

CFT 柱梁接合部ダイアフラムに関する実験的研究

- その2 実験結果の考察 -

日大生産工(院) ○大石 琴 日大生産工 藤本 利昭 日大生産工(学部) 堀 紗友梨

1. まえがき

本報告では、前報(その1)¹⁾の引張実験の結果に基づき、試験体各部の変形、降伏状況と設計式を比較し、考察を行う。

2. 接合部局部の破壊過程

図1に荷重-変位関係を示す。図中の(a) (c)は円形孔、(b) (d)は正方形孔、(a) (b)は充填孔の大きさが70mmの試験体、(c) (d)は100mmの試験体を示す。図の縦軸は試験機による荷重 P 、横軸は鋼管部分の変位 δ とした。図中には図2に示す測定箇所ごとにひずみゲージより得られた値が降伏ひずみ(ϵ_y : 引張降伏ひずみ, y_y : セン断降伏ひずみ)に達した点を表している。

表1に図1中に示した各試験体の降伏点の荷重を示す。

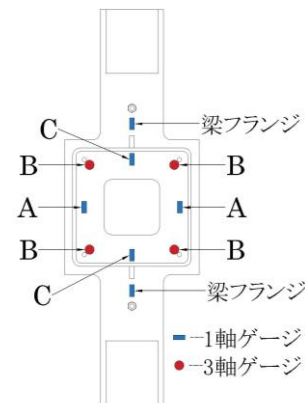


図2 ひずみゲージ位置

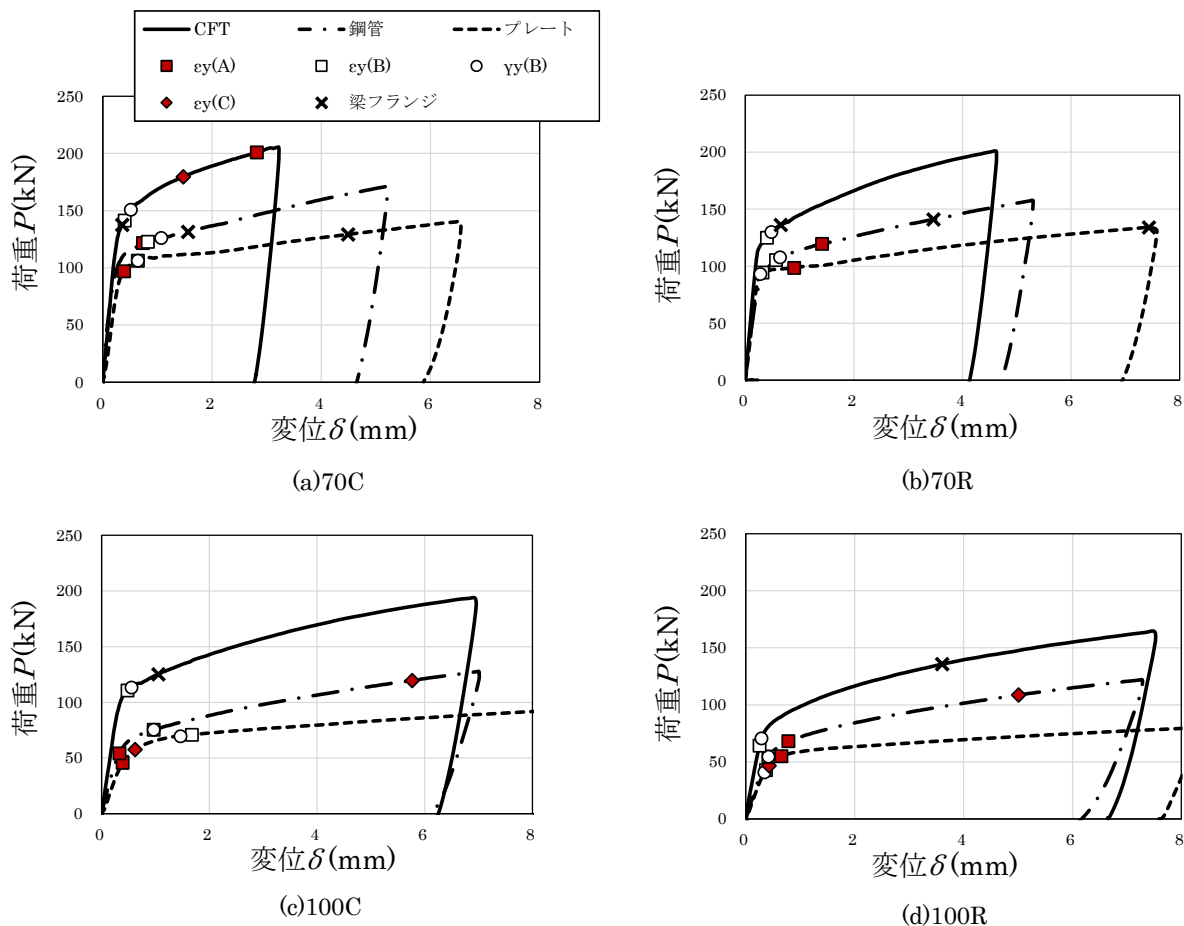


図1 荷重-変位関係

Experimental Study of Diaphragms used Square CFT Columns
- Part2 Investigation of Test Results -

Koto OISHI, Toshiaki FUJIMOTO and Sayuri HORI

表1 ひずみゲージより得られた降伏荷重一覧 (単位: kN)

		70C-D	70C-S	70C-CFT	70R-D	70R-S	70R-CFT	100C-D	100C-S	100C-CFT	100R-D	100R-S	100R-CFT
ダイアフラム	ε_y (A)	97.0	121.7	200.9	98.5	119.6	—	45.6	54.2	—	55.1	68.1	—
	ε_y (B)	106.3	122.9	141.3	94.4	105.2	124.9	71.0	75.4	110.8	42.8	54.6	64.3
	γ_y (B)	106.3	126.2	150.8	93.1	107.7	130.0	69.7	75.4	113.4	40.9	54.6	70.6
	ε_y (C)	—	—	179.6	—	—	—	57.6	119.7	—	46.7	108.8	—
