

ケミカルタンカーの貨物タンク構造材料としての ステンレス鋼及びステンレスクラッド鋼の利用について**

高野裕文*, 秋山 元*, 許 平*, 脊戸康吏*

1. はじめに

危険化学品の海上ばら積輸送量の増大に伴い、近年ケミカルタンカーの建造が増加している。種々の貨物に対する適合性及耐食性が優れていることから、ステンレス鋼やステンレスクラッド鋼（以下、SUS 及び SUS-CLAD と各々略称する。）で構成される貨物タンクが多くのケミカルタンカーで採用されている。

本稿では、ケミカルタンカーにおける SUS や SUS-CLAD の使用傾向及びこれらの材料を用いた貨物タンクについて、構造強度及び耐食性の観点から考察を行う。この目的のため、NK 船級を有するケミカルタンカー^(*)での同材料の使用実績及び同材料を使用した貨物タンクの損傷例の調査結果を述べるとともに最近一部の造船所から提案されている外板に SUS-CLAD を使用する際の注意点についても言及する。

2. NK 船級ケミカルタンカーにおける実績

2.1 ケミカルタンカーの建造量

ケミカルタンカーとして NK 船級に登録されている船舶のうち、溶融硫黄運搬船のような専用タンカーを除いた多目的ケミカルタンカー（合計 232 隻、1992 年々初当時）について調査を行ったところ、図 1 に示すとおり、1970 年代後半から建造量が増加し、1985 年にピークを迎えた後、若干減少したが、1988 年以降、着実に増加している。

ケミカルタンカーの船型は、規則により⁽¹⁾⁽²⁾その積載貨物の危険性に応じ、タイプⅠ、タイプⅡ及びタイプⅢの 3 種類に分類され、各々に対しその要件（貨物タンクの位置、損傷時復原性等の要件）が異なるが、タイプⅠのように最も厳しい基準が要求される貨物は、極く一部に限定されるため、タイプⅡ又はⅢの船型を有するものが殆んどである。一般に、より厳しい基準であるタイプⅡ

の要件を満足するものの方が、より多品種の貨物を運送することが可能であるため、近年建造されるケミカルタンカーでは、図 1 に示すとおり、Type Ⅱのものの比率が上昇している。このことは、より多くの種類の貨物が積載できるものの需要が増大していることを意味し、現に最近では積載予定貨物が 300 種類を超えるものも見受けられる。建造時において積載予定貨物の特定が困難なため、積載可能な貨物数をできる限り多くし、危険化学品の海上輸送マーケットによって変化する多種多様なニーズに応えるよう配慮されていると思われる。

2.2 SUS 及び SUS-CLAD の使用

数多くの種類の貨物の運送を可能とするために、SUS 及び SUS-CLAD 材は、次の理由により貨物タンク囲壁に使用される。

- 1) 腐食性貨物に対する耐食性が優れていること。
- 2) ペイントに比べ、広範囲の貨物との適合性に優れていること。
- 3) ペイントのようにタッチアップの必要がなく、保守が比較的容易であること。

これらの材料を貨物タンク囲壁に使用するケミカルタンカーでは、一般に要求される多種品目の物質の運送を可能とするが、これらケミカルタンカーの数は、図 2 に示すとおり年々増加している。

典型的なケミカルタンカーの中央横断面形状は、図 3 に示すとおりであるが、通常タイプⅡ船型で採用される同図中(a)及び(b)の形状のものでは、内側タンク（セクタータンク）の内底板、縦通隔壁、横隔壁、上甲板、膨張トランク頂板／側壁に SUS 又は SUS-CLAD が配材される。

ケミカルタンカーが多く建造され始めた初期の頃では、一部の貨物タンクに限定して同材料が使用された例もあるが、最近では、貨物タンク区域の全範囲に使用される場合が殆んどである。

図 4 に各構造部材の SUS あるいは SUS-CLAD 材の使用状況を示す。

2.3 SUS 及び SUS-CLAD 材の種類

SUS 及び SUS-CLAD 材は、その化学成分や機械的性質によって、KSUS 304, 304L, 316, 316L, 317 及び 317L 等の材料記号をもって NK 規則の中で規定され

* 船体部

** 本稿は、「第 11 回海上及び内陸水路における危険物の運送に関する国際シンポジウム」(TDG 11) で講演した内容を一部修正の上、和訳したものである。

(注) これらのケミカルタンカーには、例えば、NS* (Tanker, oils-flash point below 60°C and chemicals type Ⅱ & Ⅲ) のような船級符号及び付記符号が与えられる。

