捩り耐力についての検証

1. 概要

H形鋼はねじれに弱いとされている。

ねじれに対して弱い順に書くと、

細幅　＜　中幅　＜　広幅　となっている。

↓

「数値としてどの位の差になるのか？」 の疑問に細幅と広幅で〇〇倍となるかを実際に試算して違いを確認してみる。

↓

「H形鋼から側面当て板で、どの位ねじれに対して強くなるのか？」 の疑問に、広幅のH形鋼で側面板補強の場合の値を

《開断面》　《閉断面》

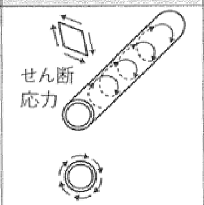
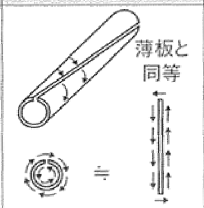
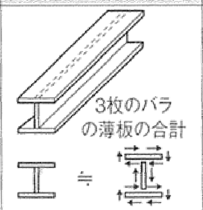
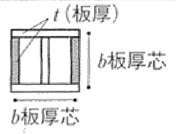
算出して比較する。

2. 検証方法

ねじれ抵抗の指標として　サンブナンのねじれ定数:*Jt*　がある。

このサンブナンのねじれ定数の数値をそれぞれ計算し、比較する事によりねじれの強さを比較する。

表1　サンブナンねじれの定数（J_t）と最大せん断応力度（$\tau_{(MAX)}$）

	①鋼管	②切目のある鋼管（薄板）	③H型	④H形鋼＋当て板（角型鋼管）
抵抗の様子				当て板補強すると，閉鎖断面となり，抵抗UP
J_t	$\dfrac{4A^2 \cdot t}{S}$	$\dfrac{1}{3} \cdot t^3 \cdot b$	$\Sigma \dfrac{1}{3} \cdot t_i^3 \cdot b_i$	$\dfrac{4A^2 \cdot t}{S}$
$\tau_{(MAX)}$	$\dfrac{M_s}{2A \cdot t}$	$\dfrac{3M_s}{t^2 \cdot b}$	$\dfrac{M_s}{j_t} \cdot t_i$	$\dfrac{M_s}{2A \cdot t}$
備考	A：囲まれた面積 S：囲まれた周長 t：厚さ	b：薄板の幅（周長） t：厚さ	フランジ2枚とウエブの b_i：薄板の幅 t_i：厚さ	鋼管と同じ

計算例	③　H−300×300×16×16	$J_t(H) = \Sigma \dfrac{1}{3} \cdot t_i^3 \cdot b_i \fallingdotseq 1.23 \times 10^6 \mathrm{mm}^4$
	④　□−300×300×16×16（当て板）	$J_t(\square) = \dfrac{4A^2 \cdot t}{S} \fallingdotseq \dfrac{4b^4 \cdot t}{4b} \fallingdotseq 4.32 \times 10^8 \mathrm{mm}^4$

出典元:建築技術　2017年4月

① 検証1:　幅の違いによる検証

H形鋼の300mm成の細幅、中幅、広幅でサンブナンのねじれ定数:Jt　を比較

② 検証2:　側面当て板補強の検証

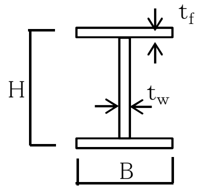
広幅H形鋼の300mm成について、側面板補強した場合のサンブナンのねじれ定数:Jt　を算出し比較する。

3. 検証

① 検証1

H形鋼のサンブナンのねじれ定数:Jt

$$J_t = \frac{1}{3} \times \{ t_f^3 \times B \times 2 + t_w^3 \times (H-2t_f) \}$$



・細幅:H-300×150×6.5×9　H = 300　B = 150　t_f = 9　t_w = 6.5

$${}_N J_t = \frac{1}{3} \times \{9^3 \times 150 \times 2 + 6.5^3 \times (300-2 \times 9)\} = 0.987 \times 10^5 \quad (mm^4)$$

