

防災設備の作動信頼性が
火災安全性に及ぼす影響に関する研究

名古屋大学図書
和B 32593

建築学教室 防災安全工学講座
M58466 渡辺 郁夫

建築学科図書
分類 11号
番号 1984
215

序 論	1
§ 1 防災設備の現状と問題点	3
§ 2 防火戸の作動信頼性	
2-1 信頼性理論と防災設備	
2-1-1 信頼性の概念	7
2-1-2 故障の概念	8
2-1-3 保全度とアベイラビリティ	9
2-1-4 信頼性の尺度	9
2-1-5 信頼性理論の基本事項	10
2-2 信頼性推定のための基礎データ	
2-2-1 点検記録より得られる情報	17
2-2-2 故障データ	20
2-3 作動信頼性の推定	
2-3-1 指数分布のパラメータ推定	24
2-3-2 ダウンタイムレシオの推定	29
2-4 まとめ	32
§ 3 防火戸の作動信頼性が建築物の火災安全性に与える影響	
3-1 防火区画計画の危険度評価	
3-1-1 目的	34
3-1-2 評価の方法	34
3-2 既存建築物への適用	
3-2-1 計算条件の設定	38
3-2-2 計算例と結果	40
3-3 まとめ	44
結 び	46
参考文献	48

序 論

建築物は通常の利用状態において安全性を確保することは言うまでもなく、天災、事故などによる建築災害に対しても、人命および財産を可能なかぎり安全に保たねばならない、という使命を有している。建築災害としては、地震、台風などによる自然災害によるものと、火災などの人災によるものがあり、それらから人命及び財産を守るために、建築防災として種々の措置が講じられている。建物の防災計画という場合、一般にその対象として火災が想定されている。昔からえんえんと常に発生し続けてきた火災は、防災計画上最大の問題点である。

最近の建築火災の特色は、建物の不燃化率が高まって都市の広範な地域を一気に焼きつくすような火災は著しく少なくなり、火災一件当りの平均焼失面積は減少したものの、火災件数は年々増加し火災による死亡者数も急速に増大する傾向にある。これは、建築物の高層化、大規模化、用途の複合化に伴い、建物内の煙の充満による避難障害、墜落死、中毒死などの事例が極めて多くなっているためで、このような事情は、日本の火災がアメリカなどの火災事情に類似してきたことを示すものである。

火災からの安全の基本は、早期発見、初期消火であることは言うまでもないが、特にこのような火災に対する安全の基本のひとつとしては、安全に区画された避難経路を確保することであり、もうひとつは火災を一定の区画内に閉じ込めて延焼拡大させないという防火区画を確実に形成することである。このような事柄の助けとして、自動火災報知器、スプリンクラー、防火戸、排煙設備などの防災機器が設置されているが、このような機器は通常時に作動状態に無いにもかかわらず、火災という非常に小さな確率でしか起らない事態に際して確実に作動しなければならないという使命を有している。しかしながら、そのような機器すなわち防災設備は、機器である以上ある一定の割合で機能を果し得ない状態、すなわち故障に陥ちいる。さらに通常時に作動状態に無いことから、故障が顕在化しないという特殊性を有しているため、故障を明確に把握できない。

にもかかわらず、防災設備全体を把握し、各種設備の機能を十分に活用しうる総合的防災システムを確立する必要性が叫ばれているが、そのためには個々の設備の信頼性を把握することが重要となる。建物の火災発生からの時間経過との関連において、総合的な機能を果す防火システムの確立というのは、現段階においては一部のごく単純なシステムを除いては、けっして容易ではない。

本論文においては、そのような総合的防災システムの有効性の評価のための第一

歩として、防火区画にかかわる防災設備，すなわち建築基準法で言う「防火戸」（防火扉，防火シャッター）のうち、煙感知器連動の対象の信頼性について、その定期点検記録を基にして、信頼性関数の分布形に指数分布を仮定して解析を行い、その作動信頼性を明らかにするとともに、その結果を基にして建物内における火災拡大という視点からの危険度の評価方法を提案し、実際の建物に適用して計算を行っている。その中で、防火戸の維持管理状態というものが建物全体の火災安全性に対して与える影響が非常に大きいことが明らかになった。

現在、建築物の火災安全は、防災設備というハードウェアに頼る部分が非常に多いが、それはそれで結構なことである。要は、それらが正常に機能することが当たり前のように受けとめられている節があるが、実はそうではないというこに我々が目を向けていないということが問題なのである。いかによく設計され、火災に対する安全性を考慮された建物であっても、使用する側がその欠点を認識してよく管理しなければ、やはりそれは安全であるとはいえず、むしろ危険を増大させる結果を招くかもしれない、ということが認識されるべきなのである。

ただ単に建物を安全に設計するためというだけでなく、その安全性を維持してゆかねばならないという意味において、本論文が少しでもその警鐘となれば、筆者にとって幸いである。

§ 2 防災設備の現状と問題点

1-1 防災計画における防災設備の使命

建物の防災計画といった場合、一般にはその対象とする事象として火災が想定される。特に近年においては、建物の高層化，大規模化にともなって、建築物に対して要求される防災性能が多様化するなかで、防災計画に占める防災設備の割合が増大している。火災対策としても、早期発見，初期消火，報知，避難誘導，延焼防止，本格消火など、それぞれの役割を担った防災設備が建築物の一部として設置されているのである。防火に関わる設備を、それらが課せられた使命で分類すれば、以下のようなになる。

- | | | |
|---------|------------|------------|
| 1) 早期発見 | * 自動火災報知設備 | |
| 2) 初期消火 | * 自動消火設備 | |
| | * 消火せん設備 | |
| 3) 火災報知 | * 非常通報器 | 消防署，隣館への通報 |
| | * 非常ベル | |
| | * 自動サイレン | 居住者への通報 |
| | * 非常放送設備 | |
| 4) 避難誘導 | * 誘導燈 | 避難方向の指示 |
| | * 非常ドア | |
| | * 防煙たれ壁 | |
| | * 排煙口 | |
| | * 排煙窓 | |
| | * 給気口 | 避難経路安全の確保 |
| | * 排煙機 | |
| | * 防煙ダンパー | |
| | * 非常用照明 | |
| 5) 延焼防止 | * 防火扉 | |
| | * 防火シャッター | 火災拡大の抑制 |
| | * 防火ダンパー | |
| 6) 本格消火 | * 連結送水管 | |
| | * 連結散水管 | 消防隊による消火 |

これらに加えて、個々の防災設備を結びつけて制御する各種制御機器も、建物の火災発生からの時間経過との関連におけるシステムとして重要な役割をになっている。

1-2 防災設備の特殊性

防災設備は、それが機器である以上ある程度の割合で故障に陥る。しかしながら、照明器具のように通常時において作動状態にあり、その故障が比較的明確に把握できるような機器とは異なり、防災設備は通常時に作動状態になく、しかも、火災という非常に小さな確率でしか起らない事象を対象としているため、ほとんど作動する機会がない。したがって、その故障が顕在化しないという特殊性を有している。そこで故障を発見し、修理調整を行ってその作動信頼性を向上させることを目的として、定期的に保守点検が行われている。しかしながら、定期点検の間隔は一般の建築設備に比較して非常に長く、半年あるいは一年という単位である。これは、防災設備の瞬間故障率が一般の設備に比べてかなり小さい為であると考えられる。もし、定期点検が行われるにしても、それらが一旦故障状態に陥れば少なくとも次に点検を受けるまでは作動不能（あるいは不良）であると考えられることから、作動不能状態にある時間的割合はある程度大きいと思われる。さらに、もし点検保守が行わなければ、ある一定の時間が経過した後にはほとんどの設備は作動不能状態に陥ってしまうと考えられる。現在、定期点検が行われている建物はほんの一握りであり、むしろその点に大きな問題があるといえる。

1-3 防災システムに要求される信頼性

近年、防災設備全体を把握し各種設備の機能を十分に果しうる総合的防災システムを確立する必要性が叫ばれているが、そのためには、個々の設備の信頼性を把握してその効果的な設置を図り、それらにシステムとしての機能を持たせてシステム全体の信頼性を向上させることが重要である。

日本においては、超高層ビルの防災に関する研究などから、防災全体を総合的に捉えようとする考え方が進みつつあるが、建物の火災発生からの時間経過との関連において、総合的な機能を果しうる防災システムの確立というのは、個々の設備の信頼性さえ明らかにされていない現段階においては、一部のごく単純なシステムを除いてはけっして容易ではない。

また、その数において圧倒的に多数を占める中・小規模の建物においては、防災総合システムというような体制作りはほとんど取り入れられないばかりか、管理上無視される場合が多く、せっかく設置された設備でも機能しない状態にある例が多いように思われる。

その規模の大小によらず全ての建物において、防災システムを建築計画から維持管理まで総合的に体系化する必要がある。そのためには、システムを構成する個々の設備の信頼性が、その維持管理をも含めて議論さらねばならない。一般に、個々の防災設備に対しても非常に高い信頼性を要求する傾向があるが、それよりもむしろその信頼性の特性を正確に把握し、防災システム全体としての信頼性を向上させるように設計し、維持管理することが重要であると思われる。

1-4 システム信頼性評価の意義

以上で述べたようなことから、防災システムの信頼性を評価するための手法に関する様々な研究が行われてきたが、個々の設備の信頼性が明らかになっていないこと、システムとしての信頼性を決定する要素がハードからソフトまで広範にわたっていることや、火災という現象そのものが科学的に解明されていない部分が多いこと、そのモデル化が難しいことなどから、現在提案されている評価手法の殆どは、感覚的な評価に近い結果を得ることを目的としている。したがって、安全性の判定基準が明確でなく、相対的な値にその結果を求めざるえないために、個々の対象の有する特殊性を考慮した最適システムの在り方について言及することは不可能である。

本論では、近年我が国において一般的になりつつある煙感知器連動の防火戸を対象としてとりあげ、信頼性理論に基づくその信頼度の推定を行ったが、その手法は他の防災設備に関しても適用可能であると考えられる。また、延焼拡大防止システムとしての防火区画計画の有効性とそれに対して防災設備の作動信頼性が与える影響を体系的に評価するため、建物全体が防火区画外への延焼により受ける物的損害を求める方法について考察し、既存の建物について計算を行った。その結果、建物全体としての延焼危険については勿論、個々の防火区画の危険性についても評価が可能となった。この方法を軸として、他の防災設備に関する要素（たとえばスプリンクラーなどの初期消火設備の消火性能）がつけ加えられれば、それを既存建築物あるいは設計段階に於けるプランに対して用いることにより、防火区画計画上の問題点の指摘、改善方法の提案、幾つかの設計方式の比較検討などがより具体的な形

で可能となろう。

§ 2 防火戸の作動信頼性

2-1 信頼性理論と防災設備

2-1-1 信頼性の概念

信頼性理論における信頼性とは、「システム、機器、部品などの作動または性能の時間的安定性を表わす度合または性質」である。また信頼度とは、「システム、機器、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す確率」(JIS Z8115) と定義される。この定義で信頼度は、

- 1) 対象 → システム、機器、部品
- 2) 要求された機能 → したがって故障とは何か
- 3) 与えられた条件 (使用、環境条件)
- 4) 規定の期間 (時間、距離、サイクル、回数など)
- 5) 確率

という要素から構成されている。つまり信頼度は客観的には確率で測られるが、そのためには、1) から4) までが明確にされねばならない。言い換えれば、信頼度は3) と4) を規定した上でその対象が故障しない確率である。同一の対象でも使用・環境条件が異なり、意図する期間が異なれば、信頼度は異なってくる。また当然のことながら、故障の定義も明確にされねばならない。本論で扱う防災設備の信頼性については、その作動の可否および完全、不完全のみを考えることとし、「作動信頼性」として一般に定義されるその性能 (完全に作動した後の機能達成率) をも含めた信頼性と区別することにする。つまり、設備が火災という非常事態にたいして正常に作動しうる状態にあるか否かのみを考慮し、作動後にその機能を達成しうるか否かについては考慮しない。

今回取り上げる防災設備の (作動) 信頼度についての上記1) から4) については、以下のように考えることができる。

1) それが設置された建物までを含めたシステム、また、人間を含めた修復系 (Maintenability) を考慮する。

2) その本質的な (つまり防災上の) 機能のみを考慮し、附加的に与えられた機能については考慮しない。

3) それが設置される建物の用途などにより、使用環境条件は異なると考えられるので、それらを明確にする必要がある。また、その保全方法などをも含めた使用条件を明らかにする。

4) 建物内における火災の発生の時間は特定できないので、竣工以降の全期間を対象とする。

2-1-2 故障の概念

故障は、「対象が規定の機能を失うこと」(JIS Z8115)と定義される。したがって、機能の定義によってその内容は異なってくる。また、JIS用語では、故障を以下のように分類している。

1) 突発故障 (Sudden Failure) ; 突然生じ、事前の検査または監視により予知できない故障

2) 劣化故障 (Gradual Failure) ; 特性が次第に劣化し、事前の検査または監視により予知できる故障

3) 偶発故障 (Random Failure) ; 偶発的に発生する故障

1) は、何の前ぶれもなく材料にひびが入るとか折れる、電球が切れる等のたぐいの故障である。しかしながら、電球の明るさを測っていれば、除々に暗くなる2)の故障と判断される。つまり突発か劣化かは、注意して状態を監視しているかどうかという区別にもよることになる。そういう意味では、防災設備の故障の大部分は突発故障であると言えることができる。このような突発型の故障が、時間に依存性がなく全くランダムで、いつ次の故障が起るかは予知できないように起り、しかも、平均的には同一の割合で発生するものが3)である。

また、その故障の程度によって、

4) 完全故障 (Complete Failure) ; 要求機能が完全に失われている故障

5) 部分故障 (Partial Failure) ; まだ機能が失われず部分的に残っている故障

とに区別される。さらに1)と4)とを組合せてCatastrophic Failure, 2)と5)とを組合せて、Degradation Failureとして区別されることもある。

さらに、故障の状態が時間的に変化するかどうかによって、永久故障 (Permanent Failure) または固定故障 (Solid Failure) と間欠故障 (Intermittent Failure) とに区別される。

特に、フィールド・データを扱う場合には、その故障概念はしばしば多くのあいまいさを伴うので、故障の判定基準つまり故障であるか否かを判定する基準となる機能の限界値を割り切って考えることが重要となる。

2-1-3 保全度とアベイラビリティ

これまでに述べた信頼度は、いわゆる故障しないという確率である。しかし、今回扱う防災設備のように比較的複雑でコストの高い耐久性の機器では、故障したからといって完全に置き替えてしまうような電球などの単純な部品とは異なり、故障した部分を修理して使用するのが普通である。このような機器では、故障しないという信頼度のほかに故障すれば修理が迅速に行われるかどうかということが重要になる。故障発生後ある時間までに保全を完了している確率を保全度という。

つまり、修理を伴うシステムに対しては、広義の信頼度は、

- 1) 故障しないという狭義の信頼度
- 2) 故障が生じれば修理されるという保全度

の二つから構成されていることになる。この広義の信頼性をアベイラビリティという。アベイラビリティは、ある使用条件と規定時間のもとでシステムや機器が満足に機能を果たしている状態にある確率である。したがって、システム、機器などが機能を果たし得ない状態にある時間の分類解析が特に重要視される。

一般の機器に関して言えば、機器が故障状態に陥ったことはただちに明らかになるので、保全度は故障発見後修理に取りかかるまでの時間（保全待ち時間）と修理に要する時間（修理時間）のみに依存するが、防災設備はその故障が点検時にしか明らかにならないため、以上に加えて故障が発見されるまでの時間（故障未発見時間）を考慮する必要がある。修理時間は、保全待ち時間及び故障未発見時間に比べて非常に短く、さほど問題にならないが、保全待ち時間及び故障未発見時間はその機器の維持管理状態に依存し、特に、故障未発見時間は点検間隔の長短に依るので、防災設備に関しては、その狭義の信頼度が同じであってもその維持管理状態が異なれば広義の信頼度は大きく異なってくることになる。

2-1-4 信頼性の尺度

信頼度、保全度アベイラビリティなどは、一般には確率で測られるが、つねに確率で測られるとは限らず時間や時間当りの度数が用いられることも多い。

時間で測るには、

- 1) 信頼度に対応して故障までの無故障でいる時間
- 2) 保全度に対応して故障発生から修理完了までの時間

が用いられる。この時間は、観測サンプルごとに異なり、分布として捕えられる。通常、その平均値が第一の尺度として用いられる。すなわち、

- 1) M T T F (Mean Time To Failure, 平均寿命) ; 修理を伴わない対象に対し

用いられる

MTBF (Mean Time Between Failures, 平均故障間時間) ; 修理を伴う対象に対して用いられる

2) MTTR (Mean Time To Repair, 平均修理時間) ; 修理を伴う対象に対して用いられる

などである。

もう1つの方法は、時間当りの故障数や修理完了数を数えることである。これは、

1) 故障率 (Failure Rate)

2) 修理率あるいは保全完了率

としてとらえられる。

通常の機器の場合、これらは何れも h , $1/h$ という単位で表わされることが多いが、今回扱う防災設備については、その信頼性データが1日単位でしか得られないので、日, $1/\text{日}$ という単位を用いることとする。したがって、防災設備の信頼性を表わす尺度としては、MTBF, 故障率が用いられる。

また、広義の信頼性を表わす尺度として、本論ではアンアベイラビリティに対応するダウンタイムレシオ (システム, 機器などが機能を果たせない状態にある時間的割合) を用いている。

2-1-5 信頼性の基本的事項

信頼度はある規定の時間で、対象が機能を果しうる確率であるが、これを時間の関数として見た時、信頼度関数という。確率分布でいうと信頼度は、累積分布関数であって、その時点までに累積して何パーセントが満足に機能しているかを示している。

信頼度を $R(t)$ とし、不信頼度を $F(t)$ とすると、

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2-1)$$

で、 $F(t)$ は $R(t)$ のうらがえしの形をしている。 $F(t)$ は、故障時間分布関数とも呼ばれ、その微分形 $f(t)$ は、故障時間密度関数と呼ばれる。つまり、

$$f(t) = dF(t)/dt = -dR(t)/dt \quad (2-2)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2-3)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (2-4)$$

また、すでに述べたように信頼性を時間当りの故障の度数として測る故障率がある。これを $\lambda(t)$ とすると、

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= -dR(t)/dt/R(t) \\ &= f(t)/R(t) \end{aligned} \quad (2-5a)$$

あるいは、

$$\lambda(t) = -d \ln R(t) / dt \quad (2-5b)$$

である。 $\lambda(t)$ はある時間 t まで満足に機能していたもの $R(t)$ のうち、次の微小時間 dt にそのうちのどれくらいの割合が故障するかを示すものである。換言すれば、故障率は微分量として信頼度を特徴づけるものである。つまり、式(2-5b)より

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2-6)$$

となる。また同様にMTTFについては、

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2-8)$$

であり、

$$R(t) = e^{-f(t)/R(t)} \quad (2-9)$$

である。つまり、MTTFは積分量として信頼度を特徴づけるものであるとすることが出来る。

式(2-6)、(2-8)は、信頼度が指数型に従うことを示している。また、式(2-5b)に示されるように、故障率は信頼度を微分して求められるので、その単位は1/時間である。

対象が年齢 T を経過した時点からの時間を t として、そこから見た故障時間密度関数を $g_T(t)$ とすれば、

$$g_T(t) = f(T+t)/R(t)$$

である。これは、 T まで生き残ったという条件付きの密度関数であり、この $g_T(t)$ の平均値を平均余命という。すなわち、

$$\mu g(T) = \int_0^{\infty} t g_T(t) dt \quad (2-11)$$

である。また平均寿命 (MTTF) が $\int_0^{\infty} R(t) dt$ であることと、

$$\begin{aligned} R g(t) &= \int_t^{\infty} g_T(t) dt \\ &= \int_t^{\infty} f(t+T) / R(T) \\ &= \int_{T+t}^{\infty} f(u) du / R(T) \\ &= R(t+T) / R(T) \end{aligned}$$

であることより、

$$\begin{aligned} \mu g(T) &= \int_0^{\infty} R g(t) dt \\ &= \int_0^{\infty} R(u) du / R(T) \end{aligned} \quad (2-12)$$

となる。

複雑なシステム、機器などの対象に関しては、その構成部品は故障するたびに交換され、その年齢 T はさまざまになる。このように観測の時点がさまざまな場合は $R(T)$ まで生き延びて $t+T$ で故障する確率は、 $\alpha R(T) dt \cdot f(t+T) / R(T)$ であるから、 T について積分することにより、任意の時点から見て故障するまでの時間 t の確率密度関数は $g(t)$ は、

$$g(t) = \alpha R(t) = R(t) / \mu$$

$$\left(\mu = \int_0^{\infty} R(t) dt \right) \quad (2-13)$$

となる。

すなわち、この構成部品の故障率は、

$$\begin{aligned} (R_i(t)/\mu_i) / \int_0^{\infty} (R_i(t)/\mu_i) dt \\ = R_i(t) / \int_0^{\infty} R_i(t) dt \end{aligned} \quad (2-14)$$

であり、 $t \rightarrow 0$ で $1/\mu_i$ に近づく。なおこのような部品の直列システムの信頼度は $\prod_{i=1}^n \int_0^{\infty} R_i(t) dt / \mu$ であり、 $n \rightarrow \infty$ で $\lambda(t) = 1/\mu = \sum 1/\mu_i$ という故障率を持った指数分布に近づくことが証明されている。(Drenickの極限定理；図2-1)¹⁾

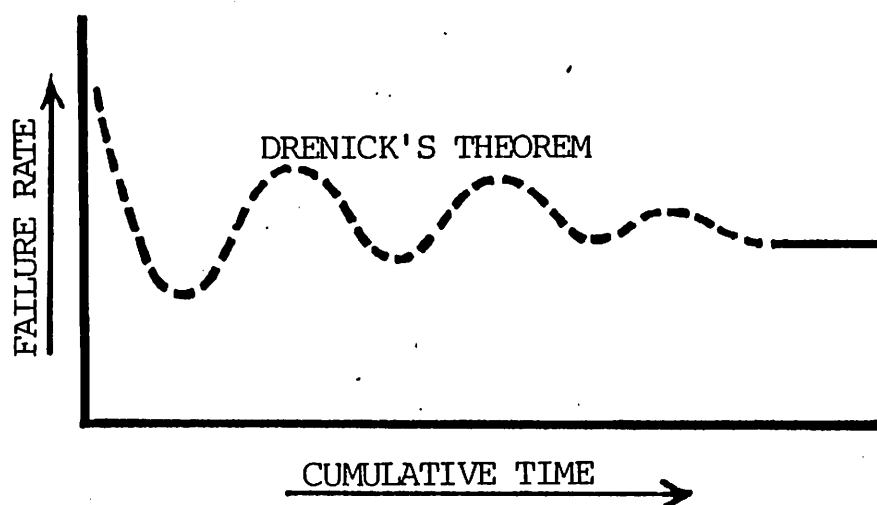


図2-1 Drenickの極限定理

さらに、事後保全の故障率に関しては、使用開始からの時刻 t までに $i-1$ 回交換されているものの故障時間密度関数 $f_i(t)$ は $f(t)$ の畳込みになっている。時刻 t における故障率は、

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \sum R_i(t) dt \\ &= \sum R_i(t) f_i(t) / R_i(t) = \sum_{i=1}^{\infty} f_i(t) \end{aligned} \quad (2-15)$$

ただし、 $\lambda_i(t)$ は $i-1$ 回交換されたという条件付きの故障率である。

したがって、 $f(t)$ の形より $\lambda(t)$ を知ることができるが、それらは故障時間の分布型が何であれ、漸近的には一定値に近づくと考えられている。

故障率が一定である、すなわち、

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2-16)$$

であるとき、式(2-6)より、

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2-17)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2-18)$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (2-19)$$

となる。さらに、このときMTBF； ϕ も $\phi = 1 / \lambda$ で一定となる。指数分布のパラメータとしては、対象が故障すれば修理されるような耐久性のシステムの場合は一般にMTBFが用いられる。MTBFは、“平均して何時間に一度故障が起るか”という故障の再現期間を表わすパラメータでもある。図2-2に、MTBF = 3000DAYSとしたときの $R(t)$ ， $F(t)$ を示す。

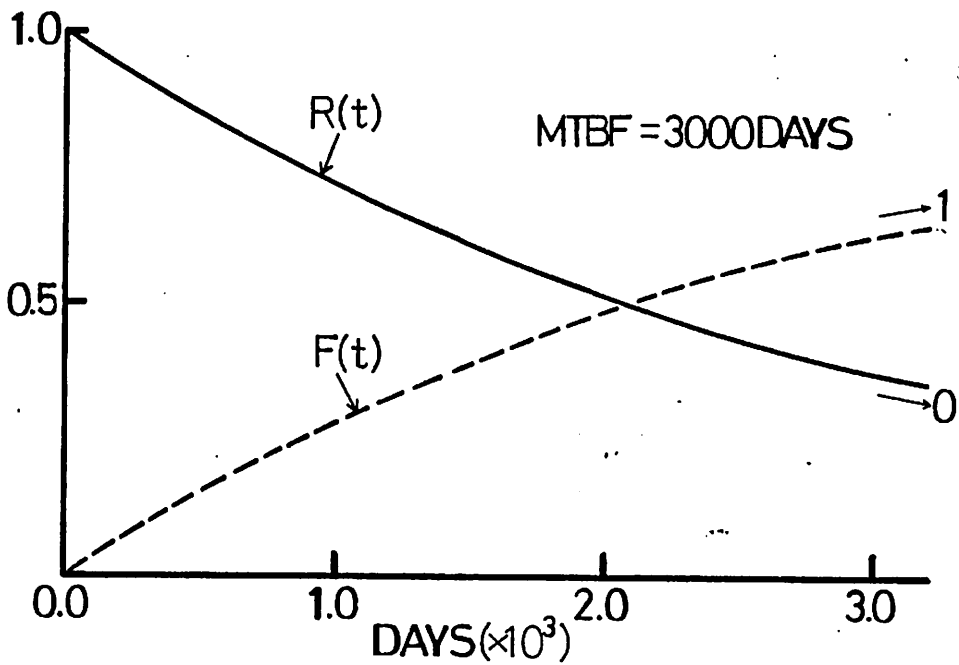


図2-2 指数分布の $R(t)$ と $F(t)$

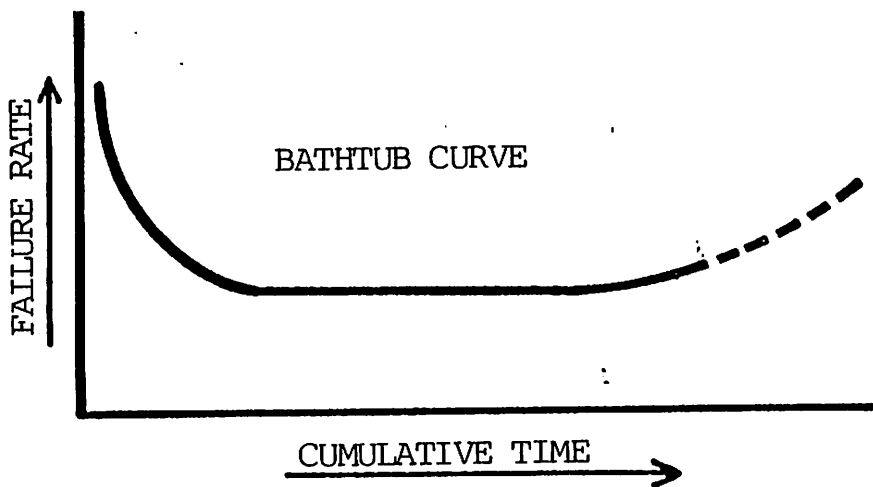


図2-3 バスタブ曲線

以上のようなシステム以外でも、一般にバスタブ曲線（図2-3）で表わされる偶発故障期間のように、 $\lambda(t)$ が一定の期間がかなり長期にわたって続くことが知られている。この一定故障率と平均寿命が、機器の狭義の信頼性を表わす重要なファクターとして検討されることが多い。故障率を一定とした場合のそれぞれのパラメータの推定方法と、狭義の信頼性を表わす尺度とその算出については、2-2-2で述べることにするが、ここでは、そこで用いられる指数分布の基本的性質の幾つかについて触れておくことにする。

故障率が一定すなわちその故障時間分布関数が指数分布に従うようなシステムにおいて、その年齢が x であるものがその後の時間 t 以内に故障しない確率は、

$$\begin{aligned} \frac{\bar{F}(x+t)}{\bar{F}(t)} &= \frac{R(x+t)}{R(t)} = \frac{e^{-\lambda(x+t)}}{e^{-\lambda x}} \\ &= e^{-\lambda t} = R(t) = \bar{F}(t) \end{aligned} \quad (2-20)$$

となる。したがってこの場合は、システムの年齢は x であるにもかかわらず、確率から見れば新品同様に扱うことができる。この性質は指数分布の無記憶性（memory less property）と呼ばれている。

このようなシステムが、故障すれば即座に修理されて再使用されるような単純な再生過程において、時間 t 以内に発生する故障数； $N(t)$ について考察する。 $N(t)$ が r である確率を $P_n(t) = P_r\{N(t) = n\}$ と表せば、 $n=0$ における $P_0(t) = R(t) = e^{-\lambda t}$ は明らかである。 $n \geq 1$ については、時刻 t までに n 個の故障が発生するためには、第1番目の故障が時間 x と $x+dx$ の間で起り、その後 $t-x$ の間で $n-1$ 個の故障が起ると考えれば、時刻 x と $x+dx$ の間で最初の故障が起る確率は $\lambda e^{-\lambda x}$ であり、 x は 0 と t の間で任意の値を取り得るので、

$$P_n(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} P_{n-1}(t-x) dx \quad (2-21)$$

が成り立つ。ここで、

$n=1$ のとき $P_0 = e^{-\lambda x}$ より、

$$\begin{aligned} P_1(t) &= \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} \cdot e^{-\lambda(t-x)} dx \\ &= [x \cdot \lambda e^{-\lambda t}]_0^t = \lambda t e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

$n = 2$ のとき

$$\begin{aligned} P_2(t) &= \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} \cdot \lambda (t-x) e^{-\lambda(t-x)} dx \\ &= \left[(x^2/2) \cdot \lambda^2 e^{-\lambda t} \right]_0^t = \frac{(\lambda t)^2 e^{-\lambda t}}{2} \end{aligned}$$

というように逐次 $P_n(t)$ を求めれば、

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2-22)$$

が得られる。これはパラメータ λ のポアソン分布である。

さらに、時刻 t までの故障数； $N(t)$ の期待値は、

$$\begin{aligned} E[N(t)] &= \sum_n n P_n(t) = \sum_n n \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \\ &= \lambda t e^{-\lambda t} \sum_n \frac{(\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} = \lambda t e^{-\lambda t} \cdot e^{\lambda t} = \lambda t \quad (2-23) \end{aligned}$$

となる。

2-2 信頼性推定のための基礎データ

2-2-1 点検記録より得られる情報

a) 対象

火災の拡大阻止を目的として建物に設置されている防災設備として、いわゆる建築基準法で言うところの「防火戸」、つまり防火扉、防火シャッターがある。今回の対象は、その中でも特に常時開放の煙感知器連動自動閉鎖式のものに限定している。表2-1に今回点検記録を利用した建物の一覧を示す。建物数は合計19件、対象数は防火扉159、防火シャッター339である。

保守点検間隔は原則的に年2回あるいは1回の割合で、定期点検として行われているが、それらの時間間隔は一定ではなくまちまちで、最長のものでは4年半にも及ぶものもある。また、得られた記録の中には竣工時の検査は含まれておらず、そのほとんどが継続して行われている点検保守の記録のうちの一部で、ある時点からほぼ現在に至るまでのものである。

表2-1 調査対象一覧

物	用途	階数	対象	対象数	点検数 合計	点 検 期 間
1	事務所	8	防火扉	20	98	'81, 2, 25 ~ '83, 1, 19
2	物販店	5	防火扉	10	43	'78, 6, 26 ~ '83, 7, 14
3	事務所	8	防火扉	8	104	'78, 5, 25 ~ '83, 5, 9
4	事務所	9	防火扉	11	76	'78, 12, 15 ~ '81, 12, 9
5	事務所	8	防火扉	17	182	'77, 9, 7 ~ '83, 3, 19
6	競艇場	6	防火扉	35	276	'79, 8, 14 ~ '83, 3, 19
7	ホテル	6	防火扉	19	114	'80, 5, 28 ~ '84, 6, 18
8	物販・事務	9	防火扉	20	80	'81, 4, 12 ~ '84, 7, 9
9	会議場	5	防火扉	15	225	'77, 6, 1 ~ '84, 11, 10
0	自治体庁舎	5	防火扉	4	60	'76, 2, 8 ~ '84, 7, 28
	〃	〃	防火シャッター	24	408	〃
1	物販店	3	防火シャッター	19	114	'81, 7, 9 ~ '84, 12, 13
2	物販店	4	防火シャッター	35	525	'80, 8, 25 ~ '84, 9, 5
3	デパート	3	防火シャッター	22	180	'79, 5, 9 ~ '84, 4, 11
4	デパート	2	防火シャッター	32	320	'79, 5, 23 ~ '84, 5, 9
5	デパート	6	防火シャッター	39	390	'79, 5, 16 ~ '84, 6, 13
6	デパート	3	防火シャッター	62	558	'79, 5, 9 ~ '84, 4, 25
7	デパート	6	防火シャッター	36	324	'79, 5, 23 ~ '84, 4, 18
8	デパート	3	防火シャッター	36	360	'79, 5, 30 ~ '84, 5, 9
9	デパート	3	防火シャッター	30	200	'79, 5, 19 ~ '84, 4, 18

b) 点検記録より得られる情報

図2-4(a), (b)に、個々の設備について得られたデータの一例を示す。
各対象について得られる情報は、

1) パネル, スラットの寸法(ただし、今回の防火扉の一部と防火シャッターの
全てについてそれらを得ることはできなかった。)

