

2. 溶接の基礎

黒田 尚武

日本ファブテック(株)

(一社) 日本橋梁建設協会 製作小委員会 製作部会

第39回鋼構造物基礎講座
「溶接構造物の設計～製作」
— 溶接構造物設計時の施工を鑑みた留意点 —

2. 溶接の基礎

2020年10月28日

(一社)日本橋梁建設協会 製作小委員会 製作部会 黒田尚武

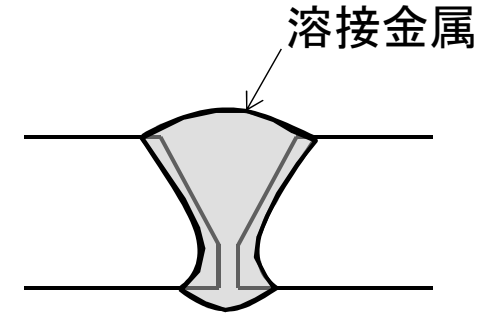
溶接とは

溶接の定義は、「2個以上の部材をその接合部が連続性を持つように、熱または圧力もしくはその両方を加え、さらに必要があれば適当な溶加材を加えて部材を一体化する操作」とされている。

溶接法の種類

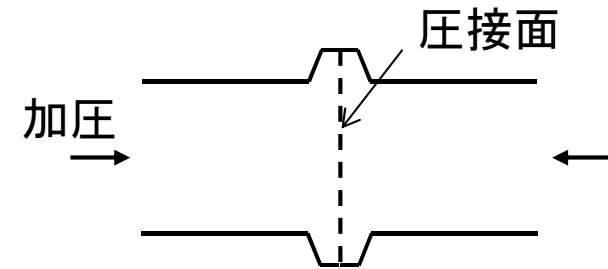
融接

- アーク溶接
- ガス溶接
- 電子ビーム溶接
- エレクトロスラグ溶接



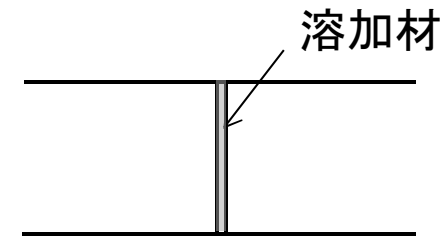
圧接

- 鍛接
- 抵抗溶接
- 摩擦圧接
- ガス圧接
- 超音波圧接
- 常温圧接

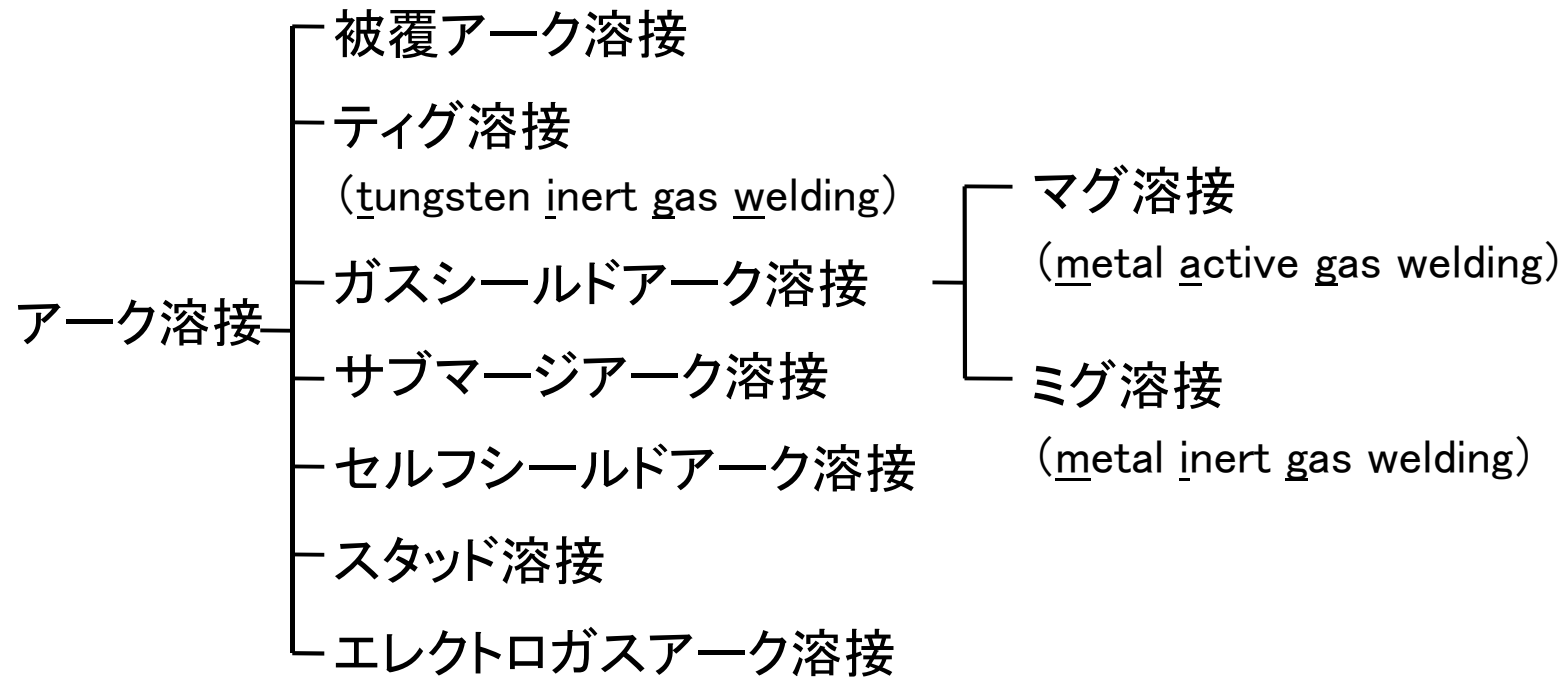


ろう接

- ろう付
- はんだ付



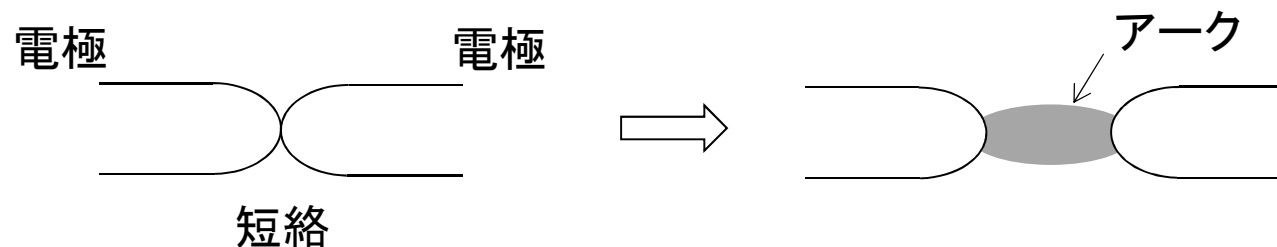
アーク溶接の種類



アークとは

アークは、気体放電現象の一種であり、高温で強い光を発する。

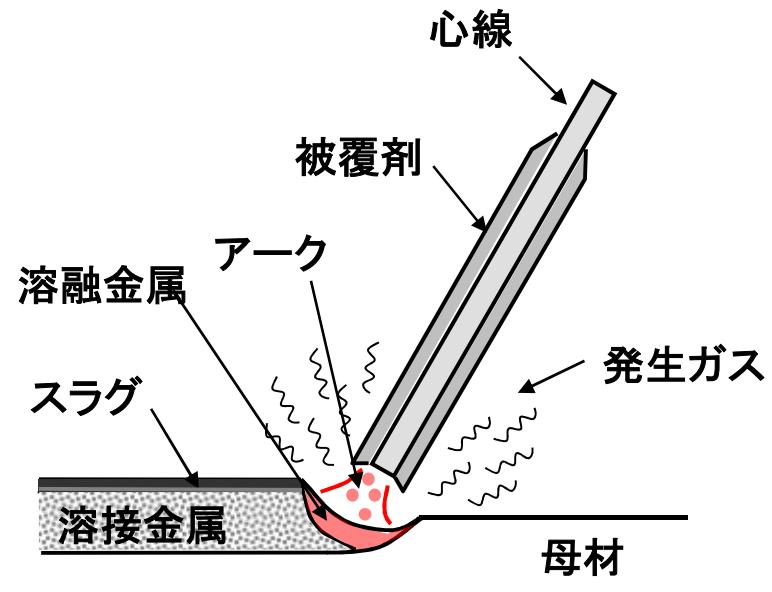
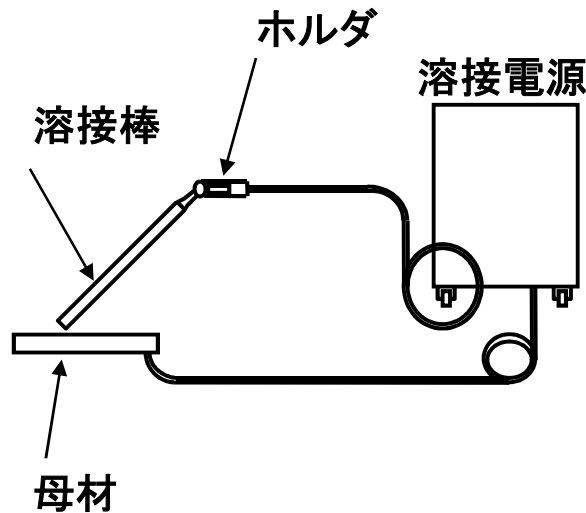
炭素やタングステンなどの電極を接触させ、電流を流している状態で電極を引き離すと電極間にアークが発生する。



