

鋼補剛板の耐荷力に関する実験データベースの構築

DATABASE OF TEST RESULTS FOR ULTIMATE STRENGTH OF STIFFENED STEEL PLATES

三上 市藏* 丹羽 量久** 井上 佳己*** 大谷 康史***

By Ichizou MIKAMI, Kazuhisa NIWA, Yoshimi INOUE, and Yasushi OTANI

Many experiments for the ultimate strength of stiffened steel plates have been carried out over the world. These test data of 765 specimens are collected to construct a database. The models with the longitudinal stiffeners and with the longitudinal and transverse stiffeners are tested. The numerical data are recorded as the relational database with 11 tables, and the graphical data as the initial deflection and residual stress are stored on the image database which has two cabinets and contains 227 sheets. The tests can be classified in the four types: the stiffened plates with supported longitudinal edges, the stiffened plates with unsupported longitudinal edges, the square columns, and the box girders.

1. まえがき

研究者が長年蓄積してきた多量の、価値ある情報、とくに実験データを整理し、有効に利用するためにデータベース(DB; database)の構築が望まれる。鋼材・鋼柱・鋼はり・鋼板などの耐荷力実験に関する数値DBは、福本・伊藤^{B1)~B4)}によってすでに構築されている。

著者の研究室では、三上の調査結果^{B5)}をもとにして、世界中で実施された鋼補剛板の耐荷力に関する実験結果を収集し、DBの構築に取り組んできたが、データの入力が完成し、利用可能な状態になったので報告する。

本DBは、数値DBとイメージDBから構成される。実験供試体の寸法、材料定数、終局強度など、数値として記録するのが適当な情報はリレーショナル・データベース(RDB; relational database)に格納した。しかし、初期たわみと残留応力に関するデータは、数値情報として入力するだけでは正確に情報を伝えることが困難である。そこで、最近、実用できるようになったイメージデータとして、それらの分布図などをDB化することにした。

当初、これらのDBをメインフレーム上で構築した。データベース管理システム(DBMS; database management system)として、数値情報RDBは富士通^株のAIM/RDB(Advanced Information Manager / Relational DataBase)を、イメージ情報DBは富士通^株の電子ファイリングシステムELF(ELectronic Filing system)を用いた。

しかし、最近のパーソナル・コンピュータの高性能化・低廉化を考えると、パソコン上にDBを構築する

* 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564 吹田市山手町3丁目3番35号)

** 日本電子計算^株 大阪支店技術営業部 (〒550 大阪市西区江戸堀1丁目9番1号)

*** 関西大学大学院 博士課程前期課程 (〒564 吹田市山手町3丁目3番35号)

方が使用性・普及性に富む。そこで、両DBをパソコン上に移植し、整備した。

2. データベースの構成

本データベースは数値情報RDBとイメージ情報DBより構成される。数値DBは、富士通製パソコンFMR-60HDの上に構築することにして、DBMSとして機能の優れた「dBASEⅢPLUS」,「R:BASE 5000」,「日本語UNIFY」を検討した。「日本語UNIFY」はデータがMS-DOSとUNIXのいずれに対しても互換性があり、魅力的であるが、ユーザが少ない。他の2つのソフトは機能的に優劣つけがたいが、普及率の点で「dBASEⅢ」が勝る。本研究では、種々の機種で稼働し、DBの配布に便利なアシュトンテイト製の最新版「dBASEⅢPLUS」を採用した。

一方、イメージ情報を取り扱えるDBMSは少ない。本研究では、富士通製のパソコンF9450Σと自由作画パッケージ「EPODRAW-JV」を使って、図形データをイメージスキャナから入力し、イメージDBを構築した。「EPODRAW-JV」では各イメージデータに「バインダ名」と「シート名」を付ける。そこで、数値DBとの関連を考慮して、関連付けカラム名を「バインダ名」とし、「シート名」として各ページに英字名を付けた。

両DBとも記憶媒体としてハードディスクまたはフロッピーディスクを使用できるが、配布にはフロッピーディスクを用いる。イメージDBの検索結果はディスプレイの画面に表示できるほか、漢字プリンタやレーザープリンタに出力できる。また、ファクシミリへ直接出力することも可能になりつつある。

数値DBの入力項目(カラム)は、鋼補剛板実験に関する報告^{1)~7)}および文献B5)の調査を参考にして決定した。入力項目が多数に及ぶため、表-1に示す11のテーブルに分類した。これらのテーブルは図-1のように関連している。テーブルを結びつけ、検索の効率化を図るために設けられた関連付けカラム名が図-1と表-1に示されている。

イメージDBは、数値DBの初期たわみテーブル「STPL#ID」および残留応力テーブル「STPL#RS」に対応した図形データをイメージ・ファイル化したもので、2つのキャビネットから構成されている。初期たわ

