

ハイブリッド型箱形断面柱の繰返しせん断性能に関する実験的研究

福山大学 正会員 上野谷 実 福山大学 正会員 中村 雅樹
 JFE 山本 定弘 東光コンサルタンツ 正会員 山本 幸司

1.はじめに

兵庫県南部地震において被害を受けた鋼製橋脚の中に、図-1 に示すような門形ラーメン鋼製橋脚の中間横梁のウェブ部分に X 形の座屈波形を残し、比較的軽微な損傷に留まったものが発見された。これは横梁のウェブの弾塑性せん断座屈が先行し、大きな塑性変形性能により過大な地震エネルギーをウェブが吸収したと考えられる。ここでは、繰返し水平力を受ける鋼製門形ラーメン橋脚の柱において、せん断力が卓越する部分にせん断リンクデバイスを配置する場合を想定して、ウェブに普通鋼(SM400)および低降伏点鋼(LY100)を用いた箱形断面柱について繰返しせん断載荷実験を行い、強度、塑性変形性能およびエネルギー吸収などの耐震性能について比較検討する。



図-1 梁部の局部せん断座屈

2.供試体および実験方法

供試体は図-2 に示すように、高さ 1800mm の 4 パネルからなる正方形箱形断面柱である。柱の上下端パネル(P1,P4)はフランジ、ウェブともに普通鋼の板厚 12mm。中間パネル(P2,P3)はフランジに普通鋼の板厚 7mm、ウェブに普通鋼の板厚 3.5mm と、低降伏点鋼の板厚 3.5mm を用いた供試体の 2 体(それぞれ SM3.5-C、LY3.5-C と呼ぶ)について繰返し載荷実験を行った。

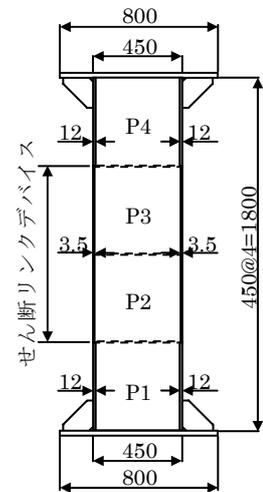


図-2 供試体形状

図-3 に載荷装置を示す。一定鉛直荷重のもと、繰返し水平荷重を変位制御で準静的に作用させた。基本変位は図-4 に示すように、ウェブが純せん断で降伏する時の対角線方向変位に、ウェブパネルの枚数倍したものを降伏せん断変位 δ_y と定義し、式(1)~(4)で求める。繰返し載荷は SM3.5-C の δ_y を片振幅とした両振り載荷を $+1 \delta_y, -1 \delta_y, +2 \delta_y \dots$ と漸増するように行った。表-1 に供試体パラメータを示す。

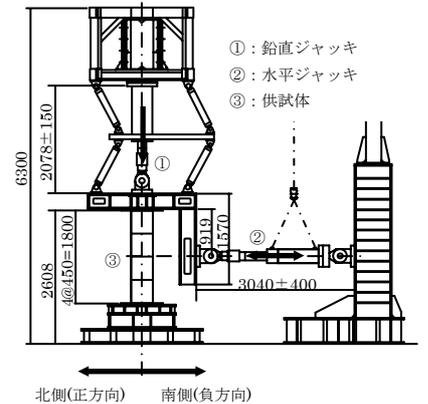


図-3 載荷装置

表-1 供試体パラメータ

供試体名	σ_y (MPa)	τ_y (MPa)	N_y (kN)	N (kN)	Q_p (kN)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)
SM3.5-C	290	167	3892	584	514	1.39	5.54
LY3.5-C	117	68	1560	234	199	0.56	2.24

$$\delta_1 = \delta_2 = \frac{\gamma h}{\sqrt{2}} \dots (1), \quad \delta = \delta_1 + \delta_2 = \sqrt{2} \gamma h \dots (2),$$

