

立命館大学理工学研究科 学生員 ○中村 公香

立命館大学理工学研究科 学生員 藤丸 拓

立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

1. はじめに

2017年度に道路橋示方書¹⁾（以下、道示と呼称する）は許容応力度設計法から部分係数設計法へと変更され、より合理的で信頼性の高い設計が可能となるとされている。また、今回の改定では、橋梁用高降伏点鋼材（SBHS）の耐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。一方で、鋼断面での高強度鋼材の合理的な活用方法として、ウェブに低強度鋼を用いたハイブリッド桁が挙げられるが、現行の道示においては、ハイブリッド桁に関する規定はない。米国の設計示方書であるAASHTO LRFDでは、ハイブリッド桁について、ウェブの先行降伏の影響が明確ではないため、ウェブ鋼材とフランジ鋼材の降伏強度比を0.7以上とする規定があり、これは鋼材強度でおよそ1グレード差である。今後のハイブリッド桁適用拡大を見据えて、わが国の設計においてはどの程度まで鋼材の降伏強度比が許容されるかを把握することは重要であると考えた。

そこで本研究では、SBHS700、SBHS500、SBHS400を用いた鋼I形ホモジニアス桁およびハイブリッド桁の曲げ耐力性状について解析的に検討した。

2. 解析モデル概要

解析モデル概略図を図1に示す。載荷形式は単純梁への2点載荷とし、解析には汎用有限要素解析ソフトMARCを使用した。ウェブとフランジにSBHS700 ($F_y=700$ N/mm), SBHS500($F_y=500$ N/mm²), SBHS400($F_y=400$ N/mm²)を用いたホモジニアス桁と、ウェブとフランジに異種鋼材を用いたハイブリッド桁、合計20体のモデルを作成した。解析モデルのおもな諸元を表

表1 解析モデル寸法

供試体	鋼材		ウェブ高 D	ウェブ厚 t_w	圧縮フランジ幅 b_f	圧縮フランジ厚 t_f	L_b (テストパネル長さ)	降伏比 F_{y1}/F_{y2}	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	ウェブ幅厚比 D/t_w	A_w/A_c	R_u
	フランジ	ウェブ	mm	mm	mm	mm	mm						
SBHS500-hy-a	SBHS500	SBHS400	700	5.5	220	12.0	1050	0.80	1.22	0.72	127	1.5	0.30
SBHS500-hy-b			770	6.0	220	12.0	1150	0.80	1.23	0.72	128	1.8	0.33
SBHS500-hy-c			770	6.0	240	13.0	1150	0.80	1.23	0.73	128	1.5	0.31
SBHS500-hy-wel			700	6.0	220	12.0	1050	0.80	1.12	0.72	117	1.6	0.30
SBHS700-hy-a	SBHS700	SBHS400	590	4.6	190	12.0	880	0.57	1.23	0.74	128	1.2	0.35
SBHS700-hy-b			770	6.0	190	12.0	1150	0.57	1.23	0.73	128	2.0	0.46
SBHS700-hy-c			770	6.0	230	15.0	1150	0.57	1.23	0.71	128	1.3	0.38
SBHS700-hy-wel			590	6.0	190	12.0	885	0.57	0.95	0.73	98	1.6	0.35
SBHS700-hy-a'	SBHS700	SBHS500	590	5.0	190	12.0	880	0.71	1.27	0.74	118	1.3	0.35
SBHS700-hy-b'			710	6.0	190	12.0	1050	0.71	1.27	0.73	118	1.9	0.42
SBHS700-hy-c'			710	6.0	220	14.0	1050	0.71	1.27	0.73	118	1.4	0.36
SBHS700-hy-wel'			590	6.0	190	12.0	880	0.71	1.06	0.73	98	1.6	0.35
SBHS500-hm-a	SBHS500	SBHS500	700	6.0	220	12.0	1050	1.00	1.26	0.72	117	1.6	0.30
SBHS500-hm-b			770	6.5	220	12.0	1150	1.00	1.27	0.72	118	1.9	0.33
SBHS500-hm-c			770	6.5	240	13.0	1080	1.00	1.27	0.72	118	1.6	0.29
SBHS500-hm-a			590	6.0	190	12.0	880	1.00	1.25	0.73	98	1.6	0.35
SBHS700-hm-b	SBHS700	SBHS700	770	7.8	190	12.0	1150	1.00	1.26	0.72	99	2.6	0.47
SBHS700-hm-c			770	7.8	230	15.0	1150	1.00	1.26	0.71	99	1.7	0.38
SBHS700-hm-b'			710	7.2	190	12.0	1050	1.00	1.26	0.73	99	2.2	0.42
SBHS700-hm-c'			710	7.2	220	14.0	1050	1.00	1.26	0.73	99	1.7	0.36

