

【論文・報告】

鋼床版現場溶接部への自動超音波探傷検査の適用

Application of Automatic Ultrasonic Flaw Detection Test
to Field Welding of Steel Plate Decks

原 章*
Akira HARA

高田和守**
Kazumori TAKADA

宮本義雄***
Yoshio MIYAMOTO

藤本亘****
Wataru FUJIMOTO

多田賢*****
Satoshi TADA

一井延朗*****
Nobuaki ICHII

1. まえがき

一般に溶接内部欠陥の検出にはX線検査(以下RTと称す)と超音波探傷検査(以下UTと称す)のいずれかが、適用されている。著者らが扱っている橋梁工事においては、記録性に優れているRTを多用し、RTの適用が困難な箇所にUTを適用しているのが通常である。しかし、近年、自動超音波探傷装置(自動走行、自動記録式)が続々と開発され、記録性においても改善されたものができている。

現在、現場溶接部の非破壊検査の作業性を考えた場合、UTは他の作業と並行して作業を行えるという大きな利点がある。しかし、RTは、労働安全衛生上の問題から並行作業が困難であり、また夜間の撮影も工事現場の周囲の環境により禁止されていることが多くなっている。このため、橋体架設→鋼床版架設→鋼床版溶接→橋体架設のようなサイクル架設の鋼床版溶接では、サイクル工程短縮の必要性から自動超音波探傷検査(以下AUTと称す)が注目されてきた。本四公団発注の櫃石島橋では、鋼床版の突合せ現場溶接部の検査にAUTを適用して、RTと併用しない例であり、ここにその概要を紹介する。

2. RTとAUTの比較

RTとAUTを種々の項目について比較すると、概ね表-1のようになる。

3. AUTシステムの紹介

鋼床版現場溶接部を探傷する自動超音波探傷装置(以下AUTシステムと略す)は、現在数種類が実用化されているが、代表的な機構を図-1、写真-1、2に示す。

この装置は、それぞれ1コの探触子を持った走行ユニットが溶接線をはさんで対向し、それぞれの探触子でスキヤニングしながら、探触子より得たデータをコントロールユニット内で演算し、記録紙にアウトプットするものである。アウトプットされたデータは、通常のUTと同じようなAスコープを記録紙に表示するものと、超音波

表-1 RTとAUTの比較

項目		RT	AUT
欠陥の検出能力	割れ	劣る	高い
	融合不良	劣る	高い
	プローホール	高い	劣る
作業性	降雨時	高圧となるため原則的に不可	小雨程度なら可
	風	5m/s程度まで、それを越えるとフィルム固定方法必要	記録紙が飛ばない限り可能
	電源	安定電源が必要(発電機でも可)	安定電源が必要(発電機でも可)
	振動	鋼床版がゆれないかぎり可能	同左
	温度上昇	鋼床版表面温度が50°Cくらいになるとフィルムが変質するので、1枚ずつ貼りつづけることになり作業性が落ちる。	屈折角が変わると適用可能
	出荷いわく	立入禁止区域・管理区域の設定に制約が必要	可
	ガウジング作業との同時作業	不可	同左
	夜間作業	可(安全・照明等の問題)	同左
溶接部の検査範囲(斜線部分)	検査速度(1線12.3m)	1線15枚として3~3.5線/日	6線/日
	記録方法	フィルム	記録紙
判定		撮影→フィルム現像→フィルム乾燥→判定 結果が即座に出ない。	探傷→欠陥発生部について確認探傷 結果が即座にわかる。
工期		判定に時間がかかり、また手直してもあれば余分に時間がかかり次の作業に進めない。	結果がすぐわかり、次の作業にすぐかかる。
経済性		検査長によって違ってくる。	

*川田工業技術本部技術部部長(前・四国工場工場長) **川田工業四国工場生産技術課課長 ***川田工業富山工事部工事課課長 ****川田工業四国工場品質管理課 *****川田工業四国工場生産技術課 *****川田工業技術本部溶接研究室