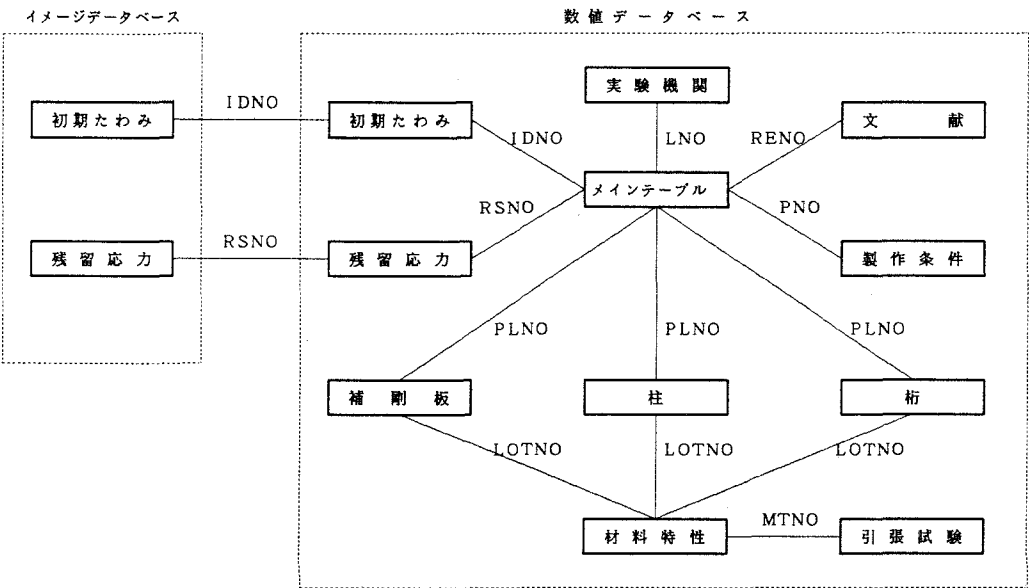


図-1 テーブル間の関係と関連付けカラム名

STPL			
メインテーブル		実験機関識別番号 (LNO)	
供試体識別番号 (PLNO)	文獻識別番号 (RENO)	初期たわみ識別番号 (IDNO)	
製作条件識別番号 (PNO)	残留応力識別番号 (RSNO)		
供試体の分類			
STPL#SP			
補剛版テーブル		材料特性識別番号 (LOTNO)	
供試体識別番号 (PLNO)	荷重条件	支持条件 (側辺支持補剛版)	
支持条件 (側辺無支持補剛版)	縦補剛材断面形状	縦補剛材本数	
縦補剛材断面形状	縦補剛材寸法	縦補剛材本数	
横補剛材断面形状	横補剛材寸法	縦補剛材取り付け状況	
補剛版の全長	補剛版の全幅	板パネルの長さ	
板パネルの幅	板パネルの厚さ	側辺/端辺の余裕幅	
補剛材端面への直接載荷の有無	実験最大荷重	平均圧縮強度/換算降伏応力	
単位			
STPL#COL			
柱テーブル		材料特性識別番号 (LOTNO)	
供試体識別番号 (PLNO)	荷重条件	支持条件	
縦補剛材断面形状	縦補剛材寸法	縦補剛材本数	
横補剛材断面形状	横補剛材断面形状	縦補剛材取り付け状況	
横補剛材本数	桁長	横補剛材寸法	
縦補剛材の位置	ウェーブ高さ	フランジ幅	
フランジ厚	補剛材端面への直接載荷の有無	ウェーブ厚	
柱断面寸法	実験最大曲げモーメント	実験最大軸荷重	
平均圧縮強度/換算降伏応力		単位	
STPL#BOX			
桁テーブル		材料特性識別番号 (LOTNO)	
供試体識別番号 (PLNO)	荷重条件	支持条件	
縦補剛材断面形状	縦補剛材寸法	載荷位置	
横補剛材断面形状	横補剛材断面形状	縦補剛材寸法	
横補剛材本数	フランジ幅	横補剛材寸法	
縦補剛材本数	ウェーブ厚	フランジ厚	
桁長	平均圧縮強度/換算降伏応力	桁断面寸法	
ウェーブ高さ		単位	
実験最大曲げモーメント			
STPL#REF			
文獻テーブル		著者名 (日本語)	
文獻識別番号 (RENO)	著者名 (外国語)	雑誌名 (外国語)	
論文名 (外国語)	論文名 (日本語)	出版社名 (原文)	
雑誌名 (日本語)	書名 (原文)	ページ (始、終)	
巻	号		
発行年月			
LABO			
実験機関テーブル		研究室名と実験機関 (英語)	
実験機関識別番号 (LNO)	研究室名と実験機関 (日本語)	研究室名と実験機関 (日本語)	
都府	都府	国	

STPL#LOT			
材料特性テーブル	テストピース識別番号 (MTNO)	降伏応力	
材料特性識別番号 (LOTNO)	板厚	上降伏応力	
板厚	下降伏応力	ヤング率	
単位		ポアソン比	
STPL#MT			
引張試験テーブル	テストピース識別番号 (MTNO)	切り出し位置	
引張試験識別番号 (MTNO)	板厚	幅	
降伏応力	上降伏応力	下降伏応力	
引張強さ	降伏ひずみ	硬化開始ひずみ	
初期ひずみ硬化係数	ヤング率	ポアソン比	
一様伸び	破断までの伸び	単位	
STPL#PR			
製作条件テーブル	製作条件識別番号 (PNO)	製作方法 (組立方法)	
製作条件識別番号 (PNO)	製作方法 (後処理)	溶接継手の種類	
製作方法 (後処理)	開先形状	脚長	
溶接種類	溶接棒径	溶接電流 (リードトーチ)	
溶接電流 (トレーストーチ)	溶接電圧 (リードトーチ)	溶接電圧 (トレーストーチ)	
溶接速度	溶接熱	ビード断面積	
供試体 (桁、柱) の要素名	単位		
STPL#ID			
初期たわみテーブル	初期たわみ識別番号 (IDNO)	全体パネルの横方向初期たわみ	
初期たわみ識別番号 (IDNO)	部分パネルの縦補剛材位置の初期たわみ	縦補剛材間のパネルの初期たわみ	
全体パネルの横方向初期たわみ	縦補剛材先端の横方向初期たわみ	縦補剛材取り付け端の横方向の初期たわみ	
全体パネルの縦方向初期たわみ	全体パネルの縦方向初期たわみ	部分パネルの縦方向初期たわみ	
縦補剛材間のパネルの初期たわみ	縦補剛材間のパネルの初期たわみ	全体パネルの縦補剛材位置の初期たわみ	
部分パネルの縦補剛材位置の初期たわみ	縦補剛材先端の縦方向初期たわみ	縦補剛材先端の横方向初期たわみ	
縦補剛材取り付け端の縦方向の初期たわみ	供試体 (桁、柱) の要素名	任意の位置の初期たわみ	
単位		初期たわみの無次元化式	
STPL#RS			
残留応力テーブル	残留応力識別番号 (RSNO)	部分パネルの縦方向圧縮/引張残留応力	
残留応力識別番号 (RSNO)	全体パネルの縦方向圧縮/引張残留応力	部分パネルの縦方向圧縮/引張残留応力	
全体パネルの横方向圧縮/引張残留応力	全体パネルの横方向圧縮/引張残留応力	縦補剛材先端の圧縮/引張残留応力	
縦補剛材の圧縮/引張残留応力	縦補剛材の圧縮/引張残留応力	縦補剛材先端の圧縮/引張残留応力	
全体パネルの縦方向圧縮/引張残留ひずみ	全体パネルの縦方向圧縮/引張残留ひずみ	部分パネルの縦方向圧縮/引張残留ひずみ	
全体パネルの横方向圧縮/引張残留ひずみ	全体パネルの横方向圧縮/引張残留ひずみ	供試体 (桁、柱) の要素名	
単位			

表-1 テーブルの分類とその内容

表-2 数値データベースのデータ数

テーブル名	レコード数
STPL	7 6 5
STPL#SP	6 1 4
STPL#COL	9 4
STPL#BOX	5 7
STPL#LOT	6 1 9
STPL#MT	3 5 9
STPL#ID	2 9 0
STPL#RS	1 1 6
STPL#REF	7 1
STPL#PRT	3 8
LABO	2 7

みキャビネットは数値DBの初期たわみテーブルと対応しており、テーブルのカラム「IDNO」を使って必要なイメージデータを取り出すことができる。同様に、残留応力キャビネットは残留応力テーブルと対応しており、テーブルのカラム「RSNO」を使ってイメージデータと関連付ける。

3. データベースの内容

(1) 数値データベース

メインテーブル「STPL」にはすべての供試体の基本項目が格納され、他の詳細は各テーブルに記録される。補剛板の実験は、供試体形状から次の3つに分類される。すなわち、①補剛板実験、②箱形柱実験、③箱桁実験であり、それぞれのデータはテーブル「STPL#SP」、「STPL#COL」、「STPL#BOX」に分類、格納されている。数値DBの各テーブルに格納されているデータを表-2に示す。

数値DBの内容の一例として、桁テーブル「STPL#BOX」のカラム名と内容を図-2に示す。

(2) イメージ・データベース

イメージDBには、初期たわみと残留応力の測定値を分布図として入力するとともに、数値DBに記録される初期たわみと残留応力が測定された位置に関するで入力するのが望ましいが、初期たわみと残留応力の生じるのを避けるため、目盛りや補剛材名称を変更す

イメージDBのキャビネットには、表-3に示す数の供試体のイメージデータが格納されている。同表にはそのシート数も表示されている。

初期たわみキャビネット中のイメージデータを出力した例を図-3および図-4に示す。図-3は、初期

表-3 イメージデータベースのデータ数

キャビネット名	供試体数	シート数
初期たわみ	78	146
残留応力	49	81

```

PLNO      =                               146
LOTNO     = 26:27:28/ / /
SUCD      = ROLLER, SIMPLE
LDCD      = PURE BENDING
MPO       = 3000,2000,25,1000,25, , , ,
LPO       = 2400,2400
LN         = 5, , ,0
LS         = FLAT, , ,
LL         = 2000,39.3,4.4/ / /
TN         = 4, , ,
TS         = T, , ,
TL         = 1000,180.4*90.8,10.0*9.9/ / /
L          =
B          = 1050,0
BT         = 6.10,0
H          = 1500,1500
HT         = -
SL         = -
MMAX       = 48.606399999999999E+02
UNIT       = MM,T*H
MEMO       = -

```

図-2 数値データベースのデータ例

上フランジ

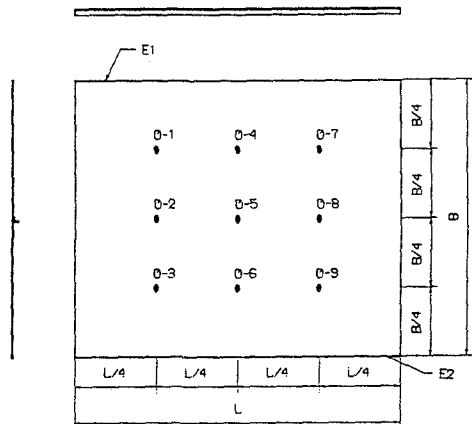


図-3 イメージデータベースのデータ例(1)

