

## 2. 溶接接合

本章では、橋梁構造物の溶接継手の終局強度ならびに性能照査型設計に向けての課題について文献調査、国内外の各種基準との比較、研究成果を紹介する。なお、溶接継手の疲労強度に関する問題は、本章で取り扱わないこととする。

### 2.1 溶接継手の終局強度

一般に溶接部の応力分布は非常に複雑であるので、溶接継手部の応力を正確に計算することは困難である。そこで、実用的にはルート部や止端部の応力集中は考慮せず、応力はどの断面に一樣に働くものと仮定して計算する。実際の破壊がどの位置で生じようとも、継手の強度計算はどの断面に働く平均応力について行う。

主要部材の連結は、従来、荷重増のときの補強や部材の転用などを考えて、連結部が部材に比べて弱点とならないよう、全強と計算応力の平均値以上で設計していたが、現在は、荷重増はあるとしても、単に連結部に余力をもたせるだけでは問題の解決にならないこと、また、部材の転用などはあまり考える必要がないこと、細長比の制限で部材が決まる場合のように計算応力が小さいときには不経済になることなどの点を考慮し、計算応力に対して設計することを原則としている。

なお、道路橋示方書・同解説（平成 8 年版）<sup>1)</sup>（以下、道路橋示方書という）では、応力を伝える溶接継手には、全断面溶込みグループ溶接、部分溶込みグループ溶接、または、連続すみ肉溶接を用い、溶接線に直角な方向に引張応力を受ける継手には、全断面溶込みグループ溶接を用いることを原則とし、部分溶込みグループ溶接は用いてはならないと定めている。

#### 2.1.1 溶接継手の終局状態

溶接継手の設計では、静的荷重に対しては、溶接部の強度を十分確保して力を伝え、溶接部から破壊が生じないようにすることが基本原則となっている。現行の許容応力度設計法もその点では終局強度を基準に設計基準が定められている。また、通常溶接金属の強度や伸びを母材のそれより大きくするような、いわゆるオーバーマッチングの溶接継手とすることで、溶接部から破壊しない構造としている。したがって、溶接される鋼種に適合する溶接材料を使用し、かつ、溶接技量資格者により十分な施工管理、品質管理が行われる場合、接合される母材の設計強度を継手設計に用いることができる。

溶接継手に繰り返し荷重が作用する場合には、溶接部に疲労き裂が発生し、それが進展して破損、破壊に至るいわゆる疲労が問題になる。応力集中部をもつ溶接継手が静的荷重下で終局強度に至るまでは、応力再配分を生じるに十分な塑性変形を生じる。そのため、応力集中は終局強度にそれほど影響を与えない。しかしながら、高サイクル疲労を生じる荷重によって発生する応力は一般に小さく、このような応力再配分を生じないため、応力集中の影響を強く受ける。そのため繰り返し荷重作用を受ける溶接継手に関しては、別に疲労限界状態を考える必要がある<sup>2)</sup>。

#### 2.1.2 他の継手との併用

現行の道路橋示方書では、溶接と高力ボルトの併用は、次の場合に許されており、力の分担の状態に十分な検討を加えれば、応力の分担を考慮できる。

① グループ溶接を用いた突合せ溶接と高力ボルト摩擦接合の併用

② 応力に平行なすみ肉溶接と高力ボルト摩擦接合の併用

このうち、①は全断面溶込みグループ溶接を用いた突合せ溶接の挙動が母材のそれと同等であるので、部分溶込みグループ溶接の場合に適用される。静的な荷重作用のもとでの終局限界状態においては、高力ボルト継手のすべり量と溶接の伸び変形量との関係で、力の分担が変わってくることも考えられるが、変形量が小さいうちは、両者が力を分担すると考えて差し支えないであろう。

上記②については、高力ボルト摩擦接合が終局限界状態ですべると考えると、すべり量とすみ肉溶接のずれ量との関係で、やはり力の分担が変わることが考えられる。また、応力方向に長いすみ肉溶接では応力分布が不均一になり、端部でひずみ量が大きくなる。このような状態での終局限界状態での力の分担を含めて検討が必要である。

現行の道路橋示方書では、応力方向に直角な方向のすみ肉溶接と高力ボルトの併用および溶接と高力ボルト支圧接合の併用は、力の伝達機構と変形挙動が明瞭でないため許容されていない。Eurocode 3<sup>3)</sup>では、他の継手との併用に関しては、片方の継手の強度で設計を行うことを原則としている。ただし、終局限界状態ですべるとして設計された高力ボルト摩擦接合の場合だけ、図 2.1 に示すような継手に対して溶接との力の分担を認めている。この場合、高力ボルトは溶接後に所定の軸力で締め付けられる。図 2.1 に示す継手形状のうち、(a)の継手形状は、道路橋示方書では認められていない。これは、連結板の全面すみ肉溶接端に応力集中が生じて疲労強度を低下させるからである<sup>2)</sup>。

