

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

花安繁郎

建設工事労働災害による被害の統計的特性を明らかにすることを目的として、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)について分析を加えた。被害の大きさ h とその発生頻度 p との関係は $K=h^m p$ の簡単なべき関数で記述できることを示した。この関係を利用して被害の大きさの確率分布式を導き、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た。

Keywords : occupational accident, damage consequence, frequency-magnitude relation, risk analysis

1. ま え が き

労働災害の発生状況を記述する指標は、発生した災害の頻度を示す尺度と、発生した災害による被害の大きさ、強さを示す尺度とに大別される¹⁾。例えば、100万労働時間当りの災害件数である災害度数率や、労働者1000人当りの災害発生数である災害千人率は発生頻度を示す指標の代表的なものである。また、災害強度を示す尺度の代表的なものとしては、労働災害によって作業員が死亡したり、ある期間休業を余儀なくされたりする労働不能による労働損失日数を用いて、発生した災害の傷害程度を評価する災害強度率がある。

これらの指標のうち、災害発生頻度に関する指標は、種類は異なるものの各国で広く用いられている。一方、災害強度に関する指標は、災害による被害の大きさを正確に算定することが困難なために頻度指標ほどには多用されていないようである。

同様に、労働災害に関する各種の統計調査、分析でも、災害発生頻度に関する分析研究はかなり広範に行われているが、発生した労働災害による被害の大きさについては、安全上重要な情報であるにも拘らず、前述の災害強度率やいくつかの研究^{2),3)}以外めばしい統計調査は行われていない。

そこで本研究では、労働災害による被害の大きさの統計的特性を明らかにすることを目的として、労働災害によるさまざまな被害のうち、労働災害によって労働者が被る傷害の程度(災害強度)と、ひとつの労働災害によって負傷する労働者の数(災害規模)とを取り上げ、それぞれの特性について、実際に発生した労働災害を事例をもとに分析を行った。また、災害規模特性での分析結果を用いて、特定被害規模を有する労働災害の平均発生期

間等を算出することも併せて試みた。本稿はそれらの分析結果をまとめたものである。

2. 労働災害による被害と災害資料

労働災害による被害には、災害によって作業員が死亡したり傷害を受けたりする人的な被害や、災害によって引き起こされる構造物や機械類の破壊や破損、およびこれらの復旧、修繕等に要する経済的、時間的損失、あるいは事故・災害による社会的信用の低下など、数多くの形態の被害が存在する。そしてこれらの被害の多くは、その値を正確に知ることが困難であり、また得られても信頼度は余り高くはないことが多い。

そこでここでは、被害の大きさを比較的明確に知ることが可能な、労働災害によって労働者が被る傷害の程度(severity: 災害強度)と、一つの労働災害によって被災する負傷者の数(magnitude: 災害規模)の2種類の人的被害について分析を加えることとした。

まず、労働災害による傷害の程度は、災害強度率の定義にもある通り、労働災害によって作業員が死亡したり、ある期間休業を余儀なくされたりする、いわゆる労働不能による労働損失日数によって評価することが出来る。そしてこの労働損失日数は、身体障害を伴う災害については、障害程度に応じて、死亡以下1~14級までの労働損失日数が定められており、また、身体障害を伴わない災害については、休業日数を基本に労働損失日数を算定するとされている¹⁾。

この労働損失日数に関するデータには、身体障害を伴う災害については、障害等級ごとの毎年の給付者数を労働者災害補償保険事業年報⁴⁾から得ることが出来るので同資料を用いることとし、また、身体障害を伴わない災害については、休業日数分布のデータが同年報からでは得られないので、筆者等がこれまでに独自に収集した災害データを用いて分析を行うこととした。この休業日数

* 正会員 工博 労働省産業安全研究所 土木建築研究部
(〒204 東京都清瀬市梅園1-4-6)

の分析には、比較的まとまった数の災害数を得ることが出来た、山陽新幹線広島・山口県内で建設されたトンネル建設工事、および上越新幹線トンネル建設工事で発生した労働災害を対象にして行った。分析に用いた災害資料は、労働災害が発生した際に事業所より所轄労働基準監督署へ報告された「労働者死傷病報告」である。同資料には休業1日以上労働災害が報告されている。得られた労働災害の資料件数は、山陽新幹線トンネル建設工事(1970~1974年, 施工延月数(各工事業所まで工事完了までに要した施工月数の総計) 2157ヶ月)では1812件(負傷者数1896人)、また上越新幹線トンネル建設工事(1971~1982年, 施工延月数3002ヶ月)では1416件(負傷者数1566人)であった。

一方、一つの労働災害による負傷者数で示される災害規模を分析するための災害資料には、前記新幹線トンネル建設工事災害に加えて、一度に三人以上の労働者が負傷した災害(労働省ではこの様な災害を重大災害と呼んでいる)に関する資料を用いた。重大災害は災害発生後直ちに労働基準監督署、都道府県労働基準局を通して労働本省に報告され、これらが毎年まとめられて資料として発表されている⁵⁾。本研究で調査・分析の対象とした重大災害は、1977年から1990年までの14年間に日本国内で発生したものである。

3. 労働災害による被害強度・規模の考察

労働災害による被害強度について、労働安全研究の先駆者であるHeinrichは、同一人物が起こした330件の災害のうち、300件は無傷で、29件は軽い傷害を伴い、1件が重傷災害であるという、人的被害の大きさとその発生頻度との間に、ハインリッヒの法則(1:29:300の法則)と呼ばれる統計的規則性があることを明らかにした²⁾。同じくBirdらは米国の297社で発生した175万件の災害を分析した結果、1:10:30:600という比を得ている³⁾。これは1件の疾病を伴う災害に対して、10件の軽傷災害、30件の物損災害、600件の物損も傷害も無い災害という比率のもとで災害が起こっているということである。

