

論文

鋼板接着補強済み RC 床版に対する 特殊アンカーボルトを用いた水平ひび割れ補修工法の開発

鶴澤祐人*, 田ノ上誠次**, 山名晋平*, 神谷陽介***, 鈴木英之****, 越野まやか****

* ショーボンド建設(株)近畿圏支社技術部 (〒536-0022 大阪市城東区永田 3 丁目)

** ショーボンド建設(株)中部支社技術部 (〒456-0063 愛知県名古屋市中区熱田区西野町 2 丁目)

*** サンコーテクノ(株)ファスニング事業本部営業開発部 (〒270-0107 千葉県流山市西深井)

**** 阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 (〒536-0022 大阪市港区石田 3 丁目)

鋼板接着補強済み RC 床版内部に発生している水平ひび割れが、湿潤環境下において耐久性を低下させる懸念がある。そこで、特殊アンカーボルトを開発し、補強鋼板を取り外すことなく水平ひび割れへのエポキシ樹脂注入を可能とする補修工法を検討した。加えて、既設鋼板撤去・再設置時に補修する場合を想定した検討も行い、両ケースにおいて十分な注入性能を有することを確認した。

キーワード：水平ひび割れ，鋼板接着，特殊アンカーボルト，エポキシ樹脂

1. はじめに

阪神高速道路(株)が管理している高速道路の床版においては、昭和 40 年代以前に建設された RC 床版の半数程度が床版下面に鋼板(SS400, 厚さ 4.5mm)をアンカーボルトで仮止めし、床版躯体と鋼板の間隙をエポキシ樹脂で接着補強した状態で供用されている¹⁾²⁾。このような鋼板接着により補強された RC 床版(以下、「鋼板接着補強済み RC 床版」)では、車両通行による経年的な繰り返し応力や内部鋼材腐食など、複合的な要因が作用することにより、下部鉄筋近傍で水平ひび割れ(写真-1)が進展することが報告されている³⁾。この水平ひび割れが、水の浸入のある環境下で耐疲労性を低下させる可能性が指摘されており、水平ひび割れに対する効果的な補修工法の開発が求められている。

一方で、このような鋼板接着補強済み RC 床版の多くは、補強から数十年が経過しており、鋼板の浮き等の損傷が多く確認されている。これらの床版は耐疲労性の低下が懸念されることから、これまでも鋼板と床版を一体化させることを目的にエポキシ樹脂の注入による補修を実施し、その効果については評価が行われてきたが、鋼板上面に腐食が発生している場合や、RC 床版自体が疲労損傷している場合にはその補修効果が限定的となることも考えられる。そこで、阪神高速道路(株)は 2015 年度に着手した大規模更新・修繕事業において、昭和 48 年の道路橋示方書より前の基準で設計された鋼板接着補強済み RC 床版のうち、補強不十分な構造や鋼板や床版の損傷程度に応じて取替・部分補強・予防保全等の対策を行うこととしている。耐疲労性の低下が大きく、部分的な



写真-1 RC 床版の水平ひび割れ，鋼板の浮き

補修等では、長期的な性能を確保することが困難な鋼板接着補強済み RC 床版は取替を行うこととし、床版自体の取替を行うほど劣化が進行していないが、損傷が顕在化し、そのままでは長期的な性能が維持できないと考えられる鋼板接着補強済み RC 床版に対しては、鋼板貼替、補強の追加、鋼板接着樹脂の再注入等の補修を行う方針である⁴⁾。

そこで、本研究では補強鋼板の補修に併せて効率的かつ効果的に水平ひび割れを補修することを目的に、水平ひび割れ注入用器具(以下、「特殊アンカーボルト」)を開発し、補修工法を検討を行った。検討は、浮きの補修に併せて補強鋼板を取り外すことなく効率的に水平ひび割れを補修する工法(以下、「補修工法」)、及び既設鋼板の撤去・再設置時に水平ひび割れに注入することを想定した工法(以下、「貼替工法」)の 2 ケースを検討し、両ケ

