

92 透過型鋼製砂防ダムの立体弾塑性解析

日鐵建材工業（株）製品開発部 ○森田 昭宏

” ” 今野 正喜

新日本製鐵（株）建材開発技術部 及川 義朗

センチュリリサーチセンタ (株) シェリー・州・H.ラシット*

1. はじめに

通常の中小出水時に含まれる比較的粒径の細かい土砂は下流に流出させてダム貯砂容量を確保し、土石流発生時に土石流中の巨礫や多量の土砂を捕捉する目的で設置される¹⁾透過型鋼製砂防ダムが各地で施工されている。既存の透過型鋼製砂防ダムには、部材に鋼管を用いた骨組構造の平面フレーム形状と立体格子枠形状のものがある。

筆者らは、上記二種類のダムの長所を併せ持つ透過型鋼製砂防ダムの研究を進め、水理模型実験等を通してダムの構造形状を提案した²⁾。このダムの巨礫の衝突エネルギーに対する解析は、構造系全体の変位で吸収するとの仮定のもとに平面弾塑性解析を実施している³⁾。しかしながら、土石流中の巨礫は流れに対して常に平行に衝突するとは限らず、ある程度の角度を持つケースが多いものと考えられる。そこで、立案した透過型鋼製砂防ダムの面外荷重に対する立体弾塑性解析を行い、その特性を調べたのでここに報告する。

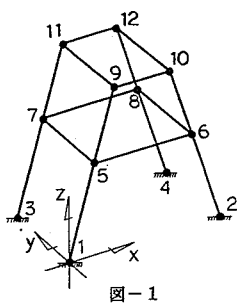


图-1

表-1 (c m)

	x	y	z
1	0.0	0.0	0.0
2	657.4	0.0	0.0
3	0.0	400.0	0.0
4	657.4	400.0	0.0
5	120.0	0.0	400.0
6	537.4	0.0	400.0
7	120.0	400.0	400.0
8	537.4	400.0	400.0
9	210.0	0.0	700.0
10	447.4	0.0	700.0
11	210.0	400.0	700.0
12	447.4	400.0	700.0

表-2 $(\sigma_y = 3200 \text{ kg/cm})$

節 点 i - j	部材断面形状 (mm)	断面積 (cm ²)	I (cm ⁴)	部材長 (cm)	P p (kg)	M p (kg cm)	PE (kg)
1 - 5	φ 609.6×25	364.17	153106	417.6	1165344	21508448	18195713
3 - 7	"	"	"	"	"	"	"
5 - 9	"	"	"	313.2	"	"	32347418
7 - 11	"	"	"	"	"	"	"
5 - 7	"	"	"	400.0	"	"	19833130
9 - 11	"	"	"	"	"	"	"
2 - 6	φ 609.6×16	241.21	105219	417.6	771872	14512771	12504640
4 - 8	"	"	"	"	"	"	"
6 - 10	"	"	"	313.2	"	"	22230116
8 - 12	"	"	"	"	"	"	"
6 - 8	"	"	"	400.0	"	"	13629917
10 - 12	"	"	"	"	"	"	"
5 - 6	"	"	"	417.4	"	"	12517225
7 - 8	"	"	"	"	"	"	"
9 - 10	"	203.41	88118	237.4	650912	12196458	32405788
11 - 12	"	"	"	"	"	"	"

I ; 断面二次モーメント P_p ; 降伏応力
M_p ; 塑性曲げモーメント P_E ; オイラー座屈強度

2. 構造モデル

高さ7.0mのダム(両法タイプ)を設定し、そのスケルトンを図-1に示す。図中の番号は節点番号で、節点はすべて剛結合、支点は固定とする。また、表-1に各節点の座標値を示す。

3. 部材の決定

設計条件は「鋼製砂防構造物
設計便覧⁴⁾」に準拠し、変位法

による構造解析を実施して許容応力度法で部材を決定する。各部材の摩耗代・サビ代を考慮した有効断面における断面特性を表-2に示す。

4. 弾塑性解析プログラム

三次元の弾塑性解析プログラムには、海洋構造物（ジャケットタイプ）の最終強度解析等でその有効性が示されている⁵⁾ NOAMASを使用した。このプログラムで用いている部材の最終強度条件を図-2に示す。ここで、全断面塑性関数は式(1)で示される。

