

4. 大形ブルドーザのアベイラビリティ

建設省北陸地方建設局 *本田宜史

建設機械化研究所 藤本義二・門内正信

1. まえがき

アベイラビリティとは、機械やシステムの信頼性と保全性を総合した概念である。1つの故障が全体の機能に著しい影響を与える航空・防衛・宇宙開発などの分野では、早くからこのアベイラビリティの概念が導入され、性能向上に貢献してきている。最近、建設機械の分野に於ても、この言葉が注目されるようになってきており、ISOでもアベイラビリティの定義を国際標準化することが決議され、我国が原案を作成することになっている。このような背景のなかで、建設機械化研究所では、昭和56年度を初年度とする3カ年計画で、建設機械のアベイラビリティの試験方法を策定することを目的とした調査研究を、通産省機械振興補助金により実施している。この報告は、調査研究の過程で実施した現場使用実績調査で明らかとなった大形ブルドーザのアベイラビリティについて述べるものである。

2. 建設機械のアベイラビリティ

建設機械のアベイラビリティについては、その試験方法はもとより定義さえも定められたものはない。信頼性用語(JIS Z 8115)によれば、アベイラビリティとは「修理可能な系、機器または部品などが、ある特定の瞬間に機能を維持している確率」と定め、この値Aを

$$A = \frac{\text{(動作可能時間)}}{\text{(動作可能時間)} + \text{(動作不可能時間)}} \quad \text{————— (1)}$$

として求める場合が多いとしている。

建設機械について、稼働の状態を動作可能時間 U_i と動作不可能時間を D_i と区分して示すと、上式は

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{i=1}^n U_i + \sum_{i=1}^n D_i} \quad \text{————— (2)}$$

となり、一般には

$$A = \frac{OT}{OT + TTR} \quad \text{又は} \quad \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{————— (3)}$$

で示されている。

ただし、OT: 運転時間 (Operating Time), TTR: 修理時間 (Time to Repair)

MTBF: 平均故障間隔 (Mean Time between Failures)

MTTR: 平均修理時間 (Mean Time to Repair)

しかしながら、日常点検や定期整備などの定期保全時間や、部品まちなどの修理まち時間の扱いは定められていない。建設機械のアベイラビリティを高めるには、上式より、故障が少なく、故障時の修理時間が短いこと、即ち信頼性と保全性に優れていることが要求されるのである。

3. 大形ブルドーザ（30～40t級）の現場使用実績調査方法

アベイラビリティの試験方法を定めるためには、建設機械のアベイラビリティが、その使用条件や機械の新旧によりどの様になるのかを把握しておく必要がある。このため、現場で稼働中の機械を選定して、アベイラビリティを調査するための使用実績調査を次の要領で実施した。

- 調査期間 57年9月～58年2月（6カ月間）
- 調査台数 12台（内訳 プッシュ作業、掘削押土作業各2台、リッパ作業、スクレーパーけん引作業各4台）
- 調査様式 日報形式のアベイラビリティ算出用の調査表による。この調査表は、とくに運転予定時間の欄を設けて、実稼働時間との関係を明確にした。
- 機械の選定 30～40t級の2機種ブルドーザを、両機種とも新旧が適宜含まれるよう配慮した。

4. 大形ブルドーザのアベイラビリティ

(1) アベイラビリティの算出方法

建設機械のアベイラビリティは、機械自身の信頼性や保全性の他、現場での機械管理や修理体制、サービス系列の部品在庫や、地域的條件などによって、その値が変化する。また、日常点検や定期整備、修理待ち時間をダウンタイムとして扱うかどうかによっても算出した値が異なる。さらに、同一性能の機械であっても、作業条件によって変えることも予想される。

本調査研究では、現場で実際に示された値の他、機械自身の持つアベイラビリティ性能をも求めたいという観点から、次に示す条件を組合せた16通りのアベイラビリティ指数を算出した。

