

海洋基本設計の体験談

杵中 勝

1. はじめに

筆者は1979年より、プラザ合意による急激な円高が始まった'86年頃まで海洋基本設計部にあり、当時の海底石油掘削ブームの活発な需要に応え、各種海洋構造物の開発、受注に、超多忙の中、充実した技術屋人生を歩んだ経験があります。思い返して見ると、全く夢のようで、本当にあんな事があったのだろうかと思う次第です。受注状況は、釣りに例えれば、まさに入れ食いの状況で、開発しては受注し、受注しては開発し、止まるところを知らない勢いでした。しかし良いことは長続きしません、プラザ合意による短期間での円価の倍近い値上がりにより、夢は醒めました、あまりにも深い夢でしたので、醒めた後での目覚めはひどいものでした。今回、海洋開発について何か書けとの御依頼を受け、当時の経験の一部を紹介する事にいたします。

2. Double hinged Rocker Arm

筆者の手にロンドンで購入した1979年の古い手帳が残っています。皮革装で名入りの立派なものです。1月14日の欄にミラノへの出張に出発と記録されています。3年間のロンドン駐在を終え、この正月に帰国、海洋基本設計部に出社して1週間目のことでした。イタリアの大手海洋工事会社が前年に入札招請した世界最大のJacket Launching Bargeの商談で、我々がFirst Screenに残りHearingに招かれたのです。これが筆者の海洋構造物との格闘の始まりです。商談は順調に進み数回のミラノ訪問で我が社の受注の確度が高くなったのですが、思わぬ問題に遭遇しました。それが表題のDouble hinged Rocker Armであります。大型のJacket Launching Bargeなどは筆者の感じでは30年に1-2隻建造される程度のきわめて需要の少ない商品です、従って、そのようなBargeに使用されるDouble hinged Rocker Armなどは造船屋といえども知っているのは100人に1人くらいではないかと思っています。このDouble hinged Rocker Armがアメリカで特許になっているのではと言う疑問がでたのです、もしそうだとすれば、知らずに契

約して、特許権者に首の根っこを押さえられえらい目に遭う可能性が出てきました。早速ヒューストン事務所に可及的速やかに調査するよう依頼しました。調査は難航しました、特許リストに見あたらないのです、結局初めてこのRocker Armを採用した人物に会い、特許出願していないとの確認がとれたのは一週間くらい後ではなかったかと記憶しています。客は当社に発注する事に内定し、当社が受けると言えば商談成立寸前で、当社がもたもたしている為、客は2番手に声をかけようと動きだした時でした。筆者と営業担当者が客を訪問し、お受けいたしますと返事をした時の客の驚きと少々の狼狽ぶりを今でもはっきりと覚えています。こうして世界最大のJacket Launching Bargeの受注に成功しました。190x50x11.4、60,000DWトンの巨大なBargeです。

さてこのDouble hinged Rocker Armはどんな物が第1図を見てください。広大な甲板上に2条の固定滑り台を設置し、その後端に第1図に示す様に左右一組のDouble hinged Rocker Armが取り付けられます。Jacketには2本の柱の下面に滑り台が設けられ、Bargeの固定滑り台に乗っています。滑り台の潤滑はテフロンパッドを使います。所定の設置海面でJacketは船尾方向にゆっくりと移動されます、Jacketの重心がRocker Armの第一のヒンジを通りすぎるとRocker Armは回転してJacketが立ち上がり、第二のヒンジを通過するとJacketはさらに大角度で立ち上がり水中に進水する訳です。従来の中小型のJacket Launching BargeではSingle hingeが普通だったようです。知見を得るため大型の模型実験を行いました。実に見事にJacketはその場に浸水し、Bargeはその反力で前方に押しやられます。残念ながら実物の進水を見る機会はありませんでした。このBargeに使用されたDouble hinged Rocker Armは2個一組で重量は約600トン弱と言う巨大な構造物でした。

世の中は不思議なもので、それから半年くらい後に、今度はアメリカの海洋工事会社よりほとんど同じ大きさのJacket Launching Bargeを受注し、世界最大クラスのBargeを期せずして2隻連続建

