

# 角形鋼管柱梁接合部内ダイヤフラムが 架構の地震エネルギー吸収性能に及ぼす影響

河南孝典 \* 野田亜久里 \*\* 前川利雄 \*\*

鉄骨造建物の多くに角形鋼管柱とH形鋼梁の組み合わせが採用されているが、この架構形式においては柱梁接合部鋼管の面外剛性が小さいため、梁ウェブの曲げ抵抗が発揮できないという問題が指摘されている。本研究では、接合部に設けた内ダイヤフラムが架構の復元力特性に及ぼす影響を実験により確認し、変形能力やエネルギー吸収性能などについて検討を行った。その結果、内ダイヤフラムを設けた架構試験体では、耐力の上昇はほとんどなかったものの、地震エネルギー吸収性能が大幅に向上することを確認した。

キーワード：鉄骨柱梁接合部、内ダイヤフラム、角形鋼管柱、地震エネルギー吸収性能

## 1. はじめに

現状の鉄骨造建物の多くに角形鋼管柱とH形梁の組み合わせが採用されているが、この部材断面の組み合わせでは柱梁接合部鋼管の面外剛性が小さいため梁ウェブの曲げ抵抗が発揮できないという問題が指摘されている<sup>1)</sup>。実務設計の許容応力算定では梁ウェブの強度が無視され、全塑性耐力の算定においては接合部での局部変形を考慮し、低減された耐力評価がなされているのが現状である。

本研究では、梁ウェブ強度を有効に機能させることを意図し、柱梁接合部の内部に複数の補強プレート(内ダイヤフラム)を設けた単位架構の静的加力試験を行い、これらの補剛材が復元力特性に及ぼす影響を実験的に調べた。

## 2. 実験概要

### 2. 1 試験体

試験体の概要を Fig. 1 に示す。柱部材は□-400×400×19 (BCR295) の角形鋼管、梁部材に H-600×200×11×17 (SN490B) のH形鋼を用いたト字形柱梁骨組みである。梁部材は柱部材に設けた通しダイヤフラムに接合されている。梁端の接合部はノンスラップ工法とし、梁フランジと通しダイヤフラムは突き合わせ溶接、梁ウェブと柱鋼管は隅肉溶接とした。試験体は階高約 4.4m、スパン約 8.8m を想定した架構の約 1/2 スケールで、無補強試験体 (No. 1) と柱梁接合部に 4 枚のダイヤフラムを設けた試験体 (No. 2) の合計 2 体である。No. 2 試験体の柱梁接合部内のダイヤフラムは、柱部材の鋼管へ突き合わせ溶接とした。使用材料の機械的性質を Table 1 に示す。

Table 1 使用材料の機械的性質

鋼種	使用部位	板厚 mm	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	降伏ひずみ μ	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>
BCR295	柱	19	432	4,040	486	211,000
	梁ウェブ	11	461	2,380	575	207,000
SN490B	梁フランジ	17	435	2,140	568	212,000
	通しダイヤフラム	22	328	1,710	504	208,000
	内ダイヤフラム	16	399	1,860	530	214,000

