

VI-182 フェイズシフト式電磁流量計による土砂流量計測

戸田建設(株) 正会員 河本泰二郎 正会員 橋本 司
樋口 忠 清水 淳一

1. はじめに

泥土圧シールドにおける掘削土砂の搬出には、土砂ポンプによる圧送方式を採用する事例が多い。この場合、流量計測は排土量を把握する上できわめて重要である。流量計測に使われているセンサは、今ではそのほとんどが2周波励磁電磁流量計である。電磁流量計においては、励磁周波数とノイズレベルには図-1に示すような関係がある。2周波励磁方式はこの低周波励磁と高周波励磁の相反する特長、すなわち安定したゼロ点が見られる、流体ノイズに強いといった点を、低周波と高周波を合成した励磁波を用いることで両立させたものである。2周波の合成方式としては種々の方法が考えられるが、現在使われている2周波励磁式では、低周波に高周波を重ねさせた方式が採用されている。この方式では高周波側の周波数を比較的高くすることができ、ノイズの影響を小さくすることができる。しかし、検出器コイルの容量を上げると応答性が悪くなるため、コイルの特別設計が必要となり、大口径に不向きであるばかりでなくコストアップの要因になっている。また、用意されているライニングや電極材料の種類が少なく、磨耗等による修理費が高くつくといったランニングコストに対する不満もある。そこで筆者らは、高周波と低周波を交互に励磁させる（フェイズシフト）という新たな2周波励磁方式の土砂用電磁流量計を試作し、従来の重畳方式の2周波励磁電磁流量計と比較することでその実用性を検討した。

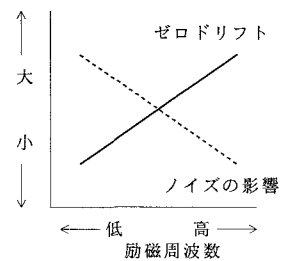


図-1 励磁周波数とノイズレベルの関係

2. フェイズシフト式2周波励磁電磁流量計の特徴

図-2および図-3に重畳式2周波励磁、フェイズシフト式2周波励磁のそれぞれの動作原理を示す。励磁波は重畳式が低周波に高周波成分が含まれた矩形波であるのに対し、フェイズシフト式では高周波成分と低周波成分を交互に含んだ矩形波である。信号処理は両方式とも原信号を2つに分岐し、高周波側と低周波側のそれぞれで処理した後、再び合成して出力するという方法を採用している。低周波側では低周波のタイミングでサンプリングされた後、大きな時定数をもつローパスフィルタを通りゼロ点安定性が得られる。一方高周波側では、高周波のタイミングでサンプリングされた後、小さな時定数をもつハイパスフィルタを通りノイズの影響が除去される。両回路により処理された信号は合成され、大きな揺動が平滑化された低ノイズの信号として出力される。

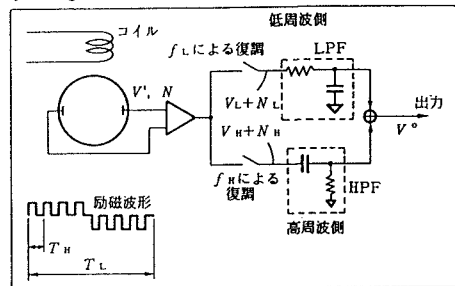


図-2 重畳式2周波励磁の動作原理

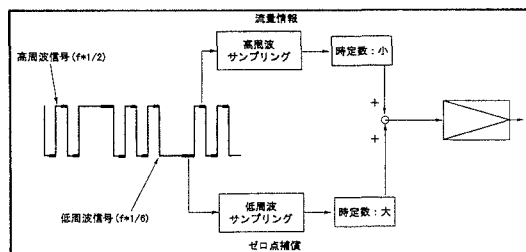


図-3 フェイズシフト式2周波励磁の動作原理

表-1にフェイズシフト式と重畳式の仕様の違いを示す。両者を比べると合成波形はもちろんではあるが、高周波の周波数と電極の起電力に大きな違いがある。高周波の周波数は重畳式の75Hzに対し、フェイズシフト式は25Hzとかなり低い。原理的には周波数を高くしたほうがノイズの影響を抑えることができるのだが、反面、検出器コイルが大きいと応答が励磁の切り換えに追従できず、波形なまりが発生する（応答性が悪い）という欠点がある。フェイズシフト式は高周波側の周波数を抑えることで、専用の検出器を新たに設計するのではなく、従来の一般形検出器（低周波励磁式）での使用を可能としている。これにより大口径への対応はもちろんのこと、一般形検出器との部品の共有化

