

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

湾湖でのスロッシング現象に関する研究  
A Study on Sloshing Phenomena  
in Bays and Lakes

申請者

大平	幸一郎
Koichiro	OHIRA

建設工学専攻 海岸工学研究

2018年2月

地震時の水害として、津波については広く知られている。一方で、地震の直後に、湾や湖等の閉鎖性の水域において異常な水位変動が発生していることについてはあまり知られていない。最近の例としては、2011年東北地方太平洋沖地震や、2017年メキシコ中部地震の発生直後に、震源から離れた場所に位置する湾や湖、運河等の複数の閉鎖性水域において異常な水位変動（以降、「本現象」という）が観測され、人的被害はなかったものの、係留船の漂流や転覆、小規模な陸上氾濫などの現象が観察された。しかしながら、本現象に関する知見は少なく、その評価手法も未だに確立されていないのが現状である。

上記の点を踏まえ、本論文は、一般に認知度が低い本現象について着目して、解析の結果を体系的に取り纏めている。過去の事例の収集や整理を国内外で網羅的に行い、種々の実測・実験データから本現象の発生メカニズムを明らかにしたうえで、解析手法の考案・妥当性の検証を行い、過去の事例の再現に成功している。さらに、将来の地震により生じる本現象を予測するとともに、対策についても検討のうえ提言を行っており、防災上有用性の高い研究内容となっている。

審査に当たっては、2017年9月26日に審査委員予定者3名による予備審査会を実施し、専攻内縦覧に付してよい旨の判定を得た。2017年9月28日から10月11日に建設工学専攻における専攻内縦覧を行い、10月12日の専攻会議で博士論文受理の申請が認められた。受理申請を受けて、10月26日に開催された創造理工学研究科運営委員会にて論文が受理された。2017年12月22日に論文の公聴会を行った。公聴会では論文内容の発表の後に、質疑応答が行われた。申請者は、審査委員からの質疑に対して明確に回答を行い、研究内容に対する深い理解と関連分野に関する十分な学識・能力を有することが示された。なお、研究倫理については、博士課程後期学生として単位を取得している。

本論文は7章から構成されている。本論文の内容についての審査結果を以下に述べる。

第1章では、2011年東北地方太平洋沖地震の直後の山梨県・西湖での事例と、2007年能登半島沖地震の富山湾での事例について記述するとともに、研究の目的を示している。

第2章では、本現象に係る海外及び国内における既往の報告事例を網羅的に収集・整理している。現在までに合わせて十数件の報告事例があり、それらを発生させた地震はマグニチュード6以上の巨大地震であり、観測された波高は大きくとも1m程度と、津波と比較した場合には津波よりも波高が小さいことを確認している。

第3章では、本現象の発生要因の推定したうえで、本現象を再現する数値

解析手法の選定を行っている。本現象の発生前後で湖底地形等の調査結果が得られている既往事例を対象として、発生当時の地形・気象条件等の調査データを基に、水位変動を起こし得る要因の蓋然性を検討している。その結果、本現象は大規模な閉鎖性水域でのスロッシング現象であると推定している。さらに、発生要因及び既往の解析手法の課題を踏まえて、本現象を再現する解析手法として、三次元スロッシング解析を選定し、大規模水域に拡張して適用するという方針が述べられている。

第4章では、第3章で選定した解析手法の妥当性を検証するために、酒井ほか(2007)の大型振動台による水理実験結果との比較を行っている。その結果、計算結果は実験結果(水面形状・水位時系列・圧力時系列)を高い精度で再現していることを確認することにより、解析手法の妥当性を検証している。また、本現象が生じる条件を確認するために、矩形水槽の斜面勾配の感度分析を行っている。その結果、本現象が発生するためには地震動の水平成分が大きく寄与し、波高を大きくする条件として、大きな勾配を持つ斜面が分布することが重要であると結論付けている。

第5章では、第4章で検証した解析手法を用いた実現象の再現性を確認することを目的として、これまでに報告された事例のうち、観測記録や証言等が得られており比較検証ができる事例を対象に再現計算を行っている。その結果、再現計算を実施したいずれのケースにおいても、計算値が観測値や目撃証言を概ね再現していることを確認し、本現象をスロッシング現象により説明できるとしている。

第6章では、将来発生する地震に対して予測計算を行うことで被害リスクを把握するとともに、対策方法とその効果についても検討している。将来発生が予想されている都心南部直下地震(Mw 7.3)を対象に、北品川地区の京浜運河での予測計算を実施した結果、波高0.5 mの波が発生することが想定された。陸上氾濫のリスクは小さいものの、地震の条件によっては、共振による増幅が生じて大きな波が発生するリスクはあることを示唆している。また、代表的な波高の低減工法を対象にしたケーススタディを実施した結果、対策工法として消波ブロックの設置が最適策であると結論付けている。

第7章は結論であり、本論文で得られた主要な成果を各章ごとにまとめるとともに、さらなる検討の必要性についても言及している。

以上を要約すると、本論文は地震時に湖や湾等で発生する異常な水面変動に着目し、現地調査、水理実験ならびに先進的な数値解析手法を組み合わせることで多角的に検討を行うことで、本現象の発生要因および被害リスクを明らかにし、さらに対策方法を提案している。これらの研究成果は、これまであまり知見が得られていなかった地震時における湾や湖での異常な水位変動という沿岸域の新たなリスクを示唆するものであるとともに、将来の水害対策を講じる上で重要な視点を提示している。したがって、本論文は海岸工学、沿岸

域防災の分野に重要な貢献をするものであり、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2018年1月

審査員

（主査） 早稲田大学教授 工学博士（東京大学） 柴山 知也

（副査） 早稲田大学教授 工学博士（名古屋大学） 榊原 豊

（副査） 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 関根 正人