

# 接着系樹脂注入方式あと施工アンカーの付着性能

古谷祐希<sup>\*1</sup>・鈴木英之<sup>\*1</sup>・田畑 卓<sup>\*1</sup>

湿式コアドリルを用いた接着系樹脂注入方式あと施工アンカーは低騒音・低振動での施工が可能である。そこで接着系樹脂注入方式あと施工アンカーとカプセル方式あと施工アンカーの比較を目的とした付着性能確認実験を実施し、施工方法、アンカータイプ、アンカー筋や埋込み長さが付着性能に与える影響について検証を行った。その結果、接着系樹脂注入方式あと施工アンカーは、従来よく用いられているカプセル方式あと施工アンカーと同程度以上の付着強度であることが確認された。

キーワード：あと施工アンカー、注入方式、付着性能、湿式コアドリル、ハンマードリル、施工姿勢

## 1. はじめに

耐震改修工法において耐震壁や鉄骨フレームを増設する場合、既存躯体に接着系あと施工アンカーを用いてアンカー筋の定着をとる場合が多い。低騒音・低振動での施工が求められる集合住宅や病院においては、湿式コアドリルを用いた接着系樹脂注入方式あと施工アンカーが適していると考えられる。

湿式コアドリルを用いた接着系樹脂注入方式あと施工アンカーは各メーカーで開発されているが、日本建築あと施工アンカー協会（JCAA）での認証が行われていない。しかし「既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル 2012 年版」<sup>1)</sup>によれば騒音振動の影響に配慮する必要がある場合、①樹脂注入方式がカプセル方式と同等の耐力を有することを示す公的機関の資料、②樹脂の注入量と充填管理を出来ることの説明資料と③現場作業者が注入型アンカーに係る教育・講習を受けたことを証明する受講書・受講記録等を提出し監督員の承認を得ることが出来れば樹脂注入方式を採用することが出来る。

そこで母材コンクリートと湿式コアドリルを用いた接着系あと施工アンカーの接着面での付着強度を確認することを目的として付着性能確認実験を行った。本報告ではその結果について報告する。

## 2. アンカータイプと施工手順

「各種合成構造設計指針・同解説」<sup>2)</sup>によると、接着系あと施工アンカーは孔に接着剤を充填する方式により、カプセル方式と注入方式に分類される。カプセル方式は穿孔した孔内に接着剤が封入されたカプセル状の容器を設置し、アンカー筋を回転・打撃することでカプセルを破

砕・混合させながら埋込む方式である。注入方式は穿孔した孔内に接着剤となる樹脂を充填し、アンカー筋を埋込む方式である。

カプセル方式は所定の埋込み長さには対応できないが、注入方式では自由に埋込み長さを調整できるという利点がある。またアンカー筋の形状においても、カプセル方式は先端が所定の角度を有する必要があるのに対し、注入方式は先端が平先寸切りの形状となる。次にあと施工アンカーの施工手順について述べる。

### (1) コンクリートへの穿孔

あと施工アンカーはハンマードリルで穿孔した孔に定着するのが一般的である。ハンマードリルを用いて穿孔を行うと穿孔時の振動で孔の表面に微小な不陸ができる。しかしハンマードリルは回転打撃により穿孔を行うことから振動が比較的離れた場所においても大きいといった短所がある。

一方で湿式コアドリルは穿孔時に躯体をほとんど振動させないため、固体伝搬音が小さいといった利点がある。ただしビットを高速回転させることでコンクリートの切削を行うので、孔の表面が比較的平滑である。

### (2) 孔内の清掃

孔内の切粉を吸塵し、専用のブラシで孔内側面についている切粉を落とし、再び孔内を吸塵する。湿式コアドリルを使用した場合は清掃後に孔内を乾燥させる必要がある。不適切な清掃作業は付着強度の低下につながるため注意が必要である。

### (3) アンカー筋の挿入

カプセル方式は、ハンマードリルを用いて回転・打撃することでアンカー筋を埋込む。ハンマードリルを用いるため騒音・振動がアンカー筋の挿入時にも発生する。

注入方式は孔内にホースを差込み、専用の器具を用い

\*1 建築研究第一部

表-1 シリーズI 試験体一覧

| 試験体名        | アンカータイプ     | 穿孔器具         | 清掃  | 施工姿勢 | アンカー筋 | 有効埋込み長さ         |
|-------------|-------------|--------------|-----|------|-------|-----------------|
| C-HYD-M20-5 | カプセル方式<br>C |              |     | 下向きD | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| C-HYD-M20-7 |             |              |     |      | M10   | 7d <sub>a</sub> |
| C-HYD-M10-5 |             |              |     |      | M10   | 5d <sub>a</sub> |
| C-HYH-M20-5 |             |              |     |      | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| C-HYU-M20-5 |             |              |     |      | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| P-HYD-M20-5 | 注入方式<br>P   | ハンマードリル<br>H | 有 Y | 下向きD | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| P-HYD-M20-7 |             |              |     |      | M20   | 7d <sub>a</sub> |
| P-HYD-M20-9 |             |              |     |      | M20   | 9d <sub>a</sub> |
| P-HYD-M10-5 |             |              |     |      | M10   | 5d <sub>a</sub> |
| P-HYD-D19-5 |             |              |     |      | D19   |                 |
| P-HYD-D10-5 |             |              |     |      | D10   |                 |
| P-HYH-M20-5 |             |              |     |      | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| P-HYU-M20-5 |             |              |     |      | M20   |                 |

