

立命館大学理工学研究科 学生員 ○安藝 大輔
立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

1. 研究背景および目的

SBHS とは、Steels for Bridge High Performance Structure の略称であり、高性能鋼材として注目されている。しかしながら、SBHS は高価な鋼材であることや道路橋示方書での規定が明確にされていないことなどの理由から普及に至っていない。SBHS を鋼桁に用いる際には、フランジに SBHS を、ウェブに比較的安価な低強度鋼材を組み合わせるハイブリット桁として用いることが有効であると考えられている。ただし、現行の道路橋示方書では部材の降伏が認められていないため、ウェブの局所的な降伏が予測されるハイブリット桁を導入できない現状がある。

本研究では、SM490Y のホモジニアス桁、SBHS500 と SM490Y のハイブリット桁の繰り返し載荷挙動を有限要素解析により検証し、曲げ挙動および耐荷力の比較を行う。特に、曲げ耐力到達前後での繰り返し載荷により、ウェブ降伏による残留変形や耐荷力低下性状について検討する。

2. 解析概要

解析モデル概略図を図-1、図-2 に示す（ここで、 b_f ：フランジ幅、 t_f ：フランジ厚、 D_w ：ウェブ高さ、および t_w ：ウェブ厚）。桁のおもな寸法を表-1、表-2 に示す。表-1 のモデルは道路橋示方書に基づいた設計例、表-2 のモデルは鋼・合成構造標準示方書に示された設計例を参考にハイブリット桁に変更し、さらに中立軸位置および下フランジの断面積のパラメータを変更して決定したものである。着目断面は連続合成桁の支間中央部であるため、コンクリート床版の影響により中立軸がウェブの中心になく、解析モデルではコンクリート床版を鋼材に置きかえた。表中のひとつ目の数字がウェブ面積と下フランジの断面積の比を示し、2つ目の数字がウェブ高さとの中立軸の高さの比を示す。図-1 における L_l および L_r は 14400mm で固定とし、テストパネル長さ d_0 、および補剛材間隔 a については、表-1 のモデルは $d_0=3600\text{mm}$ 、 $a=1800\text{mm}$ とし、表-2 のモデルについては $d_0=4800\text{mm}$ 、 $a=1500\text{mm}$ とした。

載荷は、等曲げモーメントが作用するような 2 点載荷とし、曲げ耐力到達前後の繰り返し載荷により、残留変形や耐荷力低下性状に着目した。ホモジニアス桁モデルはウェブ、フランジ共に SM490Y 材、ハイブリット桁は、ウェブに SM490Y 材、フランジに SBHS500（テストパネル部のみ）を用いて解析を行った。

