

補強土(テールアルメ)壁工法 設計要領書

内的安定計算書

JFE 商事テールワン株式会社

§ 1. 設計条件

1-1 盛土材料の土性

テールアルメ盛土体	せん断抵抗角	$\phi =$	(°)
	単位体積重量	$\gamma_1 =$	(kN/m ³)
上載盛土体	単位体積重量	$\gamma_2 =$	(kN/m ³)

1-2 設計水平震度

$kh = c_z \cdot kh_0$

ここに kh : 設計水平震度(小数点以下2けたに丸める。)

kh₀: 標準設計水平震度

c_z : 地域別補正係数

設計水平震度の標準値 kh₀

地盤種別	I 種	II 種	III 種
レベル I 地震動	0.12	0.15	0.18
レベル II 地震動	0.16	0.20	0.24

1-3 土とストリップとの摩擦係数

基本数値 $\left\{ \begin{array}{l} f^*_0 = 1.5 \\ \tan \psi = 0.726 \end{array} \right.$

1-4 安全率

	常 時	地震時
ストリップの引抜けに対する安全率	2.0	1.2
すべり破壊の安全率	1.2	1.0

1-5 ストリップおよびボルトの許容応力度

ストリップの引張に対し $\sigma_a = 185$ (N/mm²)

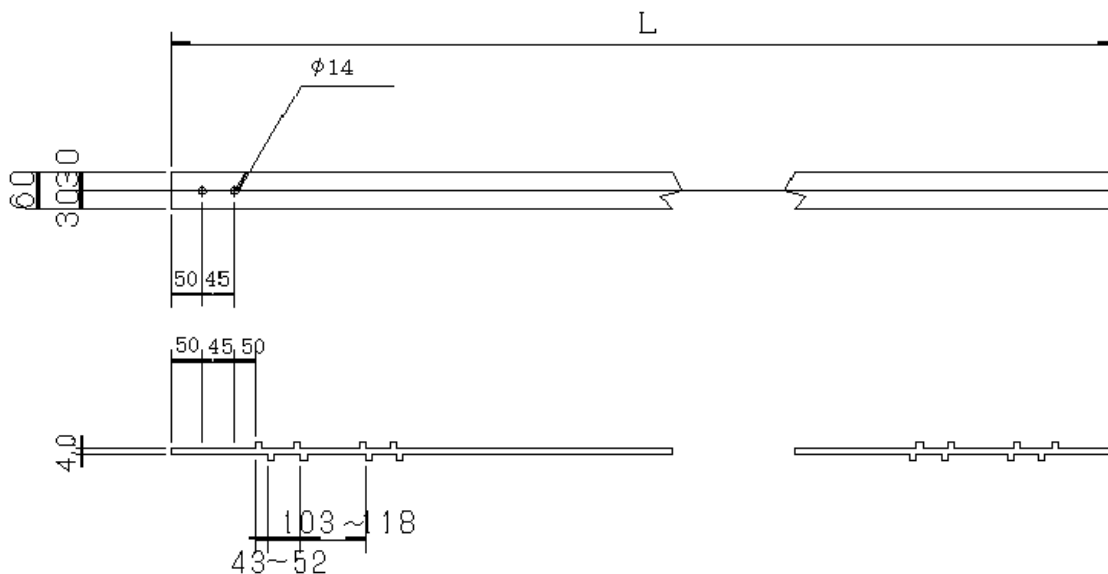
ボルトのせん断に対し $\sigma_a = 200$ (N/mm²)

1-6 各荷重の組合せによる許容応力度の割増し

荷 重 の 組 合 せ	許容応力度の割増し係数
1) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重 +地震の影響	1.5
2) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重 +道路防護柵の衝突荷重	1.5
3) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重 +その他の特殊荷重	1.25

1-7 ストリップおよびボルトの形状・材質

(1) ストリップの形状



Cm : 腐食代	1.0(mm)
b : ストリップの幅	60.0(mm)
t : ストリップの板厚	4.0(mm)
te : 有効ストリップ厚	3.0(mm)

(2) ボルト

呼び径	M 12
ボルトのネジ部有効断面積	Ae = 84.3 (mm ²)

