

51. ファジィ制御を利用したブルドーザの 押土作業の自動化

愛媛大学：*深川 良一・室 達朗
鈴木 貴雄

1. はじめに

ブルドーザのブレード制御は、オペレーターがブレードにかかる力および地盤条件を判断して微妙にチルトシリンダー、リフトシリンダーを操作するという作業から成っている。建設機械の操作の中では熟練を要するものの1つである。今回の報告は主としてファジィ制御の応用に関する2種類の室内モデル試験より成っている。(1)ブレードにかかる力に応じたブレード鉛直方向変位制御、(2)ブレード位置を一定に保持する制御である。いずれも1入力1出力の単純なファジィ制御であるが、ファジィ制御の高速性¹⁾が最も良く確認できる。以上の制御に対する応答を確認するために、実際にファジィコントローラを装着したモデル押土試験装置を製作し、制御条件を変化させて一連の押土実験を行い、適正な制御方法に関して考察を加えた。

2. モデル実験装置及び地盤

実験装置の概略を図-1に示す。土槽の大きさは、270×60×30cmである。可変速モーターに取り付けたドラムにワイヤーを巻き取りモデル車両を牽引する。実験で採用したリニアヘッドの最大変位速度（即ちブレード鉛直変位最大速度）は16.5cm/minである。

実験には4.78mmのふるいで仕分けし気乾燥させた海砂を用いた。土槽の底面から10cmの高さまでのモデル地盤を基礎地盤とした。盛土部分については、基礎地盤表面から5cmの高さまで試料砂を緩やかにそそぎ込み作製した。基礎地盤及び盛土部分の密度はそれぞれ1.70、1.49g/cm³、相対密度はDr≒105、19%である。

3. ブレードにかかる力に応じたブレードの鉛直方向変位制御

(1) 制御システム

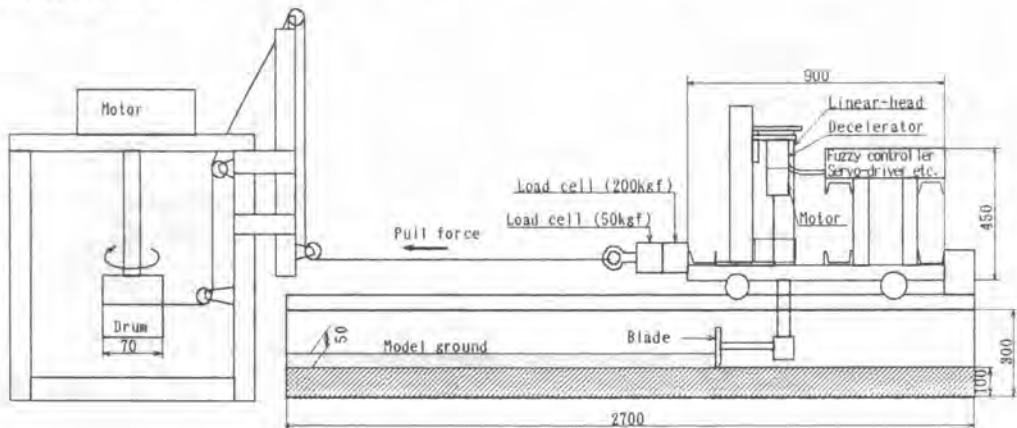


図-1 モデル試験装置

システム構成について図-2に示す。実験が開始されると、ブレードにかかる荷重がロードセルにより検知され、このロードセルからの情報が動歪計で電圧に変換された後、ファジィコントローラに伝達される。その後、ファジィコントローラより一連のファジィ推論実行回路を経て出力されたアナログ速度指令電圧、つまりサーボモータに供給する電圧を制御する信号がサーボドライバに送られ、サーボモータの回転を介してリニアヘッドが伸縮し、ブレードの上下位置制御が実施される。

