

145
I S S N 0386 — 5878
土木研究所資料第2087号

土木研究所資料

建設機械の安全施工に関する調査試験

— 油圧ショベルの動的安定性評価 —

昭和 59 年 3 月

建設省土木研究所
機械施工部機械研究室

Copyright © 1984 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ま え が き

油圧ショベルは、汎用性に優れた建設機械で、近年急速に普及してきた。油圧ショベルは、本体と掘削用バケットを備えた腕（ブーム、アーム）によって構成され、また、本体は足回り装置に対して旋回台で懸架されており、全方向にわたって旋回が可能である。このため、油圧ショベルは自らの掘削用バケットを極めて広い範囲にしかも自由に移動させることができ、汎用性と任意性に富んだ機械となっている。

最近の油圧ショベルは、これらの優れた特徴と相俟って、掘削能力の向上が著しく、機械の作業能率などの性能は向上してきたが反面、作業時に揺動現象を生じるなどの問題点が指摘されていた。

油圧ショベルの安全性の評価については、建設省関東地方建設局が行ったトラクタ系建設機械の安全評価¹⁾に引続き、土木研究所が日本建設機械化協会に委託して調査検討をすすめてきた²⁾。この中で、動的安定性（転倒ではなく、作業時の揺動現象を指す）は油圧ショベルの安全評価項目の中でも重要な項目のひとつであるとの共通の認識はなされていたが、評価方法について統一的な方法を見出すにはいたらなかった。

動的安定性の評価については、各油圧ショベルメーカーとも独自の研究^{3) 4) 5)}を実施しており、油圧ショベルの性能と動的安定性のバランスをとるための設計方法に力点がおかれている。

いずれにしても、運転負の負担の軽減の立場からすると安定の良い機械の方が優れているわけであり、この場合、安定の良さを客観的に定義し、かつ計量するための尺度と尺度構成方法が確立される必要がある。すなわち、油圧ショベルの動的安定性を改善する技術的方法と、動的安定性を評価する方法が確立されることによって、油圧ショベルの合理的な設計方法、ひいては安定性に優れた油圧ショベルの開発につながるものと期待される。

本調査試験は、このような立場から、油圧ショベルの揺動現象を適正に評価するための試験方法、評価の尺度構成方法の確立を図ろうとするものである。本調査試験は、昭和56年度を初年度とする3ヶ年計画で実施したもので、昭和56年度は、①動的安定性の物理事象の試験要領に関する実験、検討、②試験方法の作成、昭和57年度は、③市販されている油圧ショベルの動的安定性の実態調査、④油圧ショベルの動的安定性に関する運転負の意識調査（予備調査）、および⑥物理事象としての揺動現象と運転員の意識に反映された心理評価の関連分析を行った。昭和58年度は、④の調査を本格的規模で実施し、⑤について詳細な分析を行って、油圧ショベルの動的安定性の評価手法の提案を行った。

昭和59年3月

機械研究室 境 友 昭
齊 藤 英 晴

目 次

1. 油圧ショベルの動的安定性	1
1.1 動的安定性の定義	1
1.2 揺動評価の研究経緯の概要	1
2. 油圧ショベルの動的安定性の研究方法	3
2.1 物理的な測度空間の構成	3
2.2 運転員の心理（意識）空間の構成	5
2.3 運転員の心理（意識）空間の測定	5
2.4 物理量と心理評価量の関連性	6
3. 油圧ショベルの揺動現象の試験方法	8
3.1 試験方法確立のための実験の概要	8
3.2 仮 定 条 件	9
3.3 実 験 計 画	9
3.4 実 験 方 法	11
3.5 実 験 結 果	15
3.6 解 析	22
3.7 提案する試験方法	28
4. 油圧ショベルの揺動現象の調査	31
4.1 調査の概要	31
4.2 調査対象機械	31
4.3 調査結果	31
4.4 油圧ショベルの揺動現象の主成分分析	36
5. 運転負の意識調査	40
5.1 揺動現象に関する官能評価の方法	40
5.2 意識調査票	41
5.3 予 備 調 査	43
5.4 予備調査の結果	43
5.5 揺動現象と運転負の意識の関係	47

6. 油圧ショベルの動的安定性評価	50
6.1 意識調査票	50
6.2 調査の結果	50
6.3 動的安定性評価方法	58
7. あとがき	61
参考文献	62
参考資料	
(1) 意識調査票 昭和 57 年度	63
(2) 意識調査票 昭和 58 年度	68

1. 油圧ショベルの動的安定性

1.1 動的安定性の定義

従来、“動的安定性”という用語は、動的な状態における機械の姿勢の安定性、特に動的挙動時の転倒に関して用いられてきた。これは、“静的安定性”が静的な条件下における機械の釣合問題、すなわち転倒を問題としている視点との対応をとったものであるためである。

ところが油圧ショベルでは、

- ④ ショベルは地面を掘削・加工するものであり、この時作業機（バケット、アームなどのフロント部）は地上にあるため、もし静的転倒限界を超える掘削力（あるいは荷重）を作業機に加えたとしてもショベル本体は転倒しない。単に持ち上げることができないだけである。
 - ⑤ 機械が持つ性能の限界内に転倒条件がない。
 - ⑥ ショベルが持つ標準的な作業状態において、静的あるいは動的に転倒した事例はない。
- の実状を考えた時、動的な挙動での転倒問題は現実的な事象であるとは言えない。

一方、油圧ショベルメーカー各社の研究の動向を見ると、『動的安定性』は、機械の転倒問題ではなく、機械の揺動の収束性の評価という視点からとらえられている。その具体的な定義づけは「油圧ショベルの掘削作業にともなう生じる機械本体の揺動現象は、単に機械的性能低下をもたらすのみではなく、作業者の肉体的疲労や精神的不安感による作業能率低下にも重要な要因となる」（吉井 他；住友重機技報³⁾）、「車体の安定性が良いと悪いとでは、オペレータの精神的、肉体的疲労度が大幅に異り、その結果、仕事量にも影響するところ大である」（村上；小松技報⁴⁾）とし、次の3点を指摘している。

- ① 油圧ショベルの“動定安定性”に関わる動的挙動とは掘削作業に伴う機械本体の揺動現象を意味する。
- ② “動的安定性”に優れることは、この揺動現象が“小さいこと”を意味する。
- ③ 油圧ショベルの揺動現象は、運転員の疲労、不安感と関係がある。

これらの指摘点は日立建機⁵⁾の場合も同じであり、また③と作業能率とは密接な関係があり、したがって“作業能率を向上させるためには揺動現象を小さくしなければならない”と結論づけしている。

よって、これらの視点からすると、動的安定性に関する研究は、油圧ショベルの揺動現象を心理的に評価することに帰着することがわかる。

1.2 揺動評価の研究経緯の概要

揺動現象を記述する物理的な測度は、①初期振幅 θ_0 、②振幅減衰比 λ 、③揺動周期 T 、である。また、揺動の“マグニチュード”という概念が導入可能であれば、これは①～③の測度と、機械の大きさの測度と関係があるものと思われる。

一方、運転員側から見た揺動現象の評価では、その尺度を“運転員の感覚”によって構成する場合、言語で表現された（すなわち、意識された）反応と揺動現象との関係が見出されなくてはならない。文献4)、5)では、運転員の主観的な評価量を導入し、油圧ショベルの揺動現象に対する運転員の意識を直接的に数量化する方法を用いている。

動的安定性の定量的な評価方法を確立するには、先に示した物理測度と、運転員の心理評価量に関係づける適当な評価関数を求めることが必要である。これらの評価関数は、異なった物理測度と心理評価量を持つ数種の油圧ショベルについての測定値が得られると、両者の関係を示す相関係数などの尺度が大きくなるような適当な関数形式によって記述することができる。できるならば、物理測度によって与えられる指数と、心理尺度によって与えられる指数とが、直線関係で示されることが望ましいが、実用的にはあまり問題とはならない。

文献4)では、

$$P(\theta_N, \delta) = \theta_n \cdot (e^\delta)^{-\frac{3}{2}}$$

θ_N : 最大傾斜角

δ : 対数減衰率

として評価関数を定義しているが、他の建設機械メーカーではこれとは異なった評価関数を導入しているものと思われるが、対外的に報告されていないのが現状のようである。

2. 油圧ショベルの動的安定性の研究方法

2.1 物理的な測度空間の構成

油圧ショベルの動的な挙動を記述するパラメータは決して少ない数ではないものと思われる。しかし、これらのパラメータを用いて尺度を構成する場合、計測が容易でしかもできるだけ少ないパラメータを用いることを考えるべきである。

今、油圧ショベルの動的挙動を記述する有限のベクトル空間 Φ を仮定する。この空間は、たとえばこの空間を記述する要素が2個で十分であれば2次元、3個であれば3次元となるような空間である。この空間を仮定することによって、個々の油圧ショベルの動的挙動は、ベクトル空間 Φ の中の1点として示され、すべての油圧ショベルはこの Φ の中に含まれると考えることができる。また、これと同時に、この空間 Φ とは1対1で対応する空間 Π （すなわち等角写像）が存在し、ここでは、油圧ショベルの揺動現象を記述する諸要因が空間 Π の中の点として示される。ベクトル空間 Φ とその写像空間 Π とは空間を記述する主成分の要素は同じ意味を持っており、例えば、空間 Φ での第一主成分軸が揺動の大きさを意味するものであれば、空間 Π でも第一主成分軸は揺動の大きさを意味する。

さて、このような空間 Π において、油圧ショベルの揺動現象を記述するパラメータの位置が定まると、これからパラメータ相互の相対的な“距離”が与えられる。この“距離”が近い程、パラメータの意味が近い（すなわち似ている）ことを意味し、主成分軸に近接したパラメータは、その主成分軸の意味に近い内容を包接している。

このベクトル空間において、油圧ショベルの揺動現象を記述する n 個のパラメータに対して、 n 次元の空間を仮定し、パラメータ j の i の主成分軸に対する方向余弦を a_{ij} とおくと、 i 主成分軸のデータスコア Y_i は、

$$Y_i = a_{i1} \cdot X_1 + a_{i2} \cdot X_2 + a_{i3} \cdot X_3 + \cdots + a_{ij} \cdot X_j + \cdots \quad (2.1)$$

となる。ここで、 X_j は油圧ショベルの物理的な測度 j の測定値である。 a_{ij} は方向余弦としたから、ピタゴラスの定理によって、

$$\sum a_{ij}^2 = 1 \quad (2.2)$$

また、 Y_i は直交軸と考えたから、

$$\rho(Y_k, Y_l) = 0 \quad k \neq l \quad (2.3)$$

である。 $\rho(Y_k, Y_l)$ は、 k 軸のスコアと l 軸のスコアの共分散を示す。さて、このような変換は、(2.2)、(2.3)の条件の下で、 Y_i の分散を最大とするような a_{ij} を求めることに帰着するから、

$$\rho_{ij} = \rho(X_{i1}, X_j) = E(X_{i1} X_j) \quad (2.4)$$

として、測定量間の共分散を定義すると、

$$F_l(a_{l1}, a_{l2}, a_{l3}, \cdots, a_{ln}, \lambda) = \sum_i a_{li}^2 + 2 \sum_{i=j} a_{li} \cdot a_{lj} \cdot \rho_{ij} - \lambda (\sum_i a_{li}^2 - 1) \quad (2.5)$$

として与えられる関数 F_l の極値問題となる。 F_l において、ラグランジュの未定係数法により、求める $a_{l1}, a_{l2}, a_{l3}, \dots, a_{ln}$ は、

$$\frac{\partial F_l}{\partial a_{li}} = 0, \quad \frac{\partial F_l}{\partial \lambda} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

の連立方程式の解として与えられる。ただし、 $\partial F_l / \partial a = 0$ の解は (2.2) 式である。

さて、(2.6) 式の $\partial F_l / \partial a_{li} = 0$ を用いて i 個の連立方程式を立てると、

$$\left. \begin{aligned} (1-\lambda) \cdot a_{l1} + \rho_{12} a_{l2} + \rho_{13} a_{l3} + \dots + \rho_{1n} a_{ln} &= 0 \\ \rho_{21} a_{l1} + (1-\lambda) a_{l2} + \rho_{23} a_{l3} + \dots + \rho_{2n} a_{ln} &= 0 \\ \rho_{31} a_{l1} + \rho_{32} a_{l2} + (1-\lambda) a_{l3} + \dots + \rho_{3n} a_{ln} &= 0 \\ \vdots & \\ \rho_{n1} a_{l1} + \rho_{n2} a_{l2} + \rho_{n3} a_{l3} + \dots + (1-\lambda) a_{ln} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

となる。この連立方程式が、 $a_{li} = 0$ という自明の解とならないためには、連立方程式の係数行列式が 0 でなければならない。すなわち、

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & \rho_{12} & \rho_{13} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1-\lambda & \rho_{23} & \dots & \rho_{2n} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1-\lambda & \dots & \rho_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \rho_{n3} & \dots & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

となり、行列の固有値問題に帰元される。(2.8) 式によって λ が与えられる。(2.8) 式は λ に対する n 次元方程式であり、 $\rho_{ij} \geq 0$ の非負行列となることから、一般に n 個の λ が求まる。これを大きい順に $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ とする。また、

$$\sum_i \lambda_i^2 = 1 \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

となり、 λ_i^2 を第 i 主成分の寄与率と呼び、これは、第 i 主成分軸上のデータスコアの分散の全分散に対する大きさに等しい。係数 a_{li} は、(2.7) 式のうち $(n-1)$ 個の式と (2.2) 式を連立させて求めることができ、第 l 主成分の固有値 λ_l に対応する固有ベクトルである。

さて、(2.9) 式が示すように n 個までの直交軸 (n 次元空間) を導入することによって、この測定要因が全て充足的に布置できる。ところが、 λ_i^2 の値は、ある程度以上の i になると小さくなり、こ

で適当な正の値 ξ を導入すると、

$$\sum_{i=j}^n \lambda_i^2 \leq \xi \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

となる j が必ず存在する。この ξ を誤差として許容すれば、物理的な測度が構成する空間を $(1-\xi)$ の率で定義するには $n-j$ 個の主成分で良いことがわかる。通常 90 ~ 95 % 位定義できれば工学的に十分であり、また、この時、 $n-j \leq 3$ であれば空間の構成としては成功であろう。

2.2 運転員の心理（意識）空間の構成

運転員が油圧ショベルの動的安定性を評価する意識空間 R を考える。この空間 R の要素は、運転員が油圧ショベルを評価する思考空間を反映する言語表現可能な意識の属性によって構成されるものとする。これは、運転員が直感的あるいは、意識的に油圧ショベルの動的安定性に対していただく内在的な感情や印象を言語によって表現したものである。実際の“測定”では、例えば『油圧ショベルの運転は非常に疲れる』とか、『今の油圧ショベルは体との一体感が得られやすい』とか、油圧ショベル（およびその揺動現象）と関係ありそうな複数の質問項目に対する反応の調査、いわゆるアンケートによって行うものである。この場合、運転員の油圧ショベルに対する潜在的、顕在的な心理が、言語で表現された質問項目に反映されていると考えることができよう。このようにして仮定された質問項目群によって、先見的に構成される仮想の意識空間が、実際の運転員の（油圧ショベルおよびその揺動現象に対する）意識空間を充足している時、運転員の意識空間は“測定”可能となる。

このような意識空間は、それが何らかの形で計量可能である限り、（アンケートの結果を数量的に示すことが可能であれば）2.1項で示したと同じように、 n 次元の直交空間として計量的な意味づけができる。この時の各主成分軸は、計量できたところの意識を反映しているものであり、統計的に有意な限り（すなわち誤差のいたずらによって生じた固有値でない限り）、その空間内に布置された質問項目の内在的な意味によって、固有の意味を与えることができる軸である。例えば、油圧ショベルの動的安定性の良否と運転員の心理との関係に、“精神的、肉体的疲労→作業能率の低下（すなわち、能率概念の阻害）”という図式が一般的に設定されているが、この場合、油圧ショベルの動的安定性を評価する運転員の心理空間に、能率を要素とする主成分軸が仮定されるものと思われる。

2.3 運転員の心理（意識）空間の測定

油圧ショベルの運転員の機械に対する潜在的、顕在的な評価を測定するには、①意識調査（アンケート）による方法、②生理検査による方法、③心理テストによる方法、などが考えられる。①は、運転員の心理空間を意識調査票の質問群が構成する架構の心理空間に反映させて測定する方法、②は油圧ショベルの運転の生理的負担の度合から評価する方法、③は、運転員が油圧ショベルを運転した時の心理状態の変化から、その心理的負担の度合を求め、油圧ショベルの動的安定性の評価をしようとする方法、である。いずれの方法も、それぞれ一長一短があり、特に、②、③は単独で用いては有効な方法とならない場合がある。この原因のひとつは、生理的な反応や心理的な状態の変化は、その原因となる事象の効果より、人の個性や個人差による変動の方が大きい場合があり、②、③の検査だけでは、必ずしも因

果関係を明確にできないことが多いことである。また、これらの“測定”から一般論を導出する場合、多くの事例が必要であるにもかかわらず、一件一件の検査に時間と費用が多くかかり、満足のいく調査計画が組立てられないなどの問題点がある。この点、①は、個人個人での変動は大きいものの、大量のサンプルが得やすいという特長があり、またデータの分析方法が確立しているところから、工学的視点からは取扱いやすい。

この場合、最も難しいのは、適切な質問項目を選択して、運転員の意識を反映させる充足した意識空間を設定することである。このための方法としては、

- (a) 運転員にインタビューし、油圧ショベルの運転に関する感想を求める。
- (b) いくつかのキーポイントとなる言葉を用意し、この言葉を基にして関連する表現方法を調べる。
- (c) 予備的な調査票で小規模な調査を実施し、調査票の充足性について検討し、本格的な調査票を作成する。

という手順が考えられる。(a)、(b)は、いわゆるインタビュー、あるいはグループインタビューに相当し、この手順をつくすことによって、運転員の意識空間が単一の言葉で表現できない場合、これを関連する一連の言葉で表現することが可能となるような言葉のセットを探索することができる。(c)は仮に構成した意識調査票の客観性、充足性、実用性などを試験するものである。このような予備的な調査を行うことによって、調査票の不備であるとか、質問の表現方法などについて反省的な知見を得ることができる。

2.4 物理量と心理評価量の関連性

油圧ショベルの動的安定性の評価方法を確立することは運転員の心理量としての『評価』を、油圧ショベルの物理量から予測する方法を確立することである。この場合、運転員の心理量と油圧ショベルの物理量を関係づけるものは、油圧ショベルそのものであり、すなわち、ある油圧ショベルの揺動特性と、その油圧ショベルを運転する運転員の心理量との関係が分析の手がかりとなるものである。

この関係を示す仮説は、『揺動現象の物理量の計量値はあるウェイトを持って、運転員の心理評価と線形関係にあり、運転員の心理評価の異なる油圧ショベルでは揺動現象の物理量に違いがある』である。

この場合、運転員の心理空間の主成分軸の意味によって、次の2つの分析方法がある。

- (a) 運転員の心理空間において、油圧ショベルの動的安定性に対する評価が第1主成分軸上に十分な寄与率を以って反映されている場合；第1主成分軸での合成変数（スコア）を算定し、これを外的基準として物理量の重回帰分析を行う。
- (b) 運転員の心理空間における油圧ショベルの動的安定性の評価が主成分軸上に反映されない場合（すなわち、心理空間で潜在的な構造をとる場合）；先見的に“油圧ショベルの動的安定性を示すと看なされる複数の質問項目”から得られる合成変数と、いくつかの物理量の計測値から得られる合成変数との正準相関分析を行う。

(a)が成立するためには、運転員の意識空間の中に油圧ショベルの揺動現象を評価する明確な意識があり、かつ意識調査票がその意識を十分に反映していること、の条件が満たされなければならない。(a)の場合の数学モデルは、

$$y = \sum_i a_i x_i \quad (2.11)$$

y : 主成分軸でのスコア

x_i : 物理計測項目

a_i : x_i の加重係数

であり、 y および x_i のベクトルデータが与えられるから、加重係数 a_i を求める問題に帰着する。

(b)の場合、運転員の揺動現象に対する意識が、第一主成分のみでは記述できず、したがって、他の主成分軸と合成スコアで表現する必要がある。この場合の数学モデルは、

$$\sum_j b_j y_j = \sum_i a_i x_i \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

となる。ここで、 y_j は意識空間での j 主成分軸のスコア、 b_j はその加重係数（すなわち、揺動現象評価軸に対する第 j 主成分の方向余弦）である。ところが、 y_j は、

$$y_j = C_{jk} \cdot S_k \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

S_k : 意識調査票での質問 k のスコア

C_{jk} : S_k の j 主成分に対する荷重係数

として得られたものであるから、(2.12) 式は、

$$\sum_k C_k S_k = \sum_i a_i x_i \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

とするモデル、すなわち正準相関分析モデルである。また、(2.14) 式のモデルにおいて、左辺は運転員の意識空間 R の実現値、右辺は物理測度空間 ϕ の実現値（あるいは評価量空間）を示し、

$$F = \sum \{f(R, \phi)\}^2 \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

の最小自乗法の解法に帰着する。

3. 油圧ショベルの揺動現象の試験方法

3.1 試験方法確立のための実験の概要

油圧ショベルは車体移動のための下部走行体、運転室やエンジン等のある上部旋回体、及び掘削作業を行うフロント部から成っている。(図-3.1参照) 実作業において、オペレータは掘削、積込み等の作

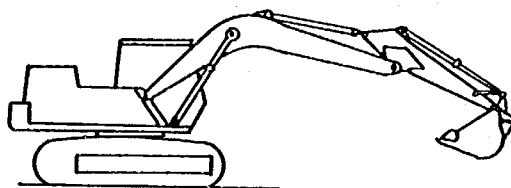


図-3.1 油圧ショベル (前方作業姿勢)

業を行うために、フロント部の操作を繰り返すが、これに伴って車体は揺動（ピッチング運動）を起こす。この現象は、揺れが小さい時には問題にはならないが、揺れが大きくなったり、なかなか止らない場合には、機械的性能の低下をもたらすのみでなく、運転員の肉体的疲労や精神的不安感による作業効率低下などの大きな原因となる。一般に動的安定性の良い油圧ショベルとは、作業中の車体揺動が小さく揺動が起きても、収束速度が速い機械を言う。車体揺動の原因となる入力フロント部の回転力として与えられ、この入力量はフロント姿勢、操作速度等に依存し、実作業においては、これらの組合せによるランダムな入力として車体に与えられている。

