【討 議】

馬場俊介
中川建治 共著
成岡昌夫

“測定値の誤差を考慮した信頼性解析” への討議

（土木学会論文報告集第254号・1976年10月掲載）

▶討議者 (*Discussion*) ——— 藤 野 陽 三（東 京 大 学）
By Yozo Fujino

構造設計における信頼性理論の研究は，従来，確率論を基礎としたものが主であった．その場合，個々の確率変数の平均，分散そして分布形などはすべて既知としている場合が多い。しかし，実際には，統計的パラメーターである平均，分散などが不明で，実験，試験を通じてそれらの値を決定しなければならないことがある。このような実験，試験は通常，比較的少数の標本よりなる．少数の標本値に基づいて信頼性解析，設計を行う場合，標本の統計的不確定性を考慮に入れる必要が生ずる[13]．著者はこの問題に対し，統計理論に基づいた解析方法を与えている．論文の記述のうち，統計的不確定性の取り扱い，構造物の耐用期間 T と破壊確率 P_f の関係の取り扱い，そして本文 **7**. の橋梁設計への応用例の3点について疑問をもったので討議としたい．

（1） 母集団 X が正規分布に従うとする．このとき標本xの確率密度関数は微分形で，

$$dF(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_x}\exp\left\{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right\}dx \quad \cdots(14)$$

と与えられる。ここで $F(x)$ は確率分布関数であり，母集団の平均 μ_x，分散 σ_x^2 は既知でないとする。この母集団からの n 個の独立な標本 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ より，標本平均 $\bar{x}=\sum x_i/n$，標本分散 $s_x^2=\sum(x_i-\bar{x})^2/n$ が求められる．

著者は，本文 **3**. で $\bar{x}, s_x^2$ が得られたときの真の平均値と分散 σ_x^2 の確率密度関数をおのおの，式 (1.1)，(2.1) で与えている．Bayes 統計学と対比される古典統計学では，一般に μ_x, σ_x^2 を固定値，$\bar{x}, s_x^2$ を変動値として取り扱う．なぜならば，$\bar{x}, s_x^2$ は標本抽出のたびに変動するのに対し，真の μ_x, σ_x^2 はただ1つの固定値だからである．しかるに式 (1.1)，(2.1) では μ_x, σ_x^2 が確率変数として取り扱われている．以下に述べる討議に関連し，式 (1.1)，(2.1) を導くにあたっての著者の統計学的立場と論理を明らかにして欲しい．

式 (1.1)，(2.1) について考察する．標本平均 $\bar{x}$ と標本標準偏差 s_x の結合確率密度関数 $dF(\bar{x}, s_x)$ は，母集団が正規分布に従うから，

$$dF(\bar{x}, s_x)\propto\frac{1}{\sigma_x}\exp\left\{-\frac{n(\bar{x}-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right\}d\bar{x}\left(\frac{s_x}{\sigma_x}\right)^{n-2} \cdot\exp\left\{-\frac{ns_x^2}{2\sigma_x^2}\right\}\frac{ds_x}{\sigma_x} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

となる．式 (15) から明らかなように $\bar{x}$ と s_x は統計的に独立である．ここで変数 y を，

$$y=\frac{\bar{x}-\mu_x}{s_x/\sqrt{n-1}} \quad \cdots\cdots\cdots(16)$$

と定義すると，y の分布は式 (15) より，

$$dF(y)\propto\left(1+\frac{y^2}{n-1}\right)^{-n/2}dy \quad \cdots\cdots\cdots(17)$$

となる[14]．すなわち，y は $(n-1)$ 自由度の t 分布に従う．式 (17) より，標本平均 $\bar{x}$ が，

$$\mu_x-t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}<\bar{x}<\mu_x +t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2} \quad \cdots\cdots\cdots(18)$$

を満たす確率は $(1-\alpha)$ である．$t_{n-1,\alpha/2}$ は本文 **3**. の第2式より求まる．これを平均 μ_x の区間推定に適用すれば，信頼度 $(1-\alpha)$ で，μ_x は，

$$\bar{x}-t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}<\mu_x<\bar{x} +t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2} \quad \cdots\cdots\cdots(19)$$

