

# スランプ21cmのコンクリートを用いた CFT 落とし込み工法に関する実験的研究 (空気抜き孔を大きくした CFT ダイアフラム局部耐力について)



井戸 康浩 \*1

渡邊 秀仁 \*2 竹中 啓之 \*1  
梅本 宗宏 \*1 端 直人 \*3

## 概 要

筆者らは、スランプ21cmのコンクリートをCFT 落とし込み工法に適用するため、要素実験および実大施工実験を実施し、すでに報告した。その結果、スランプ21cmのコンクリートを用いた場合、ダイアフラム下の充填率を確保するために、空気抜き孔の数を4個から12個に増加させる、またはサイズの大きいスカラップタイプのダイアフラムにする必要があることがわかった。しかし、ダイアフラムの空気抜き孔を12個に増やす、または、スカラップタイプにした場合、ダイアフラムの断面積が減少し、接合部の耐力が低下することが考えられた。

本報告では、空気抜き孔およびダイアフラム形式・板厚をパラメータとしてCFT ダイアフラムのFEM解析および局部引張試験を実施し、その局部耐力について検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) ダイアフラム空気抜き孔を12個としても、板厚を梁フランジに対して3サイズアップすれば、局部耐力上従来のダイアフラムの性能を上回ることも、また2サイズアップでも大きな差異はみられないことがわかった。
- (2) ダイアフラムコーナーのスカラップを空気抜き孔とする場合、本報告のディテールでは局部耐力に余裕がないことがわかった。

## The Experimental Study on Concrete Filled Steel Tube Columns using Concrete of Slump 21 cm (Discussion on the strength of the diaphragm with large Air holes)

Yasuhiro IDO\*1 Hidehito WATANABE\*2  
Hiroyuki TAKENAKA\*1 Munehiro UMEMOTO\*1  
Naoto HASHI\*3

Experimental study on the dropped concrete casting method for concrete filled steel tubular columns was reported. As a result, it was necessary that the number of air holes was increased from four to twelve, or to select the larger scallops type diaphragm. However, when these changes will reduce the cross-sectional area of the diaphragm, which may reduce the ultimate strength of the diaphragm. The FEM analysis and the structural experiment were employed to estimate the ultimate strength of diaphragm. The following results were obtained from the analytical and experimental study.

- (1) By the thickness of the diaphragm, but increased to 12 air holes of the diaphragm, the diaphragm was found to be able to ensure adequate performance.
- (2) When used the corner scallop of diaphragm as a air hole, the details of this study found that the diaphragm did not have enough strength.

\*1 技術研究所 \*2 構造設計部 \*3 建築工事技術部

\*1 Technical Research Institute \*2 Structural Engineering Dept. \*3 Architectural Engineering Dept.

# スラブ21cmのコンクリートを用いた CFT 落し込み工法に関する実験的研究 (空気抜き孔を大きくした CFT ダイアフラム局部耐力について)

井戸 康浩\*<sup>1</sup> 渡邊 秀仁\*<sup>2</sup>  
竹中 啓之\*<sup>1</sup> 梅本 宗宏\*<sup>1</sup>  
端 直人\*<sup>3</sup>

## 1. はじめに

コンクリート充填鋼管構造（以下 CFT 造）は、構造性能・耐久性などが優れており、柱寸法の低減、柱スパン拡大などを目的として、さまざまな構造物に適用されている。CFT 造に使用する充填コンクリートは、一般的に粉体量の多い高流動コンクリートを用い、圧入工法とすることが多く、設計基準強度（ $F_c$ ）より大幅に強度の高いコンクリートを使用する。そのため、筆者らは、落し込み工法を対象とし、JIS レディミクストコンクリートに適合した呼び強度 40 と 45 のスラブ 21 cm のコンクリートを CFT 造に適用するために、要素実験ならびに実大施工実験を行った<sup>1)</sup>。その結果、コンクリートの施工性、充填性および圧縮強度について十分な品質を得られることを報告した。しかしながら、ダイアフラム下の充填性を確保するために空気抜き孔を 4 個から 12 個あるいはサイズの大きなスカラップタイプにする必要があることが明らかになった。

