



土木研究所資料

第 8 7 0 号

建設機械の自動化に関する調査試験(第1報)

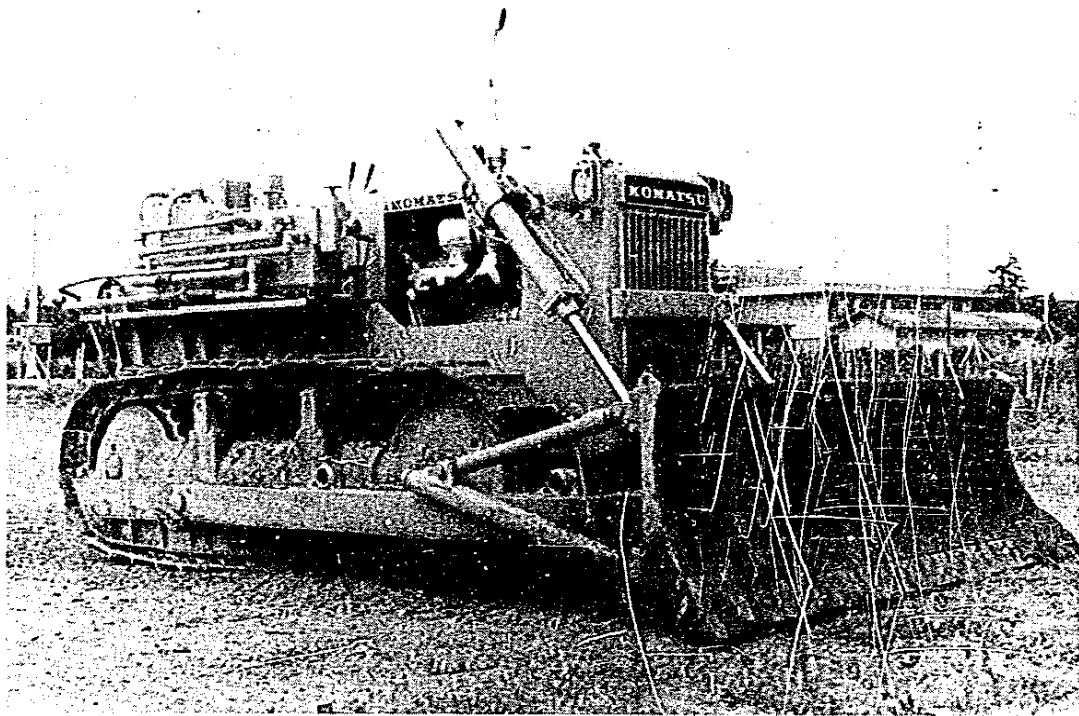
—ブルドーザブレード操作の自動化—

昭和 48 年 8 月

建設省土木研究所

要 旨

建設機械の自動化の一環として、ブルドーザブレード操作の自動化を目標に、模型試験機による基礎試験調査及び、実機ブルドーザによる自動ブレードレベル制御実験を行なった。この結果自動ブレード操作にはレベル制御の他、エンジン負荷制御を考慮しなければならないこと、又レベル制御を行なう場合、フロートペンジュラム程度でもラフな仕上が出来ること、エンジン負荷制御の場合エンジン弾性を充分考慮した制御回路が必要なことが解明された。この報告書は主に昭和47年度実施したブレード操作の自動化についての詳細を述べたものである。



建設機械の自動化に関する調査試験（第1報）

—ブルドーザブレード操作の自動化—

建設省土木研究所 機械研究室

田 中 康 之

岡 崎 治 義

小 室 日出男

目 次

要 旨

1. ま え が き	1
2. 調査目的と内容	1
3. 建設機械の自動化についての概要	2
3.1 建設機械を自動化する意義	2
3.2 建設機械の自動化対象部	2
3.3 自動制御機器の適用	4
3.4 自動ブルドーザの構想	5
4. 試 験 機	6
4.1 自動ブレード運転装置	6
4.2 負荷制御装置	10
4.3 自動ブルドーザ試験機	11
5. 検 出 器	14
5.1 傾斜角検出器	14
5.2 エンジン回転速度検出器	17
5.3 車速検出器	18
6. 制御システム（ロジック）について	19

7. 試験方法	26
7.1 ブルドーザ模型運転装置による試験方法	26
7.2 エンジン負荷制御装置による試験方法	27
7.3 ブルドーザ自動制御試験機による試験方法	28
8. 調査試験結果及び考察	28
8.1 文献調査による建設機械の自動化例	28
8.2 各種傾斜角検出器の性能	31
8.3 土研式傾斜角検出器による制御性試験結果	32
8.4 傾斜検出角不感帯幅の設定効果	42
8.5 ブレード平衡設定角とブレード先端変位	43
8.6 自動操作ブルドーザによる構内試験結果	43
8.7 エンジン負荷制御実験結果	45
8.8 建設機械（ブルドーザ）自動化の経済性	49
9. 結 論	50
10. あとがき	50
参考文献	52

1. まえがき

建設工事量の増加に対して、建設労務者の不足が深刻な問題となってきた。建設労務者不足の対策は第一段階として工事の機械化、第二段階として機械の大型化、高能率化が図られて現在に至っている。しかし今後の増加を考えると更に省力化を図ること、及び最適施工システムを考える必要がある。省力化に関しては、施工の無人化がその有力な手段と考えられる。完全無人化に至らないまでも、部分的な自動化は、オペレータにとって操作の簡単化、安全化などの面で大いにプラスになりひいては間接的にオペレータ不足の対策として役立ち得るものと考えられる。更に自動化が進めば多数の機械をプログラム通りコントロールすることも可能になり、この段階ではオペレータの省力化に大いに役立つ。更に、自動化はオペレータの安全面や健康面への寄与も大きく又方法によっては、作業能力の増大や仕上精度、品質の向上及び困難な操作の解消などの多くの面でメリットを生むものと考えられる。

機械研究室では、こうした見地から昭和45年度以来主として文献調査や模型実験を、建設機械の操作性を取扱うテーマの中で実施してきたが、昭和47年度からは建設機械開発調査費を用いて本格的に取り組むこととした。建設機械には、土工・積込・吊上・締固め・運搬・舗装・削孔等の機能を有した多くの機種があり、それぞれ自動化する考え方も異なるはずであるが、さしあたり最も台数が多く、かつ基本的な操作方式において他の機種と共通する点が多いということから、第一にブルドーザのブレード操作の自動化を取り上げることにした。ここでは、昭和45年度以来行ってきた模型実験及び47年度開発した実機ブレード自動制御ブルドーザ及びそのブルドーザによる構内性能試験について報告するものである。

2. 調査目的と内容

建設機械の操作の一部又は全体の自動化を下記に示すとおり促進することにより、オペレータの負担の軽減、省力化、安全性の向上を図り、よって作業能率の向上、

仕上精度の向上，更にオペレータ不足の解消に寄与することを目的とする。具体的な実施項目は次のとおりである。

- (1) 建設機械の自動化に関連した文献を調査し蒐集する。
- (2) ブレードの高さを一定の位置に保持する模型自動ブレード制御装置を試作し，本体及びCフレーム傾斜角検出器の性能及びブレード昇降用油圧系統の操作性又，自動制御系（電気回路），更にこれら全体の組合せとしての制御性の検討を行ない実機自動ブルドーザの基礎的データを得る。
- (3) ブレード掘削深さによるブルドーザエンジン負荷特性を調べ，モータによるエンジン負荷制御のシミュレート装置を試作し，エンジン負荷を一定範囲内に制御する機構及び電気回路の開発を行ない，実用性の検討を行なう。
- (4) 実用ブルドーザに先に開発したブレード高さ制御装置を取りつけ，ブレードの先端を一定高さに制御させる自動ブルドーザを試作開発する。
- (5) 上記ブルドーザを使用して，土木研究所構内において制御性の試験を行ない検討する。

3. 建設機械の自動化についての概要⁽⁴⁾

3.1 建設機械を自動化する意義

建設機械の操作を自動化する意義として第1にあげられることは，オペレータ不足の解消できること，すなわち，建設機械に直接従事するオペレータに代って，その運転を機械が独自に行なってしまうこと，これは完全無人ブルドーザが出現した時のことであり，完全無人化に至らないまでも部分的な自動化により，オペレータの負担は減少し，未熟練者でも操作ができるようになる。これも一種の省力化である。又自動化は，操作の安全化，品質の向上化，作業の能率化等に非常に役立つことは衆知の事実である。

自動化の欠点としては，まず技術面での負担，いわゆる自動化を開発することの困難さ，アイデアの問題，更に長期に亘る莫大な研究投資があげられ，又経済的負担として，自動化用油圧機器，電子機器，及び改造費のコストの問題があげられる。

更に需要の問題もあり、一概に自動化といってもこういったネックの解決が必要である。

しかし、日本の年令別人口構成（労働人口）、及び建設工事量の伸び率の将来変化（昭和65年）を見た場合、労働人口の相対的減少は目に見えており、また自動化することは社会の趨勢でもある。

3.2 建設機械自動化対象項目

建設機械の自動化対象項目としては、作業操作部においては各種建設機械によって異なるが、エンジン負荷及びスリップ防止、操向、変速等共通した部分もある。ここで現在考え得る建設機械自動化対象項目をそれぞれの機種毎に表-1に列挙する。

表-1 建設機械自動化対象部

共通自動化対象部	土 工 用	積 込 用	吊 上 げ 用	基 礎 工 事 用	そ の 他
エ ン ジ ン 負 荷	ブルドーザ	トラクタショベル	クレーン	ハンマ	ローラ
履 体 の ス リ ッ プ	ブ レ ード 昇 降 チ ル ト	バ ケ ッ ト 昇 降 チ ル ト	ブ ー ム 旋 回 荷 重	打 込 角 度	位 置 高 さ
操 向	リ ッ パ	ダンプトラック	非 常 停 止 アウトリガ	R・C	シールド
ロール角のインタロック	パワーショベル	操 向		ト ル ク	掘 進 方 向
ピッチ角のインタロック	バ ケ ッ ト 昇 降 旋 回	ダ ン プ 位 置		ス ピ ン ド ル	フィニッシャ
変 速 (ミ ッ シ ョ ン)	グレーダ			排 水 力 掘 削 方 向	位 置 高 さ
ス ロ ッ ト ル バ ル ブ	ブ レ ード 昇 降 ス カ リ フ ァ イ ヤ 昇 降 リ ー ニ ン グ			アースオーガ	ブ ラ ン ト
ブ レ ー キ	スクレーバ			回 転 数 打 込 速 度	計 量 (配 合) 温 度
F , B	エ ブ ロ ン 開 き				
	バ ケ ッ ト ホイール エキスカベータ				
	(ブ ー ム 角 度) (バ ケ ッ ト 先 端 位 置)				

次に本調査とも関係のあるブルドーザの自動化対象項目について列挙すると表-2のようになる。操作としては、(1)始動、(2)走行、(3)操向、(4)作業、(5)各種インタロック及び危険、故障防止用インタロックがある。また、操作方法に関しては(a)オンオフ操作、(b)段階的操作、(c)連続的(比例的)操作等が挙げられる。

表-2 ブルドーザ操作自動化対象項目

自動化対象項目	制 御 方 式			インタロック
	連 続	段 階	オンオフ	
始 動			○	本体ロール角
デコンプ			○	“ ピッチ角
スロットル	○			履帯スリップ防止
変 速 機		○		エンスト “
主クラッチ			○	油圧系統故障防止
操向クラッチ			○	電気系統故障防止
操向ブレーキ	○			走行ブレーキ
ブ レ ード			○	
チ ル ト			○	
ア ン グ ル			○	
リ ッ パ			○	

3.3 自動制御機器の適用

周知のように自動制御を行なう際に必要な機器としては大きく分けて

- (1) 制御対象量検出装置
- (2) 制御判断装置
- (3) 制御操作装置

があげられる。(1)の制御対象量検出装置として主なものをあげると、(a)変位量検出装置、(b)速度検出装置、(c)傾斜角検出装置、(d)回転速度検出装置、(e)エンジン負荷検出装置、(f)履帯スリップ検出装置、(g)ブルドーザ絶対位置検出装置などがある。

(2)の制御判断装置としては、ロジック回路としてのリレー及びトランジスタ、ダイオード、サイリスタ、抵抗等によるシーケンス制御装置、流体素子によるフルイドックス制御装置の他、時間的な目標値等を定めるプログラミング装置及び入力信号を演算する演算装置等が挙げられる。又これらをすべてもうらしたミニコンピュータ、アナログコンピュータ等も挙げられる。

(3)の制御操作装置としては、(2)の制御判断回路からの出力電気信号をブレードを動かす操作に変換する装置で現在では、油圧アクチュエータ（フローコントロールバルブ、ソレノイドバルブ、サーボバルブ等）、サーボモータ等が、主に使用され、ワイヤロープ、カムリンク等純機械的な方法もあるが、大型機械及び特殊機械を除いてあまり使用されていない。

