第Ⅰ部門　　組み合わせ荷重を受けるハイブリッド桁の耐荷力に関する解析的研究（2 軸対称桁）

立命館大学大学院　　学生員　○大野　雄史
立命館大学理工学部　　正会員　　野阪　克義
立命館大学理工学部　　正会員　　伊藤　満

1. はじめに

現在，我が国では橋梁構造物の設計法も許容応力度設計法から性能照査型設計法（限界状態設計法など）への移行が検討されている．そのような中，許容応力度設計法では適用が難しかったハイブリッド桁が再び注目され，その実現に向けて研究が行われている．また，合理化という観点から少数主桁橋へのハイブリッド桁の適用も期待される．しかしながら，我が国独自の設計照査式の開発は未だその検討段階であり，より多くのデータが必要である．本研究では，2 軸対称 I 型断面桁のせん断，曲げ耐荷力，および相互作用について解析的に検討を行った．

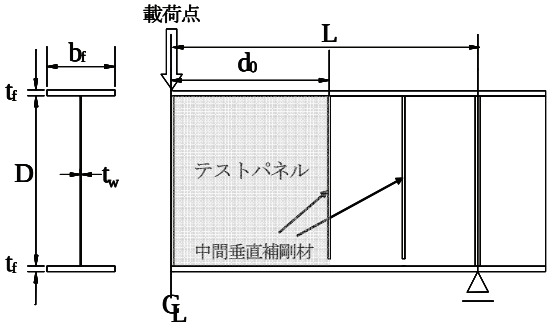
2. 解析概要

2.1 解析モデル

載荷形式は単純ばり中央一点載荷とし，表-1 の各パラメーターを組み合わせて解析モデルの断面寸法を決定した．解析モデル概略図を図-1 に示す．解析モデルは，桁高 3000mm で一定とし，ウェブとフランジの断面積比 $A_f/A_w \fallingdotseq 1$，アスペクト比 $\alpha = d_0/D = 1.0, 2.0, 3.0$，フランジの幅厚比 $b_f/2t_f=6.0$，ウェブの幅厚比 $D/t_w=150$（AASHTO に規定されている，水平補剛材なしの最大幅厚比），180（少数主桁橋の少補剛設計法での最大幅厚比[2)]）となるように設計した．フランジには SM570 材(σ_y=430N/mm^2),ウェブに SM490Y 材(σ_y=355N/mm^2)または SM400 材(σ_y=235N/mm^2)を用いたハイブリッド桁である．ここで，σ_y は降伏応力を示す．

表-1 供試体パラメーター

ウェブ高 D mm	$\frac{D}{t_w}$	$\frac{b_f}{2t_f}$	F_{yf} (N/mm^2)	F_{yw} (N/mm^2)	$\frac{d_0}{D}$	中間垂直補剛材厚	スパン
3000	150 180	6	430	355 235	1 2 3	道路橋示方書 AASHTO	載荷経路ごとに変化



図−1　解析モデル概略図

中間垂直補剛材の幅はフランジ幅と同一として，AASHTO または道路橋示方書で規定されている最低厚さを用いた．解析モデルの半スパン L については，図-2 に示す 5 つの載荷経路を概ねたどるように決定し，1〜5 の載荷経路のモデルを 1 グループとした．図中，縦軸はモーメント，横軸はせん断力を，それぞれ LRFD で規定されている公称曲げ強度 M_n，公称せん断強度 V_n で無次元化したものである．ただし，アスペクト比が 2.0，3.0 の供試体において，せん断よりのモデルが存在しないグループや，テストパネルがそのまま半スパン L となっている(中間垂直補剛材なし)モデルがあり，合計 96 体の解析モデルについて検討した．

