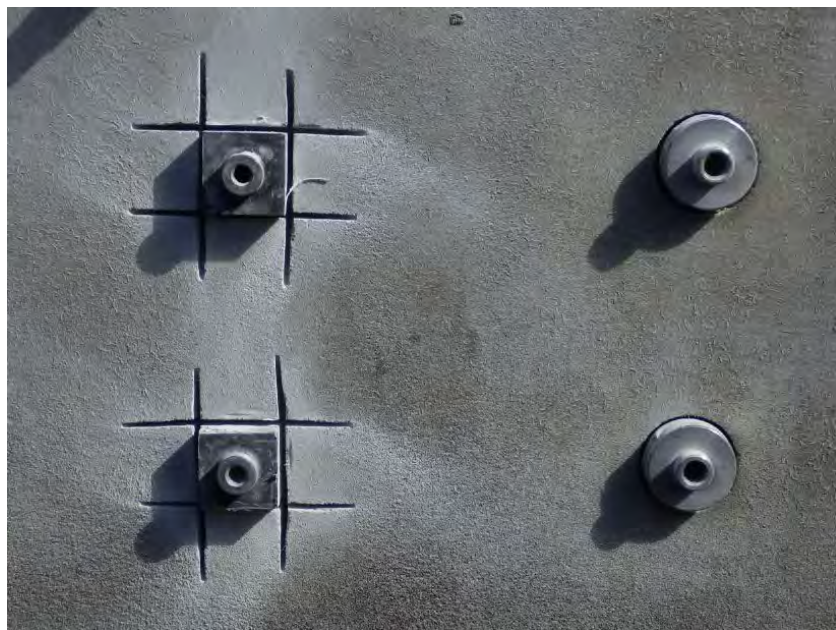


農業水利施設における無機系補修材料 の付着性評価



緒方 英彦（鳥取大学 農学部）



農業水利施設の機能診断と対策工法

農業土木事業協会

◆農業水利施設機能総合診断士

◆農業水利施設補修工事品質管理士

農業水利施設の
機能保全の手引き

監 修 農林水産省農村振興局整備部水資源課施設安全管理室
発 行 一般社団法人 農 業 土 木 事 業 協 会

農業水利施設の
長寿命化のための手引き

監 修 農林水産省農村振興局整備部設計課
発 行 一般社団法人 農 業 土 木 事 業 協 会

農業水利施設の
補修・補強工事に関する
マニュアル

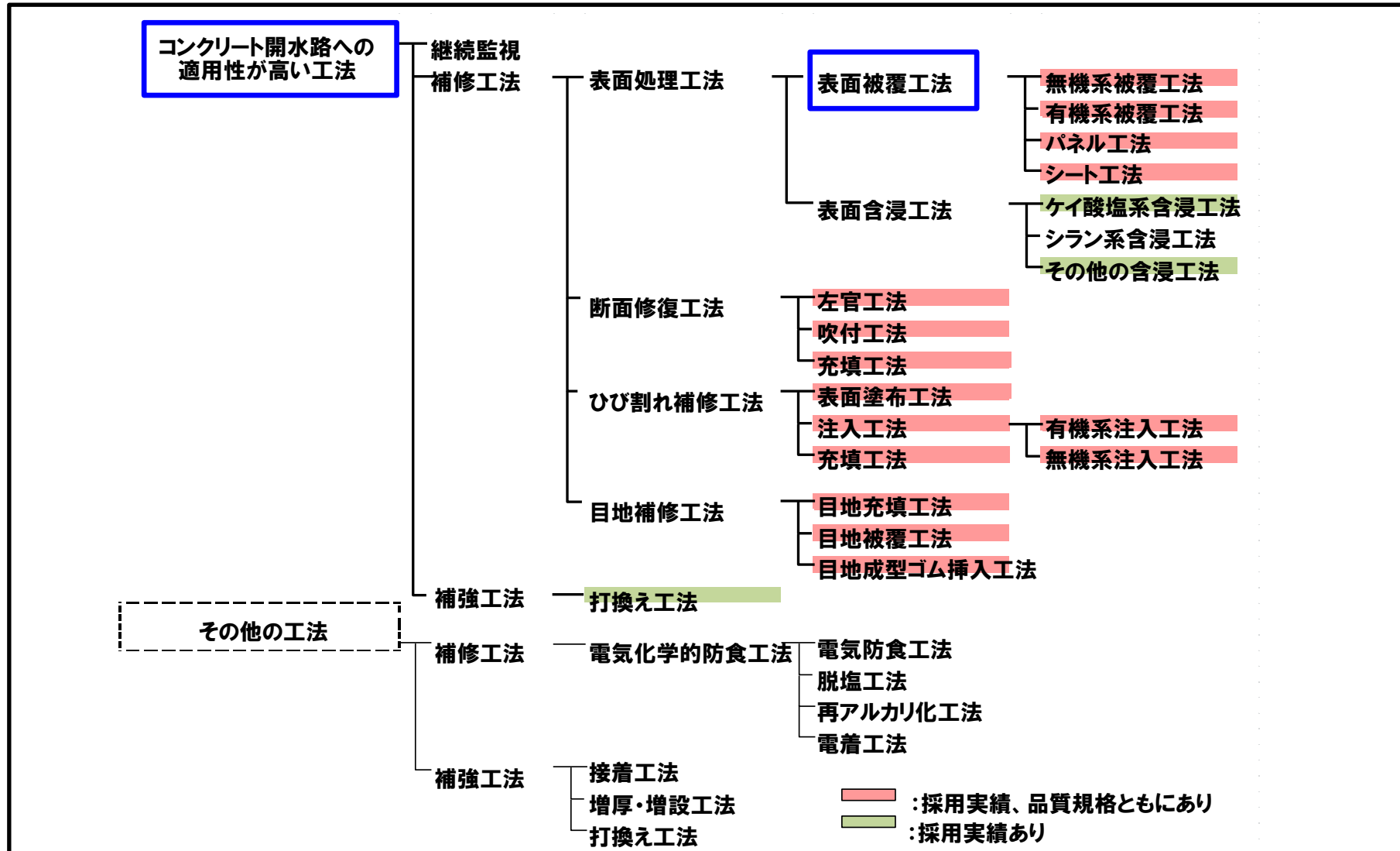
開水路補修編 (案)

