

左右の梁せいが異なる角形鋼管柱・梁接合部パネルの力学性状
(その1．釣合条件と弾性剛性・耐力算定式)

桑原 進^{*1}
熊野豪人^{*2}
宮定 章^{*2}
井上一朗^{*3}

塑性解析 段違いパネル 釣合条件
角形鋼管 耐力算定式

同
同
同

1．序

本論では、左右の梁で梁せいを变化させた柱梁接合部パネル(図1参照．以下、段違いパネルと称す)を対象とする．段違いパネルに関する研究は、H形断面パネルについての研究^{1)~5)}が数件見られるだけで、角形鋼管パネルを扱った研究は見受けられない．本論その1では角形鋼管段違いパネルを対象として、パネル周りの釣合条件式を導くとともに、段違いパネルの剛性・耐力推定式を提案する．

2．段違いパネル周辺の釣合条件

図1に示す段違いパネル周りの応力と釣合条件について検討する．以下、せいの大きい梁を梁1、小さい梁を梁2と称す．また、両方に梁の接合しているパネルをパネル1、片方の梁に接合しているパネルをパネル2と称す．パネル周辺の力は柱・梁1フランジの中心にある黒丸の位置での力を示す．また、柱・梁1の中心線の交点を節点と呼ぶ．柱・梁のモーメントを柱フランジ・梁フランジに作用する集中荷重の偶力として仮定すると、パネル1のせん断力 ${}_jQ_{C1}$ 、パネル2のせん断力 ${}_jQ_{C2}$ は次式で表せる．

$${}_jQ_{C1} = {}_B M_1 / d_{B1} + {}_B M_2 / d_{B2} - ({}_C Q_1 + {}_C Q_2) / 2 \quad (1)$$

$${}_jQ_{C2} = {}_B M_1 / d_{B1} - ({}_C Q_1 + {}_C Q_2) / 2 \quad (2)$$

パネルモーメント ${}_jM$ は図2に示すパネルせん断力によるモーメントであると定義すると、 ${}_jM$ は次式で表せる．

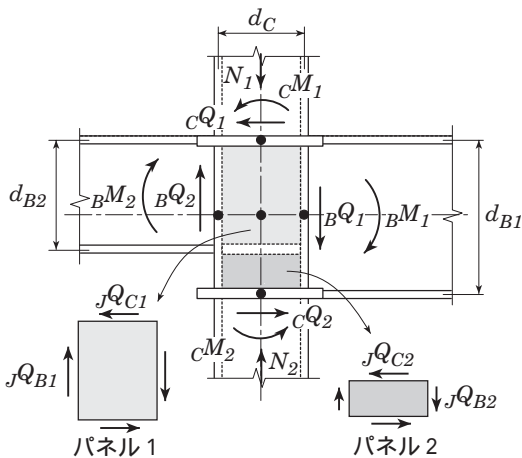


図1 パネル周辺に作用する力(段違い)