ースにおける注入性能の評価を実施した。

2. 注入工法の概要

2.1 特殊アンカーボルト及び注入器の構造

写真-2 に本研究で開発した特殊アンカーボルトを、写真-3 に注入器及び接続治具を示す。開発した特殊アンカーボルトは、従来の鋼板接着の施工において一般的に使用されている本体打ち込みやスリーブ打ち込みによる定着方法ではなく、鋼板の浮き部をナット締付時の軸力で潰さないよう、テーパボルト式を採用した。アンカーボディを中空構造とすることで、注入器からアンカーボディ内部を通してアンカー孔へ樹脂を供給し、床版内部の水平ひび割れへ注入する構造としている。また、別途注入用のアンカーを設置するのではなく、鋼板貼替時の仮固定用アンカーを活用して注入できるように、所定の引抜耐力の確認も行っている。

注入に用いる注入器は、一般的に使用されているひび割れ補修用の低圧注入器を使用した。注入器と特殊アンカーボルトは、上下にネジ切りを施した接続治具で連結している(写真-3)。また、注入用のエポキシ樹脂は低粘度のひび割れ補修用の1種仕様の樹脂を使用した。

2.2 補修工法の注入機構

図-1 に補修工法の注入機構を示す。補修工法では、床版躯体に削孔したアンカー孔を介して、水平ひび割れと浮き部を空間的に繋げた状態とし、床版内部の水平ひび割れと既設鋼板の浮き部へ同時に注入する仕組みとしている。

まず、注入器の圧力によりアンカーボディの内部に樹脂が供給される。その後、孔壁とスリーブの間に樹脂が充填され、水平ひび割れ及び浮き部へ樹脂が注入される仕組みとしている。

2.3 貼替工法の注入機構

図-2 に貼替工法の注入機構を示す。貼替工法では、特殊アンカーボルトを注入だけでなく、新設鋼板仮固定用アンカーボルトとしても使用し、鋼板の仮固定と水平ひび割れの補修の2種類の機能を持たせることで施工の効率化を図っている。また、ひび割れ注入用樹脂と鋼板接着用樹脂は異なる種類となるため、樹脂が混ざらないよう床版にシールを施している。シール処理を行うことにより、床版内部からアンカー孔を通してのひび割れ注入用樹脂の漏出、及び鋼板接着用樹脂の床版内部への流入を防いでいる。

水平ひび割れへの注入機構としては、補修工法と同様である。一方、鋼板と床版を一体化させるための間隙への注入は、通常の鋼板接着工法と同様に、外部のポンプから注入パイプへ樹脂を供給する仕組みとしている。