被覆アーク溶接（手溶接）

心線に被覆材を塗った溶接棒と母材間にアークを発生させ、溶接棒と母材を溶かして接合させる方法。

溶接中、高熱で分解された被覆材はガス、スラグとなって溶融金属を大気から遮断する。



被覆アーク溶接の施工写真



主な被覆アーク溶接棒の種類

種類	特徴
イルミナイト系	日本で開発された溶接棒であり、アークの集中性・安定性に優れ、様々な姿勢で安定した溶込みが得られる。
高酸化チタン系	スパッタは少なくスラグ剥離が良好である。溶込みが浅く、薄板の溶接に適している。
低水素系	ブローホールや溶接割れの原因となる溶接部の水素量を低く抑えることができる。厚板や拘束の大きな溶接に適している。

被覆材の役割

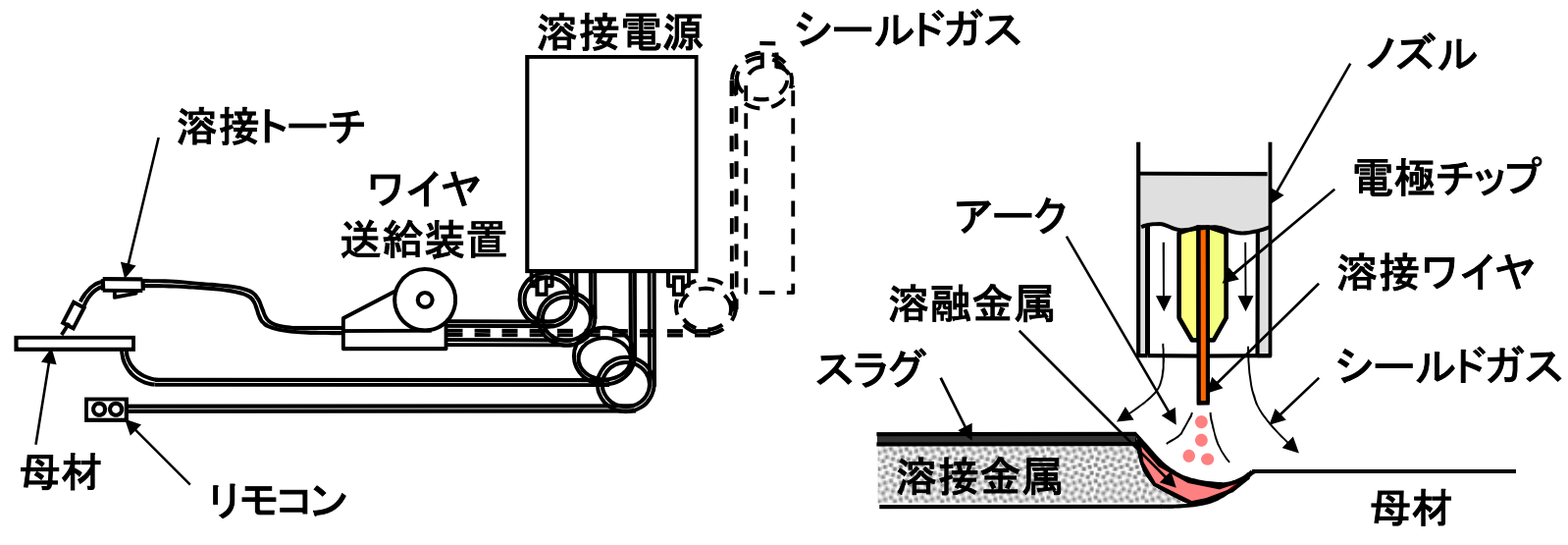
- ① アークの集中性と安定性をよくする。
- ② ガスを発生し、溶融金属を大気から遮断する。
- ③ スラグを形成して溶接金属を覆い、ビード外観をよくする。
- ④ スラグの融点・粘性等を調節し、各姿勢での溶接ができるようにする。
- ⑤ 溶接金属の脱酸を行い、機械的性質をよくする。
- ⑥ 溶接金属に合金元素を添加し、必要とする性質とできる。

マグ溶接(半自動溶接) (metal active gas welding)

溶接トーチに自動送給されたコイル状の溶接ワイヤと母材間にアークを発生させ、溶接ワイヤと母材を溶かして接合する方法。

溶接中、 CO_2 (活性ガス active gas) や $\text{Ar} + \text{CO}_2$ などのシールドガスで溶融金属を大気から遮断する。

溶接ワイヤには、ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤがある。



マグ溶接の施工写真



マグ溶接の施工写真



パネル溶接(多関節溶接ロボット)



箱桁の下フランジ突合せ溶接
(半自動溶接、片面溶接)

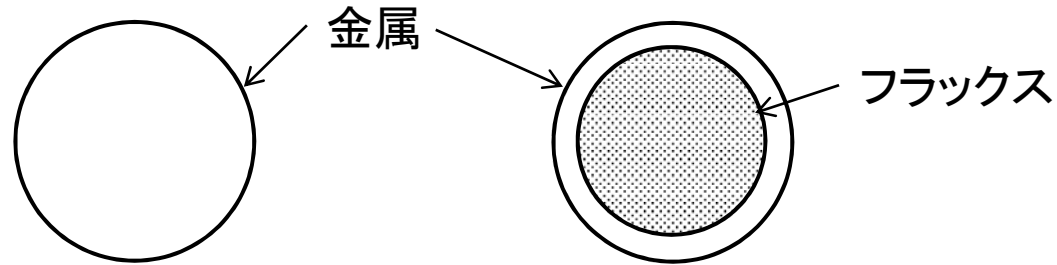


半自動溶接



箱桁の下フランジ突合せ溶接
(自動溶接、片面溶接)

ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤ



a) ソリッドワイヤ

b) フラックス入りワイヤ

溶接ワイヤの断面

ソリッドワイヤ	フラックス入りワイヤ
<ul style="list-style-type: none">・溶込みが深い・ビード形状、外観がやや劣る・スパッタが若干多い・スラグを除去しにくい・適用例: 開先溶接	<ul style="list-style-type: none">・溶込みはソリッドワイヤより深くはない・ビード形状、外観が良好・スパッタが少ない・スラグを除去しやすい・適用例: すみ肉溶接

フラックス入りワイヤの種類

スラグ系フラックス入りワイヤ(多量のスラグ形成剤を含む)

→ 全姿勢の突合せ溶接やすみ肉溶接

メタル系フラックス入りワイヤ(鉄粉が主体)

→ 下向の突合せ溶接やすみ肉溶接、水平すみ肉溶接

ミグ溶接

(metal inert gas welding)

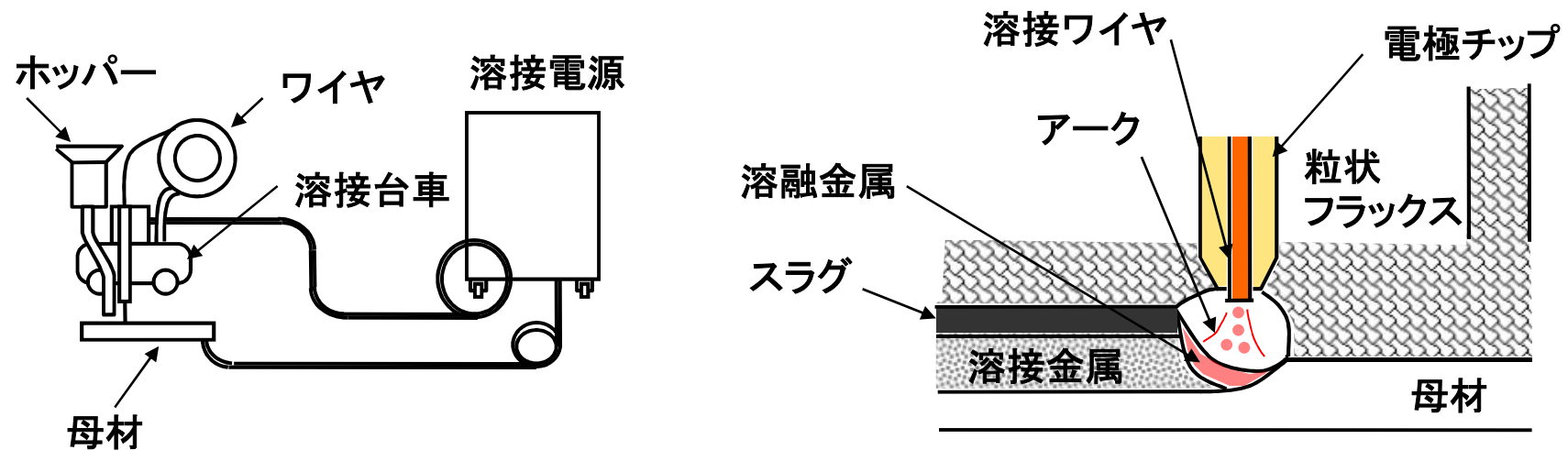
マグ溶接と同様の接合方法、溶接設備であるが、シールドガスはArなどの不活性ガス(inert gas)を用いる。

