

# 鋼構造部材の耐荷力評価システムのための 数値データバンクの作成と利用

NUMERICAL DATA BANK FOR THE SYSTEM EVALUATING  
THE ULTIMATE STRENGTH OF STEEL STRUCTURAL MEMBERS

福本 昉 士\*・伊藤 義 人\*\*

By Yuhshi FUKUMOTO and Yoshito ITOH

## 1. 緒 言

大量の情報処理の手段として、コンピュータを使うデータバンクの利用は、1960年代から注目され現在までに多くのものが作成されてきている。学術情報<sup>1)</sup>に限ってみると文献情報のデータバンクは化学、生化学、医学の分野において、その要求が強く機械可読のデータベースが早くから作成されている。特に有名なものとして、化学および化学工業分野における CA (Chemical Abstract)<sup>2),3)</sup>が上げられる。ほとんどのデータベースが外国で作成されたものによっているのに対して、構造の分野において成岡<sup>4)</sup>によって作成された有限要素法と板に関する文献データベースがある。

一方、科学技術、特に実際的な問題を研究し実用化する工学の分野では数値データが特に重要となる。工学自体が数値データを重視する科学であるからである。しかし、ファクトデータベース<sup>5)</sup>としての数値データベースの中心は、主として経済活動に関係したものであり、科学技術関係で流通しているデータベースとしては物性定数の検索と推算のためのデータベース<sup>6)</sup>、タンパク質構造データベース<sup>7)</sup>などのごく限られたものしかない。工学の分野においては実験データが大きな役割を果たしているが、実験、観測データについての数値データバンクとしては、宇宙線に関するデータバンク<sup>8)</sup>および核データ情報システム<sup>9)</sup>などがある。特殊なものとしては高速実験炉「常陽」の燃料データバンキングシステム<sup>10)</sup>が上げられる。土木の分野においては都市地盤土質柱状図のデータバンク<sup>11)</sup>が報告されている。

苦勞して測定したデータは一般に、その実験結果の一部のみが学術誌に掲載されその他は、その研究機関で眠ってしまうことが多い。各所で測定した信頼性あるデー

タをファイル化し一括して扱い、さらに計算機で処理できれば非常に有効であろう。

一方、現在構造系分野において信頼性理論に基づいた設計思想を実際の基準に適用<sup>12)</sup>しようという動きが国際的にある。信頼性理論に基づく強度の統計的評価においては各研究機関で行われた耐荷力の実験結果が最も有効な資料となる。そこで、構造部材の耐荷力評価システムのために、鋼材の材料強度と構造物の基本要素である柱とはりの耐荷力実験データの数値データバンク NDSS (Numerical Data Bank for Steel Structures) を作成した。

信頼性理論では作用荷重  $S$  と抵抗強度  $R$  をそれぞればらつきをもった確率変数として安全性を評価する。その場合、構造物の抵抗強度  $R$  を取り扱うに際して材料強度のばらつきは、その最も大きな変動要因であるといわれている。Alpsten<sup>13)</sup> は、スウェーデンで行われた鋼材の材料試験結果 57 000 体についての詳細な研究を行っている。また、Galambos, Ravindra<sup>14)</sup> によって荷重・抵抗係数設計 (LRFD) のために必要な鋼材の機械的性質の変動に関する文献調査を行い、ミルテストによる降伏点応力と公称降伏点応力、静的降伏点応力の比と変動係数を示している。わが国においては西村<sup>15),16)</sup> によって降伏部応力、引張強さ、伸びについて鋼種ごとに製鋼会社各社の材料強度のばらつきおよび、ミルシート値と実材の機械的性質 (チェックアウト値) との系統的な調査検討がなされている。

本データバンクは、構造部材の耐荷力評価を目的としているため、ひずみ速度  $\dot{\epsilon} \approx 0$  に対応する材料強度の降伏点 (静的降伏点)、および不静定構造物のモーメント再配分、非弾性横倒れ座屈および短い柱の耐荷力において重要な要因であるひずみ硬化に関連した値などが検討できるように作成されている。

今回作成した材料強度のデータバンクは、わが国の土木・建築・造船の各分野の既発表文献、および著者の

\* 正会員 Ph. D. 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科

\*\* 正会員 工修 名古屋大学助手 工学部土木工学科

研究室で行われた構造用鋼材の引張試験結果，2137 体についてのものである。

構造物の主要部材である柱については，ヨーロッパ鋼構造連合 (ECCS) が示方書の統一化を図るために各国共同で行った 1067 体の鋼柱の系統的実験がある<sup>17)</sup>。そこで，今回の柱のデータバンクは，このフランスの鋼構造技術センター (CTICM) と連絡を取り了解を得て入手した生データ (1 次データ) を中心として，他の実験データ<sup>18), 19)</sup> とあわせて作成した。現在のところ，I 形もしくは H 形断面柱 614 体について作成されている。

また，鋼はりについては著者らによって収集・整理された内外の実験データ<sup>20), 21)</sup> 275 体 (うち圧延はり 159 体，溶接はり 116 体) に加え，著者らが統計的見地から行った実験結果<sup>22), 23)</sup> 143 体 (圧延はり 75 体，溶接はり 68 体) についてデータバンクを作成した。

本論文では，データバンクの内容とその利用による材料強度および柱，はりの耐荷力に関する統計的性状を明らかにすることを目的とし，計算機によるファイリング，検索法および各種のソフトウェアについては誌面の都合上詳述しない。

## 2. 数値データバンク NDSS の作成

### (1) 数値データバンクの特徴

数値データバンクは文献情報データバンクと比較すると多くの相違点をもっている。

#### a) 自前のデータ管理システムの必要性

文献情報データに関しては，その取り扱いが分野が変わってもほとんど変化しない。そのためデータベースの蓄積，検索システムなどは電算メーカーによりシンソラス (Thesaurus) を使用したものが多くつくられており，これを利用すればよい。一方，数値データベースについては各分野によって扱う対象が著しく異なるため，ファイルの生成，維持，検索および報告書の作成のためのソフトウェアシステムであるデータ管理システム (Data Management System) について，扱う各分野によって自前のものを作成する必要がある。

#### b) 高度の工学的判断の必要性

各所で行われた条件の異なる実験データについて，その中味を評価し，評価値データを一定の書式に従ってファイル化する必要があるため，その分野の専門家による高度の工学的判断が必要とされる。

#### c) 高度のデータ加工の必要性

文献情報であれば必要とする情報を抽出することで主要目的を果たすが，数値データは抽出した後，高度の加工を施す必要がある。作表および統計処理に加えて，こ

れらの結果を計算機による自動作画によって，視覚的にわかるようにすることが必要不可欠である。図形情報の検索システムのために作成された図形処理プログラムとして，汎用技法を体系的に分類してプログラムパッケージ化した GRACE (Graphic Application Package for CAD Environment) などがあるが，これは図形情報そのものを扱うためのものであり，数値データバンクには適用できない。

#### d) 拡張性のあるシステムの作成

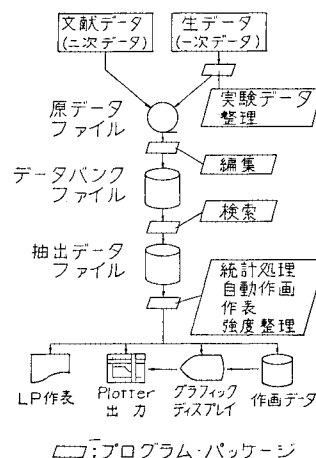
文献情報についても拡張性のあるシステムを作成することは重要であるが数値データバンクにおいては，それらをさらに進めデータの付加，加工プログラムの付加などが容易なシステムを作る必要がある。また，ユーザーが作成したプログラムとの結合を容易にする必要もある。

以上の点を考慮して本数値データバンク NDSS は作成されている。なお，本システムのために作成されたソフトウェアは原則として FORTRAN で組まれている。

### (2) データの収集と原データファイルの作成

数値データバンク NDSS の作成から利用までのフローチャートを Fig. 1 に示す。

原データファイル作成のためのデータ収集の方法は大別すると次の 2 種類のものがある。1 つは実験を行った研究機関に直接連絡をとり実験の生データ (1 次データ) を入手することである。実際の実験で測定した荷重，変形およびひずみなどがこれにあたる。最近の実験の測定は，ラボラトリー・オートメーションとまではいかないまでもデジタル測定器が普及し，結果は紙テープや磁気テープの形で得られることが多い。このような機械可読のものであれば直接計算機に入力し，実験データ整理プログラムパッケージを使って各実験値を整理して



原データファイルが作成できる。材料強度の中の下降伏点応力，ひずみ硬化係数などは整理方法の違いによって大きな差が生じるが，本システムのプログラムを使って統一的处理を行えば，この種の誤差をなくすることができる。

2 つめは，既発表文献より収集し

Fig. 1 Flow Chart of NDSS.

