

大阪大学工学部 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

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の特徴をもち、土木構造物の補修、補強材料として今後幅広く使用されることが期待される材料である。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基本的な力学特性について、特にその鋼-CFRP 積層板としての特性に着目して検討を進めている。ここでは、検討結果のうち使用した解析プログラム SABOL-ORTH の座屈問題への適用性検討の結果とこのプログラムを用いた極限強度解析結果の一例について報告する。

2. 積層板の弾塑性有限変位解析

2-1. 概要 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ているシェル要素ではなく、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極限強度解析プログラム(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 SABOL-ORTH の座屈問題への適用性を検討するために、Coan¹⁾ および小松・北田ら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。なお図中には示していないが正弦半波（最大値 $w_0=0.1t$ ）の初期たわみを考慮している。使用した材料定数は表-1 に示す通りである。

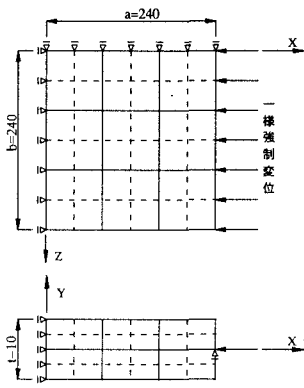


図-1 解析モデル

図-2 に解析により得られた荷重－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

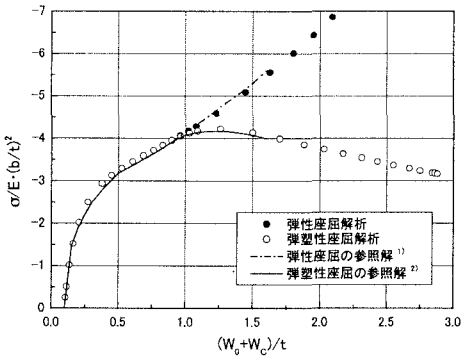


図-2 平均応力度と最大たわみ

表-1 材料定数

	記号	材料定数
弾性係数	MPa E	2.06×10^5
ポアソン比	ν	0.316
せん断弾性係数	MPa G	7.83×10^4
降伏応力	MPa σ	5.88×10^2

w_0 を含むたわみを板厚 t で除した値を、縦軸は平均応力度 σ をヤング率 E および幅厚比 (b/t) で無次元化した値を示す。弾性解析、弾塑性解析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。

2-3. CFRP 板を接着した鋼板の極限強度解析

図-3 に示すような、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。解析に用いる材料定数は、表-2 に示す通りである。なお、鋼材の降伏応力は 235MPa としている。また、接着層および CFRP 板については弾性挙動を仮定している。

ここでは極限強度解析結果の一例として初期たわみを CFRP 側に凸にしたモデル AL、鋼板側に凸にしたモデル VL および鋼板のみのモデル B の 3 ケースの結果を荷重—水平変位図の形で図-4 に示す。モデル VL の方が極限強度が大きくなっているが、これは凹面側に 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。

3. あとがき

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極限強度解析プログラム (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結果の一例を示した。今後、接着層の剥離や CFRP 板の破損の影響などを解析に考慮していく必要があると考えている。なお鋼板の幅厚比等のパラメータを種々変化させたモデルについても解析を実施しており、それらの解析結果の詳細については講演会当日に発表させていただきたい。

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.

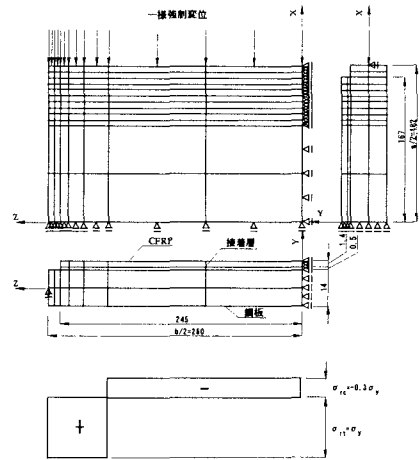


図-3 解析モデルおよび残留応力分布

表-2 解析に用いた材料定数

材料定数	記号	鋼板	接着剤	CFRP
弾性係数 GPa	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 GPa	G_{xy}	77	1.1	3.1
	G_{yz}	77	1.1	1.1
	G_{zx}	77	1.1	1.1

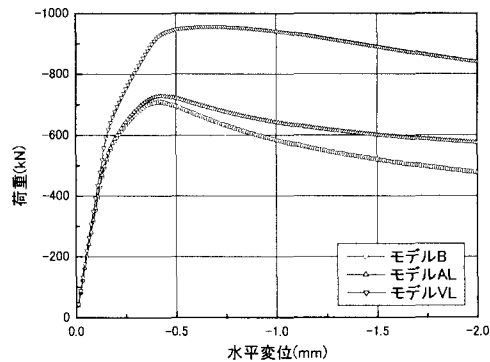


図-4 荷重—水平変位