造する榮譽を得ました。この手の Barge が再び建造されるのは何時の事になるのでしょうか？

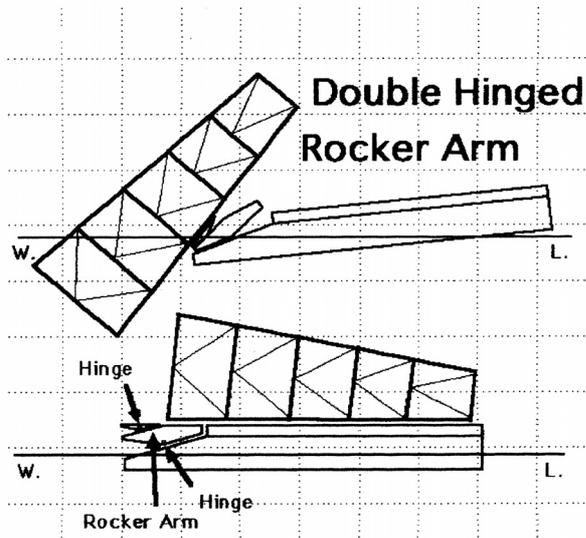


図 1: Double Hinged Rocker Arm



図 2: Launching Barge

3. 始めに Type Ship ありき！

船舶を含めた所謂浮遊構造物の基本設計は、航空機ほどのハイテクではないが、同じように概略スケッチの段階で、出来上がり重量の正確な推定能力が決め手となります。ある場合にはさらに、重心位置、推進性能、3次元運動能力などの推定能力が問題になります。過去にせっかく高性能を期待されながら、重量超過のため試作段階で廃棄された航空機が数多くあるようです。浮遊構造物の場合は、その不都合の程度にもよりますが、余分

のコストを掛け無理矢理に排水量を増やして何とか使えるように出来る場合があります。我々は1976年より海洋バブルがはじけた1986年までの間に23隻のJack up Rigを建造しております、特に1980年より1983年の短い期間に17隻を建造しています。その全てが我々のオリジナルの標準設計によるものです。これは特筆物の素晴らしい大成功でありました、なぜこんな事が出来たのでしょうか。当時の経営上層部の英断、各階層の技術者の英知、努力もあったことは当然ですが、計画屋の立場から見ると、タイミング良く、Type Shipを得たからと言えます。

1976年にJack up Rigを1隻建造しています。このRigはアメリカで工場設備の無い海岸でも建造出来るように設計されたものでした、しかし全てが説明可能な裏付けのある実績データが手に入ったのです。その後の中国との商談を通じて、構造の合理化を中心に、設計法の確立、掘削装置の勉強、コストダウン等の努力により、石油掘削リグ建造ブームの始まる直前に当時の石油掘削業界の求めに適合する標準設計が出来上がっていたのです。この標準設計が実績を重ねれば、そこから更なる大型化の計画が容易になり、加速度的に基本設計能力は増大、進歩して行きます。

船舶は浮力で、航空機は空力で重量を支えますが、Jack up Rigはなにで重量を支えると思われませんか？浮力で無く、実はJack up unitのPinionとRackと言う機械要素で支えるのです。その機械要素はメーカーの標準設計による購入品です。従って、重量が予定より増えたからと言って簡単に支持力を増加する事はきわめて困難なものです。このような性格の構造物の基本設計では、全てが説明可能な裏付けのある実績データをベースとしなければ、計画する事は不可能に近い物です。

それではSemisub Rigはどうでしょうか、これは間違い無く重量は浮力で支えられます。しかし、我々はType Shipを求めました。あの独特の構造、lower hullとcolumnによる安定性と運動性能の調整など、頭では考えられますが、実績データ無しでは開発不可能の物と思います。これがアメリカのコンサルタントFriede & Goldmanの持つEnhanced Pacesetter Designであります。このタイプを4隻建造した後、当時の最新のデザインである4column, minimum bracingのSemisub Rigを独自に開発しましたが、時すでに遅く、バブルが崩壊してしまいました。

4. 重量管理

造船屋にとって重量、即ち Light Weight, Dead Weight などの支持はすべて浮力によっているのが一般的です。しかし Jack up Rig の場合は Afloat の状態以外は3章で述べた如く、全て Jack up unit による支持であります。支持力が浮力の場合、設計の進捗状況に応じて、重量増加に対して色々な対応策が比較的取り易いものです。しかし Jack up unit の場合は力量の変更は困難であり、Pinion の数を増やすのは大変更工事となり、致命的な失敗になるでしょう。Jack up Rig の場合ピニオンで支持される問題の重量はプラットフォーム重量でありレグの重量は関係しません。

