

## 2. 鋼道路橋の疲労設計

清川 昇悟

(株) 横河ブリッジホールディングス

The background of the slide is a grayscale photograph of a steel structure, likely a bridge or industrial component. It shows a prominent horizontal weld joint across the top, with several vertical welds or bolts visible below it. The surface of the steel is textured and shows some signs of wear or corrosion.

2021年10月15日  
第40回鋼構造基礎講座  
「疲労のメカニズム」

# 鋼道路橋の疲労設計

(株)横河ブリッジホールディングス  
清川 昇悟

# 本日の講演内容

## 1. 疲労設計の基本

✓疲労設計に関する基準類、設計の基本、設計の流れ

## 2. 継手の種類と疲労強度

✓疲労設計曲線、継手の疲労強度等級、継手の品質

## 3. 応力による照査

✓公称応力による照査、局部応力による照査

## 4. 構造詳細による照査

✓構造的な配慮事項、鋼床版等の疲労設計

## 5. その他の疲労耐久性評価法

✓疲労き裂進展解析、実験による疲労耐久性評価



# 1. 疲労設計の基本

疲労設計に関する基準類、疲労設計の基本、疲労設計の流れ

# 鋼道路橋の疲労設計に関わる基準類

- 日本道路協会 鋼道路橋疲労設計便覧 令和2年9月
- 日本道路協会 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編 平成29年11月

その他、参考になる書籍

- 土木学会 鋼・合成構造標準示方書 設計編 2016年制定
- 日本鋼構造協会 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 2012年改訂版
- 日本道路協会 鋼道路橋の疲労設計指針 平成14年
- 鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物 2009年
- IIW(国際溶接学会) Recommendation for fatigue design of welded joints and components, IIW-1823-07,2012

# 疲労設計の基本

## ■疲労強度の低い継手を採用しない

- ✓疲労強度が著しく低い継手、過去に損傷が報告されている継手、溶接部の品質確保が困難な継手

## ■活荷重等によって部材に生じる応力変動の影響を評価したうえで疲労耐久性を確保する

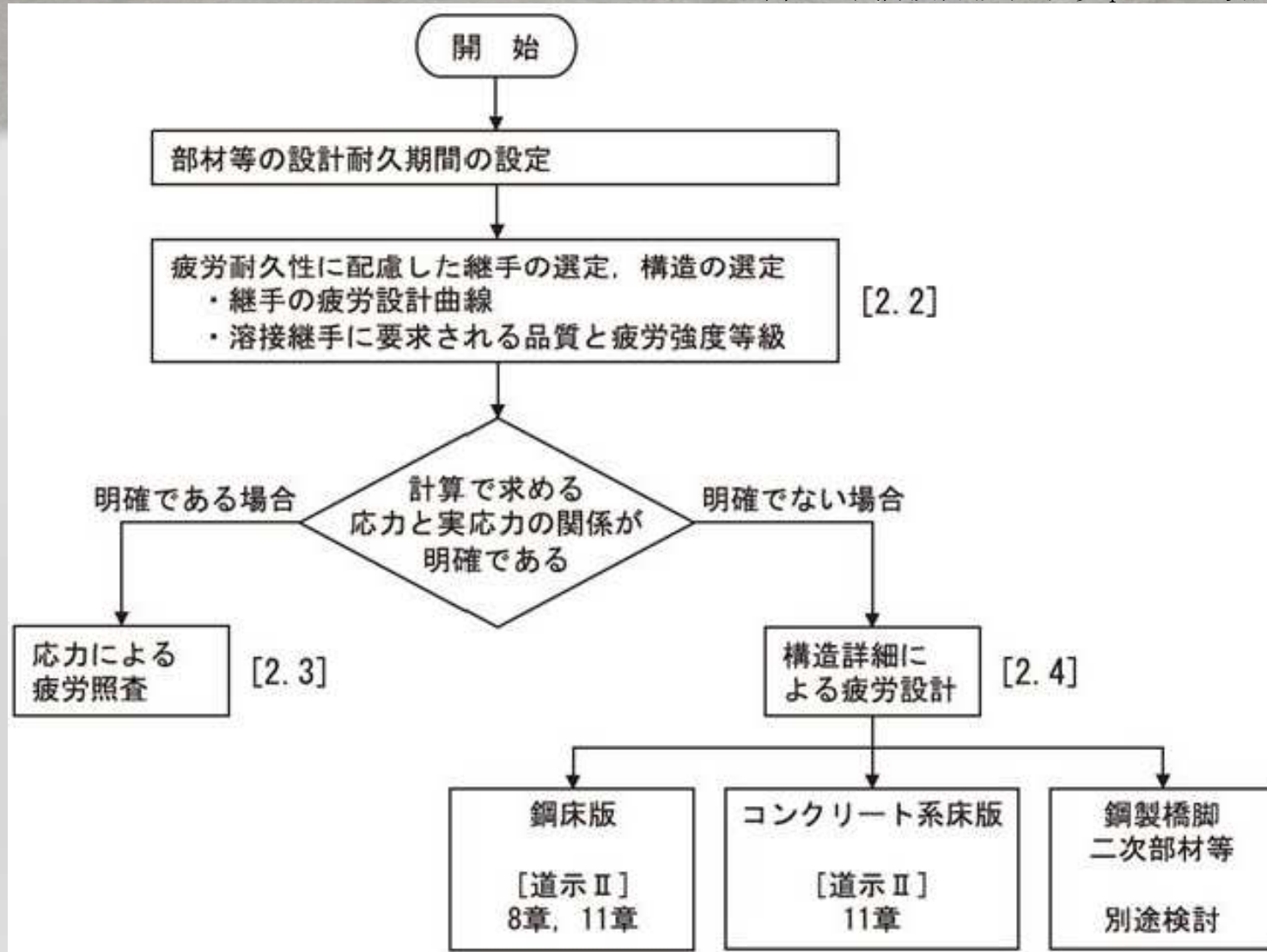
- ✓通行車両による発生応力は、荷重と載荷回数を適切に定める

## ■設計計算で求める応力と実応力の関係が明確である場合 → 応力による照査

## ■明確でない場合 → (鋼床版)構造詳細による照査

# 疲労設計の流れ

(鋼道路橋疲労設計便覧p.75より引用)





## 2. 継手の種類と疲労強度

疲労設計曲線、継手の疲労強度等級、継手の品質

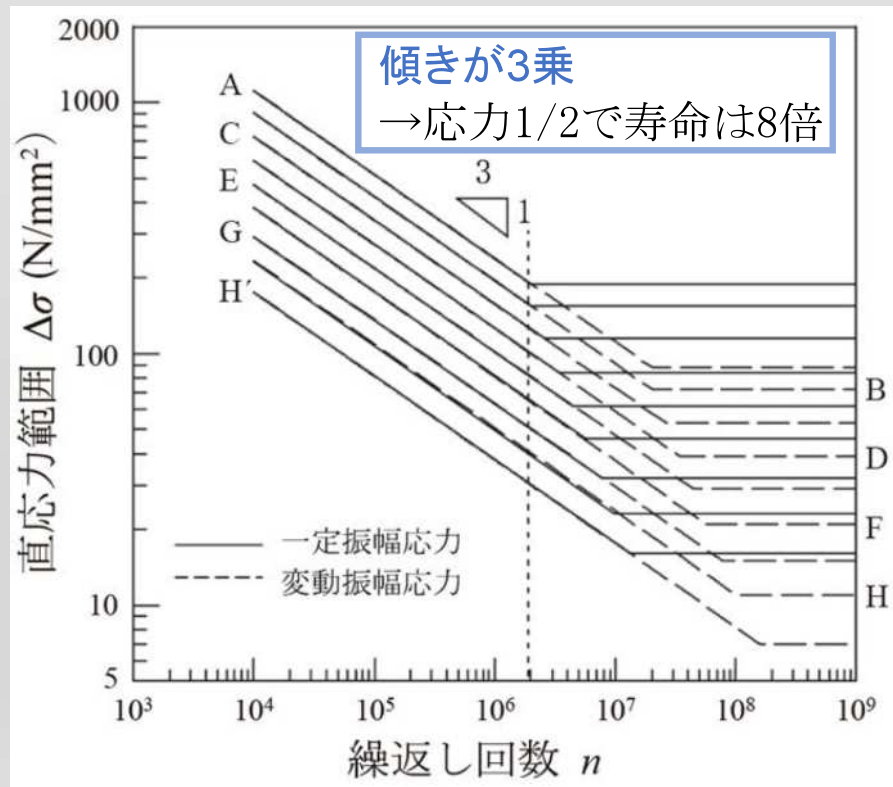


# 継手の疲労設計曲線

■疲労損傷は、部材に応力変動が繰返し作用して発生

→疲労耐久性は応力範囲(S)と繰返し数(N)の関係で評価

→疲労設計曲線(S-N線)



(鋼道路橋疲労設計便覧p.79より引用)