2) 機種 3) 片開きか両開きか 4) 潜戸の有無

5) 保守点検が行われた時刻(年, 月, 日)

6) 点検時における扉の状態

○) 正常に作動した。

△) 異常を発見し、即座に修理された。

×) 異常を発見したが、即座には修理が不可能で修理するよう要請した。

7) 異常の種類(異常が発見された時のみ)

である。異常の種類については、表2-2にその一覧を示す。また、図2-4(a), (b)には、扉シャッターのそれぞれについて、その点検結果を経時的にまとめたものの一部を例として示す。6) および表2-2の各項目に対応する記号は、それぞれ以下の図2-4, 6, 7, 8に示す記号に一致している。3), 4)は、防火扉のみについて得られる情報である。

表2-2 異常の種類

(a) 防火扉		
A) 枠・扉の変形損傷	B) 閉鎖トルクの不足	C) 順位調整器の不良
D) 召し合せの不良	E) 把手・錠の不良	F) 磁着・解放装置の不良
G) 連動制御器(盤)の不良	H) 閉鎖状況・速度の不適正	
I) 煙感知器の不良	J) 作動線上に障害物が放置される	

(b) 防火シャッター		
A) 点検口の状態	B) 作動線上に障害物が放置される	
C) 操作に障害がある	D) 開閉機の不良	E) ブレーキ装置の不良
F) スプロケット・ローラーチェーンの不良		
G) 巻取シャフト・ブラケットの変形損傷		
H) スラット・吊り元の不良	I) 座板の変形損傷	
J) ケース・まぐさ・押車の変形損傷及び不良	K) ガイドレールの変形損傷	
L) 開閉機制御盤の不良	M) リミットスイッチの不良	
N) 押ボタンスイッチの不良	O) 手動閉鎖装置の不良	
P) 磁着・解放装置の不良	Q) 連動制御器(盤)の不良	
R) 絶縁抵抗の不適正	S) 降下状況の不適正	T) 降下速度の不適正
U) 巻上状況の不適正	V) 煙感知器テストの合否	
X) 煙感知器の不良	Y) エマージェンスイッチの不良	Z) 異常音の有無

BUILDING NO. 5 SELECT MODE= 1

NO.	KISHU	SCALE		P	KUGURI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (≒100 DAYS)											
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	
801	D	1240	1890	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
802	D	1240	1890	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
803	D	1230	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
701	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
702	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
502	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
301	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
302	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
201	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
202	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
101	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
B11	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

(a) 防火扉

BUILDING NO. 15 SELECT MODE= 1

NO.	KISHU	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (≒100 DAYS)												
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0			
302	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
303	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
304	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
305	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
306	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
403	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
404	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
405	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
406	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
503	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
604	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
505	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
506	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	L.4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

(b) 防火シャッター

図2-4 点検記録より得られる情報

2-2-2 故障データ

a) 故障の判断基準

故障の定義については2-1-2で述べたが、ここでは前節で示した個々の異常データからいかにして故障データを得るかについて述べる。図2-5に、防火戸の火災時における閉鎖のためのメカニズムを示す。今回得られた情報は、図中の破線に囲まれた部分に関するものである。

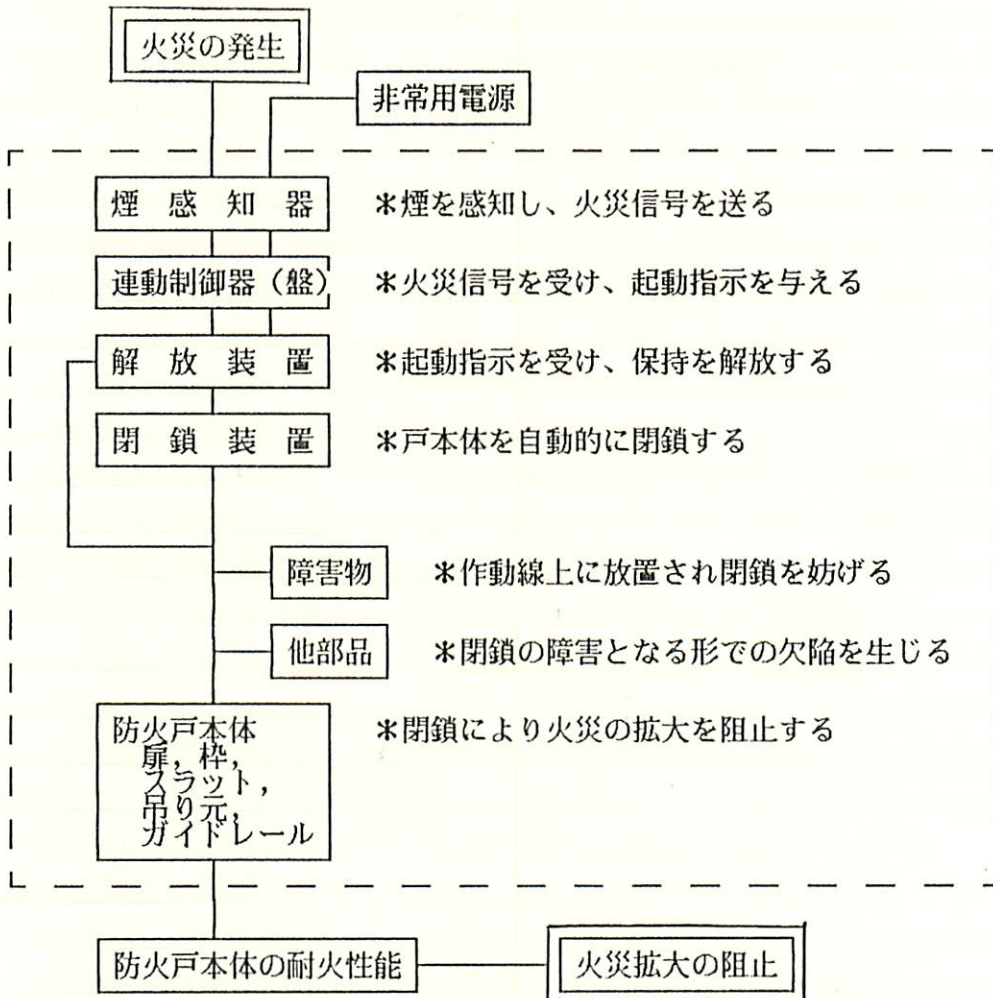


図2-5 閉鎖のためのメカニズム

ここで最終的には、防火戸に要求される機能を「閉鎖により火災の拡大を阻止すること」と定義すれば、防火戸にとっての故障とは、「火災の拡大を阻止できない」状態に陥ることである。したがって、異常の種類そのものが非常時における閉鎖のメカニズムに関連しないもの、関連する異常の種類であっても、そのモードが図2-5中*に示すような関連機能とは関わりのないものについては、故障ではないとして故障データとしては考慮しない。以下では、点検時に指摘されたものを異常、そのうち閉鎖のメカニズムが作動しないものを故障と呼ぶ。また、障害物による閉鎖不良は、防火扉については建物によっては途中で点検方法が変更されて、全期間

にわたるデータが得られなかったこと、障害物の大部分は顕在的なものであり、顕在化しないその他の故障とは異なった性質のものであるため、信頼度の推定に用いる故障データとしては扱わない。

b) 整理されたデータ

以上のような判断基準をふまえて、防火扉、防火シャッターのそれぞれについて、異常データから故障データを作成した。図2-6(a), (b)には整理後のデータの一部を防火扉、防火シャッターのそれぞれについて示す。また、図2-7は扉、シャッターそれぞれの全対象において得られた異常(図中細線)と故障(図中太線)を種類別に示したものである。しかしながら、異常及び故障の中には連続する点検において続ずけて認められるものがあり、点検時刻において故障が認められても、直前の点検時刻において同種の故障で修理調整が不可能であったものがある場合は、同一の故障であると判断し重複するものを整理した結果が図2-8である。

c) 故障に関する知見

図2-8に示すように、防火扉、防火シャッターのそれぞれにおいて最も多く認められるのは、枠・扉、スラット・吊り元、すなわち防火戸本体の変形損傷である。シャッターで防火戸の枠に相当するガイドレールの変形損傷が認められないのは、シャッターの本体であるスラットが、扉の本体のパネルに比べて変形に対してフレキシブルな構造であるため、ガイドレールの全体的な変形によっては作動不能に陥らないためと考えられる。換言すれば、防火戸本体の変形の主な要因として挙げられるのは、それらが設置された建築物の躯体の変形であると言える。加えて、扉の床当り、シャッターの吊り元の変形損傷の要因としては、本体の自重によるものもかなりの数にのぼると思われる。

機械的、電氣的部品の故障に関しては、意外に少数であったが、特に扉に特有のトルク装置の故障が多く、シャッターに特有なスプロケット・ローラーチェーンの故障はさほど多く認められなかった。また、磁着・解放装置、連動制御器(盤)、煙感知器についても、扉のほうが故障の頻度はより高いと言える。

さらに、故障が即座に修理調整可能であったか否かについては、即座には不可能であったものの割合は、扉、シャッターのいずれについても約75%であった。

BUILDING NO. 5 SELECT MODE= 2

NO.	XI SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (×100 DAYS)											
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	
801	D	1240	1890	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
802	D	1240	1890	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
803	D	1230	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
701	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
702	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
502	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
301	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
302	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
201	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
202	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
101	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
B11	D	1240	1885	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

(a) 防火扉

BUILDING NO. 15 SELECT MODE= 2

NO.	KISHU	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (×100 DAYS)												
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0			
302	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
303	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
304	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
305	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
306	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
403	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
404	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
405	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
406	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
502	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
503	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
504	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
505	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
506	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	L4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

(b) 防火シャッター

図 2 - 6 故障データ

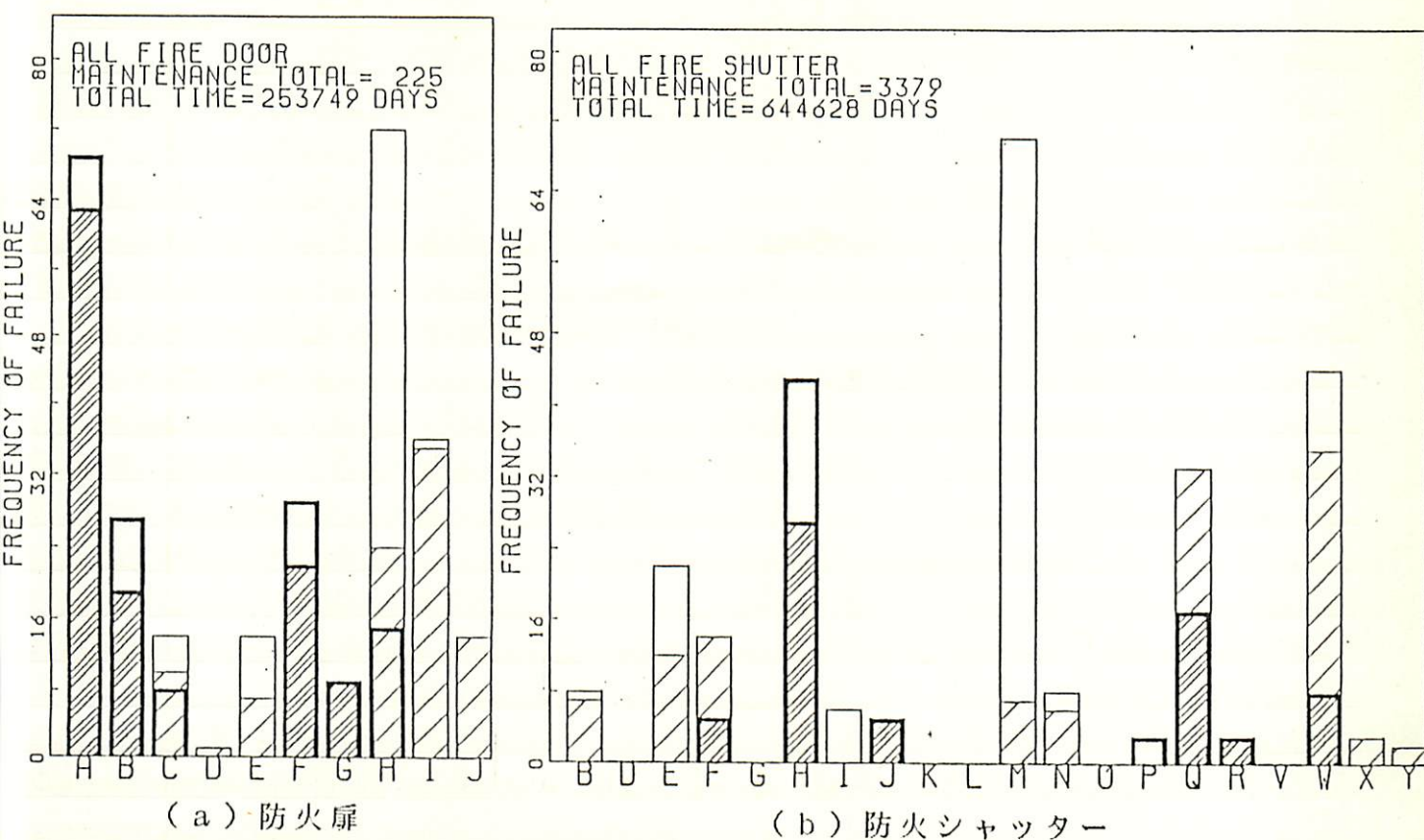


図 2 - 7 点検時において発見された故障と異常の度数分布

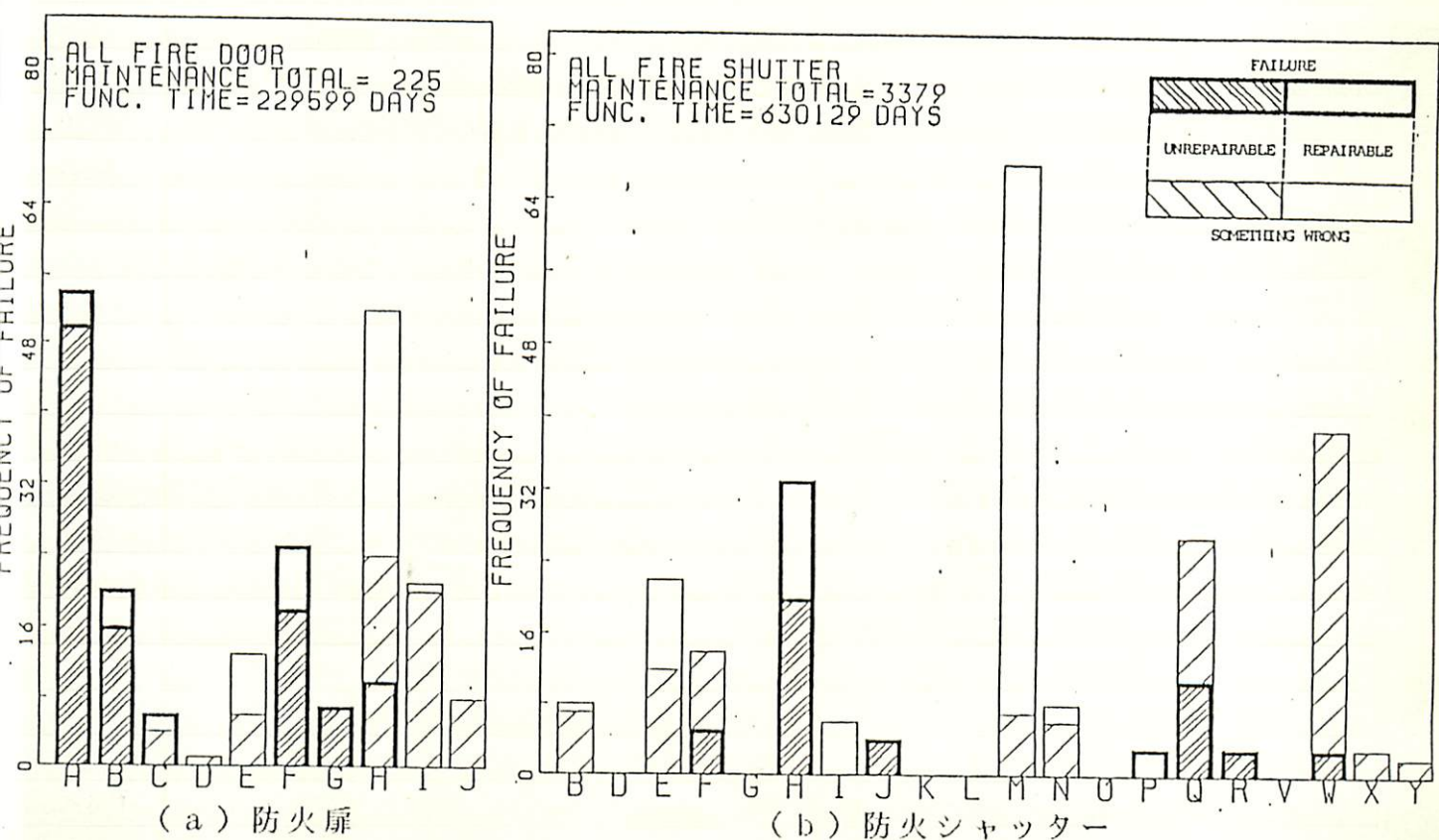


図 2 - 8 整理後の故障と異常の度数分布

2-3 作動信頼性の推定

2-3-1 指数分布のパラメータ推定

システム、機器などの信頼性はその信頼度関数、故障時間分布関数によってすべてを記述されるが、それらを経験分布関数によりノンパラメトリックに求めるとなれば、現実的でないほどの多くの、かつ長期間にわたる実験あるいはフィールド・データの収集解析が必要となる。しかしながら、今回利用した点検記録のよる基礎データに関しては、各対象の設置時刻が明確でなくその年齢が不明であること、得られる信頼性データすなわち故障データの量が十分でないことなどから、指数型をその分布の型として仮定することにより、その信頼度関数のパラメータとなる一定故障率および平均故障間時間 (MTBF) を推定する。

a) 推定方法

指数分布のパラメータ推定に関しては、信頼性試験に基づく方法が幾つか提案されており、^{文献(5), (7)}ここではまずその基本的な考え方について述べる。故障時間分布関数が未知の平均 ϕ をもつ指数分布、 $1 - \text{EXP}(-t/\phi)$ で与えられる n 個のシステムが同時に試験される場合を考える。試験は一定時間 T で打ち切られる。時刻 T までに r 個の故障が発生し、それが早い順に $(X_1, X_1 + dX_1), \dots, (X_r, X_r + dX_r)$ で発生する確率を $f(X_1, \dots, X_r; \phi) dX_1 \cdot \dots \cdot dX_r$ とすると、

$$\begin{aligned} f(X_1, \dots, X_r; \phi) &= (n/\phi) e^{-nX_1/\phi} \cdot (n/\phi) e^{-n(X_2 - X_1)/\phi} \\ &\quad \cdot \dots \cdot (n/\phi) e^{-n(T - X_r)/\phi} \\ &= (n/\phi) e^{-nT/\phi} \end{aligned} \quad (2-24)$$

が得られる。したがって、利用される情報は、時刻 T までの故障個数である。

ϕ の最尤推定量は、尤度方程式、

$$\frac{\partial \log f(x_1, \dots, x_r; \phi)}{\partial \phi} = -\frac{r}{\phi} + \frac{nT}{\phi^2} = 0 \quad (2-25)$$

の解から求めることができる。時刻 T までの故障数を確率変数 $N(T)$ で表わすと、

$$\hat{\phi} = nT / N(T) \quad (2-26)$$

となるが、これは不偏でない。

故障率 λ の最尤推定量 λ は、

$$\hat{\lambda} = 1 / \hat{\phi} = N(T) / n T \quad (2-27)$$

で与えられる。式(2-22)で示したように、 $N(T)$ はパラメータ $n\lambda$ のポアソン分布、

$$P_r \{N(T) = r\} = \frac{(n\lambda T)^r}{r!} e^{-n\lambda T} \quad (2-28)$$

に従うので、式(2-23)より、

$$E[\lambda] = \frac{1}{nT} \sum_r r \cdot \frac{(n\lambda T)^r}{r!} e^{-n\lambda T} = \lambda \quad (2-29)$$

となり、この推定量は不偏である。

ここでまず λ の区間推定を考え、それから ϕ の信頼区間を導く。 $N(T)$ が離散変数であるため、信頼係数が $1 - \alpha$ になるような χ^2 値を求めても $N(T)$ を整数として与えるような λ は存在しないことがあるため、 $1 - \alpha$ より信頼係数が少し大きくなるように区間を定めることにする。

ポアソン分布と χ^2 分布の関係は、部分積分を行えば以下のように表わすことができる。

$$P_r \{N(T) \leq k\} = \sum_{i=0}^k \frac{(n\lambda T)^i}{i!} e^{-n\lambda T} = \int_{2n\lambda T}^{\infty} \frac{x^k e^{-x/2}}{2^{k+1} k!} dx \quad (2-30)$$

$$P_r \{N(T) \geq k\} = \sum_{i=k}^{\infty} \frac{(n\lambda T)^i}{i!} e^{-n\lambda T} = \int_0^{2n\lambda T} \frac{x^{k-1} e^{-x/2}}{2^k (k-1)!} dx \quad (2-31)$$

それぞれの右辺は、自由度 $2(k+1)$ 、 $2k$ の χ^2 分布の密度関数である。そこで、

$$\int_{2M}^{\infty} \frac{x^{N(T)} e^{-x/2}}{2^{N(T)+1} N(T)!} dx = \sum_{i=0}^{N(T)} \frac{M^i}{i!} e^{-M} = \alpha / 2 \quad (2-32)$$

と置き、 χ^2 分布の上側 $100 \times (\alpha / 2)$ パーセント点を用いれば、

$$M = \chi_{2N(T)+2}^2(\alpha / 2) / 2 \quad (2-33)$$

となる。 M は $N(T)$ の増加関数であるので、 a ($0 < a < \infty$) に対し ka を $ka = \max \{N(T) \mid M(N(T)) \leq a\}$ とすれば、 $n\lambda T \geq M(kn\lambda T)$ より、

$$P_r \{M(N(T)) \leq n\lambda T\} = P_r \{N(T) \leq kn\lambda T\}$$

$$\sum_{\bar{l}=0}^{kn\lambda T} \frac{(n\lambda T)^{\bar{l}}}{\bar{l}!} e^{-n\lambda T} \cong \sum_{\bar{l}=0}^{kn\lambda T} \frac{\{M(kn\lambda T)\}^{\bar{l}}}{\bar{l}!} e^{-M(kn\lambda T)} = \alpha/2 \quad (2-34)$$

となる。したがって、式(2-10)より、

$$Pr \left\{ \frac{1}{2} \chi^2_{2N(T)+2}(\alpha/2) \leq n\lambda T \right\} \cong \alpha/2 \quad (2-35)$$

となる。同様に、

$$\int_0^{2M} \frac{\chi_{N(T)-1}^2 e^{-x/2}}{2^{N(T)} (N(T)-1)!} dx = \sum_{\bar{l}=N(T)}^{\infty} \frac{M^{\bar{l}}}{\bar{l}!} e^{-M} = \alpha/2 \quad (2-36)$$

と置いて、 χ^2 分布の上側 $100 \times (1 - \alpha/2)$ パーセント点を用いれば、

$$M = \chi^2_{2N(T)}(1 - \alpha/2) / 2 \quad (2-37)$$

となり、 $ka = \min \{N(T) \mid N(T) \geq a\}$ とすれば、 $n\lambda T \leq M(kn\lambda T)$ より、

$$Pr \{M(N(T)) \geq n\lambda T\} = Pr \{N(T) \geq kn\lambda T\}$$

$$\sum_{\bar{l}=kn\lambda T}^{\infty} \frac{(n\lambda T)^{\bar{l}}}{\bar{l}!} e^{-n\lambda T} \cong \sum_{\bar{l}=kn\lambda T}^{\infty} \frac{\{M(kn\lambda T)\}^{\bar{l}}}{\bar{l}!} e^{-M(kn\lambda T)} = \alpha/2 \quad (2-38)$$

となるので、

$$Pr \left\{ \frac{1}{2} \chi^2_{2N(T)}(1 - \alpha/2) \leq n\lambda T \right\} \cong \alpha/2 \quad (2-39)$$

が得られる。

ゆえに、 λ の信頼係数 $1 - \alpha$ のひかえめな両側信頼区間は、

$$\left[\frac{\chi^2_{2N(T)}(1 - \alpha/2)}{2nT}, \frac{\chi^2_{2N(T)+2}(\alpha/2)}{2nT} \right] \quad (2-40)$$

で、 $\phi = 1/\lambda$ の信頼区間は、

$$\left[\frac{2nT}{\chi^2_{2N(T)+2}(\alpha/2)}, \frac{2nT}{\chi^2_{2N(T)}(1 - \alpha/2)} \right] \quad (2-41)$$

で与えられることになる。

信頼性試験に基づく上記のような方法を、今回得られた基礎データへ適用するための考察を行なう。信頼性試験においては、各対象の使用環境条件は均一に保たれる。しかしながら、今回の基礎データについては、建物ごと、対象ごとでそれらはかなり異なっていると思われる。そこで、建物ごとでは個々の対象の使用環境条件は均一と仮定して、建物ごとにパラメータの推定を行なうことにする。

信頼性試験においてパラメータの推定に用いられる情報は、時刻 T までの故障数 $N(T)$ であり、総試験時間は単純に nT で与えられる。点検記録による基礎データの場合において、対象の総試験時間に当るものはそれらが動作可能であった時間（すなわち故障間時間）の合計である。ここで問題となるのは、防災システムの性質上明確であるのは点検時刻における各対象の状態のみで、正確な故障の発生時刻及び点検時において即座には修理調整が不能であった対象の修理完了時刻が不明であることである。

そこで、故障発生時刻、修理完了時刻をその故障が発見された点検時刻の前後の点検間隔の中間点であると仮定し、点検時刻の対象の状態により前後の状態を、a) 正常であれば、前後で動作可能、b) 故障に対し修理調整が即座に行われれば、以後のみ動作可能、c) 修理調整が即座には不可能であれば、前後で動作不能として、各対象ごとに動作可能時間； T_{UP} を求め、動作可能時間の合計； $\sum T_{UP}$ を得る。図 2-6 中の各対象ごとに個々の点検時刻を結ぶ実線部分は動作可能時間であり、破線部分は動作不能時間である。

また、故障数については、第一回目の点検時刻における故障については、それに対応する故障間時間が存在しないため、点検後の動作不能時間のみを考慮し、2-2-2 で求めた故障数の建物ごとの値から減じて故障数の合計； $\sum N(i)$ を得ている。

以上のようにして得られた $\sum T_{UP}$ 、 $\sum N(i)$ により、MTBF の最尤値は、

$$\hat{\phi} = 1 / \hat{\lambda} = \sum N(i) / \sum T_{UP} \quad (2-42)$$

により、また $(1 - \alpha) \times 100$ パーセント両側信頼区間は、

$$\left[\frac{2\sum T_{UP}}{\chi^2_{2\sum N(i)+2}(\alpha/2)}, \frac{2\sum T_{UP}}{\chi^2_{2\sum N(i)}(1-\alpha/2)} \right] \quad (2-43)$$

により与えられる。

b) 結果と考察

表2-3に以上のようにして得られた建物ごとの故障率の最尤値，MTBFの最尤値及び90%両側信頼区間値を示す。なお、建物N0.1の対象の大部分と建物N0.6の対象の一部は、両開きの防火扉であるが、2節でも述べたように扉における故障のほとんどが、パネル一枚ごとに対応しているものであるため、二枚を別個とみなして計算を行っている。建物ごとでそれらの値はかなり異なるが、一般に防火シャッターの信頼度は、防火戸に比較してかなり高いと言えることができる。MTBFの最尤値は、防火扉で約2000~5000日，シャッターで約2000~10000日で、シャッターの値にはかなりばらつきがある。しかしながら、90%両側信頼区間値に注目すれば、建物用途ごとでそれらはかなり近い値を示しており、防火扉は事務所ビルにおいて約3000日，防火シャッターはデパートにおいて約8000日というところが一応は標準値となりそうである。

表2-3 MTBFと一定故障率

対象	建物No.	動作可能時間(日)	故障数(回)	故障率	MTBFの最尤値	MTBFの90パーセント両側信頼区間値(日)	
防火扉	1	26246	5	1.905	5249	2500,	13323
	2	16668	3	1.947	5137	2151,	20327
	3	13992	2	1.462	6841	2221,	39357
	4	11427	3	2.634	3796	1474,	13935
	5	32331	11	3.386	2953	1779,	5265
	6	51153	27	5.277	1895	1370,	2692
	7	25456	15	5.225	1914	1102,	2752
	8	22941	2	0.877	11399	3642,	64533
	9	40390	2	0.510	19620	6411,	113615
	10	11933	2	1.681	5950	1904,	33736
防火シャッター	11	72716	8	1.156	8652	5032,	18271
	12	21203	5	5.615	1781	2019,	10763
	13	99953	12	1.364	7334	5139,	14486
	14	34600	9	2.727	3667	2204,	7370
	15	57984	0	0.0	----	12220,	----
	16	70967	4	0.745	13416	7756,	51911
	17	109490	4	0.431	23215	11966,	80214
	18	62777	8	1.504	6648	4344,	15733
	19	64797	2	0.321	31187	10285,	182271
	35638	1	0.297	33716	7511,	692000	

*故障率の単位は 10^{-4} /日，MTBFの単位は日

2-3-2 ダウンタイムレシオの推定

2-3-1で狭義の信頼性のパラメータとなるを行ったが、これらはあくまで設備自体の故障の防災設備を一般の機器と同様に評価する場合の指標実際に建物に設置された場合の信頼度を論ずるには、防災設備の作動信頼性は点検保守が行われるによって異なると考えられる。そこで、そのような広義の不信頼度を表わす指標として、全時間に対する動作不能時間の割合であるダウンタイムレシオを推定し、点検間隔との関係について考察する。

① ~~平均計算・直列~~
② ~~平均時間~~
③ 地下定内
④ 可視化
割合
82-611
多岐(点検)
103765

Fの推定あり、防これらが実間隔の長短

a) 推定方法

点検は一定間隔；Tで行われるとする。それぞれの設備は、故障していれば即座に修理調整されると仮定して、図2-9に示すような理想的な点検サイクルを考える。

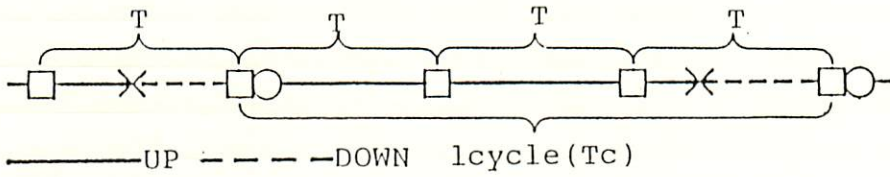


図2-9 理想的なサイクル

図のようなサイクルにおいて、点検時において故障が発見され、さらに再び点検時において故障が発見されるまでの時間；TCの期待値は、

$$E [TC] = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)T \int_{nT}^{(n+1)T} e^{-t/\phi} / \phi dt$$
$$= T / (1 - e^{-T/\phi}) \tag{2-44}$$

また、TCのうちの動作不能時間の期待値は、

$$E [TD] = \sum_{n=0}^{\infty} \int_{nT}^{(n+1)T} \{(n+1)T - t\} e^{-t/\phi} / \phi dt$$
$$= T / (1 - e^{-T/\phi}) - \phi \tag{2-45}$$