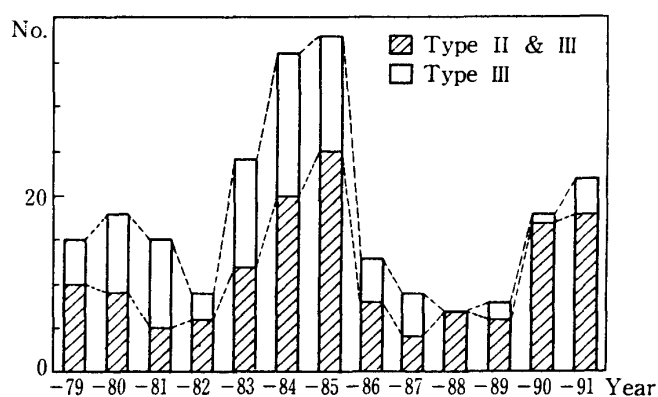


図1 Number of chemical tankers built each year

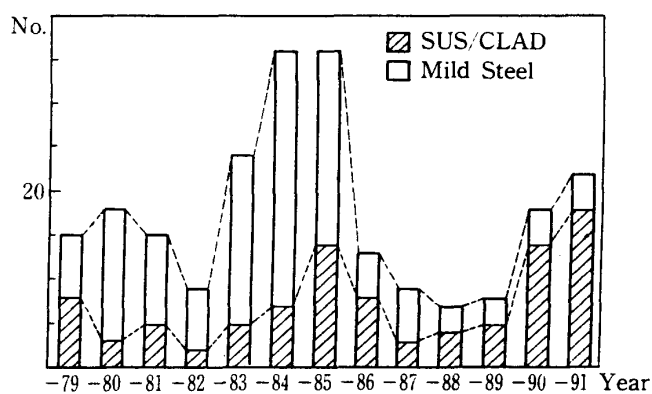


図2 Number of chemical tankers using SUS/CLAD

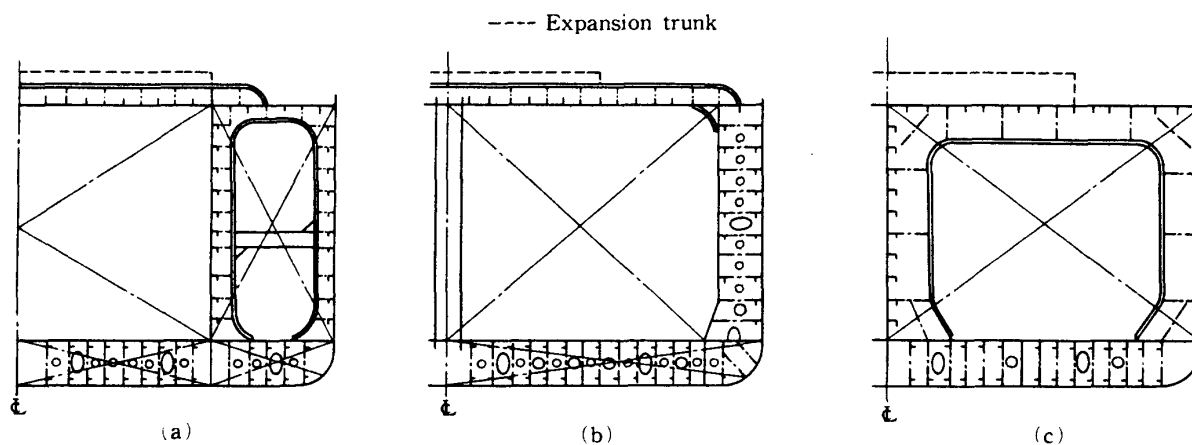


図3 Typical midship section of chemical tankers

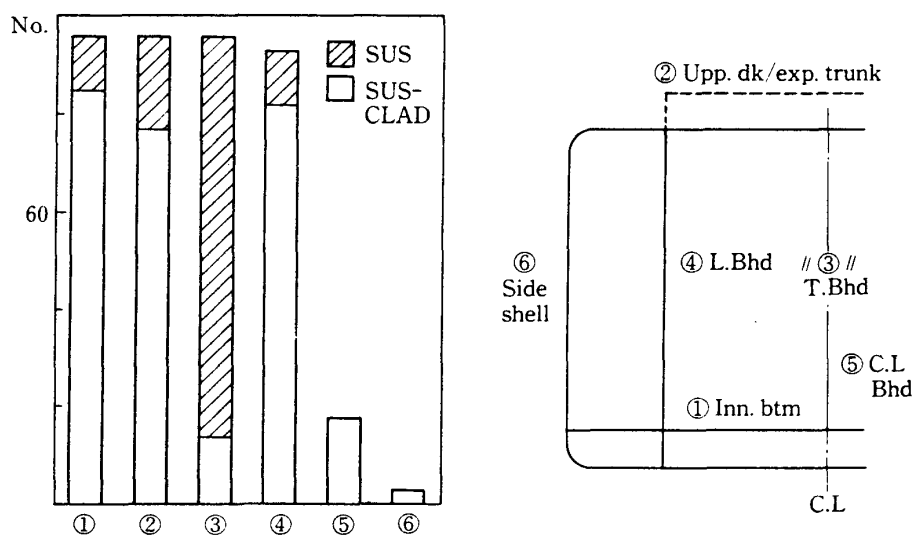


図4 SUS/SUS-CLAD used in each structural member

ている。⁽³⁾ 表 1 にこれらの規格を、表 2 に他規格との関係を示す。⁽⁴⁾

ケミカルタンカーに多く採用されている KSUS 304, 316, 317 系の材料では、化学成分と耐食性の関係は、一般に次のとおりである。

- 1) 炭素の含有量の減少による耐粒界腐食性の向上
- 2) モリブデンの添加による耐隙間腐食性、耐孔食性の向上
- 3) クロム、ニッケル及びモリブデンの添加による耐食性のさらなる向上

