波形鋼板ウェブ桁の横ねじれ座屈挙動

○名城大学大学院　学生会員　桑原大司　　名城大学　フェロー会員　久保全弘
名城大学　正会員　渡辺孝一

1.　はじめに

波形ウェブ桁はその形状と配置によりフランジに局部的な面外曲げと幅方向の力が発生し，耐荷力の評価は複雑となる．これまでの研究から圧縮フランジの局部座屈耐荷力は波形ウェブの偏心のために低下し，横ねじれ座屈耐荷力については平板桁に比べて上昇するとの報告もある．先の研究では 3 種類の波高を有する波形桁の面内曲げ実験 [1]および横ねじれ座屈実験 [2]を行い，通常の平板桁との相異を明らかにした．

本研究では波形腹板の波高を一定にし，波形形状を 3 種類，スパン長を 4 種類に変化させた場合の横ねじれ座屈実験を行い，耐荷性能を検討する．

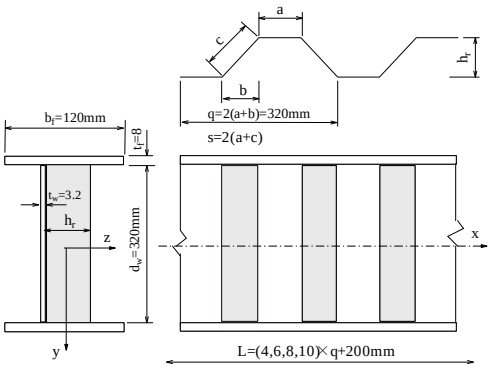

図 - 1　実験供試体

2.　実験方法

実験供試体は，鋼材 SS400 による溶接 I 形断面桁で，波形腹板は図 - 1 のように台形波形とし，腹板の波高を 0(平板),40mm の 2 種類変化させた．波高 40mm では波形形状を表－1 のように 3 種類(c/a=1,0.5,1.5)に変化させた．

表 - 1　波形形状

波形タイプ	h_r (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	n=c/a	γ=q/s
CB-0	0	-	-	-	-	1.000
CB-4A	40	85.00	75.00	85.00	1.00	0.941
CB-4B	40	117.19	42.81	58.59	0.50	0.910
CB-4C	40	67.30	92.70	100.96	1.50	0.951

実験装置はベアリング支承と水平移動型引張ジャッキ(容量 300kN)を使用した．写真 - 1 に実験の全景を示す．載荷実験は両端単純支持桁のもとで，スパン中央断面の上フランジに載荷プレートを取り付け，鉛直下向きに集中荷重を作用させて行った．スパン長は L=1480,2120,2760,3400mm の 4 種類である．荷重は弾性領域では荷重制御，非弾性領域では上フランジの水平たわみを基準にした変位制御により載荷した．そして，最大荷重の約 80%降下域まで載荷した時点で除荷した．載荷中の断面の変位とひずみ測定は，ダイヤルゲージとひずみゲージを用いて測定した．

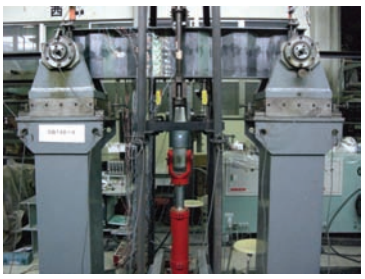

写真 - 1　実験全景

3.　実験結果

(1)　荷重 - 鉛直たわみ関係

図-2 に CB212 シリーズのスパン中央における荷重 - 鉛直たわみ曲線を示す．平板桁の耐荷力は，せん断変形を考慮した弾性理論値(曲げ剛度 EI_z)に沿って上昇し，その後は非線形挙動をしている．波形桁は波形形状によって多少相違がみられるが，平板桁よりやや小さい勾配で最大荷重に到達している．また，波形桁 CB212-4C の最大荷重は平板桁の 1.25 倍上昇しているが，最大荷重後の耐荷力低下も大きいことがわかる．