(3) 材質

- ストリップ: JIS G 3106「溶接構造用圧延鋼材」に規定される SM490A
- ボルト: JIS B 1180 に規定された全ねじ六角ボルト 強度区分 8.8
- ナット: JIS B 1181 に規定された六角ナット 強度区分 4, 5

1-8 上載荷重

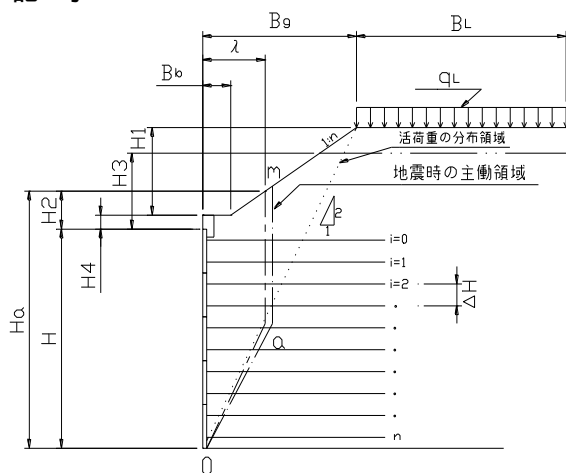
活荷重		qL = 10 (kN/m ²)
雪荷重	1) 活荷重と同時載荷	qs = (kN/m ²)
	2) 雪荷重のみを単独に載荷	qs ₂ = (kN/m ²)

1-9 設計基準

- 「補強土(テールアルメ)壁工法 設計・施工マニュアル」
平成 26 年 8 月 財団法人 土木研究センター
- 「道路土工 擁壁工指針」
平成 24 年 7 月 社団法人 日本道路協会
- 「道路土工 切土工・斜面安定工指針」
平成 21 年 6 月 社団法人 日本道路協会
- 「道路橋示方書・同解説」
平成 24 年 3 月 社団法人 日本道路協会

§ 2. 設計

2-1 記号



(図2. 2. 1)

H : 補強土壁の直高(m)

H₁ : 上載盛上高さ(m)

$$H_2 : H_2 = H_a - H = \frac{0.3 \cdot (H + H_4) - B_b}{n - 0.3} + H_4$$

H₃ : 上載盛土の荷重換算高さ(m)

$$H_3 = \frac{(H + H_4) / 2 - B_b}{n} + H_4$$

H₄ : 天端調整高さ(m)

i : ストリップの段数 i = 0, 1, 2, …, n

n : 1) ストリップの総段数

2) のり面勾配 1:nで表す

ΔH: ストリップの鉛直間隔(m)

B_b : スキンエレメント天端の平場幅(m)

q_L : 活荷重(kN/m²)

B_g : スキンエレメント背面より, 活荷重の作用する位置までの距離(m)

B_L : 活荷重の作用幅(m)

H_a : 仮想壁高 H_a = H + H₂(m)

Z : 仮想壁高上端からの深さ(m)

2-2 用語

(1) 想定境界線

設計において主働領域と抵抗領域の境界を示すもので、最大引張応力線を近似した折線、すなわち図2. 2. 1に示す点 $0am$ を結んだ線。従来の実験結果や測定例を包含した安全側の仮定である。

(2) 主働領域

想定境界線壁に囲まれた部分

(3) 抵抗領域

想定境界線からうしろ(盛土側)にある部分

(4) 活荷重分布域

活荷重が盛土中に荷重分散して影響を与える範囲。(2:1の勾配で分散)

(5) 見かけの摩擦係数

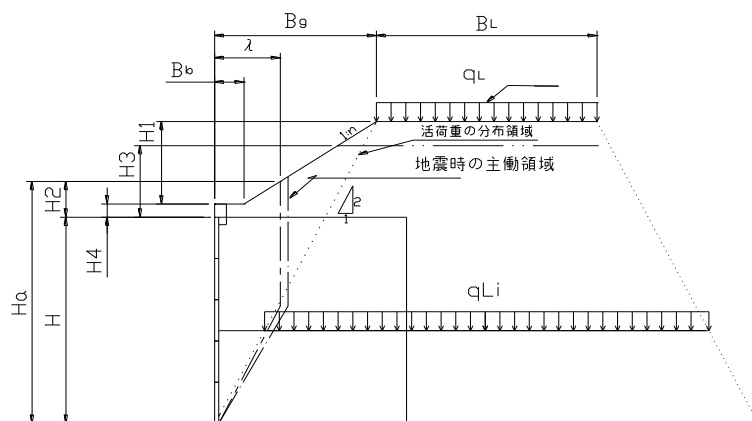
ストリップに発生する引張応力度は長さ方向に変化するが、その最大値とストリップに作用する平均垂直応力の比を見かけの摩擦係数と呼ぶ。

