

# 9. 付着と定着

# 構成

1. はじめに
2. 付着抵抗の性質
3. 実用的な付着強度
4. 鉄筋のフック定着
5. 重ね継手

# 1. はじめに

# 基本一付着応力とは

$$\tau_{bond} = \frac{q}{\Sigma_0} = \frac{\Delta f_s A_b}{\Sigma_0} = \frac{\pi d_b^2 / 4}{\pi d_b \times 1} \Delta f_s = \frac{d_b}{4} \Delta f_s$$

ここに、

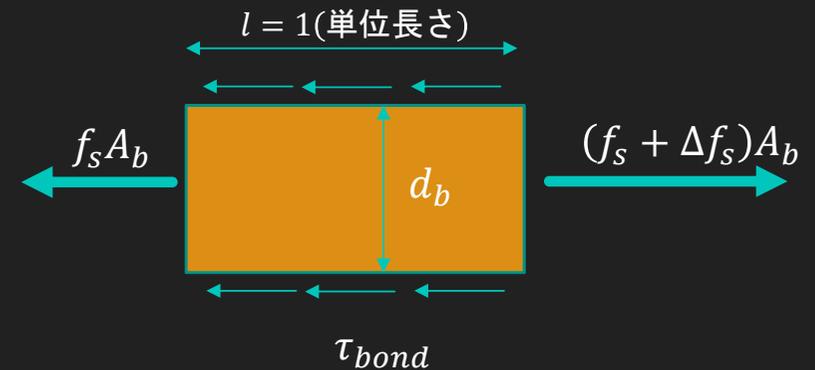
$q$  = 単位長さ当りの鉄筋引張力の変化

$\Sigma_0$  = 単位長さ当りの鉄筋公称表面積

$d_b$  = 鉄筋の公称径

$\Delta f_s$  = 単位長さ当りの鉄筋応力の変化

$A_b$  = 鉄筋の断面積



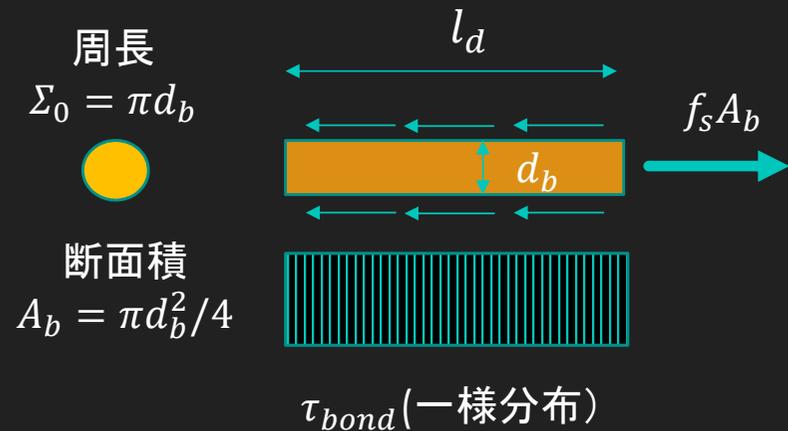
# 定着または付着長さ

○  $l_d$  : 定着長さ

○ 平均付着応力  $\tau_{bond}$  : 一様分布

$$f_s A_b = \tau_{bond} \Sigma_0 l_d$$

$$\therefore l_d = \frac{f_s A_b}{\tau_{bond} \Sigma_0} = \frac{\pi d_b^2 / 4 \times f_s}{\tau_{bond} \times \pi d_b} = \frac{d_b}{4 \tau_{bond}} f_s$$



# 曲げにともなう付着応力

- 微小区間 $\Delta x$ で付着応力が一様に分布するとすれば

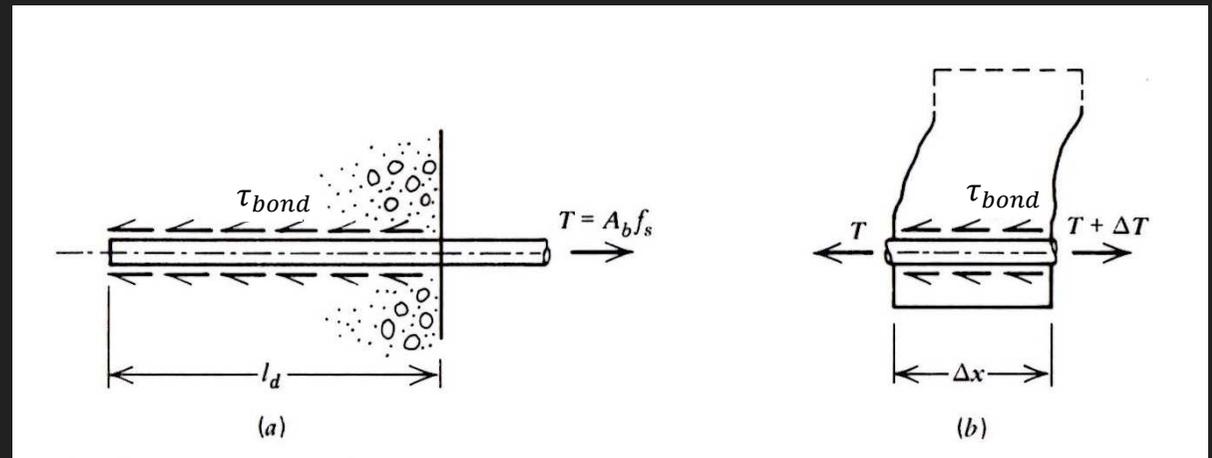
$$\Delta T = \frac{\Delta M}{jd} = \frac{V}{jd} \Delta x$$

また、 $\Delta T = \tau_{bond} \Sigma_0 \Delta x$ と書ける。

$$\Delta T = \tau_{bond} \Sigma_0 \Delta x = \frac{V}{jd} \Delta x$$

$$\therefore \tau_{bond} = \frac{V}{jd \Sigma_0}$$

⇒ せん断力が大きいと曲げ付着応力も大きくなる



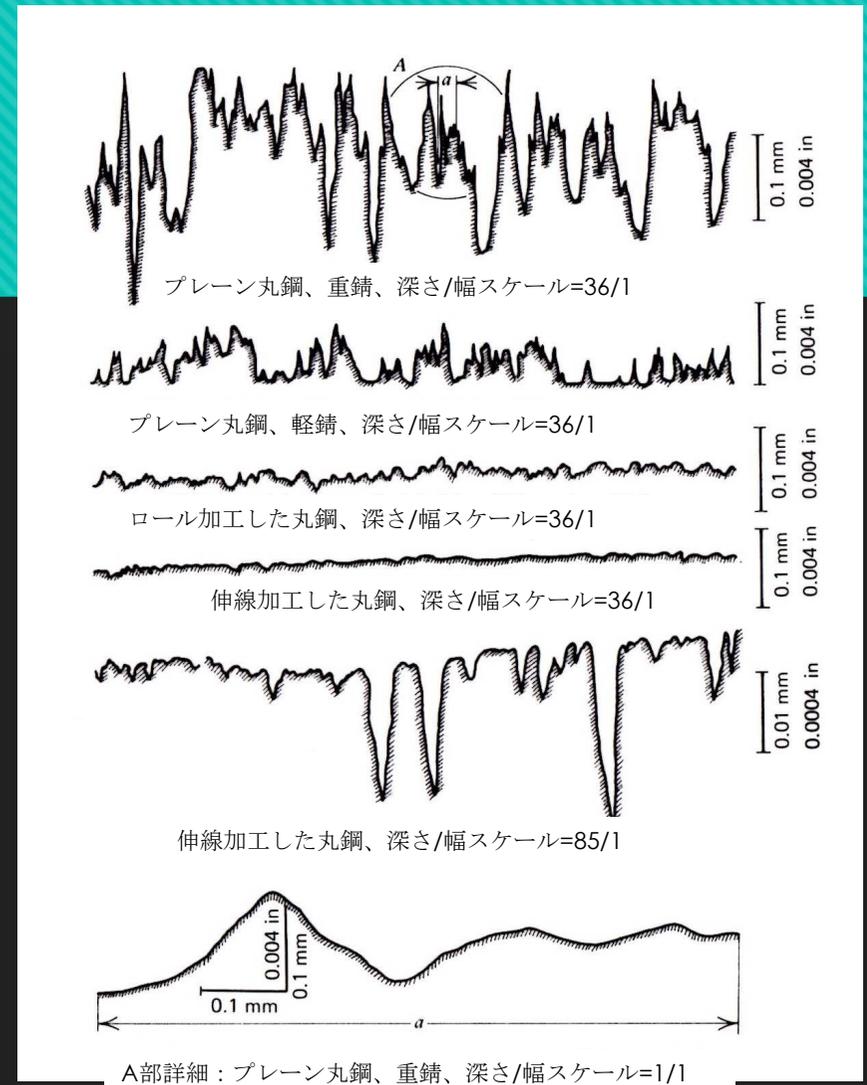
実際にはひび割れ間のコンクリートが負担する引張力に応じて付加的な付着応力が発生する

