

貫通孔内に後挿入された鉄筋の付着性状に関する実験的研究

Experimental Study on Bond Behavior of Post-inserted Reinforcement

新上 浩 HIROSHI SHINJO

蓮尾 孝一 KOICHI HASUO

建築生産計画部 菅谷 和人 KAZUHITO SUGAYA

田野 健治 KENJI TANO

小坂 英之 HIDEYUKI KOSAKA

梁主筋の貫通孔を有する柱梁接合部一体型プレキャスト柱を用いたプレキャスト鉄筋コンクリート造架構の構造性能に関する研究の一環として、貫通孔内に後挿入された鉄筋の単純引抜き試験を実施し、付着性状を確認した。実験パラメータはコンクリート強度および貫通孔の製作方法である。その結果、コンクリート強度および貫通孔の製作方法の違いによって付着指標および破壊面が異なるものの、貫通孔のない一体打ちとしたものと比較して、同等以上の付着性能を有することがわかった。

キーワード: プレキャスト, 貫通孔, 後挿入, 付着性状, シース, 破壊面

This report describes the pull out test on the bond behavior of the post-inserted reinforcement, which is one of the studies on the structural performance of the RC frame with the beam reinforcement passed through precasted beam-column joint with opening. As a result, it was confirmed that although the bond index and the bond failure surface depended on concrete strength and the casing method of opening for the reinforcement, the bond characteristics of the post-inserted reinforcement was equal or higher than that of the cast-in-placed reinforcement.

Key Words: Precast, Opening, Post-inserted, Bond Behavior, Sheath, Failure Surface

1. はじめに

当社では、鉄筋コンクリート造建物の省力化施工を目的として、主筋の貫通孔を有する柱梁接合部一体型プレキャスト部材（梁または柱）による工法の開発を進めてきた^{1)~4)}。本工法でのプレキャスト柱梁接合部への主筋の定着は、部材製作時に設けておいた貫通孔内に鉄筋を後挿入し、その後高強度モルタルを充填することにより一体化する方法であり、現場でコンクリートを打設することにより一体化する方法と異なり、鉄筋とコンクリート間以外の付着界面を有している。

前報告⁴⁾では、本工法でのプレキャスト柱梁接合部内の梁主筋の付着性能を確認することを目的とした柱梁接合部の応力状態を模擬した加力実験の結果について報告した。本報告では、工法の適用範囲の拡張を目的とした、コンクリート強度と貫通孔の製作方法の異なる試験体による後挿入された鉄筋の単純引抜き試験を実施したので、その結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 試験体計画

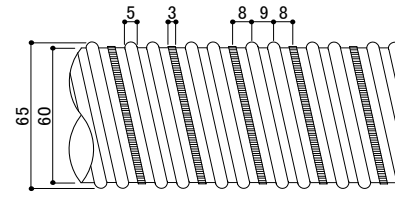
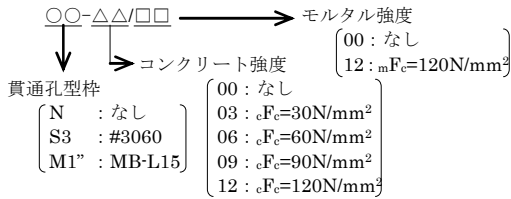
試験体の一覧を表-1に、試験体の形状・寸法を図-1に、貫通孔の型枠を図-2に示す。

実験パラメータは、コンクリート強度および貫通孔の製作方法とし、貫通孔の内径（=60mm）と貫通孔内部に充填するモルタル（目標強度 $mF_c=120\text{N/mm}^2$ ）は共通とした。コンクリートの設計基準強度 f_c は、 $f_c=30,60,90,120\text{N/mm}^2$ の4水準である。貫通孔の製作方法は、前報告と同様に鋼製シース（#3060）を打ち込んだもの（以下 S3 シリーズ）、リップ付きのエア加圧式ゴムバッグ（MB-L15）により形成された凹凸のあるコンクリート素地としたもの（以下 M1” シリーズ）、比較用として貫通孔のない一体打ちとしたもの（以下 N シリーズ）の3水準とした。なお MB-L15 は、モルタル充填前に塗布する吸水調整材が溜まるのを防止するため、またモルタル充填時の空気抜きを行うために、上下のリップを切除して

