

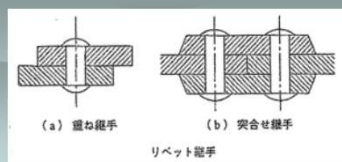
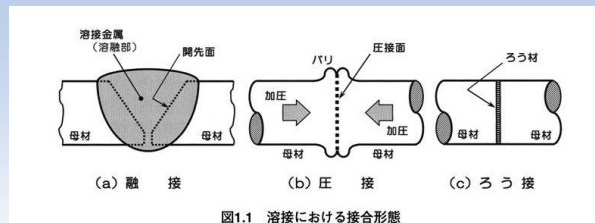
## 船の建造と溶接

## 金属の接合方法

鉄船から鋼船へと続く金属船の出現は船の大型化を可能にしたが、その建造には金属の接合法が必須技術となる。古くはリベット接合が主流であったが、20世紀に入って溶接法が発明され、米国戦時標準船の事故を経て戦後に実用化され、以後、**溶接が主流として定着した**。

| 金属の接合方法の分類                            |              |                                     |                                      |                                 |
|---------------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|                                       | 電氣的<br>エネルギー | 化学的<br>エネルギー                        | 力学的<br>エネルギー                         | 光<br>エネルギー                      |
| 機械的接合                                 |              |                                     | リベット<br>かしめ<br>ボルト接合<br>焼きばめ<br>折り込み |                                 |
| 化学的接合                                 |              | 接 着                                 |                                      |                                 |
| 冶金<br>的<br>接<br>合<br>(<br>溶<br>接<br>) | 融<br>接       | アーク溶接<br>エレクトロ・<br>スラグ溶接<br>電子ビーム溶接 | ガス溶接<br>テルミット溶接                      | レーザー溶接                          |
|                                       | 圧<br>接       | 抵抗溶接<br>アプセット溶接<br>フラッシュ溶接          | 爆発圧接                                 | 摩擦圧接<br>摩擦撓伸溶接<br>超音波圧接<br>拡散接合 |
|                                       | ろう<br>接      | ろう材加熱ろう付<br>（ろう材）                   | ろう材ろう付<br>（ろう材）                      | 光ビームろう付                         |
|                                       |              |                                     |                                      |                                 |

## 金属の冶金的接合方法



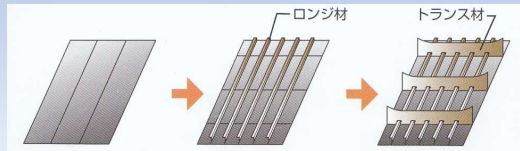
## 溶接と船舶建造

現在の船舶は多数のパネル部材を溶接して建造  
 ↓  
 船体全体の総溶接長：大型タンカーでは数百km  
 ↓  
 船の品質に溶接の良し悪しが大きく影響

鋼材は鋳造後に圧延、鍛造、焼入れ、焼戻しなどの熱処理により機械的性質を調整して作られるが、溶接部は溶接金属と母材が溶け合った後に凝固するので、十分な調整ができずに強度や延性が劣化する恐れがある。そこで**劣化を低減するため、母材に合った溶接金属を開発し、且つシールド剤を用いて溶融金属が凝固するまで大気から保護するなどの対策**をしている。その結果として、溶接金属部と周辺母材であるHAZ (**H**eat **A**ffected **Z**one: 熱影響部)も所要の強度と延性を確保できる。

