

OS リング工法：BCJ 評定-ST0135-09（平成 29 年 1 月 1 4 日付）

OSリング[®]工法 設計ハンドブック



2018.0717_1

ご使用にあたって

本設計ハンドブックは、建築設計事務所様、建築施工会社様、鉄骨製作加工業者様において、OSリング工法を用いた梁を設計される際に、安全かつ効果的にご使用いただくためのものです。

ご使用にあたっては「OSリングカタログ」、「OSリング設計施工標準図」および「OSリング溶接施工マニュアル」もあわせてご参照くださるようお願いいたします。

本資料は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

免責事項

万一OSリング工法に問題が発生した場合は、下記の免責事項をふまえた上で対応させていただきます。

- 本資料に記載した注意事項が行われずに発生した不具合。
- 本資料に記載した事項に反した設計・施工による不具合。
- 標準仕様以外に設計者・施工業者等の使用者が指示した仕様施工方法に起因する不具合。
- 不可抗力(天災、地変、地盤沈下、火災、爆発、騒乱など)により発生した不具合。
- 瑕疵(かし)を発見後、すみやかに届けがされなかった場合。
- 開発・製造・販売時に通常予測される環境等の条件下以外における使用・保管・輸送等に起因する不具合。

OSリング工法 設計指針

目次

1. 総則	2
2. 構成部材の仕様	3
3. 設計	9

1.総 則

1-1 本工法の構成

本工法は、梁ウェブに円形貫通孔を有するH形断面鉄骨梁の貫通孔を特殊な補強金物「OSリング」を用いて補強し、鉄骨梁の耐力を確保する工法である。OSリングは外周に溝を有するタイプ1と溝を有しないタイプ2の2通りの形状があり、どちらも外側のみを全周隅肉溶接することで梁ウェブの片面または両面に取付ける。

本工法は梁ウェブに円形貫通孔を有するH形断面鉄骨梁とOSリングから構成される。工法概要を図1-1-1に示す。本工法の構成部材であるOSリングは岡部株式会社において製造供給される。

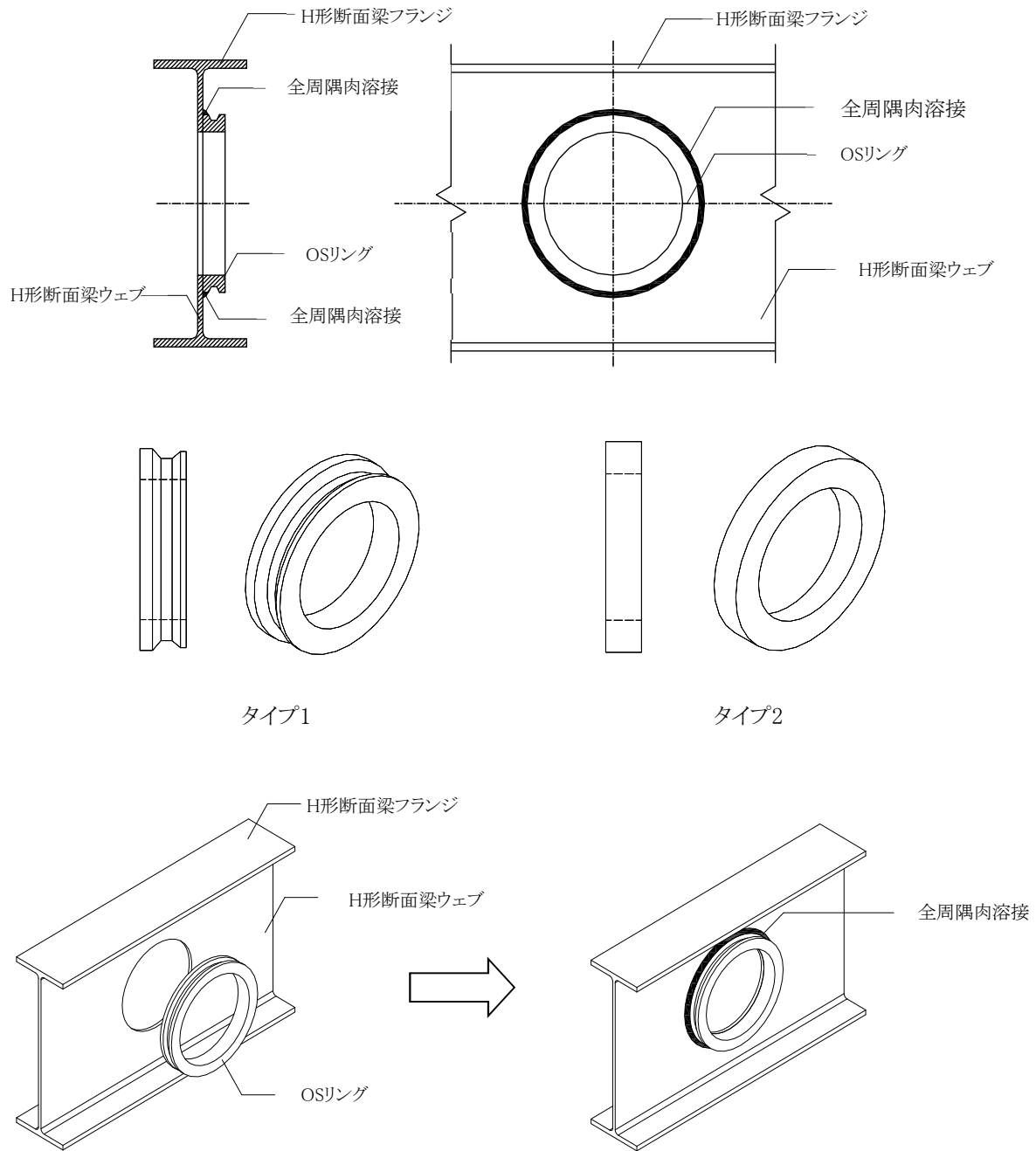


図1-1-1

1-2 適用事項

この設計施工指針(以下「本指針」という)は、本工法を使用する場合の設計及び施工に適用する。
本指針に記載されない事項に関しては下記による。

- (1) 建築基準法・同施行令・建設大臣告示・国土交通大臣告示等
- (2) 鋼構造設計規準-許容応力度設計法- (2005) (日本建築学会)
- (3) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 6 鉄骨工事 (2015) (日本建築学会)
- (4) 鉄骨工事技術指針(2007) (日本建築学会)
- (5) 鉄骨精度測定指針(2014) (日本建築学会)
- (6) 建築構造用高性能590N/mm²鋼材(SA440)設計・溶接施工指針 (1996) (日本鉄鋼連盟)

2. 構成部材の仕様

2-1 材質

2-1-1 OSリング

OSリングに用いる鋼材は表2-1-1に示す規格品を使用する。

表2-1-1 OSリング

OSリング	規格 又は認定番号	種類	種類の記号
ローリング鍛造加工 (Fシリーズ)	MSTL-0475 MSTL-0490	梁貫通孔補強工法に用いる 鍛鋼品リング鋼材「OSリング(T)」	OSリング(T)
鋼管切断加工 (Tシリーズ)	JIS G 3475	建築構造用炭素鋼管	STKN490B
厚板切断加工 (Pシリーズ)	JIS G 3136	建築構造用圧延鋼材	SN490B,SN490C
	JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材	SM490A,SM490B,SM490C

2-1-2 梁

梁はH形断面鉄骨とし、表2-1-2に示す規格品、及び、表2-1-3に示す国土交通大臣の認定を受けた基準強度が325 N/mm²～440N/mm²の建築構造用鋼材を使用する。ただし、SN400Aは塑性化部分に適用不可とする。

表2-1-2 梁材

規格	種類	種類の記号
JIS G 3101	一般構造用圧延鋼材	SS400
JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材	SM400A, SM400B, SM400C SM490A, SM490B, SM490C SM520B, SM520C
JIS G 3136	建築構造用圧延鋼材	SN400A*, SN400B, SN400C SN490B, SN490C (*SN400A は塑性化部分に適用不可)

表2-1-3 梁材(国土交通大臣の認定を受けた基準強度が325 N/mm²～440N/mm²の建築構造用鋼材)

No.	認定番号	名称	名称	F値	製造工場
1	MSTL-9010	建築構造用TMCP鋼材	T-DAC325,T-DAC325B,T-DAC325C T-DAC355,T-DAC355B,T-DAC355C	325 355	新日鉄住金株式会社 鹿島製鐵所
2	MSTL-9012	建築構造用TMCP鋼材	BT-HT325,BT-HT325B,BT-HT325C BT-HT355,BT-HT355B,BT-HT355C	325 355	新日鉄住金株式会社 君津製鐵所 名古屋製鐵所,大分製鐵所
3	MSTL-0073	建築構造用鋼材	BT-HT325B,BT-HT325C BT-HT355B,BT-HT355C BT-HT440B,BT-HT440C	325 355 440	新日本製鐵株式会社
4	MSTL-0312	建築構造用高降伏点H形鋼490N/mm ² 鋼材	NSYP345B	345	新日鉄住金株式会社 堺製鐵所
5	MSTL-0319	建築構造用高降伏点H形鋼490N/mm ² 鋼材	NSYP345B	345	新日鉄住金株式会社 君津製鐵所
6	MSTL-0201	建築構造用550N/mm ² 鋼材	T-DAC385	385	住友金属工業株式会社
7	MSTL-0392	建築構造用550N/mm ² 鋼材	T-DAC385B,T-DAC385C	385	新日鉄住金株式会社 鹿島製鐵所
8	MSTL-0413	建築構造用550N/mm ² 鋼材	BT-HT385B,BT-HT385C	385	新日鉄住金株式会社 君津製鐵所
9	MSTL-0474	建築構造用550N/mm ² H形鋼	NSYP385B,NSYP385C	385	新日鉄住金株式会社
10	MSTL-0120	建築構造用高溶接性高性能590N/mm ² 鋼材	BT-HT440B-SP,BT-HT440C-SP	440	新日鉄住金株式会社 君津製鐵所
11	MSTL-0121	建築構造用高溶接性高性能590N/mm ² 鋼材	BT-HT440B-SP,BT-HT440C-SP	440	新日鉄住金株式会社 名古屋製鐵所
12	MSTL-0122	建築構造用高溶接性高性能590N/mm ² 鋼材	BT-HT440B-SP,BT-HT440C-SP	440	新日鉄住金株式会社 大分製鐵所
13	MSTL-9002	建築構造用高性能590N/mm ² 鋼材	SA440B,SA440C	440	新日鉄住金株式会社 君津製鐵所 名古屋製鐵所,大分製鐵所
14	MSTL-9003	建築構造用高性能590N/mm ² 鋼材	SA440B,SA440C	440	新日鉄住金株式会社 鹿島製鐵所
15	MSTL-0162	建築構造用590N/mm ² 級H形鋼	T-CRS440	440	住友金属工業株式会社
16	MSTL-0128	建築構造用TMCP鋼材	HBL325B,HBL325C HBL355B,HBL355C	325 355	JFEスチール株式会社 西日本製鐵所・倉敷地区
17	MSTL-0129	建築構造用TMCP鋼材	HBL325B,HBL325C HBL355B,HBL355C	325 355	JFEスチール株式会社 東日本製鐵所・京浜地区
18	MSTL-0135	建築構造用TMCP鋼材	HBL325B,HBL325C HBL355B,HBL355C	325 355	JFEスチール株式会社 西日本製鐵所・福山地区
19	MSTL-0314	建築構造用520N/mm ² TMCP H形鋼	HBL-H355B,HBL-H355C	355	JFEスチール株式会社 西日本製鐵所・倉敷地区
20	MSTL-0130	建築構造用550N/mm ² TMCP鋼材	HBL385B,HBL385C	385	JFEスチール株式会社 西日本製鐵所・福山地区
21	MSTL-0131	建築構造用550N/mm ² TMCP鋼材	HBL385B,HBL385C	385	JFEスチール株式会社 東日本製鐵所・京浜地区
22	MSTL-0303	建築構造用550N/mm ² TMCP鋼材	HBL385B-L	385	JFEスチール株式会社 東日本製鐵所・京浜地区
23	MSTL-0410	建築構造用高性能590N/mm ² TMCP鋼材	HBL440B,HBL440C	440	JFEスチール株式会社
24	MSTL-9004	建築構造用高性能590N/mm ² 鋼材	SA440B,SA440C,SA440B-U,SA440C-U	440	JFEスチール株式会社 西日本製鐵所・倉敷地区
25	MSTL-9005	建築構造用高性能590N/mm ² 鋼材	SA440B,SA440C,SA440B-U,SA440C-U	440	JFEスチール株式会社 東日本製鐵所・京浜地区 西日本製鐵所・福山地区
26	MSTL-9006	建築構造用TMCP鋼材	KCLA325,KCLA325B,KCLA325C KCLA355,KCLA355B,KCLA355C	325 355	株式会社神戸製鋼所 加古川製鐵所
27	MSTL-0481	建築構造用高性能550N/mm ² 鋼材	KCLA385B,KCLA385C	385	株式会社神戸製鋼所
28	MSTL-9001	建築構造用高性能590N/mm ² 鋼材	SA440B,SA440C	440	株式会社神戸製鋼所
29	MSTL-0393	建築構造用490MPa級TMCP厚鋼板	CK-HYS325B,CK-HYS325C	325	中部鋼板株式会社
30	MSTL-0409	建築構造用520MPa級TMCP厚鋼板	CK-HYS355B,CK-HYS355C	355	中部鋼板株式会社
31	MSTL-0294	建築構造用TMCP鋼材	PILSN325B,PILSN325C	325	POSCO
32	MSTL-0476	建築構造用550N/mm ² TMCP鋼材	PIL385B,PIL385C	385	POSCO

