

超鉄鋼と軟鋼を用いたサンドイッチ鋼板の圧縮極限強度
Compressive Ultimate Strength of Sandwich Steel Plate of Ultra Steel and Mild one
Under Monotonic Loading

奈良敬*

村上茂之**

宮寄 靖大***

○松原朋裕****

Satoshi NARA, Shigeyuki MURAKAMI, Yasuhiro MIYAZAKI, Tomohiro MATSUBARA

ABSTRACT This paper concerns compressive strength characteristics of hybrid sandwiched steel plate. The hybrid steel plate is consist of mild steel and ultra steel, which is under developing at present, and is one of new device for steel structures. To make clear the effects on ultimate strength, buckling behavior, elasto-plastic behavior, energy absorption of the hybrid steel plate are investigated with elasto-plastic finite displacement analyses. According to the numerical examples, much improvement can be obtained in case that the ultra-steel is applied at the compressive side of steel plate.

Keywords: 超鉄鋼, サンドイッチ鋼板, 座屈, 極限圧縮強度

Ultra steel, Sandwiched steel plate, Buckling, Ultimate compressive strength

1. まえがき

近年, 地球環境問題についての重要性がますます大きくなってきている。そのような中で, 高度経済成長期に構築された社会基盤設備が 2015 年頃から, 更新を迎える。このような状況に対応するため, 新設される社会基盤設備は従来の材料に比べ, 希少資源を使用することなく, 容易にリサイクルが行えるような, 大きく飛躍した材料を利用することが望まれる。そこで, 国民生活の安全と豊かさを支える基盤材料であり, 多量に生産, 使用される鉄鋼材料の性能改善を目指したプロジェクトが 1997 年から 10 年計画で進められている。開発を目指す材料は, 従来鋼に比べ強度と寿命が共に 2 倍以上を有する超鉄鋼^{1) 2)}と呼ばれる新鋼材である。超鉄鋼材料は, 50 キロ級鋼の合金成分からなる鋼を圧延技術により, 構成する金属組織の粒径を $1\mu\text{m}$ 以下となるようにして高強度を持たせた超微細粒鋼である。このため, 従来鋼と超鉄鋼を組み合わせる場合, 添加元素によ

って高強度化を図った高張力鋼を組み合わせた構造に比べ, 材料的強度特性や地震時挙動が複雑とされない。また, 添加元素を利用しないため, リサイクル性能の向上が期待できる。このような超鉄鋼を構造物に利用することで, 高強度化に伴う構造物の軽量化や長寿命化によるライフサイクルコストの低減に寄与できる。現状において, 強度 2 倍および寿命 2 倍の超鉄鋼が 800MPa 級鋼と 1500MPa 級鋼および耐食鋼と耐熱鋼とそれぞれ 2 種類ずつ開発が進められてきた。中でも高強度でかつ溶接性が優れた 800MPa 級超鉄鋼は, 既設構造物の耐震補強や補修など, 維持管理の点から十分な活用が期待される新材料である。

そこで本研究では, 800MPa 級超鉄鋼材料に着目し, 実用化後の活用方法を提案する。耐震性能向上に向けた超鉄鋼材料の活用法の第一段階として, 従来鋼である SM400 材を両側または片側から超鉄鋼を組み合わせたサンドイッチ鋼板の極限

* 工博 大阪大学大学院

教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

** 博士(工学) 岐阜大学 総合情報メディアセンター 助教授 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

*** 工修 岐阜大学大学院 工学研究科 博士後期課程 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

**** 岐阜大学大学院 工学研究科 博士前期課程 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

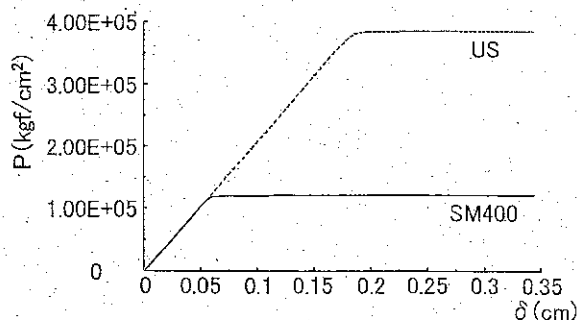


図-1 荷重P—変位δ関係

表-1 材料特性

	ポアソン比	降伏応力(N/mm ²)	弾性係数(N/mm ²)
超鉄鋼	0.3	7.7×10^2	2.1×10^5
SM400	0.3	2.4×10^2	2.1×10^5

圧縮強度特性とエネルギー吸収能について、基本的性質を明確にする。まず、対象とするサンドイッチ鋼板をモデル化し、次に数値解析法によって得られた結果を用いてその強度特性を照査する。

