

アルミニウム床版と鋼桁の連結に 用いられる頭付きスタッドの設計法

ALST研究レポート 45

2016年3月

大阪大学大学院工学研究科

大倉一郎

概要

本論文は、ALST 研究レポート、No.39、「アルミニウム床版と鋼桁の連結に用いられる頭付きスタッドの本数と平面保持度の関係」に基づいて、アルミニウム床版と鋼桁の連結に用いられる頭付きスタッドの設計法を提案する。

目次

第1章 序論	・ ・ ・ ・ 1
第2章 アルミニウム床版と鋼桁との合成作用	・ ・ ・ ・ 2
2.1 アルミニウム床版と鋼桁の連結構造	・ ・ ・ ・ 2
2.2 軸力方程式	・ ・ ・ ・ 3
2.3 合成度	・ ・ ・ ・ 6
2.4 支間中央に集中荷重を受ける単純支持桁	・ ・ ・ ・ 6
2.5 温度変化によって生じる軸力と水平せん断力	・ ・ ・ ・ 9
2.6 完全合成の場合に対する応力分布	・ ・ ・ ・ 11
第3章 許容水平せん断力	・ ・ ・ ・ 14
第4章 結論	・ ・ ・ ・ 16
参考文献	・ ・ ・ ・ 17

第1章 序論

鉄筋コンクリート床版の重量に対して約1/5の重量のアルミニウム床版で、老朽化した鉄筋コンクリート床版を取り替えることが考案され、アルミニウム床版に関する研究が種々行われてきた^{1),2)}。トラックタイヤ移動載荷疲労試験により、アルミニウム床版が高い疲労耐久性を持つことが示され³⁾、道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋の試験施工が2011年4月に開始された⁴⁾。さらに「道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋—設計・製作・施工ガイドライン⁵⁾」が日本アルミニウム協会から2011年3月に発刊された。しかし、同ガイドラインにおいては、次の事項に関して規定が未だ設けられていない。

- (1) 斜角を有するアルミニウム床版の設計法
- (2) アルミニウム床版の終局強度
- (3) アルミニウム床版と鋼桁の連結に用いられる頭付きスタッドの設計法

(1)に関しては、斜角を有するアルミニウム床版に生じる局部応力がALST研究レポート、No.41⁶⁾で明らかにされ、(2)に関しては、アルミニウム床版の終局挙動がALST研究レポート、No.43⁷⁾で明らかにされた。本論文では、(3)に関して、ALST研究レポート、No.39⁸⁾に基づいて、アルミニウム床版と鋼桁の連結に用いられる頭付きスタッドの設計法を提案する。

第2章 アルミニウム床版と鋼桁との合成作用

2.1 アルミニウム床版と鋼桁の連結構造

アルミニウム床版に使用される押出型材の断面寸法を図2.1に示す。材料はA6061S-T6である。図2.2に示すように、この押出型材の上フランジを摩擦撓拌接合で連結することによりアルミニウム床版が製作される²⁾。

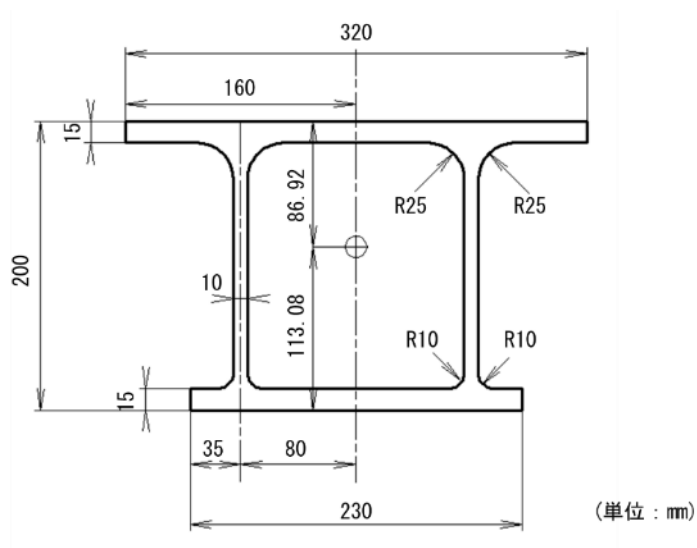


図2.1 押出型材の断面寸法

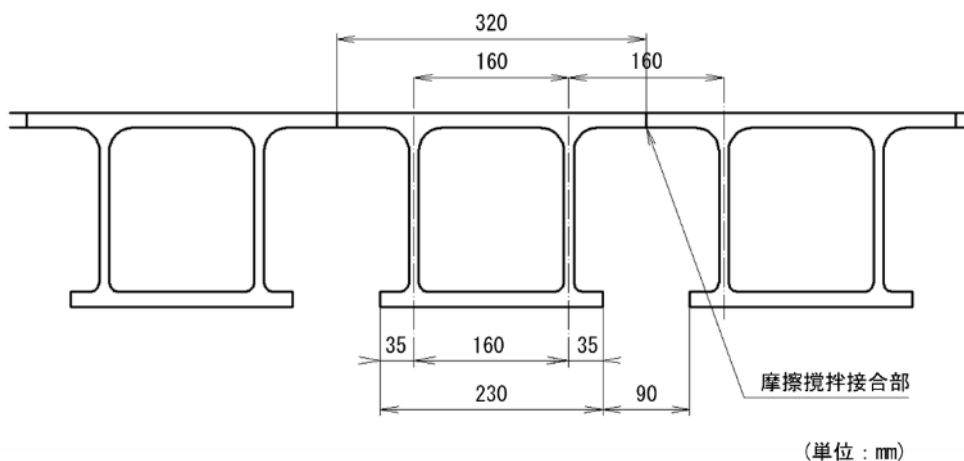


図2.2 アルミニウム床版

アルミニウム床版と鋼桁の連結構造を図2.3に示す。アルミニウム床版が鋼桁に接触することによって生じる異種金属接触腐食を防ぐために、アルミニウム床版下フランジと鋼桁