写真-2 特殊アンカーボルト

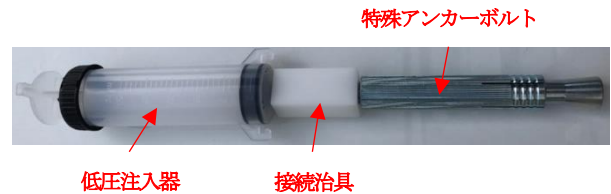


写真-3 注入器及び接続治具

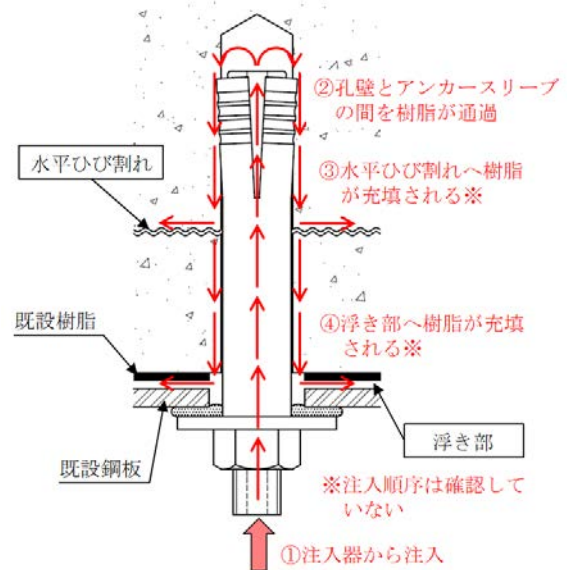


図-1 補修工法の注入機構

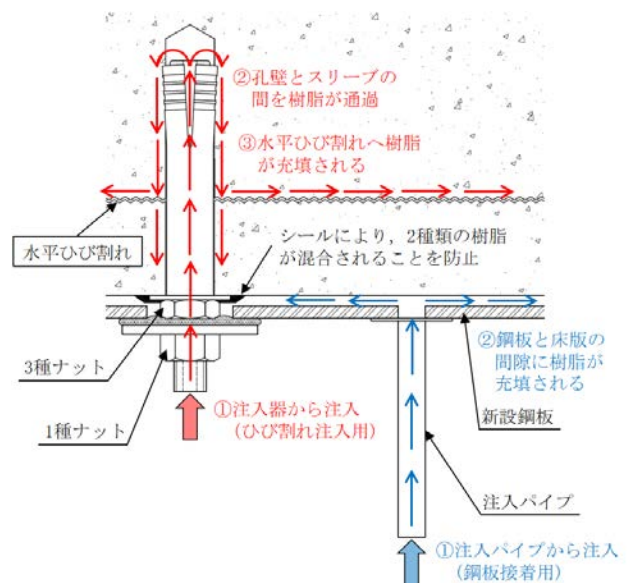


図-2 貼替工法の注入機構

3. 実床版を用いた注入実験による補修工法の検討

3.1 対象床版諸元

補修工法における施工性、及び注入性能の確認を目的に、床版取替時に切り出された床版（以下、切出し床版）を用いて注入実験を実施した。

対象とした床版は、阪神高速道路の橋梁より切出した床版を用いた。対象の橋梁は、2主桁単純鉄桁橋で、幅員6250mm、支間長21400mm、床版厚180mmの橋梁である。竣工は1970年（昭和45年）であり、1982年（昭和57年）に鋼板接着補強済みである。床版取替は2018年（平成30年）の7月から8月にかけて実施されており、鋼板接着された状態での供用年数は37年である。切出し床版の切断面には、写真-1に示したように、下側鉄筋近傍に水平方向にひび割れが進展しており、鋼板接着補強済みRC床版における特徴的な水平ひび割れが確認されている。また、全面的に鋼板が浮いている状態であった。切出し床版の寸法は、橋軸方向1545mm、橋軸直角方向4450mm、鋼板接着範囲は橋軸方向1545mm、橋軸直角方向3400mmであった。

3.2 実験手順

実橋での施工を想定し、図-3に示す手順で実験を行った。写真-4に実験状況を示す。なお、注入樹脂は赤色の蛍光顔料にて着色している。

注入における特殊アンカーボルトのピッチは、鋼板接着工法における阪神高速道路(株)基準（ピッチ500mm以下）を満足できるよう、300mm（以下、「ピッチ300mm」）と500mm（以下、「ピッチ500mm」）の2ケースを実施し、注入性能の差異を確認した。また、平面的な樹脂の充填状況確認のためコア抜きを実施し、式(1)で定義される充填率を指標として、充填範囲の比較を行った。

$$a = l_r \div l_c \times 100 \quad (1)$$

ここで、 a : 充填率(%), l_r : 円周方向の充填樹脂延長(mm), l_c : 円周方向のひび割れ延長(mm)。

3.3 水平ひび割れへの注入結果

ピッチ500mmのコア抜き結果を図-4に、充填率毎の頻度分布を図-5に示す。頻度分布は全112本のコアのうち、水平ひび割れが存在した96本について整理した。

図-4より、端部付近の一部のコアで未充填箇所が存在するが、概ね平面的に水平ひび割れへ樹脂が拡がっている状況が確認でき、頻度分布より全体の8割程度のコアで100%の充填率となっていることが確認できた。

