

労働災害の被害強度・規模特性に関する研究

花安繁郎*

Statistical Analyses on the Damage Consequences of Occupational Accidents

by Shigeo HANAYASU*

Abstract; This paper deals with the statistical analyses of occupational accidents to explore the basic statistical characteristics of the damage consequences due to occupational accidents. Emphasis was placed upon the probabilistic and statistical analyses to clarify, in particular, the relationships between frequency of occupational accidents and their consequences.

In this paper, the damage consequences due to accidents were classified into two categories such as the number of days charged which required injured workers away from the work duties, and the number of injured workers involved in one accident. The workdays lost due to accidents indicates the severity or hardness of accidents imposed on the injured workers. The number of injured workers involved in one accident, on the other hand, implies the magnitude of accidents.

The occupational accident under investigation in this study were those taken place during the tunnel construction works for the New Sanyo-Shinkansen and New Joetsu-Shinkansen railways. Also, accident data concerning the workdays lost due to permanent disability accidents were collected. These data were utilized mainly for the analysis of the accident severity and frequency relations.

In addition to these accidents, serious occupational accidents involving three or more injured workers within an accident from the year of 1977 to 1990 were collected. These accident data were used for the magnitude-frequency relationship analysis.

The main results obtained in this study can be summarized as follows:

- 1) The relationship between damage consequences due to occupational accident such as the lost workdays and the number of injured workers involved in an accident and their frequencies can be represented by a simple power function which indicates the log-log linear relation.
- 2) The average workdays lost due to two Shinkansen tunnel construction accidents were estimated between 80 to 90 days and no significant difference was found between two project's accidents.
- 3) There was a difference between industrial sectors and types of accident in terms of the accident magnitude. Agriculture and forestry are the most dangerous industries. While, explosion and fire is the most serious types of accident, followed by traffic accident.

4) Return periods of an occupational accident corresponding to a specified number of injured workers involved in an accident can be estimated by making use of the log-log linear relationship.

5) The slope value of the frequency-magnitude curve can be utilized as an index indicating the potential risks of occurrence of large scale occupational accidents.

Keywords; Occupational accident, Damage consequence due to accident, Frequency-magnitude relation, Return period, 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⁾。たとえば、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1,000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かかわらず、前述の災害強度率やいくつかの研究^{2),3)}以外めぼ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こうむる傷害の程度（災害強度：severity）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：magnitude）とを取り上げ、それぞれの特徴について、実際に発生した労働災害の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再現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の区分と災害資料

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、及びこれらの復旧、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あまり高いことが多い。

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、災害によって労働者がこうむる傷害の程度（災害強度）と、一つの労働災害によってこうむる負傷者の数（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できる。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⁾から求めることができ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。この休業日数の分析には、比較的まとまった数の災害数を得ることができた、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及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。同報告では休業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2157ヵ月）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ヵ月）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の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3人以上の労働者が負傷した災害（重大災害）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は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⁾及び中村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、及びその傾きが大規模災害発生の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、被害強度と頻度の関係を次のべき関数で仮定した。

$$K = h^n P \quad (1)$$

ここで h は被災程度の大きさ、 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、

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

となり、 $n \neq 1$ の場合は、

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

また $n = 1$ の場合は、

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

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、

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

で示され、 $n \neq 2$ の場合は、

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

また $n = 2$ の場合は、

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

となる。したがって災害一件当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。

$$\begin{aligned} E(h_1 < h < h_2) &= G(h_1 < h < h_2) / P(h_1 < h < h_2) \\ &= \frac{(n-1) \cdot (h_2^{2-n} - h_1^{2-n})}{(n-2) \cdot (h_2^{1-n} - h_1^{1-n})} \end{aligned} \quad (8)$$