上フランジの間には ECC（高靱性セメント複合材料）の台座が設けられる．鋼桁上フランジに溶接された頭付きスタッドが，アルミニウム床版の開断面内に挿入され，対向するアルミニウム仕切り板の間を無収縮モルタルで充填することにより，アルミニウム床版と鋼桁が連結される．

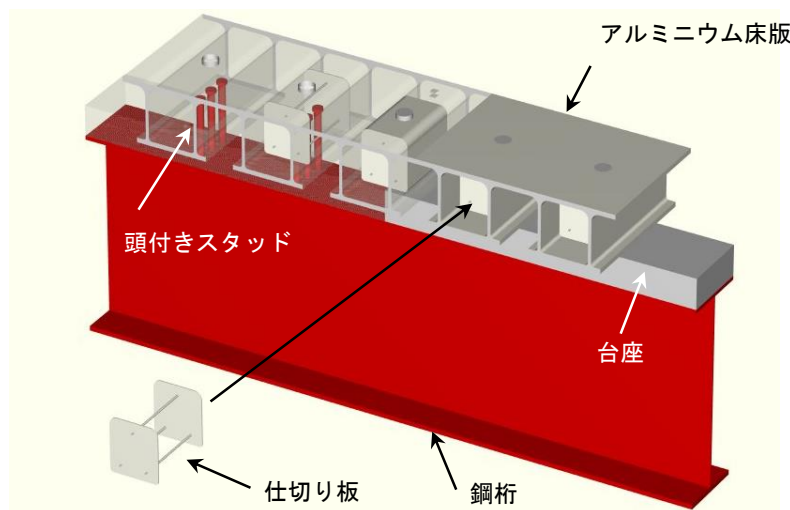


図2.3 アルミニウム床版と鋼桁の連結構造

2.2 軸力方程式

前節で述べたように，開発されたアルミニウム床版は開断面と閉断面が交互に並ぶので，アルミニウム床版上板と鋼桁上フランジの間にはある程度の平面保持が存在する．この平面保持の程度は，図 2.4 を参照して，鋼桁の平面保持が鋼桁上フランジの上方 ηd_a まで存在すると仮定することにより考慮することができる⁸⁾．ここで， η は $0 \leq \eta \leq 1$ であり，平面保持度と呼ばれる． d_a は，鋼桁上フランジの上面からアルミニウム床版上板の中立面までの距離である． $\eta = 0$ のとき，アルミニウム床版上板と鋼桁上フランジとの間に平面保持が存在せず， $\eta = 1$ のとき，鋼桁の平面保持がアルミニウム床版上板まで拡大する．

平面保持度 η を考慮した，アルミニウム床版と鋼桁に生じる軸力に関する方程式は次のように与えられる⁸⁾．

$$\frac{d^2 N}{dx^2} - \lambda^2 N = -c\lambda^2 M + k\Delta\varepsilon_T \quad (2.1)$$

ここに，

$$\Delta\varepsilon_T = \varepsilon_{st} - \varepsilon_{at} \quad (2.2)$$

$$N = N_s = N_a \quad (2.3)$$

$$M = Na + M_s + M_a \quad (2.4)$$

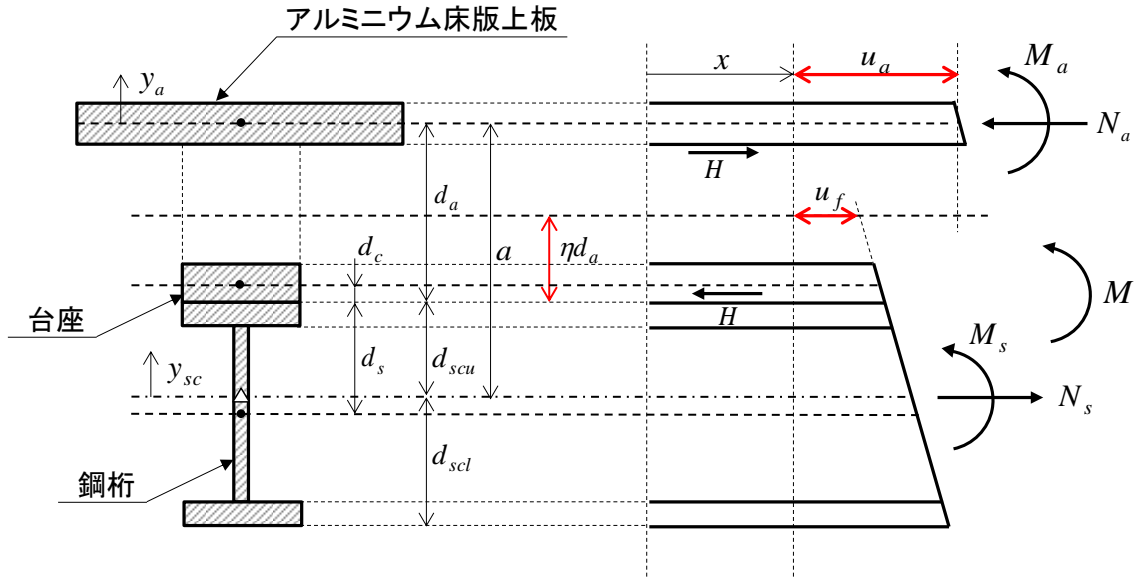


図 2.4 アルミニウム床版上板および鋼桁上フランジに生じる水平せん断力と水平変位

$$\lambda = \sqrt{k \frac{\left(A_{sc} + \frac{A_a}{n_a} \right) \left(I_{sc} + \frac{I_a}{n_a} \right) + A_{sc} \frac{A_a}{n_a} a (d_{scu} + \eta d_a)}{E_s A_{sc} \frac{A_a}{n_a} \left(I_{sc} + \frac{I_a}{n_a} \right)}} \quad (2.5)$$

