

治山ダムクラックの発生原因と挙動特性

林業試験場九州支場 陶山正憲

1. 研究の背景と目的

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”の普及にともなって、治山ダムの堤体材料にも良質のコンクリートが容易に使用されるようになったが、反面、治山ダムクラックの頻発が各地で注目されるようになった。治山ダムに発生するクラックは多種多様で、その発生・進展、伝播・停止などの原因が治山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わからないが、いずれにしても材料・構造物を強度上安全に使用するためには憂慮すべき問題である。このような現状を打開するためには、まず治山ダムに発生するクラックの実態を把握する必要があるため、クラックの発生が認められた治山ダムについて、熊本・高知・大阪・青森各営林局管内ならびに愛知県下で現地調査を行った。本報では、クラックの発生位置ならびにクラック発生後の挙動特性について若干の破壊力学的検討を行う。

2. 治山ダムクラックの発生位置とその特徴

治山ダムクラックの実態調査資料から、ダム体に貫

表-1 貫通クラックの発生した治山ダムの諸元

ダム番号	全長 (m)	ダム高 (m)	ダム体積 (m ³)	施工年度	水抜孔数 (寸法: m)	伸縮継目	クラック数(貫通内数)	クラックの発生タイプ	堤体材料
1	59.0	4.0			3(0.5*0.5)	0	3(3)	D	玉コン
2	34.0	3.0		1971	2(0.5φ)	0	1(1)	A	純コン
3	49.0	10.5	245.5	1974	2(0.4φ)	0	6(1)	B	純コン
4	26.0	4.0		1974	3(0.4φ)	0	3(1)	A	純コン
5	48.0	6.0	1082.7	1974	8(0.5φ)	1	1(1)	B	純コン
6	36.0	5.0		1974	5(0.5φ)	1	1(1)	C	純コン
7	17.5	3.0	76.2	1975	1(0.5*0.5)	0	1(1)	A	純コン
8	36.0	7.4	606.8	1973	1(0.4*0.4)	1	4(4)	C	純コン
9	34.0	4.0	208.6	1973	0	1	1(1)	C	純コン
10	23.0	5.5	202.5	1973	1(0.4*0.4)	0	1(1)	C	純コン
11	52.0	10.0	1719.2	1962	3(0.5*0.5)	0	8(2)	D	玉コン
12	47.0	5.0	800.8	1975	2(0.5*0.5)	1	3(1)	D	純コン
13	109.0	6.0	1932.3	1975	2(0.5*0.5)	5	7(1)	B	純コン
14	62.0	5.0	667.7	1975	7(0.52φ)	2	4(3)	A	純コン
15	44.5	7.0	883.8	1960	5(0.7*0.5)	0	1(1)	C	玉コン
16	35.5	5.0	443.8	1968	3(0.6φ)	0	3(1)	B	玉コン
17	57.0	9.5	1467.0	1964	1(0.8φ)	縁切	2(1)	B	玉コン
18	54.0	8.0	1563.0	1963	1(0.8φ)	縁切	4(3)	B	純コン
19	53.2	7.5	1168.3	1958	6(0.5*0.4)	0	1(1)	B	玉コン
20	34.0	10.0	1230.7	1957	5(0.5*0.5)	0	1(1)	B	練積

(注) ダム16～20は主外力として地すべり側圧を受けたもの

通クラックの発生が認められた治山ダム20基を選定し、その諸元を表-1に示した。これらのダムに発生したクラックは、ダムの材質と共にクラックの発生位置による特徴がうかがわれたので、ここでは試みに図-1のような4つのタイプに分類して若干の検討を行う。

A型：クラックが水抜孔から発生するタイプである。図-1のAの例では、3本のクラックがいずれも水抜孔に発生して天端方向に伸びているが、中央の貫通クラックはダム底方向にも進展している。クラックの伝播方向は右岸側水抜孔に発生したクラックが多少傾斜して水通天端方向に伸びているが、他の2本はほぼ垂直方向に伸びている。クラックの平均幅は0.5mmである。

B型：クラックがダムの打継目・縁切り部・袖立ちり部のように剛性の急変部に発生するタイプである。図-1のBの例では、1本の貫通クラックと6本の表面クラックが認められる。貫通クラックの進行経路は、まずダムの嵩上げによる打継目に発生したクラックと水抜孔周辺に発生したクラックが、それぞれ上下反対方向に垂直方向クラックとして進展し、次に前者はダム底に、後者は天端にそれぞれ到達したのち、両クラック先端のエネルギーが解放され、最終的に両者が水平方向の打継目に沿って合体したものと推定される。

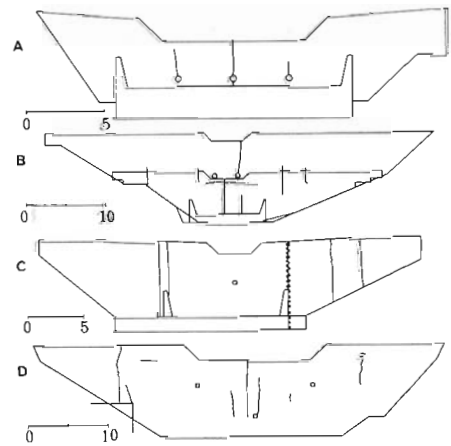


図-1 治山ダムクラックの発生位置別タイプとその特徴

C型：クラックが構造的剛性の急変部などに関係なく、主にダムの中腰部に発生するタイプである。クラックの進行方向をみると、表面クラックは先端が分岐あるいは屈曲して停止しているが、貫通クラックでは部分的には多少の曲進ないし屈進部分もあるが、巨視的には直線状の垂直方向クラックである。

