

9. ま と め

9. まとめ

9.1 第1回回送試験

第1回の回送試験により得られた試験結果をまとめると以下のようなものが挙げられる。

- ・板厚 40～100mm の試験体に対して、多様な機器仕様で超音波自動探傷試験を行った結果について、様々な評価ケースを設定して検査特性の評価を試みたが、検出性能に明瞭な差異は現れなかった。
- ・板厚が 40mm 程度においては、多くの探傷システムで高い検出率が得られた。しかし、板厚が増加するに伴い検出率が低下する傾向が見られ、板厚が 100mm の場合において、すべてのきずを検出できた探傷システムは存在しなかった。
- ・検出率向上の観点からは、複数の探傷面から検査を行うことが有効であると考えられる。高い検出率を得るためには、少なくとも、パルス反射法においては 3 面以上からの探傷、TOFD法では両面探傷を行うことが望ましい。
- ・空振りのない探傷システムは存在しなかった。
- ・エコー記録方式に関しては、検出率の違いは明確には現れなかった。
- ・超音波探傷における検出しにくいきずは、余盛りや裏波の近傍に位置するきずである場合が多い。
- ・きず長さの検出精度は、必ずしも十分なものはなかったが、ビーム路程の長さに応じて測定方法を変えるなど、精度向上の余地があることがわかった。

9.2 探触子調査試験

検出率が高かった仕様をパラメータごとに抽出すると、探触子周波数は 2～3MHz、屈折角は 65～70° であった。

ただし、板厚によってはその優位性が逆転するものもあるため、全板厚に対して、一概に優位なパラメータを抽出することは不可能であった。

9.3 第2回回送試験

第2回の回送試験により得られた結果は、第1回回送試験の結果と大きな違いはなかったものの、第1回回送試験と比べて、検出率が低下する結果が多かった。

試験当日と試験完了後(試験 1 週間後)の探傷結果報告を比較すると、試験完了後に報告された探傷結果の方が検出率、空振り率ともに改善傾向が見られた。しかしながら、架橋現場での適用を考えた場合、検査直後に信頼のおける結果が得られる必要があり、検査直後の判定精度の向上に改善の余地があると言える。

9.4 今後の課題

今回行った超音波自動探傷装置の特性を明らかにすることを目的に行った試験から、今後、次のような事項に関する検討、改善が必要であると考えられる。

- ・余盛りや裏波の近傍のきずは比較的検出されにくく、判定時に見逃された場合があった。よって、特にこの領域に対する検出能力の向上が必要である。
- ・きずの長さ測定精度を向上させることが必要である。
- ・探触子調査試験では、サンプル数も十分でなく、探触子の仕様と検出性能との関係について十分な検証を行えなかった。今後は、さらに多くのサンプルを収集し、検査対象とする板厚ごとにより最適な探触子仕様を模索する必要がある。

参考文献

- 1) JIS G 0553, 鋼のマクロ組織試験方法, 1996年.
- 2) JIS Z 2300, 非破壊試験用語, 1991年.
- 3) JIS Z 2344, 金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法通則, 1993年.
- 4) JIS Z 2345, 超音波探傷試験用準試験片, 2000年.
- 5) JIS Z 2350, 超音波探傷子の性能測定方法, 1992年^{注)}.
- 6) JIS Z 2351, 超音波探傷器の電氣的性能測定方法, 1992年.
- 7) JIS Z 2352, 超音波探傷装置の性能測定方法, 1992年.
- 8) JIS Z 3060, 鋼溶接部の超音波探傷試験方法, 1994年^{注)}.
- 9) JIS Z 3070, 鋼溶接部の超音波自動探傷方法, 1998年.
- 10) WES 2005, 鋼溶接部の非破壊試験施工方法の確認試験方法, 1986年.
- 11) (社)日本非破壊検査協会: 非破壊検査用語辞典, 1990年.
- 12) 阪神高速道路公団: 超音波自動探傷検査要領, 平成5年5月(1993年5月).
- 13) (社)日本建築学会: 鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説, 第3次改定版, 1996年.
- 14) (社)日本非破壊検査協会: 超音波探傷試験Ⅰ、非破壊検査技術シリーズ, 1990年.
- 15) (社)日本非破壊検査協会: 超音波探傷試験Ⅱ、非破壊検査技術シリーズ, 1990年.
- 16) (社)日本非破壊検査協会: 超音波探傷試験Ⅲ、非破壊検査技術シリーズ, 1989年.

