

論文 ねじ固定式金属アンカー治具による無機系補修材料の付着強さ試験方法の開発に関する基礎的研究

加藤 諭*1・緒方 英彦*2・清水 邦宏*3・金子 英敏*4

要旨：既存の無機系補修材料の付着強さ試験は、コンクリート表面に鋼製治具を設置する際に接着剤を使用するため、表面の付着物や水分状態等に試験結果が影響を受ける。この課題解決のために著者らは、金属アンカーを用いた治具による付着強さ試験方法の研究・開発を進めている。本論では、新たなアンカー治具を開発し、付着強さと荷重-変位曲線、破壊形態に注目し考察することで、金属アンカーの適当な埋込位置に関して検討を行った。その結果、界面破壊時における荷重-変位曲線の傾向および界面破壊のためには下地層内部2~3mmの深さにアンカーを埋込む必要があることを明らかにした。

キーワード：PCM, 付着性, 付着強さ試験, 鋼製治具, ねじ固定式金属アンカー, 荷重-変位曲線

1. はじめに

農業水利施設の一つであるコンクリート製開水路（以下、開水路）は、高度経済成長期に集中的に整備され、現在老朽化が進んでいる。開水路は用水を効率よく圃場まで搬送する機能を有する重要な施設であり、その機能は農業面だけでなく防災面や景観保全においても発揮されている。よって、将来に渡りこれらの機能を持続的に発揮させるためには、ライフサイクルコスト低減の観点から施設の劣化状況に応じた補修・補強を計画的に行い、施設の長寿命化を図る必要がある。開水路に対して行われている長寿命化対策としては、耐久性、通水性、水密性の回復あるいは向上を目的とした補修が数多く行われており、補修対象と同じ無機系材料である無機系補修材料（ポリマーセメントモルタル、以下、PCM）が近年多用されている。PCMには補修に求められる性能として、付着性が挙げられている。付着性は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であり、補修目的を達成する上で重要な要求性能になっている。

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試験で評価される。付着強さ試験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り、測定した最大引張荷重を破壊面積で除することで付着強さを求める試験である。しかし、既存の付着強さ試験方法は鋼製治具の設置に接着剤を使用するため、コンクリート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かす

必要がある。これらのコンクリート表面への処置が不十分であった場合は治具界面破壊になり、付着強さを定量的に評価できない。また、開水路底版部においては滞水を完全に排水できない場合もあり、試験そのものを実施することができない。

これらの課題を解決するべく、著者らはコンクリート表面の付着物や水分状態、滞水状況に影響されることなくPCMの付着強さ試験を行なうことができるアンカー機構の治具（以下、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に取り組んでいる¹⁾。しかし、当初開発したアンカー治具を用いた付着強さ試験は、付着強さ算出の際に使用する破壊面積の均一化方法および既存の試験方法と同等の付着強さを得るための金属アンカーの埋込位置において課題点があったため、著者らは今回新たなアンカー治具を開発した。新たに開発したアンカー治具は、形状および使用する金属アンカーの種類を変更したものである。

本論では、室内試験において接着剤で設置する鋼製治具（以下、接着治具）を用いた付着強さ試験（以下、接着治具試験）と新たに開発したアンカー治具を用いた付着強さ試験（以下、アンカー治具試験）を実施し、両者における付着強さの比較検討を行った。

2. 新たなアンカー治具を開発した経緯

当初開発した芯棒打込み式金属拡張アンカー治具は、 しかし、課題点（破壊面積の均一化方法および金属アンカ

*1 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 (学生会員)

*2 鳥取大学 農学部生命環境農学科教授 博士 (農学) (正会員)

*3 サンコーテクノ (株) マーケティング&セールス G マネジャー (正会員)