$$c = \frac{A_{sc} \frac{A_a}{n_a} (d_{scu} + \eta d_a)}{\left(A_{sc} + \frac{A_a}{n_a} \right) \left(I_{sc} + \frac{I_a}{n_a} \right) + A_{sc} \frac{A_a}{n_a} a (d_{scu} + \eta d_a)} \quad (2.6)$$

$$A_{sc} = A_s + \frac{A_c}{n_c} \quad (2.7)$$

$$I_{sc} = I_s + \frac{I_c}{n_c} + A_s (d_s - d_{scu})^2 + \frac{A_c}{n_c} (d_{scu} + d_c)^2 \quad (2.8)$$

$$d_{scu} = \frac{E_s A_s d_s - E_c A_c d_c}{E_s A_s + E_c A_c} \quad (2.9)$$

$$n_a = \frac{E_s}{E_a} \quad (2.10)$$

$$n_c = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.11)$$

- N : 鋼桁とアルミニウム床版上板に生じる軸力
 N_s, N_a : それぞれ, 鋼桁およびアルミニウム床版上板に生じる軸力
 M : 鋼桁とアルミニウム床版から成る合成桁に作用する曲げモーメント

- M_s, M_a : それぞれ, 鋼桁およびアルミニウム床版上板に生じる曲げモーメント
 a : アルミニウム床版上板の中立面と, 鋼桁と台座の合成断面に対する中立軸との間の距離
 $\Delta\varepsilon_T$: アルミニウム床版と鋼桁の温度変化によるひずみの差
 $\varepsilon_{st}, \varepsilon_{at}$: それぞれ, 温度変化によって鋼桁およびアルミニウム床版上板に生じるひずみ
 k : アルミニウム床版上板と鋼桁上フランジの間の水平せん断バネ
 E_s, E_c, E_a : それぞれ, 鋼, 台座, アルミニウム合金のヤング係数
 A_s, A_c, A_a : それぞれ, 鋼桁, 台座, アルミニウム床版上板の断面積
 A_{sc} : 鋼桁と台座の合成断面に対する鋼換算された断面積
 I_s, I_c, I_a : それぞれ, 鋼桁, 台座, アルミニウム床版上板の各中立軸に関する断面二次モーメント
 I_{sc} : 鋼桁と台座の合成断面に対する鋼換算された断面二次モーメント
 d_s, d_c : 鋼桁上フランジの上面から, それぞれ, 鋼桁, 台座の中立軸までの距離
 d_{scu} : 鋼桁と台座の合成断面に対する中立軸から鋼桁上フランジの上面までの距離

式(2.1)の誘導に際しては, 図 2.4 を参照して, アルミニウム床版上板および鋼桁上フランジに生じる水平せん断力 H と両者の水平変位差 ($u_f - u_a$) の間に次式が成立することが仮定されている.

$$H = k(u_f - u_a) \quad (2.12)$$

ここに,

- H : アルミニウム床版上板および鋼桁上フランジに生じる水平せん断力
 u_f, u_a : それぞれ, 鋼桁上フランジの上方 ηd_a の位置における鋼桁の水平変位およびアルミニウム床版上板の中立面の位置におけるアルミニウム床版上板の水平変位

図 2.5 に示すように, アルミニウム床版上板の微小区間 dx における力の釣り合いより, 水平せん断力 H と軸力 N の間には次の関係が成立する.

$$H = \frac{dN}{dx} \quad (2.13)$$

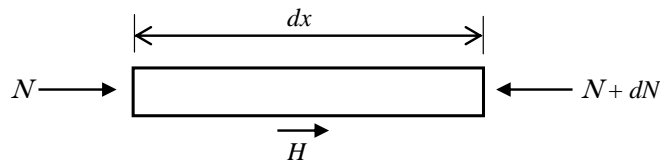


図 2.5 アルミニウム床版上板に生じる水平せん断力と軸力

2.3 合成度

アルミニウム床版と鋼桁との合成作用の程度を評価する指標として、次式で定義される合成度が提案されている⁹⁾。

$$\phi = \frac{v_0 - v}{v_0 - v_\infty} = 1 - \frac{3}{(\lambda L/2)^2} \left\{ 1 - \frac{\tanh(\lambda L/2)}{(\lambda L/2)} \right\} \quad (2.14)$$

ここに、

ϕ : アルミニウム床版と鋼桁との合成度

v_∞ : 完全合成の場合の鋼桁のたわみ

v_0 : 非合成の場合の鋼桁のたわみ

v : 不完全合成の場合の鋼桁のたわみ

次節で述べる式(2.21)が与える、曲げモーメントによる鋼桁の支間中央のたわみ v_m を v 、 v_∞ 、 v_0 に使用することにより式(2.14)が与えられる。式(2.21)において、 λ を無限にして v_∞ が与えられ、 λ を0に近づけることにより v_0 が与えられる。

式(2.14)が与える ϕ と λL の関係を図2.6に示す。 $\phi = 0$ のとき非合成、 $\phi = 1$ のとき完全合成である。アルミニウム床版と鋼桁との合成作用が大きくなるに従って、 ϕ は0から1に近づく。アルミニウム床版と鋼桁の合成の程度は無次元パラメータ λL に依存し、 λL が大きくなるに従って、アルミニウム床版と鋼桁との合成作用は完全合成に近づく。

