

## 中間帯鉄筋に代えてスパイラル筋を用いた SRC構造の柱圧縮試験

大野一昭<sup>1</sup>・芦達拓哉<sup>2</sup>・井上正巳<sup>3</sup>・篠田佳男<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 佐藤工業(株) 中央技術研究所 (〒243-02 神奈川県厚木市三田 47 番 3 号)

<sup>2</sup>正会員 建設省土木研究所 構造橋梁部 (〒305 茨城県つくば市大字旭 1 番地)

<sup>3</sup>正会員 (財) 先端建設技術センター (〒112 東京都文京区大塚 2 丁目 15 番 6 号)

<sup>4</sup>正会員 前田建設工業(株) 技術研究所 (〒179 東京都練馬区旭町 1 丁目 39 番 16 号)

### 1. まえがき

現在、山岳部における高橋脚に対応するため、耐震性に優れ、環境保全や省力化および工期短縮が図られる構造形式である 3H 工法 (Hybrid Hollow High pier 工法) の開発を建設省土木研究所、(財) 先端建設技術センターおよび民間 11 社の共同研究により進めている。この 3H 工法は、在来工法の軸方向鉄筋の一部を鋼材 (H 形鋼、または鋼管) に置き換え (SRC 構造)、中間帯鉄筋に代えてスパイラル筋 (らせん状の鋼材) を用いるものである。

本論文は、3H 工法におけるスパイラル筋のピッチ・間隔や主鉄筋と鋼材の比率などをパラメーターとして柱圧縮試験を行った結果を報告するものである。

### 2. 試験概要

試験体は橋脚の中空断面の一部をモデル化し、寸法は幅 1,600×奥行 450×高さ 1,700 mm と実橋の 1/2 程度とした。高さ方向の上下端には 150 mm の鋼板 (t=12 mm) を巻いて偏心による端部コンクリートの破壊を防ぐ構造とした。

試験ケースを表-1 に示す。ケース 1 (基準試験体) を在来の RC 構造とし、ケース 2～7 を H 形鋼による

SRC 構造、ケース 8、9 を鋼管による SRC 構造、ケース 10 をスパイラル筋を用いた RC 構造とした。ケース 2～9 ではスパイラル筋のピッチ、カラム (スパイラル筋によって拘束された範囲) の間隔、主鉄筋比率 (総鋼材断面積のうち主鉄筋断面積の占める比率)、帯鉄筋ピッチなどを変えて試験を行った。なお、これらのパラメータを設定する根拠としては、総鋼材断面積をほぼ同一とし、主鉄筋比率 10% 程度を主とした。また、スパイラル筋のピッチは、横拘束筋比をベースに設定した。

試験は建設省土木研究所の 3,000tf 大型構造部材万能試験機を用い、試験体の高さ方向に単調増加荷重を行った。なお、荷重速度は変位による制御で、最大荷重まで 0.12～0.2mm/min、最大荷重以後 1.0mm/min とした。計測項目は、荷重荷重ごとの試験体自身の高さ方向の変位および奥行き方向の変位、鋼材・主鉄筋・帯鉄筋・スパイラル筋のひずみなどである。また、試験体を構成するコンクリートの力学的性質および鋼材の機械的性質を表-2、3 に示す。なお、コンクリートの配合強度は 210kgf/cm<sup>2</sup> とした。

主要な試験体断面図を図-1～3 に示す。

表-1 試験ケース

| No. | 構 造       | 鋼材 (本)  | 主鉄筋 (本) | 主鉄筋比率 (%) | 帯鉄筋<br>径・ピッチ (mm) | スパイラル筋     |            |
|-----|-----------|---------|---------|-----------|-------------------|------------|------------|
|     |           |         |         |           |                   | 径・ピッチ (mm) | カラム間隔 (mm) |
| 1   | RC        | —       | D25*42  | 100       | D10*75            | —          | —          |
| 2   | SRC (H 鋼) | H-200*3 | D16*16  | 14.3      | D10*75            | φ 5.1*75   | 100        |
| 3   | SRC (H 鋼) | H-200*3 | D16*16  | 14.3      | D10*75            | φ 5.1*100  | 100        |
| 4   | SRC (H 鋼) | H-200*3 | D16*16  | 14.3      | D10*75            | φ 5.1*150  | 100        |
| 5   | SRC (H 鋼) | H-200*3 | D16*16  | 14.3      | D10*75            | φ 5.1*100  | 200        |
| 6   | SRC (H 鋼) | H-150*3 | D25*16  | 40.2      | D10*75            | φ 5.1*100  | 100        |
| 7   | SRC (H 鋼) | H-200*3 | D16*16  | 14.3      | D10*150           | φ 5.1*100  | 100        |
| 8   | SRC (鋼管)  | φ 216*3 | D16*16  | 16.5      | D10*75            | φ 5.1*75   | 100        |
| 9   | SRC (鋼管)  | φ 216*3 | D16*16  | 16.5      | D10*75            | φ 5.1*150  | 100        |
| 10  | RC        | —       | D25*40  | 100       | D10*75            | φ 5.1*100  | 100        |

