

複合ダムのレベル2地震動に対する耐震性能照査（外山ダム）

Seismic performance verification of composite dam against level 2 earthquake motions (Toyama dam)

○今出 和成*, 渡部 大輔*, 及川 信浩**, 松村 彰則**

○Kazunari Imaide, Daisuke Watabe, Nobuhiro Oikawa, Akinori Matsumura

1. はじめに 本稿では、複合ダムである外山ダムにおいて、レベル2地震動に対する接合部の耐震性能照査を行った結果概要（検討条件・手法及び照査結果）を報告する。先行事例に倣い、堤体（重力部、接合部、フィル部）及び基礎岩盤を対象に全体3次元モデルを構築したが、全体3次元モデルのフィル部剛性パラメータを、3次元解析結果に基づき設定した点が新たな検討点である。上記の工夫により、フィル部の3次元形状の影響を反映した解析結果が得られた。

2. ダムの概要及び解析モデル 外山ダムは、国営佐渡農業水利事業（平成3年度～平成24年度）において羽茂川水系羽茂川に農林水産省が建設した農業用ダムである。ダム諸元をTable 1に示す。

構造上の特徴として、①接合部は、コアゾーン全体を接合部コンクリートに突き当らせ、その上下流のフィルター材及び透水材は接合部コンクリートを巻き込む形状であること、②左岸アバットのフィル部の堤高は10mと小規模であること、③地山を三方に掘削してコンクリート接合部を含めて天端で水平に埋戻していること、が挙げられる。これらの特徴を踏まえ、Fig.1及びFig.2に示す、全体3次元モデルを作成した。

3. 解析手法・入力地震動 全体3次元モデルによる地震応答解析は、使用する解析コード（ISCEF:開発元=センチュリテクノ社）の制約条件や解析計算に要する時間を考慮して以下の手法・条件により実施した。

【解析手法】: 時間領域（逐次積分）による線形解析を用い、以下の3手順で解析を実施した。①: フィル部の剛性等は別途2次元横断モデルを用いた等価線形解析による収束剛性を基に設定し、1回目の3次元解析を実施 ②: 2次元横断モデルと3次元解析で最大せん断ひずみを比較して大きな乖離がないことを確認（Fig.3に比較図を示す）③: 3次元解析で得られた要素ごとの最大せん断ひずみに基づき、フィル部要素の剛性等を設定し、2回目の3次元解析を実施して接合部の耐震性能照査を実施

Table 1 ダム諸元表
Dam specification table

所在地	新潟県佐渡市外山地先
型式	複合ダム（重力式コンクリートダム、中心遮水ゾーン型フィルダム）
堤高	重力部46.1m/フィル部10.0m
堤頂長	161.0m（重力部141.0m/フィル部20.0m）
堤体積	68.1千m ³ （重力部58.8千m ³ /フィル部9.3千m ³ ）
貯水量	総貯水量 2,600千m ³ /有効貯水量 2,250千m ³

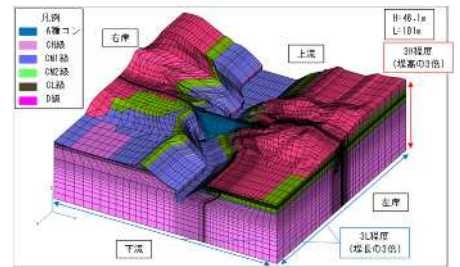


Fig.1 全体3次元モデル
3D model (Toyama dam)

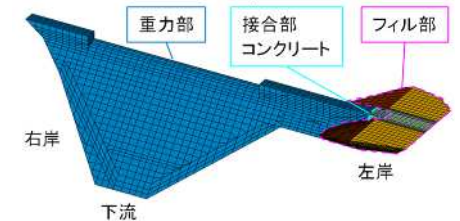


Fig.2 モデル堤体部拡大図
Enlarged view of model levee section

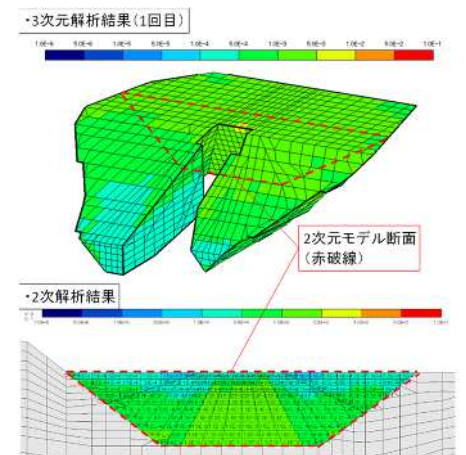


Fig.3 最大せん断ひずみの比較
Comparison of maximum shear strain

* (株)三祐コンサルタンツ Sanyu Consultants Inc., ** 北陸農政局 信濃川水系土地改良調査管理事務所 Hokuriku Regional Agricultural Administration Office, Shinano River System Land Improvement Study and Management Office

