

17. 大型ホイールローダ及び大型油圧ショベルの アベイラビリティ

建設機械化研究所 藤本 義二・*本郷 慎一

1. まえがき

建設機械化研究所では、機械工業振興資金の補助を受けて、昭和56年度より3年間にわたり“建設機械の実用性試験方法に関する調査研究”を実施して来た。この研究の目的は、建設機械のアベイラビリティを評価する方法に関し、その可能性と問題点を明らかにすることである。

この報文は、建設機械のアベイラビリティに関する種々の問題点を明らかにするために行った、建設機械の現場稼働実態調査の結果から、大型ホイールローダ及び大型油圧ショベルのアベイラビリティの実態について述べたものである。

2. 信頼性とアベイラビリティ

信頼性工学は、主として電子工学の分野を中心として発展して来たが、建設機械の分野においても信頼性という言葉は、かなり以前から使われていた。しかし、当時は、現在の信頼性工学で使われる明確な定義に基づくものではなく、漠然とした抽象的な観念であったと思われる。

信頼性とは、JIS Z 8115 (信頼性用語)によれば、「アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たすことができる性質」と定義づけている。一般的には信頼性は、耐久性、保全性、設計信頼性の三要素から成り立つものとされており、アベイラビリティは、この中の前二者と関連して、信頼性を数量的に表現又は評価するための尺度とみることができる。

またアベイラビリティとは、同じくJIS Z 8115によれば、「修理系が規定の時点で機能を維持している確率、又はある期間中に機能を維持する時間の割合」と規定されている。即ち、アベイラビリティAは、稼働可能時間を U_i 、稼働不能時間を D_i とすると、次式で示される。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{i=1}^n U_i + \sum_{i=1}^n D_i} \quad (1)$$

この式を見ると、アベイラビリティとは、建設機械の使用計画をたてる際に用いられて来た稼働率であることがわかる。次に、 $\sum_{i=1}^n U_i \rightarrow \text{MTBF}$ (平均故障間隔)、 $\sum_{i=1}^n D_i \rightarrow \underbrace{\text{MTTR}}$ (平均修復時間)であることから、(1)式は以下のように書き換えることができる。

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (2)$$

JIS Z 8115では、(1)式を運用アベイラビリティと呼び、装置やシステムの実際運用を考慮した指標であるとし、(2)式は固有アベイラビリティと呼ばれ、装置又はシステムの信頼度と保全度の部分を抽出して表現した、設計固有の指標であるとしている。

3. 調査方法

調査対象機械は、(社)日本機械士工協会の協力を得て、14箇所の現場で稼働中の大型ホイールローダ8台(5.4 m³級5台、10.3 m³級3台)、及び大型油圧ショベル7台(1.4 m³級1台、3.0

級3台)を選定した。これらの機械に対し日報形式の調査表を配付し、毎日の稼働及び修理整備状況の克明な記録を依頼し、調査期間終了後調査表を回収して、資料の分析及びとりまとめを行った。なお、調査期間中の平均稼働時間は、ホイールローダ、油圧ショベル共に約900hであった。

4. 調査結果

4.1 表-1は、故障の発生数及びその修理時間を故障発生箇所別に示したものである(ブルドーザは、前年度の調査結果を示す)。この表を見ると、故障発生数は、ブルドーザ及びホイールローダに対しては作業装置に

表-1 機械装置別の故障発生頻度と修理時間

おいて最も多いが、油圧ショベルでは油圧装置における故障が圧倒的に多い。

しかし、これらの装置における故障の修理時間は比較的短かいので、MTBFの低下要因になってはいるが、MTTRの増大に寄与する割合は小さい。

装置名	ブルドーザ				油圧ショベル				ホイールローダ			
	故障件数	修理時間			故障件数	修理時間			故障件数	修理時間		
		累計	平均	最大		累計	平均	最大		累計	平均	最大
エンジン	9(10.4)	147.75(35.3)	16.2	114.0	8(10.2)	27.00(13.5)	4.5	8.0	6(9.7)	63.50(19.5)	10.6	23.0
動力伝達系統	2(2.3)	10.50(2.6)	5.3	7.5	—	—	—	—	6(9.7)	51.00(15.7)	8.5	24.0
足廻り装置	13(15.1)	55.00(13.3)	4.3	23.0	4(6.8)	28.75(14.4)	7.2	14.0	2(3.2)	20.00(6.1)	10.0	16.0
作業装置	22(25.6)	37.50(9.1)	1.7	4.0	12(20.3)	54.75(27.3)	4.6	9.0	16(29.0)	80.75(24.6)	4.9	12.0
ブレーキ装置	4(4.7)	29.00(7.0)	7.3	11.0	—	—	—	—	3(4.8)	22.50(6.9)	7.5	18.0
機内装置	2(2.3)	25.00(6.0)	12.5	24.0	1(1.7)	8.00(4.0)	8.0	8.0	1(1.6)	1.00(0.3)	1.0	1.0
懸架装置	2(2.3)	25.00(6.0)	12.5	22.0	—	—	—	—	—	—	—	—
フレーム	2(2.3)	5.50(1.3)	2.8	4.0	1(1.7)	—	—	—	—	—	—	—
外装	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
修繕装置	—	—	—	—	1(1.7)	2.00(1.0)	2.0	2.0	—	—	—	—
油圧装置	11(12.8)	27.75(6.7)	2.5	4.0	26(44.0)	62.25(21.1)	2.4	7.0	11(17.8)	51.50(15.8)	4.7	16.0
電気系統	11(12.8)	23.50(5.7)	2.1	5.5	5(8.5)	8.00(4.0)	1.6	4.0	11(17.8)	19.50(6.0)	1.8	4.0
燃料配管	4(4.7)	23.50(5.7)	5.9	18.0	2(3.4)	9.00(4.5)	4.5	9.0	1(1.6)	4.00(1.2)	4.0	4.0
その他	4(4.7)	5.50(1.3)	1.4	2.5	1(1.7)	0.50(0.2)	0.5	0.5	2(4.8)	12.00(3.7)	4.0	8.0

