

信頼性技術の施工管理への適用

INTRODUCTION OF RELIABILITY TECHNOLOGY INTO CONSTRUCTION MANAGEMENT

隈元 力*・岡崎 雅好**・星谷 勝***

By *Tsutomu KUMAMOTO, Masayoshi OKAZAKI
and Masaru HOSHIYA*

The recent advance in mechanical and electronic technologies has been of great benefit and influence to civil engineering constructions which, starting at the planning, proceed in the order of designing, construction and maintenance. As further advanced, these technologies must be effectively used incorporated with suitable construction management technology.

In this direction, this paper presents the results of an introduction of reliability technology into construction management on a pressurized slurry shield tunnel construction in city, where unfavorable soil properties and water percolation often become great disadvantageous, and where trouble induced in the excavation machinery with oil pressure, and electronic equipments become critical cause to the construction time schedule.

緒 言

一般に建設事業は、計画・設計・施工および維持の各段階を経て、それぞれ異なる主体で遂行されていく。このうち建設請負会社が主体となる施工については、従来施工技術と管理技術との適用によって実施されてきた。ここで施工技術は、建設を目的とした固有技術の母体となる土木工学、機械工学、電気電子工学等から構成されている。一方、施工に常に伴う管理技術は、工程管理・出来形管理および品質管理から成り、発注者の監督のもとで実施されるのが一般的な情況である。

因みに、工程管理は工事内容に応じたネットワークまたはバーチャート方式などにより作成した実施工程表により主に日程を管理するものであり、管理工学・経営工学におけるそれとは基本的に異なっている。出来形管理は、出来形管理基準をもとに設計値と実測値とを対比して記録した出来形図、出来形表を作成し、それにより出

来形を管理するものである。品質管理は品質管理基準により実施し、その管理内容に応じた品質管理図表を作成し管理の手段としていくものである^{1),2)}。

管理工学・経営工学でいう管理^{2),3)}と建設施工段階におけるそれとは若干の差異が認められるが、これは管理に対する考え方の基本に根ざすものと考えられる。今かりに管理について次のように考えた場合、すなわち「仕事は、指示した方針・命令・計画どおりに、標準どおりに行われているか否かをチェックして、計画などからはずれていればこれをうまく進むように、修正処置行動をとり、これを計画通り実行していくこと」とするとこれは管理工学・経営工学と同一の立場となり、これによって従来よりも有機的・総合的な方法が得られ建設技術を補完する管理技術の充実・拡張がもたらされる。

一方、管理技術に対し固有技術である建設施工技術は周辺技術となる機械・電気電子・化学・計測および材料等の発達と応用に伴い着実な進歩を遂げてきている。昨今、施工条件が不利で基本的に施工難度の高い建設に直面することが多いが、これに対する高度な施工技術の活用については、それにふさわしい管理技術の適用が図られて初めて本来の能力が発揮され、将来への技術の改善・発展が望めるものと考えられる。施工技術と管理技術とのバランスのとれた併用が急務である。

* 正会員 清水建設(株)横浜支店 土木部長
(〒231/神奈川県横浜市中区吉田町 65 番地)

** 正会員 清水建設(株)横浜支店 土木部主任
(同上)

*** 正会員 工博 武蔵工業大学教授 工学部土木工学科
(〒158/東京都世田谷区玉堤 1丁目 28 番地)

当論文は、都市土木工事の最大占有率を占めるシールドトンネル工事のうち、土質、湧水等の与条件が不利で、機械、電気電子技術とのかかわりが大きい泥水シールド工事に関して、その管理技術に信頼性技術の適用をはかり、施工能率の向上と将来への発展を期したものである。

1. 信頼性技術と建設工事

(1) 信頼性

狭義の信頼性とは、システム・サブシステム・機器・構成部品などが、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性質であり、壊れやすさを基調としている。一方、上記アイテムが故障しても故障が見つげやすくかつ容易に修理できる性質を保全性といい、直しやすさを基調としている。そしてこの狭義の信頼性と保全性の両者を含めた性質・能力を（広義の）信頼性と呼んでいる⁴⁾。

次に、信頼性工学とは、アイテムに信頼性を付与する目的の応用科学および技術であって、その基本部分は、機械・電気電子および土木工学にとって共通の技術という側面を持っている^{5),6),7)}。

この信頼性を核として、次に示す各技術への展開がはかられている。すなわち、その第一は故障の少ない、壊れにくいものを作りあげていこうとする狭義の信頼性技術であり、第二は故障したものに対し、その原因を早く見つけ、かつ修理を終らせてこの面からシステムの有効性を補っていこうとする保全性技術である。さらに、それぞれ生産・使用面という異なった立場におかれる両技術を包括したものを広義の信頼性技術、または、単に信頼性技術とよんでいる⁷⁾。

これらの信頼性技術を含めた各種技術を総合化し、運営をはかり、品質・コスト・日程・安全の最適化を常に目指すものが管理技術である。たとえば、信頼性の配分・冗長性の採用、予備品数の決定等はその一例である^{8),9),18),27)}（図-1）。

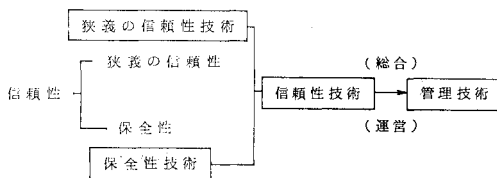


図-1 信頼性の基本的関係

(2) 製造業と建設業

電子機器製造業を中心に実施、発展してきた信頼性技

術の日本における建設関連への適用については「確率論手法による構造解析」、「構造物の安全性・信頼性」に見られるように、設計技術面へのアプローチをもって嚆矢としている^{9),10)}。

