技術リポート

From 北海道支部

大規模排水機場における耐震性能照査

Seismic Performance Verification at Large Scale Drainage Pump Station

鈴 木 康 弘*
(Suzuki Yasuhiro)

I. はじめに

1993年に竣工した「お茶の水排水機場」は北海道内最大級の農業用排水機場（立軸斜流ポンプφ2,200 mm ×4台，排水量42.7 m^3/s）である。北海道開発局から内水排除の事業計画を引き継いだ農用地整備公団により農用地等緊急保全整備事業（石狩川下流左岸区域）で建造されて25年以上が経過している。このため，農業水利施設の長寿命化に向けた機能診断の一環として必要な調査・検討を実施し，耐震照査の結果をもとに危険箇所の耐震対策工法を検討した。

本報では，排水機場の耐震性能照査において，二次元モデルでは横断方向の耐力壁を反映できない吸込水槽について，耐力壁の効果が反映可能な三次元モデルを用いて解析した事例を紹介する。

II. 設計条件

耐震性能照査における設計条件については，施設状況および土質条件等をもとに次のとおり設定した。

① レベル2耐震性能照査対象施設：吸込水槽，基礎杭
② 重要度区分：吸込水槽—A種，基礎杭—AA種
③ 設計地震動：レベル2(タイプ1：プレート境界型)
④ 耐震性能照査手法
【吸込水槽】耐震計算法：震度法
照査方法：限界状態設計法
【基礎杭】耐震計算法・照査方法：
地震時保有水平耐力法
⑤ 耐震性能：吸込水槽—致命的な損傷の防止
基礎杭—限定的な損傷にとどめる。

III. 吸込水槽のレベル2耐震性能照査

1. 解析モデルの作成

解析モデルは，躯体のスラブ同士が結合された三次元FEMモデルを採用した。モデル作成に当たっては，底版，中床版，頂版と側壁を流心方向（Z），流心直角方向（X）に区分したスラブをモデル化した（図-1）。なお，解析モデルは，本体部および隣接の補機室を作成した。

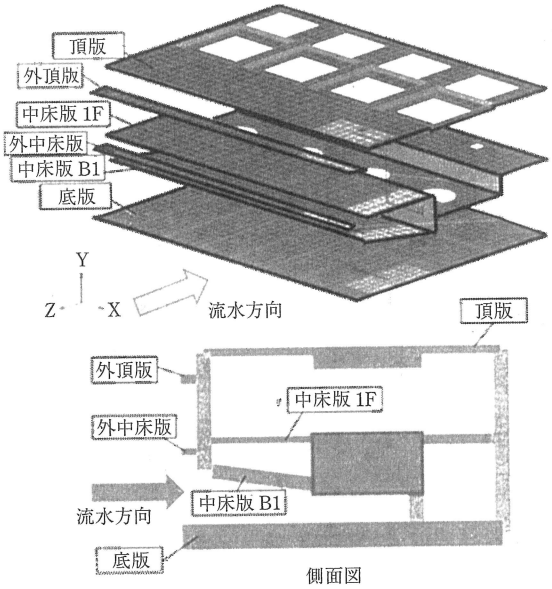

図-1 吸込水槽躯体のスラブイメージ（本体部：水平部材）

スラブ結合箇所に位置し力が作用しても変形が生じない剛性の高い部位（剛域）は，構造計算において考慮せず安全側で設計されることが多い。本設計では，コスト縮減を図るため，この「剛域」を考慮した。

2. 荷重条件

設計荷重については，既存資料を整理した上で設定した（表-1）。

3. 断面力の算定

断面力の算定に当たっては，スラブに作用する断面力（曲げモーメント M，軸方向力 N およびせん断力 S）が，スラブの厚さを考慮しない薄板理論にもとづく三次元有限要素法（FEM解析）を用いて算出した。三次元有限要素法では，要素ごとにスラブに作用する断面力について耐力照査を行うため，最も危険と考えられる4方向の地震力で生じた最大値（+）および最小値（−）を代表値として抽出した。よって，1個のスラブで断面力を抽出する箇所は6カ所（M_{max}，M_{min}，

*(株)三祐コンサルタンツ札幌支店

キーワード 排水機場，耐震性能照査，三次元解析モデル，限界状態設計法，耐震対策工法

表-1　設計荷重

荷重ケース		地震時荷重				
		死荷重	X(+)	X(−)	Z(+)	Z(−)
土木荷重	RC	●	—	—	—	—
	非構造物	●	—	—	—	—
	水平地震荷重	—	●	●	●	●
群集荷重		●	—	—	—	—
建屋荷重	鉛直荷重	●	—	—	—	—
	水平荷重	—	●	●	●	●
機械荷重	鉛直荷重	●	—	—	—	—
	水平荷重	—	●	●	●	●
水圧	静水圧	●	—	—	—	—
	揚圧力	●	—	—	—	—
	動水圧	—	●	●	●	●
土圧	主働土圧	—	●	●	●	●

