

治山ダムクラックの発生・挙動特性 第1報

治山ダムクラックの分類と挙動に関する実用試験

陶 山 正 憲⁽¹⁾

Masanori SUYAMA : Effect of Crack Propagation Behaviour on Mechanical Properties of Concrete Check Dams I

—Practical Investigation on Crack Classification and Propagation Behaviour of Concrete Check Dams—

要 旨：公共性の高い治山ダムの安全設計と事故診断技術の向上をはかるため、治山ダムクラックの実態調査、クラックの分類、およびクラックと伸縮継目の開口量の測定を行った。

まず、治山ダムクラックの実態調査は熊本、高知、大阪、青森の4営林局管内および愛知県下で実施した。その結果、治山ダムに発生したクラックは、ダムの材質とともにクラックの発生位置、規模、発生方向、形態などに特徴が認められたので、これら四つの発生要因ごとにクラックを分類した。

次に、治山ダムに発生したクラックおよび伸縮継目の挙動に関する調査を桜島、眉山、祖谷川平谷の3地区で行った。その結果、桜島地区では、クラック開口変位量と伸縮継目の開口量は、いずれもほぼ同様の経年変化のパターンを示した。一方、眉山地区では、伸縮継目はすべて冬期に開口し夏期に閉塞するが、クラックの開口部は通年的にほとんど変化を示さなかった。これに対して、祖谷川平谷地区では、クラック開口変位量はほとんど一定であるが、伸縮継目は地すべり側圧の影響で夏期に開口する現象が認められた。

また、クラックや伸縮継目の開口部の日変化と堤体温度の日周変化との関係を知るため、活火山桜島地区で盛夏日と厳冬日に連続測定を行った。その結果、クラック開口変位量と伸縮継目の開口量は、いずれも堤体温度の日周変化の影響を受けて顕著な日変化を示し、さらに、クラック開口変位量の日変化には、ヒステリシス現象が確認された。

I 緒 言

近年、セメントコンクリートの著しい品質向上と、いわゆる“生コン”の普及に伴って、治山ダムの堤体材料にも、かなり良質のコンクリートが広汎に容易に使用されるようになってきた。しかしながら、反面、このようなコンクリートの多用化につれて、治山ダムコンクリートに発生するクラック(き裂、ひび割れ)の問題が、各地で憂慮されるようになってきた。治山ダムに発生するクラックは、貫通クラックから表面クラックまで、垂直方向クラックから水平方向クラックまで多種多様で、その発生・進行・伝播・停止などの原因が、ダムに働く内力あるいは外力、ダムの形状、材質、施工法などの、いずれに起因するのか、いまだ明らかにされていないが、いずれにしても、公共性の高い治山ダムの安全設計と事故診断技術の向上をはかるためには、早急に解決すべき重要問題である。このような現状を打開するため、治山ダムに発生するクラックの実態調査と、クラックの挙動測定を実施した。それらの結果をもとにして、本報では、まず治山ダムに発生するクラックの実態と特徴について検討を行い、クラックの分析と分類を実施した。次に、現実の治山ダムクラックの開口変位量とダムの伸縮継目の開口量の経年的、経時的変化について、若干の破壊力学的考察を加えた。

本研究は、昭和51～54年度に実施された国有林野事業特別会計技術開発試験の結果^{6),7)}を整理し、これまでの報告¹⁾⁻⁵⁾と合わせて検討を加えたものである。本稿をとりまとめるにあたり、種々ご指導を賜った東京大学名誉教授 北川英夫工学博士に対し、衷心より感謝の意を表す。また、既報の共同研究者であり、調査・測定にご協力をいただいた林業試験場北海道支場治山研究室長 真島征夫技官、同東北支場防災研究室長 竹内美次技官、同九州支場防災研究室主任研究官 竹下幸技官および同九州支場防災研究室大谷義一技官に対し、深厚なる謝意を表す。

II 治山ダムクラックの発生要因とその分類

1. 治山ダムのクラック発生の実態

治山ダムに発生する各種クラックの実態を把握するため、熊本・高知・大阪・青森の各営林局管内、および愛知県下において、クラックの発生がたまたま認められた治山ダムについて、昭和51, 52の両年度に現地調査を実施した。これらの治山ダムには、クラックがダムの水叩部や護岸のように本体以外に発生している例⁷⁾も含まれていたため、ここではそれらを除外して、Table 1に示す25基の治山ダムを対象にした。これらの供試ダムには、工種として谷止、床固および堰堤が含まれ、その材料としてはいわゆる純コンクリート(17基)、鉄筋コンクリート(1基)、玉石コンクリート(6基)、練積(1基)が使用されている。また、その諸元を要約すると、ダム長17.5～109.0m、ダム高3.0～10.5m、ダム体積76.2～1932.3m³、水抜孔数0～8個、伸縮継目の平均間隔11～25mなどになる。

さて、Table 1の治山ダムに発生したクラックはいずれも複雑で、種々さまざまな性状を呈しているが、その特徴として、ダムの材質とともに①クラックの発生位置、②クラックの規模、③クラックの発生方向、④クラックの形態、などに一定の傾向が認められた。したがって、これら四つのクラック発生要因ごとにクラックを分類するために、Table 1に示した25基の治山ダムの形状とクラックの発生位置、規模、発生方向、形態などを詳細に図化した。これらの図版をもとにして、以下のような分類を行った。

2. 治山ダムクラックの分類

治山ダム本体に発生したクラックを、その発生位置、規模、発生方向、形態のような発生要因ごとに分類すると、次のようになる。

(1) クラックの発生位置による分類

治山ダムに発生したクラックを、その発生位置とダムの材質の面から分類すると、Fig. 1に示すような五つのタイプになる。ここで、Aは水抜孔周縁から発生するクラック、Bは伸縮継目や縦・横の打継目などから発生するクラック、Cは放水路天端や袖天端の立ち上がり部のような形状の変換点から発生するクラック、Dはダムの天端から発生するクラック、Eはダム底から発生するクラックである。

A：水抜孔から発生するクラック

これは、治山ダムの水抜孔周縁から四方に発生するクラックで、このタイプのクラックのみが認められた例としてはダム No. 17, 19, 22であり、他のタイプと共存する例としてはダム No. 2, 4, 5, 8, 14, 15, 18である。

水抜孔周縁部における応力集中は、一般にその形状によって異なるが、クラックは水抜孔の形状にほとんど関係なく発生し、ダム No. 4, 5, 15, 22は矩形の水抜孔に、他の6基は円形の水抜孔に発生したクラックである。なお、治山ダムに発生したクラックの進行方向は、ダム No. 2の場合のみ水平方向で、他

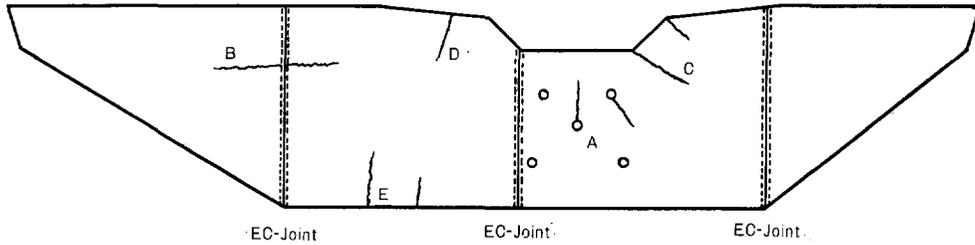


Fig. 1. 治山ダムのクラック発生位置
Crack growth situation at torrent control dam.

はすべて垂直方向に伸びている。

B : 各種の継目から発生するクラック

これは治山ダムの打継目、伸縮継目、縁切り部分などから発生するクラックで、このタイプの典型的な例はダム No. 4 と 18 で、No. 3, 5, 7, 15, 20 にも、この種のクラックが認められる。なお、ダム No. 7 は練積石ダム、No. 15 は玉石コンクリートダムである。

C : ダム形状の変換点から発生するクラック

これは治山ダムの構造上、形状が急変する袖の立ち上がり部や取り付け部などから発生するクラックで、このタイプの例はダム No. 6~12, 16 の計 8 基に認められるが、特に No. 6, 11 のクラックは、この種の典型的な例である。なお、No. 8, 12 以外は玉石コンクリートダムないし練積石ダムであることに注目したい。

D : ダム天端から発生するクラック

これは治山ダムの水通し天端や袖天端から発生するクラックで、このタイプの例はダム No. 3, 5, 12, 15, 16, 21, 23~25 の計 9 基に認められるが、特に No. 24 のクラックはこの種の典型的な例である。なお、No. 15, 16 は玉石コンクリートダムである。

E : ダム底から発生するクラック

これは治山ダムの堤底部から発生するクラックで、このタイプの例はダム No. 1, 9, 13, 18 に認められる。なお、No. 9 は玉石コンクリートダムである。

