

大阪市立大学工学部 学生員○田中 将三 大阪市立大学大学院工学研究科 正員 北田 俊行
大阪市立大学大学院工学研究科 正員 山口 隆司 大阪市立大学大学院工学研究科 正員 松村 政秀
川田工業（株） 正員 栗田 康弘

1. 目的

合成プレートガーダーでは、コンクリート硬化後の完成系において、支間中央付近の正曲げを受ける領域で、中立軸がコンクリート床版付近に移動し、鋼桁断面はほぼ全領域で引張応力を受けるため、腹板の座屈は問題とならない。したがって、架設時の腹板の局部座屈および桁の横ねじれ座屈が問題となる。本研究では、プレートガーダー腹板のより合理的な設計法の提案を目的として、架設時に腹板が純曲げを受ける場合の局部座屈に着目し、その腹板厚とアスペクト比をパラメータとした弾塑性有限変位解析を実施している。解析には弾塑性有限変位解析プログラム USSP¹⁾を用いる。

2. 腹板厚の設計法

道路橋示方書（以下、道示）²⁾によると、鋼桁の腹板のアスペクト比は1.5以下とし、座屈に対する安全率 ν_B は、純曲げを受ける場合1.40と定められており、腹板の厚さ t と高さ b の関係は式(1)に従って決定されている。

$$\left(\frac{t}{b}\right)^2 \geq \frac{\nu_B \sigma_c}{(425R)^2} \left[\frac{1+\varphi}{4k_o} + \sqrt{\left(\frac{3-\varphi}{4k_o}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{k_r}\right)^2} \right] \quad (1)$$

ここで、 φ は上下縁の応力比、 η は腹板に作用するせん断応力度と大きい方の縁圧縮応力度との比、 k_o は垂直応力に対する座屈係数、 k_r はせん断に対する座屈係数、 R は座屈パラメータ、 σ_c は許容圧縮応力度である。また、架設時には式(1)の許容圧縮応力度を25%割増しとされる。

3. 純曲げを受けるプレートガーダー腹板の架設時における耐力解析

3.1 腹板高さを変化させた場合 解析モデルを図-1および図-2に示す。垂直補剛材間隔は1,950mmで一定とし、腹板高さは2,900、2,700、および2,500mmの3つの場合を対象とした。腹板厚は、式(1)において許容応力度の割増し係数を、25%、50%、75%、および100%として算出し、計12の解析モデルを設定した。解析モデルは対称性を考慮してハーフモデルとし、モデル化には板要素を用いた。鋼材はSMA490W、ヤング係数 E_s を $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 μ_s を0.3とした。作用曲げモーメントは、鋼桁の中立軸位置に強制回転角を与えることで導入した。初期たわみは上・下フランジおよび腹板の面外方向にそれぞれ最大5、8、11.6mmのSIN半波形

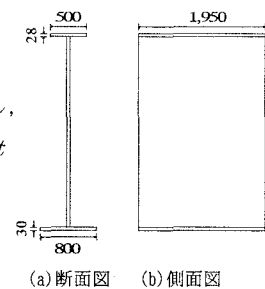
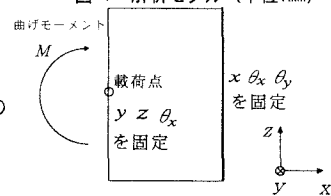
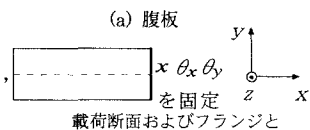


図-1 解析モデル（単位:mm）



載荷断面を除き θ_y を固定



腹板の接合面を除き θ_z を固定

(b) フランジ

図-2 拘束条件

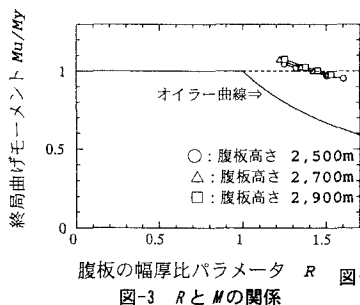


図-3 RとMの関係

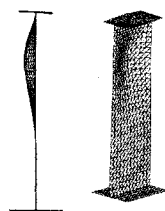


図-4 曲げモーメントが最大となる時の変形図（倍率:30）

表-1 解析結果

b	X (%)	t (mm)	M_u ($\times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$)	M_y ($\times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$)	R	M_u/M_y
2,900	25	22	2.921	2.716	1.252	1.075
	50	20	2.678	2.611	1.377	1.026
	75	19	2.561	2.557	1.450	1.002
	100	18	2.450	2.504	1.530	0.978
2,700	25	21	2.577	2.408	1.221	1.070
	50	19	2.364	2.315	1.350	1.021
	75	18	2.263	2.268	1.425	0.998
	100	17	2.167	2.222	1.509	0.976
2,500	25	19	2.173	2.082	1.250	1.044
	50	18	2.082	2.042	1.319	1.020
	75	16	1.958	2.016	1.505	0.971
	100	15	1.880	1.974	1.605	0.953