れる初期たわみと残留応力が測定された位置に関する情報も図面で入力した。イメージデータは一定の様式で入力するのが望ましいが、初期たわみと残留応力の分布図は文献個々に特徴がある。図を改造して誤差を生じるのを避けるため、目盛りや補剛材名称を変更するのみで、文献の図をそのまま入力した。

イメージDBのキャビネットには、表-3に示す数の供試体のイメージデータが格納されている。同表にはそのシート数も表示されている。

初期たわみキャビネット中のイメージデータを出力した例を図-3および図-4に示す。図-3は、初期

たわみテーブル「STPL#ID」の「ID」の列に入力されている数値データの測定位置を表している。図-4は文献に見られる初期たわみ分布図である。

残留応力キャビネット中のイメージデータを出した例を図-5および図-6に示す。図-5は、残留応力テーブル「STPL#RS」の「ID」の列に入力されている数値データの測定位置を表すとともに、文献に見られる残留応力分布図（図-6）の測定位置も示している。

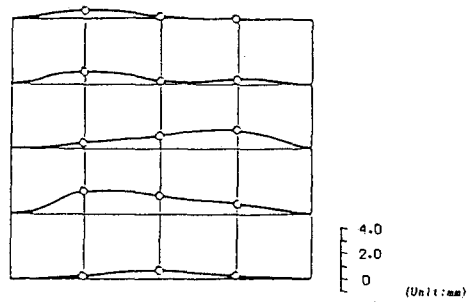


図-4 イメージデータベースのデータ例 (2)

4. データベースから見た耐荷力実験の現況

実験対象は縦補剛板と直交補剛板とに分類できる。本DBに収集された供試体の総数は765体である。その内訳は、圧縮耐荷力実験用供試体が528体、他の載荷条件の耐荷力実験用供試体が49体、その他、残留応力測定用供試体が116体、降伏応力測定のための短柱供試体が3体である。圧縮以外の荷重条件に対する供試体については後述することにして、圧縮耐荷力実験用供試体、残留応力測定用供試体、短柱供試体について論ずる。

(1) 圧縮耐荷力実験

圧縮耐荷力実験が実施された供試体の数を報告された年代別に整理すると図-7が得られる。1973~77年に実験が集中している。図には表示されていないが、1981年以降、箱形柱実験は皆無であり、箱桁実験は1984年8体、1987年6体に対して実施されているが、残りはすべて補剛板実験である。ただし、直交補剛板に対する実験は一貫して少なく、今後、研究対象にされるべきである。

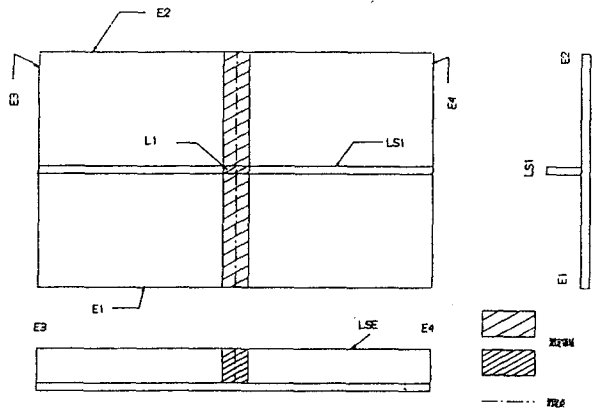


図-5 イメージデータベースのデータ例 (3)

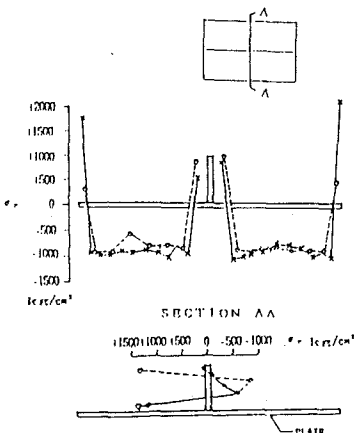


図-6 イメージデータベースのデータ例 (4)

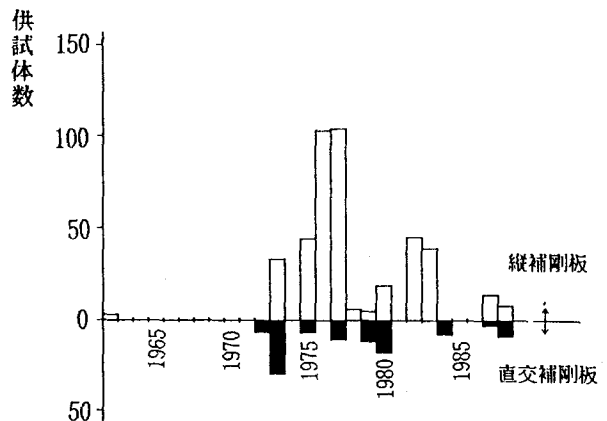


図-7 年代別供試体数

圧縮耐力実験を供試体形状、補剛材形状、実施国などにより分類・整理すると表-4～表-7のようになる。日本では、バルブプレート補剛材を有する供試体の実験が皆無であり、台形断面補剛材を有する供試体の実験もわずか2体のみである。後者の実験が行われる必要がある。

(a)側辺支持補剛板実験 (表-4) この実験では補剛板パネルの側辺を支持し、端辺に軸方向圧縮力を作用させる。供試体は、縦補剛板が104体、直交補剛板が35体、計139体である。英国では種々の断面形状の補剛材に対する実験を行っているが、日本の供試体はほとんど平鋼補剛材を有している。

表-4 側辺支持補剛板実験

国名	供試体数	縦補剛材		横補剛材	
		本数	形状	本数	形状
日本	7	1	F		
	3	1	H		
	2	2	F		
	2	2	F	1	F
	3	2	F	2	F
	3	2	H		
	2	3	F		
	5	4	F		
	19	4	F		
	15	4	F	2	F
	9	5	F		
	3	5	F	2	F
英国	1	3	B	2	L
	1	4	B	2	L
	2	4	T	3	T
	2	4	T	4	T
	1	5	B	2	T
	1	6	V	4	T
	2	9	T	3	T
	1	9+2*	T	4	T
	1	12	L	4	T
	1			4	T
西ドイツ	10	4	B		

(注1) F=平鋼; B=バルブプレート; T=T形断面;
 U=台形断面; L=L形断面; B=帽子形断面;
 L'=逆L形断面; S=剛支持; V=V形断面
 (注2) *=縦桁

表-5 側辺無支持補剛板実験

国名	供試体数	縦補剛材		横補剛材	
		本数	形状	本数	形状
英国	2	1	F		
	3	2	F		
	5	2	T		
	4	4	F		
	1	4	F	1	S
	6	4	B		
	3	4	L		
	6	5	F		
	9	5	T		
	5	4	T		
西ドイツ	9	1	U		
	1	1	U	2	S
	1	2	F		
	4	2	B		
	1	2	B	2	S
	2	2	T	2	S
	2	2	U		
	3	4	B		
	4	4	B	1	S
	6	4	B		
オーストラリア	3	3	B		
	4	5	B		
	1	5	B	2	B

表-6 箱形柱実験

国名	供試体数	縦補剛材		横補剛材	
		本数	形状	本数	形状
日本	2	1	F		
	1	1	T		
	2	2	F		
	4	2	F	1	F
	1	2	F		
	4	2	T		
	3	3	F		
	1	3	F	1	F
	2	3	U		
	1	4	F		
	1	4	F		
	1	5	F	1	F
	1	5	F	1	F

表-7 箱桁実験

国名	供試体数	縦補剛材		横補剛材	
		本数	形状	本数	形状
日本	3	1	L'		
	3	2	L'		
	5	3	F		
	3	3	F	2	F
	1	4	F		
	5	5	F	4	T
英国	2	4	F	5	L
	1	4	L	4	L
	1	4	L	5	L
	1	9	F	2	L
	2	9	F	2	F
	1	9	F	2	L
	1	9	F	5	L
	1	9	L	4	L
	1	9	L	5	L
	1	9	L	5	L
西ドイツ	1	4	B	3	T
	1	4	T	3	T
	2	7	B	3	T
	2	7	T	3	T
	1	7	T	7	V
	1	7	T	1	V
ベルギー	2	7	L	2	L
	4	7	L	2	S
スイス	2	2	F	1	F
	3	2	V	1	F
	2	3	F	1	F