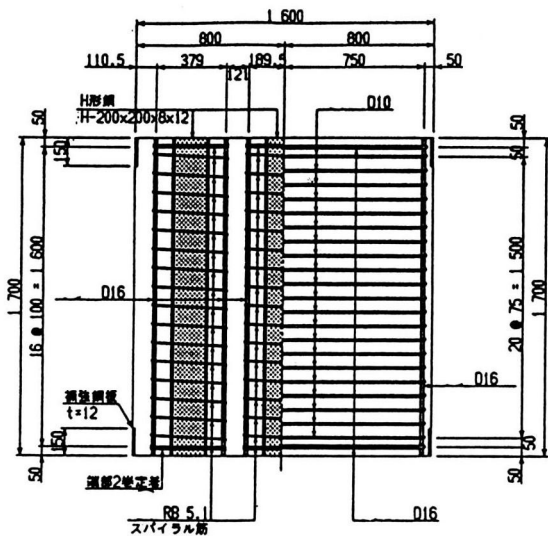


図-1 試験体配筋図 (ケース3)

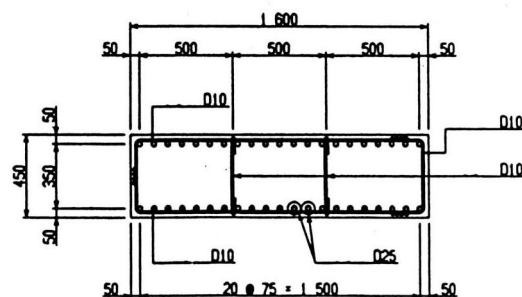


図-2 試験体断面図 (ケース1-基準試験体)

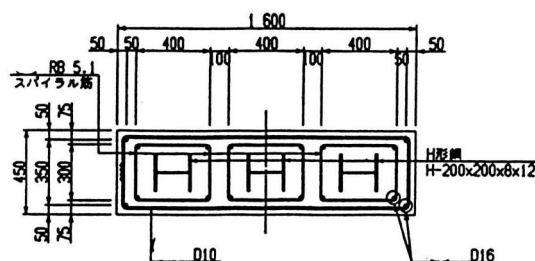


図-3 試験体断面図 (ケース9)

表-2 コンクリートの力学的性質

| No. | 圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 |
|-----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|
| 1   | 164                            | 17.7                           | $1.56 \times 10^5$             | 0.17  |
| 2   | 218                            | 19.1                           | $2.23 \times 10^5$             | 0.20  |
| 3   | 214                            | 23.5                           | $2.18 \times 10^5$             | 0.20  |
| 4   | 223                            | 22.6                           | $2.36 \times 10^5$             | 0.20  |
| 5   | 214                            | 19.5                           | $2.17 \times 10^5$             | 0.18  |
| 6   | 242                            | 23.2                           | $2.19 \times 10^5$             | 0.20  |
| 7   | 257                            | 21.2                           | $2.13 \times 10^5$             | 0.21  |
| 8   | 231                            | 18.5                           | $2.29 \times 10^5$             | 0.20  |
| 9   | 231                            | 20.9                           | $2.28 \times 10^5$             | 0.18  |
| 10  | 245                            | 22.3                           | $2.30 \times 10^5$             | 0.21  |

