

氏名(本籍)	小泉 勝彦 (香川県)
専攻	安全システム建設工学専攻
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第126号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	平成29年9月29日
学位論文題目	地震・津波に対する重力式海岸護岸と楕形鋼矢板壁構造の性能設計に関する研究
論文審査委員	(主査) 山中 稔 (副査) 長谷川 修一 (副査) 末永 慶寛

論文内容の要旨

本研究は、南海トラフを震源とする地震・津波対策としての海岸護岸整備を合理的により早く進めるために、重力式海岸護岸の照査基準の合理化という観点と、低コストで整備できる海岸保全施設の地震・津波対策工法の開発という二つの観点から研究を行ったものである。

以下に、各章における研究成果の概要を示す。

第1章では、南海トラフを震源とする地震・津波の切迫性について、既存の資料などから整理し、早急に海岸護岸の整備が必要であることを考察した。さらに、本研究の目的とする「海岸護岸の合理的な設計手法の開発」と「低コストで整備できる海岸保全施設の地震・津波対策工法の開発とすること」を述べるとともに、開発する工法として楕形鋼矢板壁構造を選定したことを記した。

第2章では、海岸保全施設の技術上の基準・同解説と、港湾の施設の技術上の基準・同解説の記述を比較検討した。港湾区域内の海岸保全施設の設計においては、港湾の施設の技術上の基準・同解説を主に用いるが、必要に応じて、海岸保全施設の技術上の基準を参照することで、適切な設計ができることを明らかにした。

第3章では、本研究でケーススタディとする撫養港直轄海岸保全施設整備事業の事業概要、設計条件、事業目的および性能規定をまとめた。その過程で、港湾の施設の技術上の基準・同解説によって当該事業の護岸の要求性能を整理すると護岸の損傷程度として耐震強化施設(特定)が該当すると考えられること、津波を伴わないレベル2地震動(中央構造線地震)に対する要求性能と津波に対する使用性(津波による浸水の抑制)を考慮すると、耐震強化施設(特定)よりも損傷程度を大きく設定できる可能性があることを明らかにした。

第4章では、1995年兵庫県南部地震の港湾被害を分析し、長い延長を持つ海岸護岸の中

間部分を対象として、津波に先行する設計地震の照査基準について考察した。その結果、1995年兵庫県南部地震のコンクリート重力式の護岸や岸壁の被害において、隅角部における変位の抑制効果を受けない箇所については、施設の最大水平変位量と函塊の最大目地ずれ量の関係は概ね2:1であることを明らかにした。これを踏まえて、コンクリート重力式の海岸護岸の設計地震に対する残留変形量を護岸天端幅の2倍とする照査基準を提案した。さらに、延長の長いコンクリート重力式の護岸の中間部分について、目地開き量を推定する手法を提案した。また、提案した照査基準に基づく海岸護岸の改良設計のフローと設計事例を示した。

第5章では、楕形鋼矢板壁の動的遠心載荷実験と2次元有効応力解析を行い、実務に即したパラメータ設定による解析により、模型実験で楕形鋼矢板壁に発生したモーメントの解析を行った。楕形鋼矢板壁の動的遠心載荷実験では楕部を通じて液状化した砂のすり抜けが生じており、このすり抜けによって、楕形鋼矢板壁に作用する土圧は小さくなると考えられ、解析結果から楕形鋼矢板壁構造の優位性を示した。また、2次元有効応力解析FLIP ROSE 2Dを用いた解析において、楕形鋼矢板壁の曲げモーメントの解析に適用可能な地盤と楕形鋼矢板壁の境界条件を見出した。

第6章では、楕形鋼矢板壁の矢板法線方向の伸縮を照査に加味するための要素技術として、水平方向に加速度を加えた線形弾性解析で断面変化部付近の水平変位を計算する手法を研究した。その結果、2次元解析と3次元の弾性解析を併用した簡易な計算において、両施設あるいは両断面間に発生している平均的なせん断ひずみに、水平方向変位と鉛直方向変位によって発生が予測されるせん断ひずみの値を考慮して弾性係数の低減を行うと、被災事例を良く説明することを明らかにした。

第7章では、実在する海岸保全施設の地盤改良が困難な区間に対して楕形鋼矢板壁工法の照査基準を考察し、楕形鋼矢板壁構造の試設計を行った。その結果、楕形鋼矢板壁構造の適用が可能であることを明らかにした。

第8章では、本研究で得られた知見を要約し、本研究の成果をまとめた。

審査結果の要旨

南海トラフを震源とする地震および津波の危険性、逼迫性が指摘されて20年近くが経過したが、海岸保全施設の耐震化の状況は平成24年度時点で約4割に過ぎず、今後は未整備区間の整備を急ぐ必要がある。本学位論文は、南海トラフ地震への地震・津波対策としての海岸護岸整備を合理的により早く進めるために、重力式海岸護岸の照査基準の合理化という観点と、低コストで整備できる海岸保全施設の地震・津波対策工法の開発という二つの観点から研究を行ったものである。

本学位論文は、以下の8章で構成される。

第1章では、南海トラフ地震による地震・津波の切迫性から、早急に海岸護岸の整備が

必要であることを考察するとともに、海岸護岸施設の合理的な設計と低コストで整備が可能な楕形鋼矢板壁構造を開発工法として選定した。

第 2 章では、性能規定および照査基準の整理として「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」と「港湾の施設の技術上の基準・同解説」における、海岸護岸等に関する設計思想を概観した。