表-8 補剛板実験の支持条件別供試体数

載荷辺 \ 側辺	支持条件	
	単純支持	自由
単純支持	107	216
固定支持	32	41

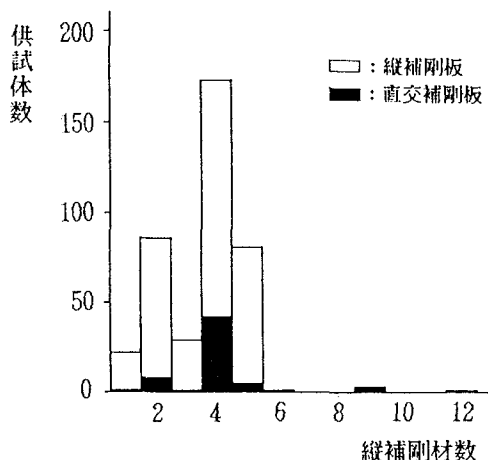


図-8 補剛板実験の補剛材本数別供試体数

(b)側辺無支持補剛板実験(表-5) この実験では補剛板パネルの側辺を支持せず、端辺に軸方向圧縮力を作用させる。この実験は圧縮補剛板を補剛材と有効幅分の板からなるT形柱モデルに置換して耐荷力を算定する近似法の検討のために行われる。この種の実験は外国でのみ実施されている。ただし、直交補剛板の供試体はほとんどが剛な横補剛材を有している。供試体は、縦補剛板が230体、直交補剛板が27体、計257体である。

また、(a)、(b)両補剛板実験の供試体396体について、周辺の境界条件に関して分類すると表-8が得られる。載荷辺を単純支持として載荷しているのは323体で、載荷が容易な固定支持としているのは73体である。

(c)箱形柱実験(表-6) この実験は4枚の補剛板パネルを正方形断面柱に組み立てて行われる。供試体は、縦補剛板が77体、直交補剛板が4体、計81体である。収集されたデータに見るかぎり、この種の実験は日本でしか実施されていない。

(d)箱桁実験(表-7) この実験は箱桁の圧縮フランジ部を試験対象パネルとし、箱桁に曲げを作用させて行われる。供試体は、縦補剛板が12体、直交補剛板が39体、計51体である。

次に、供試体528体を縦補剛材から分類・整理してみる。まず、縦補剛材の断面について分類すると、開断面が472体、閉断面が56体である。

補剛板実験、箱形柱実験、箱桁実験の別に、縦補剛材本数で整理すると図-8～図-10のようになる。ほとんどが5本以下の供試体であることがわかる。

縦補剛材の剛比 r_s を、縦補剛材必要剛比 r_s^* との比 r_s/r_s^* として調べると表-9のようになり、縦補剛材の断面形状別に縦補剛材断面積比 δ_s の範囲を調べると表-10が得られる。

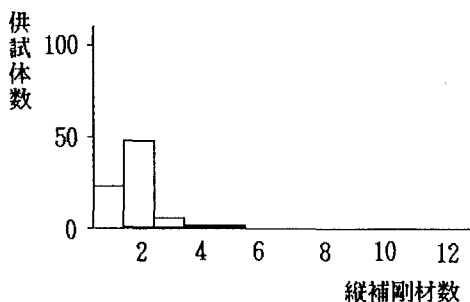


図-9 箱形柱実験の補剛材本数別供試体数

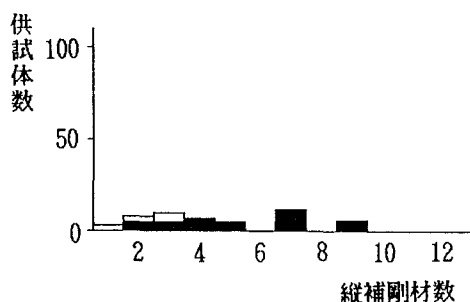


図-10 箱桁実験の補剛材本数別供試体数

表-9 縦補剛材の剛比別の供試体数

r_s/r_s^*	補剛材断面形状						合計
	F	T	B	U	L	H	
0.0 ~ 0.5	38	4	2	0	4	0	48
0.5 ~ 1.0	59	3	10	0	0	0	72
1.0 ~ 1.5	37	26	14	0	1	0	78
1.5 ~ 2.0	10	11	11	0	1	6	39
2.0 ~ 2.5	3	7	10	3	0	0	23
2.5 ~ 3.0	5	3	0	1	0	0	9
3.0 ~ 3.5	2	1	0	1	0	0	4
3.5 ~ 4.0	2	1	2	0	0	0	5
4.0 ~ 4.5	2	2	0	0	0	0	4
4.5 ~ 5.0	1	0	1	0	0	0	2
5.0 ~ 5.5	3	0	1	0	0	0	4
5.5 ~ 6.0	0	1	0	4	0	0	5
6.0 ~	5	9	3	32	0	0	49
合計	167	68	54	41	6	6	342

ただし、 γ_s^* は横補剛材間の縦補剛板における値で、次式で計算した。

$$\alpha_r < \alpha_{r0} : \gamma_s^* = 4(n_s + 1)^2(1 + \delta_s)\alpha_r^2 - (1 + \alpha_r^2)^2 \quad (1)$$

$$\alpha_r \geq \alpha_{r0} : \gamma_s^* = [2(n_s + 1)^2(1 + \delta_s) - 1]^2 - 1 \quad (2)$$

また、 γ_s 、 δ_s 、 α_r 、 α_{r0} 、 n_s の定義は後述する。

使用鋼材の特性として降伏応力の分布を調べた。供試体を作製した鋼板から切り出したテストピースに対する試験結果があまり報告されていないので、実験結果を整理するために使われた降伏応力のデータを分類すると図-11のようになる。平均値は、3145kgf/cm²、標準偏差は 933kgf/cm² であった。

(2) 初期たわみ測定データ

初期たわみは 290体の供試体（縦補剛 222, 直交補剛 68）について測定されている。補剛材を含めた全体パネルの初期たわみ、補剛材に囲まれた単一パネルの初期たわみ、補剛材の初期たわみが測定された。それらのデータ数は表-11および表-12のようである。

(3) 残留応力測定データ

残留応力は、耐荷力実験用供試体と同一製作条件で製作した供試体を使って測定されている。116体の供試体が試験されたが、単一パネルの残留応力が測られている供試体の数は表-13、補剛材の残留応力が測られている供試体の数は表-14のようである。

(4) その他の実験例

これらの圧縮耐荷力実験のほかには種々の載荷状態に対する実験が表-15に示すように、49体に対して実施されている。箱桁の腹板や鋼床版の耐荷力を明確にするためには、この種の実験がもっと行われる必要がある。

耐荷力に対する継手の影響を調べる実験が67体に対して実施されている。この中には、千鳥溶接に関する実験が41体、高力ボルトに関する実験が12体含まれている。

表-10 縦補剛材の断面積比別の供試体数

δ_s	補 剛 材 断 面 形 状						合計
	F	T	B	U	L	H	
0.0 ~ 0.1	1	0	0	0	0	0	1
0.1 ~ 0.2	18	1	1	0	0	0	20
0.2 ~ 0.3	27	6	5	0	0	3	41
0.3 ~ 0.4	31	7	26	0	0	3	67
0.4 ~ 0.5	27	23	6	0	0	0	56
0.5 ~ 0.6	7	15	21	1	0	0	44
0.6 ~ 0.7	10	11	1	0	1	0	23
0.7 ~ 0.8	16	0	1	16	2	0	35
0.8 ~ 0.9	3	0	3	1	3	0	10
0.9 ~ 1.0	6	0	5	1	0	0	12
1.0 ~ 1.1	7	1	15	13	0	0	36
1.1 ~ 1.2	2	4	0	2	0	0	8
1.2 ~ 1.3	0	0	0	6	0	0	6
1.3 ~ 1.4	0	0	0	0	0	0	0
1.4 ~ 1.5	0	0	0	0	0	0	0
1.5 ~	19	0	0	4	0	0	23
合 計	174	68	84	44	6	6	382