ピッチ300mmのコア抜き結果を図-6に、充填率毎のコア本数の頻度分布を図-7に示す。なお、頻度分布は全119本のコアのうち、水平ひび割れが存在した118本について整理した。



写真-4 実験状況

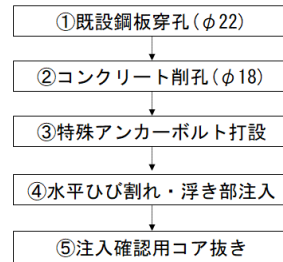


図-3 補修工法の実験手順

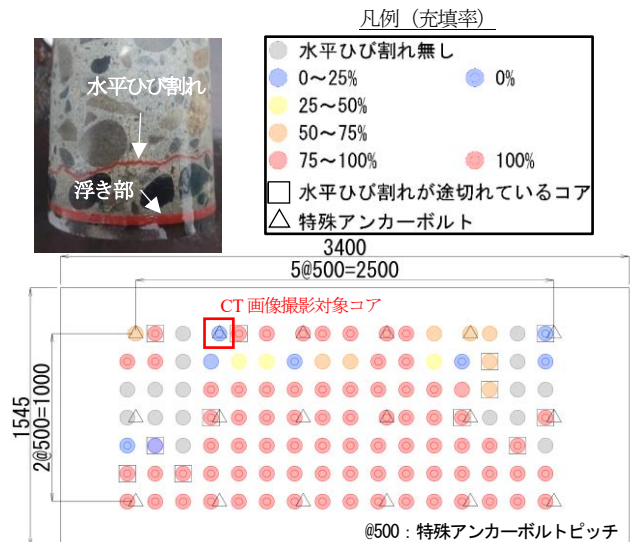


図-4 注入後のコア抜き結果
(特殊アンカーボルト ピッチ 500mm)

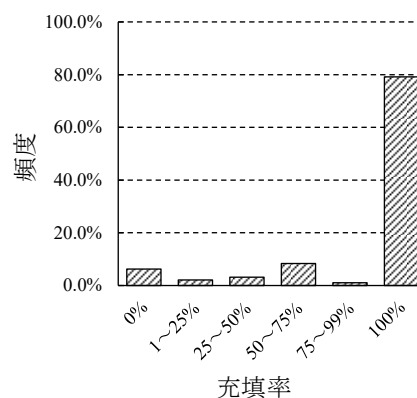


図-5 充填率の頻度分布
(特殊アンカーボルト ピッチ 500mm)

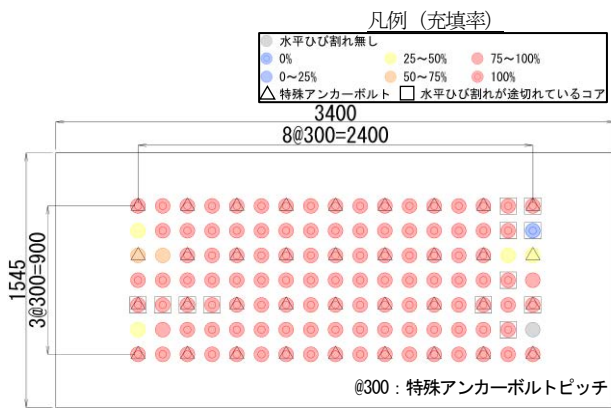


図-6 注入後のコア抜き結果
(特殊アンカーボルト ピッチ 300mm)