2. 研究方法

2.1 解析仮定

サンドイッチ鋼板の極限圧縮強度特性を解明するにあたり、本研究では弾塑性有限変位理論に基づく静的解析を行う。解析については、1要素8節点のアイソパラメトリックシェル要素を使用し、材料は等方・等質材料であり、図-1に示す完全弾塑性体を用いる。塑性域では、von Misesの降伏条件およびPrandtl-Reussの塑性流れ則に従う。サンドイッチ鋼板は完全に一体化していると仮定し、超鉄鋼と軟鋼の境界面における剥離は考えない。解析に用いた鋼材とその機械的特性値を表-1に示す。超鉄鋼は軟鋼の金属組織を微細粒化した材料であるため、弾性域における超鉄鋼の挙動は軟鋼と同様と仮定した。また、超鉄鋼の塑性履歴特性は、明確にされていないため、塑性域での挙動はSM400鋼材と同様であると仮定した。

2.2 諸定数の定義

荷重の載荷方法は、図-2に示す解析モデルに強制変位を与える変位制御とする。本研究では、幅厚比 b/t が35, 50, 65の板についてそれぞれ解析を行う。また、全ての解析モデルにおいてアスペクト比を1とし、超鉄鋼の第1層及び第3層の層厚を変化させて解析を行う。層厚を変化させるパターンは、次の3種類を採用する。①第1層の

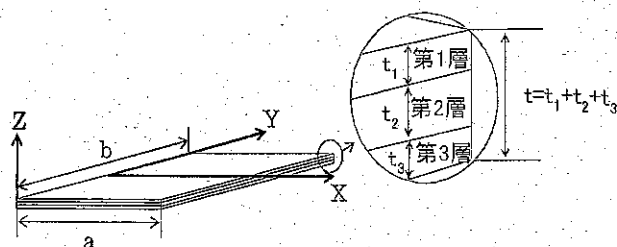


図-2 解析モデル

表-2 解析モデル名

			幅厚比 b/t		
			35	50	65
US			R35-US	R50-US	R65-US
SM			R35-SM400	R50-SM400	R65-SM400
超鉄鋼断面積比	0.20	引張側	R35T-0.20	R50T-0.20	R65T-0.20
		圧縮側	R35C-0.20	R50C-0.20	R65C-0.20
	0.50	両側	R35-0.20	R50-0.20	R65-0.20
		引張側	R35T-0.50	R50T-0.50	R65T-0.50
		圧縮側	R35C-0.50	R50C-0.50	R65C-0.50
		両側	R35-0.50	R50-0.50	R65-0.50

層厚を0.05で一定とし、第3層の層厚を0.05から全板厚に対して5%刻みで増加させ、それに対応するように第2層の層厚を5%刻みで減少させるモデル。②第3層の層厚を0.05で一定とし、第1層の層厚を5%刻みで増加させるモデル。③第1層と第3層の厚さを5%ずつ同時に増加させるモデル。このようにして、本研究で対象としたモデルを表-2に示す。

サンドイッチ鋼板における超鉄鋼断面積比 ξ は式(1)で与える。

$$\xi = \frac{A_{US}}{A_{US} + A_{SM400}} \quad (1)$$

サンドイッチ鋼板は異種材料から構成されているため、本研究では複合材料で一般的に用いられる複合則を適用し、次式で等価降伏応力を定義する。

$$\sigma_{eq} = \frac{\sigma_{US}(t_1 + t_3) + \sigma_{SM400}t_2}{t} \quad (2)$$

ただし、 σ_{US} 、 σ_{SM400} はそれぞれ超鉄鋼と軟鋼SM400の降伏応力とする。 t_1 、 t_2 、 t_3 は図-2に従う層厚とする。

本研究では初期たわみを考慮し、残留応力は考慮していない。初期たわみ波形は、次式で与える。

$$W = \frac{b}{150} \sin\left(\frac{\pi X}{a}\right) \cos\left(\frac{\pi Y}{b}\right) \quad (3)$$

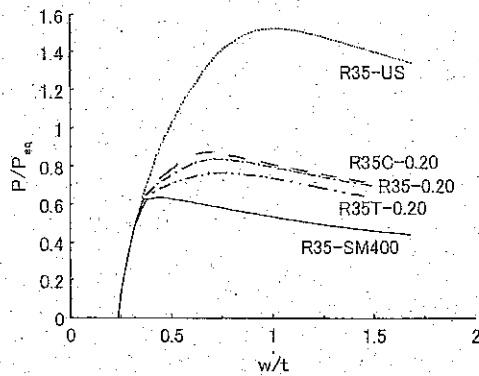


図-3 荷重—板たわみ曲線 ($b/t=35$, $\xi=0.20$)

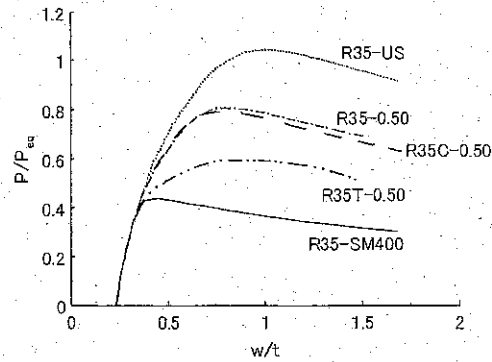


図-6 荷重—板たわみ曲線 ($b/t=35$, $\xi=0.50$)