以上の分析結果をダムの材質別に検討すると、コンクリート（純コン）ダム 18 基に発生したクラック（44 本）は B, A, D タイプが多く、その約 86% を占めている。これに対して、玉石・練積石コンクリートダム 7 基に発生したクラック（19 本）は C, B, D タイプが多く、その約 90% を占めるが、特に C タイプについては、クラック発生率がコンクリートダムより著しく高い傾向が認められる。

(2) クラックの規模による分類

Table 1 に示す 25 基の治山ダムの本体に発生した 63 本のクラックを詳細に観察すると、クラックの規模（3 次元的位置と大きさ）により、次の三つのタイプに分類される。

A : 表面クラック

これは治山ダムの堤体表面に検出されるクラックで、まだ下記の貫通クラックには達しないものである。ここで発生が認められたクラックのうち、約 50% はこの表面クラックであった。

B : 内部クラック

Table 1. クラックの発生が
Dimensions of check dams

ダム番号 No. of dams	ダム名 Name of check dams	施工年度 Established year	ダム材料 Materials	ダム
				Dimension ダム長 Length (m)
1	桜島長谷川1号谷止 Hasegawa No. 1	1976	コンクリート Concrete	70.4
2	桜島中津野川1号谷止 Nakatsunogawa No. 1	1976	"	29.5
3	桜島横石沢1号谷止 Yokoishizawa No. 1	1976	"	43.5
4	眉山4溪10号谷止 Bizan 4th kei No. 10	1975	"	109.0
5	宇美山4号谷止 Umiyama No. 4	1975	"	47.0
6	柳井谷2号谷止 Yanaidani No. 2	1958	玉石コンクリート Boulder C.	53.2
7	柳井谷5号谷止 Yanaidani No. 5	1957	練積 Wet Masonry	34.0
8	松邦川1号床固 Matsukunigawa No. 1	1975	コンクリート Concrete	62.0
9	桎尾谷6号床固 Kashiodani No. 6	1960	玉石コンクリート Boulder C.	44.5
10	桎尾谷13号床固 Kashiodani No. 13	1968	"	35.5
11	祖谷川平谷2号床固 Tairadani No. 2	1964	"	57.0
12	祖谷川平谷3号床固 Tairadani No. 3	1963	コンクリート Concrete	54.0
13	祖谷川平谷7号床固 Tairadani No. 7	1977	"	61.4
14	祖谷川平谷9号床固 Tairadani No. 9	1976	鉄筋コンクリート Reinforced C.	74.5
15	仏通寺山1号堰堤 Buttsujisan No. 1	1962	玉石コンクリート Boulder C.	52.0
16	三ツ目内川床固 Mitsumenaigawa	—	"	59.0
17	島田川2号床固 Shimadagawa No. 2	1971	コンクリート Concrete	34.0
18	飛金沢堰堤 Tobikanesawa	1974	"	49.0
19	食場沢堰堤 Syokubasawa	1974	"	26.0
20	秋山沢堰堤 Akiyamasawa	1974	"	48.0
21	本内川堰堤 Honnaigawa	1974	"	36.0
22	西広瀬谷止 Nishihirose	1975	"	17.5
23	大坂1号谷止 Osaka No. 1	1973	"	23.0
24	大坂2号谷止 Osaka No. 2	1973	"	36.0
25	大坂床固 Osaka	1973	"	34.0

認められた治山ダムの諸元
confirmed with cracking.

の諸 of dams ダム高 Height (m)	元 体積 Volume (m ³)	水抜孔数 No. of drainage hole	伸縮継目数 No. of EC-Joint	クラック数 No. of crack	所 轄 Jurisdiction	
					営 林 局 Regional Forest Office	営 林 署 District Forest Office
7.0	1504.3	5	3	1	熊 本 Kumamoto	鹿 児 島 Kagoshima
6.0	501.2	5	0	1	"	"
7.0	807.8	5	3	2	"	"
6.0	1932.3	2	5	7	"	長 崎 Nagasaki
5.0	300.8	2	1	3	"	福 岡 Fukuoka
7.5	1168.3	6	0	1	高 知 Kochi	大 柄 Otochi
10.0	1230.7	5	0	1	"	"
5.0	667.7	7	2	4	"	"
7.0	883.8	5	0	1	"	徳 島 Tokushima
5.0	443.8	3	0	3	"	"
9.5	1467.0	1	縁 切 Divided	2	"	"
8.0	1563.0	1	縁 切 Divided	4	"	"
6.0	1693.3	5	2	1	"	"
5.0	1680.6	5	2	1	"	"
10.0	1719.2	3	0	8	大 阪 Osaka	西 条 Saijo
4.0	—	3	0	3	青 森 Aomori	大 鰐 Owani
3.0	—	2	0	1	"	"
10.5	1245.5	2	0	7	"	三 本 木 Sanbongi
4.0	—	3	0	3	"	鯉 ヶ 沢 Ajigasawa
6.0	1082.7	8	1	1	"	白 石 Shiroishi
5.0	—	5	1	1	"	川 尻 Kawajiri
3.0	76.2	1	0	1	(愛 知 県) (Aichi Pre.)	(豊 田 事 務 所) (Toyota)
5.5	202.5	1	0	1	(")	(")
7.4	606.8	1	1	4	(")	(")
4.0	208.6	0	1	1	(")	(")

これは治山ダムの表面には現れないクラックで、堤体内部に発生するクラックである。この種のクラックは、概念的には分類されるが、現実的には肉眼などによる検出が困難である。現在、圧力容器などの内部クラックの発見には AE (Acoustic Emission) 法が適用されているが、治山ダムへの適用例はまだ皆無である。

C：貫通クラック

これは治山ダムの上流面から下流面まで貫通しているクラックで、完全な貫通クラックに成長すると、そのクラックを境界として、ダム体は完全に分離されることになる。ここでは、22基の治山ダムに32本の貫通クラックが確認された。

以上の結果をダムの材質面から検討すると、貫通クラックの発生が確認されたのは、玉石・練積石コンクリートダムの全部、コンクリートダムの18基中15基であるが、そのうち表面クラックが検出されたのは、前者で3基、後者で10基である。また、表面クラックと貫通クラックの発生率は、両者ともほぼ同様である。なお、内部クラックについては、その検出法が実用化されていないので、確認されなかった。

(3) クラックの発生方向による分類

治山ダムクラックの発生・伝播方向を、ダムの中心軸との関連において表現すると、次のような3種類に大別できる。

A：縦クラック

治山ダムクラックがダムの正面図上において上下方向に位置する場合で、一般に治山ダムに発生するクラックはこのタイプが最も多い。この縦方向クラックは、治山ダムの構造上、ダムの破壊を惹起する危険性は一般に低いが、水理上の問題点は残される。なお、伸縮継目も構造力学的には人工の縦クラックとみなされる。この種のクラックは、全クラックの約75%を占めている。

B：斜めクラック

クラックがダムの中心軸に対して、ある角度をもって発生・伝播する場合で、治山ダムクラックの例としては縦クラックほど多くはないが、ダム体の破壊に至る危険性は高い。この種のクラックの発生原因は種々考えられるが、いずれにしても、このタイプは、ダムの構造上、せん断性クラックとみなされる。この種のクラックは、63例中15例が検出された。

C：横クラック

治山ダムクラックがダムの水通し天端やダム底にはほぼ平行に位置する場合で、治山ダムでは一般に発見しにくい。その理由としては、治山ダムの構造上、部分的に横方向クラックが発生しても、そのクラックより上部のダム体の自重により、そのクラックの開口が阻止される結果と考えられる。したがって、この種のクラックは、上載自重によるクラック面での水平せん断抵抗力が外力より大であれば、これによって上部構造物を十分支持しうるので、ダム体の破壊には至らない。しかしながら、このような横クラックが貫通クラックにまで発達すれば、治山ダムの破壊に対する危険性は十分高くなるものと考えられる。この種のクラックは、63例中わずか2例しか検出されず、いずれも表面クラックであった。

(4) クラックの形態による分類

治山ダムに発生するクラックは、同一方向、同一規模のクラックでも、一般的には複雑な形態を示す場合が多い。また、巨視的には直線状クラックでも、微視的には単一クラックの合成によるクラックも観察される。このように複雑なクラックを、ここでは次の三つの形態に分類した。

A : 直線クラック

治山ダムクラックとしては最も多く見られるタイプで、本調査例中約75%がこのタイプに属する。この直線クラックは、クラックと主応力の方向との位置関係によって細分類される。すなわち、Fig. 2のように主応力方向に直角に位置する垂直クラック、Fig. 3のように平行に位置する水平クラック、Fig. 4のように斜めに位置する傾斜クラックである。これら3種のクラックは、それぞれ引張応力場、圧縮応力場、およびせん断応力場において発生した直線クラックである。なお、治山ダム No. 20は微視的には屈折クラックに属するが、巨視的には直線クラックと判定されたものである。

B : 屈折クラック

治山ダムに発生するクラックとしては、あまり多くは認められていないタイプであり、Fig 5のようにクラックの先端が折れ曲がって発生・進展したものである。この形態のクラックは、引張応力方向に対して、ほぼ直角の方向に伝播する。なお、本調査では、全クラックの約20%がこの形態に属していた。

C : 分岐クラック

この形態のクラックは、Fig. 6のようにクラック先端が二つ以上に枝分かれしたものである。治山ダムに発生したクラックは、いったん複数個のクラックに分岐すると、クラックの成長速度は一般に減少、あるいは停止することが知られている。この種のクラックは、一般に治山ダムでは発見しにくいものであり、本調査でも、わずかに4例しか確認されなかった。

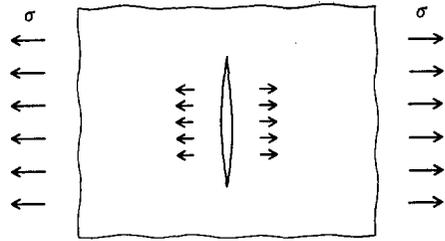


Fig. 2. 垂直クラック
Vertical straight crack.

