

I-301 2軸圧縮補剛板の簡易設計法の一提案

三菱重工業 正員 熊谷洋司
東京電機大学 正員 井浦雅司
三菱重工業 正員 三浦章三郎

1. はじめに

最近、都市空間の中に計画される橋梁で、景観性及び空間上の制約等から桁と脚横梁とが剛結された一体構造形式橋梁が増えつつある。このような構造形式における剛結部の上下フランジは、桁作用直応力と梁作用直応力の2方向の直応力が作用し、構造によっては、特に、下フランジ側で2方向の圧縮応力が作用する場合があるが、このようなフランジパネルの研究はそれ程多くなく[1,2]、実用に供し得る設計式は確立されていないのが現状であろう。

本報告では、道路橋示方書・同解説の基本思想を基に、2軸圧縮応力の作用下で、縦リブが1方向にのみ配置された場合の補剛材所要強度、単一パネルの許容応力度等を求める簡易式を提案する。

2. 弾性座屈解析

図1に示す補剛板の変位関数として、座屈波形の連成を考慮して

$$w = \sum \sum w_{mn} \sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/b) \quad (1)$$

と仮定すれば、Timoshenkoのエネルギー法を用いて、弾性座屈係数 k_x は以下の固有値問題を解くことより求まる。

$$[w_{mn} (m^2 + \alpha^2 n^2)^2 + 2 \sum_{[1]} \gamma_{11} m^4 \sin(n\pi b_1/b) \sum_{[p]} w_{mp} \sin(p\pi b_1/b)] - \alpha^2 k_x [m^2 w_{mn} + \rho \alpha^2 n^2 w_{mn} + 2 \sum_{[1]} \delta_{11} m^2 \sin(n\pi b_1/b) \sum_{[p]} w_{mp} \sin(p\pi b_1/b)] = 0 \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_x^{cr} = k_x D$ 、 $\sigma_y^{cr} = k_y D$ 、 $k_y = \rho k_x$ (但し $k_x \neq 0$ とする)、 $D = E \pi^2 t^3 / \{12(1 - \nu^2) b^2\}$ である。座屈波形の連成を無視すると、補剛板の弾性座屈係数 k_x は、文献[1]にあるように

$$k_x = n^2 \{ (m/\alpha n + \alpha n/m)^2 + (m/\alpha n)^2 s \gamma \} / \{ 1 + s \delta + \rho (\alpha n/m)^2 \} \quad (3)$$

となる。式(3)は連成を無視しているため、連成の影響を調べた結果を表1に示す。これより、連成を考慮すると座屈荷重は低下することがわかる。しかしながら、リブが4本以上になると連成の影響は少なくなり、式(3)で座屈係数はほぼ近似できることがわかる。よって、実構造物においては、式(3)を適用しても問題はなさそうである。

表1 座屈係数の収束状況 ($\alpha = 1$ 、 $\gamma = 2$ 、 $\delta = 0$)

s = 2					s = 5				
ρ	m	n=1	n=1,3	n=1,3,5	ρ	m	n=1	n=1,3	n=1,3,5
1	1	4.000	3.877	3.865	1	1	7.000	6.9998	6.9998
0	1	8.000	7.834	7.812	0	1	14.000	13.9997	13.9997
-0.7	2	26.970	22.615	21.965	-1	2	61.667	61.6654	61.6654

一方、補剛材で囲まれた部分パネルの座屈荷重は、式(2)で連成を無視することにより

$$\tau_x^{cr} = f_x D s^2, \quad \tau_y^{cr} = \rho \tau_x^{cr}, \quad f_x = (m/\alpha + \alpha/m)^2 / \{ 1 + \rho (\alpha/m)^2 \} \quad (4)$$

と求まる。

3. 座屈係数の近似式

道路橋示方書・同解説の基本思想を基にすれば、縦補剛材の剛度は $\sigma_x^{cr} \geq \tau_x^{cr}$ より求まる。しかしながら、式(3)と式(4)で与えられた座屈係数の最小値を求めることはかなり煩雑であるため、このままでは設計式としては適当でない。そこで、ここでは式(3)の k_x と式(4)の f_x の近似式を求めることにする。なお、ここの提案式は応力比 ρ が-0.5から1までとし、 σ_x は常に正とする。

まず、 k_x の最小値を与える m 、 n について考える。文献[1]および若干の計算より、実用部材の範囲内ではA:($M=1, N=2$)、B:($M=1, N=1$) C:($M=2, N=1$)の3ケースの場合を考えれば良いことが分かり、以下のよう