注) 研究当時に参考した年版を示している。

添付資料-3.1 回送試験体の溶接に使用した裏当ての仕様

使用した裏当ての特徴を以下に示す。

- 1) 主としてマグ溶接施工を対象。
- 2) 軽量で、耐火物だけで構成。
- 3) マグネットクランプなどの補助材が不要。
- 4) 標準長さ 600mm で、ブロック毎に切断して使用。
- 5) アルミテープ上の接着剤により、開先裏面に固定して使用。
- 6) 可撓性がよく、曲がり部でも使用可。

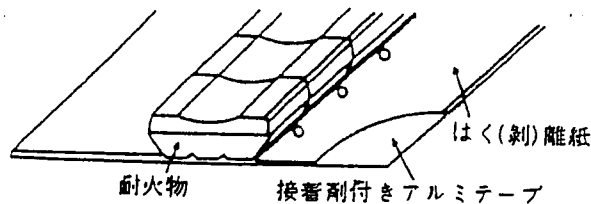


図-添 3.1 裏当ての概要図

使用した裏当ての製造メーカーによる V 形開先の推奨条件を以下に示す。

溶接姿勢	項目	記号	標準開先	許容範囲	開先形状
下向	開先角度	θ	45°	±5°	
	ルート間隔	G	5mm	±2mm	
	ルート面	R	0	2mm (max.)	
	目違い	M	0	2mm (max.)	

添付資料-3.2 回送試験体の母材と溶接材料の化学成分と機械的性質

(1) 回送試験体の母材の化学成分と機械的性質

1) JIS G 3106 SM490C, 板厚 t=40mm

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	Nb (%)	V (%)	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vEo (J)
0.16	0.39	1.43	0.017	0.002	0.01	0.01	0.02	0	0.02	0	371	513	32	249

2) JIS G 3106 SM490C, 板厚 t=60mm

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	Nb (%)	V (%)	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vEo (J)
0.17	0.43	1.5	0.014	0.002	0.01	0.01	0.03	0	0.03	0.04	401	564	38	234

3) JIS G 3106 SM490B, 板厚 t=80mm

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	Nb (%)	V (%)	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vEo (J)
0.17	0.43	1.5	0.014	0.002	0.01	0.01	0.03	0	0.03	0.04	378	560	36	226

4) JIS G 3106 SM490C, 板厚 t=100mm

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	Nb (%)	V (%)	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vEo (J)
0.18	0.48	1.43	0.013	0.002	0.01	0.01	0.02	0	0.04	0.06	380	544	32	159

(2) 回送試験体に用いた溶接材料の化学成分と機械的性質

1) JIS Z 3313 YFW-C50DR, 化学成分は JIS 規定により溶鋼分析

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vEo (J)
0.04	0.5	1.49	0.02	0.01	0.02	495	566	30	94

なお、JIS Z 3313 YFW-C50DR は、母材厚 t=40, 60, 80, 100mm のきず内包部および 100mm の初層 (3~5パス目, きず内包部) に使用した。

2) JIS Z 3312 YGW11, 化学成分は JIS 規定により製品分析

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Al (%)	Ti+Zr (%)	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vEo (J)
0.06	0.67	1.49	0.02	0.02	0.21	0.003	0.22	528	570	26	124

なお、JIS Z 3312 YGW11 は、母材厚 t=40, 60, 80, 100mm のきず内包部以外に使用した。

添付資料-4.1 (社)非破壊検査振興協会「鋼橋溶接部研究委員会(仮称)」
設置準備会議の開催通知

会員各位

平成11年2月22日
社団法人 非破壊検査振興協会
機材振興事業部門
担当理事 小倉、高橋

件名：鋼橋溶接部研究委員会（仮称）設置準備会議 開催の件

拝啓 貴社益々ご清栄の段、御慶び申し上げます。

さて平成11年2月18日に開催されました理事会におきまして、建設省土木研究所主幹の鋼橋溶接部の非破壊検査手法に関する共同研究に検振協が参加する事が承認されました。

