

= 高温割れ (その 1) =

本話では**高温割れ**について述べる。

前話の**表 155-01**には**高温割れの分類と特長**について記しましたが、今一步突っ込んだ形で、溶接関連技術書籍\*1) (第 155 話掲載分に同じ) などの記載、文献を引用して高温割れについて理解を深めていきたい。

**高温割れ**とは、溶接金属および熱影響部の金属が高温にあった際に発生した割れで、一般に柱状晶や樹枝状晶 (デンドライト) の境界を含めた結晶粒の粒界で起こることが多い。また**割れ面は酸化が激しいこと**に**特長がある**。

### 1. 高温割れの種類

ここで、**高温において発生する割れ**を**表 156-01**に示す。

主体をなすものは①**凝固割れ**であり、凝固割れの一種でとくに ② **液化割れ**と呼ばれるものもこれに含まれ、さらに新結晶粒界の延性低下が起因とされる ③ **延性低下割れ**の三つに分類されている。

また、高温において発生する割れを分けると、**固相線\*2) 温度以上と以下**になる。

**固相線温度以上における割れ**は、おもに固相線近辺の温度で粒界に残留する液体の挙動に原因する。一方、**固相線温度以下における割れ**は、粒界における固相の成分偏析、析出物および転移などの挙動に原因するものとみられる。

**表 156-01**に示す**凝固割れ**とは、溶接金属が凝固途中において発生する割れで、固相線温度以上における割れに相当する。また、溶接境界部に近い熱影響部に起こる粒界の液化に起因する割れも**凝固割れ**の一種でとくに**液化割れ**とも呼ばれているが固相線以下で起こる。

\* 2) ; 固相線とは、これ以上では固体と液体が平衡で、これ以下の温度では系は固体が安定して存在する領域を示す線

**表 156-01**に示す高温割れの温度域を**凝固割れ (凝固せい性温度域)**と**延性低下割れ (延性低下温度領域)**のふたつに分け示したのが**図 156-01**である。

この図から、液相線と固相線が互いに向かい合っているので凝固割れ発生の場合をイメージしやすい。

#### 1) 凝固割れ

**図 156-02**に凝固割れの発生状況を模式的に示す。凝固割れは、凝固の過程で成長してきた柱状晶の境界面に残留する液相が、溶接金属の凝固完了直前において収縮歪に抵抗しきれずに開口することで発生する。したがって、残存する液相の融点や量、固相とのぬれ性などが凝固割れに大きく影響する。

高温割れといえば、一般にこの割れを意味することが多い。

凝固割れの発生時期は、**表 155-01**のなかで「溶接後短時間に発生」と記述したが、人が割れ発生に気づくことが溶接終了後ということであって、実際はその合金成分の**公称固相線温度**前後に割れの発生が起こり、それが温度の低下とともに進展していくものと考えられる。

## 2) 液化割れと延性低下割れ

図 156-03 に液化割れと延性低下割れ状況を模式的に示す。液化割れは、熱影響部 (HAZ) 粗粒域の高温に加熱された粒界が、低融点化合物 or 共晶の生成、成分偏析などで局部的に溶融し、収縮時に開口することで開口する。多層盛り溶接では、次層の溶接熱で前の層の溶接金属が高温に加熱されて起こることもある。

なお、延性低下割れは炭素鋼や低合金鋼ではほとんど発生しないとの記述\*3)があり、本話ではこの段階までの紹介に留めさせていただきます。

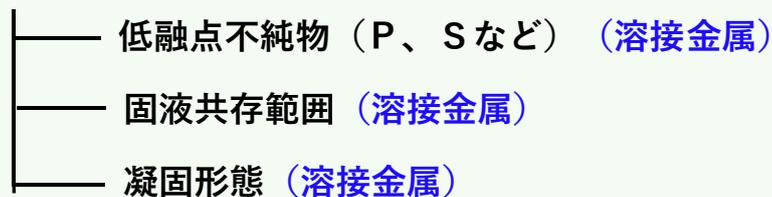
\*3); 産報出版 溶接・接合選書 10 鉄鋼材料の溶接 百合岡信孝・大北 茂 著 p 87 参照。

### 表156-01 高温割れの種類と発生位置

1. 高温割れ ① & ② . . . ①凝固割れ  
. . . 固相線温度以上における割れ  
. . . 偏析割れ (粒界の偏析膜からの発生)

