

シミズフレクスリップシステムの稼働信頼性分析

吉田 哲二

上野 高敏

野中 稔

§ 1. まえがき

鉄筋コンクリート製の超高煙突および無線塔、橋脚、高架水槽の施工法としてスリップフォーム工法は、日本国内で定着しつつある。従来、スリップフォーム工法は穀物サイロなどの垂直な壁面を持つ構造物の施工に適用されることが多い。一方、傾斜した壁面の施工、たとえば煙突のような先細りの筒体の施工法はもっぱらジャンプアップ型わく工法が用いられてきた。ところが、ジャンプアップ工法で高さ200mの煙突の施工をする場合、必要となる工期が1～2年にもなることから、より工期を短縮できる、傾斜壁面の施工をするスリップフォーム工法の開発が行なわれた。開発はクーリングタワーの施工の多いヨーロッパで主に行なわれ、日本でもゼネコン数社が技術導入し、超高煙突の施工に用いている。当社では、シミズフレクスリップシステムを1974年に国産技術として独自に開発し、実用化に成功した。フレクスリップシステムは海外のスリップフォーム工法にない、多様な断面形状を持つ塔状構築物の施工に使用できる広い適用範囲を持ち、従来以上の機械力を駆使した高度な建設施工機械システムである。

フレクスリップシステムは、1台のヨークを単位モジュールとする組み合わせで施工装置を形成し、直壁であれ曲壁であれ、施工規模を自由に設定することができ、しかも作業の安全性の高い施工装置であることから、設計・施工の両面に利点がある。一方、機械装置が複雑化し、曲率の可変範囲の広い型わく機構、高速高揚程揚重機械、水平精度の高い滑揚油圧ジャッキ制御システム、レーザー光線を用いた装置位置自動計測システムなど、多くの電気機械を建設現場で使用していることも特徴のひとつである。

建設工事の中に機械の占める割合が増えると、それに比例して工事の進行が機械の故障によって大きな影響を受ける。従来のスリップフォーム工法に比べ機械装置に頼る割合が大きくなると予測されたことから、フレクス

リップシステムの開発過程では装置の高信頼化が特に配慮されてきた。しかし、不確定要素の多い現場環境と人間作業に必ずつきまとう操作ミス、あるいは人間作業の速度と機械の能率との不調和など、現実施工してみなければ明らかにならない事項が多い。このような状況のもとで経験による改善を各機械単位で施しても、システム全体の信頼性を計る尺度として適切なものがなく、改善の効果をシステム全体の信頼性向上と結びつけて評価することができなかった。

本報は、フレクスリップシステム改善のために信頼性工学の手法の一部を応用し、各機械や部品のレベルでの信頼性向上というミクロな見方の考察と、システム全体の稼働信頼性を向上させるというマクロな見方の考察を結びつけて、システム改善の方針の設定を試みたものである。

§ 2. 稼働信頼性の分析の目的

システムの稼働信頼性分析の方法と手順は、システムの目的と機能によって様々な形態がとられている。家庭用電気機器、大型コンピュータ等の電気・電子装置、あるいは自動車・航空機等の機械装置、化学プラント・発電所等の大規模プラント、さらに国際通信・宇宙飛行システムのような地球規模のシステムについてそれぞれ特有の方法を持っているが、基本的に次に示す分析手順をとっていると考えられる。

- 1) システムの機能と目的を明確にする。
- 2) 信頼性を評価する尺度と測定方法を定める。
- 3) システムの構成を分析し、システム構成要素間の関係を明らかにする。
- 4) 実験・調査等により、システム構成要素の信頼性と、システム全体の機能の信頼性を求める。

以上の手順により、分析されたシステムの信頼性データをもとに信頼性の向上と維持を目的とする活動が信頼

性管理であり、類似システムを設計するために信頼性データを利用して高信頼性システムを設計することが信頼性設計である。

スリップフォーム工法のような建設システムでは、信頼性に関するデータの取得・蓄積が不十分であり、システム設計にあたって機械装置単体や部品の不完全な信頼性データを基に全体システムの信頼性を経験的に推定するとどまっている。