2-1-3 溶接材料

溶接材料は溶接金属の引張強さが490N/mm²以上の材料を使用する。

溶接材料は表2-1-4に示す規格品から選定する。

表2-1-4 溶接棒、溶接ワイヤ

溶接方法	規 格	種 類
被覆アーク溶接	JIS Z 3211	軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒
ガスシールド アーク溶接	JIS Z 3312	軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ
	JIS Z 3313	軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用アーク溶接フラックス入りワイヤ

2-2 形状寸法

2-2-1 OSリング

OSリングの形状を図2-2-1に示す。各部の寸法およびOSリングの断面性能は表2-2-1に示す値とする。

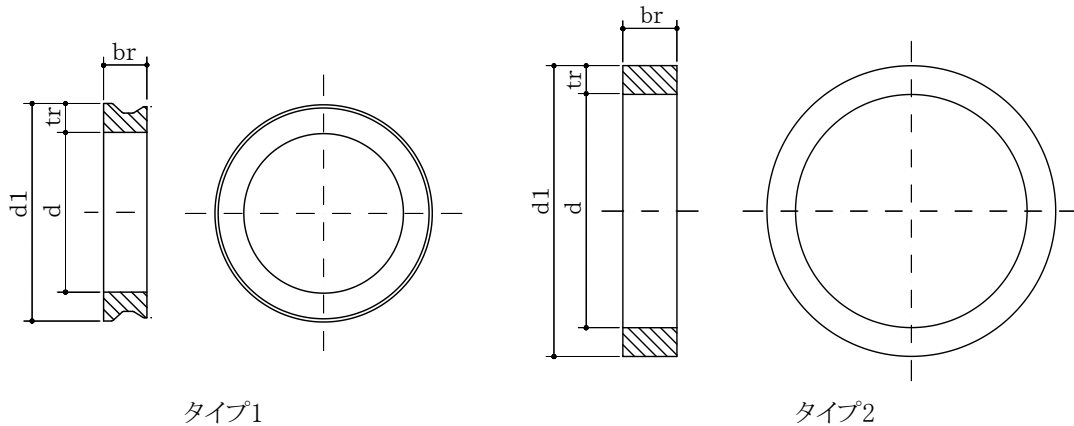


図2-2-1 OSリングの形状寸法

表2-2-1 OSリングの形状寸法

OSリング 製品記号	寸法				断面性能				タイプ	製造 ^{※1} 方法
	内径 d (mm)	最外径 d1 (mm)	幅 br (mm)	最大肉厚 tr (mm)	Zr ($\times 10^2 \text{mm}^3$)	Zpr ($\times 10^2 \text{mm}^3$)	Imr ($\times 10^6 \text{mm}^3$)	Zpmr ($\times 10^4 \text{mm}^3$)		
100SS	102	122	10	10	1.67	2.50	0.63	1.12	2	F
125SS	127	151	12	12	2.88	4.32	1.39	2.00		
150SS	152	178	13	13	3.66	5.49	2.31	2.79		
175SS	177	205	14	14	4.57	6.86	3.58	3.74		
200SS	202	232	15	15	5.63	8.44	5.3	4.88		
250SS	252	288	18	18	9.72	14.6	11.8	8.7		
300SS	302	342	20	20	13.3	20.0	20.8	12.9		
350SS	352	396	22	22	17.7	26.6	33.9	18.1		
100S	100	122	20	11	2.70	4.79	1.16	2.11	1	F
125S	125	151	24	13	4.03	7.46	2.42	3.54		
150S	150	178	27	14	5.08	9.59	4.12	5.08		
175S	175	207	30	16	6.50	12.9	6.77	7.19		
200S	200	234	32	17	8.19	16.0	10.1	9.44		
250S	250	290	39	20	12.6	25.6	21.9	16.4		
300S	300	346	43	23	17.1	35.2	38.0	23.9		
350S	350	400	47	25	23.8	47.9	63.1	34.1	2	T or P
400S	413	461	48	24	46.1	69.1	110	50.3		
450S	463	525	44	31	70.5	106	167	67.4		
500S	513	575	51	31	81.7	123	234	86.0		
600S	613	683	57	35	116	175	419	129	1	F
100L	100	144	33	22	13.8	27.0	4.07	6.83		
125L	125	177	39	26	20.9	42.7	8.52	11.6		
150L	150	208	44	29	30.1	60.6	15.2	17.4		
175L	175	241	50	33	39.8	83.4	25.4	25.1		
200L	200	270	53	35	49.9	102	37.1	32.4		
250L	250	332	63	41	75.3	160	77.7	54.8		
300L	313	391	64	39	162	243	155	87.9		
350L	363	448	73	42.5	220	330	256	126		
400L	413	508	84	47.5	316	474	425	184		
450L	463	568	88	52.5	404	606	616	238		

※1 F: ローリング鍛造加工、T: 鋼管切断加工、P: 厚板切断加工

2-2-2 梁

適用する梁はH形断面鉄骨とし、せい(D)は1,800mm以下、幅(B)は原則として、600mm以下[ただし、 $D \geq 750$ mm、かつ、 $B < 0.9D$ の関係を満たせば、1,000mm以下)とする。梁幅(B)/梁せい(D)はD/3以上[梁の部材種別がFA・FBの場合はD/4以上]、当該梁部材が架構の崩壊メカニズム時に弾性状態に留まることが明らかな場合は、梁幅/梁せい比に制限は設けない。ウェブ厚(t_w)は32mm以下、フランジ厚(t_f)は100mm以下とする。ただし、梁ウェブの鋼種が「一般構造用圧延鋼材」(SS材)又は「溶接構造用圧延鋼材」(SM材)又はSN400Aの場合、梁のウェブ厚(t_w)は25mm以下とする。

梁ウェブの幅厚比は $96\sqrt{235/F}$ 以下とし、梁ウェブの幅厚比が $65\sqrt{235/F}$ を超える場合、または梁フランジの幅厚比が $11\sqrt{235/F}$ を超える場合は、塑性化部分に適用不可とする。(Fは梁材の許容応力度の基準強度)

2-3 設計諸元

2-3-1 鋼材等の許容応力度の基準強度

本工法におけるOSリングに用いる鋼材の許容応力度の基準強度を表2-3-1～表2-3-3に、梁材に用いる鋼材の許容応力度の基準強度を表2-3-4に示す。ただし、OSリングの基準強度が梁材の基準強度を上回る場合はOSリングの基準強度は梁材の基準強度と同等とする。

表 2-3-1 OSリングに用いる鋼材の許容応力度の基準強度 ローリング鍛造加工(Fシリーズ)

OSリング	認定番号	基準強度 F (N/mm ²)
ローリング鍛造加工 (Fシリーズ)	梁貫通孔補強工法に用いる鍛鋼品リング鋼材 「OSリング(T)」 MSTL-0475,MSTL-0490	295

表 2-3-2 OSリングに用いる鋼材の許容応力度の基準強度 鋼管切断加工(Tシリーズ)

OSリング	鋼種	適用厚さ *2)	基準強度 F (N/mm ²)
鋼管切断加工 (Tシリーズ)	STKN490B	40mm 以下	325
		40mm を超え 100mm 以下	295

*2)加工前の鋼管の板厚

表 2-3-3 OSリングに用いる鋼材の許容応力度の基準強度 厚板切断加工(Pシリーズ)

OSリング	鋼種	適用厚さ *3)	基準強度 F (N/mm ²)
厚板切断加工 (Pシリーズ)	SN490B, SN490C SM490A, SM490B, SM490C	40mm 以下	325
		40mm を超え 100mm 以下	295

*3)加工前の厚板の板厚

表2-3-4 梁材に用いる鋼材の許容応力度の基準強度

鋼種	適用厚さ	基準強度 F (N/mm ²)
SS400 SM400A, SM400B, SM400C SN400A, SN400B, SN400C	40mm 以下	235
SM490A, SM490B, SM490C, SN490B, SN490C	40mm 以下	325
SM520B, SM520C	40mm 以下	355
表 2-1-3 に示す国土交通大臣の 認定を受けた建築構造用鋼材	認定範囲 に従う	認定範囲に従う (ただし 440 以下)

本工法における溶接部の許容応力度の基準強度は、対応する OS リングの許容応力度の基準強度と同等とする。

2-3-2 鋼材等の材料強度の基準強度

本工法におけるローリング鍛造加工(Fシリーズ)タイプのOSリングに用いる鋼材および溶接部の材料強度の基準強度はそれぞれ表2-3-1の数値または同表の数値の1.05倍以下とすることができる。

本工法における鋼管切断加工(Tシリーズ)、厚板切断加工(Pシリーズ)のOSリング及び梁材に用いる鋼材および溶接部の材料強度の基準強度はそれぞれ表2-3-2～表2-3-4の数値または同表の数値の1.1倍以下とすることができる。