動的安定性は、これら実作業における車体の安定性であるが、実作業における揺動現象によって動的安定性を評価する方法は再現性、測定方法等に問題がある。オペレータが油圧ショベルの動的安定性を評価する場合、個々の揺動を評価するのではなく、実作業における揺動現象のアンサンブル平均を何らかの判断基準に従って評価していると考えることができよう。ここで油圧ショベルの揺動現象を線形システムと仮定すると、実作業における揺動現象のアンサンブル平均は、システムの個有な値（伝達関数）により決定され、また代表的な入力方法（代表作業パターン）を設定し、その時の揺動現象で評価することも可能である。本実験においては、入力方法を決定し、その時の揺動現象で評価する方法を採用した。入力方法は最大駆動入力が見られる条件とし、次の検討項目を主眼において実験を行った。

(1) 作業姿勢の検討

実作業においてオペレータは、掘削、積込み等を連続的に行うため、上部旋回体を旋回させながら作業を行っている。油圧ショベルの代表的作業姿勢には前方作業姿勢(図-3.1参照、作業方向が走行軸と平行)、及び側方作業姿勢(作業方向が走行軸と直行)があり、オペレータはこれらの作業姿勢においても揺動の影響を受けている。本実験では、両作業姿勢における揺動現象を調査し、油圧ショベルの揺動特性の試験方法を確立するうえで、適切な作業姿勢について検討する。

(2) 試験条件の検討

統一的な試験方法を確立するには、油圧ショベルの状態量が車体の揺動に与える影響について把握する必要がある。本実験では状態量として、バケット降下高さ、バケット内荷重、機関回転速度を抽

出し、各要因が車体の揺動に影響する効果を分散分析により分析し、試験条件として規定する必要性を検討する。

(3) 物理測度の検討

油圧ショベルの動的安手性をオペレータの官能評価を基準にして考えた時、定量的評価手法を確立するには、この官能評価値と相関が有りそうな物理量を抽出する必要がある。本実験では、車体の揺動を表わす車体変位、あるいはオペレータの動きを表わすオペレータ頭頂加速度などを選定した。これらの物理量と官能評価値を最も良く一致させる適合度関数を求める場合、事前に物理量間の相関性を調査し、他の物理量と独立な物理量のみを要因として採用する必要がある。これは、互いに関連性のある物理量は、1つの物理量に代表することが出来るためである。本実験では、物理量間の回帰分析によって相関性を調査し、油圧ショベルの動的挙動を代表する物理量について検討する。

3.2 仮定条件

油圧ショベルの動的安定性試験要領を確立する上で、次の仮定条件を設定した。

(1) 油圧ショベルの揺動は、近似的に線形事象である。

油圧ショベルの揺動は、入力としてのフロント部の回転力に対する出力として生じるもので、この入出力の関係を線形システムとして取扱う。(図-3.2参照) 入力(X)はフロント運動エネルギーであり、出力(Y)は車体全体の位置エネルギーと運動エネルギーとして生じるピッチング運動である。伝達関数(G)は車体質量、慣性モーメント、及びブームシリンダのバネ定数等によって決定され、各車体に固有な関数である。従って、油圧ショベルの運動は入力によって一意に決定され、入力が一定であれば、出力となる揺動は常に一定となる。

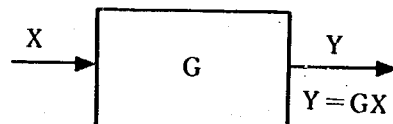


図-3.2 線形システム

(2) 揺動入力、系の固有値として定義する。

油圧ショベルの揺動の原因となるフロント部の回転力は、シリンダ速度、フロント質量、及び慣性モーメント等により決定され、それらは各車体に固有の値である。

(3) 実作業は、系の状態を保存する。

実作業においても、入出力の関係は線形システムを保存しており、作業時揺動は入力量の変動として扱う。従って、実作業における揺動現象のアンサンブル平均は、システムに依存する。

3.3 実験計画

本実験においては、作業姿勢(要因A)、及びバケット降下高さ(要因B)、バケット内荷重(要因C)、機関回転速度(要因D)などの機械状態量が、車体揺動に与える影響を調査するため、ラテン方

格法による実験計画を立てた。実験はバケット容量の異なる2機種（0.25 m³、0.7 m³）の油圧ショベルを対象に行い、各要因に対して次の水準量を設定した。

(1) 作業姿勢（要因A）

水準量 a_1 : 0.25 m³ 前方作業姿勢
 a_2 : 0.7 m³ 側方作業姿勢
 a_3 : 0.25 m³ 前方作業姿勢
 a_4 : 0.7 m³ 側方作業姿勢

(2) バケット降下高さ（要因B）

水準量 b_1 : 最大高さの3/4
 b_2 : 最大高さの1/2
 b_3 : 最大高さの1/4

(3) バケット内重量（要因C）

水準量 c_1 : 空荷重
 c_2 : 定格荷重の1/4
 c_3 : 定格荷重の1/2

定格荷重は、バケット定格容量×1,800 kgとした。積載荷重は砂袋を用い、ネットとロープでバケット内に固定した。

(4) 機関回転速度（要因D）

水準量 d_1 : ローアイドル
 d_2 : ローアイドルとハイアイドルの中間
 d_3 : ハイアイドル

表-3.1、表-3.2はこの実験計画を示すものである。要因Aは表-3.2の一元配列、要因B、C、Dをラテン方格法で組み、繰返し数を3とし、3種の方格を用いたものである。この方格の(1)~(3)は、表-3.1の一元配列の繰返し数となる。この計画では、作業姿勢（要因A）を独立とし、 $27 \times 4 = 108$ 回の実験を行った。

表-3.1 ラテン方格法による実験の割付

(1)				
C \ B	b_1	b_2	b_3	
	c_1	d_1	d_2	d_3
	c_2	d_2	d_3	d_1
	c_3	d_3	d_1	d_2

(2)				
C \ B	b_1	b_2	b_3	
	c_1	d_2	d_3	d_1
	c_2	d_3	d_1	d_2
	c_3	d_1	d_2	d_3

(3)				
C \ B	b_1	b_2	b_3	
	c_1	d_3	d_1	d_2
	c_2	d_1	d_2	d_3
	c_3	d_2	d_3	d_1

表-3.2 一元配列による実験の割付

水準 次数	a_1	a_2	a_3	a_4
	(1)	(1)	(1)	(1)
	(2)	(2)	(2)	(2)
	(3)	(3)	(3)	(3)

3.4 実験方法

3.4.1 測定項目と測定機器

揺動実験における測定項目は、揺動入力、揺動現象、及びレバー操作量等を把握するため、次のとおりとした。

(1) フロント部の加速度

油圧ショベルの揺動は、入力としてのフロント部の回転慣性力に対する出力として生じるもので、本調査では、この入出力の関係を線形システムとして扱っている。この仮定を検定するため、入力指標としてフロント重心位置（空荷重時）における加速度を測定することとした。測定方向はブームを急降下させる際の、接線成分、及び法線成分とした。

(2) 車体変位量

油圧ショベルの動的安定性をオペレータ官能によって評価するにしても、その評価は車体の揺動現象（ピッチング運動）に支配されていると思われる。代表作業パターンによる揺動実験において、容易に車体の揺動現象を測定する方法として本実験では、後部カウンタウェイト部の上下変位量によって代表することとした。

(3) 車体傾斜角

本実験において、油圧ショベルの揺動現象を代表する物理量として、後部カウンタウェイト部の変位量を測定する事としたが、その信頼性の確認のため、ジャイロによる車体傾斜角も併せて測定することとした。測点は座席取付部とした。

(4) オペレータ頭頂加速度

オペレータが動的安定性を評価する場合、その判断基準としては、車体の揺動によって、バケットの位置決めが困難になる、あるいは連続操作が出来なくなるなど作業能率低下の問題と、車体の揺動に伴ってオペレータ自身も揺動運動を起すことによるオペレータの疲労、あるいは操作性の面に表れる問題などが考えられる。本実験において、車体の揺動については前記(2)、(3)の物理量によって代表したが、オペレータの揺動運動を評価する物理量については、オペレータ頭頂加速度を採用する事とした。測定方向は図-3.3に示す。

(5) 座席取付部振動

オペレータの運動を頭頂加速により評価する事にしたが、この場合オペレータによって異なる運動を

する可能性がある。本実験では、オペレータ頭頂加速度と相間の有る物理量として、座席取付部鉛直成分の加速度を採用し、併せて測定する事とした。

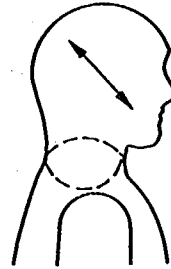


図-3.3 オペレータ頭頂加速度

(6) ブームシリンダ変位量

揺動入力量に影響する因子として、ブーム降下速度（急停止直前速度）があるが、バケット降下速度、バケット内荷重、機関回転速度など機械状態量が、ブーム降下速度におよぼす効果を把握するなど、速度算出のため採用した。

(7) レバー変位量

本実験における揺動入力停止速度によって異なるが、オペレータ操作速度の把握、或いはスペクトル解析時のサンプリング開始信号に利用するため採用した。図-3.4、図-3.5は測定系統図、機器の取付け位置を示す。測定機器は次のとおりである。

- ① 車体変位量 : 差動変圧器形変位計 (200 mm)
- ② フロント加速度 (X成分) : 歪ゲージ式振動加速度計 ($\pm 10G$)
- ③ フロント加速度 (Z成分) : 歪ゲージ式振動加速度計 ($\pm 10G$)
- ④ オペレータ頭頂加速度 : 圧電式振動加速度計 (3 G)
- ⑤ 座席取付部振動 (Z成分) : 歪ゲージ式振動加速度計 ($\pm 10G$)
- ⑥ 車体傾斜角 (ピッチング) : パーチカルジャイロ ($\pm 55^\circ$)
- ⑦ ブームシリンダ変位 : ワイヤ式変位計 (5.0 m)
- ⑧ レバー変位 : 歪ゲージ式変位計 (25 mm)

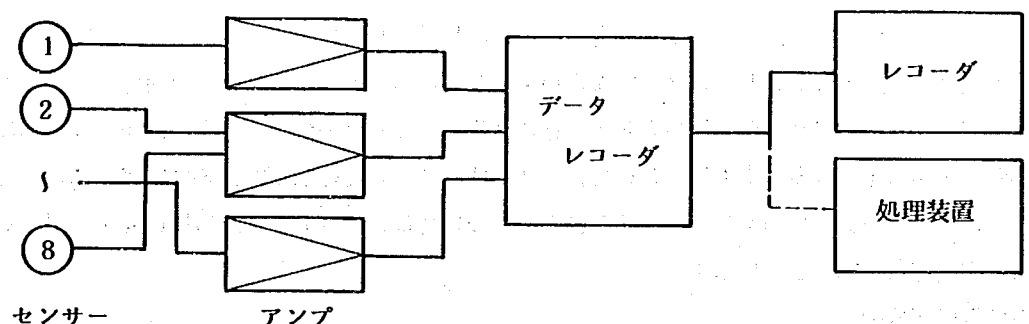


図-3.4 測定系統図

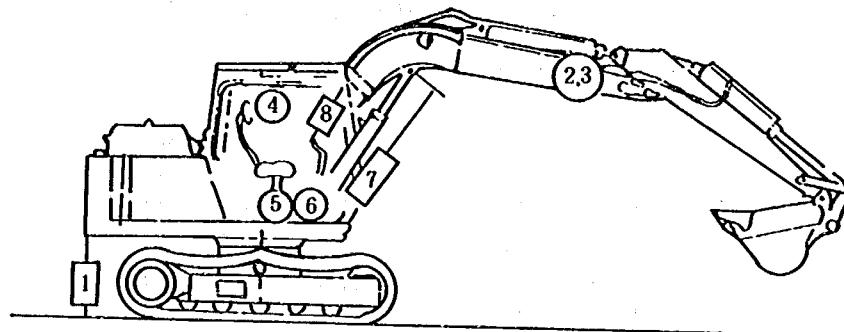


図-3.5 センサーの各部への取付け

3.4.2 実験方法

(1) 入力方法

最大入力が得られる条件とし、最大リーチ、つまりアームシリンダを縮めた状態で、上方よりブーム最大速度急降下させ、水平面近傍で急停止させる方法を採用した。

(2) 地盤条件

本試験は車体のピッチング運動を扱っており、地盤の種類によって衝突損失が大きく異なるため、画一的地盤として強固なコンクリート盤上で行うこととした。この場合、油圧ショベルの主な作業地盤が土上であり、特異な揺動として評価される問題があるが油圧ショベルの動的挙動（ピッチング運動）を線形運動と仮定しており、コンクリート盤上の評価値は実作業においても保持できる。

(3) 実験条件の組合せ

前項 3.3.における試験条件の組合せを表-3.3に示す。

試験条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
試験条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

表-3.3 実験条件の組合せ

実験番号	実験記号	機種 A 1	実験番号	実験記号	機種 A 2
1	A1 B1 C1 D1 E1		101	A2 B1 C1 D1 E1	
2	A1 B1 C2 D1 E1		102	A2 B1 C2 D1 E1	
3	A1 B1 C3 D1 E1		103	A2 B1 C3 D1 E1	
4	A1 B1 C1 D1 E2		104	A2 B1 C1 D1 E2	
5	A1 B1 C2 D1 E2		105	A2 B1 C2 D1 E2	
6	A1 B1 C3 D1 E2		106	A2 B1 C3 D1 E2	
7	A1 B1 C1 D1 E3		107	A2 B1 C1 D1 E3	
8	A1 B1 C2 D1 E3		108	A2 B1 C2 D1 E3	
9	A1 B1 C3 D1 E3		109	A2 B1 C3 D1 E3	
10	A1 B1 C1 D2 E1		110	A2 B1 C1 D2 E1	
11	A1 B1 C2 D2 E1		111	A2 B1 C2 D2 E1	
12	A1 B1 C3 D2 E1		112	A2 B1 C3 D2 E1	
13	A1 B1 C1 D2 E2		113	A2 B1 C1 D2 E2	
14	A1 B1 C2 D2 E2		114	A2 B1 C2 D2 E2	
15	A1 B1 C3 D2 E2		115	A2 B1 C3 D2 E2	
16	A1 B1 C1 D2 E3		116	A2 B1 C1 D2 E3	
17	A1 B1 C2 D2 E3		117	A2 B1 C2 D2 E3	
18	A1 B1 C3 D2 E3		118	A2 B1 C3 D2 E3	
19	A1 B1 C1 D3 E1		119	A2 B1 C1 D3 E1	
20	A1 B1 C2 D3 E1		120	A2 B1 C2 D3 E1	
21	A1 B1 C3 D3 E1		121	A2 B1 C3 D3 E1	
22	A1 B1 C1 D3 E2		122	A2 B1 C1 D3 E2	
23	A1 B1 C2 D3 E2		123	A2 B1 C2 D3 E2	
24	A1 B1 C3 D3 E2		124	A2 B1 C3 D3 E2	
25	A1 B1 C1 D3 E3		125	A2 B1 C1 D3 E3	
26	A1 B1 C2 D3 E3		126	A2 B1 C2 D3 E3	
27	A1 B1 C3 D3 E3		127	A2 B1 C3 D3 E3	
28	A1 B2 C1 D1 E1		128	A2 B2 C1 D1 E1	
29	A1 B2 C2 D1 E1		129	A2 B2 C2 D1 E1	
30	A1 B2 C3 D1 E1		130	A2 B2 C3 D1 E1	
31	A1 B2 C1 D1 E2		131	A2 B2 C1 D1 E2	
32	A1 B2 C2 D1 E2		132	A2 B2 C2 D1 E2	
33	A1 B2 C3 D1 E2		133	A2 B2 C3 D1 E2	
34	A1 B2 C1 D1 E3		134	A2 B2 C1 D1 E3	
35	A1 B2 C2 D1 E3		135	A2 B2 C2 D1 E3	
36	A1 B2 C3 D1 E3		136	A2 B2 C3 D1 E3	
37	A1 B2 C1 D2 E1		137	A2 B2 C1 D2 E1	
38	A1 B2 C2 D2 E1		138	A2 B2 C2 D2 E1	
39	A1 B2 C3 D2 E1		139	A2 B2 C3 D2 E1	
40	A1 B2 C1 D2 E2		140	A2 B2 C1 D2 E2	
41	A1 B2 C2 D2 E2		141	A2 B2 C2 D2 E2	
42	A1 B2 C3 D2 E2		142	A2 B2 C3 D2 E2	
43	A1 B2 C1 D2 E3		143	A2 B2 C1 D2 E3	
44	A1 B2 C2 D2 E3		144	A2 B2 C2 D2 E3	
45	A1 B2 C3 D2 E3		145	A2 B2 C3 D2 E3	
46	A1 B2 C1 D3 E1		146	A2 B2 C1 D3 E1	
47	A1 B2 C2 D3 E1		147	A2 B2 C2 D3 E1	
48	A1 B2 C3 D3 E1		148	A2 B2 C3 D3 E1	
49	A1 B2 C1 D3 E2		149	A2 B2 C1 D3 E2	
50	A1 B2 C2 D3 E2		150	A2 B2 C2 D3 E2	
51	A1 B2 C3 D3 E2		151	A2 B2 C3 D3 E2	
52	A1 B2 C1 D3 E3		152	A2 B2 C1 D3 E3	
53	A1 B2 C2 D3 E3		153	A2 B2 C2 D3 E3	
54	A1 B2 C3 D3 E3		154	A2 B2 C3 D3 E3	

3.5 実験結果

3.5.1 各信号の波形と測定値

(1) 車体変位

前方作業姿勢、及び側方作業姿勢における車体変位波形の一例を図-3.6、図-3.7に示す。前方作業姿勢における揺動は振幅が大きく、減衰率も小さい滑らかな波形である。この車体変位波形は、

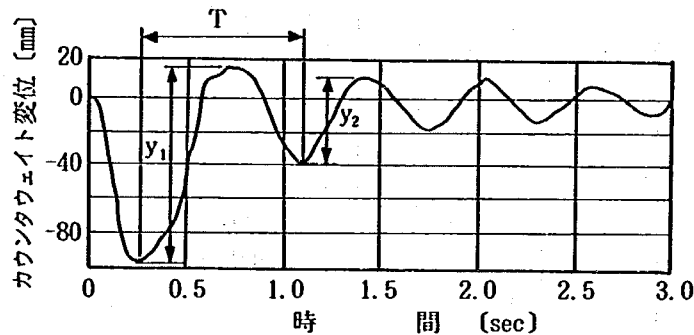


図-3.6 前方作業姿勢の車体変位波形

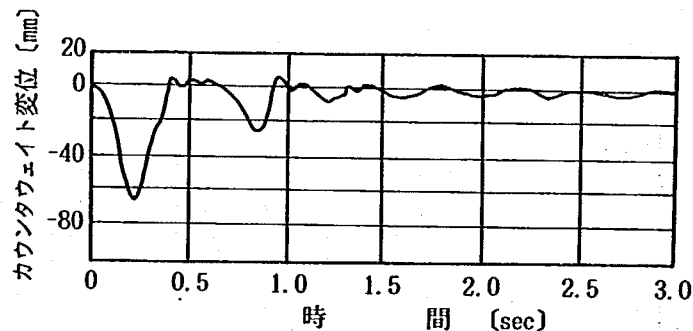


図-3.7 側方作業姿勢の車体変位波形

粘性抵抗力をうけて減衰する減衰自由振動波形と類似しており、このような波形は最大変位量と減衰速度で記述出来る。測定値は両振幅とし、安定性が問題になるとされる第2波までとした。第1波 y_1 、第2波 y_2 、周期 T とすると、最大変位量 ($\delta_{\max}$)、減衰速度 (λ_v) は次式で表わされる。

$$\text{最大変位量 } (\delta_{\max}) = y_1$$

$$\text{減衰速度 } (\lambda_v) = y_1 / y_2 T$$

側方作業姿勢における揺動は、地盤との衝突によるエネルギー損失が大きいため、減衰率が大きく、また揺動量も比較的小さい。従って、側方作業姿勢における揺動に関しては、減衰速度による作業能率低下等の問題は前方作業姿勢に比較して少ないと思われる。よって最大変位量 ($\delta_{\max}$) のみ計測することとした。

(2) フロント加速度

フロント重心位置における接線成分、法線成分の加速度波形を図-3.8に示す。揺動入力 α は、接線成分(α_t)と法線成分(α_n)の合成値であり、次式で求めることとした。

$$\alpha = (\alpha_t^2 + \alpha_n^2)^{\frac{1}{2}}$$

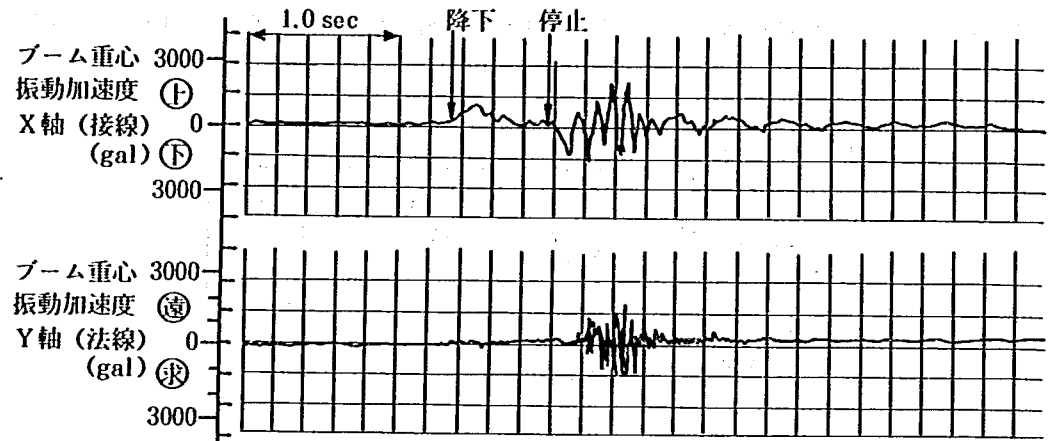


図-3.8 フロント加速度

(3) オペレータ頭頂加速度

図-3.9にオペレータ頭頂加速度波形を示す。測定値は、最大加速度(±のピーク値)とした。

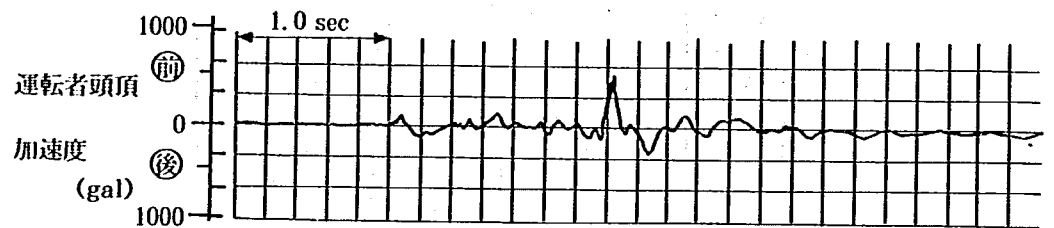


図-3.9 オペレータ頭頂加速度

(4) ブームシリンダ変位

ブームシリンダ変位波形の一例を図-3.10に示す。シリンダは定速運動であり、同一機種のブーム速度は、次式のシリンダ速度と定比関係にある。

$$V_c = \delta_c / T_c$$

但し

V_c : シリンダ速度

δ_c : シリンダ変位量

T_c : ブームシリンダ降下時間

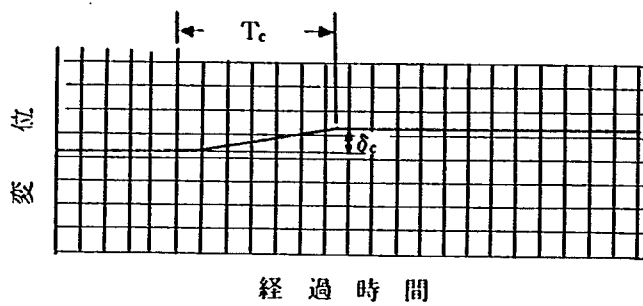


図-3.10 ブームシリンダ変位

(5) レバー変位

ブームレバー操作のタイムチャートを図-3.11に示す。但し、図中の T_1 , T_2 , T_3 は次を示す。

T_1 : ブーム降下操作時間

T_2 : ブーム降下時間

T_3 : ブームブレーキング時間

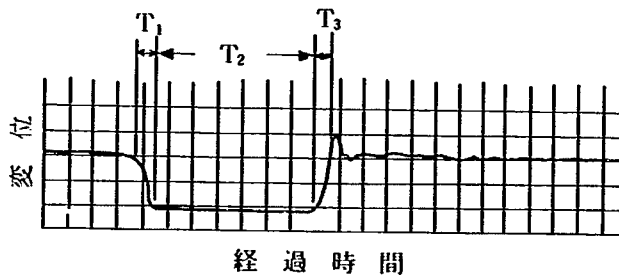


図-3.11 ブームレバー操作のタイムチャート

3.5.2 各信号のスペクトル

図-3.12～図-3.15は、各信号のパワースペクトルを示す。但し、A/D変換時のサンプリング条件は次のとおりである。

機 種	0.25 m ²	0.7 m ²
標本点数 (N)	256 個	256 個
標本点間隔 (Δt)	0.01sec	0.015sec
継続時間 (T)	2.56sec	3.84sec