ステンレス鋼やアルミニウム合金の溶接に適用される。

サブマージアーク溶接（潜弧溶接）

自動送給されたコイル状の溶接ワイヤと母材間にアークを発生させ、ワイヤと母材を溶かして接合する方法。

溶接中、粒状のフラックスが溶融スラグとなって溶融金属を大気から遮断する。



サブマージアーク溶接の施工写真



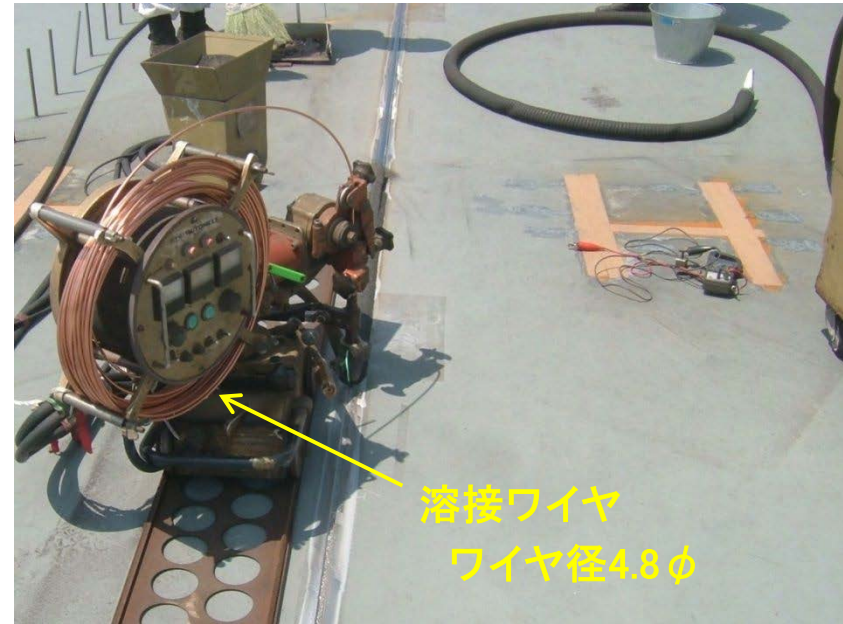
突合せ溶接(板継ぎ溶接)



サブマージアーク溶接の施工写真



I桁のフランジとウェブのすみ肉溶接



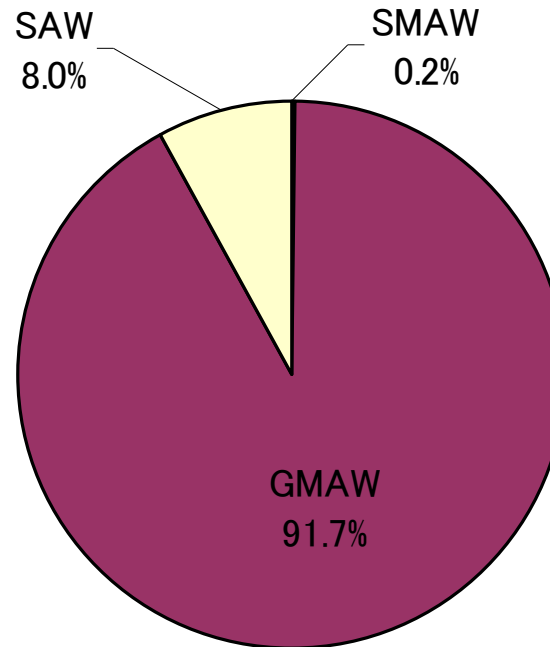
溶接ワイヤ
ワイヤ径4.8φ

鋼床版デッキプレートの現場溶接

各溶接方法の特徴

	被覆アーク溶接	マグ溶接	サブマージアーク溶接
設備	溶接機、ホルダ、 溶接棒乾燥炉	溶接機、送給装置、 トーチ、シールドガス	溶接機、走行台車、 レール、フラックス乾燥炉、 (俵い装置)
溶接材料 の径	3.2φ、4φ、5φ、6φ	1.2φ、1.4φ、1.6φ	4φと4.8φが主流
溶接電流	100～300A	120～400A	500～1000A
風の影響	風速5m/s以下 ⇒低水素系は2m/s	風速2m/s以下 ⇒じん性確保は0.5m/s以下	フラックスが飛散しない程 度まで
溶接能率	溶接棒の長さ分だけ連続 溶接(棒継ぎが多くなる)	溶着効率が大きい 自動装置やロボットの適用 により連続溶接が可能	大電流のため1パスの溶着 量が多い
溶接姿勢	溶接棒の種類によっては 全姿勢可能	溶接ワイヤの種類によっ ては全姿勢可能	下向、水平

溶接材料の使用量の例



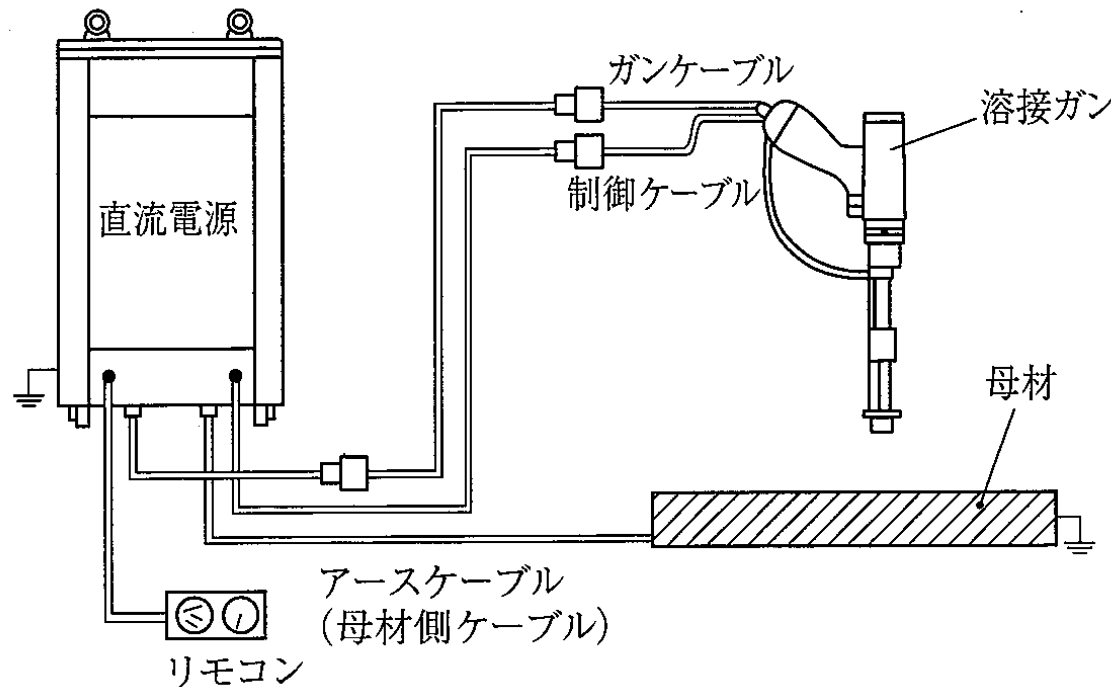
某橋梁ファブの各溶接材料使用量の割合

GMAW : Gas shielded Metal Arc Welding マグ溶接
SAW : Submerged Arc Welding サブマージアーク溶接
SMAW : Shielded Metal Arc Welding 被覆アーク溶接

アークスタッド溶接

特殊なガンを用い、スタッドと母材間にアークを発生させ、スタッドと母材を溶かして接合する方法。

スタッドの先端に、カラー(余盛り)の形成及び溶融金属の大気からの遮断を目的にフェルールを取り付けて溶接。



アークスタッド溶接の施工写真



カラー(余盛り)



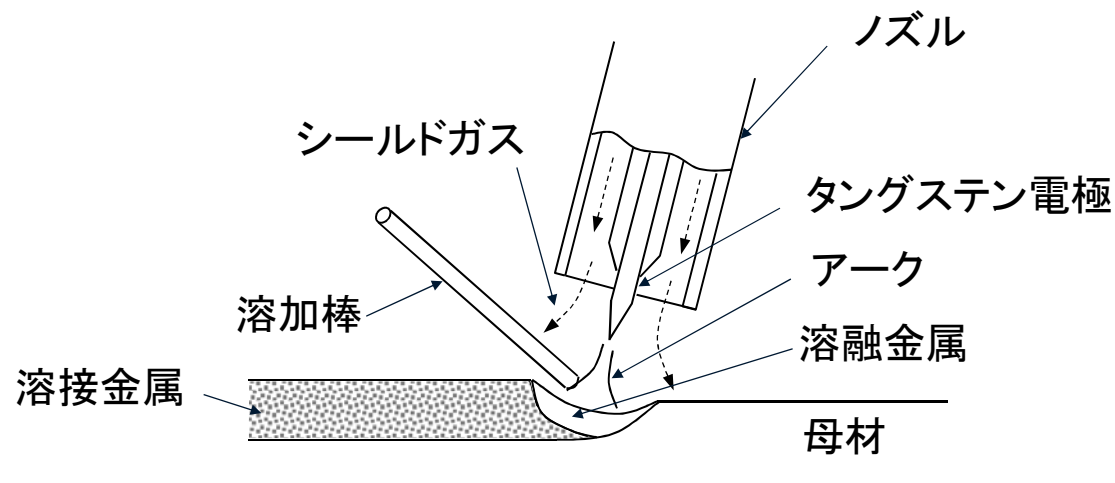
フェルルール

ティグ溶接 (tungsten inert gas welding)

