

ステンレス鋼板を炭素鋼で補剛したハイブリッド材の軸圧縮耐荷力実験

日立造船 正会員 松下 裕明 日立造船 正会員 岩田 節雄
 琉球大学 フェロー 矢吹 哲哉 琉球大学 正会員 有住 康則

1. はじめに

鋼橋のライフサイクルコスト削減の一方策として、本研究では、箱桁や橋脚のフランジ・ウェブにステンレス鋼を、その補剛材に従来の炭素鋼を組み合わせたハイブリッド構造を提案する。ステンレス鋼は耐候性に優れ、外気接触面に使用することによりメンテナンスコスト削減の効果が期待できる。しかし一方、ステンレス鋼の応力 - ひずみ特性はいわゆるラウンドハウス型を示し、炭素鋼のそれとは大きく異なる。鋼橋に本構造を適用するためには、その強度特性を明らかにする必要があるが、応力 - ひずみ特性の異なるステンレス鋼板を炭素鋼で補剛したハイブリッド材の強度特性を研究した事例はほとんど無い。そこで、本研究ではハイブリッド材に一樣軸圧縮荷重が作用した場合を想定し、実験的研究によりその強度特性を検討した。

2. 供試体

供試体は、図 1 に示す 1 本の縦補剛材を有する補剛板とし、表 1 に示すとおり、板パネルにステンレス鋼 (SUS304N2A) を縦補剛材に炭素鋼 (SM490Y) を用いたハイブリッド供試体: CSM49US、および比較のため板パネルと縦補剛材の両方にステンレス鋼を用いた供試体: CSUN2US、更に両方に炭素鋼 (SS400) を用いた供試体: CSM40MS の 3 種類とした。供試体寸法は、板パネルの幅厚比パラメータ $R=0.7$ 程度を目標に決定し、縦補剛材は道路橋示方書(以下、道示)に定められている必要剛度を満足する断面寸法とした。なお、図 2 に SUS304N2A (公称板厚 6mm) の材料引張試験結果の一例を示す。

供試体の初期たわみ計測結果について、その最大値を表 2 に示す。また、別途製作した供試体による残留応力計測の結果、板パネルの平均圧縮残留応力は、炭素鋼: 0.20 y、ステンレス鋼(t=6): 0.19 y、(t=9): 0.17 y であった。ここに、y は材料引張試験より求めた実降伏強度である。

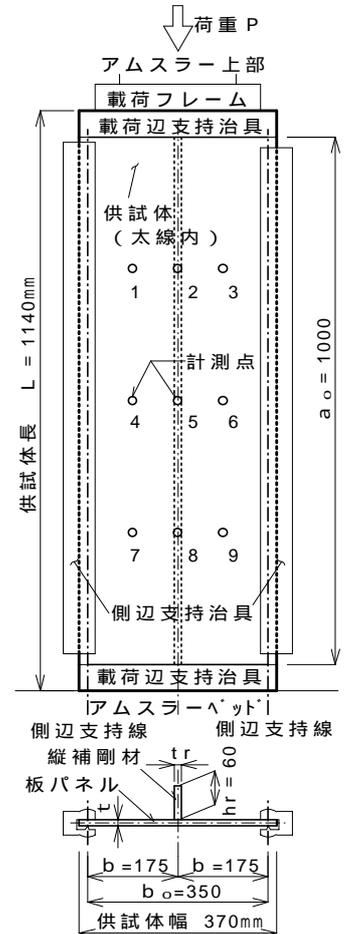


図 1 供試体及び荷重方法

表 1 供試体緒元

供試体名	製作数	長さ a ₀ (mm)	板パネル							縦補剛材						
			材質	降伏強度 σ _y (N/mm ²)	初期ヤング係数 E ₀ (N/mm ²)	b ₀ (mm)	b (mm)	t (mm)	b/t	R ^{**} (k=4)	α (a ₀ /b)	材質	降伏強度 σ _y (N/mm ²)	初期ヤング係数 E ₀ (N/mm ²)	hr (mm)	tr (mm)
CSM49US	3	1000	SUS304N2A	389 ^{*)}	183000	350	175	6.1	28.7	0.70	5.71	SM490Y	378	212000	60	8.6
CSUN2US	2							6.0	29.2	0.71		SUS304N2A	399 ^{*)}	183000		9.1
CSM40MS	3							SS400	316	200000		5.8	30.2	0.63		SS400