したがって、この場合のダウンタイムレシオの期待値は

$$E DR(T) = 1 - (1 - e^{-t/\phi}) \phi dt \quad (2-46)$$

で与えられる。

ここで、MTBFに比べて十分にTが小さいとし、実際のサイクルに対して図2-10に示すような故障のパターンのモデルを考える。

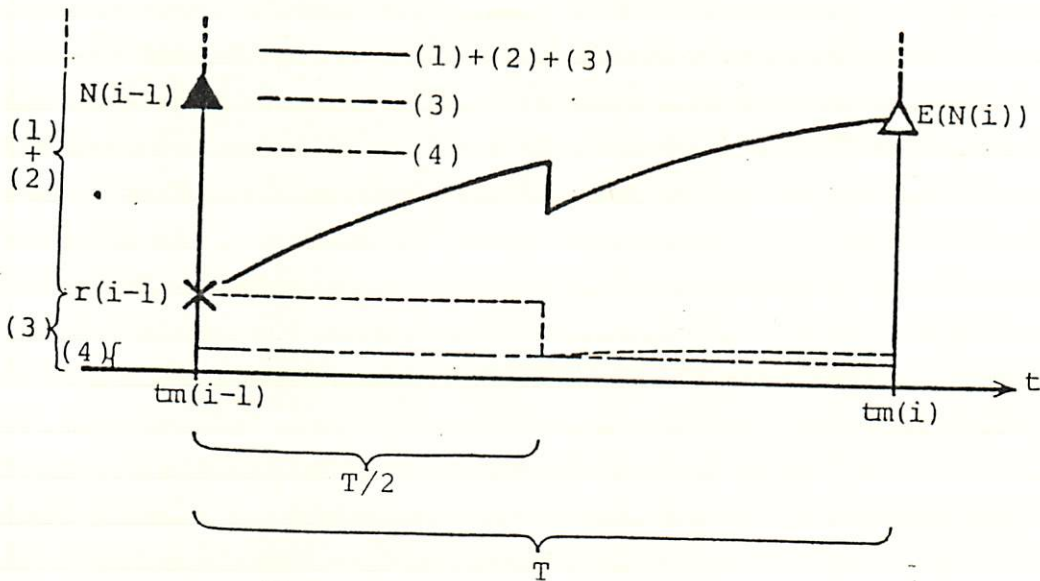


図2-10 故障のパターン

図中の1), 2), 3) はそれぞれ対象の保守状態に対応しており、1) 点検時において正常である、2) 点検時において故障に対して即座に修理調整が行われる、3) 点検時において異常に対して即座には修理調整が不可能であったが次の点検までに修理される、で、3) のうち次の点検まで修理がなされないものが状態4) である。ここで、4) の状態にある対象は非常に少数であるのでこれを0とすれば、点検時刻における一対象当りの故障の期待値は、

$$E [N(T)] = 1 - e^{-T/\phi} \quad (2-47)$$

で一定となるので、故障のうち即座に修理調整が不可能なもの割合をPfとすれば、ダウンタイムレシオの期待値は、

$$R DR(T) = \{ 1 - P r (1 - e^{-T/\phi}) \} E DR(T) + P r (1 - e^{-T/\phi}) \{ 1/2 - E DR(T/2) \} \quad (2-48)$$

と表わすことができる。

b) 結果と考察

表 2-4 に 2-2-2 で述べたように $P_r = 0.75$ として、 T には各建物における点検間隔の平均値を代入して計算したダウンタイムレシオの予測値と、故障データより得られる動作不能時間と全時間より求めた実測値を示す。また、図 2-11 には $MTBF = 3000 \text{ DAYS}$ としたときのダウンタイムレシオの期待値 E_{DR} , R_{DR} を示す。ダウンタイムレシオは、式 (2-46), (2-48) に示すように $MTBF$ が短いほど、点検間隔が長いほど高くなると考えられるが、予測値は実測値にかなりよく追随している。もし点検が等しい時間間隔で定期的に行われるならば、式 (2-48) はかなり有用であると思われる。

表 2-4 平均点検間隔とダウンタイムレシオ

対象	建物 NO.	点検期間合計 (日)	動作不能時間 (日)	平均点検間隔 (日)	DTRの実測値	式48)による DTRの予測値
防 火 扉	1	27027	780	178	0.029	0.057
	2	18440	2228	559	0.096	0.083
	3	14480	488	155	0.034	0.019
	4	12100	673	186	0.056	0.041
	5	33830	1499	205	0.043	0.058
	6	58993	7840	204	0.133	0.108
	7	35075	9619	369	0.274	0.167
	8	23660	719	395	0.030	0.029
	9	40770	380	194	0.009	0.008
	10	12372	379	221	0.031	0.032
防 火 シ ャ ツ タ ー	11	74232	1516	193	0.020	0.018
	12	23789	2586	250	0.109	0.050
	13	102655	2702	210	0.026	0.022
	14	35961	1361	239	0.038	0.052
	15	57984	0	201	0.0	0.0
	16	72306	1339	206	0.019	0.010
	17	112344	2853	227	0.025	0.007
	18	64477	1700	224	0.026	0.025
	19	64980	183	201	0.003	0.005
	35900	262	211	0.007	0.005	

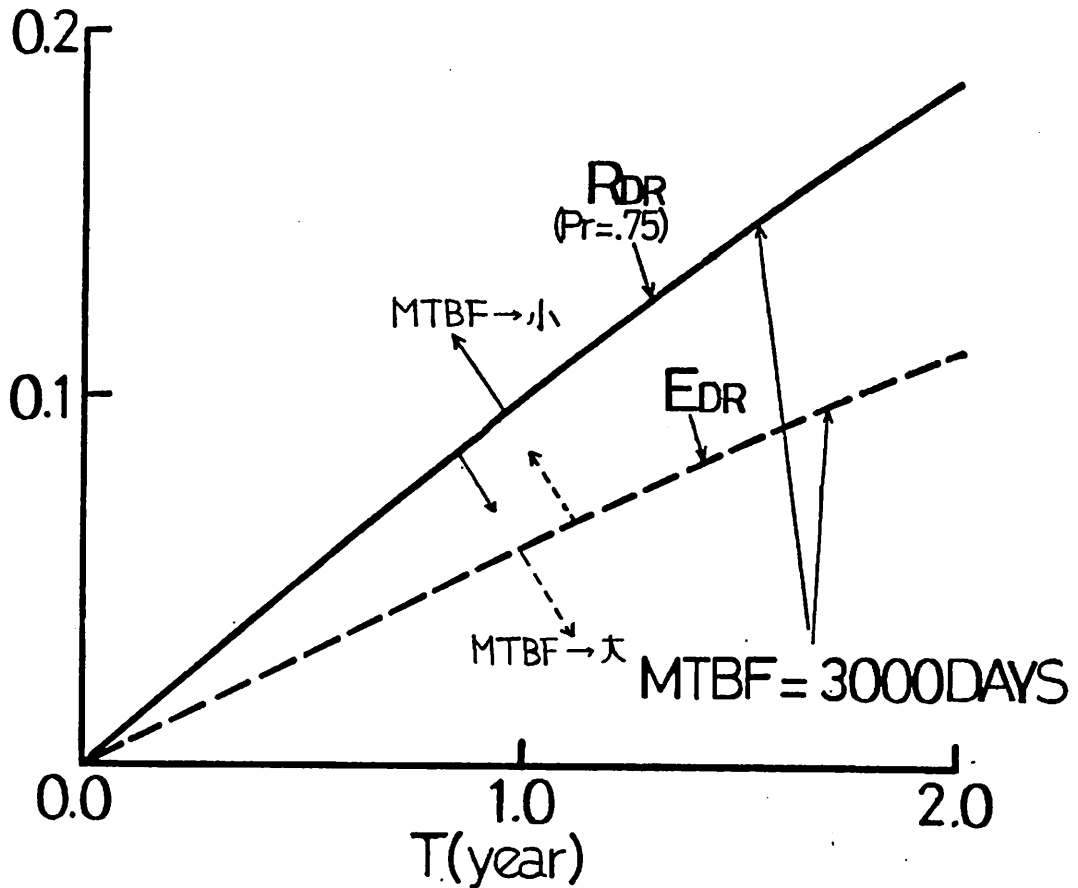


図 2 - 1 1 点検間隔とダウンタイムレシオ

EDR; 点検時に全ての故障が修理される場合のダウンタイムレシオ
 RDR; 点検時に $P_r \times 100\%$ の故障が修理される場合のダウンタイムレシオ (ここでは $P_r = 75\%$)
 (計算例は $MTBF = 3000DAYS$, $MTBF$ が大きくなると曲線の傾きは小さくなり、 $MTBF$ が小さくなると傾きは大きくなる)

2 - 4 まとめ

本章において、防火戸の作動信頼性の推定を行った。しかしながら、前にも述べたように今回得られた点検記録というのは竣工時の検査を含んでおらず、今回推定を行った作動信頼性に関しては、一般に考えられているような機器の使用初期における初期欠陥による高故障率、および十分に機器の年齢が高くなった時点における劣化による高故障率に対する考慮はなされていない。また、保守点検が行われていること自体がその建物の管理状態の良さを表していると言ってよく、点検が行われていないような管理状態の悪い建物においても以上と同様な $MTBF$ が期待できるのかどうかについても検討を要するところである。特に、ダウンタイムレシオの推定においては、次の点検時刻まで修理されない対象を 0 として扱ったが、そのような意味での管理の悪さによる信頼性の低下は考慮はなされていない。当然のことながら、修理が行われない点検間隔が増えれば、その値はかなり高いと思われる。

さらに、今回の推定の過程においては、作動線上に放置される障害物による閉鎖障害を除外してきたが、デパートにおける実態調査では、その確率が平均で22.7%と意外に高いことが指摘されており防火戸自体の作動信頼性が比較的高いことを考えればそれらを見捨てることはできない。一方、今回の保守点検においては、半固定的な障害物が除去されてからテストが行われるため、それらが指摘されることは少ないと考えられる。参考として点検記録から得られる範囲で障害物が放置されている確率がどれくらいであるかについて表2-5に示しておく。障害物による閉鎖不良は、これまでに取り上げた他の故障とは異なって、それが顕在化している場合が多いということである。故障が顕在化している場合は、障害物が放置される確率と除去される確率が時間的に一定と考えれば、それらが等しいとき障害物によるダウンタイムレシオは点検時にそれらが発見される割合に一致し、そのときそれらは最も高い値を示すことになる。

表2-5 障害物による閉鎖障害

建 物	2	3	4	5	6	12	14	16
故障数	5	1	0	3	2	5	1	1
点検回数	22	32	53	116	129	525	320	558
max(DTR)	.227	.031	0.0	.026	.016	.010	.003	.002

*建物1, 7~10の扉については点検項目に障害物が無い
 建物10, 11, 13, 15, 17~19シャッターで故障数0

障害物による閉鎖不良については、今後実態調査などによりその確率を明確にする必要があると思われる。また、今回行わなかった故障の要因分析などによるその独立性の確認および上記のような故障率の経時的変化についての検討などは、今後データの補充を行えば可能となるとと思われる。

§ 3 防火戸の作動信頼性が建築物の火災安全性に与える影響

3-1 防火区画計画の危険度評価

3-1-1 目的

防火区画の主な役割は、火災を区画内に閉じ込め区画外への延焼を阻止することにある。特に近年、建物の高層化，周辺環境の悪化に伴い、建物外部からの注水が困難になり、建物内部での消火活動に頼らざるえなくなったこと、また全館一斉避難が危険を伴うことが指摘されていること^(文献)などから、特にその役割は大きくなりつつある。

本章では、建物の防火区画の有効性を、その空間構成を考慮して総合的に評価することが可能で、しかも個々の防火区画の性能をもその全体とのかかわりのなかで、評価を可能とする方法を提案する。その内容は、防火戸（防火扉，防火シャッター）の開放率（ダウンタイムレシオ）を延焼の危険率として、また各防火区画の用途，床面積などにより定まる出火確率を出火の危険率として与えることにより、その建物の火災による損害の期待値を求めて火災危険を判断するものである。これらにより、個々の防火戸の作動信頼性の低下，すなわち、前章でものべたようにその保守点検の在り方による防火戸の状態が、建物全体あるいは特定の防火区画に与える影響についての検討が可能となる。さらに、この評価方法は防災区画計画の有り方，可能性の検討，問題点の指摘なども可能とするものである。

3-1-2 評価の方法

a) 空間構成のグラフ化

建物内において、各々の防火区画は他の区画と開口部を有して隣合っている。それらの結びつきをグラフ化し、建物内部での連がりだけを考慮する。建物外部からの延焼（スバンドレルからの延焼を含む）については考慮しない。区画と区画の間の火災拡大については、水平方向についてはすべての方向について考慮するが、垂直方向については、上方向についてしか考慮しない。

b) 各区画内での火災発生と拡大（グラフの点）

ある防火区画 i の出火確率（例えば、単位時間当り，単位面積当り）； f_i ，床面積； A_i とすれば、区画 i 内において火災が発生する確率は、

$$f_i = f_u \cdot A_i$$

$$(3-1)$$

で表される。

区画内における火災の拡大は、その最大値として区画内全焼を仮定する。つまり区画内で一旦火災が発生すれば、区画はその全価値を失うとする。区画 i 内での火災発生により区画 i 自身が被る損害の期待値は、区画 i の単位面積当りの価値量； V_i とすれば、

$$D B_i = f_i \cdot V_i = f_u \cdot A_i \cdot V_i \quad (3-2)$$

で与えられる。

c) 区画外への延焼拡大 (グラフの線)

開口部以外からは、区画外部へは延焼しないものとし、開口部に設置された各防火戸の閉鎖確率； c_n 、性能； b_n とすれば、各開口の不信頼度は、

$$u_n = c_n \cdot b_n \quad (3-3)$$

であるから、区画 i に m 個の開口を有して隣りあう区画 $i+1$ への延焼確率は、

$$P_{i,i+1} = P_{i+1,i} = 1 - \prod_{n=1}^m (1 - u_n) \quad (3-4)$$

で与えられる。さらに区画との間に $n-1$ 個の区画を有して連なる区画 $i+n$ には、

$$P_{i,i+n} = P_{i+n,i} = 1 - \prod_{k=1}^{n-1} (1 - P_{m,m+1}) \quad (3-5)$$

したがって、区画 i から出火して区画 $i+n$ が被る損害の期待値は、火災が発生した区画と同様に一旦延焼が及べばその区画は全焼し、全価値を失うと仮定すれば、区画 $i+n$ の単位面積当りの価値量； V_{i+n} より、

$$D f_{i,i+n} = P_{i,i+n} \cdot f_i \cdot A_{i+n} \cdot V_{i+n} \quad (3-6)$$

として与えられる。なお、階段室など垂直区画については、その区画がまたがるレベルごとに一つの独立した区画と扱って、それらの間の延焼確率； $P_{i,i+n} = 1.0$

として計算できる。

d) 危険度の評価

個々の区画が他の区画に対して有する延焼の危険度は、式(3-6)で表わされることを明らかにしたが、ここで、区画*i*以外の全ての区画についてそれらを合計すれば、

$$D f i = \sum D f i, i+n = A i \cdot V i \cdot \sum_{n=1}^N f i+n \cdot P i+n, i, n \neq i \quad (3-7)$$

となる。これは、区画*i*を除く建物内のどこかから出火して、延焼が及ぶことにより区画*i*が被る損害の期待値を表わす。換言すれば、区画*i*に対する建物の防火区画全体の影響を表わすパラメータである。よって区画*i*のこの値が他の区画よりも大きければ、区画*i*は他の区画において発生する火災により、より高い危険にさらされることになる。

また、逆に*i*以外の全ての区画について、それらが被る損害を合計すれば、

$$D t i = \sum D f i, i+n = f i \cdot \sum_{n=1}^N P i, i+n \cdot V i+n \cdot A i+n, n \neq i \quad (3-8)$$

となる。これは、区画*i*から出火して、延焼が及ぶことにより区画*i*を除く建物全体が被る損害の期待値を表わす。同様に換言すれば、区画*i*からの出火という事象によって、建物の防火区画全体がうける危険度を示すパラメータである。よって区画*i*のこの値が他の区画よりも大きければ、他の区画で火災が発生するよりも、区画*i*で火災が発生することにより、他の区画はより高い危険にさらされることになる。

ここで、全ての区画について $D F i$, $D C i$ を計算して合計すれば、

$$D s f = \sum_{n=1}^N D f i = \sum_{n=1}^N D t i \quad (3-9)$$

となり、建物全体としての火災時における区画外延焼による損害の期待値が求まり、防火区画計画全体としての危険度をとらえることができる。

また個々の防火区画に固有の性能については、 $D f i$, $D t i$ によって一応は評価が可能となるが、さらにここで、

$$T f i = D f i + D B i \quad (3-10)$$

$$T t i = D t i + D B i$$

(3-11)

とすれば、区画内での出火による損害も含めて、個々の防火区画の有する火災危険度を評価することができる。

e) 時間的要素の考慮

以上のように、建物全体または個々の防火区画が有する危険度の評価が可能となった。しかしながら、火災というものは、出火からの時間経過のなかで成長拡大してゆくものであり、当然のことながら、評価の中で時間的な要素が考慮されねばならない。そのために、まず火災拡大の速度について考察する。火災拡大速度は、燃焼速度により左右されると考えられる。燃焼速度自体は、室内の可燃物の量、種類、形状、火災室のスケール、形状、供給される空気量など、幾つかの要因により支配される。実際に、居室、廊下、階段室など、個々の区画の用途によりかなり異なると思われるが、ここでは一定で vS と仮定する。また、フラッシュオーバー現象 (F.O.) についても、実際の火災においては、F.O. の発生により、区画外への火災拡大に要する時間は大幅に短縮されるが、その現象が科学的に解明されておらず、F.O. 時間を一意的に取り扱うことができないので、ここでは考慮しない。

さらにここで、区画外への延焼、区画間での延焼にそれぞれ対応して区画内から区画外への距離、区画と区画の間の距離を、その代表値で与えることにより、区画 i から出火し、他の区画 $i+n$ への延焼に要する時間 $T_{i,i+n}$ を計算することが可能となる。

$$T_{i,i+n} = (L_{i,i+1} + \sum_{k=i}^{i+n-1} L_{k,k+2}) / vS \quad (3-12)$$

ここで、式 (3-6) で表された延焼による損害のうち、火災発生からの経過時間 T_{max} 以内のもののみを考慮することとし、式 (3-7), (3-8) においてそれぞれ $\{D f_{i,i+n} \mid T_{i,i+n} \leq T_{max}\}$ として計算を行えば、 T_{max} 以内の損害を評価することが可能となる。

3-2 既存建築物に対する適用

3-2-1 計算条件の設定

上記のように提案された方法を、実際の建築物に対して適用するには、いままでに述べた様々なパラメータが与えられなければならない。計算において必要となるのは、それぞれ、建物、火災現象、防火戸にかかわるパラメータである。以下では、計算条件となるこれらの各種パラメータの設定に関して考察する。

a) 建物に関するパラメータ

建物に関するパラメータとしては、単位面積当りの出火確率および価値量を前に挙げたが、いずれについても、適当な統計資料が見当たらないのが実情である。そこで、出火確率に代るものとして、それぞれの区画ごとにその用途により、ある標準空間の出火確率に対する比率として適当と思われる値を与えることにする（実際に用いた値については、図3-1中に示す）。さらにここで、単位面積当りの価値量については一様に1とすれば、個々の区画が有する価値というのはその床面積と考えることができる。

b) 火災現象に関するパラメータ

火災現象に関するパラメータとしては、延焼速度； v_s のみである。延焼速度については、様々な実験⁽¹⁵⁾がおこなわれており、ここでは危険側をとりそれらのうちでも最も速い 0.402 m/min という実験値を用いる。

c) 防火戸に関するパラメータ

防火戸に関するパラメータとしては、その閉鎖率すなわち常時解放自動閉鎖のものについては、そのアップタイムレシオ； $R_{UR} = 1 - R_{DR}$ を用い、 R_{DR} を前章の式(2-25)で与えることにする。 R_{DR} の推定に用いる ϕ ； $MTBF$ については、2章の結果より防火扉で3000日、防火シャッターで8000日というのが、一般の建物における標準値であることは前にも述べた。また、常時閉鎖防火戸については、実態調査⁽¹⁶⁾などにおいて、その閉鎖率は平常時において50~80%と非常に低いことが指摘されており、火災時においてそれらがどの程度閉鎖されるかについては不明であるが、それほど高い値にはならないのではないかと思われる。ここでは一応、閉鎖率0.8を基準値としている。さらに、その性能は、実際には甲種、乙種で耐火性に差があるが、ここではその閉鎖率が与える影響を明確にするため、両者共に1として特に区別しないで計算を行っている。

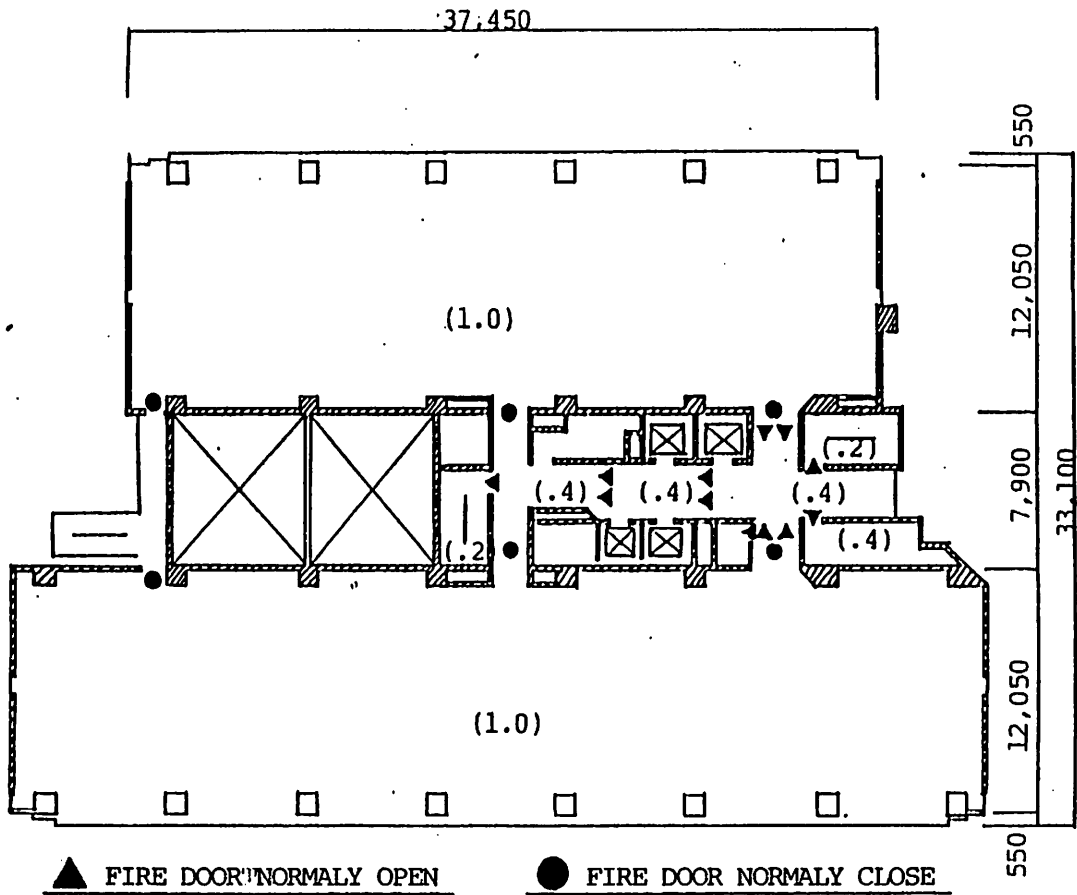


図 3 - 1 計算を行った建物の基準階平面

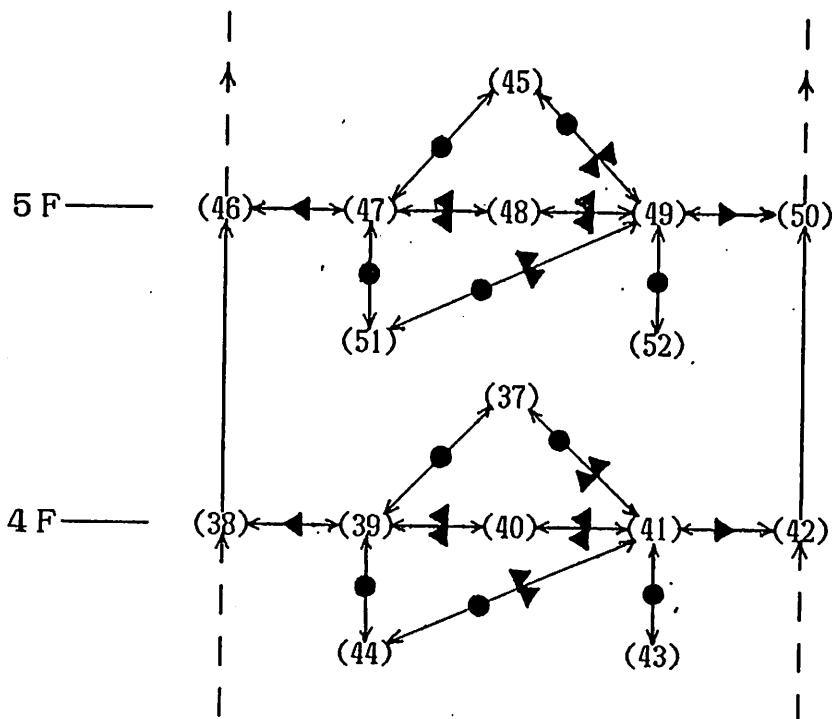


図 3 - 2 基準階部分のグラフ (一部)

3-2-2 計算例と結果

a) 既存建築物における計算例

図3-1に今回計算を行った建物の基準階平面(3~9階)を示す。建物は地上9階、地下1階建であり、その主要な用途は貸事務所で、1階にエントランス、防災センター、B1階に機械室を有している。防火区画数は合計74で、それぞれの開口に設置されている防火戸は、基本的には居室と第1次安全区画との間は常時閉鎖防火扉、第1次と第2次安全区画との間および第2次安全区画との間が煙感知器連動の常時開放防火扉である。さらに、1階の防災センターとエントランス・ホールの一部に煙感知器連動の防火シャッターが設置されている。建物内部における各防火区画のつながりと区画間に設置された防火戸をグラフ的に表したのが図3-2である。各防火区画内の単位面積当りの出火比率は事務室を標準とし、図3-1のカッコ内に示すような値をそれぞれ与えた。

b) 計算結果と考察

防火戸の作動信頼性、防火区画の有効性の影響ということから問題となるのは、区画外への延焼による損害であり、区画内で出火しその区画が被る損害については防火区画は関与しない。そこで、以下では計算結果のうち、区画外延焼による損害すなわち D_{fi} 、 D_{ti} 、 D_{sf} のいずれかの期待値を評価の指標としている。また、図3-3から3-6に示された計算においては、常時閉鎖防火扉の閉鎖率を一様に0.8としている。

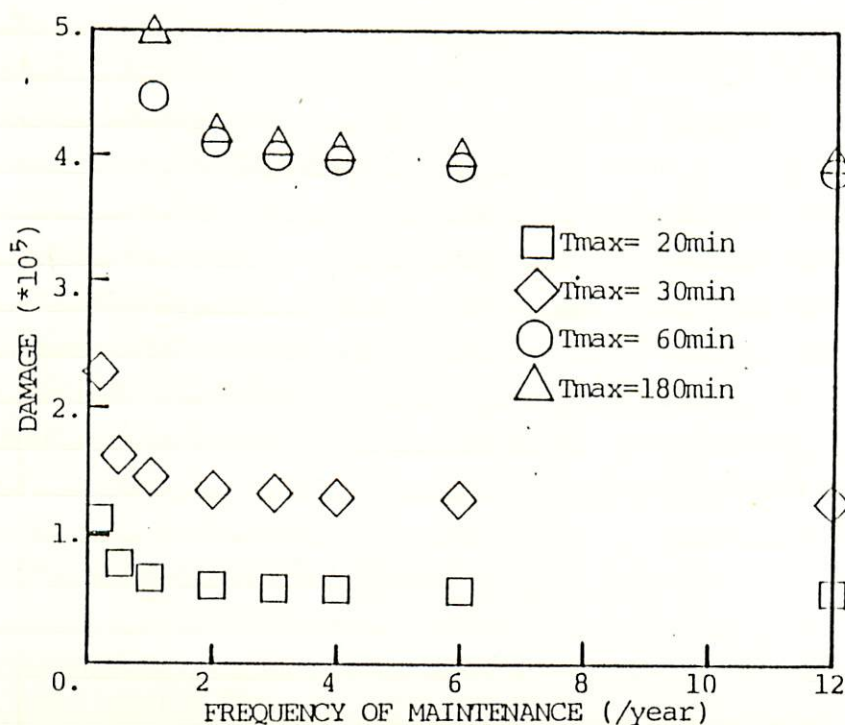


図3-3 年間の点検回数と延焼による損害 D_{sf}

図3-3に、年間の保守点検回数と区画外延焼による損害との関係を示す。ここでは火災発生からの経過時間； T_{max} が20,30,60,180のそれぞれについて、点検間隔； T を変化させて計算を行ったが、横軸には T に対応して $365/T$ をとった。図中の□が $T_{max}=20$ 分としたときの $365/T$ が0.2,0.5,1.0,2.0,3.0,4.0,6.0,12.0(1年)のそれぞれに対する D_{sf} の値を示している。同様に◇が $T_{max}=30$ 分、○が $T_{max}=60$ 分、□が $T_{max}=180$ 分としたときの各値である。点検頻度をある一定値以上にしても、建物全体としての区画外延焼による損害の期待値； D_{sf} を抑えることはできない。つまり、常時開放防火戸の閉鎖率をある程度以上に向上させても、そのことによる損害の低減というのは、常時閉鎖防火扉の閉鎖率の低さによる固定的な損害に比較して非常に小さい値になってしまう。当然のことながら、保守点検に要するコストは、点検頻度に対してほぼ線形に増加するので、その最適値は年間1～3回であると判断できる。また、より長い T_{max} における損害を最小化するためには、より高い点検頻度が要求されると考えられる。

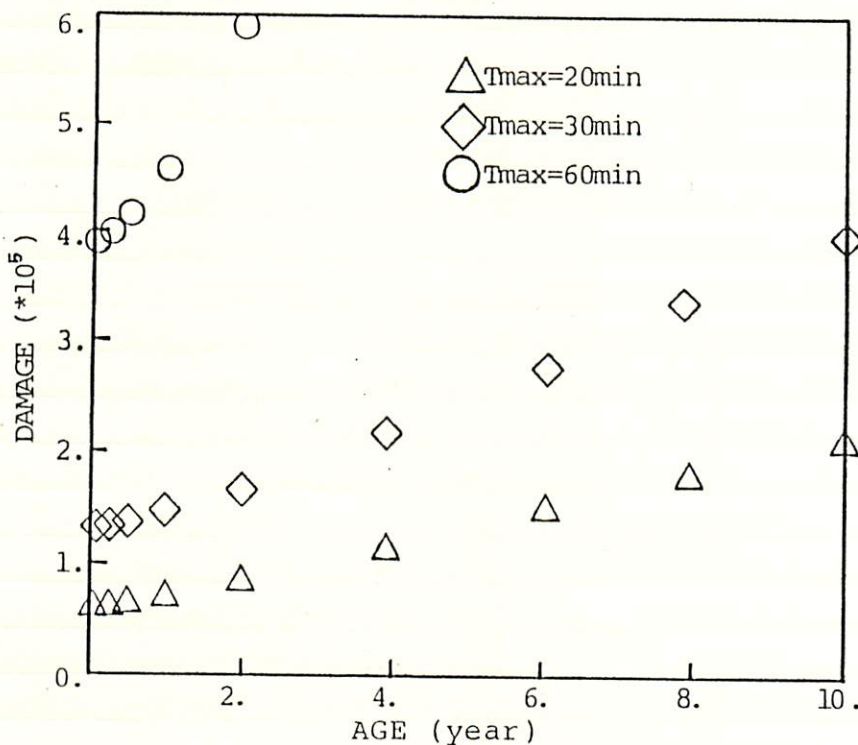


図3-4 点検が行われない防火戸の年齢と D_{sf}

図3-4には、 T_{max} 20,30,60分のそれぞれについて、保守点検が全く行われない場合の建物の年齢と D_{sf} との関係を示す。ここでは、煙感知器連動の防火戸の閉鎖率には、アップタイムレシオではなく信頼度関数 $R(t) = e^{-t/\phi}$ を用いている。図中の△が $T_{max}=20$ 分、◇が $T_{max}=30$ 分、○が $T_{max}=60$ 分におけるそれぞれの建物の年齢に対する D_{sf} の値である。建物の年齢に対して、損害は漸次増加する傾

向にあり、より長い T_{max} に対してはその増加の傾向はより大きくなることが分る。なお、ここでは建物の年齢の初期から故障率は一定として計算しているが、前述のバスタブ曲線にも示されたように、一般には設備の設置初期にはより故障率の高い期間があると考えられるので、実際には初期における損害の増加傾向はより大きく、すべての年齢においてその損害はより大きい期待値を持つものと思われる。