農林水産省農村振興局整備部設計課
施工企画調整室 監修

一般社団法人 農業土木事業協会

開水路の補修・補強工法

農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル(開水路補修編)



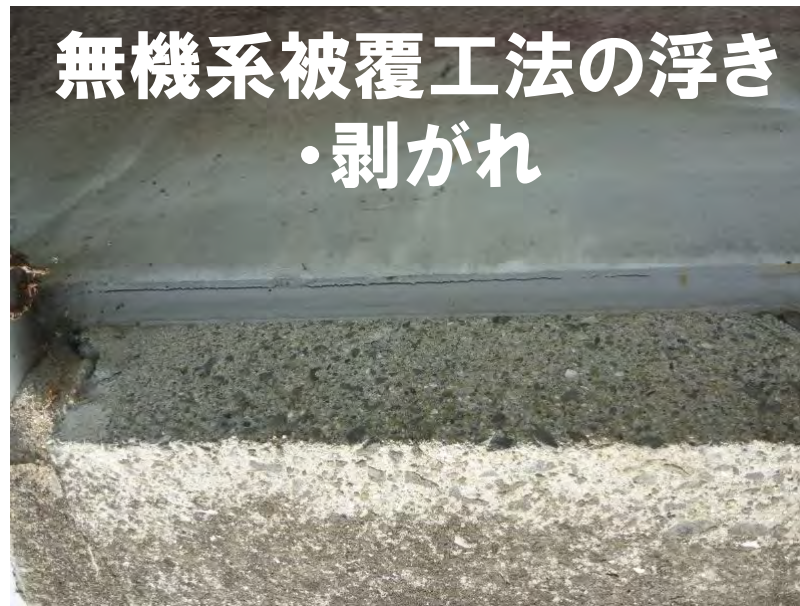
農林水産省「長寿命化技術体系化推進検討委員会」資料から転用

表面被覆工法における変状

無機系被覆工法の膨れ



無機系被覆工法の浮き
・剥がれ



有機系被覆工法の膨れ



パネル工法の浮き



補修工法別の基本的性能と個別的性能

基本的性能（○）：標準的な工事に共通して求められる性能。

個別的性能（□）：施工条件や環境条件などにより個々の工事に個別的に求められる性能。

要求性能項目		表面被覆工法						ひび割れ補修工法		断面修復工法	目地補修工法
		無機系	有機系	パネル		シート		無機系	有機系		
				接着方式	アンカー固定方式	無機系ライニングシート工法	FRPシート工法				
構造機能	中性化抑止性	○								□	
	耐 候 性		○	○	○		○				○
	付 着 性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐 摩 耗 性	○	○	○	○	○	○			□	
	一 体 化 性	○								○	
	寸 法 安 定 性	○								○	
	耐 凍 害 性	□				□				□	
	ひび割れ追従性		○				○		○		
水理機能	通 水 性	□	□	□	□	□	□				
	止 水 性										○

※空欄については、照査を省略できる性能、当該工法には期待できない性能、及び照査方法が未確立な性能が含まれており、現時点においてこれらを明確に整理することができないため空欄としている。

付着性の評価(開水路マニュアル)