## 2. 付着抵抗の性質

# 丸鋼鉄筋：異なる錆条件下での表面形状\*)

- 第1段階：モルタルペーストと鉄筋表面の化学的接着
  - 第2段階：わずかな応力ですべり
  - 第3段階：鉄筋とコンクリート間の摩擦作用
- ⇒ 摩擦抵抗は鉄筋表面の状態に依存

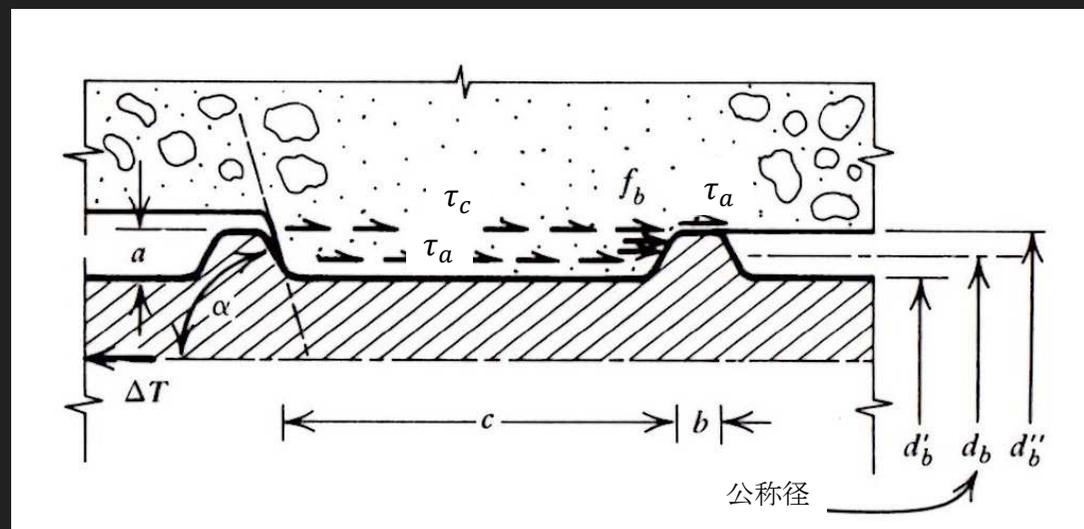
\*) G.Rehm, The Basic Principles of the Bond between Steel and Concrete, Translation No.134, Cement and Concrete Association, London, 1968, pp.66



# 異形鉄筋：節間の作用力

1. 鉄筋表面の化学的接着によるせん断応力 $\tau_a$
2. 節表面での支圧応力 $f_b$
3. 隣接した節間での円柱コンクリートに作用するせん断応力 $\tau_c$

$$\Delta T = \pi d'_b (b + c) \tau_a + \pi \frac{d_b''^2 - d_b'^2}{4} f_b \approx \pi d_b'' c \tau_c$$

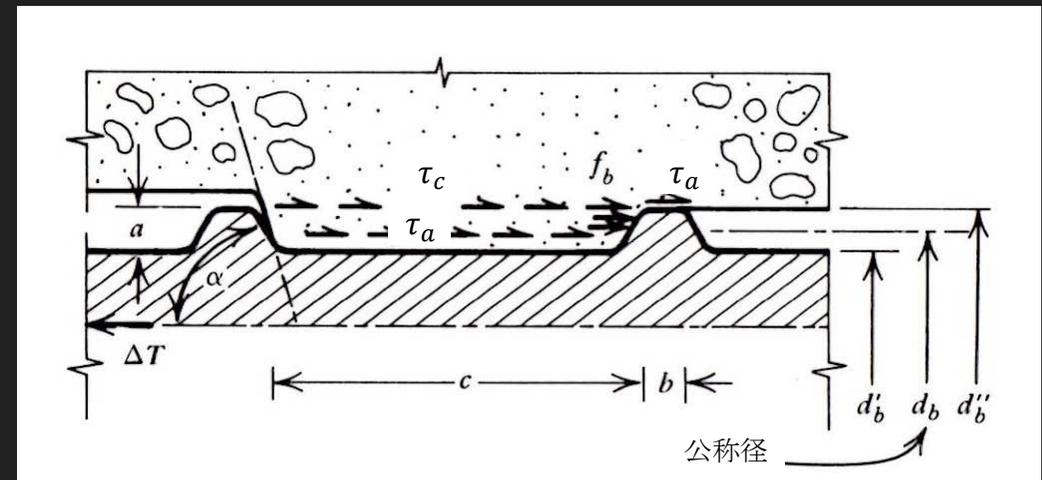


異形鉄筋の公称径とは：節やリブを全て丸くならした時の丸鋼の直径

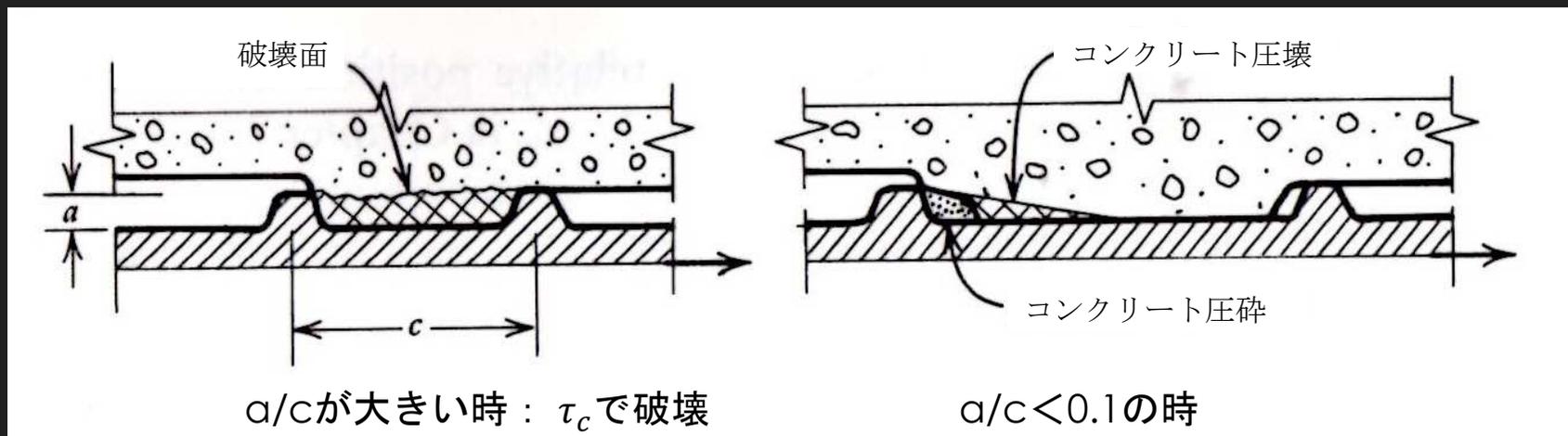
# 節間の円柱コンクリートに作用するせん断応力 $\tau_c$

- 化学的接着力や摩擦力：節周囲の支圧強度 $f_b$ に比べるとごくわずか⇒実用上 $\tau_a$ は無視できる
- 節間隔は近似的に $c$
- 一つの節の支圧面積は
$$\pi \frac{d_b''^2 - d_b'^2}{4} = \pi \frac{(d_b'' + d_b')(d_b'' - d_b')}{2} \approx \pi d_b a$$
- $\Delta T \approx \pi d_b'' c \tau_c$  (せん断応力)  $\approx \pi d_b a f_b$  (支圧力)