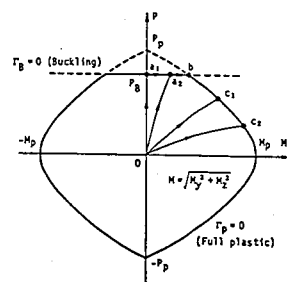


図-2

$$\Gamma_p = (\sqrt{M_y^2 + M_z^2}) / M_p - \cos(\pi |P| / 2 P_p) = 0 \quad (1)$$

ここに、 Γ_p ：全断面塑性関数、 M_y, M_z ：部材座標 y, z 軸方向曲げモーメント、 M_p ：全断面塑性曲げモーメント、 $|P|$ ：軸力、 P_p ：全断面塑性軸力である。

また、比較のため前回報告した³⁾ 平面の弾塑性解析(DRAIN⁶⁾)と同一条件で荷重-変位曲線を求め、図-3に示す。

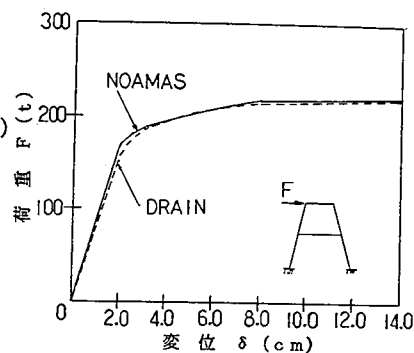


図-3

5. 載荷位置の検討

弾塑性解析で求められた荷重-変位曲線（非線形）の関数式を $F = G(\delta)$ とすると、吸収エネルギーは図-4により式(2)によって求められる。

$$U = \int G(\delta) \quad (2)$$

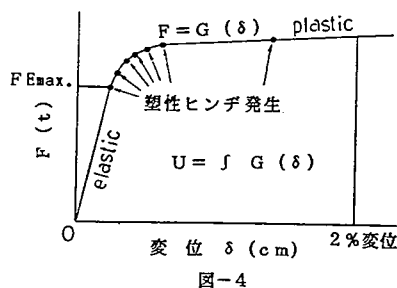


図-4

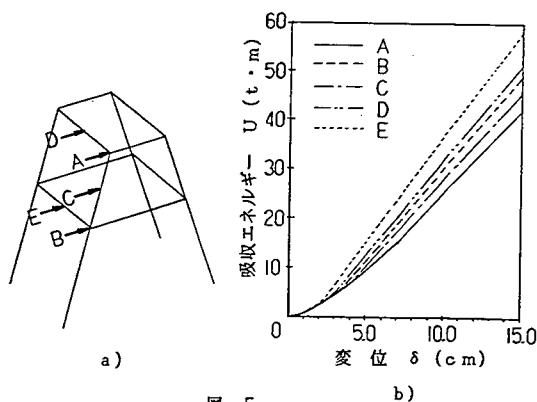


図-5

荷重の載荷位置を図-5 a)に示すように5ケース設定し、立体弾塑性解析を実施して式(2)による各ケースの吸収エネルギー U と変位 δ との関係を求め図化すると図-5 b)となる。これにより荷

重ケースA、つまりダム側面の天端の位置に載荷すると最も吸収エネルギーが低いと考えられる。

6. 面外荷重に対する耐力

このダムの最も弱い位置に面外角度 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ (10° ピッチ、10 ケース) で荷重を与え、それぞれNOAMASによる立体弾塑性解析を行なった。ここに、最初に塑性ヒンズが発生する荷重、つまり弾性範囲内における最大荷重を $F_{E\max}$ とし、また構造系の崩壊をダム高の2%変位⁴⁾ ($\delta = 14 \text{ cm}$) と仮定して保有する吸収エネルギー U を求め、面外角度 θ と $F_{E\max}$ 、 U との関係は表-3・図-6に示す通りである。

