

日本電信電話公社茨城電気通信研究所 正会員 田中邦男

1、まえがき、最近、ライフライン等に対する耐震性向上が社会的に強く要請され、情報化社会進展の一翼を担う通信土木施設についても、その信頼性確保は、益々重要なものとなつてきている。本文は、この信頼性向上のための基礎的資料として、大地震で対象となる連続コンクリートトンネルの切断間隔の問題をとり上げ、確率モデルを導入し、トンネル強度の確率分布と地震応答特性とを連繫させ、マクロ的な、確率事象例をまとめたものである。

2、確率モデルの導入、大地震で対象となる切断間隔は、連続コンクリートトンネルの地震応答特性により、最初に生じた一つの切断力所を原点にとつた、ある有限長さで表示される。いま、この切断間隔を統計的に把握するために、図1のような母材部I、継手部J別の単位体群に分け、各単位体内を、図2に示す等ウエートごとのブロック群に細分し、原点から出発して二番目の切断力所が生じたブロックに注目して、その発生確率を検討する。

これら切断力所は、所属する単位体内のある一つのブロックを占有しているものと仮定し、 i 単位体、 j ブロック中の一つを取り出すと、切断発生確率分布が定まっている場合、このブロックの位置 i, j に応じて確率 P_k が求まる。すなわち、No.1単位体、No.1ブロックに切断線が生ずる確率 $P_k(0, 1)$ 、No.1単位体、No.2ブロックに初めて切断線が生ずる確率 $P_k(0, 1)$ 、---以下、同様に表示でき、 $P_k(0, 0, 1)$ 、---、 $P_k(0, 0, 0, \dots, 1)$ のごとく、確率群が対応する。これらを一括して、0の個数が $[i, j]$ 個続くときの確率を $P_k(0_{ij}, 1)$ で表現すると、通常の確率の場合においては、 $[i, j] \rightarrow \text{大} \Rightarrow P_k(0_{ij}, 1) \rightarrow 0$ となり、中間のある0の個数 $[i, j]_m$ で最大確率 P_{km} をとる傾向が推測できる。この確率場の傾向は、図3の、確率密度曲線を用いた概念図で示され、式(1)の平均切断間隔の予測が可能となる。

3、確率公式の組立、前記の切断事象発生ブロックの番地を、No. v 単位体、No. m ブロックとすると、 0_{ij} は n 個の0の集合体であつて、 n は式(2)で表わされる。また、このとき切断事象発生確率 $P_k(0_{ij}, 1)$ は、原点から出発して0が n 回続き、 $n+1$ 回目に

表1. 算定条件及び算定式

単位体ナンバー

項目	記号	値	式
① 地震 土質	変位振幅	U_k	30 cm
	波長	L	200 m
	剪断弾性係数	V_s	60 m/sec
	土の単位体積重	γ	$2 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
② トンネル	ヤング係数	E	$1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
	外径	D	140 cm
	断面積	A	$4.08 \times 10^3 \text{ cm}^2$
	断面2次モーメント	I	$8.68 \times 10^6 \text{ cm}^4$
③ 剛比	軸方向剛比	λ_1	$2.32 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$
	曲げ方向剛比	λ_2	$5.04 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$
④ 応力	軸方向応力	σ_L	$\sigma_L \approx 7.71 \text{ kg/cm}^2, 2\text{m}$
	曲げ方向応力	σ_B	$\sigma_B \approx 0.52 \text{ kg/cm}^2, 2\text{m}$
	合成応力	σ_x	$\sigma_x \approx 13.98 \text{ kg/cm}^2, 2\text{m}$
	強度**	C	$C \approx 7 \cdot 10^{-6} \text{ kg/cm}^2, 2\text{m}$

に初めて1となる確率であり、確率理論を用い、式(3)で算定される。この式(3)中の P_{ij} は、 i, j 点までのすべてのブロックに切断線が生じていない確率、 P_{ij} は、 i, j 点のブロックに切断線が生ずる確率であつて、それぞれ、式(4)(5)の累積分布関数、種分関数を表わし、I, J別に示される。

以上により、 i, j 点での確率 $P_k(0_{ij}, 1)$ と切断間隔 $L(0_{ij}, 1)$ とは、トンネルの地震応答特性、母材・継手強度の確率分布、表1、等によつて、