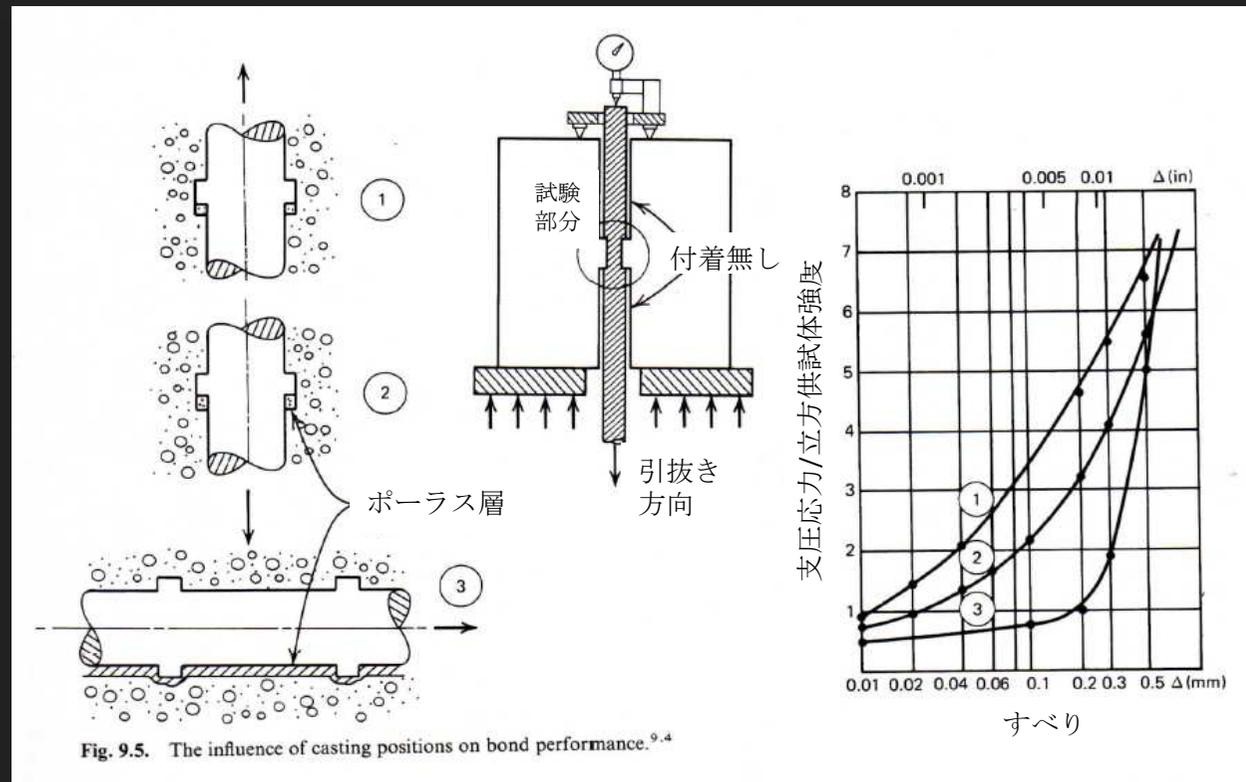
$$d_b'' \approx d_b \text{ より } \tau_c \approx \frac{a}{c} f_b$$



## 2つの破壊モード

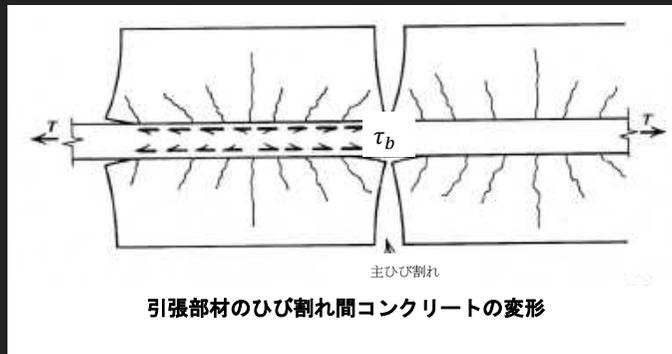


# コンクリート打設方向の鉄筋付着性能への影響\*)

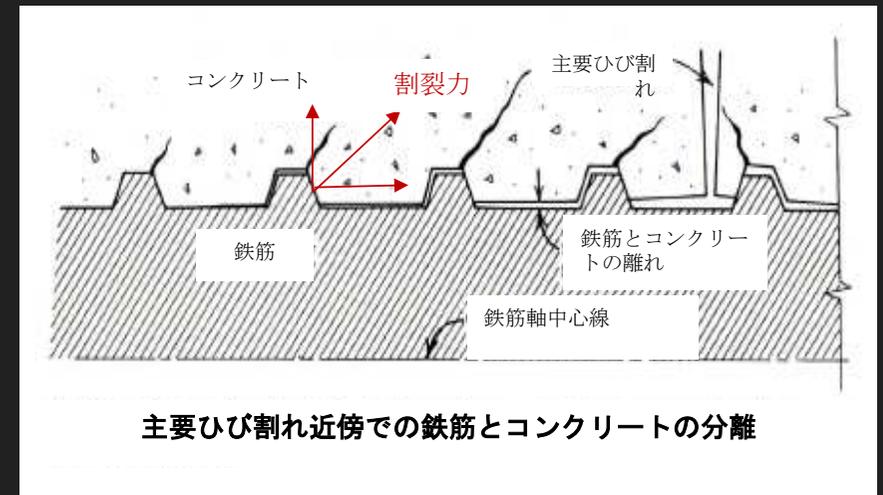


\*) G.Rehm, The Basic Principles of the Bond between Steel and Concrete, Translation No.134, Cement and Concrete Association, London, 1968, pp.66

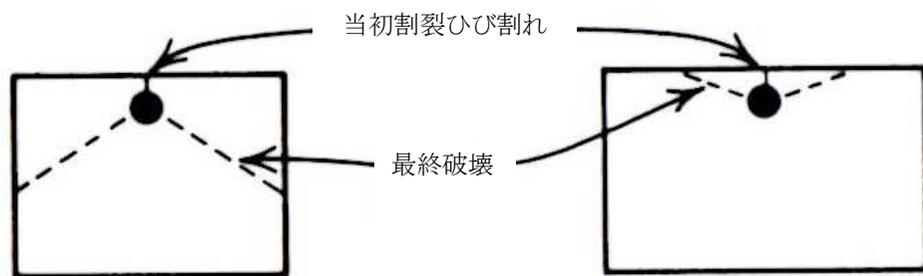
# 周辺コンクリートの応力状態



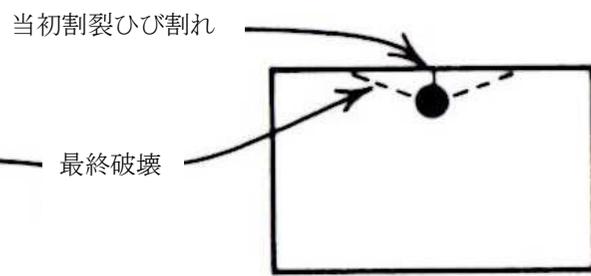
- コンクリートの離れ⇒コンクリートが膨らむ
- 膨らむ力⇒円周方向引張力⇒梁軸に沿う割裂ひび割れを生じさせる



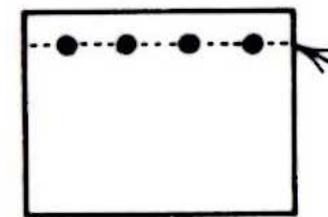
# 割裂破壊



(a) 典型的ケース



(b) 梁幅が大きい場合



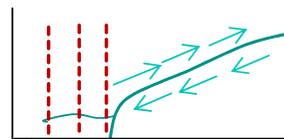
側部割裂ひび割れ発生後、急激に全体波及

(c) 主筋配置間隔が密な場合

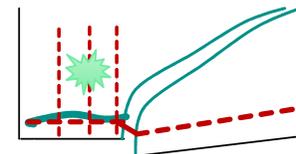
# 横筋による拘束

■ 付着割裂ひび割れへのスターラップの有効性について  
骨材噛合せによるせん断伝達のある場合は割裂ひび割れの抑制効果はあるが、これが無くなると主鉄筋のダウエル力も加わり鉄筋に沿うひび割れは急激に開口するとともに破壊する。

