

鋼管材 (STK41) の機械的性質
- 統計処理と設計式への応用 -

X1. 安全性・信頼性 Y1. 鋼管 Z1. 機械的性質
○正会員 越智健之*1 同 黒羽啓明*2
同 牧野雄二*3 同 林 隆*4

まえがき 構造用鋼材の機械的性質を統計的に処理したデータは設計式を得る時に必要となる。一般鋼材については文献[1]に報告されているように数多くのデータがあり機械的性質の平均値、標準偏差が明らかにされている。鋼管材については、文献[2]で切り出した試験片を引張試験した結果を統計処理している。本報は、文献[2]で使用したデータに、その後実験が行われたものを加えた計296本分のデータを基に設計式を得る時に必要な諸量を示すものである。

1 平均値と標準偏差 文献[2]と同じ手法で得られた平均値を式(1)~(3)に示す。

$$\begin{aligned} \sigma_{y,m} &= 5.379 (D/T)^{-0.104} & (1) \\ \sigma_{u,m} &= 5.855 (D/T)^{-0.065} & (2) \\ \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_u}\right)_m &= 0.919 (D/T)^{-0.039} & (3) \end{aligned}$$

σ_y : 降伏応力 σ_u : 引張強さ時の応力 m : 平均値を表わす添字 D : 管径 T : 管厚

データと平均値の関係を図1(a)~(c)に表わす。合せて平均値に対するデータの誤差が対数正規分布に従うと仮定した95%信頼帯を表わす。表現の簡便さから式(4)~(6)のように表現しておく。

$$\begin{aligned} \sigma_y &= M_y \cdot \sigma_{y,m} & (4) \\ \sigma_u &= M_u \cdot \sigma_{u,m} & (5) \\ \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_u}\right) &= M_r \cdot \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_u}\right)_m & (6) \end{aligned}$$

M : 平均値 1.0 の確率変数

それぞれ M の対数を取ったヒストグラムと標準偏差 ζ を図2(a)~(c)に表わす。平均値及び ζ は、データが増したにもかかわらず文献[2],[3]と比べて大した変化はない。数式モデルの妥当性が確かめられた。

2 確率変数間の相関 LRFD方式によって設計値を定める場合に使用されるのは、First Order Second Moment Method である。確率変数は無相関と仮定して確率関数(例えば耐力式)の変動を求めることが多い。鋼管の機械的性質 σ_y と σ_u , σ_y/σ_u と σ_y の間には、高