こ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、Briscoe⁶⁾および中村⁷⁾は上記規則をべき関数で表現することを提案している。とくに中村は、被害規模をべき関数で表したとき、被害規模-発生頻度の関係が両対数紙上の直線として表現できること、およびその傾きが大規模災害発生の際潜在的危険性を表す指標として使用できることを述べている⁷⁾。

労働災害による被害強度・規模分布について、その分布形を想定する一般的な基準は無いので、ここでは上記研究と同じく、被害強度・規模とその頻度との関係を次のべき関数で仮定した。

$$K = h^n p \dots \dots \dots (1)$$

ここで h は被害程度の大きさ、 p は $h \sim h + dh$ 間の災害発生頻度の密度関数、また n および k は定数である。すると、被害の大きさが $h_1 \sim h_2$ 間での労働災害の発生頻度を $P(h_1 < h < h_2)$ と書くと、

$$P(h_1 < h < h_2) = \int_{h_1}^{h_2} p dh \dots \dots \dots (2)$$

となり、 $n \neq 1$ の場合は、

$$P(h_1 < h < h_2) = \frac{K}{(1-n)} \cdot (h_2^{1-n} - h_1^{1-n}) \dots \dots \dots (3)$$

また $n=1$ の場合は、

$$P(h_1 < h < h_2) = K \cdot \log_e \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \dots \dots \dots (4)$$

で示され、同じく $h_1 \sim h_2$ 間での災害による被害の累積値を $G(h_1 < h < h_2)$ と書くと、

$$G(h_1 < h < h_2) = \int_{h_1}^{h_2} p h dh \dots \dots \dots (5)$$

で示され、 $n \neq 2$ の場合は、

$$G(h_1 < h < h_2) = \frac{K}{(2-n)} \cdot (h_2^{2-n} - h_1^{2-n}) \dots \dots \dots (6)$$

また $n=2$ の場合は、

$$G(h_1 < h < h_2) = K \cdot \log_e \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \dots \dots \dots (7)$$

となる。したがって災害一件当たりの平均的な被害の大きさは、 $n \neq 1, 2$ の場合次式となる。

$$E(h_1 < h < h_2) = G(h_1 < h < h_2) / P(h_1 < h < h_2) \\ = \frac{(n-1) \cdot (h_2^{2-n} - h_1^{2-n})}{(n-2) \cdot (h_2^{1-n} - h_1^{1-n})} \dots \dots \dots (8)$$

また、 $n > 2$ の場合は、区間 $[h \sim \infty)$ 、すなわちある大きさの被害 h 以上の領域での累積災害発生頻度 $P(h)$ および累積被害値 $G(h)$ が次式で得られる。

$$P(h) = \int_h^{\infty} p dh = \frac{K}{n-1} \cdot h^{1-n} \dots \dots \dots (9)$$

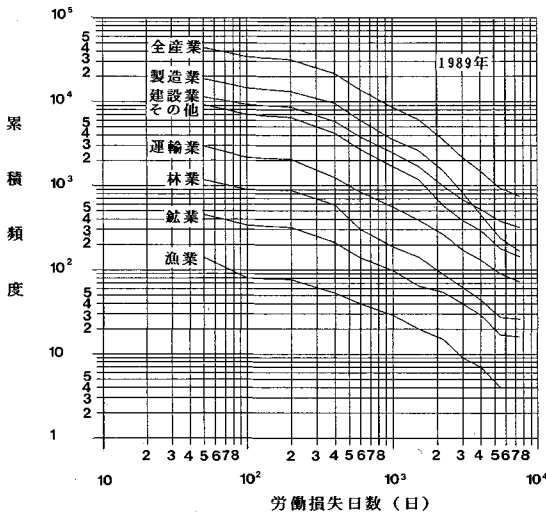
$$G(h) = \int_h^{\infty} p h dh = \frac{K}{n-2} \cdot h^{2-n} \dots \dots \dots (10)$$

またこのときの平均被害値 $E(h)$ は次式となる。

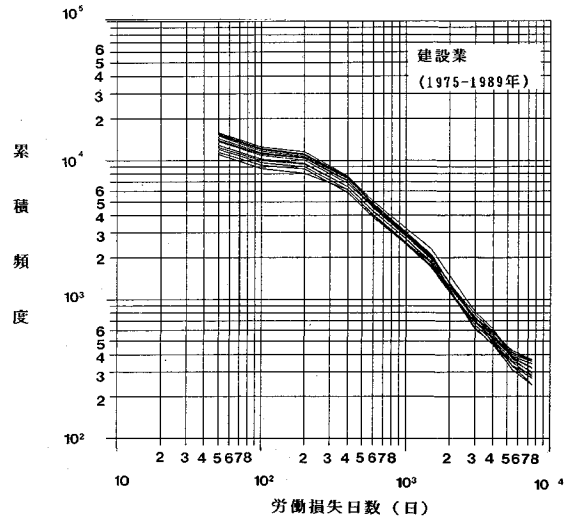
$$E(h) = \frac{(n-1)}{(n-2)} \cdot h \dots \dots \dots (11)$$

以上のことより、被害の大きさとその発生頻度の関係が式(1)で表現できるならば、被害程度とその累積発生頻度や累積被害値との関係は、両対数紙上の直線で表現できることがわかる。とくに注目すべきことは、べき関数の係数 n は両対数紙上の直線の傾きを表し、またこの値が $n > 1$ (or $n > 2$) であれば、被害程度が ∞ までの領域を含めた災害の発生度数や累積被害値を求められること、つまり、非常に大規模な災害を考慮しても発生度数や被害の累積値が有限値として得られることにある。

以上は中村の実数による考察であるが、ある特定被害



図一 労働災害 傷害程度—発生頻度の関係 (産業別, 1989年)



図二 労働災害 傷害程度—発生頻度の関係 (建設業災害, 1975~1989年)