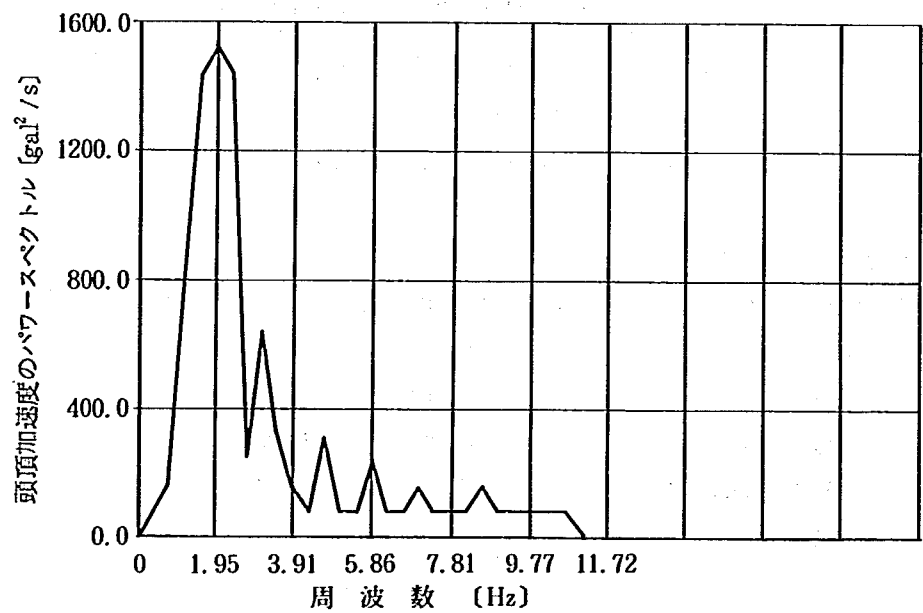
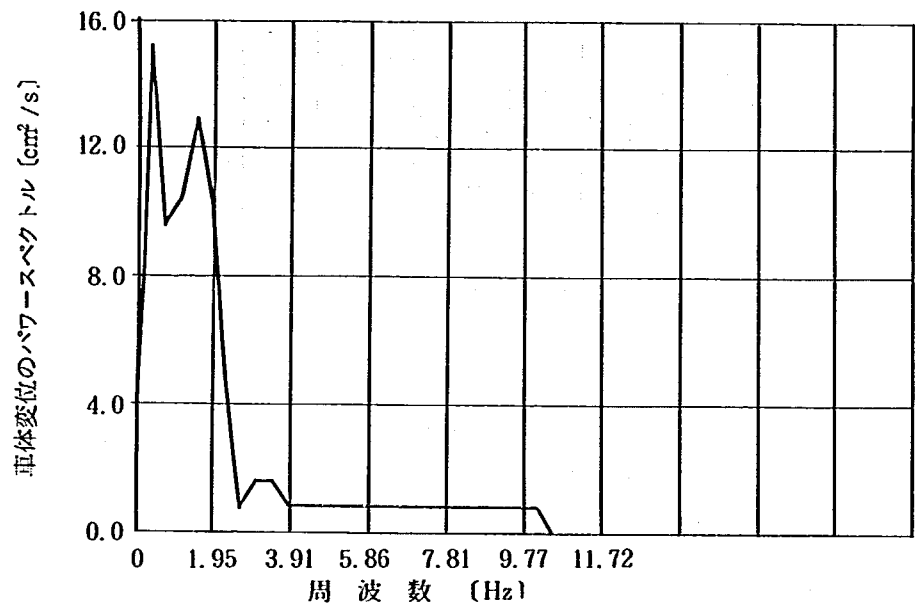


図-3.12 各信号のパワースペクトル
(機種：0.25m²，作業姿勢：前方)

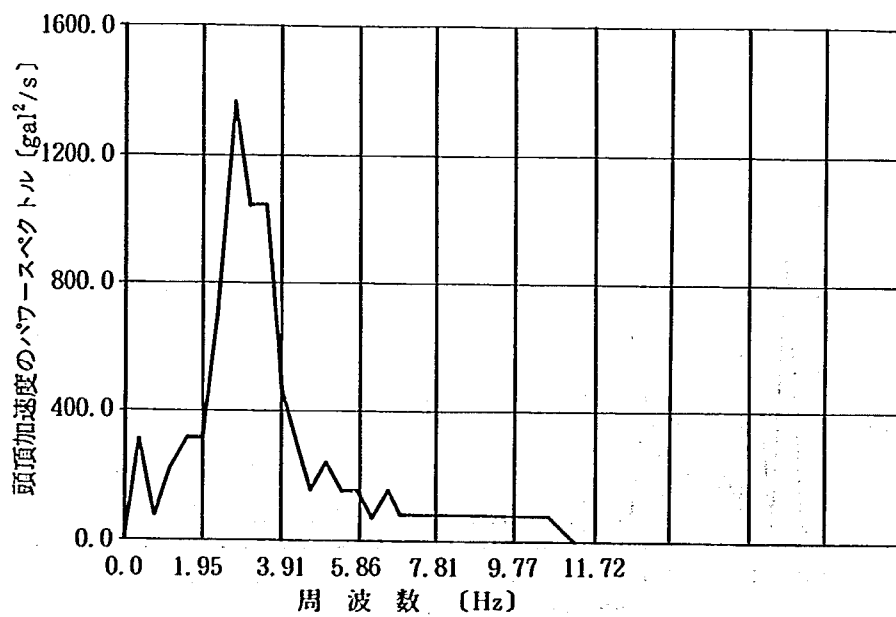
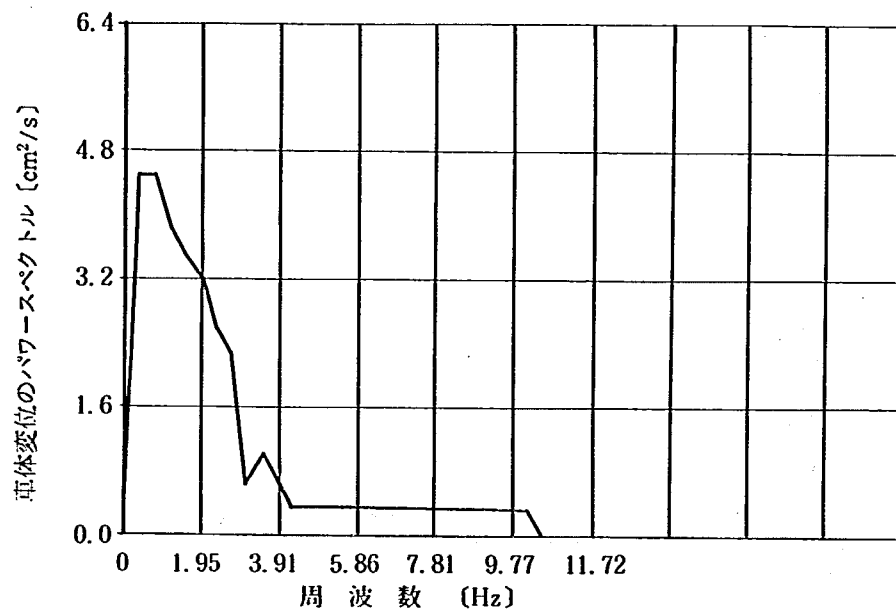


図-3.13 各信号のパワースペクトル

(機種: 0.25m³, 作業姿勢: 側方)

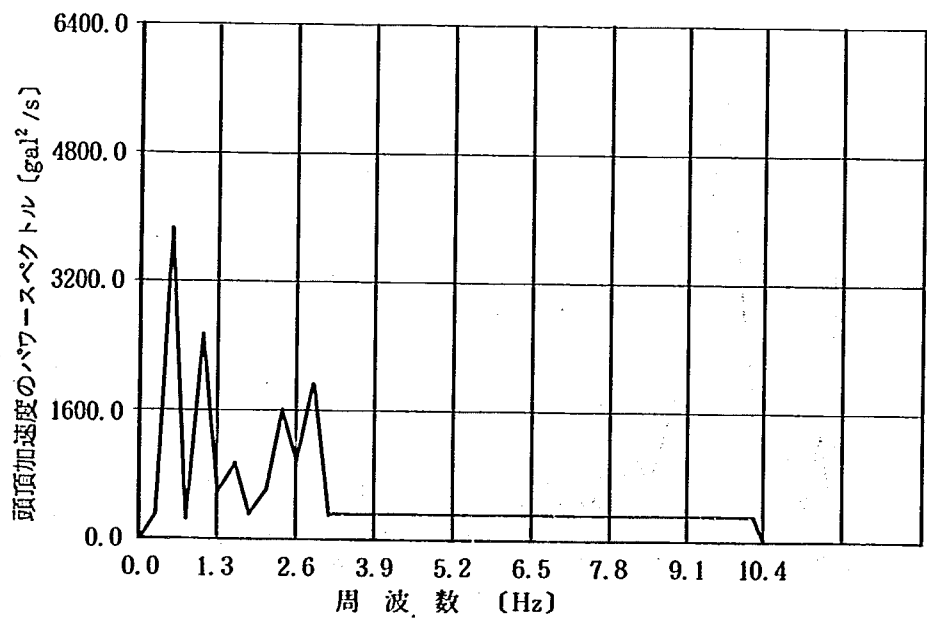
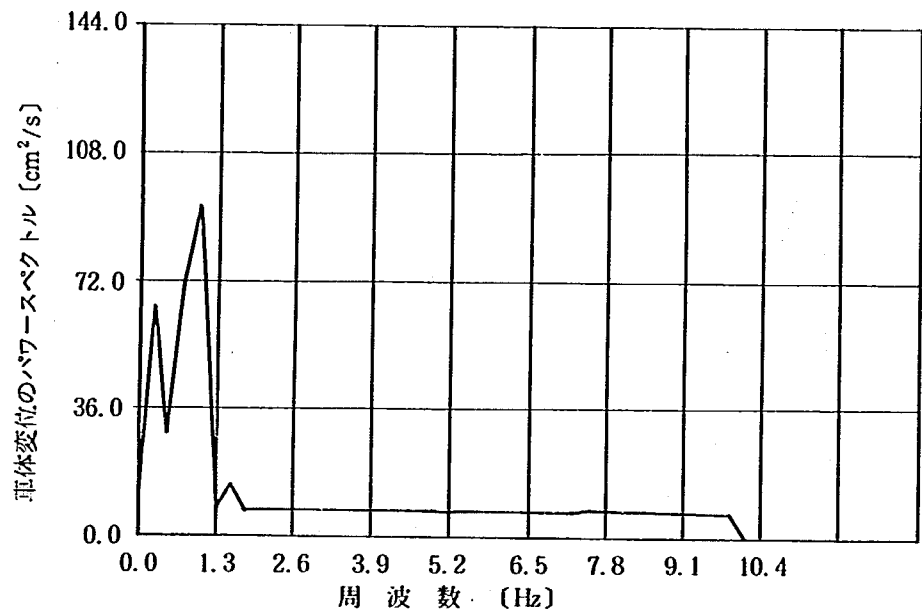


図-3.14 各信号のパワースペクトル

(機種：0.70m², 作業姿勢：前方)

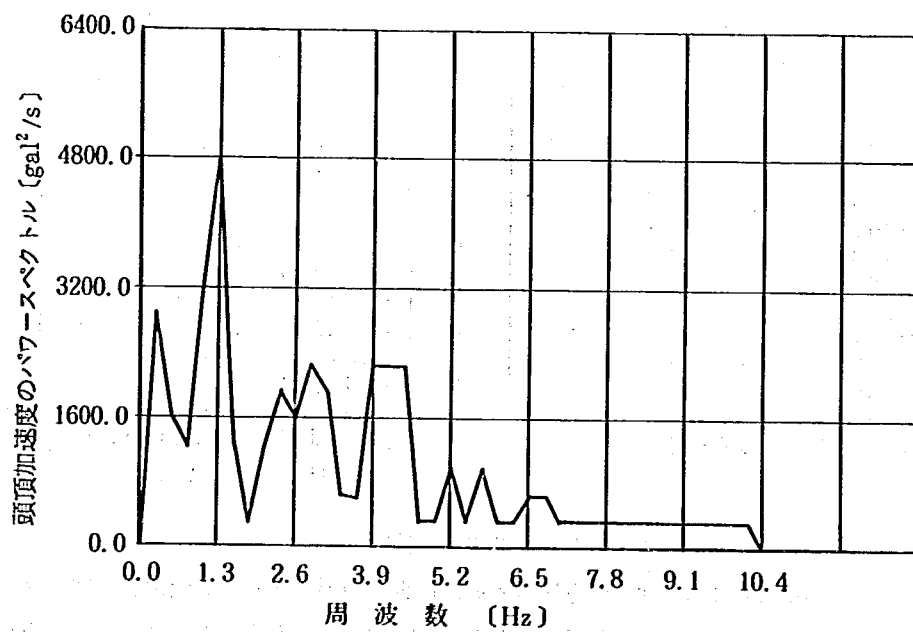
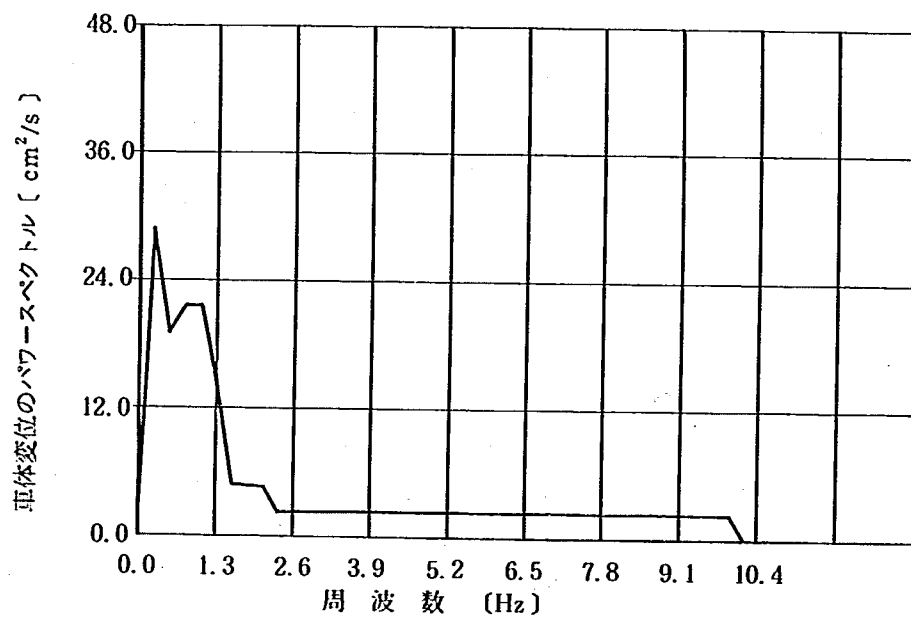


図-3.15 各信号のパワースペクトル

(機種: 0.70m, 作業姿勢: 側方)

3.6 解 析

3.6.1 作業姿勢

前方作業姿勢、及び側方作業姿勢における揺動現象は図-3.6、図-3.7に示すように異っているが、両作業姿勢での車体変位、及びオペレータ頭頂加速度のパワースペクトルはほぼ同一成分であることがわかった。(図-3.12~図-3.15参照)従って、動的安定性は揺動量が大きく、減衰率が小さい程問題となるため、オペレータが実作業において油圧ショベルの動的安定性を評価する場合、主に前方作業姿勢での揺動を評価しているものと思われる。

3.6.2 実験要因の効果

(1) 車体変位のパワースペクトルに影響する要因

表-3.4は0.25m³油圧ショベル(前方作業姿勢)車体変位のパワースペクトルについての分散分析結果を示す。但し、主な成分は0.39~1.95Hzである。表-3.5は0.7m³油圧ショベル(前方作業姿勢)車体変位のパワースペクトルについての分散分析結果を示すものである。但し、主な成分は0.26~1.04Hzである。表より、車体変位のパワースペクトルに影響する主要因はバケット内荷重(要因C)で、機種によって機関回転速度(要因D)の影響を受けることがわかる。バケット降下高さ(要因B)については、機種により有意差が認められるが、一般にその影響は小さい。

表-3.4 車体変位パワースペクトルの分散分析結果
(機種：0.25m³、作業姿勢：前方)

周波数 (Hz)	B	C	D
0.3906300	*	**	*
0.7812600	*	**	**
1.1718893	*	**	**
1.5625200		**	
1.9531498		**	
2.3437796		**	
2.7344093		**	
3.1250401	*	**	
3.5156698	**	**	
3.9062996	*		

但し *は有意水準5%で有意

**は " 1% "

表-3.5 車体変位パワースペクトルの分散分析結果
(機種：0.70m³、作業姿勢：前方)

周波数 (Hz)	B	C	D
0.2604200		**	
0.5208400		**	
0.7812601		**	
1.0416794		**	
1.3030992		**	
1.5625200		**	
1.8229399	**	**	
2.0833597		**	
2.3437796		**	
2.6041994		*	

但し *は有意水準5%で有意

**は " 1% "

(2) オペレータ頭頂加速度のパワースペクトルに影響する要因

表-3.6は、0.25m³油圧ショベル(前方作業姿勢)に乗車時のオペレータ頭頂加速度パワースペクトルの分散分析結果を示す。但し、主な成分は0.78~2.73Hzである。表-3.7は、0.7m³油圧ショベル(前方作業姿勢)に乗車時の分散分析結果を示す。但し、主な成分は0.26~3.12Hzである。表より、オペレータ頭頂加速度のパワースペクトルに影響する主要因はバケット内荷重(要因C)で、バケット降下高さ(要因B)による影響はないことがわかる。この結果は、車体変位のパワースペクトル分散分析結果と一致する。しかし、機関回転速度(要因D)については車体変位のパワースペク

表-3.6 頭頂加速度パワースペクトルの
分散分析結果
(機種: 0.25m³, 作業姿勢: 前方)

周波数 (Hz)	B	C	D
0.3906300			
0.7812600		**	
1.1718893		**	
1.5625200		**	
1.9531498	*	**	
2.3437796		**	
2.7344093		**	*
3.1250401		*	
3.5156698	**		
3.9062996			

但し, *は有意水準5%で有意
**は " 1% "

表-3.7 頭頂加速度パワースペクトルの
分散分析結果
(機種: 0.70m³, 作業姿勢: 前方)

周波数 (Hz)	B	C	D
0.2604200			
0.5208400	**	*	**
0.7812601		**	
1.0416794		**	
1.3020992			
1.5625200			*
1.8229399		**	
2.0833597			
2.3437796			**
2.6041994		**	**

但し, *は有意水準5%で有意
**は " 1% "

トル分散分析結果とは異なる傾向が0.7 m³の油圧ショベルの要因効果に認められる。このパワースペクトル(図-3.12参照)は、ピッチング周波数と2.6Hz付近でのパワーが卓越しており、2.6Hz付近のパワーが機関回転速度の影響を受けているものと思われる。一般に車体の揺動量が小さい油圧ショベルに乗車した場合、オペレータは車体のピッチングに追従して運動し、この場合オペレータ頭頂加速度のパワースペクトルは、ピッチング周波数付近で高いパワーを生じる。しかし、車体揺動が大きい油圧ショベルに乗車した場合、オペレータは自身の姿勢を維持するため、車体揺動とは異なる運動をする傾向にある。従って、車体変位が機関回転速度の影響を受けていない点を考慮すれば、2.6 Hz 付近の要因効果は、むしろオペレータの運動の変動幅によるものと思われる。

(3) 最大変位量に影響する要因

表-3.8は前方作業姿勢における最大変位量の分散分析結果を示すものである。両機種とも最大変位量に影響する要因はバケット内荷重(要因C)のみであり、バケット降下高さ(要因B)、機関回転速度(要因D)による効果は認められない。バケット内荷重の増加に伴って、最大変位量は大きくなる傾向にある。

表-3.8 最大変位量の分散分析結果
(作業姿勢: 前方)

機種	要因	最大変位 (y_1)
A (0.25)	B	
	C	**
	D	
B (0.70)	B	
	C	**
	D	

但し、
**は有意水準1%で

表-3.9 減衰速度の分散分析結果
(作業姿勢: 前方)

機種	要因	減衰速度 (y_1/y_2T)
A (0.25)	B	
	C	**
	D	**
B (0.70)	B	
	C	**
	D	*

但し、
*は有意水準5%で
**は有意水準1%で

(4) 減衰速度に影響する要因

バケット内荷重（要因C）については、両機種とも有意水準1%で有意差が認められる。（表-3.9参照）これはバケット内荷重によって揺動周期が影響を受けるため、バケット内荷重の増加に伴って、減衰速度は遅くなる傾向にある。機関回転速度（要因D）については、0.25m³油圧ショベルが有意水準1%、0.7m³油圧ショベルについては、有意水準5%で有意差が認められる。これは機関回転速度が減衰率（ y_1/y_2 ）に影響するため、機関回転速度を上げた場合、減衰速度は遅くなる傾向にある。バケット降下高さ（要因D）については、両機種とも有意差は認められず、どの高さより降下しても減衰速度は一定である。