*4 サンコーテクノ (株) 技術開発部 リーダー

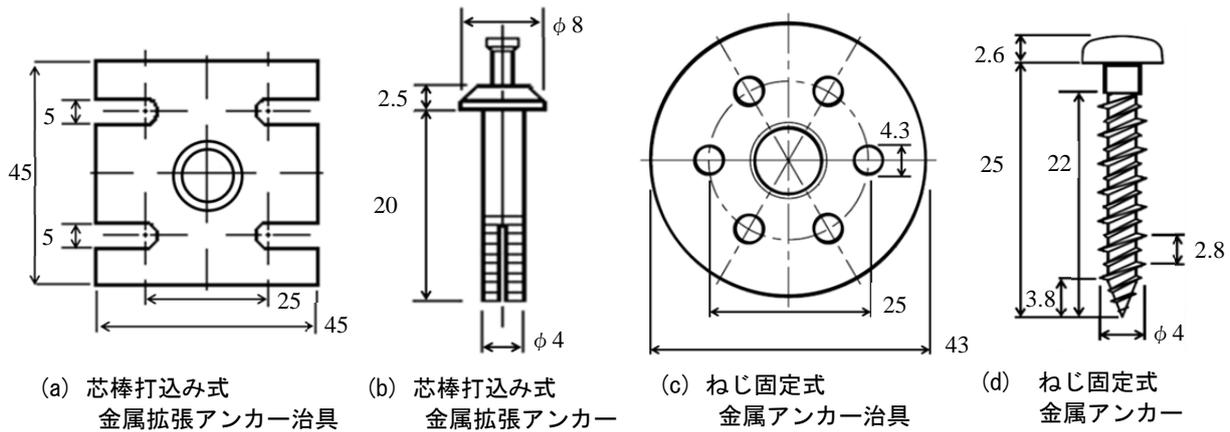


図-1 アンカー治具と使用する金属アンカー

単位：mm

一の適当な埋込位置)を改善すべく、今回新たに開発したアンカー治具は、図-1(c)に示すφ43mmの円形の治具であり、芯棒打込み式金属拡張アンカーではなく図-1(d)に示すφ4mmのねじ固定式金属アンカー(PPV-425)によって固定できるねじ固定式金属アンカー治具である。本章では、金属アンカーの種類および治具の形状を変更した経緯を説明する。

まず、金属アンカーの種類を変更した経緯について説明する。芯棒打込み式金属拡張アンカーは、ハンマーで芯棒をアンカー本体の内部に打込むことで本体先端の拡張部を押し抜け、孔内の側面での抵抗をとるものである。ここで付着強さを求めるためには破壊面積が必要であり、既存の試験方法である接着治具試験では40mm角の治具周囲に沿って切込みを入れることで破壊面積を均一にし、治具面積1,600mm²を破壊面積としている。しかし、芯棒打込み式金属拡張アンカー治具を用いた場合は、切込みを入れる際の振動で拡張部周囲のPCMが破壊されてしまう。試験手順として先に切込みを入れて金属アンカーで固定した場合でも、拡張部と切口断面の縁空き距離が不足しているため芯棒を打込んだ際に発生する拡張力でPCMが破壊されてしまう。これらを許容するためには治具周囲の切込み範囲を広げなければならず、試験後の補修範囲が拡大する課題がある。そこで著者らは、拡張式より抵抗を確保する部分に及ぼす影響が少ないねじ固定式の金属アンカーに着目した。ねじ固定式金属アンカーはねじ部分をねじ込むことで抵抗をとるため治具周囲への切込み範囲を小さくすることができる。

次に、治具の形状を変更した経緯について説明する。芯棒打込み式金属拡張アンカー治具の形状が角形であったのは既存の付着強さ試験用の鋼製治具が40mm角の接着治具であると認知されていたことから、設置方法のみを変更した試験であることを認識して貰うためであった。ここで、角形の鋼製治具を使用する場合は破壊面積を

均一にするため、四辺の切込深さを正確に合わせつつ、コンクリートカッタで切込みを入れる必要がある。しかし、キックバック等の作業時の危険性が伴うコンクリートカッタによる切込みは、切込深さを合わせるのが困難な上、切口が円弧状になるため深さを合わせるには治具の辺よりも長く切らなければならず、試験後の補修範囲が広がる課題があった。前述したように切込み作業による拡張部周囲のPCM破壊も懸念していた著者らは、反力板¹⁾を用いることで対応を試みたが、供用中の開水路表面において、鋼製である反力板と開水路表面の不陸の隙間を無くし正確に破壊面積を均一にすることは困難であったため、切込みによる方法を再検討した。

