

# SBHS 鋼を適用した鋼製橋脚の耐震性能評価

豊田工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○日比野 司  
 豊田工業高等専門学校 正会員 川西 直樹  
 名古屋工業大学 フェロー会員 後藤 芳顕

## 1. 研究背景と目的

近年開発された SBHS 鋼は表 1 に示すように従来までの普通溶接用鋼材 (SM400, SM490Y 材など) に比べ高い強度特性を有する. また, SM570 材などの従来までの高強度鋼は, 溶接施工時に余熱管理が必要となるため製作費が割高であったが, SBHS 鋼は溶接時の余熱管理が不要であるため, 加工費においては普通鋼材と同等となるメリットがある. 表 1<sup>1)</sup> から SBHS500 材は強度的に SM570 材より優れ, 製作単価も安くなるため SBHS500 材の方が価格強度比で考えると優れていることが分かる. さらに, 座屈設計が不要で単純な応力照査のみで設計が可能なトラス橋の引張材などに使用する場合には価格強度比に優れる SBHS 鋼を採用した方が従来鋼の SM490Y 材よりもコスト面で優れていることも明らかである. しかし, 大地震時の塑性座屈への配慮が必要となる鋼製橋脚のような圧縮曲げ材への SBHS 鋼の適用を考えた場合, 現時点において塑性領域での力学挙動が現時点では十分解明されておらず, L2 レベルの地震動に対して弾性範囲内の応答に収まるような弾性設計しか許されていない. 一方, これまで各方面で塑性域の力学挙動が検討されてきた従来鋼は L2 レベルの地震動に対しその鋼材自身もつ限界性能を活用した塑性設計がなされており, この点から SBHS 鋼を鋼製橋脚に適用した場合, 従来鋼に比べコスト的に不利となる<sup>2)</sup>.

そこで本研究では, SBHS 鋼を鋼製橋脚に適用した場合, その塑性領域を考慮した耐震設計法を提案し, この設計法を用いて鋼製橋脚を試設計する. そして, この試験体に対し漸増水平繰り返し載荷実験およびこれを模擬した数値解析を行い SBHS 鋼による鋼製

橋脚の耐震性能を評価することで, 提示した塑性設計法の妥当性について検証することを主な目的とする.

## 2. SBHS 鋼の塑性域を考慮した橋脚の耐震設計

### (1)設計法の概略

SBHS 鋼の塑性域を考慮した耐震設計法として, 従来鋼による鋼製橋脚に対する現行の耐震設計法の手法を準用する. その概略を記すと, バイリニア型移動硬化則( $E_2 = E/100$ )を用いたファイバーモデルで設計地震動に対する弾塑性動的解析を実施し, 最大応答変位  $\delta_{max}$  を算出し, これが許容値  $\delta_a$  以下であることを確認する. 許容値  $\delta_a$  の算定については, SBHS 鋼のような知見が不足している場合は実験でこれを確認することが現行の耐震設計の示方書<sup>3)</sup>に規定されているが, ここではこれに対応するため, 3D シェル要素と鋼材の塑性域の力学挙動を精緻に再現することが可能な 3 曲面モデルを用いた高精度な数値解析を実施し, この解析の包絡線の安定限界変位 (ピーク荷重時の変位) を許容値として代用する.

### (2) 設計結果

橋桁の死荷重を 10(MN), 橋脚高さを 9(m)とし, 基部は完全固定とした正方箱型断面の鋼製橋脚(図 1)を上述の(1)の方法により設計する. また, SBHS 鋼の耐震性能を従来鋼のそれと比較するため, 同条件下において SBHS500 材とした場合と従来鋼の SM490Y 材とした場合の両者について設計した. 設計結果を表 2 に記す. 表 1 に基づいて両者の橋脚の概

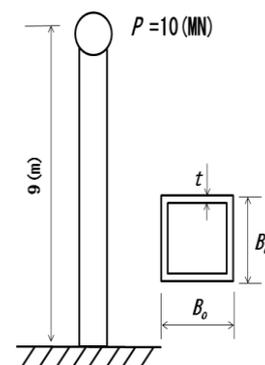


図 1 検討対象橋脚

表 1 従来鋼と SBHS 鋼の力学性能と製作単価の比較

	SM490Y 材	SM570 材	SBHS500 材
基準降伏点(MPa)	355	450	500
引張強さ(MPa)	490	570	570
余熱管理の必要性	無	有	無
ton 当りの概算製作費(千円/ton)	427	515	480

表 2 耐震設計された橋脚の諸元

	t (mm)	B <sub>0</sub> (mm)	重量 (tonf)	概算製作費 (千円)
SM490Y	59	2006	32.5	13900
SBHS500	60	1740	28.5	13700