新たに開発した新設計のリグの場合、基本設計の初期の段階で慎重に重量推定を行うのは勿論であります。船舶の場合と比較して非常識な位のマージンを取らざるを得ません。そして設計の進捗に伴い、2乃至3ヶ月おきに、基本設計からヤード設計の各段階において、各部門即ち、船殻、艀装、機関、電気より最新の出来上がり推定重量を報告させ、集計管理せねばなりません。

その為には、理想を言えば、各部門は要求資材量のみで無く、出来上がり重量についても責任を持って算定出来るよう訓練され、躰られ又その能力が過去の経験で裏付けられていなければなりません。さらに計画部門の担当者は各部門から提出された重量推定値をただ受け取るだけで無く、その重量がどう言う過程で出てきたのか十分ヒヤリングする事が大切です。こうする事により各関係部門の担当者に心理的圧力をかけ、ポカミス、考え間違いなどを自主的に再チェックさせる効果が期待されます。

また船主監督に対して過大な重量増加になる仕様書以上の要求に対して、この重量問題を種にして極力断るよう努めなければなりません。

筆者等の経験では、いささか多すぎると思われるマージンを持っていても、薄氷を踏む思いで、完成時にわずかのマージンが残ったと言う事がよくありました。

5. 波力計算

海洋構造物の設計では、最大荷重の推定の為、波力計算を行います。これは言うまでもなく、全ての設計計算の基礎になる非常に重要な物です。波力計算はおなじみのモリソンの式により、いささか荒っぽいと思いますが、線形重ね合わせで行

います。抵抗係数などは船級協会がある程度規定しています。かつてある国際協同研究にて、同じリグを対象にして波力計算を、各社それぞれ独白の方法で計算、提出し比較した事があります。結果は大きくばらつき、標準的な計算手法が確立されていないと言う結果が出ました。抵抗係数の取り方、シェイディング効果をどう見るかなどで大きい差が出た様です。

この方面の研究には当時、殆ど見るべき物は無く、現状は不勉強で知りませんが、研究対象としては大変難しい物ではないかと思えます。例えば構造物の周りの流れは定常流では無く、波のオービタルモーションによる非定常流れであり、実験するにしても、小さい模型による結果のスケールエフェクトをどう扱うかなど、難問が多くあります。研究対象としても広い普遍性のある対象では無く、研究意欲を刺激するほど魅力は無いのではないかと思えます。

基本設計の初期段階で外力計算書(風、波力、転倒モーメントなど)を船級協会に提出して、鑑定をやってもらう事が出来ます。我々の経験では船級協会は提出した計算書を詳細にチェックするのでは無く、協会の方法で計算し、結果を比較し、問題が無ければ、Acceptable とするが、勿論 Subject to Final Approval との条件付きであります。計算外力はジャッキアップリグの基本設計の死命を制するものであり、設計の進捗に合わせ船級協会と密接な連絡を保ちながら、設計を進めるのが安全であります。

6. レグ・クランプ装置

Jack up Rig の設計において、稼働水深を深くして行くと、レグは1次元的に大きくなり、風波浪外力による転倒モーメントはほぼ同じ次元で増加します。この転倒モーメントに耐える為3本のレグの間隔を増加せねばなりません。3本のレグの中心点を結ぶ平面型は正三角形又はそれに近い2等辺三角形であり、この2等辺三角形の底辺の幅はリグのプラットフォームの幅で規制されます。大型船建造ドックで建造する限り、ドック幅で制限を受けます。我々の場合は建造可能なプラットフォームの最大幅は80メートル以内に制限されました。稼働水深300から350フィートのリグでこの限界を超過して来て、転倒モーメント対応のレバーが不足して来ます。一方、Jack up unit の力量を決定するものは、プラットフォームを押し上げる力量とサーバイバル状態でプラットフォームとレグを

固定する機械的な強度の二つがあります。一般に、小型のリグではプラットフォームを押し上げる力量が支配的であり、リグが大型化するに従い次第にプラットフォームとレグを固定する機械的な強度が支配的になってきます。

