建築設備の保全作業における安全管理に関する 理論的研究

THEORETICAL STUDY ON SAFETY MANAGEMENT FOR BUILDING SERVICES MAINTENANCE WORK

高草木 明*

Akira TAKAKUSAGI

The purpose of this study is to formulate the mathematical expression of the risk of the accidents supposed to occur during the building services maintenance work, and to obtain the method to establish the safety management basis. During the maintenance work term, accidents are supposed to occur accidentally following by the Poisson distribution. The arrival rate of it expresses the accident occurrence frequency that can be decreased boundlessly by the safety effort. On the other hand, as for the severity of the accidents, introducing the concept "danger level", the distribution of the damage is formulated. The distribution is expressed by the logarithmic normal distribution that includes the "danger level" as a parameter. The risk is defined by the convolution of the distributions of the accident occurrence frequency and the severity. Finally, the method to lay down the safety effort level as a safety management basis by evaluating the risk is presented.

Keywords: bulding services, maintenance work, safety management, accident, severity, risk

建築設備, 保全作業, 安全管理, 災害, 災害強度, リスク

はじめに

建築界はフローからストックの時代に移ったといわれ、保全の高品質化が重要な課題となっている。保全は場当たり的なものでなく、保全計画に則って行われるべきである。建築設備の保全計画では、予防保全、オーバーホール、更新等における保全方策の合理化が主たる課題となる¹⁾。一方、保全行為そのものは現場での作業であり、常に災害が発生する危険性をはらんでいる。高品質な保全のためには、保全方策の合理化だけでなく、保全作業における災害防止のための安全努力が不可欠であり、そのための方針も保全計画に盛り込まれて然るべきである。

建築設備の保全現場での安全努力の具体的手法は、一般の建築工事現場の手法と多くが共通するものである。これらは、H. W. Heinrichの産業災害防止論²⁾を嚆矢とする災害防止の原則、災害の因果モデル・安全管理モデル等の研究^{3)~6)}や、人間エラーの防止に焦点を当てた人間信頼性工学⁷⁾、また、建築分野における災害の調査研究^{8)~9)}などにより導かれたものといえよう。

問題はこれにどの程度の努力（あるいは安全対策コス

ト）を注ぐべきかという基本方針の策定にある。安全には、ある一現場の安全もその現場だけの問題ではなく、社会的意味を持つという性格がある。このため、安全管理の基準は、災害の頻度と強度を併せて確率的に表現したリスクの提示を伴うものでなければならない。このような観点からの既往研究はごく少ない。産業災害について確率的に扱った研究としては、Briscoe¹⁰⁾および中村¹¹⁾が災害における被害の大きさ h とその災害の発生頻度 p との関係を $k = h^n p$ （ n と k は定数）のべき関数で記述することを提案し、花安が建設工事労働災害の被害強度・規模特性に関する統計分析の研究¹²⁾において、この関係から被害の大きさを確率変数に変換し、ごく簡単な確率分布式を導いている（注）という程度であろう。

そこで本研究は、建築設備の保全の安全管理計画手法の確立に向けて、建築設備の保全作業に対して災害リスクの理論式を導き安全管理基準の設定手法を得ることを目的とし、先ず、建築設備の保全における安全管理のあり方について概略検討した上で、災害頻度、災害強度について確率分布を導き、更にこれらを重畳してリスクの

* NTT ファシリティーズ 博士(工学)

NTT POWER AND BUILDING FACILITIES, Dr. Eng.

理論式を導出し、リスクの評価によって、安全努力への投資の程度を計画する手法を示した。

1. 建築設備の保全における安全管理のあり方

災害の発生要因として、不安全状態（環境要因）と不安全行動（人的要因）とがあげられる。今日の一般の建築物新築工事においては、労働安全衛生法・労働安全衛生規則等の規制や事業所における安全整備が行き届き高水準なものとなっており、検討課題としては不安全行動による災害対策に重点が置かれているといわれる¹³⁾。