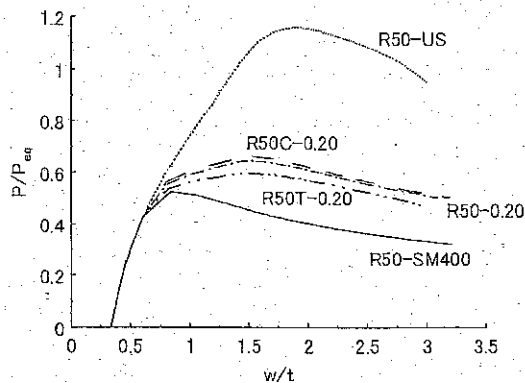


図-4 荷重—板たわみ曲線 ($b/t=50$, $\xi=0.20$)

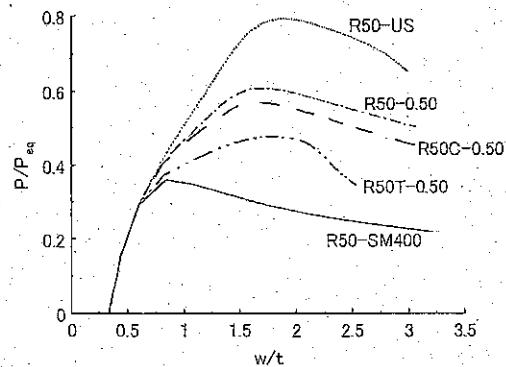


図-7 荷重—板たわみ曲線 ($b/t=50$, $\xi=0.50$)

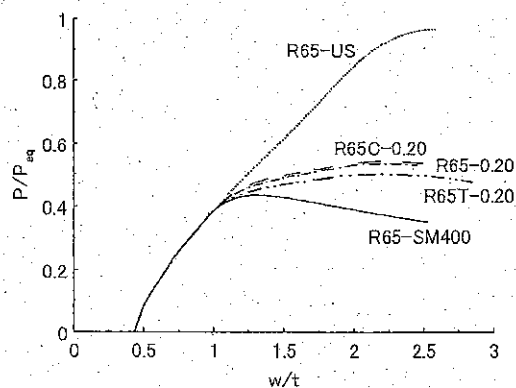


図-5 荷重—板たわみ曲線 ($b/t=65$, $\xi=0.20$)

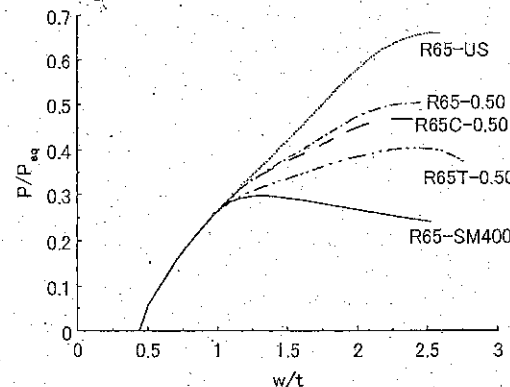


図-8 荷重—板たわみ曲線 ($b/t=65$, $\xi=0.50$)

3. サンドイッチ鋼板の極限圧縮強度特性

3.1 荷重—板たわみ曲線

ここで示す荷重—板たわみ曲線における縦軸の荷重は作用荷重を式(4)の等価降伏軸力 P_{eq} で無次元化し、横軸の板たわみについては図-2で示したZ軸方向のたわみ w をサンドイッチ鋼板の板厚 t で無次元化している。

$$P_{eq} = \sigma_{eq} \cdot A \quad (4)$$

ここで、 σ_{eq} は式(2)で示した等価降伏応力であり、 A はサンドイッチ鋼板の断面積を表す。図-3から図-8における板たわみの値は、対象とするサンドイッチ鋼板のたわみが最大となる中央部 ($a/2, 0, 0$) のたわみ量である(図-2参照)。また、比較のためこれらの図には従来鋼または超鉄鋼のみを用いた鋼板の応答についても示している。