本報告では、空気抜き孔 12 個あるいはスカラップタイプのダイアフラムにした場合のダイアフラム局部耐力について、解析および実験により検討した。はじめにダイアフラム厚さおよび空気抜き孔をパラメータとした FEM 解析により検討を行った。その結果より、縮尺を約 1/2.2 とした試験体によるダイアフラムの局部引張試験を実施し、空気抜き孔を 4 個から 12 個に増やした場合およびスカラップタイプとした場合におけるダイアフラムの局部耐力を検討した。

## 2. 解析による検討

### 2.1 解析モデル

本解析では、一般的な落し込み工法の鉄骨建築物を対象とした。解析モデルの柱は角型鋼管 550mm、板厚 19mm とし、梁は取り付くと考えられる最も大きい梁幅を想定し、梁幅 350mm、板厚 28mm（梁幅と柱幅の比は 1/1.57）とした。打設孔の断面積は、コンクリート断面積の 20% とし、 $\phi 260\text{mm}$  とした。ダイアフラムは、内ダイアフラム形式とし、板厚は梁フランジの 2 サイズアップの 36mm とした。解析モデルの空気抜き孔およびダイアフラム厚さの解析モデル一覧を表-1 に示す。解析モデルは、①空気抜き孔なし、②空気抜き孔 4 個 ( $\phi 40\text{mm}$ )、③空気抜き孔 12 個 ( $\phi 40\text{mm}$ )、③'空気抜き孔 12 個 ( $\phi 40\text{mm}$ )、ダイアフラム厚さ 40mm、④スカラップタイプ ( $R=75\text{mm}$ ) の計 5 ケースとした。解析モデルは対称性を考慮して 1/4 モデルとし、角型鋼管は上下 300mm を考慮した。解析モデル詳細図を図-1 に、解析モデルメッシュ割

表-1 解析モデル一覧

解析モデル	空気抜き孔	ダイアフラム厚さ (mm)
①	空気抜き孔なし	36
②	空気抜き孔 4 個 ( $\phi 40\text{mm}$ )	36
③	空気抜き孔 12 個 ( $\phi 40\text{mm}$ )	36
③'	空気抜き孔 12 個 ( $\phi 40\text{mm}$ )	40
④	スカラップタイプ ( $R=75\text{mm}$ )	36

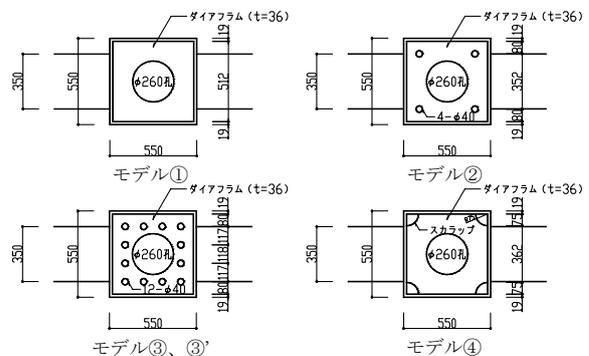


図-1 解析モデル詳細図

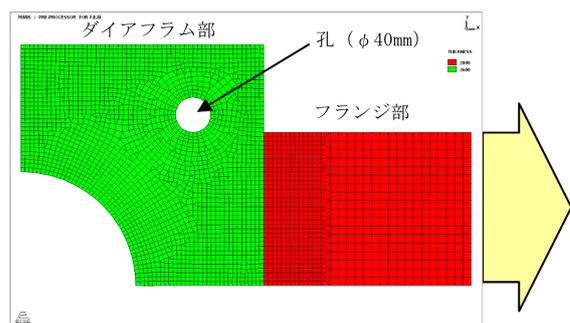
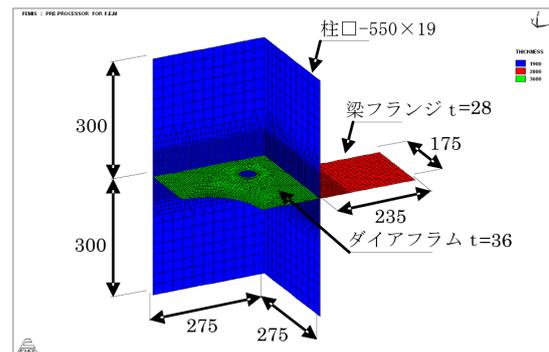


図-2 解析モデルメッシュ割り図 (モデル②)