()内は全体に対するパーセンテージ

4.2 稼働不能時間の構成と範囲

稼働不能時間(ダウンタイム)とは、整備、故障修理又は修理待ちなどのために、アイテムが規定の機能を果たすことができない状態にある時間である。これらのダウンタイムを構成する時間は、作業予定時間外にわたることが多いので、ダウンタイムの範囲をどこまで考慮するかにより、アベイラビリティは大きく影響される。

例えば、アイテムが稼働を要求されない時間(稼働不要時間)内の修理又は修理待時間を、ダウンタイムに加算するか否かにより二つの考え方がある。また、日常点検等の整備時間は、作業予定時間外(即ち、稼働不要時間)に行われるので、ダウンタイムとするか否かについて二つの考え方が生ずる。ここでは、ダウンタイムの範囲を、以下の4通りに分類して解析を進める。

- 作業予定時間内の、修理時間のみをダウンタイムとする。
- 作業予定時間の如何に拘わらず、全修理時間をダウンタイムとする。
- 作業予定時間内の、修理時間と修理待時間の合計をダウンタイムとする。
- 全修理時間、全修理待時間、全日常及び定期整備時間の総計をダウンタイムとする。

以上のような分類を行うに当たっては、厳密には修理、日常整備等の定義を行わなければならない。ここでは、オイル、エレメント等の消耗品の交換は、日常点検整備に分類した。なお、JIS Z 8115では保全という用語に統一し、“アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠

点などを回復するためのすべての処置及び活動”と定義している。

カッティングエッジ、バケットツースなどの作業装置の消耗部品の損耗は、作業内容や作業条件の影響を受け易いと考えられる。そこで、これらの交換作業を修理とした場合、及び整備としてダウンタイムから除外した場合(例えば、C'とする)についても分類した。

4.3 MTBFとMTTR

作業装置関係の消耗品の交換を除外した故障について、累積稼働時間2000h毎の発生件数及び修理時間を計上し、MTBF及びMTTRを求めた。図-1及び図-2に、その結果を示す。ただしここに示す値は、調査対象機種別の平均値である。

