

炭素繊維強化樹脂板を接着した圧縮鋼板の座屈解析

大阪大学大学院	学生員	○汐待公二郎
片山ストラテック(株)	正会員	宇井 崇
大阪大学大学院	フェロー	西村 宣男
明星大学	正会員	鈴木 博之

1. まえがき

炭素繊維強化樹脂板 (CFRP 板) は鋼板と比較して軽量で施工性に優れかつ高強度で腐食しない等、構造物の補修、補強材料として優れた特徴をもっている。著者らはこの CFRP 板を鋼製橋脚の耐震補強に適用するための検討の一環として、CFRP 板を接着した圧縮鋼板の弾塑性座屈解析を実施した。ここでは、解析に用いたプログラム SABOL-ORTH の座屈問題への適用性、ならびに本プログラムを用いた座屈解析結果について報告する。

2. 積層板の弾塑性有限変位解析

2-1. 概要 CFRP 板を接着した鋼板は一種の積層板とみることができる。一般に積層板では面内力が作用する場合であっても、その部材端部近傍において層間応力を生じ、3 次元的な応力状態になることが知られている。このような層間応力を考慮した積層板の有限要素解析を行なうにあたっては、板の解析で通常用いられるシェル要素でなく、ソリッド要素を用いる必要がある。本研究では、20 節点アイソパラメトリックソリッド要素を使用した直交異方性を含む積層板の座屈解析プログラム(SABOL-ORTH)を開発し、これを用いて解析を実施した。

2-2. 解析プログラムの座屈問題への適用性

鋼-CFRP 積層板の解析の先立って、解析プログラムの座屈問題への適用性を検討するために、Coan¹⁾および小松・北田²⁾による既往の研究との比較解析を実施した。解析モデルは図-1 に示す周辺単純支持された一方向圧縮鋼板であり、構造および荷重の対称性を考慮して 1/4 部分領域をモデル化している。

図-2 に解析により得られた平均応力度-最大たわみ図を既往の研究結果と併せて示す。横軸は初期たわみを含むたわみ、縦軸は平均応力度 σ を表す。弾性解析、弾塑性解析とともに既往の結果と良好に一致しており、本解析プログラムが座屈問題に適用可能であることが確認された。