値が全体でどのような割合で発生しているかを確率値で評価したり、あるいは、追って述べるように、特定規模災害の平均発生期間を単に算術平均値として求めるのではなく、確率的裏付けをもった統計的期待値として求めるためには、被害規模についての確率分布を導くことが必要である。そして、被害値を確率値として評価するためには実数値を確率変数に新たに変換する必要がある。そのために、まず、災害規模の下限値を h_c とすると、式(9)から $P(h_c)=1$ となる条件から K は次式となる。

$$K = (n-1) \cdot h_c^{n-1} \dots \dots \dots (12)$$

上式の K を同式に代入すると、被害の大きさの上側確率分布関数 $R(h)$ が得られ、したがって確率分布関数 $F(h)$ も以下の式で得られる。

$$R(h) = \left(\frac{h}{h_c}\right)^{1-n} \dots \dots \dots (13)$$

$$F(h) = 1 - \left(\frac{h}{h_c}\right)^{1-n} \dots \dots \dots (14)$$

同式より、 h の確率密度関数 $p(h)$ は、

$$p(h) = \frac{dF(h)}{dh} = \left(\frac{n-1}{h_c}\right) \cdot \left(\frac{h}{h_c}\right)^{-n} \dots \dots \dots (15)$$

また分布の期待値 $E(H)$ 、分散 $V(H)$ は次式となる。

$$E(H) = \frac{(n-1)}{(n-2)} \cdot h_c \quad (n > 2) \dots \dots \dots (16)$$

$$V(H) = \frac{(n-1)h_c^2}{(n-2)^2(n-3)} \quad (n > 3) \dots \dots \dots (17)$$

以上、本章で考察を加えた、災害による被害の大きさとその発生頻度との関係について、次章では実際に起こった災害を用いて検証を試みることにする。

4. 被害の大きさについての統計分析

(1) 傷害程度 (severity) の分析⁹⁾

本節では、労働災害による被害のうち、労働者が受けた傷害の程度を労働損失日数によって分析を加える。

図一には、1989年度に発生した身体障害を伴った災害について、障害等級に応じて付与された労働損失日数とその発生頻度との関係を、産業別に区分して、式(9)による超過累積頻度分布の形式で示したものである。同図から、障害程度と発生頻度の関係は、産業によって曲線の勾配は異なるものの、おおむね両対数紙上の直線として表現できることが分かる。

また、建設工事で発生した身体障害を伴った労働災害について、障害程度—発生頻度の関係を1975年度～1989年度までを年別に調べた結果を図二に示した。同図より、災害発生数は年度によって異なるものの、その障害程度の分布形状は、年による変動はほとんど無いことが見て取れる。

同様な分析を他の産業での労働災害、あるいは建設工事での災害を工事別に分類して行ったところ、いずれの災害についてもほぼ同じ結果を得ることができた。

一方、労働災害による休業日数について分析を加えた事例として、図三には上越新幹線トンネル建設工事労働災害について、傷害程度(休業日数)とその超過頻度分布の関係を示した。同図より、 $h=11$ 日を境に2つの領域に分かれているが、ともに両対数紙上で直線となっている。両領域における直線方程式を求めてみると(領域① $h < 11$ 日)、(領域② $h > 11$ 日)で、

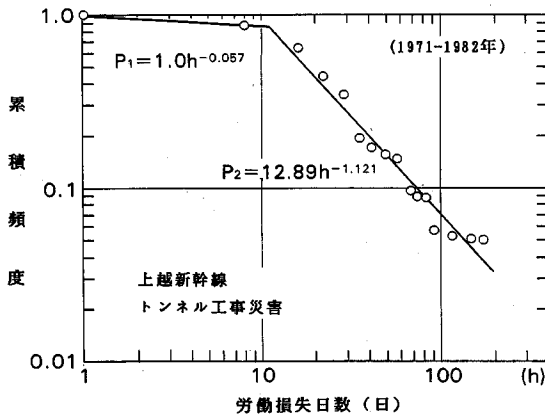


図-3 上越新幹線トンネル建設工事労働災害 傷害程度—発生頻度の関係

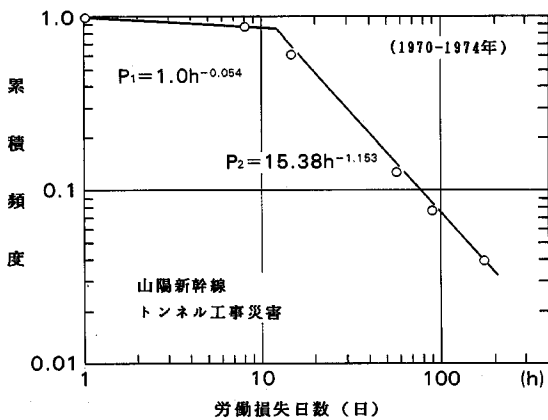


図-4 山陽新幹線トンネル建設工事労働災害 傷害程度—発生頻度の関係

$$\left. \begin{aligned} \textcircled{1} \quad & P_1 = 1.0h^{-0.057}, K = 0.057, n = 1.057 \\ \textcircled{2} \quad & P_2 = 12.89h^{-1.121}, K = 14.45, n = 2.121 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

で示される。とくに傷害程度の大きな②領域では $n > 2$ なので、 $h = \infty$ までの傷害程度を考慮しても期待休業日数が有限値として得ることが出来る。具体的には、①および②領域での休業日数を求め、これらを合計すれば全領域にわたる期待休業日数が得られる。①領域での期待休業日数を G_1 、②での期待休業日数を G_2 とすると、上越新幹線トンネル工事災害に関しては、

$$G_1 = 0.52, G_2 = 89.53, G = G_1 + G_2 = 90.05$$

のように、1件当りの平均休業日数は約90日であることがわかる。

同様に図-4は山陽新幹線トンネル工事労働災害による休業日数を分析した結果である。同図から、上越新幹線トンネル工事災害と同様に、 $h = 12$ 日を境に2つの領域に分かれるが、ともに両対数紙上で直線となっている。それぞれ領域における直線方程式は次式で示される。

