

合成少数主桁橋の腹板少補剛設計法に関する解析的研究

日本道路公団

中園明広, 稲葉尚文

川崎重工業

正会員

○大垣賀津雄

長岡技術科学大学

正会員

長井正嗣

大阪大学

正会員

西村宣男

1. まえがき

筆者らは、合成少数主桁橋における腹板の少補剛薄板化設計法に関する一連の研究を行ってきている^{1),2)}。またPC床版連続合成2主桁橋である千鳥の沢川橋において、これらの研究成果を適用し、その効果を示した³⁾。しかしながら、設計実務者がこれら研究成果を採用するためには、その設計法をより具体化する必要がある。

これまで少補剛薄板化設計の基本的な考え方として、筆者らが考えてきた降伏限界幅厚比の関係は、床版のない非合成断面で、上下フランジが等しい(2軸対称)問題として、実験ならびに解析を実施して求めたものである^{4),5)}。したがって、今後、一般的に適用するためには、床版を加えた合成断面としての非対称問題として弾塑性有限変位解析を行い、応力勾配をパラメータとして変化させた場合の終局曲げ強度を明確にする必要がある。また、このような合成桁について、曲げとせん断の組合せ荷重を受ける腹板パネルの終局強度を明らかにする必要がある。本文は、これらの内容について述べるものである。

2. 解析パラメータと解析条件

(1) 解析パラメータ

解析対象構造を図1に示す。解析パラメータは以下の通りであり、表1に示す通り、各種パラメータを変化させた。

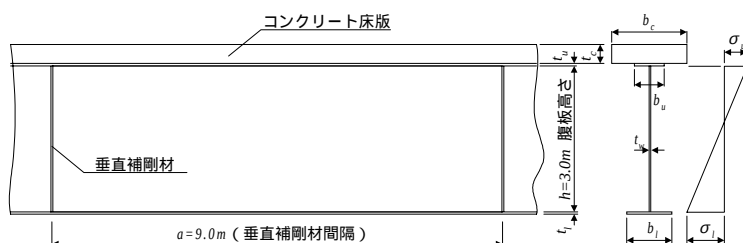


図1 解析対象構造

α : アスペクト比(垂直補剛材間隔 a /腹板高さ h)

R'_f : 拘束を考慮した上フランジ幅厚比パラメータ

((1)式で $b=(b_u-t_w)/2$, $k_f=0.425$ を $k'_f=2.31$ に見直し)

R_w : 腹板の幅厚比パラメータ((1)式で $b=h$, $k_w=23.9$)

A_w/A'_f : 拘束を考慮した腹板と上フランジの断面積比

ψ : 応力勾配(上下フランジの応力比) $\psi = \sigma_l / \sigma_u$

M/M_y : 曲げモーメント載荷比率, M_y は降伏モーメント

Q/Q_u : せん断載荷比率, Q_u は(2)式のBasler⁶⁾の終局強度

$$R = \frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k\pi^2 E}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 σ_y : 降伏点, σ_{cr} : 弾性座屈応力
 b : フランジの突出幅(R'_f の場合)
 腹板高 h (R_w の場合)
 t : 板厚, k : 座屈係数
 E : ヤング係数, ν : ポアソン比

$$\frac{Q_u}{Q_p} = \frac{\tau_{cr}^e}{\tau_y} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1 - \frac{\tau_{cr}^e}{\tau_y}}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 Q_p : 全塑性せん断力
 τ_y : 降伏せん断応力, $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$
 τ_{cr}^e : せん断弾性座屈強度

表1 解析パラメータの範囲

解析項目	α	R'_f	R_w	A_w/A'_f	ψ	M/M_y	Q/Q_u
純曲げ	3.0	0.15 ~ 0.60	1.0 ~ 1.6	1.5, 2.0	-1.0 ~ -2.2	1.0	0
組合せ	3.0	0.15	1.6	1.5	-1.4	0.8	0.4
						0.5	0.7
						0	1.0

(2) 解析モデル

純曲げ解析モデルを図2に示す。同図に示す通り、腹板の1/2をモデル化して、左端に対称の境界条件を設定している。また右剛部材端部より荷重 P を漸増載荷させた。一方、図3には曲げとせん断の組合せ解析モデルを示す。

