大規模事務所建物における故障・不具合の発生件数の特性と 外注の場合を含む修復所要日数に関する調査研究

STUDY ON FEATURES OF OCCURRENCE AND TERM TO REPAIR INCLUDING OUTSOURCING CASE OF FAULTS OR DEFECTS AT LARGE-SCALE OFFICE BUILDING

高草木 明*, 町田勝美***, 大澤昌志**

Akira TAKAKUSAGI, Katsumi MACHIDA and Masashi OHSAWA

The aim of this work is to provide data for improving the planning of office buildings maintenance. We got the maintenance record of a large-scale office building that lasts about 11 years since building completion. The record includes the data of 10,937 faults or defects. Using this record data, the features of the occurrence and the term to repair of faults or defects are grasped. The record data include the information about the outsourcing of repair work. This paper also presents the results of the analysis concerning to the outsourcing ratio that will relate to the planning of number of maintenance staffs.

Keywords: Office building, Fault, Defect, Maintenance, Outsourcing

事務所建物, 故障, 不具合, 保全, 外注

はじめに

建物では竣工後、建築部位・部材や設備機器等に様々な故障・不具合^{注1)}が数多く発生する。この実態に関する知見は、建築を論じるうえで欠くべからざる基礎的な知識として蓄積されるべきであろう。

故障・不具合への対応は建物管理者にとって即応を要する優先的な業務であり、建物の管理において重要な業務である。故障・不具合の発生とこれへの対応状況の把握は、建物保全現場での保全計画のための基礎資料として実務的な価値も高い。しかし、これが調査研究対象となることは稀である。

小松と高草木は、大規模な事務所建物1例¹⁾と中小規模事務所建物3例²⁾における不具合発生と建物管理者による対応の実態について保全記録に基づく調査分析を報告している。また、高草木らは某大規模事務所建物の保全記録データから、保全現場における繁忙状況の故障・不具合修復に要する時間への影響を明らかにした³⁾。これは、故障・不具合に対する保全体制（保全人員数）の過不足を評価する方法の提供を目的としたものである。保全記録データに基づく研究は少なくないが^{6)~9)}、上記の3編の論文以外に、故障・不具合全般を対象とした記録データに基づく研究は見当たらない。

著者らは、上記既往研究に使用したデータとは別の某大規模事務所建物の保全記録データを入手した。このデータは、建物竣工以来の約11年の長期に亘るものであること、故障・不具合の修復業務につい

て外部に委託したものが区分されていること、等が既往研究に用いた保全記録データになかった特徴である。

本研究は、この大規模事務所建物の保全記録データの分析により、故障・不具合の発生状況の実態把握を行い、基礎的な知見の蓄積をはかるとともに、保全体制の計画に重要な知見として備えるべき故障・不具合の修復業務の外注状況を把握する。保全体制を中心とする保全計画策定の基礎資料を提供することが本論文の主な目的である^{注2)}。

なお、この調査対象建物を含め13件の建物の保全現場で、故障・不具合に関わる記録の業務水準について聞き込み調査した。この結果により、本論文で用いているような保全記録データの存否の状況を示し、本研究に使用した保全記録データの希少性を論じた。

1. 本研究に使用した保全記録データの概要

本研究には、故障・不具合の発生日と処置完了日が含まれている某大規模事務所建物の保全記録のデータを使用した。表1は調査対象建物の概要及びデータ取得期間である。データ取得期間は1996年10月(竣工時)から2007年6月までの約11年間3,910日である。故障・不具合は建物の部位部材(以降、建物)、電気設備、衛生設備、空調設備、機械設備、防災設備、その他に及んでいる。

故障・不具合発生件数の調査期間中の総件数は10,937件である。些細なものも保全員の稼働が生じたものは全て含まれている。

* 東洋大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

** 東洋大学大学院工学研究科 博士前期課程

*** (株)NTTファシリティーズ
(研究当時、東洋大学学生)

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Toyo Univ., Dr. Eng.
Graduate Student, Graduate School of Engineering, Toyo Univ.
NTT Power and Building Facilities Inc.
(Former Student of Toyo Univ.)

