

# 作用力による接着剤の変形

## 【目的】

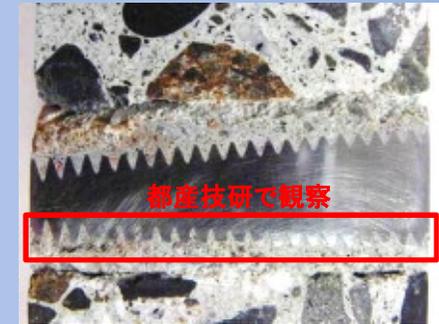
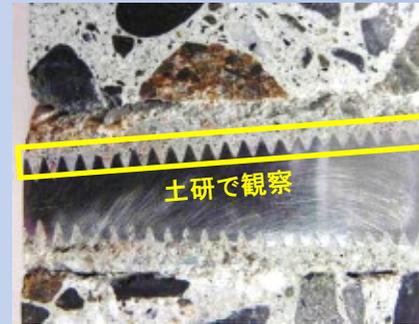
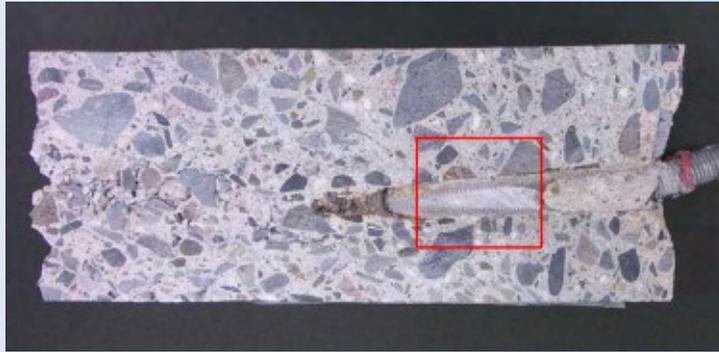
作用力による接着剤の変形について、顕微鏡の観察結果をまとめたもの

平成25年 5月28日 (火)

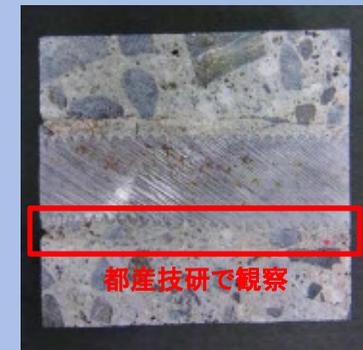
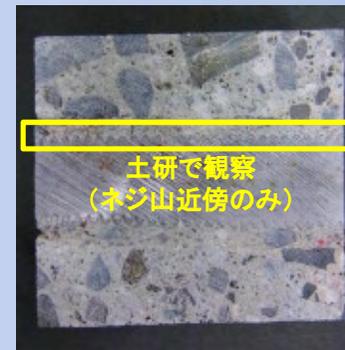
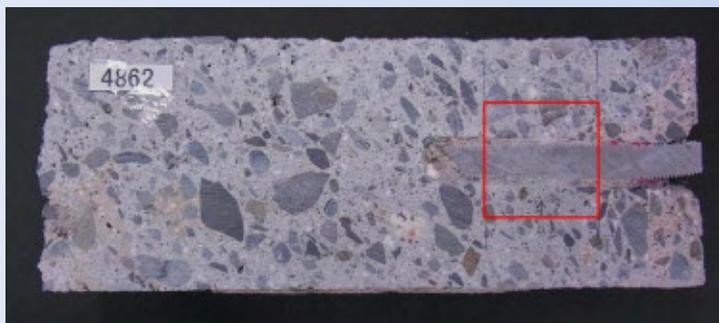
# 1. 電子顕微鏡による接着剤の断面観察

## ● 調査対象(笹子トンネルから採取)

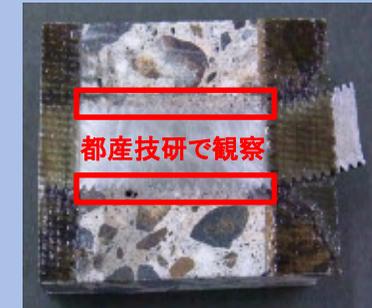
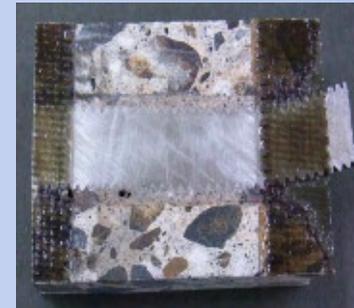
① コア No. B45 (コンクリート/接着剤界面付近の接着剤は脆弱で、加工の際に大半が脱落してしまったため、SEM観察はネジ山近傍のみ)



② コア No. 4862 (ネジ山近傍、コンクリート/接着剤界面近傍の双方についてSEM観察)

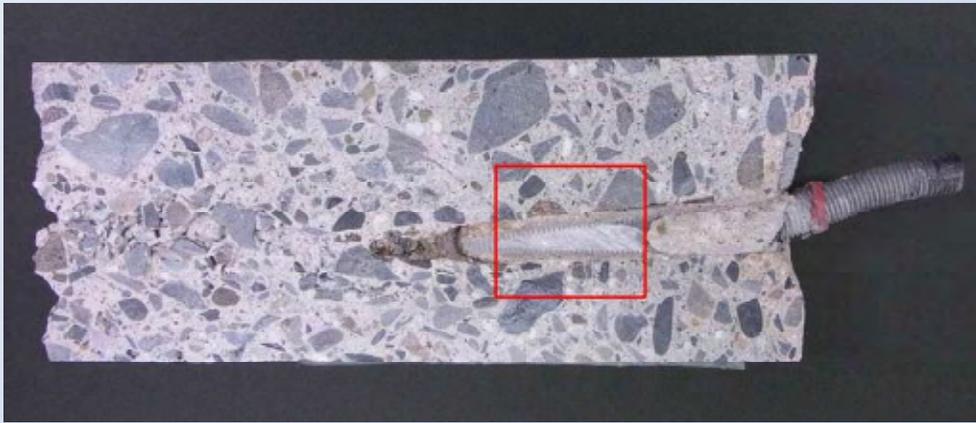


③ コア No. B31 (ネジ山近傍、コンクリート/接着剤界面近傍の双方についてSEM観察)



ナットに近い部分よりSEM用試料を切り出し  
(ボルトの脱落を避けるため、ガラス繊維シート補強材でボルトを固定)

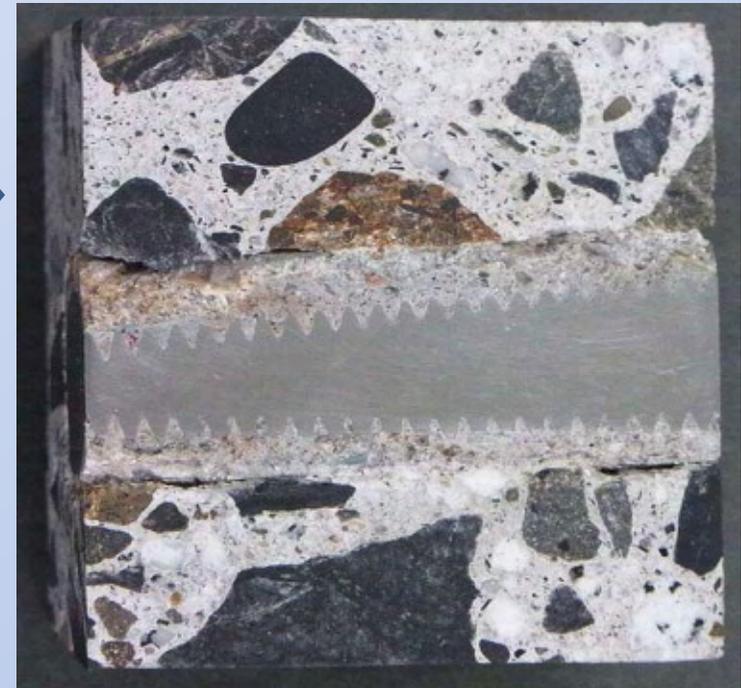
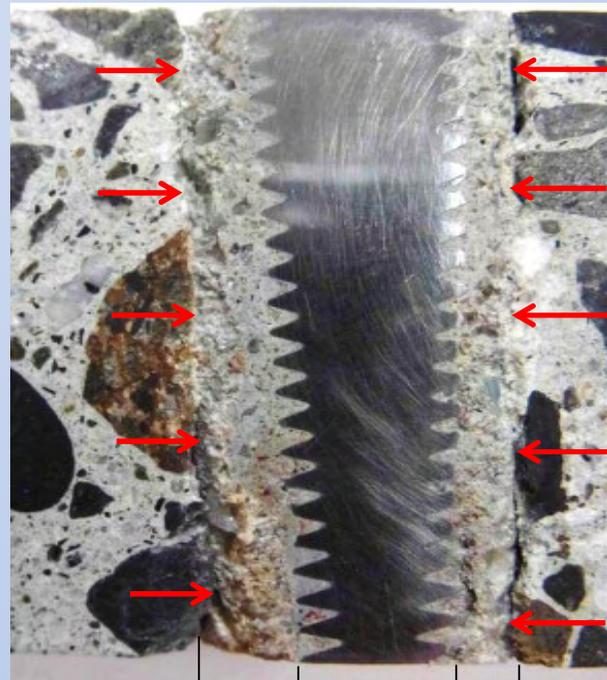
# ① コア No. B45断面観察結果



コア断面(赤枠箇所から試料を切り出し)  
(研磨後)



ボルト先端部には  
隙間がみられる。



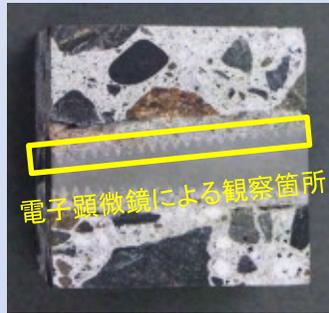
ダイヤモンドソーで5cm角程度に切り出した後、  
観察面を耐水研磨紙(#500 → #800 → #1200)で  
研磨した。