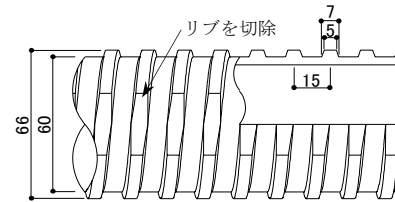
表-1 試験体一覧

| シリーズ | 試験体名 | f_c [N/mm ²] | $m f_c$ [N/mm ²] | 貫通孔型枠 | 貫通孔内径 [mm] |
|------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|--------|---------------|
| N | N-03/00 | 30 | - | なし | 60 |
| | N-06/00 | 60 | - | なし | 60 |
| | N-09/00 | 90 | - | なし | 60 |
| | N-12/00 | 120 | - | なし | 60 |
| | N-00/12 | - | 120 | なし | 60 |
| S3 | S3-03/12 | 30 | 120 | #3060 | 60 |
| | S3-06/12 | 60 | 120 | #3060 | 60 |
| | S3-09/12 | 90 | 120 | #3060 | 60 |
| | S3-12/12 | 120 | 120 | #3060 | 60 |
| | M1” | M1”-03/12 | 30 | 120 | MB-L15 |
| M1” | M1”-06/12 | 60 | 120 | MB-L15 | 60 |
| M1” | M1”-09/12 | 90 | 120 | MB-L15 | 60 |
| M1” | M1”-12/12 | 120 | 120 | MB-L15 | 60 |

