

論文 無機系補修材料の付着強さ試験のためのアンカー治具および試験方法の開発に関する基礎的研究

緒方 英彦^{*1}・加藤 諭^{*2}・清水 邦宏^{*3}・金子 英敏^{*4}

要旨：既存の付着強さ試験は、鋼製治具を接着剤でコンクリート表面に固定する方法であるために、表面の付着物や水分状態の影響を受け、試験面が滞水している場合には試験そのものが実施できない。この課題を解決するために、著者らは、アンカー機構の治具による無機系補修材料の付着強さ試験方法の開発を進めている。本論では、既存の接着方法と同等の結果を得るためのアンカー治具を設計するとともに、試験方法を室内試験で検討し、開発した試験方法を現地試験で検証した。その結果、反力板を用いることで破断面積を均一にでき、接着方法と同じ引張強度が得られることを明らかにした。

キーワード：PCM, 付着性, 付着強さ, 引張強度, 鋼製治具, 金属拡張アンカー

1. はじめに

近年、農業水利施設の一つである開水路では、鉄筋かぶり不足に対する中性化抑止性や耐摩耗性の向上（耐久性の向上）、摩耗により悪化した粗度の改善（通水性の回復）、目地部からの漏水の遮断（水密性の回復）などのために補修が数多く行われている。特に、表面被覆工法の一つである無機系補修工法は、補修対象となるコンクリートと同じ無機系材料（ポリマーセメントモルタル、以下、PCM）を用いることから、美観・景観および施工性の観点からも適用事例が多い。無機系補修工法の開発および適用にあたっては、中性化抑止性、耐摩耗性、付着性並びに適用環境によっては耐凍害性などが評価される。このうち、付着性は、補修材料が躯体コンクリートと十分に付着し、コンクリート表面を被覆するという目的を達成するためにも重要な要求性能になっている。

PCMの付着性は、JIS A 1171-2010「ポリマーセメントモルタルの試験方法」、JSCE-K 531-2010「表面被覆材の付着強さ試験方法（案）」、JSCE-K 561-2010「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法（案）」に基づいて試験される付着強さで評価される。付着強さは、接着剤でコンクリート表面に接着した鋼製治具を鉛直方向に引っ張ることで測定した最大引張荷重を破断面積で除することで求める。ここで、破壊箇所は、JSCE-K 561-2010において図-1に示すように4箇所あるとされている。各破壊箇所の表記は、無機系補修工法の付着強さ試験に関して論じている浅野¹⁾の表現で記しており、括弧でJSCE-K 561-2010の表現を記している。また、各箇所破壊が生じる際の主たる要因は、表-1のようになると著者らは整理している。表に示すように、付着性の指標となる付

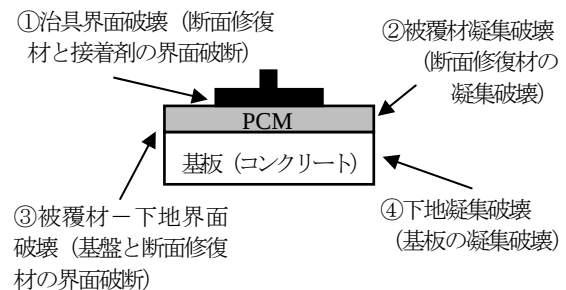


図-1 無機系補修材料の付着強さ試験における破壊箇所

表-1 無機系補修材料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	PCM 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	PCM の引張強度
③ 被覆材一下地界面破壊	PCM（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

着強さは、被覆材一下地界面破壊の場合に該当し、破壊箇所に応じ評価される項目は異なる。①, ②, ④が破壊箇所になる場合、PCMの付着強さは、PCMの引張強度より大きい、コンクリートの引張強度より大きいという定性的な評価しかできない。