コンクリートの界面に近い接着剤は脆弱で、  
切断加工および研磨の段階で容易に脱落した。

接着剤の劣化が示唆される

# ① コア No. B45断面観察結果

観察結果(反射電子(組成)像)



赤い矢印箇所のねじ山付近で接着剤にき裂が見られた。(ねじ山23個のうちの6個)

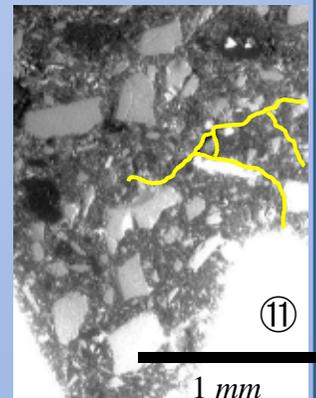
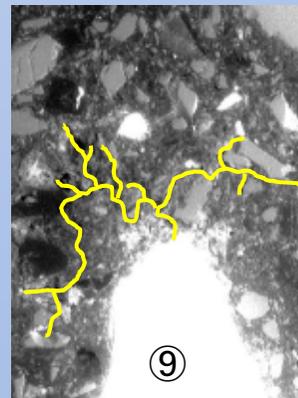
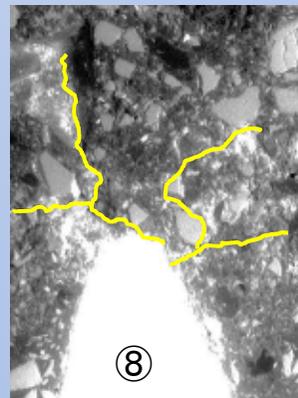
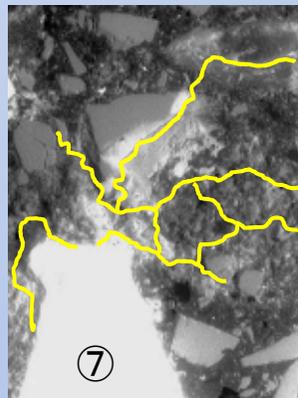
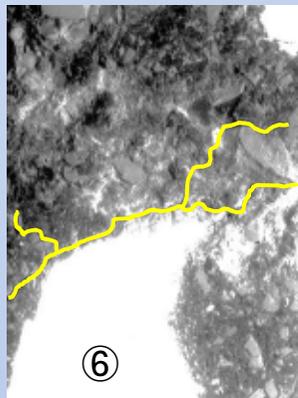
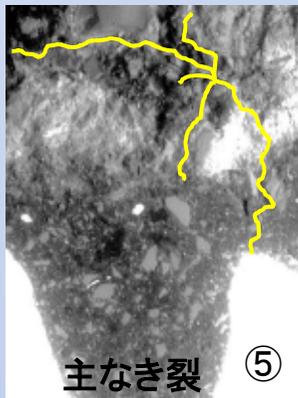
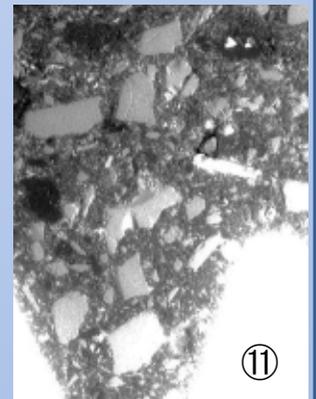
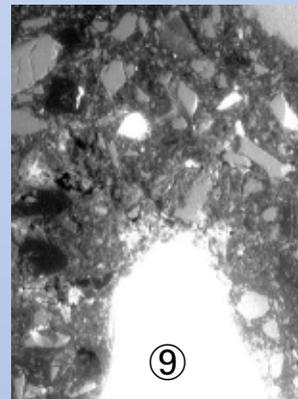
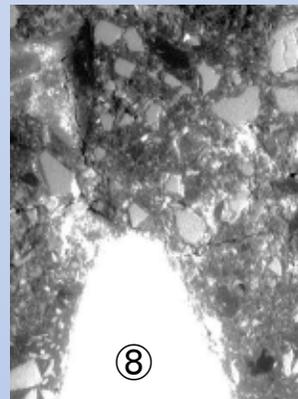
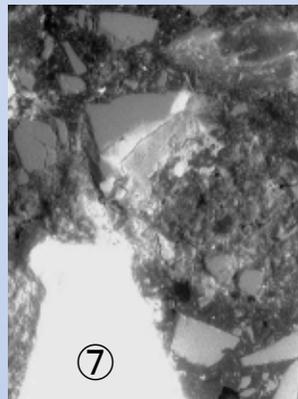
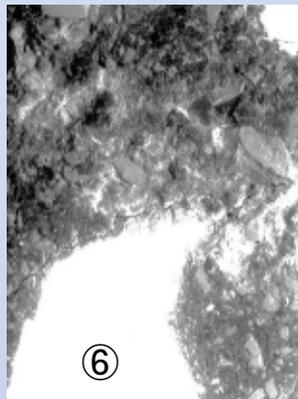
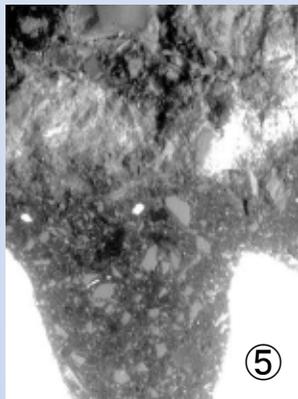
(ただし加工の段階で生じた可能性も否定できない)

← 地山側

ナット取付側 →



⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑪

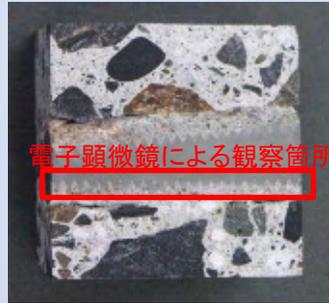


主なき裂 ⑤

1 mm

# ① コア No. B45断面観察結果

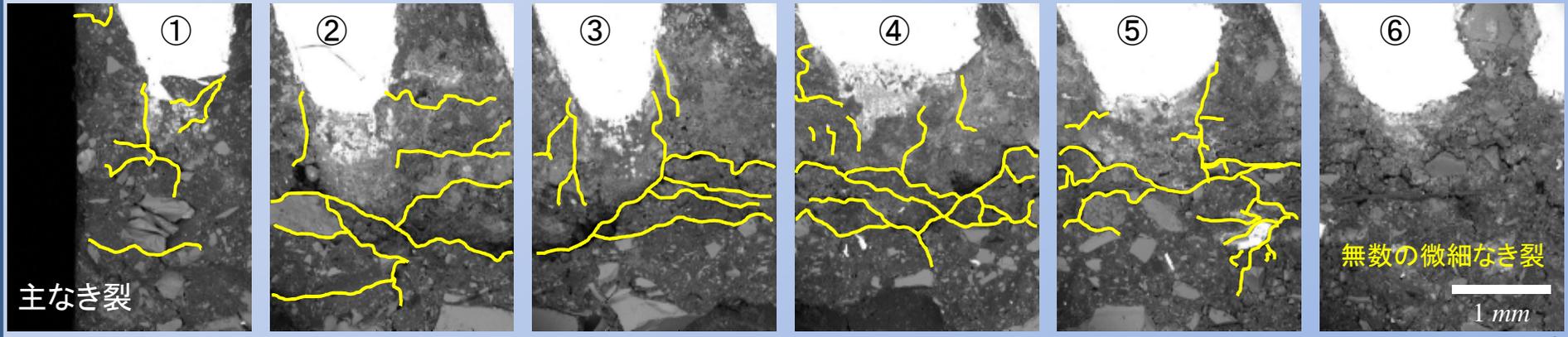
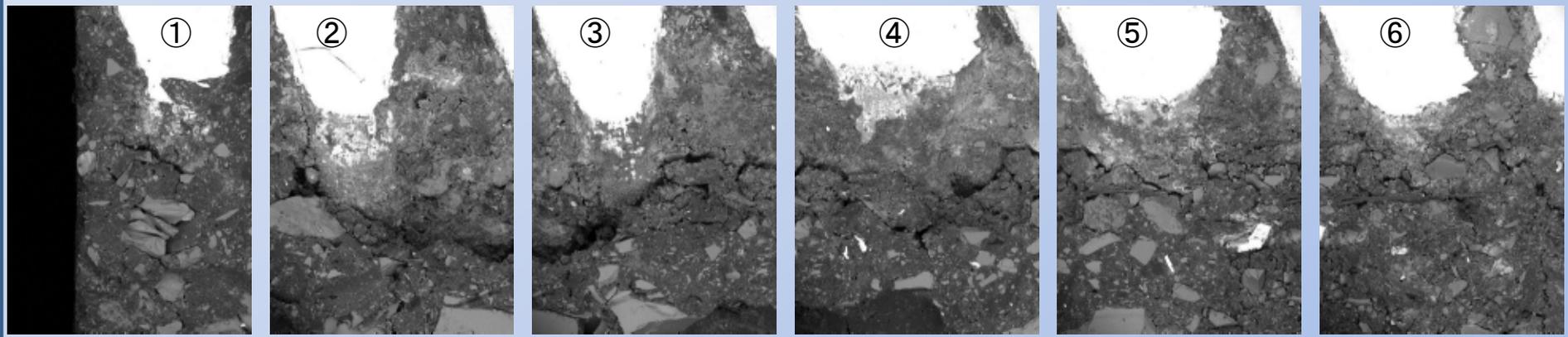
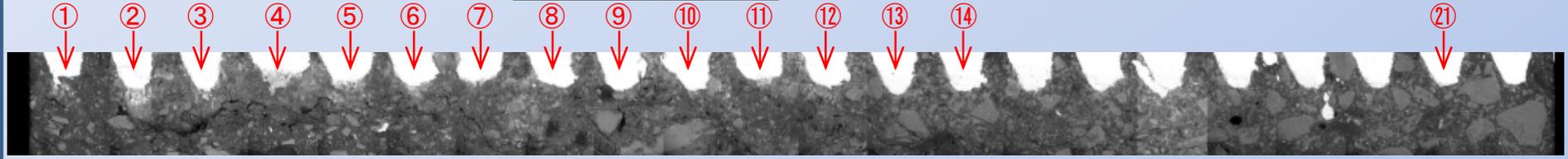
観察結果(反射電子(組成)像)