* 新設電算計法、** 木、直線近似に対する誤差。

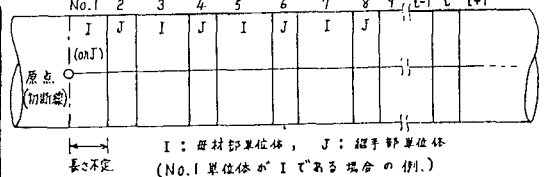


図1. 単位体群の分類例。

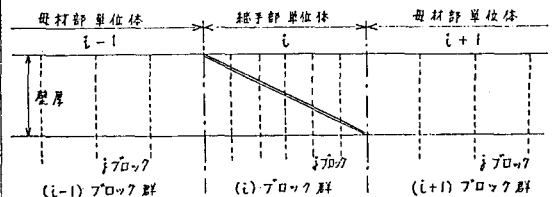


図2. ブロック群の分割例。

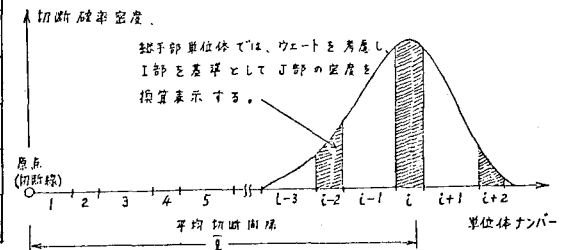


図3. 切断確率密度、平均切断間隔の例。

一対一で定まることが言える。すなわち、 $\bar{e}(O_{ij}, 1)$ の平均値 $\bar{e}$ は式(1)で求められ、また、 $\bar{e}$ に対する分散の最尤推定量 $\bar{v}$ 、信頼区間は、それぞれ式(6)、(7)のように表示される。

4、応力公式の適用、大地震時で生じた最初の切断線近傍の i, j 点の応力 σ_{ij} は、補正係数を適用し、算定できる。本例では、式(8)の仮定を用いると、切断間隔と応力との関係式が、近似式(9)で示され、 σ_{ij} が原点からの距離に比例して大となることが言える。これより、母材・継手強度分布実測結果を用い、以下のマクロ的計算が容易となる。

$$\bar{e} = \sum_i \sum_j e(O_{ij}, 1) \cdot P_N(O_{ij}, 1) \dots (1) \quad n = \sum_{i=1}^{N-1} m_i + \mu - 1 \dots (2)$$

$$P_N(O_{ij}, 1) = \prod_{i=1}^{N-1} \prod_{j=1}^{m_i} p_{ij} \cdot \prod_{j=1}^{\mu-1} p_{j\mu} \cdot P_{\mu\mu} \dots (3) \quad m_i: N, i \text{ 単位体に含まれるブロック数}$$

$$\left. \begin{aligned} I: p_{ij} &= \int_0^{\sigma_{ij}} f_I(\sigma) d\sigma \\ J: p_{ij} &= \int_0^{\sigma_{ij}} f_J(\sigma) d\sigma \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} I: P_{ij} &= \int_0^{\infty} f_I(\sigma) d\sigma \\ J: P_{ij} &= \int_0^{\infty} f_J(\sigma) d\sigma \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

σ : I, J 強度、 $f_I(\sigma)$, $f_J(\sigma)$: I, J 強度分布の密度関数

$$\bar{v} = \sum_i \sum_j [e(O_{ij}, 1) - \bar{e}]^2 \cdot P_N(O_{ij}, 1) \dots (6) \quad \bar{e}_0: \bar{e} \text{ の重平均値}$$

$$\bar{e} + \bar{e}(\alpha, \Delta) \sqrt{\bar{v}} > \bar{e}_0 > \bar{e} - \bar{e}(\alpha, \Delta) \sqrt{\bar{v}} \dots (7) \quad \text{信頼度 } \Delta \text{ で定まる係数}$$

$$\frac{\bar{e}}{L} \ll 1, \lambda_1 \bar{e}, \lambda_2 \bar{e} < 1 \dots (8), \sigma_{ij} = \frac{\sqrt{3.12} \pi \lambda_1^2 E u_k}{\sqrt{2\pi \lambda_1^2 + \lambda_2^2 L^2}} e(O_{ij}, 1) \dots (9)$$