表-2 シリーズII 試験体一覧

| 試験体名        | アンカータイプ     | 穿孔器具                 | 清掃  | 施工姿勢 | アンカー筋 | 有効埋込み長さ         |
|-------------|-------------|----------------------|-----|------|-------|-----------------|
| C-CYD-M20-5 | カプセル方式<br>C |                      | 有 Y | 下向きD | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| C-CYD-M10-5 |             |                      |     |      | M10   |                 |
| C-CND-M20-5 |             |                      |     |      | M20   |                 |
| C-CYH-M20-5 |             |                      |     |      | M20   |                 |
| C-CYU-M20-5 |             |                      |     |      | M20   |                 |
| P-CYD-M20-5 | 注入方式<br>P   | 手持ち式<br>湿式コアドリル<br>C | 有 Y | 下向きD | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| P-CYD-M20-7 |             |                      |     |      | M20   | 7d <sub>a</sub> |
| P-CYD-M20-9 |             |                      |     |      | M20   | 9d <sub>a</sub> |
| P-CYD-M10-5 |             |                      |     |      | M10   | 5d <sub>a</sub> |
| P-CYD-D19-5 |             |                      |     |      | D19   |                 |
| P-CYD-D10-5 |             |                      |     |      | D10   |                 |
| P-CND-M20-5 |             |                      |     |      | M20   | 5d <sub>a</sub> |
| P-CYH-M20-5 |             |                      |     |      | M20   |                 |
| P-CYU-M20-5 |             |                      |     |      | M20   | 5d <sub>a</sub> |

て接着剤となる樹脂を注入する。アンカー筋は手で静かに回転させながら埋込む。樹脂注入時には、注入された樹脂量と可使時間の管理を適切に行う必要がある。また接着剤によって硬化速度等の特性が異なるので、使用箇所や施工条件に合った接着剤を選定する必要がある。

### 3. 実験概要

#### 3.1 試験体

試験体は母材コンクリートへの穿孔にハンマードリルを用いたシリーズIと手持ち式湿式コアドリルを用いたシリーズIIの2シリーズに分かれている。シリーズIに関する試験体を表-1に、シリーズIIに関する試験体を表-2に示す。また実験変数として①穿孔方法、②アンカータイプ、③アンカー筋と④有効埋込み長さを設定した。

①穿孔方法については、孔内清掃と施工姿勢の項目を設けた。孔内清掃は、穿孔後の清掃の有無とした。施工姿勢は下向きを基準として、横向きと上向きについても行った。

②アンカータイプはカプセル方式（ビニルウレタン樹脂）、注入方式（エポキシ樹脂）とした。本実験では日本ヒルティの製品を使用しており、カプセル方式にフィルムチューブ式のHVUを、注入方式にHIT-RE500を採用した。

③アンカー筋には全ねじボルト M20 と M10 および異形鉄筋 D19 と D10 を使用した。材質は全ねじボルトがSNB7、異形鉄筋がSD685とした。それぞれの材料特性を表-3に示す。付着破壊の前にアンカー筋が破断することを防止するためいずれも高強度の材質とした。アンカー筋の先端はカプセル方式では45°カット、注入方式では平先寸切りとした。

④有効埋込み長さは5d<sub>a</sub> (d<sub>a</sub>:アンカー筋の公称径)を基準として7d<sub>a</sub>, 9d<sub>a</sub>の3種類とした。

母材コンクリートは普通コンクリートとし、最大骨材径は20mmとした。実験時における圧縮強度はσ<sub>B</sub>=19.6N/mm<sup>2</sup>~21.8N/mm<sup>2</sup>であった。

表-3 アンカー筋材料特性

| SNB7  | M20 | 降伏応力σ <sub>y</sub>   | 引張強さσ <sub>u</sub>   | ヤング係数E                                | 破断伸び |
|-------|-----|----------------------|----------------------|---------------------------------------|------|
|       |     | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ) | (%)  |
|       | M10 | 775                  | 930                  | 1.86                                  | 5.7  |
|       | M10 | 741                  | 1015                 | 1.82                                  | 5.5  |
| SD685 | D19 | 695                  | 911                  | 1.87                                  | 10.7 |
|       | D10 | 735                  | 931                  | 1.84                                  | 11.5 |

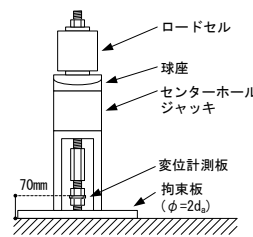


図-1 加力装置図

写真-1 変位計設置状況

#### 3.2 試験方法

加力装置図を図-1に、変位計の設置状況を写真-1に示す。実験時にはロードセルにて荷重を計測し、コンクリート表面から70mmの高さに設置した変位計測板位置での抜け出し変位を変位計にて計測を行った。