## 【直応力】

A等級～H'等級の9区分

## 【せん断応力】

S等級の1区分

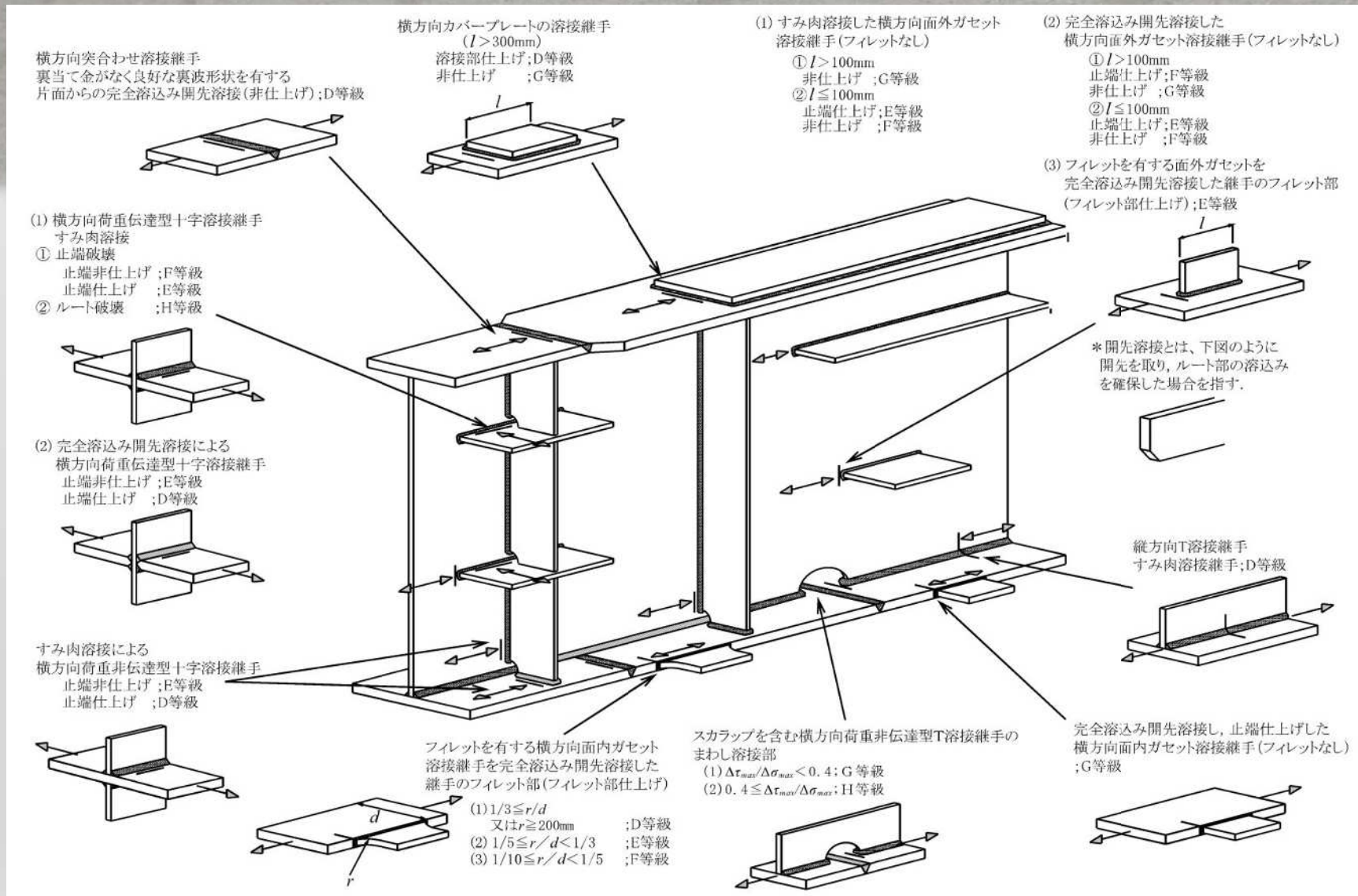
## 【ケーブル・ボルト】

K1等級～K5等級の5区分

## 応力範囲の打切り限界(疲労限)

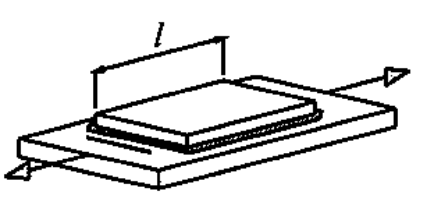
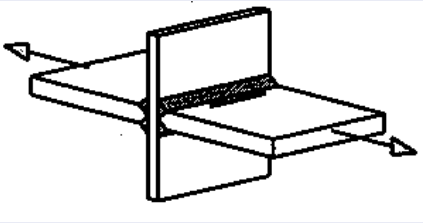
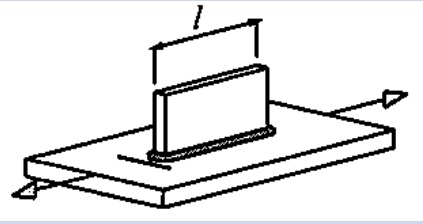
これ以下の応力範囲では、設計供用期間で疲労耐久性は確保されるという考え方

# 代表的な継手の種類



(鋼道路橋疲労設計便覧p.81より引用)

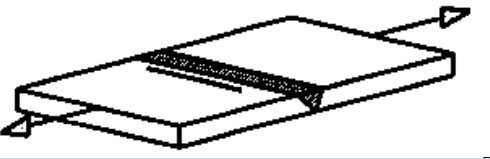
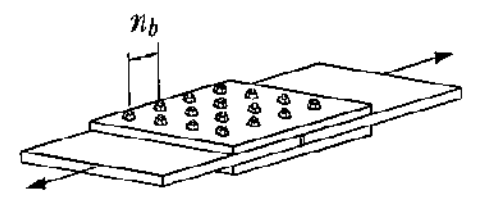
# 継手の種類と疲労強度の一例

継手の種類と疲労強度	適用する箇所の例
<p>横方向カバープレート溶接継手 (<math>l &gt; 300\text{mm}</math>)                      溶接部仕上げ; D等級                      非仕上げ; G等級</p> 	<p>ソールプレートの溶接                      ハンドホール・マンホールのダブリ                      ングプレートの溶接</p>
<p>横方向荷重伝達型十字溶接継手                      完全溶込み溶接                      止端非仕上げ; E等級                      止端仕上げ; D等級</p> 	<p>横桁フランジと主桁ウェブの溶接                      支点上補剛材とフランジの溶接                      横梁ウェブと主桁ウェブの溶接                      鋼製橋脚隅角部の十字溶接継手</p>
<p>横方向面外ガセット溶接継手 (フィレットなし)                      ① <math>l &gt; 100\text{mm}</math>                      止端仕上げ; F等級                      止端非仕上げ; G等級</p> 	<p>横桁フランジと主桁ウェブの溶接                      水平補剛材と主桁ウェブの溶接                      横リブフランジと主桁ウェブの溶接</p>

着目する応力の方向で異なる継手に

(鋼道路橋疲労設計便覧p.81より引用)

# 継手の種類と疲労強度の一例

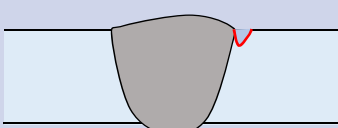
継手の種類と疲労強度	適用する箇所の例
<p>裏当て金がなく良好な形状の裏波を有する片面からの完全溶込み開先溶接 非仕上げ; <b>D等級</b></p> 	<p>フランジやウェブの<b>板継ぎ溶接</b> 横桁フランジと主桁フランジの溶接</p>
<p><b>高力ボルト</b>摩擦接合継手の母材 <math>1 \leq n_b \leq 4</math>; <b>B等級</b> <math>5 \leq n_b \leq 15</math>; <b>C等級</b> *<math>n_b</math>はボルト列数</p> 	<p>部材同士の現場継手</p>

(鋼道路橋疲労設計便覧p.81、道路橋示方書p.166より引用)

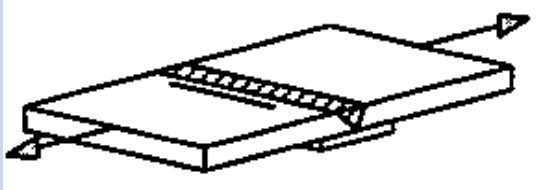
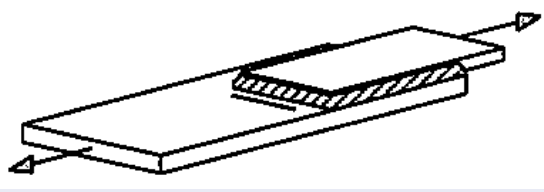
- 溶接継手の疲労強度等級は**D等級**が最上級
- 高力ボルト**継手の疲労強度は高い(疲労照査の必要性が低い)

# 溶接継手に要求される品質

- 溶接継手の疲労強度は溶接品質(きずの有無、止端形状)に大きく影響を受ける
- 要求を満たさない継手は疲労強度等級を下げる

種類	継手	許容値
アンダーカット 	溶接きずが疲労強度に影響する継手	0.0mm(仕上げ) 0.3mm以下
	疲労強度への影響がない継手	0.5mm以下
内部きず 	溶接きずが疲労強度に影響する継手	3mm以下 ( $t \leq 18\text{mm}$ ) $t/6$ mm以下 (t:板厚)
	疲労強度への影響がない継手	$t/3$ mm以下 (t:板厚)

# 疲労耐久性上望ましくない継手の一例

継手の種類と疲労強度	理由
<p>裏当て金付きの片面からの横方向突合せ溶接継手 <math>t \leq 12\text{mm}</math>; F等級 <math>t &gt; 12\text{mm}</math>; G等級</p> 	<p>溶接部の品質を非破壊検査により保証することが難しい</p>
<p>重ね溶接継手 (1) 主板断面; H等級 (2) 添接板断面; H等級 (3) 溶接のど断面; H等級</p> 	<p>疲労強度が低い</p>

(鋼道路橋疲労設計便覧p.98より引用)