建築設備の保全には、いわゆるビルメンテナンスにおける日常的保全から、改修工事までが含まれる。高所作業、高圧電力やガスを使用する機器についての作業、酸欠を生じ易い閉所作業等、その作業環境は多岐に亘る。既存建物での作業であり、その状況が作業環境として与条件となる。設計において保全作業性に十分な配慮がなされていない場合、保全員にとって不安全状態となる。文献¹⁴⁾に多くの事例が示されているように、それは少なくないのが実状である。また、建築設備保全の作業員は高齢化の傾向にあり、今後ともこれは進むものと考えられている¹⁵⁾。加齢によって危険に対する生理的反応が衰えるから安全環境整備は一層重要となる。建築設備の保全計画には環境要因・人的要因の両面から安全努力の計画が盛り込まれるべきである。

作業環境に関する安全努力の方法としては、長期的には、建築設備の新築時の設計において保全作業性に一層配慮すること、安全に関わる技術開発を推進すること、短期的には安全管理者による安全点検を行い現場での改善をはかることなどが挙げられる。また、不安全行動については、作業前の人選・教育、作業中の安全点検による不安全行動の指摘・是正等が必要である。これらの安全努力の程度を合理的に計画することが安全管理の重要な役割である。

このような安全管理のためには、リスクの構造を明らかにして、安全管理基準を設定する必要がある。ハインリッヒらは災害の頻度率と強度率とを分けて災害防止を論じている²⁾。また、Crouch と Wilson は、リスクを、リスク＝確率×重大性と定義し（×は重畳効果を表す記号であるが、ある適当な尺度を用いての単純な乗算ではないとしている）、確率とは起こりやすさの指標であり、重大性（severity）とは損害のひどさを表す主観的指標であるとしている^{16) 17)}。リスクの厳密な定義は確立されていないといわれる^{18) 19)}が、頻度と損害の大きさ（強度）によって構成されるものといえよう。以下、建築設備保全の作業において知覚され得るリスクの範囲内で災害頻度と災害強度とを個別に数理的に検討したうえで、そのリスクの理論式を導出し管理基準の設定方法を

示す。

主な記号

- ν : 災害発生率
- T_M : 保全作業期間
- w : 期間 T_M における災害発生件数
- $p_r(w)$: 期間 T_M において災害が w 回起こる確率
- z : 災害強度に関わる危険度
- $L(z)$: 災害によって生じる損害
- L_0 : 損害 L の初期値 ($= L(0)$)
- $\varepsilon(z)$: Δz あたりの損害増加率
- $A(z)$: 損害増加率 ε の揺動項
- $p(L)$: 危険度 z における損害 L の確率密度分布
- $P(L)$: 危険度 z における損害 L の確率分布
- L_p : 危険度 z における損害のメディアン
- L_m : 危険度 z における損害 L の平均
- L_r : 単位時間当たりの平均損害
- f : 経済性の観点からの災害発生率管理値
- r : リスク

2. 災害の頻度

災害の発生頻度は、100万労働時間当たりの災害件数である「災害度数率」や、労働者1000人当たりの災害発生件数である「災害千人件数」が尺度として利用されている²⁰⁾。これらは、生じた災害の結果について統計的に評価する尺度である。建築設備の保全計画において、安全努力を計画する場合、災害発生頻度の確率分布を想定する必要がある。

労働災害は偶発的に発生すると考えられるから、ポアソン分布に従って発生すると考えられる。とすれば、ある作業工程において、災害が時間 Δt の間に起こる確率を $\nu \Delta t$ とすれば、作業期間 T_M において w 回起こる確率 $p_r(w)$ は次式で表される。

$$p_r(w) = \frac{(\nu T_M)^w}{w!} e^{-\nu T_M} \quad \dots\dots(1)$$

災害の発生頻度を低くするためには上式の ν を小さくする安全努力が必要である。

ハインリッヒのドミノ理論では災害連鎖の五つの要因、

- ① 家系と社会環境
- ② 人的欠陥
- ③ 不安全状態・不安全行動
- ④ 災害
- ⑤ 傷害

をこの順でドミノ倒しのドミノに例えて、中心要因をなす不安全状態と不安全行動の除去によって先行要因の作用の無効化がはかれるとした²⁾。

建築設備の保全作業において災害頻度を低くするため

には、作業員の人選、作業に先だつ安全教育、危険予知活動、作業中の巡回・点検（いわゆる安全パトロール）^{21) 22)}、作業の自動化²³⁾等によって不安全状態や不安全行動の発生を抑制する努力がなされる。また、建築設備の設計において、竣工後の保全作業の安全性について配慮することも不安全状態の除去のために重要である。