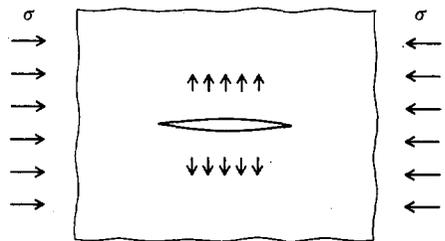


Fig. 3. 水平クラック
Horizontal straight crack.

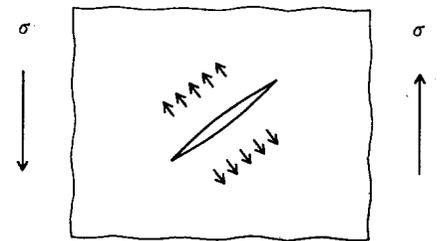


Fig. 4. 傾斜クラック
Slant crack.

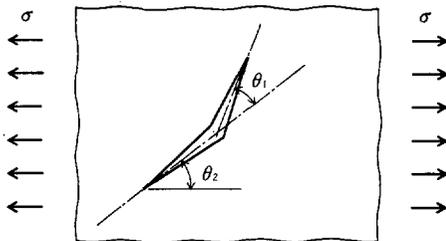


Fig. 5. 屈折クラック
Refractive crack.

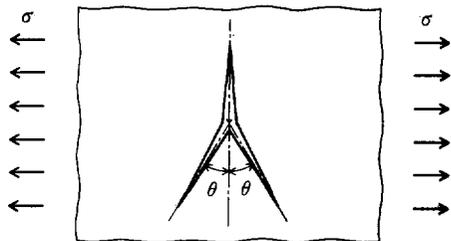


Fig. 6. 分岐クラック
Branched crack.

以上、ここでは治山ダムクラックの実態を明らかにするとともに、クラックの発生位置、規模、発生方向、形態などの要因ごとにクラックを分類し、その結果を要約して Table 2 に示した。これらの結果に対する力学的な評価については、統報で詳細な検討を行いたい。

Table 2. 治山ダムクラックの要因分析結果
Elementary analyzed table for several cracks occurred in check dams.

ダム番号 No. of dam	クラック記号 Sign of crack	クラック長 Crack length (m)	クラックの種類 Classification of crack			
			発生位置 Location	規模 Scale	発生方向 Direction	形態 Shape
1	a	4.0	E	A	A	A
2	a	2.4	A	A	C	A
3	a	1.8	D	C	B	A
	b	5.4	B	A	C	A
4	a	1.2	B	A	A	B
	b	1.2	B	A	A	C
	c	0.9	B	A	A	A
	d	1.1	B	A	A	A
	e	3.0	A	C	A	B
	f	1.1	B	A	B	A
	g	0.5	A	A	A	A
5	a	1.7	D	C	A	A
	b	0.6	A	A	A	A
	c	0.8	B	A	A	A
6	a	13.4	C	C	B	A
7	a	8.8	C	C	B	A
8	a	4.0	B	A	C	A
	b	3.0	A	C	C	A
	c	4.2	A	C	A	A
	d	2.0	C	C	A	A
9	a	8.4	E	C	A	A
10	a	1.6	C	C	B	A
	b	5.8	C	A	C	B
	c	3.6	C	A	C	B
11	a	6.6	C	A	C	A
	b	13.5	C	C	B	B
12	a	2.9	D	C	A	B
	b	3.0	C	C	A	B
	c	1.2	D	A	A	A
	d	8.1	C	C	B	C
13	a	0.8	E	A	A	A

Table 2. (続き)
(Continued)

ダム番号 No. of dam	クラック記号 Sign of crack	クラック長 Crack length (m)	クラックの種類 Classification of crack			
			発生位置 Location	規模 Scale	発生方向 Direction	形態 Shape
14	a	4.6	A	C	A	A
15	a	8.0	D	C	A	A
	b	2.6	B	A	B	A
	c	2.5	B	A	C	A
	d	3.5	B	A	B	A
	e	7.6	D	C	A	A
	f	5.0	A	A	A	A
	g	1.2	B	A	A	A
	h	4.0	B	A	A	C
16	a	4.0	D	C	A	B
	b	4.5	C	C	B	B
	c	5.4	D	C	A	A
17	a	2.0	A	C	B	A
18	a	1.9	B	A	A	A
	b	1.8	B	A	A	A
	c	11.6	A	C	A	B
	d	8.2	B	A	C	A
	e	3.6	B	A	A	A
	f	2.8	B	A	A	B
	g	2.6	E	A	A	A
19	a	1.8	A	A	B	A
	b	3.0	A	C	A	A
	c	0.9	A	A	A	A
20	a	7.0	B	C	A, B	A, B
21	a	2.4	D	C	A	B
22	a	1.3	A	C	B	A
23	a	3.5	D	C	A	A
24	a	5.0	D	C	A	A
	b	5.0	D	C	A	A
	c	4.0	D	C	A	A
	d	3.3	D	C	A	A
25	a	2.0	D	C	B	C

III 治山ダムクラックと伸縮継目の挙動特性解析

治山ダムに発生したクラックが、その後いかなる挙動を示すかを予測し、それが進行性クラックである

か否かを判定することは、治山ダムの効果的利用と事故診断技術の開発上、きわめて重要な問題であるにもかかわらず、その判定法ははまだ確立されていない。このような現状打開のため、治山ダムのクラック開口変位量 (Crack Opening Displacement, COD) の測定方法を検討するとともに、クラック開口変位量とクラック発生防止用の伸縮継目 (Expansion Contraction Joint, EC-joint) の挙動に関する検討を行うため、クラックの開口変位量と伸縮継目の開口量の経時変化を測定した。

1. 試験地と供試ダムの概況

供試ダムは、鹿児島営林署管内桜島横石沢 1 号、長谷川 1 号、中津野川 1 号の各谷止、長崎営林署管内眉山 4 溪 10 号谷止および徳島営林署管内祖谷川平谷 7 号、9 号両床固の計 6 基の治山ダムである。これら 3 地区の概況を以下に示す。

(1) 桜島地区

本地区は、鹿児島県鹿児島郡桜島町のほぼ全域からなり、活火山桜島の北西斜面に位置し、その面積は約 3200 ha である。

気候は暖帯に属し、年平均気温 18.6°C、年平均降水量 2352 mm、月平均降水量は 6 月が最大で、7、5、4、8 月がこれに続く。なお、山岳地特有の上昇気流の頻発により、局地性豪雨が発生しやすい。

地形は北岳を最高峰として、桜島の北西に扇状をなす山腹、山麓面より形成され、本地区の大部分は山腹斜面である。これら山腹の傾斜は、山頂直下の急崖部で 46%、山腹緩斜面で 19~25%、山麓および裾野部で 6~12% である。なお、供試ダムは北岳を中心に放射状に発達した 10 溪流中の 3 溪流に位置しているが、これらの溪流はいずれも山頂から河口までの距離が短く、急流をなして一挙に鹿児島湾へ流入している。

当地区の地質は、長谷川、横石沢、中津野川流域ともに北岳裾野層 (ボラおよび火山灰)、北岳集塊岩、北岳溶岩流が複雑に分布し、本地区の全域にわたり、地表、特に溪流侵食による谷壁には、安永ボラと大正ボラが層状に厚く堆積している。

(2) 眉山地区

長崎県島原市に属し、過去数次にわたる温泉火山の噴火に伴う地震の影響を受けて、山体各所にひずみや割れ目が多く発生し、0 溪から 7 溪まで八つの崩壊地が現存している。流域面積は 539 ha で、そのうち供試ダムのある 4 溪は 48 ha である。

気候は温帯に属し、年平均気温 11.6°C、年平均降水量 2749 mm、既往最大日雨量 470 mm、平均降雨日数 147 日である。

地質は風化の著しい角閃安山岩からなり、地形は急峻であり、4 溪の傾斜角は山腹部で 138%、扇状地で 18% に達する。

(3) 祖谷川平谷地区

本地区は徳島県三好郡東祖谷山村に位置し、徳島営林署祖谷川第二治山事業所管内 (2374 ha) に属する。平谷地区の面積は 194.45 ha であり、その全域が地すべり指定地であり、吉野川支流祖谷川の水源に近い標高 850 m 以上の地域である。年平均降水量は 2700 mm に達し、冬期の積雪量も多い。