赤い矢印箇所のねじ山付近で接着剤にき裂が見られた。(ねじ山22個のうちの15個)  
(ただし加工の段階で生じた可能性も否定できない)

← 地山側

ナット取付側 →



# ① コア No. B45断面観察結果

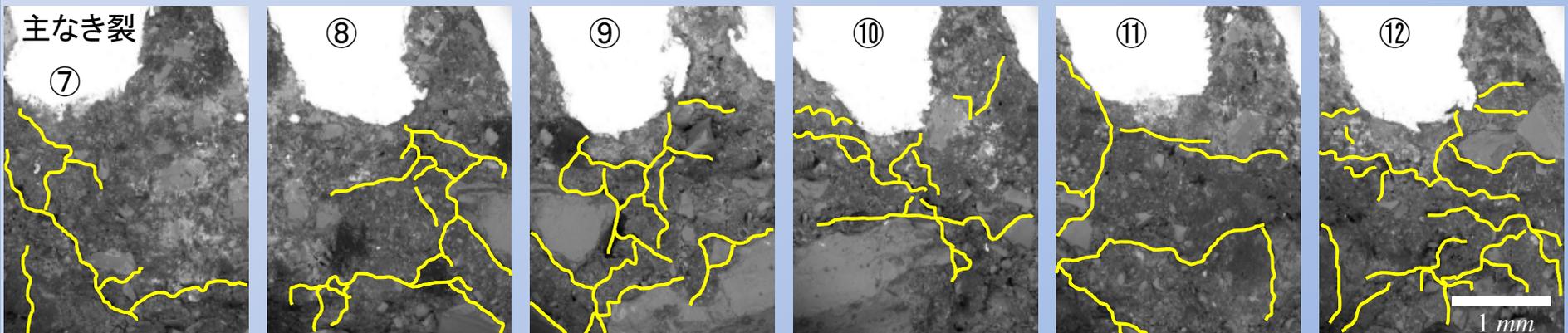
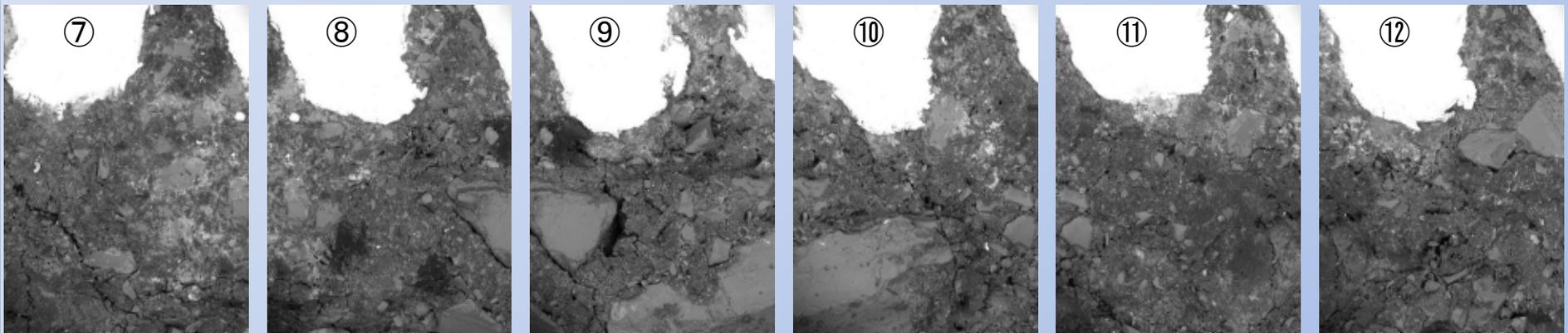
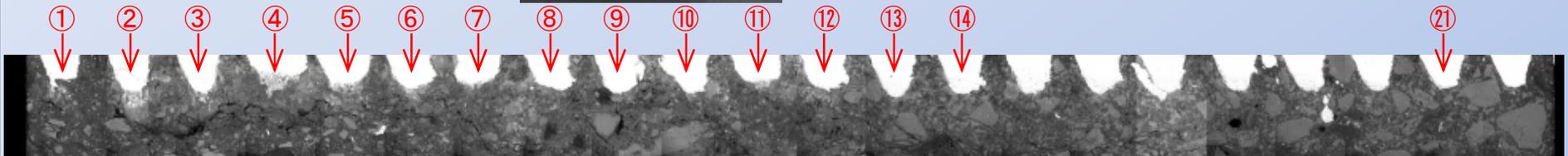
観察結果(反射電子(組成)像)



赤い矢印箇所のねじ山付近で接着剤にき裂が見られた。(ねじ山22個のうちの15個)  
(ただし加工の段階で生じた可能性も否定できない)

← 地山側

ナット取付側 →



① コア No. B45

観察結果(反射電子(組成)像)

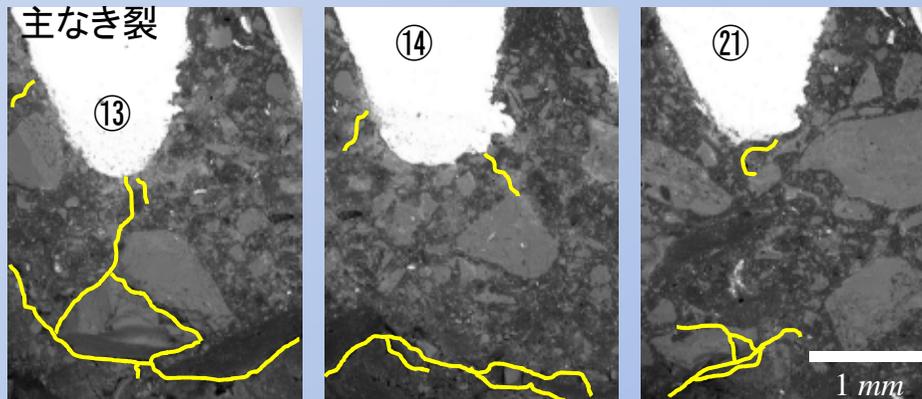
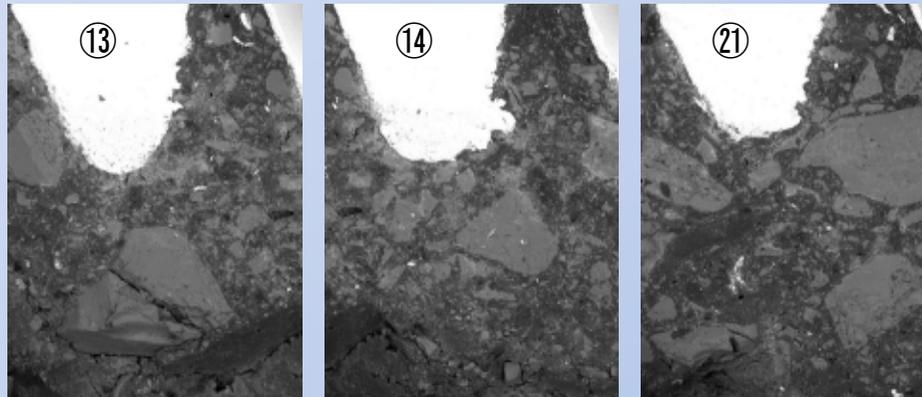
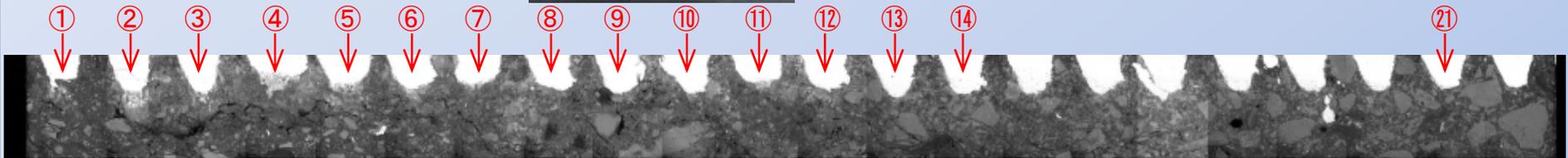


赤い矢印箇所のねじ山付近で接着剤にき裂が見られた。(ねじ山22個のうちの15個)

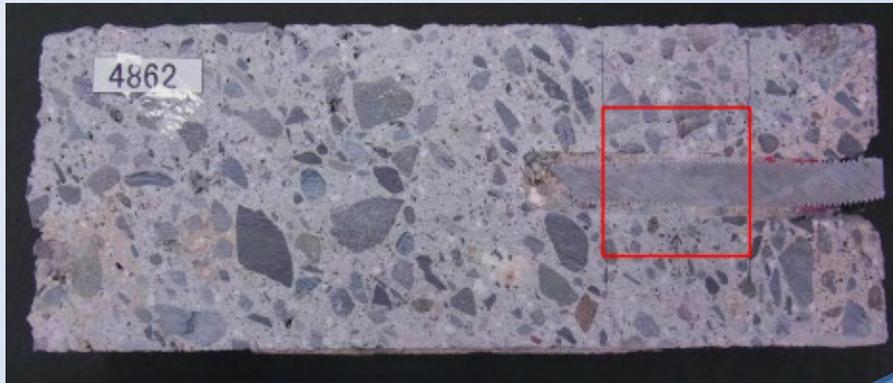
(ただし加工の段階で生じた可能性も否定できない)