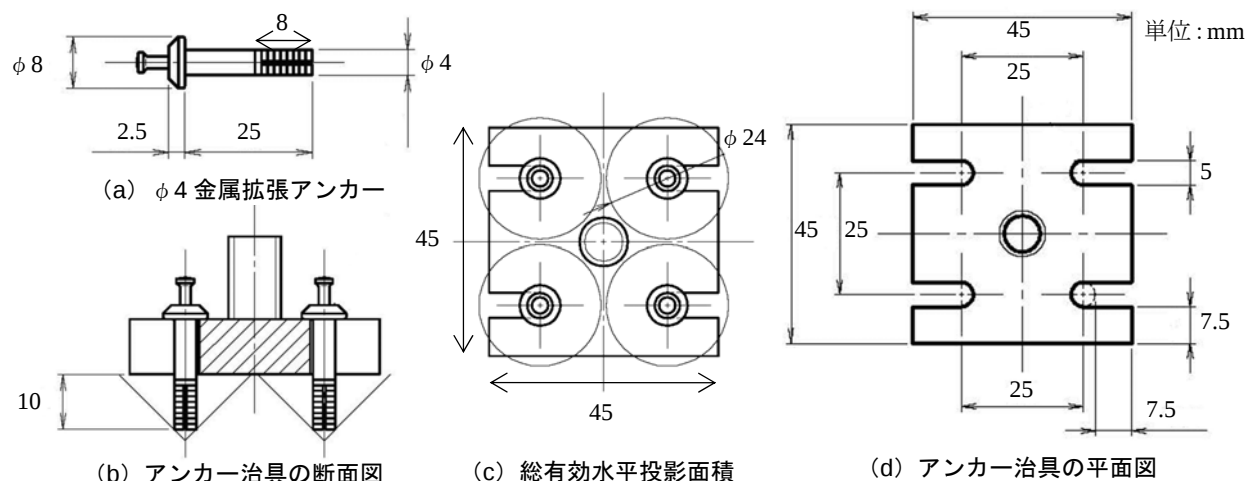
PCMの付着強さ試験は、基準により定められた環境条件下で養生された基板上のPCMを対象に室内試験で行われるが、一方で補修対象となる実際のコンクリート部材に対する付着強さを評価するために現地試験も行われる。この現地試験では、コンクリート表面に鋼製治具を

*1 鳥取大学 農学部生物資源環境学科 教授 博士（農学）（正会員）

*2 鳥取大学 大学院持続性社会創生科学研究科 博士前期課程

*3 サンコーテクノ株式会社 マーケティング&セールス G マネージャー（正会員）

*4 サンコーテクノ株式会社 技術開発部 リーダー



図－２ アンカー治具の概略図と総有効水平投影面積

十分に接着させるために、表面に有機物や微粒子などの付着物がある場合はその除去を行い、表面が湿っている場合には乾燥しなければならない。ただし、このコンクリート表面の処置が不十分であると治具界面破壊になり、付着強さを定量的に評価できない。加えて、開水路の底版においては、滞水を完全に排水できない場合もあり、この場合には試験そのものを実施することができない。著者らは、この課題を解決するために、接着剤で鋼製治具をコンクリート表面に固定するのではなく、金属拡張アンカーで鋼製治具を固定し、コンクリート表面の付着物や水分状態に影響を受けず、試験面が滞水している場合にも実施できる付着強さ試験方法の開発に取り組んでいる。

本論では、アンカー機構の治具（以下、アンカー治具）による PCM の付着強さ試験方法の開発に関する基礎的研究として、接着剤で鋼製治具をコンクリート表面に固定する既存の方法（以下、接着方法）と同等の結果を得るためのアンカー治具の設計および試験方法（以下、アンカー方法）を検討した結果について示す。ここで、接着方法とアンカー方法の同等性を評価するために用いた指標は、他の要因を除き PCM の材料特性だけに依存する指標が望ましいと考え、被覆材凝集破壊である PCM の引張強度にした。本論では、PCM 板を用いた室内試験でアンカー方法の基礎的検討を行い、開発した試験方法を検証するために実施した開水路側壁での現地試験の結果を示す。

2. アンカー治具の開発および試験方法の検討

2.1 アンカー治具の開発

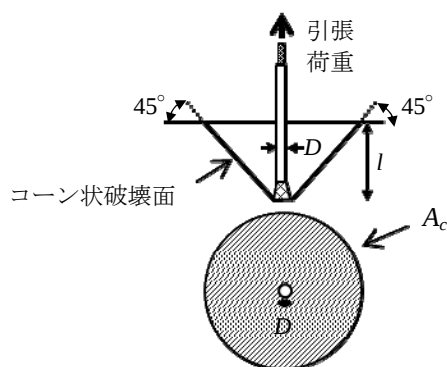
新たに開発するアンカー方法は、金属拡張アンカーで鋼製治具をコンクリート表面に固定する方法である。そのため、アンカー治具の設計においては、金属拡張アン