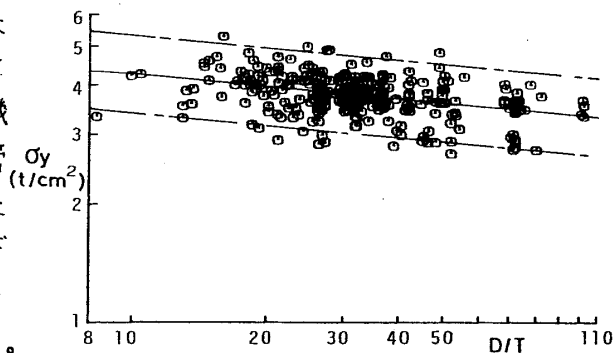


図1(a) σ_y と管径管厚比

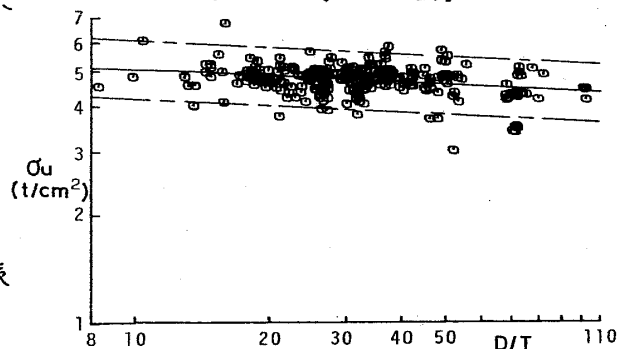


図1(b) σ_u と管径管厚比

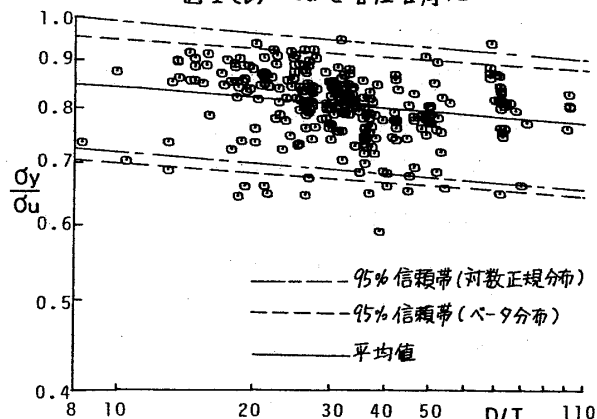


図1(c) σ_y/σ_u と管径管厚比 (%)

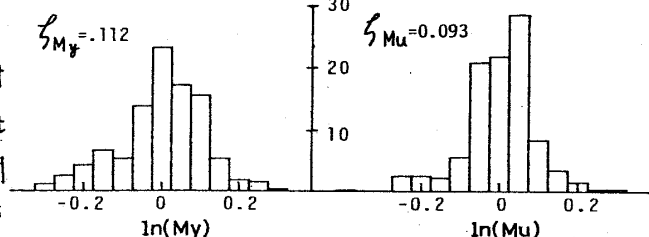


図2(a) ヒストグラム 図2(b) ヒストグラム

Mechanical Properties of Cold Formed ER-Welded Tube (Grade STK41)

- Statistic Analysis and Application to Design -

OCHI Kenshi et al.

い相関がある。図3(a)~(c)にデータを示す。 σ_y と σ_u が混在している設計式[3]では確率変数間の相関を考慮するか否かで、大きく伝減率(Resistance Factor)を変化させることがある。例として確率変数 σ_y 、 σ_u とで確率関数(σ_y/σ_u)の関係を導く。

$$\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_u}\right)_m = \frac{\sigma_{y,m}}{\sigma_{u,m}} \quad (7) \quad \zeta_{Mr}^2 = \zeta_{My}^2 + \zeta_{Mu}^2 \quad (8)$$

(7)式は、(1)(2)(3)式から成り立つ。(8)式が First Order Second Moment Method の基礎となっているが、両辺は大きく違っている。相関を考慮した(9)式は成り立つ。

$$\zeta_{Mr}^2 = \zeta_{My}^2 + \zeta_{Mu}^2 - 2 \cdot \text{Cov}(\ln(My), \ln(Mu)) \quad (9)$$

以上のことから鋼材の機械的性質のように各確率変数間の相関が明白となる場合には、その数値も重要であると言える。表1に相関係数を示す。

First Order Second Moment Method を使用するときには(10)式を使うべきである。

$$\zeta_g^2 \approx \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial(\ln g)}{\partial(\ln x_i)} \right)^2 \zeta_{x_i}^2 + \sum_{i \neq j} \frac{\partial(\ln g)}{\partial(\ln x_i)} \cdot \frac{\partial(\ln g)}{\partial(\ln x_j)} \cdot \text{Cov}(\ln x_i, \ln x_j) \quad (10)$$

g : 確率関数 x_i : 確率関数に含まれる確率変数 $i = 1 \sim n$

3 分布形 図2(c)に表わしたように Mr は明らかにひずんだ形となっている。また、図1(c)の対数正規分布と仮定した95%信頼帯はデータとの対応がとれていない。確率変数の分布形が大きく対数正規分布と違っているならばLRFDで定める安全指標 β が現実と掛け離れる。そのため分布形によっては β の補正を行う[4]必要がある。 (σ_y/σ_u) は下限値0、上限値1が存在し、標準ベータ分布に従うものと考えられる。平均値を(3)式、変動係数を ζ_{Mr} としたベータ分布の確率密度関数を各データについて数値積分して得られた結果を図2(c)に示す。合せて対数正規分布とした場合も示す。明らかにベータ分布に近い。 χ^2 検定の結果もベータ分布と仮定した方が良い結果となった。図1(c)にベータ分布と仮定した95%信頼帯を示す。対数正規分布と仮定した95%信頼帯とは、違った傾向となっている。また、ベータ分布とした方がデータとの対応もとれている。