著者らは、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))に記載されているコアビットを用いて切込みを入れる方法に着目した。コアビットによる切込み作業はコンクリートカッタに比べ作業の危険性が少なく、切口が四辺でなく一辺の円形であるため切込深さを統一しやすい。コアビットによる切込みを入れた時の断面は円形であるため、治具の形状も角形から円形に変更した。ねじ固定式金属アンカー治具の寸法は外径50mmコアビットで切込みを入れた際の切込内断面がφ43mmであるため同寸法とした。ただし、付着強さ算出時の破壊面積は治具面積(1,452mm²)よりアンカー6本を埋込む点穴面積(54mm²)を除いた1,398mm²とする。また、ねじ固定式金属アンカー治具による試験後の補修作業は角形アンカー治具に比べ、作業性、補修後の景観性ともに優れていると考え、形状を変更した。

3. 室内試験の概要

3.1 試験供試体

使用した供試体は、縦500mm×横500mm×厚さ35mmの2層平板である。2層平板は28日間湿布養生を行ったモルタル平板に、PCMをコテで被覆し28日間湿布養生

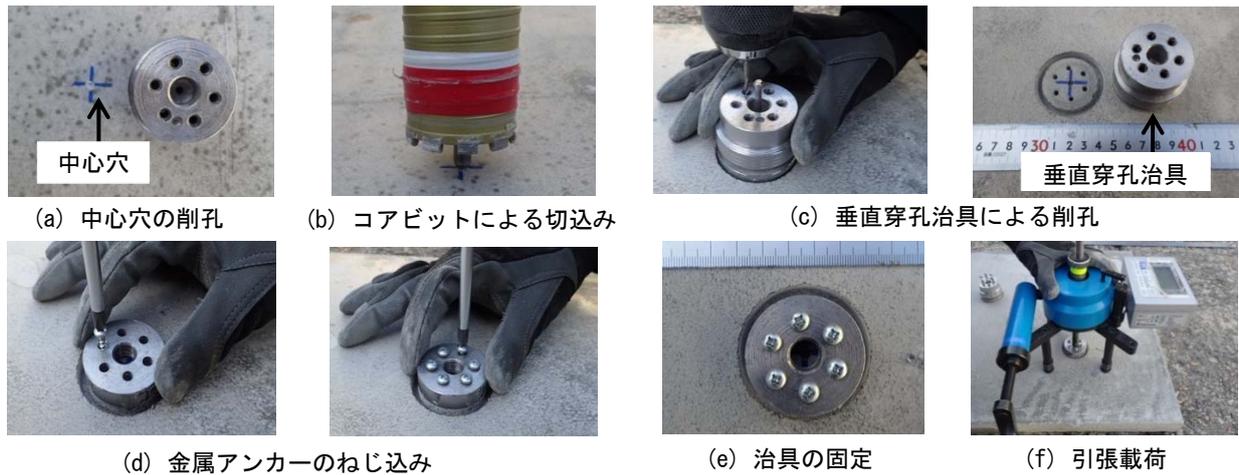


図-2 アンカー治具試験の手順

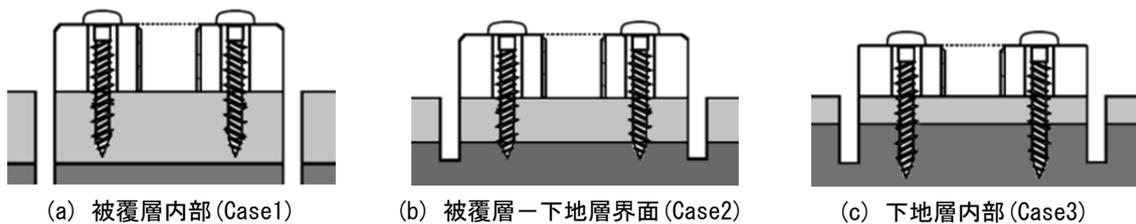


図-3 2層平板における金属アンカーの埋込位置概略図

を行ったものであり、4枚用意した。下地層のモルタル平板は、JIS R 5201:1997（セメントの物理試験方法）を参考にW/C50%のモルタルで作製したものである。また、被覆層の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）であり、単位量はメーカー資料を参考に粉体 $1,600\text{kg/m}^3$ 、水 280kg/m^3 とした。4枚用意した2層平板は下地層厚さを20、25、30、32mmと調整することで、被覆層厚さを15、10、5、3mmの4種類に調整したものである。

各層の材料強度を明確にするため、割裂引張強度試験を実施した。使用した供試体は、各層と同材料にて作製した $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体3本である。各材料で作製した円柱供試体は、各層と同材齢（モルタル製：56日、PCM製：28日）まで湿布養生を行った。

