

レベル1地震動に対する岸壁の耐震性能照査の二重構造

野津

1. はじめに

レベル1地震動に対する岸壁（重力式・矢板式など）の耐震性能照査は、工学的基盤でのレベル1地震動の加速度波形をもとに、1次元地震応答解析とフィルター等を適用して照査用震度を求め、震度法により行えばよいことになっている¹⁾。この照査は、あまり意識されないことであるが、以下に述べるように、動的解析と震度法の二重構造となっている。この点を正しく理解することは、耐震性能照査を正しく運用する上でも、既往の照査用震度算定式¹⁾の適用対象外である構造形式への対応を考える上でも、たいへん重要であると考えられる。そこで、本稿では、重力式岸壁と矢板式岸壁の各々について、現行の耐震性能照査の二重構造について説明することを試みる。

2. 重力式岸壁の耐震性能照査の二重構造

重力式岸壁の場合、震度法により滑動・転倒・支持力破壊に関する照査を行うが、このとき、実は「レベル1地震動」に対して滑動・転倒・支持力破壊が起きないように設計しているわけではない。レベル1地震動と言えども、重力式岸壁の堤体に作用する最大加速度が250Galを超えることは珍しくない。しかし、その度に設計震度0.25で震度法による設計を行って行けば、全ての岸壁が耐震強化岸壁なみに高くなってしまふ。そこで、現行設計法では、レベル1地震動より一回り小さい加速度に対して滑動・転倒・支持力破壊が起きないように設計することで、レベル1地震動に対しては天端残留水平変位が10cm以内に収まるようにしている（表-1）。これがレベル1地震動に対する重力式岸壁の耐震性能照査の二重構造である。

表-1 重力式岸壁の耐震性能照査の二重構造

	設計の目標	照査方法
レベル1地震動より一回り小さい加速度	滑動・転倒・支持力破壊が起きないようにする	震度法
レベル1地震動	天端残留水平変位が10cm以内に収まるようにする	動的解析（既往の文献 ²⁾ におけるFLIP解析）

それでは、上述の「レベル1地震動より一回り小さい加速度」とは、どこまで小さくして良いのだろうか。それを決めるのがまさに照査用震度算定式¹⁾の役割である。現行設計法の照査用震度は、重力式岸壁のレベル1地震動作用時の天端残留水平変位が10cm以内に収まるための照査用震度として、FLIP解析を繰り返し実施することで提案されている²⁾。一般に地震動作用時の重力式岸壁の残留変位は最大加速度だけでは決まらず、同程度の加速度であれば、低周波成分の卓越した地震動ほど、また、継続時間の長い地震動ほど、大きな残留変位をもたらしやすい。そこで、重力式岸壁のレベル1地震動作用時の天端残留水平変位を10cm以内に収めるためには、低周波成分の卓越した地震動であるほど、また、継続時間の長い地震動であるほど、より大きな照査用震度で設計しておくことが必要である。現行設計法の照査用震度はまさにこの条件を満足している。

まとめると、現行設計法では、重力式岸壁は、レベル1地震動よりも一回り小さい加速度に対して滑動・転倒・支持力破壊が起きないように、レベル1地震動に対しては天端残留水平変位が10cm以内に収まるように設計されている。前者の性能は震度法による静的設計により保証され、後者の性能は既往の文献²⁾におけるFLIP解析により保証されている。このように、既往の文献²⁾におけるFLIP解析は、照査用震度のユーザーに意識されることは少ないが、現行設計法における耐震性能照査の体系を下支えしていると言える。

なお、滑動という変形モードは、設計上、便宜的に考えているだけであり、実際の重力式岸壁の残留変位は、滑動ではなく、地盤一構造物系全体の変形により生じると考えられる。したがって、防波堤に対しては

有効な摩擦増大マットを重力式岸壁に導入したとしても、「レベル 1 地震動より一回り小さい加速度」に対する震度法における作用耐力比の向上には寄与するかもしれないが、レベル 1 地震動に対する残留変位の低減には寄与しないと考えられる。耐震性能照査を震度法のような簡便法で行う場合でも、レベル 1 地震動に対する実際の挙動を意識しておくことは重要であり、それができていれば、摩擦増大マットを導入すれば良いという判断にはならないはずである。

