

I-A 311

主塔の溶接設計に関する一考察

正員 本四公団 大橋治一, 樋口康三

1. はじめに 吊橋・斜張橋の塔は軸圧縮力と曲げを受ける柱部材であり、塔柱断面は厚板を用いた溶接集成構造となっている。この製作の省力化を図るためには、補剛板の設計法および溶接設計の合理化が重要であると考えられる。特に、溶接サイズは慣用的なルールに基づいて決定されていることが多く、その工学的な意味は明らかにされていない。本文では、溶接サイズによる厚板補剛板の力学特性および施工性に及ぼす影響に着目して検討した結果を報告する。

2. 溶接設計の現状と課題 長大橋の塔には板厚50mmクラスの厚板が用いられ、かど溶接、縦リブ溶接、縦方向板継ぎ溶接、ダイヤフラムの溶接によって断面保持されている。溶接サイズの設定においては、特別に溶接設計が行われる箇所を除き、道路橋示方書の規定「薄い方の板厚以下かつ厚い方の板の $\sqrt{2}t$ 以下」が用いられている。また部材端部は、接合時に不測の外力が作用する場合を想定して、母材厚相当の溶接が行われていることが多い。更に、縦方向板継ぎ溶接は板の一体化の意味からフルペネ溶接としている。これらは板厚が厚くなれば溶接量が増える結果となっており、構造設計と関連づけた報告はほとんどなく、溶接部に要求される性能との関連づけは明確ではない。一方、製作コストに占める溶接工数の割合は2～3割程度と高く、また溶接量の増加は残留応力や初期たわみの増加につながり座屈耐荷力にとっても有利とはいえないことが考えられる。そこで、合理的な溶接設計法を確立するために、溶接に要求される性能を明らかにし、次に溶接量の低減が補剛板の耐荷力・変形性能に及ぼす影響や溶接割れに対する施工上の問題を検討した。

3. 溶接量と補剛板の座屈係数 溶接量を現状より減少させたとき、溶接部の局所的剛性低下により座屈係数が低下することが予想される。そこで、図-1に示す溶接部を詳細にモデル化した補剛板の二次元弾性FEM解析を行い、溶接サイズと回転バネ定数との関係を求めた。次に、溶接部を回転バネ支持した図-2に示すモデルに対して弾性座屈固有値解析を行った。図-3～4は、解析結果を回転バネ定数と座屈係数 k

$[= 12\sigma_{cr}(1-\nu^2)/E\pi^2(t/b)^2]$ との関係で整理したもので、図-5は代表的な座屈モードを示す。結果を総括すると以下のとおりである。

- ①溶接による回転バネ定数が大きい（溶接サイズが大きい）ほど、座屈係数は高い。
- ②縦リブ部：溶接サイズを極度に低減させた2mm程度のすみ肉溶接の場合にも、剛結とほぼ同等の座屈係数が得られた。座屈係数は1.0より高い値であり、設計で仮定している単純支持条件での理論値0.43を大きく上回る。また、溶接部で単純支持された補剛板の座屈モードが全体的に面外に膨らむ1次モードであるのに対して、回転バネ定数を大きくすると3次の座屈モードに変化することがわかる。
- ③縦方向板継ぎ部：4mmグループ溶接で剛結（一体）の場合とほぼ同等の座屈係数4.0が得られた。また溶接位置によって座屈係数は変わる。座屈モードは回転バネ定数が高い場合は平板のそれと同じであるが、回転バネ定数を十分低減した場合には溶接線上で不連続となるモードが発生する。
- ④かど溶接：溶接サイズを低減した場合として、内側7mmすみ肉、外側5mmグループ溶接の場合でも剛結と同程度の座屈係数が得られた。この座屈係数は6.0を上回り、設計で仮定している4.0を満足している。

4. 溶接量と拘束割れ 道路橋示方書の解説によると、「溶接量が少ないと施工時に溶接割れが生じる恐れがあるため、最小サイズを規定している」とされている。しかし、近年の鋼材や溶接棒の品質向上および溶接施工技術の進歩を考慮すれば、塔のように疲労上の問題のない構造の溶接部に対しては、溶接サイズについて見直しの余地があると考えられる。そこで、小サイズすみ肉溶接によって溶接割れが生じるかどうかを調べるために溶接施工試験を行った。施工試験では塔に使用されることの多い厚板のSM570材を用いて、斜めY型溶接割れ試験（JIS Z 3158）を行った。最小溶接サイズは規定によると13mm程度となるが、試験では溶接サイズとして6mmを目標として施工した。表-1に実験ケースおよび溶接条件を示す。溶接後には浸透探傷試験およびマクロ試験により、表面割れおよび断面割れの状況を調べた。

- ①余熱を行わなかった場合には、ルート割れおよび表面割れが生じた。
- ②製作基準に示された最大入熱量および余熱条件を遵守したケースでは、溶接割れは発生しなかった。