※試験体名



(1) #3060



(2) MB-L15

図-2 貫通孔の型枠

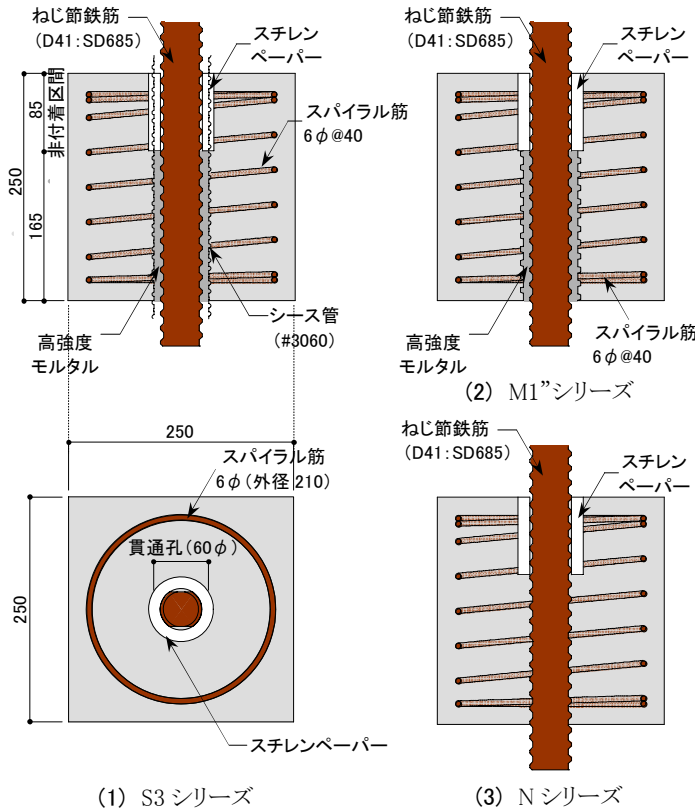


図-1 試験体の形状・寸法

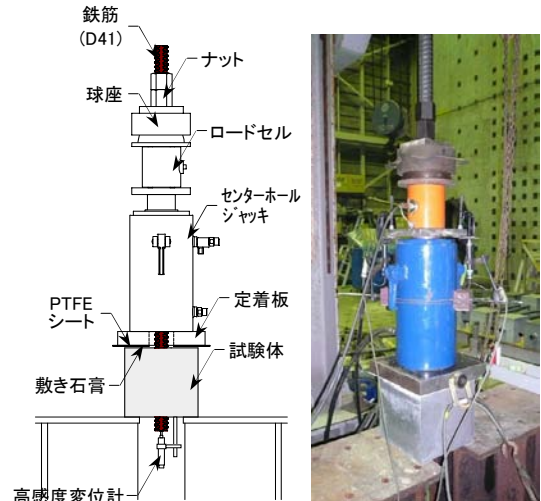


図-3 加力装置図

いる。

試験体の形状・寸法、スパイラル筋の配置等は文献5), 6) の手法を参考に決定した。鉄筋はD41 (SD685) とし、コンクリートは1辺の長さが鉄筋径 d_b の約6倍 (=250mm) の立方体とした。いずれの試験体も、載荷面から d_b の約2倍 (=85mm) の範囲はスチレンペーパーを巻きつけることによって、鉄筋、モルタル、シース管、コンクリート相互の縁を切り非付着区間とした。

試験体の製作は、梁主筋を想定した水平打設とし、コンクリート打設後、鉄筋を貫通孔内に水平に固定して、モルタルを圧入した。試験体は、付着強度のばらつきを考慮して試験体名に対して各3体製作した。

(2) 加力および計測方法

加力装置図を図-3に示す。加力は、センターホールジ

表-2 実験結果一覧

| 試験体名 | 材料試験結果 | | | 最大荷重 | | | 指標 | 破壊※ モード |
|-----------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|------|--------------|----------------|-----|------------|
| | $c\sigma_B$ [N/mm ²] | $E_c \times 10^4$ [N/mm ²] | $m\sigma_B$ [N/mm ²] | 番号 | Pmax [kN] | D_Pmax [mm] | | |
| N-03/00 | 30 | 2.71 | - | 1 | 289 | 0.43 | 178 | RC |
| | | | | 2 | 281 | 0.52 | 165 | RC |
| | | | | 3 | 289 | 0.67 | 169 | RC |
| N-06/00 | 49 | 3.06 | - | 1 | 459 | 0.16 | 442 | RC |
| | | | | 2 | 400 | 0.14 | 388 | RC |
| | | | | 3 | 431 | 0.13 | 414 | RC |
| N-09/00 | 92 | 3.80 | - | 1 | 552 | 0.19 | 492 | RC |
| | | | | 2 | 567 | 0.14 | 551 | RC |
| | | | | 3 | 563 | 0.15 | 540 | RC |
| N-12/00 | 130 | 4.22 | - | 1 | 536 | 0.08 | 536 | RC |
| | | | | 2 | 546 | 0.14 | 538 | RC |
| | | | | 3 | 556 | 0.20 | 538 | RC |
| N-00/12 | - | - | - | 136 | 495 | 0.13 | 489 | RM |
| | | | | 136 | 530 | 0.13 | 524 | RM |
| | | | | 133 | 574 | 0.19 | 558 | RM |
| S3-03/12 | 30 | 2.75 | 122 | 1 | 373 | 0.30 | 307 | SC |
| | | | | 2 | - | - | - | - |
| | | | | 3 | 411 | 0.30 | 341 | SC |
| S3-06/12 | 56 | 3.04 | 132 | 1 | 551 | 0.24 | 532 | SC, MS |
| | | | | 2 | 593 | 0.16 | 558 | SC |
| | | | | 3 | 569 | 0.16 | 540 | SC, MS |
| S3-09/12 | 91 | 3.75 | 123 | 1 | 619 | 0.19 | 605 | SC, MS |
| | | | | 2 | 623 | 0.13 | 613 | MS |
| | | | | 3 | 643 | 0.15 | 618 | MS |
| S3-12/12 | 126 | 4.17 | 126 | 1 | 605 | 0.13 | 584 | MS |
| | | | | 2 | 597 | 0.15 | 580 | MS |
| | | | | 3 | 640 | 0.12 | 629 | MS |
| M1"-03/12 | 32 | 2.71 | 155 | 1 | 466 | 0.23 | 452 | MC, RM |
| | | | | 2 | 477 | 0.27 | 450 | MC |
| | | | | 3 | 475 | 0.12 | 468 | MC, RM |
| M1"-06/12 | 65 | 3.32 | 155 | 1 | 554 | 0.17 | 515 | RM |
| | | | | 2 | 484 | 0.10 | 478 | MC, RM |
| | | | | 3 | 481 | 0.12 | 469 | MC, RM |
| M1"-09/12 | 107 | 4.45 | 154 | 1 | 594 | 0.08 | 594 | MC, RM |
| | | | | 2 | 574 | 0.13 | 567 | RM |
| | | | | 3 | 569 | 0.13 | 561 | RM |
| M1"-12/12 | 120 | 4.67 | 154 | 1 | 553 | 0.10 | 552 | MC, RM |
| | | | | 2 | 556 | 0.09 | 554 | MC, RM |
| | | | | 3 | 593 | 0.12 | 585 | RM |

