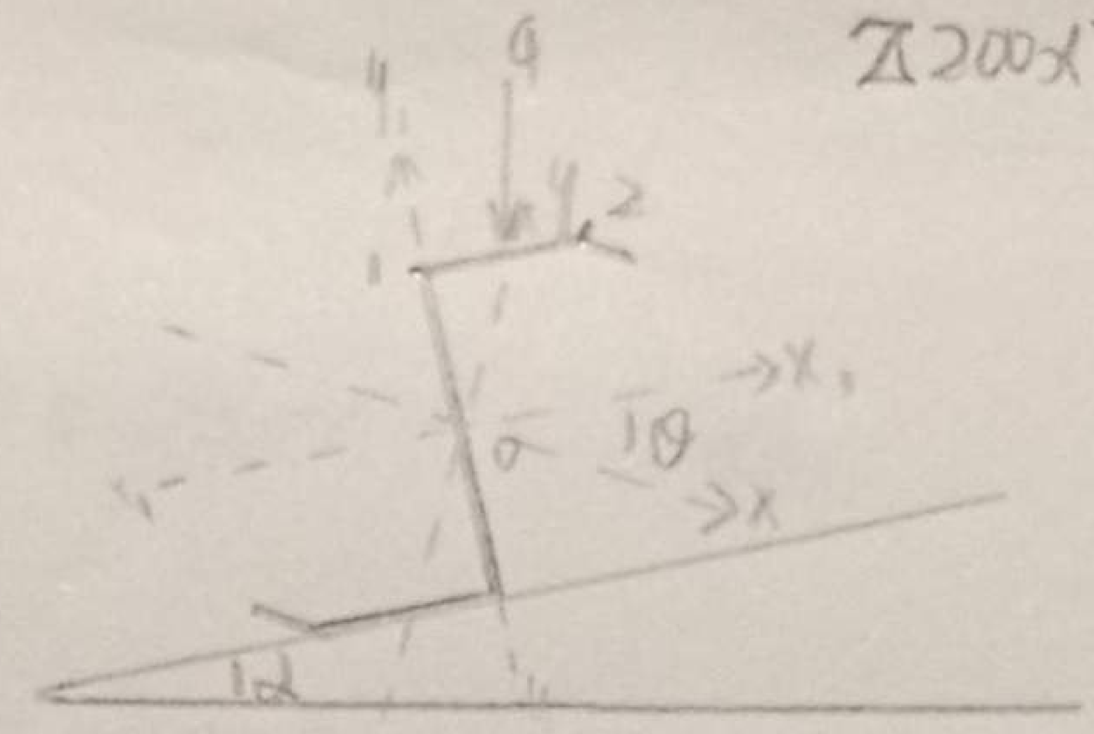
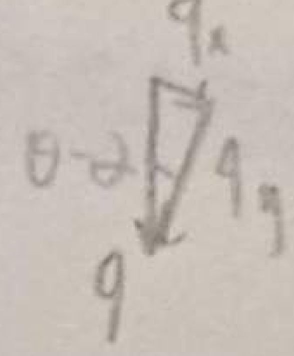
1.1 檩条计算.

Z200×70×20×2



解: ①内力计算



$q_x = q\sin(\theta-\alpha) = 1.2\times\sin(19.305^\circ - 7.13^\circ) = 0.25$ kN/m.

$q_y = q\cos(\theta-\alpha) = 1.2\times\cos(19.305^\circ - 7.13^\circ) = 1.17$ kN/m.

$\Rightarrow M_y = \frac{1}{32}q_x l^2 = \frac{1}{32}\times 0.25\times 6^2 = 0.28$ kN.m.　　$M_x = \frac{1}{8}q_y l^2 = \frac{1}{8}\times 1.17\times 6^2 = 5.265$ kN.m.

②确定有效截面.