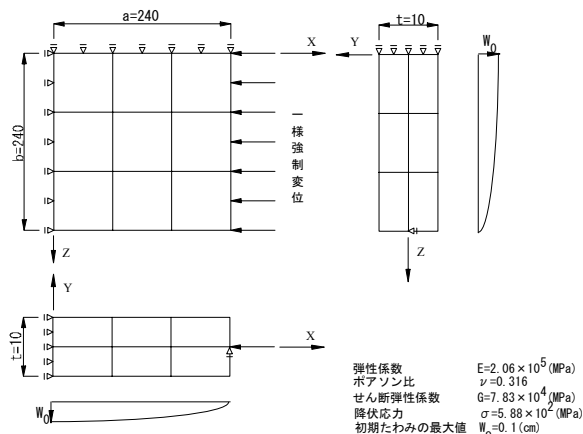


図-1 解析モデル

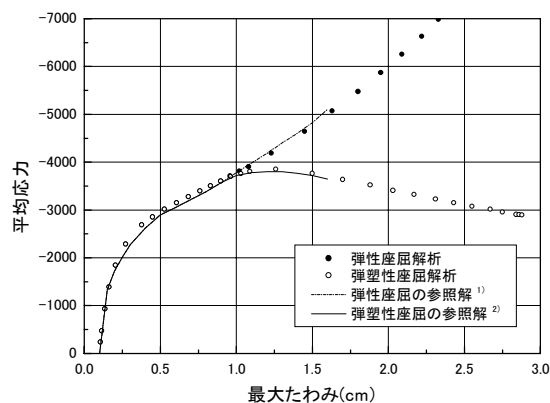


図-2 平均応力度-最大たわみ

2-3. CFRP 板を接着した鋼板の座屈解析

図-3 に示す、周辺単純支持の鋼板にそれよりやや小さい炭素繊維強化樹脂板を接着したモデルを対象に解析を実施した。鋼板の残留応力は自己平衡型の矩形分布形状とし、初期たわみの最大値は板幅の 1/150 とした。なお、構造および荷重の対称性を考慮して、1/4 部分領域のみをモデル化している。要素分割については特異な応力分布となることが考えられる接着層端部を密に分割している。さらに強制変位の載荷部では、面載荷による局所的な変形を防止し単純支持条件を保つ目的で、xy 面の剛性が十分に大きく、z 軸回りのねじり剛性が十分に小さな仮要素を設けて解析を実施した。解析ケースは表-1 に示すように、鋼板のみで幅厚比パラメータを変えた 7 つの基本解析モデルを設定し、それぞれについて繊維方向および接着面をかえた 4 通りモデル (CAL, CAT, CVL, CVT) を考えた。材料定数は表-2 に示す通りである。なお、接着層および CFRP 板については弾性挙動を仮定しており、接着層の剥離については考慮していない。

図-4 に荷重-最大たわみ図を示す。座屈強度は凹面接着で繊維方向を荷重方向にした CVL モデルが最大で、以下 CAL モ

キーワード：炭素繊維強化樹脂板、補強、座屈、弾塑性解析、積層板

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL：06-6879-7599 FAX：06-6879-7601

デル, CAT モデル, CVT モデル, 鋼板のみのモデルの順となった. 図-5 に幅厚比パラメータと座屈強度の関係を示す. この図で分かるように, 上記の傾向はすべての解析ケースについて当てはまる. CVL モデルの強度が他に比べて非常に大きいのは, 凹面側に CFRP 板がある方が荷重作用線と積層板の図心軸との偏心が小さくなるためと考えられる. 他の接着モデルについてはその強度に際だった違いはみられない. 次に, 接着層自由端側の x 軸方向に沿ったせん断応力分布を, 接着モデル 4 モデルについてほぼ

同荷重レベルで比較したものを図-6 に示す. これより, せん断応力分布は部材端側で特異性を示しているが, 繊維方向を荷重方向にあわせたものに比較して, 繊維方向を荷重方向に直角に配置したものの方が応力が小さくなることが分かる.

表-1 解析ケース

基本解析モデル	板幅 b(mm)	長さ a(mm)	板厚 ts(mm)	幅厚比 パラメータ R	板厚比 tc/ts	CFRP板厚 tc(mm)			
						CAL	CAT	CVL	CVT
						凸面接着 荷重方向	凸面接着 荷重直角	凹面接着 荷重方向	凹面接着 荷重直角
A-BR-067	520	364	14	0.670	0.100	1.40	1.40	1.40	1.40
A-BR-072	520	364	13	0.721	0.100	1.30	1.30	1.30	1.30
A-BR-078	520	364	12	0.781	0.100	1.20	1.20	1.20	1.20
A-BR-085	520	364	11	0.852	0.100	1.10	1.10	1.10	1.10
A-BR-094	520	364	10	0.937	0.100	1.00	1.00	1.00	1.00
A-BR-104	520	364	9	1.042	0.100	0.90	0.90	0.90	0.90
A-BR-117	520	364	8	1.172	0.100	0.80	0.80	0.80	0.80

表-2 材料定数

材料定数	記号	鋼板	接着剤	CFRP
弾性係数	E_x	200	3.1	150
	E_y	200	3.1	10
	E_z	200	3.1	10
ポアソン比	ν_{xy}	0.30	0.38	0.34
	ν_{yz}	0.30	0.38	0.38
	ν_{zx}	0.30	0.38	0.0227
せん断弾性係数	G_{xy}	77	1.1	3.1
	G_{yz}	77	1.1	1.1
	G_{zx}	77	1.1	1.1
降伏応力	σ_y	235	—	—