これらの安全努力によって、不安全状態と不安全行動は抑制・低減され、(1)式の災害発生率 λ はいくらでも小さくすることができる。しかし、安全努力には費用がかかる。従って、安全管理の計画においては、災害頻度と災害強度（災害によって被る損害の程度）を併せたリスクによって妥当な災害発生率 λ を設定し、そのための安全努力費用の投資が計画されることが適当であろう。

3. 災害の強度

3-1 ハイน์リッヒの法則²⁾

ハイน์リッヒの"Industrial Accident Prevention"では、潜在的有傷災害の頻度に関するデータから、災害の強度の比率を1:29:300とした。これはハイน์リッヒの法則と呼ばれ、同書の災害の因果に関するドミノ理論とともに広く知られている。この比は同一の人間に類似した災害が330回起こるとき、そのうち300回は傷害を伴わず、29回には軽い傷害が、1回には重い傷害が伴うことを示しており、平均的場合についてのみあてはまるとしている。この比率は、稀な重い事故の原因分析だけによる災害防止対策は誤った安全指針を導くことになりやすいことを示し、今日の現場でのいわゆるヒヤリ・ハットの管理等の実践につながっている。

この比率に関して、全ての様式の災害に適用できるものではなく、全種類の災害の原因と様式の平均を表すものであることが強調されている。災害の頻度を増す原因と強度を増す原因とは異なるものであることがその理由とされている。この説明に、米国の安全管理者が事故の頻度を減少させることに取り組んできた結果、その副産物として重大事故が減少するであろうという期待がはずれ、度数率は低下したが強度率低下には効果が小さかったことを挙げている。また、全米安全協会による、災害の強度の災害様式（運搬、転落、電気等）別割合の統計データによれば、運搬災害は永久全労働不能障害の5.6%に過ぎないが、一時全労働不能障害の24.3%、永久一部労働不能の20.9%を占めている。一方、電気災害は永久全労働不能障害の13.4%を占めるが、軽い障害は全災害様式における比率としてはごく少ない。これらの実態例から、重い障害を発生する環境と軽い障害を発生する環境とは異なるであろうということを新たな結論としている。

以上の既往研究の見解を踏まえ、災害の強度の数値モ

デルを以下に考える。

3-2 災害強度モデル

災害の原因には不安全状態と不安全行動とがある。不安全行動は災害発生の頻度を増す要因となるが、災害の強度を増す要因には殆どならないと考えることができる。不安全行動によって生じる災害における傷害の強度は不安全行動をなした環境に大きな影響を受ける。例えば、吹き抜けパイプシャフトでの作業を考える。作業員に注意力が足りなかったり、キャットウォークが不足していたりすれば転落事故発生頻度は高くなる。そこから転落したとき落下距離が小さければ傷害は小さいことが多く、深く落下すれば傷害が大きくなることが多い。また、動力制御盤での結線作業において、十分なテーピングを怠り作業を進めれば、短絡事故の頻度が高くなる。短絡事故が生じたとき、電圧や配線用途によって人身への被害や物損の程度が異なる。転落した場合の落下距離や短絡を起こしたときの電圧や配線用途のような災害の強度にかかわる危険度を z で表す。災害によって生ずる物的損害あるいは人身傷害の程度（以下、これを損害という）を z の関数として $L(z)$ で表す。

危険度 z が大きくなれば、それにつれて損害 $L(z)$ が大きくなる。危険度 z における Δz あたりの損害増 ΔL を、

$$\Delta L = L(z + \Delta z) - L(z) \quad \dots\dots(2)$$
とする。

危険度 z における損害 $L(z)$ に対する Δz あたりの損害増加率 $\varepsilon(z)$ を考えると、

$$\varepsilon(z) = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{L(z) \Delta z} = \frac{dL(z)/dz}{L(z)} \quad \dots\dots(3)$$

