

独立型鋼製取水塔のレベル 2 地震動に対する耐震性能照査（荒砥沢ダム）

Seismic performance verification of stand-alone steel intake tower against level 2 earthquake motions (Aratozawa dam)

○今出 和成\*, 渡部 大輔\*

○Kazunari Imaide, Daisuke Watabe

**1. はじめに** 本稿では、荒砥沢ダムにおいて、レベル 2 地震動に対する独立型鋼製取水塔の耐震性能照査を行った結果（検討条件・手法・照査結果および平成 20 年岩手・宮城内陸地震による被災状況との比較）を報告する。先行事例では、取水塔部材のみを梁要素でモデル化する例が多いが、本検討では取水塔の規模が大きく、入力地震動も内陸波で 1000gal 程度と大きいため、構造物の応答加速度・変位・発生応力を精緻に評価する目的で「梁要素とソリッド要素の組合せモデル」を採用し、周辺地山も含めた全体 3 次元モデルを構築した。解析結果と実際の被災状況を比較した結果、被災時の取水塔の地震時変位方向や大きな塑性ひずみが生じる部材が同様の結果となる解析結果が得られた。

**2. ダムの概要及び解析モデル** 荒砥沢ダムは、国営迫川上流（一期）農業水利事業（昭和 55 年度～平成 10 年度）において北上川水系二迫川に利水事業（農林水産省）と治水事業（宮城県）の共同事業で建設された多目的ダムである。ダム諸元を Table 1 に示す。

構造特性として、①取水塔の規模が大きいこと（塔体、基礎コンクリートの全高が 50m 超）、②緊急放流機能を確保するための重要施設であること、③管理橋の延長が 70m と長く、橋脚も含めた応答を検証する必要があること、④地山の地質条件による構造物の応答の影響を考慮する必要があることが挙げられる。これらの特徴を踏まえ、Fig.1、Fig.2 および Table 2 に示す形状・条件にて全体 3 次元モデルを作成した。

**3. 解析手法・荷重・入力地震動** 【解析手法】地震応答解析は、「農業用ダム付帯設備耐震性能照査マニュアル（以下マニュアル）」の記載に従って、以下の 2 手順で解析を実施した。①：線形動的解析で主要部材の塑性率（=発生ひずみ÷降伏ひずみ）が許容値（2 倍）を超過するかを確認 ②：塑性率 2 倍を超過したため、梁要素をファイバーモデル（部材を細分化して、材料の非線形性を考慮可能）に変更した非線形動的解析を実施 【荷重】：取水塔モデルでは、開閉装置や上屋等は付加質量、取水管や塔体等は単位体積重量で荷重を設定した。水位条件は常時満水位とし、水面以下のモデルに動水圧を考慮した。【入力地震動】：モデル底面に水平 2 方向（橋軸、橋軸直交）でレベル 2 地震動相当の加速度時刻歴波形を入力した。平成 20 年岩手・宮城内陸地震の荒砥沢ダム観測記録を原種波形とする、内陸活断層型地震波の最大加速度は、「橋軸方向 955gal、橋軸直交方向 960gal」である。

Table 1 ダム諸元表  
Dam specification table

一般	位置	宮城県栗原市栗駒文字荒砥沢地先	
	形式	中心遮水ゾーン型フィルダム	
堤体	堤高	74.4m	総貯水量 13,214千 <sup>3</sup> (H25～：被災後旧後)
	堤頂長	413.7m	常時満水位 EL. 274.40m
	堤頂幅	10.0m	
取水設備	形式	独立タワーシリンダーゲート式（表面取水）	
	ゲート	ステンレス製5段シリンダーゲート（φ1800～φ3100）	
	最大取水量	11.071 <sup>3</sup> /s	
緊急放流設備	ゲート	ジェットフローゲートφ850 2門、φ250 1門	
	放流日数	7.5日	