温度域 . . . 凝固温度範囲

主要因 ; \* 未凝固の粒界



粒界の②液化割れ (熱影響部、多層溶接)

. . . 但し、固相線温度以下における割れ

なお、②液化割れも①凝固割れの一種に分類される。

(松田福久著 ; 溶接冶金学 日刊工業新聞社 p 144より)

2. 高温割れ ③ . . . ③延性低下割れ (新結晶粒界の延性低下が起因)  
. . . 固相線温度以下における割れ

温度域 . . . 800 ~ 900 °C

主要因 ; \* 脆弱な粒界析出物



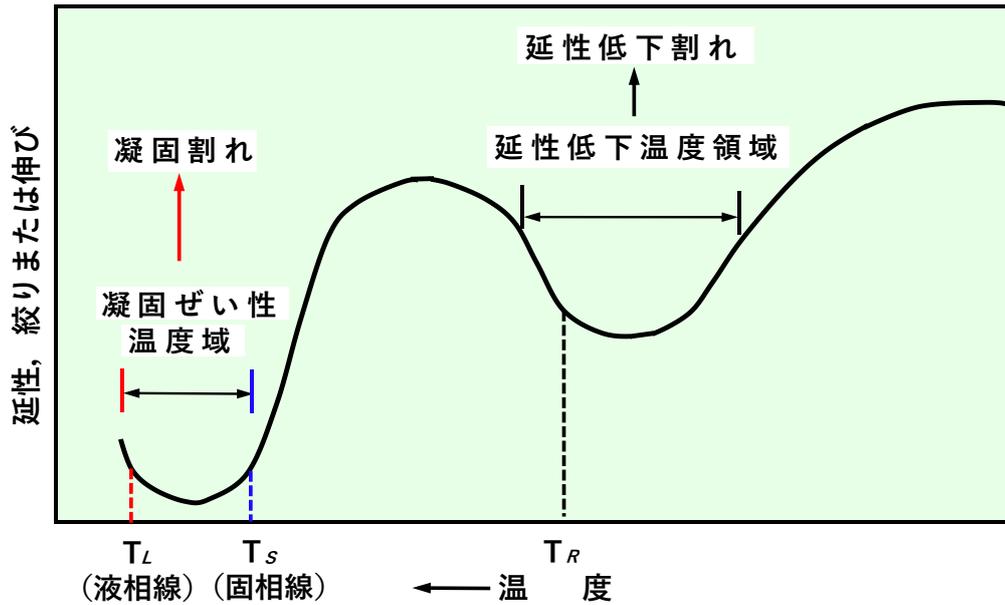


図156-01 高温延性と高温割れ

松田：溶接継手の高温割れと防止対策, 金属材料, Vol.17, No.7

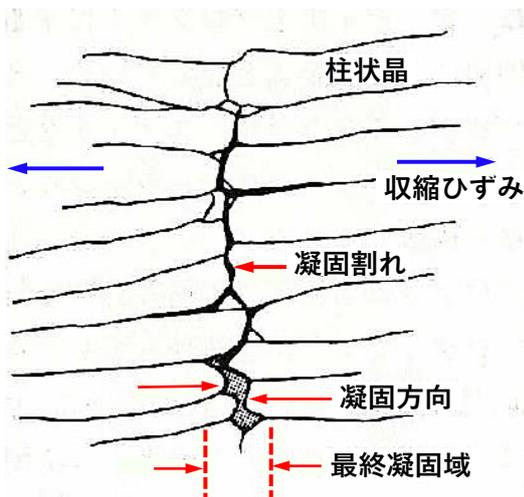


図156-02 凝固割れ

本間；溶接割れとその防止, 溶接学会誌, Vol.57, No.7, (1988)

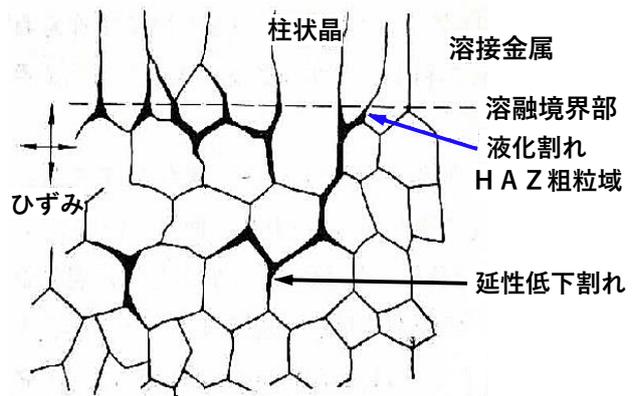


図156-03 液化割れと延性低下割れ

本間；溶接割れとその防止, 溶接学会誌, Vol.57, No.7, (1988)

