

柱状サンプル採取法による RC 床版の内部診断法における接着剤の効果

日大生産工(院) 佐藤大輝 日大生産工 阿部忠

中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京(株) 高野真希子 大窪克己 日大生産工(院) 木内彬喬

1. はじめに

劣化したコンクリート部材内部に発生するひび割れ診断を行う手法として「柱状サンプル採取法」¹⁾が提案され、実橋 RC 床版のひび割れ診断法として採用されている。この柱状サンプル採取法においては、コア内部に注入し、微細なひび割れに浸透する接着剤の性能が重要な役割を担う。そこで本研究では、従来から使用されている接着剤と新たに 3 種類の接着剤を用いて、硬化時間および浸透状況を比較検証した。

2. 柱状サンプルによる内部ひび割れ診断方法

コンクリート内部に発生するひび割れなどの内部損傷の診断法である柱状サンプル採取法の手順を図-1 に示す。床版供試体上面にコアドリル装置を設置し(図-1 ①)、 $\phi 10\text{mm}$ 程度の接着剤注入用の孔を削孔する(図-1 ②)。削孔内部のコンクリート粉等を除去し(図-2 ③)、低粘度の接着剤に蛍光塗料を混入したものを注入器具を用いて圧入する(図-1 ④)。接着剤の強度が発現された後に、同位置で $\phi 25\text{mm}$ のドリルビットを用いて柱状サンプルを採取する(図-1 ⑤)。柱状サンプルは、水平ひび割れ発生箇所に接着剤が浸透し、ひび割れの確認が可能となる(図-1 ⑥)。

以上の方法で、柱状サンプルを採取し、損傷状況を検証するが、短時間でサンプルを採取するためには、ひび割れ箇所に浸透させるための接着剤の選択が重要となる。

3. 柱状サンプル採取法に用いる接着剤の選定

3.1 接着剤の選定

RC 床版の内部損傷診断法である柱状サンプル採取法に用いる接着剤の性能としては、短時間での硬化、かつ 0.05mm 程度以上のひび割れに浸透することが要求される。これらのことから接着剤には、エポキシ系の浸透性接着剤が用いられてきた^{2), 3)}。しかし、 0.05mm 以上のひび割れに浸透はするものの硬化時間

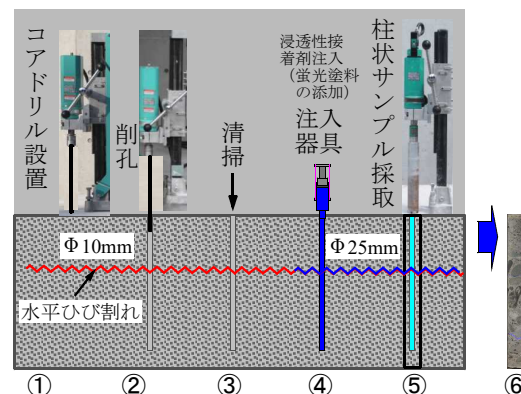


図-1 柱状サンプル採取手順

表-1 接着剤の材料特性値

項目	接着剤K-S ^{※1)} K-W ^{※1)}	接着剤D ^{※2)}	接着剤N
主成分	エポキシ樹脂	変性アクリル樹脂	メタクリル樹脂
混合比 (主剤：硬化剤)	10：3	1：1	100：1～8
硬化物比重	1.2	1.02	1.03±0.10
粘度	150mPa・s	300mPa・s	100mPa・s以下
可使時間	119分/23℃ ^{※3)}	20分/20℃ ^{※4)}	30分以上/20℃ ^{※4)}
硬化時間	K-S:7時間以上 K-W:4時間以上	40分	3時間以内
コンクリートとの接着強度	4.5N/mm ² 以上	1.9N/mm ² 以上	2.5N/mm ²
圧縮強度	50N/mm ² 以上	60N/mm ²	79N/mm ²