3.2 各試験方法

割裂引張強度試験はJIS A 1113:2006（コンクリートの割裂引張強度試験方法）に準拠して行い、結果は供試体3本の試験値の平均を各材料の割裂引張強度とした。

接着治具試験の手順について説明する。まず、付着物や弱層部の影響から治具界面にて破壊を起こさないように接着治具を設置する供試体表面をワイヤーカップブラシにて削り、アセトンとウエスにて清掃した。設置箇所が乾くのを待ち、接着治具の固定を行った。固定には、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。治具固定完了後、治具周囲に沿って切込みを入れ、その

際の切込深さは下地層に対し5mmとした。その後、引張試験器にて載荷試験を実施した。試験は各2層平板にて5～11箇所実施した。

次に、アンカー治具試験の手順を図-2に示して説明する。まず、治具を固定する箇所に対し深さ3mm程度の穴（以下、中心穴）をあけた後、中心穴とコアビットのセンターピンを合わせ、下地層5mmまで切込みを行う。次に、ねじ固定式金属アンカーを垂直に挿入するための試験器具として開発した垂直穿孔治具とドリルを用いて、 $\phi 43\text{mm}$ の切込内断面に対して6箇所の削孔を行う。この垂直穿孔治具には、円形治具にセットする6本の金属アンカーの位置を確定する役割もある。最後に、削孔した穴に対し対角に金属アンカーをねじ込み、治具を固定した。その際、抵抗を確保した部分への影響をより軽減するためにねじ込み作業は電動式ドライバーではなくすべて手動のドライバーで実施した。その後、接着治具試験と同様試験器にて引張載荷を実施した。

ここで、現地にて接着治具試験を実施する場合は被覆厚を確認するためにコアを抜くなどして開水路表面から下地までの切込深さを決める必要がある。一方、アンカー治具試験はコアビットによる切込みで生じる約4mmの隙間から被覆厚を大まかに確認することができる。しかし、被覆厚を確認できた場合においても被覆層-下地層界面（以下、界面）からアンカー埋込位置の距離が離れてしまうことで、凝集破壊になる可能性がある。よって、アンカー治具試験を実施する場合において、接着

治具試験と同等の付着強さを得るための金属アンカーの適切な埋込位置について検討する必要がある。

本研究では、アンカー治具を図-3に示す(a)被覆層内部(以下、Case1)、(b)被覆層-下地層界面(以下、Case2)、(c)下地層内部(以下、Case3)の各ケースに対して使用し、適切な埋込位置について検討した。なお、ケース1には被覆層厚15mm、ケース2には被覆層厚10mm、ケース3には被覆層厚3・5mmの2層平板をそれぞれ使用した。各ケースにおける埋込位置の設定においては、表-1に示すように供試体表面からの埋込深さが10mm、8mm、6mmに調整できるアンカー治具をそれぞれ使用した。埋込位置の設定は図-4に示すように抵抗をとらないアンカー先端部の不完全ねじ長3.8mmを含めないようにし、被覆層-下地層界面を±0、被覆層方向に-、下地層方向に+の値をとることで界面からの埋込位置を示す。試験は目標の各埋込位置(-9mm~+7mm)で4~12箇所実施したが、各2層平板の被覆厚には2~4mmの誤差があり埋込位置にも違いが生じた。そこで、再度各試験箇所の被覆層厚を実測し、実際の埋込位置を求めるとともに、各埋込位置より得られた付着強さと荷重-変位曲線、破壊形態をもとに、金属アンカーの適切な埋込位置について考察を行った。

接着治具試験とアンカー治具試験において使用し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-3000LD II, サンコーテクノ)である。この試験器では、最大荷重30kN、最大変位量10mm(分解能0.01mm)までの測定を行うことができ、また、荷重-変位曲線も得ることができる。

4. 試験結果と考察

割裂引張強度試験の結果は3本の平均値で示すとともに、試験値のばらつき度合いを括弧書き(最小値~最大値)で示す。2層平板の各層に使用した材料の割裂引張強度は、モルタルが2.34(1.94~3.07)N/mm²、PCMが3.24(3.00~3.38)N/mm²であった。接着治具試験、アンカー治具試験より得られた付着強さをそれぞれ表-2、表-3に示すとともに、試験器より得られた各試験における被覆層-下地層界面破壊(以下、界面破壊)時の荷重-変位曲線の一例を図-5に示す。なお、破壊形態として界面破壊と下地層破壊が複合的に起きた際の破壊形態は複合破壊と記すとともに、破壊割合に大小関係がみられた際は「>」、「<」にて、等しい割合であった際は「=」にて記す。