摩擦力はストリップの上下両面に均等に作用するものとする。

2-3 載荷重 q_i

(1) 上載盛土荷重

上載盛土の荷重は、上載盛土を一様な荷重に換算した有効上載荷重が、壁の上端の断面方向に一様に分布する荷重として扱う。



(図2. 3. 1)

上載盛土の荷重換算高さ H_3 は、図2. 3. 1に示すように壁上端から水平に $(H+H_4)/2$ 内側に入った位置での盛土高さとする。この時の載荷重の大きさは、次式による。

$$q_i = \gamma \cdot H_3 \quad (\text{式2. 3. 1})$$

(2)活荷重

活荷重は道路の横断方向に、鉛直と水平との比が2:1の勾配で土中に分布するものとする。ただしストリップに作用する引張力の算定に際しては、活荷重分布域が主働領域中に侵入する場合についてのみこれを考慮する。

(図 2. 2.1 図 2. 3.1 参照)

活荷重の算出 qLi

活荷重分布域が主働領域中に侵入する際に、各段のストリップの位置における活荷重の大きさは次式による。

$$qLi \neq qL \times \frac{BL}{BLi} \quad (\text{式 2. 3. 2})$$

qLi : i段目に作用する活荷重(kN/m²)

qL : 活荷重(kN/m²)

BL : 活荷重載荷幅(m)

BLi : i段目における活荷重の分散幅(m)

2-4 土 圧

(1)土圧係数 K

a)土圧の算定に用いる土圧係数は、仮想壁高 H_a の上端から深さ方向 6m までは静止土圧係数 K_0 から主働土圧係数 K_A に直線的に変化するものとし、6m 以深については主働土圧係数を適用する。(図2. 4. 1)

b)着目する深さ(通常はストリップが配置される深さ)における土圧係数 Ki は、

$$Ki = K_0 \left(1 - \frac{Z}{Z_0} \right) + K_A \frac{Z}{Z_0} \quad \dots\dots Z < Z_0 = 6m \text{ のとき}$$

$$Ki = K_A \quad \dots\dots\dots Z > Z_0 = 6m \text{ のとき}$$

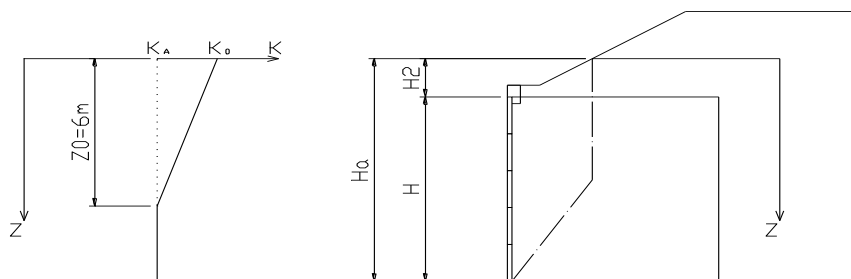
式(2. 4.1)

ここで静止土圧係数、主働土圧係数は次式で求める。

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

$$K_A = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (\text{式 2. 4.2})$$

ここに、 Z_0 : 仮想壁高上端から土圧係数変換点までの深さ(m) : $Z_0=6m$



(図 2. 4.1)

