

第4章 落下防止対策の性能試験法の検討

4.1 落下防止対策の性能試験法の提案

4.1.1 用語の定義

試験法を提案するにあたり、用語を以下のように定義する。

- ・ 供試体
ハンチや端部、角部を有するコンクリート版へ落下防止対策を施工した供試体であり、本研究で提案する各種試験を実施するためのもの。
- ・ コンクリート版
落下防止対策を施工するための鉄筋コンクリート製の版（落下防止対策を設置する前の供試体）。
- ・ 標準仕様
落下防止対策に用いる各工法（製造者）が定める施工条件や施工方法。
- ・ 押抜き圧子
押抜き試験において、落下防止対策に直接荷重を伝える円形、三角形、四角形の平面形状を有した柱状のブロック。平面形状によってそれぞれ円形圧子、三角形圧子、四角形圧子（長方形圧子、正方形圧子）と呼ぶ。
- ・ 圧子中心
押抜き圧子の平面形状において、円形圧子では円の中心、三角形圧子では正三角形の重心、四角形圧子では対角線の交点。
- ・ 供試体上面
構造物の上側を想定した面。
- ・ 供試体下面
構造物の下側を想定した面。
- ・ 標準部
供試体下面の平坦な部位。
- ・ 端部
供試体の上下面と1つの側面からなる部位。
- ・ 角部
供試体の上下面と2つの側面からなる部位。
- ・ 入隅部
供試体の2つの面が内向きに入りあってできる角の部分。
- ・ 出隅部
供試体の2つの面が外向きに出あってできる角の部分。
- ・ 圧子接合部
コンクリート版と圧子を接合している部分で、コンクリート版と圧子はこの部分で一体となっている。
- ・ 模擬補修部
落下防止対策が経年劣化等で剥がれた場合や、うき等が生じて落下防止対策の一部を除去

し、その上から補修を行うことを模擬した部分。

- 模擬うき部

コンクリート内部に鉄筋の腐食膨張などによる剥離によってうき（水平方向の薄い空洞）が生じていることを模擬した部分。

4.1.2 試験項目

以下の①～⑧の項目について、性能の違いを把握するための試験法を考え試行する。

①様々な部位から落下するコンクリート片に対する落下防止対策の耐荷性能

実構造物において落下防止対策の設置が想定される部材の形状（標準部、ハンチ部、端部、角部等）及び材料継手部、補修部を再現した供試体に落下防止対策を施工し、押し抜き試験による耐荷性能を確認する。

②様々な形状のコンクリート片に対する落下防止対策の耐荷性能

様々な形状のコンクリート片を想定した押し抜き圧子（円形、三角形、四角形）を作製し、それらの押し抜き圧子を用いた押し抜き試験による耐荷性能を確認する。

③落下防止対策補修部の耐荷性能

経年劣化等によって落下防止対策の補修を行った場合を想定した模擬補修部に対して、押し抜き試験による耐荷性能を確認する。

④実構造物を模擬した施工条件での落下防止対策の施工品質

実構造物での施工面の大きさを想定した供試体に対して、実際の施工体勢（下面からの施工）を模擬した状況で落下防止対策の施工を行い、接着試験によって落下防止対策が適切に施工されていることを（施工品質）を確認する。

⑤落下防止対策を補修した場合の施工品質

経年劣化等によって落下防止対策の補修を行った場合を想定し、落下防止対策の模擬補修を行い、接着試験によって落下防止対策の補修が適切になされていることを確認する。

⑥落下防止対策上からのうきの検知性能

落下防止対策を施工した構造物にうきが生じた場合を想定し、供試体内部に作製した模擬うき部に対して、打音検査によるうきの検知性能を確認する。また、赤外線サーモグラフィ検査などの非破壊調査を活用する場合を想定した試験も行う。

⑦落下防止対策上からの滞水の検知性能

落下防止対策の施工後にひび割れ等から落下防止対策内側（裏側）に水が作用した場合を想定し、供試体に施工した貫通ひび割れから水を作用させ、落下防止対策上からの滞水の検知性能について確認する。

⑧落下防止対策上からのひび割れの検知性能

落下防止対策を施工した構造物にひび割れが生じた場合を想定し、供試体にひび割れを発生させ、落下防止対策上からのひび割れの検知性能について確認する。

4.1.3 試験の種類

本検討で提案する試験の種類を表 4.1.1 に示す。

表 4.1.1 試験一覧

試験番号	確認項目	試験種類	試験位置	落下防止対策の処理	押抜き圧子形状
Case1	耐荷性	押抜き試験	標準部	-	○(100mm)
Case2			標準部	-	△(83mm)
Case3			ハンチ部	-	○(100mm)
Case4			材料継手部	ラップ	○(100mm)
Case5			端部	立上げあり	○(100mm)
Case6			端部	立上げなし	○(100mm)
Case7			角部	2面立上げ	○(100mm)
Case8			角部	1面立上げ	○(100mm)
Case9			角部	立上げなし	○(100mm)
Case10			間詰め部	2辺切断	□(270×990mm)
Case11			間詰め部	2辺切断	□(270×270mm)
Case12			模擬補修部	ラップ	○(100mm)
Case13	施工品質の確保	接着試験	標準部	-	-
Case14			模擬補修部	ラップ	-
Case15	維持管理の 確実性及び 容易さ	うき検知試験	模擬うき部	-	-
Case16		滞水検知試験	模擬滞水部	-	-
Case17		ひび割れ検知試験	ひび割れ部	-	-

4.1.4 試験概要

試験概要を(1)～(5)に示す。なお、使用する供試体や試験位置、圧子の作製方法等の詳細については 4.3.供試体、4.4 試験方法に示す。

(1) 押抜き試験

押抜き試験位置のイメージ図をに示す。

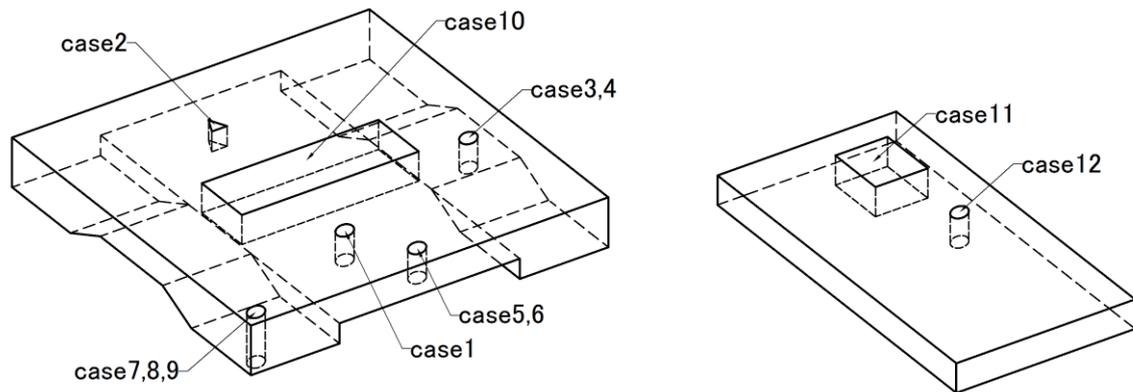


図 4.1.1 押抜き試験位置イメージ

- case1 は既存の押抜き試験を再現したものであり、平面に設置された落下防止対策を ϕ 100mm の圧子を用いて試験を行う (図 4.1.1)。標準試験と位置づけ、他の試験条件との比較対象とするものである。
- case2 では、押抜き圧子の形状を既存の試験方法にある ϕ 100mm から三角形に変化させ、圧子形状による押抜き耐力への影響を確認する (図 4.1.1)。既往の研究¹⁾では、圧子の形状を円形から三角形及び四角形に変化させた押し抜き試験を実施しており、押し抜き耐力と圧子の周長の関係は、圧子の形状ごとにほぼ線形であり、周長が小さくなるほど押し抜き耐力は小さくなることが確認されている。しかし、押し抜き耐力と圧子の周長の関係が線形であっても、円形と三角形ではその分布が異なり、同じ周長における円形と三角形の押し抜き耐力を比較した場合、円形に比べて三角形の押し抜き耐力は 50%程度まで低下することが確認されている。これは、圧子の角形状の影響によるものと考えられる。また、この研究で対象とした工法は無機系ポリマーセメントモルタルを被覆材としたメッシュ工法であり、有機系被覆材を用いた工法での検討は行っていない。有機系の被覆工法では、剥落片の形状が鋭利であった場合、応力集中によって界面剥離より先に被覆材が切れる可能性があため、これらの影響について確認を行う。
- case3 では、ハンチ部の入隅付近での押抜き試験を行い、ハンチ部の形状による押抜き耐力への影響を確認する。既存の研究²⁾では、トンネルアーチ部など曲率が落下防止対策の剥離進展時に耐荷力に影響を与えることが報告されている。ハンチ部の寸法は、設計施工マニュアル³⁾を参考に設定する。図 4.1.2 に case3 (ハンチ部) の落下防止対策設置イメー

ジを示す。

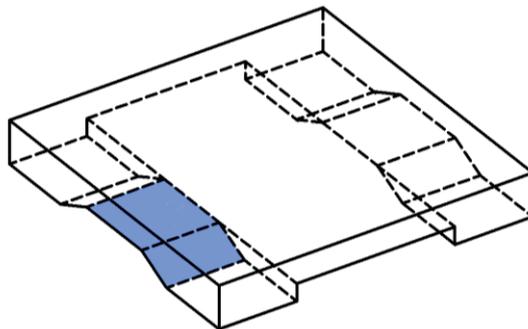


図 4.1.2 case3 (ハンチ部) 落下防止対策設置イメージ

- case4 では、材料継手部が押抜き耐力に与える影響を確認する。落下防止対策は、シートの寸法や施工区間・時期の制限等により施工継ぎ目が発生する場合がある。通常、継ぎ目部は材料を重ね合わせてラップさせることにより処理されることから、圧子直下に材料継手部を設けることとする。なお、施工継ぎ目は標準部のみではなくハンチ部や端部、角部等の様々な形状の部位に設けられることも想定されるため、ここでは、ハンチ部に材料継手部を設けることとする。図 4.1.3 に case4 (材料継手部) の落下防止対策設置イメージを示す。

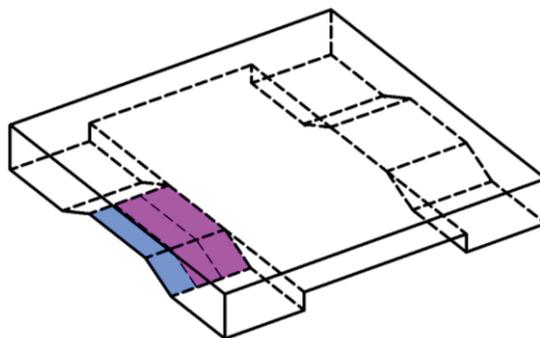


図 4.1.3 case4 (材料継手部) 落下防止対策設置イメージ

- case5～9 では、端部及び角部の形状が押抜き耐力に与える影響を確認する。落下防止対策を実際に施工する際には、ほとんどの場合で施工範囲に構造物の端部及び角部が存在する。その近辺におけるコンクリート片の落下を想定した場合、落下防止対策に必要な定着長が確保できない可能性がある。case5、case6 では圧子の 1 側面が端部となる条件とする。鉛直面への落下防止対策の立上げ処理の効果を確認するため、case5 では立上げ処理を行い、case6 では立上げ処理を行わない条件とする。case7～9 は圧子の 2 側面が端部形状となる角部での押抜き試験である。case7 では落下防止対策を 2 側面に、case8 では 1 側面のみ鉛直面へ立上げ処理を行う。case9 では鉛直面へ立上げ処理を行わない条件とする。図 4.1.4 に case5～9 (端部、角部) の落下防止対策設置イメージを示す。

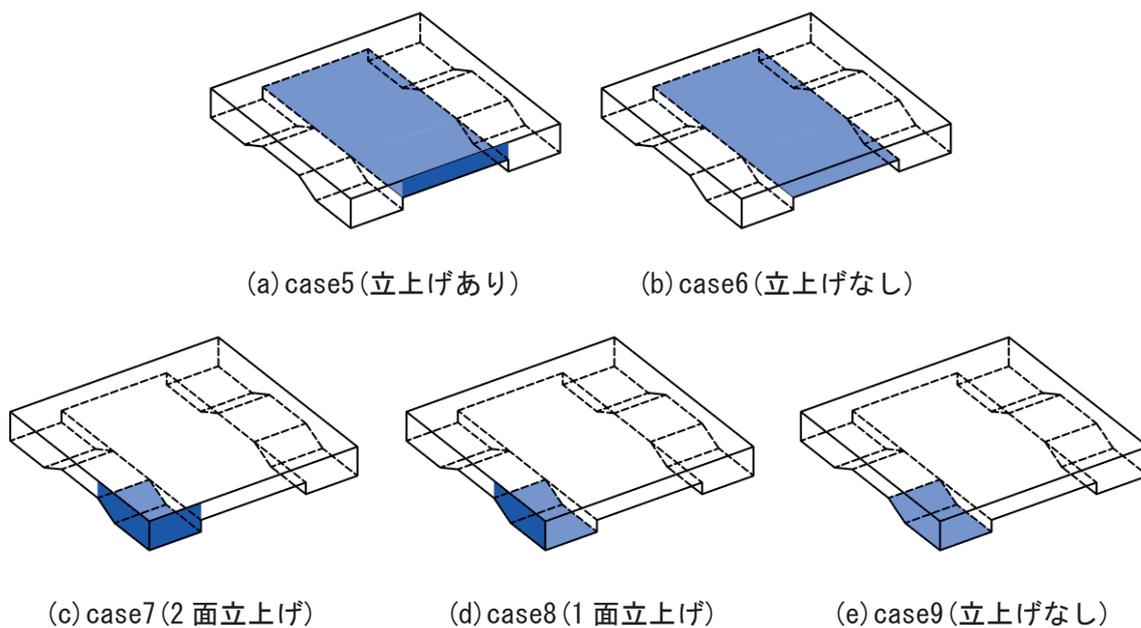


図 4.1.4 case5～9（端部、角部）落下防止対策設置イメージ

- case10、11 では、間詰め部の落下を想定した四角形の圧子を使用し、圧子形状による押抜き耐力への影響を確認する（図 4.1.1）。間詰め部では、橋軸方向に連続した抜け落ちが想定されるため、剥落片の荷重に抵抗する落下防止対策の剥離周長のうち、橋軸直角方向 2 辺の抵抗が期待できず、橋軸方向 2 辺の支持となることが想定される。case10 での圧子の寸法は、PCT 桁の間詰め床版を想定し、昭和 54 年制定プレテン T 桁標準図及び昭和 46 年以前の横締め間隔を参考に圧子の寸法を設定する。case11 では、寸法の影響を把握するために case10 の長さ方向のみ寸法を縮小させたものとする。
- case12 では、落下防止対策の補修部が押抜き耐力に与える影響を確認する。落下防止対策を補修した場合に、既存部との接着性が十分に確保できない、ラップ部の剛性が高く、剥落への追従性がない等を想定したものである。補修を想定した切欠き部の寸法は、第 2 章の実態調査結果を参考に設定する。図 4.1.5 に case12（模擬補修部）の落下防止対策設置イメージを示す。

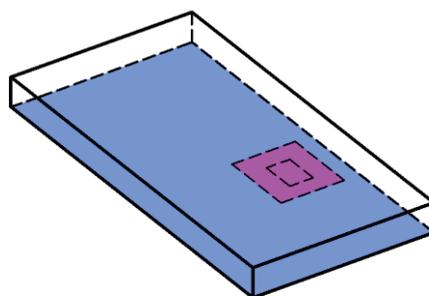


図 4.1.5 case12（模擬補修部）落下防止対策設置イメージ

(2) 接着試験

- case13 では、標準部に施工された落下防止対策に対して接着試験を実施する。落下防止対策がその標準的な施工方法に従って施工され、所定の品質が確保されていることを確認するものである。図 4.1.6 に case13（標準部）接着試験イメージを示す。

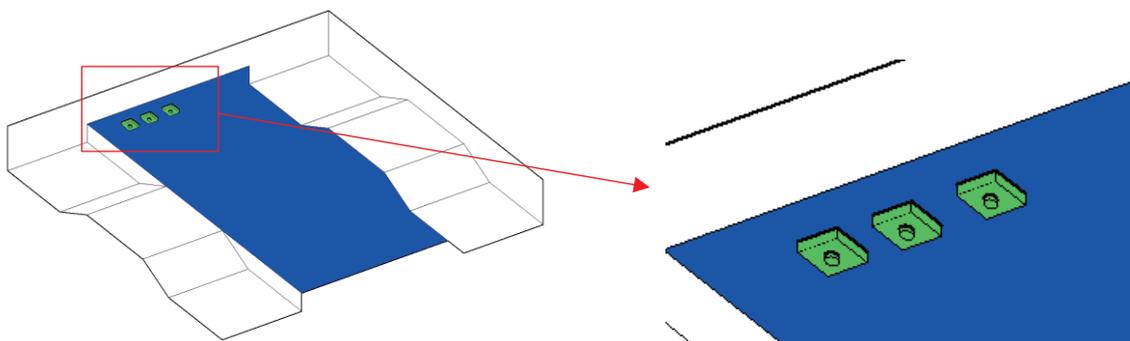


図 4.1.6 case13（標準部）接着試験イメージ

- case14 では、補修を行った落下防止対策に対して接着試験を実施する。落下防止対策を補修した場合に、既存部と補修部の接着性が標準部と同等以上に確保されているか確認するものである。図 4.1.7 に case14（模擬補修部）接着試験イメージを示す。

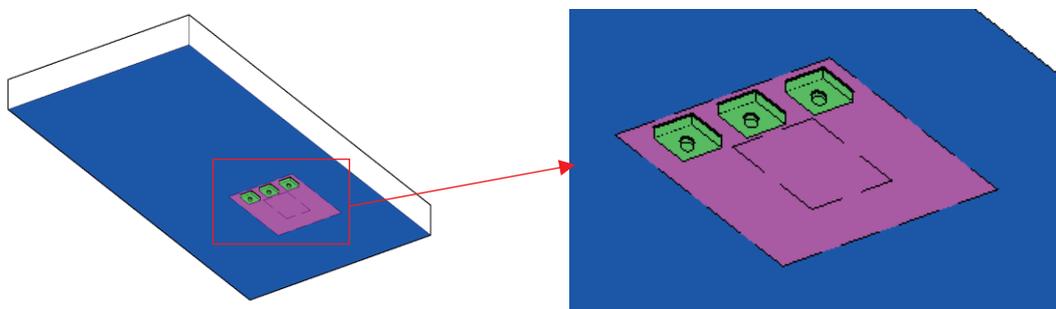


図 4.1.7 case14（模擬補修部）接着試験イメージ

(3) うき検知試験（case15）

うき検知試験では、落下防止対策施工後うきが発生した場合を想定した試験であり、落下防止対策設置前後のうきの検知度合について比較することで、落下防止対策上からのうきの検知性について確認する。

(4) 滞水検知試験（case16）

落下防止対策設置後にひび割れ等から落下防止対策に水が作用した場合を想定した試験であり、供試体にあらかじめ貫通ひび割れを模擬したスリットを作製し、供試体上面から貫通ひび割れに注水した場合の落下防止対策上からの滞水検知の可否、滞水による落下防止対策の変状（染み出し、はがれ、ふくれ等）の出方、または、変状の兆候が現れ難いという特性

を有するのかを確認する。

(5) ひび割れ検知試験 (case17)

落下防止対策設置後に構造物にひび割れが発生した場合を想定した試験であり、落下防止対策を施工した供試体に対して曲げ載荷を行って供試体にひび割れを導入し、落下防止対策上からのひび割れ検知の可否、落下防止対策のひび割れ追従性を確認する。

4.2 検証対象とする落下防止対策の選定

4.2.1 検証実験に用いた落下防止対策

検証実験で用いた落下防止対策の分類例を図 4.2.1 に示す。各工法に多様な製品がある中から工法毎にランダムに 1 技術程度ずつ合計 5 技術選定した。

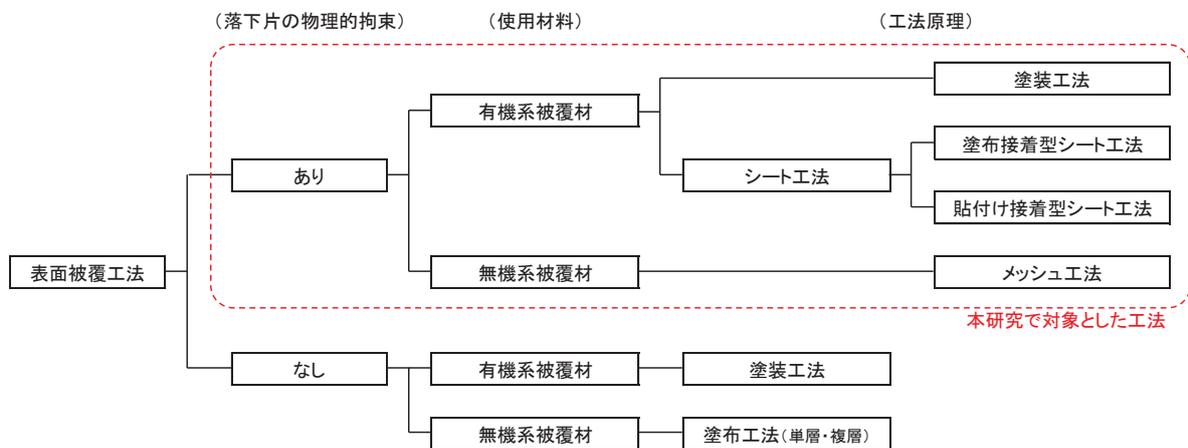


図 4.2.1 表面被覆工法の分類例

4.2.2 各技術の概要及び標準仕様

選定した 5 技術の概要及び標準仕様 (表 4.2.1) を以下に示す。

- ・技術 A は、塗装工法である。強靱な樹脂膜特性を備えた無溶剤系ウレタン／ウレア樹脂塗料を中塗り材とし、コンクリート表面にコテ塗りによって塗膜を作製する技術である。連続繊維シートなどの補強材は貼り付けない。
- ・技術 B は、塗布接着型シート工法である。アラミド繊維を二方向に配列して織りあげたシートを、エポキシ樹脂を含浸させながらコンクリート表面に貼り付ける技術である。
- ・技術 C は、貼付け接着型シート工法である。工場製作の特殊ラミネートシート 1 層をエポキシ樹脂接着剤でコンクリート表面に貼り付ける技術である。特殊ラミネートシート内の繊維シートはビニロン 3 軸メッシュである。
- ・技術 D は、メッシュ工法である。アラミド繊維とビニロン繊維の 2 軸ネットにポリプロピレンの不織布を合体したシートをポリマーセメントモルタルでコンクリート表面に貼り付ける技術である。

- ・技術 E は、塗布接着型シート工法の内、施工後も下地コンクリートを可視化できる材料を用いる方法である。ガラス連続繊維シートをポリウレタン樹脂で含浸しながらコンクリート表面に貼り付ける技術である。ここでは、可視化工法と呼ぶこととする。

表 4.2.1 選定した 5 技術の標準仕様

技術名 (工法区分)	技術A (塗装工法)	技術B (塗布接着型シート工法)	技術C (貼付け接着型シート工法)	技術D (メッシュ工法)	技術E (可視化工法)
繊維シートの種類	---	アラミド繊維シート	ビニロン3軸メッシュシート	アラミド繊維・ビニロン繊維の 2軸メッシュシート	ガラス繊維シート
接着剤の種類	ウレタン/ウレア樹脂	エポキシ樹脂	エポキシ樹脂	ポリマーセメントモルタル	ポリウレタン樹脂
適用条件	気温5℃以上	気温5℃以上	気温5℃以上	気温5℃以上	気温2℃以上
	湿度85%以下	湿度85%以下	湿度85%以下	高湿でも施工可能	湿度85%以下
	表面含水率8%以下	表面含水率8%以下	表面含水率8%以下	表面含水率の管理不要	表面含水率8%以下
標準工程	5工程	4工程	4工程	5工程	4工程

4.3 供試体

4.3.1 供試体の計画

供試体は橋梁のコンクリート床版を再現した鉄筋コンクリート版とした。実施工に類似した施工条件とするため、外形寸法は供試体 I では 2000mm×2000mm、供試体 II では 2000mm×1000mm とし、落下防止対策を供試体下面に上向き作業で設置できるようにする。供試体の形状寸法及び供試体で実施する試験を表 4.3.1、供試体概形を図 4.3.1、供試体各部の名称を図 4.3.2 に示す。

表 4.3.1 供試体の形状寸法及び実施する試験

名称	形状寸法 (mm)	実施する試験
供試体 I	2000×2000×160~230 (ハンチ付き)	押抜き試験 : case1~10 接着試験 : case13 滞水検知試験 : case16
供試体 II	2000×1000×160 (ハンチなし)	押抜き試験 : case11、12 接着試験 : case14 うき検知試験 : case15 ひび割れ検知試験 : case17



(a) 供試体 I (下面)



(b) 供試体 II (下面)

図 4.3.1 供試体概形

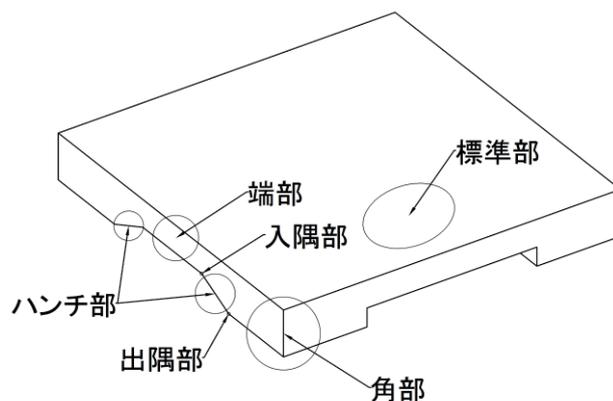


図 4.3.2 供試体各部の名称

4.3.2 試験位置の計画

(1) 押抜き試験位置の設定

押抜き試験では、押抜き変位と共に落下防止対策の剥離範囲が増加していくことが一般的である。一方、実構造物での落下防止対策の設置は、限られた区間や範囲で設置されることから過剰な剥離範囲の増大は望ましくない。また、剥離範囲の増大は過剰な変位の発生をもたらす。したがって、本研究では、剥離範囲の制限を予め設定し、剥離制限範囲が重ならないように圧子間隔を設定する（図 4.3.3）。剥離制限範囲は既往の押抜き試験を参考に、標準試験となる case1 の他、case2、13 では 400mm×400mm に設定する。貼付け形状が特殊な case3~11 では定着部分を多めにとり、総幅を 50mm 刻みで設定する。剥離制限範囲の設定を図 4.3.4 に示す。押抜き試験では、剥離制限範囲まで落下防止対策の剥離が達した場合には载荷を終了することになる。

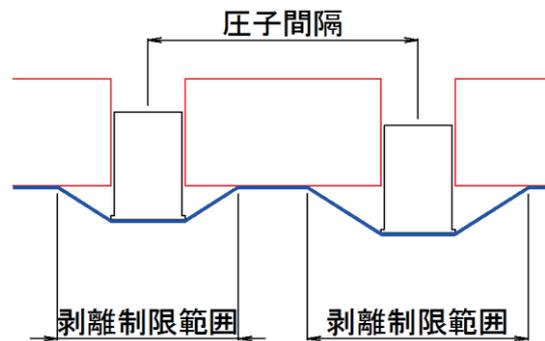


図 4.3.3 圧子間隔の設定

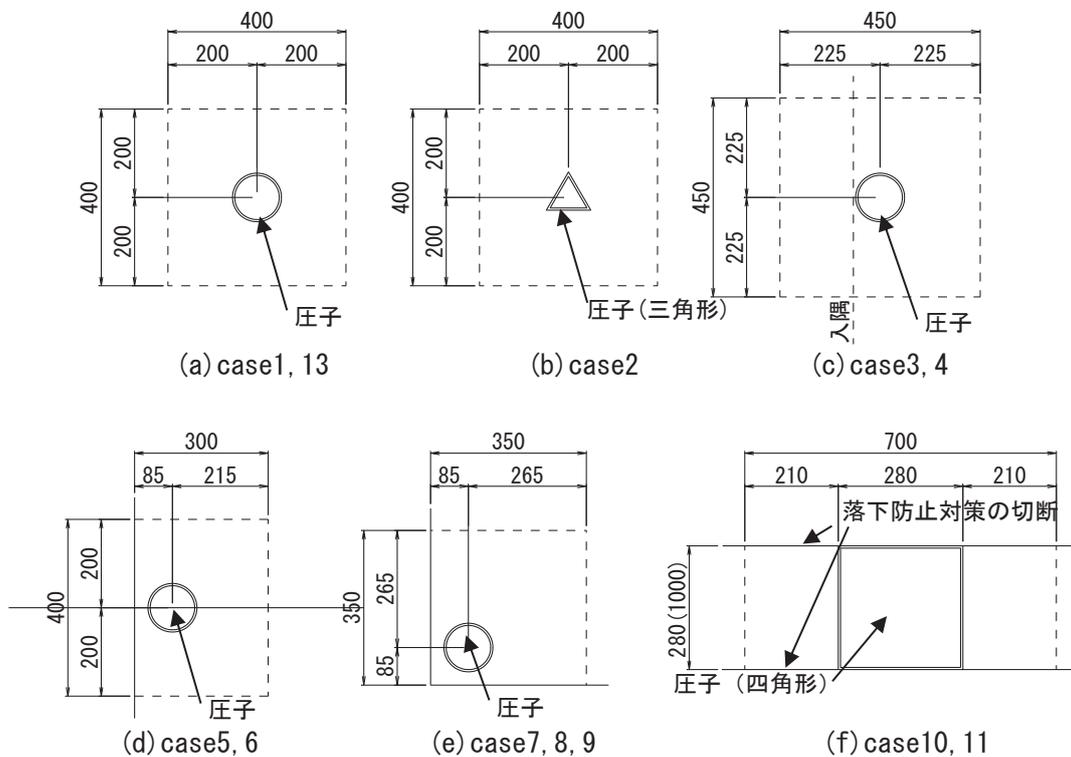


図 4.3.4 剥離制限範囲の設定

1) 標準部

標準部の試験位置は、押抜き試験による剥離範囲が、ハンチ部や端部、角部等の供試体形状の影響を受けない位置に設定する。

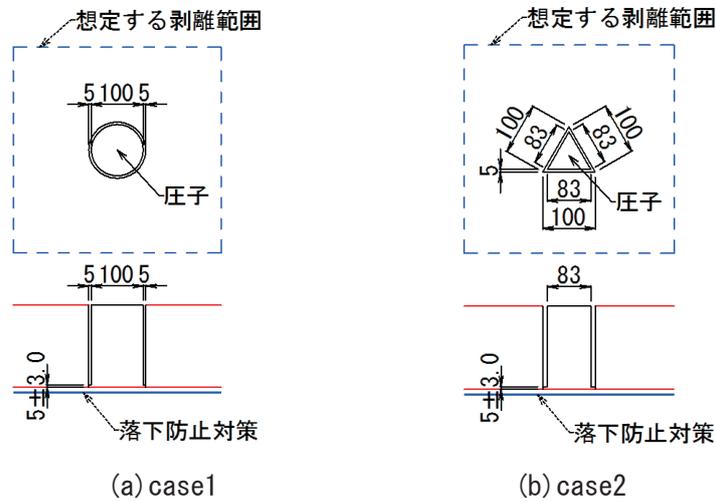


図 4.3.5 押抜き試験位置（標準部）

2) 間詰め部

間詰め部の試験位置は、押抜き試験による剥離範囲が、ハンチ部や端部、角部等の供試体形状の影響を受けない位置に設定する。なお、case10、11 では、四角形圧子の短辺に沿って落下防止対策に切り込みを入れ、圧子が 2 辺支持条件となるようにする。

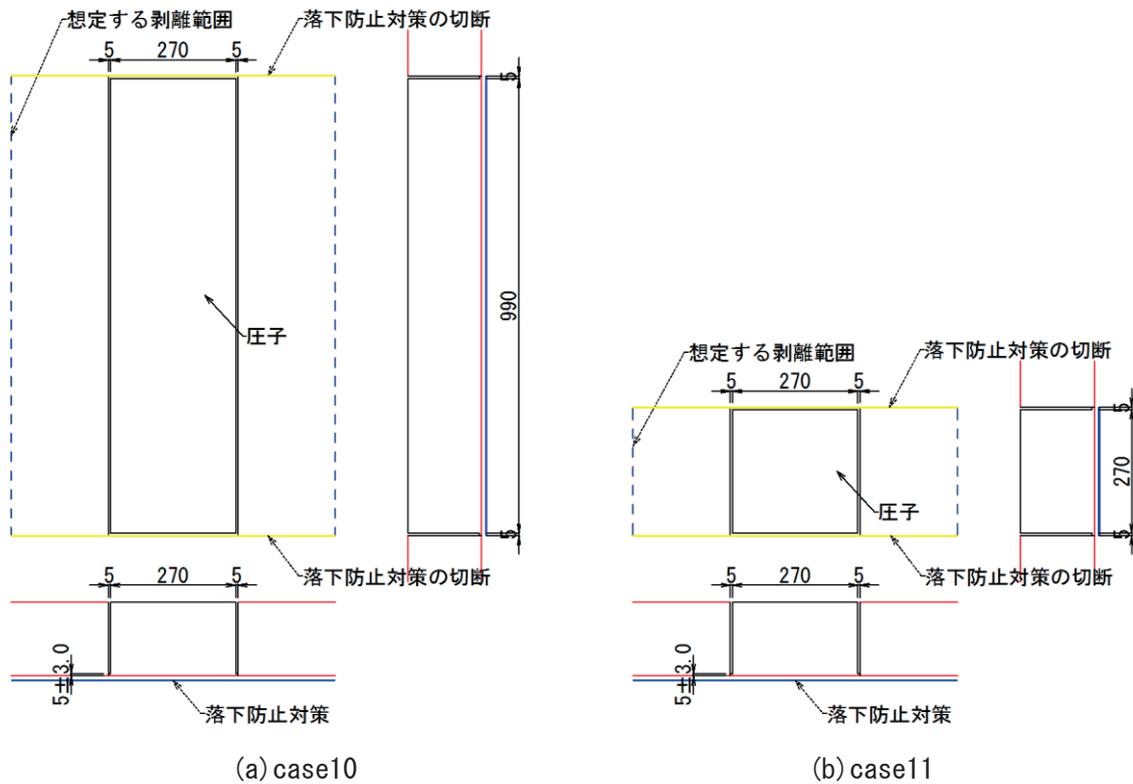
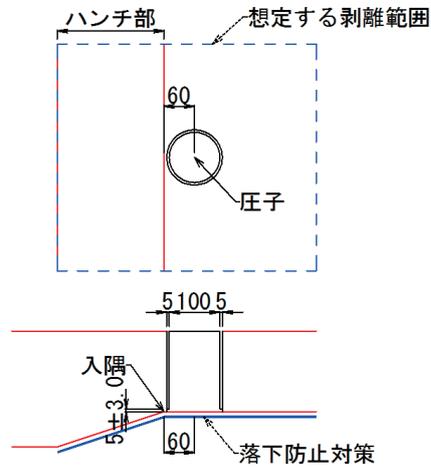


