Research Report of the Research Institute of Industrial Safety, RIIS-RR-87, 1987
UDC 614.8 : 625.1 : 519.25

新幹線建設工事における労働災害の統計分析

花安繁郎*，鈴木芳美*

Statistical Analysis of Accidents in Bullet Train Construction Work

by Shigeo HANAYASU and Yoshimi SUZUKI

Abstract ; The situation surrouding construction work has been changing rapidly due to the increase of large scale construction, introduction of highly innovated technology, aging of workers in sites, etc.

Accordingly, the features of accident occurrences in terms of the causative factors to accidents and their combinations have also been changing.

Hence, in order to establish the effective safety countermeasures, it becomes necessary to understand the accident situation in the construction work thoroughly in accordance with its changes.

This paper deals with the accident investigation for the purpose of getting the basic nature of accident as well as their changing situation in the recent construction work.

The construction work under the present investigation is that of the Joetsu-Shinkansen bullet train railway (from Ohmiya to Niigata ; 275 km in length ; 1972-1982). This project covers various types of structure construction work, such as tunnels, bridges, etc.

The accident data were made available from the Industrial accident reports submitted to the prefectural labour standards offices and the labour standards inspection offices involved. They totaled in number 2150 injuries including 89 fatalities.

To throw light on the nature of labour accidents in construction sites, various statistical analyses were carried out. The main results obtained in this analyses are described as follows :

(1) In the Joetsu-Shinkansen bullet train construction work, accidents associated with tunnel construction account for 74%, and overhead bridge construction takes about 15% of all accidents.

(2) The number of accidents concentrates in the middle aged groups. However, seeing from the accident frequency rate, accidents are more liable to occur in younger and elderly personnel, which is twice or 3 times higher than the average rate.

(3) The number of accidents as well as the accident frequency rate are more likely to increase with the decrease in the years of work experience.

(4) The frequency distribution of accidents classified by time shows that about 27% of all accidents have taken place in the night time shift. The particular feature of accident occurrence in regard to time also shows the peaks after 2-3 hours after the rest period or the beginning of the work.

(5) From the comparison of accidents classification by work activities between conventional

* 土木建築研究部 Construction Safety Research Division

tunnelling method and NATM method, roof bolting and mortar placing are the activities frequently cited in the NATM tunnelling method.

(6) CTA analysis was carried out to clarify the frequency of contributive causative factors that lead to an accident occurrence and their combinations for various types of accidents, working time, etc. By making use of the influential transition matrices, the similarity in accident situation between activities, working time, and others in tunnelling work are examined.

(7) The relationship between workdays lost due to accidents and their frequency can be expressed as a log-log linear straight line. If the slope of a line exceeds -1, the expectation of the lost workdays including fatal accidents can obtained within a limitted value. The expectation of workdays lost with fatalties for the Joetsu-Shinkansen tunnel construction was 90 days. No distinguished difference in the expected lost workdays was found between Sanyo-Shinkansen accidents and Joetsu-Shinkansen accidents.

(8) The consequence of accidents (magnitude) that indicates the number of injured workers involved in an accident tends to become larger in the Joetsu-Shinkansen tunnel construction compared to the Sanyo-Shinkansen tunnel construction due to the increase of potential risks of fire during tunnelling work.

The return period of an accident involving more than 40 injury workers in tunnel construction work was estimated about 250 years.

Keywords ; Construction works, Statistical analysis, Occupational accidents.

1. はしがき

我国の建設工事における労働災害は，昭和30年代初頭には災害度数率および災害強度率の両指標とも全産業の数倍も高い値を示していたが，最近では全産業平均，あるいは製造業の値と同程度または下まわるまでに改善されてきている。

しかしながら，全産業で発生した労働災害の約3割，特に死亡災害の4割以上が建設業で占められており，また重大災害の多くが建設工事で発生している様に，いまだに多くの労働災害が建設工事で発生していることも事実である。

また近年の建設工事は大型化，複雑化，高度化するとともに，労働者の高齢化など，工事を取り巻く環境は大きく変化しつつあり，それにともない，

(1) 大規模な災害の発生

(2) 建設機械類による災害の増加

(3) 高齢者に多発する災害

など，労働災害の発生形態や災害要因も大きく変化を遂げようとしている。

従って，災害要因の変化を的確に把握することは，効果的な災害防止対策を策定し，今後の災害防止を図る上で重要なことと思われる。

本稿は，上越新幹線建設工事労働災害を事例に統計分析を行い，最近の大型建設工事における労働災害の発生特性を明らかにすることと，上越新幹線に先だって建設された山陽新幹線における工事中での労働災害との比較を行い，災害発生形態，発生要因の変化について考察を加えた結果を報告するものである。

2. 上越新幹線建設工事の概要[1)]

上越新幹線は大宮～新潟間については昭和57年11月，また上野～大宮間は昭和60年3月にそれぞれ開業している。

大宮～新潟間の建設工事は，昭和46年12月大清水トンネル建設工事の着手を皮切りに開始され，以降数々の難工事を克服して昭和57年11月までの10年余にわたって実施された。

工事の内容を構造物の種類別にみると，Table 1 に示すとおり，全工事のほぼ5割近くが高架橋工事で，また，4割近くがトンネル建設工事であった。従来の新幹線工事に比較して，中山トンネル，大清水トンネル工事を代表とする大規模かつ難工事であった数多くの工事が施工されたほか，散水消雪設備を採り入れた降雪対策など，新しい技術の開発も活発に行われた。

工事が具体的に開始されたのは昭和47年からで，当

Table 1 Outline of the Joetsu-Shinkansen construction work (from Ohmiya to Niigata)
上越新幹線建設工事（大宮—新潟間）の工事内容の概要[1)]

（単位 km）

構造種類	本線区間	駅区間	車両基地	合　計(%)
路　盤	1.3	0.6	1.7	3.6(1.3)
橋　梁	27.0	4.6	1.2	32.8(11.9)
高架橋	115.0	15.2	2.2	132.4(48.1)
トンネル	106.6	—	—	106.6(38.7)
合　計	249.9	20.4	5.1	275.4(100.0)

初は主にトンネル工事を中心に着手され，また昭和52年頃より高架橋工事をはじめとする各種の明かり工事も各地で多数施工されるようになった。

Fig. 1 および Fig. 2 は各々上越新幹線建設工事における年別の一工事あたりの平均工事契約高と工事件数とを示したものである。

これらによると，工事期間前半の昭和48年～51年頃は工事件数は比較的少ないものの契約高の大きい工事が多かったことが続みとれる。これは，工事期間前半にはトンネル工事を中心とした大工事が最盛期であったことが反映されたものである。工事件数は昭和52年頃から急激に増加するが，これは工区長の短い高架橋工事や駅舎建築および軌道工事，電気工事等の細かな工事が多数発注されるようになったためである。