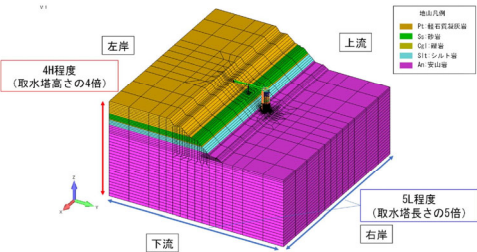


Fig.1 全体 3 次元モデル  
3D model

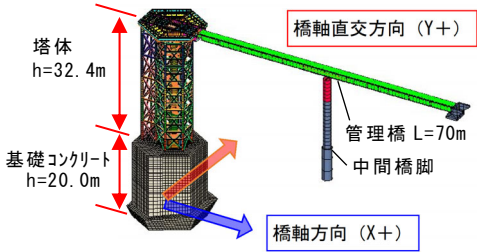


Fig.2 取水塔モデル拡大図  
Enlarged view of intake tower model

Table 2 解析モデルの条件設定  
Analysis model conditions

部位	構造	モデル	備考
塔体	S	フレーム(梁)	部材の材質・形状を反映
シリンダーゲート	S	フレーム(梁)	部材の材質・形状を反映
基礎コンクリート	RC	ソリッド(固体)	シリンダーゲート格納部は中空形状
管理橋	S	フレーム(梁)	支承部は境界条件でモデル化
橋脚・橋台	RC	ソリッド(固体)	橋台は改修後の構造を反映
地山	岩盤	ソリッド(固体)	地質区分毎に物性値を設定

\*(株)三祐コンサルタンツ Sanyu Consultants Inc.

キーワード：構造物の動力学的特性，独立型鋼製取水塔，3次元動的解析

Table 3 主な解析パラメータ Major analysis parameters

材料種類	単位体積重量 kN/m <sup>3</sup>	弾性係数 N/mm <sup>2</sup>	ポアソン比	降伏点 N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 N/mm <sup>2</sup>	引張強度 N/mm <sup>2</sup>
鋼材	SS400 (SS41)	77.0	$2.06 \times 10^5$	0.3	235	—
ステンレス鋼	SUS304	77.8	$1.93 \times 10^5$	0.3	205	—
鉄筋 (橋脚)	SD295 (SD30B)	0.0 (鉄筋コンクリートの重量に含む)	$2.00 \times 10^5$	0.3	325	—
無筋コンクリート (取水塔基礎コンクリート)		23.0	23,500	0.2	—	21
無筋コンクリート (橋台)		23.5	22,000	0.2	—	16
鉄筋コンクリート (橋脚)		25.0	23,500	0.2	—	21

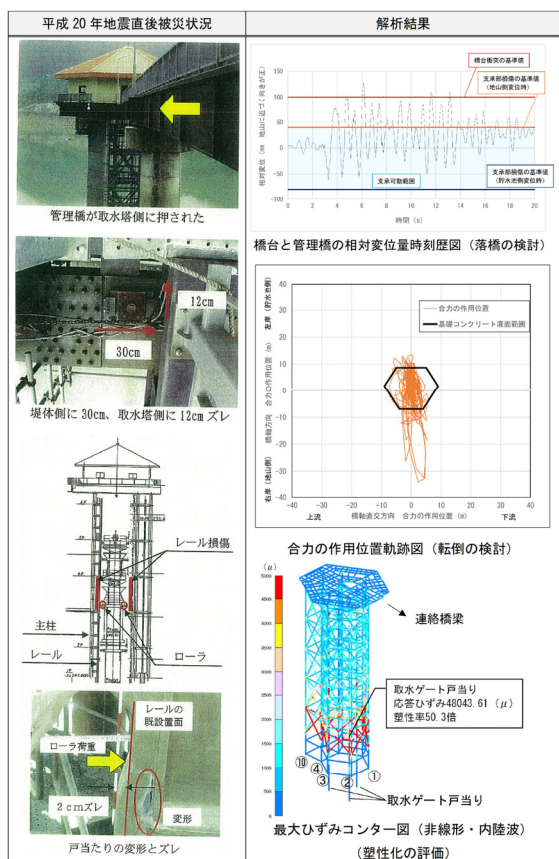
Table 4 全体 3 次元モデルによる耐震性能照査結果  
Results of seismic performance verification based on the 3D model

