

第4章 作業能率

4-1 作業能率の概論と前提条件

スカラップの違いによる経済性を評価するために、現在使用されているロボットで施工した場合、CO₂半自動溶接で施工した場合、および立向き溶接可能なロボットで施工した場合の比較を行い、垂直スティフナをモデルとして、取り付けに必要な作業時間を算出した。ここで対象としたのは、日本道路公団の標準図にあるI桁のスパン1/4付近での垂直スティフナ（PL-130×10×2300）とした。なお、ここでは、上下フランジ同一のスカラップ形状とした。

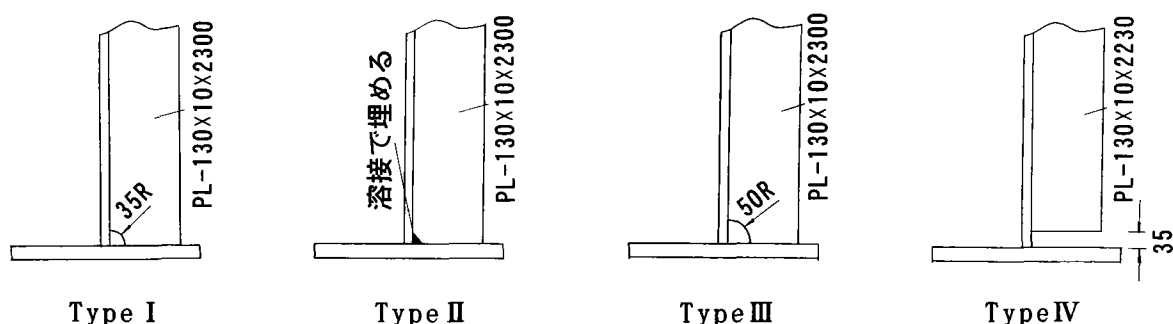


図4-1 作業時間算出のスカラップタイプ

検討に当たり、次の条件のもと、作業時間の算出を行った。

- ①対象とするスカラップのタイプとして、従来の35Rタイプ（Type I）、スカラップを省略したタイプ（Type II）、50Rと拡大したタイプ（Type III）およびスカラップ箇所を省略した板切り（Type IV）の4タイプで比較した。
- ②施工法として、現状のパネル製作ロボットで行った施工法（施工法 I）、CO₂半自動溶接で行った施工法（施工法 II）、および立向き溶接が可能なロボットを使用した場合（施工法 III）の3施工法で検討した。なお、施工法 III について、ロボットによる立向き溶接も実用上十分可能なレベルに達してきているという報告¹⁾もあり、今後パネル製作ラインを見直す場合、導入されるロボットであろう。
- ③通常、上・下フランジでスカラップのディテールは異なる場合もあるが（例えば、中間部の垂直スティフナでは、上部でType I、下部でType IVが採用されるケースがある）、ここでは作業能率の比較を行うために、上・下フランジ同じディテールのスカラップ形状とした。
- ④ロボットで行う場合には、2電極で行うケースが多いので、ロボットでは2タッチで計算することとした。
- ⑤溶接は下向きで行なうことを基本とした。ただし、施工法 III のみフランジとスティフナの溶接を立向き溶接で行うこととした。
- ⑥従来の溶接では、通常2回のワーク反転を行なうが、板切り（Type IV）および施工法 III ではこの部位での溶接では反転作業を必要としない。しかし、このよ

うなケースの場合でも、1パネルすべての垂直スティフナでTypeⅣの構造が採用されるわけではなく、また他の部位の溶接作業があり、反転作業は行われる。このため、反転作業時間は共通として作業時間の対象外とした。

- ⑦溶接速度は、ロボット溶接およびCO₂半自動溶接の場合で水平姿勢で280mm/min、ロボットの立向き姿勢で140mm/minと設定した。なお、この時の溶接長は6mm換算で算出した。また、フランジと垂直スティフナの溶接などでは溶接長が短くこのような場合では、作業準備なども含め1カ所あたり2分で行うこととした。
- ⑧ロボットを用いる場合には、スカラップ形状に関係なく廻し溶接は100%適切にできるものとした。ただし、施工法Ⅲでスカラップがある場合（TypeⅠ，Ⅲ）上進立向き溶接を行う場合の始端部（下側）では廻し溶接は適切に行なえないものとした。
- ⑨CO₂半自動溶接で行った場合、35Rでは25%、50Rでは10%の確率で適切な溶接品質が得られないものとした（グラインダー仕上げが必要）。また、溶接品質が適切でない場合、再溶接が必要であったり、グラインダー仕上げのみであったり様々であるが、このような場合、再溶接の有無に関わらず、作業準備時間なども含め1カ所あたり、棒グラインダーで5分必要であるとした。
- ⑩スカラップを省略（TypeⅡ）した構造では、棒継部が生じる。この場合、直線部についてはディスクグラインダーで仕上げる必要があり、80%の確率で仕上げ作業を行うものとし、作業準備時間なども含め1カ所あたり2分とした。また、コーナー部については20%の割合で仕上げ作業を行うものとし、棒グラインダーで3分必要であるとした。