梁フランジ		129.2	131.5	137.6	133.9	141.0	136.0	—	—	125.3	—	—	135.7

図1(a)の円形孔φ70の試験体は、プレート試験体と鋼管付き試験体では、まずダイアフラム充填孔の側面(A)が、次に隅部(B)が降伏し、その後梁フランジが降伏した。一方、CFT試験体では降伏の順番が逆の結果となった。梁フランジは3体とも降伏しておりプレート、鋼管、CFTの順で剛性、耐力が高くなっている。

図1(b)の正方形孔70mmの試験体は、プレート試験体と鋼管付き試験体では、まずダイアフラムの隅部(B)が、次に充填孔の側面(A)が降伏し、その後梁フランジが降伏した。CFT試験体では先に隅部(B)が降伏し、次に梁フランジが降伏した。梁フランジは3体ともダイアフラム降伏後、降伏に至り、剛性、耐力は、プレート、CFT、鋼管の順に大きくなった。

図1(c)の円形孔φ100mmの試験体はプレート試験体と鋼管付き試験体では、まずダイアフラム部の充填孔の側面(A)が降伏し、プレート試験体では次に充填孔と梁フランジの間(C)、隅部(B)の順で、鋼管付き試験体では逆の順番で降伏した。CFT試験体では、まず隅部(B)が降伏し、次に梁フランジが降伏していた。

図1(d)の正方形孔100mmの試験体はプレート試験体と鋼管付き試験体では先に隅部(B)が降伏し、次にプレート試験体では充填孔と梁フランジの間(C)、充填孔の側面(A)の順で、鋼管付き試験体では逆の順番で降伏した。CFT試験体では、まず隅部(B)が降伏し、次に梁フランジが降伏した。

図1(a)の円形孔のCFT試験体を除き、全体的にダイアフラム部が降伏すると耐力曲線は傾きが緩やかになった。

3. 耐力評価式との比較

コンクリート充填鋼管構造設計施工指針²⁾(以下CFT指針とする)の柱梁接合部局所の耐力評価式では、円形孔のダイアフラムを対象としており、正方形孔は対象としていない。正方形孔に関しては鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準集・同解説³⁾(以下SRC規準とする)において内ダイアフラム形式の正方形孔の式が提示されているのみである。

このことから、円形孔の試験体に関してはCFT指針の耐力評価式を、正方形孔の試験体に関してはSRC規準の耐力評価式を用いて実験結果と比較を行った。表2に耐力評価式により求めた計算値を示す。