对上翼缘: $\frac{h}{b} = \frac{200}{70} = 2.86 < 3.0$, $\frac{b}{t} = \frac{70}{2} = 35 \geq 31\sqrt{\frac{205}{f}} = 31\cdot\sqrt{\frac{205}{205}} = 31$. ($f = 205\,N/mm^2$).

故截面不是全部有效. 需按《冷弯薄壁型钢技术规范》第5.6.1条进行计算。

$\alpha = 1.15 - 0.15\psi$, $\psi = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$, 而 $\sigma_{max} = \frac{M_x}{W_{x2}} + \frac{M_y}{W_{y2}}$ (位于图中2点处)

$\sigma_{min} = \frac{M_x}{W_{x1}} - \frac{M_y}{W_{y1}}$ (位于图中1点处). 查附表,得 $W_{x1} = 56.094\times10^3\,mm^3$.

$W_{x2} = 43.435\times10^3\,mm^3$.　$W_{y1} = 11.109\times10^3\,mm^3$.　$W_{y2} = 11.339\times10^3\,mm^3$.

$\Rightarrow \sigma_{max} = \frac{5.265\times10^5}{43.435\times10^3} + \frac{0.28\times10^6}{11.339\times10^3} = 145.91$ mpa.　$\sigma_{min} = \frac{5.265\times10^6}{56.094\times10^3} - \frac{0.28\times10^6}{11.109\times10^3} = 68.66$ mpa.

$\Rightarrow \psi = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{68.66}{145.91} = 0.471$.　$\Rightarrow \alpha = 1.15 - 0.15\psi = 1.15 - 0.15\times0.471 = 1.08$.

再计算 $\rho = \sqrt{\frac{205kk_1}{\sigma_1}}$. σ_1为计算板件的最大压应力. $\Rightarrow \sigma_1 = \sigma_{max} = 145.91$ mpa.

由于是部分加劲板件，且最大压应力作用于部分加劲边，故

$$k = 1.15 - 0.22\psi + 0.045\psi^2 = 1.15 - 0.22\times 0.471 + 0.045\times 0.471^2 = 1.056.$$

计算k_1需求计算k_c. k_c为邻接板件的受压稳定系数，此处即为腹板的受压稳定系数k.

设腹板的压应力不均匀系数为ψ_c. $\psi_c = \dfrac{\sigma_{cmin}}{\sigma_{cmax}}$ 最大σ_{cmax}发生在图中的1点处，

$\Rightarrow \sigma_{cmax} = 68.66\,Mpa.$ 而 $\sigma_{cmin} = -\dfrac{M_x}{W_{x_1}} + \dfrac{M_y}{W_{y_1}} = -68.66\,Mpa$ （拉应力为负值）

$\Rightarrow \psi_c = \dfrac{\sigma_{cmin}}{\sigma_{cmax}} = \dfrac{-68.66}{68.66} = -1.$ $\Rightarrow \alpha = 1.15.$

同时由于腹板是加劲板件，且 $\psi = \psi_c = -1 \le 0$，故 $k_c = k = 7.8 - 6.29\psi + 9.78\psi^2 = 23.87.$

$\Rightarrow \xi = \dfrac{c}{b}\sqrt{\dfrac{k}{k_c}} = \dfrac{200}{70}\times\sqrt{\dfrac{1.056}{23.87}} = 0.6 < 1.1.$ $\Rightarrow k_1 = \dfrac{1}{\sqrt{\xi}} = \dfrac{1}{\sqrt{0.6}} = 1.3.$

$\Rightarrow \rho = \sqrt{\dfrac{205kk_1}{\sigma_1}} = \sqrt{\dfrac{205\times 1.056\times 1.3}{145.91}} = 1.39.$

而 $18\alpha\rho = 18\times 1.08\times 1.39 = 27.02.$ $38\alpha\rho = 38\times 1.08\times 1.39 = 57.04.$