本報の目的は、フレクスリップシステムの実際の工事の稼働を記録し、システム全体の稼働信頼性を信頼性分析の手順に従って行ない、稼働信頼性の特性とその評価を明らかにすることである。

§ 3. フレクスリップシステムの構成

3.1 フレクスリップシステムの構成の分析

フレクスリップシステムによる塔状構築物施工の作業サイクルを図-1に示す。作業サイクルは、基本的に通常の鉄筋コンクリートを施工する時と同一である。塔体の寸法を計測し、所定の精度に調整した型わくの中に鉄筋・埋設金物・開口型わくを設置し、バケットで揚重したコンクリートを打設した後、コンクリート強度の発生に合わせて型わくをゆっくり上昇させる手順をくり返して実施することが、フレクスリップシステムの原則的作業サイクルである。

従来のスリップフォーム工法でも、これらの作業サイクルが常時、満身に稼働し、与えられた機能を十分に果たすことがシステム全体の目的を果すうえで不可欠の条件となっている。すなわち、すべての作業が同時に並列的に進行せねばならず、ひとつの作業の停止・停滞が他の作業全部の稼働も低下または停止させることから、稼働信頼性はほぼ直列の関係にある。また、何らかの故障による稼働の停止や作業の遅れは、それが1～2時間であっても工事の進行を停止させる効果があることか

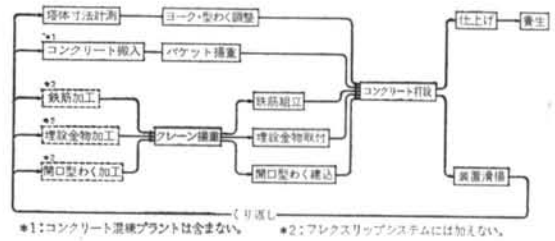


図-1 フレクスリップシステムの作業サイクル

ら、半日から1日、あるいは週単位で工事の進行がチェックされる一般の建設工事より迅速な管理が要求される。このような稼働信頼性の直列の関係と、分単位あるいは時間単位の工事管理は建設工事としては特殊なものであり、むしろ製造業の工場生産方式に似ていることから、システムの考え方をとり入れやすいともいえる。

図-2は、フレクスリップシステムの構成を表すと同時に、稼働信頼性に影響を及ぼす構成要素の関係を表す信頼性ブロック図でもある。もともと基本となる構成要素(サブシステム)は型わく・ヨーク・足場を含むヨークサブシステムであり、作業場を維持する機能を持つ。装置を動かす電力供給サブシステムから電力が供給されると、揚重サブシステム、エレベーターサブシステム、計測サブシステム、揚水サブシステムが稼働できるようになる。塔体の鉄筋コンクリートを打設する最終段階は人間の作業によるサブシステムである。鉄筋組立・埋設金物取付・開口型わくの建込み・コンクリートの打設(運搬・締固め)・仕上げは、簡単な道具を使うだけで人間の手作業によって実行されるサブシステムである。

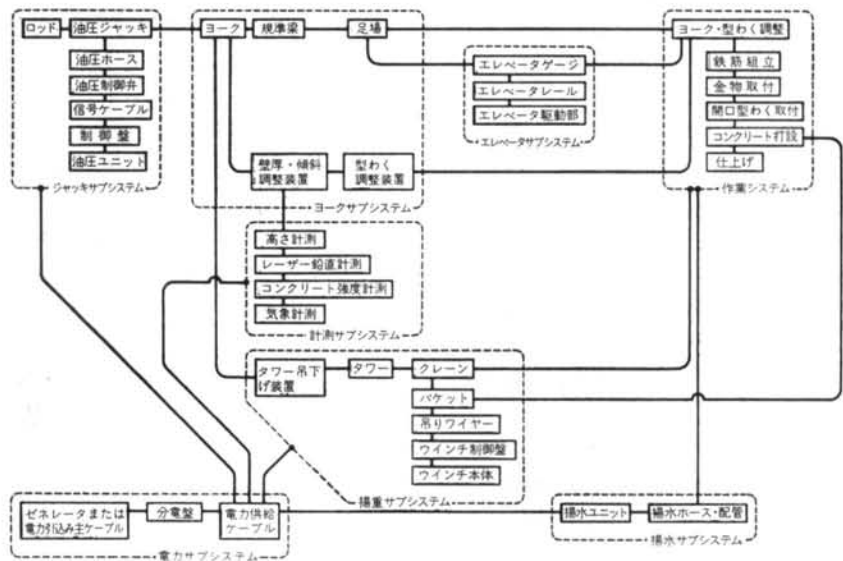


図-2 フレクスリップシステムの構成(信頼性ブロック図)