$$\delta_{y0} = \delta_{y1} + \delta_{y2} = \frac{\sqrt{2} \tau_{yw} h}{G} \dots (3), \quad \delta_y = 4 \delta_{y0} \dots (4), \quad \text{ただし、} \tau_{yw} = \frac{\sigma_{yw}}{\sqrt{3}}, \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ここで、 δ_{y0} : ウェブ 1 枚の降伏せん断変位、 δ_y : ウェブ 4 枚の降伏せん断変位、 σ_{yw} : ウェブの降伏応力、 τ_{yw} : ウェブのせん断降伏応力、 γ : せん断ひずみ、E : 弾性係数(公称値 200GPa)、G : せん断弾性係数、 ν : ポアソン比(公称値 0.3)、h : パネル高さ、 τ_y : 降伏せん断応力、 N_y : 軸方向降伏荷重、N : 鉛直荷重、 Q_p : 塑性せん断力である。

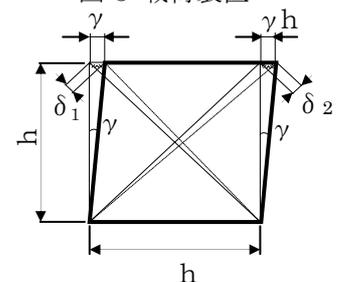


図-4 せん断変位

キーワード : 箱形断面柱、低降伏点鋼、繰返し荷重、せん断強度、変形性能、エネルギー吸収
 連絡先 : 〒729-0292 広島県福山市学園町一番地三蔵, TEL084-936-2111, FAX084-936-2023

3.実験結果および考察

図-5 に供試体のせん断力-せん断変位履歴曲線を示す。縦軸はせん断力 Q を SM の塑性せん断力 Q_{pSM} で、横軸はせん断変位 δ を SM の降伏せん断変位 δ_{ySM} で無次元化している。

図-6 にせん断力-せん断変位履歴曲線の各サイクルの正と負の最大変位点におけるせん断力の絶対値の平均を結んだ包絡線を示す。これも、縦軸は塑性せん断力 Q_{pSM} で、横軸は降伏せん断変位 δ_{ySM} で無次元化している。最大せん断力 Q_{max} 時の値で比較すると、塑性変形性能は LY3.5-C が SM3.5-C よりも 1.2 倍優れており、強度に関しては SM3.5-C が LY3.5-C よりも 1.5 倍優れている。SM3.5-C は 12 δ_y 付近でフランジが座屈したため耐荷力が低下したと考えられる。そして、-16 δ_y になると西ウェブの P2 に大きなクラックが生じた。LY3.5-C も同じように 13 δ_y 付近からフランジが座屈したため耐荷力が低下し始めた。そして、22 δ_y から小さなクラックが東西ウェブ P2 および P3 全体で生じ始めた。また、最大せん断力 Q_{max} から 95%に低下したせん断力 Q_{95} での強度低下をみると、LY3.5-C は SM3.5-C の傾きに対して緩やかになっていることがわかる。

図-7 に各供試体のせん断力-せん断変位履歴曲線において、 i サイクルの履歴曲線の面積をそのサイクルにおける供試体のエネルギー吸収量 Δ_i とし、サイクル毎のエネルギー吸収量を加算していったものを累積エネルギー吸収量 $\Sigma \Delta_i$ として示す。縦軸は SM の弾性限エネルギー吸収量 $\Delta_E = Q_p \cdot \delta_y / 2$ で無次元化している。表-2 より、最大せん断力時のエネルギー吸収量 Δ_{max} を比較すると、SM3.5-C がわずかに大きいですが、累積エネルギー吸収量 $\Sigma \Delta_{max}$ では逆に LY3.5-C が SM3.5-C より大きい。また、図-7 より、 Q_{max} 以降の累積エネルギー吸収量 $\Sigma \Delta_i$ では、LY3.5-C が SM3.5-C よりはるかに大きく、エネルギー吸収性能に優れている。