3.4 自動ブルドーザの構想

自動ブルドーザの開発として表-2に挙げた自動制御化対象部があり、これら制御対象部全てを自動化したものが、いわゆる完全自動ブルドーザである。これに対して、操作の一部、例えば操向操作、作業操作、始動制動操作等の部分的自動化、更に、本体角度、速度、エンジン負荷（エンスト防止）等のインタロック等を施した自動ブルドーザが挙げられる。自動化対象部分が多くなればなるほど、その検出部、判断部、操作部の開発及び相互関係が非常に複雑になり、かつ目標値の設定いわゆるプログラミングが非常に複雑になり、これらをコンパクトな制御機構で行なうには、ミニコンピュータ、アナログコンピュータ、多点プログラム設定器等の装置が必要になってくる。またこれらのコンピュータを使用する場合は、当然ブルドーザに搭載することは不可能で、ある中継局に固定しなければならず、そのためブルドーザ本体と中継局との間の無線送信が問題になってくる。比較的簡単なものとしては、ラジコン、テレメータ等がある。またインタロック及び部分的自動化の開発を目的とした場合には、制御装置をブルドーザ本体に装着させることも可能である。

上で述べたブルドーザはあくまでも現在使用されているブルドーザをベースにして考えた自動化であるが、更に考え方を変え、現在のブルドーザの形状にかかわらず、作業の種類及び現在以上の作業の能率をもつブルドーザ（他の名称にし

てもよい），いわゆる建設機械のロボットが考えられる。特にオペレータが不要である無人ブルドーザの場合には

- (1) 運転席が不要
- (2) 本体の振動，騒音が大きくてもよい。（但しこれについてはあくまでオペレータを中心とした考え方であって，工事現場全体の環境は問題にしていない。）
- (3) 危険な作業が可能
- (4) 作業速度の大幅なアップ

（これについては，現在オペレータの操作には時間的な限度があって作業速度の限度があるが，これが大幅に増加できる。）

- (5) ブルドーザとブレード本体の位置の問題

現在のブルドーザは作業装置であるブレードがブルドーザ本体の前方にあり，前進の場合常にブレードが先行しているため，検出部（オペレータ）が本体にある場合，常に制御完了後の入力信号しか入ってこないため，制御対象とするブレード前方の地形に関しては検出できない。（オペレータの場合は視覚により，大体の予測はつく。）

従って，ブレードを逆の位置にとりつける，すなわち本体が先行しブレードを引っ張るといった機構も考えられる。

4. 試 験 機

4.1 自動ブレード運転装置

この装置は，ブルドーザの各作業動作（主にブレード作業動作）を自動的に行なわせる方法を検討するために実車に模擬させて製作した模型であり，室内で動作検出装置の作動実験を行ない，実機ブルドーザへの適用方法について検討しようとするものである。

ここで自動ブレード運転装置の外観を写真－1，図－1に示す。今回の開発調査は，ブルドーザのブレード操作を自動化したものであり，本体のランダムな傾きに対して常にブレードと本体の位置関係を一定に保つ自動レベル制御と，ブレードC

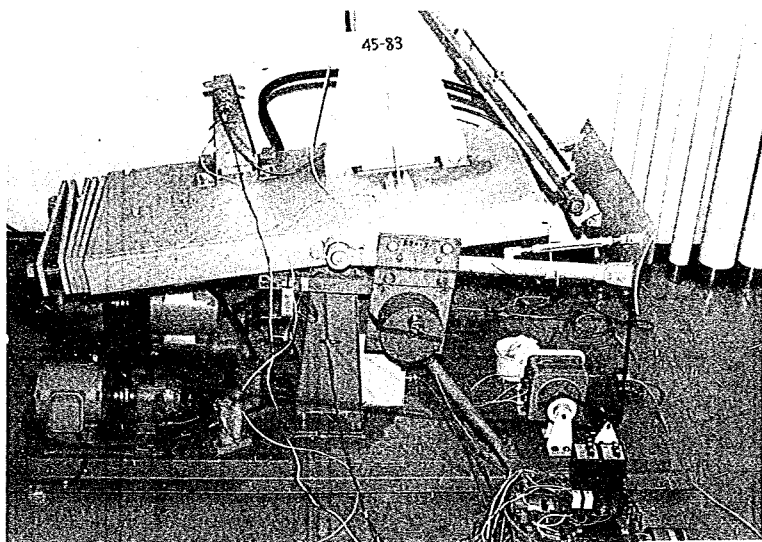


写真-1 自動ブレード運転装置

フレームの設定角を常に水平に保つCフレーム傾斜角制御を、ブレードの操作により自動的に行なうもので、それらブレード制御ダイヤグラムを図-1、図-2に示す。本体傾斜角は振子による傾斜角検出装置のポテンシオメータⅠより感知され、一方ブレード高さは、ラックにより介されポテンシオメータⅡにより感知される。ブレードが水平である場合は、これら2つのポテンシオメータは平衡を保っているが、一たん本体から外乱が入ると、これら平衡は破れ、電圧が生じ増幅器により増幅され制御信号を発する。この信号により油圧バルブの開閉が行なわれ、ブレードを保持する油圧シリンダによりブレード上下位置が自動制御され、ポテンシオメータによるブリッジが平衡になるまでその操作を繰返す一巡の閉ループ回路となっている。図-2に関しては、山武ハネウェル製フロートベンチュラム⁽³⁾をブレードCフレームに装着させ、Cフレームが水平になる位置で平衡を保つようにさせたものであり、前述した振子による傾斜角検出装置の場合と同様にブレード上下位置の自

図-1 自動ブレード運転装置及び制御ダイアグラム(I)

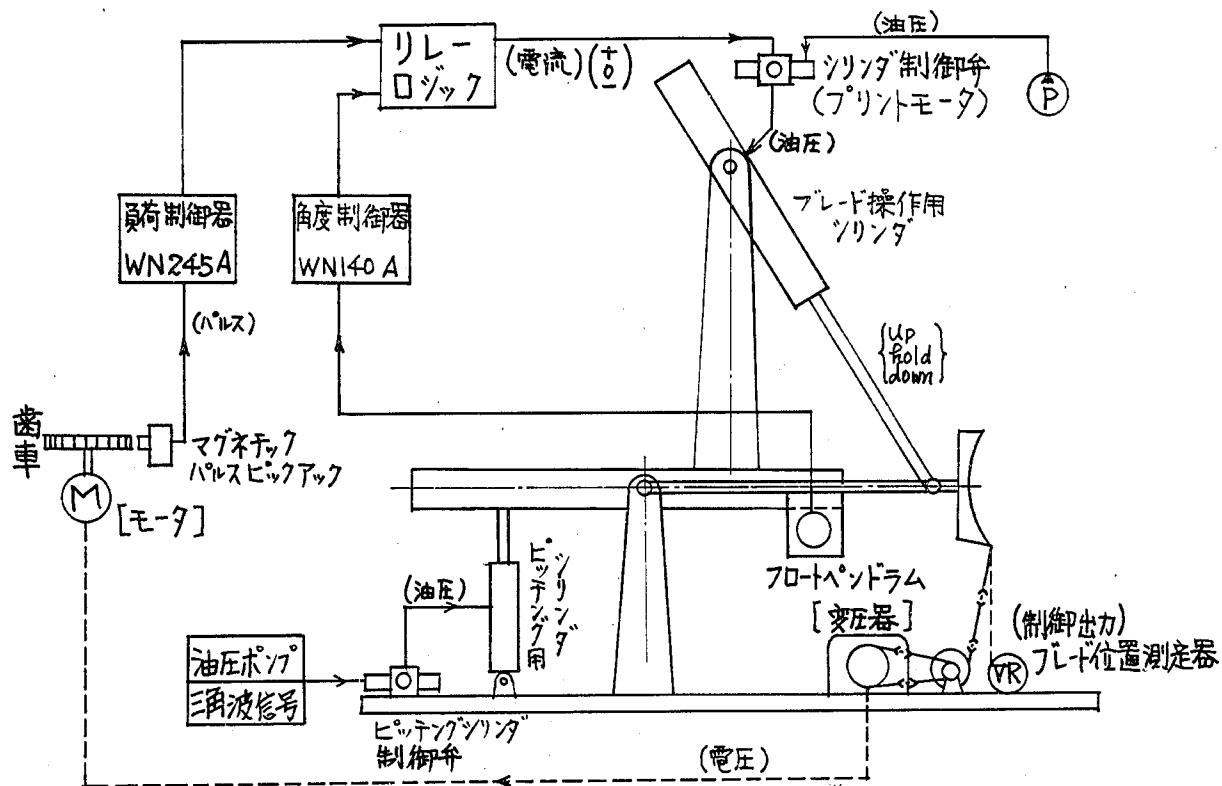


図-2 自動ブレード運転装置及び制御ダイアグラム(Ⅱ)

動制御が行なわれる。なお、これらのブレード制御の方法は、オンオフ制御である。

4.2 エンジン負荷制御装置

ブレードの昇降操作は、目標レベル制御の他、エンジン負荷をある一定の範囲内におさえる制御をも対象にしている。ここでモータでシミュレートさせたエンジン負荷制御装置の外観を示すと写真-2のとおりで、又エンジン負荷制御ダイヤグラ

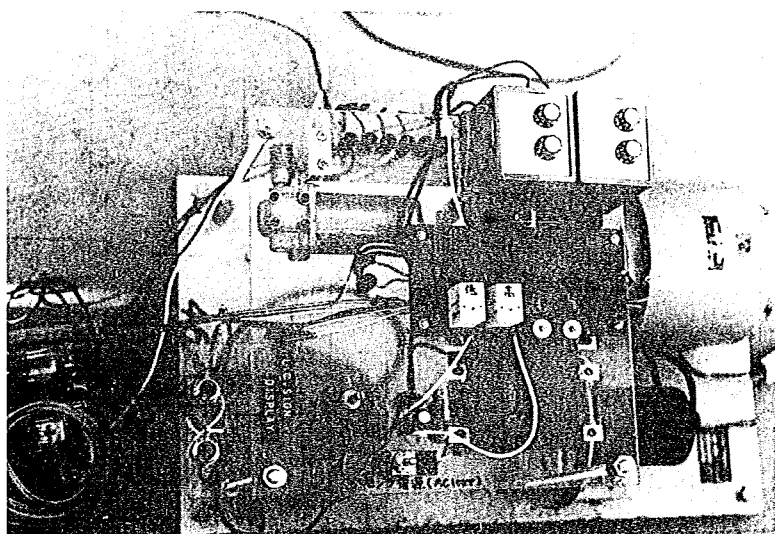


写真-2 エンジン負荷制御装置

ムは図-1, 2のとおりである。この装置は、ブルドーザのディーゼルエンジンの性能特性を電動機の特性にシミュレートさせて作られており、ブレードの昇降量を土の掘削抵抗に直線近似させ⁽¹⁾、スライダックによる電圧降下としてモータ回転数降下にシミュレートしている。この場合ブルドーザ駆動方式としては、ダイレクトドライブ型式を対象にしており、エンジン(モータ)負荷の変動を、エンジン毎分回転数の変動に置換している。この回転数降下(上昇)はリレーの切換による操作

によりブレードを上昇（下昇）に導き，モータ（エンジン）の負荷回復を計っており，逆に低負荷の場合はブレード降下を行なわせる自動制御系になっている。

4.3 自動操作ブルドーザ

以上の模型による試験機を更に実機ブルドーザに発展させ，ブレード自動操縦を目的とした自動ブルドーザの開発を行なった。本機は，ベースマシンとして，小松 D-50A-15 型，アングルドーザを改造したものを使用したものであり，その外観を写真-3 に，またブレード制御系の真理表を表-3 に，更に油圧配管の回路を図-3 にそれぞれ示す。油圧配管は，当初から装着してあるマニュアルのオンオフバルブの他，更に自動オンオフ制御用ソレノイドバルブ，ファインコントロール用自動フローコントロールバルブをとりつけ，これらの油圧回路を駆動するため，新たに P T O 軸から動力を取り出し，油圧ポンプを駆動した。なお制御回路ダイアグラムを図-4 に示す。