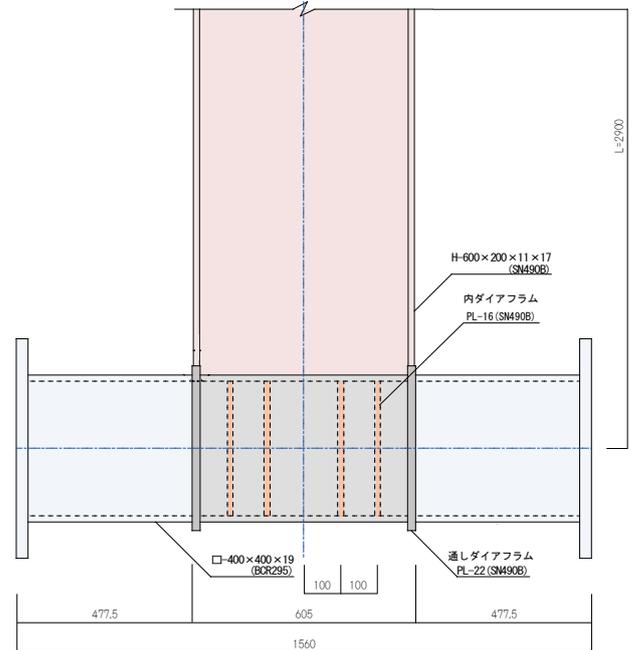


Fig. 1 試験体概要

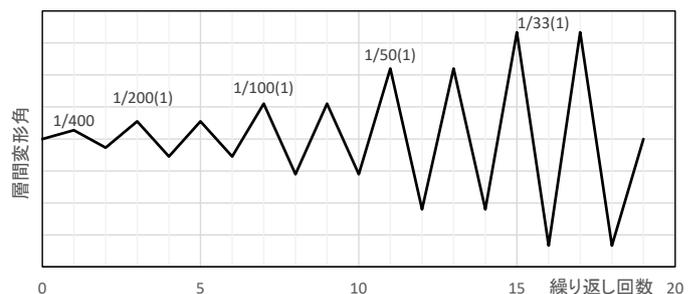


Fig. 2 載荷履歴

\* 設計本部 構造設計部 構造第一グループ  
\*\* 技術本部 技術研究所 防災技術研究室

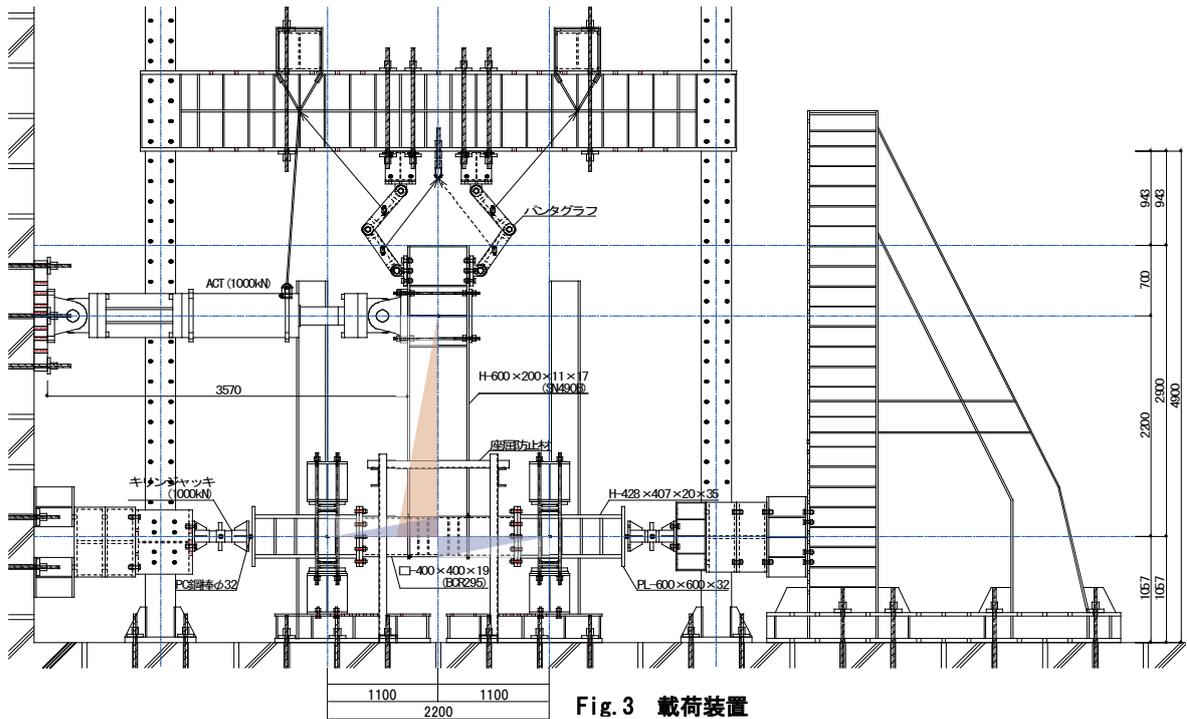


Fig. 3 載荷装置

## 2. 2 載荷方法

載荷方法は片持ち梁形式とし、1000kN 水平アクチュエーターを用いて梁先端部での正負漸増繰り返し載荷とした。載荷条件は、部材角 $R=1/400\text{rad}$ を1サイクル、 $R=1/200$ ,  $R=1/100$ ,  $R=1/50$ ,  $R=1/33\text{rad}$ を各2サイクルとした。Fig. 2 に載荷履歴, Fig. 3 に載荷装置を示す。