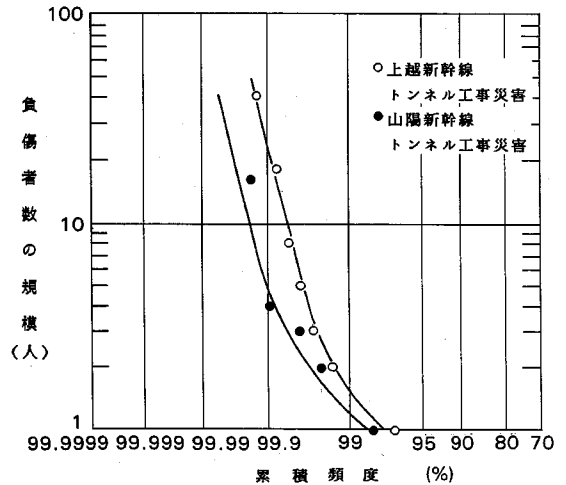


図-5 新幹線トンネル建設工事労働災害の災害規模分布

(領域① $h < 12$ 日), (領域② $h > 12$)

$$\left. \begin{aligned} \textcircled{1} \quad & P_1 = 1.0h^{-0.054}, K = 0.054, n = 1.054 \\ \textcircled{2} \quad & P_2 = 15.38h^{-1.153}, K = 17.74, n = 2.153 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19)$$

また上越新幹線トンネル建設工事災害と同様に②領域で $n > 2$ なので、 $h = \infty$ までの傷害程度を考慮しても期待休業日数は有限値として得られる。①および②領域での休業日数を求め、それらを合計して全領域での期待休業日数を求めると、山陽新幹線トンネル工事災害については、

$$G_1 = 0.54, G_2 = 79.25, G = G_1 + G_2 = 79.79$$

となり、1件当りの平均休業日数は約80日であり、上越トンネル災害と大差が無いことが分かった。

また鈴木は、最近のトンネル工事で発生した労働災害の休業日数の分析を行い、その分布形状や平均休業日数が上記の分析結果と同様であるという結論を得ている⁹⁾。

以上の分析結果より、身体障害を伴う労働災害の労働損失日数についても、あるいは新幹線トンネル建設工事での労働災害の休業日数についても、その大きさと発生頻度との関係は両対数紙上の直線で示すことができることや、身体障害を伴う労働災害の労働損失日数の毎年の分布形状には変化がないこと、あるいは新幹線トンネル建設工事での災害の休業日数はほぼ同じであることなどを明らかにすることが出来た。

(2) 労働災害の災害規模 (magnitude) の分析¹⁰⁾

一件の労働災害で被災する労働者の数は、多くが1人であるが、ときおり複数の労働者が被災する災害も発生している。ひとつの災害で負傷する労働者の数をここでは災害規模と定義し、この被害特性値に関する分析を試みた。