表-3 鋼材の機械的性質

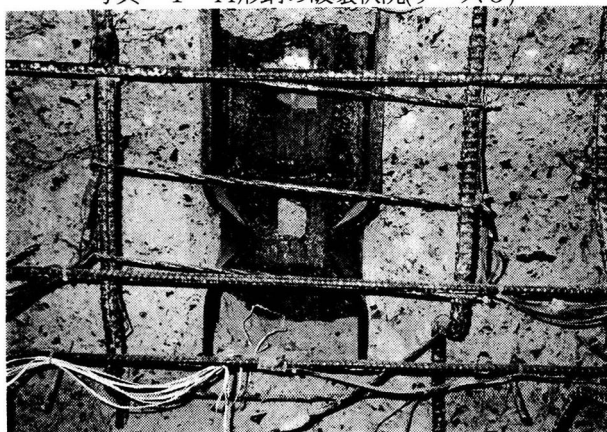
|   |       | 規 格     | 降伏強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 降伏ひずみ<br>(μ) | 使用試験体      |
|---|-------|---------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|------------|
| 鋼 | H鋼    | H-200×3 | 2910                           | 4380                           | 2.05×10 <sup>6</sup>           | 1370         | ケ-12～5,7   |
|   |       | H-150×3 | 3080                           | 4290                           | 2.04×10 <sup>6</sup>           | 1460         | ケ-16       |
| 材 | 鋼管    | φ 216×3 | 3900                           | 4550                           | 1.91×10 <sup>6</sup>           | 2220         | ケ-18,9     |
| 鉄 | 主鉄筋   | D25     | 3630                           | 5320                           | 1.87×10 <sup>6</sup>           | 1950         | ケ-11,6,10  |
|   |       | D16     | 3680                           | 5290                           | 1.88×10 <sup>6</sup>           | 1970         | ケ-12～5,7～9 |
| 筋 | 帯鉄筋   | D10     | 3610                           | 5120                           | 1.80×10 <sup>6</sup>           | 2000         | 全ケース       |
|   | スリット筋 | RB5.1   | 14540                          | 15200                          | 1.99×10 <sup>6</sup>           | 7320         | ケ-12～10    |

### 3. 試験結果

試験体の破壊状況は、各ケースともにまず荷重方向に沿って端部および中央部のコンクリート表面にひび割れが発生し、荷重の増加に伴い荷重直角方向にコンクリート試験体の中央部がはらみ出した。その後、端部のかぶりコンクリートが剥離し、さらに中央部が剥離して主鋼材の座屈が進行して試験を終了した。写真-1, 2は試験終了時(80mmまで変位した)のH形鋼および鋼管の破壊状況である。

試験結果を表-4に示す。各ケースの耐荷力特性を把握するため、最大荷重より求めたコンクリート応力と試験時のコンクリート強度を比較したものが強度比( $P/\sigma$ )である。この強度比から以下のことがわかる。なお、コンクリート応力を求める際の断面積は、鋼材を考慮することにより求め

写真-1 H形鋼の破壊状況(ケース3)



る換算断面積とした。また、試験体ひずみは試験体変位を試験体高さで除した値を用いている。

- ①ケース 2～4 は、スパイラル筋による拘束効果によって、中間帯鉄筋を有するケース 1 とほぼ同等の最大応力が得られている。また、スパイラル筋のピッチによる最大応力や強度比の差はあまり見られない。
- ②ケース 3 と 5 より、カラムの間隔が最大応力に及ぼす影響はほとんど見られない。
- ③ケース 3 と 6 より、主鉄筋比を 40% 程度とすると、最大応力は 1 割程度低下する。
- ④ケース 3 と 7 より、帯鉄筋の間隔を大きくすると、最大応力は 3 割程度低下する。
- ⑤ケース 3 と 8, 9 より、鋼管を用いた場合、最大応力は 1 割程度低下する。
- ⑥ケース 3 と 10 より、RC 構造の場合、最大応力は 1 割程度低下する。

写真－2 鋼管の破壊状況(ケース 8)



