

極厚板における板厚方向の残留応力と耐荷力への影響

広島大学 学生会員 ○石川 晋介

広島大学大学院 正会員 藤井 堅

広島大学大学院 学生会員 中茂 泰則

1. はじめに

近年、合理化橋梁の普及にともない板厚 50mm を超えるような極厚板が使用される機会が増加しつつある。極厚板を橋梁に適用することによる主な利点は、製作コスト、維持管理費の低減である。

極厚板は、製造過程において板表面と内部で冷却速度に差が生じることによって起因して、板厚方向に残留応力分布が発生することが予想される。

本研究では板厚 98 mm, SM570 材の極厚板を用いて板厚方向の残留応力分布を実験的に明らかにした。また、実験から得られた結果を考慮して FEM 解析を行い、それらが極厚板の強度に及ぼす影響を明らかにした。

2. 残留応力測定試験

2-1. 残留応力発生機構

①圧延工程で熱せられた鋼材は、圧延初期は内外一様な温度と考えられるが、冷却過程では表面から冷却して硬化が開始する。

②鋼板は硬化収縮するので、板厚が大きい場合には、表面と内部で硬化時に温度差が生じる。したがって、先に表面が硬化した後は、内部の硬化収縮に対して表面付近の硬化した部分が拘束することになる。

③内部の収縮力は、表面に対し圧縮応力を発生させ、一方内部には引張応力が発生することになる。したがって図-1 のような流れで、冷却後には残留応力が発生すると予想される。

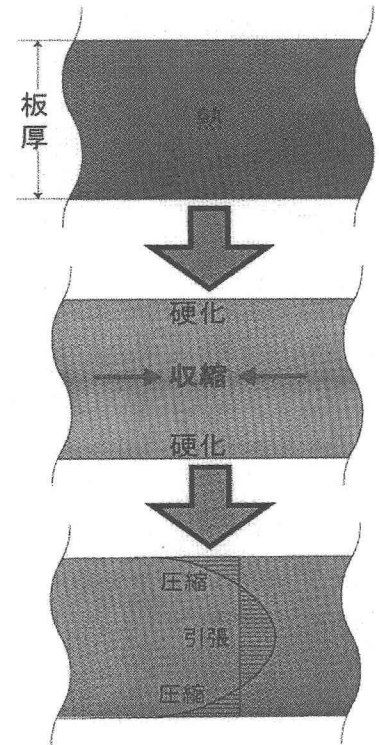


図-1 残留応力発生機構

2-2. 測定原理

本研究では、残留応力測定試験として、逐次除去法を用いて各板厚に内在する残留応力を求めた。本研究では曲率の変化を測定する代わりに、図-2 のように、除去する側と反対側のひずみを電気抵抗線ひずみ計によって測定して、これから残留応力を計算した。

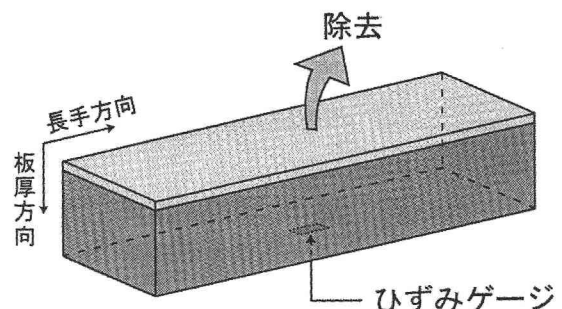


図-2 残留応力測定試験

2-3. 測定結果

逐次除去法から得られた板厚方向の残留応力分布を、図-3 に示す。分布は、板表面では圧縮、板厚中央付近では引張の放物線的な分布形状である。表面における最大の圧縮残留応力は、約 300MPa であり、中央は最大で約 80MPa の引張応力であった。