※図-4 参照

$c\sigma_B$:コンクリートの圧縮強度, E_c :コンクリートのヤング係数
 $m\sigma_B$:モルタルの圧縮強度, D_{Pmax} :最大荷重時の自由端変位

ヤッキで鉄筋端部のナットを押すことにより鉄筋をコンクリートから引抜く方法とし、荷重が低下するまでの一方方向漸増荷重とした。また、荷重側のコンクリート面には2枚のPTFEシートを敷き、摩擦による拘束を低減した。計測は、自由端側のコンクリート面に直接取り付けられた高感度変位計によって、コンクリートと鉄筋自由端間の相対変位を測定した。

3. 実験結果

実験結果の一覧を表-2に示す。同表には各試験日における材料試験結果を併せて示す。ここで $P_{02\%}$ は、自由端変位 S が鉄筋径 d_b の0.2%となる変位(=0.082 mm)時の引抜き荷重を表す。

(1) 破壊状況

いずれの試験体も、コンクリートブロックに縦ひび割れが発生し、その後このひび割れが拡張するとともに、鉄筋、鉄筋とシース管または鉄筋とモルタルが一体となって抜け出した。

破壊モードを、図-4に示すように、最終破壊面によって、鉄筋-モルタル(コンクリート)界面(RM(RC))破壊、モルタル-シース管界面(MS)破壊、シース管-コ

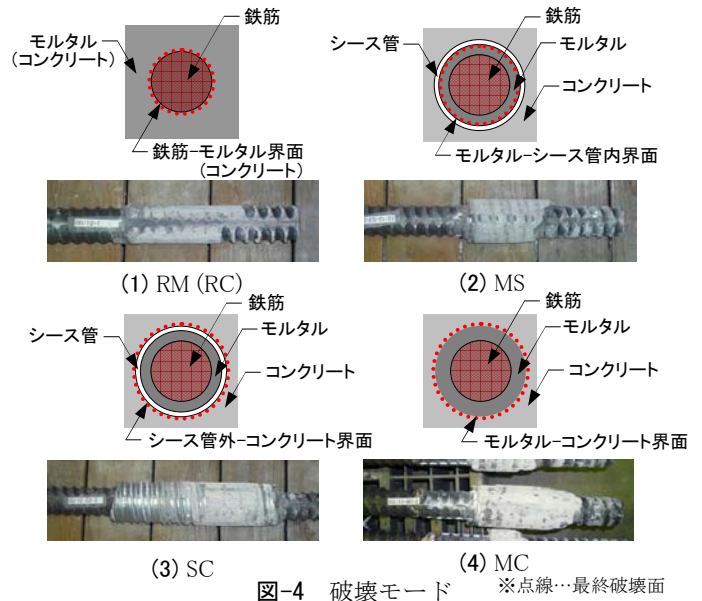


図-4 破壊モード ※点線…最終破壊面

ンクリート界面(SC)破壊、およびモルタル-コンクリート界面(MC)破壊と定義する。

貫通孔をシース管としたS3シリーズでは、コンクリート強度 $c\sigma_B$ によって破壊モードが異なり、低強度の場合はSC、高強度の場合はMSとなっている。シース管の内面と外面の違いはあるもの、すべての試験体で最終破壊面が貫通孔界面となりRMとなるものは見られなかった。

貫通孔をコンクリート素地としたM1"シリーズでは、MCとRMが混在しているが、 $c\sigma_B$ が小さい場合はMC、大きい場合はRMとなる傾向が見られた。

