

## 第 部門

## 鋼製ラーメン橋脚隅角部ウェブパネルの応力評価法

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○宮田 亮 大阪大学名誉教授 フェロー 西村 宣男  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 小野 潔 大阪大学大学院工学研究科 学生員 田中 耕太郎  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

1. まえがき 兵庫県南部地震を契機に鋼製橋脚にも塑性域まで考慮した耐震設計法の確立が求められるようになった<sup>1)</sup>。鋼製橋脚の中でもラーメン橋脚のはりと柱の接合部である隅角部の塑性域の耐力および変形能は未解明な部分が未だ残されており、本研究グループはそれを解明するために継続して実験を行ってきた。一方で、鋼製ラーメン橋脚隅角部はその性格上なるべく損傷を残さない方が望ましいという観点から L1 地震動（供用期間中に発生する確率が高い地震動）に対しては変形を許さないといった配慮が必要である。ここでは、その指標となり得る隅角部ウェブパネル（図 - 1 以下、隅角部パネル）の降伏現象について説明し、新たな隅角部パネルの応力評価法を提案したので報告する。

2. 隅角部パネルの降伏に関する既往の研究 既往の研究に隅角部パネルの降伏の算定式（以下、既往式）がある<sup>2)</sup>。既往式を式 (1) に、また既往式で得られる降伏荷重と本研究グループの実験における隅角部パネル初期降伏荷重の比較を図 - 2 に示す。

$$P_y = \frac{2d_b d_c t \sigma_y}{\sqrt{3}L \cos 35^\circ} \left[ \frac{1}{1 - (d_c + d_b \tan 35^\circ)/(2L)} \right] \quad (1)$$

図 - 2 からわかるように、既往式では実験結果を精度良く評価できるとは言い難い。図 - 3 に実験の代表的なモデルのジャッキ荷重 - 隅角部パネルせん断変形角関係および既往式による降伏荷重を示す。ここで隅角部パネルせん断変形角は図 - 1 中の  $\gamma$  の変形量をいう。図 - 3 より既往式による降伏荷重は、初期降伏荷重というよりもほぼ最大荷重に近い値を示すことを確認した。以下に、隅角部パネルの挙動を示し、既往式について考察する。

3. 隅角部パネルの降伏現象 図 - 3 に示すように、隅角部パネルは剛性が非線形化する初期降伏の後、塑性化の進展に伴い応力が再分配され隅角部パネル全断面に渡って塑性化する。この全塑性状態では隅角部パネル内の応力分布は、既往式で示すような純せん断状態に近いものとなる。従って、既往式は隅角部パネルの全塑性強度の評価式と考えられる。既往の実験的研究で用いられたモデルはウェブが小断面である場合が多く、隅角部パネルの初期降伏の後すぐに全塑性状態に達したためこの違いが明確に表れなかったが、本研究グループの実験のようにウェブが比較的大断面であると初期降伏から全塑性までかなりの余力があったためこれが明確なものとなったと考えられる。各地震動レベルに対して隅角部の挙動を段階的に制御することを考えると隅角部パネルの初期降伏と全塑性は区別して考える必要がある。

4. 隅角部パネルの応力評価手法の提案 隅角部パネルの初期降伏を算定するために、弾性レベルにおける隅角部の応力の流れを考える。図 - 4 (a) に隅角部パネル境界辺に作用する曲げおよび軸力に