$\Rightarrow 18\alpha\rho < \dfrac{b}{t} < 38\alpha\rho.$ $\Rightarrow \dfrac{b_e}{t} = \left[\sqrt{\dfrac{21.8\alpha\rho}{\frac{b}{t}}} - 0.1\right]\dfrac{b_c}{t}.$ $\Rightarrow b_e = 58.46mm.$

故其上翼缘有效宽度 $b_{e1} = 0.4b_e = 23.38mm.$ $b_{e2} = 0.6b_e = 35.08\,mm.$

其中b_{e1}位于σ_1处，b_{e2}位于σ_2处。

对腹板：　$\alpha=1.15$，　$\rho=\sqrt{\frac{205kk_1}{\sigma_1}}$.　　$\sigma_1=\sigma_{cmax}=68.66$ mpa.　$k=k_c=23.87$.

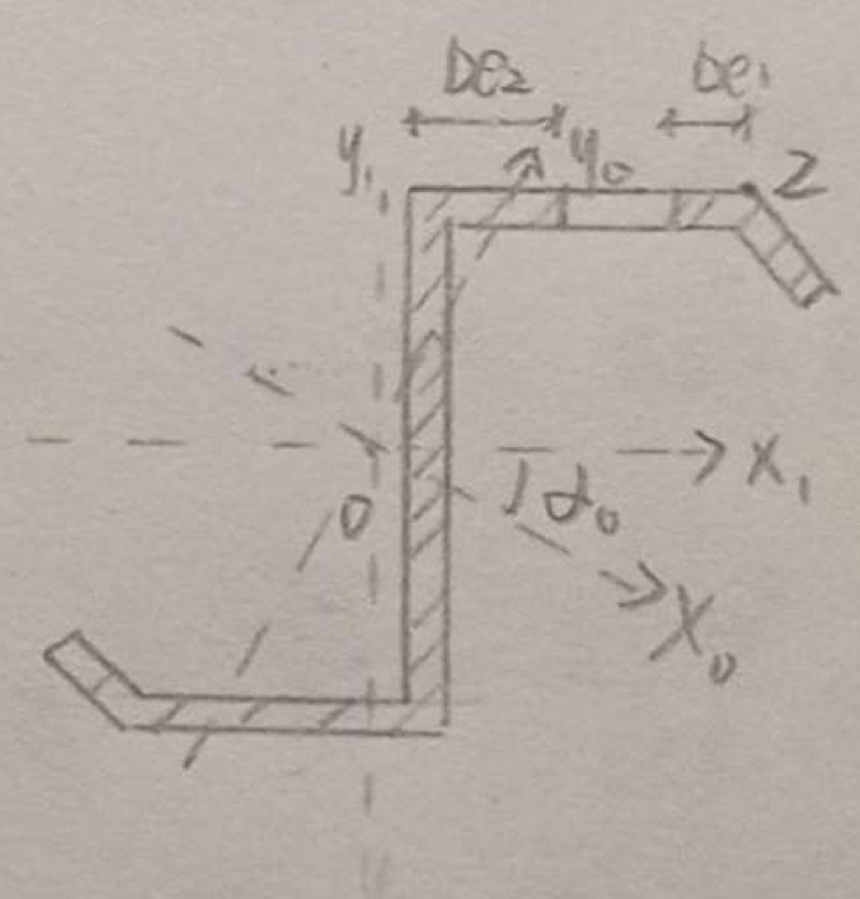
$\xi=\frac{c}{b}\sqrt{\frac{k}{k_c}}$，其中$k_c$为上翼缘的受压稳定系数．即$k_c=1.056$.　$c=70$mm.

$\Rightarrow \xi=\frac{70}{200}\cdot\sqrt{\frac{23.87}{1.056}}=1.66>1.1$.　$\Rightarrow k_1=0.11+\frac{0.93}{(\xi-0.05)^2}=0.469<k_1'=1.7$.

$\Rightarrow \rho=\sqrt{\frac{205kk_1}{\sigma_1}}=\sqrt{\frac{205\times23.87\times0.469}{68.66}}=5.78$.