## 3. 実験結果

### 3. 1 破壊性状

No. 1 試験体は、 $R=1/50\text{rad}$ のサイクルで圧縮側の梁フランジに局部座屈が発生した。その後、片側の梁フランジ溶接部に亀裂がみられたものの、 $R=1/33\text{rad}$ の1サイクル目で最大耐力に達した後、梁フランジ・ウェブに明確な局部座屈を発生し耐力が低下した。その後、 $R=1/33\text{rad}$  2サイクル目の加力中に引張側梁フランジの溶接部に亀裂を発生し、溶接部が破断、載荷を終了した。



(a) 梁フランジの局部座屈 (No. 1)



(b) 梁フランジ溶接部からの亀裂 (No. 2)

No. 2 試験体は、 $R=1/33\text{rad}$ のサイクルで最大耐力に達した後、左右梁フランジ、梁ウェブに明確な局部座屈を発生して耐力低下した。No. 2 試験体は $R=1/33\text{rad}$  2サイクル目に予定した最終サイクルにおいても破断や急激な耐力低下に至らなかったため、 $R=1/33\text{rad}$ のサイクルを繰り返した。 $R=1/33\text{rad}$  5サイクル目で東側梁フランジの溶接部に亀裂が発生し、11サイクル目負側の加力中に亀裂が梁ウェブまで進展、急激に耐力が低下したため載荷を終了した。Photo. 2 に No. 1, No. 2 試験体の破壊

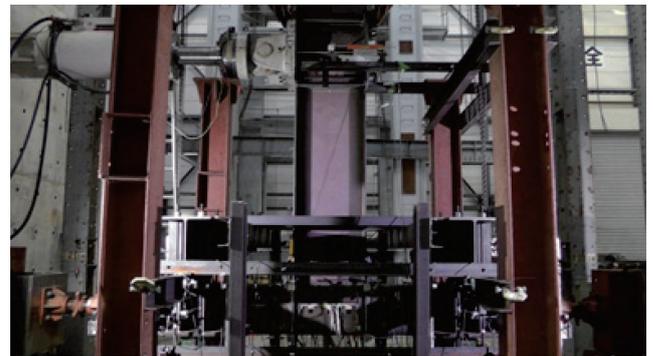


Photo. 1 実験写真

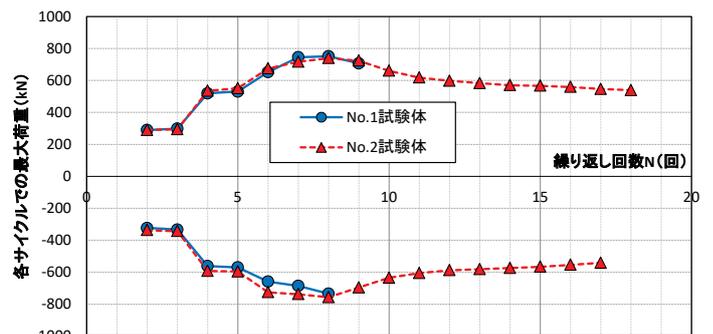


Fig. 4 各サイクルでの最大荷重—繰り返し回数関係

性状を示す。

Fig. 4に $R=1/200\text{rad}$ .以降の各サイクルでの最大荷重—繰返し回数—の関係を示す。最大荷重に関しては実験変数による違いがあまりみられず同等の値を示しているが、繰返し回数についてはNo.1試験体に対しNo.2試験体では10回程度増しており、接合部内にダイヤフラムを設けたことでエネルギー吸収能力が大幅に向上していることがうかがえる。

