

# 高強度鉄筋と高靱性セメント材料を使用した橋脚柱の変形性能評価

九州工業大学  
株式会社長大

学生会員 ○篠崎正治  
正会員 佐藤 崇

九州工業大学

正会員 幸左賢二

## 1. 研究背景・目的

高靱性セメント材料は、ひび割れ位置での繊維の架橋効果により靱性の大幅な向上が期待でき、近年構造物の高層化に伴い着目されている高強度鉄筋は最大荷重の向上が期待できる。本論文では柱供試体に高靱性セメント材料と高強度鉄筋を使用し、正負交番載荷実験を行い、変形性能および柱基部付近の損傷について検討した。

## 2. 実験概要

供試体の形状を図-1に示す。実験供試体は1辺400mmの正方形断面、高さ1600mmの柱供試体で柱基部から700mmの高さまでを全断面高靱性セメント材料で打設している。これは終局時において降伏曲げモーメント以上の断面力が0.3~0.4H（載荷高さH）位置で働くためである。No.2-4は軸方向鉄筋にSD345を使用し、No.2-7の軸方向鉄筋には高強度鉄筋であるSD490を使用した。軸方向鉄筋の強度の増加に伴い水平荷重の増加が予測されたのでせん断破壊を防ぐためにNo.2-7の帯鉄筋間隔を変更している。また、実験供試体のフーチング上部100mmを柱下部と同時に打設することで打ち継ぎ目を無くし、柱とフーチングの付着切れの抑制を試みた。実験方法は柱供試体の上面より1.0N/mm<sup>2</sup>相当の一定軸力を載荷した正負交番載荷試験であり、柱基部より高さ1400mmを水平荷重載荷高さとした。実験開始から降伏点までは荷重制御で載荷し、降伏後は変位制御で降伏変位を $\delta y$ として整数倍で載荷実験を進めた。降伏点は試算より算出し、終局は降伏荷重を下回った時を終局点と定義した。

## 3. 実験結果

図-2にNo.2-4, 2-7の荷重変位履歴曲線を示し、図-3に荷重変位包絡線を示す。No.2-4では、約158kNで主鉄筋が降伏ひずみを超え、 $9\delta y$  (74mm)で最大荷重223kNに達した。その後、 $13\delta y$  (107mm)まで荷重を保持したまま変位が進展したが、柱基部のはらみ出し、かぶり部の圧壊の発生とともに荷重が低下し、132mmで $P_y$ を下回った。No.2-7では、約217kNで主鉄筋が降伏し、 $5\delta y$  (65mm)で最大荷重286kNに達した。その後、 $8\delta y$  (104mm)まで荷重を保持したが柱基部のはらみ出しとともに荷重が低下し、136mmで $P_y$ を下回った。最大荷重はNo.2-4よりNo.2-7の方が上回っているが、No.2-4とNo.2-7の終局変位の差はほとんどなく、高靱性セメント材料と高強度鉄筋を使用した橋脚柱の変形性能は良好な結果が得られた。

図-4にNo.2-4, No.2-7のフーチング上面の降伏変位前、水平変位40mm, 100mmに達するまでに生じたひび割れ状況を示す。No.2-4の降伏変位前に生じたひび割れはNo.2-7に比べ、柱とフーチングの接合部付近で多く見られた。また、変位が進展することで、初期のひび割れ位置から進展するものの、ひび割れ幅