2-3-3 OSリングに用いる鋼材の許容応力度

OSリングに用いる鋼材の許容応力度を表2-3-5に示す。

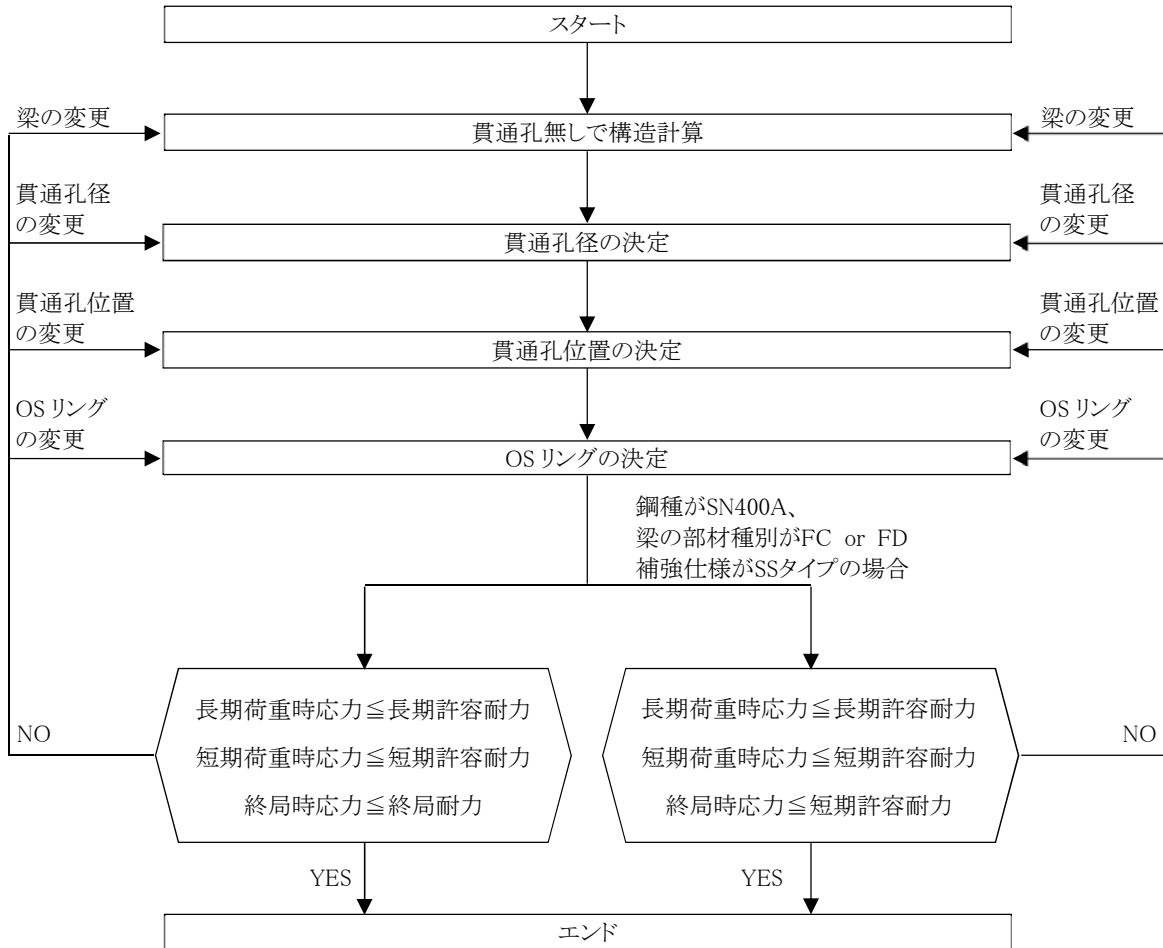
表2-3-5 OSリングに用いる鋼材の許容応力度

長期応力に対する許容応力度 (N/mm ²)				短期応力に対する許容応力度 (N/mm ²)			
圧縮	引張	曲げ	せん断	圧縮	引張	曲げ	せん断
$\frac{F}{1.5}$			$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	長期応力に対する圧縮・引張・曲げ・せん断の許容応力度のそれぞれの数値の1.5倍とする。			
この表においてFは表2-3-1～表2-3-4に規定する基準強度を表すものとする。							

3. 設計

3-1 設計フロー

本工法の設計フローを図3-1-1に示す。



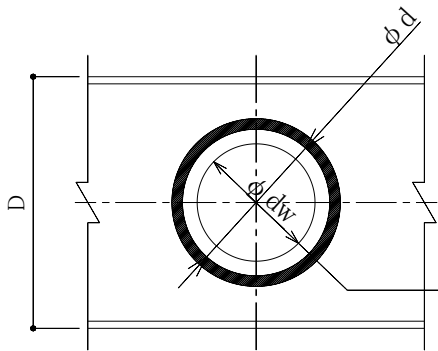
※H形鋼梁の部材種別がFC・FDの場合、H形鋼梁の鋼種がSN400Aの場合、およびOSリングの仕様がSSタイプの場合は終局耐力を設定しない。架構の崩壊メカニズム時の貫通孔位置の応力が短期許容耐力内に留まることを確認する。

図3-1-1 本工法の設計フロー

3-2 設計事項

3-2-1.基本設計事項

1. ウェブ貫通孔径(dw)はφ75～φ600までとし、かつ梁せい(D)の2/3以下とする。ただし、梁の許容応力度の基準強度が385N/mm²を超える場合、貫通孔径は梁せい(D)の1/2以下とする。また、ウェブ貫通孔径(dw)はその貫通孔を補強するOSリング内径(d)の75%まで小さくすることができる。



ウェブ貫通孔径 $dw \leq 2/3D$
 (梁の $F > 385\text{N/mm}^2$ の場合 $dw \leq 1/2D$)
 かつ、 $0.75 \leq dw \leq d$

図 3-2-1 ウェブ貫通孔径

2. 本工法において、梁の中心から貫通孔の中心までの偏心量(e)は、 $e \leq 1/3D - 1/2dw$ とする。ここで(D)は梁せい、(dw)はウェブ貫通孔径を表す。ただし、梁の許容応力度の基準強度が385N/mm²を超える場合、 $e \leq 1/4D - 1/2dw$ とする。また、(D)が1,200を超える場合は(D)を1,200として(e)を計算する。

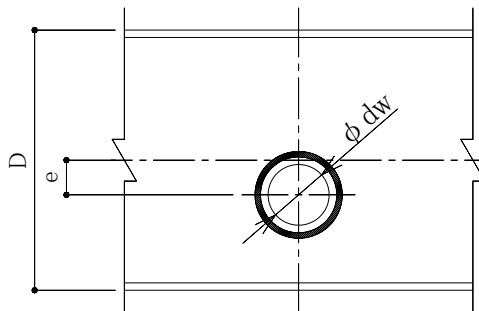


図 3-2-2 偏心量

3. 貫通孔を梁の長さ方向に連続して設ける場合、貫通孔の梁長さ方向中心間距離は大きい方の貫通孔径(dw)の1.5倍以上とする。梁せい方向に貫通孔を連続して設ける事は適用不可とする。

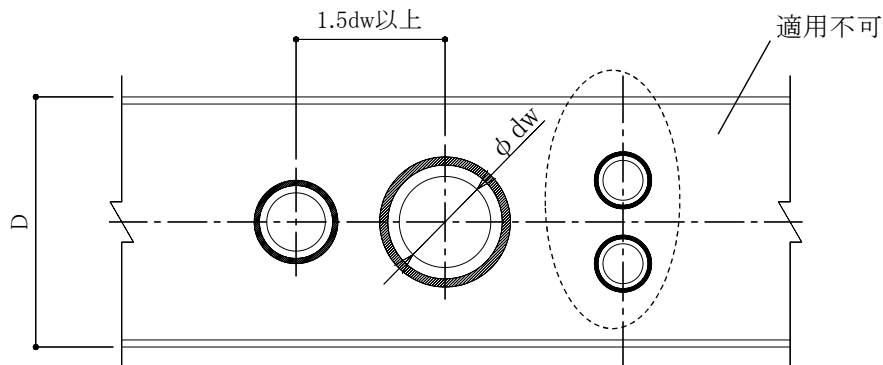


図 3-2-3 連続孔間隔

4. 本工法において、柱面・シアプレート・スプライスプレートから OS リング外縁までのあきは 70mm 以上する。

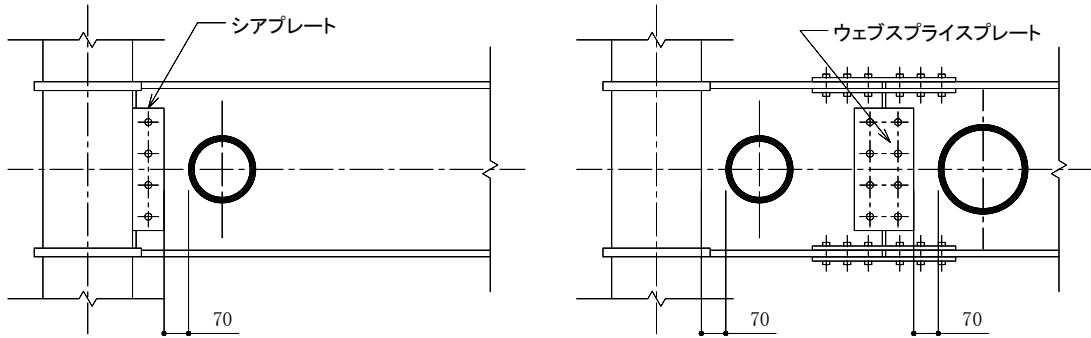


図 3-2-4 柱面・シアプレート・スプライスプレートから OS リング外縁までのあき

5. 表 3-2-1 に示すように、ガセットプレート・リブプレート・スチフナプレート・仮設金物から OS リング外縁までのあきは、原則 30mm 以上とする。ただし、OS リングを後付けの場合で、梁幅が 600mm を超える場合は 70mm 以上、梁幅が 400mm を超え 600mm 以下の場合は 40mm 以上とする。他部材の溶接部と OS リングの溶接部は重ならないようにする。

表 3-2-1 ガセットプレート・リブプレート・スチフナプレート・仮設金物から OS リング外縁までのあき

梁幅(B)	OS リング先付け	OS リング後付け
$B \leq 400$	30mm 以上	30mm 以上
$400 < B \leq 600$		40mm 以上
$600 < B \leq 1,000$		70mm 以上

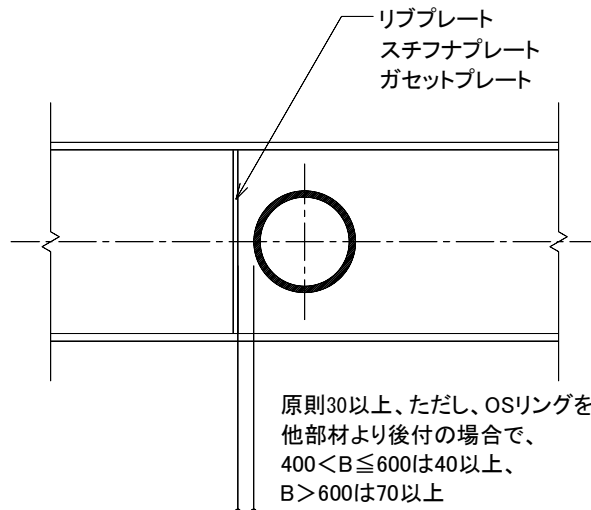


図 3-2-5 ガセットプレート・リブプレート・スチフナプレート・仮設金物から OS リング外縁までのあき

6. OSリングを梁の長さ方向に連続して取り付けの場合、隣接する OS リングの外縁から外縁までのあきは 70 mm 以上とする。

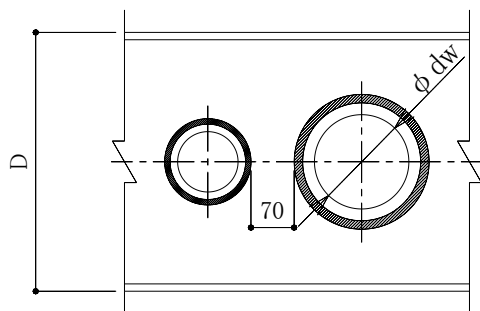


図 3-2-6 隣接する OS リングの外縁から外縁までのあき

7. 表 3-2-2 に示すように、梁フランジ内面から OS リング外縁までのあき(a)は原則 30mm 以上(梁幅が 600mm を超える場合は 70mm 以上、梁幅が 400mm を超え 600mm 以下の場合は 40mm 以上、梁幅が 150mm 以下で、取り付けの OS リングの必要隅肉溶接サイズが 6mm 以下の場合は 24mm 以上)、かつ $r+1.8S$ 以上(r :H 形鋼のフィレット又は BH 鋼の溶接サイズ、 S :OS リング隅肉溶接サイズ)とする。ただし、梁のフィレット又は BH のフランジとウェブの溶接部と OS リングの溶接部を重ねてはならない。