図 4.3.6 押抜き試験位置（間詰め部）

3) ハンチ部

圧子自体は入隅形状とせず、折り曲げ部へ極力近接した位置での载荷とするため、ハンチ部の入隅から圧子中心までの距離を 60mm とする。

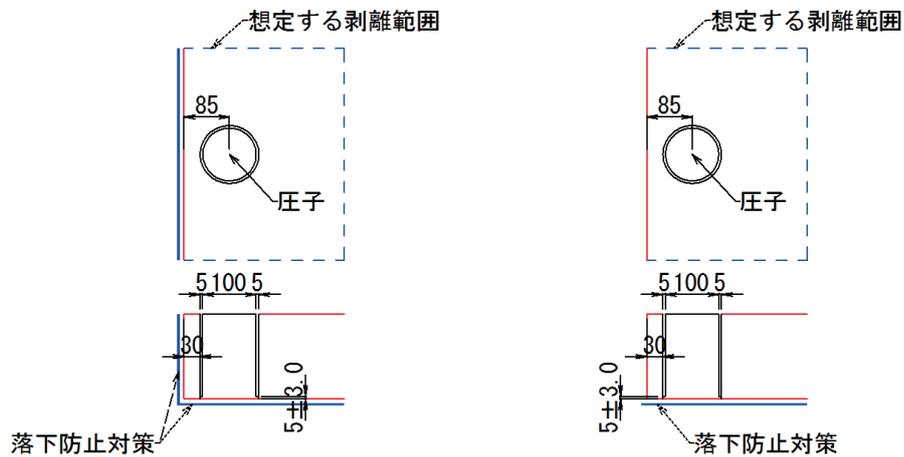


case3

図 4.3.7 押抜き試験位置 (ハンチ部)

4) 端部、角部

落下防止対策の立上げ処理を可能とするコンクリート面を 30mm 程度確保するため、供試体側面から圧子中心までの距離を 85mm とする。



(a) case5

(b) case6

図 4.3.8 押抜き試験位置 (端部)

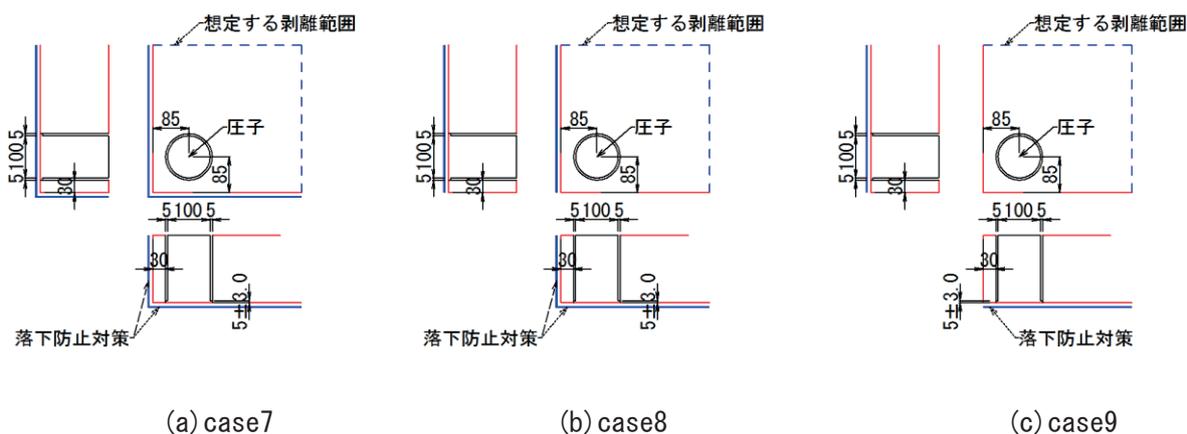


図 4.3.9 押抜き試験位置（角部）

5) 材料継手部

落下防止対策の材料をラップさせて施工した部分とし、圧子中心の位置はラップ幅の中央位置とする。入隅から圧子中心までの距離を 60mm とする。

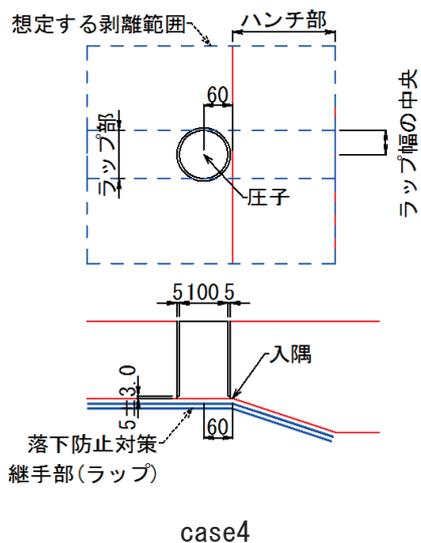


図 4.3.10 押抜き試験位置（材料継手部）

6) 模擬補修部

落下防止対策の模擬補修を行った切欠き部から圧子中心までの距離を 75mm とし、その直角方向は切欠き部の中央位置とする。切欠き部の寸法は第 2 章の実態調査において最も多くの剥落事例が見られた 100cm² 未満を参考にし 100×100mm とする。

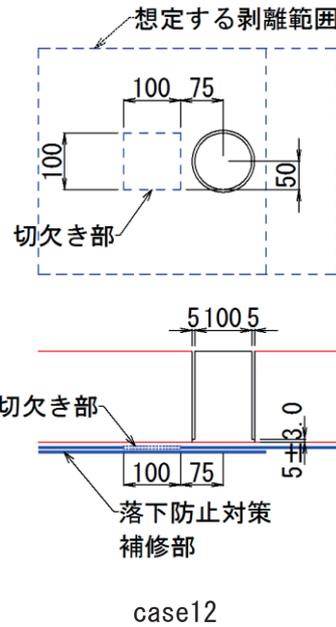


図 4.3.11 押抜き試験位置（模擬補修部）

(2) 接着試験位置の設定

接着試験の実施位置は、標準部と模擬補修部とし、それぞれ 3 箇所実施する。3 箇所の間隔は引張装置の仕様に従って設定する。模擬補修部では、図 4.3.12 に示すように落下防止対策のラップ範囲で実施する。接着試験箇所の大きさは 40×40mm とする。

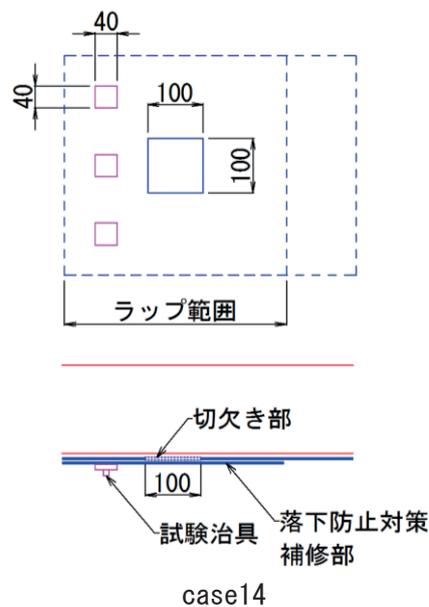


図 4.3.12 接着試験位置（模擬補修部）

4.3.3 供試体の製作

(1) 使用材料

供試体に使用した材料、示方配合、強度特性は以下の通りである。

- ・コンクリート：早強コンクリート $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$
- ・鉄筋：SD345

表-4.3.2 使用材料一覧

品別	種類	産地または品名	製造会社
セメント	早強ポルトランドセメント	太平洋セメント	太平洋セメント（株）
細骨材①	砕砂	栃木産	
細骨材②	砕砂（石灰砕砂）	佐野産	
粗骨材	砕石	岩舟砕石 2005	
混和剤	AE 減水剤標準形 I 種	マスターポゾリス 78S	BASF ジャパン（株）
水	上水道水以外の水	地下水	

表-4.3.3 配合表

粗骨材の 最大寸法 [mm]	スラング [mm]	空気量 [%]	水/C比 W/C [%]	細骨材率 s/a [%]	単位量 [kg/m ³]					
					セメント C	水 W	細骨材 S		粗骨材 G	混和剤 A
							①	②		
20	8	4.5	56.5	48.1	289	163	620	266	958	3.47

表-4.3.4 コンクリート物性試験結果（ σ_{28} ）

(a) コンクリート圧縮強度試験

番号	直径 mm			断面積 mm ²	最大荷重 kN [tf]	圧縮強度 N/mm ² [kgf/cm ²]	密度 (g/cm ³)	備考
	D1	D2	平均					
σ_{28} - No.1	99.8	99.6	99.7	7806.1	341.2 [34.79]	43.71 [445.7]	2.343	σ_{28}
σ_{28} - No.2	99.8	99.8	99.8	7818.7	335.4 [34.20]	42.90 [437.4]	2.363	
σ_{28} - No.3	99.7	99.6	99.7	7803.0	337.6 [34.43]	43.27 [441.2]	2.338	
平均	—	—	—	—	— [—]	43.29 [441.4]	2.348	

(b) コンクリート引張強度試験

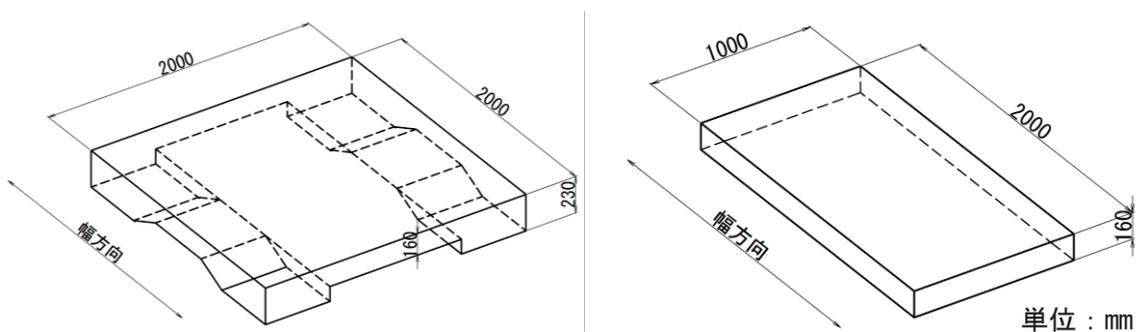
番号	直径 mm			最大荷重 kN [tf]	長さ mm			引張強度 N/mm ² [kgf/cm ²]	備考
	D1	D2	平均		L1	L2	平均		
σ_{28} - No.4	99.8	100.2	100.0	93.6 [9.545]	200.48	200.81	200.65	2.97 [30.3]	
σ_{28} - No.5	99.8	100.2	100.0	90.6 [9.239]	201.13	201.97	201.55	2.86 [29.2]	
σ_{28} - No.6	100.0	99.5	99.8	140.3 [14.31]	201.03	200.97	201.00	4.45 [45.4]	
平均	—	—	—	— [—]	—	—	—	3.43 [35.0]	

(2) 供試体の形状及び配筋

供試体Ⅰでは、実構造物において落下防止対策の設置が想定される形状（平面、鉛直面、ハンチ等）を模擬する。標準部の床版厚は160mmとし、ハンチ部の形状は、高さ70mm幅210mm（1:3）とした。供試体中央部には、T桁橋の間詰コンクリート部を模擬する。また、貫通ひび割れを模擬するためのスリットを設置した。供試体Ⅱでは、主として維持管理の確実性及び容易さについて確認する試験を想定しており、床版厚は160mmとしハンチ形状は設けていない。

使用した鉄筋は、道路橋示方書・同解説⁴⁾で規定される上部構造で用いられる最小径となるD13とし、押抜き試験の圧子寸法（外形φ110mm）と鉄筋径を考慮し、150mmピッチを基本として配筋する。上面は、圧縮鉄筋量として一般的な引張鉄筋（下面鉄筋）の1/3以上を配置する。

また、供試体Ⅰ、供試体Ⅱに共通して、供試体周囲の出隅部は面木を用いて面とりを行う。供試体の外形寸法を図4.3.13、配筋状態を図4.3.14、供試体Ⅰ、供試体Ⅱの構造図及び配筋図を図4.3.15～図4.3.18に示す。構造図、配筋図中の数字1～17は各種試験（case1～case17）を行う位置を示している。



(a) 供試体Ⅰ

(b) 供試体Ⅱ

図 4.3.13 供試体の外形寸法



(a) 供試体Ⅰ

(b) 供試体Ⅱ

図 4.3.14 供試体配筋状況

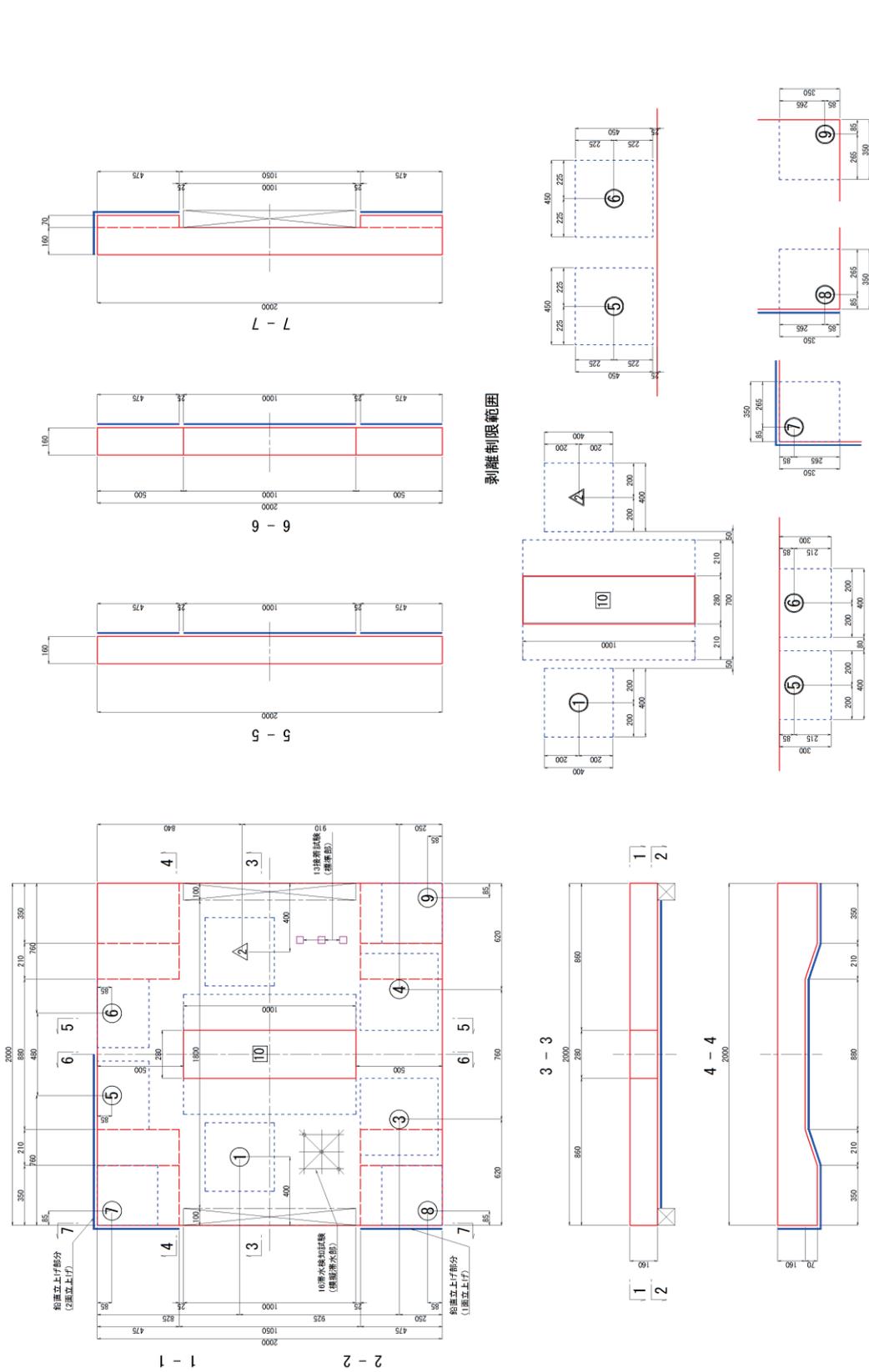


図 4.3.15 供試体構造図 (供試体 I)

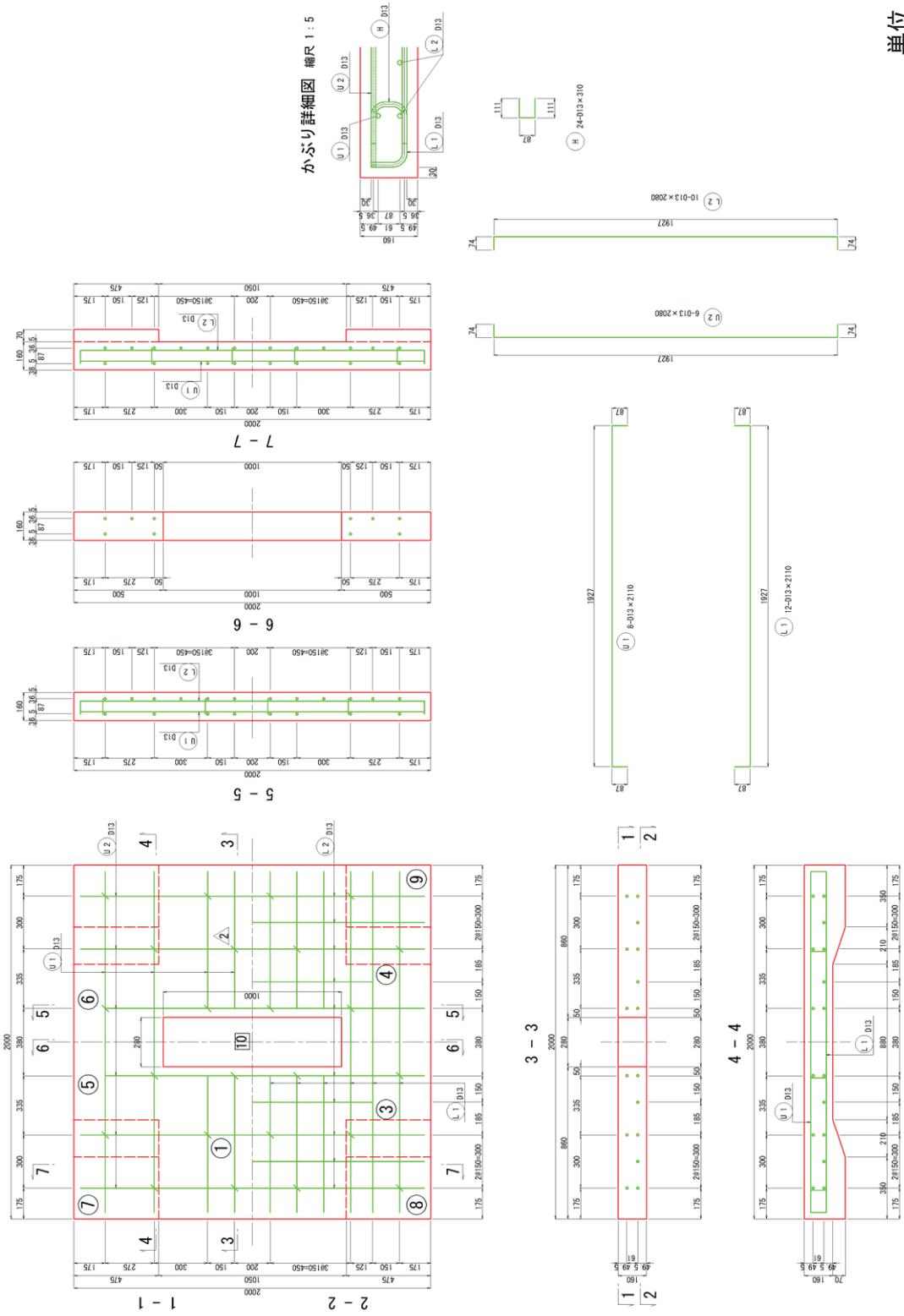
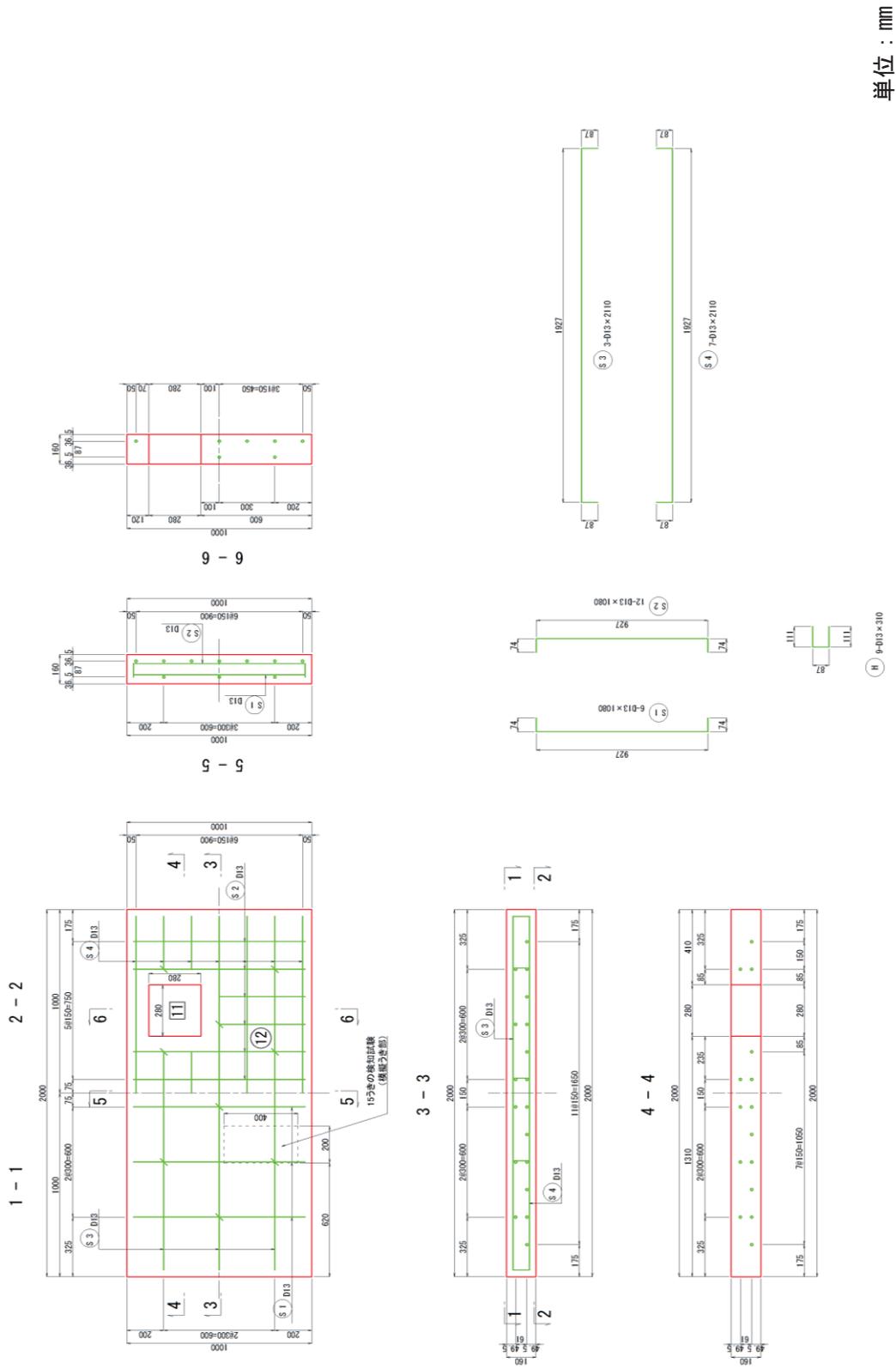


図 4.3.16 供試体配筋図 (供試体 I)

単位：mm



単位：mm

図 4.3.18 供試体配筋図 (供試体Ⅱ)

(3) 押抜き圧子の作製

押抜き圧子は押抜き試験によって圧子自身に過度の変形や破壊が生じず、圧子を鉛直に押すことができる高さでなければならない。そこで本試験では、押抜き圧子が供試体と同等以上の強度を有するように、供試体から採取したコア、または、供試体に使用したコンクリートと同じ配合のコンクリートで圧子を作製する。円形圧子についてはコンクリートコアドリルによってコアを採取し、図 4.3.19 に示すようにコアと供試体との接合部を供試体と同等以上の強度を有する断面修復材で成型する。また、三角形圧子と四角形圧子はコンクリートコアドリルによる成型ができないため、図 4.3.20 に示すようにコンクリート打設前にあらかじめ箱抜き枠を設置して押抜き圧子を作製する。押抜き圧子の作製方法を 1)~4)に示す。

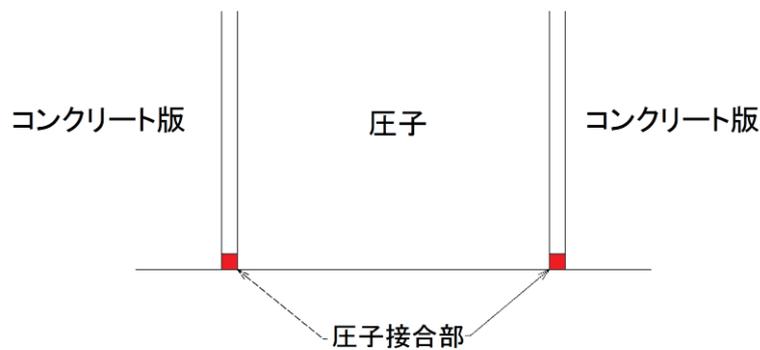


図 4.3.19 押抜き圧子接合部

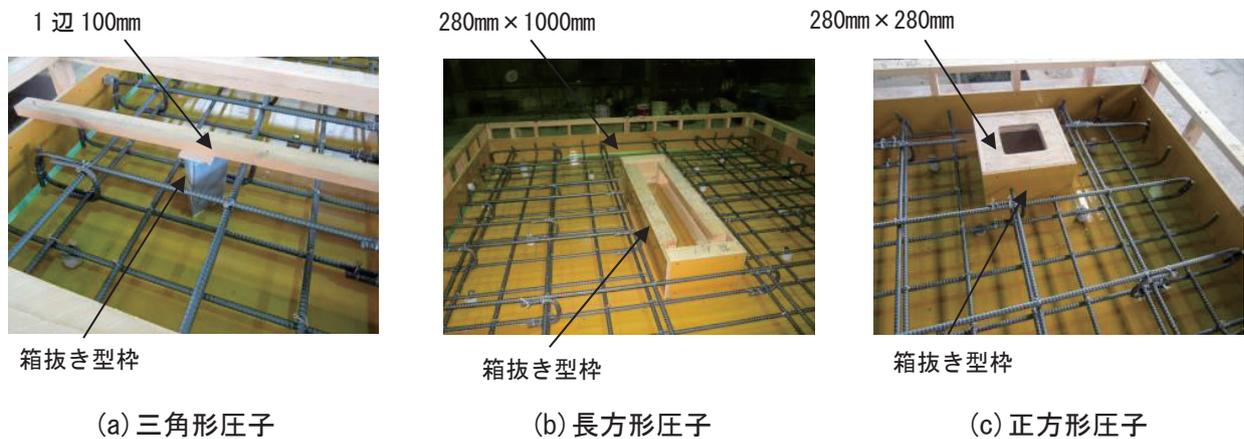


図 4.3.20 箱抜き型枠設置

1) 円形圧子

円形圧子の固定方法を図 4.3.21、作製手順を図 4.3.22 に示す。

- ① 所定の載荷位置に $\phi 100\text{mm}$ の圧子（貫通コア）を設ける。コア削孔はドライコンクリートカッターを使用し、落下防止対策施工面の反対面（上面側）より行う。
- ② コアを再設置し支柱等で仮受けする。
- ③ 供試体本体との離隔を均等にするための離隔調整材（1 重目）を供試体上面側からコア中心部付近に設置する。
- ④ 離隔調整材（2 重目）を供試体表面（上面）付近に設置する。
- ⑤ 供試体本体とコアを固定する断面修復材を施工するための離隔調整材を供試体下面側から設置する。
- ⑥ 離隔調整材を下面から $5\pm 3.0\text{mm}$ の位置となるように調整する。
- ⑦ 断面修復材を供試体下面とコアの隙間に充填する。
- ⑧ 断面修復材施工面が平坦となるように仕上げる。

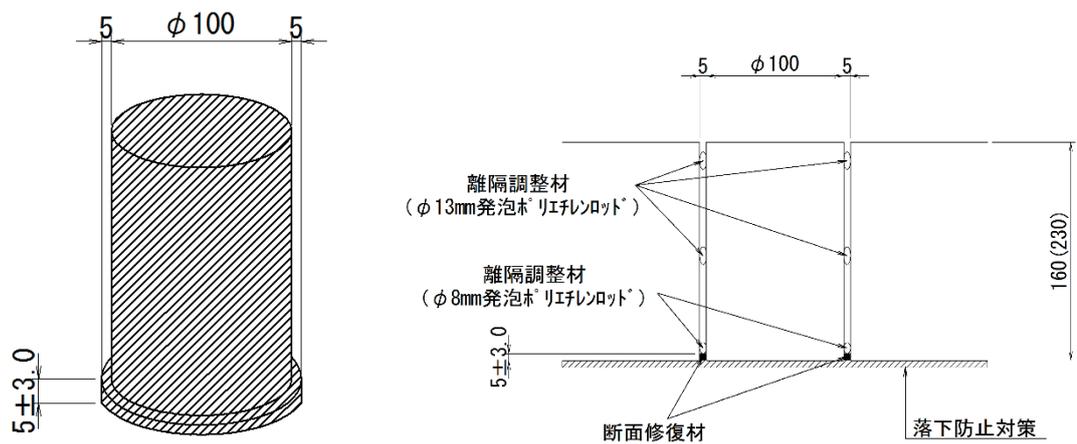


図 4.3.21 円形圧子と固定方法



①貫通コアの採取



②復旧コア仮受け



③離隔調整材 (φ13mm)
上面側より1重目設置



④離隔調整材 (φ13mm)
上面側より2重目設置



⑤離隔調整材 (φ8mm)
下面側より設置



⑥離隔調整材設置位置調整



⑦離隔調整材設置位置計測
底面より5mm確保



⑧断面修復材充填
左官作業



⑨断面修復材充填完了

図 4.3.22 円形圧子の作製手順

2) 三角形圧子

三角形圧子とその固定方法を図 4.3.23、作製手順を図 4.3.24 に示す。三角形圧子はコア削孔ができないため、三角形の箱抜きを設けて後打ちコンクリートにより作製する。

- ①コンクリート打設前の型枠に箱抜き用型枠を設置する。
- ②コンクリート打設後箱抜き型枠を撤去する。
- ③圧子の形状は正三角形とし、1辺の長さを 100mm とした発泡型枠を作製する。
- ④箱抜きと圧子の隙間を確保するため、箱抜きの周面に厚さ 5mm の発泡型枠を取付ける。
発泡型枠の周囲には、撤去を容易にするために厚さ 0.2mm 程度のアルミ板等を挿入しておく。なお、供試体本体と圧子を固定するため、発泡型枠は底面から 5mm 浮かせて固定し、後打ちコンクリートを打設する。
- ⑤後打ちコンクリート打設後に発泡型枠を撤去する。

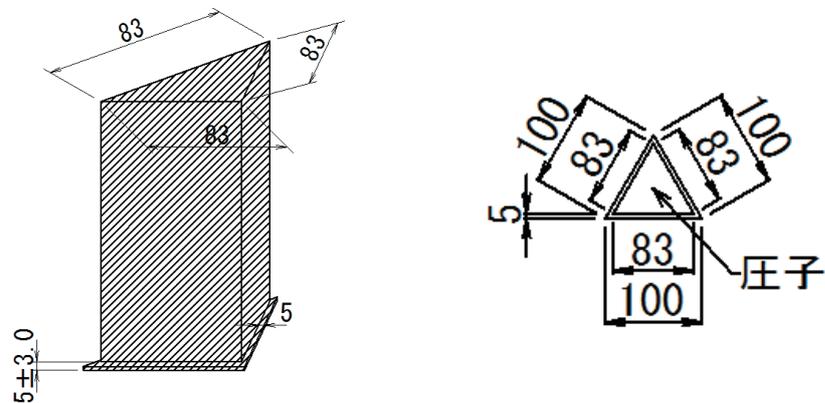
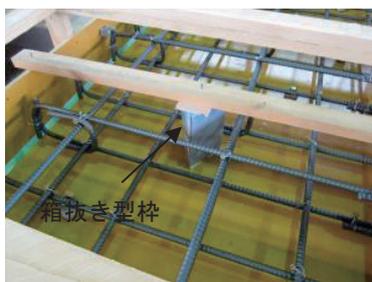