3.2 故障の致命性分析 (FMECA)¹⁾

信頼性ブロック図(図-2)は、システムの稼働停止に至る原因系を表すものである。システムの稼働管理に用いるだけでなく、サブシステムのひとつの停止がシステム全体の稼働に与える影響力の評価に使える。故障がシステムに与える影響度の分析手法には FMECA (Failure Mode, Effect and Criticality Analysis; 故障モード・影響および致命性の解析) があり、フレクスリップシステムについて実施したものを表-1, 2 に示す。

表-1 は、サブシステムを構成する部品レベルで故障モ

ードを列挙し、表-2 に示す評価項目に基づいて故障モードのシステム稼働に与える致命性の予測を総合評価として求めたものである。

FMECA による評価は予測であるため、実績との対照が必要であるが、FMECA の効果は工事開始前に故障に対処する具体的方法が検討できることにある。特に開発途上にあつたフレクスリップシステムでは、早い時期に機械装置のデバッグが実現され、実用化が促進される効果があつた。

| サブシステム 名称 | コンポー ネント 名称 | 部品名称 | 部品数 | 故障モード | 評 価 | | | | 総合評価 |
|--------------|-------------------|---------|--------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | 全システム稼働への影響 | 故障の頻度 | 故障の発見と保全の容易さ | 冗長性 | |
| ジャッキ | 制御盤 | 主制御盤 | 1(台) | 作動不良 ヒューズ切断 | A A | C B | A A | B B | B A |
| | | 副制御盤 | 2(台) | 作動不良 | A | C | A | C | B |
| | 油 圧 ジャッキ | シリンダー部 | 18(台) | シールからの油漏れ シリンダーの曲り ヨーク取付ピンの曲り | C | C | B | B | |
| | | | | | B | C | B | B | |
| | | | | | B | C | B | B | |
| | | チャック | 36(台) | 取付ネジ破損 ソレノイド作動不良 (断線または短絡) コレット打込パイプ動作不良 磁気吸着板動作不良 コレット動作不良 | A B B B C | C C C C B | B A A A B | B B B B B | A A A A B |
| | シース管 | シース吊下げ部 | 18(台) | 取付ネジ破損 変形 | C C | B C | B B | B B | |
| | | シース管 | 18(台) | 曲り(座屈) 切断 | C B | B C | A A | B B | C A |
| | ロッド | ロッド | 450(m) | 座屈 | A | B | A | A | A |

表-1 フレクスリップシステムの FMECA 表 (一部)

| 評価項目 | 評 価 の 内 容 | | |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| | A | B | C |
| 全システム稼働への影響 | 故障により全システムが即時に停止する。停止まで10分以内。 | 故障により全システムが停止するまで10分以上かかる。 | 故障により全システムは停止しないが速度が低下する。 |
| 故障の頻度 | しばしば、作業日7日間に1回以上。 | まれに、作業8日~28日の間に1回。 | ほとんど故障しない。滑揚開始から終了までに0~1回。 |
| 故障の発見と保全の容易さ | 異常音、動作不良が作業中に発生するまで発見不能なもの。事後保全に頼るもの。 | 定期点検で発見可能なもので、予防保全ができる。 | 故障と同時に故障原因がわかり、保全が誰にでもできる。 |
| 冗長性 | まったく冗長性がない。 | 故障しても、機能低下(50%まで)はするものの断続作業等ができる。 | 代替機(部品)が1台以上用意されており、故障と同時に代替機に切替可能なもの。 |
| 総合評価 | 全システムに対して致命度が高く、他のサブシステムに対する影響が大きい。 | 故障の発生は避けられないが、事後保全により復旧が容易である。 | 影響する範囲が狭く、しかも定期点検で故障の発生が防止できる。 |

