

## 溶接冷間割れ防止条件の選定について

金 裕 哲\*

### はじめに

溶接割れは溶接構造物の強度、ひいては安全性を低下させる危険性があり、割れの生じない適正溶接施工条件の選定法を確立することが、この分野にたずさわる研究者の大きな課題のひとつであろう。本稿では、従来の割れ防止条件の選定法と、この種の問題に対する著者らの最近の研究成果を紹介する。

### 溶接冷間割れ防止条件の選定法に関する従来の研究と割れ発生条件

耐溶接割れ条件の評価を簡潔かつ統一的に行うことを目的として従来から多くの研究がなされてきている。そのひとつに、約200鋼種500条件で割れ試験を行い、その結果を整理し、鋼材の化学組成  $P_{cm}$ 、溶着金属の拡散性水素濃度  $H_D$  および継手の拘束度  $R$  の3因子を割れ感受性の支配因子と考え、これらの因子の和として溶接冷間割れ感受性指数値が提案されている<sup>1)</sup>。さらに、割れ感受性指数値を用いて、割れ防止に有用な手段のひとつである予熱条件の選定法が示されている<sup>2)</sup>。これを模式的に示したのが図1である。

溶接の対象が決まると、横軸（割れ感受性指数値）が決まる。決まった横軸上の点からあげた垂線が割れるか否かの限界値、すなわち、限界予熱温度以上となる条件を選定し、この条件下で溶接施工を行えば割れは生じないことになる。これが、従来の代表的な割れ防止条件の選定手順である<sup>1),2)</sup>。

ところで、拡散性水素はブローホール等の欠陥、転位等に集積して鋼材を脆化させ、鋼材の延性・変形能を低下させる。したがって、鋼材

の化学組成  $P_{cm}$  と拡散性水素濃度  $H_D$  の双方を冶金学的因子  $P_s$  と考えることができる。一方、継手の拘束度<sup>3)</sup>  $R$  は応力あるいはひずみを近似的に表す力学的因子である。以上のような考察からすれば、溶接冷間割れ感受性指数値は冶金学的因子と力学的因子との和になっていることがわかる。

力学的観点から一般的に溶接冷間割れ発生条件を述べると、溶接により生じる力学的因子（拘束応力・ひずみあるいは継手の拘束度）がある限界値を超えると割れが発生することになる。その限界値は、鋼材の冶金学的因子（鋼材の変形能・延性）で決まる。したがって、力学的観点から割れ発生条件を考えると、溶接によって継手に生じる力学的指標と冶金学的因子から決まる割れに対する限界値（材料特性値）との大小関係で割れが発生するか否かが決まることになる。

力学的観点からすれば、割れ感受性指数値およびこれを基本とする割れ防止条件の選定法に

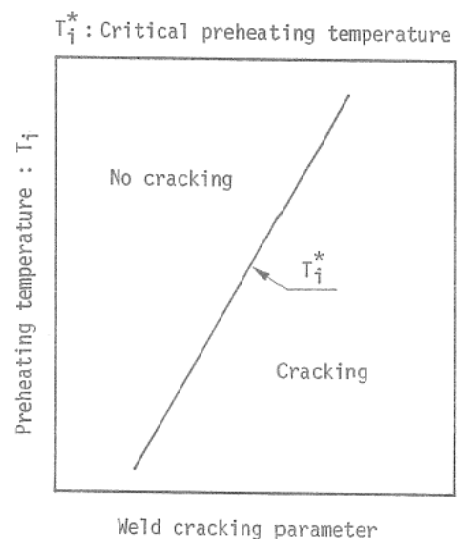


図1 Schematic representation of selecting method for prevention of cold cracking using cracking parameter

\*金 裕哲 (You Chul KIM), 大阪大学溶接工学研究所, 弾塑性学部門, 助手, 工学博士, 弾塑性力学

疑問が残る。これに関連した最近の研究成果について以下に述べる。

溶接冷間割れの力学的指標

力学的観点から斜めY形溶接割れ試験片の割れ防止限界予熱温度を求めることを目的として行われた実験結果<sup>3)</sup>を解析し、溶接による力学条件の厳しさを統一的に表すことのできる力学的指標について考える。この解析により割れ発生の限界値が定義できることになる。

まず、現在のところ溶接冷間割れの力学的指標として一般に用いられている拘束度を力学的指標と考える。そして、拘束度  $(\bar{R}_p)_T$  (一定荷重に対する平均有効拘束度<sup>5)</sup>) と冶金的指標  $P_s$  との関係で上述の実験値<sup>3)</sup>を解析した結果が図2である。

前述の力学的観点からすれば、延性が低下する ( $P_s$  が大きくなる) と小さな拘束度で割れが発生することになるはずである。しかし、このような傾向は見いだせず、データは鋼種に無関係にばらついており、冷間割れに対する限界拘束度が定義できない。拘束度は板厚が同じで