- 付着性の定義: 補修後に補修材が躯体コンクリートから剥離しない性能
- 付着性の指標: 単軸引張試験により測定される付着強さ

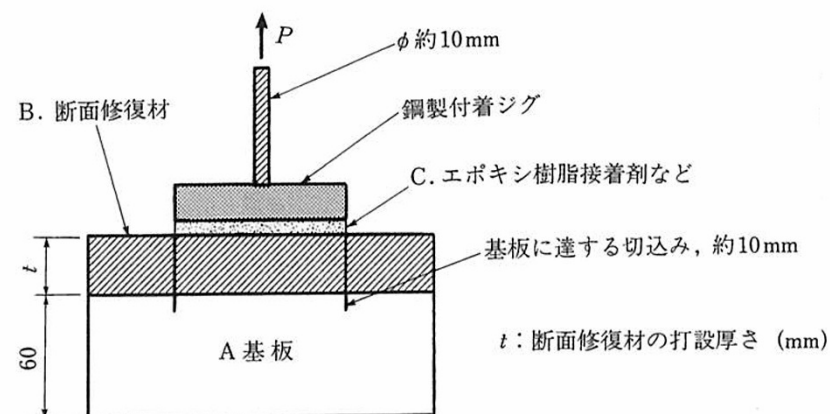


「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法(案) (JSCE K 561:2013)」

- 内径 ϕ 50mm以上のコアドリルで基板に達する切込み
- コアドリルの内径と同寸法の鋼製治具をエポキシ樹脂接着剤で貼り付け

付着強さ(N/mm^2) =
最大引張荷重(N) / コア断面積(mm^2)

円形治具 **室内試験**



「農業水利施設の長寿命化の手引き」

6.3基本調査－(3)定量的調査－2)付着強度試験

- ◆ 表面被覆材の付着強さ試験方法(案)(**JSCE K 531: 2013**)
- ◆ 引張用鋼製治具(一般に40×40mm)をエポキシ樹脂等で接着
- ◆ 調査箇所数は底版または側壁で1箇所以上、測点は1箇所につき3点以上
- ◆ 計測頻度は5年に1度を目安

屋外試験

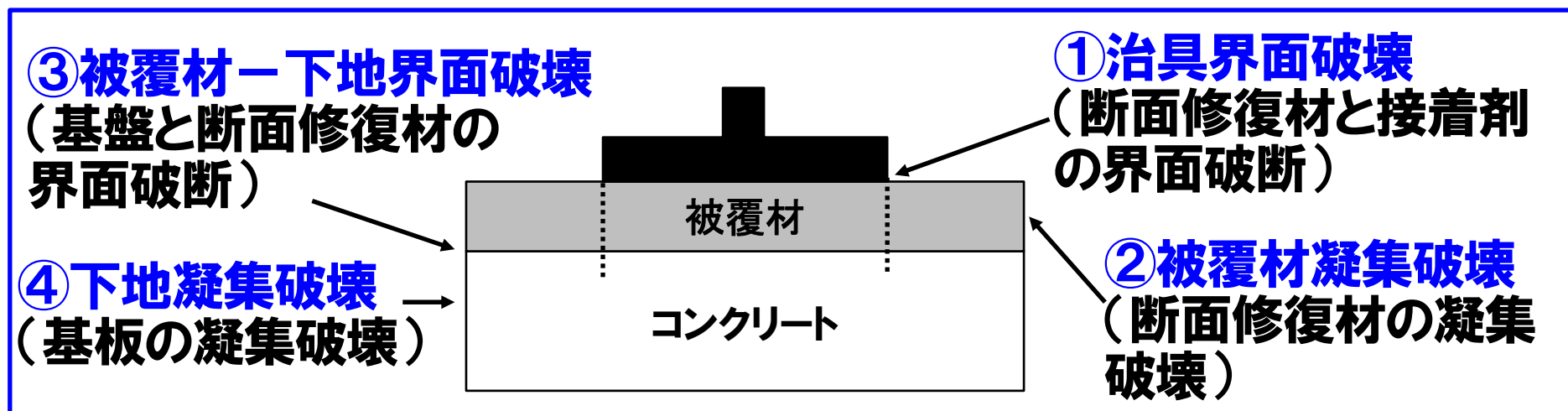
付着強さ(N/mm^2)=
最大引張荷重(N)／1,600(mm^2)

角形治具

上部引張用鋼製治具の周りに40×40mmの正方形の4辺に
基板まで約1mmの切込み

無機系被覆工法の付着強さ試験における破壊箇所と破壊に及ぼす要因の関係

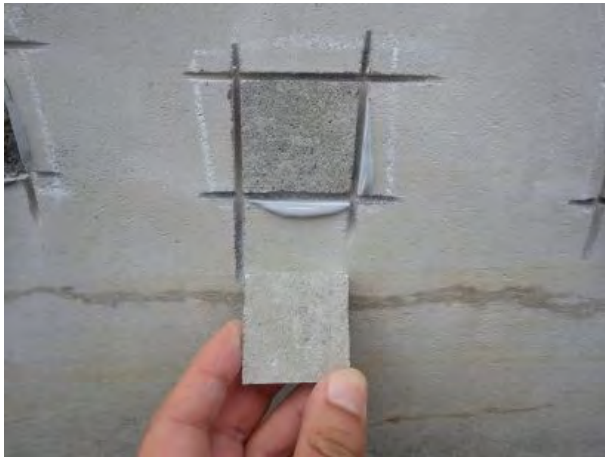
破壊箇所	破壊に及ぼす要因
①治具界面破壊	被覆材の極表層部の引張強度 (仕上げ材の付着強さ)
②被覆材凝集破壊	被覆材の引張強度
③被覆材一下地界面破壊(界面破壊)	被覆材(プライマーを含む)の付着強さ
④下地凝集破壊	コンクリートの引張強度



