

討17

海洋構造物用鋼材の現状と考察

北炭大学工学部

三菱重工業株式会社

○西尾昌弘

藤嶋初明

海洋構造物には種類が多く、海上天然ガス処理システムのごとくまだ構想を企画中のものや、海底油田掘削装置のように実用中のものもある。かつ目的に応じて最適な構造形式があり、それによって鋼材への要求項目もそれぞれ異なる。したがって総合的な海洋構造物用の鋼材ということは甚だ考え難いので、比較的歴史がなく、かつ我々が可成り多数取り扱った石油掘削関連装置につけて、その発展と問題解決にあたり鋼材の果たした役割りを振り返ってみることは、あらゆる種類の海洋構造物について、今後生ずるであろう諸問題の解決の一参考にならうと思えてくる。

1. 石油掘削装置建造の現状

1930年頃に試験装置が建造され初めてから1976年までに373基が建造され、そのうち日本で建造されたものは16基4%であった。

しかしながら1975年から1977年に建造されたものの116基のうち、日本ではその20%にあたる21基が建造されており、日本の占有率が急速に大きくなってきている。また現在全世界で建造中の石油試験装置は、およそ83基でその内訳を表1のごとくである。対象地域はメキシコが約40%、極東、東南アジアが約35%、ヨーロッパおよび地中海などが25%を占めている。傾向として甲板昇降式の建造が増え、水深75m用を中心に表2のように建造されている。寿命は大体30年程度を目標としているが技術革新の今日では、性能が経済的に適合しなくなり20年程度で代替されるものが多い。

表1 建造中の石油試験装置

甲板昇降式	69基
半潜水式	4
船型	7
潜水型その他	7

2. 石油掘削装置の形式と使用鋼材の概況

表3は掘削装置の用途と大まかに示したものである。生産プラットフォームは固定式ジャケットタイプであり、水深150mの場合には高さ190m、鋼材重量約2万トンになる。

試験装置は移動式で構造形式としては、水深に応じ甲板昇降式、半潜水式、船型および潜水式の4種類がある。

甲板昇降式におけるジャッキアップタイプの試験装置で水深約100m以下を対象としたものでは使用鋼材は4000~8000トンである。

本装置は試験時はレグを海底に着底させて移動するが、試験が終るレグを引上げ甲板部が浮体となって移動する。移動水深が50m以下のものはレグが円柱形状であるがそれ以上の水深になると波浪や潮流によるレグへの外力を低減するため三角形または四角形のトラス構造が採用される。

表3 掘削装置の用途と大きさ

用途	型式	構造	高さ
生産用	固定式	ジャケット	190m
試験用	移動式	甲板昇降式	100m以下(水深)
		半潜水式	300m以下(水深)

本装置は船級協会の船級とされるが原則として、船体部には船級材が使用されているがレグ部では浮上して航行する時の安定性をよくするため軽量化を計る必要があるため、10~20kg/m²の高張力鋼が使用されている。またラック・ピニオン方式の昇降装置の場合には、ラック材として100mを超える厚板の物が高張力鋼板が一翼に200~400トン程度使用されている。

半潜水式試掘装置で水深100~500mmを対象としたもので、使用鋼材は約8000トンである。水面下に浮体としてあり、これに注排水して波液中の動揺が小さくなるよう考慮されている。本装置は稼働期間を出来るだけ長期化させるため、作業用器材の許容積載重量を増す必要があり、そのためには重心を低くし、かつ構造重量を出来るだけ小さくする必要がある。したがってブレースやデッキガーダー等の主要構造部には50kg/mm級の高張力鋼が使用されている。ローハルやコラムは浮力による安定性を必要とするもので40kg/mm級の軟鋼が主用されている。本装置は船級協会の船級を必要とするので、構造用部材には船級材が使用される。

