

I-496

巨礫を受けるコンクリート製砂防ダム袖部の衝撃破壊シミュレーション解析

防衛大学校 学生員○鈴木 真次
八千代エンジニアリング（株） 正員 下田 義文
防衛大学校 正員 石川 信隆
山口大学 正員 古川 浩平

1. 緒言

急流河川域に砂防ダムが土石流防御のために建設されているが、最近、土石流によってコンクリート製砂防ダムの袖部が破壊される例が見られた。土石流には多くの巨礫が含まれるが、砂防ダムの設計に当たってはその衝撃力があまり考慮されていない。著者ら¹⁾²⁾は、土石流中の巨礫がコンクリート製砂防ダムの袖部に衝突する際の衝突現象について、小型および大型模型実験および2質点系モデルにより解明した。

本研究は、この2質点系モデルを用いて、コンクリート製砂防ダム袖部の衝撃破壊推定法を開発し、実被害例と比較してその適用性について検討したものである。

2. 巨礫に対するコンクリート製砂防ダム袖部の衝撃

破壊シミュレーション解析

(1) 解析の基本式

図-1 (a) に示すようなコンクリート製砂防ダム袖部を図-1 (c) のような2質点系にモデル化する。この2質点系モデルの運動方程式をNewmark β 法によって解き、最大衝撃荷重 P_{max} をコンクリート袖部底面の最大内力として次式により算定するものとする。

$$P_{max} = k_1 \cdot y_1$$

また局部バネ係数 k_2 は、水山³⁾ によるHertzの接触力の式を改良した式を用いる。

(1)

(2) 最適化手法による減衰定数の決定

図-1 中の2つの減衰係数 C_1 と C_2 は、最適化手法による同定法により決定するものとし、その基本式は表-1 となる。その解法に当っては最適化プログラムADSを用いた。その結果、

先の実験¹⁾ において衝突点周辺のモルタルが破壊し、大きな残留めり込み量が残ることから判断して衝突面の現象を臨界減衰状態であること

を考慮して $h_1 = 0.436$ 、 $h_2 = 1.00$ の値を採用した（ただし、 h_1 は式 (1c) 参照）。

3. 実被害のあった砂防ダムへのシミュレーション解析

(1) 最大粒径、土石流速度、打点位置をパラメータとしたシミュレーション解析

表-2 に示すように土石流に含まれる巨礫のうち、実被害に影響を与えているのは平均粒径ではなく最大粒径であることがわかる。よって、ここでは、最大粒径 D_{max} (m)、土石流流速 V (m/sec)、打点位置 H (m) をパラメータとして2質点系モデルによる計算結果と実被害との比較を行った。その結果、①最大粒径が大きいとかなり遅い速度 ($V=2.0$ m/sec) でも破壊が生じている。②当然ながら土石流速度が早いと破壊が生じやすい。③打点位置が天端に近いほど破壊が生じやすい、ことなどが判明した。

(2) 雨量強度等による土石流を用いたコンクリート製砂防ダムの衝撃破壊推定

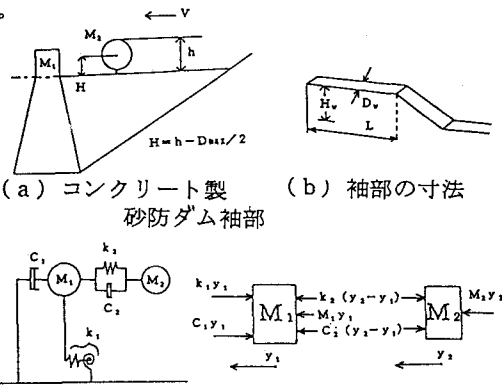


図-1 2質点系シミュレーションモデル

表-1 減衰定数の同定基本式

未知数	h_1, h_2		
目的関数	$Z = (\varepsilon_{max} - \varepsilon_{max})^2$	$\rightarrow \min$	(1 a)
制約条件	$1 \geq h_1 \geq 0$		(1 b)
	$h_1 = C_1 / 2 \cdot \sqrt{k_1 M_1}$	$(i = 1, 2)$	(1 c)

ただし、 ε_{max} : 2質点系モデルによる衝撃応答解析から得られる袖部根元部の引張ひずみの計算値、 ε_{max} : 模型実験から得られる根元部の引張ひずみの実験値、 k_1 : 片持ちばりのバネ定数 ($k_1 = (h^3 / 3EI + \beta h / GA)^{-1}$)、 k_2 : 局部バネ定数、 M_1 : 片持ちばりの換算質量、減衰係数、 M_2 , C_2 : 巨礫の質量、減衰係数

