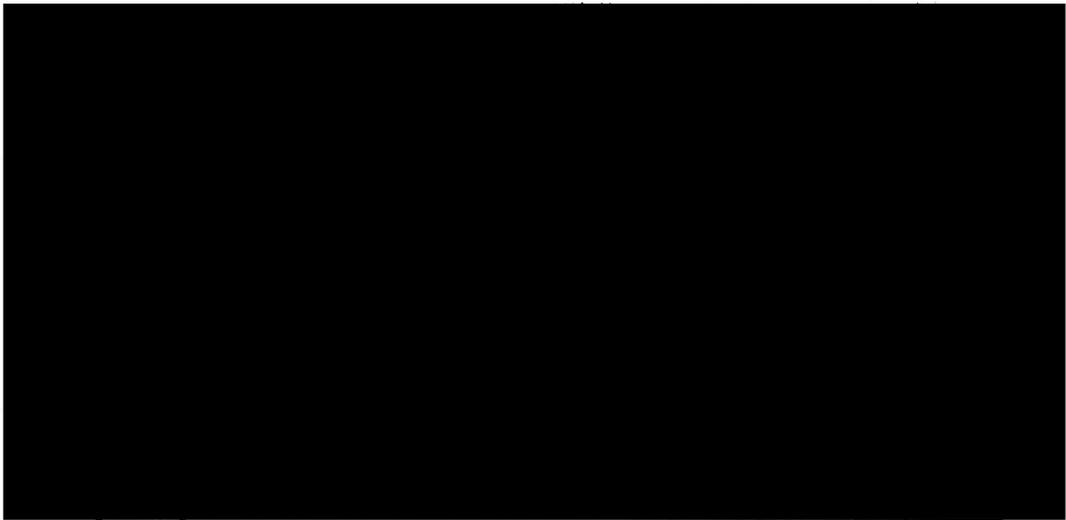
②参加者

参加者には婦人同伴の方が多く、日本でのツアーとは若干異なった雰囲気であった（写真-2）。我々のツアーにはいなかったが他のツアーには子供連れのファミリーも見受けられる。

現地ではヘルメットを配布されたが、婦人も一緒に全ての工程を視察する様子は、一種異様な雰囲気にも思えた。なお、このように感じるのは日本人だけで、外国では当たり前なのかもしれない。

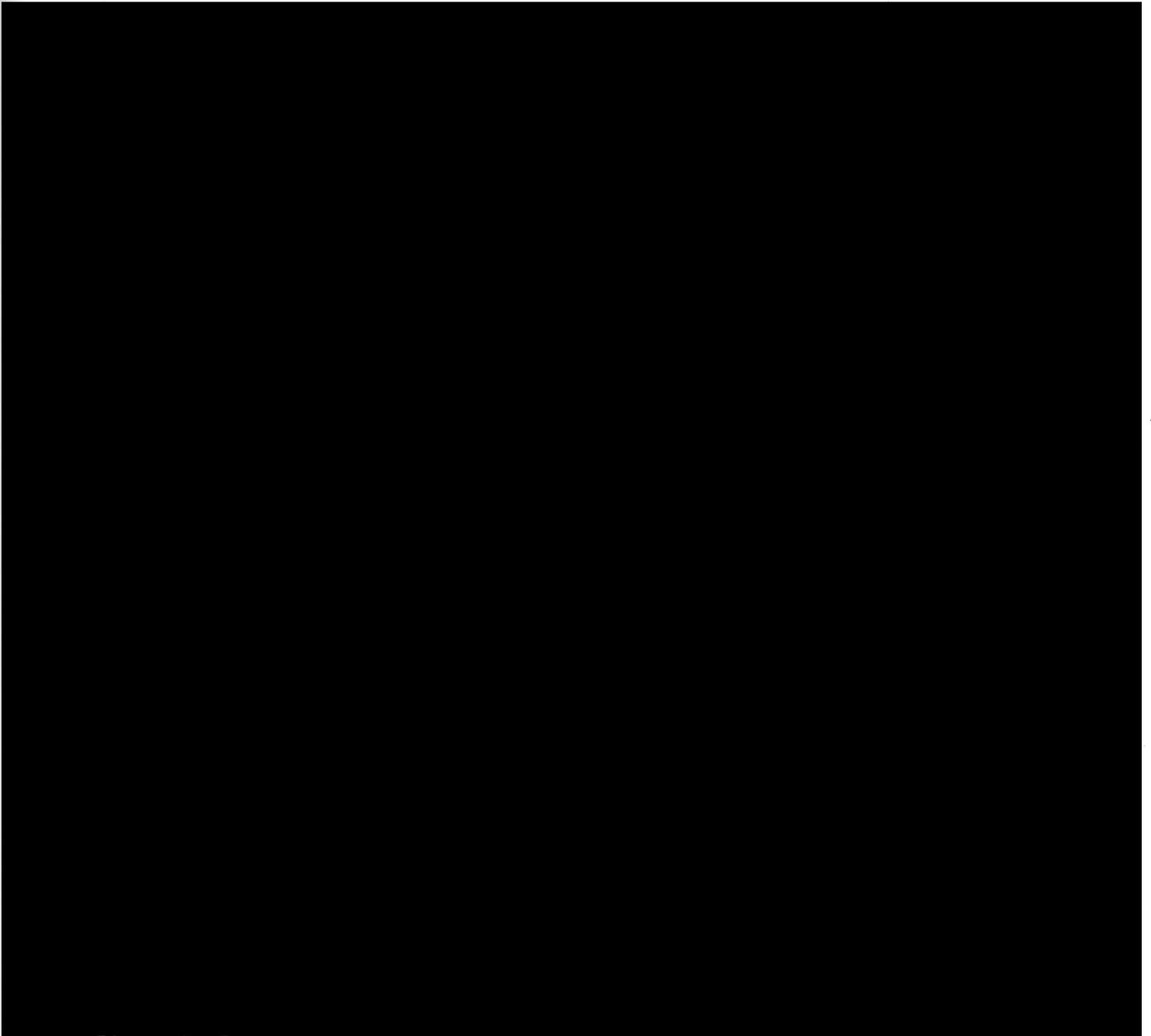
③説明者他

表 - 1 エネルギー需給バランス

A large black rectangular redaction box covering the content of Table 1.

[出所] 天然資源省インターネットホームページより作成

表 - 2 カナダの主要電気事業者

A large black rectangular redaction box covering the content of Table 2.

[出所] Electric Power in CANADA, 1995, 1994

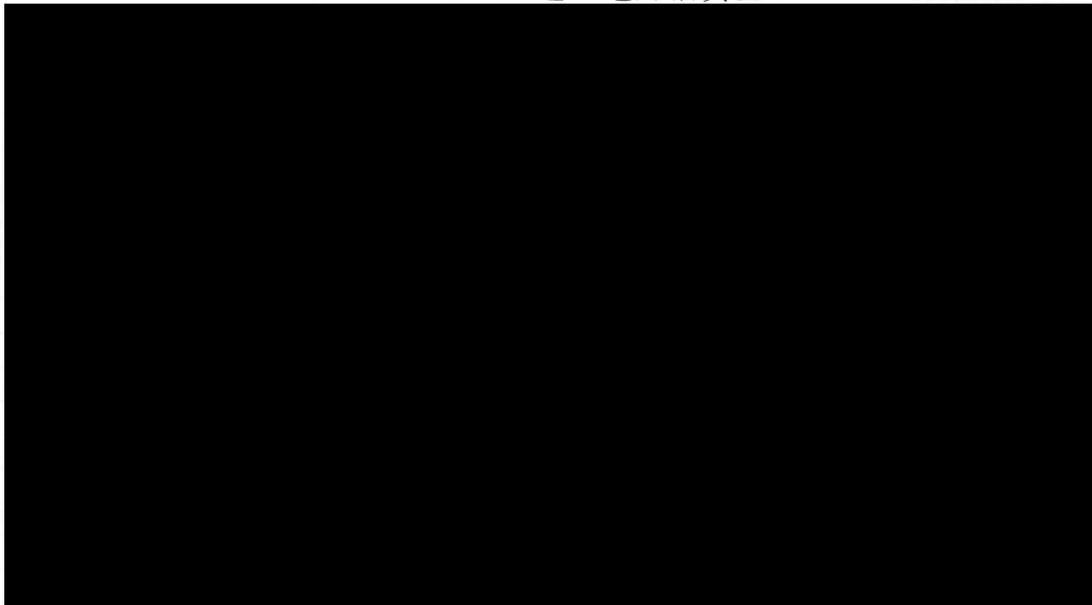
表-3 燃料別発電電力量



[出所] Electric Power in CANADA, 1995.

Slake Range (deg.)	250 to 280	0 to 360	350 to 000
Dr. Range (deg.)	70 to 90 - N & S	5 to 20	70 to 90 - E & W
Lat/lon (m)			2 to 20

表-4 用途別電力消費量

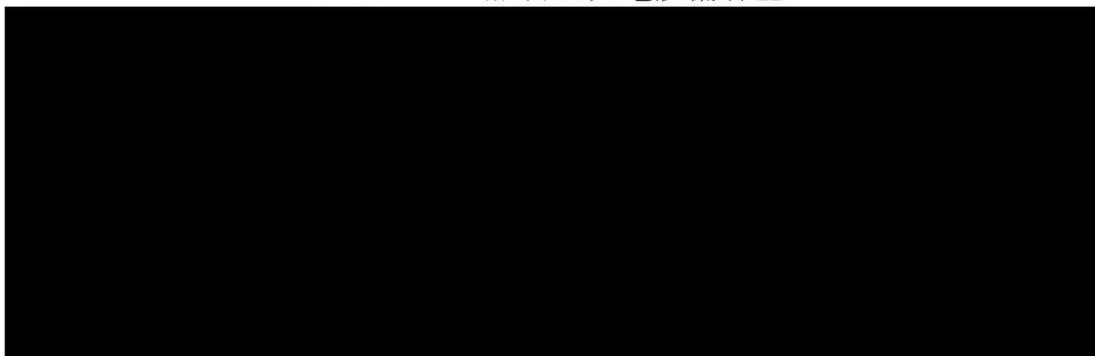


[出所] Electric Power in CANADA, 1995.

(注1) 1995年の数値は暫定値

(注2) カッコ内は総消費電力量に占める用途別の構成比率

表-5 燃料別発電設備容量



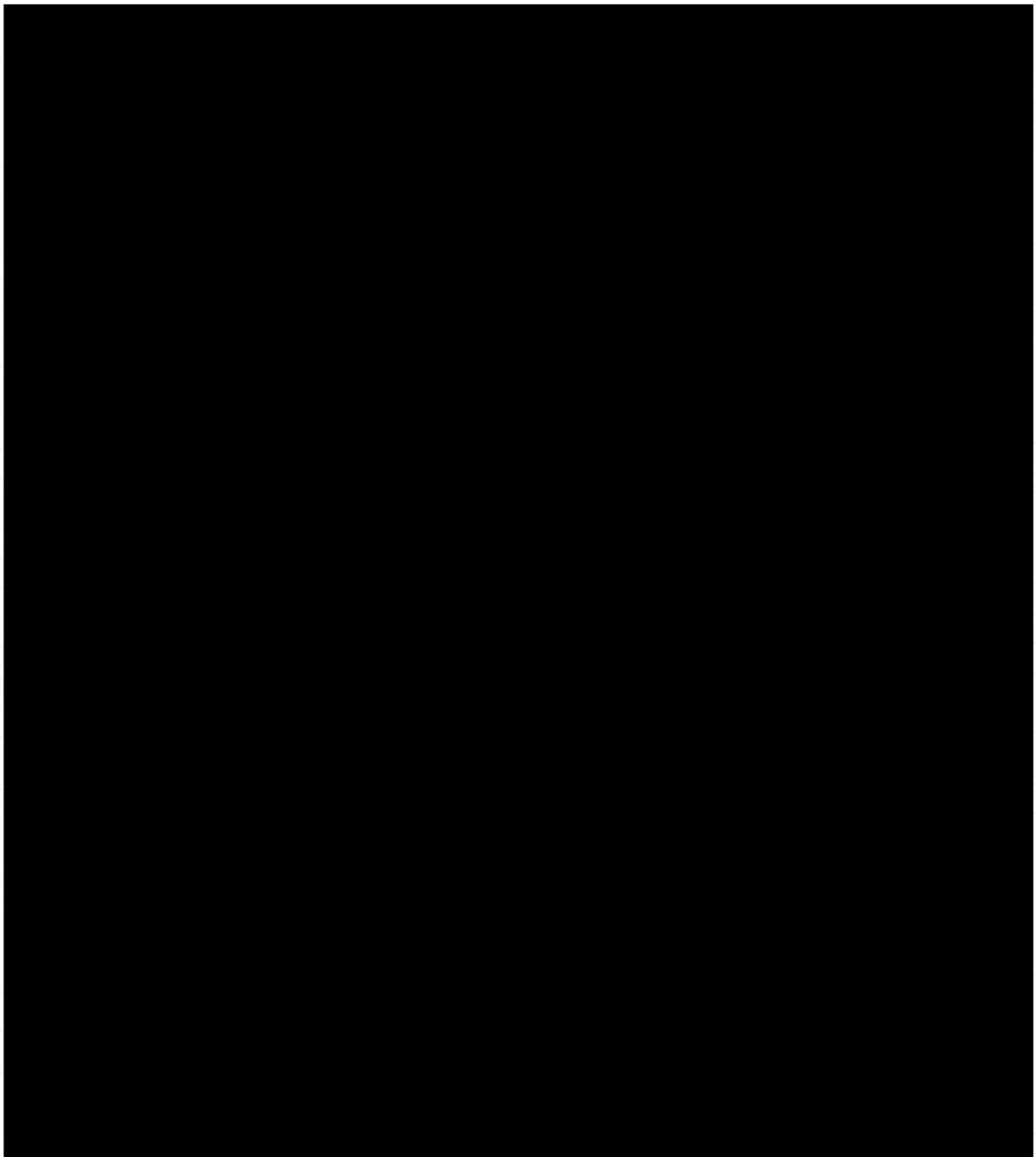
[出所] Electric Power in CANADA, 1995.

表-7 SUMMARY OF GENERAL SHEAR CLASSIFICATION

100 to 200	75 to 200	75 to 200	5 to 20
------------	-----------	-----------	---------

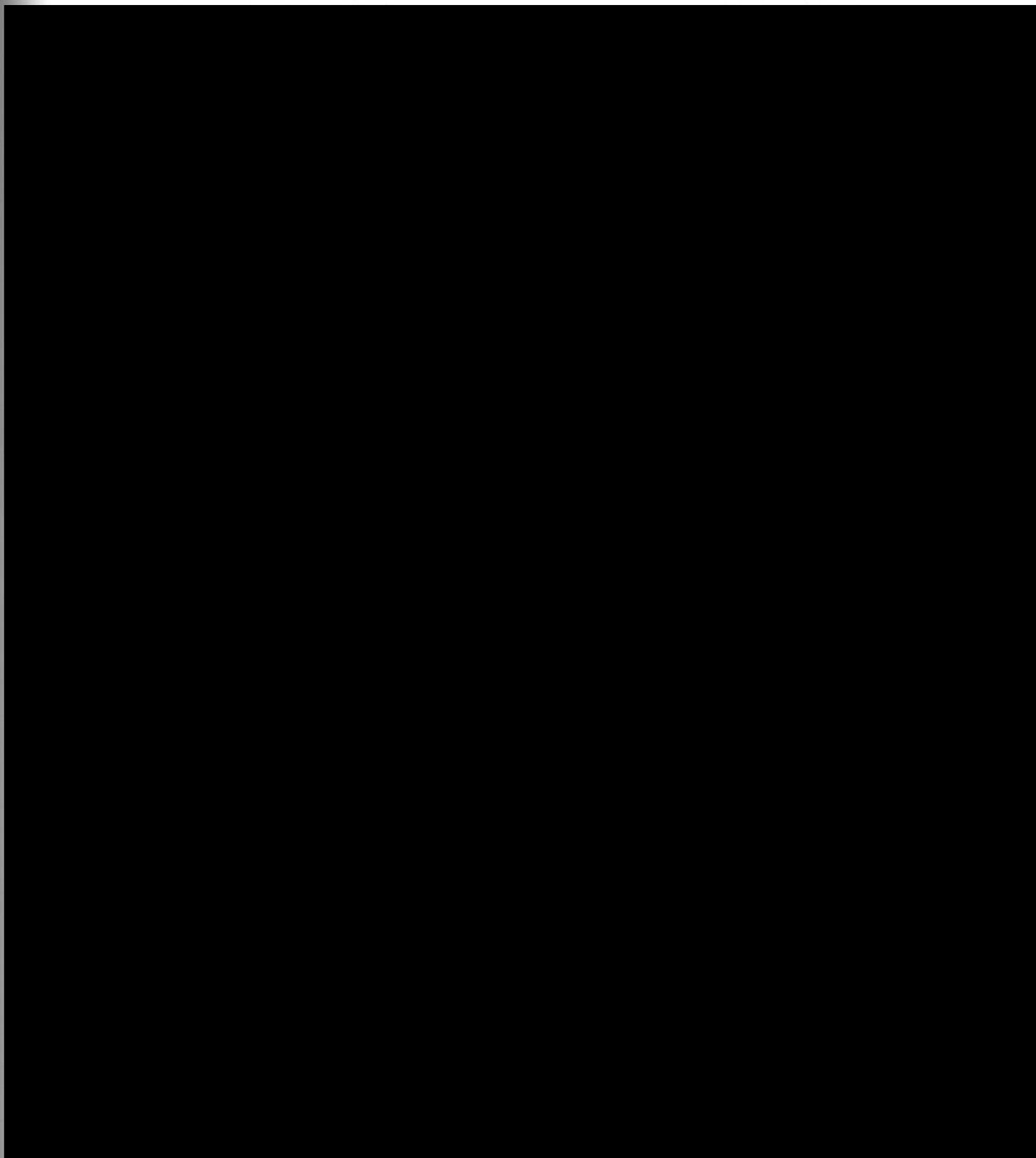
NOTE:
 1. 100 and 200 values are based on 200 mm (8 inch) diameter
 2. 5 to 20 values are based on 75 mm (3 inch) to 150 mm (6 inch)

