

国鉄構造物設計事務所 正員 阪本 謙二
 " " 阿部 英彦
 (株)横河橋梁製作所研究所 " 寺田 博昌

1. まえがき 近年、鋼構造物の大型化に伴い、鉄道橋においても板要素に縦横の補剛材を接合し、座屈耐力を高める構造が多く採用されている。しかし、このような補剛材付き板の挙動、耐力についての研究は未だ十分とは言えず、DIN4114¹⁾の考え方を基本とする現行の鋼鉄道橋設計標準²⁾の規定も理論的実験的裏付けが、十分であるとはいいがたい。特に、溶接による残留応力の座屈強度に与える影響としては、板パネルの残留応力による座屈強度の低下のみが考慮され、補剛材内の残留応力による補剛材の剛性低下に起因する座屈強度の低下が考慮されていないことが指摘されている³⁾。このような補剛材の部分降伏による剛度の低下に対し、補剛材に板よりも高強度の鋼材を組み合わせたハイブリット構造とし、補剛材が降伏域に入ることを遅らせ、座屈強度の低下を防ぐことが本四連絡橋の設計要領⁴⁾でも提案されている。

本所はこの補剛材付き板の圧縮による座屈強度に関する実験的データの集積、特に前記のハイブリット構造の効果を確認するため一連の実験を行なったものである。

2. 実験概要 試験体は予備試験用2体、本試験用21体とし、別に残留応力測定用試験体も5体製作した。これらの試験体はハイブリット構造の効果を比較対照するため、種々の幅厚比をもつ試験体について補剛材と板を同材質とする構造とハイブリット構造の組み合わせ、また荷重辺の支持条件を変えた場合、補剛材の配置を変えた場合などについて計画した。図-1に試験体の形状を、表-1に試験体の諸元と実験結果を示す。