(2) 実験結果および考察

通常オペレータは、ブレードにかかる力がある大きくなってからブレードの操作を開始する。そこで、制御条件としての最小値を実際にファジィ制御を開始する最小の設定値（ブレードにかかる力）と定義し、最大値に対する割合として表した。最小値が最大値に近いほど押土能率（単位時間当たり押土量と定義）が良い。実験結果を図-3に示す。図-3はラベル数5の場合であり、図-3(a)には最小値が最大値の各々0、20、40、60、80%になるように設定された場合のブレードの鉛直変位と押土距離の関係が示してある。また図-3(b)には、同じケースでのブレードにかかる力と押土距離の関係を同様に示している。最小値が0%の場合、シミュレーション結果と同じように車両が動き始めると同時にブレードが変位し始める。また最大値50kgfの場合の設定最小値20、40、60、80%に対して、それぞれほぼ設定通り制御が実施されていることが分かる。

掘進に伴うブレードの応答を表現するためにブレード応答係数 μ （図-3(a)での曲線の初期接線勾配）を定義した。一連の実験により μ が小さいほど、押土能率は良好であると判断できた。図-4に設定最小値とブレード応答係数 μ の関係を示した。最小値の設定が小さいほどブレード応答係数が大きいことが分かる。図-4にはラベル数3、7の場合についても示しているが、最小値の設定が大きいほどブレード応答係数 μ は小さくなる傾向を示す。実際に押土作業を行う場合はブレードにかかる力が増えるに従い、履帯がスリップし、押

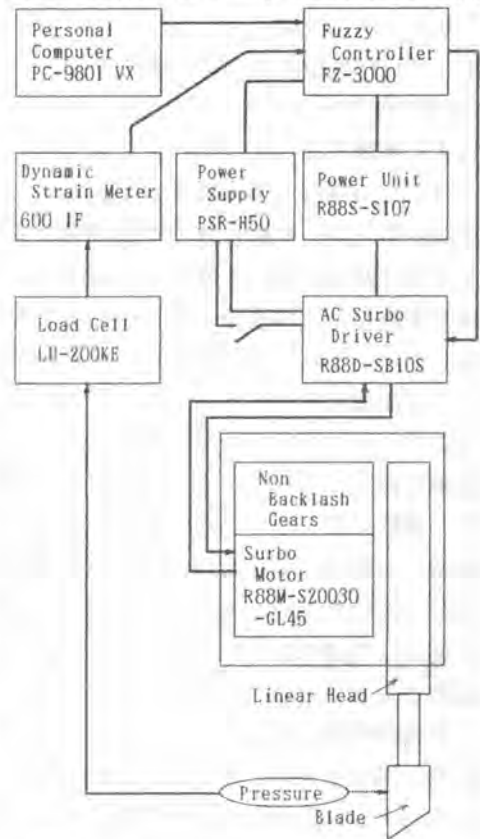


図-2 ブレードにかかる力に応じたファジィ制御システム

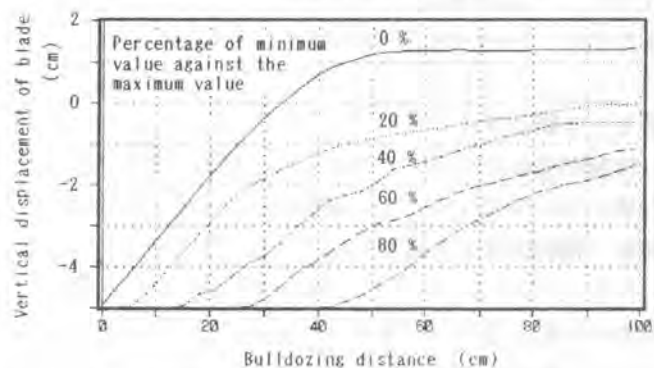


図-3(a)ブレード鉛直変位～押土距離関係

土に要する時間が増えると予想される。このことは押土能率の低下を招くため、数値計算により考察を加えた結果、有効な押土能率の期待できる、地盤条件に対応した適切な最小値の存在することがわかった(深川ら, 1991)²⁾。