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。

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

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

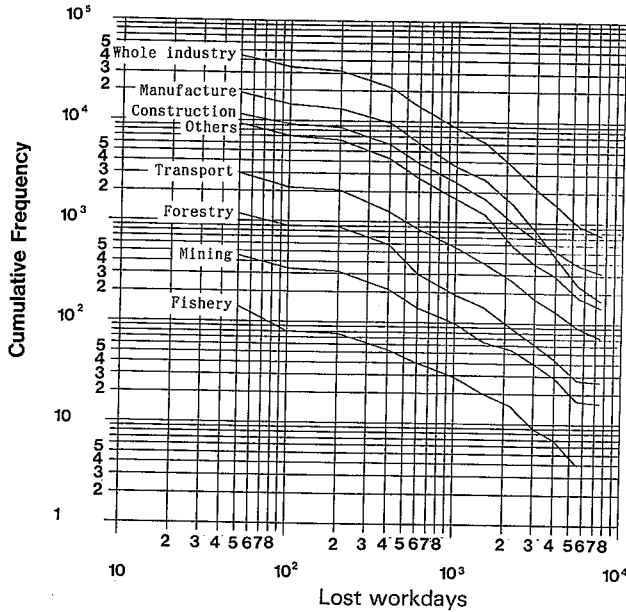


Fig. 1 Cumulative frequency of workdays lost due to permanent disability accidents by industry
 身体障害を伴う災害の労働損失日数の累積分布 (1) (産業別分類 1989 年度)

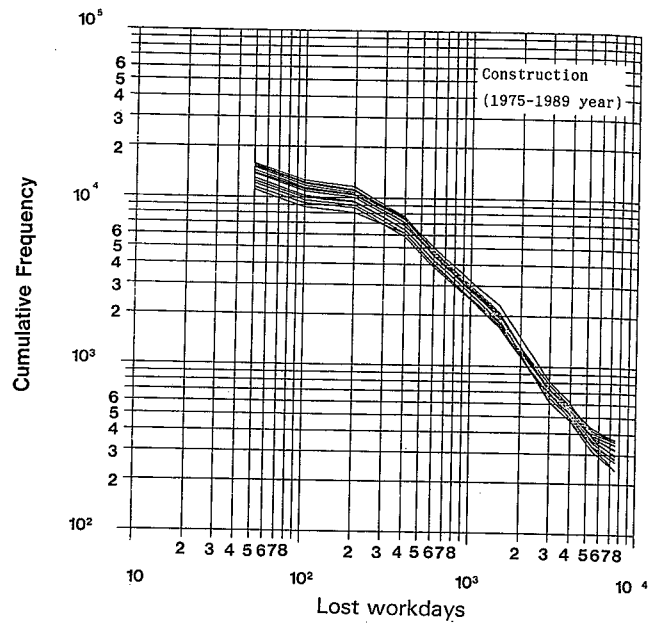


Fig. 2 Cumulative frequency of workdays lost due to permanent disability accidents by year
 身体障害を伴う災害の労働損失日数の累積分布 (2) (建設業災害 1975 ~ 89 年度)

またこのときの平均被害値 $E(h)$ は次式となる。

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

以上のことより、被害の大きさとその発生頻度の関係が (1) 式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、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、(9) 式から $P(h_c) = 1$ となり、従って、

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

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、従って確率分布関数

$F(h)$ も次の式で得られる。

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

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

同式より、 h の確率密度関数 $p(h)$ は、

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

また分布の期待値 $E(H)$ 、分散 $V(H)$ は、

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

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

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。

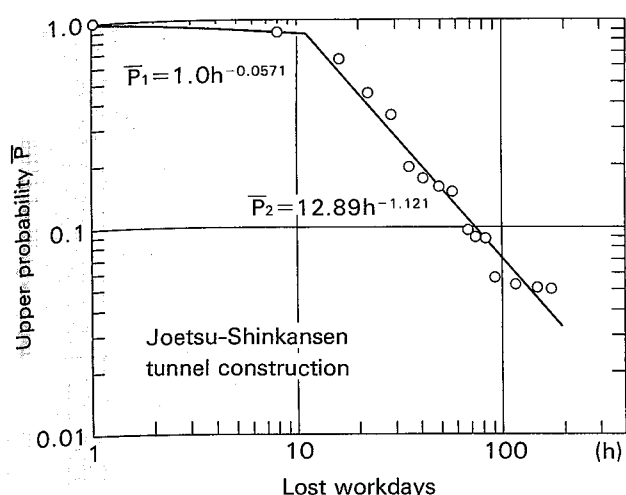


Fig. 3 Cumulative frequency of workdays lost due to Joetsu-Shinkansen tunnel accidents
上越新幹線トンネル工事災害休業日数累積分布

