

20度 V パルス MAG 自動溶接法の開発

～高品質・高能率自動溶接の実用化～

Development of 20 degrees-V pulse MAG automatic welding
～Practical application of high efficiency and
high quality automatic welding process～

真鍋 圭吾 Keigo MANABE

日鉄住金パイプライン&エンジニアリング㈱
溶接技術部 溶接技術室

谷本 公計 Kimikazu TANIMOTO

日鉄住金パイプライン&エンジニアリング㈱
溶接技術部 溶接技術室 室長

松廣 克之 Yoshiyuki MATSUHIRO

日鉄住金パイプライン&エンジニアリング㈱
溶接技術部(現:水道部) 部長

周参見 徹 Tooru SUSAMI

日鉄住金パイプライン&エンジニアリング㈱
プロジェクト工務部 第一プロ工務室
マネージャー

抄 録

近年、国内の高圧幹線建設においては、敷設環境の制約などから専用のシールドトンネル工法および大規模推進工法の適用が増加している。これらの工法では工期に与える現地溶接時間の影響が大きく、その短縮が特に重要な課題である。現地溶接の時間短縮のため、狭開先でも高品質・高能率の溶接が行えるパルス MAG 溶接法の開発を進め、各層各姿勢の詳細最適パラメータを解明、高品質・高能率の狭開先20度 V パルス MAG 溶接法 (NSMAG[®]-PLS) を完成させた。本溶接法を600A 高圧幹線建設工事のシールドトンネル工法部に適用し(国内初)、安定した品質で1,300継手を超す施工実績を上げ工期短縮に寄与した。本溶接法開発の要点および国内初の現地適用成果を報告する。

Abstract

Currently, in Japan, the construction of high pressure gas pipeline by shield-tunnel method or large scale jacking method is increasing because of environmental restraints. For these methods, the impact of time for field welding process on construction period is so significant that high efficiency (high speed) of this process is demanded strongly. NSPE (Nippon Steel & Sumikin Pipeline & Engineering Co.Ltd) has developed 20 degrees-V pulse MAG automatic welding process (NSMAG[®]-PLS) to suffice this demand. The process has achieved high quality and high efficiency by the application of pulse MAG welding in very narrow groove ($10^{\circ} \times 2 = 20^{\circ}$), which are supported by optimized parameters for every pass and every position. The new process was applied to a 600A high pressure gas trunk line in a shield-tunnel (the first case in Japan). High quality and high efficiency of more than 1300 joints sufficiently achieved the reducing of the term of construction. This paper presents the main features developed and good results obtained in the field.

1 緒言

600Aクラスの国内高圧幹線建設工事の現地周溶接には、高品質と高能率を両立させる目的で自動MAG溶接が適用されてきた。溶接開先にはほぼ全てV型のものが用いられており、その角度は1980年代は60度Vであったが、その後能率向上を目的として、40度V(1990年代)、30度V(2000年代)へと狭開先化が進んできた。狭開先化は、溶接欠陥が発生し易くなるため、シールドガス及び溶接条件の適正化を行って品質を維持しつつ順次これを進めてきている。しかし、従来技術による直流MAG溶接では30度Vが品質維持の限界であり、それ以上の狭開先化は進んでいなかった。

当社は、パルスMAG溶接法(溶接電流を数10A⇔数100Aに数100Hzで交互に変動させる溶接法)を適用することにより、20度V狭開先でも高品質な溶接を行うことに成功した。従来技術と開発技術の溶接電流波形の比較を図1に、開先角度およびマクロ形状の比較を図2に示す。更に本溶接法では、パルスMAG溶接が有する高い溶着速度という特徴を効果的に用い、単なる狭開先化以上の能率向上を達成している。