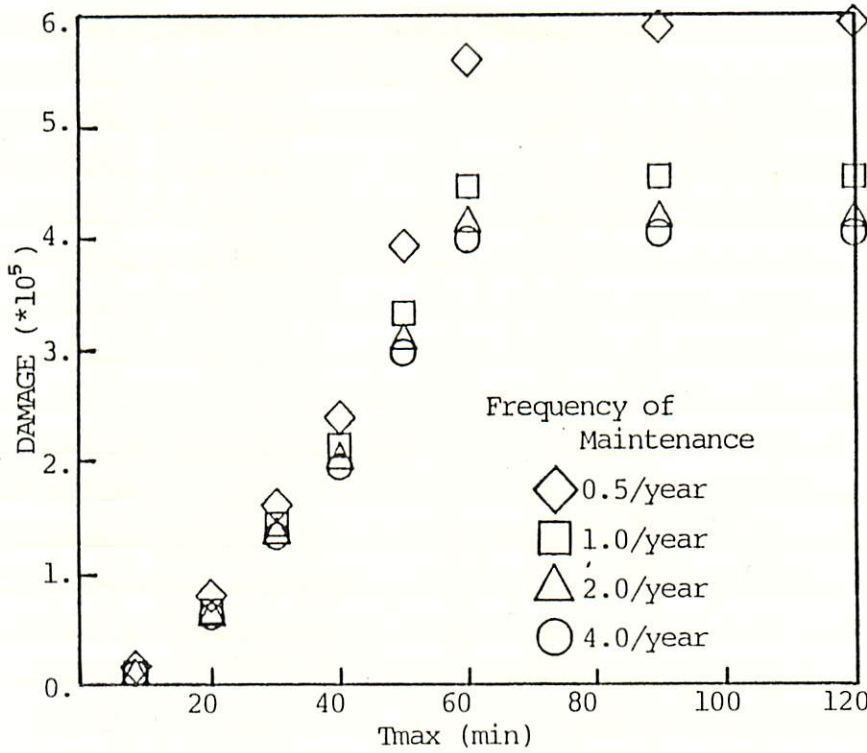


図 3 - 5 火災発生からの経過時間と D_{sf}

図 3 - 5 には火災発生からの経過時間； T_{max} と D_{sf} との関係をも点検頻度 0.5, 1, 2, 4/年のそれぞれについて示す。図中の \diamond が点検頻度 0.5 回/年、 \square が 1.0 回/年、 \triangle が 2.0 回/年、 \circ が 4.0 回/年のときのそれぞれの T_{max} における D_{sf} の値である。火災発生よりほぼ一定の時間遅れで損害はほぼ線形に増加し、ある程度時間が経過すれば一定値となり、それ以降の損害は 0 となる。また、損害が 0 となるまでの経過時間は 60 分前後であるが、点検頻度が密であるほどその時間は早くなると言える。これは、建物内における水平方向の延焼は 60 分以内でほとんど終り、その後には、垂直区画を通しての上階への延焼による損害のみで、階段室に設置された常時開放防火扉の閉鎖率が損害の大小を左右する主な要因となるためと考えられる。

図 3 - 6 には建物中央部に位置する階段室内でのレベル差による損害； D_{fi} 、 D_{ti} の変化を示す。各レベルにおける図中の \triangle が $T_{max}=20$ 分、 \square が $T_{max}=60$ 分のときにおける黒塗りの記号が D_{fs} を、白抜きの記号が D_{ti} を表している。屋内階段のうち、居室より建物端部に位置する階段室への区画数が 2 であるのに対

して、中央部の階段室へは1であり、居室との位置関係から考えても中央部の階段室はより危険であると思われる。当然のことながら、それぞれのレベルの階段室で出火することにより、他の区画に及ぼす損害の期待値； D_{ti} はより上階になるに従いほぼ線形に減少する。また逆に、他の区画が出火することによりそのレベルの階段室が被る損害； D_{fi} は線形に増加する。ここで、 $T_{max} = 60$ 分における1階の D_{ti} が他のレベルからずれているのは、1階の階段室に隣接する防火区画が他のそれに比べて非常に広く、出火比率も高いため、60分の直前になって階段室内に延焼が及んだためと考えることができる。

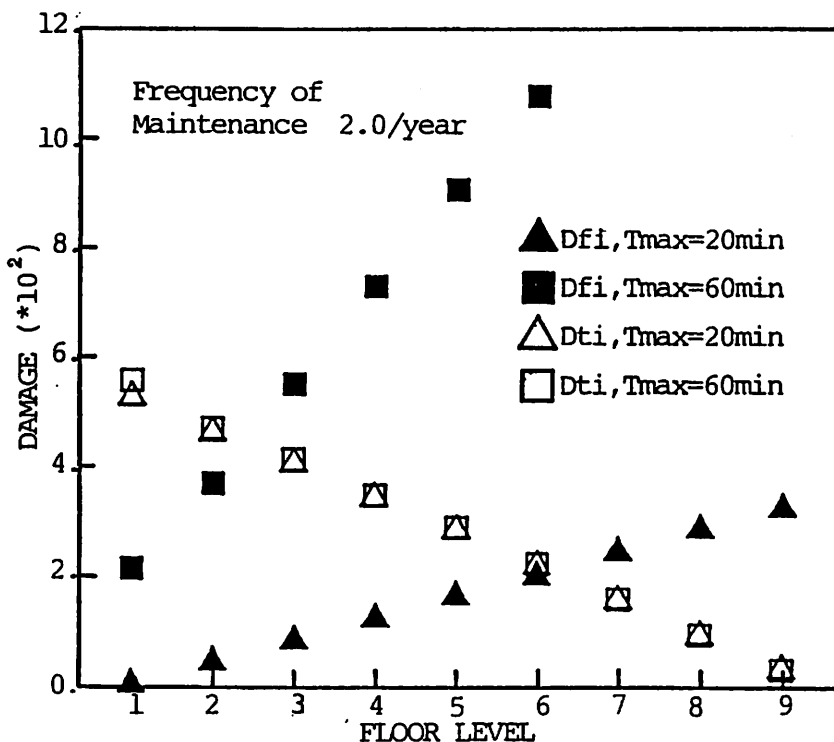


図3-6 階段室の各レベルにおける D_{fi} と D_{ti}

ここまででは、常時閉鎖防火扉の閉鎖率を0.8として計算を行ってきたが、ここで、図3-7に、その値を0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0と変えたときの損害を、点検頻度2回/年で T_{max} 20, 30, 60分のそれぞれについて示す。図中の○が $T_{max}=20$ 分、◇が $T_{max}=30$ 分、△が $T_{max}=60$ 分におけるそれぞれの閉鎖率にに対する D_{sf} である。損害は、 $T_{max}=20$ および30分においては閉鎖率が高くなるに従い、線形的に減少するが、 $T_{max}=60$ 分においては閉鎖率が高くなるほど、減少の傾向は小さくなる。これは、 T_{max} が30~60分の間において、区画の価値および出火率の高い事務室で出火し、その延焼が別の事務室に及ぶために、それぞれの開口部に設置された常時閉鎖防火扉の閉鎖率が D_{sf} に対して2乗で利いてくるためと考えられる。

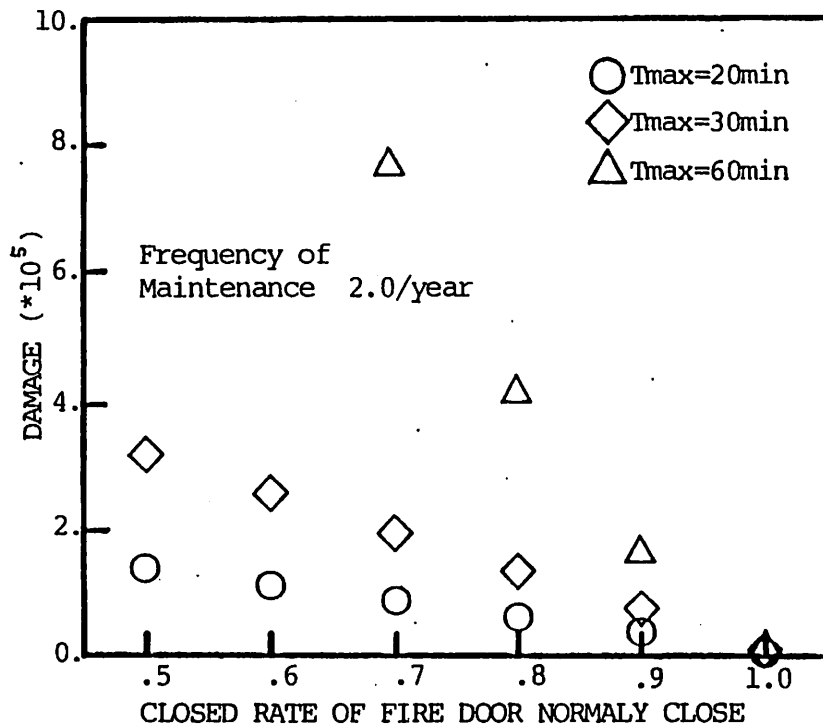


図3-7 常時閉鎖防火扉の閉鎖率とDsf

3-3 まとめ

本章においては、防火戸の作動信頼性が建築物の火災安全に及ぼす影響について、評価方法を提案し既存の建築物に対してその適用を試みた。結果として、建物全体の危険度および個々の防火区画の危険度を評価することが相対的には可能となり、作動信頼性が建物の火災安全性に及ぼす影響が明らかにされた。しかしながら、評価指標としての損害値に絶対値としての意味を持たせるためには、各防火区画の出火確率、価値量などのパラメータに統計的な裏づけを与える必要がある。そのためには、各値が統計的に明らかにされるのを待たねばならない。また、今回は火災拡大現象について、フラッシュオーバーを考慮せずに、延焼速度を一定として1次元的に扱っているが、これについてもより実際的なモデル化を行なうことが必要と考えられる。

さらに、ここで得られる損害というのは、あくまで期待値の期待値（つまりある一つの点で出火することによる損害の期待値を、全てのシチュエーションについて平均したもの）であり、特殊な（特に危険な）シチュエーションを考慮するものではない。火災においては、一般的に出火確率が高いとされているような部分よりも、低いとされているような部分から出火するほうが重大な損害を生じる例も少なくない。したがって、そのようなことを考慮に含めて、各シチュエーションにおける評価値に重みを与えるとといったことも、今後より正確な評価を可能としていく

上で重要であろうと思われる。

結 び

本論文において、煙感知器連動の常時開放防火扉、防火シャッターの作動信頼性について、その点検記録から得られる情報に基づいて信頼度の推定を行い、その結果を踏まえて建物の火災安全性についての評価方法を提案して、既存の建築物に適用して計算を行った。得られた結論を以下にまとめる。

- 1) 保守点検記録から得られる情報を、信頼度推定のための故障データとして取り扱う方法について検討を行った。この方法は、一般の防災設備の信頼度を推定する上でも重要であると思われる。
- 2) 故障データを基にして、故障時間分布関数を指数分布（すなわち故障率一定）に仮定した場合の信頼度のパラメータ推定のために、信頼性試験の方法を適用した手法を示した。その手法に基づいて計算を行った結果、平均故障間時間（MTBF）が、防火扉で2000～5000日、防火シャッターで2000～10000日であることが明らかになった。
- 3) 実際の作動信頼性を表わすダウntaxウムレシオの推定についての考察を行い、それが式（2-46）、（2-48）で表わされるように、点検間隔とMTBFの関数であることを明らかにした。各建物において推定されたMTBFを用いて計算を行えば、式（2-48）によるダウntaxイムレシオの予測値は、実測値によく追従することが示された。
- 4) 建物内における防火区画の空間的な結びつきを考慮した火災による物的損害の期待値の算出方法を提案し、それに上記のダウntaxイムレシオを組み入れることにより、防火戸の作動信頼性が建物の火災安全性に与える影響についての評価を可能とした。
- 5) 既存の建築物に対して上記方法の適用を試み、建物内における延焼による物的損害を評価の指標とすれば、最適な点検頻度は年間1～3回であり、その値は現在一般に行われている点検の頻度に等しいことを明らかにした。また、建物全体の有する危険度、個々の防火区画の有する危険度の評価についても相対的には可能となった。
- 6) しかしながら、本論におけるようなことがらは、筆者にとっても初学であることもあり、以下に挙げるように今後に残された課題も多い。
 - a) 今回の信頼度の推定においては、故障率を一定と仮定しているが、実際にそれらを使用の初期から十分に時間が経過した後まで適用するには不十分である。したがって、その経時変化を明確にしてゆかねばならない。

b) 今回調査を行った建物については、点検を行っていること自体が管理状態の良い建物であると言えることができ、管理の悪い建物についても今回のような作動信頼性が保証されるかどうかは分からない。その点については、障害物の放置による閉鎖不良などもふくめて、実態調査を行って明らかにする必要がある。

c) 今回評価に用いた出火確率，単位面積などの各防火区画におけるパラメータについては、統計的な裏づけを与えてゆく上で再検討が必要となろうし、火災現象そのもののモデル化についても、より現実的な形のものが必要とされる。

さらに、今回は筆者の勉強不足のため行えなかったが、本論で行ってきた防火戸の閉鎖に関する確率的な取り扱いというのは、一般に行われている煙制御計算などにおいて最も重要視されるべきことがらであり、今後そのような分野でこの問題が真剣に検討されることを期待して結びとする。

〈参考文献〉

- 1) 星野昌一, 建築防災からみた設備の役割, 空気調和・衛生工学, 1973,10
- 2) 八木祐四郎, ビルメンテナンス業から見た維持管理, 建築雑誌, 1983,10
- 3) 塩見 弘, 信頼性・保全性の入門知識, 建築保全, 1980,5 Vol.6
- 4) 塩見 弘, 信頼性・保全性の考え方と進め方, 技術評論社, 1979
- 5) 三根, 河合, 信頼性・保全性の数理, 朝倉書店, 1982
- 6) 坪内和夫, 信頼性設計, 丸善, 1971
- 7) 佐藤喜代蔵, 信頼性工学, オーム社, 1983
- 8) 三根 久, 電子技術者のための信頼性工学, 総合電子出版社, 1977
- 9) 塩見 弘, 故障解析・診断, 日科技連, 1977
- 10) R.F.Drenick, The failure of complex equipment, J.Soc.Ind.Appl.Math.19-4, 1960
- 11) E.J.Muth, A Method for Predicting System Downtime, IEEE Transaction on Reliability, vol.R-17 No.2, June 1968
- 12) 森脇, 江田, デパートにおける防火区画の管理上の問題について, 日本建築学会大会, S53
- 13) 辻本 誠, 米国防災事情を視察して知る全館避難の危険性, 日経アーキテクチュア, 1978,10
- 14) 吉田克之, 防災計画の研究(3. 建物の火災拡大抑止性能の定量化に関する一手法の提案), 建築学会大会, S58
- 15) 齊藤, 辻本, 初期火災モデルその1, 建築学会大会, S50
- 16) 長谷見, 鷲田, 煙制御設計における環境条件設定について—事務所建築を対象とした扉防火戸類の管理使用状態調査, 建築学会大会, S53

謝 辞

本研究について、終始熱心に御指導を賜りました 辻本 誠先生，また、データの収集などにおいて御協力いただきました 江本氏 ，データを提供していただきました関係諸氏に感謝いたします。

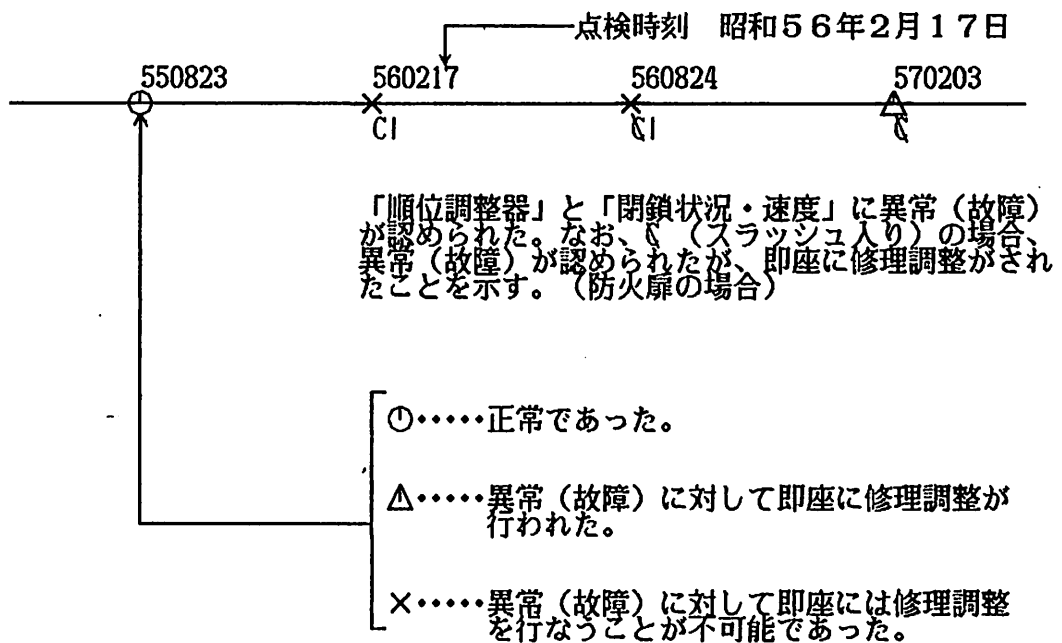
〈資料〉

- 1) 各建物における点検記録と故障データの一覧表
- 2) 各建物における異常および故障の種類別度数分布
- 3) 計算を行った建物の平面図 (B 1, 1 F, 2 F, 3 ~ 9 F)
- 4) 距離のパラメータの与え方

資料1 各建物における点検記録 (SELECT MODE=1) と整理後の故障データ (SELECT MODE=2) の一覧表

〈表の見方〉

A, B, C, ……の記号は本文中表2-2に示すとおり



BUILDING NO. 1

SELECT MODE= 1

NO.	KI SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
801	D	800	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
701	D	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
702	D	800	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	D	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	D	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	SD	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	SD	1045	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
503	SD	950	2000	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
504	SD	1070	2000	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	D	1045	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	D	1045	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
301	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
302	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
303	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
304	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
305	D	2500	2540	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
101	D	1460	2200	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
102	D	1210	2360	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
103	D	1120	2000	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
104	D	780	2100	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

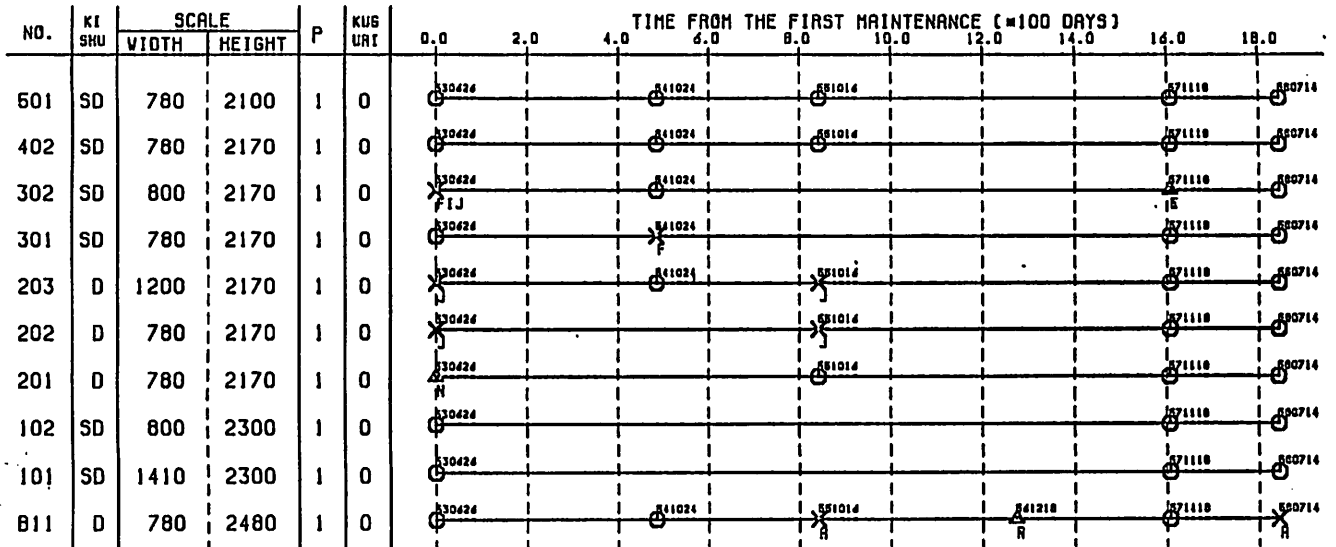
BUILDING NO. 1

SELECT MODE= 2

NO.	KI SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
801	D	800	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
701	D	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
702	D	800	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	D	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	D	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	SD	1057	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
502	SD	1045	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
503	SD	950	2000	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
504	SD	1070	2000	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	D	1045	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	D	1045	2100	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
301	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
302	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
303	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
304	D	2190	2300	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
305	D	2500	2540	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
101	D	1460	2200	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
102	D	1210	2360	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
103	D	1120	2000	2	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
104	D	780	2100	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

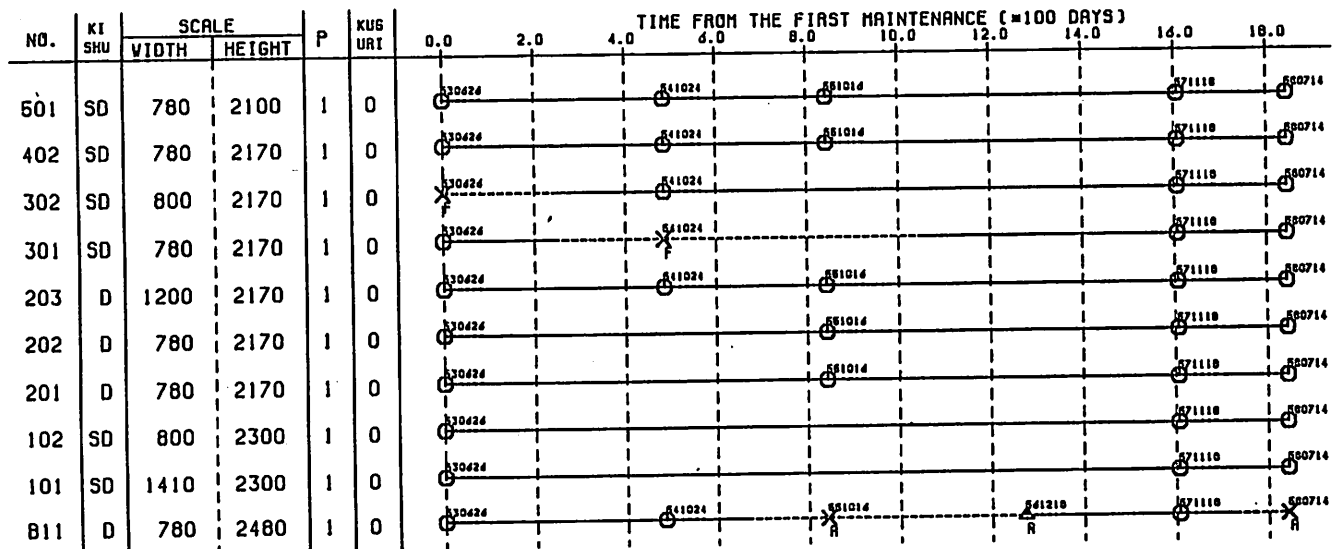
BUILDING NO. 2

SELECT MODE= 1



BUILDING NO. 2

SELECT MODE= 2



BUILDING NO. 3

SELECT MODE= 1

NO.	KT SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)											
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0		
801	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
701	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
601	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
501	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
401	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
301	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
201	D	1615	2580	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
202	D	1450	2800	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809

BUILDING NO. 3

SELECT MODE= 2

NO.	KT SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)											
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0		
801	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
701	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
601	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
501	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
401	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
301	D	1260	2100	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
201	D	1615	2580	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809
202	D	1450	2800	1	0	30828	33104	30303	30971114	30404	30718	30122	30420	370411	371009	300126	300809

BUILDING NO. 4

SELECT MODE= 1

NO.	KI SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
901	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							B					
801	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
701	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
601	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
501	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
401	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
301	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
201	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
B12	S	1660	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
B11	S	1660	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
101	D	1220	2390	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N		RF	RE		RR

BUILDING NO. 4

SELECT MODE= 2

NO.	KI SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
901	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							B					
801	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
701	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
601	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
501	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
401	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
301	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
201	S	1260	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
B12	S	1660	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
B11	S	1660	2280	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N					
101	D	1220	2390	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
							N		RF	R		RR

BUILDING NO. 8

SELECT MODE= 1

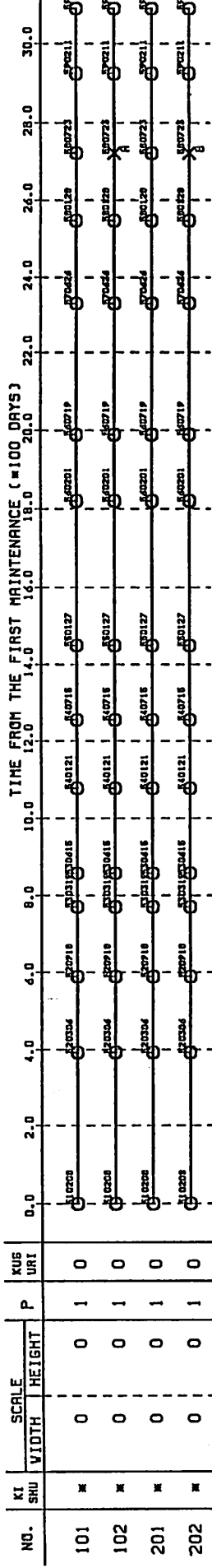
NO.	KI SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
201	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
202	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
203	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
301	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
302	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
303	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
502	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
701	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
702	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
801	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
802	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
901	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
902	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
001	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
002	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

BUILDING NO. 8

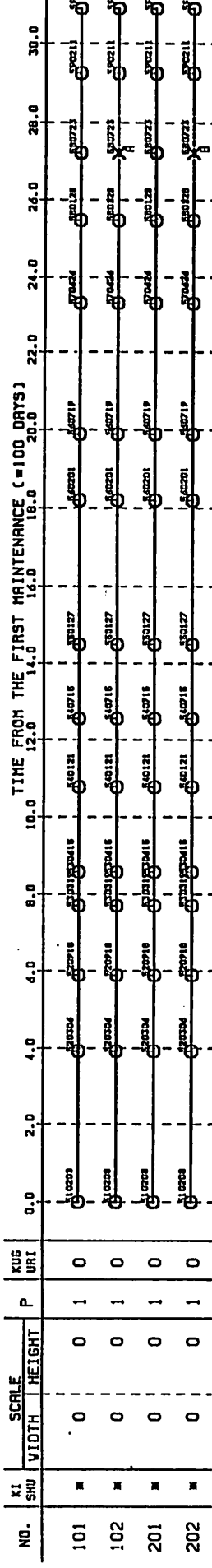
SELECT MODE= 2

NO.	KI SHU	SCALE		P	KUG URI	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		WIDTH	HEIGHT			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
201	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
202	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
203	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
301	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
302	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
303	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
401	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
402	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
501	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
502	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
601	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
602	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
701	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
702	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
801	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
802	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
901	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
902	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
001	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
002	M	0	0	1	0	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

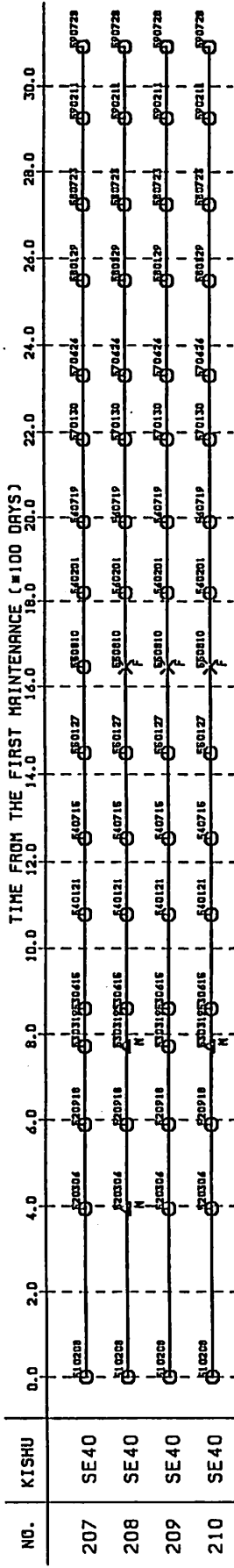
BUILDING NO.10 SELECT MODE= 1



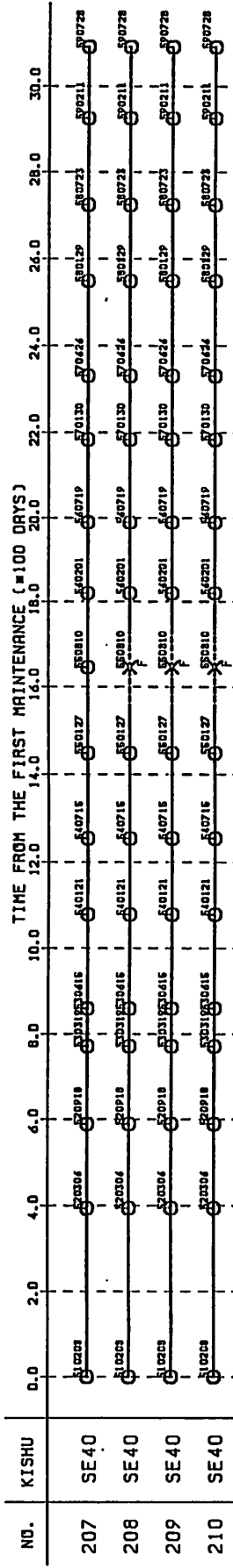
BUILDING NO.10 SELECT MODE= 2



BUILDING NO. 10 SELECT MODE= 1



BUILDING NO. 10 SELECT MODE= 2



BUILDING NO. 10 SELECT MODE= 2

NO.	KISHU	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0
101	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
102	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
103	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
104	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
105	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
106	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
107	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
108	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
109	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
110	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
111	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
112	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
113	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
114	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
201	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
202	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
203	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
204	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
205	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
206	SE40	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

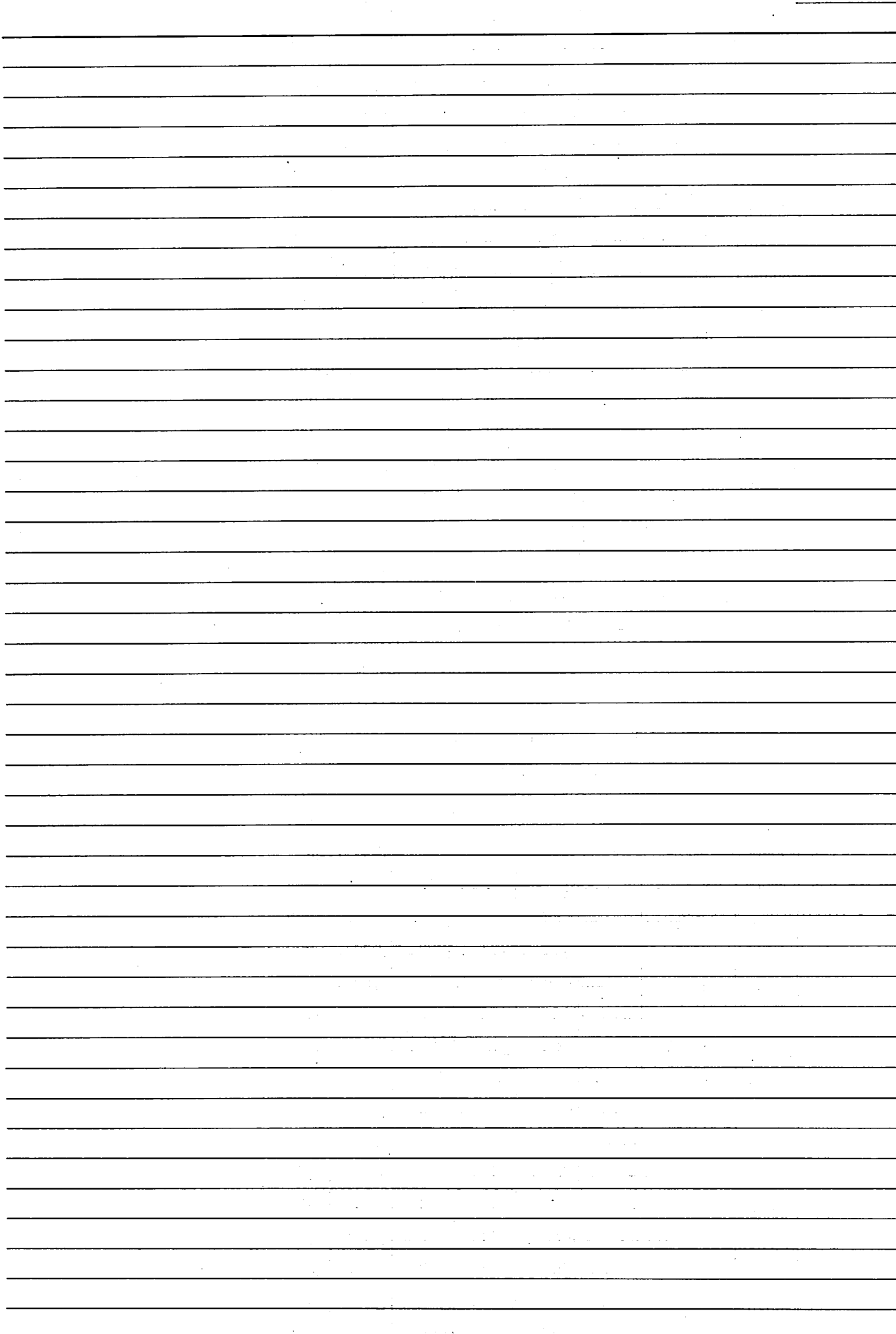
TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)