## 溶接による船の建造

船体の基本構造: 防撓パネルはパネル部材を溶接してつなぎ、さらにロンジ材とトランス材を溶接して組立てられている。



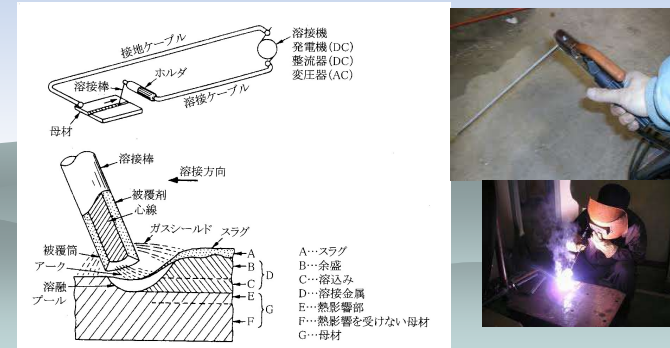
ロンジ材  
の自動  
溶接

トランス  
材の溶  
接



## アーク溶接

基本的な溶接方法で多くの種類がある。最も歴史のある被覆アーク溶接法は溶接金属になる心線を被覆材で覆った溶接棒と母材の間にアークを飛ばす。被覆材がガス化してシールドを形成しスラグとなって、溶接金属が凝固するまで大気から遮断する。



## 溶接形態(継手)の分類

|       | 突合せ溶接 | すみ肉溶接 | せん溶接 | スロット溶接 |
|-------|-------|-------|------|--------|
| 突合せ継手 |       |       |      |        |
| T字継手  |       |       |      |        |
| 角継手   |       |       |      |        |
| 当く金継手 |       |       |      |        |
| 重ね継手  |       |       |      |        |
| へり継手  |       |       |      |        |

造船で多用される溶接

### 突合せ溶接

二つの部材(母材)をほぼ同じ面内で突き合わせ、溶接する母材間に設けた溝(開先)を溶接金属で満たして溶接する。

### すみ肉溶接

ほぼ直交する二つの面を三角形断面の溶接金属(すみ肉継手)で溶接する。

## アーク溶接の種類

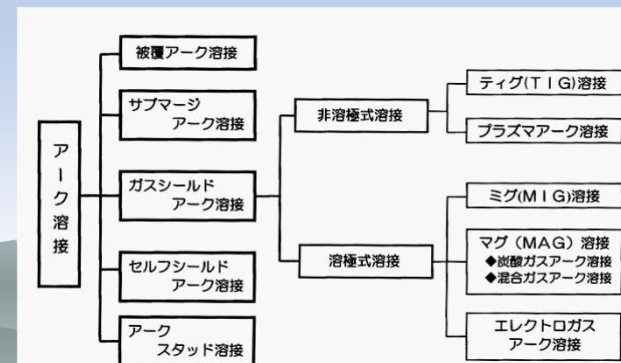
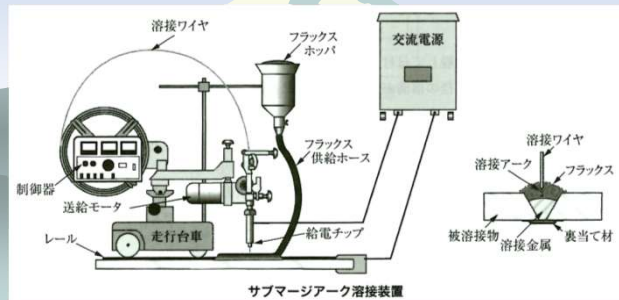


図1.2 アーク溶接の種類

## サブマージドアーク溶接

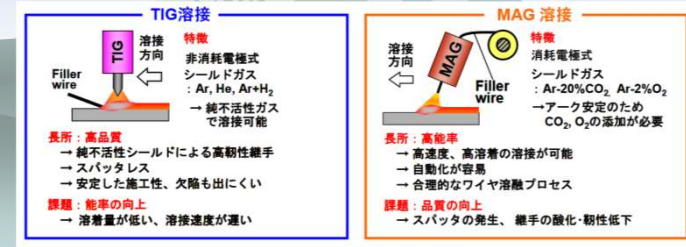
厚板の自動溶接法の代表で、開発した会社名からユニオンメルト法とも呼ばれ、直線に沿った溶接を高効率で実施でき、被覆材であるフラックスにアークが覆われているため熱損失が少なく、厚板でも片面からだけで良好な溶接ができる。通常、下向き突合せ溶接と水平隅肉溶接に限定して用いられる。