表-2 FMECA の評価内容

| 月 日 [工事日] | 時刻 | | | | 時間(=時間:一分) | | | | 工事量 | | |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|----------|-------|----------|
| | 8:00 | 12:00 | 16:00 | 18:00 | 20:00 | 就役 | 起動 | 使用 | 待機 | 休止 | 基量(m³/日) |
| 10 6 (20) | [Gantt Chart] | | | | 6:30 | 0:50 | 4:10 | 1:15 | 0:15 (1) | 1,020 | 30.5 |
| 7 (21) | [Gantt Chart] | | | | 10:55 | 2:15 | 5:50 | 1:10 | 1:40 (3) | 2,220 | 51.0 |
| 8 (22) | [Gantt Chart] | | | | 10:30 | 0:35 | 8:35 | 1:10 | 0:10 (1) | 2,310 | 51.0 |
| 9 (23) | [Gantt Chart] | | | | 10:40 | 1:10 | 6:20 | 1:10 | 2:00 (3) | 2,065 | 45.5 |
| 10 (24) | [Gantt Chart] | | | | 10:10 | 1:00 | 6:25 | 1:25 | 1:20 (2) | 2,250 | 48.0 |
| 11 (25) | [Gantt Chart] | | | | 9:55 | 10:55 | 6:45 | 1:20 | 0:55 (1) | 2,420 | 48.0 |
| 12 (26) | [Gantt Chart] | | | | 10:35 | 1:15 | 7:25 | 1:25 | 0:30 (2) | 2,660 | 53.0 |
| 13 (27) | [Gantt Chart] | | | | 10:30 | 0:50 | 6:25 | 1:20 | 1:30 (3) | 2,620 | 50.0 |
| 14 (28) | [Gantt Chart] | | | | 10:30 | 0:45 | 7:55 | 1:30 | 0:20 (1) | 2,740 | 56.0 |
| 15 (29) | [Gantt Chart] | | | | 10:35 | 1:10 | 7:25 | 1:30 | 0:30 (1) | 2,750 | 50.0 |
| 小計 | | | | | 100:50 | 20:45 | 67:15 | 13:15 | 9:10 | | |
| 休止回数計 | | | | | | | | | (18) | | |

図-5 フレックスリップシステム稼動時間記録(一部)

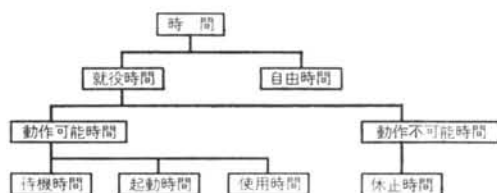


図-6 システムの稼動時間の分類

均値である。MUT には起動時間、待機時間が含まれているので、9時間55分の1日平均就役時間の82%に当る8時間8分がMUTとなっている。アベイラビリティ注1)はMUTとMDTから求められる機能を有する確率で、MUTが82%であることから0.82となる。MTBFは故障と故障の間の正常に機能する時間の平均値であり、故障が直って次の故障までの時間が平均3時間51分であったことを示す。MTTRは1回の故障あるいは休止に対して修理作業にかかる時間の平均値である。

システム休止(不稼動)の原因となったサブシステム別の故障リスト(表-6)から、休止時間と休止回数をグラフにしたものが図-7である。時間、回数ともジャッキサブシステムが全体の1/3を占め、作業サブシステムがそれに次いでいる。また、計測サブシステムの故障によるシステム休止は1度もなかった。