(2) ストリップの各段に作用する土圧力 P_i の算出

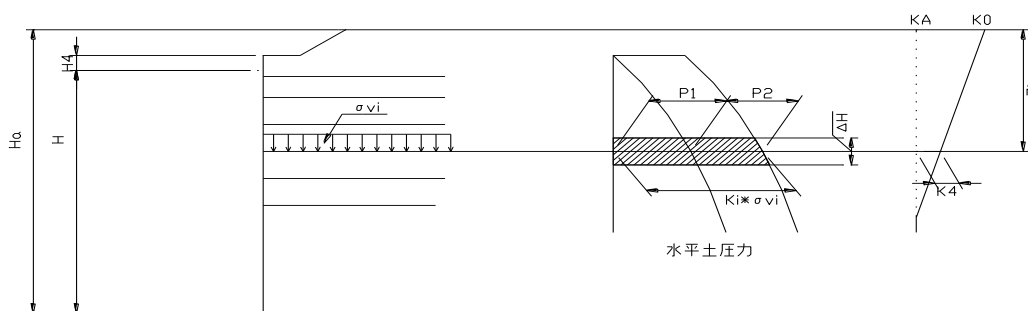
a) P_i の算出式

補強土壁の安定を検討するうえで、最も重要かつ基本的なことが、このストリップの各段に作用する土圧力 P_i の算出である。補強土壁における P_i は、独特な塑性平衡状態にある主働領域の土が、究極的には崩落しようとする力であると考えられ、その一般式は、ストリップが鉛直方向に等間隔に配置されることから、式(2.4.3)で表される。

$$P_i = p_i \cdot \Delta H = K_i \left\{ \gamma_1 \cdot \Delta H \left(i - \frac{1}{2} \right) + q_i \right\} \Delta H \tag{式 2.4.3}$$

ここに P_i : 着目する i 段目のストリップに作用する土圧力 (kN/m)

P_i : 着目する i 段目のストリップに作用する土圧強度 (kN/m²)



(b) 地震時の土圧力 P_i'

地震時の土圧力は式(2.4.4)によるものとする。

$$P_i' = P_i + \Delta P_i \tag{式 2.4.4}$$

$$\Delta P_i = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{Z}{H_a} \right) \alpha \cdot K_H \cdot P_n$$

ここに、 P_i' : i 段目のストリップに作用する地震時の土圧力 (kN/m)

P_n : 最下段のストリップに作用する常時の土圧力 (kN/m)

ΔP_i : i 段目のストリップに作用する地震時における増加土圧力 (kN/m)

k_h : 設計水平震度

α : 地震の増加係数 (1.4 とする)

2-5 ストリップの水平間隔 ΔBi

(1) ストリップの水平間隔は、ストリップに作用する引張力に対してストリップやボルトの破断やせん断を生じない間隔としなければならない。また、スキンエレメントの構造上の制約を考慮する必要があり、表 2. 5. 1 に示す範囲内で最大の ΔBi を求めるものとする。

表 2. 5. 1

補強土の基本概念とスキンエレメントの構造上の限界から	$\Delta Bi < 0.75m$
ストリップの引張強さから	$\Delta Bi < (Ag \cdot \sigma_a) / P_i$ または $\Delta Bi < (An \cdot \sigma_a) / (0.75 \cdot P_i)$
ボルトのせん断強さから	$\Delta Bi < (A \tau \cdot \tau_a) / (0.75 \cdot P_i)$

ここに ΔBi : i 段目のストリップの水平間隔 (m)

Ag : 腐食代を差し引いたストリップの総断面積 (cm²) = $b \cdot (t - cm)$

An : 腐食代及びボルト穴の欠損を差し引いたストリップの純断面積 (cm²)
 $= \{ b - n'(0.3 + d) \} (t - cm)$

$A \tau$: ボルトの有効せん断面積 (cm²) = $j \cdot n \cdot Ae$

τ_a : ボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

P_i : i 段目のストリップが負担する土圧力 (kN/m²)

σ_a : ストリップの許容引張応力度 (N/mm²)

j : 連結方式によるせん断の数

n : 取付けボルトの本数

Ae : 取付けボルトのネジ部有効断面積 (cm²)

b : ストリップの幅 (cm)

n' : ストリップ幅方向の取付けボルト本数

t : ストリップの板厚 (cm)

d : 取付けボルトの径 (cm)

cm : ストリップの腐食代 (cm)

(2) 地震の影響を考慮する場合には、§ 1 に示した許容応力度の割増係数および 2-4 (b) に示した P_i を用いた表 2. 5.1 に従って計算し、(1) の結果を比較して小さい方の値を ΔBi として採用する。