3. 石油掘削装置の製造原価における鋼材の比率と現在の問題点

半潜水式試掘装置の製造原価のうち機械装置購入は石油掘削会社で行なわれる場合が多く、これ以外装置メーカーの責任範囲の約30~35%が鋼材価格である。

したがって加工性が良くかつ加工後の信頼性が高い鋼材であるべきは勿論であるが、不必要に鋼材仕様を高めるために無用の価格上昇をもたらすことは避けねばならぬ。

1例をあげれば耐ラメラチャ鋼の仕様である。現在は発注者の意向により、板厚方向の引張試験により2%以上、又は25%以上、引張強度 $\sigma_b \times$ 引張強度規格値、 $S < 10/1000\%$ と規定され、鋼板ごとに引張試験を必要とし、そのためには約20000~30000/トンの仕様料を要している。しかしながら図1

図2に示すごとく $S < 10/1000\%$ であればラメラチャは発生しないし、板厚方向の引張試験ではラメラチャの発生しない鋼材でも不合格になったり、またラメラチャが発生する可能性のある鋼板でも合格したりする可能性がある。したがって板厚方向の引張試験は不必要ではないかと考えられる。

鋼板の炭素当量などについても、要を得た加工精度の向上により、いたずらに鋼材仕様を厳しくすることは一考を要する

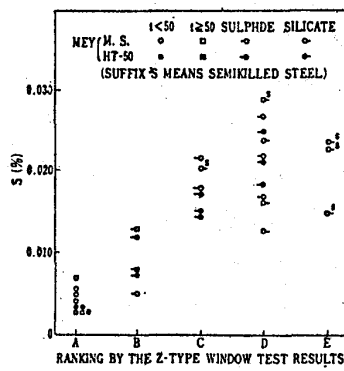


図1 鋼板の耐ラメラチャ性とS含有量の関係

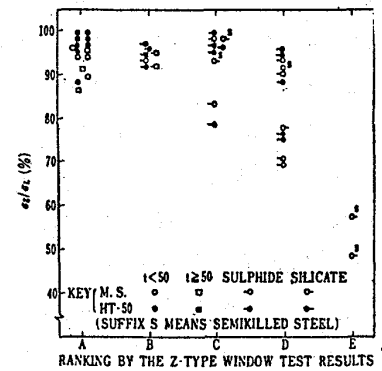


図2 鋼板の耐ラメラチャ性と σ_L/σ_T の関係
 σ_L : 板厚方向の引張強さ, σ_T : 圧延方向の引張強さ

また特殊仕様の鋼材を用いる箇所を出来るだけ制限すべきである。1例をあげるに、溶接継手形式により板厚方向の拘束力は非常に異なることがモアレ法を用いた試験によって明らかにされている。これらもこれらの結果から図3のごとく耐ラメラチャ鋼の使用基準を示している。

4. 石油試掘装置の構造的特徴と鋼材への要求事項

半潜水式試掘装置は41年から45年にかけて世界各国で事故が連続して発生した。そのうちの1つは航行中に3回にわたる破壊音とともに16秒間で崩壊沈没したものもある。これらの原因は比較的平坦な海域を対象として設計されたものを1960年代の海洋石油開発ゲームに乗ってより深く、より荒い海へ送出的ためであり、その損傷箇所は円柱骨組の接合部に集中していた。