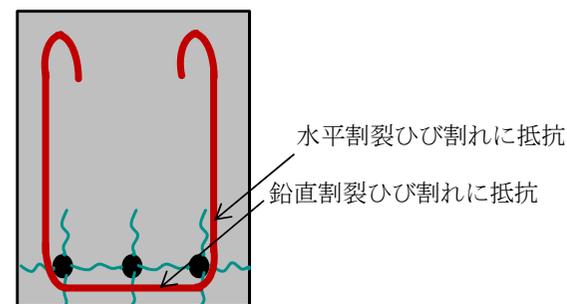
a) 骨材噛合せによるせん断伝達が可能



b) 骨材噛合せによるせん断伝達が不可能

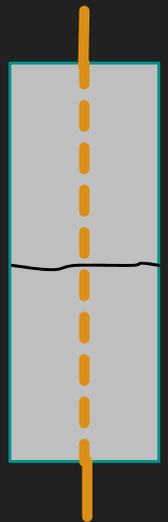
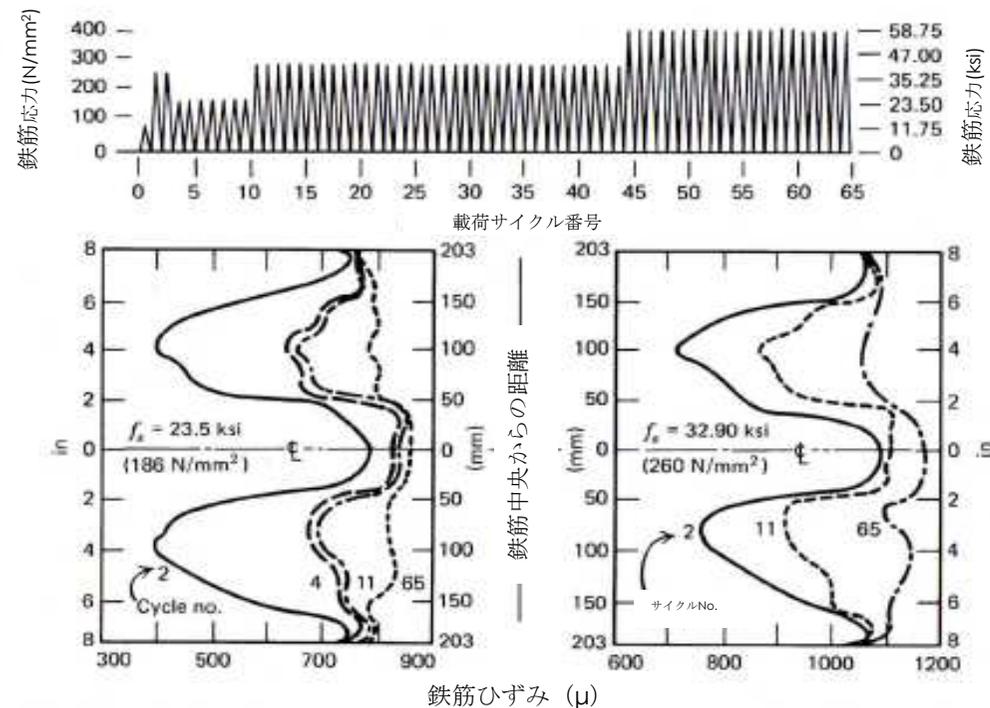


■ 付着割裂ひび割れに対する鉛直筋と水平筋の役割について  
鉛直筋は水平割裂ひび割れに、そして水平筋は鉛直割裂ひび割れに抵抗する。



# 繰返し载荷に対する付着挙動\*)

- 円柱供試体の中央外周にノッチ
- ひび割れ間隔が8in(203mm)の場合の鉄筋周りの付着状態
- 繰返し荷重下で引張応力は一様に
- 付着応力は低下



\*) B.Blesler and V.Bertero, Behavior of Reinforced Concrete Under Repeated Load, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.94, ST6, June 1968, pp.1567~1589

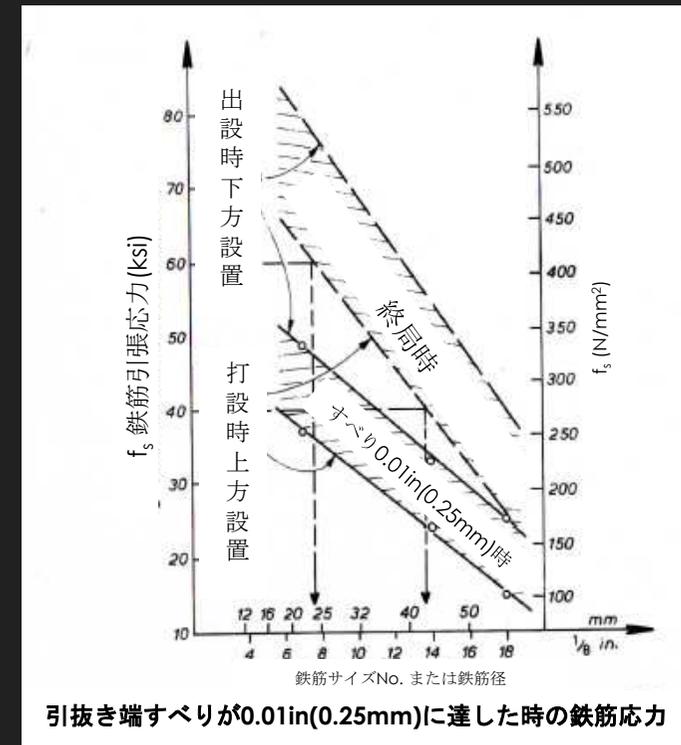
### 3. 実用的な付着強度

# “すべり限界”としての付着強度

## ■引き抜き試験からの付着強度予測

- 引抜き端（ひび割れ面に相当）すべりが0.01in (0.25mm)に達した時の平均付着応力を付着強度として設定
- 上側帯状斜線部（終局時：ひび割れ幅大）

打設時上面鉄筋(No.8 & No.14)が、各々降伏強度60ksi(414N/mm<sup>2</sup>)、40ksi(276N/mm<sup>2</sup>)に達するとして1.65倍



# 設計基準で規定される付着強度

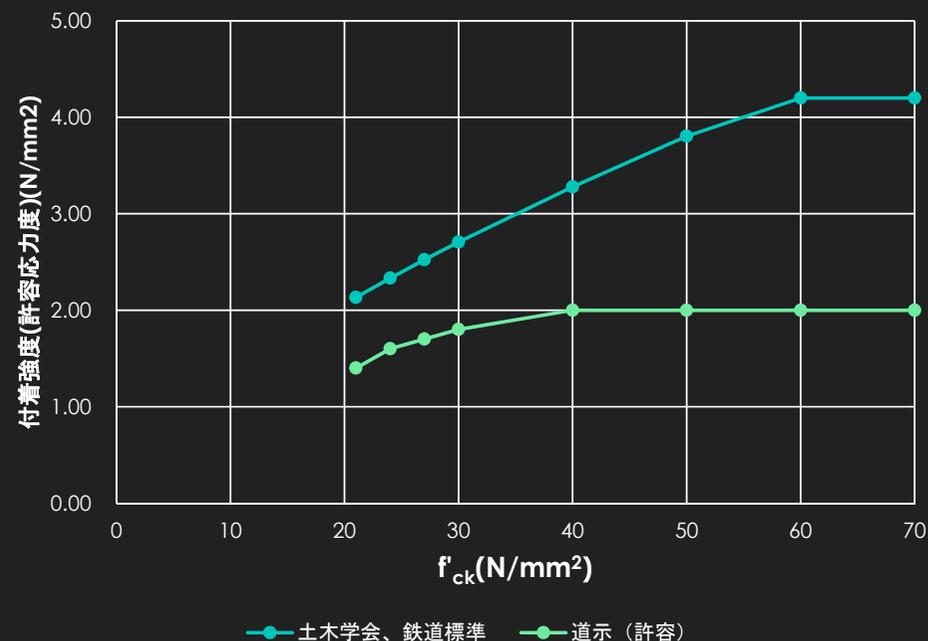
## ○ 土木学会

$$f_{tk} = 0.23f_{ck}^{1/3} \quad f_{ck} : \text{圧縮強度特性値(N/mm}^2\text{)}$$

## ○ 道示（許容付着応力度）

$f_{ck}(\text{N/mm}^2)$	21	24	27	30	40	50	60
許容付着応力度	1.4	1.6	1.7	1.8	2	2	2

コンクリートの付着強度（or許容応力度）



# 設計基準で規定される基本定着長—土木学会

$$\frac{1}{\alpha} f_{bo} \pi d_b l_d = f_y \pi d_b^2 / 4 \quad \text{の関係式より}$$

○  $l_d = \alpha \frac{f_y}{4f_{bo}} \phi$

ここに、

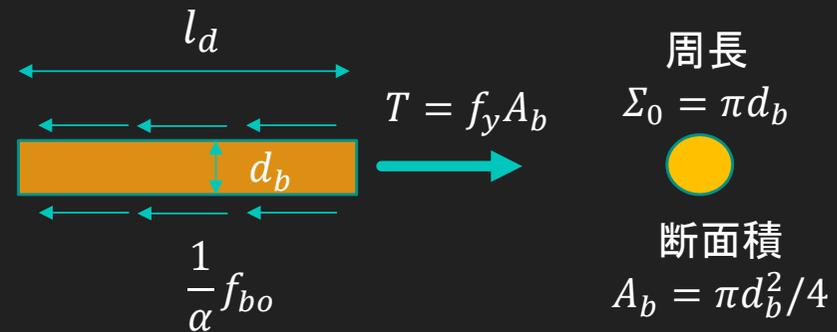
$\alpha$  : 付着効率に関わる係数

$f_y$  : 鉄筋の引張降伏強度

$f_{bo}$  : コンクリートの付着強度で、

$$f_{bo} = 0.28 f_c'^{2/3} \leq 3.2 \text{ N/mm}^2$$

$\phi$  : 鉄筋の直径



# 付着効率に関わる係数 $\alpha$ ：土木学会

■ かぶり、鉄筋のあき、横鉄筋量と間隔の影響を受ける

$\alpha = 1.0$  ( $k_c \leq 1.0$ の場合)

$\alpha = 0.9$  ( $1.0 \leq k_c \leq 1.5$ の場合)

$\alpha = 0.8$  ( $1.5 \leq k_c \leq 2.0$ の場合)

$\alpha = 0.7$  ( $2.0 \leq k_c \leq 2.5$ の場合)

$\alpha = 0.6$  ( $2.5 < k_c$ の場合)



