

プレートガーター腹板のせん断耐荷力と垂直補剛材剛比との関係

○川田工業（株） 正 員 栗田康弘 大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行
川田工業（株） 正 員 高田嘉秀

1. まえがき 本研究は、現行の道路橋示方書¹⁾(以下、道示)に従って設計されるプレートガーター腹板の垂直補剛材寸法の合理化について検討している。現行道示の垂直補剛材間の腹板パネル設計では、作用応力度 τ が許容応力度 $\tau_a = \min\{\tau_y/1.7, \tau_u/v_B\}$ (ここで、 τ_y : 降伏せん断応力度、 τ_u : 終局せん断応力度、 v_B : 安全率 1.25)以下となる照査が行われている。そこで、中央に1本の垂直補剛材を設置した腹板モデルを対象に、その垂直補剛材剛比 γ と終局せん断応力 τ_u との関係を薄肉補剛板構造専用の弾塑性有限変位解析プログラム(USSP)²⁾により検討を行う。ただし、今回用いた垂直補剛材の必要最小剛比 γ^* は、道示の算出式でなく、図-1に示す補剛板モデルを用いてエネルギー法にて算出した値を使用する。

2. 必要最小剛比の算出 中央に1本の垂直補剛材を有する腹板パネルに必要な垂直補剛材剛比 γ^* を算出するために、図-1に示す周辺単純支持の補剛板モデルにせん断応力度 τ_{xy} が作用する場合の弾性座屈を考える。座屈時のたわみ面 w は式(1)で表せるものとする。

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (1)$$

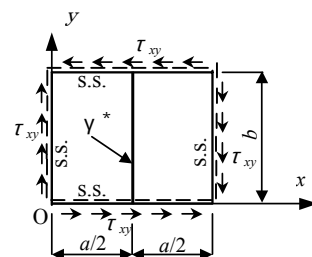


図-1 せん断力を受ける補剛板モデル

まず、補剛板パネルおよび垂直補剛材のひずみエネルギーの和と外力がなす仕事とが等しいと置き、最小仕事の原理を用いると、この腹板パネルの弾性せん断座屈応力度 τ_{cr} は、式(2)のように導くことができる。

$$\tau_{cr} = k \sigma_e \quad \left. \begin{aligned} k &= \frac{9\pi^2}{32} \frac{\sqrt{(1+\alpha^2)^4 + 2\gamma\alpha^3(1+\alpha^2)^2}}{\alpha^3} \frac{1}{\sqrt{1+81/625+81/25(1+\alpha^2/1+9\alpha^2)^2 + 81/25(1+\alpha^2/9+\alpha^2)^2}} \\ \gamma &= \frac{B}{Db}, \quad \alpha = \frac{a}{b} \end{aligned} \right\} (2)_{a-d}$$

つぎに、必要最小剛比 γ^* は、垂直補剛材位置で節となるような座屈波形を生じさせるのに必要な最小の剛比である。したがって、式(2)を用いて、 $\tau_{cr}|_{\gamma=0, \alpha=a/2b} = \tau_{cr}|_{\alpha=a/b}$ なる条件式から求めることができる。すると、必要最小剛比 γ^* は式(3)のように導くことができる。

$$\gamma^* = \frac{32(1+(\alpha/2)^2)^4}{\alpha^3(1+\alpha^2)^2} \left(\frac{1+81/625+81/25(1+\alpha^2/1+9\alpha^2)^2 + 81/25(1+\alpha^2/9+\alpha^2)^2}{1+81/625+81/25(1+(\alpha/2)^2/1+9(\alpha/2)^2)^2 + 81/25(1+(\alpha/2)^2/9+(\alpha/2)^2)^2} \right) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{2\alpha^3} \quad (3)$$