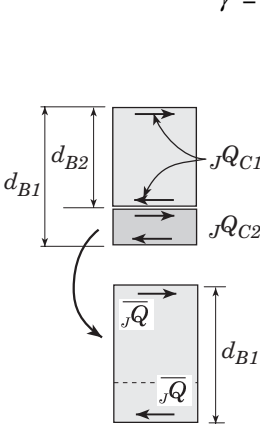


図2 パネルモーメント

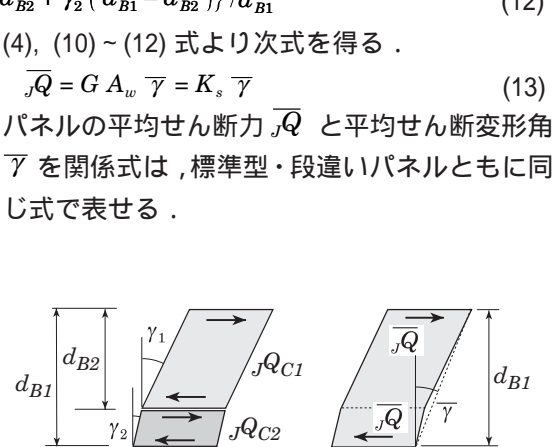


図3 パネルのせん断変形角

$${}_jM = {}_jQ_{C2} d_{B1} + ({}_jQ_{C1} - {}_jQ_{C2}) d_{B2} \quad (3)$$

また、図2に示す平均せん断力 ${}_j\bar{Q}$ を次式で定義する．

$${}_j\bar{Q} = {}_jM / d_{B1} = {}_jQ_{C2} + ({}_jQ_{C1} - {}_jQ_{C2}) d_{B2} / d_{B1} \quad (4)$$

(1), (2)式を(3)式に代入すると次式を得る．

$${}_jM = {}_B M_1 + {}_B M_2 - ({}_C Q_1 + {}_C Q_2) d_{B1} / 2 \quad (5)$$

(5)式と柱・梁の釣合条件から、柱・梁・パネル相互の釣合条件が次式で得られる．

$${}_C M^* = {}_B M^* = {}_jM^* \quad (6)$$

$${}_C M^* = {}_C M_1 + {}_C M_2 + ({}_C Q_1 + {}_C Q_2) d_{B1} / 2 \quad (7)$$

$${}_B M^* = {}_B M_1 + {}_B M_2 + ({}_B Q_1 + {}_B Q_2) d_C / 2 \quad (8)$$

$${}_jM^* = {}_jM + ({}_B Q_1 + {}_B Q_2) d_C / 2 + ({}_C Q_1 + {}_C Q_2) d_{B1} / 2 \quad (9)$$

ここでは、上式中の ${}_C M^*$ ・ ${}_B M^*$ ・ ${}_jM^*$ を柱・梁・パネルの節点モーメントと呼ぶ．段違いパネルの d_{B1} を標準型パネルのパネルせいに置き換えれば、両者の釣合条件式・節点モーメントは全く同じものになる．

3．段違いパネルの弾性剛性推定式

本論では、パネルのせん断変形のみを考慮してパネルの弾性剛性を算定する．段違いパネルの場合、パネル1とパネル2に作用するせん断力 ${}_jQ_{C1}$ ・ ${}_jQ_{C2}$ が異なるため、それぞれに生じるせん断弾性変形角 γ_1 ・ γ_2 も異なる(図3参照)．これらには次式の関係が成立する．

$${}_jQ_{C1} = G A_w \gamma_1, \quad {}_jQ_{C2} = G A_w \gamma_2 \quad (10), (11)$$

ただし、 G はせん断弾性係数であり、 A_w はパネルのウェブ面積であり、鋼管断面積の1/2とする．パネル全体の平均せん断変形角 $\bar{\gamma}$ を次式で定義する．

$$\bar{\gamma} = (\gamma_1 d_{B2} + \gamma_2 (d_{B1} - d_{B2})) / d_{B1} \quad (12)$$

(4), (10)~(12)式より次式を得る．

$${}_j\bar{Q} = G A_w \bar{\gamma} = K_s \bar{\gamma} \quad (13)$$

パネルの平均せん断力 ${}_j\bar{Q}$ と平均せん断変形角 $\bar{\gamma}$ を関係式は、標準型・段違いパネルともに同じ式で表せる．

The elasto-plastic behaviors of joint panels at the connection of rectangular steel column and two H-shaped beams with different depth (Part 1. Equilibrium and calculation of stiffness and strength of the panels)

KUWAHARA Susumu, KUMANO Takehito, MIYASADA Akira and INOUE Kazuo

4. 段違いパネルの全塑性耐力推定式

塑性解析法により段違いパネルの全塑性耐力を算定する。本論ではパネルの全塑性耐力をパネルの塑性化によって生じる崩壊機構形成時のパネル節点モーメント（以下、パネルの節点塑性モーメント⁶⁾と称す）、または、そのときのパネルの平均せん断力（以下、パネルの平均せん断耐力と称す）として表す。