3. 矢板式岸壁の耐震性能照査の二重構造

矢板式岸壁の場合も同様であり、レベル 1 地震動より一回り小さい加速度に対して震度法による静的設計を行うことで、レベル 1 地震動に対しては天端残留水平変位が 15cm 以内に収まるようにしている（表-2）。ここでも、「レベル 1 地震動より一回り小さい加速度」とはどこまで小さくして良いのかを決めるのが照査用震度算定式¹⁾の役割であり、現行設計法の照査用震度は、矢板式岸壁のレベル 1 地震動作用時の天端残留水平変位が 15cm 以内に収まるための照査用震度として、FLIP 解析を繰り返し実施することで提案されている²⁾³⁾。ただし、重力式岸壁の場合と異なるのは、レベル 1 地震動作用時の天端残留水平変位が 15cm 以内に収まることで、同時に矢板本体、タイ材、控えの応力が許容値以内となることも、FLIP 解析²⁾³⁾で確認しているという点である。このように、既往の文献²⁾³⁾における FLIP 解析は、照査用震度のユーザーに意識されることは少ないが、現行設計法における耐震性能照査の体系を下支えしていると言える。

表-2 矢板式岸壁の耐震性能照査の二重構造

	設計の目標	照査方法
レベル 1 地震動より一回り小さい加速度	部材応力が許容値以内	震度法
レベル 1 地震動	天端残留水平変位が 15cm 以内 部材応力が許容値以内	動的解析（既往の文献 ²⁾³⁾ における FLIP 解析）

以上のことから、部材応力に問題ないことの確認は、実は二重に行っていることになる。

- ①レベル 1 地震動より一回り小さい加速度に対し部材応力に問題ないことは震度法による静的設計で保証される。
- ②レベル 1 地震動に対し部材応力に問題ないこと（15cm 変位時）は既往文献の FLIP 解析で保証される。このため、技術基準¹⁾に書かれている「レベル 1 地震動に対する」部材応力の照査は、厳密に言えば FLIP で行われていることになる。

4. 二重構造の意義

以上の二重構造については、FLIP と震度法という性格の異なる二つの方法を組み合わせることで、お互いの不足を補うという利点があるように思われる。まず、震度法については、動的解析よりも長い歴史があり、（震度の大小はともかくとして）何らかの震度を用いて静的に設計されていることで安心感を覚えるという専門家も多いようである。したがって、上記の二重構造に震度法による静的設計が含まれていることは一つの利点である。ただし、震度法による検討では、「レベル 1 地震動より一回り小さい加速度」に対する照査を行えるだけであり、実際にレベル 1 地震動が作用して震度法的な意味での力のつり合いが失われた後での岸壁の残留変位や、残留変位が生じた状態での部材応力は、震度法では照査することができない。したがって、上記の二重構造に FLIP による動的解析が含まれていることも一つの利点である。

このことは、既往の照査用震度算定式¹⁾の適用対象外である構造形式への対応を考える上でヒントになるのではないかと考えている。すなわち、新たな構造形式への対応を考える場合も、この二重構造を崩す必要はなく、

- ①レベル 1 地震動より一回り小さい加速度に対しては静的設計を行う（類似構造物の照査用震度を準用する）。
- ②レベル 1 地震動に対する変位・応力の照査は、残留変形を考慮できる FLIP 等の手法で行う。

とすることが考えられる．もともと，現行の照査用震度は，レベル 1 地震動作用時の残留変位と部材応力を所要の値に収めるために設定されているものであり，類似構造物の照査用震度を準用することの問題点としては，レベル 1 地震動作用時の残留変位と部材応力が所要の値に収まらない可能性が出てくることが挙げられる．しかし，レベル 1 地震動に対する変位・応力の照査を，別途，FLIP 等の手法で行うのであれば，類似構造物の照査用震度の準用には大きな問題はないと言える．

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2018.
- 2) 長尾毅，岩田直樹，藤村公宜，森下倫明，佐藤秀政，尾崎竜三：レベル 1 地震動に対する重力式及び矢板式岸壁の耐震性能照査用震度の設定手法，国土技術政策総合研究所資料，No.310，2006.
- 3) 長尾毅，尾崎竜三：控え直杭式矢板岸壁のレベル 1 地震動に対する性能規定化に関する研究，土木学会地震工学論文集，CD-ROM，2005.