- この他、維持管理上疲労き裂の発生を確認することが難しい、過去に疲労損傷が問題になった、などの理由も
- このような継手は、他の継手形式に変更する

# 規定にない継手はどうするか？

■規定の各継手の疲労強度は、既往研究の疲労試験結果から定められている。

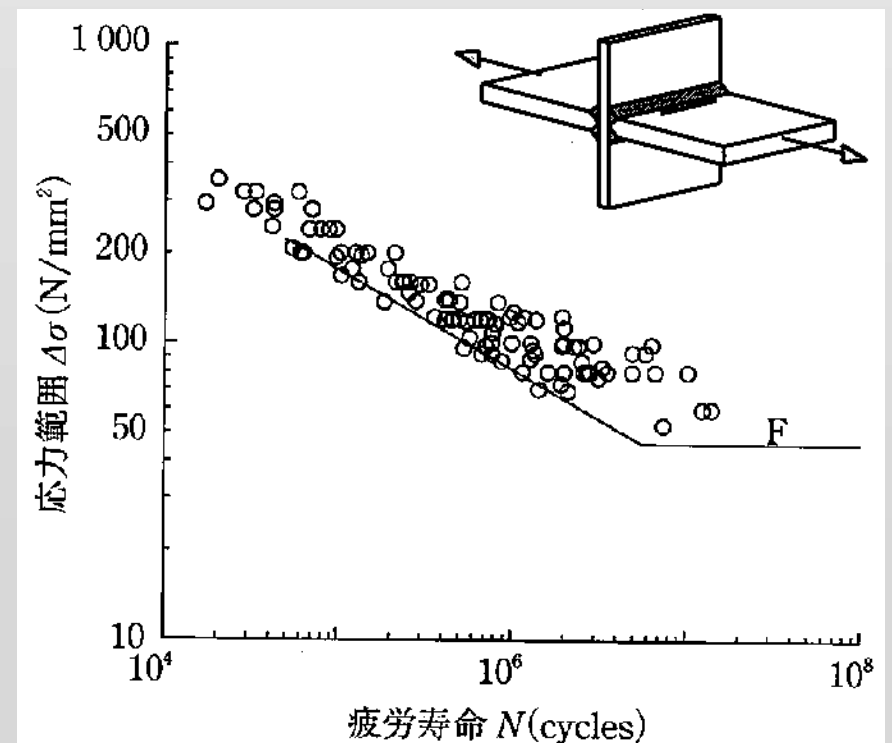
✓疲労試験結果の**下限値**あるいは**非超過確率97.7%**の値から

■規定にない継手は、

(継手諸元、溶接条件、拘束条件、荷重条件を適切に評価した)

**疲労試験**によって疲労強度を確認する。

荷重伝達型十字継手(すみ肉溶接および部分溶込み開先溶接)止端破壊、非仕上げ



(日本鋼構造協会 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 2012年改訂版 p.46より引用)



### 3. 応力による照査

公称応力による照査、局部応力による照査



# 公称応力による照査の流れ

☑設計条件の整理



(設計耐久期間、継手の疲労強度等級、大型車交通量 etc.)

☑安全性が確保されているとみなせる条件

(橋梁形式、継手、鋼種、支間長、交通量)

NG

☑一定振幅応力に対する応力範囲の打切り限界による照査

(応力範囲、平均応力、板厚の影響)

NG

☑線形累積被害則による照査

NG

↑  
板厚・継手位置・  
構造・継手種類  
の変更

OK

OK

OK

# 疲労に対する安全性が確保されているとみなしてよい条件

橋梁形式	コンクリート系床版を有する鋼桁橋
使用継手	[道路橋示方書Ⅱ]8.3.2の規定において疲労強度等級AからF等級に分類される継手
使用鋼種	SS400, SM400, SM490, SM490Y, SM520, SMA400, SMA490, SBHS400
支間長	最小支間長が50m以上
$ADTT_{SLi}$ (日大型車交通量)	1000台/(日・車線)以下

- 標準的な鋼桁橋の多くの試設計結果から定められた条件

# 一定振幅応力に対する 応力範囲の打切り限界による照査の流れ

## ① 変動応力の算出

疲労設計荷重を車線に影響線載荷し、応力変動波形を求める

## ② 変動応力の補正

構造や車線数、解析モデル等の影響について補正

## ③ 応力範囲の算出

波形処理(レインフロー法等)により応力範囲を算出

## ④ 平均応力の影響の考慮

圧縮応力が疲労耐久性に与える影響を補正

## ⑤ 板厚の影響の考慮

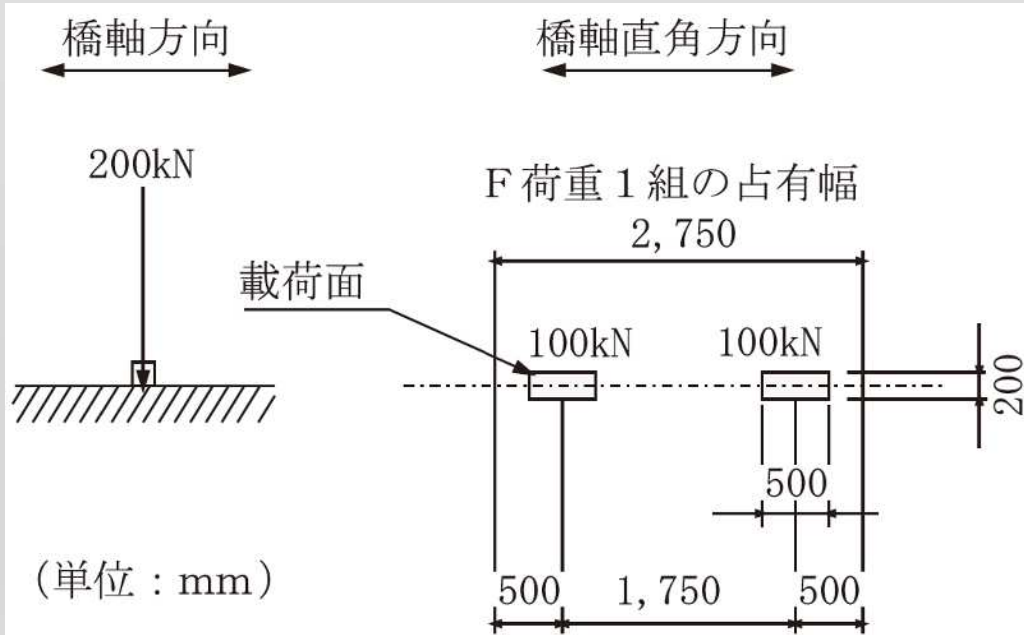
板厚効果の補正

**応力範囲の最大値と打切り限界により安全性を照査**

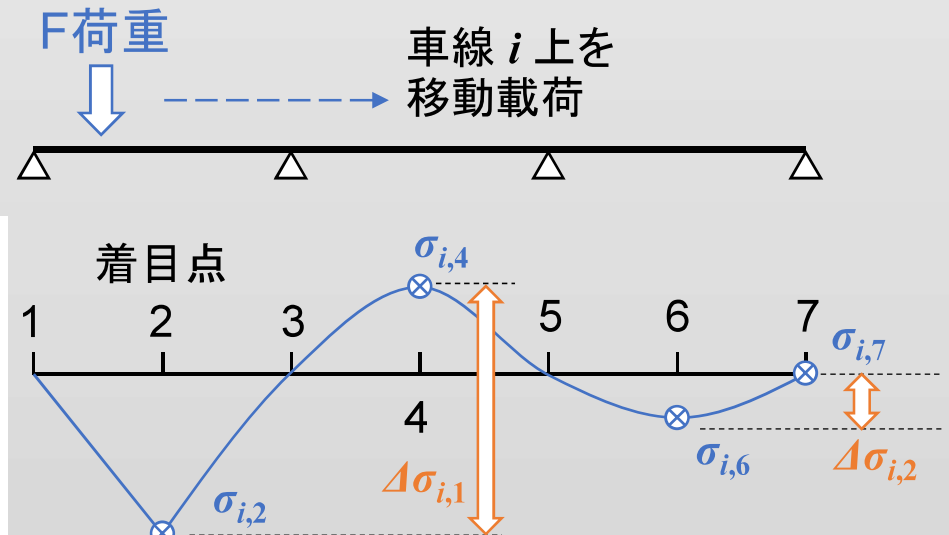
# 変動応力の算出

- 疲労設計荷重 (F荷重) を車線毎に影響線載荷し、応力の変動波形を求める

## 疲労設計荷重 (F荷重)



(鋼道路橋疲労設計便覧p.106より引用)



$$\Delta\sigma_{i,1} = |\sigma_{i,2} - \sigma_{i,4}| \times \gamma_{F(i)}$$

$$\Delta\sigma_{i,2} = |\sigma_{i,6} - \sigma_{i,7}| \times \gamma_{F(i)}$$

変動応力補正係数

# 変動応力の補正

- 様々な橋梁構造や車線数の橋に対する影響や、計算応力算出に用いる解析モデルによる実応答との差異の影響を考慮する
- 代表的な路線における活荷重実態調査結果や、実交通流を模擬したコンピュータシミュレーション結果をもとに、補正係数で調整

## 変動応力補正係数

$$\gamma_F = \gamma_{F1} \times \gamma_{F2} \times \gamma_{F3} \times (1 + i_f) \times \gamma_a$$