ちなみに、 $\alpha=1$ の場合、 $\gamma^*=14.26$ となる。

3. 解析モデル 解析モデルとしては、式(3)で導いた必要最小剛比 γ^* を基準にして剛比 γ を種々に変化させた垂直補剛材($\gamma = m\gamma^*$)を中央に1本設置した腹板パネルを対象とした。そして、その腹板パネルの垂直補剛材で区切られたサブパネルの幅厚比パラメータ R が2種類に異なるケース および を作成し、合計5個の解析モデルを対象とした。それらの諸元については、表-1に示すとおりである。図-2に示すように、荷重条件としては、載荷断面内の節点に従属させる独立節点Aを剛体要素上に設け、独立節点Aにy軸方向の荷重Fを載荷するようにした。拘束条件としては、一端を完全に拘束して、他端の断面中央にある独立節点Aでは、z軸方向の変位、ならびにy軸およびz軸まわりの回転角を拘束した。さらに、このモデル化の際に、以下の条件を考慮した。

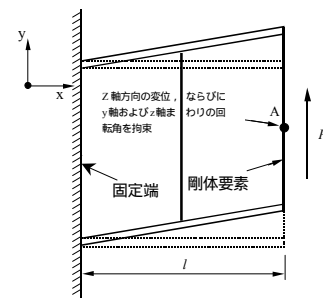


図-2 境界条件および荷重条件

① 応力-ひずみ関係：2つの解析モデルとも完全弾塑性体としてモデル化した。

② 要素分割状況：部材軸方向に16分割、腹板高方向に16分割とした。したがって、全節点数は289で、全要素数は512となる。

③ 腹板は板要素で、フランジおよび補剛材は、梁・柱要素でモデル化した。

キーワード：せん断耐荷力、垂直補剛材、必要最小剛比、弾塑性有限変位解析

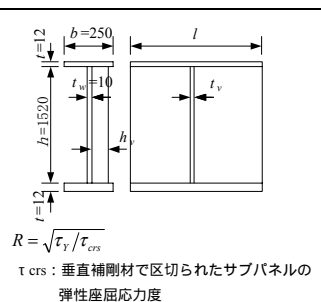
連絡先：〒550-0014 大阪市西区北堀江1-22-19 川田工業（株）TEL:06-6532-4891 FAX:06-6532-4890

4. 解析結果と考察 ケース お

よび の弾塑性有限変位解析によるせん断応力度 - せん断ひずみ曲線および変形形状をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。また、図-3 に示した曲線のピーク値である終局応力度と補剛材剛比との関係を図-5 に示す。まず、

表-1 解析モデル諸元

解析モデル名称	-1	-2	-1	-2	-3
モデル長 l (mm)	1200	1200	3000	3000	3000
補剛材幅 b_v (mm)	110	90	50	60	95
補剛材板厚 t_v (mm)	9	8	6	6	8
ヤング係数 E (N/mm ²)	2.0×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5
降伏点 (N/mm ²)	235	235	235	235	235
ポアソン比 ν	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
幅厚比パラメータ R	0.66	0.66	1.33	1.33	1.33
剛比 γ	29.65	14.83	1.59	3.17	15.85
$\gamma = m \gamma^*$	1	0.5	1	2	10
降伏せん断応力度 τ_y (N/mm ²)	135.7	135.7	135.7	135.7	135.7
弾性せん断座屈応力 τ_{cr} (N/mm ²)	363.5	541.1	80.0	98.1	188.3



ケース の幅厚比パラメータ $R=0.66$ の場合、-1 と -2 との比較から、必要剛比 γ^* の 0.5 倍の剛比を有する垂直補剛材を設置した解析モデル -2 においても、必要最小剛比 γ^* を満足する解析モデル -1 とほぼ同程度の終局応力度が確保できることがわかる。次に、ケース の幅厚比パラメータ $R=1.33$ の場合、必要最小剛比 γ^* と等しい剛比を有する垂直補剛材を設置した -1 の終局せん断応力度は、図-5 から、弾性座屈応力度以下となることがわかる。垂直補剛材剛比を必要剛比 γ^* の 2 倍程度有するような -2 にすれば、その終局応力度は弾性座屈応力度を満足できるようになる。また、垂直補剛材剛比を必要最小剛比 γ^* の 10 倍程度を有するような -3 にすれば、終局応力度 τ_u をさらに上昇させることが可能である。ただし、10 倍以上の剛比にしても、これ以上の耐荷力の上昇は望めない。それは、このような領域では、弾性座屈後の後座屈領域でも垂直補剛材間のサブパネルの座屈のみが発生するためである。以上により、幅厚比パラメータ R が 0.6 程度の場合、垂直補剛材剛比が必要最小剛比 γ^* の m 倍 ($m < 1$) としたパネルであっても、せん断耐荷力は $m=1$ の場合とほぼ等しい。したがって、垂直補剛材の設計剛比と弾性座屈理論から求まる値 γ^* より低減させることが可能であることがわかる。また、幅厚比パラメータ R が 1.3 程度の場合、垂直補剛材剛比を必要最小剛比 γ^* の m 倍 ($m > 1$) にすることで、垂直補剛材寸法は大きくなるが、腹板パネル全体の終局せん断応力度 τ_u を上昇させることが可能となる。

