

3種類の変位量を組み合わせた地震時における施設接続部の相対変位 量算出方法に関する提案

内外エンジニアリング株式会社 岩 竹 雅 之
内外エンジニアリング株式会社 藤 井 亮
内外エンジニアリング株式会社 ○伊 與 田 昌 史

論 文 要 旨

下水処理場では、水処理施設同士がエキスパンションジョイント（以下、接続部）で接続されている。接続部には建設当初に止水板が取り付けられているが、施工年度の古い施設では止水板が地震時の変位に対応できないことから、漏水等を防ぐためにあと施工可とう性継手等の対策を実施する必要がある。しかし、地震時に想定される接続部の変位量の算出方法は確立されておらず、指針等に明確な記載がない。そのため、自治体は対策の根拠となる変位量の算定方法を求めているのが現状である。本論文では、相模川流域下水道の水処理施設において、施設接続部の変位量を、躯体の変形による変位量、杭頭変位量、地盤相対変位量を組み合わせて算出した事例を紹介する。

キーワード：下水処理場、施設接続部、震度法、応答変位法、相対変位量

ま え が き

下水処理場には、水処理施設同士を接続するエキスパンションジョイント（接続部）が存在する。地震時の被災事例として、その接続部に段差やずれが生じることが報告されており、それにより水槽部や水路部に面した接続部において漏水などが引き起こされている。そのため、接続部に、地震動に追従する「あと施工可とう性継手」を施工するなど、何らかの対策を講じる必要がある。

しかし、地震時に想定される施設接続部の変位量の算出方法は確立されておらず、指針等に明確な記載がない。そのため自治体は、対策の根拠となる変位量の算定方法をコンサルタントに求めているのが現状である。

本論文では、某水処理施設を対象として、施設接続部の変位量（以下、相対変位量）を算出し、対策箇所・内容を検討するという業務において、発注者に提案を行い、業務に採用された変位量算出方法を紹介する。

1. 課題

下水処理場における施設接続部の段差やずれといった被災に対して、「下水道施設の耐震対策指針と解説」（以下、「耐震指針」）では、施設接続部の耐震対策を優先的に進めていく必要があると記載している。その上で、現段階では発生する地盤の残留変位や構造物の相対変位を精度良く予測することは困難であるとして、具体的な算出方法は示さず、合理的な方法で変位を想定し、これを吸収できる対策とすることが望ましいと続けている。

しかし、その結果、変位量算出方法は各自治体や業務においてその都度判断がなされ、一貫性なく様々な算出方法が混在している状況にある。本論文で紹介する業務は、右岸処理場・左岸処理場の2箇所の水処理施設の接続部について、相対変位量の算定、対策箇所の検討、あと施工可とう性継手の選定を行うという内容である。本業務にはその前段となる過年度の成果がそれぞれに存在し、それぞれ異なる考え方で相対変位量の算出を行っていた。

たとえ算出方法が異なっても、施設の状況に則した合理性が保証されるならば、それぞれの変位量の算出結果により、変位を吸収できる対策を行うこと自体に問題はないといえるが、算出の考え方に決定的な違いがあるような場合、どれかを正とするかの検討が必要となる。以下に、それぞれの過年度成果での考え方を示す。

1) 右岸処理場の過年度成果での考え方

右岸の過年度成果では、「耐震指針」に示される水処理施設の地震動計算が震度法を標準としていることから、震度法を採用している。同指針には、施設接続部算出方法の例として応答変位法による計算が紹介されているが、水処理施設は震度法を基準として設計されていることから、応答変位法は適用できないとしている。

2) 左岸処理場の過年度成果での考え方

「耐震指針」に示される算出方法の例を根拠とし、応答変位法を採用している。また、実際の土質資料を基に相対

変位量を試算し、対象施設の立地地盤と施設規模に対しては施設長を考慮するべきとしている。図-1に施設長に対する変位量の考え方を示した。地盤の変位に対して、施設長が短い場合は、施設の変位量は比例式により近似できるが、施設長が長くなると、地盤変位は三角関数的な変動をするため、変位量と地盤変位との間に比例関係は成り立たなくなる。

