

# 論文 ひび割れが生じたコンクリートに対する接着系あと施工アンカーの 付着強度および変形性状の評価

濱崎 仁\*1・青山 裕大\*2・渡辺 一弘\*3・佐藤 眞一郎\*4

**要旨**：母材コンクリートにひび割れが生じた箇所に接着系あと施工アンカーを施工した場合の付着強度および変形性状について、ひび割れの影響とそのひび割れを補修することによる効果について評価を行った。ひび割れ幅 0.1～0.4mm 程度のひび割れが生じた場合、付着強度の平均値の低下は少ないが、ばらつきが大きくなることにより 95%信頼下限値は最大 20%程度低下した。また、ひび割れ補修を行うことによりばらつきは低減し、95%信頼下限値はひび割れを補修しないものと同等以上となった。初期の剛性については、ひび割れを補修しない場合には最大 30%程度低下するが、補修を行うことにより回復が可能であることを示した。

**キーワード**：接着系あと施工アンカー、付着強度、変形性状、ひび割れ、樹脂注入工法、内圧充填接合補強工法

## 1. はじめに

接着系あと施工アンカーは、コンクリートへの附設物の固定や補強部材の接合などに適用されるが、その耐力や剛性を十分に発揮するためには、母材となるコンクリートが健全であることが必要不可欠である。しかしながら、実際の構造物では、施工予定箇所にひび割れなどの変状がある場合も少なくない。

EOTA EAD<sup>1)</sup>などの接着系あと施工アンカーに関する欧米の製品認証基準では、母材コンクリートのひび割れに対する付着力の確保などを求めており、ひび割れを導入した母材コンクリートにあと施工アンカーを施工後、ひび割れ幅を変化させて、その後の付着強度を評価している。日本国内の製品認証制度においては、ひび割れ部分での耐力や剛性の評価を行っていないが、土木研究所による研究<sup>2)</sup>、川口らによる研究<sup>3)</sup>、石原らによる研究<sup>4)</sup>などにより、ひび割れの存在によって引張強度が低下することが報告されている。また、日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」<sup>5)</sup>では、母材コンクリートにひび割れがないことを前提に平均付着強度が定められている。

しかしながら、実際の工事では、ひび割れ部を避けて施工することが困難な場合もあり、ひび割れ部に補修を施して施工せざるを得ない場合も多い。このような場合には、補修後の付着強度や変形性状の評価が必要であるが、これについて報告されている例は少ない。

そこで本研究では、母材コンクリートにひび割れがある場合の接着系あと施工アンカーの付着強度および変形性状の変化と、ひび割れを補修することによる回復の程度および補修方法による違いについて実験的検討を行った結果について述べる。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験の要因と水準

本研究では、あと施工アンカーの施工前に母材コンクリートにひび割れを導入し、補修無しおよび補修の方法を変えた試験体により、付着強度および剛性の評価を行った。表-1 に実験の要因と水準を示す。

### 2.2 試験体

試験体の形状および寸法を図-1 に示す。試験体数は各水準 5 体とした。母材コンクリートは、目標強度を 13.5N/mm<sup>2</sup> および 21.0N/mm<sup>2</sup> の 2 種類とした。表-2 に使用材料、表-3 に調査表を示す。コンクリートは、目標スランプ 18cm、目標空気量 4.5%のレディーミクストコンクリートとし、厚さ 4.5mm、外径 φ216.3mm、高さ 150mm の鋼管内に打ち込んだ。標準養生および試験体と

表-1 実験の要因と水準

| 穿孔方法             | コンクリート強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 補修方法             | 目標ひび割れ幅(mm) |
|------------------|------------------------------|------------------|-------------|
| ア<br>ドリル         | 13.5<br>21.0                 | N<br>(なし)        | 0           |
|                  |                              |                  | 0.2         |
|                  |                              |                  | 0.4         |
|                  |                              | EP-P<br>(エポキシ注入) | 0.2         |
|                  |                              |                  | 0.4         |
|                  |                              |                  | 0.4         |
| IP-P<br>(内圧充填-前) | 0.2                          |                  |             |
|                  | 0.4                          |                  |             |
|                  | 0.4                          |                  |             |
| IP-A<br>(内圧充填-後) | 0.2                          |                  |             |
|                  | 0.4                          |                  |             |
|                  | 0.4                          |                  |             |
| ハンマー<br>ドリル      | 13.5                         | なし               | 0           |
|                  |                              | EP-P             | 0.2         |
|                  |                              | IP-P             |             |
|                  |                              | IP-A             |             |