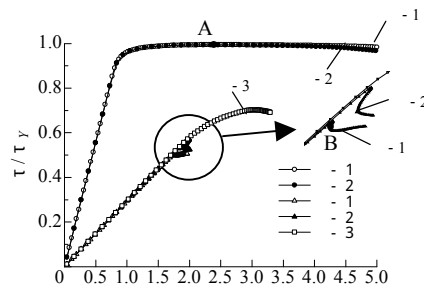
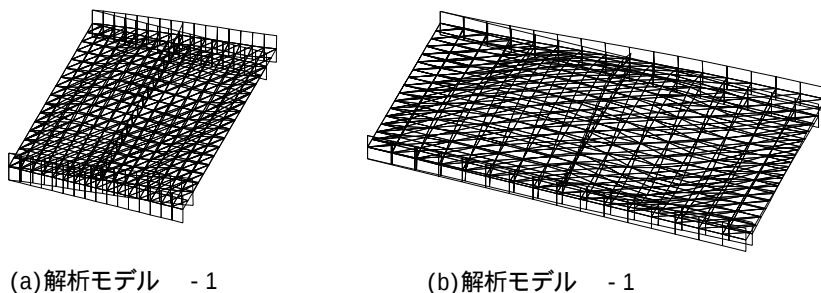


図-3 せん断応力度 - せん断ひずみ曲線



(a) 解析モデル -1

(b) 解析モデル -2

図-4 状態AおよびBにおける変形状況(変位を30倍)

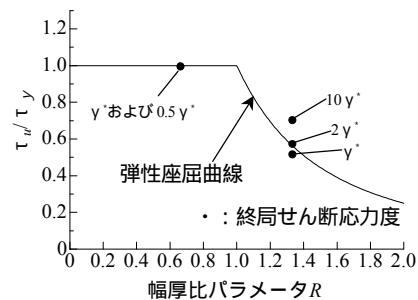


図-5 補剛材剛比と終局せん断応力度との関係

5. まとめ 本研究によって得られた主な成果は以下のとおりである。

- (1) 幅厚比パラメータ R が 0.6 程度の場合、垂直補剛材剛比が必要最小剛比 γ^* の m 倍 ($m < 1$) の剛比しかない腹板パネルであっても、腹板パネル全体のせん断耐荷力は、 $m=1$ の場合とそれほど影響がないため、垂直補剛材の設計剛比は γ^* より低減させることが可能である ($R=0.6$ の場合、 $0.5 \gamma^*$ 程度まで低減可能)。
- (2) 幅厚比パラメータ R が 1.3 程度の場合、垂直補剛材剛比を必要最小剛比 γ^* の m 倍 ($m > 1$) の剛比とすれば、垂直補剛材寸法は大きくなるが、終局せん断応力度 τ_u も増加させることが可能となる。
- (3) 今後、まず、エネルギー法により算出した弾性せん断座屈応力度 τ_{cr} の確認を行いたい。また、初期不整および水平補剛材の有無などを考慮に入れて、必要最小剛比と終局せん断応力度との関係をさらに検討し、本文中に記述した m 値を明確にしたい。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，鋼橋編，1996年12月。

2) USSP 研究会：ユーザズ・マニュアル，理論編，Ver.3.0，日本構研情報㈱，1996年10月