

I-2 鋼床版デッキプレート現場溶接部の 超音波探傷試験について

(株)帝国設計事務所 正員 東山 久雄
北海道十勝支庁 桑原 孝
北海道十勝支庁 竹井田博成

1. まえがき

近年大小の鋼床版橋が架設されている。鋼床版現場継手の接合法としては、舗装面の平滑化などの理由から、高張力ボルトよりも現場溶接が望まれ、さらに裏当材（ソフトバックিং）の片面自動溶接法の導入・改良により、現場溶接の欠陥の著しい減少となり、施工性が大幅に向上し、鋼床版デッキプレートの現場溶接には裏当材片面自動溶接に限られつつある。橋梁工事に当り、鋼床版現場溶接施工要領書は、設計、工場製作、現場架設の三者を通して総合的に計画・検討され、Total Quality Controlの点を貫いて作成されていなければならない。

鋼床版現場溶接における欠陥発生状況の特性として次のように指摘されている。①

- 1) 現場溶接着手当初における欠陥の発生率はかなり高い。
- 2) 上記の時期を過ぎても、工場溶接の欠陥発生率に比べて高い。
- 3) 溶接線上の特異点は、特有の欠陥を発生し易いが、特異点のみ着目して検査すればよいと言えるほどでない。

二三の鋼床版現場溶接の試験検査の例だけであるが、その結果は上記の指摘は現在でも妥当であり、現場溶接には多数の不合格欠陥が存在し、鋼床版の品質確保のためには、相当量のレントゲン試験（以下RT）を必要とし、それらの手直し溶接も入念に施工されねばならないと考える。試験検査の費用、合理化、などの点よりも、現場溶接検査には超音波探傷試験（以下UT）の採用が適当と考える。鋼床版デッキプレートのUTの示方書、実施例が見当たらないので試行とし、UTの欠陥検出能力、RTとの判定基準の比較を検討することとし、RTとUTの併用することにする。

RTとUTはそれぞれ溶接欠陥の検出能力、現場作業性、記録性、安全性など異なる特性を有している。RTとUTを併用することにより、安全に、溶接・架設の工程に支障を与えることなく、大量の現場溶接部分を適切に、短期に試験検査が行いうる。従って大きな経済性も発揮しえる。

2. 鋼床版デッキプレートの現場溶接と試験検査について

2-1 鋼床版の現場溶接について

十勝中央大橋（全長772.50m）の中央部分は、中央径間250m、両側径間各々100mの複合斜張橋である。要目は次の通りである。

径間長	100m+250m+100m
巾 員	12m、360（2車線、歩道及び自転車道）
構 造	2函桁鋼床版 Uリブ Uリブ13ヶ（中4ヶボルト接合） 板リブ10ヶ

デッキプレート	SMA41AW	SMA50BW	SMA50CW
	12 ^{mm}	12、16、19 ^{mm}	34 ^{mm}
Uリブ	SMA41AW	6 ^{mm}	

斜張橋の架設、現場溶接はⅢ工期に分けて施工され、側径間をⅠ、Ⅱ工期・スレージング架設とし、中央径間はⅢ工期・張出し架設にて施工する。溶接施工は裏当材による片面突合せ溶接で、CO₂半自動、全自動とサブマージアーク溶接を用いる。現場継手の溶接線の始末端、交差部はCO₂半自動溶接を行い、続いてサブマージアーク溶接を行う。溶接入熱は1パス70,000 joule/cm以下を目指し、開先形状のギャップ巾の広いものは2層溶接を行う。Uリブは裏当金の被覆アーク溶接で行う。