対象設備	照査基準	照査結果 (マニュアルに基づく判定)
取水塔全体 (貯水機能に関係)	・転倒しないこと ・せん断摩擦安全率 $\geq$ 許容安全率 ・岩着面鉛直応力 $\leq$ 許容地耐力	× 合力の作用位置は取水塔基礎底面外にあり、転倒に対して不安定と判断。 ○ 取水塔基礎コンクリート底面のせん断摩擦安全率が1.0以上となった。 ○ 岩着面鉛直応力は、取水塔基礎岩盤の地耐力以下となった。
基礎部 (貯水機能に関係)	・基礎底面発生応力 $\leq$ 許容応力度 ・塔体基部基礎コンクリートの発生応力 $\leq$ 引張強度・圧縮強度	○ 基礎底面の地盤反力は、基礎コンクリートの許容応力度以下となった。 × 基礎コンクリートで局所的に引張破壊・圧壊が生じると判断。
塔部 (放流機能に関係)	・残留変位 $\leq$ 塔高の1/100 ・主要構造部材及び補助構造部材のひずみ $\leq$ 降伏ひずみの2~3倍程度 ・塔体部材の発生応力 $\leq$ 座屈に対する許容応力度	○ 塔体塔上梁の残留変位は、「損傷の修復を容易に行える状態 (塔高の1/100)」以下となった。 (残留変位 31.8mm (最大変位 140.9mm) < 許容変位量 309.0mm) × 主要構造部材 (支柱) の塑性率が2倍以上 (34.3倍) となることを確認した。
管理橋・支承部・橋脚 (貯水、放流機能に関係)	・管理橋と橋台間の最大相対変位 $\leq$ 桁かかり長 ・管理橋と橋台間の最大相対変位 $\leq$ 管理橋と橋台の遊間長 ・管理橋と橋台間の最大相対変位 $\leq$ 可動支承の可動幅 ・橋脚の発生応力 $\leq$ 許容応力度	○ 管理橋と橋台間の最大相対変位量は、桁かかり長以下となった。 (最大相対変位量 60.9mm < 桁かかり長 900.0mm) × 管理橋と橋台の遊間長および可動支承の可動幅を最大相対変位量が超過し、衝突と支承部の損傷が生じる可能性。 × 橋脚コンクリートの曲げについて、引張強度と圧縮強度を超過する応力が発生した。 ○ 鉄筋の発生引張応力は降伏応力を超過するが、ほぼ弾性域 (塑性率2倍以下) となった。 × 橋脚に発生するせん断応力は、許容値を超過した。

**4. 解析パラメータの設定** 取水塔、基礎コンクリート、管理橋および橋脚の解析パラメータを Table 3 に示しており、マニュアルの記載に基づいて設定したパラメータを基本とした。単位体積重量については、モデル化していない設備を含めた総重量をモデル体積で除した値を設備毎に換算値として設定し、付加質量も含めたモデル合計重量が実構造物に等しくなるように調整した。

**5. 耐震性能照査結果と被災状況の比較** 地震応答解析の総括表を Table 4 に示す。Fig.3 より、解析結果では、非線形解析 (内陸波) の管理橋の照査において、管理橋と橋台の最大相対変位が管理橋と橋台の遊間長を超過して、衝突が発生する結果となった。また、転倒の照査においては、合力の作用位置が瞬間的に地山側・堤体側に大きく移動することも確認されており、塔体の変位方向は被災状況と同様であった。加えて、取水ゲートの荷重が戸当りに集中して作用する状況についても、被災状況と同様の解析結果が得られた。

**6. まとめ** 荒砥沢ダム取水塔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耐震性能を満足しない項目があると評価した。今回の解析を通じて、実際に大規模地震を経験したダム付帯施設の損傷評価との比較において有益な知見を得ることができ、今後他地区で実施する耐震照査の参考となるものと考えている。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東北農政局北上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.3 被災状況と解析結果の比較  
Comparison of damage and analysis results