表-11 パネルの初期たわみが測られている供試体の数

測定部分	測定方向	補 剛 形 式	
		縦	直 交
全体パネル	縦	135	17
	横	71	26
単一パネル	縦	67	13
	横	86	19

表-12 補剛材の初期たわみが測られている供試体の数

補 剛 材	補 剛 形 式	
	縦	直 交
縦 補 剛 材	160	21
横 補 剛 材	—	13

表-13 パネルの残留応力が測られている供試体の数

測定方向	補 剛 形 式	
	縦	直 交
縦	73	24
横	8	6

表-14 補剛材の残留応力が測られている供試体の数

補剛材の断面形状		補 剛 形 式	
		縦	直 交
縦 補 剛 材	F	49	2
	B	14	0
	T	4	0
	L	1	0
横 補 剛 材	F	—	2

表-15 種々の载荷状態による実験

供試体形状	補剛形式	供試体数	载荷状態
箱形柱	縦	9	圧縮+曲げ
側辺支持補剛板	縦	10	圧縮+曲げ
	縦	8	圧縮+せん断
	直交	9	圧縮+横荷重
側辺無支持補剛板	縦	2	圧縮+横荷重
	縦	2	横荷重

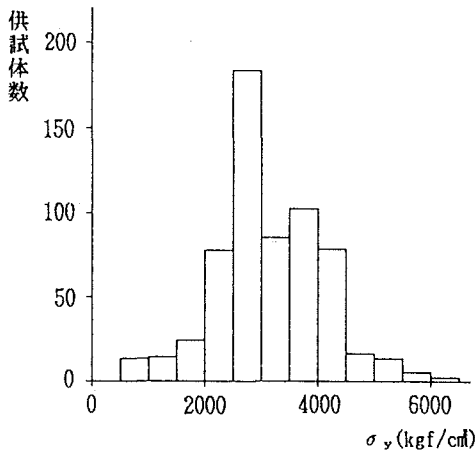


図-11 降伏応力別供試体数

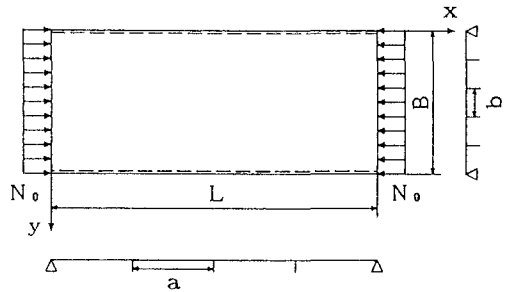


図-12 圧縮を受ける直交補剛板

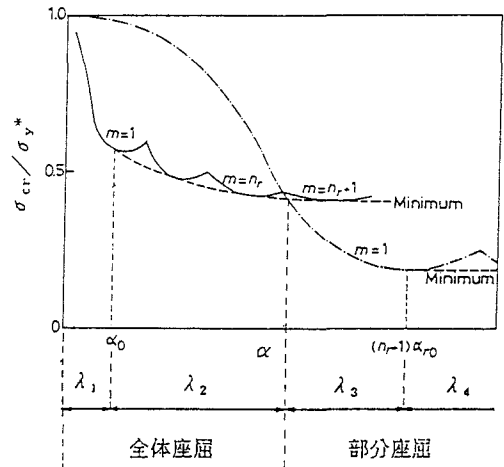


図-13 直交補剛板の座屈形式とλの関係

5. 耐荷力に関する考察

(1) パラメータの選定

図-12に示すような周辺が単純支持された長方形補剛板が一方向圧縮を受ける場合の弾性座屈を考える。この補剛板は、主板（長さ L 、幅 B 、厚さ t 、弾性係数 E 、ポアソン比 ν 、降伏応力 σ_y ）が、 n_s 本の縦補剛材（断面2次モーメント I_s 、断面積 A_s 、弾性係数 E_s 、ポアソン比 ν_s 、降伏応力 σ_{ys} ）と n_r 本の横補剛材（断面2次モーメント I_r 、断面積 A_r 、弾性係数 E_r 、ポアソン比 ν_r 、降伏応力 σ_{yr} ）で補剛されている。縦補剛材間隔 b 、横補剛材間隔 $a = L / (n_r + 1)$ 、全体パネルの縦横比 $\alpha = L/B$ 、横補剛材間の部分パネルの縦横比 $\alpha_r = a/B$ である。ただし、縦・横補剛材のねじり剛度は無視する。

直交補剛板の弾性座屈応力 σ_{cr} は、主板、縦補剛材、横補剛材の材料定数（弾性係数、ポアソン比、降伏応力）が同一である場合は文献^{B6)}に示されているが、ここでは材料定数が異なる場合に対する式を誘導すると、次のようになる。

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{\beta^2} \cdot \frac{1}{1+\delta_s} \left\{ \gamma_s \left(\frac{m}{\alpha} \right)^2 + \frac{\gamma_r}{\alpha_r} \left(\frac{\alpha}{m} \right)^2 + \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{\alpha}{m} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

ただし、 $\beta = B/t$ 、 $\gamma_s = E_s I_s / bD$ 、 $\delta_s = A_s / bt$ 、 $\gamma_r = E_r I_r / BD$ 、 $D = E t^3 / 12(1-\nu^2)$ 、 m は縦方向座屈モードの半波数である。

文献^{B6)}から、座屈応力と縦横比の関係を見ると、図-13のように、半波数 m によって、 $1 \leq m \leq n_r$ と $m \geq n_r + 1$ の2つの領域に分けられる。 $1 \leq m \leq n_r$ の範囲では縦・横補剛材と主板が一体となって、直交補剛板の全体座屈が生じる。 $m \geq n_r + 1$ の範囲では横補剛材間の縦補剛板の部分座屈が生じる。

式(3)を場合分けして、書き換えると次式が得られる。

【全体座屈】

$\alpha < \alpha_0$ のとき

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y^*} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)\sigma_y^*} \frac{1}{\beta^2} \frac{1}{1+\delta_s} \left\{ \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)^2 + (n_r + 1) \gamma_r \alpha + \frac{\gamma_s}{\alpha^2} \right\} \quad (4)$$

$\alpha \geq \alpha_0$ のとき

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y^*} = \frac{2\pi^2 E}{12(1-\nu^2)\sigma_y^*} \frac{1}{\beta^2} \frac{1}{1+\delta_s} \left\{ 1 + \sqrt{(1+\gamma_s) \left(1 + \frac{\gamma_r}{\alpha_r} \right)} \right\} \quad (5)$$

【部分座屈】

$\alpha < (n_r + 1) \alpha_{r0}$ のとき

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y^*} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)\sigma_y^*} \frac{1}{\beta^2} \frac{1}{1+\delta_s} \left\{ \left(\alpha_r + \frac{1}{\alpha_r} \right)^2 + \frac{\gamma_s}{\alpha_r^2} \right\} \quad (6)$$

$\alpha \geq (n_r + 1) \alpha_{r0}$ のとき

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y^*} = \frac{2\pi^2 E}{12(1-\nu^2)\sigma_y^*} \frac{1}{\beta^2} \frac{1}{1+\delta_s} (1 + \sqrt{1 + \gamma_s}) \quad (7)$$

ただし、

$$\alpha_0 = \sqrt[4]{(1 + \gamma_s) / (1 + \gamma_r / \alpha_r)} \quad (8)$$

$$\alpha_{r0} = \sqrt[4]{1 + \gamma_s} \quad (9)$$

$$\sigma_y^* = \sigma_y (1 + \delta_s \sigma_{ys} / \sigma_y) / (1 + \delta_s) \quad (10)$$