たもの（2次データ）を用いるものである。この場合は機械可読なものに変換して原データを作成する。これまでのところは、筆者らによって上記の2つの方法によりデータ収集を行ってきたが、今後この種のデータベースの作成に国の内外からの協力を得て、データ量のより一層の蓄積に努める予定である。

### (3) データの編集と書式化によるデータベースファイルの作成

ディスク装置にデータベースファイルを作成する場合データの入出力の流れをあらかじめ解析しておく必要がある。実験データの数値データバンクにおいて、どのような項目が必要であり、どのような検索がなされるかを工学的判断により決定しなければならない。その結果からファイル構造とデータの書式を決定する必要がある。これは文献情報という主題分析、主題の抽出、索引づけ、抄録作成というインデキシングに相当する作業である。文献情報においては、索引づけの自動化の例としてKWIC (Key Word In Context), KWOC (Key Word Out of Context) などが有名である。数値データバンクにおいては比較的検索パラメータは限定されるが内容が一定でないためデータ形式および書式について高度の工学的判断が必要とされる。

今回作成した NDSS のデータベースファイルは、それぞれの対象に最もふさわしいファイル構造を選んだが、レコードの大きさは、すべて 80 バイトのカードイメージで行っている。これは、将来計算機センター間のオンライン化が実現したときファイルのアクセスが容易に行えるようにする意味がある。

#### a) 鋼材の材料強度

数値データバンク NDSS の材料強度については次の9つの項目を対象としている。

- ① 上降伏点応力  $\sigma_{yu}$ , ② 下降伏点応力  $\sigma_{yl}$ , ③ 引張強さ  $\sigma_u$ , ④ 降伏ひずみ  $\epsilon_y$ , ⑤ ヤング率  $E$ ,

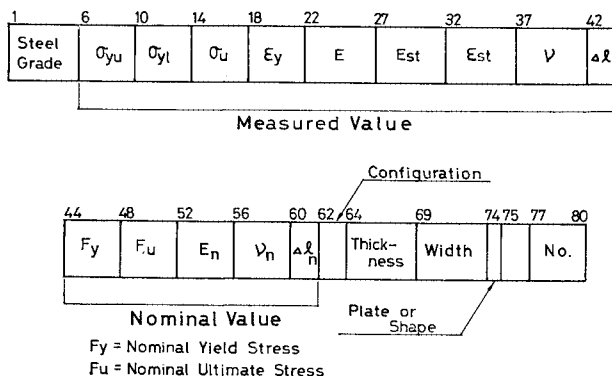


Fig. 2 Data Format for Mechanical Properties in NDSS.

Table 1 Number of Data in Tensile Coupon Test.

	Steel Grade			Plate Thickness		Location		Total No.
	SS	SM	HT	$t \leq 10$	$t > 10$	Plates	Shapes	
$\sigma_{yu}$	169	5	0	173	1	158	16	174
$\sigma_{yl}$	1337	508	209	1474	580	1330	724	2054
$\sigma_u$	1112	328	179	1192	427	1027	592	1619
$\epsilon_y$	239	9	5	240	13	172	81	253
$E$	775	161	88	885	139	661	363	1024
$E_{st}$	242	19	4	243	22	172	93	265
$\epsilon_{st}$	261	19	1	258	23	180	101	281
$\nu$	412	117	59	521	67	506	82	588
$dl$	526	100	41	509	158	416	251	667

$\sigma_{yu}$  = Upper yield stress       $\sigma_{yl}$  = Lower yield stress  
 $\sigma_u$  = Ultimate stress       $\epsilon_y$  = Yield strain  
 $E$  = Modulus of elasticity       $E_{st}$  = Strain-hardening modulus  
 $\epsilon_{st}$  = Strain at onset of strain-hardening  
 $\nu$  = Poisson's ratio       $dl$  = Elongation

- ⑥ 初期ひずみ硬化係数  $E_{st}$ , ⑦ 硬化開始ひずみ  $\epsilon_{st}$ , ⑧ ポアソン比  $\nu$ , ⑨ 破断までの伸び  $dl$

1本の試験片の材料強度の項目が9個と少ないため、試験片1本に対して Fig. 2 に示すように、あらかじめ定められた欄をもつ1枚のカードイメージに対応させた。各材料強度について公称値もしくは標準値も割りつけられている。公称値などは検索プログラムの中でデータ文の形でもつこともできるが、公称値の定め方が板厚および形状などにより複雑な場合があり、かつ今後、外国のデータや新しい鋼材についても対応できるように考えた。その他の項目としては試験片形状、板厚、板幅および切り出し位置と収集した文献の番号である。

各材料強度のデータバンク内のデータの数を Table 1 に示す。鋼種は、一般構造用圧延鋼材 (SS材), 溶接構造用鋼材 (SM材) および高張力鋼材 (HT材) に分けて示してある。板厚については 10 mm を境にして分類し、切り出し位置については板材 (Plates) と圧延形鋼材 (Shapes) に分けてデータ数を示した。データは、SS 41 材のものが最も多く全体の 62.9% を占めている。

#### b) 鋼柱

鋼柱のデータバンクは、ヨーロッパ鋼構造連合が共通の基本強度式を提案するために行った長年の共同研究によって得られた実験データを最も有効に利用できるように意図した。実験は断面形状、細長比別にまとまった数の実験が行われているので、1体の柱の座屈実験結果に1枚のカードイメージを対応させ、その一群の先頭に索引ラベルを置くデータ構造を作成した。索引は、① 断面呼称、② 公称断面積、③ 細長比、④ 実験シリーズ名、⑤ 実験体数、等からなる。1体の試験体についての項目は、① 座屈実験番号、② 座屈強度、③ 実測断面積、④ 短柱試験番号、⑤ 短柱試験による降伏応力点、⑥ 引張試験番号、⑦

引張試験による降伏点応力，等である．各試験番号は数字と試験体製作国および実験実施国であるフランス，イギリス，西ドイツ，イタリア，ベルギー，オランダ，オーストリア，ユーゴスラビアの各国の記号から成り立っており，それぞれの試験体の切り出し位置が割りつけ表によってわかるようになっていて，初期変形などの他の測定値もこの番号によって索引できるようになっている．引張試験については各国の実験仕様の違いおよび断面内の切り出し位置の違いによって，1体の試験柱について数種の試験結果のあるものもある．他の鋼柱の実験データについては，この書式でデータファイルを作成した．

#### c) 鋼 は り

鋼はりの横倒れ座屈実験値をまとめるとき，そのパラメーターは，中心軸圧縮柱のように細長比によって一義的に表わせるものではなく断面寸法，部材長によってかなり影響される．そのため，いろいろな検索に耐え得るように項目を鋼柱より多くする必要がある．また実験は著者らの研究室で行われたものを除いては系統的に多くの実験量をこなしたものはないため，データ形式は材料強度のときのように，1体についての次の各パラメーターを1枚のカードイメージ上に割りつけた．

① 境界条件と載荷条件，② すべての断面寸法，③ スパン長，④ ウェブ降伏点応力，⑤ フランジ降伏点応力，⑥ 降伏モーメント，⑦ 全塑性モーメント  $M_p$ ，⑧ 理想弾性座屈モーメント  $M_E$ ，⑨ 耐荷モーメント  $M_u$ ，⑩  $M_u/M_p$ ，⑪  $\lambda = \sqrt{M_p/M_E}$ ，⑫ 文献番号．

なお，著者らが行った143体の実験については耐荷力実験結果（荷重-変形関係，耐荷力値など），残留応力測定値，初期変形測定値および材料強度などは各セグメントファイルに作成され，できるだけ生データのものが利用できるようになっている．

#### (4) データの検索

蓄積されているデータファイルから必要なデータを選出すためには選択の基準となるパラメーター情報をコンピューターに入力する必要がある．検索においてデータバンクが作成された当初は，バッチ処理が主流であったが現在においてはそのほとんどが TSS 端末によるオンラインシステムとなっている．本数値データバンク NDSS においてもバッチ処理は可能であるが，原則として対話形式のオンラインシステムとして開発されている．検索情報の入力，コンピューターからの質問（プロンプティング）に答える形でキーインすればよいようになっている．検索は作業用ファイルを有効に使い，各パラメーターの選択によりその論理和，論理積，補集合などを作ることが可能となっている．

#### (5) 検索結果の加工

文献情報であれば検索の後は印字して配布することで目的は達するが数値データの場合には検索結果に統計処理と問題解析処理を施す必要がある．また，処理結果を表作すると同時に自動図化が必要である．そのため本データバンクにおいては，これらの処理のためにいろいろなプログラムパッケージが用意されている．の中には，実験結果を使つてのシミュレーションのためのソフトも含まれている．

##### a) 統計処理<sup>24)~26)</sup>

① 平均，分散などの一般統計量の計算，② 平均値，分散および差の検定，③ ヒストグラムの作成，④ 分布形の推定と検定，⑤ 回帰分析，分散分析，⑥ 作表，⑦ 単位換算，⑧ 各種統計分布の乱数発生，⑨ その他．

##### b) 問題解析処理

① 断面諸定数計算，② 座標パラメーター計算，③  $M-\phi-P$  解析，④ 骨組計算，⑤ その他．

##### c) 自動作画

① ヒストグラムおよび推定分布，② 散布図（2次元，3次元），③ 荷重-変形関係などの各実験値の作画，④ 各種座屈強度曲線上への実験データのプロット，⑤ 各種設計曲線，⑥ 立体図（投影図），⑦ その他基本作図．

各プログラムは拡張が容易にできるように作成されている．たとえば分布形の検定は，Function 文で確率密度関数 (PDF) と分布関数 (CDF) およびそのパラメーターの推定ルーチンを加えるだけで新たな分布形に対しても可能となっている．

また，本数値データバンク NDSS についての基本的な図形処理結果は図形情報として約300画面がファイル化されているので，グラフィックディスプレイを使つていつでも取り出すことができるようになっている．

### 3. 鋼材の機械的性質

#### (1) 鋼材の機械的性質の変動要因

引張試験によって得られる鋼材の機械的性質を変動させる要因のおもなものとして，④ 鋼種，⑤ 板厚，⑥ 切り出し位置（板材か形鋼材か）が上げられる．ここではこの3種の変動要因が各機械的性質に与える影響を考察する．ただし，上下降伏点応力 ( $\sigma_{yu}$ ,  $\sigma_{yl}$ )，引張強さ ( $\sigma_u$ ) および伸び ( $d$ ) は公称値（マニュアル値）によって無次元化し，ヤング率 ( $E$ ) とポアソン比 ( $\nu$ ) は通常用いられる  $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  (205 GPa) と 0.3 によって無次元化している．また，降伏ひずみ ( $\epsilon_y$ ) は公称値の降

Table 2 Statistical Data in Three Steel Grades.