3.6.3 物理量間の関係

(1) 車体変位とオペレータ頭頂加速度の関係

車体変位とオペレータ頭頂加速度の関係を検討するため、各実験で得られた両物理量のパワースペクトルについて回帰分析を行った。図-3.16は0.25m³油圧ショベル乗車時の、ピッチング周波数における回帰分析結果を示すものである。図より両物理量のパワースペクトルには相関があり、線形システムが成立することがわかる。次に各周波数成分について回帰分析を行った結果を図-3.10に示す。表より主要周波数領域においては、危険率1%で有意性があり、高い相関があることが認められる。

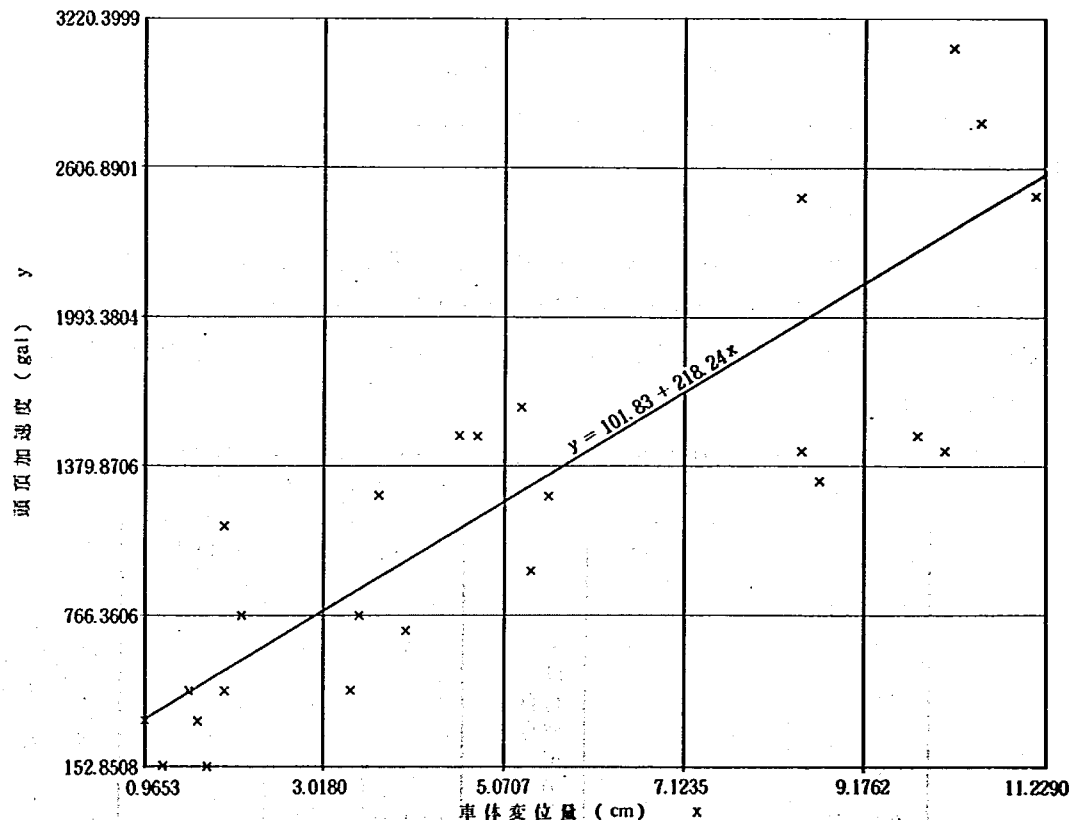


図-3.16 車体変位と頭頂加速度の関係

表-3.10 各周波数での回帰分析結果
(車体変位×頭頂加速度, 機種: 0.25m²)

周波数 (Hz)	有意性
0.39	
0.78	**
1.17	**
1.56	**
1.95	**
2.34	**
2.73	**
3.13	**
3.52	
3.91	

表-3.11 各周波数での回帰分析結果
(車体変位×頭頂加速度, 機種: 0.7m²)

周波数 (Hz)	有意性
0.26	
0.52	
0.78	**
1.04	**
1.30	**
1.56	
1.82	**
2.08	**
2.34	**
2.60	**
2.86	**
3.13	*
3.39	
3.65	
3.91	

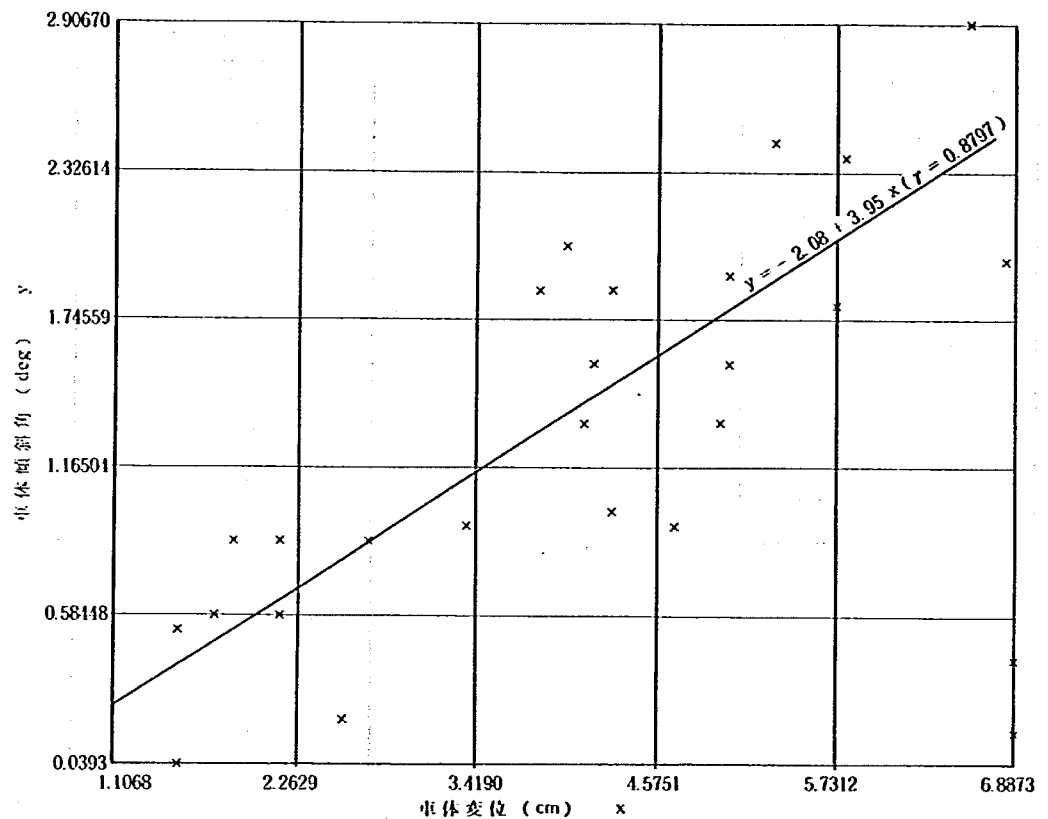
同様に 0.7 m²油圧ショベルに乗車時の回帰分析結果を表-3.11に示す。

(2) 車体変位と車体傾斜角

車体のピッチング現象を計測するには、ジャイロによって車体傾斜角を計測する方法と、変位計によって車体変位を計測する方法が考えられる。しかし、ジャイロは高価な計測器であり、一般には変位計によって計測しているのが現状である。本実験ではバーチカルジャイロを基準計測器とし、変位計の応答性について検討を行った。図-3.17は、0.25m²油圧ショベルのピッチング周波数における車

表-3.12 各周波数での回帰分析結果
(車体変位×車体傾斜角, 機種: 0.25m²)

周波数 (Hz)	有意性
0.39	**
0.78	**
1.17	**
1.56	**
1.95	**
2.34	**
2.73	**
3.13	*
3.52	**
3.91	



図－3.17 車体変位と車体傾斜角の関係

体変位と車体傾斜角のパワースペクトルの回帰分析結果である。表－3.12は各周波数領域での回帰分析結果を示す。これらより，車体のピッチング現象は変位計によって計測しても支障のないことがわかる。

(3) フロント停止速度と車体変位

揺動現象に影響を与える油圧ショベルの状態量は，バケット内荷重で，他の要因効果は認められなかった。しかし，表－3.4の測定結果では，同一バケット内荷重においても揺動現象はふらつきを生じていることがわかる。油圧ショベルの揺動は，フロントの停止速度によって異なるため，実験では急停止操作によって停止速度の分散を極力避けることにした。しかし，この方法でも表－3.4のブレーキング時間 (T_3) に示すように，一定の停止速度を得ることは困難なことである。本調査では，フロント停止速度の分散が揺動現象に与える影響の程度を検討するため，ブレーキング時間 (T_3) とフロント加速度 (α) の関係，及びフロント加速度 (α) と最大変位量 (δ_{max}) の関係を調査した。図－3.18に 0.25m油圧ショベル揺動実験時（前方作業姿勢）のブレーキング時間とフロント加速度の関係を示す。停止速度が速い場合，フロント加速度は増加する傾向にあるが，ブレーキング時間が 0.12 (sec) 以内では，フロント加速度はほぼ一定となる。次に，揺動入力フロント加速度と最大変位量（図－3.19に示す。図はバケット内荷重別に分類したものである。図より，フロント

加速度と最大変位量は定比関係にあるが、1600 (gal)以上の領域では最大変位量はフロント加速度の影響を受けない。以上の結果より、再現性のある揺動現象の試験方法を確立するには、この機種に関してはブレーキング時間を0.12 (sec) 以内にする必要がある。

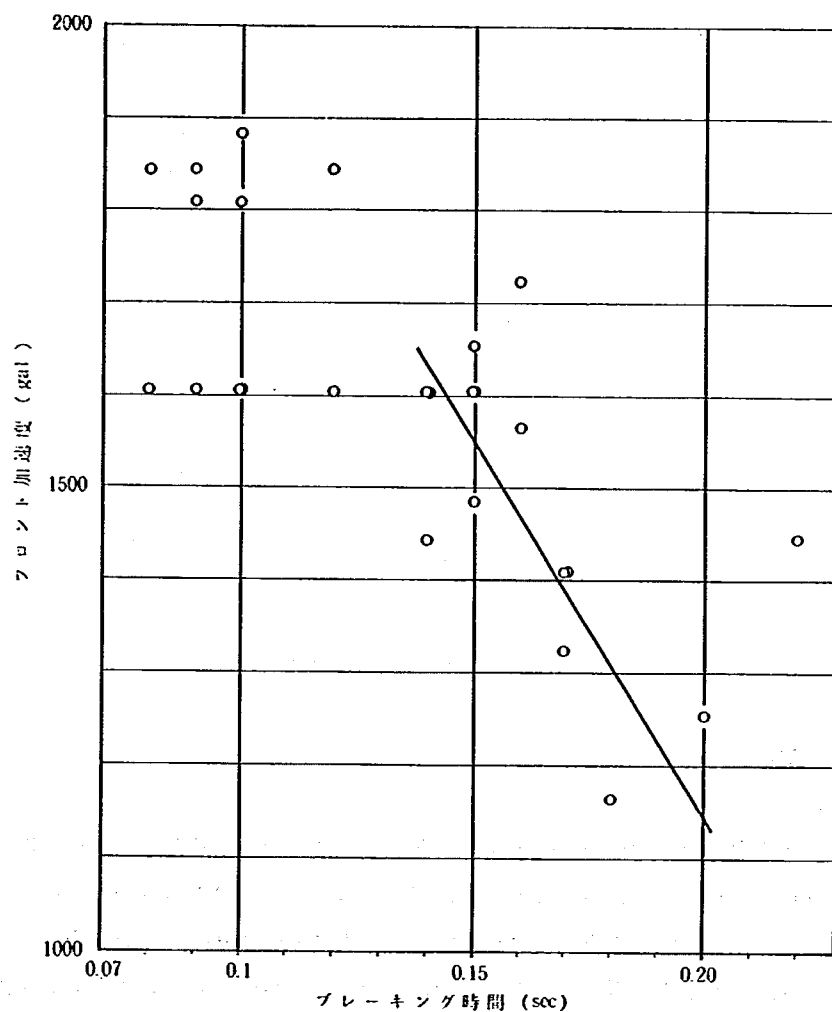


図-3.18 ブレーキング時間とフロント加速度の関係

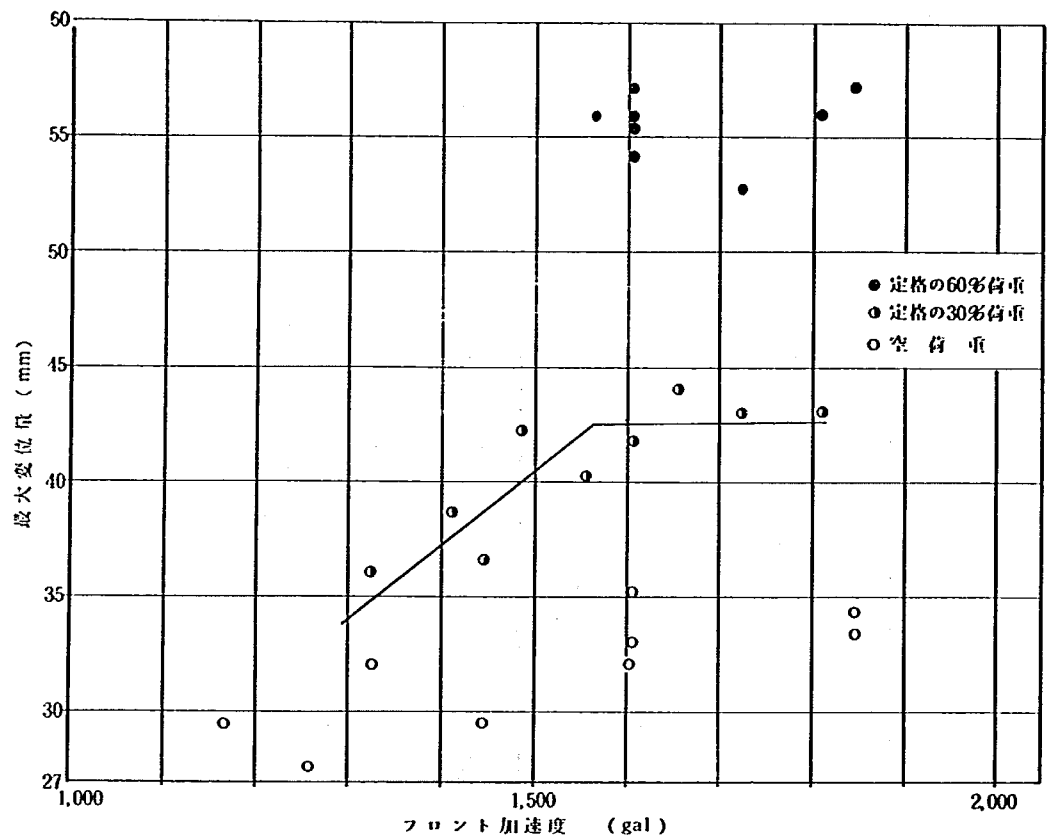


図-3.19 フロント加速度と最大変位量の関係

3.7 提案する試験方法

1) 試験方法の概要

本調査では、動的安定性の定量的評価手法を確立する上での第一段階として、揺動現象の測定法と評価方法を検討してきた。入力方法の決定については、各機種固有の入力値が得られ、かつオペレータの操作誤差を少なくする方法を主眼に検討した結果、最大リーチ状態のフロントを急降下、急停止によって駆動力を与える方法を採用した。作業姿勢については、車体揺動の周波数成分が両作業姿勢（前方、及び側方）とも同一成分であり、動的安定性が劣る前方作業姿勢（揺動量が大きく、減衰速度が遅い）における揺動で評価することとした。また車体揺動に影響する油圧ショベルの状態量は、バケット内荷重と機関回転速度であり、バケット降下高さによる影響は認められなかった。従って試験条件として規定する必要がある状態量は、バケット内荷重と機関回転速度である。バケット内荷重については、実作業における入力状態を考慮すれば、定格荷重が好ましいと思われる。機関回転速度については、試験の容易性を考慮しフルスロットルとした。ピッチング運動という物理量と官能評価による心理量の関係を把握するには、オペレータの心理量に影響を与える物理量を検討する必要がある。実験結果より、これらの物理量を支配するのは車体揺動であり、またこの波形は粘性抵抗力をうけて減衰する減衰自由振動波形と類似している。従って車体揺動は、最大変位量と減衰速度で記述出来る

ことがわかった。以上の検討結果より、次の試験方法を提案した。

油圧ショベルの動的安定性試験方法（案）

1. 目 的

この試験方法（案）は、クローラ式油圧ショベル（バケット平積み容量 0.2～2.5 m³）の作業時の揺動現象を測定し、これを評価するために定めるものである。

2. 用語の意味

動的安定性

ここでいう動的安定性は、機械の転倒、転落など接地位置の不可逆的变化を意味するものではない。作業時に生じる周期の長い振動（揺動）を指し、したがって動的安定性を問題にする視点は油圧ショベル運転員の保護を考える視点のひとつである。

揺動現象

この試験方法が対象とするのは油圧ショベルの揺動現象であり、この揺動現象は、周波数が 3Hz 以下の振動現象を意味する。揺動の測定量は揺動現象（ピッチング）、あるいは揺動に伴う機械特定部の振幅とし、揺動の速度や加速度は測定量としない。また表示測度は、機械の重心位置に換算した時の揺動角度とする。

3. 動的安定性の試験要領⁶⁾

3.1 機械の状態

試験を行う掘削機は、全装備状態で行う。各油圧機器の設定圧力は諸元表に記載した圧力に調整し、作動油温度は 50℃ 以上とする。ただし燃料は 2/3 以上とする。

1) 機関回転速度

機関回転速度は定格回転速度とする。

2) バケット内の荷重

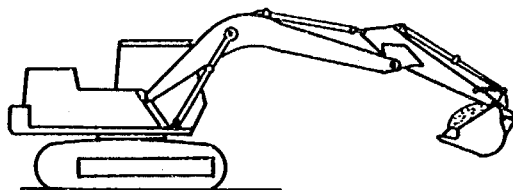
標準バケット容量（平積み）× 1.8 に相当する重量を積載する。

3.2 試験要領

試験は次の要領で行う。

1) 機械の設置

機械は平らでかつ水平な舗装盤上に設置する。なお機械の姿勢は図－3.20に示す前方作業姿勢とする。



図－3.20 油圧ショベル（前方作業姿勢）

2) 試験方法

アームを完全に押出した状態でバケットを最大高さ付近から急速に降下させ、バケットフットピンがブームフットピンの高さと同じ位になった時に急停止させる。この急速降下、急停止の操作はブームシリンダ操作レバーのみで行う。レバー操作を運転員が行う場合、急速降下時にはレバーストローク最大点で行い、急停止ではこれをできるだけ速く中立点（不感帯を含む）に戻すこと。この時、レバー操作が中立点とその不感帯を超過してはならない。なおストローク最大点から中立点までの操作時間は 0.15 (sec) 以内とする。

3) 試験回数

試験は多数回実施し、このうち操作誤差の少ない安定した試験結果を 5 回以上得、これを平均する。

4. 測定

試験時のピッチングモーションを測定する。測定の対象となる揺動現象は $0.3 \sim 8 \text{ Hz}$ とし、ピッチングの角度あるいはこれを表示する量を測定する。測定例を図-3.21に示すが、このような場合は S_1, S_2 、 T を測定する。

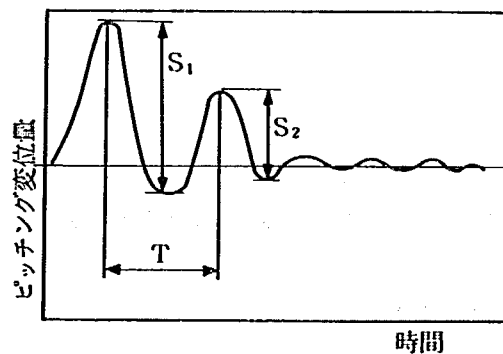


図-3.21 測定例

4. 油圧ショベルの揺動現象の調査

4.1 調査の概要

油圧ショベルの動的安定性の評価に関する物理量（揺動現象）の調査、測定方法については3.7項で示したとおりである。本章に示す調査は、油圧ショベルの運転員に対する意識調査（心理空間の計測）と平行して実施するもので、《“どのような揺動特性”を持つ油圧ショベルを使用する運転員が、この揺動特性に対して、“どのような意識”を持つか》を分析するためのパラメータ調査に相当するものである。（物理量と心理量の結合は油圧ショベルの実在を媒介とする）

実際の調査は、油圧ショベルメーカーの協力を得て、表-4.1に示す25機種の油圧ショベルを対象に実施した。

4.2 調査対象機械

表-4.1(a)に調査対象とした油圧ショベルの仕様諸元を示す。表中のA, B, C, …… 等で示される寸法は、図-4.1中のA, B, C, …… , に対応するものである。

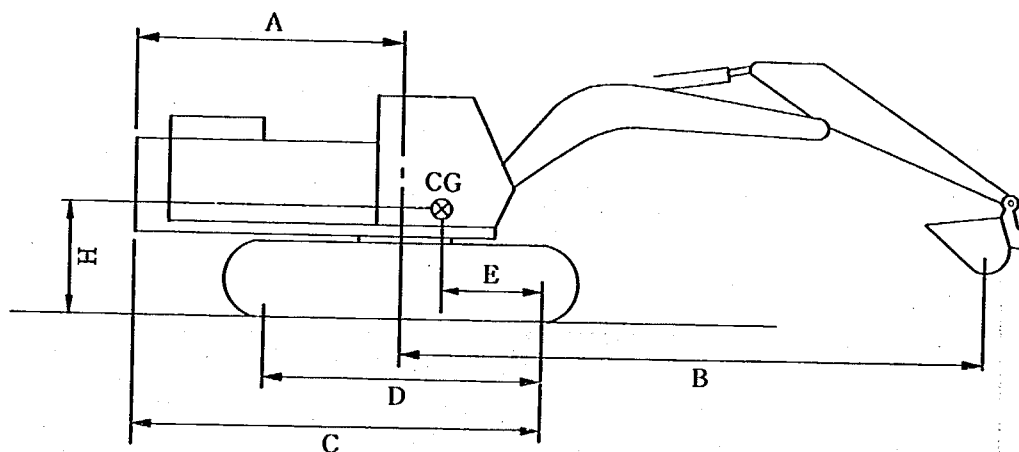


図-4.1 油圧ショベルの寸法

4.3 調査結果

揺動現象（ピッチング、あるいはロッキング）は、車体後部カウンタウエイト部の変位量で計測した。計測器の系統は図4.2に示すとおりである。揺動測定用の変位計は、差動トランス形変位計（200mm）、ブームレバー操作量測定用の変位計は歪ゲージ式変位計（25mm）である。調査では、各機械ごとに、3.7の試験要領に適合した条件で5回以上試行し、その平均と以って揺動現象を表示することにした。実際の揺れ方は、試行ごとのばらつきはほとんどないが、機械ごとについては微妙に違っており、この意味からも各機械ごとの揺動現象の実測例をその変位波形として示している。表-4.2は、揺動現象の