表 1 Chemical composition and mechanical properties of stainless steel ⁽³⁾

(1) Grades and Chemical Composition of Stainless Steels

Grade	Chemical Composition (%)											
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Others		
KSUS 304	0.08 max.	1.00 max.	2.00 max.	0.040 max.	0.030 max.	8.00 ~ 10.50	18.00 ~ 20.00	—	—	—		
KSUS 304 L	0.030 max.		2.50 max.			9.00 ~ 13.00					0.10 ~ 0.25	
KSUS 304 N1	0.08 max.					7.00 ~ 10.50			0.15 ~ 0.30			
KSUS 304 N2			7.50 ~ 10.50			Nb≤0.15						
KSUS 304 LN	0.030 max.	2.00 max.	8.50 ~ 11.50				17.00 ~ 19.00	0.12 ~ 0.22	—			
KSUS 309 S	0.08 max.		1.50 max.			12.00 ~ 15.00	22.00 ~ 24.00	—				
KSUS 310 S						19.00 ~ 22.00	24.00 ~ 26.00					
KSUS 316						10.00 ~ 14.00	16.00 ~ 18.00			2.00 ~ 3.00	0.10 ~ 0.22	
KSUS 316 L	0.030 max.		12.00 ~ 15.00			2.00 ~ 3.00		0.10 ~ 0.22				
KSUS 316 N	0.08 max.		10.00 ~ 14.00						0.12 ~ 0.22			
KSUS 316 LN	0.030 max.		10.50 ~ 14.50				16.50 ~ 18.50			—		
KSUS 317	0.08 max.		1.00 max.			11.00 ~ 15.00	18.00 ~ 20.00	3.00 ~ 4.00			—	
KSUS 317 L	0.030 max.								0.10 ~ 0.20			
KSUS 317 LN												
KSUS 321	0.08 max.		—			—	—	—	9.00 ~ 13.00	17.00 ~ 19.00	—	Ti≥ 5 × C
KSUS 347												Nb≥ 10 × C

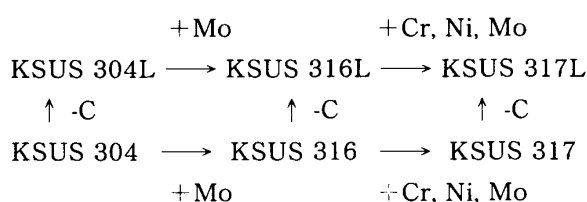
(2) Mechanical Properties of Stainless Steels

Grade	Tensile test			Hardness test		
	Proof stress (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation ($L=5.65\sqrt{A}$) (%)	Hb	HRB	Hv
KSUS 304	205 min.	520 min.	40 min.	187 max.	90 max.	200 max.
KSUS 304 L	175 min.	480 min.				
KSUS 304 N1	275 min.	550 min.	35 min.	217 max.	95 max.	220 max.
KSUS 304 N2	345 min.	690 min.		250 max.	100 max.	260 max.
KSUS 304 LN	245 min.	550 min.	40 min.	217 max.	95 max.	220 max.
KSUS 309 S	205 min.	520 min.		187 max.	90 max.	200 max.
KSUS 310 S						
KSUS 316						
KSUS 316 L	175 min.	480 min.		217 max.	95 max.	220 max.
KSUS 316 N	275 min.	550 min.	36 min.			
KSUS 316 LN	245 min.		40 min.	187 max.	90 max.	200 max.
KSUS 317	205 min.	520 min.		217 max.	95 max.	220 max.
KSUS 317 L	175 min.	480 min.		187 max.	90 max.	200 max.
KSUS 317 LN	245 min.	550 min.		217 max.	95 max.	220 max.
KSUS 321	205 min.	520 min.		187 max.	90 max.	200 max.
KSUS 347						

表2 Other standards corresponding to NK's standard⁽⁴⁾

NK	JIS	ISO 683/XIII ISO 683/XVI	AISI ASTM	BS 970 Part 1 BS 1449 Part 2	DIN 17440 DIN 17441 DIN 17224	NFA 36-573 ~584 NFA 35-586
KSUS 304	SUS 304	11	AISI 304	BS 304 S 31	DINX 5 CrNi 1810	NFZ 6 CN 18.09
KSUS 304 L	SUS 304 L	10	AISI 304 L	BS 304 S 11	DINX 2 CrNi 1911	NFZ 2 CN 18.10
KSUS 316	SUS 316	20, 20 a	AISI 316	BS 316 S 31	DINX 5 CrNiMo 17122	NFZ 6 CND 17.11
KSUS 316 L	SUS 316 L	19, 19 a	AISI 316 L	BS 316 S 11	DINX 2 CrNiMo 17132	NFZ 2 CND 17.12
KSUS 317	SUS 317	—	AISI 317	BS 317 S 16	—	—
KSUS 317 L	SUS 317 L	24	AISI 317 L	BS 317 S 12	DINX 2 CrNiMo 18164	NFZ 2 CND 19.15

各材料における炭素 (C)、モリブデン (Mo)、クロム (Cr) 及びニッケル (Ni) の含有量の関係は、次のとおりである。



NK 船級を有するケミカルタンカーの場合、図 5 に示すとおり KSUS 316 及び 316L が大半を占めているが積載貨物の多品目化が進むにつれて、KSUS 317 や 317L といったより耐食性の高い材料を使用する機会が多くなる。

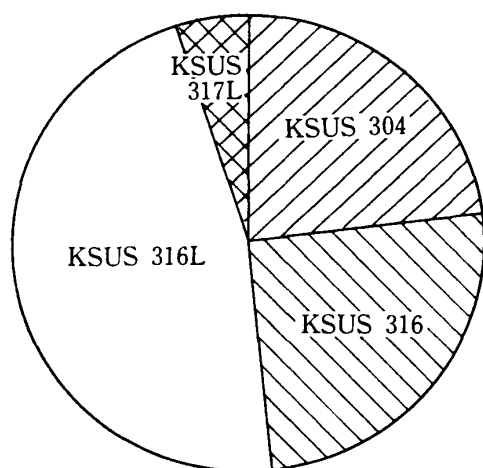


図 5 Kinds of SUS used in NK-classed Chemical tankers

2.4 損傷例

SUS 及び SUS-CLAD 材を使用した貨物タンク構造の損傷例を調査するために、NK 船級を有するケミカルタンカーの検査報告書を過去 10 年間にわたり、その顕著な損傷例について調べた結果、次に示す事例が典型的なものとして挙げられる。