则 $18\alpha\rho=18\times1.15\times5.78=119.646$.　$\frac{b}{t}=\frac{200}{2}=100<18\alpha\rho$.

$\Rightarrow \frac{b_e}{t}=\frac{b_c}{t}$．即受压区全部有效。



对下翼缘：受拉全部有效。

由此可得该檩条的有效截面如图所示。

③ 有效截面截面特性计算.

记有效截面形心主轴为$0x_0$，$0y_0$，与$0x_1y_1$坐标系的夹角为α_0（逆时针为正）

由CAD计算可得有效截面形心主惯性矩：　$I_{x_0}=4.94\times10^6 mm^4$.　$I_{y_0}=3.8\times10^5 mm^4$.

$I_{x_1}=4451871 mm^4$.　$I_{y_1}=870651 mm^4$.　$I_{xy_1}=1413737 mm^4$.

又 $\tan2\alpha_0=\frac{-2I_{x_1y_1}}{I_{x_1}-I_{y_1}}=\frac{-2\times1413737}{4451871-870651}=-0.789$，又因 $\sin2\alpha_0<0$，$\cos2\alpha_0>0$.

故α_1在第四象限，$\Rightarrow \alpha_0 = -19.14°$.

④强度验算.

由于斜主轴发生弯曲，故验算公式为 $\frac{M_{x_0}}{W_{enx_0}} + \frac{M_{y_0}}{W_{eny_0}} \le f$.

此时 $\theta = |\alpha_1| = 19.14°$. $\Rightarrow q_{y_0} = q \cdot \cos(\theta - \alpha_1) = 1.2 \times \cos(19.14° - 7.13°) = 1.17\ KN/m$.

$q_{x_0} = q \cdot \sin(\theta - \alpha_1) = 1.2 \times \sin(19.14° - 7.13°) = 0.25\ KN/m$.

$\Rightarrow M_{x_0} = \frac{1}{8} q_{y_0} l^2 = \frac{1}{8} \times 1.17 \times 6^2 = 5.265\ KN \cdot m$. $M_{y_0} = \frac{1}{32} q_x l^2 = \frac{1}{32} \times 0.25 \times 6^2 = 0.28\ KN \cdot m$.

易知最危险的点是上图中的2点，在CAD中测得 $y_{02} = 121.1\ mm$, $x_{02} = 33.3\ mm$.

$\Rightarrow W_{enx_0} = \frac{I_{x_0}}{y_{02}} = \frac{4.94 \times 10^6}{121.1} = 40.8 \times 10^3\ mm^3$. $W_{eny_0} = \frac{I_{y_0}}{x_{02}} = \frac{3.8 \times 10^5}{33.3} = 11.4 \times 10^3\ mm^2$.

$\Rightarrow \frac{M_{x_0}}{W_{enx_0}} + \frac{M_{y_0}}{W_{eny_0}} = \frac{5.265 \times 10^6}{40.8 \times 10^3} + \frac{0.28 \times 10^6}{11.4 \times 10^3} = 153.6\ N/mm^2 < f = 205\ N/mm^2$.

$V_{ymax} = 0.5 q_{y_0} l = 0.5 \times 1.17 \times 6 = 3.51\ KN$.

$\Rightarrow \frac{3 V_{ymax}}{2 h_0 t} = \frac{3 \times 3.51 \times 10^3}{2 \times 200 \times 2} = 13.125\ N/mm^2 \le f_v = 120\ N/mm^2$.

故强度满足要求。

⑤挠度验算.

挠度计算利用荷载的标准永久组合，即 $q_k = \frac{4}{1.35} = 0.89\ KN/m$.　(近似计算)

$I_{x1} = 455.43 \times 10^4\ mm^4$.　　$E = 206\ GPa$.

