

新日本製鐵 鋼構造研究開発センター 正会員 菅野 良一

1. はじめに 鉄筋コンクリートと鋼両者の力学的特徴をうまく活かした合理的な構造形式の一つに柱が鉄筋コンクリート(RC)、梁が鋼(S)より成る混合構造がある。本構造は建築分野で注目され、特に異種部材間の接点である接合部の構造特性解明のために多くの研究が行われて来ている。土木分野でも、都市内高架橋や線路上空構造物等の建築構造と類似した構造が計画・建設されるに伴い、今後この種の構造が具体化されていく事が予想される。

本研究は以上の背景の下、柱RC・梁S混合構造の接合部繰返し載荷挙動を実験的に調査し、その耐震性能について考察を加えたものである。本研究では特に、接合部破壊モードが及ぼす影響に注目している。

2. 接合部繰返し載荷試験の概要 本研究では鋼梁がRC柱を貫通するタイプを対象とし、最も基本的な十字型接合部試験体を製作してその接合部の挙動を調査した。図1に試験体形状・寸法、載荷条件を示す。定軸力を柱に作用させ(軸力ゼロのケースもあり)、梁両端部で相互に逆向きの漸増繰返し荷重を加えた。載荷は変位制御で行い、制御パラメータは降伏変位(δ_y)で正規化した塑性率($\mu_{si} = \delta_i / \delta_y$)とした。塑性率は1から1刻みで増加させ、各塑性率ステップで数回の定振幅繰返し載荷を与えた。各ステップでの繰返し回数は、評価方法にも依存するが、耐震性能評価に大きな影響を及ぼす事があるため独自の考察を加えて設定した(詳細は文献1)Ch.3参照)。本研究では最大耐力(P_{max})発揮後、耐力力が $(0.8P_{max})$ まで低下した点を破壊点と定義し、載荷をストップした。

3. 試験変数 接合部破壊モードを試験変数とし、その影響を調査した。接合部全体の破壊モードとして、梁降伏(Beam Yielding)、柱降伏(Column Yielding)、接合部降伏(Joint Yielding)、さらに接合部と鋼梁が同時降伏する梁・接合部降伏(Beam-Joint Yielding)を考慮した。ここで接合部降伏は、さらに1) バネせん断破壊(鋼板ウェッジと接合部内部コンクリートのせん断降伏・破壊)と2) 支圧破壊(梁フランジ上下部の柱コンクリートの支圧破壊)の2種類(図2)のモードに細分される。実験計画では、これら破壊モードが明確に観察されるように、試験体接合部を鋼板・形鋼等で補強したり、鋼梁の耐力を調整した(文献1)。

4. 試験結果 図3に荷重-変形関係を各破壊モード毎に示す。梁降伏(図3a)では、梁降伏の後、局部座屈が発生して最大耐力に至っており、梁・接合部降伏(図3b)では梁の降伏・局部座屈と接合部のバネせん断破壊が同時に発生した。また、柱降伏(図3c)と接合部降伏(支圧破壊)(図3d)ではコンクリートの著しい圧壊が観察された。なお、接合部降伏の方が圧壊領域が局所に(梁フランジ直上近傍)集中化する傾向を示した。

図3から、破壊モードによって荷重-変位関係の特徴が顕著に異なる事が分かる。梁降伏ではエネルギー吸収能力に優れた太ったループを描いており、接合部降伏(バネせん断破壊)、柱降伏、接合部降伏(支圧破壊)の順序でそのループがヒョウカン型になっている。また、最大耐力発揮以降における載荷サイクル毎の耐力力低下もより顕著である。

5. 耐震性能に関する考察 繰返し試験データに基づいて部材の耐震性能を評価する手法は現状未確立である。ここでは、構造システムの損傷を評価する際に用いられる損傷指数 D と D_{so} で耐震性能の評価を試みた結果を示す。

$$D(x1, x2, \dots) = D_r(x1, x2, \dots) / D_{ru} \quad \dots (1)$$

ここで、 D が1の時は破壊状態、0の時は損傷ゼロと定義される。 $x1, x2, \dots$ は損傷を規定するパラメータであり、変位、載荷重、消費エネルギー、載荷履歴等である。 D_{ru} は破壊状態での損傷関数 D_r の値であり、破壊にまでの損傷容量とも解釈できる。ここでは、この D_{ru} により耐震性能の評価を試みる。代表的な3種類の指数を考える。

$$1) \text{じん性指数: } D_s = \{\max(\mu_{si}) - 1\} / D_{so}$$

$$2) \text{エネルギー消費指数: } D_{ce} = \Sigma \beta_i / D_{ceo}$$

$$3) \text{混合型指数: } D_{ml} = \{\max(\mu_{si}) + b \cdot \Sigma \beta_i\} / D_{mlo}$$

ここで $\max(\mu_{si})$ は破壊点での(最大)塑性率、 $\Sigma \beta_i$ は破壊点までのループ面積総和で表現されるエネルギー消費量の無次元量である。混合型指数はPark & Ang²⁾によって提案されたもので、本研究ではConsenza et al.³⁾によって示唆された $b=0.15$ を使用した。

以上の3つの指数をここで得られた実験結果に適用し、各指数毎の損傷容量(D_{so} , etc.)を算出した。結果を図4に示す。なお、縦軸の数値は梁降伏(OB1-1)の損傷容量値で規準化した。図4から、いずれの損傷指数に