3.1 円形孔ダイアフラム

CFT指針²⁾では、CFT柱・鉄骨梁接合部局所を対象とし、鋼管のフランジは格子梁に、ウェブは引張材に、通しダイアフラムは引張斜材に置換したモデルにより耐力式を評価している。ダイアフラムは図3に示すように梁から直接力を受けるA部分と、A部分と柱鋼管の強制変形により耐力を発揮するとされるB部分に分けて考えている。鋼管は格子梁を材軸方向と周方向に分け、周方向は鋼管ウェブの引張材を連結して考えている。そして、柱梁接合部局所の荷重-変形関係は、鋼管フランジ材軸方向梁の荷重-変形関係または鋼管フランジ周方向梁とウェブ引張材の周方向連結部材による鋼管の荷重-変形関係を求め、その各点にダイアフラムの耐力を累加して求めるものであり、降伏耐力点、全塑性耐力点、塑性剛性低下点、終局耐力点のtetra-linear型モデルとしている。

図4にCFT指針の円形孔通しダイアフラム形式の耐力評価式より求めた柱梁接合部局所の塑性耐力点と全塑性耐力点を円形孔試験体の実験結果と共に示す。また、表3に使用したCFT指針²⁾の降伏耐力点、全塑性耐力点の耐力評価式を示す。

図4(a)より、円形孔φ70mmの試験体では指針による降伏耐力をダイアフラムの隅部(B)は下回った。

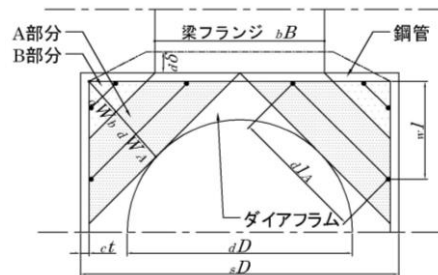


図3 CFT指針²⁾ダイアフラムモデル

図4(b)より、円形孔φ100mmの試験体では指針による降伏耐力をダイアフラムの隅部(B)は下回り、梁フランジは良い対応を示した。

図4(a)(b)より、円形孔の試験体では梁フランジが降伏すると、梁の変形が進み、鋼管の変形が鈍ることがわかった。

3.2 正方形孔ダイアフラム

SRC規準³⁾では図5に示すように内ダイアフラム、通しダイアフラム、外ダイアフラム形式の耐力評価法が提示されている。内ダイアフラム形式の柱梁接合部局部に関して、塑性耐力を与える式では、柱鋼管および内ダイアフラムに降伏メカニズムを仮定し、降伏線理論より鋼管の面外抵抗およびダイアフラムの抵抗を求め、それらを累加している。耐力評価式では鋼管の曲げ降伏線の幅を柱鋼管フランジの厚さと仮定して、 $B = {}_bB + {}_ct$ と示し、鋼管の曲げ降伏線(B)とダイアフラム充填孔の一边の長さ(dB)の関係によって式が異なる。

図6にSRC規準の正方形孔内ダイアフラム形式の耐力評価式より求めた柱梁接合部局部の塑性耐力を正方形孔試験体の実験結果と共に示す。また、表4に使用したSRC規準³⁾の塑性耐力の耐力評価式を図5に降伏メカニズムを示す。

図6(a)より、正方形孔70mmの試験体で規準による塑性耐力とダイアフラムの隅部(B)は近い値となり、鋼管と梁フランジの剛性が低下していた。

図6(b)より、正方形孔100mmの試験体では規準による塑性耐力をダイアフラムの隅部(B)は下回り、この地点で鋼管と梁フランジの曲線が緩やかになった。

表2 耐力評価式による計算値(単位:kN)

梁フランジ降伏耐力	138.0				
CFT指針	70C-CFT	100C-CFT	SRC規準	70R-CFT	100R-CFT
降伏耐力点	161.0	124.4	塑性耐力	126.1	89.6
全塑性耐力点	190.8	154.2			