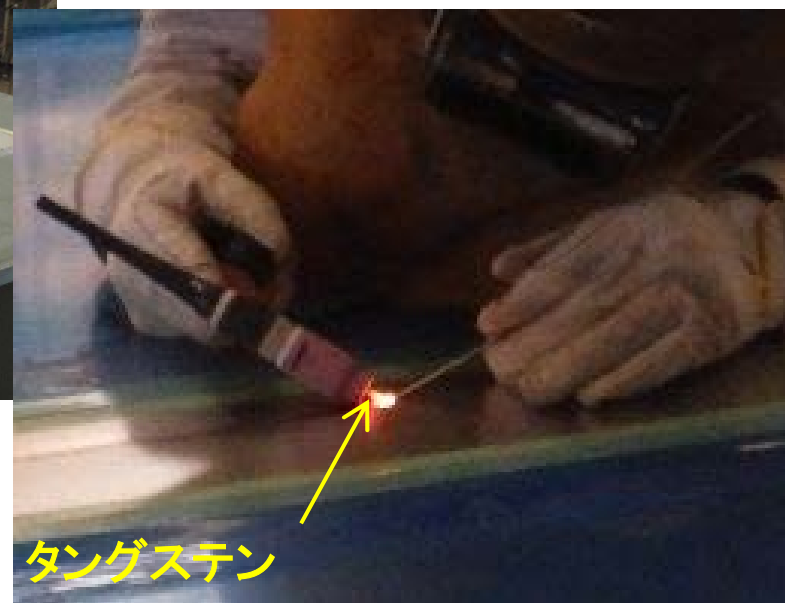
非消耗のタングステン電極と母材間にアークを発生させ、アーク中に溶加材を添加して溶接する方法。

ミグ溶接法と同様にシールドガスにArなどの不活性ガスを用いる。

ステンレス鋼やアルミニウム合金の溶接、薄板の溶接に適している。



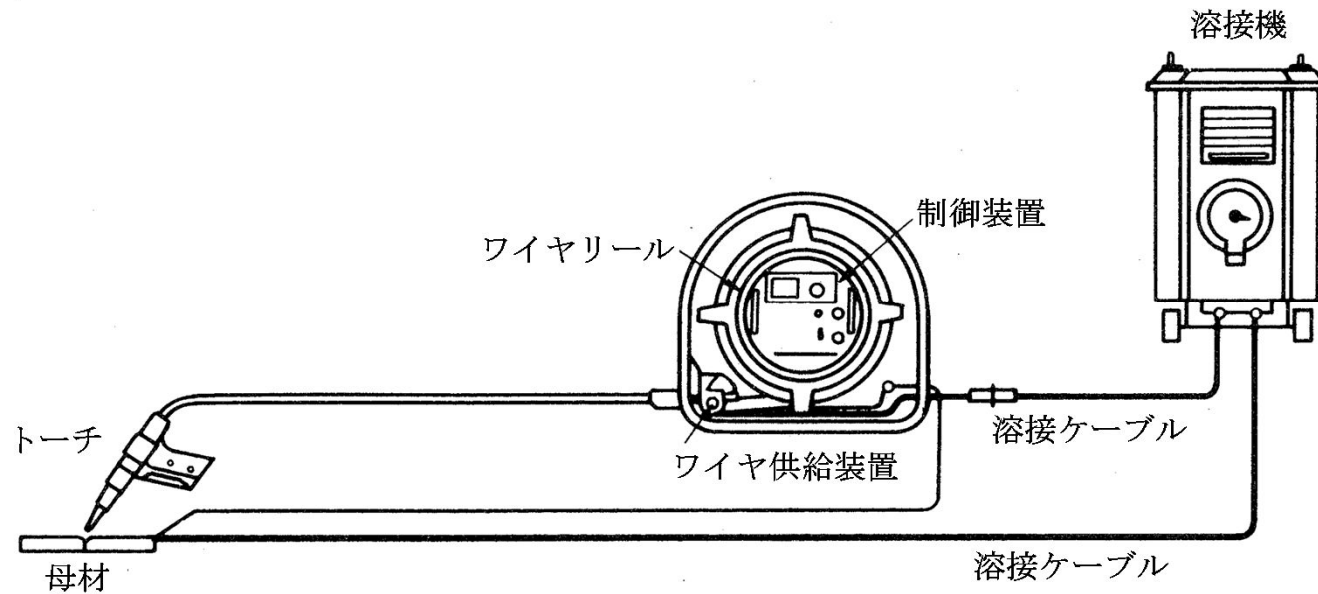
ティグ溶接の施工写真



セルフシールドアーク溶接

マグ溶接のようなシールドガスを用いない溶接方法で、風の影響を受けやすい屋外作業にも適している。

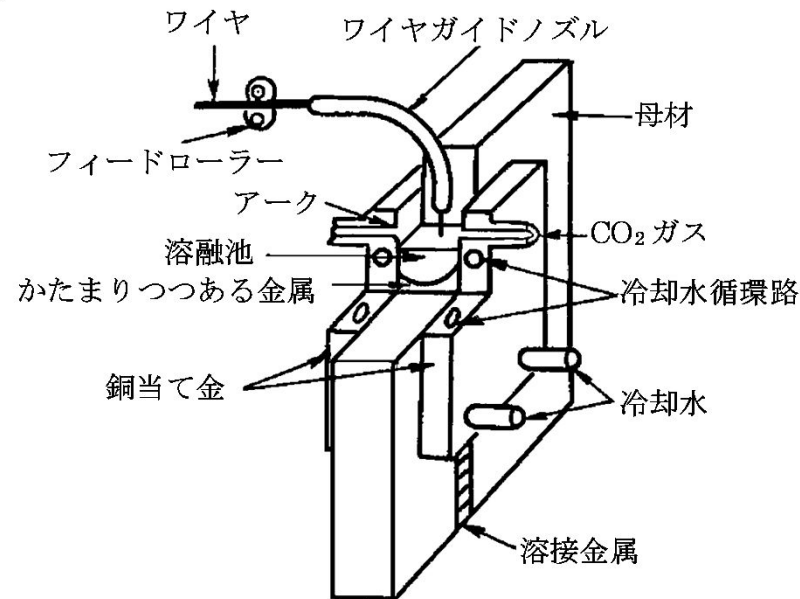
被覆アーク溶接棒の被覆剤と同様にガス発生剤や脱酸剤などが含まれており、発生するガスやスラグにて溶融金属を大気から遮断する。