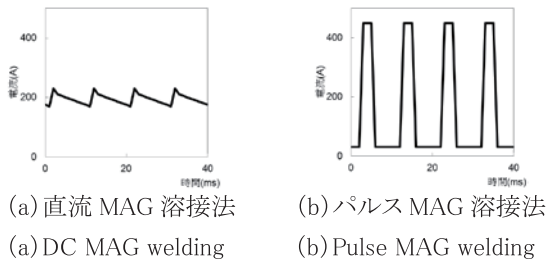


図1 溶接電流波形の比較
Fig. 1 Comparison of wave forms of welding current

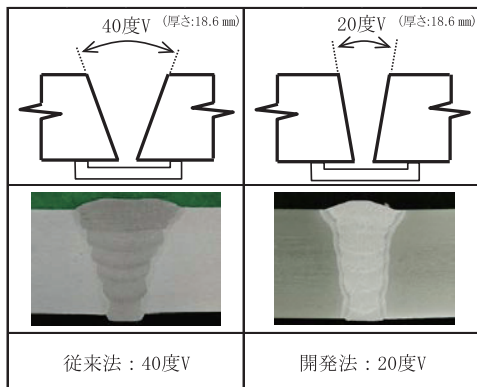


図2 開先角度およびマクロ形状の比較
Fig. 2 Comparison of groove angle and macro structure

2 パルスMAGの特長

従来法の直流MAG溶接を20度V狭開先に適用すると、図3のようにアークの硬直性が強くない事、アークの広がりが大きくない事から(いずれもパルスアークとの比較による)、アーク狙い位置の小さなズレによりアークが開先の壁面に発生、あるいは、開先コーナー部に届かない等の異常現象が発生し、開先コーナー部への入熱不足に起因する溶接欠陥が発生しやすい(図4(a))。一方パルスMAG溶接は、高いピーク電流を利用しアークの硬直性を強くさせ、広がりが大きくできるため、多少の狙いズレが起こってもこのような現象が発生せず、開先コーナー部に安定した十分な溶け込みを与える事ができ高品質を維持できる(図4(b))。

それに加え、パルスMAG溶接では、直流MAG溶接に比べピーク電流値が高い為、図5に示すように高能率溶接も期待できる。

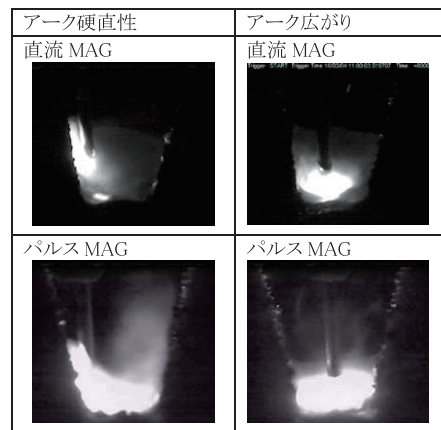


図3 高速度ビデオによるアーク現象の比較
Fig. 3 Comparison of arc phenomena by high speed camera

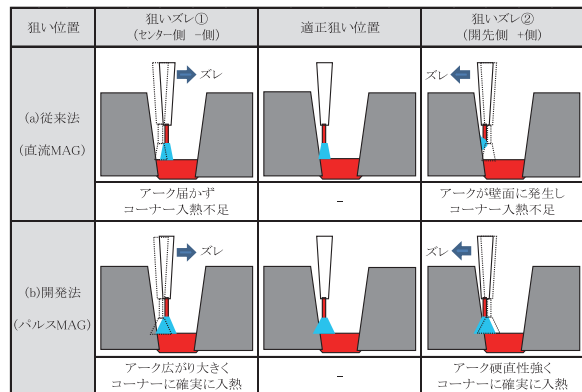


図4 コーナー部アーク狙いズレによる溶接現象の比較
Fig. 4 Comparison of welding phenomena by wrong arc position at groove corner

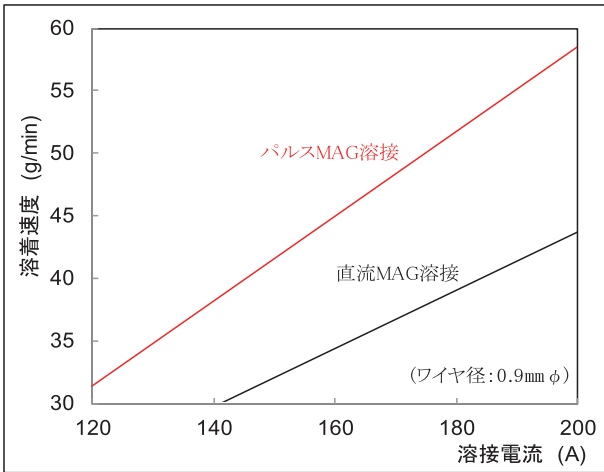


図5 溶着速度の比較
Fig. 5 Comparison of deposition rate

3 溶接条件導出までのフロー

現地周溶接は、基本的に水平固定管の溶接となるため、全姿勢溶接が求められ、自動 MAG 溶接では時々刻々変化させる全姿勢での適正な溶接条件が必要である。20度 V パルス MAG 溶接条件のパラメータには、ワイヤ送給速度、溶接速度のような基本的なパラメータの他に、パルス波形のピーク電流、ベース電流等の、基本パラメータとは別のパラメータ調整も必要となる。20度 V パルス MAG の溶接条件の検討は、まず鋼板を用いた基礎検討から始め、その基礎データをベースに、鋼管の全姿勢に展開し溶接条件を決定するという手法を取った。

