

補剛材を有する圧縮板の極限強度に関する実験的研究(才2報)

大阪大学 工学部 正員 小松 定夫
 日立造船株式会社 正員 牛尾 正之
 大阪大学 工学部 正員 北田 俊行

1. まえがき

近年の欧州の箱げた橋崩壊事故を契機に、板要素とくに補剛された板(以下、補剛板と称す)の合理的設計法の確立が切望されるようになった。周知のように、補剛板の圧縮極限強度を左右する要因として、その材料および幾何学的諸元の他に、溶接による初期たわみ、残留応力などのいわゆる初期不整を見逃すことはできない。したがって、本研究では、初期不整を有する補剛板が軸方向一様圧縮力を受ける場合、その極限状態付近の性状を実験的に明らかにし、補剛材の必要最小剛度を定性的には導き出すとともに、理論的研究の基礎資料を得ることを目的とした。

2. 供試体および実験概要

供試体は平鋼の補剛材3本を有する長さ400mmの補剛板とした。その諸元を表1に示す。供試体は板の幅厚比、補剛材の剛比をパラメータとし、載荷辺の条件を変えて選定した。

表1 供試体の諸元および実験結果

供試体		条件	b	t	$\frac{b}{t}$	$\frac{\sigma_y}{E}$ ($\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$)	$\frac{\sigma_y}{E} \frac{b}{t}$ ($\frac{\text{kgf}}{\text{mm}}$)	R	t_0	t_f	t_r	$\frac{\sigma_y}{E}$ ($\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$)	r	s	γ_n	r^*	$\frac{r}{t_n}$	$\frac{r}{t^*}$	実験結果 $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_y}$ $\frac{\sigma_{ult}}{\sigma_y}$	$\frac{\sigma_{ult}}{\sigma_y}$	
A ₁ -1	A ₁ -2	S	24	83	289	2760	1.05	0.551	65	73	83	2760	216	0.76	254	—	0.85	—	82	94	45 ³⁾
		S				2790		0.554		80		2790	284	0.83		112		83	97	42 ³⁾	
A ₁ -F	A ₀ -1	F		78	308	3990	1.34	0.706	79	73	78	3990	244	0.76	110	—	2.22	—	87	144	
	A ₀ -2	S				3840	1.32	0.693	77			3840			430	—	0.57		78	125	46 ³⁾
	A ₀ -3	S				3770	1.31	0.687		89		3770	443	0.93		1.03		85	133	54 ³⁾	
	A ₀ -3	S				3790		0.689		112			882	117		2.05		85	134	62 ³⁾	
B ₀ -1	B ₀ -1	S	61	393	3950	1.70	0.897		74	61	3950	417	0.77		102		4.09	84	139		
	B ₀ -1	S				3940		0.896			3940				422		0.99	73	119	40 ³⁾	
E ₀ -1	E ₀ -2	S	44	545	3290	2.16	1.135		59	44	3250	405	0.61		399		1.01	57	0.78	33 ³⁾	
	E ₀ -2	S				3170	2.12	1.114		70	58	3340	892	0.94		447		2.24	59	0.78	38 ³⁾
	E ₀ -3	S				3200	2.13	1.119		80	83	2750	1904	1.54		530		4.77	65	0.83	41 ³⁾
C ₀ -1	C ₀ -1	F	35	57	614	3240	2.41	1.269		61	57	3240	183	0.44		43		4.26	57	0.78	
	C ₀ -1	F				3460	2.49	1.311				3460				178		1.02	44	0.64	38 ³⁾
D ₀ -1	D ₀ -1	S	44	795	3210	3.11	1.636		51	44	3210	179	0.36		42		4.16	43	0.57		
	D ₀ -1	S				3290	3.15	1.656				3240				173		1.03	39	0.45	26 ³⁾

備考

条件 S : 載荷引張単純支持, F : 剛面固定, 1) 供試体の長さsとt/2とで計算, 2) 板および補剛材の断面積比で降伏点と平均化して計算, 3) I D R⁽²⁾により, 補剛材の強度で決まる耐力, 4) 同じく板の強度で決まる耐力, b : 補剛材中心間距離, t : 板厚, σ_y : 実験した降伏点, $\bar{\sigma}_y$: 公称降伏点 (2400 kg/mm²), $R = (\frac{b}{t}) \sqrt{\frac{\sigma_y \cdot 12(1-\nu^2)}{E}}$, $t_0 = 0.7 \sqrt{\frac{\sigma_y \cdot 12(1-\nu^2)}{E}}$, t_f : 補剛材の長さ, r_n : 補剛材の最小剛比 (t_0 と使用), r^* : 板厚, γ_n : DIN の (Giencke)