浅野勇:無機系被覆工の付着強さ試験に関する一考察、水と土、第178号、pp.56-64
(2016)の図を一部改筆 (括弧内はJSCE-K 561-2010より引用)

付着強さ試験の留意点

- ◆ 破壊箇所別に計測結果を整理しているか
- ◆ 鋼製治具は補修材料表面にしっかりと接着されているか
- ◆ 湿潤・滞水している底版で特別な配慮(鋼製治具の接着など)がされているか



治具界面破壊



有機物や微粒子などの付着物



湿潤・滞水している底版

【問題点】 鋼製治具周りの切込みへの 接着剤の侵入



JSCE K 531では、**鋼製治具の接着** ⇒ **切込み**
現場によっては、**切込み** ⇒ **鋼製治具の接着**

【問題点】 鋼製治具の接着 実用強度到達時間までの養生

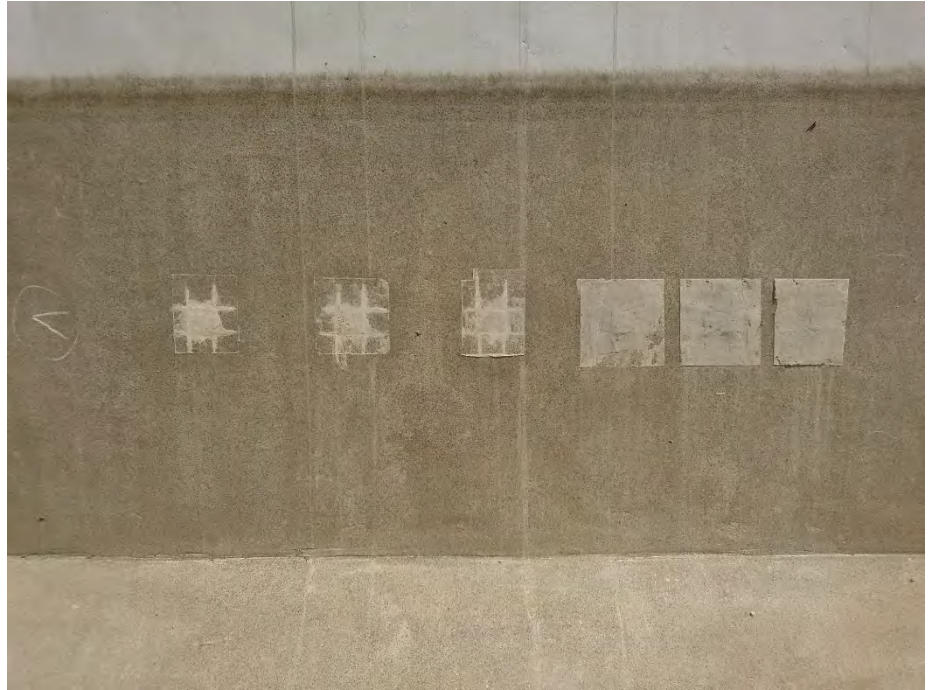


**ガムテープや養生テープによる鋼製治具の固定
(切込み断面内から鋼製治具がズレないための配慮)**

鋼製治具周りの切込みにおける問題点

- コンクリートカッタのキックバックの危険
- 切込みが円弧状になるため、一定の切込深さの確保および確認が難しい
- 切込みが井桁状になり、補修範囲が広く、景観性が悪い