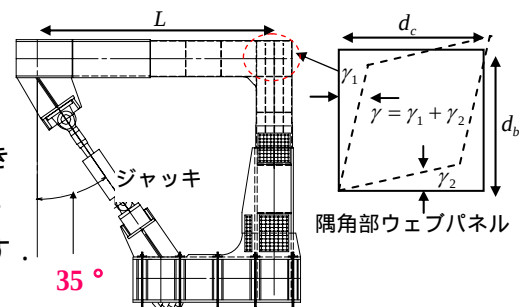


図 - 1 隅角部ウェブパネルの定義

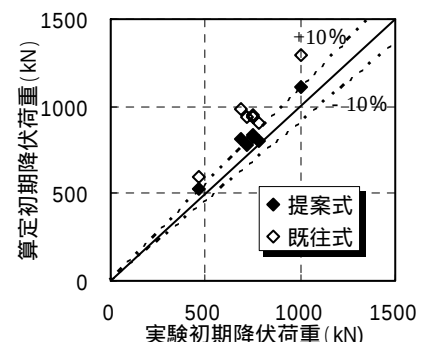


図 - 2 提案式と既往式の降伏荷重比較

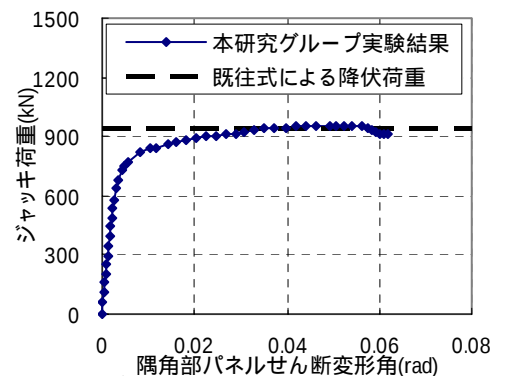


図 - 3 ジャッキ荷重 - 隅角部パネルせん断変形角関係

よる直応力分布を示す．ここで，柱およびはりの直交する直応力は直接他方に伝えることはできないので図 - 4 (b) に示すように隅角部パネル内で一度せん断応力に形を変えて他方に伝達される（直応力からせん断応力の変換は隅角部パネルの幅で平均的に行われるものと仮定した）．以上を数式で表現すると隅角部パネルの自由端を原点に取った任意の点の各応力度成分は以下で示される．

$$\sigma_x = \left[ \frac{N_b}{A_b} - \frac{M_b}{W_b} \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot y}{d_b} \right) \right] \cdot \frac{x}{d_c} \quad (2.1) \quad \sigma_y = \left[ \frac{N_c}{A_c} - \frac{M_c}{W_c} \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot x}{d_c} \right) \right] \cdot \frac{y}{d_b} \quad (2.2)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{M_{bf}}{2 \cdot d_b \cdot d_c \cdot t_w} + \frac{1/2 \cdot N_{bf}}{2 \cdot d_c \cdot t_w} + \frac{1}{x} \cdot \int_0^y \sigma_x dy \quad (2.3)$$

ここに， $\frac{1}{x} \cdot \int_0^y \sigma_x dy = \left[ \frac{N_b}{A_b} - \frac{M_b}{W_b} \cdot \left( 1 - \frac{y}{d_b} \right) \right] \cdot y$

$M_{bf}$  : 曲げモーメントフランジ分担  
 $N_{bf}$  : 軸力フランジ分担

また，疲労に考慮した構造詳細フィレット<sup>3)</sup>を有する隅角部構造においても，隅角部の応力伝達特性が図 - 4 (c) の点線部から現れると仮定することで評価できる．フィレットを有する隅角部パネルの各応力度成分はやや煩雑ではあるが以下で示される．

$$\sigma_x = \left[ \frac{N_b}{A_b} - \frac{M_b}{W_b} \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot y}{d_b} \right) \right] \cdot \frac{x}{d_c + \sqrt{2}H} \quad (3.1) \quad \sigma_y = \left[ \frac{N_c}{A_c} - \frac{M_c}{W_c} \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot x}{d_c} \right) \right] \cdot \frac{y}{d_b + \sqrt{2}H} \cdot \frac{x}{d_c} \quad (3.2)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{M_{bf}}{2 \cdot d_b \cdot d_c \cdot t_w} + \frac{1/2 \cdot N_{bf}}{2 \cdot d_c \cdot t_w} + \frac{1}{x} \cdot \int_0^y \sigma_x dy \quad (3.3)$$

ここに，

$$\frac{1}{x} \cdot \int_0^y \sigma_x dy = \frac{d_b}{\sqrt{2}H} \left[ \frac{N_b}{A_b} \cdot \ln \left| \frac{\sqrt{2}H}{d_b d_c} \cdot y + 1 \right| - \frac{M_b}{W_b} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{2}}{H} \cdot y - \left( \frac{\sqrt{2} \cdot d_c}{H} + 1 \right) \cdot \ln \left| \frac{\sqrt{2}H}{d_b d_c} \cdot y + 1 \right| \right\} \right]$$

ここで仮定の都合上せん断力について，はりの直応力から変換されると考える場合と柱の直応力から変換されると考える場合の2通り得られることになるが，両者にほとんど差が無いためここでは平均値をとった(式中の $\tau_{xy}$  ははりの直応力から変換されると考えた場合)．隅角部パネル対角線において，提案式で得られる各応力成分算定値と本研究グループの実験結果の比較を図 - 5 に示す．