※1) 被着体温度 Ks: 25～40℃ Kw: 5～20℃ ※2) 適用可能温度 -10～25℃

が 7 時間以上を要することから、昼間時間帯(8 時間程度)の交通規制内での柱状サンプルの採取が困難となる。そこで、現在市販されているエポキシ系の春夏および秋冬用の 2 種類の浸透性接着剤を用いた。それぞれの記号を K-S, K-W とする。また、硬化時間の短縮が図れるアクリル系の変性アクリル接着剤、メタクリル接着剤を用いた。それぞれの記号を D, N とする。この 4 種類の接着剤に対し、硬化時間および浸透性の比較検証を行う。

ここで、材料の性能を表-1 に示す。硬化時間は接着剤 K-S および K-W は、それぞれ 7 時間、4 時間である。一方、接着剤 D および N はそれぞれ 40 分と 3 時間である。粘度については接着剤

Effect of Adhesive by Internal Diagnostic Method of RC Slab by Sampling Method of Column Sample

Daiki SATO, Tadashi ABE, Makiko TAKANO, Katsumi OKUBO and Akitaka KIUCHI

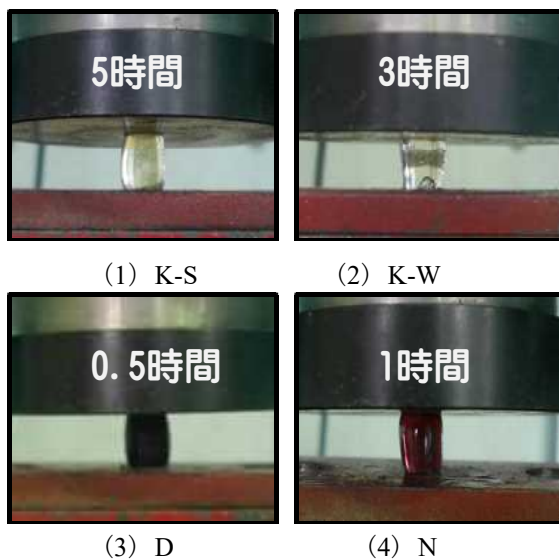


写真-1 時間毎の硬化状況 (圧縮強度試験)

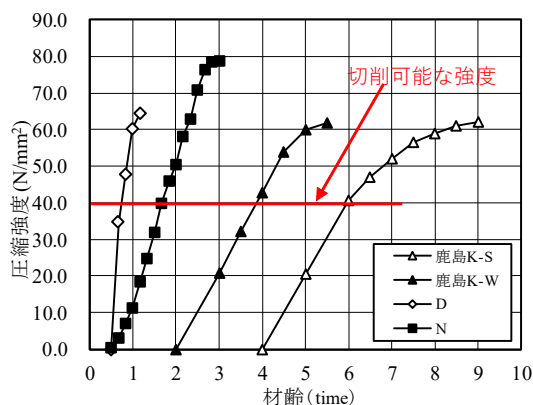


図-2 圧縮強度と材齢の関係

K-S および K-W は 150m/Pa・s であり、接着剤 D および N は、それぞれ 300m/Pa・s、100m/Pa・s 以下である。いずれも、柱状サンプル採取法に用いる接着剤に適する材料である。

3.2 硬化時間および圧縮強度の関係

(1) 試験体の製作

4 種類の接着剤を $\phi 15\text{mm}$ の試験管に注入し、硬化時間計測後に試験管から取り出し、圧縮試験を行った。

ここで、経過時間毎の硬化状況を写真-1 に示す。また、圧縮強度 (平均) と材齢の関係を図-2 に示す。なお、圧縮試験には試験管から取り出した接着剤を $\phi 12.5\text{mm} \times 24\text{mm}$ に切断したものをを用いて実施した。

(2) 硬化時間

エポキシ系の春夏用の浸透性接着剤 K-S は硬化時間が遅く、5 時間後の状況では写真-1 (1) に示すように弾性変形 (膨張) が生じている。この接着剤は、通常平面状に塗布して用いられてい