BUILDING NO. 11 SELECT MODE= 1

NO.	KISHU	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
101	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
102	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
103	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
104	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
105	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
106	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
107	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
108	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
109	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
201	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
202	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
203	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
205	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
206	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
207	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
208	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
209	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
210	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
301	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	

BUILDING NO. 11 SELECT MODE= 2

NO.	KISHU	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)						
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
101	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
102	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
103	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
104	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
105	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
106	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
107	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
108	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
109	SG20H	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
201	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
202	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
203	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
205	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
206	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
207	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
208	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
209	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
210	SGH20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	
301	SG20	54070P	57090P	580324	581013	590510	591213	



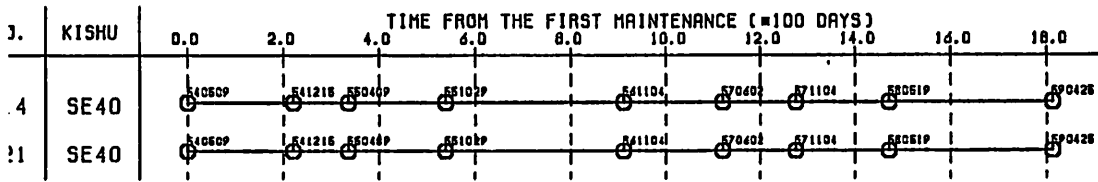
BUILDING NO. 12 SELECT MODE= 1

NO.	KISHU	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)														
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	30.0
B11	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
B12	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
B13	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
B14	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
B15	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
B16	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
B17	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
101	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
102	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
103	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
104	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
105	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
106	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
107	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
201	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
202	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
203	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
204	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
205	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905
206	SE40	0026	00413	021005	00916	00411	01017	00319	00114	00824	00319	00608	01117	00811	00314	00905

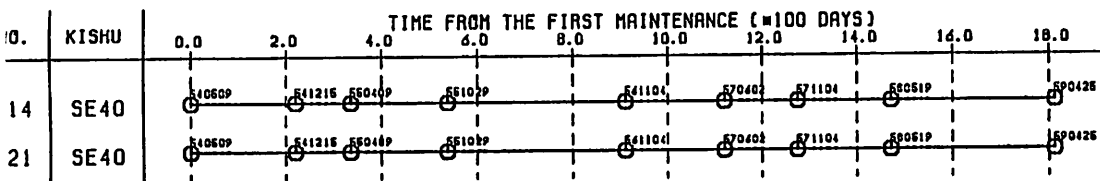
BUILDING NO. 12 SELECT MODE= 2

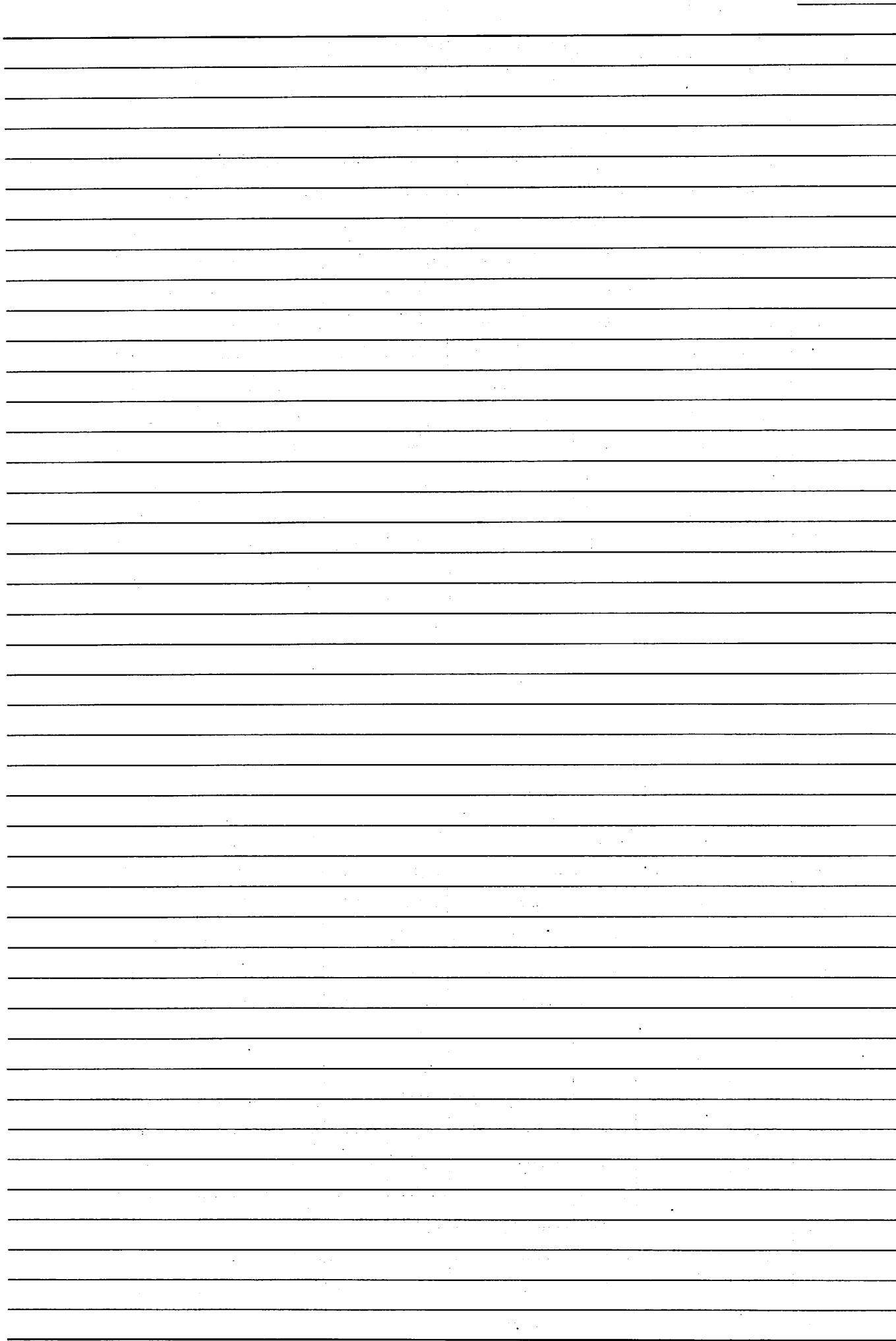
NO.	KISHU	TIME FROM THE FIRST MAINTENANCE (=100 DAYS)																
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	
207	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
301	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
302	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
303	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
304	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
305	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
306	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
307	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
401	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
402	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
403	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
404	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
405	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
406	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905
407	SE40	510825	520413	521005		530916	540411	541017	550319		560114	560826	570317/0409	571117	580511		590314	590905

JILDING NO. 16 SELECT MODE= 1

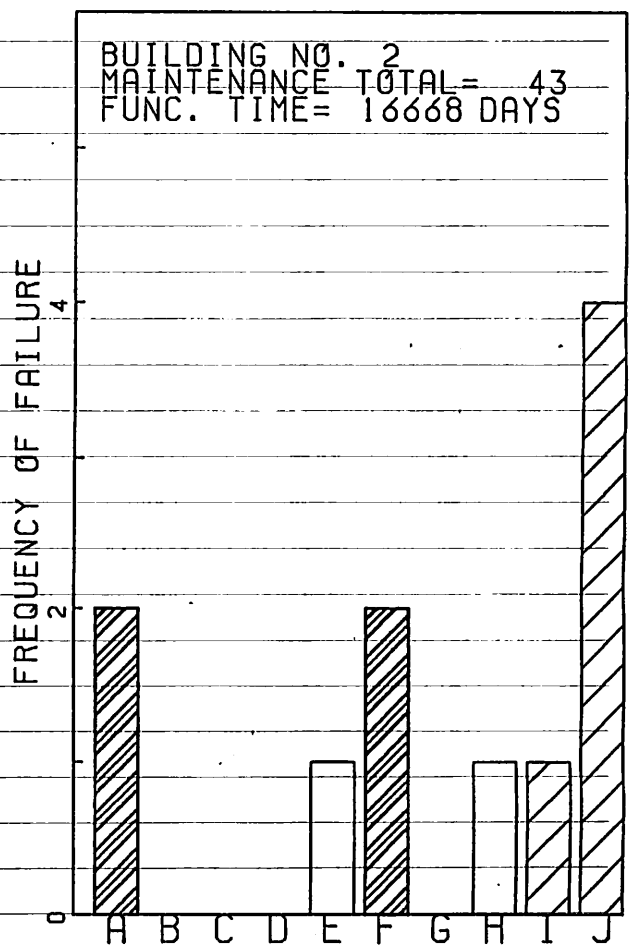
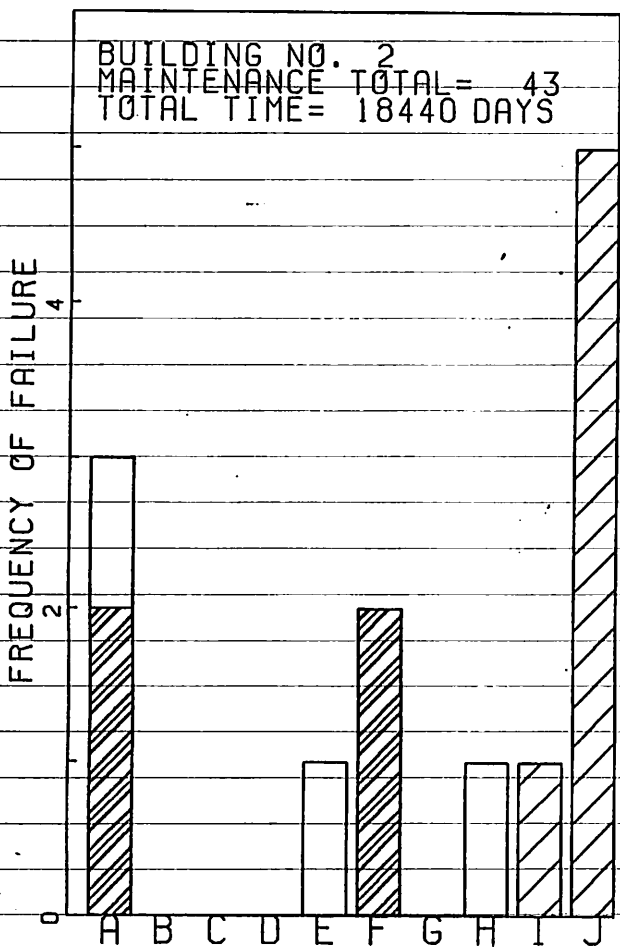
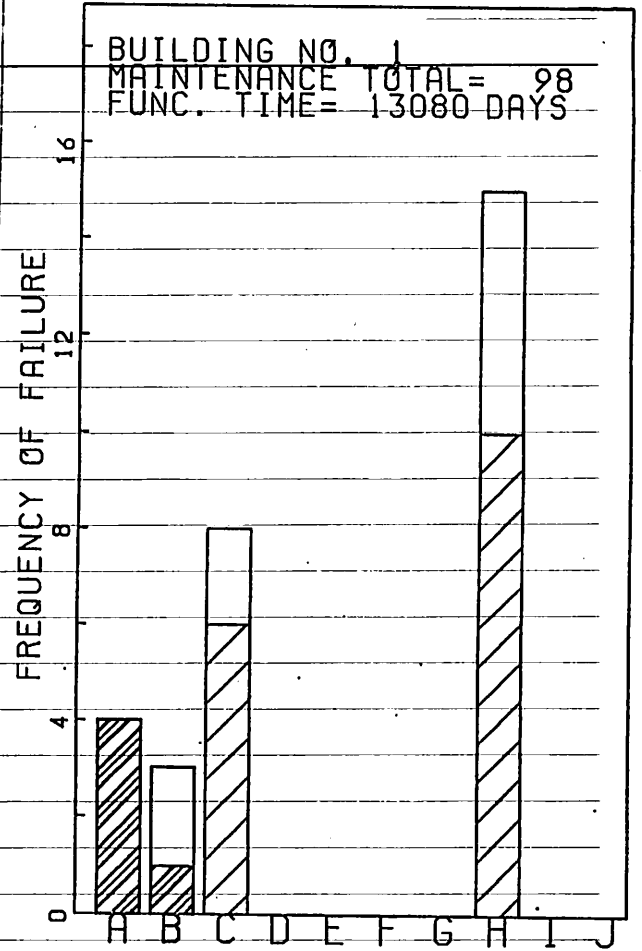
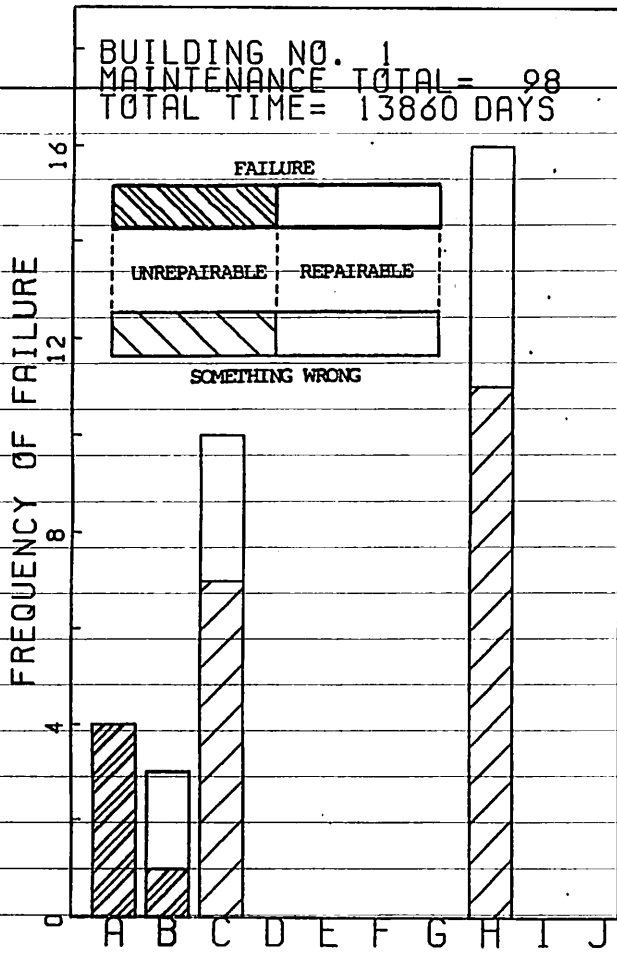


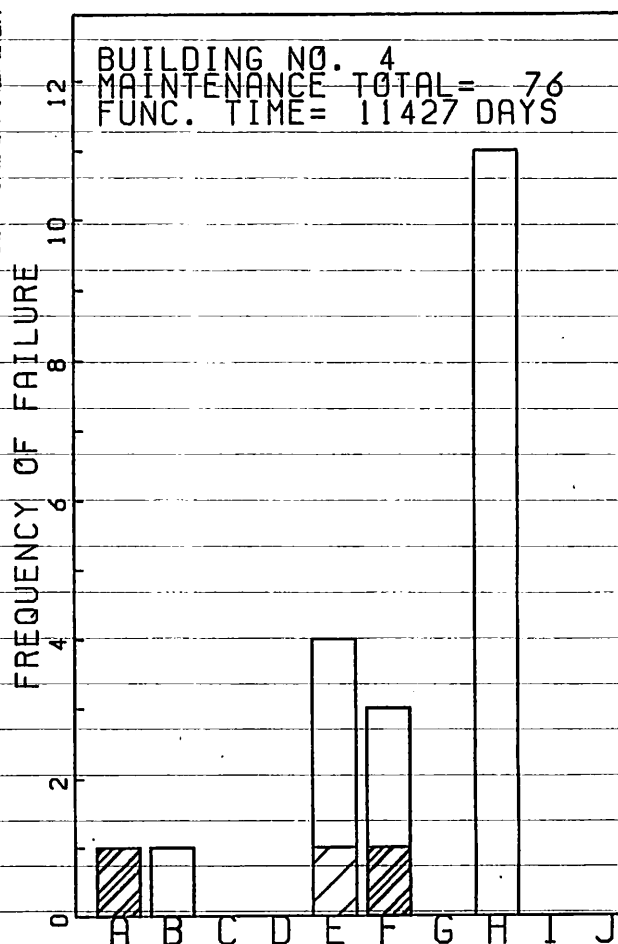
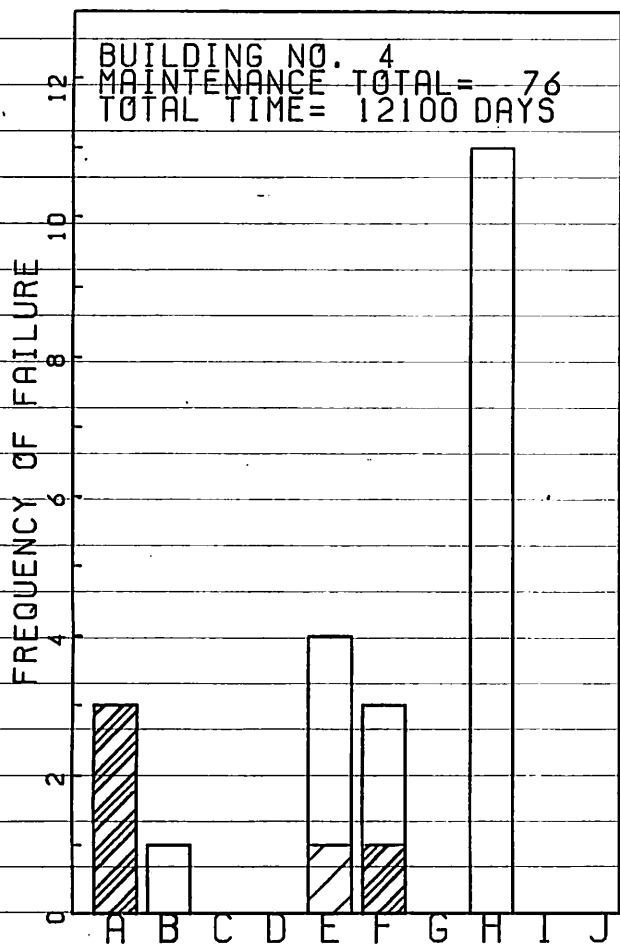
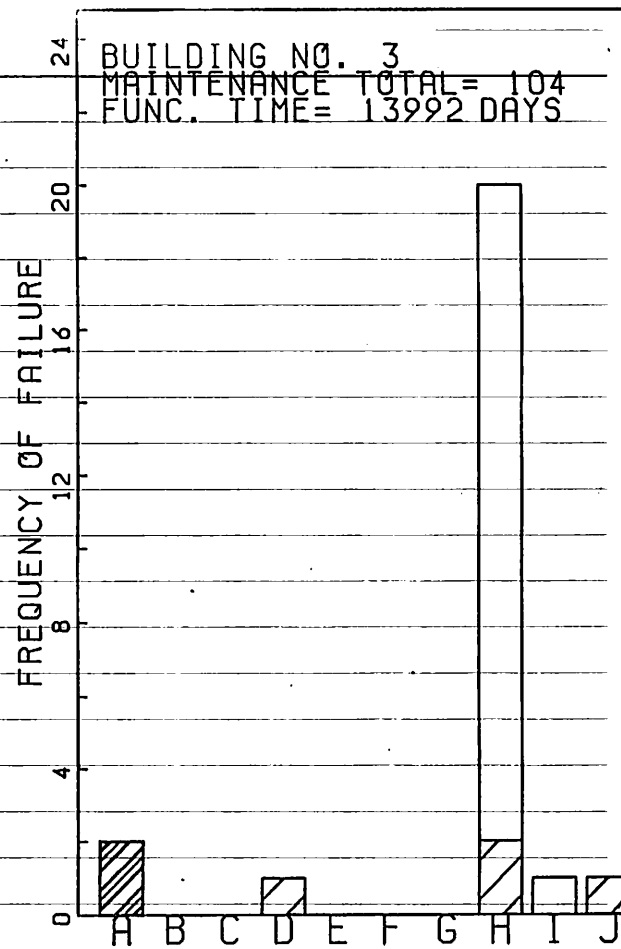
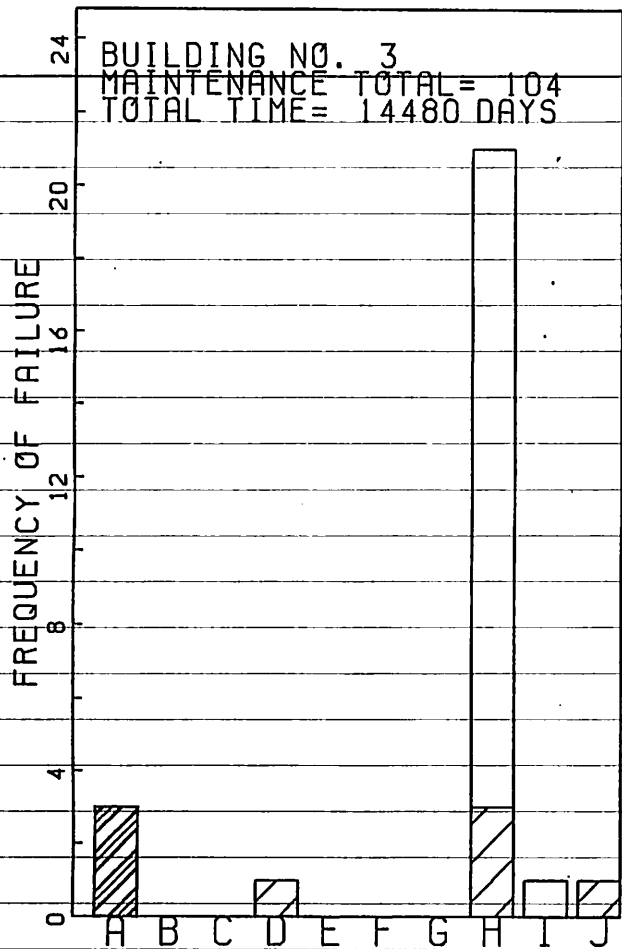
JILDING NO. 16 SELECT MODE= 2

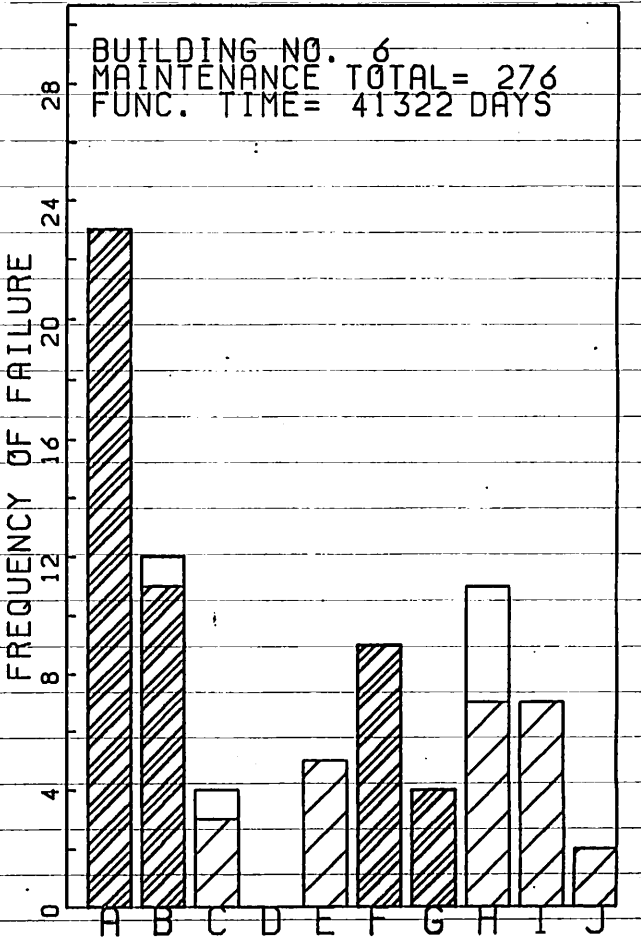
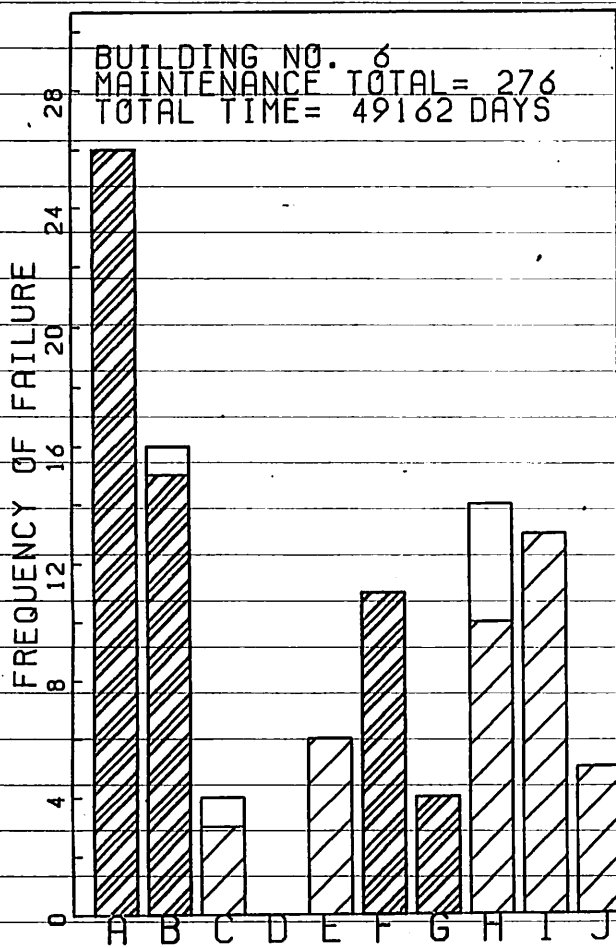
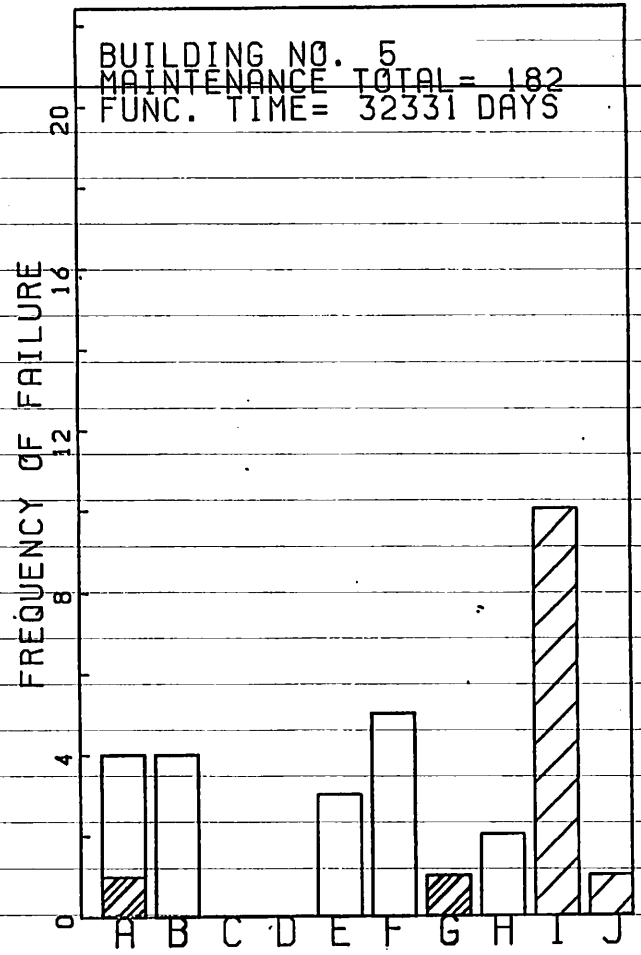
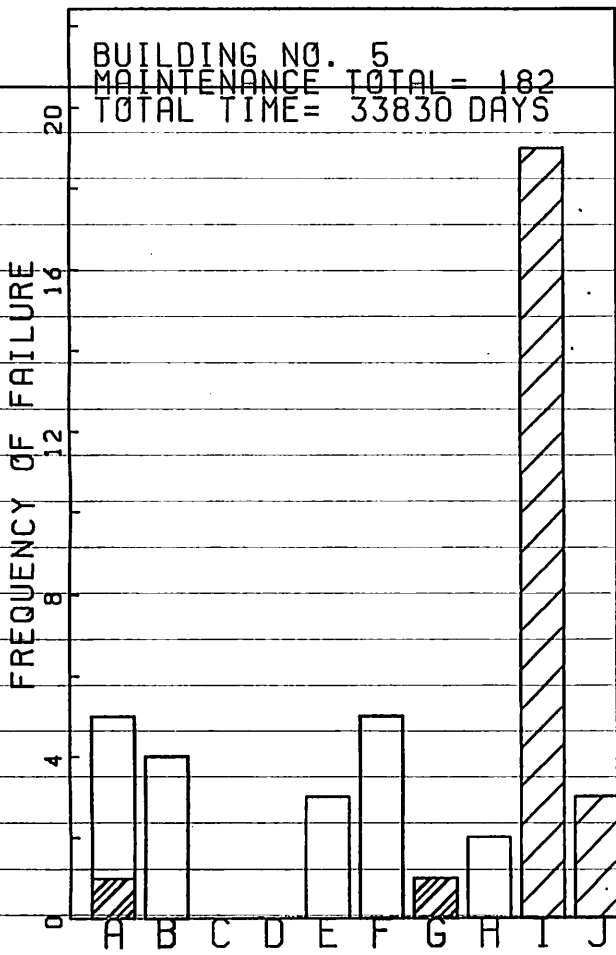


