

## 重力式コンクリートダムにおける放流管規模の構造的検討

独立行政法人土木研究所 正会員 岩下友也 ○佐々木 晋 黒目 剛 山口嘉一

## 1. はじめに

近年、自然環境への配慮から河川の連続性確保のため、ダムの放流設備を河床標高付近に設置し、常時は自然な河川の流れを確保し、土砂も下流に流下させるタイプのダム（流水型ダム）が計画されてきている。ダムの構造規定を定める河川砂防技術基準(案)では、堤体内放流管を設置する場合、放流管規模が小さい場合は無限平板における空洞周りの応力分布から放流管周りの応力状態を検討するが、放流管の径が堤体ブロック幅の1/3を超えるような場合はFEM解析等によって厳密に応力検討することとしている<sup>1)</sup>。本稿では、ダム堤体の底部標高付近に設置された大規模な放流管の周辺応力状態を2次元及び3次元FEM解析等により求め、解析手法の比較とともに設置可能な放流管規模に関する基礎的検討の結果を報告する。

## 2. 解析モデル

解析対象は、図-1に示す1ブロック（ブロック幅  $W=15\text{m}$ ）を抽出した3種類（50,80,100m）の堤高の重力式コンクリートダムモデルとした。堤体の堤敷から5.0m上の標高に設けた放流管の規模は高さを5.0mとし、放流管幅  $b$  を5.0m( $b/W=1/3$ )、7.5m( $b/W=1/2$ )、10.0m( $b/W=2/3$ )の3種類設定した。解析モデルの主要諸元を表-1に示す。なお、このモデルにおいては基礎岩盤を考慮していない。解析に使用した物性値を表-2に、荷重条件を表-3に示す。以下の解析においては、流水型ダムは、常時には貯水池が空虚であることから、応力解析断面は空虚時に応力、特に引張応力条件が厳しくなるダム上流面のみを解析対象とし、地震力は下流から上流に向けて载荷した。

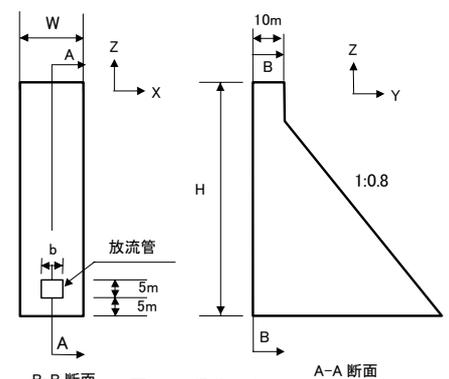


図-1 解析モデル

常時には貯水池が空虚であること

表-1 解析モデルの主要諸元

項目	諸元
堤高 (H)	50m,80m,100m
堤頂幅	10m
上流面勾配	鉛直
下流面勾配	1:0.8
放流管高	5.0m
ブロック幅 (W)	15m

表-2 物性値

材料物性	堤体	貯水
単位容積質量 $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	2,300	1,000
弾性係数 E ( $\text{N/mm}^2$ )	30,000	-
ポアソン比 $\nu$	0.2	-

表-3 荷重条件

水平力	地震時慣性力	設計震度 0.12 方向：下流→上流
鉛直力	堤体自重	

## 3. 解析方法

放流管周りの応力は2次元及び3次元FEM解析、並びに応力集中係数を用いた推定式により算定した。表-4に解析方法と実施した堤高ケースを示す。

## 3.1 2次元FEM解析

2次元FEM解析は、堤高50,80mモデルについて行った。解析手法は、ダム上下流方向の2次元断面モデルにて発生する鉛直応力  $\sigma_z$  を求め、ダム軸方向断面モデルの初期応力として引き継ぎ、放流管の要素を削除することにより応力分布を求める手法<sup>2)</sup>(以下、2次元引継ぎ解析と呼ぶ)を用いた。ダム軸方向モデル(B-B断面)の側方境界条件は、鉛直及び水平方向ともにフリーとした。