超鉄鋼断面積比 ξ が 0.20 で幅厚比をそれぞれ 35, 50, 65 と変化させた結果を図-3, 図-4, 図-5

に示す。これらの図に示す3種類のサンドイッチ鋼板に着目してみると、いずれの幅厚比においてもその曲線形状に大きな変化は見られない。一方、超鉄鋼断面積比 α が0.50で幅厚比を35, 50, 65と変化させた場合の結果を示した図-6, 図-7, 図-8を見ると, R35T-0.50, R50T-0.50, R65T-0.50の最大荷重時のたわみが、他の2モデルよりも大きくなっている。このことから、超鉄鋼断面積比 α が0.50の場合には、引張側の超鉄鋼層厚を大きくすることでサンドイッチ鋼板のたわみが大きくなり、極限荷重の発生を遅延することができる。次に、図-7, 図-8におけるR50T-0.50, R65T-0.50と図-6に示したR35T-0.50を比較してみると、R50T-0.50, R65T-0.50は最大荷重後の強度低下が著しいことが読み取れる。この原因は、幅厚比 b/t が大きくなったためである。以上より、引張側の超鉄鋼層厚を大きくするサンドイッチ鋼板は、極限荷重の発生を遅延できるが、幅厚比の増加による極限荷重後の性能低下に注意する必要がある。

図-3における3種類のサンドイッチ鋼板の極限圧縮強度について比較してみると、圧縮側の超鉄鋼層厚が大きいR35C-0.20モデルが最も大きいことがわかる。また、R35C-0.20モデルと3種類のサンドイッチ鋼板の中で最も極限圧縮強度が小さくなるR35T-0.20モデルの差は12%程度である。さらに、両側の超鉄鋼層厚が同一のR35-0.20モデルとの差は約7%である。次に図-4, 図-5の3種類のサンドイッチ鋼板の極限圧縮強度を比較してみると、幅厚比 b/t が変化した場合でも図-3の結果と同様に圧縮側の超鉄鋼層厚が大きいモデルが最大となっている。また、幅厚比 b/t が大きくなるに従い、圧縮側の超鉄鋼層厚の大きいモデルと両側の超鉄鋼層厚が等しいモデルの差が小さくなっていることがわかる。以上より、超鉄鋼断面積比 α が0.20のサンドイッチ鋼板においては、圧縮側の超鉄鋼層厚を大きくして組み合わせることで、極限圧縮強度の向上が期待できる。

図-6に示す3種類のサンドイッチ鋼板の極限圧縮強度について比較してみると、両側の超鉄鋼層厚が等しいR35-0.50モデルが最も大きいことがわかる。図-7および図-8の結果についても、図-6と同様に、両側の超鉄鋼層厚が等しいモデルが最大極限圧縮強度となる。これらより、超鉄鋼断面積比 α が0.50のサンドイッチ鋼板については、両側から同厚の超鉄鋼を組み合わせることで、

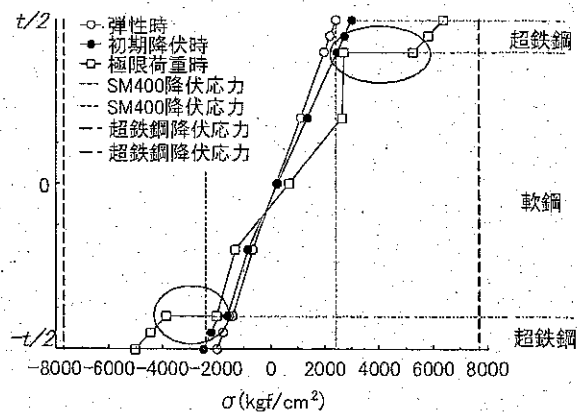


図-9 応力分布 (R50-0.20)

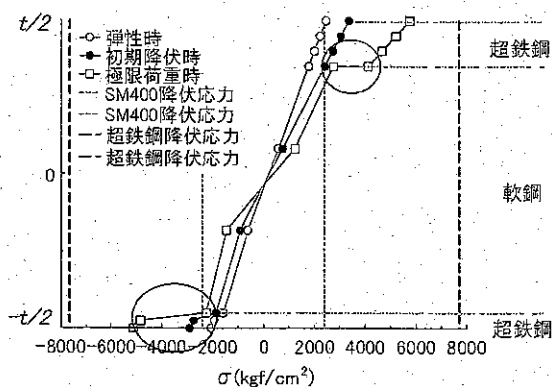


図-10 応力分布 (R50T-0.20)

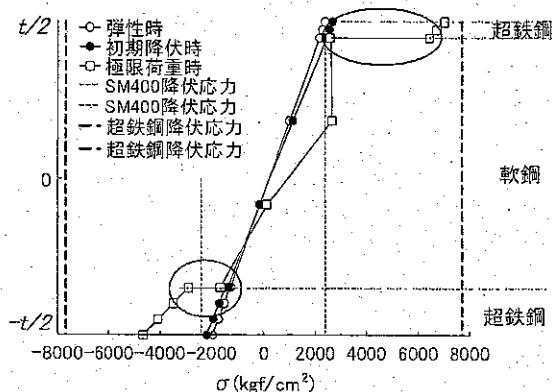


図-11 応力分布 (R50C-0.20)

極限圧縮強度の向上が期待できる。以上の結果より、効果的に極限圧縮強度を向上させる方法は、超鉄鋼使用量の増減により変化するという。

3.2 応力分布

荷重-板たわみ関係において、幅厚比 b/t が50, 超鉄鋼断面積比 α が0.20と0.50の場合、前者では圧縮側の超鉄鋼層厚が大きいモデル、後者では両側の超鉄鋼層厚を同厚にしたモデルが最も強度