以上の事情から大型大水深用 Jack up Rig ではサバイバル状態でのピニオン荷重が大きく増加してきます。このことは使用する Jack up unit の力量、使用台数がサバイバル状態で決まる事を意味します。従って jacking 状態では Jack up unit の能力は余ってきます。本来 Jack up unit はプラットフォームを海面上高く持ち上げる為にあるのであり、レグとプラットフォームを固着する為に導入された物ではなく、便宜上ピニオンにブレーキを掛ければ固着装置として利用できるからにすぎません。

ここにレグとプラットフォームを固着する専用の装置が種々考案された理由があります。これを我々はレグ・クランプ装置と名付けました。他にレグ・チョック装置とも呼ばれています。これは Jack up Rig で Jack up unit の無駄な過大化を防ぐには不可欠の装置であります。

我々はこの装置を世界に先駆け開発し、超大型ジャッキアップリグに採用しました。我々の機械装置グループが鋭意開発した物で、見事な機構、装置であります。今も欧州で健在です。

7. 次期、新型 Jack up Rig の開発

Jack up Rig の建造ブームが終息して既に十数年を経過しました。この間セミサブリグは最新鋭のものが数隻建造されていますが、Jack up Rig は筆者の知る限り殆ど建造されていません。この十数年間で掘削装置の自動化・掘削パイプのハンドリングの自動化、掘削深度の増大に伴うマッドシステムの二系列化などが急速に進展しています。今、新たに Jack up Rig を建造するならば、必ずこれらの進歩した掘削装置を搭載することになります。新型の掘削装置類は従来の装置に比べ軽くなることは考えられず、また設置するスペースも大きくなること必定であります。

一方、設計上の各種規則も、かつてのブーム時代の各国主管官庁間および各船級協会間の不統一による不具合も IMO による協議で一新されています。従って、かつて我々が苦心して確立したデザインは再度建造されること無く、まったく新しいリグを開発することになると考えられます。



図 3: Large Jack Up Rig

かつての経験をつんだ有能な技術者達は度重なるリストラにより四散し、また引退して、基本設計部門またはその周辺に残存しているかつて経験した技術者はごく僅かです。図面、計算書、報告書、又後輩に技術伝承のため作成した各種解説書等は残っています。しかし、筆者の経験に基づく意見では、この種の技術伝承は仕事を通じて、事に当たってそれを完結させる行為の中から先輩より後輩に伝わるもので、単に書いたものを読むだけでは残念ながら臨場感はなく、本当の意味の伝承にはならないと思います。トラブルを起こして、必死になって技術伝承書を読み、初めて、あ、そうだったのかと合点する事が多いのではないかと危惧しています。

昨今の高性能なパソコンの普及、E-Mail で代表される通信、連絡機能の進歩、大型作図機等による作図機能の進歩等々は基本設計の精度向上、進捗の促進、進捗の精密な管理などに大きく寄与しています。(今の若い技術者を小生は羨ましく思っています。) しかし最終的に成果を決めるのはローテクの代表の様なスペースの問題と重量です。

スペースとは機械、器具を据え付ける空間の事、メンテナンス、配管、配線、人間の通路等を考慮して、基本設計の早い段階で決定せねば成りません。据え付ける機械類の大部分は輸入品です、外国メーカーの出図の遅い事、初期図面の信頼性

の低さは定評があります。スペースでトラブルれば、即、重量増加に繋がります。重量とは完成重量が基本設計の早い段階で決定された計画予定重量以内に収まるかと言う事です。失敗すれば Jack up unit のオーバーロード、コストアップと言う悲惨な結果となります。外国の独立コンサルタントのデザインの採用も一つの選択肢であります。しかし筆者の経験では、彼らのデザインはスペース、重量で精度に欠けるものが多くありました。特に Jack up Rig の場合は、どこかの造船所で既に無事建造され実証されたデザイン以外はリスクが大き、推奨し難いものです。

8. Semi sub Rig の泣き所

Semisub Rig はご承知の通り、Lower hull と言う水面下で排水量を稼ぐ浮体と、column と言う、スタビリティ確保の為の水線面積を確保する構造物が Upper hull を支える構造になっています。Lower hull と column の内部は殆どが海水タンクと燃料タンクです。重心調整及び姿勢調整用のバラストは Lower hull 内に搭載されます。安定性に厳しい物ですから、スラックタンクが最小になる様に積み付けられます。