3. 上越新幹線建設工事における労働災害発生状況の概要

前述のように，上越新幹線建設工事は10年余にわたって行われたが，その期間に動員された労働者数は延べ1930万人，延べ労働時間数は174百万時間にも達している[1)]。

この間に発生した労働災害は，筆者らが収集した災害資料によれば，昭和57年末までで全死傷件数2150件，うち死亡災害は89件であった。なお，労働災害の資料には，事業所から所轄労働基準監督署へ提出された労働者死傷病報告，ならびに死亡災害，重大災害に関する災害調査復命書などを用い，これらの資料を可能な限り収集し整理を行った。

これらの労働災害を，工事の種類別に分類したのが Table 2 である。同表より，トンネル建設工事における労働災害が全体の約 3/4 の多くを占め，ついで高架橋工事における災害が15%であることが示されている。

また Fig. 3 には，昭和47～57年の11年間の労働災害の発生数の推移を示した。前述のように，上越新幹線

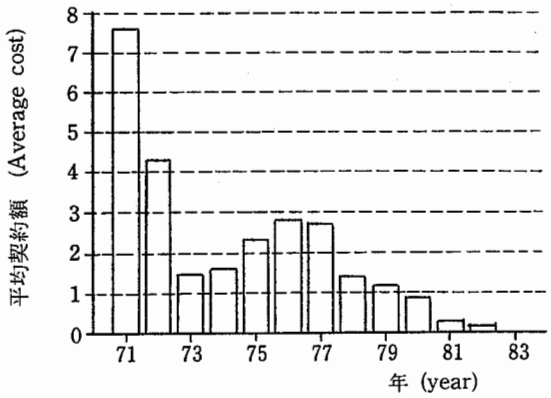

Fig. 1 Average contract cost classified by year in Joetsu-Shinkansen bullet train coustruction work (100 million yen/contract)
上越新幹線建設工事における平均工事契約高（億円/工事）

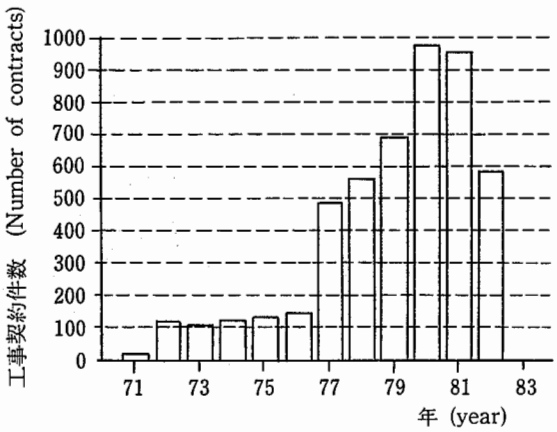

Fig. 2 Number of contracts classfied by year in Joetsu-Shinkansen bullet train construction work
上越新幹線建設工事での年度別工事契約件数

工事は工事期間前半はトンネル工事を中心に，工事期間後半は各種工事が混在した形で進められたが，労働災害の発生状況もこれらの反映したものであることが同図からうかがえる。

4. 新幹線建設工事労働災害の分析

4.1 被災者の属性に関する分析

4.1.1 工事種類別-被災者の職種別災害発生状況

労働災害被災者の職種を分析した結果を示したのが Fig. 4 である。工事内容の特長を反映して，トンネル工事では，土工・坑夫と呼ばれる作業者の被災が圧倒的に多数を占め，また高架橋工事では，大工・とび・土工などが多数を占めている。留意すべき点は，トンネ

Table 2　Classification of accidents by construction sectors
工事の種類別災害分類

工事種類	災害発生件数	%
トンネル工事	1,590	74.0
橋梁工事	23	1.1
高架橋工事	323	15.0
軌道工事	37	1.7
一般建設工事	29	1.4
その他工事	148	6.9
合計	2,150	100.0

ル工事では現場職員と呼ばれる元請職員や工事の実際の指揮をとる世話役・工長と呼ばれる人々も被災するケースが多かったことである。

4.1.2　被災者の年齢・経験年数別の災害発生状況

上越新幹線建設工事における労働災害被災者について，その年齢および経験年数を分析した結果を示したのが Fig. 5 ならびに Fig. 6 である。

Fig. 5 は，実際に被災した作業者の年齢を5歳きざみに区切って集計した結果を棒グラフに示した。30歳代後半から50歳代前半にかけての作業者の被災数が圧倒的に多く，40歳代前半をピークとしたピラミッド状の分布をしている。

一方，図中の折れ線グラフは，実際の現場での作業者の年齢分布の調査結果をともに，各年齢区分ごとの被災者の割合を，相対災害率として示したものである。これによると，20歳代前半までの若年作業者層および50歳代後半以上の高年齢層の作業者の被災する割合が高いことが示されている。被災実数の多い30歳代後半

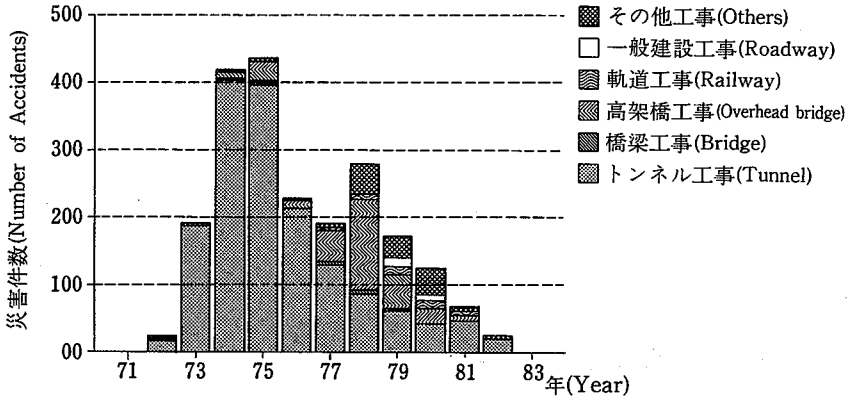

Fig. 3　Number of accidents classified by construction sectors and year in Joetsu-Shinkansen bullet train construction work
上越新幹線建設工事における工事種類別災害発生件数