上昇が期待できる結果となった。そこで、超鉄鋼断面面積比 α の変化によるサンドイッチ鋼板の応力分布に着目し、その要因を考察する。ここで着目するサンドイッチ鋼板における点は、3.1と同様に板の中央部 ($a/2, 0$) である(図-2 参照)。

1) 超鉄鋼断面面積比 α 0.20

図-9、図-10、図-11 に幅厚比 b/t が 50、超鉄鋼断面面積比 α が 0.20 の板厚方向における応力分布を示す。これらの図の縦軸は図-2 に示した板厚 t を示し、中立軸位置を 0 としている。また、横軸は板内部に作用する応力を示している。横軸の値が $\pm 2400(\text{kgf/cm}^2)$ 、 $\pm 7700(\text{kgf/cm}^2)$ における直線は軟鋼、超鉄鋼の降伏応力をそれぞれ示している。図中の右端に示す「超鉄鋼」および「軟鋼」は、サンドイッチ鋼板を構成する鋼材の種類を表す。

図-9 に示す R50-0.20 における初期降伏時の応力分布に着目すると、図中下部の軟鋼と超鉄鋼の境界面において応力分布形状の線形性が乱れており、応力レベルに微量なずれが発生している。この原因は、本研究では材料のひずみ硬化を無視した完全弾塑性体として仮定しているためである。同図から本モデルにおいて降伏が始まる箇所は図中上部の境界面であることがわかる。したがって、上部の境界面が先行して降伏するため、応力分布形状は上下非対称となる。これは初期たわみによる影響である。次に、同図の極限荷重時における応力分布形状に着目する。印をつけた上部および下部における応力の開きを比較してみると、上部における応力の開きが下部よりも大きいことがわかる。このことから、R50-0.20 は極限荷重に至るまでに引張応力が支配的になり、図中上部における境界面から降伏することで剛性が低下し座屈を起こす。

図-10 の下部における軟鋼と超鉄鋼の境界面に着目すると、弾性時においても応力分布形状が線形でないことがわかる。このことから R50T-0.20 では、軟鋼の弾性域内に収まる低い荷重レベルにおいても、第3層側の境界面が弱点となり座屈発生の起点となる。次に、極限荷重時における応力分布形状に着目してみると、印をつけた図中下部の軟鋼と超鉄鋼の境界面における応力と超鉄鋼部の応力には大きなずれがある。このずれは、図中上部の境界面よりも大きい。したがって R50T-0.20 は、極限荷重に達するまでに図中下部

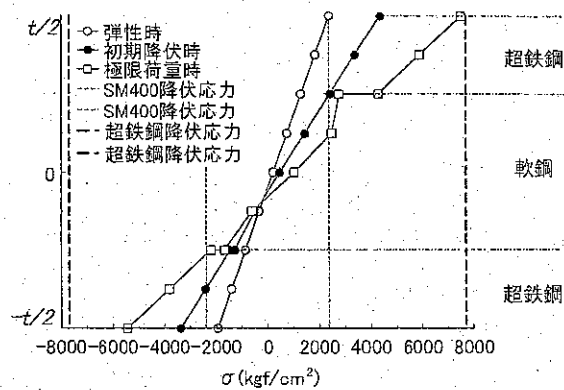


図-12 応力分布 (R50-0.50)

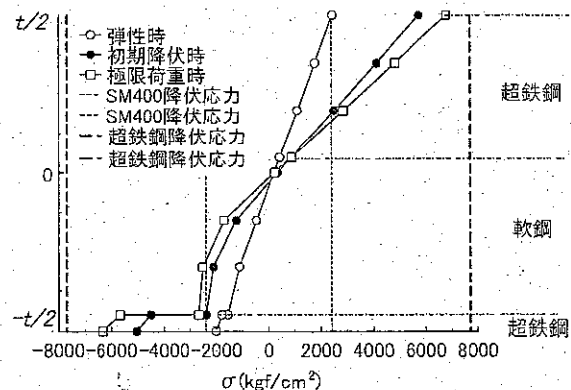


図-13 応力分布 (R50T-0.50)

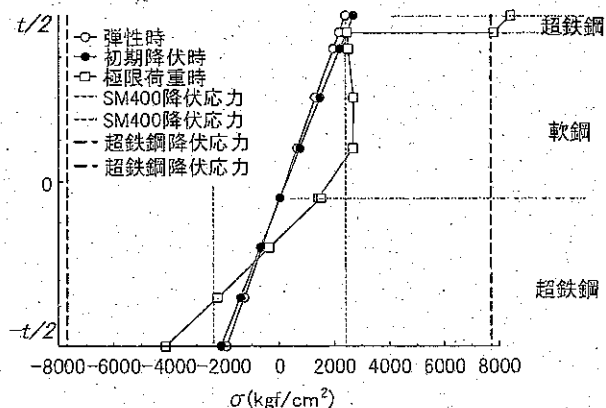


図-14 応力分布 (R50C-0.50)