地質は三波川変成岩 (黒色千枚岩、緑色片岩、石英片岩) と御荷鉾緑色岩類からなり、断層、破碎が発達している。地形は左岸の山腹傾斜が標高 925 m 以下で 47%、925~1275 m で 27%、1275 m 以上で 58% である。

なお、平谷3号ダムの左岸側から堤体に作用する地すべり推力 (H) は、 $H=630\sim 700$ (ton/m²) と推定されている。

2. クラック開口変位量と堤体温度の測定方法

(1) クラック開口変位量の測定方法

治山ダムのクラック先端部の挙動を推定する方法としては、従来から、

① き裂変位計で表面クラックの開口変位量 (COD) の変化を測定し、クラック先端部の挙動を推定する方法、

② 表面クラックの先端部を塗料でマーキングし、クラック先端の挙動を追跡する方法、

③ ダムサイト両岸に設定した固定点に対し、クラック周辺のダム体の変位量を計測する方法、

などが考えられているが、測定の精度、能率、経済性などとともに、機器の堅牢性も考慮して、①の方法を採用した。

さて、治山ダムの表面クラックと伸縮継目の開口変位量の測定には、Fig. 7 のような、ひずみゲージを応用した防水性のき裂変位計 (市販のき裂変位変換器、共和電業 BCD-5B 型、容量 ± 5 mm、定格出力 ± 2000 μ ひずみ) を使用した。この変位計を、クラックおよび伸縮継目に直角にまたいで固定するため、堤体コンクリートの変位計取り付け予定位置に、あらかじめ電動ドリル ($\phi 10$ mm 刃) で2箇所穿孔し、この孔に変位計固定用のグリップアンカーを挿入・固定し、これにゲージの出力を調整しながら変位計を取り付けた。COD の変化に伴う変位計の出力は、静ひずみ指示器で直読した。

次に、COD の年変化の測定は、Table 3 に示す3地区の6基の治山ダムを対象にして、Fig. 8.9 に示す箇所で行った。それらの観測期間における各地の気象概況を要約すると Table 4 のようになる。なお、祖谷川平谷地区では、昭和53年6月下旬の豪雨による大出水のため、き裂変位計が破損・流亡し、その後の測定が不能となった。また、COD の日変化の測定は、桜島地区の横石沢1号谷止において、夏期 (昭和54年7月31日～8月1日) と冬期 (昭和55年1月29日～30日) に、それぞれ実施した。その谷止における各センサーの取り付け箇所は、Fig. 10 に示すとおりである。

(2) 堤体温度の測定方法

治山ダムにおけるクラックの COD 変化と伸縮継目の挙動、および堤体とその周辺の温度の日変化を検

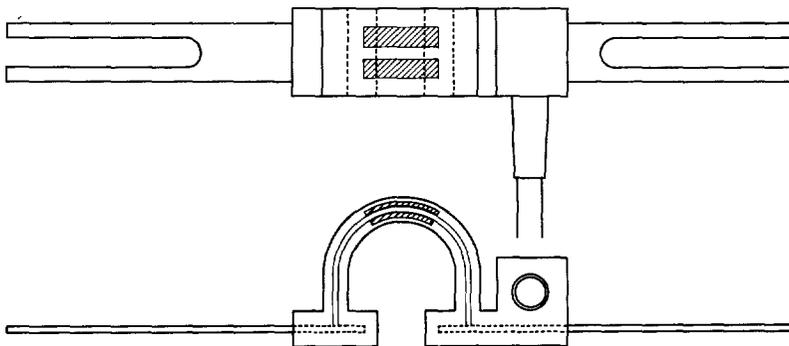


Fig. 7. き裂変位計 BCD-5B 型 (斜線部分はひずみゲージ)

Schematic view of crack opening displacement gage, Type BCD-5B.
(Parts of oblique line show the strain gage)

Table 3. 供試ダムと観測期間
Testing dams and their observation periods.

地 区 District	供 試 ダ ム Testing dam	観 測 期 間 Observation period		観 測 回 数 No. of Observation
		自 from	至 to	
桜 島 Sakurajima	横石沢1号谷止 Yokoishizawa No. 1	Oct. 1977	Sep. 1978	12
	中津野川1号谷止 Nakatsunogawa No. 1	Oct. 1977	Sep. 1978	12
	長谷川1号谷止 Hasegawa No. 1	Oct. 1977	Sep. 1978	12
眉 山 Bizan	4 溪 10 号 谷 止 4th kei No. 10	Nov. 1977	Sep. 1978	11
祖 谷 川 Iyagawa	平 谷 7 号 床 固 Tairadani No. 7	Sep. 1977	July 1978	11
	平 谷 9 号 床 固 Tairadani No. 9	Sep. 1977	June 1978	10

討するため、桜島地区と比較的近距離にある鹿児島地方気象台における最高気温の極値起日、および最低気温の極値起日を参考にして、前述の盛夏日と厳寒日を選定して観測を実施した。

温度の測定には、自記式の熱電対（銅コンスタンタン）温度計（12 センサ）、直読式のサーミスタ温度計（12 センサ）、（8 センサ）および、ひずみゲージ式温度変換器（2 センサ）を使用した。これらのセンサのうち15 センサは堤体温度の測定用に、残りの7 センサは気温、地温、室温（観測小屋）の測定用に、それぞれ設置した。堤体およびその周辺における各センサの配置を Fig. 10 に示す。

なお、桜島の火山活動が治山ダムクラックや伸縮継目の挙動に及ぼす影響をみるため、京都大学防災研究所付属桜島火山測測所で得られた測定記録を借用し、そのデータを分析して検討資料に供した。

3. クラックの挙動測定結果に対する検討

(1) クラック開口変位量の経年変化

前記3地区の治山ダム6基におけるクラックの開口変位量と伸縮継目の開口量の経年変化について、地区別ダム別に検討を行う。

1) 桜島地区

桜島の横石沢1号、中津野川1号、長谷川1号の各谷止のクラック開口変位量と伸縮継目の開口量は、Fig. 11 のように巨視的にはすべてほぼ同様の挙動パターンを示す。すなわち、Fig. 11 によると、横石沢1号谷止の斜めクラック②、⑤と横クラック④、中津野川1号谷止の横クラック①および長谷川1号谷止の縦クラック①の開口変位量の変化は、いずれも同一の挙動傾向を示す。つまり、10月～3月の秋～冬季の期間にはほとんど変化は認められないが、4月には急激に閉塞し、7月に再び開口するという、挙動パターンを示している。

ここで、4月～6月のクラック開口変位量の極小値は、10月～3月と比べて、斜めクラックで約2mm、横クラックで約1.5mm 閉じている状態にある。なお、横石沢1号谷止の伸縮継目の開口量が欠測であるのは、鳥害（カラス）による変位計の損傷に起因するものである。

さて、クラック開口変位量の年変化に影響を及ぼす要因として、まず堤体温度の季節的变化が考えられ

Table 4. 試験地周辺における観測期間中の気象概況
General weather condition near the experimental site at the period of investigation.

地区 District 測候所 Meteorological Station (標高) (Elevation, m)	月 Month 気象要素 Weather Element	1977			1978									
		Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sep.	
桜島 Sakurajima 鹿児島地方気象台 Kagoshima (4 m)	降水量 Precipitation (mm)	10.5	70.5	81.0	67.0	67.5	71.5	174.0	213.5	253.5	291.0	194.0	199.5	
	気温 Temperature (°C)	月平均 Mean	21.6	15.9	11.1	7.9	7.5	11.0	15.2	20.5	24.6	28.2	28.2	26.0
		月最高 Max. 月最低 Min.	29.5 11.6	27.9 2.1	20.6 - 0.9	18.2 - 2.3	22.1 - 2.5	21.7 - 1.8	26.4 1.4	29.6 9.0	33.2 14.5	35.6 22.7	34.3 23.2	34.3 19.3
眉山 Bizan 雲仙岳測候所 Unzendake (668 m)	降水量 Precipitation (mm)	33.5	163.5	105.5	107.0	63.0	102.5	217.5	85.0	601.0	69.5	217.0	168.5	
	気温 Temperature (°C)	月平均 Mean	16.2	10.5	6.4	2.4	2.4	5.7	11.0	16.4	19.6	23.7	23.3	20.7
		月最高 Max. 月最低 Min.	24.1 6.0	21.6 - 0.7	16.2 - 4.2	11.2 - 5.5	16.4 - 6.6	15.3 - 4.2	22.6 2.0	25.1 7.1	28.1 8.4	31.1 18.3	30.0 18.7	29.3 13.2
祖谷川平谷 Iyagawa Tairadani 京上観測所 Kyojo (600 m)	降水量 Precipitation (mm)	68.0	294.0	70.0	129.0	—	—	109.0	71.0	498.0	119.0	312.0	—	
	気温 Temperature (°C)	月平均 Mean	—	—	—	—	—	—	10.6	15.2	19.2	23.3	23.1	20.3
		月最高 Max. 月最低 Min.	27.3 3.1	24.6 - 3.3	19.4 - 4.5	12.0 - 7.3	— —	— —	25.8 - 2.0	29.7 4.2	28.4 4.3	33.6 15.9	31.8 15.3	29.7 11.1