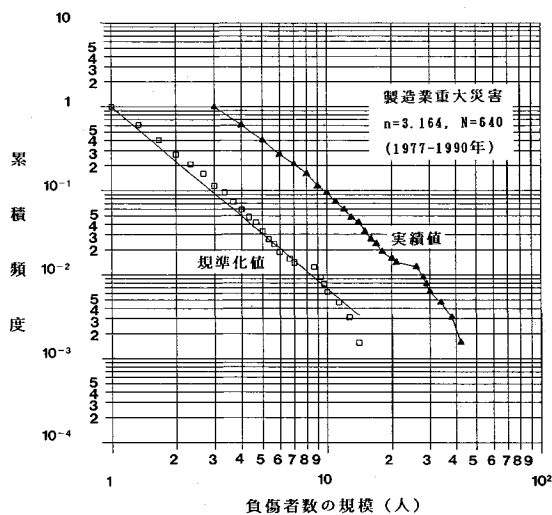


図-6 製造業重大災害 災害規模—発生頻度の関係

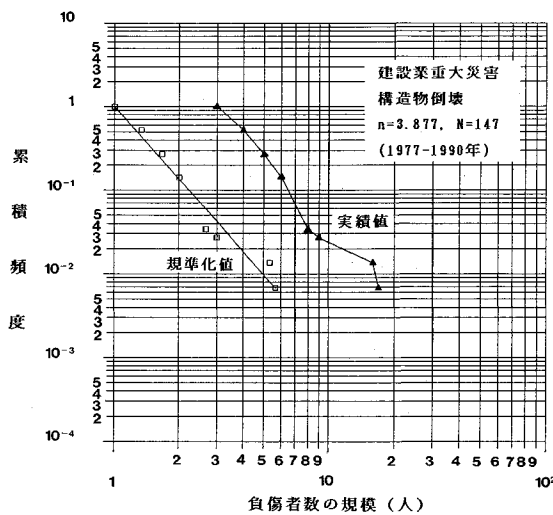


図-8 構造物倒壊災害 災害規模—発生頻度の関係

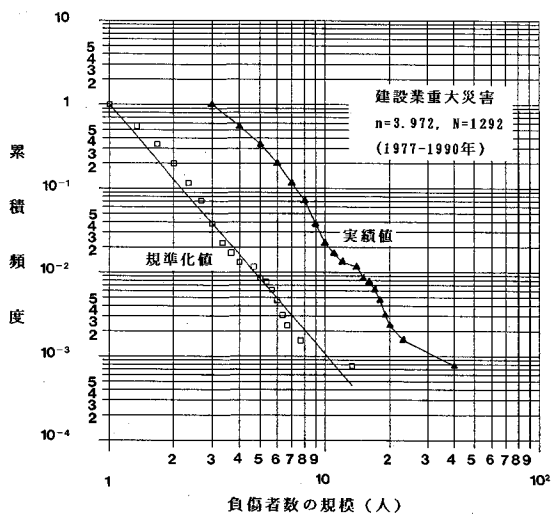


図-7 建設業重大災害 災害規模—発生頻度の関係

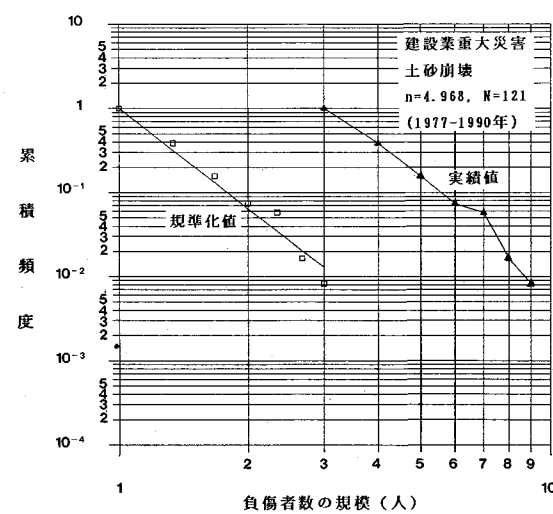


図-9 土砂崩壊災害 災害規模—発生頻度の関係

前節で分析を加えた新幹線トンネル建設工事労働災害に関しては、上越新幹線トンネル建設工事では9件、山陽新幹線トンネル建設工事では8件の重大災害がそれぞれ発生していた。

まず、図-5は、山陽、上越両新幹線トンネル建設工事における労働災害について、その災害規模の発生分布を対数正規確率紙上にプロットしたものである。

同図において、プロット数は余り多いとは言えないが（特に山陽新幹線の場合）、山陽、上越両新幹線工事災害ともその災害規模はゆるやかな曲線として表すことが出来る。同図の両新幹線トンネル工事災害の様相を見比べることにより、山陽新幹線工事災害に比べて上越新幹線トンネル建設工事災害の勾配が急であることがわかる。つまり、一度に多くの負傷者を伴う大規模な災害は、

上越新幹線トンネル工事の方が山陽新幹線トンネル工事に比べて発生しやすかったことがわかる。また、上越新幹線トンネル建設工事では、一度に18人あるいは40人もの労働者が負傷する災害が発生しているが、これらの災害が同トンネル建設工事では発生確率そのものは極めて小さい値であるものの、決して特異な災害ではなかったことがわかる。

ところで、上越新幹線のトンネルは約3002ヶ月で施工され、この間1416件の労働災害が発生している。一方、災害が40人以上の規模となる確率は図-5から約0.0007と読み取れるので、40人被災規模災害の平均発生期間を計算すると、 $1 / (0.0007 \times 0.472) = 3028$ ヶ月=252年となり、約250年に一回位の規模の災害であったことがわかる。他の災害規模の平均発生期間も同じ手

表一 産業別災害規模分布特性値 (n 値, 期待値, 分散)

特性値	全産業	製造業	運輸業	農林業	商業
n value	3.144	3.164	3.272	2.959	3.453
E(H)	5.622	5.577	5.358	6.128	5.065
V(H)	102.389	87.650	46.463	---	23.084

表二 建設業種別災害規模分布特性値 (n 値, 期待値, 分散)

特性値	建設工事	土木工事	建築工事	設備工事
n value	3.972	3.960	4.266	4.055
E(H)	4.521	4.531	4.324	4.460
V(H)	7.076	7.223	4.522	6.171

表三 災害種類別災害規模分布特性値 (n 値, 期待値, 分散)

特性値	交通事故	構造物倒壊	土砂崩壊	墜落	爆発	火災
n value	3.900	3.877	4.968	5.021	3.624	2.635
E(H)	4.579	4.598	4.011	3.993	4.847	7.724
V(H)	8.033	8.380	2.060	1.962	14.350	---

続きで求めることが出来る。

上越新幹線トンネル建設工事での18人、40人規模の大規模災害の原因を調べてみるとともに火災であり、当時のトンネル建設工事システムでは、火災が特異な災害ではなく、確率は少ないものの条件がそろえば起こりうる災害であったことがわかる。

次に、一度に三人以上の負傷者を伴った重大災害について、その負傷者数である災害規模の分布を分析した結果を図一6～図一9までに示した。これらの図は1977～1990年の14年間に発生した重大災害の規模分布を、製造業、建設業および建設工事での構造物倒壊災害、土砂崩壊災害について分析した結果である。同図には実際の災害規模分布を▲印で示し、また実績値を重大災害の下限値 $h_c=3$ で規準化した値の分布を□印で示し、さらに最小自乗法によって災害規模-発生頻度曲線の勾配 n を求め、この値を用いて求めた災害規模確率分布の近似直線を実線で示した。

これらの図に示したように、いずれの区分の労働災害も、その災害規模と発生頻度の関係は両対数紙上の直線で近似できることが分かる。また、同じ分析を他の業種別や災害種類別に分類して行ったところ、ほぼ同様な結果を得ることが出来た。

中村も述べている通り、被害規模分布のパラメータであるべき関数の係数 n は災害規模・累積発生頻度曲線の傾きを表しており、この値が小さくなるほど被災規模の大きな領域に災害が分布する割合が高くなるので、大規模災害が起り易くなるのがこれらの図を通して了解される。

このような分析結果のまとめとして、表一～表三には、重大災害を産業別、建設業種別および災害種類別に分類し、災害発生数の多い順にその規模分布に関する特性値として、分布(べき)関数の係数 n 、分布の期待値 $E(H)$ および分散 $V(H)$ を示した。

表一、2から産業別の分析では、分布のパラメータ n 値は産業によって異なり、建設工事のそれが一番大きく、以下、商業、運輸業、製造業、農林業の順となっている。すなわち、災害規模に関しては、建設工事での災害が平均的には最も小さく、農林業での災害の被害規模が最も大きいことになる。また、各産業とも $n > 2$ なので被害規模 ∞ までの災害を考慮した災害の一件当りの平均被災数(期待値)を求めることが出来るが、農林業については $n < 3$ なので、分散を求めることが出来ない。

また表二の建設業種間の分析では、土木工事、設備工事、建築工事の順で n 値が小さくなっており、建設工事では土木工事での災害規模が大きいことが示されている。

一方、表三の災害種類別(建設工事災害)の分析では、災害の種類ごとに n 値に差があり、墜落による災害の n 値が一番大きく、以下、土砂崩壊災害、交通災害、構造物倒壊災害、爆発、火災の順となっている。被害規模の大きな火災は、 $n < 3$ なので分布の分散を求めることが出来ない。