表-4.1 試験機種一覧表

No.	機械名称	総重量 (kg)	バケット容量		バケット 積荷(kg)	機関出力 (PS)	寸法諸元 (mm)					
			平 (m²)	山 (m²)			A	B	C	D	E	F
1	A	6,800	0.22	0.25	400	55	1,650	4,750	2,670	2,040	845	955
2	B	6,400	0.22	0.25	410	53	1,650	5,000	2,650	2,000	858	675
3	C	10,900	0.35	0.4	630	93	2,024	5,710	3,244	2,440	1,003	1,185
4	D	12,200	0.34	0.4	600	90	2,050	6,030	3,445	2,790	999	1,377
5	E	10,800	0.35	0.4	640	90	2,075	7,170	3,335	2,520	1,550	1,100
6	F	12,700	0.35	0.4	640	90	2,075	7,170	3,425	2,700	1,630	1,170
7	G	10,900	0.34	0.4	610	83	2,130	5,450	3,350	2,440	1,158	990
8	H	10,600	0.35	0.4	630	74	2,090	5,720	3,270	2,360	1,008	1,030
9	I	12,900	0.35	0.4	630	74	2,090	5,720	3,440	2,700	1,210	1,080
10	J	11,900	0.4	0.45	700	94	2,080	7,170	3,385	2,610	1,545	1,150
11	K	11,900	0.39	0.45	700	90	2,130	5,960	3,435	2,610	1,199	1,015
12	L	15,700	0.52	0.6	810	93	2,440	6,870	3,895	2,910	1,255	1,210
13	M	11,800	0.4	0.45	680	80	2,130	6,360	3,435	2,610	1,037	1,100
14	N	14,300	0.47	0.55	820	85	2,415	6,535	3,762	2,695	1,204	1,200
15	O	19,100	0.65	0.7	1,150	105	2,596	7,730	4,151	3,110	1,191	1,310
16	P	18,800	0.6	0.7	1,100	105	2,730	7,790	4,290	3,120	1,357	1,270
17	Q	19,400	0.6	0.7	1,080	110	2,750	7,950	4,300	3,100	1,960	1,400
18	R	18,500	0.6	0.7	1,080	105	2,700	7,890	4,248	3,095	1,363	1,260
19	S	19,200	0.6	0.7	1,080	110	2,700	7,890	4,438	3,475	1,580	1,250
20	T	18,500	0.6	0.7	1,080	105	2,650	8,660	4,205	3,110	1,313	1,090
21	U	22,200	0.78	0.85	1,450	123	2,755	7,920	4,390	3,270	1,319	1,361
22	V	23,800	0.8	0.9	1,450	155	3,030	8,220	4,715	3,370	1,465	1,361
23	W	24,200	0.8	0.9	1,440	138	2,900	8,200	4,540	3,280	2,090	1,480
24	X	27,300	0.87	1.0	1,620	164	3,010	8,500	4,835	3,650	1,588	1,410
25	Y	23,000	0.75	0.9	1,350	137	2,850	7,800	4,485	3,270	1,371	1,070

表 - 4.2 試験結果一覧表

No	レバー操作 時 (S)	周 期 (S)	後端変位 (mm)		ピッチング角度(度)		対 数 減衰率	備 考
			第一波	第二波	第一波	第二波		
1		0.97	158	66	3.39	1.42	0.87	
2	0.12	0.92	138	59	2.98	1.28	0.85	
3	0.11	1.03	155	65	2.74	1.15	0.87	
4	0.11	0.94	133	46	2.21	0.77	1.06	
5	0.12	1.30	264	151	4.54	2.59	0.56	
6	0.11	1.18	245	127	4.10	2.12	0.66	
7		1.05	204	90	3.49	1.54	0.82	
8	0.12	1.16	182	127	4.94	2.23	0.80	
9	0.14	1.01			5.35	2.07	0.95	
10	0.12	1.26	300	153	5.08	2.59	0.67	
11	0.09	1.89	600	262	10.02	4.37	0.83	
12	0.10	1.31	292	120	4.30	1.77	0.89	
13	0.08	1.22			4.67	3.12	0.40	
14	0.11	1.27	289	160	4.40	2.44	0.59	
15	0.11	1.40	256	95	3.53	1.31	0.99	
16	0.10	1.38	325	173	4.34	2.31	0.63	
17	0.13	1.21	219	106	2.92	1.41	0.73	
18	0.13	2.19	803	387	10.85	5.22	0.73	
19	0.12	1.37	299	106	3.86	1.37	1.04	
20	0.13	1.18	207	112	2.82	1.53	0.61	
21	0.10	1.38	236	102	3.08	1.33	0.84	
22	0.08	1.33	257	145	3.12	1.76	0.57	
23	0.14	1.21	169	78	2.13	0.98	0.77	
24	0.13	1.33	193	95	2.29	1.13	0.71	
25	0.12	1.28	313	156	4.00	1.99	0.70	

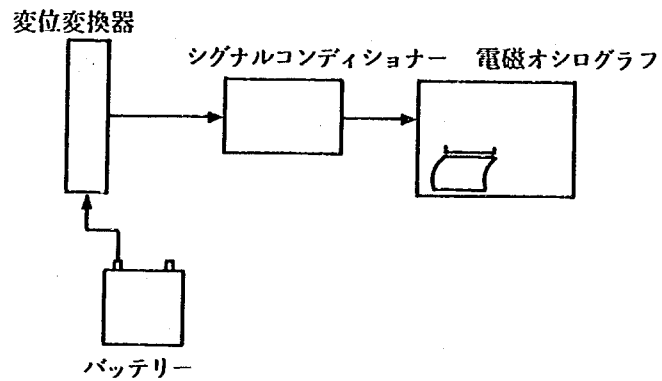


図-4.2 測定器の接続系統

表示値を、揺動周期、揺動変位、および対数減衰についてまとめたものである。図-4.3～4.5は、これらの揺動現象の物理量を油圧ショベルのサイズ（本体質量）との関係で示したものである。図が示すところによると、揺動の周期は、わずかながらではあるが、本体質量が大きくなるに従って、長くなる傾向があるものの、揺動の角度、対数減衰率は本体質量とはあまり関係がないことがわかる。機械質量と揺動角度の回帰関係が負となっているが、機械が大きくなる程、運転員の着座高さが高くなり、運転員の頭頂変位では逆の関係になる。いずれにしろ、揺動現象の物理量は機械の大きさによらず良く似ており、これは油圧ショベルの形や能力がほぼ相似に近いことからもうかがい知ることができる。

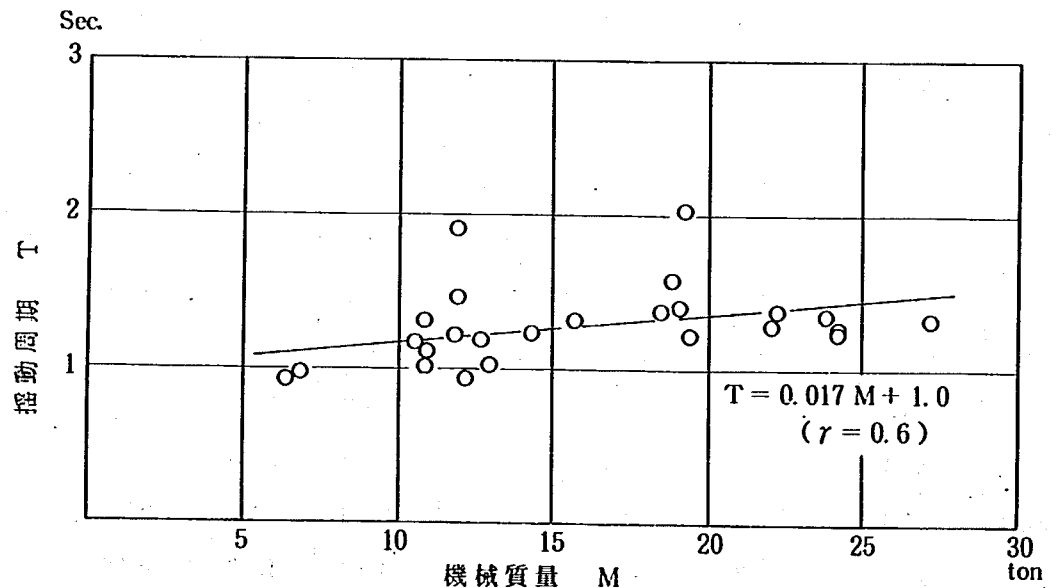


図-4.3 機械質量と揺動周期の関係

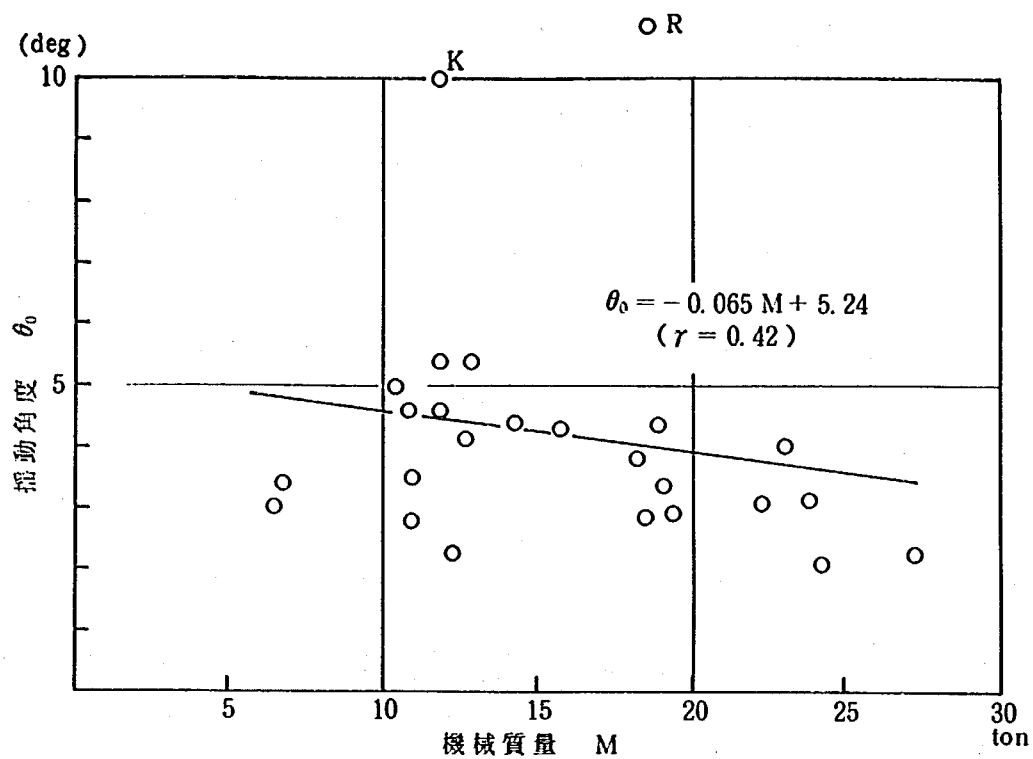


図-4.4 機械質量と揺動角度

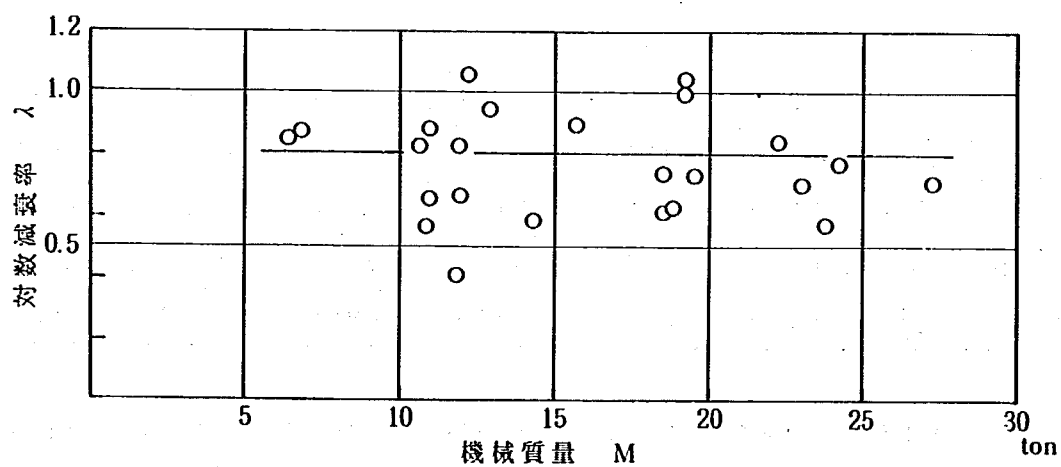


図-4.5 機械質量と対数減衰率

4.4 油圧ショベルの揺動現象の主成分分析

4.4.1 物理測定の空間

表 4.3 は、油圧ショベルの揺動現象を記述する項目として選定した10種の物理量とその固有値ベクトルおよび因子負荷量を示すものである。油圧ショベルの物理量を記述する項目は、この他にも、例えば転倒モーメントとかブーム速度とか色々あるが、ここでは、第3成分までの累積寄与率が80%を超えることを条件に打切ったものである。固有値ベクトルは各主成分軸に対する項目の方向余弦を示すものである。一般には、この固有値ベクトルによって空間の記述は可能であるが、各主成分軸ごとに寄与率（空間を記述する場合の力に相当する）が異なり、固有値ベクトルをこの寄与率の成分値（固有値の平方根に比例する）を用いて標準化したものが因子負荷量である。因子負荷量の絶対値の大小は、空間を記述する力の程度を示している。

表-4.3 主成分分析結果（物理量の空間）

物 理 量		固有値ベクトル			因 子 負 荷 量		
No	内 容	第1主成分 0.536	第2主成分 0.252	第3主成分 0.104	第1主成分	第2主成分	第3主成分
1	車両質量(A)	0.412	-0.098	0.044	0.955	-0.155	0.045
2	バケット荷重(B)	0.403	-0.094	0.050	0.932	-0.149	0.051
3	接地長(C)	0.415	-0.063	0.106	0.961	-0.100	0.108
4	重心高さH(D)	0.349	-0.148	0.167	0.808	-0.234	0.170
5	重心位置(E)	0.330	-0.062	-0.200	0.764	-0.098	-0.212
6	振動周波数(F)	-0.290	-0.429	-0.237	-0.671	-0.609	-0.024
7	カウンタウエイト部変位量(G)	0.100	0.598	0.149	0.233	0.949	0.151
8	傾斜角(H)	-0.009	0.621	0.108	-0.206	0.986	0.110
9	対数減衰率(I)	-0.047	-0.153	0.930	-0.110	-0.242	0.945
10	フロント部リーチ長(J)	0.410	-0.024	-0.119	0.950	-0.030	-0.121

図-4.6～4.8は、この関係を図示したものである。表および図から理解できるように、第1主成分軸では、車両の大きさを示す、④車両質量、⑤バケット荷重、などが大きな因子負荷量を持っており、これが機械の大きさを示す軸であることがわかる。第2主成分軸では、⑦カウンタウエイト部変位、⑧傾斜角、が大きな因子負荷量を持ち、すなわち、揺動の大きさを示していることがわかる。第3主成分軸では、⑨対数減衰率が卓越しており、すなわち揺動の減衰特性を示しているものと理解できる。これらの分析および考察の結果から、油圧ショベルの揺動現象は、第2主成分軸と第3主成分軸で構成される平面（図-4.7）で記述できることが示される。また、この平面において、近い距離に布置された項目（たとえばGとH）は相関関係の強い項目であること、また原点附近に布置している項目はあまり説

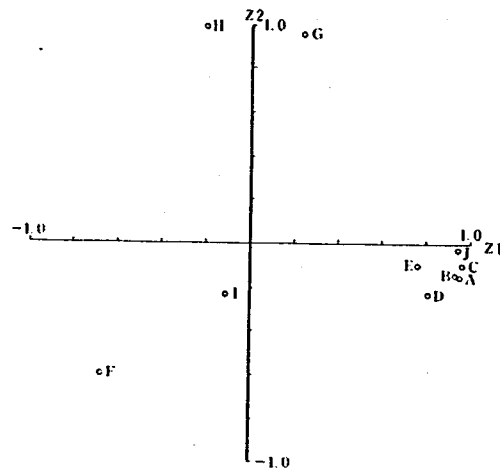


図-4.6 物理測度で表現した油圧ショベルの物理空間 ($Z_1 \times Z_2$)

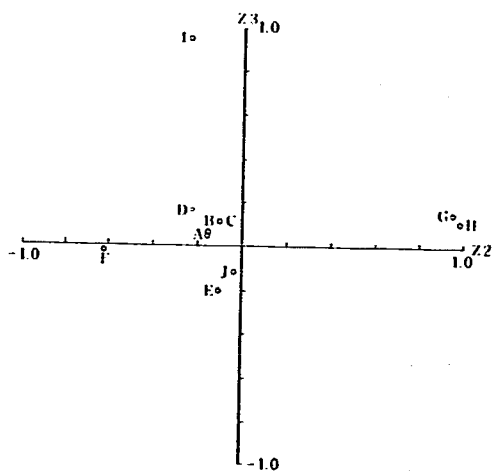


図-4.7 物理測度で表現した油圧ショベルの物理空間 ($Z_2 \times Z_3$)

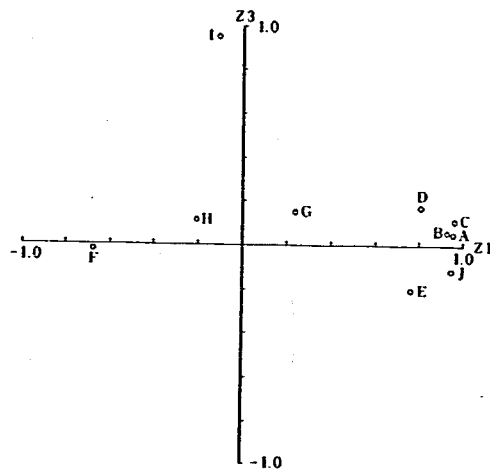


図-4.8 物理測度で表現した油圧ショベルの物理空間 ($Z_1 \times Z_3$)

明力を持たないこと、などを考え合わせると、㊦傾斜角（揺動角度 θ_0 ）、㊦対数減衰率、㊦揺動周波数、㊦重心高さ、㊦重心位置（水平）を用いれば、油圧ショベルの揺動現象が記述できるであろうことがわかる。

4.4.2 油圧ショベルの空間

表-4.4は、各主成分軸での因子負荷重を基にして、油圧ショベルの機械ごとのスコアを求めたものである。各々の油圧ショベルは、表-4.3に示す10項目の物理測度についての測定値を持ち、かつ、個々の測定項目の因子負荷量が与えられているから、その積和によって、各主成分軸でのスコアを求めることができる。

表-4.4 主成分分析結果
(油庄ショベルの物理空間の布置)

機 種	主成分軸スコア			
	第1主成分	第2主成分	第3主成分	
1	-4.72	-1.33	0.45	
2	-4.05	-0.74	0.03	
3	-2.24	-1.13	0.64	
4	-1.50	-2.01	1.04	
5	-0.71	0.57	-1.30	
6	-0.35	-0.05	-0.26	
7	-2.50	-0.47	0.19	
8	-2.34	0.54	0.35	
9	-1.12	0.76	-1.07	
10	-0.43	0.64	-0.64	
11	-0.89	4.11	1.07	
12	-0.05	0.19	0.91	
13	-1.38	0.77	-1.76	
14	-0.51	0.43	-0.72	
15	1.24	-0.48	1.55	
16	1.42	0.36	-0.45	
17	2.11	-1.09	-0.41	
18	2.12	4.91	0.93	
19	1.07	-0.36	1.62	
20	1.00	-0.74	-1.01	
21	2.20	-0.82	0.74	
22	2.00	-0.63	-0.79	
23	3.39	-1.88	-0.20	
24	3.77	-1.49	0.092	
25	1.66	-0.00	-0.20	

図-4.9, 4.10は、これを2次元の空間上の布置として示したものである。第1主成分軸は、4.4.1項での考察したとおり、油圧ショベルの大きさを反映しており、スコアが大きくなるに従って、大型の機械となっていくことがわかる。第2主成分軸と第3主成分軸で構成される平面(図-4.10)は、油圧ショベルの揺動現象を表現する空間である。図に示されるとおり、機械K, Rの他の機械のグループ(原点附近)から離れて布置されているが、これは、図-4.4に見られるとおり、揺動角度 θ_0 が、他の機械と比較して異状に大きいためである。機械K, Rはこの調査の対象とした25機種のお圧ショベルの中では特殊な方であり、これを除いて考えると、油圧ショベルの物理的な特性は、あて似たような範囲内で分布していることがわかる。また、原点に対してあまり偏りがないことから、調査対象とした25機種で十分に物理空間が充足されているものと考えてよい。

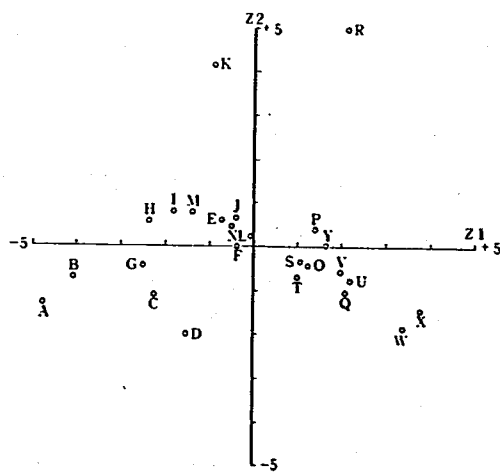


図-4.9 物理空間での油圧ショベルの布置 ($Z_1 * Z_2$)

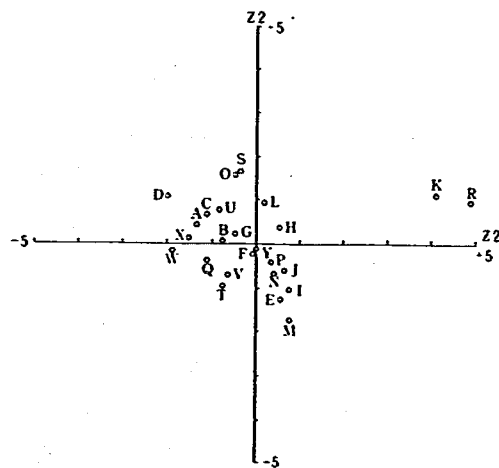


図-4.10 物理空間での油圧ショベルの布置 ($Z_2 * Z_3$)