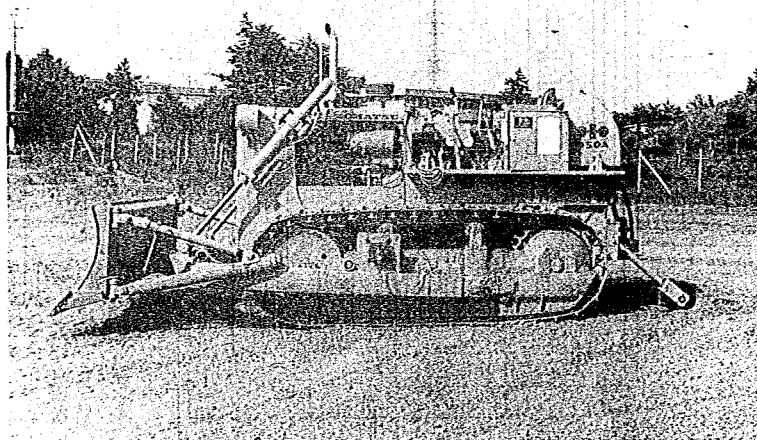
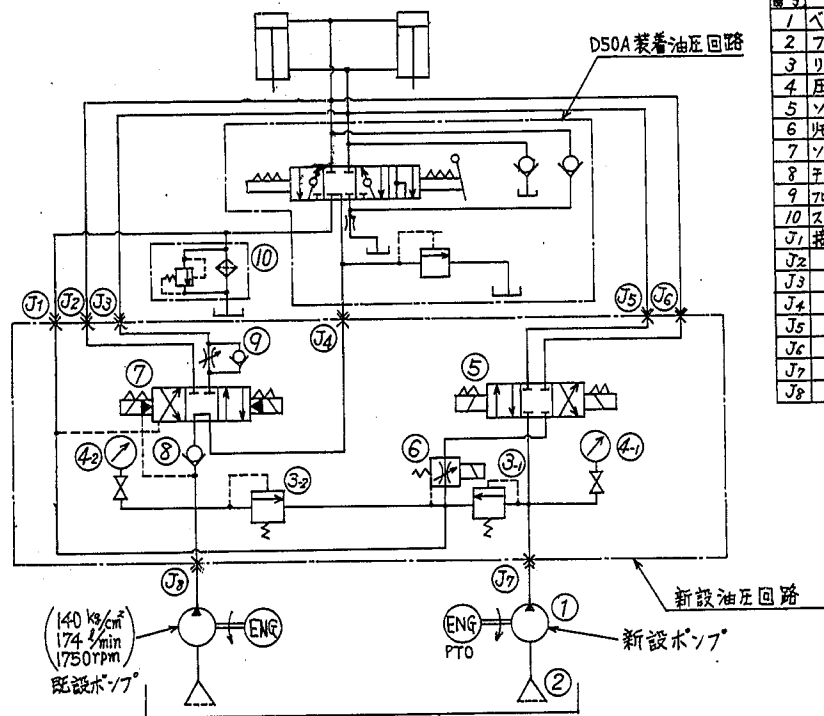


写真-3 自動操作ブルドーザ



番号	名称	形式	個数
1	ポンプ	V30-1P2SP-1A-10-JA-J	1
2	フィルタ	OFS-10-JA-J	1
3	リリフバルブ	CG-06-C-40-JA-J	2
4	圧力計	BS $\frac{1}{2}$ ×80×200 K	2
5	ソレノイドバルブ	DG4S4-012C-24DC-50JA	1
6	圧力検出器	FCFG-03	1
7	ソレノイドバルブ	DG5S4-064C-E-24DC-50JA	1
8	チェックバルブ	C4G-825-S8-JA	1
9	70-コックソレノイドバルブ	FUG-10-B-JA	1
10	スピンオフバルブ	FS5-P10-JA-10-J	1
J1	接点継手	PTメネジ 1"	1
J2	"	"	1
J3	"	"	1
J4	"	"	1
J5	"	"	1
J6	"	"	1
J7	"	"	1
J8	"	"	1

図 - 3 自動操作ブルドーザ油圧回路図

表 - 3 ブレード制御系真理表

C フレーム傾斜角検出				過負荷 検 出	方向制御弁 (急 速) 制御スイッチ	方向制御弁 (微 小) 制御スイッチ	処 理		
S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S _{ov}	S _u	S _D	S _{Fu}	S _{Fd}	
1	0	1	0	0	1	0	0	0	ブレード上げ(急速)
0	1	0	1	0	0	1	0	0	ブレード下げ(“)
0	0	1	0	0	0	0	1	0	ブレード上げ(緩速・比例制御)
0	0	0	1	0	0	0	0	1	ブレード下げ(“)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	ブレード保持
—	—	—	—	1	1	0	0	0	ブレード上げ(急速)

信号名	検出信号としての意味 ($\frac{1}{0}$ の意味)	出力信号としての意味 ($\frac{1}{0}$ の意味)
S ₁	設定位置に対してブレードが非常に下がっている	ブレードを急速に上げよ
S ₂	" " " 上がっている	" " 下げよ
S ₃	" " わずかに下がっている	ブレードを緩速に傾斜角に応じた速さで上げよ
S ₄	" " " 上がっている	" " " " 下げよ
S _{ov}	機関出力に対して負荷が大き過ぎる	ブレードを急速に上げよ

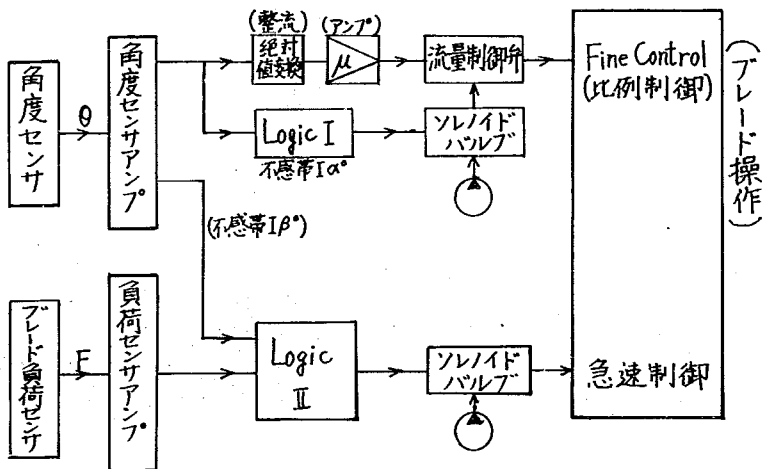


図 - 4 自動操作ブルドーザ制御回路ダイアグラム

5. 各種検出器の仕様

ブルドーザブレード自動制御に使用される検出器として、ブレードCフレーム傾斜角、本体傾斜角、又エンジン回転速度、ブルドーザ本体車速を検出対象とした機器について説明する。

5.1 傾斜角検出器

(1) 土研式ベンジュラム

土研式ベンジュラムは、ハンマ型重錘をもった振子でその外観を写真-4に、仕様を表-4に示す。このベンジュラムは振子の重量を分割式重錘の装着、脱着により3段階に分けられ、一方、急激な加速度変化を緩衝させるために、振子の回転軸中心からカンチレバーを出し、これと重錘先端部とをバネにより連結可能な型となっている。更にこの振動系を減衰させるため、ピストン型のダッシュボットを

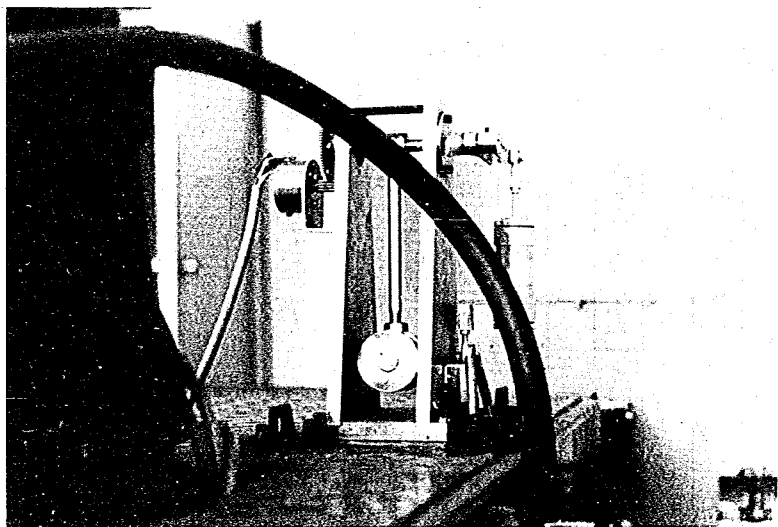


写真-4 土研式ベンジュラム

表-4 土研式, フロートペンジュラム仕様

型 式	形 状	性 能
SB-95A 山 武 製	寸 法 165φ×98.6 重 さ 3.4Kg	検出角度範囲 ±4.0°~±5.0° 抵 抗 値 1.8KΩ 消 費 電 力 1.5KW DC or AC 分 解 能 0.1° 再 現 性 ±0.05° ダンピング定数 0.6
土 研 製	寸 法 50φ×100 アーム長 172 重 さ 1.5Kg	検出角度範囲 ±360° 抵 抗 値 1KΩ

装着できるようにもなっている。傾斜による重錘の変位量は振子の回転軸にとりつけられたポテンショメータの回転角に変換され、ブリッジの平衡が破られるようになっている。

(2) フロートペンジュラム

山武ハネウェル社製⁽³⁾のもので、土研式と同様振子の原理を利用した傾斜計で出力信号はポテンショメータの抵抗値変化として取り出すものであり、仕様を表-4に外観を写真-5に示す。

(3) ジャイロ式傾斜検出器

以上のペンジュラムの他、精度、感度の優れたものにジャイロを応用した傾斜計がある。この傾斜計でも建設機械、ブルドーザCフレーム又は本体の傾斜角を検出する場合には、特にバーチカルジャイロが適している。このジャイロは、回転軸が常に地球の重力方向に向くようにする自己修正装置(自立装置)付の、2自由度ジャイロであり、回転軸の安定性を利用して基準となる水平面をつくり、この面と運動体の各軸との相対的変位をピッチ角ロール角として検出する構造になっている。この概略仕様を表-5に示す。

表 - 5 パーチカルジャイロ仕様

型 式 項 目	VG-23	VG-50/YZ	VG-3	VG-40
ジャイロモーター型式	ブラシレスACモーター	ブラシレスACモーター	インダクションモーター	インダクションモーター
ローター回転数	10,000 rpm以上	10,000 rpm以上	22,000 rpm以上	21,000 rpm以上
定速到達時間	5min以内	5min以内	5min以内	5min以内
ジャイロモーター電源	DC24V	DC24V	400Hz 115V	400Hz 115V
電 流	スタート 700mA 定 常 500mA	スタート 700mA 定 常 500mA	スタート 400mA 定 常 150mA	スタート 500mA 定 常 300mA
自立装置型式	2個のポルトラッキング	2個のポルトラッキング	制御アンプ付エレクション スイッチとトルカー	電解液スイッチとトルカー
ロール自立カットアウト	—	—	外部より接続	内 蔵 (ロール9°)
検出エレメント	ポテンシヨメータ	ポテンシヨメータ	バンケーキンシクロ	バンケーキンシクロ
電 源	DC24VMax	DC24VMax	400Hz 115V	400Hz 115V
分 解 能	0.2'	0.2'	—	—
測 定 範 囲	ピッチ $\pm 5^\circ$ ロール $\pm 7^\circ$	ピッチ $\pm 5^\circ$ ロール $\pm 5^\circ$	ピッチ $\pm 8^\circ$ ロール $\pm 18^\circ$	ピッチ $\pm 8^\circ$ ロール $\pm 18^\circ$
ジンバル自由度	ピッチ $\pm 6^\circ$ ロール $\pm 8^\circ$	ピッチ $\pm 6^\circ$ ロール $\pm 6^\circ$	ピッチ $\pm 8^\circ$ ロール $\pm 18^\circ$	ピッチ $\pm 8^\circ$ ロール $\pm 18^\circ$
出 力 特 性	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	正弦波 0.2V/deg	正弦波 0.2V/deg
自 立 精 度	$\pm 0.4'$	$\pm 0.4'$	$\pm 0.15'$	$\pm 0.2'$
フリードリフト			0.3'/min以下	0.5'/min以下
ケーシング装置	手 動 式	手 動 式		
外 形 寸 法	190 ϕ ×180H(32)	140×190×180H(32)	130 ϕ ×180H(32)	115 ϕ ×145H(32)
重 量	3.0Kg	3.0Kg	3.1Kg	3.0Kg
特 長	ガス封入シール		エレクションアンプ(VG-3A)を別記共用された	完全シール

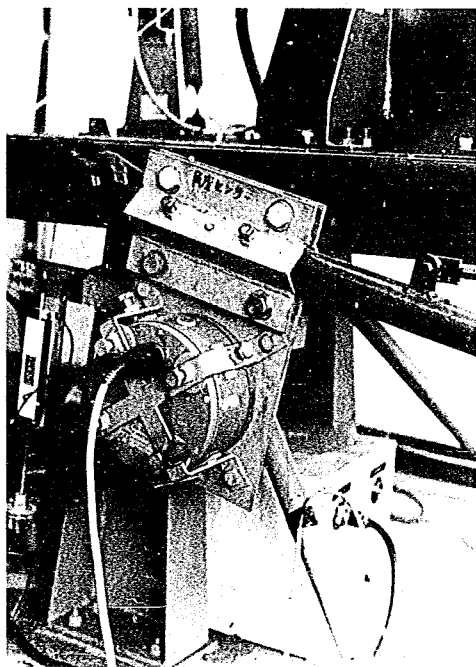


写真-5 フロートペンジュラム

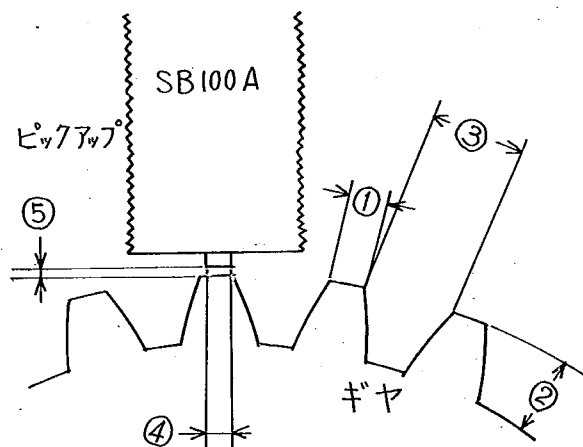
5.2 エンジン回転速度検出器

エンジン負荷を制御する場合これと密接な関係にあるエンジン回転速度を制御することにより代行させることができる。エンジン回転速度検出器として、(1)ダイナモ、(2)パルスピックアップ等がある。