	SS (SS 34-SS 50)				SM (SM 41-SM 58)				HT (HT 60-HT 80)			
	N	M	S	$\omega$	N	M	S	$\omega$	N	M	S	$\omega$
$\sigma_{yu}/F_y$	169	1.401	0.156	0.111	5	1.174	0.175	0.149	0	—	—	—
$\sigma_{yl}/F_y$	1337	1.179	0.132	0.112	508	1.162	0.135	0.116	209	1.112	0.082	0.074
$\sigma_u/F_u$	1112	1.096	0.069	0.063	328	1.099	0.066	0.060	179	1.054	0.059	0.056
$\epsilon_y/\epsilon_{yn}$	239	1.322	0.171	0.129	9	1.253	0.211	0.168	5	1.173	1.099	0.084
$E/E_n$	775	0.988	0.044	0.044	161	1.006	0.045	0.045	88	0.999	0.054	0.054
$E_{st}$	242	0.039	0.011	0.283	19	0.033	0.010	0.295	4	0.032	0.013	0.403
$\epsilon_{st}$	261	20.170	4.304	0.213	19	18.290	6.327	0.346	1	—	—	—
$\nu/\nu_n$	412	0.936	0.075	0.080	117	0.952	0.114	0.120	59	0.912	0.076	0.083
$\Delta l/\Delta l_n$	526	1.586	0.285	0.180	100	1.393	0.265	0.190	41	1.207	0.290	0.240

$F_y$ =Nominal yield stress  $F_u$ =Nominal ultimate stress  $\epsilon_{yn}$ =Nominal yield strain  $E_n=2.1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>  $\nu_n=0.3$   
 $E_{st}(\times 10^6)$ kg/cm<sup>2</sup>,  $\epsilon_{st}(\times 10^{-6})$   $\Delta l_n$ =Nominal elongation  $N$ =Number of data  $M$ =Mean value  $S$ =Standard deviation  
 $\omega$ =Coefficient of variation

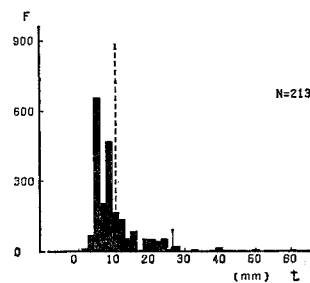
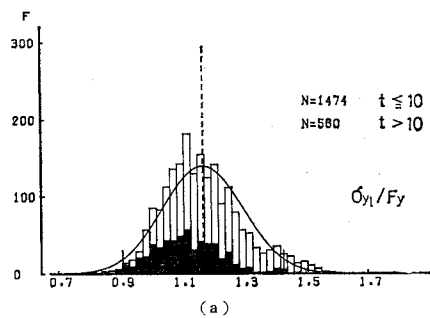


Fig. 4 Histogram of Plate Thickness in NDSS.

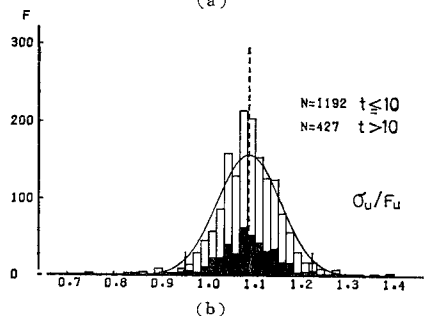
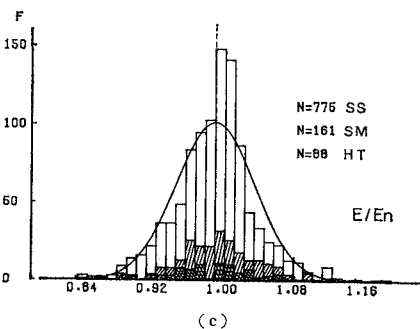
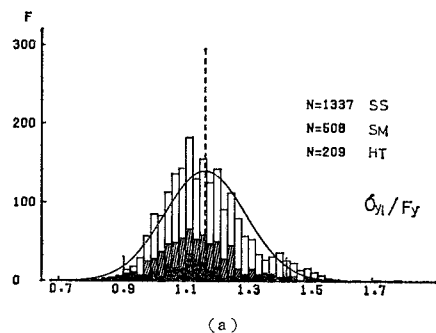
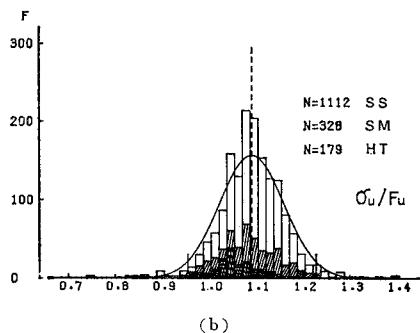


Fig. 3 Histograms of  $\sigma_{y1}/F_y$ ,  $\sigma_u/F_u$  and  $E/E_n$  in NDSS.

Fig. 5 Histograms of  $\sigma_{y1}/F_y$  and  $\sigma_u/F_u$  for  $t \leq 10$  mm and  $t > 10$  mm in NDSS.

伏点応力をヤング率で割った値で無次元化している。

a) 鋼種による変動

この数値データバンク NDSS で扱われている鋼種を大別すると一般構造用圧延鋼材である SS 材 (SS 34-SS 50, JIS G 3101) と溶接構造用圧延鋼材である SM 材

(SM 41-SM 58, JIS G 3106) および高張力鋼材である HT 材 (HT 60-HT 80) になる。SS 材と SM 材については JIS 規格に化学成分と機械的性質 (降伏点応力, 引張強さ, 伸び) が規定されているが, HT 材については規定値がないため各製鋼メーカーのマニュアル値を使っ

て無次元化を行った。

各機械的性質について鋼種を3つのグループに分けたヒストグラムの一例を Fig. 3(a)  $\sigma_{yt}/F_y$ , 3(b)  $\sigma_u/F_u$ , 3(c)  $E/E_n$  に示した。ヒストグラムの白字の部分がSS材, 片側斜線の部分がSM材であり, 両側斜線の部分がHT材のものである。破線と曲線はそれぞれ全体の平均と正規分布を適合させたものである。各グループのそれぞれの標本数, 平均値, 標準偏差および変動係数を Table 2 に示した。

Fig. 3(a) と各グループ間の平均値および分散の差を  $t$  分布と  $F$  分布を用いて検定した結果によると下降伏点応力は, SS材とSM材とでは平均値で1.5%の差であるが, HT材は明らかな差が生じている。同様なことは引張強さ, ポアソン比についてもいえる。ヤング率については鋼種によって平均値に差はなく, その値は通常用いられる値  $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  とよい一致をみせている。伸びの平均値は, SS材, SM材, HT材の順で小さくなっているが分散には差が生じていない。上降伏点応力, 降伏ひずみ, 初期ひずみ硬化係数および硬化開始ひずみについては標本数  $N$  が少ないため確認しがたい。

b) 板厚による変動

Fig. 4 は, 本データバンクの材料強度のデータ  $N=2137$  についての板厚分布のヒストグラムである。実験データのうち板厚  $t$  として  $t=6 \text{ mm}$  と  $t=8 \text{ mm}$  のものが極端に多く, 全データの平均値は  $10.5 \text{ mm}$  である。そこで, 板厚を  $10 \text{ mm}$  を境にして2つのグループに分けた。各機械的性質についてのヒストグラムの例を  $\sigma_{yt}/F_y$  と  $\sigma_u/F_u$  について Fig. 5(a), (b) に示した。ヒストグラムの白字の部分が  $t=10 \text{ mm}$  以下のものであり, 斜線を施された部分が  $t=10 \text{ mm}$  を超えるものである。

各グループの標本数, 平均値, 標準偏差および変動係数の値を Table 3 に示した。

下降伏点応力, ヤング率およびポアソン比は平均値でそれぞれ 6.1%, 0.9%, 3.4% の差が生じており, 平均値, 分散とも有意な差が生じている。一般に, 降伏点応力は板厚の薄いものほど高い値をもつといわれており公

称値は板厚について  $t \leq 16 \text{ mm}$ ,  $16 \text{ mm} < t \leq 40 \text{ mm}$ ,  $t > 40 \text{ mm}$  に3区分しその影響を考慮している。SS41材のみの機械的性質と板厚との相関係数を調べた結果, 上降伏点応力と初期ひずみ硬化係数を除いては明確な相関性は見出せなかった。

c) 切り出し位置による変動

引張試験片が切り出された場所が板材(溶接断面, Plates)か圧延形鋼材(Shapes)かによって分類したヒストグラムを作成し, また両者の5%有意水準による差の検定の結果, 切り出し位置に関する両者の統計量にはほとんど差がないことが判明した。