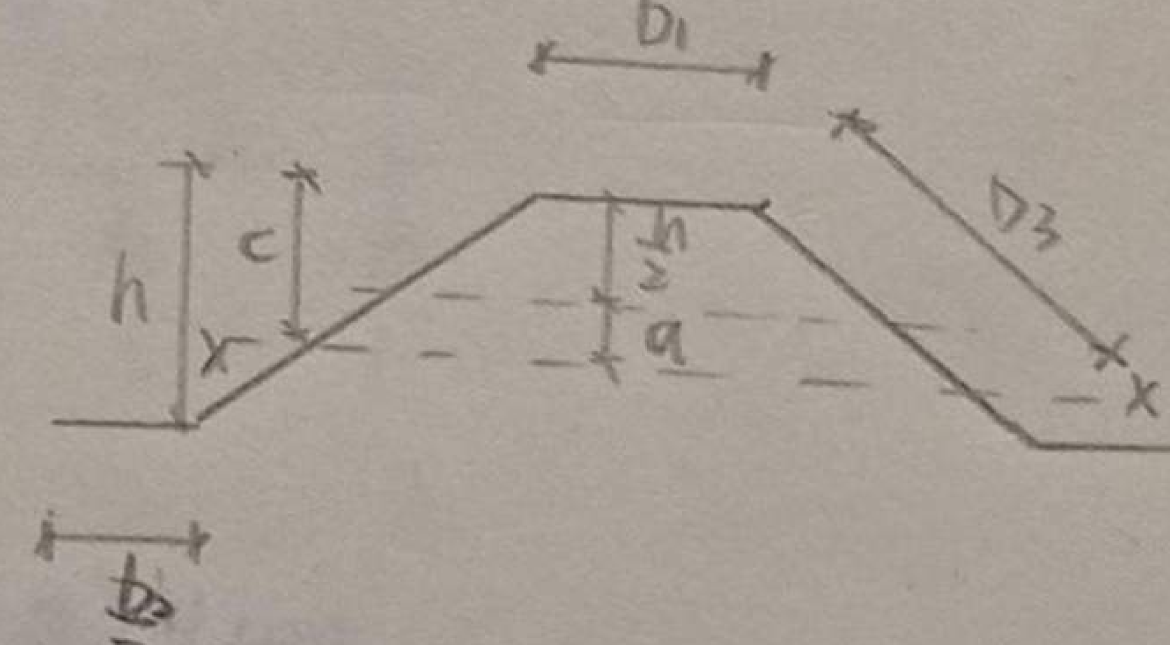
$\Rightarrow f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q(\cos\alpha) L^4}{E I_{x1}} = \frac{5}{384} \times \frac{0.89 \times (\cos 7.13^\circ) \times (6000)^4}{206 \times 10^3 \times 455.43 \times 10^4} = 15.88\ mm \le \frac{L}{150} = 40mm.$

故挠度满足要求。

综上，该檩条满足设计要求。

1.2 压型钢板计算

解：①截面特性的计算



取单槽如右图所示，$b_2 = 70mm$，$h = 130mm$.

$b_3 = \sqrt{130^2 + (150-35-27.5)^2} = 156.7\ mm.$　　$b_1 = 55mm.$

$c = \frac{h(b_2+b_3)}{\Sigma b} = \frac{130 \times (70+156.7)}{2 \times 156.7 + 70 + 55} = 67.2\ mm.$　　$a = c - \frac{h}{2} = 67.2 - 65 = 2.2\ mm.$

则 $I_x = t[b_1 c^2 + b_2(h-c)^2 + 2b_3(a^2 + \frac{h^2}{12})] = 0.6 \times [55 \times 67.2^2 + 70 \times (130-67.2)^2 + 2 \times 156.7 \times (2.2^2 + \frac{130^2}{12})]$