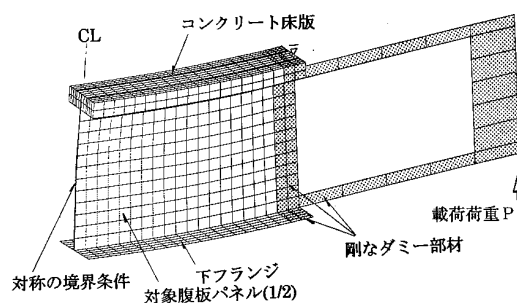


図2 純曲げ解析モデル

キーワード: 2主桁橋, 少補剛設計, 弾塑性有限変位解析, 幅厚比, 曲げ強度

連絡先: 〒274-8585 千葉県野田市ニッ塚118番地 川崎重工業(株)関東技術研究所 TEL: 0471-24-0466 FAX: 0471-24-5917

対象パネルの左右端部に剛部材を設置し、A点回りの回転とB点側の鉛直変位を自由としている。荷重載荷方法は、曲げモーメントMをA点に載荷し、せん断力QをB点に載荷する。さらにせん断力により発生する2次力を減少させるため、調整モーメント- $Qa/2$ をA点に載荷している。

(3) 材料特性

この弾塑性有限変位解析⁷⁾は、4 節点シェル要素で板厚方向に5層分割したモデルを用いた。鋼材の応力 - ひずみ関係は完全弾塑性とし、Misesの降伏条件を用いた。また本解析における床版は、鋼桁に拘束を与えることと、中立軸を設定することを目的とする部材であり、図4に示すような応力 - ひずみ関係を定義し、応力勾配 ψ を極力一定に保つことができるようなものとした。

(4) 初期不整

今回対象としている寸法諸元の鋼 I 断面では、残留応力が終局強度評価に与える影響はさほど大きくないと考えられるので、本解析において残留応力は考慮しないこととした。また腹板の初期たわみとして、腹板パネル面外方向に最大12mm ($h/250$, h : 腹板高さ) のsin半波形を仮定した。

3. 解析結果と考察

(1) 純曲げ解析

純曲げの解析結果を表2および図5に示す。同表中 P_u は解析結果の終局荷重を示す。 P_u/P_y は降伏荷重で無次元化した終局強度である。同図表より、以下のことがわかる。

- A_w/A_f を変化させても、終局強度に影響を与えない。
- 応力勾配 ψ が小さくなるほど、すなわち、中立軸が上がるほど、無次元化終局強度は大きくなる(図5参照)。
- 腹板の幅厚比パラメータ R_w を1.0から1.6に大きくしても、無次元化終局強度は1割程度しか低下しない。
- R_w が一定で R_f を変えても無次元化強度は変わらない。

(2) 曲げとせん断の組合せ解析

曲げとせん断を受ける場合の終局強度の相関関係を図6にプロットした。同図中、横軸は降伏モーメント M_y で無次元化した曲げ強度であり、縦軸はBasler⁶⁾の算出式(2)による Q_u で無次元化したせん断強度である。同図から、組合せ終局強度は、4次式を用いても安全側にあるといえる。