(2) 鋼材の機械的性質のばらつきと適合分布

Fig. 6(a), (b) に機械的性質のうち, 一例として  $\sigma_{yt}/F_y$  と  $\sigma_u/F_u$  のヒストグラムとそれに対応する累積度数曲線を示す。図の中に示した滑らかな曲線は, 正規分布およびKS検定(Kolmogorov-Smirnov Test)によってよい適合性を示した分布をあてはめたものである。ヒストグラムの中に示した矢印は  $M-2S$  値の範囲を示している。累積度数曲線中の矢印は, 各分布と標本累積度数関数との差の最大値  $D_n$  の位置を示している。なお, 検定の対象とした分布形は次の5つである。① 正規分布, ② 対数正規分布, ③ ベータ分布, ④ ガンベル分布, ⑤ ワイブル分布。各分布のパラメーターの推定はモーメント法<sup>24)</sup>を用いた。

Table 4 には各機械的性質のデータ数, 平均値, 標準偏差, 変動係数およびKS検定によって適合がよいとされた分布を示した。また, 統計処理の一つとして, 各機械的性質の度数分布と正規分布との隔たりを測る量として Appendix で示すひずみ(Skewness)ととがり(Kurtosis)に対応する  $V_1, V_2$  の値を Table 5 に示した。もし, データが正規分布に従うのであれば  $V_1, V_2$  はともに零となる測度である。表から下降伏点応力とポアソン比が正のひずみもち, 引張強さとポアソン比の

Table 4 Statistical Data of Material Properties in NDSS.

	N	M	S	$\omega$	Good-fit Distributions		
					(1)	(2)	(3)
$\sigma_{yu}/F_y$	174	1.394	0.161	0.115	Gumb	Log	
$\sigma_{yt}/F_y$	2054	1.168	0.130	0.111	Gumb	Weib	Log
$\sigma_u/F_u$	1619	1.092	0.068	0.063	Nor	Beta	Weib
$\epsilon_y/\epsilon_{yn}$	253	1.317	0.173	0.131	Log	Gumb	
$E/E_n$	1024	0.999	0.045	0.045	Log	Nor	
$E_{st}$	265	0.038	0.011	0.289	Nor	Weib	
$\epsilon_{st}$	281	20010	4500	0.225	Weib	Nor	
$\nu/\nu_n$	588	0.937	0.085	0.091	Gumb	Log	
$\Delta l/\Delta l_n$	667	1.534	0.302	0.197	Nor	Beta	

Nor=Normal distribution      Log=Log-normal distribution  
 Beta=Beta distribution      Gumb=Gumbel distribution  
 Weib=Weibull distribution       $E_{st}(\times 10^6)\text{kg/cm}^2$ ,  $\epsilon_{st}(\times 10^{-6})$

Table 3 Statistical Data for  $t \leq 10 \text{ mm}$  and  $t > 10 \text{ mm}$ .

	$t \leq 10$				$t > 10$			
	N	M	S	$\omega$	N	M	S	$\omega$
$\sigma_{yu}/F_y$	173	1.396	0.161	0.115	0	—	—	—
$\sigma_{yt}/F_y$	1474	1.187	0.132	0.111	580	1.119	0.110	0.098
$\sigma_u/F_u$	1192	1.091	0.070	0.064	427	1.094	0.065	0.060
$\epsilon_y/\epsilon_{yn}$	240	1.328	0.168	0.127	13	1.104	0.127	0.115
$E/E_n$	885	1.000	0.044	0.044	139	0.991	0.053	0.053
$E_{st}$	243	0.038	0.011	0.284	22	0.043	0.013	0.305
$\epsilon_{st}$	258	20496	4198	0.205	23	14560	4243	0.291
$\nu/\nu_n$	521	0.940	0.086	0.092	67	0.909	0.068	0.075
$\Delta l/\Delta l_n$	509	1.545	0.287	0.186	158	1.496	0.344	0.230

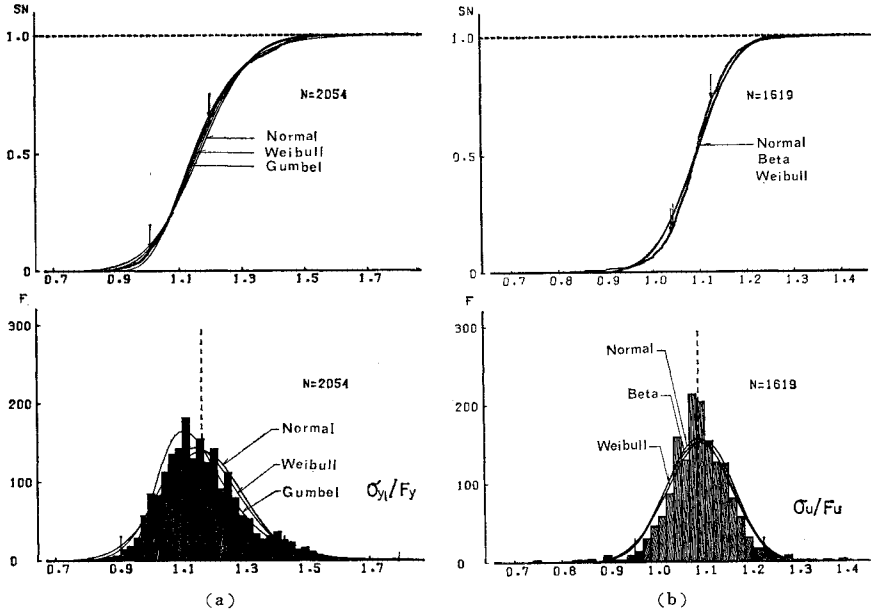


Fig. 6 Histograms and Cumulative Curves of  $\sigma_{y1}/F_y$  and  $\sigma_u/F_u$  with Fitting Distribution Curves.

とがりが大きいことがわかる。

a) 下降伏点応力

本データバンクの下降伏点応力は、静的降伏点応力 (Static yield point) に近いものであるため公称値を下回るものが 7.0% ある。降伏点応力に対する適合分布は、一般に対数正規分布、ガンベル分布、ベータ分布などが適用されるが Fig. 6(a) と検定結果によるとガンベル分布、ワイブル分布、対数正規分布の順で、正のひずみのある非対称な分布がよく適合している。これは降伏点応力が公称値によって最低値が保証されていることから生じるものである。また、分布形の適合は、ガンベ

もよい一致をみせている。

b) 引張強さ

引張強さの度数分布は、2~3 体の異常値を除いて平均値のまわりに密にばらついており変動係数は 6.27% であり、この値は下降伏点応力の変動係数の 56% にあたる。適合分布は正規分布とベータ分布であるが、度数分布はかなり凸の形状 (Leptokurtic) を示している。

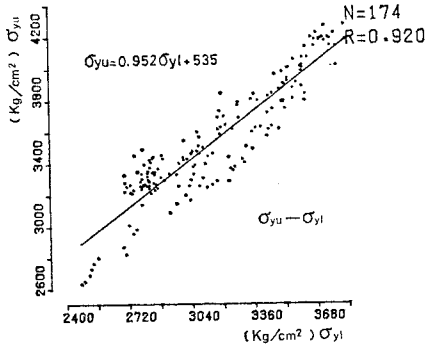
c) 伸び

伸びの平均値は公称値 (最低保証値) の 1.53 倍と他の機械的性質と違って公称値と実測平均値との間に大きな差が生じている。また、変動係数は 19.7% である。

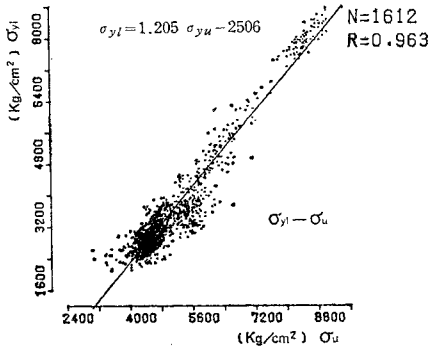
ル分布がデータのピーク部分をよく表わしているのに対してワイブル分布は両端部をよく表わしている。下降伏点応力の平均値は公称値の 1.168 倍であり、変動係数は 11.1% である。これは文献 14) によって示されているアメリカにおける鋼材の特性値とよい一致を示している。また、文献 13) で示されているスウェーデンにおける 57 000 体の静的降伏点応力の分布形状と

Table 5 Moment Coefficients of Skewness and Kurtosis for Mechanical Properties.