$k_c$ が大きくなる程 $\alpha$ が小さくなり、基本定着長は短くて済む

ここに、

$$k_c = \frac{c}{\phi} + \frac{15A_t}{s\phi}$$

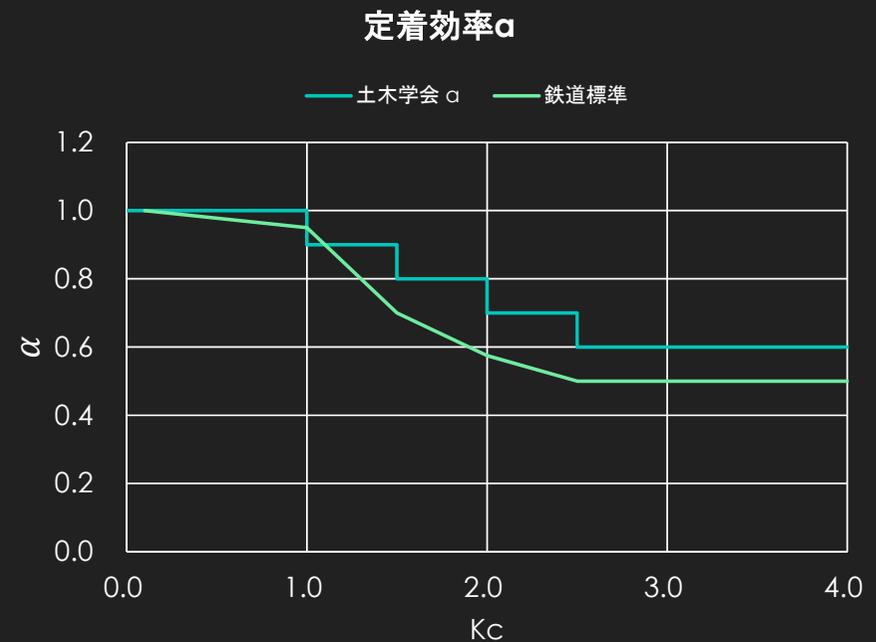
$c$ ：かぶりの値と定着する鉄筋のあきの半分のうち小さい方の値

$A_t$ ：割裂破壊面に直行する横鉄筋の断面積

$s$ ：横鉄筋の中心間隔

# 付着効率に関わる係数 $\alpha$ ：鉄道標準

- 付帯条件： $l_d \geq 20\phi$
- $\alpha = (0.75/K_c) + 0.2$  ただし、 $0.5 \leq \alpha \leq 1.0$   
 $K_c$ 算定式は土木学会と同様



# 設計基準で規定される基本定着長の一覧

項目	土木学会	鉄道標準	道示
基本定着長	$l_d = \alpha \frac{f_y}{4f_{b0}} \phi$ $\alpha = \alpha(K_c)$ $K_c = \left( \frac{c}{\phi} + \{15A_t / (s \cdot \phi)\} \right)$	$l_d = \alpha \frac{f_y}{4f_{b0}} \phi \geq 20\phi$ $\alpha = (0.75/K_c) + 0.2$ $K_c = \left( \frac{c}{\phi} + \{15A_t / (s \cdot \phi)\} \right)$	$l_a = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{0a}} \phi$ <p> <math>l_a</math> : 基本定着長  <math>\sigma_{sa}</math> : 鉄筋の許容引張応力度  <math>\tau_{0a}</math> : コンクリートの許容付着応力度                 </p>
標準フックを設ける場合の修正	引張鉄筋の定着長 $l_d$ は10φ減じることができる	同左	$l_a$ の2/3以上
圧縮鉄筋の基本定着長	上記 $l_d$ の0.8倍	同左	フックの効果は考慮せず低減しない