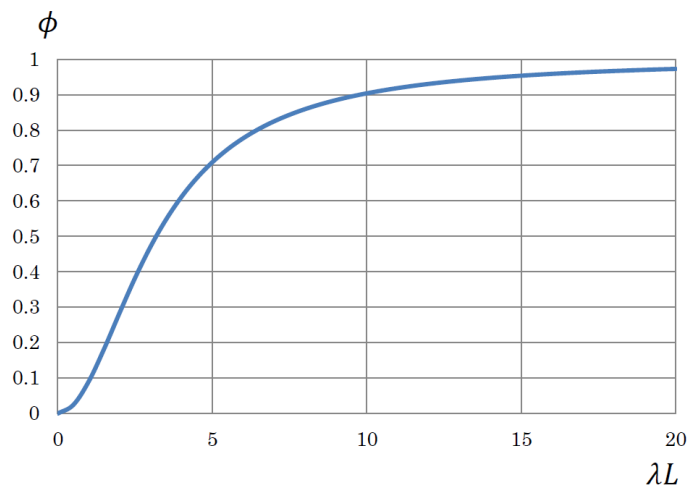


図 2.6 ϕ と λL の関係

2.4 支間中央に集中荷重を受ける単純支持桁

図2.7に示す、支間中央に集中荷重 P を受ける支間長 L の単純支持桁の軸力方程式は次式で与えられる。

$$\frac{d^2 N}{dx^2} - \lambda^2 N = -c\lambda^2 \times \frac{P}{2} x \quad (2.15)$$

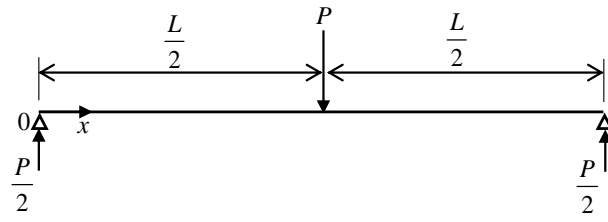


図 2.7 支間中央に集中荷重を受ける単純支持桁

ここに,

x : 支点からの距離 ($0 \leq x \leq L/2$)

式(2.15)を解くことにより, 以下の関係を得る⁸⁾.

(a) 軸力

$$N = \frac{cLP}{2} \left\{ \frac{x}{L} - \frac{\sinh(\lambda x)}{\lambda L \cosh\left(\frac{\lambda L}{2}\right)} \right\} \quad (2.16)$$

(b) 水平せん断力

$$H = \frac{cP}{2} \left\{ 1 - \frac{\cosh(\lambda x)}{\cosh\left(\frac{\lambda L}{2}\right)} \right\} \quad (2.17)$$

(c) 鋼桁とアルミニウム床版に生じるひずみ

$$\varepsilon_s = \frac{PL}{2E_s} \left[\left\{ \frac{c}{A_{sc}} - \frac{(1-ca)y_{sc}}{I_{sc} + \frac{I_a}{n_a}} \right\} \frac{x}{L} - \left(\frac{c}{A_{sc}} + \frac{cay_{sc}}{I_{sc} + \frac{I_a}{n_a}} \right) \frac{\sinh(\lambda x)}{\lambda L \cosh\left(\frac{\lambda L}{2}\right)} \right] \quad (2.18)$$

$$\varepsilon_a = \frac{PL}{2E_a} \left[- \left\{ \frac{c}{A_a} + \frac{(1-ca)y_a}{n_a I_{sc} + I_a} \right\} \frac{x}{L} - \left(- \frac{c}{A_a} + \frac{cay_a}{n_a I_{sc} + I_a} \right) \frac{\sinh(\lambda x)}{\lambda L \cosh\left(\frac{\lambda L}{2}\right)} \right] \quad (2.19)$$

ここに,

$\varepsilon_s, \varepsilon_a$: それぞれ, 鋼桁およびアルミニウム床版上板に生じるひずみ

(d) 鋼桁のたわみ

$$v = v_m + v_q \quad (2.20)$$

$$v_m = \frac{PL^3}{2(E_s I_{sc} + E_a I_a)} \left\{ -\frac{1-ca}{6} \left(\frac{x}{L}\right)^3 + \left(\frac{1-ca}{8} + \frac{ca}{(\lambda L)^2}\right) \frac{x}{L} - ca \frac{\sinh(\lambda x)}{(\lambda L)^3 \cosh\left(\frac{\lambda L}{2}\right)} \right\} \quad (2.21)$$

$$v_q = \frac{PE_s I_{sc} L}{2G_s A_{sw} (E_s I_{sc} + E_a I_a)} \left\{ (1-ca) \frac{x}{L} + ca \frac{\sinh(\lambda x)}{\lambda L \cosh\left(\frac{\lambda L}{2}\right)} \right\} \quad (2.22)$$

ここに,

- v : 鋼桁のたわみ
- v_m : 曲げモーメントによる鋼桁のたわみ
- v_q : せん断力による鋼桁のたわみ
- G_s : 鋼のせん断弾性係数
- A_{sw} : 鋼桁ウェブの断面積

式(2.16)が与える $N/(cLP/2)$ と x/L の関係を図 2.8 に示す. $\lambda L = 10, 15, 20, \infty$ に対する合成度 ϕ は, それぞれ 0.90, 0.95, 0.97, 1 である. x/L が 0.3 から 0.5 の間で, λL が大きくなるに従って, $N/(cLP/2)$ は完全合成に対する値 0.5 に近づく.

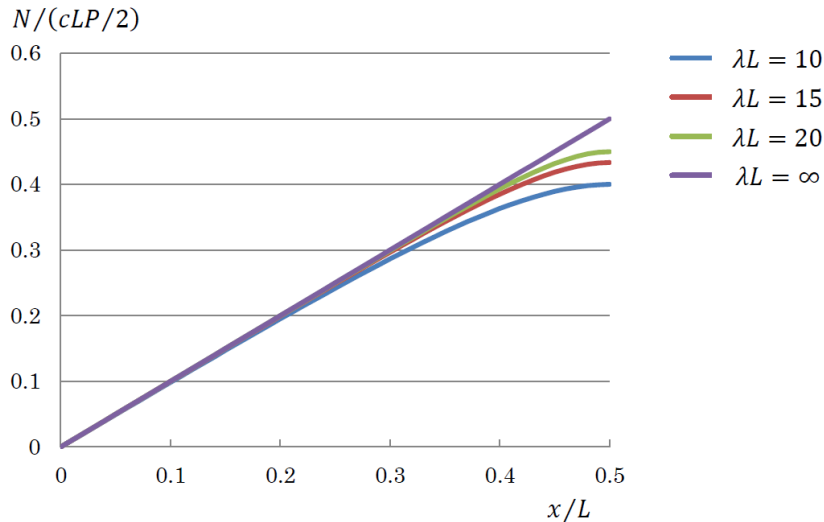


図 2.8 $N/(cLP/2)$ と x/L の関係

式(2.17)が与える $H/(cP/2)$ と x/L の関係を図 2.9 に示す. 10 以上の λL に対して, x/L が 0 から 0.1 の間で $H/(cP/2)$ はほぼ 1 である. すなわち, 10 以上の λL に対して, 水平せん断力