まず、20度 V の溝を加工した鋼板を用いて、積層厚不変の制約下で各層、各姿勢での限界ワイヤ送給速度の調査を行い基礎データとした。次に、このデータを基に、鋼管を用いて全姿勢の仮条件を作成し、繰り返し溶接を行い、アーク安定性、ビード形状等を評価しつつ条件改良し、20度 V パルス MAG の初期条件を導出した。この初期条件をベースに、20度 V パルス MAG 溶接の課題であるアンダーカットを改善するため、シールドガス組成及びパルス波形のピーク電流、ベース電流等の波形パラメータを改良し、内部品質良好な最適溶接条件を決定した。

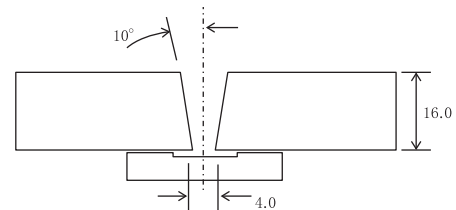
4 鋼板による溶接条件の基礎検討

鋼板での各層各姿勢における限界ワイヤ送給速度を調査するため、初層は図6(a)、2層目～最終層は図6(b)の開先で溶接を行った。溶接姿勢は図7に示す8姿勢とし、鋼板を各姿勢に保持した。ワイヤ送給速度毎に、16mm T材を5層盛と想定し、その積層厚になるように溶接速度を調整した。又、溶接良否の評価は、外観形状、断面マクロ形状、裏波形成能及びアークの安定性で総合的に判断した。初層溶接時の調査結果をまとめたものを表1、断面マクロ評価の例を図8に示す。これにより20度 V パルス MAG 溶接における各層、各姿勢での良好溶接を維持出来る限界ワイヤ送給速度を決定した。

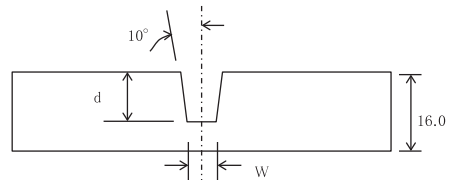
表1 初層溶接における限界ワイヤ送給速度(φ0.9mm)
Table 1 Critical wire speed for root pass(φ0.9mm)

【初層】	ワイヤ送給速度(m/min) φ0.9mm									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
下進下向0度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
下進下向45度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
下進立向90度	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
下進上向135度	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
上進上向180度	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
上進上向225度	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
上進立向270度	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
上進下向315度	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×

○：良好 ×：裏波、マクロ、外観不良



(a) 初層溶接開先
(a) Root pass shape



(b) 2層目～最終層溶接開先
(b) Second pass～last pass shape

層	2層目	4層目	最終層
d (mm)	11.4	4.5	0.7
W (mm)	5.6	9.3	9.5

図6 開先形状
Fig. 6 Groove shape

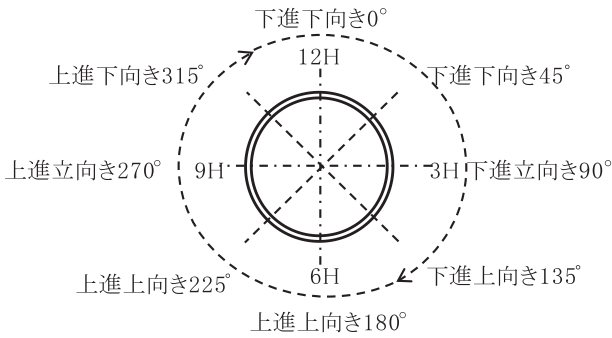


図7 溶接姿勢
Fig. 7 Welding positions

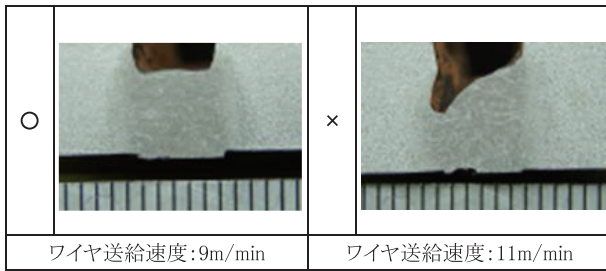


図8 断面マクロ評価の例(初層上進上向き180度)
Fig. 8 Example of cross-section structure(root pass/overhead position/180 degree)