るが、 $\phi 12\text{mm}$ 試験管で硬化させたことから、硬化時間が遅くなる結果となった。また、エポキシ系の秋冬用の浸透性接着剤 K-W は、写真-1 (2) に示すように接着剤 K-S と比較して 2 時間程度硬化時間が早いことが確認できる。次に、アクリル系の変性アクリル接着剤 D は、表-1 に示すように最も硬化時間が早い材料であり、0.5 時間 (30 分) で写真-1 (3) に示すように弾性変形が見られる。また、アクリル系のメタクリル接着剤 N は、1 時間後には写真-1 (4) に示すように弾性変形が見られる。よって、アクリル系接着剤は表-1 にも示すように、硬化時間が早い結果となった。

以上より、8 時間施工を考慮した場合、接着剤 K-W および接着剤 D、N が適しているといえる。硬化時間を短縮するためには、柱状サンプル採取における接着剤注入孔の直径を 10mm 程度と小径とすることやバーナー等で周辺温度を高くすることも検討される。

(3) 圧縮強度と材齢の関係

エポキシ系の春夏用の浸透性接着剤 K-S の圧縮強度は図-2 に示すように、材齢 4 時間後から強度が発現されている。7 時間後の圧縮強度平均は 51.9N/mm² である。その後も材齢が進むに伴い強度は増加している。また、秋冬用の浸透性接着剤 K-W は、材齢 2 時間後から強度が発現され、材齢 4 時間後の圧縮強度の平均は 42.7N/mm² で、材齢が進むごとに圧縮強度も増加している。

一方、アクリル系の接着剤 D は 30 分後から強度が発現されている。材齢 40 分後の圧縮強度の平均は 34.6N/mm² であり、60 分後の圧縮強度の平均は 60.3N/mm² である。また、接着剤 N の発現強度は材齢 30 分で 0.41N/mm²、1 時間では 7.13N/mm² である。3 時間後では 78.8N/mm² である。接着剤注入後の柱状サンプル採取は接着剤の圧縮強度が 40.0N/mm² 以上、すなわちコンクリートの圧縮強度以上まで硬化させることが望ましい。圧縮強度が 40.0N/mm² 以上となる時間は、浸透性接着剤 K-S、K-W は、それぞれ 6 時間、3 時間 50 分となる。また、接着剤 D、N はそれぞれ 45 分、1 時間 40 分となる。

以上より、圧縮強度の平均においても、それぞれの接着剤で発現強度が異なる結果が得られた。なお、本実験は内径 12.5mm の試験管を用いての試験結果であり、通常の接着剤の使用法と異なる扱いとなることから、本研究以外での使用においては、表-1 に示す各接着剤の特性

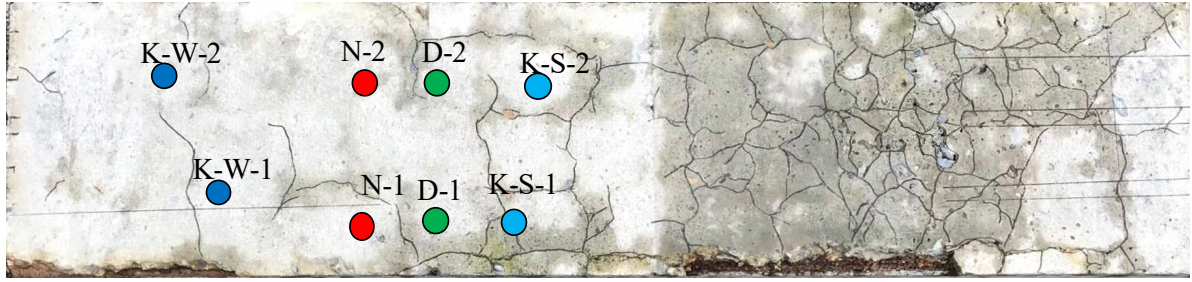


写真-2 老朽化した RC 床版の損傷状況と柱状サンプル採取位置

値を適用する必要がある。

4. 接着剤の浸透効果に関する実験

接着剤の浸透効果についての実験は、老朽化により撤去した RC 床版供試体を用いて、柱状サンプル採取法により検証する。

4.1 供試体概要

本実験で用いる供試体は、供用開始から 35 年で撤去された国道 106 号線の橋梁床版である。この RC 床版は、上面コンクリートに土砂化による損傷が発生していたことから、これを補修し、その上に接着剤塗布型鋼繊維補強コンクリートで 40mm 増厚した床版である。供試体寸法は、既設床版の厚さが 170mm で SFRC 増厚補強厚が 40mm であり、合計 210mm の厚さである。既設 RC 床版のコンクリートには、普通ポルトランドセメント、骨材には最大寸法 5mm 以下の砕砂、最大寸法 20mm の粗骨材が使用されている。ここで、試験体の下面の損傷状況を写真-2 に示す。床版下面には 2 方向のひび割れが発生している。