2-2 デッキプレート現場溶接の検査について

溶接検査は放射線透過試験(RT)と超音波探傷試験(UT)を用い、検査数量は表2-1に示す。検査数量は溶接欠陥が始末端、交差部に集中することと、RTとUTの検出率の対比を求めることを考え設定する。RTはC方向は始末端2枚、交差部4ヶ所×3枚と中央部3枚を配する。L方向も同じく始末端2枚と中央1枚(抜取)とする。UTはC方向は全線とする。L方向はⅠ期は全線の1/4の抜取りとしたが、検査しない各溶接線に両端と中央(抜取)にて2.0mを追加検査する。試験は各々JIS Z 3104、JIS Z 3060による。合格基準は横継手2級以上、縦継手支承部2級以上他3級以上とし、合否の判定はRTを主とする。Ⅰ工期Ⅱ工期にUT欠陥不合格数がRTと差があり、UTの指示長をRT欠陥に近似させるよう判定基準を改定し、Ⅲ工期のUTには、この判定基準を用いる。Ⅲ工期の中央径間、張り出し架設工程は①デッキプレートの始末端溶接②シーム溶接③UT④手直し溶接⑤手直し部UT⑥RTの順で、その後⑦RT合格決定⑧Uリブの取付である。

表2-1 デッキプレート現場溶接の検査数量

		Ⅰ工期	Ⅱ工期	Ⅲ工期	備 考
横 方 向 (C)	溶接延長 m	98.88 (12.36×8)	123.60 (12.36×10)	197.76 (12.36×16)	追加手直しを含まない 1枚=30cm
	RT 枚 枚/線 %	136 @17 41.2	170 @17 41.2	272 @17 41.2	
	UT m	98.88	123.60	197.76	
	%	100	100	100	
縦 方 向 (L)	溶接延長 m	426.96	547.60	808.20	上記に 同じ
	RT 枚 枚/線 %	96 @3 6.6	120 @3 6.6	180 @3 6.6	
	UT m m/線 %	172.89 全線×1/4+@2.0 40.5	80.00 @2.0 14.6	120.00 @2.0 14.8	

3. 結果と考察

3-1 Ⅰ、Ⅱ工期について

Ⅰ工期の溶接欠陥のUT検出箇所を図3-1、Ⅰ工期のRT、UT不合格欠陥の対比を表3-1に示す。図3-1では欠陥発生は前記の交差点、始終点に多いことを示されている。J₁は板厚差があり、裏当材の密着、溶接条件が難しいところである。

図 3-1 超音波探傷検査位置図

注記

太線：検査箇所ライン
↑：欠陥検出位置及び方向
7：欠陥記録表 No.

