

フィルダムの弾塑性応答について

東北工学部 正会員 柳沢 栄司
東北工学部 学生会員 ○小野 実

1. まえがき

わが国のような地震国では、地震時のフィル・ダム の安定性はきわめて重要である。特に、地盤の振動性質、ダムの応答特性を考りよした動的応答解析が必要とされる。さらに、土は本質的に線型の応力-ひずみ関係の挙動を示すのではなく、又、強震時においては、材料が破壊に達するような状態になるのど、土の非線型性を考りよした応答解析がなされなければならない。このため、本研究では、ドラッガー・プラーガーの降伏関数を使つて、弾塑性応答解析をおこなった。ここに、2次元有限要素法による解析結果を示す。

2. 弾・塑性応答解析

静水圧の影響を考りよしているドラッガー・プラーガーの降伏条件式

$$f = \alpha J_1 + J_2^{\frac{1}{2}} - K = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

$$J_1 = \tau_{ij}, \quad J_2 = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij}$$

α, K : 定数

は、2次元ひずみ場では、クーロンの降伏条件式 $R =$

$$C \cdot \cos \phi - \frac{1}{2} (\tau_{11} + \tau_{22}) \sin \phi \text{ と等価とおくと,}$$

$$f = \frac{3}{2} \alpha (\tau_{11} + \tau_{22}) - (1 - 3\alpha^2) J_2^{\frac{1}{2}} = K$$

となる。ここに、

$$S_{ij}, \text{ 偏差応力} \quad R = \left[\left(\frac{\tau_{11} - \tau_{22}}{2} \right)^2 + \tau_{12}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$C: \text{ 粘着力} \quad \alpha = \frac{\tan \phi}{\sqrt{9 + 12 \tan^2 \phi}}$$

$$\phi: \text{ 内部摩擦角} \quad K = \frac{3 \cdot C}{\sqrt{9 + 12 \tan^2 \phi}}$$

塑性域では、(1) 式を降伏関数とすると、応力-ひずみマトリックスは次のようになる。

$$[D^p] = [D^e] - \frac{E}{1 + \nu} \frac{2(1 - \xi_0)}{L} \begin{bmatrix} Q_1^2 & Q_1 Q_2 & Q_1 Q_3 \\ Q_1 Q_2 & Q_2^2 & Q_2 Q_3 \\ Q_1 Q_3 & Q_2 Q_3 & Q_3^2 \end{bmatrix}$$

ここに、 $[D^e]$: 弾性域の応力-ひずみマトリックス

ν : ポアソン比 ξ_0 : 断係数の比

ξ_0 : 弾性状態の断係数と塑性状態の比

$$L = 2A(1 - \xi_0) + 3B\xi_0$$

$$A = \frac{2b^2}{1 - 2\nu} + \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \frac{\tau_{12}^2}{R}$$

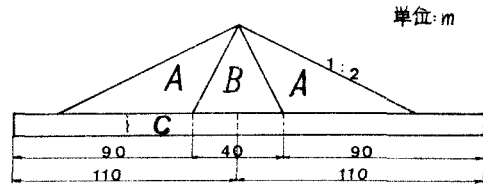
$$b = \frac{1}{2} \sin \phi$$

$$B = \frac{1}{2} (C \cdot \cos \phi + \frac{\tau_{12}^2}{R})$$

$$Q_1 = \frac{b}{1 - 2\nu} + \frac{\tau_{11} - \tau_{22}}{4R}$$

$$Q_2 = \frac{b}{1 - 2\nu} - \frac{\tau_{11} - \tau_{22}}{4R}$$

$$Q_3 = \frac{\tau_{12}}{R}$$



図A. 堤体断面

表1. 物理定数

	A	B	C
γ	1.7	1.7	1.7
E	14,000	8,000	20,000
ν	0.35	0.35	0.35
ϕ	35°	15°	40°
C	0.15	15	8.5