またアンカー筋を引抜く際にコーン状破壊が生じることを防ぐため、拘束板によってアンカー筋周辺のコンクリート表面を拘束した。

### 4. 実験結果

#### 4.1 実験結果一覧

実験結果を表-4~表-7に示す。表中のP<sub>max</sub>は最大引張荷重、τは最大引張荷重をアンカー筋の表面積で除すことで求めた付着強度である。また実験結果のばらつきを考慮に入れて評価を行うために、得られた実験値より95%信頼区間を求めその下限値を示している。この値をもとに各種合成構造設計指針・同解説<sup>2)</sup>による接着系アンカーボルトの付着力により決まる場合のアンカーボルト1本当たりの許容引張力P<sub>α3</sub>および、普通コンクリートにカプセル方式を用いる場合の基本平均付着強度τ<sub>b</sub>との比

表-4 シリーズ I 実験結果一覧 (最大引張荷重)

| 試験体名        | P <sub>max</sub> (kN) |      |      |      |      |      |            | P <sub>a3</sub> (kN) | P <sub>max</sub> /P <sub>a3</sub> |
|-------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------------|----------------------|-----------------------------------|
|             | No.1                  | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | 平均値  | 95%信頼区間下限値 |                      |                                   |
| C-HYD-M20-5 | 145                   | 133  | 124  | 125  | 139  | 133  | 122        | 36.4                 | 3.35                              |
| C-HYD-M20-7 | 206                   | 165  | 198  | 178  | 188  | 187  | 167        | 64.0                 | 2.61                              |
| C-HYD-M10-5 | 35.5                  | 35.6 | 31.8 | 40.9 | 34.3 | 35.6 | 31.5       | 9.1                  | 3.46                              |
| C-HYH-M20-5 | 144                   | 142  | 118  | 150  | 109  | 133  | 110        | 36.4                 | 3.02                              |
| C-HYU-M20-5 | 119                   | 112  | 115  | 121  | 113  | 116  | 111        | 36.4                 | 3.06                              |
| P-HYD-M20-5 | 162                   | 163  | 168  | 173  | 169  | 167  | 161        | 36.4                 | 4.42                              |
| P-HYD-M20-7 | 209                   | 213  | 215  | 215  | 213  | 213  | 210        | 60.7                 | 3.46                              |
| P-HYD-M20-9 | 214                   | 214  | 214  | 214  | 217  | —    | —          | 85.0                 | —                                 |
| P-HYD-M10-5 | 48.0                  | 45.0 | 51.0 | 41.1 | 51.2 | 47.3 | 42.0       | 9.1                  | 4.61                              |
| P-HYD-D19-5 | 147                   | 162  | 157  | 150  | 160  | 155  | 147        | 32.9                 | 4.48                              |
| P-HYD-D10-5 | —                     | 36.1 | 38.4 | 40.8 | 38.0 | 38.3 | 35.9       | 9.1                  | 3.95                              |
| P-HYH-M20-5 | 170                   | 171  | 171  | 175  | 174  | 172  | 170        | 36.4                 | 4.66                              |
| P-HYU-M20-5 | 161                   | 168  | 165  | 179  | 150  | 165  | 152        | 36.4                 | 4.16                              |

表-5 シリーズ II 実験結果一覧 (最大引張荷重)

| 試験体名        | P <sub>max</sub> (kN) |      |      |      |      |      |            | P <sub>a3</sub> (kN) | P <sub>max</sub> /P <sub>a3</sub> |
|-------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------------|----------------------|-----------------------------------|
|             | No.1                  | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | 平均値  | 95%信頼区間下限値 |                      |                                   |
| C-CYD-M20-5 | 149                   | 128  | 148  | 138  | 125  | 138  | 124        | 36.4                 | 3.41                              |
| C-CYD-M10-5 | 44.2                  | 47.0 | 39.9 | 45.4 | 46.2 | 44.5 | 41.1       | 9.1                  | 4.51                              |
| C-CND-M20-5 | 142                   | 141  | 152  | 142  | 147  | 145  | 139        | 36.4                 | 3.83                              |
| C-CYH-M20-5 | 137                   | 145  | 112  | 129  | 115  | 127  | 110        | 36.4                 | 3.02                              |
| C-CYU-M20-5 | 106                   | 95.2 | 11   | 110  | 91.9 | 103  | 91.9       | 36.4                 | 2.53                              |
| P-CYD-M20-5 | 134                   | 135  | 141  | 125  | 127  | 133  | 125        | 36.4                 | 3.42                              |
| P-CYD-M20-7 | 174                   | 179  | 178  | 171  | 188  | 178  | 170        | 60.7                 | 2.81                              |
| P-CYD-M20-9 | 200                   | 206  | 210  | 213  | 208  | 209  | 201        | 85.0                 | 2.36                              |
| P-CYD-M10-5 | 42.9                  | 41.6 | 35.5 | 38.4 | 39.8 | 39.6 | 36.1       | 9.1                  | 3.96                              |
| P-CYD-D19-5 | 128                   | 112  | 117  | 122  | 119  | 120  | 112        | 32.9                 | 3.41                              |
| P-CYD-D10-5 | 42.4                  | —    | 36.3 | 40.1 | 39.3 | 39.5 | 36.4       | 9.1                  | 4.00                              |
| P-CND-M20-5 | 132                   | 135  | 138  | 138  | 140  | 136  | 132        | 36.4                 | 3.63                              |
| P-CYH-M20-5 | 128                   | 135  | 136  | 139  | 134  | 135  | 129        | 36.4                 | 3.55                              |
| P-CYU-M20-5 | 107                   | 115  | 126  | 139  | 136  | 124  | 108        | 36.4                 | 2.96                              |