$\gamma_{F1}$ 、 $\gamma_{F2}$ 、 $\gamma_{F3}$ ：同時載荷等補正係数

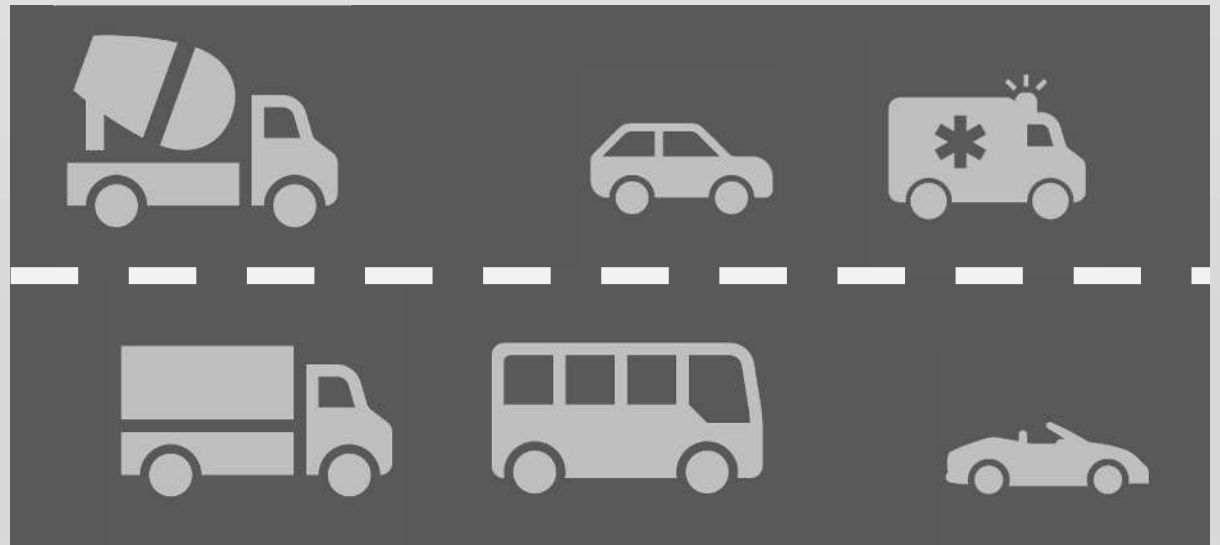
$i_f$ ：動的作用の影響を補正するための係数

$\gamma_a$ ：計算応力補正係数

# 同時載荷等補正係数1 $\gamma_{F1}$

- 実際の橋梁では、様々な自動車(車軸数、軸距)が同時に走行
- その応力変動を、一軸のF荷重で代表したことによる影響を補正

$$\gamma_{F1} = 3.0$$



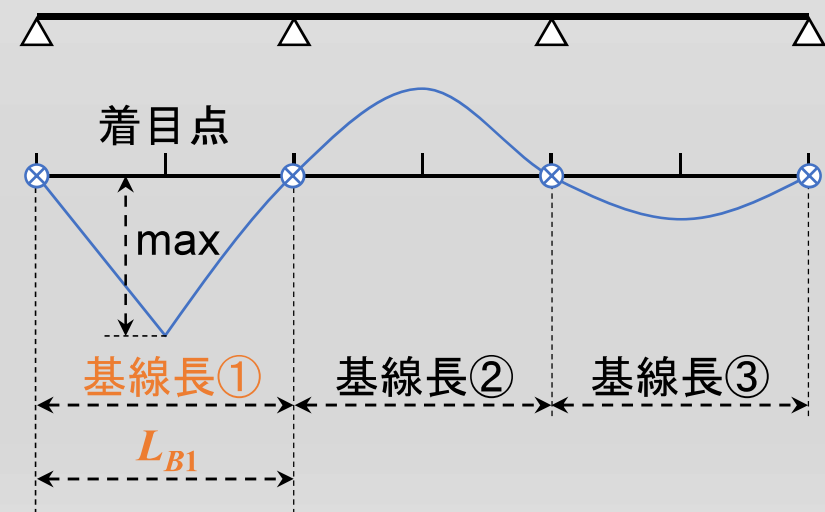
# 同時載荷等補正係数2 $\gamma_{F2}$

- 影響線の基線長の長さの違いが変動応力に与える影響を考慮
- 基線長：影響線が0となる位置で影響線を分割した範囲の長さ

$$\gamma_{F2} = ( \log_{10} L_{B1} + 1.50 ) / 3.0$$

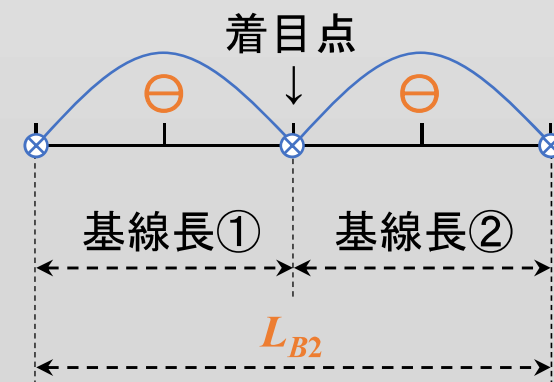
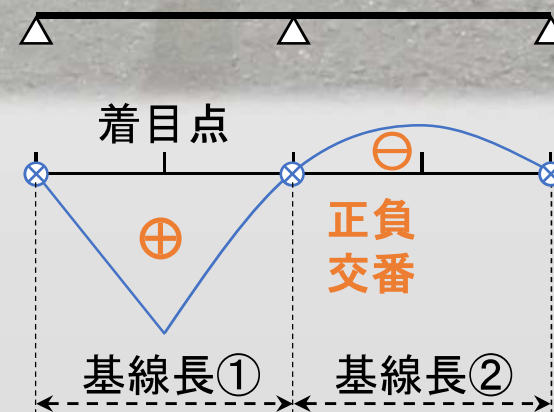
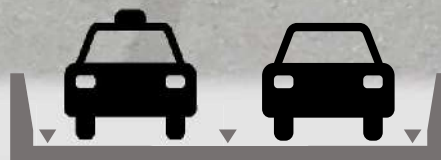
ただし、 $2/3 < \gamma_{F2} \leq 1.00$

$L_{B1}$ ：対象となる断面力影響線の基線長のうち、影響線縦距が最大となる位置を含むもの(m)



# 同時載荷等補正係数3 $\gamma_{F3}$

■隣接する車線に同時に車軸が載荷される場合の影響を補正



$L_{B2}$  : 基線長の和(m)

(正負交番する場合)

$$\gamma_{F3} = 1.00$$

(正負交番しない場合)

	$L_{B2} \leq 50\text{m}$	$50\text{m} < L_{B2}$
$ADTT_{SLi} \leq 2000$	1.00	1.00
$2000 < ADTT_{SLi}$	1.00	1.10

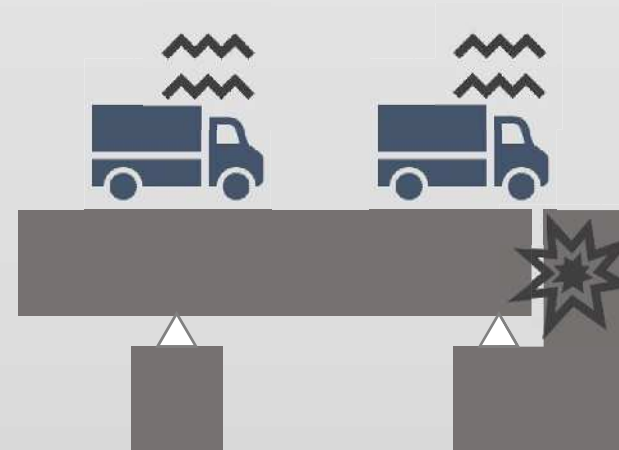


# 動的作用の影響を考慮するための係数 $i_f$

- 移動する車軸の変動による動的作用の影響を考慮

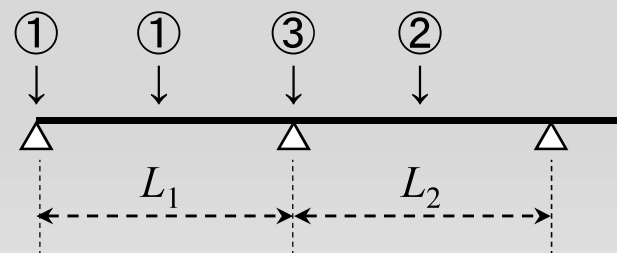
$$i_f = 10 / (50 + L)$$

- 耐荷力設計における衝撃係数の1/2の値(過度に安全側にならないよう)  
(ただし、衝撃の大きな桁端部近傍は必要に応じて配慮が必要)



$L$ : 耐荷力設計において  
衝撃係数を求めるときの  
支間長(m)

(連続桁の場合)



荷重①:  $L_1$

荷重②:  $L_2$

荷重③:  $(L_1 + L_2) / 2$

# 計算応力補正係数 $\gamma_a$

- 一般的な設計計算で得られる応力値と、実際の応力値との相違を補正

構造形式	解析手法	計算応力補正係数
コンクリート床版を有する鋼桁のうち、 I形又は箱形断面のもの (ただし少数主桁橋を除く)	三次元有限要素解析	1.0
	骨組解析又は格子解析	0.8
鋼床版を有する鉄桁のうち I形又は箱形断面のもの	三次元有限要素解析	1.0
	その他*	1.0

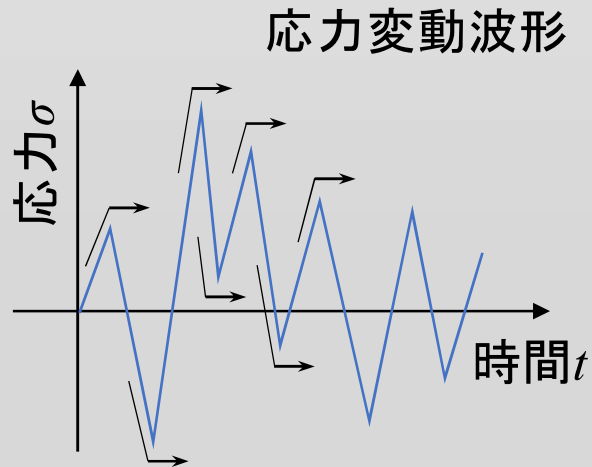
\*実応力と計算応力の相違について十分に検討した場合は別途検討

- ✓ 過去の土木研究所の検討では、コンクリート床版を有するI形断面鋼桁の実際の発生応力は、計算応力の50～80%であった。

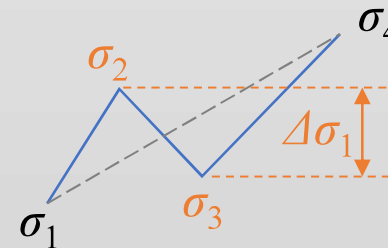
# 応力範囲の算出

- F荷重の移動載荷より計算され、前述の係数により補正された応力変動波形に対して、適切な波形処理を施して応力範囲と発生頻度を求める
- 一般的にはレインフロー法が用いられる

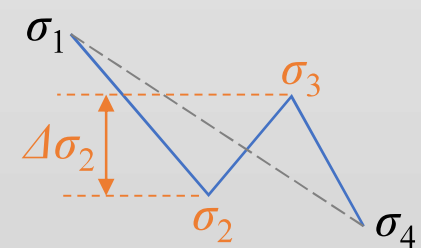
## レインフロー法の概要



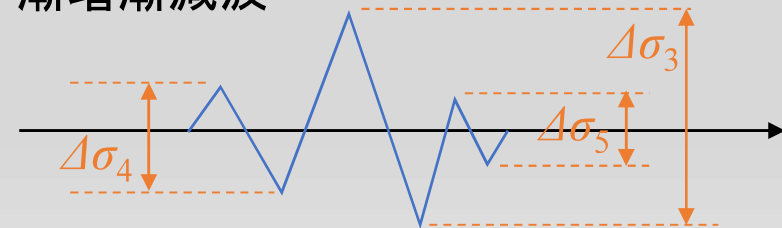
$$\sigma_1 \leq \sigma_3 \leq \sigma_2 \leq \sigma_4$$