## MAG溶接, MIG溶接, TIG溶接

不活性ガス(Inert Gas)でシールドするMIG溶接とTIG溶接が先に開発された。TIG溶接(Tungsten Inert Gas Welding)は溶融しない Tungstenを電極に使い、溶接金属はFiller wireで供給する。MIG溶接(Metal Inert Gas Welding)はFiller wire(溶接金属)が電極を兼ねる。

Inert Gasが高価なことから、MIG溶接のシールドガスを炭酸ガスなどで代用するMAG(Metal Active Gas Welding)溶接が開発された。原理的に溶接品質が劣るが、種々の対策により実用できている。代表例が炭酸ガスアーク溶接で、鋼材の溶接では主流となっている。



## その他の溶接方法 (1)

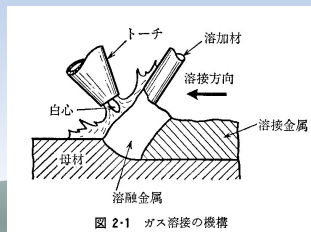


図 2-1 ガス溶接の機構

ガス溶接

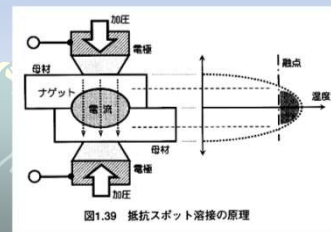


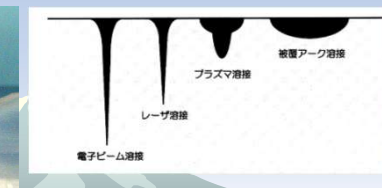
図1.39 抵抗スポット溶接の原理

抵抗スポット溶接

## その他の溶接方法 (2)



レーザー溶接

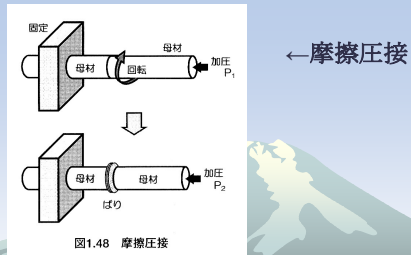


溶接法による溶け込み形状の相違

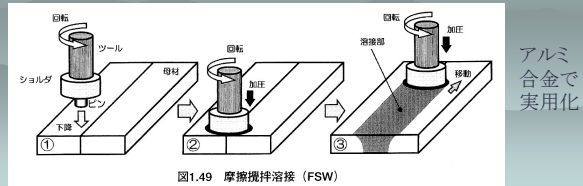
レーザー溶接の特徴

- ・溶け込みが深い
- ・溶け込みの(横の)広がりが小さいので、変形や残留応力が小さい
- ・ギャップがあると溶接できないので、溶接前の整形が必要
- ・隅肉溶接が難しい
- ・設備が高価

## その他の接合方法



↓ 摩擦攪拌溶接 FSW (Friction Stir Welding)



## 溶接変形

溶接部 → 凝固の過程で収縮  
→ 溶接された母材に変形が生じる

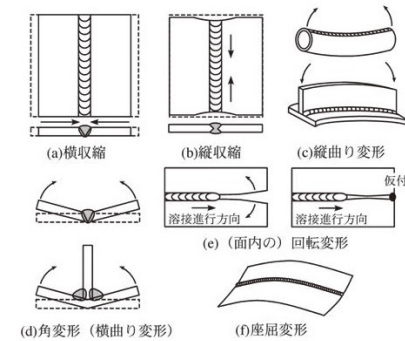
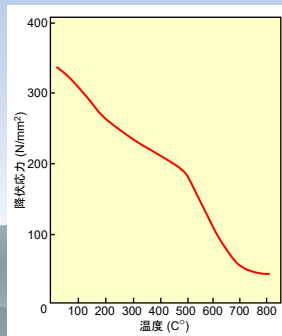


