

## I-75

## 設計の観点からみた橋脚の主鉄筋と帯鉄筋の決定に関する一提案

|                 |          |
|-----------------|----------|
| (株) 長 大         | 正員 村上 憲儀 |
| (財) 北海道開発技術センター | 正員 吉田 紘一 |
| (株) 土木技術コンサルタント | 正員 三好 章仁 |
| 北海道開発局 開発土木研究所  | 正員 佐藤 昌志 |

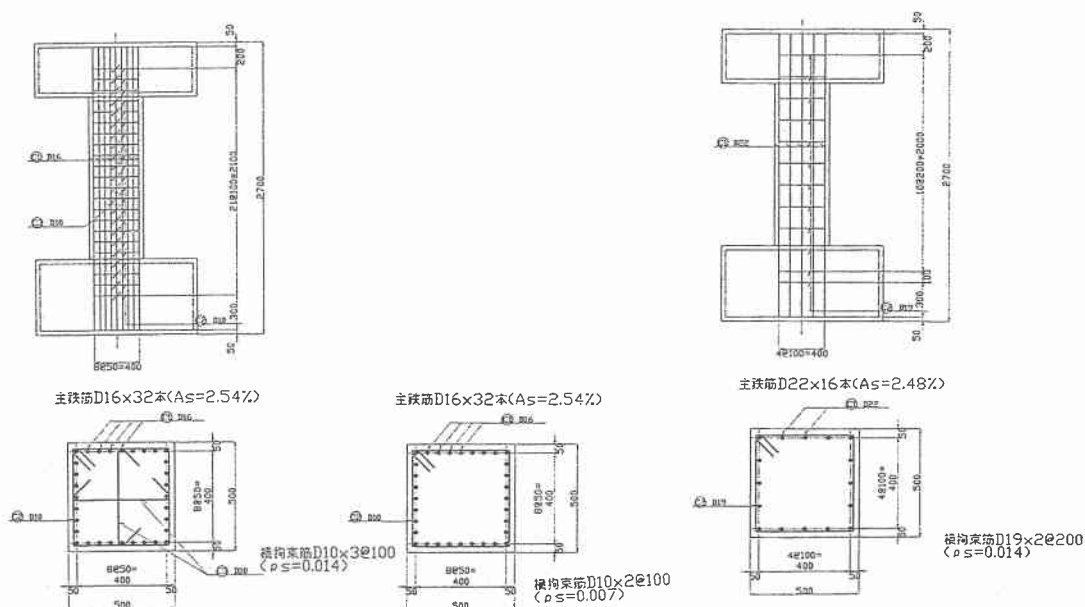
## 1. はじめに

RC柱が交番繰返し荷重を受けるとき、曲げ降伏後、終局状態をむかえ耐力が低下し始める。その際、コンクリートかぶり剥落し軸方向主鉄筋が圧縮座屈現象をいかに防止あるいは遅延させるかが曲げ靱性向上のポイントとなる。RC柱の座屈現象は、オイラー座屈に代表されるように柱部材の剛性ならびに配筋方法に大きく影響される。特に、曲げ靱性向上の検討においては、軸方向主鉄筋には比例限度ならびに降伏点を越えたひずみ硬化域での座屈応力度が作用することになるため、その検討は非常に困難を極める。既往の研究においても各種報告があるが、降伏点近傍を越えた応力度での座屈について十分には解明されていない。

RC柱の耐震性を評価しようとするとき、軸方向主鉄筋の座屈がどのようにコンクリート構造の耐力、変形性能に影響を及ぼすか、また帯鉄筋との関連性はどのようなものであるか、について実験結果を基に解析的に検討したものである。座屈の評価としてはオイラーの座屈理論を用いている。

## 2. 実験概要

本実験に用いた供試体は、断面寸法 50X50cm で柱部高さ 150cm の RC 橋脚矩形供試体を使用した。断面諸元を以下に示す。(図—1)



図—1 RC橋脚供試体寸法及び配筋図

A Suggestion for Main and Tied Reinforcement of RC Pier Model from the Design's point of view  
by Noriyoshi MURAKAMI, Kouichi YOSHIDA, Akihito MIYOSHI, Masashi SATOH