は、 x/L が 0 から 0.1 の間で完全合成の水平せん断力に等しくなる。

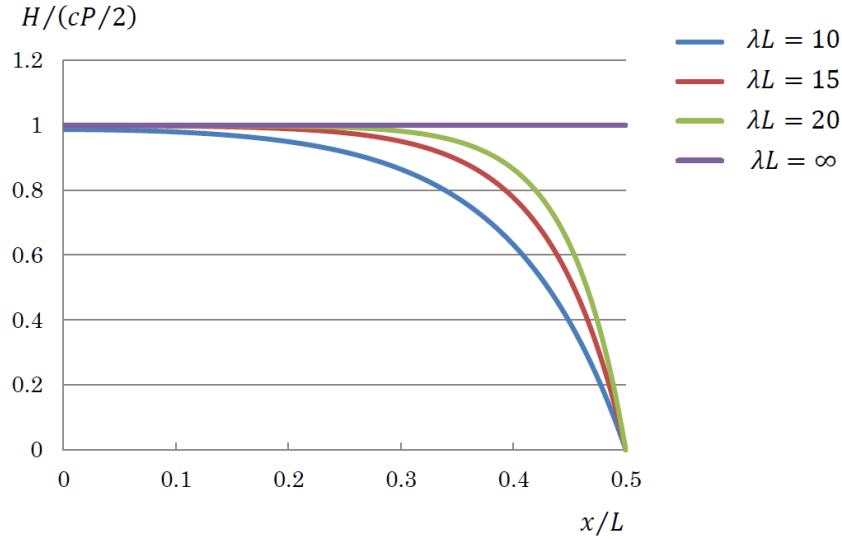


図 2.9 $H/(cP/2)$ と x/L の関係

2.5 温度変化によって生じる軸力と水平せん断力

温度変化によってアルミニウム床版と鋼桁に生じる軸力 N が次式を解くことによって与えられる。

$$\frac{d^2 N}{dx^2} - \lambda^2 N = k \Delta \varepsilon_T \quad (2.23)$$

$x=0$ で $N=0$ および $x=L/2$ で $dN/dx=0$ の境界条件に対して、式(2.23)が次のように解かれる。

$$N = N_T \Delta \varepsilon_T \left[1 - \frac{\cosh\left\{\lambda\left(\frac{L}{2} - x\right)\right\}}{\cosh\left(\frac{\lambda L}{2}\right)} \right] \quad (2.24)$$

ここに、

$$N_T = -\frac{E_s c \left(I_{sc} + \frac{I_a}{n_a}\right)}{d_{scu} + \eta d_a} = -\frac{E_s A_{sc} \frac{A_a}{n_a} \left(I_{sc} + \frac{I_a}{n_a}\right)}{\left(A_{sc} + \frac{A_a}{n_a}\right) \left(I_{sc} + \frac{I_a}{n_a}\right) + A_{sc} \frac{A_a}{n_a} a (d_{scu} + \eta d_a)} \quad (2.25)$$

水平せん断力は次式で与えられる。

$$H = \frac{N_T \Delta \varepsilon_T}{L} \frac{\lambda L \sinh \left\{ \lambda \left(\frac{L}{2} - x \right) \right\}}{\cosh \left(\frac{\lambda L}{2} \right)} \quad (2.26)$$

式(2.24)が与える $N/(N_T \Delta \varepsilon_T)$ と x/L の関係を図 2.10 に示す. 10 以上の λL に対して, x/L が 0.4 から 0.5 の間で $N/(N_T \Delta \varepsilon_T)$ はほぼ 1 である. すなわち, 10 以上の λL に対して, 水平せん断力は, x/L が 0.4 から 0.5 の間で完全合成の水平せん断力に等しくなる.

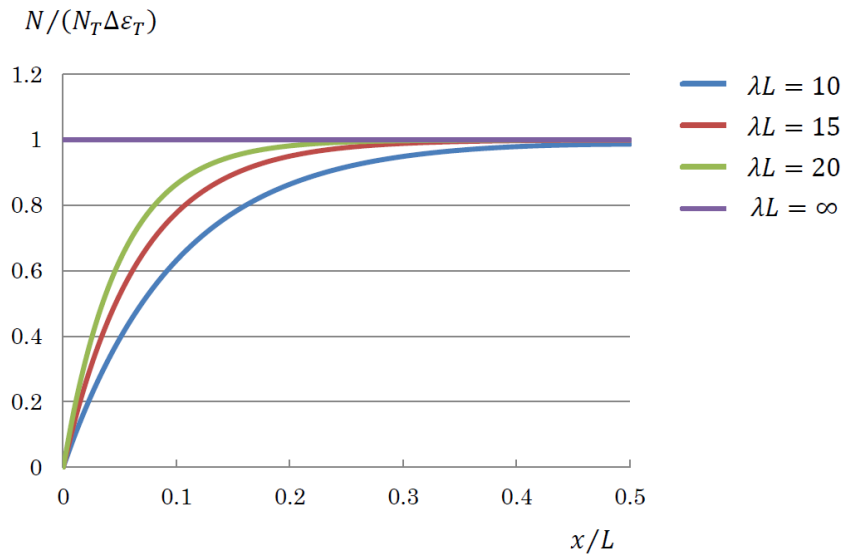


図 2.10 $N/(N_T \Delta \varepsilon_T)$ と x/L の関係

式(2.26)が与える $H/(N_T \Delta \varepsilon_T / L)$ と x/L の関係を図 2.11 に示す. $x/L = 0$ の近傍で $H/(N_T \Delta \varepsilon_T / L)$ が生じ, 同位置の $H/(N_T \Delta \varepsilon_T / L)$ は λL に比例して増加する. $\lambda L = \infty$ に対しては, $x/L = 0$ の位置でのみ $H/(N_T \Delta \varepsilon_T / L)$ が生じ, その値は無限大である. 図中の直線は, コンクリート床版を有する鋼桁のずれ止め設計に対して, 道路橋示方書¹⁰⁾で採用されている, コンクリート床版の乾燥収縮およびコンクリート床版と鋼桁との温度差によって生じる水平せん断力の分布であり, 次式で与えられる.