Semisub Rig の操業状態での全排水量に占める軽荷重量及び搭載荷重の割合はほぼ次の通りであります。

軽荷重量	約 45-50%
バリアブルロード	約 7-10%
ローワーハルペイロード	約 7-12%
ムアリングロード	約 3-5%
バラスト	約 30-35%
排水量	100%

この様に、掘削の為に必要な資材、機材等の Upper hull への搭載荷重(バリアブルロード)は全排水量の高々10%程度、軽荷重量の 1/5 程度にすぎません。又・動揺性能安定性能から重心位置を適正な範囲に保つ必要があり、且つその範囲は狭いものです。曳航状態を除くすべての状態を通じて GM はほぼ 0.3-3.0m の範囲で推移します。

軽荷重量が重量増加で計画を上まれば、又は重心位置が計画より高くなれば、リグの姿勢を水平に保ちながら搭載可能な最大の海水バラストを張っても、重心位置が所定より高くスタビリティ不足、喫水は深すぎると言う情けない状態に立ち至ることになります。こうならない為の許容範囲は

極めて小さいものです。

しかし、これは浮力体ですから、不具合の程度にもよりますが、金と時間をかけて、Lower hull と column にバルジを張り、浮力増加と水線面積の増加による GM の改善により抜本的に改善できる可能性は残されています。



図 4: SEMISSUBMERSIBLE RIG

9. 結び

かつて海洋基本設計で経験した事の中から思いつくまま、書いてみました。海洋構造物と言うものは造船技術の延長線にあり大変面白く、興味あふれる物ですが、一方かなり異質な面があり且つビジネスとしてリスクが大きいものである事は分かって頂けたのではないのでしょうか？

最後に国際入札に纏わるリスクについて若干言及しておきます。一つの仮説として、有力船主が船主側が準備した新設計のリグについての建造費の入札を求めて来た場合を考えてみます。この場合新型リグの基本設計は船主がコンサルタントに作らせた基本図と仕様書が応札者に提供されます。そして資格審査で選ばれた応札予定者はリグ建造の経験を有する世界の有力造船所ですので、応札に当たっては技術的な検討を十分行い、納得した上で応札したであろうから、基本設計の責任は落札者にあるとされる事が流行しています。

造船所側は、当面操業度に問題は無いが相手が有力な客であるから半分真面目に付き合うかという組と、なんとしても受注せよという組の二手に分かれるでしょう。私の経験ではこの種の見積もり作業は、真面目に取り組むと、大変な費用が必要です。また、検討の精度を上げるほど、コンサルタント設計のいい加減さが益々見えてくるものです。船主側は入札者が資格審査で選ばれた一流造船所ですから選択の基準の第1は船価の安さです、第2は契約条項や技術面でのコメントやエクスキューズの少なさです、入札者全員がつけたコメントは船主も認めますが、他社と異なるコメントはマイナス点となります。各社の申し山た予定鋼材重量の内最も少ない重量を利用して、他社にさらなる値下げの圧力を掛けて来る事もあります。結果は技術的に優れていて、見えているリスクを避けようとした造船所が一番不利になる事になります。マーケットが造船所に有利な時と不利な時とで上記の現象の影響には大きい差があります。しかしいずれにしても、技術屋にとってはまことにやっかいな事ですが、避けて通れない現実です。

運命のいたずらで一造船計画屋がリグの世界に首を突っ込み、約8年間の短い期間でしたが悪戦苦闘しました。しかし今振り返って見ますと、当時はまことに緊張した、充実した日々でありました。また私たちの海洋基本設計部は素晴らしい技術屋集団でした。2度と再びあの様な技術屋集団を我が造船界で再編成する事は、残念ながら不可能に近い事だと思っています。

著者プロフィール

空 中 勝

1932年生
山口県下関市出身
最終学歴：
大阪大学造船学科修士課程
1958年 日立造船入社
1976年 ロンドン駐在
1979年 海洋基本設計部 配属
1983年 海洋基本設計部 部長
1988年 日立造船堺重工業 転籍
1997年 退職