これらの供試体の特性を表—1に示す。また、鉄筋はいずれも SD295A を使用し、コンクリートは設計基準強度 210kgf/cm<sup>2</sup> で実験時の材令における平均圧縮強度は約 230kgf/cm<sup>2</sup> であった。

主鉄筋と帯鉄筋の関係では、P-1 および P-2 とともに主鉄筋は D16、帯鉄筋は D10@100 であり、P-1 には中間拘束筋が付加されている。一方、P-3 では主鉄筋は D22、帯鉄筋は D19@200 である。

表—1 供試体一覧

|           | 実験ケース | 主鉄筋      | 鉄筋比 P(%) | 帯鉄筋     | 中間帯鉄筋   | 帯鉄筋比 P(%) |
|-----------|-------|----------|----------|---------|---------|-----------|
| 橋脚<br>供試体 | P-1   | D16-32 本 | 2.54     | D10@100 | D10@100 | 0.43      |
|           | P-2   | 〃        | 〃        | 〃       | ----    | 0.29      |
|           | P-3   | D22-16 本 | 2.48     | D19@200 | ----    | 0.57      |

実験は、橋脚供試体では、水平載荷装置を用いた圧縮・引張両用の油圧ジャッキにより載荷する方法で行った。供試体上には上部工重量に相当する重量 20tf のウェイトを載せ、これに水平荷重を加えている。交番載荷方法は、載荷初期の段階、すなわち最初に軸方向鉄筋が降伏するまでは段階的に交番載荷している。なお、主鉄筋のひずみが 1700 $\mu$  で引張鉄筋は降伏したものとみなした。この応力レベルで交番載荷を 5 回繰り返しこのときの平均変位を 1 $\delta_y$  に設定した。このような操作を行ったのは、正負の変形条件をできるだけ均等になるように配慮したためである。その後、2 $\delta_y$ 、3 $\delta_y$ 、… と変位制御により繰り返し回数 5 回ずつ交番載荷を行った。

## 2. 実験結果

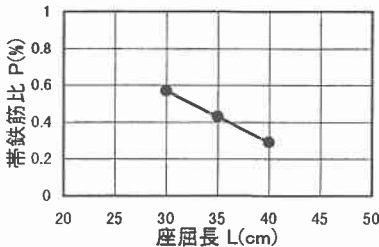
各供試体の交番載荷実験による最終損傷状況を写真—1に示す。また、荷重と変位の関係を図—2に、供試体 P-1 の主鉄筋、帯鉄筋及び横拘束筋のひずみを図—3に示す。

### 2-1 損傷状況

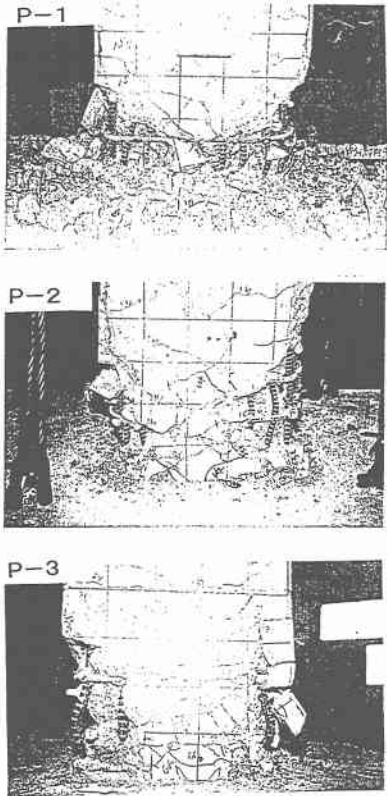
最終損傷状況より、各供試体での座屈長を観察すると、P-1 では約 35 cm、P-2 では約 40 cm、また P-3 では約 30 cmであった。

P-1 と P-2 で見れば、必ずしも帯鉄筋の最小間隔で座屈していない。また、中間拘束筋が入っていると座屈長は短くなっている。一方、P-2 と P-3 で見れば、帯鉄筋径が大きい方が主鉄筋の座屈長は短くなっている。