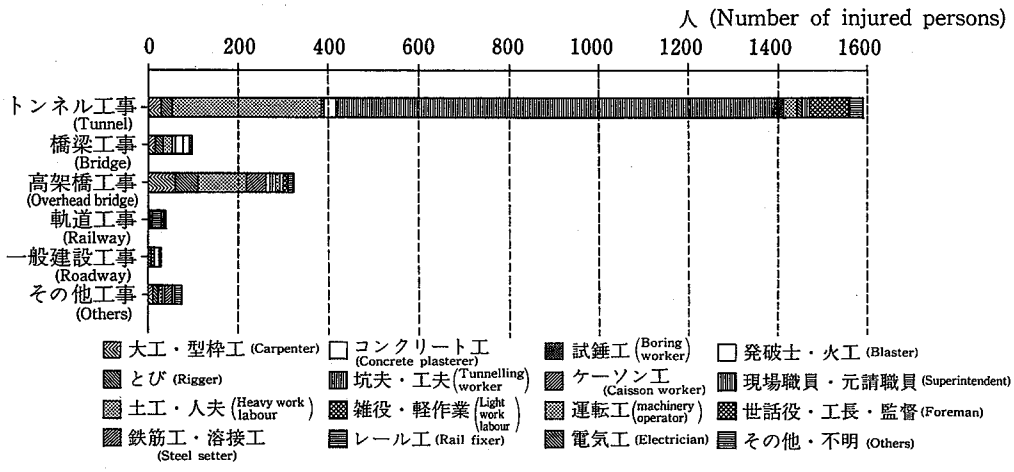

Fig. 4　Number of accidents classified by construction sectors and by jobs of workers engaged in Joetsu-Shinkansen bullet train construction work
上越新幹線建設工事における工種別職種別災害発生件数

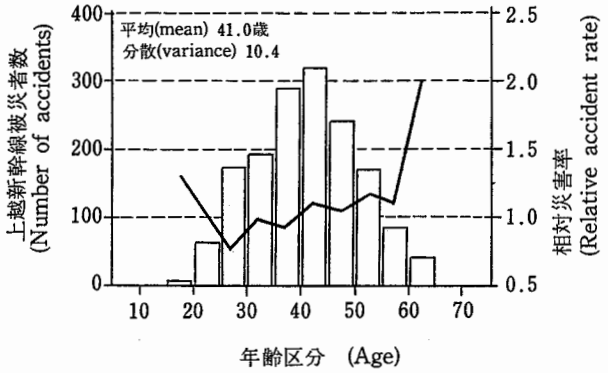

Fig. 5 Frequency distribution of age of injured workers engaged in Joetsu-Shinkansen bullet train construction work
上越新幹線建設工事における被災者年齢分布

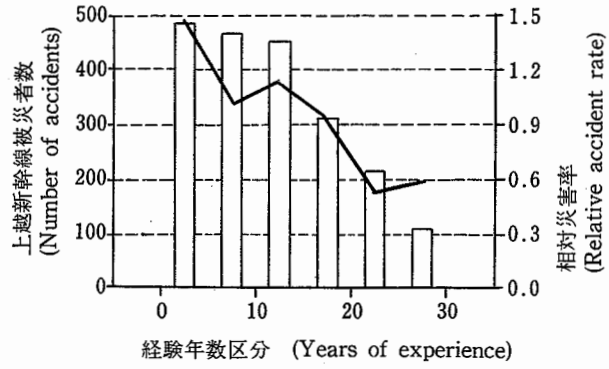

Fig. 6 Frequency distribution of years of experience of injured workers engaged in Joetsu-Shinkansen bullet train construction work
上越新幹線建設工事における被災者の経験年数分布

から50歳代前半にかけての中高年層は，相対災害率ではむしろ小さな値になっている。

従前から，建設業では労働力を中高年令層に依存していること，若年・高年齢層の災害の割合が高いことなどが指摘されていたが[2]，上越新幹線建設工事においても全く同様の傾向を示していたと考えられる。また Fig. 7 には，被災者の年齢分布を経験年数で区分したものを示した。この図によれば，当然ながら高年齢層の中に経験年数の長い者が多くなっていること，また，各年齢区分とも経験年数の差異に伴うような特異な傾向は認められないことがわかる。

一方，被災者の経験年数別に被災実数，相対災害率をみると，Fig. 6 に示すとおり，経験年数が少ない作業者ほど被災実数も相対災害率も大きくなる傾向がうかがえる。この傾向は，上越新幹線建設工事に先立って昭和40年代前半に工事が実施された山陽新幹線建設工

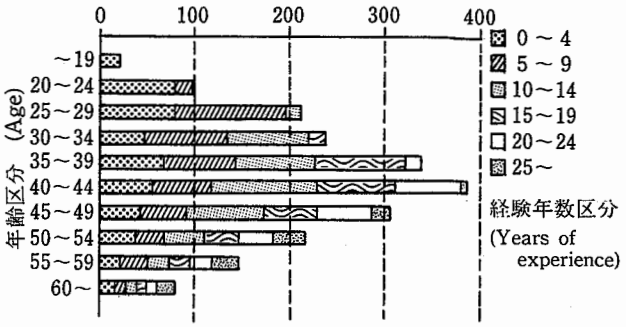

Fig. 7 Number of accidents classified by age and years of experience of workers
年齢—経験年数別被災者数

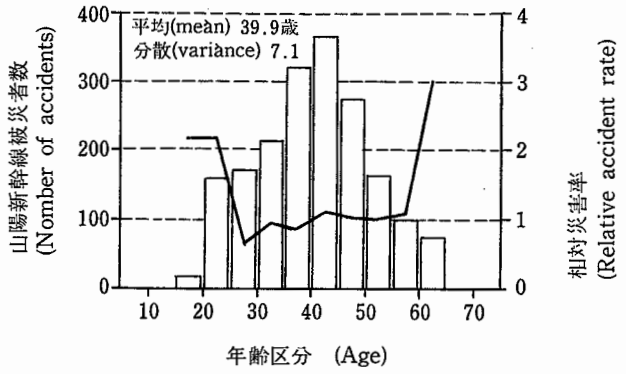

Fig. 8 Frequency distribution of age of injured workers engaged in Sanyo-Shinkansen bullet train construction work
山陽新幹線建設工事における被災者年齢分布

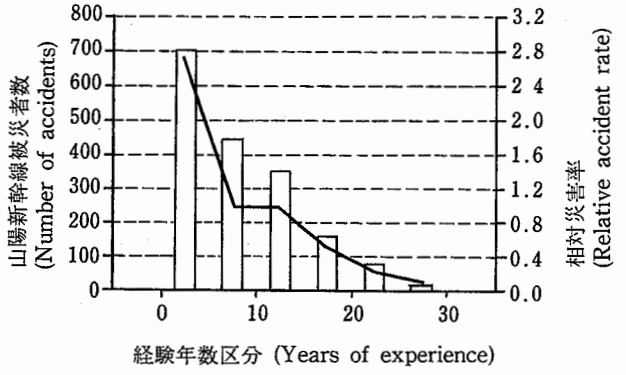

Fig. 9 Frequency distribution of years of experience of injured workers engaged in Sanyo-Shinkansen bullet train construction work
山陽新幹線建設工事における被災者の経験年数分布