\*1 芝浦工業大学 建築学部建築学科教授 博(工)(正会員)

\*2 芝浦工業大学 工学部建築学科

\*3 日本総合住生活(株) 技術開発研究所

\*4 (有)眞テクノラボ

同一養生（鋼製型枠内・同一温湿度）供試体の圧縮強度および静弾性係数を表-4に示す。

母材への穿孔は、φ14mmのハンマードリルによる穿孔とコアドリルによる穿孔の2種類とした。コアドリル穿孔は、低騒音・低振動を意図した穿孔方法である。穿孔方法の違いによる影響については、瀬戸らの報告<sup>6)</sup>により、孔内清掃を十分に行うことによりハンマードリルと同等の付着強度が得られることが確認されている。

孔内清掃は、圧搾空気による清掃を2回行った後、ワイヤブラシで孔壁をブラッシングし、再度圧搾空気により清掃を行った。

接着系あと施工アンカーは、カートリッジ型注入方式エポキシ樹脂系の接着剤を用いた。アンカー筋は、材質SNB7のM12の全ねじ筋を有効埋込み長さ60mm(5da)で下向きに打設した。

### 2.3 ひび割れの導入

ひび割れは、コンクリート打込み後44~50日の間に、図-2に示す加力治具を用いて、亀裂変位計でひび割れ幅を確認しながら、ひび割れ幅0.2mmおよび0.5mmを

表-2 母材コンクリートの使用材料

| 材料   | 記号 | 仕様                                      |
|------|----|---|
| セメント | C  | 普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm <sup>3</sup> ) |
| 水    | W  | 水道水                                     |
| 細骨材  | S  | 茨城県行方市産陸砂(表乾密度:2.56g/cm <sup>3</sup> )  |
| 粗骨材  | G  | 茨城県笠間市産砕石(表乾密度:2.65g/cm <sup>3</sup> )  |
| 混和材  | A  | 石粉(炭酸カルシウム粉)(密度:3.16g/cm <sup>3</sup> ) |

表-3 母材コンクリートの調査

| 目標強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単用量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |    |
|------------------------------|------------|------------|-------------------------|-----|-----|-----|----|
|                              |            |            | C                       | W   | S   | G   | A* |
| 13.5                         | 114.9      | 54.0       | 174                     | 200 | 937 | 827 | 68 |
| 21.0                         | 70.8       | 51.7       | 263                     | 186 | 909 | 877 | -  |

A\*:分離抵抗性確保のため混和材として石粉を添加

表-4 母材コンクリート強度および弾性係数

| 目標強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 標準養生(28日)                    |                                | 同一養生(71日)                    |                                |
|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                              | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 静弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 静弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
| 13.5                         | 9.3                          | 10.2                           | 10.3                         | 5.6                            |
| 21.0                         | 22.9                         | 13.8                           | 25.3                         | 10.8                           |

表-5 補修に使用した樹脂の物性

| 補修工法       | 粘度<br>(mPa·s) | 比重   | 圧縮強さ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮弾性率<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------|------|------------------------------|-------------------------------|
| 樹脂注入工法     | 562           | 1.18 | 88.0                         | 2.2×10 <sup>3</sup>           |
| 内圧充填接合補強工法 | 430           | 1.15 | 68.7                         | 2.6×10 <sup>3</sup>           |

目標として導入した。導入したひび割れは、除荷後にマイクログラフを用いて試験体ごとに3箇所ひび割れ幅を測定し、その平均を各試験体のひび割れ幅とした。しかしながら、鋼管によるコンクリートの拘束のために除荷後のひび割れが閉塞し、目標ひび割れ幅0.2mmが0.1~0.33mmの範囲、目標ひび割れ幅0.5mmが0.13~0.44mmの範囲となった。