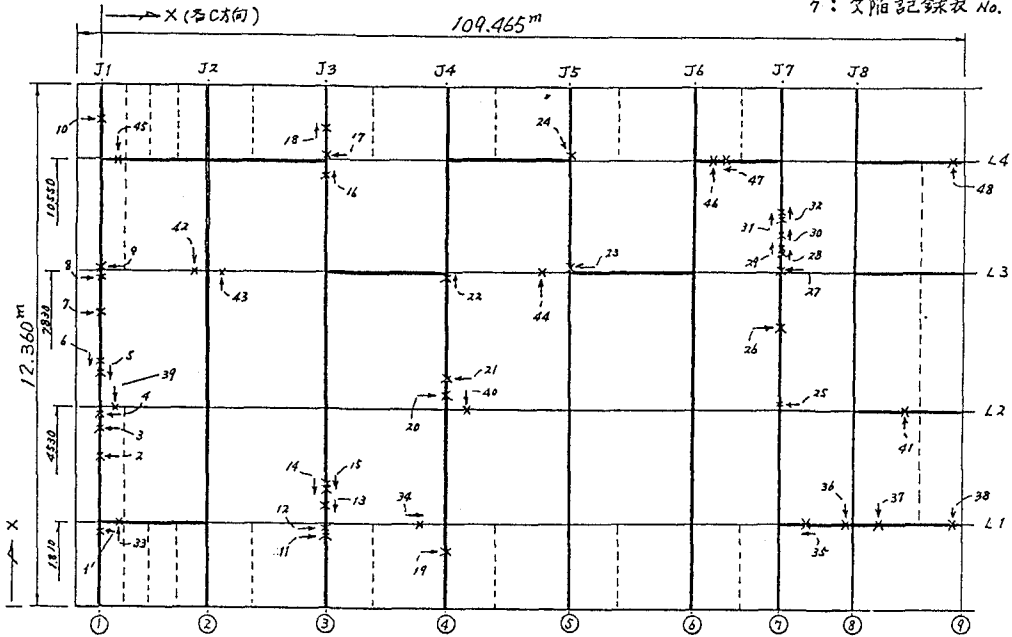


表 3-1 放射線透過試験と超音波探傷試験の欠陥検出と判定比較

放射線透過試験 (RT)					超音波探傷試験 (UT)						
撮影位置	欠陥の種類	欠陥の大きさ	欠陥の分類と等級	判定	No	領域	欠陥評価長さ	総和	等級	判定	備考
J ₁ -3	B、I	B: $\phi 1 \times 1$, $\phi 0.8 \times 2$ I: 1L	2-4	NG	1	II	5L	-	(1)	G	
J ₁ -6	I	3L, 5L	2-4	NG	2	II	3L	-	(2)	G	
J ₁ -7	I	15L	2-4	NG	3	IV	16L	-	(3)	NG	
J ₁ -11	B、S	B: $\phi 4.1 \times 0.8$ S: 3L, 5L	2-4	NG	4	II	6L 7L	13L	(3)	NG	
J ₁ -18	L	5L, 21L	2-4	NG	5	IV	23L	-	(4)	NG	
J ₁ -19	B	$\phi 1.5, 1$	1-1	G	6	III	7L	-	(2)	G	(3) NG
J ₃ -3	I	22L, 13L	2-4	NG	7	IV	13L 18L	31L	(4)	NG	
J ₃ -15	I	36L, 10L	2-4	NG	8	III	7L 65L	72L	(4)	NG	
J ₄ -2	B、I	B: $\phi 1.5, 2.3$ I: 25L	2-4	NG	9	IV	57L	-	(4)	NG	
J ₄ -8	S	2L, 1L	2-1	G	10	III	27L 7L	34L	(4)	NG	
J ₄ -11	S	5L, 3L	2-4	NG	11	II	6L	-	(1)	G	ビード(2)G 上探傷
J ₅ -16	B	$\phi 2 \times 6$	2-4	NG	12	III	8L	-	(2)	G	(3) NG
J ₇ -8	S	7L	2-4	NG	13	II	5L	-	(1)	G	
J ₇ -11	I	8L	2-4	NG	14	II	3L	-	(1)	G	余部でビード 掘めない
J ₇ -18	B	$\phi 1 \times 2$ $\phi 2.5 \times 1$ $\phi 1.5 \times 1$ $\phi 2 \times 2$	1-4	NG	15	III	17L	-	(3)	NG	(4)
J ₇ -19	B	$\phi 1 \times 1$	1-1	G	16	III	5L 6L 7L	18L	(3)	NG	(4)
J ₇ -20	N	-	-	G	17	III	8L、9L	17L	(3)	NG	(4)

表3-1 続

L ₁ -25	N	—	—	G	18	Ⅱ	12L	—	(3)	NG	
L ₁ -26	I	11L	2-4	NG	19	Ⅱ	9L	—	(2)	G	(3)G
L ₁ -27	N	—	—	G	20	Ⅱ	7L	—	(2)	G	(3)G
L ₂ -25	N	—	—	G	21	Ⅲ	10L	—	(3)	G	
L ₂ -26	I	15L	2-4	NG	22	Ⅱ	9L	—	(2)	G	(3)G
L ₃ -25	B、S	B:φ2.5×1 S:1L、3L	2-2	G	23	Ⅲ	9L	—	(2)	G	(3)G
L ₄ -25	I	8L	2-4	NG	24	Ⅲ	12L	—	(3)	G	