表 3-2-2 梁フランジ内面から OS リング外縁までのあき

梁幅(B)	あき(a)
$B \leq 150$	$a \geq 24$ かつ $a \geq 1.8S+r$ 、ただし、隅肉溶接サイズが 6mm 以下の仕様のみ
$150 < B \leq 400$	$a \geq 30$ かつ $a \geq 1.8S+r$
$400 < B \leq 600$	$a \geq 40$ かつ $a \geq 1.8S+r$
$600 < B \leq 1,000$	$a \geq 70$ かつ $a \geq 1.8S+r$

※1.S: OS リング隅肉溶接サイズ、 r :H 形鋼のフィレット又は BH 鋼の溶接サイズ

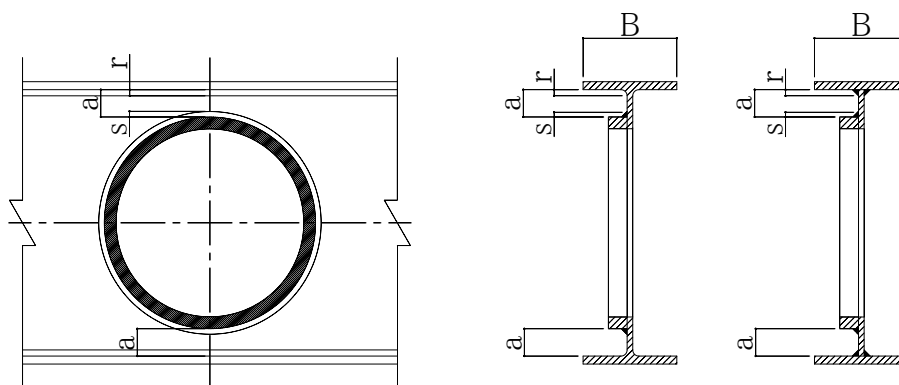


図 3-2-7 梁フランジ内面から OS リング外縁までのあき

梁がビルトHの場合のフランジとウェブの溶接サイズ(r)は図3-2-8に示す。

- ・ウェブ厚 $tw \leq 16\text{mm}$ の場合 ・ウェブ厚 $tw \geq 17\text{mm}$ の場合

		ウェブ厚 $tw(\text{mm})$	7以下	8~10	11~13	14~16	17以上
		$r(\text{mm})$	6	7	10	12	$\sqrt{3/2} \cdot tw$

図3-2-8 ビルトHの場合の(r)

8. OSリングのSSタイプは、表 3-2-3 に示す内法スパン比を満足しなければならない。

表 3-2-3 OSリング SSタイプ_適用内法スパン

孔径比	内法スパン比 L_0/D
$1/2 < \phi / D \leq 2/3$	10 以上
$1/4 < \phi / D \leq 1/2$	6.4 以上
$1/6 < \phi / D \leq 1/4$	2 以上
$1/6 \leq \phi / D$	—

L_0 : 内法スパン
 D : 梁せい
 ϕ : 貫通孔径

9. 梁ウェブ両面に OSリングを取り付ける場合は、同じ OSリングを取り付ける。

10. 梁ウェブの幅厚比は $96\sqrt{235/F}$ 以下とする。(F は梁材の許容応力度の基準強度)

11. 梁に軸力が作用する場合は適用不可とする。

12. OSリングと梁ウェブの隅肉溶接のサイズは必要隅肉溶接サイズ(S)以上でなければならない。表3-2-4に各OSリングに応じた必要隅肉サイズ(S)をそれぞれ示す。

表3-2-4 必要隅肉溶接サイズ

OSリング 製品記号	必要隅肉 溶接サイズ S (mm)
100SS※	5 (6)
125SS※	5 (6)
150SS※	5 (6)
175SS	6
200SS	6
250SS	6
300SS	7
350SS	7

OSリング 製品記号	必要隅肉 溶接サイズ S (mm)
100S※	5 (6)
125S※	5 (6)
150S※	5 (6)
175S	6
200S	6
250S	6
300S	7
350S	7
400S	7
450S	7
500S	8
600S	8

OSリング 製品記号	必要隅肉 溶接サイズ S (mm)
100L	9
125L	9
150L	9
175L	9
200L	9
250L	9
300L	12
350L	12
400L	13
450L	13

※梁母材の許容応力度の基準強度が $385\text{N}/\text{mm}^2$ を超える場合は(S)を6mm以上とする。

3-2-2 応力の確認

本工法を用いた有孔梁の貫通孔部分は以下のように補強設計を行う。

無孔梁として構造計算を行った結果から、想定する貫通孔位置における部材応力を仮定する。部材応力は終局時、短期許容時及び長期許容時におけるそれぞれについて部材曲げ応力と部材せん断応力を仮定する。これらの部材応力のプロットが図3-2-8に示すように終局耐力曲線、短期許容耐力曲線、長期許容耐力曲線にそれぞれ包含されることを確認する。

H形鋼梁の部材種別がFC・FDの場合、H形鋼梁の鋼種がSN400Aの場合、およびOSリングの仕様がSSタイプの場合は、図3-2-8の右図に示すように、終局時、短期許容時における部材応力が短期許容耐力曲線に包含されること、長期許容時における部材応力が長期許容耐力曲線に包含されることを確認する。

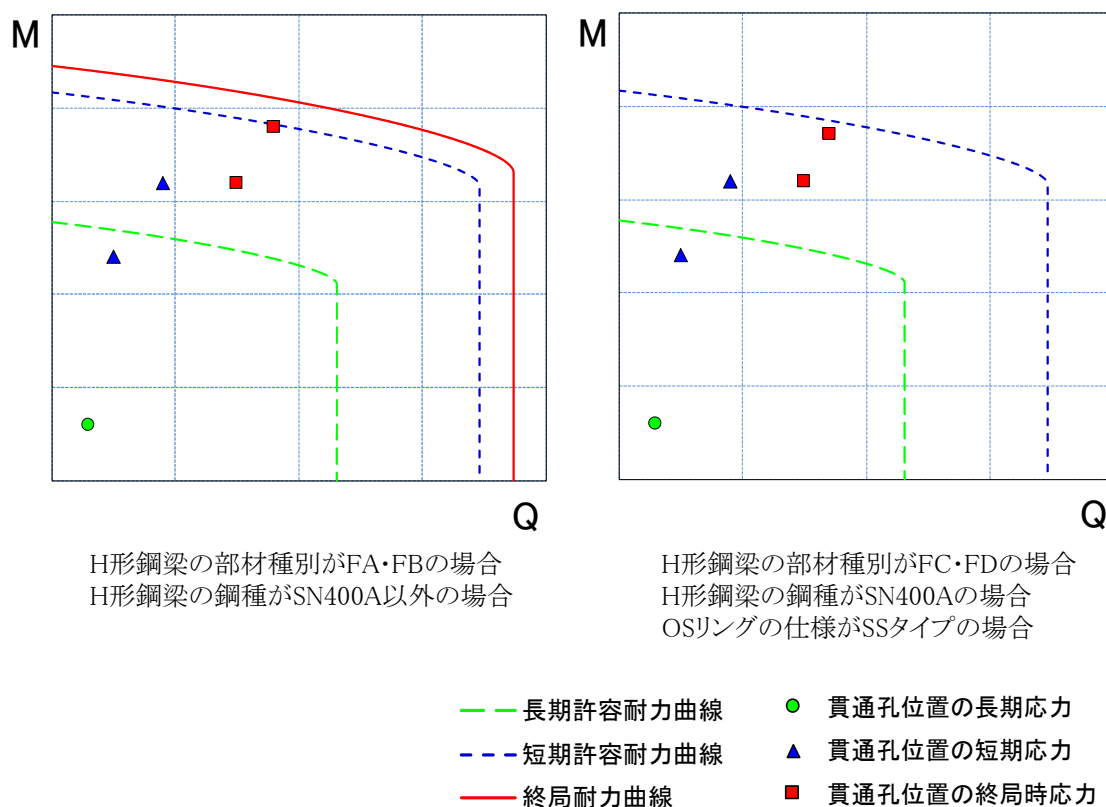


図3-2-8 MQ耐力曲線と部材応力のプロット

3-3 補強設計方法

3-3-1 終局時における補強設計

終局時においては式(3-3-1)に示す設計式を満足することを確認する。

$$\frac{M_{ud}}{wZ_{ph}\sqrt{bF^2 - 3\left(\frac{\beta_u \cdot Q_{ud}}{wA_h}\right)^2} + iZ_p\left(bF - \frac{Q_{ud} \cdot R_w}{2 \cdot Z_T}\right) + \alpha_u \cdot n \cdot Z_{pmr} \cdot rF} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{Q_{ud}}{Q_{uh}} \leq 1 \cdots (3-3-1)$$

- M_{ud} : 終局時における部材曲げ応力
- Q_{ud} : 終局時における部材せん断応力
- wZ_{ph} : 貫通孔部分のウェブの塑性断面係数
- iZ_p : 梁フランジの塑性断面係数
- wA_h : 貫通孔部分のウェブの断面積
- R_w : 梁ウェブ貫通孔の半径
- Z_T : せん断力による2次曲げを負担するT形断面部分の断面係数
- bF : 梁材の曲げ材料強度
- Z_{pmr} : OSリングの曲げ耐力算定用塑性断面係数
- rF : OSリングの曲げ材料強度
- n : 梁ウェブに取り付くOSリングの個数
- α_u : OSリング有効終局曲げ負担係数

$$\alpha_u = \min \left\{ 0.061 \cdot \frac{wZ_{ph} + iZ_p}{n \cdot Z_{pmr}} + 0.135, 1.0 \right\}$$

- Q_{uh} : 貫通孔部分の終局せん断耐力
- $Q_{uh} = wA_h \cdot \frac{bF}{\sqrt{3}} + \frac{4\sqrt{2}}{R + t_r / 2} n \cdot Z_{pr} \cdot rF$
- R : OSリング内半径
- t_r : OSリング最大肉厚
- Z_{pr} : OSリングのせん断耐力算定用塑性断面係数

- β_u : 貫通孔部分のウェブの終局せん断力負担割合

$$\beta_u = \frac{wA_h \cdot bF / \sqrt{3}}{Q_{uh}}$$

ただし、梁ウェブの幅厚比が $65\sqrt{235/bF}$ を超える場合、又は梁フランジの幅厚比が $11\sqrt{235/bF}$ を超える場合、梁の鋼種がSN400Aの場合、OSリングのSSタイプを用いる場合は終局耐力を設定しない。

