

# レーザ溶接による水車ランナの修理技術の確立

## Establishment a repair technology of hydraulic runner by laser welding

### 水車ランナの摩耗修理の自社技術化に向けて

水車ランナは運転中にキャビテーション壊食や土砂流入により摩耗するため、肉盛溶接修理を実施している。しかし、従来のTIG溶接法は入熱量が多く、溶接変形が懸念されるため、入熱量が少なく溶接変形のない新たな修理技術が期待されている。そこで、レーザ溶接による水車ランナの溶接修理技術の確立を目的に株式会社シーテックと共同で取り組んだ。

執筆者  
電力技術研究所  
材料化学グループ  
藤田 明吾



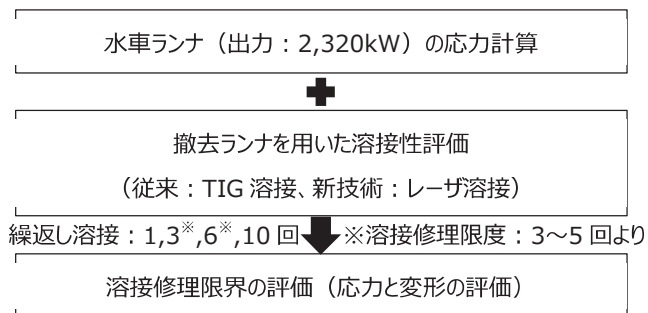
## 1 背景と目的

水力発電所で使用される水車ランナは水の流れの圧力差で短時間に発生・消滅する気泡により壊食（キャビテーション壊食）や流入した土砂による摩耗（エロージョン摩耗）による局所的な減肉が生じる。このため、母材への溶接熱影響など修理ノウハウを有する水力発電機器メーカーに依頼して、TIG溶接（アルゴンガス環境下でタングステン電極を用いたアーク溶接の一種）による肉盛修理を実施しているが、修理部は再度摩耗・減肉することが多い。また、繰返し溶接によるひずみの蓄積等による修理限界でランナを20～40年で取替えている。

これまでの研究において、レーザ溶接がランナ母材への溶接熱影響低減に有望であること、およびランナの溶接残留応力を測定できること等を明らかにしてきた。これに加え、ランナ形状毎の応力、溶接性（残留応力・ひずみの評価）、肉盛修理部の耐久性と溶接修理限界を把握できれば、ランナの肉盛修理がグループ企業技術で実施できるとともに、ランナの延命化につながる可能性がある。そこで、株式会社シーテックと共同で、現状よりも安価に施工できるランナのレーザ溶接肉盛技術の確立を目的に実施した。

## 2 水車ランナの繰返し溶接修理に求められる技術

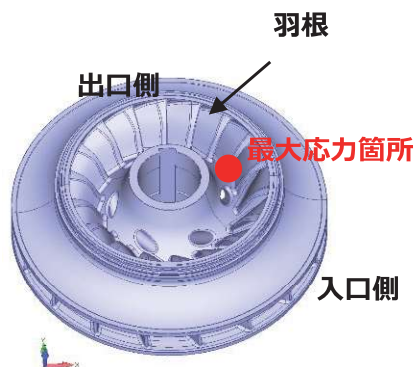
水車ランナの肉盛修理に求められる技術は、必要な応力に耐えつつ、繰返し溶接を可能とする熱変形が少ない溶接技術である。これを実証するフローを第1図に示す。以降この順で説明する。



第1図 実証フロー

### (1) 水車ランナ（出力：2,320kWの応力計算）

局所的な減肉による寸法変化を把握するために三次元測定を行い、有限要素法構造モデル（①撤去時、②翼全体50%摩耗、③翼出口局所50%摩耗）を作成した。三次元形状測定結果（ベース）を第2図に示す。これらの結果を用いて、ランナ応力を算出した。ランナ応力（MPa）は〔遠心応力+溶接残留応力（手入れで低減可能0MPa）+製作時の残留応力（メーカー想定150MPa）〕±変動応力で算出される。ランナの最大応力箇所は第2図の出口側の●部であり、その部位の応力算出結果を第1表に示す。ランナ応力は翼全体50%摩耗で最大217（=遠心67+溶接0+製作150）±2.3MPaと算出することができた。



第2図 水車ランナの三次元形状測定結果

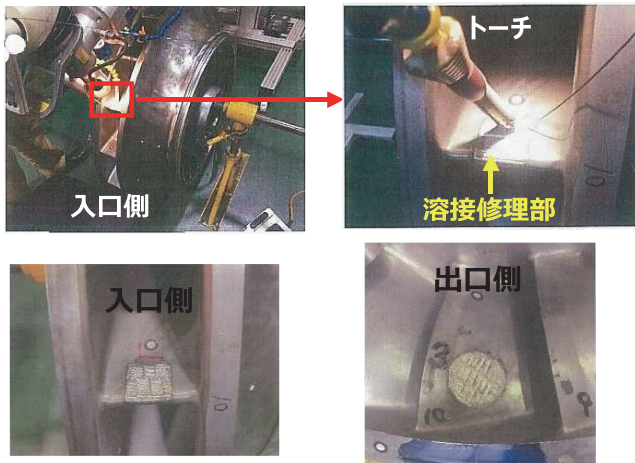
第1表 撤去ランナの応力算出結果（最大応力箇所）

解析モデル	遠心応力 (MPa)	変動応力 (MPa)
ベース	25	0.93
<b>翼全体50%摩耗</b>	<b>67</b>	<b>2.3</b>
翼出口局所50%摩耗	50	1.4