\*<sup>1</sup> 技術研究所 \*<sup>2</sup> 構造設計部 \*<sup>3</sup> 建築工事技術部

り図（モデル②）を図-2に示す。フランジの材料強度（ $\sigma_y$ ）はF値を用い、ダイアフラム部の荷重-変形関係の確認ではダイアフラムの耐力を正確に把握するため梁材は弾性とした。また、ダイアフラムと梁材の降伏状況の確認では、ダイアフラムおよび梁材とも弾塑性とし、材料強度・弾性係数は、図-3に示すように設定した。加力は変位制御にて行い、一様な強制変形を図-2の解析モデルの梁フランジの各節点に与えた。

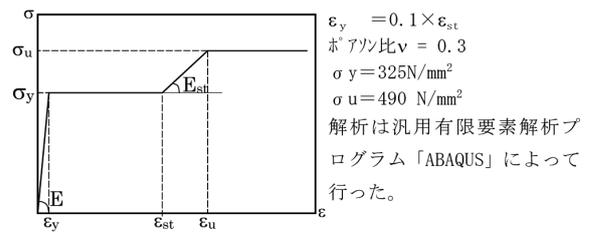


図-3 材料特性

2.2 解析結果および考察

解析結果の荷重-変形関係（その1）を図-4に示す。荷重-変形関係の解析では梁材を弾性としているため、ダイアフラムと柱材のみの性状を示している。各モデルの初期剛性を表-3に示す。空気抜き孔がないモデル①は、他のモデルに比べ初期剛性、耐力とも大きくなっており、空気抜き孔の影響があらわれていると考えられる。モデル③は、モデル②、モデル④に比べ剛性が小さいものの耐力には大きな差はみられなかった。モデル③について、板厚を3サイズアップの40mmとしたモデル③'で解析を行った。40mmの板厚で初期剛性および耐力ともに、モデル②、モデル④とほぼ同じになった。その結果を、図-5荷重-変形関係（その2）に示す。モデル③は、モデル②より初期剛性は5%低下している。

表-2 各モデルの初期剛性

解析モデル	初期剛性 (kN/mm)	初期剛性 / モデル②
①	2153	1.03
②	2087	1.00
③	1980	0.95
③'	2076	0.99
④	2039	0.98

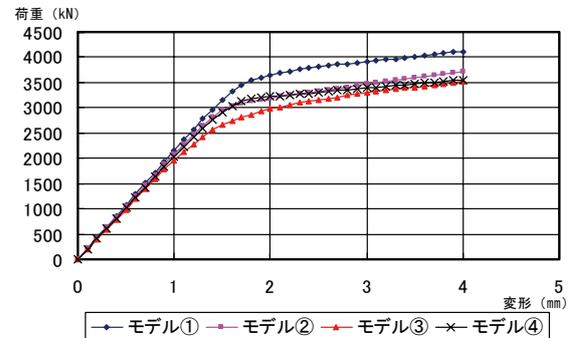


図-4 荷重-変形関係（その1）

モデル②の大梁を弾性とした場合と弾塑性の場合の荷重-変形関係を図-6に示す。梁が弾性的の場合の荷重-変形関係と曲線が似通っており、ダイアフラムの変形の影響を受けている可能性がある。大梁を弾塑性として解析した結果で大梁が全断面降伏した時点での応力度コンタ図を併記した。モデル①は大梁の全断面が降伏してもダイアフラムの多くの部分がまだ降伏応力度には達していなかった。モデル②とモデル④はダイアフラムのほぼ全断面が降伏応力度に達していた。モデル③でもダイアフラムの全断面が降伏応力度に達したが、ダイアフラム板厚を40mmにサイズアップしたモデル③'は降伏応力度に達していない部分が残っていた。モデル②、モデル④では、梁フランジが50%程度の範囲で降伏応力度に達したときダイアフラムは空気抜き孔やスカラップを通して図-7中のA-A断面で降伏応力度に達する領域が発生した。以上より、接合部の降伏を許容しない設計を行う場合、ダイアフラムの板厚をサイズアップする必要があると考えられる。