建設関連に信頼性技術の適用を試みる場合、製造業と建設業の差異分析は意義のあることと考えられる。その第一は、公共工事をモデルとした場合、受注産業である建設業は企画・研究・開発の工程で一貫性を欠き、発注者自身がそれにかかわること。第二は、建設業が他産業の成果を活用・総合化していく点から製造業との関係が強く、建設業が後工程に位置しているのが一般的である。建設機械の信頼性を例にあげれば、機械の固有の信頼性が製造業、使用の信頼性が建設業の領域問題となる¹¹⁾。

他方、製造業と建設業とが等しく共有するところは、信頼性の達成が施工の質を保証するための手段となっているところである¹²⁾。

本項のまとめを 図-2 に示す。

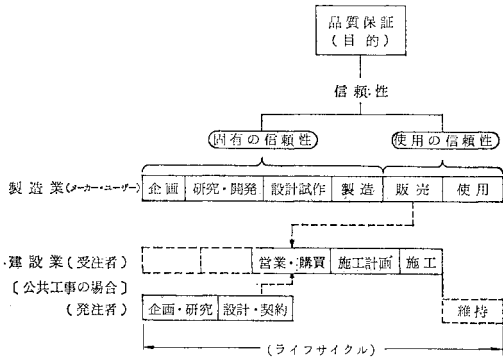


図-2 品質保証と信頼性

(3) 建設工事と建設機械

前項(2)および 図-2 を基にして、信頼性のフローチャートを示すと 図-3 となる。かりに製造業で作られた建設機械を例にして具体的活動のフローを追っていくと、建設業の場合、全工程のライフサイクルに一貫性は欠けるが、仮設工事的な部分や建設機械に関するものには、信頼性フローチャートが変則的ながら活用できるものと考えられる¹³⁾。

(4) 泥水シールド工法の概要

泥水シールド工事は、次の3つのシステムの連係により、掘削から排土までの一連の施工を行う。

a) 泥水シールド機械

カッター（図-5 ①）の回転により地山の掘削を行うとともにプラントから送られてきた泥水の働きにより、地山の崩壊を防ぐ。

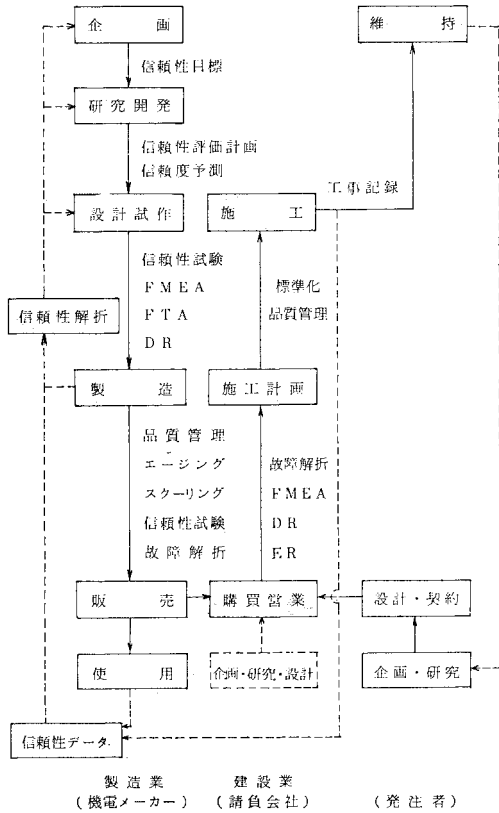


図-3 信頼性のフローチャート

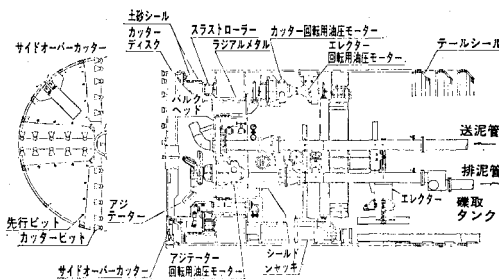


図-4 泥水シールド機械

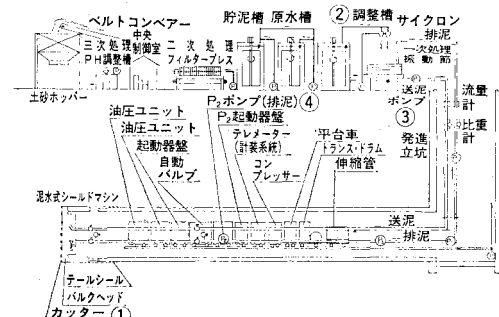


図-5 泥水シールド工法の概要

b) 泥水輸送設備

地上の泥水タンク(図-5 ②)に貯められた泥水を送泥ポンプ(図-5 ③)により切羽に送るとともに、攪拌された切羽土砂と泥水を排泥ポンプ(図-5 ④)により地上に送り返す。

c) 泥水処理設備

切羽から送られてきた泥水を土砂分と泥水分に分離し処理する(図-4, 5)。

2. 泥水シールド工法への信頼性技術の適用例

(1) 故障解析と統計的手法

故障解析とは、アイテムの潜在的あるいは顕在的な故障の原因・メカニズム・発生確率およびその影響等を検討するための系統的な調査研究である^{14),15)}。

分析・解析の基礎資料となるデータには、試験によって観測から得られる試験データおよびフィールドで使用の中に観測して得られるフィールドデータとがある。

故障解析の最終的な目的は、分析・解析そのものにあるのではなく、改善方策の設定、すなわち故障の被害を最小にして原因を洗い出しさらに発生以前にさかのぼって予防するところにある¹⁵⁾。

故障解析は、情報収集から不具合対策まで一連の活動が含まれるが、これを段階別に分けると4つに大別される¹¹⁾(図-6)。

故障解析の基本を形成する信頼性データの解析は、寿命の分布関数およびそのパラメーターの推定であるが、一般には信頼性そのものを推定することのほか、信頼性が何によって左右されるか、改善効果をどのように評価するか、また、信頼性と他の要求との関係をどのようにとらえるか、などということである。