となる。

Weberの法則によれば、ある強さ S の刺激を与え、続いて強さ $S + \Delta S$ の刺激を与えるとき、感覚の最小強度（just noticeable difference）が生じるのに必要な最小の ΔS に対して、 $\Delta S/S = \text{一定}$ という関係が成立する。危険度 z の大きさの評価は、この法則を踏まえ、作業環境について、その危険性を安全管理者の感覚に与える刺激と捉え、安全管理者が作業環境を診断するとき、災害が生じたと仮定した場合に感覚的に予測される損害の程度を、知覚し得る損害の増分毎に等間隔で評点として加点してゆくものと考えることとする。この感覚の強度を危険度 z とする。ここで安全管理者の作業環境診断によって感覚的に予測される損害とは仮想的な損害であり、後にその実体は明らかになる。このような想定とすれば、損害増加率 $\varepsilon(z)$ は危険度 z によらず平均的に一定値 ε と考えられる。とすれば損害 L の変化は、

$$\frac{dL(z)/dz}{L(z)} = \varepsilon$$

または、

$$\frac{d}{dz} \log L(z) = \varepsilon \quad \dots\dots(4)$$

となり、初期値 L_0 として、危険度 z での損害は次式のように指数関数的に増加することとなる。

$$L(z) = L_0 \exp(\varepsilon z) \quad \dots\dots(5)$$

損害増加率 ε は、実際の事故を考えれば、被害を受ける対象物の価値や個々の作業員の生理的反応による危険回避能力、衝撃を受ける人体の部位（打ちどころが悪いと大きな傷害を受ける）などの影響を受けるため平均値のまわりでランダムに変化すると考えられる。そこで ε に揺動項 $A(z)$ を加えると(4)式は、

$$\frac{d}{dz} \log L(z) = \varepsilon + A(z) \quad \dots\dots(6)$$

となる。これを積分すれば、

$$\log L(z) - \log(L_0 e^{\varepsilon z}) = \int_0^z A(z') dz' \quad \dots\dots(7)$$

となる。右辺の積分を Δz で分割して考えると²⁴⁾、

$$An = \sum_{j=1}^n \int_{(j-1)\Delta z}^{j\Delta z} A(z') dz' = \sum_{j=1}^n a_j \quad \dots\dots(8)$$

と表される。ここで a_j はランダムな分布を持つから、これらが独立に、平均値0で等しい分散 $\sigma^2 \Delta z$ をもつ確率変数であると考え、中心極限定理を適用できる。すなわち、

$$\log L(z) - \log(L_0 e^{\varepsilon z}) = An \quad \dots\dots(9)$$

は、 $n \Delta z = z$ で $\Delta z \rightarrow 0$ とした極限で、次式で与えられる確率分布をもつことになる。

$$p(L) = \frac{1}{L \sigma \sqrt{2\pi z}} \cdot \exp \left[- \frac{ \{ \log L - \log(L_0 e^{\varepsilon z}) \}^2 }{2 \sigma^2 z} \right] \quad \dots\dots(10)$$

すなわち、危険度 z での損害 L の分布（確率密度分布）は上のような対数正規分布で表される。

3-3 災害強度についての安全管理基準

危険度 z は、安全管理者の作業現場の診断による危険度の評価点である。これを0, 2, 3, ..., 10の段階で考えることとする。(12)式における損害 L は、1~10の範囲で捉えることとする。 $z=0$ のときの L 、すなわち初期値は $L_0=1$ であり、 $z=10$ のとき $L=10$ となるように損害増加率 ε を与えると、 $\varepsilon=0.230264$ となる。このとき、(5)式より危険度 z と損害 $L(z)$ の関係を図示すると、図1のようになる。これは安全管理者が作業現場の危険性を評価するときの評価指