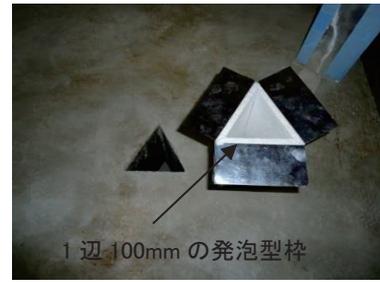
図 4.3.23 三角形圧子と固定方法



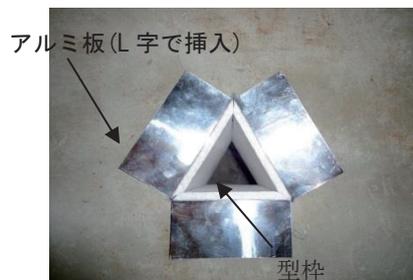
①箱抜き型枠の設置



②箱抜き型枠の撤去



③1辺100mmの圧子用型枠の作製



④発泡型枠の設置



⑤発泡型枠の撤去

図 4.3.24 三角形圧子の作製手順

3) 四角形圧子

三角形圧子とその固定方法を図 4.3.25、作製手順を図 4.3.26 に示す。コア削孔ができないため、箱抜きを設けて後打ちコンクリートにより作製する。

- ①コンクリート打設前の型枠に箱抜き用型枠 (280mm×1000mm、280mm×280mm) を設置する。
- ②コンクリート打設後箱抜き型枠を撤去する。
- ③箱抜きと圧子の隙間を確保するため、箱抜きの周面に厚さ 5mm の発泡型枠を取付ける。
発泡型枠の周囲には、撤去を容易にするために厚さ 0.2mm のアルミ板を挿入しておく。
- ④供試体本体と圧子を固定するために発泡型枠を型枠底面から $5\pm 3.0\text{mm}$ 浮かせて設置する。
- ⑤後打ちコンクリート打設後に発泡型枠を撤去する。

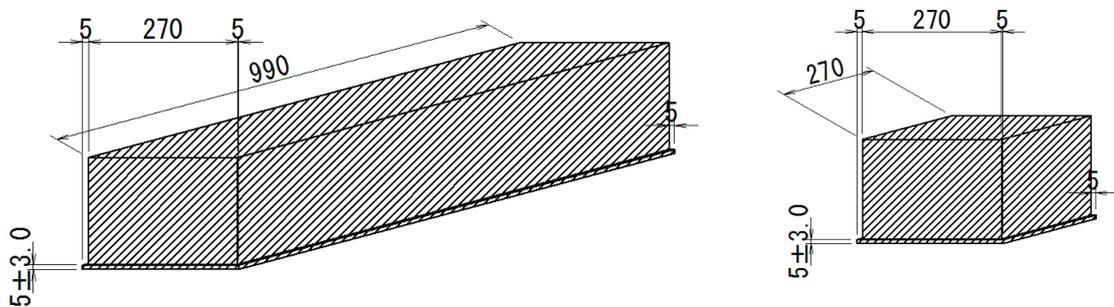


図 4.3.25 四角形圧子と固定方法

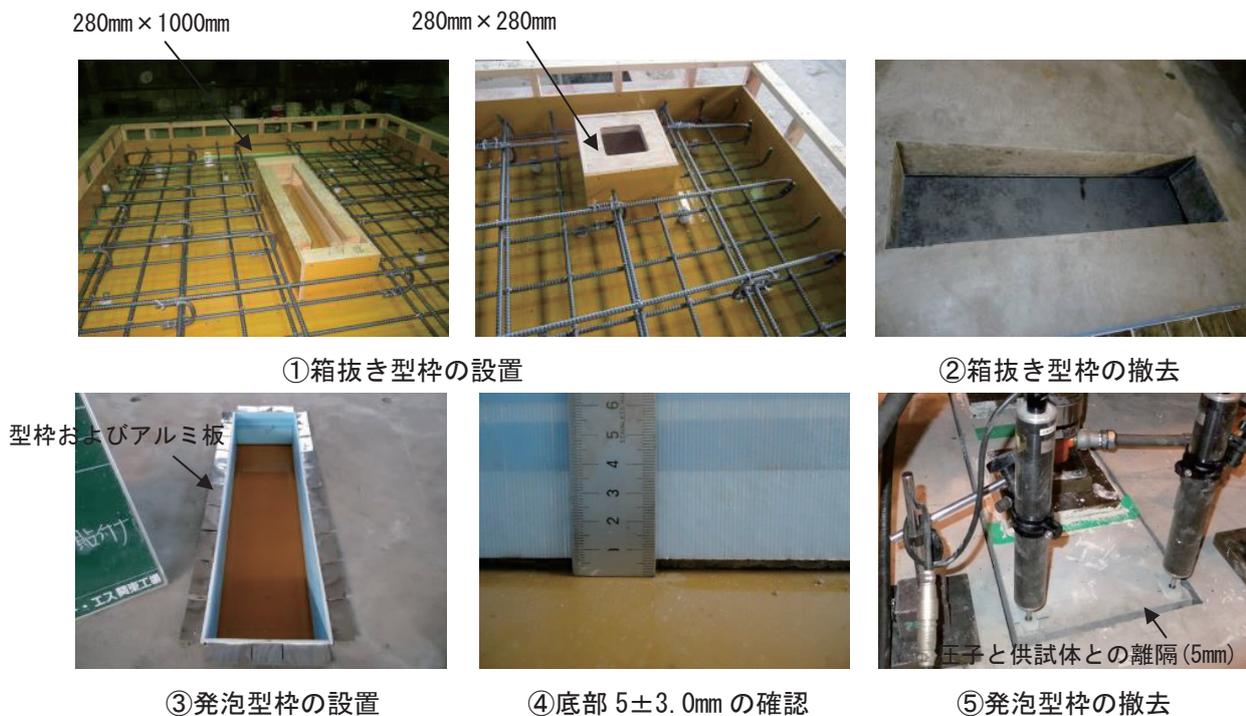


図 4.3.26 四角形圧子の作製手順

4) 押抜き圧子の脱落防止治具の設置

硬化後圧子部の自重によって押抜き圧子が脱落する可能性がある場合は、圧子部上面に脱落防止治具設置用のインサートを設置して脱落を防止する。押抜き試験実施時以外は脱落防止用治具で常時圧子を固定する。脱落防止治具設置例を図 4.3.27 に示す。

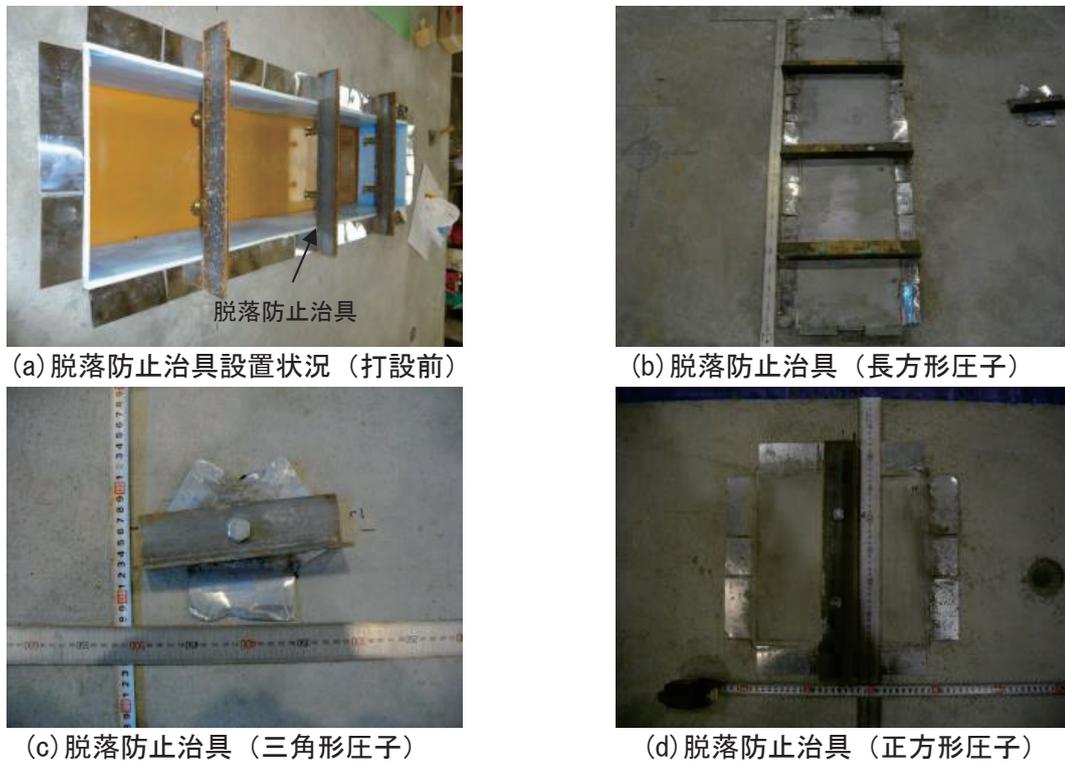


図 4.3.27 脱落防止治具設置

(4) 施工継手部

供試体 I には、実橋での施工を想定し、落下防止対策の施工継手部を作製した。各技術における施工継ぎ手部に必要な定着ラップ長を表 4.3.に示す。

表 4.3.5 施工継ぎ手部に必要な定着ラップ長

落下防止対策	必要定着ラップ長(mm)
技術 A	150
技術 B	100
技術 C	75
技術 D	100
技術 E	50

(5) 模擬うき部の作製

供試体Ⅱの内部に設置するうきを模擬した損傷は、空気層の確保とコンクリート打設時の形状保持を考慮して、プラスチック板と発泡シートを張り合わせた板材を用いることとする。大きさは、400×200 とし、かぶりコンクリート部分のうきを想定して下面鉄筋の下縁（かぶり30mm）にプラスチック板を上面にして取付ける。なお、模擬欠陥の下面にもコンクリート充填を確実にを行うため、模擬欠陥にはバイブレーター孔を3カ所設け、コンクリート充填後に同材料にて閉塞する。模擬うきの作製方法を図 4.3.28、模擬うきの作製状況図 4.3.29 に示す。

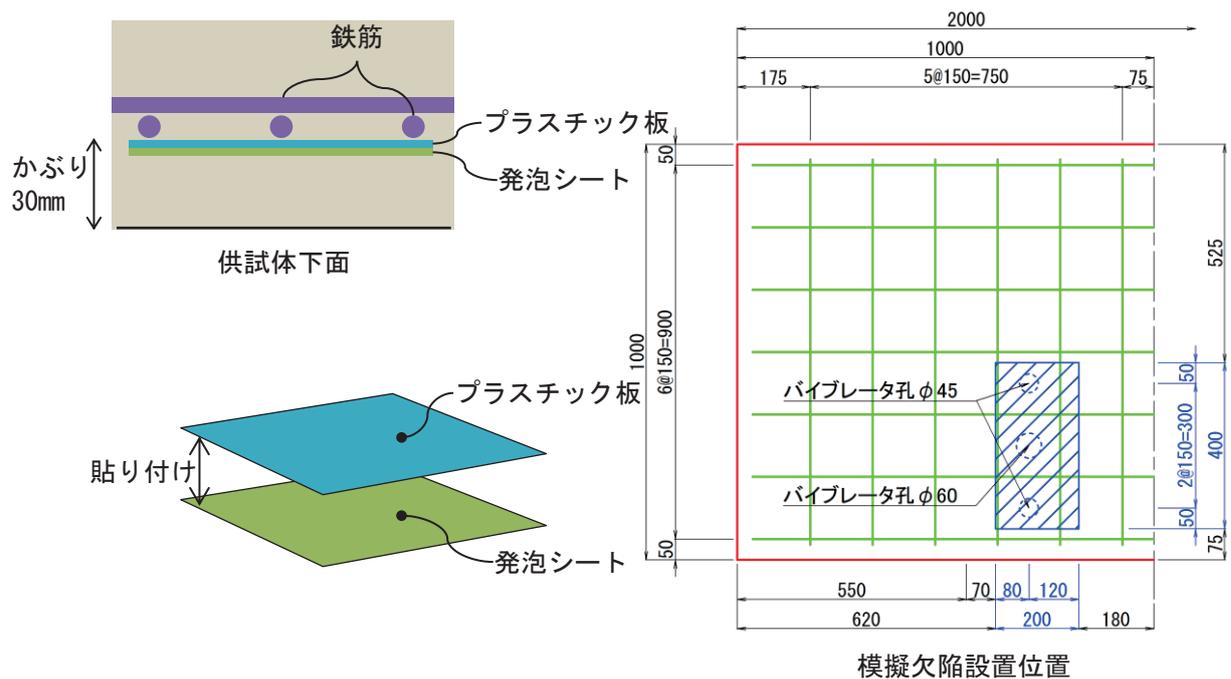


図 4.3.28 模擬欠陥（うき）の作製方法



図 4.3.29 模擬欠陥（うき）の作製状況

(6) 模擬滞水部の作製

落下防止対策背面（接着面）へのコンクリートからの滞水を模擬するため、供試体Ⅱの下面およそ 200×200 の範囲にスリットと、床版上面からの注水孔を作製する。スリットは、落下防止対策施工前に供試体の下面側からコンクリートカッターにて深さ 25mm 程度のスリットを放射状に設ける。注水孔は、供試体の上面側から、φ10mm のコンクリートドリルでスリット位置まで削孔することにより作製する。模擬滞水用スリットの作製状況を図 4.3.30 に示す。

落下防止対策の施工では、施工面に欠損や段差がある場合には下地処理として断面修復材等にて平滑面とするのが通常である。滞水検知試験では、コンクリート素地面に確実に注水を行う為、この下地処理は行わないこととする。

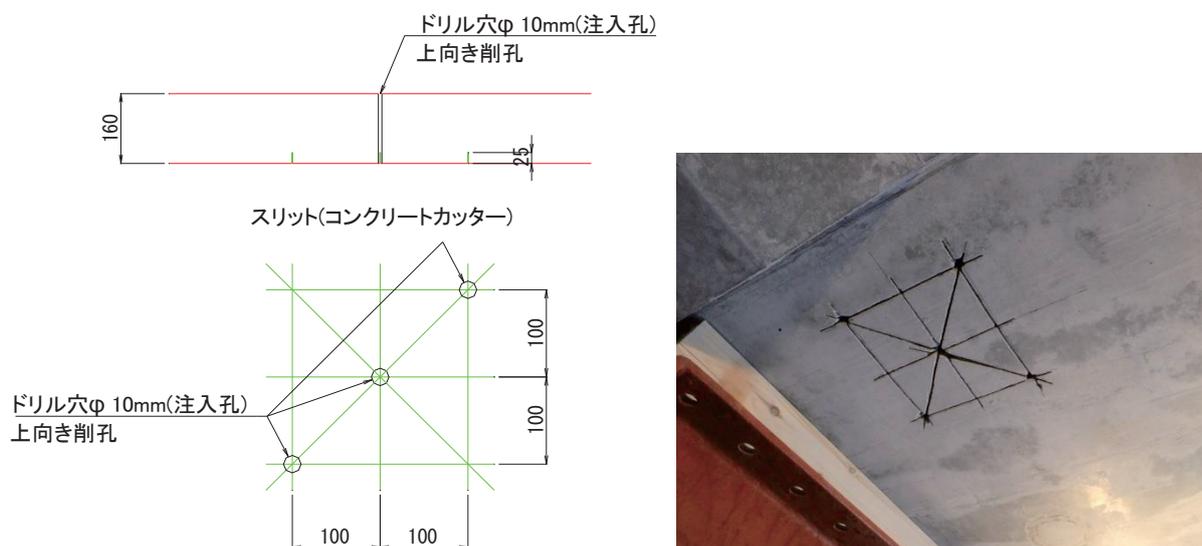


図 4.3.30 漏水用スリットの作製状況

4.3.4 落下防止対策の施工

(1) 施工条件及び施工手順

本研究では実際の施工の標準的な条件を再現するために供試体を貼付け作業架台に載せ、供試体の下面を上向き施工により行うことを基本とする（一部立上げ部では供試体側面を横向き施工で行っている）。落下防止対策の施工は吊足場上の中腰作業を想定し、供試体仮面から 1.5m の作業空間にて実施することとした。

本検討では、供試体は屋内に配置した。供試体への落下防止対策施工時は、温度調整は行っておらず、材料の養生時にはブルーシートを被せた状態で内部に灯光器 2 台による最低限の保温を行った。この時、およそ 0℃～19℃、平均 11℃であった。各落下防止対策の施工時の適用温度は技術 A～D で 5℃以上、技術 E で 2℃以上であり、接着剤が硬化しにくく厳しい環境条件であったと言える。供試体への落下防止対策施工状況を図 4.3.31 に示す。実際の試験にあたっては、具体的に適用を想定している条件に合わせた施工を行うか、標準的な施工条件によって施工を行うかについて、試験の目的に応じて検討することが必要となる。



(a) 施工時

(b) 養生時

図 4.3.31 供試体への落下防止対策施工状況

以下、本検討における各技術の施工手順を示す。

1) 技術 A (塗装工法)

技術 A (塗装工法) の施工手順は、実際の標準的な施工方法に順じ以下の手順とした。技術 A の施工状況を図 4.3.32、仕様を表 4.3.6、構成図を図 4.3.33 に示す。

- ① ディスクサンダー・動力工具による、被着コンクリート面の清掃。型枠段差を 1mm 以下に表面処理。
- ② エポキシ系ポリマーセメントモルタルによる、コンクリート表面の巣穴充填及び段差修正などの素地調整 (標準使用量 $1.0\text{kg}/\text{m}^2$)。
- ③ プライマー塗り (標準使用量 $0.04\text{kg}/\text{m}^2$)。
- ④ 中塗材、ウレタン/ウレア樹脂を塗布。2 度塗りとする。(標準使用量 $0.70 \times 2\text{kg}/\text{m}^2$)。
- ⑤ 上塗剤、柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗を塗布 (標準使用量 $0.12\text{kg}/\text{m}^2$)

なお、case12 の模擬補修部では既存塗膜に対し以下の手順を実施した。

- ⑥ 上記③、④、⑤を行う。



(a) 素地調整



(b) 中塗り

図 4.3.32 技術 A の施工状況

表 4.3.6 技術 A の仕様

工程	使用材料名 (一般名称)	標準使用量 (kg/m ²)	標準膜厚 (mm)
素地調整	エポキシ樹脂ポリマーセメントモルタル	1.0	1.00
プライマー	水性エポキシ樹脂プライマー	0.04	
中塗	二液硬化型ウレタン/ウレア樹脂被覆材	1.40	1.00
上塗	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗	0.12	0.03

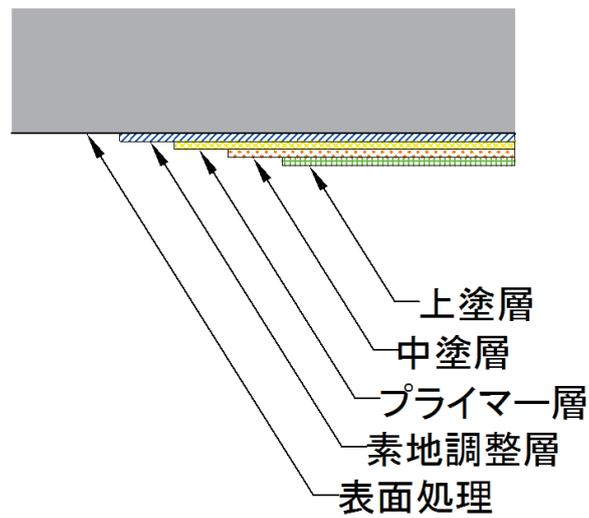


図 4.3.33 技術 A の構成図

2) 技術 B (塗布接着型シート工法)

技術 B (塗布接着型シート工法) の施工手順は、実際の標準的な施工方法に順じ以下の手順とした。技術 B の施工状況を図 4.3.34、仕様を表 4.3.7、構成図を図 4.3.35 に示す。

- ① ディスクサンダー・動力工具による、被着コンクリート面の清掃。出隅の隅角部は $R = 10\text{mm}$ 以上で処理。入隅はエポキシパテで $R = \text{約 } 50\text{mm}$ で仕上げ。
- ② プライマー塗り (標準使用量 $0.20\text{kg}/\text{m}^2$)。
- ③ 必要に応じ不陸修整材で不陸修正。
- ④ 下塗り樹脂、無溶剤 2 液型エポキシ樹脂の塗布。(標準使用量 $0.40\text{kg}/\text{m}^2$)。
- ⑤ アラミド繊維シートの貼付け。
- ⑥ 上塗り樹脂、無溶剤 2 液型エポキシ樹脂の塗布。(標準使用量 $0.20\text{kg}/\text{m}^2$)。
- ⑦ 仕上げ材、アクリルウレタン樹脂系塗料の塗布。2 度塗りとする。(標準使用量 $0.13 \times 2\text{kg}/\text{m}^2$)。

なお、case12 の模擬補修部では既存塗膜に対し以下の手順を実施した。

- ⑧ ディスクサンダー・動力工具による、シートラップ部の仕上げ材の除去。
- ⑨ 上記④、⑤、⑥、⑦を行う。



(a) 含浸接着剤塗布



(b) メッシュ貼付け

図 4.3.34 技術 B の施工状況

表 4.3.7 技術Bの仕様

工程	使用材料名 (一般名称)	配合比(質量比) 主剤:硬化剤	標準塗布量 (kg/m ²)	備考
プライマー塗布工	無溶剤2液型エポキシ樹脂	5:2	0.20	—
含浸接着樹脂(下塗り)	無溶剤2液型エポキシ樹脂	2:1	0.40	—
連続繊維シート貼付け	アラミド繊維シート	—	—	—
含浸接着樹脂(上塗り)	無溶剤2液型エポキシ樹脂	2:1	0.20	—
仕上げ材	溶剤系2液型アクリルウレタン樹脂	8:1	0.13	2回塗り 希釈剤20%以下添加

※不陸が大きい場合は事前に処理を行う。

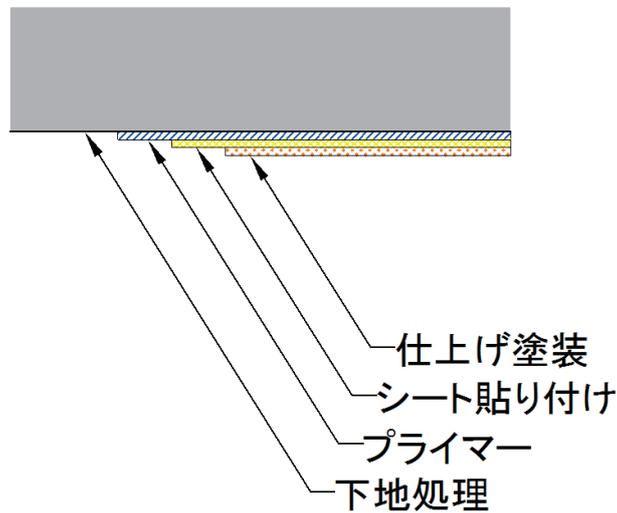


図 4.3.35 技術Bの構成図

3) 技術 C (貼付け接着型シート工法)

技術 C (貼付け接着型シート工法) の施工手順は、実際の標準的な施工方法に順じ以下の手順とした。技術 C の施工状況を図 4.3.36、仕様を表 4.3.8、構成図を図 4.3.37 に示す。

- ① ディスクサンダー・動力工具による、被着コンクリート面の清掃。型枠段差の除去。隅角部の角部の削り落とし。
- ② 不陸や段差が大きい場合は、エポキシ樹脂系パテ材等で修正。
- ③ プライマー、エポキシ樹脂系プライマー塗り (標準使用量 0.15kg/m^2)。
- ④ 含浸接着剤、エポキシ樹脂系含浸接着剤を塗布 (標準使用量 1.2kg/m^2)。
- ⑤ ラミネートシートの貼り付け。保護フィルムの撤去。

なお、case12 の模擬補修部では既存塗膜に対し以下の手順を実施した。

- ⑥ 上記④、⑤を行う。



(a) 含浸接着剤塗布



(b) ラミネートシート貼付け

図 4.3.36 技術 C の施工状況

表 4.3.8 技術 C の仕様

工程	使用材料名 (一般名称)	標準使用量 (kg/m ²)	塗装間隔 (20℃)	塗装間隔 (5℃)
プライマー塗布工	エポキシ樹脂系プライマー	0.15	2時間～7日	8時間～7日
含浸接着剤塗布工	エポキシ樹脂系含浸接着剤	1.20	0～2.5時間	0～2.5時間
ラミネートシート接着工	ラミネートシート	1.00 (m ² /m ²)	8時間～7日	16時間～14日

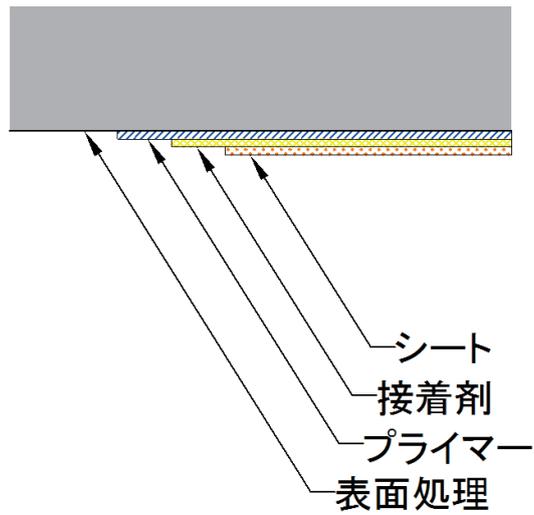


図 4.3.37 技術 C の構成図

4) 技術 D (メッシュ工法)

技術 D (メッシュ工法) の施工手順は、実際の標準的な施工方法に順じ以下の手順とした。
技術 D の施工状況を図 4.3.38、仕様を表 4.3.9、構成図を図 4.3.39 に示す。

- ① ディスクサンダー・動力工具による、被着コンクリート面の清掃。
- ② 吸水防止材の塗布 (標準使用量 0.06kg/m^2)。
- ③ 貼付モルタルの塗布。紛体 (標準使用量 5.2kg/m^2)、エポキシ変性アクリル樹脂エマルジョン混和液 (標準使用量 1.4kg/m^2)。
- ④ メッシュシート、アラミド/ビニロン 2 軸ネット+ポリプロピレン不織布の貼り付け。
- ⑤ 仕上げ付モルタルの塗布。紛体 (標準使用量 5.2kg/m^2)、エポキシ変性アクリル樹脂エマルジョン混和液 (標準使用量 1.4kg/m^2)
- ⑥ 表面保護材の塗布 (標準使用量 0.15kg/m^2)。

なお、case12 の模擬補修部では既存塗膜に対し以下の手順を実施した。

- ⑦ ディスクサンダー・動力工具による、シートラップ部の表面保護材の除去。
- ⑧ 上記②、③、④、⑤、⑥を行う。



(a) 貼付モルタル下塗り



(b) メッシュシート貼付け

図 4.3.38 技術 D の施工状況

表 4.3.9 技術Dの仕様

工程	使用材料名 (一般名称)	配合比	標準使用量 (kg/m ²)	標準モルタル厚 (mm)
吸水防止材塗布	吸水防止材		0.06	
貼付モルタル下塗	紛体	1.0	5.2	2.0~3.0
	エポキシ変性アクリル樹脂エマルジョン	0.27(1.5倍液)		
繊維シート貼付け	アラミド/ビニロン2軸ネット +ポリプロピレン不織布		—	—
仕上げモルタル上塗	紛体	1.0	5.2	1.0~1.5
	エポキシ変性アクリル樹脂エマルジョン	0.27(1.5倍液)		
表面保護塗装			0.15	

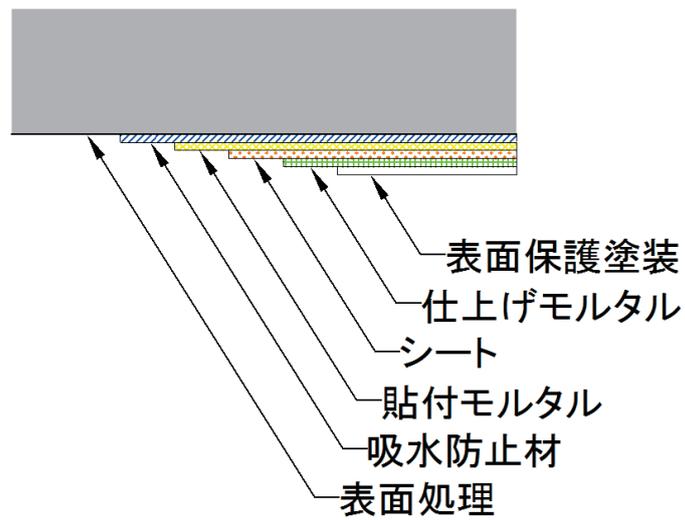


図 4.3.39 技術Dの構成図

5) 技術 E (可視化工法)

技術 E (可視化工法) の施工手順は、実際の標準的な施工方法に順じ以下の手順をとった。
技術 E の施工状況を図 4.3.40、仕様を表 4.3.10、構成図を図 4.3.41 に示す。

- ① シンナーによる表面の汚れや剥離剤の除去。
- ② 必要に応じて、ディスクサンダー・動力工具による、素地の凹凸の除去・表面処理。(※供試体 I では、素地に凹凸がなかったため、実施せず。) 出隅部は、コンクリートカッターやディスクサンダー等により曲面的に面取り加工。
- ③ ベースコーティング下塗り剤の塗布 (標準使用量 $0.5\text{L}/\text{m}^2$)。
- ④ 連続繊維シート貼付け。
- ⑤ ベースコーティング上塗り剤の塗布 (標準使用量 $0.5\text{L}/\text{m}^2$)。
- ⑥ ファイナルコーティング剤の塗布 (標準使用量 $0.2\text{L}/\text{m}^2$)。

なお、case12 の模擬補修部では既存塗膜に対し以下の手順を実施した。

- ⑦ 上記①、③、③、④、⑤、⑥を行う。



(a) ベースコーティング下塗り工



(b) 繊維シート貼付け

図 4.3.40 技術 E の施工状況

表 4.3.10 技術 E の仕様

工程	使用材料名	標準使用量 (L/m ²)
ベースコーティング工	コーティング材下塗り	0.5
	ガラス連続繊維シート	—
	コーティング材上塗り	0.5
ファイナルコーティング工	コーティング材上塗り	0.2

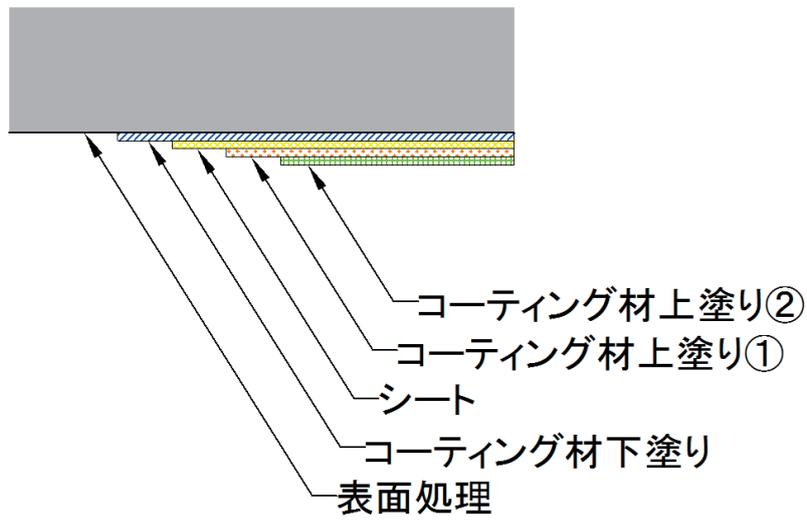


図 4.3.41 技術 E の構成図

(2) 模擬補修部の作製

供試体Ⅱには、落下防止対策の貼り付け後に補修が必要となった場合を想定し、模擬補修部を作製する。

局部損傷箇所を想定した□100mm×100mmの範囲を、切り欠いた状態で落下防止対策を最終工程まで通常施工し、その後、欠き部に対する施工を行い、その箇所を模擬補修部とする(図4.3.42)。すべての技術に共通して、補修は切欠き部に対して必要定着長を満足するように一回り大きな塗膜(シート)を設置する。各技術における補修に必要な定着長及び補修範囲を表4.3.に示す。

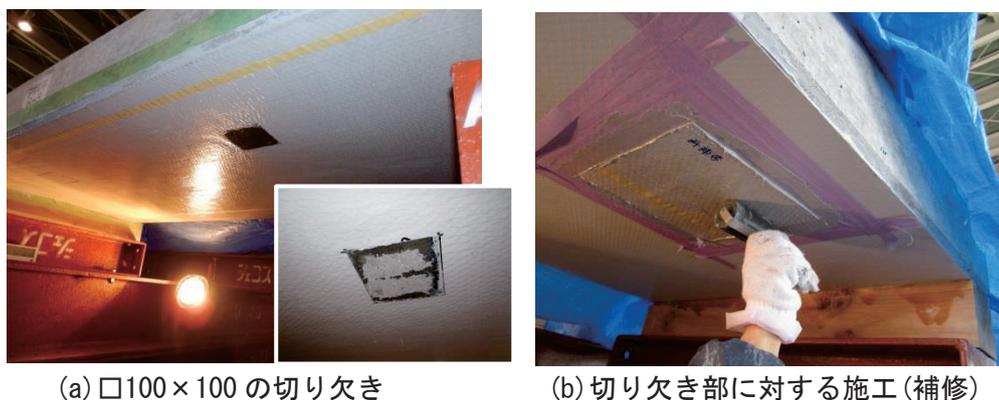


図 4.3.42 模擬補修部の作製

表 4.3.11 補修に必要な定着長と補修範囲

落下防止対策	必要定着長(mm)	再補修範囲(mm)
技術 A	150	400×400
技術 B	200	500×500
技術 C	75	250×250
技術 D	100	300×300
技術 E	50	200×200

