

川崎重工(株) 国広 昌史
川崎重工(株) 正 ○八部 順一

I. 研究概要

補剛された圧縮板の耐荷力に関する数多くの研究が世界各地で行われ、その成果が発表されているが、それらはいずれもその国の設計思想を念頭において進められているものである。我国の道路橋示方書では、補剛された圧縮板(以下、補剛圧縮板と称す)の設計に際しては、座屈が降伏点近くまで起こらない断面形状を用いるような規定を設けている。従って、一般には比較的厚い鋼板を用いることになる。このような補剛圧縮板では、初期たわみの影響を著しく受け、耐荷力の大幅な低下が見られる。すなわち、荷重増加に伴って、板には補剛材間の局所的な面外変形よりもむしろ補剛材を含めた全体的な面外変形が起きる。従って、補剛材には軸応力に加えて曲げ応力の発生が大きく、補剛材の一部が早期に降伏し、補剛材の剛性低下を招く。これが耐荷力の大幅な低下へと連がる。

初期たわみが補剛圧縮板の耐荷力低下に及ぼす影響を小さくする方法としては、次の2案が考えられる。

- i) 曲げ剛性の高い補剛材を用いて荷重増加に伴ない起きる面外たわみを小さく押える。
- ii) 補剛材には板よりも降伏点の高い材料を用い、補剛材に発生する曲げ応力の影響を吸収する。

この報告では補剛材の曲げ剛性(補剛材として異種の材料を用いる場合を含む)増大に伴なう限界初期たわみの量の変動を明らかにし、補剛圧縮板の設計の参考とする。

II. 解析法

エネルギー法によって弾性解析を行う。すなわち、変位関数を2重フーリエ級数で仮定し、初期たわみを有す板の適合条件を与えるカルマンの非線形偏微分方程式より応力関数を導き、板および補剛材の総ポテンシャルエネルギーを算出し、レイレイ・リッツ法を適用して解を得た。なお、変位関数としては補剛圧縮板が一般に図-1に示すようにモデル化されることにより、次の2項のフーリエ級数を用いた。

$$W = f_1 \sin \frac{\pi}{2a} x \sin \frac{\pi}{b} y - f_2 \sin \frac{3\pi}{2a} x \sin \frac{\pi}{b} y,$$

$$W_0 = f_0 \sin \frac{\pi}{2a} x \sin \frac{\pi}{b} y - f_{20} \sin \frac{3\pi}{2a} x \sin \frac{\pi}{b} y.$$

補剛材の曲げ剛性の評価； 橋梁に用いられる補剛圧縮板では、補剛材は板の片面に取り付けられた補剛材の曲げ剛性の評価法として、我国の道路橋示方書、並びにDIN 4114では、"補剛材の取り付けられた板の表面に関する断面2次モーメント"を用いている。この評価法では計算が容易な点、また実際に用いる補剛材が慣習的に用いられている最小必要剛度の何倍であるかを表示する上からいっても好都合なものであるが、ここではポテンシャル・エネルギーの算出をより正確に行なうため、次に述べる補剛材曲げ剛性の評価をする。すなわち、補剛材は等間隔に配置されるものとし、隣接する補剛材間幅の板を有効と考える。ただし、有効と考える板の板の中立軸に関する曲げ剛性は、板自体の曲げエネルギー算出に際し考慮しているのでこれを除く。また、板部分のヤング率は $\frac{E}{1-\nu^2}$ 、補剛材のヤング率は

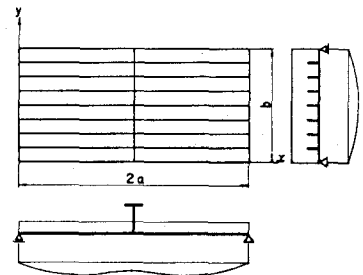


図-1

Eとする。

耐荷力判定条件； この解析は弾性解析に基づいているため、次の2種類の耐荷力判定条件A, Bを設定する。

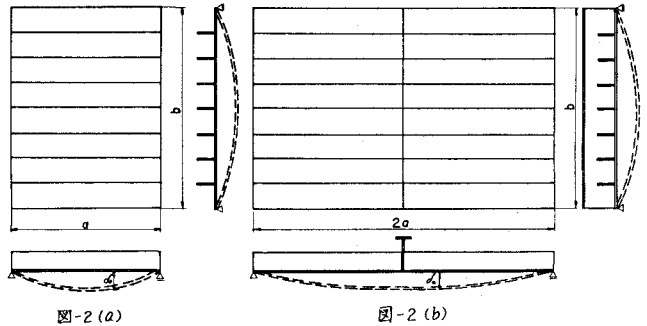
- A. 板に発生する膜応力の最大値が鋼材の降伏応力に達した時に補剛圧縮板に作用している等分布荷重 R_d の値を耐荷力とする。
- B. 補剛材に発生する合成応力の最大値が鋼材の降伏応力に達した時に補剛圧縮板に作用している等分布荷重 R_d の値を耐荷力とする。