$$H = \frac{20 N_T \Delta \varepsilon_T}{L} \left(1 - 10 \frac{x}{L} \right) = \frac{2 N_T \Delta \varepsilon_T}{(L/10)} \left(1 - 10 \frac{x}{L} \right) \quad \left(0 \leq \frac{x}{L} \leq \frac{1}{10} \right) \quad (2.27)$$

道路橋示方書で採用されている水平せん断力の分布は, $\lambda L = 20$ に対する水平せん断力の分布を近似している.

式(2.26)によって, λL の値ごとに水平せん断力を推定することは設計実務に適さない. 道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋の λL の値は, 15m から 40m の支間長に対して 13 から 27 と推定されている¹¹⁾. $\lambda L = 20$ は 13 から 27 の中間的な値である. したがって, 式(2.27)で与えられる水平せん断力の分布を, 道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋の温

度変化によって生じる水平せん断力の分布に採用する。

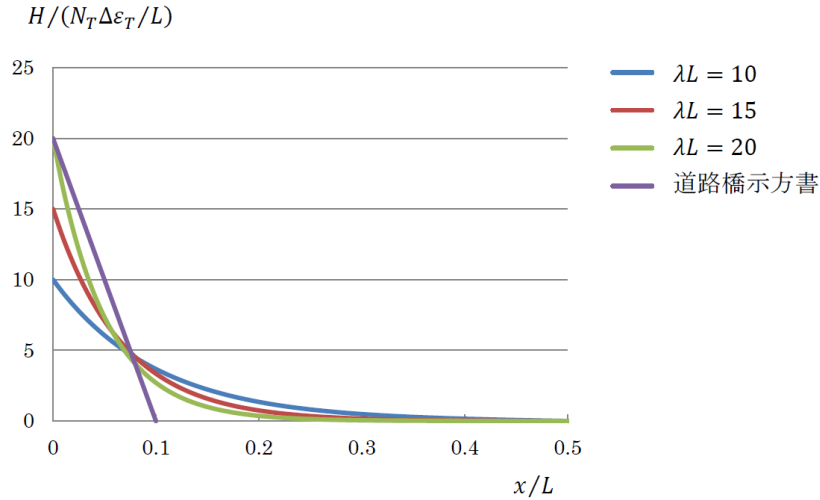


図 2.11 $H/(N_T \Delta \varepsilon_T / L)$ と x/L の関係

2.6 完全合成の場合に対する応力分布

アルミニウム床版と鋼桁から成る試験体の静的載荷試験により，アルミニウム床版と鋼桁との合成作用は完全合成に近いことが示されている^{12),13)}。したがって，アルミニウム床版と鋼桁との合成作用が完全合成の場合に対する応力分布を次に示す。

図 2.12 に示すように，完全合成の場合，ひずみが鋼桁下フランジの下面から，鋼桁上フランジの上方 ηd_a の位置まで直線分布し，その位置のひずみとアルミニウム床版上板の中立面の位置のひずみが等しくなる。この場合，図 2.13 を参照して，鋼桁とアルミニウム床版の合成断面の中立軸を原点とする応力分布が次式で与えられる⁸⁾。