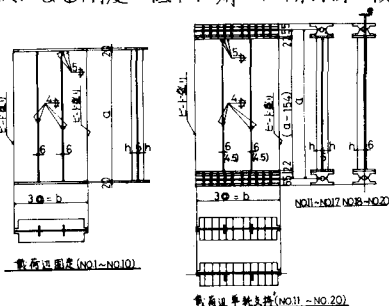


図-1 試験体

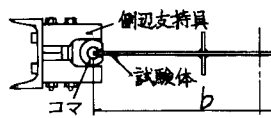


図-2 側面の構造

表-1 試験体の諸元および実験結果

試験体番号	材 質		b t (mm)	寸 法 mm			座屈パラメーター R		剛比の比較		計算降伏荷重 ton		実験最大荷重		比 率	
	板 (GPa)	補剛材 (GPa)		b	a	h	$R_{k, \text{板}}$	$R_{k, \text{補剛材}}$	I/I_0	I_0/I_{0H}	P_y	P_{yH}	P_u	P_{uH}	R_y/P_y	R_y/P_{yH}
1	SM41 (32.0)	SM41 (32.0)	105	630	1 134	46	0.689	0.801	1.06	0.70	146.5	146.5	155.0	155.0	1.06	1.06
2	SM41 (32.0)	SM41 (32.0)	75	450	810	30	0.492	0.789	1.11	0.31	102.6	102.6	114.2	114.2	1.11	1.11
3	SS41 (30.2)	NAW50 (38.7)	105	630	1 134	46	0.735	0.788	1.03	0.84	146.2	133.3	149.8	149.8	1.02	1.12
4	SM41 (32.0)	NAW50 (38.7)	75	450	810	30	0.492	0.799	1.08	0.30	109.6	101.4	124.8	124.8	1.14	1.23
5	SM41 (32.0)	SM50 (42.9)	105	630	1 134	46	0.689	0.801	1.06	0.70	159.4	146.5	160.0	160.0	1.09	1.09
6	SM41 (32.0)	SM50 (42.9)	75	450	810	30	0.492	0.789	1.11	0.31	111.0	102.6	119.6	119.6	1.08	1.17
7	SM50 (42.9)	SM50 (42.9)	90	540	972	44	0.685	0.801	1.01	0.62	179.0	179.0	186.3	186.3	1.04	1.04
8	SM50 (42.9)	SM50 (42.9)	65	390	702	29	0.494	0.791	1.07	0.31	126.5	126.5	136.2	136.2	1.09	1.09
9	SM50 (42.9)	SM58 (58.3)	90	540	972	44	0.685	0.799	1.02	0.69	197.6	179.4	204.9	204.9	1.04	1.14
10	SM50 (42.9)	SM58 (58.3)	65	390	702	29	0.494	0.790	1.07	0.31	138.8	126.7	148.4	148.4	1.07	1.17
11-1	SS41 (28.5)	SS41 (28.5)	120	720	1 296	54	0.775	0.766	1.04	1.04	160.1	160.1	142.0	142.0	0.89	0.89
11-2	SS41 (28.5)	SS41 (28.5)	120	720	1 296	54	0.775	0.766	1.04	1.04	160.1	160.1	154.0	154.0	0.96	0.96
12	SS41 (28.5)	SS41 (28.5)	80	480	864	33	0.517	0.754	1.07	0.37	104.7	104.7	114.0	114.0	1.09	1.09
13	SS41 (28.5)	SS41 (28.5)	80	480	864	43	0.517	0.580	2.01	0.74	111.5	111.5	122.0	122.0	1.09	1.09
14	SS41 (28.5)	SS41 (28.5)	80	480	864	46	0.517	0.540	2.35	1.00	113.5	113.5	121.8	121.8	1.07	1.07
15	SS41 (28.5)	SM50 (40.0)	80	480	864	33	0.517	0.746	1.10	0.37	115.1	105.6	123.8	123.8	1.08	1.17
16	SS41 (28.5)	SM50 (40.0)	80	480	864	43	0.517	0.574	2.05	0.74	125.1	112.7	139.8	139.8	1.12	1.24
17	SS41 (28.5)	SM50 (40.0)	80	480	864	46	0.517	0.534	2.40	1.00	128.1	114.9	134.8	134.8	1.05	1.17
18	SS41 (27.5)	SS41 (27.5)	120	720	1 296	67	0.762	0.703	1.04	1.04	137.4	137.4	121.9	121.9	0.89	0.89
19	SS41 (27.5)	SS41 (27.5)	80	480	864	43	0.508	0.701	1.07	0.37	91.1	91.1	92.9	92.9	1.02	1.02
20	SS41 (27.5)	SS41 (28.5)	80	480	864	45	0.508	0.708	1.07	0.37	88.8	88.4	91.1	91.1	1.03	1.03

注. 1. 補剛板の板厚は6mm. 補剛材の板厚はNo.20のみ4.5mm(★印),その他はすべて6mm.

2. ★印は残留応力も測定

3. I_0 は鋼鉄道橋設計標準に規定する必要最小剛比

載荷には200t電子管式万能試験機を用い、試験用治具としては、この試験用に開発した各種治具を用いている。図-2に非載荷辺を単絶支持とするための治具の断面を示す。載荷に当っては荷重制御を採用し、低荷重段階では5tステップ、一部降伏荷重段階では2tステップの新增載荷とした。また、応力分布、変形挙動を調べるため、試験体の6等分点にひずみゲージを貼付し、その中間位置および鉛直に面外変形および圧縮縮み変形を測定するための変位計を設置した。残留応力の測定は座屈試験体と同一手順で製作した試験体の中央部分でコンタクトゲージとひずみゲージを併用し、切断法によった。初期変形および座屈後の変形は剛度の高い剣刃支持具を不動点とし、可搬式の測定治具を用いて測定した。