### 3.2 履歴性状

各試験体の履歴曲線をFig.5に示す。図の縦軸はせん断力 $Q$ 、横軸は変形角 $R$ である。履歴曲線は各試験体とも $R=1/200\text{rad}$ .までは弾性挙動を示し、 $R=1/100\text{rad}$ .のサイクルより非線形挙動を示すようになり、 $R=1/50\text{rad}$ .のサイクル時には塑性変形が進行するが、繰返しによる耐力低下もなく安定した紡錘形の履歴曲線を示す。No.1試験体は $R=1/50\text{rad}$ .1サイクル目の加力中に加力装置の不具合により $R=1/29\text{rad}$ .まで変形が進んでしまったが、 $R=1/33\text{rad}$ .1サイクル目で最大耐力 $Q=752\text{kN}$ に至るまで安定した履歴曲線を示した。最終的には $R=1/33\text{rad}$ .2サ

イクル目の加力中に梁フランジ溶接部における亀裂の進展により、急激な耐力低下を伴う脆性的な破壊を起こした。

No.2試験体では、 $R=1/33\text{rad}$ .1サイクル目で最大耐力 $Q=757\text{kN}$ に至るまで安定した履歴曲線を示した。その後 $R=1/33\text{rad}$ .のサイクルを10回繰返し、繰返すごとに耐力は低下したが、急激な耐力低下は起こさなかった。11サイクル目の負側で梁フランジ溶接部からの亀裂の進展で急激な耐力低下を起こしたが、繰返しの回数を考慮すれば十分に靱性に富んだ性状を示したといえる。

### 3.3 各部のひずみ性状

引張側梁フランジのひずみ分布をFig.6に示す。各試験体とも梁端部のひずみが大きくなる傾向を示す。No.1試験体に対してNo.2試験体では、各サイクルでのひずみが小さくなっている。これは柱梁接合部内に設けたダイヤフラムにより柱鋼管の変形が抑制されたため、これにより梁フランジや柱鋼管との溶接部での損傷が抑えられ、No.2試験体で繰返し回数が大きく向上したと考えられる。柱梁接合面のひずみ分布をFig.7に示す。どちら

