

2 軸応力状態の照査

2014. 4. 25

T. Y.

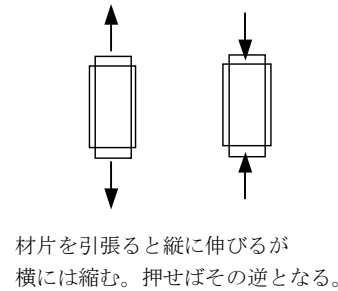
1. まえがき

材料は歪(ひずみ)の増大によって破断する。大外の物質は引張れば伸びるが横方向は細る。それゆえ2方向からストレスを加えると1方向とは異なる性状を示す。われわれの設計する部材は立体的で様々な方向からの作用を受けるので、各構造物の性状を知り、どこに着目し何と何を組み合わせれば、適切な安全照査が出来るのかを考えてみる。

2. ポアソン比

物質を押したり引張ったりした時、部材長さの変化とともに横幅も変化する。

材料を引張った時の、縦方向と横方向の歪の割合をポアソン比という。ポアソン比: ν は物質によって異なるが我々の扱う鋼は0.28~0.30



3. 2軸応力状態の照査

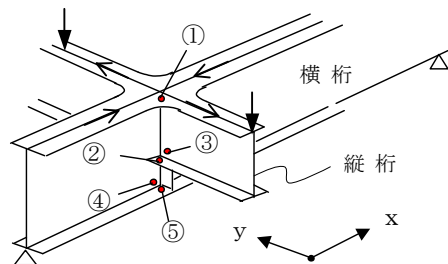
部材が直交する場合、その交点は必ず2方向、3方向のストレスを受けることになる。双方からの作用力が同符号(圧縮と圧縮、引張と引張など)であれば、歪は減少されるから2方向応力の合成照査は不要となる。

しかししかし実際の構造物は大外は逆符号。ひずみエネルギーの照査が避けられないことが多い。

① 着目点と荷重組合せ

下図、縦・横桁を例に取れば、荷重を支える縦桁とこの縦桁を支える横桁のフランジのストレスは、逆符号である。

この時の照査式は、道路橋であれ鉄道橋であれ、それぞれの基準書に明記されているからそれに添って照査すれば良い。要はどこに着目し、何と何を組み合わせるかである。



着目点	考慮すべき応力度
①	$\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \tau_1$ (or τ_2)
②	$\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \tau_1$
③	$\sigma_y \cdot \tau_1$
④	$\sigma_x \cdot \tau_2$
⑤	$\sigma_x \cdot \tau_2$

前表着目点のうち ③~⑤ は縦・横桁それぞれの部材の応力照査によって安全が確認されているから2軸応力状態の項で取り上げられるべき着目点とはならない。

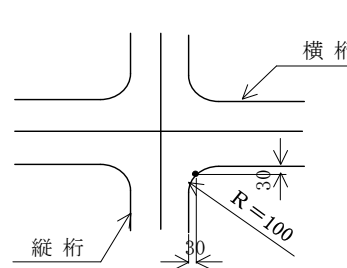
また②については σ_x が小さいので照査を省略できることが多い。

ここで特筆すべきは③の照査において、板厚方向の応力度: σ_x を考慮しないということである。したがって縦・横桁のウェブ上端も2軸照査の対象外となる。

また①のせん断力はフランジのせん断力であり、その値はせん断流理論にそって算定されるのでウェブのせん断応力度の数分の1となることが多い。

② 計算例

理解を深めるため以下に計算の一例を示す。



横桁と縦桁の交差部のフランジ隅角部は

$R = 100$ mmの曲線とする。

これによりフランジ幅が 30 mm 拡げられる。

横桁のフランジ幅は

$$30 + 420 + 30 = 480 \text{ mm として計算する。}$$

縦桁のフランジ幅は

$$30 + 320 + 30 = 380 \text{ mm として計算する。}$$

・ 横桁の断面 (SM400)				A_g	y	$A_g \cdot y$	$A_g \cdot y^2$
				(mm^2)	(mm)	(mm^3)	(mm^4)
1-F1g PL	480	× 25	=	12,000	612.5	7,350,000	$4,501.9 \times 10^6$
1-Web PL	1200	× 14	=	16,800			2,016.0 "
1-F1g PL	420	× 25	=	10,500	-612.5	-6,431,000	3,939.0 "
				39,300		919,000	$10,456.9 \times 10^6$
				$\delta = 919,000 / 39,300 = 23.384 \text{ mm}$		$-A_g \cdot \delta^2 =$	-21.5 "
						$I = 10,435.4 \times 10^6$	
				$y_u = 1,200 / 2 + 25.0 - 23.4 = 601.6 \text{ mm}$			
				$y_l = 1,200 / 2 + 25.0 + 23.4 = 648.4 \text{ mm}$			
・ 縦桁の断面 (SM400)				A_g	y	$A_g \cdot y$	$A_g \cdot y^2$
				(mm^2)	(mm)	(mm^3)	(mm^4)
1-F1g PL	380	× 25	=	9,500	487.5	4,631,000	$2,257.6 \times 10^6$
1-Web PL	950	× 12	=	11,400			857.4 "
1-F1g PL	320	× 25	=	8,000	-487.5	-3,900,000	1,901.3 "
				28,900		731,000	$5,016.2 \times 10^6$
				$\delta = 731,000 / 28,900 = 25.294 \text{ mm}$		$-A_g \cdot \delta^2 =$	-18.5 "
						$I = 4,997.7 \times 10^6$	
				$y_u = 950 / 2 + 25.0 - 25.3 = 474.7 \text{ mm}$			
				$y_l = 950 / 2 + 25.0 + 25.3 = 525.3 \text{ mm}$			