5. 運転員の意識調査

5.1 揺動現象に関する官能評価の方法

5.1.1 機械に対する運転員の意識

一般に人が機械とかかわりを持つのは、現象的には機械を“操作する”とか“運転する”とかの形であるが、人は機械とかかわることを目的にしているのではなく、その背後には、人をして機械にかかわらせようとする彼自身の心理的な要因がある。賃金とそれによって可能とする欲求の充足は、この要因の中でも大きなウェイトを占めることが一般的である。また、運転員が機械を“操作”すること自体に喜びを持つにしても、その背景には、“意味のある労働”によって彼が妥当と考える社会的経済的効果を得ることが、意識的にしろ無意識的にしろ前提として認められている。

運転員をして機械に向かせる動機のひとつは以上のようなものであるが、機械を操作している状況では、自らをその作業に投影し、自己の存在を意義づけようとしているものと思われる。このような自己投影の方法は、個人の属性や機械の状況、作業環境などの内的、外的な状況を反映するものであり、中での機械の性能（例えば、能率とか制御のし易さなど）は運転員の心理状態を左右する重要な外的影響因子と考えることができよう。運転員が作業に対して自己を投影する場合、彼が無意識的に想定する自己像は、より価値水準の高い像である。言い換えると“技量的に優れた優秀な運転員”としての自己像を持っていると考えられる。自己像には、①速さ、②強さ、③高さ、にかかわる要素があり、夫々、能率の高さ、体力、技量に対応する。特に油圧ショベルは、運転員の技量によっては微妙な作業が可能であり、能率概念、機械との一体感、作業の品質意識などが心理的な要素である。

運転員が、彼の経験の中でこのような概念を形成している場合、機械の性能や作業環境の良否は、運転員が油圧ショベルに対して形成した諸々の概念を助長したり、阻害したりすると考えられる。能率概念、一体感、品質意識などを軸として形成された油圧ショベルの像（言換えると、“良い油圧ショベルとはこういうもの”とか、“今乗っている油圧ショベルはあまり良くない”とかを判断する規準）があれば、運転員は油圧ショベルを心理的に評価することが可能であり、この時、油圧ショベルの揺動現象が、これらの概念に対する阻害要素となっていれば、運転員の心理（意識）を調査、分析することによって、揺動現象に着目した油圧ショベルの評価方法を見出すことができる。

5.1.2 運転員の意識の測定方法

運転員の意識を測定するには、2.2、2.3で示したように、いわゆるアンケートによる方法が一般的である。この場合、特定の物理現象（ここでは油圧ショベルの揺動現象）に対する潜在的な意識を単純な言葉で直接的に測定することは決して容易ではない。この問題は、心理空間を表現する言葉の意味が人によって微妙に違うこと、あるいは、言語で表現される心理は、生の心理に対して、合理化されたり、自己防衛機構の検閲を受けていたり、または運転員の複合的な心理によって屈折されたりしたものであること、である。この問題を解決するためには、複数の言葉で、しかも運転員が日常使っているような言葉で質問票の意識空間を構成することが必要である。

5.2 意識調査票

5.2.1 グループインタビュー

グループインタビューは、大規模な意識調査に先立って、問題点の把握、仮説設定などを目的として実施されることが多い。出席者は、司会者、記録係などを除いて、意識調査の対象となる集合から数人選定することが普通である。グループインタビューの利点は出席者間の交互作用（出席者が会話を通じて相互に刺激し合い、与えられた話題を発展、展開させること）によって、新たな視点が得られること、出席者の反応（発言、表情、態度）を直接観察し、仮説設定についての知見が得られること、などである。

油圧ショベルの運転員、設計者を対象とした本調査でのグループインタビューでは、運転員が油圧ショベルに対して、どのような印象を持っているか、油圧ショベルの評価をどのように表現するか、を把握するために実施したものである。

(1) 出席者の構成

油圧ショベルのオペレータ	3名
工事現場の監督や世話役	2名
油圧ショベルの設計者	1名
メーカーでの油圧ショベルの試験担当	1名
司会者、記録係、世話係	3名

(2) グループインタビューの結果

今回のグループインタビューは、開催時間を15時～17時とし、終了後軽い食事を用意し雑談の時間（実は、この時間もグループインタビューの時間内である）を設けた。今回のグループインタビューでは予期以上に活発な会話が交され、その結果をまとめると次のようになる。

- i 出席した運転員は、いずれも5年以上の経験を持ち、油圧ショベル以外の建設機械（ブルドーザ、トラクタショベル）にも習熟している。
- ii 運転員は自らの職業に誇りと自負を抱き、その技能に自信を持っている。
- iii サービスやメンテナンスに対しての不満はあるが、油圧ショベルの性能については満足の高が高い。
- iv 油圧ショベルの性能を語る際に、常識的な表現が多く、特殊な表現方法を用いることはない。
- v 油圧ショベルの揺動に対する特別な意識はなく、作業中揺れることは当然であると思っている。
- vi 操作レバーの配置が機械によって違い慣れないことがある。
- vii 消極的ではあるが、揺れと疲労の関係を指摘している。

5.2.2 意識調査票の作成

グループインタビューでの意見、および過去の研究²⁾成果、などを総合し、意識調査票における仮想意識空間の主軸を次の5項目とした。

- A 作業中の不安感
- B 精神的・肉体的疲労感

表-5.1 オペレータの意識調査票

	不 安 感	疲 労 感	操 作 性	作 業 能 率	総 合
油圧ショベル作業一般	(1) 作業中、機械が転倒しそうになったことがあるか。	(1) 作業の翌日は、肩や腰のこるこる感じがよくある。 (2) 作業終了後、足が地に付かない感じがする。 (3) 作業終了後、体のだるさを感じる。	(1) 今乗っている油圧ショベルは自分の思うように動いてくれる。 (2) 細かい作業でも思い通りに動いてくれる。 (3) 積込時、ダンプにバケットを当てたことがある。	(1) 今乗っている油圧は、能率が良いと思う。 (2) 作業中、バケットから物がよく落ちる。	(1) あなたは、今乗っている油圧ショベルに満足しているか。
揺 動	(1) 車体が揺動した時、不安感を感じる。 (2) それは、どんな時か。 (3) 危険な場所での作業では、少しの揺動でも不安を感じる。	(1) レバー操作によって、車体が揺れるので、肩や足に力が入る。 (2) レバー操作によって車体が揺れて、頭部に大きな衝撃を受ける。	(1) バケットの位置決めに苦勞をしているか。 (2) 車体が揺れて微妙な操作に苦勞することがあるか。 (3) 車体が揺れないように気を使って、レバー操作をしているか。	(1) 車体がいつまでも揺れて、次の操作に時間がかかる。 (2) 作業中、揺れが止まらなくて、いらいらする。	(1) 車体の揺動は、作業に悪影響があると思う。 (2) 車体が揺れることは、苦痛に思う。
掘 削 力	(1) 前後方向で掘削中、車体の前後部が浮上って不安を感じる。 (2) 横方向で掘削中、車体の側部が浮上って不安を感じる。	(1) 掘削中、車体が浮上るので、全身に力が入る。	(1) 掘削中、よく車体が浮くので、掘削しにくい。	(1) 掘削中、車体が浮くので、作業がめんどろだ。 (2) もっと掘削力を増してほしい。 (3) もっと安定性のある機械を望む。	(1) 掘削中、車体が浮上がることは、作業に悪影響があると思う。
油圧の意識	(1) 油圧ショベルは、車体の揺動や傾きによって転倒することがあると思う。	(1) 油圧ショベルの作業は、他の建設機械に比べて、重労働であると思う。	(1) 油圧ショベルは、他の建設機械に比べて、操作しにくいと思う。	(1) 油圧ショベルは、大変便利な機械であると思う。	(1) 自分の手のように、思い通りに動く油圧ショベルが欲しい。
オペレータ	(1) あなたは、危険な作業でも、進んでやるか。	(1) あなたは、自分の体力に自信があるか。	(1) あなたは、自分の技能に自信があるか。	(1) あなたは今の仕事量に満足しているか。 (2) 今の収入に満足しているか。	(1) 今後も、今の仕事を続けて行きたいと思う。

- C 操 作 性
- D 作 業 能 率
- E 総 合 評 価

また、これらの意識をひきおこす要因現象として、次の5項目を仮定した。

- a 油圧ショベルの作業一般
- b 揺 動 現 象
- c 掘 削 力
- d 油圧ショベルに対する意識の同化
- e 運転員の属性

表-5.1は、調査票で仮定した意識空間の主軸と要因事象の組合せによって作成した設問の配置を示すものである。具体的な意識調査票は参考資料に示すが、これは、表-5.1の設問配置をもとにして構成したものである。

5.3 予備調査

意識調査票が構成する意識空間の充足性および評価関数の形式決定の可能性の検討を主たる目的として、予備的な意識調査を実施した。意識調査の対象は、表-4.1に示す25機種の油圧ショベルを日頃運転している運転員とした。しかし、個々の運転員を抽出することは現実的にむずかしいため、油圧ショベルのメーカー（およびその販売店）に依頼し、1機種について5社当たりの建設業者の紹介を得た。また、1社について5人程度の運転員が所属しているものとみなして、調査サイズの設計を行った。調査は、関東地区を中心にして実施することにしたが、東京都23区および近郊の事業所については、留め置き調査（調査票を郵送するかもしくは持参し、後日、調査員を派遣して回収する）、それ以外の地区については郵便調査（調査票の配布、回収とも郵便で行う）の方法を用いた。

5.4 予備調査の結果

5.4.1 被調査者の個人属性

調査票は142の事業所に738部配布し、このうち回収事業所数76（回収率53.5%）、回答数282（38.2%）であった。回答のあった282のうち、有効回答数203（回収率27.5%、有効率72%）、対象機種外（物理量の測定値が得られていない油圧ショベルを前提として回答しているもの）72、質問の大半に答えていない不良回答が7であった。

図-5.1は、意識調査に回答した運転員の年齢、経験年数および過去に運転したことのある油圧ショベルの台数について示すものである。これは、どのような階層の運転員が調査の対象となったか、いわゆる運転員の属性を示すものである。年齢構成では30～40歳台、また運転経験年数では5年以上が全体の7割を占めており、熟練した運転員が対象になっていることがわかる。運転経験台数でみると、大多数の運転員が複数の機械を運転した経験を持っており、機械の違いによる揺動特性の違いについてある程度の知見と客観的視点を持っているものと期待できよう。

29才以下	30～39才	40～49才	50～59才	60才以上
18.2%	45%	28%	83%	0.5%
(a) 年 齢				
2年未満	2～5年未満	5～10年未満	10年以上	
86%	19.8%	31.2%	40.4%	
(b) 運転経験年数				
1台	2～3台	4～5台	6～9台	10台以上
3%	24.4%	30.6%	22.2%	19.8%
(c) 運転経験台数				

図 - 5. 1 運転員の属性

5.4.2 運転員の意識の数量化

意識調査票に反映された運転員の意識は、質問項目に対する肯定や否定といった質的な名義尺度によって構成されており、それ自体では油圧ショベルの動的安定性の良否やその程度をあらわしてはいない。しかし、動的安定性を定量的に評価するためには、これらの質的尺度を質的測定量（可測であることを前提とした測度）での数量尺度に変換する必要がある。すなわち、“動的安定性に対する評価をその良否の量で表現する測度”を仮定し、個々の油圧ショベルの、その尺度上での位置を決定する必要がある。このための統計的手法を数量化理論といい、数種のモデルがある。ここでは数量化理論Ⅲ類を用いて運転員の意識空間を記述する方法をとった。この方法は、データが名義尺度で与えられる場合の主成分分析である。すなわち、運転員の意識空間は多次元の直交空間で充足し、意識調査での個々の質問項目の意味は、意識空間を規定する直交空間の主軸の意味に直交分解可能であることを前提としている。もし、運転員の意識がこのように表現可能で、その直交軸の1つ、もしくは数個が油圧ショベルの動的安定性の数量化が可能となる。計算にあたってはファームウェアプログラム⁶⁾を用いた。

表-5.2は、表-5.3に示す23の質問項目を説明変量とみなして分析した時の、各相関軸（主成分軸）の固有値と寄与率（累積値）、表-5.3はスコアを第2相関軸についてまで示したものである。第1相関軸の寄与率は34%とこの種の分析にしては高い値を示しているが、第2相関軸以降の寄与率は

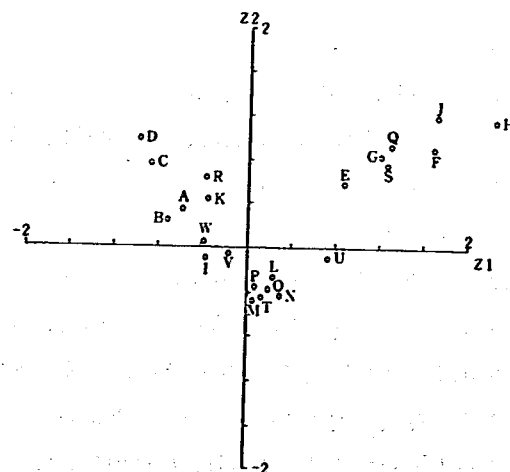


図-5.2 質問項目と布置 ($Z_1 \times Z_2$)

表-5.2 各相関軸の固有値

相 関 軸	固 有 値	累積寄与率
第 1	0.3385	0.3385
第 2	0.2118	0.5503
第 3	0.1692	0.7195
第 4	0.1663	0.8858

表-5.3 各質問項目のトランスフォームド、スコア

質 問 項 目	第1相関軸	第2相関軸
(A) 馬力や作業スピードなどの性能面では満足している。	-0.5818	0.3378
(B) 作業のしやすさの面では満足している。	-0.7239	0.2245
(C) ゆれやショックについては満足している。	-0.8757	0.7421
(D) 総合的には満足している。	-0.9815	0.9714
(E) 車体のゆれがなかなか止まらないことがたびたびある。	0.8809	0.5647
(F) むち打ち症になるくらいひどいショックをたびたび受ける。	1.6893	0.8935
(G) ブーム操作を急停止すると車体がガタつくことがたびたびある。	1.2055	0.8185
(H) 作業を1日やるとイヤになってしまう。	2.2380	1.1452
(I) 車体がゆれないよう気をつけて操作する方だ。	-0.3750	-0.1269
(J) 油圧ショベルの作業はイライラすることが多い。	1.7190	1.1896
(K) 今の油圧ショベルは体との一体感が得られやすい。	-0.3548	0.4190
(L) 車体が大きくゆれると不安になる。	0.2526	-0.2797
(M) 油圧ショベルの作業は細かい神経を使う。	0.0626	-0.4834
(N) 法面や均平作業の仕上げには苦勞する。	0.3116	-0.4468
(O) 車体のゆれやショックが長く続くと耐えられない。	0.1970	-0.3866
(P) 車体がゆれると細かい作業がやりにくい。	0.0769	-0.3666
(Q) 油圧ショベルの作業は苦痛な作業だと思う。	1.2966	0.9168
(R) 今の油圧ショベルは乗りごちがよい。	-0.3745	0.6256
(S) 作業の終わったあとは体がだるくなってしまう。	1.2694	0.7408
(T) 油圧ショベル作業に車体のゆれやショックはつきものだ。	0.1286	-0.4756
(U) 油圧ショベル作業では肩や腰がこることが多い。	0.7375	-0.1097
(V) 今の油圧ショベルはたいていの作業がこなせる。	-0.1597	-0.0872
(W) 油圧ショベルの作業はそれほど疲れない。	-0.3890	0.0306
平 均 値	0.0000	0.0000
標 準 偏 差	0.5818	0.4602
分 散	0.3385	0.2118

あまり高くない。一応、第4相関軸まで用いることによって、約90%の寄与率に達しており分析としては成功と言って良い。ところが、図-5.2のように、質問項目の布置を求めると、第1相関軸は、油圧ショベルに対する『受容-拒否』の意味を持つことがわかるが、第2相関軸では、軸の意味を明確にすることはむずかしい。概観的に見ると、M、N、Pのように微細な作業に関する項目が第2相関軸の負側に、微細操作とは関係ない項目が正側にあることから、操作性を示す軸かとも思われる。いずれにしろ、車両のガタつきや揺れ、ショックに対する否定的反応は第1相関軸の正側、満足しているとする肯定的反応は負側に位置しており、第1相関軸のスコアによって、油圧ショベルに対する運転員の評価が定量化できるものと思われる。

表-5.4 フェースや対象機種に対する満足度と評価量の関係

質 問 項 目	評 価 量				
(Q1) あなたの年齢はおいくつですか。	1. 29才以下 (0.0649)	2. 30~39才 (-0.0013)	3. 40~49才 (-0.0647)	4. 50~59才 (-0.1584)	5. 60才以上 (0.2935)
(Q2) 油圧ショベルの運転経験は何年になりますか。	1. 2年未満 (0.0222)	2. 2~5年 未 満 (0.1103)	3. 5~10年 未 満 (-0.0611)	4. 10年以上 (-0.0527)	
(Q3) これまで何台ぐらいの油圧ショベルを運転したことがありますか。	1. 1台 (0.2016)	2. 2~3台 (0.0077)	3. 4~5台 (-0.0320)	4. 6~9台 (-0.0342)	5. 10台以上 (-0.0479)
(Q4) あなたは対象機種の次の点に満足されていますか、それとも不満に思っていますか。	1. 満 足	2. やや満足	3. やや不満	4. 不 満	
A馬力や作業スピードの面では	(-0.1970)	(0.0126)	(0.1732)	(0.4612)	
B騒音や振動の面では	(-0.2604)	(-0.0504)	(0.0604)	(0.4250)	
C作業のしやすさの面では	(-0.2450)	(0.0496)	(-0.2168)	(0.6299)	
Dキャビン内の居心地では	(-0.2002)	(-0.0714)	(0.1369)	(0.2947)	
Eゆれやショックについては	(-0.2964)	(-0.0573)	(0.1065)	(0.3107)	
F総合的には	(-0.3322)	(-0.0345)	(0.1446)	(0.7241)	
(Q5) あなたは、対象機種の車体のゆれやショックの具合は他の機種に比べて良い方だと思いますか、それとも悪い方だと思いますか。	1. 良い方だ (-0.2001)	2. まあ良い方だ (-0.0428)	3. 同じようなものだ (0.0155)	4. まあ悪い方だ (0.2881)	5. 悪い方だ (0.0526)

表－5.4は、第1相関軸によって与えられる評価尺度で、いくつかの質問項目のスコアを求めてみたものである。表から見て、運転経歴が長い程、運転した油圧ショベルの数が多い程、運転員の油圧ショベルに対する評価が良く、年齢と評価とはあまり関係ないことがわかる。

5.5 揺動現象と運転員の意識の関係

物理量と心理評価量との関連性についての分析方法については、2.4項で示したが、この調査結果によると、条件の(a)、すなわち、『運転員の心理空間において、油圧ショベルの動的安定性に対する評価が第1相関軸（主成分軸）上に十分な寄与率をもって反映されている場合』に相当し、第1相関軸での各油圧ショベルのスコアを外的基準として、(2.11)式の重回帰モデルを用いることができる。

表－5.5 対象機種の意識スコア

機 種 No	スコア平均値	スコア分散	スコア標準偏差	回 答 オペレータ数
1	0.0546	0.0	0.0	1
2	0.2952	0.2210	0.4701	3
3	0.0492	0.0944	0.3072	8
4	-0.0811	0.0648	0.2545	17
5	0.2465	0.1658	0.4072	3
6	-0.0253	0.0139	0.1180	2
7	-0.0706	0.0652	0.2554	14
8	0.0476	0.1226	0.3502	17
9	0.0082	0.1527	0.3908	6
10	—	—	—	0
11	0.4720	0.0	0.0	1
12	-0.1056	0.0308	0.1756	4
13	-0.1740	0.0869	0.2948	6
14	-0.1786	0.0327	0.1810	6
15	-0.2399	0.1024	0.3199	10
16	-0.0445	0.0895	0.2991	17
17	0.0409	0.0320	0.1788	6
18	-0.0448	0.1693	0.4115	40
19	-0.1536	0.0470	0.2167	5
20	0.1149	0.1164	0.3411	16
21	-0.2190	0.0816	0.2856	3
22	0.1146	0.0983	0.3135	8
23	0.1272	0.0375	0.1936	4
24	-0.0057	0.1158	0.3402	2
25	0.0707	0.0677	0.2601	4

このような重回帰モデルの解法にステップワイズ重回帰分析があり、ここではこの方法を用いた。表-5.5は、運転員の意識空間における各油圧ショベルのスコアとその分散について示したものである。表に示されるとおりスコアの分散 σ^2 が大きく、平均値の信頼区間、

$$\bar{X} - \frac{t_0}{\sqrt{n-1}} \cdot \sigma \leq R \cdot \bar{X} + \frac{t_0}{\sqrt{n-1}} \cdot \sigma$$

$\bar{X}$: 平均値

t_0 : t検定値 ($\div 2.0$)

n : サンプル数

に0を含んでおり、運転員による評価のばらつきが大きいことが示されている。いずれにしろ、このデータは予備調査のものであり、スコア平均値を妥当なものとして受入れることにした。

表-5.6は、ステップワイズ回帰分析における採用された説明変量（物理量）と、その時の重相関係数を示すものである。ステップナンバーは、そのステップで取入れられた説明変量を示し、言い換えると、早いステップで取入れられた変量程、外的基準となる変数（ここでは運転員の心理量）を良く説明していることになる。表に示されるとおり、最大傾斜角、対数減衰率、重心高比率、作業機重量比、揺動周波数、といった、揺動現象と機械の大きさを示す変量が説明変量として採用されており、これは、4.4.1で示した油圧ショベルの物理空間の第2主成分軸を記述する要因とほぼ同じである。

表-5.6 ステップワイズ回帰

ステップNo	取り入れた説明変量	重相関係数
1	最大傾斜角 (X_1)	0.3872
2	対数減衰率 (X_2)	0.5772
3	重心高比率 (X_6)	0.6110
4	作業機重量比 (X_8)	0.6242
5	揺動周波数 (X_3)	0.6539
6	全装備重量 (X_7)	0.7118

表-5.6に示す6個の説明変量を用いた場合の回帰式（運転員の意識評価を油圧ショベルの物理量から予測する場合の予測式に相当する）は、

$$y = -1.127 + 0.0278 X_1 - 0.172 X_2 + 1.024 X_3 + 0.23 X_6 + 0.0208 X_7 + 0.159 X_8$$

となる。この予測式において、スコアが大きくなる程、動的安定性の評価が良くないと予測されることを意味する。また、スコア0は平均、負のスコアは評価の良いことを意味する。各説明変量が動的安定性の評価に与える影響の強さは、回帰係数（カテゴリーウエイト）によって示されるが、ここでは説明

変量を規準化していないので各説明変量間の相対的な強さについては分析できていない。回帰係数の符号から判断すると、最大傾斜角が大きく、対数減衰率が小さく、かつ揺動周波数の高い機械ほど、動的安定性の評価が劣る傾向にあることがわかる。