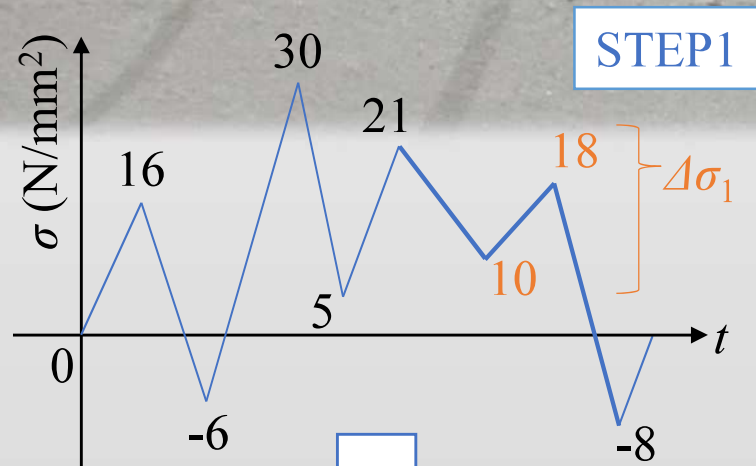
$$\sigma_1 \geq \sigma_3 \geq \sigma_2 \geq \sigma_4$$



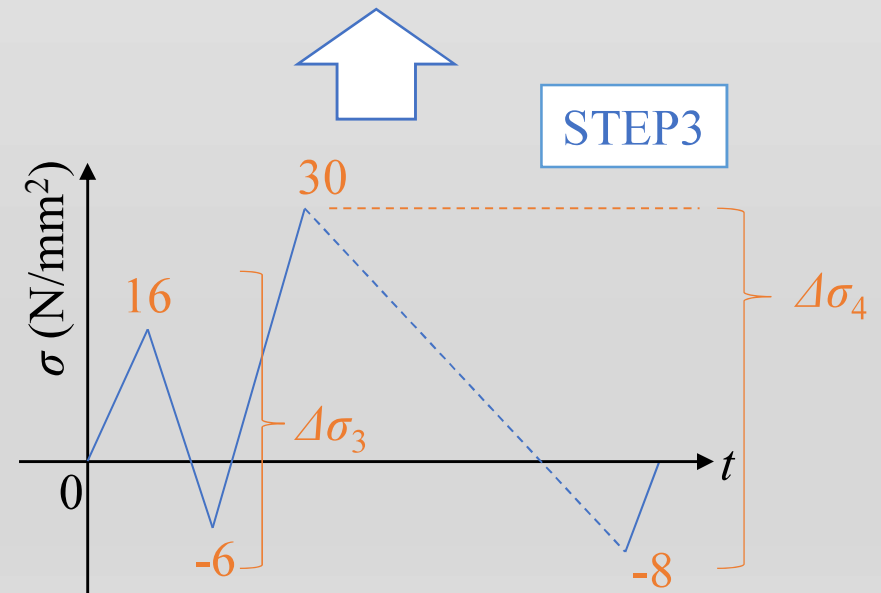
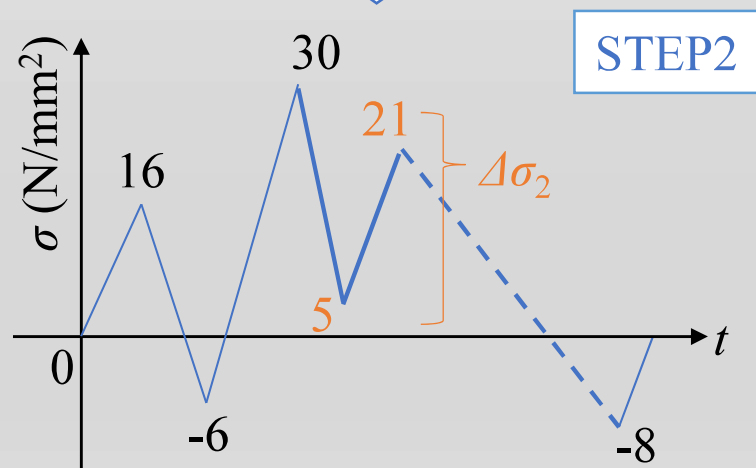
## 漸増漸減波



# 応力範囲の計算例



$$\begin{aligned} \Delta\sigma_1 &= |18 - (-8)| = 8 \text{ N/mm}^2 \\ \Delta\sigma_2 &= |21 - 5| = 16 \text{ N/mm}^2 \\ \Delta\sigma_3 &= |16 - (-6)| = 22 \text{ N/mm}^2 \\ \Delta\sigma_4 &= |30 - (-8)| = \mathbf{38 \text{ N/mm}^2} \\ &= \mathbf{\Delta\sigma_{max}} \end{aligned}$$



# 一定振幅応力に対する 応力範囲の打切り限界による照査の流れ

## ① 変動応力の算出

疲労設計荷重を車線に影響線載荷し、応力変動波形を求める

## ② 変動応力の補正

構造や車線数、解析モデル等の影響について補正

## ③ 応力範囲の算出

波形処理(レインフロー法等)により応力範囲を算出

ここまで  
説明しました

## ④ 平均応力の影響の考慮

圧縮応力が疲労耐久性に与える影響を補正

## ⑤ 板厚の影響の考慮

板厚効果の補正

**応力範囲の最大値と打切り限界により安全性を照査**

# 平均応力(応力比)の影響

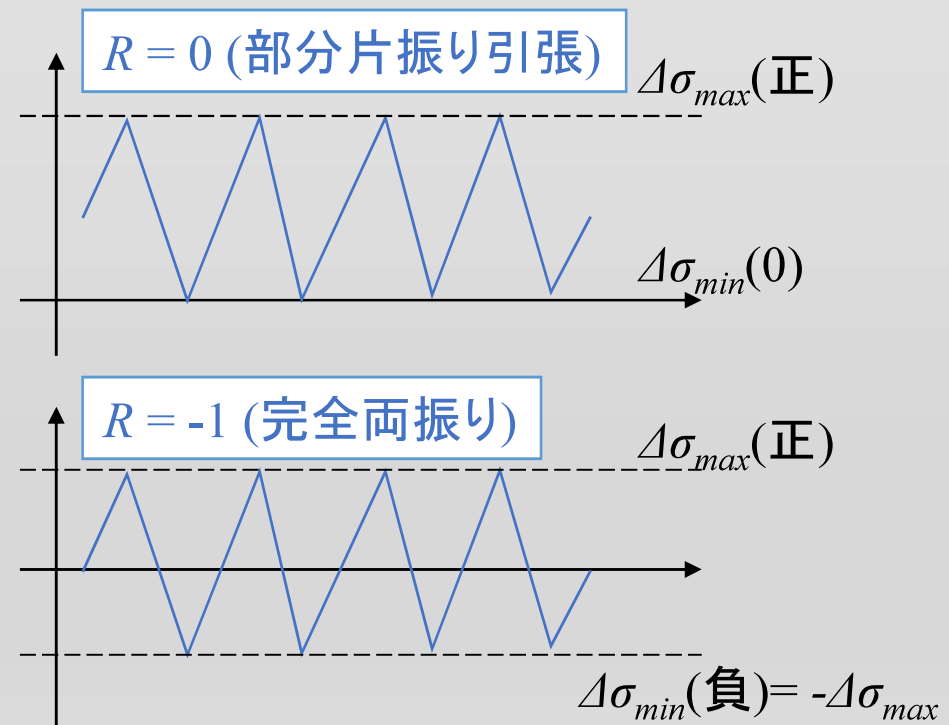
- 圧縮応力が作用するような応力変動の場合、疲労き裂の進展が遅くなる & 脆性破壊が生じにくい
- 疲労設計曲線の基本疲労強度 + 打切り限界に補正を行う

応力比  $R$

$$R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$$

$\sigma_{max}$  : 最大応力度

$\sigma_{min}$  : 最小応力度



# 平均応力に対する補正係数 $C_R$

最大応力 $\sigma_{max}$	平均応力 $(\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$	最小応力 $\sigma_{min}$	応力比 $R$	状態	補正係数 $C_R$	
+	+	+	$0 < R < 1$	部分 片振り引張	1.00	
		0	$R = 0$	完全 片振り引張		
		-	$-1 < R < 0$	部分両振り		
	0	-	-	$R = -1$	完全両振り	$1.30 \times \frac{(1.00 - R)}{(1.6 - R)}$
				$R < -1$	部分両振り	
				$R = -\infty$	完全 片振り圧縮	
-	-	-	$1 < R$	部分 片振り圧縮	1.30	

# 板厚による補正係数 $C_t$

■継手の種類により、板厚が大きくなるほど疲労強度が低下する傾向にある(板厚効果)

(疲労き裂の要因となる応力集中・応力分布が異なるため)

$$C_t = \sqrt[4]{25/t} \quad t: \text{板厚(mm)}$$

板厚25mmを境に補正

(対象となる継手)：板厚25mm以上、非仕上げ

- ✓ 横方向十字溶接継手(荷重伝達型、非伝達型)
- ✓ 横方向突合せ溶接継手
- ✓ 横方向面外ガセット溶接継手
- ✓ カバープレートをすみ肉溶接で取り付けた継手



# 一定振幅応力に対する 応力範囲の打切り限界による照査

- これまでの流れで算出した応力範囲は、自動車荷重1台の影響として生じる可能性のある最大級の応力範囲
- 継手に生じる**応力範囲の最大値**と、**継手の打切り限界**を比較し、安全性を照査する