を仮定した。文献 3) によると残留応力の腹板の耐荷力に及ぼす影響は大きくないと報告されているため、本研究でも考慮していない。主な解析結果と曲げモーメントが最大となる時の変形図を表-1、図-3、および図-4 に示す。同表において、 X は許容圧縮応力度の割増し、 M_u は終局曲げモーメント、 M_y は降伏モーメントの理論値、 R は幅厚比パラメータである。ここで鋼板が降伏するとほぼ同時に座屈させるように腹板厚を設計した場合、表-1 より腹板高さ 2,900 mm, 2,700 mm, および 2,500 mm において $M_u/M_y \geq 1$ を満たす最小の腹板厚は、それぞれ 19, 19, および 18 mm となった。このとき、架設時の許容圧縮応力度の割増しは、それぞれ 75, 50, 50%であることから現行の 25%から 50%まで大きくとることができると考えられる。

表-3 アスペクト比に着目した解析結果

α	t (mm)	M_u ($\times 10^{10}$ N・mm)	M_y ($\times 10^{10}$ N・mm)	R	M_u/M_y
0.33	15	2.479	2.408	1.862	1.029
0.33	14	2.346	2.351	1.995	0.998
1.00	23	2.799	2.769	1.198	1.011
1.00	22	2.689	2.716	1.252	0.990
1.33	25	2.915	2.874	1.102	1.014
1.33	24	2.808	2.821	1.148	0.995
1.67	25	2.895	2.874	1.102	1.007
1.67	24	2.793	2.821	1.148	0.990
2.00	25	2.893	2.874	1.102	1.007
2.00	24	2.793	2.821	1.148	0.990
2.33	25	2.882	2.874	1.102	1.003
2.33	24	2.783	2.821	1.148	0.987
2.67	25	2.876	2.874	1.102	1.001
2.67	24	2.769	2.821	1.148	0.982
3.00	26	2.972	2.863	1.059	1.038
3.00	25	2.863	2.874	1.102	0.996

3.2 垂直補剛材間隔を変化させた場合 $M_u/M_y=1$ となるように最小の腹板厚を設計した場合、垂直補剛材間隔、すなわちアスペクト比 α が最小の腹板厚の算定に及ぼす影響を検討した。すなわち、腹板の高さは 2,900 mm で一定として、垂直補剛材間隔を、アスペクト比が 0.33 の整数倍となるように解析モデルを設定した。解析結果を表-3 および図-6 に示す。これらから、アスペクト比が約 1.33 まではアスペクト比と最小腹板厚の関係はおおよそ比例関係にあり、アスペクト比が 1.33~2.67 では最小腹板厚は 25mm で一定となる。道示²⁾によるとアスペクト比は 1.5 以下と規定されているが、これらの解析結果から純曲げを受けるプレートガーダーでは、アスペクト比を 2.67 まで大きくとっても 1.5 の場合と耐荷力がほとんど変わらないことがわかる。

4. 合成後の解析

垂直補剛材間隔を 1,950mm で一定とし、腹板高さが 2,900, 2,700, および 2,500mm の各解析モデルに対して、それぞれ架設時の許容圧縮応力度の割増しを 50%として腹板厚を決定した合成桁の解析を行う。コンクリート床版の高さは 320mm, 有効幅は実橋での応力分布から求められる見かけ上の中立軸位置が一致するように 1,000 mm とした。コンクリートの圧縮強度 σ_{ck} を 40N/mm², ポアソン比 μ_c を 0.167, ヤング係数 E_c を 3.4×10^4 N/mm² としている。解析結果を図-7 に示す。ただし、 M_y , ϕ_y はそれぞれのモデルにおいて降伏応力 $\sigma_y=355$ N/mm² を用いて算出した理論値である。これらの結果から合成前に比べて合成後の純曲げ耐荷力は大きく向上していることがわかる。

5. まとめ

- (1) $M_u/M_y=1$ となるように最小の腹板厚を設計した場合、架設時における許容圧縮応力度の割増しを現行の道示による 25%から 50%まで大きくすることができる。
- (2) $M_u/M_y=1$ となるように最小の腹板厚を決めた場合、現行の道示に用いられているアスペクト比 $\alpha \leq 1.5$ の範囲では、アスペクト比と最小腹板厚はおおよそ比例関係にあるといる。
- (3) アスペクト比 $\alpha > 1.5$ の範囲では、耐荷力はほとんど変化はなく、アスペクト比を現行の 1.5 から 2.67 まで大きくとることで、腹板を厚くせずに垂直補剛材間隔を大きくでき、垂直補剛材の本数もおおよそ半分にすることができる。

参考文献

- 1) USSP 研究会：USSP ユーザーズ・マニュアル，理論編，Ver.3.0，日本構研情報(株)，平成 8 年 10 月。
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，平成 14 年 3 月
- 3) 川崎重工業(株) 鉄鋼事業部：経済性・耐久性を目指した次世代橋梁の開発，PC 床版連続合成 2 主桁橋の設計・施工 ver. 3.0，平成 11 年 6 月

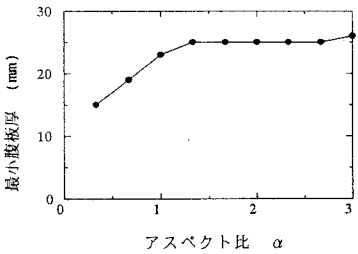


図-6 最小腹板厚とアスペクト比

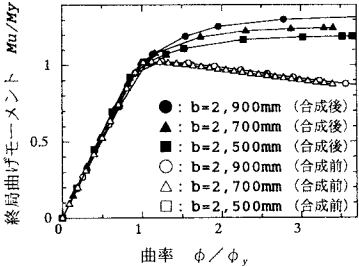


図-7 曲率と曲げモーメントの関係