これより、太径の主鉄筋と帯鉄筋の組み合わせの方が座屈長は短くなることがわかる。(図—2)



図—2 帯鉄筋比と座屈長の関係 (実験結果)



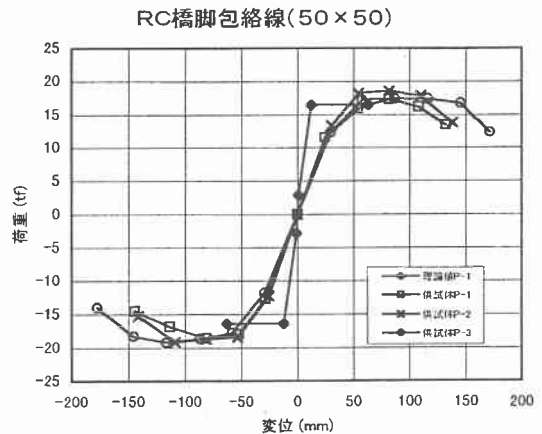
写真—1 最終損傷状況

## 2-2 荷重と変位の関係

図—3より、各供試体とも最大耐力はほぼ同程度であった。しかし、太径鉄筋を使用した供試体P-3の終局変位はP-1及びP-2に比べ30%程度延びており、変形性能(靱性率)が大きくエネルギー吸収は大きくなっているものと解釈される。

塑性率  $\mu$

|     | $\delta y$ (cm) | $\delta u$ (cm) | $\mu$ |
|-----|-----------------|-----------------|-------|
| P-1 | 26.8            | 138.4           | 5.16  |
| P-2 | 28.1            | 140.0           | 4.98  |
| P-3 | 29.5            | 174.8           | 5.93  |

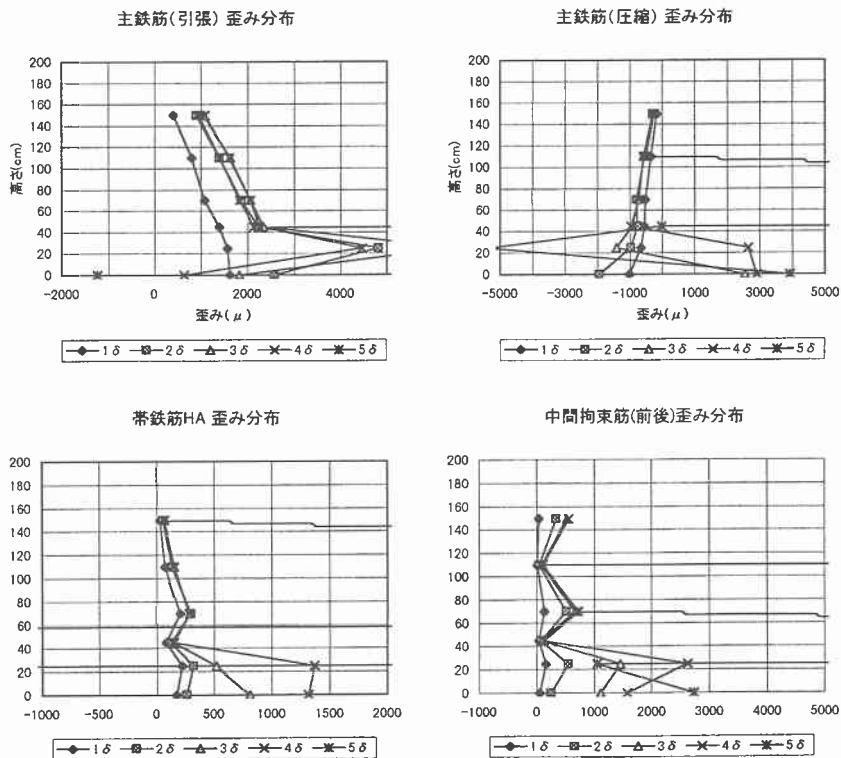


図—3 履歴曲線包絡線

## 2-3 鉄筋のひずみと座屈の関係(供試体P-1)

図—4より、P-3で測定された主鉄筋のひずみを見ると、3 $\delta$ 以降では柱基部から20cmを中心に40cm程度の範囲で大きな応力が発生している。また、帯鉄筋及び中間拘束筋の応力分布でも同様である。