事における労働災害（Fig. 8, Fig. 9 参照）と比較しても，全体的にほぼ一致した傾向であることがわかる[2]。

しかしながら詳細に2つの工事の災害を比較すると，Fig. 6 と Fig. 9 に示されるとおり，双方には多少の差異

も見られる。すなわち，山陽新幹線建設工事では経験年数が長くなるにつれて被災実数も相対被害率もほぼ指数関数的に減少するのに対し，上越新幹線建設工事の方では経験年数の差による相対災害率は平均化の傾向がみられる。

山陽新幹線建設工事において，経験年数の浅い作業者に労働災害が多かった理由には，

(1) 労働力の高齢化と並んで季節労務（いわゆる出稼ぎ）など建設工事の経験の少ない者が実際の作業に従事することが多くなったこと，

(2) トンネル建設工事がそれぞれ以前の人力を中心とした施工から大型掘削機械・重量運搬機械などの機械力を導入した施工方式へと変遷しつつあった時期で，作業者側の不慣れ，作業者と機械の不調和などが存在しはじめていたこと，

(3) 複雑多様化した機械類の出現でオペレーターを中心とした技能工が不足するようになっていたこと，

などがあげられる[2)]。

上越新幹線建設工事の時期では，上記の状況がさらに進展し，特に工事の機械化は急速な進歩を遂げていた。そのため実際の作業の中では，作業者側の従来の工事経験がそのまま有効に活用しにくい状況も生じていたのではないかと考えられる。このような背景もあって，上越新幹線建設工事での作業者の経験年数の差による相対災害率には平均化の傾向が見られたと考えられる。

4.2 トンネル工事災害の発生時間による分析

時刻別に労働災害の発生した状況を示すと，Fig. 10の棒グラフのようになる。上越新幹線建設工事当時，特にトンネル工事にあっては昼夜連続二交代制（昼方および夜方）が一般的に採用されていた。したがって，夜間から早朝（夕方18時～朝6時）にかけての間に発生した労働災害も少なくなく，全体の約27%を占めるに至っている

また，昼方・夜方を問わずいずれも作業開始あるいは休息を狭んで2～4時間後の9～11時，14～16時，21～23時，および2～3時に発生数のピークがみられる。

これらの時刻別の災害発生傾向は，従来より指摘されていたものと同一といえるが，実際の現場における作業者数や作業内容，作業密度などとの関連で考察する必要がある。そこで，上越新幹線のあるトンネル建設工事事業場において，作業現場（坑内）への作業員

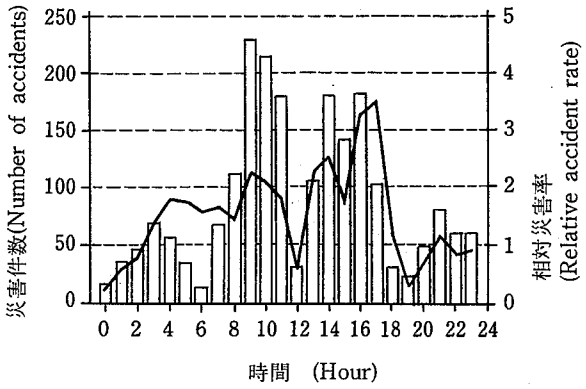

Fig. 10 Frequency distribution of accidents classified by time in Joetsu-Shinkansen construction work
上越新幹線建設工事時間別災害発生数分布

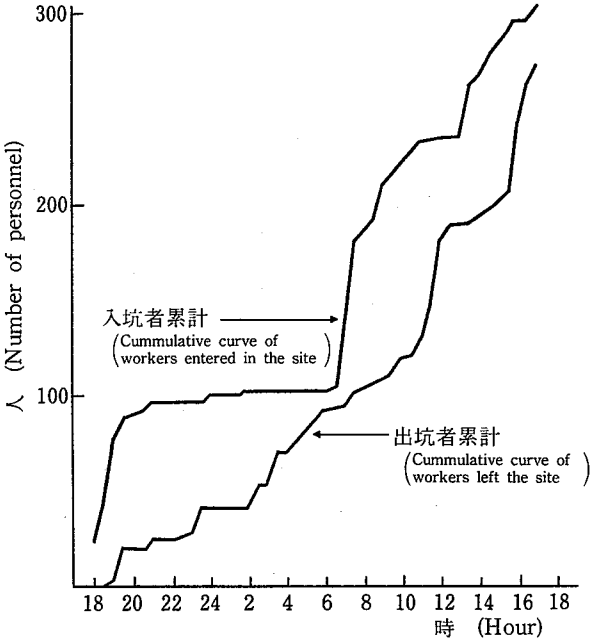

Fig. 11(A) Cummulative curve of in-out workers in a Joetsu-Shinkansen tunnel construction site
トンネル建設工事入坑・出坑者累計曲線

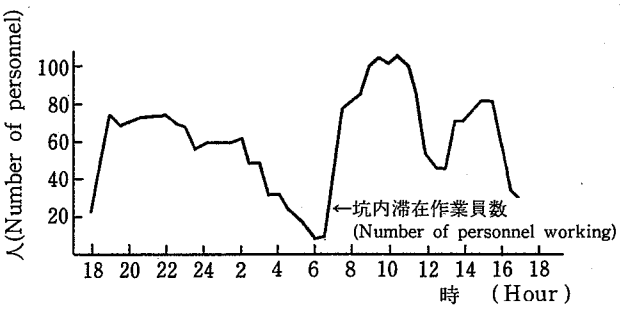

Fig. 11(B) Number of personnel working in a tunnel construction site classified by time
トンネル工事坑内滞在作業員数時間曲線

の出入数，坑内での作業内容，および軌道関係車両の運行状況などを24時間にわたって連続観測調査を行った。

Fig. 11(A)はその際に観測された当該現場における坑内入坑者数および出坑者数を，また Fig. 11(B)はそれらから得られた坑内の滞在作業者数を，各々時間別の推移状況として示したものである。

当該現場は，延長15km ほどの長大トンネルが 5 工区に分割されたもののうちの中間に位置する一工区で，斜坑によるアプローチで本坑延長2600m を大宮方，新潟方の 2 方向に側壁導坑上部半断面掘削工法で掘進するものであった。したがって，調査時点で坑内には 6 ケ所の切羽における掘削作業の他，側壁コンクリート・アーチコンクリート等のコンクリート打設作業，その他が行われており，作業状況はかなり錯綜した状態であった。調査時点では，夜方の作業としては掘削作業が主な作業であるのに対して，昼方では掘削作業，コンクリート打設作業，資材搬入作業，測量等の作業が行われていた。このような作業状況を反映して，当現場における昼方と夜方には，Fig. 11 示されたように，坑内作業者の実数や坑内への作業員の出入経過曲線の時間軸に対する勾配に大きな違いがみられた。

上越新幹線建設工事におけるトンネル工事では，各トンネルや工区により，坑口形式や掘削工法に様々な形式のものがあったが，坑内の作業内容やその実施状況については全般的にみて本質的な形態の差異はないと考えることもできる*)。