(1)ダイナモによる回転速度検出は、エンジン回転軸にダイナモ軸を直結し、ダイナモの発電量により回転速度を検出するものである。

(2)マグネチックパルスピックアップ⁽³⁾は、エンジン回転軸の回転速度を軸に取り付けられたギヤの歯の凹凸を信号としてとり出す方式を用いており、その原理図を図-5に示す。ここで1秒間のパルス数を R (回/分)、歯数 N (枚)、ギヤ直径を D (mm)とすると、周速 U (mm/sec)は次式のようにになる。

$$U = R \times N \times D / 60 \dots\dots\dots (1)$$



- (a) ① $\geq$ ④
 - (b) ② $\geq$ ③
 - (c) ③ $\div$ ④ $\times 3$
 - (d) ⑤ は 小さいほどよい
- SB100 の場合 ④ = 5 mm

図-5 マグネチックパルスピックアップ原理図

5.3 車速検出器（方法）

ブルドーザ本体の位置検出及び履帯のスリップ等を検出する際に、ブルドーザ本体の車速を検出する必要がある。車速検出器としては、第5輪による回転を増速し、5.2で掲げた回転速度検出器で検出する方法があげられる。又、ブルドーザ本体に発音体（定周波数）を設け、相互の位置が既知である受音2局での出力信号から一定時間（微小時間）の距離を検出し、速度を算出する方法が考えられる。

6. 制御システム（ロジック）について

ブルドーザによる土工作業は大きく、(1)掘削作業、(2)押土作業、(3)盛土作業があり、一例としてある土工工事をあげた場合図-6に示すような作業が想定される⁽¹³⁾。ブルドーザの第1段階として、上述した掘削、押土、盛土作業におけるブレード操

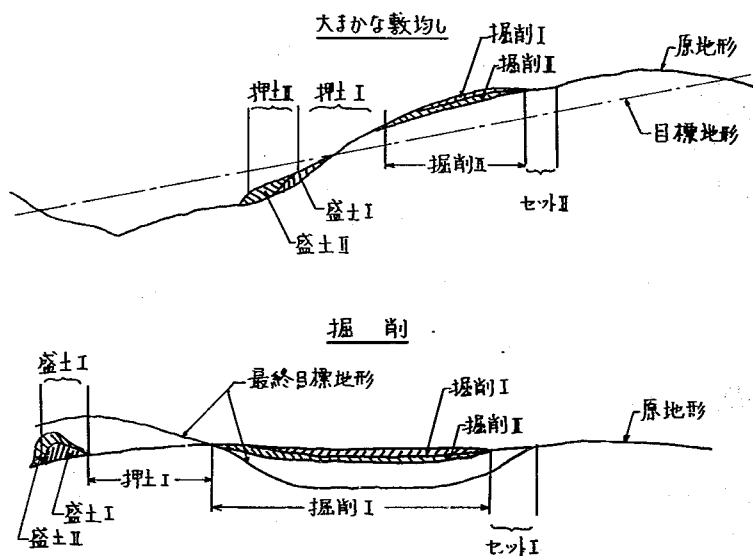


図-6 ブルドーザブレード作業の想定

作の自動化を検討したが、これらの作業は基準レベル（設計目標レベル）に地形を仕上げていくことに共通点を見出す。従って基準レベルに対してブレード先端を一定位置に保たせる制御方法を開発しなければならない。今、仮に基準レベルを水平線とし、ブルドーザの運動を前後および上下の平面運動とすると、トラニオンの高さの変化が無視できる場合、本体（履帯接地面）の傾き角を検出し、Cフレームと本体との相対位置（ブレードの相対位置）を制御すれば、ブレードは基準レベルに対して一定位置に保たれる。次に、ブルドーザのけん引力には限界があるため、掘削深さがある程度大きくなると履帯にスリップを起こすか、エンジンが停止して、

結局前進不可能の状態を生ずる。この状態を過負荷と称するが、これを避けるために負荷制御装置を設ける必要がある。ここで図-7, 8は小松D-60A級のブルドーザの掘削抵抗に相当するトルクを示したものであり、図-9はD-50Aブルドーザのブレード切刃掘削深さと、ブレード負荷の関係を示したものである。

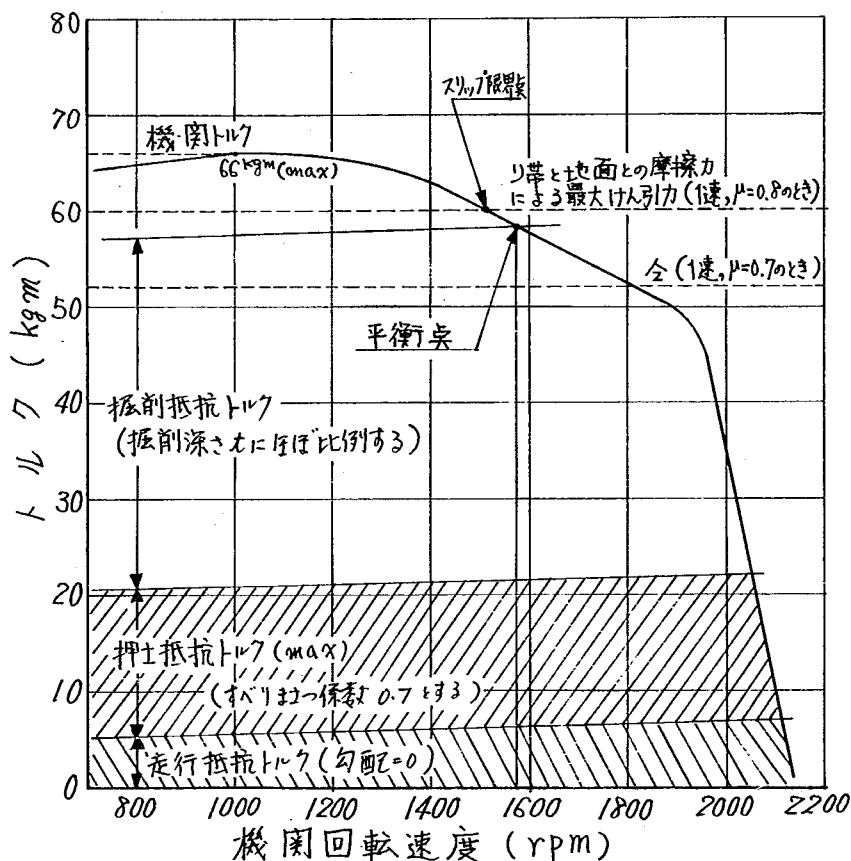


図-7 ブルドーザ掘削抵抗

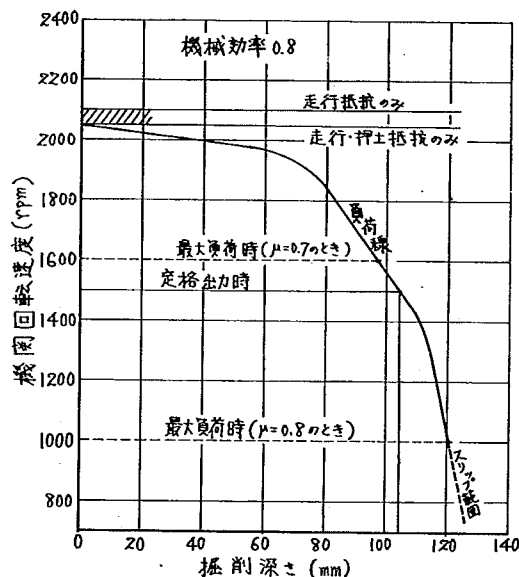


図-8 掘削深と機関回転数 (F-1 速)

ブルドーザはディーゼルエンジンを使用しているのが大半であるが、そのN-T特性曲線⁽¹⁰⁾は図-10のようになっている。この図から負荷(トルク)が増すと、回転数が減少し、さらに負荷が増すと、回転数は増々減少し、ついにはエンジンストップしてしまう。このことから、負荷とエンジン回転数との間には密接な関係があり、これを検出して、ブレード制御すれば、過負荷を避けられる。図-11は、このような考えをもとにして作られたシステムのブロックダイアグラムであり、昭和46、47年度に試作、試験を行なったものである。更に又ブルドーザは、地形の凹凸によって本体が傾くばかりでなく、トラニオンの高さも大きく変化するため、ブルドーザ自体の絶対高さを検出しなければならない。その検出システムとして積分方式による検出方法も考えているが、これは、上下方向及び前後方向の位置を同時に検出するものである。しかし、現在のところ車速を検出する方法(ブルドーザの使用状態から判断して、非接触かつ低速度検出)に適当な検出器又は検出方法が

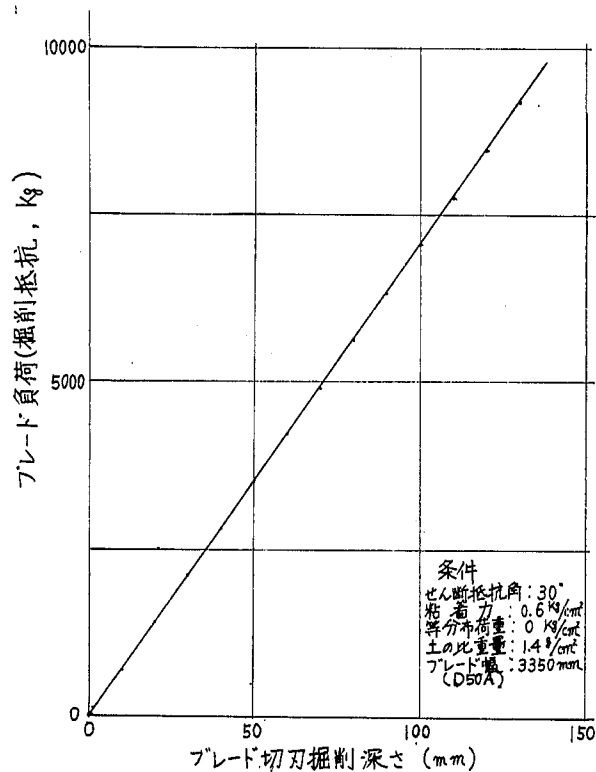


図-9 掘削深さとブレード負荷

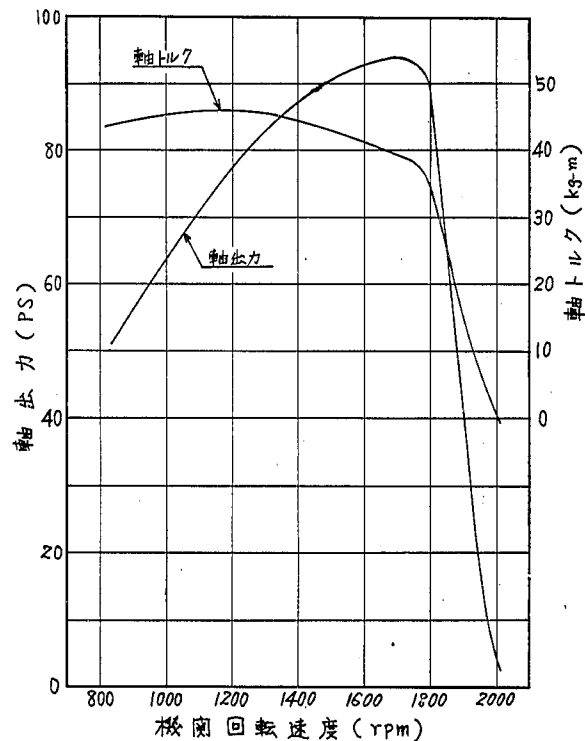


図-10 N-T特性曲線

(3) 司令部システム

実際の土工作業において、前もってオペレータは作業前の地形、設計図、及び日程を与えられる。オペレータはそれを最終目標値としてブルドーザを操作し、作業を進めていく。従って、土工作業制御システム、運転制御システムを動かすためには、地形、設計図、及び日程を何らかの方法で記憶しておく必要がある。自動ブルドーザはシーケンスとフィードバック制御の混合システムであるため、その命令は作業途中の状況によって弾力的に変更しうるのである。図-14にプログラミングの流れ図、図-15に司令部システム図を示した。なお図-14、15は独立した作業行程である。