4-2 スクラップ径35Rの場合 (Type I) の作業時間

(1) 施工法 I (現状のロボットを適用した場合) (図4-2)

(解説)

① 廻し溶接も含めロボット施工を行う。

($2230\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} \div 2\text{トーチ} = 8.0\text{分}$)

② 部材を90度回転し、フランジをCO₂半自動溶接で行う。(上下フランジの2箇所)

($2\text{分} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所} = 8.0\text{分}$)

③ スクラップの廻し溶接を、棒グラインダーで仕上げる。ただし、25%の確率で適切な溶接品質が得られないものとする。(5分 \times 0.25 \times 2箇所=2.5分)

作業時間の合計値は、18.5分。

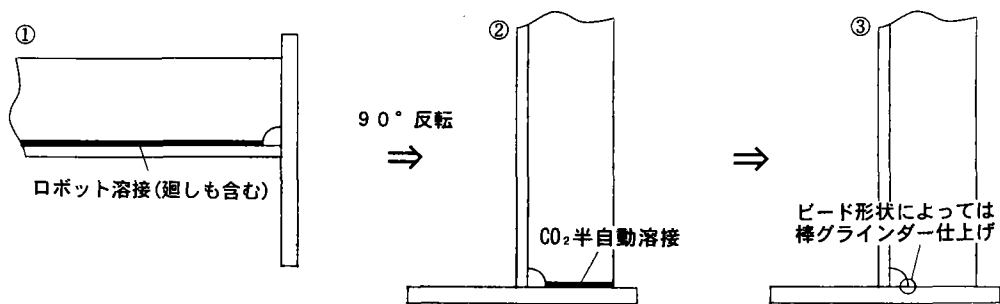


図4-2 Type I (35R)で施工法 I (従来のロボット)を適用

(2) 施工法 II (CO₂半自動溶接を適用した場合) (図4-3)

(解説)

① CO₂半自動溶接で溶接を行う。(2230mm \div 280mm/min \times 2面=15.9分)

② スクラップの廻し溶接を、棒グラインダーで仕上げる。ただし、25%の確率で適切な溶接品質が得られないものとする。(5分 \times 0.25 \times 2箇所=2.5分)

③ 部材を90度回転し、フランジをCO₂半自動溶接で行う。(上下フランジの2箇所)

(2分 \times 2面 \times 2箇所=8.0分)

④ ②に同じ。(5分 \times 0.25 \times 2箇所=2.5分)

作業時間の合計値は、28.9分。

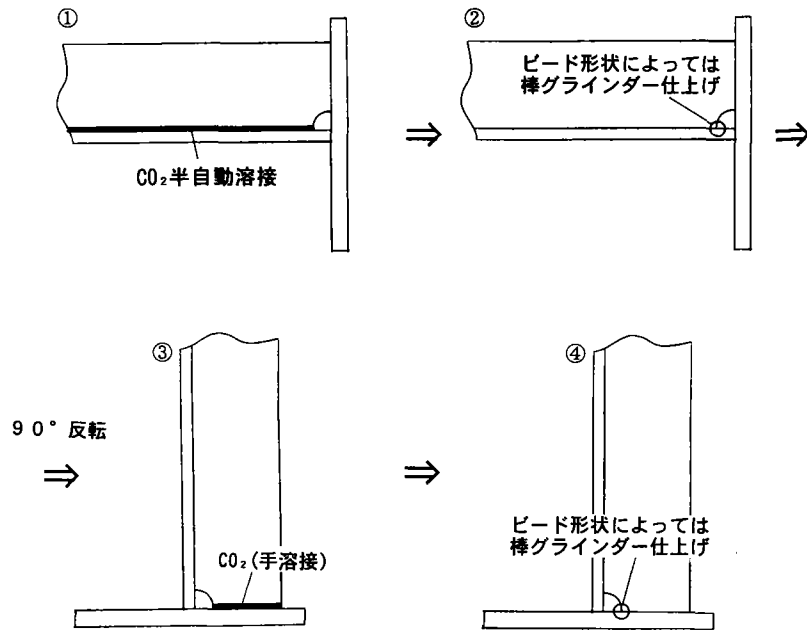


図 4 - 3 Type I (35R)で施工法Ⅱ (CO₂半自動溶接)を適用

(3) 施工法Ⅲ (立向き可能なロボットを適用した場合) (図 4 - 4)