図-6より、ピッチ 500mm のケースと同様に、端部付近の一部のコアで、未充填箇所が存在するが、概ね平面的に水平ひび割れへ樹脂が拡がっている状況が確認された。また、頻度分布から全体の 9 割程度のコアで 100% の充填率が確認でき、ピッチ 500mm のケースよりも良好な充填状況となっていることが確認された。

次に、両ケースの充填状況の差異がアンカーピッチの差によるものか、床版内部のひび割れ分布状況の差によるものかを検討するために、供用時の床版位置に関する比較を実施した。切出し床版の供用時の平面位置を図-8に示す。ピッチ 500mm の切出し床版は、横桁の直上に位置している一方、ピッチ 300mm の切出し床版は対傾構と横桁の間に位置している。既往の研究³⁾でも示されている通り、横桁等で主桁が横方向に拘束されている場合、主桁の回転が拘束され床版の変形が小さくなり、特に変形の小さい主桁付近の床版端部では水平ひび割れが生じにくいと考えられる。そのため、ピッチ 500mm の切出し床版は、横桁により変形が拘束され、端部で水平ひび割れが発達しにくい状況であったと推察される。実際に端部で水平ひび割れが存在しないコアも 16 本存在した。そのため、端部で水平ひび割れが不連続となっている可能性が高く、樹脂が到達できなかったことから充填不良が生じたと考えられる。一方、ピッチ 300mm の切出し床版は、横桁や対傾構の間に位置しており、拘束の影響が小さく水平ひび割れが発達しやすい状況だったと考えられ、水平ひび割れが存在しないコアも 1 本しか確認されなかった。そのため、床版内部の水平ひび割れが面的に連続しており、ピッチ 500mm の切出し床版よりも充填率の高いコアの割合が増加したと考えられる。

以上の考察を検証するため、ピッチ 500mm の切出し床版を対象に、特殊アンカーボルト近傍で樹脂が充填されていないコアの内部の水平ひび割れ状況を把握する目的で、図-4に示したコアの CT 画像撮影を実施した。図-9にコアの CT 画像を示す。この画像より、コア外面で確認された水平ひび割れが内部で不連続となっており、アンカー孔とひび割れが繋がっておらず、ひび割

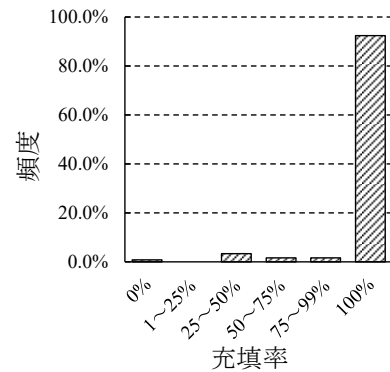
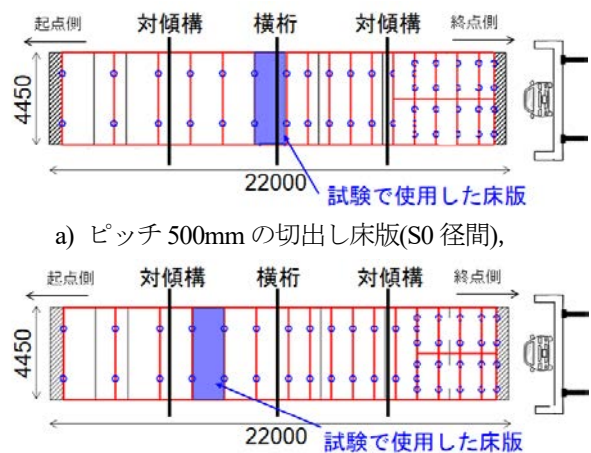


図-7 充填率の頻度分布
(特殊アンカーボルト ピッチ 300mm)



a) ピッチ 500mm の切出し床版(S0 径間)
b) ピッチ 300mm の切出し床版(S1 径間)

