

超音波探傷試験による再循環系配管サイジング精度向上に関する
確性試験 第4回委員会議事要旨

1. 日時：平成15年5月28日（水） 9：30～12：30
2. 場所：日本自転車会館3号館 9階 会議室
3. 出席者（順不同、敬称略）
 - 委員長：宮（慶応義塾大学）
 - 委員：小林（東京工業大学）、裏垣（高知大学）、上杉（発電技検）
 - オブザーバー：佐藤、武山（原子力安全・保安院 原子力発電安全審査課）、
長江、上原（原子力安全・保安院 原子力発電検査課）、
福田、浅野、吉田、鈴木、坂下、徳間、桜井、宮崎、小林、目黒、
柴野（以上、東京電力）、大場、河上、飯田（以上、東北電力）、
大野、市川（以上、中部電力）、最所（北陸電力）、田中（中国電力）、
小林、青木（以上、日本原電）、安藤、小河（以上、発電技検）
 - 依頼者：成瀬、山本、平澤、笹原（以上、東芝）、奥出、高橋（以上、Southwest RI）、
佐々木、斉藤、牧原、藤間（以上、日立製作所）、長瀬（Framatome・丸紅）、
関沼、ウェッツェル、二瓶、紀伊（以上、GEI）、
綿谷、近藤（Westinghouse）、林、鷺田（神戸製鋼所）、
 - 事務局：三角、小泉、吉田、内海、大石（以上、発電技検 試験研究本部）
米山、古川（以上、発電技検 鶴見試験研究センター）
 - 一般オブザーバー：23名
4. 配付資料
 - NUT-4-1：超音波探傷試験による再循環系配管サイジング精度向上に関する確性試験第3回委員会議事要旨（案）
 - NUT-4-2：超音波探傷試験による再循環系配管サイジング（寸法測定）精度向上に関する確性試験報告書（案）（序～3. 実施体制、5. 超音波探傷試験による深さサイジング試験要領）〔事務局〕
 - NUT-4-3：同上（4. 試験体の準備）〔東京電力〕
 - NUT-4-4：同上（6. 超音波探傷試験結果）〔事務局〕
 - NUT-4-5：同上（7. 切断調査）〔東京電力〕
 - NUT-4-5-1：切断調査結果の概要〔東京電力〕
 - NUT-4-5-2：7章 追加図〔東京電力〕
 - NUT-4-6：超音波探傷試験による再循環系配管サイジング（寸法測定）精度向上に関する確性試験報告書（案）（8. 超音波探傷試験結果の評価及びまとめ）〔事務局〕
 - NUT-4-6-1：図8.1-15～17（NUT-4-6 10頁 追加資料）〔事務局〕

5. 議事概要

5-1 前回議事録の確認 (NUT-4-1)

前回 (第3回) 委員会議事要旨 (案) については、すでに関係者からのコメントを反映して送付済みであるが、さらに追加すべきコメントがないことを確認の上承認された。

5-2 確性試験報告書案について

確性試験報告書案について、下記のとおり審議が行われた。今回の主な審議課題は、“(3) 超音波探傷試験結果” から“(5) 試験結果の評価及びまとめ” であるが、コメントを反映した修正、語句及び表現の修正等については、各委員と相談の上、委員長の承認の元に行うこととし、後日、各委員に報告書全体を通して確認してもらうこととした。

(1) 目的、範囲、実施体制、試験要領 (NUT-4-2)

事務局より、資料に基づき確性試験報告書案の“1. 目的”、“2. 範囲”、“3. 実施体制”の内容について説明があった。また、“5. 超音波探傷試験による深さサイジング試験要領”については、前回委員会で承認された確性試験方案及び各社の個別要領書を掲載する旨の説明があった。

審議の結果、内容に対するコメントはなく承認された。

(2) 試験体の準備 (NUT-4-3)

“4.1 対象ひびの選定”及び“4.2 試験体準備要領”については、前回委員会で審議され、現場視察においても確認済みであることから、東京電力より報告書案について簡単な説明があった。また、試験体切り出し前後におけるひびの探傷結果 (従来のUT手法による) の紹介があり、各継手の“エコー高さ (DAC%)”及び“20%DAC長さ”については、切断前後で有意な差のないことが確認された。