# 設計基準で規定される基本定着長一道示

式の形は同様に許容応力度設計

○  $l_a = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{0a}} \phi$

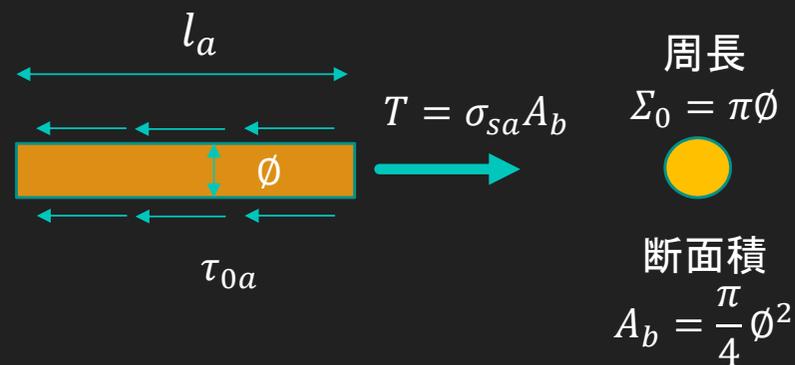
ここに、

$l_a$  : 定着長

$\sigma_{sa}$  : 鉄筋の許容引張応力度

$\tau_{0a}$  : コンクリートの許容付着応力度

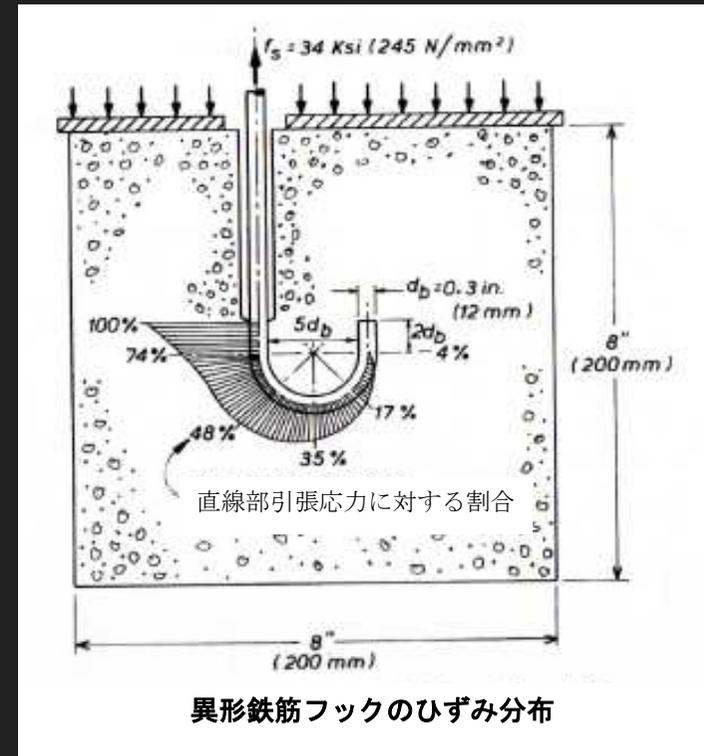
$\phi$  : 鉄筋の直径



## 4. 鉄筋のフック定着

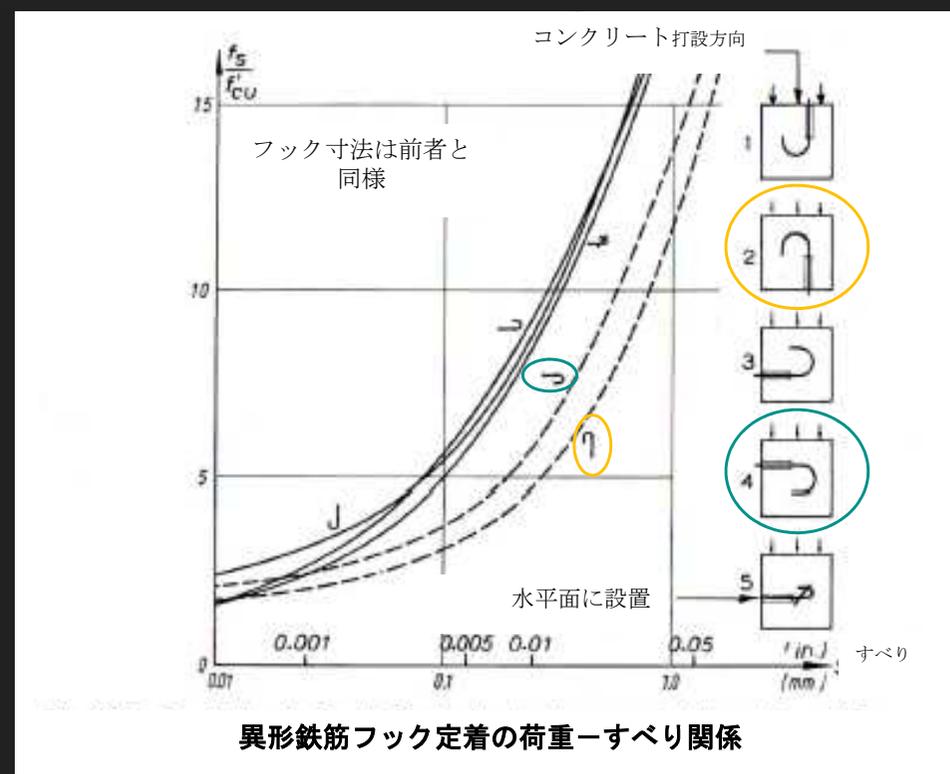
# 引張鉄筋のフック定着試験

- フック前面直線部の付着はなし
- 鉄筋引張力はコンクリートに急激に伝達  
最大支圧応力は、引抜き端近傍フック内側に発生
- フック先端の直部は効かない



# 異形鉄筋フック定着の荷重－すべり関係

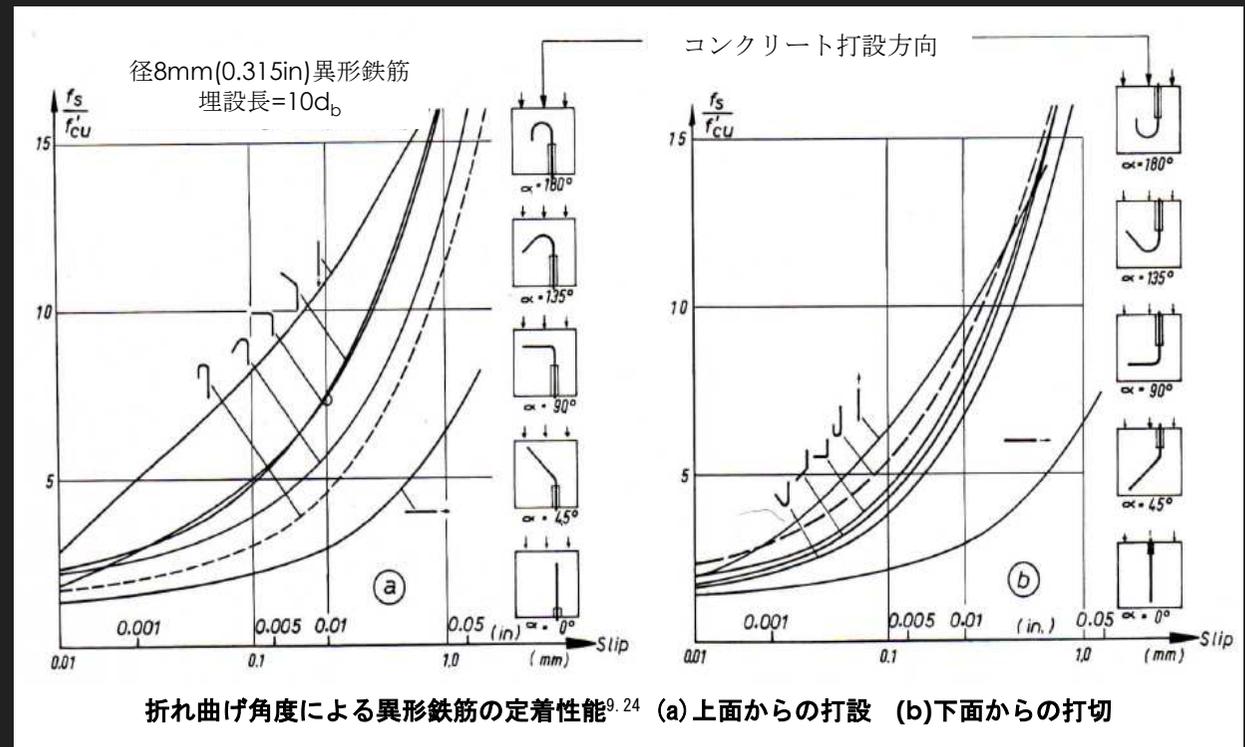
- 支圧応力の高くなる部分が上面側にある鉄筋に品質低下



# 曲げ上げ角度が180° 以内フックの定着性能

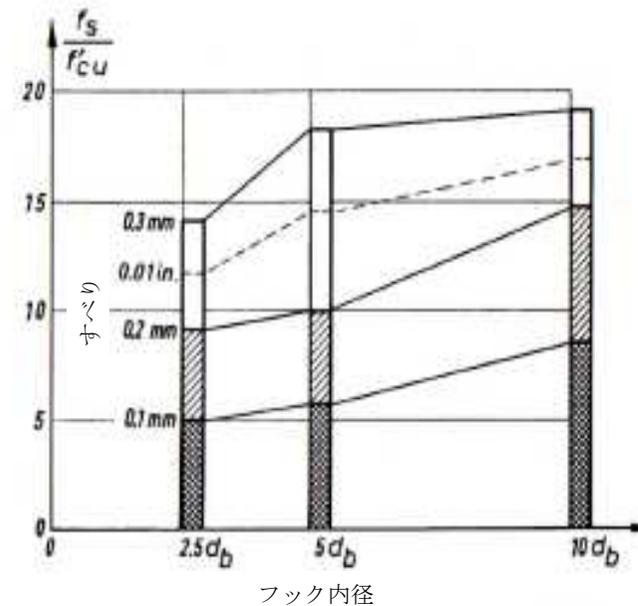
- 曲げ上げ部で応力集中⇒コンクリートの局部変形
- 同じ埋設長さの鉛直方向直定着の方がよい性能
- 逆方向に引抜く場合は、曲げ上げ角度による性能差は少ない

∴水溜りや沈殿物の影響を受けない側のコンクリートに支圧力が作用



# フックの曲率の影響

- フック径が大きくなると支圧力の集中は少なくなる⇒引抜き端でのすべりも小さくなる  
⇒フック径が大きくなるとすべりに対し大きな反力が取れる



フック曲率の定着性能への影響<sup>9, 24</sup>

# 設計基準で規定される標準フック（土木学会、鉄道標準、道示共通）

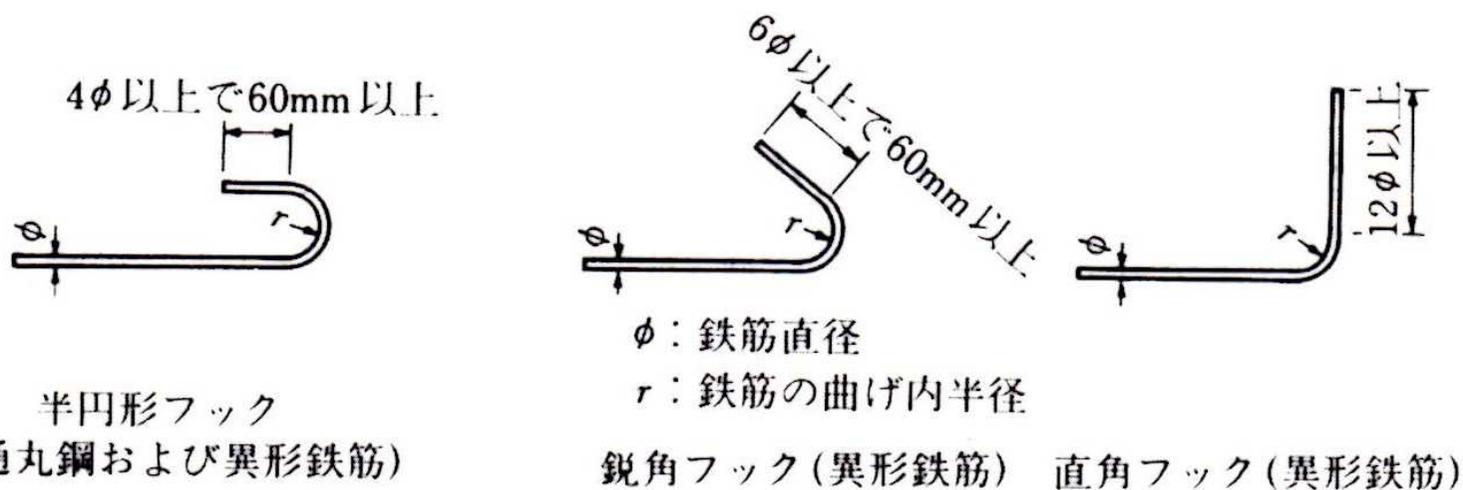


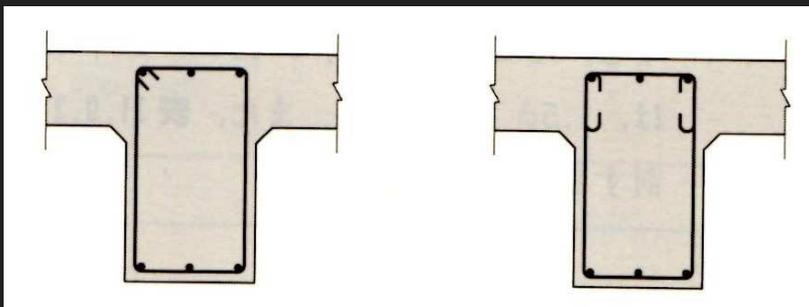
図 2.5.1 鉄筋端部のフックの形状

# 標準フックの曲げ内半径（土木学会 & 鉄道標準）

種類	曲げ内半径		備考
	軸方向鉄筋	スターラップおよび帯鉄筋	
普通丸鋼	SR235	2.0Φ	
	SR295	2.5Φ	
異形棒鋼	SD295A,B	2.5Φ	道示
	SD345	2.5Φ	
	SD390	3.0Φ	
	SD490	3.5Φ	