と推定される．これは本文 **3**. の第一式と同じである．式 (18) と (19) は数学的には同一の式であるが，統計確率上の意味がまったく違うことに注意しなければいけない．式 (19) において，与えられた一組の実現値 $\bar{x}$，s_x に対して μ_x が $\bar{x}\pm t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}$ の範囲にある確率は，μ_x が固定値だから 0 か 1 である．式 (19) の信頼度 $(1-\alpha)$ の意味は，標本抽出空間において，μ_x が $\bar{x}\pm t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}$ 内にある確率の期待値が $(1-\alpha)$ ということである．すなわち，

$$\begin{aligned}&E[\mathrm{Prob}[\bar{x}-t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}<\mu_x<\bar{x}+t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}]]\\&=\int_{s_x}\int_{\bar{x}}\mathrm{Prob}[\bar{x}-t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}<\mu_x<\bar{x}+t_{n-1,\alpha/2}s_x/(n-1)^{1/2}]dF(\bar{x}, s_x)\\&=1-\alpha \quad \cdots\cdots\cdots(20)\end{aligned}$$

ここで，$dF(\bar{x}, s_x)$ は式 (15) で与えられている．次に標本標準偏差 s_x の確率密度関数 $dF(s_x)$ は式 (15) より，

$$dF(s_x) \propto \left(\frac{s_x}{\sigma_x}\right)^{n-2} \exp\left(-\frac{n s_x^2}{2\sigma_x^2}\right) ds_x \quad \cdots\cdots(21)$$

となる．式 (21) より $\sqrt{n}\,s_x/\sigma_x$, ns_x^2/σ_x^2 が，それぞれ $(n-1)$ 自由度の χ, χ^2 分布に従うことがわかる．式 (18) に対応して，確率 $(1-\beta)$ で s_x^2 は，

$$\sigma_x^2 \cdot \chi^2_{n-1,1-\beta/2}/n < s_x^2 < \sigma_x^2 \chi^2_{n-1,\beta/2}/n \quad \cdots(22)$$

をみたす．式 (19) に対応して，信頼度 $(1-\beta)$ で σ_x^2 は，

$$ns_x^2/\chi^2_{n-1,\beta/2} < \sigma_x^2 < ns_x^2/\chi^2_{n-1,1-\beta/2} \quad \cdots\cdots(23)$$

と推定される．これは本文 **3**. の第 3 式に対応し，$\chi^2_{n-1,\beta/2}$, $\chi^2_{n-1,1-\beta/2}$ は本文 **3**. の第 4 式より求まる．ただし，本来 **3**. の第 3 式の $n-1$ は n に訂正され，$1-\beta/2$, $\beta/2$ は入れ換えられる．式 (22) と (23) の統計確率上の意味の違いは式 (18)，(19) の違いと同じである．

ここで，区間推定について詳しい説明を行ったのは，著者が本文 **3**. の第 1，3 式（あるいは式 (19)，(23)）より，直観的に式 (1.1)，(2.1) を導いたのではないかと筆者は推察するからである．式 (1.1)，(2.1) の結果そのものの可否は別として，式 (19) から式 (1.1)，式 (23) から式 (2.1) を導くことができないのは，“信頼度”が確率と等価でないからである．

古典統計学においては $\bar{x}$, s_x を変数，μ_x, σ_x を固定値として取り扱うと先に述べた．しかし，古典統計学の中にも，実現値 $\bar{x}$, s_x が求められた段階でそれらを固定値とみなし，逆に μ_x, σ_x を確率変数として取り扱う考え方がある．これは Fiducial 統計学として知られている．Fiducial 統計学では，式 (15) において，$d\bar{x}ds_x/s_x$ を $d\mu_x d\sigma_x/\sigma_x$ で置き換え得ると考える[15]．その結果，式 (15) は μ_x, σ_x に関する確率密度関数を与える．

$$dF^*(\mu_x, \sigma_x) \propto \frac{1}{\sigma_x} \exp\left\{-\frac{n}{2\sigma_x^2}(\bar{x}-\mu_x)^2\right\} d\mu_x \times \left(\frac{s_x}{\sigma_x}\right)^{n-1} \exp\left\{-\frac{ns_x^2}{2\sigma_x^2}\right\} \frac{d\sigma_x}{\sigma_x} \quad \cdots\cdots(24)$$

