

I-523 円弧すべり計算における地震力と安全率

建設省土木研究所 正会員 ○正国 之弘 松本 徳久 安田 成夫

1. まえがき

フィルダムのすべりに対する安定性は、円弧のすべり面を仮定した安定解析（以下円弧すべり計算と記す）によって検討されている。計算式、水位の条件、設計震度などは、河川砂防技術基準・ダム設計基準等の技術基準によって規定されており、フィルダムの設計計算法として用いられている。地震の影響は、震度として与えられ、安全率を決める重要な要素の一つとなっている。現在の設計基準では、震度の与え方は基礎から天端まで一様震度を与えることと規定されている。しかし、これまでの実測データおよび数値解析によると、地震時の堤体には基礎に対して増幅された加速度が作用していることがわかっている。¹⁾²⁾ そこで、地震力の応答倍率を考慮した非一様の震度分布を適用したときの安全率に与える影響、および、一様震度による計算でそれと同等の結果を得る方法について検討した。

表-1 ダムの諸元

ダム名	法面勾配		堤体高 (m)	水位 (m)	主な材料の強度定数			
	上流	下流			A	b	c	ϕ
A	1:2.60	1:2.10	63.0	58.0	1.778	0.804	10t/m ²	40.0°
B	1:2.40	1:1.90	119.5	107.0	2.100	0.719	—	—
C	1:2.70	1:2.05	158.0	150.0	1.494	0.844	—	—

2. 非一様震度による円弧すべり計算

円弧すべり計算は表-1に示すモデルダムのうちAについて、図-1凡例に示す3種類の震度分布を与え、簡便分割法ですべりの安全率を求めた。材料強度は次の2通りを考えた。

$$\tau_f = c + \bar{\sigma}_n \tan \phi \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\tau_f = A (\bar{\sigma}_n)^b \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、

τ_f :せん断強度

$\bar{\sigma}_n$:有効垂直応力

c, ϕ , A, b:材料の強度定数

以降式(1)をAb法、式(2)をc ϕ 法と記す。また、円弧の深さと安全率の関係を把握するため、1つの最小安全率を求めるだけでなく、すべり円弧の最下端の標高を固定し、円弧の最下部が所定の標高となる全円弧の中から最小の安全率となるものを求めた。円弧の深さと最小安全率の関係を図-1に示す。円弧の深さは、天端から円弧最下部の標高差と、堤体高の比で示してある。CASE5では、天端から円弧最下部までの標高差が堤体高の4割のときが、最も安全率が小さくなる。

一方、非一様震度で求めた最小安全率時のすべり円弧について土塊が地震力によって受ける水平方向の合力を求め、これをすべり土塊全体の重量で除し、地震力によってすべり円弧に働く水平方向の力が等しくなるような一様震度を求めた。

以降、この一様震度を平均震度と記す。円弧の深さと平均震度

の関係を図-2に示す。また、この平均震度を一様震度として与え、再計算した標高ごとの最小安全率を図-1に点線で示す。非一様震度による安全率との差は最大で2%程度である。このことは、円弧の最下部の標高に応じた一様震度を与えることで、非一様震度による場合と同様な安全率を求められることを意味する。