- 条件1. 日報に記載された通りの諸数値を用いた現場における実際のアベイラビリティ（ここでは、Operational アベイラビリティと呼び、A, B, C, Dと大文字で表示）と、記載された修理時間、修理待ち時間などを見直して標準的な値を用いるとともに、消耗品関係の交換は、作業予定時間外に行うべきとの考えで、日報を修正した値で算出した機械固有のアベイラビリティ（Inherent アベイラビリティ、a, b, c, d）
- 条件2. 作業内容や作業条件によって、影響を受けやすいとみられる作業装置の消耗部品にかかわる修理交換を故障として扱った場合と、除外した場合（除外したものを'と表示）
- 条件3. ダウンタイムの内容で4通り
- A, A', a, a' : 作業予定時間内の修理時間のみをダウンタイムとした場合
- B, B', b, b' : 作業予定時間内外の全修理時間をダウンタイムとした場合
- C, C', c, c' : 作業予定時間内の修理時間と修理待ち時間をダウンタイムとした場合
- D, D', d, d' : 全修理時間、修理待ち時間、日常及び定期整備時間をダウンタイムとした場合

すなわち、A, A', a, a'で示される値は、修理待ち時間を含んでいないため、整備員の配備や、部品の補給などが理想的な場合の値である。B, B', b, b'は、ある一定時間の運転を行うためには

全体としてどれだけの修理時間があるかを示す値であり、修理計画で利用されよう。C, C', c, c'は、現場での運転予定時間が、修理や修理まちによって、どの程度ダウンするかを示す値であり、現場での稼働実態にもっとも即した値を示すものといえる。D, D', d, d'は、ある一定時間の運転を行うためには、全体としてどれだけの修理や修理まち点検整備などの機械管理時間があるかを示す値であり、機械の運用管理面で利用されよう。

(2) 稼働実績より求めたアベイラビリティの例

上項の算出方法によって求めたアベイラビリティの例を表-1に示す。機械Ⅰは掘削押土作業を行なっている比較的新しい機械、機械Ⅱはリッパ作業を行なっている比較的古い機械である。

(3) アベイラビリティへの影響要因

各種の要因のうち、掘削押土、リッパ、スクレーバけん引などの作業内容と機械の新旧を取り出して、繰返しのある二元配置による分散分析を行なった。その分析結果を表-2に示す。

表-2より、作業内容による有意差はないが、機械の新旧により、アベイラビリティは有意水準5%で有意差があるといえる。

(4) アベイラビリティと累積稼働時間

図-1, 2は、上項の検討で、影響が大きいことが判明した累積稼働時間とアベイラビリティとの関係を示したものである。図より、大形ブルドーザは、4,000時間程度までの稼働に対しては、95%を超える高い水準のアベイラビリティを維持するが、以降その値が漸減する傾向を示すことがわかる。

表-1 アベイラビリティの例

		全故障を対称とした場合				作業装置の消耗品を除外した場合			
Operational アベイラビリティ	アベイラビリティ算定値	A	B	C	D	A'	B'	C'	D'
	機械Ⅰ	98.3	96.5	98.3	90.4	98.8	98.3	98.8	92.1
機械Ⅱ	87.3	87.3	87.1	82.5	87.3	87.3	87.2	82.6	
Inherent アベイラビリティ	アベイラビリティ算定値	a	b	c	d	a'	b'	c'	d'
	機械Ⅰ	99.8	97.2	99.8	91.1	99.8	98.6	99.8	92.3
機械Ⅱ	89.7	88.7	89.0	83.3	89.7	88.8	89.0	83.4	

表-2 影響要因の分散分析表

要因	偏差平方和 S	自由度 v	分散 V	分散比 F	F _{0.05}	F _{0.01}
作業内容	2.5	2	1.25	0.11	3.14	109
機械の新旧	124	1	124	108.8	3996	137
交互作用 A×B	0.08	2	0.025	0.02	3.14	109
誤差	67	6	11.2			