・中幅:H-294×200×8×12　H = 294　B = 200　t_f = 12　t_w = 8

$${}_M J_t = \frac{1}{3} \times \{12^3 \times 200 \times 2 + 8^3 \times (294-2 \times 12)\} = 2.765 \times 10^5 \quad (mm^4)$$

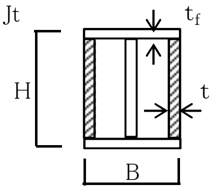
・広幅:H-300×300×10×15　H = 300　B = 300　t_f = 15　t_w = 10

$${}_H J_t = \frac{1}{3} \times \{12^3 \times 200 \times 2 + 8^3 \times (294-2 \times 12)\} = 7.650 \times 10^5 \quad (mm^4)$$

② 検証2

H形鋼＋側面板補強(角型鋼管)のサンブナンのねじれ定数:Jt

$$J_t = \frac{4 \times (B-t)^2 \times (H-t_f)^2 \times \min(t_f, t)}{2 \times \{(B-t)+(H-t_f)\}}$$



・広幅:H-300×300×10×15＋側面補強板PL-16　H = 300　B = 300　t_f = 15　t_w = 10　t = 16

B-t = 284　$H-t_f$ = 285

$${}_B J_t = \frac{4 \times 284^2 \times 285^2 \times 15}{2 \times (284+285)} = 3.454 \times 10^8 \quad (mm^4)$$

4. 検証結果

① H形鋼の幅によるサンブナンのねじれ定数Jtの比較

細幅H形鋼のねじれ定数${}_N J_t$を1とすると、　中幅 J_t = 2.80 ${}_N J_t$　広幅 J_t = 7.75 ${}_N J_t$

ねじれ定数比較

細幅 ： 中幅 ： 広幅 ＝ 1 ： 2.80 ： 7.75

H形鋼のような開断面では、薄板1枚1枚のねじれ抵抗の合計となっている。そのため、幅が広い方が有効である。

② 閉断面とした場合のねじれ抵抗の効果　${}_B J_t$ = 452 ${}_H J_t$ (広幅のねじれ定数)

H形鋼で約 400倍 となっている。

5. 考察

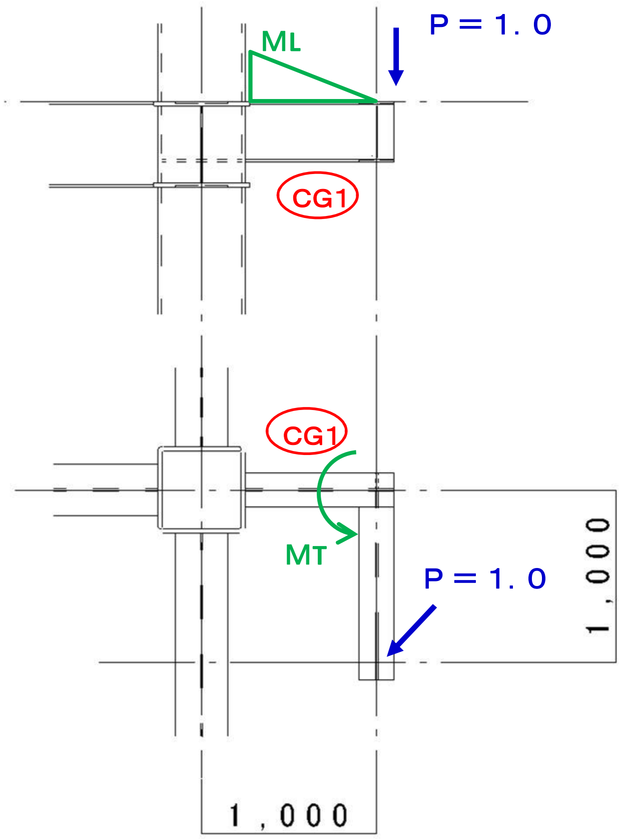
以上の検証により、ねじれ対策は閉断面材とすることが効果的という事が定量的に把握できた。

