

斜張橋鋼床版の圧縮強度

本州四国連絡橋公団 正員 大川 宗男
 正員 藤井 裕司
 正員 大橋 治一

1. はじめに

斜張橋の鋼床版は、活荷重を支持する床版としての役割に加えて、ケーブルの水平分力を圧縮力として受ける主桁の一部を構成する重要な部材である。特に、長大斜張橋では主塔よりも主桁の座屈が先行する傾向にあることから、鋼床版の圧縮強度を適切に評価することが重要である。鋼床版には、ねじり剛性が高く製作性に優れた冷間加工Uリブが多用されているが、圧縮補剛板としての設計を行うための情報が十分とはいえない。そこで、圧縮力を受ける鋼床版の設計法を確認するために、初期たわみ・残留応力の計測を行い、その結果を参考に、弾塑性有限変位解析を行いUリブ補剛板の圧縮強度を推定した。

2. 初期たわみ

鋼床版の初期たわみに関しては、一部は製作上から規定されているが、圧縮強度との関連で十分に整理されていない。そこで、鋼床版の初期たわみの実態を調査するために、デッキ厚12mm、Uリブ厚6mm(幅 $w=300$ mm)の実橋の鋼床版に対して、橋軸方向、橋軸直角方向に計5,183点のたわみを測定した。この場合、全体としての大波と局部変形による小波の性状が、横リブ位置やUリブ位置との関連において分析可能なように、橋軸方向には175mm間隔、橋軸直角方向には150mm間隔で計測した。この結果の総括を図-1に示す。また、圧縮強度に影響の大きいと考えられる橋軸方向の大波のたわみモードを整理した結果を表-1に示す。この結果によると、橋軸方向のたわみの平均値は $1/3,600$ であるが、最大値は製作上の規定値($1/1,000$)とほぼ同等の値である。橋軸方向の大波のモードについては、横リブ位置を境に左右のスペンが下側にたわんだ形状が多いが、左右のスペンが上下に反転したたわみ形状もみられる。橋軸方向の小波は、最大値で $w/389(0.9\text{mm}/350\text{mm})$ 、平均値で $w/1,300$ であり橋軸直角方向の基準値($w/150$)に比べて小さな値である。橋軸直角方向の初期たわみについても、基準値($w/150$)に比べて最大値で $w/190$ 、平均値で $w/1,100$ と小さな値であった。

3. 解析

連続補剛鋼床版の圧縮強度を解析により求めるために、1本のUリブとパネルから成るUリブ補剛板について、横リブ位置で支持された左右の2パネルを対称条件を用いて1/4モデルの弾塑性有限変位解析を行った。横リブ位置でUリブの断面形状は保持した。基本ケースの初期たわみは、橋軸方向の大波は $1/1,000$ (1 :横リブ支間 $=2,440\text{mm}$)、橋軸直角方向の板パネルの小波は $w/150$ 、Uリブのウェブ・フランジは $w/300$ ($w=320\text{mm}$)とした。橋軸方向と橋軸直角方向の初期たわみを重ね合わせた場合、これらの合計の最大値が $1/1,000$ となるようにした。残留応力は、実測結果を図-2のようにモデル化した。このモデルでは横リブを境に左半分では板パネル側が圧縮、右半分では逆に引張となっている。図-3に基本ケースの荷重変位曲線を示す。荷重の増加に伴い、着目点の変位は初期たわみモードに相似して増加し、特にUリブ下フランジの圧縮側の変位の増分が著しい。この下フランジの右端から半波長離れた点では、変位は荷重が小さな範囲ではプラスの方向に動くが、更に荷重が増加すると大波のモードに支配されマイナスの方向に動く。この解析から得られた圧縮強度は $0.83\sigma_y$ であり、柱モデル・アブローチの計算値とほぼ同じ値である。表-2は初期たわみが圧縮強度に及ぼす影響をパラメトリックに調べた結果である。各橋軸方向の小波については、実測値の最大の 0.9mm を入れた。この結果によると、橋軸方向・直角方向の小波がない場合には圧縮強度は高く、終局時には全断面降伏状態となる。逆に小波として通常の製作上で回避の振幅・波長が圧縮強度に及ぼす影響は小さい。また、軸方向に2次モードの初期不整を入れた場合は、1次モードに比べて圧縮強度の上昇がみられる。