なお、説明内容に対して下記の質疑及びコメントがあり、コメントについては反映して修正することとした。

質問 1: 試験体の準備作業において、何か不都合は発生しなかったのか。

回答 1: 探傷が困難となるような不都合は発生しなかったが、選定したひびの中にはPT (浸透探傷試験) を行った結果、指示模様が薄いものがあった。このため、事務局と相談の上、当該部を対象ひびに選定する (各社に探傷してもらう) と共に、切断試験によりひびが検出されない (内面の凹凸の影響による) ことも考えられるため、予備の欠陥を新たに対象ひびとして追加した。

コメント 2: 前回委員会では、フロー図を用いて試験体の準備要領の説明がなされていた。作業全体の流れを把握することができるため、フロー図を追記すること。

(3) 超音波探傷試験結果 (NUT-4-4)

事務局より、資料に基づき確性試験報告書案の“6. 試験結果”(前回委員会における現場の視察結果を含む)について説明があった。また、測定値の丸め込みについて一部整合が取れていない表があるが、後日修正し、整合を図る旨の説明があった。

なお、内容について下記の質疑が行われたが、コメントはなく承認された。

質問 3: 表 6.3.1-1に、適用されたUT手法が具体的に示されているが、これら手法を組み合わせて評価する方法は適用されていないのか。

回答 3: ここでは各社が適用した基本的なUT手法のみを示している。これらの組み合わせについては各社で異なり、各社の個別要領書で示している。

質問 4: 端部エコー法については、縦波と横波をどのように使い分けているのか。また、両方を適用した場合は、どちらの値を正として評価するのか。探傷要領等で明記されているのか。

回答 4: 端部エコー法における横波と縦波の使い分けや、両方を適用した場合のデータの評価方法は、各社のノウハウや試験員の総合判断に係るものであり、各社の個別要領書では明確にされていない。

(4) 切断調査 (NUT-4-5、NUT-4-5-1)

東京電力より、資料に基づき確性試験報告書案の“7. 切断調査”(切断要領及び調査結果)について説明があった。

内容について下記の質疑及びコメントがあり、コメントを反映してデータを追記することとした。

質問 5: 裏面に開口したひびはすべてSCC(応力腐食割れ)であったとのことだが、ひびの隙間はどのような状態だったのか。ひびの先端位置の決定は困難ではなかったか。

回答 5: ひびの詳細を調査すると、ひびの表面(隙間)には腐食生成物が形成されていた。ただし、ひびの隙間全体を埋め尽くすように形成されていたわけではないため、ひびの先端位置を比較的容易に決定することができた。

質問 6: ひびの角度や寸法は、どのような方法で測定しているのか。

回答 6: ひびの角度は、投影顕微鏡を用いて直読で測定している。

コメント 7: ひびの角度を再測定することが可能ならば、図 7.1-18の定義どおりのひびの傾きだけでなく、ひびの角度の初期値(ひびの起点における内表面に対する角度)も測定して欲しい。ひびは湾曲しており、またひび開口部のある内表面も湾曲しているため、ひびが内表面に対してどのような方向に進展を始めたのか正確な情報が知りたい。この情報は、UTに影響を与える形状パラメータとなるだけでなく、SCCが自由表面に対してどのような角度に進展を開始し、残留応力の影響によりどのような方向に曲がるのか推測するデータにもなる。

回答 7: ひびの角度の再測定は可能である。ただし、顕微鏡で拡大して見るため、ひびの屈曲点を定めることが困難であること、ひびの起点となる開口部付近の内表面が平らではないこと等の理由により、正確な角度の測定は困難である。なお、投影顕微鏡を用いて直読する方法以外に、写真を撮影して読み取る方法も考えられるため、報告書に掲載するデータについては、事務局と相談の上、決定することとしたい。

コメント 8: 7-1頁の表 7.2-3 等、継手番号が記載されているが、継手番号の付け方（配管のライン番号、工場溶接と現地溶接の区別等、継手番号の示す内容）に関する説明があると、どんな継手なのかわかりやすくなるのではないか。

回答 8: 拝承。説明を4章（試験体の準備）に記載する。

質問 9: 切断試験結果とひびのプロファイル測定結果を比較すると、プロファイルを測定したき裂深度計（電位差法）の精度（絶対値）は、あまり良くないように思われるがいかがか。