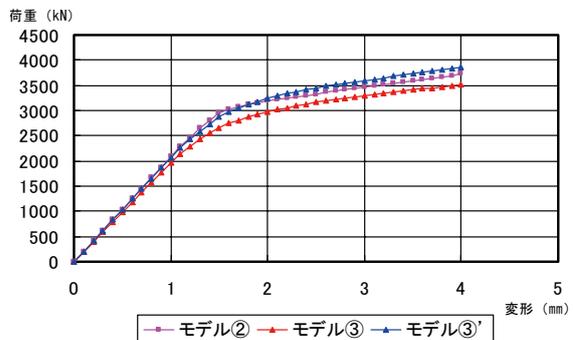


図-5 荷重-変形関係（その2）

3. CFT ダイアフラム局部引張実験

3.1 実験概要

前記2でのFEM解析の検討結果より決定した実験の要因と水準を表-3に、試験体詳細を図-8に示す。試験体は約1/2.2縮尺とし、いずれの試験体ともF<sub>c</sub>36N/mm<sup>2</sup>のコンクリートを打設した。ダイアフラムに設けるコンクリート打設孔は全試験体共通でφ118mmとした。試験体1は基本試験体として、ダイアフラム形式を通しダイアフラム、ダイアフラム板厚を16mmとした。ダイアフラム板厚は想定する梁フランジに対して2サイズアップ相当の厚さである。