(2) 荷重-変形関係

代表的な試験体の引抜き荷重 P と自由端変位 S の関係を図-5に示す。

貫通孔のない一体打ちのNシリーズは、初滑り荷重とその後の剛性はほぼコンクリート強度 $c\sigma_B$ の大小関係と対応したが、最大荷重 P_{max} は、①03/00、②06/00、③09/00および12/00のほぼ3レベルとなり、09/00と12/00の差は見られなかった。またコンクリートとモルタルという材料の違いがあるものの同強度である12/00と00/12のP-S関係には大きな違いは見られなかった。

S3シリーズでは、初滑り荷重後の剛性がNシリーズの同じ $c\sigma_B$ のものよりも高く、また P_{max} は、①03/12、②06/12、09/12および12/12のほぼ2レベルとなった。

M1"シリーズはP-S関係が、①03/12および06/12、②09/12および12/12の2つに分かれ、前者はNシリーズの同じ $c\sigma_B$ のものよりも初滑り後剛性、 P_{max} ともに高く、後者はNシリーズの同じ $c\sigma_B$ のものと同程度の初滑り後剛性、 P_{max} を示した。

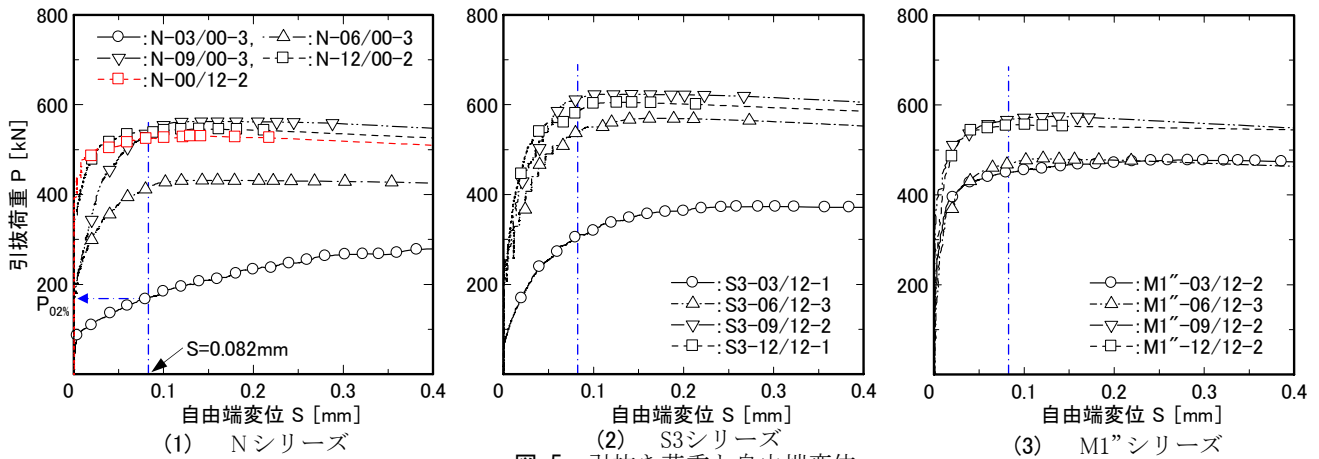


図-5 引抜き荷重と自由端変位

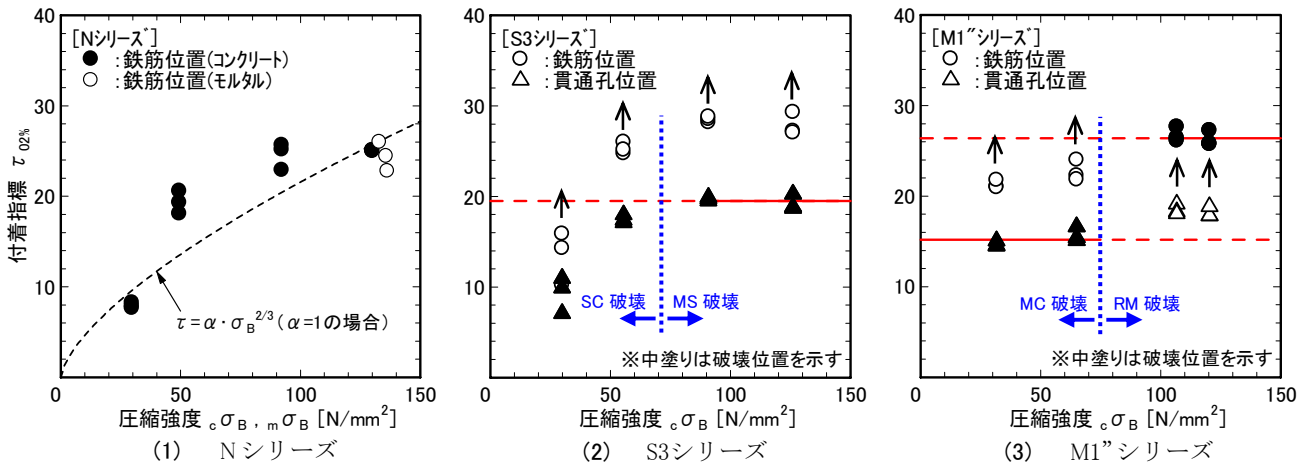


図-6 付着指標と圧縮強度

全体を通して、いずれのコンクリート強度レベルにおいても S3 シリーズ、M1[”]シリーズともにNシリーズと同等以上の強度、剛性であった。

(3) 付着指標

鉄筋の抜け出し量を考慮した付着強度を検討するために、鉄筋界面および貫通孔界面に対する以下の付着指標 $\tau_{02\%}$ を定義する。

$$\tau_{02\%} = P_{02\%} / (\phi \cdot L) \quad (1)$$

ここで、 $P_{02\%}$: 自由端変位0.082mm時の引抜き荷重 [N]