5 鋼管による溶接条件の検討

鋼板溶接から得られた基礎データをベースに鋼管にこれを展開し、600A×18.6mm Tの水平固定管を連続で周回する溶接条件を作成した。これを仮条件とし、アーク安定性、ビード形状、アンダーカット、スパッタ量等総合的に評価し、微修正しつつ繰り返し溶接を行い、初期条件を導出した。

この初期条件で概ね内部品質良好な条件に仕上がったが、品質に影響の出るアンダーカット、作業性に影響の出るスパッタ量については、ワイヤ送給速度、溶接速度等の基本的なパラメータ調整のみでは不十分であったため、シールドガス組成及びパルス波形のピーク電流、ベース電流等のパラメータ調整の検討を行った。

まず、シールドガス組成のCO₂をリッチにし、アークを緊縮させ、又、図9のように開先のコーナー部へトーチが移動した時のアーク長変動に対して、即応したアーク安定化制御をしている外部特性を、図10のように-0.05V/Aであったものをパルス周期毎に-0.10~-0.15V/Aとなるよう急傾斜とし、アーク長変動に対する溶接電流の変動を ΔI_1 から $\Delta I_2 \sim \Delta I_3$ と小さくする事によりアークの

広がり抑制し、当該コーナーのアンダーカットを防止した。

次に、CO₂リッチによる溶滴移行の不規則化で増加したスパッタを低減させるため、1パルス1ドロップを目標にピーク電流、ベース電流等を調整し、CO₂リッチ溶接に対応した適正な溶滴移行を実現しスパッタを低減させた。

このCO₂リッチ溶接としたことにより、アークが緊縮し、ウィービング幅を増加させてもアンダーカットが発生し難くなり、結果的に開先壁面への溶込み深さを増加させる効果が得られた。スパッタ量と開先壁面への溶込み深さの相関を図11に示す。

このように、パルスMAG溶接の特長を利用し、更に各種溶接パラメータ(電流(波形)、電圧(波形)、溶接速度等)の最適化を進める事により、図12に示すように、20度V狭開先においてもアークの狙いズレに対する裕度の高い溶接方法とすることができ

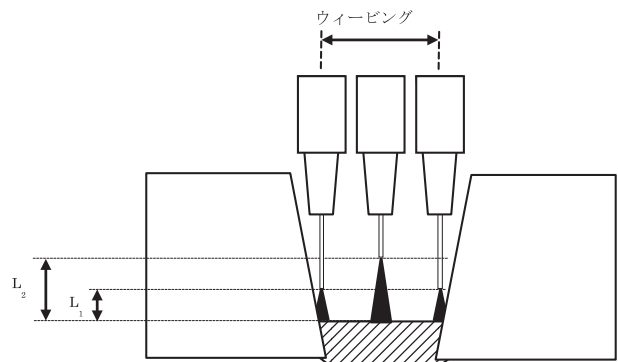


図9 ウィービングによるアーク長変動
Fig. 9 Change of the arc length by torch weaving

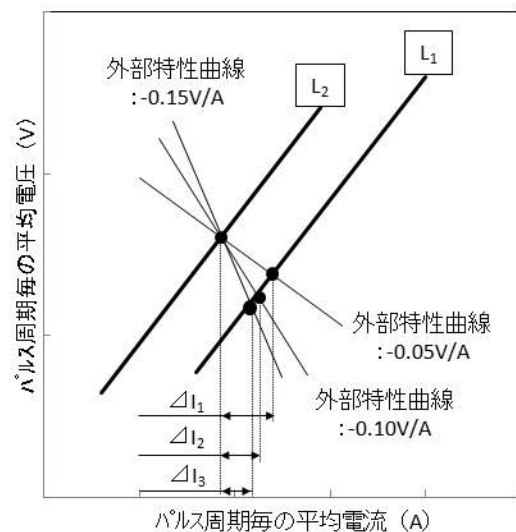


図10 パルス周期毎の外部特性の調整
Fig. 10 Outside characteristic control of pulse cycle

た。最終的に、アーク安定性、ビード形状、アンダーカット、スパッタ量、開先壁面への溶込み深さ、又、現地溶接で想定されるルートギャップ、食違い等の開先変動に対しても十分な裕度を有する、高品質高能率・全姿勢20度 V パルス MAG 溶接法 (NSMAG[®]-PLS) としての最適溶接条件を決定した。