*) 0.1%耐力を採用。 **) $R=b/t\sqrt{\sigma_y/E \cdot 12(1-0.3^2)/(\pi^2 k)}$

3. 実験方法

図 1 のように、供試体に側面支持治具および荷重辺支持治具を取り付け、荷重フレームを介して一樣軸圧縮荷重を荷重した。その際、側面は単純支持条件 (供試体の面外変形を拘束し、かつ回転および面内変形が自由) を満たす治具¹⁾を製作し、これを用いた。また、荷重辺は固定支持とし、縦横比 ($=a_0/b$) の大きな供試体寸法を採用することにより単純支持の座屈係数 ($k=4$) とほぼ等しくした。

表 2 供試体の初期たわみ最大値

供試体名	初期たわみ最大値 (mm)	
	板パネル	縦補剛材
CSM40MS 3体平均	1.1	0.6
CSUN2US 2体平均	0.6	1.1
CSM49US 3体平均	0.9	1.0

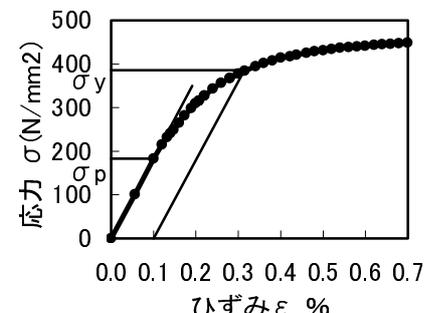


図 2 材料試験結果(SUS304N2A)

キーワード：補剛板、ステンレス鋼、ミニマムメンテナンス橋、局部座屈、軸圧縮耐荷力
 〒559-8559 大阪市住之江区南港北 1-7-89 TEL 06-6569-0097 FAX 06-6569-0012

4. 実験結果と考察

1) 荷重-変位関係：実験で得られた荷重 - 軸方向変位関係を図3に示す。図中横軸は軸方向の相対変位 ϵ を部材長 a_0 にて、縦軸は荷重 P を実降伏荷重 P_y にて除した無次元量である。実降伏荷重 P_y は表1の降伏強度から算出した全断面降伏荷重である。また、測点1~3（図1）の荷重 - 水平（面外）変位関係を図4に示す。図3の破線に示す通り CSM40MS は、約 $0.8P_y$ まで線形を保った後、変位が急増し最大荷重に達した。これは、図4に示すように $0.8P_y$ 付近での面外変形増加によるものと考えられる。この時、測点6にて板パネルに座屈が生じていた。一方、CSM49US は、約 $0.3P_y$ で線形関係を失うが変位は急増せず、 $0.7P_y$ 付近から変位の急増がみられた。しかし、その後も荷重は緩やかに上昇を続け、最大荷重は $1.0P_y$ を超えた。ここで、約 $0.3P_y$ において線形関係が失われたのは、板パネルに用いたステンレス鋼の応力 - ひずみ特性によるものであり、約 $0.7P_y$ を超えて変位が急増したのは、図4に示す $0.7P_y$ 付近での面外変形増加のためと考えられる。

2) CSM49US の座屈挙動：CSM49US の荷重 - ひずみ関係について、測点2および測点4の計測結果を図5に示す。図中横軸は板パネルの降伏強度を初期ヤング係数で除した弾性降伏ひずみ ϵ_e にて無次元化している。測点2において、 $0.7P_y$ 付近を超えると縦補剛材が降伏し、その裏面のひずみおよび測点4のひずみが急増していきことが分かる。しかし、荷重は上昇を続け、約 $1.0P_y$ にて測点4に生じた板パネルの座屈により最大荷重に達した。

3) 最大荷重：実験より得られた最大荷重 P_u 、前述の実降伏荷重 P_y 、および道示に基づき算出した設計許容荷重 P_a を表3に示す。なお、SUS304N2Aの公称ヤング係数は 193000 N/mm^2 とした。表に示すように CSM49US および CSUN2US の最大荷重は、実降伏荷重比および設計許容荷重比ともに、炭素鋼モデルである CSM40MS のそれを上回っており、板パネルにステンレス鋼を用いても実用上十分な強度を有することが分かる。また、CSM49US は CSUN2US に対し、いずれにおいても数%低下しているものの、CSM40MS のそれを上回っており、材料コスト縮減のため縦補剛材に炭素鋼を用いたハイブリッド材についても、実用上十分な強度を有することが分かる。