円形治具による付着強さ試験の開発

農研機構
農村工学研究部門
施設保全ユニット

鳥取大学 農学部
農業造構学研究室

サンコーテクノ株式会社

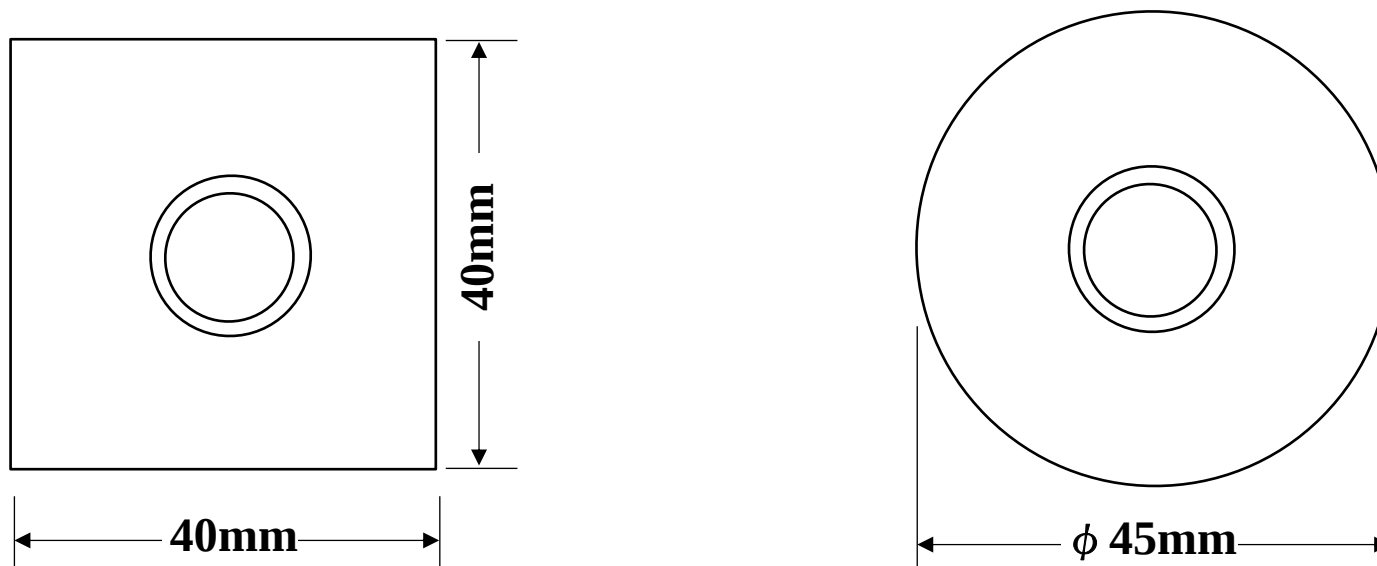


φ 45mmの円形治具



バックアップリング

円形治具の寸法



1,600mm²



1,590mm²

φ 43mmの治具面積 = 1,452mm²

角形治具による付着強さ試験の手順



表面研磨



治具貼付け・養生



切込み(カッタ)



切込み後



単軸引張試験



補修

円形治具による付着強さ試験の手順



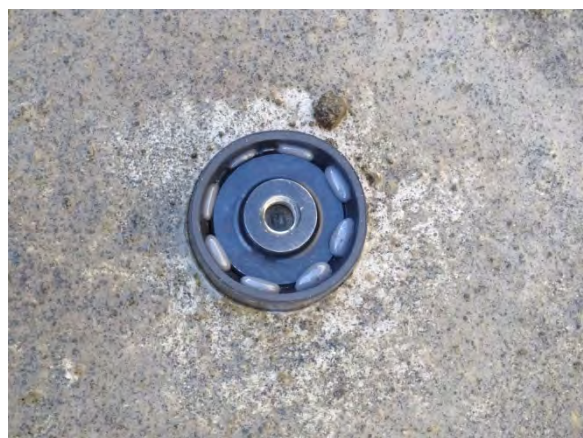
表面研磨



切込み(コアドリル)



バックアップリング設置



治具貼付け



単軸引張試験



補修

円形治具による付着強さ試験 (滞水している底版)



表面研磨



切込み(コアドリル)



バックアップリング設置



治具貼付け



滞水侵入対策



単軸引張試験

バックアップリングの有用性



垂直面での治具の保持



切込みへの接着剤の侵入防止



底版における滞水の侵入防止

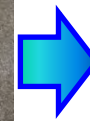
試験結果の記録・撮影



角形治具から円形治具への移行による利点

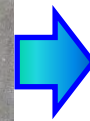
◆ 治具周囲の切込み

- 安全性
- 確実性（切込深さ）



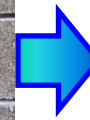
◆ 治具貼付・養生

- 確実性（治具保持）
- 景観性



◆ 試験後の補修

- 作業性
- 景観性



**加藤諭、八木沢康衛、川邊翔平、緒方英彦：円形治具を用いた
無機系補修材の付着強度試験方法の開発に関する基礎的研究
、農業農村工学会論文集 第311号、pp. I_193-I_201 2020.12**

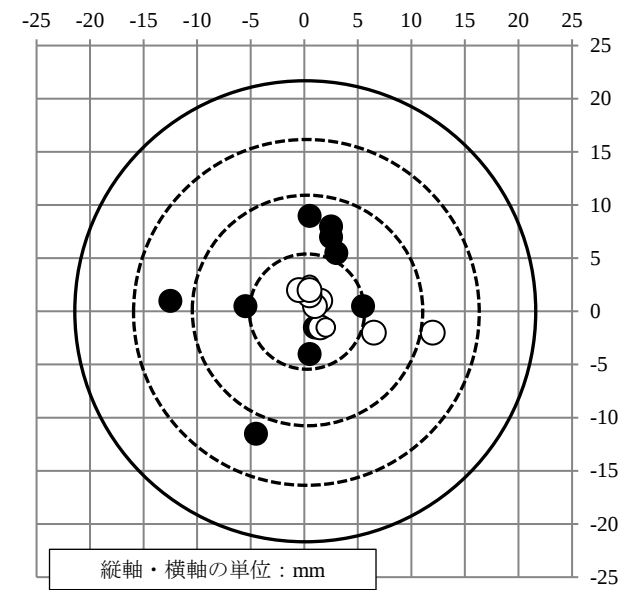
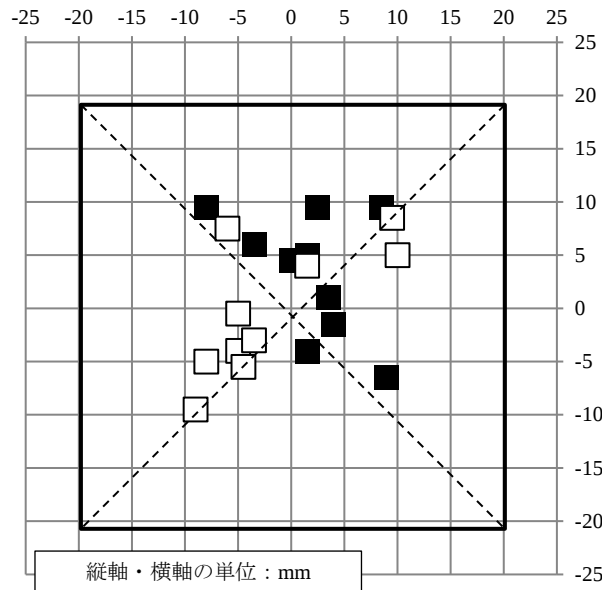
比較内容	$\phi 45$ ： $\phi 43$		$\phi 45$ ： $\square 40$			
供試体 (試験数 n)	A(10)		B(10)		C(10)	
治具	$\phi 45$	$\phi 43$	$\phi 45$	$\square 40$	$\phi 45$	$\square 40$
付着強度 (N/mm ²)	1.99	2.00	1.78	1.46	1.94	1.60
標準偏差 σ	0.09	0.16	0.10	0.11	0.10	0.14