2.4.1 ガルバニック腐食

ケース 1：貨物ポンプ室底板において、軟鋼と SUS-CLAD の継手が設けられている構造で、貨物ポンプや貨物管等からの漏洩貨物を含んだビルジによる腐食を防止するために、同ポンプ室底部に重塗装が施されていたが、この塗装の劣化により、酸を含んだビルジ（電解質）に SUS 及び軟鋼が接触し、これら構造材の電位差により電池形式の腐食破孔が生じ、同ビルジが同ポンプ室直下の区画に流出した。

(図 6 参照)

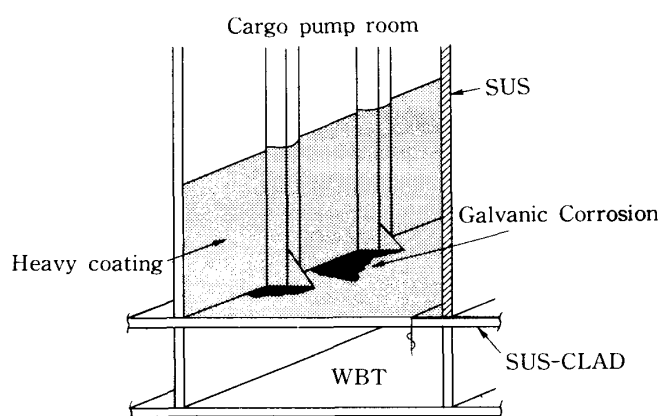


図 6 Galvanic corrosion in way of bottom of cargo pump room

ケース 2：ペイントが施された軟鋼で建造された貨物タンクに水圧試験の実施のため、海水が漲水されたが、ペイント工事の不具合により、軟鋼に海水が接触することになり、同タンクに配管された SUS 貨物管との電位差により電池形式による孔食が多発した。3 日間の海水漲水の間に、最大 4mm の深さの孔食が報告されている。

2.4.2 海水による孔食

ケース 1：バラスト航海で、海水を SUS が使用された貨物タンクに漲水したところ、同タンク内表面に多数の孔食の発生が報告されている。

ケース 2：SUS が使用された貨物タンクの海水によるクリーニングの後、清水リンスが不十分であったため、同タンク内表面に多数の孔食の発生が報告されている。

2.4.3 工作不良による亀裂及び腐食

ケース 1：ピンホールや過度のオーバーラップの溶接欠陥から隙間腐食が発生しこれが貫通亀裂に進展し、貨物が隣接区画に漏洩した。

ケース 2：横隔壁付水平ゲルダが縦通隔壁を挟んで過度の目違いを残したまま取付けられ、同ゲルダのトウ部からの亀裂発生が報告されている。(図 7 参照)

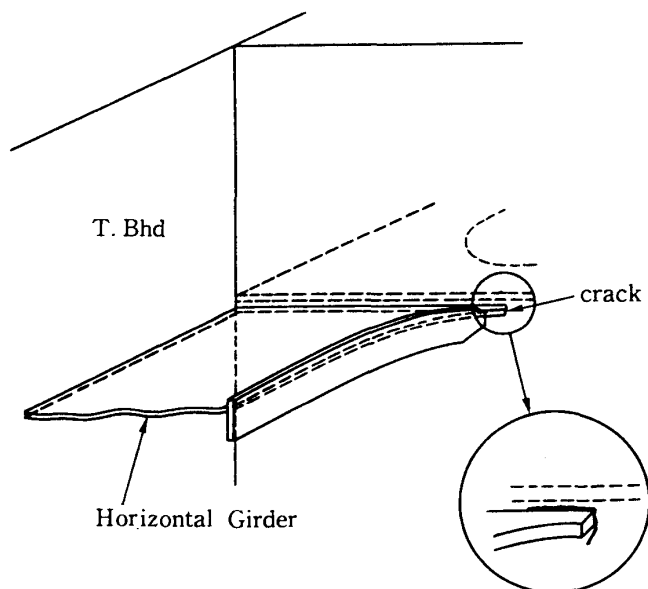


図7 Misalignment between horizontal girders

2.4.4 構造詳細に対する配慮不足による損傷

ケース1：横波形隔壁に取付けられた水平ガルダーの倒止め肘板と波形板のナックル部に最大 50mm 程度のずれがあり、過度の応力集中による亀裂の発生が報告されている。(図8参照)

上記の損傷事例は、損傷発見船の数や損傷数が限られており、原因も明らかに対策が確実に実施されていることから、構造上重大な問題であるとは考えられない。さらに、規則⁽¹⁾⁽²⁾では、貨物タンクからの一次漏洩に対しても、ある程度の配慮が払われていることから、安全の観点からも深刻な問題であるとも考えられず、現在までのNK船級船の実績では、SUS及びSUS-CLAD材を用いた貨物タンクは、他の一般船殻構造と比較して十分健全であるといえる。