較を行った。P<sub>a3</sub>, τ, τ<sub>b</sub>については式(1)~式(3)によって求める。

$$P_{a3} = \tau_b \times \pi \times (l - 2d_a) \quad (1)$$

ここに P<sub>a3</sub>: 付着力によって決まる許容引張力 (N)

l<sub>e</sub>: 有効埋込み長さ (mm)

$$\tau = \frac{P_{max}}{\pi \cdot d_a \cdot l_e} \quad (2)$$

ここに τ: アンカー筋径に関する付着強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$$\tau_b = 10 \sqrt{\frac{\sigma_B}{21}} \quad (3)$$

ここに τ<sub>b</sub>: 普通コンクリート、カプセル方式時の基本平均付着強度 (N/mm<sup>2</sup>)

シリーズ I の試験体 P-HYD-M20-9 (No. 1 ~ No. 5) およびシリーズ II の試験体 P-CYD-M20-9 (No. 1, No. 3) は破壊形式が付着破壊とならずアンカー筋降伏のため、シリーズ I の試験体 P-HYD-D10-5 (No. 1) およびシリーズ II の試験体 P-CYD-D10-5 (No. 2) は計測装置故障のため評価の対象には含まないものとする。

表-6 シリーズ I 実験結果一覧 (付着強度)

| 試験体名        | τ (N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      |            | τ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) | τ/τ <sub>b</sub> |
|-------------|------------------------|------|------|------|------|------|------------|-------------------------------------|------------------|
|             | No.1                   | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | 平均値  | 95%信頼区間下限値 |                                     |                  |
| C-HYD-M20-5 | 20.5                   | 18.7 | 17.6 | 16.3 | 19.3 | 18.5 | 16.5       | 9.7                                 | 1.70             |
| C-HYD-M20-7 | 21.2                   | 17.8 | 21.2 | 19.5 | 20.2 | 20.0 | 18.2       | 10.2                                | 1.79             |
| C-HYD-M10-5 | 20.2                   | 21.0 | 18.4 | 24.1 | 19.9 | 20.7 | 18.1       | —                                   | 1.87             |
| C-HYH-M20-5 | 20.9                   | 20.9 | 17.4 | 21.3 | 15.9 | 19.3 | 16.2       | —                                   | 1.67             |
| C-HYU-M20-5 | 17.3                   | 16.6 | 17.3 | 17.6 | 16.7 | 17.1 | 16.6       | —                                   | 1.71             |
| P-HYD-M20-5 | 25.0                   | 24.9 | 25.9 | 26.5 | 25.8 | 25.6 | 24.8       | —                                   | 2.56             |
| P-HYD-M20-7 | 23.3                   | 24.1 | 23.9 | 24.3 | 23.9 | 23.9 | 23.4       | —                                   | 2.42             |
| P-HYD-M20-9 | 18.5                   | 18.7 | 18.7 | 18.9 | 19.1 | —    | —          | 9.7                                 | —                |
| P-HYD-M10-5 | 28.8                   | 28.6 | 29.5 | 25.2 | 31.3 | 28.7 | 25.9       | —                                   | 2.67             |
| P-HYD-D19-5 | 25.7                   | 28.0 | 27.7 | 25.9 | 27.9 | 27.0 | 25.6       | —                                   | 2.64             |
| P-HYD-D10-5 | —                      | 23.0 | 24.4 | 25.0 | 24.2 | 24.2 | 22.8       | —                                   | 2.35             |
| P-HYH-M20-5 | 26.0                   | 26.0 | 26.2 | 27.1 | 25.8 | 26.2 | 25.6       | —                                   | 2.64             |
| P-HYU-M20-5 | 24.7                   | 25.2 | 24.7 | 26.6 | 22.1 | 24.7 | 22.6       | —                                   | 2.33             |