図-8 床版の切出し位置

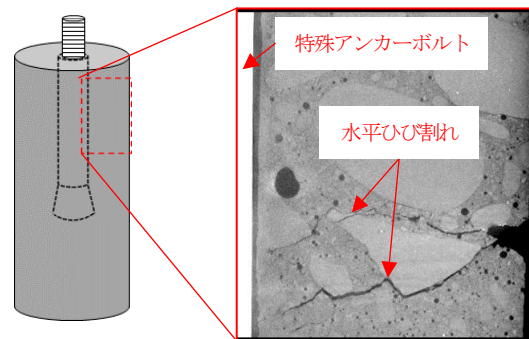


図-9 コア内部の CT 画像

れに樹脂が到達していない状況が確認できた。以上より、両ケースの充填状況の差異は、アンカーピッチによる注入性能の差異によるものではなく、床版の供用中の拘束状況による水平ひび割れ分布状況の差異に起因するものであると考えられる。したがって、特殊アンカーボルトピッチは 500mm 以下とすることで、十分な注入性能が確保できると結論付けた。

3.4 鋼板の浮き部への注入結果

既設鋼板の浮き部への樹脂の充填状況を把握することを目的に、パールハンマーによる打音検査を注入前後に実施した。ピッチ 500mm のケースにおける打音検査結果

を図-10に示す。樹脂注入前は異音部が広範囲に広がっており、全面的に浮きが存在していたと考えられるが、樹脂注入後では大部分の異音が消失していることが分かる。写真-5に浮きへの樹脂の充填状況を示す。注入した樹脂は既設樹脂の上側（床版と既設樹脂の間隙）、及び既設樹脂の下側（既設鋼板と既設樹脂の間隙）のどちらにも充填されることが確認できた。以上より、浮きへの充填性能も良好で、水平ひび割れの注入時に浮きへの注入も同時に効率的に実施できることが確認できた。なお、異音が改善しなかった箇所については、表面付近に発生した水平ひび割れ部を異音として認識した可能性や、鋼板に層状の錆が発生していたことにより浮き部へ樹脂が完全に充填されなかった可能性等が考えられる。

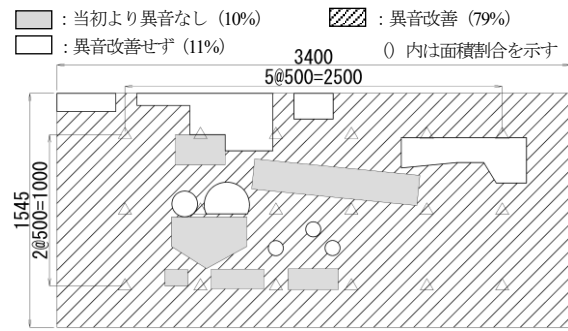


図-10 鋼板の打音検査結果



写真-5 浮きへの充填状況

4. 実床版を用いた注入実験による貼替工法の検討

4.1 実験内容

都市高速や交通量の多い国道等で採用されている床版の鋼板接着補強において、既設鋼板を撤去・貼替する際には、既設床版を可能な限り傷めないよう、削孔等を最小限とすることが要求される。特殊アンカーボルトを用いない場合は、水平ひび割れへの注入孔の削孔と鋼板固定用アンカー孔の削孔が別工程となり、既設床版への削孔作業が多く発生するが、特殊アンカーボルトを用いることで、注入孔の削孔が不要となる。また、施工手順が簡略化されるため、効率化につながる（図-11）。なお、ひび割れ注入用樹脂と鋼板接着樹脂が混ざり合うことを防ぐため、図-2に示した通り、床版表面と特殊アンカーボルト部のシールを実施することとした。

以上の手順の下で、水平ひび割れへの注入、鋼板取替及び新設鋼板と床版の間隙への注入が確実に実施できるか、補修工法と同様に切出し床版による注入実験を実施し、注入後にコア抜きを実施した。切出し床版の寸法は、橋軸方向 1030mm、橋軸直角方向 4450mm、新設鋼板接着範囲は橋軸方向 930mm、橋軸直角方向 2800mm である。