や既存の検出器の使用が可能となりコストを抑えることができる。 表-1 フェイズシフト式と重畳式の比較

ノイズの除去については周波数だけで判断すれば重畳式の方に分があるが、フェイズシフト式では励磁電流を大きくすることによりこの問題に対処している。励磁電流を大きくすれば電極で発生する起電力は大きくなり、 S/N 比が改善されるだけでなく感度も上がる。一方、重畳式では高い周波数を用いるため、励磁電流を大きくすると応答性が悪化するので、励磁電流を大きくすることによって S/N 比の改善や感度のアップを図ることは困難である。

2周波合成方式	フェイズシフト式	重畳式
H i 周波数 Hz	25 ($f/2$)	75
L o 周波数 Hz	8.33 ($f/6$)	6.25 ($F/8$)
電極起電力 $\mu V/lm/s$	600~800	200~300 (推定値)
電極材質	導電性ゴム	タフステンカラーハイト
ライニング材質	軟質ゴム	ポリウレタン

ライニングや電極の磨耗対策については、従来は硬くて磨耗に強い材質のものをを用い磨耗の防止を図っていたが、コストアップだけでなく予想以上に磨耗が進むと検出器本体に損傷を与えるという問題がある。砂が混じった土砂を流せばライニングや電極の磨耗は避けられず、これらの部品交換が必要となる。そこで、部品交換は避けられないものと考え、ライニングには軟質ゴムを、電極にはスラリー粒子の衝突による電極表面の電位変化の小さい導電性ゴムをそれぞれ用い、ライニングと電極は一体構造とし、同じレベルで磨耗するようにした。

3. 計測結果

図-4は土砂ポンプの後方約20mの後方台車上に、フェイズシフト式と重畳式の2台の流量計を直列に設置し流量を計測した結果である。流した土砂は見かけ比重が1.5前後のシルト砂である。流量1が重畳式の計測結果で、流量2がフェイズシフト式の計測結果である。横軸はジャッキストロークである。フェイズシフト式の方に若干のヒゲが見られるが、両者ともほぼ一致した値が得られている。出力段の時定数は両者とも2秒に設定したのだが、重畳式の方が立ち上がりの応答が少し遅れているようだ。図-5には流量の経時変化を示す。フェイズシフト式のほうが電極出力が大きいいため振れは大きい、波形はほぼ一致している。フェイズシフト式では48secあたりで急激に落ち込んでいる。これは、気泡あるいは土塊の通過に敏感に反応したものであると思われる。

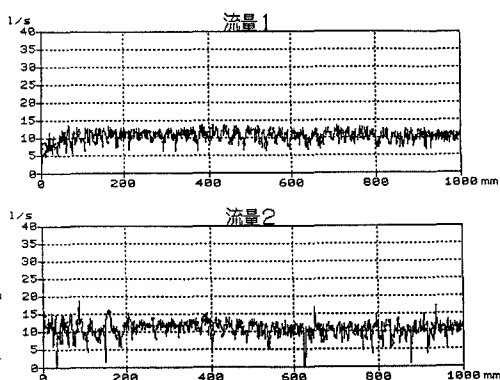


図-4 フェイズシフト式と重畳式の流量計測結果

4. おわりに

低周波励磁方式のものが主流であった頃は、スラリーや低導電率の流れに対して流体ノイズの影響を受けやすいという欠点があったため、土砂の流量計測では十分な精度が得られず、排土量管理のレベルは実用化にはほど遠い状況にあった。2周波励磁式電磁流量計の登場により流量計測の精度は格段に向上し、排土量管理はいまや実用化レベルにまでなっている。

2周波励磁電磁流量計が土砂の流量計測に優れていることは明らかである。しかし、既存の2周波励磁方式には重畳式のものしかなく、コストや選択できる種類に対しては少なからずの不満がある。このため、新たな2周波励磁方式であるフェイズシフト方式による電磁流量計を試用し、実用化検討を行った。試験結果では、重畳式による2周波励磁電磁流量計と変わらぬ出力が得られ、土砂流量の計測に十分適用できると判断できた。また、ライニングや電極に磨耗を積極的に受け入れようという考えで、一体形のソフトラバーを用いてみた。ほとんどが粘性土であったことにもよるが、3000m³程度の土砂圧送に試用してもほとんど磨耗は見られず、実用上問題がないことが確認できた。

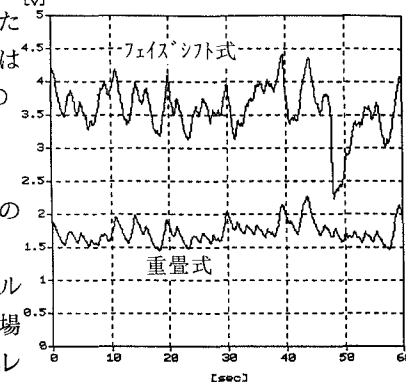


図-5 フェイズシフト式と重畳式の出力