連載講義

溶接技術への手引き*

成田 罔 郎**

Guidance to Welding Technology*

by Kunio Narita**

6. 溶接継手設計の ABC

溶接継手設計をよく理解するのはたいへんなことである。ここでは、溶接施工の立場の人が溶接継手設計の ABC を知ることによって溶接技術の幅を広げ、施工計画の向上・充実に役立て、かつ、設計者や発注者との交渉がより円滑・有効に行われることを期待して、ごく概略を説明する。

6.1 溶接部に働く荷重と応力の基本

荷重には引張圧縮、曲げその他の荷重があり、応力にもこれに応じて引張圧縮（引張がプラス、圧縮がマイナス）、曲げ、せん断などの種類がある（図 3.1～3.3 参照）。図 6.2 に示すように、曲げ応力は断面で連続的に変化する引張圧縮応力で、純曲げでは引張応力と圧縮応力によるモーメントは互いに釣り合っている。荷重が引張圧縮でも構造によってはせん断応力が発生する。

図 6.1 引張圧縮荷重と応力

図 6.2 曲げモーメントと曲げ応力

(1) 引張圧縮応力 図 6.1 に示す例では、引張荷重 P (kgf) と荷重に直角な断面積 $A(\text{mm}^2) = W(\text{mm}) \times t(\text{mm})$ から、引張応力 $S(\text{kgf}/\text{mm}^2)$

$$S = P/A$$

で計算される。溶接継手では、継手が荷重方向に直角の場合には、溶接の有効長さ（図 6.1 では母材の幅）に溶接ののど厚を乗じたものが A になるが、図 6.4 のように荷重方向に傾いている突合せ継手では、溶接長さの荷重直角方向への投影である母材の幅を溶接の有効長さに代えて用いる。

(2) 曲げ応力 図 6.2 のような曲げモーメント $M(\text{kgf} \cdot \text{mm})$ を受けるときは、材料の形状によってきまる断面係数 $Z(\text{mm}^3)$ を用いて、次のように曲げ応力 $S_b(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ を算出する。

$$S_b = M/Z$$

曲げ応力は外側で最大となり、中間に応力 0 の所がある。図のように対称の断面では引張と圧縮の

図 6.3 せん断応力

$$A = t \cdot W \text{ 突合せ溶接}$$

$$A = a \cdot l \text{ すみ肉溶接}$$

図 6.4 荷重に斜め方向の継手

* 原稿受付 昭和60年 7月 5日

* 正 員 日本鋼管(株)技術開発本部企画部
Member, Nippon Kokan K.K.

応力値は等しいが、非対称の断面では等しくならない。また、曲げモーメントのほかに引張や圧縮荷重が加わると、対称の断面でも引張と圧縮応力の最大値は等しくならない。曲げ応力は引張又は圧縮応力の最大値 S_0 で示される。

6.2 溶接継手と許容応力

6.2.1 母材の強度と許容応力

常温で使用される構造物を設計するとき、強度計算で用いる許容応力 S_a 又は設計応力 S_0 は、材料の引張強さ S_u 又は降伏点 (若しくは耐力) S_y に対して、次式のように安全率を定めて許容応力を求める方式と、母材に対して直接許容応力を定める方式とがある。

$$S_a = S_u/F \quad \text{又は} \quad S_a = S_y/F'$$

許容応力は一般に主たる荷重に対して定められ、二次応力や一時的な荷重に対しては許容応力の割増しが認められる。高温用の設備の許容応力は高温強度又はクリープ特性に基づいて定められる。

6.2.2 溶接部の強度と継手効率

溶接構造物では、溶接継手に対して 6.2.1 の考え方が適用される。完全溶込み突合せ継手では、のど厚が母材の厚さに等しいので、溶接部の強度が母材と同等と認められるときは、その設計応力は前記の S_a と同じになる。このとき、溶接継手の継手効率 (η , イータ) は 1 となる。

溶接部の強度が低かったり、施工の信頼度の面から溶接部の強度を設計上、母材より低いとみなすときには、溶接部の許容応力は $\eta \times S_a$ となり、 S_a より小さくなる。このため、構造物の厚さは η が 1 のときより大きく ($1/\eta$ 倍) なる。

溶接施工の面からは、完全溶込み突合せ継手では、設計上 η が 1 未満のときも、溶接金属の引張強さが母材より低いような特殊な場合を除いて、母材と同等の強度の継手を作るべきである。