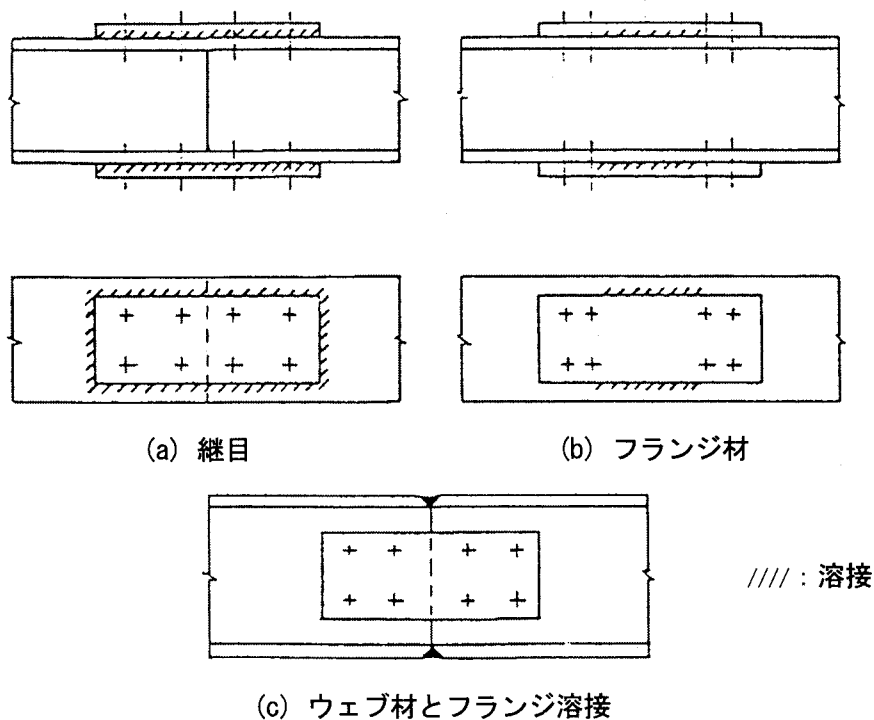


図 2.1 溶接継手とボルト継手の併用 (Eurocode 3)

## 2.2 性能照査型設計に向けての課題

### 2.2.1 すみ肉溶接の脚長およびサイズ

#### (1) 基準の見直しの必要性

鋼橋においては、従来 50 mm以下の板厚が使用されていたが、工数の縮減を目的とした少数主桁や板継ぎが省略された厚板が使用されるようになったため、平成 8 年の道路橋示方書の改訂では板厚の使用範囲が最大 100 mmまで広がった。これに伴い、主要部材の応力を伝えるすみ肉溶接のサイズ (S) を板厚の厚い範囲において小さくすることができれば、施工上のメリットが期待できるとの考えから、規定の見直しの必要性が指摘されている。

これまでの道路橋示方書では、主要部材の応力を伝えるすみ肉溶接サイズを決める規定は、リベット接合が主体であった昭和 32 年当時の道路橋示方書から見直しが図られていない。また、当時に比べて鋼材や溶接材料の品質が向上していることなどを考慮する必要性があると思われる。

鋼橋技術研究会の施工部会「すみ肉溶接WG」では、平成 10 年 12 月にこの問題に取り組み、「すみ肉溶接脚長に関する研究」<sup>4)</sup>を報告書にまとめている。その概要を以下に紹介する。

#### (2) 文献調査

道路橋示方書に定める主要部材の応力を伝えるすみ肉溶接の設計基準は、式(2.1)を満足することを標準としている。

$$t_1 \geq S \geq \sqrt{2t_2} \quad (2.1)$$

S : すみ肉サイズ,  $t_1$  : 薄い方の板厚,  $t_2$  : 厚い方の板厚

各種設計基準（鉄道構造物設計基準、鋼構造設計基準、AWS）においても、細部の違いは見られるもののほぼ同様の基準となっている（表 2.1）。しかし、上記のすみ肉溶接サイズ (S) の規定は、過

表 2.1 各種設計基準の比較

鉄道構造物設計基準・同解説 (鉄道総合研究所 1992 年) <sup>5)</sup>	鋼構造設計基準 (日本建築学会 1973 年) <sup>6)</sup>	AWS <sup>7)</sup> (Structural Welding Code 1992)	
①等脚すみ肉溶接とするのを原則とする。 ②主要部材の応力を伝える場合 $S \geq 6 \text{ mm}$ で次式を満足する。 $t_1 \geq S \geq \sqrt{2t_2}$ ③フランジプレートと腹板を連結する溶接はすみ肉溶接とし、そののど厚の合計は腹板の厚さ以上とするのを原則とする。 ④構造上、厚い板が用いられ、腹板に作用するせん断応力度が十分小さい場合、規定の照査を得て、腹板の厚さ以下に低減できる。ただし、上記②の制限を受ける。	①すみ肉サイズ S は薄い方の母材の厚さ以下でなければならない。 ② $t_1 \leq 6 \text{ mm}$ のとき $S$ は $t_1$ の 1.5 倍または 6 mm まで増すことができる。 ③ $t_1 \geq 6 \text{ mm}$ のとき $4 \text{ mm} \geq S$ かつ $1.3\sqrt{t} \leq S$ でなければならない。 ④ $S \geq 10 \text{ mm}$ のときはこの限りでない。 ⑤ S の最大規定はない。	板厚 T (mm)	最小すみ肉サイズ (mm)
		$T \leq 6.4$	3
		$6.4 < T \leq 12.7$	5
		$12.7 < T \leq 19.0$	6
		$19.0 < T$	8

去にさかのぼった文献調査では、その根拠が明確にされていなかった。しかしながら、基本的に溶接部の急冷割れを念頭において決定されたものであることが記述内容から窺える。また、鋼構造接合資料集成(3) (日本鋼構造協会, 鋼材倶楽部編) 8)によると、各種基準に対する $\sqrt{(2t)}$ の位置づけが読み取れ、総じて道路橋示方書は図 2.2 に示すとおり平均的なものとなっている。