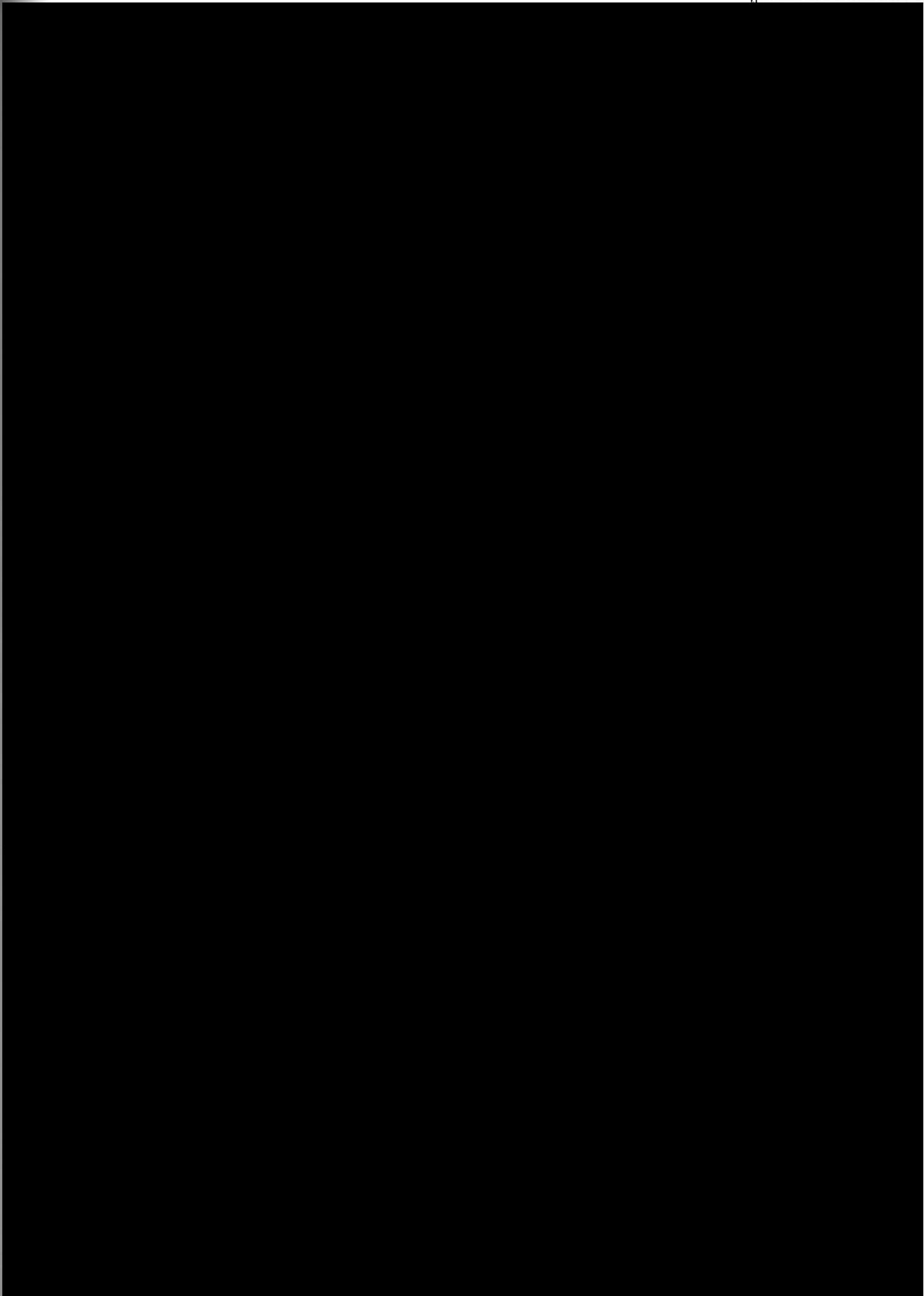
表-8 SUMMARY OF JOINT CLASSIFICATION



Symbol	$\Phi_j = 30$ degrees, $C = 0.1$ MPa	$\Phi_j = 35$ degrees, $C = 0.1$ MPa	$\Phi_j = 55$ degrees, $C = 0.1$ MPa	$\Phi_j = 65$ degrees, $C = 0.1$ MPa
Rock Mass Deformability	30 to 75 GPa	30 to 40 GPa	10 to 15 GPa	25 to 5 GPa
Rock Mass Fusion Rate	0.2	0.2	0.25	0.25
Rock joint Hydraulic Creep (Estimated)	(1 - 5) E-6 cm/sec	(25 - 75) E-6 cm/sec	(100 - 200) E-6 cm/sec	(50 - 300) E-6 cm/sec

表-9 SUMMARY OF ROCK MASS CLASSIFICATION





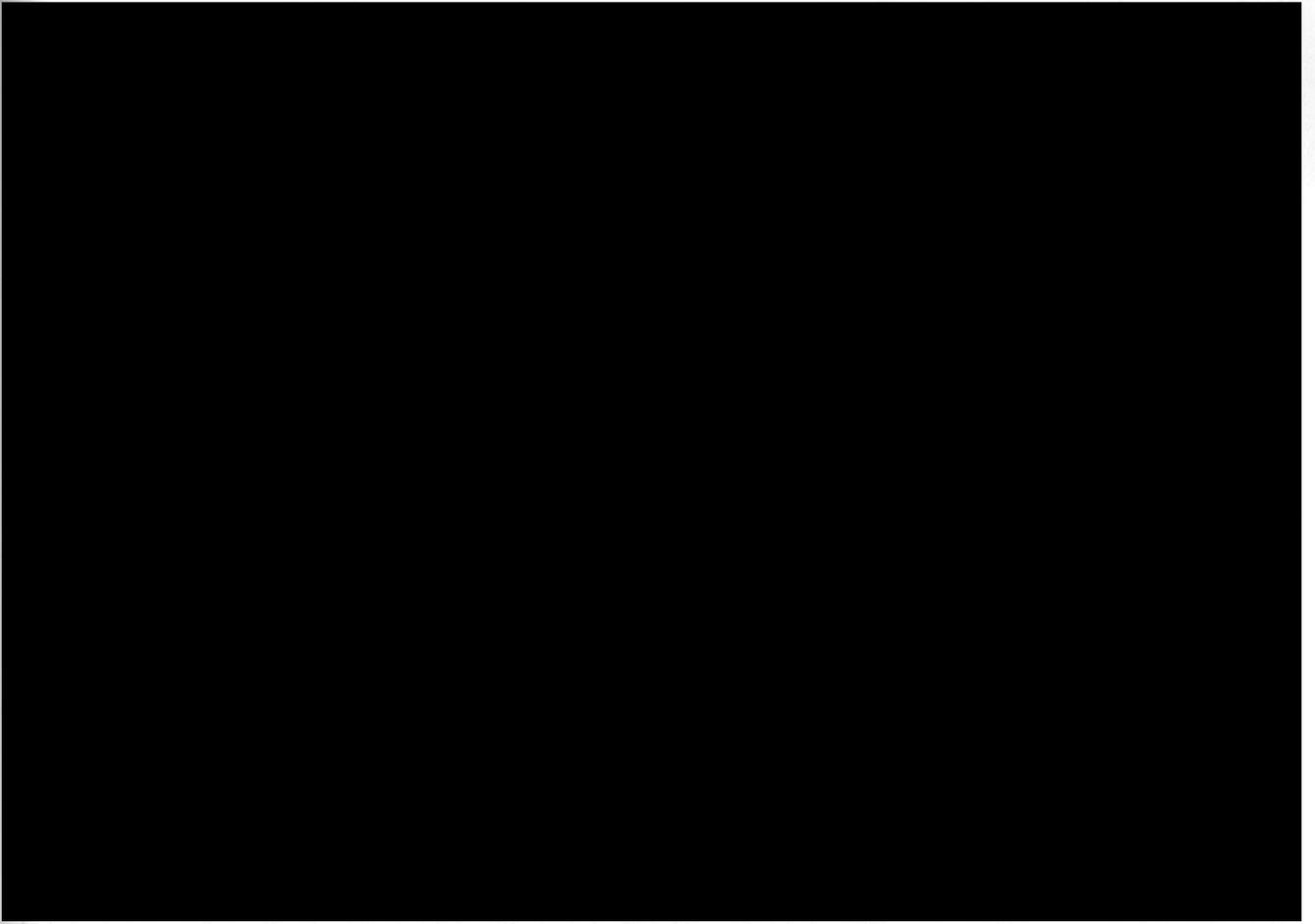


図-5 取水ダム平面図

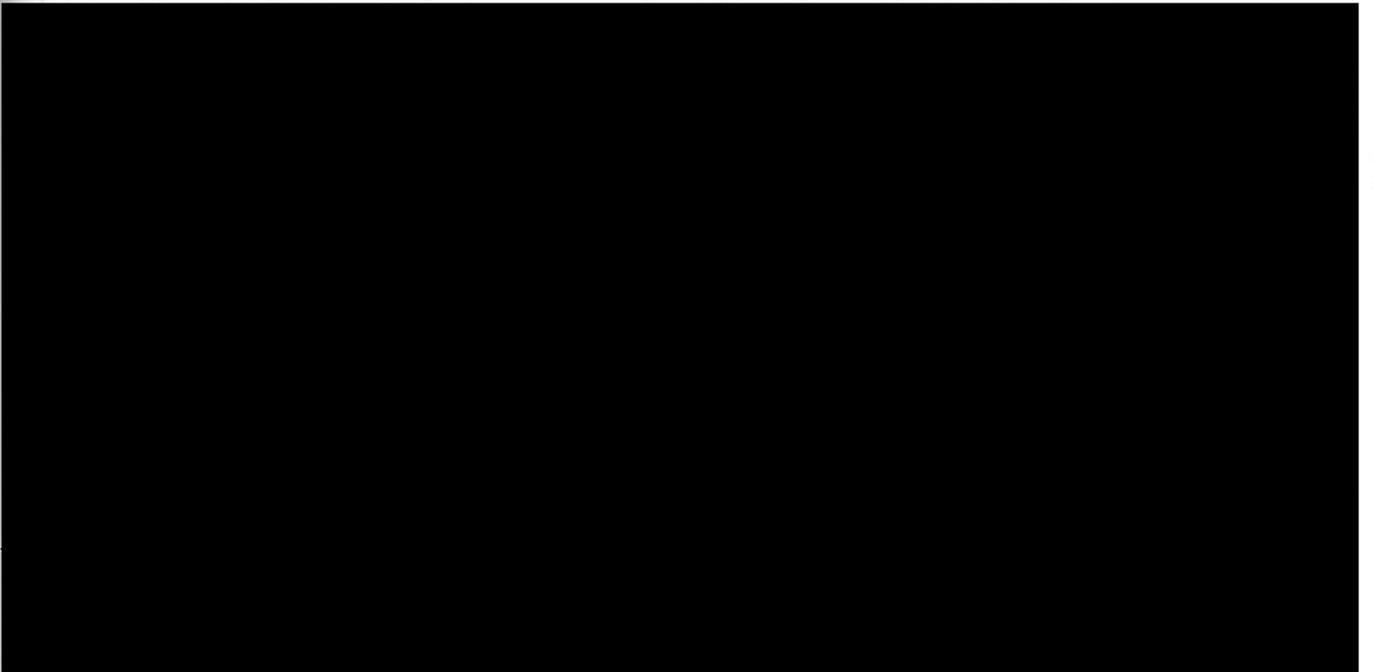


図-6 (A) - (A) 断面

図-7 (B) - (B) 断面



写真-1
 現地での事前説明
 左端がBCHydro説明
 Gパンにシャツ、ヘルメット



写真-2
 参加者
 婦人同伴が目立つ

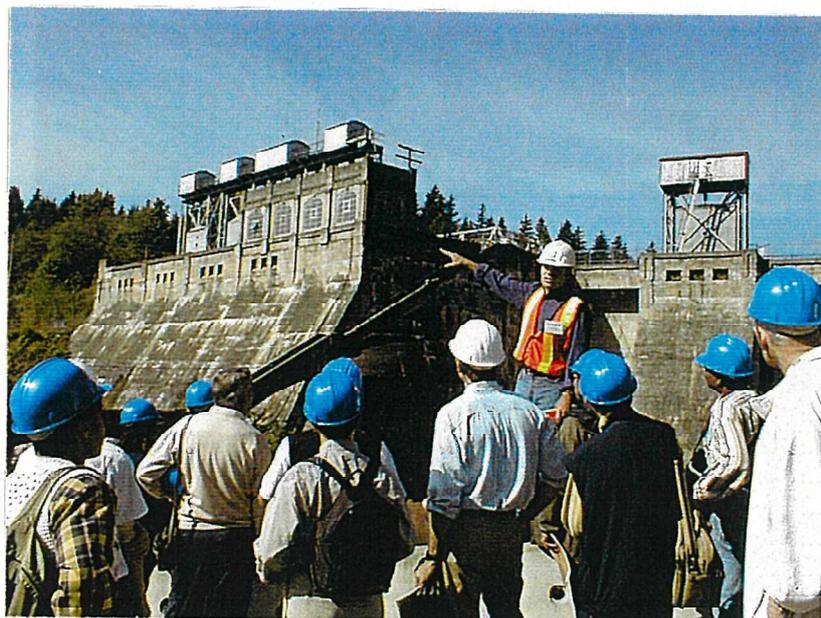


写真-3
 現ダム前にて
 説明を受ける参加者



写真-4
現ダム全景
(取水ダム)
手前の鉄管は増設



写真-5
当初の鉄管4本
増設の鉄管1本
増設の引き回し方が
合理的(強引)
全般に錆が目立つ



写真-6
フランシスタービン
手前4基が当初
一番奥が増設分
合計5.2MW

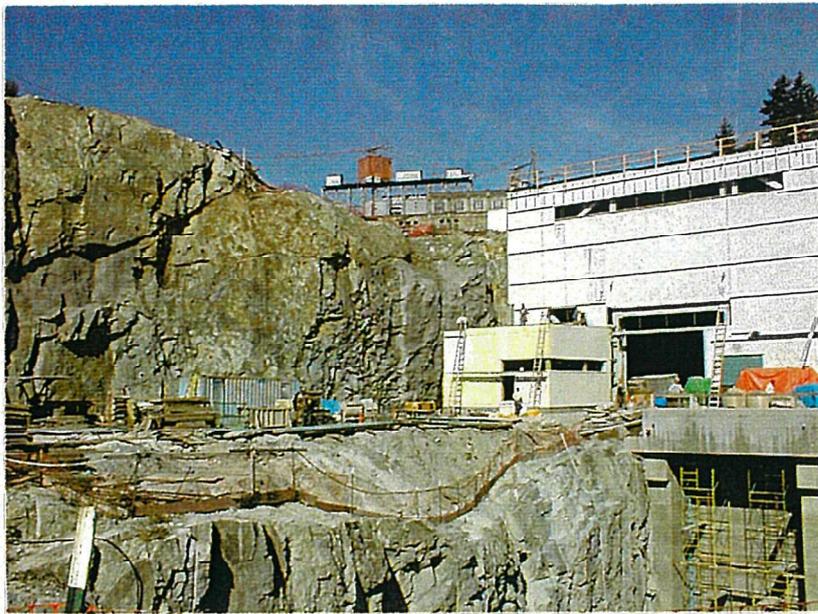


写真-7
右側が新しい発電
直壁は良好な岩盤
(プレスリットの間が
残っているのが良
好な岩盤の証し)

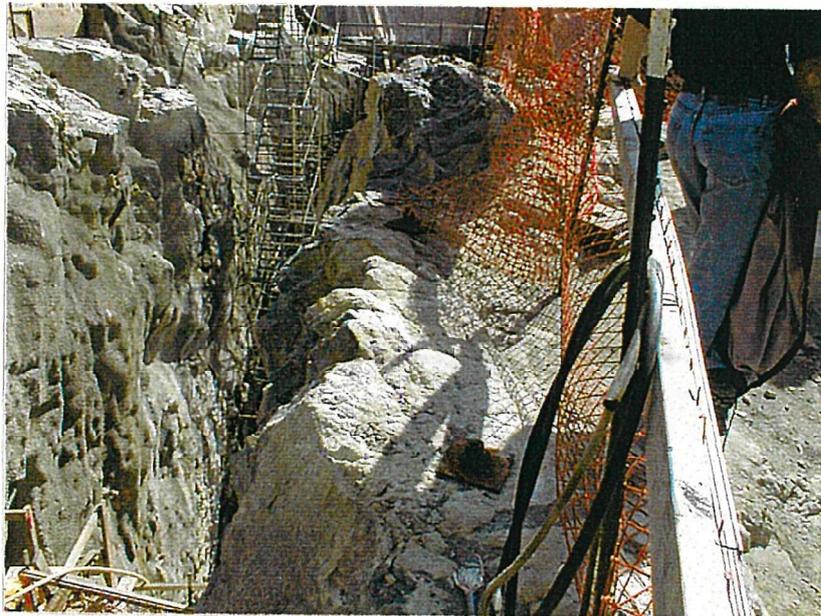


写真-8
法肩に鉛直方向に
設されたロックボルト

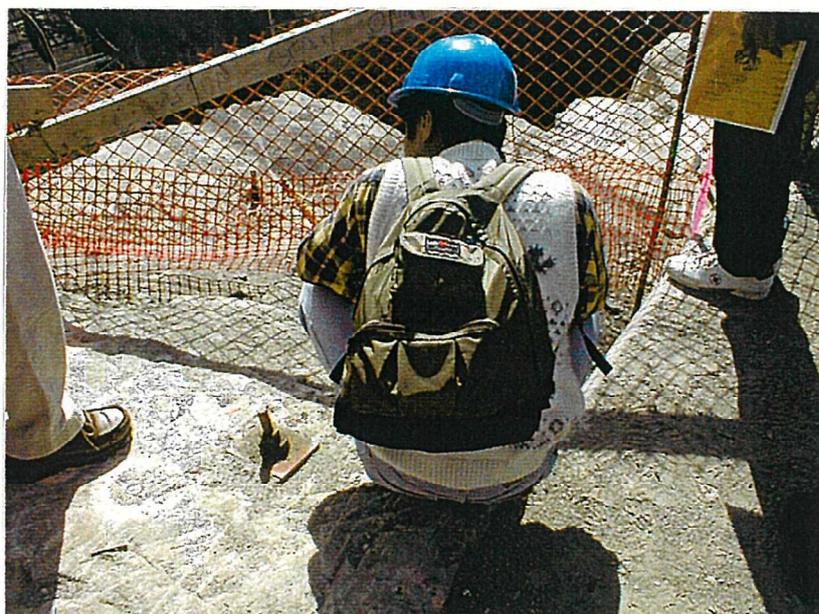


写真-9
法肩に鉛直方向に
設されたロックボルト



写真-10
取水口掘削面
写真奥の貯水池との間には岩盤の壁を残しており、完成後に除去
(止水グラウトは実施していないが漏水は少ない)