耐荷力条件Aは補剛圧縮板の耐荷力の上限を、またBは下限を与えるものである。

Ⅲ. 数値計算結果

図-2(a), (b)に示す、初期たわみを有す補剛圧縮板について、補剛材剛度と限界初期たわみ量との関係を明らかにするため、数値計算を行い、その結果を報告する。

補剛圧縮板の幅厚比を入とすれば、使用する鋼材に対し、必要縦補剛材本数が定まる。縦補剛材としては平板を用いるものとし、その幅厚比は道路橋示方書に与えられている限界幅厚比を用いる。



道路橋示方書で与える必要補剛材剛度の m 倍の剛度を有す縦補剛材の無次元化された幅 bs/t は次式で与えられる。

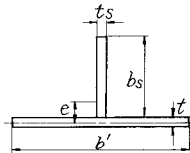
$$\frac{bs}{t} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{m\alpha^2\lambda}{C^2(1-\nu^2)} + \sqrt{\frac{m^2\alpha^4\lambda^4}{C^4(1-\nu^2)^2} + \frac{m\beta\lambda\{4\alpha^2\lambda^2 - C^2(\alpha^2+1)^2\}}{C^2(S+1)(1-\nu^2)}} \right]}$$

また、この時の補剛材剛度は

$$\mathcal{I}_s = \frac{12}{S+1} \left(\frac{e}{t}\right)^2 + \frac{4(1-\nu^2)}{\lambda\beta} \left(\frac{bs}{t}\right)^4 + \frac{12(1-\nu^2)}{\lambda\beta} \left\{ \left(\frac{bs}{t}\right)^3 \left(\frac{1}{2} - \frac{e}{t}\right) + \left(\frac{bs}{t}\right)^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{e}{t}\right)^2 \right\}$$

で表わされる。ここに、

$$\frac{e}{t} = \frac{1}{2} \frac{\frac{bs}{t} + 1}{1 + \frac{\lambda\beta}{(1-\nu^2)(S+1)} \left(\frac{t}{bs}\right)^2}$$



$t_s = bs/\beta$
 b' : 板の有効幅

で、板中立軸から、補剛材と板を含む断面の中立軸までの距離を無次元化した量である。また、 α : 補剛圧縮板の縦横比、 β : 道路橋示方書に規定されている補剛材の限界幅厚比、 C : 道路橋示方書に規定されている補剛された板パネルの限界幅厚比、 t : 補剛圧縮板の板厚である。

幅厚比入 = 250 の補剛圧縮板について、縦横比 $\alpha = 0.5, \alpha = 0.75, \alpha = 1.0$ の場合の作用荷重 R_d に対する限界初期たわみ量を道路橋示方書に規定されている縦補剛材必要剛度比 m との関係で図-3(a) から (d) に示す。なお、板にはSS41材 (降伏応力 $\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$)、補剛材にはSS41材もしくはSM50材 (降伏応力 $\sigma_y = 3200 \text{ kg/cm}^2$) を用い、同種および異種の材料からなる補剛板を扱った。また、補剛材の剛比は道路橋示方書で規定している値、

$$\gamma_r = \frac{1+(s+1)\gamma_s}{4\alpha^2}$$

を用いた。ここに、 γ_s は道路橋示方書に規定されている補剛材剛度の算出法に従って求めた値である。

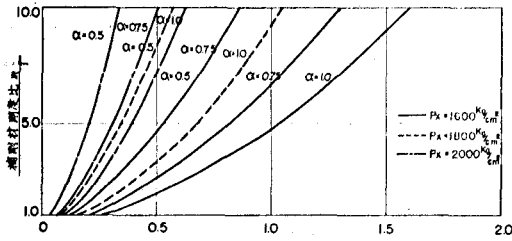


図-3(a) 横補剛材初期たわみ量曲線(幅厚比入=250, 材質:板SS41, 補剛材SS41, 補剛板もアル:図-2(a))