N_{max}，N_{min}，S_{max} および S_{min}）としている。なお，断面力に対する検討では，主鉄筋および配力鉄筋について照査した。

照査結果については，断面力のコンター図を作成した。その一例を**図-2** に示す。

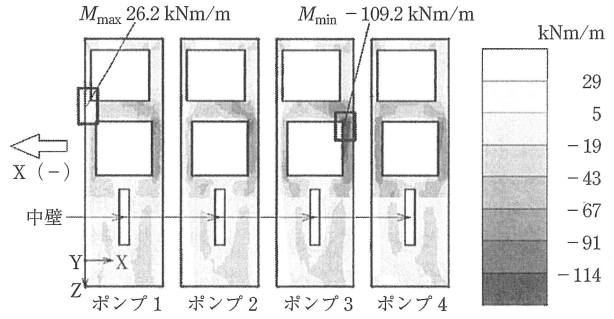

図-2　頂版の曲げモーメントコンター図

4．耐力照査

吸込水槽のレベル 2 地震動に対する照査は限界状態設計法（終局限界）で実施した。ここでは，レベル 2 地震動に対し断面破壊しないことを照査するため，終局限界状態における各部材の曲げ耐力，軸方向耐力およびせん断耐力を算定し，断面力が各耐力以内に収まっているか否かを確認した。なお，新設の設計では「曲げ破壊型」，「曲げ損傷からせん断破壊移行型」，「せん断破壊型」の破壊モードのうち，比較的粘りがあり安定的な破壊形態を示す「曲げ破壊型」となるように設計するが，既存施設の耐震補強では，配筋・部材厚等の変更ができないことから，破壊モードについては考慮していない。

限界状態設計法の耐力照査式は，部分安全係数を考慮した上で，曲げモーメント M，軸方向力 N およびせん断力 S に対する断面の耐力算定式を用いた。部分安全係数は，荷重や材料特性などの不確実性に配慮して荷重・強度の両方に複数の安全係数（材料係数，荷重係数，構造解析係数，部材係数，構造物係数）を用いるものであり，従来の方法（材料の降伏強度に安全率を乗じて安全性を照査する方法）よりも合理的で信頼性のある照査を行うための係数である。

吸込水槽の躯体について 24 個のスラブごとに耐力照査した結果，**表-2** に示す 4 個のスラブでせん断耐力不足が確認された。

表-2　耐力照査判定結果一覧表（耐力不足スラブのみ記載）

スラブ名称		主鉄筋			配力鉄筋		
		曲げモーメント	軸方向力	せん断力	曲げモーメント	軸方向力	せん断力
本体部	底版	OK	OK	NG	OK	OK	NG
	壁（1 通り）	OK	OK	OK	OK	OK	NG
	壁（5 通り）	OK	OK	NG	OK	OK	NG
補機室	底版	OK	OK	NG	OK	OK	NG

Ⅳ．耐震対策工法

吸込水槽の耐震対策工法は，「あと施工アンカーによるせん断補強工法」および「補強材の接着工法」を比較検討した。その結果，片側からの施工が可能であり，施工性・経済性の面で有利な「あと施工アンカーによるせん断補強工法（PHB 工法）」を本施設の耐震対策工法に採用した。PHB 工法は，既存構造物の表面から削孔を行い，専用モルタルを充填した後に，あと施工アンカー（プレート定着型せん断補強鉄筋）を差し込んで構造躯体と一体化を図り，部材のせん断耐力を向上させる工法である。

Ⅴ．おわりに

ポンプ場を新設する際，二次元解析のみを用いることが一般的である。しかし，既存施設の耐震補強における二次元解析では補強箇所が多くなりコストが嵩む傾向にある。このことから，耐震照査には補強箇所をできるだけ少なくできる三次元解析が求められる。

本施設のような大規模排水機場で横断方向の耐力壁を考慮した三次元解析を行った結果，耐震補強箇所はせん断耐力に関する 4 カ所のみであり，補強対象スラブおよび平面的な範囲も限定的とすることができた。

このように，排水機場の耐震診断に対する三次元解析の適用は有効な手法であると確認できた。

〔2021.11.30.受理〕

紹　介

鈴木　康弘（正会員）

1968年　愛知県に生まれる
1991年　山形大学農学部農業工学科卒業
(株)三祐コンサルタンツ