あれば、鋼種、予熱温度の変化には無関係に一定値となる<sup>6)</sup>、すなわち、同じ力学条件を想定したことになるため、割れ実験結果が鋼種に無関係にばらついたものと考えられる。

他方、著者らは溶接冷間割れの力学的指標に関する一連の研究を行った結果として、拘束度に代り、溶接冷間割れの力学的指標として新たに拘束ひずみ (弾性拘束ひずみと塑性拘束ひずみとの和) を用いることを提案している<sup>7)</sup>。

拘束ひずみと冶金的指標  $P_s$  との関係で前述の実験値<sup>3)</sup>を解析した結果が図3である。いずれの鋼種においても、変形能が低下する ( $P_s$  が大きくなる) と小さな拘束ひずみで割れが発生しており、鋼種ごとに板厚の関数として限界拘束ひずみ  $(\epsilon_w)_{cr}$  が定義でき<sup>6)</sup>、溶接冷間割れに対する力学的指標として拘束ひずみが有用であることがわかる。

鋼種ごとに限界拘束ひずみの大きさが異なっているが、これは、温度冷却過程の相変態温度領域および強度レベルの違いにより、塑性拘束ひずみの大きさが異なるためである。

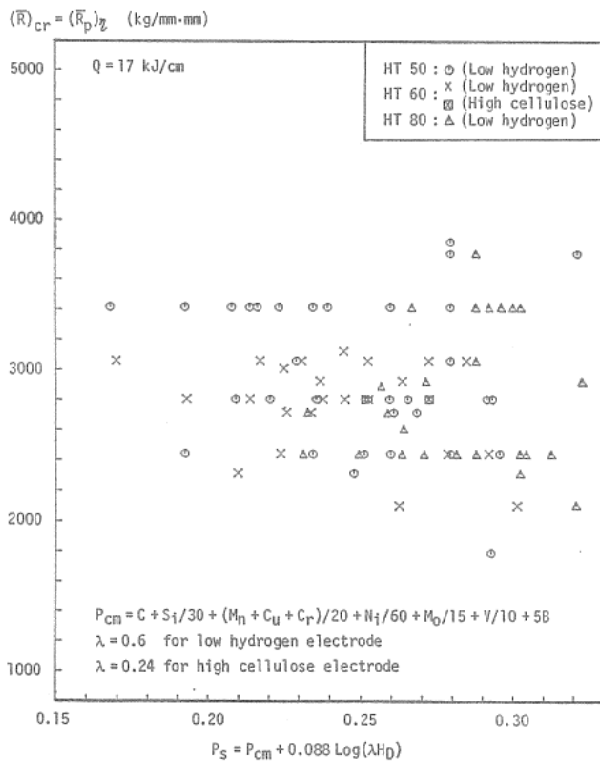


図2 Relation between  $P_s$  and critical effective restraint intensity of high strength steels

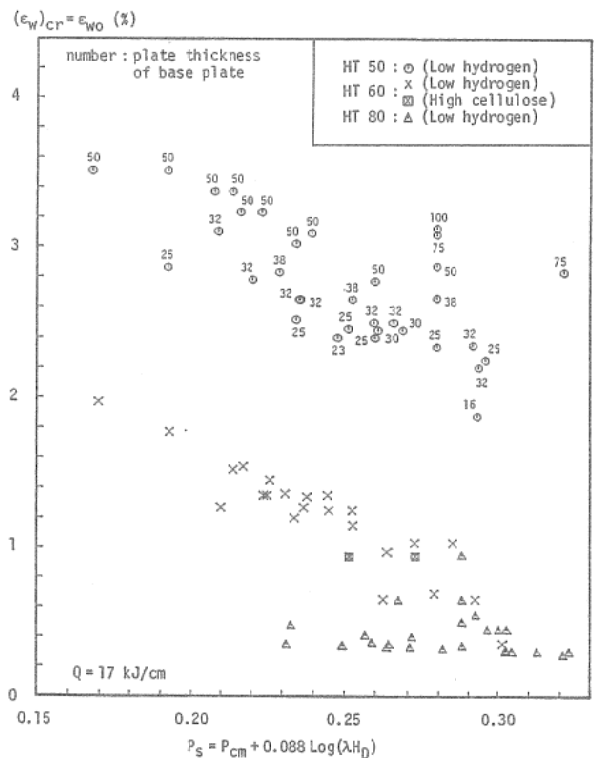


図3 Relation between  $P_s$  and critical restraint strain of high strength steels

拘束ひずみを基準とした割れ防止条件の選定

前項において、拘束ひずみが溶接冷間割れの力学的指標として有用であることを割れ試験結果を解析して具体的に示した。ここでは、拘束ひずみを基準とした割れ防止条件の選定法を示す。割れ防止条件の選定には二つの計算が必要となる。これを図4に示す。