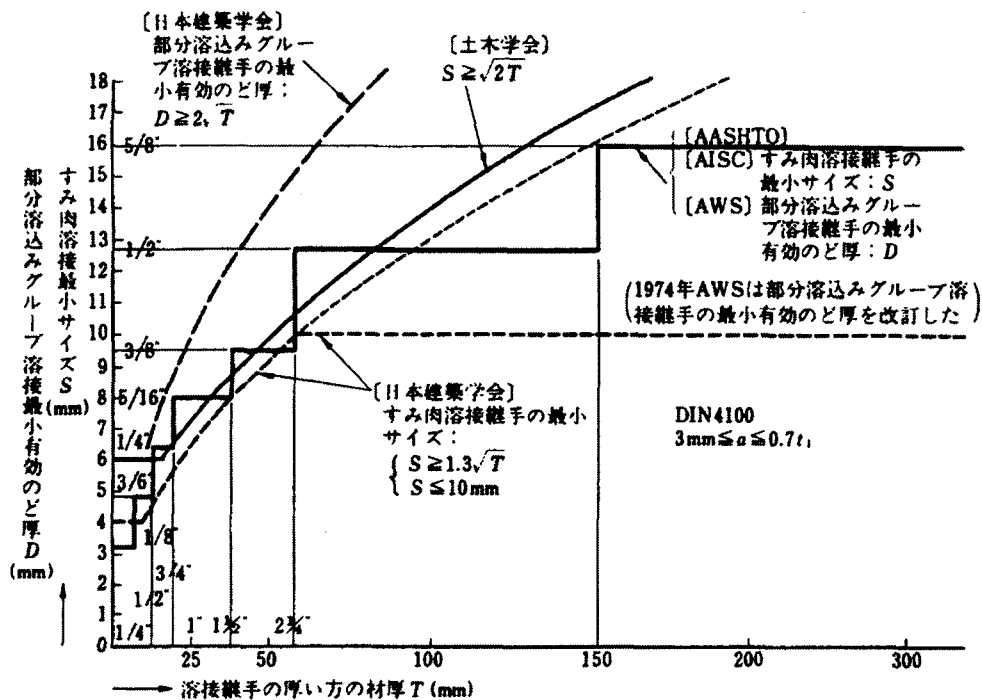


図 2.2 溶接継手の最小サイズおよび最小有効のど厚

### (3) 急冷の割れ発生原因と評価

現在の調査では $\sqrt{(2t)}$ の決定的根拠の明解な記述に巡り合うことができていないが、過去の基準類の調査結果から判断して、急冷割れに配慮した基準であることから、一般的な急冷割れの原因と評価について述べる。

溶接による急冷割れは、多くの文献に指摘されているように、次の3つの条件が揃った時に生じるとされている。対策としては予熱が効果的であるとされている。

- ① 拡散性水素の存在
- ② じん性低下 (鋼材組成と溶接熱履歴に依存)
- ③ 引張応力の存在 (材片の拘束, 残留応力, 応力集中による)

急冷割れの評価については、多くの研究がなされており、溶接入熱量をパラメーターとした予熱温度算定法が提唱されている。鋼橋技術研究会の施工部会WGでは、各ファブリケーターからのアンケートで、溶接条件を基に各溶接法による入熱量の算定ならびに溶接金属の拡散性水素量調査、および実際に使用した鋼材ミルシートによる化学成分や炭素当量を集計した結果、道路橋示方書に規定している値よりかなり小さいことが報告されている。急冷割れ防止の観点から、糟谷・百合岡ら<sup>9)</sup>の論文に示される予熱温度推定法を用いて、道路橋示方書に規定された $S \geq \sqrt{(2t)}$ の評価では以下の項目が示されている。

- ① 予熱温度は板厚が比較的厚い領域ではあまり変化しない。
- ② 実際に使用された鋼材のミルシート調査では、鋼材の低温割れ感受性組成値 (PCM 値) がかな

り小さな値となっており、必要予熱温度も低くてよい結果となる。

③40kg 級鋼では、 $\sqrt{(2t)}$ で規定し、かつ、8mmを最大としても急冷割れの心配はない。

④50kg 級鋼では、SAW の場合 $\sqrt{(2t)}$ かつ最大 10mmとして、およそ急冷割れの心配がない。

⑤60kg 級鋼では、SAW・CO<sub>2</sub>とも $\sqrt{(2t)}$ で急冷割れの心配がなく、SAW では最大 10mmとしてもよい。

⑥溶接の拡散性水素量の影響も大きいため、施工上注意をする必要がある。

⑦ $\sqrt{(2t)}$ と急冷割れはある程度相関関係があるが、予熱温度が鋼材の低温割れ感受性組成 (PCM) や溶接方法による入熱量の相違、材片の拘束度にかなり影響を受けるため、一概に $\sqrt{(2t)}$ では規定できない。設計・施工面から規定すべきである。

#### (4) すみ肉溶接の試設計

$\sqrt{(2t)}$ によりフランジとウェブの首溶接サイズを決めると、応力から決定した場合に比べかなり不経済となるばかりか、せん断力が卓越する連続桁の中間支点近傍では応力超過が見られる場合もある。実設計において、すみ肉溶接サイズを $\sqrt{(2t)}$ で決めることが多用されているが、施工面で必ずしも安全あるいは合理的といえず、設計的に問題となることもある。したがって、主桁の腹板とフランジのすみ肉溶接に着目し、応力照査から決めた場合と $\sqrt{(2t)}$ から決めた場合とで、溶接量と設計上の問題点について試設計で確認された結果を表 2.2 に示す。