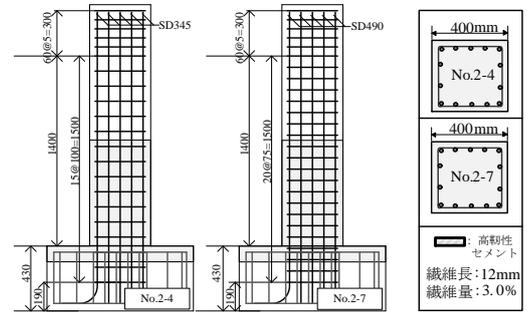


図-1 供試体形状及び載荷方法

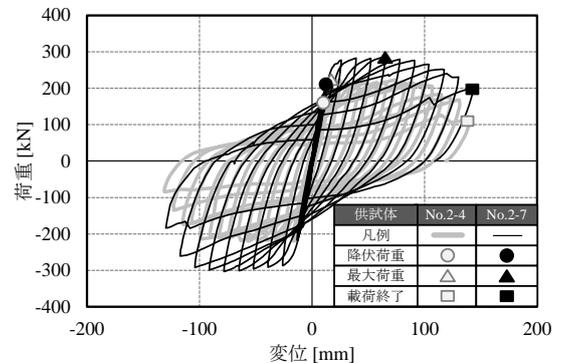


図-2 No.2-4, No.2-7 P- $\delta y$  履歴曲線

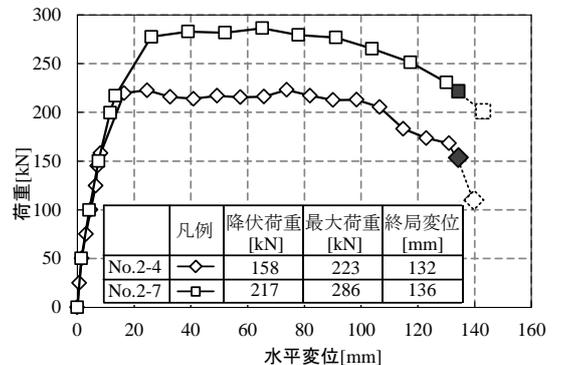


図-3 No.2-4, No.2-7 P- $\delta y$  包絡線比較

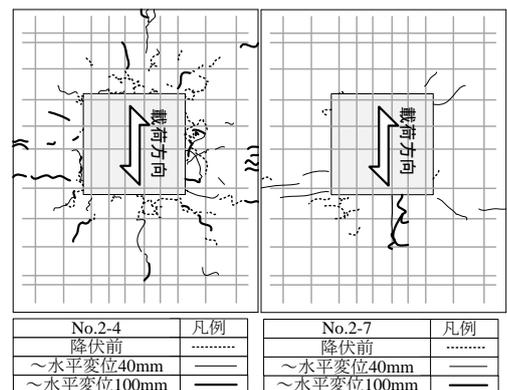


図-4 No.2-4, No.2-7 フーチング損傷比較

は両供試体とも 0.3mm 以下の小さいひび割れであったことから、軸方向鉄筋の強度の違いがフーチングに及ぼす影響は小さいといえる。図-5 に No.2-4, 2-7 の柱基部周辺の損傷状況を示す。打ち継ぎ目近辺でのひび割れ性状は両供試体ともある一か所のひび割れが大きく進展しており、ひび割れ開口幅は No.2-4 は 8mm, No.2-7 では 5mm と開口幅に違いが見られた。No.2-4 は No.2-7 に比べ軸方向鉄筋強度が低いことから中立軸が圧縮側寄りになり、引張側のひずみが No.2-4 の方が大きくなるため、引張側ひび割れの開口が大きくなったと考えられる。

#### 4. 抜け出し解析

ここでは、普通コンクリートを対象とした既往の抜け出し特性と、本実験結果から得られた抜け出し特性を比較することで、高靱性セメント材料および高強度鉄筋を用いた場合のフーチング内部の損傷に及ぼす影響を評価する。コンクリートの付着応力特性は島らの提案式(1)を使用し、石橋らの解析方法を参考に解析を行った。

$$\tau/f'_{ck} = 0.73 (\ln(1 + 5s))^3 / (1 + \varepsilon \times 10^5) \quad (1)$$

解析手法は、まず、柱基部での抜け出し量を仮定し、基部からフーチング内部に向かって、付着応力、鉄筋応力減少量、鉄筋ひずみを計算する。次に、鉄筋ひずみの積分値を仮定した抜け出し量から減じて行き定着長先端の抜け出し量が 0 に近似するまで基部の抜け出し量の仮定を修正することで解析的に鉄筋抜け出し量を求める。

図-6 に No.2-4, 2-7 の  $3\delta y$  時のひずみ分布を解析結果と実験結果で比較したものを示す。実験結果は測定区間内の弾性域のひずみを直線で近似し延長して、降伏ひずみとの交点を鉄筋の降伏高さと推定した。実験値と解析値の軸方向鉄筋のひずみ分布の比較を行うとまず、No.2-4 の降伏高さは概ね一致しているが、弾性範囲のひずみ勾配が実験値と解析値で異なる傾向を示し、実験値の方が大きくなる結果となった。一方、No.2-7 の推定したひずみ分布形状はほぼ一致した。