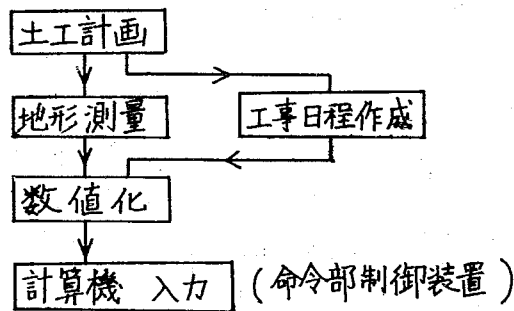


図-14 プログラミングの流れ図

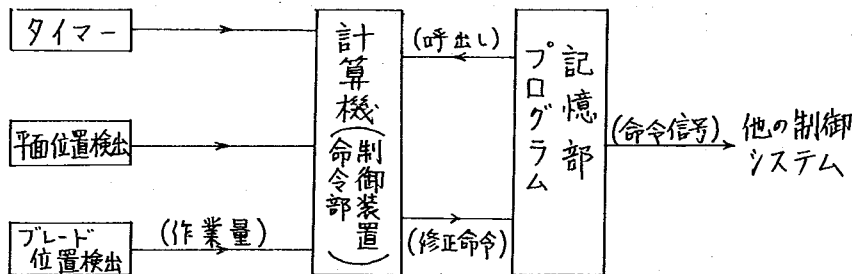


図-15 司令部システム

7. 試験方法

7.1 自動ブレード運転装置による試験方法

(1) 計測方法

(a) 入力信号の計測

図-16に示すように直線式ポテンシオメータを取付けて電気信号に変換して測定する。

傾き角 θ と記録値 Δy_2 との関係は次のようになる。

$$\tan \theta = \Delta y_2 / a \quad |\theta| \leq 20^\circ \quad \theta = k \cdot \Delta y_2 \quad (k = 57/a) \quad \dots(2)$$

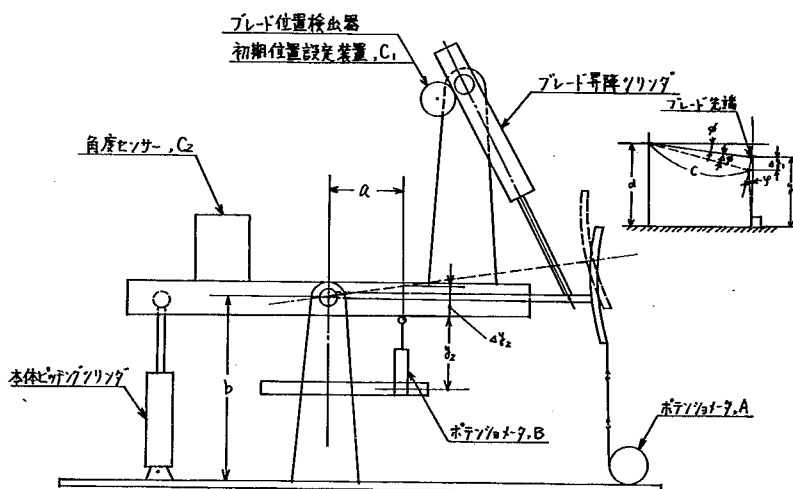


図-16 各信号の計測器取付位置

(b) 制御結果(出力信号)の計測

図-16に示すようにブレード先端のベースに対する高さをポテンシオメータで測定する。

実際の高さの変化 $\overline{\Delta y_1}$ と測定値 Δy_1 の間には、

$$\cos \varphi = (y_1 + \overline{\Delta y_1}) / (y_1 + \Delta y_1)$$

$$\tan \phi = \frac{c (\cos (\phi - \Delta \phi) - \cos \phi)}{d - c \sin (\phi - \Delta \phi)}$$

ここで $\Delta \phi \div 0$ のとき, $\tan \phi \div 0$ すなわち $\cos \phi \div 1$

$$\therefore \Delta y_1 \div \Delta y_1 \dots\dots\dots (3)$$

(2) 試験方法

(a) 振子の特性

- i) 本体を $\theta_0 = 10^\circ$ 傾けておく。
- ii) 次に振子を 10° 手で傾けて静止させる。
- iii) 振子を離して自由運動させる。
- iv) これらの過渡状態の入, 出力信号をリニアコーダで記録する。

(b) ブレード制御の特性試験

- i) 本体を水平にし, この状態を初期値とする。
- ii) 本体をシリンダにより, ピッチングさせる。
- iii) この時の各出力信号を記録する。

(3) 試験条件

(a) 2-a の場合

- i) 振子の錘は 3 種 (300g, 900g, 1500g)
- ii) バネ, ダッシュポットはそれぞれ 1 種

(b) 2-b の場合

- i) 振子の重量, ダッシュポットは(a)と同様
- ii) 本体のピッチング速度を 5 種類とする。

7.2 エンジン負荷制御装置による試験方法

エンジン負荷制御試験は, エンジン負荷制御装置を自動ブレード運転装置にとりつけ試験を行なった。

(1) 計測方法

(a) 入力信号の計測

7.1(1), (b)と同様ブレードの先端のベースに対する高さをポテンショメータで測定する。

(b) モータ回転数の計測

モータ回転数検出器であるダイナモの出力信号を取り出しそれぞれリニアコーダに記録する。

(2) 試験方法

- i) ブレード先端を最下点までもっていく。
- ii) 自動（負荷制御）のスイッチを入れる。
- iii) 測定を開始する。
- iv) 平衡状態になったら終了。

(3) 実験条件

タイムリレーⅠ 1秒, 1.5秒, 2秒にセット(3通り)

タイムリレーⅡ 1秒, 2秒, 3秒にセット(3通り)

合計 9通りの実験条件

7.3 実機ブルドーザ自動制御試験機による試験方法

本試験は土木研究所千葉支所内、建設機械性能試験場で行なった。土質は関東ロームで、適度な含水率のぼくし土で、晴天を選んで行なった。

試験にあたって試験コースに予め窪地と盛土部を設けそこを試験機で反復作業させ、作業前及び各回毎の地形を測定した。又コースのパターンとして大きく、

(1) 窪地、エンジン過負荷以前の盛土部のある地形

(2) 盛土部のみでエンジン過負荷になる地形

の2種類の地形をとった。

8. 調査、試験結果及び考察

8.1 文献調査等による建設機械の自動化例⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁸⁾

各種文献による調査及び建設機械自動化打合せ会資料並びに各メーカー資料、特許公報等により調査した建設機械の自動化に関する実例の一部を表-6に示す。

表 - 6 自動建設機械および制御装置

S.48. 7. 4 現在

機 械 名 称	開発年	開発者(メーカ)	運 転 操 作	概 要 (制 御 シ ス テ ム ・ 検 出 方 法)	安 全 装 置	性能・作業試験等の報告書
無 人 潜 函 掘 削 機		三菱重工業 株	自 動 手 動(ならい運転)	掘削装置……テンプレート制御(目標), シンクロ電機によるフィードバック制御 排 土……リミットスイッチ検出によるシーケンス制御	手動運転中, 排土装置は停止, 異常時, 警報停止	
水陸両用掘削機 掘削の自動化	1971	日立建機 株	運 転: リモートコントロール 自動掘削	1/15縮尺のシミュレータによる追値制御, ブーム, アーム, ベットの回転角検出信号をオートディグバルブに送り順次動作を切替えるシーケンス制御	装置異常時に, 全動作が自動停止	関技46-3-1
ヘドロ浚せつ装置		建設省関東地建 株 渡辺製鋼所	自 動 手 動 } 両 用	検出スイッチ(リミット)の信号より順次動作させるシーケンス制御	異常時, 手動切換	
スリップフォームベアに おける自動化		Rex Chain Belt社		基準レベル(ロープ)上を感知棒を摺動させ, その変位量をフィードバックさせ, 目標値との偏差量を出し, ON-OFF動作させる。タイバー挿入は検出スイッチを設けたシーケンス制御		
自動ブロック 据 付 機		建設省関東技術	自動; ブロック移動より据付 作業まで	セッティングユニットへのブロックの位置決めは, エアリミット方式により検出, 油圧モータをON-OFF制御。セッティングはタイマ方式によるシーケンス制御		
モータグレーダ GS300		グレード・ライン社		タイヤ付センサーによりブレード高さを検出		
海 底 掘 削 機	1972	土木研究所 建設省 関東地建	リモートコントロール 自動 姿勢制御			
自動路面たわみ量 測 定 車	1970	建設省土木研究所		駆動輪に同期している回転制御盤でリミットスイッチを順次スイッチングさせ, その出力信号によって, 各測定動作を行わせている。	オーバーロード時, 安全ピンが切断する。	
レベリングメータ自動整地 仕 上 装 置	1968	日特金属工学 株	自動(ブレード運転)レ ベルのみ	投光装置, ブレード前面の受光器により受光部の高さを検出し, 偏差量を電気信号に変換, ソレノイドバルブON-OFF制御		建設の機械化
アスファルトフィニッシャ における自動化		山武ハネウェル 株 北辰電機 株		基準レベル(ロープ)上をグレートコントローラを摺動させ, その偏差をフィードバックさせON-OFF制御させる, 横方向のレベルはスローブコントローラで制御		

8.2 各種傾斜角検出器の性能比較

傾斜角を検出するための計器として動的に最も優れているのはジャイロ式であるが、非常に高価でかつ建設機械のように大きい振動加速度を発生する機械に取付け得るものは市販されていない。そこで次にランクされる比較的安価でかつ取扱い容易なペンジュラム式傾斜角検出器があげられる。今回の試験で使用したペンジュラムは、土研で独自に設計したものと、山武ハネウエル社製フロートペンジュラムの2種類を用いた。ペンジュラム式の欠点はジャイロ式に比べて、測定範囲が狭いこと、振動加速度を感じ易いことである。土研式、山武式両者について、ペンジュラムに加速度の加わった場合の運動方程式を次のように導いた。ここで軸の摩擦は無視している。

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{C}{I + M\ell^2} \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{M}{I + M\ell^2} \{ (g + \alpha_y) \sin \theta + \alpha_x \cos \theta \} = 0 \quad \cdots (4)$$

ただし、 θ : 角度計の指示誤差角 (rad)

M : 振子の質量 ($kg \cdot s^2 / m$)

ℓ : 振子の回転軸と振子重心間の距離 (m)

I : 振子の回転軸に関する慣性モーメント ($kg \cdot m \cdot s^2$)

C : 角度計の減衰係数 ($kg \cdot m \cdot s$)

α_x : 角度計に働く加速度の水平成分 (m / s^2)

α_y : " " " 鉛直成分 (m / s^2)

g : 重力加速度 (m / s^2)

(4)式を用いて、土研機械研究室試作、山武ハネウエル製のフロートペンジュラムについて、発進時、急加速時における指示誤差の動向を解析した。この結果を図-17のグラフに示す。このグラフに示されるようにフロートペンジュラムにおいても水平加速度が働いている間は必ず指示誤差を伴うが、定速度区間においては、上下の振動があるにもかかわらず、ほぼ正常な値を示している。それゆえ実機の傾斜角検出計としてフロートペンジュラムを用いることが適当であることが判断される。

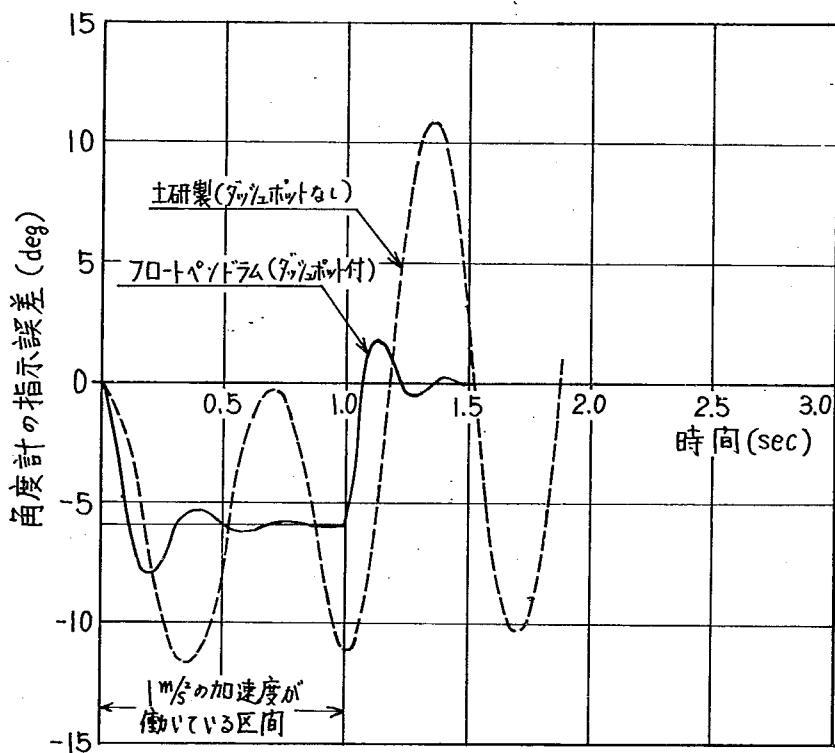


図-17 ペンジュラムの性能

8.3 土研式傾斜角検出器による制御性試験結果

土研式傾斜角検出器を自動ブレード運転装置にとりつけ7の試験方法に従って試験を行なったところ次のような結果を得た。

(1) インデシャル応答

一般に自動制御の制御性を判断する方法の一つとしてステップ状の入力信号を与え、制御対象がいかにかその入力について行くか、その過渡的現象を見るインデシャル応答を見たところ、土研式ペンジュラムでは、図-18、山武式ペンジュラムでは図-19に示すようになった。