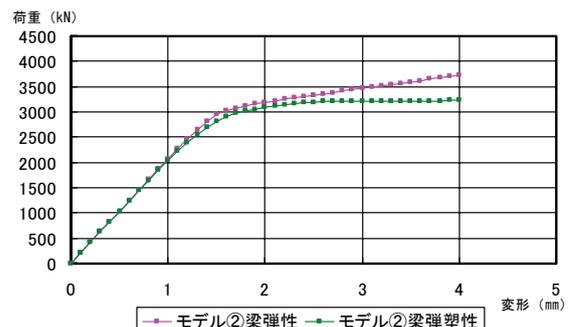


図-6 大梁弾性・弾塑性の荷重変形関係

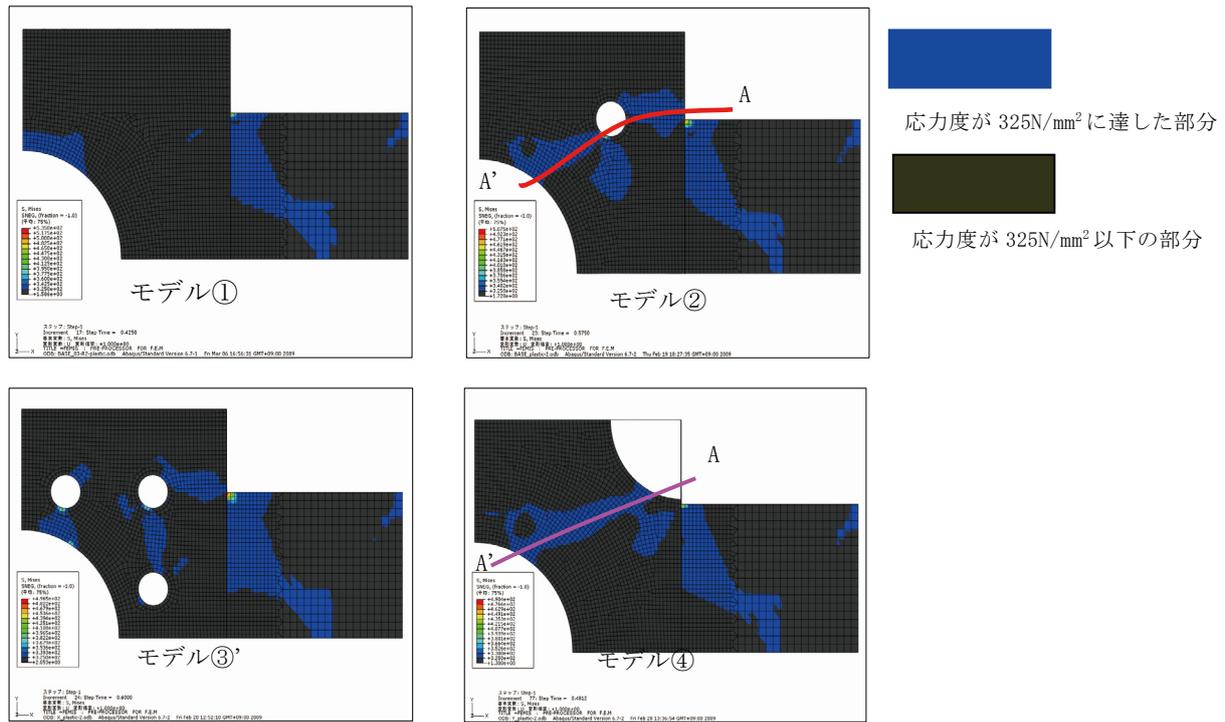


図-7 大梁が全断面降伏した時点での応力度コンタ図

表-3 実験の要因と水準

試験体 No.	1	2	3	4	5
鋼管	250mm × 250mm × 9mm (BCR295)				
ダイアフラム形式	通しダイアフラム			内ダイアフラム	
ダイアフラム板厚 (mm)	16	19	16	16	
コンクリート打設孔	φ118mm				
空気抜き孔	4-φ13.5mm	12-φ18mm		コーナースカラップ (R45)	
コンクリート強度	36N/mm <sup>2</sup>				

空気抜き孔はφ30mmを想定したφ13.5mmの孔をダイアフラムのコーナー部に4カ所設けた。試験体2～4は、本報告でのコンクリート落し込み工法を対象にした実験であり、空気抜き孔はφ40mmを想定し、φ18mmを12カ所設けた。試験体2、3は通しダイアフラム形式とし、試験体2のダイアフラム板厚は想定する梁フランジに対して3サイズアップ相当の厚さ(19mm)とし、試験体3は2サイズアップ相当とした。試験体4は試験体3を内ダイアフラム形式にした試験体である。試験体5は、試験体4の空気抜き孔の代わりにダイアフラムコーナーに設けたやや大きめのスカラップ (R45) を空気抜き孔とした。加力はダイアフラムの左右に取り付けた梁フランジを単調に引っ張る方法で、ダイアフラム部での破壊を誘発するため、引

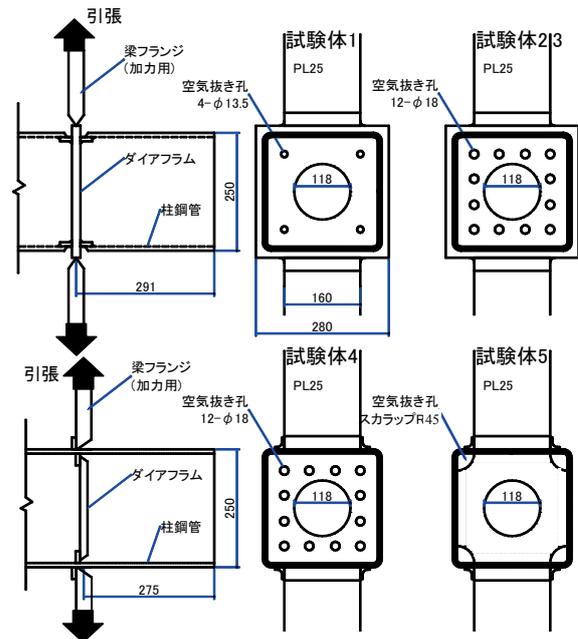


図-8 試験体詳細

表-4 材料試験結果

部位	板厚	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
梁フランジ	PL25	206000	342	521	29.8
	PL19	280800	297	446	29.4
ダイアフラム	PL16	202800	278	433	32.1
	PL9	202100	307	458	23.7

張力を与える梁フランジにPL25 (SN490材) を用いた。実験に用いた鋼材はいずれも共通で、鋼管は250mm×250mm×9mm (BCR295)、ダイアフラムはSN400B材を使用した。実験に使用する鋼材の材料試験結果を表-4に示す。

### 3.2 実験結果

#### 3.2.1 実験状況・荷重変形関係

実験状況を写真-1に、接合部引張力と接合部変形の関係を図-9に示す。接合部変形は接合部の左右で計測した伸び ( $\delta 1$ 、 $\delta 2$ ) を平均した値とした。初期剛性は、いずれの試験体とも同程度の値を示した。破壊形式は、試験体1~4はフランジの引張力で柱プレートが面外にはらんだ後、ダイアフラムと梁フランジの溶接部で破断した(写真-2)。試験体5は、柱プレートが梁フランジの引張力により破断し、内ダイアフラムも破断に至った(写真-3)。

#### 3.2.2 降伏耐力

局部架構の初期剛性と降伏耐力を表-5に示す。降伏耐力はGeneral Yield Point法により算出した。また、耐力比とは、想定する梁フランジ(梁幅150mm、板厚12.7mm、材質SN400B、降伏応力235N/mm<sup>2</sup>)の降伏耐力で局部架構の降伏耐力を除いたものとした。ダイアフラム板厚を3サイズアップとして12孔を設けた試験体2は基本試験体の耐力比を上回り、ダイアフラム板厚が等しい試験体では、①基本試験体、③通

