

# 面内方向の構造壁を考慮した 揚排水機場の解析手法について

エンジニアリング本部 防災・環境解析部 環境情報課

山尾 憲司

西村 貴一

## 1. はじめに

揚排水機場は、ポンプによって堤防を横断して水をやりとりするために設けられる施設であり、治水・利水を目的に設置される。揚排水機場には、河川管理者により設置・管理されるものと、農水政策のために設置・管理されるものがある。本稿では、河川管理者により設置・管理される揚排水機場を対象とする。

揚排水機場は耐震化が進められており、耐震対策工事に先立って行われる耐震性能照査の準拠基準として、「河川構造物の耐震性能照査指針(H24.2)」(以降、「河川指針」と呼称する。)が主に用いられる。

揚排水機場には、間切り等の壁が施設の特性上設けられていることが多い。その壁の剛性評価方法として、「河川指針」の付属資料「河川指針(案)一問一答(H19.11)p.51」では、「レベル 2 地震動に対する照査においては、壁の面内方向の剛性を見込んでよいか。」の問いに対して、「壁の面内方向の剛性を見込んでよい。剛性の評価方法は、駐車場設計・施工指針(H4.11)<sup>3)</sup>(以降、「駐車場指針」と呼称する。)を参照されたい。」<sup>2)</sup>との記載がある。

しかしながら、「駐車場指針」において対象としている駐車場構造物と「河川指針」が対象としている揚排水機場では、構造上の条件が種々異なる。

本稿では、まず「駐車場指針」における構造壁の剛性の評価に関する想定内容を整理し、その評価方法を記す。次に、揚排水機場の耐震構造解析への適用手法を例示し、揚排水機場に適用する際の留意点を示す。

## 2. 「駐車場指針」における考え方

「駐車場指針」において、一般的に用いられる解析手法は面内方向の 2 次元断面解析(切出しモデルを用いた解析)である。この手法を適用するためには、構造物が切り出し断面の奥行方向に一樣に変形する事が前提となる。壁の面内方向の剛性評価に関しても、平面解析を前提としている。

また、面内の壁の剛性を見込むには、地震荷重を負担することのできる構造であることが求められ、その構造細目が定められている。

以下、モデル化の条件と壁の構造細目について記載する。

### 2.1 モデル化の条件

「駐車場指針」では、構造物の外力に対する変形が検討断面の奥行方向にほぼ同じと考えられる場合には、2 次元断面モデルを用いて構造壁を取り込んだ解析を行ってもよいとされている。これは、構造壁を含む断面と含まない断面が同じ変形をすると仮定できるためである。以下の 2 点を満足する

とき、壁を含む断面と含まない断面が一樣な変形をするとみなせる。

①  $W/H_i \leq 8$  以下となるような間隔で構造壁が配置されている場合

② 構造壁が配置されている断面内における構造壁の専有面積の割合が 30% 以上の場合ここに、

$W$  : 構造壁が配置される断面の地下駐車場の長手方向の間隔

$H_i$  : 第  $i$  階における構造壁にとりつく梁の中心間隔

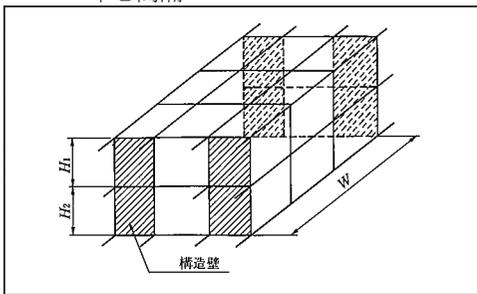


図 1 奥行方向に変形がほぼ同じと考えてよい場合

## 2.2 構造壁

構造壁とは、「地震荷重の作用方向に対して面内となる壁」と定義されており、地震力による水平力を負担する目的として造られている。いわゆる耐震壁と同義である。2次元でモデル化するときは、壁、頂版、底版を軸材としてモデル化するので、奥行方向の構造や強度が無視され、結果として、構造系全体の強度を過小評価してしまうために、設計段階でこれらの軸材について必要以上の強度が必要になってしまうことがあるため、より経済的で合理的な設計を行うためには、構造壁の効果を検討しながら、適切に配置していく必要がある。