図3.29 溶接変形の種類

## 溶接部の収縮のメカニズム



鋼材の温度と降伏応力の関係  
SM490

「溶接による熱で溶接部は膨張するが、冷えると収縮する」というのは、元に戻るだけ ⇒ 説明できない。

金属材料の降伏応力は温度とともに低下 ⇒ 溶接収縮の真因

溶接部は高温になって膨張しようとするが、周辺部分がこれを抑制

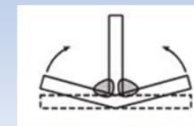
↓  
溶接部は圧縮荷重をうける。

↓  
高温部の降伏応力は低くなるので圧縮されて塑性変形(収縮)する。

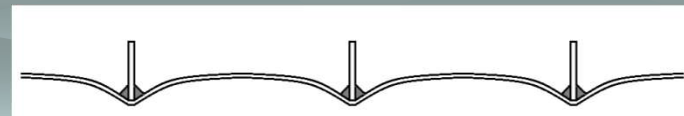
↓  
温度が下がっても圧縮された時の塑性変形(収縮)は残る。

## 船体構造の溶接変形

隅肉溶接による角変形



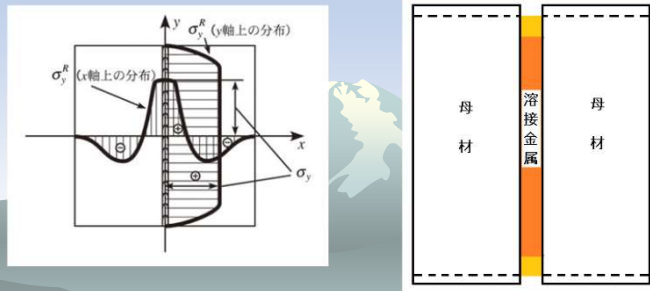
平板に多数の補強材(平板)を隅肉溶接すると……



補強材の部分がやせ馬のアバラ骨のように突き出る変形(やせ馬変形)が発生する(実際より大きさに書いてある)

## 突合せ溶接の残留応力 (溶接線に沿う方向)

二枚の平板を突合せ溶接する



- 溶接金属単独では茶色の所まで収縮する。しかし母材に引張られて、黄色の所まで伸びる。
- 母材は溶接金属を引張った反作用で、点線まで圧縮される。
- その結果、溶接金属には引張、母材には圧縮の残留応力が発生する。

## 突合せ溶接の残留応力 (溶接線に直交方向)

溶接線と直交する方向にも残留応力が発生する。

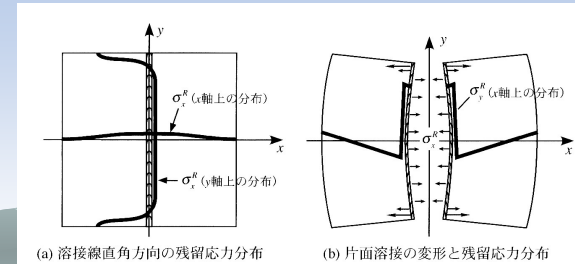


図3.28 溶接線直交方向の残留応力の発生原因

個々の平板に着目すると、板の端が溶接線に沿って収縮するので、右図のような**反り**が発生しようとする。その反りを抑えるため、中央部では引張、上下端では圧縮の残留応力が発生する。

