

高張力鋼溶接継手の限界耐力に関する検討

○東電設計 正会員 松本 正浩 東京電力 正会員 南 将行

1. はじめに

近年、各種設計基準が許容応力度法から性能照査型へと改訂されていることを受け、水圧鉄管についても性能設計体系の確立に向けた取り組みがなされるようになってきた。発電規模の増大にともなう鉄管の大口径化・高強度化の結果、鉄管の終局状態は溶接継手の耐力に支配されるようになった。

本検討では、高張力鋼で製作された鉄管の限界状態を溶接継手の脆性破壊と設定し、現行の非破壊検査で検出可能な溶接部の欠陥寸法を明らかにするとともに、脆性破壊を発生させないような応力レベル（限界耐力）を破壊力学に基づき設定した。

2. 溶接欠陥を考慮した継手強度の算定方法

溶接欠陥を考慮した継手強度は、WES2805に基づき算定した（図-1）。本来、WES2805は、材料の破壊靱性値 δc と破壊力学に基づいて算定された必要靱性値 δ （脆性破壊しないための条件）を比較することで、脆性破壊に対する安全性を評価するための基準であるが、ここでは、 $\delta c = \delta$ とすることで、許容される欠陥寸法や継手強度（耐力）を算定している。

3. 現行の非破壊検査における溶接欠陥測定精度の検証

上述した手順で溶接継手の強度を算定するためには、溶接欠陥の寸法を正確に測定する必要がある。そこで、図-2に示すような人工溶接欠陥（模擬欠陥）を作成し、現行の非破壊検査における欠陥の寸法測定精度を検証することとした。なお、模擬欠陥は、ドリル穿孔、放電加工、スラグの人為的な混入などにより作成し、ブローホール、割れ、融合不良、スラグ巻き込み、溶込み不足、機械欠陥（人工スリット）などに見立てている。

非破壊検査方法としては、自動超音波探傷試験（AUT）が代表的であるが、欠陥の高さ測定には不向きであると

されているため、TOFD (Time of Flight Diffraction)も併用することとした。

図3、4は、AUTおよびTOFDによる溶接欠陥の長さおよび高さの測定結果を実測結果と対応させたものである。これより、溶接欠陥の長さ測定

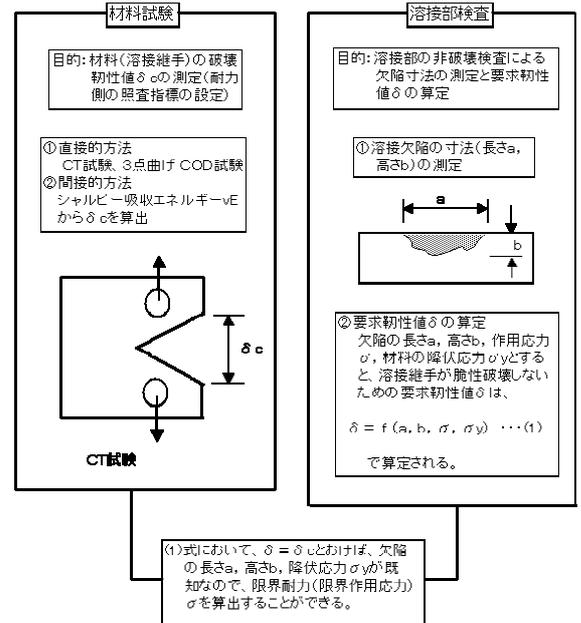


図1 破壊力学(WES2805)に基づく継手耐力評価方法

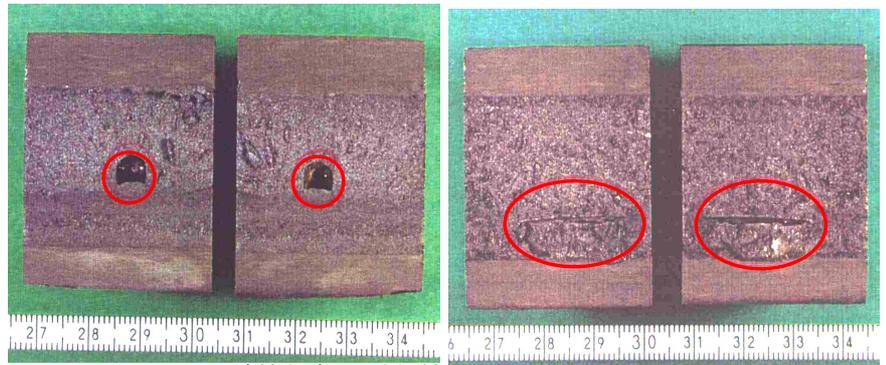


図2 人工溶接欠陥の一例（左：ブローホール、右：割れ）

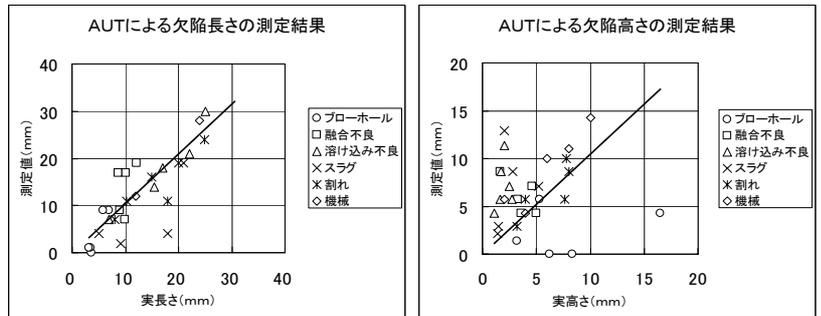


図3 AUTによる溶接欠陥寸法測定結果

キーワード：溶接継手、耐力、非破壊検査、破壊力学

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計(株) 第一土木本部 TEL 03-4464-5042 FAX 03-4464-5190

