

コンクリート構造部材の柱状サンプル採取方法の現地試行

中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京(株) ○高野 真希子
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京(株) 大窪 克己
 日本大学生産工学部 阿部 忠

1. はじめに

水平ひび割れ等の RC 床版の内部変状に対して、電磁波レーダーなどを用いた非破壊検査が行われているが、床版上面の変状把握には適するが、床版内部の水平ひび割れの検知は困難となっている。床版下面からの衝撃弾性波検査においても、検出結果と水平ひび割れとの相関は低い結果となっている。

このような背景から、筆者らは「コンクリート構造部材の柱状サンプル採取方法」による調査法を提案している。本手法は、先行して削孔した孔に接着剤を注入し、内部ひび割れに浸透させた接着剤が硬化後、その外周をオーバーコアして柱状サンプルを採取する微破壊調査法である。本手法を用いて、SFRC 上面増厚した RC 床版供試体に発生した水平ひび割れを適切に診断できる結果を得ている²⁾。

そこで本研究では、積雪寒冷地域に建設され、供用後 38 経過した実橋 RC 床版を用いて、本調査法による床版内部の調査法の実用性の検証を行った。

2. 柱状サンプル採取方法および使用接着剤

(1) 柱状サンプル採取方法

本手法は、図-1 に示すように床版内部に水平ひび割れや砂利化等の内部変状を含んだ状態であっても、内部欠損部に接着剤が浸透し、変状箇所で分断されることなく、内部状況を保持した柱状サンプルを採取できる方法である。本提案する柱状サンプル採取方法の手順を図-2 に示す。

初めにコアドリル装置を調査対象に設置し (図-2(1))、 $\phi 10\text{mm}$ 程度の接着剤注入孔を削孔する (図-2(2))。その後、削孔内部のコンクリート粉等を清掃し (図-2(3))、蛍光塗料を混入した接着剤 (コアの一本化および 0.05mm 程度のひび割れに浸透) を孔内に注入する (図-2(4))。接着剤硬化後、同位置で $\phi 25\text{mm}$ 程度のコアドリルでオーバーコアを行い、柱状サンプルを採取する (図-2(5))。柱状サンプル表面のひび割れは目視でも確認できるが、蛍光塗料を混入した浸透性接着剤に紫外線を照射することでひび割れの形状、寸法等の内部状況を確認することができる。

(2) 使用接着剤

注入用の接着剤は、浸透性、付着性および硬化時間に着目して材料を選定した。接着剤の材料特性値を



図-1 撤去床版の水平ひび割れと採取コア

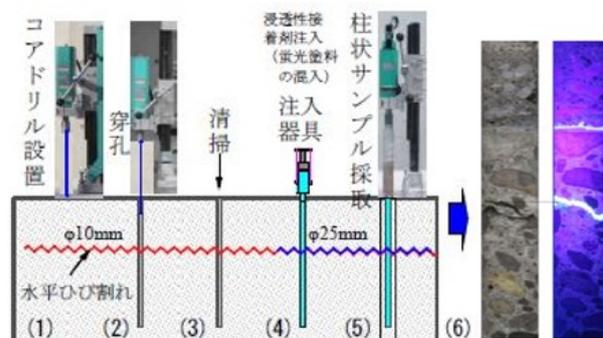


図-2 柱状サンプル採取方法の手順

表-1 に示す。

浸透性は、ひび割れ幅 0.05mm 以上で毛細管現象により浸透する低粘度のエポキシ系樹脂接着剤 (接着剤 K)、ひび割れ充填用のメタクリル樹脂 (接着剤 N) および 0.1mm 以下のひび割れ幅に浸透して速硬化のあるアクリル樹脂 (接着剤 D) の 3 種類を用いた。

硬化時間は、接着剤 K は硬化時間を考慮して夏季に冬季用を用いることから 4 時間、接着剤 N は 3 時間、接着剤 D は 25 分である。なお、柱状サンプル表面の観察によりひび割れ診断を行うことから接着剤には蛍光塗料を混入する。

(3) 接着剤の注入方法

実橋での柱状サンプル採取法は、交通規制を伴わない床版下面から実施した。接着剤の注入は、 $\phi 10\text{mm}$ の接着剤注入孔内を清掃後に行う。ここで、床版下面から接着剤の注入方法を図-3 に示す。