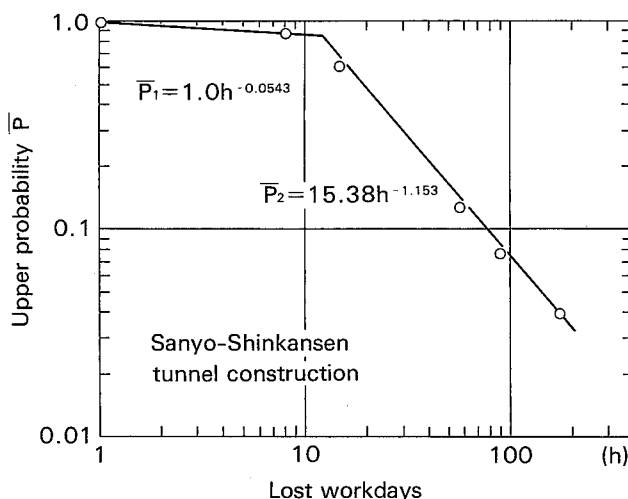


Fig. 4 Cumulative frequency of workdays lost due to Sanyo-Shinkansen tunnel accidents
山陽新幹線トンネル工事災害休業日数累積分布

4. 被害の大きさについての統計分析

4.1 傷害程度 (severity) の分析⁸⁾

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。

Fig. 1 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、(9) 式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 Fig. 2 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、Fig. 3 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 $h > 11$) で、

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

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できる。そこで、①及び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 日であることが分かる。

同様に Fig. 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、 $h = 12$ 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

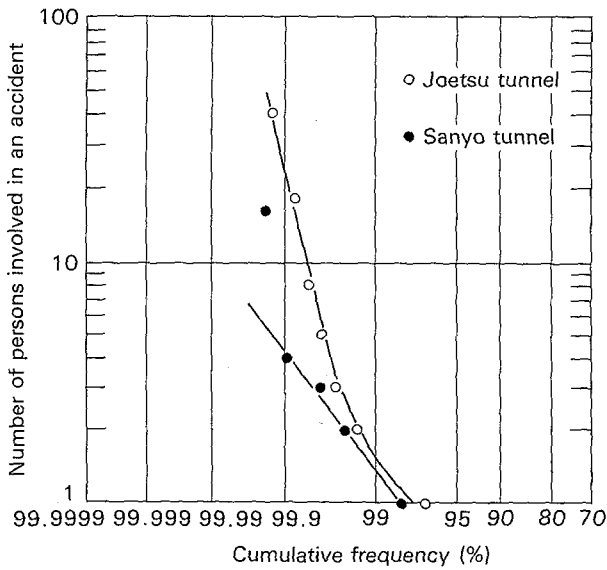


Fig. 5 Frequency distributions of magnitude due to Shinkansen tunnel accidents
新幹線トンネル工事労働災害規模別発生分布

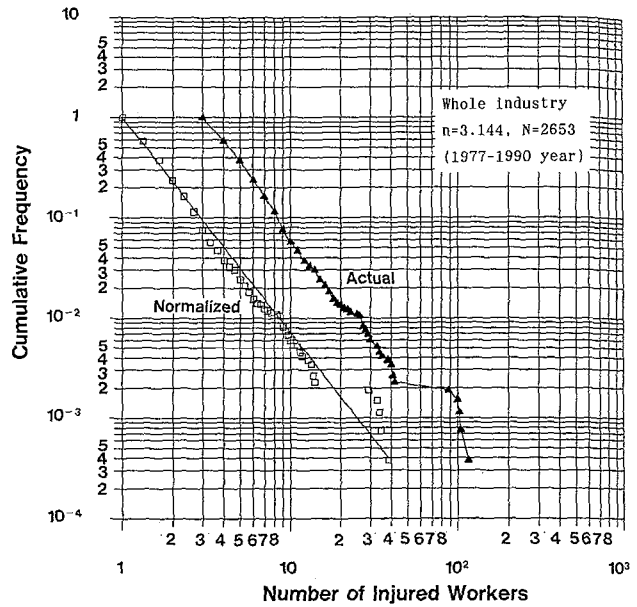


Fig. 6 Frequency-magnitude curve of serious labour accidents in the whole industry
全産業重大災害・災害規模—発生頻度の関係