図1 危険度 z と損害 $L(z)$ の関係

標の定義といえるものである。

損害増加率 ε の揺動の大きさを表す偏差 σ については、(10)式で表される危険度 z での損害 L の分布を与える対数正規分布の形状に影響する。この値を危険度 z が1~10としたとき、損害 L が0.01~1000程度の範囲に広がるという観点から選定し $\sigma=0.5$ とする。このとき、 $z=1, 5, 10$ の3個の L の確率密度分布を図2に示す。危険度が大きくなると災害の強度率が高まる事が明確に表現される。また、同じく $z=1, 5, 10$ の場合の $p(L)$ を積分した分布関数 $P(L)$ を図3に示す。

$P(L) = 0.5$ のときの L の値、すなわちメディアン

図2 損害 L の確率密度分布 $p(L)$

図3 損害Lの分布関数P(L)

が図1における $L(1)$, $L(5)$, $L(10)$ の値となる。メディアン L_p は次式で表される。

$$L_p = L_0 \exp(\varepsilon z) \quad \dots\dots(11)$$

作業現場で経験する災害の半数が L_p 以上の損害の災害ということになる。(11)式は(5)式と一致し、安全管理者が危険度 z を評価する際の想定損害はこれが基準となる。 z は過去の統計データから決めることができる。

損害Lの平均値 L_m は次式で表される。

$$L_m = L_0 \exp((\varepsilon + \sigma^2/2)z) \quad \dots\dots(12)$$

z と L_m の関係を図4に示す。事故の損害の統計分析において、一件あたりの平均損害と z の関係はこのようになる。 z は過去の統計の平均損害から決めてもよい。

ハインリッヒの災害強度比率は、 $1:29:300 = 0.003:0.088:0.909$ であるから図3の縦軸をこの比で分けて対応する損害 L をみると、 $z=5$ の場合、 $L=14$ で $P=0.909$ となり、 $L=66$ で $P=0.909+0.088=0.997$ となる。すなわち、 $z=5$ をハインリッヒの比率を対応させる基準とすれば、ハインリッヒの比率における「重い傷害」はここで示したモデルでは損害 $L>66$ の災害に、「軽い傷害」は $66 \geq L > 14$ の災害に相当する。損害 $L \leq 14$ の場合

図4 損害の平均値 L_m と危険度 z の関係

は「傷害の無い災害」とみなすこととなる。

$z=1$ の場合では、ほぼ100%が $L<14$ となる。

$z=10$ の場合には、 $L>66$ が11.6%となり、 $66 \geq L > 14.0$ が30%、 $L \leq 14$ が58.4%の比率となる。これは $\sigma=0.5$ とした場合の例である。 σ の値を変えれば損害Lの分布におけるLの値の広がり範囲が変わってくる。実際の災害による損害は、軽傷から、労働損失日数によって評価される傷害、身体傷害を伴う災害、死亡、複数の死亡まで幅広い²⁰⁾。従って、Lの範囲はこの例のように0.01~1000程度の設定が適当であろう。

これを基準として、保全作業を請け負う会社などが年間の事故データの災害強度比率を分析すれば、現状の作業環境における災害強度率の観点からの危険度の実態を評価することができる。また、経年変化を追うことによって、保全作業環境の変化を把握することも可能となる。

4. リスクと安全管理基準

災害頻度は安全対策費用をかければ、安全技術向上、安全教育、現場での安全点検などによって、いくらでも低くすることが可能である。一方、災害強度は危険度 z によってほぼ表現され、それは技術の向上によってある程度改善が可能であるが、対象作業で取り扱うエネルギーや危険物の程度に大きな影響を受け限界がある。

大規模工業プラントのように、対象作業で取り扱うエネルギーや危険物の予期せぬ解放を生じたとき予想される損害が著しく大きければ災害発生率 ν をごく小さくするように大きなコストをかけて対策が講じられる。一方、フィールドアスレチックのように、不安全行動による危険度 z がごく小さいことを前提にある程度高い災害発生

頻度を容認して施設環境を設計する場合もある。建築設備の保全作業はこれら両極端な場合の間にある。

災害発生率 ν と (12) 式の損害の平均値 L_m より、単位時間あたりの平均損害 L_r は、

$$L_r = \nu \cdot L_0 \cdot \exp\left(-\left(\varepsilon + \sigma^2/2\right)z\right) \cdots \cdots (13)$$

