



控え杭の応力照査を可能とする控え直杭矢板式岸壁 の簡易耐震性能照査法の開発

宮下, 健一郎

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2022-03-25

(Date of Publication)

2025-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8348号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008348>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

論文内容の要旨

氏 名 _____ 宮下 健一朗

専 攻 _____ 工学研究科 市民工学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

控え杭の応力照査を可能とする控え直杭矢板式岸壁の

簡易耐震性能照査法の開発

指導教員 _____ 長尾 毅

(注) 2, 000 字～4, 000 字でまとめること。

昨今、技術基準の国際的な調和を目的として、技術基準の性能規定化が各国で進められている。我が国においても、海外における建設市場の開拓の観点から、技術基準の国際的な調和は必須であり、技術基準の性能規定化が進められている。港湾施設の技術基準である港湾基準においては、性能規定型の設計体系がすでに導入されており、設計者は施設が所要の性能を有することを示す必要がある。港湾施設である岸壁は、地震動が作用した際、岸壁天端の変形量が使用上の限界値に達して、使用不可能となる被災が多いことが知られている。そのため、岸壁の耐震設計においては変形量に対する照査が必要とされている。

しかしながら、現行の港湾基準で採用されている性能照査法は、外的安定性と内的安定性が確保されれば、変形量は許容値以下とみなす、間接的な変形量照査法であり、岸壁の変形メカニズムが考慮された照査法とはなっておらず、変形量照査法としての精度に問題を残している。

本研究では、岸壁の変形メカニズムと調和した控え直杭矢板式岸壁の新たな耐震性能照査法を構築することを目的として研究を行った。

1 章「序論」では、研究の背景と目的を示すとともに、現行の港湾基準に導入されている性能照査法である照査用震度法の問題点の概要を示した。さらに、本論文の構成を示した。

2 章「既往の研究」では、照査用震度法の具体的な照査方法及び問題点を示した。また、その他の変形量照査が可能な簡易耐震性能照査法に関する既往の研究をとりまとめ、それらは本研究が対象としている控え直杭矢板式岸壁の性能照査法への適用が困難であることを示した。

3 章「検討断面と条件」では、本研究に用いる解析コードの特徴と解析方法の内容を説明するとともに、検討断面、地震動や地盤定数などの検討条件を示した。

4 章「照査法構築にあたって考慮すべき基本的事項」では、骨組みモデルにおいて、無限に広がる水平地盤の水平地盤反力係数は、控え杭前面地盤の水平地盤反力係数として利用されると、控え杭の変形に対する抵抗を過大評価することを示した。また、控え直杭矢板式岸壁の矢板剛性、矢板壁及び控え杭の根入れ長、矢板控え杭間距離といったパラメータのうち、矢板天端の残留変形量への影響が最も大きいパラメータは矢板控え杭間距離であることを示した。

(氏名： 宮下 健一朗 NO. 2)

5章「控え杭前面地盤の抵抗特性」では、控え杭と無限に広がる水平地盤に設置された杭の変形特性を比較することにより、控え杭前面の控え杭の変形に対する抵抗が、無限に広がる水平地盤と異なる理由について検討を行った。

その結果、控え杭前面地盤には無限に広がる水平地盤とは異なり、地震前から大きなせん断応力が発生しているため、地震動作用時に控え杭前面地盤はせん断変形が大きく進行する。控え杭は、この変形に追随するため、その変形量に杭下端の移動及び回転による変形量を含んでいることを明らかにした。

また、矢板背後地盤が主働崩壊することが原因で、控え杭前面地盤には、照査用震度法が想定する受働崩壊領域は発生せず、矢板背後の主働崩壊領域が拡大したような変形領域が発生する。その結果、控え杭前面地盤の水平地盤反力係数の大きさは、無限に広がる水平地盤と比べて小さくなること、控え杭に作用する地盤反力の上限值は、無限に広がる水平地盤での地盤反力上限値と比べて小さくなることを明らかにした。更に、照査用震度法が存在を無視しているタイ材取付高より標高が高い地盤は、水平地盤反力係数の大きさに大きく寄与していることを明らかにした。控え杭前面地盤の控え杭の変形に対する抵抗には、これらの特性があり、無限に広がる水平地盤とは異なる。そのため、照査用震度法は、控え杭の最大曲げモーメントを精度良く求めることが出来ないことを示した。