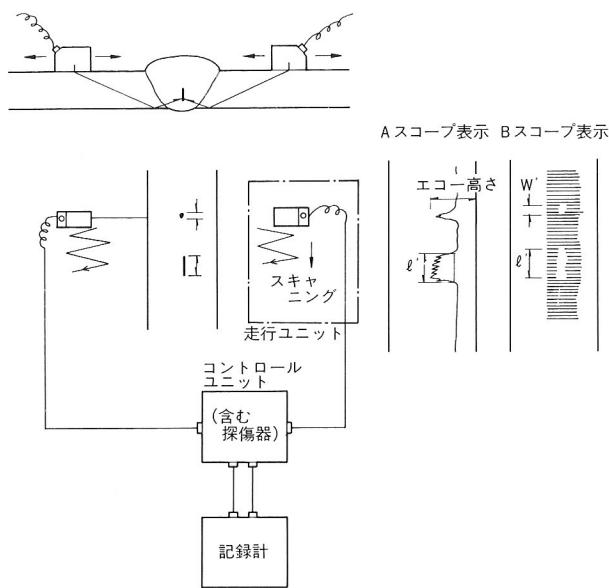


図-1 AUTシステム概念図

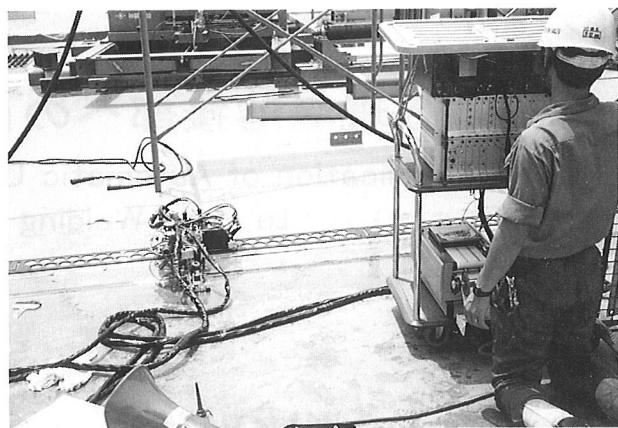


写真-2 コントロールユニット及び記録計

の入射方向に直角なBスコープ表示をするものがある。これらのAUTシステムは、現在数社が保有しており、その主要諸元を表-2に示す。

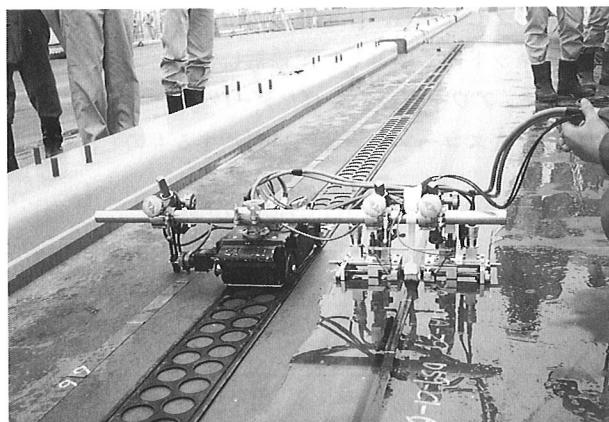


写真-1 走行ユニット

4. 性能確認実験

前述したAUTシステムの性能は、昭和60年度においてはいずれも実用化されておらず、実用的な各種性能を確認する必要があり、実工事（櫃石島橋の鋼床版現場溶接工事）について適用する前に、模型試験体による実験と仮組立中の鋼床版の現場溶接部による実験（実橋実験）を行うことにした。この実験に参加した検査会社は、4社であった。

本工事の判定基準は、特記仕様書によりJIS Z 3104(放射線透過試験方法及び透過写真の等級分類)の2級以上を合格とされており、UT検査ではあるがRTの規格に準拠した等級分類を行い整合性をもたしている。参考までに、表-3に判定基準を示す。

