

# 博士論文審査報告書

## 論 文 題 目

グラウンドアンカーによる

岸壁の耐震補強効果に関する研究

Study on Effect of Seismic Reinforcement of  
Quay Wall Using Ground Anchor

申 請 者

吉田	誠
Makoto	YOSHIDA

2013年7月

本論文での冒頭に今回の論文で対象としている岸壁施設について述べている。岸壁は、船舶を係留して貨客を輸送するための施設であり、大規模地震発生時には救助・救急活動や緊急物資輸送の拠点としての機能がある。1997年兵庫県南部地震、2011年の東北地方太平洋沖地震などでは、港湾機能が一時的に喪失し、物流基盤としての岸壁の重要性が再認識された。港湾分野では2007年に設計体系が性能規定型へ完全に移行し、断層を考慮した設計地震動の見直し、液状化解析の高度化などにより、既存施設の耐震性能が再検討され、既存岸壁の耐震補強が近年急速に進められているなどを述べている。

次にグラウンドアンカーについて述べている。グラウンドアンカー（以後、アンカーと称す）工法は岸壁本体の抵抗力の補強工法の一つでありアンカーの耐震設計は斜面の補強の場合と同様に静的震度法を基本に行われてきた。岸壁やグラウンドアンカーの耐震性に関する研究は、それぞれ事例分析や実験・解析的研究が行われ、地震時挙動の把握や、数値解析の精度向上が進められている。しかし、アンカーで補強された岸壁について、現地調査、模型実験などにより実際の地震時挙動を確認した事例は今までなかったこと、有限要素法による有効応力解析により被災事例の再現性や実際の地震時挙動を確認した事例も見あたらず、岸壁のアンカーによる耐震補強効果は十分に明らかにされていないことを指摘している。

本研究では、アンカーで耐震補強した矢板式岸壁および重力式岸壁の実際の地震時挙動を把握することを目的として、水中振動台実験を実施している。次にこの振動台実験結果を対象として、有効応力解析による数値解析を実施し、実験の再現性を確認するとともに、岸壁の変形挙動を詳細に調べている。さらにアンカーのモデル化方法や最適配置、解析の構成モデルの違いについて検討を行なっている。

本論文は8章で構成されており、その概要は以下のとおりである。

第1章は序論であり、研究の背景と目的および論文の構成について述べている。

第2章では、岸壁の耐震性やアンカー工法の概要およびその耐震補強への適用に関する既往の研究について述べている。本論文で取り扱う岸壁の構造形式は、重力式(ケーソン式)岸壁および矢板式岸壁である。我が国では最近概ね数年に1度の頻度で大地震が発生しており、被災岸壁の調査や、実験・解析による被災メカニズムの解明が行われ、これらの成果は耐震設計法に反映されている。アンカーの耐震性に関する検討は斜面安定に関するものは多いが、アンカーで補強された岸壁の動的挙動に関する事例研究や実験的研究は今までなく、アンカーによる岸壁の補強効果は十分には明らかになっていないこと、数値解析によって被災事例や模型振動実験などの再現性について十分に検証された事例は少ないこと、アンカーで補強された岸壁について、実際の地震時挙動の確認や、アンカーのモデル化方法や地震応答解析手法について実際の挙動と比較・検証する必要があること

を述べている。

第3章では、アンカー工法を岸壁に適用した場合の現行の耐震性設計法について述べている。この設計法では、岸壁の設計には港湾設計基準を適用し、アンカーの設計には地盤工学会基準を適用している。現行の岸壁の耐震設計法は、1999年に改訂された港湾設計基準に基づいており、この基準には、レベル1、レベル2地震動といった2段階設計法が導入されるとともに、従来の仕様規定型設計法に代わって性能規定型設計法が本格的に導入されたことを述べている。一方、現行のアンカーの設計法は、2000年に改訂された現行の地盤工学会基準「地盤工学会基準グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」に基づいており港湾施設に適用できるか検討がなされていないことを指摘している。