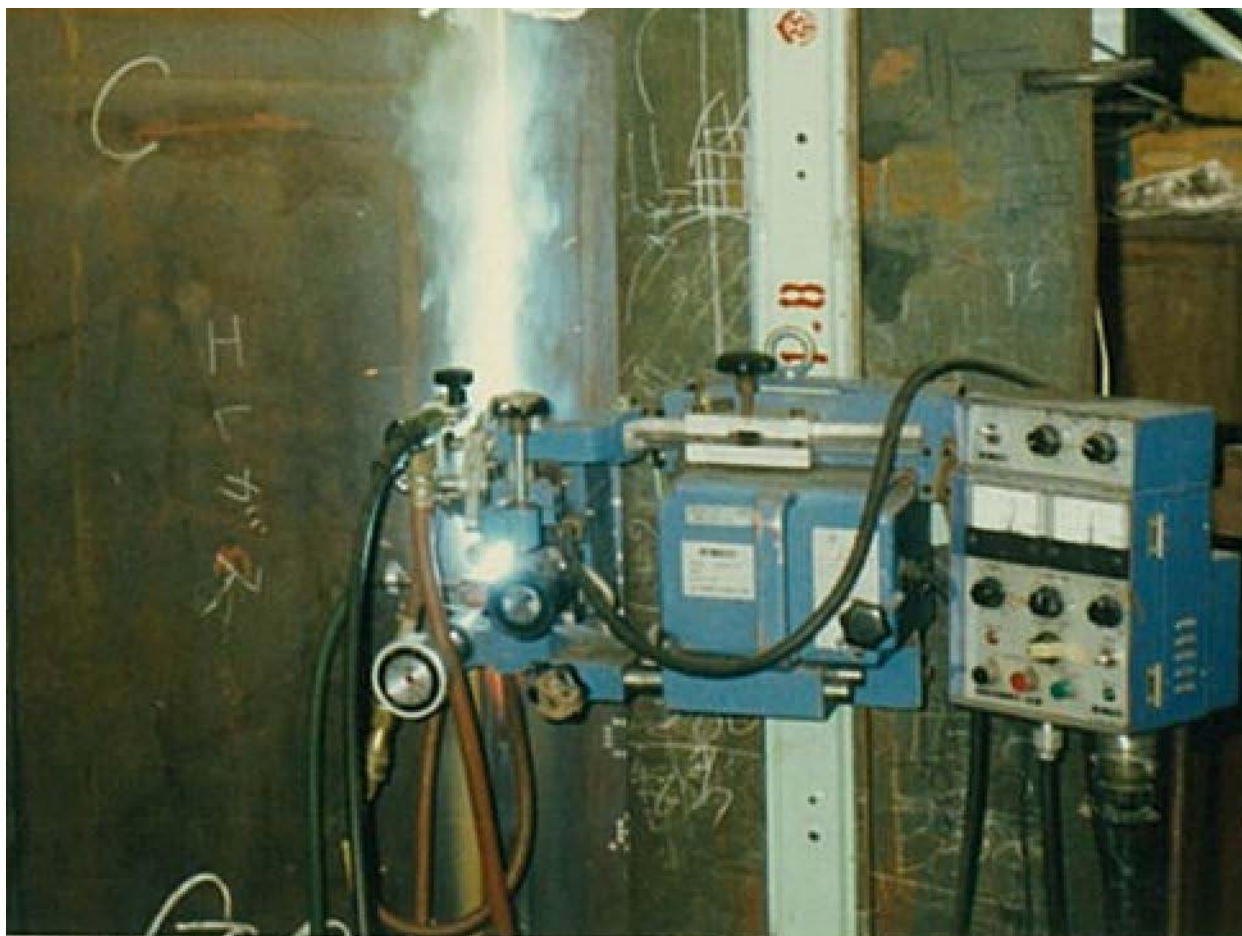
エレクトロガスアーク溶接

水冷された銅当て金で囲まれた開先内に溶接ワイヤを供給してアークを発生させ、シールドガスで溶融金属を大気から遮断して溶接する方法。

立向姿勢の自動溶接法で、**大入熱溶接**となる。



エレクトロガスアーク溶接の施工写真

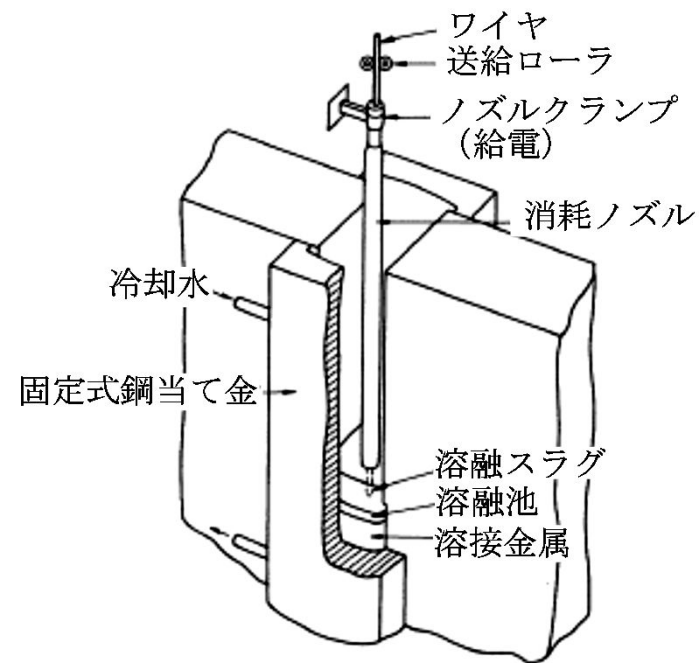


エレクトロスラグ溶接

固定式銅当て金に囲まれた開先内に溶接ワイヤを供給してアークを発生させ、開先内に溶融スラグ浴を形成させて、抵抗熱でワイヤと母材を溶融しながら溶接する方法である。

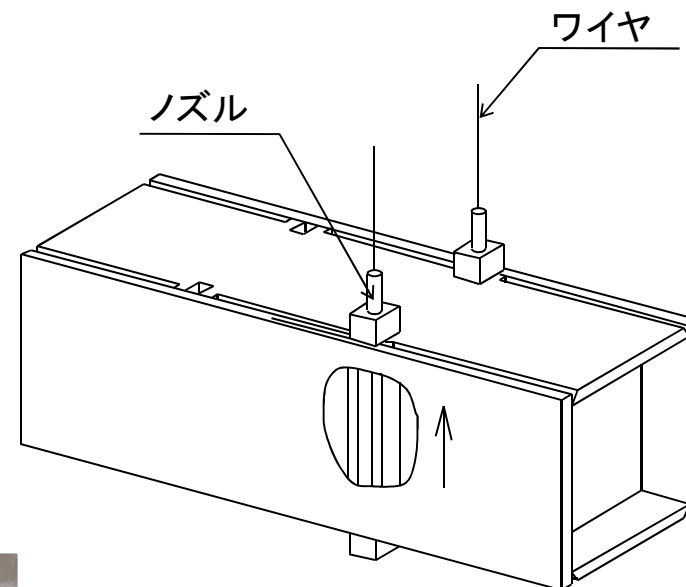
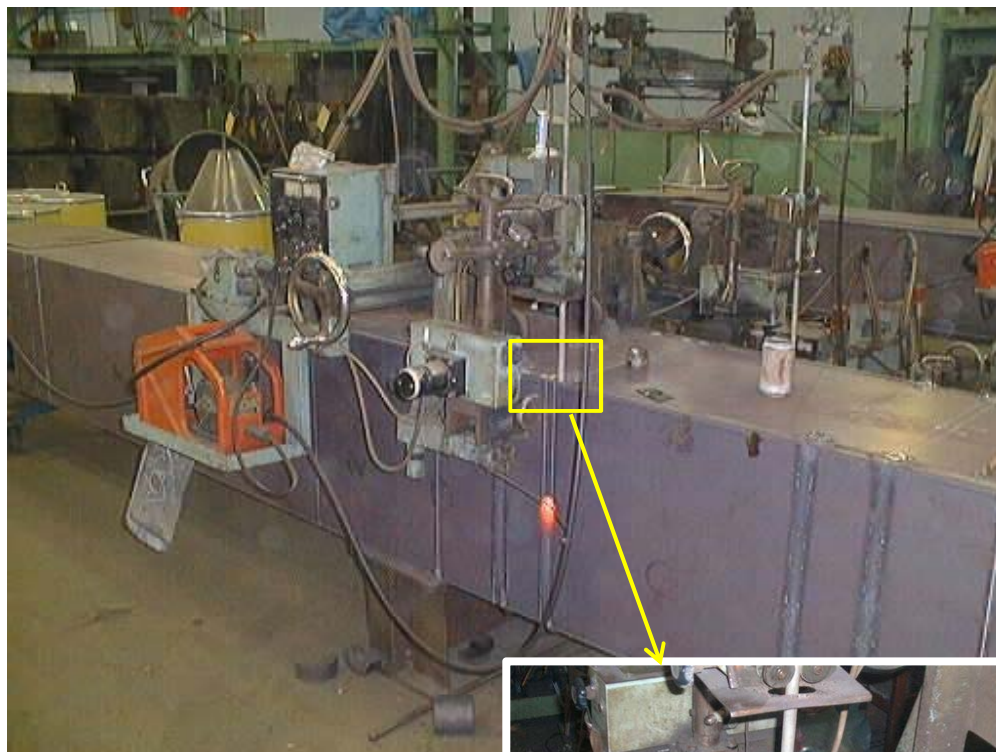
エレクトロガスアーク溶接と同様、立向姿勢の自動溶接法で**大入熱溶接**である。

消耗ノズル式と非消耗ノズル式がある(ワイヤのガイドのノズルを一緒に溶融させるかどうかの違い)。

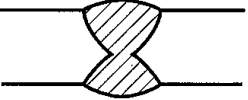
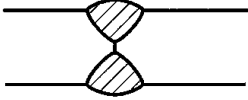
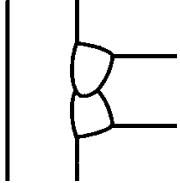
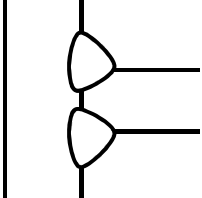
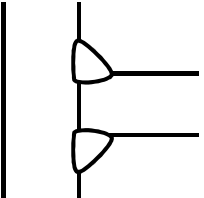
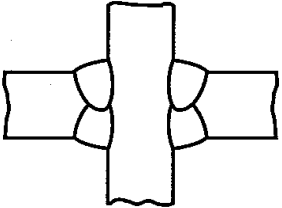
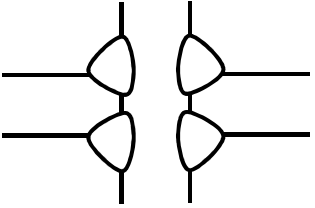
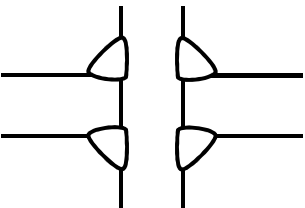
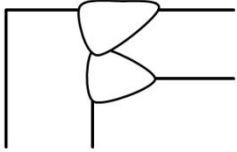
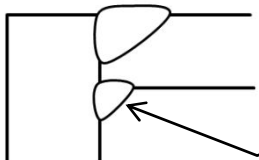
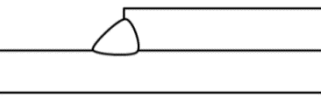