柱状サンプルを採取する位置は、写真-2 に示すように上面から 4 種類の接着剤を各 2 箇所とする。また、ひび割れ箇所から樹脂が漏洩しないようにシール材で補修した後に樹脂注入が必要となる。

4.2 接着剤

実験で使用する接着剤は、表-1 に示した 4 種類とする。また、内部のひび割れ状況を診断するにあたっては、鮮明にひび割れを診断するためにブラックライトを用いて写真撮影することから、各接着剤には予め蛍光塗料を混入する。

4.3 下面注入における樹脂の浸透状況

柱状サンプル採取法は、実施工において上面からの施工に加え、交通規制の伴わない床版下面からの施工も実施される場合もあることから、本実験では図-1 に示す方法を下面から採取する方法とした。まず、φ10mm の孔を

ドリルで穿孔し、下面から 200mm の位置まで穿孔する。その後、図-1 に示す手順で作業を行い、それぞれの接着剤を専用の注入器具を用いて注入する。

接着剤の硬化時間は圧縮強度 40N/mm² となる時間を考慮して注入した。柱状サンプルの採取は、浸透性接着剤 K-S、K-W を注入した後それぞれ 6 時間、4 時間で採取した。また、接着剤 D、N はそれぞれ 1 時間と 2 時間後に切削した。ここで、採取した柱状サンプルを図-3 に示す。なお、図-3 には自然光で撮影した柱状サンプル供試体とブラックライトを照射して撮影した供試体をそれぞれ 2 体示した。

4.4 接着剤の浸透状況および考察

(1) 浸透性接着剤 K-S および K-W

柱状サンプル採取し、自然光およびブラックライトを用いて撮影した柱状サンプルを図-3(1)に示す。

春秋用の接着剤 K-S を注入した供試体 K-S-1 の接着剤の浸透状況は、ひび割れ発生位置に適切に接着剤が浸透していることが確認できる。しかしながら、自然光による診断ではひび割れ幅によっては診断が困難であり、蛍光塗料を混入しブラックライトを用いて診断を行うことでより明確な診断が可能になる。

また、損傷状況は、下面から 50mm 付近に最大 1mm 程度のひび割れが発生し、接着剤も適切に浸透している。また、下面から 90mm 付近にもひび割れが浸透している。なお、上面から 40mm の位置は、上面増厚補強を行った際の増厚界面部であり、増厚界面において水平ひび割れが発生していたものと推測される。

供試体 K-S-2 も同様にひび割れ個所に接着剤が浸透していることが確認でき、損傷に状況は、目立った損傷は見られないが、下面から 100mm 付近の微細な空隙が認められる。