第4章では、アンカーで補強した矢板式岸壁の水中振動台実験について述べている。アンカーの耐震補強効果を明らかにするためには、アンカーで補強された岸壁の実際の地震時挙動を把握する必要がある。本章では、矢板背後の砂質地盤の密度や、加振条件を変えて振動台実験を行い、砂質地盤の過剰間隙水圧特性や入力地震波で正弦波と不規則波の違いなど様々な条件下での岸壁の加速度・変位特性、変形モード、アンカーの張力特性および矢板の曲げモーメントについて検討しており、また、アンカーで補強する場合としない場合を比較することで、アンカーの耐震補強効果について検討を行っている。

第5章では、アンカーで補強した重力式岸壁の水中振動台実験について述べている。アンカーで補強された重力式岸壁については、振動台実験などにより実際の地震時挙動を確認した事例は少なく、岸壁のアンカーによる耐震補強効果は十分には明らかにされていない。そこで本章では、ケーソン背後地盤が液状化する場合の実験を行い、岸壁の変形モード、加速度・過剰間隙水圧・変位特性について検討するとともに、アンカーの地震時の張力特性について検討している。また、アンカーで補強する場合としない場合を比較することで、アンカーの耐震補強効果について検討し、さらに、基礎捨石層厚の違いに着目し、基礎捨石の変形挙動の違いがアンカーや岸壁の地震時挙動に与える影響について考察している。

第6章では、アンカーで補強した矢板式岸壁の振動台実験を対象として実施した有効応力解析について述べている。アンカーで耐震補強された岸壁の耐震性評価方法は港湾設計基準に準拠しており、レベル2地震動に対して有効応力解析による変形照査を行うことが要求されている。そこで、アンカーをモデル化した鋼矢板式岸壁の有効応力解析による再現性を確認するため、数値解析を実施している。さらに、アンカーの配置が矢板の変位や曲げモーメントに及ぼす影響について検討を行い、経済性・施工性の観点から考察を加えている。再現解析の結果、本解析手法によりアンカーの耐震補強効果を検証ができています。アンカーの配置に関する解析の結果から、アンカーの配置が矢板の変位および曲げモーメントに

及ぼす影響を明らかにし、アンカーの配置は、岸壁の変形性能や安定性だけでなく、施工性、経済性も考慮する必要があることを明らかにしている。

第7章では、アンカーで補強した重力式岸壁の振動台実験を対象として実施した有効応力解析について述べている。有効応力解析による変形照査は、アンカーを適用しない一般的な岸壁については実務レベルにおいて多数の実績を有している。本研究での振動台実験からアンカーの張力とひずみの関係は履歴ループを描くことを明らかにし、解析の信頼性の向上のためには地震時におけるアンカーの張力特性を適切に反映することが重要と指摘している。そこで、本章ではアンカーで補強された重力式岸壁を対象に数値解析を実施し、アンカーの張力特性が岸壁の挙動に及ぼす影響について検討し、アンカーのモデル化方法や解析手法の違いによる実験の再現性について考察している。アンカーのモデル化方法を変えて行った有効応力解析の結果、実験結果に最も近いのは、アンカー張力の非線形特性を考慮した場合であり、このことは、従来はアンカーを線形材料でモデル化しているが、評価精度向上の観点から、アンカー張力の非線形性を適切に反映することが重要と述べている。解析による岸壁の変形モードおよび基礎捨石のひずみの発生状況は、アンカーによる補強で基礎捨石の変形が抑えられるという実験結果と良く一致している。ケーソン底面に作用する垂直応力分布から、アンカーによる補強で、ケーソンから基礎捨石へ作用する荷重の偏心量や傾斜率が小さくなり、基礎捨石の変形が抑制されたことを明らかにしている。

第8章では、本論文で得られた成果を取りまとめている。

以上を要約するに、本論文は、岸壁構造物が地震時に液状化の影響を受けた時の挙動を模型振動実験と数値解析により明らかにし、耐震対策としてグラウンドアンカー工法を取り上げてその耐震補強効果を検討している。本論文でグラウンドアンカー工法の耐震補強工法の有効性を明らかにしている。本論文で得られた成果は、地震工学と港湾工学に有用な情報を与えるだけでなく、構造工学の発展に大いに寄与するものであり高く評価できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2013年7月

審査員	主査	早稲田大学教授	工学博士（東京工業大学）	清宮 理
		早稲田大学教授	工学博士（東京大学）	濱田政則
		早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	依田照彦
		早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	小泉 淳
		早稲田大学教授	工学博士（東北大学）	秋山充良