注入器具には市販のボンドリシリンダー (図-3(1)) を用いる。注入器具の座金部の取り付けは接着剤が漏れないようにパテ剤で固定する (図-3(1)①)。また、あらかじめ空気の排出管を削孔深さまで挿入する (図-3(1)②)。接着剤を充填した注入器具を座金部の取り

Field trial of sample extraction method like a pillar of a concrete structural member
by

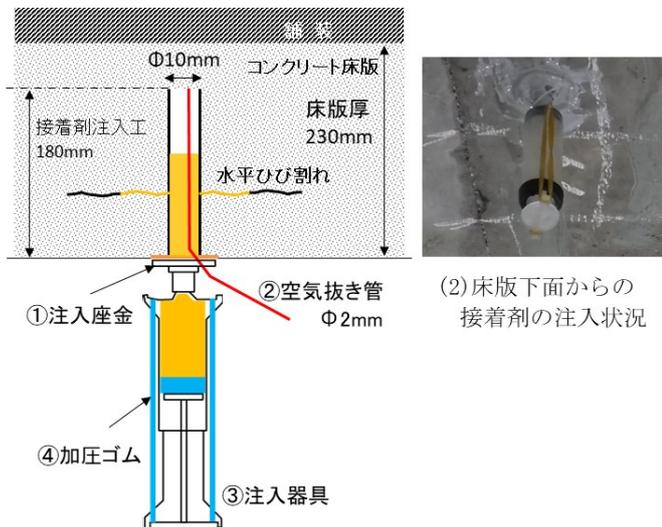
Makiko TAKANO, Katsumi OHKUBO and Tadashi ABE

つけし (図-3(1)③), 加圧ゴムの圧力 (0.1~0.3MPa) で注入する (図-3(1)④)。この加圧により接着剤がひび割れに浸透する。注入は1本/1回とし, 注入完了まで繰り返し行う。接着剤の注入完了は, φ2mmの空気の排出管から空気と共に接着剤の流出を確認することで行う (図-3(1)②)。

接着剤の硬化時間の管理は, 表-1の接着剤の材料特性に示す硬化時間を目安にし, 注入シリンダー内および

表-1 接着剤の材料特性

項目	接着剤 K	接着剤 N	接着剤 D
主成分	高耐久型エポキシ系接着剤(冬用)	メタクリル樹脂	変性アクリル樹脂(速硬化タイプ)
混合比(主剤・硬化剤)	10:3	100:1~8	1:1
硬化物比重	1.2±0.20	1.03±0.10	1.02
粘度	200mPa·s	100mPa·s	300mPa·s
硬化時間	4時間(23℃)	3時間(20℃)	25分(15℃)
コンクリート付着力	1.6N/mm ²	1.9N/mm ²	2.5N/mm ²
特徴	・マイクロクラックへ充填 ・毛細管現象により自己充填	・ひび割れ充填	・0.1mm以下のヘアクラックへ浸透 ・速硬性



(1) 注入器具の構造

図-3 床版下面からの接着剤注入状況

び接着剤混合容器に残った接着剤により確認する。

3. 柱状サンプル採取位置

本調査法の検証対象は, 積雪寒冷地域に建設され, 供用後 38 経過した実橋 RC 床版である。この床版の既往の変状調査では, 上面変状は電磁波レーダによる劣化波形の有無, 下面変状は水しみ(跡)の有無, ひび割れ状況は床版上面および下面からのコア採取により確認している。本研究では, 床版内部のひび割れ箇所において確実に柱状サンプルを採取するために, 既往調査においてひび割れが確認された箇所周辺を選定した。ここで, PC 橋の主桁配置および柱状サンプル採取位置を図-4に示す。