表 1 調査対象建物概要

竣工年月	1996 年 9 月
建物用途	事務所、店舗、ギャラリー、飲食店
所在地	東京都
階数	地下 4 階、地上 34 階
延床面積	142,759m ²
データ取得期間	1996 年 10 月 1 日～2007 年 6 月 15 日 観測日数：3,910 日（閏年を含む）
その他	空調設備は DHC からの熱供給を受けている

2. 故障・不具合に関する記録業務の水準に関する調査

建物の現場での保全業務品質の水準には建物によってばらつきがあると考えられる。著者らは文献⁴⁾に細分した保全業務個々の水準を具体的な仕事の仕方として表現した。この業務水準の分類を用い、表 2 に示す 13 件の事務所建物において、どの水準で業務がなされているかを調査した。この調査は建物の保全を請け負う会社、または保全現場を訪問し、担当者から直接ヒアリングを行った。建物所有企業は B ビルと D ビルが同じ、他は全て異なる。

本節では、この調査結果の内、故障・不具合の記録の水準に関する 6 つの質問とその回答の結果を示す。

表 2 調査対象事務所建物延床面積（m²）

A	約 160,000	F	25,462	K	6,291
B	142,759	G	21,251	L	5,975
C	82,857	H	13,858	M	約 3,000
D	74,827	I	11,883		
E	55,556	J	約 10,000		
延床面積が概数となっている建物は、調査への回答の匿名性の徹底を期したいという回答者の意向による。					

①故障・不具合の発生状況の記録の対象について下記の L1～L4 の選択肢を設けてどの水準が採用されているかを質問した。

- L1:故障・不具合の状況・原因・処置結果を主なもののだけでなく、些細な故障・不具合についても記録している
L2:主な故障・不具合の状況・原因・処置結果について記録している
L3:主な故障・不具合の状況のみ記録している
L4:故障・不具合の状況を記録していない

これに対し、I ビルが L3 と回答し、他は全て L1 と回答した。多くのビルでかなり詳細な保全記録が残されていることが分かる。

②故障・不具合の発生時刻と修復に要した時間の記録については、次の中からの選択を求めた。

- L1:故障・不具合の発生時刻及び修復完了時刻を記録している
L2:故障・不具合の発生時刻のみを記録している
L3:故障・不具合の発生時刻を記録していない

これに対し、C ビル、K ビル、L ビルが L2 と回答、I ビルが L3、他は全て L1 であった。約 7 割が発生時刻と修復完了時刻とを記録している。

③現時点で処置を完了していない故障・不具合の保全記録上の管理について次の選択肢を設けた。

- L1:現時点で処置を完了していない故障・不具合を記録し担当者以外でも情報共有で把握できるようになっている
L2:故障・不具合に対応した担当者のみが把握している
L3:現時点で処置を完了していない故障・不具合を記録していない

この質問には C ビルと M ビルのみが L2 と回答し、他は L1 であった。どのビルでも、保全記録において、処置を終えていない故障・不具合は分かるようになっている。

- ④修理費、修理依頼先の記録等について次の選択肢を設けて質問した。
L1:修理費に加え、修理依頼先、修理内容等が記録されており、検索可能な状態となっていて、他のビルとも情報を共有している
L2:修理費、修理依頼先、修理内容等が記録されているが、他のビルとの情報共有はしていない
L3:修理費の把握には都度、経理台帳等を調べる

この質問には、F、G、H、I ビルが L1、A、B、C、J、K、L ビルが L2、D、E、M ビルが L3 であった。約 77%の保全現場が修理費等を記録している。

⑤保全記録に基づく非修理系の器具・部品の寿命の把握と予備品管理に関して次の水準を設定した。

- L1:非修理系の器具・部品について取替えた数量と時期を記録し、寿命分布を把握して予備品を管理している
L2:非修理系の器具・部品は取替えた数量と時期を記録している
L3:非修理系の器具・部品は、都度、取り替え、記録していない

これに対し、E、K、L、M ビルが L2 と回答し、他は L1 と回答した。約 70%のビルで蛍光管などの取替えを記録し、予備品管理を行っている。

⑥定期点検の成果の分析・評価に関し、次の選択肢を設けた。

- L1:定期点検で発見された不具合が記録され、定期点検の意義が評価されている
L2:主要機器のみ定期点検の結果が記録されている
L3:定期点検の結果が記録されていない