図-5.3は、4名以上の運転員によって評価された機種について、運転員の評価スコアと、機械の物理的な揺動特性から推定したスコアの関係を示すものである。図中、第1象限と第3象限は、物理量からの評価スコアの推定値と、運転員の実際の評価スコアの傾向が一致していることを意味する。すなわち、第1象限は、運転員の評価も、推定値も共に動的安定性に劣ると評価されることを意味する。

図に示すとおり、17機種のうち13機種については運転員の評価と物理量からの推定値の傾向が一致しており、推定することの可能性については肯定的見解が得られたものと思われる。

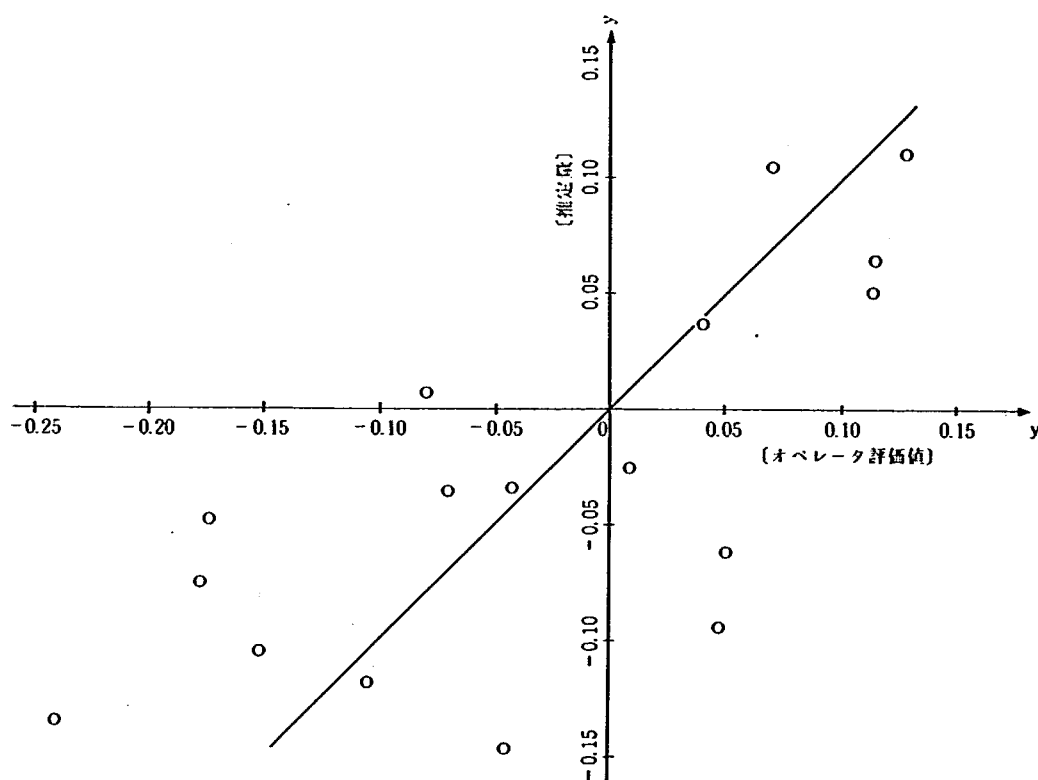


図-5.3 オペレータ評価値と推定値

6. 油圧ショベルの動的安定性評価

6.1 意識調査票

予備調査によって、動的安定性の評価尺度を抽出することが可能であることがわかった。この事は、日々の作業の中で乗車機種を適切な言葉で評価し、その評価の程度が運転員（乗車機種）によって変動していることを意味する。しかし、さらに評価精度の向上を目標にした場合、尺度を構成する質問項目が動的安定性の良否の度合を意味する内容であることが好ましい。予備調査で用いた質問項目の良否を運転員の反応から判断すると、建て前的な質問項目が多く運転員の作業時における意識空間をカバーするには不十分な点が多い。これら予備調査の反省に立ち、本調査では、その一部を改良した。これを参考資料に示す。

6.2 調査の結果

6.2.1 被調査者の個人属性

調査票は調査対象事業所として選定した全国1,064社に配布した。このうち回収事業所数315（回収率29.6%）、回答数958であった。運転員の回答数958のうち、対象機種外、記入不完全等を除く892を有効回答とし集計の対象とした。

図-6.1は、意識調査に回答した運転員の年齢、経験年数および過去に運転したことのある油圧ショベルの台数について示したものである。被調査者の属性は、予備調査と同等の分布を示し一般的な集団と思われる。

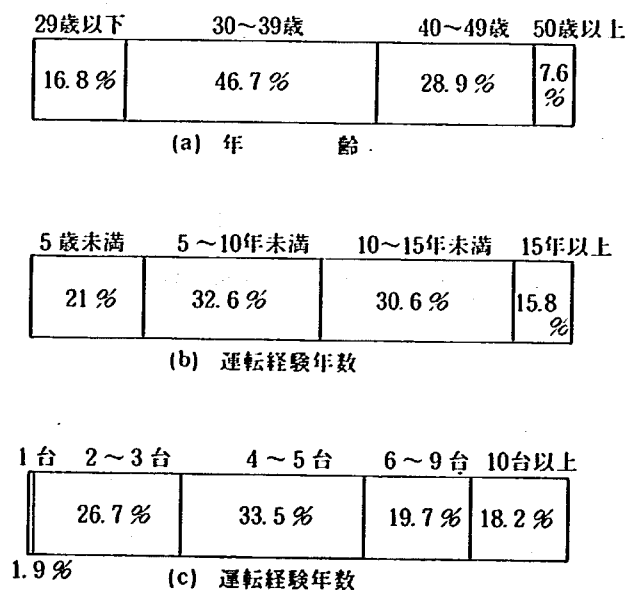


図-6.1 運転員の属性

6.2.2 単純集計

(1) 乗車機種に対する満足度

運転員の乗車機種に対する満足度を図-6.2に示す。馬力や作業能率などの性能面、あるいは操作性など機械的性能に対する項目に対しては「満足」、「やや満足」とする者が8割を上回り、ほぼ満足している様子がうかがえる。しかし、騒音や振動、居住性、揺れやショックなど作業環境に関する項目に対しては「不満」、「やや不満」とする者が全体の4割近くに達し、運転員の満足を必ずしも得られていないことがわかる。

質 問 項 目	反 応 (%)			
	そう思う	まあそう思う	あまりそう思わない	そう思わない
馬力や作業能率など性能面については	33.2	46.8	15.1	4.9
騒音や振動については	18.6	43.7	28.5	9.2
操作性（作業のしやすさ）については	37.3	44.6	12.8	5.3
居住性（キャビン内の居ごち）については	21.5	45.6	24.0	8.9
揺れやショックについては	17.2	43.8	30.3	8.7
視界については	25.2	45.4	22.4	7.0
総合的には	18.9	60.2	17.2	3.7

図-6.2 乗車機種に対する満足度に関する意識

乗車機種に対する総合的な満足度では「やや満足」が6割を占め、「満足」を含めると8割に達する。これをみる限り、乗車機種を総合的に評価すれば現状肯定派が一般的であり、とくに強い不満感を持たれていないようである。

(2) 揺動の比較評価

他の機種に比べ乗車機種の揺動についてどのように評価しているかを図-6.3に示した。「良い方だ」が2割、「まあ良い方だ」が6割で全体の8割の運転員が良い評価を下している。これは乗車機

質 問 項 目	反 応 (%)			
	良い方だ	まあ良い方だ	あまり良い方だ	よくない方だ
車体の揺れやショックの具合は、他の機種に比べ良い方だと思いますか。	14.7	61.7	14.7	8.9

図-6.3 揺動の比較評価

種の揺動特性が特に良いというよりも、“まあ、こんなもんだろう”という意識が働いているものと推定される。

(3) 不安感に関する意識

不安感とは一方では安心感の裏返しの意味を含む。作業時揺動に対する不安感に関する意識を図-6.4に示した。

まず、「車体の揺れが大きくて、つい不安になることがある。」の意見項目に対して同意を示すものは2割に満たない。「作業中は体が放り出さないように踏ん張って操作している」は、不安感の行動面での様子を意味するものと考えられるが、これについても同意は1割に満たない。これをみる限り、運転員は作業時揺動に対して不安感を持つことは見受けられない。

一方、「どっしりしていて安定感のある機種だと思う」が6割強、「作業していても車体の揺れは気にならない」が6割弱の同意が得られているが、逆にいえば、安定感がないと思っている人、車体の揺れが気になると思う人が4割近くいることになる。

作業時揺動は運転員を不安に陥し入れるほどではないにせよ、運転員にとって無関心ではおられない状況をつくり出していることは確かであろう。

質 問 項 目	反 応 (％)			
	そう思う	まあそう思う	あまりそう思わない	そう思わない
車体の揺れが大きくて、つい不安になることがある。	5.7	12.6	50.8	30.9
作業中は体が放り出されないように踏ん張って操作している。	4.1	7.1	35.7	53.1
どっしりしていて安定感のある機種だと思う。	23.9	41.1	25.0	10.0
作業していても車体の揺れは気にならない。	19.1	37.8	28.7	14.4

図-6.4 不安感に関する意識

(4) 疲労感に関する意識

疲労感とは、疲れ、緊張、不快などの内容を含み（図-6.5 参照）心身両面でとらえてみた。

まず肉体的側面に注目すると、「作業が終わった後、体がだるくなってしまう。」「作業の翌日は、よく肩や腰がこる。」などを訴える人は2～3割程度いるが、「むち打ち症になるくらい大きな揺れを受けることがある」、「作業が終わった後、足が地につかない感じがする」など、強い拒否反応を持つ人はわずかである。このような傾向は心理の側面でも同じである。

一方疲労感の裏返しの項目についてみると、「車体の揺れではそれほど疲れない」「リラックスな気持ちで作業している」「車体の揺れも少なく乗りごちの良い機種だと思う」など乗車機種に好意的な人が6～7割程度を占め、快適性に対し問題視する者は少数派である。

質 問 項 目	反 応 (％)			
	そう思う	まあそう思う	あまりそう思わない	そう思わない
作業の終わった後、体がだるくなってしまう。	8.4	19.7	46.3	25.6
むち打症になるくらい大きな揺れを受けることがある。	3.0	25.4	66.8	
作業が終わったあと、足が地につかない感じがする。	7.3	33.7	55.3	
揺れがなかなか止まらなくてイライラすることが多い。	6.5	37.6	53.5	
作業の翌日はよく肩や腰がこる。	11.2	18.3	39.9	30.6
作業を1日中やるとイヤになることがある。	8.6	15.6	41.6	34.2
車体の揺れではそれほど疲れない。	20.7	36.0	28.1	15.2
リラックスな気持ちで作業をしている。	26.0	46.3	20.2	7.5
車体の揺れも少なく、乗りごちの良い機種だと思う。	17.8	48.7	24.9	8.6

図-6.5 疲労感に関する意識

(5) 操作性に関する意識

揺動と操作性の関連をみると(図-6.6),「車体が揺れて細かい操作がやりにくい」「この機種

質 問 項 目	反 応 (％)			
	そう思う	まあそう思う	あまりそう思わない	そう思わない
車体が揺れて細かい操作がやりにくい。	10.4	17.9	42.0	29.7
この機種は細かな神経を使うことが多い。	8.5	18.0	47.3	26.2
バケットの位置決めなどに苦労することがある。	10.5	37.9	46.9	
法面や均平作業の仕上げにいつも苦労している。	8.6	18.9	43.5	29.0
細かな作業でも思い通り動いてくれる。	25.0	46.9	18.8	9.3
体との一体感が得られている。	19.6	50.6	22.3	7.5
多少荒っぽい操作をしている方だ。	9.8	32.5	37.7	20.0
今程度の揺れであれば、楽に操作できる。	25.1	51.1	16.8	7.0

図-6.6 操作性に関する意識

は細かい神経を使うことが多い」と訴える人が3割近くに達し、揺動が操作上の阻害感を与えていることがわかる。

(6) 作業能率

作業能率に対する運転員の意識を図-6.7に示す。

「車体の揺れがひどく長時間の作業に向いていない」「車体が揺れて、スムーズな作業ができない」と訴える人は1割程度であり大半の人が揺動と作業能率の関係を否定している。この背景には、「車体が揺れないように気をつけながら操作している」とする人が6割を超すように、操作の仕方によって揺れを回避しているためと思われる。反面、「今程度の車体の揺れであれば、作業上支障はない」の意見に反対する人が3割程度に達している。

質 問 項 目	反 応 (%)			
	そう思う	まあそう思う	あまりそう思わない	そう思わない
作業がはかどらずイライラすることが多い。	50.0	11.1	42.8	41.1
車体の揺れがひどく長時間の作業に向いていない。	44.4	7.7	39.6	48.3
車体が揺れないように気をつけながら操作している。	29.5	32.2	26.0	12.3
車体が揺れて、スムーズな作業ができない。	39.0	10.2	43.3	42.6
この機種は作業が調子良くはかどる。	24.4	51.7	15.7	8.4
この機種はたいていの作業がこなせる。	37.2	42.6	13.1	7.1
揺れが多少あっても仕事がどんどん進む。	15.0	48.1	26.2	10.7
今程度の車体の揺れであれば、作業上支障はない。	30.2	42.2	16.9	10.7

図-6.7 作業能率に関する意識

6.2.3 運転員の意識の数量化

5.4.2項と同様、意識調査で得られた892名の反応パターンを用いて運転員の意識の数量化を試みた。表-6.1は表-6.2に示す23の質問項目を説明変量とみなして分析した時の、各相関軸の固有値と累積寄与率を示したものである。第1相関軸の寄与率が27%であり、予備調査の結果(34%)に比較して低下しているものの、この種の分析では十分な値である。しかし、第2相関軸以降が低い値に留まっている。

表-6.2、表-6.3は各質問項目を第1相関軸、及び第2相関軸上におけるスコアの順に並び換えたものである。第1相関軸では、正の軸上に「揺れがなかなか止まらなくて、イライラすることが多い」

表-6.1 各相関軸の固有値

相 関 軸	固 有 値	累積寄与率
1	0.270	0.270
2	0.097	0.367
3	0.083	0.450
4	0.077	0.527
5	0.070	0.597

表-6.2 第一相関軸意味解釈

質 問 内 容	ス コ ア
揺れがなかなか止まらなくてイライラすることが多い。	1.5514
車体の揺れがひどく長時間の作業に向いていない。	1.3185
むち打症になるくらい大きな揺れを受けることがある。	1.2419
バケットの位置決めなどに苦勞することがある。	1.2144
車体が揺れて、スムーズな作業ができない。	1.1021
車体の揺れが大きくて、つい不安になることがある。	1.0916
作業中は体が放り出されないように踏ん張って操作している。	0.9089
車体の揺れがなかなか止まらないことがたびたびある。	0.8270
この機種は細かな神経を使うことが多い。	0.7220
車体が揺れて細かい操作がやりにくい。	0.7092
法面や均平作業の仕上げにはいつも苦勞している。	0.6980
車体が大きく揺れることがたびたびある。	0.5757
ブーム操作を急停止するとガタつくことがたびたびある。	0.2223
車体が揺れないように気をつけながら操作している。	0.0339
車体の揺れではそれほど疲れない。	-0.2256
今程度の車体の揺れであれば、作業上支障はない。	-0.2648
この機種はたいていの作業がこなせる。	-0.2714
この機種は作業が調子良くはかどる。	-0.2835
リラックスな気持で作業をしている。	-0.3356
細かな作業でも思い通り動いてくれる。	-0.3437
今程度の揺れであれば、楽に操作できる。	-0.3594
体との一体感が得られている。	-0.3877
車体の揺れも少なく、乗りごちの良い機種だと思う。	-0.4554

(フリー、チェック反応)

「車体の揺れがひどく長時間の作業に向いていない」など乗車に対して拒否反応が並び、逆に負の軸上では「体との一体感が得られている」「車体の揺れも少なく、乗りごちの良い機種だと思う」など乗車機種を受容する項目が並び予備調査と同様この評価軸は、油圧ショベルに対する「受容—拒否」の意味を持つことがわかる。しかし、第2相関軸では軸の両端に「車体の揺れがなかなか止まらないことがたびたびある」（正側）や、「作業中は体が放り出されないように踏ん張って操作している」（負側）など拒否項目が並び、軸の意味解釈が困難になっている。いずれにせよ、動的安定性に対する運転員の意識は第1相関軸のスコアによって評価できるものと思われる。

表 - 6.3 第二相関軸意味解釈

質 問 内 容	ス コ ア
車体の揺れがなかなか止まらないことがたびたびある。	0.9081
車体が大きく揺れることがたびたびある。	0.8705
車体が揺れて細かい操作がやりにくい。	0.5154
車体の揺れが大きくて、つい不安になることがある。	0.4025
ブーム操作を急停止するとガタつくことがたびたびある。	0.3428
むち打症になるくらい大きな揺れを受けることがある。	0.1736
この機種は作業が調子良くはかどる。	0.0251
リラックスな気持で作業をしている。	0.0026
車体の揺れではそれほど疲れない。	-0.0007
車体が揺れないように気をつけながら操作している。	-0.0133
細かな作業でも思い通り動いてくれる。	-0.0147
この機種はたいていの作業がこなせる。	-0.0256
体との一体感が得られている。	-0.0496
今程度の車体の揺れであれば、作業上支障はない。	-0.0678
今程度の揺れであれば、楽に操作できる。	-0.0786
車体の揺れも少なく、乗りごちの良い機種だと思う。	-0.1487
この機種は細かな神経を使うことが多い。	-0.1980
法面や均平作業の仕上げにはいつも苦勞している。	-0.3401
車体が揺れて、スムーズな作業ができない。	-0.5057
揺れがなかなか止まらなくてイライラすることが多い。	-0.6135
バケットの位置決めなどに苦勞することがある。	-0.7899
車体の揺れがひどく長時間の作業に向いていない。	-0.8293
作業中は体が放り出されないように踏ん張って操作している。	-0.8332

(フリー、チェック反応)

次に、この第1相関軸による各運転員の評価量について検討してみた。運転員の属性と評価量の関係を表-6.4に示すが、これは各属性別に運転員の平均評価量を算出したものである。年齢別に比較すると、年齢が高い運転員ほど評価が良くなる傾向にある。運転年数、乗車機種別でも、熟練層は良く評価するのに対し熟練度の低い運転員は油圧ショベルに対し、拒否反応を持っていることがわかる。これより車体揺動の発生が運転員の技量と密接な関係があるものと思われる。

表-6.4 運転員の属性とスコア

年 齢	29歳以下	30～39歳	40～49歳	50歳以上	
	-0.006	-0.020	-0.012	-0.125	
運 年	5年未満	5～9年	10～14年	15～19年	20年以上
転 数	0.037	-0.008	-0.059	-0.072	-0.022
乗 機	1 台	2～3台	4～5台	6～9台	10年以上
車 種	0.248	-0.000	-0.021	-0.064	-0.041

次に乗車機種に対する項目別満足度と評価量の関係を表-6.5に示す。各項目共、満足度の高い運転員は評価量が負側に移行し、質的尺度が量的尺度への変換に成功していることがわかる。

表-6.5 運転員の満足度とスコア

質 問 項 目	満 足	やや満足	やや不満	不 満
性能面について	-0.107	-0.026	0.089	0.256
騒音や振動について	-0.115	-0.044	0.021	0.153
操作性について	-0.112	-0.019	0.130	0.291
居住性について	-0.133	-0.044	0.037	0.227
揺れについて	-0.154	-0.088	0.083	0.240
視界について	-0.110	-0.036	0.054	0.260
総合的には	-0.162	-0.048	0.152	0.407

乗車機種の改良希望項目と評価量の関係を表-6.6に示した。騒音や振動、居住性、視界などの改良を望むグループは評価が良いのに反し、操作性や揺れを選択したグループは乗車機種に対する評価が悪い。これは、騒音や居住性など油圧ショベルに高いレベルの改良を望む運転員は、現時点での作業時の阻害感は低く、操作性や揺れなどの改良を望むグループは阻害感が高いためと思われる。

表-6.6 改良希望項目とスコア

改 良 項 目	三 点 選 択	一 点 選 択
性能面について	0.000	-0.021
騒音や振動について	-0.025	-0.027
操作性について	0.015	0.101
居住性について	-0.039	-0.050
揺れについて	0.041	0.107
視界について	-0.021	-0.027
レバー操作の統一	-0.030	-0.056

6.3 動的安定性評価方法

6.3.1 揺動現象の規準化

5.5項で揺動現象と運転員の意識の関係を明らかにした。しかし、この時用いた物理量については次元が異なるだけでなく、平均値($\bar{x}$)や標準偏差(σ)が異なるなど回帰方程式に取り込むには不都合な点が多い。このような問題を解消するため本項では各物理量の規準化を試みた。

規準化とは、物理量の値を x とした場合

$$\frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

によって表わされ、各物理量の正規分布は平均値がゼロ、標準偏差 σ が1の正規分布に統一される。

表-6.7は5.5項で運転員の意識に影響を与えると指摘された物理量について規準化したものである。但し規準化に用いた平均値及び標準偏差の値は表-6.8に示すとおりである。

表-6.7 油圧ショベル物理特性の標準化

機種	最大傾斜角 (x_1)	対数減衰率 (x_2)	揺動周波数 (x_3)	重心高比率 (x_4)	作業機種量比 (x_5)	全装備重量 (x_6)
1	-0.318	0.590	1.614	1.242	-0.720	-1.583
2	-0.209	0.284	0.941	-0.229	-0.669	-0.858
3	-0.209	0.651	0.941	-0.632	-0.530	-0.681
4	0.677	0.712	-0.671	0.009	-0.428	-0.009
5	0.622	0.651	-1.421	-0.205	-0.390	0.486
6	0.196	1.629	-0.952	-1.320	-0.479	0.610
7	-1.521	-0.389	-0.765	-0.703	-0.377	2.042
8	-0.766	0.467	2.091	-1.842	-0.593	-1.654

機種	最大傾斜角 (x_1)	対数減衰率 (x_2)	揺動周波数 (x_3)	重心高比率 (x_4)	作業機種量比 (x_5)	全装備重量 (x_6)
9	1.377	0.161	0.173	0.483	-0.631	-0.911
10	1.825	1.079	1.264	-0.371	-0.999	-0.504
11	1.082	-2.285	-0.185	0.127	-0.416	-0.699
12	0.786	-1.123	-0.466	0.720	-0.289	-0.257
13	-0.941	-1.001	0.045	-1.557	-0.238	0.486
14	0.349	-0.450	-0.517	-2.103	0.206	1.282
15	-1.608	1.752	1.895	1.859	-0.745	-0.628
16	0.721	-0.878	-0.995	-0.205	-0.314	0.539
17	-0.613	-1.245	-0.765	-0.276	-0.327	1.423
18	-1.029	0.590	1.102	1.669	-0.454	-0.858
19	-0.165	1.324	-1.088	0.127	-0.136	0.592
20	-0.657	0.406	-0.995	0.009	-0.758	1.140
21	0.940	-1.306	-0.620	0.507	1.690	-0.876
22	0.458	-0.695	0.045	0.412	1.018	-0.540
23	1.530	-0.634	-0.406	0.578	2.020	-0.681
24	-0.832	-0.267	-0.134	0.863	2.197	0.645
25	-1.696	-0.022	-0.134	0.839	2.362	1.494