ここで，dF^* は Fiducial 確率密度関数である．式 (24) を σ_x に関し 0 から ∞ にわたって積分すれば，μ_x に関する Fiducial 確率密度関数，

$$dF^*(\mu_x) \propto \frac{1}{s_x}\left\{1+\frac{(\bar{x}-\mu_x)^2}{s_x^2}\right\}^{-n/2} d\mu_x \quad \cdots(25)$$

が得られる．式 (25) において $z=\sqrt{n-1}(\mu_x-\bar{x})/s_x$ とおけば，z が $(n-1)$ 自由度の t 分布に従うことがわかる．同様に式 (24) を μ_x に関して，$-\infty$ から $+\infty$ まで積分して，

$$dF^*(\sigma_x) \propto \frac{s_x^{n-1}}{\sigma_x^n} \exp\left\{-\frac{ns_x^2}{\sigma_x^2}\right\} d\sigma_x \quad \cdots\cdots\cdots(26)$$

を得る．式 (26) より $\sqrt{n}\,s_x/\sigma_x$ が $(n-1)$ 自由度の χ 分布をなすことがわかる．式 (25)，(26) を用いて μ_x, σ_x^2 の区間推定を行えばそれぞれ，式 (19)，(23) と同じ結果を得る．ただし，Fiducial 統計学による区間推定では，式 (19)，(23) の信頼度 $(1-\alpha)$, $(1-\beta)$ は確率 $(1-\alpha)$, $(1-\beta)$ と読まれることに注意する必要がある．

式 (25)，(26) は本文の式 (1.1)，(2.1) とそれぞれ等価である（ただし，式 (2.1) の $(n-1)$ は n に訂正）．したがって，著者の求めた式 (1.1)，(2.1) は Fiducial 統計学の立場に立っていると思われるがどうか．

Fiducial 統計学により式 (1.1)，(2.1) は説明しうると考えられるがそのように理解したときの，変数間の統計的独立性について次に考えたい．$\bar{x}$ と s_x が独立であることは式 (15) より明らかである．しかし，式 (24) で与えられる μ_x と σ_x の Fiducial 分布が示すように，μ_x と σ_x は統計的に独立ではない．式 (24) より求まる μ_x と σ_x の分布，すなわち，式 (1.1)，(2.1)（あるいは式 (25)，(26) は単なる周辺分布にすぎないのである．本文 **2**. の“基本概念”で著者は，“平均に伴う誤差と分散に伴う誤差とが独立に発生するものと仮定する”と述べている．本文 **4**. 以下の解析により，この記述は μ_x, σ_x 間の統計的独立性の仮定を意味するものと理解される．μ_x と σ_x が独立でないことは先に示した．平均，分散などのパラメーターの統計的性質については，母集団の分布形の仮定より論理的に導かれることであり，独立に仮定できる事項ではないと思われるがどうか．

著者は本文 **4**. 以下で，$x_1, x_2, \cdots, x_n$ が得られたときの $x=x_{n+1}$ の統計的予測をする場合，μ_x と σ_x の不確定性を考慮に入れようとしている．しかし，そこでは，μ_x と σ_x が独立でないにもかかわらず，お互いに独立な確率変数として取り扱われている．本論文で試みられている標本誤差を考えた信頼性解析の数値結果に対するこれの影響は少ないかもしれない．しかし，信頼性理論の論理的展開という見地からは無視できない点と思われる．

筆者は $x=x_{n+1}$ の予測に関して次のように考える．式 (24) で μ_x と σ_x に関する Fiducial 結合分布を求めた．$\bar{x}$ と s_x が与えられたとき，$x=x_{n+1}$ の Fiducial 確率密度関数 $dF^*(x|\bar{x}, s_x)$ は $dF(x)$ に，μ_x と σ_x の分布 $dF^*(\mu_x, \sigma_x)$ を乗じたものだから，式 (14)，(24) より

$$dF^*(x|\bar{x}, s_x) \propto \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty dF(x)\,dF^*(\mu_x, \sigma_x)$$

$$=\int_0^\infty\int_{-\infty}^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right\}\frac{dx}{\sigma_x}$$
$$\cdot\exp\left\{-\frac{n}{2\sigma_x^2}(\mu_x-\bar{x})\right\}\frac{d\mu_x}{\sigma_x}\left(\frac{s_x}{\sigma_x}\right)^{n-1}$$
$$\cdot\exp\left\{-\frac{ns_x^2}{2\sigma_x^2}\right\}\frac{d\sigma_x}{\sigma_x}\quad\cdots\cdots(27)$$