## 2.3 構造壁の条件及び構造細目

構造壁の条件及び構造細目は以下の様に示されている。

### (1) 構造壁の条件

壁の周囲4辺の内、上下の梁を含む少なくとも3辺を柱及び梁と一体化し、固定しなければならない。

### (2) 構造細目

1) 構造壁の厚さは 20 cm 以上、かつ構造壁の内法高さの 1/30 以上とする。

2) 構造壁のせん断補強筋比は、直交する各方向に関して、それぞれ 0.25% 以上とし、複筋配置とする。

3) せん断補強筋の直径は、13mm 以上とし、間隔は 30 cm 以下とする。

## 3. 解析手順

2次元断面解析のモデル化条件と構造壁の条件および構造細目を満たした面内壁に対して、「駐車場指針」を参考に構造壁の剛性を考慮し、解析する手法を以下に示す。

### 3.1 構造壁のモデル化手法及び剛性評価

#### (1) 構造壁のモデル化

構造壁のモデル化は、構造壁をその中心線の位置に壁柱という棒部材に置き換えてモデル化する。壁柱の上下端には剛梁を設けて、剛梁の両端部は、柱・梁の節点へピン結合する。その具体的な手順を以下に示し、そのモデル化のイメージを図 2 に示す。

(手順1)

構造壁を壁柱に置き換える。壁柱の配置箇所は、構造壁の中心線位置であり、鉛直に配置する。

(手順2)

壁柱を支える剛梁を配置する。剛梁の配置箇所は、構造壁と一体化した上下の梁の軸線位置に沿うように配置する。

(手順3)

剛梁の両端部は、構造壁周囲の梁柱へとピン接合条件で接続する。

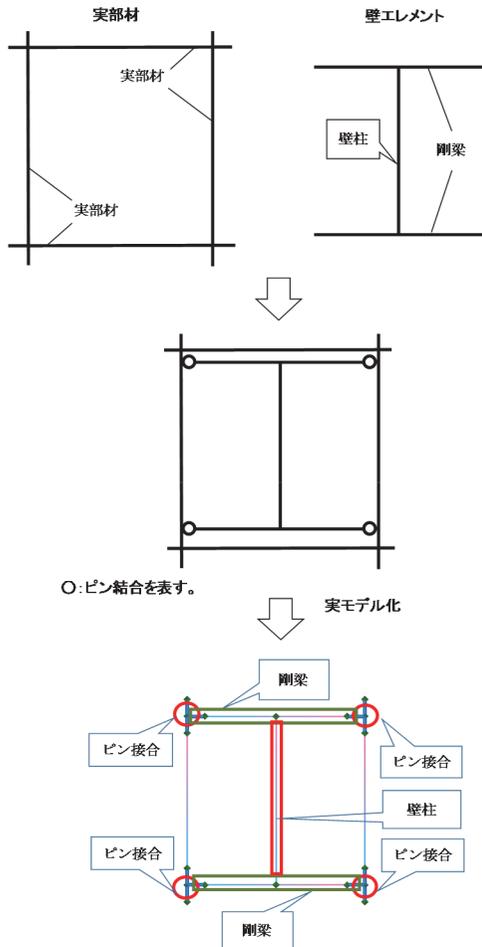


図 2 構造壁のモデル化イメージ図

(2) 構造壁の剛性評価

構造壁による剛性は、次式で表現される。

$$\left. \begin{aligned} E_c J_w &= E_c \cdot t \cdot l^3 / 12 \\ E_c A_w &= E_c \cdot t \cdot l \\ G_c A_{ws} &= C_H \cdot C_N \cdot G_c \cdot t \cdot \frac{l}{1.2} \\ E_c I_{wB} &= E_c (I_B + t \cdot h^3 / 12) \\ E_c J_{wB} &= E_c (A_B + h \cdot t) \end{aligned} \right\} \dots (式 1)$$