この設問に対し、L、M ビルのみが L2 と回答し、他は全て L1 と回答した。なお、他の質問から、機器等の定期点検、定期取替えの周期は調査ビル 13 件全てで計画され決められていることが分かっている。

この調査で、先に挙げた既往研究や本研究に用いているような保全記録は重要視され高い水準でなされているため珍しいものではないことが分かった。しかし、B ビル（本研究の調査対象）と D ビル（著者らによる文献 3）の既往研究での調査対象）以外では、データの提供はできないとのことであった。保全記録データ自体が希少なのではなく、研究に提供されるデータが希少なものである。保全記録データの分析結果等は公表されることは非常に少なく、当該ビル関係者の間でのみの知見に留まっている場合が多い。

本論文に用いたデータは、データの希少性だけでなく、保全記録としての質が高く、建物保全の模範的な基準値としてのベンチマークを提供するものであるという点の価値も大きいと思われる。

3. 大規模事務所建物における故障・不具合発生の特性

3. 1 発生件数

表 1 に示した調査対象建物は表 2 では B ビルである。この建物で発生した故障・不具合を建物と設備種別毎に分け、それぞれの件数を比べると図 1 のようになる。建物、衛生設備、空調設備、電気設備は件数の差が小さくこれらの合計（調査期間総計）で 87.3%を占める。空調熱源は地域熱供給を受けているので、熱源設備に関わる故障・不具合は含まれない。機械設備と防災設備は件数が少ない。

文献 3 の研究に用いた大規模事務所建物（表 2 では D ビル）における同様の故障・不具合件数を 1 日平均、延床面積 1000m²あたりの原単位で比較すると図 2 のようになる。電気設備に顕著な相違が

図1 建物・設備区分別故障・不具合発生件数

図2 建物・設備区分別の1日平均、延床面積1000m²あたり故障・不具合発生件数（原単位）

ある。文献3の研究に用いたビルはツインタワーの片方の事務所棟であり、調査対象の保全記録には受変電設備が含まれていない。また、ビルオートメーションシステムはリモート側のみが保全記録の対象でセンターの監視装置は含まれていない。本研究の調査対象建物は、1階に店舗（書店）、ギャラリー、地下1階にスーパーマーケット、飲食店があり、これらの用途では事務室よりも電気設備の故障・不具合が多い。このような事情により大きな相違が生じている。

なお、照明球の球切れは別途管理であり、故障・不具合のデータには含まれていない。

3.2 発生の時と場所

図3は、曜日別の故障・不具合発生確認件数である。平日の発生確認件数は、ほぼ同じである。土日は平日に比べると発生確認件数が少なく、平日の2分の1以下の件数となっている。

図4は、時間帯別の故障・不具合発生確認件数である。9:00～15:59が他の時間帯に比べて発生確認件数が多いが、昼前後の時間帯（12:00～12:59）には急激に発生確認件数が減少し、ピーク時間帯の件数の約4分の1となっている。

最も故障・不具合発生確認件数が多いのは、10時台の1289件（11.79%）、次いで9時台の1101件（10.07%）である。

図3、図4において、発生確認件数は発生時間の記録によってい

図3 曜日別の故障・不具合発生確認件数

図4 時間帯別の故障・不具合発生確認件数

図5 建物階別の故障・不具合発生件数

る。発生時間とはビル管理者が故障・不具合の発生を認識し、対応に着手した時間である。従って、この件数には、建物居住者や建物保全関係者の活動状況の影響がある^{注3)}。

図5は建物階別の故障・不具合発生件数である。地下1階の件数が1478件と最も多い（13.8%）。地下1階と1階の商業用途では一般の買い物客や飲食店の客が多く、故障・不具合発生件数が多い。地下2～4階には、駐車場、特高の受変電設備、塵芥処理設備等があり、地下2階と地下4階では、車路管制装置やこれらの設備の故障・不具合が多い。

3.3 発生の発見と通告

故障・不具合は、建物保全担当者の点検等による「発見」、居住者からの「申告」、ビルオートメーションシステムからの「アラーム」のいずれかによってその発生が知らされる。図6は設備毎にその割合を示したものである。防災設備は74.4%を占める「アラーム」が最も多い。これ以外は「申告」による発見が最も多く、建物は87.8%、衛生設備は80.6%、空調設備は46.6%、電気設備は51.8%、機械設備は68.8%を占める。全体では65.6%が「申告」による。「申告」により発見された故障・不具合は、居住者によって認識された機能、性能に関わる故障・不具合であり、居住者満足度に影響する要素である。