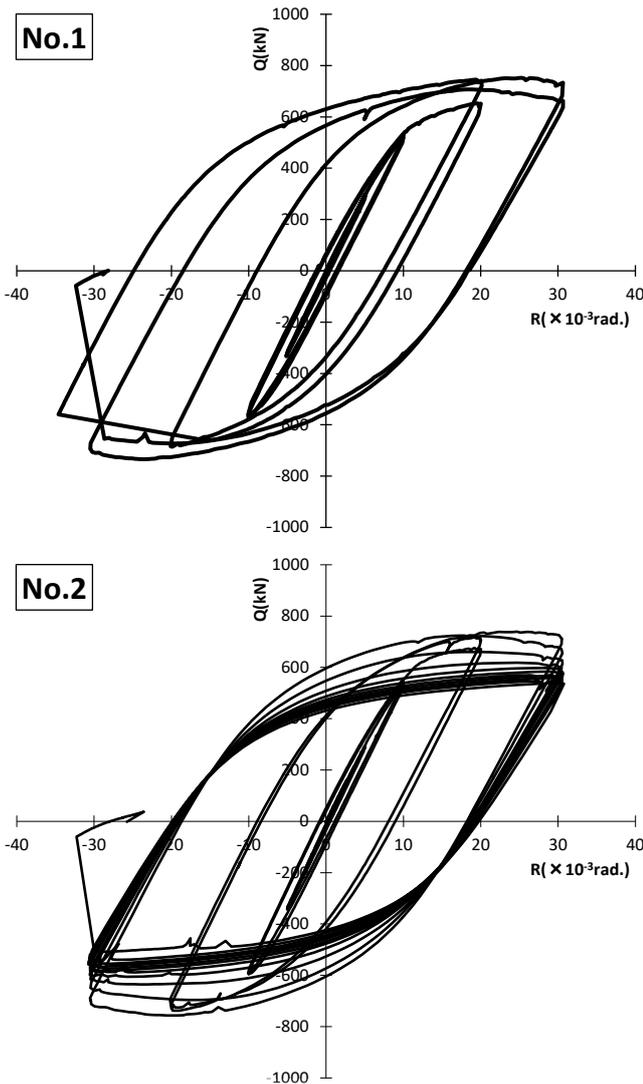


Fig. 5 荷重—変形関係

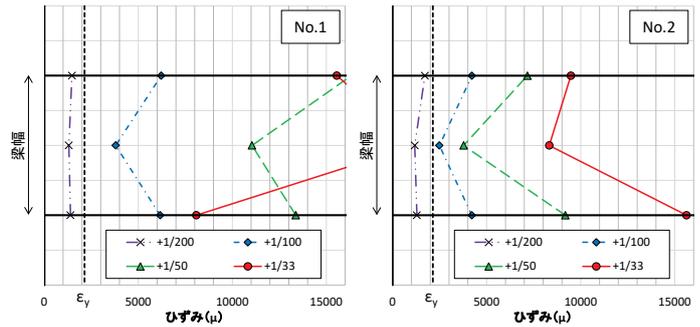


Fig. 6 梁フランジひずみ分布

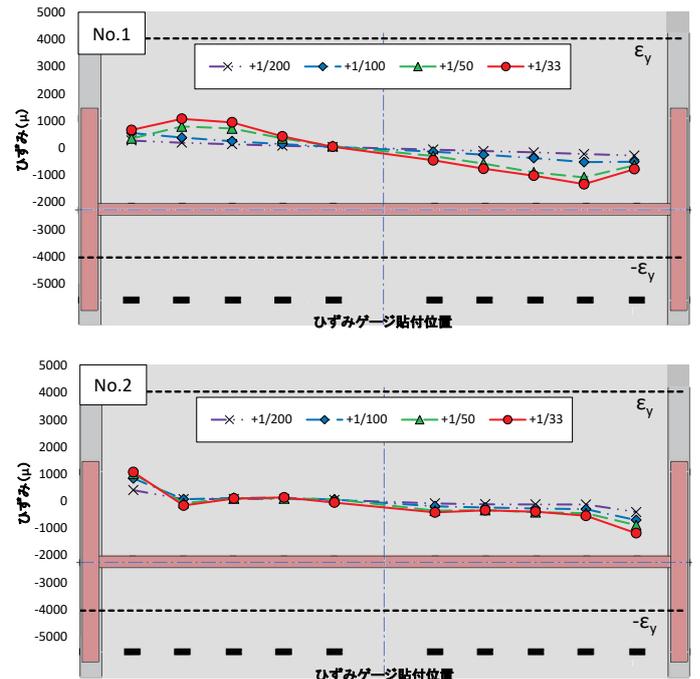


Fig. 7 鋼管柱の梁接合面におけるひずみ分布

も終局時まで弾性域内ではあるが、No. 1 試験体に対し No. 2 試験体の値が小さくなっている。

梁ウェブのひずみ分布を Fig. 8 に示す。R=+1/50rad. まではウェブの中央部で No. 2 試験体のひずみが No. 1 試験体に対してやや大きくなっている。梁ウェブが耐力に寄与したとも考えられるが、No. 1 試験体に対して劇的に変化したとは言い難く、前提としていたウェブ耐力は見込めないと考えられる。

#### 4. まとめ

梁ウェブ強度を有効に機能させることを意図し、角形鋼管柱梁接合部内にダイアフラムを設けた単位架構の静的加力試験を行い、これらの補剛材が復元力特性に及ぼす影響を実験的に調べた。その結果、以下の事がわかった。

1) 内ダイアフラムを設けた試験体、設けない試験体ともに、梁フランジおよびウェブの局部座屈の発生に伴い、耐力が低下した。

2) 内ダイアフラムにより梁ウェブを有効に機能させ架構の耐力をいくらか上昇させる事を意図したが、試験体の最大耐力は内ダイアフラムの有無にかかわらずほぼ同程度の値であった。