これらの事柄に対して、信頼性に影響を与える問題点・要因の分析、解析に信頼性データの各種設計解析、システム解析等の適用が必要となる。

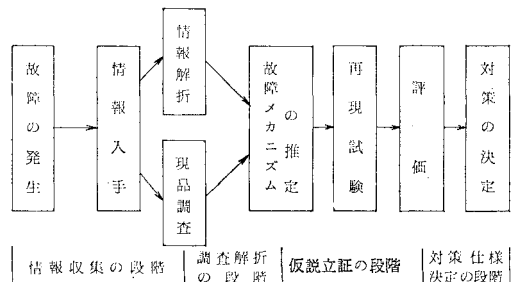


図-6 故障解析の4段階

(2) 標準・標準化の展開

管理工学・経営工学の管理の基本は、すべての分野の仕事に適用されるものである。その進め方としては、計画・実施・チェック・処置をもって行い、これを繰り返し実施することに意義がある(図-7)。

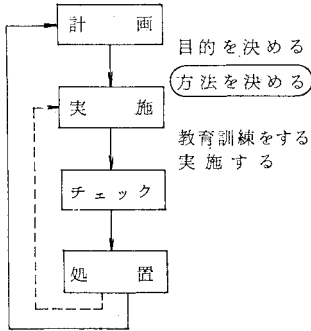


図-7 管理の基本

図-7 に示す計画段階では、物事の目的、目標等を決めたのち、これを実施していくための方法を決めなければならない。この方法に相当するものが標準・標準化と考えることができる²⁾。

標準とは、過去の経験・データを基に設定した計画の一種であり、標準化とは、その計画に従い関係者が共通して実行しそれを活用していく組織的行為ということである¹⁶⁾。

故障解析の結果得られた情報を基に計画を組成して仕事を推進していくことは、標準化活動にほかならない。一方標準化活動の目的は、物事の統一化、単純化、新情報の取り入れ、同類の系列化およびその他をはかり、それに関係する人々に利便やばらつきが少ない結果をもたらすことにある。

土木工事の施工段階における管理技術として、信頼性技術を適用した場合の標準化活動の関係事項を領域、局面、水準、その他の四軸から成る標準化空間の中で表現することから活動の方向、境界、内容等を総合的に把握することができる。図-8 の標準化空間で当該泥水シールド工法への適用上の関係事項に対し、○印を付す。

図-8 を参考に標準化活動に関する当該泥水シールド

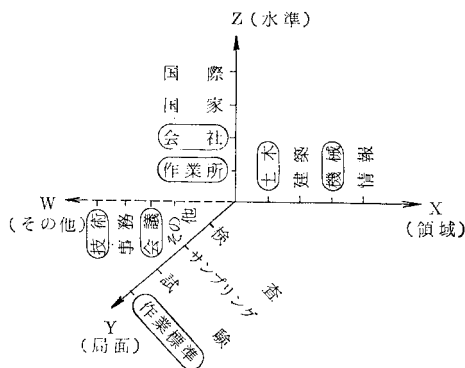


図-8 標準化空間

工法への展開の概要を示すと、

- ① 泥水シールドシステム故障データ集計シートを設定し故障解析用のデータの収集、整理を行う。
- ② 故障解析によって得られた情報を基にし、具体的な対策決定を目的とした FMEA 表を作成する。
- ③ FMEA 表に付属する故障等級評価表により対策のグレードを決め、それに対応する帳標を設定し管理用フォーマットとして位置づける。
- ④ FMEA 表作成時に使用した FTA, 特性要因図, その他情報から技術標準, 作業標準等を制定または改訂し, 関係者が等しくそれを活用する。
- ⑤ 技術打合せ, 方針決定等社内スタッフ, 作業所技術者の検討会の位置づけ, 運営方法, その他の統一・単純化をはかる。

(3) 基本事項の確認

泥水シールド工法の管理技術は、信頼性技術の適用フローを 図-3 を参考にして 図-9 のとおりとした。故

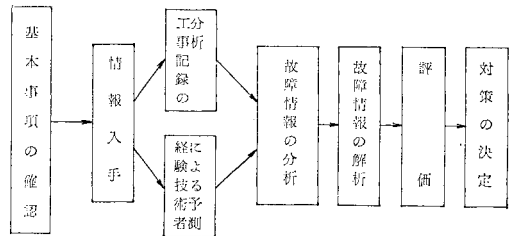


図-9 信頼性技術の適用フロー

障に関する基本事項は以下のとおりとした^{17), 18)}。

- ⑥ 故障判定基準は、各システムが地山掘削, 泥水輸送, 泥水処理の機能を失い, シールド掘進が不可能な状態が1分以上続くこととした。
- ⑦ 時間の分類については、要求時間(運用時間)はダウンタイムとアップタイムからなる^{5), 7)}。
- ⑧ ダウンタイムとは、アイテムが規定の機能を果たしうる状態にない動作不可能時間をいう。
- ⑨ アップタイムとは、アイテムが規定の機能を果たしうる状態にある動作可能時間をいう。
- ⑩ ダウンタイムは、保全時間, 補給待ち時間および管理時間から成る。
- ⑪ アップタイムは、待機時間, 動作時間から成る。
- ⑫ 故障データの収集にあたっては、故障番号, 発生日時, 修理完了日時, 故障モード, 故障の原因メカニズム, 処置・対策, 故障率(λ), 平均修理時間(MTTR)等を収集項目とした。
- ⑬ データはフィールドデータを基本とする。泥水シールド工法を採用した A, B, C, D および E 現場の全工区を調査対象とした。