ここに、

- $E_c J_w$ : 壁柱の曲げ剛性( $kN \cdot m^2$ )
- $E_c A_w$ : 壁柱の軸剛性( $kN$ )
- $G_c A_{ws}$ : 壁柱のせん断剛性( $kN$ )
- $E_c I_{wB}$ : 構造壁周囲の梁の曲げ剛性( $kN \cdot m^2$ )
- $E_c A_{wB}$ : 構造壁周囲の梁の軸剛性( $kN$ )
- $E_c$ : コンクリートのヤング係数( $kN/m^2$ )
- $G_c$ : コンクリートのせん断弾性係数( $kN/m^2$ )
- $t$ : 面内壁の厚さ( $m$ )
- $l$ : 柱の中心間隔( $m$ )
- $h$ : 梁の中心間隔( $m$ )
- $C_N$ : せん断剛性の低下率
- $C_H$ : 開口による剛性の低下率

ただし、地震荷重作用前の初期の段階では、せん断剛性の低下率  $C_N = 1.0$  とする。

3.2 変形解析と構造壁の剛性低下

構造壁を取り込んだモデルで構造解析を実施して、構造物の変形量を算出する。

また、構造壁の中には発生せん断力が大きいためにせん断破壊するものも生じる。これらの耐震壁は解析モデルから除外する必要がある。

せん断破壊に至らなかった構造壁であってもせん断変形によりクラックが生じるとせん断剛性が低下するため、せん断剛性の低下率を評価する必要がある。

(1) 構造壁のせん断破壊

壁柱に生じるコンクリートの平均せん断応力度  $\tau_m$  がコンクリートと鉄筋が協同するときの許容せん断応力度  $\tau_{a2}$  を超える場合には構造壁はせん断破壊し、せん断剛性は見込めないものとみなす。壁柱に生じるコンクリートの平均せん断応力度  $\tau_m$  は、(式 2) により求められる。

$$\tau_m = S / (l \cdot b) \dots (式 2)$$

ここに、

$\tau_m$ : 構造壁に生じるコンクリートの平均せん断応力度 ( $N/mm^2$ )

$S$ : 構造壁に発生するせん断力 ( $N$ )

$l$ : 構造壁の周辺の柱の中心間隔 ( $mm$ )

$b$ : 構造壁の厚さ ( $mm$ )

(2) 構造壁のせん断剛性低下

壁柱に生じるコンクリートの平均せん断応力度  $\tau_m$  がコンクリートの許容せん断応力度  $\tau_{a1}$  を超える場合には、構造壁の剛性を適切に低下させる。

なお、せん断剛性の低下率  $C_N$  の算定には本稿では富井・大崎の行った単一壁体のせん断実験結果による推定式<sup>4)</sup>を用いる。

$$C_N = 0.24(R \times 10^3)^{-0.75} \dots (式 3)$$

ここで、

$R$ : 構造壁のせん断ひずみであり壁柱要素の上下の相対変位により定義

せん断剛性する構造壁の有無とせん断剛性の低下率  $C_N$  の値は、繰り返し解析を行うなかで適時判断し決定する。

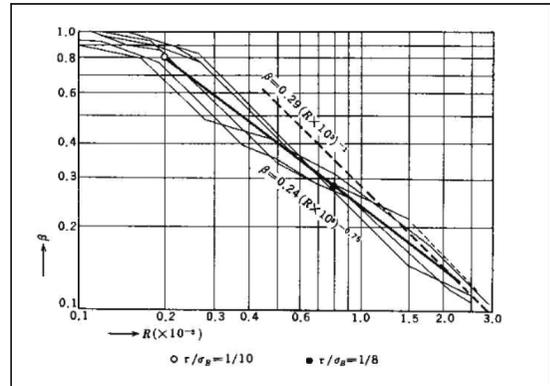


図 3 耐震壁のせん断変形とせん断剛性低下率

3. 3 応力解析及び照査

(1) 応力解析

3. 2により構造壁の剛性を決定し、変形解析を実施し、構造物の変位(水平変位、鉛直変位、回転)を抽出する。その後、構造壁を含まない別のモデルに、抽出した変位を強制変位として与え、応答変位法による応力解析を行う。