上記試設計の結果、設計上の問題として、 $\sqrt{(2t)}$ で決定すると少数主桁で合成応力度が上回る箇所が発生する。せん断応力度が大きくなる場合、すみ肉サイズをせん断応力度から決定する必要がある、実工事でもこの手法で照査が行われている。また、 $\sqrt{(2t)}$ により主桁のフランジとウェブのすみ肉溶接サイズを決めると、応力から決定した場合に比較しかなり不経済となるばかりか、せん断力が卓越する連続桁の中間支点近傍ではせん断応力超過が見られる場合もある。

表 2.2 すみ肉溶接サイズの試設計結果

		最大フランジ厚 (mm) (材 質)	最大すみ肉溶接サイズ (mm)		
			$\sqrt{(2t)}$	せん断応力度	合成応力度
CASE 1 多主桁橋 支間 50m	G1	36 (SM490Y)	9	6	7
	G2	33 (SM490Y)	9	6	6
	G3	33 (SM490Y)	9	6	7
	G4	33 (SM490Y)	9	6	6
	G5	52 (SM490Y)	11	6	8
CASE 2 多主桁橋 支間 70m	G1	61 (SM490Y)	12	6	8
	G2	56 (SM490Y)	11	6	7
	G3	55 (SM490Y)	11	6	7
	G4	59 (SM490Y)	11	6	7
	G5	71 (SM490Y)	12	6	9
CASE 3 少数主桁 支間 50m	G1	61 (SM570)	12	6	12
	G2	46 (SM570)	10	6	10
	G3	63 (SM570)	12	7	13
CASE 4 少数主桁 支間 70m	G1	73 (SM570)	13	8	13
	G2	65 (SM570)	12	7	11
	G3	73 (SM570)	13	8	14

## (5) 今後の課題

鋼橋では合理化設計に伴い、少数主桁や板継ぎ省略による厚板化の傾向が見られる。また、平成8年の道路橋示方書の改訂において、最大板厚の適用範囲が50mmから100mmに広がっていることから、主桁のフランジとウェブのすみ肉溶接脚長は、せん断応力度および合成応力度から決定するほうが望ましいと考えられる。

今後の課題としては、現在多数示されている予熱温度の推定式は、突合せ溶接を主眼に提案されているため、すみ肉溶接特有の条件を考慮した拘束度、応力集中係数が小さい反面、冷却速度が速くなるなどの研究が必要となる。また、拡散性水素量が道路橋示方書に使用されている値より高いと思われるため、この影響をより詳細に示す必要がある。これらの問題は今後の課題としたい。

## 2.2.2 部分溶込みグループ溶接の開先深さ

### (1) 概要

道路橋示方書や鋼構造設計基準では、「部分溶込みグループ溶接は溶接線と直角方向に引張力が作用する場合、溶接線を軸とする曲げ作用には使用することができない」としている。ただし、溶接部にせん断力のみが作用する場合には、のど断面に対して許容応力度を与え、使用を許している。

一方、「鋼構造限界設計状態設計基準（案）・同解説－1990」<sup>10)</sup>では、部分溶込みグループ溶接部の軸方向力およびせん断力に対する単位長さあたりの最大耐力式が示されている。また、米国のAISC規準では、部分溶込みグループ溶接部が引張力を受ける場合についても、のど断面に対する許容応力度が規定されている。

部材が厚肉化してくると、T継手など強度上大きなすみ肉溶接が必要となる。しかし、脚長をむやみに大きくすることは、入熱量の増大により溶接ひずみが大きくなるので好ましいことではない。このような場合には、60°以上の開先をとってすみ肉溶接を行い、必要のど厚を確保することが強度上も施工上も望ましい。施工上有利になる限界板厚サイズは一元的には決められないが、およそ14～20mm以上は開先をとった異形すみ肉溶接が推奨されよう。部分溶込みグループ溶接は、所定の溶込み（有効のど厚）を確保しなければならない。また、有効のど厚は $2\sqrt{t}$ 以上（ $t$ は板厚）とすべきであると考えられる。

### (2) 開先形状と有効のど厚

部分溶込みグループ溶接の開先形状は、開先深さおよび開先角度の管理が最も重要である。開先深さは有効のど厚を決める設計上の基本であり、また、開先角度は溶接施工におけるルート部の溶込みを左右する重要な要素である。

一般に溶込みが少ない被覆アーク溶接の場合は、使用溶接棒の径、開先角度、溶接電流、溶接姿勢などによっても異なるが、ルート部の溶込みが得られにくく、不完全な溶接となりやすい。鋼構造設計基準では開先がレ形・K形の場合は、溶込み不足となることを考慮して有効のど厚を開先深さから3mmを差し引いた値としている。また、V形・X形・U形・J形などの場合は、開先深さを有効のど厚としている。

Eurocode 3では、有効のど厚を一つの部分溶け込みグループ溶接から2mmを差し引いた値として、溶込み量の不完全性に対処している。また、T継手では、不溶着部が小さい場合には、完全溶込み溶接として取り扱っている。

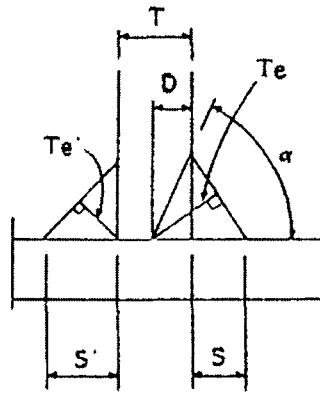
日本橋梁建設協会「デザインデータブック 2001年3月」の4章「すみ肉溶接および部分溶込み