### 2.4 補修方法

補修方法は、樹脂の注入方法の違いとアンカー打設前後の違いについて確認し、アンカー打設前に低粘度形エポキシ樹脂を用いて低圧樹脂注入工法により補修する工法(記号:EP-P)、アンカー打設前に低粘度形エポキシ樹脂を内圧充填接合補強工法<sup>7)</sup>により補修する工法(記号:IP-P)、アンカー打設後に内圧充填接合補強工法により補修する工法(記号:IP-A)の3種類とした。表-5に補修に使用した樹脂の物性を示す。また、補修中の試験体を写真-1に示す。

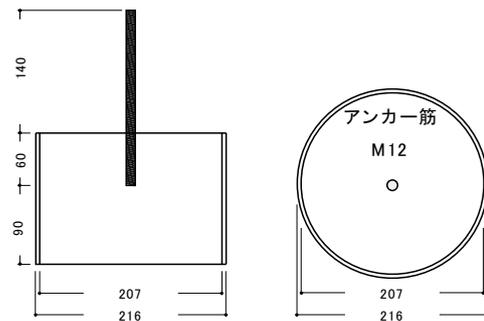


図-1 試験体の形状および寸法

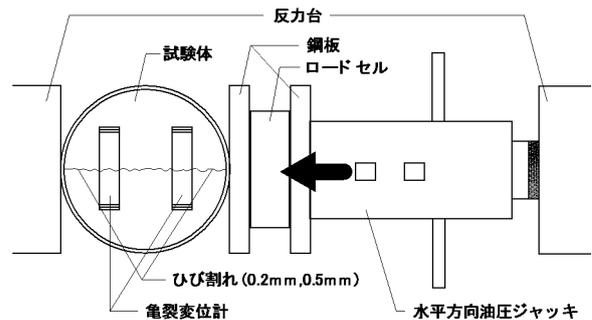


図-2 ひび割れ導入加力装置



写真-1 試験体の補修状況

## 2.5 加力試験方法

加力装置を図-3に示す。加力試験は、球座を介して油圧ジャッキによりアンカー筋に引張力を载荷し、穿孔径の1.5倍の21mmの孔をあけた反力板で拘束し付着強度を求めた。荷重は、センターホール型ロードセルで測定し、変位は、母材コンクリート表面より50mmの位置のアンカー筋の変位を変位計で測定した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 荷重-変位関係

図-4および図-5に母材コンクリートの目標強度13.5N/mm<sup>2</sup>と21.0N/mm<sup>2</sup>の荷重-変位曲線を示す。各水準につき5体の試験を行っているため、付着強度が中心値となる供試体の荷重-変位曲線について穿孔方法および目標ひび割れ幅ごとに比較している。なお、破壊モードはすべて付着破壊であった。

母材にひび割れの無い場合と比較して、補修の有無や補修工法の違いによって荷重-変位関係には大きな差異は確認されなかった。また、母材コンクリートの強度が同じであれば、穿孔方法やひび割れ幅による明確な差異も確認されない。母材コンクリート強度の影響は大きく、コンクリート強度が大きいほど最大荷重は大きくなる。

川口らの研究<sup>3)</sup>、石原らの研究<sup>4)</sup>によれば、母材へのひび割れの導入によって最大荷重および剛性が低下する傾向が確認されているが、本研究では、拘束状態での試験により付着強度を評価していること、アンカー打設後にはひび割れの挙動を与えていないことなどから、石原らの研究と比較して、母材のひび割れの影響を受けにくくなっていると考えられる。