表-2 強度、塑性変形性能、エネルギー吸収

供試体	δ_{max} (mm)	δ_{95} (mm)	Q_{max} (kN)	Q_{95} (kN)	Δ_{max} (kN・m)	$\Sigma \Delta_{max}$ (kN・m)
SM3.5-C	61.4	74.7	656	623	119	607
LY3.5-C	72.4	84.3	448	426	110	644

4.まとめ

今回は箱形断面柱のウェブに異種鋼材を用いたせん断リンクデバイスの耐震性能について载荷実験による比較検討を行った。せん断リンクのウェブに LY を用いたハイブリッドデバイスの強度は SM を用いた場合より劣るが、塑性変形性能およびエネルギー吸収性能は優れている。また、最大せん断力に達した後の強度低下も緩やかであり、クラックの大きさが SM を用いた場合より小さいことなどからせん断リンクデバイスとして有利である。今後の課題として、せん断リンクデバイスのフランジおよびウェブの座屈挙動が強度および塑性変形性能に大きく影響することから、鋼種以外にフランジおよびウェブの板厚の効果的な組み合わせを検討する必要がある。

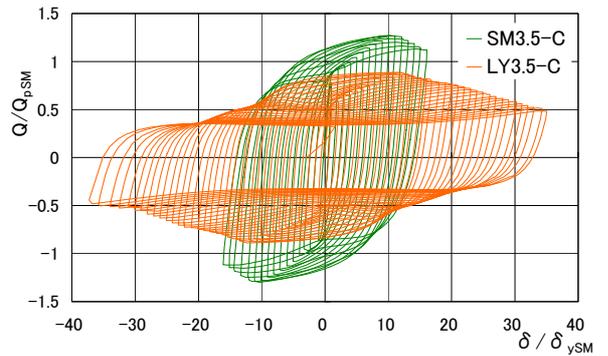


図-5 せん断力-せん断変位履歴曲線

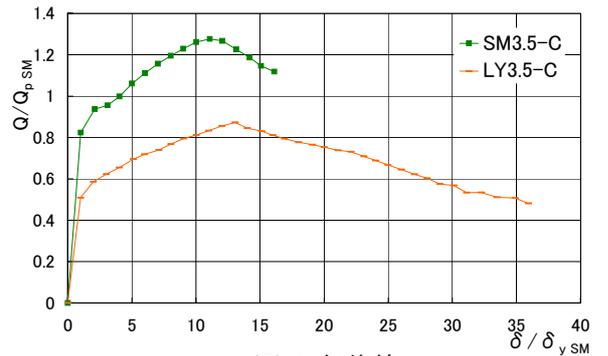


図-6 包絡線

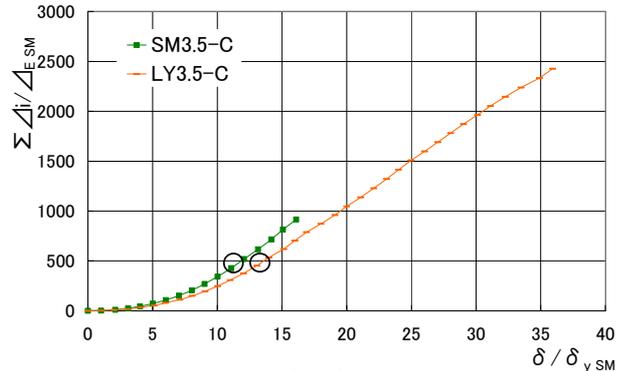


図-7 累積エネルギー吸収量

ここで、 Q_{max} : 最大せん断力, Q_{95} : Q_{max} から 95%低下したせん断力, δ_{max} : Q_{max} におけるせん断変位, δ_{95} : Q_{95} におけるせん断変位, Δ_{max} : Q_{max} におけるエネルギー吸収量, $\Sigma \Delta_{max}$: Q_{max} までの累積エネルギー吸収量である。