← 地山側

ナット取付側 →



## ② コア No. 4862断面観察結果



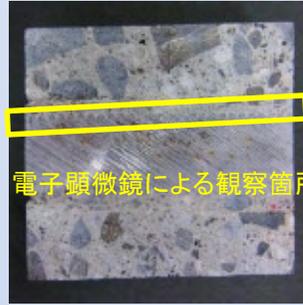
コア断面(赤枠箇所から試料を切り出し)

ダイヤモンドソーで5cm角程度に切り出した後、  
観察面を純水で軽く洗浄した後、観察した。  
(研磨は無し)



② コア No. 4862

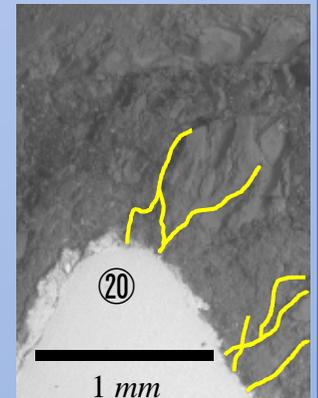
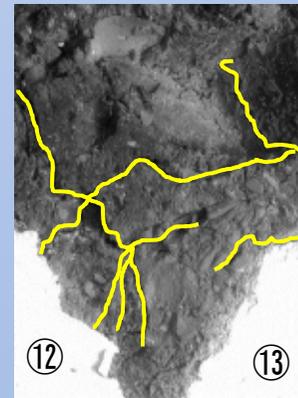
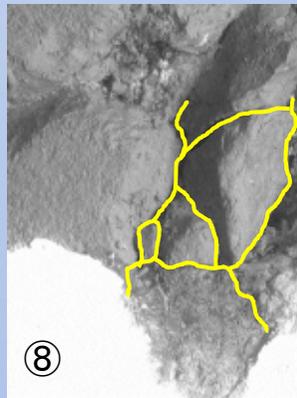
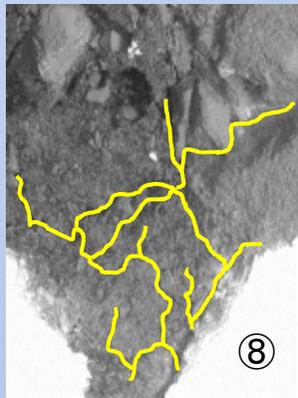
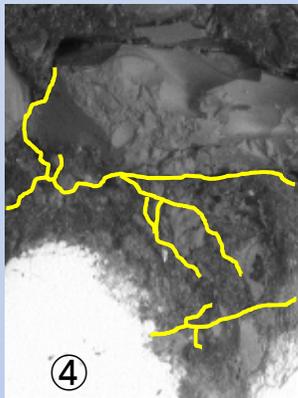
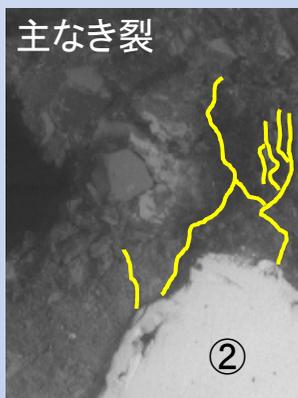
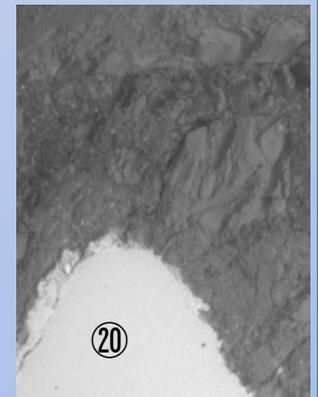
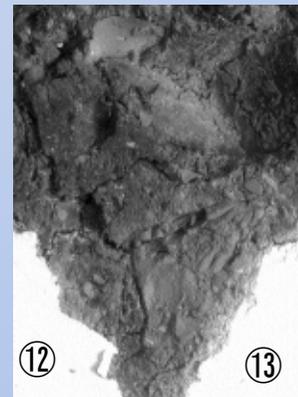
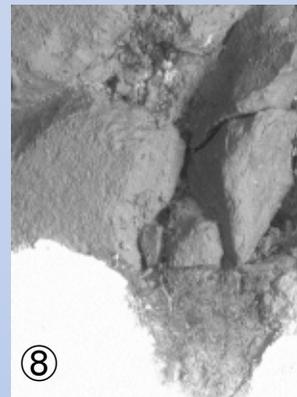
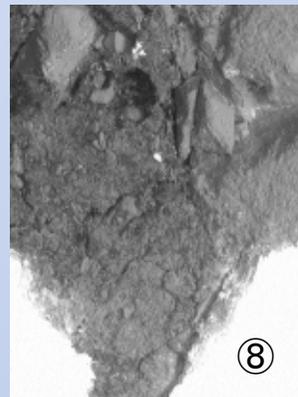
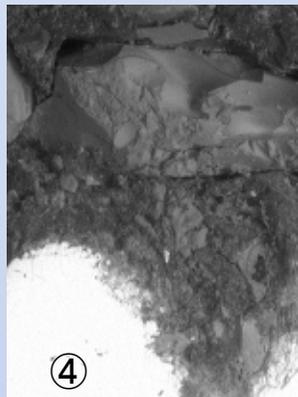
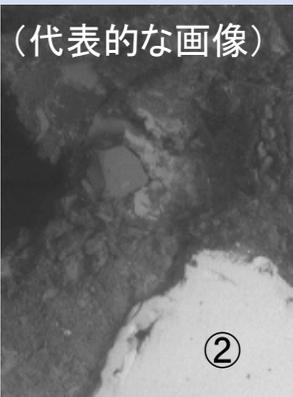
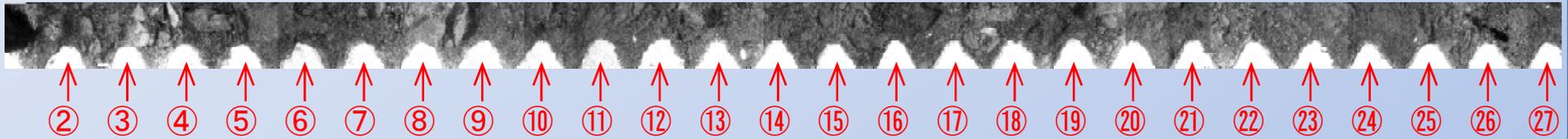
観察結果(反射電子(組成)像)



ほぼ全てのねじ山付近で接着剤にき裂が見られた。(ねじ山27個のうちの26個)  
(ただし加工の段階で生じた可能性も否定できない)

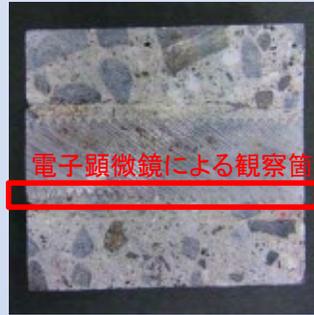
← 地山側

ナット取付側 →



## ② コア No. 4862断面観察結果

観察結果(反射電子(組成)像)