である、

パラメータとして $\lambda = \sqrt{\sigma_y^* / \sigma_{cr}}$ を考えると、式(4)～(7)から次のようになる。

$\alpha < \alpha_0$ のとき

$$\lambda_1 = R \sqrt{\alpha^2 / [\gamma_s + (n_r + 1) \gamma_r \alpha^3 + (1 + \alpha^2)^2]} \quad (11)$$

$\alpha \geq \alpha_0$ のとき

$$\lambda_2 = R \sqrt{1/2 \{ 1 + \sqrt{(1 + \gamma_s)(1 + \gamma_r / \alpha_r)} \}} \quad (12)$$

$\alpha < (n_r + 1) \alpha_{r0}$ のとき

$$\lambda_3 = R \sqrt{\alpha_r^2 / [\gamma_s + (1 + \alpha_r^2)^2]} \quad (13)$$

$\alpha \geq (n_r + 1) \alpha_{r0}$ のとき

$$\lambda_4 = R \sqrt{1/2 \{ 1 + \sqrt{1 + \gamma_s} \}} \quad (14)$$

ただし、

$$R = \beta \sqrt{[12(1-\nu^2)\sigma_y^* / \pi^2 E] (1 + \delta_s)} \quad (15)$$

である、

設計の便宜からは、 $\alpha < \alpha_0$ の範囲の全体座屈についても式(12)の λ_2 を適用し、式(12)～式(14)を使って座屈強度を算定するのがよい^{B6)}

(2) 終局強度の実験値

圧縮耐力実験のうち、側辺支持補剛板の実験結果について、終局強度 σ_{cr} / σ_y^* をパラメータ $\lambda_1 \sim \lambda_4$ を用いて整理する。横補剛材のない縦補剛板の場合は、 α_r の大きさに応じて λ_3 と λ_4 を使い分ける。一方、直交補剛板の場合は、 $\alpha < \alpha_0$ のとき λ_1 、 $\alpha \geq (n_r + 1) \alpha_{r0}$ のとき λ_4 を用いる。 $\alpha_0 \leq \alpha < (n_r + 1) \alpha_{r0}$ のときは λ_2 と λ_3 のうち、大きい方の λ を用いる。

縦補剛板について、 λ_3 、 λ_4 を有する供試体の $\sigma_{cr} / \sigma_y^* \sim \lambda$ 関係を図示すると、図-14～図-16のようになる。図中、主板の単一パネルや補剛材の板要素に局部座屈が生じている可能性のある供試体は×印で、局部座屈が生じていないと考えられる供試体は○印でプロットした。ただし、板要素（幅 b_i 、厚さ t_i 、

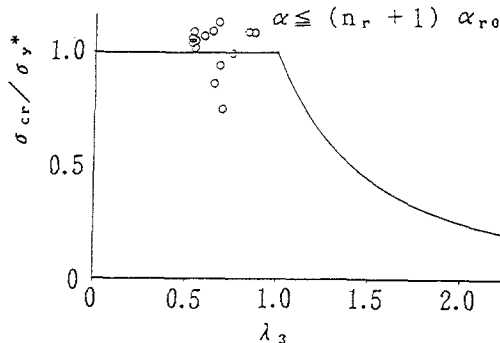


図-14 縦補剛板の λ_3 と σ_{cr}/σ_y^* の関係

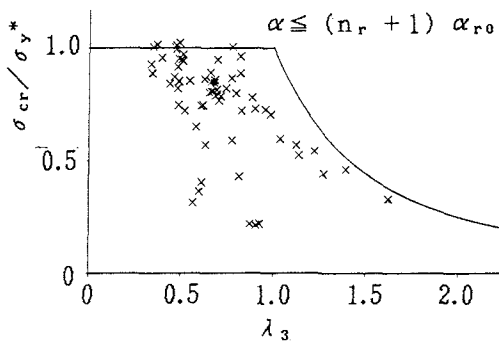


図-15 縦補剛板の λ_3 と σ_{cr}/σ_y^* の関係

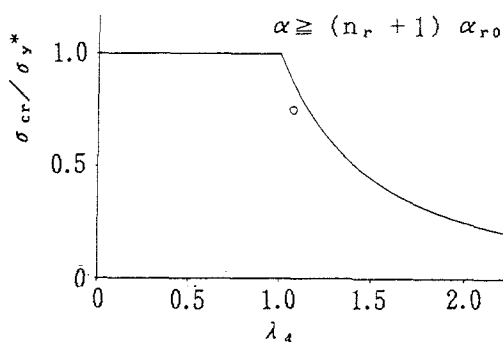


図-16 縦補剛板の λ_4 と σ_{cr}/σ_y^* の関係

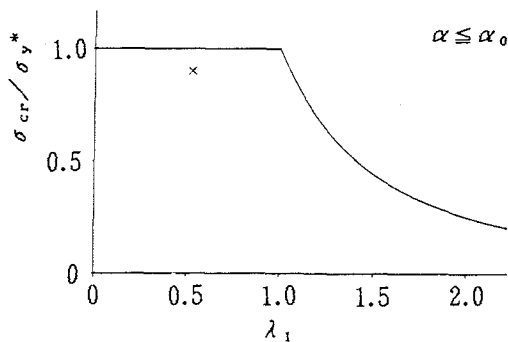


図-17 直交補剛板の λ_1 と σ_{cr}/σ_y^* の関係

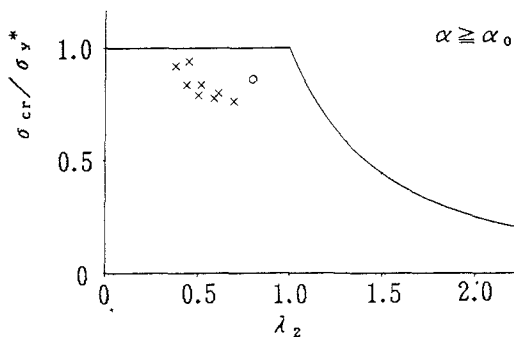


図-18 直交補剛板の λ_2 と σ_{cr}/σ_y^* の関係

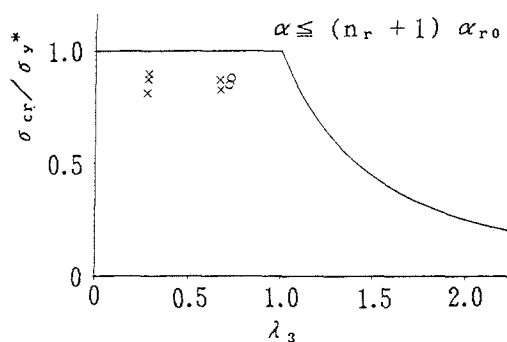


図-19 直交補剛板の λ_3 と σ_{cr}/σ_y^* の関係

弾性係数 E_i , ポアソン比 ν_i , 降伏応力 σ_{yi}) に局部座屈が生じる範囲は次式^{B7)} で推定した。

$$\lambda_i = (b_i/t_i) \sqrt{12(1-\nu_i^2) \sigma_{yi}/\pi^2 k_i E_i} \geq 0.525 \quad (16)$$

ここに, k_i は板要素が両側辺で支持されているとき 4.0, 突出板のとき 0.425である。

図-16に示されているように, λ_4 の範囲の供試体は1体のみで, ほとんどが λ_3 に対する実験である。しかも, 局部座屈の可能性のある供試体が多い。

直交補剛板については λ_4 を有する供試体は見当たらなかった。 λ_1 , λ_2 , λ_3 を有する直交補剛板の供試体について, $\sigma_{cr}/\sigma_y^* \sim \lambda$ 関係を図示すると, それぞれ図-17~図-19のようになる。実験はほとん

ど λ_2 , λ_3 に対して実施されていることになり、 λ_1 に対しては1体のみが実験されている。 λ_4 に対する直交補剛板の実験は不必要であろうが、著者^{B6)}の提案にのっとり λ_1 の直交補剛板を λ_2 の直交補剛板として設計するには、 λ_1 の供試体に対する実験が今後なされるべきである。

縦補剛板および直交補剛板とも、かなりの供試体で局部座屈が生じているものと推定されるので、耐荷力の算定に当たっては、全体座屈または部分座屈と局部座屈の連成を考慮した理論が必要となる。