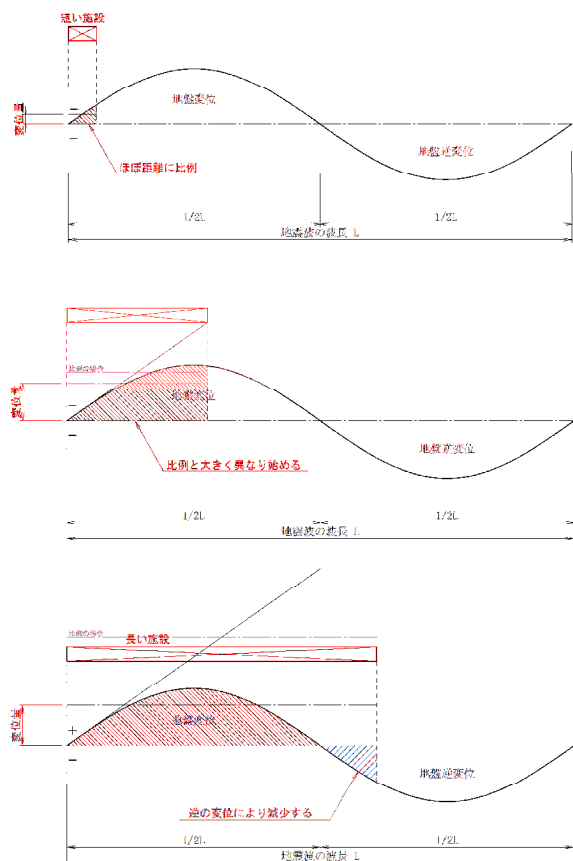


図-1 施設長に対する変位量の考え方

2. 課題の解決

1) 震度法と応答変位法の考え方

ここで、右岸の過年度成果の考え方である震度法と、左岸の過年度成果の考え方である応答変位法について、検討を行った。

地震時における構造物の挙動は、構造物の形状などで多少の違いはあるものの、各々の構造物に生じる挙動は一つであり、地盤の揺れによる歪みと変位、変位差による速度、速度差による慣性力が複合的に作用している。

震度法や応答変位法は、これら複合的に作用している地震の影響から、構造物に対して卓越していると考えられる影響だけを抜き出して簡便化した考え方である。以下に、それぞれの考え方を示す。

- 震度法は、構造物各部の重量に設計震度を乗じて地震力を評価する方法で、地上にある構造物など、主に慣性力に着目した計算法である。
- 応答変位法は、地下の線状構造物など、主に地盤の歪みや変位を対象とした計算法で、基盤面から上部の表層地盤全体を地盤ばねとしてモデル化し、フレームとしてモデル化した構造物に対して変位を与えて地震力を考えている。

震度法では構造物への影響は検討できるが、地盤の影響は省略されているため、地盤全体の影響＝地盤変位が考慮できない。地盤変位を考慮しないとすると、構造物に対して変位が生じている、すなわち慣性力が発生しているが、慣性力の源である地盤の変位が発生していない、という矛盾した状況を想定していることになる。

ここで、地震動による揺れを正弦波形であるとした場合、地盤の変位と速度と加速度の関係は下図のようになる。縦軸は割合、横軸は距離を表す。

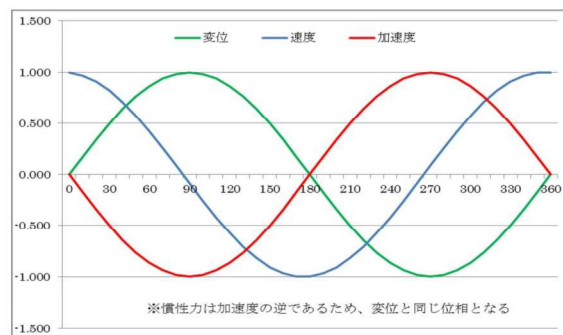


図-2 地震動に対する地盤の変位・速度・加速度の関係
図

この図からわかるように、変位量が最大のとき、速度は0となり、加速度は最小となる。また変位量が0のとき、速度は最大もしくは最小となり、加速度は0となる。これらの関係は、加速度の積分が速度であり、速度の積分が変位である、という法則から不変の関係となっている。

ここで、変位・速度・加速度と慣性力の関係性を考える。施設に生じる慣性力とは、地盤と施設との速度差によって生じる現象であり、施設の速度を直前の地盤速度と考えると、慣性力は直前の地盤速度から現時点の地盤速度を引いた値となる。これは加速度の正負が逆転した値であり、変位と同じ波形をたどる。つまり、変位と慣性力には、慣性力が最大となる点では変位も最大となるという明確な関係があり、どちらか一方のみが作用するという現象は生じ得ないといえる。