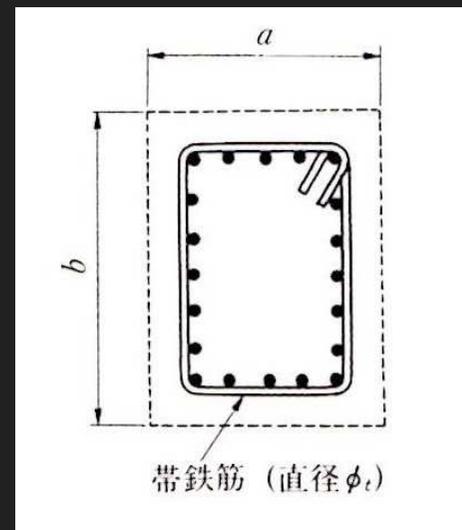
# 横方向鉄筋の定着 (土木学会、鉄道標準 & 道示)

(a) スターラップの定着方法



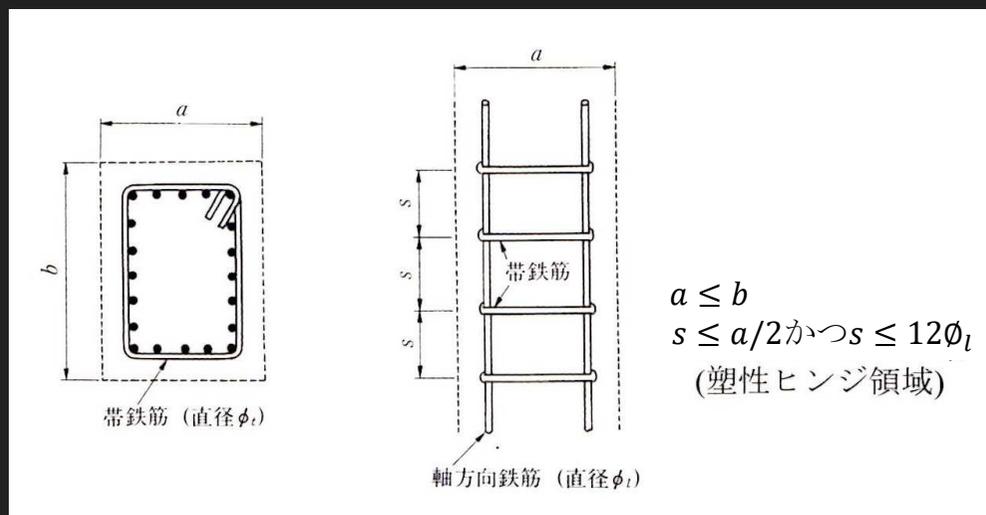
端部は $135^\circ$  以上折れ曲げて軸方向鉄筋にかけて定着するか、または軸方向鉄筋を取り囲む閉合型として定着

(b) 塑性ヒンジ領域での定着方法



# その他—塑性ヒンジ領域での横方向鉄筋の配置

(a) 土木学会&鉄道標準



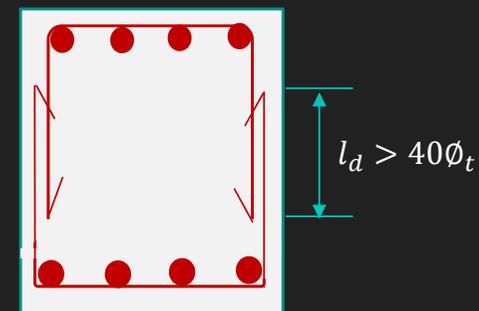
(b) 道示

帯鉄筋径 $\phi_t$ (mm)	$13 \leq \phi_t < 20$	$20 \leq \phi_t < 25$	$25 \leq \phi_t < 30$	$\phi_t \geq 30$
帯鉄筋間隔の 上限値 $s$ (mm)	150	200	250	300
$s \leq 0.2a$				

隅角部フック



隅角部以外で継ぐ場合



# 塑性ヒンジ領域での横方向鉄筋間隔上限値 規定の比較

## ■土木学会 & 鉄道標準

断面高さ と 軸方向鉄筋径 で規定

$$s \leq a/2 \text{ かつ } s \leq 12\phi_l$$

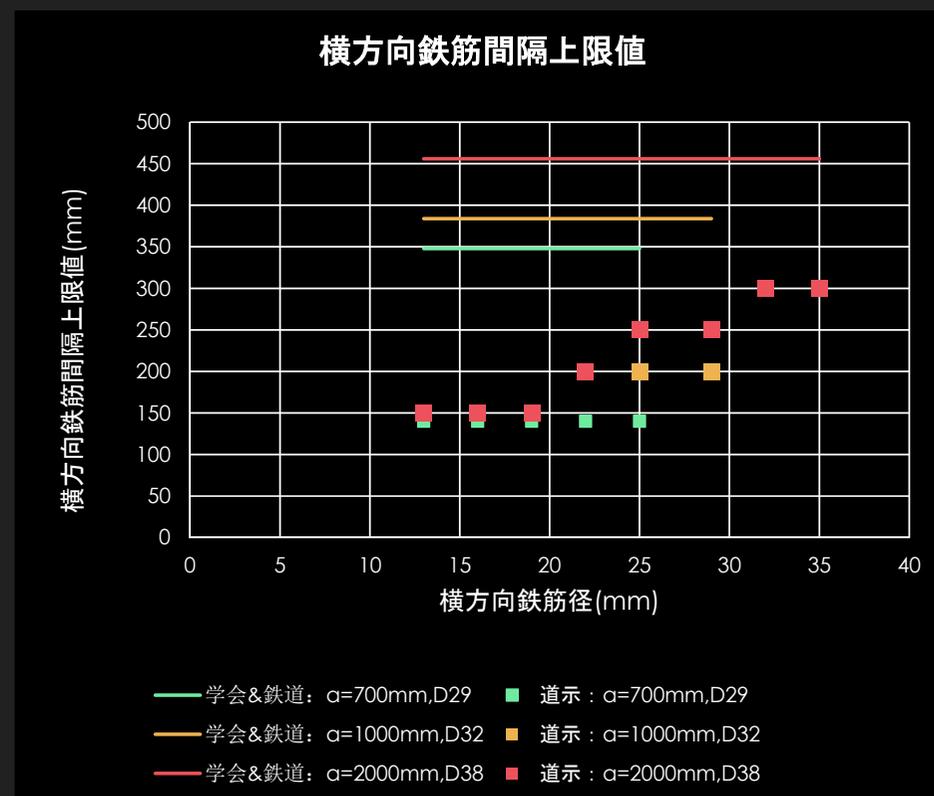
全て軸方向鉄筋径から決定

## ■道示

断面高さ と 横方向鉄筋径 で規定

$$s \leq 0.2a \text{ かつ 横鉄筋径}$$

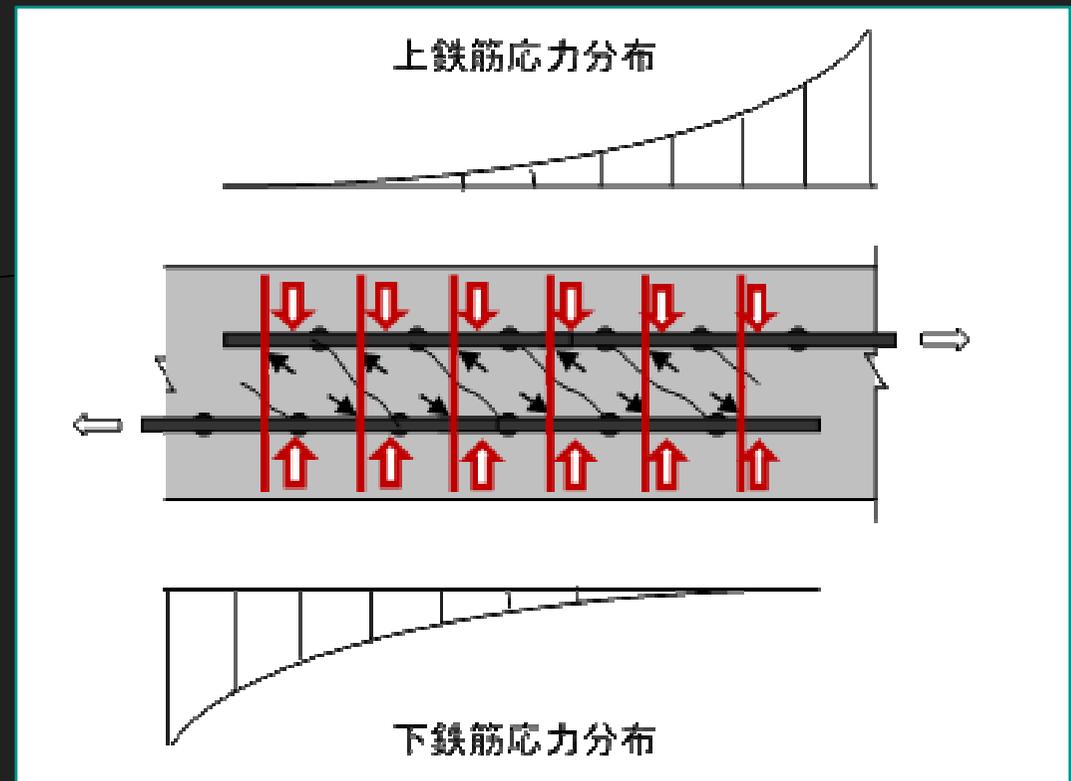
一部を除き横方向鉄筋径から決定



## 5. 重ね継手

# 引張鉄筋重ね継手の力の伝達メカニズム

- 付着割裂ひび割れの発生したコンクリートには斜め圧縮力が作用する。
- 横補強筋があるとトラスメカニズムが形成され、コンクリートを拘束して鉄筋間の引張力が有効に伝達される。