となる。 L_r を安全対策費用と損害額との対応による経済的観点から、ある値に設定して管理するとすれば ν は z の関数となって、

$$\nu(z) = \frac{L_r}{L_0} \exp\left(-\left(\varepsilon + \sigma^2/2\right)z\right) \cdots \cdots (14)$$

となる。これが最低限の災害発生頻度の管理目標値となるといえよう。

安全性は当事者だけの問題ではないから、その基準には経済性の観点からだけでなく社会的容認が必要である。このためのデモンストレーションとしては、設定した安全管理基準において損害の大きさ毎のリスクを提示する必要がある。ここでリスク r を「災害発生頻度 f 、危険率 z の現場での、作業期間 T_M における、損害 L 以上の災害の期待件数」と定義する。

(14) 式の単位時間あたりの損害期待値を L_r とするような管理を行っている場合の $\nu(z)$ を $\nu(z) \equiv f$ とする。災害は到着率 f のポアソン分布に従って発生するとする。災害発生率 f の現場で、時間 T_M において w 回の災害が発生する確率は、

$$\frac{(f T_M)^w}{w!} \exp(-f T_M)$$

であり、 w 件の災害について損害が L 以上である期待件数は、

$$w \cdot \int_L^{\infty} p(L) dL$$

である。リスク r はこれらを重畳して、

$$r(f, z, T_M, L) = \sum_{w=1}^{\infty} \frac{(f T_M)^w}{w!} \exp(-f T_M) \cdot w \cdot \int_L^{\infty} p(L, z) dL \cdots \cdots (15)$$

となる。図 5 は、同図中に示したような条件を設定してリスクを計算した例である。

図 5 リスクの計算例

災害は損害の大きい場合が問題である。損害が大きい場合のリスクは、頻度について(14)式のように経済性から管理を行うとすれば、危険度 z が大きい程大きくなる。例えば、フィールドアスレチックと損害の期待値が同じとなるような安全努力を建築設備保全現場に与えたとしても、リスクが異なる。社会的容認を得るための条件とはならない。従って、重大事故についてのリスクを(15)式より検討し、これが容認できないとすれば災害発生率 ρ を更に小さくなるよう設定して安全管理目標値としなければならない。

結 論

建築設備の保全計画においては、保全作業における安全努力の計画を盛り込むべきであり、そのためには安全管理の基準を設定する必要がある。

安全管理の目標は、まず、災害の頻度を小さくすることである。設備設計における保全作業性への配慮の向上や安全関連技術開発、作業員の人選・教育等によって災害の原因となる不安全状態と不安全行動の発生を抑制するとともに、安全管理者による作業現場の安全点検で、それを低減することができる。これらによって災害頻度は低くなる。災害はポアソン分布に従って発生するものとし、安全努力によってその到着率である災害発生率はいくらかでも低くし得ることを論示した。

安全管理上、災害頻度とともに災害強度を考慮することが重要である。災害強度についてはハインリッヒの法則のように強度比率によって論じられてきた。ここでは、災害による損害を連続量と捉え、危険度という概念を導入して、損害の分布が対数正規分布で表され、その分布の状況は危険度によって変わることを示した。

建築設備の保全現場の危険度は作業環境と作業内容によって診断評価されるものである。作業環境の改善などによってある程度の改善は可能であるが短期的安全努力では限界がある。現場毎の危険度の診断結果によって、災害頻度低減への努力の程度を判断するべきである。頻度と重大性とを統合した概念がリスクである。本論文では最後に災害頻度と災害強度とを重畳しリスクを理論式で表現して、安全管理基準の設定手法を示した。

(注)