カーの種類と寸法、鋼製治具の寸法および金属拡張アンカーの設置本数と設置位置を決定しなければならない。最終的に設計したアンカー治具の概略図を図－２に示した上で、各項目の検討内容を以下に説明する。

アンカーには、接着系アンカーと金属系アンカーがある。本研究では、コンクリート表面の付着物や水分状態に影響を受けず、試験面が滞水している場合にも実施できる試験方法の開発を目的にしていることから、接着剤のせん断抵抗力に依存する接着系アンカーではなく金属系アンカーを採用することにした。また、本研究では、金属系アンカーの中でも芯棒打込み式を採用している。その理由は、芯棒打込み式は、芯棒（センターピン）をアンカー本体の内部に打ち込むことにより、本体先端の拡張部を押し広げるタイプであり、削孔した孔底で反力を受けるのではなく孔内の側面で反力を受けるために、削孔深さを厳密に管理する必要がないからである。本研究では、開水路の補修厚さが薄いことを考慮し、市販の中で最も小さい図－２ (a) に示す $\phi 4\text{mm}$ の芯棒打込み式（T-420）を採用することにした。アンカー埋込長さは、拡張部長さが 8mm であることから、図－２ (b) に示すように 10mm としている。つまり、市販の金属拡張アンカーを用いることを前提としている本アンカー治具の適用条件は、PCM による補修厚さが 10mm 以上となる。

次に、アンカー治具の設計条件となる金属拡張アンカーの設置本数と設置位置および鋼製治具の寸法について説明する。

付着強さは、鋼製治具を鉛直方向に引っ張ることで測定した最大引張荷重を破断面積で除することで求める。そのため鋼製治具の中央には、図－２ (b) に示すように引張試験器と鋼製治具を連結する箇所が必要になり、 $\phi 4\text{mm}$ の金属拡張アンカーを設置できる位置は治具中央の連結箇所の周囲に限られる。この条件の下で鋼製治具



図－３ 金属拡張アンカーのコーン状破壊における有効水平投影面積²⁾

を確実に固定するための措置として、著者らは、図－２(c)に示すように金属拡張アンカーを四隅に配置することにした。設置位置は、日本建築学会における金属拡張アンカーの許容引張荷重の算定で用いられている有効水平投影面積²⁾を踏まえて決定した。式(1)は、金属拡張アンカーによる破壊がコーン状破壊になる場合の許容引張荷重の算定式であり、式(2)が有効水平投影面積の算定式である。

$$P_{a2} = \phi_2 \times \alpha_c \times \sigma_t \times A_c \quad (1)$$

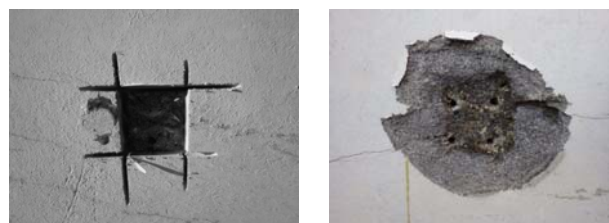
ただし、 P_{a2} ：コーン状破壊の許容引張力 (N)、 ϕ_2 ：低減係数 (長期荷重用：1/3，短期荷重用：2/3)、 α_c ：施工のばらつきを考慮した低減係数 (0.75)、 σ_t ：コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度 (N/mm²) ($\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$)、 F_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)、 A_c ：コーン状破壊面の有効水平投影面積 (mm²)

$$A_c = \pi \cdot l_{ce} (l_{ce} + D) \quad (2)$$

($l < 4D$ の場合は $l_{ce} = l$ ， $l \geq 4D$ の場合は $l_{ce} = 4l$)