写真-11
同右壁面
右手が取水口呑み口
ダム天端標高から取水口底部まで約26m



写真-12
発電所内部壁面に打設されたロックボルト



写真-13
漏水状況
2箇所集水

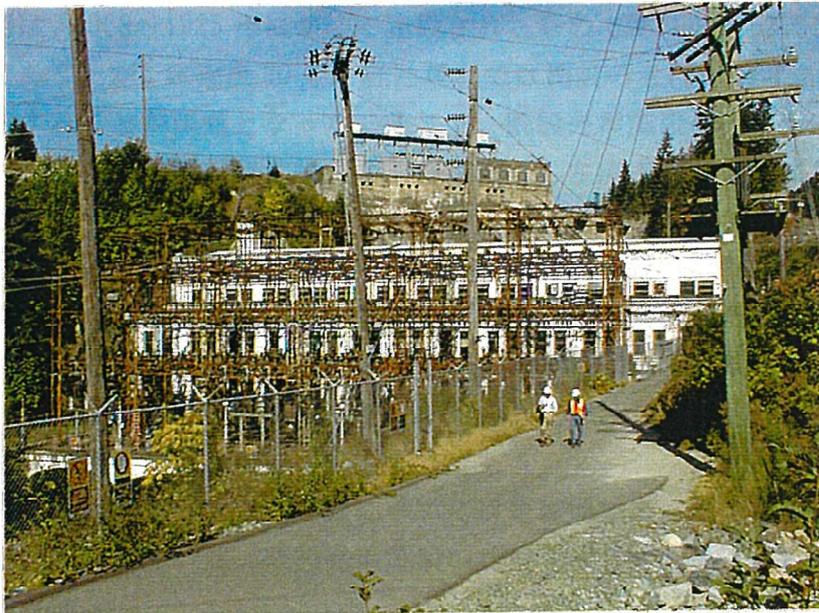


写真-14
錆が目立つ施設
(現在の開閉所)



写真-15
テクニカルツアー用バス
コース名等の表示なし

6.3 Field Trip: Stave Falls Powerplant Replacement Project part-2

(コースー10 スティープホール発電所の新設プロジェクト)

石戸谷公英 (中央開発(株))

(1) はじめに

9月23日のテクニカルツアーでは、BC Hydroが行っているスティープホール発電所の新設プロジェクト箇所の見学に参加した。場所は kongress 会場であるバンクーバーから東に約65kmの地点であり、バンクーバー市の南端を流下するフレーザー川の右支川にあたっている。

本報告では、プロジェクトの概要を述べるとともに、現地の岩盤状況、施工状況について写真を添えて説明する。また、参加者の感想についても若干述べる。

(2) プロジェクトの概要

既設発電所は、1909～1925年にかけて建設されたものであり、計52.5MWの発電出力を有するものであったが、建設後80年を経た現在では施設の老朽化が目立ち、当初計画通りの運転を維持することが困難となった。そこで、既設発電施設の改修および新規開発を多方面から検討した結果、既設発電設備の改修を断念し左岸寄りの箇所に発電所を新設することになったようである。新設プロジェクトは、進入路、発電力90MWの発電設備(1基45MW×2基)、導水路トンネル2本、取水設備、変電設備からなっている。

プロジェクトのこれまでの工程は、予備設計が1991～1994年に行われ、建設工事が1995年に着手されている。現在は2本の導水路トンネルが完了し、発電所地点、取水口箇所が施工されていた。今後のスケジュールは、1999年までにすべての施設建設を完了し、同年内に試運転および運転開始となっているようである。

既設設備の改修は断念したが、ダムについては運転開始後に耐震補強(ロックフィルによる)する予定となっている。既設発電施設の状況を写真一8～11に示した。

(3) 貯水池と発電使用水量について

当ダムの貯水池にダムから北側に向かって約30kmの範囲まで広がっており、その貯水容量は4億8300万 m^3 である。ダム高はせいぜい50m程度であったことから、河川勾配が日本とはまったく違うということを実感させられた。また、発電に使用する水量は $140m^3/sec \cdot 1基 \times 2基 = 280m^3/sec$ であり、日本だと比較的大きな河川の本川でないと計画できない水量と思われる。ちなみに、阿賀野川中流域に設置されている東北電力の豊実および第二豊実発電所が、それぞれ最大使用水量 $270m^3/sec$ となっている。

(4) 地質概要および岩盤状況

地質はジュラ紀の石英閃緑岩が主体をなし、これに先第三紀の岩脈(変質した玄武岩、割れ目の多い角閃ひん岩等)が貫入している。岩盤状況は、写真一2に示す通り全般に割

れ目が少ない良好岩盤であった。したがって、掘削に際しても、無保護に近い状態で、かつ急勾配で行っていた。

岩盤特性の記載においては、各種試験値に加えて、割れ目の要素を組み入れたQシステムやRMR法等も用いている点（6.2を参照）が印象に残った。ただし、当サイトでの割れ目系は3つであり、かつ写真に示したように割れ目の数が少ないので上記のようなシステムが摘要し易いのであって、日本の岩盤（最近のサイト）で同様な作業を行うとしたら、かなりの労力を要することは容易に想像できた。

（5） 施工状況

現地では発電所地点の掘削壁面の状況、取水口部の施工状況も見学できた。写真-3に掘削面の状況を示したが、掘削面の支保工は吹付コンクリートおよびロックボルトのみである。またコンクリート吹付箇所は表層に近い区域にかぎられている。このような支保工で掘削勾配がほぼ90°であることから、いかに岩盤が良好であるかは容易に想像される。また、岩盤の透水性も小さいようであり壁面からの湧水はしみ出し程度で、ほぼドライ状態で施工できていた。写真-3ではロックボルト箇所に矢印が見られるが、これは現場で地質技術者が割れ目の組み合わせを考えて、作業員に打設方向や使用するロックボルト長を指示しているということであった（ロックボルトは3種類の長さの物を使用したようである）。確かに、このように割れ目の少ない岩盤では必要な箇所にもみロックボルトを打設するのが合理的であることは納得させられる。また、日本のように割れ目の多い岩盤では、ロックボルトを等間隔で打設する設計を行っても、それほど無駄なことではないように思えた。ただし、地質技術者が現地において、岩盤状況を見ながら直接施工管理に携わっているという点については、反省させられるものがある。とにかく、地質技術者はその絶対数の少なさに因るものと思われるが、施工の現場にあまりタッチしていないのが現状であろう。今後地質技術者は、設計サイドのみならず施工サイドとも連携して仕事を進めていく必要があることを痛感した。

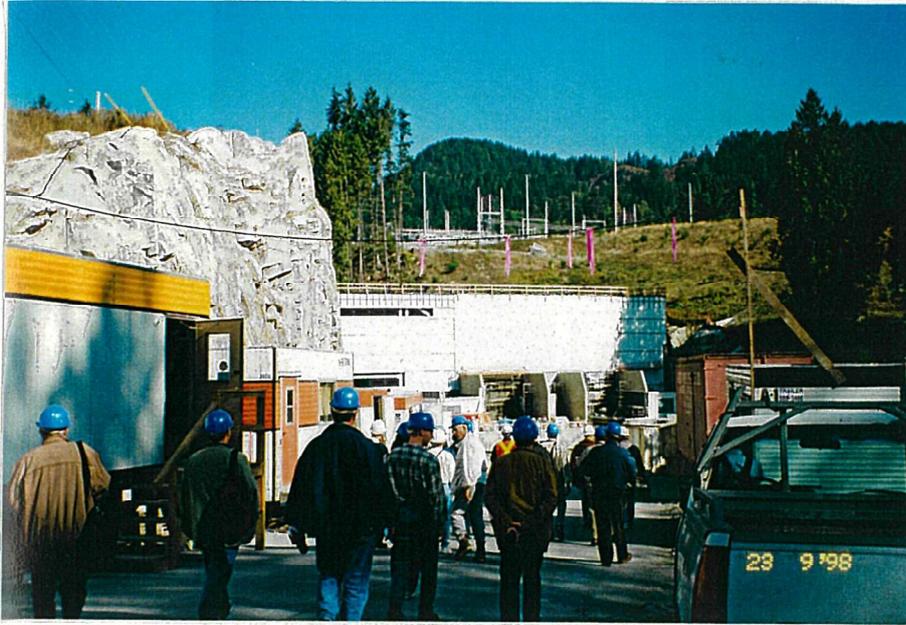


写真-1

新設発電所建屋を下流側から望む。写真中央遠方は屋外変電施設。写真左側に基盤岩の切土面が見える。

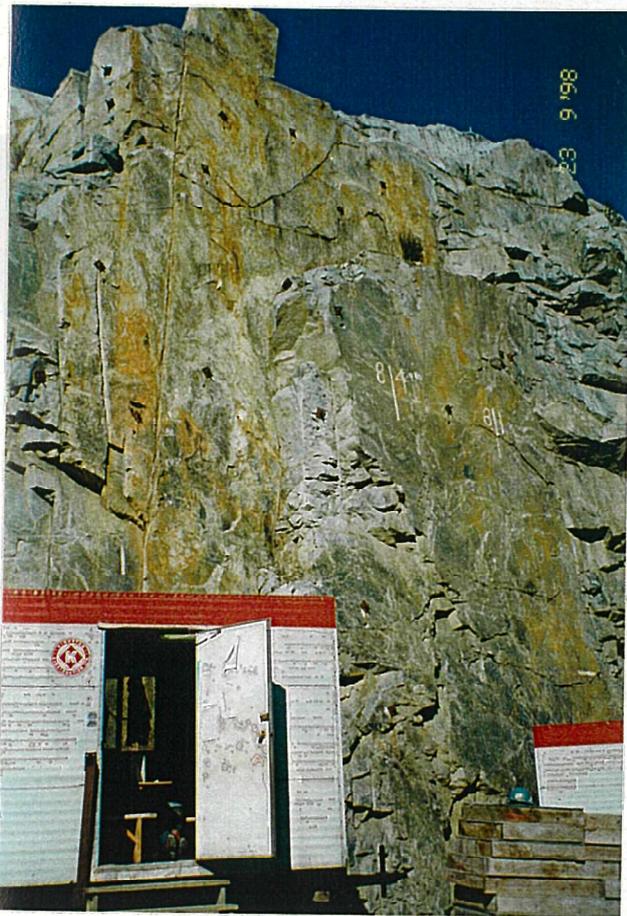


写真-2

写真-1の左側に見えていた基盤岩。岩種は石英閃緑岩である。ガレージをスケール代わりに見ても、節理の間隔が広いことが十分分かる。垂直に近い勾配で切土しているが、法面保護はロックボルトのみである。



写真-3 新設発電所建屋内の施工状況。壁面は 90° で掘削されているが、壁面保護はロックボルトおよび吹付コンクリート（写真上端）のみ。ロックボルト箇所矢印が付されているが、地質技術者が節理の組み合わせを考慮し、現場で指示しながら施工しているようである。

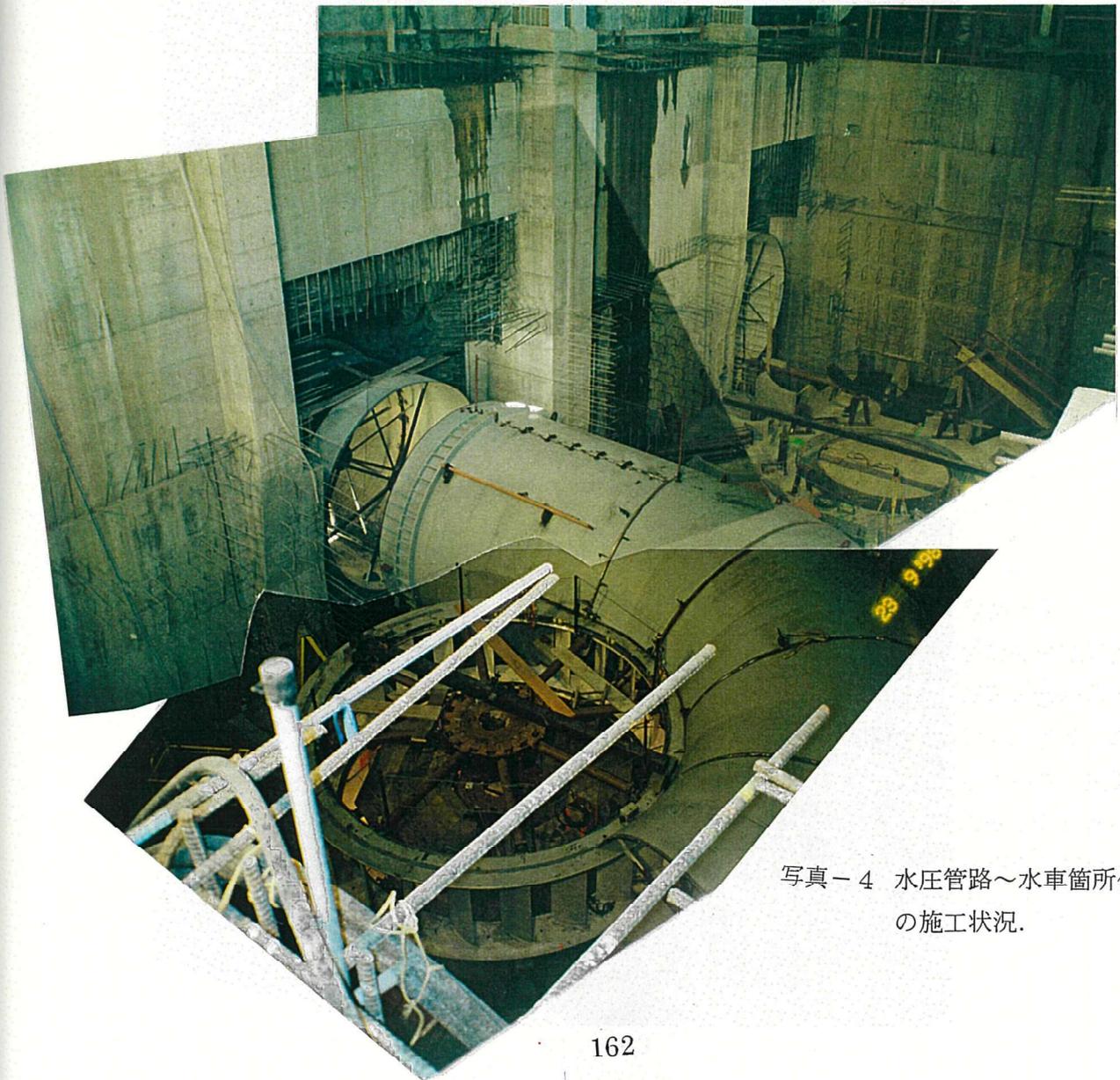


写真-4 水圧管路～水車箇所付近の施工状況。



写真-5

取水口の掘削状況。写真奥が貯水池側。壁面保護は発電所壁面と同様に、ロックボルトおよび吹付コンクリートのみである。



写真-6

岩盤がない箇所の止水はコンクリート止水壁によっている。アンカーで岩盤に固定させているようである。



写真-7

呑口の施工状況。周辺岩盤からの湧水は殆どなく、ドライの状態での施工している。足場がきゃしゃな感じがしたのと安全帯等を使用していないことに不安を感じた。



写真-8 既設ダムとダムから延びる水圧管路。構造的にかなり奇異な感じを受ける。



写真-9 既設発電所内部の状況。奥に見える二股のチューブは5基目の水車用の水圧管である。



写真-10 既設ダムに全面に蛸足様に配置された水圧管路。



写真-11 ダムからの漏水量をドラム缶を利用したノッチ箱で観測している。

6. 4 Field Trip: Engineering Geology of the Eastern Fraser Valley (数名が死亡
(フレイザーバレイの応用地質学)

佐々木孝雄 (住鋇コンサルタント (株))

(1) はじめに

本ツアーでは British Columbia 地方の主要河川であるフレイザー川沿いの山体崩壊地や岩盤斜面を見学した。巡検案内書が丁寧に準備されており、現地では詳しく説明を受けたが、ここでは巡検時の写真と印象について簡単に報告する。

(2) 各露頭の見学

1) STOP-1 (写真 1-4)

Cheam slide は崩積土の年代が 5000 年位 (最終氷期以降) であることが含有木片や、切っている地層の対比からわかっている。崩積土は 4600 万. の量で、岩碎とはいえかなりの細粒分を含む。崩壊のメカニズムは地震を引き金とする山体崩壊⇒沼沢地への堆積⇒ CO_2 の過飽和⇒再移動 (泥流?) と説明している。

なぜ、崩積土の厚さが 10m 程度しか無いのか、細粒分の起源は、等が成因に関わる疑問点として残った。

2) STOP-2 (写真-5)

Katz Slide は岩盤クリープにより陥没が発生している地点である。いわゆる二重山稜と思われるが、グラーベンと呼んでいるところが面白いと思った。

3) STOP-3 (写真 6-8)

Hope Slide はとにかく規模が大きい。1 万年前に初生滑りが発生? ⇒崩壊の数年前に大きな地震⇒小さな地震⇒最初の崩壊⇒三時間以内に主崩壊が一連の崩壊過程とされている。

素因には二重山稜、湧水、節理面がすべり面を形成などの現象が取り上げられているが、崩壊地を目の当たりにするとこれだけの規模の崩壊がなぜ生じうるのか? の疑問は残る。

「ここでこんな規模の崩壊が発生したことは大した社会問題にはならない。メカニズムの解析はするが、崩壊予測は多分出来ない。なぜこのような崩壊が起きるのがいつかわかる時が来るだろう。」

とは、案内者 (CGS) の弁です。

4) STOP-4, 5 (写真 9-11)

崩壊が頻繁に発生している道路と鉄道の法面 (自然斜面主体) において崩壊の状況と原因に関する説明があった。災害としてというよりも崩壊現象の原因に見学の主眼があるようである。

崩積土に列車が乗り上げる、倒木にトラックが巻き込まれる等でこれまでに数名が死亡しているが、not so many と、いいとは言わないが、すぐに対策工を実施することにはならない 通行する者のリスク といった内容の説明もあった。

危ないところにも近づかなければならない日本との意識の違いを感じた。

(3) 全体の印象

巡検案内書は大変わかりやすく、案内者が親切でゆっくりとした英語でしゃべって下さったので助かった。

Slide という単語は滑りよりも崩壊くらいの意味で使われていると感じた。

Engineering Geology とはいえ、多分に研究的な内容であった。

扱う崩壊の規模が大きく、動いているものは稀であること、崩壊の原因をふまえたリスクマップの作成が Engineering の目的であることなどが研究的に感じた一因であろう。

崩壊現象そのものをあくまでも追求する姿勢は彼らにとっては技術者として当然なのであろう。

説明を受けた検討結果ばかりでなく、調査するにあたっての姿勢（技術者のスタンス）なども共有できるものとして、今後の業務に繋げていきたいと考える。



FIGURE 1. Route map (from Savigny and Chagnon, 1992).