治山ダムクラックの発生・挙動特性 (第1報) (陶山)

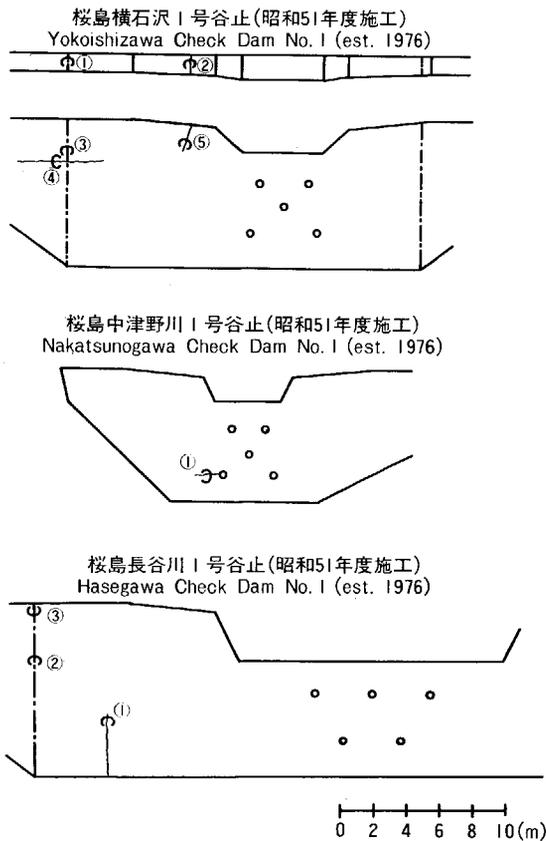


Fig. 8. 治山ダムのクラックと伸縮継目へのき裂変位計の配置 (桜島地区)
Arrangement of COD-gage installed at crack and EC-joint of check dams situated in Sakurajima district.

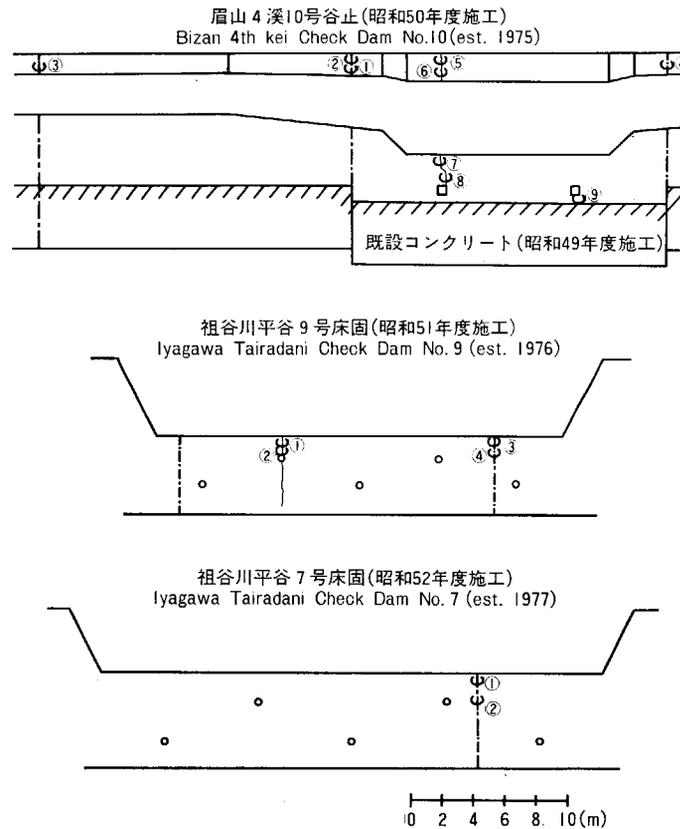


Fig. 9. 治山ダムのクラックと伸縮継目へのき裂変位計の配置 (眉山地区および祖谷川地区)
Arrangement of COD-gage installed at crack and EC-joint of check dams situated in Bizan and Iyagawa districts.

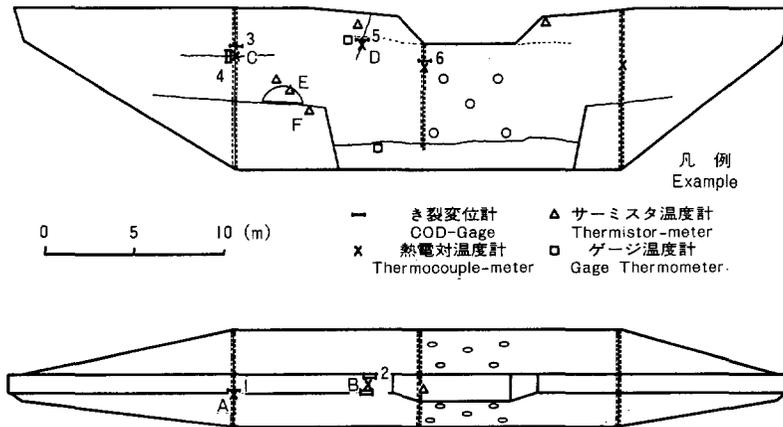


Fig. 10. き裂変位計と温度計測センサーの取り付け位置 (桜島地区)
Arrangement of COD-gage and thermometric sensor on check dam
situated in Sakurajima district.

る。すなわち、クラックや伸縮継目は、一般に夏期(6月～8月)の高温期間に最大閉塞値を示すが、本例では4月～6月にそれが出現している。このように最大閉塞値の出現時期が異なる現象が、桜島の火山活動に起因するの否かについて、以下に若干の検討を行った。すなわち、昭和52年10月～53年9月までに得られた桜島の火山活動に関する種々の資料を分析・整理すると、月別の火山爆発回数が Fig. 11、地表面の辺長変化が Fig. 12、月別の地震回数と月最大地面振幅が Table 5 のようになる。

結果として、昭和53年4月～6月までの期間中に、特に顕著な火山活動があったとは認められないが、そのほかの期間に比べて、

- ① 地表面の辺長変化が若干大きいこと、
- ② 5月と6月の爆発回数がやや多いこと、

などの傾向がうかがわれる。しかしながら、この程度の火山活動がクラックの挙動に及ぼす直接的な原因であるか否かについては、さらに力学的な検討を加える必要がある。

2) 眉山地区

眉山4溪10号谷止では、Fig. 13のように伸縮継目(①～④)はすべて冬期に開口し、夏期に閉塞するという、ほぼ同様のパターンを示し、冬期～夏期の最大変動値は11.3mmとなる。この現象は堤体の両端部より中央部の方が顕著である。これに対して、クラック(⑤～⑨)の開口変位量は、いずれも通年的にやや閉じたままで、ほとんど変化を示さない。結果として、この谷止の2本のクラックは、その時点では進行性クラックとは認められず、むしろ停止クラックと推察されるが、伸縮継目の開口量の大きな変化は注目に価する。

3) 祖谷川平谷地区

祖谷川平谷の9号床固では、Fig. 13のようにクラック①、②と伸縮継目③、④は、いずれも冬期に若干開き、その後次第に閉じていくのに対し、平谷7号床固の伸縮継目①、②は、冬期にはほとんど停止し、その若干の変化は認められるものの、夏期に大きく開口する傾向がうかがわれる。これらの結果から、平谷9号床固のクラックは、その時点では停止クラックと考えられるが、平谷7号床固の伸縮継目の夏期に

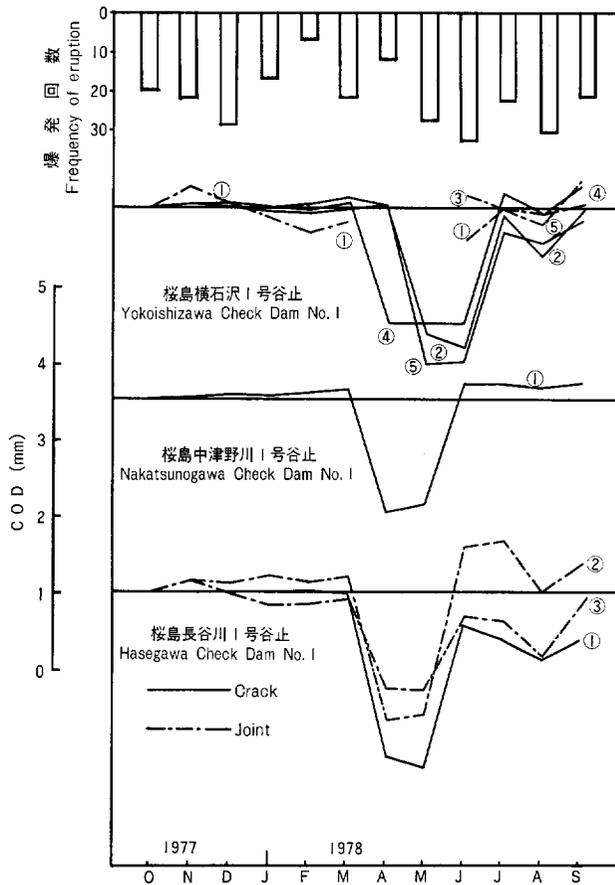


Fig. 11. 桜島地区における治山ダムクラックの開口変位量の年変化と桜島火山の月別爆発回数 (昭和 52 年～53 年)

Annual variation of crack opening displacement of check dam and frequency of eruption in each month in Mt. Sakurajima from 1977 to 1978.