さらに、道示の基準内の供試体Aおよび周外のEでは補剛材剛度を変化させた。補剛材の接合はすべて脚長4~6mmの一層鉚手溶接で行なった。非載荷辺は実構造物のカド溶接に対応してビード盛溶接を施し、残留応力分布を再現するようにした。また、予備実験および座屈実験の方法は前報とまったく同様である。なお、載荷辺が単純支持条件の時は、図1に示すような機構を採用した。

3. 実験結果

測定された平均圧縮残留応力およびそ

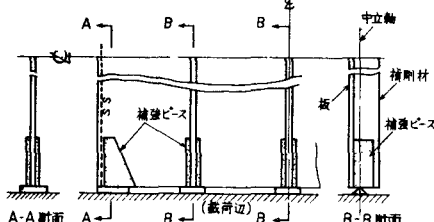


図1 載荷辺の状況(単純支持)

表2 残留応力測定結果

供試体	b _{c1}	σ _{c1}	b _{c2}	σ _{c2}	b _{c3}	σ _{c3}	b _{c4}	σ _{c4}	IDR	C
A ₁ -1	—	—	—	—	—	—	—	—	1391	—
A ₁ -2	16	423	15	636	15	658	16	406	1360	206
A ₀ -1	18	814	19	946	19	928	18	686	1481	307
A ₀ -1	16	1391	17	592	17	479	18	968	—	215
A ₀ -2	20	361	19	503	19	707	18	449	1409	169
A ₀ -3	20	513	17	538	17	648	16	624	1316	176
B ₀ -1	195	757	19	1050	19	1132	18	770	1310	272
B ₀ -1	18	833	125	669	17	597	18	1011	—	203
E ₀ -1	195	741	15	484	15	595	18	809	1221	144
E ₀ -2	16	232	19	455	15	450	11	337	1098	80
E ₀ -3	135	392	17	535	125	470	16	379	934	90
C ₀ -1	18	444	26	701	26	685	25	423	686	173
C ₀ -1	27	551	26	737	26	877	29	572	—	239
D ₀ -1	25	446	26	747	26	835	25	450	911	206
D ₀ -1	225	559	21	398	185	283	225	361	—	93

残留応力分布: $\sigma_{c1}, \sigma_{c2}, \sigma_{c3}, \sigma_{c4}$
 $C = F_c / A_w$
 F_c : 圧縮力
 A_w : 溶接金属断面積

の幅を表2に示す。また、I.D.R.^[2]で 1004 kg/mm^2 としている比例定数 C およびI.D.R.から算出される残留応力 σ_{RS} をも付記したが、I.D.R.では残留応力を少々過大に評価していると考えられる。表3に初期たわみの測定値を示す。幅厚比の大きい供試体C,Dの一部を除けば、いずれも道示もしくはI.D.R.の制限内に納まっている。次に、座屈実験の結果のうち、最大平均応力(極限強度) σ_{max} を各国の規定などと比較して、図2に、また、その数値を表1に示す。まず、道示の基準を満足するAシリーズでは、道示の期待する安全率 $\nu=1.7$ は確保されていない。しかし、最小剛度を有する場合(A_1-1, A_0-1)をみると、現行の規定で補剛材を設計しても、1.3~1.4の安全率になることが判る。この傾向はDINの場合でも言え、全シリーズを通じて、 $\nu=1.71$ とした限界曲線^[3]に対して1.3~1.5の安全率を持つことになる。一方、補剛材の剛度と σ_{max} との関係を図3,4に示す。道示の基準を満足するAシリーズでは補剛材剛度を少々上げて、耐力の大きな増加を望めない。これは、Eシリーズでも言え、各供試体に対してI.D.R.の規定に基づいて求めた計算結果(●印)も同様な傾向を示している。ちなみに、I.D.R.では安全率を道示より大幅に低減している。これらの結果、極限強度を低下させている要因として、初期たわみの影響が支配的になっているのではないかと推定される。

表3 初期たわみ測定値 (mm)