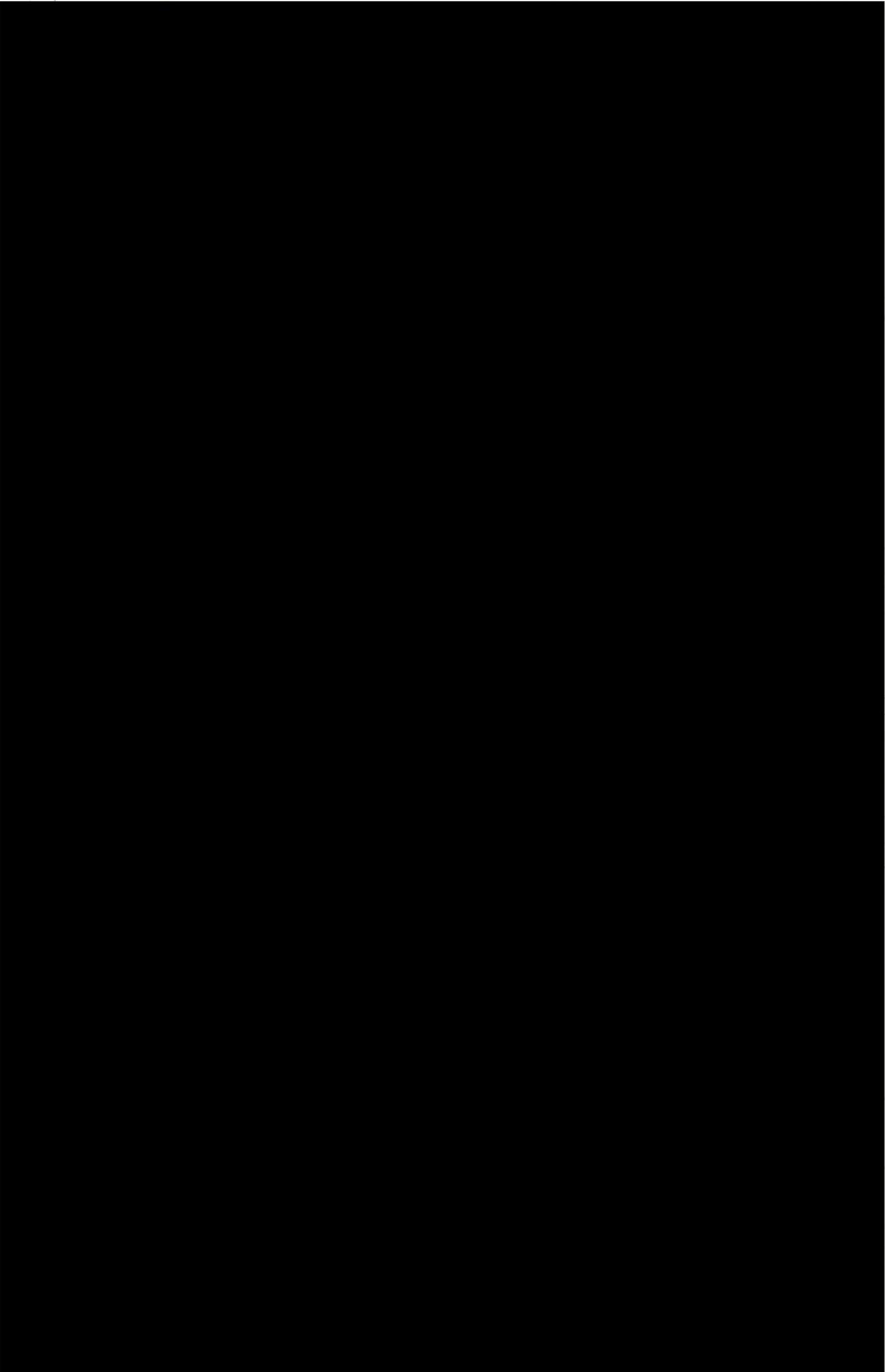




写真-1 stop-1[Cheam Slide]
地すべりの Source area と考
えられている深成岩類を主体
とするカスケード山脈(帰路の
バスから撮影)

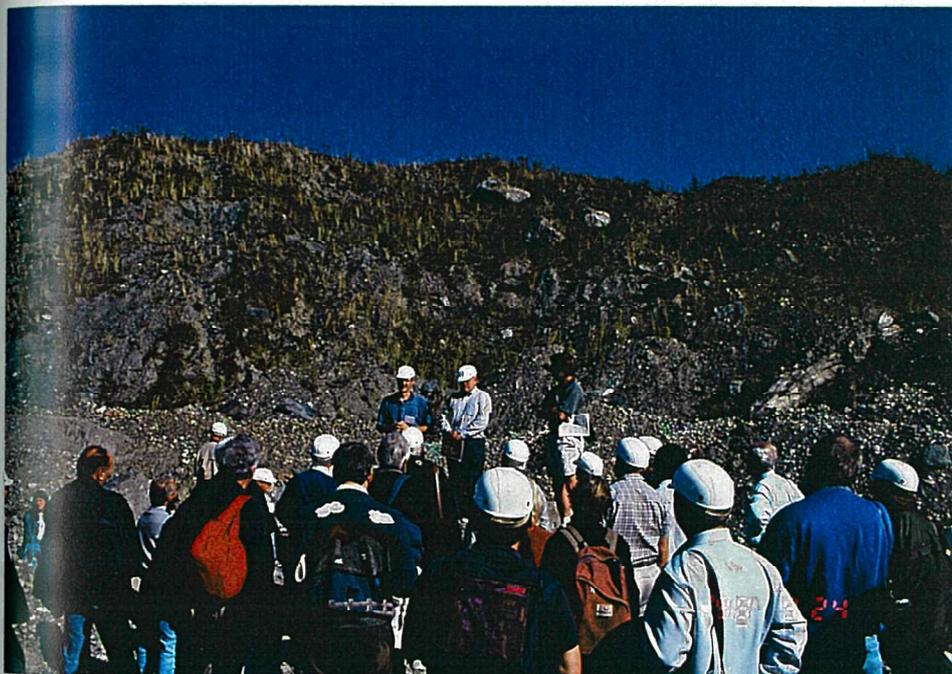


写真-2 stop-1[Cheam Slide]
Cn Rail Pit における地すべ
り堆積物を背景に説明を受け
る。左より J.J.Clague(大学),
K.W.G.Savigny(コンサルタン
ト),S.G.Evans(地質調査所).
わかりやすい英語で解説し
ていただいた。

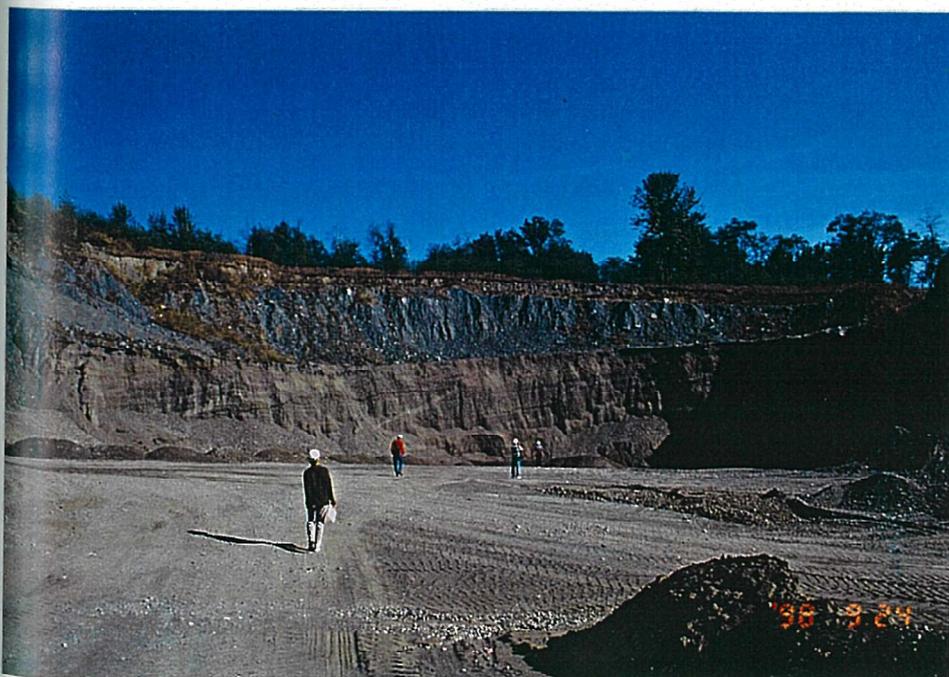


写真-3 stop-1[Cheam Slide]
地すべり堆積物とその下位の
沖積層 (Fraser 川起源) 上位
をセントヘレンズ火山の火山
灰が被覆している。地すべりの
存在は写真に見られる地層の
コントラストから類推され
たのが実状の様である。直径1
メートル以上の岩塊を含むが、
基質は砂からシルトサイズと
かなり細かい。

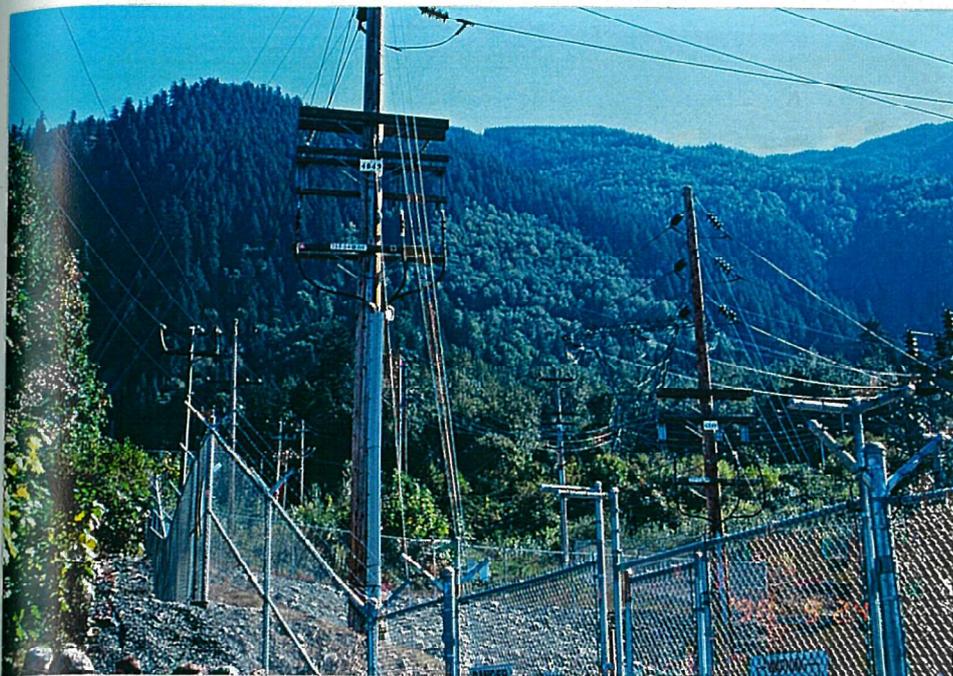


写真-4 stop-1[Cheam Slide]
Wahleach 発電所の水圧管路部に発生した岩盤クリープ。古い地すべりが水路を原因として活動を始めたため、滑りの外に水路を掘り直している。移動ブロックの比高差は 500 メートル以上ある、地山は深成岩類である。

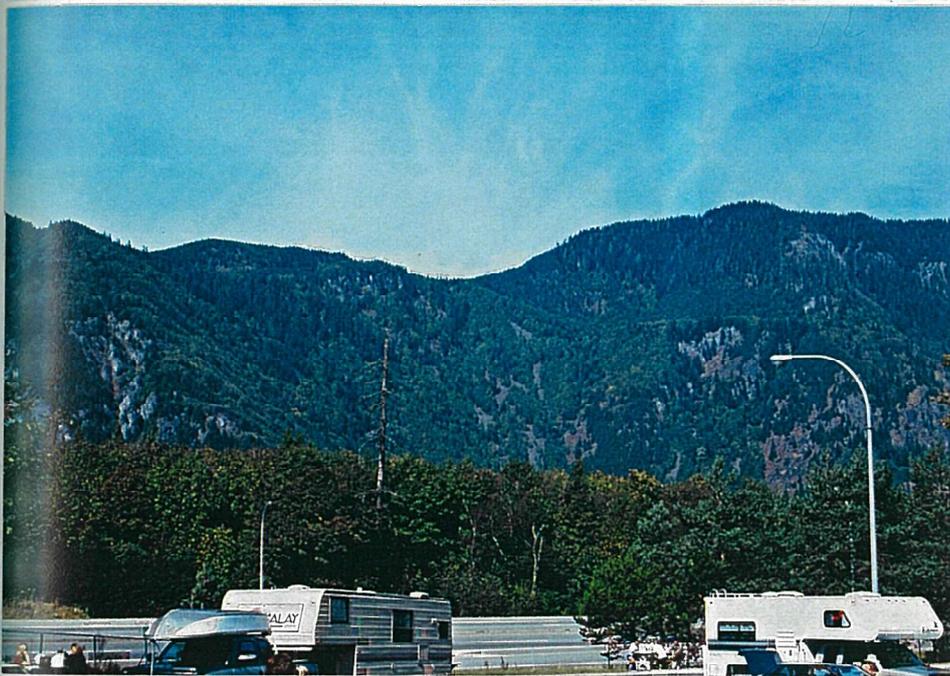


写真-5 Stop-2 Katz
地すべり
岩盤クリープにより正断層群 (Vedder 断層) が形成され、グラーベン状に見える地点である。写真中央部の山稜の直下を山稜と平行にグラーベンとなっている。地山は深成岩類である。

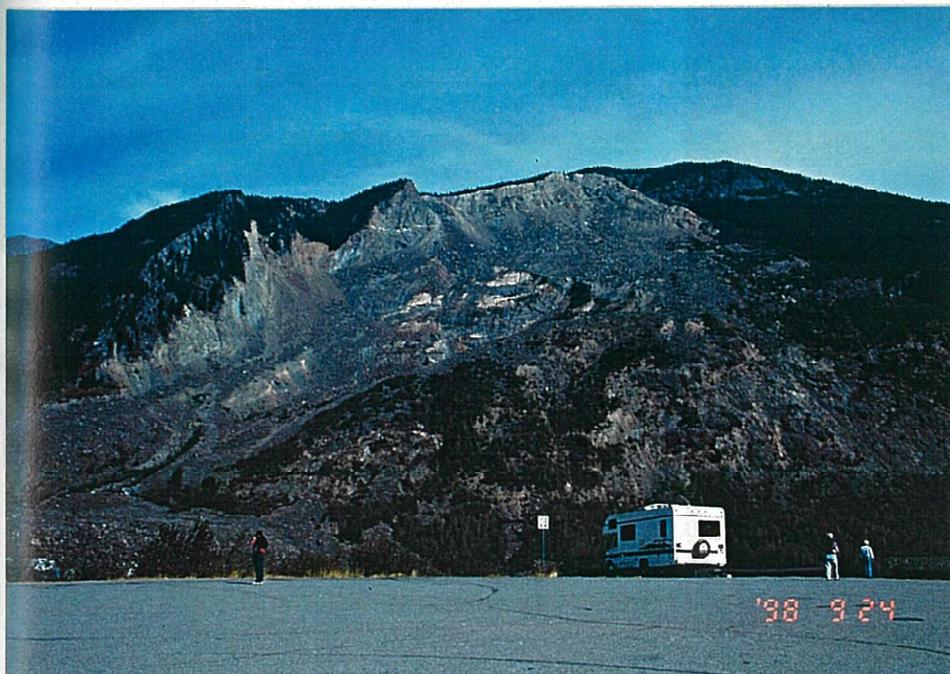


写真-6
Stop-3 Hope 地すべり。
世界的に有名な崩壊地であり、比高差 1100 メートル、移動土砂量 800 万立方メートルであり、この岩盤崩壊が 3 時間以内に完結した。カナダ西海岸部では、最大の崩壊とされている。地山は中生層のグリーンロック主体で珪長岩が貫いている。



写真-7

Stop-3 Hope 地すべり
崩壊土砂は1 km以上もある対岸まで乗り上げて、再び川床へと堆積した。旧道(国道4号)は完全に破壊されたが、人的被害は4名であった。現道は移動土塊の上に、見学地点とともに建設されている。



写真-8 Stop-3 Hope 地すべり
移動土塊は岩塊を主とするが“流れ山”みたいなものは見当たらない。

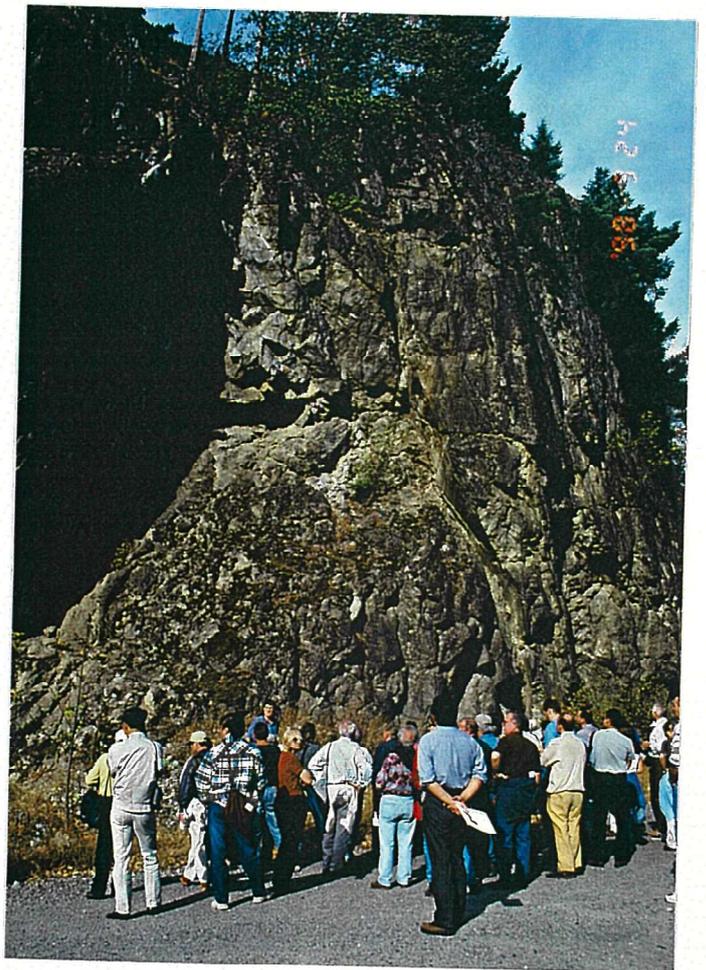


写真-9 Stop-5 Fraser 峡谷

国道1号の新道。落石事故がたびたび発生しているとのこと。人身事故もそれほど多くはないが発生しているが、特別な対策や計測は行われていない。

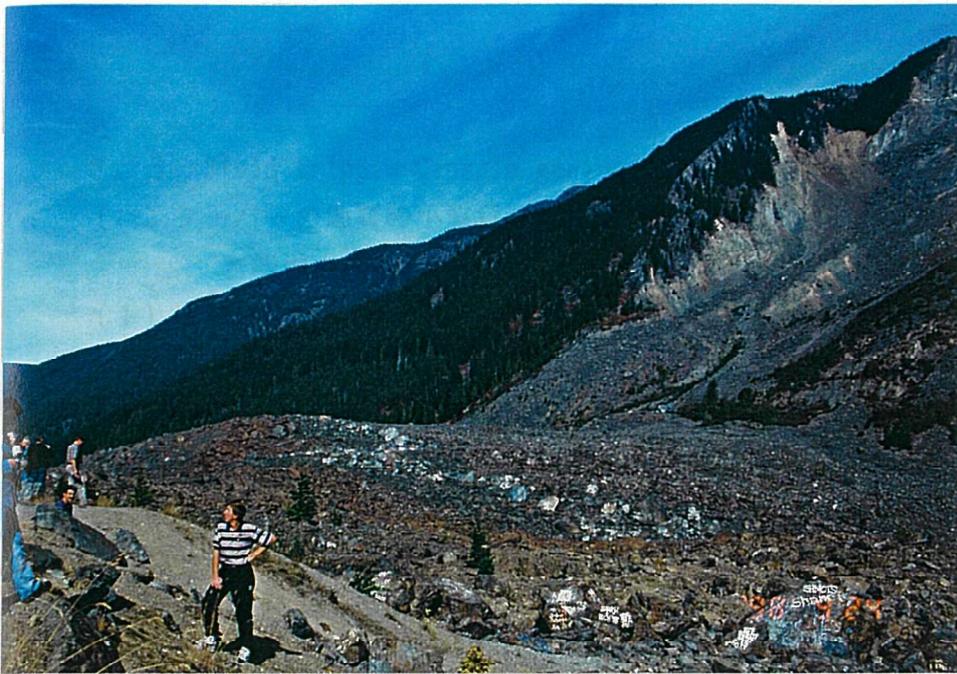


写真-10
 Stop-5 Fraser 峡谷
 国道1号の旧道.解説は崩壊の事例についてであった.参加者の反応は『そうなんだよなー,あるんだよなー』という感じでぜんぜんシリアスさが無い