3. 平均震度によるすべり計算

前章の検討から適切な大きさの一様震度を与えることで、非一様震度による計算と同じ結果が得られるこ

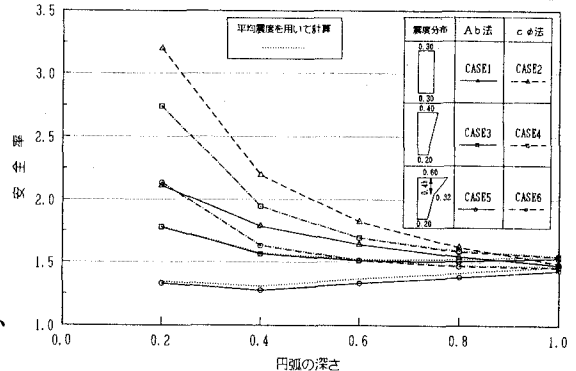


図-1 円弧の深さと安全率

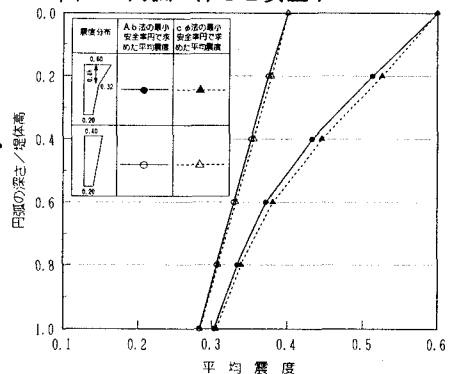
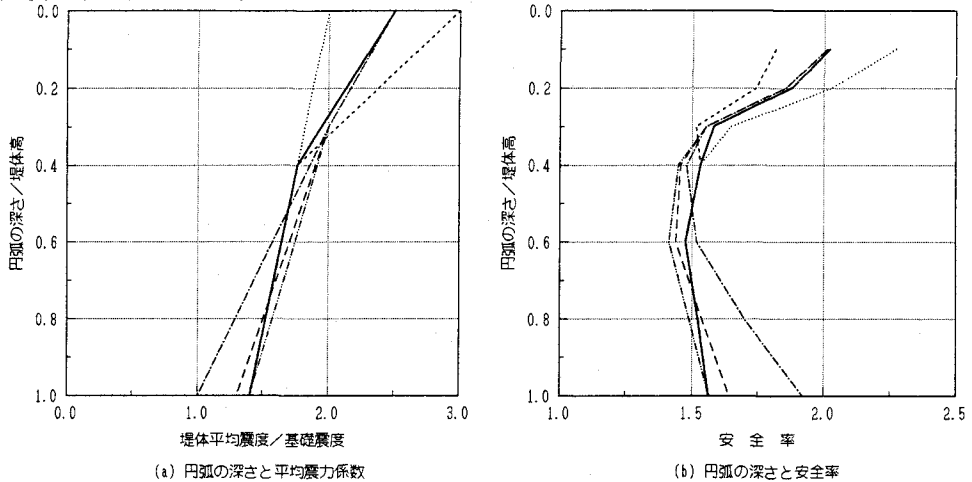


図-2 円弧の深さと平均震度

とがわかった。ここでは、様々な条件で計算を行い、その適用性について検討する。また、震度補正係数を新たに定義して、計算を進めた。震度補正係数とは、円弧の深さ／堤体高の関数で表される、平均震度／基礎震度の値である。

前項の検討結果をもとに、計算例として図-3(a)に示すような6種類の震度補正係数の分布を考えた。いま、分布1を用いるとすると、基礎に接する円弧について安全率を求めるときは、基礎震度の1.4倍の一樣震度で、また、天端から堤体高の4割の深さの円弧については基礎震度の1.76倍の一樣震度を与えて計算することを意味する。モデルダムAについて求めた安全率を図-3(b)に示す。この例では、円弧の深さが天端から4～6割のとき最も安全率が小さくなる。



分布1	分布2	分布3	分布4	分布5	分布6
1.4--1.76--3.0	1.4--1.76--2.5	1.4--2.0--2.5	1.3--2.0--2.5	1.4--2.0--2.5	1.0--2.0--2.5

図-3 震度補正係数と安全率

また図-4は、表-1に示すA, B, C, の3のモデルダムについて、同様に高さ方向に震度補正を行った場合の安全率の分布を求め、比較したものである。この図は、Aダムでは堤体高の6割の深さの円弧で最小安全率となるが、Bダムでは9割、またCダムでは3割の深さの円弧が最小安全率を与えることとなり、ダムにより最小安全率時の円弧の深さは一様ではないことを意味している。

4. まとめ

①すべり土塊に働く水平方向の力が、等しくなるような非一樣震度と一樣震度を用いて円弧すべり計算を行った場合、両者の安全率はほぼ等しくなる。このことから、適切な一樣震度を与えて安全率を求めることにより、非一樣震度による結果に近いものが得られる。

②堤体の高さ方向に震度補正を行った場合の安全率の分布を求めた場合、最小安全率を与える円弧の深さ／堤体高は材料強度の条件により異なる。

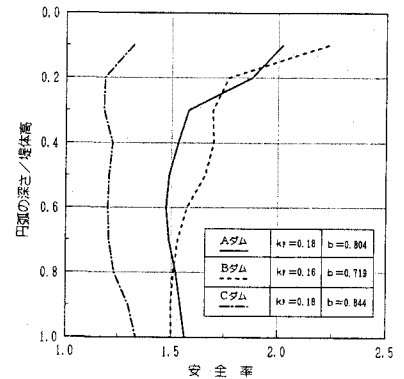


図-4 ダムの違いと安全率

<参考文献>

- 1) 松本徳久, 安田成夫, 志賀三智, 「ロックフィルダムの地震時挙動」, 第18回地震工学研究発表会, pp. 453~456, 1985
- 2) 松本徳久, 山辺建二, 安田成夫, 「フィルダムの地震応答 実測応答と一次元及び二次元解析」, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第1部, pp. 1232~1233, 1990