以上、災害規模に関する分析でも、被害の大きさとその発生頻度との関係は、これまでと同様にべき関数によって記述出来ることを示し、また、産業別や建設業種別あるいは災害の種類別に災害を区分し、それらの確率

表—4 産業別・業種別特定規模災害の平均発生期間 (年)

災害規模	全産業	製造業	建設業	土木工事	建築工事	設備工事
10	0.070	0.296	0.388	0.796	2.404	2.619
20	0.308	1.328	3.047	6.189	23.126	21.768
30	0.735	3.194	10.169	20.548	86.938	75.128
40	1.363	5.953	23.913	48.142	222.464	180.927
50	2.199	9.650	46.418	93.181	461.069	357.744

表—5 災害種類別特定規模災害の平均発生期間 (年)

災害規模	交通事故	構造物倒壊	土砂崩壊	墜落	爆発	火災
10	0.768	3.040	13.750	20.416	4.641	2.277
20	5.734	22.325	215.209	327.088	28.602	7.072
30	18.579	71.666	1075.579	1670.111	82.865	13.721
40	42.786	163.945	3368.504	5310.511	176.257	21.959

分布のパラメータを求めることにより、それぞれの災害の被害規模の期待値や分散を求められることを示した。

5. 大規模災害の平均発生期間等の分析

前章までに示した通り、被害の強さ・規模の確率分布を定め、かつ実際の災害が同分布式に従うことを明らかにすることが出来たので、本章ではこれらの知見を応用して、大規模災害の平均発生期間や特定期間内の平均的な被害の大きさの推定を試みた。

災害強度・規模の分布に確率論を導入し、大規模災害の平均発生期間を推定することの意義は、1) 災害発生状況を記述する指標として、災害度数率や災害強度率以外に、発生期間という確率的評価の裏付けを有した新しい指標を提案すること、2) ばらつきを有して出現する災害発生期間を代表する指標には、発生期間の期待値である平均発生期間が便利であること、3) 同指標の導入により、これまで災害頻度と災害強度とが別個に分析、評価されていたものが、頻度と強度とを同時に分析する事ができ、より合理的な評価を行うことが可能となること、などにある。

いま、ある観測期間の長さを L 、その期間内の災害数 N が与えられたとする。すると単位期間での平均発生数は N/L であり、一方、1 件の災害の被害規模が h 以上である確率は $R(h)$ で求められるので、被害規模 h の災害の単位期間当りの平均発生回数は次式で計算できる。

$$f_h = R(h) \cdot (N/L) \dots\dots\dots (20)$$

したがって、被害規模 h の災害の平均発生期間は次式によって求められる。

$$T_h = \frac{1}{R(h) \cdot N/L} = \left(\frac{h}{h_c}\right)^{n-1} \cdot \left(\frac{L}{N}\right) \dots\dots\dots (21)$$

ただし、 h_c : 災害規模の下限値

L : 観測期間、 N : 観測期間中の災害数

同式より、平均発生期間 T_h は、平均発生間隔 (L/N) が短い (小さい) ほど、またパラメータ n 値が小さいほど短くなる事が分かる。

ここで、観測期間の単位を年とすると、1 年間に平均 1 回起こる災害の平均的な被害の規模 (1 年期待災害規模) を h_1 と記すと、 h_1 は上式で $T_h=1$ とおき h について解くと次式となる。

$$h_1 = h_c \cdot \left(\frac{N}{L}\right)^{\frac{1}{n-1}} \dots\dots\dots (22)$$

同様な手順で、 T 年に平均 1 回起こる災害の期待災害規模 h_T は次式で求められる。

$$h_T = h_c \cdot \left\{T \cdot \left(\frac{N}{L}\right)\right\}^{\frac{1}{n-1}} \dots\dots\dots (23)$$

これらの式に示されるように、 T 年期待災害規模は、平均発生期間が長く、単位期間の平均発生率が高く、また n 値が小さいほど大きくなる事が分かる。

以上の考察を実際の災害に適用すると、たとえば図—7 での建設工事重大災害では、べき関数の係数が $n=3.972$ として得られ、従って、ある災害が発生しその災害の被災規模が 10 人以上である確率は式 (13) より $(h/h_c)^{1-n} = (10/3)^{-2.972} = 0.0279$ となる。一方、1977~1990 年の 14 年間で 1292 件の重大災害が発生しているのので、10 人規模災害の平均発生期間は式 (21) より $T_h = (1/0.0279) \times (14/1292) = 0.388$ (年) となり、約 5 ヶ月に一回起こっている事が分かる。

このような手順で求めた特定被災規模災害の平均発生期間を、建設業種別に調べた結果を表—4 に示し、同じく、災害の種類別に分析した結果を表—5 に示した。

表—4 から、建設業種別では土木工事の平均発生期間が短く、建築工事、設備工事の平均発生期間はほぼ似た値を示している。ところで、建設業は災害発生数が多く

表一六 産業別・業種別特定期間の期待災害規模 (人)

期間(年)	全産業	製造業	建設業	土木工事	建築工事	設備工事
1	34.63	17.54	13.75	10.80	7.64	7.30
5	73.34	36.90	23.63	18.61	12.51	12.36
10	101.34	50.83	29.83	23.52	15.47	15.50
15	122.44	61.30	34.19	26.97	17.52	17.70
20	140.02	70.02	37.67	29.73	19.13	19.45
25	155.38	77.62	40.60	32.05	20.48	20.93
30	169.17	84.44	43.17	34.09	21.66	22.21
35	181.78	90.67	45.47	35.92	22.71	23.36
40	193.46	96.45	47.56	37.57	23.65	24.41
45	204.38	101.84	49.48	39.10	24.52	25.37
50	214.68	106.92	51.27	40.52	25.32	26.26