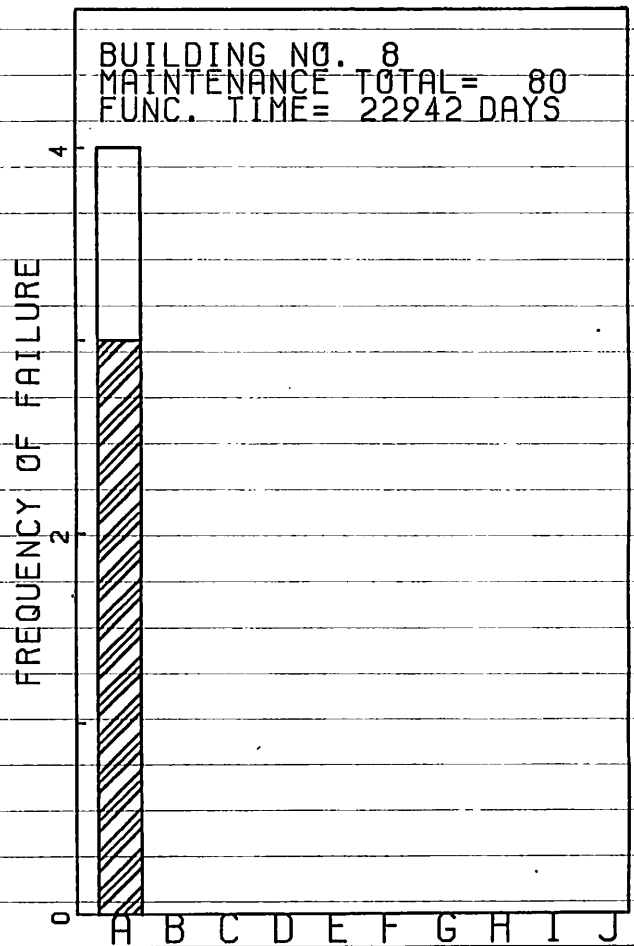
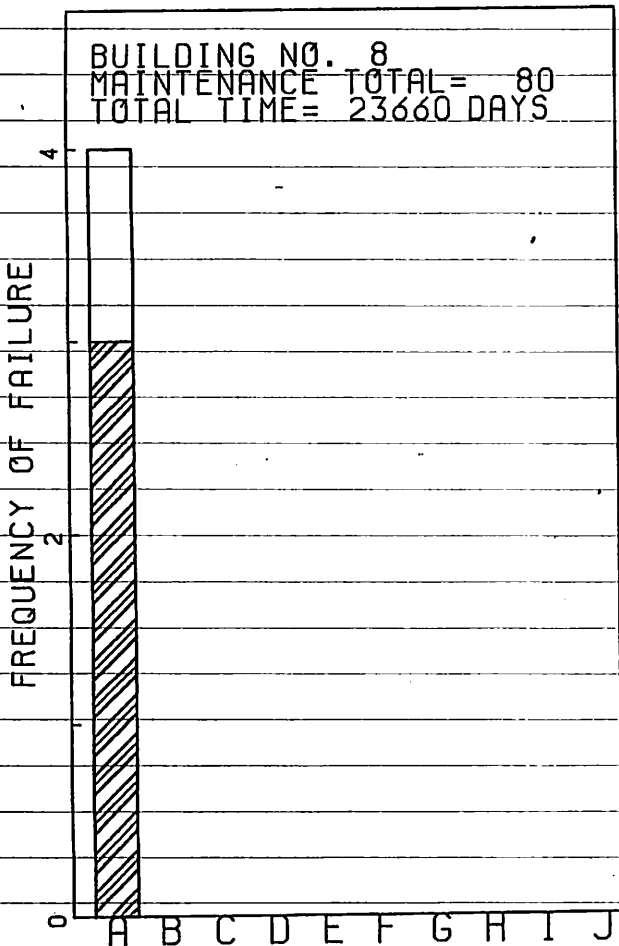
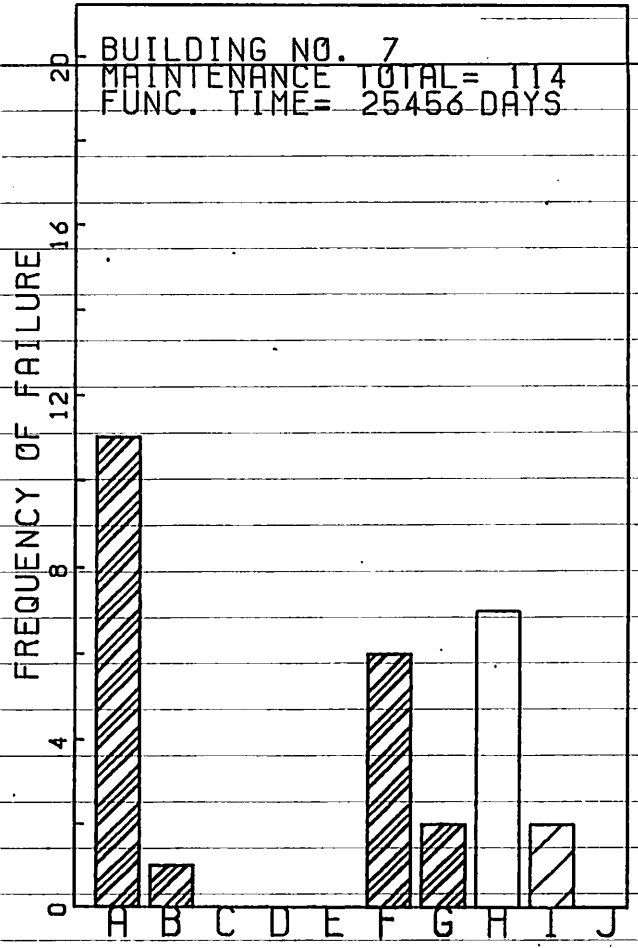
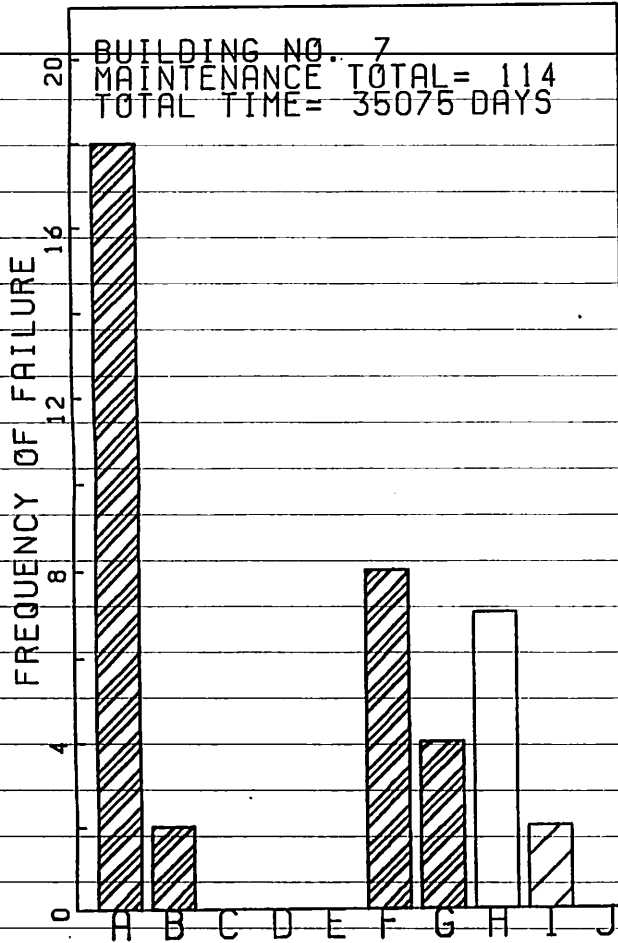


資料2 各建物における異常および故障の種類別度数分布

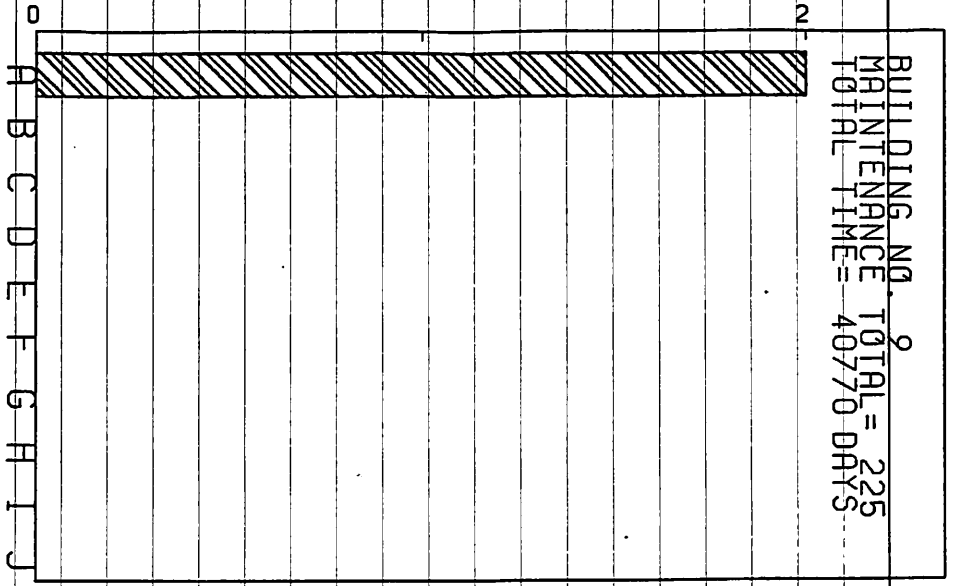




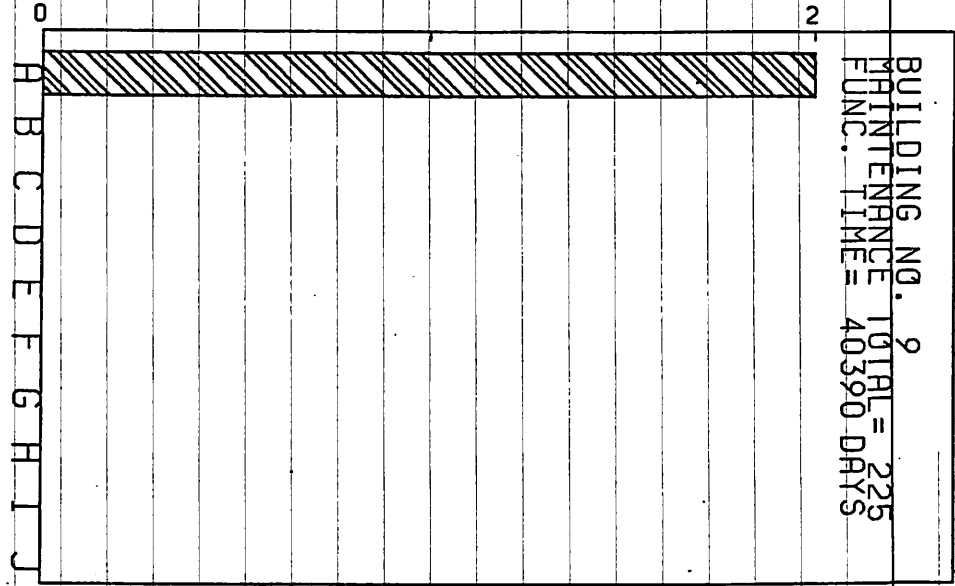




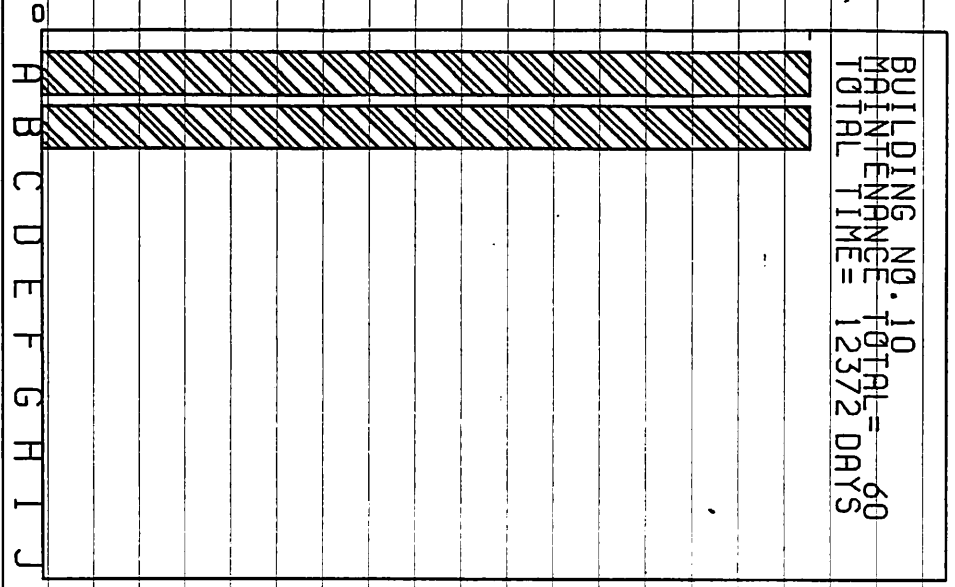
FREQUENCY OF FAILURE



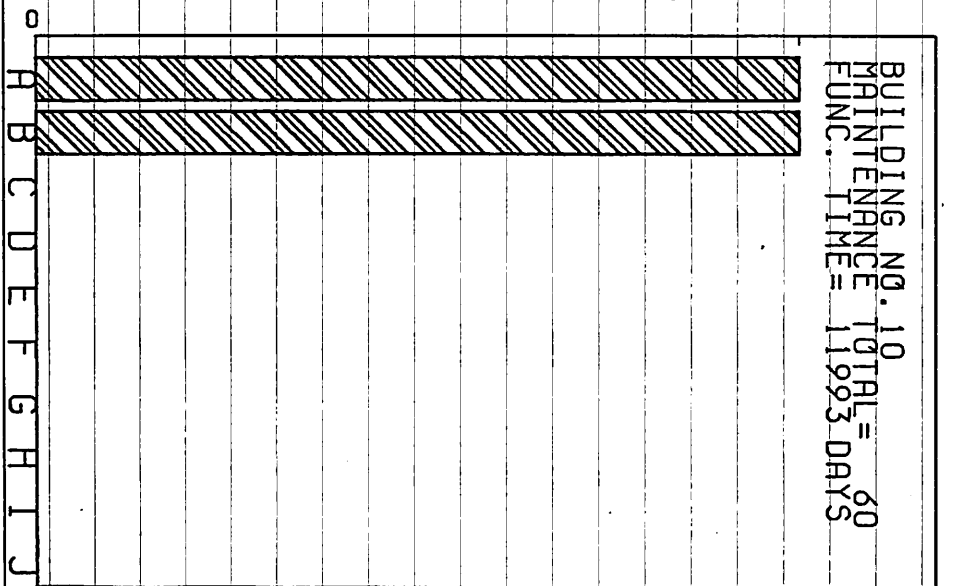
FREQUENCY OF FAILURE

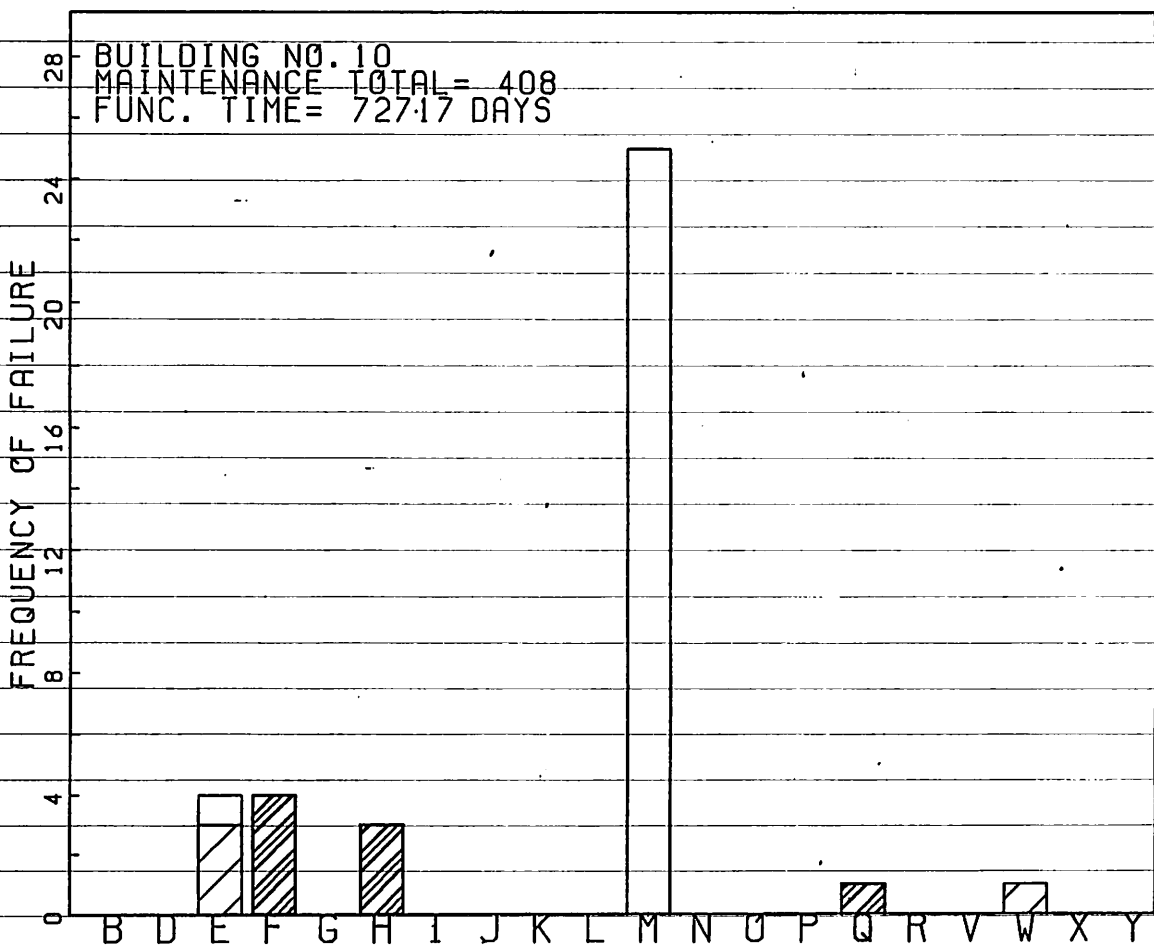
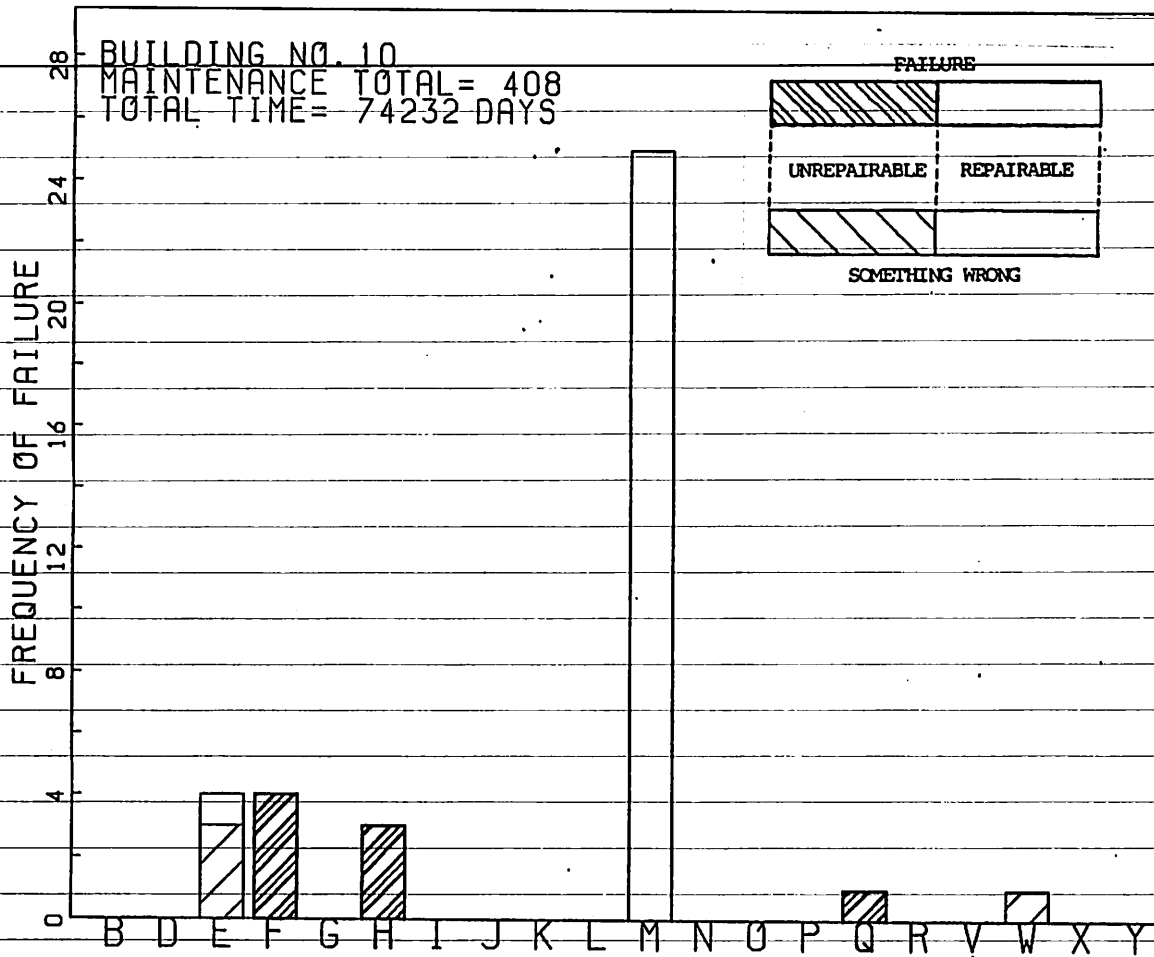


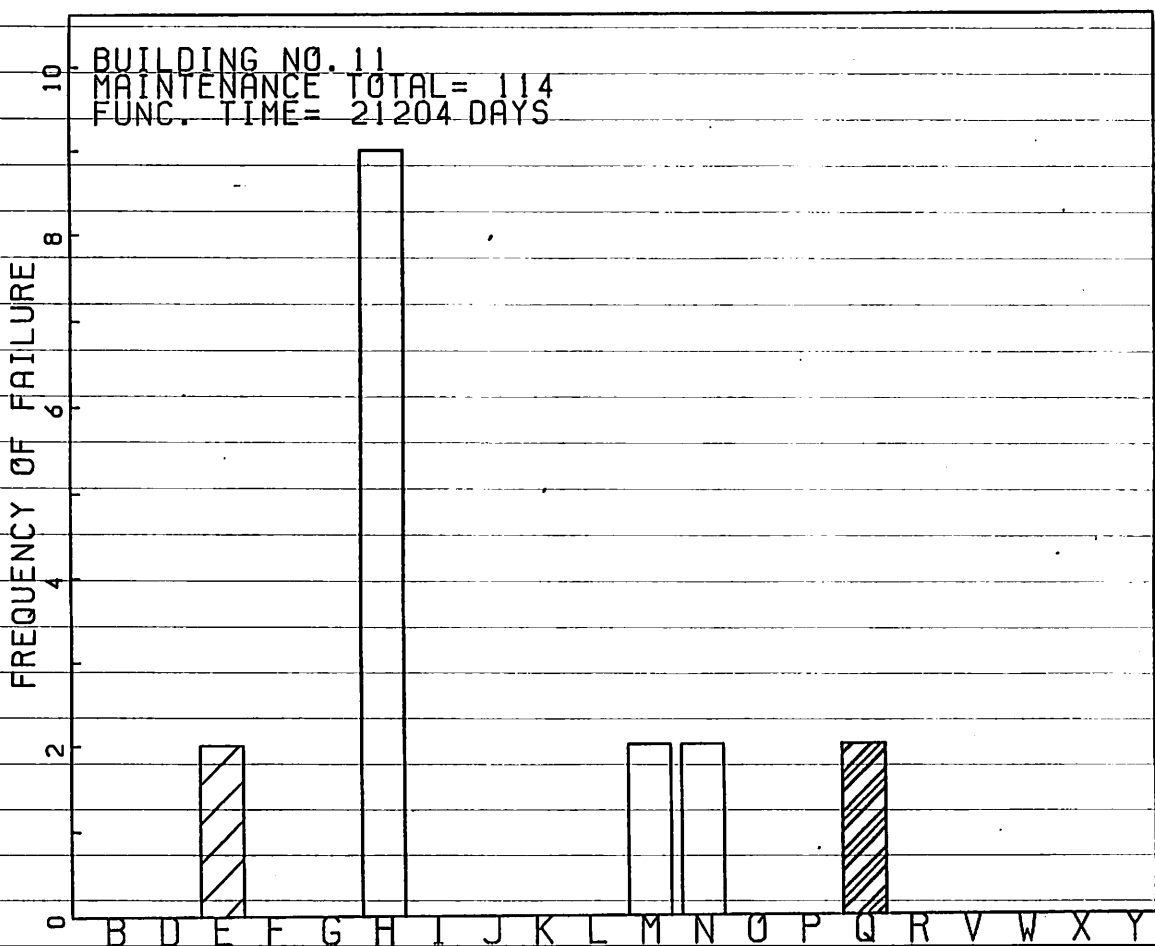
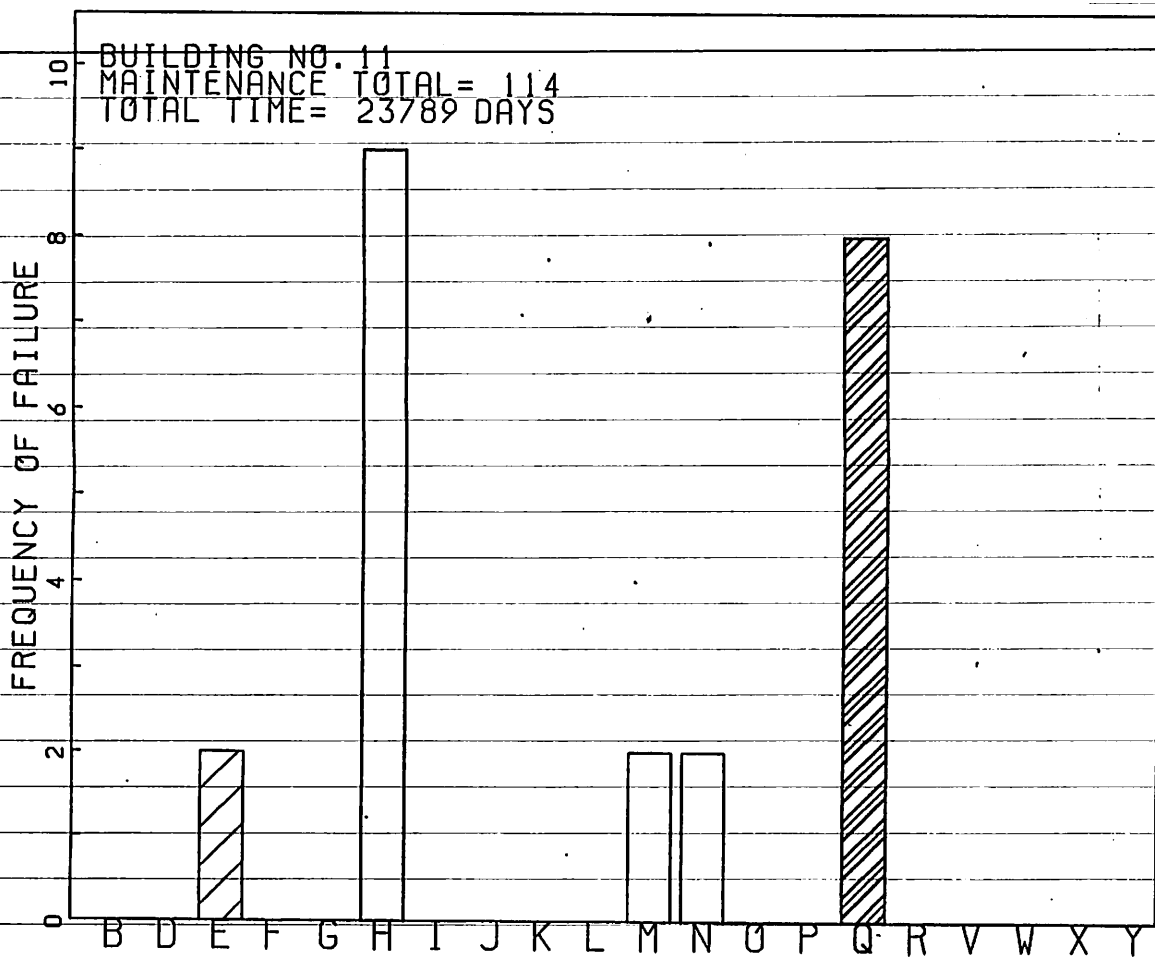
FREQUENCY OF FAILURE

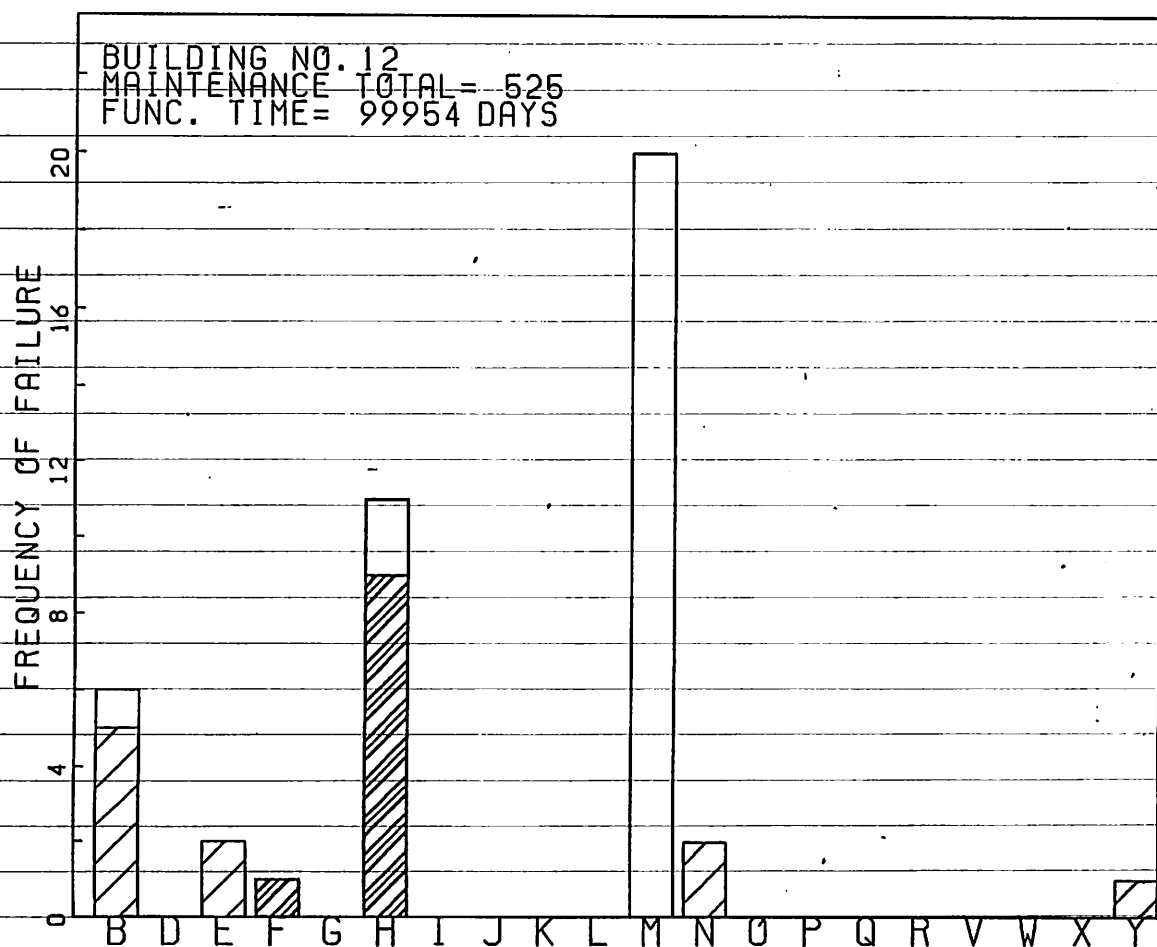
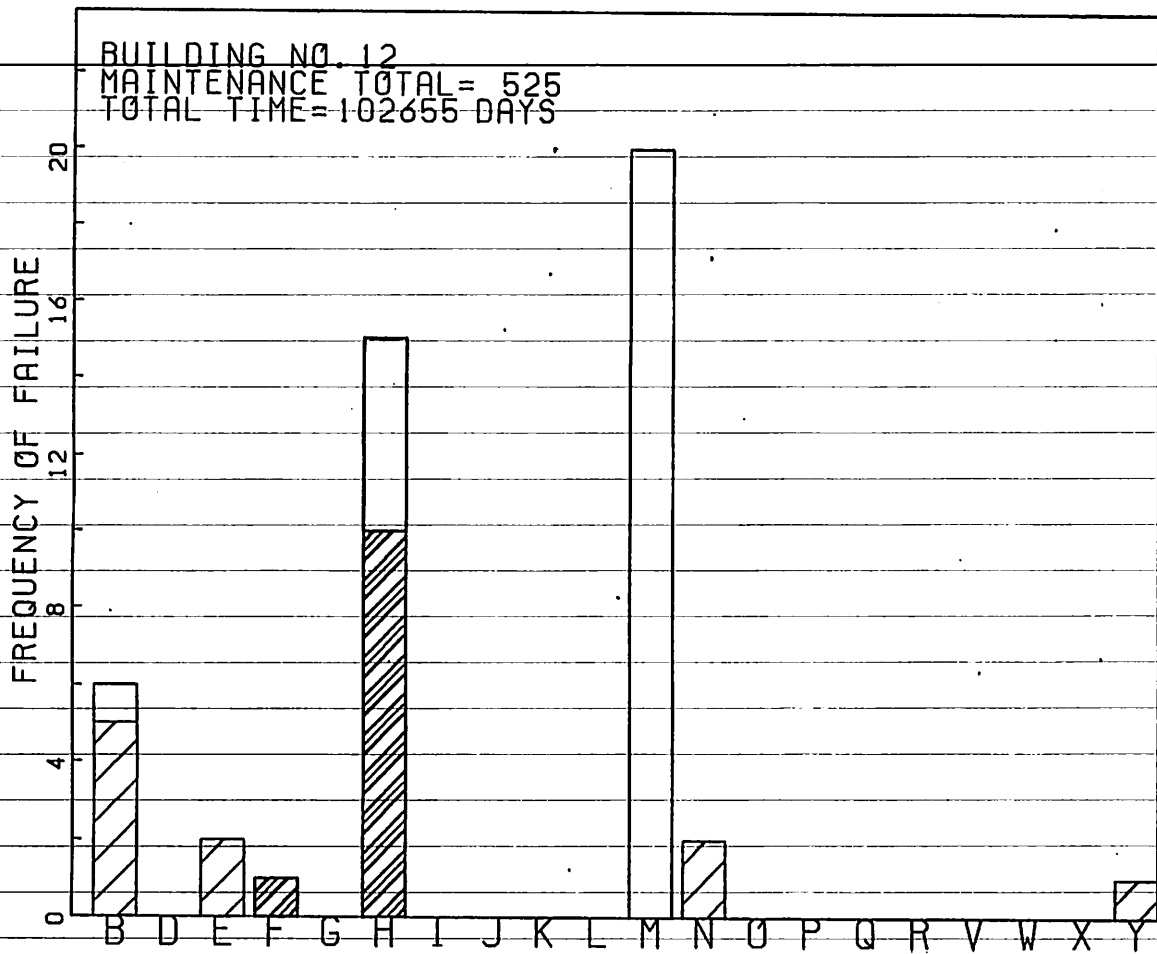