表3 CFT指針²⁾の耐力評価式

〈降伏耐力点〉
${}_lP_y = {}_yP_y + \min({}_xP_y, {}_wP_y) + {}_dP_y$ ${}_yP_y = 2({}_sD - {}_ct) {}_ct^2 / (3 {}_yl) \cdot {}_c\sigma_y$ ${}_xP_y = 2(2 {}_yl + {}_rt) {}_ct^2 / (3 {}_xl) \cdot {}_c\sigma_y$ ${}_wP_y = 2({}_rt \cdot {}_ct \cdot {}_c\sigma_y + {}_ah \cdot {}_at \cdot {}_d\sigma_y)$ ${}_dP_y = \sqrt{2} {}_dW_A \cdot {}_at \cdot {}_d\sigma_y$
〈全塑性耐力点〉
${}_lP_p = {}_yP_p + \min({}_xP_p, {}_wP_p) + {}_dP_p$ ${}_yP_p = ({}_sD - {}_ct) {}_ct^2 / {}_yl \cdot {}_c\sigma_y$ ${}_xP_p = (2 {}_yl + {}_rt) {}_ct^2 / {}_xl \cdot {}_c\sigma_y$ ${}_wP_p = 2\{({}_rt + 2/3 \cdot {}_yl) {}_ct \cdot {}_c\sigma_y + {}_ah \cdot {}_at \cdot {}_d\sigma_y\}$ ${}_dP_p = \sqrt{2}({}_dW_A + {}_dW_B / 2) {}_at \cdot {}_d\sigma_y$
${}_yP$: 鋼管フランジ材軸方向梁の荷重—変位関係, ${}_xP$: 鋼管フランジ周方向梁の荷重—変位関係, ${}_wP$: 鋼管ウェブの荷重—変位関係, ${}_dP$: ダイアフラムの荷重—変位関係 ${}_sD$: 鋼管柱幅, ${}_ct$: 鋼管板厚, ${}_rt$: 溶接余盛を含む梁フランジ板厚, ${}_xl$: 鋼管フランジ周方向梁スパン, ${}_yl$: 鋼管フランジ材軸方向梁スパン, ${}_xl$: 鋼管フランジ周方向梁スパン, ${}_c\sigma_y$: 鋼管材料の降伏強さ, ${}_d\sigma_y$: ダイアフラム材料の降伏強さ, ${}_dW_A$, ${}_dW_B$: ダイアフラム引張材の有効幅

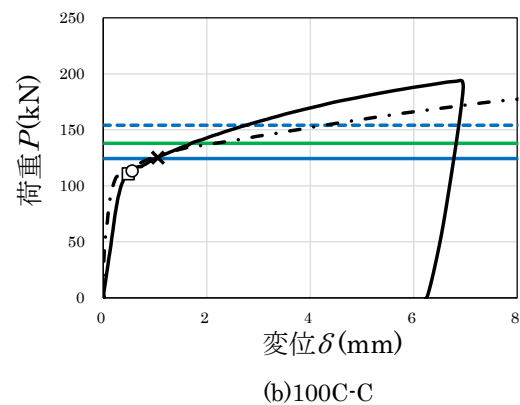
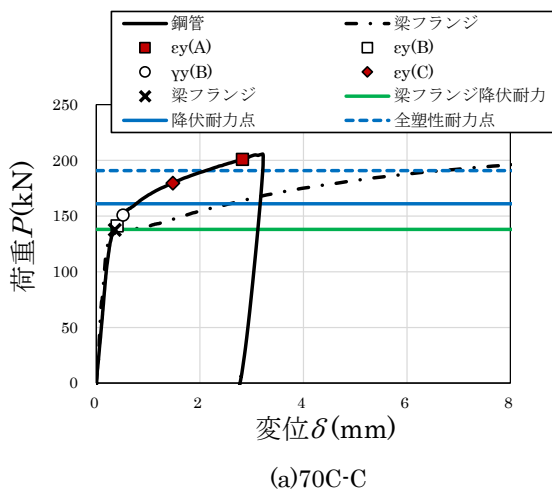


図4 各部耐力のCFT指針との比較

4. まとめ

CFT梁柱接合部ダイアフラムの引張実験より、以下の知見が得られた。

- ダイアフラムの降伏は、プレート試験体と鋼管付き試験体では、充填孔の形状によって異なり、円形孔では充填孔の側面が、正方形孔では隅部が先に降伏し、CFT試験体では、充填孔の形状に関わらず隅部が先に降伏した。
- プレート、鋼管付き、CFTの順に剛性および耐力が高くなった。
- ダイアフラムの局所的な降伏は、円形孔、正方形孔ともに計算耐力に達する前に生じた。
- 計算耐力はダイアフラムの剛性(傾き)が緩やかになった点と一致した。