### 3.2 付着強度の評価

図-6~図-8に穿孔方法およびひび割れ幅ごとの付着強度の平均値と95%信頼下限値を示す。また、それぞれについてひび割れのない試験体との比を表-6に示す。

付着強度は、式(1)により試験体ごとの付着強度 $\tau_i$ を算定し、平均値 $\tau_{ave}$ は、式(2)により母材コンクリート強度の影響を考慮し、圧縮強度21N/mm<sup>2</sup>で基準化した値に換算した。95%信頼下限値 $\tau_{0.95}$ は、式(3)により、試験体数5体(自由度4)で、ばらつきを $t$ 分布と仮定した場合の95%信頼下限値として算定した。

$$\tau_i = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot L_e} \quad (1)$$

$$\tau_{ave} = \frac{1}{n} \sum \tau_i \times \sqrt{\frac{21}{\sigma_B}} \quad (2)$$

$$\tau_{0.95} = \tau_{ave} - 2.132\sigma \quad (3)$$

ここに、

$P$  : 最大荷重 [N]

$D$  : アンカー筋の呼び径 [mm]

$L_e$  : 有効埋込み長さ [mm]

$n$  : 試験体数 [=5]

$\sigma_B$  : 母材コンクリート強度 [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma$  : 付着強度の標準偏差 [N/mm<sup>2</sup>]

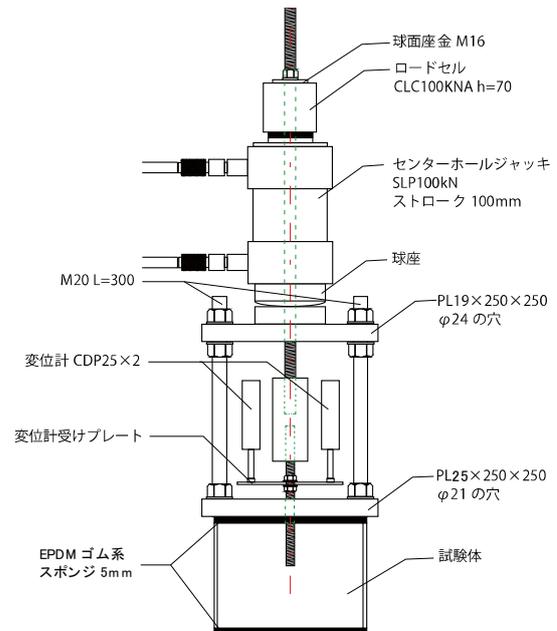


図-3 加力試験装置

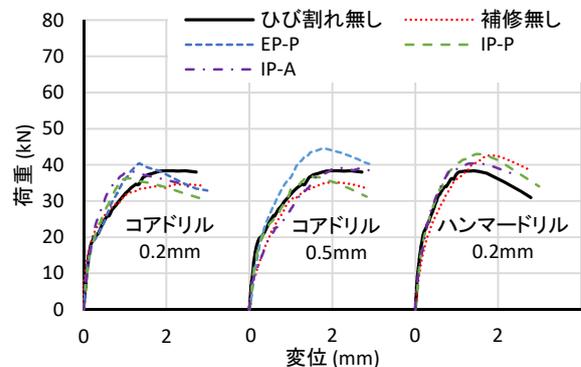


図-4 荷重-変位曲線 (母材強度 13.5N/mm<sup>2</sup>)

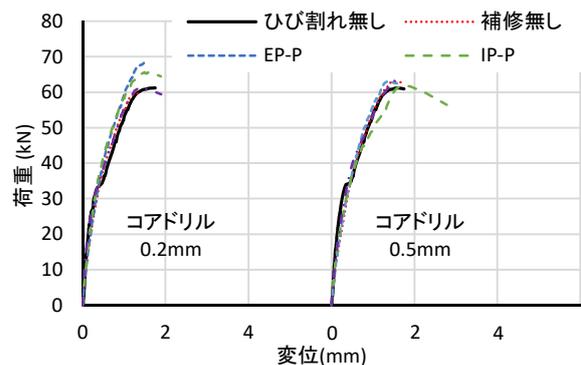


図-5 荷重-変位曲線 (母材強度 21.0N/mm<sup>2</sup>)

付着強度の平均値は、穿孔方法、母材コンクリート強度およびひび割れ幅の違いに関わらず、ひび割れが入ったことによって大きく低下する傾向は確認されなかった。また、補修を行うことによってひび割れがない場合と比較しても同じか10%程度付着強度が大きくなる傾向が確認される。内圧充填接合補強工法についてアンカー打設前後の補修のタイミングの比較では、大きな相違は確認されなかった。