示される。(領域① $h < 12$ 日), (領域② $h > 12$)

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

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及び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、

$$\begin{aligned} G_1 &= 0.54, G_2 = 79.25 \\ G &= G_1 + G_2 = 79.79 \end{aligned}$$

となり、傷害程度 ∞ までを考慮した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が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できた。

4.2 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。

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災害では8件の重大災害がそれぞれ発生していた。

まず、Fig. 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、上越新幹線工事での災害規模はゆるやかな曲線として表すことができるが、山陽新幹

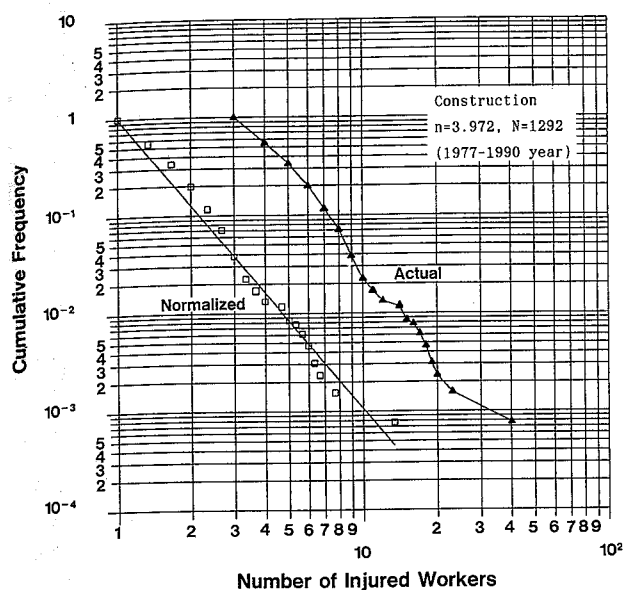


Fig. 7 Frequency-magnitude curve of serious labour accidents in construction work
建設業重大災害・災害規模—発生頻度の関係

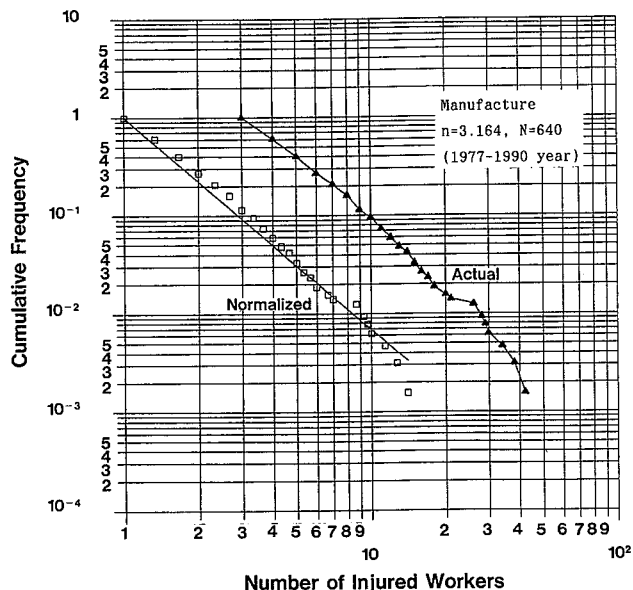


Fig. 8 Frequency-magnitude curve of serious labour accidents in manufacture industry
製造業重大災害・災害規模—発生頻度の関係

線工事のそれは全体をひとつの曲線では表現しにくい状態であることが示されている。しかしながらこのグラフからでも、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分かる。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建設工事のほうが山陽新幹線トンネル建設工事の発生しやすかったことが分かる。また、山陽新幹線トンネル工事災害の最大規模は16人であるが、分布形状からみればこの災害は同工事災害の中では特異な災害であったことがうかがえる。一方、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分かる。