表-7 シリーズ II 実験結果一覧 (付着強度)

| 試験体名        | τ (N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      |            | τ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) | τ/τ <sub>b</sub> |
|-------------|------------------------|------|------|------|------|------|------------|-------------------------------------|------------------|
|             | No.1                   | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | 平均値  | 95%信頼区間下限値 |                                     |                  |
| C-CYD-M20-5 | 20.5                   | 18.7 | 21.4 | 20.2 | 17.9 | 19.7 | 18.0       | —                                   | 1.85             |
| C-CYD-M10-5 | 27.1                   | 27.2 | 23.5 | 24.9 | 27.7 | 26.1 | 23.8       | —                                   | 2.46             |
| C-CND-M20-5 | 20.7                   | 20.3 | 21.9 | 20.3 | 20.8 | 20.8 | 20.0       | —                                   | 2.06             |
| C-CYH-M20-5 | 20.5                   | 21.4 | 16.8 | 19.0 | 16.5 | 18.8 | 16.1       | —                                   | 1.66             |
| C-CYU-M20-5 | 16.5                   | 14.4 | 16.9 | 17.0 | 14.2 | 15.8 | 14.1       | —                                   | 1.45             |
| P-CYD-M20-5 | 20.7                   | 20.9 | 21.8 | 19.3 | 20.0 | 20.5 | 19.4       | —                                   | 2.00             |
| P-CYD-M20-7 | 19.7                   | 20.1 | 20.1 | 19.5 | 21.4 | 20.2 | 19.2       | —                                   | 1.98             |
| P-CYD-M20-9 | 17.6                   | 18.2 | 18.7 | 18.3 | 18.2 | 18.2 | 18.1       | 9.7                                 | 1.86             |
| P-CYD-M10-5 | 26.3                   | 24.5 | 21.3 | 24.0 | 23.0 | 23.8 | 21.5       | —                                   | 2.22             |
| P-CYD-D19-5 | 22.8                   | 19.7 | 20.3 | 20.9 | 20.5 | 20.8 | 19.4       | —                                   | 2.00             |
| P-CYD-D10-5 | 25.0                   | —    | 21.4 | 24.5 | 24.1 | 23.8 | 21.2       | —                                   | 2.18             |
| P-CND-M20-5 | 20.5                   | 21.0 | 21.7 | 21.3 | 21.7 | 21.2 | 20.6       | —                                   | 2.12             |
| P-CYH-M20-5 | 19.8                   | 21.0 | 21.7 | 22.0 | 21.4 | 21.2 | 20.1       | —                                   | 2.07             |
| P-CYU-M20-5 | 16.7                   | 18.5 | 20.0 | 21.4 | 21.2 | 19.6 | 17.1       | —                                   | 1.76             |

## 4.2 最大引張荷重 P<sub>max</sub>

表-4 および表-5 からわかるように、すべての試験体において実験値 P<sub>max</sub> は計算値 P<sub>a3</sub> を大きく上回っていることがわかる。これは表-6、表-7 の付着強度 τ と基本平均付着強度 τ<sub>b</sub> の比である τ/τ<sub>b</sub> が 1.00 以上の値を示しているように、実際の付着強度が τ<sub>b</sub> と比べ大きいためである。また式(1)にあるように計算時の埋込み長さには、せん断力などによってコンクリート表面付近に付着劣化している部分が存在することを考慮して有効埋込み長さからアンカーボルト径の2倍を減じた長さが用いられている。しかし本実験ではコンクリート表面が健全な状態でアンカー筋に引張力のみを加力していることからコンクリート表面近傍の付着劣化が起きておらず、減じた長さにおいても付着力が働いているためと考えられる。

## 4.3 付着強度 τ

各種合成構造設計指針・解説<sup>2)</sup>によれば、基本平均付着強度 τ<sub>b</sub> は下向き施工の実験結果を基にしており、横向きや上向きといった施工姿勢に用いる場合には施工姿勢が付着強度に与える影響を確認する必要がある。また実験において確認する値として、基本平均付着強度 τ<sub>b</sub> の 1.5 倍以上の値を確保する必要があると書かれている。

### (1) 注入方式

まずアンカータイプが注入方式である試験体に着目し

検討を行う。図-2および図-3にアンカー筋の形状・径による影響についてまとめたものを示す。図-2はハンマードリルで、図-3は手持ち式湿式コアドリルで穿孔したものである。若干のばらつきはあるもののアンカー筋の形状・径によらず付着強度は同程度であると言える。このことからアンカー筋が全ねじボルトである試験体で得られた結果であっても、アンカー筋が異形鉄筋であるケースに当てはめることが出来ると考えられる。

図-4および図-5に施工姿勢による影響についてまとめたものを示す。図-4はハンマードリルで、図-5は手持ち式湿式コアドリルで穿孔したものである。施工姿勢による影響は両者とも同様の傾向を示していることがわかる。施工姿勢が横向きの場合には、下向きの場合と同程度の付着強度を示している。施工姿勢が上向きの場合には、下向きの場合と比較して付着強度が10%程度低下していた。しかし $\tau/\tau_b$ はいずれの試験体においても1.50以上であった。