一方、95%信頼下限値は、ひび割れ補修がない場合にはひび割れのない場合と比較して最大で15~20%程度低下し、15N/mm<sup>2</sup>を下回る場合もある。また、ひび割れ補修を行った場合には、ひび割れがない場合と同等か5~15%程度大きくなる傾向が見られる。その理由としては、ひび割れを補修しない場合には、供試体の個々の付着強度のばらつきが大きく標準偏差が大きくなったことによる。また、樹脂注入等の補修を行った場合には、ひび割れによる付着力の低下がなくなるとともに、空隙部分を樹脂が埋めることによって試験体の拘束力が上がり、ひび割れがない場合よりもばらつきが減少し、付着強度が大きくなることが推測される。

EOTA の認証基準<sup>7)</sup>や著者らが提案したあと施工アンカーの性能評価基準<sup>8)</sup>のほか、国内の製品認証基準などでもあと施工アンカーの付着強度は、95%信頼下限値で評価することとしており、設計に用いる値としてはこの値で評価を行う必要がある。したがって、ひび割れの補修を行わない場合には、20%程度の付着強度の低下を考慮する必要がある。また、樹脂注入工法等でひび割れの補修を行った場合には、付着強度についてはひび割れがない場合と同等と考えることができる。ただし、本研究の実験は、コンクリートの拘束条件のある範囲での結果であるため、非拘束条件となる場合や引張強度を評価する場合には、既往の研究等を参考に設計値を考慮する必要がある。

表-6 付着強度の平均および95%信頼下限値の比

| 穿孔方法    | ひび割れ幅 | 補修方法 | 平均値比            |                 | 95%信頼下限値比       |                 |
|---------|-------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|         |       |      | $\sigma_B:13.5$ | $\sigma_B:21.0$ | $\sigma_B:13.5$ | $\sigma_B:21.0$ |
| コアドリル   | 0.2mm | N    | 0.98            | 1.01            | 0.81            | 0.83            |
|         |       | EP-P | 1.13            | 1.06            | 1.14            | 0.97            |
|         |       | IP-P | 1.01            | 1.11            | 1.23            | 1.08            |
|         |       | IA-A | 1.10            | 0.99            | 1.09            | 0.93            |
|         | 0.5mm | N    | 1.01            | 1.00            | 0.85            | 0.92            |
| EP-P    |       | 1.20 | 1.03            | 1.15            | 0.99            |                 |
| IP-P    |       | 1.03 | 1.04            | 1.02            | 0.96            |                 |
| ハンマードリル | 0.2mm | N    | 1.06            | —               | 0.96            | —               |
|         |       | IP-P | 1.04            | —               | 1.15            | —               |
|         |       | IP-A | 1.09            | —               | 1.29            | —               |

図-9~図-11 に各試験体で測定したひび割れ幅と付着強度の関係を示す。ここでの付着強度は母材強度による換算をしていない。

ひび割れ幅の増加に伴って付着強度が低下することが予想されたが、本実験の範囲、すなわちひび割れ幅が0.4mm程度以下で拘束条件における付着強度は、ひび割れ幅に関係なく大きな低下傾向は示さなかった。母材強度13.5N/mm<sup>2</sup>で内圧充填接合補強工法の場合(図-9中IP-P・IP-A)に若干の低下傾向が見られるが、付着強度の絶対値として問題となる低下ではない。ただし、図から

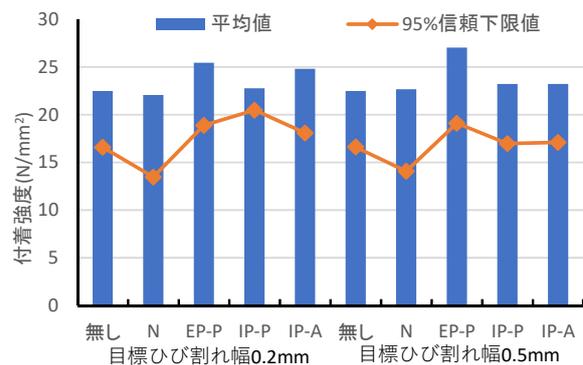


図-6 付着強度の比較 (コアドリル穿孔・13.5N/mm<sup>2</sup>)