$$\sigma_s = -\frac{M}{I_v} y \quad (2.28)$$

$$\sigma_c = -\frac{M}{n_c I_v} y \quad (2.29)$$

$$\sigma_a = -\frac{M}{n_a I_v} \{y - (1 - \eta)d_a\} \quad (2.30)$$

ここに，

σ_s ， σ_c ， σ_a : それぞれ，鋼桁，台座，アルミニウム床版上板に生じる応力

y : 鋼桁とアルミニウム床版の合成断面の中立軸を原点とする座標（上方を正）

a_s ， a_c ， a_a : 鋼桁とアルミニウム床版の合成断面の中立軸から，それぞれ，鋼桁，台座，アルミニウム床版の中立軸までの距離

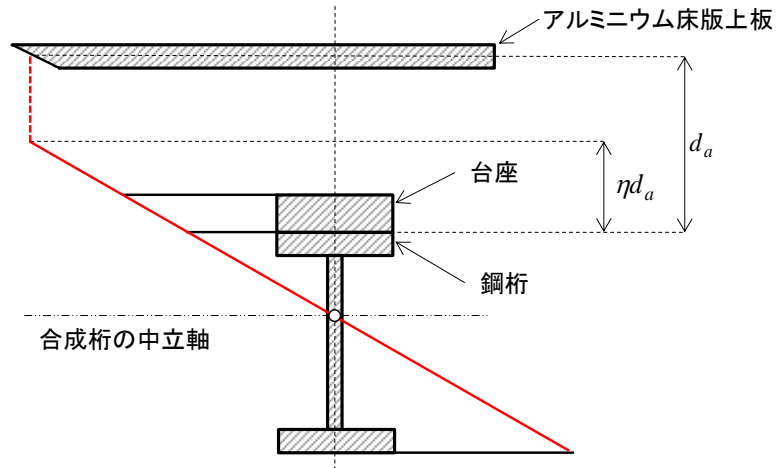


図 2.12 完全合成の場合に対するひずみ分布

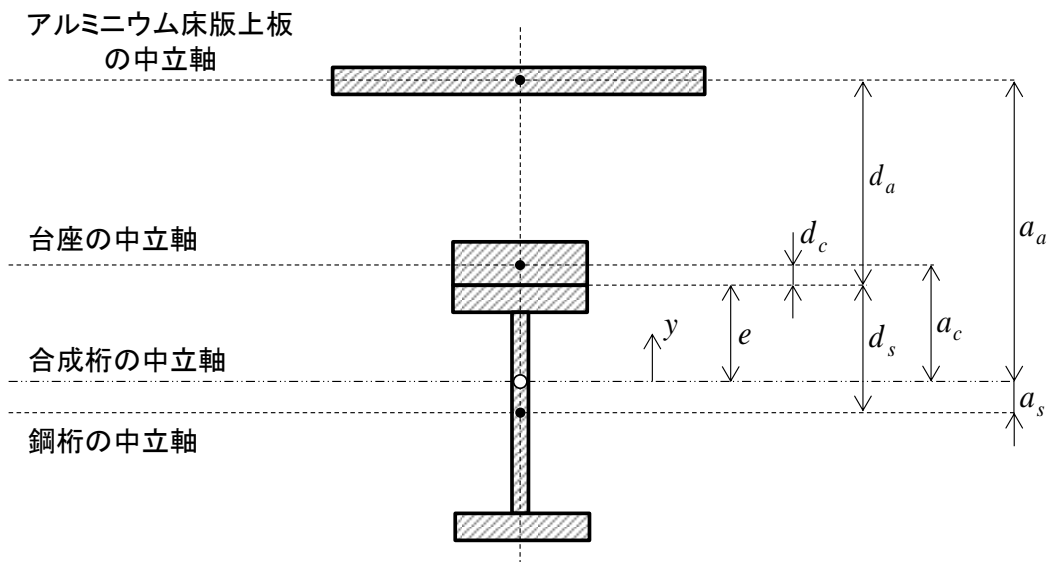


図 2.13 合成桁の断面

I_v は、アルミニウム床版上板と台座が鋼換算された断面二次モーメントであり、次式で与えられる。

$$I_v = I_s + \frac{I_c}{n_c} + \frac{I_a}{n_a} + A_s a_s^2 + \frac{A_c}{n_c} a_c^2 + \frac{A_a}{n_a} a_a (e + \eta d_a) \quad (2.31)$$

$$= I_s + \frac{I_c}{n_c} + \frac{I_a}{n_a} + A_s d_s^2 + \frac{A_c}{n_c} d_c^2 + \eta \frac{A_a}{n_a} d_a^2 - e \left(A_s d_s - \frac{A_c}{n_c} d_c - \frac{A_a}{n_a} d_a \right) \quad (2.32)$$

e は、鋼桁上フランジの上面から、鋼桁とアルミニウム床版の合成断面の中立軸までの距離であり、次式で与えられる。

$$e = \frac{E_s A_s d_s - E_c A_c d_c - \eta E_a A_a d_a}{E_s A_s + E_c A_c + E_a A_a} \quad (2.33)$$

鋼換算断面二次モーメント I_v は式(2.6)の c と次の関係を有する.

$$I_v = \frac{I_{sc} + \frac{I_a}{n_a}}{1 - ca} \quad (2.34)$$

軸力と水平せん断力は、それぞれ次式で与えられる.

$$N = -\frac{M}{n_a I_v} \{y - (1 - \eta)d_a\} A_a \quad (2.35)$$

$$H = -\frac{Q}{n_a I_v} \{y - (1 - \eta)d_a\} A_a \quad (2.36)$$

ここに,

Q : 鋼桁とアルミニウム床版から成る合成桁に作用するせん断力

輪荷重に対するアルミニウム床版の版変形に対して、頭付きスタッドと台座が十分な静的強度と疲労強度を有していることが試験によって確かめられ、頭付きスタッドを一個所当たり 3 本配置することが提案された¹⁴⁾。しかし、一個所当たり頭付きスタッドが 3 本配置された、アルミニウム床版と鋼桁との合成作用は、3 本と異なる本数の頭付きスタッドが配置された場合に対する合成作用との比較によって明らかにされるので、一箇所当たり 1 本、2 本、3 本の頭付きスタッドが配置された試験体の静的載荷試験が実施された。その結果、頭付きスタッドの本数が 1 本、2 本、3 本の試験体の平面保持度 η は、それぞれ 0.20, 0.35, 0.48 と推定された⁸⁾。実橋の設計では、一箇所当たり頭付きスタッドは 3 本以上設けられるので、平面保持度 η を 0.48 とする。

第3章 許容水平せん断力

図 3.1 に示すように、頭付きスタッドを、鋼桁上フランジとアルミニウム床版の閉断面内の無収縮モルタルとによって両端固定支持された丸棒と見なすと、鋼桁上フランジの上面およびアルミニウム床版下フランジの下面の位置、すなわち台座の上下面の位置に生じる曲げモーメント M と頭付きスタッド 1 本に作用する水平力 R の間には次式が成立する。

$$M = \frac{Rh}{2} \quad (3.1)$$

ここに、

h : 鋼桁上フランジとアルミニウム床版の間の台座の高さ

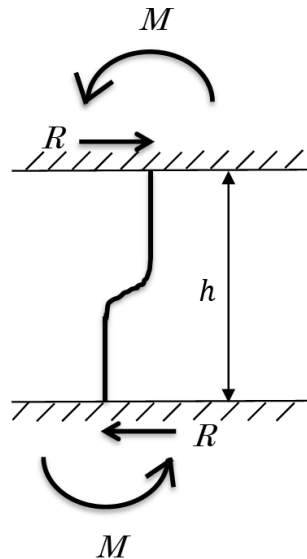


図 3.1 頭付きスタッドに生じる曲げモーメントと水平力

頭付きスタッドの降伏モーメント M_Y は次式で与えられる。

$$M_Y = \sigma_{sY} \frac{\pi d^3}{32} \quad (3.2)$$

ここに、

- M_Y : 頭付きスタッドの降伏モーメント
- σ_{sY} : 頭付きスタッドの降伏応力
- d : 頭付きスタッドの直径

式(3.2)を式(3.1)の M に代入して、頭付きスタッドが降伏モーメントに達するときの頭付きスタッド 1 本に作用する水平力 R_Y が次式によって与えられる。