4.1 接着治具試験

結果は破壊形態別に最大荷重、付着強さの値を平均値で示すとともに、試験値のばらつき度合いを括弧書き(最小値~最大値)で示す。表-2より界面破壊時の付着

表-1 目標の埋込深さ設定方法

Case	被覆厚 (mm)	使用するアンカー治具	目標の埋込位置
1	15	埋込深さ 6mm 用	-9mm
		埋込深さ 8mm 用	-7 mm
		埋込深さ 10mm 用	-5 mm
2	10	埋込深さ 10mm 用	±0 mm
3	5	埋込深さ 6mm 用	+1 mm
		埋込深さ 8mm 用	+3 mm
	3	埋込深さ 8mm 用	+5 mm
		埋込深さ 10mm 用	+7 mm

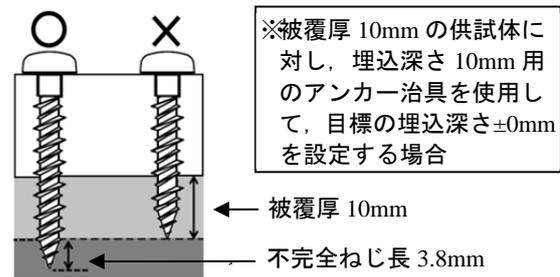


図-4 アンカーの埋込深さ設定概略

強さは、被覆厚3mmで1.91N/mm²、被覆厚5mmで2.09N/mm²、被覆厚10mmで1.45N/mm²、被覆厚15mmで1.27N/mm²と、被覆厚が薄くなるとともに大きくなる傾向を示した。これは、2層平板に対して载荷を行っていく際、被覆厚が薄くなるほど接着治具設置面から切込先端までの距離が小さくなり、応力が界面にとどまらず下地層まで大きく及んでいるからだと考えられる。そのため、被覆厚が薄くなるほど破壊形態としては界面破壊より下地層破壊になる確率が高くなった。一方、被覆厚10、15mmではほとんどの破壊形態が界面破壊であった。このことから接着治具試験で付着強さを測定する際には、被覆厚も影響していることが分かる。また、試験結果は概ね1.30N/mm²前後が本試験における界面破壊時の付着強さになると思われる。なお、下地層破壊時の付着強さは下地層の材料であるモルタルの割裂引張強度2.34N/mm²より若干低くなるがほぼ近値を示した。

各種の破壊形態が見られた被覆厚3mmの試験結果からは、複合破壊(界面>下地層)時の付着強さは界面破壊時と近値であり、複合破壊(界面<下地層)時の付着強さは下地層破壊時と近値になる傾向が見られ、複合破壊を形成する界面破壊と下地層破壊の割合に左右されていることが示唆された。ここで、図-5(a)に示す接着治具試験の荷重-変位曲線に注目すると、界面破壊時の傾きは様々だが概ね直線の挙動を示すことが分かった。

ただし、今回得られた接着治具試験の結果および傾向

表-2 接着治具試験の付着強さ

被覆厚 (mm)	総数	個数	破壊形態	最大荷重 (kN)	破壊面積 (mm ²)	付着強さ (N/mm ²)
3	10	3	界面破壊	3.05 (1.89~3.81)	1,600	1.91 (1.18~2.38)
		1	複合破壊 (界面>下地層)	3.29		2.06
		1	複合破壊 (界面<下地層)	2.65		1.66
		5	下地層破壊	2.84 (2.22~3.55)		1.78 (1.39~2.22)
5	8	4	界面破壊	3.34 (2.28~3.97)	1,600	2.09 (1.43~2.48)
		1	複合破壊 (界面=下地層)	2.55		1.59
		3	下地層破壊	3.61 (2.98~4.05)		2.26 (1.86~2.53)
10	11	9	界面破壊	2.32 (1.25~3.84)	1,600	1.45 (0.78~2.40)
		2	複合破壊 (界面<下地層)	3.16 (3.07~3.25)		1.98 (1.92~2.03)
15	5	4	界面破壊	2.03 (1.11~3.26)	1,600	1.27 (0.69~2.04)
		1	複合破壊 (界面<下地層)	2.68		1.68