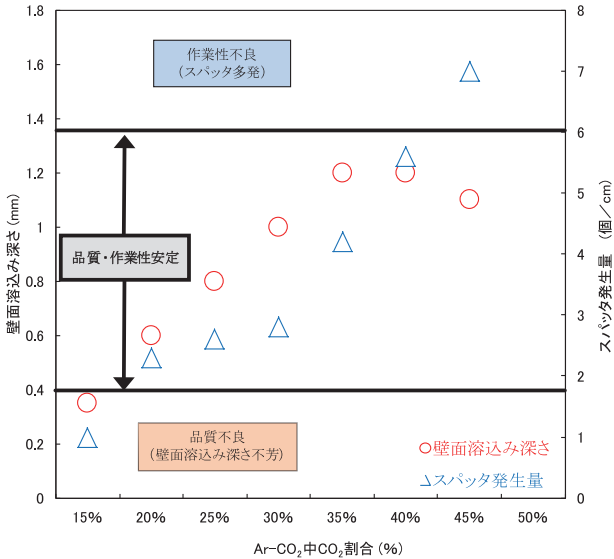


図11 シールドガス組成によるスパッタ発生量と開先壁面溶込み深さの相関
Fig. 11 Relation between quantity of spatter, penetration depth to the bevel surface and shield gas composition

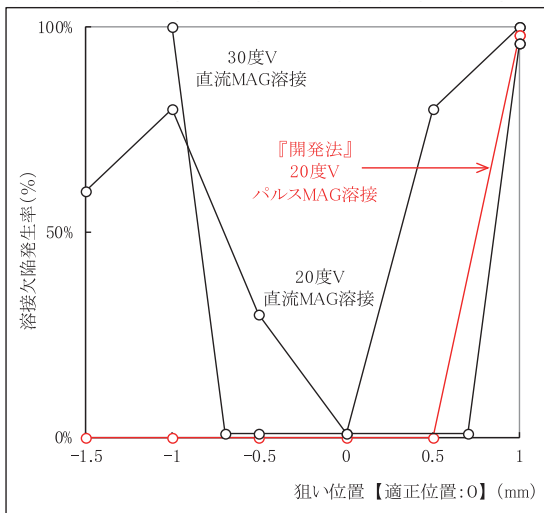


図12 コーナー部アーク狙いズレに対する溶接裕度の比較
Fig. 12 Comparison of tolerable ranges for wrong arc position at groove corner

6 溶接継手の品質・性能

図13に示す条件で溶接を実施し、非破壊検査及び

継手性能試験を実施した。溶接数は10リングとし、非破壊検査は全ての継手に対して放射線透過試験 (JIS Z 3104)、自動超音波探傷試験 (JIS Z 3070) を実施し、両者共安定して良好な結果が得られた。又、継手性能試験についても表2に示す通り、国内のガスパイプライン向けとして十分良好な性能が得られた。