## 3.2 応力集中係数からの応力値の算定

3.1で堤高50,80mモデルの2次元引継ぎ解析から求められた放流管周りの最大引張応力  $\sigma_{tmax}$  と当該両モデルで放流管がない状態と仮定し、上下流方向の2次元解析により求めた鉛直応力  $\sigma_z$  を用いて応力集中係数( $C_c = \sigma_{tmax} / \sigma_z$ )を算出した。そして3種類の堤高モデルの上下流方向断面(A-A断面)のFEM解析によって求めた  $\sigma_z$  から、応力集中係数  $C_c$  を用い、3種類の堤高モデルにおける最大引張応力を算出した<sup>2)</sup>。

表-4 解析方法と実施ケース

解析方法	堤高		
	50m	80m	100m
2次元引継ぎ解析	○	○	
応力集中係数からの算出	○	○	○
3次元FEM解析		○	

※○は実施したケースを示す。

キーワード コンクリートダム、流水型ダム、放流管、3次元FEM解析、2次元FEM解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ TEL 029-879-6781

### 3.3 3次元 FEM 解析

3次元 FEM 解析は堤高 80m モデルについて行った。解析にあたっては 2次元引継ぎ解析と同様に堤体に荷重を載荷した状態から放流管要素を掘削する方法を用い、解析の次元のみによる違いの比較ができることを考慮した。また、側方境界条件 (X 方向) は水平及び鉛直方向ともにフリーとした。

### 4. 解析結果と考察

図-2に 2次元引継ぎ解析により求められた主応力 $\sigma_1$ の分布図一覧を示す。いずれのケースにおいても、最大引張応力は放流管直上部で生じており、放流管幅が大きいほど、また、堤高が高いほど大きい引張応力が発生していることがわかる。

図-3に、2次元引継ぎ解析、応力集中係数、及び 3次元FEM解析により求められた最大引張応力をまとめた。図-3の堤高 50m及び 80mモデルにおける 2次元引継ぎ解析と応力集中係数 $C_c$ による算定応力値を比較すると、2次元引継ぎ解析と応力集中係数 $C_c$ からの算出応力値の整合性が高いことがわかる。つまり、放流管形状・大きさが同じであれば、堤高によらず応力集中係数 $C_c$ はほぼ同じ値となることを示している。また、2次元FEM解析と 3次元FEM解析の結果の比較から 2次元解析の結果は最大引張応力が若干大きめとなること

がわかる。既設ダムにおける放流管増設の場合と異なり、新設するダムでは放流管周辺部位に所要強度の構造用コンクリートを打設し、鉄筋を必要量配筋することが可能である。そこで、コンクリートの許容引張強度を  $2.4\text{N/mm}^2$  と仮定し、地震荷重の引張強度割増 30%<sup>1)</sup>を見込んだ引張強度  $3.1\text{N/mm}^2$  に対して、各ケースの安全率を算出した結果を図-4に示す。この図からは、堤高 50mモデルでは、放流管幅が 10.0m( $b/W=2/3$ )のケースにおいても安全率が 2.0 以上あり、また最も条件の厳しい堤高 100mモデルの放流管幅 10.0m ( $b/W=2/3$ )のケースにおいても安全率は 1.0 以上あることがわかる。ここでの安全率の結果は引張応力をコンクリートの引張強度のみで受け持つとした場合の結果であり、引張応力に対する鉄筋への応力分担など考慮すれば安全率はさらに高まる余地はあると考える。今後は、基礎岩盤による影響など更なる検討を進めていく必要がある。

図-2に 2次元引継ぎ解析により求められた主応力 $\sigma_1$ の分布図一覧を示す。いずれのケースにおいても、最大引張応力は放流管直上部で生じており、放流管幅が大きいほど、また、堤高が高いほど大きい引張応力が発生していることがわかる。