4. ブレード位置を一定に保持する制御

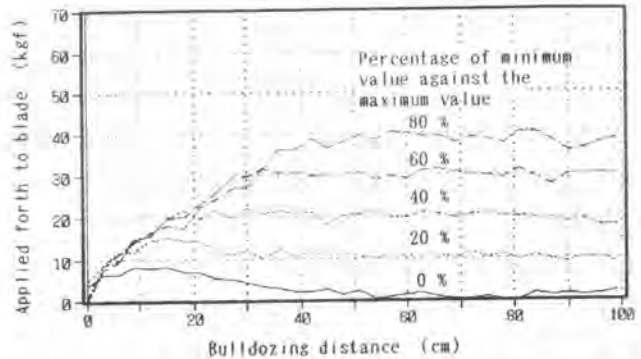
(1) 実験方法

3. と同様なモデル地盤, モデル車両を用いた。車両自体の揺動に関わらずブレードが常に基準面との距離を一定に保つファジィ制御を実施した。つまり、ブレードがある方向に変位したら、それと逆方向にブレードを変位させるように制御するのである。制御システムでは、図-2のロードセルの代わりに基準面とブレードとの距離を測定するリニアトランスデューサーを用いた。実験に際して、モデル車両の変位は走路面に装着した台形上の突起物により発生させた。1次元的な変位を達成するために、モデル車両の4輪が同時に同様な変位を経験するように設定した。突起物の形状、寸法は図-6中に示している。

制御条件としては、(1)メンバーシップ関数の形状(図-5参照)、および(2)車両速度(0.2, 0.6, 1.0, 2.0 cm/sec)を変化させた。図-5中の各々のメンバーシップ関数の特徴は、(A)一様な入出力、(B)基準値近傍での小さい入力に対する一様な出力、(C)基準値近傍での小さい入力に対する大きな出力、(D)基準値近傍での小さい入力に対応した小さい出力、である。

(2) 実験結果及び考察

実験結果に及ぼすメンバーシップ関数の形状の影響について図-6に示す。縦軸にブレードの鉛直変位、横軸に押土距離をとっている。押土速度は0.2cm/secである。図より今回の実験条件下では条件Bが最も良い結果を与えていることがわかる。Bは、比較的小さいブレードの変位に対して平均的な出力(ブレードの強制変位速度つまりサーボ



(b) ブレードに作用する力～押土距離関係
図-3 制御結果に及ぼす設定最小値の影響

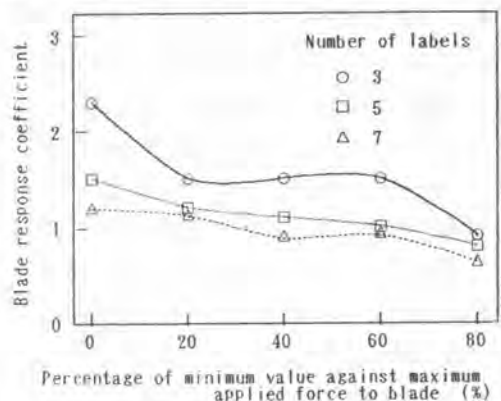


図-4 設定最小値～ブレード応答係数

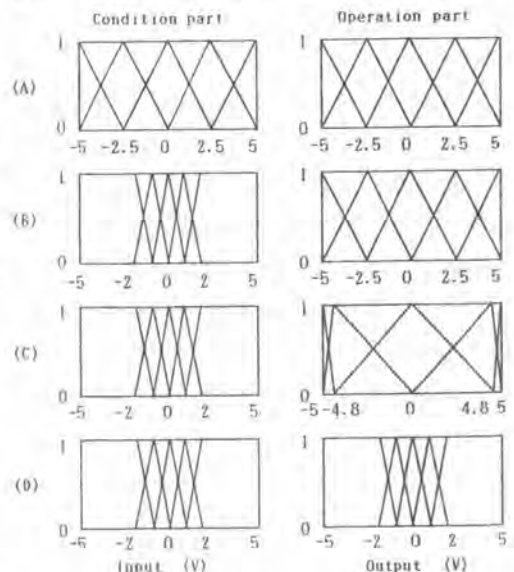


図-5 ブレード位置一定制御におけるメンバーシップ関数

モータの回転速度)を行うものであるが、最大変位については、車両最大変位22mmに対して、およそ1/20程度に制御し得ている。また車両が下降に転じてからの変位の収束は他に比べてかなり優れている。