・ 横桁の応力度

$$M = 2,176 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad N = -62.1 \text{ kN (圧縮力)} \quad S = 960.5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{xd} = \frac{2176 \times 10^6}{10435 \times 10^6} \times 601.6 + \frac{62.1 \times 10^3}{39,300} = 127.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (圧縮)}$$

$$\tau_d = \frac{960.5 \times 10^3}{10435 \times 10^6} \times \frac{480 / 2 \times 25 \times 589.1}{25} = 13.0 \text{ N/mm}^2$$

・ 縦桁の応力度

$$M = 814.7 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad N = 46.0 \text{ kN (引張力)} \quad S = 627.7 \text{ kN}$$

$$\sigma_{yd} = \frac{814.7 \times 10^6}{4,998 \times 10^6} \times 474.7 + \frac{46.0 \times 10^3}{28,900} = 79.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (引張)}$$

$$\tau_d = \frac{627.7 \times 10^3}{4,998 \times 10^6} \times \frac{380 / 2 \times 25 \times 462.2}{25} = 11.0 \text{ N/mm}^2$$

・ 安全照査

—— 鉄道橋 ——

照査式 【性能照査の手引 II-1-3】より

$$\left(\frac{\gamma_i}{1.1}\right)^2 \cdot \left\{ \left(\frac{\sigma_{xd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{xd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{yd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right) + \left(\frac{\sigma_{yd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right)^2 + \left(\frac{\tau_d}{f_{svyd}/\gamma_b}\right)^2 \right\} \leq 1$$

ここで、

$$f_{syd} : \text{鋼材の設計降伏強度} = 245 / 1.05 = 233.3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{svyd} : \text{鋼材の設計せん断降伏強度} = 140 / 1.05 = 133.3 \text{ N/mm}^2$$

γ_b : 部材係数で、圧縮作用力に対して1.1、その他の作用力に対して1.05

γ_i : 構造物係数で、1.2とする。

$$\tau_d = \frac{V_d}{I_t} \int t \cdot y \cdot ds$$

$$\left(\frac{\gamma_i}{1.1}\right)^2 \cdot \left\{ \left(\frac{\sigma_{xd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{xd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{yd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right) + \left(\frac{\sigma_{yd}}{f_{syd}/\gamma_b}\right)^2 + \left(\frac{\tau_d}{f_{svyd}/\gamma_b}\right)^2 \right\}$$

$$= \left(\frac{1.2}{1.1}\right)^2 \cdot \left\{ \left(\frac{-127.0}{233.3/1.1}\right)^2 - \left(\frac{-127.0}{233.3/1.1}\right) \cdot \left(\frac{79.0}{233.3/1.05}\right) + \left(\frac{79.0}{233.3/1.05}\right)^2 + \left(\frac{13.0}{133.3/1.05}\right)^2 \right\}$$

$$= 1.19 \times [0.359 + 0.213 + 0.126 + 0.011] = 0.843 < 1 \text{ —— OK}$$

—— 道路橋 ——

照査式 【道示 II 11.2.6】より

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right) + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2$$

$$\left(\frac{-127.0}{140}\right)^2 - \left(\frac{-127.0}{140}\right) \cdot \left(\frac{79.0}{140}\right) + \left(\frac{79.0}{140}\right)^2 + \left(\frac{13.0}{80}\right)^2 = 1.68$$

> 1.2 —— NG

4. あとがき

2軸応力状態の照査における「最大ひずみエネルギー」の考え方は鉄道も道路も変わらないが、両者は設計手順が違うので結果に若干の相違が出てくる。

そもそも両者の大きな相違はというと、安全率の扱い方にある。

道路橋で採用されている「許容応力度法」は、素材の降伏強度を1.7程度の安全率で除して許容応力度とし、構造形ならびに部位にかかわらず、発生応力度を許容応力度以下に抑えるとした設計法である。

これに対して鉄道橋で採用されている「限界状態設計法」「性能照査型設計法」では設計における荷重算定から耐荷力照査に至る各段階で、実情に見合った下記諸係数を乗じていく手法で、同荷重ならば道路基準よりも若干断面を小さく出来る傾向にある。(このことは下記①～⑤の係数を乗じたものが1.7よりも小さいことが多いということ)

鉄道橋で用いる安全諸係数	{	① 構造解析係数 : $\gamma_a = 1.0 \sim 1.1$
		② 部材係数 : $\gamma_b = 1.0 \sim 1.1$
		③ 作用係数 : $\gamma_f = 1.0 \sim 1.2$
		④ 構造物係数 : $\gamma_i = 1.2$
		⑤ 材料係数 : $\gamma_s = 1.05 \sim 1.1$

左の計算を例に取れば、鉄道橋では断面力 (M N S) の算定に γ_a, γ_f を考慮しているの、照査式に考慮する安全係数は $\gamma_b, \gamma_i, \gamma_s$ のみで、これらの係数を乗ずると 1.32 ~ 1.39 (=1.05×1.05×1.2、1.1×1.05×1.2) となり、このことが安全率 : 1.75 (=245 / 140) を用いた道路橋との違いとなって現れている。

鉄道・道路の設計法の違いはさておき「最大ひずみエネルギーに関わる照査は共通であること」ならびに「腹板は照査対象から外れること」、「フランジのせん断応力度はせん断流理論を用いて求めるべきこと」を承知おきいただきたい。