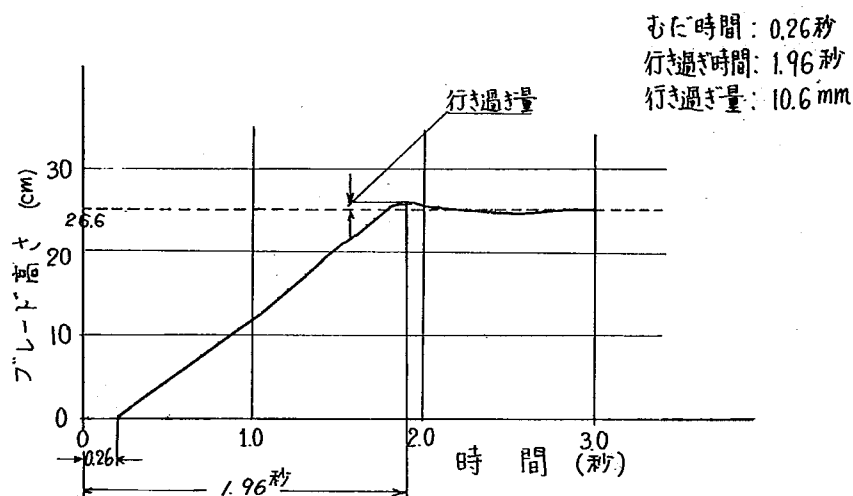


図-18 インデシャル応答 (土研製)

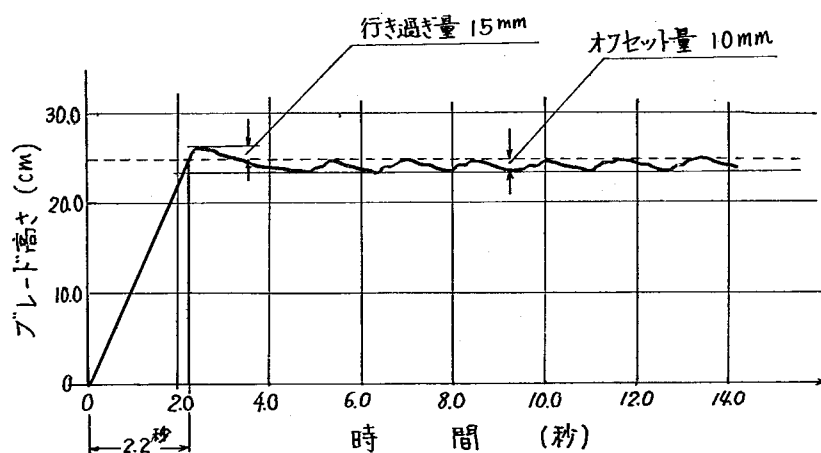


図-19 インデシャル応答 (山武製)

土研式ベンジラムのインデシャル応答は、行き過ぎ量 (over shoot) すなわち制御値が目標値を越してしまう量が全体制御量 1 に対して 0.02 で非常にわずかの量である。又オフセット量すなわち最終状態の制御値と目標値との偏差量もほぼ 0 である。更に立ち上りの最大おくれ時間は 2.1 秒であり、これは、ブレードを昇降させる油圧シリンダの作動遅れによるものが大半である。山武式の場合は行き過ぎ量 0.06 でわずかに大きく、オフセット量 1.6 cm であった。これはブレードをスプリングにより強制的に下降させたためである。なお、おくれ時間は 2.2 秒で土研式とほぼ同様な値である。

(2) 振子重量と制御性

次に自動ブレード装置と油圧シリンダで強制的に動かした場合の制御性について試験してみたところ、図 - 20 に示すようになった。重量及びダッシュポットの有

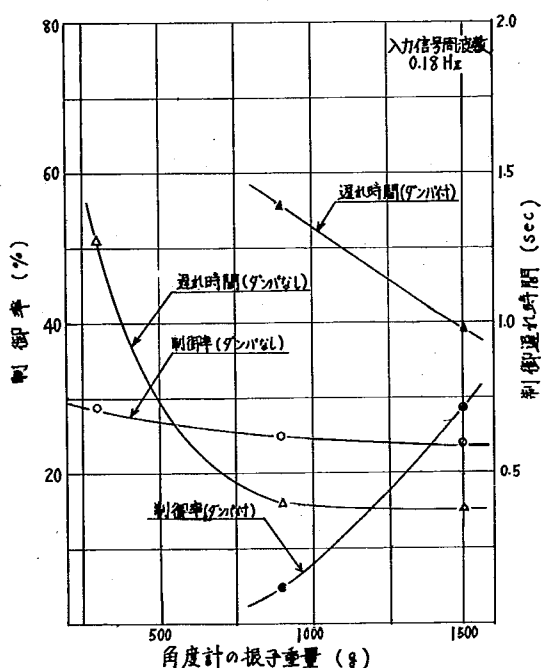


図 - 20 振子重量と制御性

無で制御率（ブレードの入力変位量に対する制御後のブレード出力変位量の割合）及び制御遅れ時間の傾向は著しく異なる。すなわち制御性からいうと、振子の重量が $0 \sim 1400 \text{ g}$ 位まではダッシュポットのない方が有る方より制御率が良いが 1500 g 程度では、ダッシュポットの有無には影響なくなること、ダッシュポットを付けた場合は、振子の重量の増大に対して急激に制御率が向上することなどが判明された。一方、遅れ時間はダッシュポットの無い場合が圧倒的に小さく且つ、ダッシュポットの有無にかかわらず振子の重量の増大に対して遅れ時間は低減している傾向を示している。

(3) 周波数応答

自動制御の制御性を判定するもう一つの方法として制御系の周波数応答を見る場合がある。今回の自動ブレード運転装置による試験に関しては、周波数応答としての入力波形は完全な正弦波ではなく、一種の三角波に近い波形であるので、完全な周波数応答はとれないが、擬似的な周波数応答と看做して試験をしたところ、表-7に示すようになった。この試験においてダッシュポット装着の有無による条件について振子重量 1500 g の場合を対象にデータを解析し、ボード線図上に示したものが図-21である。この図は振子の重錘を 1500 g にし、ダッシュポットをつけた場合と、つけない場合の差異を見るために描いたもので、横軸に、入力信号の角速度を対数尺に、縦軸にゲイン（制御率）と位相をとる。ここでゲイン（制御率）とはブレード入力振幅に対する制御振幅の割合をデシベル表示したもの、又位相はブレード先端軌跡の入力波形と制御波形との位相差をとったものである。図-21よりダッシュポットを装着した方が、ゲイン（制御率）位相特性とも装着しない場合に比べて制御性が良くなっていることが判明される。

さらに又、この制御系の安定判別を行なうため自動制御理論等によく使うナイキスト線図による安定判別を行なうと、図-22のようになる。この線図は、ボード線図で述べた位相を、ゲイン（制御率）を極座標にとり、入力波形角速度 ω をパラメータにとり、それぞれのベクトル軌跡を描かせたもので、 ω に沿って位相差 180° で $(-1, 180^\circ)$ の点を右側に見ると安定と定義されている。従ってダッシュポット装着の有無による制御系の安定性を見たところダッシュポットを装着した方は安定とみなされる。

表 - 7 周波数応答試験結果

実験NO	① 実験条件 振子数 ダンパ有無	② 角速度 °/sec	③ 本体上下動 ビッチ sec/ビッチ	④ 遅れ時間 sec	⑤ 本体上下動差 前 半 mm	⑥ 本体上下動差 後 半 mm	⑦ ブレード 制御量 mm	⑧ 平衡点から のブレード高さ 上限 mm	⑨ 平衡点から のブレード高さ 下限 mm	⑩ ブレード上下 動 前 半 mm	⑪ ブレード上下 動 後 半 mm	⑫ おくれ (sec) 位 相	⑬ ゲイン (制御率) (dB)
1	5 有		6.2	0.1	16	17	18	12	5.5	30.5	31.5		
2	5 無		6.15	0.1	17.5	16.5	14	10.5	4	30	32		
3	3 有		6.3	2	18	16.5	20	5	15	30	30		
4	3 無		5.9	0.1	15.5	17	14	6	8	29.5	30.5		
5	1 有		6	0.1	17	16.5	15	1	14	13	12.5		
6	1 無		6	0.1	16.5	17.5	15.5	8.5	7	30.5	30.5		
7	1 無		2.4	0.1	13.5	13.5	11.5	8	4	11	12		
8	1 有		2.4	0.1	14	14	13.5	6.5	7	12	12.5		
9	3 有		2.4	0.1	14	12.5	17	5	13	11.5	12		
10	3 無		2.4	0.1	13	12.5	15	8	7.5	12	16		
11	5 無		2.4	0.1	14	13.5	16	0.5	15.5	11	13		
12	5 有		2.4	0.1	14	13	15	4.5	11	12	13		
13	5 有	59.2	6.08	0.1	16.8	17.2	6.7	2.5	4.2	15.0	11.2	100.0	0.45 (-6.936)
14	5 有	150.0	2.4	0.1	5.9	5.5	2.1	0.5	1.6	4.0	4.4	118.5	0.48 (-6.736)
15	5 有	244.9	1.47	0.1	7.8	6.2	8.0	3.0	5.0	7.0	8.0	122.5	1.0 (0)
16	5 有	19.6	18.4	0.1	21.6	21.4	13.7	13.2	0.5	35.7	35.7	2.4	0.38 (-8.404)
17	5 無	21.2	17.0	0.1	21.3	21.2	13.6	6.2	7.4	35.8	35.2	24.4	0.52 (-5.680)
18	5 無	69.2	5.2	0.1	16.0	15.4	18.4	9.4	9.0	23.2	23.5	33.2	0.78 (-2.158)
19	5 無	169.0	2.13	0.1	6.0	6.0	9.7	7.7	2.0	10.3		93.0	0.94 (-0.538)
20	5 無	257.1	1.4	0.1	14.0	12.8	14.7	9.2	5.5	14.2	15.0	102.8	1.01 (0.086)

