

土地改良施設の揚排水機場の耐震性能照査について

エンジニアリング本部 防災・環境解析部 地盤・構造解析グループ

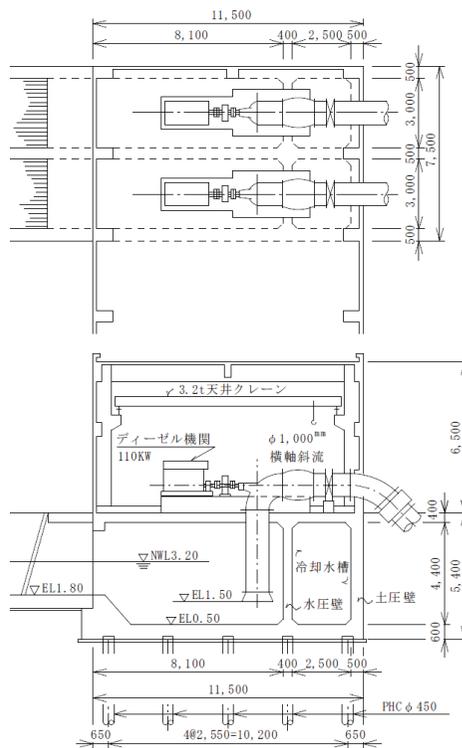
富高 裕資

1. 概要

近年、異常気象や巨大地震により、ため池堤防の決壊や、河川氾濫が頻繁に発生し、経済活動へ大きな影響を与えている。農林水産省においては管轄の既設構造物の中でも水防災に重要な設備である揚排水機場(以下、基準に合わせ「ポンプ場」と称す)に対して巨大地震への備えとした耐震照査が急務となっており、業務の発注が急増している。

ポンプ場は、設置位置や利用規模により特殊性を伴う構造物であるため、耐震照査を行うに当たり、土地改良施設の設計基準¹⁾に示された設計計算例(以下、計算例と称す)をそのまま適用するだけでは不十分であり、それぞれの構造的特徴を適切に評価した耐震解析、照査を行う必要がある。

本稿では、実務上、ポンプ場の構造的特徴をある程度整理し、耐震性能を適切に評価するための方法について述べる。

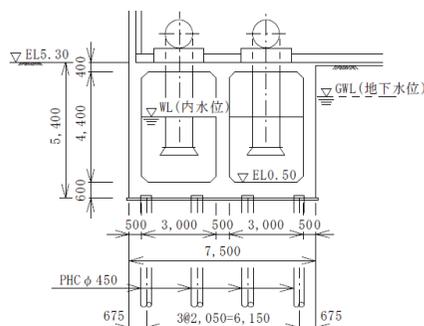


・平面図及び縦断面図

2. 検討条件の設定方法

設計基準においては、ポンプ場を一つの代表的な単位長さの断面に置き換えて検討断面を設定し、計算例を掲載している。計算例のポンプ場一般図と検討断面図を図1に示す。

しかし実際は、開水路が吸水槽と一体化しているものや、吸水槽流入部に傾斜があるものなど、複雑な構造のポンプ場が数多く存在している。このような



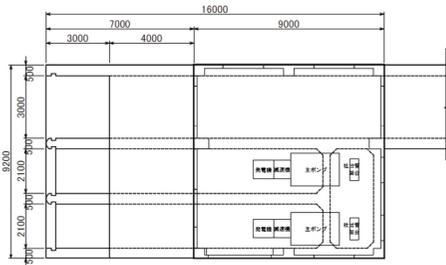
・検討断面(ポンプ芯断面)

図1 ポンプ場一般図(計算例)と検討断面図

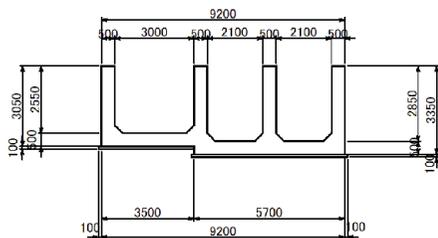
ポンプ場は構造上の特徴を踏まえ、複数断面に分割して検討を行う必要がある。以降に複数断面の検討を行う際に配慮すべき事項を順次記載する。