土石流は、その流れに巨礫を含んでいるが、その土石流量は雨量強度等に大きく影響を受ける。ここでは、表一4に示すように高橋ら⁵⁾による流量算定式を用い、またマニングの公式⁶⁾を用いて、水深を算出した。その際、その水深が最大粒径よりも小さい場合は最大粒径と同じにした後⁷⁾、その水深から流速を求めた。そこで、この流速および水深をもつ土石流のうちの最大粒径が袖部に衝突すると想定してシミュレーション解析を行った。また、袖部の長さ(L)は、砂防ダムが6 m (または12 m) ブロックで施工しており、ブロック間の力学的つながりはいっさい考慮されていないので、そのブロック長以上の袖部は、 $L = 6 \text{ m}$ (または 12 m) とした。

シミュレーション解析の結果、最大ひずみは表-3のように得られた。コンクリートの引張限界である $\varepsilon_u = 200 \mu$ を破壊とするとシミュレート解析結果は実被害^{4), 8)}と約7割(23/34)の精度で一致することが認められた。

4. 結論

(1) 簡単な2質点系モデルによりコンクリート製砂防ダム袖部の破壊をシミュレートする手法を開発し、それを実被害例と比較した結果、かなりよく

シミュレートすることが認められた。(2)十石流発 ○破壊しない ×破壊した(引張限界を $\epsilon_u=200\mu$ を破壊とした。)

生時の袖部破壊は、土石流中の最大粒径に大きく左右されることが判明し、流速および打点位置にも大きく影響を受けることが確認された。(3)雨量強度等から予想される土石流を用いた場合でも、約7割の精度で被害予想を推定できることが認められた。

参考文献: 1) 水山高久, 下田義文, 石川信隆; ヌシカト製砂防がΔに対する巨礫の衝撃模倣実験に関する一考察, 構造工學論文集, pp. 1095~1104, 1989年3月
2) 下田義文, 水山高久, 石川信隆, 古川浩平; ヌシカト製砂防がΔ袖部に対する大型衝撃模型実験について, 落石等による衝撃問題に関するシオウジウ講演論文集, pp. 139~142, 1991年3月
水山高久; 砂防がΔに対する土石流衝撃力算定とその問題点, 新砂防112号, pp. 40~43, 昭和54年8月
4) 栃木省二, 海堀正博; 豪雨による土砂移動のあった砂防・治水がΔの堆砂実態, 平成二年度砂防・治水研究発表会概要集, pp. 162~165, 1990年5月
5) 高橋保, 水山高久; (講座) 土砂災害対策, 地すべり技術わく, 鋼製砂防構造お鉢・地すべり元元10月8日建設省河川局

表-2 最大粒径、速度、打点位置をパラメータとしたシミュレーション

(a) 打点位置 $H = 2/3 \times \text{袖高}$

液体黏度	平均板厚	最大压降 Δp_{max}	雷诺数 Re	摩擦系数 f	沿程阻力 λL	局部阻力 ξ	总阻力 $\Sigma \lambda L + \xi$	压降 Δp	功率 P	效率 η
1	0.005	0.005	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0.01	0.15	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0.05	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0.06	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0.2	0.7	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0.1	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0.1	0.9	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0.06	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0.1	1.2	1	0	0	0	0	0	0	0
11	0.04	1.4	1	0	0	0	0	0	x	x
12	0.12	1.5	1	0	0	0	0	x	x	x
13	0.3	1.6	1	0	0	0	0	x	x	x
14	0.3	1.6	1	0	0	x	x	x	x	x
15	0.2	1.8	1	0	0	0	0	x	x	x
16	0.05	2	1	0	0	0	x	0	x	x
17	0.05	2	x	0	0	x	x	x	x	x
18	0.05	2	x	0	0	x	x	x	x	x
19	0.4	3	0	x	x	x	x	x	x	x
20	0.3	3	x	0	x	x	x	x	x	x
21	0.1	3	0	x	x	x	x	x	x	x

(b) 打点位置H=天端

媒体名称	平均收视率	最大收视率	$0.05 \leq V \leq 2.0$	$2.0 < V \leq 4.0$	$4.0 < V \leq 6.0$	$6.0 < V \leq 8.0$	$8.0 < V \leq 10.0$
1	0.005	0.005	○	○	○	○	○
2	0.01	0.1	○	○	○	○	○
3	0.01	0.15	○	○	○	○	○
4	0.05	0.6	○	○	○	○	○
5	0.06	0.6	○	○	○	○	○
6	0.2	0.7	○	○	○	○	○
7	0.1	0.8	○	○	○	○	○
8	0.1	0.9	○	○	○	○	○
9	0.06	1	○	○	○	○	○
10	0.1	1.2	○	○	○	○	×
11	0.04	1.4	○	○	○	×	×
12	0.12	1.5	○	○	○	×	×
13	0.3	1.6	○	○	○	×	×
14	0.3	1.6	○	○	×	×	×
15	0.2	1.8	○	○	○	×	×
16	0.05	2	○	○	○	×	×
17	0.05	2	○	○	×	×	×
18	0.06	2	×	○	×	×	×
19	0.4	3	×	×	×	×	×
20	0.03	3	×	×	×	×	×
21	0.1	3	○	×	×	×	×

