

PD 資格試験開始から 5 年の実施状況

Report on Performance Demonstration test for depth sizing of SCC in austenitic stainless steel pipes during five years

(財)電力中央研究所	渡辺 恵司	Keiji WATANABE	Member
	笹原 利彦	Toshihiko SASAHARA	Member
	東海林 一	Hajime SHOHJI	Member
	秀 耕一郎	Koichiro HIDE	Member

The PD Center of Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) commenced Performance Demonstration examinations for flaw depth sizing of austenitic stainless steel pipes in March 2006. As of February, 2011, 29 examination courses have been completed and 38 out of 49 candidates passed the examination including recertification test. The average error margin of the successful applicant of the PD examination to the eleventh stage was 0.31 mm, and standard deviation was 1.9 mm.

Keywords: Performance Demonstration (PD), UT, depth sizing

1. はじめに

(財)電力中央研究所は平成17年11月に材料科学研究所にPDセンターを設立し、平成18年3月より日本非破壊検査協会規格NDIS 0603²⁰⁰⁵の附属書に従って沸騰水型軽水炉原子力発電所のオーステナイト系ステンレス鋼配管溶接部におけるき裂深さ測定のPD資格試験を実施している。

これまでに第1期から第9期までのPD資格試験の結果について報告^[1-3]を行った。今回は第11期までのPD資格試験結果の報告に加え、これまでの試験結果の傾向について報告する。

2. PD 資格試験の実施状況

2.1. PD 試験結果

平成22年度は第10期と11期に試験を計3回実施した。全受験者は5名であり、そのうち合格基準に達したものは4名であった。第1期から11期までの全受験者は49名(再受験を含む、延べ受験者:69名)であり、合格基準に達したものは38名で、合格率は79%であった。

第1期から11期までの各期の新規受験者と再受験者の受験者数、合格者数とSCC深さ測定値のRMSE(Root Mean Square Error: 平均自乗誤差)を表1に示す。RMSE

表1 各期の新規受験者と再受験者の試験結果

試験時期 (回数)	実施 時期	新規受験者			再受験者		
		受験	合格	RMSE'	受験	合格	RMSE'
第1期(6回)	H18.3-6	18	8	3.38	7	1	3.62
第2期(4回)	H18.7-9	8	1	6.13	4	4	1.55
第3期(2回)	H19.2-3	3	1	3.63	3	2	2.14
第4期(3回)	H19.7-8	4	0	4.63	4	3	2.16
第5期(3回)	H20.1-3	3	1	4.01	2	1	2.79
第6期(3回)	H20.6-8	1	0	/	3	2	2.03
第7期(2回)	H21.1-2	1	1	/	2	2	1.86
第8期(2回)	H21.7-8	3	3	1.89	1	1	/
第9期(1回)	H22.2	2	0	4.22	0	0	/
第10期(2回)	H22.7-8	2	1	2.23	2	2	1.47
第11期(1回)	H22.3-6	2**	2	1.92	1	1	/
計 29 回		47	18	/	29	19	

* 受験者のRMSEを算術平均(1名の場合は示さず)

** 再認証受験者

は(1)のような式で表されるもので、受験者の測定技量を示す指標である。

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - t_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \dots (1)$$

m_i : SCC 深さ測定値

t_i : SCC 深さの真とする値、

連絡先:(財)電力中央研究所 材料科学研究所 PD センター
〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1

<http://criepi.denken.or.jp/pd/index.html>

n：試験体数

表1より、新規受験者のRMSEは各期でばらつきがあるのに対して、再受験者のそれは比較的安定していることがわかる。これは初回受験者と再受験者との間でのき裂測定の実験に起因するものと考えられる。なお、PD認証更新の最大期間は5年であるため、第11期にはPD資格試験開始後最初の再認証試験を実施した。当該受験者は2名で、いずれも合格している。

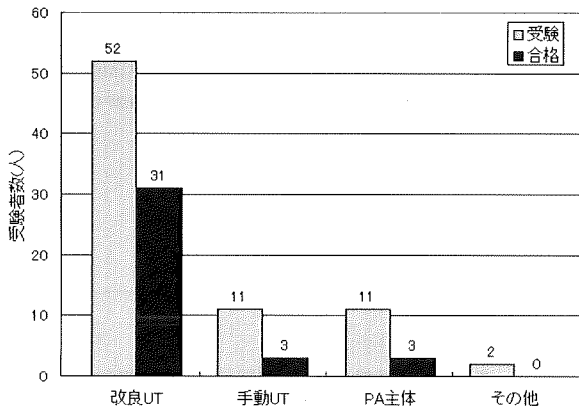


図1 PD試験で使用された探傷手法

図1は第11期までにPD試験で使用された探傷手順とその結果を示す。図中の数字は受験者の延べ人数である。ここでは手動超音波探傷器と横波、縦波およびモード変換波用探触子を組み合わせた手順を「手動UT法」、手動UT法にフェーズドアレイ探傷法を組み合わせた手順を「改良UT法」、フェーズドアレイ法を主とする手順を「PA法」とした。図1より改良UT法での受験者及び合格者が他の方法のそれより圧倒的に多いこと及び手動UT法での合格率が低いことがわかる。手動UT法で合格した3名はいずれも第1期の受験者である。