ただし、閉断面に切目があると薄板と同等のねじれ効果しか期待できず、ねじれモーメントを確実に伝達する端部接合部の納まり方に工夫が必要となる。

端部の接合部まで　「閉断面としている」　接合方法について意見を伺いたい。

6. 実例

実例として下記のモデルにおいて片持ち梁CG1の算定を行う。



CG1に作用する応力

長期曲げモーメント	M_L =	10	kN.m
ねじれモーメント	M_T =	10	kN.m

① 長期曲げモーメントのみ考慮した場合

case.1） 細幅H: H-300×150×6.5×9

H = 300 (mm) B = 150 (mm) t_w = 6.5 (mm) t_f = 9 (mm) Z = 481 (cm^3)

曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 20.8 \ (N/mm^2) < f = 156 \ (N/mm^2) \quad OK$$

case.2） 広幅H: H-350×350×12×19

H = 350 (mm) B = 350 (mm) t_w = 12 (mm) t_f = 19 (mm) Z = 2280 (cm^3)

曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 4.4 \ (N/mm^2) < f = 156 \ (N/mm^2) \quad OK$$

case.3） コラム: □-125×125×6

H = 125 (mm) B = 125 (mm) t_w = 6 (mm) t_f = 6 (mm) Z = 103 (cm^3)

曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 97.1 \ (N/mm^2) < f = 156 \ (N/mm^2) \quad OK$$

case.4）　中幅H+側面板 H-148×100×6×9　　+　PL-　6

H =　148 (mm)　B =　100 (mm)　t_w =　6 (mm)　t_f =　9 (mm)

I = 1000　+　220　=　1220 (cm^4)　　Z = I / (H/2) =　165 (cm^3)

曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 60.7 \ (N/mm^2) \quad < \quad f = 156 \ (N/mm^2) \quad \text{OK}$$

② ねじれモーメントを考慮した場合

case.1）　細幅H:　H-300×150×6.5×9

H =　300 (mm)　B =　150 (mm)　t_w =　6.5 (mm)　t_f =　9 (mm)　Z =　481 (cm^3)

ねじれ定数

$$_N J_t = \frac{1}{3} \times \{ t_f^3 \times B \times 2 + t_w^3 \times (H-2t_f) \} = 0.987 \times 10^5 \ (mm^4)$$

最大せん断応力度

$$\tau = \frac{M_T}{Jt} \times t_w = 658.463 \ (N/mm^2)$$

曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 20.790 \ (N/mm^2)$$

組み合わせ応力度

$$\sqrt{(\ \sigma_b \ \hat{}2 \ + 3 \times \ \tau \ \hat{}2\ )} = 1141 \ (N/mm^2) \quad > \quad f = 156 \ (N/mm^2) \quad \text{NG}$$

case.2）　広幅H:　H-350×350×12×19

H =　350 (mm)　B =　350 (mm)　t_w =　12 (mm)　t_f =　19 (mm)　Z = 2280 (cm^3)

ねじれ定数

$$_N J_t = \frac{1}{3} \times \{ t_f^3 \times B \times 2 + t_w^3 \times (H-2t_f) \} = 17.801 \times 10^5 \ (mm^4)$$

最大せん断応力度

$$\tau = \frac{M_T}{Jt} \times t_w = 67.410 \ (N/mm^2)$$

曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 4.386 \ (N/mm^2)$$

組み合わせ応力度

$$\sqrt{(\ \sigma_b \ \hat{}2 \ + 3 \times \ \tau \ \hat{}2\ )} = 117 \ (N/mm^2) \quad < \quad f = 156 \ (N/mm^2) \quad \text{OK}$$

case.3）　コラム:　□-125×125×6

H =　125 (mm)　B =　125 (mm)　t =　6 (mm)　Z =　103 (cm^3)

ねじれ定数

$$_N J_t = \frac{4 \times (H \times B)^2 \times t}{2 \times (H+B)} = 117.188 \times 10^5 \ (mm^4)$$