表-2 探傷装置一覧表

項目	検査会社	A社	B社	C社	D社
探触子	探触子型式	斜角ノーマル	同 左	斜角フォーカス	斜角フォーカス
	探触子個数 (カップリングチェック用)	6+2	2	2 (カップリングチェック用)	3
	探触子配置図			同 左	
走査方法	標準探傷 確認探傷※1	平行走査	ジグザグ走査 ジグザグ走査	縦又は、横方形走査 縦方形走査	平行走査
	一般部探傷走査 パターン		(標準) (確認) 	 縦方形 標準 (1~10mm)	
	走査ピッチ(P)		6 mm 0.8 mm	横方形 標準 (1~10mm) 横方形 標準 (1~10mm) + 精密 (0.5mm)	
	交差部及び端部 自動探傷不可能部	手探傷	同 左	同 左	同 左
表示探傷 方法及び記録	探傷速度(m/hr)	36	54	縦方形 25 横方形 50	24
	欠陥表示方法※2	Aスコープ表示	標準探傷 Aスコープ表示 確認探傷 Bスコープ表示	A, B, Cスコープ表示	同 左
	記録装置	ペンレコーダー	同 左	プロッタ	プリンター
感度	基準感度	標準試験片 DP-1 2.4φ 横穴 80%+4dB	同 左	同 左	同 左
	評価レベル又は検出 レベル・カットレベル	25%	30%	20%	25%
	欠陥推定寸法	欠陥指示長さ×補正係数	同 左	同 左	同 左
備考	※1 確認探傷は、必要に応じて手探傷にて確認する。 ※2 Aスコープ：欠陥エコー高さ、Bスコープ：欠陥側面画像、Cスコープ：欠陥平面像				

表-3 判定基準（板厚12mmの場合）

判 定 等 級	欠 陷 の 种 類			
	プローホール (B H)	画状欠陥 (P D)	溶込み不足 (L P)	割 れ (C r)
合 格	1 なし	0 ≤ L ≤ 3	長さに関係	長さに関係
	2 0 ≤ L ≤ 3	3 < L ≤ 4		
不 合 格	3 3 < L ≤ 6	4 < L ≤ 6	なく不合格	なく不合格
	4 L > 6	L > 6		

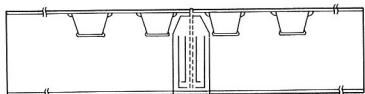
注) L : 欠陥指示長さ (mm)

(1) 模型試験体による実験

昭和60年3月、(株)宮地鉄工所千葉工場において本四公団第五工事長立会のもとに、各社のシステムによる模型試験体の探傷実験を行った。なお、あらかじめ行っていたX線検査結果は一切公表せず、各システム独自にJIS Z 3104に基づく等級分類を行った。模型試験体には、かなり大胆に欠陥を作成したため、実際の鋼床版溶接部には起り得ないような欠陥も入っていた。模型試験体は、表-4に示した約5mの長さのほぼ実物に似た形状で、目違い・ルートギャップ等は規程内の寸法精度であるが、若干の角変形を与えておいた。また、内部欠陥は、人工的にワレ、溶け込み不足、プローホール・スラグ巻込など考えられるかぎりの欠陥を作成した。各区間のX線検査の結果は、表-4の通りである。

表-4 模型試験体RT検査結果

模 型 試 験 体	R T 檢 査 結 果		
	区間	判定級	主 な 欠 陥
	1	1	
	2	1	
	3	4	横ワレ、スラグ巻込 8 mm
	4	4	高温ワレ 17 mm、集中BH他
	5	4	巣(パイプ及びウォームホール)
	6	4	パイプ 7 mm
	7	4	プローホール、スラグ差込み
	8	3	パイプ 5.5 mm
	9	1	
	10	1	
	11	1	
	12	2	第2種 3 mm
	13	1	" 2 mm
	14	1	
	15	1	
	16	1	
	17	4	裏溶込み不足
	18	4	"
	19	4	高温ワレ 45 mm
	20	4	高温ワレ 6 mm 4 mm



この模型試験体の探傷結果は、各システムとも20の区間に分けて等級分類を行い、それらのRTとAUTとの等

級合致率及び合否合致率は、表-5の通りであった。

表-5 RTとAUTの等級及び合否合致率

検査会社	等級合致率	合否合致率
A社	75%	100%
B社	80%	95%
D社	80%	100%
C社	80%	95%

合否の一致は、ほとんどのシステムで良好であった。しかし、No.4の区間において直径1mm程度の集中プローホール(手直し溶接時に多発するスタートプローブ)は、すべてのシステムにおいて欠陥指示を得られず、同じ区間にあった高温ワレにて4級不合格としていたが、欠陥を見逃していることが明らかになった。これは、AUTシステムの特性として、小さいプローホールを見逃しやすいという、今後に残る問題であった。