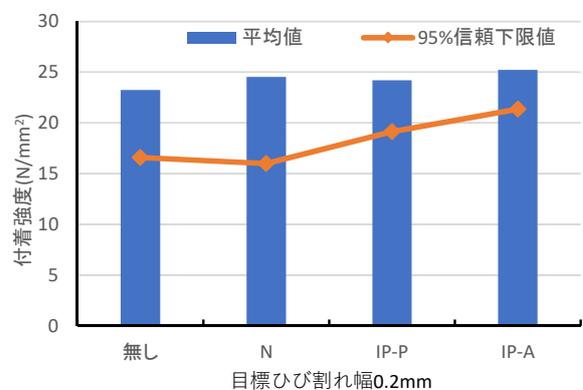


図-7 付着強度の比較 (ハンマードリル穿孔・13.5N/mm<sup>2</sup>)

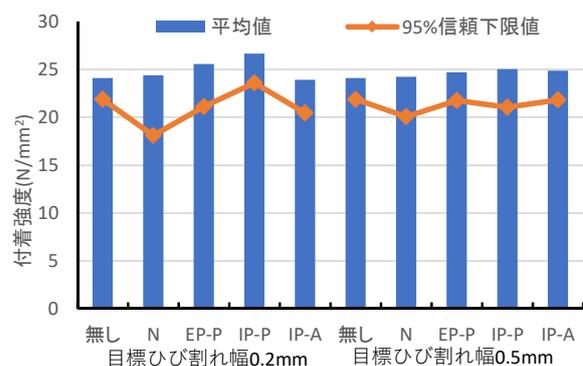


図-8 付着強度の比較 (コアドリル穿孔・21N/mm<sup>2</sup>)

も分かるとおり補修を行わない場合 (N) では、付着強度のばらつき (図の上下の変動幅) が大きく、補修を行うことによってこのばらつきを低減できていることが分かる。したがって、ひび割れが生じている部位に対する設計値を設定する場合には、母材が健全な場合と比較して付着強度を低減させた値とするか、樹脂注入工法等による補修を行うことを前提とする必要がある。

### 3.3 変形状の評価

表-7に最大荷重時の変位および変位0.1mm時の応力とその応力比を示す。最大荷重時の変位は、荷重が最大となったときのアンカー筋の抜け出し量とコンクリート表面から変位測定点(50mm)までのアンカー筋の伸びを合わせた値となる。変位0.1mm時の応力は、荷重-変位関係の初期の弾性部分の指標として求めた。

最大荷重時の変位は、1.4mm~2.1mmの範囲にあり、ひび割れの有無や補修の有無・方法による明瞭な傾向は見られない。著者らの既往の試験結果<sup>9)</sup>においても、最大荷重時の変位は付着強度等と比較して試験体個々のばらつきが大きく、概ね同程度の値となっている。

変位0.1mm時の応力は初期の弾性範囲での剛性を表し、最大荷重時の1/4~1/3程度の応力となることから、実際にあと施工アンカーに作用する応力の範囲での変形状を意味する。応力比を見た場合、ひび割れ補修を行