これは、危険物運搬という特殊性を考慮して、設計、溶接法を含めた建造及び運航、保守に対して慎重な配慮が払われていることにより達成されているものであり、SUSやSUS-CLADのような特殊な材料を用いた場合でも、同様に慎重な配慮が払われている以上、今後も十分な安全性を有するものと考えられる。

3. SUS及びSUS-CLADを用いた貨物タンクの構造強度

3.1 構造上の特徴

同材料を用いたケミカルタンカーの貨物タンク配置は、前述の図3(a)及び(b)が一般的である。最もポピュラーな配置である同図(a)の場合、貨物タンク内に2条の

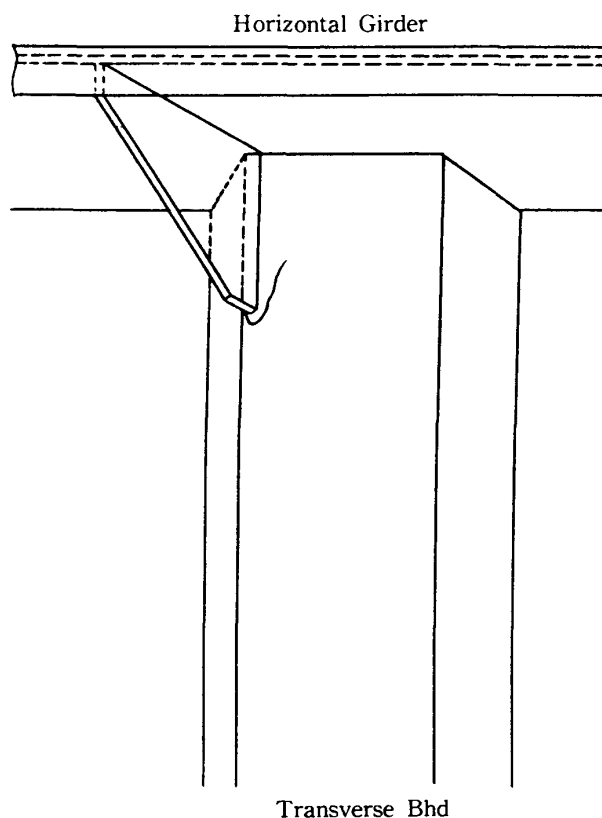


図8 Cracks in way of tripping bracket connecting with horizontal girder

縦通隔壁を有し、センタータンクにTypeⅡやⅢが要求される貨物を積載し、ウィングタンクにTypeⅢが要求される貨物を積載するよう計画されている。同図(b)の配置の場合、ウィングタンクは、バラスタンクとして使用されるのが一般的である。

タンククリーニングの効率をあげるため、センタータンク内には、極力内構材を配置することを避け、防撓材を必要としない波形隔壁が多く採用されている。いくつかの例では、タンク相互の分離のために、横隔壁を2枚配置し、この間をコファダムとしている。この場合、平板隔壁とし、防撓材をコファダムの内側に配置することにより、タンク内面の平滑化を計っている。波形隔壁の配置は、この波形が垂直方向に配置されるものと、水平方向に配置されるものの2種類があり、同波形板の端部取合部では、ナックル部の過度な構造上のハードスポットを避けるために、カーリング等の小部材を配置し、応力の分散を計っている。SUS-CLAD材を使用する際の構造寸法は、寸法算式の許容応力の基となる耐力(0.2%耐力)が一般船体構造に使用される軟鋼の降伏応力に等しいと規則⁽³⁾で規定されているため、一般のタンカー構造寸法算式により決定される。一方、SUS材を使用す