図-1 C の値

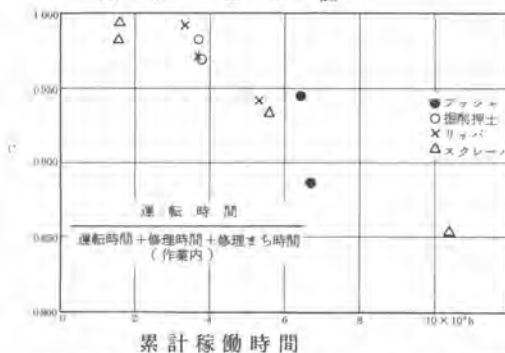
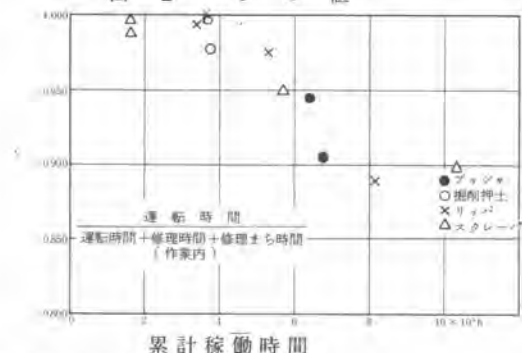


図-2 c の値



(5) 平均故障間隔MTBF, 故障率関数λ(t), 平均修理時間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、Inherent値を用いて、MTBF, λ(t) MTTRを求める。12台の機械を2,000時間毎の累積稼働時間別に分類して、それぞれの値を算出した。その結果を図-3, 4, 5に示す。

図-3 MTBF

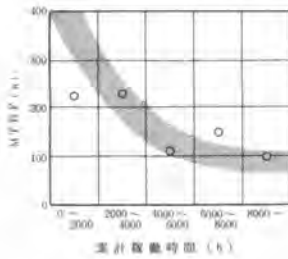


図-4 $\lambda(t)$

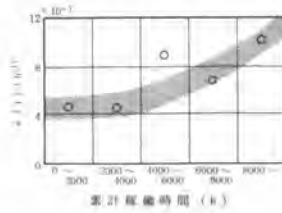


図-5 MTTR

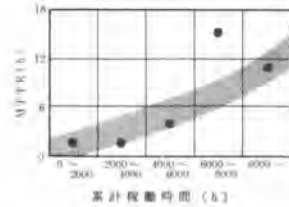


図-3, 4, 5より, 大形ブローザは, 累計稼働時間が大きくなる程, つまり古くなる程, 故障の発生頻度が増加し, しかも故障1件当りの修理時間が長くなることからわかる。

図-3より, MTBFは時間の逆数で近似できることから, MTBFは次式で示される。

$$MTBF = a / t \quad a: \text{定数}, t: \text{時間} \quad (4)$$

$\lambda(t)$ は故障率関数と称せられ, 一般に機械や電子機器では, その故障の発生はワイブル分布に従うとされていることから

$$\lambda(t) = m/a \cdot t^{m-1} \quad m: \text{形状パラメータ}, a: \text{尺度パラメータ} \quad (5)$$

で示され, $m > 1$ は摩耗故障, $m = 1$ は偶発故障, $m < 1$ は初期故障のパターンを示すものである。

図-4をこれと対比すると, この図は偶発故障と摩耗故障の混合ワイブル分布を示しているといえる。

図-5より, MTTRは時間に比例していることから, MTTRは次式で近似できる。

$$MTTR = b t \quad b: \text{定数}, t: \text{時間} \quad (6)$$

(4)式, (5)式を, アベイラビリティの定義を示す(3)式に代入すると, 次式が得られる。

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{a/t}{a/t + b t} = \frac{a}{a + b t^2} \quad (7)$$

このa, bの値を実績値で得られたc'の値と合致するように試行的に求めると, 図-6に示したように, Inherent アベイラビリティc'に

$$Y = \frac{700}{700 + X^2} \quad (8)$$

同様にOperational アベイラビリティC'については, 次式が得られる。

$$Y = \frac{500}{500 + X^2} \quad (9)$$

なお, 図中の点線で示した範囲は, 12台のサンプル値から, 母集団の存在範囲を X^2 -分布, t-分布により, 母平均, 母分散の推定により求めたものである。

5. あとがき

アベイラビリティの試験方法を見出す過程の中で, 明らかとなったアベイラビリティの実態について述べた。本調査研究の御指導を頂いているアベイラビリティ委員会各位に厚くお礼を申し上げる。

図-6 アベイラビリティの推定