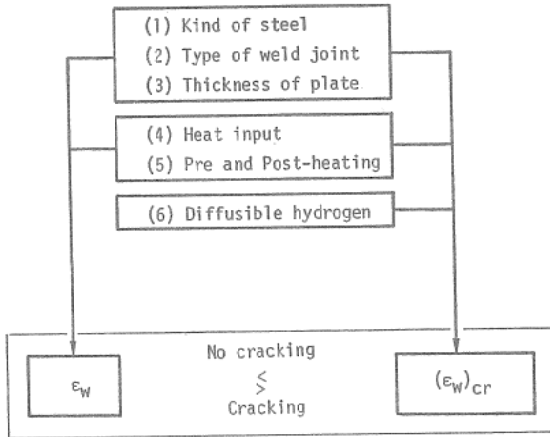


図4 Procedure for prevention of weld cold cracking in dynamical aspect

まず、冶金的因子から決まる割れの限界値、すなわち、限界拘束ひずみ  $(\epsilon_w)_{cr}$  を精度よく求めることが重要である。この精度が、推定した施工条件の精度を左右することになる。

次に、拘束ひずみ  $\epsilon_w$  を計算する必要がある。これは、鋼種、継手形式、入熱量、予熱温度等が種々変化する一般の場合であっても、熱弾塑性解析等を適用して比較的容易に求めることができる。スリット溶接の場合には、拘束ひずみを簡単かつ精度よく求める解析的計算法を展開している<sup>8),9)</sup>。

これらが求まると、鋼種、継手形式、入熱量、予熱温度等をも含めて、実溶接施工における拘束ひずみ  $\epsilon_w$  が限界拘束ひずみ  $(\epsilon_w)_{cr}$  よりも小さくなるように、図4の(1)~(5)の組み合わせの中から施工条件を選定し決定すれば、割れの生じない健全な溶接継手を得ることができる(図4)。

具体例として、この手順にしたがい斜めY形溶接割れ試験片の割れ防止に必要な予熱温度を選定している<sup>6)</sup>。そして、これを約500条件に

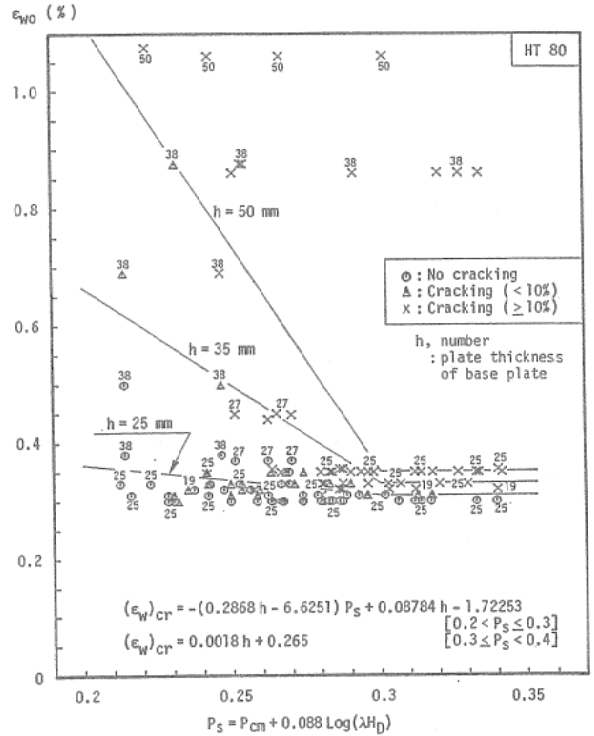


図5 Application of proposed critical restraint strain for prevention of cold cracking (HT-80)

対して行われた割れ試験結果に適用し、その有用性と実用性を確認している。図5に一例を示すが、詳細は文献6)を参照されたい。

おわりに

本稿では、力学的見地から従来の溶接冷間割れ防止条件の選定法が有する疑問点を指摘すると共に、この分野における著者らの最近の研究成果について紹介した。

参考文献

- 1) 伊藤, 別所: 溶接学会誌, 38-10(1969), 1134
- 2) 佐藤, 松井, 伊藤, 別所: 溶接学会誌, 4-1(1972), 34
- 3) H. Suzuki, N. Yurioka: IIW Doc. IX-1232-82(1982)
- 4) 佐藤, 松井: 溶接学会誌, 36-10(1967), 1096
- 5) 上田, 福田, 金: 溶接学会誌, 52-2(1983), 104
- 6) 上田, 金: 溶接学会論文集, 2-3(1984), 390
- 7) 上田, 福田, 金, 古木: 溶接学会誌, 51-8(1982), 636
- 8) 上田, 福田, 金: 溶接学会誌, 50-9(1981), 930
- 9) 上田, 金, 陳, 唐: 溶接学会論文集, 2-1(1984), 89
- 10) Y. Ito, K. Bessyo: IIW Doc. IX-576-68(1968)