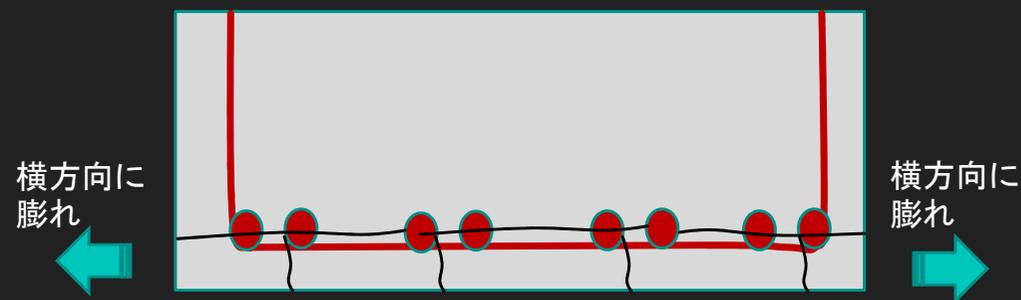


# 重ね継手に起こるひび割れ

- 重ね継手に沿う割裂ひび割れ
- 横方向への膨張（自由端で大きい）



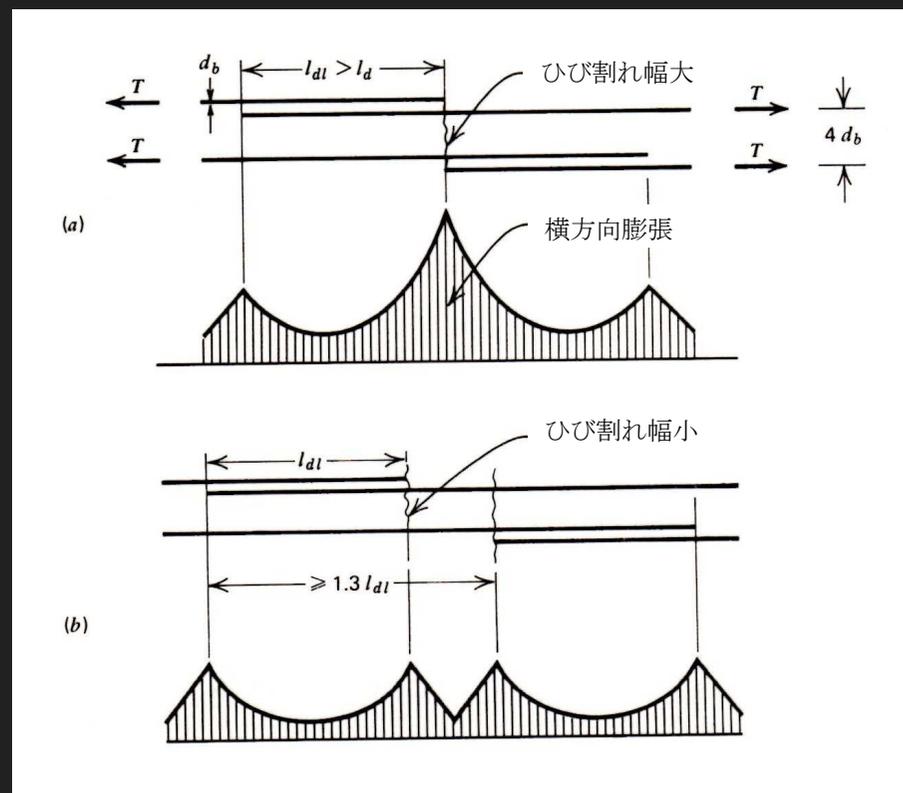
- 同一断面に自由端が来ないように継手位置を分散



# 継手位置の分散

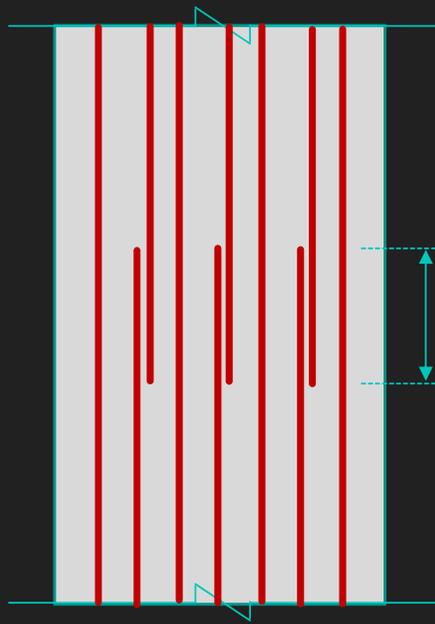
## ○ 横方向膨張量の分布

\* S.Stockl; Übergreifungsstosse von zugbeanspruchten Bewehrungsstäben, Beton und Stahlbetonbau, Vol.67, No.10, Oct.1972, pp.229~234



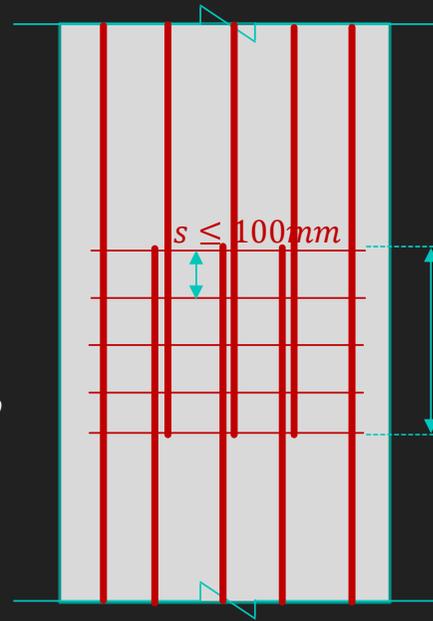
# 軸方向鉄筋の重ね継手規定（土木学会&鉄道標準）

a)  $A_t \geq 2A_t^{cal}$  and 継手割合  $\leq \frac{1}{2}$



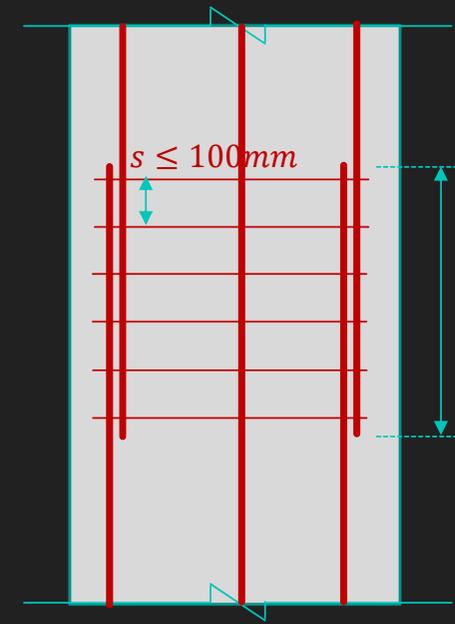
$l_{dl} > l_d$   
And  
 $l_{dl} > 20d_b$

b)  $A_t < 2A_t^{cal}$  or 継手割合  $> \frac{1}{2}$



$l_{dl} > 1.3l_d$   
And  
 $l_{dl} > 20d_b$

c)  $A_t < 2A_t^{cal}$  and 継手割合  $> \frac{1}{2}$



$l_{dl} > 1.7l_d$   
And  
 $l_{dl} > 20d_b$

# 軸方向鉄筋の重ね継手規定（道示）

重ね継手長さ：

$$l_{dl} > l_a$$

And

$$l_{dl} > 20d_b$$

継手位置のずらし：

$$l_{dl} > 25d_b$$

2本以上の横補強筋