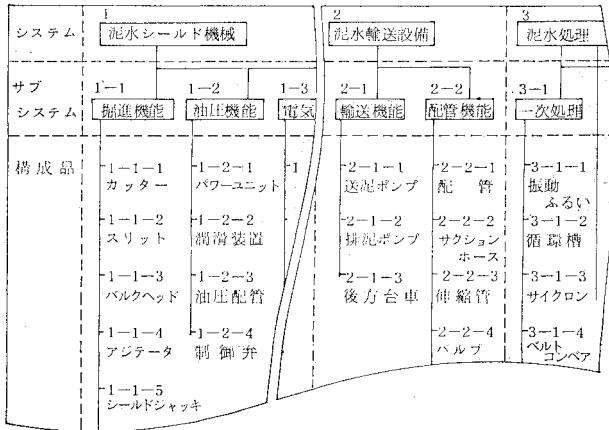


図-10 信頼性ブロック図

- ① 上記5現場は、神奈川県内で清水建設が施工したのからランダムに選んだ。
- ② 清水建設においては、すべての現場が竣工後に工事記録を作成しているが、これを各現場で行った工事のデータバンクの一つとした。

信頼性ブロック図は¹⁹⁾泥水シールド機械、泥水輸送設備および泥水処理の三大機能を基本にし、サブシステム、構成部品へと展開を図った。これによって得られた構成部品を故障データ集計の単位とした。また、機械上の機能展開²⁰⁾を行うときの有効な資料とした(図-10)。

(4) 故障情報の分析

データ集計の結果、故障によるダウンタイムを例にとって分析を行うと、
 ・A, B, C および D 現場の合計ダウンタイムは、2,088 時間。
 ・シールドトンネル 施工延長当りのダウンタイムは、39 分/m. であった。

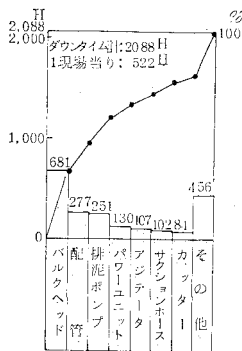


図-11 パレート図 (ABCD 現場)

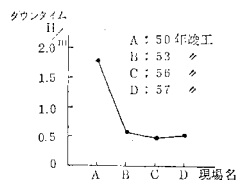


図-12 ダウンタイムの推移 (ABCD 現場)

また、ダウンタイムの内訳は、図-10 に示した信頼性ブロック図で展開した構成部品ごとに分類集計を行った結果、図-11 に示すパレート図のとおりであった。

ちなみに、図-11 のバルクヘッドのダウンタイムの内訳は、保全時間が 61% 補給待ち時間 33%, 管理時間 6% となっている。

ダウンタイムの経時的変化を見るための A, B, C および D 現場単位の集計は図-12 に示すとおりであり、清水建設が初めて泥水シールド工事を経験した A 現場においては、107 分/m であったダウンタイムがその後、完了した B 現場では 34 分/m に改善されている。A, B 現場間においては、単純な故障情報のフィードバック

はあっても故障の分析や解析は行われず、管理工学・経営工学でいう品質管理活動とは無縁な状態で、従来の現場管理活動で達成したものである。その後 C, D も同様な状態で活動を実施してきたものの改善効果はほとんど認められず、かろうじて維持状態を示しているにすぎない。

次に、故障モードに対する分析を示す。

故障データ集計表に示される個々の故障モードに対しては、機械設計図、機械配置図、機能展開図および前述の信頼性ブロック図等を参考にして、FTA における基本イベント、または特性要因図における特性を故障モードに相当させるべく選定した。故障発生前後の状況、調査、技術的処置等を工事記録あるいは参加技術者の意見等から FTA、特性要因図、およびそのほかの手段として故障原因の分析を行った、この故障原因分析は図-13 で後述する EMEA 作成時の推定原因、故障の影響、検知法等の資料とした²⁰⁾ (図-13, 14)。

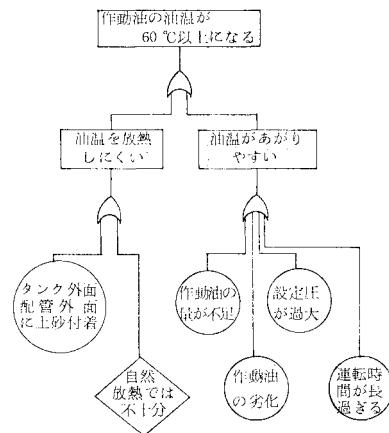


図-13 故障原因の分析 (FTA)

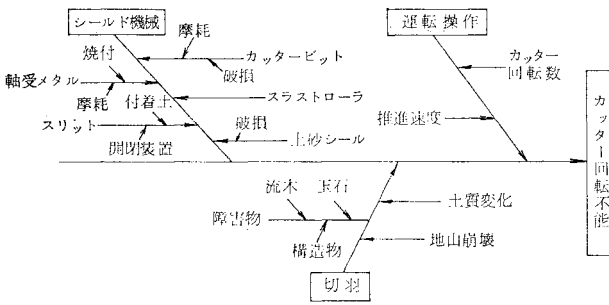


図-14 故障原因の分析 (特性要因図)

形状の検討を行い、形状母数 m 、尺度母数 η 、寿命の平均 MTTF 等を求め、故障等級判定の評価表作成上の基礎資料とした²⁾。

上述の故障率曲線およびワイブル確率紙による分布形状の検討は、故障に関する巨視的な理解には欠かせない。一方、各故障モードごとの微細な故障尺度についてはつぎに示す方法で計算を行った。なお、故障率に関しては、個々の故障モードに関する資料数が少ないが「各部品はさまざまな故障率のパターンをとっていても、これを修理したり交換して使う装置レベルでは故障がランダム化し、故障率 λ が一定になる」というドレニック (Drenic) の定理により⁹⁾、故障密度関数が

(5) 故障情報の解析

各現場における各システムごとの故障率の経時的な変化については、区間故障率 $\lambda(t)$ を求め、次にそれをグラフ化してみた。図-15 は故障率を縦軸にとり、時間の経過を横軸として、D現場における泥水機械システムの故障率の推移を示した。図から判断できるように、これは典型的なバスタブ曲線 (bath-tub curve)^{15), 19)} となっている。