初期変形として、テストパネル部のウェブ中央が道路橋示方書の制限値 $D/250$ となるような正弦波を与えた。残留応力は、既往の研究を参考に与えた。

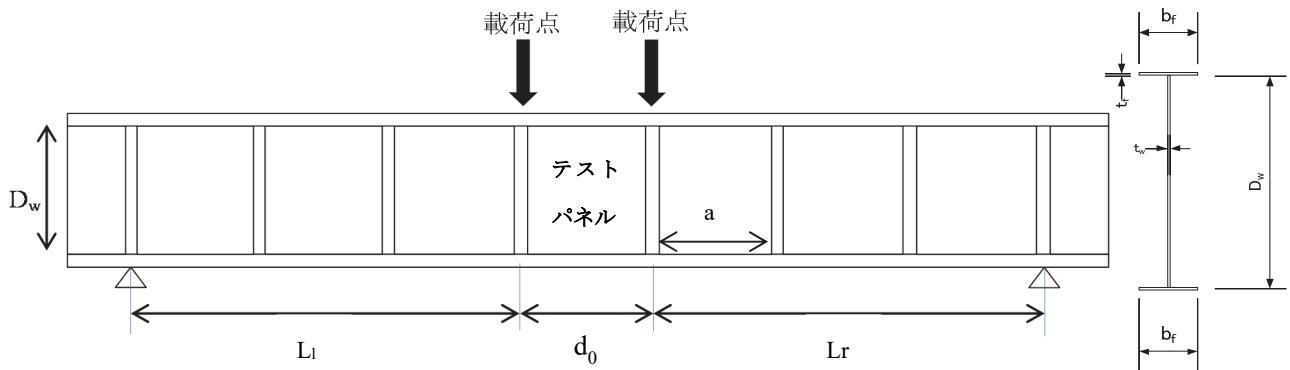


図-1 解析モデル概略図

図-2 解析モデル断面図

表-1 解析寸法（道示参考）

道路橋示方書	h_w (mm)	t_w (mm)	b_{fl} (mm)	t_{fl} (mm)	b_{fb} (mm)	t_{fb} (mm)
homo	2924	15	750	358	750	38
(0.5-0.75)	2924	15	750	132	650	33
(0.5-0.9)	2924	15	750	320	650	33
(0.7-0.75)	2924	15	750	164	780	39.5
(0.7-0.9)	2924	15	750	384	780	39.5
(1-0.75)	2924	15	750	206	950	46
(1-0.9)	2924	15	750	440	950	46

表-2 解析寸法（鋼・合成構造標準示方書参考）

鋼・合成構造標準示方書	h_w (mm)	t_w (mm)	b_{fl} (mm)	t_{fl} (mm)	b_{fb} (mm)	t_{fb} (mm)
homo	1457	16	1000	322	550	43
0.53-1(最小)	1457	16	1000	265	400	31
0.75-1	1457	16	1000	293	480	36.5
1-1	1457	16	1000	322	550	43

3. 解析結果および考察

図-3～5は、繰り返し載荷を再現した解析結果の荷重－たわみ曲線を比較したものである。各図に示す Py_w 、 Py_f はそれぞれ、0.5-0.9、0.5-0.75、および 0.53-1 の解析モデルにおける理論値である。除荷位置に関しては、各モデルの Py_w 、 Py_f の間と Py_f を超えた付近とした。