ところで、上越新幹線のトンネルは約3002ヵ月で施工され、この間1416件の労働災害が発生している。一方、ある災害が40人以上の災害規模である確率はFig. 5から約0.0007と読み取れるので、40人被災規模災害の再現期間を計算すると、 $1/(0.0007 \times 0.472) = 3028 \text{ヵ月} = 252 \text{年}$ となり、約250年に1回位の規模の災害であったことが分かる。他の災害規

模の再現期間も同様な手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、条件が揃えば起こりうる災害であったことが分かる。

次に、一度に3人以上の負傷者を伴った重大災害について、その災害規模の分布を分析した結果をFig. 6～Fig. 8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全産業、製造業、及び建設業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值 $h_c = 3$ 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、労働災害による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できた。

ところで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

Table 1 *n* value, expectation and variance of the magnitude distributions classified by industrial sectors
産業別災害規模分布に関する*n* 値, 期待値, 分散

	Whole industry	Construction	Manufacture	Transportation	Agriculture & Forestry	Commerce
<i>n</i> value	3.144	3.972	3.164	3.272	2.959	3.453
<i>E</i> (<i>H</i>)	5.622	4.521	5.577	5.358	6.128	5.065
<i>V</i> (<i>H</i>)	102.389	7.076	87.650	46.463	—	23.084

Table 2 *n* value, expectation and variance of the magnitude distributions classified by type of accidents
災害種類別災害規模分布に関する*n* 値, 期待値, 分散

	Traffic accident	Explosion	Poisoning	Fire	Structure destruction	Soil collapse
<i>n</i> value	3.515	2.624	2.999	2.822	3.561	4.650
<i>E</i> (<i>H</i>)	4.980	7.808	6.003	6.650	4.922	4.132
<i>V</i> (<i>H</i>)	19.149	—	—	—	16.861	2.835

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り、従って、*n* 値が小さいほど大規模災害が起こり易くなりかつ平均被害規模も大きくなる。逆に *n* 値が大きくなれば直線の傾きは大きくなり、大規模災害が起こる確率は小さくなって行き同時に被害期待値も小さくなって行く。

このような分析結果のまとめとして、Table 1 及び Table 2 には、重大災害を産業別及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。

Table 1 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) を求めることができるが、農林業については *n* < 3 なので、その分散を求めることはできない。

一方、Table 2 の災害種類別の分析では、産業別と同様に災害の種類ごとに *n* 値に差があり、土砂崩壊による災害の *n* 値が一番大きく、以下、倒壊災害、交通災害、中毒、火災、爆発の順となっている。被害

規模の大きな爆発、火災及び中毒の 3 災害は、*n* < 3 なので分布の分散を求めることができない。

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できることや、また、産業別や災害の種類別に区分し、各災害の確率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明らかにした。

5. 大規模災害の再現期間等の分析

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ることができ、かつ実際の災害が同分布式に従うことが明らかになったので、本章ではこれらの知見を応用して、大規模災害の再現期間や特定期間内での平均的な被害の大きさの推定を試みることにした。

いま、ある観測期間の長さを *L*, その期間内での災害数 *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。

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

従って、被害規模 *h* の災害の再現期間は次式によって求められる。

Table 3 Return periods of occupational accidents classified by accident size and industrial sectors (year)
産業別大規模災害の再現期間 (年)

Size of accident	Whole industry	Construction	Manufacture	Transportation	Agriculture & forestry	Commerce
10	0.070	0.388	0.296	2.016	1.626	3.442
20	0.308	3.047	1.328	9.735	6.321	18.851
30	0.735	10.169	3.194	24.454	13.986	50.972
40	1.363	23.913	5.953	47.006	24.569	103.239
50	2.199	46.418	9.650	78.036	38.036	178.481

Table 4 Return periods of occupational accidents classified by accident size and type of accidents (year)
災害種類別大規模災害の再現期間 (年)

Size of accident	Traffic accident	Explosion	Poisoning	Fire	Structure destruction	Soil collapse
10	0.244	0.317	0.675	0.661	1.679	8.045
20	1.394	0.977	2.699	2.335	9.905	101.004
30	3.866	1.887	6.069	4.888	27.974	443.720
40	7.969	3.011	10.785	8.256	58.437	1268.120
50	13.967	4.326	16.846	12.398	103.477	2863.520