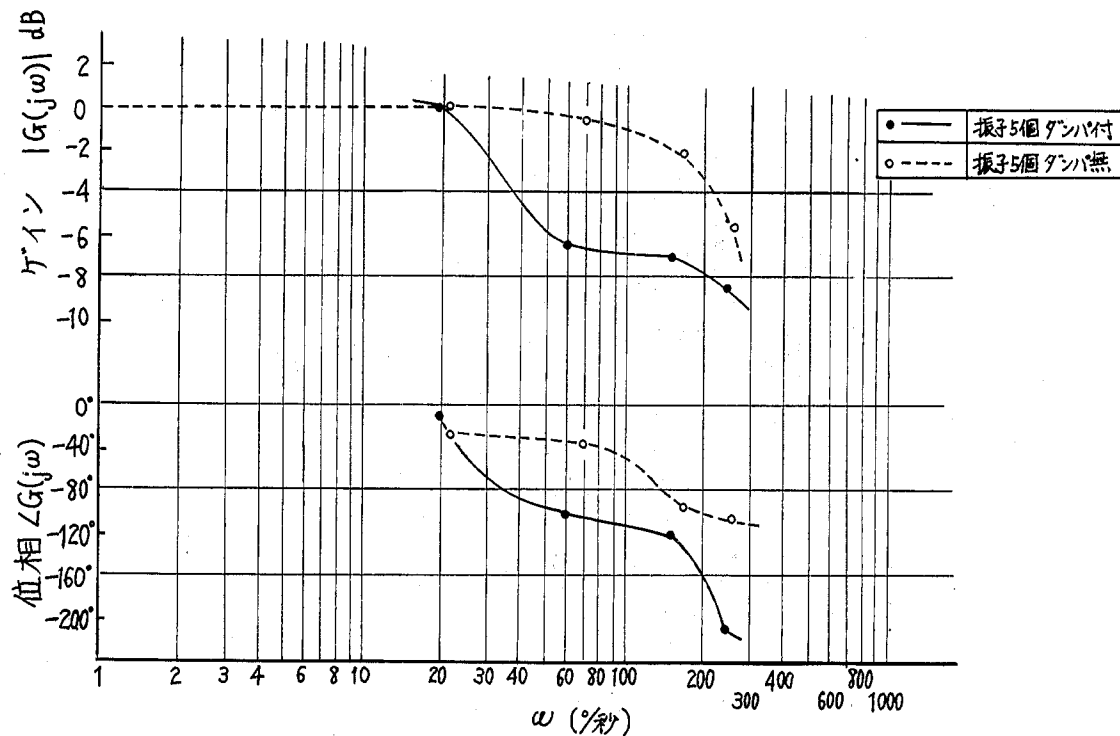


図 - 2 1 周波数応答ボード線図

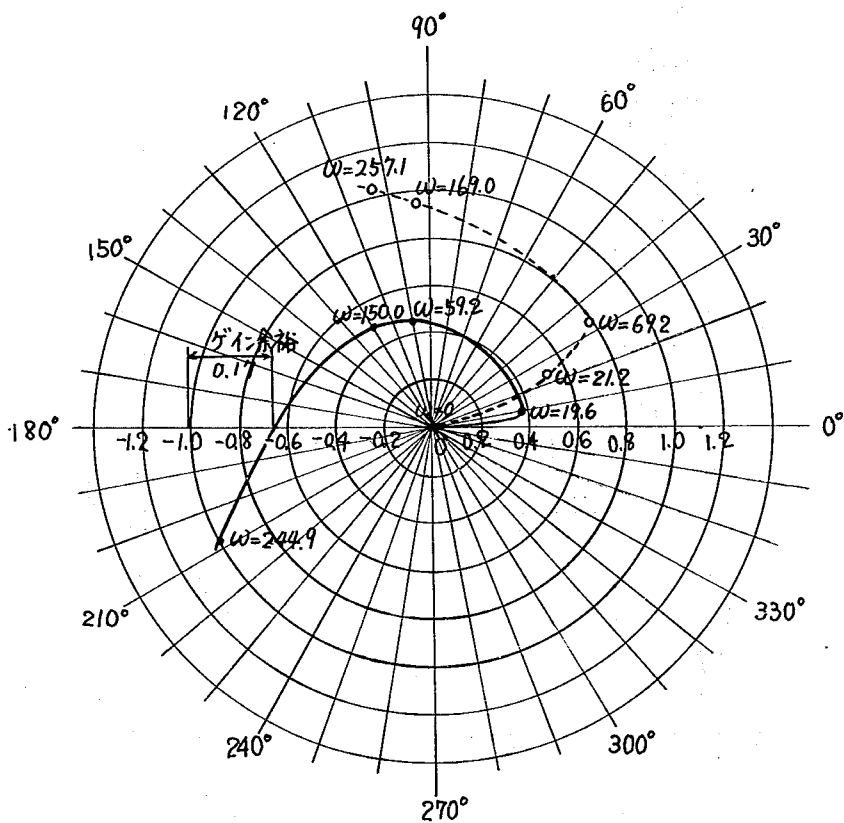


図 - 2 2 ナイキスト線図による安定判別

又本体の上下動（周期運動の角速度 ω が $2^\circ/\text{sec}$ 以下の場合は、ダッシュポットの影響が見られないが、 $2^\circ/\text{sec}$ 以上になると、ゲイン（制御率）にかなりの差が出てくる。今、仮りにこれを実際のブルドーザ作業におきかえると、初期条件として、ブルドーザ走行速度 4 km/h ，延長 10 m で1ピッチの凹凸があったとすると $\omega = 4^\circ/\text{sec}$ になり、この図よりゲイン（制御率） 0.4 となる。この値は掘削面の仕上り精度としてはあまり良好とはいえず、この制御装置を使って掘削面の凹凸を 20% 以下に減少させる初期施工条件は $\omega = 1^\circ/\text{sec}$ 以下にする必要がある。ここで1ピッチあたりの延長を $L(\text{m})$ ，走行速度を $U(\text{km/h})$ とした場合、角速度 ω は次式に示すようになる。

$$\omega = 100 U / L (\text{ }^\circ/\text{sec}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

従って1ピッチ当り延長 L が既知の場合、上式から $\omega \geq 1^\circ/\text{sec}$ にする作業速度 $U(\text{km/h})$ が求まる。図-23参照。

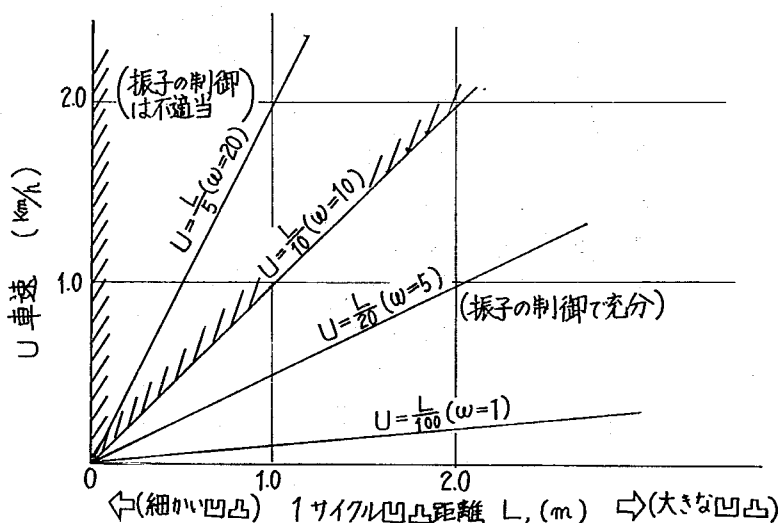


図-23 車速の算定

8.4 傾斜検出角不感帯幅の設定効果

自動制御機器とりわけ機械装置等には多かれ少なかれ作動遅れがあり、検出器から検出した値（主として電気量）をそのまま操作入力信号として与えると操作遅れが生じ、入力信号においつかなくなり制御系は発散もしくは振動をしてしまう。自動制御理論では、これらの対策として、検出角等には不感帯幅をもたせる方法を奨めている。自動ブレード装置を用いて不感帯幅に関する試験を行なったところ図-24に示すような結果となった。ここで制御率とは入力量に対する制御量の割合で100%を完全制御と見るものであり、各入力の周波数に対して、ほぼ類似した傾向を見せている。この結果から適当な不感帯（本装置では 0.25° ）を設けた方が制御率が良いこと、又入力の周波数が小さい程、制御率は良いこと、各周波数とも制御率最大になる不感帯幅は同じ幅であることが判明した。

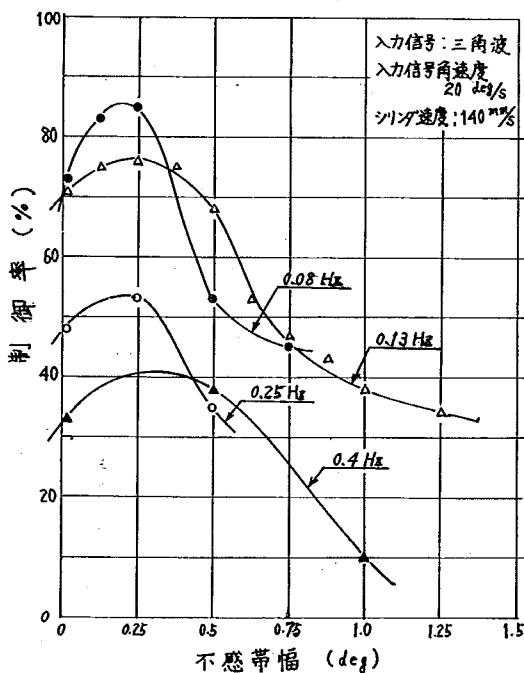


図-24 不感帯幅と制御率

8.5 ブレード平衡設定角とブレード先端変位

山武製フロートベンジラムを自動ブレード装置Cフレームに取りつけブリッジ平衡設定角を変化させた場合のブレード先端変位を計算した値と、試験により求めた実測値を比較したところ図-25に示すようになった。初期平衡設定角におけるブレード先端平衡を0補正すると補正值は点線のようになりほぼ計算値と一致してくることが判明される。従ってブレード先端位置の設定は、平衡設定角により調整することが可能であることが判明された。

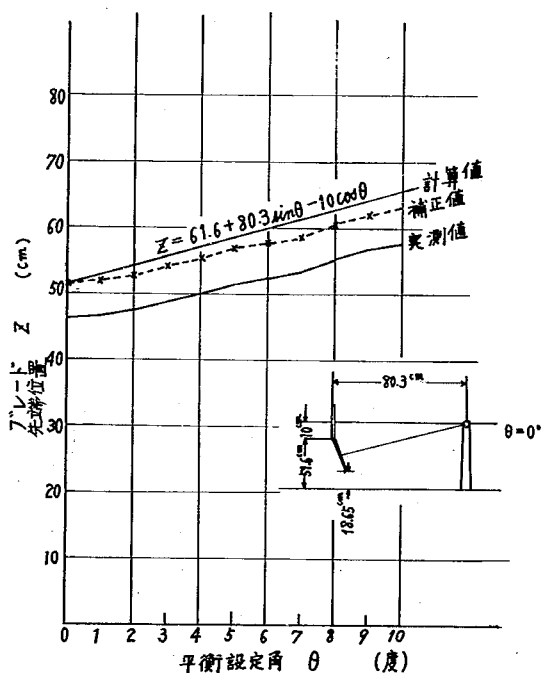


図-25 ブレード平衡設定角とブレード先端変位

8.6 自動操作ブルドーザによる構内試験結果

自動操作ブルドーザを使用して構内試験した結果を、図-26、図-27に示す。図-26の場合は作業前の地形が ± 40 cm程度の凹凸で、切土、盛土が連続してあ

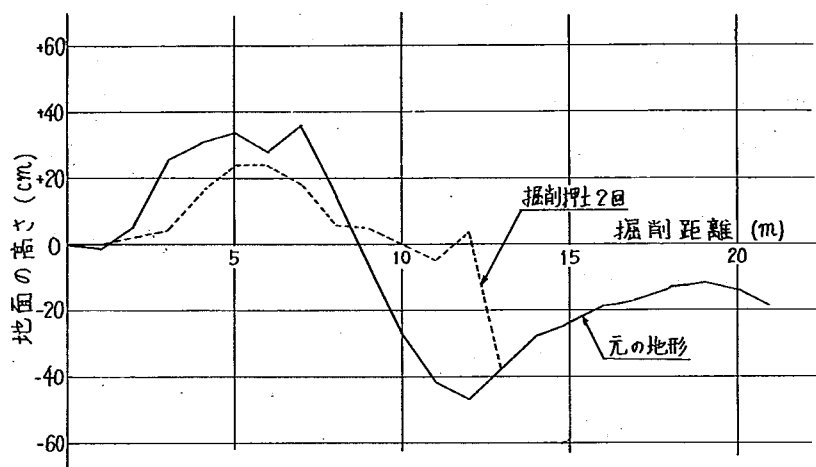


図-26 自動操作ブルドーザによる整地作業（地形Ⅰ）

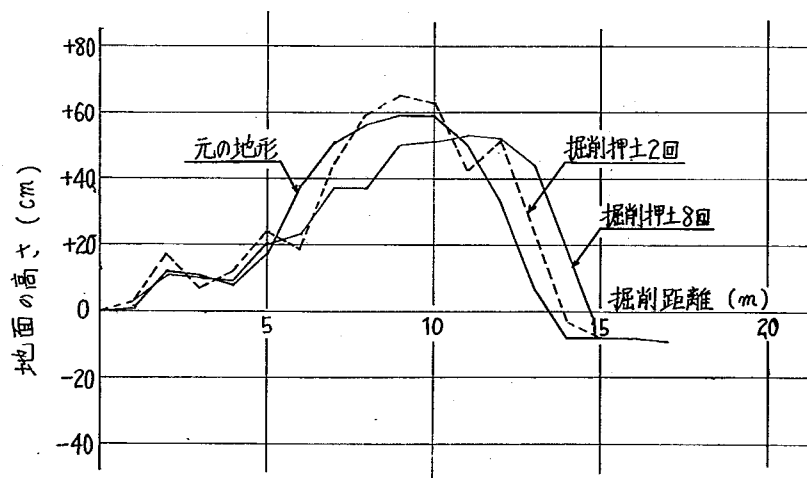


図-27 自動操作ブルドーザによる整地作業（地形Ⅱ）

り、比較的エンジン過負荷の状態が少ないようなパターンの地形（地形Ⅰ），図-27の場合は，切土のみで連続してエンジンが過負荷状態（地形Ⅱ）である場合である。これを見ると地形Ⅰの方はわずか2回の掘削押土でかなり平坦化してくるが，地形Ⅱの方は掘削押土回数が8回でも，わずかしかな平坦になっていない。これは本自動ブルドーザがレベル制御のみ行なっているだけで，負荷制御を行っていないためである。従ってレベル制御のみを対象にした自動ブルドーザは，Ⅰのパターンの地形に限り有効であり，今後このレベル制御とエンジン負荷制御の併用により，Ⅱのパターンの地形の平坦化に拡張していかなければならない。