5. まとめ 以上の検討結果をまとめると以下のとおりである。

- ①溶接サイズを極端に小さくした場合にも座屈係数の低下の割合は少ない。かど溶接や縦リブのすみ肉溶接のように設計上は溶接部を単純支持として扱っている場合、わずかの溶接を行うことによって得られる回転ばねの拘束効果を考慮することにより、座屈係数の向上がみられる。
- ②板継ぎ溶接部は小サイズの溶接で、剛結とした場合とほぼ同等の座屈係数が得られた。
- ③製作基準による最大入熱量および余熱条件を遵守すれば、6mmサイズの溶接でも割れは生じなかった。

6. 今後の課題 本検討を踏まえて、今後、溶接サイズを低減したときの耐荷力の把握、地震時の繰返し載荷における溶接部の変形性能の確認、鋼材・溶接材料等が溶接割れに及ぼす影響、溶接サイズと残留応力の関係を検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書（鋼橋編）、1994.2.
- 2) 上田、矢尾、内海：構造要素の塑性崩壊時に於ける溶接継手部の強度解析、日本鋼構造協会第1回第回研究集会、マトリックス解析法研究発表論文集、1977年6月
- 3) 本州四国連絡橋公団：鋼橋等製作基準、1989.4.

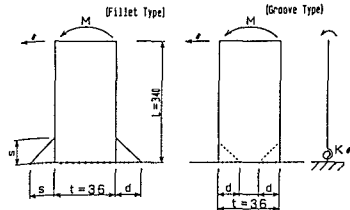


図-1 溶接サイズと回転バネ定数（縦リブ）

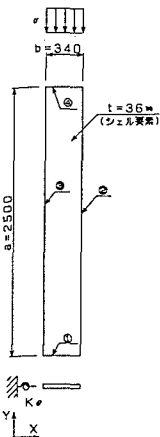
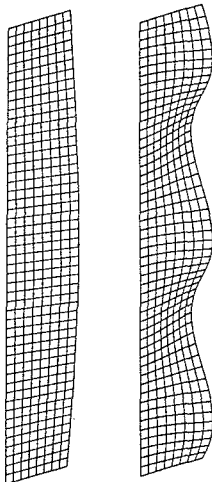


図-2 座屈解析モデル（縦リブ）



（溶接部回転自由）（溶接部剛結）

図-5 縦リブ部の座屈モード

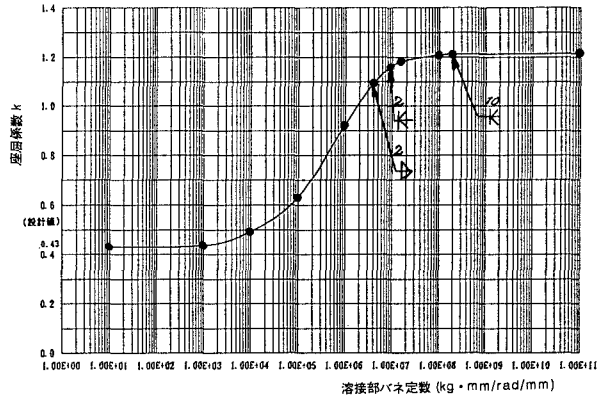


図-3 縦リブ補剛板の座屈係数に及ぼす溶接部回転バネ定数

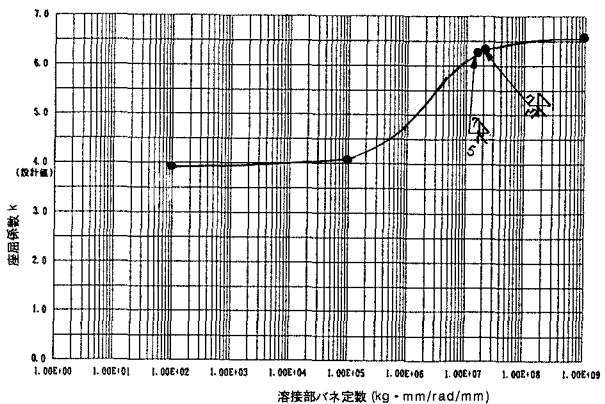


図-4 かど溶接部の板パネル座屈係数と溶接部回転バネ定数

表-1 実験ケースおよび溶接条件

試験ケース	溶接方法	電流(A)	電圧(V)	溶接速度	余熱条件
SM570Q t=80mm	CO2半自動溶接	260	28	25cm/s	なし
	手溶接	180	28	12cm/s	なし
SM570Q t=80mm	CO2半自動溶接	260	30	22cm/s	100℃
	手溶接	180	30	14cm/s	100℃
SM570Q-EX t=60mm（低余熱）	CO2半自動溶接	240	28	24cm/s	50℃
	手溶接	180	32	14cm/s	50℃