これに伴い機材振興事業部門内に検査振興事業部門の会員をも含め、平成11年度より鋼橋溶接部研究委員会（仮称）を設置する事となりましたので、下記の日程にて内容説明、委員公募及び委員会運営につきましての会議を開催致します。委員会参加希望の方はご出席下さいます様お願い申し上げます。

敬具

記

会議名称：鋼橋溶接部研究委員会設置準備会議

日時：平成11年3月5日 14:00～17:00

場所：五反田 非破壊検査業厚生年金基金・会議室

東京都品川区東五反田1-14-11 須賀ビル5階

Te l 03-5420-5733

議題：①鋼橋溶接部の非破壊検査手法に関する共同研究の内容説明
②委員の選任
③運営方法の検討
④その他

以上

添付資料-4.2 TOFD法の概要

(1) 概要

TOFD法は“Time Of Flight Diffraction”の略で飛行時間回折法と呼ばれており、近年圧力容器の溶接部の検査などで実用化されはじめた超音波探傷手法である。TOFD法は図-添4.2.1(a)に示すように、指向性の低い（ビームの広がり大きい）送信探触子と受信探触子を向かい合わせに配置し、送信探触子から縦波を伝播させ、内部のきずの上端および下端で発生した回折波を受信探触子で受信する方法である。

これに対して、従来のパルス反射法は、図-添4.2.1(b)に示すように、指向性の高い（ビームの広がり小さい）送受信探触子を用い、きずからの正反射波を受信する方法である。

TOFD法は、探傷面に沿って進行する縦波（図中W）、きず上下端からの回折波（図中W1、W2）および底面からの反射波（図中W3）を受信し、これらの受信探触子への到達時間差と音速の関係から、きずの深さ（板厚方向の板厚表面からきずまでの距離）ときずの高さ（板厚方向のきずの長さ）を測定する手法である。探傷時に得られた信号の強さで明暗をつけたグレースケールに変換されて画面上に表示されるため、探傷時リアルタイムで内部の品質状況が画像表示され、きずが存在すれば縞状に表れた指示きず模様により容易に確認される。

通常、溶接線方向の検査は図-添4.2.2(a)に示すDスキャンと呼ばれる走査方法により行う。この方法では溶接線を中心に2個の探触子を一定間隔で配置し溶接線に平行に走査する方法である。内部きずが存在すると、図-添4.2.2(b)に示すように、きずの上端および下端からの指示模様が画面上で確認され、きずの検出ときずの寸法（長さ、高さ）が測定される。

TOFD法による溶接線の検査は、ほとんどの場合Dスキャンのみできずの検出が可能といわれているが、Dスキャンのみでは溶接線直角方向（k方向）におけるきずの位置が特定できないため、必要に応じて溶接線直角方向の走査（Bスキャン）も合わせて行うことになる。

また、TOFD法は、従来のパルス反射法のようにきずからの反射波による探傷でないため、きずの検出能に対するきずの形状や傾きの依存性が少なく、また、きずの高さを測定できる、などの特長をもっている。