表-7 最大荷重時の変位および変位0.1mm時の応力と応力比

| 母材強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 穿孔方法  | ひび割れ幅 (mm) | 補修工法 | 最大荷重時の変位 (mm) | 変位0.1mm時の応力(N/mm <sup>2</sup> ) |      |
|---------------------------|-------|------------|------|---------------|---------------------------------|------|
|                           |       |            |      |               | 平均値                             | 応力比  |
| 13.5                      | コアドリル | 無し         | —    | 1.69          | 5.03                            | —    |
|                           |       |            | N    | 2.05          | 4.94                            | 0.98 |
|                           |       |            | EP-P | 1.47          | 4.56                            | 0.91 |
|                           |       |            | IP-P | 1.41          | 5.42                            | 1.08 |
|                           |       |            | IP-A | 2.30          | 4.37                            | 0.87 |
|                           | 0.5mm | N          | 2.04 | 3.63          | 0.72                            |      |
|                           |       | EP-P       | 1.44 | 4.34          | 0.86                            |      |
|                           |       | IP-P       | 1.53 | 4.66          | 0.93                            |      |
|                           |       | IP-A       | 2.18 | 4.96          | 0.98                            |      |
|                           |       | ハンマードリル    | 無し   | —             | 1.53                            | 5.05 |
| N                         | 1.83  |            | 4.27 | 0.84          |                                 |      |
| IP-P                      | 1.45  |            | 4.97 | 0.98          |                                 |      |
| IP-A                      | 1.50  |            | 5.79 | 1.15          |                                 |      |
| 21.0                      | コアドリル |            | 無し   | —             | 1.43                            | 5.45 |
|                           |       | N          |      | 1.64          | 5.24                            | 0.96 |
|                           |       | EP-P       |      | 1.48          | 6.04                            | 1.11 |
|                           |       | IP-P       |      | 1.60          | 6.11                            | 1.12 |
|                           |       | IP-A       |      | 1.59          | 5.37                            | 0.99 |
|                           | 0.5mm | N          | 1.66 | 4.48          | 0.82                            |      |
|                           |       | EP-P       | 1.60 | 5.27          | 0.97                            |      |
|                           |       | IP-P       | 1.77 | 4.85          | 0.89                            |      |
|                           |       | IP-A       | 2.01 | 4.96          | 0.91                            |      |

わない場合 (N) では、応力比が0.72~0.96の範囲となっており、初期の剛性が低下することが分かる。同様に応力比は、EP-Pが0.86~1.11、IP-Pが0.89~1.12、IP-Aが0.87~1.15となり、ひび割れを補修しない場合と比較すると剛性の低下の程度が低減している。アンカー打設の前後の補修時期による差異は確認されなかった。

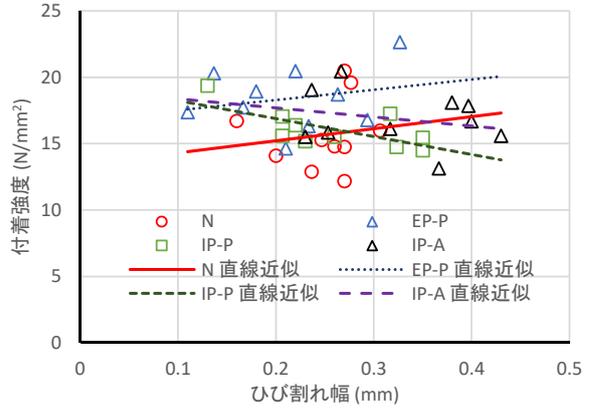


図-9 ひび割れ幅と付着強度の関係 (コアドリル・13.5N/mm<sup>2</sup>)

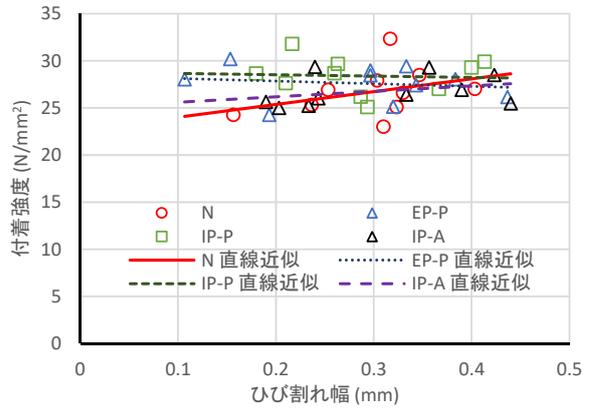


図-10 ひび割れ幅と付着強度の関係 (コアドリル・21.0N/mm<sup>2</sup>)