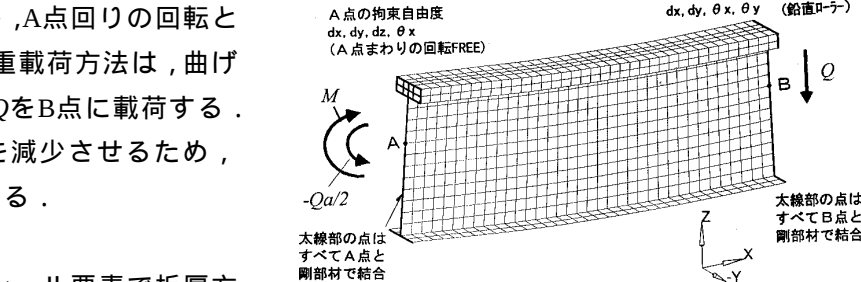


図3 曲げとせん断の組合せ解析モデル

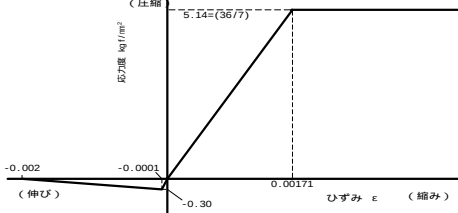


図4 コンクリート床版の応力 - ひずみ関係

表2 純曲げ解析終局強度

ケース	α	R_f	R_w	A_w/A_f	ψ	P_u	P_u/P_y
1	3.0	0.15	1.0	1.5	-1.8	1,347	1.31
2	3.0	0.15	1.6	1.5	-1.8	1,125	1.26
3	3.0	0.60	1.0	1.5	-1.8	1,338	1.35
4	3.0	0.60	1.6	1.5	-1.8	1,120	1.29
5	3.0	0.15	1.0	2.0	-1.8	1,263	1.33
6	3.0	0.15	1.6	2.0	-1.8	1,075	1.27
7	3.0	0.60	1.0	2.0	-1.8	1,255	1.36
8	3.0	0.60	1.6	2.0	-1.8	1,075	1.31
9	3.0	0.15	1.0	1.5	-2.2	1,159	1.45
10	3.0	0.15	1.6	1.5	-2.2	961	1.35
11	3.0	0.60	1.0	1.5	-2.2	1,148	1.48
12	3.0	0.60	1.6	1.5	-2.2	953	1.38
13	3.0	0.15	1.0	1.5	-1.4	1,603	1.17
14	3.0	0.15	1.2	1.5	-1.4	1,489	1.16
15	3.0	0.15	1.4	1.5	-1.4	1,406	1.15
16	3.0	0.15	1.6	1.5	-1.4	1,344	1.14
17	3.0	0.60	1.0	1.5	-1.4	1,596	1.20
18	3.0	0.60	1.2	1.5	-1.4	1,518	1.21
19	3.0	0.60	1.4	1.5	-1.4	1,428	1.20
20	3.0	0.60	1.6	1.5	-1.4	1,337	1.17
21	3.0	0.15	1.0	1.5	-1.0	1,913	0.96
22	3.0	0.15	1.2	1.5	-1.0	1,746	0.94
23	3.0	0.15	1.4	1.5	-1.0	1,602	0.91
24	3.0	0.15	1.6	1.5	-1.0	1,514	0.90
25	3.0	0.60	1.0	1.5	-1.0	1,912	0.99
26	3.0	0.60	1.2	1.5	-1.0	1,763	0.98
27	3.0	0.60	1.4	1.5	-1.0	1,627	0.95
28	3.0	0.60	1.6	1.5	-1.0	1,512	0.92

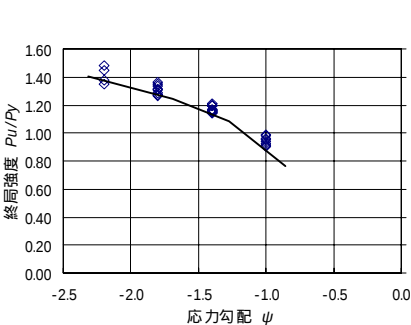


図5 応力勾配 ψ と終局強度の関係

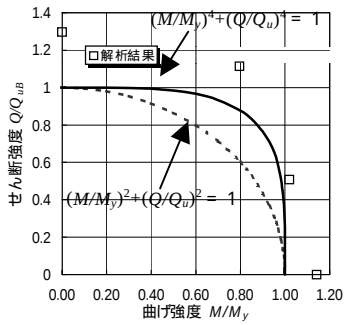


図6 曲げとせん断の相関強度

[参考文献] 1)大垣,川口,高橋,川尻,磯江,長井:合成2主桁橋の鋼主桁補剛設計に関する実験的研究,構造工学論文集,土木学会,Vol.44A, pp.1229~1239, 1998.3, 2)八部,磯江,大垣,久保,作川,川口:連続合成桁腹板の少補剛設計法に関する研究,川崎重工技報137号, pp.84~89, 1998.4, 3)田村,川尻,大垣,作川:PC床版連続合成2主桁橋「千鳥の沢川橋」の設計,橋梁と基礎, Vol.32, No.9, pp.18~22, 1998.9, 4)西村,大崎,長谷川:曲げを受けるI断面の局部座屈強度と限界幅厚比に関する実験的研究,構造工学論文集,土木学会, Vol.37A, pp.135~144, 1991.3, 5)西村,秋山,松村:曲げを受けるI断面はりおよびプレートガーダーの強度設計法の一提案,構造工学論文集,土木学会, Vol.39A, pp.165~174, 1993.3, 6) Basler, k.: Strength of Plate Girders in Shear, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol.87, No.ST7, pp.151~180, Oct., 1961, 7) ABAQUS / Standard User's Manual, Version 5.5