図6 建物・設備区分別故障・不具合発見区分の割合

3. 4 発生間隔

故障・不具合の平均発生間隔は、総観測日数／総件数より、0.3573 日となる。延床面積 1000m² 当たりでは、51.0 日となる。

故障・不具合の間隔は日単位とし、1 日に k 件 (k ≥ 1) 発生している場合には、1/k を間隔データとした。その日最後の k 番目の故障・不具合から、翌日の最初の故障までの間隔も 1/k とする。翌日以降 j 日間 (j ≥ 1) 発生が無い場合には、前に故障・不具合が発生した日の k 番目の故障・不具合から j+1 日目の最初の故障までの間隔を j + (1/k) とした。表 3 に故障・不具合の間隔と発生件数の数え方を示す (解り易さのため、数値は実態値ではない)。

このようにして求めた故障・不具合の発生間隔について、0.5 日きざみで度数分布を作成すると図 7 のようになる。信頼性工学において故障間隔はワイブル分布に従うことが知られている。この分布は、確率密度関数が、

$$f(t) = m \frac{t^{m-1}}{\eta} \exp \left[-\frac{t^m}{\eta} \right] \quad \dots (1)$$

η：尺度パラメータ、m：形状パラメータ、で表される。

尺度パラメータ η と平均故障間隔 t₀ との関係は、

$$\eta = t_0 / \Gamma(1 + 1/m) \quad \dots (2)$$

t₀ = 0.3573 として、t を 0.5 日きざみとし式 (1) を 0.5 の幅で積分して求めた確率から期待度数を求めた。この場合、図 7 の

表3. 故障・不具合の間隔と発生件数の数え方

日	故障・不 具合番号	故障・不具合 間隔	日	故障・不 具合番号	故障・不具合 間隔
1	①	0.25	5	⑧	0.5
	②	0.25		⑨	
	③	0.25	6	発生無し	1.5
	④	0.25	7	⑩	
2	⑤	0.3333	8	⑪	観測打ち切り
	⑥	0.3333			
	⑦		計	11 件	7(日) 不完全データ
3	発生無し				
4	発生無し	2.3333

図7 故障・不具合発生間隔の度数分布

形から形状パラメータ m は明らかに m < 1 である。そこで m の値を 0.7 近辺で 0.01 きざみで変えて、期待度数を計算しカイ二乗値を求めたところ、m = 0.70 のとき最小になった。m = 0.70 のときの計算結果を表 4 と図 8 に示す。ただし、自由度 9 で 1% 有意のためには $\chi^2 \leq 21.7$ でなければならないから適合性は棄却される。しかし、図 8 から分かるように決してかけ離れてはいない。

96% 以上が発生間隔は 1 日以内であり、周期性は無く、ランダムな発生でもない。ランダムに発生する場合 (m = 1) に比べれば、間隔が 1 日以上の場合の度数割合が高い。

表4 故障・不具合発生間隔の実態度数と期待度数

t の範囲	実態度数	確率	期待度数	χ^2
0-0.5	9921	0.8889	9714.01	4.41
0.5-1	606	0.0840	918.12	106.11
1-1.5	214	0.0199	217.34	0.05
1.5-2	99	0.0059	64.25	18.80
2-2.5	51	0.0020	21.52	40.37
2.5-3	18	0.0007	7.84	13.15
3-3.5	16	0.0003	3.04	55.17
3.5-4	0	0.0001	1.24	1.24
4-4.5	1	0.0000	0.53	0.43
4.5-5	2	0.0000	0.23	13.62
計	10928	1.0018	10948.13	253.34

図8 実態度数と期待度数

3. 5 初期故障期

図 9 は、調査期間中の月毎の故障・不具合発生件数の推移である。建物全体での故障・不具合発生件数では、竣工後 3 ヶ月、電気設備は竣工後 2 ヶ月、空調設備は竣工後 3 ヶ月の件数が多く、初期故障期の故障率低減傾向が明確に認められる。衛生設備にはそのような特徴は見られなかった。