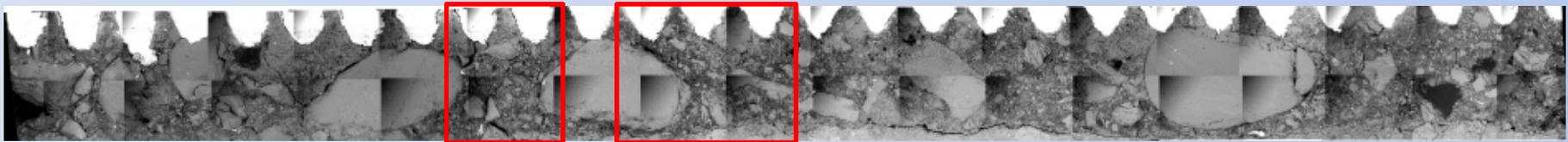


観察した全域において、無数のき裂が確認された。

径の大きな粒子が多く残っていることから、攪拌が不十分であった可能性が高い。

← 地山側

ナット取付側 →

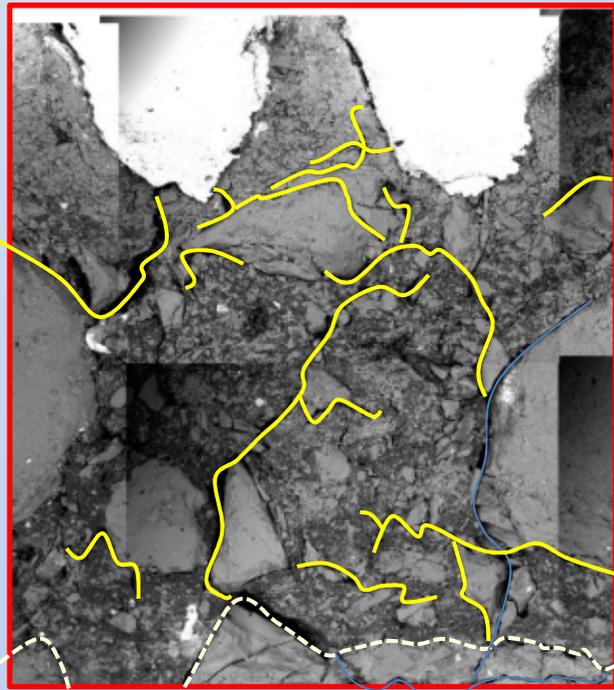


①

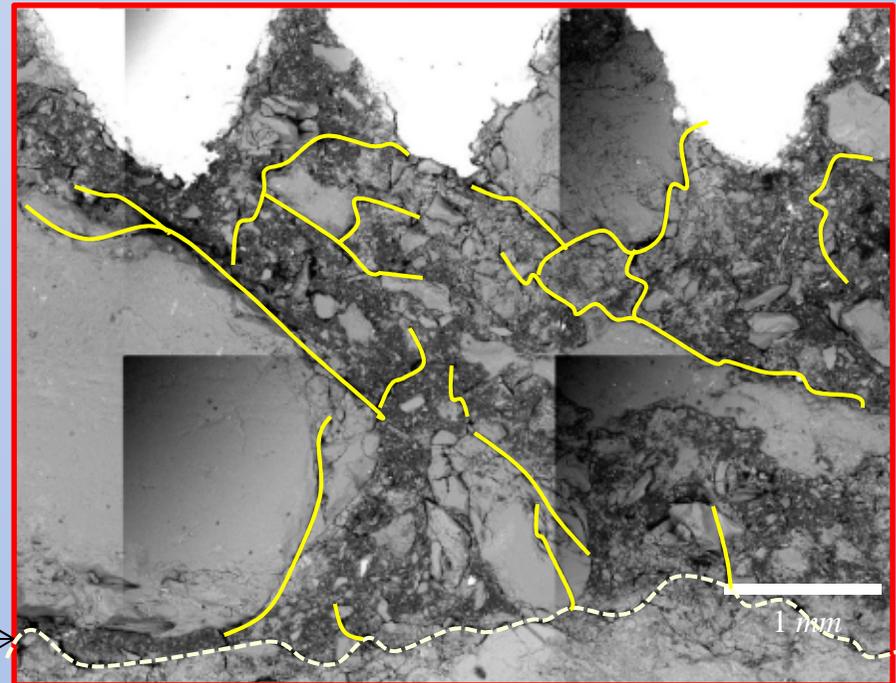
②

(代表的な画像)

①



②



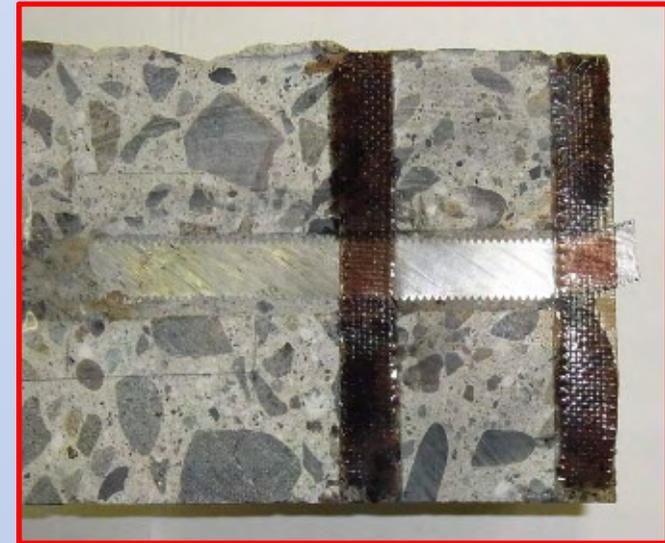
← コンクリート/接着剤  
界面 →

### ③ コア No. B31断面観察結果

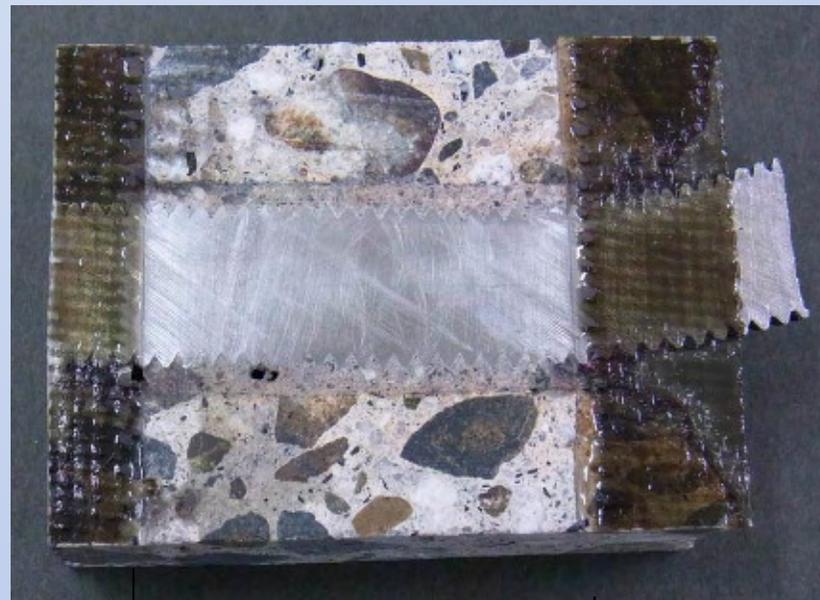
コア断面(赤枠箇所から試料を切り出し)



ナットに近い部分より  
SEM用試料を切り出し



(切断後)



GFRP補強材

観察範囲

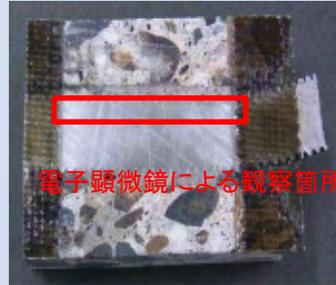
GFRP補強材

加工時にボルトが脱落しないよう、あらかじめガラス繊維シート補強材を貼付し、ボルトを固定した。

ダイヤモンドソーで5cm角程度に切り出した後、観察面を耐水研磨紙(#360→#600→#800→#1200)で研磨し、純水で軽く洗浄した後、観察した。

### ③ コア No. B31断面観察結果

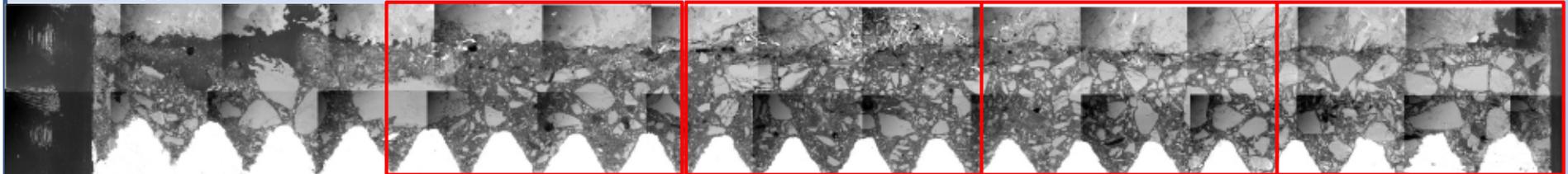
観察結果(反射電子(組成)像)



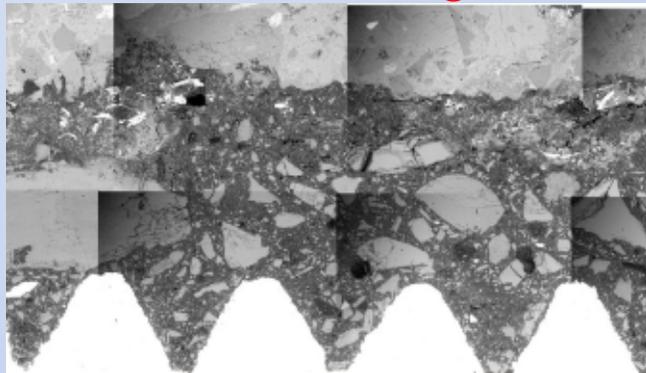
ねじ山付近のき裂は少ない。  
接着剤/コンクリート界面付近では、広範囲にわたって界面と平行なき裂が確認された。