3) 層間変形角 1/33rad. の繰り返し载荷を行った結果、内ダイアフラムを設けた試験体では、設けない試験体に比べエネルギー吸収能力が数倍となった。これは、柱梁接合部内部に設けた内ダイアフラムの働きによるものと考えられる。

当初に狙った内ダイアフラムによる架構耐力の上昇という意味合いでは、望むべき結果が得られなかったが、内ダイアフラムの存在により、接合部における応力の偏り、特にフランジ溶接部の局所応力集中が緩和された事によって梁端部破断までの変形性能が大幅に向上するという事がわかった。

昨今、最新の地震動予測手法の精度向上に呼応する形で、従来の耐震設計規範ではあまり注目されていなかった架構骨組の地震エネルギー吸収能力や変形能力といっ

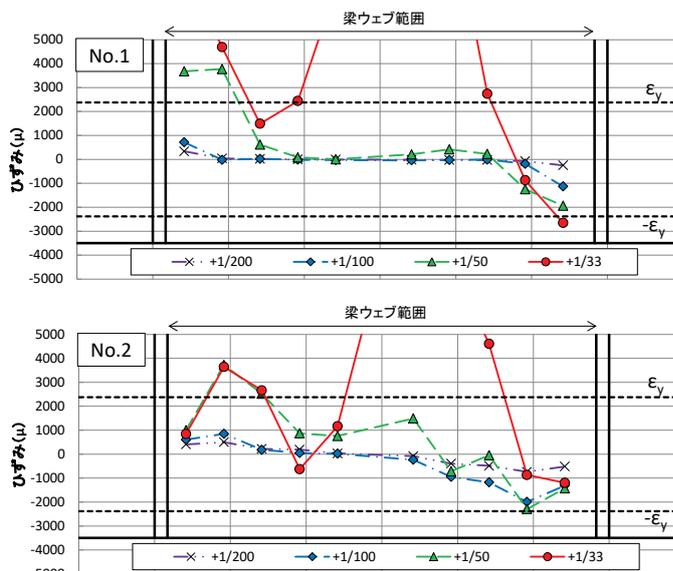


Fig. 8 梁ウェブひずみ分布

たものについて注目が集まって来ている(例えば<sup>2)</sup>。国土交通省は平成 28 年に「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」をとりまとめており<sup>3)</sup>、その中で「繰り返し変形による梁端部破断の検証方法」とし接合部ディテールに応じた設計疲労曲線により破断の有無を検証するように求めている。

本研究で扱った接合部内の内ダイアフラムは、このような疲労特性を格段に向上させる可能性を秘めている。より現実的なディテールや施工の容易性を意識した接合部とエネルギー吸収能力の関係について明らかにするため、今後も研究を続けていきたい。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2012. 3
- 2) 平田寛ほか：長周期地震動に対する鉄鋼造超高層建築物の安全性検証方法の検討（その 10）梁部材の多数回繰り返し载荷実験（結果と考察），日本建築学会学術講演梗概集，pp. 1051-1052，2012. 9
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課：超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について，2016. 6. 24  
[http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_ho\\_use\\_fr\\_000080.htm](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_ho_use_fr_000080.htm)

## Influence of Beam to Column Connections with Inner Diaphragm on Seismic Energy Absorption Capacity of Frame

Takanori KANNAN, Aguri NODA and Toshio MAEGAWA

#### Abstract

Steel tubular columns to H-shaped steel beam connections have been adopted for many buildings. However, this framework has the problem that the bending resistance of the beam cannot be exhibited because the out-of-plane stiffness of the column is small. Therefore, the authors conducted a static loading test of the beam to column connections with the inner diaphragm, confirmed the influence of the inner diaphragm on the restoring force characteristics of the frame, and considered its deformation capacity and energy absorption capacity. As a result, the authors confirmed that in the frame specimen provided with the inner diaphragm, the proof stress did not increase, however the seismic energy absorption capacity markedly improved.

Key words: Steel Beam to Column Connection, Inner Diaphragm, Steel Tubular Columns, Seismic Energy Absorption Capacity