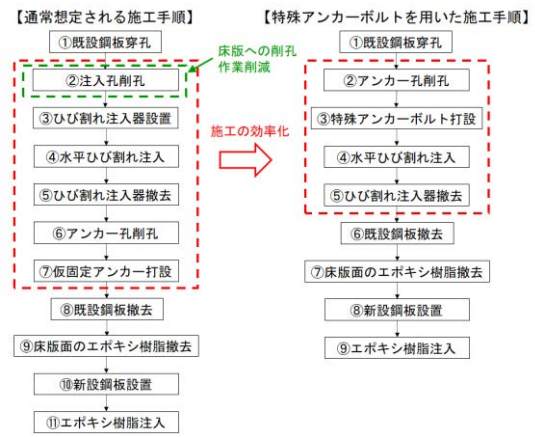


図-11 貼替工法の施工手順の検討



写真-6 貼替工法における樹脂の充填状況

4.2 注入結果

写真-6にコア写真を示す。本実験より、床版面にシールを施しても、水平ひび割れに問題なく注入することができた。また、床版面をシールした結果、2種類の樹脂が混ざり合うことなく水平ひび割れと鋼板の間隙のそれぞれに確実に充填されていることを確認できた。したがって、特殊アンカーボルトを用いることで、通常よりも効率的に鋼板貼替と水平ひび割れへの注入を実施することができ、施工品質も確保できることが分かった。なお、今後更なる施工の効率化を目的に、水平ひび割れ及び鋼板の間隙への同時注入に関する検討を実施する予定である。

5. 本工法における注入可能なひび割れ幅の確認

5.1 試験内容

本工法の注入性能を定量的に把握することを目的に、コンクリート角柱供試体を用いて水平ひび割れを模擬し、注入試験を行った。水平ひび割れは、長さ 600mm の角柱供試体を圧縮試験機により曲げ破壊させ、300mm 程度に 2 分割し、ひび割れ（破壊面）から 30mm 程度の位置で切断し、破壊面同士を重ね合わせることで再現した。試験は室内環境（気温 20℃、湿度 30%）で実施し、注入したエポキシ樹脂は前述の低粘度のひび割れ注入用の 1 種仕様の樹脂を使用した。注入可能なひび割れ幅を定量

的に把握することを目的に、4 側面の表面の平均ひび割れ幅をパラメータとして、比較的ひび割れ幅の小さい No.1 供試体、及び標準的なひび割れ幅を再現した No.2 供試体の 2 パターンの注入試験を行った（表-1）。ひび割れ幅は図-12 に示す通り供試体上下の固定治具のナットの締付力により、供試体に圧縮力を作用させることで調整した。

5.2 試験結果

No.1 供試体では、供試体側面からの樹脂漏出は確認されなかったが、No.2 供試体では 4 側面全てからの樹脂の漏出が確認できた（写真-7）。注入可能なひび割れ幅の確認のためには、特殊アンカーボルト近傍のひび割れ幅を確認することが必要である。そこで、No.2 供試体の CT 画像撮影を実施した。その結果、特殊アンカーボルト近傍では、ひび割れ幅 0.18mm、及び 0.16mm のひび割れに樹脂が充填されている状況が確認でき（図-13）、本工法では一般的に補修対象となる幅 0.2mm 程度のひび割れに注入可能であることが確認できた。

6. おわりに

本研究では、鋼板接着補強済み RC 床版に発生する水平ひび割れに対して、特殊アンカーボルトを用いた効率的な補修方法の検討を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