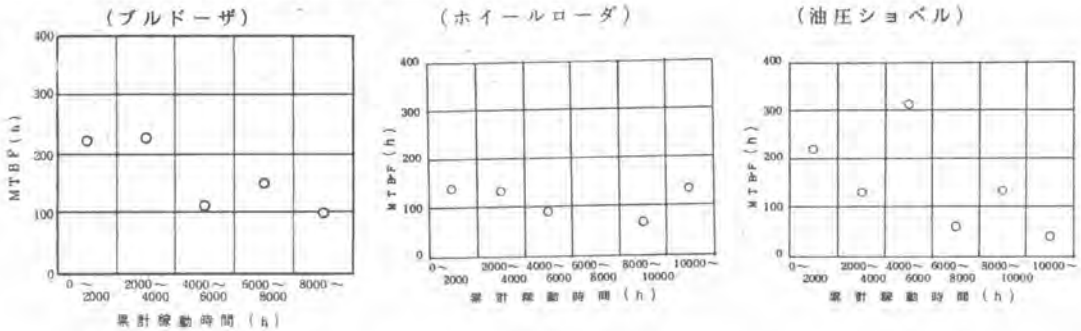


図-1 累計稼働時間に対するMTBF

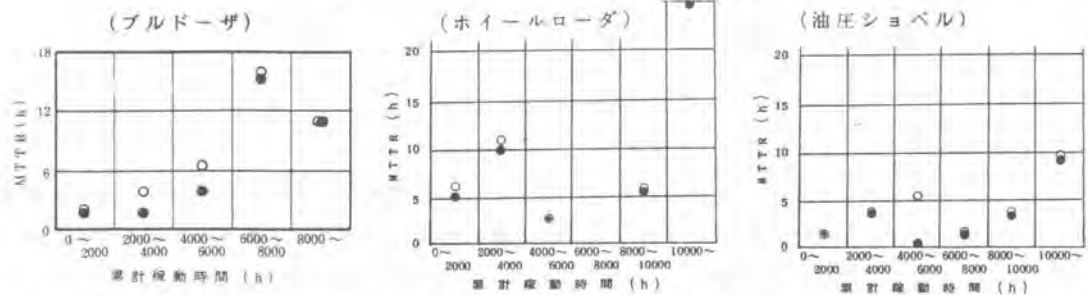
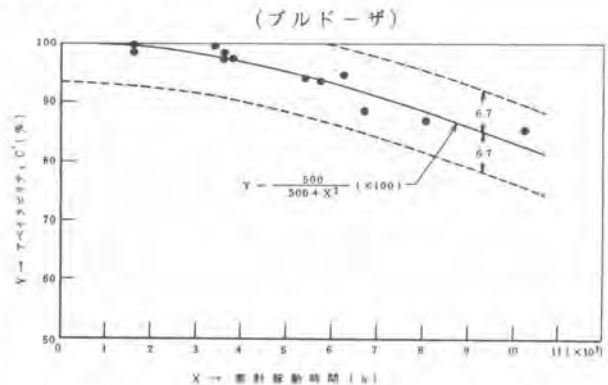


図-2 累計稼働時間に対するMTTR

これらの図から、大型建設機械は何れの機種も、累計稼働時間が大きくなるに従がいMTBFが小さくなり、一方MTTRは大きくなることがわかる。

4.4 アベイラビリティの試算

図-3は、4.2項の条件C'について、(1)式により算出した各調査対象機械のアベイラビリティを、調査終了時のアウメータの読みに対して示したものである。アウメータの読みは、ほぼ累計稼働時間に相当すると見て良い。この図では、メーカー及び規格等の異なる機械を同一に取扱っているためか、ばらつきが多い。



しかし、何れの機種の場合も累計稼働時間が4000h程度までは、アベイラビリティはかなり高い値を示し、それ以降は時間の経過と共に漸減する傾向を見せている。なお、ここでは条件C'についてのみ示したが、この定性的傾向については何れの条件においても同様である。

以上のような傾向が生ずることは、4.3項において機械が古くなるにつれ故障頻度が高くなり、故障1件当り修理時間が増大する傾向のあることから、予測できたことでもある。

次に、図-1においてMTBFは時間の逆数で近似できることから、MTBFは下式で示される。

$$MTBF = a / t \dots\dots\dots (3)$$

ただし、a：定数、t：時間

また、図-2よりMTTRは時間に比例していることから、下式で近似できる。ただしbは定数。

$$MTTR = b t \dots\dots\dots (4)$$

(3)式、(4)式を、アベイラビリティの定義を示す(2)式に代入すると、以下ようになる。

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{a / t}{a / t + b t} = \frac{a}{a + b t^2} \dots\dots\dots (5)$$

このa、bの値を、調査の結果得られたアベイラビリティの値とできるだけ一致するように回帰曲線の式を求めると、図-3中に示すように3種の建設機械について、それぞれの式が得られる。以上は、条件C'についてのみ試算したが、アベイラビリティYが累計稼働時間Xに関し、

$Y = k / (k + X^2)$ で表されるとして、kの値を他の条件について求めた結果を、表-2に示す。

この表を見ると、算出条件によりアベイラビリティは大きく変わることがわかる。

5. あとがき

アベイラビリティは、他の分野における例をひくまでもなく、メーカー、ユーザの双方にとり利用価値の高いものである。建設機械の分野において、その活用が普及されない理由は種種あるが、建設機械に適用する場合の用語の定義が確立されていないこと、及びデータの蓄積が極めて少ないことが大きな理由として挙げられる。

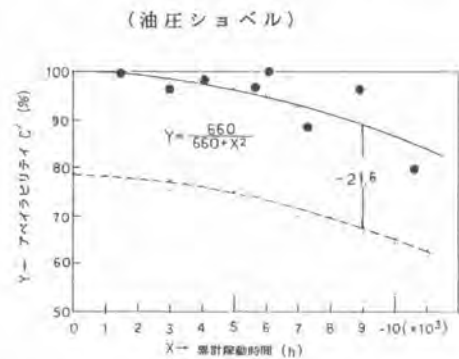
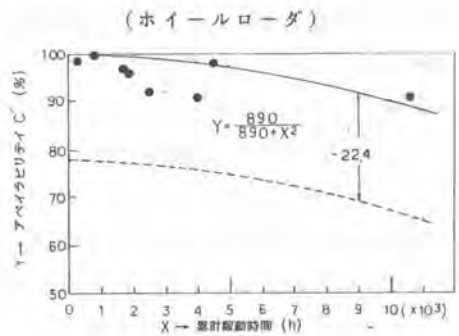


図-3 累計稼働時間とアベイラビリティ

表-2 算出条件と定数kの値

条件	ブルドーザ	ホイールローダ	油圧ショベル
A	A	970	1430
	A'	780	1960
B	B	950	1250
	B'	970	1370
C	C	520	630
	C'	520	890
D	D	230	360
	D'	230	410