VI-158　平面掘削時ブルドーザブレードの自動制御に関する基礎的実験

愛媛大学工学部　正　員　深川良一・室　達朗
愛媛大学工学部　学生員　鈴木貴雄
三井造船（株）　正　員　門叫宏文

１．はじめに　平面掘削作業時、ブルドーザブレードの操作は高度の熟練を必要とする。本研究は、こうしたブレード操作の比例動作制御に関する基礎的研究である。まず種々の比例感度のもとで制御試験を実施し、比例動作制御の基本的な応答特性を調べ、同時に最適感度を求めた。さらに既に実施したファジィ制御結果[1]との比較を試みている。

２．比例動作制御[2]　比例動作制御はフィードバック制御の基本的な動作の一つで、その原理は以下の式で表現できる。つまり、

$$u = k_p \cdot e, \quad e = r - b$$

ここに、u：操作量、e：偏差、k_p：比例感度、r：基準入力、b：主フィードバック量である。この制御方式では、ある時刻の$u_{(t)}$の瞬間的な値が同じ時刻の$e_{(t)}$の瞬間値と比例する。比例感度k_pが大きくなり無限大になれば、比例帯はゼロになり操作部は偏差に応じて全開と全閉の繰り返しを行うようになる。これはいわゆるオンオフ動作と等しくなる。

３．実験装置　実験装置は土槽、台車、牽引装置、ブレード及びブレードを上下させるための装置よりなり、基本的に文献1)で用いたものと同一である。車両の牽引速度は最小0.2～最大2cm/secである。リニアヘッドの最大上昇・下降速度はそれぞれ17cm/minである。

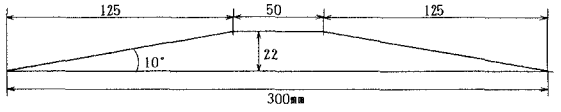

Fig.1 Dimensions of obstruction

ブレードと基準面の高さを計るリニアトランスデューサ及びブレードの高さの変化（制御結果）を計る超音波変位計をリニアヘッドの先に取り付け、前者を入力値としてパソコンに、後者を制御結果としてデジタルデータレコーダに送信した。機械的基準面としてモデル地盤の上に150×7.5×1.5cmの滑らかなアルマイト板を水平に置いた。台車の四車輪の前方にFig.1に示す同一形状の４つの障害物を設置し、台車の四輪が同時に障害物を登りはじめるようにした。つまり台車自体の水平性は実験中確保されるから、変位は一次元的に発生することになる。

４．システム構成　システム構成をFig.2に示す。ブレードの高さの変化はリニアトランスデューサによって検知され、この情報は動歪計→Ａ／Ｄ変換器→パソコンと伝達される。プログラムに従って処理された後、Ｄ／Ａ変換器→ＡＣサーボドライバと移行する。ＡＣサーボドライバはパソコンからくるアナログ速度指令電圧によってサーボモータに供給する電圧を制御する。この電圧は5～－5ボルトの電圧に設定されるが、結局本システムではこの電圧がモータの回転数（つまりブレードの変位速度）に比例することになる。

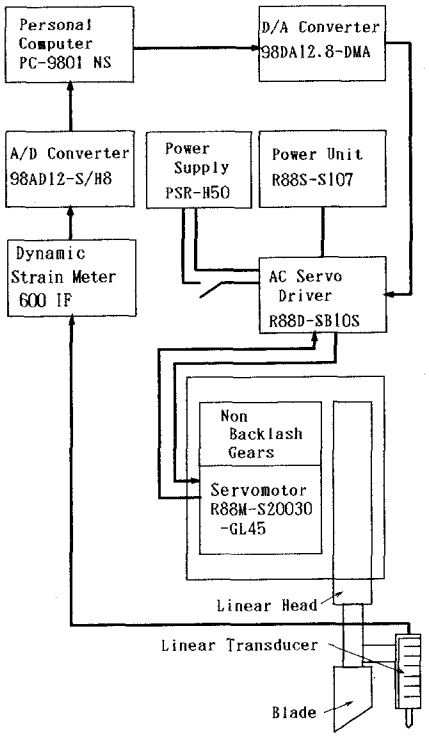

Fig.2 System in proportional action control

５．実験方法および実験結果

１）最適感度の決定　この実験における最適比例感度を決定するために、牽引速度0.2, 0.9, 2.0cm/secに対して、感度を10, 50, 75, 100, 125, 150, 200と変化させる実験を行った。

２）牽引速度の変化　牽引速度の変化が制御結果にどのように影響するかを調べるために以下の実験を行った。感度は上の実験で得た最適感度(100)に固定し、牽引速度を0.2～2.0cm/secと変化

させて実験を行った。リニアヘッドの最大上昇及び最大下降速度と障害物の斜面角度からリニアヘッドが対応できる限界牽引速度は1.61cm/secであるため、その付近の1.1～1.8cm/secは0.1cm/secきざみで実験を行った。