表4 SRC 規準³⁾の耐力評価式

〈塑性耐力〉
$B \leq aB$ $sP_p = cP_p(A) + aP_p(1)$
$B > aB$ $sP_p = cP_p(A) + aP_p(2)$ $sP_p = cP_p(B) + aP_p(3)$
$B = bB + ct$, bB : 梁フランジ幅, ct : 鋼管板厚, aB : 内ダイアフラムの孔の一辺の長さ, $cP(A)$ ・ $cP(B)$: 柱鋼管の降伏メカニズム(A)・(B), $aP(1)$ ・ $aP(2)$ ・ $aP(3)$: 内ダイアフラムの降伏メカニズム(1)・(2)・(3)

参考文献

- 堀紗友梨, 藤本利昭, 大石琴: CFT柱梁接合部ダイアフラムに関する実験的研究—その1 実験概要—, 第54回日本大学生産工学部学術講演会講演概要
- 日本建築学会: コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 第2版, pp.88-91, 2008
- 日本建築学会: 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準集・同解説, pp.219-221, 2001

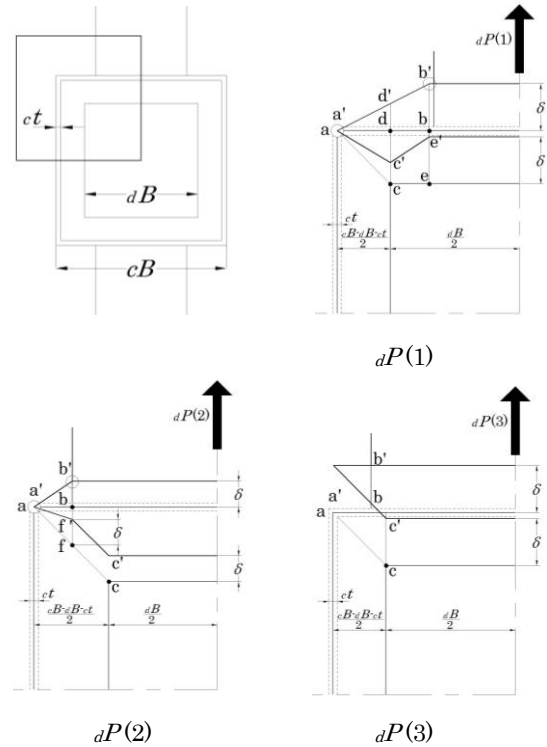


図5 SRC 規準³⁾降伏メカニズム

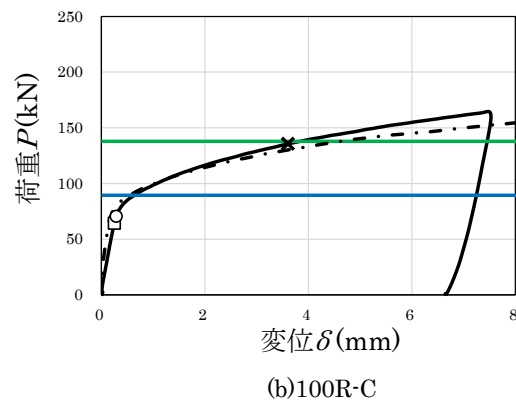
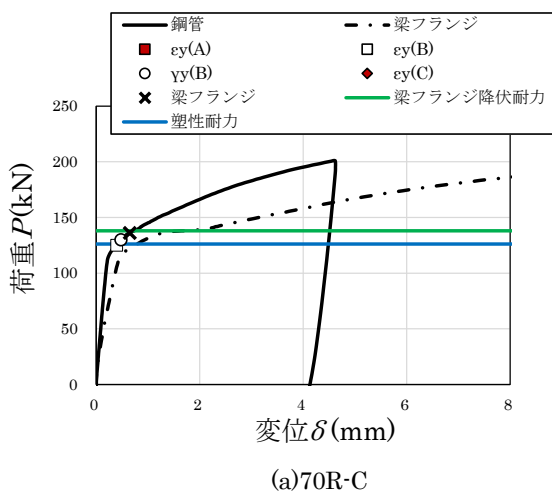


図6 各部耐力のSRC 規準との比較