(2) 実橋による実験

昭和60年6月、川田工業(株)四国工場地組立ヤードにおいて、本四公団関係者多数立ち会いのもとに、各社のシステムによる11パネル大ブロック上の地組立溶接を終えた鋼床版の公開探傷実験を行った。

あらかじめ撮影しておいたRT結果は一切公表せず、各システム独自にJIS Z 3140に基づく等級分類を区間にについて行ったのち、RT結果との対応を行った。実橋ということもあり、欠陥らしい欠陥はないため欠陥記録の掲載は省略したが、当日は曇時々小雨、岸壁沿いの高所の為、風もあり、電源等も遠いという架橋作業現地によく似た作業環境の中で行われた。試験に供用した継手は、図-2、写真-3、4のとおりである。

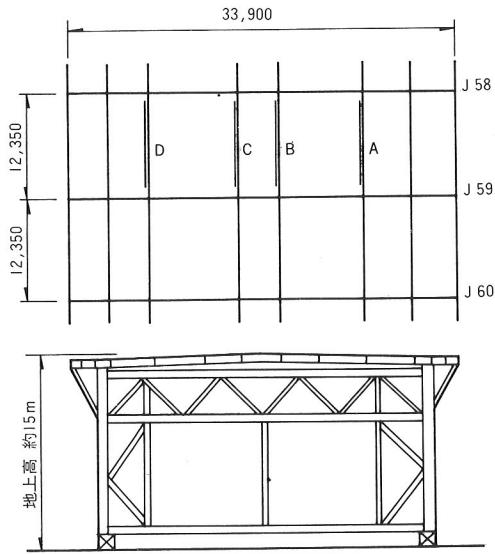


図-2 実橋による自動超音波探傷供試継手

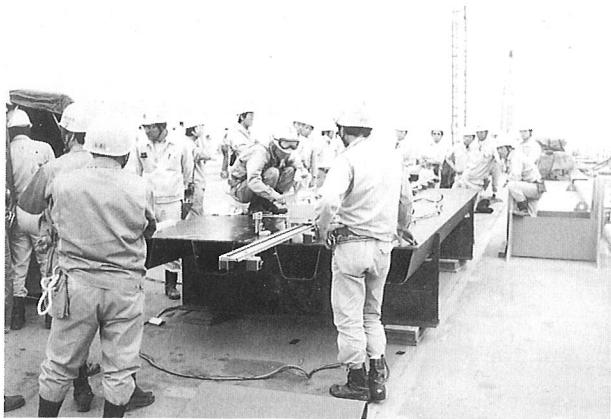


写真-3 模型試験体

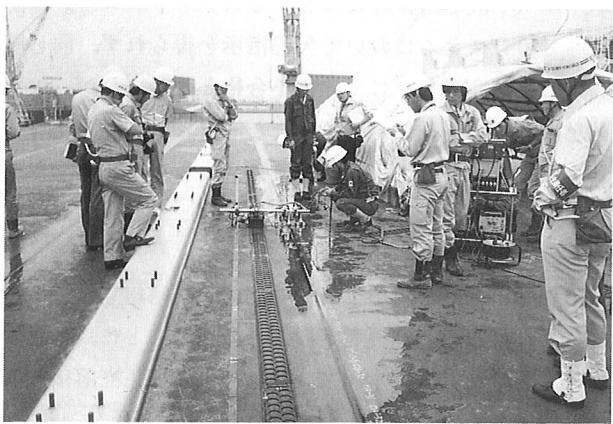


写真-4 実橋試験体

RTとUTとの判定等級合致率は、96~100%であり、合否合致率はすべてのシステムで100%であった。

また、各システムの探傷時間は、探傷開始より判定結果提出まで、A社は40分、B社は48分、C社は72分、D社はトラブルが発生し、前日の予備探傷のデータを提出にとどまった。

この結果、各社とも充分な予備部品を用意しておけば、1溶接線(12.4m)当たり1時間前後で検査できることが確認された。また、プローホールの検出性能にやや不満は残るもの、もっとも有害な欠陥である面状欠陥の検出感度は良いので、実用上問題はないとされ、櫃石島橋鋼床版現場溶接にAUTシステムを用いた検査を行うことにした。なお、十字溶接部等でAUTシステムで探傷が困難な箇所は、手探傷を併用することにした。