謝辞 本報の作成にあたり杉信幸氏(熊本大学・学生)の協力を得た。記して謝意を表わします。

参考文献 [1]青木・能沢: "構造用鋼材における機械

的性質の平均値と変動係数" 建築学会大会梗概集 S.55.9

[2] 牧野・黒羽・三井: "鋼管分岐継手の設計式の提案"

建築学会大会梗概集 S.52.10 [3] Y. Kurobane,

Y. Makino and Y. Mitsui: "RE-ANALYSIS OF ULTIMATE

STRENGTH DATA FOR TRUSS CONNECTIONS IN

CIRCULAR HOLLOW SECTIONS" IIW Doc. XV-461-80 Lisboa/Estoril; Portugal July; 1980 [4] B. Ellingwood T.V. Galambos, J.G. MacGregor and C.A. Cornell: "Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58" NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, 1980

*1 熊本大学助手 *2 同教授 工博 *3 同講師 *4 同大学院生

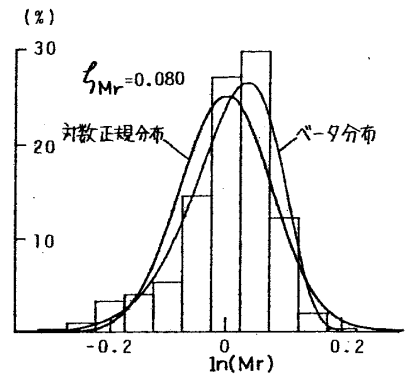


図2(c) ヒストグラム

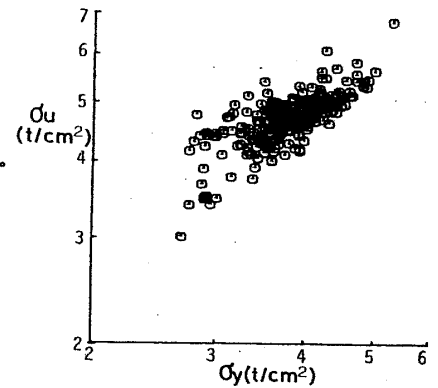


図3(a) σ_u と σ_y の散布図

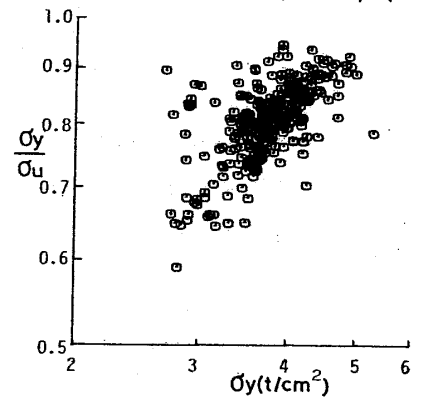


図3(b) σ_y/σ_u と σ_y の散布図

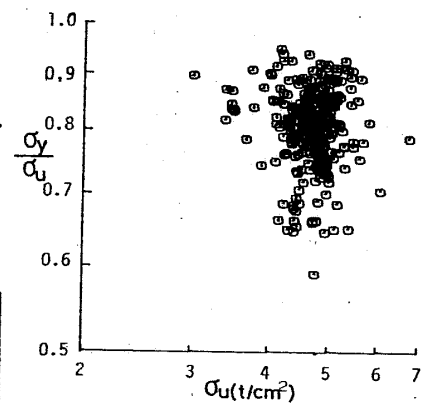


図3(c) σ_y/σ_u と σ_u の散布図

表1 各確率変数間の相関係数

	$\ln(My)$	$\ln(Mu)$	$\ln(Mr)$
$\ln(My)$	1.000	0.711	0.575
$\ln(Mu)$	0.711	1.000	-0.166
$\ln(Mr)$	0.575	-0.166	1.000