### (2) 撤去ランナを用いた溶接性評価（従来：TIG溶接、新技術：レーザ溶接）

同じ形状の2台の撤去ランナを用いて、互いに溶接入熱の影響を受けないように位置決めした5枚の羽根に模擬欠陥を加工、それぞれの溶接方法で繰返し溶接（1,3,6,10回）を行って、外観観察、残留応力測定および動バランス試験等により溶接性を評価し、問題がないことを確認した。ランナのレーザ溶接状況を第3図

に、残留応力測定および動バランス試験状況を第4図に示す。



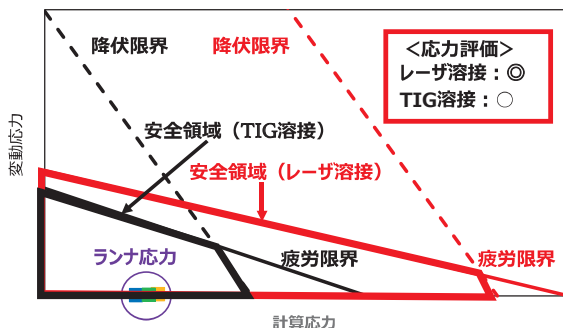
第3図 レーザ溶接状況



第4図 残留応力測定および動バランス試験状況

### (3) 溶接修理限界の評価（応力と変形の評価）

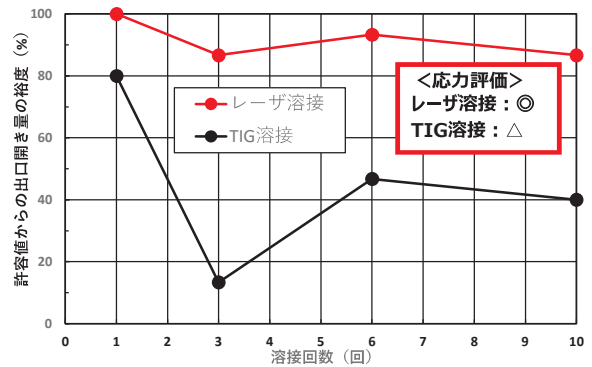
まず、肉盛修理部の耐久性を評価するために、TIG溶接およびレーザー溶接した修理部（第3図）から丸棒試験片を採取し、引張試験ならびに高サイクル疲労試験を行い、修正グッドマン線図を作成した。この線図に2(1)の応力計算結果をオーバープロットした結果を第5図に示す。ランナ応力はTIG溶接およびレーザー溶接ともに疲労も変形（降伏）もしない領域にあり、安全に使用できることが確認できた。なお、レーザー溶接はTIG溶接よりも安全領域が広いことから、TIG溶接よりも優れていることが確認できた。



第5図 修正グッドマン線図による材料強度評価結果

次に、溶接修理限界を評価した。水車ランナは繰返し溶接の入熱によるひずみで変形することから電気協同研究報告書で出口開き量の許容値を規定している。そこで、溶接後に出口開き量を測定し、裕度（規定値に対する許容できる誤差：裕度が大きいほど変形が少ないこと

を示す）を算定した。その結果を第6図に示す。TIG溶接およびレーザー溶接ともに許容値に対して裕度があることから、溶接修理可能であることが確認できた。また、レーザー溶接の裕度がTIG溶接よりも大幅に多いことから、レーザー溶接はTIG溶接よりも優れていることが確認できた。なお、TIG溶接では3回溶接以降に裕度が大きく変動しており、局所的な溶接変形が発生している可能性があることから、羽根を詳細観察した結果を第7図に示す。TIG溶接を6回実施した羽根表面には局所的に許容値を超えた明瞭な溶接変形が認められ、溶接後の形状修正は品質管理上不可であることから、TIG溶接の修理範囲は5回以下と判断した。これは従来の溶接修理限度と同程度の結果となった。一方、レーザー溶接は溶接変形が認められないことから、溶接修理限界は10回と評価した。これらの結果からランナの延命化が可能となり、現状よりも安価な溶接修理技術を確立することができた。



第6図 水車ランナ変形量評価



第7図 溶接修理後の羽根表面の観察結果（6回修理）

## 3 今後の展開

レーザー溶接はTIG溶接と比べて水車ランナの変形リスクが少ないため、変形しやすい肉厚の薄いランナ、小型で肉厚の薄いクロスフロー水車、ならびに入熱管理や変形管理がより一層求められる高応力部の溶接修理への適用が期待される。