※複合破壊は、界面破壊と下地層破壊が複合的に起きた破壊形態であり、破壊割合に大小関係がみられた際は「>」、「<」にて、等しい割合であった際は「=」にて記す。

表-3 アンカー治具試験の付着強さ

Case	破壊形態	埋込位置 (mm)	個数	最大荷重 (kN)	破壊面積 (mm ²)	付着強さ (N/mm ²)
1	界面破壊	-6	2	0.30 (0.26~0.34)	1,398	0.21 (0.19~0.24)
		-2	1	0.32		0.23
		-1	2	0.30 (0.29~0.30)		0.21 (0.21~0.21)
	下地層破壊	-7	1	0.90		0.64
		-2	2	0.79 (0.77~0.81)		0.57 (0.55~0.58)
		-1	1	0.73		0.52
2	界面破壊	0	7	0.80 (0.16~1.25)	1,398	0.57 (0.11~0.89)
	下地層破壊	0	2	1.41 (1.26~1.55)		1.01 (0.90~1.11)
3	被覆層破壊	+1	1	2.63	1,398	1.88
	界面破壊	+1	1	0.28		0.20
		+2	6	1.00 (0.49~1.88)		0.71 (0.35~1.34)
		+3	2	1.83 (1.41~2.24)		1.31 (1.01~1.60)
	下地層破壊	+1	2	2.13 (1.85~2.40)		1.52 (1.32~1.72)
		+2	2	1.80 (1.62~1.97)		1.28 (1.16~1.41)
		+3	1	1.63		1.17
		+4	4	0.81 (0.28~1.33)		0.58 (0.20~0.95)
		+5	1	0.86		0.62
		+6	4	1.25 (0.63~2.17)		0.89 (0.45~1.55)
		+7	1	2.35		1.68

は付着強さが概ね 1.0~2.0N/mm²ある条件下で得られるものであり、付着強さが極端に低い条件においては今回の結果および傾向と異なる挙動を示す可能性がある。

4.2 アンカー治具試験

結果は破壊形態別に実際の埋込位置より得られた値を整理し、最大荷重、付着強さを平均値で示す。試験値のばらつき度合いは括弧書き（最小値~最大値）で示す。なお、本論では、アンカー治具試験によって界面破壊時の付着強さを得る方法について検討するため、界面破壊時の結果について考察する。

表-3 より各ケースの界面破壊時の付着強さは、Case1（被覆層内部）<Case2（界面）<Case3（下地層）の順で大きくなる傾向を示した。この要因を各ケースのねじ部が存在する領域と深さに着目し考察する。

今回使用したねじ固定式金属アンカーは、ねじ山が削

孔内面の材料にねじ込まれることで荷重抵抗をとるため、引張載荷時の応力はねじ部付近に生じる。従って、ねじ部が被覆層内部、界面、下地層内部のどの領域にあるかが重要となる。表-1 に示すように Case1 では埋込深さ 6, 8, 10mm 用のアンカー治具を使用することでねじ部は供試体表面からそれぞれ 6, 8, 10mm の被覆層に、Case2 では被覆層~界面に、Case3 では被覆層~界面~下地層にわたって存在する。

3 ケース中で Case1 の最大荷重が最小となったのは、ねじ部が被覆層だけに存在し下方の界面~下地層を引っ張る際の応力によりねじ部周辺の材料にて局所的せん断破壊が発生し、削孔内面での抵抗が弱まったためだと推察される。