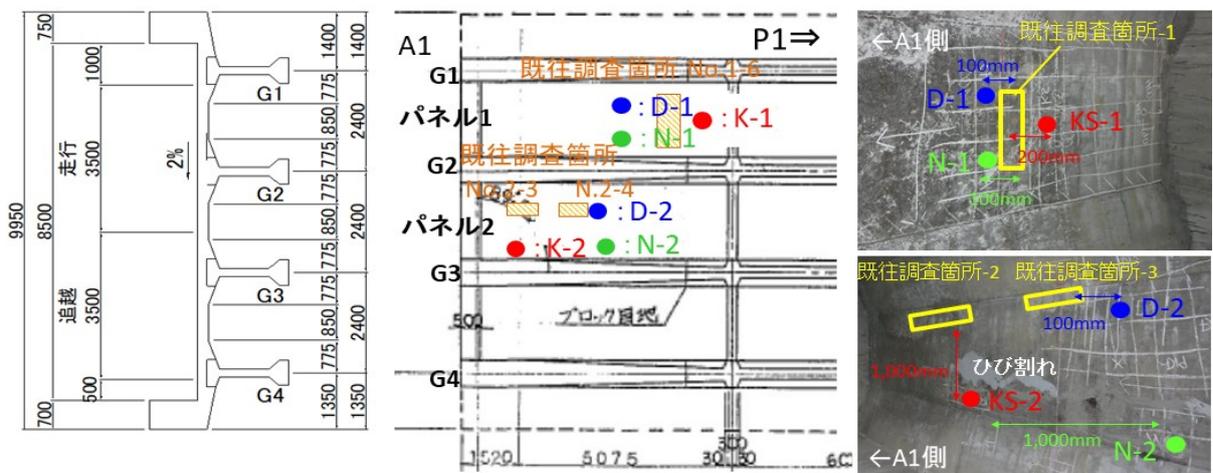
パネル1の既往調査結果では, 電磁波レーダによる床版上面の劣化波形が確認されているが, 床版下面の水しみ(跡)は見られない。採取コアから, 床版下面より 140mm の位置に水平方向のひび割れが確認されている。パネル2の既往調査結果では, 電磁波レーダによる床版上面の劣化波形および床版下面の水しみ(跡)が確認されている。また, 採取コアから, 床版下面より 80mm, 150mm, 200mm の位置に水平方向のひび割れが確認されている。また, 床版下面の表面には図-4(3)に示すように2方向のひび割れが生じている。接着剤注入に先行して, 注入器具取り付け箇所周辺および接着剤が浸透すると想定される範囲にシール材を塗布して, 接着剤の漏洩を防止した。

4. 結果および考察

(1) 接着剤の注入量と硬化時間

接着剤の硬化時間は, 概ね表-1の接着剤の材料特性に示す硬化時間での硬化が確認された。なお, 調査時の平均気温は 25℃であった。ここで, 接着剤の注入量と硬化時間を表-2に示す。

パネル1でのエポキシ系接着剤 K-1の注入量は 50g である。アクリル系接着剤 N-1および D-1の注入量は, それぞれ 300g, 50g である。接着剤の注入量が少ないことおよび既往調査結果からパネル1におけるひび割



(1) 断面図

(2) 平面図

(3) 下面損傷およびコア採取位置

図-4 PC 橋の主桁配置および柱状サンプル採取位置

れは比較的狭い範囲で生じていると想定される。

パネル 2 では、エポキシ系接着剤 K-2 の注入量は 1,050g である。アクリル系接着剤 N-2 においても 400g が注入された。接着剤 D-2 では 100g である。パネル 1 に比べて接着剤注入量が増大していること、既往調査結果においても床版下面より 80mm, 150mm, 190mm の複数個所でひび割れが確認されていることから、ひび割れが広域に渡って生じていると想定される。