写真-11
 Stop-5 Fraser 峡谷
 度重なる落石に角がボコボコとなったよう壁.人物は市川調査団長

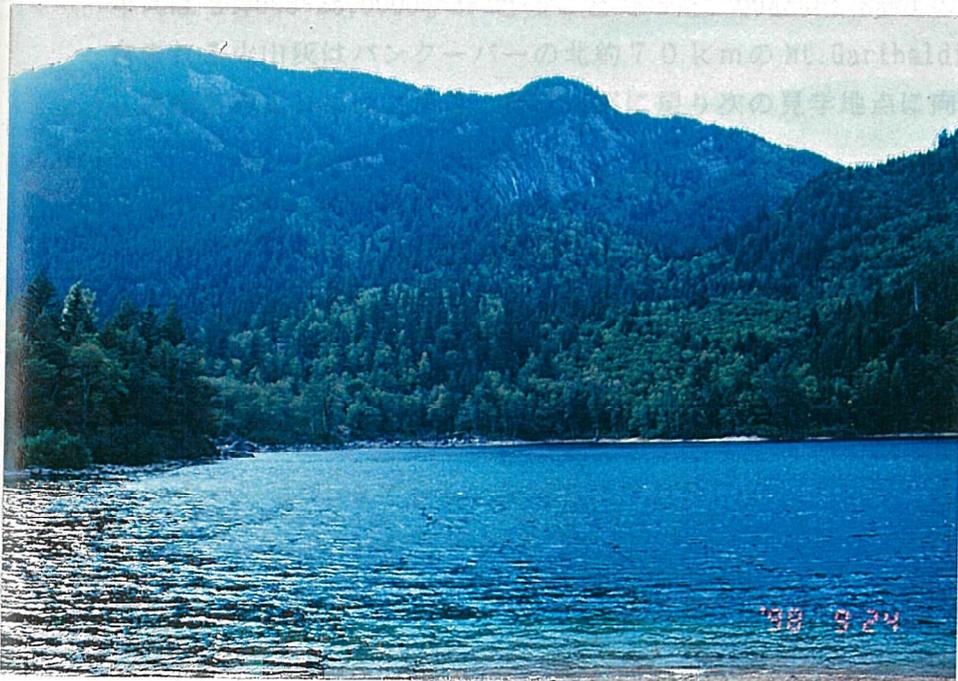


写真-12
 Stop-6 ウッドスライド湖
 中央の露岩帯をすべり面とする岩体崩壊が谷を下り,美しい堰き止め湖を作った.崩積土はほとんどが岩塊からなるが,細粒石コアがある.?地山は深成岩類で崩壊年代は8500 yB より古い.

6. 5 Field Trip8: Capsule geology of Vancouver

(バンクーバーの地質の小旅行)

岩崎悦夫((株)ダイヤコンサルタント)、高橋努(八千代エンジニアリング(株))

(1) はじめに

9月23日朝、ホテルのロビーで各自バスケットランチを受け取り、玄関でバスを待った。予定時間を約20分遅れて、8時20分にハイアット・リージェンシーホテル前を出発した。

巡見案内者は、恐らく80歳は過ぎていると思われるカナダ地質調査所のDr. J. A. Roddickで、夫人同伴で有った(写真-1)。夫人は日系2世で、お父さんは甲府、お母さんは新宿の出身とのことであった。参加者は全部で28名で、家族連れが5組ほどいて、スペインからの参加者は夫人と中学生ぐらいの子供さんを同伴、イギリスからの方は夫人と1歳のベビー(バギーに乗せて海岸や急な坂道もどンドン運んでいた)、イタリアの恋人同伴の女性エンジニア等、家族のピクニックといった感じで和やかな雰囲気でのスタートとなった。日本からの参加者は、我々2名と住鉦コンサルタントの千葉さんの3名であった。

このツアーは、バンクーバー市街地およびその周辺の地質見学という面に加え、市内の著名な観光地である Queen Elizabeth Park, Stanley Park を巡るというものであった(図-1)。

(2) Stop.1 : Pint Gray sea cliffs

バスはバンクーバー市内を出て海岸沿いの住宅地の中を西に進み、Locarno Beach のあたりで、我々は一度バスを降りて海岸へ足を運んだ、そこで入り江対岸の Black Mountain の斜面に、およそ15,000年前の氷床によって刻まれた氷河地形を遠望した。その後、バスは海岸沿いを西に進み、ブリティッシュ・コロンビア州立大学の西端道路脇でバスを降り、トウヒの巨木が生い茂る標高差約60mの遊歩道を下り、海岸に出た。

ここでは、氷河の前面で堆積した Quadra Sand とその上を薄く覆う Till の露頭を観察した(図-2)。Till の堆積は、氷河の到達した時期を示しており、炭化物を多く含む下部の年代は24,000-26,000 yBP とのことであった。Quadra Sand の下部は火山灰質で、ここに含まれる火山灰はバンクーバーの北約70kmの Mt. Garibaldi を起源としている。

海岸を約1kmほど歩き、再び道路に戻り次の見学地点に向かった。

(3) Stop2 : Queen Elizabeth Park

ここでの目的は、庭園内に露岩する玄武岩とその柱状節理見ることに有った。庭園はおよそ100年前は碎石場だったとのことで、その跡地をうまく使って美しい庭園が造られていた。庭園内の玄武岩の露頭は、かつての碎石場の面影を残すようにわずかに露出しているだけであったが(写真-2)、露出部を人工の滝で演出するなど庭園にマッチした形で残されていた、この玄武岩は、およそ31~34ma前のカスケード火山活動で形成された sill ないしは flow で有ると説明を受けた。

外国人のなかには、庭園を Japanese Garden と叫んでいる人もいたが、我々にはどう見ても日本庭園には見えず、むしろは English Garden の様に思えた(写真一三)。観察を終えて庭園を出ると、高台からバンクーバー市街を一望することができた。バンクーバーの市街地中心部には近代的ビル群が立ち並び、その周辺を取り囲む森の中にゆったり、かつ整然と住宅地が広がっており、周囲を海に囲まれた素晴らしく美しい街であることを実感した。

(4) Stop3 : Caulfield

バスは庭園を跡にして、バンクーバー市街を横切り Lion's Gate Bridge を渡り、対岸の West Vancouver 西部の Caulfield に到着した。バスを降り、出発の際ホテルで受けとたランチボックスを片手に海岸へ向かい、対岸のバンクーバー市外を見ながら磯部で昼食をとった。ここでは、図一三に示す様に先ジュラ紀の角閃石片麻岩に貫入する白亜紀の花崗閃緑岩、ペグマタイト、アプライトは Synplutonic dyke として形成されたもので、現在見ているものは約 30 km 程度の深さでの貫入状況を見ていると説明していた。

(5) Stop4 : Cypress Bowl Road Lookout

海岸から再びバスに乗って West Vancouver 北側の山腹に上り、Cypress Bowl Road Lookout からバンクーバー市街 (Lower Mainland) を一望した。

(6) Stop5 : Stanley Park

West Vancouver を後に、再び Lion's Gate Bridge を渡り Stanley Park 北端部でバスを降りた。Lion's Gate Bridge の下を通り Stanley Park を外周する遊歩道沿いの露頭を観察しながら、Ferguson Point 付近迄海岸沿いに西へ 2km 程歩いた。Lion's Gate Bridge をは、鋼製の吊り橋で 1937 年に完成しており、かの有名なロサンゼルス Golden Gate Bridge とほぼ同じ時期に造られている。見た目がスリムで、強度的に多少不安があるように見えた(図一四)。予定の耐久年数に近々達し、改修が必要とのことであった。

海岸の遊歩道沿いには、白亜系 Nanaimo 層群の砂岩層、それに重なる古第三系の Huntigdon 層、およびそれらを貫く玄武岩質安山岩の岩脈が露出していた(図一五)。Stanley Park は市民の憩いの場(ジョギング・サイクリング・ローラーブレード・散歩等)であるとともに、観光地でもある。所が、遊歩道脇の斜面には柱状節理が発達した玄武岩脈が高さ 40 m 程のオーバーハング状の急崖を形成しており(写真一七)、以下にも岩盤崩壊・崩落が懸念される状態であった。このような状態であっても何も手当てがされず、斜面が崩れるのは自然の摂理と見なしているスタンスに、日本における斜面对策との違いを感じた。また、白亜系・古第三系の砂岩に節理や断層等に伴う割れ目が極めて少ないことが強く印象に残った(写真一八)。午後 4 時過ぎに Ferguson Point 付近で再びバスに乗り込み、ホテルへの帰途についた。

