

超鉄鋼を用いたサンドイッチ鋼板の繰返し挙動

岐阜大学大学院 学生会員 ○松原朋裕
 岐阜大学 正会員 村上茂之
 大阪大学大学院 正会員 奈良敬

1. はじめに

わが国における厳しい財政状況を考慮すると、新たに橋梁を架設する際、長期に渡って供用可能となる耐久性の高い材料、架設技術が求められる。そこで現在開発が行われている鋼材、超鉄鋼に着目する。ここで扱う超鉄鋼は、800MPa 鋼¹⁾として開発されている鋼材であり、軟鋼の金属組織を超微細粒化することで引張強度を2倍に向上した材料である。

超鉄鋼の実用化後、既設、新設を問わず鋼構造物への適用方法が課題となる。本研究では超鉄鋼の一適用方法としてサンドイッチ鋼板を提案する。ここでのサンドイッチ鋼板とは軟鋼を超鉄鋼で挟むことで高強度化を図った鋼板である。地震発生時に多大な板曲げひずみが発生する橋脚基部に提案するサンドイッチ鋼板を適用する場合を例とすると、大きな板曲げひずみの多くを超鉄鋼で受け持たせ、軟鋼には塑性化によるエネルギー吸収が期待できる。鋼製橋脚が超鉄鋼のみで製作されている場合には、塑性化によるエネルギー吸収効果は期待できない。しかし、サンドイッチ鋼板の繰返し载荷時における弾塑性挙動は未解明であるため、弾塑性有限要素解析を行い、サンドイッチ鋼板の弾塑性挙動に検討した。

2. 研究方法

サンドイッチ鋼板の繰返し载荷時における挙動を解明するにあたり、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・等質材料とする。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ものとし、構成則は小西ら²⁾によって開発が行われた構成則を採用した。また、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慮しない。初期不整については初期たわみを考慮し、残留応力は考慮しない。初期たわみ波形を以下の(1)式で与えており、初期たわみの最大波形は道路橋示方書に順ずる値とした。

$$w = \frac{b}{150} \sin\left(\frac{\pi X}{a}\right) \cos\left(\frac{\pi Y}{b}\right) \quad (1)$$

ただし、式(1)中の変数は図-1に従い、解析モデルのアスペクト比は1とする。

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であると仮定する。また、超鉄鋼の塑性履歴特性は、明確にされていないため、塑性域での挙動は軟鋼と同様であると仮定す

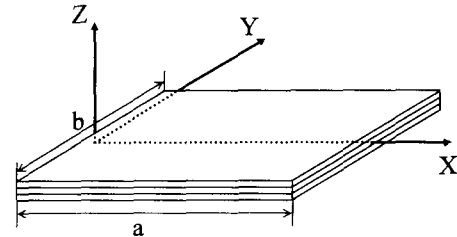


図-1 解析モデル

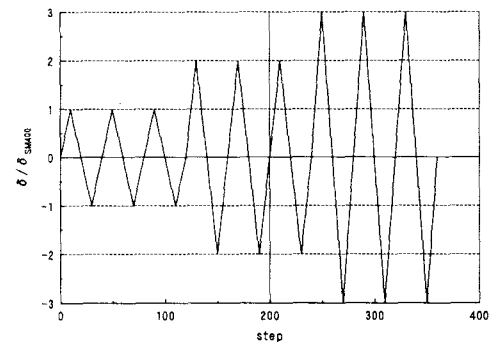


図-2 载荷条件

表-1 材料定数

	ポアソン比	降伏応力(N/mm ²)	弾性係数(N/mm ²)
超鉄鋼	0.30	7.7×10^2	2.1×10^5
軟鋼	0.30	2.4×10^2	2.1×10^5

表-2 解析モデル名称

	幅厚比b/t
超鉄鋼断面積比ξ	35
0.20	R35-0.20
0.50	R35-0.50

る。幅厚比b/tについては35のみを対象として解析を行う。これは、既往の研究³⁾よりサンドイッチ鋼板の耐力が最も向上するモデルが、幅厚比b/tが35のモデルであることに起因する。以下で示す解析モデルの名称を表-2に示す。同表中の超鉄鋼断面積比ξは、サンドイッチ鋼板の断面積において超鉄鋼の占める割合を表すパラメータである。ξを(2)式で与える。

$$\xi = \frac{A_{US}}{A_{US} + A_{SM400}} \quad (2)$$

但し、(2)式中の A_{US} 、 A_{SM400} は板厚方向における超鉄鋼と軟鋼の断面積である。また、荷重条件は変位制御とし、強制変位を与えることで繰返し荷重を载荷する。

载荷条件を図-2に示す。同図中の縦軸はサンドイッチ鋼板に与えた変位を軟鋼の降伏変位で除した値であり、横軸は計算ステップを表す。

3. 解析結果

図-3にR35-0.20およびR35-0.50の荷重—変位曲線を示す。同図における縦軸は各解析モデルの軸力を軟鋼

の降伏軸力で無次元化した値であり、横軸はサンドイッチ鋼板に与えた繰返し強制変位を軟鋼の降伏変位で無次元化した値である。また、同図中の各モデルにおいて積分を行い、軟鋼のエネルギー吸収量 E_{SM400} で無次元化した値をエネルギー吸収量として図-4 に示す。図-5、図-6 には R35-0.20, R35-0.50 の荷重-板たわみ曲線を示す。同図の縦軸は図-3、図-4 と同様であるが、横軸はサンドイッチ鋼板中央点におけるたわみ w を板厚 t で無次元化した値である。また、比較のために図-3、図-5、図-6 には R35-SM400 として軟鋼の解析結果を掲載する。