2.1 断面選定

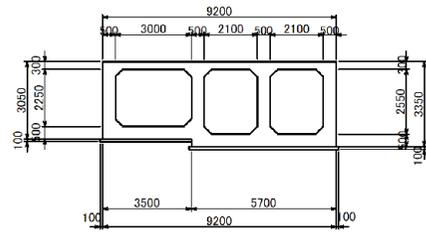
本稿における事例として、複数断面を選定する必要があるポンプ場の一般図及び検討断面図を図 2 に示す。この施設では形状に着目し、流入側から、①開水路位置、②除塵機位置、③ポンプ芯位置、④冷却水槽位置の最低 4 断面が必要となる。同一断面の範囲内で配筋条件が異なる場合は、鉄筋量が小さい方を選定し安全側の検討を行うか、さらに 2 つの断面に分割しそれぞれの断面について検討を行う。



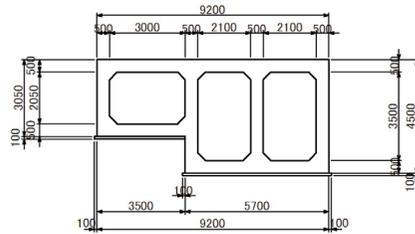
・平面図及び縦断面図



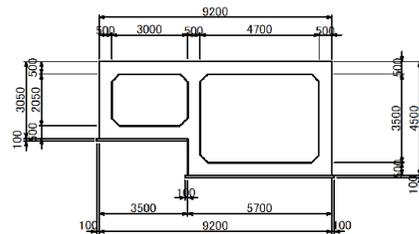
①開水路断面



②除塵機断面



③ポンプ芯断面



④冷却水槽断面

図 2 ポンプ場一般図と本稿検討断面図

2.2 荷重条件

ポンプ場の耐震照査を複数の断面に分けて行う上で特に重要な荷重条件は下記の 3 点と考える。

- 機器重量
- 杭反力
- 慣性力

計算例に記載されている荷重条件は、前述の通り代表断面に載荷する安全側に設定した荷重である。

複数の断面で検討を行う必要がある場合、それぞれの断面に対して、適切に荷重条件を設定する必要がある。

(1) 機器重量

発電機、減速機、ポンプ及び弁などの固定荷重については、その自重及び慣性力が作用する。各機器重量について設計図書もしくはメーカーへのヒアリングにより確認し、ポンプ場本体へ基礎コンクリートの分布範囲を考慮して作用させる必要がある。

図 3 に示す機器重量が分割した検討断面に作用する場合、各断面に作用する荷重を検討する。なお、計算例では安全側に配慮し、最も大きい荷重条件となるポンプ重量(W_4)を考慮している。

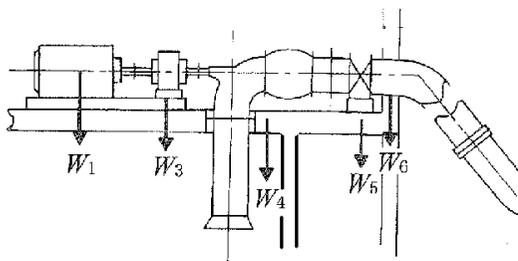


図 3 機器荷重条件

検討断面を分割する場合、以下のような荷重の分配を検討する必要がある。

①開水路断面及び、②除塵機断面には、図 3 の荷重は作用しない。一般的に①、②断面には除塵機が載荷されるため、塵芥の影響などを考慮した荷重を考慮する。

③ポンプ芯断面には、 W_1, W_3, W_4 について単位幅で最も厳しい条件となる荷重を考慮する。

④冷却水槽断面には、 W_5, W_6 が考えられるが、 W_6 は、棲部の土留め壁上に載荷することとなるため、検討断面には考慮しない。

(2) 杭反力

杭反力は一般的に、境界条件として杭位置に杭をバネとして検討断面に設ける方法と、安定計算により各杭の反力を算定して検討断面に作用させる二通りの方法がある。基準上は後者の考え方を原則とし、各杭反力を検討断面に平均化して作用させる。