注1) 表-5の注記 *3) 参照

| | |
|------|---|
| 就役時間 | 作業開始から作業終了までの時間。始点は始業点検の開始時点、終点はコンクリート打設完了の時点とする。(作業後の片付、縁切りジャッキングの作業が作業終了後に残るがコンクリート成形機能とは直接関係ないので、これらの後処理作業はシステムにとっての自由時間とする)作業終了後の故障修理時間も就役時間に加える。 |
| 起動時間 | 作業開始からコンクリート打設開始までの時間。(この時間で装置故障により、起動準備作業が停止したり装置の滑揚ができない状態に至った時は休止時間とする) |
| 待機時間 | 事前に計画されている必要な作業休止時間であり、昼休みや人的要求による休み時間をさす。(システムの稼動を止めず、作業者が交代で休み時間をとる場合、システムの機能は休止してないので使用時間とみなす。待機時間内であっても、故障修理や残作業を行なっている場合は、それぞれ休止時間、使用時間とする) |
| 使用時間 | 動作可能時間から起動待機の時間を差し引いた残余であり、システムが機能を保持し稼動している時間。 |
| 休止時間 | 何らかの理由でシステムが休止している時間。ただし就役時間における休止のみを対象とする。(故障修理作業が夜夜で行なわれる場合は、就役時間内の休止時間とする) |

表-3 各時間の定義

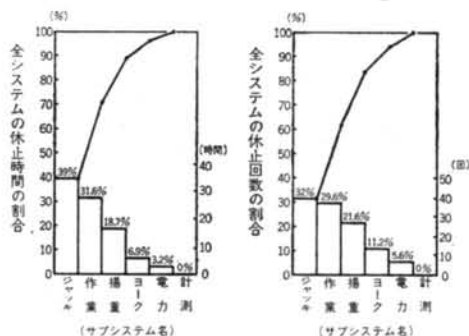
| 時間の種類 | 時間の総計 | 1日当りの平均時間 | 割合(%) |
|---------|----------|-----------|-------|
| 起動時間 | 40時間10分 | 49分 | 8.3 |
| 使用時間 | 303時間0分 | 6時間11分 | 62.4 |
| 待機時間 | 55時間25分 | 1時間8分 | 11.3 |
| 休止時間 | 87時間25分 | 1時間47分 | 18.0 |
| 計(就役時間) | 485時間40分 | 9時間55分 | 100.0 |

表-4 石崎無線中継所施工時の稼動時間

| | |
|--------------------|----------|
| 平均動作時間 (MUT)*1) | 8時間8分/日 |
| 平均動作不可能時間 (MDT)*2) | 1時間47分/日 |
| アベイラビリティ*3) | 0.82 |
| 平均故障間隔 (MTBF)*4) | 3時間51分/日 |
| 平均修復時間 (MTTR)*5) | 42分/日 |

- *1) Mean up time
 *2) Mean down time
 *3) 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
 *4) Mean time between failures
 *5) Mean time to repair

表—5 石崎無線中継所施工時のフレクスリップシステムの信頼性



図—7 全システムの休止時間と回数、休止原因サブシステム別パレート図

| 工事日 | 故障No | 故障内容 | サブシステム名 | システム休止時間 (分) | 処置 | サブシステム分割 | |
|-----|------|-------------------|---------|--------------|----|----------|----|
| | | | | | | 作業 | 装置 |
| 21 | 57 | 径方向スクリュージャッキ交換 | 作業 | 40 | 待機 | ○ | |
| 21 | 58 | 径方向スクリュージャッキ交換 | 作業 | 30 | 待機 | ○ | |
| 21 | 59 | 壁面仕上げ | 作業 | 30 | 待機 | ○ | |
| 22 | 60 | 鉄筋組立不良, 手直し | 作業 | 10 | 待機 | ○ | |
| 23 | 61 | コンクリートスランプ不良, 再手配 | 作業 | 40 | 廃棄 | ○ | |
| 23 | 62 | ホッパーゲート開閉エアパルプ破損 | 揚重 | 45 | 修理 | | ○ |
| 23 | 63 | ジャッキレベル同期不良 | ジャッキ | 35 | 調整 | | ○ |
| 24 | 64 | 径方向スクリュージャッキ交換 | 作業 | 50 | 待機 | ○ | |
| 24 | 65 | ジャッキ副制御盤不動作 | ジャッキ | 30 | 修理 | | ○ |
| 25 | 66 | アジテータトラック排出不能 | 作業 | 55 | 廃棄 | ○ | |
| 26 | 67 | 径方向スクリュージャッキ交換 | 作業 | 15 | 待機 | ○ | |
| 26 | 68 | ロッド座屈 | ジャッキ | 15 | 補強 | | ○ |
| 27 | 69 | コンクリートスランプ不良 | 作業 | 35 | 廃棄 | ○ | |
| 27 | 70 | ロッド座屈 | ジャッキ | 20 | 補強 | | ○ |

