

氏 名	せき た きん じ 関 田 欣 治
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 59 年 2 月 8 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 46 年 3 月 東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 土 木 工 学 専 攻 修 士 課 程 修 了
学 位 論 文 題 目	海 洋 プ ラ ッ ト フ ォ ー ム の 輸 送 ・ 施 行 に 関 す る 解 析 的 研 究
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 岩 崎 敏 夫 東 北 大 学 教 授 佐 武 正 雄 東 北 大 学 教 授 須 田 颯 東 北 大 学 教 授 首 藤 伸 夫

論 文 内 容 要 旨

主として海底石油資源の開発のために、多くの海洋プラットフォームが建設されるようになってきている。海洋プラットフォームは、上載構造物であるデッキ構造、デッキを支えるためのジャケット構造およびジャケットを海底に固定する杭から構成される。この種のプラットフォームは米国で水深 300 m 級に COGNAC プラットフォーム、CERVEZA プラットフォームが建設されている。また海象条件が厳しいといわれる北海においても多数建設されている。我が国においては昭和 48 年に水深 90 m の新潟県阿賀沖に石油、ガス採集のため鋼製のプラットフォームが建設された。また、第 2 番目の本格的海洋構造物である福島県いわき沖プラットフォーム（水深 155 m）の建設が昭和 58 年に行われている。

また、米国西海岸では水深 200 m を超えるプラットフォームが毎年数基程度建設される計画があるといわれている。

最近のプラットフォームの特徴として次の 2 つの顕著な傾向がある。

第 1 に、海洋プラットフォームが次第に沖合の大大深海域、海象の厳しい海域や地震帯にある海域でも建設されるようになってきた。その結果、規模・重量は飛躍的に増大してきている。

第 2 には海洋プラットフォームが数千 km という海路を通して現地まで輸送されることや、沖合の海域に建設されることが頻繁に行われるようになってきた結果、輸送中に、また施工中に厳しい海象に遭遇する機会が増えてきている。

この2つの要因によって海洋プラットフォームの輸送・施工技術は一段と高度なものが必要となってきたと言える。

さて、海洋プラットフォームの輸送・施工法を概略述べてみると、外洋に面した加工ヤードでプラットフォームはジャケット、デッキ、杭が別々に加工される。ジャケットは水平に置かれた状態で建造され、完成後ヤードに接触した輸送バージ上に搭載される。こうして、加工ヤードから出航していく。(右表参照のこと。)

一方、バージ上に搭載され、据付場所まで曳航・輸送されたジャケット構造はジャケットやウィンチで押し出したり、ひきずり出して海中へ進水される。こうして、海面上に浮かぶ。つづいて、浮遊状態におかれたジャケット構造はクレーンを用いたり、あるいは注水制御により垂直に立起し(UPEND)され、据付けられる。この後、杭によってジャケット構造は海底に固定され、更なる上にデッキ構造の据付けがクレーンの吊り作業により行われ施工作业が完了する。

このうち、特に輸送に関しては、特に我が国の場合のように、海洋プラットフォームを輸送するバージは太平洋横断時やバシー海峡通過時に荒海象に遭遇する。このため、ジャケット輸送中のバージは強風や荒波浪を受け、バージの安定性や、構造物の安定性が著しく損われることが多く、ジャケット輸送中のバージが転覆したり、輸送中ジャケット部材が損傷する事故例も報告されている。

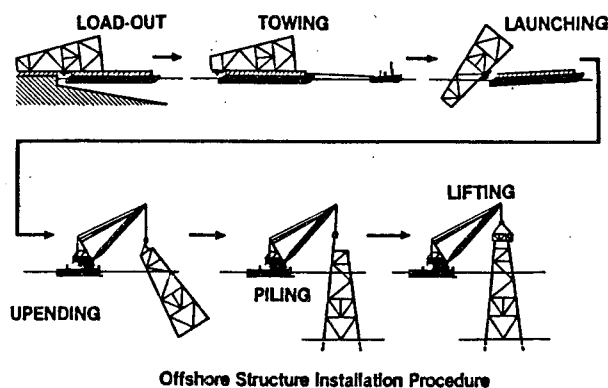
また、一連の進水、立起し、吊り作業が荒海象環境下で行われ、かつプラットフォームが大型・重量物となってくると進水、立起し作業時にジャケットが安定性を失ったり、復原力が小さすぎて海底に衝突したり、部材を損傷させる事故が発生することがある。また吊り作業時には杭やデッキ等の吊り荷が動揺しジャケット上に据付けられなかったり、ジャケットやクレーンブームと干渉し部材を損傷したり、最悪な場合は海底下に落下させてしまうような事例もある。