次に、秋冬用の接着剤 K-W を注入した供試体

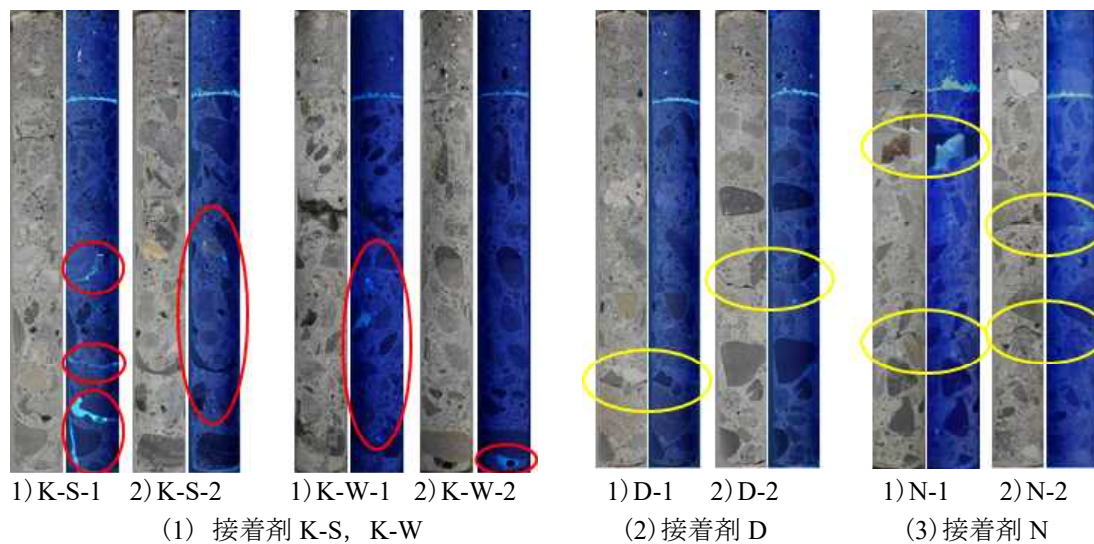


図-3 各種接着剤の浸透状況

K-W-1, 2 は、供試体 K-S 同様にひび割れに対し接着剤が浸透されていることが確認された。ただし、自然光で撮影した供試体ではひび割れの発生が確認しにくいものとなっている。これに対し、ブラックライトを用いて撮影した供試体は下面から 60~90mm 付近の空隙部への浸透も容易に確認できる。

よって、浸透性接着 K-S および K-W は、微細なひび割れに対しても適切に浸透し、浸透箇所硬化して十分な強度を発現することが確認された。よって、柱状サンプル採取に有効な接着剤であると判断できる。

(2) 変性アクリル接着剤 D

接着剤 D を用いた供試体 D-1 の浸透状況は、下面から 40mm 付近に最大 1mm のひび割れが見られるが、接着剤が浸透しておらず、破断している。同様に、供試体 D-2 では下面から 90mm 付近に最大 0.7mm のひび割れが発生しているが、接着剤の浸透は認められない。

(4) メタクリル接着剤 N

メタクリル接着剤 N を用いた供試体 N-1 のひび割れ状況は下面から 50mm 付近に最大 1mm のひび割れが発生しているが、接着剤が浸透していないことから破断している。同様に、上面から 60 ~ 80mm 付近で損傷が著しい箇所が見られるが、接着剤が浸透しておらず破断している。

次に、供試体 N-2 のひび割れ状況は、下面から 60mm, 110mm 付近で最大 0.5mm 程のひび割れが発生しているが、接着剤は浸透しておらず破断している。

以上より、本実験の範囲内ではアクリル系の接着剤は硬化時間では良好な結果を示したが、内部損傷によるひび割れなどへの浸透性では劣ることが確認できた。

4. まとめ

(1)硬化時間は、エポキシ系に比してアクリル系樹脂が早いことが確認された。圧縮強度と材齢の関係では、所定の強度に達する材齢は、K-S で 6 時間、K-W で 3 時間 50 分、接着剤 D および N は、それぞれ 45 分、100 分である。

(2)接着剤の浸透状況は、浸透性接着剤 K-S, K-W を用いて柱状サンプル採取した結果、微細なひび割れまで浸透し、確実に柱状サンプルが採取できることが確認できた。一方、接着剤 D, N は硬化時間が早く、施工時間の短縮が図れる可能性はあるが、浸透速度が遅く内部損傷箇所への浸透が不完全で、柱状サンプルが採取できないものもあった。

参考文献

- 1)阿部忠, 大窪克己, 高野真希子: コンクリート構造部材の柱状サンプル採取方法, 特許第 6308541
- 2)阿部忠, 伊藤清志, 児玉孝喜, 小堀規行, 小林稔: 低弾性 PCM と 2 種類の接着剤を用いた RC 床版の上面の薄層補修法における耐疲労性の評価, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 18 巻, pp179-184, 2018.10
- 3)野口博之, 阿部忠, 木内彬喬: 小口径コア型試験機によるコンクリートの圧縮強度推定法および内部損傷の診断法の提案, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 18 巻, pp69-74, 2018.10