Case2 の最大荷重が Case1 より大きい値を示したのは、Case2 のねじ部が Case1 と異なり被覆層~界面にかけ

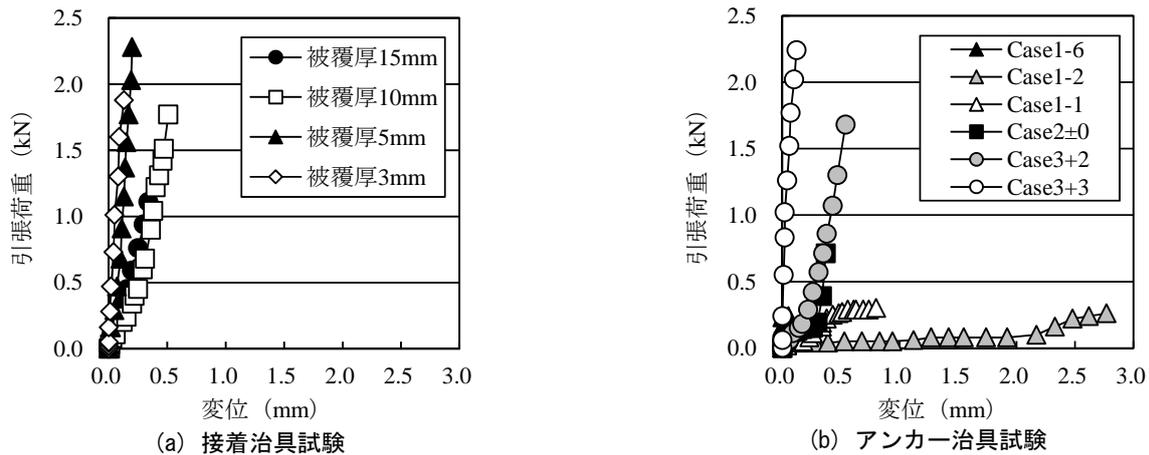


図-5 界面破壊時の荷重-変位曲線

て存在し、ねじ先端部からのコーン状の応力が被覆層にだけでなく界面にも影響したためと考える。ここで、通常、金属アンカーを引き抜いた際に発生する破壊パターンはコーン状破壊²⁾であることから、応力は不完全ねじ長を除いたアンカー先端を起点にコーン状に分布していると推察される。

3 ケース中で Case3 の最大荷重が最大となったのは、ねじ先端部 (1~3mm) に存在する下地層がコーン状に引っ張られることで、Case2 よりも広く界面に応力を作用させることができたためだと推察される。

次に、アンカー治具試験における適当なアンカー埋込位置について検討する。界面破壊となる際のアンカー埋込深さは、Case1 の-6mm から Case3 の+3mm の範囲であった。この範囲より得られた図-5 (b) に示す荷重-変位曲線に注目すると Case1, 2 のものより Case3 の方が、接着治具試験にみられた荷重-変位曲線と同様に直線的な傾向を示した。このことから、接着治具試験と同様に付着強さを得られる可能性があるアンカーの埋込位置は、界面から下地層内部に対して 2~3mm の範囲であることが示唆される。

しかし、この範囲の埋込深さより得られたアンカー治具試験の付着強さ $0.71\sim 1.31\text{N/mm}^2$ と接着治具試験より得られた付着強さ $1.27\sim 1.45\text{N/mm}^2$ (被覆厚: 10~15mm) を比較すると前者の方が小さくなった。この要因は前述したように荷重抵抗をとっているねじ部付近において、載荷時のせん断荷重による局所的な破壊が発生し、引張荷重の低下が起きたためと推察される。よって、最大荷重の低下要因については、ねじ山の大きさと引抜時の応力分布を詳細に検討する必要がある。この点については今後の検討課題とする。

5. おわりに

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 付着強さが概ね $1.0\sim 2.0\text{N/mm}^2$ ある条件下で実施した接着治具試験において、付着強さは被覆厚が浅くなるにしたがい大きくなり、試験器より得られる荷重-変位曲線は概ね直線の挙動を示す。
- 2) アンカー治具試験において接着治具試験と同様に界面破壊時の付着強さを得るためには、ねじを被覆層-下地層界面から下地層内部に対し 2~3mm の深さに埋込む必要がある。
- 3) 接着治具試験より得られる界面破壊時の荷重変位曲線は直線の挙動を示す。また、界面から下地層 3mm にアンカーを埋め込み実施したアンカー治具試験より得られる荷重-変位曲線もまた同様に直線的な傾向を示す。

謝辞

本論文を作成するにあたり、サンコーテクノ株式会社 の八木沢康衛氏には、ねじ固定式金属アンカー治具とそれに付随する試験器具の設計および開発に関してご協力いただいた。また、鳥取大学農学部の上三大輔氏には、試験時に協力いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 緒方英彦, 加藤諭, 清水邦宏, 金子英敏: 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, コンクリート工学年次論文集, vol.39, No.1, pp.1729-1734, 2017.7
- 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