すみ肉継手では、荷重は一般にせん断応力を生ずると考えられ、そのため、許容応力を S_a の 60~70% とすることがある。一方、薄肉の管や薄板の重ね継手では、図 6.5 のような全厚のすみ肉溶

接で母材と同等と考える例もある。

6.3 溶接の有効断面積

設計 (強度) 計算に用いる溶接の有効断面積は、一般にのど厚 a に溶接の有効長さ l を乗じた $a \times l$ を用いる。

6.3.1 の ど 厚

JIS Z 3001 では、すみ肉継手についてサイズ及びこれから求められる理論のど厚が規定され、理論のど厚を設計計算上用いるのど厚としている。突合せ継手や特殊な形状の継手、溶込みの深いすみ肉溶接に対しては、理論のど厚やこれに類する寸法は規定されていない。次に述べるのは、法規や一般的慣習に基づくのど厚又はこれに相当する溶接の寸法の原則のあらましである。

(1) 突合せ継手

(i) 完全溶込み突合せ継手 重要な溶接部として用いられる完全溶込み突合せ継手では、接合される部材の厚さを溶接部の設計上の寸法とする。部材の厚さが異なるときは、図 5.5 に示したように薄い方の部材の厚さとする。

(ii) 部分溶込み突合せ継手 継手のルートの溶込みが確実に得られるような開先形状と溶接施工方法の組合せによる部分溶込み突合せ継手では、一般に開先深さ (表裏から溶接するときは二つの開先深さの和) を設計上の寸法とする。開先角度が溶接施工方法に対して狭すぎるときには、開先深さから規定の値を差し引いたものを設計上の寸法とすることもある。

(2) すみ肉継手 通常のすみ肉継手では、等サイズ、不等サイズ及びとつ、へこみすみ肉に対してサイズ及びこれに基づく理論のど厚の決定方法が規定されている。T 継手などで部材の交角が直角でない場合の考え方は示されていないが、サイズで定まる三角形を用い、その角から対辺への最短距離の最小値をとるべきであろう。

溶込みの深いすみ肉溶接では、これを考慮に入れる考え方 (有効のど厚) があるが、我が国では施工方法と併せて特例的に考えられている。

すみ肉と開先溶接の複合継手でも AWS D1.1 などでは有効のど厚が示されているが、我が国ではやはり特例として取り扱われる。

6.3.2 有 効 長 さ

設計計算に使用する溶接の長さは有効長さである。JIS では、溶接の有効長さとは、" 計画寸法どおりの断面が存在する溶接部の全長 " であると

(a) スリップ継手

(b) 球形継手

図 6.5 配管の円周すみ肉継手の例

図 6.6 交角が直角でないすみ肉継手

図 6.7 ビードの始端と終端

図 6.8 接合部や開口のかど

している。これは、一つのビードで見れば図 6.7 のように溶込みの不十分な部分を除かなければならず、断続溶接では両端の不完全な溶接部を除外しなければならない。

突合せ溶接では、溶接の全長が材料の幅より短くては困るので、エンドタブを用いるなどして全長にわたり所定の断面が有害な欠陥なしに得られるようにする。すみ肉溶接では回し溶接が行われる。回し溶接は、一般に溶接の有効長さに入れないので、サイズやのど厚にこだわらず、滑らかに連続させるのがよい。

6.4 溶接設計上の注意事項

溶接設計という言葉の意味は広く、かつ、あいまいである。ここでは、いわゆる溶接継手設計ないしは溶接継手詳細と、継手の配置に重点を置いて説明するが、6.3 までに述べた内容と併せて理解・活用されることが望まれる。

6.4.1 応力集中の防止

疲れ、ぜい性破壊などが設計上重視される構造物はもちろん、通常の構造物でも応力集中はできるだけ避けるべきである。溶接しない部分も厚さや形状の急変を避け、穴は円形・長円形にするか角に十分な曲率半径をとり、部材の角やへりに鋭角やノッチを残さないのは常識である。もちろん

図 6.9 すみ肉継手の応力集中

図 6.10 アニュラ板のT継手

図 6.11 厚さの異なる材料の突合せ継手

図 6.12 幅の異なる材料の突合せ継手

その程度は設計条件によって変わる。

溶接継手では、突合せ継手の余盛と表面形状特に止端部の形状は応力集中の面から注意を要する。片面からの完全溶込み突合せ溶接の裏ビード形状も使用条件によっては規制される。このため、ルートパスをティグ溶接することもある。