図1に示すような力が作用する場合について、図4, 5の2つの崩壊機構を考える。図4に示す機構Aはパネル1・2ともに塑性化している状態である。機構A形成時のパネルモーメント ${}_jM_P^A$ は次式で得られる。

$${}_jM_P^A = 2 t_p d_c d_{B1} \sqrt{1-n^2} \sigma_y / \sqrt{3} \quad (14)$$

ただし、 σ_y はパネルの降伏応力度、 t_p はパネル板厚、 n は軸力比である。また、(9), (14)式より節点塑性モーメント ${}_jM_P^{A*}$ は次式となる。

$${}_jM_P^{A*} = {}_jM_P^A + ({}_BQ_1 + {}_BQ_2) d_c / 2 + ({}_CQ_1 + {}_CQ_2) d_{B1} / 2 \quad (15)$$

図5に示す機構Bではパネル1と梁1のフランジ・ウェブの一部が塑性化し、パネル2は塑性化しない。機構B形成時のパネルモーメント ${}_jM_P^B$ は次式で得られる。

$${}_jM_P^B = {}_jM_P^{BI} - ({}_CQ_1 + {}_CQ_2) (d_{B1} - d_{B2}) / 2 \quad (16)$$

$${}_jM_P^{BI} = 2 t_p d_c d_{B2} \sqrt{1-n^2} \sigma_y / \sqrt{3} + {}_B1 t_{f1} (d_{B1} - d_{B2}) \sigma_{yf1} + t_{w1} (d_{B1} - d_{B2})^2 \sigma_{yw1} / 2 \quad (17)$$

ただし $\sigma_{yf1} \cdot \sigma_{yw1}$ は梁1のフランジ・ウェブの降伏応力度、 B_1 は梁1の幅、 $t_{f1} \cdot t_{w1}$ は梁1のフランジ・ウェブ厚である。また、(9), (16)式より機構形成時の節点塑性モーメント ${}_jM_P^{B*}$ は次式で得られる。

$${}_jM_P^{B*} = {}_jM_P^B + ({}_BQ_1 + {}_BQ_2) d_c / 2 + ({}_CQ_1 + {}_CQ_2) d_{B2} / 2 \quad (18)$$

段違いパネルの節点塑性モーメント ${}_jM_P^*$ は上界定理より次式で得られる。

$${}_jM_P^* = \text{Min.} ({}_jM_P^{A*}, {}_jM_P^{B*}) \quad (19)$$

パネル平均せん断耐力 ${}_jQ_P$ は(4)式より次式で得られる。

$${}_jQ_P = \text{Min.} ({}_jQ_P^A, {}_jQ_P^B) = \text{Min.} ({}_jM_P^A / d_{B1}, {}_jM_P^B / d_{B1}) \quad (20)$$

5. パネル耐力に及ぼすパラメータの影響

本節では、スパン L 、階高 H の十字形部分架構について考える。機構Bから得られるパネル平均せん断耐力は(4), (16)式より次式で得られる。

$${}_jQ_P^B = \frac{1 - d_c / L - d_{B1} / H} {1 - d_c / L - d_{B2} / H} \frac{{}_jM_P^{BI}} {d_{B1}} \quad (21)$$

(21)式より機構Aに対する機構Bのパネル平均せん断耐力比は次式で得られる。

$$\frac{{}_jQ_P^B} {{}_jQ_P^A} = \frac{1 - d_c / L - d_{B1} / H} {1 - d_c / L - d_{B2} / H} \frac{{}_jM_P^{BI}} {{}_jM_P^A} \quad (22)$$