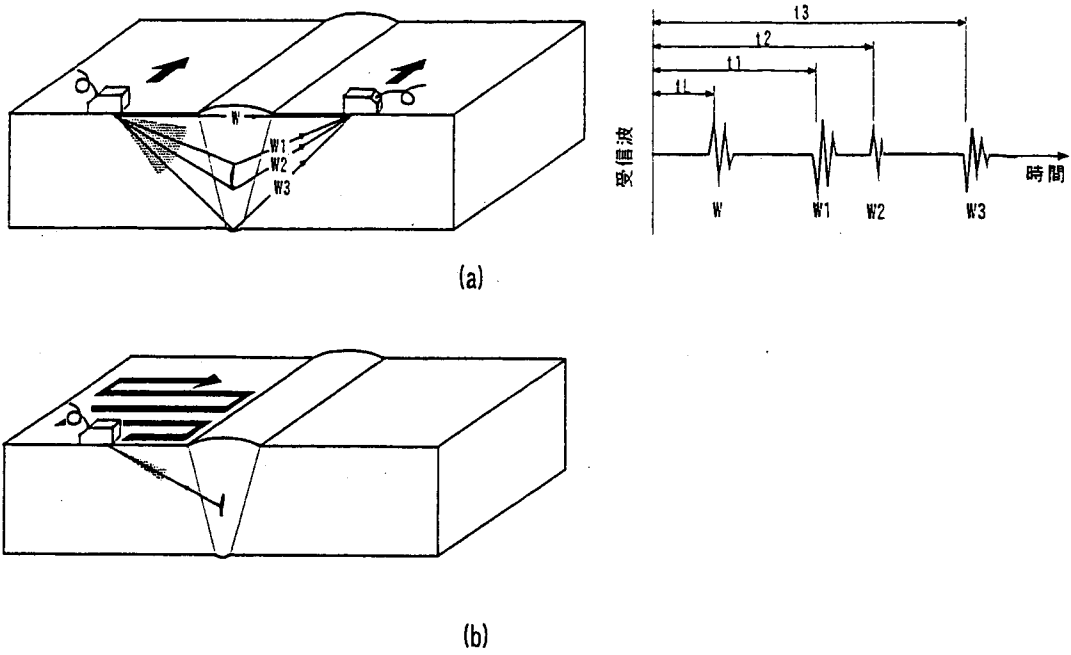


図-添4. 2. 1 TOFD法およびパルス反射法の概要

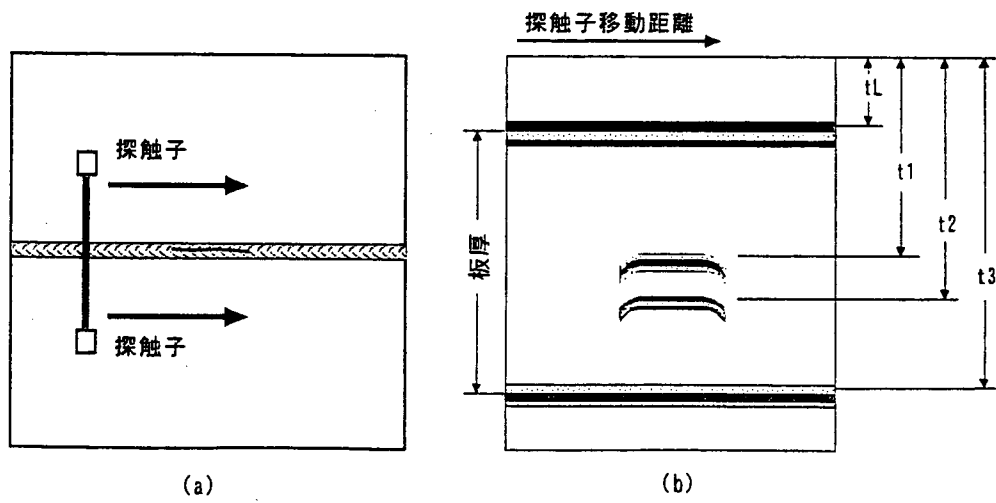


図-添4. 2. 2 Dスキャンおよび表示画像

(2) TOFD法におけるパラボリックカーソルによるきず長さときず高さの測定方法例

きず寸法の測定方法は種々あるが、板面に垂直な内在する縦割れで得られるTOFD波形を一つの例として、パラボリックカーソルによる測定方法について以下に示す。なお、パラボリックカーソルは点状の仮想反射体をDスキャンした時に得られる回折波の軌跡であり、その形状は仮想反射体の深さで変化する。探傷時に得られた表示画像において、縮状に表れたきず模様部を、必要に応じて拡大する。

きず長さを測定する場合は、探傷条件により線形が自動的に決定されるパラボリックカーソルを、図-添4.2.3に示すように表示させたうえで、一对のきず模様部の上部（板厚表面側）に着目し、まず黒色ラインの左側のきず始点部にカーソルを一致させる操作により、位置（ X_s ）が記録される。次に右側のきず終点部にカーソルを一致させることにより、位置（ X_e ）が記録され、その差がきずの長さ（溶接線方向の長さ）となる。なお、これら位置記録は同時に板厚方向におけるきず深さの測定も兼ねている。

きずの高さ（板厚方向のきず長さ）を測定する場合は、直線カーソルを、図-添4.2.4に示すように表示させたうえで、まず一对のきず模様部の上部（板厚表面側）の黒色ライン平坦部とカーソルを一致させる操作を行い、きず深さを記録する。次に下部きず模様（板厚裏面側）の白色平坦部にカーソルを一致させることで、深さが記録され、この差がきず高さとなる。

