

博士（工学）白石悟

学位論文題名

港湾の係留施設の信頼性設計法に関する研究

学位論文内容の要旨

構造物に作用する荷重は変動性を有するが、これまで構造物の設計法として採用されてきた許容応力度法においては、設計荷重は再現期待値などを考慮して求められたある一定値、すなわち確定値として取り扱つかわれている。例えば、港湾構造物の設計においても、設計波高はある再現期間に対する波高の再現期待値を極値分布を用いて求めており、設計においてはこれを確定値として取り扱っている。一方、構造物を構成する鋼材ならびにコンクリートなどの部材の強度についても、本来、ばらつきを有するがこれらについても、ある信頼区間で定めた設計強度を用い、確定値として取り扱って設計計算を行なっている。このように許容応力度法による確定論的設計では上述した荷重および強度の不確実性による変動を直接考慮できないことから、これらを考慮する信頼性設計法の導入が各分野で進められている。これは、構造物の安全性を破壊確率または安全性指標で評価するものである。

近年、構造物の設計法としては、世界的に荷重係数設計法または限界状態設計法を導入することが主流となっており、現在、我が国においても、構造物の設計法がこれらの方法による設計体系に移行しつつある状況にある。例えば、昭和61年制定のコンクリート示方書は、限界状態設計法の設計フォーマットに移行しており、これを受け各構造物において設計基準の改訂作業が進められている。港湾コンクリート構造物の設計においても、限界状態設計法の導入作業が、現在実施されている。限界状態設計法においては、荷重係数などの安全係数を用いて構造物の安全性を照査するが、荷重係数は構造物の特性、荷重の変動性、構造物の重要度などを適切に評価して設定されなければならない。そこで、本論文では、港湾構造物の設計における主要な外力である地震荷重、波浪荷重、風荷重の荷重係数を信頼性設計手法に基づいて、安全性指標を用いる手法によって求め、提案する。次に、本論文では、構造物の最適安全性について考察する。21世紀に向けて我が国周辺においては、今後ますます海洋空間の有効利用が促進され、各種の海洋施設の建設が進捗し、また、港湾施設もより大水深海域に建設されていくものと思われる。施設の建設地点が大水深海域になり、また、施設が大規模になることにより、構造物の破壊による損害はこれまで以上に甚大となり、また、破壊した場合の復旧もこれまで以上に困難になることが予想される。しかしながら、構造物に対して高い安全性を確保し、構造物の破壊確率を小さくしようとすれば、それに伴い構造物の断面が大きくなり、建設費用の増大につながり、建

設プロジェクト自体の実現が困難となることもある。このように構造物の安全性と建設費用の関係はトレードオフの関係にあるので、大水深海域に建設される港湾構造物および海洋構造物の安全性の検討においては、これまで以上に、詳細な検討を行い、設計に用いる適切な荷重レベルを決めることが必要になる。そのための方法として、耐用年数中の構造物の破壊確率を計算し、構造物の初期建設費、維持費、構造物の破壊に伴って生ずる復旧費などと、構造物の供用による開発効果、破壊または損傷による構造物の機能停止または機能低下に伴う負の経済効果などを計算し、その双方を考慮することによって、耐用年数中に要する総費用が最小となる、あるいは便益と費用の差が最大となるよう構造物を設計する手法を確立する必要がある。

本論文においては、以上示したことを研究の目標として、第1章では本研究の目的と既存の研究のレビューを行っている。

第2章では、構造物の安全性を照査する際に必要となる荷重の耐用年数中における最大値の確率分布、およびその平均値、変動係数を明らかにすることが必要であるので、その計算法を提示した。また、港湾構造物を設計する際に支配的な外力である地震荷重、波浪荷重、風荷重について、我が国で取得されたデータに基づいて、耐用年数中における最大荷重の平均値および変動係数の計算結果を示し、考察を行った。耐用年数中の最大荷重の変動係数については、地域的な差異がみられたことから地域特性を考慮して検討する必要性を示した。

第3章では、このようにして得られた耐用年数中の最大荷重の平均値および変動係数を用いて既設の港湾構造物の安全性指標を計算し、これに基づいて目標とする安全性指標を設定し、港湾構造物の限界状態設計法における地震荷重、波浪荷重、風荷重の荷重係数を提案した。これらの数値は、コンクリート標準示方書で提案されている数値とおおむね同一であったが、一部にやや大きいものがあることを明らかにした。

第4章では、港湾の係留施設の安全性を破壊確率によって評価するための数値シミュレーション手法について述べた。本論文では単杭による接岸ドルフィンを検討の対象として取り上げ、耐用年数中の船舶の接岸荷重および係留中の荷重に対して、荷重の繰り返し作用による単杭構造物の変位復元力特性の履歴特性を考慮し破壊確率を計算する手法を提案した。また、構造物の使用限界状態および疲労限界状態に関する検討を行なうため、最大変位、残留変位および累積疲労損傷度の計算手法を提案した。

第5章では、構造物の建設に係わる構造物の初期建設費、維持費、構造物の破壊に伴って生ずる復旧費などの費用および構造物の供用による開発効果、破壊による損失などの便益を勘案し、合理的な構造断面を設計する方法について提案した。この手法を用いて、原油タンカーバースおよび製品出入荷バースにおける接岸速度の設計値について費用便益分析による観点からの考察を行い、設計値の決定法に関する提案を行った。