(1) (2) で求めた値を表 2. 5.2 に示す値に丸めたものをストリップの水平間隔とする。

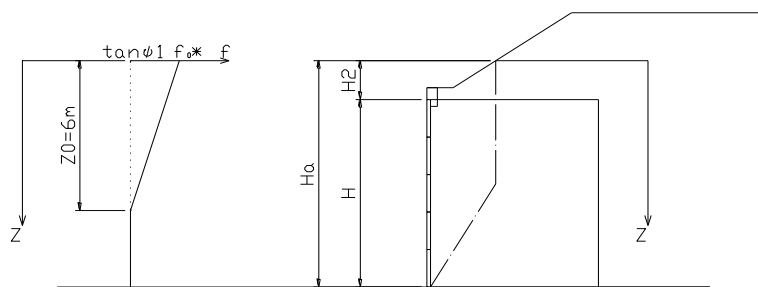
表 2. 5.2

(単位:m)

(1)(2)から算出した ΔBi	ストリップの設計水平間隔
$\Delta Bi > 0.75$	0.75
$0.75 > \Delta Bi > 0.50$	0.50
$0.50 > \Delta Bi > 0.375$	0.375
$0.375 > \Delta Bi > 0.25$	0.25

2-6 摩擦係数 f_i^*

- (1) 補強土壁の設計に用いる土とストリップとの摩擦係数は見かけの摩擦係数 f^* を用いるものとする。
- (2) 見かけの摩擦係数は深さ方向に対して図 2. 6.1 のように変化するものとし、 i 段目のストリップの摩擦係数 f_i^* は式(2. 6.1)で求める。



(図 2. 6.1)深さと f^* の関係

$$\left. \begin{aligned} f_i^* &= f_0^* \left(1 - \frac{Z}{Z_0}\right) + \tan \phi_1 \frac{Z}{Z_0} && Z \leq Z_0 = 6.0m \text{ のとき} \\ f_i^* &= \tan \phi_1 = \tan 36^\circ = 0.726 && Z > Z_0 = 6.0m \text{ のとき} \end{aligned} \right\} \text{(式 2. 6.1)}$$

ここに $f_0^* = 1.2 + \log.Uc$

Uc : 盛土材料の均等係数 $Uc = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Uc が測定されていない場合や、盛土材料のバラツキを考慮して f_0^* の最低値として $f_0^* = 1.5$ を用いることが多い。

2-7 ストリップの長さ L_i

(1) ストリップの長さは引抜けに対する所定の安全率を確保しうる摩擦抵抗力を有するよう
に定めるものとする。摩擦抵抗力は抵抗領域にあるストリップが有するものとし、必要と
するストリップ長 L_{req} (所要ストリップ長)は、式(2. 7.1)により求める。

$$L_{req} = \frac{F_s \cdot T_i}{2 \cdot f_i^* \cdot \sigma_{vi} \cdot b} \quad (\text{式 2. 7.1})$$

ただし、 F_s は § 1に規定した値を用いるものとする。

ここに、 L_{req} : i 段目におけるストリップの抵抗領域中の長さ(m)

- F_s : 常時におけるストリップの引抜けに対する安全率
- F_s' : 地震時におけるストリップの引抜けに対する安全率
- T_i : i 段目のストリップに作用する引張力 (kN)
- f_i^* : i 段目のストリップに対する見かけの摩擦係数
- σ_{vi} : i 段目における鉛直応力(kN/m²)
- b : ストリップの幅(cm)

主働領域中の長さは 2. 7.1 の規定にしたがって式(2. 7.2)により求める。

$$\left. \begin{aligned} L_0 &= 0.3 \cdot Ha \cdot \dots \cdot Z \leq \frac{Ha}{2} \text{ のとき} \\ L_0 &= 0.6 \cdot (Ha - Z) \cdot \dots \cdot Z > \frac{Ha}{2} \text{ のとき} \end{aligned} \right\} (\text{式 2. 7.2})$$

i 段目のストリップ長 L_i は式(2. 7.3)により求める。

$$L_i = L_{req} + L_0 \quad (\text{式2.7.3})$$

地震の影響を考慮する場合には、式 2. 4.4 に示した P_i 、§ 1に示した安全率、及び図 2. 1.1 に示した主働領域を考慮し、式(2. 7.4)により求める。

$$\left. \begin{aligned} L_0 &= (0.6 + Kh) \times \frac{Ha}{2} \cdot \dots \cdot Z \leq \frac{Ha}{2} \\ L_0 &= (0.6 + Kh) \times (Ha - Z) \cdot \dots \cdot Z > \frac{Ha}{2} \end{aligned} \right\} (\text{式(2. 7.4)})$$