← 地山側

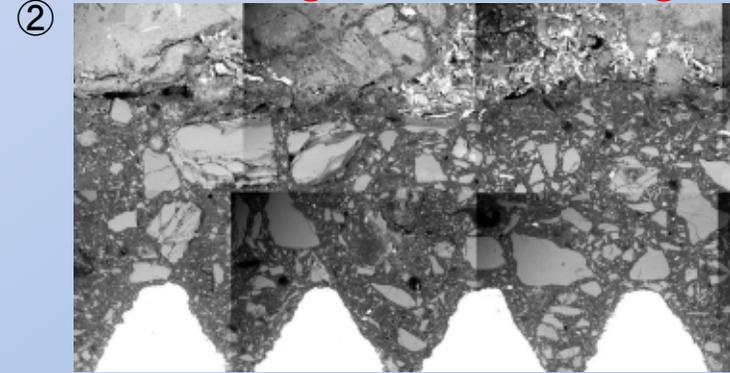
ナット取付側 →



①



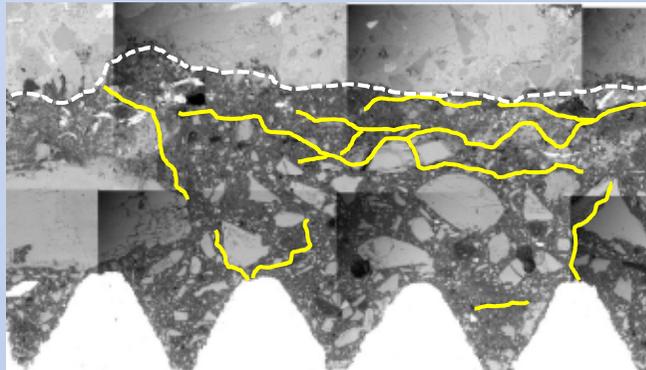
②



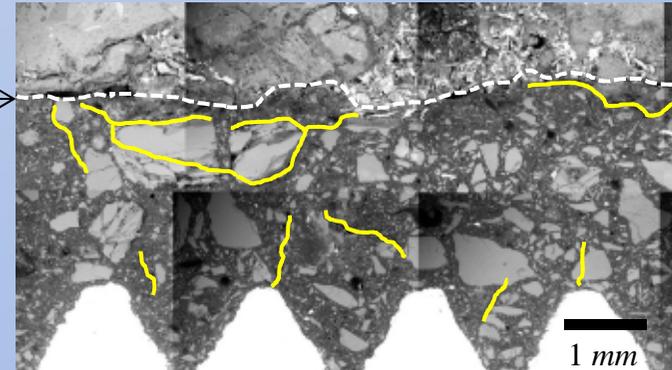
③

④

主なき裂



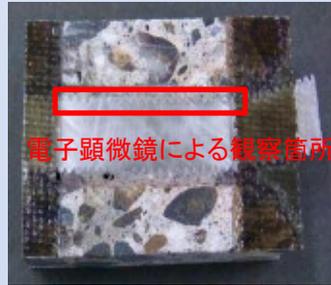
← コンクリート/接着剤  
界面 →



1 mm

### ③ コア No. B31断面観察結果

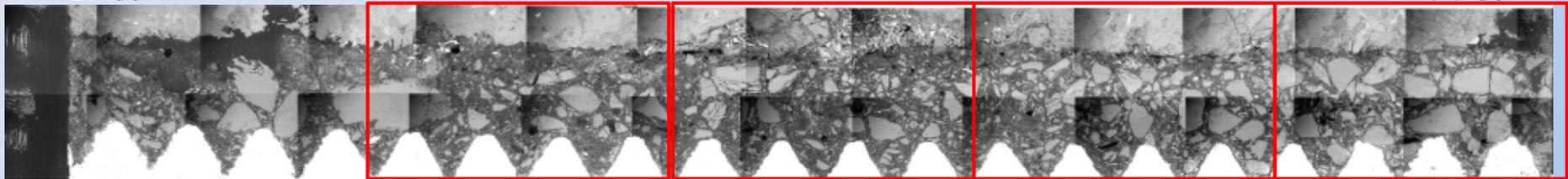
観察結果(反射電子(組成)像)



ねじ山付近のき裂は少ない。  
接着剤/コンクリート界面付近では、広範囲にわたって界面と平行なき裂が確認された。

← 地山側

ナット取付側 →



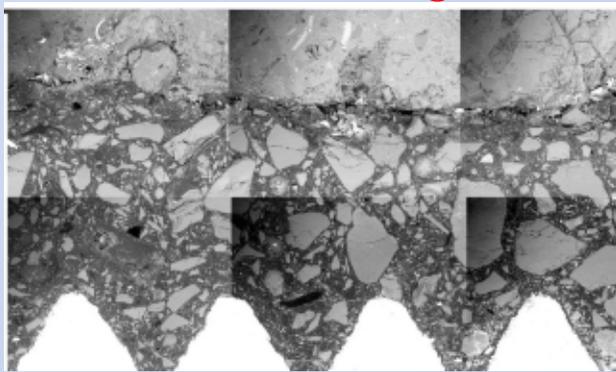
①

②

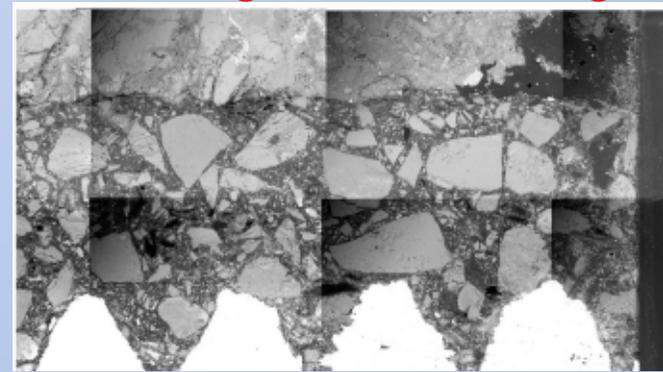
③

④

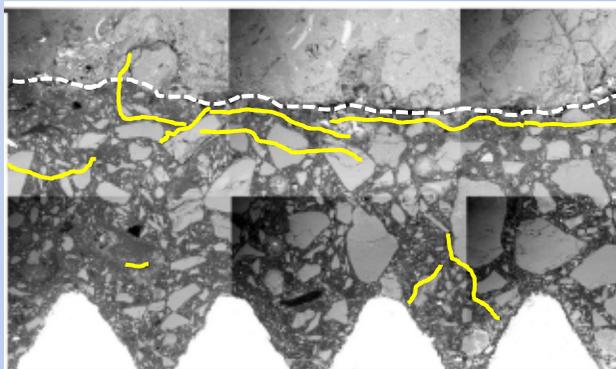
③



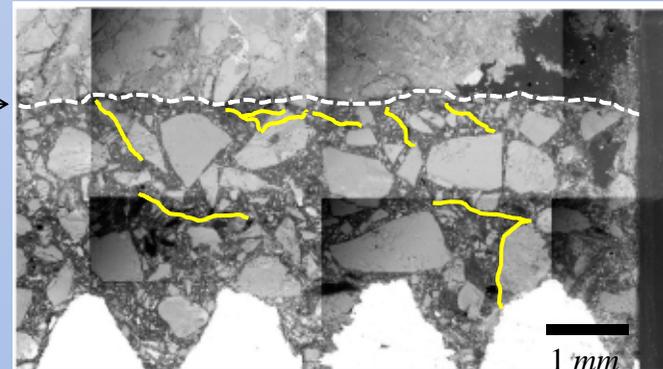
④



主なき裂



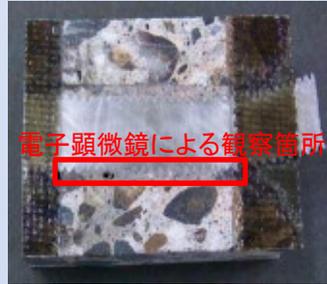
← コンクリート/接着剤  
界面 →



1 mm

③ コア No. B31

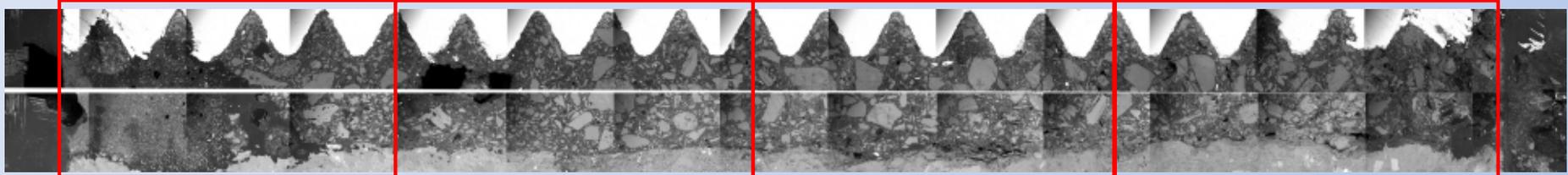
観察結果(反射電子(組成)像)