鋼道路橋施工便覧より

エレクトロスラグ溶接の施工写真



溶接継手の形式

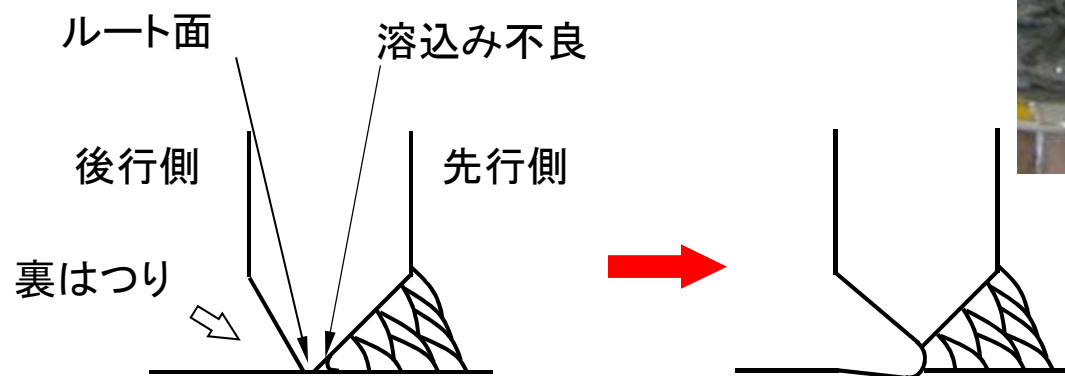
溶接の種類 溶接継手の形式	完全溶込み溶接 (継手の板厚の全域にわたっている溶込み)	部分溶込み溶接 (継手の板厚の全域にわたらない溶込み)	すみ肉溶接
突合せ溶接 継手			
T溶接継手			
十字溶接 継手			
角溶接継手			すみ肉溶接
重ね溶接 継手			

完全溶込み溶接の裏はつり

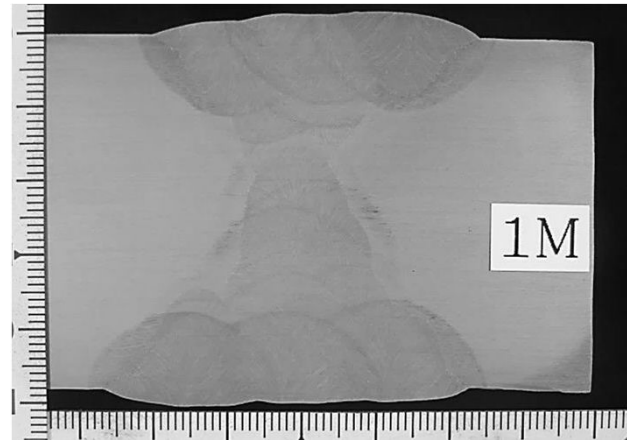
「裏はつり」は、先行側の溶接後に開先のルート面や先行側の1パス目部分の溶込み不良などの溶接欠陥を、後行側からはつり取る作業。「裏はつり」の方法としては下記のものがあるが、一般にエアアークガウジングが用いられている。

- ・たがねはつり
- ・ガスガウジング
- ・**エアアークガウジング**
- ・プラズマアークガウジング

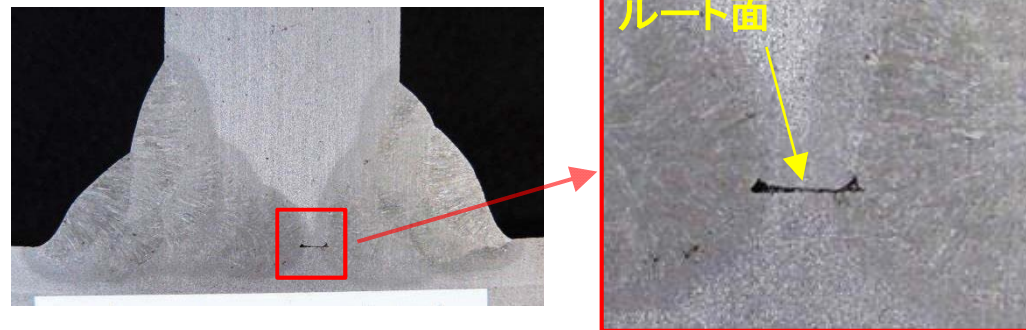
エアアークガウジングの施工状況



完全溶込み溶接の裏はつりの例



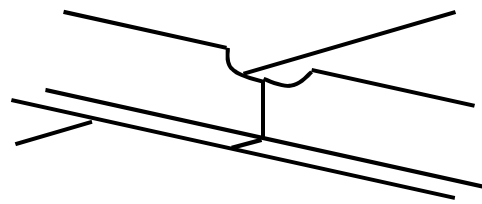
完全溶込み溶接の例(裏はつりあり)



完全溶込み溶接の溶込み不良の例(裏はつり未施工)

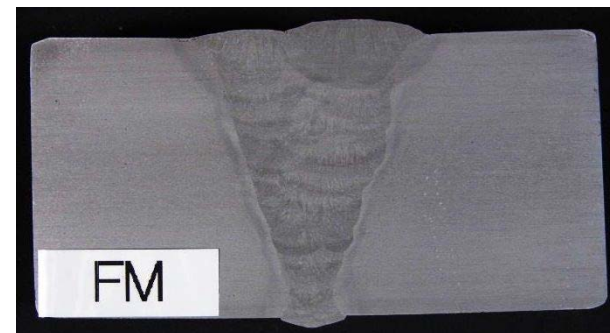
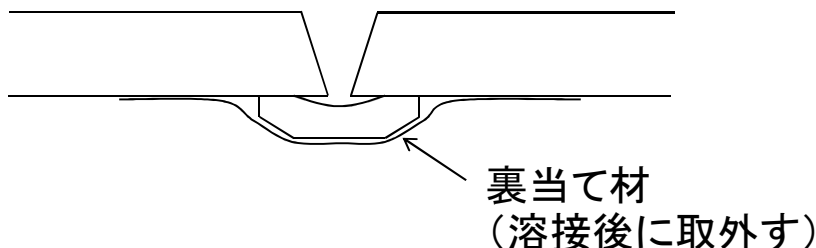
片面溶接による完全溶込み溶接

完全溶込み開先溶接においては、原則として裏はつりを行うが、上向姿勢による「裏はつり」を伴う溶接を行うと、かえって溶接品質の確保が難しい。



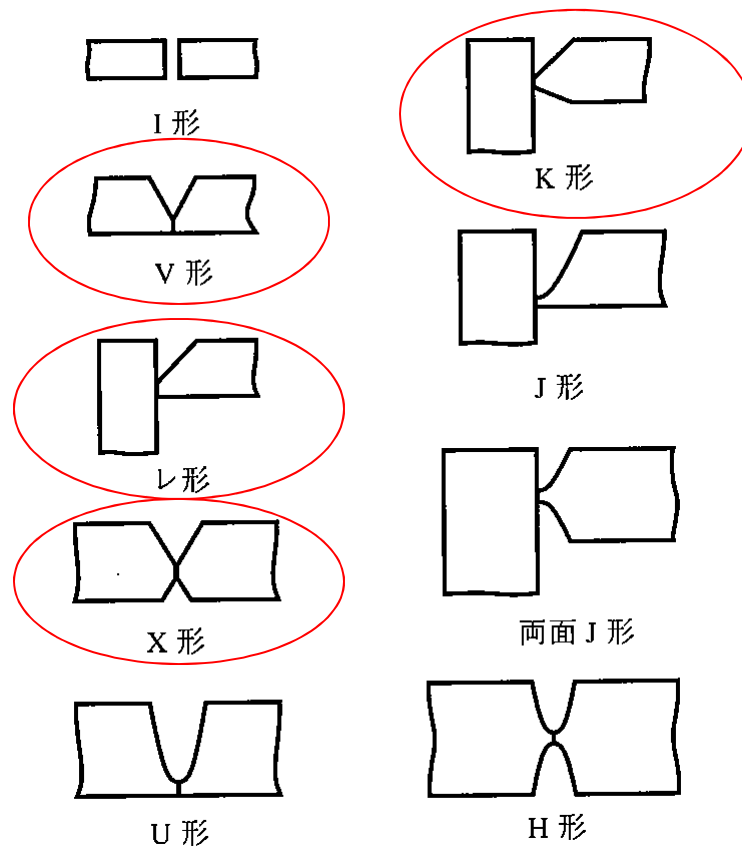
溶接姿勢のほか、溶接継手内にリブがあると、リブの位置で溶接始末端部が生じ、欠陥が発生しやすくなる。