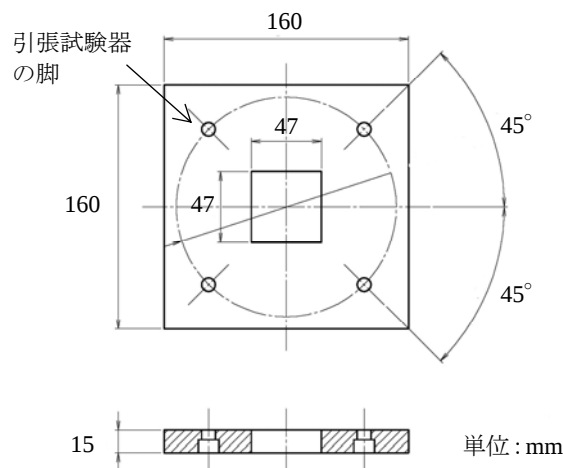
ただし、 l_{ce} ：アンカーボルトの強度算定用埋込長さ (mm)、 l ：アンカーボルトの埋込長さ (mm)、 D ：アンカーボルト軸部の直径 (mm)

金属拡張アンカーのコーン状破壊における有効水平投影面積は、図－３に示すように 45° で表されることから、本研究におけるアンカー埋込長さ 10mm、アンカー直径 4mm の場合、1 本のアンカーの有効水平投影面積の直径は図－２(c)に示すように 24mm になる。そこで、アンカー治具は、設置する 4 本の金属拡張アンカーの総有効水平投影面積が概ね含まれることを考慮し、接着方法で一般に用いられる 40mm×40mm の鋼製治具ではなく、外装用タイル試験用の 45mm×45mm の鋼製治具を加工して作製することにした。本研究で設計したアンカー治具の平面図を図－２(d)に示す。金属拡張アンカーの設置位置から外側に切込みを入れている理由は、試験後に拡



(a) 接着方法 (b) アンカー方法

図－４ 接着方法とアンカー方法における PCM の破壊



図－５ アンカー方法に用いる反力板

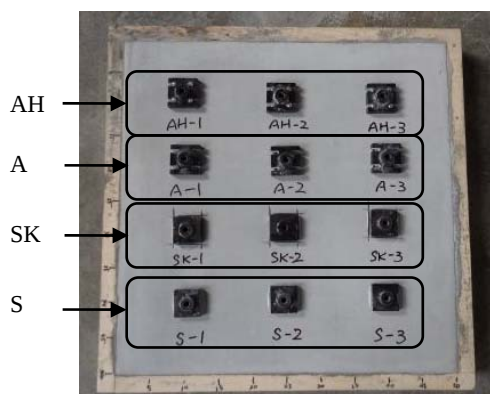
張したアンカーを治具から取り出すためである。

本論では、このようにして開発したアンカー治具で測定した PCM の引張強度が接着方法による測定結果と同等になるかを検討する。

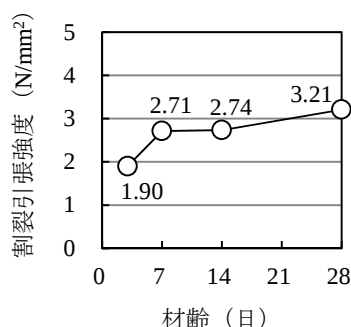
2.2 アンカー治具による試験方法の検討

付着強さを求めるためには破断面積が必要になる。接着方法では、図－４(a)に示すように鋼製治具の周囲に切込みを入れることから、40mm×40mm の鋼製治具の場合、治具面積 1,600mm² が破断面積になり、破断面積を均一にできる。一方、アンカー方法では、図－４(b)に示すように、PCM の靱性により剥離部が治具面積よりも広くなるために、破断面積を均一にすることができない。このため、破断面積は、試験箇所ごとに画像解析などで求めなければならない。そこで、本研究では、接着方法と同様に破断面積を均一にする手段として、図－５に示す反力板を用いることにした。反力板の中央には、アンカー治具をセットするための空間が設けてあり、この寸法はアンカー治具が反力板と摩擦することなく上下できるように 47mm×47mm としている。

本論では、この反力板の利用により、想定通りに破断面積を均一にできるのか、そして反力板を用いたアンカー方法で測定した PCM の引張強度が接着方法による測定結果と同等になるかを検討する。