建物の保全では初期故障期には特別な人員体制が採られることが多い。従って、保全計画上その実態を把握することは極めて重要で

図9 調査期間中の月毎の故障・不具合発生件数の推移

ある。初期故障期の故障率低下の時系列変化は、ワイブル分布における形状パラメータ m が $m < 1$ のとき故障率関数が下に凸の単調減少となることから、これを当ててモデルとして表現される。バスタブカーブと呼ばれる故障率のライフサイクルモデルの一部（初期故障期）である。

故障率は、ある時点まで動作してきたアイテムが引き続く単位時間内に故障を起こす割合であり、瞬間故障率と平均故障率がある。実際のデータから故障率を観測するには、平均故障率を次式から求める⁵⁾。

$$\text{平均故障率} = \text{期間中の総故障数} / \text{期間中の総動作時間} \quad \dots\dots (3)$$

月毎の場合は竣工後1年間（1996年10月～1997年9月）では、図10のようになる。縦軸は延床面積1000 m^2 あたり月間件数としている。平均故障率 $\Lambda(t)$ は瞬時故障率とは定義が異なり、信頼度関数と関連しない。従って、当てはまりのよい単純な減少形の関数を見出せばよい。対数関数が比較的良好に当てはまり、その回帰式は、

$$\Lambda(t) = -0.2747 \ln(t) + 1.2665 \quad \dots\dots (4)$$

$$t = 1, 2, \dots, 12 \text{ (竣工以来の月次)}$$

となり、決定係数は $R^2 = 0.8093$ となった。

初期故障期における月次の平均故障率の変化が、実態データに基づく回帰式として捉えられた^{注4)}。

4. 修復の所要日数と外注

4. 1 修復に要した日数の分布と外注状況

図11は修復に要した日数の分布を示したものである。多くは1日で修復が終わっており（有効件数の88.2%）、修復日数が

図10 竣工後1年間の月次の平均故障率とその回帰曲線

増えるごとに件数は少なくなっている。また、31日以上要したものも96件ある。信頼性工学においては、故障修復時間の分布は対数正規分布によく当てはまることが知られている。このデータは日単位なので対数正規分布への当てはめはできないが、「大方の故障は短時間で復旧するが、修復に長時間要するものも少数存在する」という定性的な特徴の説明は共通する^{注5)}。

建物・設備それぞれの故障・不具合件数を外注と非外注に分けて示したものを図12に示す。各設備の故障・不具合の外注割合は、建物と衛生設備がともに23.2%、空調設備が20.1%、電気設備が21.0%、機械設備が65.4%、防災設備が14.8%であり、エレベータを含む機械設備のみが50%を超えている。

原因別の故障・不具合発生件数の外注・非外注別の割合を図13に示す。外注割合は、設備故障（機械的・電氣的故障）が54.5%、人為故障が16.4%、劣化故障が30.0%、原因不明が22.2%となっており、設備故障の外注割合のみが50%を超えている。

図11 故障・不具合の修復に要した日数の分布

図12 故障・不具合の建物・設備区分別外注件数と割合

図 13 原因別の故障・不具合発生件数の外注・非外注割合

図 14 外注、非外注別の修復に要した日数の分布

修復業務を外注した場合と外注せずに修復を行った場合に分け、修復までの日数の分布を示したものが図 14 である。修復日数の単純平均は、外注が 5.32 日、非外注が 2.26 日となり、平均的には修復業務を外注した場合のほうが、修復完了するまでに倍以上の日数を要している。修復日数の分布の形も大きな相違が認められる。

図 15 外注、非外注別の修復に要した日数の分布 (建物)

図 16 外注、非外注別の修復に要した日数の分布 (衛生設備)

4. 2 建物・設備種別毎の外注・非外注の修復日数の相違

図 15 は、建物の修復について修復業務を外注した場合と外注しなかった場合に分けて修復までの日数の分布を示したものである。修復日数の単純平均は、外注が 3.88 日、非外注が 1.90 日となっている。外注の場合でも 10 日以上かかる修復は少ない。

図 16 は、衛生設備の修復について修復業務を外注した場合と外注しなかった場合に分けて修復までの日数の分布を示したものである。修復日数の単純平均は、外注が 5.04 日、非外注が 1.50 日となっている。建物の場合と似て、10 日以上かかる修復は少ない。