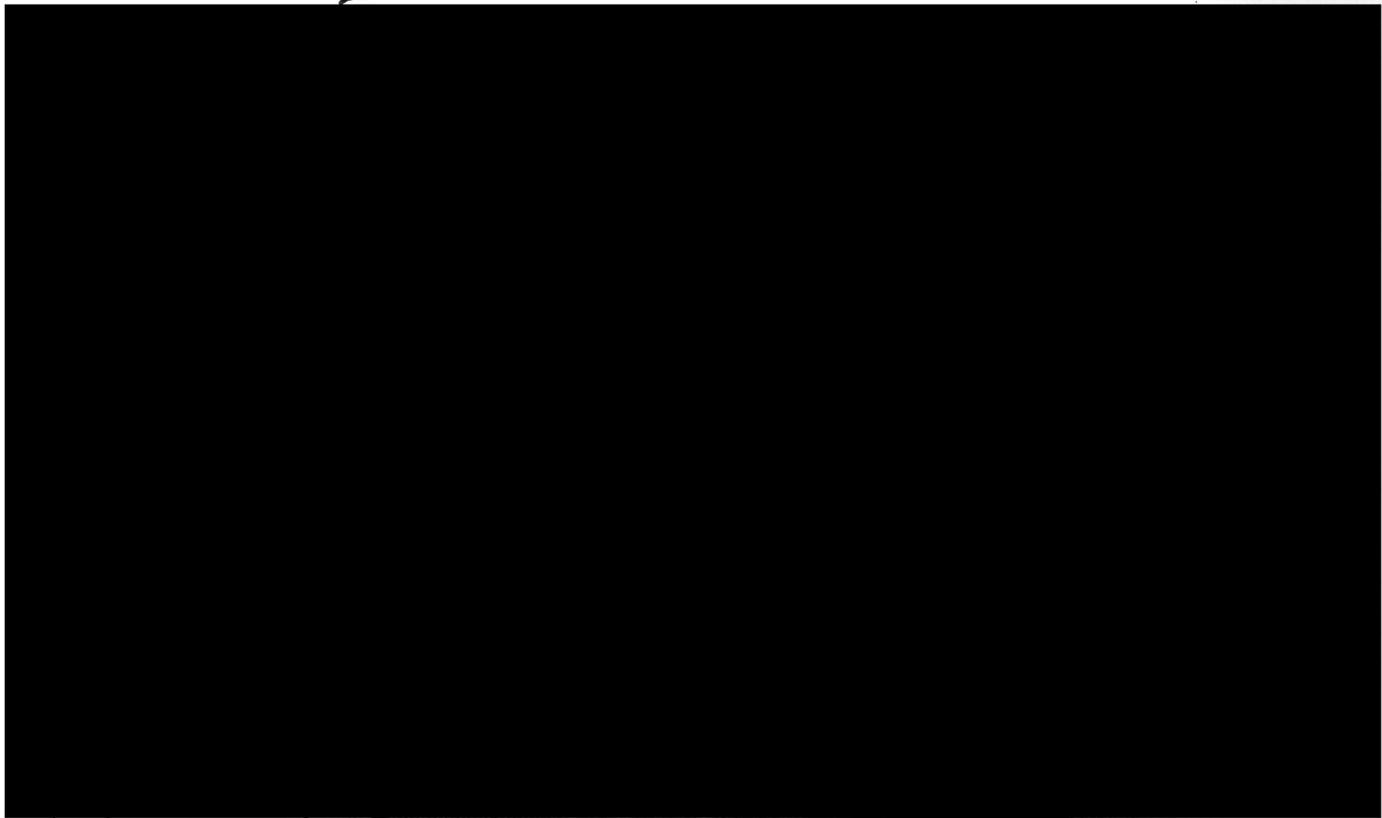


図-1 *Capsule Geology of Vancouver* の巡検ルート

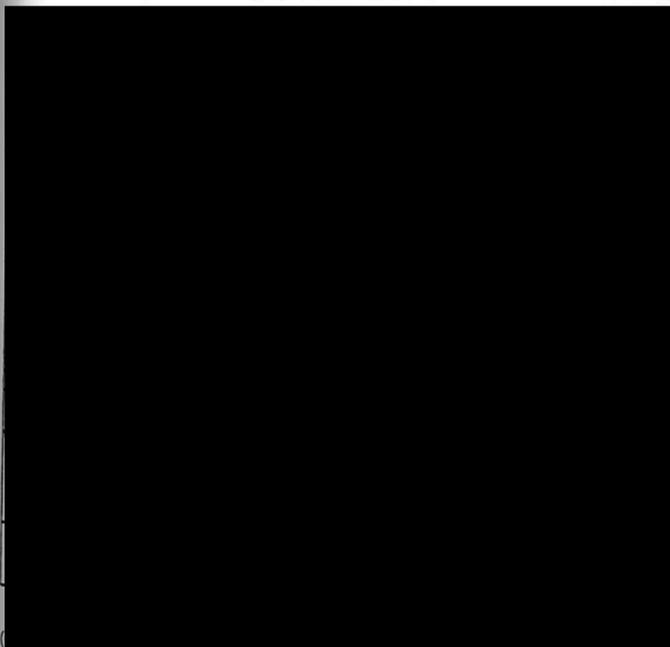


図-2 氷河前面に堆積した
Quadra Sandの堆積方向

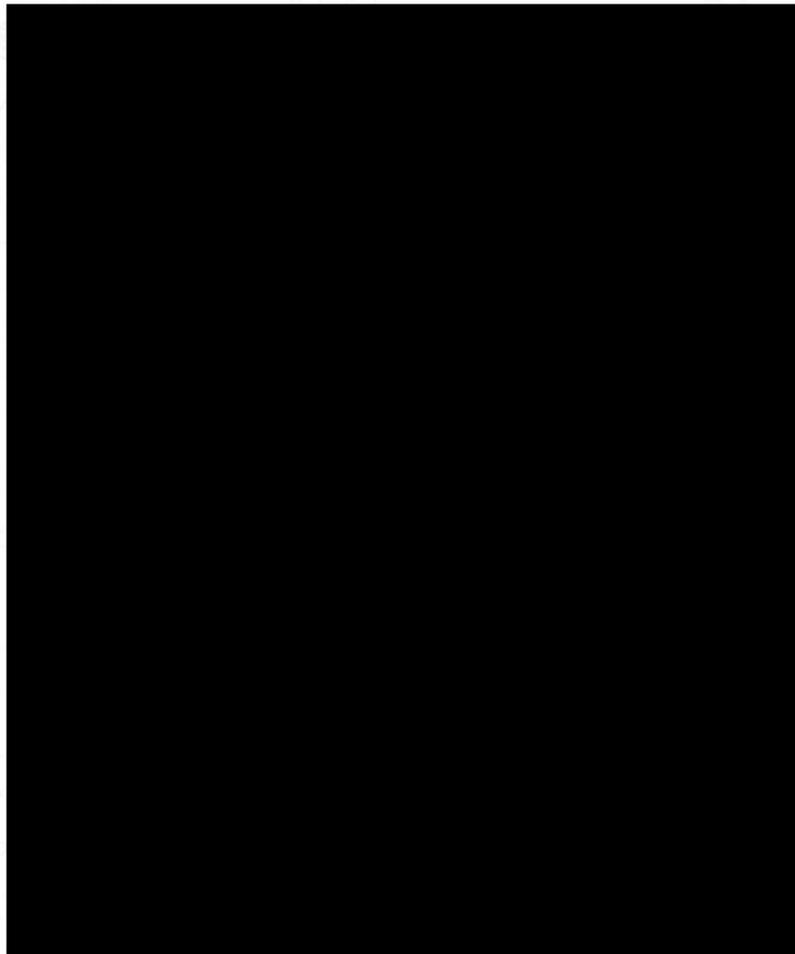


図-3 Caulfeildのスケッチ

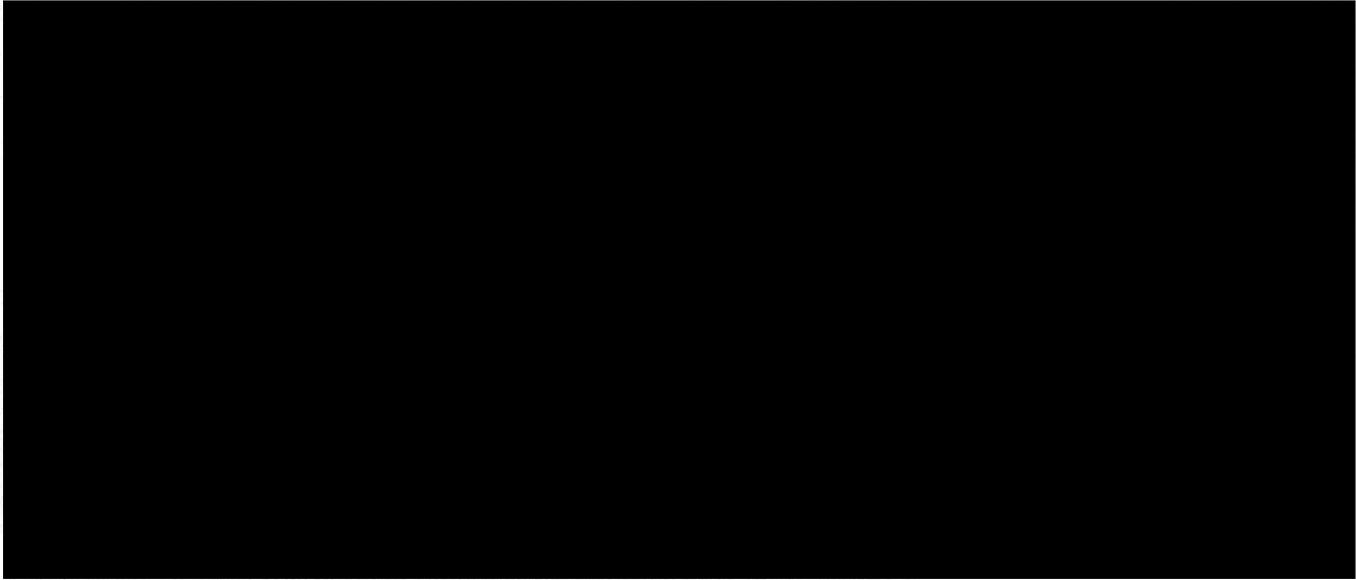


図-4 Lion's Gate Bridgeの概要

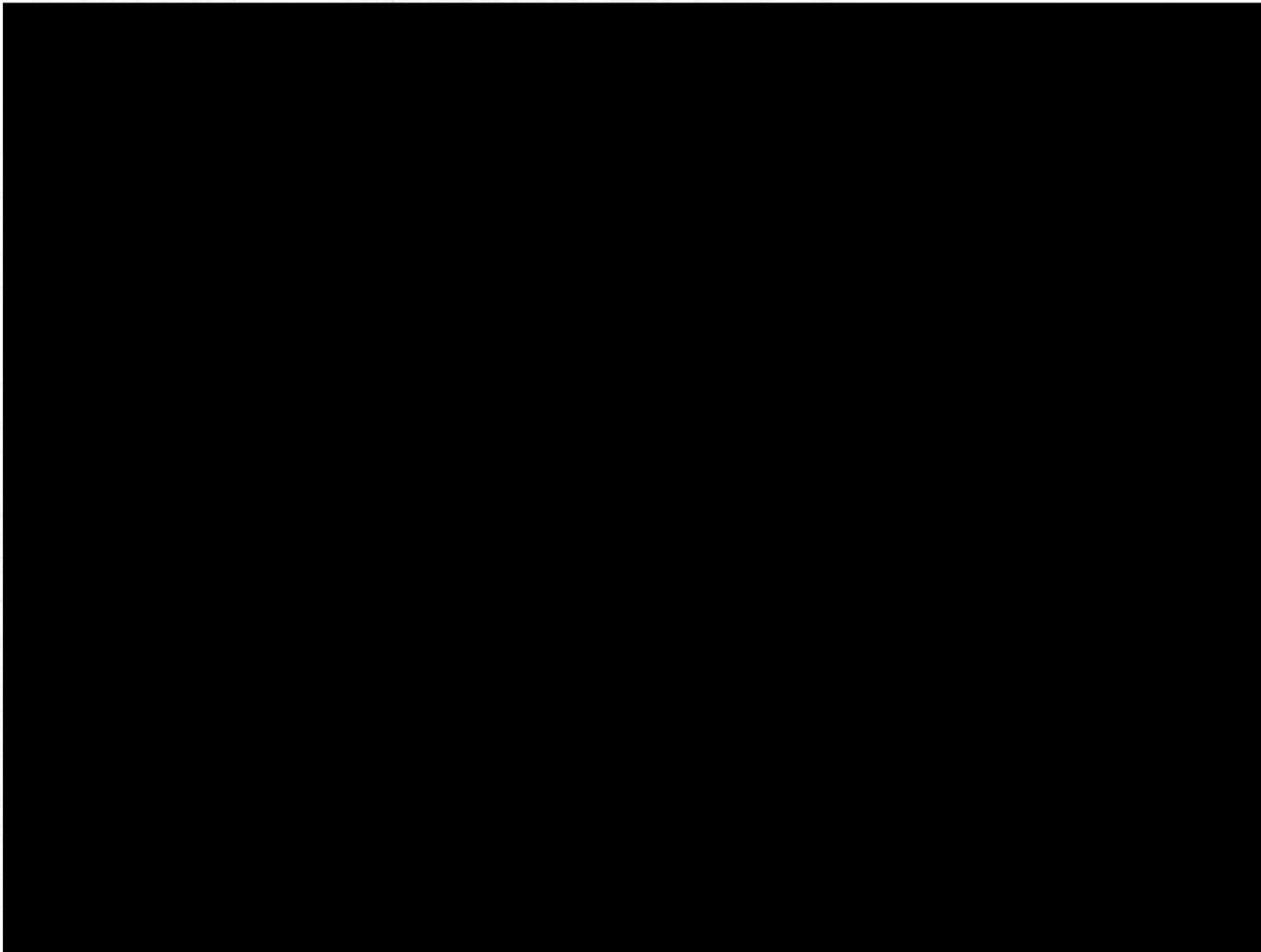


図-5 Stanley Parkの地質概要



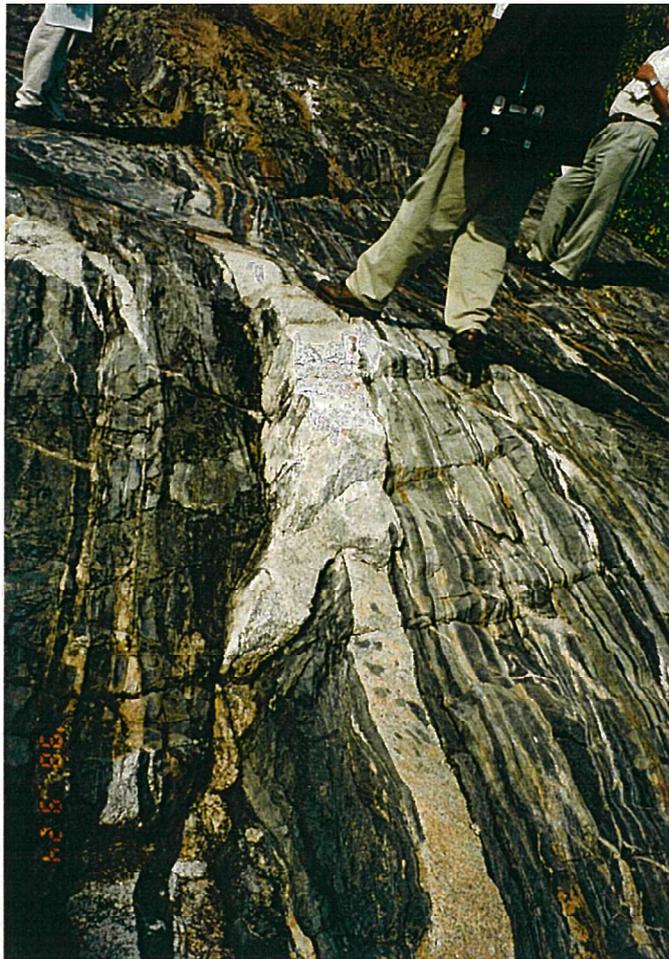
写真-1
案内者の Dr.A.Roddick(左)と
イタリア人の女性エンジニア



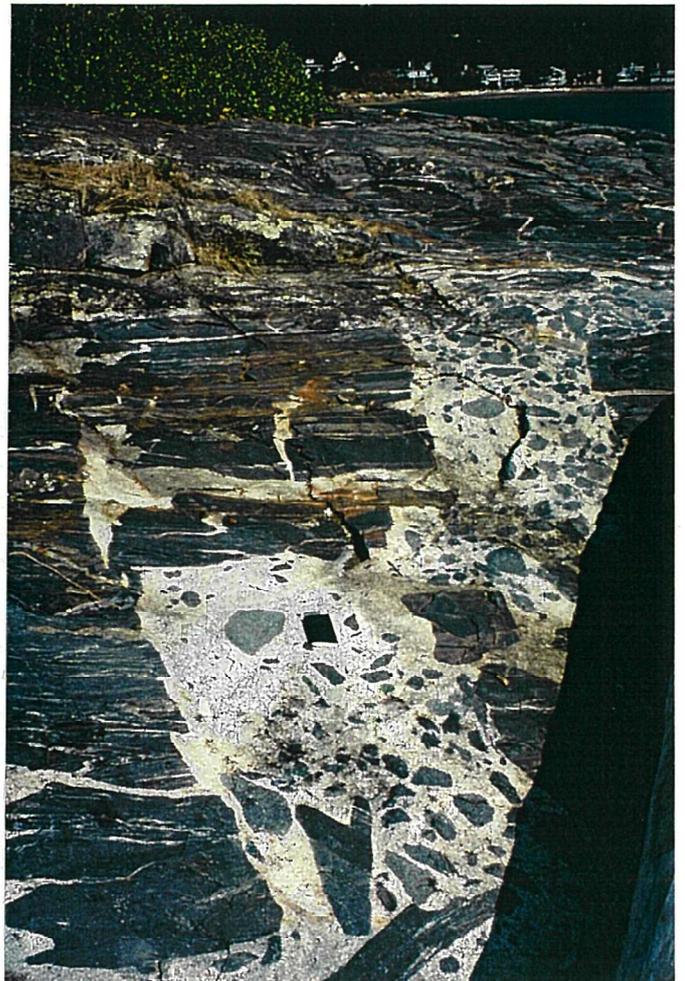
写真-2
Queen Elizabeth 公園に露出す
る玄武岩の柱状節理



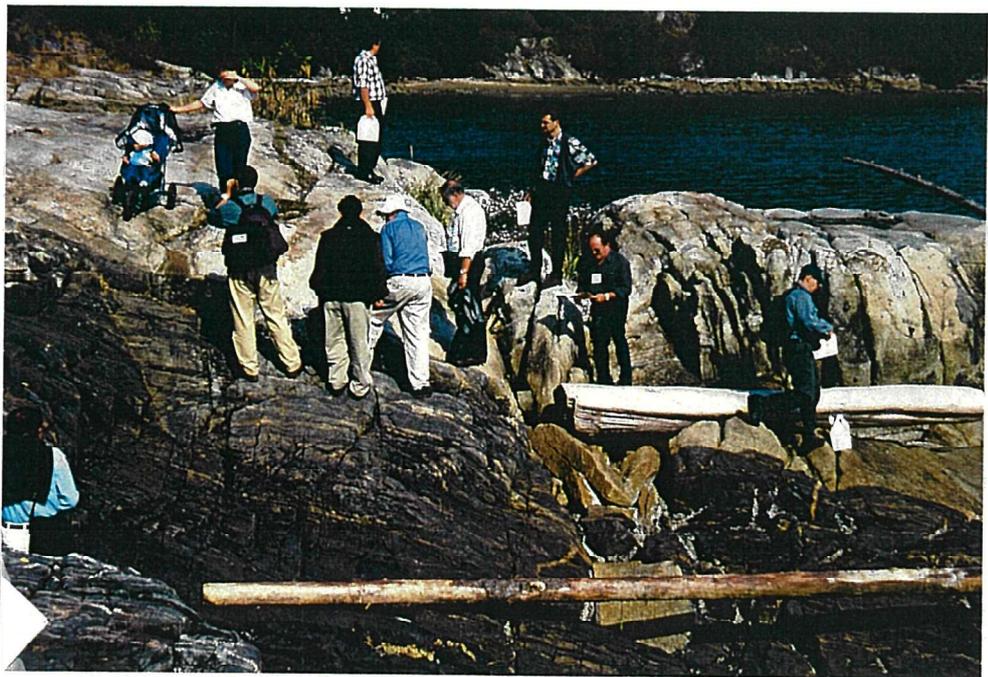
写真-3
Queen Elizabeth 公園の風景



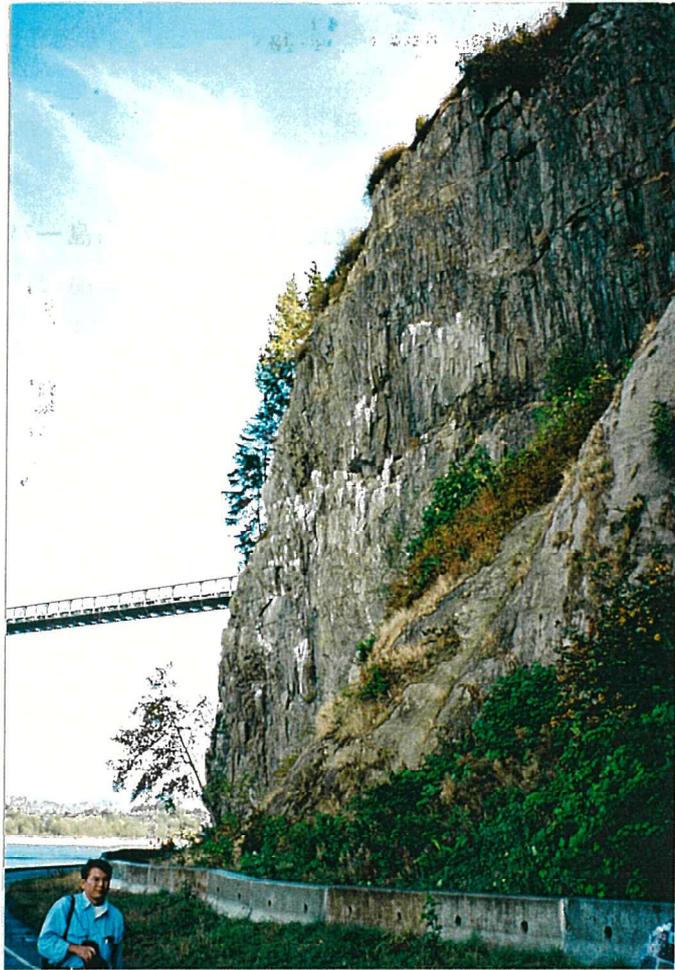
写真一4 片麻岩の縞状構造に調和的に貫入する花崗岩類



写真一5 片麻岩をゼノリス状に取り込んで貫入する花崗閃緑岩



写真一6 露頭を見ながら議論する参加者



写真—7 Stanley Park外周遊歩道脇の玄武岩脈が形成する急崖



写真—8 白亜系Nanaimo層群のラミナの発達する砂岩層，割れ目が全く認められない

6. 6 Field Trip11 : Landfill

(コースー11 埋め立て)

藤原幹之 (国際航業(株))

(1) 概要

Trip11 はバンクーバー島南部にある Hartland Landfill の見学を中心に行われた。参加者は約 40 名、日本人の参加は 5 名で、うち 4 名が応用地質学調査団からの参加であった。

訪問先はカナダ地質調査所と Hartland Landfill の 2 ヲ所だけであったが、訪問地まで遠く移動にかなり時間を費やした。

(2) 行程

バンクーバー市を出発し、バンクーバー島へ渡りカナダ地質調査所に立ち寄った後、Hartland Landfill を訪問した。概略の行程を以下に示す。

7:30 (ホテル出発) →8:30 (港に到着) →9:15~10:45 (B.C.フェリーで Schwartz Bay まで移動) →11:00~12:00 (カナダ地質調査所の見学) →13:30~16:00 (Hartland Landfill の見学) →

17:15~18:45 (フェリーで移動) →19:30 (ホテル到着)

(3) 内容

1) カナダ地質調査所 : GSC Pacific . Sidney

● 施設の概要

バンクーバー島の南端のビクトリア市の北 28km のシドニーに位置し、カナダ海洋科学研究所 (Institute of Ocean Science) の魚類・海洋部門と同じ敷地に施設がある。

この施設では、カナダの主要山系の地球物理学的な特徴や地質構造、および大陸に沿った近海についての研究を行っている。

館内は海洋科学研究所とともに研究所と科学館が一体となっており、観測機器など実物展示、パネル・模型・写真などによる一般来館者にもわかりやすい展示がなされている。また、館員による説明も行われており、研究分野の情報を積極的に広報・教育に利用していかうとする姿勢が感じられた。

施設は、海に近く明るくすばらしい環境のなかにあり、一般来館者も内部を自由に出入りできる開放的な雰囲気であった。

● 研究内容の説明

カナダ太平洋岸は世界で最も地震の多い地域 (日本、アラスカ、チリなど) の 1 つであり、バンクーバー島の西側に沈降地帯で大地震 (1946 年の地震など) が、内海側で浅く小規模な地震が多発している。年間に約 300 の地震が発生しており、ほぼ 1 日 1 個の割合となっている。

マンツルの湧き出しがバンクーバー島の沖合い 200km 程度と近いため、日本などと比べると地殻は薄く新しい(地殻の境界は 20~30km 程度)。このため、地震の震源も最大で 80km と浅くなっている。

カナダで最も古い地震計は 150 年ほど前に設置されたが(館内展示)、現在ではリアルタイムで観測されているもの(6カ所:館内で記録を表示)を含めて、ブリテイッシュ・コロンビア州内に数十箇の地震計が設置されている。また、それ以前の過去の地震発生は日本の津波の記録でたどることができる。