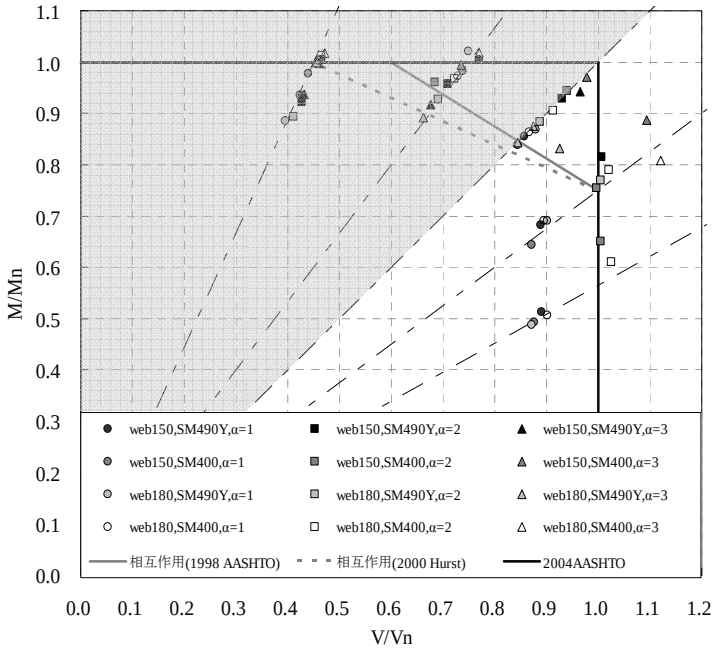


図-2　曲げ-せん断相関図

2.2 解析方法

解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用い，4 節点シェル要素(type75)を用いた．

解析モデルの要素分割数は，ウェブ高さ方向に 30 分

Yuji OHNO，Katsuyoshi NOZAKA，and Mitsuru ITO

割，フランジ幅方向に 6 分割，垂直補剛材幅方向に 3 分割し，橋軸方向分割は要素の一辺が 100mm となるように分割した．

荷重として，解析モデル中央の橋軸直角方向すべての上フランジ節点に対して鉛直方向の強制変位を与えた．回転支点と移動支点には，橋軸直角方向すべての下フランジ節点に対して，それぞれ橋軸＋鉛直方向と鉛直方向を拘束した．横補剛は,各グループで公称曲げ強度 M_n が一定となるような箇所に面外方向の拘束を与えた．

材料特性に関しては弾性－完全塑性を仮定，ヤング係数は 200,000N/mm^2，ポアソン比は 0.3 とした．さらに，初期変形として，ウェブ初期面外たわみの最大値が，道路橋示方書の制限値 $D_w/250$ となるよう正弦波形を載荷点両脇のテストパネルに与え，全てのモデルに対して同じ初期変形を与えた．残留応力は，過去の残留応力試験で得られた結果を用いた．

3. 解析結果および考察

中間垂直補剛材の違いによる耐荷力への影響を検討するため，それぞれのグループでの平均値を表-2 に示す．添え字の u は解析結果を示す．ここで，図-2 の色のついた範囲の供試体は公称曲げ強度で無次元化した．曲げとせん断を共に大きく受ける載荷経路に関してはどちらで無次元化してもよいのだが，ここでは公称曲げ強度を用いた(表-3 に関しても同様)．

表-2 中間垂直補剛材の違いによる比較

	M_u/M_n	V_u/V_n
道路橋示方書	0.947	0.919
AASHTO	0.942	0.919

表-3 各パラメーターと耐荷力の関係

	D/t_w		α			F_{yw}/F_{yf}	
	150	180	1.0	2.0	3.0	0.83	0.55
M_u/M_n	0.95	0.94	0.93	0.94	0.95	0.92	0.96
V_u/V_n	0.95	0.96	0.89	1.01	1.05	0.93	0.98

中間垂直補剛材のちがいにより，耐荷力にはほとんど差がないことが分かった．よって，中間垂直補剛材が存在する供試体では AASHTO のデータを採用し合計 53 体のデータについて検討する．

図-2 には 53 体全ての解析結果を示している．黒色線は曲げとせん断の相関がないものとした現行の LRFD による相関曲線であり，灰色線，灰色点線はそれぞれ，曲げとせん断の相関があるとした 1998AASHTO[3]，2000Hurst[4] の相関曲線である．図中，それぞれ○，□，△はアスペクト比 1.0，2.0，3.0 の供試体を表し，さらにウェブ幅厚比，ウェブ鋼材で分類している．

ほとんどの供試体が現行の LRFD 予測値の内側に入る，つまり解析値が予測値を下回っていることがわかる．一方，1998AASHTO，2000Hurst の予測値をほとんどのモデルが上回り，これらは安全側の評価となっていることが分かる．相互作用に関しては，図-2 で各グループの変化に注目してみても，とりわけ確認できないことが分かる．

表-3 に各パラメーターと耐荷力の関係を示す．表-3 は，解析モデル 53 体を各パラメーターで分類し，その分類された中のモデルの平均値を求めたものである．曲げ耐荷力に関しては各パラメーターでそれほどの差が確認できないが，せん断耐荷力に関しては特にアスペクト比の違いによる理論値と解析値の違いが顕著に表れた．これは図-2 においてもアスペクト比の異なるものを比較すると確認できる．公称せん断強度に Basler[5]の理論を元にした式が採用されている現行の LRFD では，アスペクト比の変化をうまく捉えられていないと考えられる．

4. おわりに

解析結果より，今回の検討対象の範囲内では中間垂直補剛材の違いによる耐荷力への影響はほとんどないことが分かった．さらに、曲げとせん断の相互作用は確認できず，AASHTO LRFD の公称曲げ強度は危険側の予測値が多いことが分かった．公称せん断強度は，供試体のアスペクト比による違いにより解析値との差が大きくなった．

本研究は，土木学会鋼構造委員会「合成桁の限界状態設計法に関する調査検討小委員会」の活動の一環として行った．

参考文献

1) AASHTO: LRFD Bridge Design Specifications, 3nd Edition, AASHTO, Washington, D.C., 2004. 2)土木学会: 座屈設計ガイドライン，訂第 2 版，土木学会, 2005. 3) AASHTO: LRFD Bridge Design Specifications, 2nd Edition, AASHTO, Washington, D.C., 1998. 4) Hurst, A. M.: Tension Field Action in HPS Hybrid Plate Girders, Master's Thesis, University of Missouri-Columbia, 2000. 5) Basler, K.: Strength of Plate Girders in Shear, J. Structural Division, ASCE, Vol. 87, ST7, pp. 151-180, 1961.