以上より、地盤の変位を無視し慣性力のみを考慮する、

震度法だけで算出する考え方は、現実的に起こりえない状況の変位を求めることになってしまい、不合理である。

よって、応答変位法を用いて、現実には起こりえる地盤変位を考慮した算出法をとる必要があるといえる。

2) 考慮する変位量

施設に生じる変位量は、構造物の変位量、基礎の変位量、地盤変位量の組合せによって生じると考えられる。これは、水道協会がウェブページで公開している Q&A に示されている。本業務で対象としている水処理施設は、地盤変位による影響を受ける構造であると同時に、上部に覆蓋を持つため、慣性力による影響も受ける構造であると考えられる。

また、発注者より、複数の変位量が組み合わさって相対変位量となる、という理解しやすい数値を求められたこともあり、本業務では応答変位法による地盤変位を考慮した上で、震度法による施設の変形及び杭頭変位を組み合わせることで最大相対変位量を算出することとした。

3) 変位量算出

相対変位量を算出する上で、施設をブロック毎ごとに分け、荷重、躯体形状、土質、基礎といった諸元を設定した。算出したブロック毎変位量より、相対変位量を求めた。

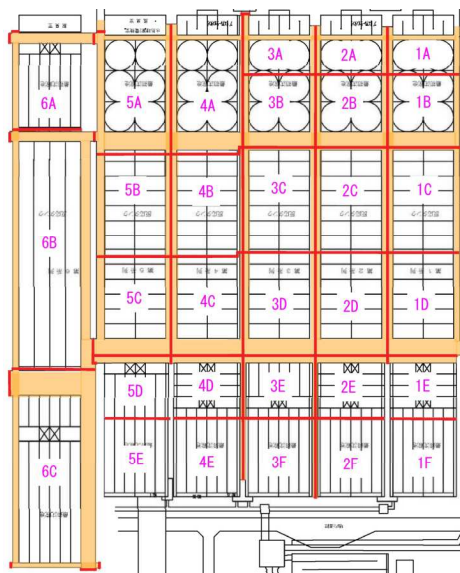


図-3 変位量算出ブロック図

4) 変位量の算出方法

応答変位法における変位量の取扱いを踏まえ、考慮すべき3つの変位量について、相対変位量をどう考えるべきかを検討した。

(1) 地盤変位量

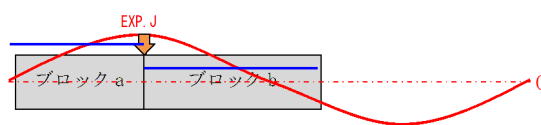
応答変位法による変位量として、ブロック毎にブロッ

ク長に応じた地盤変位量を算出した。接続部の地盤変位量としては、隣接する2つの地盤変位量のうち、安全側を考慮していずれか大きい方の変位量を用いることとした。

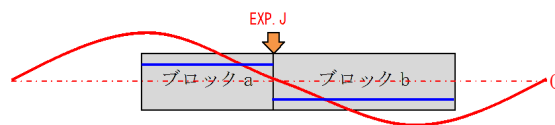
(2) 躯体変形量

躯体変形量として、躯体にかかる慣性力と施設長からブロック毎に変形量を算出した。ここで、接続部では、隣接する各ブロックに慣性力に伴う躯体の変形が生じる。そこで、地震動による慣性力が作用する状況として、以下の2パターンについて検討した。

① 同じ向きの慣性力が作用する時刻



② 逆向きの慣性力が作用する時刻



赤の実線：慣性力
青の実線：ブロック平均慣性力

図-4 躯体に作用する慣性力

①の状況では、ブロック a とブロック b には同じ向きの慣性力が作用し、接続部において慣性力が最大となっているが、各ブロックを見ると、作用する慣性力はブロックごとの平均的な慣性力となるため、最大値にはならない。そのため、相対変位量は非常に小さいものとなり、過小評価してしまう。

②の状況では、接続部では慣性力が0となっているが、こちらでもブロックに働く慣性力はブロックの平均的な慣性力となるため、接続部に慣性力の最大値が逆方向に作用するとは考えづらく、過大評価となってしまふ。

以上より、前述の2パターンは現実的には起こりえず、過小・過大となることがわかった。そこで、接続部の変形量は最大でもいずれか大きい方の変形量程度であるとして、隣接するブロックの躯体変形量の大きい方を用いることとした。