しダイア12孔、④内ダイアフラム12孔、⑤内ダイアフラムコーナースクラップ)の順で耐力比が小さくなった。

#### 3.2.3 ダイアフラムのひずみ

ダイアフラムに貼付した3軸ゲージの計測値より算出した主ひずみの推移を図-10に示す。想定梁フランジ降伏耐力(478kN)時のひずみはダイアフラムの降伏ひずみ(約1500 $\mu$ )に対して、試験体1~4では66%程度であったが、試験体5では95%程度とほとんど余裕のない状態であることがわかった。

### 4. まとめ

空気抜き孔およびダイアフラム形式・板厚をパラメータとしてCFTダイアフラム部のFEM解析および局部引張試験を実施し、その局部耐力について検討した結果以下の知見が得られた。

表-5 接合部の初期剛性と降伏耐力

試験体	1	2	3	4	5
初期剛性 (kN/mm <sup>2</sup> )	1417	1305	1213	1294	1038
降伏耐力*) (kN)	960	1110	890	880	693
耐力比**)	2.01	2.32	1.86	1.84	1.45

\*) GYP法による降伏耐力

\*\* ) 想定梁フランジ (Bf × tf=150mm × 12.7mm、 $\sigma_y=235\text{N/mm}^2$ ) の降伏耐力計算値に対する接合部降伏耐力の割合

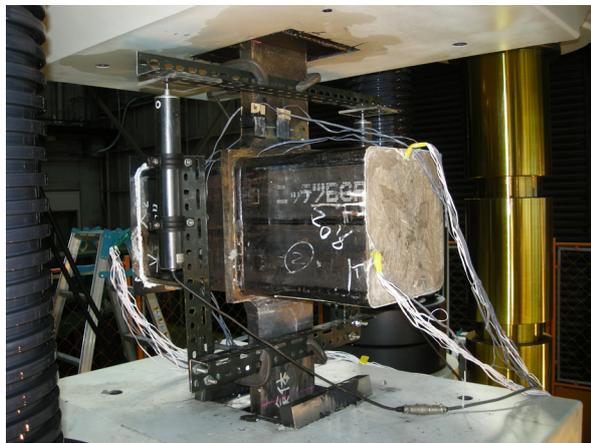


写真-1 実験状況

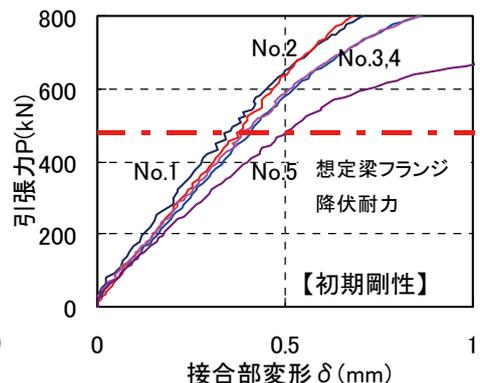
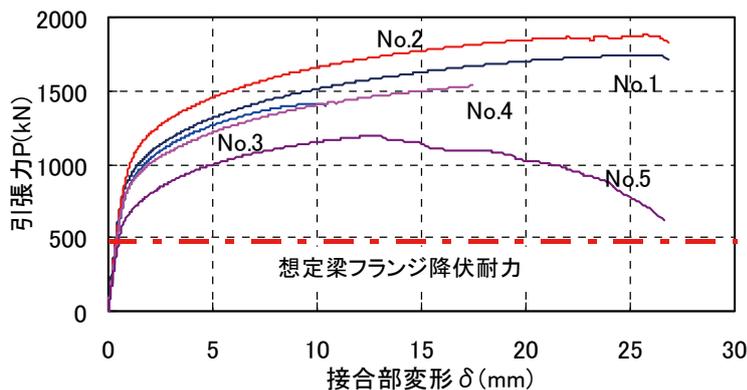
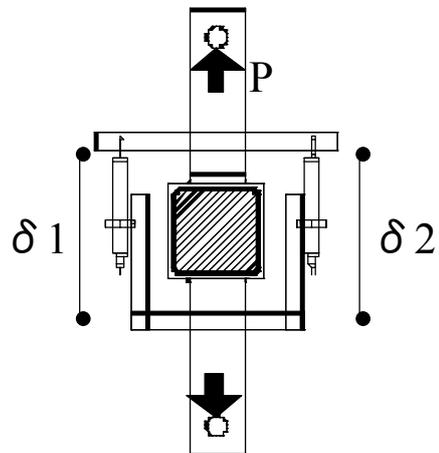