溶接の許容耐力」の「部分溶込みグループ溶接とすみ肉溶接を併用する場合ののど厚」<sup>11)</sup>では、アーク手溶接で開先角度  $\alpha \geq 60^\circ$  の場合、またサブマージアーク溶接の場合は、開先深さから 3mm を控除しなくてもよいとしている。

このように有効のど厚は開先深さを基にきめられるのが一般的であるが、溶接方法、開先形状に関わらず、開先深さ以上に一定の溶込み量が安定的に得られ、その溶込み量も含めてのど厚が確認できる場合には、開先深さを全て有効として、のど厚に算入してもよいと考えられる。図 2.3 は、「デザインデータブック」に示す開先形状とのど厚を示す。また、表 2.3 は板厚と開先深さの一例を示す。また、名古屋高速道路公社「鋼構造物設計基準 (H13-4) : 8.3.8 溶接継手」<sup>12)</sup>の解説では、「主桁と横桁との連結部などで、曲げモーメント

によって生じる引張応力度が小さい場合、または、主に圧縮応力度が作用する連結には、全断面溶込みグループ溶接の代わりに、開先角度  $60^\circ$ 、ルート面 2mm の部分溶込みグループ溶接を用いてもよい」としている (図 2.4 および図 2.5)。

名古屋高速道路公社の鋼構造物設計基準の解説は、道路橋示方書「4.2.1 溶接の種類と適用」の (2) に示す「溶接線に直角な方向に引張力を受ける継手には、全断面溶込みグループ溶接を用いるのを原則とし、部分溶込みグループ溶接を用いてはならない」の規定に対する解説「(2) 引張応力度が小さ



$$D \geq 2 \cdot \sqrt{T}$$

$$\alpha = 45^\circ \sim 70^\circ$$

$$S \geq D(\sec \alpha - 1)$$

$$Te = \left( D \cdot \sec \alpha \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) - 3$$

アーク手溶接で  $\alpha \geq 60^\circ$  の場合  
またサブマージアーク溶接の場合は  
3mm を控除しなくてもよい。

$$\text{合計のど厚} = (Te' + Te) \quad Te' = S' / \sqrt{2}$$

図 2.3 部分溶込みグループ溶接の「のど厚」

表 2.3 板厚と開先深さ (D) の関係

(単位: mm)

板厚 (t)	開先角度 $\alpha = 60^\circ$		
	開先深さ (D=2√t)	脚長 (S)	のど厚 (Te)
16	8.0	8.0	13.86
19	8.7	8.7	15.07
22	9.4	9.4	16.28
25	10.0	10.0	17.32
28	10.6	10.6	18.36
32	11.3	11.3	19.57
36	12.0	12.0	20.78
40	12.6	12.6	21.82

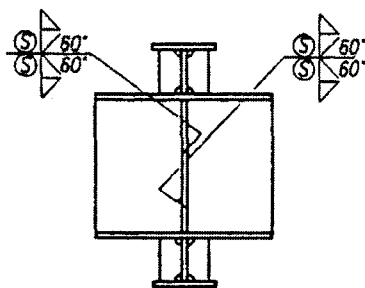
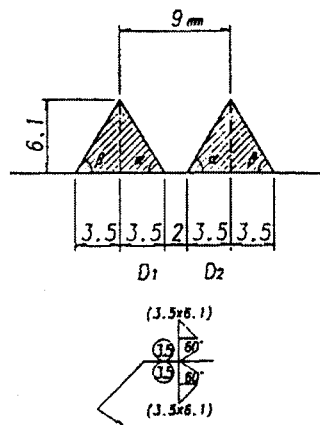


図 2.4 腹板の溶接



計算のど厚は  $(D_1 + D_2) + 2\text{mm}$  としてよい。

ウェブ 9mm 以上の場合には下記を原則とする。

ルートフェース 2mm

$\alpha = 60^\circ$  (開先角度)

$\beta > 60^\circ$  (仰角)

図 2.5 K型部分溶込みグループ溶接の開先形状

い場合などでは、溶接性や溶接ひずみを考慮するとすみ肉溶接の使用余地を残した」との記述をより具体的に示したものである。ただし、いずれの規定でも「応力の小さい」の判断基準は示されていない。

以上の事柄から、開先溶接には全断面溶込みグループ溶接と部分溶込みグループ溶接とがあり、後者はすみ肉溶接で脚長が大きい場合やかど継手などの場合に用いられ、設計上はすみ肉溶接と同様に扱われる。道路橋示方書の条文の解説には引張応力度が小さい場合や、主に圧縮応力度が作用する連結への適用例を名古屋高速道路公社「鋼構造物設計基準」に倣い、具体的に示しておくほうが良いと考える。

### 2.2.3 溶接強度および照査方法

応力を伝える溶接部の強度は、溶接される鋼材に適合した溶接棒を使用し、溶接技量有資格者により十分な施工管理、品質管理が行われる場合、基本的には母材と同等な終局強度が期待できる。溶接継手の終局強度  $P_u$  (N) は、すみ肉溶接とグループ溶接とにわけて次のように与えられる。

#### (1) すみ肉溶接

力を伝えるすみ肉溶接の抵抗値  $P_u$  は、作用力による応力をすべてせん断応力と見なし、式(2.2)で与えられる。

$$P_u = \tau_u \Sigma a L \quad (2.2)$$

ここで、 $\tau_u$  : 溶接部のせん断強度 (MPa)