		$\sigma_{yM}/F_y$	$\sigma_{y1}/F_y$	$\sigma_u/F_u$	$\varepsilon_y/\varepsilon_{yN}$	$E/E_N$	$E_{St}$	$\varepsilon_{St}$	$\nu/\nu_N$	$\Delta I/\Delta I_N$	
Steel Grade	SS	$V_1$	0.85	7.85	-4.91	1.17	1.16	0.99	-2.74	11.82	5.62
		$V_2$	-1.69	1.02	2.46	-1.27	8.97	0.52	-2.09	36.67	3.71
	SM	$V_1$	0.40	5.83	3.21	-0.71	-0.46	0.24	0.98	4.55	-3.42
		$V_2$	-1.00	4.00	5.03	0.05	3.76	0.25	-0.51	4.23	1.33
	HT	$V_1$	—	-1.41	-4.38	-1.95	0.86	-0.64	—	2.04	-1.69
		$V_2$	—	4.04	10.93	1.50	1.19	-0.40	—	1.30	-0.02
Plates Thickness	$t \leq 10$	$V_1$	0.33	9.03	-4.02	1.25	1.82	1.14	-2.94	12.96	4.40
		$V_2$	-1.31	3.10	22.50	-1.23	9.86	1.18	-1.19	27.46	5.35
	$t > 10$	$V_1$	—	4.40	0.88	-0.58	0.16	-0.69	4.69	-0.29	-0.91
		$V_2$	—	1.75	10.48	-0.62	1.03	-0.87	7.66	2.45	1.85
Location	Plates	$V_1$	-0.08	8.21	-1.43	0.30	-0.60	0.01	-3.43	10.04	0.49
		$V_2$	-0.63	3.22	1.58	-1.01	7.12	0.68	0.45	18.85	5.38
	Shapes	$V_1$	2.14	8.08	-3.51	0.31	3.12	1.84	0.58	6.54	3.30
		$V_2$	0.71	3.50	22.94	-0.55	6.46	0.14	-1.75	12.13	2.57
Total	$V_1$	0.38	11.11	-3.25	0.99	1.22	1.04	-2.31	13.14	2.30	
	$V_2$	-1.35	4.69	25.05	-1.07	9.17	0.49	-2.12	28.99	6.05	



(a)



(b)

Fig. 7 Scattergrams of (a)  $\sigma_{yu} - \sigma_{yi}$  and (b)  $\sigma_{yi} - \sigma_u$ .

適合分布は正規分布とベータ分布の順で適合している。

(3) 鋼材の機械的性質の相関

Fig. 7(a) は上降伏点応力と下降伏点応力との散布図である。直線式をあてはめると

$$\sigma_{yu} = 0.952 \sigma_{yi} + 535 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_{yu} = (0.952 \sigma_{yi} + 535) \times 9.8 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

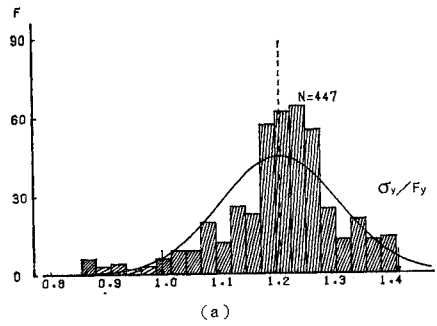
によって表わすことができる。

Fig. 7(b) は下降伏点応力と引張強さの散布図である。下降伏点応力と引張強さとは、鋼種に関係なく強い相関性をもち、直線式をあてはめると、

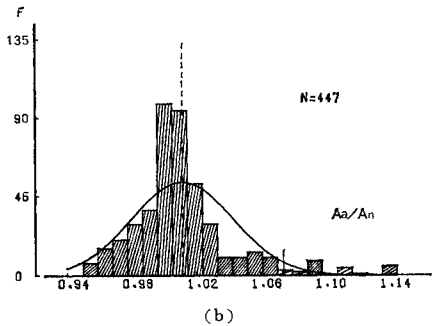
$$\sigma_{yi} = 1.205 \sigma_u - 2506 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_{yi} = (1.205 \sigma_u - 2506) \times 9.8 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

によって表わされる。相関分析によると  $\sigma_{yi}$  と  $\sigma_{yu}$ ,  $\sigma_{yi}$  と  $\sigma_u$ ,  $\sigma_{yi}$  と  $\epsilon_y$  は、相関係数  $R$  が 0.9 以上の強い正の相関をもっている。

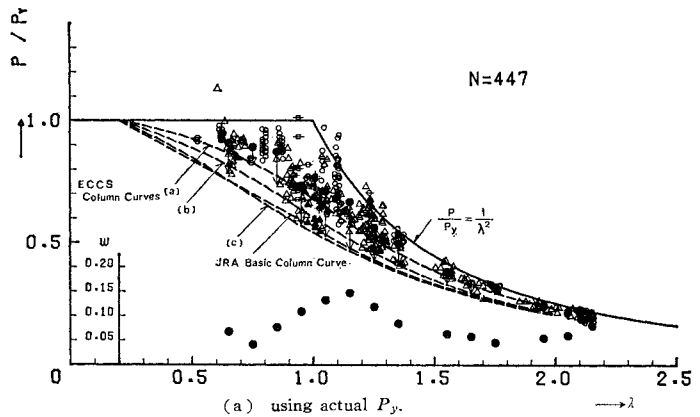


(a)

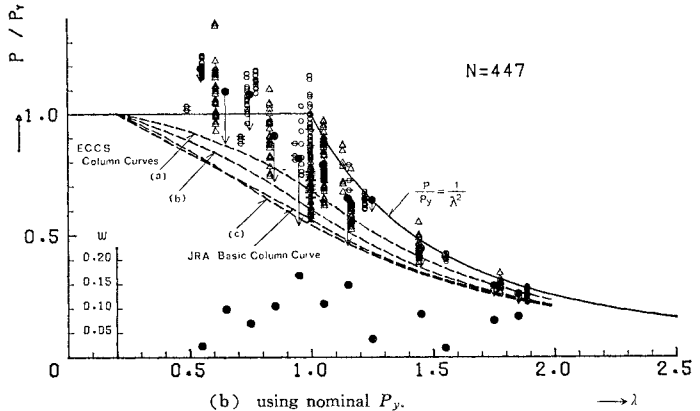


(b)

Fig. 8 Histograms of (a) Yield Stress and (b) Cross-sectional Area of ECCS Stub Columns.



(a) using actual  $P_y$ .



(b) using nominal  $P_y$ .

Fig. 9 Scatter of Test Results by ECCS Column Test.



### 4. 鋼柱の耐力力

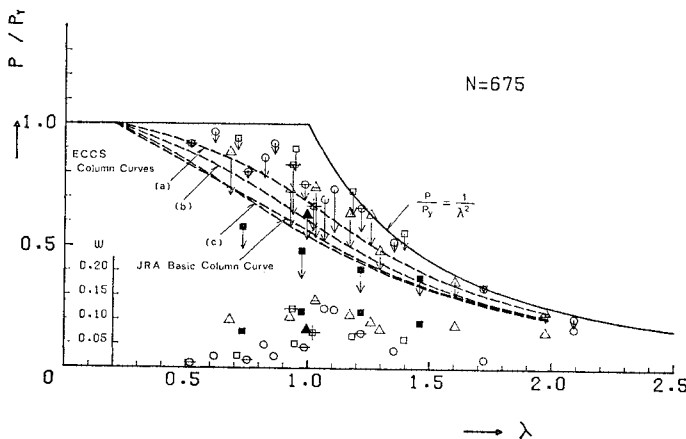
#### (1) 耐力力整理のための全断面降伏荷重の取り方

鋼柱の座屈荷重  $P$  (実験によって得られた最大荷重) を短柱試験の降伏荷重  $P_y$  で無次元化表示するとき、降伏荷重  $P_y$  の取り方として、① 実測値 (短柱試験)、② **Table 6** に示したような形状断面形種別の実測値の平均値、③ 公称値の3つが考えられる。ECCS で行われた I 形もしくは H 形断面鋼柱についての短柱試験による降伏荷重を実測断面積で割って求めた実測降伏点応力と公称値の降伏点応力の比のヒストグラムを **Fig. 8** (a) に示す。実測降伏点応力は平均値で公称値の 21% 増であり、また、実測降伏点応力の変動係数は 8.7% である。一方、**Fig. 8** (b) に示した実測断面積と公称断面積の比のヒストグラムによると平均値は 1.01 であり、変動係数も 3.1% と小さいため降伏荷重  $P_y$  に与える断面積の変動の影響はかなり小さいものと考えられる。これらの図には適合する正規分布形を参考のために書き入れられている。

**Fig. 9** (a), (b) は ECCS の行った I 形もしくは H 形断面の鋼柱  $N=447$  について、降伏荷重  $P_y$  としてそ

**Table 6** Test Columns in NDSS.

	Type of profile	Sectional Dimension	Symbol	$\bar{\sigma}_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$N$
ECCS	IAP 150	75×150×5.3×8.5	○	3 137	194
	IPE 160	82×160×5.0×7.4	△	3 157	199
	IPE 200	100×200×5.6×8.5	△	2 713	11
	IPN 160	74×160×6.3×9.5	⊖	2 832	12
	DIE 20	197×190×7.0×11	⊕	2 662	10
	DIR 20	206×220×16×26	⊖	2 241	11
	RECONSTITTUE (Welded)	197×190×7.0×11	▲	2 533	10
Ref. 18), 19)	Rolled	100×100×6.0×8.0	□	2 900	60
	Welded	100×100×6.0×8.0	■	3 070	168



**Fig. 10** Column Test Data in NDSS.

れぞれ実測値 (a), 公称値 (b) を使って整理してプロットしたものである。座屈実験点の記号は **Table 6** に示したように断面形別に変わっている。無次元細長比を 0.1 までにして、その間に入るデータについて、●と、そこから引かれた矢印にて平均値  $M$  と  $M-2S$  値を表わした。また、図の下部の●にて変動係数を示している。図中の破線は ECCS の提案している鋼柱の設計基準曲線 (a), (b), (c) とわが国の道路橋示方書の設計基準曲線である。座屈実験点のばらつきは降伏荷重の影響を受けて、公称降伏荷重で整理したものは、実測値で整理したものより強度の高い範囲でばらついている。変動係数の分布は実測で整理したものが細長比 1.1~1.2 でピークをもつ滑らかな曲線となっているのに対して、公称値で整理したものはいびつな分布を示している。ECCS の提案している (c) 曲線は降伏荷重の実測値、実測値の平均値、公称値を用いたどの整理の方法によっても座屈実験点のばらつきの下限値を抑えている。