回答 9: ひびは、ある切断面ではつながっていても、隣り合う切断面ではつながっていないなど、非常に複雑な形状を示している。このため、電位差法では正確な測定値が得られなかったものと考えられる。

質問10: 選定したひびの傾きに差は見られたのか。

回答10: ひびの平均的な傾きを表中に記載したが、比較した結果あまり差は見られない。要望があれば、切断面の写真中に角度を記載する。

質問11: 本確性試験の目的には、端部が溶接金属内に進展したひびの寸法測定精度を確認することが含まれている。選定したひびの中に、端部が溶接金属内にまで進展しているものは含まれているのか。また、そのことがわかる写真はあるのか。

回答11: 裏面に開口したひびの中で端部が溶接金属中に達したひびは5つあり、表 7.2-1において太枠で示している。また、これらに対応した写真（7章 追加図参照）を掲載する考えであり、これらのうちA-2、B-0、D-0、L-2、T-0を見ると、明らかに溶接金属中にひびの端部が達していることが確認できる。溶接金属中に進展したひびの長さは、数百 μm 程度である。

質問12: 途中で途切れたように進展しているひびがあるとのことだが、途切れた箇所のデータはあるか。そのような箇所が超音波に影響し、ピーク位置の測定結果の差となって現われていることが考えられるため、可能な限り調査して欲しい。

回答12: 拝承。C-102の写真（7章 追加図参照）がその一例である。この断面では途切れて見えるが、この裏か表の断面ではつながっているものと推測されるため、可能な範囲で調査する。

(5) 試験結果の評価及びまとめ（NUT-4-6、NUT-4-6-1）

事務局より、資料に基づき確性試験報告書案の“8. 試験結果の評価及びまとめ”（試験

結果と切断調査結果の比較、深さサイジング精度の評価、考察)について説明があった。

内容について、下記の質疑及びコメントがあり、コメントを反映して修正することとした。

コメント13：4頁以降の図中の“UT手法”は、不要である。また、(注)についても、本文中で説明がなされているため不要である。

コメント14：図8.1-1～14については、縦軸の目盛りとして横線が入っている箇所と入っていない箇所がある。特に意味がなければ、どちらかに統一すること。

コメント15：切断試験により測定したひびの深さについては、“切断調査深さ”という用語を使用しているが、他の章と異なるため、用語を統一すること。

コメント16-1：25頁において、“4～5 mm程度のひびならば、各社ともに深さを測定している”旨の考察が記載されているが、27～29頁の図の0 mm (欠陥がない箇所)の探傷結果を見て考察すると、まだ改良の余地があるものと評価できるのではないか。

回答16-1：今回の確性試験ではひびがあることを事前情報として与えて、サイジングを行っている。欠陥がないと判断した場合の報告の仕方を決めていなかったことも各社の結果が分かれた原因と考える。なお、欠陥がなくとも形状によるエコーが得られることをシミュレーションで確認している。

コメント16-2：14頁 図8.2-1及び2には、切断調査による深さ0 mm (ひびなし)に対するUT測定深さがプロットされているが、15頁及び16頁の図にはプロットされていない。本確性試験は、サイジング精度の確認が目的であり、欠陥検出性能を確認することは含まれていないため、切断試験の結果、ひびがなかったならば、当該データを削除したものに統一すること。

質問17：図8.1-15等 (追加資料NUT-4-6-1) については、ひびの端部が溶接金属中に達していることがわかるように、溶接金属と母材の境界位置を表示することはできないか。

回答17：確性試験で選定したひびの溶接金属中への進展量は、数百 μ m程度である。表示をしても図中の横線(ひび深さを示す)の太さに隠れてしまう。

コメント18：図8.1.17 (追加資料NUT-4-6-1) については、サイジングの結果がひび寸法を測定したものではないことが明らかであるため、削除すること。

コメント19：14頁以降の図8.2については、UTS (実用原子力発電施設検査技術等技術開発の一分科会) の結果に基づく標準偏差の下限線 (-2σ) を記載し、サイジング精度が従来のUT手法と比較して改善されていることを示しているが、別のグラフで上限線 ($+2\sigma$) も記載して、比較も行うこと。

コメント20：本確性試験では、端部と開口部の座標をとらえて長さを出しているが、本来現場では、破壊力学的評価において問題となる外表面からひび先端までの距離が重要である。このためUTでは、通常、外表面からひび先端までの距離 (外表