表—6 システム休止に対するサブシステム故障の一覧表 (一部)

§ 5. 稼働信頼性の検討

稼働時間記録から、システムが稼働している時間の特性を検討する。故障率 λ は、一般に製品の品質を示す特性値で低いほど良いものを示す尺度であるが、故障率は故障が起きるまでの稼働時間の逆数で与えられるので、稼働時間を基にした指標であるといえる。

故障率は次の式で求められる。

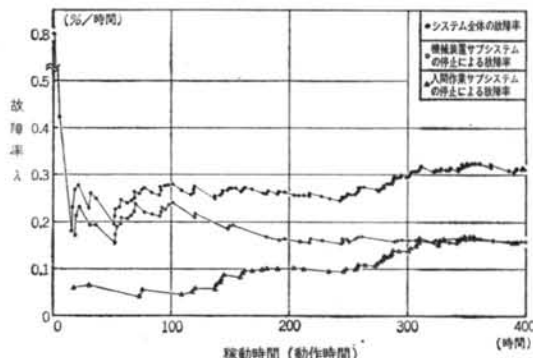
$$\lambda_i = i / \sum_{i=1} T_i \quad \dots\dots(1)$$

λ_i : 故障率 (i 番目の故障までの平均故障率)

i : 故障の順番数

T_i : ($i-1$) 番目から i 番目の故障までの稼働時間

施工時のシステム休止 125 件について、故障率の変化を稼働時間の累計に対応させて示したものが図—8 であ



図—8 故障率の変化

る。故障率の変化は、一般にバスタブ曲線 (Bath-tub curve) で示され、初期故障期から偶発故障期にかけて故障率が減少傾向から一定へと変化し、摩耗故障期に入ると再び故障率が上昇することを示したものである。フレクスリップシステムでは、システム全体の初期故障率が高いがその期間は短く、ほぼ故障率が一定の偶発故障期にあるといえる。システム全体の休止を、機械装置の

サブシステム（以下、装置サブシステム）と人間作業サブシステム（以下、作業サブシステム）に原因を分けてみると、図-8に示されるように両者に異なる傾向が認められる。装置サブシステムは初期故障期が200時間存在し、その後一定となり工事完了まで続いている。一方、作業サブシステムは初期故障期が認められず、稼働時間の経過にともない故障率が上昇する摩耗故障期にあることがわかる。また300時間以降、装置と人間の各サブシステムの故障率が同一になることは、両者の稼働時間の平均(MTBF)がほぼ同一となることを示している。

§ 6. 保全性の検討

システム全体の信頼性の向上は、故障の発生をなるべく少なくする方法だけでなく、故障を起こしても短い時間で修理できるようにする方法もある。保全性は故障した装置の修理のしやすさを表わすものであり、実際に存在するシステムのほとんどは保全性を持つシステムである。

信頼性ブロック図(図-2)に示したようにフレキシブルシステムは、冗長性のない直列システム構成であるため、ひとつのサブシステムの故障が全システムの休止を引き起こす。しかし、サブシステムの機能はひとつの故障で即時に機能を停止するわけではなく、機能は低下するものの稼働を続けることができる設計がなされている(たとえば、ジャッキ1台が停止しても、滑揚速度は低下するが滑揚不可能にはならない)。一方、この方式をフェイルソフト運用方式³⁾と呼び、信頼性の向上のひとつの方法とされている。

本報で問題とする保全は、故障が発生した後に修理を実施する事後保全で、しかもサブシステムの機能低下がシステムの休止につながったのものに限定する。

また、保全性は保全をするためにシステムが休止した時間で表わすものとし、装置サブシステムと作業サブシステムを同じ観点から検討するために、装置の保全時間に対応する作業の保全時間として作業段取の不足、人間のミスの原因とする作業遅延と手戻りの作業時間を当てることとする。

6.1 保全度

保全度 $M(t)$ は次の式で与えられる。

$$M(t) = (\text{保全時間を短い順に並べたときの順番数}) \div (\text{保全の総回数}) \times 100(\%) \quad \dots\dots(2)$$