$= 5.8 \times 10^5\ mm^4.$

$$W_x^s=\frac{I_x}{c}=\frac{5.8\times10^5}{67.2}=8.63\times10^3\ mm^3.$$

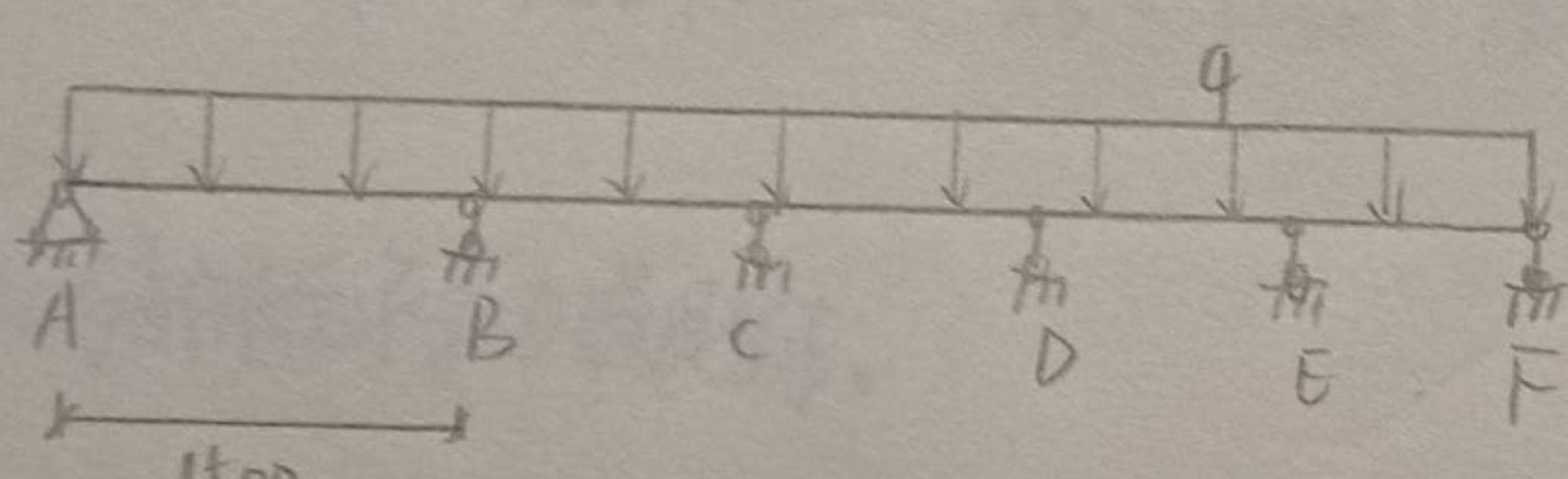
$$W_x^x=\frac{I_x}{h-c}=\frac{5.8\times10^5}{130-67.2}=9.24\times10^3\ mm^3.$$

②、有效截面计算.

截面按全部有效计算。

③.强度验算.

檩条为支座，将压型钢板当作多跨连续梁来计算，每跨跨度为1.5m. 考虑到檩条数量较多，而因多跨连续梁五跨以上同第五跨内力，取用五跨连续梁进行计算。



$q=2.4\times0.3=0.72\ kN/m.$ 内力结果由结构力学求解器给出。

1° 腹板剪应力

$$\frac{h_s}{t}=\frac{b_3}{t}=\frac{156.7}{0.6}=261.2>100，则\ \tau=\frac{V_{max}}{2h_s t\sin\theta}，\quad \tau_{cr}=\frac{855000}{(\frac{h_s}{t})^2}=12.53\ N/mm^2.$$

$$V_{max}=V_{B左}=0.65\ kN.\ \Rightarrow \tau=\frac{V_{max}}{2h_s t\sin\theta}=\frac{0.65\times10^3}{2\times156.7\times0.6\times\sin56^\circ}=4.17\ N/mm^2\le\tau_{cr}.$$

腹板剪应力满足要求。

2°支座处腹板的局部承压承载力计算

对端支座（A支座）： $\alpha=0.06$. $l_c=100mm$. $\theta=\arctan(\frac{130}{87.51})=56°$. $E=206Gpa$.

$$R_w=\alpha t^2\sqrt{fE}(0.5+\sqrt{\frac{0.02l_c}{t}})[2.4+(\frac{\theta}{90})^2]$$

$$=0.06\times\sqrt{205\times206\times10^3}\times(0.5+\sqrt{\frac{0.02\times100}{0.6}})\times[2.4+(\frac{56}{90})^2]$$

$$=0.91KN.$$

$R_A=V_A=0.425KN\leq R_w$.