表- 6.8 油圧ショベル物理特性の平均値及び標準偏差

	最大傾斜角 (deg)	対数減衰率 (1)	揺動周波数 (Hz)	重心高比率 (1)	全装備重量 (ToN)	作業機重量 比(1)
平均値	3.681	0.774	0.842	0.416	24.2	0.219
標準偏差	0.914	0.164	0.117	0.042	15.752	0.079

6.3.2 揺動現象と運転員の意識の関係

規準化された各物理量と運転員の乗車機種に対する「受容—拒否」の関係をステップワイズ重回帰分析によって検討してみた。

表- 6.9 はステップワイズ回帰分析において採用された説明変量と、その時の重相関係数を示したものである。表より「受容—拒否」の意識を支配する最つとも重要な物理量は最大傾斜角で、意識変動の3割強程度が説明できることがわかる。

また、5.5 項で採用された重心高比率とは無相関であり、作業機重量比についても回帰式には取り組まれたものの、回帰の寄与率は低いことがわかる。

したがって、運転員の「受容—拒否」の意識は最大傾斜角、対数減衰率、揺動周波数および全装備重量の4項目で全変動（第1相関軸上）の7割強が説明可能であることがわかる。

表-6.9 ステップワイズ回帰

ステップ No	取り入れた説明変量	重相関係数
1	最大傾斜角 (x_1)	0.5728
2	対数減衰率 (x_2)	0.7760
3	揺動周波数 (x_3)	0.8238
4	全装備重量 (x_6)	0.8503
5	作業機重量比 (x_5)	0.8512

また全装備重量は機械の大きさを表わす項目であり、最大傾斜角と合成し揺動振幅を左右するとすれば、動的安定性は単純に車体揺動の特性によって評価できることがわかる。

これら4個の説明変量を用いた場合の回帰式は

$$y = 0.103 x_1 - 0.0505 x_2 + 0.0658 x_3 + 0.0456 x_6$$

となる。この予測式においては、スコアが大きくなる機種ほど動的安定性の評価は悪いと予測されることを意味する。また各説明変量が動的安定性の評価に与える影響を回帰係数の符号から判断すると振幅が大きく、また周波数の高い揺れほど動的安定性の評価は悪く、逆に減衰率の高い機種ほど良く評価されることがわかる。図-6.8に回帰分析に用いた機種について、運転員の評価スコアと前記回帰式によって推定したスコアの関係を示した。図中、第1象限と第3象限は、物理量からの評価スコアの推定値と、運転員の実際の評価スコアの傾向が一致していることを意味する。

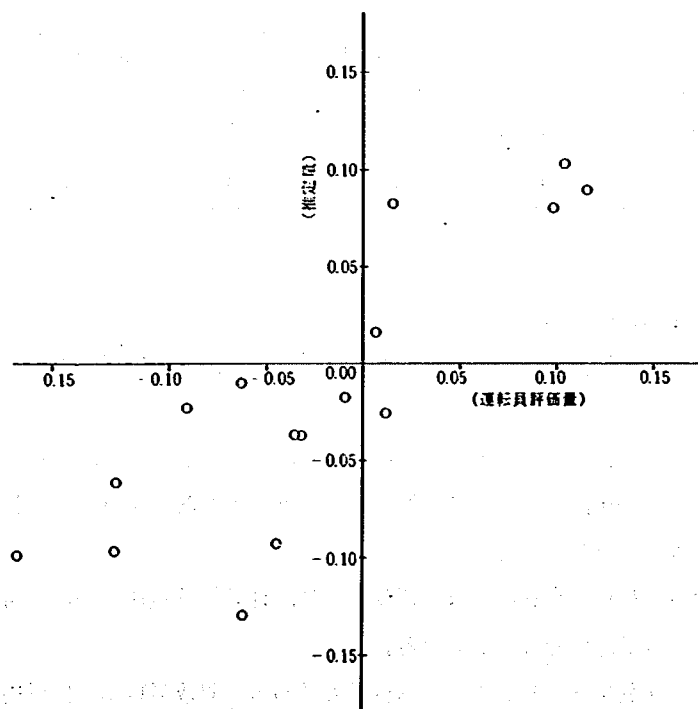


図-6.8 運転員評価量と推定量の関係

あ　と　が　き

本報告書は、昭和56年度から3ヶ年計画で実施した「油圧ショベルの動的安定性評価」に関する研究成果をまとめたものである。

油圧ショベルの動的安定性という概念は、本文でも論じたとおり、“油圧ショベルの乗りごち”に関係するものであり、その意味からも、本研究では、揺動現象に対する運転員の心理評価の予測を研究対象とした。したがって、本研究で用いた研究方法は、物理的な計測と運転員の意識を結びつける、いわゆる社会工学的方法となった。

分析の結果、油圧ショベルの揺動現象と、運転員の“受容—拒否”での心理評価とは密接な関係があり、物理的な計測から心理評価量を推定する関係式を示した。この関係式は、本研究で提案した「油圧ショベルの動的安定性試験方法」に基づく試験データから運転員の評価を推定するものである。しかし、この関係式によって推定された評価がたとえ良くなくても、乗りごちや、操作性を十分に改善された現在の油圧ショベルの平均と比較して良く評価されないと予測されるだけであって、絶対的に悪く評価されることを意味するのではないことに注意する必要がある。

いずれにしろ、操作レバーの配置の統一とか、一部の問題を除いて、油圧ショベルは好意的に評価されている建設機械であり、より一層安定した機械になれば、更に評価は良くなるものと思われる。本研究の成果が油圧ショベルの動的安定性評価に生かされ、より安全な建設機械の開発の一助になれば幸いである。

本研究を実施する上で、建設機械化協会ショベル技術委員会、建設機械化研究所、および油圧ショベルメーカー各社の全面的な協力を得た。末尾ながら感謝の意を表するものである。

【参 考 文 献】

- 1) 建設省関東技術事務所“建設機械の安全施工に関する調査試験報告書” 関技第117号 昭和52年度
- 2) 沢田, 山田, 豊田, 荒井“建設機械の安全施工に関する試験報告書” 土木研究所資料第1707号
- 3) 吉井, 伊藤, 清崎“油圧式ショベルの動的安定性評価” 住友重機技報 Vol 27 No 81
Dec. 1979
- 4) 村上“パワーショベル動的安定性の定量的評価方法と理論解析” 小松技報 Vol 24 No 2
1978
- 5) 有馬, 野中“油圧ショベルの動的安定性の解析” 機械学会 日立地方講演会論文集 (1977.
- 9 - 30 - 日立建機)
- 6) 数量化理論プログラムパッケージ PPSS 日立製作所

資料1) 意識調査票 (昭和57年度)

サンプルNo

--	--	--

①～③

油圧ショベルについてのおうかがい

昭和58年3月

建設省委託調査

◆ 所属事業所について下の欄にご記入下さい。

事業所名			
住 所			
TEL			
アンケート用紙の発送担当者名			

Q1 失礼ですが、あなたの年齢はいくつですか。(○は1つ)

1. 29歳以下 2. 30～39歳 3. 40～49歳 4. 50～59歳 5. 60歳以上 ④

Q2 あなたの油圧ショベルの運転経験は何年になりますか。(○は1つ)

1. 2年未満 2. 2～5年未満 3. 5～10年未満 4. 10年以上 ⑤

Q3 あなたが日頃もっともよく運転されている油圧ショベルのメーカー名、型式、標準バケット容量を、下の枠内に記入して下さい。この油圧ショベルを以下対象機種と呼びます。

メーカー名	型 式	標準バケット容量
		m ³

A・C

--	--

⑥～⑦

Q4 対象機種に、アタッチメントのロングアームを装着することがありますか。(○は1つ)

1. いつも装着している 2. 作業によって装着することがある 3. いつも装着していない

Q5 あなたは、これまでに何台ぐらいの油圧ショベルを運転されたことがありますか。(○は1つ)

1. 1台 2. 2～3台 3. 4～5台 4. 6～9台 5. 10台以上

1. 上下水道工事 2. 建築基礎工事 3. 解体工事 4. ガス・電設工事
5. 造 園 6. 土木工事 7. その他 ()

1. 舗装面や岩石などの硬い所
2. 締固め土や普通の地盤
3. 掘削土や軟弱地などの軟らかい所
4. その他（ ）

1. 積み込み 2. 運搬 3. 埋め戻し 4. 切崩し 5. 表土はぎ 6. 溝掘削
7. 床掘り 8. 側面掘り 9. その他 ()

1	2	3	4
満足	やや満足	やや不満	不満

- 64 —

Q10 あなたは、対象機種の中の点を改良してほしいと思いますか。当てはまるものを3つまで選んで下さい。

SQ1 また、一番改良してほしいと思われるものを1つだけ選んで下さい。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
	馬力や作業スピードなどの性能	騒音や振動	操作のしやすさ	キャビン内の居心地	ゆれるショック	燃費	レバーの配置	その他()	
Q10 改良してほしいもの (○は3つまで)	⇒ 1	2	3	4	5	6	7	8	⑳～㉒
SQ1 一番改良してほしいもの (○は1つ)	⇒ 1	2	3	4	5	6	7	8	㉓

Q11 あなたが、対象機種を使って作業されているときに、次のA～Dのような経験をされたことがありますか。それぞれの項目について「たびたびある」から「ほとんどない」まで、当てはまる番号に○をつけて下さい。

	1	2	3	4	
	たびたびある	時々ある	あまりない	ほとんどない	
A 車体のゆれがなかなか止まらないことが多い……………→	1	2	3	4	㉔
B むち打ち症になるくらいひどいショックを受けることが多い……………→	1	2	3	4	㉕
C ブーム操作を急停止すると車体がガタつくことが多い……………→	1	2	3	4	㉖
D 油圧ショベルによる地盤振動で周辺の住民から苦情を言われたこと……………→	1	2	3	4	㉗

Q12 では、Q11のA～Dのような状態は、あなたにとってどの程度気になりますか。それぞれの項目について「非常に気にする」から「ほとんど気にしない」まで、当てはまる番号に○をつけて下さい。

1	2	3	4
非常に気にする	やや気にする	あまり気にしない	ほとんど気にしない

- A 車体のゆれがなかなか止まらないことが多い……………→ 1 2 3 4 ㊹
- B むち打ち症になるくらいひどいショックを受けることが多い……………→ 1 2 3 4 ㊹
- C ブーム操作を急停止すると車体がガクつくことが多い……………→ 1 2 3 4 ㊹
- D 油圧ショベルによる地盤振動で周辺の住民から苦情を言われたこと……………→ 1 2 3 4 ㊹

Q13 あなたは対象機種の車体のゆれやショックの具合は、他の機種に比べて良い方だと思いますか、それとも悪い方だと思いますか。(○は1つ)

1. 良い方だ 2. まあ良い方だ 3. 同じようなものだ 4. まあ悪い方だ 5. 悪い方だ ㊹

Q14 対象機種の車体のゆれやショックの具合について不満な点、気のついた点があれば具体的にお知らせ下さい。

Q15 油圧ショベルの作業について、次のような意見があります。これらの意見のそれぞれについて、あなたはどのように思われますか。「そう思う」から「そう思わない」まで、あなたのお気持ちと一致する番号に○をつけて下さい。

1	2	3	4
そう思う	まあそう思う	あまりそう思わない	そう思わない

- (1) どんなときでも作業を安全にやることが大切だ……………→ 1 2 3 4 ㊹
- (2) 作業を1日中やるとイヤになってしまう……………→ 1 2 3 4 ㊹
- (3) 車体がゆれないよう気をつけて操作する方だ……………→ 1 2 3 4 ㊹
- (4) 油圧ショベルの作業はイライラすることが多い……………→ 1 2 3 4 ㊹

	1 そう思う	2 まあそう思う	3 あまりそう思わない	4 そう思わない	
(5) 油圧ショベルの運転には自信がある方だ……………→	1	2	3	4	37
(6) 危険な作業でも思い切ってこなしてしまう方だ……………→	1	2	3	4	38
(7) ラジオを聴きながらでも気楽に作業できる……………→	1	2	3	4	39
(8) 今の油圧ショベルは体との一体感が得られやすい……………→	1	2	3	4	40
(9) 仕事はキレイに仕上げるのが大切だ……………→	1	2	3	4	41
(10) 車体が大きくゆれると不安になる……………→	1	2	3	4	42
(11) 油圧ショベルの作業は細かい神経を使う……………→	1	2	3	4	43
(12) 法面や均平作業の仕上げには苦勞する……………→	1	2	3	4	44
(13) 油圧ショベルはとにかくキビキビしたものにかぎる……………→	1	2	3	4	45
(14) 油圧ショベルの操作は馴れてしまえば誰にでもできる……………→	1	2	3	4	46
(15) 転倒をこわがっているのは作業が進まない……………→	1	2	3	4	47
(16) 車体のゆれやショックが長く続くと耐えられない……………→	1	2	3	4	48
(17) 油圧ショベルの運転は体でおぼえるものだ……………→	1	2	3	4	49
(18) 少々荒っぽい運転の方が仕事ははかどる……………→	1	2	3	4	50
(19) 車体がゆれると細かい作業がやりにくい……………→	1	2	3	4	51
(20) 油圧ショベルの作業は苦痛な作業だと思う……………→	1	2	3	4	52
(21) 車体のゆれやショックをカバーするのが運転員の腕というものだ……………→	1	2	3	4	53
(22) 今の油圧ショベルは乗りごちがよい……………→	1	2	3	4	54
(23) 足元の地盤が崩れないかと不安になることが多い……………→	1	2	3	4	55
(24) 作業の終わったあとは体かだるくなってしまう……………→	1	2	3	4	56
(25) 油圧ショベルの作業に車体のゆれやショックはつきものだ……………→	1	2	3	4	57
(26) 仕事はゆったりやった方がよい……………→	1	2	3	4	58
(27) 油圧ショベルの作業に危険はつきものだ……………→	1	2	3	4	59
(28) 油圧ショベルの作業では肩や腰がこることが多い……………→	1	2	3	4	60
(29) 今の油圧ショベルはたいいの作業がこなせる……………→	1	2	3	4	61
(30) 馬力のある油圧ショベルの方が調子よく仕事ができる……………→	1	2	3	4	62
(31) 今の油圧ショベルは操作レバーが重く感じられる……………→	1	2	3	4	63
(32) 油圧ショベルの作業はそれほど疲れない……………→	1	2	3	4	64

資料2) 意識調査票 (昭和58年度)

サンプルNo

①	—	②～④	⑤～⑧
---	--	--	--

油圧ショベルについてのおうかがい

昭和58年11月 建設省土木研究所

◆ お問い合わせ

このアンケートに記入していただくのは油圧ショベルをふだん運転されている方です。記入していただいたアンケート用紙は所属事業所を通して、郵便で11月30日までに投函して下さい。

◆ 所属事業所について

事業所名		TEL	
所在地			

Q1 下記の油圧ショベルのなかで、あなたが日頃もっともよく運転されている機種を1つだけ選んで番号に○印をつけて下さい。(○印は1つだけ)

- | | | | |
|----|-----|-----|----|
| 1. | 10. | 19. | |
| 2. | 11. | 20. | |
| 3. | 12. | 21. | |
| 4. | 13. | 22. | ⑨⑩ |
| 5. | 14. | 23. | |
| 6. | 15. | 24. | |
| 7. | 16. | 25. | |
| 8. | 17. | | |
| 9. | 18. | | |

Q2 その機種(対象機種)にアタッチメントのロングアームを装着することがありますか。
(○印は1つだけ)

1. いつも装着している 2. 作業によって装着することがある 3. いつも装着していない ⑪

Q3 失礼ですが、あなたの年齢はおいくつですか。(○印は1つだけ)

1. 29歳以下 2. 30～39歳 3. 40～49歳 4. 50歳以上 ⑫

Q4 あなたが油圧ショベルを運転されるようになってから何年になりますか。(○印は1つだけ)

1. 5年未満 2. 5～10年未満 3. 10～15年未満 4. 15～20年未満 5. 20年以上 ⑬

Q5 あなたは、これまでに何台ぐらいの油圧ショベルを運転されたことがありますか。

(○印は1つだけ)

1. 1台 2. 2～3台 3. 4～5台 4. 6～9台 5. 10台以上 ⑭

Q6 あなたは、対象機種について、満足されていますか。それとも不満に思っていますか。次のA～Gの項目のそれぞれについて、当てはまる番号に○印をつけて下さい。

	満 足	やや 満足	やや 不満	不 満
A 馬力や作業能率などの性能面については.....→	1	2	3	4 ⑮
B 騒音や振動については.....→	1	2	3	4
C 操作性（作業のしやすさ）については.....→	1	2	3	4
D 居住性（キャビン内の居ごち）については.....→	1	2	3	4
E 揺れやショックについては.....→	1	2	3	4 ⑯
F 視界については.....→	1	2	3	4
G 総合的には.....→	1	2	3	4

Q7 あなたは対象機種のどの点を改良してほしいと思いますか。当てはまるものを3つ以内選んで番号に○印をつけて下さい。

また、そのなかから、一番改良してほしいと思われるものを1つだけ選び番号に○印をつけて下さい。

	馬 力 や 作 業 能 率	騒 音 や 振 動	操 作 性	居 住 性	揺 れ や シ ョ ッ ク	視 界	レ バ ー 操 作 の 統 一	そ の 他
A 改良してほしいもの (○印は3つ以内) ⇔ ⇔	1	2	3	4	5	6	7	8 ⑳～㉑
B 一番改良してほしいもの (○印は1つだけ) ⇔	1	2	3	4	5	6	7	8 ㉒

Q8 あなたが対象機種を使って作業されているときに、どのような揺れ方が多いですか。その感じに近い言葉を次のなかから2つ選んで下さい。(○印は2つ)

1. ガクン 2. グラーッ 3. フワーッ 4. ガタガタ 5. グラグラ
6. ユラユラ 7. フワフワ ㉓ ㉔

Q 9 あなたが対象機種を使って作業されているときに、次のA～Cのような経験をされたことがありますか。「たびたびある」から「ほとんどない」までの当てはまる番号に○印をつけて下さい。

	たびたびある	時々ある	あまりない	ほとんどない	
A 車体が大きくゆれること……………→	1	2	3	4	②③
B 車体のゆれがなかなか止まらないこと……………→	1	2	3	4	
C ブーム操作を急停止すると車体がガタつくこと……………→	1	2	3	4	

Q 10 あなたは、対象機種の車体のゆれやショックの具合は、他の機種に比べ良い方だと思いますか。それとも悪い方だと思いますか。(○印は1つだけ)

1. 良い方だ 2. まあ良い方だ 3. あまり良くない方だ 4. よくない方だ ③④

Q 11 油圧ショベルの作業について、次のような意見があります。あなたは対象機種を運転されていて、どのように思われますか。「そう思う」から「そう思わない」まで、あなたの気持ちに近い番号に○印をつけて下さい。

	そう思う	まあそう思う	あまりそう思わない	そう思わない	
(1) 車体の揺れが大きくて、つい不安になることがある……………→	1	2	3	4	③④
(2) 車体の揺れではそれほど疲れない……………→	1	2	3	4	
(3) 車体が揺れて細かい操作がやりにくい……………→	1	2	3	4	
(4) この機種は作業が調子良くはかどる……………→	1	2	3	4	
(5) どっしりしていて安定感のある機種だと思う……………→	1	2	3	4	
(6) 作業の終わった後、体がだるくなってしまう……………→	1	2	3	4	③④
(7) むち打症になるくらい大きな揺れを受けることがある……………→	1	2	3	4	
(8) 細かな作業でも思い通り動いてくれる……………→	1	2	3	4	
(9) この機種は細かな神経を使うことが多い……………→	1	2	3	4	
(10) 作業がはかどらずイライラすることが多い……………→	1	2	3	4	

	そ う 思 う	ま あ う 思 う	あ ま り そ う 思 わ な い	そ う 思 わ な い	
⑪ リラックスな気持で作業をしている……………→	1	2	3	4	④②
⑫ 作業していても車体の揺れは気にならない……………→	1	2	3	4	
⑬ 作業が終わったあと足が地につかない感じがする……………→	1	2	3	4	
⑭ 車体の揺れがひどく長時間の作業に向いていない……………→	1	2	3	4	
⑮ バケットの位置決めなどに苦勞することがある……………→	1	2	3	4	
⑯ この機種はたいていの作業がこなせる……………→	1	2	3	4	④⑦
⑰ 体との一体感が得られている……………→	1	2	3	4	
⑱ 揺れが多少あっても仕事がどんどん進む……………→	1	2	3	4	
⑲ 作業中は体が放り出されないように踏ん張って操作している……………→	1	2	3	4	
⑳ 揺れがなかなか止まらなくてイライラすることが多い……………→	1	2	3	4	
㉑ 作業の翌日はよく肩や腰がこる……………→	1	2	3	4	⑤②
㉒ 作業を1日中やるとイヤになることがある……………→	1	2	3	4	
㉓ 法面や均平作業の仕上げにいつも苦勞している……………→	1	2	3	4	
㉔ 今程度の車体の揺れであれば、作業上支障はない……………→	1	2	3	4	
㉕ 多少荒っぽい操作をしている方だ……………→	1	2	3	4	
㉖ 車体が揺れないように気をつけながら操作している……………→	1	2	3	4	⑤⑦
㉗ 今程度の揺れであれば、楽に操作できる……………→	1	2	3	4	
㉘ 車体の揺れも少なく、乗りごちの良い機種だと思う……………→	1	2	3	4	
㉙ 車体が揺れて、スムーズな作業ができない……………→	1	2	3	4	

ご協力ありがとうございました。

建設機械の安全施工に関する調査試験
—油圧ショベルの動的安定性評価—

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2087号
昭和59年3月（1984年）
建設省土木研究所機械研究室
境 友昭，斉藤英晴

キーワード：建設機械，油圧ショベル，動的安定性

要旨

本調査試験は，油圧ショベルの作業時における揺動現象について，運転員のフィーリング評価方法の開発を目的として実施したものである。

本調査では，油圧ショベルの揺動現象の実態とその物理量の記述方法，運転員の意識空間の分析，および両者の関係の分析によって，物理量から運転員の意識空間での評価量の予測手法の提案を行った。



郵便はがき

は40
円切
手
を
い
っ
て
下
さ

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

機械研究室 行

No.

配布先氏名

配布先住所

No. 145

土木研究所資料 第2087号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印