における超鉄鋼と軟鋼の境界面から除々に降伏し、剛性が低下することで座屈が発生する。

図-11 の初期降伏時における応力分布は、図-9、図-10 に比べて応力分布形状の線形性が強いことがわかる。このことから、R50C-0.20 は、R50-0.20、R50T-0.20 に比べ、圧縮荷重に対して強い抵抗力を保持しているといえる。極限荷重時の応力分布に着目すると、印をつけた図中上部の応力の開き

が図中下部の応力の開きよりも明らかに大きいことが分かる。したがって、R50C-0.20 では引張応力が作用する第1層から降伏し、剛性が低下することで座屈が発生する。

図-4 において最も極限強度が高いモデルはR50C-0.20 であった。同モデルは図-11 から、最も線形性の強い応力分布であり、圧縮荷重に対して強い抵抗力を保持していることが明確となった。これは、R50C-0.20 は第3層に適用する超鉄鋼使用量が他のモデルより多いことから、圧縮荷重に対して最も高い強度を保持するためである。同様の理由でR50-0.20 の極限強度はR50T-0.20 の極限強度よりも高くなる。超鉄鋼断面積比 ξ が0.20の状態では幅厚比を問わず同様の傾向となるため、図-3 及び図-5 においてもR35C-0.20, R65C-0.20 が最大極限強度を示す結果となった。

2) 超鉄鋼断面積比 0.50

図-12, 図-13, 図-14 に超鉄鋼断面積比 ξ が0.50における板厚方向応力分布を示す。

図-12 における弾性時および初期降伏時の応力分布形状は直線状にあり、図-9 の超鉄鋼断面積比 ξ が0.20の場合に比べ、初期降伏時における応力レベルは大きく向上していることが分かる。これは、超鉄鋼の使用量が増加したためである。図-14 に示すR50C-0.50 の初期降伏時における応力分布に着目してみると、図-12 に示したR50-0.50 ではサンドイッチ鋼板の両表面($t/2$, $-t/2$)において軟鋼の降伏応力を超える応力レベルを示しているのに対して、40%程度小さくなっていることがわかる。これは、R50C-0.50 の引張側の超鉄鋼層厚がR50-0.50 に比べて薄いため、引張力に対する抵抗が小さくなることに起因する。このため、図-7 で示した幅厚比 b/t が50, 超鉄鋼断面積比 ξ が0.50 のサンドイッチ鋼板の荷重—板たわみ曲線において、R50-0.50 が最も高い極限圧縮強度を示したといえる。次に、両モデルの極限荷重時における応力分布形状に着目すると、図-12 におけるR50-0.50 は軟鋼と超鉄鋼の境界面を除くと全体的に線形であることがわかる。それに対して、図-14 に示すR50C-0.50 では図中上部の超鉄鋼と軟鋼の境界面において応力レベルに大きな開きが見られ、図中下部における超鉄鋼と軟鋼の境界面を除く部分がほぼ全体にわたって降伏している。また、両モデルとも図中上部の超鉄鋼と軟鋼の境界面における応力の開きが大きいことから、第1層

と第2層の境界面から降伏が始まり、剛性の低下を招き座屈が発生するといえる。

図-13 に着目してみると、図中下部の境界面において応力のずれが発生している。同図と図-10 に示したR50T-0.20 を比較してみると、初期降伏時および極限荷重時における応力分布形状に変化が見られる。これは、R50T-0.50 では超鉄鋼断面積比 ξ が増加したため、強度低下を起こすまでの荷重レベルが上昇したことを示す。また、図-10 と図-13 の弾性時の応力状態に着目すると、両図とも図中下部において応力のずれが確認できる。これは圧縮側の超鉄鋼層厚が小さいため、圧縮応力に対する強度が他の2モデルよりも低いためである。R50T-0.20 およびR50T-0.50 のように引張側の超鉄鋼層厚を大きくすると、低い荷重レベルにおいても応力状態は線形分布を示さないため、極限強度は他の組み合わせ方と比較すると小さくなる。したがって、引張側の超鉄鋼層厚を大きくしたサンドイッチ鋼板は、他の2つの組み合わせ方をしたサンドイッチ鋼板に比べて耐荷力性能の向上が期待できない。

本文で比較を行っていない超鉄鋼断面積比 ξ が0.50, 幅厚比 b/t が35および65についても同様の応力分布になると考える。

4. サンドイッチ鋼板の性能

4.1 耐荷力

本研究で対象としたサンドイッチ鋼板について、耐荷力曲線を利用した極限強度評価を行う。

図-15 に対象としたサンドイッチ鋼板の極限強度と超鉄鋼断面積比 ξ の関係を示す。縦軸の強度は式(2)に従う等価降伏応力で無次元化した値とする。同図において、超鉄鋼断面積比 ξ が0.10, 0.20に着目すると、両超鉄鋼断面積比においても