#### (2) 圧延柱と溶接柱の比較

**Fig. 10** は、ECCS の実験結果と文献 18), 19) の結果を比較したものである。文献 18), 19) のデータはすべて H-100×100×6×8 の同一断面であり、圧延柱 60 体、溶接柱 168 体からなっている。降伏荷重  $P_y$  の結果は、短柱試験より得られた降伏荷重  $P_y$  の平均値しか与えられていないので、ECCS の柱についても降伏荷重  $P_y$  の断面形別の平均値で整理してある。各断面形別の寸法と平均降伏荷重の公称断面積で割った降伏点応力およびデータ数と図の中に用いている記号を **Table 6** に示してある。**Fig. 10** は各断面形別に記号と矢印によって平均値  $M$  と  $M-2S$  値を示している。また、図の下部に同じ記号で変動係数を示している。各断面形別の変動係数はかなりばらついているが、一般的な傾向として無次元細長比が 1.0 より少し大きい値でピークを示している。■で示した文献 19) の溶接柱の変動係数は各断面形別の変動係数の上部に位置している。平均値  $M$  と  $M-2S$  の値を比較すると、□で示した文献 18) の圧延柱は ECCS の実験値の上界に位置している。また、ECCS の結果は▲で示した 10 体の溶接柱も含めて、 $M-2S$  値は (c) 曲線およびわが国の道路橋の設計基準曲線によって抑えられているのに対して ■で示した文献 19) の溶接柱の実

験結果は、かなり下回る値を示している。ECCSの溶接柱のデータは、ここでは10体しかなく、文献19)の実験は、H-100×100×6×8の比較的小さな断面で行われており、残留応力の影響を大きく受けて強度が低下していることが推測される。

(3) 座屈強度の分布形

鋼柱の中心軸圧縮柱の座屈強度のばらつきは、断面積、降伏点応力、ヤング率、初期たわみ、初期偏心、残留応力、端部支持条件などによることがこれまでの研究によって明らかになっている。特に、降伏点応力、残留応力、初期変形が与える影響は細長比によって異なるため、鋼柱の座屈強度分布は細長比によって大きく異なることが報告されている。

Fig. 11は、ECCSの行ったI形もしくはH形断面鋼柱の座屈強度によって、無次元細長比を0.1きざみにして、そこに入るデータのヒストグラムを書いたものである。各ヒストグラムには適合する正規分布曲線が示してある。ヒストグラムの底辺に示した矢印はM-2S値である。ヒストグラムの下に示したきざみは各正規分布の非超過確率の値であり、参考のため下から10<sup>-6</sup>から10<sup>-2</sup>まで10<sup>-1</sup>きざみで示してある。また、図の下部には●で変動係数を示した。

図からわかるように、各実験データはM-2S値を下回る値はほとんど見当たらない。M-2S値は、非超過確率でいえば0.02275の値に相当する。図中の一点鎖線は、道路橋示方書の許容圧縮応力度曲線(設計基準曲線を1.7で除した値)であり、この曲線とヒストグラムから伸ばしたきざみの尺度の交点から、鋼柱の強度が正規分布に従うとしたとき鋼柱の強度の許容応力度のもつ破壊確率の目安を得ることができる。

5. 鋼はりの曲げ耐荷力

(1) 著者らの実験結果とその他の実験結果の比較

Fig. 12は、著者らの行った143体の実験結果とその他の研究機関で行われた275体の実験結果を比較したものである。縦軸に耐荷モーメントM<sub>u</sub>を全塑性モーメントM<sub>p</sub>で無次元化したものをとり、横軸に細長比パラメーターλ=

$\sqrt{M_p/M_E}$ をとってある。実験値の整理は可能な限りすべての実測値を用いてある。全塑性モーメントM<sub>p</sub>については、でき得る限り降伏点応力と実測の断面寸法を用いて計算した値である。図の下部には、変動係数を示した。●と■は著者らの圧延はり75体と溶接はり68体の結果であり、○と□は他の研究機関で行われた圧延はり159体、溶接はり116体の結果である。図中の破線はECCSの提案している設計基準曲線

$$\frac{M_u}{M_p} = \left( \frac{1}{1 + \lambda^{2n}} \right)^{1/n} \dots\dots\dots (3)$$

である。ここに、nはシステム係数であり、n=1.0, 1.5, 2.0としてある。他の研究機関で行われた実験は支持条件が連続はりまたは横構で固定点拘束されており、また、荷重条件は必ずしも著者らの実験と同一条件ではないが有効長さの概念を用いて処理してある<sup>20), 21)</sup>。著者らの実験は、すべて単純支持、圧縮フランジ上単一集中荷重のもとで行われたものであり<sup>22), 23)</sup>、得られた結果は図の下部に示した変動係数からみてもわかるように強度の変動性は小さい。

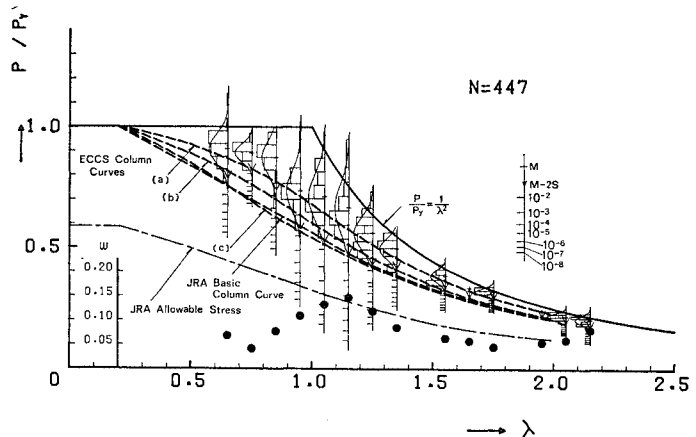


Fig. 11 Strength Distribution of Columns.

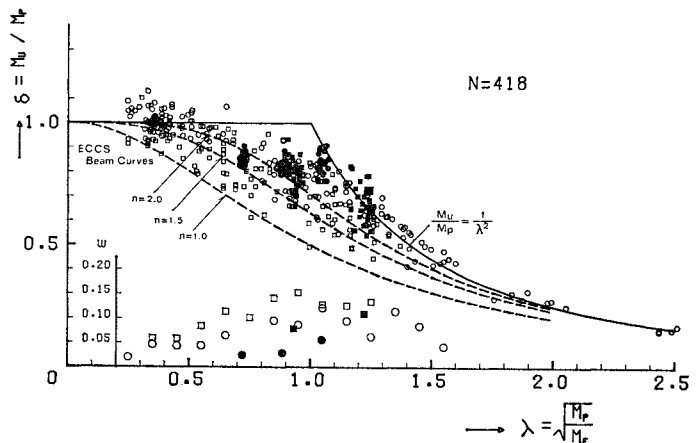


Fig. 12 Beam Test in NDSS.

**Table 7** Coefficients of Variation for the Buckling Strength of Beams (using actual  $\sigma_y$ ).

	$\lambda$	Rolled				Welded				Rolled+Welded			
		N	M	M-2S	$\omega$	N	M	M-2S	$\omega$	N	M	M-2S	$\omega$
Ref. 20), 21)	0.2~0.3	7	1.054	1.013	0.019	3	—	—	—	10	1.029	0.912	0.057
	0.3~0.4	29	1.002	0.909	0.047	23	0.987	0.871	0.059	52	0.995	0.891	0.052
	0.4~0.5	13	0.998	0.911	0.044	8	0.950	0.839	0.058	21	0.979	0.874	0.054
	0.5~0.6	11	0.977	0.891	0.044	12	0.901	0.749	0.084	23	0.937	0.793	0.077
	0.6~0.7	5	0.960	0.836	0.065	15	0.845	0.652	0.114	20	0.874	0.670	0.116
	0.7~0.8	2	—	—	—	9	0.765	0.609	0.102	11	0.775	0.616	0.104
	0.8~0.9	11	0.828	0.669	0.096	6	0.778	0.557	0.142	17	0.811	0.628	0.113
	0.9~1.0	13	0.773	0.638	0.087	12	0.731	0.507	0.153	25	0.753	0.568	0.122
	1.0~1.1	12	0.720	0.544	0.122	9	0.660	0.490	0.129	21	0.694	0.515	0.129
	1.1~1.2	10	0.723	0.585	0.096	9	0.596	0.445	0.126	19	0.663	0.471	0.145
	1.2~1.3	10	0.643	0.561	0.064	6	0.566	0.413	0.135	16	0.614	0.481	0.108
	1.3~1.4	8	0.558	0.429	0.115	3	—	—	—	11	0.557	0.436	0.108
1.4~1.5	6	0.507	0.420	0.086	1	—	—	—	7	0.505	0.424	0.080	
1.5~1.6	7	0.441	0.403	0.043	0	—	—	—	7	0.441	0.403	0.043	
Ref. 22), 23)	0.720	25	0.852	0.810	0.025								
	0.885	25	0.823	0.775	0.029								
	1.047	25	0.834	0.740	0.056								
	0.931					34	0.790	0.665	0.079				
1.221					34	0.673	0.525	0.110					