5、具体例と考察、本例での母材・継手側切断確率 P_{NI} , P_{NJ} は、図5の実測結果、式(10)、(11)より求められ、 $(R_J = 1 - R_I)$, P_{NJ}/P_{NI} が、大約2となる。これより、継手単位体のウェイトを母材の2倍とし、I, J 単位体が各2, 1ブロックずつで構成される分割例を試みると、表1より、図4が得られる。

$$\text{母材側切断確率 (ワイゲル分布)} \quad P_{NI} = \sum_{\Delta\sigma} \int_0^{\infty} f_I(\sigma) d\sigma \left[\int_0^{\sigma} f_J(\sigma) d\sigma \right] \dots (10)$$

$$(\text{正規分布}) \quad P_{NI} = \int_{-\infty}^{\infty} f_I(\sigma) \left[\int_0^{\sigma} f_J(\sigma) d\sigma \right] d\sigma \dots (11)$$

本例でのコンクリートトンネルの場合、図4中の3例は、いずれも、最初に発生する切断線の位置如何にかかわらず各平均切断間隔とも2.7m、はらつき0.5m程度となっていることが言える。この場合、分割による傾向は、分割数を変えても、同様な形態となることが予想され、不明な点が多い現時点の分割増加は、あまり意味がないことがわかる。

6、あとがき、以上は、大地震で対象となる連続コンクリートトンネル切断事象の一考察例をまとめたものであって、抽象的事項が多いが、将来への合理的継手構造の研究等、今後より具体的な検討の必要性が考えられる。

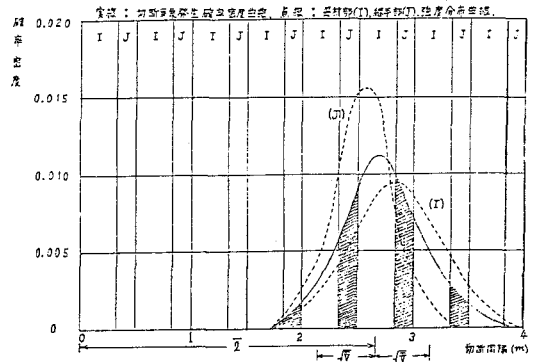


図4-1. 継手側 J 起点に最初の切断線(原点)が存在する場合。

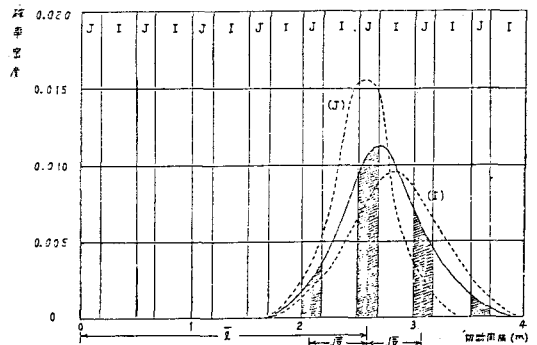


図4-2. 継手側 J 起点に最初の切断線(原点)が存在する場合。

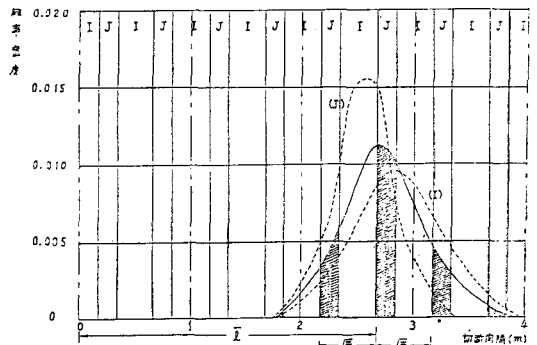


図4-3. 母材側 I 中央部(原点)に最初の切断線(原点)が存在する場合。

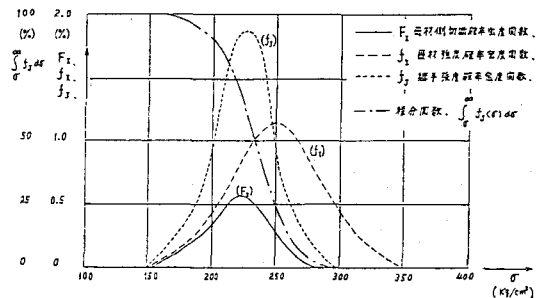


図5: $F_1, f_1, f_2 \sim \sigma$ (実測結果)