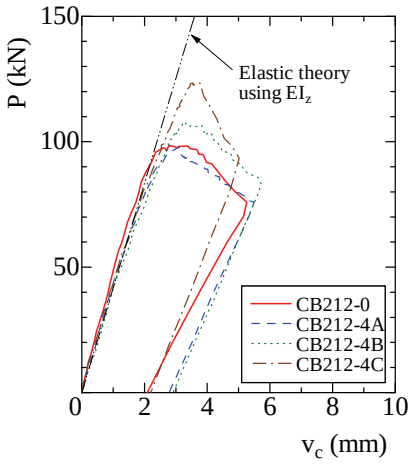

図 - 2　P-v_c 曲線(L=2120mm)

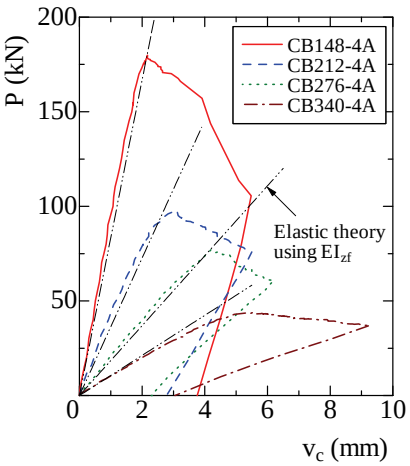

図 - 3　P-v_c 曲線(CB-4A)

図 - 3 は波形形状 4A を有する桁についての荷重 - 鉛直たわみ曲線を，スパン長ごとに描いている．スパン長が大きくなるほど耐荷力は小さく，鉛直たわみは大きな値を示す．また波形桁は，腹板を無視したフランジ断面のみの曲げ剛度 EI_{zf} を考慮した弾性理論値に沿っている．

キーワード：波形ウェブ，鋼桁，横ねじれ座屈，実験
連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部　TEL052-832-1151，FAX052-832-1178

(2) 荷重 - ねじれ角関係

上下フランジの水平たわみから算出したスパン中央断面のねじれ角$\Phi_c=(u_c-u_t)/d_f$を用いて，図 - 4 にCB212 シリーズの荷重 - ねじれ角関係を示す. CB212-0, 4A は緩やかに横ねじれ座屈を生じており，CB212-4B，4C では最大荷重付近で急激にねじれを生じている．実験中に，波形桁では引張側フランジがほとんど水平移動せずに断面のねじれ変形を生じ，スパン長が大きいほど急激な座屈崩壊を起こした様子が観察できた.

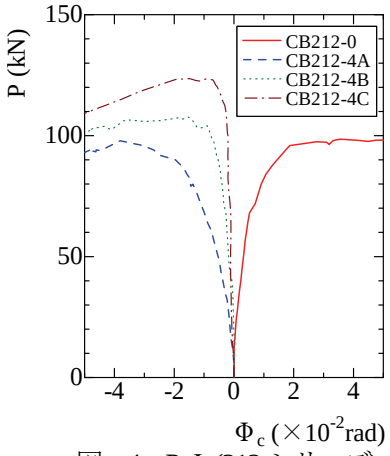

図 - 4 P-Φ_c(212 シリーズ)

4. 考察

(1) 断面ひずみ分布

CB212 シリーズのスパン中央付近における軸方向パネルのときの断面ひずみ分布を図 - 5 に示す．荷重は弾性領域の P=60kN である．波形腹板の中央付近ではひずみは 0 となっている．波形腹板は，上下縁からそれぞれ約 $d_w/6$ の位置まで軸方向ひずみを負担しており，その間では軸方向ひずみがほとんど生じておらず，波形腹板の特徴であるアコーディオン効果が確認できる. 波形腹板の最上下縁のひずみは平板の約 8 割で負担している.

波形桁の上下フランジでは突出幅が広い方のひずみの値が大きい傾向にある．なお，スパン長が変化しても同様な断面のひずみ分布が得られた.