定数項を求めた解析解は，

$$dF^*(x|\bar{x},s_x)=\frac{\Gamma(n/2)}{\Gamma((n-1)/2)s_x\sqrt{\pi(n+1)}}$$
$$\times\left\{1+\frac{(x-\bar{x})^2}{s_x^2(n+1)}\right\}^{-n/2}dx\quad\cdots(28)$$

と求まる．変数 ω を，

$$\omega=\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^{1/2}\frac{x-\bar{x}}{s_x}\quad\cdots\cdots(29)$$

で定義すれば，ω は $(n-1)$ 自由度の t 分布に従うことがわかる．

構造物の強度 R，荷重 S がお互いに独立な正規分布をなすとしたとき，標本統計 $\bar{R}$, s_R^2, $\bar{S}$, s_S^2 に基づく破壊確率 P_f も式 (28) を R, S にそれぞれ適用して，式 (4.1) と同じ形，

$$P_f=\iint_{R<S}dF^*(R|\bar{R},s_R)dF^*(S|\bar{S},s_S)\quad\cdots\cdots(30)$$

となり，2重数値積分を行えば済む．式 (30) により，μ_x と σ_x の統計的相関性を無視することなく，また，煩雑な数値計算をせずに破壊確率を求めることができると考えられる．

式 (28) で与えられる分布からの $x=x_{n+1}$ の Fiducial 区間予測が信頼度に基づく x の区間予測 (Frequentist 区間予測とよぶ) と一致することを簡単に示す．そのためには $x=x_{n+1}$ が $\bar{x}\pm ks_x$ に含まれる確率 P の $\bar{x}$, s_x 領域にわたる平均 $E[P]$ を求めればよい．$E[P]$ は式 (14)，(15) より，

$$E[P]\propto\int_0^\infty\int_{-\infty}^\infty\int_{\bar{x}-ks_x}^{\bar{x}+ks_x}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right\}$$
$$\times\frac{dx}{\sigma_x}dF(\bar{x},s_x)\quad\cdots\cdots(31)$$

と与えられる．やや煩雑な計算により，

$$\frac{\partial E[P]}{\partial k}\propto\left(n-1+k^2\frac{n-1}{n+1}\right)^{-n/2}\quad\cdots\cdots(32)$$

を得る．ここで，

$$u=k\{(n-1)/(n+1)\}^{1/2}\quad\cdots\cdots(33)$$

とおけば，

$$E[P]\propto\int_{-u}^{u}\{1+t^2/(n-1)\}^{-n/2}dt\quad\cdots\cdots(34)$$

式 (34) は $E[P]$ が $(n-1)$ 自由度の t 分布に従うことを示す (これを Wilks の結果[16]という)．Fiducial 分布 $dF^*(x|\bar{x},s_x)$ においても x が $(n-1)$ 自由度の t 分布へ交換されることは式 (28) ですでに示した．よって Fiducial, Frequentist 双方による x の区間予測が一致することがわかる．

著者は，μ_x, σ_x ともに既知でないケースのみ取り扱ったが，実際には，μ_x あるいは σ_x の一方が既知とすることのできるケースも実際問題でしばしば生ずると考えられる (たとえば鋼材の降伏強度の変動係数)．平均，分散のうち1つでも十分な精度でわかっていれば，予測に関する不確定性が大幅に減少し，信頼性解析に大きく影響を及ぼす．これらのケースにおいても x の Fiducial 分布を同様に求めることができる．また，Bayes 統計学において，既知でない μ_x, σ_x の事前分布に関して無情報な (noninformative) 分布を仮定すれば，$\bar{x}$, s_x を得たあとの x の事後分布は3つのケースにおいて Fiducial 分布と一致する[13]．