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 1-1-3 東京電力(株) 土木建築技術センター TEL 03-4216-4237 FAX 03-4216-4259

についてはAUTが、高さ測定についてはTOFDが優れていることが明らかとなった。また、溶接欠陥種別による欠陥寸法測定精度への影響はないことも明らかとなった。

なお、溶接欠陥の実寸法は、試験片を冷却した後、欠陥部分にくさびを打ち込み、破面に現れた欠陥部の寸法をノギスで測定した。

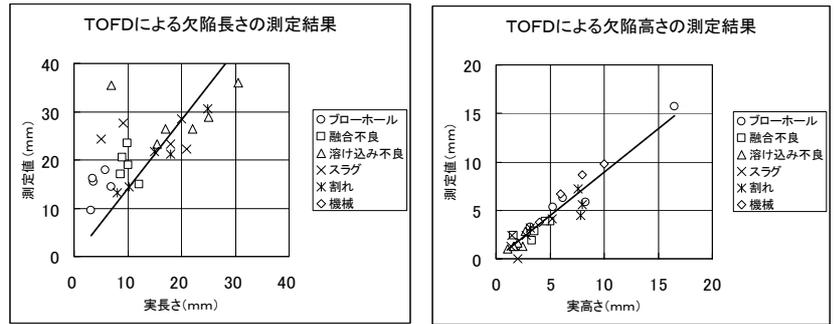


図4 TOFDによる溶接欠陥寸法測定結果

4. 溶接継手の限界耐力の算定

上述した溶接欠陥の寸法測定結果から、欠陥の長さ測定はAUTで、高さ測定はTOFDで実施することとした。図5、6はAUTとTOFDによる欠陥寸法測定結果と実測結果の相関式（実線）の95%下限値（破線）を設定したものである。

今、AUTとTOFDで板厚40mmの溶接継手を検査した場合について考える。AUTによる溶接欠陥長さの測定精度（測定可能な欠陥長さの最小値）が5mm、TOFDによる溶接欠陥高さの測定精度が2mmと想定し、図5および図6の95%下限値を用いると、この欠陥の実長さは14mm、実高さは4mmとなる（図7）。図1に示した手順に基づき、各種鋼板の限界耐力を算定すると、表1のようになる。なお、各種鋼板の降伏応力はJISあるいはメーカー表示の公称降伏応力とし、溶接継手の破壊靱性値 δ はVノッチシャルピー衝撃試験の吸収エネルギー vE から算出している。

結果は表1のとおりで、図1に示す手順で算出された継手限界耐力は、従来の許容応力の1.4~1.9倍となった（ただし、板厚が40mmの場合）。

表1 継手限界耐力の算定結果

鋼種	継手限界耐力 σ_c (N/mm ²)	従来の許容応力 σ_a (N/mm ²)	σ_c / σ_a
JIS SM570	460	240	1.9
JIS SHY685	490	330	1.5
WES HW885	560	400	1.4

5. 今後の課題

高張力鋼のような脆性破壊が限界状態となる溶接継手の限界耐力は、破壊力学的な取り扱いをすることによって、従来の許容応力より大きく設定できるだけでなく、溶接検査の合否判定の力学的根拠も明確になる。しかし、限界耐力の設定方法が煩雑であること、継手靱性試験が必要となること、板厚毎に限界耐力が異なることなど、今後の課題は多い。

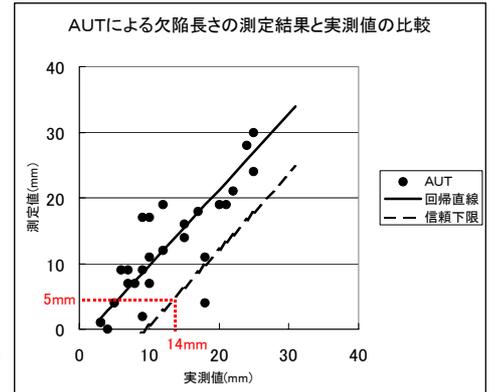


図5 溶接欠陥寸法測定信頼区間 (AUT)

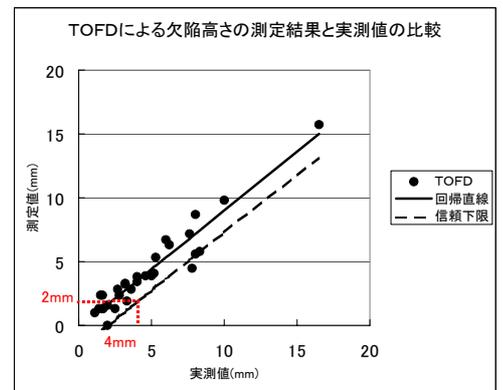
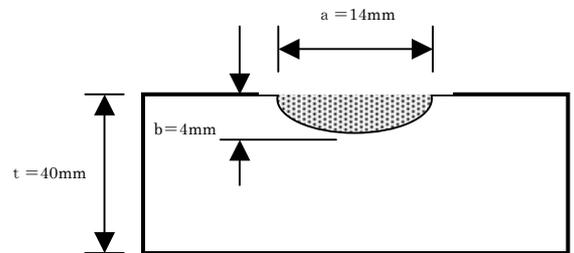


図6 溶接欠陥寸法測定信頼区間 (TOFD)



※溶接欠陥には、表面欠陥と内部欠陥があるが、欠陥寸法が同一であれば、表面欠陥の方が力学的に厳しいので、今回は表面欠陥を検討モデルとしている。

図7 溶接欠陥の力学モデル