複数の検討断面に考慮する場合においても、まず安定計算を行い、各杭反力を求める必要がある。

この杭反力について、各断面の有効範囲に存在する杭の影響範囲を考慮して検討断面に杭反力を作用させる。杭伏図を図 4 に示す。

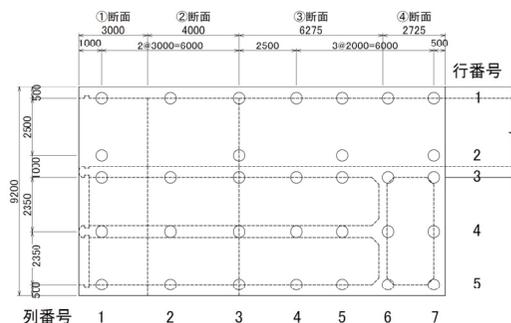


図 4 杭伏図と各断面の有効範囲

事例の構造物において、各断面に作用する杭反力を求める場合、例えば③断面の杭反力は行番号 4 番と 5 番及び列番号 3 番と 6 番の 1/2 を考慮するなど、範囲内の杭反力と境界上の杭反力について、適宜その影響を考慮すればよい。ただし、④断面における行番号 4 番の杭は、底版の支間中央付近の反力となるため大きな断面力が生じる結果となる。しかしながら、この杭は水流直角方向の壁直下に配置されているため、隣接する行番号 3 番、5 番に杭反力を分配するなどの配慮が必要である。なお、各断面に作用する杭反力は、断面の延長長さで除して、単位幅当りの荷重としてモデルに反映する。

(3) 慣性力

慣性力は、躯体及び固定荷重として存在する機器に作用する。計算例では、躯体に作用する慣性力は、ポンプ場全体に作用する慣性力による水平力を躯体全長で除することで単位長さ当りの慣性力として考慮している。

複数の断面に分割する場合、上記の荷重に対して有効長を考慮するという方法もあるが、局所的な荷重(ポンプや除塵機など)は、考慮すべき断面に対して有効長で除して作用させることが望ましい。

また、杭基礎の底版に作用する水平力 H_F は算出方法に特徴があり、以下の式により平米当りの荷重として算定する。

$H_F = (\text{躯体の全慣性力[kN]} / \text{躯体全長[m]} - \text{頂版及び壁自重の慣性力[kN/m]} / \text{底版全スパン長[m]})$

ポンプ場本体の部材に直交する水圧壁や土圧壁の剛性は一般に無視して計算されるが、これらの直交する部材の慣性力は底版に作用する軸力としてのみ考慮するという考え方である。

(4) 建屋荷重

地震時に考慮する建屋荷重(柱の軸力、水平力)として、鉛直力は、地震時における建屋の転倒モーメントによる鉛直力の増減を長期軸力に考慮した軸力を用い、水平力は、長期軸力に土木基準による設計水平震度を乗じて求める。

したがって、長期軸力に増減を考慮するための建屋の地震時慣性力は、土木基準により算出する必要がある。建屋の耐震診断における柱脚軸力を安易に用いてはならないことに留意すべきである。

また杭反力と同様に、建屋の柱軸力についても、検討断面毎に影響範囲を考慮し、適切に分配する必要がある。

3. 考察

断面選定について、比較的単純な構造であれば、計算と同様に一つの断面に集約することも技術者判断の範疇にあると考える。

しかしながら、ポンプ場は、構造設計において水理計算に基づきポンプ等が選定され、必要とする機器荷重に対して、経済的な構造断面を決定している。そのため通常は流水方向に構造断面は変化して然るべきである。

今回事例のモデルにおいても、③断面と④断面を一体として検討した場合、照査結果は OK 判定であったが、分割した場合、④断面については NG 判定が得られた。④断面が③断面と異なる条件として、冷却水槽内は水位が高く、動水圧の影響が大きいことや、躯体の配筋が③断面に比べて鉄筋量が少ないことが要因であった。

このように、ポンプ場の断面構造が複雑に変化している場合、平均的な断面にのみ着目して評価することは危険側の予測となる可能性を秘めている。断面構造や荷重条件に着目し、必要に応じて検討断面を適切に分割した上で、各断面における耐震性能照査を実施することで、適切な耐震性能の評価を行うことができると考える。

<参考文献>

- 1) 「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「ポンプ場」基準 基準の運用 基準及び運用の解説」(平成 30 年 5 月 22 日改訂, 農村振興局整備部設計課施工企画調整室)