(解説)

- ① 下向き姿勢では廻し溶接も含めロボット施工を行い、続けて立向き溶接を行う。
 $(2230\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} + 95\text{mm} \div 140\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所}) \div 2\text{トーチ} = 9.3\text{分}$
- ② 部材を90度回転し、廻し溶接が行えない箇所を再溶接する。
 $(2\text{分} \times 2\text{箇所} = 4.0\text{分})$
- ③ スカップの廻し溶接を、棒グラインダーで仕上げる。ただし、25%の確率で適切な溶接品質が得られないものとする。
 $(5\text{分} \times 0.25 \times 2\text{箇所} = 2.5\text{分})$

作業時間の合計値は、15.8分。

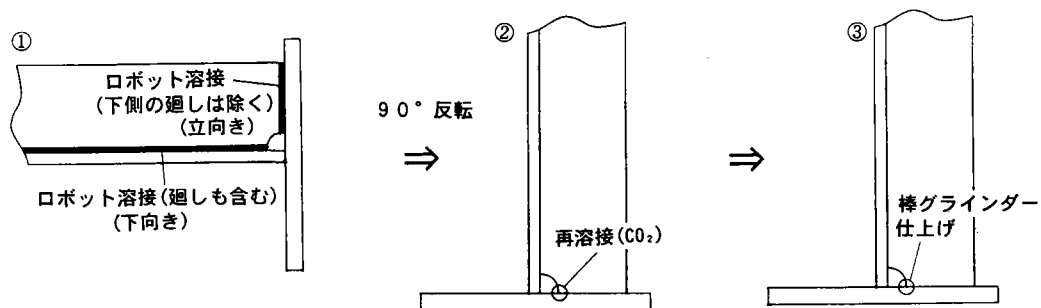


図 4 - 4 Type I (35R)で施工法Ⅲ (立向き可能なロボット)を適用

4-3 スクラップを省略した場合 (Type II) の作業時間

(1) 施工法 I (現状のロボットを適用した場合) (図 4-5)

(解説)

- ① スクラップが無ければロボットが始末端の検知が出来ず、棒継部の処理を考慮して、始末端の100mmを残してロボット施工を行う。
($2100\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} \div 2\text{トーチ} = 7.5\text{分}$)
- ② 溶接残し箇所をCO₂半自動溶接で行う。
($2\text{分} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所} = 8.0\text{分}$)
- ③ 棒継部を80%の割合で仕上げが必要であると仮定し、ディスクグラインダーで仕上げる。
($2\text{分} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所} \times 0.8 = 6.4\text{分}$)
- ④ 部材を90度回転し、フランジをCO₂半自動溶接で行う。(上下フランジの2箇所)
($2\text{分} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所} = 8.0\text{分}$)
- ⑤ コーナー部を20%の割合で仕上げが必要であると仮定し、棒グラインダーで仕上げる。
($3\text{分} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所} \times 0.2 = 2.4\text{分}$)