図 17 は、空調設備の修復について修復業務を外注した場合と外注しなかった場合に分けて修復までの日数の分布を示したものである。修復日数の単純平均は、外注が 8.71 日、非外注が 1.84 日となっている。外注の修復については、即日修復が終了する場合の割合が小さく、修復に 10 日～30 日程度を要するケースが多いことが顕著な特徴である。

図 18 は、電気設備の修復について修復業務を外注した場合と外注しなかった場合に分けて修復までの日数の分布を示したものである。修復日数の単純平均は、外注が 5.05 日、非外注が 3.50 日となっている。非外注の場合の修復日数が他に比べて顕著に長い。

図 17 外注、非外注別の修復に要した日数の分布 (空調設備)

図 18 外注、非外注別の修復に要した日数の分布 (電気設備)

図 19 建物・設備種別による平均修復日数の外注・非外注での比較

図 19 は、建物、衛生、空調、電気それぞれの平均修復日数の外注、非外注での比較である。建築、各設備いずれにおいても修復を外注しているものの方が日数がかかっている。外注の場合、外注先への連絡や駆け付けに要する時間が影響する。また、本格的な工事が必要であったり、専門技術を要するような故障・不具合の場合に外注しているため、日数がかかっていると考えられる。特に空調設備において顕著である。電気設備は非外注の場合に平均修復日数が長く外注の場合と大差が無い。空調では故障修理に工事を伴うことが多く、電気では非外注の場合でも、停電作業のために修復に日数がかかる場合が多いと考えられる。

4. 3 故障・不具合のモード区分別の修復外注率

図 20 は、故障・不具合のモード区分別の件数を外注と非外注の件数を分けて示したものである^{注6)}。動作不能での故障が 2683 件と最も多く、機能低下の 1295 件、水漏れの 970 件、破損の 817 件、異常動作の 721 件、と続いている。

外注割合が 50%以上のものはガス漏れの 100%（但し 1 件のみ）、読値異常の 78.9%、制御不能の 58.5%、蒸気漏れの 50%であった。

図 20 故障・不具合のモード区分別外注・非外注件数

4. 4 空調設備のサービスマンテナンスの利用状況

建築設備機器の故障対応の保全は、当該機器の製造メーカーあるいはその関連会社が担うことが多い。製造技術に基づく保全であり、「サービスマンテナンス」と呼ばれている。衛生設備は、ポンプなどにサービスマンテナンスが適用されることがあるが、多くは空調設備が対象となる。

図 21 は空調設備の故障・不具合の修復を外注した総件数 363 件の外注先の割合である。この調査対象ビルでは、空調熱源は地域熱供給を受けている。このため熱源機器が無く、機器メーカーによるサービスマンテナンスの内容は、VAVユニットが最も多く、他に、空調機、ファンモータ、熱交換器などが対象である。バルブなどの配管付属機器の関連業者による修理、交換などはサービスマンテナンスに含めず、その他に分類している。計装会社のメンテナンスもサービスマンテナ

図 21 空調設備の外注修復の外注先割合

ンスに含まれると考えられる。これは 15.7%を占めている。

地域熱供給を受けている空調設備では、サービスマンテナンスの割合は小さく、外注する場合の 26%に過ぎない。61.16%が設備工事会社に発注されている。

本研究に使用した保全記録データは EXCEL 上において、故障・不具合 1 件毎に 1 行を使い、発生時間、修復完了時間、事象の状況、外注先等々のデータが残されている。約 11 年間、10,937 件の多量の記録であるから、中には若干の欠落（空欄）や明らかな入力ミスなどがある。本論文の図中に示したデータ数の若干の相違は、それぞれの分析目的に対し、記録にこのような不備のある故障・不具合データを除いたことにより生じたものである

結 論

本研究では以下の知見を得た。

(1) 建物保全現場での故障・不具合の記録業務について、一般にどの程度の水準で遂行されているかを調べるため、大規模から小規模まで 13 件の事務所建物で聞き取り調査を行った。多くの建物でこのような記録は高い水準でなされており、重要な業務と位置付けられていると考えられる。従って、本研究に用いているような保全記録は珍しいものではない。しかし、著者が調査研究の対象とした建物以外では、データの提供はできないとのことであった。保全記録データ自体が希少なのではなく、研究に提供されるデータが希少なものであることが明らかになった。