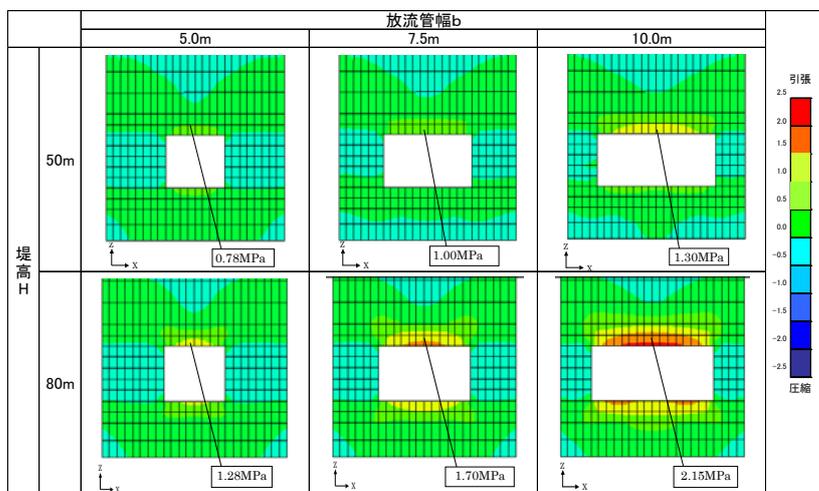


図-2 2次元引継ぎ解析 $\sigma_1$ 主応力分布図

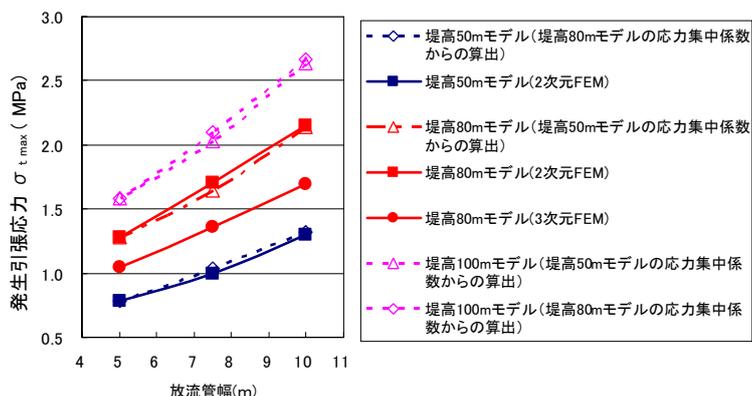


図-3 発生最大引張応力の比較

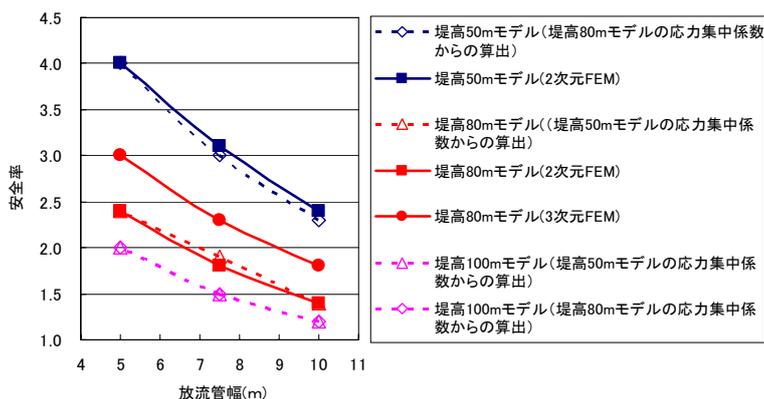


図-4 安全率の比較(許容引張強度 $2.4\text{N/mm}^2$ と仮定した場合)

この図からは、堤高 50mモデルでは、放流管幅が 10.0m( $b/W=2/3$ )のケースにおいても安全率が 2.0 以上あり、また最も条件の厳しい堤高 100mモデルの放流管幅 10.0m ( $b/W=2/3$ )のケースにおいても安全率は 1.0 以上あることがわかる。ここでの安全率の結果は引張応力をコンクリートの引張強度のみで受け持つとした場合の結果であり、引張応力に対する鉄筋への応力分担など考慮すれば安全率はさらに高まる余地はあると考える。今後は、基礎岩盤による影響など更なる検討を進めていく必要がある。

### 参考文献

- 建設省河川局監修：(社)日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編 [I]、山海堂、1997.10
- 藤沢侃彦・永山 功・自閑茂治・尾畑伸之：重力ダムの放流管理設ブロックの応力解析、土木研究所資料、第 2291 号、1985.12