面からの深さ)を測定している。この測定精度に関するデータもあった方が良かったのではないか。

回答20：拝承。得られたデータに基づいて、可能な範囲でまとめる。

質問21：各社から提出されたデータは、外表面（探傷面）の変形や凹凸の影響を考慮したものか。

回答21：各社のデータ採取方法が異なり、データの提出方法も様々であるため、事務局では把握できていない。可能な範囲で確認する。

質問22：24頁 8.3.1(a)に“…大まかに深さを把握する方法…”とあるが、どの程度まで把握するのか。

回答22：2次クリーピング波法とモード変換法を用いて、ひびのおおよその深さを把握する点は共通しているが、どの程度まで把握するのか各社で異なり、統一されていない。

質問23：ひびがない箇所を探傷した結果、ひびがあると評価しているデータがあるが、過大評価と考えて良いか。

回答23：考察としては24頁8.3.1に記載しているが、今回確認しているUT手法は、ひびを検出するものではないため、ひびがない箇所の探傷結果については、本確性試験の評価の対象外である。

コメント24：溶接金属中に達したひびの端部の探傷データが少ないとのことだが、事前準備の訓練において用いる試験片は、溶接金属中に達したひびを模擬した欠陥が設けられているため、訓練時のデータを考察に加えられるのではないか。

回答24：拝承。資料の4-4にも一部掲載しているが、PD (Performance Demonstration) のデータ以外はデータとして出してもらっているため、報告書に反映する。

以上の他、選定したひびが深さ4～5 mmに集中し、深さに対する寸法精度について統計処理が行えないことが問題となった。審議の結果、確性試験の対象としたひびの寸法は、事前準備の訓練で使用した試験片の模擬ひび寸法の範囲内であることから、依頼各社が事前準備において確認した寸法測定精度のデータ等を参考に考察へ加えることで了承された。

(6) 各社の考察

各社から提出された確性試験結果について、各社においても分析・評価が行われており、下記のとおり考察が簡潔に述べられた。

i) Southwest の考察

今回適用したUT手法は、ひびの破壊工学的評価のためのインプットとして使用する

目的で、ひびの最も深いところを検出し測定するためのものである。このため、罫書き線位置におけるひびの深さではなく、罫書き線近傍のひびが最も深いところを探し出し、その深さを測定する結果となり、このため、測定値が大きめに出る結果となった。

さらに、本手法の基本原理が、面状に複雑に拡がっている SCC のピークポイントの検出が目的のため、直線的に単純化したひびのモデルに適用するのにはあまり適当でないと思われる。今後、議論すべき課題である。

なお、事前準備で行った試験員の訓練に関するデータ、その他、いろいろの資料を準備しているので本確性試験の参考資料として提出する考えである。

ii) GEII の考察

本確性試験の主要目的として、溶接金属中に達したひび先端部の深さ測定精度の確認することが含まれていた。このため、実際のひびの先端は溶接金属中に浅く（数百 μm ）入っているにもかかわらず、溶接金属中に深く入っているものとの先入観が強くなり、深さをシビア側（大きい値）に評価する結果となった。

一方、欠陥（ひび等）の有無の判断は、損害賠償にも影響することから重要と考えているが、ひびの検出（Detection）性能については、ひびと内表面の形状エコーを的確に識別しており、非常に良好であったと評価できる。

今回の確性試験の探傷状況について事務局より、「実際の現場と探傷状況が同じ」というコメントがあったが、実際の現場では、もっと検査環境は悪く、特に手動探傷の場合、データ採取の正確性という点で今回の探傷状況よりかなり劣った状況での検査になる。弊社は今回の確性試験において、実際の現場におけるデータ採取と同じ自動探傷によりデータを採取しており実践に即した探傷と考えられる。

iii) 東芝の考察

サイジング精度については、全体的に良好だったと考えられる。今回はいくつかの手法を適用し、それらのデータから寸法を評価している。このため、実測値と比較して4 mmオーバー側となったデータ（最大誤差）について、各手法ごとに詳細検討を行っているが、より正確な寸法を示しているものもあった。このため、過大評価となった結果について対応を検討する考えであり、今回はそのための良いデータが得られた。