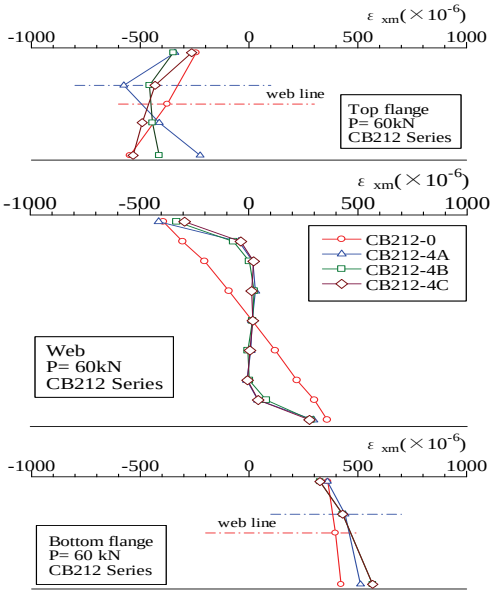

図 - 5 断面ひずみ分布

(2) 横ねじれ耐荷力曲線

本報告でも先の論文 [2]と同様に，横ねじれ耐荷力の評価式は，従来の平板桁において適用されているわが国の鋼構造物の終局強度設計を基に検討する．この際，波形の面内曲げ強度 M_s は腹板を無視したフランジ断面のみで評価し，圧縮フランジの局部座屈を考慮した有効断面の降伏モーメント M_{yf}，または圧縮側フランジが全降伏したと仮定した全塑性モーメント M_{pf} を用いて整理する.

図 - 6 は縦軸に M_y ベースの無次元曲げ強度，横軸に修正細長比をとって，実験結果をプロットしたものである．前回の実験値 [2]より全体的に強度が低く，平均値相当曲線と下限値相当曲線の間で変動している.

図 - 7 は，M_p ベースの横ねじれ耐荷力曲線を示している．図 - 6 と比較すると波形桁の無次元強度はほとんど相違ないことから，波形の面内曲げ強度 M_s として $M_s=M_{pf}$ を適用できると思われる.

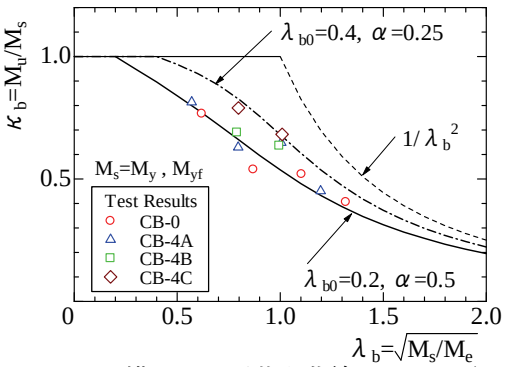

図 - 6 横ねじれ耐荷力曲線(M_y ベース)

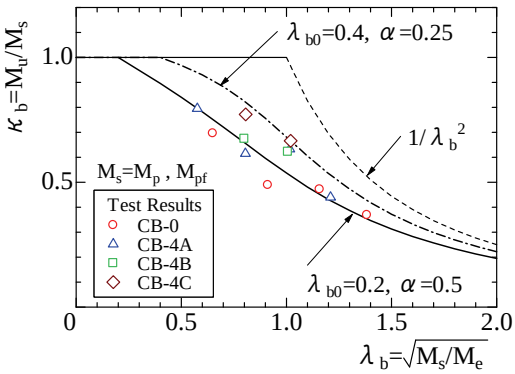

図 - 7 横ねじれ耐荷力曲線(M_p ベース)

5. あとがき

本実験では，波形腹板の斜方向パネル幅と軸方向パネル幅の比 c /a を変化させた場合，常に波形形状 4C(c/a>1)において耐荷力が大きくなった. しかし，解析結果 [2]によれば波高を一定にした場合，波形形状が耐荷力に及ぼす影響は少ないことから，さらに詳細な検討が必要である.

本実験は，平成 18 年度の卒業研究として小菅健司，荒川友基氏のご協力を得て実施されたことを付記する.

参考文献

1) 渡辺孝一，久保全弘：波形鋼板ウェブ桁の面内曲げ性能，土木学会論文集 A， Vol.62, No.2, pp.323-336, 2006.4

2)久保全弘，渡辺孝一：波形鋼板ウェブ桁の横ねじれ座屈性能，土木学会論文集 A， Vol.63, No.1, pp.179-193, 2007.3