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

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、再現期間 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こと分かる。

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 (期待災害規模) h_1 は、同式で $T_h = 1$ とおき h について解くと次式で求められる。

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

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 は次式求めることができる。

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

これらの式に示される通り、 T 年期待災害規模は、再現期間が長く、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こと分かる。

以上の考察を実際の災害に適用すると、たとえば、Fig. 7での建設工事重大労働災害では、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(13)式より $(h/h_c)^{1-n} = (10/3)^{-2.972} = 0.0279$ となる。一方、1977～1990年の観測期間14年間で1292件の重大災害が発生しているの、10人規模災害の再現期間は(21)式より $T_h = (1/0.0279) \times (14/1292) = 0.388$ (年) となり、ほぼ5ヵ月に1回起こっていること分かる。

このような手順に従って求めた特定被災規模災害の再現期間を、産業別に調べた結果をTable 3に示し、同じく、災害を種類別に分析した結果をTable 4に示した。

Table 3から、産業別では各災害規模とも製造業の再現期間が一番短く、以下建設業、農業、運輸業及び商業の順となっている。ところで、本調査期間内で一番災害数が多い産業は建設業である。その平均発生間隔は14年/1292件=0.13月/件であり、製造業のそれの(14年/640件=0.26月/件)1/2である。しかし、大規模災害の再現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。

Table 5 Expected occupational accident magnitude corresponding to return periods classified by industrial sectors (number of involved workers)
産業別大規模災害の再現期間と期待災害規模 (人)

Return period	Whole industry	Construction	Manufacture	Transportation	Agriculture & forestry	Commerce
1	34.63	13.75	17.54	7.34	7.80	6.04
5	73.34	23.63	36.90	14.92	17.74	11.64
10	101.34	29.83	50.83	20.24	25.28	15.45
15	122.44	34.19	61.30	24.19	31.09	18.22
20	140.02	37.67	70.02	27.46	36.01	20.49
25	155.38	40.60	77.62	30.29	40.36	22.44
30	169.17	43.17	84.44	32.82	44.29	24.17
35	181.78	45.47	90.67	35.13	47.92	25.74
40	193.46	47.56	96.45	37.26	51.30	27.17
45	204.38	49.48	101.84	39.24	54.48	28.51
50	214.68	51.27	106.92	41.10	57.49	29.77

Table 6 Relation between damage ratio, normalized return period and parameter n
期待災害規模比と基準化再現期間及びパラメータ n の関係

	$N = 1.5$	$N = 2.0$	$N = 2.5$	$N = 3.0$	$N = 3.5$	$N = 4.0$
1	0.10000D+01	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	0.14141D+01	0.13195D+01	0.12599D+01
3	0.90000D+01	0.30000D+01	0.20801D+01	0.17321D+01	0.15518D+01	0.14411D+01
4	0.16000D+02	0.40000D+01	0.25198D+01	0.20000D+01	0.17411D+01	0.15874D+01
5	0.25000D+02	0.50000D+01	0.29240D+01	0.22361D+01	0.19037D+01	0.17100D+01
6	0.36000D+02	0.60000D+01	0.33019D+01	0.24495D+01	0.20477D+01	0.18171D+01
7	0.49000D+02	0.70000D+01	0.36593D+01	0.26458D+01	0.21779D+01	0.19129D+01
8	0.64000D+02	0.80000D+01	0.40000D+01	0.28284D+01	0.22974D+01	0.20000D+01
9	0.81000D+02	0.90000D+01	0.43267D+01	0.30000D+01	0.24082D+01	0.20801D+01
10	0.10000D+03	0.10000D+02	0.46416D+01	0.31623D+01	0.25119D+01	0.21544D+01
20	0.40000D+03	0.20000D+02	0.73681D+01	0.44721D+01	0.33145D+01	0.27144D+01
30	0.90000D+03	0.30000D+02	0.96549D+01	0.54772D+01	0.38981D+01	0.31072D+01
40	0.16000D+04	0.40000D+02	0.11696D+02	0.63246D+01	0.43734D+01	0.34200D+01
50	0.25000D+04	0.50000D+02	0.13572D+02	0.70711D+01	0.47818D+01	0.36840D+01
60	0.36000D+04	0.60000D+02	0.15326D+02	0.77460D+01	0.51435D+01	0.39149D+01
70	0.49000D+04	0.70000D+02	0.16985D+02	0.83666D+01	0.54707D+01	0.41213D+01
80	0.49000D+04	0.70000D+02	0.16985D+02	0.83666D+01	0.54707D+01	0.41213D+01
90	0.81000D+04	0.90000D+02	0.20083D+02	0.94868D+01	0.60492D+01	0.44814D+01
100	0.10000D+05	0.10000D+03	0.21544D+02	0.10000D+02	0.63096D+01	0.46416D+01