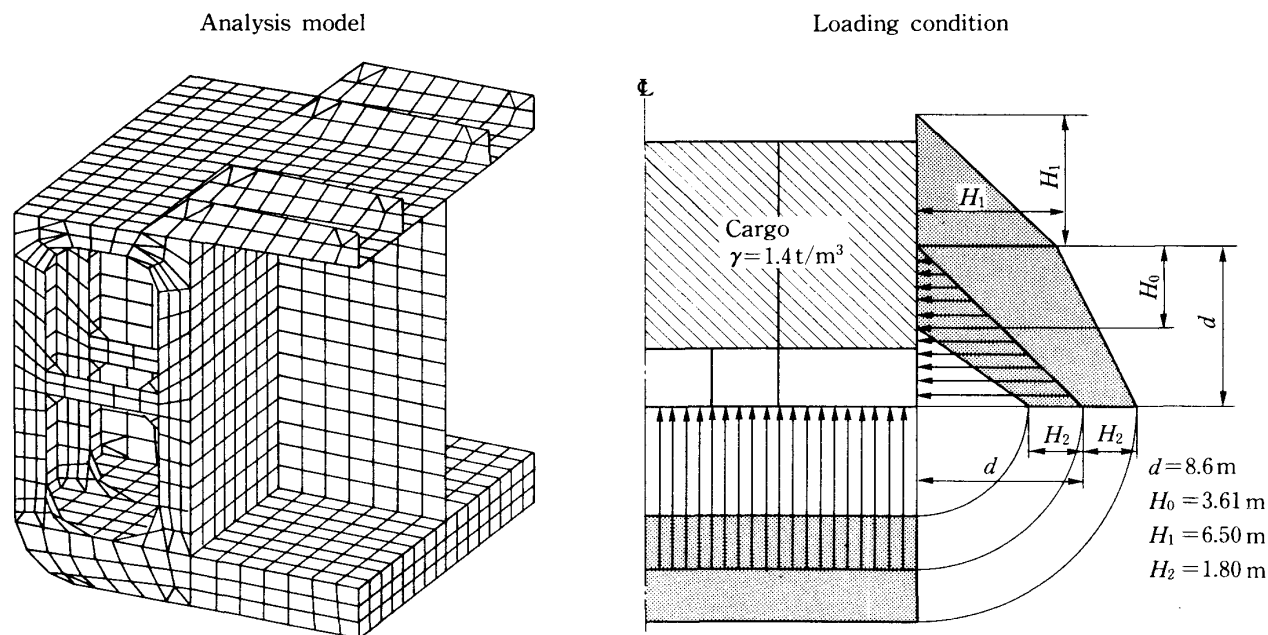


図9 3-D FEM analysis

る際には、同材の規格耐力が軟鋼の降伏点を下回るため、一般に次の2通りの方法により寸法が決定されている。

- 1) 耐力が軟鋼の降伏点 (235N/mm^2) 以上となるよう修正された規格により製造された材料を用いて、一般のタンカー構造寸法算式により寸法を決定する、又は、
- 2) 許容応力を規格値に応じて修正した寸法算式により、寸法を決定する。

通常は、製品の耐力が規格より十分高いことが多く、結果として上記1) に依っていることが多いが、規格値の低い材料では、上記2) により、修正した算式を用いることにより、軟鋼のものより大きな寸法とする必要が生じる可能性がある。いずれにしても、これら材料を用いた構造に対するより合理的な設計基準が望まれるところであり、実績を踏まえて、腐食予備厚や引張り強さを考慮した上で、見直しを行い、他の一般船殻構造の強度との整合性を保って行く必要があるものと考えられる。

3.2 構造解析

3.2.1 3次元 FEM 応力解析

前 3.1 で述べたとおり、SUS や SUS-CLAD を用いたケミカルタンカーでも基本的には、規則算式により部材配置や寸法が決定されているが、通常一般商船の設計

実務で用いられる設計荷重に対する構造応答を把握するために、典型的なケミカルタンカーの設計例 ($L \times B \times D = 140.0 \times 22.8 \times 12.0\text{M}$, 10,800GT) に対して図9に示す構造モデル、荷重条件で3次元 FEM 解析を実施したところ、全ての主要部材で高々最大 150N/mm^2 (ミーゼス等価応力) 程度の計算結果が得られ、一般船舶での解析結果に較べ十分安全側であることが分かり、一例ではあるが規則算式ベースの設計が、応力ベースで強度上十分余裕のあることを確認した。

3.2.2 疲労強度

これらのケミカルタンカーの設計の基となる規則では、現在のところ直接的に疲労強度を規定しておらず¹⁰⁾、実績を反映した形で許容応力や撓み量の制限及び構造詳細に対する構造不連続の排除に関する精神規定により、間接的に疲労強度を担保している。従って、これらケミカルタンカーでは、十分な実績を有する従来型タンカーに較べ十分な強度を有していることを前提に、直接的な疲労強度検討は行われていないが、現在までのこれらケミカルタンカーの良好な実績を考慮すると、疲労強度を含め、これらタンカーの構造強度が十分であるといえる。

一方、SUS や SUS-CLAD 材の使用範囲が大きくなる、例えば、従来センタータンクの使用に限定されていたものが、疲労強度上影響の大きい波浪変動荷重の影響を直接受けるウイングタンクにまで拡張して使用される場合では、疲労強度を含め十分な実績を有するといえ

(注) 最近、タンカーの船側縦通肋骨に対する疲労強度を考慮した NK 規則が制定された。

ず、従って何らかの検討が必要となる。

そこで、最も疲労強度上厳しいと予測される吃水線付近の船側縦通肋骨を対象に、次に示す検討を先に示した設計例に対して行った。

1) 同肋骨の端部、横隔壁貫通部付近の応力集中箇所における局部応力の変動幅の次の条件の下での計算。

—NK 規則⁽⁵⁾に規定する波浪変動荷重(波の山及び谷)を波浪荷重の就航期間における最大振幅と仮定する。

—同肋骨を支持する横桁の変形による強制変形を考慮する。

局部応力の算定にあたり、同構造詳細に対して応力集中係数($K=2.1$)を用い、横桁の相対変位は、前述の3次元 FEM 解析の結果を用いた。

2) SUS の構造継手に対する疲労特性の調査。

矢島らは、SUS 317L 及び同クラッド鋼等の十字継手の疲労特性を調査し、船用高張力鋼のものとはほぼ同等であることを研究論文⁽⁶⁾の中で示しているが、船舶工学の分野では、他に有用なデータは、筆者らが調査した限り見当たらなかった。従って、本検討では、安全側を考慮し、軟鋼に対する疲労特性(S-N 線図)と同じものを使用した。

上記の条件の下で得た計算結果は、20 年間該部に損傷なく運航されている油タンカーの同肋骨における局部応力の最大変動幅とほぼ同程度であり、両船での応力頻度分布を同一の指数分布と仮定した際の累積疲労被害度は、図 10 に示す通り、これら油タンカーと較べて安全側であることが確認された。