## 溶接欠陥

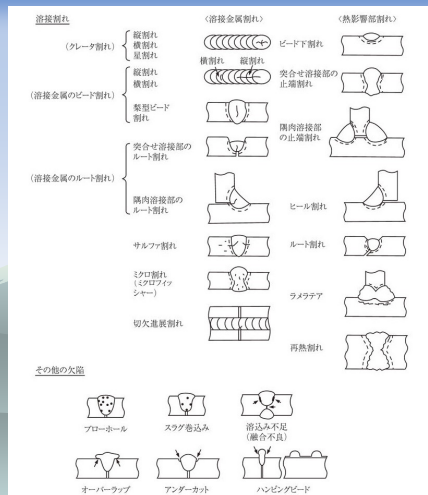


図2.16 溶接欠陥の種類と分類

## 溶接変形の矯正

熱による収縮を利用すれば、変形を矯正することも可能

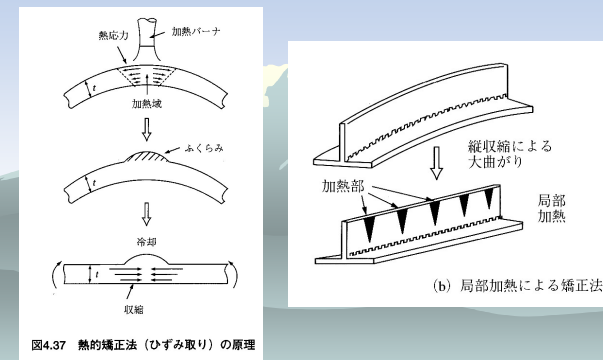
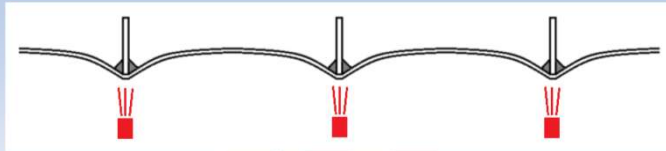


図4.37 熱的矯正法 (ひずみ取り) の原理

## やせ馬変形の矯正

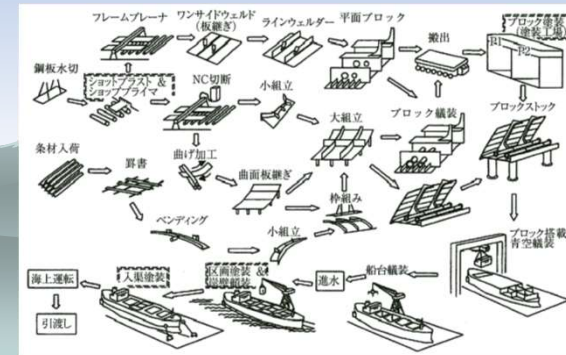


やせ馬変形を矯正するには、補強材の裏側をガスバーナーで加熱した後に、冷却する。⇒ 隅肉溶接と反対方向に角変位が発生して、下のように変形が少なくなる。



## 鋼船の建造過程

鋼船の建造過程を大まかに示すと、下図の通りである。左側から板材と条材が搬入され、順を追って加工されて船体を構成していく。近代の建造過程の特徴はブロック建造であり、船体をブロックに分けて地上で組上げ、可能な限り艤装を済ませてから搭載し、作業効率を上げている。

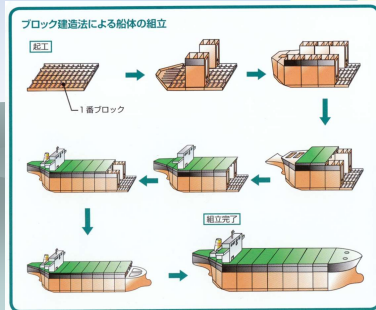


## ブロック建造

大型ブロックを溶接組み立て  
↓  
ブロックをドック内に移動  
↓  
ブロックを溶接接合

大型クレーン  
によるブロック  
の移動 ⇒

ドック内に搭  
載された  
ブロック  
↓



## ブロック建造の利点

昔はドックの中で船全体を徐々に造っていたが、ブロック建造で効率が大幅に上がった。下の赤丸部分を造る時を例として相違を説明する。

- ▶ 建造船の上には、工場と違って電気もガスも常設されていないので、その準備から始める必要！
- ▶ 作業員は上に昇って仕事をし、戻って昼飯を食べてから仕事をしに降り、夕方降りて来る。工場組立なら往復時間が短い！
- ▶ 甲板の下で仕事をするには足場が要る。工場内の方が動きやすくて安全！
- ▶ 板の下に補強材を着ける時は溶接が上向きになる。工場内で、下向き溶接で造ったブロックを反転して搭載した方が楽！