(3) 落下防止対策の施工性

落下防止対策の施工は、現場毎の種々の制約条件や環境条件下において、その性能を十分発揮するために、施工方法や施工条件を記載した施工計画書に基づき施工しなければならない。本検討では、各技術に定められた標準的な方法で施工を行った。

その結果、ほぼ同様の工程であっても、落下防止対策毎の施工時間に大きな差があることが確認された。表面被覆工法はコンクリート表面に連続繊維シート等を設置し、有機系または無機系の被覆材を塗装する工法であり、シートの設置や被覆材の塗装を数回繰り返して行うものである。技術によってその回数が異なるため、施工時間に影響を及ぼす。また、被覆材の養生

時間も使用材料によって様々であるため、これらについても施工時間に影響を及ぼす要因となる。被覆材の養生時間は気温や湿度等によっても影響を受けるため、施工品質を確保できる養生期間や施工条件を明確にする必要がある。

このように、落下防止対策の施工性は様々な条件の影響を受けるため、実際の試験にあたっては、具体的に適用を想定している条件に合わせた施工を行うか、標準的な施工条件によって施工を行うかについて、試験の目的に応じて検討することが必要となる。

4.4 試験方法

4.4.1 押抜き試験

(1) 試験方法

押抜き試験の方法は、土木学会基準「コンクリート片の剥落防止に適用する表面被覆材の押抜き試験方法（案）（JSCE-K 533-2010）」に準拠し、以下の手順で実施する。押抜き試験での荷重-変位曲線の例を図 4.4.1 に示す。

- ①荷重及び変位は 0.05kN 毎に記録する。
- ②1mm/min の速度で供試体と圧子接合部が破壊するまで載荷する。
- ③その後 5mm/min で載荷し、最大荷重を測定する。
- ④最大荷重に対して 50%程度まで低下したら載荷終了する。
- ⑤10、20、30、40mm の各変位において載荷を一時中止し、剥離範囲を供試体にマーキングするとともに押抜き荷重を記録し、写真を撮影する。
- ⑥変位が 50mm となる、または、剥離範囲が隣接する試験に影響を与える範囲に達する、塗膜の損傷が明確で押抜き荷重の増加が期待できない場合には、その時点で試験を終了する。
- ⑦載荷途中で落下防止対策に何らかの変状が生じた場合は、その時点で載荷を一時中止し、荷重と変位を記録するとともに、変状の状況を記録する。
- ⑧載荷終了後、破壊形態（塗膜の破れ、繊維の破断等）を目視により観察し、写真等で記録する。

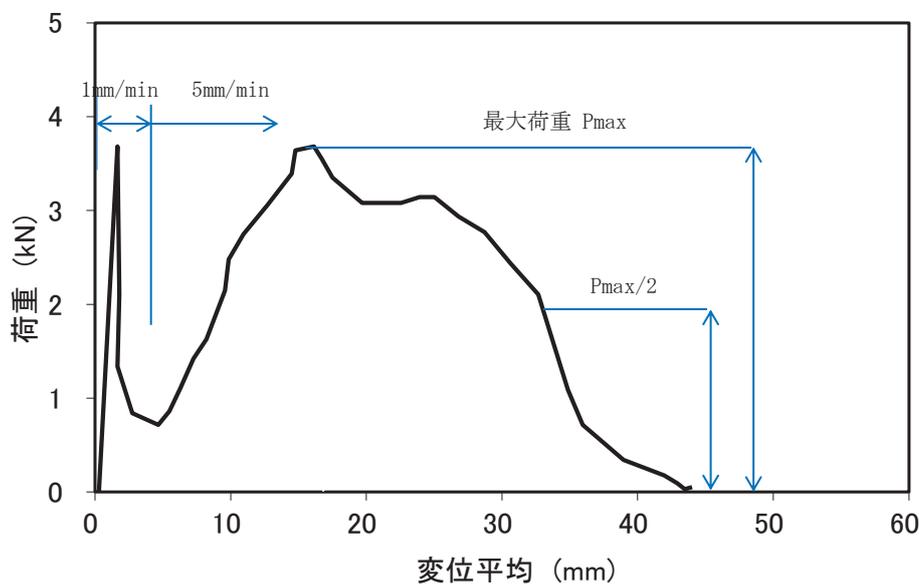


図 4.4.1 荷重-変位曲線の例

(2) 載荷装置

本検討で用いる供試体は、通常押抜き試験のものとは大きさが異なるため、山留め材を組み合わせて作製した載荷装置を用いて押抜き試験を行うこととした。載荷装置図を載荷装置の状況を図 4.4.3、基本となる計測機器等の設置概要図を図 4.4.4 に示す。圧子の変位量は、供試体上面に固定された 2 器の変位計により載荷板の押し込み量を計測し、それらの平均とする。

なお、case2 の三角形圧子は変位計を 3 器、case10、11 の四角形圧子は変位計を四つ角に配置し、それぞれの平均を圧子の変位量とする。case10 では圧子が 270×990 と大きいため、荷重を長さ方向へ均等に作用させられるようにした。

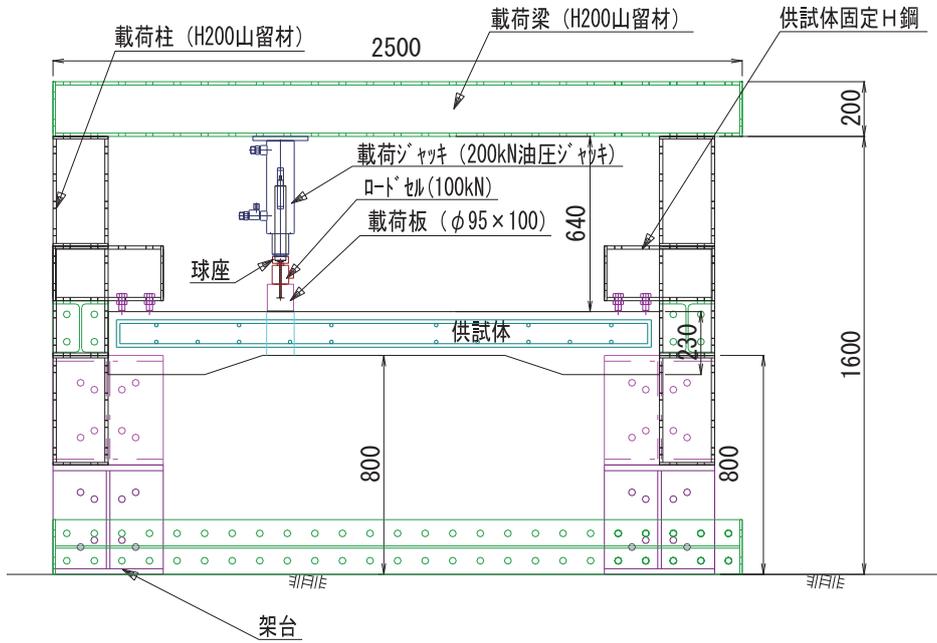


図 4.4.2 荷重装置



図 4.4.3 荷重装置の状況

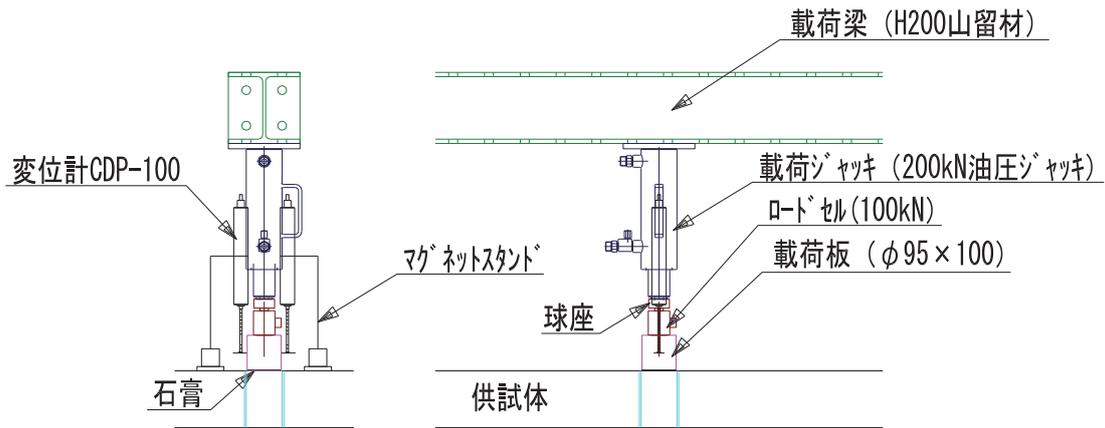


図 4.4.4 計測機器等の基本配置概要図

(3) 押抜き荷重の補正

本試験で用いた圧子や荷荷板は、通常押抜き試験のものと比較して比較的大きいものを使用した（表 4.4.1）。そこで、落下防止対策に作用している押抜き荷重を適切に評価するため、圧子及び荷荷板の自重分をロードセルからの測定値に加算することにより補正した。

押抜き荷重試験では、落下防止対策からの抵抗力が圧子へ均等にかからない場合には、圧子が傾くことで側壁と接触し、押抜き荷重が適切に測定されないことが懸念された。したがって、傾きが懸念される試験ケースにおいては、テフロン板 3mm（1mm×3 枚）を圧子と側壁との隙間に挿入することで、接触による摩擦力の低減策を行うこととした。

表 4.4.1 本試験で用いた圧子と荷荷板の種類と重量

種類	名称	形状寸法	重量 (kN)	備考
圧子	円形L=160	φ 100 × 160	0.029	
	円形L=230	φ 100 × 230	0.042	
	三角形L=160	三角1辺83 × 160	0.011	
	四角形L=990	□270 × 990	0.984	
	四角形L=270	□270 × 270	0.268	
荷荷板	○型	φ 95 × 100	0.054	
	△型	三角1辺67 × 100	0.015	
	H型	H250 × 970	0.682	

4.4.2 接着試験

(1) 試験手順

各落下防止対策で保証される性能は、落下防止対策が実構造物に正しく施工されていることを前提として発揮されるものであるため、施工品質の確保は非常に重要である。本研究では、施工品質の確保について接着試験により確認を行う。接着試験は以下の手順で実施する。試験手順を図 4.4.5 に示す。

- ① 供試体試験箇所引張用治具を接着剤で取り付け、支柱等によって下側から引張用治具を固定し 24 時間静置する。
- ② 引張用治具の外周に沿って切れ込みを設ける。この時、切れ込み深さは供試体のコンクリート版位置まで達する深さとする。
- ③ 引張装置を取り付け、供試体面に対して鉛直方向に引張力を作用させ、最大引張荷重を測定する。
- ④ 载荷終了後、破壊箇所（接着剤の破壊、落下防止対策の破壊、コンクリート版の破壊）を目視により観察する。

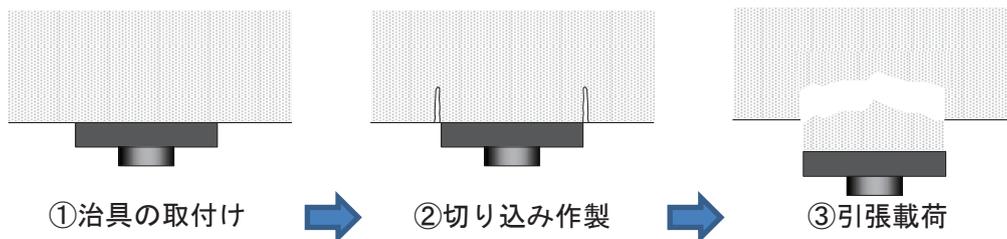


図 4.4.5 試験手順

(2) 試験装置

接着試験は建研式接着力試験器を用いた。建研式接着力試験器は、最大測定能力 10kN を有する試験装置を使用した。

接着試験によって得られた最大引張荷重から以下の式によって接着強さを求める。

$$\text{接着強さ} = T/A$$

ここに、
T：最大引張荷重 (kN)
A：上部引張用鋼製治具の接着面積 (mm²)

4.4.3 うきの検知試験

(1) うきの試験方法

うきの検知試験は次の手順に従って行う。試験方法を以下に示す。

- ① 落下防止対策の設置前後において、供試体Ⅱに模擬したうきを打音検査により検知する。
- ② 打音検査によるうきの検知が困難な場合を想定して、非破壊調査機器（本検討では、赤外線サーモグラフィ）による調査を行う。
- ③ 落下防止対策設置後のうきの検知度合いについて比較を行う。

(2) 打音検査の方法

点検時におけるうきの確認は、打音検査によって行われるのが一般的であり、落下防止対策が設置された実構造物においても、同様に打音検査によってうきを検知できることが望まれる。本試験では、供試体Ⅱのうきを模擬した変状の近傍を、落下防止対策の設置前後に打診棒によりたたき検査を行い、落下防止対策上から打音検査によるうき検知の可能性を確認する。人の耳により濁音が確認された範囲をマーキングし、写真で記録する。

(3) 非破壊調査機器による方法

落下防止対策が設置後に、打音検査によってうきを検知できない場合の代替手法として、非破壊調査機器を用いる方法が考えられる。本検討ではその例として、「橋梁における第三者被害予防措置要領（案）H16.3」にも記載のある赤外線サーモグラフィーを対象として検討してみることとした。打音検査の場合と同様に、落下防止対策の設置前後に赤外線サーモグラフィー装置を用いた模擬うきの調査を行い、落下防止対策上から赤外線サーモグラフィー検査によるうき検知の可能性を確認する。本検討では、供試体を投光器で採暖することで供試体の表面温度変化を発生させた。赤外線サーモグラフィーは健全部と欠陥部の温度差によって検査精度が変わるため、適用にあたってはそれぞれの機器の仕様の範囲で用いることが重要である。

4.4.4 滞水検知試験

落下防止対策背面（接着面）へのコンクリートからの漏水を模擬し、漏水検知の可能性を確認やその確認方法の妥当性を検証する。供試体Ⅰにあらかじめ、設置した貫通ひび割れを模擬したスリットとドリルによる削孔部から注水を行い、注入から 24 時間後に落下防止対策の変状（染み出し、はがれ、ふくれ等）を観察する。落下防止対策に作用する水圧は静水圧のみとし、水頭は床版厚と同じ 160mm とした。

4.4.5 ひび割れ検知試験

供試体Ⅱに曲げひび割れを発生させ、落下防止対策の外観変化を確認しひび割れ検知の可能性を確認する。支間をおよそ 1900mm とし、表 4.4.1 に示す H 型の載荷板を用いて載荷荷重 110kN 程度まで載荷することで供試体中央付近に曲げひび割れを発生させる（図 4.4.6）。載荷中に発生したひび割れは、荷重を除荷することなく、供試体側面の他、一部落下防止対策を撤去した部分を観察することにより確認し、その時の落下防止対策の外観上の変化を観察する。なお、曲げひび割れが押抜き試験に影響を及ぼす可能性があるため、曲げひび割れの発生作業は、供試体Ⅱのその他の試験がすべて終了した後に行う。

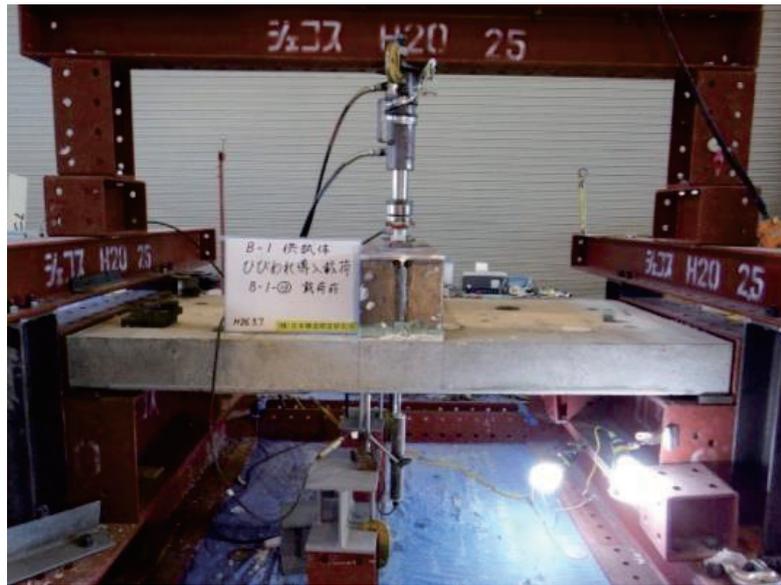


図 4. 4. 6 曲げひびわれ発生作業状況

4.5 性能試験法の検証

4.5.1 押抜き試験結果

(1) case1 (標準試験)

標準試験と位置づけ、他の試験条件との比較対象とするものである。平面に設置された落下防止対策をφ100の押抜き圧子を用いて試験を行った。

6) 塗装工法 (case1A)

case1Aの押抜き荷重と押抜き変位の関係図(以後、荷重変位曲線という。)を図4.5.1、試験状況を図4.5.2に示す。押抜き試験は以下の経過が見られた。

- ①圧子の固定モルタルの破損により荷重が低下。若干の塗膜の盛り上がりを確認。
- ②押抜き荷重の下げ止まり。変位増加と共に押抜き荷重も増加。
- ③10mm時調査のため変位増加を中断。圧子端部で塗膜にわずかなひびわれを発見。
- ④押抜き最大荷重、1.64kN(変位11.9mm)。
- ⑤塗膜のひびわれ進展に伴い、押抜き荷重が低下。
- ⑥20mm時調査のため変位増加を中断。
- ⑦塗膜のひびわれ進展により、押抜き耐力が喪失。

技術Aは、塗膜の一部にひびわれが発生するまでは変位の増加とともに緩やかに荷重が増加したが、塗膜にひび割れが発生した後は、荷重は増加することなく徐々に減少した。ひび割れ発生後は剥離面積の拡大もあまり見られず、ひびわれ部分に荷重が集中し、ひびわれが進展によって変位が増加していったものと考えられる。また、10mm毎の状態観察時において変位の増加が生じずに荷重が0.5kN程度減少していることから、載荷中断中も塗膜の伸びやひび割れが進展しているものと考えられる。

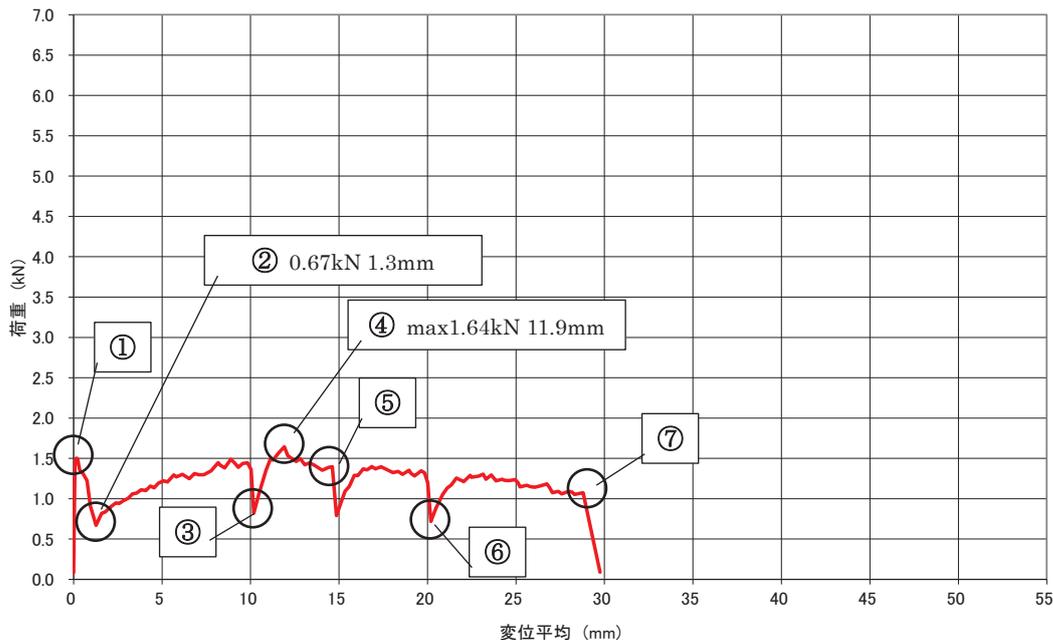


図 4.5.1 荷重変位曲線 (case1A)

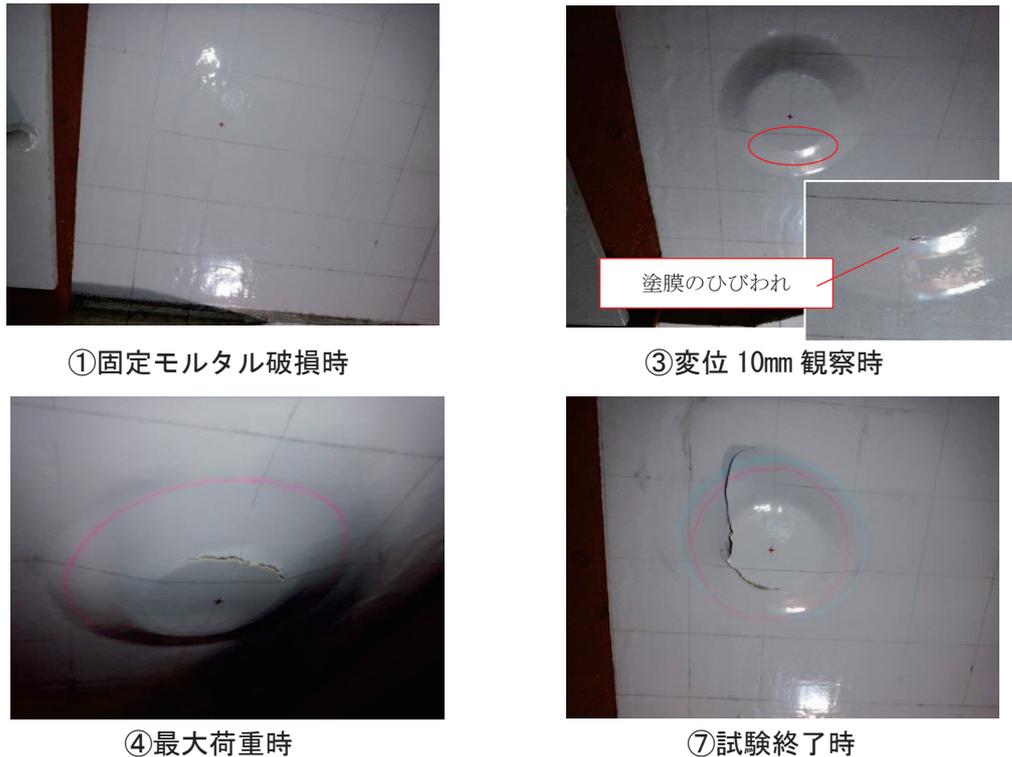


図 4.5.2 試験状況 (case1A)

7) 塗布接着型シート工法 (case1B)

case1B の荷重変位曲線を図 4.5.3、試験状況を図 4.5.4 に示す。押抜き試験は以下の経過が見られた。

- ① 圧子の固定モルタルの破損により荷重が低下。若干の塗膜の盛り上がりを確認。
- ② 押抜き荷重の下げ止まり。押抜き変位の増加に伴い、繊維が露出するが、荷重も増加。
- ③ 押抜き最大荷重 4.45kN (変位 9.6mm)。その後 10mm 時調査のため変位増加を中断。
- ④ 塗膜のひびわれ部で繊維破断 (1 方向目) を確認。押抜き荷重の低下。その後、20mm 時調査のため変位増加を中断。繊維破断確認後は、荷重はほぼ一定の値を示す。
- ⑤ 繊維露出部で繊維破断 (2 方向目) を確認。押抜き耐力が喪失。

技術 B の最大荷重は 4.45kN と 5 技術の中で最も大きかったが、最大荷重到達時の変位は 10mm 以下であり、伸び性能が小さいことが考えられる。最大荷重到達後 2 方向繊維のうち 1 方向の繊維の破断によって急激に荷重が減少した。繊維の破断は塗膜のひび割れ部で生じており、塗膜と一体となっていない部分に大きな荷重が作用したため破断したものと考えられる。1 方向の繊維破断後は、荷重が一定の区間が確認され、この間は繊維の破断が生じずに塗膜の剥離が進展しているものと考えられる。終局に近づくにつれ、塗膜は圧子中心付近の一定の部分だけが表面から剥離し、それより外側の部分は繊維のみ表面から剥離しており、塗膜と繊維の一体性が失われていた。荷重を繊維に一樣に分担するためには、塗膜と繊維の一体性が確保されることが重要と考えられる。

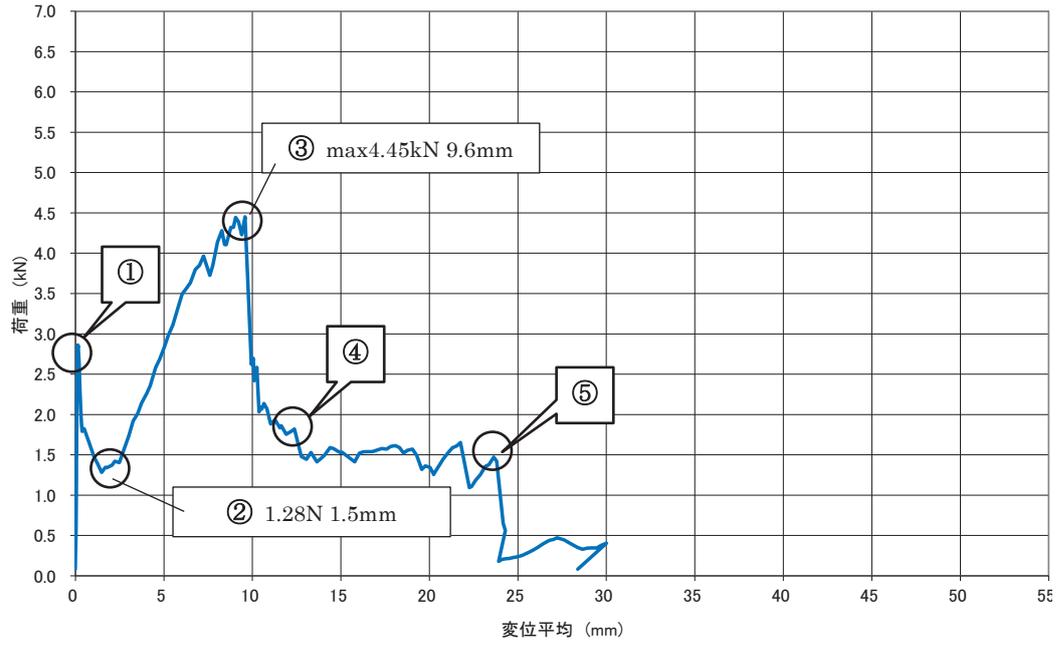


図 4.5.3 荷重変位曲線 (case1B)



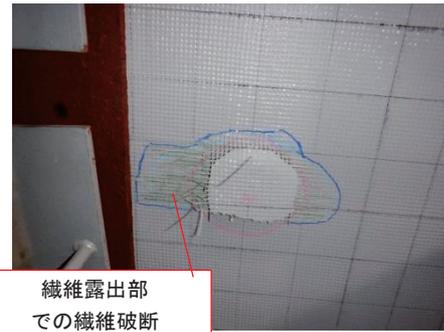
①固定モルタル破損時



③最大荷重時



④繊維(1方向目)の破断



⑤試験終了時

図 4.5.4 試験状況 (case1B)

8) 貼付け接着型シート工法 (case1C)

case1C の荷重変位曲線を図 4.5.5、試験状況を図 4.5.6 に示す。押抜き試験は以下の経過が見られた。

- ①圧子の固定モルタルの破損により荷重が低下。若干のシートの盛り上がりを確認。
- ②押抜き荷重の下げ止まり。
- ③繊維が露出しているものの破断等は見られず、変位と共に荷重が増加。
- ④最大押抜き荷重 3.06kN (変位 26.3mm)。その後、圧子端部で繊維シートの一部が破断し荷重が低下。
- ⑤繊維シートの破断箇所の増加により押抜き耐力が喪失。

技術 C は、最大荷重到達時の変位が 26.3mm であり、比較的高い伸び性能を有していると考えられる。最大荷重到達後は繊維の破断によって荷重が低下したが、技術 B のような急激な低下は生じなかった。これは、用いられているシートが 2 軸ではなく 3 軸シートであるため、1 方向の繊維が破断しても、残りの 2 方向の繊維に荷重が分担されるためだと考えられる。最終的には塗膜のひび割れ部の繊維が複数破断することによって終局した。終局時においても、概ね塗膜と繊維は一体の状態ですべて表面から剥離していた。

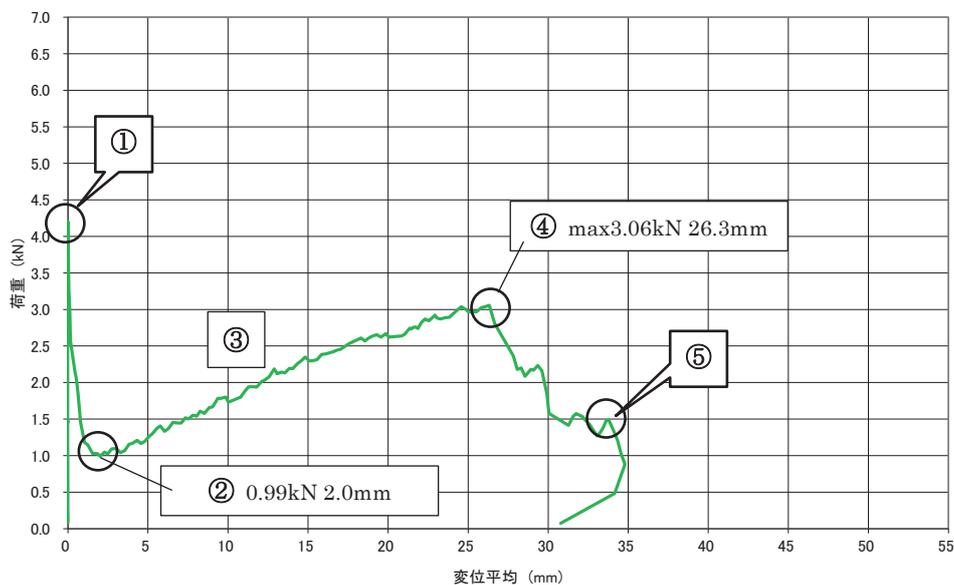


図 4.5.5 荷重変位曲線 (case1C)

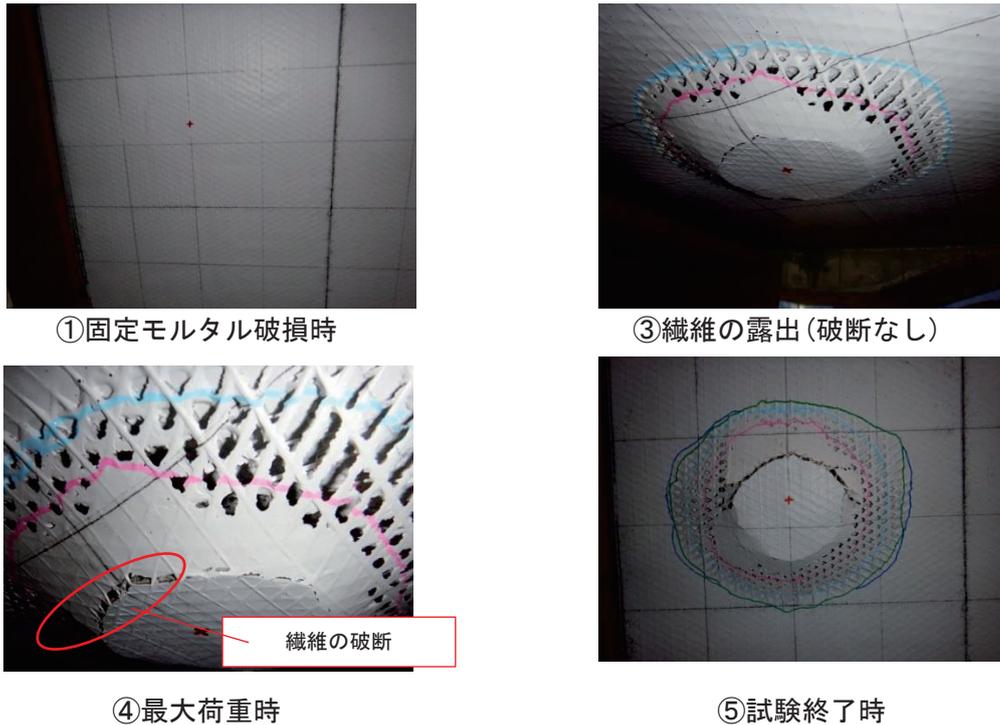


図 4.5.6 試験状況 (case1C)