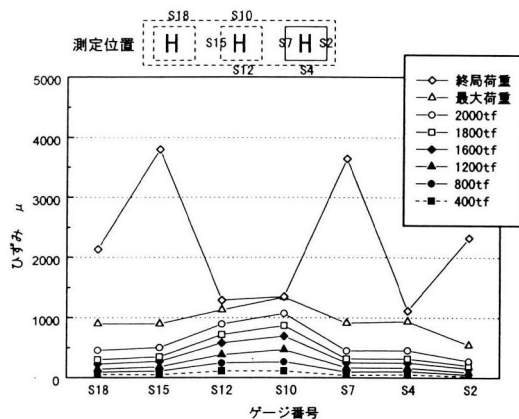
表－4 試験結果

| No. | 構造形式    | 最大荷重 F<br>(tf) | 換算断面積 A<br>(cm <sup>2</sup> ) | 最大応力 P<br>F / A (kgf/cm <sup>2</sup> ) | コンクリート強度 $\sigma$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 強度比<br>P / $\sigma$ |
|-----|---------|----------------|-------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| 1   | RC      | 1797           | 9619                          | 187                                    | 164                                         | 1.14                |
| 2   | SRC(H鋼) | 2157           | 8995                          | 240                                    | 218                                         | 1.10                |
| 3   | SRC(H鋼) | 2129           | 9041                          | 235                                    | 214                                         | 1.10                |
| 4   | SRC(H鋼) | 2093           | 8887                          | 236                                    | 223                                         | 1.06                |
| 5   | SRC(H鋼) | 2176           | 9052                          | 240                                    | 214                                         | 1.12                |
| 6   | SRC(H鋼) | 2156           | 8816                          | 245                                    | 242                                         | 1.01                |
| 7   | SRC(H鋼) | 1919           | 9092                          | 211                                    | 257                                         | 0.82                |
| 8   | SRC(鋼管) | 1854           | 8613                          | 215                                    | 231                                         | 0.93                |
| 9   | SRC(鋼管) | 1934           | 8620                          | 224                                    | 231                                         | 0.97                |
| 10  | RC      | 2027           | 8646                          | 234                                    | 245                                         | 0.96                |

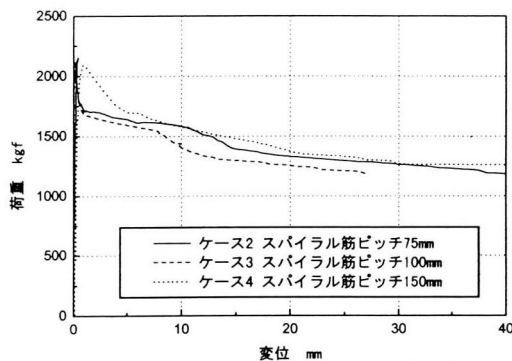
図－4 は、ケース 2 の高さ方向の中央断面におけるスパイラル筋のひずみを示したものである。最大荷重までは中央部のひずみが最も大きい。しかし、そのときのスパイラル筋のひずみは 1,000～1,500  $\mu$  と、自身の降伏ひずみである約 7,300  $\mu$  の 1/7～1/5 と小さい。さらに载荷が進行して最大荷重の 80% 程度まで低下した段階では、中間帯鉄筋に相当する部分のスパイラル筋のひずみは急激に上昇する。そのスパイラル筋は、あたかも中間帯鉄筋的な働きをしているかのように引張力が作用している。

試験体中央部の奥行き方向の変位を図－5, 6 に示す。スパイラル筋のピッチが小さいケース 2, 3 では最大荷重以後すぐには変位が生じず、荷重が 80% 程度に低下した後変位(剥離)が生じ始めている。また、図－6 に示した帯鉄筋のピッチを 150mm としたケース 7 では最大荷重以後すぐに変位が生じ始めており、またカラム間隔についても間隔が大きいケース 5 でもケース 7 と同様に最大荷重以後すぐに変位が生じている。これらより、スパイラル筋のピッチ、カラム間隔、帯鉄筋のピッチは、中間帯鉄筋としての代替効果として期待される横方向への変形の拘束に影響を及ぼしていることが分かる。

スパイラル筋のピッチを変化させた時の試験体の応力とひずみの関係を図－7 に示す。この図から、スパイラル筋のピッチの違いによる試験体の最大応力や、最大応力以後の



図－4 スパイラル筋のひずみ分布



図－5 スパイラル筋ピッチの違いによる荷重と奥行き方向変位の関係

下降勾配にあまり差異が認められないことが分かった。ただし、試験体ひずみで 3,000  $\mu$  付近になるあたりから、スパイラル筋のピッチが大きいほど応力の減少する割合が大きくなっている。なお、これらのケースでは試験体ひずみが 10,000  $\mu$  に達した段階でも、試験体応力で 150kgf/cm<sup>2</sup> 以上を保っており、優れた変形性能を有していることが認められる。

図-8は、スパイラル筋のピッチを同一にして、その他の各種条件を変化させたときの試験体の応力とひずみの関係である。これによると、帯鉄筋のピッチを 150mm と大きくした場合に試験体の最大応力の低下が大きく、最大応力時のひずみが小さいという結果となった。しかし、試験体ひずみが 3000  $\mu$  付近を過ぎると、各ケースにやや差があるものの、その後の応力低下割合もほぼ同様となっている。

主鋼材をH形鋼+主鉄筋(ケース4)、鋼管+主鉄筋(ケース9)、主鉄筋のみ(ケース10)の3ケースについて試験体の応力とひずみの関係を示したのが図-9である。この図から主鋼材の違いは、試験体の最大応力やその時の試験体のひずみにあまり影響を及ぼさないが、最大応力を過ぎると、主鉄筋のみの場合はその他の場合に比べ応力の減少が大きいがわかる。