全体的にき裂は少ない。

← 地山側

ナット取付側 →



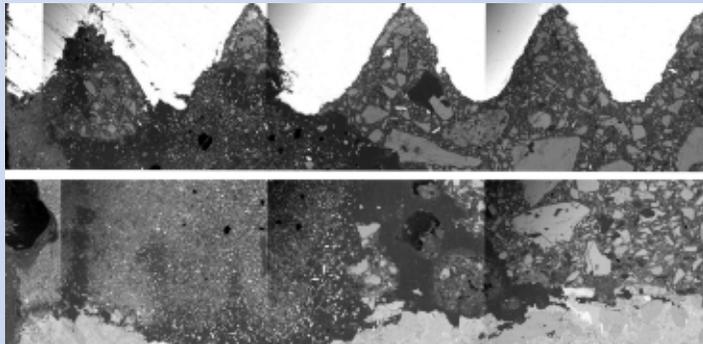
①

②

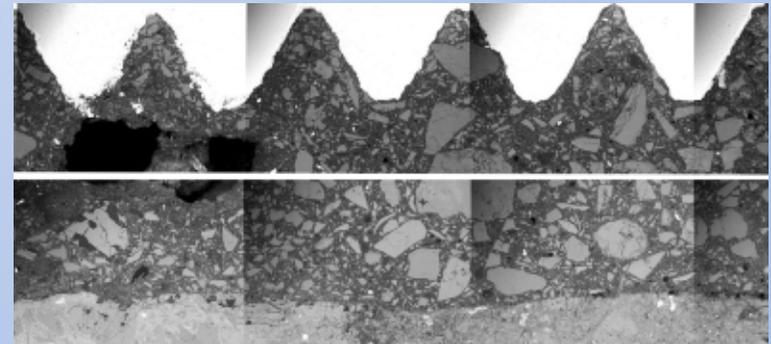
③

④

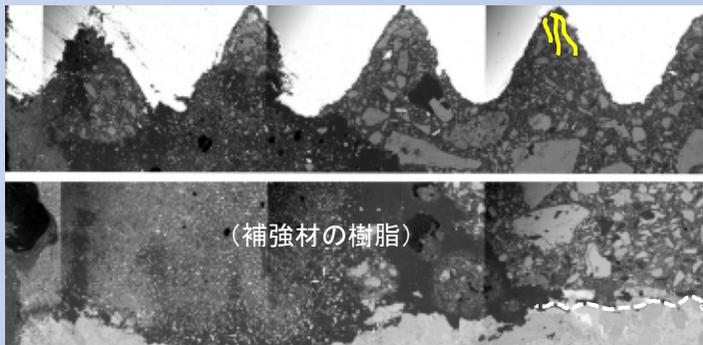
①



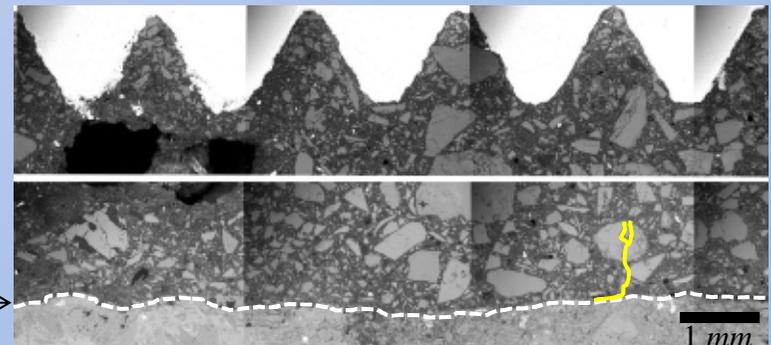
②



主なき裂



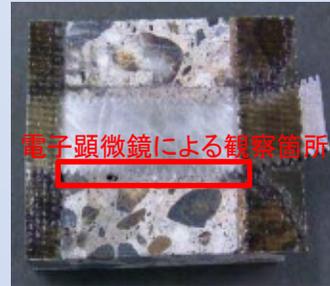
← コンクリート/接着剤  
界面 →



1 mm

③ コア No. B31

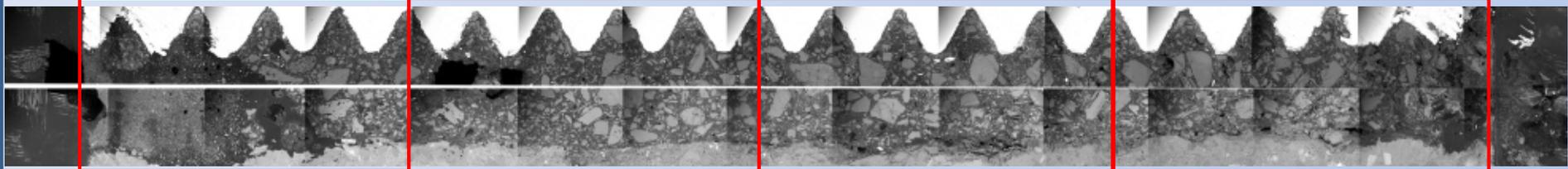
観察結果(反射電子(組成)像)



ねじ山付近のき裂は比較的少ない。接着剤／コンクリート界面から接着剤内部へ向かうき裂が、複数確認された。

← 地山側

ナット取付側 →



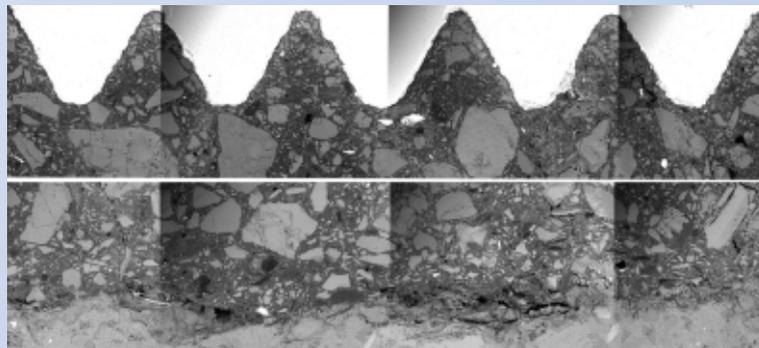
①

②

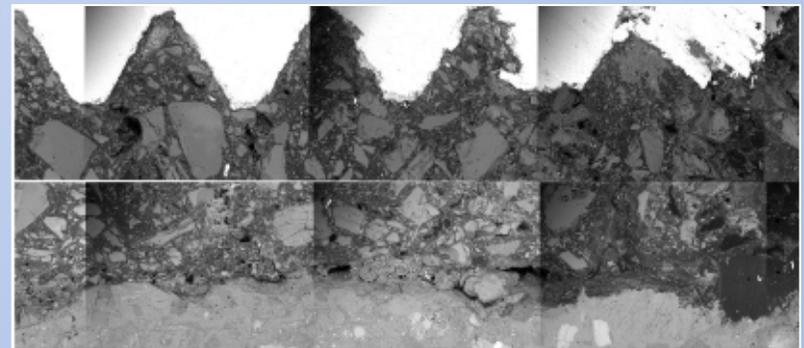
③

④

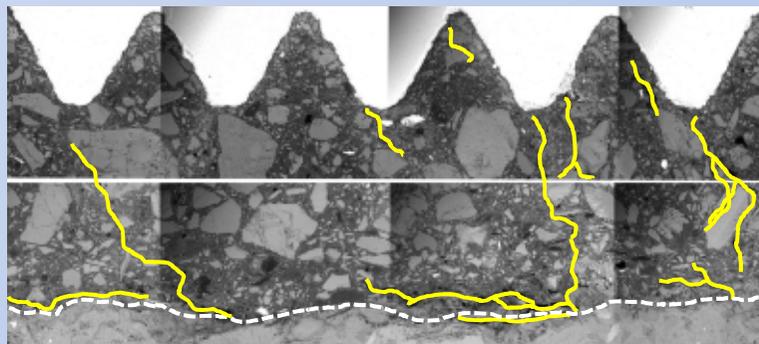
③



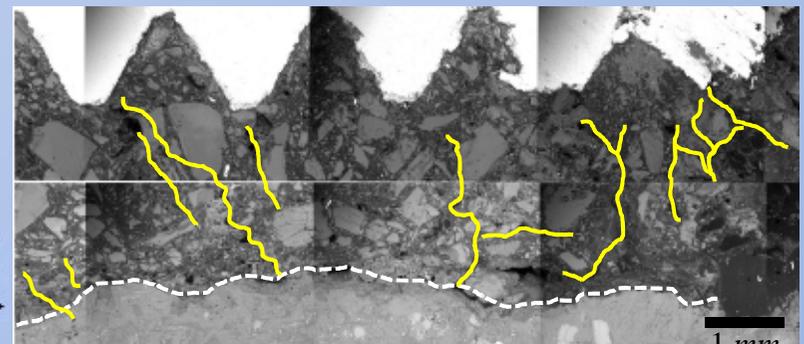
④



主なき裂



コンクリート／接着剤  
界面



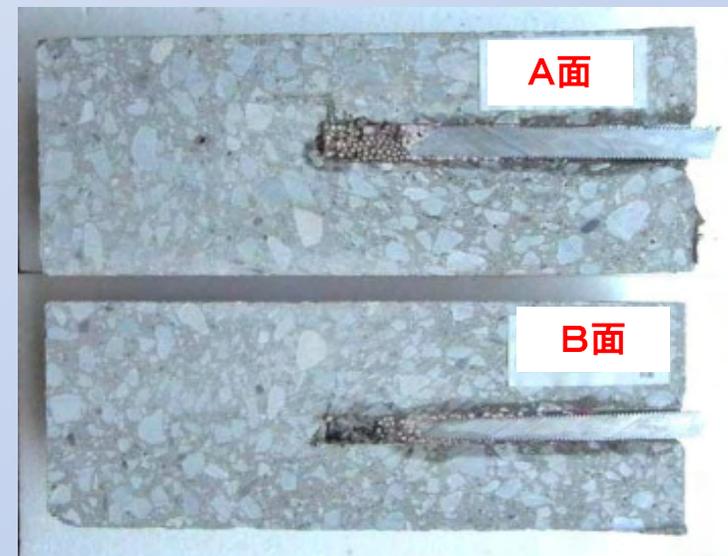
1 mm

## 2. 電子顕微鏡による接着剤の断面観察

### ●調査対象(模擬的に作製したコア)

#### ④ 無載荷コア

供試体を作成しアンカーを打設し、アンカー一部をコア抜き・切断して、き裂の進展有無を確認し、載荷した断面とのき裂の進展状況を評価する。

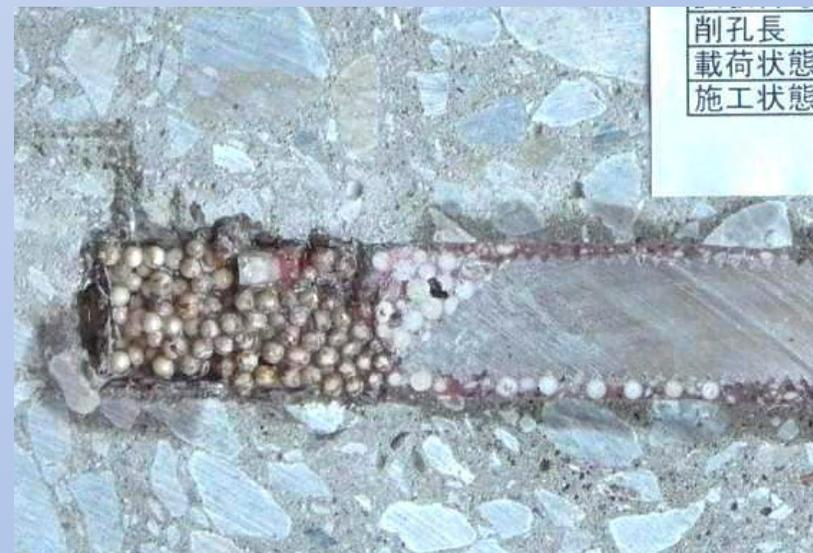


無載荷コア断面



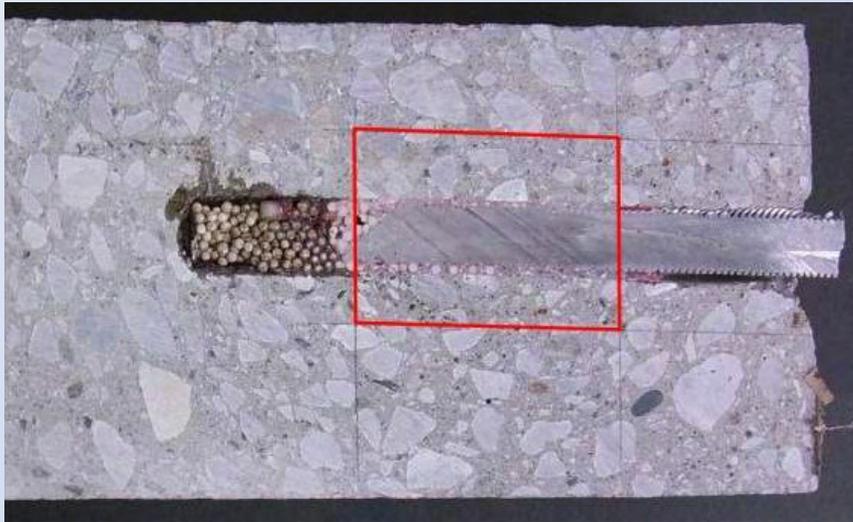
無載荷コア(A面)