第11期までの合格者及び不合格者のRMSEと誤差(解答値-真とする値)の平均値の関係を図2に示す。既報のとおり、PD資格試験結果は以下に示す①及び②の合否判定基準で評価される。

- ① 「SCC深さ測定値のRMSEが3.2mmを超えないこと。」
- ② 「測定値は真とする値に対し4.4mmを超えて下回らないこと」

図2中の点線はPD資格試験の合否判定基準の一つである①を示しているが、RMSEが3.2mm以下であっても、②の合否判定基準により不合格となった受験

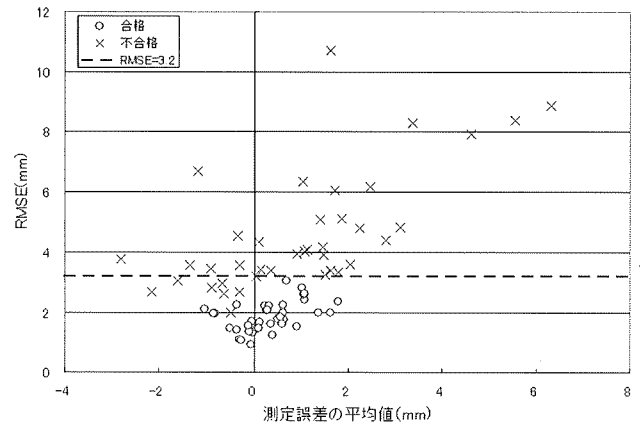


図2 受験者のRMSEと誤差の平均値

者が存在することがわかる。また、90%以上の合格者における平均誤差の範囲が±1mm以内に入っていることがわかる。合格者のうちRMSEが2.5mmを超え平均誤差がほぼ1mmにあるのは少数のき裂を過大に測定した者である。一方、RMSEが2.5mm程度で測定誤差の平均値が1mmを超えている受験者はき裂深さを大きめに測定する傾向のある者であるといえる。

2.2. PD試験受験者の傾向

第11期までのPD受験者数と結果の推移を図3に示す。この図より第1期から4期までは期数が進むにつれて受験者数が減少しているものの、その後はほぼ一定の受験者数で推移していることがわかる。また、表1及び図3より、新規受験者、再受験者ともに7期を最小としてその後はほぼ一定に推移していることがわかる。この推移は、PD資格試験創始期におけるPD有資格者を一定数輩出する必要性およびPD有資格者所属先の教育的な位置づけとしてのPD資格取得段階に起因するものと考えられる。

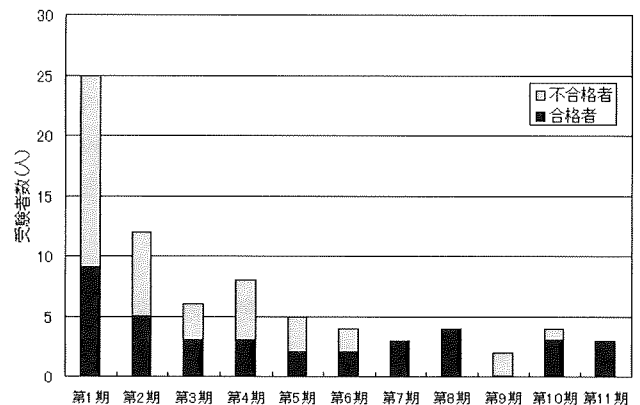


図3 PD受験者数と結果の推移

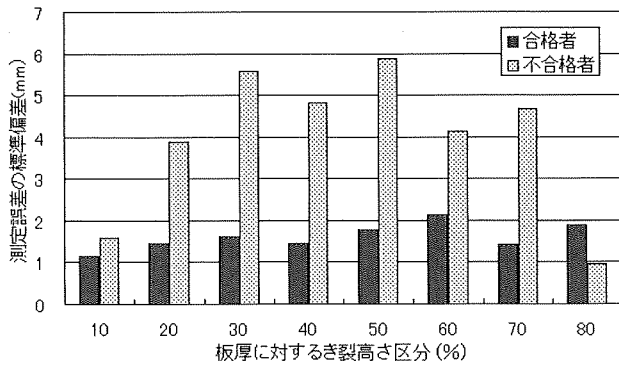


図4 き裂高さと測定誤差の標準偏差

2.3. PD 資格試験の統計分析

図4はき裂深さ区分毎の測定誤差の標準偏差を合格者と不合格者に分けて示す。合格者の標準偏差はき裂の深さに関わらず約1mmから2mmの範囲内にある。一方、不合格者の標準偏差は板厚の20%から70%の範囲で大きくなっている。これは不合格者の深さ測定値がこの範囲のき裂に対してばらついていることを示している。不合格者はこの深さ範囲のき裂について重点