隅角部パネルの初期降伏の判定は，せん断応力が卓越するパネル中央か2方向からの直応力が最大となる内側フランジ交差部のどちらか一方が von Mises の降伏条件に達した時をもって定義した．図 - 2 に示すように，既往式に比べ隅角部パネルの初期降伏を精度良く評価できたことがわかる．

**5. 結論** 隅角部パネルの応力評価法を提案し，隅角部パネルの初期降伏を精度良く評価できることを示した．さらに，フィレットを有する隅角構造モデルにも提案した応力評価法を拡張した．  
**謝辞** 本研究は，(財)災害科学研究所の「鋼製ラーメン橋脚隅角部の耐震設計法に関する研究会」の一環として行ったものであります．関係各位のご協力に深く感謝いたします．

#### 【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，平成 14 年 3 月．
- 2) 黄元燮，西村宣男，西野滋博：鋼製ラーメン隅角部パネルの強度および変形能の評価法，構造工学論文集，Vol.40A，pp201-214，1994．
- 3) 首都高速道路公団：首都高速道路 橋梁構造物設計要領 鋼橋編，pp -58-59，平成 15 年 5 月．

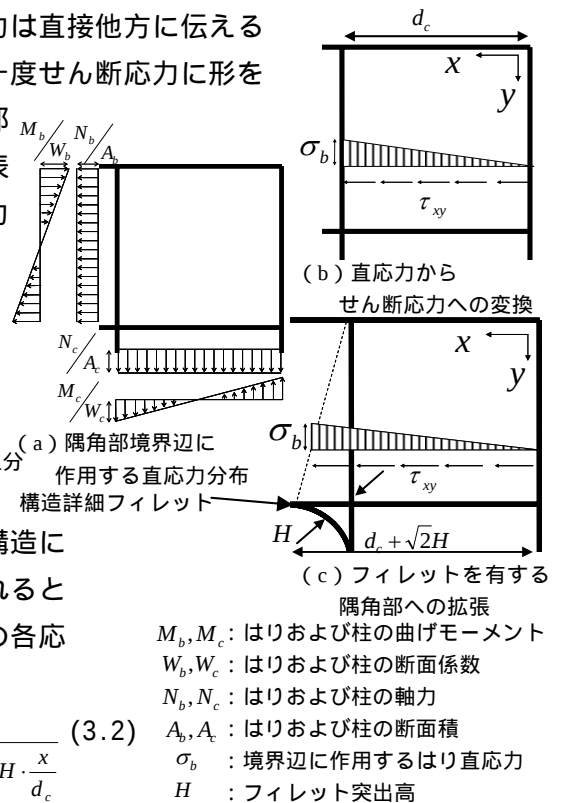


図 - 4 隅角部における応力伝達機構

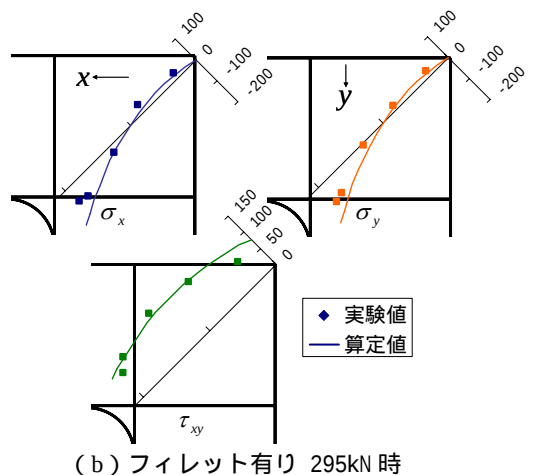
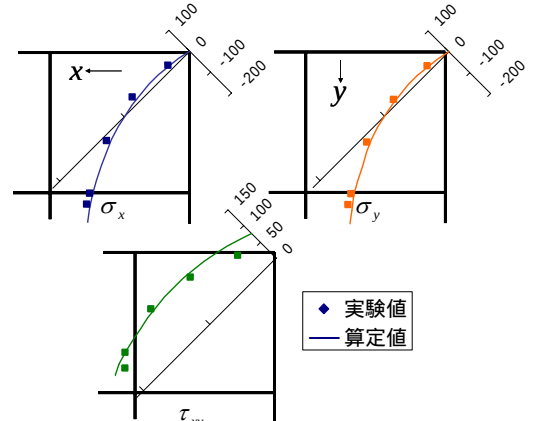


図 - 5 算定値と実験値の応力度比較