(ボルト孔口付近は接着剤が充てんされていない)



無載荷コア(A面)

#### ④ 無載荷コア断面観察状況



コア断面(赤枠箇所から試料を切り出し)



ダイヤモンドソーで50×70mm程度に切り出した後、  
表面を研磨処理し観察した(蒸着は無し)。

#### ④ 無載荷コア断面観察状況

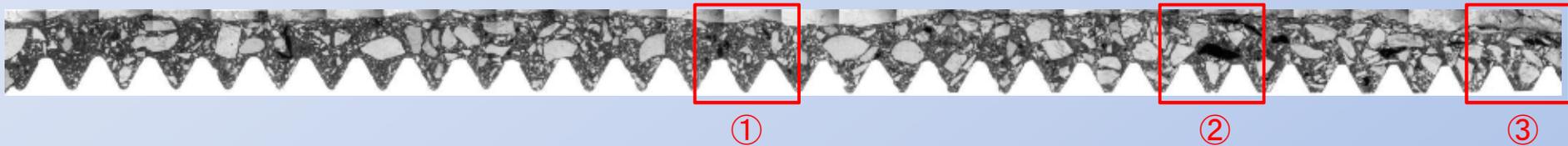


骨材の割れ、樹脂の充てん不良による空隙は数多く見受けられるが、ねじ山やコンクリート／接着剤界面を起点としたき裂は認められない。

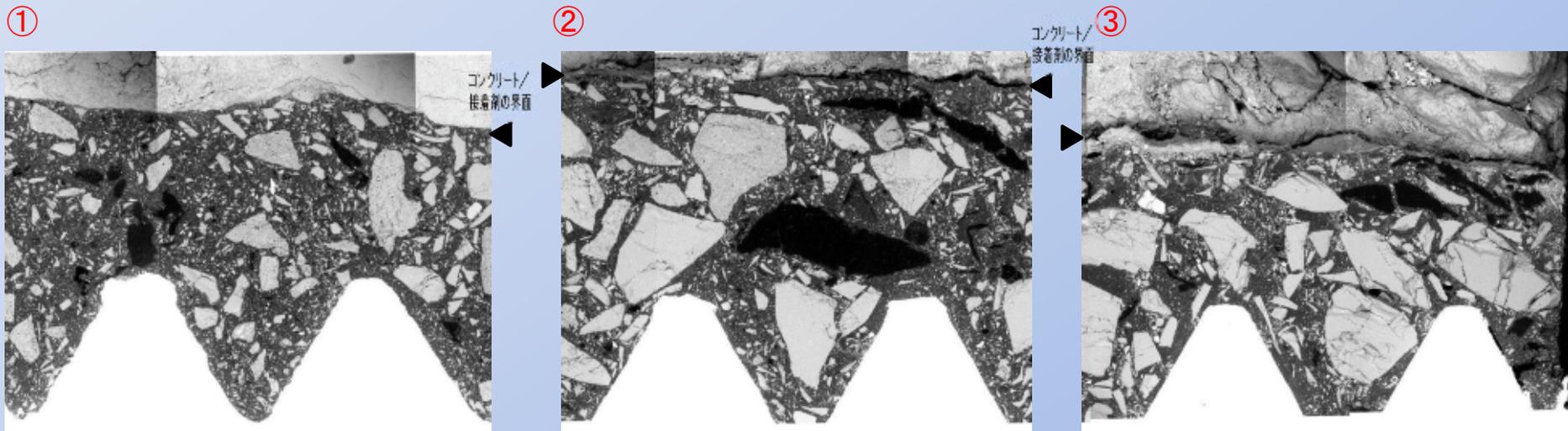
観察結果(反射電子(組成)像)

← ボルト先端側

ボルト孔口側 →



(代表的な画像)



樹脂の充てん不良による空隙が数多く認められる。  
き裂は骨材内部にのみ発生している。

#### ④ 無載荷コア

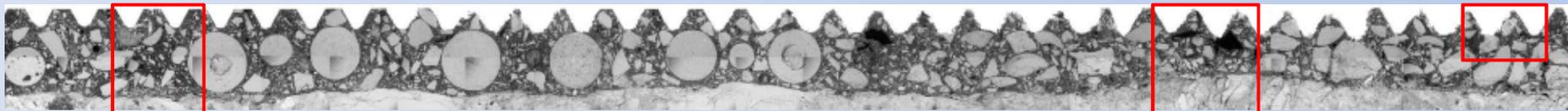


観察結果(反射電子(組成)像)

骨材の割れ、樹脂の充てん不良による空隙は数多く見受けられるが、ねじ山やコンクリート/接着剤界面を起点としたき裂は認められない。

← ボルト先端側

ボルト孔口側 →



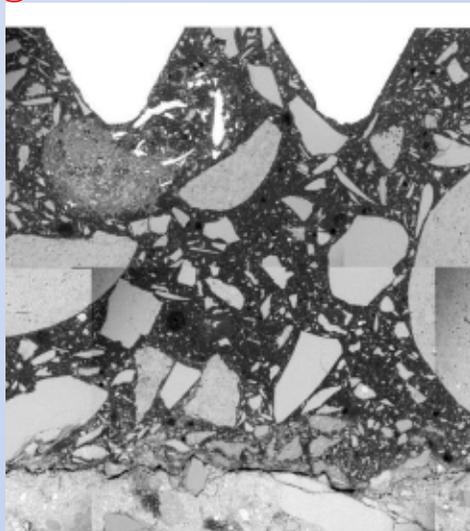
①

②

③

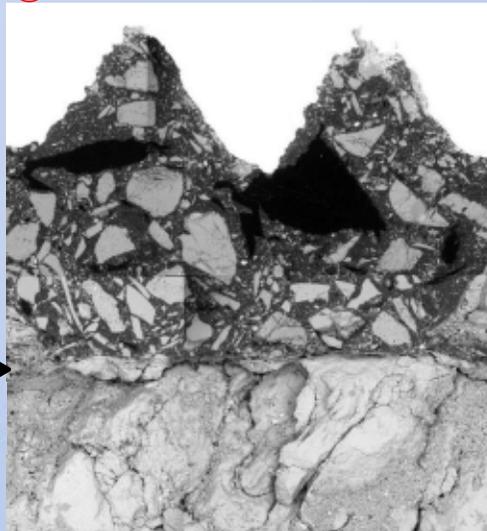
(代表的な画像)

①



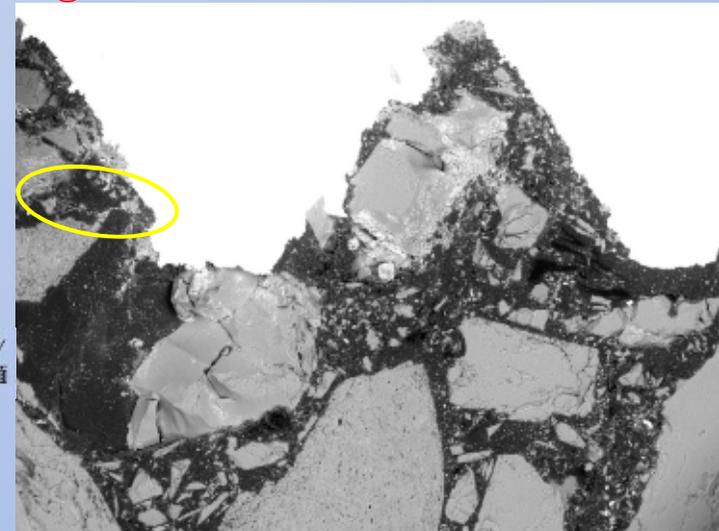
樹脂の充てん不良による空隙は認められるが、き裂はほとんど無い。

②



樹脂の充てん不良による空隙、骨材内部のき裂ともに多数認められる。

③



ねじ山付近のき裂が1カ所認められるが、これは樹脂の充てん不良による空隙どうしが繋がって形成されたものと思われる。

コンクリート/  
接着剤の界面

コンクリート/  
接着剤の界面

## ⑤ SEM(走査型電子顕微鏡)分析 まとめ

### ◆現場からの回収コア(3体)

B45: 観察部の半数程度のネジ山で、ネジ山につながった接着剤内の亀裂が認められた。  
ボルトから少し離れた領域にはボルト方向につながる亀裂も認められた。

4862: ネジ山を含む接着剤部分ほぼ全面にわたって亀裂が認められた。

B31: いくつかのネジ山からの亀裂が認められた。

⇒現場コア3体の亀裂は、程度の差があるものの、ネジ山付近から発している点が共通している。

### ◆新たに製作した供試体(1体。無載荷)

骨材の割れ、樹脂の充填不良による空隙は多くみられるが、ネジ山からの亀裂は認められなかった。

なお、コンクリート/接着剤界面は、コア切断や供試体の加工などの影響を十分に排除することが難しく、適切に評価できなかった。

### ◆亀裂発生の原因としては、

(1)供用時にボルトにかかった力の影響

(2)供試体切断・加工時の力の影響

(3)樹脂の硬化時の収縮の影響                      などがあげられる。

このうち(1)については、コンクリート中の異形鉄筋に力がかかった場合、コンクリートに今回と類似のひび割れ発生を報告する文献がある。(2)は、無載荷の供試体でネジ山部に亀裂が認められないことから、ネジ山付近から発する亀裂の特徴発生の要因とは考えにくい。(3)は要因の一つの可能性はあるが、これだけでは亀裂の程度の差が説明できないことから、主要因とは思われない。