すみ肉継手では、突合せ溶接と違って応力集中をなくすことはできない。設計上の要求から、応力集中を緩和するためにへこみすみ肉とし、また、貯槽の側板とアニュラ板の内側のすみ肉を図 6.10 のように不等サイズにする例もある。

設計上の応力集中と溶接形状による応力集中が重畳するのは好ましくないので、溶接継手は、できれば設計上の応力集中部から離すべきである。

厚さ又は幅の異なる材料を突合せ溶接するときには、図 6.11 及び 6.12 に示すように、接合部の加工と溶接施工で著しい応力集中を避ける。曲げのほかに引張の繰返し荷重を受ける T 継手や十字継手では、図 5.7 の(1)に代えて(4)の継手形状を用

いることがある。曲げのみの繰返し荷重のときは、同図(2)又は(3)の形状がよい。

6.4.2 溶接の重複・集中の防止 溶接部は熱及び応力(ひずみ)を受けるので、溶接の重複や集中は、できれば避けるのが望ましい。組立精度が著しく悪く、部材を一部取り替えるときにあまり短い取替材を使用しないのはこのためである。図 6.13 に示すような溶接の重複は好ましくない。

図 6.13 溶接の重複の例

図 6.14 アニュラ板

図 6.15 管の円周継手での縦継手のシフト

一時的取付品や吊金具などの溶接も本体の溶接部を避ける。スカラップの採用も、交差する溶接を完全に行うとともに、溶接の重複を防いでいる。

溶接線の集中・接近は、母材の溶接性にもよるができれば避けるべきで、球形貯槽の極板はこの役に立っている。貯槽のアニュラ板は、底板周縁の溶接継手の接近と、側板・アニュラ板溶接の重複を分離する役もしている。

溶接線の交差は大型構造物では避けられない。突合せ溶接ではなるべく十字に交差するのを避け、T字になるようにするが、工場でエンドタブを付けて端部まで完全に溶接したものを組み立てることが望ましく、このときには十字部が許容されることが多い。溶接管を円周溶接するときは、相隣る管の縦継手が一直線上にならないようにする。

気密・液密構造のすみ肉溶接ではスカラップを設けるわけにはいかない。突合せ溶接を完成し、検査、仕上げてからすみ肉溶接を慎重に行う。

6.4.3 継手の位置・姿勢・作業のしやすさ

溶接継手の位置は、前述のほか、施工の難易を考慮に入れて選ぶべきである。施工のための作業や機器の接近、作業空間、作業の安全などは施工計画の重要な課題であるが、設計が悪いと施工でカバーしきれない。手溶接及び半自動溶接では作業者がアークをよく見て、溶接棒やトーチを自由に操れないと良い溶接は期待できない。

溶接姿勢も同様で、できるだけ多くの溶接が下向のような溶接しやすい姿勢で行われるようにすべきである。部材やブロックの反転、ポジションや回転ロールの使用などを利用することも重要である。溶接作業者の技量資格があっても、作業しにくい溶接姿勢で作業するのは好ましくない。作業者が逆立ちしたり、無理な体勢で溶接することも避けるべきである。

作業しにくい姿勢や周囲条件は、いろいろな事情によって全くなくすることはできない。しかし、設計と施工の協力によってこれらを最小限にすることが溶接作業者の無用の緊張と体力消耗を防ぎ、溶接品質の確保向上につながる。

6.4.4 工場溶接と現場溶接

現場は工場に比べて施工環境が劣り、その対策も工場ほどきめ細かにできないので、溶接はできるだけ工場溶接とするのが一般原則である。また、工場溶接と現場溶接では溶接方法、特に自動溶接の適用範囲が異なるので、自動化・能率化の面からも工場溶接が望ましい。

このため、設計の段階でブロック割り、運搬・建設方法などを十分検討し、工場溶接の割合、自動溶接の割合を高めるのがよい。

6.4.5 溶接品質の指示

設計では仕様書、溶接記号を含む図面などによって溶接の大綱が指示され、工場図面(継手詳細を含む)及び溶接施工要領書に従って施工が行われる。設計であまり溶接の詳細を規定することは、溶接施工を合理的に行う面から好ましいとは言えないが、逆にあいまいでは困る。

重要な継手と二次的な継手、荷重及び応力の種類と程度、これに基づく継手の種類や溶接方法の制限、溶接部の表面形状、必要な諸試験及び非破壊検査、溶接後熱処理の要否などがはっきりしないと適正な溶接施工計画は立てられない。これらがはっきりしないとき、又は指示に疑問があるときは、設計と協議して解決すべきである。