バスタブ曲線は、保全を伴わないアイテムの故障率がたどる時間的関数であるが、この図から、泥水機械システム稼動開始後 25 日で初期故障から偶発故障へ推移し、その後 75 日で摩耗故障へ移行している。ランダム期間における故障率 $\lambda=0.05$ であること、また、自然環境・使用条件等が過酷であるとされる建設機械も他産業におけるものと同じ故障パターンを示していることが判明した。

次の現場である E 現場への対応としては、故障率の目標値を定め、これを工事終了まで維持するよう計画的、組織的に行うことであるが、その活動を故障率モデルを通して 図-16 のように定めた。

次に故障頻度の大きい構成品に対しては、各種分布関数の中からワイブル確率紙による分布

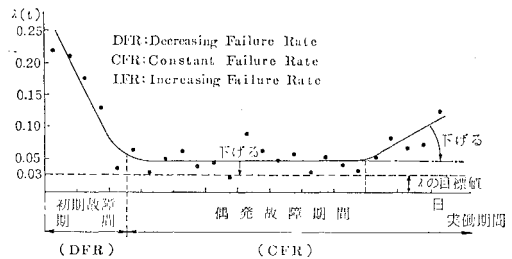


図-16 故障率モデル

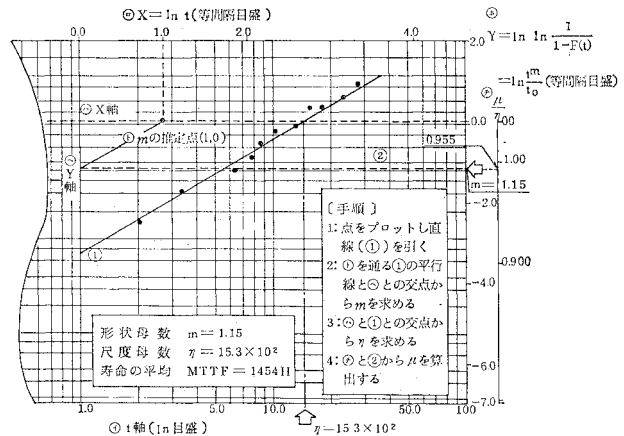


図-17 ワイブル確率紙

指数分布をしているものとし故障率 λ の推定値を求めた^{5), 7)}。

① 平均故障間隔 MTBF (Mean time between failures)

$$MTBF = \frac{\sum t_i}{n}$$

t_i : ($i-1$) 番目と i 番目の故障間隔

n : 故障回数

② 平均修理時間 MTTR (Mean time to repair)

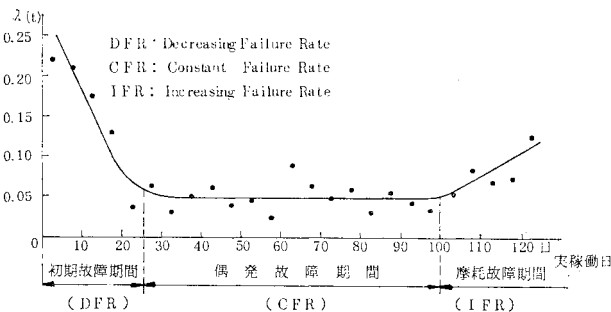


図-15 故障率曲線 (Dシールド)

$$\widehat{MTTR} = \frac{\sum \tau_i}{r}$$

τ_i : i 番目の故障の修理時間

r : 修理件数

③ 故障率 $\hat{\lambda}$

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\widehat{MTBF}}$$

(6) 評価

最適な故障対策の決定を目的としたFMEA作成上の重要な要素となる故障等級の評価³⁰⁾を故障の解析による情報を基に行った。

故障等級は、頻度および影響度を勘案して評価することとし、まず頻度については、故障率の大きさと頻度の大きさは同一と考え、頻度 (α) = $\hat{\lambda}$ とした。つぎに、機器の修理時間の長さが工事の進捗に影響を及ぼす点から影響度 (β) = \widehat{MTTR} とした。

- ① $\hat{\lambda}$, \widehat{MTTR} の対象は、信頼性ブロック図, その他から故障メカニズム, 障故モードを中心に設定した。
- ② $\hat{\lambda}$, \widehat{MTTR} はそれぞれ7クラスに層別した。これを表-1, 表-2 に示す。

表-1 頻度 (α)

評点	データ	$\hat{\lambda}(\times 10^{-5})$
7	実績データ	3.40 以上
6	"	1.65~3.39
5	"	0.63~1.64
4	"	0.21~0.62
3	"	0.20 以下
2	経験情報	多い
1	"	少ない

表-2 影響度 (β)

評点	データ	\widehat{MTTR} (H)
7		24.01 以上
6	実績	12.01~24.00
5	データ	6.01~12.00
4	および	3.01~6.00
3	経験	1.01~3.00
2	情報	0.51~1.00
1		0.50 以下

③ 故障等級を (α), (β) を基にして5段階評価を行うための基準を設定した。

- a) 致命故障 (A) / 日程に遅延を与えたり, 資材に重大な損傷を与える可能性のある故障
- b) 重故障 (B) / 規定の機能を遂行するため, 上位アイテムの能力を減少させる可能性がある故障
- c) 軽故障 (C) / 軽微な故障で, 重故障にならない故障
- d) 微故障 (D) / その他の故障

評価 A, B, C およびDの最終決定については, 上述の基準をもとに, 工事記録, 参加技術者の見解・判断から複数の工事経験豊かな技術者がデルファイ法によって行ったものである(表-3)。