3-3-2 短期許容時における補強設計

短期許容時においては式(3-3-2)に示す設計式を満足することを確認する。

$$\frac{M_{ad}}{D/2 \sqrt{b_{fa}^2 - 3 \left(\frac{\beta_a \cdot Q_{ad}}{w_{Ah}} \right)^2} + \frac{I_l + \alpha_a \cdot n \cdot I_{mr}}{D/2} \left(b_{fa} - \frac{Q_{ad} \cdot R_w}{2 \cdot Z_r} \right)} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{Q_{ad}}{Q_{ah}} \leq 1 \cdots (3-3-2)$$

M_{ad} : 短期許容時における部材曲げ応力

Q_{ad} : 短期許容時における部材せん断応力

w_{Ih} : 貫通孔部分のウェブの断面2次モーメント

ただし、梁ウェブの幅厚比が $71\sqrt{235/bF}$ を超える場合は
局部座屈の影響を考慮し、幅厚比の規定値を超える部分を
無効とみなした断面2次モーメントとする。

I_l : 梁フランジの断面2次モーメント

ただし、梁フランジの幅厚比が $15.5\sqrt{235/bF}$ を超える場合は
局部座屈の影響を考慮し、幅厚比の規定値を超える部分を
無効とみなした断面2次モーメントとする。

w_{Ah} : 貫通孔部分のウェブの断面積

ただし、梁ウェブの幅厚比が $71\sqrt{235/bF}$ を超える場合は局部座屈の影響を
考慮し、幅厚比の規定値を超える部分を無効とみなした断面積とする

b_{fa} : 梁材の短期許容曲げ応力度

I_{mr} : OSリングの曲げ耐力算定用断面2次モーメント

α_a : OSリング有効許容曲げ負担係数

$$\alpha_a = \min \left\{ 0.022 \cdot \frac{w_{Ih} + I_l}{n \cdot I_{mr}} + 0.28, 1.0 \right\}$$

Q_{ah} : 貫通孔部分の短期許容せん断耐力

$$Q_{ah} = 0.95 \cdot w_{Ah} \cdot \frac{b_{fa}}{\sqrt{3}} + \frac{4\sqrt{2}}{R + t_r/2} n \cdot Z_r \cdot r_{fa}$$

r_{fa} : OSリングの短期許容曲げ応力度

Z_r : OSリングのせん断耐力算定用断面係数

β_a : 貫通孔部分のウェブの許容せん断力負担割合

$$\beta_a = \frac{0.95 \cdot w_{Ah} \cdot b_{fa} / \sqrt{3}}{Q_{ah}}$$

3-3-3 長期許容時における補強設計

長期許容時においては式(3-3-3)に示す設計式を満足することを確認する。

$$\frac{M_{ld}}{D/2 \sqrt{\left(\frac{bf_a}{1.5}\right)^2 - 3 \left(\frac{\beta_a \cdot Q_{ld}}{wA_h}\right)^2 + \frac{f_l + \alpha_a \cdot n \cdot I_{mr}}{D/2} \left(\frac{bf_a}{1.5} - \frac{Q_{ld} \cdot R_w}{2 \cdot Z_T}\right)}} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{Q_{ld}}{Q_{lh}} \leq 1 \cdots (3-3-3)$$

M_{ld} : 長期許容時における部材曲げ応力

Q_{ld} : 長期許容時における部材せん断応力

Q_{lh} : 貫通孔部分の短期許容せん断耐力

$$Q_{lh} = 0.95 \cdot wA_h \cdot \frac{bf_a}{1.5\sqrt{3}} + \frac{4\sqrt{2}}{R + t_r/2} n \cdot Z_r \cdot \frac{rf_a}{1.5}$$

3-4 補強設計式の解説

本工法を用いた有孔梁における貫通孔部分の補強設計式に関する基本的な考え方を示す。

3-4-1 終局耐力

・貫通孔部分の終局せん断耐力 Q_{uh} は、貫通孔部分のウェブが負担するせん断力 ${}_wQ_{uh}$ とOSリングが負担するせん断力 Q_{ur} の和とする。 ${}_wQ_{uh}$ は貫通孔部分のウェブの断面積 ${}_wA_h$ と梁材のせん断材料強度 $bF/\sqrt{3}$ の積として、 Q_{ur} はOSリング肉内に全塑性モーメントを生じさせるせん断力として考える。OSリングの個数を n とし、梁ウェブ片面に1個取り付ける場合は $n=1$ 、梁ウェブ両面に2個取り付ける場合は $n=2$ とする。

$$\begin{aligned} Q_{uh} &= {}_wQ_{uh} + Q_{ur} \\ &= {}_wA_h \frac{bF}{\sqrt{3}} + \frac{4\sqrt{2}}{R+t_r/2} n \cdot Z_{pr} \cdot rF \quad \cdots(3-4-1) \end{aligned}$$

ここで梁ウェブ断面が最小となる部分における梁ウェブの断面積 ${}_wA_h$ は式(3-4-2)により算定する。

$${}_wA_h = t_w \cdot (D - d_w) \quad \cdots(3-4-2)$$

OSリング肉内に全塑性モーメントを生じさせるせん断力 Q_{ur} について説明する。

OSリングが負担するせん断力 Q_r を図3-4-2のような等分布荷重 $w_t=w_c=w$ に置換できるものとする Q_r は

$$Q_r = 2\sqrt{2} \cdot w(R+t_r/2) \quad \cdots(3-4-3)$$

と表すことができる。

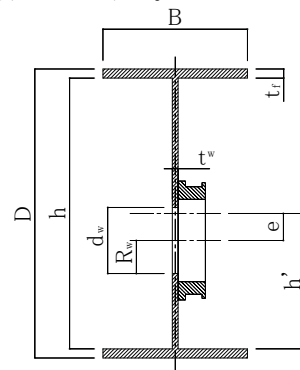


図3-4-1 梁断面

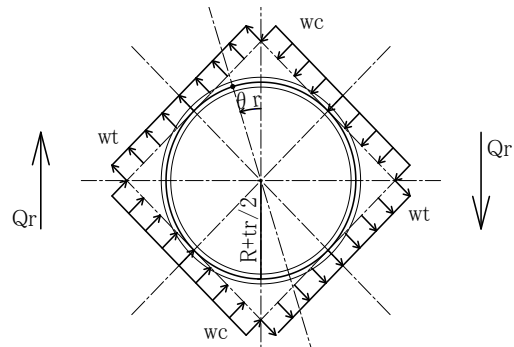


図3-4-2 リングが負担するせん断力

等分布荷重を図3-4-3のように引張分布荷重 w_t と圧縮分布荷重 w_c に分けて考えると、 θ_r の位置におけるOSリング肉内の曲げモーメント M_{rt} および M_{rc} は

$$M_{rt} = M_{rc} = \frac{w(R+t_r/2)^2}{4} \sin 2\theta_r \quad \cdots(3-4-4)$$

となる。

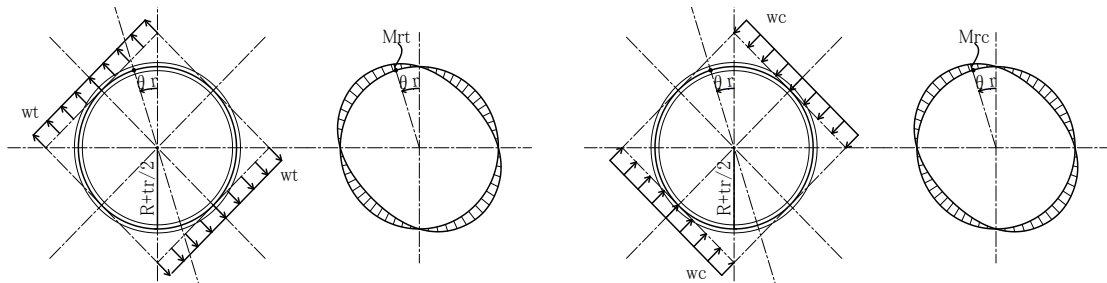


図3-4-3 引張分布荷重および圧縮分布荷重により生ずるOSリング肉内の曲げモーメント分布

M_{rt} と M_{rc} を累加すれば、 θ_r の位置におけるOSリング肉内の
曲げモーメント M_r は図3-4-4のように

$$M_r = M_{rt} + M_{rc} = \frac{w(R + t_r/2)^2}{2} \sin 2\theta_r \quad \dots(3-4-5)$$

となる。

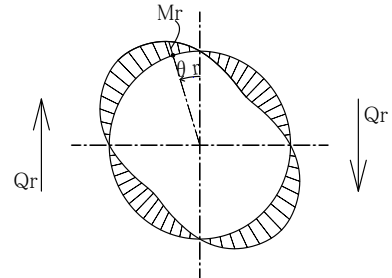


図3-4-4 Q_r により生ずるOSリング肉内の
曲げモーメント分布

M_r が最大となるのは $\theta_r = \pi/4$ の時であるから、式(3-4-3)と式(3-4-5)からOSリングが負担するせん断力 Q_r は
 $\theta_r = \pi/4$ において

$$Q_r = \frac{4\sqrt{2}M_r}{R + t_r/2} \quad \dots(3-4-6) \quad \text{となる。}$$

OSリング肉の塑性断面係数を Z_{pr} とすると、OSリング肉内に全塑性モーメントを生じさせるせん断力 Q_{ur} は

$$Q_{ur} = \frac{4\sqrt{2}}{R + t_r/2} Z_{pr} \cdot rF \quad \dots(3-4-7) \quad \text{と表すことができる。}$$

OSリング肉の塑性断面係数 Z_{pr} はOSリング肉の塑性重心を g_p 、OSリング肉内の引張重心を g_t 、
圧縮重心を g_c とし、式(3-4-8)により算定する。

$$Z_{pr} = b_r \cdot g_p \cdot (g_t + g_c) \quad \dots(3-4-8)$$

ここで

$$g_p = \frac{(b_r - b_1 - b_2) \cdot t_1 + b_1 \cdot t_r + b_2 \cdot t_2}{2b_r}$$

$$g_t = g_p / 2$$

$$g_c = \frac{(b_r - b_1 - b_2)(t_1 - g_p)^2 / 2 + b_1(t_r - g_p)^2 / 2 + b_2(t_2 - g_p)^2 / 2}{(b_r - b_1 - b_2)(t_1 - g_p) + b_1(t_r - g_p) + b_2(t_2 - g_p)}$$

ただし、鋼管タイプおよび厚板タイプにおいては
 $b_1 = b_2 = 0$, $t_1 = t_r$ とする。

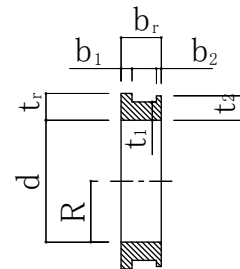


図3-4-5 OSリング断面

・終局時において貫通孔部分に Q_{uh} 以下の任意のせん断力 Q_{ud} が作用しているときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント M_{uh} は、貫通孔部分のウェブが負担できる曲げモーメント wM_{uh} 、貫通孔部分のフランジが負担できる曲げモーメント fM_{uh} 及びOSリングが負担できる曲げモーメント rM_{uh} をそれぞれ足し合わせて算定する。

貫通孔部分のウェブが負担できる曲げモーメント wM_{uh} は、せん断力との組合せ応力を考慮した曲げモーメントとして貫通孔部分のウェブに作用するせん断応力度 $w\tau_u$ を用いて

$$wM_{uh} = wZ_{ph}\sqrt{bF^2 - 3 \cdot w\tau_u^2} \quad \dots(3-4-9) \quad \text{と表すことができる。}$$