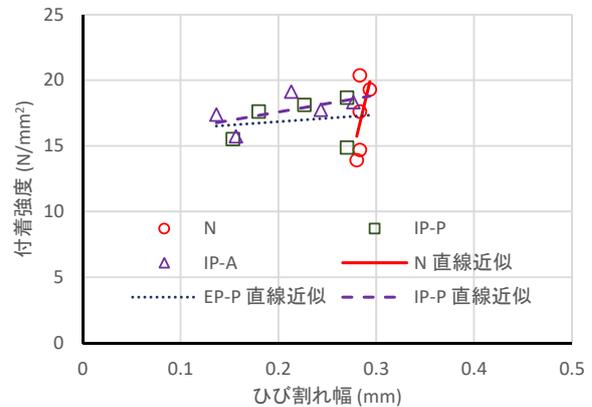


図-11 ひび割れ幅と付着強度の関係 (ハンマードリル・13.5N/mm<sup>2</sup>)

したがって、剛性の観点からもひび割れの補修を行わない場合は30%程度の低下を考慮する必要がある。また、補修を行うことで15%程度の低下あるいは同程度まで回復させることが可能であることが分かった。

#### 4. まとめ

本研究では、母材コンクリートにひび割れが生じた箇所に接着系あと施工アンカーを施工した場合の付着強度および変形性状について、ひび割れの影響とそのひび割れを補修することによる効果について実験的検討を行い、以下のような知見が得られた。

- (1) 幅 0.1～0.4mm 程度のひび割れの存在により、付着強度の低下の程度は小さいが、そのばらつきは大きくなり 95%信頼下限値は最大 20%程度低下する。
- (2) 樹脂注入工法等によりひび割れを補修することによって、付着強度のばらつきは低減され、95%信頼下限値もひび割れない場合と同等以上に回復する。アンカーの打設前後の補修時期による差異は確認されなかった。
- (3) 本研究における幅 0.1～0.4mm 程度のひび割れでは、ひび割れ幅の増加に伴う付着強度の低下は確認されなかった。
- (4) 最大荷重時の変位は、ひび割れの有無や補修の有無・工法による明瞭な傾向は確認されなかった。ただし、弾性範囲での剛性はひび割れを補修しない場合には最大 30%程度低下し、樹脂注入工法および内圧充填接合補強工法による補修を行うことによって回復できることが確認された。

#### 謝辞

本研究を実施するにあたり日本総合住生活（株）宇田川和男氏、日本ヒルティ（株）高橋宗臣氏、宋昌錫氏らの多大な協力を得た。記してここに謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) European Organization for Technical Assessment : EAD 330499-00-0601 BONDED FASTNERS FOR USE IN CONCRETE, 2017.7
- 2) 古賀裕久, 中村英佑 : あと施工アンカーの信頼性向上に関する研究②, 土木研究所 2015 年度研究成果報告 <https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-seika/2015/pdf/ki-12.pdf>(閲覧日:2019年12月25日)
- 3) 川口潤, 国枝稔, 牧田通 : コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.511-516, 2015.7
- 4) 石原力也, 国枝稔, 高橋宗臣 : コンクリートのひび割れがあと施工アンカーの力学性能に与える影響評価のための試験方法の開発と実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1723-1728, 2017.7
- 5) 日本建築学会 : 各種合成構造設計指針・同解説, 2012.5
- 6) 瀬戸口英恵ほか : 湿式コアドリル工法によるあと施工アンカーの性能確認実験 : (その2) 注入式アンカーを用いた付着性能実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.149-150, 2010.9
- 7) 渡邊祥庸, 瀬野健助, 加川順一, 二羽淳一郎 : 内圧充填接合補強工法によるコンクリート中への樹脂充填性能と補修効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.1465-1470, 2012.7
- 8) 秋山友昭ほか : 接着系あと施工アンカーを用いた部材の構造特性評価に関する研究 その2 3年間の研究で得られた知見のまとめ, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.165-166, 2018.9
- 9) 久保田龍太ほか : 接着系あと施工アンカーを用いた部材の構造特性評価に関する研究 その2 短期引張荷重に対する試験方法の検討およびアンカー筋種類の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.535-536, 2016.9