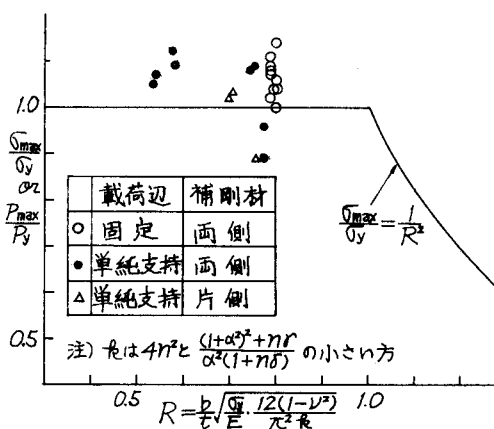


図-3 実験結果

3. 実験結果および考察 実験より得られた最大荷重 P_{max} と材料の計算降伏荷重 P_y の比 $P_{max}/P_y (= \sigma_{max}/\sigma_y)$ と座屈パラメータ（換算幅厚比） R との関係を図-3に示す。図-3より明かなように幅厚比の大きい ($b/t = 20$) No.11, No.18 の試験体は、 $\sigma_{max}/\sigma_y < 1$ となり設計標準の規定を下回っているが、その他の試験体は $\sigma_{max}/\sigma_y > 1$ となっている。この原因としては鋼材の降伏点として下降伏点をとったこと、補剛材溶接のすみ肉溶接のビードの断面積を考慮していないことなどが考えられる。さらに寸法の小さい試験体では載荷辺における試験体の面内変形の拘束の影響が大きいことが推定される。また、この実験ではハイブリット構造の試験体と板と補剛材が同材質の試験体との間に有意差は認められず、補剛材の剛性を高とした効果も認められなかった。これは補剛材の先端での圧縮残留応力が比較的小さく、低荷重段階での局部塑性化が顕著でなかったためと考えられる。

座屈形状については試験体 No.18 で載荷辺から $1/6a$ の点で補剛材が局部座屈し、No.11-2では最高荷重到達時に全体座屈し、さらに油圧を上げた時、荷重は上がらずに板パネルが局部座屈した。その他の試験体ではすべて1次モードの全体座屈であった。載荷辺固定条件の試験体についても固定の影響で有効座屈長が小さくなることが予想されたが、単絶支持の試験体の座屈形状と顕著な差異はなかった。

図-4は試験体 No.6 の中央断面での荷重-ひずみ分布図であり、

図-5は試験体 No.6 の中央断面での残留応力分布図である。残留応力の分布は測定した5体ともほぼ同じで、圧縮残留応力の大きさは板パネルで0.6 σ_y 、補剛材先端で0.2 σ_y であった。また、初期変形の大きさは $(\delta_0/b)_{max} = 1/300$ 、 $(\delta_0/a)_{max} = 1/60$ でその値は十分小さかった。

4. あとがき 本研究の大部分は日本国有鉄道の技術課題として行なったものであり、研究の実施にあたり御指導、御協力いただいた東京都立大学伊藤教授、国鉄東京オー工事務局技術管理課の各位ならびに横河橋梁研究所の各位に感謝の意を表します。

参考文献 1) DIN 4114 Blatt 2, 1953

2) 土木学会：鋼鉄道橋設計標準解説、昭和49年

3) 長谷川、長浜、西野：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

4) 土木学会：本四調査研究報告書、別冊1、補剛材付き圧縮板の設計要領(案) 昭和49年

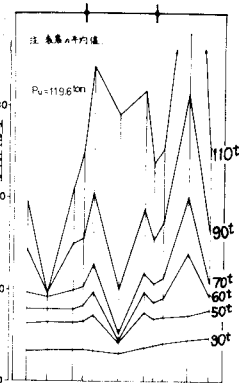


図-4 ひずみ分布図

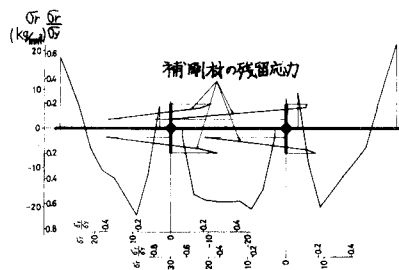


図-5 残留応力分布