そこで，上越新幹線トンネル建設工事での各作業現場における作業内容やその実施状況が本調査現場とほぼ同様の形式で進められていたと仮定すると，時間帯別に見た相対的な災害発生率は，Fig. 10 の折れ線グラフで示したように求めることが出来る。これによると，時間帯別の相対災害発生率もほぼ時間帯別災害発生数と軌を一にした傾向があったことがわかる。

4.3 トンネル工事での作業サイクル別労働災害発生状況の分析

ここでは，トンネル建設工事における各作業サイクルでの災害発生状況を検討した。作業サイクルとしては，作業内容と災害発生件数とを考慮して，①掘削，②ずり出し・資材運搬，③支保工建込，④覆工，⑤修理・整備等，⑥移動・その他，の 6 つの作業に大分類し，各作業段階での労働災害発生割合を求めた。結果は Fig. 12 に示したとおりである。

また，これらを現在の標準工法となっているロックボルト打込・コンクリート吹付け（いわゆる NATM）工法による労働災害の発生状況[3]と比較して見たものが，Fig. 13 である。現在のトンネル工事では，NATM 工法の採用により坑内空間を比較的広くとることが可能になったためもあって，②ずり出し・資材運搬，④覆工，⑥移動・その他，の各作業での災害発生割合は減少している一方で，在来工法の『③支保工建込作業』に相当する『ボルト打設・モルタル注入等の作業』での発生割合が高くなっている傾向がみられる。

4.4 労働災害の発生過程に関する分析

労働災害の発生過程について，CTA 分析[4,5,6]を用いて別の角度からの検討を試みた。CTA 分析は個々の災害の発生に至るまでの過程を，労働災害に関する 5 つの要素（人的要素，作業内容要素，物・機械・設備等の要素，作業環境要素，管理的要素）から捉え直したものである。ここでは，分析対象事例を種々のグループ別に分類集計することにより，グループごとの「要素出現率」および「要素間影響確率マトリックス」を求めた。得られた複数の「要素間影響確率マトリックス」については，χ^2 による適合度検定により相互の類似性を検討した。

4.4.1 被災者の属性・その他に関する CTA 分析

Table 3 に示すように，災害種類や元請企業の違いによって災害発生過程での 5 要素間相互の影響・関連の

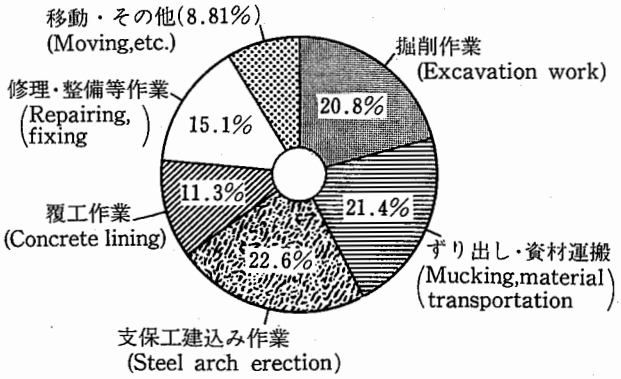

Fig. 12 Frequency of accidents classified by work in Joetsu-Shinkansen tunnel construction
上越新幹線トンネル建設工事における作業別災害件数

*) 上越新幹線建設工事でのトンネル工事では，現在では標準工法となっているロックボルト打込・コンクリート吹付け（いわゆる NATM）工法による施工も一部で実施されたが，ほぼ全トンネル，全工区で鋼アーチ支保工建込・コンクリート覆工による在来の工法で工事が実施されている。

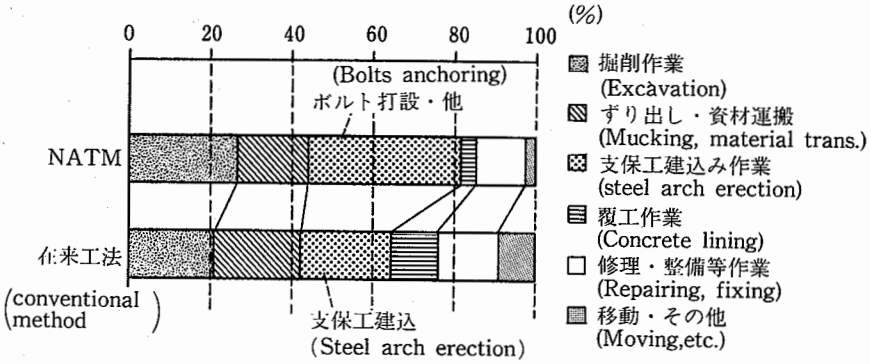

Fig. 13　Relative frequency of accidents classified by work in tunnel construction work
トンネル建設工事における作業別の災害発生割合

Table 3　Similarity of influential matrices
要素間影響確率マトリックスの類似性

比較項目	類似性を比較した要素間影響確率マトリックスの数と対象内容		類似性
工事規模別*	2	上越新幹線建設工事と道路建設切取工事	なし
災害種類別*	4	上越新幹線建設工事： 墜落災害，飛来倒壊災害，建設機械災害，崩落落石災害	なし
	2	道路建設切取工事：土砂崩壊災害と建設機械災害	なし
元請企業別*	9	上越新幹線建設工事：A～HおよびJ社	なし
工事種類別*	5	上越新幹線建設工事： トンネル，橋梁，高架橋，軌道，その他一般	有
災害の発生時間別	3	上越新幹線建設工事：昼方午前(7～12Hr)，昼方午後（13～18Hr)，夜方(19～6 Hr)	なし
被災者の年齢別	10	上越新幹線工事： 19歳以下，20～24歳，25～29歳，30～34歳，35～39歳，40～44歳，45～49歳，50～54歳，55～59歳，60歳以上	有
被災者の経験年数別	7	上越新幹線建設工事：4年以下，5～9年，10～14年，15～19年，20～24年，25～29年，30年以上	有
被災者の傷害程度別	6	上越新幹線建設工事：休業日数7日以上，同1～2週，同～1ヶ月，同1～2ヶ月，同～半年，死亡	有
被災者の職種別	6	上越新幹線建設工事：型枠工，大工等，土工等，機械工，元請職員・世話役等，その他	有

＊については参考文献5）より転載

程度には差異が認められる一方，工事種類による差異は認められていないことは既に別報[5]で報告したとおりである。

ここでは新たに被災者の属性（年齢・経験年数等）に関して同種の分析を行った。その結果はTable 3に示すように，被災者の属性による差異は，いずれも認められないことが判明した。

4.4.2　トンネル工事災害に関するCTA分析

前項で述べたことがらは，工事の進捗状況や工程等の条件を考慮して検討する必要がある。そこでここではトンネル工事での結果を，工区，作業段階，作業時間等に着目した再分析を行った。Table 4にその結果として得られた5要素の出現率を，またTable 5には要素間影響確率マトリックス（略）の相互類似性についての検討結果を示した。