最大せん断応力度

$$\tau = \frac{M_T}{2 \times (H \times B) \times t} = 53.333 \ (N/mm^2)$$

曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 97.087 \ (N/mm^2)$$

組み合わせ応力度

$$\sqrt{(\ \sigma_b \ \hat{}2 \ + 3 \times \ \tau \ \hat{}2\ )} = 134 \ (N/mm^2) \quad < \quad f = 156 \ (N/mm^2) \quad \text{OK}$$

case.4) 中幅H+側面板 H−148×100×6×9　＋　PL−　6

H = 148 (mm)　B = 100 (mm)　t_w = 6 (mm)　t_f = 9 (mm)

I = 1000 + 220 = 1220 (cm^4)　　Z = I / (H/2) = 165 (cm^3)

ねじれ定数

$$ {}_N J_t = \frac{4\times(H\times B)^2\times t}{2\times(H+B)} = 105.987 \times 10^5 \quad (mm^4) $$

最大せん断応力度

$$ \tau = \frac{M_T}{2\times(H\times B)\times t} = 56.306 \quad (N/mm^2) $$

曲げ応力度

$$ \sigma_b = \frac{M_L}{Z} = 60.671 \quad (N/mm^2) $$

組み合わせ応力度

$$ \sqrt{(\sigma_b \hat{}2 + 3\times \tau \hat{}2)} = 115 \quad (N/mm^2) < f = 156 \quad (N/mm^2) \quad OK $$

③ 結果

ケース	部材断面	検定比		鋼材量
		長期曲げモーメントのみ考慮した場合	ねじれモーメント考慮した場合	(kg/m)
case.1	細幅H H−300×150×6.5×9	0.13	7.31	36.7
case.2	広幅H H−350×350×12×19	0.03	0.75	135.0
case.3	コラム □−125×125×6	0.62	0.86	21.7
case.4	中幅H+側面板 H−148×100×6×9　＋PL−　6	0.39	0.74	26.8

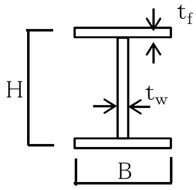
※ case.1の細幅はシリーズ最大の部材でもNG

ねじれに対して
・細幅Hは一番弱い。
・コラムはねじれに強く鋼材量は下げれても、仕口の接合が難しい。
・中幅H+側面板補強がねじれ対策として有効。

7. 同じ鋼材量にてねじれ定数の比較

H形鋼のサンブナンのねじれ定数:Jt

$$J_t = \frac{1}{3} \times \{ t_f^3 \times B \times 2 + t_w^3 \times (H-2t_f) \}$$



・細幅:H-396×199×7×11　H = 396　B = 199　t_f = 11　t_w = 7　鋼材量 56.1 (kg/m)

$${}_N J_t = \frac{1}{3} \times \{11^3 \times 199 \times 2 + 7^3 \times (396-2 \times 11)\} = 2.193 \times 10^5 \ (mm^4)$$

・中幅:H-294×200×8×12　H = 294　B = 200　t_f = 12　t_w = 8　鋼材量 55.8 (kg/m)

$${}_M J_t = \frac{1}{3} \times \{12^3 \times 200 \times 2 + 8^3 \times (294-2 \times 12)\} = 2.765 \times 10^5 \ (mm^4)$$

・広幅:H-200×204×12×12　H = 200　B = 204　t_f = 12　t_w = 12　鋼材量 56.2 (kg/m)

$${}_H J_t = \frac{1}{3} \times \{12^3 \times 204 \times 2 + 12^3 \times (200-2 \times 12)\} = 3.364 \times 10^5 \ (mm^4)$$

細幅H形鋼のねじれ定数${}_N J_t$を1とすると、　中幅 J_t = 1.26 ${}_N J_t$　広幅 J_t = 1.53 ${}_N J_t$

ねじれ定数比較

細幅	:	中幅	:	広幅	＝	1	: 1.26	: 1.53