(4) 構造細目によるストリップの最小長さ

ストリップの最小長さは、(1)(2)(3)の設計計算によって安定上余裕がある場合においても、表 2. 7.1 に示す値を下回ってはならない。

表 2. 7.1 ストリップ最小長さ

補強土壁の種別	着目箇所	ストリップの最小長さ	最小長さのストリップの配置区域
上載盛土高が 2m 未満のとき $0m \leq H_1 < 2m$	上段付近	$0.7 \cdot H_a$	H_a の上端より $0.5 \cdot H_a$ 以上
	下段付近	$0.4 \cdot H_a, 4m$	補強土壁下端より $0.3 \cdot H_a$ 以下
b) 上載盛土高が 2m 以上のとき $H_1 \geq 2m$	上段付近	$0.7 \cdot H_a$	H_a の上端より $0.6 \cdot H_a$ 以上
	下段付近	$0.4 \cdot H_a, 4m$	補強土壁下端より $0.3 \cdot H_a$ 以下

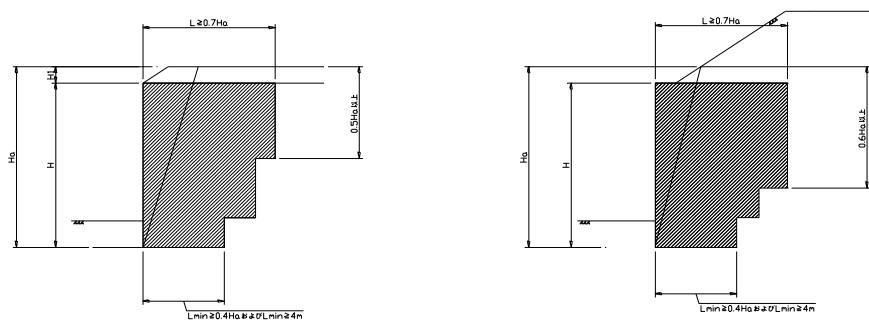


図 2. 7.1) ストリップの最小長さ

2-8 安全率等の確認

2-7までに示した方法により求めたストリップ長, 水平間隔等を用いて引抜けに対する安全率, ストリップの引張応力度, ボルトのせん断応力度を計算し, それぞれに対する安全性を確認する。

(1) 引抜けに対する安全率

引抜けに対する安全率

$$F_s = \frac{S_i}{T_i} \quad (\text{式 2. 8.1})$$

$$S_i = 2f_i^* \cdot \sigma_{vi} \cdot b \cdot L_{ei}$$

$$T_i = P_i \cdot \Delta B_i$$

ただし, L_{ei} : i 段目における, 抵抗領域中のストリップの長さ

$$L_{ei} = L - L_0$$

(実行長)

T_i : i 段目のストリップに作用する引張力(kN)

S_i : i 段目のストリップの摩擦抵抗力(kN)

f_i^* : i 段目におけるストリップの見かけの摩擦係数

σ_{vi} : i 段目のストリップの位置における鉛直土圧(kN/m²)

b : ストリップの幅(cm)

P_i : i 段目のストリップが負担する土圧力(kN/m)

ΔB_i : i 段目のストリップの水平間隔(m)

ストリップの引張応力度およびボルトせん断応力度はそれぞれ式(2. 8.2)(2. 8.3)により求める。

$$\sigma = \frac{T_i}{A_g} \quad \text{及び} \quad \tau = \frac{0.75T_i}{A_n} \quad (2.8.2)$$

$$\tau = \frac{0.75 \cdot T_i}{A_\tau} = \frac{0.75 \cdot T_i}{j \cdot n \cdot A_e} \quad (\text{式2.8.3})$$

ここに,

σ : ストリップの一般部における引張応力度(N/mm²)

σ_f : スキンエレメントとの連結部におけるストリップの引張応力度(N/mm²)

τ : スキンエレメントとの連結部におけるボルトのせん断応力度(N/mm²)

A_g : 腐食代を差し引いたストリップの総断面積(mm²)

A_n : 腐食代及びボルト穴の欠損を差し引いたストリップの純断面積(mm²)

A_τ : スキンエレメントとの接続におけるボルトの断面積(mm²)