鋼桁の曲げ挙動と面外たわみ性状に関する実験的検討

立命館大学　学生員　○文字　夏月
立命館大学　学生員　渡邉　一貴
立命館大学　正会員　野阪　克義

１．はじめに

2017 年度に道路橋示方書が改定され，設計法が許容応力度設計法から部分係数設計法へと変更された．部分係数設計法ではより合理的で信頼性の高い設計が可能となるが，今回の改定では，鋼桁の曲げ耐荷力についての基本的な耐荷力基準曲線などは踏襲されている．一方， SBHS の耐荷力に関する具体的な規定が盛り込まれ，今後は SBHS が広く道路橋に使用されることが期待される．部分係数設計法においては，耐荷力基準曲線を変更することにより，より合理的な設計が可能となるため，実験や解析により耐荷力特性を把握することが不可欠である．本研究では，今後の耐荷力基準曲線改定の根拠となる基礎資料を収集するべく，SM490Y，SBHS500 を用いた鋼 I 形桁を製作し曲げ載荷試験を実施，耐荷力とともにウェブの面外たわみ性状について検討した．

２．供試体および載荷試験概要

本実験では，SM490Y を用いたウェブ幅厚比パラメータ（R_w）が 1.1 程度のものを 1 体，SBHS500 を用いた R_w が 1.1 と 1.2 程度のものを各 1 体ずつと，計 3 体の供試体を用意した（図-1～2 および表-1）．フランジ幅厚比はすべて 0.7 で固定した．ウェブ幅厚比の設定には道路橋示方書および SBHS のガイドラインから，水平補剛材のない腹板の最小板厚（SM490Y，SBHS ともに R_w=1.1 程度）を基準として決定した．すなわち，SBHS(NMB2)においてはウェブの最小板厚以下となっていることになる．

本実験供試体の載荷方法としては，単純ばりへの 2 点載荷とし，等曲げモーメントが作用するように載荷をした．弾性領域では荷重制御で行い，非線形性が顕著になった後は変位制御で載荷した．

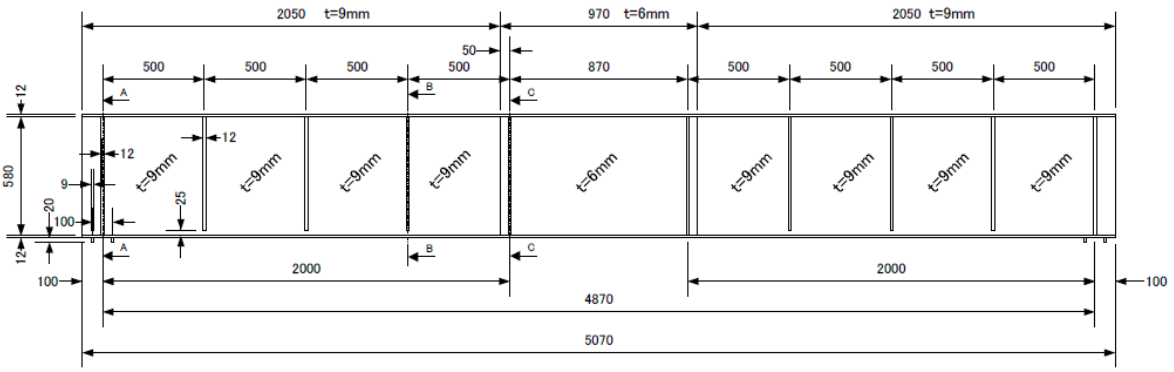

図-1　供試体概略図(NMB1)

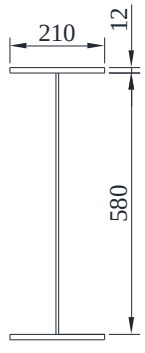

図-2　断面図(NMB1)

表-1 供試体の寸法および材料特性

供試体名	ウェブ高 D_w	ウェブ厚 t_w	フランジ幅 b_f	フランジ厚 t_f	テストパネル長さ L_b	ウェブ降伏応力 σ_{yw}	フランジ降伏応力 σ_{yf}	ウェブ幅厚比パラメータ R_w	フランジ幅厚比パラメータ R_f	細長比パラメータ R_{lt}	弾性係数 E
	mm	mm	mm	mm	mm	N/mm^2	N/mm^2				N/mm^2
NMB1	580	6.0	210	12.0	870	562.0	519.7	1.103	0.7	0.27	200000
NMB2	630	6.0	210	12.0	950	562.0	519.7	1.198	0.7	0.29	200000
NMY1	670	6.0	236	12.0	1000	433.2	421.4	1.107	0.7	0.25	204000