おける開口現象は、地すべり側圧の影響によるものではないかと推察される。

以上、3 地区における 6 基の治山ダムについて、クラックと伸縮継目の挙動測定結果について、若干の検討を加えたが、さらに今後の問題点として、自記記録装置を有するクラック開口変位量観測システムの開発をはかり、開口変位量の時間ないし日変化を精度よく測定する必要がある。

(2) クラック開口変位量の日変化に及ぼす堤体温度の影響

治山ダムクラックの開口変位量および伸縮継目の開口量の日変化と各種温度との関連性を検討するため、桜島地区の横石沢 1 号谷止を例にとり、前記の盛夏日と厳冬日に現地観測を実施した。これに先だち、当該ダムが活火山桜島に位置するので、まず火山の活動状況について検討することにした。

火山活動の表示法としては、現在種々の方法が提案されているが、ここでは火山活動に伴う振動エネルギー・カウント数の記録を使用することにした。その結果、盛夏期と厳冬日の両観測日における火山の活動状況は、Fig. 14 のように比較的平穏であり、特に火山爆発は厳冬日の観測終了時の直前 (昭和 55 年 1 月

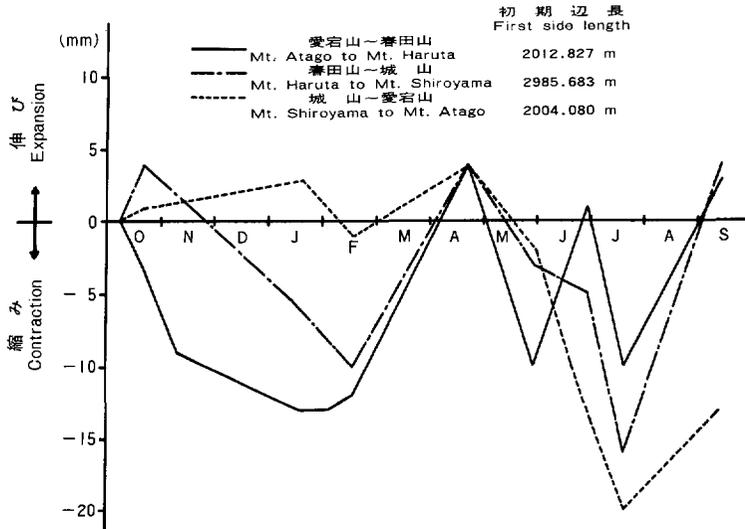


Fig. 12. 桜島地区における火山活動による地表面の辺長変化(昭和52年~53年)
Variation of side length on the earth's surface in Sakurajima district, from 1977 to 1978.

Table 5. 桜島地区における火山の活動状況 (昭和52年10月~53年9月)
Volcanic activity such as eruption and earthquake,
at Mt. Sakurajima, from Oct. 1977 to Sep. 1978.

年 Year	月 Month	爆発回数 Frequency of eruption	地震回数 Frequency of earthquake		上下動の最大振幅 Max. amplitude (mm)	合成最大振幅 Compound Max. amplitude (μ)
			A型地震 Type-A	B型地震 Type-B		
1977	10	20	6	5385	30	418
	11	22	11	6684	56	482
	12	29	1	8300	19	187
1978	1	17	10	7068	18	194
	2	7	6	4978	14	130
	3	22	4	7468	20	200
	4	12	3	7334	21	185
	5	28	2	6149	28	267
	6	33	11	8009	23	217
	7	23	6	14435	18	179
	8	31	0	6147	22	225
	9	22	1	5968	18	207

(Remarks) A型地震：震源の深さ1~15 km
Type-A : Depth of seismic center is from 1 to 15 km.
B型地震：震源の深さ1 km 以内 (火口近傍)
Type-B : Depth of seismic center is less than 1 km.
合成最大振幅：水平動と上下動の最大振幅を合成したもの
Compound maximum amplitude : Maximum amplitudes of horizontal and vertical movement are compounded.

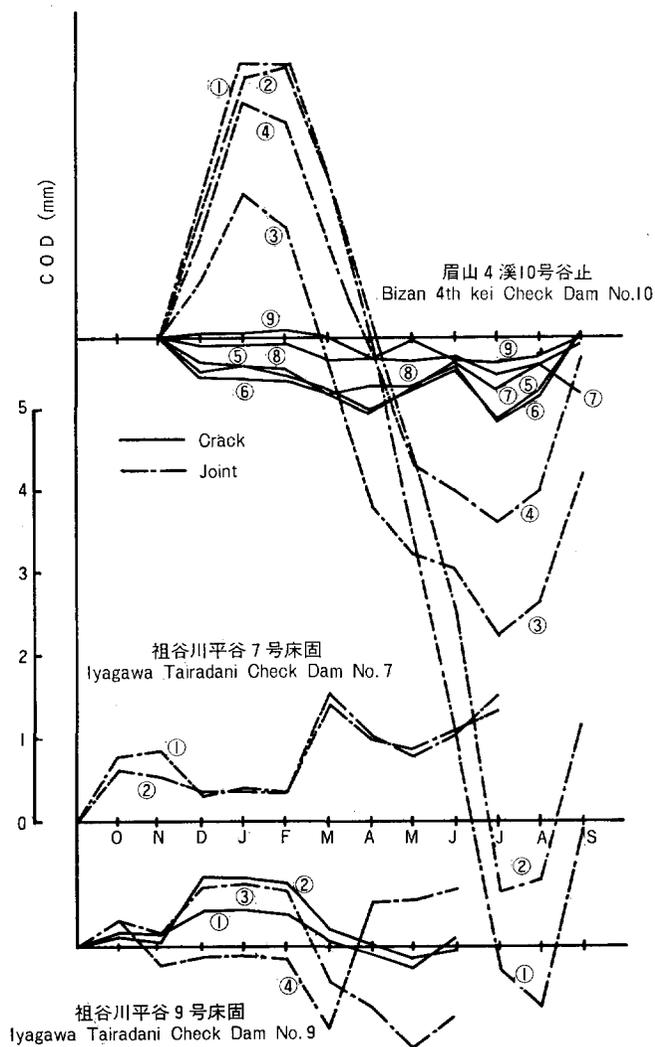


Fig. 13. 眉山地区および祖谷川地区における治山ダムクラックの開口変位量の年変化

Annual variation of crack opening displacement of check dams in Bizan and Iyagawa districts, from 1977 to 1978.

30日13時56分)に、小爆発(最大振幅 67μ)が1回だけ発生したことがわかる。したがって、今回得られたクラック開口変位量の日変化は、少なくとも火山活動に起因するものではないことが推察される。

さて、治山ダムクラックの開口変位量と伸縮継目の開口量の日変化を、堤体温度、気温、地温などの日周変化との関連において比較検討するため、夏期の各種温度の日周変化を Fig. 15 に、そのクラック開口変位量の日変化を Fig. 16 に、冬期の各種温度の日周変化を Fig. 17 に、そのクラック開口変位量の日変化を Fig. 18 に、それぞれ示した。結果として、まず盛夏日における各種温度の日周変化の範囲は、気温が $23\sim 37^{\circ}\text{C}$ 、地温が $26\sim 31^{\circ}\text{C}$ 、堤体表面温度が天端では $25\sim 44^{\circ}\text{C}$ 、下流面では $25\sim 33^{\circ}\text{C}$ となる。また、最高および最低温度の起時は、地温以外はすべて前者が12時、後者が5時となり、地温のそれは若干遅れ、前者

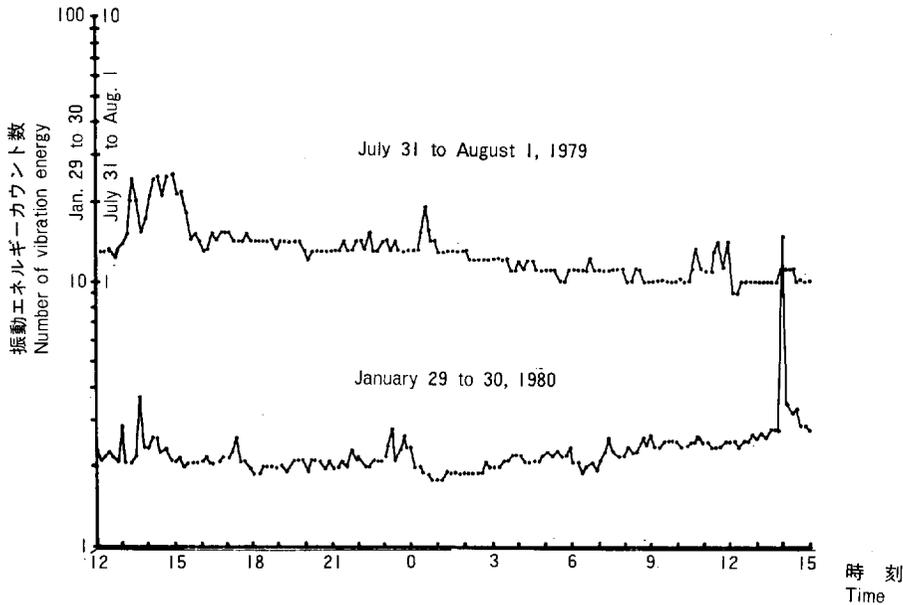


Fig. 14. 治山ダムクラック観測期間における桜島火山の活動状況
Volcanic activity of Mt. Sakurajima at the period of the investigation.