基づいても各試験結果間の損傷容量の相対的な大小関係は同じである事が分かる。すなわち、梁降伏、梁・接合部降伏の両ケースはほぼ同程度の値を示し、接合部降伏（パネルせん断破壊）はやや大きめの値を、そして柱降伏と接合部降伏（支圧破壊）のケースでは値が顕著に低下している。最も損傷容量が小さなケースはいずれの指数によっても、接合部降伏（支圧破壊）（OJB1-0）であった。各損傷指数間の傾向を比較すると、じん性指数が上界値、エネルギー消費指数が下界値、そして混合型指数は両者の中間値となっている。いずれの指数が良いかについての検討は文献1)で試みているが、省略する。

図4の損傷容量が接合部の耐震性能に関連するとすれば、以下の事が示唆される：1）接合部降伏であってもパネルせん断破壊のモードであれば、梁降伏と同程度の耐震性能を示す場合がある。これは、梁降伏に先立つ接合部降伏が許容される事を示唆するものである。2）接合部降伏（支圧破壊）および柱降伏は好ましくなく、これらの降伏が先行しない配慮が必要である。

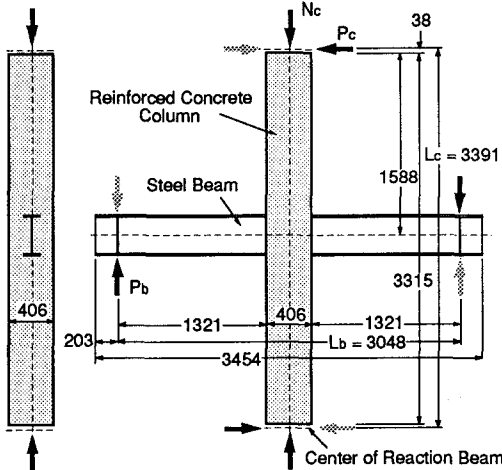


図1 十字型試験体形状・寸法

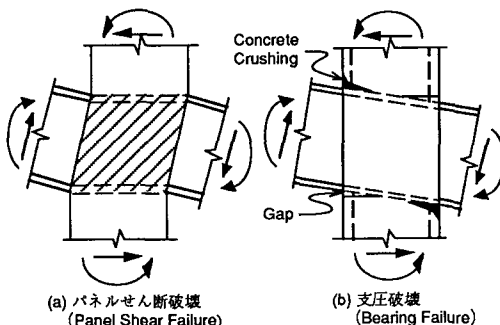


図2 接合部破壊モード

<参考文献>

- 1) Kanno, R. (1993), Ph.D. thesis, Cornell University.
- 2) Park, Y. J. and Ang, A. H-S (1985), J. Struc. Engrg., ASCE, Vol.114, No.4.
- 3) Concenza, E. and Manfredi, G. (1992), Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings, Elsevier Applied Science, pp.77-93.

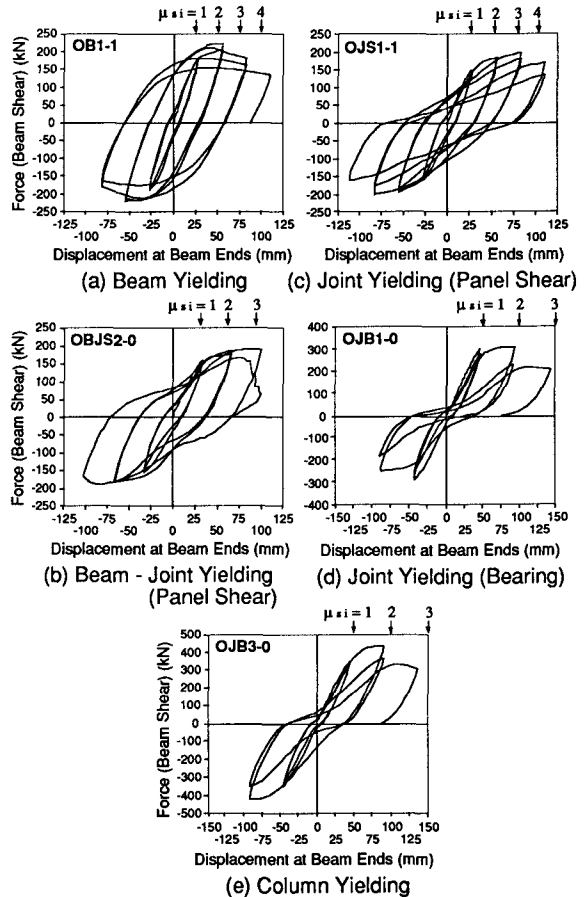


図3 破壊モードの荷重-変位関係に及ぼす影響

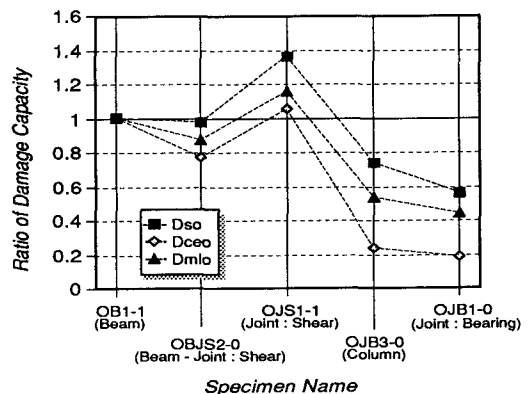


図4 破壊モードによる損傷容量の変化