直応力に対して

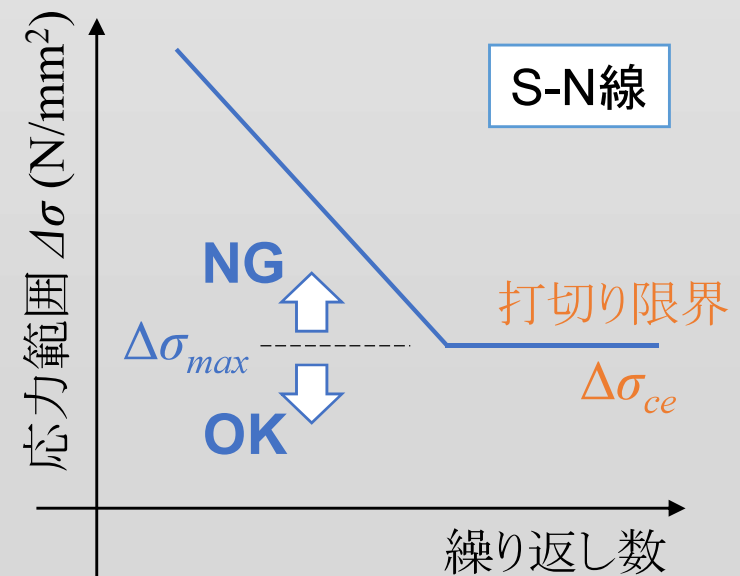
$$\Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_{ce} \cdot C_R \cdot C_t$$

せん断応力に対して

$$\Delta\tau_{max} \leq \Delta\tau_{ce}$$

$C_R$ : 平均応力の補正係数

$C_t$ : 板厚効果の補正係数



# 公称応力による照査の流れ

## ☑設計条件の整理



(設計耐久期間、継手の疲労強度等級、大型車交通量 etc.)

## ☑安全性が確保されているとみなせる条件

(橋梁形式、継手、鋼種、支間長、交通量)

NG

## ☑一定振幅応力に対する応力範囲の打切り限界による照査

(応力範囲、平均応力、板厚の影響)

NG

## ☑線形累積被害則による照査

NG

板厚・継手位置・  
構造・継手種類  
の変更

OK

OK

OK

# 疲労設計荷重の載荷頻度 $n_{ti}$

- 疲労設計荷重(F荷重)は、大型車1台分に相当
- 設計供用期間に、何台分の自動車荷重が作用するか(載荷回数)

$$n_{ti} = ADTT_{SLi} \cdot \gamma_n \cdot 365 \cdot Y$$

$ADTT_{SLi}$ : 1方向1車線(車線*i*)当たりの日大型車交通量(台/(日・車線))

$\gamma_n$ : 頻度補正係数       $Y$ : 設計耐久年数(年)

$$ADTT_{SLi} = \frac{ADTT}{n_L} \times \gamma_L$$

$ADTT$ : 1方向当たりの日大型車交通量(台/日)

$\gamma_L$ : 車線交通量の偏りを考慮するための係数       $n_L$ : 車線数

## 頻度補正係数 $\gamma_n = 0.03$

- ✓ F荷重により算出された疲労損傷度と、代表的な一般国道における大型車の実交通で算出される疲労損傷度が等価になるよう定めた係数
- ✓ 中型車(8t未満)混入率が50%以上となる場合、中型車を除いた大型車交通量を設定して  $\gamma_n = 0.06$  を用いる

## 車線交通量の偏りを考慮するための係数 $\gamma_{nL}$

- ✓ 車線交通量に偏りが無い場合  
 $\gamma_n = 1.0$
- ✓ 標準的な偏りがある場合  
 $\gamma_n = 1.2$ (走行車線)  
 $\gamma_n = 0.8$ (追越車線)



# 線形累積被害則に基づく照査

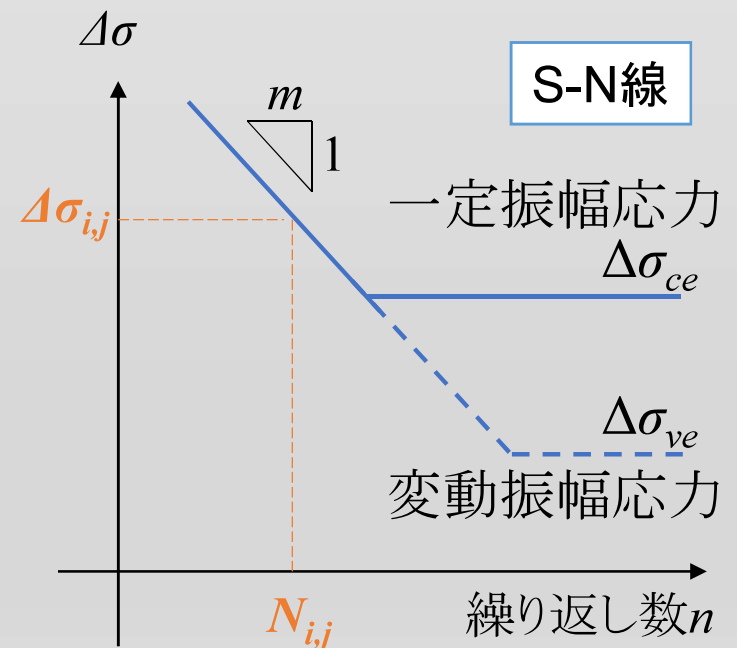
- 疲労設計荷重により生じた応力範囲が設計供用期間における載荷頻度(回数)分作用したとき、累積する疲労損傷が継手の疲労耐久性を超えたら疲労破壊が起きる
- 各車線、各応力範囲の疲労損傷比を合計する

$$D = \sum_i D_i \leq 1.00 \quad (\text{累積損傷比})$$

$$D_i = \sum_j (nt_{i,j} / N_{i,j}) \quad (\text{車線 } i \text{ の累積損傷比})$$

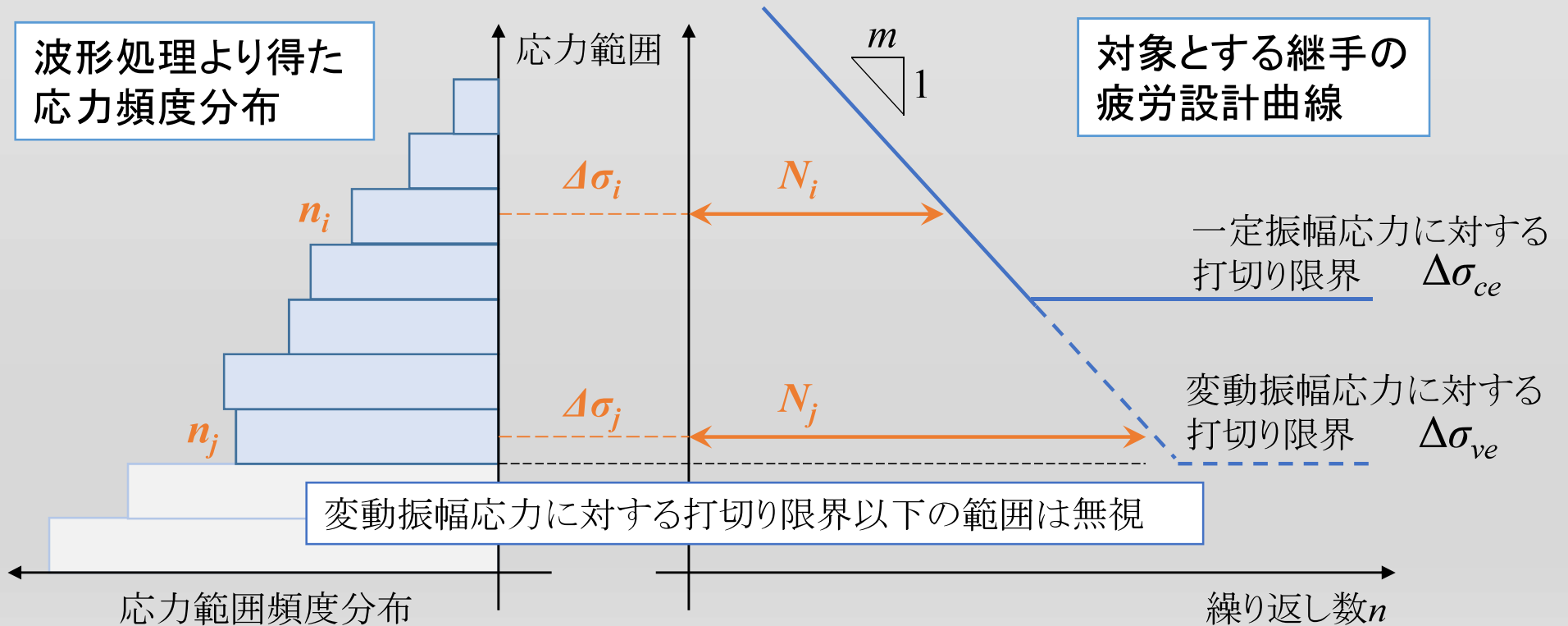
$\Delta\sigma_{i,j}$ に対する疲労寿命

$$N_{i,j} = C_0 \cdot (C_R \cdot C_t)^m / \Delta\sigma_{i,j}^m$$



# 線形累積被害則の考え方

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} + \dots + \frac{n_j}{N_j} = \sum \frac{n_i}{N_i} \geq D (= 1)$$





### 3. 応力による照査

公称応力による照査、**局部応力による照査**

# 局部応力による照査の記載がある基準類

- 日本道路協会 鋼道路橋疲労設計便覧 令和2年9月
- 日本道路協会 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編 平成29年11月