(2) 圧延はりと溶接はりの比較

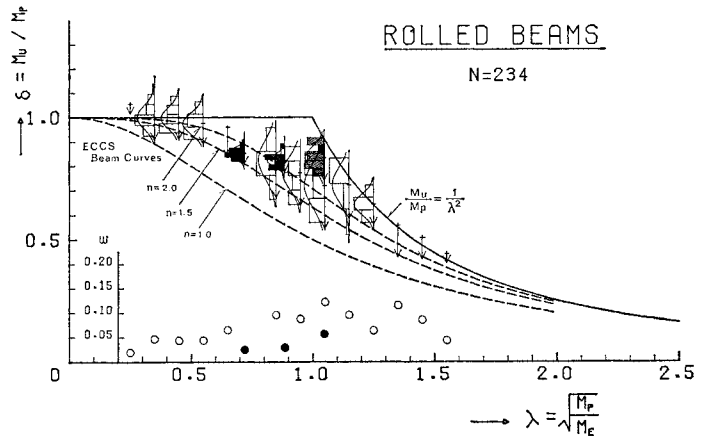
Fig. 13(a), (b) は圧延はりと溶接はりの実験結果をまとめたものである。+と矢印の記号で平均値  $M$  と  $M-2S$  値を示している。また横軸の 0.1 区間ごの実験点のうち、10 体以上の実験値のある区間についてはヒストグラムとそれに適合する正規分布曲線を示した。斜線の引いてあるヒストグラムは著者らの実験結果である。図の下部には変動係数を示してある。●が著者らの結果である。各統計値を細長比別に Table 7 に示した。

Fig. 13(a), (b) を比較すると、他の研究機関の結果および著者らの結果ともに、溶接はりは、一般に平均値  $M$  と  $M-2S$  値は圧延はりに比べて低く、変動係数の大きいことがわかる。溶接はりの  $M-2S$  値の下限は、 $n=1.0$  のときの ECCS の基準曲線 (式 (3)) によく近似している。

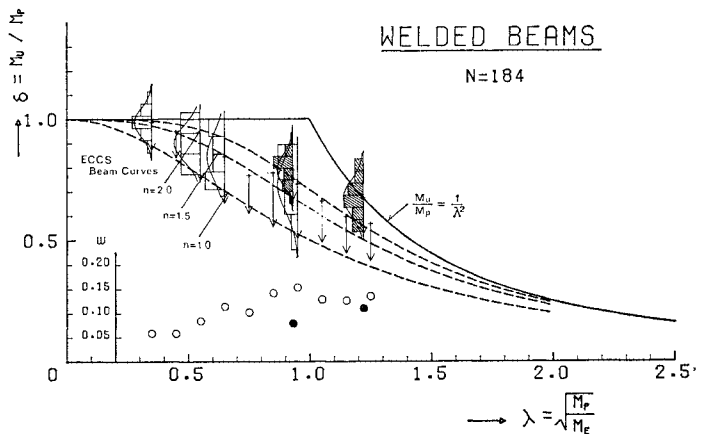
(3) 座屈強度の分布形

はりの耐荷力のばらつきの分布特性は鋼の降伏点応力、残留応力、初期変形、断面寸法、部材長などの諸因子によって影響を受ける。

圧延はりと溶接はりの実験値をあわせた結果を Fig. 14 に示す。ただし、同



(a) Rolled

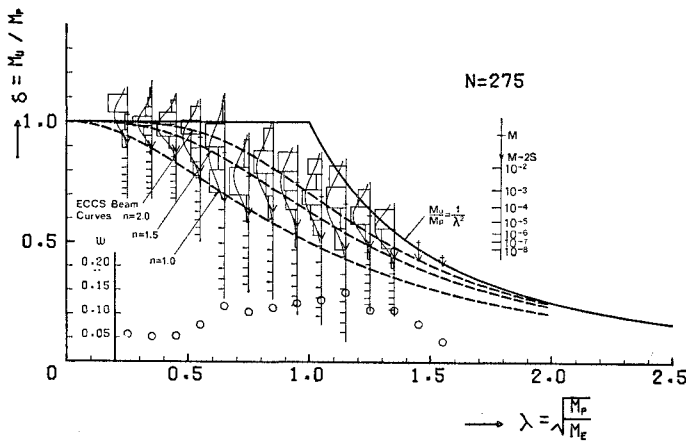


(b) Welded

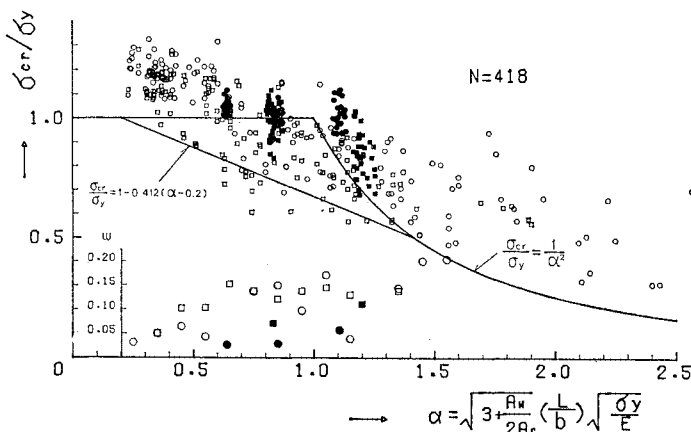
Fig. 13 Strength Variation of Beams.

**Table 8** Moment Coefficients of Skewness and Kurtosis<sub>2</sub> for the Buckling Strength of Beams (using actual  $\sigma_y$ ).

	$\lambda$	Rolled			Welded			Rolled+Welded		
		$N$	$V_1$	$V_2$	$N$	$V_1$	$V_2$	$N$	$V_1$	$V_2$
Ref. 20), 21)	0.2~0.3	7	0.68	0.68	3	—	—	10	-2.08	0.68
	0.3~0.4	29	2.03	1.04	23	-0.31	-0.38	52	0.49	0.52
	0.4~0.5	13	1.02	-0.68	8	-0.88	-0.40	21	-0.66	0.67
	0.5~0.6	11	1.01	-0.44	12	0.04	-1.09	23	-1.12	-0.39
	0.6~0.7	5	2.15	1.97	15	0.28	-1.49	20	-0.15	0.53
	0.7~0.8	2	—	—	9	-0.78	0.71	11	-0.57	0.53
	0.8~0.9	11	-0.38	-0.38	6	0.49	0.70	17	-0.32	-0.26
	0.9~1.0	13	-0.69	-1.03	12	-1.40	0.10	25	-2.32	1.15
	1.0~1.1	12	-0.16	-1.17	9	0.40	-0.68	21	0.14	-1.22
	1.1~1.2	10	-2.93	3.86	9	-0.62	-1.15	19	-1.05	-0.81
	1.2~1.3	10	0.30	-0.52	6	-0.60	-0.17	16	-1.82	1.32
	1.3~1.4	8	-2.36	2.64	3	—	—	11	-1.97	1.71
1.4~1.5	6	-0.75	0.11	1	—	—	7	-0.47	0.12	
1.5~1.6	7	1.71	1.46	0	—	—	7	1.71	1.45	
Ref. 22), 23)	0.720	25	1.42	0.43						
	0.885	25	1.95	1.10						
	1.047	25	0.30	-1.21						
	0.931				34	-0.38	-0.20			
	1.221				34	0.66	-0.67			



**Fig. 14** Strength Distribution of Beams.



**Fig. 15** Strength Variation and JRA Design Formula.

一条件で多数行った著者らの実験結果は含まれていない。ヒストグラムの下部には正規分布の下側確率が  $10^{-8}$  から  $10^{-2}$  まで  $10^{-1}$  きざみで示してある。先に示した **Fig. 13(a), (b)** と **Fig. 14** に示した無次元細長比別の度数分布と正規分布の隔たりをみるために、3次と4次の  $k$  統計量を利用した  $V_1$  と  $V_2$  の値を **Table 8** に示した。一区間のデータの数が少ないということもあり、細長比による大きな変化はない。座屈強度の実験データは横軸のどの範囲においても  $M-2S$  値を下回るのはほとんどない。実験データの度数分布は一般に、平均値をピークとするベル型を示す。しかし、実験データからの情報としては、せいぜい平均値と標準偏差程度であり、ばらつきの分布形の決定はきわめて困難であろう。

**Fig. 15** は、わが国の現行の道路橋の示方書 (JRA) に採用されている座屈パラメーターを用いて実験データをプロットしたものである。●と■は著者らの圧延はりと溶接はりの実験点である。斜めの直線で示されているのが現行の設計基準曲線

$$\frac{M_{cr}}{M_y} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = 1 - 0.412(\alpha - 0.2) \dots\dots\dots (4)$$

である。この設計基準曲線は実験値のほ

ば下限値を与えていることがわかる。この直線より下回っている数個の実験点は著者らの水平補剛材をもつプレートガーターであり、特に横倒れに対して弱い断面構成をしており、設計上からは例外的な断面寸法である。また、図の下部の記号は変動係数を表わしており、著者らの実験点はかなり小さい変動係数を示している。なお、4.、5. の整理考察法は、文献 18)~23) を発展させた形でまとめた。

## 6. 結 論

鋼構造部材の耐荷力評価システムのための数値データバンク NDSS を作成し、その利用によって鋼材の機械的性質および柱とはりの耐荷力の統計的性質を明らかにし、今後の設計法のための基礎的データを提供した。以上により得られたおもな結論は次のようである。