図-9 引張力と接合部変形の関係



写真-2 試験体破壊状況 (試験体 1)



写真-3 試験体破壊状況 (試験体 5)

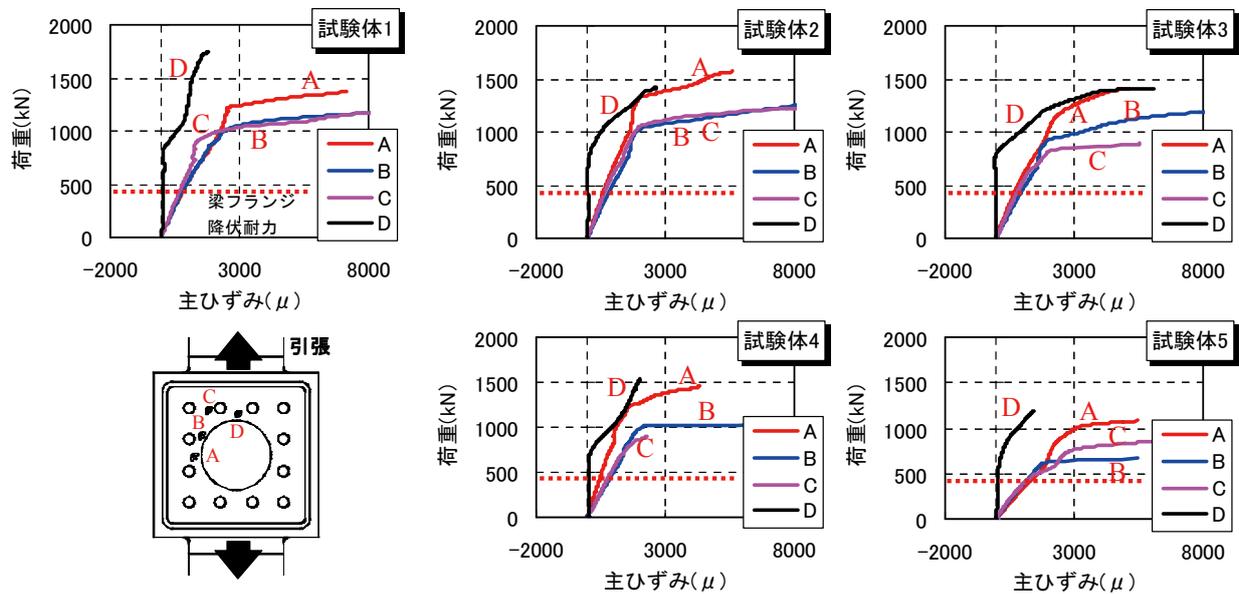


図-10 ダイアフラムひずみ推移

FEM 解析より

- (1) 空気抜き孔12個は、ダイアフラム厚を3サイズアップ (梁フランジ厚 28mm) 40mm にすることで剛性および耐力が確保できた。
- (2) 空気抜き孔なしのダイアフラムは、他のモデルに比べ耐力が大きかった。

局部引張試験の結果より

- (3) 空気抜き孔4個とスカラップタイプは、梁フランジが全断面降伏応力度に達する前にダイアフラム全断面が降伏応力度に達する領域が発生した。
- (4) ダイアフラム空気抜き孔を 12-φ18 としても、板厚を梁フランジに対して3サイズアップすれば局部耐力上従来のダイアフラムの性能を上回

ること、また2サイズアップでも大きな差異はないことがわかった。

- (5) ダイアフラムコーナースカラップを空気抜き孔とする場合、本報のディテールでは局部耐力に余裕がないことがわかった。

【参考文献】

- 1) 端ほか：スランブ21cmのコンクリートを用いたCFT落し込み工法に関する実験的研究 (その1～5)、日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集、A-1、pp961-970、2009年8月
- 2) 新都市ハウジング協会ほか：コンクリート充填鋼管 (CFT) 造技術基準・同解説の運用および計算例等、2009年10月