8.7 エンジン負荷制御試験結果

エンジン負荷制御装置を自動ブレード運転装置にとりつけ，試験を行なった結果，エンジン弾性のためエンジン回転速度（模型ではモータでシミュレートした）の変動速度が非常に遅く，従ってその間ブレードが上昇し続けるので，負荷低減が必要以上に起こり，安定した制御ができず，制御操作は自己発振してしまうことが判明した。これらを解決するのに，今2～3の解決策を考える。

(1) ブレード昇降速度を落とし，負荷の変動に応じたエンジン回転速度になるようにマッチングさせる。これを油圧シリンダに送る油量を減少させることにより行なう方法。（比例制御：サーボ制御が必要）

(2) 上記の方策を油圧回路の変更を行なわず電気回路で行なわせる方法。（P動作）擬似比例動作

(3) エンジン（モータ）回転速度の時間的変化率によってオンオフの作動を行なう微分動作（D動作）

又は(1)(3)混合のPD動作が考えられる。

今回はまず(2)の電気回路を用いて比例動作を行なわせた。このためまず昇降用油圧シリンダすなわちバルブを開閉するプリントモータの動きは，リレー回路の出力であるオンオフの信号によっており，これをタイムリレーⅠ，Ⅱを使って段階的に行なわせることにより，エンジン負荷制御の自己発振を防ぐものである。

この回路によるインデシャル応答を見ると図-28のようになりタイマの設定により比例動作の比例定数が変化してくる。タイマの設定時間を変化させ試験を行な

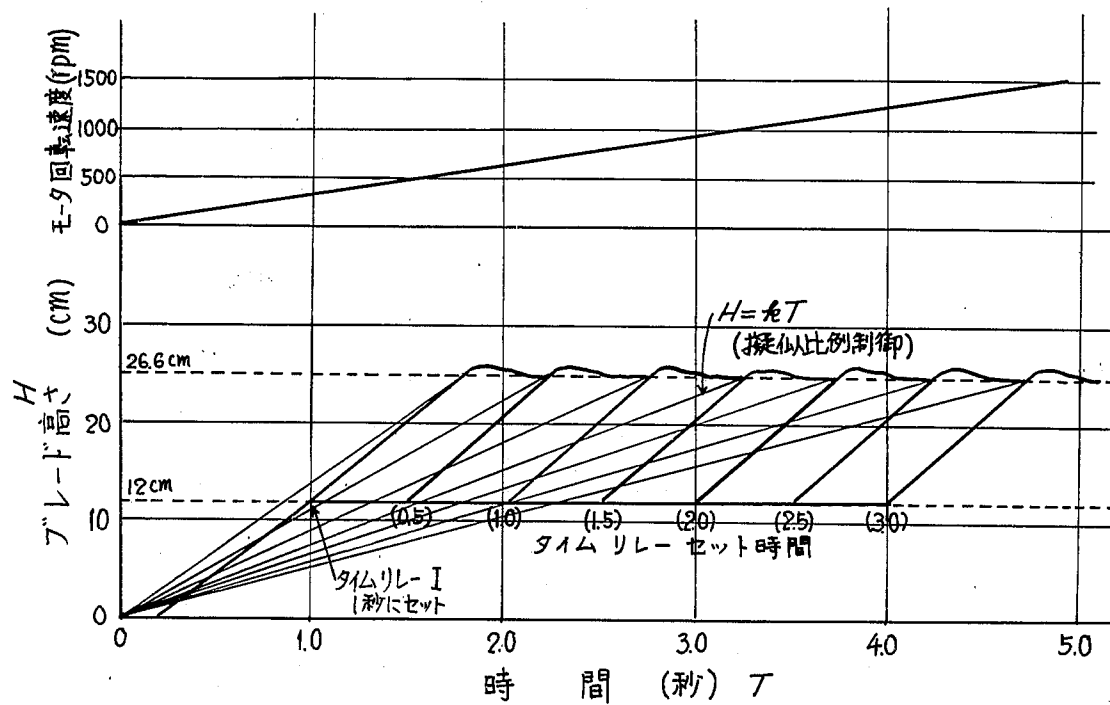


図 - 28 負荷制御インデシャル応答

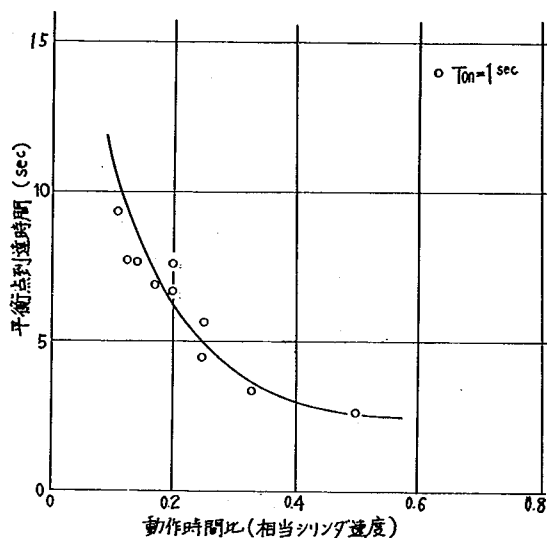


図 - 2 9 平衡点到達時間

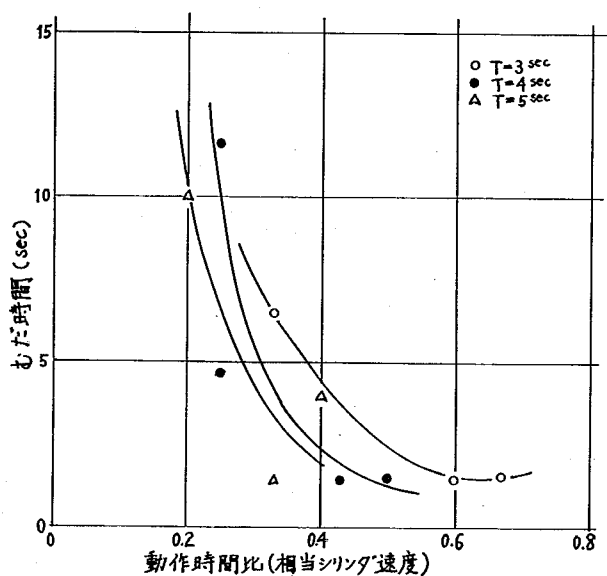


図 - 3 0 無駄時間

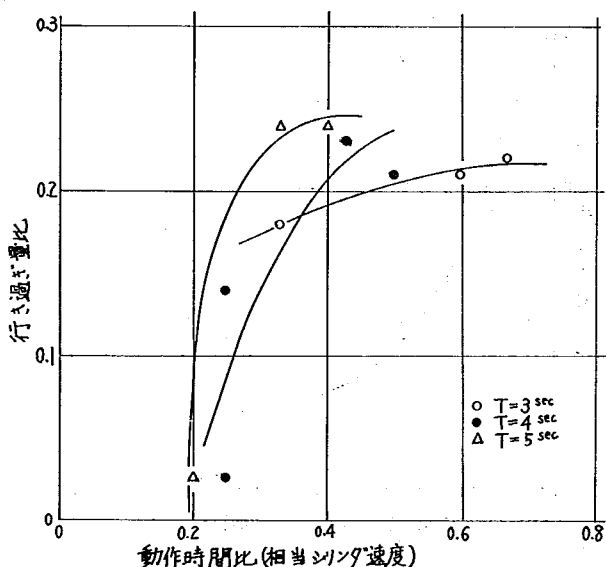


図 - 3 1 行き過ぎ量比

ったところ図-29, 図-30, 図-31のような結果が出た。

図-29は縦軸に平衡所要時間, 横軸に動作時間比 R_T すなわちブレード上昇動作が行なわれている時間 T_{on} の全時間 $T_{on} + T_{off}$ の比でとっている。今回の試験では $T_{on} = 1$ 秒の場合で $R_T = 0.5$ までしかとれず, この範囲内では R_T を大きくとった場合の方が平衡所要時間 T が少なくてすむ。しかし R_T が1に近づくとこの系は発散してしまい $T = \infty$ になってしまう。図-30は R_T に対するむだ時間 T_L の関係をみたもので R_T の増加に対してむだ時間は減少している傾向を見せている。しかし $R_T = 0.4$ 以上になると, むだ時間はほぼ一定の値2秒程度になることが判明される。またこの試験の場合 $T_{on} \geq 1.5$ 秒になると系が発散する頻度が多くなることも分った。図-31は R_T と行き過ぎ量比(変化量に対する行き過ぎ量の割合で小さい方が制御性は良い)の関係を示したものである。このグラフから R_T の増加に対して行き過ぎ量比は増加の傾向をみせており $R_T = 0.3$ 以上になると行き過ぎ量比はほぼ一定の値0.23程度になる。図-30, 31より判断して適正な R_T

C
C

C

(



線でおさえると、この表から12t以上のブルドーザが自動化対象ブルドーザになりうることも分る。更にこのデータはあくまで昭和48年度を基準に計算しており、今後労力費の伸び率と機械価格の伸び率を比較した場合益々自動化の要求が増加してくるものと考えられる。

9. 結 論

以上の試験の結果から建設機械（特にブルドーザ）の自動化に関して次のことが解明された。

(1) 建設機械の傾斜角検出器としてフロートペンジュラムを使用して仕上げ精度として20%の凹凸に減少できる。

(2) 振子式傾斜計を使ってレベル制御を行なった場合、作業前の地形により適当な車速を選定することが必要である。

(3) 振子によるレベル制御を行なう場合、検出器に適当な不感帯を設けた方が制御性がよい。

(4) 実機ブルドーザによるレベル制御は、作業前地形に影響され、エンジン過負荷状態が少ない場合には、数回の作業でかなり地形は平坦化する。

(5) エンジン負荷制御は、エンジン弾性を充分考慮してブレード昇降速度をコントロールしなければならない。

(6) ブルドーザ自動化に際しては、技術面のみならず、自動化にかかる費用、労務費等、経済面からも考えなければならない。

10. あ と が き

本報告書は、昭和47年度の成果を記載したものであるが、建設機械の自動化は、昭和45年度からその研究を着手していたものである。開発調査は一步一步前進し

解決していくものであり、なかなかまとめにくく、途中経過報告的なものとなってしまった。今後の問題点としては、実機による所内試験を更に続行し、データ数を増すこと、模型、実機自動ブルドーザ試験機のエンジン負荷制御装置の開発が早急に必要である。さらにブルドーザ本体の絶対位置（3次元的）の検出方法、検出器の開発、及び制御判断部としての土工システムの開発が今後の問題である。ここで建設機械の自動化の調査に当り指導並びに協力して戴いた下記各位にお礼申し上げる次第である。

建設機械自動化打合せ会議各位

磯部金治：（元機械研究室） 現 科学技術庁雪害研第3研究室長

後藤 勇：タイ国出張中

笠井哲夫：（元機械研究室） 現 京浜工事々務所

協力メーカ

小松製作所，日立建機，山武ハネウエル，東京計器，三友機械，東京車輛
以上（敬称略順不同）

〔参考文献〕

- (1) 磯部, 齊藤, 小室「ブレードによる土の掘削押土抵抗についての一考察」, 土木研究所資料(第665号, 46年3月)
- (2) 関東地方建設局「建設機械の自動化に関する調査報告書」(48年3月)
- (3) 丹後修一「自動制御技術と建設機械自動化への応用」建設機械(Vol. 7, 1971, 46年9月)
- (4) 田中康之他「無人ブルドーザを目指した建設機械の自動化」建設機械(10月号臨時増刊, 47年10月)
- (5) 東京電機大学「自動制御の基礎」
- (6) 高橋安人「自動制御理論」岩波全書
- (7) 磯部孝 「自動制御理論」共立出版株式会社
- (8) 上滝致孝「自動制御教室」電気書院
- (9) 特許庁 「特許公報」特許出願公告, 昭48-13644
- (10) 森育雄 「ダイレクト駆動系ドーザショベルのネバリについて」(小松技報第18巻 第1号)
- (11) 守田友義 薩摩林和美「ブルドーザ」
- (12) 松坂知行 「ロジックシーケンス読本」オーム社
- (13) 杉田稔 「自動化機器の設計と製作」日刊工業新聞社
- (14) D.E. Johnston "Development of a controller element for compatible operator control of earthmoving machines"
U.S. Army Mobility Equipment Research & Development Center

建設機械の自動化に関する調査試験
—ブルドーザブレード操作の自動化—

土木研究所資料第870号
昭和48年7月(1973年)

キーワード: 建設機械, ブルドーザ, 自動制御

建設省土木研究所機械研究室
田中康之 岡崎治義 小室日出男

要 旨: ブルドーザブレード操作の自動化目標に, 模型, 実機試験機で実験したところ, 下記のことが解明された。

1. ブレード制御はレベル制御の他, エンジン負荷制御を必要とする。
2. フロートベンチュラムでレベル制御は可能である。
3. エンジン弾性を考えたエンジン負荷制御が必要である。