供試体	補剛材間の板		補剛材	
	横方向	縦方向	補剛材側	板側
	測定値	道示	測定値	I.D.R. 規定
A ₁ -1	0.50	≤ 1.6	1.00	≤ 2.02
A ₁ -2	0.70	—	1.20	—
A ₀ -1	0.60	—	1.25	≤ 2.15
A ₀ -2	0.91	—	1.00	—
A ₀ -3	1.01	—	0.80	—
A ₀ -3	1.10	—	0.80	—
B ₁ -1	0.84	—	2.20	≤ 2.75
B ₀ -1	0.60	—	0.80	—
E ₀ -1	1.90	—	0.70	≤ 3.81
E ₀ -2	1.39	—	1.10	—
E ₀ -3	2.81	—	1.70	—
C ₁ -1	2.90	—	4.0	≤ 4.38
C ₀ -1	0.80	—	1.20	—
D ₁ -1	4.33	—	4.10	≤ 5.67
D ₀ -1	3.50	—	2.90	—

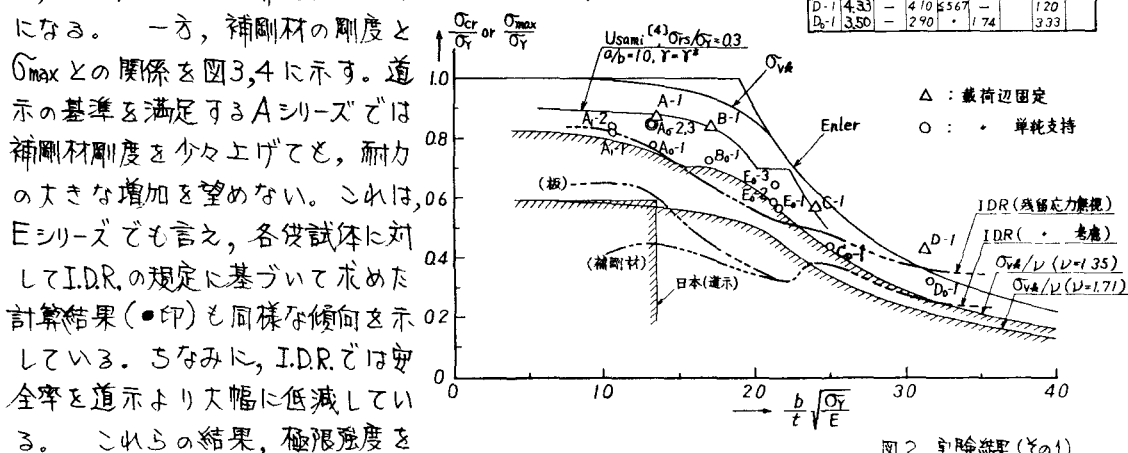


図2 実験結果(その1)

低下させている要因として、初期たわみの影響が支配的になっているのではないかと推定される。

4. あとがき

以上、数少ない実験資料であり、かつ、一次的な考察結果ではあるが、次の事項が明らかになった。(1)道示の規定で設計された補剛板は、初期不整を考慮しても、安全率1.3~1.4は確保できる。(2)補剛材の剛度を少々増しても、補剛材の極限強度の飛躍的向上は望めない。最後に、本実験の実施に際して、日立造船(株)牧本宏氏、大阪大学工学部大学院生・宮崎清司君ほかの協力があつたことを記し、ここに感謝の意を表します。

5. 参考文献

- [1]小松, 牛尾, 北田: 補剛材を有する圧縮板の極限強度に関する実験的研究, 第29回土木学会年次学術講演会, I-127, '74.
- [2]Morrison Committee: Interim Design Rules (Part II & IV), '73.
- [3]DIN 4114 - Stahlbau Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Der Stahlbau, 2., '74.
- [4]宇佐美: 補剛材つき板の弾性ならびに非弾性圧縮座屈強度, 土木学会論文報告集, 第228号, '74.

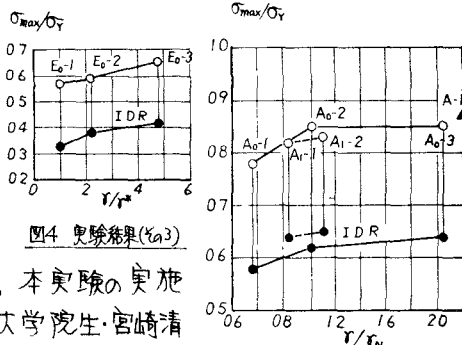


図3 実験結果(その2)