#### 4. まとめ

今回の柱圧縮試験は、3H工法の基本構造である「SRC構造+スパイラル筋」の性能を把握するとともに、中間帯鉄筋の代替としてのスパイラル筋の可能性を確認することを目的として行ったものである。その結果、3H工法の基本構造は在来工法と同等の軸圧縮強度特性を有し、かつ優れた変形性能を備えており、またスパイラル筋については中間帯鉄筋の代替が可能であることが認められた。

今後、実橋をスケールダウンした全体模型による水平交番載荷試験を実施する予定であり、3H工法の有効性を確認していく考えである。なお、本共同研究を実施した民間11社は以下のとおりである。

石川島播磨重工業(株)、(株)奥村組、川崎製鉄(株)、佐藤工業(株)、清水建設(株)、東急建設(株)、飛鳥建設(株)、日本ヒューム管(株)、(株)間組、(株)フジタ、前田建設工業(株)。

(参考文献)

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)，平成8年12月
- 2) 星隈順一，川島一彦，長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリートの応力-ひずみ関係，土木学会論文集 No. 520/V-28，1-11，1995. 8
- 3) 寺山徹，大塚久哲，鈴木基行：中間帯鉄筋による拘束効果に関する試験的研究，土木学会第51回年次学術講演会，pp. 1006~1007，平成8年9月
- 4) 丸田誠，別所佐登志：高強度材料を使用したRC柱の中心軸圧縮試験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 16，No. 2，pp. 665~670，1994

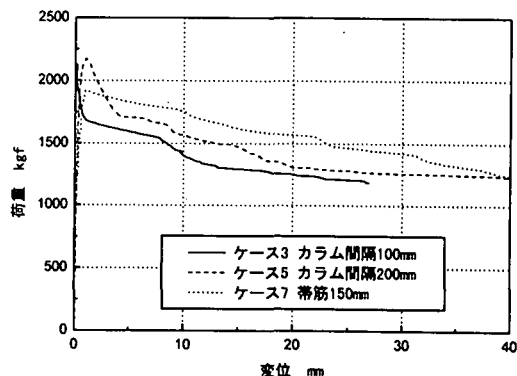


図-6 各種条件を変化させたときの荷重と奥行き方向変位の関係

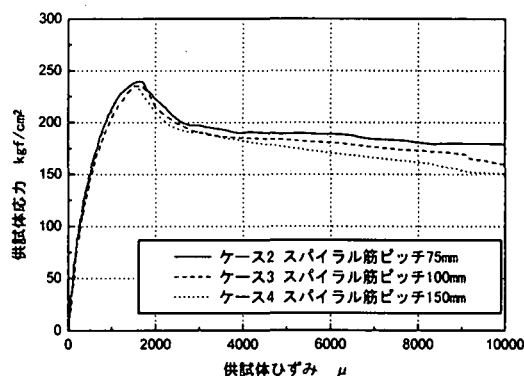


図-7 スパイラル筋ピッチの違いによる試験体の応力とひずみの関係

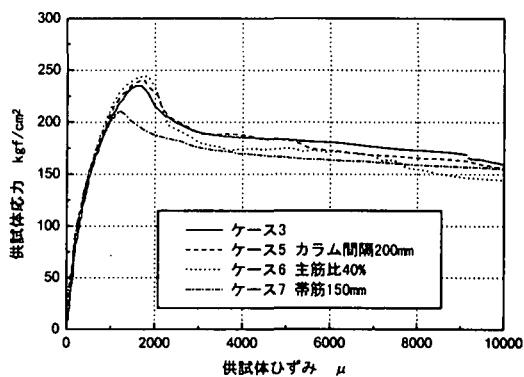


図-8 各種条件を変化させたときの試験体の応力とひずみの関係

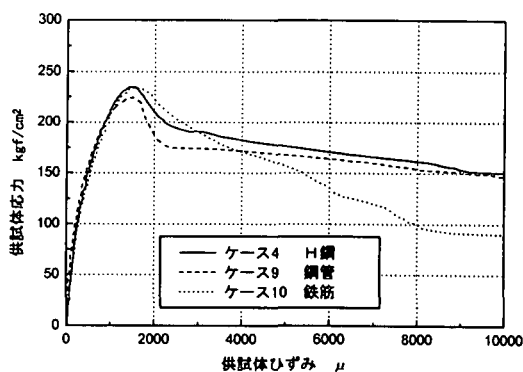


図-9 主鋼材の違いによる試験体の応力とひずみの関係