これは、構造壁を含まない断面で耐震性能照査をすることが適切であるが、構造壁を含む断面での変形特性により構造物全体の変形が定まると考えられるための処理である。本稿では簡便な方法とするため、変形解析用と躯体照査用の 2 つのモデルに区分して段階的に解析を行う方法を示した。

(2) 照査

応力解析結果の部材に生じる断面力より、構造物の各部について発生曲げモーメント(曲率)が許容値以下であることと、発生せん断力がせん断耐力以下であることを確認する。

以上の一連の解析手順をフロー化したものを、次頁の図 4 に示す。

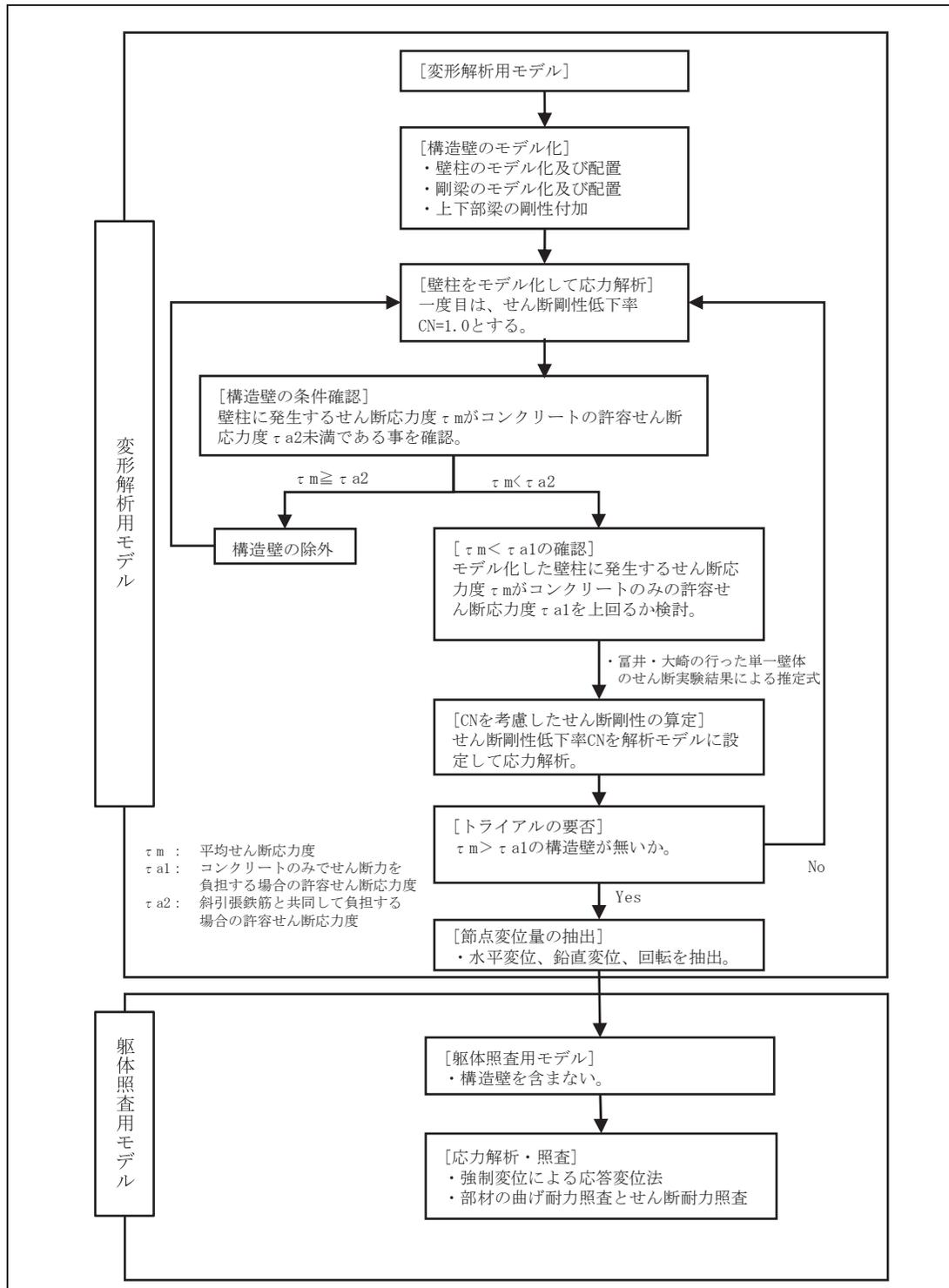


図 4 解析フロー

#### 4. 課題とまとめ

本稿では、「駐車場指針」を適用し、構造壁を有する揚排水機場の解析手法の一つとしてその手順を示した。

しかし、揚排水機場は駐車場と構造が異なるため、「駐車場指針」の平面解析の条件と構造壁の条件および構造細目を完全に満足することは稀である。

揚排水機場と駐車場には、主に以下の様な違いがある。

- ① 揚排水機場の多くは、壁式ラーメン構造であるのに対して「駐車場指針」に従った駐車場の設計計算の基本は、スラブ、梁、柱、壁からなる柱梁式ラーメン構造であり構造形式が異なる。
- ② 「駐車場指針」では、水平力の負担を想定して構造壁が設計されているのに対して、揚排水機場の面内壁は部屋や水路を分ける間仕切り(隔壁)として設計されており、その目的・用途が異なる。

したがって、以下に示すような理由から、構造壁を考慮した2次元解析を適用できない場合が多いと考えられる。

- ① 揚排水機場は奥行方向に構造が複雑な場合が多いため、平面解析を実施可能な前提条件を満たさない場合も多いと考えられる。「駐車場指針」ではこのような場合には、3次元解析を実施することが記載されているため、2次元断面解析の適用外と考えられる。