6. あとがき

世界中で実施された鋼補剛板の耐荷力実験のデータを集め、数値DBとイメージDBを構築した。数値DBのメインテーブルには765件の供試体が収められている。これらは、圧縮耐荷力実験用、他の載荷条件の耐荷力実験用、残留応力測定用、短柱試験用、継手や溶接の影響調査用などに分けられる。初期たわみが測定された供試体についてもデータが記録された。また、イメージDBには、初期たわみに関する図形データが78件、146ページ、残留応力に関する図形データが49件、81ページが入力されている。

本DBは、ハードウェアとしてパソコンを用いた。数値DBMSとしては「dBASE III PLUS」を使い、イメージDBは自由作画パッケージ「EPODRAW-JV」を使って入力・検索・出力をする。

本論文では、DBの内容を計数的に分析するのにとどまったが、今後、これらのデータを使って、種々提案されている圧縮補剛板の耐荷力の算定法を評価してゆきたい。

参考文献

- B1) 福本嘯士・伊藤義人：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，土木学会論文報告集，No.312，1981.8，pp.59-72.
- B2) 福本嘯士・伊藤義人：座屈実験データベースによる鋼柱の基準強度に関する実証的研究，土木学会論文報告集，No.335，1983.7，pp.59-68.
- B3) 福本嘯士・伊藤義人：座屈実験データベースによる鋼はりの横ねじれ基準強度に関する実証的研究，土木学会論文報告集，No.341，1984.1，pp.137-146.
- B4) 伊藤義人・福本嘯士：座屈実験データベースによる鋼板の圧縮基準強度に関する実証的研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.32A，1986.3，pp.373-386.
- B5) 三上市藏・堂垣正博・米沢博：補剛圧縮板実験の調査と強度簡易算定法の評価，土木学会論文報告集，No.334，1983.6，pp.181-184.
- B6) 三上市藏・堂垣正博・米沢博：連続補剛板の非弾性圧縮座屈，土木学会論文報告集，No.298，1980.6，pp.17-30.
- B7) Mikami, I.: Discussion to "Basic compressive strength of steel plates from test data," by Y. Fukumoto and Y. Itoh, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.2, No.1, Apr., 1985, pp.293-294.
- B8) Dowling, P.J., Harding, J.E., and Frieze, P.A.(ed.): Steel Plated Structures, Preliminary Report of 2nd International Colloquium on Stability of Steel Structures, Lockwood Staples, Apr., 1977.
- B9) Steel Box Girder Bridges, ICE, 1973.
- 1) 小松定夫・吉川紀・牛尾正之：80キロ鋼の補剛板の極限強度に関する実験，土木学会論文報告集，No.218，1973.10，pp.31-37.
- 2) 小松定夫・牛尾正之・北田俊行：補剛材を有する圧縮板の極限強度に関する実験的研究，土木学会論文報告集，No.255，1976.11，pp.47-60.
- 3) 小松定夫・牛尾正之・北田俊行・奈良敬：縦横に補剛された圧縮板の極限強度に関する実験的研究，土木学会論文報告集，No.288，1979.8，pp.13-28.
- 4) 小松定夫・奈良敬・安松敏雄：箱桁の圧縮フランジの破壊実験について，土木学会関西支部年次学術講演会，1979.6，I-14.
- 5) 長谷川彰夫・長浜正孝・西野文雄：圧縮を受ける補剛された板の座屈強度，土木学会論文報告集，No.236，1975.4，pp.1-14.
- 6) Fukumoto, Y., Usami, T., and Yamaguchi, K.: Inelastic buckling strength of stiffened plates in compression, IABSE Proc., No.P-8/77, Aug., 1977, pp.1-15.
- 7) 宇佐美勉：補剛材つき板の座屈強度に関する基礎的研究，名古屋大学提出博士論文，1976.3.
- 8) Fukumoto, Y., Usami, T., and Okamoto, Y.: Ultimate compressive strength of stiffened plates, Proc. ASCE Speciality Conference on Metal Bridges, Nov., 1974, pp.201-230.
- 9) Yamada, Y., and Watanabe, E.: On the behaviour and ultimate strength of longitudinally stiffened flanges of steel box girders, Proc. JSCE, No.252, Aug., 1976, pp.127-142.
- 10) 山田善一：鋼箱桁の耐荷力に関する実験的研究，京都大学工学部土木工学教室，1975.3
- 11) Yamada, Y., Watanabe, E., and Ito, R.: Compressive strength of plates with closed-sectional ribs, Proc.JSCE, No.278, Oct., 1978., pp.133-147.
- 12) 伊藤文人・田島二郎：補剛材をもった高張力鋼板による溶接角型短柱の圧縮試験，鉄道技術研究報告，日本国有鉄道鉄道技術研究所，No.313，1962.6.
- 13) 吉田好孝・北川信・宇野名右衛門：曲げと圧縮を受ける補剛板の座屈強度について，土木学会年次学術講演会，1977.10，pp.554-555.
- 14) 大三島橋アーチリブ補剛板の座屈実験 II 実験報告書，石川島播磨重工業㈱，1977.1.