Table 4 Relative frequency of contributive factors to accidents in Joetsu-Shinkansen bullet train tunnel construction
上越新幹線建設工事トンネル建設工事災害における要素別出現率一覧

分類項目		分析資料数(件)	要素別出現率 (%)				
			I	T	M	Ep	Es
トンネル工事のみの合計		159	13	37	37	12	2
トンネル工区別	D－トンネルu工区	9	26	29	32	10	3
	I－トンネルk工区	20	14	34	40	10	2
	S－トンネルu工区	29	9	30	52	6	4
	S－トンネルk工区	23	13	36	30	18	3
	S－トンネルs工区	14	9	41	33	14	2
	M－トンネルm工区	18	10	38	38	12	3
	M－トンネルk工区	12	15	36	37	10	2
	U－トンネルm工区	35	12	46	27	16	0
トンネル作業段階別	ずり出し・運搬作業	34	17	38	35	8	2
	掘削作業	33	11	34	35	16	4
	支保工建込作業	36	6	40	29	25	1
	覆工作業	18	16	40	36	5	4
	修理・整備等作業	24	9	40	49	2	1
	移動・その他	14	18	28	38	14	3
時間別	昼方(7～12 Hr)	73	16	36	37	11	1
	昼方(13～18 Hr)	53	11	38	38	11	3
	夜方(19～ 6 Hr)	32	7	39	35	14	4

Table 5 Similarity of influential matrices in Joetsu-Shinkansen bullet train tunnel construction accidents
上越新幹線トンネル建設工事災害における要素間影響確率マトリックスの類似性

比較項目	類似性を比較した要素間影響確率マトリックスの数と対象内容		類似性
工区別	8	上越新幹線建設工事：5トンネル8工区	なし
作業段階別	6	ずり出し・運搬作業, 掘削作業, 支保工建込作業, 覆工作業, 修理・整備等作業, 移動・その他	なし
時間別	3	昼方(7～12 Hr), 昼方(13～18 Hr), 夜方(19～6 Hr)	なし

(1) トンネル工事の工区別の CTA 分析

トンネル工事の各工区により5要素の出現率，要素間影響確率マトリックス（略）には差異が認められた。(Table 4, Table 5)

(2) トンネル工事の作業サイクル別の CTA 分析

トンネル工事での作業サイクルを考慮して掘削，支保工建込等の6種類に分類した作業段階ごとに，要素出現率，要素間影響確率を再整理した結果では，掘削，支保工建込等の作業で物理的作業環境要素（Ep）の出現率の大きいことが確認され（Table 4），また作業段階別にまとめた影響確率マトリックスの相互の類似性は棄却された（Table 5）。すなわち，各作業段階ごとに災害発生過程に差異があると考えられ，各作業段階に見合った安全対策を考慮する必要性を示唆するものと考えられる。

(3) 労働災害発生時刻に関する CTA 分析

労働災害の発生した時刻別に整理した結果では，要素出現率には大きな差異は認められない（Table 4）ものの，要素間影響確率マトリックス（略）を検討した結果では相互に差異が認められた（Table 5）。これは前述（4.2節）したように，夜方が掘削作業が中心であるのに対して，昼方では掘削作業以外にコンクリート打設・資材搬入等の作業が加わり，坑内滞在作業員数，人員・資材の坑内への出入回数，作業の錯綜等（Fig. 11参照）が増大していることを反映した結果と考えられる。

Fig. 14 は，5 要素の相互の影響比率うち，作業内容要素が他の要素に対してどのような割合で影響を及ぼしていたのかを各発生時刻グループ別に示したものである。これによると，作業内容が災害の発生過程で占める割合の大きさは，①昼方午前，②昼方午後，③夜方の順で大きく，3 つのグループでの作業の錯綜・作業の競合の度合の差が災害発生の過程にも反映されていたと考えることができる。

4.5　労働災害の災害強度に関する分析

労働災害の強度をどのように捉えるかについてはいろいろ議論のあるところであるが，ここでは，労働災害の強度（intensity）を，被災者の傷病程度が休業何日ほどのものであったかの傷害程度（severity）と，1 件の労働災害で同時に何人の作業者が負傷したかの災害規模（magnitude）とに分け，2 つの観点から分析を行った。

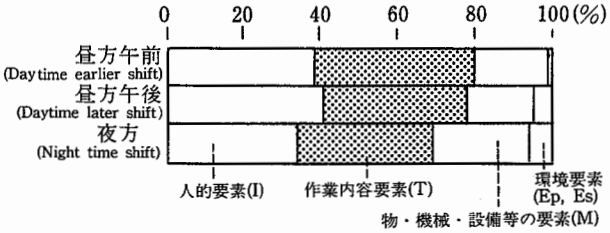

Fig. 14　Relation between task factor and other contributive factors
作業内容要素（T）から他の 5 要素(I, T, M, Ep, Es)への影響比率

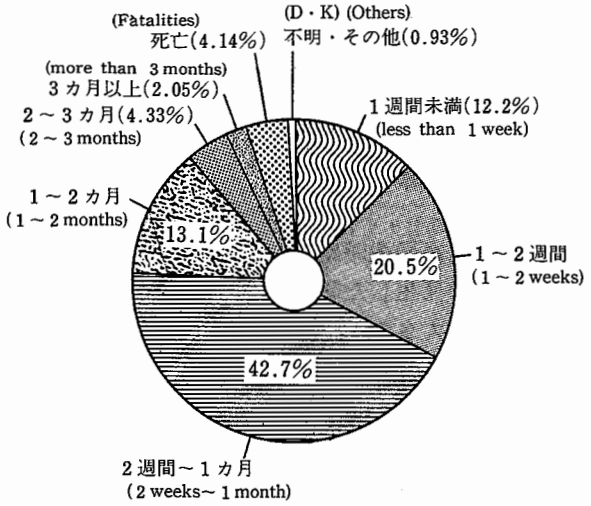

Fig. 15　Frequency of workdays lost by accidents in Joetsu-Shinkansen construction work
上越新幹線建設工事における被災者の休業程度別分類

4.5.1　傷害程度（severity）の分析

分析に供した原資料は，休業 1 日以上の労働災害についてのものであり，その中で死亡災害は全体の 4 % を占めている。上越新幹線工事労働災害について，傷害程度を分類した結果を Fig. 15 に示した。