→上記のこと、及び施工性を考慮し、鋼橋の現場突合せ溶接は「裏はつり」を行わない「裏当て材を用いた片面溶接」を多く採用。



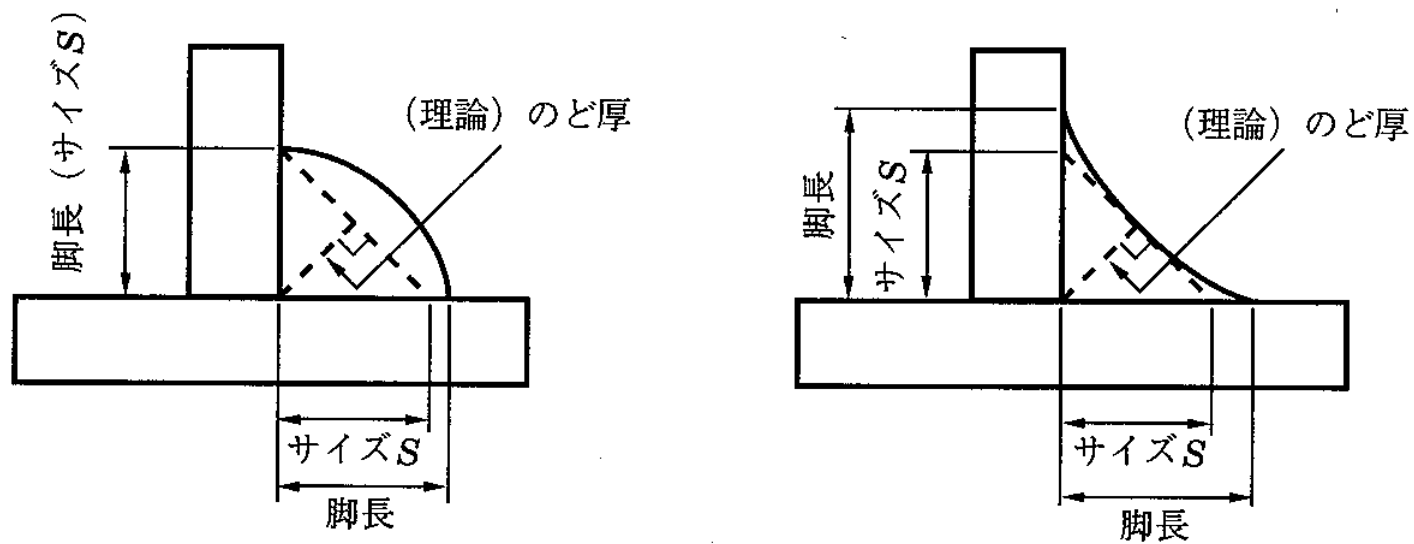
片面溶接のマクロ写真

開先の種類



代表的な開先の種類

開先の種類



すみ肉溶接各部の名称

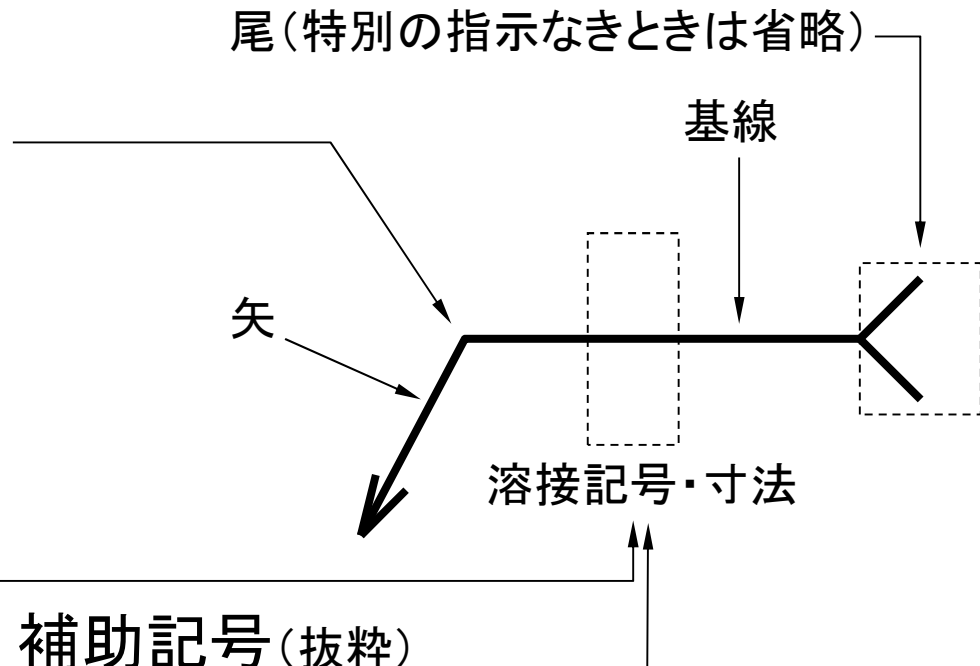
溶接記号

補助記号 (抜粋)

区分	補助記号
現場溶接	▲
全周溶接	○

基本記号 (抜粋)

溶接部の形状	記号
I形	
V形	∨
X形	×
レ形	∟
K形	⊥
すみ肉	△

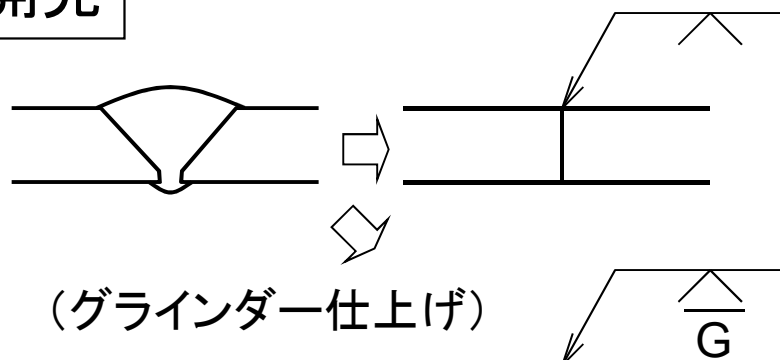


補助記号 (抜粋)

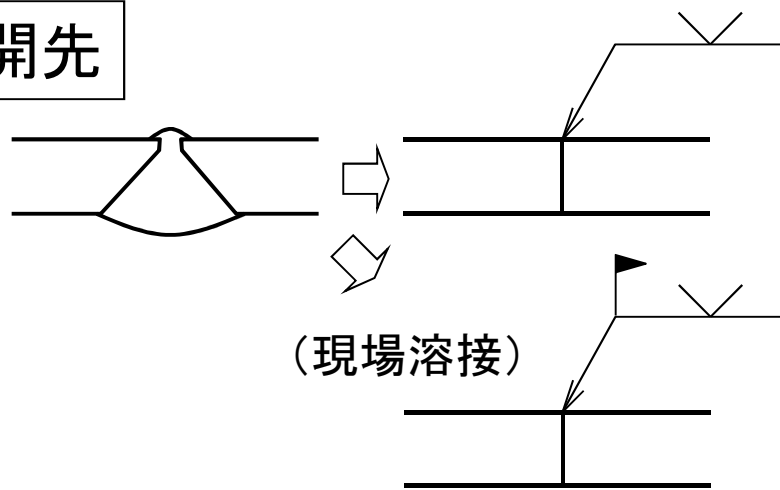
区分		補助記号
表面形状	たいら	—
	止端仕上げ	⌋
仕上げ方法	グラインダー	G

溶接記号の記載例

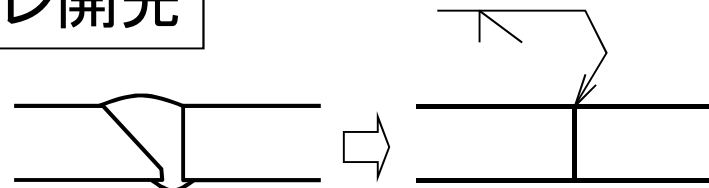
V開先



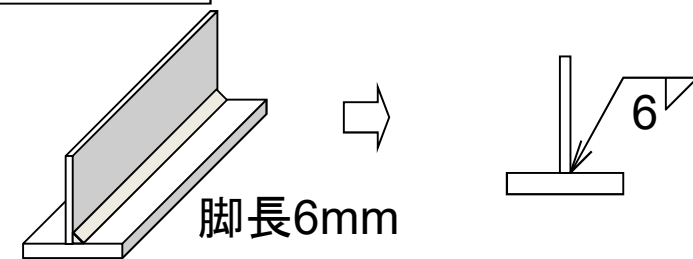
V開先



レ開先



すみ肉



溶接記号及び寸法

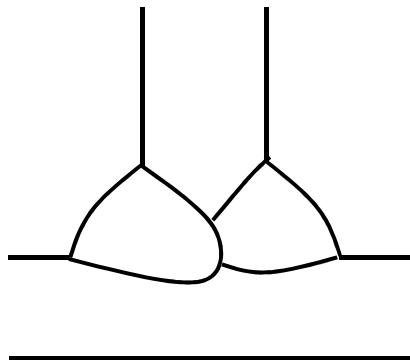
- ・矢のある側・手前に溶接→基線下側
- ・矢の反対側・向こう側に溶接→基線上側

レ形、K形などの開先溶接

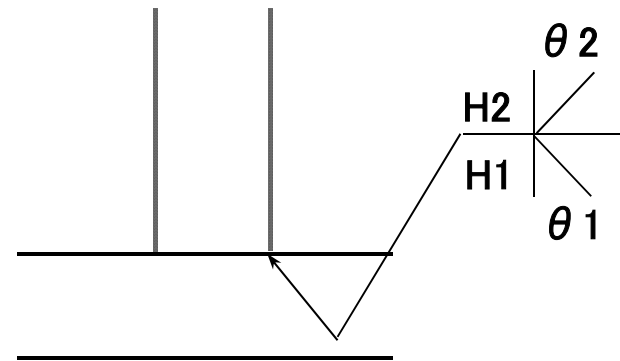
- ・基線は開先を設ける部材側
- ・矢の先端は開先を設ける側

完全溶込み溶接継手の溶接記号(T溶接継手の場合)