5. 実施工

櫃石島橋鋼床版現場溶接(面材架設部)は、昭和61年3月より2P側、3P側よりそれぞれ1パネル架設ごとに進められ、溶接部の検査としてAUTが適用された。図-3に、溶接箇所の概要を示す。

(1) 面材架設工程

架設工程を表-6、7に示す。

AUTは、安全区域を設ける必要もないため、トラフリップの取付段取り及び溶接後のH.T.B本締め作業が、検査と同時に行われたという大きなメリットがあった。また、検査結果も即座に判定できるために、トラフリップの取付け・溶接及びトラベラーの移動にスムーズに引き継ぎができた。

表-6 1パネル架設及び鋼床版溶接工程

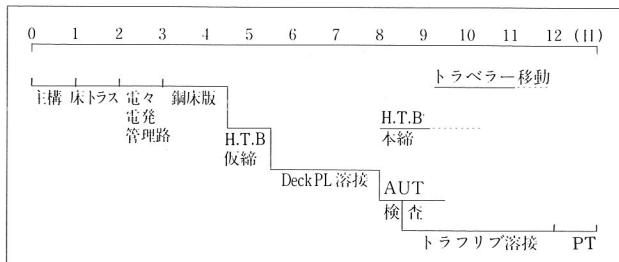


表-7 櫃石鋼床版現場溶接工程(3P側)

3	4	5	6	7	8	9	10	11(月)
46 45	49 43	42 41 40	39 38	37 36	35 34	33(パネル)		

(2) AUT作業タイムテーブル

表-8は、一般的なAUTの作業タイムテーブルであるが、検査・判定を含めて12.5m/60分かかったことになる。これは、当初、実橋実験で行われたのとほぼ同等の結果が得られた。現場における検査状況を写真-5~7に示す。

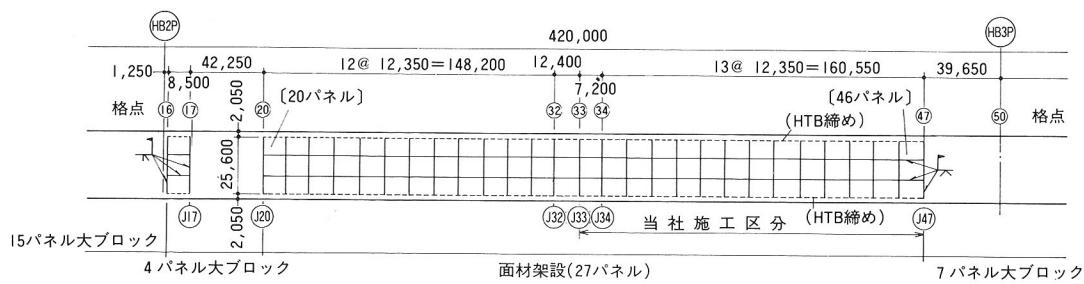


図-3 溶接箇所の概要図

表-8 鋼床版現場溶接部AUT作業タイムテーブル

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
装置組立及び手探傷				A U T キヤリ ブレ ー シ ヨ ン E 線	A U T キヤ ブリ レー シ ヨ ン B, C 線			後片付け	仕食及び報告書作成	
兎島側	25.6m			B線	C線					坂出側
				12.35m						
										A U T 検査位置 (1パネル) (例)



写真-5 交差部の検査

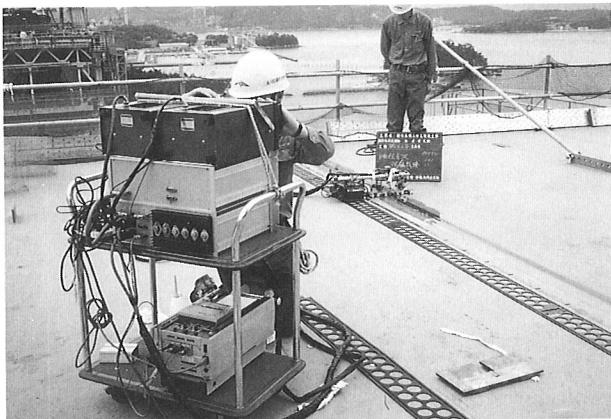


写真-6 橋軸方向の検査



写真-7 橋軸直角方向の�査

(3) 檢査

一般部については、標準探傷を行い、エコーが検出レベルを越える箇所については、精密探傷（Bスコープ、Cスコープ）又は手探傷にて確認探傷を行った。なお交差部については、手探傷で行なった。欠陥が出た箇所についてはただちに手直しを行い、再度、検査をした。欠陥の補修例を図-4に示す。