ここでは母集団が正規分布のときのみに限定したが，対数正規分布に従うときは，変換 $y=l_nx$, $y_i=l_nx_i (i=1,2,\cdots)$ を用いれば，正規分布同様 Fiducial 分布を求めることができる．Gamma 分布のときは，特殊な場合に限って解析的に厳密解が求まるが，一般的に x の Fiducial 分布を求めることは困難と思われる．

(**2**) 著者は本文 **6**. において，構造物の耐用年限 T と，試験，測定によって得られる標本値から求まる破壊確率 P_f (式 (7.1)) の関係についての考察を行っている．荷重 S の測定の抽出時間間隔 ΔT から P_f を求めるに際し，次式を用いているようである．

$$P_f=\Delta T/T\quad\cdots\cdots(35)$$

これは，本文 **6**. の表より筆者が推定した．式 (35) により逆に，構造物の耐用期間 T に対する破壊確率 $P_{f,T}$ を 1.0 とおいていることがわかる．実際の構造物は耐用期間 T に破壊する確率 $P_{f,T}$ がきわめて小さくなるように設計されていることは周知である．耐用期間 T を 50 年として，大体 $P_{f,T}$ は $10^{-4}\sim10^{-6}$ 程度であるといわれている[17]．著者が破壊確率 P_f を求めるに際し，式 (35) を用いているとするなら，この $P_{f,T}$ に対する差をいかに考えるか説明して欲しい．

$P_{f,T}$ から，ΔT に対する P_f は次のようにして求められよう．強度 R は耐用期間中，一定とする．R に対し独立な荷重 S の ΔT 間に起こる最大値は互いに独立，定常とする．この仮定に基づけば，

$$(1-P_f)^{T/\Delta T}=1-P_{f,T}\quad\cdots\cdots(36)$$

が成り立つ．したがって，P_f は，

$$P_f=1-(1-P_{f,T})^{\Delta T/T}\quad\cdots\cdots(37)$$

で与えられる．

(**3**) 本文 **7**. において，応用例として実際の試験，測定より得られたデータよりトラス橋における引張材の“絶対安全率”が求められている．この“絶対安全率”は本文中で定義されていないようである．定義とその意味を説明して欲しい．

著者の用いている“絶対安全率”について筆者は次のように考える．従来，許容応力設計法で用いられている安全率 S.F. は引張材において，

$$\mathrm{S.F.}=\frac{\sigma_{\mathrm{yield}}}{\sigma_{\mathrm{allow}}} \quad \cdots\cdots(38)$$

と定義できる．ここで，σ_{yield}，σ_{allow} は降伏応力，許容応力である（標準偏差 σ とは区別して用いた）．ある与えられた引張荷重に対して要求される棒材の断面積 A_S を用いれば，安全率 S.F. は，

$$\mathrm{S.F.}=\frac{A_{S,\mathrm{allow}}}{A_{S,\mathrm{yield}}} \quad \cdots\cdots(39)$$

と表わせる．ここで，$A_{S,\mathrm{allow}}$，$A_{S,\mathrm{yield}}$ はそれぞれ許容応力，降伏応力を限界応力として設計したときの断面積である．一方，著者の用いている“絶対安全率”は，

$$\text{絶対安全率}=\frac{A_{S,\mathrm{allow}}}{A_{S,\mathrm{cal}}} \quad \cdots\cdots(40)$$

と書くことができるであろう．ここで $A_{S,\mathrm{cal}}$ は適当な破壊確率 $P_{f,T}$ を与えて計算される断面積である（著者は本文の例で $A_{S,\mathrm{cal}}=9.2\,\mathrm{cm}^2$ と求めている）．式 (39) と (40) はともに比の形で表わされているが両者の意味はまったく違っている．式 (39)（あるいは式 (38)）の安全率は許容応力設計の降伏状態に対する力学的余裕の尺度である．一方，式 (40) の“絶対安全率”は破壊確率 $P_{f,T}$ に基づく信頼性設計と現行の許容応力設計によって決まる２つの断面積の比である．これは２つの設計法の比較の尺度であり，式 (38) の安全率のもつ力学的余裕の尺度とは関係のないものと思われる．広く定着している“安全率”とは関連しない量に対して同じ用語“絶対安全率”を用いるのは好ましくないのではないか．