建設工事の労働災害について、花安は災害による傷害程度(災害強度)と、一つの災害による負傷者数(災害規模)について災害報告のデータを分析し、被害の大きさ h とその発生頻度 p との関係は $k = h^n p$ (n と k は定数、 n は大規模災害の発生の潜在的危険性を表す指標として使用できるとしている)のべき関数で記述できることを示している。この関係式は、ハインリッヒの1:29:300の法則のような統計的規則性のもとで起こっている災害事象を表現するために、Briscoe¹⁰⁾および中村¹¹⁾によって提案されたものである。花安は更にこの関係から、被害の大きさを確率変数に変換し確率分布式として、

$$F(h) = 1 - (h/h_c)^{1-n}$$

h_c は災害規模の下限値

を導いて、大規模災害の平均発生期間や期待災害規模、あるいは異なった期間の被害規模の推定などを行っている¹²⁾。

文 献

- 1) 高草木明: 空調設備の予防保全に関する解析的研究, 日本建築学会計画系論文報告集第430号, 1991 他
- 2) H. W. Hertz, D. E. Hertz, N. K. Hertz 著, 井上威恭監修, (財) 総合安全工学研究所編訳: ハインリッヒ産業災害防止論, 海文堂, 1982
- 3) 安全工学協会編: 安全工学講座 5 人身災害, 海文堂, 1982
- 4) J. Surry: Industrial Accident Research, University of Tront, 1968
- 5) F. E. Bird, Jr., G. L. Germain: Damage Control, Institute Press, 1966
- 6) D. Petersen: Techniques of Safety Management, McGraw-Hill Book Company, 2nd Ed., 1978
- 7) 林 喜男著: 人間信頼性工学—人間エラーの防止技術—, 海文堂, 1984
- 8) 田村恭他 4 名: 小規模建築工事における労働災害の発生状況に関する研究 II, 昭和54年度労働者死傷病報告に基づく統計分析の結果と考察, 安全工学シンポジウム講演予稿集, vol. 12th, pp. 27~30, 1982
- 9) 田村恭他 2 名: 小規模建築工事における労働災害の発生状況に関する研究 IV, 労働災害の FTA 解析, 電子計算機利用シンポジウム論文集, vol. 5, pp. 127~132, 1983
- 10) G. J. Briscoe: Risk Management Guide SSDC-11, Energy Research and development Administration, 76~45/11, 1977
- 11) 中村林二郎: 安全性の一考察 (1) 危険性, 安全工学, vol. 20, No. 3, pp. 120~126, 1981.
- 12) 花安繁郎: 建設工事労働災害の被害強度・規模特性に関する統計分析, 土木学会論文集, No. 462/VI-18, pp. 131~140, 1993. 3
- 13) 細加正治: 建設の安全管理—不安全行動のメカニズムとその防止—, 理工図書, 1983
- 14) 木村 宏監修, ビル環境保全研究会: ビル環境経営のための設計・施工べからず集 パート 1~3, オーム社, 1990, 1992
- 15) 労働省労働基準局監修, ビルメンテナンス業週休 2 日制等推進委員会編: ビルメンテナンス業における労働時間短縮の現状と今後の方向, 大蔵省印刷局, 1990
- 16) E. A. Crouch, R. Wilson: Risk/Benefit Analysis, Ballinger Publishing Co., Cambridge, MA, 1982
- 17) 清水久二著: 機械工学選書 設備安全工学—新しい検査・監視技術—, 裳華房, 1989
- 18) 亀井利明編: 現代リスクマネジメント事典, 同文館, 1988
- 19) 武井 勲: リスク・マネジメント総論, 中央経済社, 1987
- 20) 岡部晃三: わかりやすい労働統計, pp. 164~170, 労働法令協会, 1985
- 21) 中川親正: 危険予知訓練と黒板KY活動, 施工, No. 205, pp. 57~62, 1983
- 22) 田辺恒久: 建築現場の安全管理, 建築士と実務, vol. 5, No. 5, pp. 43~49, 1982
- 23) 森安研: エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発, 土木学会論文集, No. 385, pp. 29~37, 1987
- 24) 寺本 英: ランダムな現象の数学, 吉岡書店, 1990
- 25) 中央労働災害防止協会編: ビルメンテナンス業における労働災害の分析結果, 中央労働災害防止協会, 1987

(1995年6月21日原稿受理, 1995年10月24日採用決定)