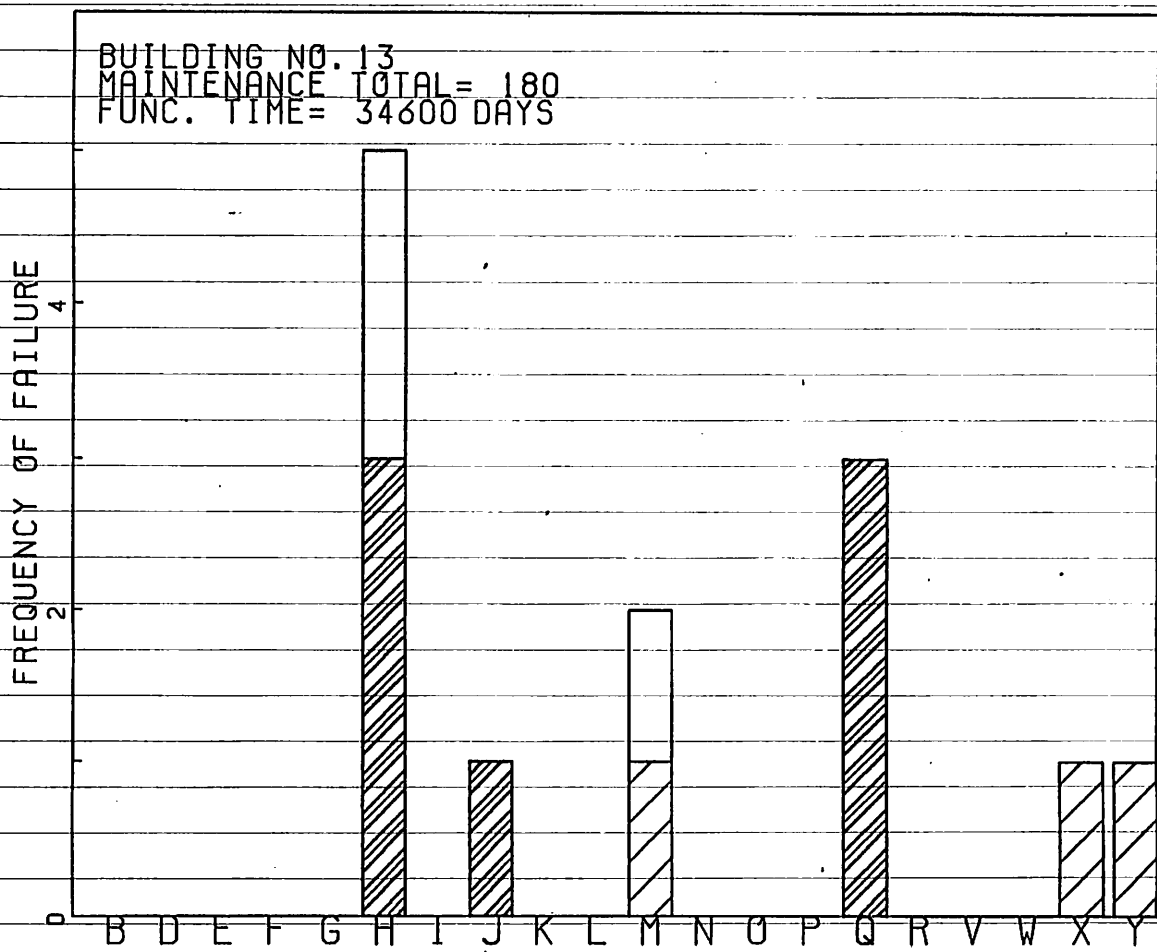
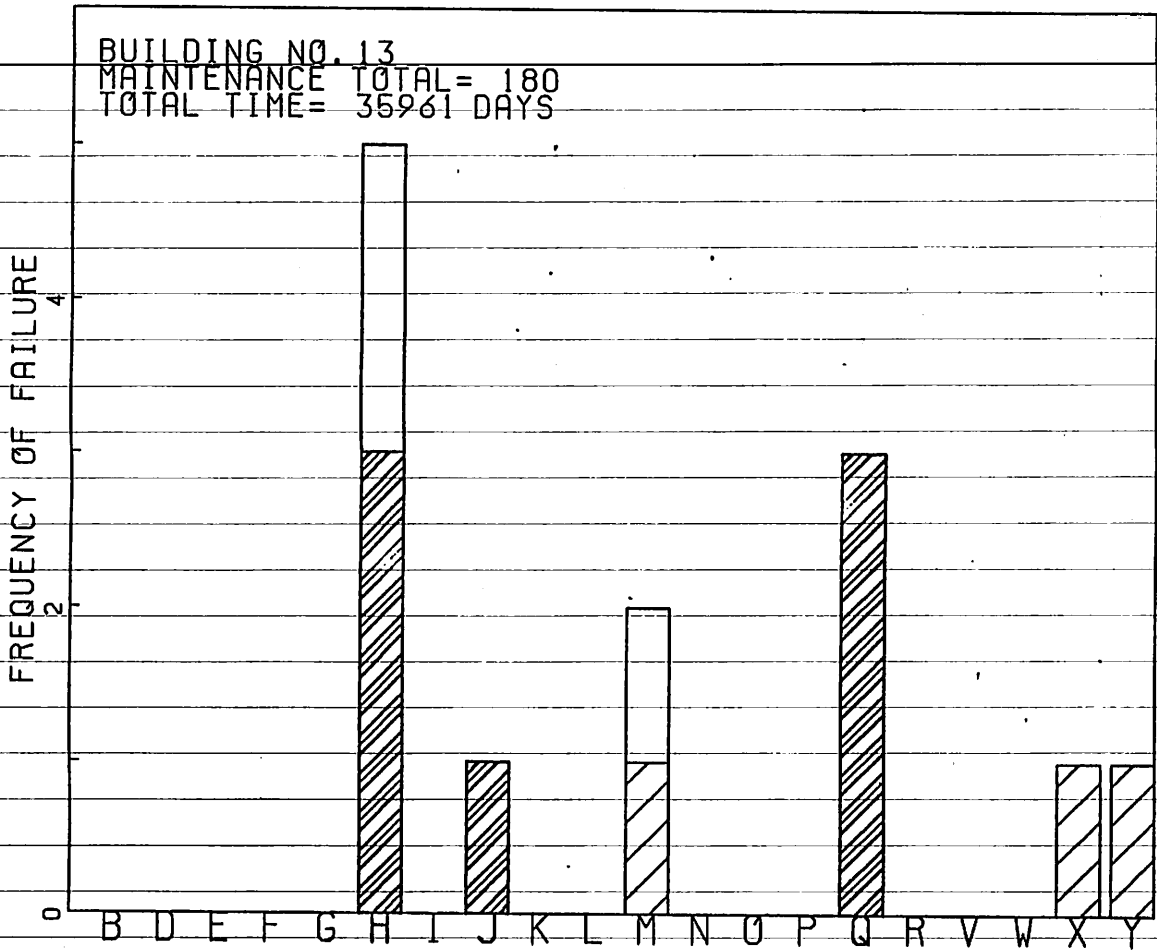
FREQUENCY OF FAILURE

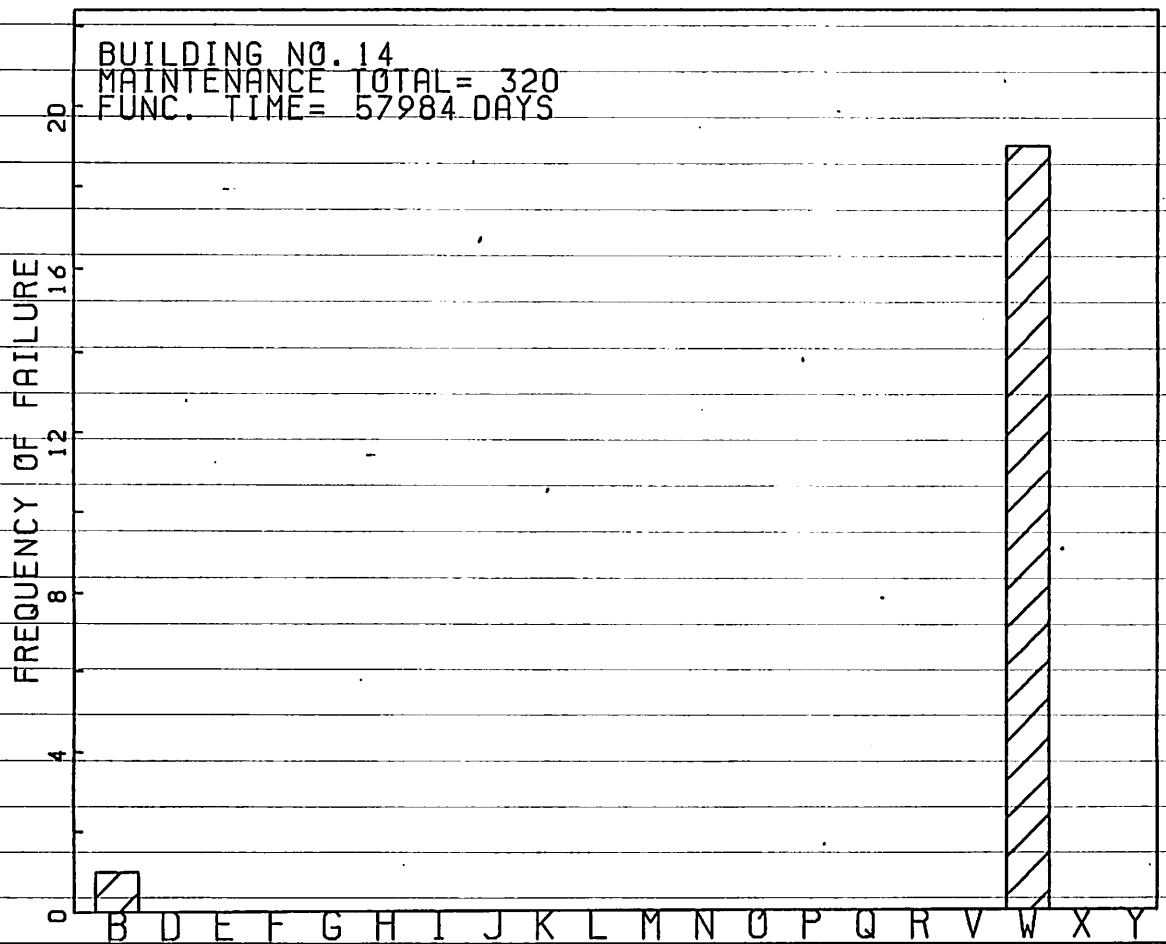
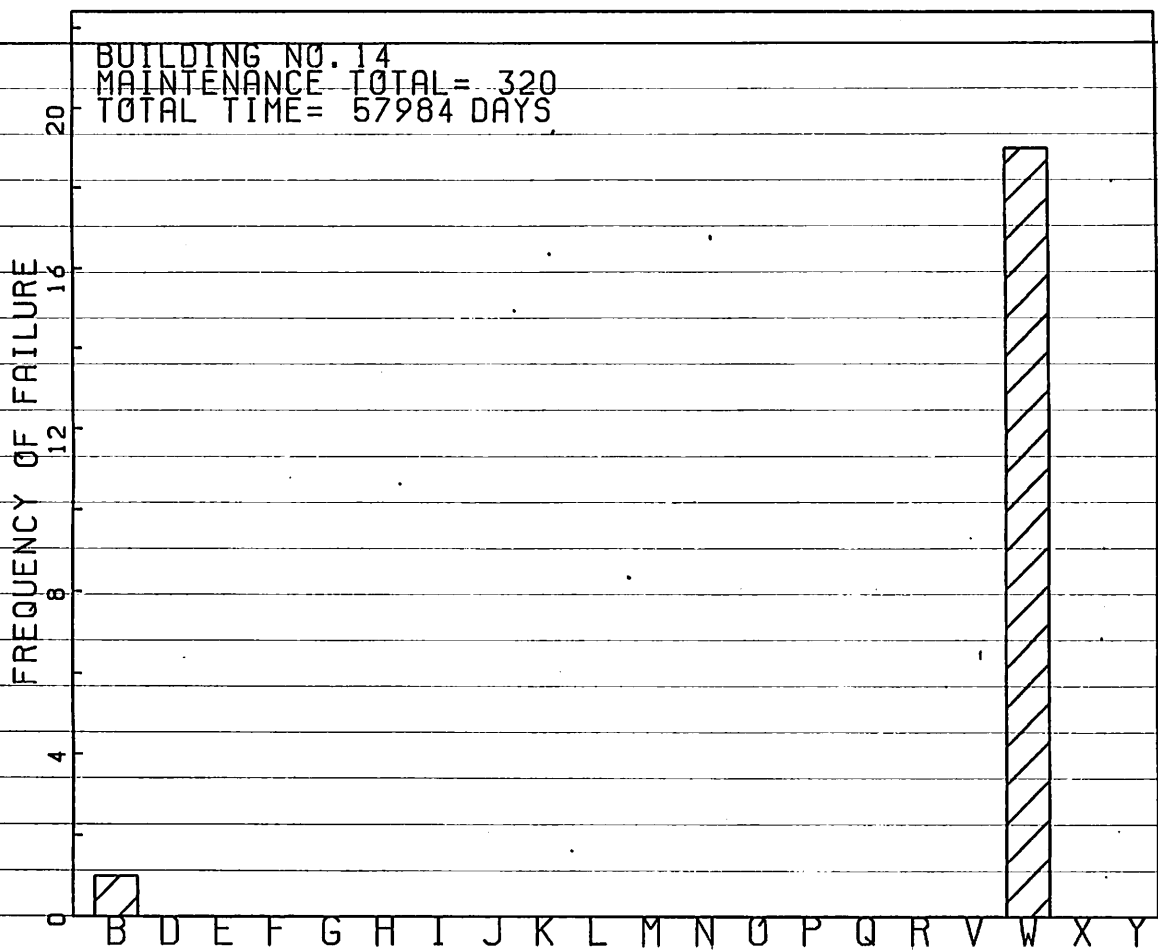




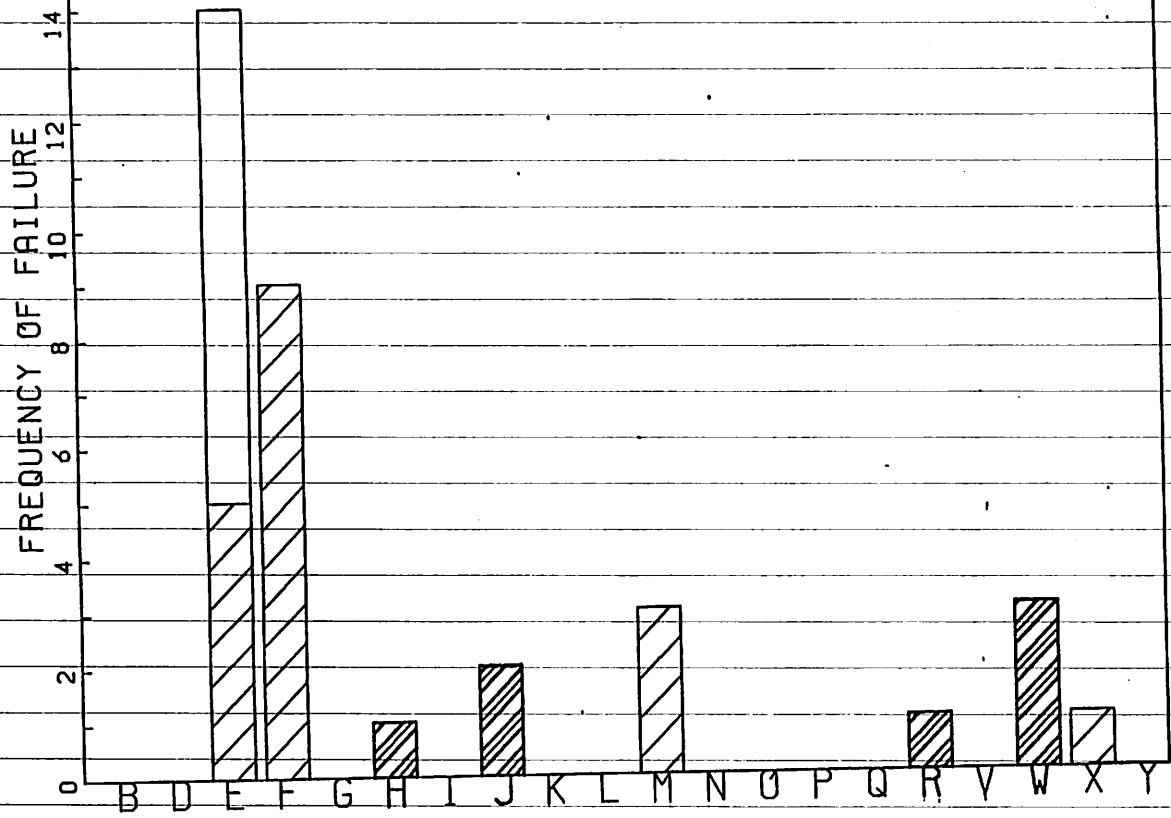




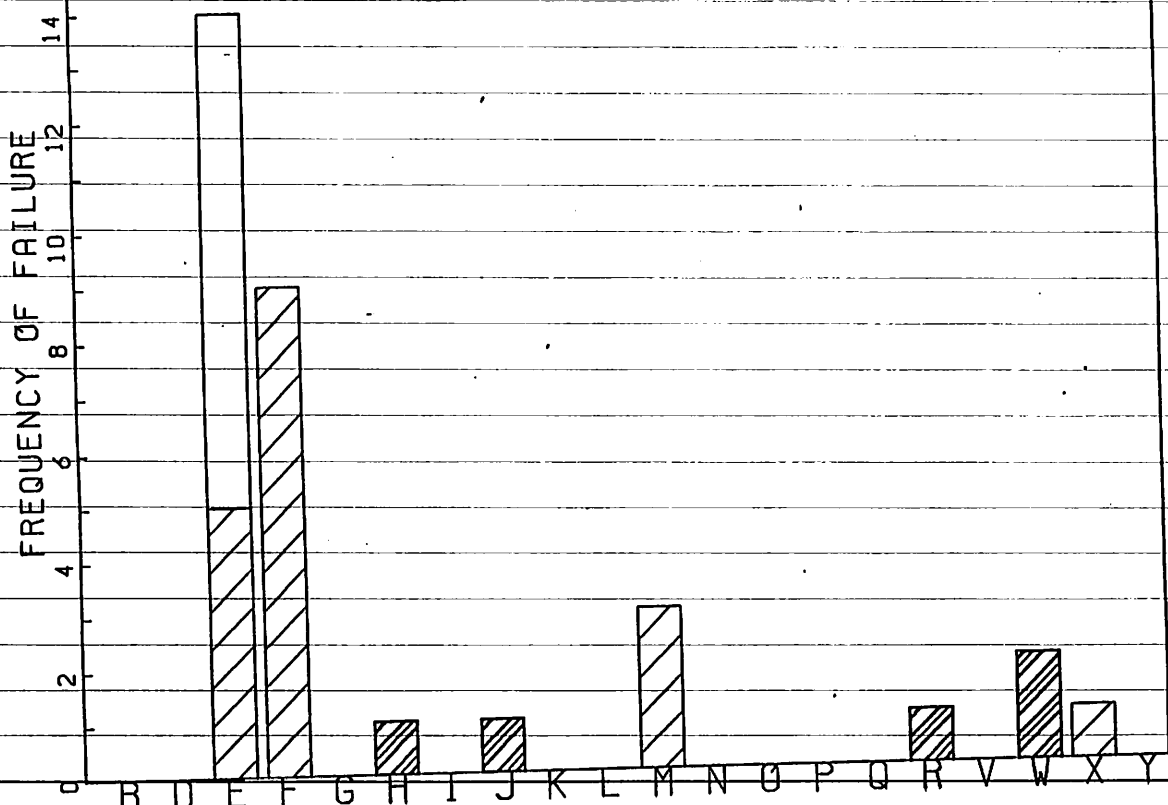


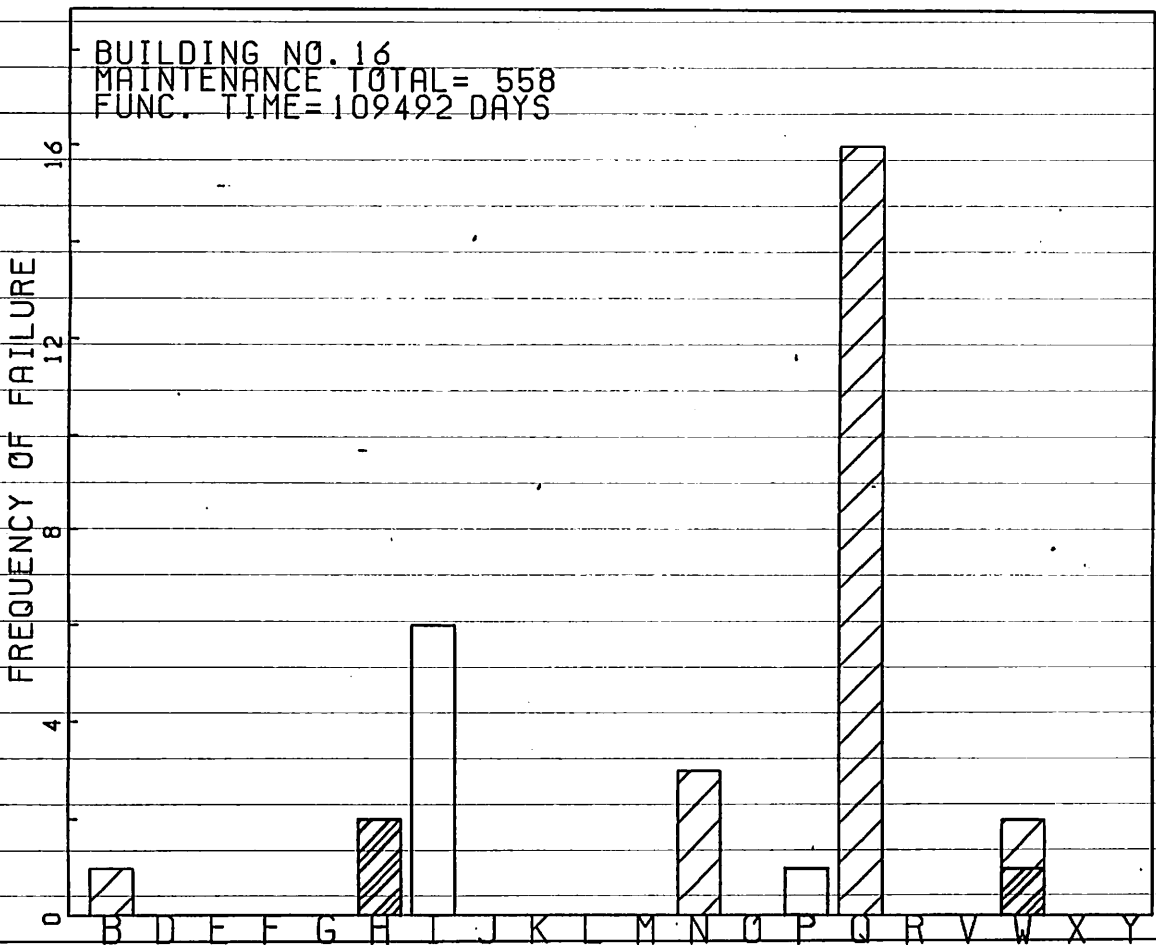
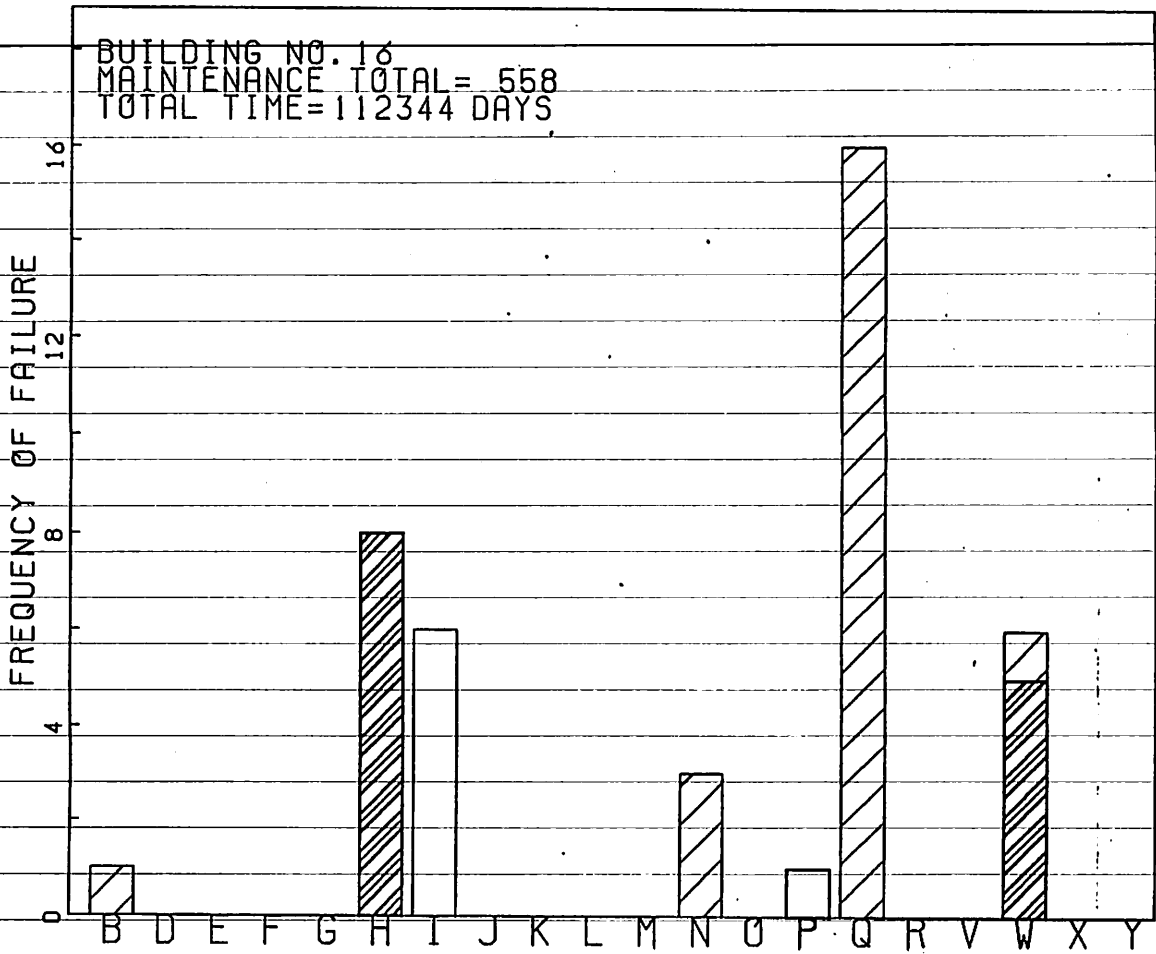


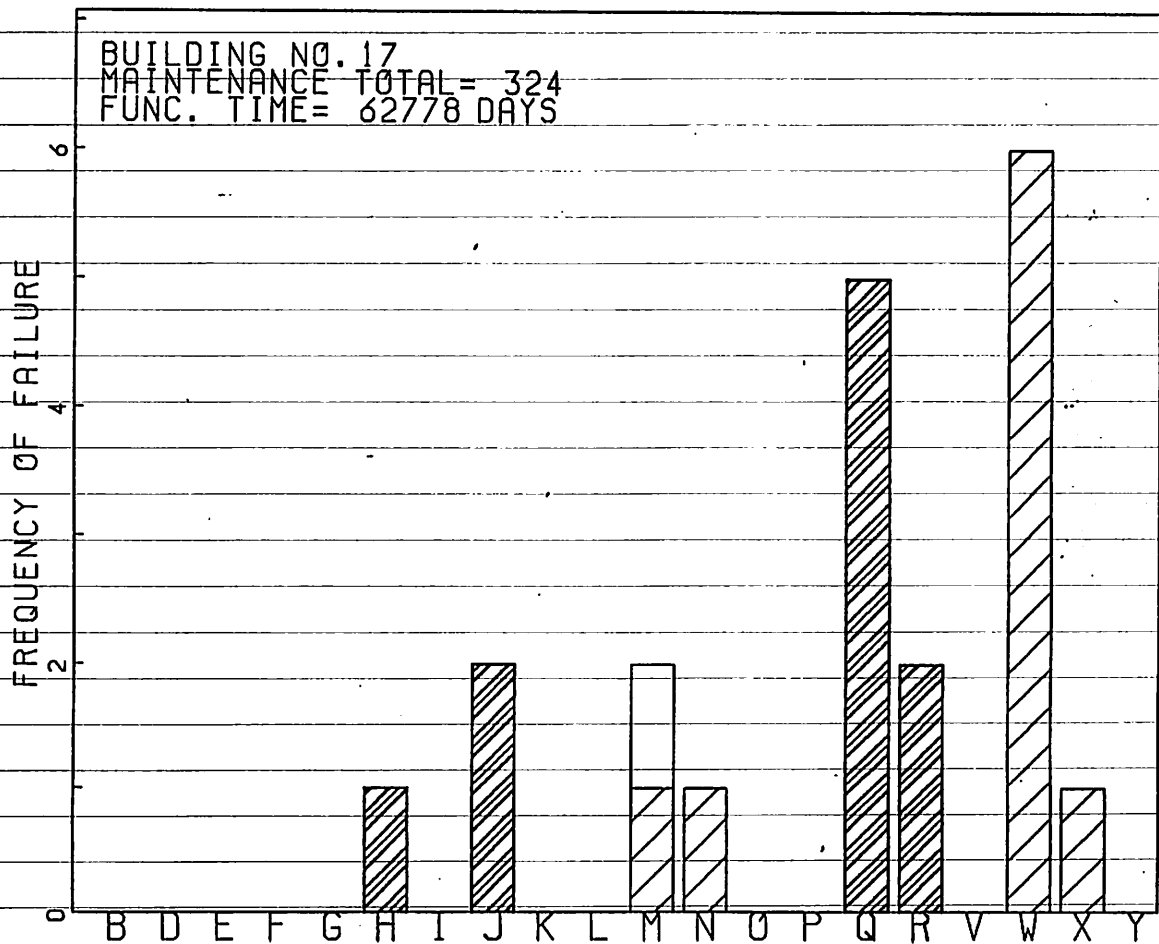
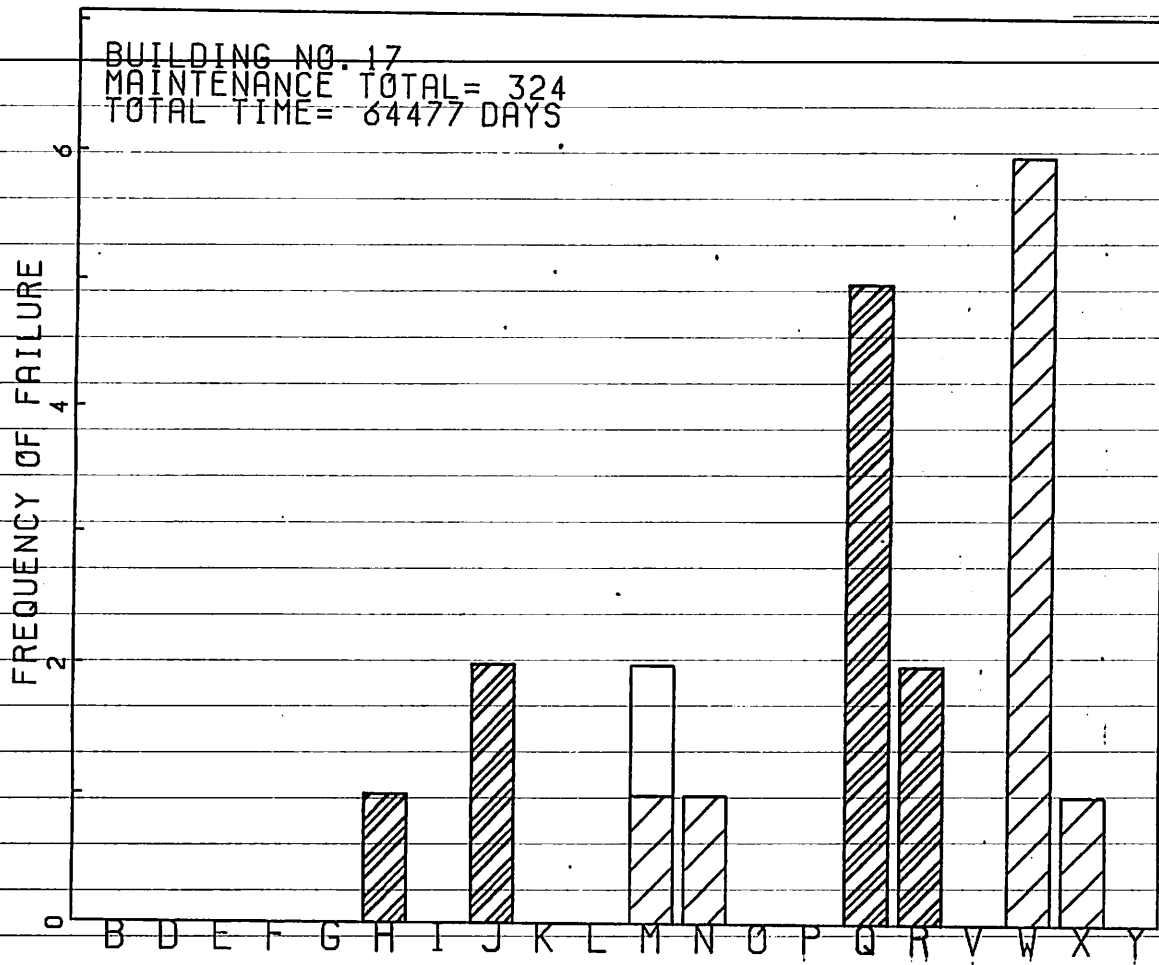
BUILDING NO. 15
 MAINTENANCE TOTAL = 390
 TOTAL TIME = 72306 DAYS