第 3 章では、ケーススタディとする撫養港直轄海岸保全施設整備事業の事業概要、設計条件、事業目的をまとめるとともに、本事業の性能規定を検討した。検討の結果、津波を伴わないレベル 2 地震動に対する要求性能と、津波による浸水の抑制を考慮すると、耐震強化岸壁よりも損傷程度を大きく設定できる可能性があることを明らかにした。

第 4 章では、1995 年兵庫県南部地震における神戸港の港湾被害を分析し、長い延長を持つ海岸護岸を対象として、津波に先行する設計地震の照査基準について検討した。その結果、コンクリート重力式の海岸護岸の設計地震に対する残留変形量を護岸天端幅の 2 倍とする照査基準を提案した。さらに、延長の長いコンクリート重力式の護岸の中間部分について、目地開き量を推定する手法を提案した。また、提案した照査基準に基づく海岸護岸の改良設計のフローと設計事例を示した。

第 5 章では、開発工法である楕形鋼矢板壁の動的遠心載荷実験と 2 次元有効応力解析を行った。動的遠心載荷実験からは、楕形鋼矢板壁の楕部を通じて液状化した砂のすり抜けが生じており、このすり抜けによって楕形鋼矢板壁に作用する土圧は小さくなり、楕形鋼矢板構造の設計上の優位性を示した。また、2 次元有効応力解析からは、実務に即したパラメータ設定が可能になるとともに、楕形鋼矢板壁の曲げモーメントの解析に適用可能な地盤と楕形鋼矢板壁の境界条件を見出すことができた。

第 6 章では、楕形鋼矢板壁の矢板法線方向の伸縮を照査に加味するための要素技術を検討した結果、2 次元解析と 3 次元の弾性解析を併用した簡易な計算において、両施設あるいは両断面間に発生している平均的なせん断ひずみに、水平方向変位と鉛直方向変位によって発生が予測されるせん断ひずみの値を考慮して弾性係数の低減を行うことで、被災事例を良く説明できることを明らかにした。

第 7 章では、実在する海岸保全施設の地盤改良が困難な区間に対して楕形鋼矢板壁工法の照査基準を考察し、楕形鋼矢板壁構造の試設計を行った。その結果、照査基準および設計手法が現実的に適用可能であることを明らかにした。

第 8 章では、本研究の成果をまとめるとともに、今後の課題や展望を述べている。

審査申請者は、上記に関わる研究成果を 3 編の主論文としてまとめ、学術雑誌 2 編（うち 1 編筆頭著者）、国際学会査読付き論文集 1 編（筆頭著者）に発表している。

最終試験結果の要旨

平成 29 年 8 月 10 日に博士学位論文の公聴会を実施した。公聴会において審査申請者は、

学位論文の内容に関する発表を行い、地震・津波に対する重力式海岸護岸と楕形鋼矢板壁構造の性能設計に関する研究成果を、簡潔かつ明瞭に説明した（約 60 分）。

その後、質疑応答において審査申請者は、審査委員および聴講者からの以下の質問に対して、すべての的確に回答した（約 30 分）。

質問と回答の概要は以下のとおりである。

（質問）本研究の、世界における新規性および有用性について？

（回答）わが国の当研究分野は世界的にも高い研究レベルにあるが、国際会議の論文の査読意見では 10 点満点中 8~9 点と非常に良い評価であった。また、被災事例に基づく類似の研究論文は、他の国際会議等でも見当たらない。このことから、国内外で通用する高い新規性と有用性を有する研究であると自負している。

（質問）2次元モデルと3次元モデルの線形弾性解析を組み合わせることの根拠と有効性は？

（回答）2次元線形弾性解析においても、等価線形的な物性を与えることで実際の変位量を再現することができた。3次元の線形弾性解析では解析時間の極端な短縮化が図れ、初めて実務的に使用可能なレベルで水平変位の変化を再現することができた。限定的な用法ではあるが、実務においては極めて有効な手法と考えている。

（質問）楕形鋼矢板壁構造の実用化において、背後地盤の不均質性が課題の一つでは？

（回答）係留施設の背後地盤の不均質性については、2次元動的有効応力解析を用いて研究された事例がある。楕形鋼矢板壁構造は背後地盤の影響を受けやすいが、2次元動的有効応力解析を用いた解析と第 6 章で示した手法を組み合わせることで、背後地盤の不均質性の影響評価が可能であると考えている。

（質問）提案の楕形鋼矢板の設計計算におけるマニュアル化は考えているか？

（回答）本研究において、楕形鋼矢板壁構造の設計が可能となったが、実務で広く使われるための設計手法のマニュアル化は今後の課題である。

（質問）コンクリート重力式海岸護岸の最大水平変位の上限は何 m と考えているか？

（回答）阪神淡路大震災でのずれ量の実測値をもとにした津波防御策としての水密性の観点から、本論文では最大水平変位の上限は概ね 1.5m と結論付けている。適用限界はどこまでかという視点で見ると、最大でも 2m であると思われる。ただし、最終的にどの程度の最大水平変位を許容するかは事業者の判断によるものと考えている。

公聴会終了後、審査委員による口述試験を実施し、研究の背景や関連する専門知識および英語力について、審査申請者の学力を確認した。また審査申請者の本研究の成果および今後の研究展開についても明確な認識を有していることが確認できた（約 30 分）。

以上より、本審査委員会は、当該審査に関わる本学位論文が香川大学院工学研究科博士後期課程修了の学位（博士（工学））に値するものであり、かつ審査申請者は専門領域に関する十分な学識と研究能力を有するものと判断し、本最終試験の評価を合格とした。