 ϕ : 周長 [mm] (鉄筋:=130, 貫通孔 :=188)
 L : 付着長さ [mm] (=165)

$\tau_{02\%}$ とコンクリート強度 σ_B との関係を図-6に示す。同図中 (1) には付着強度が σ_B の 2/3 乗に比例するとの知見⁷⁾による関係を併せて示す。

破壊モードと付着指標の関係より以下のことが言える。S3 シリーズで破壊モードが MS となった試験体のモルタルとシース管内外界面の $\tau_{02\%}$ の平均はおおむね20であり、SC となった試験体のシース管外とコンクリ

ート界面の $\tau_{02\%}$ は、図-6(1)に示すNシリーズ (RC 破壊) の鉄筋とコンクリート界面の $\tau_{02\%}$ とほぼ同程度である。また、M1[”]シリーズで破壊モードが主に RM となった試験体の鉄筋とモルタル界面の $\tau_{02\%}$ の平均は、図-6(1)に示すNシリーズの鉄筋とコンクリート界面の $\tau_{02\%}$ の平均とほぼ同程度の26、主に MC となったモルタルとコンクリート界面の $\tau_{02\%}$ の平均はおおむね15である。

(4) 見かけの付着強度

破壊モードと付着指標の結果より、貫通孔の製作方法に対するコンクリート強度 σ_B と抜け出しを考慮した鉄筋位置における見かけの付着強度 τ_{ap} の関係を検討する。ここでの τ_{ap} は式 (2) で表される。

$$\tau_{ap} = P_{02\%} / (130 \cdot 165) \quad [N/mm^2] \quad (2)$$

はじめに、基準となるNシリーズの σ_B と τ_{ap} の関係を検討する。高強度領域では、付着性状に関する実験データがほとんど見当たらないため、コンクリート強度と付着強度の関係は明らかではないものの、今回の実験結果をもとに一定として考え、各データの平均値とした。