破壊面積： $\phi 45$ (1,590 mm²)、 $\phi 43$ (1,452 mm²)、 $\square 40$ (1,600 mm²)

付着強度 $\phi 45 \div \phi 43$

付着強度の標準偏差 $\phi 45 < \phi 43$

治具面積内における最深破壊点の座標



治具投影面における最深破壊点の分布を確認すると、

- □40は最短部20 mm(中心～治具辺)、最長部28 mm(中心～隅角)と中心から治具外縁まで距離差があるため、隅角と辺で作用する応力に偏り(隅角>辺)が大きく生じ、対角線上に最深破壊点が分布
- $\phi 45$ は荷重が治具外縁から中心に向かって作用したことで最深破壊点は中心から同心円状に分布

切込先端部での曲げ破壊



円形治具よりも角形治具の
方が生じやすい



**円形治具は一定の切込深さが確保し易く、
角形治具よりも曲げ破壊が生じにくい。**

経年した無機系補修材料の付着強さ試験 における留意点

現地試験の概要



- 北海道内にあるRC現場打ち開水路の側壁(昭和44年に施工)
- 平成21年(施工後約40年)に無機系補修工法(**PCM工法**)による補修
- PCM工法(特殊エポキシ樹脂プライマーとポリマーセメントモルタル)

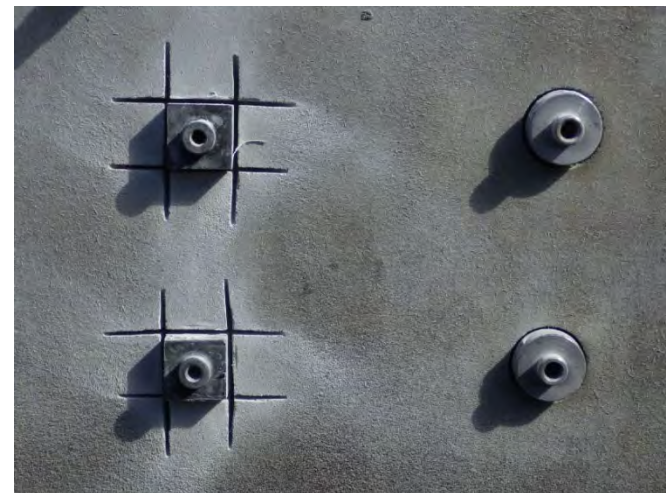
試験日 平成29年9月20日、21日 (**補修後約8年半経過**)

<接着治具>

- 角形治具(40×40mm)
- 円形治具(φ43mm)

<表面状態>

- 現状表面
- 研磨表面(約1~2mm)



単軸引張試験

接着・付着力引張試験器

(テクノテスターRT-3000LDII、サンコーテクノ)



- ◆ 最大荷重30kN
- ◆ 最大変位量10mm(分解能0.01mm)
- ◆ 最大荷重値・最大荷重変位の保持機能
- ◆ 荷重—変位曲線を表示可能

現状表面（一般的な表面研磨・清掃）の試験結果

角形 治具	試験	最大荷重 (kN)	面積 (mm ²)	引抜強度 (N/mm ²)
	S-1	2.08	1,600	1.30
	S-2	0.90	1,600	0.56
	S-3	0.78	1,600	0.49
	平均値	1.25		0.78
円形 治具	試験	最大荷重 (kN)	面積 (mm ²)	引抜強度 (N/mm ²)
	C-1	1.47	1,452	1.01
	C-2	2.37	1,452	1.63
	C-3	3.55	1,452	2.44
	平均値	2.46		1.70