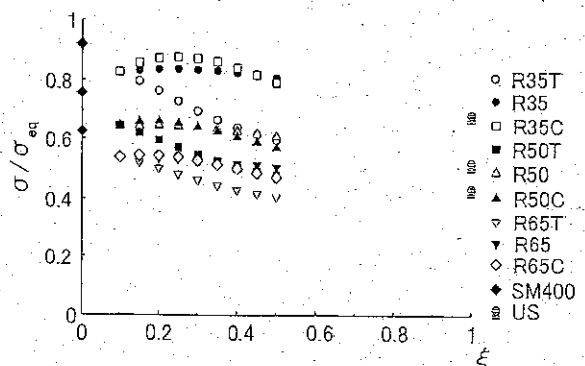


図-15 強度—超鉄鋼断面積比関係

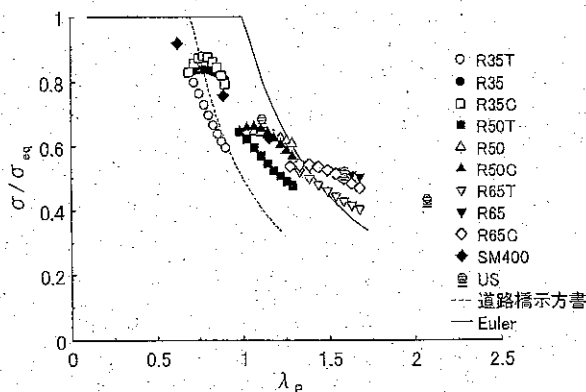


図-16 耐力力曲線

圧縮側の超鉄鋼層厚が大きいモデルが最も高強度となり、次に両側の超鉄鋼層厚が等しいモデルであることがわかる。また、引張側の超鉄鋼層厚を大きくしたモデルが両超鉄鋼断面面積比において、最も小さくなっている。この理由は、応力分布図から得られた結果と同様に、圧縮力への抵抗力が高いためである。超鉄鋼断面面積比 ξ が 0.25 以上になると、R65 と R65C の極限強度の値が逆転する。また、R50 と R50C では超鉄鋼断面面積比 ξ が 0.30 以上になると極限強度が逆転し、R35 と R35C では超鉄鋼断面面積比 ξ が 0.45 以上になると極限強度が逆転する。これらの理由も 3. 1 で述べたように、超鉄鋼断面面積比 ξ がある量を超えると、超鉄鋼層である第 1 層と第 3 層で受け持つ応力の絶対値が大きくなり、軟鋼層である第 2 層の負担する応力が軽減されるためである。同図における第 1 層の超鉄鋼層厚を増加させるモデル(R35T, R50T, R65T)の極限強度は増加しないことがわかる。超鉄鋼断面面積比 ξ が 0.50 の場合に注目してみると、R50 と R35T の極限強度はほぼ等しくなる。また、超鉄鋼断面面積比 ξ が 0.50 における R50T と R65 についても同等の値となっている。このことから、引張側の超鉄鋼層厚を大きくすることは、効果的に耐力力を向上することができない。

図-16 に本研究で対象としたサンドイッチ鋼板の耐力力曲線を示す。また、サンドイッチ鋼板の耐力力曲線と比較を行うため、同図には道路橋示方書で定義する耐力力曲線と Euler の耐力力曲線を表示している。縦軸は図-15 の縦軸と同様の強度を示し、横軸の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ は式(5)で算出した。

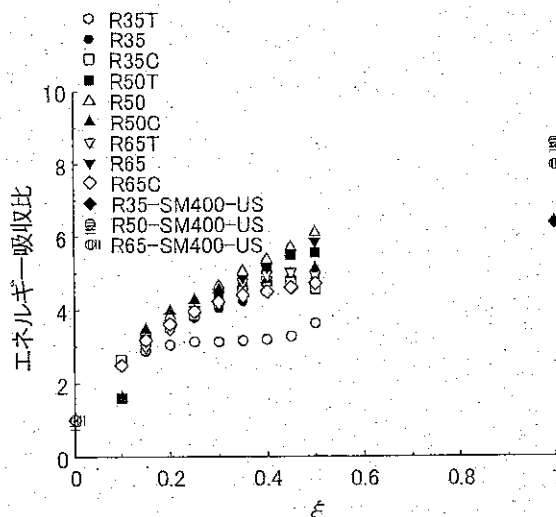


図-17 エネルギー吸収能

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (5)$$

本研究では、式(5)中の降伏応力 σ_y に式(2)で示した等価降伏応力 σ_{eq} を代入して、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ を算出している。