耐震建築の分野では、神戸とロサンゼルス地震で古い規準の建物が多数倒壊したことなど、これらの地震が重要な経験となっている。

火山については、バンクーバー市の北方にいくつかあるが、調査観測は南側の米国内の火山のほうが進んでいる。

(2) Hartland Landfill

● 施設の概要

Hartland Landfill はバンクーバー島の南端のビクトリア市の北 14 km に位置する、面積 20 ヘクタール、層厚 10~30m の処分場である。1950 年代初頭よりビクトリア市とその周辺地域の処分場としてスタートし、現在では Capital Regional District (CRD) により運営され、1992 年までに第 1 期分が埋め尽くされた。現在、モニタリングとして、毎月の地下水位測定、浸出水検査に加え、30 カ所以上の地下水と 8 カ所の地表水が年 4 回、さらに周囲 2km 以内の井戸が年 3 回検査されている。1986 年、今後 30 年間の処分容量を持つ処分場の適地選定が進められ、1987 年に Hartland Landfill の西側への拡張が承認された。1991 年には対象地域で、12 本のボーリングが行われ、深度を変えて 22 本の観測井が設置され、モニタリング(地下水位測定、水質検査)が行われている。観測井設置時にスラグ試験や揚水試験が行われ透水係数についての情報が得られた。また、MODFLOW を用いた水収支シミュレーションモデルを用いて地下水の流動系を十分に把握した上で、9 種類の異なった浸出水管理手法の比較検討を行い、集水池やパイプラインの能力が十分か検討を行った。

これらの検討を踏まえて、自然の地下水流動系の利点を生かした浸出水管理システムを採用し、第 2 期工事を現在進行させているところである。

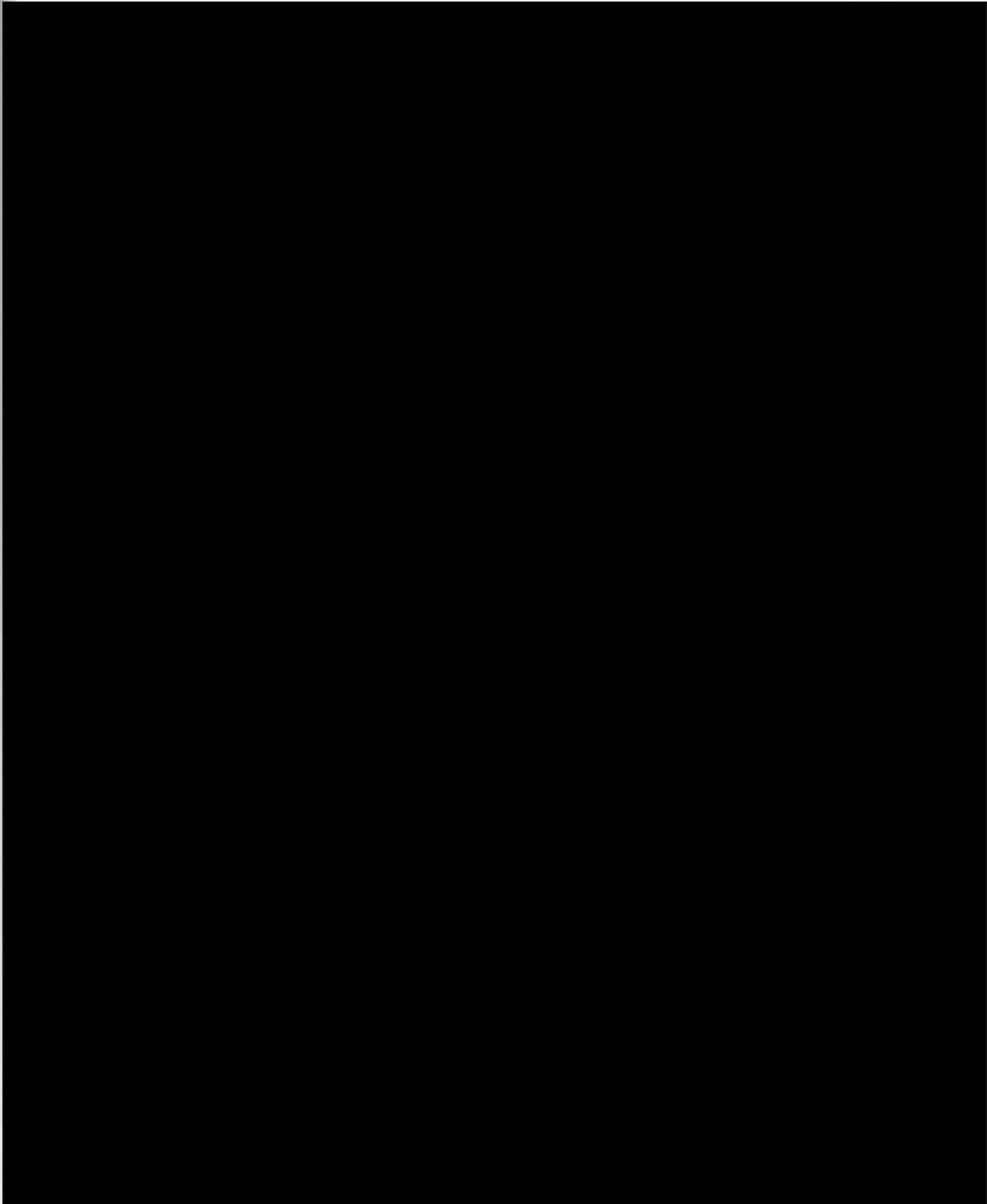
● 現地での説明

サイトは埋め立てを完了しており(4 百万 m³)、現在ガス抜き処理を実施中である。24 m の深さのポアホールを多数設けてガスを抜き、パイプラインシステムによりガス処理施設へと導き、処理を行っている。水処理は処分場の最下流の基盤上に設けられた集水池に一旦集められた後、その上側にある処理用池にポンプアップされて処理が行われた後、場外へ放流されている。

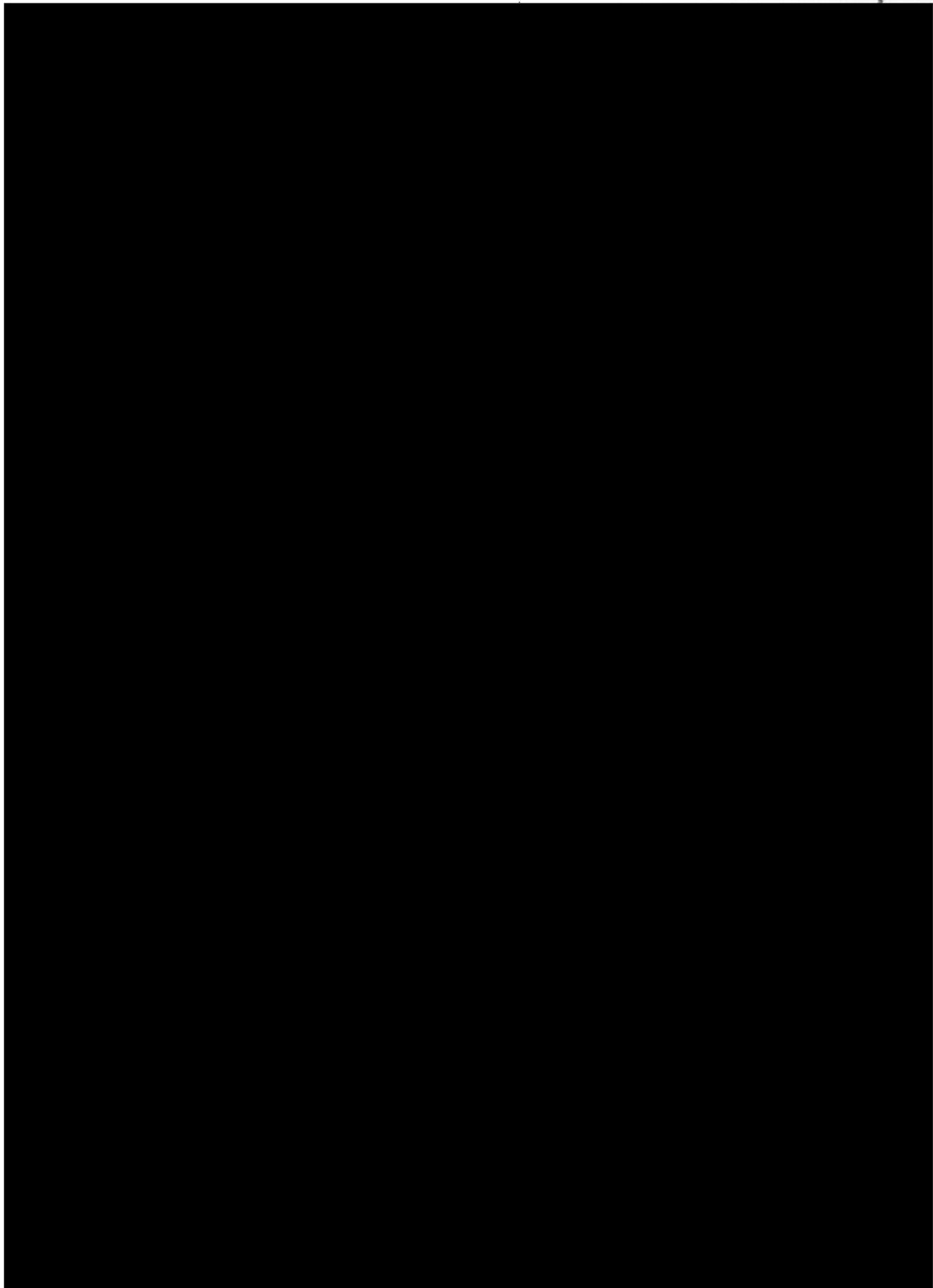
処分場へ出入りする車両は水洗いする、廃棄された車両をリサイクルして物置として利

用するなど、環境へ負荷をかけないように配慮している。また、サイト拡張のため伐採された木材も細かく裁断、乾燥して肥料として利用し、リサイクルを進めている。

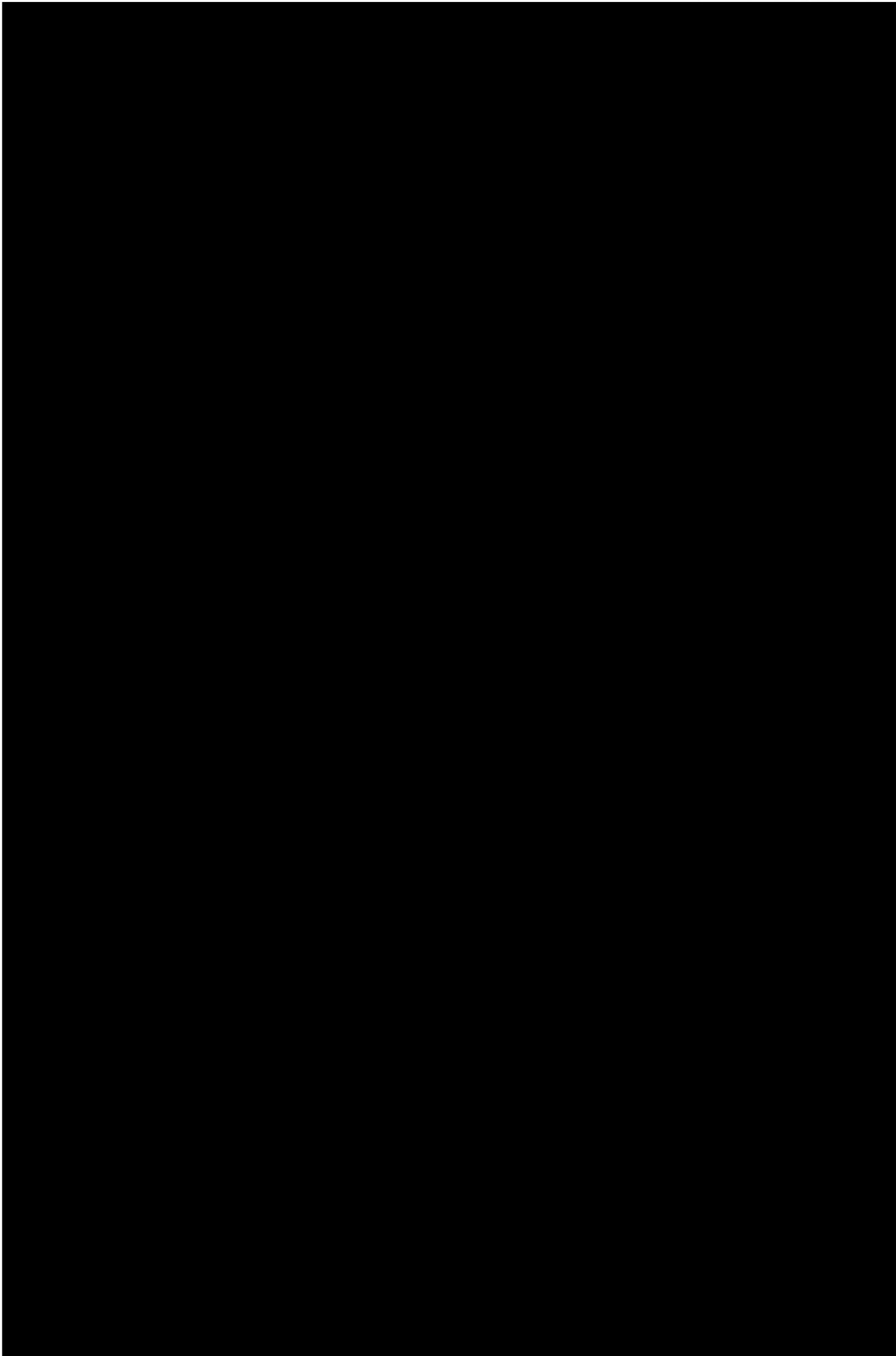
サイトは7~8m水深の池を中心に周囲の山林を切り開いて造成中である(7百万m³)。池のある谷が天然の地下水集水域となっており、浸出水処理に当たって好都合な条件となっている。サイトの一部はすでに埋め立て中であり、搬入された廃棄物がブルドーザにより均されていた。



図－1 調査対象地域図



図一 2 周辺地域の流域図

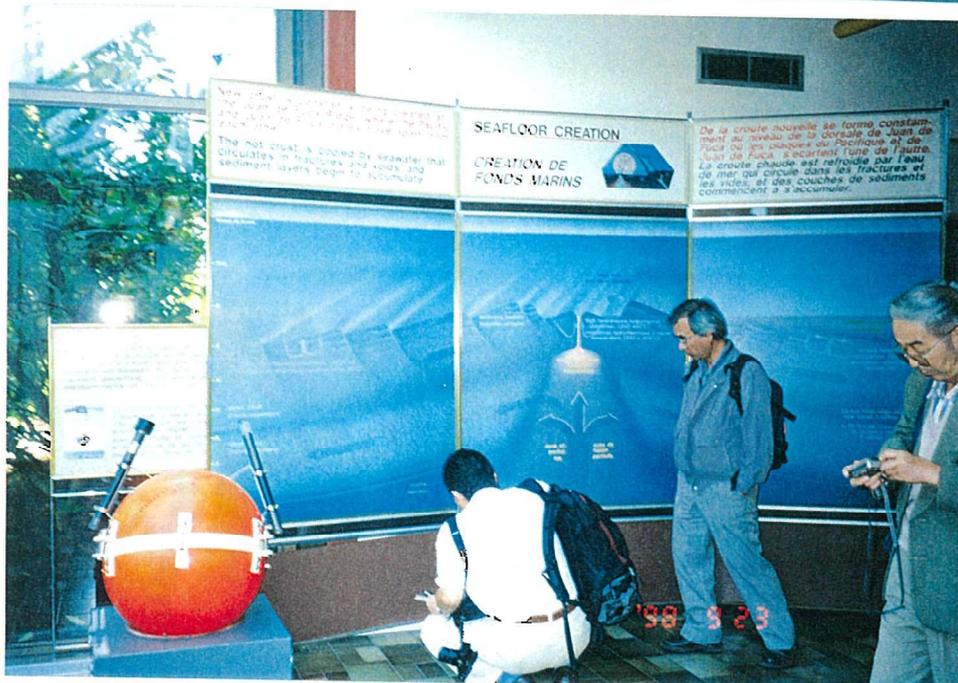




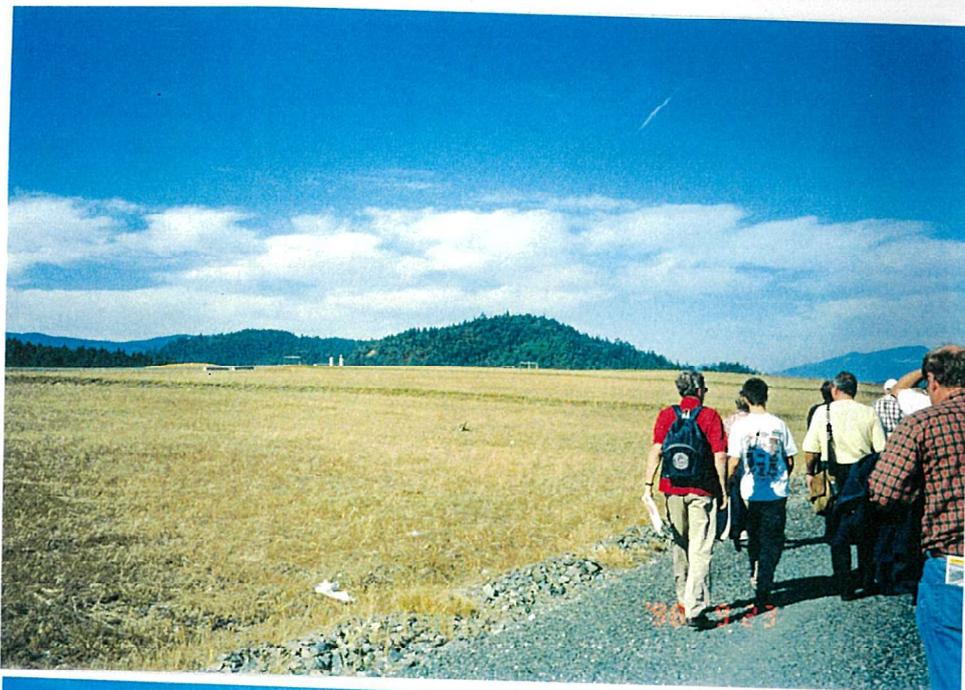
カナダ地質調査所
全景



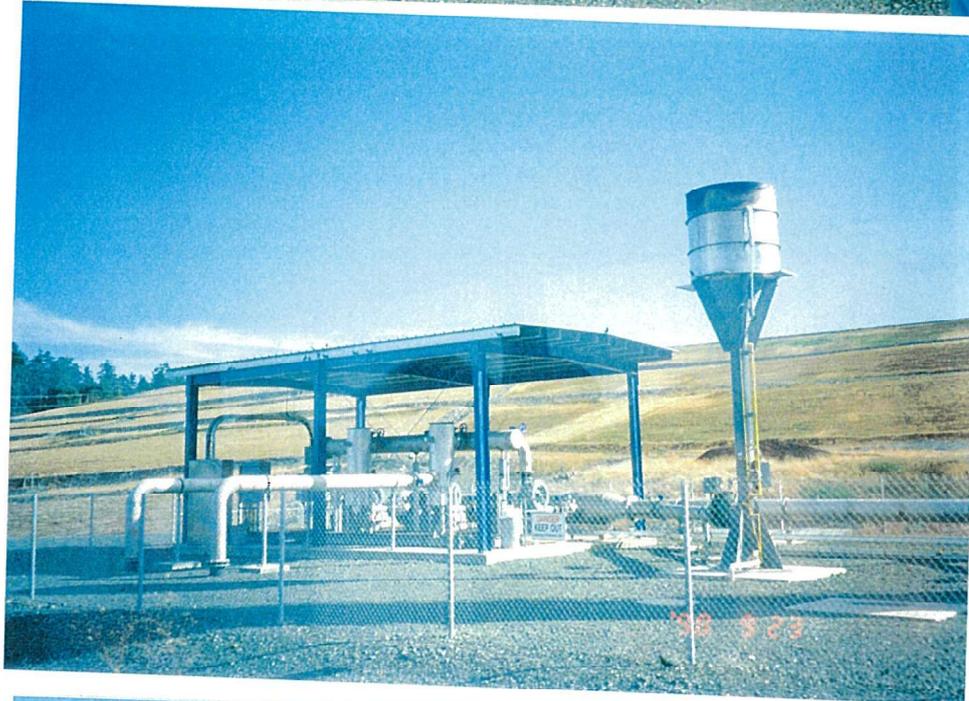
カナダ地質調査所
館内展示状況



カナダ地質調査所
館内風景



Hartland Landfill
サイト I



Hartland Landfill
ガス処理施設の一部



Hartland Landfill
伐採林のリサイクル
処理場



Hartland Landfill
サイトⅡ



Hartland Landfill
サイトⅡ
ゴミ処理中

7. 文献一覧

尾園修治郎(日本応用地質学会国際委員)