貫通孔部分のウェブの塑性断面係数 wZ_{ph} は式(3-4-10)により算定する。

$$wZ_{ph} = \frac{t_w(h^2 - d_w^2)}{4} \quad \dots(3-4-10)$$

Q_{ud} のうち貫通孔部分のウェブが負担するせん断力を wQ_{ud} とすると、貫通孔部分のウェブに作用するせん断応力度 $w\tau_u$ は

$$w\tau_u = \frac{wQ_{ud}}{wA_h} = \frac{\beta_u \cdot Q_{ud}}{wA_h} \quad \dots(3-4-11) \quad \text{となる。}$$

ここで β_u は終局せん断耐力 Q_{uh} に対する貫通孔部分のウェブのせん断耐力 wQ_{uh} の比として式(3-4-12)により算定する。

$$\beta_u = \frac{wQ_{uh}}{Q_{uh}} = \frac{wA_h \cdot bF / \sqrt{3}}{Q_{uh}} \quad \dots(3-4-12)$$

よって wM_{uh} は Q_{ud} を用いた式(3-4-13)により算定することができる。

$$wM_{uh} = wZ_{ph}\sqrt{bF^2 - 3 \cdot \left(\frac{\beta_u \cdot Q_{ud}}{wA_h}\right)^2} \quad \dots(3-4-13)$$

貫通孔部分のフランジが負担できる曲げモーメント fM_{uh} はせん断力による2次曲げにより作用するフランジ部分の応力度 σ_{fu} を用いた式(3-4-14)と表すことができる。

$$fM_{uh} = fZ_p(bF - \sigma_{fu}) \quad \dots(3-4-14)$$

フランジ部分の塑性断面係数 fZ_p は式(3-4-15)により算定する。

$$fZ_p = \frac{B(D^2 - h^2)}{4} \quad \dots(3-4-15)$$

せん断力による2次曲げにより作用するフランジ部分の応力度 σ_{fu} は

$$\sigma_{fu} = \frac{M_{fu}}{Z_T} \quad \dots(3-4-16)$$

と表すことができ、 M_{fu} はせん断力により作用する2次曲げモーメントとして、

$$M_{fu} = \frac{Q_{ud}}{2} \cdot R_w \quad \dots(3-4-17) \quad \text{と表すことができる。}$$

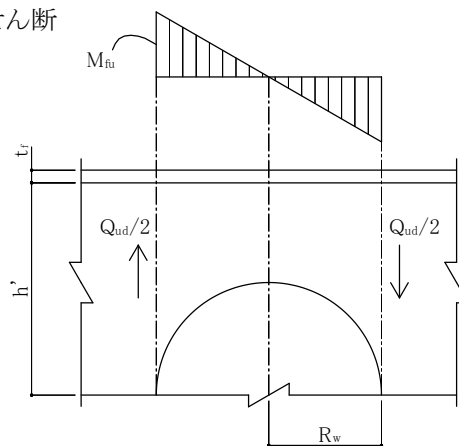


図3-4-6 せん断力による2次曲げ

Z_T は M_{uh} が作用するT形断面部分の断面係数として式(3-4-18)により算定する。

$$Z_T = \frac{I_T}{h' + t_f - g_T} \quad \cdots(3-4-18)$$

ここで g_T はT形断面部分の重心、 I_T はT形断面部分の断面2次モーメントであり式(3-4-19)及び式(3-4-19)により算定する。

$$g_T = \frac{B \cdot t_f(h' + t_f/2) + t_w \cdot h'^2/2}{B \cdot t_f + t_w \cdot h'} \quad \cdots(3-4-19)$$

$$I_T = B \cdot t_f^3/12 + B \cdot t_f(h' + t_f/2 - g_T)^2 + t_w \cdot h'^3/12 + t_w \cdot h'(g_T - h'/2)^2 \quad \cdots(3-4-20)$$

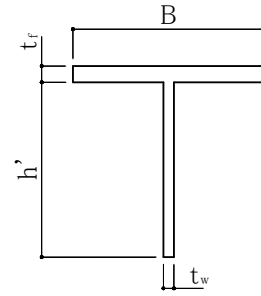


図3-4-7 T形断面部分

よって rM_{uh} は Q_{ud} を用いた式(3-4-21)により算定することができる。

$$rM_{uh} = rZ_p \left(bF - \frac{Q_{ud} \cdot R_w}{2 \cdot Z_T} \right) \quad \cdots(3-4-21)$$

OSリングが負担できる曲げモーメント rM_{uh} はOSリングの有効終局曲げ負担係数 α_u を用いて式(3-4-22)により算定する。

$$rM_{uh} = \alpha_u \cdot n \cdot Z_{pmr} \cdot rF \quad \cdots(3-4-22)$$

OSリングの曲げ耐力算定用断面2次モーメント Z_{pmr} はOSリングのは式(3-4-23)により算定する。

$$Z_{pmr} = \frac{(b_r - b_1 - b_2)(d + 2t_1)^2 + b_1(d + 2t_r)^2 + b_2(d + 2t_2)^2 - b_r \cdot d^2}{4} \quad \cdots(3-4-23)$$

ただし、鋼管タイプおよび厚板タイプにおいては
 $b_1=b_2=0$, $t_1=t_r$ とする。

ここで α_u は実験から求められた係数として式(3-4-24)により算定する。

$$\alpha_u = \min \left\{ 0.061 \frac{wZ_{ph} + rZ_p}{n \cdot Z_{pmr}} + 0.135 \quad , \quad 1.0 \right\} \quad \cdots(3-4-24)$$

終局時において貫通孔部分にあるせん断力 Q_{ud} が作用しているときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント M_{uh} は

$$M_{uh} = wZ_{ph} \sqrt{bF^2 - 3 \left(\frac{\beta_u \cdot Q_{ud}}{wA_h} \right)^2} + rZ_p \left(bF - \frac{Q_{ud} \cdot R_w}{2 \cdot Z_T} \right) + \alpha_u \cdot n \cdot Z_{pmr} \cdot rF \quad \cdots(3-4-25)$$

と表すことができる。

ただし、梁ウェブの幅厚比が $65\sqrt{235/bF}$ を超える場合、又は梁フランジの幅厚比が $11\sqrt{235/bF}$ を超える場合、梁の鋼種がSN400Aの場合、OSリングのSSタイプを用いる場合は終局耐力を設定しない。

3-4-2 短期許容耐力

・純せん断時における短期許容せん断耐力 Q_{ah} は、貫通孔部分のウェブが負担するせん断力 ${}_wQ_{ah}$ とOSリングが負担するせん断力 Q_{ar} の和として式(3-4-13)により算定する。 ${}_wQ_{ah}$ は貫通孔部分のウェブの断面積 ${}_wA_h$ と梁材の短期許容せん断応力度 $b_{fa}/\sqrt{3}$ の積に低減係数0.95をかけた値として、 Q_{ar} はOSリング肉内がOSリングの短期許容曲げ応力度 r_{fa} に達するような曲げを生じさせるせん断力として考える。

$$\begin{aligned} Q_{ah} &= {}_wQ_{ah} + Q_{ar} \\ &= 0.95 \cdot {}_wA_h \frac{b_{fa}}{\sqrt{3}} + \frac{4\sqrt{2}}{R + t_r/2} n \cdot Z_r \cdot r_{fa} \quad \dots(3-4-26) \end{aligned}$$

OSリング肉の断面係数 Z_r はOSリング肉断面の断面2次モーメントを I_r 、OSリング肉断面の重心を g_r とし、式(3-4-25)により算定する。

$$Z_r = \frac{I_r}{t_r - g_r} \quad \dots(3-4-27)$$

OSリング肉断面の断面2次モーメント I_r 、OSリング肉断面の重心 g_r はそれぞれ式(3-4-28)、式(3-4-29)により算定する。

$$g_r = \frac{(b_r - b_1 - b_2) \cdot t_1^2 / 2 + b_1 \cdot t_r^2 / 2 + b_2 \cdot t_2^2 / 2}{(b_r - b_1 - b_2) \cdot t_1 + b_1 \cdot t_r + b_2 \cdot t_2} \quad \dots(3-4-28)$$

$$\begin{aligned} I_r &= (b_r - b_1 - b_2) \cdot t_1^3 / 12 + (b_r - b_1 - b_2) \cdot t_1 \cdot (g_r - t_1 / 2)^2 \\ &\quad + b_1 \cdot t_r^3 / 12 + b_1 \cdot t_r \cdot (g_r - t_r / 2)^2 + b_2 \cdot t_2^3 / 12 + b_2 \cdot t_2 \cdot (g_r - t_2 / 2)^2 \quad \dots(3-4-29) \end{aligned}$$

ただし、鋼管タイプおよび厚板タイプにおいては
 $b_1=b_2=0$, $t_1=t_r$ とする。

・短期許容時において貫通孔部分に Q_{ah} 以下の任意のせん断力 Q_{ad} が作用しているときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント M_{ah} は、貫通孔部分のウェブが負担できる曲げモーメント ${}_wM_{ah}$ 及び貫通孔部分のフランジとOSリングが負担できる曲げモーメント ${}_rM_{ah}$ をそれぞれ足し合わせて算定する。

貫通孔部分のウェブが負担できる曲げモーメント ${}_wM_{ah}$ はせん断力との組合せ応力を考慮した曲げモーメントとして貫通孔部分のウェブに作用するせん断応力度 ${}_w\tau_a$ を用いた式として

$${}_wM_{ah} = \frac{{}_wI_h}{D/2} \sqrt{b_{fa}^2 - 3 \cdot {}_w\tau_a^2} \quad \dots(3-4-30) \quad \text{と表すことができる。}$$

貫通孔部分のウェブの断面2次モーメント ${}_wI_h$ は式(3-4-31)により算定する。

$${}_wI_h = \frac{t_w(h^3 - d_w^3)}{12} \quad \dots(3-4-31)$$

Q_{ad} のうち貫通孔部分のウェブが負担するせん断力を wQ_{ad} とすると、貫通孔部分のウェブに作用するせん断応力度 $w\tau_a$ は

$$w\tau_a = \frac{wQ_{ad}}{wA_h} = \frac{\beta_a \cdot Q_{ad}}{wA_h} \quad \dots(3-4-32) \quad \text{となる。}$$

ここで β は短期許容せん断耐力 Q_{ah} に対する貫通孔部分のウェブのせん断耐力 wQ_{ah} の比として式(3-4-33)により算定する。

$$\beta_a = \frac{wQ_{ah}}{Q_{ah}} = \frac{0.95 \cdot wA_h \cdot b_{fa} / \sqrt{3}}{Q_{ah}} \quad \dots(3-4-33)$$

よって wM_{ah} は Q_{ad} を用いた式(3-4-34)により算定することができる。

$$wM_{ah} = \frac{wI_h}{D/2} \sqrt{b_{fa}^2 - 3 \cdot \left(\frac{\beta_a \cdot Q_{ad}}{wA_h} \right)^2} \quad \dots(3-4-34)$$

貫通孔部分のフランジとOSリングが負担できる曲げモーメント $f_r M_{ah}$ はせん断力による2次曲げにより作用するフランジ部分の応力度 σ_{fa} を用いた式(3-4-35)と表すことができる。

$$f_r M_{ah} = \frac{fI + \alpha_a \cdot n \cdot I_{mr}}{D/2} (b_{fa} - \sigma_{fa}) \quad \dots(3-4-35)$$