実験結果に及ぼす車両速度の影響について図-7に示す。用いたメンバーシップ関数は図-5の条件Bである。この場合、リニアヘッドの移動速度(つまりブレードの鉛直方向移動速度) v_x と車両の鉛直方向移動速度 v_y との関係が問題になる。今回の実験においては、リニアヘッドの最大移動速度が16.5cm/minであるのに対し、与えられた突起物では車両の最大鉛直方向移動速度は21.1cm/minとなる。 $v_{lmax} < v_{ymax}$ なら制御は不可能となる。ファジィ制御においては、非ファジィ化に際して重心法を採用していることもあり、 v_{lmax} が v_{ymax} より大きくとも制御結果が実際のブレードの変位をカバーしきれないことが有り得る。車両速度を上げると、当然鉛直方向の移動速度が上昇

するために、リニアヘッドの追従性は低下する。本報告で示したようなファジィ制御の実効性を高めるためには、地盤の凹凸や車両速度を考慮に入れた上で十分な追従性のあるサーボモータあるいは油圧機器を使用しなければならないし、またブレード変位を直接ファジィコントローラに伝達できるようなセンサーの開発も必要であろう。

5. 結論

まず、ブレードにかかる力に応じてブレードの鉛直変位を制御する実験に関して、ファジィ制御を開始する最小値の設定については、ほぼ設定条件通りの結果が得られた。また、最小値が小さいほど、ラベル数が少ないほど、高い押土能率の得られることが判明した。

次に、ブレードの変位を一定に制御する実験に関して、試験結果はファジィ制御条件の影響を強く受けるが、適切なメンバーシップ関数を選択することにより車両本体の最大鉛直変位量のおよそ1/20程度にブレードの最大変位を抑えられることがわかった。ただし、車両速度を上げるとブレードの変位に対する制御の追従性は低下するから、実際の制御については路盤条件、車両速度などを考慮して適切な制御機器を選定する必要がある。

参考文献 1) 山川烈(1988): fuzzyコンピュータの発想、講談社、 2) 深川良一、室達朗、鈴木貴雄(1991): スリップ率を考慮したブルドーザブレードのファジィ制御、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集(第6部門)、pp.342-343。

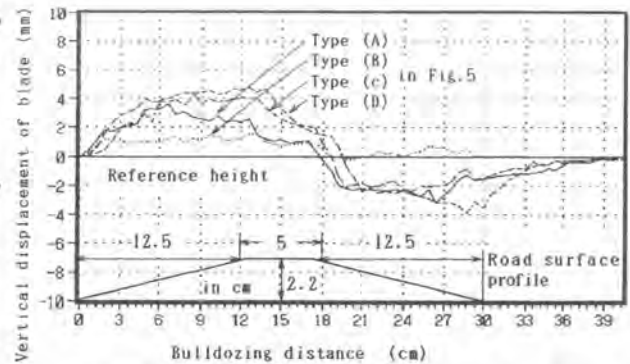


図-6 制御結果に及ぼすメンバーシップ関数の影響

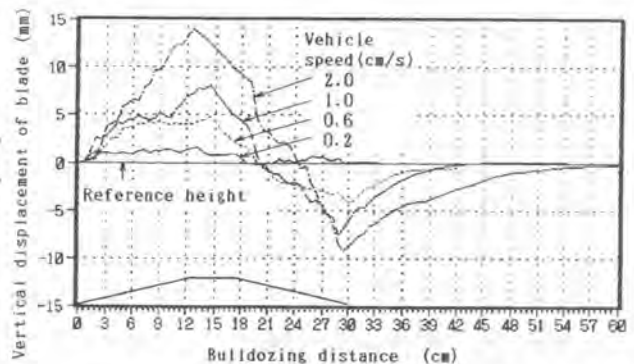


図-7 制御結果に及ぼす車両速度の影響