ちなみに, 正規分布 $N(0, 1)$ を単純に評価 A~D の

表-3 故障等級評価表

α β	7	6	5	4	3	2	1	評価	数	率 (%)
7	A	A	A	A	B	B	C	A	8	16
6	A	A	A	B	B	C	C	B	19	39
5	A	B	B	B	C	C	D	C	14	29
4	B	B	B	B	C	C	D	D	8	16
3	B	B	B	B	C	C	D			
2	B	B	B	C	C	D	D			
1	B	C	C	C	D	D	D	計	49	100

4段階評価した場合は, 図-18 ① となるが, 表-3 の分布状態を示すと 図-18 ② のようになった。

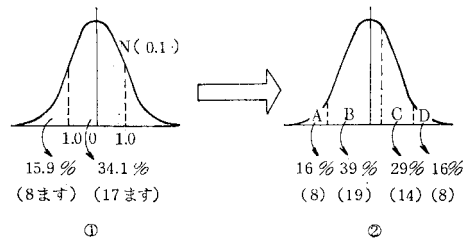


図-18 評価の分布

故障等級評価の決定後, これを反映した FMEA 表を作成する最終段階に入る。

FMEA 表は, 図-10の信頼性ブロック図, 故障データ集計表および 表-3 の故障等級評価から成りたっている。

記載項目は, システム, サブシステム, および構成品に関する事項で大枠の機能上の所属を示し, 次には, ① 故障番号, ② 対象品目, ③ 機能, ④ 故障モード, ⑤ 推定原因, ⑥ 故障の影響, ⑦ 故障検知法, ⑧ 故障等級, 頻度・影響度・評価, ⑨ 対策・記事^{20), 21), 22), 23), 24)} から成る。

これらのうちで対象品目は, 構成部品が構成されている機器あるいは部品をさすもので, 故障率 $\hat{\lambda}$ や平均修理時間 \widehat{MTTR} の計算上の最小グループとなる対象を表すものとした。

FMEA 表の記入例を 表-4 に示す。ただし, ⑨ の対策・記事については, 次項(7)対策の項でその関係事項を具体的に論ずるものとする。

(7) 対策

FMEA 表で求めた故障等級の評価 A~D に応じてその最適な対策を得るための基本的な考え方を示す。

① 対策は, 無駄を省き, ムラをなくす点から, 評価 A~D にそれぞれに対策を考える。

② 故障率増加形 (IFR 形) の構成部品に対しては, 予防

表-4 FMEA 表の記入例

システム		サブシステム		構 成 品	
1	泥水シールド機械	1-1	掘進機能	1-1-4	アジテーター

①故障番号	②対象品目	③機 能	④故障モード	⑤推 定 原 因	⑥故障の影響	⑦故障検知器	⑧故障等級			⑨対策記事
							頻度	影響度	評価	
1-1-4-1	攪拌羽根	泥土攪拌	過負荷回転停止	礫のかみこみ粘性土付着	アジテータ焼着	電流回転数監視	7	1	B	
1-1-4-2	"	"	"	裏注材の充満	"	"	2	4	C	
1-1-4-3	アジテータボルト	固 定	異 常 音	振動によるゆがみ	アジテータ損傷	目 視	3	1	D	
1-1-4-4	軸受ベアリング	軸 受	"	ベアリング破損	シャフト損傷	目視分解	3	7	B	
1-1-4-5	ギアカップリング	油圧モータの回転アジテータシャフト	アジテータが回らない	カップリングがずれてモーター空転	バルクヘッド内閉塞	目 視	3	5	C	
1-1-4-6	油圧配管のモーター取付部	オイル伝達	オイル漏れ	破 損	油圧能力の低下	"	3	4	C	
1-1-4-7	シールド部	軸部保護泥水のシールド	異音・オイル漏れ	シールド破損	給油不足	"	4	5	B	
1-1-4-8	"	"	オイル(グリス)不足	"	シールドシャフト破損	"	4	5	B	
1-1-4-9	油圧モーター	攪拌羽根の駆動	摩 耗	異物混入	旋回不能	"	2	3	C	
1-1-4-10	"	"	モーターの破損	油圧過剰	"	"	1	3	D	

保全のうち時間計画保全とする。

③ 故障率一定形 (CFR 形) の構成品に対しては、予防保全のうち状態監視保全とする。

④ 故障率減少形 (DFR 形) の構成品に対しては、事後保全とする。

⑤ 故障率 $\lambda \geq 0.21 \times 10^{-3}$ (評点 $\alpha=4$) 以上の故障モードに対しては、保全性の見地から予備品の在庫管理を行う。

⑥ 過去の経験から代表的な事例については、現場での対応手順を作成し保全性向上に努める。

上記 ①~⑥ の考え方を基本にして他策の策定、その実施の仕方を決め、関係者が等しく活動を実施していく過程で改善効果が得られることになる。

過去の情報から計画や方法・対策を定め実施していくことは、標準化活動の実践にほかならない^{27), 27), 28), 29)}。

したがって、それぞれの対策に対応する帳票を作成し、これを標準書として工事管理用のフォーマットとして位置づけた。また、標準化活動は管理活動全体の流れの中で始点となるものであり、単に書類の統一化、単純化を目指すことではない。仕事に関する動態的事項や周辺事項に関与するものという見地から仕事の手順手続き権限、義務、責任、会議体、技術標準、作業標準等にもその制定、改訂が行われた。以上の点を考慮して、次に示す対策・帳票のまとめを表-5 に示す。

a) 設計改善シート

故障等級評価 A の品目に対しては、元来建設業にとって固有の信頼性の領域に属する問題と

表-5 故障等級による対策と帳票

(a) 故障等級の評価

故障等級の評価	対 策	帳 票
A	設 計 改 善	設計改善シート
B	日 常 点 検	点 検 表
C	週 間 点 検	"
D	月 例 点 検	"
B~D	状態監視保全	掘進管理表