作業時間の合計値は、32.3分。

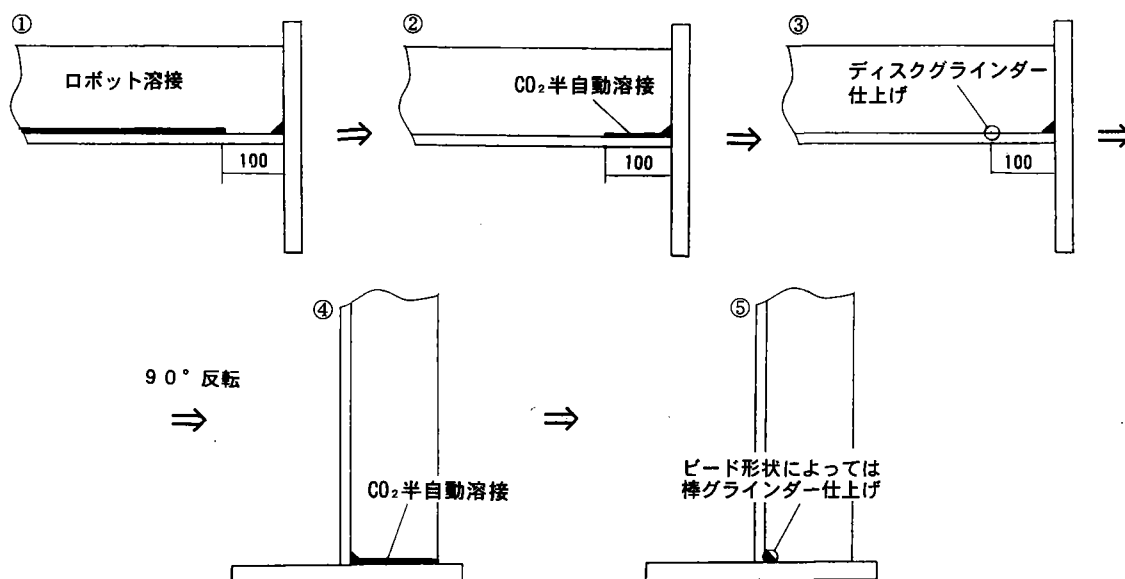


図 4-5 Type II (省略) で施工法 I (従来のロボット) を適用

(2) 施工法Ⅱ (CO₂半自動溶接を適用した場合) (図4-6)

(解説)

- ① CO₂半自動溶接で溶接を行う。(2300mm÷280mm/min×2面=16.4分)
- ② 部材を90度回転し、フランジをCO₂半自動溶接で行う。(上下フランジの2箇所)
(2分×2面×2箇所=8.0分)
- ③ コーナー部を20%の割合で仕上げが必要であると仮定し、棒グラインダーで仕上げる。(3分×2面×2箇所×0.2=2.4分)

作業時間の合計値は、26.8分。

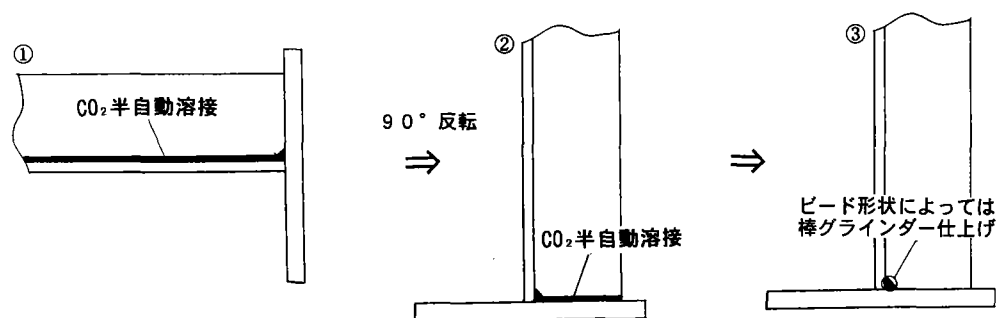


図4-6 TypeⅡ(省略)で施工法Ⅱ(CO₂半自動溶接)を適用

(3) 施工法Ⅲ (立向き可能なロボットを適用した場合) (図4-7)

(解説)

- ① 下向き姿勢でウェブとスティフナをロボット施工し、続けてフランジとスティフナを立向き溶接で行う。
(2300mm÷280mm/min×2面+130mm÷140mm/min×2面×2箇所)÷2トーチ=10.1分)

作業時間の合計値は、10.1分。

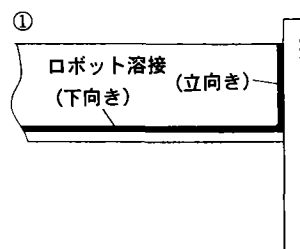


図4-7 TypeⅡ(35R)で施工法Ⅲ(立向き可能なロボット)を適用

4-4 スカラップ径50Rの場合 (TypeⅢ) の作業時間

(1) 施工法Ⅰ (現状のロボットを適用した場合) (図4-2と同じ)

(解説)