式(2)から、保全度は累積確率の意味を持つことが予想さ

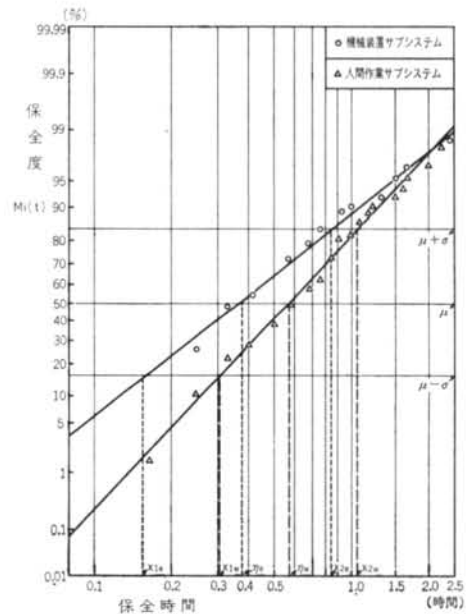


図-9 対数正規確率紙による保全時間の分布型の推定
 れるので、保全度を対数正規確率紙にプロットすると直線となり(図-9)、保全時間は対数正規分布⁴⁾を示すことがわかる。図-9の縦軸は保全度 $M(t)$ であり、横軸は保全時間を表わす。 μ は保全度 $M(t)=50\%$ の位置であり、 $\mu+\sigma$ ・ $\mu-\sigma$ は対数正規分布での $\pm 1\sigma$ の位置を示す。プロットは装置サブシステムと作業サブシステムを別々に行ない、 μ 、 $\mu+\sigma$ 、 $\mu-\sigma$ に対応する保全時間を η_e 、 x_{2e} 、 x_{1e} と η_o 、 x_{2o} 、 x_{1o} とした。

対数正規分布は次の式で表わすこともできる。

$$M(t) = 1/\sqrt{2\pi} \int_0^t (1/t) \exp[-\ln^2(t-\mu)/2\sigma^2] dt \quad \dots(3)$$

$M(t)$: 保全度関数 (保全度)

σ : 散布指数 (標準偏差に相当する)

μ : 平均保全時間

t : 寿命時間 (保全までの時間)

式(3)は、パラメータを用いて次のように書き換えられる。

$$M(t) = 1/\sqrt{2\pi} \int_0^t (1/t) \exp[-\ln^2\{(t-\gamma)/\eta\}/2\sigma^2] \dots(4)$$

σ : 形のパラメータ

η : 尺度のパラメータ

γ : 位置のパラメータ (ギャランティタイム)

図-9より、形のパラメータ σ は次式を用いて求められる。

$$\sigma = \ln[1/2(\eta x_1 + x_2/\eta)] \quad \dots\dots(5)$$

また、尺度のパラメータ η は $M(t)=50\%$ の η_e 、 η_o で示

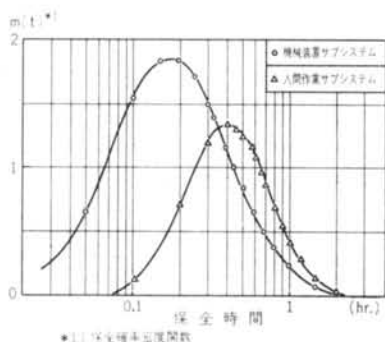


図-10 保全時間の分布

され、位置のパラメータは0と仮定しておく。各パラメータの値を求め、保全度の分布型を表わす式を求めると装置と作業のサブシステムについて次のように表わされる。

1) 装置サブシステム

$$M(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t (1/t) \exp[-\ln^2(t/0.36)/2 \cdot 0.86^2] dt \quad \dots(6)$$

2) 作業サブシステム

$$M(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t (1/t) \exp[-\ln^2(t/0.58)/2 \cdot 0.62^2] dt \quad \dots(7)$$

式(6)と式(7)を t で微分すると分布型が示される式となり、次のようになる。

1) 装置サブシステム

$$m(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot (0.86) \exp[-1/(2 \cdot 0.86^2) \cdot \ln^2(t/0.58)] \quad \dots(8)$$