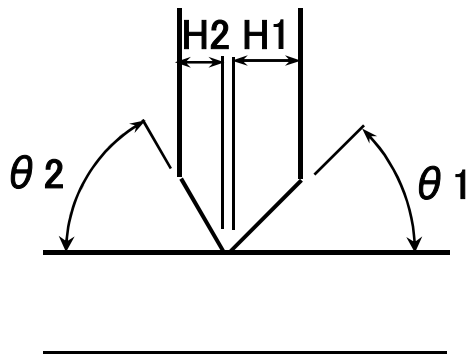
溶接後の形状



溶接記号

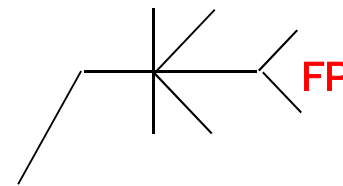


開先形状



- ・開先形状は製作工場の標準による。
- ・裏はつり方向は作業空間で決定することもある。

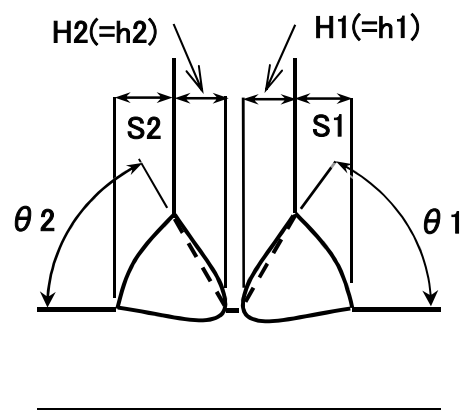
- ・**JISZ3021-2000**では、開先深さが無い場合は完全溶込み溶接
- ・**JISZ3021-2010**では、開先深さを記入することを要求している
- ・**JISZ3021-2016**では、開先深さが無い場合は完全溶込み溶接



- ・溶接記号の尾に「FP」記入が望ましい。

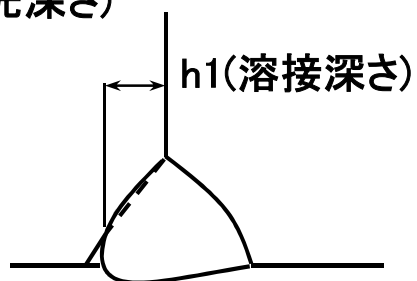
部分溶込み溶接継手の溶接記号 (T溶接継手の場合)

溶接後の形状及び開先形状

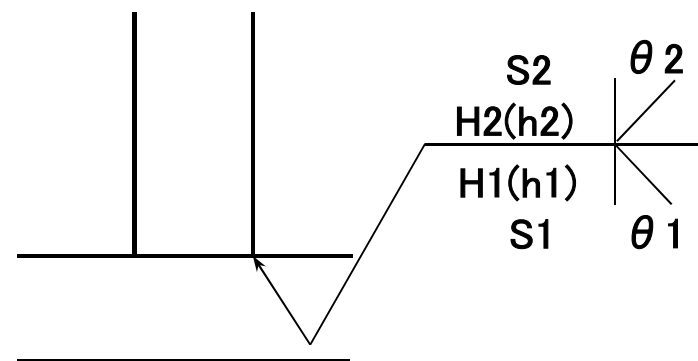


- ・開先寸法は設計図で指示。
- ・開先深さ(H1, H2)と溶接深さが異なる場合は注意。

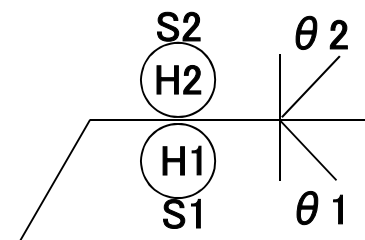
H1(開先深さ)



溶接記号



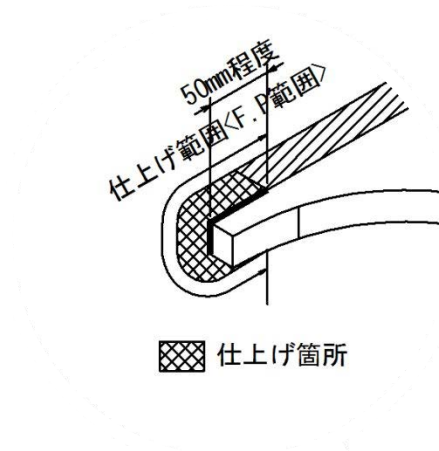
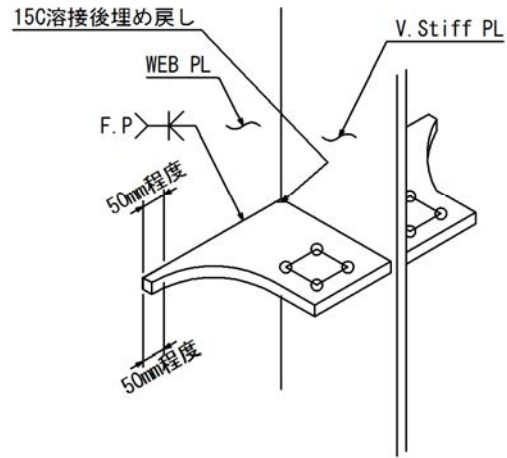
- ・**JISZ3021-2016**では、開先深さと()内に溶接深さを記入。開先深さと溶接深さが同じ場合は開先深さを省略。



- ・**JISZ3021-2000**による場合は、開先深さに○印を記入(こちらのほうが分かり易い)

溶接詳細図の活用例(止端仕上げ)

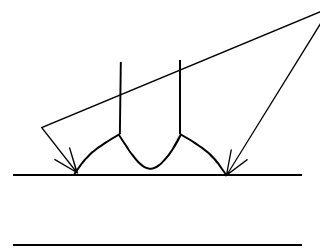
溶接部仕上げ処理詳細



仕上げ範囲の記載があるが、どのような仕上げを行うか不明

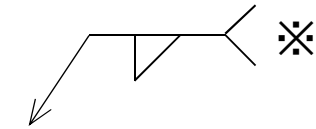
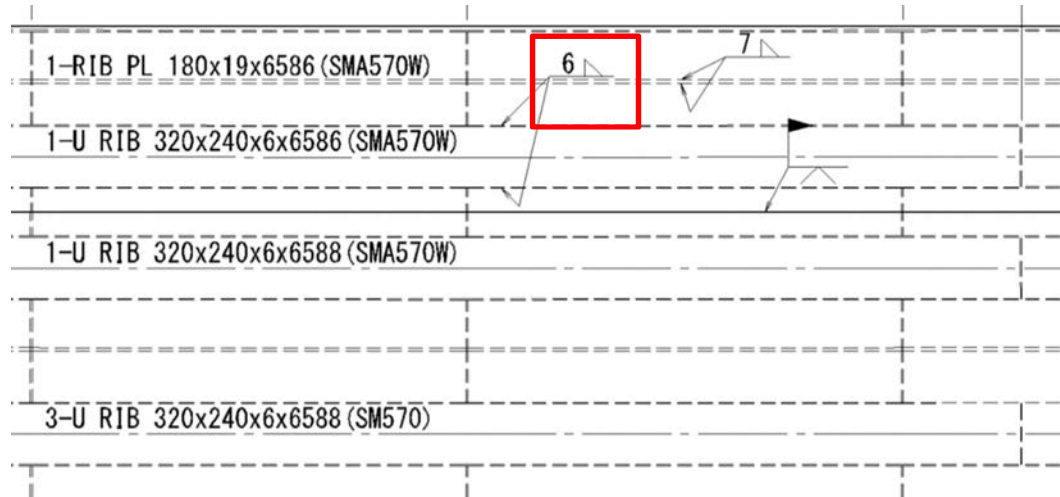


腹板側の止端部を3R以上に仕上げる



溶接詳細図の活用例（閉断面リブの溶接）

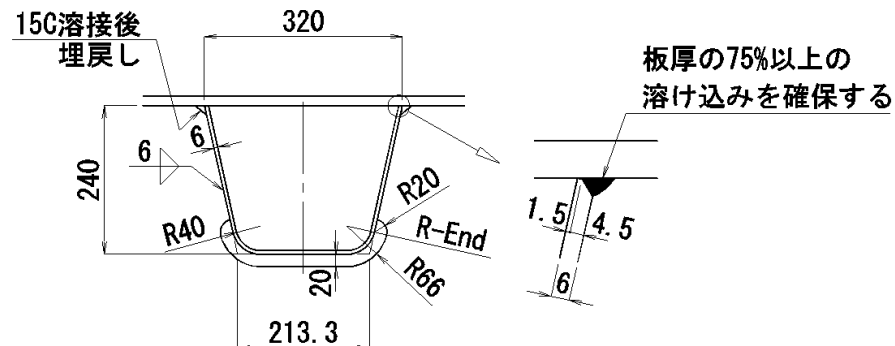
75%溶込み+脚長6mmも要求されてしまう



脚長指示はせずに、注記に「※印の溶接詳細は共通詳細図参照と記載」のほうがよい

鋼床版 Uリブ

U RIB 320x240x6



ご清聴ありがとうございました。