

学 位 論 文 題 名

# 水中ストラット式構造物の構造特性と設計法に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、戦後建設した港湾施設の老朽化・陳腐化や船型の大型化に対応するために、岸壁の更新や増深等の港湾再開発が各地で計画・推進されている。その際、限られた水域・用地内での狭隘域施工を余儀なくされ、在来工法での対応が困難になるといった問題があった。

このような背景の下に、シンプルな構造で、設計の自由度が高く、耐震性に優れ、特殊な施工設備や技量を必要としない水中ストラット式構造物（前方杭型、後方杭型、中詰土型）を考案・開発した。しかし、新しい構造形式である本構造物を実用化するためには、その構造特性等を最大限に活かした設計法を研究・提案する必要があった。

本研究では、水中ストラット式構造物の設計上の課題を、基本形である前方杭型については実験と理論解析を中心に、発展型である後方杭型と中詰土型については理論解析を中心に解明するとともに、これらの成果を活かした設計法を提案することを目的とした。

本研究でとりあげた設計上の課題は、(1)全体構造の設計 (2)細部構造の設計 (3)消波構造の設計 (4)耐水設計 (5)後方杭型水中ストラット式構造物の設計 (6)中詰土型水中ストラット式構造物の設計等である。

(1)全体構造の設計に関する課題には、①全体構造の変形及び断面力の計算を行うための構造モデルの設定と計算法 ②下部構造構成部材の支配方程式 ③格点の結合条件 ④横抵抗に関する群杭効果の影響 ⑤改良地盤中の構造設計法と地盤改良範囲の設定がある。

実大規模構造体水平載荷試験等と理論解析から、全体構造の変形及び断面力は、下部構造と上部構造を一体として骨組構造計算を行えばよいこと、下部構造構成部材には非線形弾性地盤反力を受ける梁（港研方式杭）の支配方程式の適合性が最もよいが、線形弾性地盤反力を受ける弾性床上の梁の支配方程式を適用しても実用上問題のないこと、久保らが提案している横抵抗に関する群杭効果の評価方法は過大な設計結果を与えること、格点は剛結合節点として機能すること等を明らかにするとともに、これらの結果を反映した設計法を提案した。

改良地盤中の構造設計法等については、改良幅と改良深度を変化させた床掘置換タイプの人工地盤中における構造模型に対する水平載荷試験と理論解析から、所定の改良幅以上あれば二層系地盤として挙動すること、特定の改良形状のときには改良体があたかも剛体のように変位すること等を明らかにするとともに、これらの結果を反映した設計法を提案した。

(2)細部構造の設計に関する課題には、①格点の設計法（管軸方向付着強度、パンチング強度）  
②新たに考案した杭頭－梁結合部の設計法がある。

APⅠ等には格点の設計法（以下、APⅠ法）が、その適用範囲（鋼管杭の径厚比（ $D/t$ ） $<40$ 等）とともに規定されている。しかし、本構造物に使用する鋼管杭の $D/t$ は60～100と薄肉でAPⅠ法の適用範囲外である。また、本構造物では格点のみがグラウト接合されているため、杭打ち等の施工誤差の影響が格点の管軸方向付着強度に敏感に現れる可能性がある。このため、これらの影響を再現した格点の部分実大模型に対する載荷試験を実施した。その結果、鋼管杭の直径板厚比（ $D/t$ ）が100程度の薄肉鋼管の場合でも、また杭打ち等の施工誤差がある場合でもAPⅠ法を適用できることを明らかにした。本結合部を含む実大構造模型に対する載荷試験を実施した。その結果、杭頭－梁結合部は完全な剛結合節点として挙動しないことを明らかにするとともに、杭頭－梁結合部の構造仕様を反映した構造設計（解析）法を提案した。