図－6 PCM 板における試験状況



図－7 PCM の割裂引張強度

3. 室内試験によるアンカー方法の検討

3.1 室内試験の概要

接着方法およびアンカー方法の室内試験は、縦 500mm × 横 500mm × 高さ 30mm の PCM 板を用いて行った。また、あわせてφ 50mm × 100mm の円柱供試体による割裂引張強度試験も実施した。PCM は、ビニロン繊維補強一材型ポリマーセメントモルタル（アクリル系粉末ポリマー）である。PCM の単位量は、メーカー資料を参考に、粉体 1,600kg/m³、水 280kg/m³ とした。

PCM 板による接着方法およびアンカー方法の試験は、材齢 14 日、28 日にそれぞれ実施した。PCM 板は、所定の材齢まで湿布養生をした。PCM 板における試験は、接着方法で治具周囲に切込みを入れた場合（以下、SK）、接着方法で治具周囲に切込みを入れない場合（以下、S）、アンカー方法で反力板を用いた場合（以下、AH）、アンカー方法で反力板を用いない場合（以下、A）の 4 ケースで実施した。ここで、S と A は、接着方法およびアンカー方法における PCM の材料特性に応じた破断状況の違いを確認するために実施した。接着方法における鋼製治具の接着には、5 分硬化開始のエポキシ樹脂系接着剤（ボンドクイックメンダー、可使時間 5 分、実用強度時間 60 分）を用いた。また、接着方法における切込み深さは 5mm である。図－6 に PCM 板における試験状況を示す。各材齢における各ケースの試験は、同一板の 3 箇所で行い、結果は平均値で示す。接着方法およびアンカー



図－8 PCM 板における各試験の破断状況

表－2 PCM 板における接着方法およびアンカー方法の試験結果

試験	材齢 14 日				
	最大荷重 (kN)	治具面積評価		破断面積評価	
		面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
SK	3.51	1,600	2.19	1,600	2.19
S	4.44		2.78	2,661	1.78
AH	3.89	2,025	1.92	2,258	1.74
A	2.97		1.47	5,452	0.54
試験	材齢 28 日				
	最大荷重 (kN)	治具面積評価		破断面積評価	
		面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
SK	3.55	1,600	2.22	1,600	2.22
S	4.74		2.96	2,755	1.76
AH	4.37	2,025	2.16	2,018	2.18
A	4.31		2.13	10,540	0.42

方法で用いた引張試験器は、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）である。この試験器では、最大荷重 30kN までの測定を行うことができる。

円柱供試体の割裂引張強度試験は、JSCE-K 561-2010 で規定されている JIS A 1113:2006 「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に準拠して材齢 3 日、7 日、14 日、28 日に実施した。円柱供試体は、PCM 板と同様に所定の材齢まで湿布養生をした。各材齢の試験数は 3 本であり、結果は平均値で示す。

3.2 接着方法およびアンカー方法による試験結果

割裂引張強度の結果を図－7 に示す。PCM 板の試験材齢における割裂引張強度は、材齢 14 日で 2.74N/mm²、材齢 28 日で 3.21N/mm² であった。

PCM 板における各試験の破断状況を図－8 に示し、最大荷重、破断面積、引張強度を表－2 に示す。表中には、治具面積で評価した場合（以下、治具面積評価）と画像解析により求めた破断面積で評価した場合（以下、破断面積評価）の結果を示している。

破断面積評価した SK と S, AH と A を比較すると, 材齢 14 日, 材齢 28 日のいずれとも $SK > S, AH > A$ となる。これは, 接着方法において切込みを入れない S, アンカー方法において反力板を用いない A では, PCM の靱性により剥離部が拡大し, 強度を求める際の破断面積が大きくなったためである。ここで, SK の破断面積は, 材齢 14 日において $2,258\text{mm}^2$ ($2,026 \sim 2,538\text{mm}^2$), 材齢 28 日において $2,018\text{mm}^2$ ($1,872 \sim 2,161\text{mm}^2$) であった。反力板の空間の面積は $47 \times 47 = 2,209\text{mm}^2$ である。材齢 14 日における破断面積は, 反力板の空間面積よりも大きくなっており, これは, PCM 表面の凹凸と反力板の間に隙間が発生していることを示唆している。一方で, 材齢 28 日における破断面積は, 反力板の空間面積よりも小さいことから, 反力板が PCM 表面と密着していることが示唆される。このことから, 反力板を用いたアンカー方法では, PCM 表面の平坦性が重要になり, 事前に平坦性を確保しなければならないことがわかる。