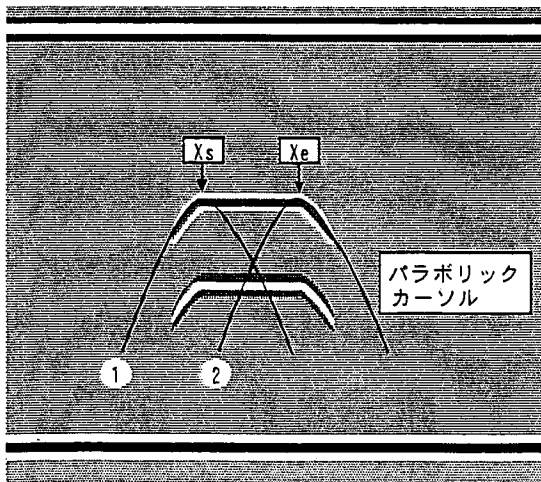


図-添4.2.3 きず長さの測定

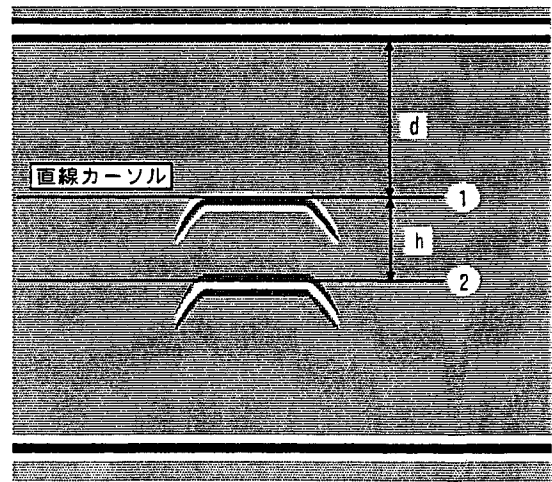


図-添4.2.4 きず高さの測定

第1回回送試験 参加会社および作業員名簿

平成11年11月現在

参加会社名	所 属	氏 名
アイ・エム・シー(株)	品質保証部長	○木津 琢也
〃	営業長	平岡 修
〃	関西事業所	大内 守
(株)アспект	取締役開発技術部長	○久下 幹雄
〃	製造技術部製造技術課長	米持 一徳
〃	〃	武田 基
石川島検査計測(株)	検査事業部技術部課長	○芝田 三郎
〃	〃 横浜第一事務所主任	猪股 広志
〃	〃 主任	斎木 則行
エースエンジニアリング(株)	技術部次長	○米倉 國雄
〃	技術部	梅井 隆信
エヌケーテクノス(株)	検査エンジニアリング部	○天野 哲也
〃	〃	服部 巧
〃	〃	向井 良雄
川重検査サービス(株)	野田事業所	○岩田 幸作
〃	〃	中村 昌貴
〃	〃	新保 良剛
検査エンジニアリング(株)	技術部主任	○小笠原秀一郎
〃	〃	大谷 靖弘
〃	〃	岩崎 純一

湘菱電子㈱	検査計測システム部システム二課担当課長	○小池 光裕
〃	〃 試験課担当課長	長澤 音彦
〃	〃 技術第一課担当係長	渡口精太郎
〃	営業部営業課	細井 崇晃*
神鋼検査サービス㈱	検査部・検査4部第3検査係	○竹田 浩一
〃	検査部検査課	岡田 範和
新日本非破壊検査㈱	技術管理部技術管理課係長	○吉永 泰久
〃	〃 技術管理課	今川 幸久
〃	生産本部検査部検査課	吉田 大輔
㈱ダンテック	技術部課長	○田中 正紀
〃	〃 技術2課主任	岸本 雄二
〃	営業部次長	浅野 茂幸
〃	営業本部次長	久保 善昭*
東京理学検査㈱	技術部開発グループ副課長	○花井 猛
〃	技術部副課長	須崎 浩二
R/D Tech(カタの会社)	開発部	Frederic Jacques
東京ガス㈱	基礎技術研究所破壊力学チームリーダー	増田 智紀*
日本クラウトクレーマー㈱	営業部係長	○南 康雄
〃	事業所第2グループ	京屋 昌男
第一検査㈱	技術部技術課長代理	鈴木 圭一
日本工業検査㈱	技術部技術課係長	○平本多加志
〃	〃 〃 主任技師	臼井 信隆
〃	〃 〃	大倉 伸介