(b) 保全性への対応

基 準	対 策	帳 票
頻度 4 以上 経 験	予 備 品 の 準 備 現場での対応手順	予 備 品 リ ス ト トラブル対策表

して、機械メーカーである製造業へ改善要求を行う必要があるという見地から、設計そのものに対する検討の手順を示した系統図を作成し設計改善シートとした^{27), 28)}。

b) 定期点検表

故障等級評価 B, C, D の品目および IFR に対応する構成品に対しては、それぞれ日常点検・週間点検・月

表-6 定期点検表の例

泥 水 シ ー ル ド 機 械		点 検 表 (月) No.1		現 場 名
点 検 項 目		点 検 結 果		
		日 毎	週 間	月 例
スリット開閉装置の動きは正常か	<input type="radio"/>			
スリットボルトに緩衝はないか	<input type="radio"/>			
アジテータ部に異音・発熱はないか	<input type="radio"/>			
アジテータボルトにゆるみはないか	<input type="radio"/>			
シールドギヤの作動は正常か、歯隙はないか	<input type="radio"/>			
シールドギヤのスペーシング取付ボルトにゆるみ・損傷はないか	<input type="radio"/>			
エレクターの作動は正常か、油漏れはないか	<input type="radio"/>			
エレクターの押ボタン取付部のキャブイヤにいたみはないか	<input type="radio"/>			
エレクター押ボタンの接点不良はないか	<input type="radio"/>			
エレクター支持ローラのすり減りはないか	<input type="radio"/>			
エレクターの油圧	<input type="radio"/>			

表-7 掘進管理表の例

掘進管理表															本日作業高 掘進		
昭和	年	月	日	昼夜	セグメントNo	R	S	センター	坑底								
調整	油	比重	掘進前	掘進後	特性	掘進前	掘進後	実本量	掘進前	掘進後							
測定	値	シフト	掘進前	掘進後	掘進前	掘進後	掘進前	掘進後	掘進前	掘進後							
セグメント	シフト	掘進前	掘進後	掘進前	掘進後	掘進前	掘進後	掘進前	掘進後	掘進前	掘進後						
作業時間	掘進時間	組立時間			その他												
空気	圧入	掘進状況	注月	流量	ポンプ	回転	電圧	電流	速度	シールド	シフト	掘進	掘進	掘進	掘進	掘進	掘進
別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別	別

例点検を実施し、時間計画保全のうち定期点検を中心とする定期保全に努めることとして、定期点検表(表-6)を作成し活用した。

c) 掘進管理表

接近性およびその他の問題から、直接点検の困難な品目に対する補助手段、および CFR に対応する構成品への対策として、計器類の監視を中心とした状態監視保全のための帳票である掘進管理表(表-7)を作成し活用した。

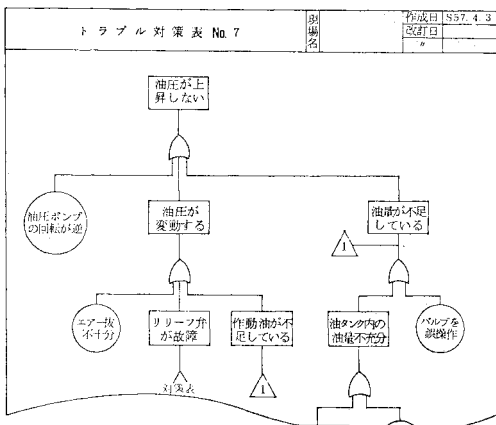
d) 予備品リスト

故障が発生した場合の事後保全時間の短縮を図り、保全性を向上させるためには、あらかじめ予備部品を用意しておくとともに、その在庫管理を計画的に行う必要が

表-8 予備品リストの例

予備部品リスト						製 名	作成日 S57.4.3	改訂日
システム	部品名	説明	数量	注文点	注文量	備考		
泥水シールド 機械	軸ベアリング	スリット	1	0	1			
	押ボタン箱	エレクター	1	0	1			
	リリーブ弁		1	0	1			
	Oリング	2分~6分	各5	1	2			
	作動油		200ℓ	50	150			
			5	1	2			

表-9 トラブル対策表の例



ある^{25), 26)}.

この予備品目の決定は、

- ① 頻度(α)の大きい($\hat{\alpha} \geq 0.63 \times 10^{-4}$)品目のうち市場入手の困難なもの、
- ② 影響度(β)の大きい($\widehat{MTTR} > 6^H$)品目に関しては、経済性を考慮して待ち時間に対する費用が予備品目購入価格を上まわるもの、

を基本とし、管理方式は定量注文方式とした表-8)。

e) トラブル対策表

故障が発生した場合に故障原因発見までの時間の短縮を図り、保全性の向上を目指すためにその手順を FTA によって示したトラブル対策表を作成し活用した(表-9)。

f) 管理用フォーマットと活用母体

各管理用フォーマットの実施者を層別し、機械メーカー・建設会社本社・支店・作業所が一体となった施工管理の標準化を図った(図-19)。

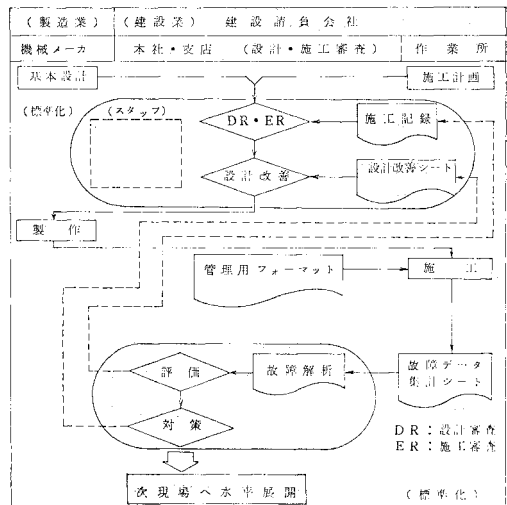


図-19 標準化

3. 実績とまとめ

昭和 57 年度施工した E 現場においては、過去の A~D 現場の故障解析の成果を計画的にフィードバックし、さらに以後のためにデータの収集を行った。

E 現場における「泥水シールド機械」の故障率曲線を図-20 に示す。図-16 のモデルと比較して DFR 部の傾きの純化, CFR 部の故障率の低下(目標 0.03 の達成) IFR 部の遅延等改善効果が見られた。