表2 PD試験の統計分析結果

	データ数 n(個)	平均 μ(mm)	標準偏差 σ(mm)
全受験者数	760	0.65	3.77
合格者	370	0.31	1.90
不合格者	390	0.98	4.91

的に練習を重ねる必要があると考えられる。

第11期までの全受験者のき裂深さ測定誤差の統計分析結果を表2に示す。表2より全受験者の平均誤差は0.65mm、標準偏差は3.77mmであるのに対し合格者のそれは各々0.31mm、1.90mmであり、これらの結果はPD資格試験合格者のき裂深さ測定精度の高さを示すものである。

第11期までのPD試験合格者の測定誤差のヒストグラムにPD試験合格者の測定誤差の度数分布から求めた確率密度曲線を図5に示す。平均値μ、標準偏差σとする正規分布N(μ, σ)の確率密度は(2)式で表される。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \dots (2)$$

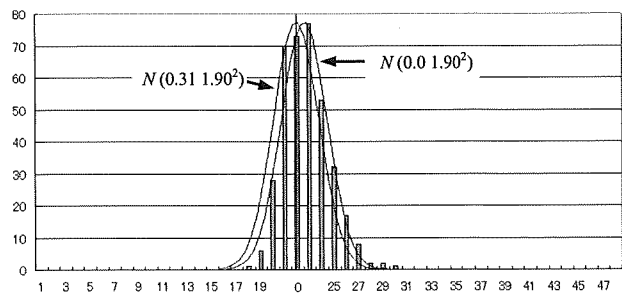


図5 PD試験合格者の計測誤差の分布

なお、正規分布はヒストグラム及びPD試験合格者の測定誤差の度数分布から求めた確率密度曲線の偏りを明らかにするため、誤差がゼロの分布N(0.0, 1.90²)により求めた確率密度曲線を併せて示した。度数分布の裾野はいずれも左右対称に広がっているが、PD試験合格者の度数分布の位置が若干プラス側に偏っているように見受けられる。この度数分布のプラス側への偏りは、前述の合格基準②による受験者の自制作用回避のために大きい値へ読むヒューマンエラーに起因すると思われる。

既報のとおり、PD資格試験合格者が実際の現場でSCC深さを測定する場合、合格基準②を考慮する必要はないことから実際の測定誤差の分布はより正規分布に近づくと考えられる^[4]。PD資格試験合格者の測定値が合格基準②に抵触する確率P(x)は、合格者の正規分布N(0.31, 1.90²)と以下の(3)式に示す下側累積確率P(x)で計算できる。

$$P(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dt \dots (3)$$

(3)による結果からP(x)=0.0066(0.66%)となる。これは、古川らが算出した「ある誤差を有する集団がPD試験に合格してSCCを測定した時に、誤差が-4.4mmを超える確率」である最大5%^[5]より下回っており、PD資格者が十分に信頼できる精度でき裂深さを測定可能であることを示すものである。

3. まとめ

PLR 配管溶接部に発生するき裂の深さ測定に関する PD 資格試験を開始してから5年が経過した。これまで、計 29 回の試験を実施し、合格基準に達した人は再認証者も含めて 38 名となった。これまでの試験結果の解析で得られた結果は以下の通りである。

- 1) PD 資格試験ではフェーズドアレイと手動探傷を組み合わせた手順書を用いた受験者の合格率が高い。
- 2) PD 試験合格者の測定精度はいずれのき裂深さにおいても高精度で測定できる。一方、不合格者は肉厚に対して 20～70%深さのき裂測定での誤差が大きい。
- 3) 全受験者の平均誤差は 0.65 mm、標準偏差は 3.77 mm であるのに対し、PD 資格試験合格者の平均誤差は 0.31 mm、標準偏差は 1.90 mm であることから、PD 資格試験合格者のき裂深さ測定の精度の高さを確認できた。

- 4) PD 資格試験合格者の測定値が真とする値に対して 4.4mm を超えて下回る確率は 0.66% であり PD 制度設計時の計画値である 5% を十分にクリアしている。

参考文献

- [1] 笹原, 直本, 秀, 神戸 “PD 資格試験開始から一年の実施状況” 第 4 回保全学会予稿集, 福井, 2007.
- [2] 直本, 笹原, 秀 “PD 資格試験開始から 2 年の実施状況” 第 5 回保全学会予稿集, 水戸, 2008.
- [3] 秀, 笹原, 直本, 渡辺 “PD 資格試験開始から 4 年の実施状況” 第 7 回保全学会予稿集, 静岡, 2010.
- [4] 笹原, 直本, 秀, 井上 “SCC 深さ測定の PD 試験受験者の技量評価” 保全学, Vol.9 No.1, p.44, 2010.
- [5] 古川, 古村, 米山, 山口 “超音波探傷試験によるき裂深さサイジングにおける教育訓練目標の指標について” 保全学, Vol.4 No.3, p.54, 2005.