目視観察および破断面積より反力板が PCM 表面と密着していると認められる材齢 28 日の結果に基づいて, 反力板の利用による破断面積の均一化, そして接着方法とアンカー方法の結果の同等性について考察する。

まず, 反力板の利用による破断面積の均一化について考察を加える。図-8 に示すように SK の 3 箇所においても鋼製治具に沿う形で破壊しており, また表-2 からは破断面積 $2,018\text{mm}^2$ ($1,872 \sim 2,161\text{mm}^2$) が反力板の空間面積 $2,209\text{mm}^2$ よりも小さく, $45\text{mm} \times 45\text{mm}$ の治具面積 $2,025\text{mm}^2$ にほぼ近い値であることがわかる。このことから, 接着方法における切込みと同様に破断面積の均一化を反力板で図ることができ, 破断面積を試験箇所ごとに画像解析などで求める必要はなく, 治具面積 $2,025\text{mm}^2$ を破断面積として引張強度を求めてもよいことがわかる。

次に, 接着方法とアンカー方法の結果の同等性について考察を加える。最大荷重は SK で 3.55kN , AH で 4.37kN と治具面積が違うことから異なるが, 引張強度は SK が 2.22N/mm^2 であるのに対して, AH は 2.18N/mm^2 とほぼ近い。このように, 今回開発したアンカー治具および反力板を用いた試験方法で測定される引張強度は, 既存の接着方法で測定される引張強度にほぼ近くなる結果が得られた。この結果は, 湿布養生した材齢 28 日の PCM 板による室内試験のものであるが, アンカー治具の設計および反力板を用いた試験方法の妥当性が確認できたと言える。本論では, 接着方法とアンカー方法の結果の同等性を評価するために, 指標として被覆材凝集破壊である PCM の引張強度に着目したが, 今後は付着強さの試験方法について研究を展開していく予定である。

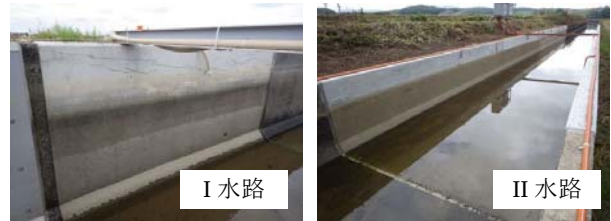


図-9 現地試験を実施した開水路側壁の概況



(a)垂直穿孔治具による削孔



(b)アンカーの打込み



(c)アンカー治具の固定



(d)反力板の設置



(e)引張載荷

図-10 アンカー方法の試験手順

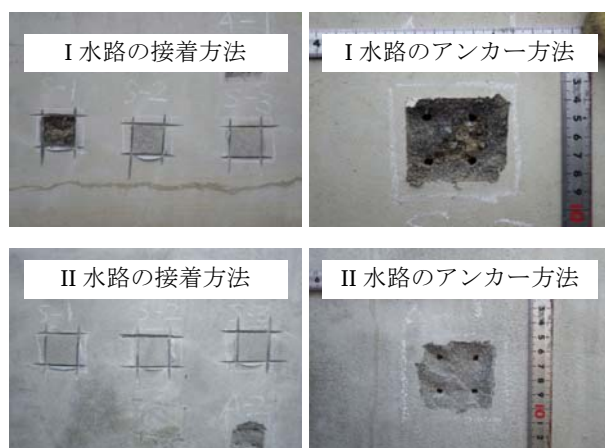
一方で, 接着方法およびアンカー方法で求めた引張強度は, 割裂引張強度よりも小さくなっている。この点については, PCM の材料を変えた試験を行うことで今後検討していく予定である。

4. 現地試験によるアンカー方法の検証

4.1 現地試験の概要

室内試験で検討を加えた試験方法を検証するために実際に PCM で補修された開水路側壁において現地試験を 2016 年 9 月に実施した。現地試験を実施した既設の開水路は, 一つ目が 2014 年 10 月に補修された RC 現場打ちフリューム (以下, I 水路), 二つ目が 2015 年 10~11 月に補修された RC 現場打ちフリューム (以下, II 水路) であり, いずれも北海道にある。両者とも補修材料は PCM であるが, 製品は異なる。図-9 に開水路側壁の概況を示す。