有効埋込み長さによる影響は、ハンマードリルと手持ち式湿式コアドリルのどちらで穿孔したのもでも $5d_a$ の試験体（試験体P-HYD-M20-5, 試験体P-CYD-M20-5）を基準とすると、付着強度の低下は $7d_a$ の試験体（試験体P-HYD-M20-7, 試験体P-CYD-M20-7）で5%程度であった。また $9d_a$ の試験体P-CYD-M20-9では付着強度の低下が10%未満であった。しかし $\tau/\tau_b$ はいずれの試験体において

も1.50以上であった。

孔内清掃の有無による影響は、清掃を行った試験体P-CYD-M20-5で $\tau/\tau_b=2.00$ 、清掃を行わなかった試験体P-CND-M20-5で $\tau/\tau_b=2.12$ と、清掃を行わないことによる付着強度の低下がみられなかった。本実験では清掃を行わない場合においても手持ち式湿式コアドリルで穿孔後に孔内を乾燥させている。最も悪い条件を想定するのであれば、孔内を乾燥させず水が残っている状態でアンカー施工を行った場合の付着強度を確認する必要がある。

図-6に穿孔器具による影響についてまとめたものを示す。手持ち式湿式コアドリルで穿孔した試験体はハンマードリルで穿孔した試験体と比較して付着強度が20%程度低下しており、孔内の不陸が付着強度に影響を与えていることがわかった。

(2) カプセル方式

次にアンカータイプがカプセル方式である試験体に着目し検討を行う。図-7および図-8に施工姿勢による影響についてまとめたものを示す。図-7はハンマードリルで、図-8は手持ち式湿式コアドリルで穿孔したものである。ハンマードリルで穿孔した試験体では、施工姿勢にかかわらず付着強度は同程度であることがわかった。手持ち式湿式コアドリルで穿孔した試験体については、施工姿勢が横向きの場合には、下向きの場合と比較して付着強度が10%程度低下していた。施工姿勢が上向きの場合

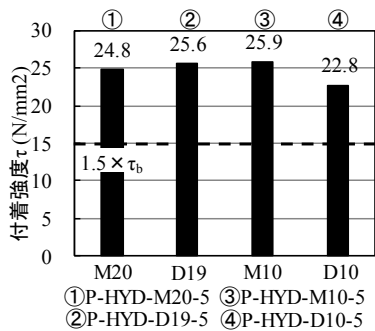


図-2 アンカー筋形状・径による影響 (ハンマードリル+注入方式)

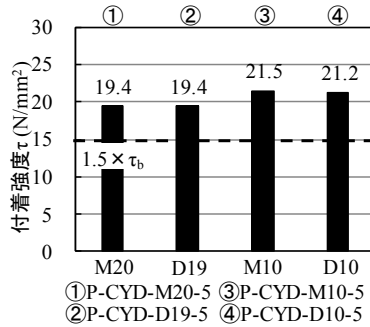


図-3 アンカー筋形状・径による影響 (湿式コアドリル+注入方式)

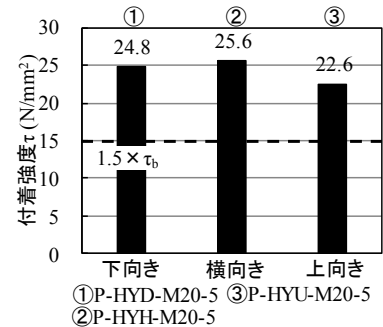


図-4 施工姿勢による影響 (ハンマードリル+注入方式)

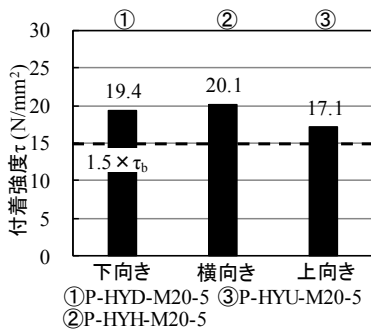


図-5 施工姿勢による影響 (湿式コアドリル+注入方式)

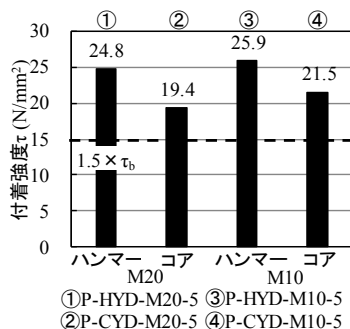


図-6 穿孔器具による影響 (注入方式)

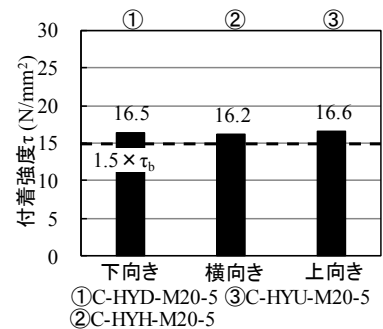


図-7 施工姿勢による影響 (ハンマードリル+カプセル方式)