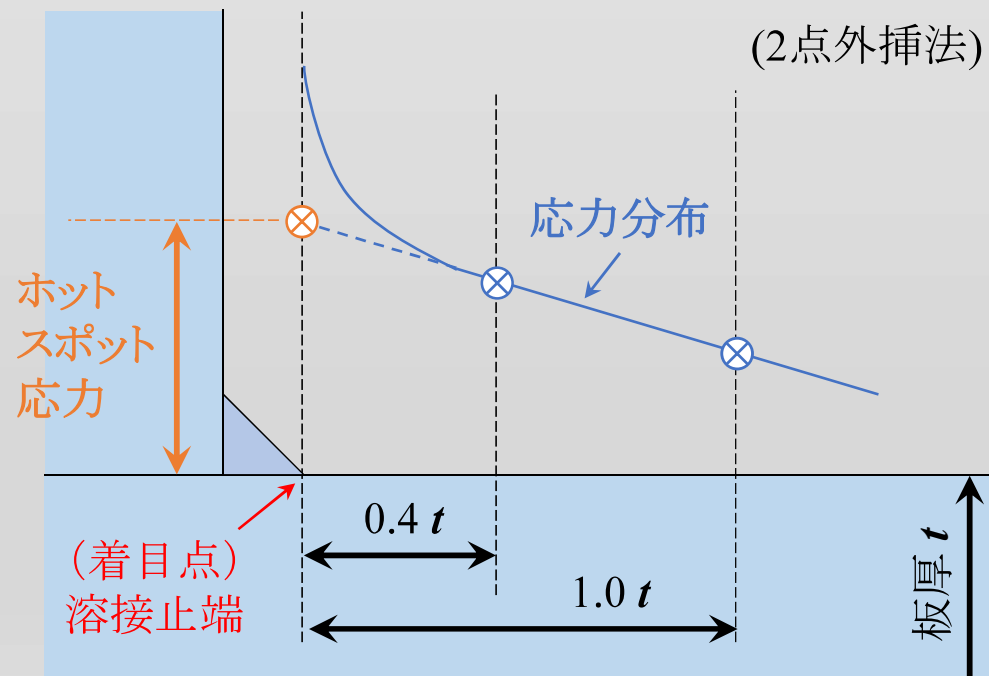
その他、参考になる書籍

- 土木学会 鋼・合成構造標準示方書 設計編 2016年制定
- 日本鋼構造協会 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 2012年改訂版
- 日本道路協会 鋼道路橋の疲労設計指針 平成14年
- 鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物 2009年
- IIW(国際溶接学会) Recommendation for fatigue design of welded joints and components, IIW-1823-07,2012



# ホットスポット応力

- 溶接ビードによる局所的な応力集中を含まない、**構造的な応力集中**を考慮した**溶接止端部の応力**
- 溶接止端部からの疲労き裂(**止端き裂**)が対象



■ひずみ計測や有限要素解析により参照点の応力を求め、ホットスポット位置に外挿して計算する

■ホットスポット応力の算出方法には諸説あり

(1点代表法、2点外挿法、3点外挿法)

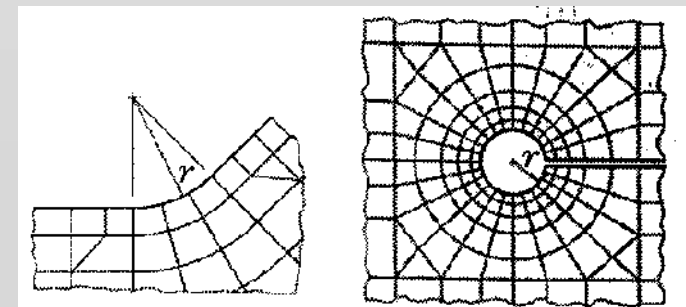
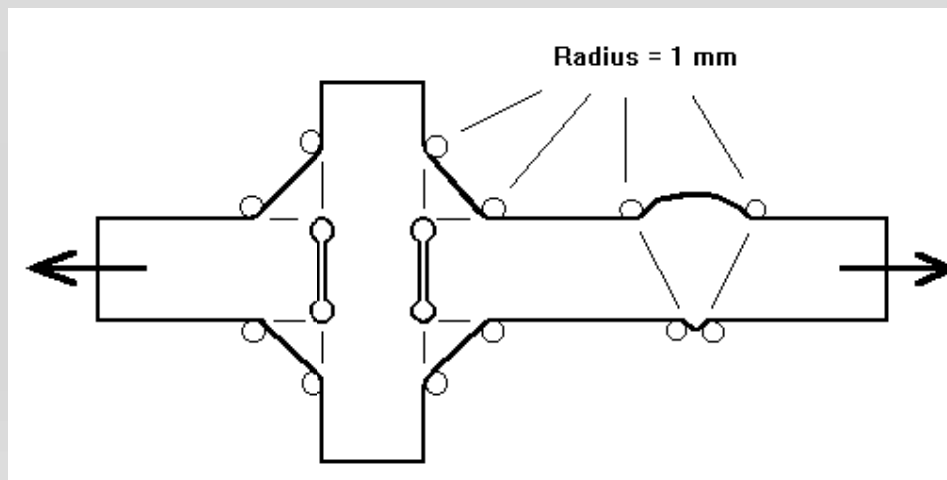
(JSSC, JSCE, IIWは2点)

# ホットスポット応力による照査

- 公称応力による照査と同様に、**S-N線**で照査する  
(評価応力範囲と疲労設計曲線が違うだけで、手法は同じ)
- 疲労設計曲線は、以下の継手に対するものを用いる
  - ✓荷重**非伝達型**十字溶接継手 (**D等級**)
  - ✓荷重**伝達型**十字溶接継手 (すみ肉or部分溶込み、**E等級**)
  - ✓**止端仕上げ**をした場合は、それに対応する設計曲線を用いる (**+1等級**)
- 板厚による補正 ( $C_t$ )**、**平均応力による補正 ( $C_R$ )**は、公称応力による照査と同様に行う

# エフェクティブノッチ応力

- エフェクティブノッチ=止端部やルート部に仮想的に設けた半径1mmの円孔
- 構造的な応力集中だけでなく、溶接形状の影響による応力集中も考慮した局所応力
- 止端き裂だけでなく、溶接ルート部からのき裂にも適用化
- 評価応力は、所定のモデル化ルール(要素分割)を適用した有限要素解析で求める



(Recommendation for fatigue design of welded joints and components, IIW-1823-07,2012、山田・館石「鋼橋の維持管理」p.105より引用)

# エフェクティブノッチ応力による照査

- 公称応力、ホットスポット応力による照査と同様に、**S-N線**で照査する
- 疲労設計曲線は、半径1mmの場合、IIWに規定されている**FAT225 (200万回疲労強度:  $225\text{N/mm}^2$ )**が提案されている
- 板厚による補正 ( $C_t$ ) は必要ない
- 板厚5mm以上に対して適用可



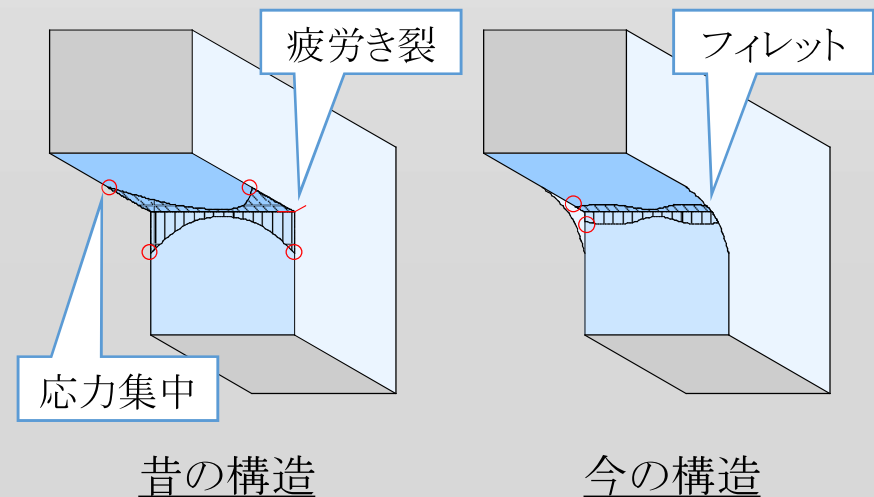
## 4. 構造詳細による照査

構造的な配慮事項、鋼床版等の疲労設計

# 構造的な配慮事項

- これまで説明した応力による照査は、**主桁の1次応力**に対する照査
- この他、疲労損傷の要因となる、**2次応力**や**応力集中**、**部材の振動**に配慮した構造を採用する必要がある
- 例えば、**鋼製橋脚隅角部**には、疲労損傷の要因となる**せん断遅れ**による**応力集中**を低減するため、右図のような**フィレット構造**が採用されている
- 特に**鋼床版**の場合、設計計算を基にした応力照査で疲労耐久性を適切に評価することは困難であり、**疲労耐久性に配慮した構造詳細(ディテール)**が規定されている
- コンクリート系床版**は、**道路橋示方書**に床版厚などの守るべき制限値が設けられている

隅角部のフィレット構造



# 構造詳細による鋼床版の疲労設計

## (1) 鋼床版構造の条件

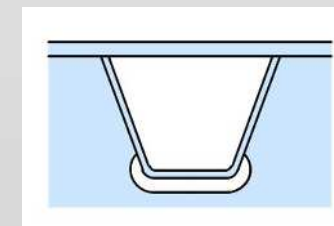
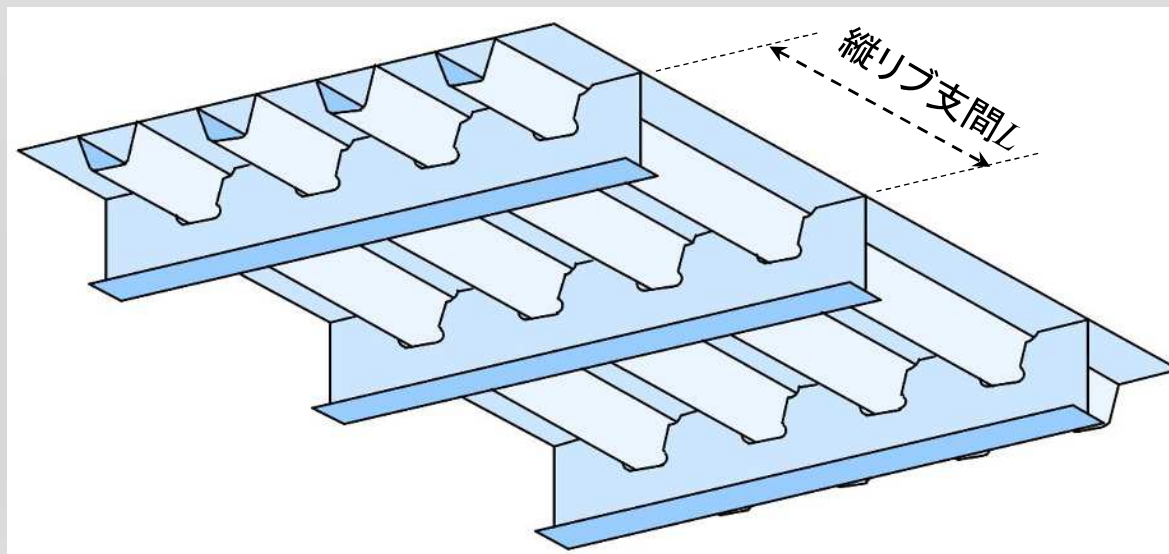
✓縦リブ支間 $L$ が  $L \leq 2.5\text{m}$

