

VI-87 シールド方向制御システムの開発

大日本土木（株） 技術研究所 正会員 畑 一民
大日本土木（株） 土木工事部 林 隆二

1. はじめに

最近の建設労働者不足は深刻な社会問題となっており、作業・管理の自動化・省力化が急務の技術的課題となっている。シールド工法では自動化とともに路線施工の高精度化という機能も満たさなければならない。現在シールド機の位置・姿勢の測定および制御の大半は人手によっており、特に制御面では熟練した専門家の経験や勘に委ねられているのが実状である。本文で報告するシールド方向制御システムは、シールドの位置・方向の測定・制御をパーソナルコンピュータや各種センサによって自動的に行おうとするものである。

2. システムの概要

図1にシステムの概要をまとめる。シールドに取り付けられた各種センサの情報（表1）は、常時地上の集中管理室パソコンに伝送され、自動的に測量演算と方向制御指示の処理を行う。

1) 位置方向測定演算部

当システムでは、シールドの位置方向測定センサとしてジャイロコンパスとレベルセンサを用いている（写真1）。ジャイロコンパスで水平（左右）方向の姿勢角（シールドの進行方向）を、ジャッキストロークセンサで移動距離を把握し、その双方の情報からシールドの水平方向位置を計算する。鉛直（上下）方向はレベルセンサで位置を、ピッチングセンサで角度を検知する。これらの情報はすべてパソコンで管理されており、計画路線とのずれ量も常時（掘進5～10cm毎）自動的に計算される。なおこの測量システムは、中小口径、急曲線シールドにも適用可能である。

2) 方向制御演算部

方向制御量の演算はファジ理論によっている。ファジコントローラへの入力はシールドと計画路線とのずれ量であり、出力はずれを修正するためのシールドジャッキ選択パターン（ジャッキの片押し度）である（表2）。メンバーシップ関数を図2、表3および表4に、ルールテーブルを表5に示す。推論は測量計算結果のずれ量にしたがって随時行われる。水平、鉛直両方向について個別に求めたジャッキの片押し度を相満たすジャッキパターンが最適値として決定される。なお推論演算則はmax-min法と重心法を用いている。

表1 センサ情報（位置、姿勢関連のみ）

	処理内容	センサ情報
水平	位置(x, y座標, 路線延長)	GYRO, SJST, AJST
	姿勢角	GYRO, AJST
	ずれ(蛇行量, 姿勢角)	GYRO, SJST, AJST
鉛直	位置(z座標)	LVLE, PICH, AJST
	姿勢角	PICH, AJST
	ずれ(蛇行量, 姿勢角)	LVLE, PICH, AJST

*) SJST: シールドジャッキストローク AJST: 中折れジャッキストローク
GYRO: ジャイロコンパス LVLE: レベルセンサ PICH: ピッチング

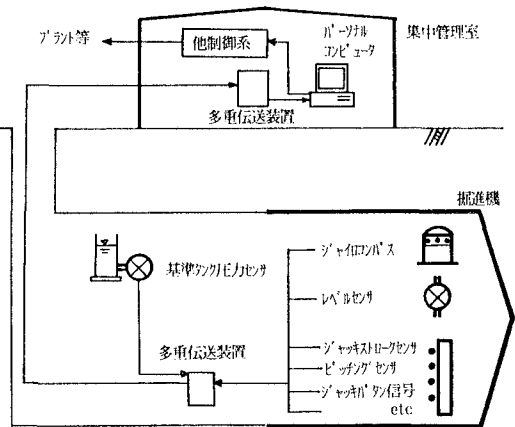


図1 システム概要図

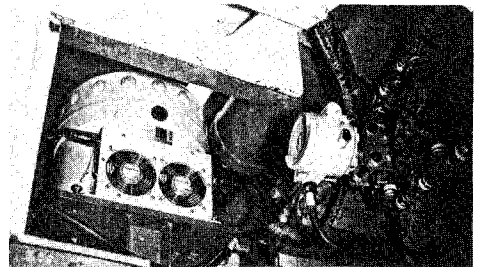


写真1 ジャイロコンパスとレベルセンサ

表2 ファジィコントローラの入出力項目

	項目		記号	単位
	入	出力		
力	水平	位置のずれ	DH	cm
	鉛直	角度のずれ	SH	deg
	水平	位置のずれ	DV	cm
	鉛直	角度のずれ	SV	deg
出力	水平	方向の片押度	ZH	—
	鉛直	方向の片押度	ZV	—

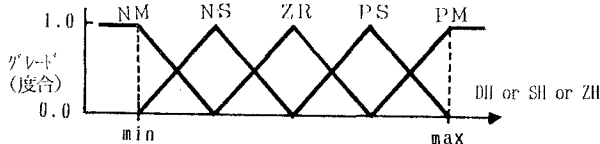


図2 メンバシップ関数群(水平方向の例)