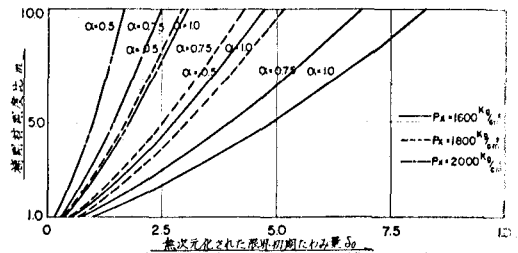


図-3(b) 横補剛材初期たわみ量曲線(幅厚比入=250, 材質:板SS41, 補剛材SS41, 補剛板もアル:図-2(b))

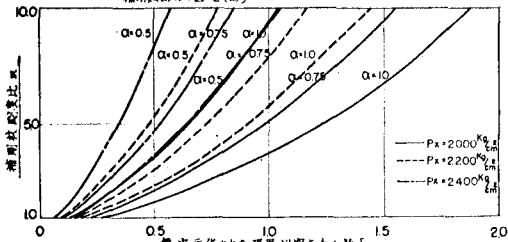


図-3(c) 横補剛材初期たわみ量曲線(幅厚比入=250, 材質:板SS41, 補剛材SM50, 補剛板もアル:図-2(a))

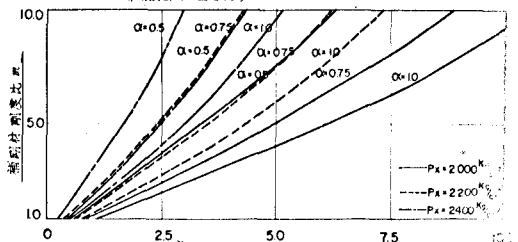


図-3(d) 横補剛材初期たわみ量曲線(幅厚比入=250, 材質:板SS41, 補剛材SM50, 補剛板もアル:図-2(b))

上図に示す曲線は補剛圧縮板の下限の耐荷力を与える判定条件Bより求めたものである。この判定条件より得られる耐荷力に如何ほどの安全率を与えればよいかは、今後の弾塑性解析および実験的解析によって明らかにしていかなければならないが、ここでは数種の荷重強度を耐荷力として選り、それに対応する無次元化された限界初期たわみ量 δ_0 を補剛材剛度比 m との関係で求めた。なお、用いた荷重強度は同種材料からなる構造に対しては、 $P_x = 1600 \text{ kg/cm}^2$ 、 $P_x = 1800 \text{ kg/cm}^2$ 、 $P_x = 2000 \text{ kg/cm}^2$ の3種類とし、また異種材料からなる構造に対しては、 $P_x = 2000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $P_x = 2200 \text{ kg/cm}^2$ 、 $P_x = 2400 \text{ kg/cm}^2$ の3種類とした。これら $P_x = 1600 \text{ kg/cm}^2$ から $P_x = 2400 \text{ kg/cm}^2$ までの各荷重強度は設計応力として道路橋示方書に規定されているSS41材の基本許容応力度 $\sigma_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$ を用いるものとするれば、安全率はそれぞれ $\nu_{1600} = 1.14$ 、 $\nu_{1800} = 1.28$ 、 $\nu_{2000} = 1.43$ 、 $\nu_{2200} = 1.57$ 、 $\nu_{2400} = 1.71$ となる。

図の見方： 先ず、幅厚比入、縦横比 α の補剛圧縮板に対して設計応力と必要安全率を定め、必要耐荷力を求める。これに対応する曲線から無次元化された限界初期たわみ量 δ_0 と必要補剛材剛度比との関係が求まる。例えば、幅厚比入=250、縦横比 $\alpha = 1.0$ の補剛圧縮板で設計応力を $P = 1400 \text{ kg/cm}^2$ 、安全率を $\nu = 1.43$ とすれば、 $P_x = 2000 \text{ kg/cm}^2$ に対応する曲線から無次元化された限界初期たわみ量 δ_0 と必要補剛材剛度比 m との関係が求まる。横補剛材箇所 $\delta_0 = 2.0$ の無次元化された初期たわみがある場合(図-2(b)参照)、同種材料からなる補剛板では、 $m = 5.9$ (図-3(b)参照)、一方異種材料からなる補剛板では $m = 1.6$ である(図-3(d)参照)、また横補剛材間の無次元化された初期たわみが $\delta_0 = 0.5$ の場合(図-2(a)参照)には、同種材料からなる補剛板では $m = 7.0$ (図-3(a)参照)、一方異種材料からなる補剛板では $m = 1.6$ である(図-3(c)参照)。なお、他の幅厚比については表に示す値を比例関係から転用出来る。他の諸量は補間により求まる。

参考文献

- 1) 日本道路協会： 道路橋示方書、同解説、昭和48年
- 2) 国広昌史・八部順一： 補剛された圧縮板の設計法について(理論解析)、土木学会関西支部年次学術講演会概要集 I-38, 1975