9) メッシュ工法 (case1D)

case1D の荷重変位曲線を図 4.5.7、試験状況を図 4.5.8 に示す。押抜き試験は以下の経過が見られた。

- ①圧子の固定モルタルの破損により荷重が低下。若干のシートの盛り上がりを確認。
- ②押抜き荷重の下げ止まり。
- ③変位増加と共に押抜き荷重も増加。圧子端部での塗膜のひびわれが見られている。繊維が一部露出するも、破断等は見られない。
- ④押抜き最大荷重、1.88kN (変位 12.7mm)。その後、荷重は一定から緩やかな低下となる。
- ⑤繊維の破断を確認。押抜き荷重の急激な低下。
- ⑥繊維の破断箇所増加により押抜き耐力が喪失。なお、変位 25mm 付近に見られる荷重の不自然な増減は、ロードセルの調整の為に、除荷と再載荷を行ったものである。

技術 D の塗膜は無機系の材料であり、有機系に比べて変形への追従性が低いため、変位 10mm の状況確認の時点で、圧子の形状に沿った円形のひび割れが塗膜に発生した。荷重の明確なピークが見られず、最大荷重到達時も繊維の破断が確認できなかった。変位 20mm 到達後、1.5kN 程度で繊維の破断が確認され、その後は急激に荷重が低下した。剥離範囲が比較的小かったが、剥離範囲の広がりには縦横で偏りがあった。

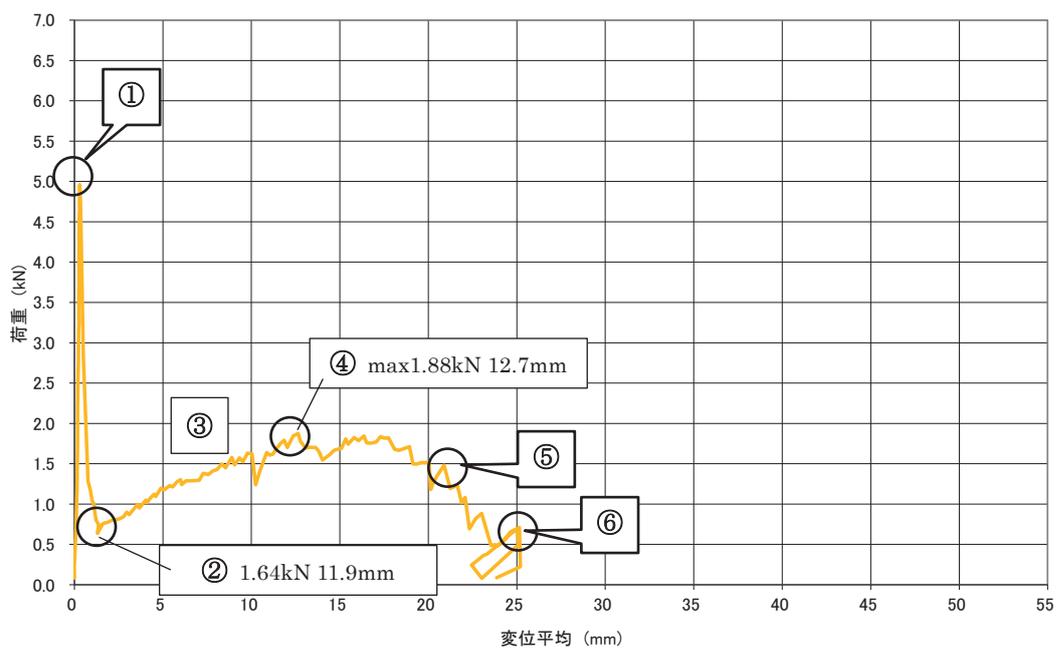
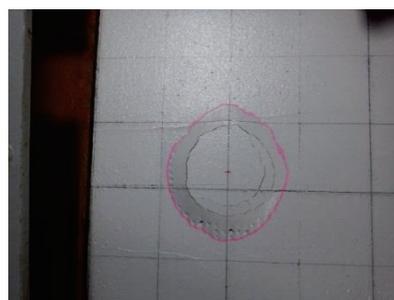


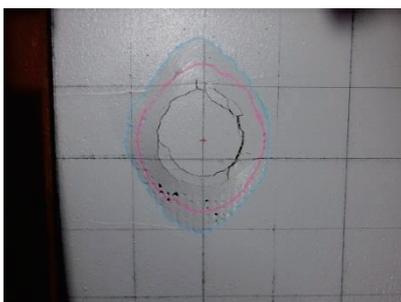
図 4.5.7 荷重変位曲線 (case1D)



①固定モルタル破損時



③載荷時 (繊維シートの露出)



⑤繊維シートの一部破断



⑥試験終了時

図 4.5.8 試験状況 (case1D) (その2)

10) 可視化工法 (case1E)

case1E の荷重変位曲線を図 4.5.9、試験状況を図 4.5.10 に示す。押抜き試験は以下の経過が見られた。

- ①試験前。可視化工法のため、コンクリートの状態が確認できる。
- ②圧子の固定モルタルの破損により荷重が低下。剥離箇所が白濁したことを確認。
- ③荷重の初期ピーク。その後荷重低下。
- ④押抜き荷重の下げ止まり。変位増加と共に押抜き荷重も増加。
- ⑤剥離範囲が試験制限(W=400mm)まで広がったため試験終了。押抜き最大荷重 0.74kN (変位: 13.0mm)。試験中に塗膜や繊維の破断は見られない。

技術 E は、初期ピークの後には荷重が増加せずに変位のみ増加していることから、塗膜やシートに損傷は生じず、剥離範囲のみが拡大したものと考えられる。また、他技術に比べて変位に対して剥離範囲が大きく、剥離範囲が 400mm に達した時点で載荷を終了したが、変位が 10mm を超えた時点から徐々に荷重は増加しており、載荷を継続した場合はさらに荷重が増加した可能性も考えられる。本研究では、実構造物への適用性を考慮して剥離制限範囲を設定したが、適用する部材の条件によって、剥離制限範囲を適切に設定して耐荷性能を確認する必要があると考えられる。

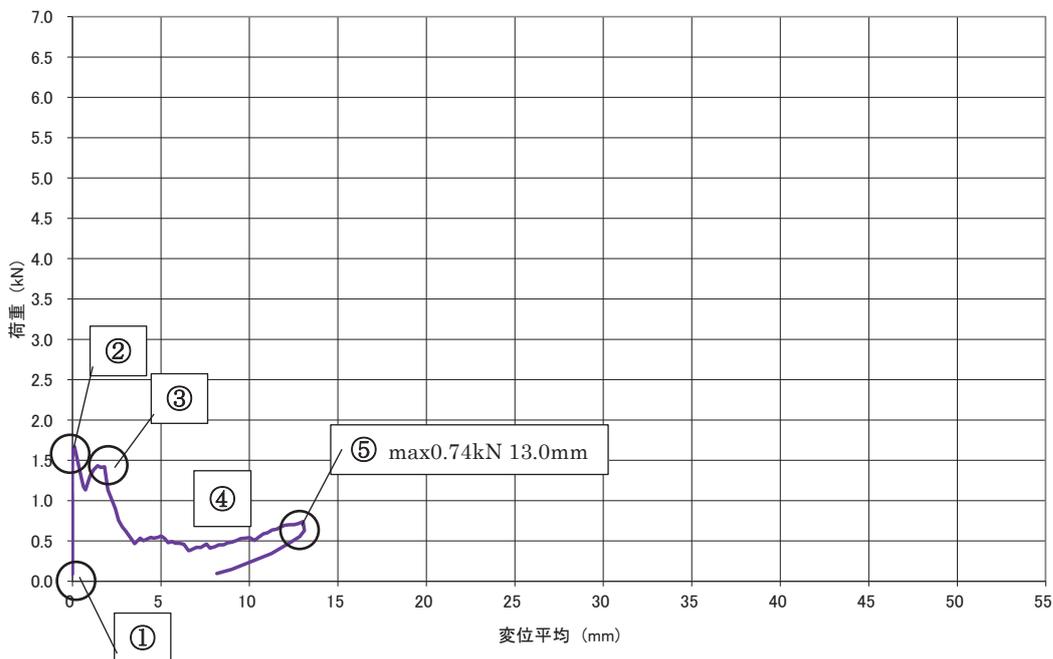


図 4.5.9 荷重変位曲線 (case1E)

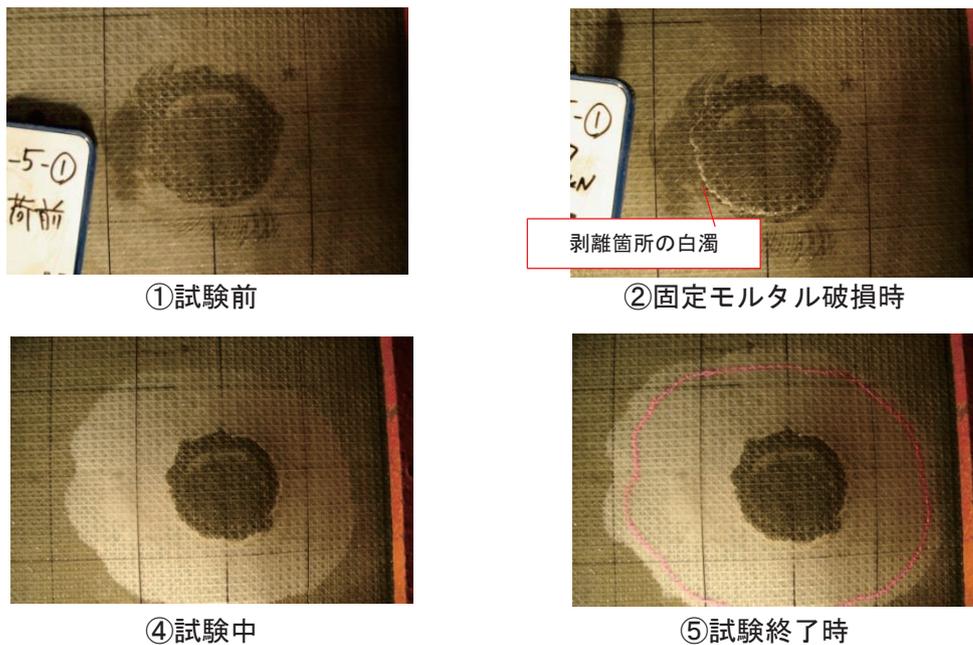


図 4.5.10 試験状況 (case1E)

11) 円形圧子を用いた試験結果にみられる各技術の特徴

円形圧子を用いた押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・塗装工法では、载荷中断中に荷重の低下が生じた。これは、载荷中断中も塗膜の伸びや剥離が進展しているものと考えられる。また、塗膜にひび割れが生じた場合、塗膜の剥離範囲はあまり大きくなり、塗膜のひび割れの進展によって変位が増加した。
- ・塗布接着型シート工法では、2方向の繊維のうち、1方向の繊維の破断によって耐力が大きく低下した。その後、もう1方向の繊維が破断し終局に至った。
- ・貼付け接着型シート工法は、3軸シートであるため1方向の繊維が破断しても急激な耐力の低下は生じず、繊維破断箇所が増加することで終局に至った。
- ・メッシュ工法は、明確な荷重のピークが確認されず、また、無機系の塗膜で覆っているため伸び性能が低いものと考えられ、終局時の変位も小さかった。また、縦軸と横軸の繊維の種類が異なるため、ひし形のような剥離形状を示した。
- ・可視化工法は、初期ピークの後は荷重が増加せずに変位のみ増加しており、塗膜やシートに損傷は生じず、剥離範囲のみが拡大した。

以上のとおり、本検討の円形圧子を用いた押抜き試験では、各技術によって最大荷重や荷重変位曲線の特徴を確認することができた。

(2) case2 (三角形圧子)

case2 では、落下防止対策に対し局所的な荷重の集中が想定される鋭角を有する三角形圧子を用いて押抜き試験を行った。標準試験と比較することで、圧子形状の影響を確認するものである。

1) 塗装工法 (case2A)

case2A の荷重変位曲線を図 4.5.11、試験状況を図 4.5.12 に示す (case1A を比較対象として同時に示した)。case2A では塗膜にひびわれは発生せず、押抜き変位が 50mm となったために試験を終了した。押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られた。最大荷重は、3.02kN (変位 44.6mm 時) であり case1A と比較して 1.84 倍であった。剥離形状は、円形となった。

標準試験では、塗膜にひびわれが発生したが、本試験ではひびわれ発生はなく、圧子の鋭利な形状による応力集中の影響は確認されなかった。

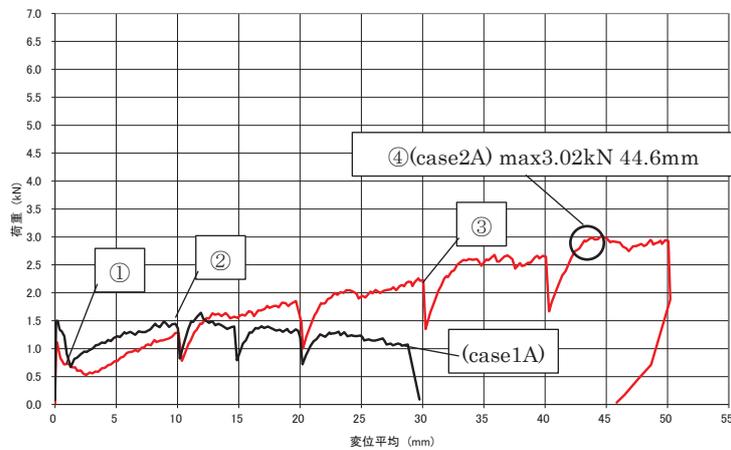


図 4.5.11 荷重変位曲線 (case1A、2A)

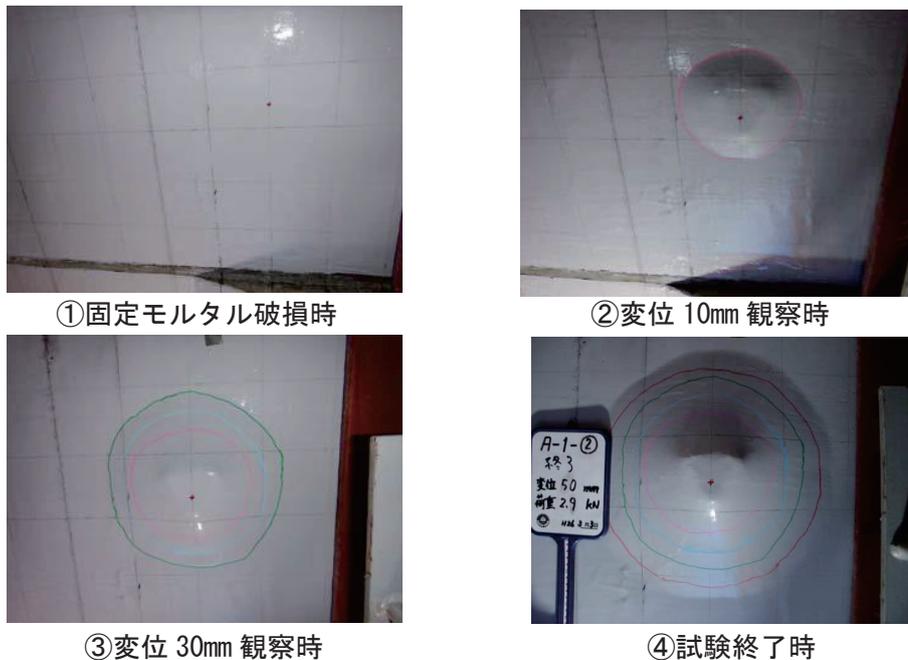


図 4.5.12 試験状況 (case2A)

2) 塗布接着型シート工法 (case2B)

case2B の荷重変位曲線を図 4.5.13、試験状況を図 4.5.14 に示す (case1A を比較対象として同時に示した)。押抜き変位に伴う荷重の推移は case1B とほぼ同様であり、最大荷重時直後に 1 方向目の繊維の破断を確認した。繊維の破断は、三角圧子の一边と直角方向に配置されている繊維で生じた。2 方向目の繊維の破断は圧子中央部で発生し、2 方向目の繊維の破断で耐力を喪失した。最大荷重は 3.93kN (変位 7.9mm 時) であり、case1B と比較して 0.88 倍であった。繊維の露出は、1 方向で目立つものの他方向ではほとんど見られなかった。塗膜のひびわれは圧子に沿った向きと圧子の中央部に発生した。

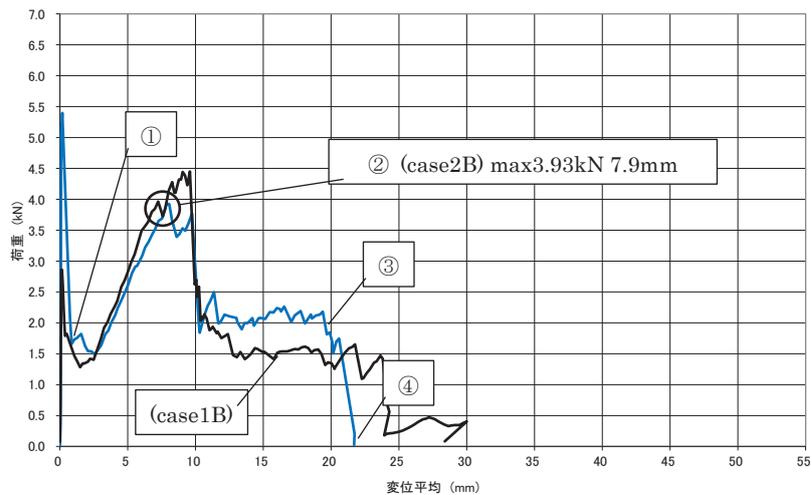


図 4.5.13 荷重変位曲線 (case1B、2B)

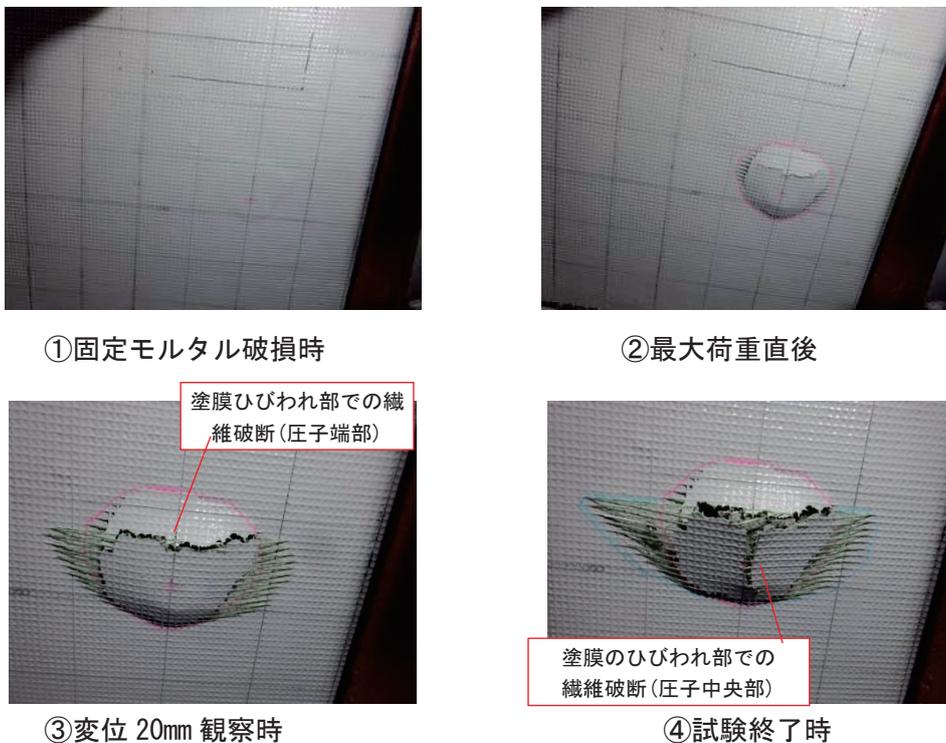


図 4.5.14 試験状況 (case2B)

3) 貼付け接着型シート工法 (case2C)

case2C の荷重変位曲線を、試験状況を図 4.5.16 に示す (case1C を比較対象として同時に示した)。押抜き変位に伴う荷重の推移は case1C とほぼ同様であったが、変位 7.5mm に荷重の低下が見られた。これは、繊維の露出状態が変化したことによる影響と考えられるが詳細は明確でない。その後、荷重は再度増加し、最大荷重到達後に荷重の急激な低下が見られたため試験を終了した。最大荷重は 2.35kN (変位 22.0mm 時) で、case1C と比較して 0.77 倍であり、最大荷重到達後の荷重低下も急激であった。これは、最大荷重到達時に一度に数本の繊維が破断したことが原因と考えられ、この時の破断箇所は、圧子の鋭角部ではなく直線部であった。これは、三角圧子の直線部に接する繊維に荷重が伝達されやすいためと考えられる。剥離形状は円形となった。

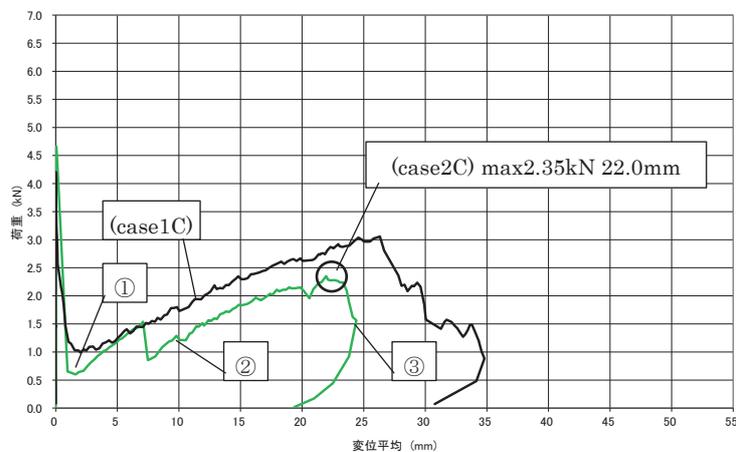


図 4.5.15 荷重変位曲線 (case1C、2C)

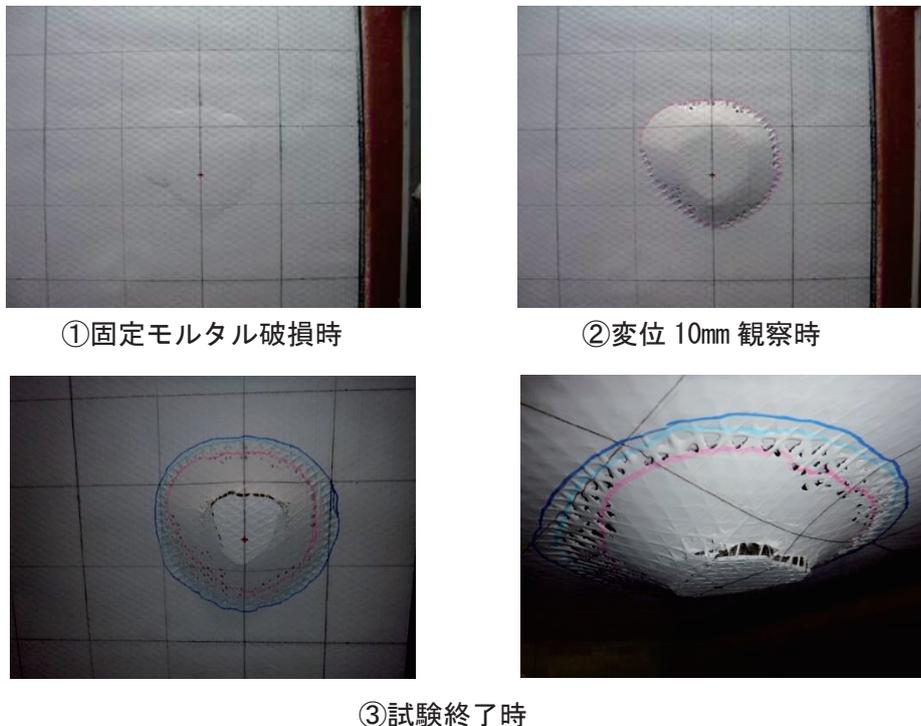


図 4.5.16 試験状況 (case2C)

4) メッシュ工法 (case2D)

case2D の荷重変位曲線を図 4.5.17、試験状況を図 4.5.18 に示す (case1D を比較対象として同時に示した)。押抜き変位に伴う荷重の推移は case1D とほぼ同様であるが、同一変位における荷重は小さかった。荷重の急激な低下が見られたため、変位 23mm 時に試験を終了した。最大荷重は 1.42kN (変位 15.8mm 時) であり、case1D と比較して 0.76 倍であった。塗膜のひびわれは圧子の形状に沿った形で発生した。繊維の破断は圧子の近傍で発生しており、圧子の鋭角部でも繊維の破断が確認された。剥離範囲は狭く、最初は三角形の剥離形状であったが、終局時は塗膜の剥落が生じ、ひし形のような剥離範囲となった。

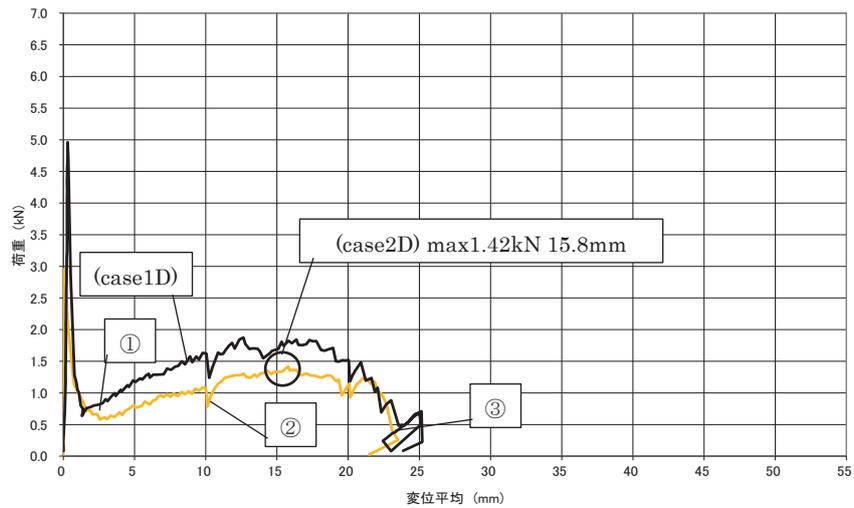


図 4.5.17 荷重変位曲線 (case1D、2D)



図 4.5.18 試験状況 (case2D)

5) 可視化工法 (case2E)

case2E の荷重変位曲線を図 4.5.19、試験状況を図 4.5.20 に示す (case1E を比較対象として同時に示した)。case2E においても case1E の場合と同様に塗膜や繊維の破断は見られず、剥離範囲が試験制限(W=400mm)となったために試験を終了した。押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られた。最大荷重は、1.41kN (変位 20.0mm 時) であり case1A と比較して 1.91 倍であった。剥離形状は、円形となった。剥離範囲の進展は case1E の場合に比べて遅く、剥離制限範囲に達したのは変位 20mm のときであった。これは、圧子の形状が三角形であったため、剥離の進展が一様に進まなかったことが原因と考えられる。

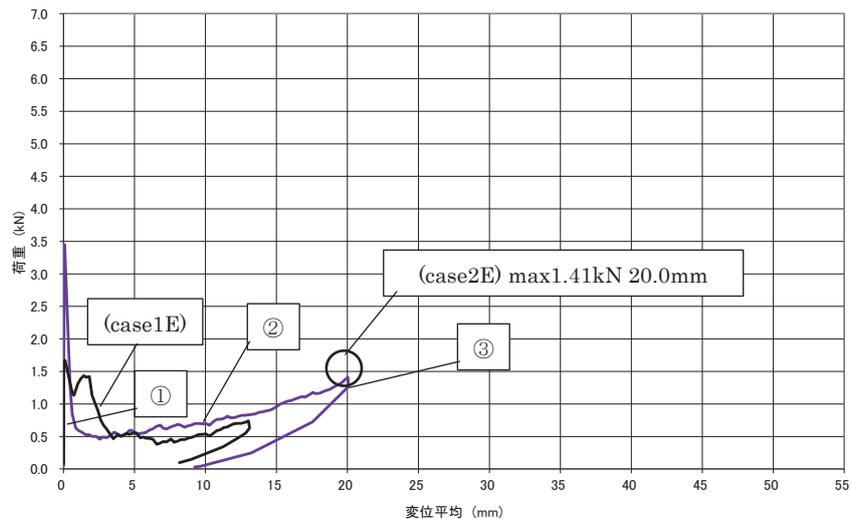


図 4.5.19 荷重変位曲線 (case1E、2E)



①固定モルタル破損時



②変位 10mm 観察時



③試験終了時

図 4.5.20 試験状況 (case2E)

6) 三角形圧子の影響

三角形圧子を用いた押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・塗装工法のように材料が一様な落下防止対策では、剥離制限範囲内での塗膜のひび割れは生じなかった。
- ・2軸または3軸のシート、メッシュを使用する工法では、三角形圧子の直線部に接する繊維が最初に破断する傾向であった。
- ・三角形圧子の鋭角部で繊維が破断したのはメッシュ工法のみであった。
- ・圧子の形状によって、剥離が一様に進展しない場合があった。

以上のとおり、三角形圧子を用いた押抜き試験では、繊維を使用する落下防止対策において、いずれの技術においても標準試験と比較して耐力が低下することが確認された。また、繊維の破断位置や方向は技術によって異なることが確認され、繊維の破断等が圧子形状の影響を受けることが確認された。落下防止対策の性能試験においては、圧子の形状と繊維破断の関係を把握して実施工条件への適用性の考察に反映することが有効と考えられる。

(3) case3 (ハンチ部 入隅形状付近)

case3 ではハンチ部入隅形状付近での押抜き試験とした。標準試験と比較することで、入隅形状の影響を確認するものである。

1) 塗装工法 (case3A)

case3A の荷重変位曲線を、図 4.5.21 試験状況を図 4.5.22 に示す (case1A を比較対象として同時に示した)。case3A では塗膜にひびわれは発生せず、押抜き変位が 50mm となった時点で試験を終了した。押抜き変位の増加に伴い荷重の緩やかな増加が見られたが、増加割合は非常に小さかった。最大荷重は、1.86kN (変位 49.6mm 時) であり case1A と比較して 1.13 倍であった。剥離範囲は、ハンチ側で比較的小さく、楕円形となった。

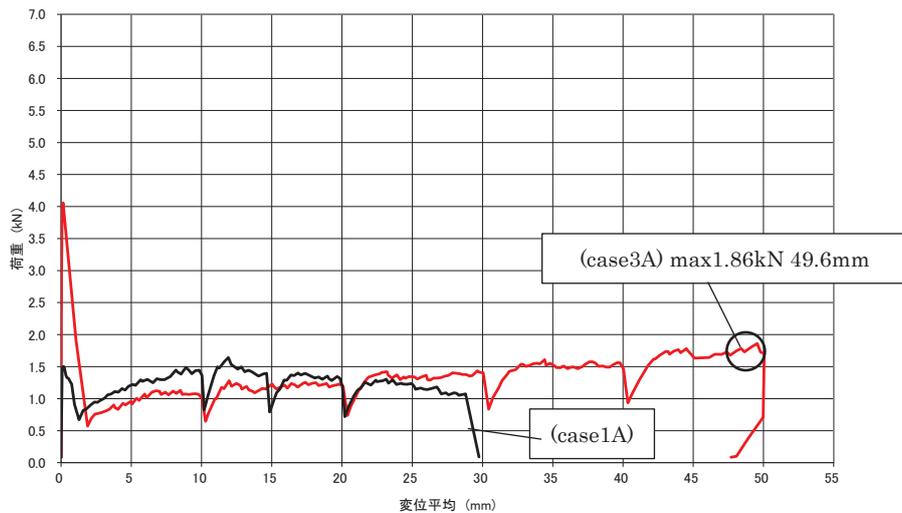


図 4.5.21 荷重変位曲線 (case1A、3A)

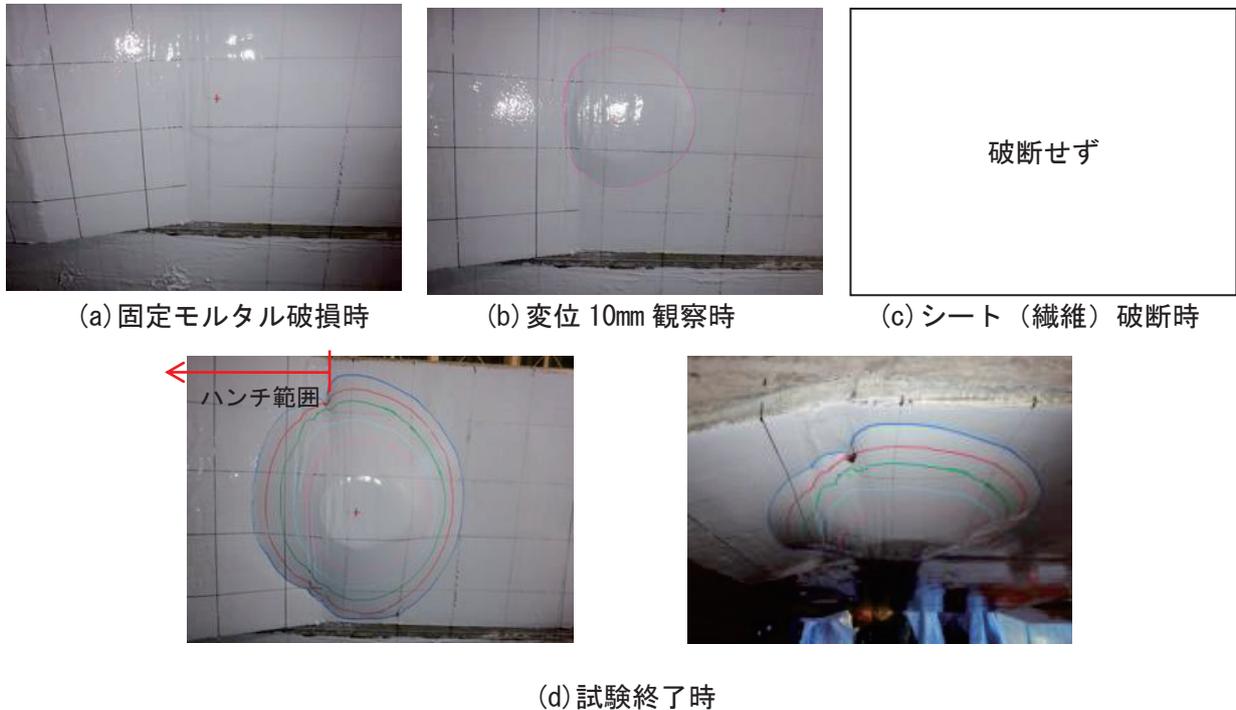


図 4.5.22 試験状況 (case3A)