著者は $P_{f,T}=1.0$ とおき，この比（＝“絶対安全率”）を求めることをもって結びとしている．この求められた比＝2.9 が信頼性解析の面からどのような意味をもつかについての説明がなされていない．適当な $P_{f,T}$ より式 (40) で与えられる比を求めることはできるが，どのようにして適当な $P_{f,T}$ を選ぶかという問題が残る．破壊確率 $P_{f,T}$ に基づく信頼性設計への移行ということを考えるならば，破壊確率 $P_{f,T}$ を規定することが必要となる．式 (40) で与えられる比を 1.0 とおき，式 (37) を用いることにより現行の許容応力設計によるトラス橋引張材の破壊確率 $P_{f,T}$ を求めることができる．ここで求められる破壊確率 $P_{f,T}$ は信頼性設計で規定される $P_{f,T}$ の決定への１つの重要な資料となると考えられ，単に比（“絶対安全率”）を求めることより意義があると思うがどうか．

参 考 文 献

13) Fujino, Y. : Probabilistic Structural Design Based on Testing, Ph.D. Thesis, Univ. of Waterloo, Ontario, Canada, Sept. 1976.

14) Cramer, H. : Mathematical Methods of Statistics, Princeton Univ. Press, 1946.

15) Kendall, M.G. and Stuart, A. : The Advanced Theory of Statistics, Vol. 2, 2nd Edition, Hafner Publishing Company, 1947.

16) Wilks, S.S. : Determination of Sample Sizes for Setting Tolerance Limits, Annals of Mathematical Statistics, Vol. 12, pp. 91～96, 1941.

17) 伊藤　学：構造設計における安全性の規範，土木学会誌，1975 年９月号，pp. 35～43.

▶回答者（*Closure*）

馬場俊介（名古屋大学）・中川建治（岐阜大学）・成岡昌夫（名古屋大学）

By Shunsuke Baba, Kenji Nakagawa and Masao Naruoka

筆者らの論文を細部にわたって検討され，熱心かつ専門的な討議をいただいたことを感謝します．

まず，討議の大半を占める「第１の問題点」について，著者らの立場を表明すると，次のようになる．

討議中の数式展開は正確で順当である．著者らの論文が第１近似とすれば，討議式 (27) は第２近似に相当する．著者らは，「信頼度」と「確率」との相違ならびに，Neyman 流の confidence interval と Fisher 流の fiducial interval との相違について一応心得ているつもりであるが，討議者が指摘するほど重要視しない．したがって，両者の合目的な部分だけを「第１近似」として採用している．その過程を以下に示す．

（1） 平均値あるいは分散の確率密度を求めるには，「信頼度」表示の confidence interval よりも，「確率」表示の fiducial interval が適している．ただし，confidence interval で，「標本値を固定値と考え，母集団値を変数として取り扱う」という仮定を導入すると，fiducial interval になる．

（2） fiducialist では，母平均と母分散とが独立でなくなるが，これは実際現象としては納得できない．

（3） したがって，数式表示には fiducial interval の式を用いるが，そこに「母平均と母分散とは独立」という仮定を設ける．

これに対して，討議中の数式展開は，「母平均と母分散との独立性」を仮定することなく，数式誘導を続行していったところに，より近似度の高い破壊確率表示式としての意義があると思う．さらに，結果的には，独立性を仮定した場合よりも簡明な式表示（式 (27)，(28)，(30)）となっており使いやすい．このように便利な式を誘導して下さった討議者に感謝したい．

次に，「第2の問題点」については，著者らは次のように考える．

設計破壊確率としては，従来の「破壊する確率」という時間の概念の含まれない定義ではなく，「耐用年限以内に多くても1度しか破壊しない，ただし破壊するのは年限内のいつであってもよい」という定義を採択する．従来，破壊確率は，「確率設計を行うと破壊確率が……になる」という事後的な数字でしかなかった．そして，確率設計をしたうえで現行の示方書どおりの設計結果が得られるようにするには，破壊確率をいくらにするかというのが問題であった．著者らの論文では逆に，「耐用年限内に多くても1度しか破壊しない」という定義に基づいて破壊確率を求め，その破壊確率に対して確率設計を行った場合に，設計値が従来の値とどのように変わるかについて論じている．破壊確率 P_f は，主旨も内容も，従来のものとは大幅に異なるのである．