表一七 基準化平均発生期間 T_R , パラメータ n および災害規模比 S_{TR} の関係

T_R	$n = 1.5$	$n = 2.0$	$n = 2.5$	$n = 3.0$	$n = 3.5$
1	0.10000D+01	0.10000D+01	0.10000D+01	0.10000D+01	0.10000D+01
2	0.40000D+01	0.20000D+01	0.15874D+01	0.14142D+01	0.13195D+01
3	0.90000D+01	0.30000D+01	0.20801D+01	0.17321D+01	0.15518D+01
4	0.16000D+02	0.40000D+01	0.25198D+01	0.20000D+01	0.17411D+01
5	0.25000D+02	0.50000D+01	0.29240D+01	0.22361D+01	0.19037D+01
6	0.36000D+02	0.60000D+01	0.33019D+01	0.24495D+01	0.20477D+01
7	0.49000D+02	0.70000D+01	0.36593D+01	0.26458D+01	0.21779D+01
8	0.64000D+02	0.80000D+01	0.40000D+01	0.28284D+01	0.22974D+01
9	0.81000D+02	0.90000D+01	0.43267D+01	0.30000D+01	0.24082D+01
10	0.10000D+03	0.10000D+02	0.46416D+01	0.31623D+01	0.25119D+01
20	0.40000D+03	0.20000D+02	0.73681D+01	0.44721D+01	0.33145D+01
30	0.90000D+03	0.30000D+02	0.96549D+01	0.54772D+01	0.38981D+01
40	0.16000D+04	0.40000D+02	0.11696D+02	0.63246D+01	0.43734D+01
50	0.25000D+04	0.50000D+02	0.13572D+02	0.70711D+01	0.47818D+01
60	0.36000D+04	0.60000D+02	0.15326D+02	0.77460D+01	0.51435D+01
70	0.49000D+04	0.70000D+02	0.16985D+02	0.83666D+01	0.54707D+01
80	0.64000D+04	0.80000D+02	0.18566D+02	0.89443D+01	0.57708D+01
90	0.81000D+04	0.90000D+02	0.20083D+02	0.94868D+01	0.60492D+01
100	0.10000D+05	0.10000D+03	0.21544D+02	0.10000D+02	0.63096D+01

その平均発生間隔は 14 年 / 1292 件 = 0.13 月 / 件と短く、製造業のそれの (14 年 / 640 件 = 0.26 月 / 件) 半分である。ところが表中の建設工事災害と製造業災害とを比べると、大規模災害の平均発生期間では製造業災害の方が短くなっている。これは災害規模分布のパラメータ n 値が、建設業よりも製造業が小さいためである。

一方、表一五の災害の種類別では、災害数の多い交通事故を除くと、 n 値が小さく災害規模の大きな火災、爆発、構造物倒壊などによる災害が平均発生期間でも短いことが示されている。逆に、墜落、土砂崩壊災害は、災害規模も小さくかつ平均発生期間も長いことが示されている。

また、特定の平均発生期間 T に対応する業種別の期待災害規模を式 (23) によって計算した結果を表一六に示した。

同表より、建設業全体での 1 年規模災害は 13.75 人であるが、業種によってその値は異なり、土木工事では 10 人を越え、建築、設備工事では 10 人以下である。また、建設業と製造業とでは、発生数では建設業がはるかに

多いが、災害規模ではいずれの平均発生期間でも製造業の方が大きく、とくに平均発生期間が長いほどその傾向は顕著である。理由は、製造業災害の n が建設業災害のそれよりも小さいためである。このように、災害発生数が少ない産業であっても、 n が小さい場合には、平均発生期間 T が長くなるに従って災害規模も急激に大きくなるので注意を要する。

以上のように n の大小問題は、災害規模のみならず平均発生期間にも大きな影響を及ぼすことがわかったので、さらに災害規模と平均発生期間および n との関係を検討を加えることとした。そのために、平均発生期間 1 年の期待災害規模 h_1 と、平均発生期間 T 年のそれ h_T との比を $S_{1,T}$ とおくと、

$$S_{1,T} = \frac{h_T}{h_1} = T^{\frac{1}{n-1}} \dots \dots \dots (24)$$

より一般的には、平均発生期間が T_1 および T_2 ($T_1 < T_2$) の災害の期待災害規模をそれぞれ h_{T1} , h_{T2} とすれば、それらの比 $S_{T1,T2}$ は、

$$S_{T_1, T_2} = \frac{h_{T_2}}{h_{T_1}} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{n-1}} = T_R^{\frac{1}{n-1}} \dots \dots \dots (25)$$

ただし、 $T_R = T_2/T_1$ ：基準化平均発生期間

かくして、異なった長さの平均発生期間の労働災害による被害規模の比が、それぞれの平均発生期間の比 T_R と n の関数として表現されることがわかった。同式を用いて、 $n=1.5\sim 3.5$ 、 $T_R=1\sim 100$ の範囲で災害規模比 S_{TR} を求めた結果を表-7 に示した。同表は指数方式で結果を表示しており、例えば、 $n=1.5$ 、 $T_R=10.0$ のときの S_{TR} は、 $S_{TR}=0.1000 \times 10^8 = 100.0$ である。

異なる発生期間の災害規模の関係を一般論として論ずることが可能かは明かでないが、本論で示したように、災害規模がべき関数（パレート分布）で表現できるならば、同分布のパラメータによって異なる期間での災害規模を推定することが可能である。

同表より、例えば $n=1.5$ の特性値を有するシステムでは、1年に1回起こる災害の規模を1とすると、10年に1回100倍の災害が起こり、32年に1回1000倍の災害が起こり、50年に1回2500倍の災害が起こることが想定される。もしこのシステムの n 値が3.0になったとすると、10年に1回3.16倍の災害、50年では7.07倍の災害が起こることになり、 n 値が大きくなったことによってシステムの安全性が大きく改善されたことになる。

このように、 n 値は大規模災害の起こり易さを表すと同時に被害分布の期待値や分散もこの値によって求めることが出来るほか、異なった平均発生期間の災害の被害を推定することも出来ることが分かった。これらのことから、この n 値は災害規模特性を記述する統計的な指標として利用することが可能と思われる。