が15時、後者が6時にそれぞれ出現している。これに対して、クラックと伸縮継目の開口部は、いずれも日没後次第に開き、翌朝6時頃には最大開口量に達し、その後再び閉塞に向かうパターンをたどる。なお、クラック開口変位量の日変化の最も大きいのは、ダム天端における右岸側の伸縮継目と斜めクラックであった。

次に、厳冬日における各種温度の日周変化は、気温が8～15℃、地温が11～13℃、堤体表面温度が天端で7～17℃、下流面で8～15℃となる。また、最高温度の起時は29日15時（地温は17時）、最低温度の起時は30日13時（地温と堤体の下流面Cは14時）に、それぞれ現れている。このような異常現象は、29日の観測開始前に降り始めた雨が、29日23時まで連続して降り続き（鹿児島地方气象台では日降水量最大値23.5mm、10分間降水量最大値2.0mmが記録されている）、その後は曇天で夜明けとともに季節風が強まり、30日の昼間温度が上昇しなかったことに、起因するものである。これに対して、クラックの開口変位量と伸縮継目の開口量は、29日午後から翌朝までほとんど変化せず、30日早朝5時頃から次第に開口するという、盛夏日とは異なるパターンを示している。このように雨天～曇天の影響で、温度変化のパターンが夏期のそれとは異なったが、堤体温度が上昇すると開口変位量が減少（収縮）する傾向に変わりはない。

以上、夏期と冬期の両観測日に、開口変位量の変化が最大を示したダム天端右岸側の伸縮継目において、堤体表面温度(t)の変化に対する開口変位量(x)の変化率($\Delta x/\Delta t$)を算出すると、盛夏日は $\Delta x/\Delta t = -0.014$ (mm/℃)、厳冬日は $\Delta x/\Delta t = -0.016$ (mm/℃)となり、両者はよく一致することが確認された。

また、堤体温度に対するクラック開口変位量の変化の時間的追従性を検討するため、一例として、盛夏日における開口変位量の変化の最も大きいき裂変位計①と熱電対温度計④の値を対にしてプロットすると、Fig. 19のようなヒステリシス（履歴現象）が現れる。その結果、堤体温度が等しい場合でも、温度の上昇時と下降時とでは、クラック開口変位量の変化が異なる現象が認められた。つまり、クラック開口変位

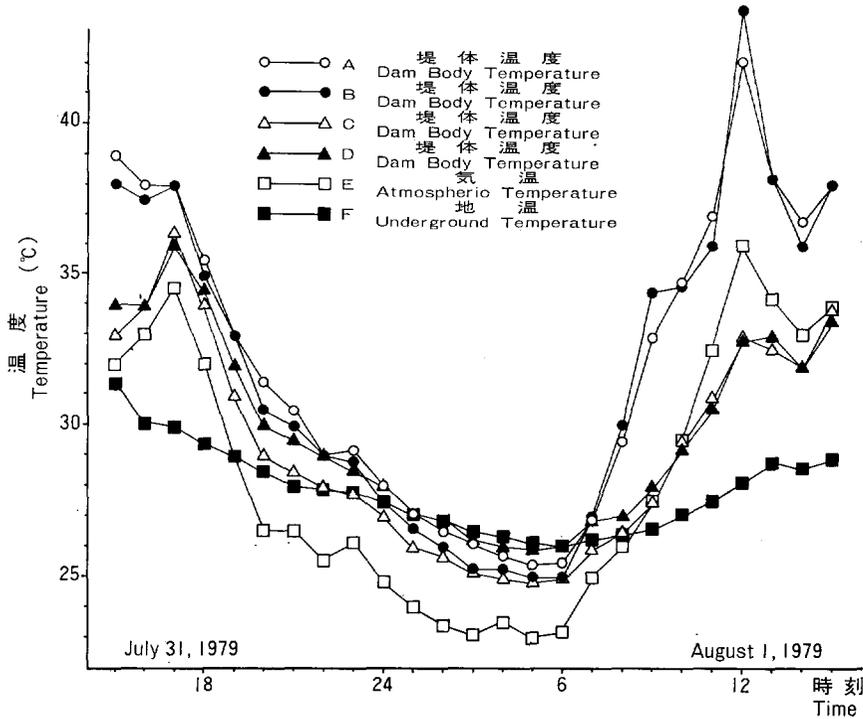


Fig. 15. 桜島における夏期の堤体温度の日周変化 (昭和54年7月31日～8月1日)
Daily variation of temperature on the surface of dam in summer, from July 31 to August 1, 1979, in Sakurajima district.

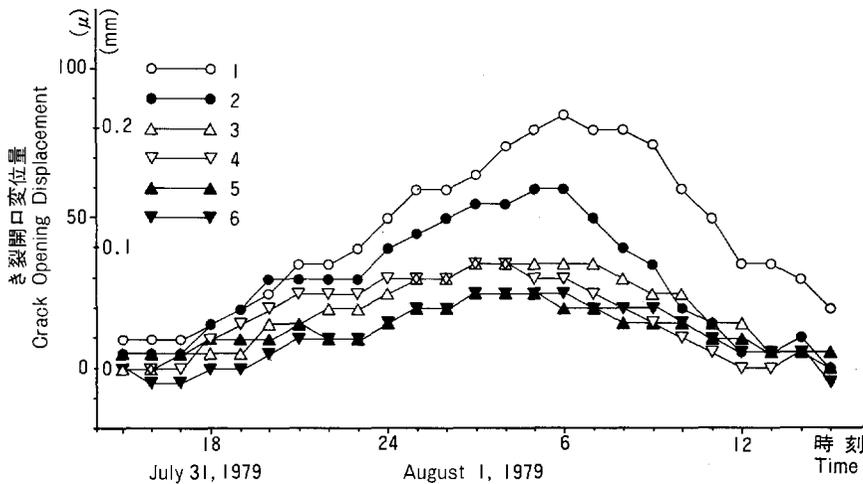


Fig. 16. 桜島における夏期の治山ダムクラックのCOD日変化 (昭和54年7月31日～8月1日)
Daily variation of crack opening displacement of check dam, from July 31 to August 1, 1979, in Sakurajima district.

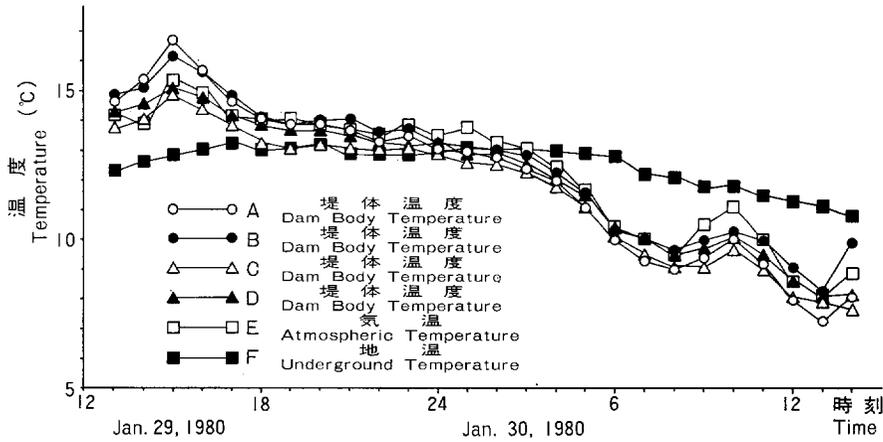


Fig. 17. 桜島における冬期の堤体温度の日周変化 (昭和55年1月29日~30日)
Daily variation of temperature on the surface of dam in winter, from January 29 to 30, 1980, in Sakurajima district.