では、下向きの場合と比較して付着強度が20%程度低下していた。 $\tau/\tau_b$ は試験体C-CYU-M20-5を除き1.50以上であった。

有効埋込み長さによる影響は、 $5d_g$ の試験体C-HYD-M20-5は $7d_g$ の試験体C-HYD-M20-7と比較して付着強度が10%程度低下していた。埋込み長さがカプセル長に対して短い場合、攪拌不足によって本来期待される付着強度が発揮されない可能性が指摘されている<sup>1)</sup>。本実験では有効埋込み長さ $5d_g$ に対しカプセル長が170mmと埋込み長さが $7d_g$ 用のカプセル方式アンカーを使用していることから、本来の付着強度が発揮されておらずこのような結果になったと考えられる。図-8において試験体C-CYU-M20-5の $\tau/\tau_b$ が1.50を下回っていたが、試験体C-CYU-M20-5は有効埋込み長さが $5d_g$ であることから攪拌不足により付着強度が小さくなったと考えられる。

孔内清掃の有無による影響は、清掃を行った試験体C-CYD-M20-5で $\tau/\tau_b = 1.85$ 、清掃を行わなかった試験体C-CND-M20-5で $\tau/\tau_b = 2.06$ と、清掃を行わないことによる付着強度の低下がみられなかった。

(3) 注入方式とカプセル方式の比較

注入方式とカプセル方式の付着性能の検討を行う。表-6および表-7よりハンマードリルとカプセル方式の組合せ(試験体C-HYD-M20-7)、ハンマードリルと注入方式の組合せ(試験体P-HYD-M20-7)および手持ち式湿式コ

アドリルと注入方式の組合せ(試験体P-CYD-M20-7)に関する実験結果を抜粋し表-8にまとめた。アンカータイプを注入方式とした試験体はハンマードリル、手持ち式湿式コアドリルのどちらで穿孔したものであっても、従来から用いられているハンマードリルで穿孔しアンカータイプをカプセル方式とした試験体と比較して同程度以上の付着強度であると言える。

4.4 剛性K

抜け出し変位0.3mm時点における割線剛性を剛性Kと定義し、図-9にそれぞれの試験体の剛性Kをプロットしたものを示す。図-9(a)は縦軸に剛性K、横軸に有効埋込み長さ $l_e$ をとり、ハンマードリルとカプセル方式の組合せについてプロットしたもの、(b)はハンマードリルと注入方式の組合せについてプロットしたものおよび(c)は手持ち式湿式コアドリルと注入方式の組合せについてプロットしたものである。有効埋込み長さ $l_e=100$ mmの試験体ではいずれの図においても剛性K=200~300kN/mmの範囲に多くの試験体がプロットされており、有効埋め込み長さ $l_e=140$ mm, 180mmの試験体を含めると剛性K=200~300kN/mmの範囲に全試験体数の80%が含まれていることがわかった。これらのことから穿孔器具やアンカータイプによる有意な差はないと考えられる。

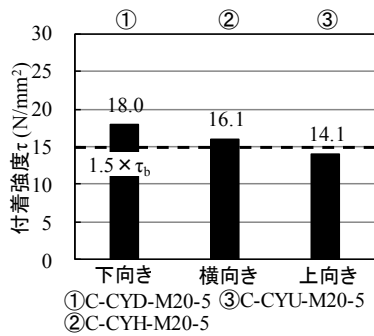
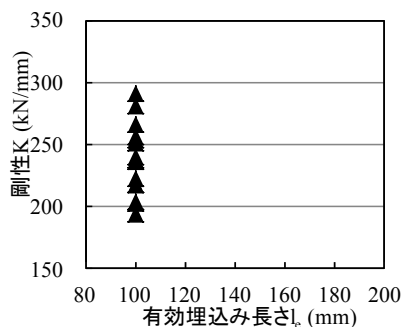


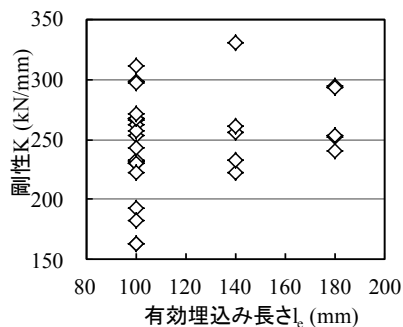
図-8 施工姿勢による影響 (湿式コアドリル+カプセル方式)

表-8 実験結果抜粋 (付着強度)

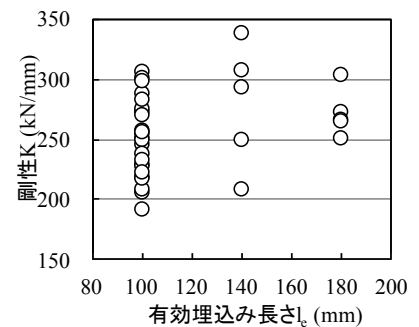
| 試験体名                              | $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> ) |                | $\tau_b$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\tau/\tau_b$ |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|---------------|
|                                   | 平均値                         | 95%信頼区間<br>下限値 |                               |               |
| ハンマードリル + カプセル方式<br>C-HYD-M20-7   | 20.0                        | 18.2           | 10.2                          | 1.79          |
| ハンマードリル + 注入方式<br>P-HYD-M20-7     | 23.9                        | 23.4           | 9.7                           | 2.42          |
| 手持ち式湿式コアドリル + 注入方式<br>P-CYD-M20-7 | 20.2                        | 19.2           |                               | 1.98          |