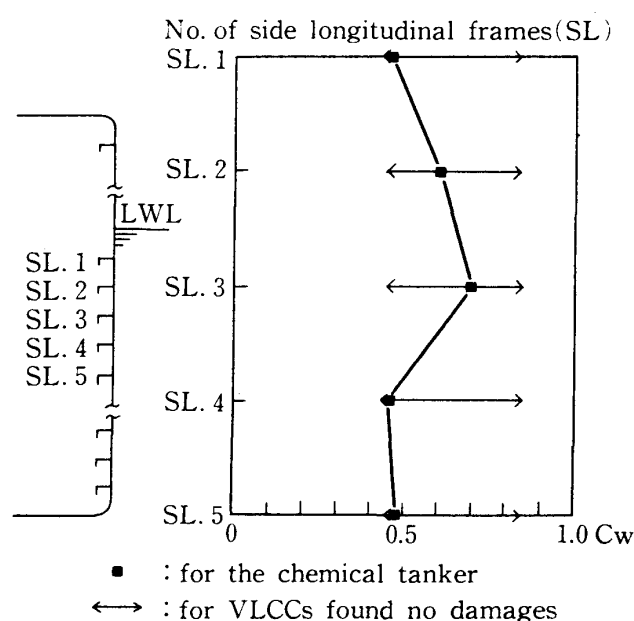


図 10 Cumulative Damage Ratio (Cw)

SUS 及び SUS-CLAD 材の継手疲労特性について、さらなる検討が望まれ、また、上記の検討はいくつかの仮定に基づいており、精度が十分高いものであるとはいえないため、必ずしも十分な疲労強度を有すると断定することはできないが、実績船との同一条件下での比較において安全側にあることは、一定の疲労強度を有していることを示している。

しかしながら、実績の少ない材料の適用に際しては、特に材料及び継手の疲労特性が明らかにされていない場合は、荷重条件の程度に応じ余裕のある寸法や、応力集中の十分低い形状の構造詳細とする慎重な配慮が必要である。

4. SUS 及び SUS-CLAD 構造の腐食に関する注意点

SUS 及び SUS-CLAD 材は、一般に腐食性貨物に対する耐食性が軟鋼より優れており、適切なオペレーションの下では、重大な損傷も報告されていない。

一方、スーパーステンレス鋼のように海水に対する耐食性が非常に優れているものを除いて、通常のステンレス鋼では、海水に対して完全な耐食性を有しておらず、前述の損傷例でも、重大ではないが、比較的頻繁に軽度な腐食損傷事例が報告されている。また、SUS 自身の腐食ではないが海水中では、SUS が軟鋼より貴であり異種金属(軟鋼)との継手におけるガルバニック腐食のような間接的な問題も懸念されている。

通常の SUS 材では、海水によるタンククリーニングの後十分な清水リンスを行い、海水との接触時間をできる限り短くする必要がある。さらに、図 11 に示すような構造では、SUS 材表面が長時間に亘り、海水バラストに触れることになるが、この場合有効なペイントで保護する他、アノード防食やスーパーステンレス鋼の使用がより望ましい。

また、異種金属(軟鋼)との継手があり、電解質(海水、ビルジ)との接触する可能性のある貨物ポンプ室やコファダムの底部では、十分な塗装を施し、さらにこの保守に十分な注意を払う必要がある。

5. SUS 及び SUS-CLAD 材の外板への使用

前 2.2 で述べたとおり、SUS 及び SUS-CLAD 材は、特に種々の貨物との良好な適合性のため、従来センタータンクに多く使用されてきた。しかしながら、最近ごく限られた例であるが、船側構造に同材料を使用する例が現われ、今後も同材料の利点から、このような例が増加することが予想される。

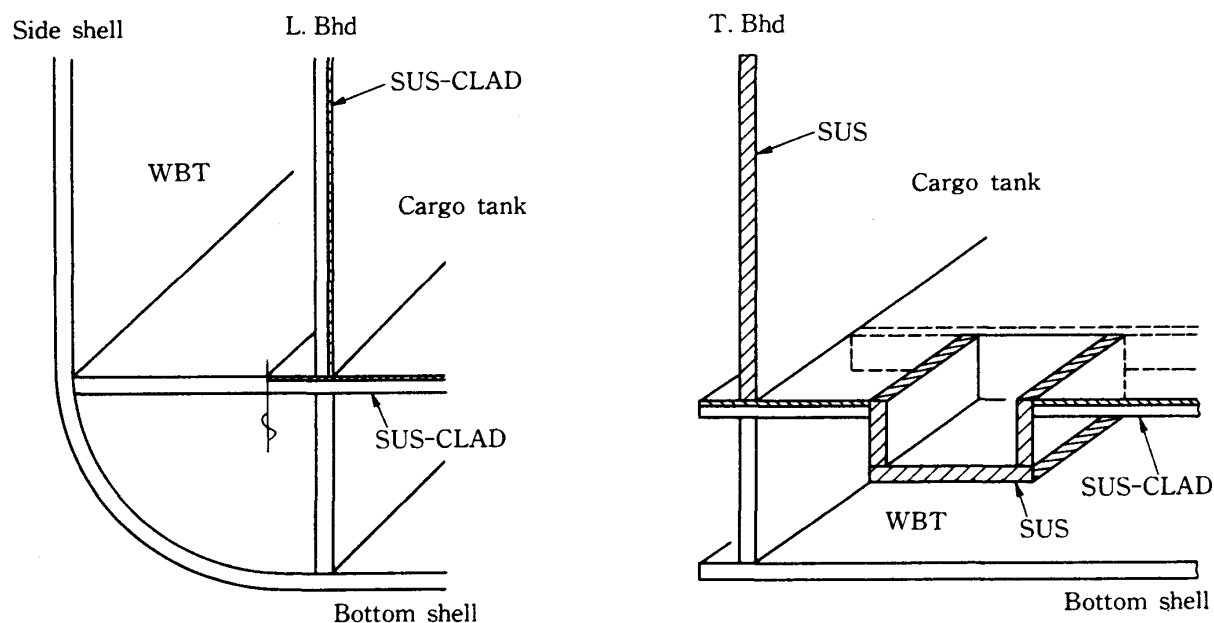


図 11 Example of construction in which SUS surface protruding into ballast space

船側構造では、疲労強度に影響を及ぼす繰返し荷重を受けるが、前 3.2 で述べたとおり、一例として最も厳しいと思われる部分について検討を行い、一定の疲労強度を有していることを確認した。また、SUS-CLAD 材の界面強度についての繰返し荷重に対する検討例でも十分高い強度を示している⁽⁷⁾。