2) 作業サブシステム

$$m(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot (0.62) \exp[-1/(2 \cdot 0.62^2) \cdot \ln^2(t/0.36)] \quad \dots(9)$$

式(8)と式(9)をグラフで表わすと、図-10のような保全確率密度関数の形が示される。

6.2 保全時間分布のパラメータの検討

保全時間の分布型のパラメータの値の評価は、単独に意味を持つものではなく、同じシステムの改善の前後の比較や他の類似システムとの特性比較ではじめて論ずることに意味が生まれる。本報では、従来に比較すべきデータがないため従来のシステムとの比較ではなく、装置サブシステムと作業サブシステムによるシステム休止について、それぞれの保全性を比較してみる。

図-10からも明らかなように、尺度のパラメータ η で表わされる保全時間の平均値は作業サブシステムの方が長い。一方、形のパラメータ σ で表わされる保全時間のばらつきは装置サブシステムの方が大きい。

システム改善を進めてゆく方針として、装置サブシステムについては保全時間のばらつきを減少させることであり、作業サブシステムは保全時間の絶対値を短縮することであろう。ばらつきの減少のためには、保全方法の標準化、保全作業員の教育やモラルの向上、機械装置の故障位置の発見のしやすさの向上等が考えられるが、これらの改善はばらつきと同時に平均値の減少も期待できる。平均値の減少のためには、保全に対する考え方も基本的に改め、作業計画のためのデータ取得、計画方法と計画の細かさの向上、保全作業者の資質向上と適正配置等により基本的な改善と管理の強化が必要であると考えられる。

§ 7. 結論

フレクスリップシステムをマン・マシンシステムとしてとらえ、稼動信頼性の評価を信頼性工学の手法を用いて現場で測定した記録をもとに、機械装置と人間の作業に分けて検討を進めてきた。その結果、次のような結論が導き出された。

(1) システム全体稼動の判別規準を装置滑揚におき、稼動時間とシステム休止回数 i の測定をした結果、 $\lambda = i/\sum t_i$ で示されるシステムの故障率 λ の変化は、バスタブ曲線の一部とみなすことができる。システム休止の原因を機械装置サブシステムと人間作業サブシステムに分けると、機械装置には初期故障期があるが、人間作業は故障率がわずかに上昇する摩耗故障期にあるといえる。

(2) フレクスリップシステムの機械装置保全時間と人間作業遅延時間は、対数正規分布を示すことがわかった。

(3) 対数正規分布のパラメータから、システム改善の方針が設定され、改善後の効果の評価がパラメータの値の比較で実行できるようになった。

§ 8. おわりに

開発過程が終了し、実用工法になったフレクスリップシステムは、各機械単位ごとに見直すと、1現場の故障発生回数が1回もしくは2回程度が多く、信頼性の高い部品では数現場使って1回の故障を起こす程度のものである。このように、対象とするシステムを小さくすると故障発生数が極端に少なくなり、統計的方法でマクロな分析するには特別な工夫が必要となり、推定した信頼性の誤差が大きくなるを得ない。本報で測定の対象

とした工事では、故障数が多いことも手伝って稼働信頼性の評価もできたのであるが、故障数がシステム全体で1回とか2回となると、また別の信頼性評価方法を考えねばならないのであろう。

しかし、フレクスリップシステム以外の建設工事でも、順調な工事進行を妨げる障害が数多く発生する。これらの障害が累積されると工期を遅らせる結果となり、

経済的に重大な損失となる可能性がある。信頼性工学の手法を応用すれば、工事開始前に作成された施工計画が所定の工期内に完了できる確率、あるいは工期内に完了させるためにシステムを改善する方針を設定することができると思われる。現場工事管理につきまとう不確定要素を何らかの手法で分析・評価することが、今後の工事計画の不可欠な条件となろう。

〈参考文献〉

- 1) 日科技連機械系信頼性部会：“FMEA, FTA の解説” 日科技連 (1978)
- 2) 日本規格協会：“JIS ハンドブック” (1979)
- 3) 北川賢司：“信頼性の技術と考え方” コロナ社 (1973)
- 4) N. R. Mann 他：“Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data” John Wiley (1973)