D型：クラックがダムの中腰部・中腰部などに限らずどこにでも発生するタイプである。このタイプの特徴としては、クラックの発生位置が不規則なこと、クラックの進行経路が複雑でかなりの曲進または屈進部分を伴うこと、クラックの進行方向が垂直クラックから水平クラックまで多種多様で法則性に乏しいこと、などが挙げられる。なお、クラックの幅は相対的に大きく、10mm以上のものも認められた。

3. クラックモデルの挙動特性に関する力学的検討

治山ダムクラックの実態調査結果によると、巨視的には単一直線クラックのように単純な形状に見えても、部分的には傾斜クラック、屈折クラック、分岐クラックなどが混在して複雑な伝播形態をたどっている。ここでは、現実の治山ダムに認められる各種クラックの特性解析に有効であると考えられる単位クラックモデルの数列を提案し、破壊力学的検討を加える。

① 傾斜クラックの伝播方向

材料中に発生したクラックが主応力方向に直角に位置する場合には、クラックは一般にその延長線の方向に直進することが従来から認められている。しかしながら、図-2に示す傾斜クラックの伝播方向については、最近、いわゆる“最大周方向応力説”などを適用した解析例が発表された。これは“クラック先端における周方向応力が最大になる方向へクラックは伝播を開始する”という説であり、この理論を用いて解析すればクラックの傾斜角 β とその伝播方向 θ との関係が得られる。北川ら¹⁾の解析結果によると、 $\beta = 0^\circ$ のとき $\theta = 70^\circ$ 、 $\beta = 20^\circ$ のとき $\theta = 65^\circ$ 、 $\beta = 40^\circ$ のとき $\theta = 57^\circ$ 、 $\beta = 60^\circ$ のとき $\theta = 44^\circ$ 、 $\beta = 80^\circ$ のとき $\theta = 20^\circ$ となっている。

② 屈折クラックの伝播方向

図-3に示すような、クラックの先の曲った屈折クラックの伝播方向については最近、北川ら¹⁾によって解析された。すなわち、クラックの一端Bの応力を、この点を座標原点とする極座標による σ_θ で解析し、 σ_θ が最大になる方向にクラックが伸びると考えれば、屈折部分BC間のどこからどの方向にクラックが屈折していくかを判定することができる。結果として、屈折クラックからのクラックの伝播方向は、引張方向に対してほぼ直角の方向になることが証明された。このクラックモデルも、治山ダムクラックの伝播形態を考える上で重要なモデルと思われる。

③ 分岐クラックのアレスト効果

コンクリートのぜい性破壊などでは、クラック先端が複数個に分岐する現象が知られている。これを分岐

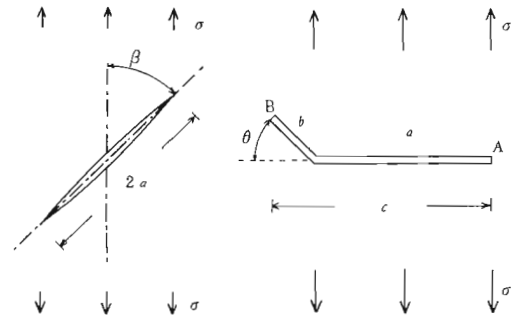


図-2 傾斜クラック

図-3 屈折クラック

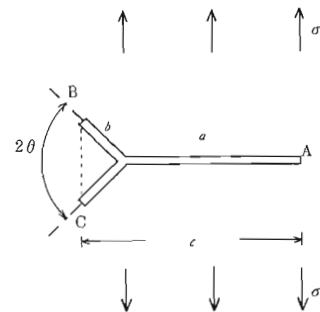


図-4 分岐クラック

クラックと呼び、その基本的なモデルとして、図-4のように一端が対称に分岐したフォーク形クラックの解析結果²⁾がある。これによると、治山ダムクラックが一度分岐を生じると、クラックの成長速度の減少あるいは停止に至る現象(クラックアレスト効果)を説明することができる。また分岐角 $2\theta = 30^\circ$ の場合には、クラック先端の左右の応力状態が対称となり、その前後では応力拡大係数の符号の逆転が生じる事実から、実際に観察されるクラックの分岐角が、ほぼ 30° のものが多い現象を説明することができる。

4. 治山ダムクラックの発生・挙動を予測する方法

治山ダムクラックの発生・進展・伝播・停止などを予測することは、治山ダムの安全設計と事故診断上重要な問題であり、その判定にはクラックの経時的な変化を定量的に測定する必要がある。クラックの挙動を監視する方法としては現在、①き裂変位計で表面クラックの開口変位量を測定する、②クラック先端にマーキングしてクラックの挙動を追跡する、③ダムサイト両岸の固定点に対するダム体の変位量を計測する、などが考えられる。なお、内部クラックの検出には現在、AEによる計測が有効であるといわれているが、これを治山ダムに適用する方法については、今後十分な検討が必要である。

引用文献

- (1) Kitagawa, H & Yuuki, R.: Proc. Japan-U. S. Seminar, F. M. Appl., 2 (2), 1 ~ 29, 1974
- (2) 北川英夫, 結城良治: 機械学会論(第1部), 41, 1641 ~ 1649, 1975