一度、事故に遭遇すると復旧は甚しく困難であることから、これらの施工作业の事前の検討は施工計画に欠くことができないものである。

またこれらの輸送・施工には主としてロンチバージ(進水・輸送船)、デリックバージ(施回クレーン船)、レイバージ(海底パイプライン敷設船)等が用いられる。そのため、施工計画にあたっては、現場で用いられる作業バージの施工中の稼働率を正確に把握し、最適な作業船を選定しておかないと予定通り施工が行なえなくて来年を待たなければならないような事態になるおそれがある。

ここまで述べてきたような背景のもとづき、輸送・施工にかかわる一連の技術について以下に示す目的、即ち

(1) 荒海上象海域を輸送する大型重量ジャケット構造物の安全な輸送技術



- (2) 潮流や波浪の出現の高い海域での作業船による施工技術
- (3) 不確定さの強い海洋工事における最適な作業船の選定，施工期間の選定のために稼働率の推定

のために，本研究を実施してきた。そのため阿賀沖プラットフォーム建設工事等での現場測定や造波水路・平面水槽を用いた水理実験を通じて，輸送・施工にかかわる解析法を開発し，各種の施工現場に適用するという型で進めてきた。

具体的には輸送・施工作業は作業船を用いておこなわれるので，はじめに箱型バージ耐波浪解析法，作業船の係留解析等の基礎的分野の研究を，つづいて，これらを応用し，プラットフォーム輸送解析，進水中のジャケットやバージの挙動解析，立起し中のジャケットの挙動解析，バージの動揺によってもたらされる吊り荷の動的解析並びにこれら施工作業の稼働率推定法についての研究を実施しこれらの成果を示す。

個々に述べるとすると第1番目の箱型バージの耐波浪動揺解析においては実用的な2次元ストリップ法を適用することを前提にGarrisonの開発した3次元特異点法と同様な数値解法プログラムを作成し，これとストリップ法と比較した。両者の比較結果，および推理実験との比較からほぼストリップ法が適用できる目度を得た。しかし，箱型船型のためロール運動に関しては波高に対してかなりの非線形性を有していることが判明した。そのため，主として水理実験で得られた各種箱型船のロール応答を解析し，箱型作業船での非常形ロール減衰を推定する一般方法を提案した。

一方，一般に作業船は多点係留され，個々のライン張力を決定する場合，力のつり合い条件式数と係留ライン数が等しくないので張力を一意に決めることはできない。そのためこれを解決した2次元・3次元多点係留解析法を提案する。即ち2次元解析では，ラグランジェ未定数法を用いて，つりあい条件を満足するように解き，またその3次元解析への拡張をはかった。そのため，3次元の場合は非線型最適問題を解くことで解決した。

つづいて海洋プラットフォームの輸送中のバージの風や波浪に対する安定性評価やプラットフォームの構造物としての安全性評価について，模型実験や解析を中心として進めた。実験は大型・中型プラットフォームのジャケット部の輸送時の風や波浪による挙動に関して行い，実験結果を解析し報告する。

また，ジャケットが進水バージ上から進水される過程の挙動に関する3次元解析法を開発したので，これを示し，模型実験との比較を行った。その結果，実験結果とよく一致することを明らかにした。また，進水時の安全性向上のための条件についても考察する。

他方，進水状態にあるジャケットの浮力制御による立起し作業については時間領域の解析法を述べる。そしてジャケットの有する復原特性との関係で立起し時の安全が評価できることがわかった。