石油試掘装置の構造物としての特徴から鋼板に要求される性能のうち特徴的なものを採りあげると以

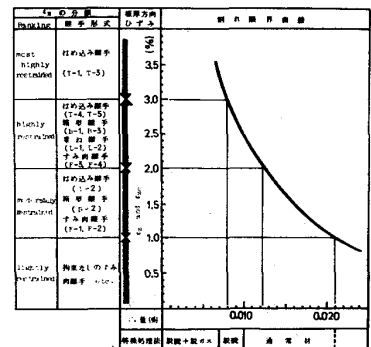


図3 各種鋼材のラングラー型鋼材に必要となる材料強度

下のごとくである。

④ 平板に

おけるより
も高い破壊
靱性値が必要

石油試験
装置の格点
は図4に示
すように極
めて高い応
力集中部

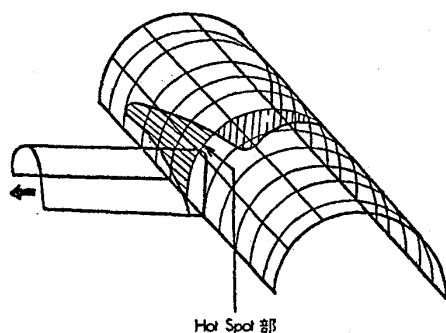


図4 鋼管格点部における応力集中の状況

(Hot Spot部)が存在し、船体構造のように平板に溶
接継手が存在する場合に果った脆性破壊特性を示
す。すなわち図5は図6に示す直交型鋼管継手模
型について脆性破壊試験を行った結果である。こ
れにより船殻構造の場合に比べ破壊発生温度は
80~100℃高温側に移行している。ただしタイプ3
のように貫通板で補強すると応力集中が緩和され
船殻構造とほぼ同じ破壊発生温度となる。したが
って継手構造と併せて破壊靱性値を考慮する必要が
ある。

⑤ 疲労強度の改善策としての高張力鋼格点の使用

前述の疲労破壊の対策として主として構造設計
面での諸配慮(例えば設計応力の低減、応力集中緩
和のための補強など)や施工面での配慮(グライン
ダーによる溶接部の仕上りとか良好なビード形状
が得られるような溶接施工法)が現在行なわれてい
る。しかし材料面から図4に示すように溶接の
余盛りなど切欠を有する場合には高張力鋼を用い
ても疲労強度は余り向上しない。したがって格点部などに高張力
鋼を使用することは余り有効ではない。

しかし最近では鋼管格点部を鋼鋼によって製造することか考え
られるようになった。その利点は次のごとくである。

- (1) 格点部の形状を滑らかに出来るので、応力集中が緩和され疲労
強度の大幅な向上が期待出来る。
- (2) 格点部の溶接およびその検査は非常にむづかしく、小さな溶接
欠陥は避けられぬが、この点について信頼性向上が期待できる。
- (3) 精度の保持が容易である。