(2) 柱状サンプルによるひび割れ診断

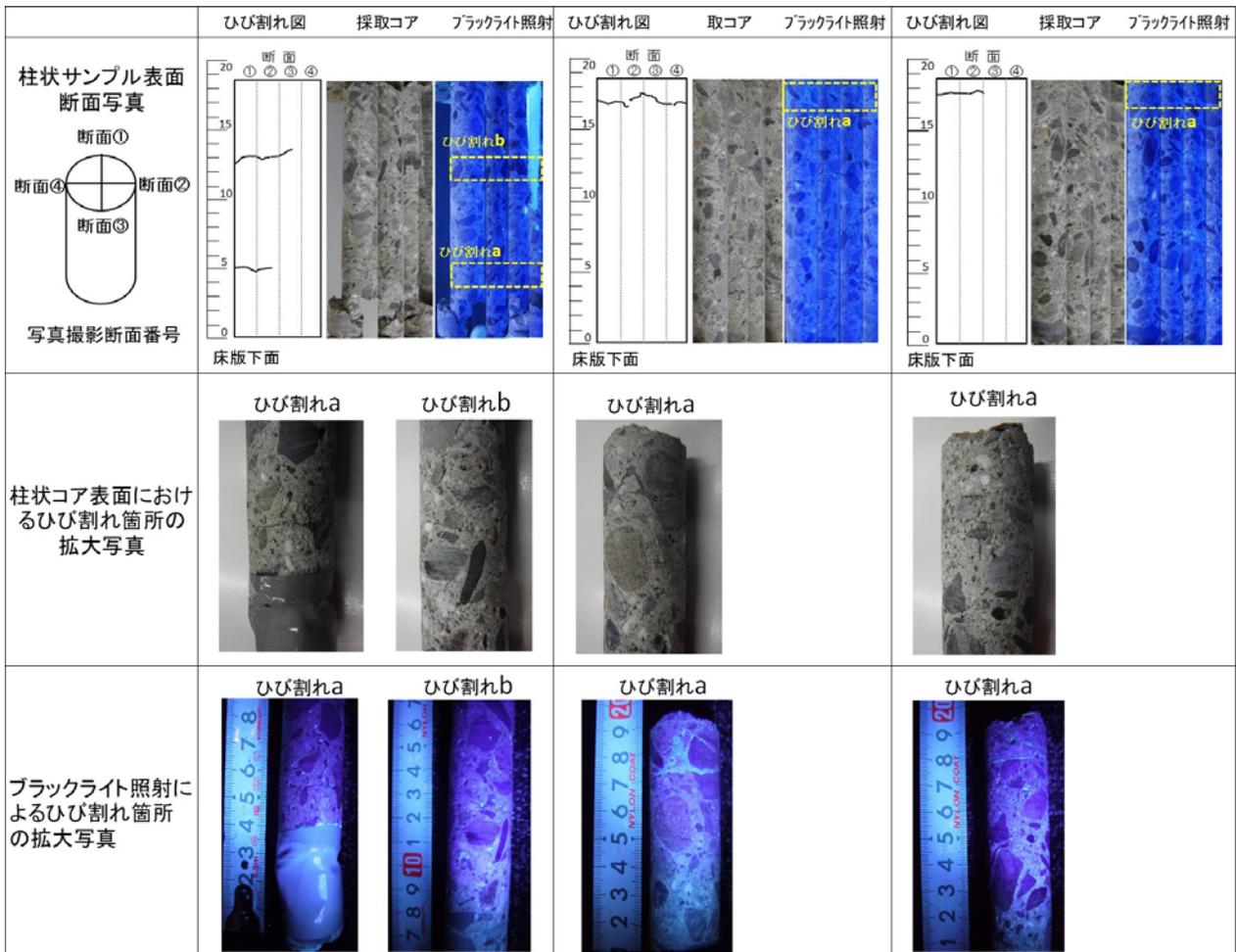
オーバーコアによる柱状サンプルの採取は、作業時間の関係上、接着剤 D-1 および D-2 は当日、その他は翌朝から開始した。柱状サンプルによる内部変状状況を図-5、図-6 に示す。なお、柱状サンプルによるひび割れ発生状況の診断は、自然光および紫外線（ブラックライト）照射による観察により行った。また、柱状サンプル円周を 4 分割して撮影し、平面化して図示した。

パネル 1 から採取した柱状サンプルは、いずれもひ
表-2 接着剤の注入量と硬化時間

接着剤の種類	パネル1(G1-G2間)				パネル2(G2-G3間)			
	記号	注入本数	注入量	養生時間	記号	注入本数	注入量	養生時間
接着剤 K	K-1	1本	50g	4時間	K-2	21本	1,050g	4時間
接着剤 N	N-1	6本	300g	3時間	N-2	8本	400g	3時間
接着剤 D	D-1	1本	50g	30分	D-2	2本	100g	30分