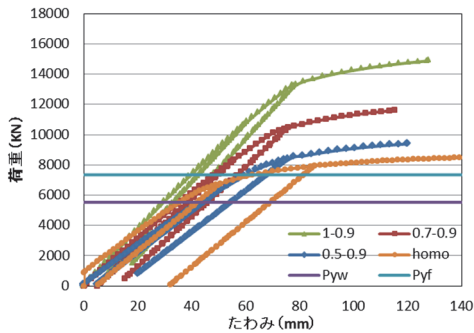


図-3 荷重-たわみ曲線

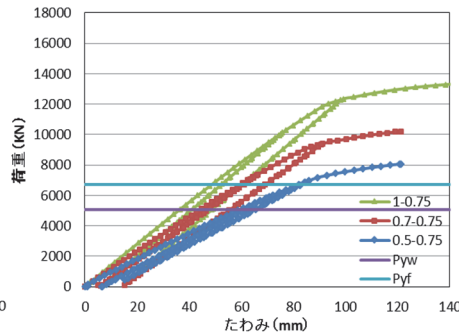


図-4 荷重-たわみ曲線

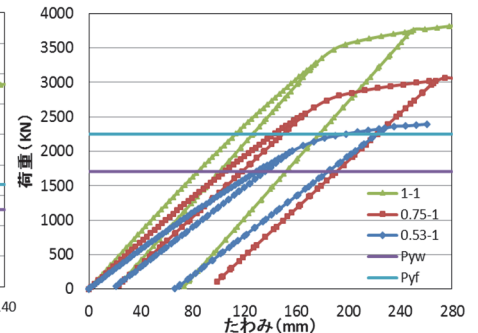


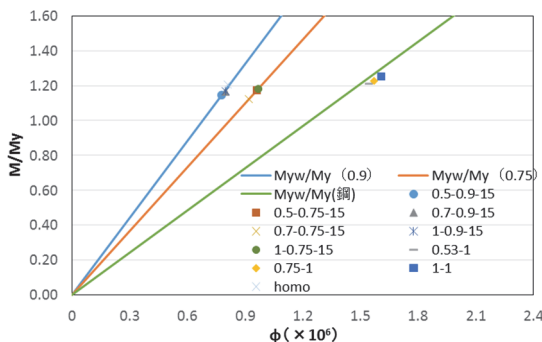
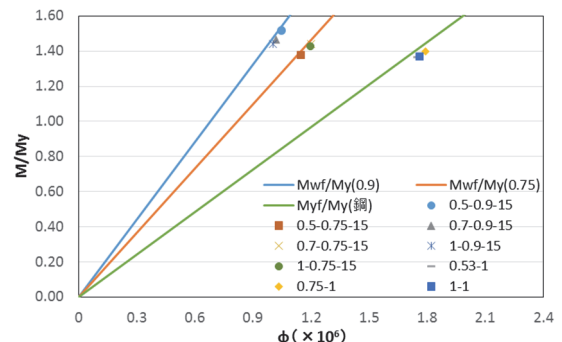
図-5 荷重-たわみ曲線

図-3～5のような荷重－たわみ曲線より、各繰り返し載荷時の傾きを、初期載荷時の傾きを基準 (1.0) として比較したものを表-1 に示している。すなわち、載荷－除荷を繰り返した際に、ウェブ降伏の影響により曲げ剛性が変化するかの確認したものである。表-3 より、繰り返し載荷の傾きはホモジニアス桁・ハイブリッド桁ともに基準の傾きから増加しており、載荷 2 と載荷 3 で変化はないことが分かる。これは、初期載荷時 (基準の傾き) には残留応力の影響により非線形性が生じるが、載荷 2 および載荷 3 の際には弾性除荷後の載荷のため、相対的に傾きが増加したものと考えられる。

表-3 傾き比較

	基準の傾き	載荷2	載荷3
homo	1.00	1.10	1.10
0.5-0.75	1.00	1.09	1.09
0.5-0.9(最小)	1.00	1.08	1.08
0.7-0.75	1.00	1.06	1.06
0.7-0.9	1.00	1.08	1.08
1-0.75	1.00	1.05	1.05
1-0.9	1.00	1.05	1.05

次に、繰り返し載荷における残留変形を確認するために曲率の変化に着目した。各モデルの曲率を評価するため、図-6、7 に無次元化曲げモーメントと曲率の関係 ($M/My-\phi$ 関係) を示す。縦軸は解析結果の曲げモーメントを、全断面弾性状態を仮定して算出した降伏曲げモーメントの理論値で除した値、横軸は曲率に 10^6 を乗じた値である。横軸は、解析結果より除荷位置における曲げモーメントを求め、断面内のひずみ分布が直線であると仮定し、塑性域を考慮して算出した。図-6、7 に示す直線は、断面内の応力が弾性状態と仮定した際の $M/My-\phi$ 関係の理論値を示している。除荷する際はこの直線の傾きで除荷されるため、横軸方向へのずれが残留曲率、すなわち残留変形の大きさとなる。これらの図から、コンパクト断面として設計したモデルの残留曲率が大きいことがわかる。これは、ウェブの圧縮領域が他と比べて大きいこと以外にも、コンパクト断面としての断面形状が影響している可能性があると考えられる。

図-6 $M/My-\phi$ 図図-7 $M/My-\phi$ 図

4. 結論

本研究により得られたおもな結果は以下のとおりである。

- 道路橋示方書では、ウェブが先行して降伏することを認めていないが、本研究で検討した範囲では、ホモジニアス桁と比較しても曲げ挙動に変化がほとんど見られなかったため、SBHS を用いたハイブリッド桁の実用に関する可能性があるというひとつの材料を示すことができた。
- 繰り返し載荷において、ハイブリッド桁はウェブが降伏しても残留ひずみは断面によってほぼ違いはなかった。しかし、フランジ降伏後の残留ひずみはコンパクト断面の方が大きい事が分かった。

なお、今回の研究では、コンクリート床版を鋼材に置き換えて解析を行ったが、コンクリート床版を実際に再現することにより、コンクリートの材料非線形性がどのような影響を与えるのかを検証する必要がある。