ひきつづいて作業船が一箇所にとどまって波浪を受け動揺する場合の吊り荷の揺れ確析や重量物を吊ったまま作業船を一定の所までクローリングする場合の過渡的な吊り荷の運動を解析し実験との比較を行なう。吊り作業は，主として，①吊り荷の揺れが大きくなってクレーンブームと接触したり，構造物と衝突するおそれのあることから動揺量を規制することにより，また，②吊り荷重に作業船らの動揺によって引き起こされる動荷重がクレーンの許容吊り荷重におさまるよう規制し行

われる。したがって、この2つの点から、吊り作業が安全に行なうことのできる作業限界波高を推定し、それを示す。

最後に、試掘時の観測された海象データや気象から推定した波高・周期出現データを利用し、海洋波の不規則性、方向分散を考慮した稼働率の推定法を示す。そして、実際に3つの海域の稼働率の推定に適用し実稼働率と比較した。その結果、精度よく稼働率が推定できることがわかった。

以上のように、海洋プラットフォーム建設の計画、実施時に欠くことのできない輸送・施工に関する解析的課題をとりあげ、その確立を主眼におき研究を進めてきた。この研究分野は工学上新しく、そのため実際の施工現場での現場測定や観測を通して研究課題を抽出し、実験室での模型実験や数値シミュレーションにより解析法を確立し、再度現場へ適用するという型で研究を推し進めてきた。

これらの一連の研究によって得られた成果を論文として報告する。

論文審査の要旨

海洋プラットフォームは大規模・大重量であり、その海上輸送・据付作業は遠距離・大水深のため、危険性が著しく、事故や失敗例も少なくない。本論文はこれらの工程の各段階ごとに綿密に現象を把握分類し、水理学的に幾多の解析法を求め、重際に構造設計や施工方法に反映させて、その建設を成功させた結果をまとめたもので、全篇9章より成る。

第1章は序論である。

第2章は輸送に使用される箱型バージの波浪動揺解析にストリップ法を適用した結果を述べている。

第3章は海洋作業船の多点係留におけるライン張力の解析法として、ペナルティ関数を用いた非線型最適問題による解法を提案している。これは巧妙な方法である。

第4章は海洋プラットフォームの輸送解析である。輸送中の外力としてジャケット接点部などに加わる集中荷重の動揺による慣性力と、傾むきによる偏荷重の和をとり、各部材の応力を求めた。この結果、自重分ならびに roll と偏荷重の影響は大きいのが、他の運動モードは著しくないことを明らかにした。これは重要な知見である。

第5章は海洋プラットフォームの進水解析である。まず進水時の挙動を3段階に分けて3次元進水解析法をあらたに提案し、これによって潮流の影響、サイドロンチの際のジャケットの回転、水中自由運動の復元特性、進水中の船体に加わる応力などの予測を可能にした。これによって安全な進水のための構造物の設計や進水方法の選択が可能となった。これは重要な貢献である。

第6章は海洋プラットフォームの立起し解析である。進水後浮遊状態にあるジャケットをクレーンまたは注水制御により立起す場合の姿勢解析によって、最も復元性が悪く roll の危険性が高いのは立起し開始時であることを明らかにし、過去の事故例を説明した。また安定性をはかるためのジャケット形状や施工用部材の改良、注水制御の方法について提案を行っている。これは著者の独創である。

第7章は海洋プラットフォームの吊り解析である。海底に据えられたジャケット上にデッキ構造物を搭載する際の吊り荷の揺れについて解析法を求め、安全な施工のための有用な知見を得ている。

第8章は海洋工事における稼働率の推定である。このため作業限界波高を設定し、過去の同海域での海象データによって稼働率を推定し、実績稼働率と比較して妥当な結果を得ている。

第9章は結論である。

これを要するに本論文は従来、経験的に行われていた海洋プラットフォームの輸送、施工に関し、各段階ごとに合理的な解析法を提案し、これによって建設の安全性を著しく高めたもので、海洋工学ならびに土木工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。