G: 合格 NG: 不合格 N: 無欠陥 S: スラブ巻込み
B: プロホール I: 溶込み不良 L: 融合不良 C: 割れ P: バイブ

表3-2 RT、UTの欠陥数と不合格数
(一次試験のみ)

幕別側	RT 試験		UT 試験		
	欠陥数	不合格数	欠陥数	不合格数	※1
J ₁	7	5	7	2	7
J ₂	3	2	2	1	2
J ₃	10	7	5	2	5
J ₄	6	1	1	1	1
J ₅	3	2	2	2	2
J ₆	12	7	※3 10(18)	6	7
J ₇	4	1	0	0	0
J ₈	8	1	3	0	2
J ₉	6	0	0	0	0
L ₁	18	3	8(16)	2	3
L ₂	18	3	7	0	0
L ₃	20	2	3	0	0
L ₄	19	3	5	4	4
幕別側					
J ₉	11	5	6	1	2
L ₁	1	0	3(4)	0	0
L ₂	2	0	1	0	0
L ₃	1	0	0	0	0
L ₄	0	0	1	0	1

※1 UT欠陥指示長さの範囲を変更した時の不合格数

※2 指示長さの改定案 t=12mm

J継手 Jisz3060 2級
L継手 Jisz3060 3級

領域	現行	改定
2級 Ⅱ～Ⅲ	< 9.0mm	→ < 6.0mm
Ⅳ	< 6.0mm	→ < 4.0mm
3級 Ⅱ～Ⅲ	< 18.0mm	→ < 12.0mm
Ⅳ	< 9.0mm	→ < 6.0mm

※3 10(18) 評価数(実数)

Ⅱ工期の欠陥中の不合格数を表3-2に示す。この表3-1、表3-2のRT、UT対比をまとめると表3-3になる。両表にある通りⅠ～Ⅱを通じ、RTに比べUTの不合格数が少ない。UTとRTを整合させるため、UTの指示長さ限界を表3-2の右欄の如く変更し、これをあてはめ再判定したものが表3-2、表3-3のUT改定である。

表3-3 RT、UTの不合格欠陥の対比

		RT	UT	UT改定
Ⅰ工期	C方向	13/17	10/17	--> 12/17
	L方向	3/4	1/6	--> 1/6
Ⅱ工期	C方向	31/70	15/43	--> 28/43
	L方向	11/79	6/36	--> 8/36

3-2 Ⅲ工期について

一次検査にUTを全面的に用いたので①手直し溶接が直に着工できる。②溶接・架設・ケーブル作業など他作業に支障とならない。③RT後の手直し溶接が少ない。など架設工程の進捗に良好である。Ⅲ工期のRTとUTの状況を表3-4に示す。

これらⅢ工期のC方向、16溶接継手、80シームの中、不合格欠陥となり手直し溶接は、UTが3ヶ所、RTが12ヶ所、合計45ヶ所である。このRT12ヶ所の中、欠陥位置が交点1ヶ所表層1ヶ所がUT斜角探傷では検出されていない。他の10ヶ所はUT合格欠陥である。Ⅲ工期中の欠陥、不合格発生頻度は着工当初と中央閉合期に多い。

3-3 考察

1) 溶接欠陥の発生は溶接の管理・施工の如何に左右される。管理・施工の確実な状況把握と人念な目視検査を行えば、発生箇所のおおよその推定は可能である。

2) 溶接欠陥の判定基準には、④品質管理基準、⑤構造物損傷可否基準がある。デッキプレート現場溶接の検査には、④と共に⑤を重視せねばならない。可能な限り不合格欠陥を検出し、適正な手直し溶接が要る。

3) デッキプレート現場溶接の検査には、UTがRTと同じく有効である。作業性は特に適している。それぞれ特性に差があるが、RTにしるUTにしる、経験ある試験者、検査者が担当することが大切である。外観検査(VT)、溶接前、溶接中のチェックは欠陥検出に重要である。