表3 メンバシップのゲイン(標準タイプ)

メンバー関数	min	max	備考(符号)
DH(cm)	-7.0	7.0	左側負, 右側正
SH(deg)	-0.2	0.2	左側負, 右側正
DV(cm)	-2.0	1.0	下側負, 上側正
SV(deg)	-0.1	0.2	下側負, 上側正
ZH, ZV	-1.0	1.0	左(下)推負, 右(上)推正

3. システムの実施適用例

写真2は、システムの操作画面例である。測定演算部の計算精度は、表6のように実用上必要とされる精度を有するものと判断できる。なお人為測量間隔は直線、緩曲線部で10~11、急曲線部で5~6リング毎程度であった。

方向制御の試用にあたっては、熟練オペレータの操作をできるだけ忠実に再現することを目標にした。検討の結果、『曲線路線部では表3のSHの中心値を1~2リング程度の角度増分だけスライドして設定する必要がある』、『鉛直方向制御では地山の状態によって制御動作が若干変化する。これは表3のDVで±0.5cm, SVで±0.05deg程度のスライド量になる』ことがわかった。これらの点を考慮してシミュレーションを行った結果を図3(ジャッキ本数12本の例: 横軸の1メッシュは1リング)に示す。

4. まとめ

当システムの方方向制御推論は、掘削状況に応じて制御則を適宜変更することで、シールドの自動運転への対応が可能であることを示唆しているものと考ええる。今後は適用例を増やすことによる信頼性の向上、推力調整などへの応用に取り組む予定である。

[参考文献] 丹羽, 畑: シールド掘進管理システムの開発: 第7回建設マネジメント問題に関する研究発表討論会(講演集p233~236)

表4 ラベルの意味(水平方向)

ラベル	ずれ位置 DH	ずれ角度 SH	片押し度 ZH
NM	かなり左側	かなり左向	かなり左押
NS	すこし左側	すこし左向	すこし左押
ZR	ほとんど無	ほとんど無	まっすぐ押
PS	すこし右側	すこし右向	すこし右押
PM	かなり右側	かなり右向	かなり右押

表5 ルールテーブル(水平方向)

片押し度ZH	ずれ角度SH					
	左←					→右
ず左	NM	NM	NS	ZR	PS	PM
れ↑	NM	NM	NM	NS	NS	ZR
位置↓	NS	NM	NS	NS	ZR	PS
	ZR	NS	NS	ZR	PS	PS
	PS	NS	ZR	PS	PS	PM
DR右	PM	ZR	PS	PS	PM	PM

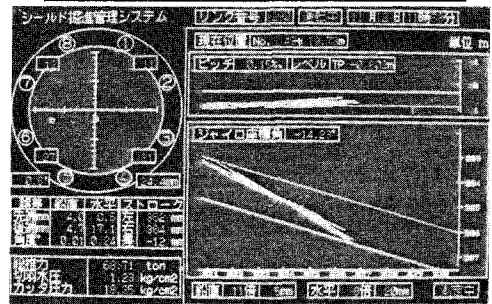


写真2 システム操作画面例

表6 自動測量演算の精度(人為測量との比較)

路線形状	サンプル数	平均値	標準偏差
水平			
直線部	72	-0.3mm	10.9mm
緩曲線部	24	1.1mm	10.6mm
急曲線部	42	4.3mm	14.2mm
鉛直方向	150	-1.0mm	4.9mm

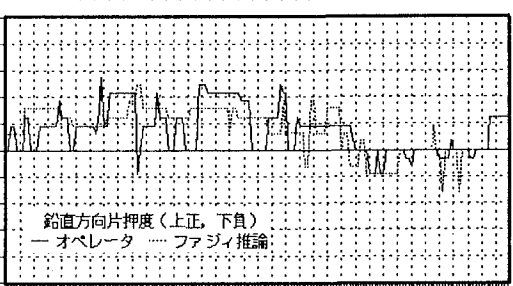
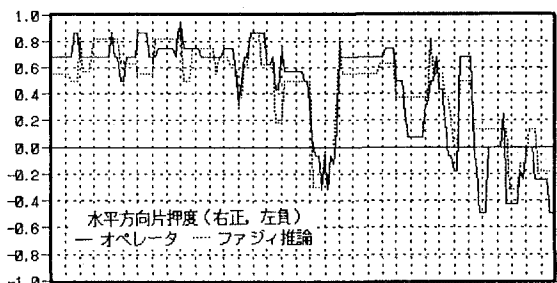


図3 方向制御演算結果(オペレータとの比較)