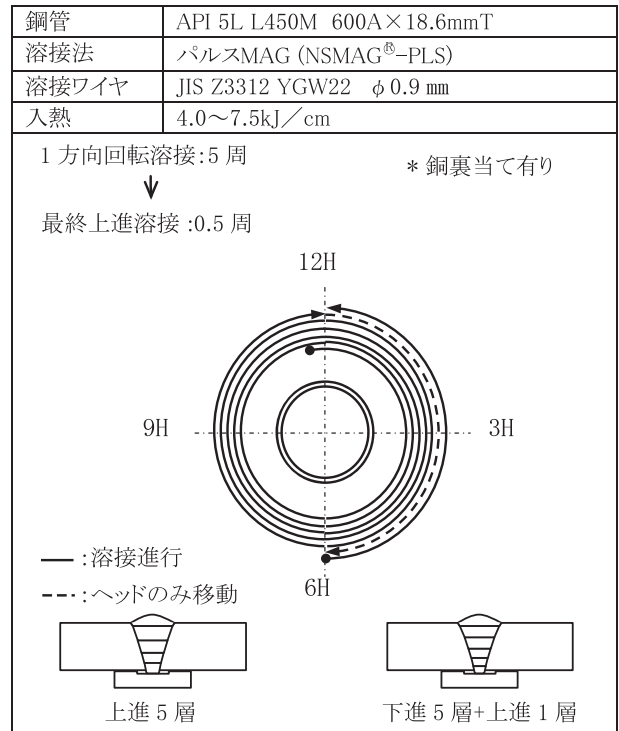


図13 溶接施工要領の概要
Fig. 13 Outline of welding procedure Specification

表2 機械試験結果
Table 2 Results of mechanical test
鋼管 : API 5L L450M 600A×18.6mm T

試験項目	試験結果
継手引張試験 (JIS Z 3121)	617, 622MPa (母材破断)
溶接金属シャルピー衝撃試験 (0℃, 2mm V 10×10mm) (JIS Z 2242)	155~245J (AVE : 200J)
硬度試験 (JIS Z 2244)	MAX : 264HV10 AVE : 236HV10
表曲げ (JIS Z 3122)	良好
裏曲げ (JIS Z 3122)	良好

7 現地施工

2014年1月から2015年2月にかけて、20度 V パルス MAG 溶接法 (NSMAG[®]-PLS) をシールドトンネル内配管及び推進配管に適用した。現地施工状況

を図14に示す。配管溶接の実績は、総延長13.6km、総溶接リング数は1,301リングであった。シールドトンネル内配管における従来法との作業能率の比較を図15に示す。本開発法の適用により、従来法2～3リング／日に対して、定常的に4リング／日が可能となり、最大5リング／日の施工も行う事が出来た。従来法に対して1.5倍～2倍の進捗向上を達成した。

今後も本開発法の適用拡大を図り、配管施工の工期短縮に寄与していく予定である。

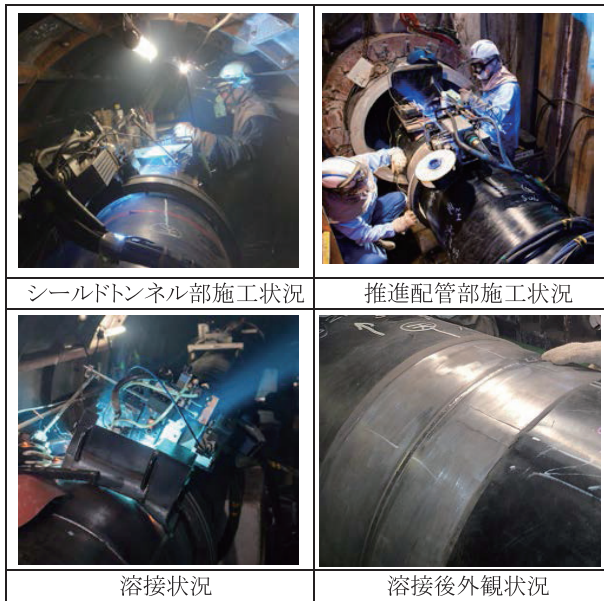


図14 NSMAG®-PLS 現地施工状況
Fig. 14 Application of NSMAG®-PLS on site

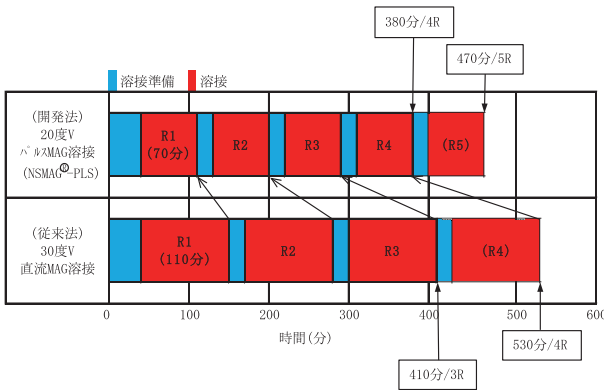


図15 従来法との作業能率の比較
Fig. 15 Comparison of construction rate of NSMAG®-PLS with conventional process

8 結言

国内初の20度VパルスMAG溶接法(NSMAG®-PLS)を開発し、現地シールドトンネル内配管における、高品質、高能率の溶接技術として確立した。