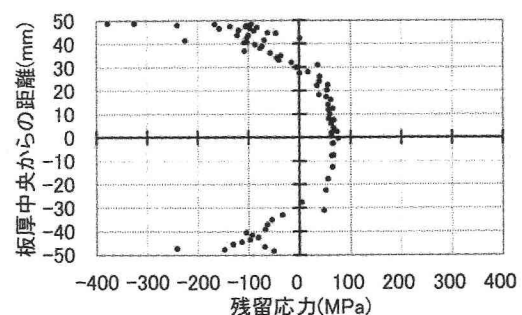


図-3 板厚方向の残留応力分布

3. 極厚板の弾塑性有限要素解析

解析モデルは図-4 のような正方形板で対称性を考慮して影付きの部分を解析に用いた。要素分割は 20×20 の 400 要素であり、境界条件は荷重により異なる。荷重は、図-4 に示す一辺に引張及び圧縮の場合では等分布強制変位を、曲げでは等分布の強制たわみ角を与えた。また、圧縮強度解析では、幅厚比 R を 0.5, 0.7, 1.3 の 3 種について解析を行った。板厚方向の残留応力の変化は、板要素を板厚方向にいくつか分割して、各層ごとにその変化を考慮した。降伏応力は、板厚の $1/4$ の位置⁽¹⁾から採取した試験片で引張試験を行った結果(483MPa)を用いた。

解析結果より、残留応力を考慮した場合(CASE2)は、残留応力を考慮しない場合(CASE1)と比較すると、図-5~7 に示すようにすべての荷重において、早い段階で降伏することがわかる。また、圧縮力の作用下では、図-7 のように幅厚比 R が大きくなるほど、耐力低下が大きくなることがわかる。表-1 に解析結果をまとめて示す。

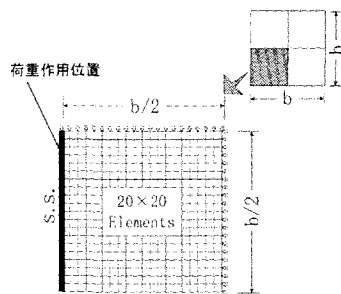


図-4 解析モデル

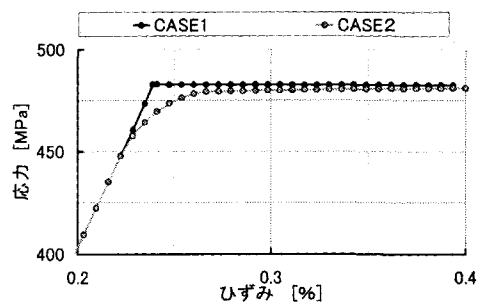


図-5 引張強度解析結果

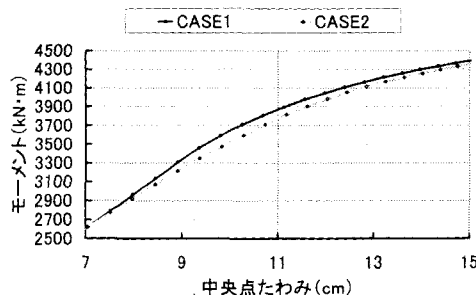


図-6 曲げ強度解析結果

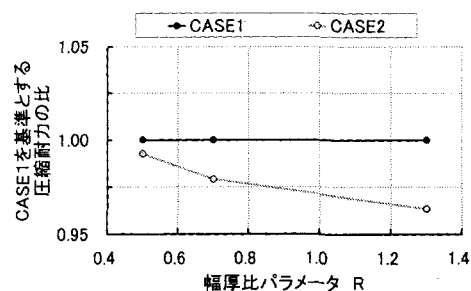


図-7 圧縮強度解析結果の幅厚比による圧縮耐力変化

表-1 解析結果

	初期降伏荷重					圧縮耐力(σ_u/σ_y)		
	引張(MPa)	曲げ(kN・m)	圧縮(σ_u/σ_y)			圧縮耐力(σ_u/σ_y)		
			R=0.5	R=0.7	R=1.3	R=0.5	R=0.7	R=1.3
CASE1	483	3135	0.921	0.847	0.557	0.997	0.956	0.619
CASE2	457.6	2271	0.724	0.666	0.479	0.988	0.938	0.596
CASE2/CASE1	0.947	0.724	0.786	0.786	0.860	0.991	0.981	0.963

4. 結論

本研究では、板厚 9.8 mm の極厚板を用いて板厚方向の残留応力分布を実験的に明らかにした。また、得られた残留応力分布を FEM 解析に反映させ、残留応力が極厚板の強度に及ぼす影響を明らかにした。

その結果、引張、曲げ、圧縮の作用下において、残留応力の影響により早い段階で降伏することがわかった。また、圧縮の際には、幅厚比が大きくなるほど、圧縮耐力は低下することがわかった。

参考文献

- 1) 日本規格協会：JIS ハンドブック 1-2 鉄鋼Ⅱ，大日本印刷株式会社，1998。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編）・同解説，丸善，1996.12。
- 3) 米谷茂：残留応力の発生と対策，養賢堂，1975。