5. あとがき

本研究では、耐候性に優れたステンレス鋼板を従来の炭素鋼で補剛したハイブリッド補剛板について、一様軸圧縮荷重作用下での強度特性を実験的に検討した。その結果、

- 1) ハイブリッド補剛板では、炭素鋼縦補剛材の降伏に伴い板パネルの負担荷重が増え、板パネルのひずみが急増するが、耐荷力低下には至らず、板パネルが座屈するまで耐荷力は緩やかに上昇を続けた。
- 2) ハイブリッド補剛板の無次元耐荷力は、従来の炭素鋼を用いた補剛板のそれを上回っており、本研究で用いた構造緒元に対しては実用上十分な強度を有していることが分かった。

今後の課題として、構造緒元を変化させ、強度特性と構造緒元の相関を明らかにする必要がある。

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、土木学会論文報告集、第255号、1976.11

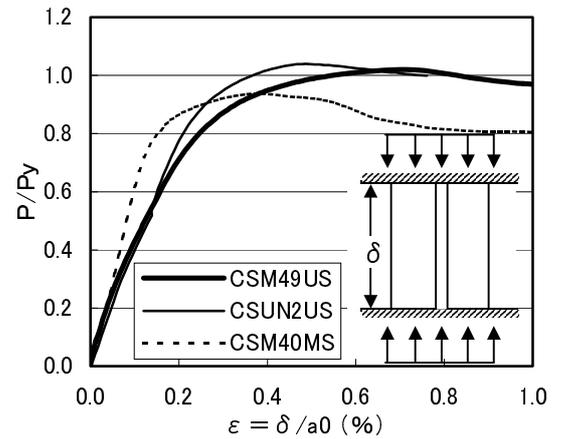


図3 荷重 - 軸方向変位曲線

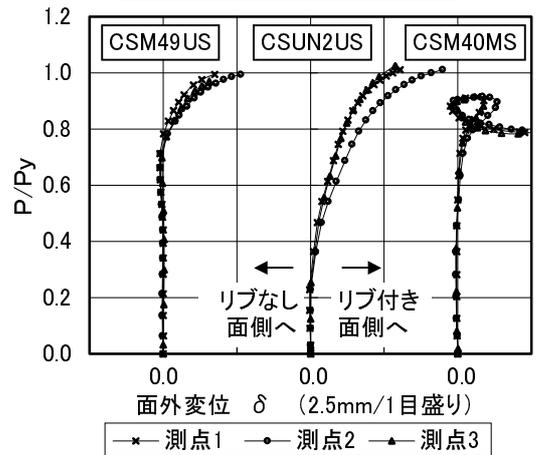


図4 荷重 - 水平（面外）変位曲線

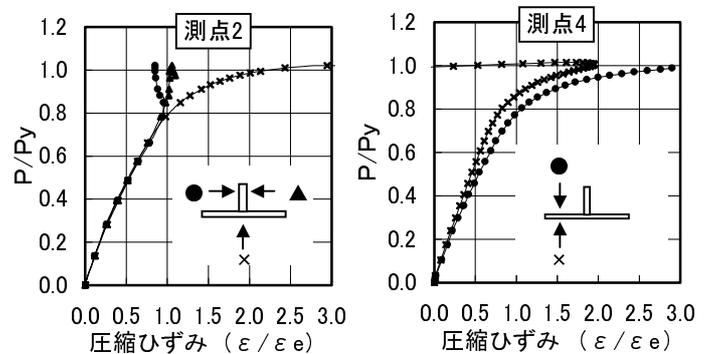


図5 荷重 - ひずみ曲線

表3 各供試体の最大荷重

供試体名	最大荷重 [*]	実降伏荷重 P_y		設計許容荷重 P_a ^{**}	
	P_u (kN)	P_y (kN)	P_u/P_y	P_a (kN)	P_u/P_a
CSM49US	1098	1069	1.027	468	2.346
CSUN2US	1112	1079	1.031	456	2.441
CSM40MS	792	841	0.942	359	2.209

*各供試体の平均値を用いた。**) P_a : 道示Ⅱ(表-解2.2.1)の基準値(SUS304N2AはSM490の値を準用)および解3.2.3を用いて算出