図2. 塑性域の広がり

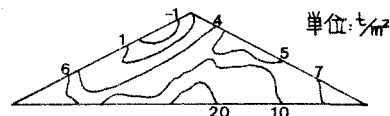


図3. 最大主応力

塑性状態にある要素の負荷・除荷の判定は、
 σ/σ_c が正ならば負荷、負ならば除荷、0 ならば中立応力とした。各スラップで各要素の降伏の判定をおこない、剛性マトリックスを変えて、固有値を求めなおして解析を進めた。

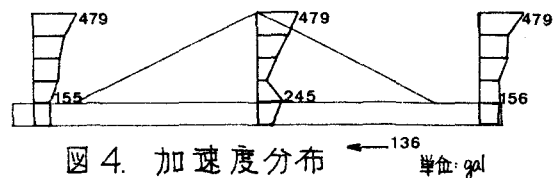


図 4. 加速度分布 単位: gal

3. 2次元有限要素法による応答解析
 図Aに示すセンターコア型のフィル・ダムに1940年のエル・セントロ地震のNS成分の1.4秒より5.4秒までを入力させた。各部分の材料の物理定数は表1の値を使用した。塑性域は両ノリ面上におこり、基礎より高さ3/3の地震で最も多く発生した。堤頂加速度が最大となる $t=0.78$ 秒の分布を図2に示す。このときの最大主応力の分布が図3であり、ノリ面上の塑性部分では引張応力がおこっているのがみられる。又、堤体内の加速度分布は図4に示され、堤頂で大きく、基礎で小さな三角形分布になった。堤頂では、各時間どかなり大きな応答加速度を示した。次に、入力レベルを、最大加速度314 galと154 gal、および15.7 galの3種類にして入力レベルによる応答の違いをみた。入力の最大加速度(α_c)と、堤頂の応答最大加速度(α_g)は表2のようになった。入力レベルが高くなるほど、倍率は小さくなった。入力のフェーリエ・スペクトルを平滑化したもので、堤頂の平滑化したフェーリエ・スペクトルを除した増幅率を図5に示す。ピークは0.82秒でおこり、入力レベルが大きくなるにつれて、

表 2. 最大加速度比

α_c (gal)	α_g (gal)	加速度比
15.72	41.18	2.56
157.2	316.09	2.01
314.5	626.28	1.99

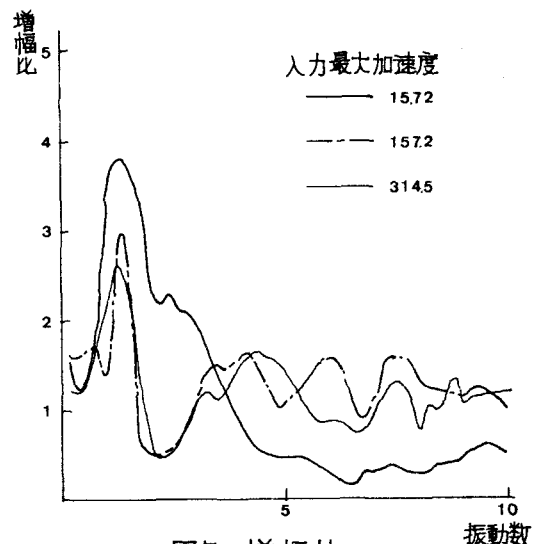


図5. 増幅比

ピークの増幅率はおちた。又、ピークのおこる周期は、入力レベルが大きくなった方が、少しづつ長くなった。ここで、フェーリエ・スペクトルの平滑化には、Pargen ウィンドーを使って、バンド幅を0.9 (cps)でおこなった。又、固有周期は、堤体の一部が塑性域に入ると長くなり、定常状態になると、初期より0.01秒程度長い値に収束した。図1は1次と3次の固有周期の時間による変化である。

最後に、本研究は静定な物理定数で解析したが、さらにひずみレベルにより変化する動的な物理定数を使って解析をおこなう必要がある。

参考文献

- ・河上・柳沢・森 “フィル・ダムの安定解析における地震力のとり入れ方の問題点” 土と基礎 Vol.23 No.5
- ・Drucker・Prager “Soil Mechanics and Plastic Analysis of Limit Design”
 Quarterly of Applied Mathematics Vol.10 No.2 1952
- ・山田 “弾塑性問題とマトリックス法” 生産研究 1968.5