- 15) 坂本謙二・阿部英彦・寺田博昌：補剛板付き板の座屈に関する研究，土木学会年次学術講演会，1976.10，pp.219-220.
- 16) 阿部英彦・坂本謙二・寺田博昌：補剛板付き板の座屈強度，構造物設計資料，No.48，1976.12，pp.14-17.
- 17) 吉浪康行・大村裕：補剛圧縮板の耐力について，土木学会年次学術講演会，1977.10，pp.550-551.
- 18) 吉浪康行・大村裕：初期たわみを有する補剛板の全体座屈強度について，広島大学工学部研究報告，Vol.36，No.1，1987.
- 19) 松浦幸彦・吉浪康行・大村裕：高張力鋼補剛板の圧縮強度に関する実験的研究，土木学会年次学術講演会，1987.9，pp.208-209.
- 20) 吉浪康行・大村裕：高張力鋼補剛板の圧縮強度に関する実験的研究，土木学会論文集，No.398，1988.10，pp.255-264.
- 21) 吉浪康行・松本博幸・大村裕：縦横に補剛された板の圧縮強度試験，土木学会年次学術講演会，1988.9，pp.162-163.
- 22) 前田幸雄・日笠隆司：補剛板の圧縮耐力について（その1），土木学会年次学術講演会，1977.10，pp.546-547.
- 23) 前田幸雄・日笠隆司：補剛板の圧縮耐力について（その2），土木学会関西支部年次学術講演会，1978.5，1-62.
- 24) 藤原稔・原直彦・両宮栄一郎：補剛された板の圧縮耐力に関する実験的研究，土木学会年次学術講演会，1975.10，pp.130-131.
- 25) 金子忠男・井上啓一・両宮栄一郎：補剛された板の圧縮耐力に関する実験的研究（第2報），土木学会年次学術講演会，1976.10，pp.247-248.
- 26) 金子忠男・金井道夫・両宮栄一郎：補剛された板の圧縮耐力に関する実験的研究（第3報），土木学会年次学術講演会，1977.10，pp.548-549.
- 27) 金井道夫・佐伯彰一：補剛された板の限界状態—実物大供試体による実験的研究—，土木学会年次学術講演会，1979.10，pp.226-227.
- 28) 金井道夫：補剛板の限界状態—大型供試体による確認実験—第2報，土木学会年次学術講演会，1980.9，pp.279-280.
- 29) 金井道夫・大塚一喜：補剛板の設計法，土木技術資料，Vol.19，No.10，1977.10，pp.498-503.
- 30) 熊谷洋司・三浦章三郎・渡辺保之・神宮敏樹：縦・横リブを溶接固定しない圧縮補剛板の耐力実験，土木学会年次学術講演会，1987.9，pp.170-171.
- 31) Mikami, I., Morisawa, Y., Fukuzumi, T., Yoshizawa, A., and Nakamura, T.: Ultimate strength tests on steel box girders under bending, Technology Reports of Kansai Univ., No.29, Mar., 1987, pp.175-192.
- 32) Dowling, P.J., Chatterjee, S., Frieze, P.A., and Moolani F.M.: Experimental and predicted collapse behaviour of rectangular steel box girders, Ref.B9, pp.77-94.
- 33) Dowling, P.J., Moolani, F.M., and Frieze, P.A.: The effect of shear lag on the ultimate strength of box girders, Ref.B8, pp.108-141.
- 34) Chatterjee, S.: Session A. Discussion, Ref.B9, pp.38-39.
- 35) Chatterjee, S.: Session B. Discussion, Ref.B9, pp.153-155.
- 36) Dean, J.A., and Dowling, P.J.: Ultimate load tests on three stiffened plates under combined in-plane and lateral loading, Ref.B8, pp.743-763.
- 37) Dowling, P.J.: The behaviour of orthotropic steel deck bridges, Developments in Bridge Design and Construction, ed. by K.C. Rockey, J.L. Bannister and H.R. Evoyys, Crosby Lockwood & Son Ltd, 1971, pp.557-576.
- 38) Dowling, P.J.: Codified design methods for wide steel compression flanges, Ref.B8, pp.307-329.
- 39) Dorman, A.P., and Dwight, J.B.: Tests on stiffened compression panels and plate panels, Ref.B9, pp.63-75.
- 40) Tulk, J.D., and Walker, A.C.: Model studies of the elastic buckling of a stiffened plate, Jour. of Strain Analysis, Vol.11, No.3, July, 1976, pp.137-143.
- 41) Elsharkawi, K., and Walker, A.C.: Buckling of multibay stiffened plate panels, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol.106, No.ST8, Aug., 1980, pp.1695-1715.
- 42) Horne, M.R., and Narayanan, R.: Ultimate capacity of longitudinally stiffened plates used in box girders, Proc. of ICE, Part 2, Vol.61, Dec., 1976, pp.253-280/841-844.
- 43) Horne, M.R., and Narayanan, R.: Ultimate strength of stiffened panels under uniaxial compression, Ref.B8, pp.1-23.
- 44) Horne, M.R., and Narayanan, R.: The strength of straightened welded steel stiffened plates, Structural Engineer, Vol.54, No.11, Nov., 1976, pp.437-443.
- 45) Horne, M.R., Montague, R., and Narayanan, R.: Influence on strength of compression panels of stiffener section, Spacing and Welded Connection, Proc. of ICE, Part 2, Vol.63, No.11, Mar., 1977, pp.1-20.
- 46) Smith, C.S., and Kirkwood, W.: Stability of stiffened compression flanges under in-plane forces wheel loads, Ref. B8, pp.289-294.
- 47) Smith, C.S.: Compressive strength of welded steel ship gillages, Trans. of the Royal Institution of Naval Architects, Vol.117, Oct., 1975, pp.325-247.
- 48) Smith, C.S.: Session B. Discussion, Ref.B9, pp.148-149.
- 49) Faulkner, D.: Compression tests on welded eccentrically stiffened plate panels, Ref.B8, pp.581-617.
- 50) Barbré, R.: Session B. Discussion, Ref.B9, pp.161-163.
- 51) Barbré, R., Grassi, H., Schmidt, H., Kruppe, J.: Traglastversuche an Ausschnitten gedrückter Gurte mehrerer Hohlkastenbrücken, Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, 1976. 伊藤敏一・成岡昌夫（抄訳）: Braunschweig 工科大学で行われた鋼箱ゲタ橋の圧縮フランジに関する実験的研究，橋梁と基礎，Vol.11, No.11, 1977.11, pp.1-5.
- 52) Andra, W., Beyer, E., and Wintergerst, L.: Beulversuche mit bodenblechen von stahlerren Hohlkasten, Bauingenieur, Vol.49, 1974, pp.373-382.
- 53) Leonhardt, F., and Hommel, D.: The necessity of quantifying imperfections of all structural members for stability of box girders, Ref.B9, pp.11-19.
- 54) Leonhardt, F.: Session A. Discussion, Ref.B9, pp.35-36,43.
- 55) Scheer, J., and Vayas, J.: Traglastversuche an längestauchten und schubbeanspruchten, versteiften Rechteckplatten, Stahlbau, Vol.52, No.7, 1983, pp.207-213.
- 56) Scheer, J., and Vayas, J.: Traglastversuche an längestauchten, versteiften Rechteckplatten mit allseitiger Lagerung, Stahlbau, Vol.52, No.3, 1983, pp.78-84.
- 57) Barbré, R., Schmidt, H., and Riemann, S.: Traglastversuche an längestauchten, durch Wulstflachstähle versteiften Blechen mit freien Längsrändern, Stahlbau, Vol.51, No.11, 1982, pp.321-332.
- 58) Scheer, J., and Plumeyer, K.: Traglastversuche an längestauchten ächteckplatten mit konstruktiv bedingten Störungen unter Längsdruck, Bauingenieur, Vol.58, No.10, 1983, pp.387-394.
- 59) Massonnet, C., and Maquoi, R.: New theory and tests on the ultimate strength of stiffened box girders, Ref.B9, pp.131-143.
- 60) Massonnet, C., and Maquoi, R.: Session B. Discussion, Ref.B9, pp.171-172.
- 61) Massonnet, C., and Maquoi, R.: Non-linear theory of postbuckling resistance of large stiffened box girders, IABSE Publications, Vol.31-II, 1971, pp.91-140.
- 62) Massonnet, C., and Maquoi, R.: Verification experimentale de la resistance postcritique des semelles comprimées raidies sur six poutres encaisson, IABSE Publications, Vol.36-I, 1976, pp.159-187.
- 63) Murray, N.W.: The behaviour of thin stiffened steel panels, IABSE Publications, Vol.33-I, 1973, pp.191-201.

- 64) Murray, N.W.: Buckling of stiffened panels loaded axially and in bending, Structural Engineer, Vol.51, No.8, Aug., 1973, pp.285-301.
- 65) Murray, N.W.: Das Stabilitätsverhalten von axial belasteten, in der Längsrichtung ausgesteiften Platten im plastischen Bereich, Stahlbau, Vol.42, No.12, 1973, pp.372-379.
- 66) Murray, N.W.: Analysis and design of stiffened plates for collapse load, Structural Engineer, Vol.53, No.3, Mar., 1975, pp.153-158.
- 67) Dubas, P.: Plated structures with closed-section stiffeners, Ref.B8, pp.265-283.
- 68) Dubas, P.: Tests about post-critical behaviour of stiffened box girders, Proc. of Colloquium on Design of Plate and Box Girders for Ultimate Strength, IABSE, Vol.11, 1972, pp.367-379 (in French).
- 69) Roik, K., Kindmann, R., and Schaumann, P.: Plattenbeulen -8 Grossversuche mit längs-und querausgesteiften Blechfeldern.Berichte aus Forschung und Entwicklung, DAST, Dec., 1982. 伊藤鉦一: DAST指針012 の圧縮補剛板の計算法を確認するための一実験の紹介, 橋梁と基礎, Vol.36, No.9, 1984.9, pp.38-46.
- 70) Ostapenko, A., and Lee, T.T.: Test on longitudinally stiffened plate panels subjected to lateral and axial loading, Fritz Engineering Laboratory Report, No.248.4, Lehigh University, Bethlehem, USA, 1960.
- 71) Kondo, J., and Ostapenko, A.: Tests on longitudinally stiffened plate panels with fixed ends effect of lateral loading, Fritz Engineering Laboratory Report, No.248.12, Lehigh University, Bethlehem, USA, 1964.
- 72) Moolani, F.M., and Dowling, P.J.: Ultimate load behaviour of stiffened plates in compression, Ref.B8, pp.51-88.
- 73) Chatterjee, S., and Dowling, P.J.: The design of box girder compression flanges, Ref.B8, pp.196-228.
- 74) Dowling, P.J., Frieze, P.A., and Harding, J.E.: Imperfection sensitivity of steel plates under complex edge loading, Ref.B8, pp.305-314.

(1988年10月12日受付)