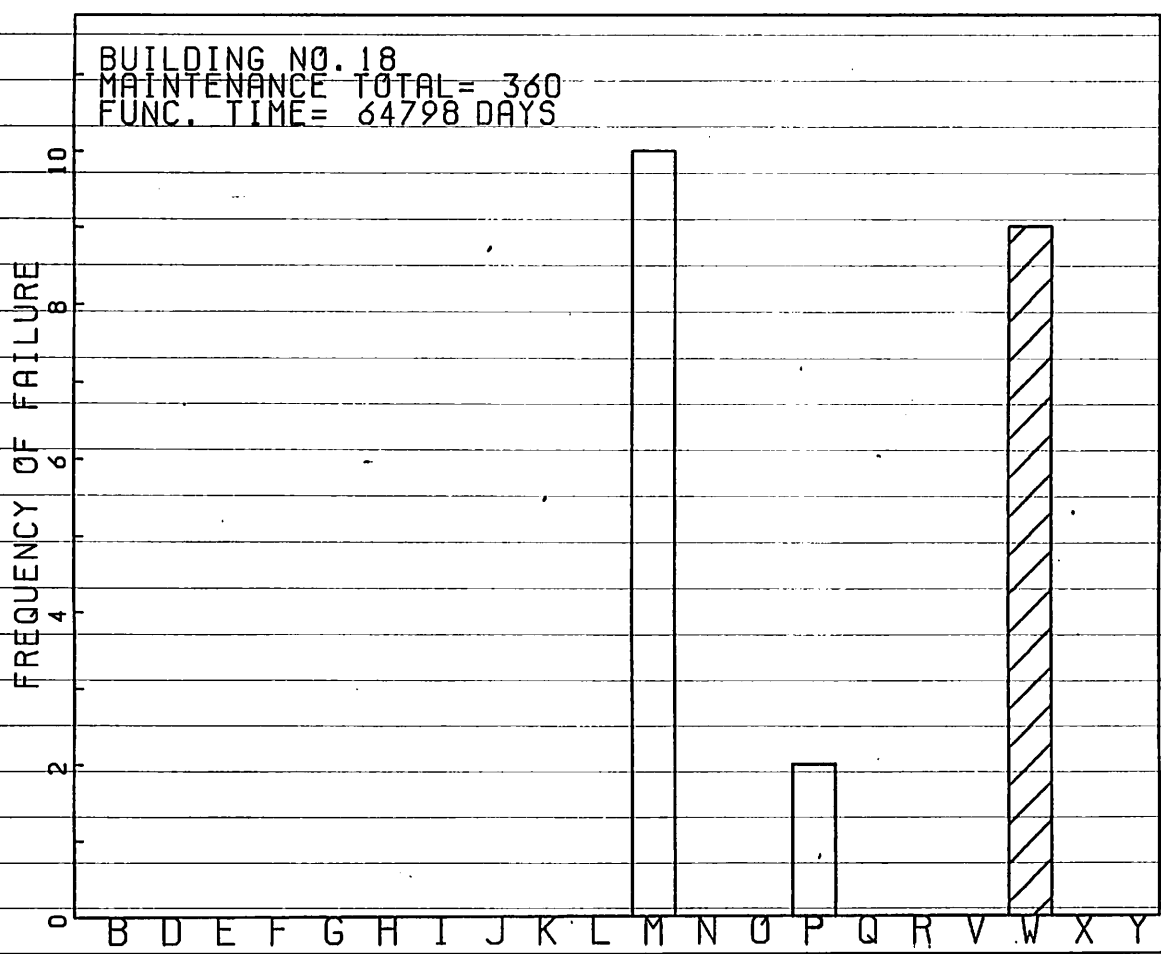
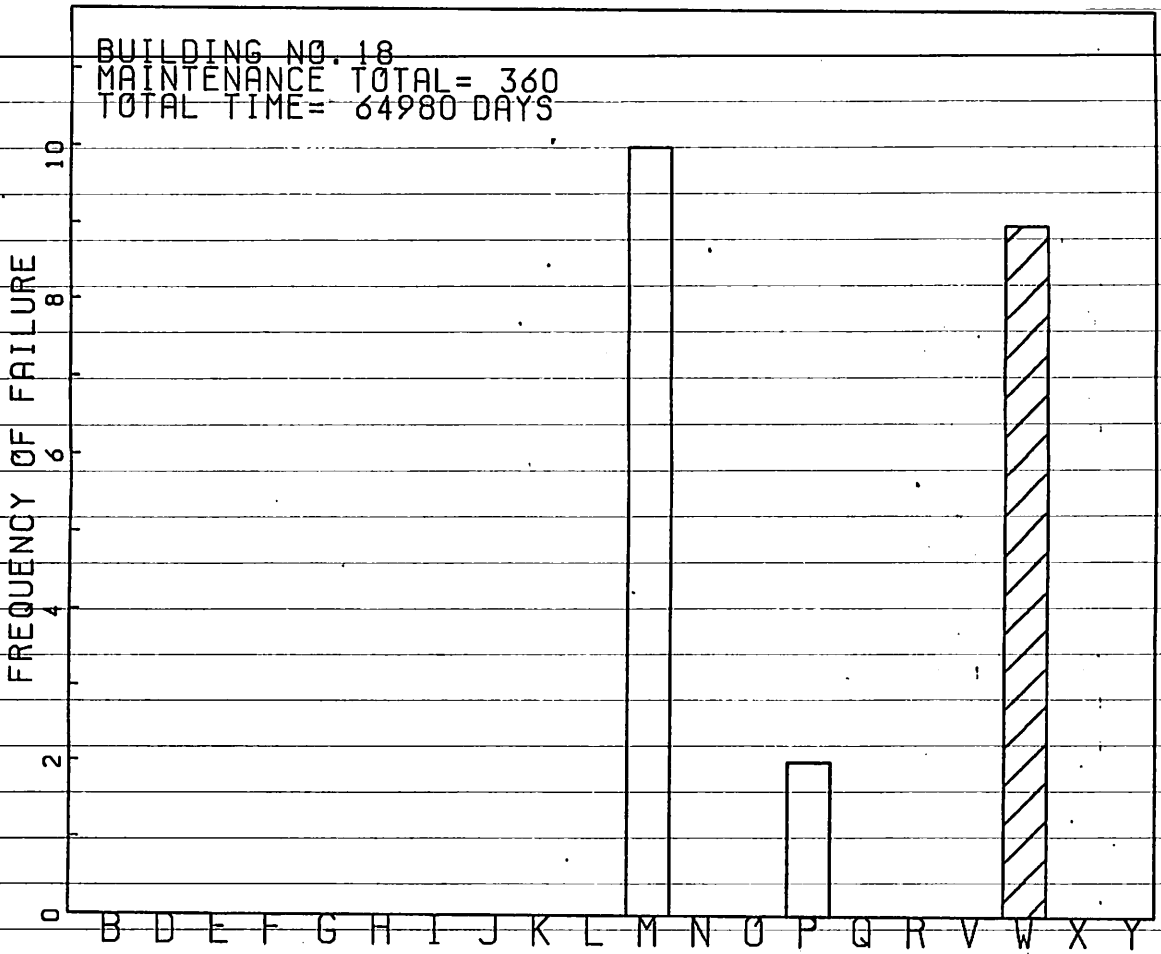


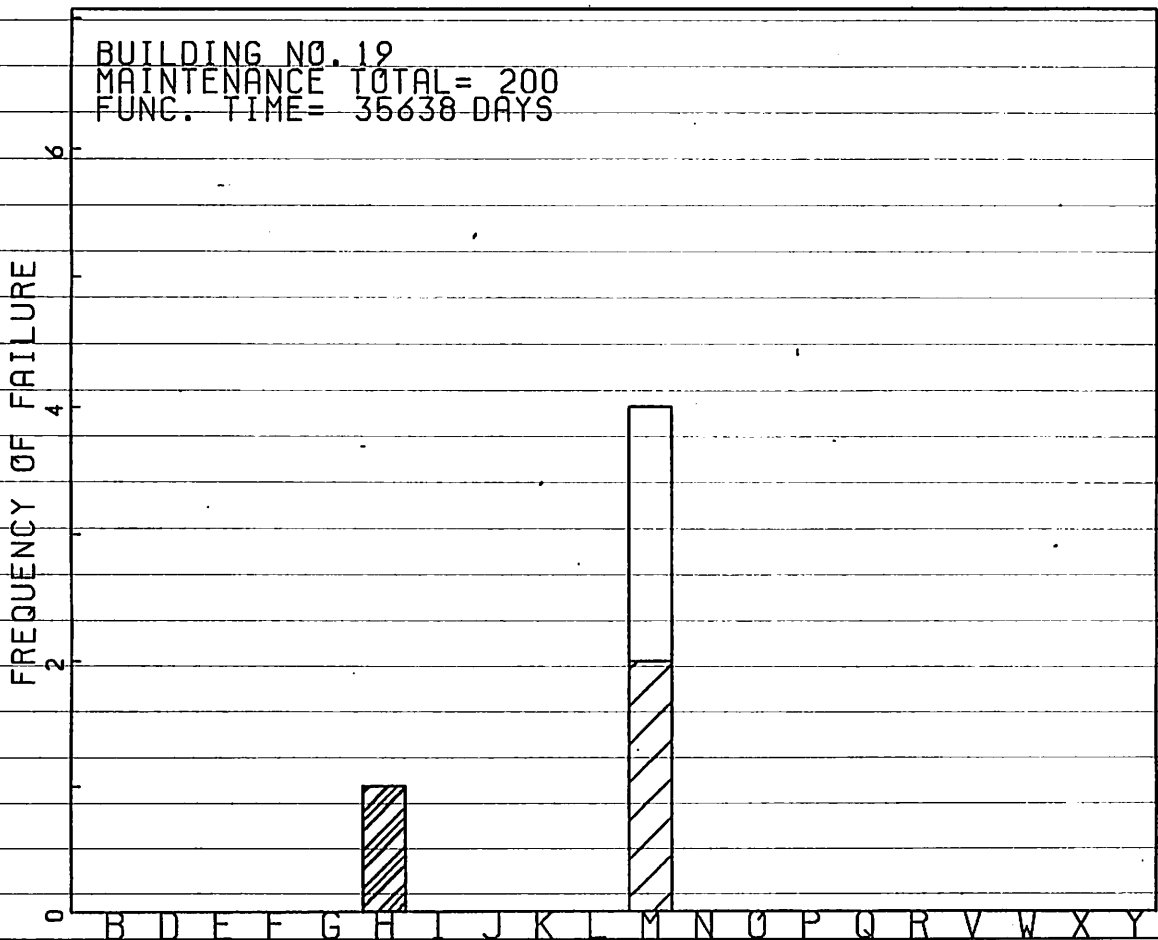
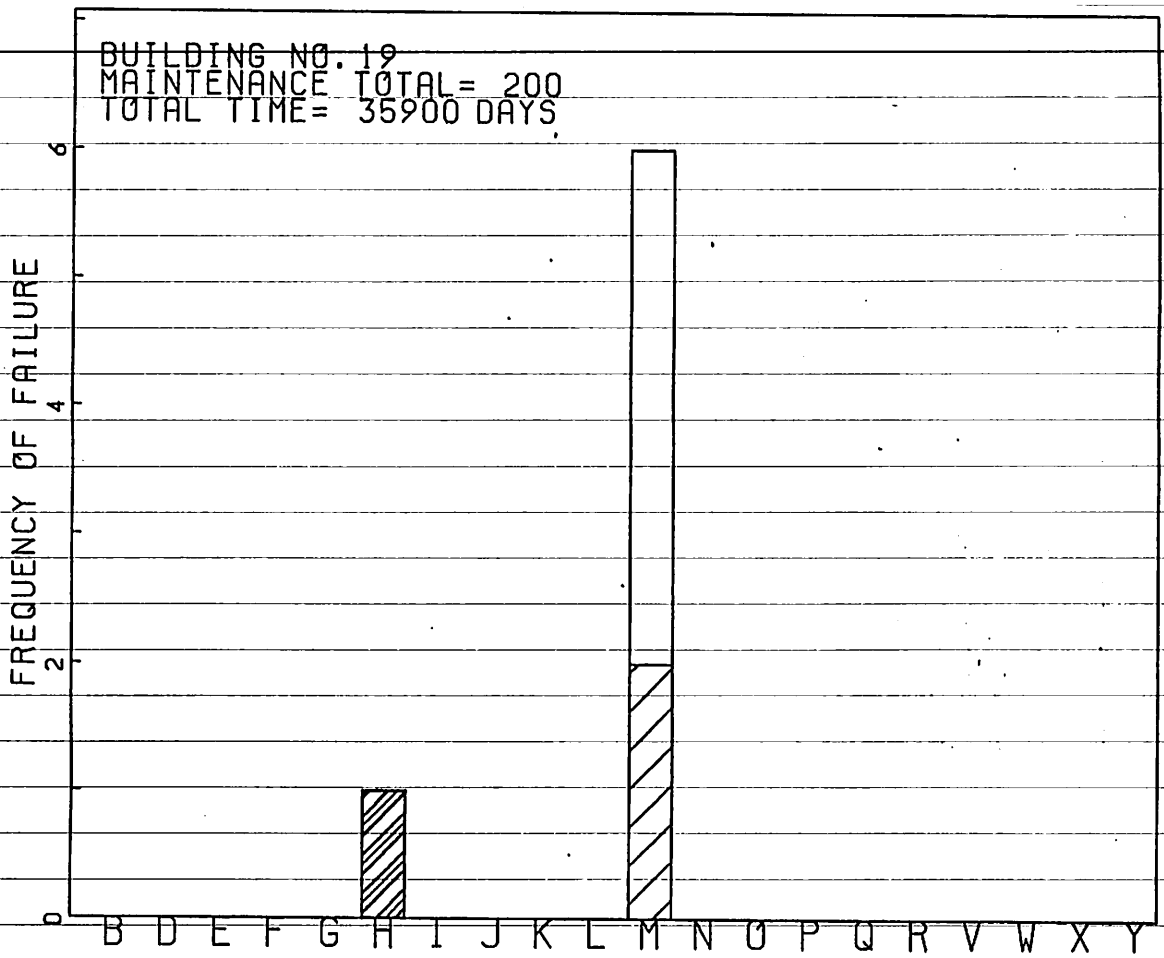
BUILDING NO. 15
 MAINTENANCE TOTAL = 390
 FUNC. TIME = 70967 DAYS



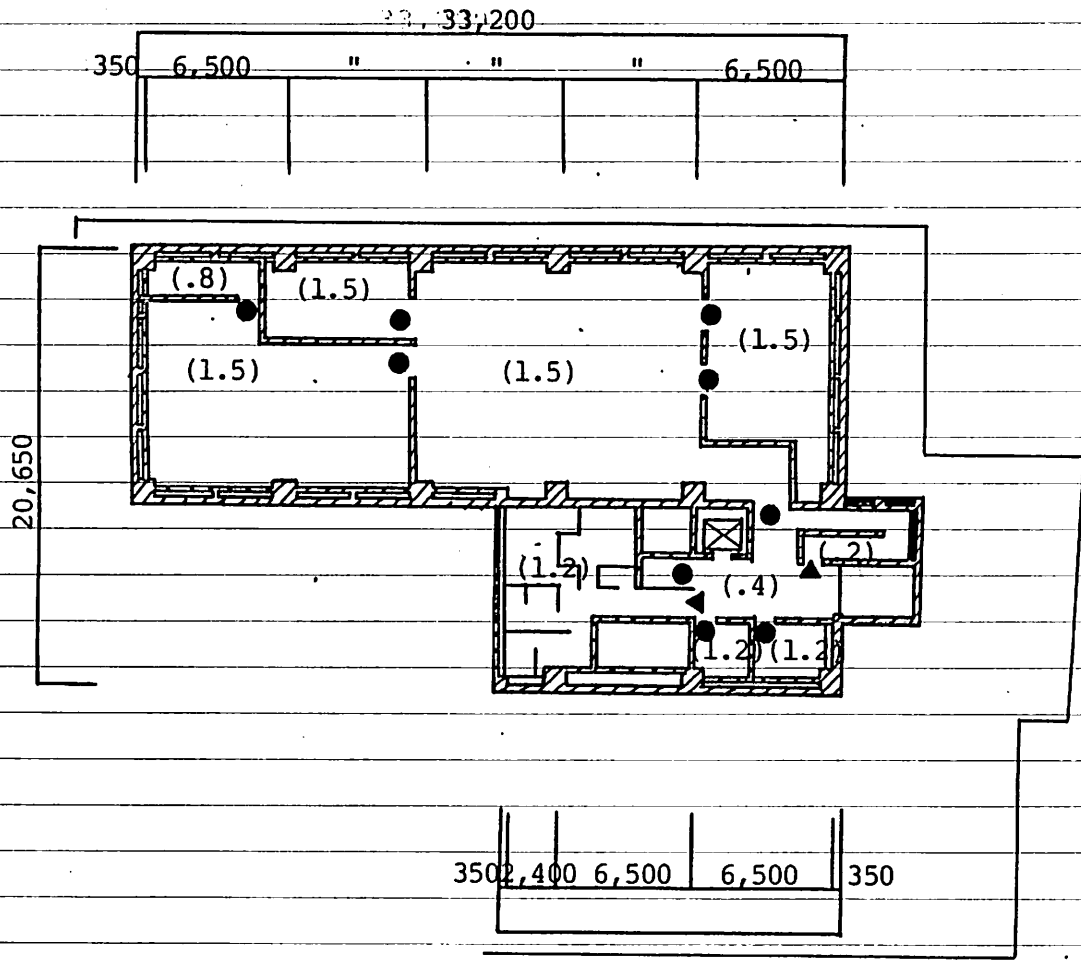








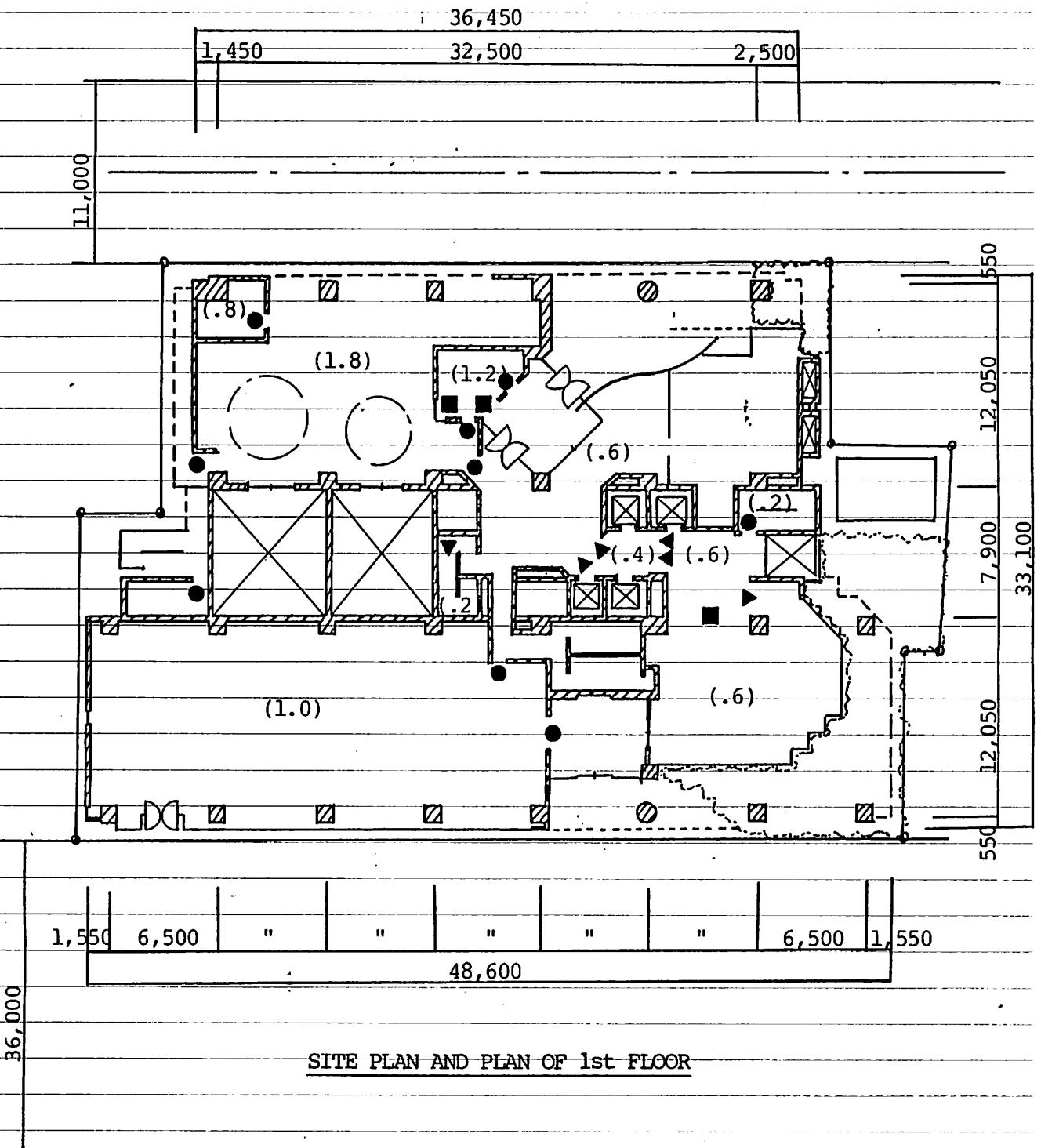
資料3 計算を行った建物の平面図



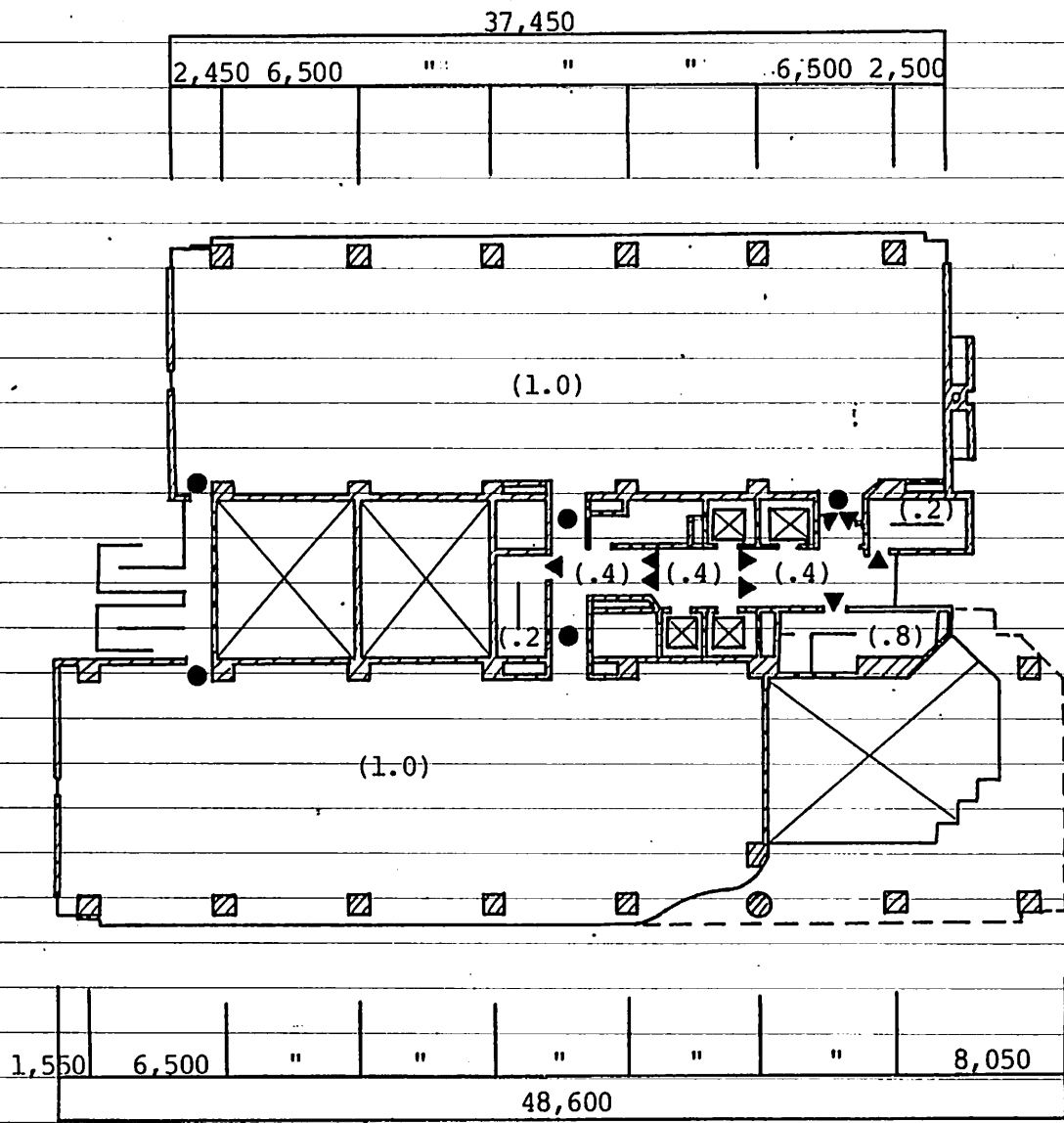
▲ FIRE DOOR NORMALLY OPEN ● FIRE DOOR NORMALLY CLOSE

(###) --- RATIO OF FIRE RATE

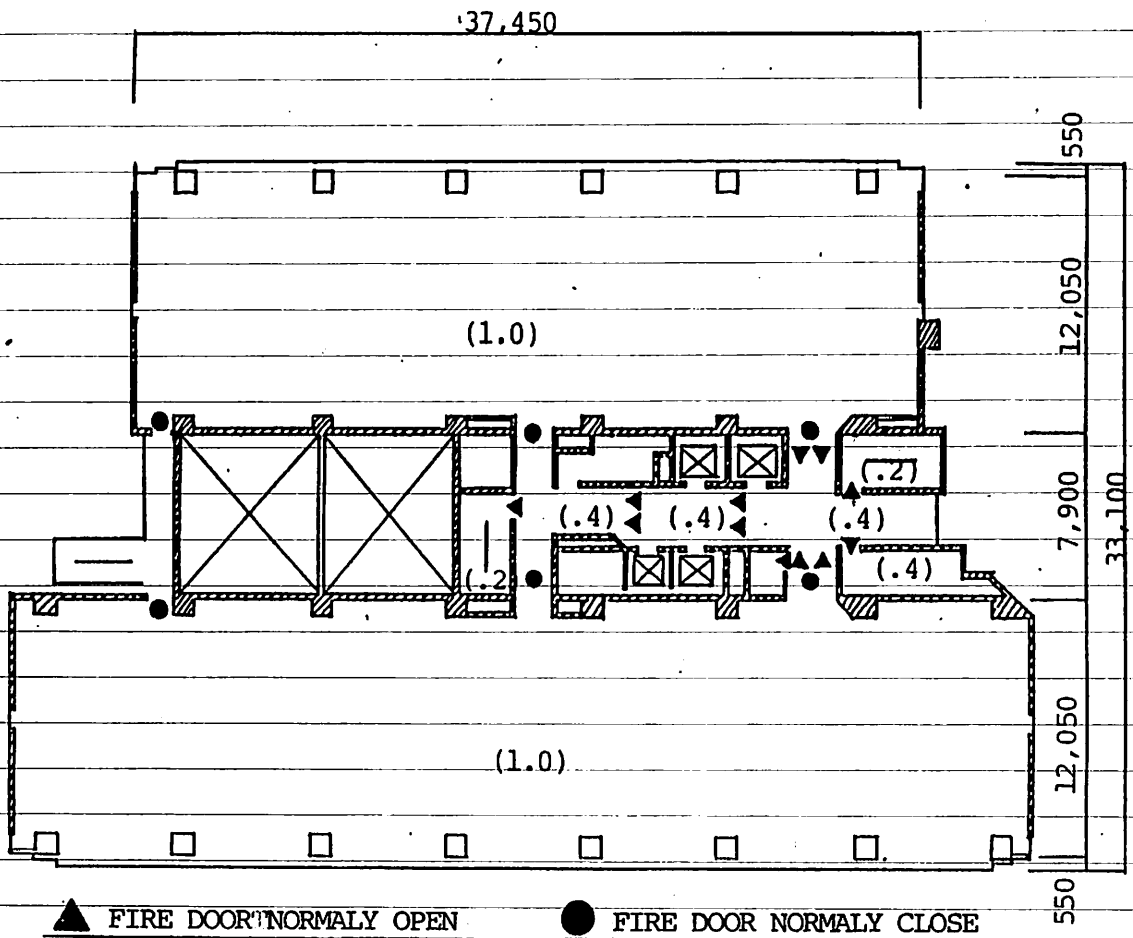
PLAN OF B1 FLOOR



SITE PLAN AND PLAN OF 1st FLOOR



PLAN OF 2nd FLOOR



▲ FIRE DOOR NORMALLY OPEN

● FIRE DOOR NORMALLY CLOSE

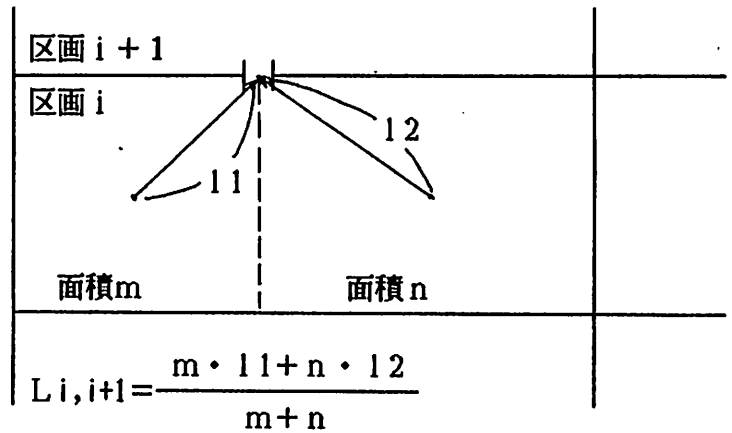
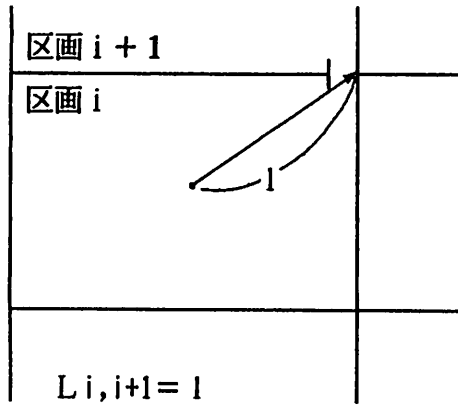
(###) --- RATIO OF FIRE RATE

PLAN OF 3-9th FLOOR

資料4 距離のパラメータの与え方

第3章での計算で与えた区画内から区画外、区画と区画の間の距離の代表値の与え方について例を挙げる。

1) 区画内から区画外の距離



2) 区画と区画の間の距離