第6章では、本研究の結論をまとめた。

## 学位論文審査の要旨

主査 教授 佐伯 浩  
副査 教授 五十嵐 日出夫  
副査 教授 角田 與史雄  
副査 助教授 三田 利之

### 学位論文題名

#### 港湾の係留施設の信頼性設計法に関する研究

構造物に作用する荷重は変動性を有するが、これまで構造物の設計法として採用されてきた許容応力度法においては、設計荷重は再現期待値などを考慮して求められた一方、構造物を構成する鋼材ならびにコンクリートなどの部材の強度についても、本来、ばらつきを有するがこれらについても、ある信頼区間で定めた設計強度を用い、確定値として取り扱って設計計算を行なっている。このように許容応力度法による確定論的設計では上述した荷重および強度の不確実性による変動を直接考慮できないことから、これらを考慮する信頼性設計法の導入が各分野で進められている。これは、構造物の安全性を破壊確率または安全性指標で評価するものである。

近年、構造物の設計法としては、世界的に荷重係数設計法または限界状態設計法を導入することが主流となっており、現在、我が国においても、構造物の設計法がこれらの方法による設計体系に移行しつつある状況にある。港湾コンクリート構造物の設計においても、限界状態設計法の導入作業が、現在実施されている。限界状態計算法においては、荷重係数などの安全係数を用いて構造物の安全性を照査するが、荷重係数は構造物の特性、荷重の変動性、構造物の重要度などを適切に評価して設定されなければならない。そこで、本論文では、港湾構造物の設計における主要な外力である地震荷重、波浪荷重、風荷重の荷重係数を信頼性設計手法に基づいて、安全性指標を用いる手法によって求め、提案した。次に、本論文では、構造物の最適安全性について考察している。21世紀に向けて我が国周辺においては、今後ますます海洋空間の有効利用が促進され、各種の海洋施設の建設が進歩し、また、港湾施設もより大水深海域に建設されていくものと思われる。施設の建設地点が大水深海域になり、また、施設が大規模になることにより、構造物の破壊による損害はこれまで以上に甚大となり、破壊した場合の復旧もこれまで以上に困難になることが予想される。しかしながら、構造物に対して高い安全性を確保し、構造物の破壊確率を小さくしようとすれば、それに伴い構造物の断面が大きくなり、建設費用の増大につながり、建設プロジェクト

エクト自体の実現が困難となることもある。このように構造物の安全性と建設費用の関係はトレードオフの関係にあるので、大水深海域に建設される港湾構造物および海洋構造物の安全性の検討においては、これまで以上に、詳細な検討を行い、設計に用いる適切な荷重レベルを決めることが必要になる。そのための方法として、耐用年数中の構造物の破壊確率を計算し、構造物の初期建設費、維持費、構造物の破壊に伴って生ずる復旧費などと、構造物の供用による開発効果、破壊または損傷による構造物の機能停止または機能低下に伴う負の経済効果などを計算し、その双方を考慮することによって、耐用年数中に要する総費用が最小となる、あるいは便益と費用の差が最大となるよう構造物を設計する手法を確立する必要がある。

本論文においては、以上示したことを研究の目標として、第1章では本研究の目的と既存の研究のレビューを行っている。

第2章では、構造物の安全性を照査する際に必要となる荷重の耐用年数中における最大値の確率分布、およびその平均値、変動係数を明らかにすることが必要であるので、その計算法を提示した。また、港湾構造物を設計する際に支配的な外力である地震荷重、波浪荷重、風荷重について、我が国で取得されたデータに基づいて、耐用年数中における最大荷重の平均値および変動係数の計算結果を示し、考察を行った。耐用年数中の最大荷重の変動係数については、地域的な差異がみられたことから地域特性を考慮して検討する必要性を示した。

第3章では、このようにして得られた耐用年数中の最大荷重の平均値および変動係数を用いて既設の港湾構造物の安全性指標を計算し、これに基づいて目標とする安全性指標を設定し、港湾構造物の限界状態設計法における地震荷重、波浪荷重、風荷重の荷重係数を提案した。これらの数値は、コンクリート標準示方書で提案されている数値とおおむね同一であったが、一部にやや大きいものがあることを明らかにした。

第4章では、港湾の係留施設の安全性を破壊確率によって評価するための数値シミュレーション手法について述べた。本論文では単杭による接岸ドルフィンを検討の対象として取り上げ、耐用年数中の船舶の接岸荷重および係留中の荷重に対して、荷重の繰り返し作用による単杭構造物の変位復元力特性の履歴特性を考慮し破壊確率を計算する手法を提案した。また、構造物の使用限界状態および疲労限界状態に関する検討を行なうため、最大変位、残留変位および累積疲労損傷度の計算手法を提案した。

第5章では、構造物の建設に係わる構造物の初期建設費、維持費、構造物の破壊に伴って生ずる復旧費などの費用および構造物の供用による開発効果、破壊による損失などの便益を勘案し、合理的な構造断面を設計する方法について提案した。この手法を用いて、原油タンカーバースおよび製品出入荷バースにおける接岸速度の設計値について費用便益分析による観点からの考察を行い、設計値の決定法に関する提案を行った。

第6章では、本研究の結論をまとめた。

以上、要するに本論文は港湾の係留施設の設計において信頼性設計法の導入の基礎を確立し、その費用便益分析の視点から設計値決定法を明らかにしたもので、港湾工学、海洋工学及び安全工学上寄与するところ大である。

よって著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。