(3)新たに考案したフィン形消波部材を有する水中ストラット式構造物の設計に関する課題には、反射波特性、伝達波特性及び波圧特性の解明がある。このため、模型水理実験により、反射率、伝達率、波力分布等を明らかにするとともに、消波構造物としての設計法を提案した。

(4)耐氷設計に関する課題として、氷盤移動による重防食被覆鋼管杭等の摩耗特性及び氷盤凍着による重防食被覆鋼管杭等の凍着特性の解明がある。このため、各種の重防食被覆鋼材等に対して、往復運動方式の摩耗試験及び押し抜き試験を実施することにより摩耗特性及び凍着特性を調査した結果、ポリエチレン等は防食だけでなく、氷盤移動による鋼表面の摩耗や氷盤凍着による部材軸方向力の作用から鋼構造物を保護するのに有効なことが明らかとなった。

(5)後方杭型水中ストラット式構造物の設計法については、斜材（ストラット部材）に作用する裏埋土の載荷重効果、後方杭の仮想地盤面の設定等について検討・提案した。そして、提案した設計法による設計例を示すことにより、構造設計が可能なこと示した。

(6)中詰土型水中ストラット式構造物の設計法については、中詰土と一体的に挙動する壁体構成部材等に関する部材剛性方程式を誘導するとともに、中詰土を有する壁体構造物特有の境界条件等の処理を考慮した剛性マトリックス法による力学的挙動解析法を開発した。そして、本解析法による設計例を示すことにより、構造設計が可能なこと示した。

(7)耐震設計と(8)疲労設計については、既往の設計技術のレビューとその適応性について試設計を通じて検討するとともに、耐震性、耐疲労性の一層の向上方策を提案した。

これらの研究成果をもとに、釧路港東港区-7.5m岸壁、苫小牧港西港区-14mコンテナバース、室蘭港入江地区岸壁・物揚場、小樽港色内地区防波堤、虻田漁港-3.5m岸壁、標津漁港-4.0m耐震岸壁、石狩湾新港-14m岸壁など多くの港湾・漁港構造物が設計・施工されている。

今後は、沿岸域分野にとどまらず、河川・砂防等他分野への展開を図るとともに、上部工のプレキャスト化・軽量化に係わる新たな構造要素の発明・開発とその設計法を確立することにより、急速施工の一層の推進と耐震性の向上を図る必要があると考える。

以上

# 学位論文審査の要旨

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 査 | 教 授 | 佐 伯 | 浩   |
| 副 査 | 教 授 | 三 浦 | 清 一 |
| 副 査 | 教 授 | 佐 藤 | 浩 一 |
| 副 査 | 教 授 | 三 上 | 隆   |
| 副 査 | 助教授 | 山 下 | 俊 彦 |

## 学 位 論 文 題 名

### 水中ストラット式構造物の構造特性と設計法に関する研究

近年、戦後建設した港湾施設の老朽化・陳腐化や船型の大型化に対応するために、岸壁の更新や増深棟の港湾再開発が各地で計画・推進されている。その際、限られた水域・用地内での狭隘息施工を余儀なくされ、在来工法での対応が困難になるといった問題があった。

このような背景の下に、著者はシンプルな構造で、設計の自由度が高く、耐震性に優れ、特殊な施工設備や技量を必要としない水中ストラット式構造物(前方杭型、後方杭型、中詰土型)を考案・開発した。しかし、新しい構造形式である本構造物を実用化するためには、その構造特性を最大限に活かした設計法を研究・提案する必要があった。

本論文は、水中ストラット式構造物の設計上の課題を、基本形である前方杭型については実験と理論解析を中心に、発展的である後方杭型と中詰土型については理論解析を中心に解明するとともに、①全体構造物の設計法 ②細部構造の設計法 ③消波構造の設計法 ④耐氷設計法 ⑤後方杭型水中ストラット式構造物の設計法 ⑥中詰土型水中ストラット式構造物の設計法を中心課題とし、全 16 章より成り立っている。