これらの場合では、図 12 に示すような船側構造でも、軟鋼と同様の強度が期待できるものと考えられるが、材料や継手の疲労特性データが十分でない場合は、局部応力振幅の程度に応じ、個々の例で十分余裕のある寸法や、慎重な構造詳細の選択が必要であると考えられる。また、外板には、弯曲部が多く存在し、このため SUS-CLAD 材の曲げ加工の必要性が多くなる。いくつかの製鉄メーカーの検討結果によれば、さら形鏡板への冷間／熱間加工試験等により、加工後の強度が確認されているようである。材料の選択においては、実際の適用を勘案の上、加工性について十分検討されたものとする必要がある。

さらに、外板は、衝突、岸壁接触等により凹損を受けることが多く、就航後のこれら損傷に対する補修工事における材料手配並びに切断及び溶接等の工作性についても特に注意しておく必要がある。

ウイングタンクの積載貨物を加熱するよう計画されている場合は、SUS の熱伝導率が低いことや海水と加熱貨物の温度差により、外板の内外で大きな温度勾配が生じるため、実績を踏まえ、SUS-CLAD 材の界面強度に注意を払い、要すれば熱応力解析を行うことにより積載

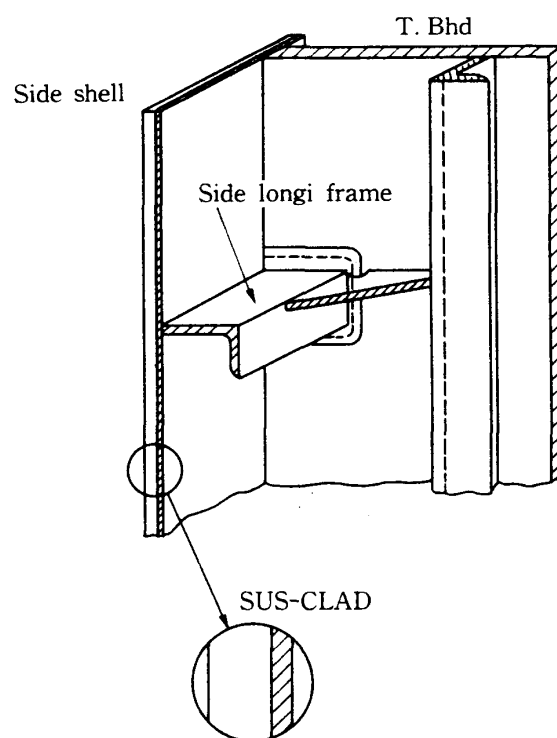


図 12 Example of SUS-CLAD application to side shell structure

計画を立てる必要がある。

6. まとめ

NK 船級を有するケミカルタンカーを調査したところ、ステンレス鋼やステンレス・クラッド鋼を貨物タン

クの囲壁に用いて多品種の貨物積載に対応するよう計画されるものが増加している。これらケミカルタンカーの同貨物タンクで報告されている損傷事例は、数も限定されまた、特に重大なものは見当らず従来の慎重な設計、建造、運航／保守のもとでは良好な実績を有しているものといえる。一方、同材料の適用範囲は、拡大する傾向にあり、従来の荷重条件、使用条件と異なる部分での使用が増えることが予想される。

典型的な同ケミカルタンカーの設計例に対して行った3次元 FEM 応力解析や、疲労強度に着目した実績船（油タンカー）との簡易手法による比較検討でも、十分な強度を有しており、さらに広範囲に同材料を使用しても問題がないことが確認された。

同材料を使用した際の腐食については、海水に対する腐食や軟鋼との電位差によるガルバニック腐食の問題があるが適切なオペレーションや防食措置により解決されるものと思われる。

最も広範囲に同材料を使用した例として、外板に用いるケースが考えられる。いくつかの問題点は挙げられるものの基本的には解決できるものと思われるが、実績を踏まえながら十分慎重に対応していくことが重要であると考えられる。

最後に、本稿をまとめるにあたり、貴重な助言を頂いた三菱重工(株)多田氏及び本会船体部釋部長、上田主管並びにいくつかの計算に協力頂いた本会開発部重見、秋元両技師に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrging Dangerous Chemicals in Bulk
- 2) 鋼船規則・同検査要領 S編, 平成4年, 日本海事協会
- 3) 鋼船規則・K編3章, 平成4年, 日本海事協会
- 4) JIS ハンドブック鉄鋼, 平成2年, 日本規格協会
- 5) 鋼船規則 検査要領 C編29章, 平成4年, 日本海事協会
- 6) 矢島他, 「ケミカルタンカー用ステンレス鋼の耐食性と疲労強度特性」, 1988年, 三菱重工技報 Vol. 25, No.2 P. 193
- 7) 座間他, 「TMCP 型ステンレスクラッド鋼板のケミカルタンカーへの適用」, 1988年, 日本造船学会論文集 第163号, P. 407