2) 塗布接着型シート工法 (case3B)

case3B の荷重変位曲線を、図 4.5.23 試験状況を図 4.5.24 に示す (case1B を比較対象として同時に示した)。押抜き変位の増加に伴い、繊維が露出しながら荷重が増加した。荷重のピークを確認後ハンチに対し直角方向となる繊維の破断を確認した。その後、荷重が一定から上昇に転じて緩やかに上昇したが、その際、ハンチ方向の繊維の露出が生じて剥離が進展し、ハンチに対し直角方向の繊維の露出はほとんど生じず、剥離も進展しなかった。押抜き変位が剥離制限範囲である 50mm となったために試験を終了した。最大荷重は 4.11kN であり case1B と比較して 0.92 倍であった。この時の変位は 16.1mm であり、case1B よりも大きくなった。剥離形状は、ハンチ方向に広い扁平な形状となった。

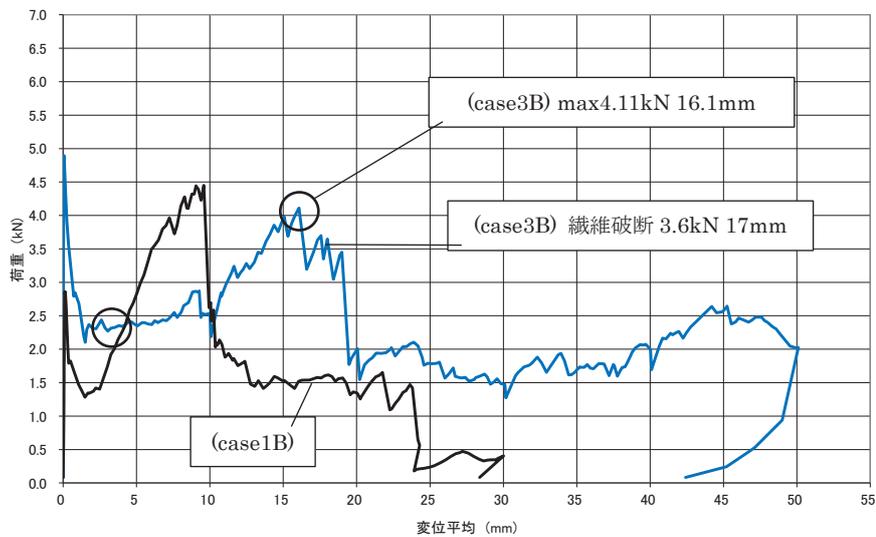


図 4.5.23 荷重変位曲線 (case1B、3B)

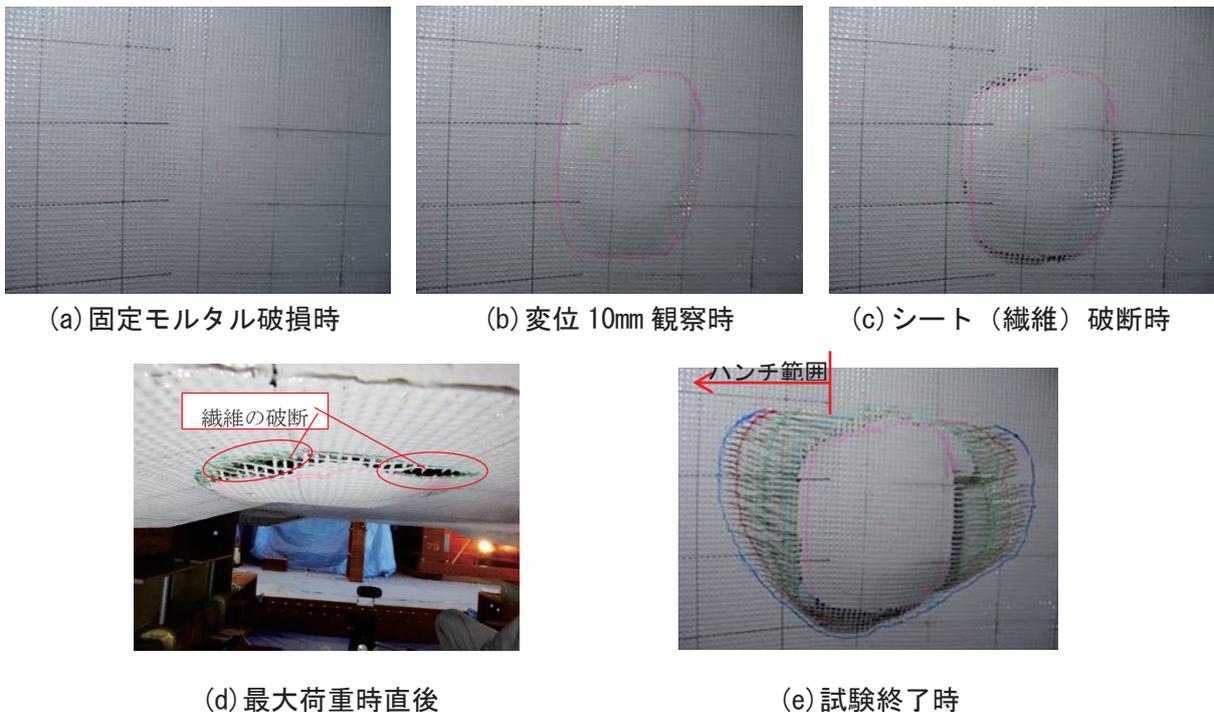


図 4.5.24 試験状況 (case3B)

3) 貼付け接着型シート工法 (case3C)

case3C の荷重変位曲線を図 4.5.25、試験状況を図 4.5.26 に示す (case1C を比較対象として同時に示した)。case3A では、圧子周辺とハンチとの界面の一部を除いて繊維の露出が見られたが、破断は確認されず、変位が 40mm の時点で圧子の大きな偏心が発生したため試験を終了した。変位に伴う荷重の増加割合は、case1C と比較して小さかった。最大荷重は 2.79kN (変位 39.3mm 時) であり case1C と比較して 0.91 倍であった。剥離範囲は、ハンチ側で比較的小さく、扁平な形状となった。

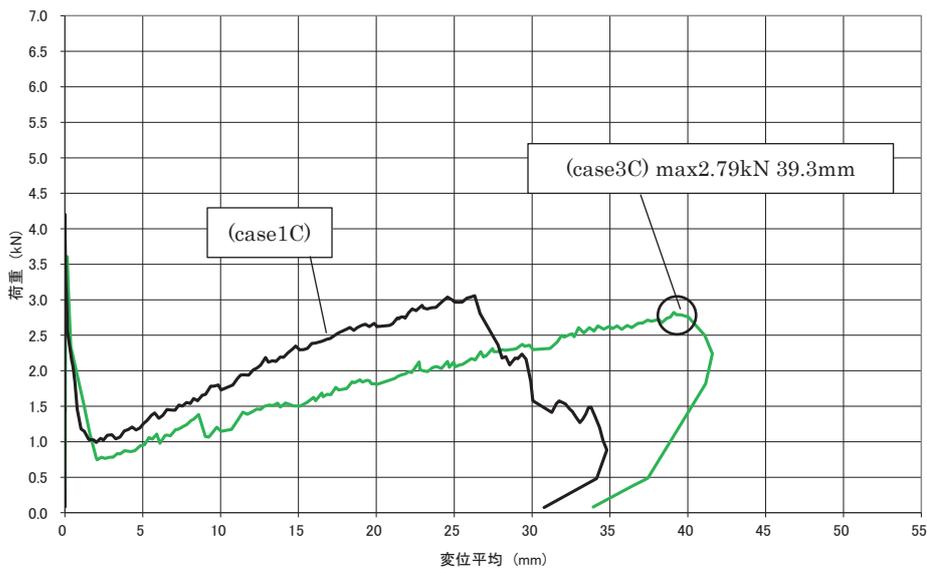


図 4.5.25 荷重変位曲線 (case1C、3C)

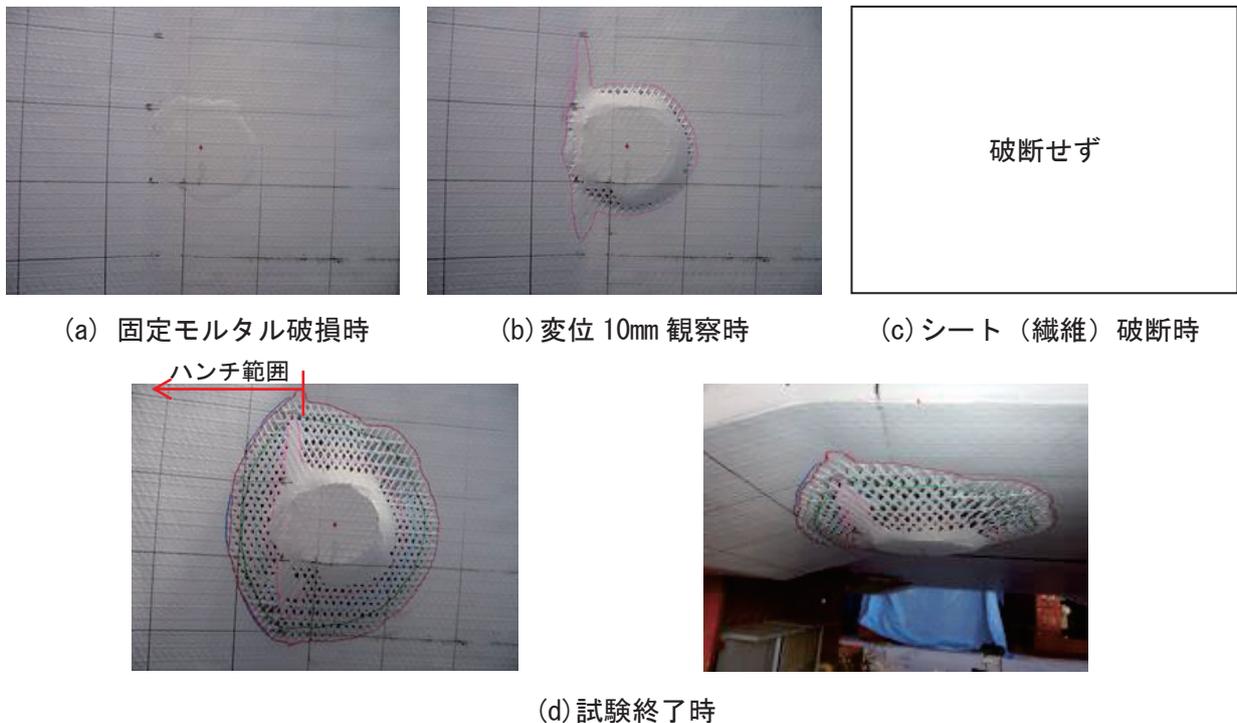


図 4.5.26 試験状況 (case3C)

4) メッシュ工法 (case3D)

case3D の荷重変位曲線を図 4.5.27、試験状況を図 4.5.28 に示す (case1D を比較対象として同時に示した)。押抜き変位に伴う荷重の推移は case1D とほぼ同様であり、荷重の急激な低下が見られたため、変位 30mm 時に試験を終了した。最大荷重は 1.76kN (変位 22.4mm 時) であり、case1C と比較して 0.94 倍であった。繊維の破断は圧子の近傍で発生した。剥離範囲はハンチ側で比較的小さく、扁平な形状となった。

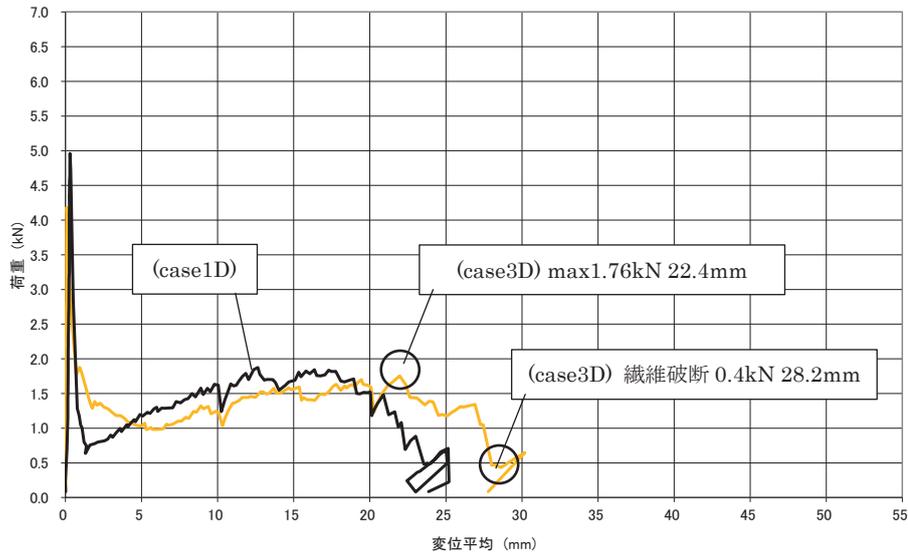


図 4.5.27 荷重変位曲線 (case1D、3D)



固定モルタル破損時



変位 10mm 観察時



シート (繊維) 破断時



試験終了時

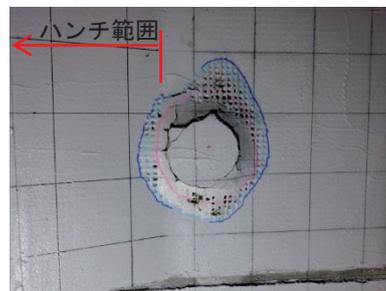


図 4.5.28 試験状況 (case3D)

5) 可視化工法 (case3E)

case3E の荷重変位曲線を図 4.5.29、試験状況を図 4.5.30 に示す (case1E を比較対象として同時に示した)。case3E では塗膜や繊維の破断は見られず、剥離範囲が試験制限 (W=450mm) となったために試験を終了した。押抜き変位の増加に伴う荷重の増加は明確には見られなかった。最大荷重は、1.64kN (変位 11.9mm 時) であり case1E と比較して 0.52 倍であった。剥離範囲は、ハンチ側にはほとんど進展しないことで半円形となった。

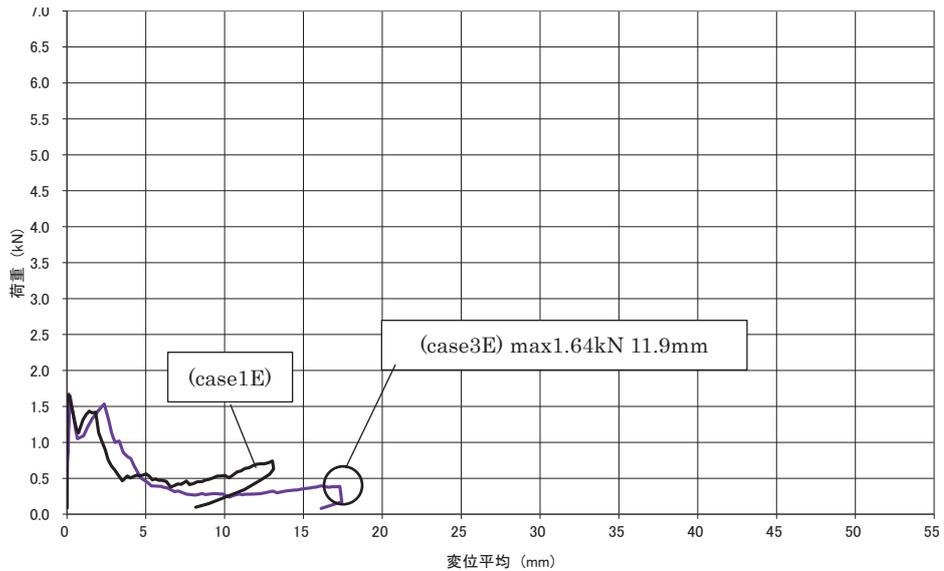


図 4.5.29 荷重変位曲線 (case1E、3E)

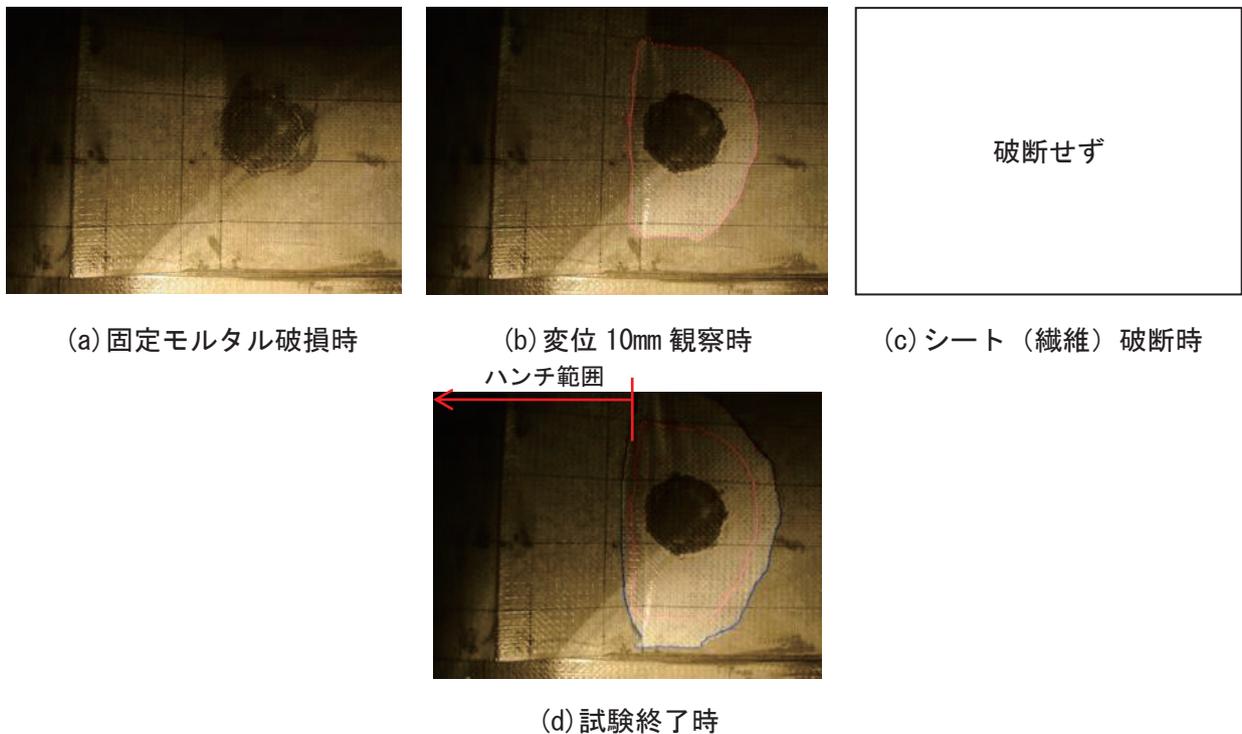


図 4.5.30 試験状況 (case3E)

6) ハンチ部入隅形状の影響

ハンチ部入隅形状を想定した位置での押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・標準部と比べて耐力低下時または剥離制限範囲到達時の変位は大きい傾向であった。
- ・剥離範囲は、貼付け接着型シート工法を除き、ハンチ側には進展しにくい傾向であった。
- ・剥離範囲は円形とはならない場合が多かった。

以上のとおり、ハンチ部を想定した押抜き試験では、入隅形状によって荷重が均一に落下防止対策に作用せず、効果的に荷重を負担できない可能性があることが確認された。また、剥離範囲や剥離の方向は落下防止対策によって異なることが確認された。落下防止対策の性能試験においては、入隅形状で生じる剥落を想定した試験を行うことにより、落下防止対策の耐荷性能や剥離性状について確認できると考えられる。

(4) case4 (継手部 入隅形状)

case4 ではハンチ部の入隅形状位置に施工継手を設け押抜き試験とした。施工継手を設けていないハンチ部入隅形状での試験 case3 と比較することで、入隅形状における施工継手の影響を確認する。

1) 塗装工法 (case4A)

case4A の荷重変位曲線を図 4.5.31、試験状況を図 4.5.32 に示す (貼り付け箇所が同じ入隅形状としている case3A を、比較対象として同時に示した)。case4A では塗膜にひびわれは発生せず、剥離範囲が試験制限まで広がったため試験を終了した。case3A とほぼ同様の荷重変位曲線であった。最大荷重は、1.99kN (変位 39.5mm 時) であり case3A と比較して 1.07 倍であった。剥離範囲は、case3A と同様にハンチ側で比較的小さく、楕円形となり、継ぎ手部に目立った変状は確認されなかった。

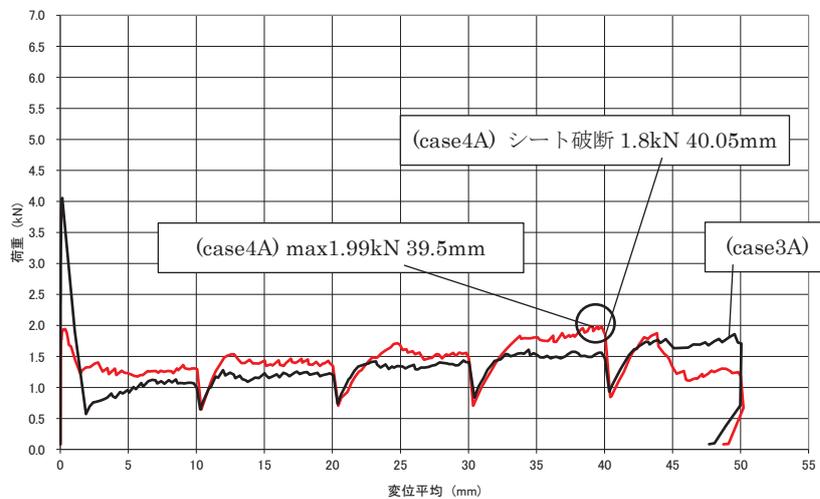


図 4.5.31 荷重変位曲線 (case3A、4A)

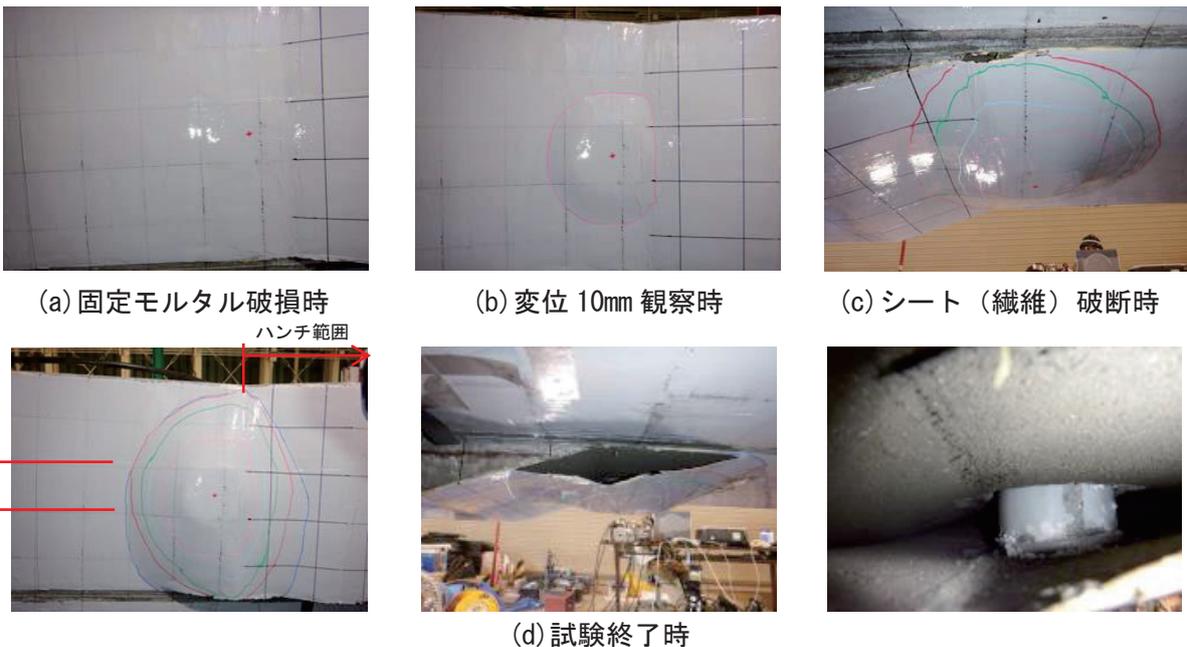


図 4.5.32 試験状況 (case4A)

2) 塗布接着型シート工法 (case4B)

case4B の荷重変位曲線を図 4.5.33、試験状況を図 4.5.34 に示す (貼り付け箇所の形状が同じ入隅形状としている case3B を、比較対象として同時に示した)。押抜き変位の増加に伴い、繊維が露出しながら荷重が増加した。case3B の場合と違って、ハンチ方向の繊維が著しく露出するということではなく、剥離範囲の外周全体にわたって繊維の露出が生じた。荷重のピークを確認後ハンチに対し直角方向となる繊維の破断を確認した。その後、他方の繊維の破断も確認し荷重の大きな低下が見られたため試験を終了した。case4B での最大荷重は 5.21kN (変位 21.1mm) であり case3B と比較して 1.27 倍と比較的大きくなったが、これは継手部のラップ区間が影響しているものと考えられる。しかし、繊維の破断は継手部付近で生じており、試験終了時では継手部において塗膜ごと剥離が生じており、継手部は繊維の破断や塗膜の剥離性に影響を及ぼすものと考えられる。剥離形状は、ハンチ方向に若干広い扁平な円形となった。

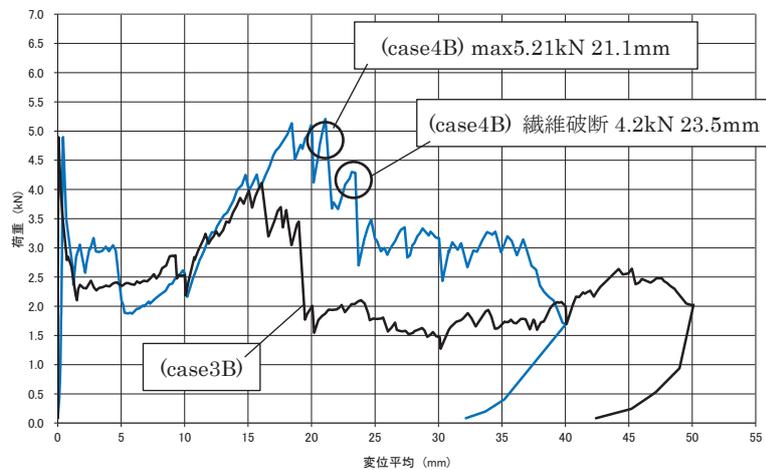


図 4.5.33 荷重変位曲線 (case3B、4B)

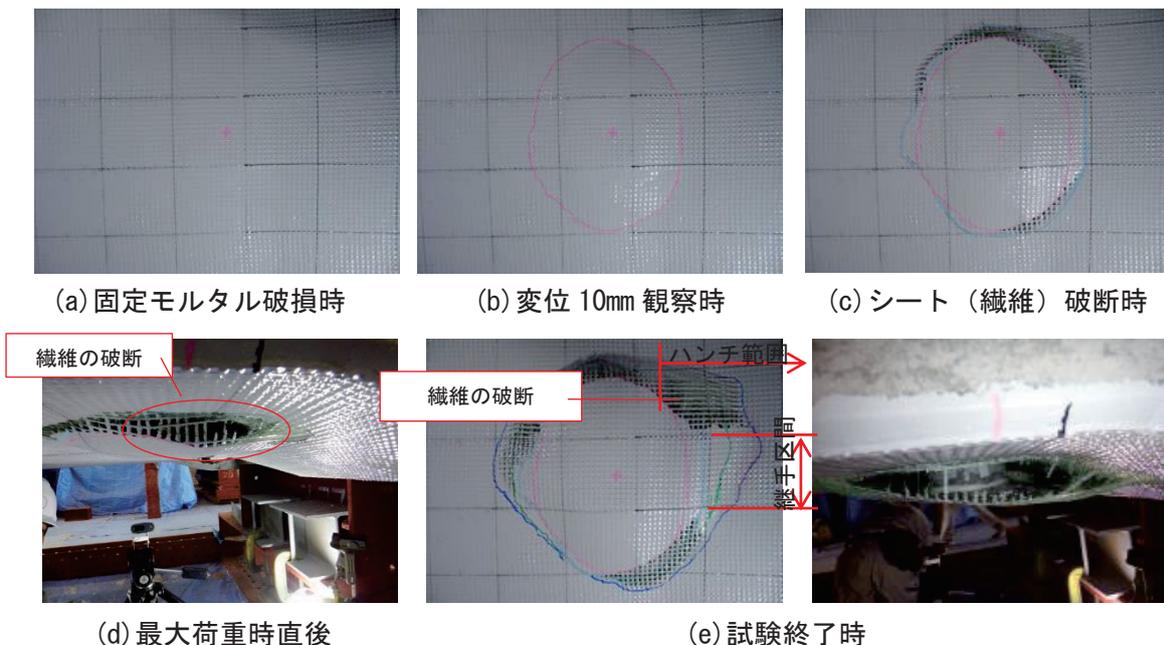


図 4.5.34 試験状況 (case4B)

3) 貼付け接着型シート工法 (case4C)

case4C の荷重変位曲線を図 4.5.35、試験状況を図 4.5.36 に示す (貼り付け箇所が同じ入隅形状としている case3C を、比較対象として同時に示した)。試験開始初期に見られる圧子接続部破壊後の荷重低下程度は、比較的少なかった。その後、変位の増加に伴い荷重も増加しているが、その割合は case3 と比較して小さかった。case4 での最大荷重は 3.00kN (変位 34.9mm 時) であり case3C と比較して 1.08 倍であった。最大荷重時後にも、繊維の明確な破断は確認されなかった。その後、荷重のなだらかな低下が見られたため試験を終了した。継手部では塗膜と繊維が一体となって剥離し、その他の部分では繊維が塗膜から露出していた。剥離形状は扁平な円形となった。

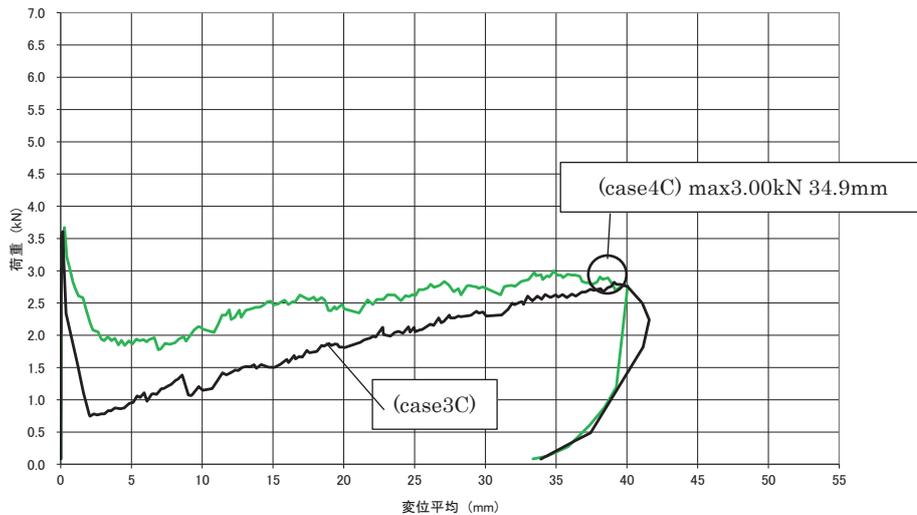


図 4.5.35 荷重変位曲線 (case3C、4C)

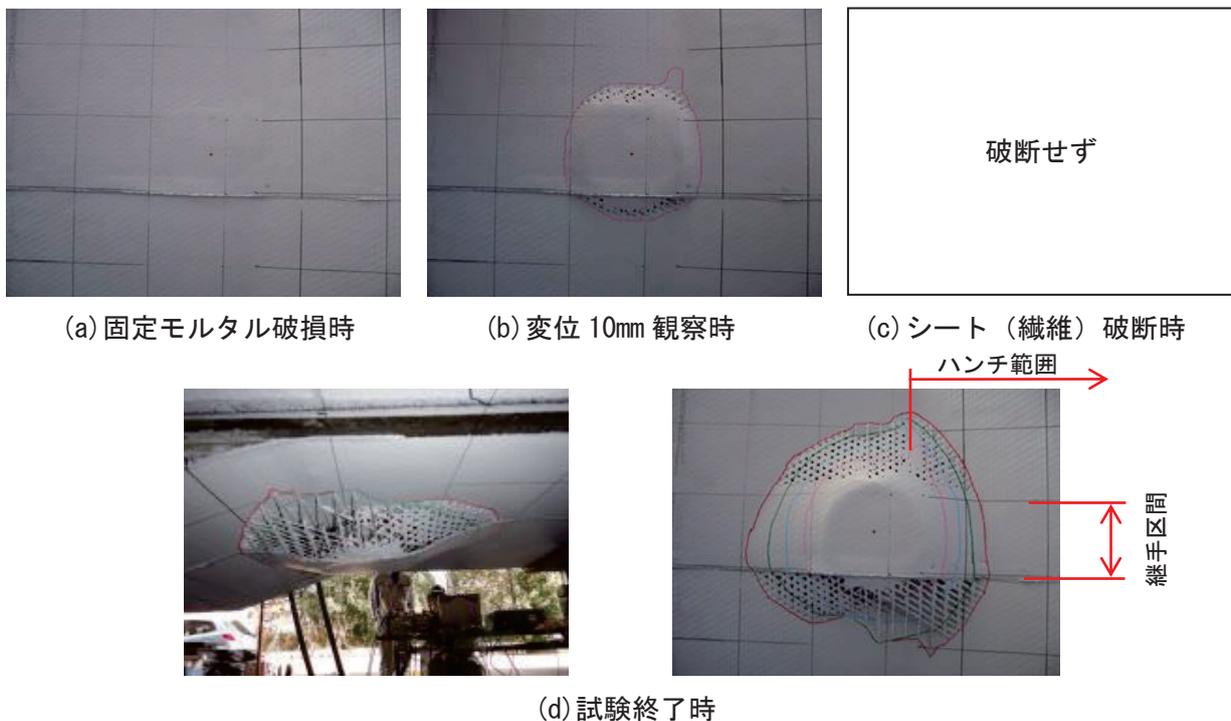


図 4.5.36 試験状況 (case4C)