✓縦リブはバルブプレートリブ、平リブ、または以下の閉断面リブ(Uリブ)

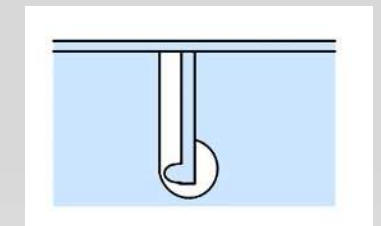
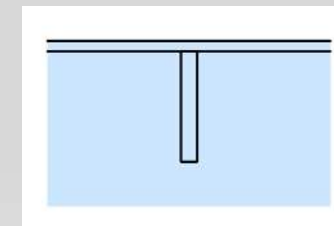
U-320 × 240 × 6, U-320 × 260 × 6, U-320 × 240 × 8, U-320 × 260 × 8

✓デッキプレート厚は12mm以上

ただしUリブの場合、輪荷重直下では16mm以上



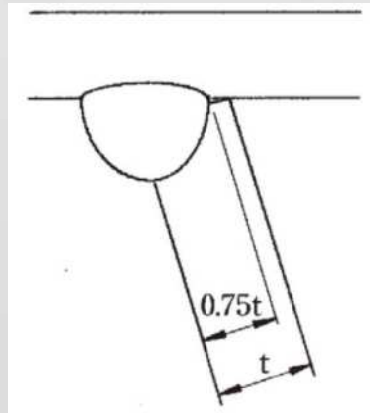
Uリブ



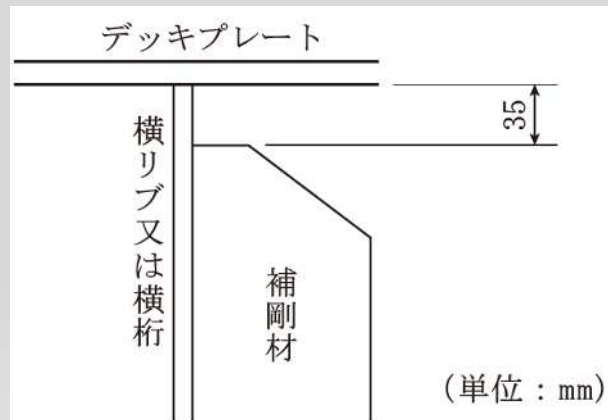
# 構造詳細による鋼床版の疲労設計

## (2) 構造細目 (抜粋)

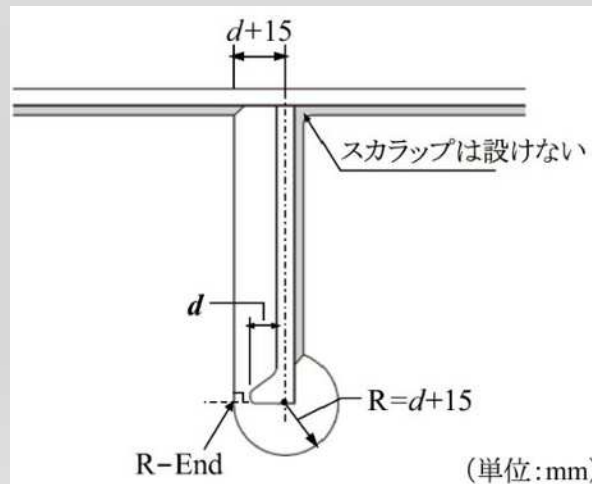
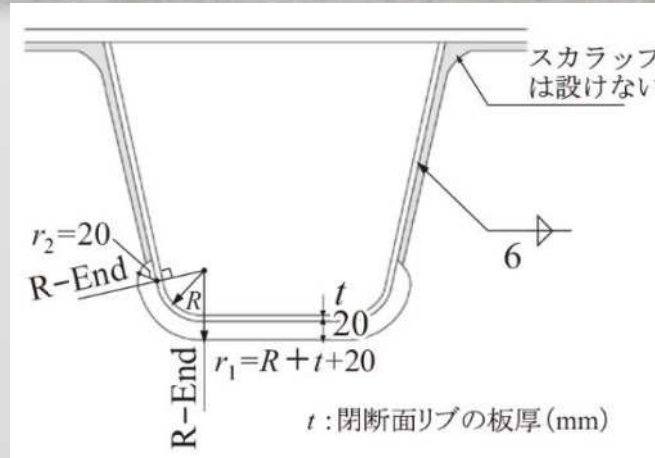
### Uリブとデッキプレートの溶接



### 垂直補剛材の上端



### 縦リブと横リブの交差部



■過去の研究や事例をもとに、疲労耐久性に優れる様々な構造細目が示されている

■これらの構造細目を守ることによって、設計供用期間での疲労耐久性が確保されるという考え方

(鋼道路橋疲労設計便覧 p.140より引用)





## 5. その他の疲労耐久性評価法

疲労き裂進展解析、実験による疲労耐久性評価

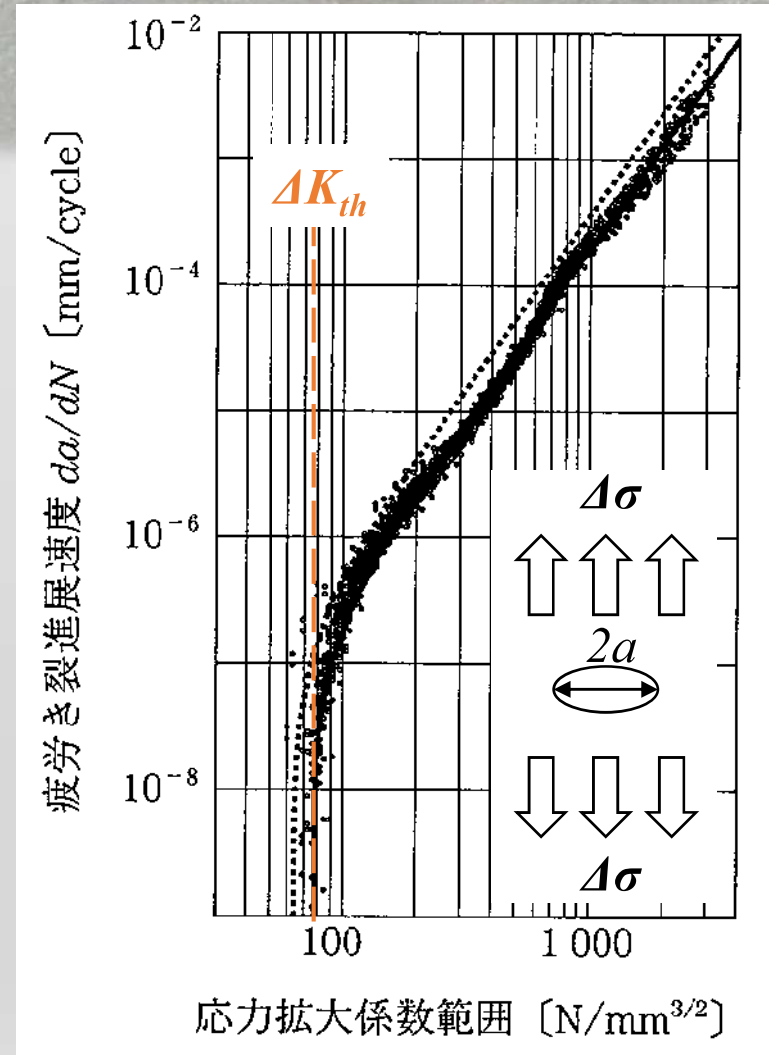
# 疲労き裂進展解析

(山田・館石「鋼橋の維持管理」p.90より引用)

- 破壊力学的アプローチ
- 応力拡大係数  $K$  = き裂先端の特異応力場の強さを表す
- 疲労き裂の進展速度  $da/dN$  は、応力拡大係数範囲  $\Delta K$  の関数で表せる (Paris則) (鋼材によらない)
- 初期き裂長さ  $a_i$  などのパラメータを設定、繰返し数増分  $\Delta N$  を与えることでき裂進展寿命を計算する

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K^n - \Delta K_{th}^n)$$

$$\Delta K = F \cdot \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$$



# 実験による疲労耐久性評価

油圧ジャッキによる疲労試験の例



移動輪荷重試験の例



- 実際に採用する構造を適切にモデル化した試験体とする  
(板組・鋼種・溶接材料・溶接条件)
- 実構造物の応力性状(方向・分布)を適切に再現する

# 本日の講演内容(おさらい)

## 1. 疲労設計の基本

✓疲労設計に関する基準類、設計の基本、設計の流れ

## 2. 継手の種類と疲労強度

✓疲労設計曲線、継手の疲労強度等級、継手の品質

## 3. 応力による照査

✓公称応力による照査、局部応力による照査

## 4. 構造詳細による照査

✓構造的な配慮事項、鋼床版等の疲労設計

## 5. その他の疲労耐久性評価法

✓疲労き裂進展解析、実験による疲労耐久性評価



2021年10月15日  
第40回鋼構造基礎講座  
「疲労のメカニズム」

鋼道路橋の疲労設計

ご清聴ありがとうございました