表一 1 セントヘレンズ火山関連の文献一覧

No.	著者名	年月	タイトル	出典
1	Mullineaux, D. R. and D. R. Crandell	1962	Recent Lahars from Mount St. Helens	geol. society of America Bull. Vol. 73 pp855~870
2	Crandell,D.R.and Mullineaux,D.R	1978	Potential hazards from future eruputios of Mount St.Helens Volcano,Washington.	U.S.Geol.Survey Bull.1383-C,26p.
3	Crosson,R.Endo,E.,Malone,S.,Noson,L, and Weaver,C.	1980	Eruption of Mt.St.Helens-Seismology.	Nature.285 529-531
4	岡田 弘	1981	二つのセントヘレンズ	地理.26(6).40-50
5	Sarna-Wojcicki,A.M., Shipley,S., Waitt, R.B.Jr., Dzurisin, D.and Wood. S.H.	1981	Areal distribution,thickness,mass,volume,and grain size of air-fall ash from the six major eruption of Mount St.Helens,Washington.	U.S.Geol.Survey Prof.Paper.1250.577-600
6	高橋 保	1981	セント・ヘレンズ火山の噴火に伴う災害現象と対応	京都大学防災研究所年報第4号A. 1-20
7	COPLEN L E (Washington Water Treatment Plant)	1981	A Mt. St. Helens Story. The aftermath at Longview. Sunday morning, May 18, 1980, at 8:32 a. m. disaster struck.	Water Eng Manag VOL. 128, NO. 5 PAGE E. 68-71
8	Rosenbaum, J. G. and Waitt, R. B. Jr	1981	Summary of the eyewitness accounts of the May 18 eruption	U.S.Geol.Survey Prof.Paper.1250.53-67
9	安西 慎一 神奈川県内広域水道企業団	1981	セントヘレンズ火山灰の処理	水道協会雑誌 Vol.9. No.564. PAGE.82~
10	高橋 保 京都大学防災研究所	1981	報告 Saint Helens火山の爆発に伴う洪水・土砂災害	新砂防 Vol.33003. No.118. PAGE.24~
11	下鶴 大輔(代表研究者)	1981	セントヘレンズ火山の噴火活動とそれに伴う災害の研究	文部省科学研究費(No.502401) 自然災害特別研究突発事故災害研究成果 130p
12	村山 馨	1982	増補 世界の火山災害-セントヘレンズ山の火山灰浮遊	古今書院, II-1,p70
13	JOUZEL J, MERLIVAT L, LORIS C (Lab. Glaciologie CNRS, France)	1982	Deuterium excess in an East Antarctic core suggests its higher relative humidity at the oceanic surface during the last glacial maximum.	Nature (Lond) VOL. 299, NO. 5885 PAGE E. 720-722
14	ISHIZAKI H, TU A T (Colorado State Univ.)	1982	Laser raman spectroscopic analysis of mount St. Helens ash from the may 18, 1980 eruption.	J Environ Sci VOL. 25, NO. 3 PAGE. 32-33
15	飯田 修 名古屋大学農学部	1982	Symposium on Erosion Control in Volcanic Areasに参加して	新砂防 Vol.35002. No.125. PAGE.39~
16	Swason,D.,Casadevall, T.,Dzurisin,D.,Malone,S.,Newhall,C.and Weaver.C.	1983	Predicting eruptions of Mount St. Helens,June 1980 through December1982.	Science.221.1369-1376.
17	宇井 忠英・荒牧 重雄	1983	1980年セントヘレンズ火山のドライアバランシュ堆積物.	火山, 28, 289-299.
18	Voight,B., Janda, R.J., Glicken, H. and Douglass, P.M.	1983	Nature and Mechanics of the Mount St. Helens Rockslide-avalanche of 18 May 1980	Geotechnique.33.243-273
19	大村 寛	1983	セントヘレンズ火山からの土砂生産	水利科学 Vol.26006. No.149. PAGE.86~
20	Richard J. Janda	1984	SEDIMENTATION AND GEOMORPHIC CHANGES DURING AND FOLLOWING~	新砂防 Vol.37002. No.133. PAGE.10~
21	Thomas Dunne	1984	ESTIMATION OF FLOOD AND SEDIMENTATION HAZARDS AROUND~	新砂防 Vol.37001. No.132. PAGE.13~
22	下鶴 大輔日本語版監修	1984	ライフ 地球再発見 '火山'	朝日新聞タイム
23	BOGOYAVLENSKAYA G E, BRAITSEVA O A, MELEKESTSEV I V, KIRIYANOV V YU : DAN MILLER C	1985	Catastrophic eruptions of the directed-blast type at Mount St. Helens, Bezymianny and Shiveluch volcanoes.	J Geodyn VOL. 3, NO. 3/4 PAGE. 189-218
24	高橋 保	1985	セント・ヘレンズ火山の噴火に伴う災害現象と対応	季利防災 No.76. PAGE.56~
25	Scott Shane	1985	DISCOVERING Mount St. Helens A Guide to the National Volcanic Monument, 'Eruption', 'Life erased', 'Volcanism'	Univeresity of Washington Press, P3~62
27	伊藤 和明 NHK解説委員	1989	論説 巨大崩壊の脅威	新砂防 Vol.42004. No.165. PAGE.1~
28	E.W. WOLFE,S.D. MALONE	1990	Mount St.Helens	BULLETIN OF VOLCANIC ERUPTIONS.No.30.71-73
29	PETERSON D W (United States Geological Survey, California)	1990	Overview of the effects and influence of the activity of Mount St. Helens in the 1980s.	Geosci Can VOL. 17, NO. 3 PAGE. 163-166
30	渡辺秀文(東大 地震研)	1990	噴火の前兆現象と予知	火山 VOL. 34. 特別号 PAGE. S215-S226
31	久保寺 章	1991	火山噴火のしくみと予知-セントヘレンズ火山の大噴火	古今書院, 22-24
32	クリフ・オリエル(太田陽子訳)	1991	火山-セントヘレンズ火山	古今書院, 14.26.32.37.98.112.127.138
33	Pallister,J.S.,Hoblitt,R.P.,Crandell, D.R.and Mullineaux,D.R.	1992	Mount St.Helens a decade after the 1980 eruptions:magmatic models, chemical cycles,and a revised hazard assessment.	Bull.Volcanol.,54.126-146.
34	萩原 幸男編	1992	災害の事典-セントヘレンズ火山, セントヘレンズ火山の山体崩壊, セントヘレンズ火山の噴火予知	浅倉書店, 58-60, 184, 77

No.	著者名	年月	タイトル	出典
35	BUSACCA A J, NELSTEAD K T, MCDONALD E V, PURGER M D	1992	Correlation of Distal Tephra Layers in the Channeled Scabland and Palouse of Washington State.	Quaternary Res VOL. 37, NO. 3 PAGE. 281-303
36	WOODS A W; SELF S	1992	Thermal disequilibrium at the top of volcanic clouds and its effect on estimates of the column height.	Nature (Lond) VOL. 355, NO. 6361 PAGE. 628-630
37	勝又 護 編	1993	地震・火山の事典-セントヘレンズ	東京堂出版. 130
38	WOLFE E W, MALONE S D	1993	Annual report of the world volcanic eruptions in 1990. Mount St. Helens.	Bull Volcanol VOL. 55, NO. Suppl PAGE. 71-73
39	KLUG C, CASHMAN K V (Univ. Oregon)	1994	Vesiculation of May 18, 1980, Mount St. Helens magma.	Geology VOL. 22, NO. 5 PAGE. 468-472
40	SCHUMACHER R	1994	A reappraisal of Mount St. Helens' ash cluster s-depositional model from experimental observation.	J Volcanol Geotherm Res VOL. 59, NO. 3 PAGE. 253-260
41	下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明 編集	1995	火山の事典-セントヘレンズ火山	浅倉書店. 291.312.426.562 PAGE.43~
42	カ武 常次 監修	1996	近代世界の災害-セントヘレンズ火山:1980年の山体崩壊と噴火	国会資料編纂会. 175-177 PAGE.442~
43	山田孝:建設省土木研究所砂防研究室	1996	ワールド アメリカ合衆国の土砂災害に対する防災教育システム -ワシントン州セントヘレンズ火山の1980年噴火後の対	土木技術資料 No.38007. PAGE.2~
44	山田孝:建設省土木研究所砂防研究室	1996	技術紀行 米国内務省地質調査所 -カスケード火山観測所の研究活動-	土木技術資料 No.38006. PAGE.56~
45	山田孝:建設省土木研究所砂防研究室	1996	ワールド 米国セントヘレンズ火山における土砂災害対策	土木技術資料 No.38003. PAGE.4~
46	山田孝:建設省土木研究所砂防研究室	1996	海外コーナー 米国の土砂災害防止に対する基本姿勢 -セントヘレンズ火山噴火後の災害対応を事例として-	砂防と治水 Vol.28006. No.108. PAGE.70~
47	浜口博之(東北大理 地震予知・噴火予知観測セ)	1997	火山噴火予知と国際協力	火山 VOL. 42, NO. 6 PAGE. 465-466
48	宇井 忠英編	1997	火山噴火と災害	東京大学出版会
50	Crandell,D.R.and Mullineaux,D.R		Mount St. Helens Volcano: Recent and Future Behavior	Science.187.No. 4175 pp438~441
51	松林 正義		火山と砂防 セントヘレンズ火山	鹿島出版会 P.155~157
52	(社)砂防学会		溪流の土砂移動現象	山海堂 P.250~252

表一 2 テートンダム関連の文献一覧

No.	著者名	年月	タイトル	出典
1	ENGINEERING FOUNDATION CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE	1976	THE EVALUATION OF DAM SAFETY-TETON DAM FAILURE	American Society of Civil Engineers.61-70
2		1976	Teton dam waters rip UP lines in idaho and the railroad fights back.	Railw Track Struct VOL. 72, NO. 8 PAGE. 22-25
3		1976	Equipment armada moves in fast after Teton dam failure.	Constr Methods Equip VOL. 58, NO. 8 PAGE. 54-55
4		1976	Preliminary report faults grout curtain in Teton Dam failure.	Eng News Rec VOL. 196, NO. 25 PAGE. 9-10
5		1976	Grout curtain failure may have triggered Teton dam collapse.	Eng News Rec VOL. 196, NO. 24 PAGE. 10-11
6	広瀬 利雄 建設省河川局水源地对策室	1976	ティートンダム災害の概況	河川 No.365. PAGE.28~
7	北条 敏次	1976	ティートンダムの決壊(続報)	土木技術資料 Vol.18010. PAGE.43~
8	米国内務省ティートンダム事故調査団	1976	海外情報. ティートンダム崩壊事故調査中間報告書	発電水力 No.144. PAGE.82~
9	松本 徳久	1976	ティートンダムの決壊(速報)	土木技術資料 Vol.18008. PAGE.43~
10		1976	アメリカ・ティートンダム決壊(第一報)	農業土木学会誌 Vol.44007. PAGE.442~
11	米国内務省ティートンダム事故調査団	1976	ティートンダム決壊についての中間報告	水と土 第27号 P.1~9
12	仲野 良紀	1976	ティートンダム決壊事故調査報告と決壊原因についての考察	水と土 第27号 P.10~21
14	ARTHUR H G	1977	Teton dam failure.	Eng Found Conf Eval Dam Saf PAGE. 61-68
15	McKENNA D	1977	Valley Bank recalls Teton Dam disaster; emergency recovery actions.	Microgr VOL. 11, NO. 2 PAGE. 137-139
16	PENMAN A D M	1977	The failure of Teton dam.	Ground Eng VOL. 10, NO. 6 PAGE. 18-20, 23-27
17	BOGNER N	1977	Why did the teton dam fail?	Agric Eng (St. Joseph. M VOL. 58, NO. 8 PAGE. 13-16
18		1977	Teton Dam failure is blamed on BuRec design deficiencies.	Eng News Rec VOL. 198, NO. 2 PAGE. 8-9
19	独立調査団	1977	「ティートンダム決壊事故原因調査最終報告書」抄録	発電水力 No.148. PAGE.51~
20	(財)国土開発技術研究センター	1977	ティートンダム事故 現地調査報告会記録および資料	P.201~
21	(財)国土開発技術研究センター	1977	ティートンダム事故 写真集	P.54~
22	林 正夫	1977	Tetonダムの決壊原因	土木学会誌4月号 P.67~70
23	PACKER M R, STEPHEN ALLRED C	1978	Teton dam failure: Experience in disaster response.	Proc Am Soc Civ Eng J Water Resour Plann Manage Div VOL. 104, NO. 1 PAGE. 275-279
25	BARD R J(Water and Power Resources Serv. Colorado)	1979	Teton dam - Foundation grout testing program.	PB Rep PAGE. 42p
27	松本 徳久	1981	ティートンダム・その後の調査(紹介)	土木技術資料 Vol.22009. PAGE.52~
28	SEED H B, DUNCAN J M(Univ. California)	1982	The Teton Dam failure - a retrospective review.	Soil Mech Found Eng 10th Int Conf 1981 Vol 4 PAGE. 219-238
29	BALLOFFET A; SCHEFFLER M L	1982	Numerical analysis of the Teton Dam failure flood.	J Hydraul Res VOL. 20, NO. 4 PAGE. 317-328
30	Robert B.Jansen	1983	Dams and Public Safety	U.S.DEPARTMENT OF THE INTERIOS.Bureau of Reclamation.191-213
31	ロバート B.ヤンセン(君島博次訳)	1983	ダムと公共の安全 世界の重大事故例と教訓	東海大学出版会. 217-244
32	JANSEN R B	1984	Dam safety in the United States.	Int Water Power & Dam Constr VOL. 36, NO. 4 PAGE. 17-20
33	RALSTON M	1987	Dam rebuilt to save it from quakes. Consolidating weak foundation in Wyoming will prevent it from liquefying.	ENR VOL. 219, NO. 12 PAGE. 46-47
34	SINGH V P, SCARLATOS P D	1989	Breach erosion of earth-fill dams and flood routing(BEED) model.	Military hydrology. Report 14. AD Rep PAGE. 128p
35	SMALLEY I J; DIJKSTRA T A	1991	The Teton Dam (Idaho, U. S. A.) failure: problems with the use of loess material in earth dam structures.	Eng Geol VOL. 31, NO. 2 PAGE. 197-203
36	ARTHUR H G, CENTER G W		Effects of some environmental factors on design and construction of Teton dam.	Congr Large Dams VOL. 12, NO. 3 PAGE. 751-761
37			Teton dam failure.	Civ Eng ASCE (Am Soc Civ Eng) VOL. 47, NO. 8 PAGE. 56-61

8. おわりに

井上大榮（日本応用地質学会国際委員長）

日本応用地質学会は、カナダのバンクーバーで行われる IAEG 総会、評議委員会およびシンポジウムの開催に参加することは当然として、第8回海外応用地質学調査団としてシンポジウムに参加し、我が国の応用地質学が世界に先駆けて、学問的に高度な研究成果を得ていることを世界にメッセージを発信すること、また世界での多くの経験や先端的な技術を吸収し、日本に広く伝えることを目的として結団された。

このシンポジウムに参加すると同時に普段見ることが出来ない応用地質学的現象を視察し、露頭を前にして議論することが、将来への役に立ち、また団員相互の理解が増すということはこれまでの7回の海外応用地質学調査団が立証している。

このたびはバンクーバーから立ち寄れる場所としてアメリカ国内に選定し、応用地質学的に関連した規模の大きい災害であるセントヘレンズ火山の噴火跡とテイトンダムの決壊跡をコースとして決定し、会員を募った。これらの災害はアメリカの災害史上のうち、近年でもきわめて大きな災害をもたらしたもので、記憶に新しいものである。セントヘレンズ火山は不可抗力の自然災害、テイトンダムは今から考えれば人為災害と言っても過言ではないであろう。それらが発生したのは1980年と1976年といずれも、発生から時間が経過しているため、災害の痕跡がどの程度残されているかの懸念があったものの、事前の聴き取り調査によれば何れも、立ち入りは可能で人間の手が入らずに残されているとのことであった。

これらの呼び掛けに22名の会員が参加し、またバンクーバーのシンポジウムには当学会員が約50名も参加されている。このことだけからも日本応用地質学会の国際応用地質学会に果たしている役割は極めて大きい影響を与えていると言える。また、シンポジウムにおける発表の内容もオーラル、ポスター何れも他の国の発表と比較すると遜色が無いというよりも、群を抜いて素晴らしい成果が出されている。また、日本人はこれまで英語圏に対してなかなかシャイな所が抜けなかったが、発表の態度や図面なども一流になってきた。

ここに、海外調査団報告書として学会シンポジウムの内容、スタディツアーの内容、感想などを丁寧にまとめた。これは参加者のみならず日本応用地質学会員にも一読頂き、国際応用地質学会ではどのような活動が行われているかなどを認識して頂くために、応用地質学の発展に貢献すべくとりまとめたものである。

また、セントヘレンズ火山災害やテイトンダムの決壊については、当該国のみならず、これまでに日本からも多くの調査団が入り、沢山の単行本や調査団報告書にまとめられている。しかしながら、被害から20年以上経過した現在、応用地質学を実際に職業にしている会員が見た感想をまとめもので、これからここを見学したいという人には参考になるようにとりまとめたつもりである。