な座屈係数が求まる。

$$k_x = \begin{cases} 4\{(2\alpha+1/2\alpha)^2+s\gamma/4\alpha^2\}/\{1+s\delta+4\rho\alpha^2\} \\ \quad (\rho > (1+s\delta)(2+5\alpha^2)/(1+s\gamma-4\alpha^4) > 0 \text{ の時}) \\ \{(\alpha/2+2/\alpha)^2+4s\gamma/\alpha^2\}/\{1+s\delta+\rho\alpha^2/4\} \\ \quad (0 > (1+s\delta)\{\alpha^4-4(1+n\gamma)\}/\{\alpha^2(2\alpha^2+5(1+n\gamma)) > \rho \text{ の時}) \\ 4\{(\alpha+1/\alpha)^2+s\gamma/\alpha^2\}/\{1+s\delta+\rho\alpha^2\} \\ \quad (\text{上記以外の時}) \end{cases} \quad (5)$$

次に f_x の最小値を与える m , n について考えると、かなり複雑となるので、ここでは以下のような近似式を提案する。

$$f_x = 4f \quad \text{ここに} \quad f = \begin{cases} (1-\rho) & (0.5 \geq \rho \geq -0.5 \text{ の時}) \\ 1/(4\rho) & (1.0 \geq \rho \geq 0.5 \text{ の時}) \end{cases} \quad (6)$$

上記の近似式は、実部材の範囲内で良い近似となっていることを確認した。

4. 縦補剛材の剛度を与える近似式

3章で得られた結果より、縦補剛材の剛度を規定する式として以下の式を提案する。

$$(t \geq t_0 \text{ の時}) \quad \gamma_{req} \geq 4Afs(t_0/t)^2 - B/s \quad (t < t_0 \text{ の時}) \quad \gamma_{req} \geq 4Afs - B/s \quad (7)$$

ここに、 t_0 は SS41 で $b/(28s\sqrt{f})$ 、SM50 及び SM58 で $b/(22s\sqrt{f})$ であり、さらに A , B は以下で定義される。

- (1) $\rho > (1+s\delta)(2+5\alpha^2)/(1+s\gamma-4\alpha^4) > 0$ の時
 $A = \alpha^2(1+s\delta+4\rho\alpha^2)$, $B = \{1+(2\alpha)^2\}^2$
- (2) $0 > (1+s\delta)\{\alpha^4-4(1+n\gamma)\}/\{\alpha^2(2\alpha^2+5(1+n\gamma)) > \rho$ の時
 $A = (\alpha/2)^2\{1+s\delta+\rho(\alpha/2)^2\}$, $B = \{1+(\alpha/2)^2\}^2$
- (3) 上記以外の時
 $A = \alpha^2(1+s\delta+\rho\alpha^2)$, $B = (1+\alpha^2)^2$

次に、単一パネルの強度規定を考えるが、これについては充分な研究が行なわれていないのが現状と思われる。ここでは、次章の例題に必要な単一パネルの強度規定を以下のように仮定する(但し、SS41材)。

$$\sigma_a = \begin{cases} 1400 & (t \leq b/(28s\sqrt{f})) \\ 1400 - 25b\{1/(st) - 1/(28s\sqrt{f})\}/\sqrt{f} & (b/(56s\sqrt{f}) \leq t \leq b/(28s\sqrt{f})) \\ 2200000(st/b)^2 f & (b/(80s\sqrt{f}) \leq t \leq b/(56s\sqrt{f})) \end{cases} \quad (8)$$

なお、上記の式については今後さらに検討の余地があるものと思われる。

5. 例題

一般的に使用頻度の多いと思われる以下の2ケースにおいて、 ρ をパラメータとして縦補剛材の断面を決定した例を以下に示す。

表2 縦補剛材の剛度

ケース 1: a=20 ^m b=20 ^m t=28 ^{mm} SM50Y					ケース 1: a=30 ^m b=20 ^m t=22 ^{mm} SM50Y				
ρ	s	B×t(mm)	I (cm ⁴)	I _{req} (cm ⁴)	ρ	s	B×t(mm)	I (cm ⁴)	I _{req} (cm ⁴)
-0.5	5	160×16	2185	2133	-0.5	5	150×14	1575	1330
-0.3	5	170×16	3305	2956	-0.3	5	190×18	4115	3837
-0.1	5	190×18	4115	3738	-0.1	5	220×21	7454	7327
+0.1	5	200×19	5067	4525	+0.1	5	250×24	12500	11491
+0.3	5	220×21	7454	6798	+0.3	5	300×29	26100	24027
+0.5	5	240×23	10598	9767	+0.5	6	310×30	30784	30544
+0.7	6	240×24	11059	10727	+0.7	7	330×32	38333	35402
+0.9	7	250×24	12500	11437	+0.9	8	330×33	39531	38787

6. 参考文献

- (1) 北田・中井・古田・鈴木: 構造工学論文集, Vol.34A, 1988年3月
- (2) 北田・中井・宮坂・古田・秦野: 構造工学論文集, Vol.36A, 1990年3月