また、本施設には図-5のように躯体の変形を拘束する構造壁が存在する。そこで、接続部側部に構造壁が接している場合は躯体の変形を考慮しないこととした。

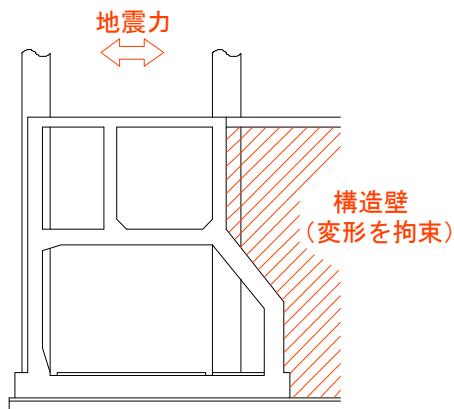


図-5 構造壁による変形の拘束

(3) 杭頭変位量

杭頭の変位についても、ブロック毎に変位量を算出し、躯体と同様の考え方で、接続部の杭頭変位量として隣接するブロックの変位量の大きい方を変位量として用いることとした。

以上を踏まえて、相対変位量の算出を行った。

3. 評価

1) 施設形状の影響

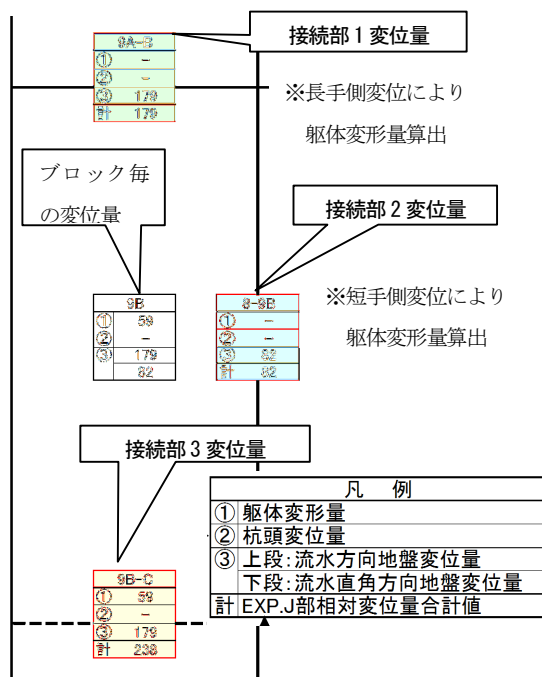


図-6 算出結果例1

図-6 は施設の形状により変位量に差をつけた一例である。長方形をしたブロックの長手側接続部1と短手側接続部2の地盤変位量で、変位量が倍以上違うことがわかる。これは施設長の違いを変位量の差で表現している。また、接続部1と接続部3の躯体変形量を見ると、接続部3にの

み変形量があるのがわかる。これは、接続部1には構造壁があり躯体の変形を拘束しているのに対し、接続部3には構造壁がないことによる。

以上のように、施設の形状による違いを考慮して変位量を算出することができた。

2) 地盤の影響

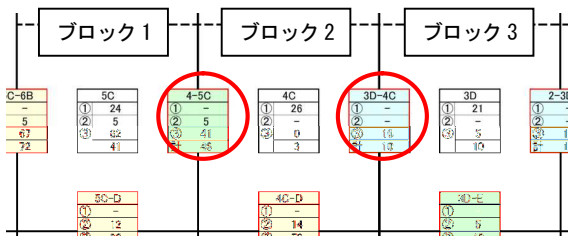


図-7 算出結果例2

図-7 は地盤状況により地盤変位量に差が生じている例を示す図である。赤丸で示した相対変位量は、地盤変位量によりその差が顕著となっている。これらのブロックは同様の形状をしており、施設の形状による差異はないが、ブロック1はII種地盤、ブロック3はI種地盤と、地盤種別が違っていることが変位量に表れている。

以上のように、地盤種別による違いを考慮して算出することができた。

3) 杭頭の影響

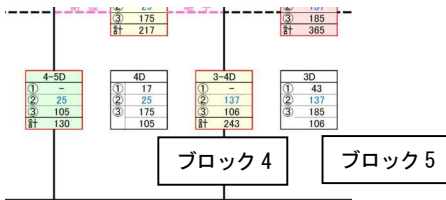


図-8 算出結果例3

図-8 は杭頭変位量に差が見られる一例である。ブロック4とブロック5の杭頭変位量の差は、杭頭変位量の計算式に土質が関係することによる。

以上のように、杭体及び地盤種別による違いを考慮して算出することができた。

以上より、今回提案した算出方法によって、施設の形状、地盤の影響、杭体の影響を考慮した変位量を求めることができた。

あ と が き

施設接続部の被災対策は、現在ようやく進められつつある段階である。その中で、様々な対策がとられている。本業務のようなケースにおいて、変位量算出の一助となれば幸いである。