(a) ハンマードリル+カプセル方式



(b) ハンマードリル+注入方式



(c) 湿式コアドリル+注入方式

図-9 剛性K

#### 4.5 アンカー筋の破壊状況

加力終了後に母材コンクリートから引抜いたアンカー筋接着部分の破壊状況を写真-2、写真-3に示す。写真-2はハンマードリルで、写真-3は手持ち式湿式コアドリルで穿孔したものである。アンカー筋が全ねじボルトである試験体（試験体 C-HYD-M20-5、試験体 P-HYD-M20-5、試験体 C-CYD-M20-5、試験体 P-CYD-M20-5）では、穿孔器具やアンカータイプに関係なく樹脂が棒状の状態で抜け出していることがわかった。それに対してアンカー筋が異形鉄筋である試験体（試験体 P-HYD-D19-5、試験体 P-CYD-D19-5）では、節によって樹脂が割れた状態で抜け出していることがわかった。ただし前述のとおり耐力や剛性の差は見られなかった。

#### 5. まとめ

本実験より以下の知見が得られた。

- (1) すべての試験体において最大引張荷重  $P_{max}$  は、式(1)によって求まる付着力により決まる許容引張力  $P_{a3}$  を上回った。
- (2) アンカータイプを注入方式としたすべての試験体において付着強度  $\tau$  と基本平均付着強度  $\tau_b$  の比  $\tau/\tau_b$  が 1.50 を上回った。
- (3) アンカータイプを注入方式とした場合、穿孔器具にかかわらず施工姿勢が横向きの試験体は、施工姿勢が下向きの試験体と比較して同程度の付着強度である。また施工姿勢が上向きの試験体は、施工姿勢が下向きの試験体と比較して付着強度が 10% 程度低下した。
- (4) アンカータイプを注入方式とした場合、手持ち式湿式コアドリルで穿孔した試験体は、ハンマードリルで穿孔した試験体と比較して付着強度が 20% 程度低下した。
- (5) アンカータイプをカプセル方式とする場合、手持ち式湿式コアドリルで穿孔し施工姿勢が横向きの試験体は、施工姿勢が下向きの試験体と比較して付着強度が

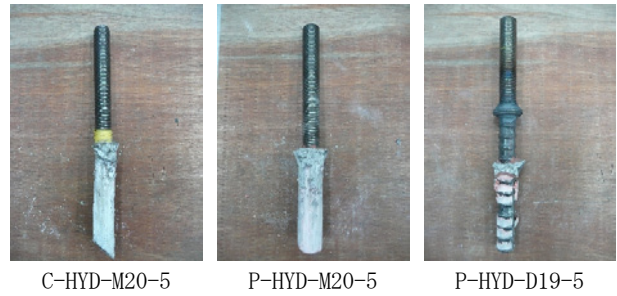


写真-2 アンカー破壊状況（ハンマードリル）

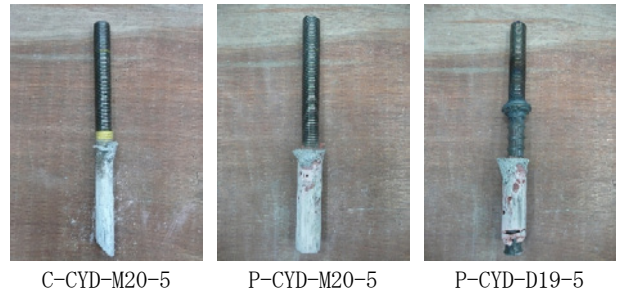


写真-3 アンカー破壊状況（湿式コアドリル）

10% 程度低下した。また施工姿勢が上向きの試験体は、施工姿勢が下向きの試験体と比較して付着強度が 20% 程度低下した。

- (6) 本報告で提案している手持ち式湿式コアドリルと注入方式の組合せは、従来用いられているハンマードリルとカプセル方式の組合せと比較して同程度以上の付着強度であった。

謝辞: 本実験の施工にあたり、日本ヒルティ株式会社には試験体施工にご協力頂きました。末筆ながらここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 建築研究振興協会, 構造調査コンサルティング, 横浜市建築設計共同組合: 既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル 2012 年版, 2012. 9
- 2) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2010. 11

---

### Bond Strength of Injectible Adhesive Anchors

Yuuki KOYA, Hideyuki SUZUKI and Taku TABATA

Injectable adhesive anchors using diamond drilling can be inserted into concrete with low noise and low vibration. A bond strength test was executed to compare injectable adhesive anchors with capsule adhesive anchors. The effect of the construction method, anchor, anchor bar, and embedding length on bond strength was investigated. Moreover, it was confirmed that injectable adhesive anchors and capsule adhesive anchors have comparable bond strength.