$$R_Y = \sigma_{sY} \frac{\pi d^3}{16h} \quad (3.3)$$

頭付きスタッドの許容応力を σ_{sa} で表し、これを式(3.3)の頭付きスタッドの降伏応力 σ_{sY} と置き換えて、頭付きスタッド1本の許容水平力 R_a が次式で与えられる。

$$R_a = \sigma_{sa} \frac{\pi d^3}{16h} \quad (3.4)$$

ここに、

R_a : 頭付きスタッド1本の許容水平力

σ_{sa} : 頭付きスタッドの許容応力

図 2.2 と 2.3 に示すように、頭付きスタッドは 320mm の間隔で配置されるので、許容水平せん断力 H_a は次式で与えられる。

$$H_a = \frac{nR_a}{g} \quad (3.5)$$

ここに、

H_a : 許容水平せん断力

n : 一箇所に配置される頭付きスタッドの本数

g : 頭付きスタッドの配置間隔 (= 320 mm)

今後、アルミニウム床版、充填モルタル、台座、頭付きスタッドから成る試験体の押抜きせん断試験によって、式(3.4)と(3.5)で与えられる許容水平せん断力の妥当性が今後検証されなければならない。

第4章 結論

本論文は、ALST 研究レポート、No.39 に基づいて、アルミニウム床版と鋼桁の連結に用いられる頭付きスタッドの設計法を提案した。

- (1) 荷重によって生じる水平せん断力は式(2.36)によって与えられる。実橋においては、アルミニウム床版上板の断面二次モーメントおよび台座の断面二次モーメントと断面積は鋼桁のそれらと比較して無視できるほど小さい。したがって、同式の I_v は次式で与えられる。

$$I_v = I_s + A_s(d_s - e)^2 + \frac{A_a}{n_a}(e + d_a)(e + \eta d_a)$$

ここに、

$$e = \frac{E_s A_s d_s - \eta E_a A_a d_a}{E_s A_s + E_a A_a}$$

$$\eta = 0.48$$

- (2) 温度変化によって生じる水平せん断力の分布は式(2.27)によって与えられる。これは、道路橋示方書¹⁰⁾で採用されている、コンクリート床版の乾燥収縮およびコンクリート床版と鋼桁との温度差によって生じる水平せん断力の分布と同じである。同式の N_T は実橋に対して次式で与えられる。

$$N_T = - \frac{E_s A_s \frac{A_a}{n_a} I_s}{\left(A_s + \frac{A_a}{n_a} \right) I_s + A_s \frac{A_a}{n_a} (d_s + d_a)(d_s + \eta d_a)}$$

ここに、

$$\eta = 0.48$$

- (3) 許容水平せん断力を式(3.4)と(3.5)で与えた。アルミニウム床版、充填モルタル、台座、頭付きスタッドから成る試験体の押抜きせん断試験によって、両式の妥当性が今後検証されなければならない。

本論文では、橋軸方向に作用する力に対して頭付きスタッドの設計法を提案した。風荷重および地震荷重など橋軸直角方向に作用する力に対する頭付きスタッドの設計法は今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 大倉一郎, 萩澤亘保, 鳴尾亮, 戸田均: 摩擦攪拌接合で製作されたアルミニウム床版の疲労特性, 土木学会論文集, No.703/I-59, pp.255-266, 2002.
- 2) 大倉一郎, 岡田理, 萩澤亘保, 大澤章吾: 開閉断面アルミニウム床版の開発, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1219-1227, 2005.
- 3) 大倉一郎, 長尾隆史, 萩澤亘保: アルミニウム床版の移動トラックタイヤ載荷疲労試験による疲労耐久性評価, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.1217-1226, 2010.
- 4) 大倉一郎, 長尾隆史, 豊田英治: 道路橋用アルミニウム床版の開発, 橋梁と基礎, 建設図書, 第50巻, 第3号, pp.26-30, 2016.
- 5) 日本アルミニウム協会, 土木構造物委員会: 道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋—設計・製作・施工ガイドライン, 2011.
- 6) 重久純平, 大倉一郎: 斜角が道路橋用アルミニウム床版の発生応力に与える影響, ALST 研究レポート, No.41, 2015.
- 7) 重久純平, 大倉一郎: 道路橋用アルミニウム床版の終局挙動, ALST 研究レポート, No.43, 2016.
- 8) 藤本倫人, 大倉一郎: アルミニウム床版と鋼桁の連結に用いられる頭付きスタッドの本数と平面保持度の関係, ALST 研究レポート, No.39, 2015.
- 9) 大倉一郎, 稲見豪: アルミニウム床版と鋼桁との合成作用, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.870-880, 2011.
- 10) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編 II 鋼橋編, 2012.
- 11) 北里龍馬, 大倉一郎: アルミニウム床版と鋼桁との連結部の水平せん断バネの特性および実橋の合成度, ALST 研究レポート, No.24, 2012.
- 12) 大倉一郎, 石川敏之, 高木真広, 武野正和: アルミニウム床版と鋼桁の合成作用, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.1172-1181, 2009.
- 13) 藤本倫人, 大倉一郎, 長尾隆史: 頭付きスタッドの本数がアルミニウム床版と鋼桁との合成作用に与える影響, 鋼構造年次論文報告集, 第22巻, pp.152-159, 2014.
- 14) 大倉一郎, 萩澤亘保, 中原太樹, 岡田理, 山口進吾: アルミニウム床版と鋼主桁との連結部の静的および疲労挙動, 鋼構造年次論文報告集, 第11巻, pp.199-206, 2003.