表-3 雨量強度等による流速を用いた場合のシミュレーション

No.	環境破壊計算最大 平均状態結果区分	アロジ補修 (μm)	天端 (μ)	補高 (μ)	土石流発生部(n=0.10) H(μ)V(μ)	土石流発生部(n=0.10) σmax(μ)h(μ)	土石流発生部(n=0.10) σ(μ)V(μ)	土石流発生部(n=0.10) σmax(μ)	土石流発生部(n=0.10) σ(μ)	土石流発生部(n=0.10) σmax(μ)	土石流発生部(n=0.10) σ(μ)				
1	○	0.6	6.3	1.1	0	3	3	2.5	0.6	0.3	6.39				
2	○	0.6	6.3	1.1	0	3	3	2.5	0.6	0.3	6.39				
3	○	1.2	6.5	1.9	1.3	2	0.6	4.19	15.7	1.2	6.98				
4	○	1.4	6	1.5	1	1.4	0.7	6.39	65.7	1.4	7.05				
5	○	1.5	6	1.5	1	1.5	0.75	5.8	71.1	1.5	0.75				
6	○	x	6	13.5	1.5	1	2.1	1	8.59	225.5	1.6	0.8			
7	○	x	1.6	6	16	1.5	1.81	0.01	6.29	186.6	1.6	0.8			
8	○	1.8	6	4.8	1.8	1	1.82	0.92	7.91	151	1.8	0.9			
9	○	x	2	6	8	1.5	1	2	1	10.93	337.7	2	1		
10	○	x	3	6	9	1.5	1	3	1	8.04	486.2	3	1		
11	○	x	1	6	20	1.5	2	1	0.00	5.00	0.50	6.27	16.2		
12	○	x	1	6	22	2	3.5	1.44	0.94	5.08	11.30	1.06	0.56	6.90	
13	○	○	1	12	10.5	3	7	5.31	4.81	4.10	7.50	3.91	3.21	5.57	
14	○	○	1	6	33.5	3	3	1.69	1.19	3.94	6.10	1.24	0.74	3.56	
15	○	○	1	6	21	3	7	1.06	0.50	4.16	6.10	1.00	0.50	2.36	
16	○	○	1	6	25	1	2.5	1.00	0.50	2.58	18.10	1.00	0.50	4.30	
17	○	1.2	6	13.5	2	3	2.0	0.60	4.58	16.60	1.20	0.60	6.30	18.5	
18	○	1.2	6	15.3	1.7	2.5	1.46	0.88	4.06	22.30	1.20	0.60	5.94	22.5	
19	○	x	1.5	6	28	2	4.5	1.50	0.75	4.90	9.80	1.50	0.75	6.21	
20	○	1.5	6	31.5	25	3	1.50	0.75	4.61	15.70	1.50	0.75	7.69	27.9	
21	○	1.8	6	26.3	2	4.5	1.80	0.90	4.67	35.20	1.80	0.90	7.78	61.2	
22	○	x	2	6	33.3	1.5	3.5	1.50	0.75	4.07	67.20	2.00	1.00	4.75	108.5
23	○	x	2	6	49.9	2	5.2	2.00	1.00	5.07	67.20	2.00	1.00	4.75	108.5
24	○	2	6	7.25	2.2	2.5	2.00	1.00	3.74	45.70	2.00	1.00	6.23	83	
25	○	2	12	5.35	3	5.5	2.59	1.59	3.63	30.50	2.00	1.00	5.09	24.9	
26	○	2	6	11.2	7.8	7	2.12	1.12	3.89	2.30	2.00	1.00	6.23	3.3	
27	○	2	12	30.9	4	2.5	2.00	1.00	6.44	13.30	2.00	1.00	10.72	24.1	
28	○	2	6	28.5	2.5	3	2.00	1.00	6.29	61.10	2.00	1.00	10.48	109.7	
29	○	x	3	12	2	2.5	3.2	1.7	9.64	685.30	3.00	1.50	15.35	1018.9	
30	○	4	6	34.3	4	4	2.00	1.00	5.50	148.00	2.00	1.00	12.35	1473.6	
31	○	3	6	7.5	1.5	3	3.00	1.50	8.43	148.00	3.00	1.50	12.06	105.9	
32	○	x	3	6	3.05	2	2.5	3.00	1.50	10.34	715.50	3.00	1.50	10.94	1368.8
33	○	x	3	6	30	3	3.5	3.00	1.50	6.91	171.60	3.00	1.50	11.52	311.8
34	○	x	3	6	1.5	1.8	3.5	3.00	1.50	4.16	971.60	3.00	1.50	6.93	1746.2

○破壊しない ×破壊した

の予知と対策5, 土石流(その1)、土と基礎, pp. 59~66, 1984年3月 6) 砂防対策便覧, 昭和62年版 7) 建設省河川局砂防部砂防課: 土石流対策技術指
防部砂防課: 砂防ゲムの災害実態調査, 土研資料第1514号, 昭和54年6月