第Ｉ部門　　負曲げを受ける合成桁の終局曲げ強度特性

関西大学大学院　学生員　○萩原　敏子　　（株）栗本鐵工所　正会員　　津田　久嗣
関西大学工学部　正会員　　堂垣　正博

1.はじめに　近年，鋼橋の設計，製作，架設，維持管理における合理化・省力化の機運が高まり，合成桁が見直されつつある．現行の道路橋示方書・同解説の合成桁に関する規定は1973年以降改定されておらず，その後の技術的変遷に追従できていないところがある．道示11.1.2において，連続合成桁は引張応力を受けるコンクリート断面を有効として設計するものとある．コンクリート床版による拘束効果が鋼I桁の強度に影響することは明らかであるが，拘束効果を考慮した合成桁の強度特性，変形挙動，設計法に関する研究は極めて少なく，あまり明らかにされていない．

そこで，コンクリート床版による上フランジの拘束効果を考慮し，圧縮フランジと腹板の連成座屈および圧縮フランジのねじれ座屈と横座屈の連成が負曲げを受ける合成桁の変形挙動と終局強度に及ぼす影響を弾塑性有限変位解析によって明らかにする．

2．数値解析手法

2.1 モデルの諸元　数値計算には，汎用有限要素解析ソフトウェア“MARC2003”を適用する．**図-1**に解析対象を示す．解析対象には，張り出しばりの突出端に集中荷重をかけることによって，はりの2支点間に負の等曲げを作用させた．部材寸法は**図-1**のとおりである．荷重が集中する載荷点と支点に垂直補剛材を設けた．その断面寸法を道示10.5.2の規定に従って決定した．支点反力による応力集中が生じないように，支点上にソルプレートを用いた．ただし，水平補剛材は設けなかった．床版はRC床版とし，コンクリートの設計基準強度は40kN/mm^2，鉄筋はϕ19mm，ピッチは150mm，鉄筋のかぶりは上下とも40mmとした．使用鋼材はSM400材とした．なお，解析対象は中央断面で左右対称であるため，片側半分をモデル化した．

2.2 解析パラメータ　解析パラメータは**表-1**のとおりである．

(1) はりの細長比パラメータ　合成桁の鋼I桁部分はコンクリート床版によって拘束されるため，鋼I桁の横座屈は生じにくい．RC床版で拘束された鋼I桁の横座屈を評価するため，下フランジと腹板の一部からなるT型断面とした柱を考える[1)]．すなわち，その細長比パラメータ$\bar{\lambda}$は，

$$\bar{\lambda}=\sqrt{\frac{P_y}{P_{cr}}}=\frac{l}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}\frac{A}{I_y}} \qquad (1)$$

である．ここに，P_{cr}：下フランジと腹板の一部すなわち圧縮高さの1/3断面を柱とした時の弾性座屈荷重，P_y：そのT型断面柱の降伏軸力，l：有効座屈長(mm)，σ_y：鋼材の降伏応力(MPa)，E：鋼材のヤング率(GPa)，A：T型断面の断面積(mm^2)，I_y：T型断面のy軸まわりの断面2次モーメント(mm^4)である．

表-1 解析パラメータ

細長比パラメータ	$\bar{\lambda}$	0.38 ～ 3.77
下フランジの幅厚比パラメータ	R_f	0.4，0.68，0.8，1.0
腹板の縦横比	α	1.0
垂直補剛材の間隔（本）	n_s	0，2，4，6
垂直補剛材の剛比	$\gamma_{ts}/\gamma_{ts,req}{}^*$	1.0
腹板の幅厚比	h_w/t_w	80，111，133，154，182，200
腹板の幅厚比パラメータ	R_w	0.86 ～ 2.90
等価幅厚比パラメータ	R_{fw}	0.59 ～ 1.72