算製作費を算出すると、両者はほぼ同等であるが、SBHS 製の方が断面形状が小さく、橋脚設置空間が少なく済む。

表 3 各試験体の  $H_y$ ,  $\delta_y$

	$\delta_y$ (mm)	$H_y$ (kN)
SM490Y	4.0	111.0
SBHS500	6.4	119.0

### 3. SBHS 製鋼製橋脚の耐震性能評価

#### (1) 耐震性能評価実験と数値解析の方法

試験体は表 2 で設計した実橋脚の 1/10 サイズのもので SM490Y 材と SBHS500 材による 1 体ずつ製作する。なお、今回は塑性変形による変形能について考察するため、基部付近の板厚を厚くすることで、基部に生じる疲労亀裂が出ないような試験体としている。表 3 には、試験体の設計基準の降伏応力度に基づいて算出した初期降伏水平荷重  $H_y$  と降伏水平変位  $\delta_y$  を記す。これより、 $H_y$  については両者の値はほぼ同じであるが、 $\delta_y$  については降伏ひずみが大い SBHS500 材による橋脚の方が 6 割ほど大きくなっている。実験では桁死荷重載荷後、水平方向に頂部に変位制御により漸増繰り返し水平載荷し、橋脚の耐震性能を評価する。制御する水平変位の繰り返しパターンは初期降伏水平変位  $\delta_y$  を基準に  $\pm 1\delta_y$ ,  $\pm 2\delta_y$ , ... と漸増し、このときの水平荷重  $H$  と水平変位  $\delta$  の履歴を記録する。また、この試験を模擬した 3D シェル要素と 3 曲面モデルを用いた数値解析を実施し、実験および数値解析の両面からこれらの耐震性能を評価する。

#### (2) 耐震性能評価実験および数値解析の結果

実験および数値解析で得られた繰り返し荷重—変位関係の包絡線を図 2, 3 に記す。

図 2 より、最大荷重比  $H_{max}/H_y$  は SM490Y, SBHS500 材の両者でほぼ等しいことが分かる。また、最大荷重後の荷重低下の割合は、無次元化した包絡線で比較すると、若干 SBHS500 材の方が大きいものの両者はほぼ同等であることが確認でき、提示した耐震設計法がある程度妥当であることを裏付けていることが分かる。なお、実験の結果、局部座屈の成長による亀裂発生は、SBHS500 材で  $\pm 8\delta_y$  サイクル中、SM490Y 材で  $\pm 10\delta_y$  サイクル中であった。

図 3 より実験結果と解析結果との包絡線を比較すると、両者はほぼ同じ結果となっており、SBHS500 材においても数値解析により実験における最大荷重や変形能を精度よく算出することが可能であることを示唆している。

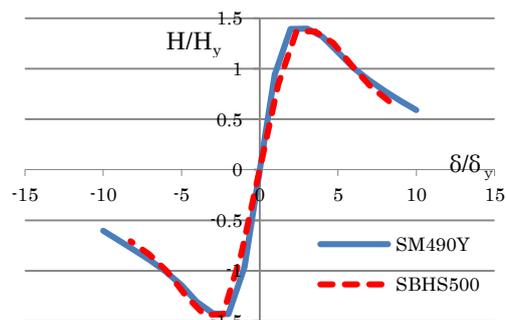


図 2 実験で得られた包絡線

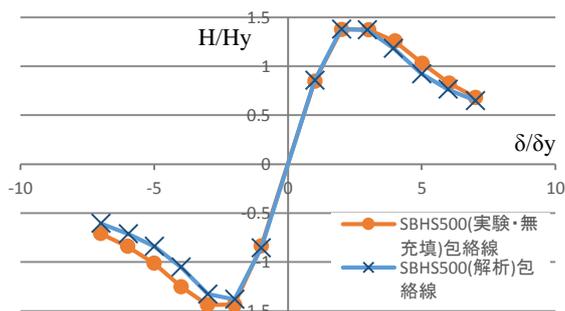


図 3 実験と解析の比較 (SBHS500)

### 4. まとめ

本研究において、SBHS 鋼による鋼製橋脚に対して、提示した塑性設計法の妥当性を検証した。塑性域における変形能を評価する耐震性能評価実験の結果から、従来鋼と比較して最大荷重比と変形能はほぼ同等になることが確認でき、提示した設計法はほぼ妥当であることが分かった。また、数値解析と実験結果がほぼ同じであり、数値解析により最大荷重や変形能を適切に算出することが可能であることが分かった。なお、SBHS 鋼の橋脚への適用には、大地震時に課題となる疲労亀裂発生が SBHS 鋼においてどのようになるかを明らかにすることが今後の課題である。

#### 【参考文献】

- 1) 三木千壽・市川篤司・楠隆・川端文丸：橋梁用高性能鋼材(BHS500, BHS700)の提案, 土木学会論文集 No.738 p1-10, 平成 15 年 7 月
- 2) 伊藤史晃：SBHS 鋼の鋼製橋脚への適用と大地震時の力学性能評価, 平成 25 年度豊田工業高等専門学校卒業論文, 平成 26 年 2 月
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 平成 24 年 3 月