4) メッシュ工法 (case4D)

case4D の荷重変位曲線を図 4.5.37 図 4.5.38 に示す (貼り付け箇所の形状が同じ入隅形状としている case3D を、比較対象として同時に示した)。押抜き変位の増加に伴い、荷重が増加した。荷重のピークを確認後荷重の低下が見られたが、変位が 25mm 以降はほぼ一定の値を示した。なお、試験の途中 (変位 34mm) で圧子の偏心が大きく、ロードセルの調整が必要となった為一時除荷を行った。その後、変位が 50mm となった時点で試験を終了した。case3D と比較して常に高い荷重を示しており、最大荷重は 2.45kN (変位 12.0mm) であり case3D と比較して 1.40 倍であった。シートの破断はハンチ直角方向の繊維で発生していたが、ハンチ方向では破断は無く、剥離範囲の増加が見られた。

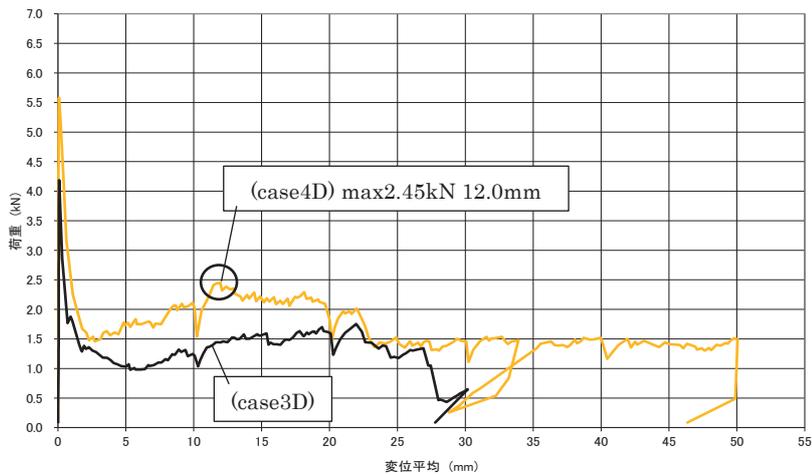


図 4.5.37 荷重変位曲線 (case3D、4D)



(a) 固定モルタル破損時

(b) 変位 10mm 観察時

(c) シート (繊維) 破断時



(d) 試験終了時

図 4.5.38 試験状況 (case4D)

5) 可視化工法 (case4E)

case4E の荷重変位曲線を図 4.5.39、試験状況を図 4.5.40 に示す (貼り付け箇所が同じ入隅形状としている case3E を、比較対象として同時に示した)。case4E では塗膜や繊維の破断は見られず、剥離範囲が試験制限(W=450mm)となったために試験を終了した。荷重変位曲線は、case3E とほぼ同様の挙動を示した。押抜き変位の増加に伴う荷重の増加は明確には見られなかった。最大荷重は、0.59kN (変位 18.8mm 時) であり case3E と比較して 1.52 倍であった。剥離範囲は、ハンチ側では一般部側に比べて拡がらず非対称な形となった。

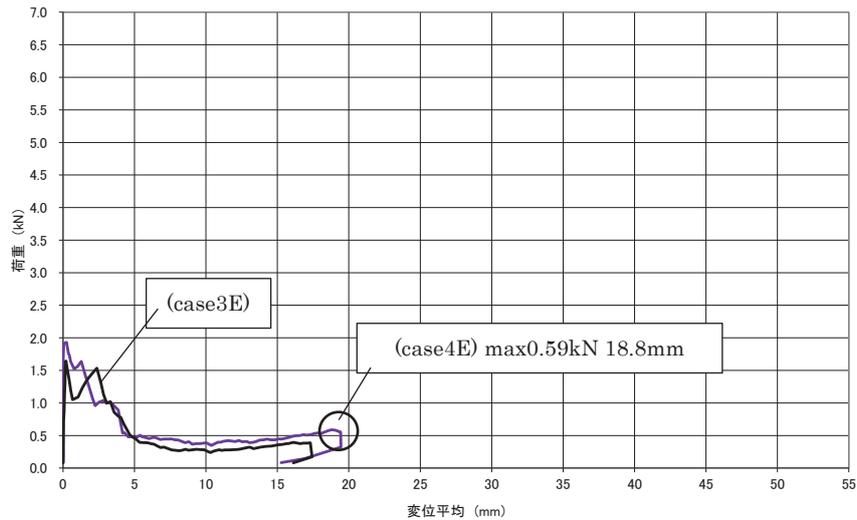


図 4.5.39 荷重変位曲線 (case3E、4E)

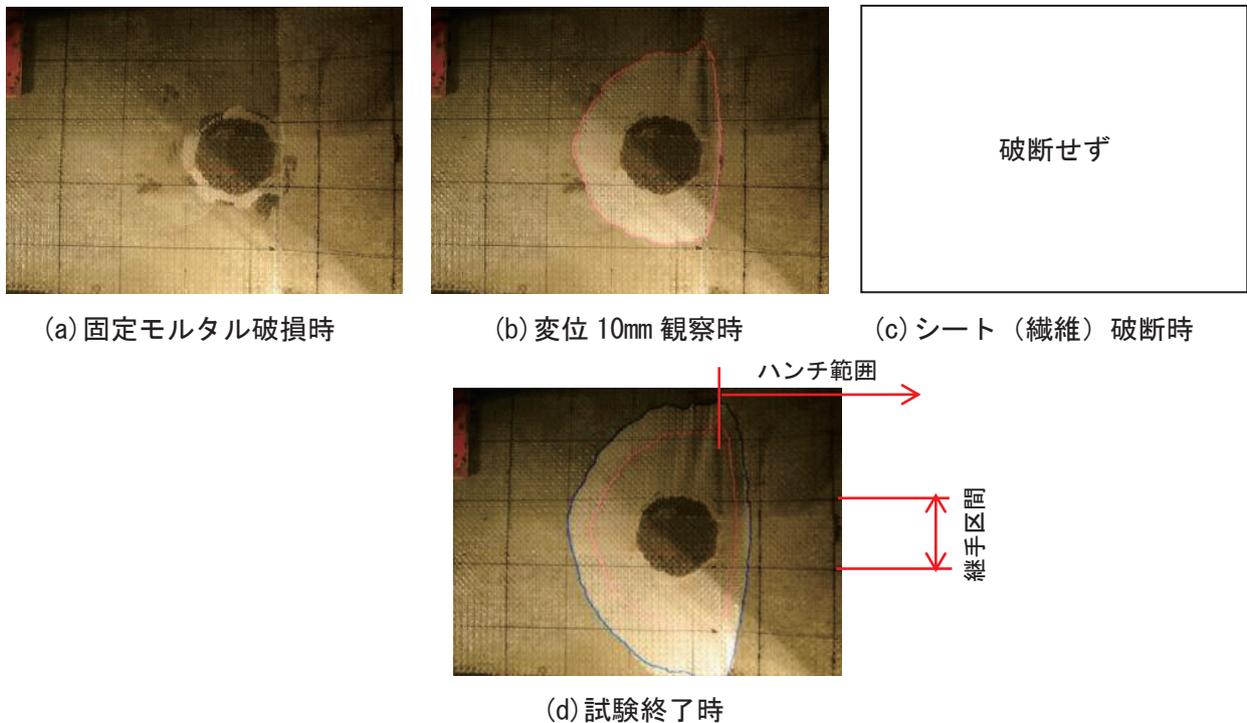


図 4.5.40 試験状況 (case4E)

6) 入隅形状における継手部の影響

入隅部に落下防止対策の継手部を設置した場合の押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・ほとんどの落下防止対策において、継手無しの場合に比べて最大荷重は大きくなった。
- ・繊維シート、メッシュを用いた落下防止対策において、継手部は繊維が露出せずに塗膜と一体となって剥離する傾向が確認された。
- ・2軸のシートまたはメッシュを用いた落下防止対策では、継手部近傍においてハンチ直角方向に繊維の破断が生じやすいことが確認された。
- ・塗装工法、可視化工法では継手による明確な影響は確認されなかった。

以上のとおり、入隅形状に継手部を設置した場合の押抜き試験では、落下防止対策がラップすることで、継手無しの場合に比べて最大荷重は大きくなる傾向であった。また、継手部においては繊維が塗膜と一体となって剥離する傾向が確認され、これも落下防止対策がラップしていることで、塗膜と繊維同士の接着強度が大きくなっているためと考えられる。しかし、継手部の近傍において、ハンチ部直角方向の繊維が切断することが確認された。これは、継手部が剥離することで、塗膜から露出した繊維に荷重が集中しやすくなるためと考えられる。このように、継手部分は落下防止対策がラップすることで強度が増加するものの、その影響で継手以外の部分に応力集中が起こる場合があることが確認された。よって、落下防止対策の性能試験では、継手部を実施工の条件（ラップ長や継手位置）に合わせた落下防止対策の施工を行い押抜き試験を行うことで、継手部が耐荷性能や剥離性状に及ぼす影響を確認できると考えられる。

(5) case6、9 (端部・角部)

case6 では圧子の 1 側面が端部形状となる条件で、case9 では圧子の 2 側面が端部形状となる条件で押抜き試験を行った。いずれの試験においても、鉛直面への落下防止対策の立上げ処理は行っておらず、端部と角部の形状の影響を確認するものである。

1) 塗装工法 (case6A、9A)

case6A、9A の荷重変位曲線を図 4.5.41、試験状況を図 4.5.42 に示す (case1A を比較対象として同時に示した)。

一辺が端部である case6A では塗膜にひびわれは発生しなかったが、変位 9mm の時点で端部に接する部分で剥離が生じた。押抜き変位の増加に伴い荷重の緩やかな増加が見られたが、押抜き変位が 50mm となった時点で試験を終了した。荷重の増加割合は非常に小さかった。最大荷重は、2.01kN (変位 49.2mm 時) であり case1A と比較して 1.22 倍であった。

二辺が端部である case9A では塗膜にひびわれは発生しなかったが、変位 4.7mm の時点で端部二辺のうち一辺が剥離した。荷重の急激な低下は見られず、押抜き変位が 50mm となった時点で試験を終了した。最大荷重は、1.06kN (変位 41.7mm 時) であり case1A と比較して 0.65 倍であった。

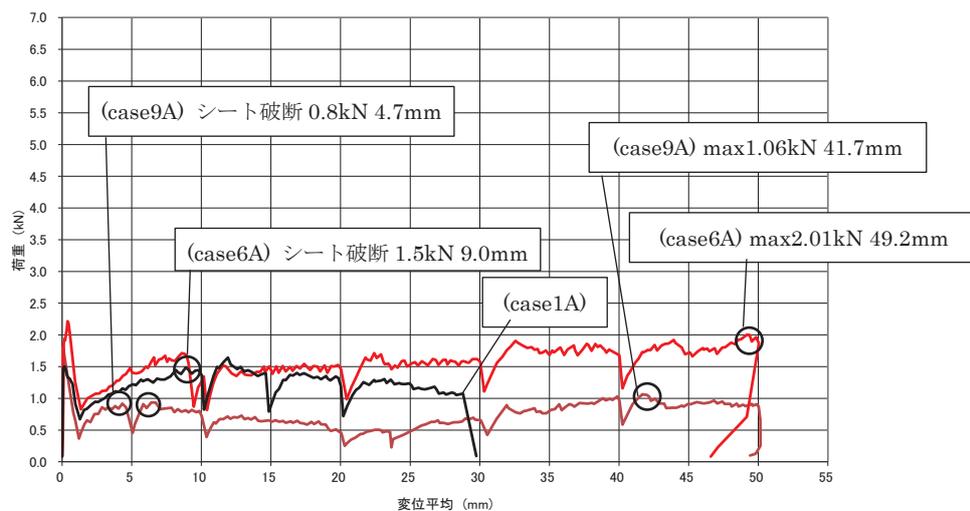
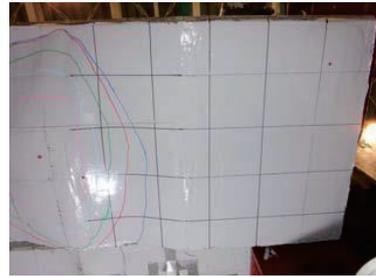


図 4.5.41 荷重変位曲線 (case1A、6A、9A)

case6A



case9A



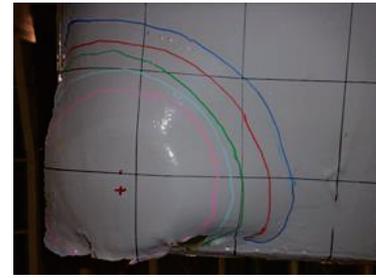
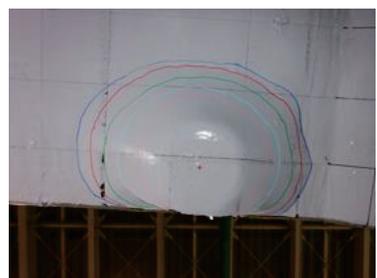
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.42 試験状況 (case6A、9A)

2) 塗布接着型シート工法 (case6B、9B)

case6B、9B の荷重変位曲線を図 4.5.43、試験状況を図 4.5.44 に示す (case1B を比較対象として同時に示した)。

一辺が端部である case6B では押抜き変位の増加に伴い、繊維が露出しながら荷重が増加した。明確な荷重のピークは確認できず、その後繊維の破断により荷重の大きな低下が見られたため試験を終了した。最大荷重は、2.68kN (変位 7.7mm 時) であり case1B と比較して 0.60 倍であった。剥離は端部方向に沿って発生し、直角方向にはほとんど剥離が生じなかった。

二辺が端部である case9B では押抜き変位の増加に伴い、荷重が増加したが、最大荷重後は荷重の低下が見られた。しかし、変位 15mm 付近から荷重が増加に転じ、3kN 程度まで荷重は増加した。最大荷重は、3.14kN であり case1B と比較して 0.71 倍であった。端部から 15cm 程度までは塗膜と繊維が一体となって剥離したが、それより外側は繊維のみ露出し、繊維の破断には至らなかった。荷重が再度増加に転じた理由としては、繊維が破断せずに剥離が進展した場合、ある剥離面積以降は剥離が進展しにくくなり、再び圧子を支持できるようになったためと考えられる。

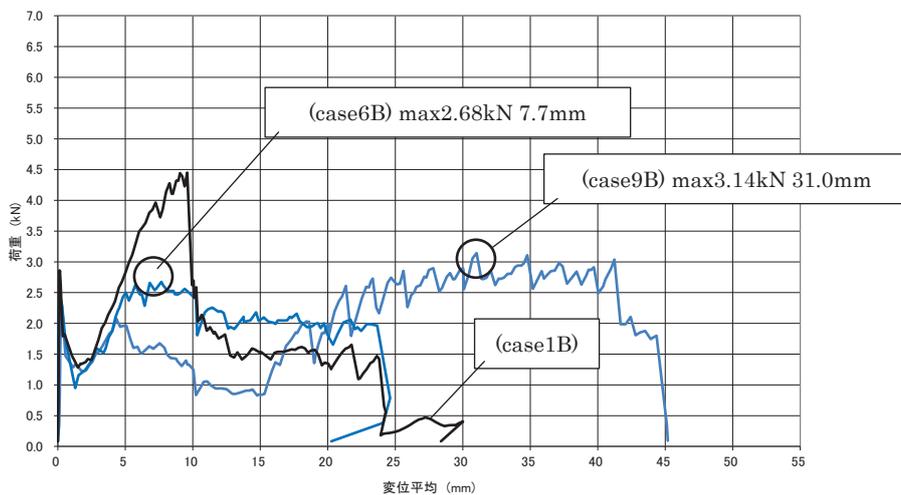
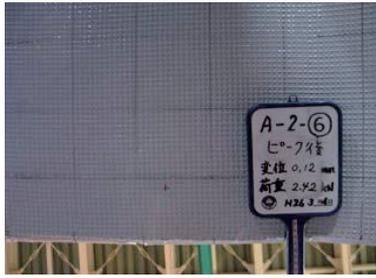
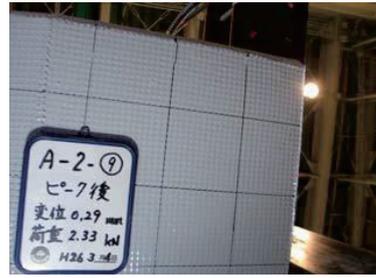


図 4.5.43 荷重変位曲線 (case1B、6B、9B)

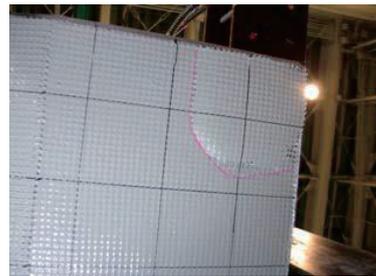
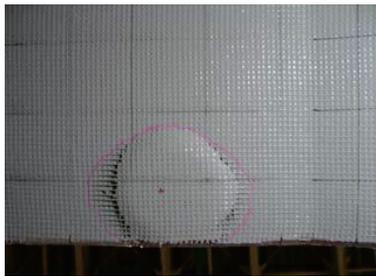
case6B



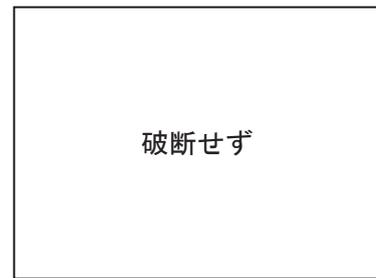
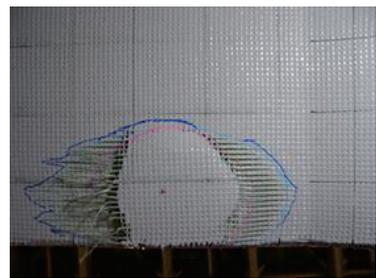
case9B



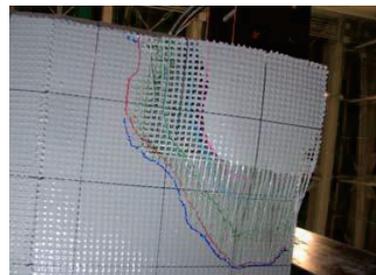
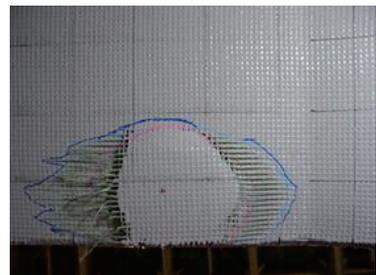
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.44 試験状況 (case6B、9B)

3) 貼付け接着型シート工法 (case6C、9C)

case6C、9C の荷重変位曲線を図 4.5.45、試験状況を図 4.5.46 に示す (case1C を比較対象として同時に示した)。

一辺が端部である case6C では繊維の露出は見られたが、破断は確認されず、変位が 30mm の時点で圧子の大きな偏心が発生したため試験を終了した。押抜き変位の増加に伴い荷重の緩やかな増加が見られたが、増加割合は非常に小さかった。最大荷重は、1.86kN (変位 19.6mm 時) であり case1C と比較して 0.61 倍であった。

二辺が端部である case9C では繊維の露出は見られたが、破断は確認されず、変位が 50mm の時点で試験を終了した。最大荷重は、1.67kN (変位 48.5mm 時) であり case1C と比較して 0.55 倍であった。

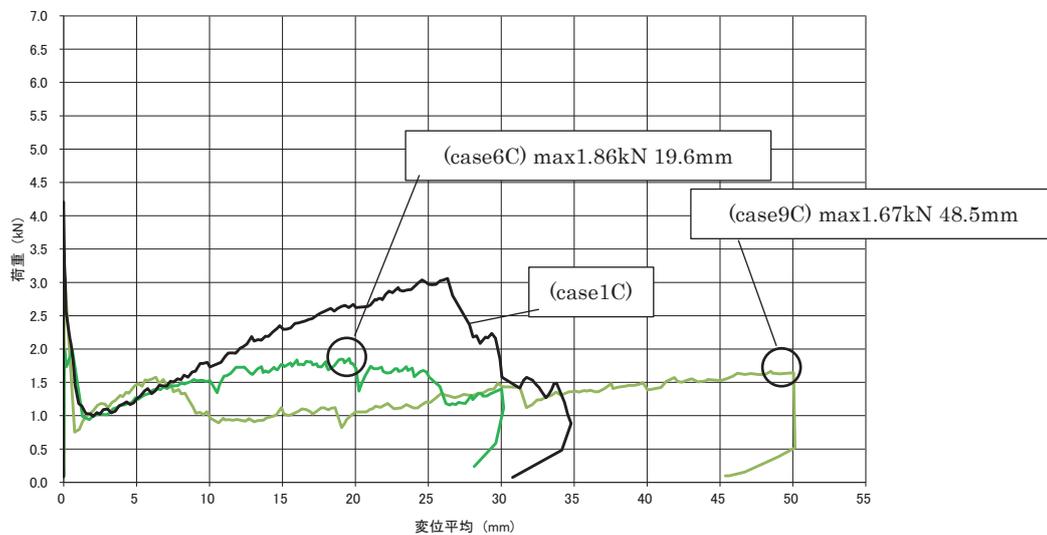
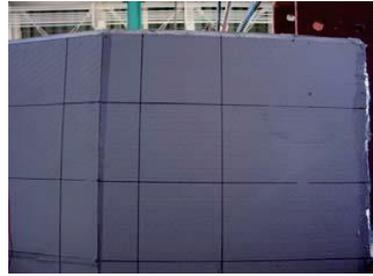


図 4.5.45 荷重変位曲線 (case1C、6C、9C)

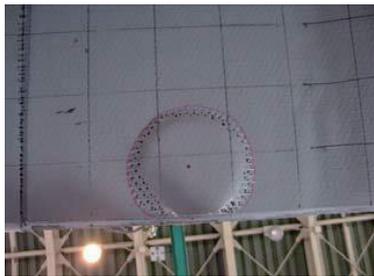
case6C



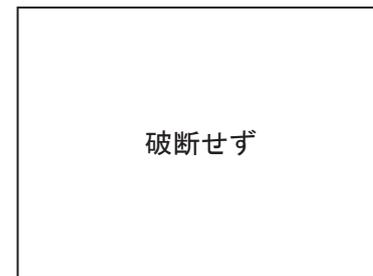
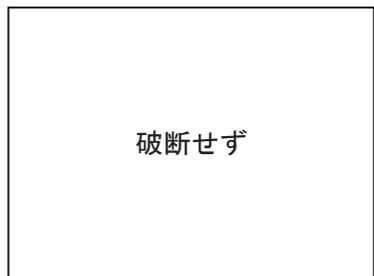
case9C



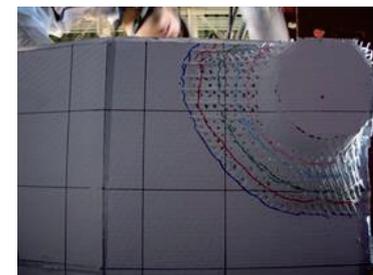
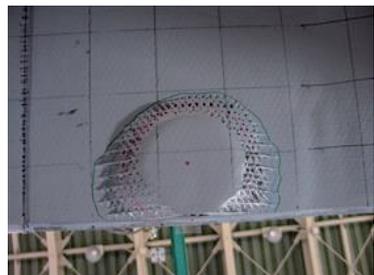
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.46 試験状況 (case6C、9C)

4) メッシュ工法 (case6D、9D)

case6D、9Dの荷重変位曲線を図 4.5.47、試験状況を図 4.5.48 に示す (case1D を比較対象として同時に示した)。

一辺が端部である case6D では最大荷重後に荷重が徐々に低下し、変位が 40mm の時点で圧子の大きな偏心が発生したため試験を終了した。最大荷重までは変位の増加に伴い荷重の緩やかな増加が見られたが、増加割合は小さかった。最大荷重は、1.23kN (変位 13.7mm 時) であり case1D と比較して 0.66 倍であった。剥離範囲は狭く、繊維の破断は確認されなかった。

二辺が端部である case9D では明確な荷重ピークは見られず、変位 10mm 程度まではほぼ一定の値を示した。最大荷重は、1.43kN (変位 22.4mm 時) であり case1D と比較して 0.76 倍であった。剥離箇所の一部塗膜の剥落が生じたが、繊維の破断は確認されなかった。

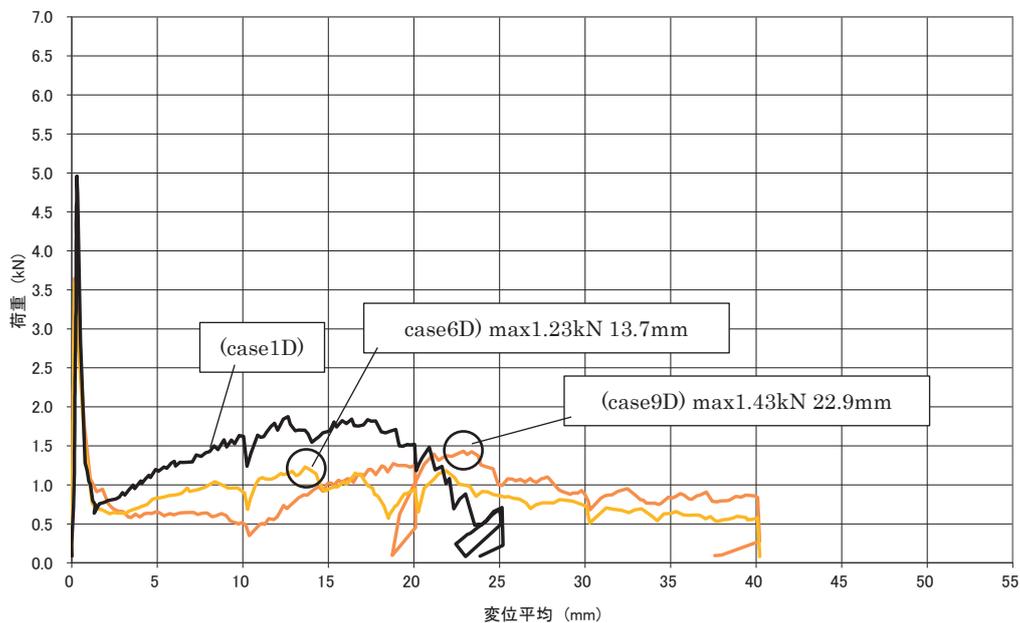


図 4.5.47 荷重変位曲線 (case1D、6D、9D)

case6D



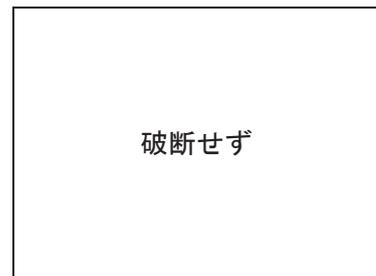
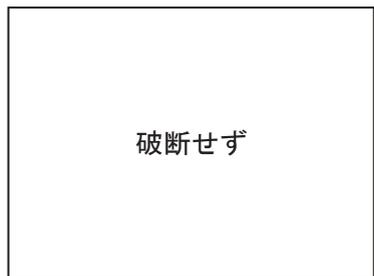
case9D



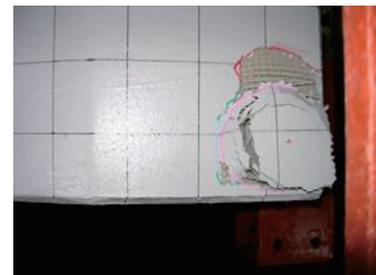
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.48 試験状況 (case6D、9D)

5) 可視化工法 (case6E、9E)

case6E、9E の荷重変位曲線を図 4.5.49、試験状況を図 4.5.50 に示す (case1E を比較対象として同時に示した)。

一辺が端部である case6E では塗膜や繊維の破断は見られず、変位が 20mm 時に剥離範囲が試験制限(W=400mm)となったために試験を終了した。case1E と同様の挙動を示しており、押抜き変位の増加に伴い荷重の緩やかな増加が見られたが、増加割合は非常に小さかった。最大荷重は、0.70kN (変位 16.9mm 時) であり case1A と比較して 0.95 倍であった。

二辺が端部である case9A では塗膜や繊維の破断は見られず、変位が 43mm 時に剥離範囲が試験制限(W=350mm)となったために試験を終了した。最大荷重は、0.77kN (変位 42.6mm 時) であり case1E と比較して 1.04 倍であった。

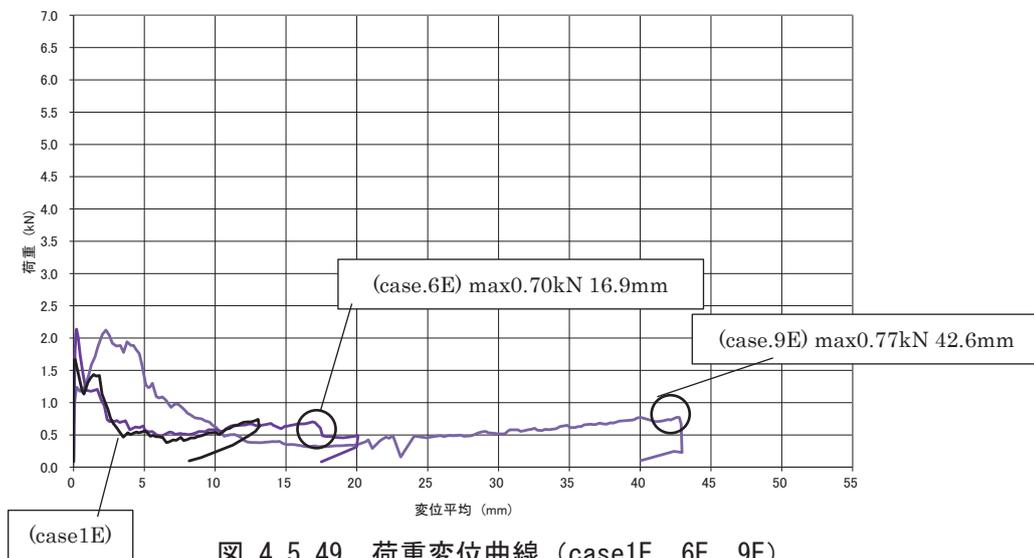
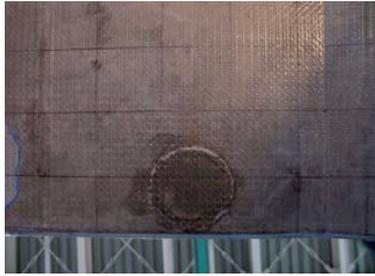
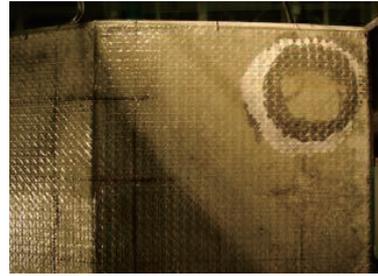


図 4.5.49 荷重変位曲線 (case1E、6E、9E)

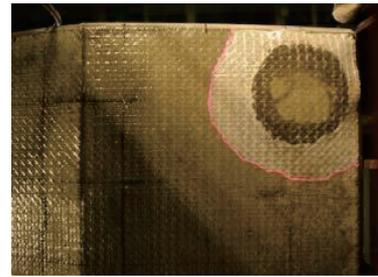
case6E



case9E



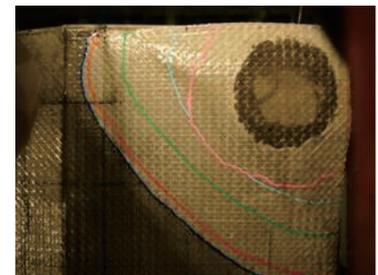
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.50 試験状況 (case6E、9E)

6) 端部形状の影響

端部及び角部に落下防止対策が設置された場合の押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・最大荷重は標準試験に比べて塗膜工法は増加し、可視化工法はほぼ同様、それ以外は60%程度まで低下する結果となった。
- ・いずれの技術も明確な荷重のピークが見られず、荷重がほぼ一定となる区間が長く見られた。
- ・塗布接着型シート工法の端部以外は、塗膜や繊維が破断せずに剥離面積が増加した。
- ・塗布接着型シート工法の角部では、繊維が破断せずに剥離が進展したことで、再び荷重が増加した。