- ① 廻し溶接も含めロボット施工を行う。 $(2200\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} \div 2\text{トーチ} = 7.9\text{分})$
- ② 部材を90度回転し、フランジをCO₂半自動溶接で行う。(上下フランジの2箇所)
($2\text{分} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所} = 8.0\text{分}$)
- ③ スカラップの廻し溶接を、棒グラインダーで仕上げる。ただし、10%の確率で適切な溶接品質が得られないものとする。 $(5\text{分} \times 0.10 \times 2\text{箇所} = 1.0\text{分})$

作業時間の合計値は、16.9分。

(2) 施工法Ⅱ (CO₂半自動溶接を適用した場合) (図4-3と同じ)

(解説)

- ① CO₂半自動溶接で溶接を行う。 $(2200\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} = 15.7\text{分})$
- ② スカラップの廻し溶接を、棒グラインダーで仕上げる。ただし、10%の確率で適切な溶接品質が得られないものとする。 $(5\text{分} \times 0.10 \times 2\text{箇所} = 1.0\text{分})$
- ③ 部材を90度回転し、フランジをCO₂半自動溶接で行う。(上下フランジの2箇所)
($2\text{分} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所} = 8.0\text{分}$)
- ④ ②と同じ。 $(5\text{分} \times 0.10 \times 2\text{箇所} = 1.0\text{分})$

作業時間の合計値は、25.7分。

(3) 施工法Ⅲ (立向き可能なロボットを適用した場合) (図4-4と同じ)

(解説)

- ① 下向き姿勢では廻し溶接も含めロボット施工を行い、続けて立向き溶接を行う。
($(2200\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} + 80\text{mm} \div 140\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} \times 2\text{箇所}) \div 2\text{トーチ} = 9.0\text{分}$)
- ② 部材を90度回転し、廻し溶接が行えない箇所を再溶接する。
($2\text{分} \times 2\text{箇所} = 4.0\text{分}$)
- ③ スカラップの廻し溶接を、棒グラインダーで仕上げる。ただし、10%の確率で適切な溶接品質が得られないものとする。 $(5\text{分} \times 0.10 \times 2\text{箇所} = 1.0\text{分})$

作業時間の合計値は、14.0分。

4-5 スカラップ箇所を省略（板切り）した場合（TypeⅣ）の作業時間

（1）施工法Ⅰ（現状のロボットを適用した場合）（図4-8）

（解説）

①廻し溶接も含めロボット施工を行う。

$(2230\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} \div 2\text{トーチ} = 8.0\text{分})$

作業時間の合計値は、8.0分。

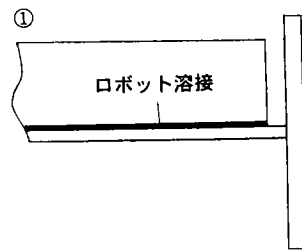


図4-8 TypeⅣ(省略)で施工法Ⅰ(従来のロボット)を適用

（2）施工法Ⅱ（CO₂半自動溶接を適用した場合）（図4-9）

（解説）

①CO₂半自動溶接で溶接を行う。（ $2230\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} = 15.9\text{分}$ ）

②スカラップの廻し溶接を、棒グラインダーで仕上げる。ただし、25%の確率で適切な溶接品質が得られないものとする。（ $5\text{分} \times 0.25 \times 2\text{箇所} = 2.5\text{分}$ ）

作業時間の合計値は、18.4分。

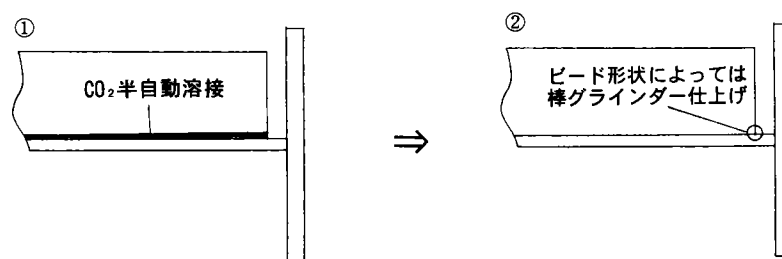


図4-9 TypeⅡ(省略)で施工法Ⅱ(CO₂半自動溶接)を適用

（3）施工法Ⅲ（立向き可能なロボットを適用した場合）（図4-8と同じ）

（解説）

①廻し溶接も含めロボット施工を行う。

$(2230\text{mm} \div 280\text{mm}/\text{min} \times 2\text{面} \div 2\text{トーチ} = 8.0\text{分})$