## 2. 高温割れ（凝固割れ）の主な発生要因

凝固割れ発生に関しては諸説あるが、共通なことは、以下の点にあるとされている。すなわち、凝固中に発生する割れはいずれも固相線近辺で結晶間の液相が少量になった時期に起こるものとしている。それは液相が多い時期では仮に一度割れが発生しても残っている多くの液相がこれに流入し、「充填」してしまうために割れとして残らないのである。

以上のような考えを背景として、表 156-01 に示した凝固割れの主な要因に関し以下に説明します。

### 1) 低融点不純物（P、Sなど）\*4)

粒界の低融点不純物が高温割れの主因といわれ、S、PのほかC、Si、Niなどが割れを促進する元素として知られている。

S、Pなどは2) 項の固液共存範囲を広げるほかに化合物を形成すると融点がさらに低下する。

FeS 1190°C、Fe<sub>3</sub>P 1166°C、FeS-Fe共晶で988°C、Fe<sub>3</sub>P-Fe共晶で1050°Cなどと低下。また、NiS-Ni共晶では645°C、Ni<sub>3</sub>P-Ni共晶で880°Cときわめて低くなる。

なお、MnはSの悪影響を緩和する。

SとMn量の関係はCの増加とともに増し、C<0.10%ではMn/S>22 (S<0.035%)，C=0.10~0.125%でMn/S>30，C=0.125~0.155%でMn/S>59で割れは、一般に防止できると考えられている。

C>0.16%を越えると割れの主因元素がSからPになってくるとされる。たとえば0.40%の中炭素鋼ではPを低下させることが望まれ、割れをなくすためにはP、Sともに0.017%以下で(S+P)<0.025%であることが要望されている。

\*4); 松田福久著; 溶接冶金学 日刊工業新聞社 p160~161より抜粋、引用

## 2) 固液共存範囲が広い

一般に凝固温度幅が広いほど割れやすい。したがってこの幅を広げる合金元素の添加は注意せねばならない。少量の添加で温度幅を急速に増大させる元素にはS、B、C、およびPなどがある。

## 3) 溶接ビードの凝固形態

溶融池の形状と結晶粒の大きさなどが関係する。溶接速度が増加し、涙滴形の溶融池になると、楕円形に比し柱状晶がビード中央で会合するため、縦ビード割れが起こりやすい。一方、柱状晶が粗粒化すると細粒のときよりビードの横割れが起こりやすい。

## 4) 粒界の液化

熱影響部の結晶粒界の低融点化合物が溶接熱によって局部的に溶融し、開口することで発生する。

## 3. 高温割れ(凝固割れ)の防止

一般に溶接金属の凝固割れは溶接中にひき起こされた応力とその温度における凝固中の金属の破断強さを越えるときに起こるのであるため、割れを起こす要因には機械的なものと冶金的なものに分けられる。機械的なものは溶融凝固による熱膨張や、収縮によって起こる応力であり、割れにとってはこれが少ない方が好ましいのはいうまでもない。

高温割れの防止にあたっては、前項2.で示したように母材、溶接材料のP、Sなどの不純物およびC値などに十分な配慮を要するとともに、施工上の要点としては以下が挙げられる。

<凝固割れ防止のための溶接施工上の配慮> (溶接・接合技術入門 溶接学会編 産報出版、p97より抜粋)

\*ビードの溶け込み形状を適正にする。たとえば、梨形割れはビード幅がビード高さに対し過小のときに生じる。

\*板厚、開先形状、ルート間隔などを過大な拘束応力を生じないように調整する。

\*溶接電流、アーク電圧、溶接速度、予熱温度、トーチ操作を適正にする。

\*凝固組織の調整、特にクレータやビードの継ぎ目処理に注意する。

\*ピーニングを利用する。

次話では高温割れ(凝固割れ、溶接金属部割れ)(その2)として発生事例とその防止例を紹介します。

以上。