$a$  : 溶接の有効のど厚 (mm)

$L$  : 溶接の有効長さ (mm)

ただし、 $\tau_u$  は、溶接部の強度が母材のそれと同等と考え、せん断ひずみエネルギー一定説を用いて、 $\tau_u = \sigma_u / \sqrt{3}$  を用いる。このようにすると、溶接部のせん断強度は表 2.4 のようになる。

表 2.4 溶接部のせん断強度

鋼種	SS400, SM400 SMA400 STK400 STKR400 SSC400 SWH400, SWH400L	SM490 STK490 STKR490 SCW490-CF	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
せん断強度 $\tau_u$ (MPa)	136	181	204	261

Eurocode 3 では溶接強度に対する部分安全係数  $\gamma_{MS} = 1.25$  と、母材の材質によって変わる相関関係  $\beta_w$  を考慮して、設計せん断強度を式(2.3)で求めている。

$$\tau_u = \sigma_u / (\sqrt{3} \gamma_{MS} \cdot \beta_w) \quad (2.3)$$

この結果、たとえば板厚 40 mm 以下の鋼材に対しては表 2.5 のようになる。



表 2.5 Eurocode 3 に示される溶接部の強度

鋼種	$\sigma_Y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$\gamma_{MS}$	$\beta_w$	$\gamma_{MS} \cdot \beta_w$	$\tau_u$ (MPa)
Fe E235	235	360	1.25	0.80	1.000	200
Fe E275	274	429	1.25	0.85	1.063	224
Fe E355	355	510	1.25	0.90	1.125	252

(2) グループ溶接

グループ溶接では、全断面溶込みグループ溶接、部分溶込みグループ溶接に分けて考える。応力を受ける全断面溶込みグループ溶接の場合、溶接部の抵抗値  $P_u$  は、式(2.4)で与えられる。

$$P_u = \sigma_u \Sigma a L \tag{2.4}$$

ここで、 $\sigma_u$  : 溶接部の強度 (MPa)

$\sigma_u$  は、母材と同等以上の強度と伸びを有する溶接材料を使い、適切な溶接施工を行うことで、静的荷重下では、母材の強度と同じとすることができる。異種の鋼材をグループ溶接する場合には、低い強度を有する鋼種にそった溶接を行い、低い強度の方の強度を  $\sigma_u$  として用いる。

応力を受ける部分溶込みグループ溶接は、すみ肉溶接とみなして設計することが多い。Eurocode 3 では、有効のど厚を図 2.6 に示すように 1つの部分溶込みグループから 2mmを引いた値として、溶込み量の不完全性に対処している。また、図 2.7 に示すようなT継手では不溶着部が小さい場合には、全断面溶込みグループ溶接として取り扱い、不溶着部が大きい場合の 2mmを引いた値を有効のど厚としている。

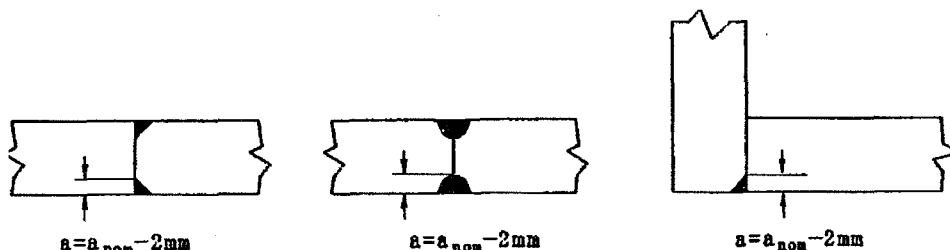
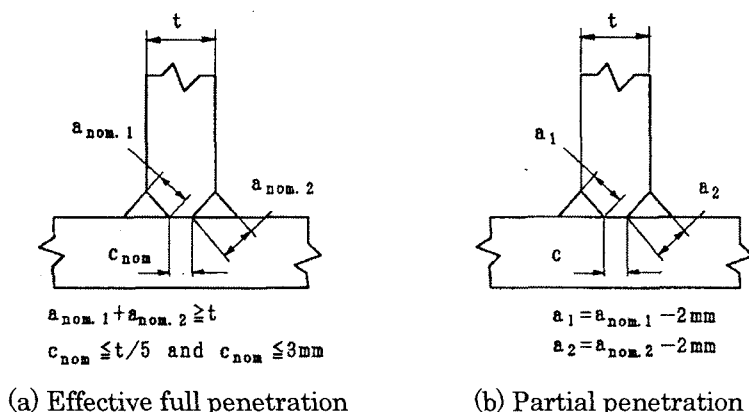


図 2.6 部分溶込みグループ溶接



(a) Effective full penetration

(b) Partial penetration

図 2.7 T継手

## 2.2.4 鋼床版の構造ディテール

従来より、長大スパンの橋梁や都市高架橋の床版構造には、主として死荷重の軽減と施工期間の短縮を図るために、鋼床版構造が多く採用されてきた。しかしながら、鋼床版は比較的薄い鋼板を溶接によって組み立てるため、溶接による欠陥や残留応力あるいは溶接変形等が生じやすい。また、鋼床版は各部に生じる応力の流れが複雑であり、さらに車両荷重を直接支持する構造であることから、疲労損傷を被りやすい形式といえる。