1に示す。フランジが局部座屈を起こさないよう、フランジ幅厚比パラメータ R_f は全て0.7程度とし、ウェブ幅厚比パラメータ R_w は1.0~1.4とした。鋼材の降伏強度比は0.57, 0.71, 0.80の三種類となり、 A_w/A_c は1.2~2.6になった。アスペクト比は1.5を基本とし、比較対象として横ねじれ座屈が起こらないような1.0の2種類としている。

なお、解析的検討を行うにあたっては、別途行われた実験結果（SBHS700-hy-aと同じ寸法）を解析結果と比較し、その妥当性を確認している。

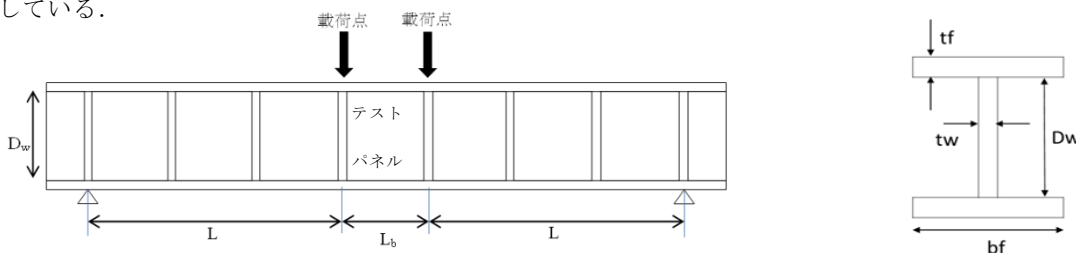


図1 解析モデル概略図

3. 解析結果および考察

解析結果で得られた最大荷重を P_{max} とし、降伏曲げモーメント M_y 時の載荷荷重 P_y 、および曲げ強度に影響を与えるとされている横ねじれ座屈モーメント M_{cr} 時の載荷荷重 P_{cr} とで無次元化することによりデータを整理した。図2～図4は、縦軸を P_{max}/P_{cr} 、横軸を各パラメータ (F_{yw}/F_{yf} , A_w/A_c , R_w) としている。図5は、横ねじれ座屈に対する基準耐力曲線と比較するため、縦軸は P_{max}/P_y とし、横軸は細長比パラメータ R_{lt} としている。すべての図の凡例は、図2に示すものと同じである。なお、降伏強度比0.57が鋼材強度で2グレード差、0.71および0.8が1グレード差となっている。座屈の種類で色分けをし、横ねじれ座屈により最大荷重が決まっているモデルは塗りつぶしたアイテムを用いている。

図2から、横ねじれ座屈を起こすモデルにおいては、降伏強度比が0.71、0.8のモデルよりも0.57のモデルが全体的に $P_{max}/P_{cr} > 1.0$ の結果となり、ウェブ局部座屈により耐力が低下している事が分かる。図3では A_w/A_c が大きくなるにつれて、ウェブ局部座屈によって耐力が決まるモデルに関して、鋼材の降伏強度比に関係なく同様な傾向を示し、図4における $R_w > 1.2$ の範囲では、ウェブ局部座屈に耐力が決まる2グレード差のモデル(0.57)では、耐力が顕著に低下していることが分かる。一方で、横ねじれ座屈により耐力が決まるモデルに関しては、1グレード差(降伏強度比0.71, 0.8)のモデルの方が2グレード差(0.57)に比べて耐力が低下し、基準耐力曲線は危険側の値を与えていることが分かる。