また、欠陥（ひび）のないところについて、裏波の形状エコーを過大に評価し、ひびと判断したケースがあった。しかし、ひびの見落としがなかった点については良好であったと評価する。

iv) 日立の考察

試験結果は、全体的に過大評価ぎみであったが、逆に特別に過小評価したひびはなく、UTSの結果と比較しても良好であった。サイジング結果が過大評価となった点について

は、ひびの端部を明瞭に捕らえていたものの、それをひびの屈曲点であると誤解し、過大評価（オーバー側に評価）してしまったことが主な原因であると考えている。

また、ひびのない箇所を誤認識したデータがあったが、今回の確性試験はサイジングが対象であり、ひびの検出について十分な確認は行っていなかった。サイジングのような評価探傷では、欠陥検出についても再度確認する等の見直しを検討したい。

v) Westinghouse の考察

米国内で要求されているサイジングの精度（RMSE値相当）は ± 0.125 inch 以下であるが、試験結果はこれと比較して十分な裕度で達成できており、良好であったと評価できる。

今回は、本確性試験固有の背景からひび先端部及びひび開口部の双方を検出し配管半径方向（z方向）の差をとりひび深さとして評価しており、ひび先端部の検出のみにより評価する通常の評価方法と異なっていた。本ひび深さ評価の場合、配管供試体の溶接部近傍の凹凸及び不連続な形状により測定誤差を大きくする結果につながるものと推定される。また、精度確認試験においては、配管周方向（x方向）の探触子の位置決め誤差により、ひび深さを過小評価した例（基準線記号M）があったものと推定される。なお、ひびのない箇所の探傷については、60度及び45度の探触子ではひび先端部及び開口部に該当するシグナルが検出されなかったため、バックアップ探触子で再確認を行い、ひびがないものと判断した。

なお、今回適用したUT手法は、米国内においてPDI 認定を受けたものであるが、別途、本確性試験の事前準備として7 mmから21 mmの模擬欠陥を用いてトレーニングを行っている。本確性試験の参考データとして提出することとしたい。ただし、PDIの内容は非公開となっている。

vi) Framatome の考察

試験結果から判断すると、サイジング精度は良好であったと判断される。探傷には基本的にフェイズドアレイ法を適用しているが、400Aの配管のひび割れ（No.T）に関しては、0度の縦波が反射エコーをとらえたことから、溶接部のくぼみと推測した。いずれにせよ反射源を逃したものはなかった。

サイジング精度に影響する因子としては、探触子を配管に取り付ける時に使用するホルダーによる誤差が考えられる。また、ひび端部の位置は、絶対座標から計算して出したものであるが、通常適用する方法とは異なる（検査後に計算が必要となる）ため、通常の方法でサイジングを行えば精度は向上するものと思われる。また、今回はほぼ実機に適用したのと同じ装置・手法を用いて成果が得られたが、対象とする配管に適した設計の探触子・解析器を適用し、十分な環境情報を入手することにより、サイジング精度はさらに向上するものと推測される。

(7) 結言

“結言”の審議に入る前に、事務局より、前回委員会では“まとめ”としていた章について、委員会コメントを反映して、個々の試験結果に対するまとめである“考察”と確性試験全体に対するまとめである“結言”に分けたとの説明があった。

資料に基づき、“結言”案の内容について審議が行われた結果、下記のコメントがあり、これらを反映して修正することとした。

コメント25：試験結果からも明らかなように、確性試験を行った結果、各社の新しいUT手法が妥当であることを明記すること。

コメント26：確性試験の結果、信頼性をもって寸法測定ができることが確認されたが、十分な妥当性をもってひびであることを評価できるかという点については、本確性試験の範囲外である。“4～5 mm以上のひびの深さを従来のUT手法よりも高い精度で測定することができる。”ということは言えるが、下から9行目以下の“半数の会社以下…”については、本確性試験の目的とは異なる（欠陥検出が目的ではない）ため、削除すること。ただし、ひびと裏波（内表面の凹凸）の識別には注意を要する点については記載すること。

コメント27：今回の試験体においては、溶接金属中に達したひびの端部も精度良く検出していることを明記すること。

以上、報告書案に対する審議が行われ承認された。

5-3 その他

委員会終了の挨拶として、事務局 三角専務理事より、各委員、電力会社、その他関係者のご協力により、新しいUT手法に関する非常に有意義なデータを得ることができたこと、及び第三者専門機関として公平・公正・中立な試験を無事に行うことができたことに対する感謝の辞が述べられた。

以上