鋼床版の疲労損傷に関しては、これまでの事例を整理することによりある程度明らかにされ、その原因究明や構造ディテールの改善も進みつつある<sup>13)~15)</sup>。特に、縦リブと横リブあるいは横桁が交差するスリット部は、まわし溶接部の横リブ側止端部やスリット曲線部から疲労亀裂の発生する事例が報告されており、疲労上もっとも弱点になりやすい部位の一つとされている。そのため、鋼床版横リブウェブにおいて、縦リブとの溶接部、デッキプレートの現場溶接のために設けられるスカラップ周辺部、縦リブとの交差部に設けられるスリット周辺部の疲労強度に関する解析や実験が多く行われている<sup>16)~22)</sup>。それらの解析・実験結果を踏まえ、鋼床版の構造ディテールを改善することは、疲労損傷を未然に防止するとともに、維持管理コストを低減するうえでも極めて重要なことである。よって、ここでは、鋼床版の疲労試験により発生した亀裂の挙動・性質から、疲労に対して望ましい鋼床版の構造ディテール<sup>23)・24)</sup>について簡単に紹介する。

まず、デッキプレートとUリブおよび横リブの交差部について報告する。Uリブと横リブまたは横桁が交差する部位にスカラップが設けられると、板の面外曲げや応力集中が重なり合い、複雑な応力性状を示すとともに非常に高い応力が発生し、疲労き裂の発生が懸念される。最近の調査研究によると、図 2.8 に示すように、このスカラップを無くすことにより面外の曲げ変形が抑えられ、疲労き裂の発生を低減できることが報告されている<sup>18)~24)</sup>。

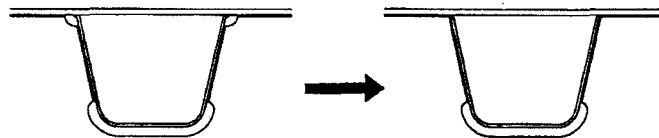


図 2.8 交差部の改善ディテール<sup>24)</sup>

つぎに、Uリブの現場継手部、Uリブの縦方向溶接部、デッキプレートの溶接のために設けられるスカラップ部、Uリブと横桁の交差部に設けられた切欠き部の構造ディテールは、図 2.9 に示す合理化鋼床版を参照されたい。

昨今の社会的ニーズである公共工事コスト縮減に対応して、鋼橋の分野でもさまざまな合理化された構造をもつ橋梁形式が提案されている<sup>25)</sup>。そのうち、鋼床版についてもより合理的な構造の検討が行われている<sup>26)~29)</sup>。ここで紹介する鋼床版構造（以下、合理化鋼床版構造という）は、経済的で耐久性に優れた鋼床版構造のことである。合理化鋼床版の特徴は、デッキプレートを増厚し、かつ縦リブ断面を大型化することによって鋼床版自体の剛性を高め、アスファルト舗装に与える悪影響を軽減するとともに、鋼部材の疲労強度の向上を図っている。また、横リブ間隔（縦リブの支持間隔）を広くすること、または、横リブを廃止して横桁化すること、従来の縦リブ寸法<sup>30)</sup>に比べて大型のUリブを使用することにより、①材片数の低減、②製作工数、溶接延長および塗装面積の低減が図られている<sup>26)</sup>。現時点での合理化鋼床版構造ディテールの改善を図 2.9<sup>31)</sup>に示す。鋼床版構造の疲労や舗装の