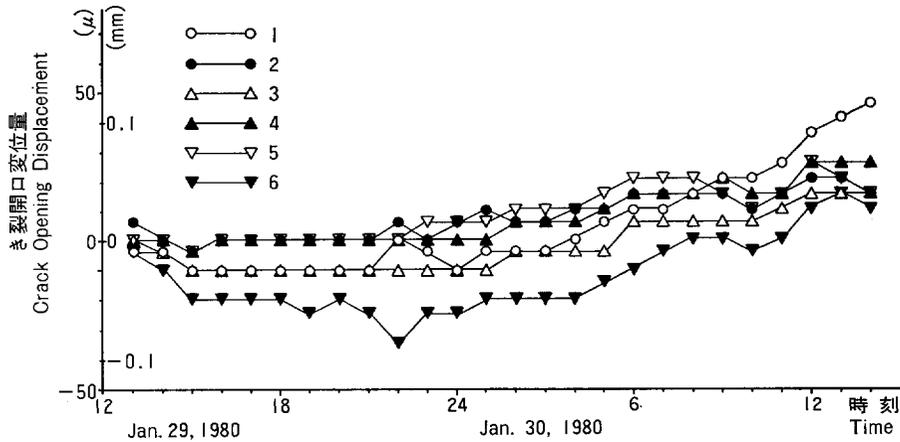


Fig. 18. 桜島における冬期の治山ダムクラックのCOD日変化 (昭和55年1月29日~30日)
Daily variation of crack opening displacement of check dam, from January 29 to 30, 1980, in Sakurajima district.

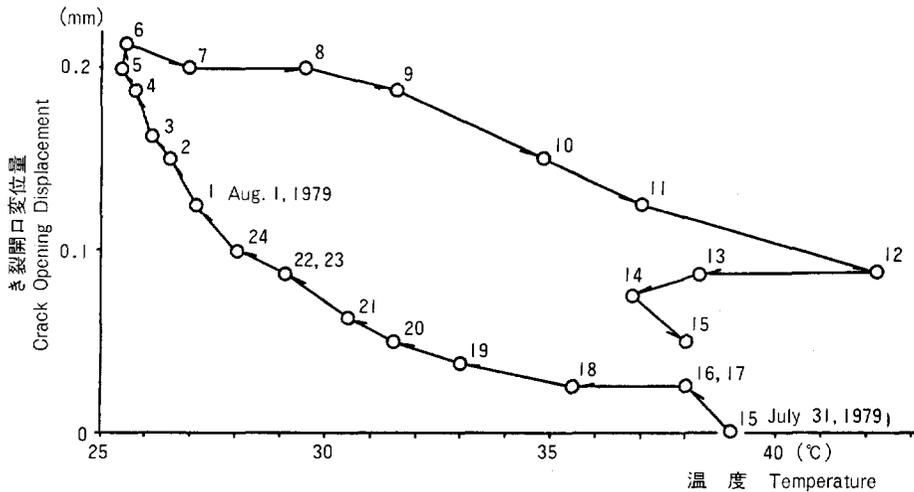


Fig. 19. 堤体温度と COD の日周変化のヒステリシス・ループ
Hysteresis loop for daily variation of temperature and crack opening displacement of check dam.

量の変化は、ヒステリシス・ループを描くことが確認された。なお、コンクリートの熱伝導率 (k) は、一般に常温で $k=10$ ($J/cm \cdot s \cdot K$) といわれ、この値は、金属材料 ($k=1 \sim 4$) より高く、木材 ($k=20 \sim 30$) より低い、これに関する詳細な検討は、今後の問題として残したい。

IV 摘 要

治山コンクリートダム の安全設計と事故診断技術の高度化をはかるため、治山ダムに発生するクラックの実態調査、治山ダムクラックの分析と分類、および治山ダムクラック・伸縮継目の挙動測定を実施した。これらの調査・試験結果とそれに対する検討事項を要約すると、次のようになる。

実大の治山ダムに発生するクラックは、いずれも複雑で種々の性状を呈するが、それらはクラックの発生位置、発生方向、規模、形態の四つの要因に分類された。クラックの発生位置については、水抜孔、各種の継目、形状の変換点、ダム天端、ダム底の 5 種類のクラックに、クラックの発生方向については、縦、斜め、横の 3 種類のクラックに、クラックの規模については、表面、内部、貫通の 3 種類のクラックに、クラックの形態については、直線、屈折、分岐の 3 種類のクラックに、それぞれ分類された。

治山ダムに発生したクラックの開口変位量と伸縮継目の開口量について、その年変化をみるため、地区別の比較検討が行われた。結果として、桜島地区では、3 基のダムのいずれのクラック・伸縮継目も同一の挙動パターンを示したが、開口変位量の極小値はいずれも夏季より早い時期に現れたので、その原因について、さらに若干の検討が行われた。眉山地区では、伸縮継目はいずれも冬季に開き夏季に閉じる一般的なパターンを示したが、クラックはすべて通年的に変化を示さず、現時点では停止クラックと判断された。祖谷川平谷地区では、2 基のダムでクラックは若干異なった挙動を示し、平谷 9 号床固のクラックは一応停止クラックと判断されたが、平谷 7 号床固の伸縮継目は、地すべり側圧の影響などによる夏季の開口現象が認められた。

火山活動の活発な桜島地区において、盛夏日と厳冬日における治山ダムクラックの開口変位量と伸縮継

目の開口量の日変化を、堤体温度等の日周変化との関連において、比較検討した。その結果、クラックの開口変位量と伸縮継目の開口量は、いずれも日周変化を示し、堤体温度の影響を強く受けることが確認された。また、堤体温度に対するクラック開口変位量の変化の時間的追従性を検討した結果、クラックの開口変位量は、堤体温度が等しい場合でも、温度の上昇時と下降時で、別の曲線をたどるヒステリシス現象が認められた。

引用文献

- 1) 陶山正憲：治山ダムクラックの発生原因と挙動特性。日林九州支論，31，277～278，（1977）
- 2) ————：治山ダムクラックの変位測定について。53年度砂防学会概要集，56～57，（1978）
- 3) ————：治山ダムのひび割れと安全性。林業技術，444，29～32，（1979）
- 4) ————：治山ダムクラックの開口変位量測定。日林九州支論，32，341～342，（1979）
- 5) ————・竹内美次：治山ダムに発生するクラックの挙動・特性について。87回日林論，355～356，（1976）
- 6) ————・竹下 幸・真島征夫・竹内美次：治山ダムクラックの特性解析と破壊防止技術の確立。国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書（53年度），219～281，（1979）
- 7) ————・真島征夫・竹下 幸・大谷義一：治山ダムクラックの発生要因および開口変位量の分析。同上（54年度），259～318，（1980）

**Effect of Crack Propagation Behaviour on Mechanical Properties
of Concrete Check Dams (I)**

**—Practical investigation on crack classification and propagation behaviour
of concrete check dams—**

Masanori SUYAMA⁽¹⁾

Summary

In order to advance the technique of safety design and accident diagnosis the following points were analyzed in cracks of concrete check dams. (1) Practical investigation of the existing cracks at check dams and classification of these cracks. (2) Investigation of mechanical behaviour of cracks and expansion contraction joint (EC-joint) at check dams. From these investigations, the following points were made clear.

The cracks that occur in full-sized concrete check dams show very complicated properties, but they can be classified from four points of view: the growth location, the direction, the scale and the shape. In terms of growth location, the cracks can be classified into five types: cracks around drainage hole, at various joints, at conversion parts, at crown and at bottom of check dam. The cracks can likewise be classified into three types for the direction: perpendicular, inclined, and lateral cracks for the direction to central axis of check dam, three types for the scale: surface, internal, and penetrate cracks and three types for the shape: straight (including vertical, horizontal and slant cracks for the direction to principal stress), refractive, and branched cracks.

Annual variations of opening displacement of cracks and expansion contraction joints at check dam were compared for each district. It was concluded that the annual displacement variations of each crack and EC-joint at three dams situated in Sakurajima district generally indicated the same pattern. However, the crack opening displacement of each crack reached the minimum value in the early summer. At Bizan district, it was generally found that the opening displacement of each EC-joint reached its minimum value in summer and its maximum value in winter, but the opening displacement of each crack was unchanged throughout the year. As a result, it was judged that these cracks remained stationary for the time being. At Iyagawa Tairadani district, the opening displacement of each crack at two dams indicated a different pattern; a crack at Tairadani check dam No. 9 was identified as immovable crack, but EC-joints at check dam No. 7 indicated opening phenomena in summer, by lateral pressure of landslide.

At Sakurajima district where the volcanic activity is very vigorous, the relationships between the daily variations of opening displacement of cracks and EC-joints at check dams, and the daily variations of dam temperature were compared, on a midsummer day and a cold winter day. As a result, the phenomena of opening displacement of cracks and EC-joints occurred daily, and it was confirmed that they were greatly affected by the dam temperature.

Also, the daily variations of crack opening displacement for the dam temperature were discussed. Consequently, the changes of crack opening displacement showed the different curves on ascent and on descent of temperature, even if the dam temperature is the same. The hysteresis loop for daily variation of temperature and crack opening displacement of check dam were recognized.

Received October 15, 1984

(1) Forest Influences Division