(2) 某大規模事務所建物の故障・不具合についての保全記録データを調査分析対象とした。この記録は建物竣工以来、約 11 年の長期にわたり、ごく些細な事象をも含んでいる。記録された故障・不具合は総件数で 10,937 件である。故障・不具合発生の特徴に関して、

i) 建物、設備区分別発生件数、曜日別、1 日の時間帯別、建物階別（建物用途別）などの発生件数、また、発生間隔の分布を示した。
ii) 故障・不具合の発見区分として、居住者からの「申告」、ビルオートメーションシステムからの「アラーム」、建物保全関係者による「発見」の別を示した。全体では居住者満足度に影響の大きい「申告」が 65.6%を占めている。

iii) 竣工から 1 年間の初期故障期について平均故障率の推移を実績データに基づく回帰式 ($R^2=0.8093$) として捉えた。

(3) 使用した保全記録データは故障・不具合発生時刻と修復完了時刻とが含まれており、また、修復を外注した場合には外注先も記録されていた。このようなデータの分析から以下の知見が得られた。

- i) 修復に要した日数の分布を示した。大方の故障は短時間で復旧するが、修復に長時間要するものも少数存在するという信頼性工学で知られる保全時間の分布の特徴に共通する。
- ii) 外注率を建物・設備区分別に見ると、エレベータを含む機械設備の外注率のみが特段に高いが、他は大きな相違がない。また、故障・不具合の原因区分別に見ると、設備故障（機械的、電気的故障）の場合のみ外注率が50%を超える。
- iii) 外注、非外注の別に修復に要した日数の分布は、1日で終了する故障・不具合のみ非外注の件数が多く、2日以上を要するものは外注の件数の方が多い。建物、衛生、空調、電気を個別に見ると、それぞれの外注率は20%を若干超える程度で差は小さい。いずれにおいても修復を外注している場合の方が修復日数が長くかかっている。建物、設備種別毎に、外注、非外注での平均修復日数の比較を示した。
- iv) 故障・不具合のモード区分別の件数を外注と非外注の件数を分けて示した。モードとして特に件数が多いのは動作不能であり、機能低下がこれに次いでいる。外注率が高いのは、ガス漏れ、読値異常、制御不能、蒸気漏れ、などである。
- v) 空調設備について、機器の製造メーカーあるいはその関連会社等によるサービスマンテナンスの利用状況を調べたところ、機器メーカーへの外注は10%。計装会社への外注は16%であった。調査建物では地域熱供給を受けており熱源機器が無い場合、2次側ではこのように少なく、多くは工事会社へ外注されている。

謝 辞

第2節の故障・不具合に関する記録の水準に関する調査は、全国ビルメンテナンス協会の中村孝之氏のご助力を得た。また、この調査には、当時、東洋大学工学部建築学科卒業論生の覚張寛也君（現、日本空調サービス）の貢献が大きい。記して謝意を表す。

注

- 1) 建物には修理系の能動機器の機能に係わる、すなわち信頼性理論の対象となるような「故障」以外に、多くの様々な不具合が発生する。例えば、大便器に携帯電話を落としたというような場合、取り出すのを保全員に頼るため保全員の稼働が発生する。本論文で「故障・不具合」とは、保全記録に残る保全員の稼働が発生した全ての事象を指す。但し、蛍光灯の取替えは別途管理のため含めていない。
- 2) 本研究は文献1)2)3)と一連の研究を成す。一貫した目的は、保全計画のための資料提供である。文献1)では不具合対応の保全効果検証という観点から、特に居住者の満足度との関係を念頭に修復時間に焦点を当てて分析した。文献2)では不具合の発生実態とこれに対処する保全の業務の量的負担の状況を分析した。文献3)では文献2)の後半の研究を進展させ、保全現場における繁忙状況が故障・不具合修復に要する時間に与える影響を定量化する方法を示した。

本研究では、故障・不具合発生間隔や修復時間の分布関数などによる定量的把握、また初期故障期の特性や外注状況などの定量的把握を試みた。これらをデータ分析の課題として設定するに当たり、仮に、モンテカルロ法により故障・不具合の発生とその修復をシミュレーションすることを想定し、これに必要な基礎資料の蓄積を意図した。ここで仮想したシミュレーションが実現すれば、様々な保全計画において、例えば文献12)の研究のように最適化をはかることが容易になると考えられる。