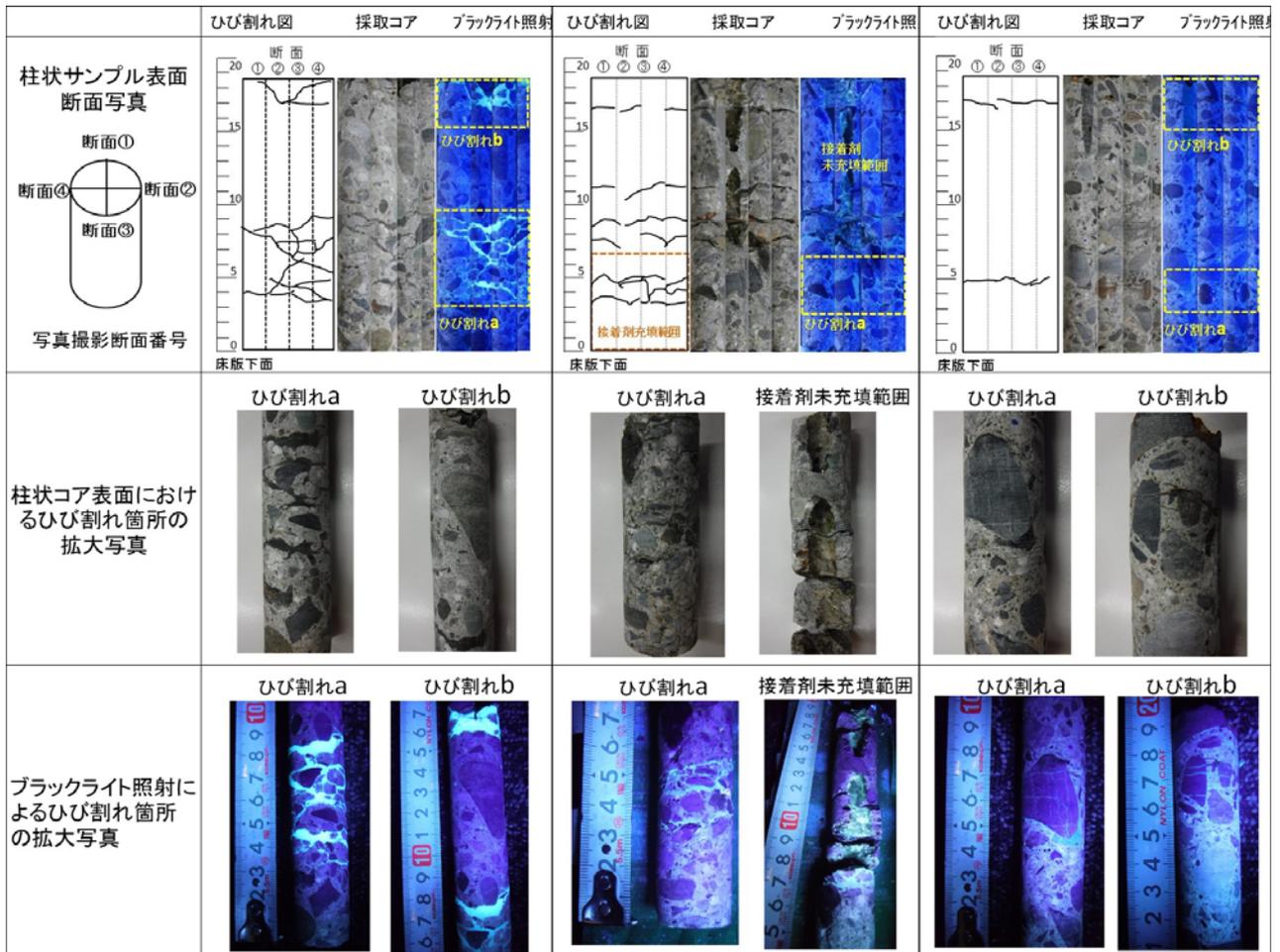
び割れに接着剤が浸透し、ひび割れ箇所でも分断されずに柱状サンプルの採取が可能であった。接着剤 K を注入した K-1 の柱状サンプルには、下面から 50mm, 130mm 付近に最大ひび割れ幅 0.5mm のひび割れが確認された（図-5(1)）。接着剤 N を注入した N-1 の柱状サンプルでは、下面から 180mm 位置に最大ひび割れ幅 1.8mm のひび割れが確認された（図-5(2)）。接着剤 D を注入した D-1 の柱状サンプルでは、下面から 180mm 位置に最大ひび割れ幅 0.2mm のひび割れが確認された（図-5(3)）。パネル 1 の既往調査では、下面から 140mm の位置にひび割れが確認されているが、K-1 では橋軸方向に 200mm、N-1 および D-1 では橋軸方向に 100mm 程度離れた箇所での調査結果のため、既往調査で確認されたひび割れ位置とは多少異なり、ひび割れの連続性は見られなかった。