一方、E 現場におけるダウンタイムを層別したパレート図を図-21 に示す。A~D 現場で発生の高かった項

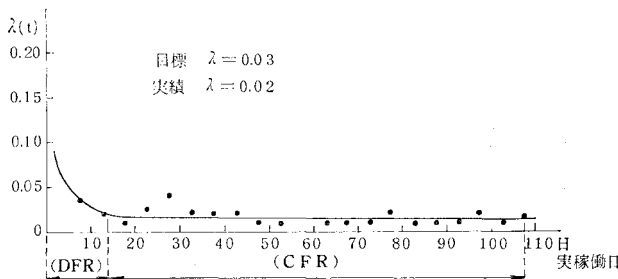


図-20 故障率曲線 (Eシールド)

目のバルクヘッドが大幅に減少し、かわりに採取装置に関するものを入れかわっている。

A, B, C, D, E 現場のダウンタイムの推移を図-22に示す。B~Dの3現場においては、30分/mで横這い状態であったものが、信頼性技術を管理技術として当初から計画的・組織的に定着させたE現場においては、13分/mとなりA~Dまでの平均39分/mと比べると1/3となり改善効果を示している。

ちなみに、図-21における採取装置、配管のダウンタイムの内訳は保全時間が前者51%、後44%、補給待ち時間が42%と0%、管理時間が7%と56%であった。

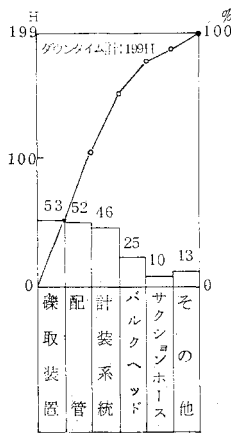


図-21 パレト図 (E現場)

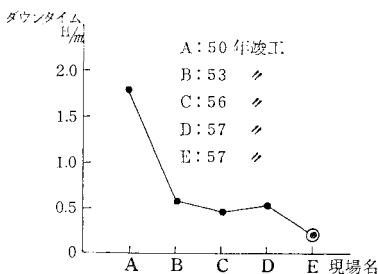


図-22 ダウンタイムの推移 (ABCDE 現場)

当論文において報告した泥水シールド工事の管理技術として、信頼性技術の適用については、E現場の施工実績および職場活性化によりその効果が確認された。

今後に残された課題としては、第一に、幅広いデータの蓄積を行い数値に裏付けされた管理帳票の充実を図り、それを活用すること。第二は、建設会社、メーカーおよびその他の技術者が信頼性技術の実践を試み、情報

の交換を活発にすること。第三は、機械、資材にのみとどまることなく人間の行動に関する信頼性についても広い研究が必要とされること。などがあげられよう。

謝 辞

最後に、長きにわたり土木技術全般にご指導を賜っている清水建設・武川取締役、関根支店次長、ならびに各種データ収集、その他作業に活躍いただいた平野工事長はじめ関係工事主任・係員の皆様に心から深甚なる謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 関東地方建設局企画部：土木工事必携，1982年5月。
- 2) 石川馨：新編品質管理入門 [A編]，[B編] 1964年4月。
- 3) 石川馨：日本の品質管理，1983年5月。
- 4) 信頼性研究委員会編：初等信頼性，1982年6月。
- 5) 日本規格協会：新版品質管理便覧，1981年4月。
- 6) 管理技術ポケット事典 編集委員会編：管理技術 ポケット事典，1982年9月。
- 7) 塩見弘：信頼性・保全性の考え方と進め方，1982年6月。
- 8) 菅野文友：信頼性工学の基礎，1983年12月。
- 9) 星谷勝：確率論手法による構造解析，1973年3月。
- 10) 土木学会構造工学委員会・構造物安全性研究小委員会：構造物の安全性・信頼性，1986年10月。
- 11) 星満・小林正志：TQCと信頼性，1982年4月。
- 12) 北川賢司：信頼性工学入門，1982年12月。
- 13) 北川賢司：信頼性の考え方と技術，1982年6月。
- 14) 村田・植草・越川：実務に役立つ信頼性技術，1982年11月。
- 15) 菅野文友：信頼性工学，1979年10月。
- 16) 日本規格協会：標準化，1983年2月。
- 17) 塩見弘：信頼性工学入門，1982年11月。
- 18) 塩見弘：信頼性入門，1977年2月。
- 19) 牧野鉄治・野中保雄：理工系学生・技術者のための信頼性工学，1983年2月。
- 20) 水野滋・赤尾洋二：品質機能展開，1983年3月。
- 21) 鈴木・牧野・石坂：FMEA・FTA 実施法，1982年3月。
- 22) 佐藤喜代蔵：信頼性工学，1983年3月。
- 23) 市田嵩・牧野鉄治：デザインレビュー，1982年2月。
- 24) 北川賢司：信頼性管理の知識，1981年5月。
- 25) 水野幸男：在庫管理入門，1983年4月。
- 26) 児玉正憲・北原貞輔：ORによる在庫管理システム，1982年11月。
- 27) 斉藤善三郎・坂本進：おはなし信頼性，1983年11月。
- 28) 大村平：システムのはなし，1981年5月。
- 29) 渡辺茂・須賀雅夫：システム工学とは何か，1970年2月。
- 30) 大村平：数量化理論，1983年2月。
- 31) 関東地方建設局企画部：土木工事施工管理の手引き，1982年5月。