对中间支座（B支座受力最大）： $\alpha=0.12$.，其余参数同端支座.

$R_w=2\times0.91=1.82KN$. $R_B=|V_{B左}|+V_{B右}=1.22KN\leq R_w$.

故支座处腹板局部承压承载力满足要求。

3°同时承受弯矩M和支座反力R的截面（即B.C支座截面）

B截面： $R_B=1.22KN$. $M_B=0.17KN\cdot m$..

$M_u=W_ef=W_x^sf=8.63\times10^3\times205=1.77KN\cdot m$. 又 $R_w=1.82KN$.

则 $\frac{R_B}{R_w}=\frac{1.22}{1.82}\leq1$， $\frac{M_B}{M_u}=\frac{0.17}{1.77}\leq1.0$， $\frac{R_B}{R_w}+\frac{M_B}{M_u}=0.766\leq1.25$。

C截面：$R_c = |V_{c左}| + V_{c右} = 1.05\,KN$.　　$M_c = 0.128\,KN\cdot m$.

$R_w = 1.82\,KN$.　$M_u = 1.77\,KN\cdot m$.　$\Rightarrow \frac{R_c}{R_w} = \frac{1.05}{1.82} \leq 1.0$.　$\frac{M_c}{M_u} = \frac{0.128}{1.77} \leq 1.0$

$\frac{R_c}{R_w} + \frac{M_c}{M_u} = 0.649 \leq 1.25$。　满足要求。

4° 压型钢板同时承受M和V的截面.（可能的截面有AB、BC、CD跨跨中截面和B.C支座截面）

根据结构力学求解器结果：

AB跨跨中截面：　$M_{AB中} = 0.117\,KN\cdot m$，　$V_{AB中} = 0.11\,KN$.

BC跨跨中截面：　$M_{BC中} = 0.053\,KN\cdot m$，$V_{BC中} = 0.028\,KN$.

CD跨跨中截面：　$M_{CD中} = 0.075\,KN\cdot m$.　$V_{CD中} = 0\,KN$.

B支座左截面：　$M_{B左} = 0.17\,KN\cdot m$.　　$V_{B左} = 0.65\,KN$.

（右截面与左截面相比更安全，
故省略.不representative）

C支座右截面：　　$M_{C右} = 0.13\,KN\cdot m$，　$V_{C右} = 0.54\,KN$.

从中可以看出，最不利的截面是B支座左截面.　$M = 0.17\,KN\cdot m$.　$V = 0.65\,KN$.

又 $M_u = 1.77\,KN\cdot m$.　　$V_u = (\tau_{cr} h_s t)\sin\theta = (12.53 \times 156.7 \times 0.61 \times \sin 56°) = 0.977\,KN$.

$$\Rightarrow \left(\frac{M}{M_u}\right)^2+\left(\frac{V}{V_u}\right)^2=\left(\frac{0.17}{1.77}\right)^2+\left(\frac{0.65}{0.977}\right)^2=0.452\le 1.0.$$

满足要求。

④挠度验算

验算挠度需采用荷载的准永久值组合，取 $q_q=\frac{4}{1.35}=\frac{0.72}{1.35}=0.53KN/m$. 查《静力计算手册》挠度系数，

$$\Rightarrow f_{max}=0.644\times\frac{0.53\times1500^4}{100\times206\times10^3\times5.8\times10^5}=0.145mm\le\frac{l}{150}=10mm.$$

满足要求。

综上，该压型钢板截面满足设计要求。