Natsuki MONJI，Kazutaka WATANABE，Katsuyoshi NOZAKA
k-nozaka@se.ritsumei.ac.jp

4．実験結果および考察

実験結果より得られたウェブの面外たわみをウェブ高で無次元化し横軸にとり，縦軸にウェブ下端からの距離を示したものを図-3～5 に示す．面外たわみの計測位置はウェブテストパネルの中央であり，圧縮側の 3 点で計測した．図-3～5 は，荷重が①50kN，②600kN，③最大荷重時，④除荷直前の荷重，および参考までに⑤初期面外変形の許容値を初めて超えた際の荷重，においてプロットしている．道路橋示方書における初期面外変形の制限値は D/250 であり，図中では許容値として記載している．グラフから最大荷重時の面外たわみと許容値を比較すると，NMB1 は許容値の約 5 倍，NMB2 は約 3.5 倍，NMY1 は約 3 倍になっており，NMB1 で一番比率が大きくなっている．これは，50kN 時で比較してもわかるように最初に荷重をかけた際に NMB1 では他の供試体より大きい変位が生じたことによる影響だと考えられる．

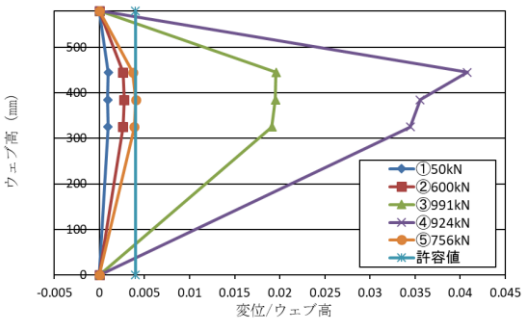

図-3　NMB1　面外たわみ

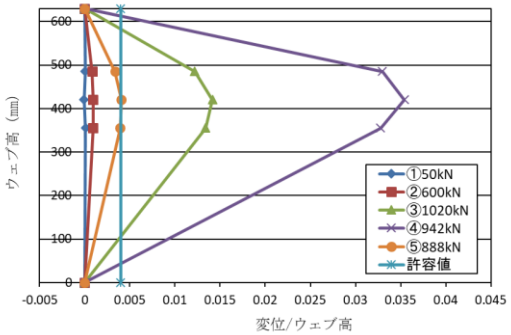

図-4　NMB2　面外たわみ

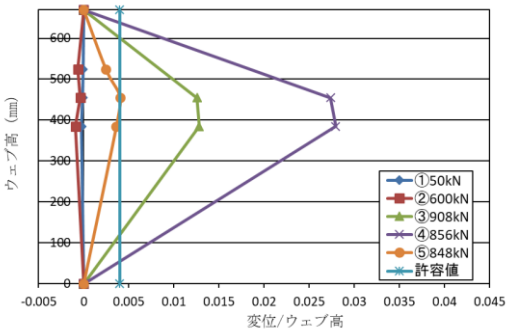

図-5　NMY1　面外たわみ

表-2 には，ウェブの面外たわみが急激に増加した際の荷重（ここでは座屈荷重と表記）P_r と最大荷重 P_u および降伏荷重 P_y を比較している．全ての供試体において降伏荷重の約 0.9 倍の荷重でウェブが座屈していることがわかる．最小板厚は，降伏荷重時までウェブの曲げ座屈が生じないように設定されているが，初期不整の影響によりこのような結果になったと思われる．一方，NMB1 と NMB2 ではウェブ幅厚比が異なるにも関わらず同様な値を示しており，ウェブ幅厚比パラメータの上限を引き上げられる可能性があることを示している．

表-2　座屈荷重と最大荷重，降伏荷重

	P_y(kN)	P_u(kN)	P_r(kN)	P_r/P_y	P_r/P_u
NMB1	924	987	845	0.91	0.86
NMB2	971	1018	895	0.92	0.88
NMY1	934	906	875	0.94	0.97

表-3 には，各供試体のウェブの幅厚比，道路橋示方書および SBHS のガイドラインで規定されている幅厚比の上限値，および解析と実験結果（M_u/M_y）を比較している．実験供試体の幅厚比は鋼材の引張試験結果にもとづいているため，幅厚比パラメータとしては上限値を超えている NMB2 においても，幅厚比としては上限値とほぼ同様の値となっている点に注意が必要である．今回用いたウェブ鋼材の降伏応力は，SBHS と SM490Y でそれぞれ基準降伏点の 1.12 倍および 1.22 倍であった．耐荷力の観点からも，SBHS についてはウェブ幅厚比パラメータの上限を引き上げられる可能性もあるが，NMY1 では実験値が M_y を下回る結果となったため，今後も検討が必要である．

表-3　ウェブ幅厚比と M_u/M_y

供試体	R_w	幅厚比	上限値	M_u/M_y	
NMB1	1.103	97	104	解析	1.02
				実験	1.07
NMB2	1.198	105	104	解析	1.00
				実験	1.05
NMY1	1.107	112	123	解析	1.01
				実験	0.97

5．おわりに

実験結果より道示のウェブ最小板厚を改定できる可能性を示すことができた．本研究で設定したウェブ幅厚比においては，ウェブの面外変形は降伏荷重と関係性があると言えるが，面外たわみにより限界状態を設定するためにはさらに検討が必要である．

＜謝辞＞本研究は（一社）日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業」の補助を受けて実施した．ここに記して謝意を表す．