キーワード: 構造物の動力学的特性, 複合ダム, 3次元動的解析

Table 2 主な解析パラメータ
Major analysis parameters

パラメータ		採用値	備考
基礎	CH級	$E=50,000\text{N/mm}^2$	観測波を用いた再現解析において パラメトリックスタディを行い設定
	CM1級	$E=20,000\text{N/mm}^2$	
	CM2級	$E=4,000\text{N/mm}^2$	
	CL級	$E=1,500\text{N/mm}^2$	
	D級	$E=150\text{N/mm}^2$	
重力部	(外部コン, 内部コン, 接合部コン)	$E=29,000\text{N/mm}^2$	
フィル部	(コア, フィルター, トランジション, ロック, 埋戻材)	3次元解析結果より要素毎に収束剛性G, ホアソノ比 ν をそれぞれ設定	

Table 3 全体3次元モデルによる耐震性能照査結果

Results of seismic performance verification based on the 3D model

接合部	<ul style="list-style-type: none"> 接合部コア面の開き及びコアゾーンの要素安全率が1.0未満となることに対しては、浸透破壊に対する検討より、短期間で水位低下が可能であることから、水理的安全性は確保されるものと判断。 接合部3面（上流面・コア面・下流面）は同時刻に上下流に連続した開口が発生しないことを確認。
重力部	<ul style="list-style-type: none"> 引張応力が一部で許容値を超過したが、超過範囲は上下流端部に4要素の範囲と限定的であり、上下流に連続しないことを確認。 堤敷のせん断摩擦安全率：$F_s < 1.0$となる領域は局所的な範囲に留まる。 横継目の開き幅：止水板の伸び能力内に留まる。
フィル部	<ul style="list-style-type: none"> フィル部は上下流方向に埋め戻されており、上下流方向のすべりは発生しない（照査不要）。 参考検討として、ダム軸に平行な断面ですべり変形解析を実施した結果、下流面で最大沈下量が209cmと算定されたが、浸透破壊の心配はなく、早急に補修可能な位置と考えられ、地震時は変状を注視。

【地震動の設定】：解析モデル底面に、水平2方向（上下流、左右岸）でレベル2地震動を想定した加速度時刻歴波形を入力した。内陸活断層型を想定した入力地震波の最大加速度は、上下流方向593gal、左右岸方向548galとした。

4. 解析パラメータの設定・継目のモデル化 堤体及び基礎地盤の解析パラメータを Table 2 に示しており、試験値及び文献値に基づいて設定した基本パラメータに対し、本ダム堤体内に設置された地震計で観測された地震波を用いた再現性の検証によりフィッティングを行って決定した。また、継目部については、Fig.4 に示すとおり、「重力部横継目」、「接合面（接合部コンクリートとフィル部の境界）」について、各々の構造特性を踏まえてモデル化を行った。

5. 耐震性能照査結果 全体3次元モデルによる地震応答解析の結果を総括すると、Table 3 のとおりとなった。コアゾーンと接合部コンクリートの接合面において、上下流に連続して要素安全率が1.0以下となることが確認されたものの、Fig.5 より、接合部コンクリートの上流面と下流面を含めた3面が同時刻に開口しないことを確認しており、浸透破壊の恐れは少ないと判断された。

6. まとめ 外山ダムの耐震性能照査として、周辺地山も含めて構築した全体3次元モデルの解析結果を踏まえ、大規模地震に対して一定の耐震性能を有すると評価した。ただし、照査結果は解析コードの制約や不確定要素を含むため、大規模地震発生時に想定される事象を検討し、今後のダム管理における留意点の引継ぎを行うこととした。最後に、ご指導を承りました北陸農政局信濃川水系土地改良調査管理事務所の関係各位に謝意を表します。

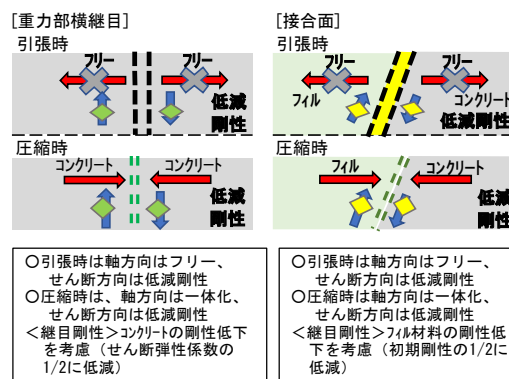


Fig.4 継目部モデル模式図
Schematic diagram of joint model

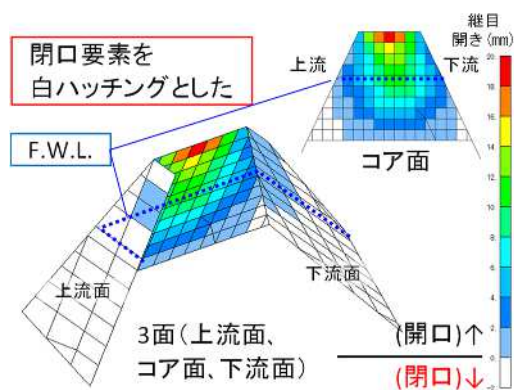


Fig.5 接合面（3面）の開口コンター図
Aperture contour drawing of joint surfaces