劣化に関する原因，対策について未だ十分に究明されていないことがあり，今後さらなる研究が進むことを期待したい。

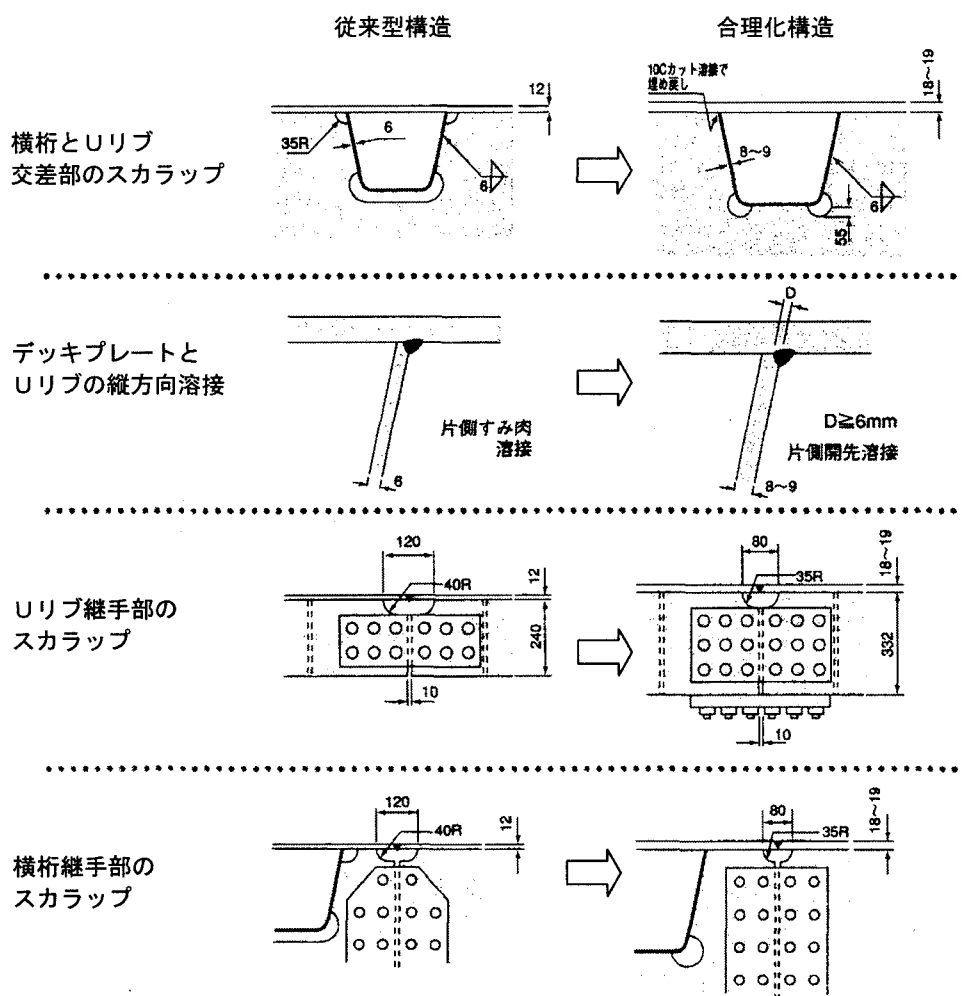


図 2.9 合理化鋼床版の構造ディテールの改善<sup>31)</sup>

#### 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1996.12.
- 2) (社)土木学会：鋼構造物の終局強度と設計，鋼構造シリーズ6，1994.7.
- 3) Eurocode 3：Design of Steel Structures, Part 1.
- 4) 鋼橋技術研究会 施工部会：施工部会報告書 III，1998.12.
- 5) 鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，1992.
- 6) (社)日本建築学会：鋼構造物設計規準・同解説，1988.
- 7) AWS：Structural Welding Code，1992.
- 8) (社)日本鋼構造協会接合小委員会，(社)鋼材倶楽部：鋼構造接合資料集成(3)，一溶接接合(鋼橋)一，技報堂出版，1983.5.
- 9) 糟谷 正，百合岡信孝，奥村 誠：鋼の溶接熱影響部硬さの予測と必要予熱温度の選定方法，新日鉄技報，No.355，pp.6-12，1995.2.

- 10) (社)日本建築学会：鋼構造限界状態設計規準（案）・同解説，1990.
- 11) (社)日本橋梁建設協会：'01 Design Data Book，2001.3.
- 12) 名古屋高速道路公社：鋼構造物設計基準，2001.4.
- 13) (社)土木学会：鋼床版の疲労，鋼構造シリーズ4，1990.9.
- 14) (社)日本道路協会：鋼橋の疲労，1997.5.
- 15) (社)日本鋼構造協会：鋼構造の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993.4.
- 16) 藤原 稔，村越 潤，田中良樹：鋼床版横リブのスリット周辺部の疲労強度，構造工学論文集，Vol.37A，土木学会，pp.1151-1162，1991.3.
- 17) 鈴木 巖，加賀山泰一，尾下里治，岩崎雅紀，堀川浩甫：鋼床版横リブの設計手法と疲労試験，構造工学論文集，Vol.37A，土木学会，pp.1169-1179，1991.3.
- 18) 三木千壽，館石和雄，高木千太郎：鋼床版縦リブ・横リブ交差部の応力実測とその分析，構造工学論文集，Vol.37A，土木学会，pp.1163-1168，1991.3.
- 19) 三木千壽，館石和雄，石原謙治，梶本勝也：溶接構造部材のスカラップディテールの疲労強度，土木学会論文集，No.483/I-26，pp.79-86，1994.1.
- 20) 館石和雄，竹之内博行，三木千壽：鋼橋部材交差部に生じる局部応力の発生メカニズムと要因分析，土木学会論文集，No.507/I-30，pp.109-119，1995.1.
- 21) 三木千壽，館石和雄，奥川淳志，藤井裕司：鋼床版縦リブ交差部の局部応力と疲労強度，土木学会論文集，No.519/I-32，pp.127-137，1995.7.
- 22) 大橋治一，藤井裕司，三木千壽，小野秀一，村越 潤：鋼床版の現場継手部近傍の局部応力と変形挙動，土木学会論文集，No.556/I-38，pp.65-76，1997.1.
- 23) 大橋治一，藤井裕司，村瀬佐太美：鋼床版の疲労を考慮したディテールの改良，橋梁と基礎，Vol.31，No.4，pp.31-36，1997.4.
- 24) 大橋治一：疲労設計（本四プロジェクトにおける技術の展開），橋梁と基礎，Vol.32，No.8，pp.103-106，1998.8.
- 25) (社)日本橋梁建設協会：新しい鋼橋の誕生，1998.
- 26) 本莊清司，酒井秀昭，三浦芳雄，神宮敏樹，中村公信，笹川大作：大型Uリブを用いた鋼床版の適用，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，I-A6，pp.12-13，1998.10.
- 27) 小笠原照夫，勝俣 盛，町田文孝，川瀬篤志，溝江慶久：鋼床版構造の合理化に関する検討・実験，構造工学論文集，Vol.45A，土木学会，pp.1229-1240，1999.3.
- 28) 勝俣 盛，小笠原照夫，町田文孝，川瀬篤志，溝江慶久：合理化鋼床版のUリブ・横桁交差部の局部応力特性について，構造工学論文集，Vol.45A，土木学会，pp.1241-1252，1999.3.
- 29) 勝俣 盛，小笠原照夫，吉家賢吾，町田文孝，柳澤則文：合理化鋼床版構造の舗装耐久性に関する一考察，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，I-A205，pp.410-411，1998.10.
- 30) (社)日本鋼構造協会：日本鋼構造協会規格，鋼床版用U形鋼，JSSC，1983.4.
- 31) (社)日本橋梁建設協会：鋼床版2主鈹桁橋設計例，1999.9.