トンネル掘削の作業時間分布について

京都大学工学部　正　員　　島　昭治郎
京都大学工学部　正　員　太田秀樹
近幾日本鉄道K.K　正　員　○中垣敏春
京都大学工学部　学生員　日浦喜章

数年来　PERT，CPM などのネットワーク手法を導入することによって，施工計画・管理の合理化の努力がはらわれてきている。しかし，土木施工におけるこうした手法の入力データとなる作業所要時間には，つねに，ばらつきがともなっているから，確定値ではなく確率分布として考えなくてはいけないが，従来，こうした問題についてあまり研究されてきていない。そこで，本研究では，作業を構成する作業要素と，それに対応する作業時間分布要素の考え方，および，その分布特性について，考察した。

作業時間分布	平均値	M_1	分散	$(V_1)^2$
正規分布	〃	μ	〃	σ^2
指数分布	〃	$1/\lambda_1$		
確率指数分布	〃	$x \cdot 1/\lambda_2$	〃	$(1/\lambda_1)^2(2x-x^2)$
修正作業時間分布	平均値	M_2	分散	$(V_2)^2$

$1/\lambda_2$；指数分布の平均値
x；事象の発生確率

$$\left.\begin{aligned} M_1 - M_2 &= x \cdot 1/\lambda_2 \\ (V_1)^2 - (V_2)^2 &= (1/\lambda_2)^2(2x - x^2) \\ M_2 &= \mu + 1/\lambda_1 \\ (V_2)^2 &= \sigma^2 + (1/\lambda_1)^2 \end{aligned}\right\} \text{(1) 式}$$

表－1

作業時間分布に近似させる理論分布として，正規・指数・確率指数　たたみ込み分布をもちいる。（表－1　参照）

各種作業を構成している作業要素は次の3つに分けうる。

i) その作業に適格な作業員なら，普通の速度で中断することなく定常的におこなえる作業。（以下　定常的作業要素とよぶ）　こうした作業に要する時間分布は　正規分布に近い形をしている。

ii) 作業員による小規模なミスなどを含んでいて，定常的におこなえない作業。（以下　非定常的作業要素とよぶ）

iii) 大規模なミスや，機械・設備の故障とその修理などに要する作業は，非定常的作業と異なってより多く事故的要素をもっている。（以下　事故的作業要素とよぶ）

また　作業時間分布を近似する理論分布として，正規・指数・確率指数　たたみ込み分布をもちいた場合，作業時間分布のうち　定常的作業要素を表現しているのは正規分布要素であり，非定常的作業要素を表現しているのは指数分布要素であり，最後に　事故的作業要素は，事象の発生確率が小さく，1度発生したら事象の継続時間が長いことから，この作業要素を表現しているのは　確率指数分布要素であると考えられる。

トンネル掘削作業を制約する作業条件は，自然条件と計画・設計段階で決定される条件（以下　施工条件とよぶ）　それに作業環境の管理状態に起因した条件（以下　作業環境条件とよぶ）　とに分けることができる。　これらのうち　自然条件・施工条件の変化は

おもに　定常的作業要素に影響し，作業環境条件の変化は非定常的作業要素に影響すると考えられる。

次に　作業条件のコントロールによる作業能率の向上の目安として，

i）作業時間分布の平均値を小さくする。

ii）より機械的に作業できるようにする。

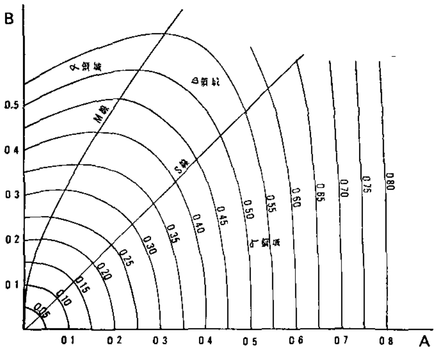
ここで，後者は　作業時間分布のばらつきを小さくすることと同等であると考えられる。

また作業条件をコントロールするに際して，事故的作業要素は事象の発生確率が小さいために，いつ発生するかわからないから，この作業要素をコントロールするのは困難である。また　定常的作業要素よりも，非定常的作業要素をコントロールするほうが容易であると考えられる。

$$\left.\begin{array}{ll} \text{正規分布} & B = \sigma/\mu \\ \text{指数分布} & A = (1/\lambda)/M_2 \\ \text{正規指数たたみ込み分布} & F = V_2/M_2 \end{array}\right\}\text{(2)式}$$

$$(F)^2 = B^2(1-A)^2 + A^2 \cdots\cdots\text{(3)式}$$

表－2



図－1　ばらつき（$F = V_2/M_2$）

正規・指数たたみ込み分布（修正作業時間分布）のばらつきを考えるに際して，所要時間単位の異なるものを比較する必要から，表－2　の無次元化したパラメータが各分布のばらつきを表現していると仮定する。

A－B　関係において　同一のばらつき（F）をもつ点は（3）式から　図－1 の一連の曲線上にある。また　Bが一定でばらつき（F）の最小な点は（3）式から，原点を通り傾きが漸減する曲線（以下　M線とよぶ）上にある。　そこで

$$0.0 \leqq A,\ B \leqq 1.0$$

の領域を　M線と原点を通り傾き +1 の直線（以下　S線とよぶ）とで　3領域（以下各々　α，β，γ領域とよぶ）　に分割する。　そうして，各領域内の任意点を　Bを一定のままで，ばらつき（F）が小さくなるようにAを変化させた時の　ばらつき（F）の減少量とAの変化量を比較する。　α領域内の任意点では　(1)，(2) 式から　Bを一定のままで，修正作業時間分布の平均値（M_2）とばらつき（F）の両方をともに小さくするように変化させえない。　また　β，γ領域内の任意点では，それは可能だが，γ領域内の方がβ領域内よりも　ばらつき（F）の減少量が大きい。

以上のことから　非定常的作業要素すなわち作業環境条件を改善して作業能率を向上するための投資とその効果を考えると，α領域内の点ではその効果はほとんど期待できず，β領域内の点ではその効果はあるが，γ領域内の点にくらべてその効率はあまりよくない。

作業時間分布についての以上の解釈方法をもちいて，トンネル掘削現場において実測してえられた各種作業に要した時間分布特性について考察した。