治具界面破壊
（被覆材と接着剤の界面破断）

被覆材（無機系補修材料）の表面の薄層の存在



<要因>

- 仕上げ材(仕上げ助剤)
- (気中部で測定のため)炭酸化
- (材料そのものの)経年劣化
- etc

治具界面破壊

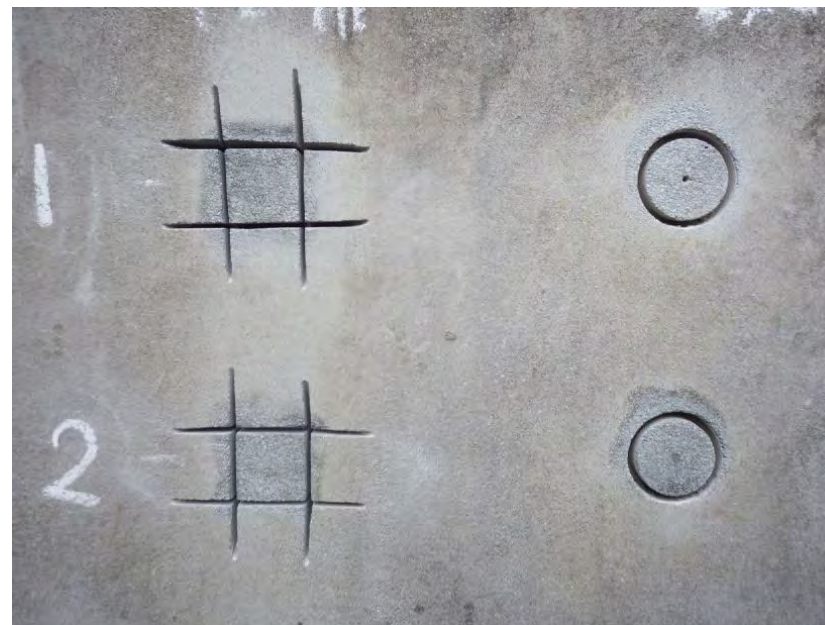


表面の薄層の
影響

表面研磨（表面の薄層の除去）



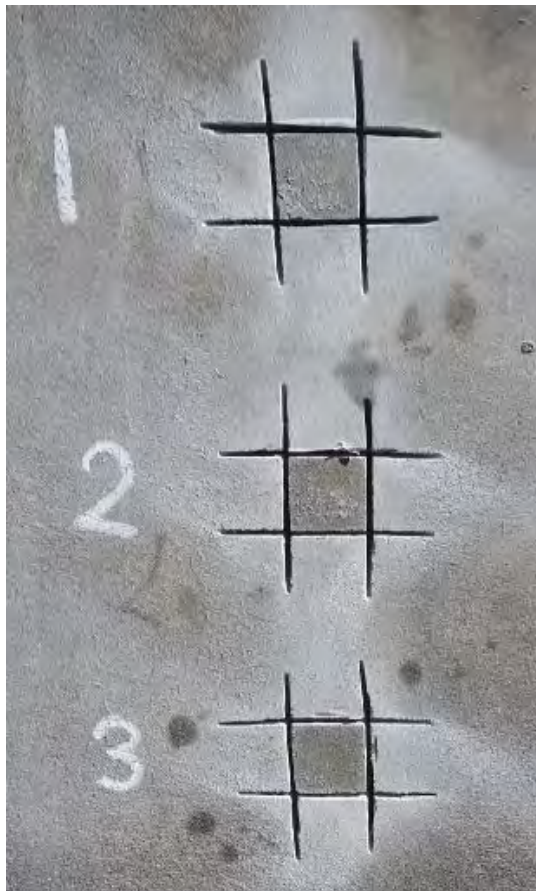
ワイヤーブラシで研磨



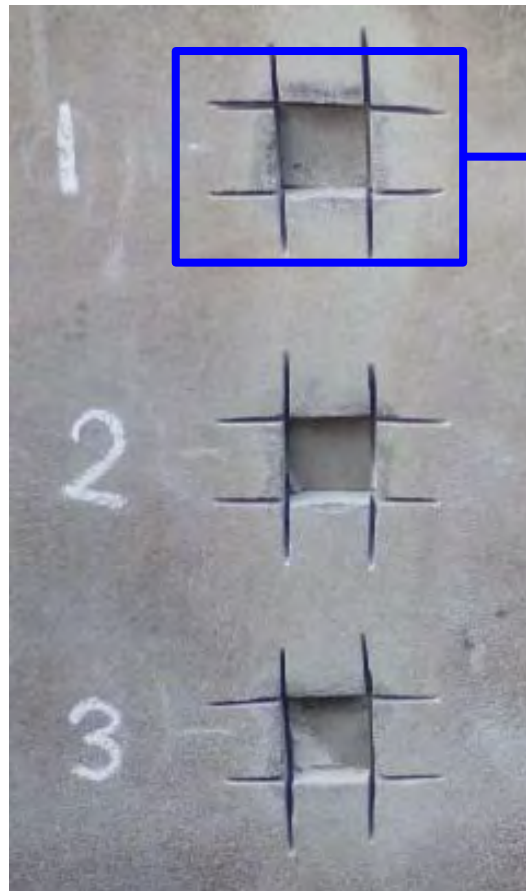
研磨後の表面

表面研磨後の単軸引張試験の破壊状況

現状表面
(表面研磨前)