パネル 2 から採取した柱状サンプルは、一部を除き接着剤がひび割れに浸透し、適切に柱状サンプルの採取が可能となった。接着剤 K を注入した K-2 の柱状サンプルには、下面から 30mm～90mm, 170mm～190mm の範囲に水平ひび割れが層状に確認された（図-6(1)）。接着剤の注入量も 1,050g であり、ひび割れが広範囲に渡っていることが推察できる。また、自然光での撮影結果に対して、紫外線照射での観察結果はひび割れ幅、ひび割れ形状等を明確に確認することができた。接着



(1) 接着剤 K-1 (2) 接着剤 N-1 (3) 接着剤 D-1

図-5 柱状サンプルによる内部変状状況（パネル 1）



(1) 接着剤 K-2 (2) 接着剤 N-2 (3) 接着剤 D-2

図-6 柱状サンプルによる内部変状状況 (パネル 2)

剤 N を注入した N-2 の柱状サンプルでは、下面から 60mm までは接着剤が充填されていたが、それより上方の 60～190mm の範囲には接着剤が充填されておらず、柱状サンプル採取時にひび割れ箇所でも一部分断された (図-6(2))。これは、孔内に接着剤が注入されたものの、接着剤が水平方向のひび割れに流出浸透し、水平ひび割れ箇所から上方へ圧入されなかったと推定される。接着剤が充填されている範囲の紫外線照射による観察より、下面から 30～50mm 範囲に複数のひび割れが層状に確認された。接着剤 D を注入した D-2 の柱状サンプルでは、下面から 50mm および 170mm 位置に最大ひび割れ幅 0.5mm のひび割れが確認された (図-6(3))。

パネル 2 の既往調査では、下面から 80mm, 150mm, 200mm の位置にひび割れが確認されており、K-2 では軸直角方向に 1,000mm, N-2 では軸方向に 1,000mm, D-2 では橋軸方向に 100mm 程度離れた箇所での調査結果であるが、類似する位置で層状のひび割れが生じていることからひび割れが広範囲に渡っていると推定される。

5. まとめ

実橋 RC 床版を用いた本柱状サンプル採取法によりひび割れ診断を行った結果、以下の知見が得られた。

①本研究では浸透性、付着性および硬化時間に着目し

た 3 種類の接着材を用いて、ひび割れ診断を行った。エポキシ系接着剤 K は微細なひび割れにも浸透性および付着性が良好であることが確認できた。また、アクリル系の接着剤 N, D においても、ひび割れに接着剤が浸透し、ひび割れ箇所でも分断されずに柱状サンプルの採取が可能であった。

②接着剤の注入法においては、接着剤を注入する際に孔内が真空状態となり、接着剤の注入が困難となったといった課題に対して、空気の排出管を設けることで、良好に接着剤を注入することができた。

③採取した柱状サンプルより内部ひび割れの幅、範囲などの変状状況を確認することができた。特に、接着剤 K は、ひび割れ幅 0.05mm 以上で毛細管現象により浸透する低粘度のエポキシ系樹脂接着剤である材料特性を持つことから、変状箇所に確実に充填されており、ひび割れ幅、ひび割れ形状などが明確に確認できる結果が得られた。また、広範囲に浸透することから、ひび割れ補強としても効果を発揮するものと考えられる。

【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 号
2) 野口博之, 阿部忠, 高野真希子, 大窪克己, 佐藤大輝: 老朽化した RC 床版の微破壊検査による劣化診断, 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, 2019.10