図-3 において、軟鋼, R35-0.20, R35-0.50 の繰返し載荷時における荷重を比較すると、最大値を示しているモデルは R35-0.50, 続いて R35-0.20 となっており、最も低い値を示すのは軟鋼であることが確認できる。一方図-4 に着目すると、R35-0.20 のエネルギー吸収量が軟鋼のエネルギー吸収量の約 8 割を示すのに対し、R35-0.50 のエネルギー吸収量は軟鋼のエネルギー吸収量の約 5 割の値を示している。これは、超鉄鋼を用いることで耐荷力は上昇するが、超鉄鋼が高強度であるために塑性化せず、エネルギー吸収量の増加は見込めないためであると考えられる。また、エネルギー吸収量が低下する割合は、 ξ に比例する。したがって、エネルギー吸収量に関しては軟鋼と同様の傾向が現れていると言える。

図-5、図-6 における軟鋼のたわみとサンドイッチ鋼板のたわみを比較すると、サンドイッチ鋼板のたわみが大幅に低い値を示すことが確認できる。また、R35-SM400 は、 $2\delta_{SM400}$ あるいは、 $3\delta_{SM400}$ の繰返し変位を与えると、塑性化の進展に伴い、板たわみは急激に増大する。一方、R35-0.20, R35-0.50 は同じ載荷レベルにおける繰返しループでは、板たわみ量に顕著な差異は認められない。これは、サンドイッチ構造を採用することで、弾性である板の表面に配置された超鉄鋼が、板内部にある軟鋼部の塑性化による変形の増大を抑制するためである。表面に配置した超鉄鋼の量によって効果の大小は異なるが、結果として残留変形の抑制効果が期待できる。

4. まとめ

本研究で明確となった事柄を総括する。サンドイッチ鋼板は超鉄鋼の使用量が増すと、耐荷力の向上、残留変形の抑制効果が向上する傾向を示し、超鉄鋼の使用量が減少すると、エネルギー吸収量が増加する傾向を示す。エネルギー吸収量に関しては軟鋼の使用率に比例して増減する。このため、エネルギー吸収量に関しては軟鋼と同様の傾向を示すと言える。

これらの事実からサンドイッチ鋼板を用いた設計を行う際、その使用用途によって様々な性能を与えることが可能である。

<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.

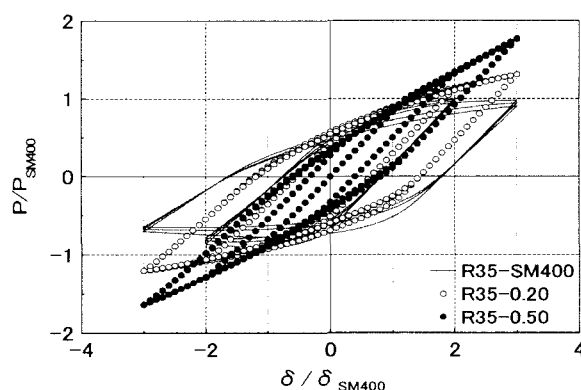


図-3 荷重-変位曲線

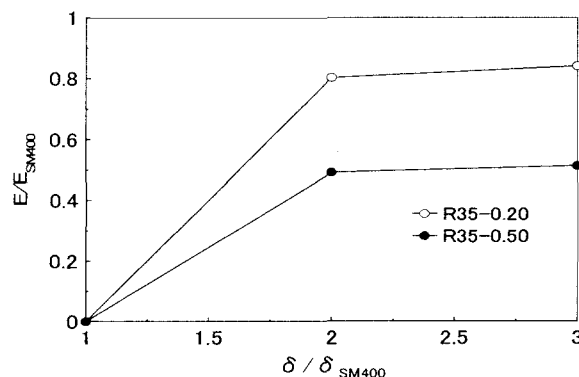


図-4 エネルギー吸収量

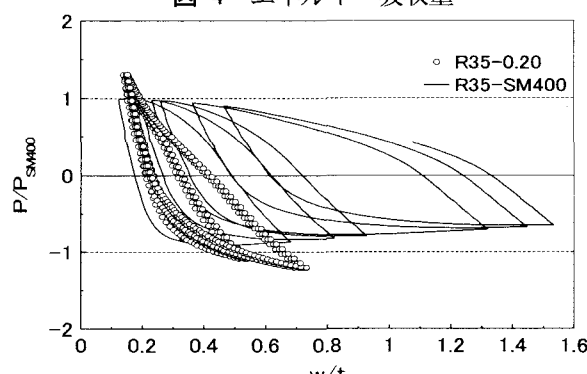


図-5 荷重-板たわみ曲線(R35-0.20)

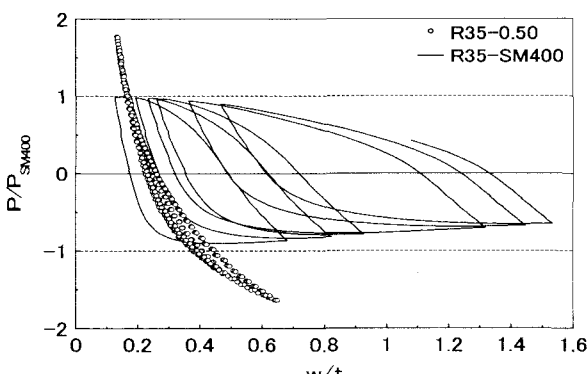


図-6 荷重-板たわみ曲線 (R35-0.50)

- 2) 奈良敬, 村上茂之, 小西隆史: 引張試験に基づく材料定数をパラメータとする鋼材の繰返し構成則, 土木学会, 第3回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, 1999.
- 3) 奈良敬, 村上茂之, 宮寄靖大, 松原朋裕: 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, 鋼構造年次論文報告集第13巻, pp.303-310, 2005.11