(1) 数値データバンクは各専門分野によって取り扱いが大きく違うため、その分野の専門家が自前のシステムを作り上げる必要がある。また、数値データバンクの検索は抽出だけにとどまらず統計的処理およびその結果の自動作画が必要不可欠である。本論文の図面はすべて自動作画によっている。

(2) 各研究機関によって行われた鋼材の試験結果より、構造部材の耐荷力に最も大きな影響を与える材料強度の変動要因について考察し、強度の特性値および適合分布などの統計的性状を明らかにした。

(3) 鋼柱の耐荷力の実験データは実測の降伏荷重  $P_y$  で無次元化すると変動が小さくまとまり、その変動係数は無次元細長比が 1.1~1.2 の所でピークとなる滑らかな曲線になることがわかった。また、溶接柱の実験データの数は、ECCS のものを含めても極端に少なく、今後さらに基礎的な実験的研究の必要があろう。

(4) 著者らの行った同一条件のはりの横倒れ座屈実験結果と他の研究機関で行われた実験結果を比較することによって、はりのもっている材料強度、初期変形、残留応力による変動と境界条件、載荷条件などの外的要因による変動の差を明らかにした。また、溶接はりの耐荷力は圧延はりに比して、平均値は小さく、変動係数が大であることが判明した。

(5) 材料強度 および柱、はりの実験データにおいて、 $M-2S$  値を下回るデータはほとんど存在しない。そのため実験データより推定した適合分布は、中央部付近で適合しているものであり、この分布より  $10^{-6}$ ~ $10^{-8}$  オーダーのすそ野の値を統計的処理によって精度よく得ることはきわめて困難であらう。

今後、さらに多くの実験データの収集を行い信頼性の

あるデータバンクの作成に努めるとともに、はり-柱、板などについてのデータバンクを作成し、鋼構造部材の耐荷力評価のための実験データの内外の集積センターを心がけたい。

本データバンクの中の材料強度の機械的性質のうちの 1 部のデータは名城大学の久保助教授により提供を受けたものを編集し作成したものである。また、ECCS の柱の座屈実験の詳細なデータは、CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Métallique) の Brozzetti 部長のご好意による提供を受けたものである。ここに深謝する次第である。なお、名大院生の木代君にはデータの収集、ファイリングに協力いただいた。

最後に、本データバンクは名大大型計算機センター M-200 上に作成されていることを付記する。

## Appendix 正規性からの隔たりに関する 2 つの測度

正規分布からのデータの隔たりを測る量として最も簡単なものとして 3 次と 4 次の積率を利用したひずみ (Skewness) ととがり (Kurtosis) がある。ここでは観測データより推定するため積率統計量の代わりに  $k$  統計量を利用する。いま、2 次、3 次、4 次の  $k$  統計量は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= \frac{1}{n} \sum (x - \bar{x})^2 \\ k_3 &= \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum (x - \bar{x})^3 \\ k_4 &= \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)} \\ &\quad \cdot \left\{ (n+1) \sum (x - \bar{x})^4 - 3 \frac{n-1}{n} [\sum (x - \bar{x})^3]^2 \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $n$ =データ数、 $x$ =データ、 $\bar{x}$ =データの平均値である。正規性の隔たりに関する最も簡単な測度として一般に考えられるひずみととがりに対応するものとして次のように定義する。

$$\left. \begin{aligned} g_1 &= k_3/k_2^{3/2} \\ g_2 &= k_4/k_2^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

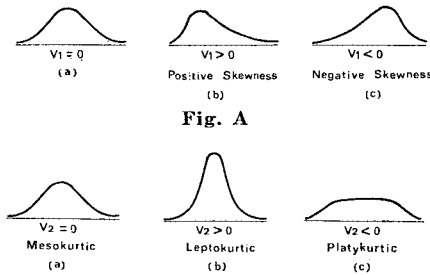
データが完全に正規分布に従うとき、この統計量の標準偏差はそれぞれ次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}} \\ S_2 &= \sqrt{\frac{24n(n-1)^2}{(n-3)(n-2)(n+3)(n+5)}} \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

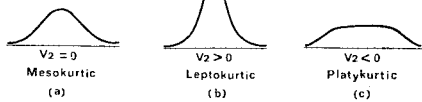
そこで、 $g_1, g_2$  の値をそれぞれ  $S_1$  と  $S_2$  で割ることによりデータの数に関係なく正規性からの隔たりの大きさを知ることができる。

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{g_1}{S_1} \\ V_2 &= \frac{g_2}{S_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

データが完全に正規分布に従うのであれば、 $V_1, V_2$  はともに零となる。  $V_1$  は、対称分布からのひずみを表わす測度であり、正の値をもつときは **Fig. A**(b) のように正のひずみをもったデータであり、負の値をもつときは、**Fig. A**(c) のような負のひずみをもったデータである。



**Fig. A**



**Fig. B**

一方、 $V_2$  は対称な型の分布についての正規性からの隔たりの測度であり、正のときは **Fig. B**(b) のように中央でとがった形状のデータであり、負のときは **Fig. B**(c) のように中央で扁平な形状のデータであることを示している。

**参 考 文 献**

- 1) 学術審議会：今後における学術情報システムの在り方について，学術月報，Vol. 32, No. 11, pp. 724~751, 1980年2月.
- 2) 岡野禎二：2次資料の効果的利用法—CA—，薬学図書館，23[3]，pp. 115~142, 1978年.
- 3) 岡野禎二：CA Search ファイルの利用法，情報管理，Vol. 22, No. 8, pp. 596~613, 1979年11月.
- 4) 梶田建夫・成岡昌夫：文献情報システムと土木工学データベースへの提言，土木学会誌，pp. 57~60, 1978年11月.
- 5) 宇津野宏二：ファクトデータベースについて，情報管理，Vol. 22, No. 9, pp. 668~680, 1979年12月.
- 6) 物性データ活動検討会：物性データ集積・流通システムの整備に関する基本方策について，情報管理，Vol. 21, No. 7, 1978年10月.
- 7) 磯本征雄・角戸正夫：たんぱく質構造データベース，情報管理，Vol. 21, No. 2, pp. 105~114, 1978年5月.
- 8) 和田雅美：理化学研究所における宇宙線のデータ処理—世界データセンター，情報管理，Vol. 23, No. 2, pp.

- 163~173, 1980年5月.
- 9) 更田豊治郎：核データ情報システムについて，情報管理，Vol. 20, No. 8, pp. 632~639, 1977年11月.
- 10) 福島 勲・森 省悟：高速実験炉「常陽」の燃料データバンキングシステム，情報管理，Vol. 30, No. 3, pp. 195~203, 1977年.
- 11) 幾志新吉：都市地盤土質柱状図データの検索，情報管理，Vol. 18, No. 3, pp. 232~241, 1975年6月.
- 12) 東海鋼構造研究グループ（代表：福本昉士）：鋼構造部材の抵抗強度の評価と信頼性設計への適用，橋梁と基礎，Vol. 14, Nos. 9, 10, 1980年9月, 10月.
- 13) Alpsten, G.A.: Variation in Mechanical and Cross-sectional Properties of Steel, Planning and Design of Tall Building, Ib, ASCE, pp. 755~805, 1972.
- 14) Galambos, T.V. and M.K. Ravindra: Properties of Steel for Use in LRFD, Proc. ASCE, Vol. 104, No. ST1, pp. 1459~1468, Sept., 1978.
- 15) 西村 昭：ミルシート値とチェックアウト値との関係について，JSSC, Vol. 5, No. 38, 1969年.
- 16) 西村 昭：鋼材の機械的性質のばらつきについて，JSSC, Vol. 5, No. 48, 1969年.
- 17) Sfintesco, D.: Fondement expérimental des courbes européennes de flambement, Construction métallique No. 3, pp. 5~12, Septembre, 1970.
- 18) 青木徹彦・福本昉士：鋼柱の座屈強度のばらつきにおよぼす残留応力分布の影響について，土木学会論文報告集，第201号，pp. 31~41, 1972年5月.
- 19) 青木徹彦・福本昉士：溶接H形鋼柱の座屈強度分布について，土木学会論文報告集，第222号，pp. 37~47, 1974年2月.
- 20) Fukumoto, Y. and M. Kubo: A supplement of A survey of Teste on Lateral Buckling Strength of Beam, ECCS, Final Report, Second International Colloquium on Stability of Steel Structures, Liege, Belgium, pp. 115~117, Apr., 1977.
- 21) Fukumoto, Y. and M. Kubo: An Experimental Review of Lateral Buckling of Beams and Girders, International Colloquium on Stability of Structures under Static and Dynamic Loads, ASCE, pp. 541~562, 1977.
- 22) Fukumoto, Y., Y. Itoh and M. Kudo: Strength Variation of Laterally Unsupported Beams, ASCE, Vol. 106, No. ST 1, pp. 165~181, January, 1980.
- 23) Fukumoto, Y. and Y. Itoh: Statistical Study of Experiments on Welded Beams, ASCE, Vol. 107, No. ST 1, January, 1981.
- 24) Benjamin J.R. and C.A. Cornell: Probability, Statistic, and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, 1970.
- 25) Fisher: Statistical Methods for Research Workers, Oliver and Boyd, Thirteenth Edition, pp. 41~54, 1958.
- 26) Gumbel E.J. (河田竜夫・岩井重久・加瀬滋男訳)：極値統計学，廣川書店，1963年.

(1980.6.10・受付)