- ② 揚排水機場では、面内壁の設置目的が異なるため「駐車場指針」の構造壁の構造細目を満たさない場合は多いと考えられるため、そ

の剛性を考慮できない場合が考えられる。

しかし、「駐車場指針」と「河川指針」では、対象とする構造形式や設計思想が異なるために、「駐車場指針」の構造細目を満足しないからと、一律に適用外とするのは適切な判断ではない。

どのような場合に揚排水機場において面内壁の剛性を見込むことが可能であるか、あるいは2次元断面解析が可能であるかは、それぞれ技術的判断が必要になり、この設定と判断は今後の検討を必要とする課題である。

ただし、パソコンの性能向上や解析技術の進歩に伴い、計算速度及び解析精度が飛躍的に向上している昨今では、揚排水機場の耐震性能照査に3次元解析を用いることもそう難しいことではなくなっている。よって、対象構造物が2次元断面解析としてよいか判断がつきにくい場合には、3次元解析を用いて耐震性能照査を実施するケースも増えている。

以上、揚排水機場において面内壁の剛性を見込む解析方法について、一手法を例示し、その課題を整理した。

#### <参考文献>

- 1) 「河川構造物の耐震性能照査指針・同解説」(平成24年2月,国土交通省水管理・国土保全局治水課)
- 2) 「河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説 一問一答」(p51,平成19年11月,国土交通省河川局治水課)
- 3) 「駐車場設計・施工指針 同解説」(pp88-89,平成4年11月,社団法人日本道路協会)
- 4) 「鉄筋コンクリート構造・計算規準 同解説」(pp79-80,平成22年2月,社団法人日本建築学会)