次に、探傷中に異常エコーが発生し、確認した結果、形状エコーであることがわかった。これは、図-5に示すようなビードの凸部にエコーが反射して、あたかも欠陥エコーのようにまぎらわしい状況を示したものである。これを実証してみるために、凸部をグラインダー整形すると、エコーは消えた。

この結果、形状エコーが発生した場合の処置として、次のような対策がとられた。

① 形状エコーの高さが30%以上で、かつ長さが10mm以上あるものは裏ビートをグラインダーで修正しその部分を再検査する。

② 上記(1)未満のものは、手探傷で確認した後、記録紙上に形状エコーと明記する。

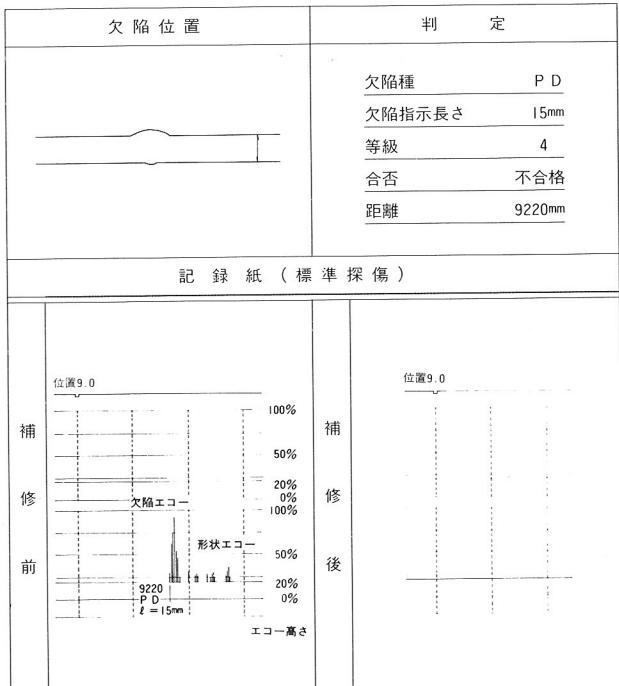


図-4 欠陥の補修例



指で裏ビートを触ることにより、C R T上のエコー高さが変動し、形状エコーであることがわかる。

図-5 形状エコー発生の裏ビート

6. あとがき

鋼床版現場溶接は、近年増加の傾向にある。その検査方法としてAUTシステムを適用した場合、以下の短所及び長所がある。

a) 短 所

1. 検査長が短い時は、高価である。
2. 高周波グラインダーの影響を受ける。
3. 小さいブローホールは、検出しにくい。

b) 長 所

1. 全線検査など検査率が高くてもコストが上昇しない。(品質管理上としては、信頼性が高い。)
2. 安全衛生上、好ましい。
3. 現地作業時に、溶接工の待ち時間が少ない。(検査一判定のサイクルが早いため)
4. 鋼床版溶接に特有の面状欠陥(ワレ、融合不良等)を確実に検出する。

以上のような特性があるが、鋼床版現場溶接部の検査方法としては、非常に有効な検査であり、今後も数多く用いられるであろう。

今後は現場溶接において、鋼床版のような下向き溶接部だけでなく、横向き、立向き及び上向き溶接部に対応できるようなオールポジションで探傷可能で、また、A、B、Cスコープを用いて第三者にわかりやすい画像処理を行ったり、パソコンを用いて自動判定及び自動記録のできる機種が開発される必要性が生じており、その検討もなされている。さらにブローホールに対しても検出能力のアップをはからなければならないであろう。

最後に、鋼床版現場溶接に自動超音波探傷検査を供用するにあたり、適切なご指導及びご協力いただいた本四公団児島工事事務所、金沢工事長をはじめとする工事区の各位、櫃石島橋上部工製作及び架設JVならびに各検査会社の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 金沢：鋼床版現場溶接の自動超音波探傷検査、本四技報、Vol.11、No.43、1987.7.