研磨表面
(表面研磨後)



被覆材－
下地界面破壊

付着強さ

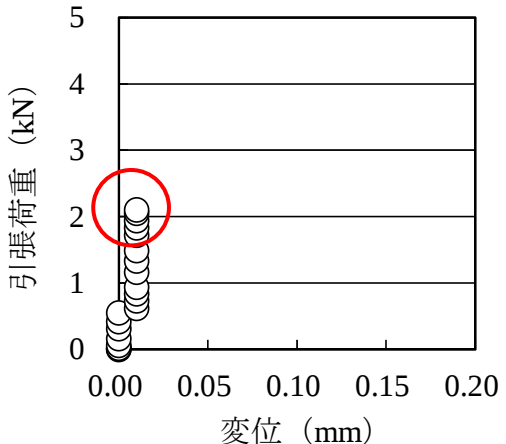
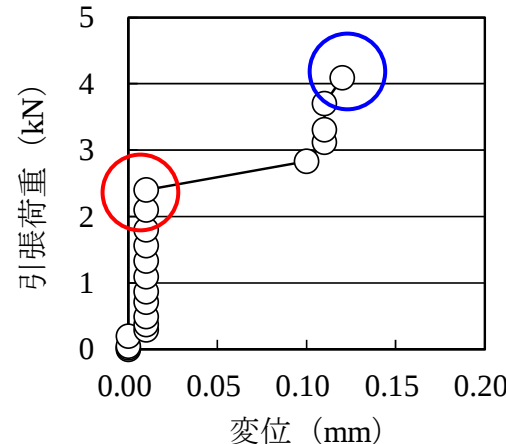
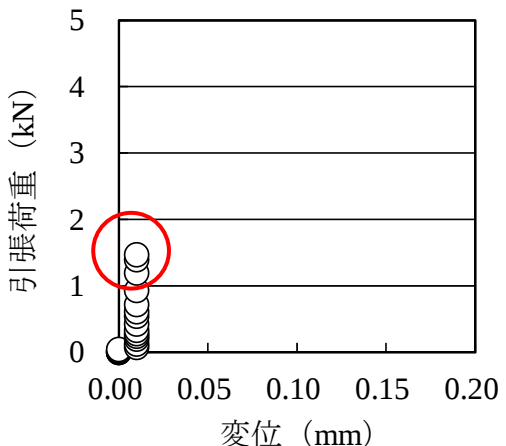
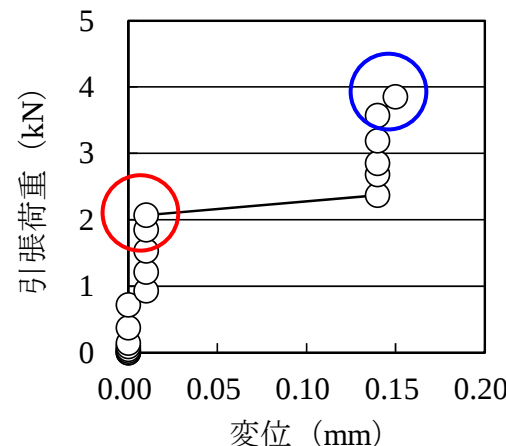
表面研磨前後の試験結果

角形 治具	試験	現状表面(表面研磨前)			研磨表面(表面研磨後)		
		最大荷重 (kN)	面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	最大荷重 (kN)	面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
角形 治具	S-1	2.08	1,600	1.30	4.11	1,600	2.57
	S-2	0.90	1,600	0.56	2.08	1,600	1.30
	S-3	0.78	1,600	0.49	1.98	1,600	1.24
	平均値	1.25		0.78	2.72		1.70
円形 治具	試験	現状表面(表面研磨前)			研磨表面(表面研磨後)		
		最大荷重 (kN)	面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	最大荷重 (kN)	面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
円形 治具	C-1	1.47	1,452	1.01	3.85	1,452	2.65
	C-2	2.37	1,452	1.63	3.91	1,452	2.69
	C-3	3.55	1,452	2.44	(3.55)	(1,452)	(2.44)
	平均値	2.46		1.70	(3.77)		(2.60)

※ 測定箇所により値が異なるのは、各箇所の付着状態が異なるためであると推察

最大荷重(引張強度)が約2～2.5倍に増加

表面研磨前後の荷重－変位関係

	現状表面(表面研磨前)	研磨表面(表面研磨後)
角形治具 (S-1)		
円形治具 (C-1)		

表面研磨後には変位が増加(界面部の付着変位)

経年した無機系補修材料の付着強さ試験 における留意点

1. 試験箇所の表層部は適切に除去する。これにより、付着強さ(被覆材一下地界面破壊)を測定できる可能性は高まる。
2. 再補修で補修材料の重ね塗りをする場合は、付着性を高めるために、表層部を除去した後に実施するのが望ましい。
3. 荷重－変位曲線により試験結果の妥当性を評価する。