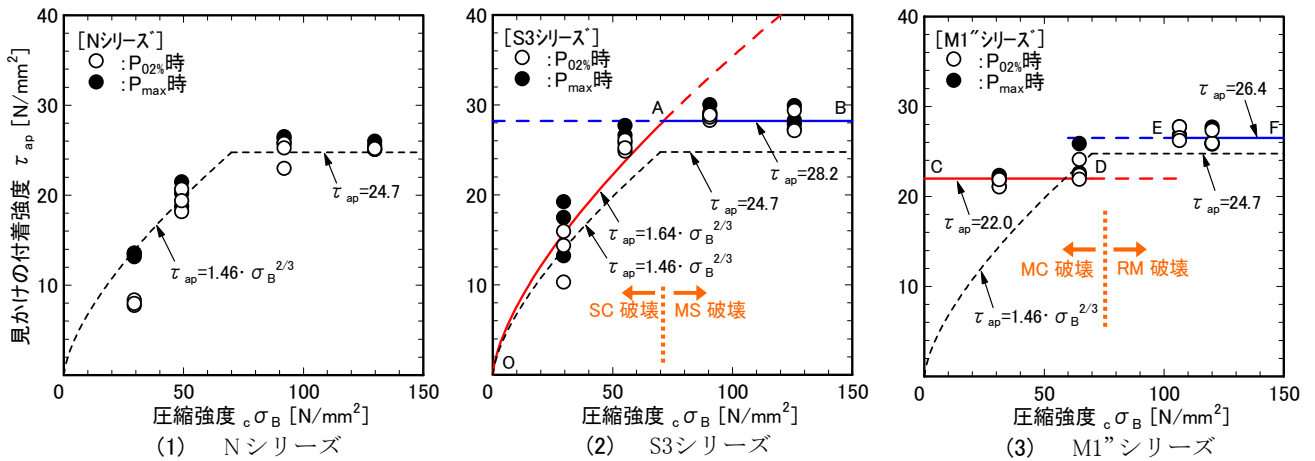


図-7 見かけの付着強度と圧縮強度の関係の推定

また低強度領域の付着強度では、03/00の $P_{0.02\%}$ と P_{max} の差が他の試験体と比べて大きいため、ここでは P_{max} による評価とした。その結果を図-7(1)に示す。なお、このときの比例定数 α は1.46である。

S3シリーズでは、いずれの強度においても、シースの内外面という違いがあるものの貫通孔位置を破壊面としたことより、 τ_{ap} は図-7(2)に示すようにSC破壊が実線OA、MS破壊が実線ABで表される。ここで高強度領域においては、図中に破線で示す鉄筋とモルタル(コンクリート)間の付着強度を上回ることから、MS破壊に対してRM破壊が先行することが考えられるが、北山らの研究^{8),9)}にもあるように、ひび割れの入ったモルタルの膨張をシース管が拘束することによって、鉄筋とモルタル間での付着強度が上昇し、MS破壊となることが推測される。

M1''シリーズでは、低強度領域においてはMC破壊、高強度領域においてはRM破壊となる傾向を示したことより、それぞれの周長を考慮し図-7(3)に示される実線CDと実線EFの2本の直線で表される。ここでMC破壊とRM破壊の境界については、MC破壊とRM破壊の混合的な破壊が予測されるものの、詳細は今後の課題である。

以上より、今回の実験のコンクリート強度の範囲においては、いずれの貫通孔の場合も、一体打ちの場合と比較して同等以上の付着性能を有することがわかる。ただし、いずれのパラメータにおいても試験体数が少ないなかでの検討であるため、今後もデータの蓄積が必要である。

4. まとめ

貫通孔に鉄筋を後挿入し、その後高強度モルタルを充填することによって鉄筋を定着する場合、コンクリート

強度、貫通孔の製作方法の違いによって、付着指標および破壊面が異なるものの、貫通孔のない一体打ちとしたものと比較して、同等以上の付着性能を有することがわかった。

参考文献

- 1) 小坂英之ほか：梁-柱梁接合部一体化型プレキャスト架構の2方向水平加力実験，三井住友建設技術研究所報告，No.1，pp.121-130，2003
- 2) 松本啓二ほか：柱梁接合部一体型のプレキャスト梁を用いたRC造架構の加力実験(その3) 十字形架構実験による在来工法との比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.311-312，2005
- 3) 新上浩ほか：梁主筋の貫通孔を有する柱梁接合部一体型プレキャスト柱を用いたRC造架構の加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.35-36，2006
- 4) 田野健治ほか：PCa柱梁接合部における梁通し筋の付着性状に関する実験的研究，三井住友建設技術研究所報告，No.6，pp.129-132，2008
- 5) (財)建材試験センター：JSTM C2101.1999 引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法，1999
- 6) 村田二郎：土木学会第32回年次学術講演会講演梗概集，第5部，pp.190-191，1977
- 7) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999
- 8) 宮崎裕之助ほか：シース管内のPC鋼棒の付着強度に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.141-142，2007
- 9) 宮崎裕之助ほか：三次元非線形有限要素解析によるPC構造の付着機構の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.317-318，2008