さて、(17)式で表される ${}_jM_P^{BI}$ を整理すると次式で表せる。

$${}_jM_P^{BI} = {}_jM_P^A d_{B2} / d_{B1} + {}_B M_{Pf1} (1 - d_{B2} / d_{B1}) + 2 {}_B M_{Pw1} (d_{B1} - d_{B2})^2 / (d_{B1} - t_{f1})^2 \quad (23)$$

ただし、 ${}_B M_{Pf1}$ 、 ${}_B M_{Pw1}$ はそれぞれ梁1のフランジ、ウェブの全塑性モーメントである。(23)式中で $d_{B1} - t_{f1} \approx d_{B1}$ と近似すると(22)式は次式で表せる⁷⁾。

$$\frac{{}_jQ_P^B} {{}_jQ_P^A} = \frac{1 - \xi - \zeta} {1 - \xi - \psi \zeta} \{ \psi + (1 - \psi) m_f + 2 (1 - \psi)^2 m_w \} \quad (24)$$

ただし $\psi = d_{B2} / d_{B1}$ 、 $\xi = d_c / L$ 、 $\zeta = d_{B1} / H$ 、 $m_f = {}_B M_{Pf1} / {}_jM_P^A$ 、 $m_w = {}_B M_{Pw1} / {}_jM_P^A$ であり、この5つの変数によって平均せん断耐力比が決定する。

図9に(24)式で得られるパネルせん断耐力比を示す横軸は梁せい比 ψ である。その他のパラメータの値は図中の通りである。図の ${}_jQ_P^B / {}_jQ_P^A$ が1以下である場合は機構Bで、1以上である場合は機構Aでパネル平均せん断耐力がきまる。図より、パラメータによってはせん断耐力が ${}_jQ_P^A$ の数割程度も低下し、機構Bで耐力が決まる場合があることがわかる。また、梁せい比 ψ が小さくなると、 ${}_jQ_P^B / {}_jQ_P^A$ は単調に減少するのではなく、一旦減少した後、増加する場合がある。

6. 結

本論では左右の梁せいの異なる柱梁接合部パネル周りの釣合条件を示し、パネル剛性推定式を提案した。また、塑性解析手法を用いて、全塑性耐力の推定式を提案した。

謝辞・参考文献

その2にまとめて記す。

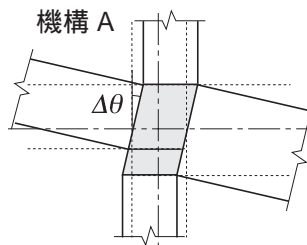


図4 崩壊機構A

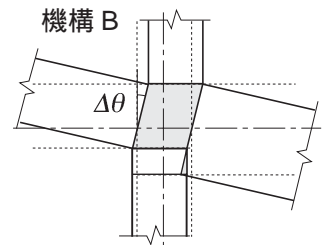


図5 崩壊機構B

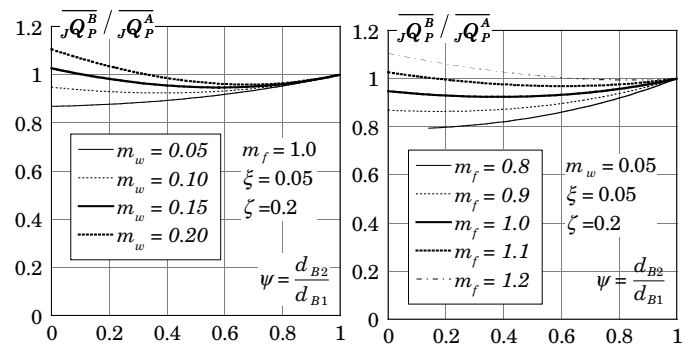


図6 パネルせん断耐力比

*1 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻・助手

*2 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻・大学院生

*3 京都大学大学院工学研究科生活空間学専攻・教授

Dept. of Architectural Eng, Osaka Univ. / Research Associate

Dept. of Architectural Eng, Osaka Univ. / Graduate Student

Dept. of Architecture and Environmental Design, Kyoto Univ. / Professor