1. 補修工法では、特殊アンカーボルトピッチによる注入性能の比較を行い、ピッチ 500mm で十分な充填性能が発揮できることが確認できた。また、水平ひび割れと鋼板の浮き部へ同時に注入可能であることが分かった。
2. 一部の水平ひび割れに対して樹脂が充填されていない状況が確認された。これは、端横桁や対傾構直上では床版の変形が拘束され、水平ひび割れが発達しにくく、平面的に不連続であるため、ピッチ 500mm で到達できない樹脂があったためと推察される。
3. 貼替工法では、特殊アンカーボルトを用いた効率的な施工手順で、水平ひび割れ補修及び鋼板接着の両方の施工品質が確保できることが分かった。
4. 角柱による水平ひび割れを模擬した注入試験により、本工法では一般的な補修対象である 0.2mm 程度のひび割れ幅に対して、十分な注入性能を有することが確認された。

今後の課題として、以下の点が挙げられる。

1. 水平ひび割れへのエポキシ樹脂充填による耐疲労性の向上効果の確認
2. 貼替工法における施工手順の簡略化を目的とした水平ひび割れ及び鋼板の浮きへの同時注入に関する検討

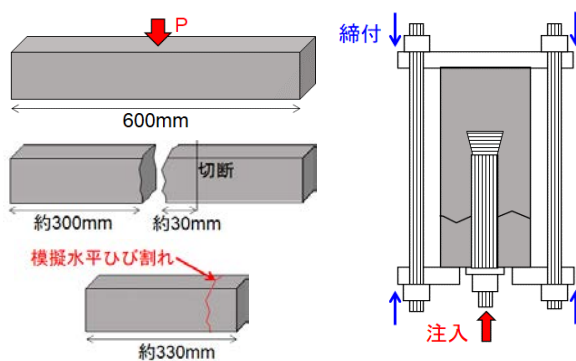


図-12 供試体作成方法

表-1 供試体一覧

供試体 No.	No.1	No.2
4 側面の平均ひび割れ幅(mm)	0.075	0.21

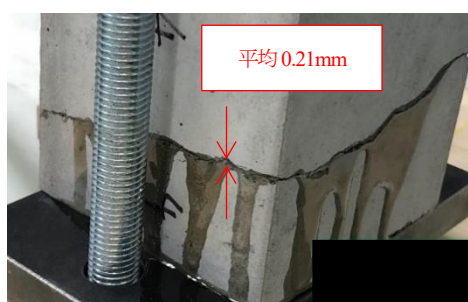


写真-7 No.2 供試体（ひび割れ幅 0.21mm）

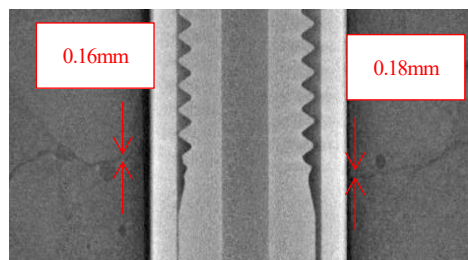


図-13 No.2 供試体 CT 画像

参考文献

- 1) 前川敬彦, 久利良夫, 佐々木一則, 飛ヶ谷明人, 青木康素: 鋼板接着補強床版の維持管理に関する検討, 土木学会第 7 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, Vol.7, p13-18, 2012.6
- 2) 佐野正, 山下幸生, 松井繁之, 堀川都志雄, 久利良夫, 新名勉: 浮きを有する鋼板接着補強 RC 床版の疲労耐久性及び樹脂再注入の評価, 土木学会論文集 A1, Vol.67, No.1, pp.27-38, 2011
- 3) 西田孝弘, 茅野茂, 橋本勝文, 奥出信博: 鋼板接着補強された実コンクリート床版の損傷評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.2, pp.1201-1206, 2020.7
- 4) 松嶋秀記, 田ノ上誠次, 鈴木英之, 伊佐政晃: 鋼板接着で補強された RC 床版の補強鋼板取替えに関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.2, pp.307-312, 2022.6

(2022 年 7 月 8 日受付)

(2022 年 9 月 9 日受理)