6章「控え杭前面地盤の抵抗のモデル化」では、5章「控え杭前面地盤の抵抗特性」での検討結果をもとに、控え杭前面地盤の杭の変形に対する抵抗のモデル化方法について検討を行い、新たな控え杭前面地盤の抵抗モデルを提案した。提案した抵抗モデルは、控え杭前面地盤の控え杭の曲げ変形に対する地盤反力特性を分布バネで表現し、控え杭が、控え杭前面地盤の変形に追随することによって発生する控え杭の下端の移動及び回転による変形を、分布バネのバネ先を変位させることで表現する。モデルにおいて、バネ先変形量は控え杭前面地盤を模擬した水平地盤に対する1次元応答解析により求める。そして、控え杭前面地盤の模擬は、地震前に控え杭前面地盤に発生するせん断応力をモデル化し、このせん断応力を控え杭前面地盤と同構成の水平地盤に与えることにより行う。モデルのバネ先変形量の控え杭天端高さでの値は、2次元地震応答解析により得られた控え杭の下端の移動及び回転による変形量と概ね同程度となることを示した。

また、控え杭に作用する地盤反力は、控え杭前面地盤の応力状態が受働側の限界状態に達して上限値に達するのではなく、地震動により控え杭前

(氏名： 宮下 健一朗 NO. 3)

面地盤が拡大主働崩壊領域となることにより上限値に達する。これを考慮した地盤反力上限値設定法を提案した。

7章「矢板壁前面地盤の抵抗のモデル化」では、矢板壁前面地盤の矢板壁の変形に対する地盤反力特性を分布バネで表現し、矢板壁の前面地盤の変形への追従をバネ先変形量で表現する矢板壁前面地盤の抵抗モデルを提案した。

8章「矢板壁に作用する地震時土圧のモデル化」では、2次元地震応答解析結果をもとに、矢板に作用している地震時土圧を整理し、これを再現する地震時土圧のモデル化方法について検討を行った。

地震時土圧は、物部岡部土圧を利用し、物部岡部土圧に使用する震度を調整することで、矢板に作用する地震時土圧を再現する方針とした。本研究では、この震度を土圧用震度と定義した。

土圧用震度算定のためには、地震動に含まれる周波数成分の土圧用震度への影響度を考慮する必要がある。ただし、同種のものとして現行港湾基準の照査用震度算出時に用いられている周波数特性フィルターは土圧用震度算出のための周波数特性フィルターとしては適しておらず、本研究において、新たな周波数特性フィルターについて提案を行った。

提案した周波数特性フィルターは、矢板頭部の加速度時刻歴に対応したフィルターであり、本研究では、矢板前面地盤と控え杭前面地盤を模擬した1次元地震応答解析結果で求められる地表面の加速度時刻歴から、矢板頭部の加速度時刻歴を推定する方法について提案を行った。提案した推定方法は、1次元地震応答解析結果の地表面の加速度時刻歴を壁高と矢板控え杭間距離で補正する方法とした。

提案した周波数特性フィルターと矢板頭部加速度時刻歴により求めた本研究モデルの土圧用震度は、照査用震度と比べて、2次元地震応答解析において矢板に作用する土圧を物部岡部土圧で精度よく再現できる震度となることを示した。

また、矢板壁に作用する土圧の分布形状は、地表面からタイ材取付高の範囲における土圧が、その他の範囲と比べて大きくなる分布形状となることを示した。これは、矢板壁の変形モードの影響で、矢板背後地盤が地表面からタイ材取付高の範囲で圧縮するためである。

地表面からタイ材取付高の範囲における土圧の大きさは、矢板壁の曲げ剛性や壁高に大きく影響を受けることから、矢板壁の曲げ剛性や壁高により、土圧分布のモデル化を行う方法を提案した。提案法は2次元静的解析

(氏名： 宮下 健一郎 NO. 4)