３）実験結果　　標準偏差で整理したものをFig.3に示す。感度75～125ではほとんど結果に差がない。感度150では収束性が悪化し、振動が顕著になる傾向がみられた。したがって、感度100から感度125の間に極小値（つまり最適感度）があると考えられる。次に、比例感度を100と固定し、牽引速度を変化させて実験を行ったが、牽引速度が増大するにつれて制御精度は悪化した（Fig.6参照）。

６．ファジィ制御と比例動作制御の比較　　Fig.4に比例動作制御、Fig.5にファジィ制御の実験結果の一例を示す。牽引速度が厳密には一定ではないため、瞬間的に牽引速度が速くなる場合がある。このような突発的な入力は、ファジィ制御では緩和して出力されるのに対して、比例動作制御ではそれがダイレクトに出力される傾向にある。したがって、比例動作制御では過剰な応答や振動が顕著にみられる場合があった。この傾向は比例感度が150を越えて大きくなるほど顕著であった。

次に標準偏差で比較したものをFig.6に示した。車両の牽引速度が増加するに連れ、相対的に比例動作制御の方がファジィ制御より優位になる傾向がある。その理由としては：i)比例動作制御は、比例感度が大きい場合など小量変位においても簡単にサーボモータの最大回転数を出力することが可能であるのに対し、ファジィ制御は重心法に基づくファジィ推論によりモータの回転数が決まるので最大回転数を出力しにくい。ii)サーボモータが電気的信号で働くので、ほぼ無限大分割でき、比例動作制御がその能力を十分発揮できた。ただし、一般のブレード制御は油圧シリンダにより成され、また複雑な地盤条件を考えれば、制御要因も単にブレードの規準面からの変位のみでなく、変位増分の量及び方向をも考慮する必要のあることが予想される。したがって、比例動作の優位性については今後の更なる検討が必要になろう。

７．まとめ　　平面掘削時のブレード操作に関して比例動作制御を実施し、ファジィ制御結果との比較などを通してその基本的特性を明らかにした。今後はより実際的な条件下での効果的制御方法を追究していく必要がある。

８．参考文献　　1)深川・室・鈴木・門此(1992)：平成４年度土木学会中四支部研究発表会講演概要集.
2)黒須(1985)：パワー社.

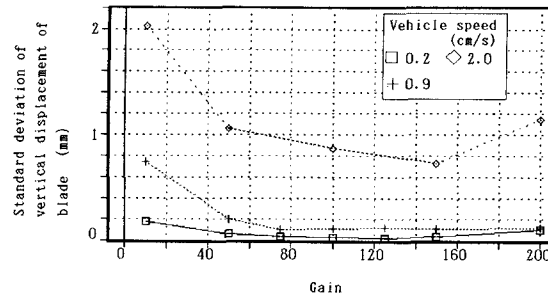

Fig.3 Effect of gain on standard deviation of vertical displacement of blade

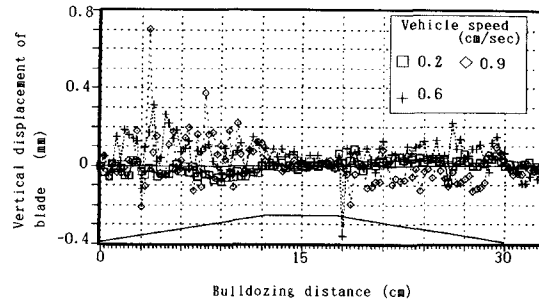

Fig.4 Result of P-action control tests (k_P=100)

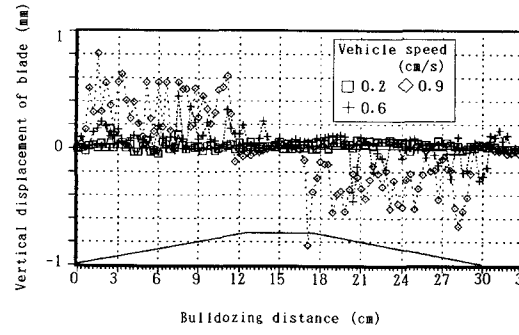

Fig.5 Result of fuzzy control tests ($L/L_0=K/K_0=0.05$)

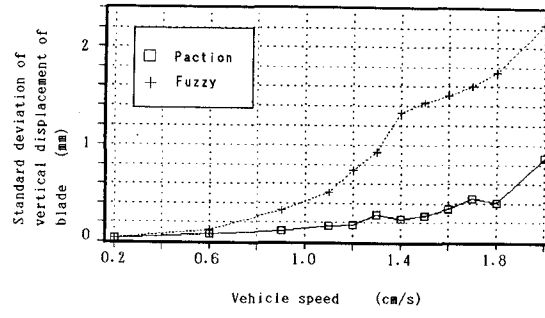

Fig.6 Comparison of blade performances based on fuzzy control and P-action control