(株)日本工業試験所	技術部検査グループ	○宮崎 秀敏
(株)橋梁検査センター	AUTグループチーフ	松村 和政
関西エックス線(株)	装置検査部AUTグループ長	中山 雅之
(株)日本工業試験所	業務部営業グループ主務	柚友 啓二<注>
(関西エックス線(株)	広島工事課	西田 紀之<注>

(株)日本工業試験所, (株)橋梁検査センター, 関西エックス線(株)は, (株)ナックとして参加)

日本マテック(株)	営業部長	○真智 良明
"	第一技術部	酒井 孝祐
"	技術部	郭 亮

非破壊検査(株)	大阪事業本部技術部副参事	○江藤 芳丸
"	" "	岩崎 一樹
"	" "	芦田 一弘

(以上, 五十音順, 敬称略)

ここに, ○印は, 作業の責任者であることを示す。*印は, 非作業員として参加したことを示す。また, <注>印は, 作業途中において, 作業員全員の交替があり, 作業の後半に参加したことを示す。

以上, 参加会社は17社であった。このうちパルス反射法の評価は, 17社のうちの15社が参加し, 13社から成る18の探傷ケースを対象とし, 残り2社の3つの探傷ケースは評価が困難であったため, 実施しなかった。また, TOFD法は, 17社のうちの7社が参加し, その7社からなる7つの探傷ケースのすべての結果を評価対象とした。

第2回回送試験 参加会社および作業員名簿

平成12年7月現在

参加会社名	所 属	氏 名
アイ・エム・シー(株)	営業部長	○平岡 修
〃	検査部	高市 勝
〃	技術部	石井 寿
(株)アスペクト	取締役開発技術部長	○久下 幹雄
〃	製造技術部製造技術課長	米持 一徳
〃	〃 〃	武田 基
エヌケーテクノス(株)	検査エンジニアリング部	○天野 哲也
ジャパンテクノメイト(株)	第3開発部計測技術室	服部 巧
〃	〃 〃	向井 良雄
川重検査サービス(株)	野田事業所	○岩田 幸作
〃	神戸本社	松井 啓年
〃	野田事業所	新保 良剛
〃	神戸本社	田上 秀史*
〃	野田事業所 課長代理	鶴岡 昭司*
検査エンジニアリング(株)	技術部主任	○小笠原秀一郎
〃	〃	大谷 靖弘
〃	〃	南端 達也
湘菱電子(株)	検査計測システム部システム二課担当課長	○小池 光裕
〃	〃 技術第四課	遠藤 一茂
〃	〃 システム二課	細谷 朗
神鋼検査サービス(株)	検査部・検査4課第3検査係	○竹田 浩一
〃	検査技術課	藤枝 勇人

新日本非破壊検査(株)	技術管理部技術管理課係長	○吉永 泰久
〃	〃	今川 幸久
〃	技術担当部長	中山 安正
日本クラウトクレーマー(株)	事業所第2グループ	○京屋 昌男
〃	営業部係長	南 康雄
第一検査(株)	技術部技術課長代理	鈴木 圭一
日本工業検査(株)	技術部技術課係長	○平本多加志
〃	〃	大倉 伸介
(株)ダンテック	技術部課長	○田中 正紀
〃	〃 技術2課主任	岸本 雄二
〃	〃	大迫 久人
〃	営業本部課長	久保 善昭*
(株)日本工業試験所	業務部営業グループ主務	○柚友 啓二
〃	技術部検査グループ	宮崎 秀敏
エースエンジニアリング(株)	検査部 検査課	岡和田 琢也
(株)日本工業試験所, (株)橋梁検査センター, 関西エックス線(株)は, (株)ナックとして参加)		

(以上, 五十音順, 敬称略)

ここに, ○印は, 作業の責任者であることを示す。*印は, 非作業員として参加したことを示す。

以上, 参加会社は12社であった。このうちパルス反射法の評価は, 12社のうちの11社が参加し, 11の探傷ケースすべての結果を評価とした。また, TOFD法は, 12社のうちの2社が参加し, 2つの探傷ケースのすべての結果を評価対象とした。なお, 比較のためMUTを実施した。