この定義の利点は，

（1）構造物の耐用年限と関係づけられている．

（2）荷重測定レベルの向上が，破壊確率（設計破壊確率 P_f）の減少（経済的な設計）につながる．

の2点である．

破壊確率 $P_f=10^{-4}\sim10^{-6}$ であることが多いという討議中の指摘は，破壊確率が「従来の設計値を与えるように逆算した値」という意味では正しいが，著者らの定義とは相入れない．討議中にあるように，「耐用年限 T に対する破壊確率 $P_{f,T}$ を 1.0 とおいている」という記述は一面では正しいが，実際に設計するにあたっては，「ある期間 ΔT 中に生ずる最大の荷重に対して構造物が破壊する確率 P_f は $\Delta T/T$」なのである．そして，この P_f が，一般に通用している $P_f=10^{-4}\sim10^{-6}$ と比較しうる量である．

以上のことに関連して，「第3の問題点」をとりあげる．

Freudenthal 流の確率設計において従来試みられてきたことは，現行の示方書と同じような設計値を得るためには「破壊確率」なるものをいかに選べばよいか，ということであった．したがって，最終的に得られるのは常に破壊確率であった．一方，著者らは，従来の設計値が必ずしも最良のものではないかもしれず，実際に生ずる荷重，実際の材料強度を用い，具体的な定義を与えた破壊確率に対して設計を行った場合に，設計値が従来の値と比較してどういう値をとるかに大きな興味を抱いた．それが，著者の定義した破壊確率による設計と従来の設計との比，「絶対安全率」を求めた理由である．「絶対安全率」という名称については，「従来の設計には，さらにこのくらいの安全性が見込まれている」という意味での名づけであり，あながち不適当とは思わない．

正　誤　表

論文報告集に誤りがありましたので，下記によりご訂正下さい．

（1）No. 264　日野・宮永共著：「波状境界をもつ二次元管路流の解析」

頁	誤	正
① p. 65 式(16) 右辺1行目 { } 内	$-4\epsilon^2\left(\frac{d^2g}{d\tilde{x}^2}\right)^2$	$-4\epsilon^2\left(\frac{d\tilde{g}}{d\tilde{x}}\right)^2$
② p. 65 式(19) 右辺	$\cdots\frac{d^3g}{d\tilde{x}^2}$	$\cdots\frac{d^3\tilde{g}}{d\tilde{x}^3}$
③ p. 65 式(24) 右辺1行目 { } 内	$\frac{4\epsilon}{\tilde{\eta}}\left(\frac{d\tilde{g}}{d\tilde{x}}\right)^2$	$\frac{4\epsilon^2}{\tilde{\eta}}\left(\frac{d\tilde{g}}{d\tilde{x}}\right)^2$
④ p. 65 式(26) 右辺1行目	$\frac{3R_e}{1120\tilde{\eta}}\Big\{\epsilon^2\cdots$	$\frac{3R_e}{1120}\Big\{\frac{\epsilon^2}{\tilde{\eta}}\cdots$
⑤ p. 66 式(29) 右辺2行目	$\cdots\frac{d^2\tilde{g}}{d\tilde{x}^3}$	$\cdots\frac{d^2\tilde{g}}{d\tilde{x}^2}$
⑥ p. 70 式(51 e) 2行目右辺	$2(3A_1+\cdots)$	$2(3A_1-\cdots)$
⑦ p. 70 式(51 f) 4行目右辺	$(\cdots)/16\kappa^4$	$(\cdots)/64\kappa^4$
⑧ 式(13),(16),(62) 中	g	$\tilde{g}$
⑨ 土木学会誌8月号掲載の内容紹介の文章中	「波長/管径が 1/10 程度」	「管径/波長が 1/10 程度」

（2）No. 266 池田著：「コンクリート強度即時判定方法の実用化に関する研究」

p. 126　図-3 と 図-4 を入れ換える．ただし説明文はそのまま．