梁フランジの断面2次モーメント I 及びOSリング曲げ耐力算定用断面2次モーメント I_{mr} は式(3-4-36)及び式(3-4-37)によりそれぞれ算定する。

$$fI = \frac{B(D^3 - h^3)}{12} \quad \dots(3-4-36)$$

$$I_{mr} = \frac{(b_r - b_1 - b_2)(d + 2t_1)^3 + b_1(d + 2t_r)^3 + b_2(d + 2t_2)^3 - b_r \cdot d^3}{12} \quad \dots(3-4-37)$$

ただし、鋼管タイプおよび厚板タイプにおいては

$$b_1 = b_2 = 0, \quad t_1 = t_r \quad \text{とする。}$$

ここでOSリングの有効許容曲げ負担係数 α_a は実験から求められた係数として式(3-4-38)により算定する。

$$\alpha_a = \min \left\{ 0.022 \frac{wI_h + fI}{n \cdot I_{mr}} + 0.28, \quad 1.0 \right\} \quad \dots(3-4-38)$$

せん断力による2次曲げにより作用する貫通孔部分のフランジの応力度 σ_{fa} は

$$\sigma_{fa} = \frac{M_{fa}}{Z_T} \quad \dots(3-4-39)$$

と表すことができ、 M_{fa} はせん断力により作用する2次曲げモーメントとして、

$$M_{fa} = \frac{Q_{ad}}{2} \cdot R_w \quad \dots(3-4-40)$$

と表すことができ、 $f_r M_{ah}$ は Q_{ad} を用いた式(3-4-41)により算定することができる。

$$f_r M_{ah} = \frac{fI + \alpha_a \cdot n \cdot I_{mr}}{D/2} \left(b_{fa} - \frac{Q_{ad} \cdot R_w}{2 \cdot Z_T} \right) \quad \dots(3-4-41)$$

短期許容時において貫通孔部分にあるせん断力 Q_{ad} が作用しているときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント M_{ah} は

$$M_{ah} = \frac{w_{Ih}}{D/2} \sqrt{b_{fa}^2 - 3 \left(\frac{\beta_a \cdot Q_{ad}}{w_{Ah}} \right)^2} + \frac{I_d + \alpha_a \cdot n \cdot I_{m,r}}{D/2} \left(b_{fa} - \frac{Q_{ad} \cdot R_w}{2 \cdot Z_T} \right) \quad \dots(3-4-42)$$

と表すことができる。

・梁ウェブの幅厚比が $71\sqrt{235/bF}$ を超える場合、及び梁フランジの幅厚比が $15.5\sqrt{235/bF}$ を超える場合は図3-4-8のように局部座屈の影響を考慮し、幅厚比の規定値を超える部分を無効とみなし、かつ貫通孔欠損を考慮して貫通孔部分の耐力を算定する。

局部座屈を考慮した梁ウェブの無効部分を h_d 、梁フランジの無効部分を b_d とすると、無効部分を考慮した梁ウェブの断面積 w_{Ah} 、断面2次モーメント w_{Ih} 、梁フランジの断面2次モーメント I_d はそれぞれ式(3-4-43)、(3-4-44)、(3-4-45)により算定する。

$$\begin{aligned} w_{Ah} &= t_w \cdot (D - h_d - d_w) \\ &= t_w \cdot (t_w \cdot 71\sqrt{235/bF} - d_w) \quad \dots(3-4-43) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{Ih} &= \frac{t_w \{ h^3 - (h_d + d_w)^3 \}}{12} \\ &= \frac{t_w \{ h^3 - (h - t_w \cdot 71\sqrt{235/bF} + d_w)^3 \}}{12} \quad \dots(3-4-44) \end{aligned}$$

ただし、 $(h_d + d_w) > D$ のときは $(h_d + t_w) = D$ とする。

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{(B - 2b_d)(D^3 - h^3)}{12} \\ &= \frac{\{ B - 2(B/2 - t_f \cdot 15.5\sqrt{235/bF}) \} (D^3 - h^3)}{12} \\ &= \frac{2t_f \cdot 15.5\sqrt{235/bF} \cdot (D^3 - h^3)}{12} \quad \dots(3-4-45) \end{aligned}$$

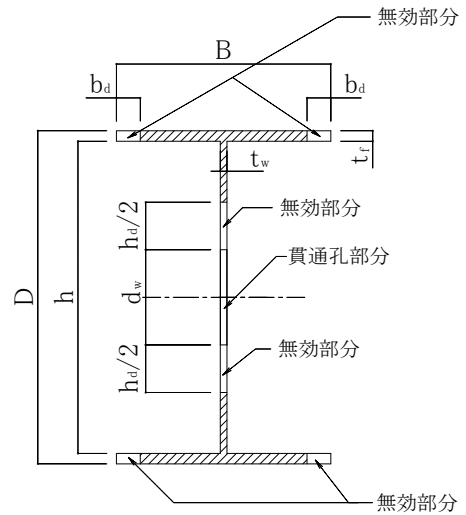


図3-4-8 梁断面

3-4-3 長期許容耐力

・純せん断時における長期許容せん断耐力 Q_{lh} は、短期許容せん断耐力 Q_{ah} の式における梁の短期許容せん断応力度 $b f_a / \sqrt{3}$ を梁の長期許容せん断応力度 $b f_a / 1.5 \sqrt{3}$ と置き換え、OSリングの短期許容曲げ応力度 f_a をOSリングの長期許容曲げ応力度 $f_a / 1.5$ と置き換えて算定する。

$$Q_{lh} = 0.95 \cdot w A_h \frac{b f_a}{1.5 \sqrt{3}} + \frac{4 \sqrt{2}}{R + t_r / 2} n \cdot Z_r \cdot \frac{r f_a}{1.5} \quad \dots(3-4-46)$$

・長期許容時において貫通孔部分にあるせん断力 Q_{ld} が作用しているときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント M_{lh} は、長期許容時において貫通孔部分にあるせん断力 Q_{ld} が作用しているときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント M_{uh} の式における梁の短期許容曲げ応力度 $b f_a$ を梁の長期許容曲げ応力度 $b f_a / 1.5$ と置き換えて算定する。

$$M_{lh} = \frac{w I_h}{D / 2} \sqrt{\left(\frac{b f_a}{1.5} \right)^2 - 3 \left(\frac{\beta_a \cdot Q_{ld}}{w A_h} \right)^2} + \frac{I + \alpha_a \cdot n \cdot I_{m r}}{D / 2} \left(\frac{b f_a}{1.5} - \frac{Q_{ld} \cdot R_w}{2 \cdot Z_r} \right) \quad \dots(3-4-47)$$

と表すことができる。

・梁ウェブの幅厚比が $71 \sqrt{235 / b F}$ を超える場合、及び梁フランジの幅厚比が $15.5 \sqrt{235 / b F}$ を超える場合は局部座屈の影響を考慮し、幅厚比の規定値を超える部分を無効とみなし、かつ貫通孔欠損を考慮して貫通孔部分の耐力を算定する。

3-4-4 隅肉溶接の必要サイズの算定

・終局状態の純せん断時において、OSリングが負担するせん断力 Q_{ur} を図3-4-9のような等分布荷重 w_u に置換できるものとする。

$$Q_{ur} = 2\sqrt{2} \cdot w_u(R + t_r/2) \quad \dots(3-4-50)$$

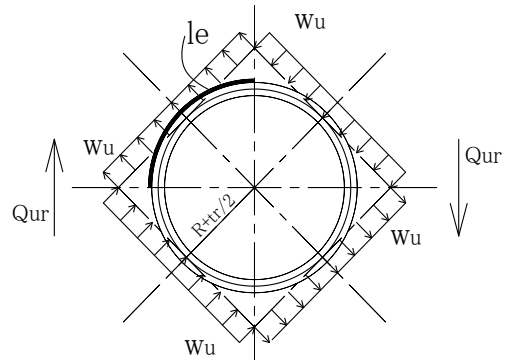


図3-4-9 隅肉溶接部に作用する等分布荷重

隅肉溶接部に等分布荷重 w_u が作用するとき、隅肉溶接部の応力度が溶接部の短期許容せん断応力度 $wF/\sqrt{3}$ 以下となるような隅肉溶接部ののど厚を必要隅肉溶接ののど厚 a_u とすれば、

$$a_u \cdot l_e \cdot \frac{wF}{\sqrt{3}} = 2(R + t_r/2) \cdot w_u \quad \dots(3-4-51)$$

となる。

ここで l_e は隅肉溶接のOSリングせん断力負担有効長さで

$$l_e = \frac{\pi(R + t_r)}{2} \quad \dots(3-4-52)$$

とする。

式(3-4-50)、式(3-4-51)および式(3-4-52)から求められたのど厚に安全係数1.5を乗じた値を必要のど厚 a_u として、以下のように求める。

$$a_u = 1.5 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot Q_{ur}}{\pi(R + t_r) \frac{wF}{\sqrt{3}}} \quad \dots(3-4-53)$$

・終局状態の純曲げ時においてOSリング全断面が曲げ負担するとき、図3-4-15に示すようにOSリング断面に生じる引張力および圧縮力それぞれを全周隅肉溶接長さの1/4が負担するものとして必要隅肉溶接のど厚を算定する。

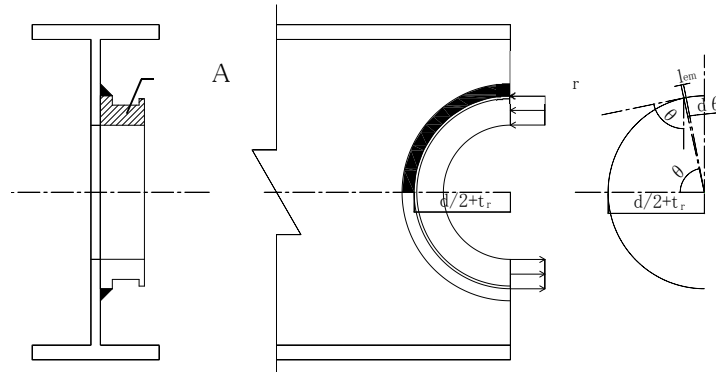


図3-4-10 純曲げ時における必要隅肉溶接のど厚

このとき、隅肉溶接は斜方隅肉溶接継目とみなせるので、単位長さ当たりの溶接継目の最大耐力 q_{wu} は式(3-4-53)によることができる。図3-4-15における微小角度 $d\theta$ に対応する隅肉溶接有効長さ l_{em} は式(3-4-54)となり、全周隅肉溶接長さの1/4が負担できる隅肉溶接最大耐力を

T_{wu} とすると式(3-4-55)のように q_{wu} を θ で積分した値となる。

$$q_{wu} = (1 + 0.4 \cos \theta) \cdot a_{um} \frac{wF_u}{\sqrt{3}} \quad \cdots(3-4-53)$$

$$l_{em} = (R + t_r) \cdot d\theta \quad \cdots(3-4-54)$$

$$\begin{aligned} T_{wu} &= \int_0^{\pi/2} (1 + 0.4 \cos \theta) \cdot a_{um} \frac{wF_u}{\sqrt{3}} (R + t_r) \cdot d\theta \\ &= (\pi/2 + 0.4) \cdot a_{um} \frac{wF_u}{\sqrt{3}} (R + t_r) \quad \cdots(3-4-55) \end{aligned}$$