これらのことより、この範囲がほぼ座屈長に等しいものと判断できる。なお、目視の結果ともほぼ整合している。



図—4 供試体P-1の鉄筋ひずみ図

### 3. 主鉄筋座屈の検討

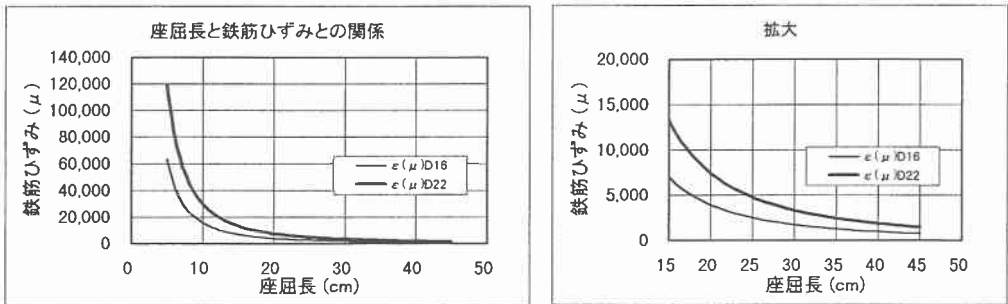
主鉄筋の座屈について、オイラーの座屈理論から主鉄筋の座屈長を算定すると図—5のようになる。

供試体P-1の圧縮側主鉄筋のひずみ分布を見ると、基部から20cm程度上方では $3\delta y$ では約1300 $\mu$ 、 $5\delta y$ の時点で急激にひずみレベルが5000 $\mu$ を越えて構造物の終局を迎えている。下図の理論式からも、座屈長が40cmの時の主鉄筋ひずみは約1000 $\mu$ であり、すでに $3\delta y$ 程度の時点でほぼ座屈が発生しているものと推察される。

これは、実験における載荷過程のかぶりコンクリートの圧壊発生状態とよく一致している。

オイラーの座屈理論値と主鉄筋の軸圧縮力との関係

|                                                 |                         |           |           |
|-------------------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 主鉄筋径                                            | D (cm)                  | 1.6       | 2.2       |
| 変形係数                                            | E(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 2,100,000 | 2,100,000 |
| 断面二次モーメント                                       | I (cm <sup>2</sup> )    | 0.322     | 1.150     |
| 鉄筋断面積                                           | A (cm <sup>2</sup> )    | 2.011     | 3.801     |
| オイラーの座屈軸圧縮力は両端回転支持の柱と仮定する                       |                         |           |           |
| $P_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I / L^2$          |                         |           |           |
| 軸圧縮力より鉄筋歪を仮定                                    |                         |           |           |
| $P = A \cdot \sigma = A \cdot E \cdot \epsilon$ |                         |           |           |



図—5 主鉄筋の座屈長と鉄筋ひずみの関係（理論値）

### 4. まとめ

本研究は、RC橋脚柱の軸方向主鉄筋の座屈が及ぼすコンクリート構造物の耐力および変形性能について、また帯鉄筋との関連性について検討したものである。本研究の範囲内で得られた結論を要約すると、以下のようになる。

- (1) 主鉄筋に太径を用いることにより、帯鉄筋間隔を広げることができる。ただし、せん断破壊型としないようにするために、これらの供試体では20～30cm程度が限度と推察される。
- (2) 主鉄筋の座屈長は基本的に鉄筋剛性が主体的になり、主鉄筋量及び帯鉄筋量がほぼ同じであれば、より太径を使用した方が変形性能（靱性率）に優れエネルギー吸収が大きいこと。
- (3) 帯鉄筋径を上げることにより主鉄筋の座屈を抑止でき、中間拘束筋を配置した場合と同様の効果を得ることができること。

なお、主鉄筋と帯鉄筋との剛性差の関連については、今後の研究課題としてより詳細な実験及び理論研究をする必要があると思われる。