4. まとめ

以上の検討から、実鋼床版における初期たわみのモード及び大きさが把握された。この結果をもとに弾塑性有限変位解析を行った結果、圧縮強度に及ぼす初期たわみの影響がわかった。

また、基本ケースの圧縮強度は、柱モデル・アプローチの計算結果とほぼ同じ値であり、柱モデル・アプローチが設計法として適用できると考えられる。また、初期たわみと圧縮強度が関連づけられたことにより、製作上の初期たわみの管理の必要性が明らかになった。Uリブ補剛板の圧縮強度に関しては、実物大の実験を実施しており、解析によっても十分な精度を推定できることを確認している。これらについては、別途報告することとしたい。

表-1 橋軸方向初期たわみの波形とたわみ量

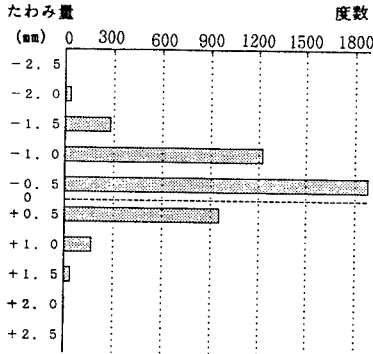


図-1 橋軸方向初期たわみ測定結果

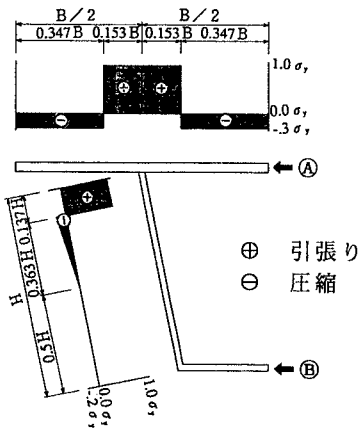


図-2 残留応力分布

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9
波形									
発生率 (%)	40.4	1.5	7.1	4.4	18.7	2.5	16.7	7.7	2.0
最大	1/1000	1/1700	1/1500	1/1750	1/1600	1/1600	1/1700	1/1800	1/2250
平均	1/1900	1/2000	1/2400	1/3300	1/2500	1/2850	1/2700	1/2950	1/2600

板パネル中央点①

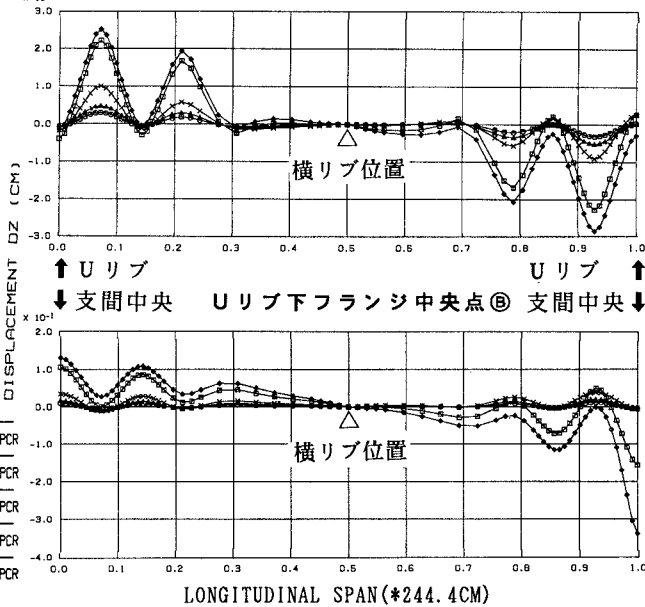


図-3 荷重変位曲線

表-2 Uリブ補剛板の解析結果

	直角方向 (リブ間)	軸 方 向		σ_u (σ_y)
		大 波	小波(波長)	
基本ケース	1/150	1/1000	2.1mm 350mm	0.83
小波の影響	1/355	1/1000	0.9mm 350mm	0.83
	1/355	1/1000	0.9mm 175mm	0.82
	1/355	1/1000	—	0.94
大波の影響	1/355	1/1500	0.9mm 350mm	0.84
	1/355	1/200	0.9mm 350mm	0.75
2次モード	1/355	1/1000	0.9mm 350mm	0.85
柱モデル・アプローチ				0.85