図-16 においても図-15 に示した結果と同様の傾向が現れている。引張側の超鉄鋼層厚を大きくしたモデル以外は、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ がある値に至るまで強度が上昇している。このように、耐力力曲線において幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の増加に従い強度が増加する理由としては、3. 2 で示したようにサンドイッチ鋼板の圧縮側の超鉄鋼層厚をある程度持たせることで、軟鋼の降伏荷重を向上させ、座屈に対する抵抗が大きくなるためである。同図から、引張応力が作用する側の超鉄鋼層厚を増加させても効果的な極限強度の上昇が期待できないと判断できる。以上より、R35, R35C, R50, R50C, R65, R65C において同図に示すように強度が最大となるような超鉄鋼の組み合わせ方によりサンドイッチ鋼板の最適な強度上昇が期待できる。

4. 2 エネルギー吸収

図-17 にエネルギー吸収比と超鉄鋼断面面積比 ξ の関係を示す。本研究におけるエネルギー吸収比は、荷重と軸方向変位の関係において、載荷前から極限荷重作用時までの範囲における積分値を

SM400 鋼材のみの積分値で無次元化した値としている。荷重と軸方向変位の関係については、紙面の都合上割愛する。超鉄鋼断面積比 α が 0.50 のとき、エネルギー吸収比が最大となるモデルは R50 であり、続いて R65, R50T, R50C となっている。この結果より、幅厚比 b/t が 50 におけるサンドイッチ鋼板は、超鉄鋼の組み合わせ方法を問わず、効率的なエネルギー吸収が可能であるといえる。次に、同図に示す R35T に着目すると他のモデルと異なっていることがわかる。この原因は、R35T が他のモデルよりも小さい変位量で極限強度に達し、強度低下を起こすためである。

5. 結言

本研究では、新材料である超鉄鋼の活用方法として、軟鋼を両側から超鉄鋼で組み合わせたサンドイッチ鋼板の極限圧縮強度特性とエネルギー吸収能について、解析により明らかにした。以下に本研究で示したサンドイッチ鋼板の特性についてまとめる。

- (1) 引張側の超鉄鋼層厚を大きくすることで、他の組み合わせ方のサンドイッチ鋼板に比してたわみが大きくなり、極限荷重の発生が遅延できる。
- (2) サンドイッチ鋼板の極限圧縮強度は超鉄鋼の組み合わせ方法により異なる。
- (3) 超鉄鋼断面積比が 0.30 以下では、圧縮側の超鉄鋼層厚を増加させることで、極限圧縮強度の高いサンドイッチ鋼板となる。
- (4) また、超鉄鋼断面積比が 0.35 より高くなる場合には、両側の超鉄鋼層厚が等しいサンドイッチ鋼板を採用することで、効率的な極限圧縮強度の向上が期待できる。
- (5) 引張側の超鉄鋼層厚が小さいサンドイッチ鋼板では、他の組み合わせ方をしたサンドイッチ鋼板の極限強度上昇率よりも小さくなる。

6. 今後の課題

本研究で対象とした超鉄鋼と従来鋼を組み合わせたサンドイッチ鋼板の実用化を図るためには、境界部での応力伝達が確実に行えるような接合法の開発が必要となる。また、サンドイッチ鋼板の耐震性能を把握するためには、繰り返し荷重下での挙動を追跡する必要がある。さらに、既設の鋼

製橋脚等を耐震補強する場合には、サンドイッチ鋼板としての特性を照査するだけでなく、箱形断面や円形断面を対象としたハイブリッド構造物の応答照査を行わなければならない。このような点を明確にすることで、超鉄鋼の活用法の一提案として、従来鋼製構造物の延命化や耐震補強法などが期待できる。

【参考文献】

- 1) 萩原行人, 高橋俊彦: 超鉄鋼プロジェクトの目指すもの, 物質・材料研究機構, 第 6 回超鉄鋼ワークショップ, 新構造用鋼と新構造への期待, pp.1-20, 2002.5.
- 2) 片田康行: NIMS 超鉄鋼研究センター「商品化研究室」における技術移転の現状, 物質・材料研究機構, 第 7 回超鉄鋼ワークショップ, 使える材料, 活かす新構造, pp.66-67.
- 3) 浅沼芳雄, 中井勝彦, 古内仁, 上田多門, 角田興史雄: 鋼コンクリートサンドイッチはりのせん断耐力, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.1139, 1996.3.
- 4) 藤井堅, 三木千寿, 寺田宏行, 田中和成, 有尾一郎: ステンレスクラッド鋼の材料特性および残留応力とその発生メカニズム, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.103-114, 1998.3.
- 5) 藤井堅, 三木千寿, 木村秀途, 中川茂, 安波博道: ステンレスクラッド鋼を用いた箱桁の曲げ疲労実験, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.1041-1050, 1997.3.
- 6) 藤井堅, 三木千寿, 藤井崇文: ステンレスクラッド鋼板の圧縮耐荷力と残留応力, 土木学会論文集, No.633/I-49, 181-192, 1999.10.