OSリング肉断面積を A_r とすると、純曲げ時にOSリング肉断面に生じる引張力 T_{ry} は A_r とOSリング材料強度 rF の積となる。 T_{ry} を微小角度 $d\theta$ に対応する隅肉溶接有効長さ l_{em} が負担するとき、隅肉溶接部が破断しないような必要隅肉溶接のど厚を a_{um} とし、式(3-4-56)により求める。

$$a_{um} = \frac{T_{ry}}{(\pi/2 + 0.4)(R + t_r) \cdot wF_u / \sqrt{3}} \quad \cdots(3-4-56)$$

ここで $T_{ry} = A_r \cdot rF$

$$A_r = (b_r - b_1 - b_2) \cdot t_1 + b_1 \cdot t_r + b_2 \cdot t_2$$

ただし鋼管タイプ、厚板タイプは $b_1=b_2=0$, $t_1=t_r$

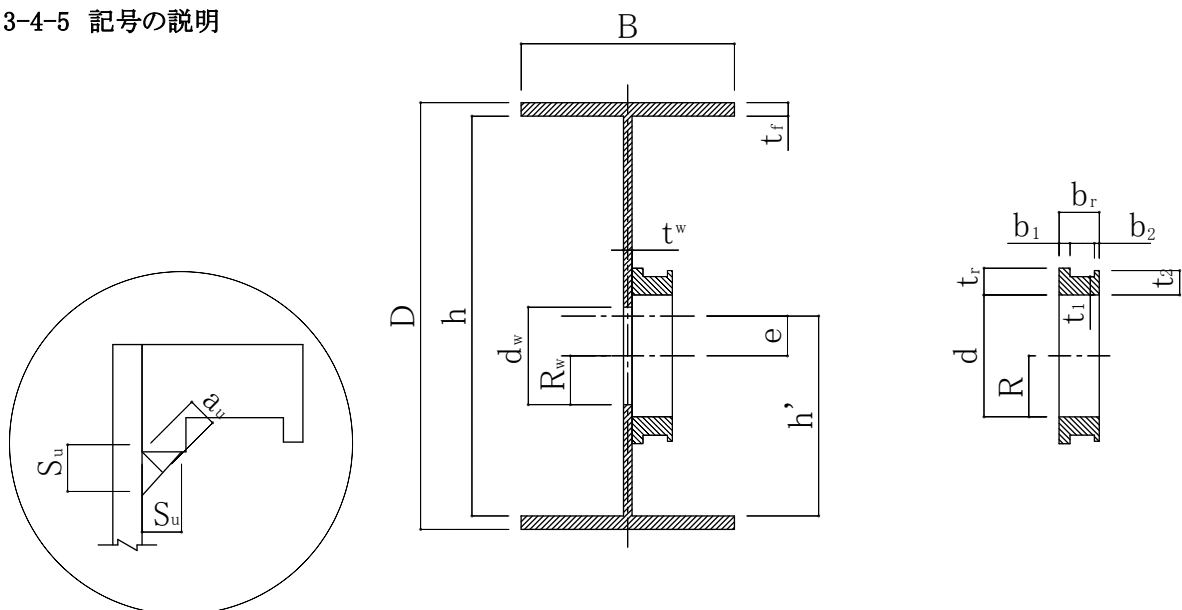
OSリング断面に生じる圧縮力に関しても同様に考えることができる。

・OSリングと梁ウェブの必要隅肉溶接サイズ S は式(3-4-57)により算定する。

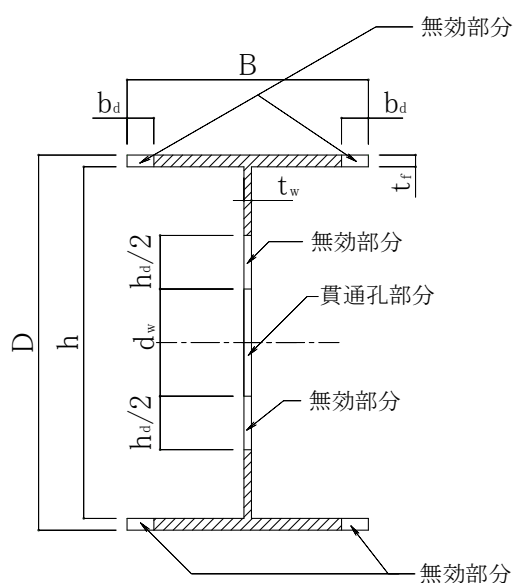
$$S > \max(a_u, a_{um}) / 0.7 \quad \cdots(3-4-57)$$

このとき、必要隅肉溶接サイズ S は13mmを超えてはならない。

3-4-5 記号の説明



- wA_h : 貫通孔部分のウェブの断面積
- A_r : OSリング肉断面積
- a_u : 純せん断時の必要隅肉溶接のど厚
- a_{um} : 純曲げ時の必要隅肉溶接のど厚
- B : 梁幅
- b_d : 局部座屈を考慮した梁フランジの無効部分
- b_r : OSリング幅
- b_1 : OSリング幅1、ただし鋼管タイプ、厚板タイプは $b_1=0$
- b_2 : OSリング幅2、ただし鋼管タイプ、厚板タイプは $b_2=0$
- D : 梁せい
- d : OSリング内径
- d_w : ウェブ貫通孔径
- b_{fa} : 梁材の許容応力度の基準強度
- r_{fa} : OSリングの許容応力度の基準強度
(ただし、 $r_{fa} \geq b_{fa}$ の場合は $r_{fa} = b_{fa}$)
- w_{fa} : 溶接部の許容応力度の基準強度
- wF_u : 溶接部の引張強さ
- bF : 梁材の材料強度の基準強度
- rF : OSリングの材料強度の基準強度
- g_c : OSリング肉内の圧縮重心
- g_p : OSリング肉内の塑性重心
- g_r : OSリング肉断面の重心
- g_t : OSリング肉内の引張重心
- g_T : t_{θ} の位置における梁貫通孔部分片側T形断面の重心



h : 梁ウェブせい
 h_d : 局部座屈を考慮した梁ウェブの無効部分
 h' : 梁ウェブ半せい
 w_{Ih} : 貫通孔部分のウェブの断面2次モーメント
 I_d : 梁フランジの断面2次モーメント
 I_{mr} : OSリング曲げ耐力算定用断面2次モーメント
 I_r : OSリング肉断面の断面2次モーメント
 I_T : $\tau\theta$ の位置における梁貫通孔部分片側T形断面の断面2次モーメント
 l_e : 隅肉溶接のOSリングせん断力有効長さ
 l_{em} : 微小角度 $d\theta$ に対応した隅肉溶接有効長さ
 M_{ad} : 短期許容時における部材曲げ応力
 M_{ah} : 短期許容時においてあるせん断力が作用したときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント
 rM_{ah} : 短期許容時においてあるせん断力が作用したときに貫通孔部分のフランジとOSリングが負担できる曲げモーメント
 wM_{ah} : 短期許容時においてあるせん断力が作用したときに梁ウェブが負担できる曲げモーメント
 M_{fa} : Q_{ah} により生じる2次曲げモーメント
 M_{fh} : Q_{uh} により生じる2次曲げモーメント
 M_{ld} : 長期許容時における部材曲げ応力
 M_{lh} : 長期許容時においてあるせん断力が作用したときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント
 M_r : OSリングが負担するせん断力 Q_r により生じるリング肉内の曲げモーメント
 M_{rc} : 相対する一様な圧縮分布荷重 w_c により生じるリング肉内の曲げモーメント
 M_{rt} : 相対する一様な引張分布荷重 w_t により生じるリング肉内の曲げモーメント
 M_{ud} : 終局時における部材曲げ応力
 M_{uh} : 終局時においてあるせん断力が作用したときに貫通孔部分が負担できる曲げモーメント
 fM_{uh} : 終局時においてあるせん断力が作用したときに貫通孔部分のフランジが負担できる曲げモーメント
 rM_{uh} : 終局時においてあるせん断力が作用したときにOSリングが負担できる曲げモーメント
 wM_{uh} : 終局時においてあるせん断力が作用したときに貫通孔部分のウェブが負担できる曲げモーメント
 n : OSリングの個数
 q_{wu} : 単位長さ当たりの隅肉溶接最大耐力
 Q_{ad} : 短期許容時における部材せん断応力
 wQ_{ad} : Q_{ad} のうち貫通孔部分のウェブが負担するせん断応力
 Q_{ah} : 貫通孔部分の短期許容せん断耐力
 wQ_{ah} : 貫通孔部分のウェブが負担できる短期許容せん断耐力
 Q_{ar} : OSリング肉内が短期許容曲げ応力度に達するような曲げを生じさせるせん断力
 Q_{ld} : 長期許容時における部材せん断応力
 Q_{lh} : 貫通孔部分の長期許容せん断耐力
 Q_r : OSリングが負担するせん断力
 Q_{ud} : 短期許容時における部材せん断応力
 wQ_{ud} : Q_{ud} のうち貫通孔部分のウェブが負担するせん断応力
 Q_{uh} : 貫通孔部分の終局せん断耐力
 wQ_{uh} : 貫通孔部分のウェブが負担できる終局せん断耐力
 Q_{ur} : OSリング肉内に全塑性モーメントを生じさせるせん断力

R : OSリング内半径
 R_w : ウェブ貫通孔半径
 S : 必要隅肉溶接サイズ
 t_f : 梁フランジ厚
 t_w : 梁ウェブ厚
 t_r : OSリング最大肉厚
 t_1 : OSリング肉厚1、ただし鋼管タイプ、厚板タイプは $t_1=t_r$
 t_2 : OSリング肉厚2
 T_{ry} : 純曲げ時にOSリング肉断面に生じる引張力
 T_{wu} : 全周隅肉溶接長さの1/4が負担できる隅肉溶接最大耐力
 w : OSリングが負担するせん断力 Q_r から置換される等分布荷重
 w_c : OSリングが負担するせん断力 Q_r から置換される等分布荷重の圧縮成分
 w_t : OSリングが負担するせん断力 Q_r から置換される等分布荷重の引張成分
 w_u : OSリング肉内に全塑性モーメントを生じさせるせん断力 Q_{ur} から置換される等分布荷重
 ${}_wZ_h$: 貫通孔部分のウェブの断面係数
 ${}_iZ$: 梁フランジの断面係数
 Z_{pmr} : OSリング曲げ耐力算定用塑性断面係数
 ${}_wZ_{ph}$: 貫通孔部分のウェブの塑性断面係数
 ${}_iZ_p$: 梁フランジの塑性断面係数
 Z_{pr} : OSリングせん断耐力算定用塑性断面係数
 Z_T : $r\theta_r$ の位置における梁貫通孔部分片側T形断面の断面係数
 Z_r : OSリングせん断耐力算定用断面係数
 α_a : OSリング有効許容曲げ負担係数
 α_u : OSリング有効終局曲げ負担係数
 β_a : 貫通孔部分のウェブの許容せん断力負担割合
 β_u : 貫通孔部分のウェブの終局せん断力負担割合
 $d\theta$: 微小角度
 θ_r : 梁ウェブ断面が最小となる位置からの角度
 σ_{fa} : M_{fa} により生じる貫通孔部分のフランジ内の応力度
 σ_{fu} : M_{fu} により生じる貫通孔部分のフランジ内の応力度
 ${}_w\tau_a$: 短期許容時に貫通孔部分のウェブに作用するせん断応力度
 ${}_w\tau_u$: 終局時に貫通孔部分のウェブに作用するせん断応力度

参考文献)

1) 構造力学公式集，社団法人 土木学会 1986年6月