の土圧分布を精度よく再現できることを示した。

9 章「簡易耐震性能照査法の精度検証」では、前章までの検討結果をもとに構築した新たな簡易耐震性能照査法を示し、提案する簡易耐震性能照査法の精度を検証した。

その結果、簡易耐震性能照査法による矢板壁及び控え杭の変形モードは、2次元地震応答解析結果に類似しており、簡易耐震性能照査法は、矢板に作用する地震時土圧、矢板壁前面地盤及び控え杭前面地盤の部材の変形に対する抵抗を概ね再現できていることを示した。

また、提案した簡易耐震性能照査法による矢板壁の曲げモーメント最大値、控え杭の曲げモーメント最大値、岸壁天端の残留変形量は、照査用震度法と比べて、2次元地震応答解析結果に近く、簡易耐震性能照査法は、変形量照査及び断面力照査の双方において、照査用震度法と比べて精度の高い照査法であることを示した。

氏名	宮下 健一朗		
論文 題目	控え杭の応力照査を可能とする控え直杭矢板式岸壁の簡易耐震性能照査法の開発		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	長尾 毅
	副 査	教授	芥川 真一
	副 査	教授	森川 英典
	副 査		
			印
要 旨			
<p>本研究は、岸壁の変形メカニズムと調和した控え直杭矢板式岸壁の新たな耐震性能照査法を構築することを目的として行った研究である。論文は第1章～第10章で構成する。</p> <p>1章「序論」では、研究の背景と目的を示すとともに、現行の港湾基準に導入されている性能照査法である照査用震度法の問題点の概要を示した。さらに、本論文の構成を示した。</p> <p>2章「既往の研究」では、照査用震度法の具体的な照査方法及び問題点を示した。また、その他の変形量照査が可能な簡易耐震性能照査法に関する既往の研究をとりまとめ、それらは本研究が対象としている控え直杭矢板式岸壁の性能照査法への適用が困難であることを示した。</p> <p>3章「検討断面と条件」では、本研究に用いる解析コードの特徴と解析方法の内容を説明するとともに、検討断面、地震動や地盤定数などの検討条件を示した。</p> <p>4章「照査法構築にあたって考慮すべき基本的事項」では、骨組みモデルにおいて、無限に広がる水平地盤の水平地盤反力係数は、控え杭前面地盤の水平地盤反力係数として利用されると、控え杭の変形に対する抵抗を過大評価することを示した。また、控え直杭矢板式岸壁の矢板剛性、矢板壁及び控え杭の根入れ長、矢板控え杭間距離といったパラメータのうち、矢板天端の残留変形量への影響が最も大きいパラメータは矢板控え杭間距離であることを示した。</p> <p>5章「控え杭前面地盤の抵抗特性」では、控え杭と無限に広がる水平地盤に設置された杭の変形特性を比較することにより、控え杭前面の控え杭の変形に対する抵抗が、無限に広がる水平地盤と異なる理由について検討を行った。</p> <p>その結果、控え杭前面地盤には無限に広がる水平地盤とは異なり、地震前から大きなせん断応力が発生しているため、地震動作用時に控え杭前面地盤はせん断変形が大きく進行する。控え杭は、この変形に追随するため、その変形量に杭下端の移動及び回転による変形量を含んでいることを明らかにした。</p> <p>また、矢板背後地盤が主働崩壊することが原因で、控え杭前面地盤には、照査用震度法が想定する受働崩壊領域は発生せず、矢板背後の主働崩壊領域が拡大したような変形領域が発生する。その結果、控え杭前面地盤の水平地盤反力係数の大きさは、無限に広がる水平地盤と比べて小さくなること、控え杭に作用する地盤反力の上限値は、無限に広がる水平地盤での地盤反力上限値と比べて小さくなることを明らかにした。更に、照査用震度法が存在を無視しているタイ材取付高より標高が高い地盤は、水平地盤反力係数の大きさに大きく寄与していることを明らかにした。控え杭前面地盤の控え杭の変形に対する抵抗には、これらの特性があり、無限に広がる水平地盤とは異なる。そのため、照査用震度法は、控え杭の最大曲げモーメントを精度良く求めることが出来ないことを示した。</p> <p>6章「控え杭前面地盤の抵抗のモデル化」では、5章「控え杭前面地盤の抵抗特性」での検討結果をもとに、控え杭前面地盤の杭の変形に対する抵抗のモデル化方法について検討を行い、新たな控え杭前面地盤の抵抗モデルを提案した。提案した抵抗モデルは、控え杭前面地盤の控え杭の曲げ変形に対する地盤反力特性を分布バネで表現し、控え杭が、控え杭前面地盤の変形に追随することによって発生する控え杭の下端の移動及び回転による変形を、分布バネのバネ先を変位させることで表現する。</p>			