この労働災害の傷害程度を示す指標として，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。

現在我国で利用している労働災害傷害程度の評価指標は，第 6 回国際労働統計家会議（1947年）で議決・勧告された次式による評価法に準拠している[7]。

$$\text{災害強度率}=\frac{\text{延労働損失日数}}{\text{延労働時間数}}\times 1{,}000$$

災害のうち，身体障害を伴うものについては，障害程度に応じて，死亡以下 1～14級の労働損失日数が定められ，身体障害を伴わない災害については，休業日数を基本に損失日数を算定するとされている。死亡災害の損失日数は，7500日とされているが，この値の根拠が薄弱であるとして，強度率を積極的に利用している国はあまり多くはないようである。つまり，死亡災害の労働損失日数を合理的に見積ることが出来ない所に強度率の指標としての弱点があるといえる。

ところで，Heinrich は労働災害について，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示した[8]。また，中村は上記法則を次式で表現することを提案している[9]。

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

h は傷害（休業程度）の大きさ，p は $h \sim h+dh$ の間の発生頻度の密度関数，n，K は定数である。すると，傷害程度が $h_1 \sim h_2$ の間にある労働災害の頻度を $P(h)$ とすると，

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

となり，$n \neq 1$ の場合は，

$$P(h)=\{K/1-n\}\cdot\{h_2^{1-n}-h_1^{1-n}\} \qquad (3)$$

また $n=1$ の場合は，

$$P(h)=K\cdot\ln(h_2/h_1) \qquad (4)$$

で示され，同じく h_1〜h_2 間における期待傷害程度を $G(h)$ とすると，

$$G(h)=\int_{h_1}^{h_2} p\cdot hdh \tag{5}$$

となり，$n\neq 2$ の場合は，

$$G(h)=\{K/2-n\}\cdot\{h_2^{2-n}-h_1^{2-n}\} \tag{6}$$

$n=2$ の場合は，

$$G(h)=K\cdot\ln(h_2/h_1) \tag{7}$$

で示される。とくに，$n>1$ あるいは $n>2$ の場合については，h〜∞，すなわち，ある傷害程度 h 以上における頻度 $\bar{P}(h)$ $(n>1)$ と，そのときの期待傷害程度 $\bar{G}(h)$ $(n>2)$ は，

$$\bar{P}(h)=\int_h^{\infty} pdh=\frac{K}{n-1}\cdot h^{1-n} \tag{8}$$

$$\bar{G}(h)=\int_h^{\infty} phdh=\frac{K}{n-2}\cdot h^{2-n} \tag{9}$$

で示される。上式より，災害の傷害程度とその発生頻度が(1)式で表現できるならば，累積発生頻度やその期待被害値は，総て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，$n>1$ であれば傷害程度が∞までの領域を含めた発生頻度を求められること，つまり，死亡災害を含めた傷害程度〜頻度分布を求められること，また，$n>2$ であれば∞までの傷害程度，即ち死亡災害を含めた期待傷害程度が求められる点にある。

Fig. 16 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ものである。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，①，②領域で，

$$\left.\begin{array}{l} ①\quad \bar{P}_1=1.0h^{-0.057},\ K=0.0571,\ n=1.0571 \\ ②\quad \bar{P}_2=12.89h^{-1.121},\ K=14.45,\ n=2.121 \end{array}\right\} \tag{10}$$

で示される。とくに傷害程度の大きな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傷害程度が有限値として求めることが出来る。そこで，①および②領域での被害程度を求め，これらを合計すれば全領域にわたる期待傷害程度が得られる。①領域での期待傷害程度を G_1，②領域での期待傷害程度を G_2 とすると，上越新幹線トンネル工事災害に関して，

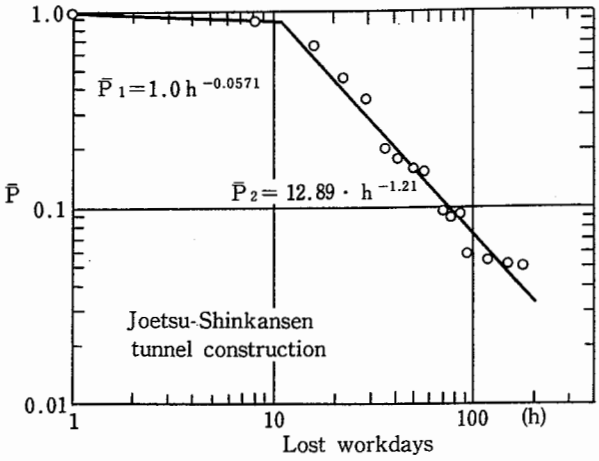

Fig. 16 Cummulative frequency of workdays lost by accidents in Joetsu-Shinkansen tunnel construction work
上越新幹線トンネル建設工事災害傷害程度累積分布

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

として，1件当たりの平均傷害強度は約90日が得られた。

同様に Fig. 17 は山陽新幹線トンネル工事労働災害を分析した結果である。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。それぞれの直線方程式を求めると，①，②領域で次式で示される。

$$\left.\begin{array}{l} ①\quad \bar{P}_1=1.0h^{-0.0543},\ K=0.0543,\ n=1.0543 \\ ②\quad \bar{P}_2=15.38h^{-1.153},\ K=17.74,\ n=2.153 \end{array}\right\} \tag{11}$$

上越工事災害と同様に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被害値は有限値として求められる。①及び②領域での被害値を求め，それらを合計して全領域の期待被害値を求めると，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，傷害程度∞までを考慮した1件当たりの平均傷害強度は約80日であった。なお，死亡災害を除いた1件当たりの傷害強度は26.5日／件であった。

以上の分析の結果より，両新幹線トンネル建設工事労働災害とも，傷害強度に関しては，発生頻度や平均傷害強度などはほぼ同じ特性を有していることが明らかになった。

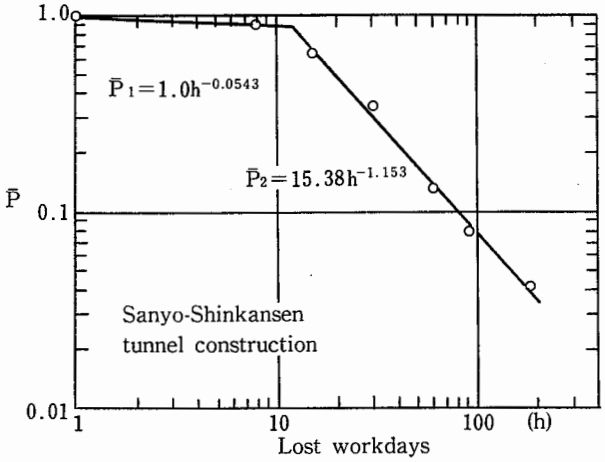

Fig. 17　Cummulative frequency of workdays lost by accidents in Sanyo-Shinkansen tunnel construction work
山陽新幹線トンネル建設工事災害傷害程度累積分布