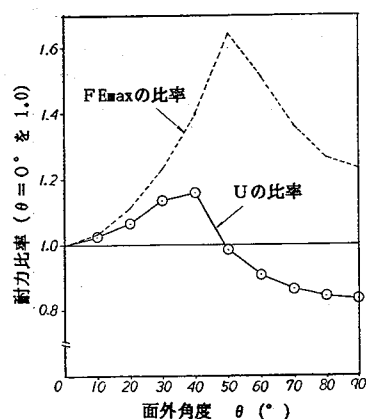


図-6

表-3

面外角度 θ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
最初の塑性ヒンズ発生位置										
塑性ヒンズ発生時荷重 $F_{E\max} \text{ (t)}$	187.2	194.4	208.8	230.4	262.0	308.0	283.2	254.4	237.6	230.0
2%変位吸収エネルギー $U \text{ (t} \cdot \text{m)}$	37.91	38.98	40.55	42.84	43.72	37.17	34.23	32.84	32.16	31.84

ここで、 $F_{E\max}$ が高く U が低くなる要因は図-7に示すように荷重-変位曲線の形状の違いにある。つまり、曲線 I は $F_{E\max}$ 、後次々に塑性ヒンズが発生し F が低下するのに対し、曲線 II は塑性ヒンズが徐々に発生し F がなだらかに増加する傾向にあるため、 $F_{E\max I} > F_{E\max II}$ であるが吸収エネルギーは $U I < U II$ となる。

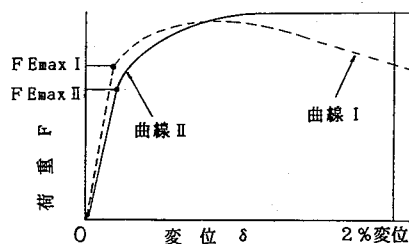


図-7

7. まとめ

今回立案した透過型鋼製砂防ダムに対する立体弾塑性解析を行なった結果、以下の事が分かった。

- ①弾塑性解析プログラムとしてNOAMASは、従来から使用してきたDRAIN とほぼ同じ結果が得られる。
- ②両法タイプの透過型鋼製砂防ダムにおいては、ダム側面の天端位置への載荷条件が最も厳しい。
- ③平面弾塑性解析 ($U = 24 \text{ t} \cdot \text{m}^3$) では、ダムの保有する吸収エネルギーが立体弾塑性解析 ($\theta = 0^{\circ}$ で $U = 37.9 \text{ t} \cdot \text{m}$) に比べ過少評価となる。
- ④面外荷重に対する弾性内最大荷重 $F_{E\max}$ は、面内 ($\theta = 0^{\circ}$) が最も低く $\theta = 50^{\circ}$ をピークに低下するが、いずれも面内荷重よりも高い。

⑤ダムが保有する吸収エネルギーは、 $\theta = 40^\circ$ まで上昇し 50° で急激に低下し、 $50^\circ \sim 90^\circ$ の範囲では面内荷重より低くなる。

8. おわりに

透過型鋼製砂防ダムの土石流中の巨礫衝突に対する評価はまだ研究段階にある⁷⁾ が、今まで実施してきた弾塑性解析による手法を用いて三次元モデルで解析を行い一応の成果が得られた。本研究に対し終始ご指導頂いた建設省土木研究所水山室長、また解析にご協力頂いたセンチュリリサーチセンタ菅原主任並びに関係諸氏に深く謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 鈴木庸二、森田昭宏；鋼製治山砂防施設の設計（2）－透過型－、新砂防、V o l . 4 1 , N o . 3 , 1 9 8 8
- 2) 水山高久、鈴木 宏、及川義朗、森田昭宏；透過型砂防ダムに関する実験的研究、新砂防、V o l . 4 1 , N o . 2 , 1 9 8 8
- 3) 鈴木 宏、及川義朗、森田昭宏；透過型立体鋼製ダムの水理実験及び塑性解析、昭和63年度砂防学会研究発表会概要集、1988
- 4) 砂防・地すべり技術センター他；鋼製砂防構造物設計便覧 昭和62年度版、1987
- 5) 上田幸雄、Sherif M.H.Rashed、中長啓治；理想化構造要素法による海洋構造物の最終強度解析、第7回海洋工学シンポジウム、1984
- 6) Kanaan, Powell; General Purpose Computer Program for Dynamic Analysis of Inelastic Plane Structure、EERC Report、1973
- 7) 陶山正憲、水山高久；鋼製治山砂防施設の研究と今後の課題、新砂防、V o l . 4 1 , N o . 5 , 1 9 8 9