同様に、農林業災害も n 値が小さいので再現期間も短くなっていることが示されている。

一方 Table 4 の災害の種類別では、災害数の極めて多い交通事故を除くと、 n 値が小さく災害規模の大きな爆発、火災などによる災害が再現期間でも短いことが示されている。つまり、量的に問題な災害は交通事故であり、質量ともに悪質な災害は爆発、火災、中毒・薬傷によるものであるといえる。

また、特定の再現期間 T に対応する産業別の期待災害規模を (23) 式によって計算した結果を Table 5

に示した。

同表より、1年規模災害で10人を越えている産業は製造業と建設業である。一方、農林業は1年規模災害では7.8人と10人以下であるが、30年規模災害では建設業のそれを越えている。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、再現期間が短いときは期待災害規模も小さな値ですむが、再現期間 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

ず再現期間にも大きな影響を及ぼすことが分かったので、さらに災害規模と再現期間及び n との関係を検討を加えることとした。そのために、再現期間 1 年の期待災害規模 h_1 と、再現期間 T 年のそれ h_T との比を $S_{1,T}$ とおくと、

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

より一般的には、再現期間が 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_{T_1} , h_{T_2} とすれば、それらの比 S_{T_1, T_2} は、

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

ただし、 $T_R = T_2/T_1$; 基準化再現期間

かくして、異なった長さの再現期間の労働災害による被害規模の比が、それぞれの再現期間の比 T_R と n の関数として表現されることが分かった。同式を用いて、 $n = 1.5 \sim 4.0$, $T_R = 1 \sim 100$ の範囲で災害規模比 S_{T_R} を求めた結果を Table 6 に示した。

同表より、たとえば $n = 1.5$ 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 年では 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できるほか、異なった再現期間の災害の被害を推定することもできる。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及びスケール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

以上本研究では、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、労働災害による傷害の程度（災害強度：severity）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：magnitude）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てきた。それらの検討結果をまとめると以下のようである。

- (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 $K = h^n p$ 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ことを多くの災害事例によって明らかにした。
- (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ることや、山陽及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 日と、両工事間で大きな差は無いことを明らかにした。
- (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ことを明らかにした。
- (4) 被害規模—発生頻度の関係がべき関数で記述できることを進展させて、被害強度・規模の確率分布を導き、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ることを示した。
- (5) 災害事例分析より、産業の種類や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、産業別では農林業での災害、災害種類別では爆発、火災、中毒・薬傷であることを明らかにした。
- (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再現期間や、特定期間での期待被害規模を推定出来ることを示した。この知見のもとに産業別や災害の種類別の再現期間や期待災害規模を算出した。

- (7) 爆発、火災の災害のように、発生数の少い災害でも被害規模分布のパラメータ n が小さいときには、大規模災害の再現期間が短かつ期待被害規模も大きくなることを明らかにした。
- (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できるほか、異なった再現期間の災害の被害を推定できることを示した。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ことを示した。

(平成4年4月20日受理)

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，昭和60年。
- 2) Heinrich, H.W., et al: Industrial Accident Prevention (5th ed.), MacGraw-Hill, 1980.
- 3) Bird, Jr. F.E. and Germain, G.L.: Damage Control, pp. 11-66, American Management Association, 1966.
- 4) 労働者災害補償保険事業年報（昭和52～平成1年），労働省労働基準局，1979-1991.
- 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, SSDC-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.