氏名	宮下 健一朗
<p>モデルにおいて、バネ先変形量は控え杭前面地盤を模擬した水平地盤に対する1次元応答解析により求める。そして、控え杭前面地盤の模擬は、地震前に控え杭前面地盤に発生するせん断応力をモデル化し、このせん断応力を控え杭前面地盤と同構成の水平地盤に与えることにより行う。モデルのバネ先変形量の控え杭天端高さでの値は、2次元地震応答解析により得られた控え杭の下端の移動及び回転による変形量と概ね同程度となることを示した。</p> <p>また、控え杭に作用する地盤反力は、控え杭前面地盤の応力状態が受働側の限界状態に達して上限値に達するのではなく、地震動により控え杭前面地盤が拡大主働崩壊領域となることにより上限値に達する。これを考慮した地盤反力上限値設定法を提案した。</p> <p>7章「矢板壁前面地盤の抵抗のモデル化」では、矢板壁前面地盤の矢板壁の変形に対する地盤反力特性を分布バネで表現し、矢板壁の前面地盤の変形への追従をバネ先変形量で表現する矢板壁前面地盤の抵抗モデルを提案した。</p> <p>8章「矢板壁に作用する地震時土圧のモデル化」では、2次元地震応答解析結果をもとに、矢板に作用している地震時土圧を整理し、これを再現する地震時土圧のモデル化方法について検討を行った。</p> <p>地震時土圧は、物部岡部土圧を利用し、物部岡部土圧に使用する震度を土圧用震度と定義した。土圧用震度算定のために、地震動に含まれる周波数成分の土圧用震度への影響度を考慮するための周波数特性フィルターを検討した。</p> <p>提案した周波数特性フィルターは、矢板前面地盤と控え杭前面地盤を模擬した1次元地震応答解析結果で求められる地表面の加速度時刻歴をもとに、壁高と矢板控え杭間距離で補正するものであり、提案した周波数特性フィルターと矢板頭部加速度時刻歴により求めた本研究モデルの土圧用震度は、照査用震度と比べて、2次元地震応答解析において矢板に作用する土圧を物部岡部土圧で精度よく再現できることを示した。</p> <p>地表面からタイ材取付高の範囲における土圧の大きさは、矢板壁の曲げ剛性や壁高に大きく影響を受けることから、矢板壁の曲げ剛性や壁高により、土圧分布のモデル化を行う方法を提案した。提案法は2次元静的解析の土圧分布を精度よく再現できることを示した。</p> <p>9章「簡易耐震性能照査法の精度検証」では、前章までの検討結果をもとに構築した新たな簡易耐震性能照査法を示し、提案する簡易耐震性能照査法の精度を検証した。</p> <p>その結果、簡易耐震性能照査法による矢板壁及び控え杭の変形モードは、2次元地震応答解析結果に類似しており、簡易耐震性能照査法は、矢板に作用する地震時土圧、矢板壁前面地盤及び控え杭前面地盤の部材の変形に対する抵抗を概ね再現できていることを示した。</p> <p>また、提案した簡易耐震性能照査法による矢板壁の曲げモーメント最大値、控え杭の曲げモーメント最大値、岸壁天端の残留変形量は、照査用震度法と比べて、2次元地震応答解析結果に近く、簡易耐震性能照査法は、変形量照査及び断面力照査の双方において、照査用震度法と比べて精度の高い照査法であることを示した。</p> <p>10章「結論と今後の課題」では、本論文の結論と課題についてまとめている。</p> <p>本研究は矢板式岸壁の耐震性能照査法について、その変形メカニズムに即した簡易照査法を研究したものであり、地震前に岸壁背後地盤に生じているせん断応力が岸壁の地震応答解析に及ぼす影響とその簡易評価法について重要な知見を得たものとして価値ある集積である。提出された論文は工学研究科学学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の宮下健一朗氏は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。</p>	