図5に示す基準耐力曲線は、 $R_{lt} = 0.2 \sim 0.32$ の範囲の実線はSBHS500のものであり、点線はそれ以外の鋼材のものである。この違いは、部材・構造係数の違いに起因しており、応力度の制限値としては同程度の安全率を有している。図5の黒線円内のモデルは、 $P_{max}/P_{cr} < 0.95$ で他のモデルよりも耐力が低く、SBHS500を使用した降伏強度比が0.8のモデルおよびホモジニアス桁のモデルである。これらのモデルは実線の基準耐力曲線を下回る結果となっており、SBHS500の基準耐力式としては危険側の評価となってしまっているが、点線付近にはプロットされている。部材・構造係数を考慮すれば問題ないと判断されるが、基準耐力式について検討が必要ではないかと思われる。

4. おわりに

本研究ではSBHS700を用いたホモジニアス桁およびハイブリッド桁の曲げ耐力性状について解析的に検討した。結果として、本研究の範囲内においては、降伏強度が2グレード異なる鋼材を用いたハイブリッド桁においても、横ねじれ座屈により耐力が決まる断面については、これまでと同じ基準耐力式で評価できる可能性を示すことができた。今後は局部座屈で耐力が低下する断面に対して、および今回指摘したSBHS500に対する基準耐力曲線の評価結果について実験や解析を行いデータ収集していく予定である。

参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋・鋼部材編，丸善，2017.
- 2) 福本 昉士，藤原 稔，渡辺 信夫：溶接I系部材の横倒れ座屈に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第189号，pp.39-49，1971.

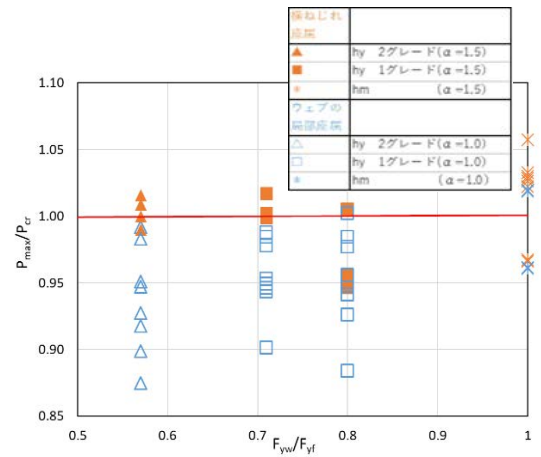


図2 F_{yw}/F_{yf} と耐力

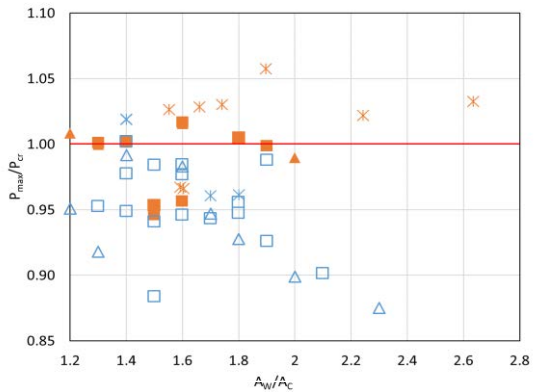


図3 A_w/A_c と耐力

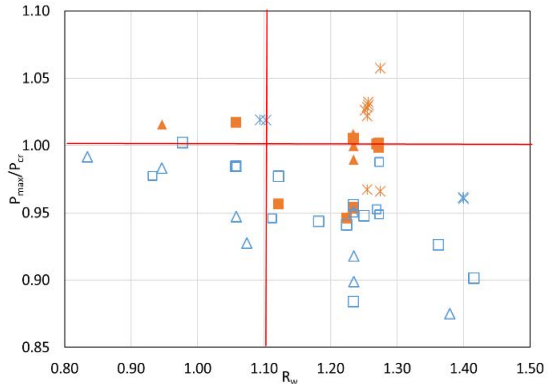


図4 R_w と耐力

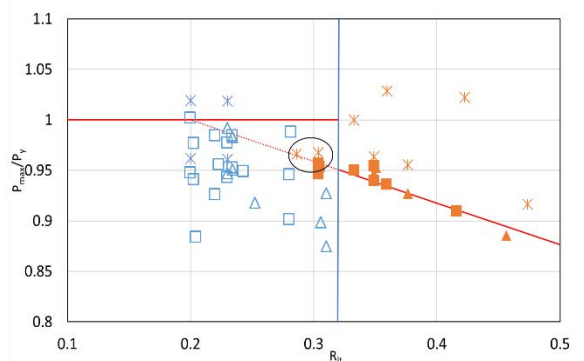


図5 基準耐力曲線との比較