①全体構造物の設計法に関する課題では、実大規模構造体水平載荷試験等と理論解析から、全体構造の変形及び断面力は、下部構造と上部構造を一体化して骨組構造計算を行えばよいこと、下部構造構成部材には非線形弾性地盤反力を受ける築(港研方式杭)の支配方程式を適用しても実用上問題のないこと、久保らが提案している横抵抗に関する群杭効果の評価方法は課題な設計結果を与えること、格点は剛結合節点として機能すること等を明らかにするとともに、これらの結果を反映した設計法を提案した。

改良地盤中の構造設計法等については、改良幅と改良深度を変化させた床堀置換タイプの人口地盤中における構造模型に対する水平載荷試験と理論解析から、所定の改良幅以上あれば二層系地盤として挙動すること、特定の改良形状のときには改良体があたかも剛体のように変位すること等を明らかにするとともに、これらの結果を反映した設計法を提案

した。

②細部構造の設計に関する課題では、API 等には格点の設計法(以下、API 法)が、その適用範囲(鋼管杭の径厚比( $D/t$ ) $<40$  等)とともに規定されている。しかし、本構造に使用する鋼管杭の  $D/t$  は 60~100 と薄肉で API 法の適用範囲外である。また、本構造では格点のみがグラウトされているため、杭打ち等の施工誤差の影響が格点の管軸方向付着強度に敏感に現れる可能性がある。このため、これらの影響を再現した格点の部分実大模型に対する載荷試験を実施した。その結果、鋼管杭の径板厚比( $D/t$ )が 100 程度の薄肉鋼管の場合でも、また杭打ち等の施工誤差がある場合でも API 法を適用できることを明らかにした。本結合部を含む実大構造模型に対する載荷試験を実施した。その結果、杭頭一築結合部は完全な剛結合節点として挙動しないことを明らかにするとともに、杭頭一築結合部の構造仕様を反映した構造設計(解析)法を提案した。

③消波構造の設計法では、新たに考案したフィン形消波部材を有する水中ストラット式構造物の設計に関する課題については、模型水理実験により、反射、伝達率、波力分布等を明らかにするとともに、消波構造物としての設計法を提案した。

④耐氷設計に関する課題では、各種の重防食被覆鋼材等に対して、往復運動方式の摩耗試験及び押し抜き試験を実施することにより摩耗特性及び凍着特性を調査した結果、ポリエチレン等は防食だけでなく、氷盤移動による鋼表面の摩耗や氷盤凍着による部材軸方向力の作用から鋼構造物を保護するのに有効であることを明らかにした。

⑤後方杭型水中ストラット式構造物の設計法については、斜材(ストラット部材)に作用する裏埋土の載荷重効果、後方杭の仮想地盤面の設定等について検討・提案し、提案した設計法による設計例を示すことにより、構造設計が可能なことを示した。

⑥中詰土型水中ストラット式構造物の設計法については、中詰土と一体的に挙動する壁体構成部材等に関する部材剛性方程式を誘導するとともに、中詰土を有する壁体構造物特有の境界条件等の処理を考慮した剛性マトリックス法による力学的挙動解析法を開発した。そして、本解析法による設計例を示すことにより、構造設計が可能なことを示した。さらに、耐震設計と疲労設計については、既往の設計技術のレビューとその適応性について試験設計を通じて検討するとともに、耐震性、耐疲労性の一層の向上方策を提案した。

これらの研究成果とともに、釧路港東港区・7.5m 岸壁、苫小牧港西港区・14m コンテナバース、石狩湾新港・14m 岸壁など多くの港湾・漁港構造物でこの水中ストラット式構造物が採用され、設計、施工に本論文の成果が用いられている。

これを要するに、著者は水中ストラット式構造物を開発し、その設計法を確立するとともに、多くの構造工学上の新知見を示したもので、港湾工学、沿岸海洋工学それに構造工学の発展に寄与するところ大いなるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。