4) UT判定の際JIS Z 3060の規定指示長を1級上げて適用するのが、我々の結果ではRT判定と整合しやすい。

5) UTの検出に当り、溶接線の十字交点は探触子が近接しにくく、検出もれが生じ易い。又ビード表層部の欠陥も検出もれが生じる。

6) UT単独か、RTと併用か、それぞれの欠陥検出能力、判定基準、更に欠陥評価が合目的かなど、数多くの問題もある。

7) 補修溶接は難しい溶接施工となる。検査には判定の過不足が付きまとう。慎重な対応が重要である。

表3-4 横継手（C方向）結果表 不合格／欠陥 不合格／撮影枚数 縦継手（L方向）結果表

部 位	U T	R T	計	摘要 R T不合格の状況	U T	R T	計	摘要 R T不合格の状況
J ₁₀	1/3	2/17	3	(4) ^{NM} _{3/4} 表層 (9) ^{NM} _{2/3} 交点	2/3	0/12	2	
J ₁₁	3/5	0/17	3		1/3	0/12	1	
J ₁₂	1/1	1/17	2	(15) ^{II-4} _{2/4} 交点	0/4	0/8	0	
J ₁₃	2/2	0/17	2		0/2	0/12	0	
J ₁₄	2/3	0/17	2		1/3	1/12	2	(L ₃ -40) ^{NM} _{3/4} 交点
J ₁₅	1/1	0/17	1		2/2	0/12	2	
J ₁₆	0/0	1/17	1	(15) ^{母材} _{1/3}	0/1	1/12	1	
J ₁₇	3/3	0/17	3		0/1	1/12	1	(L ₁ -49) ^{II-5} _{2/4}
計	13/18	4/136	17		6/20	3/96	9	
J ₁₀ '	5/7	2/17	7	(1) ^{母材} _{1/3} (16) ^{II-4} _{3/4}	3/9	2/8	5	(L ₁ -28) ^{II-4} _{2/4} (L ₄ -29) ^{II-5} _{2/4}
J ₁₁ '	2/3	1/16	3	(9) ^{II-4} _{2/3}	2/4	0/12	2	
J ₁₂ '	0/1	1/18	1	(15) ^{母材} _{2/3}	0/1	1/12	1	(L ₃ -33) ^{NM} _{3/4} 交点
J ₁₃ '	1/1	0/17	1		0/1	0/12	0	
J ₁₄ '	1/2	1/17	2	(13) ^{II-4} _{2/4}	0/0	0/12	0	
J ₁₅ '	0/0	1/17	1	(16) ^{II-3} _{2/4}	0/0	0/12	0	
J ₁₆ '	5/6	1/17	6	(11) ^{II-4} _{2/4} 交点	0/1	0/16	0	
J ₁₇ '	6/6	1/17	7	(8) ^{II-6} _{1/3} 手直し後				
計	20/26	8/136	28		5/16	3/84	8	

J₁₀ ~ J₁₇ (音更側) L₁ ~ L₄ NO.28 ~ NO.50, NO49' (): R T NO 上段 U T 領域、指示長 mm
J₁₀' ~ J₁₆' (幕別側) L₁ ~ L₄ NO.28' ~ NO.48' 下段 R T 等級、分類

4. むすび

鋼床版デッキプレートの品質は、設計、製作、架設 にかかわるが最終的に現場溶接の製造品質にかかわる。さらに現場溶接の施工品質は管理手法に適合するようになってきている。しかし溶接欠陥の発生は未だ特発的でもある。溶接欠陥の検出に、抜取り検査だけでは不安が残る。この際、R Tと共に、U Tを用いることは有効である。問題点も多いので、今後、多くのU Tの実施例報告、検討が行われることを期待する。

参考文献 ① 本州四国連絡橋公団：鋼床版現場溶接施工基準（案） 昭和53年3月