文献1)～3)および本論文において調査対象とした建物はそれぞれ全て異なる。いずれの調査建物も特殊性の少ない事務所ビルであり、個々の知見はある程度の一般性を有すると考えられる。従って、これら一連の研究で得られた知見は、建物所有者や居住者等による建物評価におい

てベンチマーク的な資料ともなるものである。

- 3) 図6から分かるように、故障・不具合は居住者から知られる場合が最も多く、建物保全担当者の巡回点検等で発見される場合がこれに次いでいる。土日および平日の夜間には、居住者も保全担当者も少ない。このため、人為的原因で発生する故障・不具合が少なく、また故障・不具合が発生していてもこれに気付く人が少ない。平日の昼休みは、点検作業が休止し、居住者による通報も少なくなる。従って故障・不具合確認件数が減少する。図3、図4のデータは保全担当者のローテーション計画などのための基礎資料として有用と考えられる。
- 4) 通常、大規模建物のビルメンテナンスでは、建物竣工後1年間程度は故障・不具合が多発し、現場が多忙となることを考慮し、応援の保全員を加える。保全計画において、この応援の稼働量を過不足無く推定するためには、このような資料が不可欠である。
- 5) 故障・不具合の修復に要した時間は、例えば近年注目されているSLA/KPI (Service Level Agreement/Key Performance Indicator) におけるKPIの一つとして重要である。修復に要した時間の評価においては、平均値だけでなく分布状況も含めて評価されねばならない。本論文で示した資料は、評価のベンチマークとなると考えられる。
- 6) 故障・不具合のモード区分は保全記録データにおける分類による。「暑い、寒い」は代表的な居住者からのクレームである。空調機能の問題のこともあるが、設定不良や個人の温熱感選好の問題の場合も多く、原因が多様である。このため独立した項目としている。「制御不能」は「動作不能」に含まれるべきと考えられるが、制御は技術分野として特化し外注先も限られその管理の都合などのため独立した項目となっている。このようなモードの分類は保全現場の長年の経験に基づくものであり、これを尊重し本論文では保全記録の分類をそのまま採用した。

参考文献

- 1) 小松佳正、高草木明：事務所建物における不具合発生と常駐管理者による対応の実態に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集、No. 540, pp. 259-265, 2001. 2
- 2) 小松佳正、高草木明：中小規模事務所ビルにおける不具合発生と建物管理者による対応の実態に関する調査研究、日本建築学会環境系論文集、No. 574, pp. 161-168, 2003. 12
- 3) 高草木明、大澤昌志、佐々木有生：大規模事務所建物の保全現場における繁忙状況の故障・不具合修復に要する時間への影響に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No. 616, pp. 141-151, 2007. 6
- 4) 高草木明、西千春、本田精一、小泉幸秀：建築設備の保全と管理の契約のための業務品質水準設定方法、日本建築学会技術報告集、第25号, pp. 197-202, 2007. 6
- 5) JIS 信頼性用語基本・一般編 (Z8115-1981), 日本規格協会, 1981
- 6) 村上公哉、尾島俊雄：某ビルにおける建物部位の保全要因の発生過程とその特性に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、No. 427, pp. 119-128, 1991. 9
- 7) 村上公哉、尾島俊雄、竹林芳久、高部素行：建物の保全費用からみた物理的要因の機能劣化に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、No. 418, pp. 115-124, 1990. 12
- 8) 竹林芳久・尾島俊雄・村上公哉・佐藤文人：某ビルの更新時における劣化要因別・部位別の保全費用構成に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、No. 431, pp. 129-136, 1992. 1
- 9) 高草木明：空調設備の物理的劣化の回復のための保全費用に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集、No. 459, pp. 27-36, 1994. 5
- 10) 森口繁一編：品質管理講座新編統計的方法、日本規格協会、1993
- 11) 市田嵩：改訂保全性工学入門、日科技連、1990
- 12) Ro-Yeul Kwak, Akira Takakusagi, Jang-Yeul Sohn, Shuji Fujii, Byung-Yoon Park, "Development of an optimal preventive maintenance model based on the reliability assessment for air-conditioning facilities in office buildings", Building and Environment, Elsevier Ltd., pp. 1142-1156, 2004. 10

(2008年9月4日原稿受理、2009年1月9日採用決定)