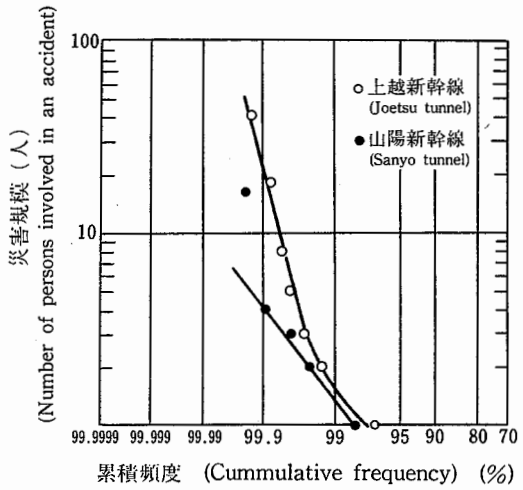

Fig. 18　Frequency distribution of magnitude of accidents in tunnel construction work
トンネル建設工事労働災害災害規模発生分布

4.5.2　災害規模（magnitude）の考察

労働災害で被災する労働者の数は，多くが１人であるが，時折複数の労働者が同時に被災する災害も発生している。

労働省では，同時に３名以上の被災者を伴った労働災害を重大災害と呼んで別に区分して扱っている。上越新幹線建設工事に関して分析した災害の中では11件の重大災害が発生している。しかし労働災害の多くは単独で被災し，被災者全数の91.5%，労働災害事故件数の97.4%を占めている。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，同指標の分析を試みた。

Fig. 18 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。

同図から，両工事災害の様相を見比べると，山陽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建設工事の方が山陽新幹線トンネル建設工事に比べて発生しやすかったことがわかる。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，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わかる。一方，上越新幹線トンネル建設工事では，一度に18人および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図から判断される。

上越新幹線のトンネルは延約3000ケ月で施工され，この間1477件の労働災害が発生している。また，ある災害が40人以上の災害規模である確率は Fig. 18 から0.0007と読み取れるので，40人規模災害の再現期間は，1/(0.0007×0.492)＝2904ケ月＝242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。

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はともに火災による災害であり，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，条件がそろえば起こりうる災害であったことがわかる。

以上，山陽，上越新幹線トンネル建設工事労働災害に関して，個々の労働災害の負傷による傷害程度は，死亡災害も含めて両工事災害とも大きな変化は見られないものの，災害規模については，山陽に比べて上越での工事災害は危険側に移行していること，そして災害の大規模化への原因には，火災が大きな役割を果たしたことなどが明らかにされた。

5.　むすび

以上，上越新幹線建設工事労働災害の統計分析ならびに山陽新幹線建設工事災害との発生形態の比較等について考察を加えてきた。ここでは，分析・考察を行った主な内容と結果を以下に簡単に記してむすびとする。

１）上越新幹線工事における災害を工事の種類別にみると，トンネル工事災害が74%，高架橋工事災害が15%を占めていた。トンネル工事では元請職員や実際の

指揮をとる工長らが被災する例が多かった。

2）年齢別の分析では上越，山陽の両新幹線建設工事災害とも，災害実数としては40才代の中年層に多く発生しているが，発生率では若年層や高年齢者層が平均より数倍高い値を示している。

3）経験年数別による分析では，経験年数が少ない作業者ほど災害発生数，災害発生率がともに大きくなる傾向があることが示された。

4）時刻別に労働災害の発生状況を調べると，夜間から早朝にかけての災害も少なくなく，全体の27%を占めていた。また作業開始あるいは休息を狭んで2～3時間後に発生数のピークがみられるとともに，災害発生率は時間帯別の災害発生数と同じパターンで推移していた。

5）在来のトンネル工事工法による災害と，NATM工法による災害とを比較すると，広い坑内作業空間がとれるNATM工法にあっては，ずり出し・資材運搬，覆工作業時での災害が減る一方で，ボルト打設・モルタル注入作業時の災害が増えていることが示された。

6）上越新幹線工事での労働災害についてCTA分析を行い，労働災害に関連した5つの要因（人的要素，作業内容要素，設備要素，作業環境要素，管理的要素）の出現率や相関関連について，災害発生時間別やトンネル工事の作業別等の種々のグループに分けて考察を加えた。その結果，例えば，被災者の属性の差による災害要因の差異は認められない一方で，作業別での分析では，掘削作業や支保工建込作業で作業環境要素(Ep)が大きな出現率を示すことや，作業ごとの災害発生過程に相違があること，また，時間別の分析では，要素出現率には差がないものの，昼方と夜方では災害発生過程に差があることなどが明らかになった。

7）労働災害による傷害程度（休業日数）とその超過頻度分布との間には，両対数紙上で直線となる関数関係が存在した。もし直線の傾きが－1以上であれば∞までの傷害程度（死亡災害）を含んでも，期待傷害程度は有限値で表わすことが出来る。上越新幹線トンネル建設工事では，傾きが－1より大きく，死亡災害を含めた災害1件当りの期待傷害程度は90日であった。また，山陽新幹線トンネル建設工事でも同様なことが示され，個々の労働災害の傷害程度に関しては両工事災害とも大きな変化はないことがわかった。

8）1件の災害で負傷した労働者数（災害規模）の分布特性を調べると，上越新幹線トンネル建設工事は山陽新幹線トンネル建設工事に比べて大規模な災害が発生しやすい危険側へと移行していること，そして，災害の大規模化への原因は，火災が大きな役割を果たしたことなどが明らかにされた。なお，40人が被災する規模の災害の再現期間は約250年と推定された。

最後に，本研究を行うに当たり，災害調査復命書および労働者死傷病報告の利用に御協力頂きました，労働省労働基準局安全課，埼玉労働基準局，群馬労働基準局，新潟労働基準局ならびに関係労働基準監督署に対して深謝の意を表する次第です。

（昭和63年4月4日受理）

参考文献

1）日本鉄道建設公団編：上越新幹線建設工事誌（大宮・新潟間），昭和59年

2）前郁夫・花安繁郎：トンネル建設工事における労働災害の分析(2)（山陽新幹線広島・山口県内のトンネル災害について），労働省産業安全研究所技術資料，RIIS-TN-76-7，1977

3）日本トンネル技術協会：NATMにおける安全対策に関する調査研究報告書，pp.14～19，昭和60年

4）鈴木芳美：CTAを用いた災害分析法について，労働省産業安全研究所技術資料，RIIS-TN-83-5，1984

5）鈴木芳美：労働災害の発生過程についての事例分析－上越新幹線建設工事における労働災害事例の分析－，労働省産業安全研究所研究報告，RIIS-RR-85，1985

6）鈴木芳美・花安繁郎：労働災害発生過程にみられる差異について（第2報）－上越新幹線トンネル建設工事における災害発生過程の傾向－，土木学会第41回年次学術講演会講演集，第VI部，昭和61年

7）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

8）H.W.Heinrich, et al：Industrial Accident Prevention (5 th ed.), MacGraw-Hill, 1980

9）中村林二郎：安全性工学の一考案（I）（危険性），安全工学，Vol.20, No.3, pp.120～126，1981