作業時間の合計値は、8.0分。

4-6 作業時間の結果と考察

各スカラップ形状（Type I～IV）および施工法の違いによる、垂直スティフナ取り付けに必要な溶接作業時間および作業時間比を表4-1に示す。

表4-1 各スカラップ形状と施工法の違いによる作業時間

スカラップ タイプ	作業 項目	施工法											
		施工法Ⅰ ^{注1)}				施工法Ⅱ ^{注2)}				施工法Ⅲ ^{注3)}			
		各作業 時間 (分)	合計 時間 (分)	時間比 (%)		各作業 時間 (分)	合計 時間 (分)	時間比 (%)		各作業 時間 (分)	合計 時間 (分)	時間比 (%)	
				[1] <small>注4)</small>	[2] <small>注5)</small>			[1] <small>注4)</small>	[2] <small>注5)</small>			[1] <small>注4)</small>	[2] <small>注5)</small>
Type I (標準35R)	ロボット	8.0				0.0				9.3			
	CO ₂ 溶接	8.0	18.5	100	100	23.9	28.9	100	156	4.0	15.8	100	85
	仕上げ	2.5				5.0				2.5			
Type II (省略)	ロボット	7.5				0.0				10.1			
	CO ₂ 溶接	16.0	32.3	175	175	24.4	26.8	93	145	0.0	10.1	64	55
	仕上げ	8.8				2.4				0.0			
Type III (拡大)	ロボット	7.9				0.0				9.0			
	CO ₂ 溶接	8.0	16.9	91	91	23.7	25.7	89	138	4.0	14.0	89	76
	仕上げ	1.0				2.0				1.0			
Type IV (板切り)	ロボット	8.0				0.0				8.0			
	CO ₂ 溶接	0.0	8.0	43	43	15.9	18.4	64	99	0.0	8.0	51	43
	仕上げ	0.0				2.5				0.0			

注1) 現状のパネル製作ロボットを適用した場合（下向き溶接のみ）。

注2) CO₂半自動溶接を適用した場合。

注3) 立向き溶接が可能なロボットを適用した場合。

注4) 各施工法の標準スカラップの35Rを基準とした割合。

注5) 施工法Ⅰで標準スカラップの35Rを基準とした割合。

表4-1より、作業効率として以下のことがいえる。

- ①省略タイプ（Type II）は、施工法により作業効率が大きく変わる。すなわち現状のパネル製作ロボットを適用した場合（施工法Ⅰ）、作業時間が約1.7倍向上する。しかし、ロボットを適用しない場合では（施工法Ⅱ）、約7%作業時間が減少し、さらに、立向き溶接が可能なロボットを適用すれば、作業時間が36%減少する。
- ②現状では、パネル製作ロボットを適用している箇所での省略タイプの適用は製作コストが上がり好ましくない。しかし、今後、新しくロボットを購入した場合では、作業効率が上がり製作コストが削減できる。また、疲労の面から考えても省略タイプを採用することが望まれる。
- ③現状で省略タイプを適用するには、半自動溶接で行われている箇所での適用は、製作コストの面から見ても約7%削減でき、また施工面でも35Rの廻し溶接の作業性の悪さから考えると、このような箇所での適用は好ましい。
- ④スカラップ径の拡大タイプ（Type III）では、すべての施工法で約10%作業時間

が低減する。

- ⑤ 35Rなどの作業性の悪さなどを考えると構造上問題がないところでは、標準スカラップ径を50Rとすることが望まれる。しかし、疲労が問題になる鋼床版のデッキプレート、あるいはI桁の横桁取合い部のフランジ側リブプレートなどでの採用は好ましくない。
- ⑥ 板切りタイプ（TypeⅣ）では、すべての施工法で大きく作業効率が向上する。構造上問題がない場所では、このタイプの構造詳細が望まれる。
- ⑦ 作業効率の改善からスカラップを改良する場合、板切りタイプ（TypeⅣ）を最優先させ、次いで拡大タイプ（TypeⅢ）とする。さらに省略タイプ（TypeⅡ）を検討するが、現状のパネル製作ロボットを使用する箇所では省略タイプの適用は非効率的である。

ただし、上記の結果はあくまで今回設定した条件による結果であり、この条件は、大きな変動はないが各製作会社により多少異なる。また、ビード仕上げの必要性の判断は主観によるところが多く、溶接作業者の技量によっても違ってくる。このため、必ずしも一概に言えるものではないが、製作会社によって施工法や手順が異なったとしても、作業時間が若干変化する程度であり、傾向が変わるものではないと考えられる。