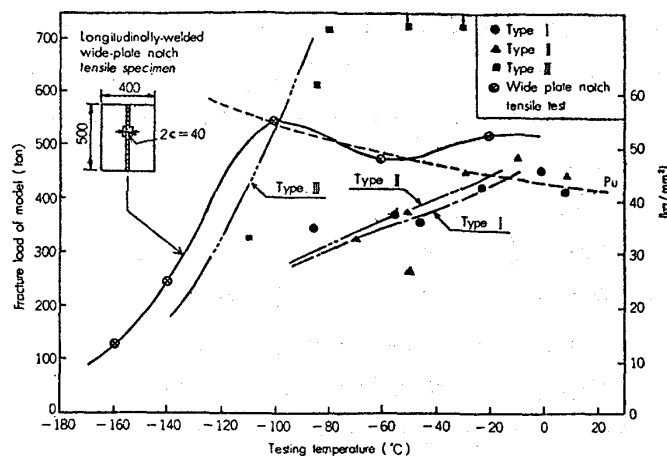


図5 鋼管継手模型体の脆性破壊試験結果

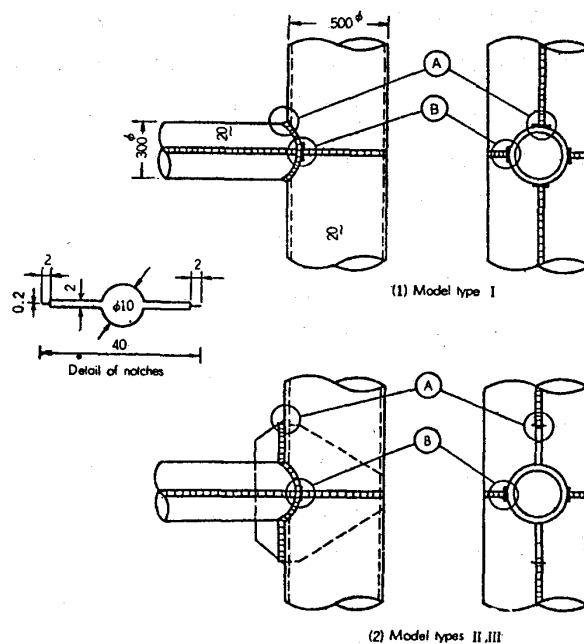


図6 脆性破壊試験に用いた鋼管継手模型体の詳細

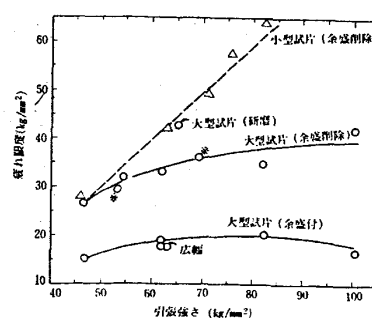


図7 大型小型突合せ溶接継手試験片の片板引張
疲労限度と引張強さの関係

このため同一形状寸法の格点部が多数ある甲板昇降式石油試験掘装置のレグ部を主対象として80kg/mm²級高強度、高靱性の鋼製格点材の開発が行なわれている。三菱重工業でもNi-Cr-Mo系の80kg/mm²級鋼製品格点部材の試作が成功し、強度85kg/mm² 靱性値10~12kg-m at -60℃の性能が得られている。

設計上から格点部分のみについて言えば40~50万/トンに之を入出来れば鋼製品格点部材を使用したとして考えている。

④腐食対策

石油掘削装置の防蝕対策は一般に次のように分類されている。

- ①常に海面下にあつて濡れた状態にある部分
- ②常に海面上にあつて乾いた状態にある部分
- ③洋況の状態により表面が乾いている期間と濡れている期間が交互にある部分

①の部分には流電陽極法または外部電源法による防蝕を行っている。

②の部分には塗装による防蝕が行なわれている。

③の部分には耐海水材料であるモネルメタルを該部に上差きするか、厚さ5mmに及び厚塗装によるか、または構造物のこの部分に腐食減量として軟鋼または50kg/mm²鋼板で板厚を増しておく方法がある。

最も腐食が心配されるのは①であるが流電陽極法を用いた稼働5年後の石油試験掘装置の実績では陽極寿命はほぼ計算通りであった。防蝕は完全に行なわれておりピitting、溶接部の水素割れなどは全く発見されなかった。また腐食腐蝕に対しても電気防蝕に依れば大気中の疲労強度に対して劣化しななりこれも実験的に確かめられている。したがって軟鋼、50kg/mm²高張力鋼については腐食対策として電気防蝕の効果は十分といえよう。

ASTM 537シリーズの鋼板についてもほぼ同様のことを経験しているのど、これと類似の60kg/mm²高張力鋼も求めて電気防蝕でよいと考えている。

5. 石油掘削装置の今後の動向

北極海では天然ガスや石油が大量に埋蔵されているらしいが、採掘輸送に費用がかさむため打ちすてられている。しかし20トW原油の実現に於て掘削地区、目標水深が決まると考えられる。1980年は北緯60°の北海、ならびに熱帯のメキシコ湾が対象地区、1984年には同緯度でも流氷のあるサハリン地域などの寒冷域、さらに北緯70°位の北極海などの極寒冷域が対象となる。

寒冷域では気温は-10℃~-40℃、波高18~20mとなり、海域によって異なる氷氷による衝撃として厚さ1~3mの氷が0.5~3m/sで衝突する衝撃が加わる。極寒冷域では気温-40~-50℃、海は年中結氷して波高はほとんどない。表面から2mの深さまでは1年氷であり過年度氷は海底まで存在している。したがって結氷による圧力が構造物を締め付ける。

これらの気象条件と輸送手段を併せ最適掘削装置の選定が行なわれるので極寒冷域についての予想は困難であるが氷氷の存在する寒冷域については現在の試験掘装置が解氷期に限って使用されている。

より深く、より荒い海域で稼働するには波浪による荷重を減少するために部材径を小さくすることが必要で、可能な限り高強度材を採用すべきで80~100kg/mm²級の高張力鋼の使用が考えられる。また固定式プラットフォームにおいて結氷、氷氷による圧力、衝撃に耐えるための構造形式および破壊靱性値を今後研究して決定する必要がある。