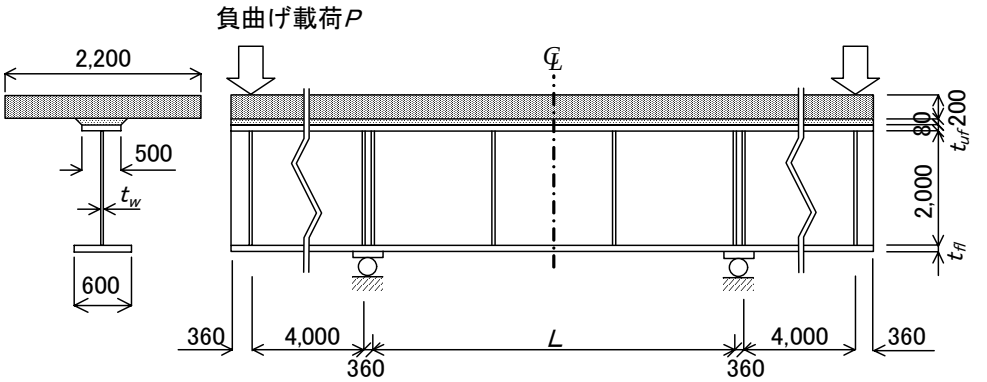


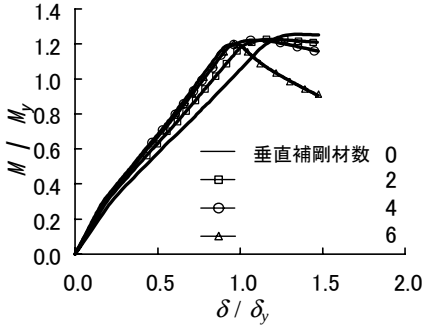
図-1 解析対象

Toshiko HAGIWARA，Hisatsugu TSUDA, and Masahiro DOGAKI

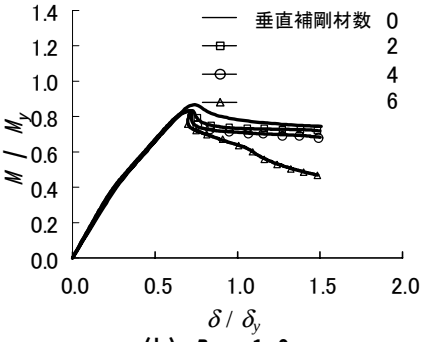
(2) はりの等価幅厚比パラメータ　負曲げを受ける合成桁の座屈には,圧縮フランジと腹板が連成する.その相互作用を考慮するため,断面としての等価幅厚比の概念を用いる．すなわち，フランジと腹板の連成挙動を評価するため，久保・小川[2)]が提案したフランジと腹板の幅厚比パラメータを相乗平均した等価幅厚比パラメータ

$$R_{fw} = \sqrt{R_f R_w} \qquad (2)$$

を用いる．ここに，R_f：圧縮フランジの幅厚比パラメータ，R_w：腹板の幅厚比パラメータである．



(a) R_f = 0.4



(b) R_f = 1.0

図-2　支間長を変化させた場合の載荷点における鉛直変位と曲げモーメントの関係

3．数値解析結果とその考察

3.1 細長比パラメータが合成桁の曲げ耐荷力に及ぼす影響　垂直補剛材の本数が 0，2，4，6，下フランジの幅厚比パラメータが R_f=0.4 と 1.0，腹板の幅厚比が h_w/t_w=133 の場合の載荷点における鉛直変位と曲げモーメントの関係を図示すると，**図-2** を得る．図から明らかなように，下フランジの幅厚比パラメータに関わらず，垂直補剛材の本数の相違による最高荷重はほとんど変わらない．一方，垂直補剛材の本数が変化すれば，最高荷重後の劣化挙動が変化する．すなわち，垂直補剛材の本数が増えれば，強度の劣化が著しくなる．これは，細長比が大きくなるすなわち桁が長くなると，桁の全体変形が強度に影響するようになるからである．下フランジと腹板の曲げねじり挙動に T 型断面柱の横座屈変形が影響するようになるものと思われる．

3.2 等価幅厚比パラメータが合成桁の曲げ耐荷力に及ぼす影響　板の局部座屈が支配的な範囲で桁の変形と強度を明らかにするため，垂直補剛材の本数がゼロの場合を解析した．**図-3** に等価幅厚比パラメータと終局強度の関係を示す．図から明らかなように，下フランジの幅厚比パラメータが大きくなれば，腹板の幅厚比が合成桁の曲げ強度に与える影響が顕著になる．これは，下フランジの幅厚比パラメータが大きくなれば，下フランジの曲げモーメントの負担は軽減し，腹板のそれは増大する．腹板の強度が桁の強度に占める割合が多くなるからである．フランジと腹板が連成して変形する場合の桁の強度と等価幅厚比の関係を近似曲線で表せば，**図-3** を得る．すなわち，

$$\frac{M_{ult}}{M_y} = 0.0755 R_{fw}^{\ 3} + 0.1289 R_{fw}^{\ 2} - 1.204 R_{fw} + 2.0548 \qquad (3)$$

である．

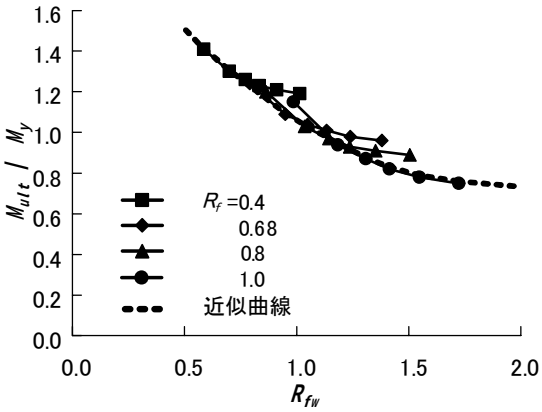


図-3　等価幅厚比パラメータと終局強度の関係

4．まとめ　負曲げを受ける合成桁の変形と強度特性を明らかにした.得られた結果をまとめれば,つぎのとおりである.
①曲げを受けるプレートガーダーの強度はフランジの幅厚比パラメータに大いに影響されるが，細長比パラメータはそれほど影響しない．しかし，細長比パラメータが大きくなれば，圧縮フランジの横座屈が生じやすくなり，それによって強度劣化が起こった．②上フランジがコンクリート床版によって拘束されるため，その拘束が腹板の変形挙動に大いに影響した．それらの挙動を明らかにするため，腹板と圧縮フランジの変形挙動と曲げ強度の関係を明確にした．

参考文献　1) Basler, K. and Thurlimann, B.：Jour. of Structural Division, ASCE, Vol.87, No.ST6, Aug., 1961, pp.153-181．2) 久保・小川：構造工学論文集，土木学会，Vol.37A，pp.145-154，1991-3.