ところで関根らは、災害の発生件数とその被害の大きさとの関係、すなわち災害の階層構造についてフラクタル理論の立場から分析を加えた¹¹⁾。そして、ハインリッヒの法則で示される災害事象生起則には、フラクタル理論で取り扱われる自己相似性およびスケーリング則と共通した特性を有していることを示すとともに、災害規模と発生数の両対数紙上でのグラフの傾きはフラクタル次元に相当することを明らかにした。さらに、このフラクタル次元は大規模災害生起の難易を示すことから、対象システムの安全性を定量的に示す統計的指標として利用できると述べ、火災保険のデータを用いて指標と安全管理機能との関係の分析を試みている。本論での労働災害による被害規模についても、これまでの分析結果に示したように、フラクタル理論の考え方が適用できると思われる。

6. む す び

本研究は、労働災害による被害の大きさの統計的特性

を明らかにすることを目的として、労働災害による傷害の程度（災害強度）と、ひとつの労働災害によって負傷する労働者の数（災害規模）の特性について、実際に発生した労働災害を事例をもとにさまざまな分析と考察を加えた。それらの検討結果をまとめると以下のである。

(1) 中村が明らかにした、被害規模 h とその発生頻度 p との関係は $K=h^p$ で示される簡単なべき関数で記述でき、図面上では両対数紙上の直線で表現出来ることが、労働災害による労働損失日数や一つの災害による被災者数の規模についても同様に成立している。

(2) 身体障害を伴う労働災害による労働損失日数の分布形状は毎年ほぼ同じであり、また、山陽および上越新幹線トンネル建設工事での災害による休業日数は80~90日で両工事間で大きな差は無い。

(3) 一方、災害規模に関しては、上越新幹線トンネル工事災害が山陽新幹線トンネル工事災害に比べて大規模化しており、その原因は火災である。

(4) 被害規模-発生頻度の関係がべき関数で記述出来ることを発展させて、被害強度・規模の確率分布を導出した。同分布のパラメータ n 値を知ることにより、被害の期待値や分散を求められる。

(5) 災害事例分析より、産業別、建設業種別あるいは災害の種類によって n 値に差があり、 n が小さく被害規模の大きな災害は、産業別では農林業災害、建設業種別では土木工事災害および災害種類別では火災、爆発、構造物倒壊災害である。

(6) ある観測期間の長さとその期間内での災害発生数を知ることができれば、被害規模の確率分布を用いて特定被害規模の災害の平均発生期間や、特定期間での期待被害規模を推定出来る。この知見をもとに建設業種別や災害の種類別の平均発生期間や期待災害規模を算出した。建設業は製造業に比して大規模災害の平均発生期間は長く期待災害規模も小さい。災害種類別では、倒壊、火災、爆発による災害の発生期間は短くかつ期待災害規模も大きく、土砂崩壊、墜落災害は発生期間は長く災害規模は小さい。

(7) 火災や爆発災害のように、発生数が少ない災害でも被害規模分布のパラメータ n が小さければ、大規模災害の平均発生期間は短くかつ期待被害規模も大きくなる。

(8) 被害規模分布のパラメータ n 値は、大規模災害の起こり易さを表すと同時に被害分布の期待値や分散もこの値によって求めることが出来るほか、異なった平均発生期間の災害の被害を推定できる。これらのことから、この n 値を災害規模特性を記述する統計的な指標として利用できる。

参 考 文 献

- 1) 岡部晃三：わかりやすい労働統計，pp.164～170，労働法令協会，1985.
- 2) Heinrich, H.W., et al : Industrial Accident Prevention (5th ed.). McGraw-Hill. 1980.
- 3) Bird, Jr. F.E. and Germain, G.L. : Practical Loss Control Leadership, pp.17～49, Industrial Accident Prevention Association, Ontario, 1986.
- 4) 労働者災害補償保険事業年報（昭和50～平成1年），労働省労働基準局，1975～1989.
- 5) 例えば，労働安全衛生年鑑（平成2年版），（1990），p.204，中央労働災害防止協会.
- 6) Briscoe, G. J. : Risk Management Guide SDC-11, Energy Research and Development Administration, 76～45/11, 1977.
- 7) 中村林二郎：安全性の一考察（I）（危険性），安全工学，Vol.20, No.3, pp.120～126, 1981.
- 8) 花安繁郎・鈴木芳美：新幹線建設工事における労働災害の統計分析，労働省産業安全研究所研究報告，RIIS-RR-87-8, 1987.
- 9) 鈴木芳美・花安繁郎：トンネル工事の作業工程からみた労働災害の発生傾向について，労働省産業安全研究所研究報告，RIIS-RR-90-3, 1990.
- 10) 花安繁郎：大規模労働災害の発生特性に関する研究，第2回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム（JCOSSAR 91）講演論文集，pp.183～190, 1991.
- 11) 齊藤玄人・大石邦雄・関根和喜：災害事象生起のフラクタル的特性，第19回安全工学シンポジウム講演予稿集，pp.75～78, 1989.

（1992.4.13受付）

STATISTICAL ANALYSES ON THE DAMAGE CONSEQUENCES OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN CONSTRUCTION WORK

Shigeo HANAYASU

Statistical analyses of occupational accidents associated with construction work were carried out to explore the basic statistical characteristics of their damage consequences. Emphasis was placed upon the probabilistic and statistical analyses to clarify, in particular, the relationship between frequency of labour accidents and their damage consequences. Damage consequences were classified into two categories such as the number of workdays lost due to accidents and the number of injured workers involved in one accident. Two types of accident data were collected for the analyses. From the analyses, it was found that the relation between damage due to accidents and their frequencies can be represented by a simple power function which indicates a log-log linear relation. By making use of this relationship, various probabilistic evaluations such as the estimation of the mean time periods between accidents, expected damage consequences, and expected damage ratio between different mean time period of accidents were conducted.