3. まとめ

本研究では 20 節点アイソパラメトリックソリッド要素を使用した直交異方性を含み積層板の解析プログラム(SABOL-ORTH)を開発し, 既往の研究結果との比較によりこのプログラムが座屈問題に適用可能であることを確認した. さらに炭素繊維強化樹脂板を接着した鋼板の極限強度解析を, 繊維方向および接着面をかえて実施し, それらの座屈強度に及ぼす影響を調べた. 今後, 接着層の剥離や CFRP 板の破損の影響などを考慮した検討を実施していく必要があると考えている.

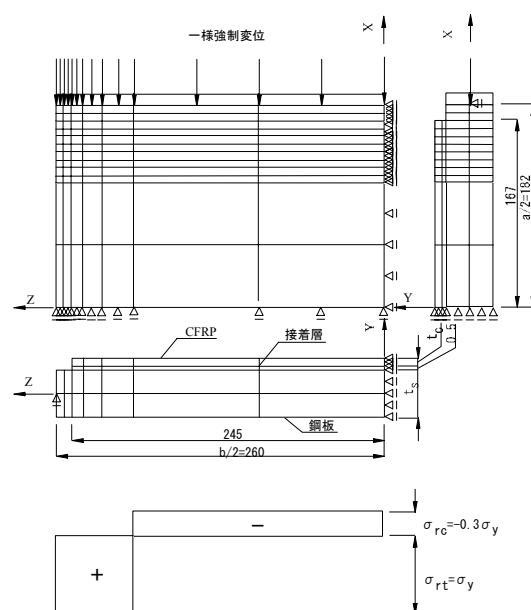


図-3 解析モデル

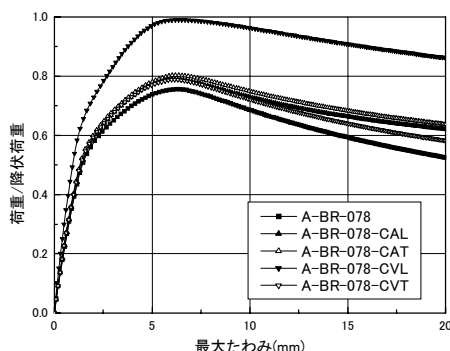


図-4 荷重-たわみ

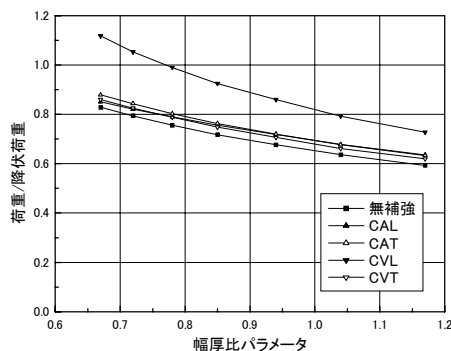


図-5 荷重-幅厚比パラメータ

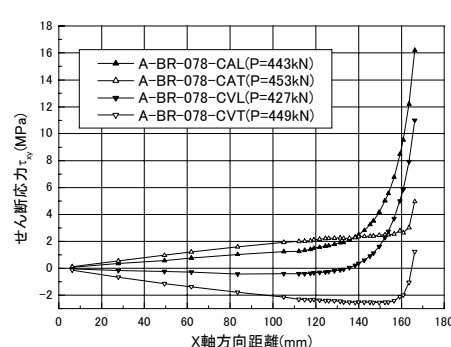


図-6 せん断応力分布

参考文献 1) Coan,J.M. : Large Deflection Theory for Plates with Small Initial Curvature Loaded in Edge Compression, J.of Applied Mech.,Vol18,No.2,Jun,1951. 2)小松・北田・宮崎: 残留応力および初期たわみを有する圧縮鋼板の弾塑性解析, 土木学会論文報告集, No.244,Dec,1975.