現地試験は, 接着方法で治具周囲に切込みを入れた場合 (以下, SK), アンカー方法で反力板を用いた場合 (以



図－１１ 現地試験における各試験の破断状況

下、AH)を各3箇所ずつ行った。両試験は同じスパン内の同じ面に対して実施している。引張試験器、試験器具、試験方法は、全て室内試験と同じである。

試験手順を図－１０に示す。まず、アンカーをPCM表面に対して垂直に挿入するために、試験器具の一つとして開発した垂直穿孔治具を用いて4箇所の削孔を行う。この垂直穿孔治具は、アンカー治具にセットする4本のアンカーの位置を確定する役割もある。次に、アンカーを打込み、アンカー治具をPCM表面に固定する。その後、反力板をセットして、引張試験器で引張载荷を行う。

4.2 接着方法およびアンカー方法による試験結果

各試験における破断状況を図－１１に示し、最大荷重、破断面積、引張強度および破壊形態を表－３に示す。

SKとAHの引張強度は、I水路およびII水路においていずれもSK<AHになった。これは、両試験で破壊形態が異なったためである。

SKについては、I水路の1箇所だけ被覆材－下地界面破壊になったが、他は全て治具界面破壊になった。試験は接着剤の硬化を十分に待って実施したにも関わらず、このような結果になったのは、試験面に目立つ付着物はないと思われたものの微粒子が付着していたか、または乾燥および凍結融解作用によりPCMの極表層部の引張強度が低下していたためと思われる。現地試験としての接着方法の実施においては、前述したとおり、試験結果がPCM表面の付着物や水分状態の影響を受けるために、どうしても治具界面破壊になることが多い。今回の結果は、この懸念を表した事例の一つであると言える。

AHについては、全て被覆材凝集破壊になった。また、I水路、II水路の両者とも、破断面積は反力板の空間面積 $2,209\text{mm}^2$ よりも小さく、治具面積 $2,025\text{mm}^2$ に近い値になり、引張強度もそれぞれの水路でほぼ近い値が得られた。したがって、室内試験で検討したアンカー治具お

表－３ PCMで補修した開水路側壁における接着方法およびアンカー方法の現地試験結果

記号	I水路			
	最大荷重(kN)	破断面積(mm ²)	引張強度(N/mm ²)	破壊形態
I-SK-1	3.81	1,600	2.38	被覆材－下地界面破壊
I-SK-1	4.00	1,600	2.50	治具界面破壊
I-SK-1	2.55	1,600	1.59	治具界面破壊
I-AH-1	8.21	1,974	4.16	被覆材凝集破壊
I-AH-2	8.42	2,011	4.19	被覆材凝集破壊
I-AH-3	9.03	1,965	4.60	被覆材凝集破壊
AHのAve.		1,983	4.31	—
記号	II水路			
	最大荷重(kN)	破断面積(mm ²)	引張強度(N/mm ²)	破壊形態
II-SK-1	2.54	1,600	1.59	治具界面破壊
II-SK-1	1.89	1,600	1.18	治具界面破壊
II-SK-1	2.63	1,600	1.64	治具界面破壊
II-AH-1	9.27	1,894	4.89	被覆材凝集破壊
II-AH-2	8.68	1,856	4.68	被覆材凝集破壊
II-AH-3	10.01	2,031	4.93	被覆材凝集破壊
AHのAve.		1,927	4.83	—

よび反力板を用いた試験方法は、現地試験においても破壊形態および破断面積の均一化を図ることができ、現地適用性が十分にあることが確認されたと思われる。

5. おわりに

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) アンカー方法で用いる反力板は、接着方法における治具周囲の切込みと同様に破断面積を均一にできる効果がある。
- (2) アンカー治具・反力板による試験でPCMの引張強度を評価する場合、破断面積は治具面積としてもよい。
- (3) アンカー治具・反力板による試験で測定したPCMの引張強度は、破壊形態が同じ被覆材凝集破壊である場合、既存の方法である接着治具・切込みで測定した引張強度とほぼ近くなる。

参考文献

- 1) 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.56-64，2016.7
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説（第2版），pp.321-322，2013.7