図-7 は縦軸に No.2-4, No.2-7 の  $\pm 1 \sim 3\delta y$  時の抜け出し量の実験値を、横軸に柱基部のひずみを用いて算出した抜け出し量の解析値をプロットした図である。図中には各プロットの近似直線を合わせて示す。実験値と解析値を比較すると、No.2-4 は軸方向鉄筋の抜け出し量が小さい段階より、実験値に比べ解析値が小さく算出され、ある一定の差を維持したまま、抜け出し量が増加していく。No.2-7 はひずみ分布同様に実験値と解析値は概ね一致している。No.2-4 の抜け出し量が初期の状態で大い原因は柱基部の鉄筋ひずみが小さい時は、図-5 に示すように、実験値と解析値の誤差が大きいフーチング深部の弾性範囲が、塑性化している箇所と比べて大きいためと考えられる。図-8 に No.2-4 の抜け出し量の弾性域成分と塑性域成分の割合を示す。荷重が進むにつれて鉄筋の塑性化範囲がフーチング内部に進展していくと、誤差の大きい弾性範囲が減少していき、精度よく実験のひずみ分布を再現できている塑性化範囲が増加するため、抜け出し量が大きくなるにつれ解析値と実験値の誤差は小さくなっていく。

#### 5. まとめ

- 1) 高靱性セメント材料と高強度鉄筋を使用した橋脚柱は変形性能を維持し最大耐力が 28% 向上する結果となった。
- 2) 抜け出し特性に特異性は見られず、柱の変形性能に悪影響を与えるような抜け出し方は生じなかったことから、上記は柱の変形性能が向上した結果であったと言える。

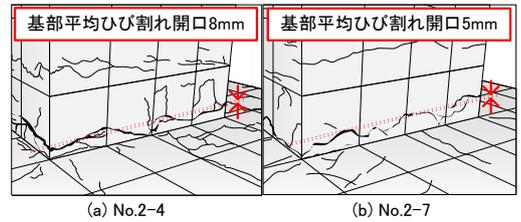


図 - 5 No. 2-4, 2-7 基部損傷比較 (水平変位 40mm)

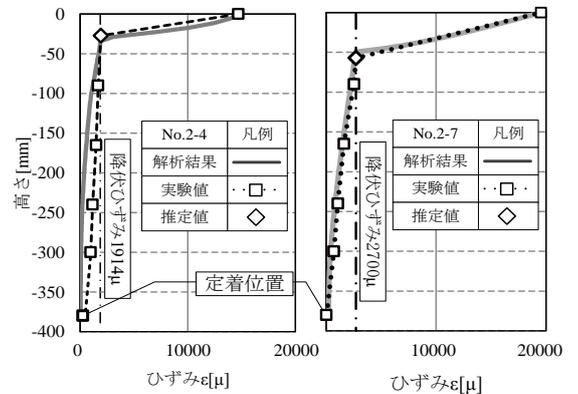


図 - 6 No. 2-4, 2-7  $3\delta y$  抜け出し解析結果

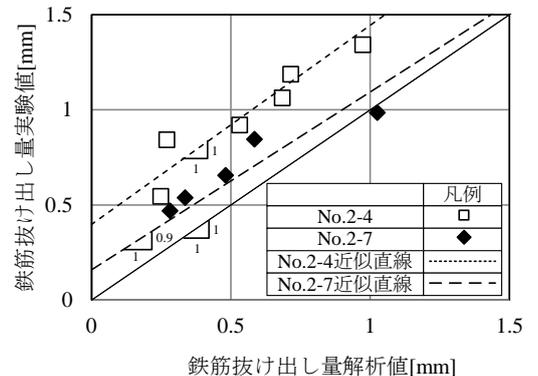


図 - 7 No. 2-4, 2-7 抜け出し量比較

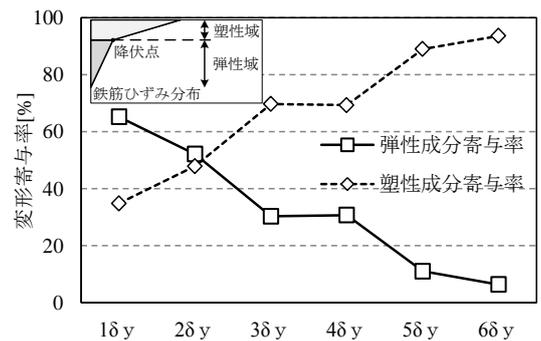


図 - 8 No. 2-4 抜け出し量の割合