以上のとおり、端部及び角部に落下防止対策を設置した場合の押抜き試験では、落下防止対策の定着長が十分に取れず、耐荷力を発揮する機構が標準試験とは異なり、十分な耐荷力を発揮できていないことが確認された。しかし、塗布接着型シート工法の角部のように、繊維が破断せずに剥離面積が大きくなった場合、再度耐荷力の増加が生じる技術があることも確認された。落下防止対策の性能試験では、端部や角部に設置した場合の実施工の条件を再現した押抜き試験を行うことで、落下防止対策を設置する部材の形状が耐荷性能及び剥離性状及ぼす影響を確認できると考えられる。

(6) case5、7、8（端部・角部の立上処理）

case5 は、圧子の 1 側面が端部形状となる条件とした case6 に対し、その 1 側面において落下防止対策の立上げ処理を行った。case6 と比較することにより、立上げ処理の影響を確認するものである。

case7、8 は、圧子の 2 側面が端部形状となる条件とした case9 に対し、case7 では 2 側面に、case8 では 1 側面において落下防止対策の立上げ処理を行った。case9 と比較することにより、立上げ処理の影響を確認するものである。

1) 塗装工法（case5A、7A、8A）

case5A の荷重変位曲線を図 4.5.51、試験状況を図 4.5.52 に示す（貼り付け箇所形状が同じ端部形状としている case6A を、比較対象として同時に示した）。端部を立上げ処理している case5A では圧子の立上げ部側に塗膜にひびわれが発生し、その後押抜き変位が 50mm となった時点で試験を終了した。塗膜にひびわれが確認された 14mm 程度までは押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られたが、その後は荷重の増加は見られず、case6A とほぼ同様の挙動を示した。最大荷重は、1.89kN（変位 12.8mm 時）であり case6A と比較して 0.94 倍であった。

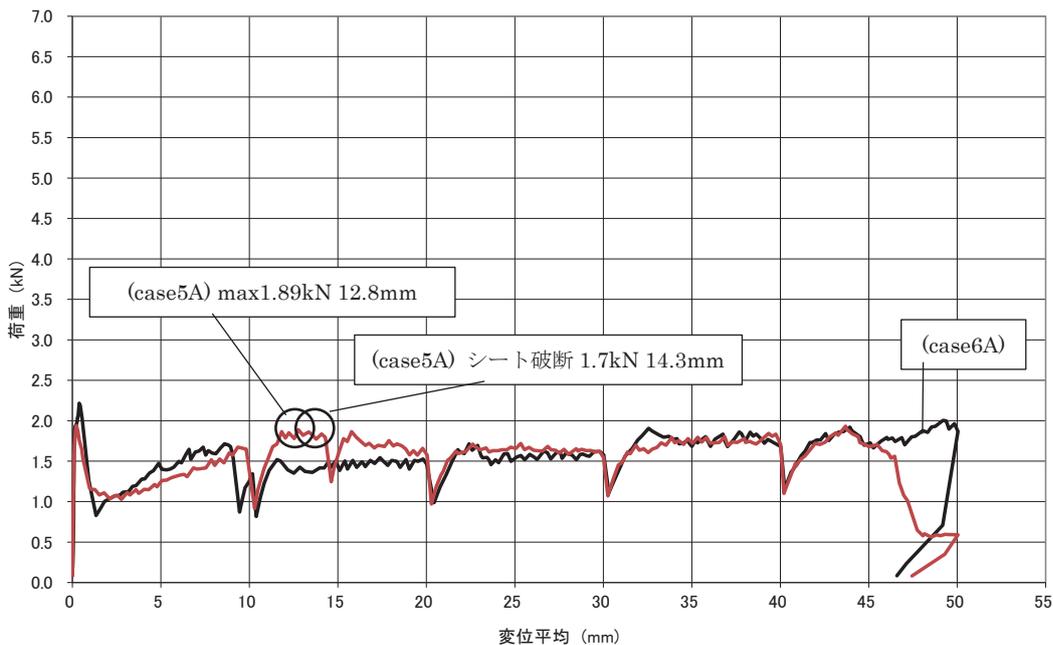


図 4.5.51 荷重変位曲線（case5A、6A）

case5A



case6A



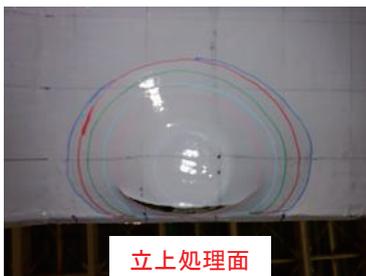
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.52 試験状況 (case5A、6A)

case7A、8A の荷重変位曲線を図 4.5.53、試験状況を図 4.5.54 に示す（貼り付け箇所形状が同じ角部形状としている case9A を、比較対象として同時に示した）。端部を立上げ処理している case7A、8A 共に、圧子の立上げ部側に塗膜にひびわれが発生し、その後押抜き変位が 50mm となった時点で試験を終了した。塗膜にひびわれが確認されるまでは押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られたが、その後は荷重が低下し、立上げ処理の無い case9A の結果とほぼ同様の挙動を示した。最大荷重は、case7A で 1.69kN（変位 12.9mm 時）、case8A で 1.41kN（変位 6.9mm 時）であり case9A と比較してそれぞれ 1.80 倍、1.50 倍であった。

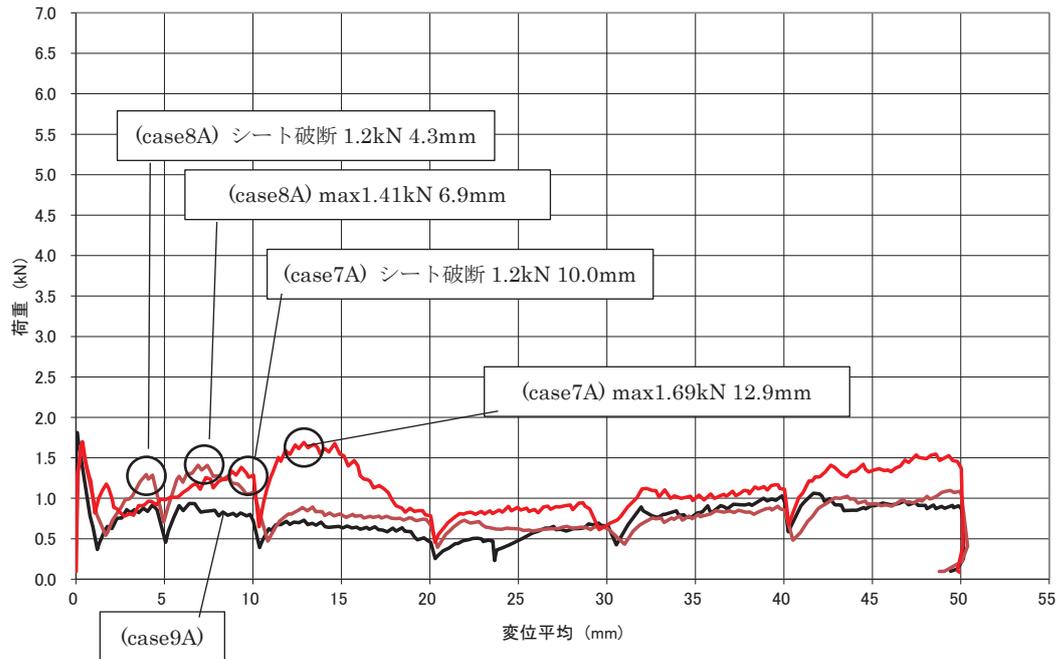


図 4.5.53 荷重変位曲線 (case7A、8A、9A)

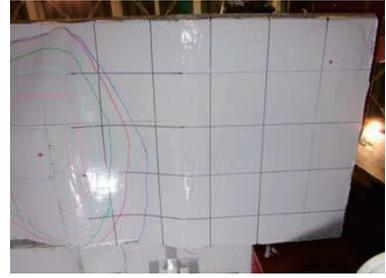
case7A



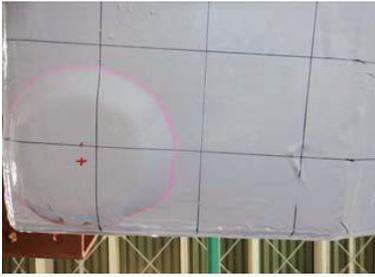
case8A



case9A



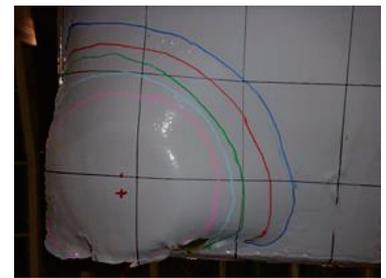
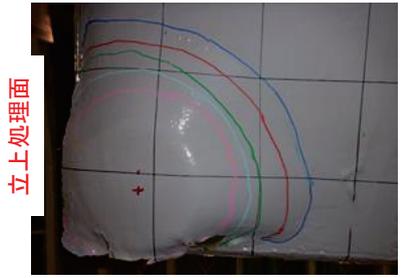
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



立上処理面

立上処理面

立上処理面

(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.54 試験状況 (case7A、8A、9A)

2) 塗布接着型シート工法 (case5B、7B、8B)

case5B の荷重変位曲線を図 4.5.55、試験状況を図 4.5.56 に示す (貼り付け箇所が同じ端部形状としている case6B を、比較対象として同時に示した)。

端部を立上げ処理している case5B では変位の増加と共に荷重も増加し、最大荷重直後には圧子の立上げ部側で繊維の破断が確認された。その後、他方向の繊維も破断し耐力を喪失したため試験を終了した。最大荷重後は、荷重の増加は見られず、case5B とほぼ同様の挙動を示した。最大荷重は、1.89kN (変位 5.8mm 時) であり case6B と比較して 1.64 倍であった。立上げ部の繊維が破断したのち、立上げ部の反対側では剥離面積は増加せず、その両側で端部に平行な繊維が塗膜から露出して剥離した。また、剥離面積は片側が大きく、剥離面積の小さかった側の露出した繊維に破断が生じた。

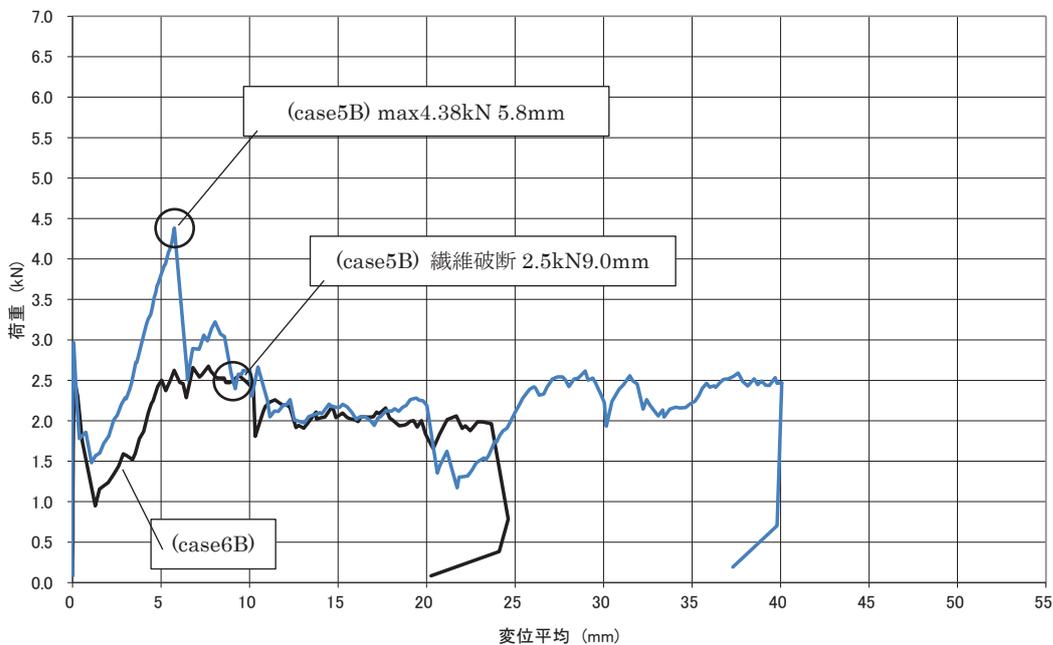
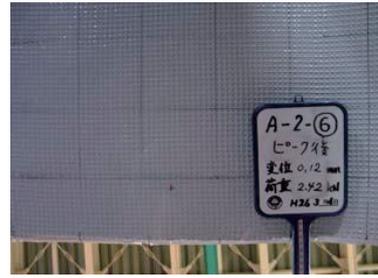


図 4.5.55 荷重変位曲線 (case5B、6B)

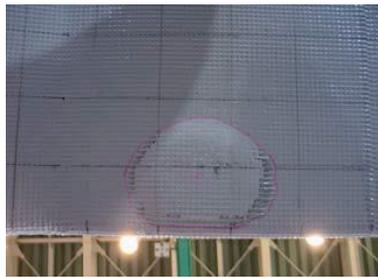
case5B



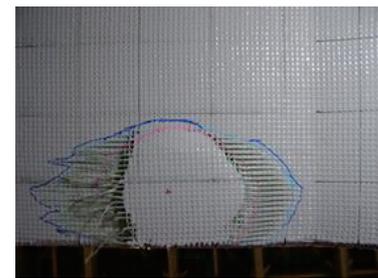
case6B



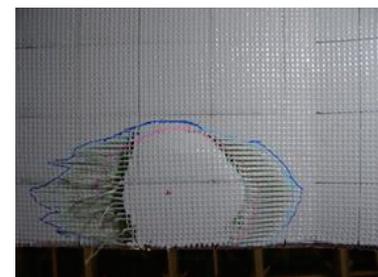
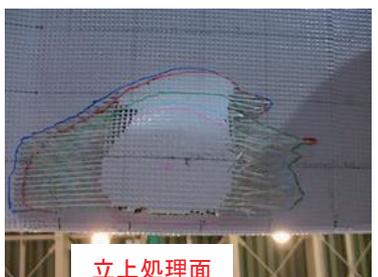
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.56 試験状況 (case5B、6B)

case7B、8Bの荷重変位曲線を図4.5.57、試験状況を図4.5.58に示す（貼り付け箇所形状が同じ角部形状としているcase9Bを、比較対象として同時に示した）。端部を立上げ処理しているcase7B、8B共に、圧子の立上げ部側に塗膜にひびわれが発生し、その後押抜き変位が50mmとなった時点で試験を終了した。塗膜へのひび割れ発生によって荷重は低下したが、変位15mm付近から再び荷重が増加し、立上げ処理の無いcase9Bの結果とほぼ同様の挙動を示した。しかし、立上げを行っていることで、case9Bの場合ほど剥離範囲が拡大せず、荷重の増加は小さかった。最大荷重は、case7Bで4.87kN（変位4.3mm時）、case8Bで4.04kN（変位5.0mm時）でありcase9Bと比較してそれぞれ2.35倍、1.95倍であった。

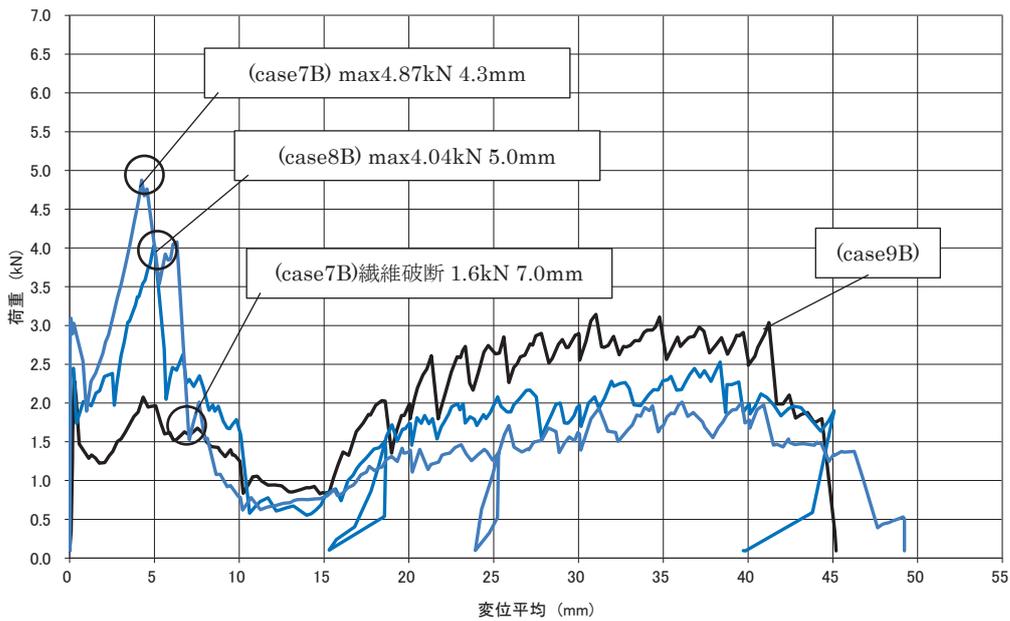
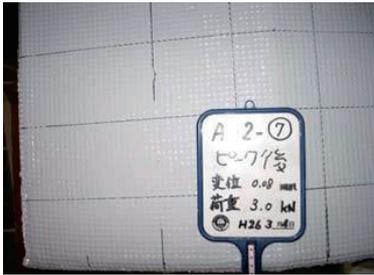
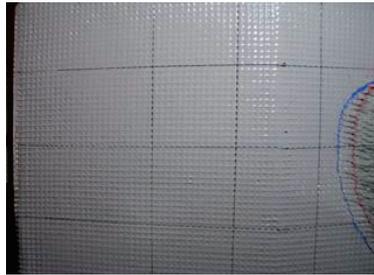


図 4.5.57 荷重変位曲線 (case7B、8B、9B)

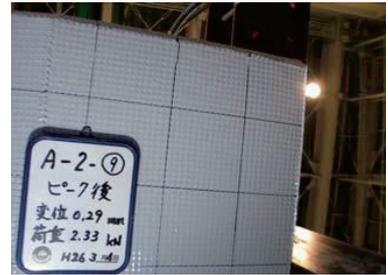
case7B



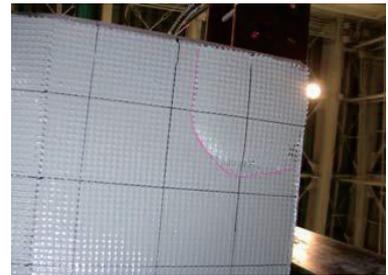
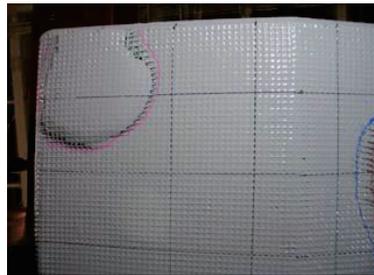
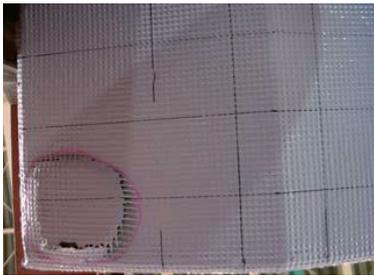
case8B



case9B



(a) 固定モルタル破損時

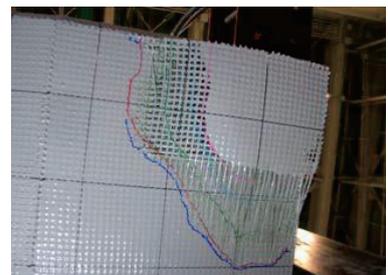
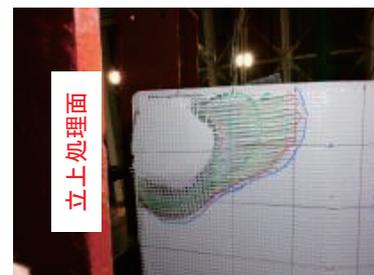
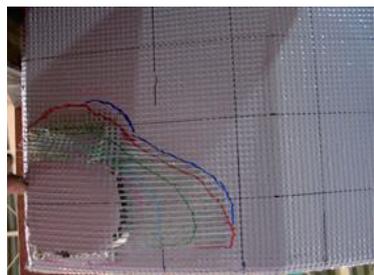


(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時

立上処理面



(d) 試験終了時（下面）

立上処理面



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.58 試験状況 (case7B、8B、9B)

3) 貼付け接着型シート工法 (case5C、7C、8C)

case5C の荷重変位曲線を図 4.5.59、試験状況を図 4.5.60 に示す (貼り付け箇所形状が同じ端部形状としている case6C を、比較対象として同時に示した)。端部を立上げ処理している case5C では、最大荷重までは押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られたが、最大荷重後には、圧子の立上げ部側に繊維の破断の発生が確認された。その後は荷重の増加は見られず、case6C とほぼ同様の挙動を示した。押抜き変位が 30mm となった時点で試験を終了した。最大荷重は、2.93kN (変位 10.9mm 時) であり case6C と比較して 1.58 倍であった。

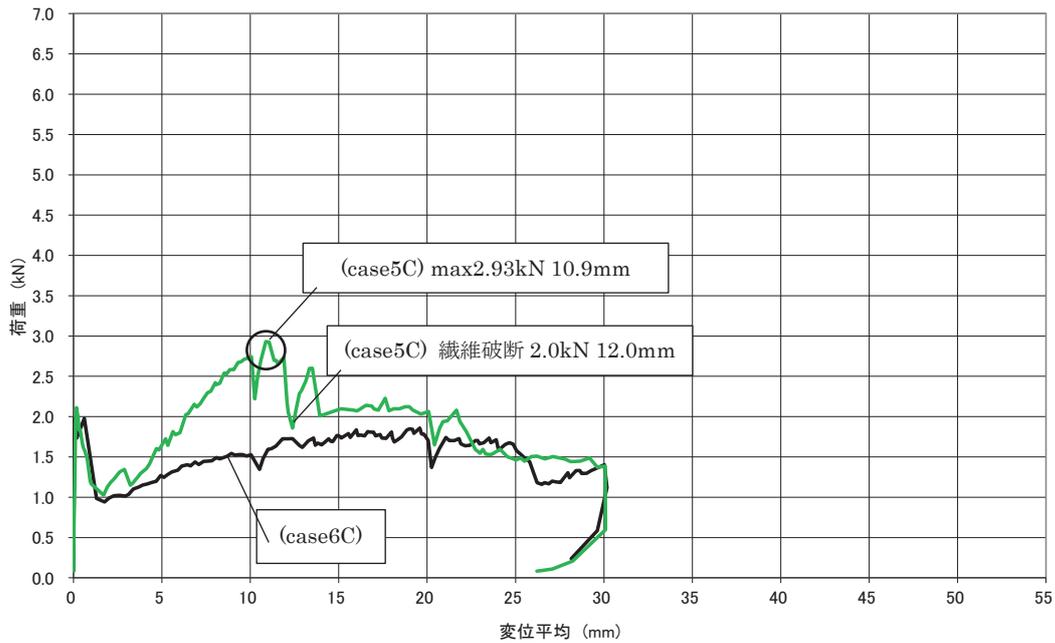
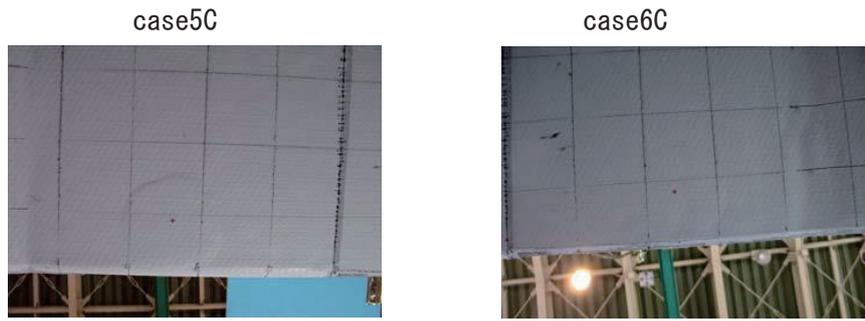
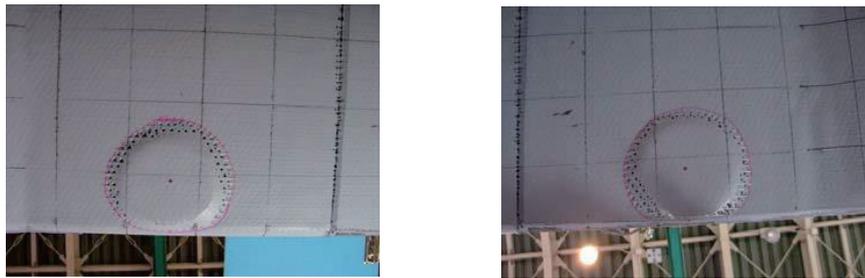


図 4.5.59 荷重変位曲線 (case5C、6C)



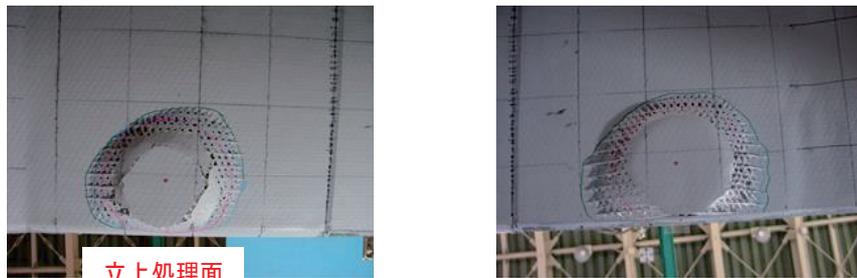
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.60 試験状況 (case5C、6C)

case7C、8C の荷重変位曲線を図 4.5.61、試験状況を図 4.5.62 に示す（貼り付け箇所
の形状が同じ角部形状としている case9C を、比較対象として同時に示した）。端部を立上げ処
理している case7C、8C 共に、圧子の立上げ部側の繊維に破断が発生した。その後 case7C では
変位が 30mm の時点で case8C では変位が 39mm の時点で圧子の大きな偏心が発生したた
め、試験を終了した。繊維に破断が確認されるまでは押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見
られたが、その後は荷重が低下し、立上げ処理の無い case9C の結果とほぼ同様の挙動を示し
た。2 面立上げを行っているほうが最大荷重は大きく case7C で 3.17kN（変位 11.1mm 時）、
case8C で 1.90kN（変位 14.4mm 時）であり case9C と比較してそれぞれ 2.01 倍、1.2 倍で
あった。

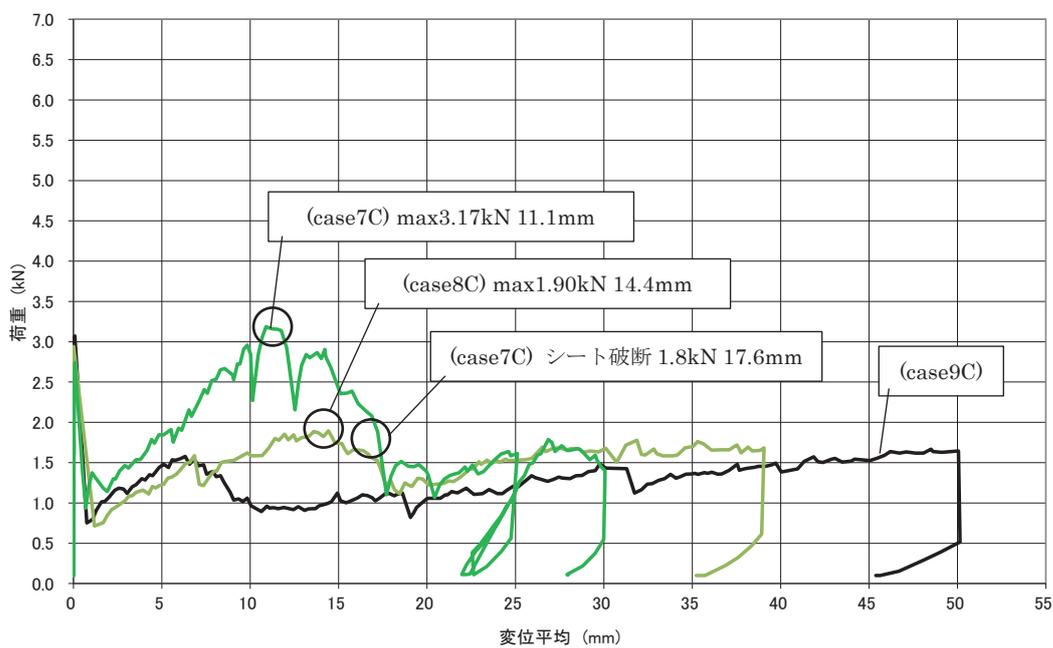
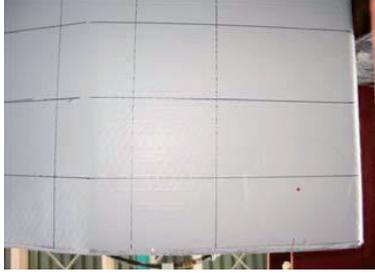


図 4.5.61 荷重変位曲線 (case7C、8C、9C)

case7C



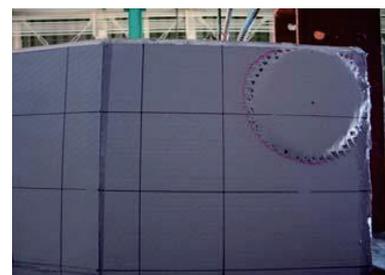
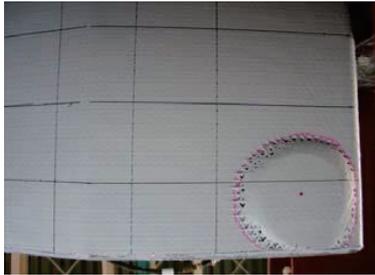
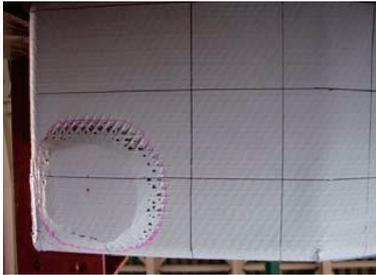
case8C



case9C



(a) 固定モルタル破損時



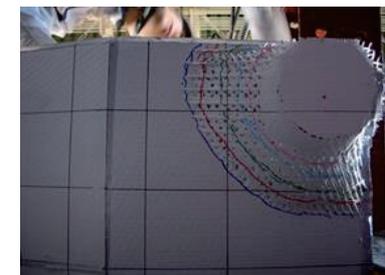
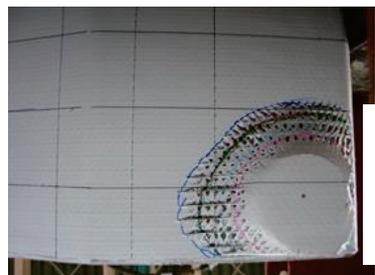
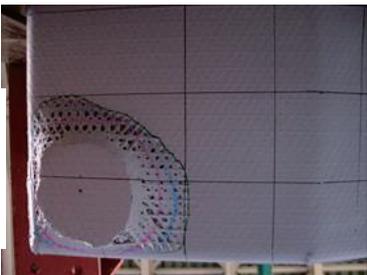
(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時

破断せず

立上処理面



立上処理面

立上処理面

(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.62 試験状況 (case7C、8C、9C)

4) メッシュ工法 (case5D、7D、8D)

case5D の荷重変位曲線を図 4.5.63、試験状況を図 4.5.64 に示す (貼り付け箇所形状が同じ端部形状としている case6D を、比較対象として同時に示した)。変位 15mm 程度で荷重の急激な低下が見られ、変位が 20mm の時点で試験を終了した。試験中は塗膜にひびわれが発生していたが、繊維の状態は確認できなかった。最大荷重は、1.56kN (変位 7.7mm 時) であり case6D と比較して 1.27 倍であった。試験終了時には圧子の近傍で 2 方向に繊維の破断が確認され、1 方向は立上げ部側での破断であった。

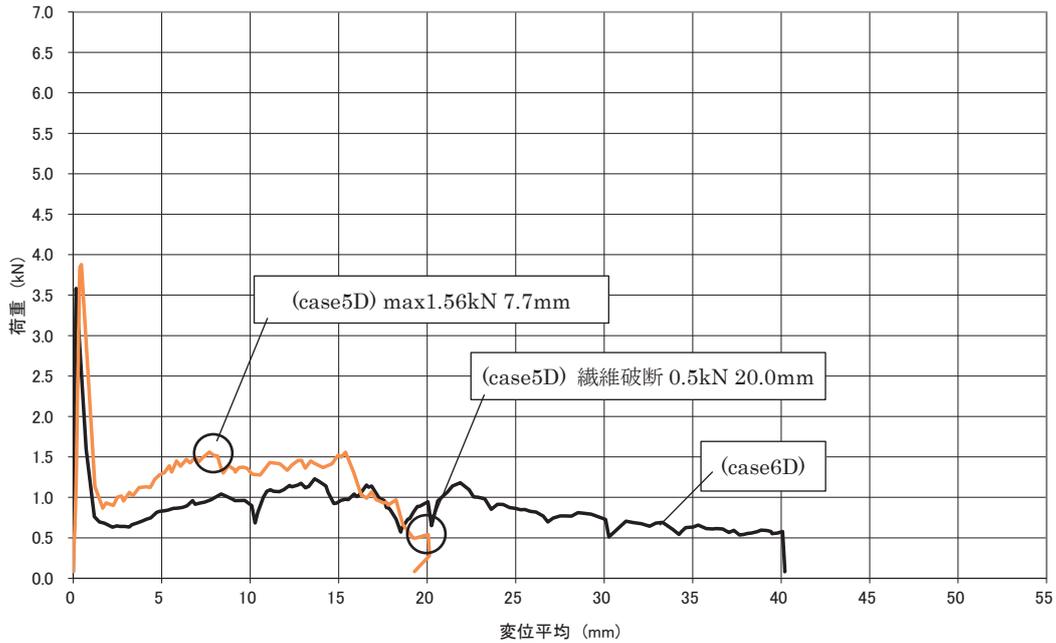
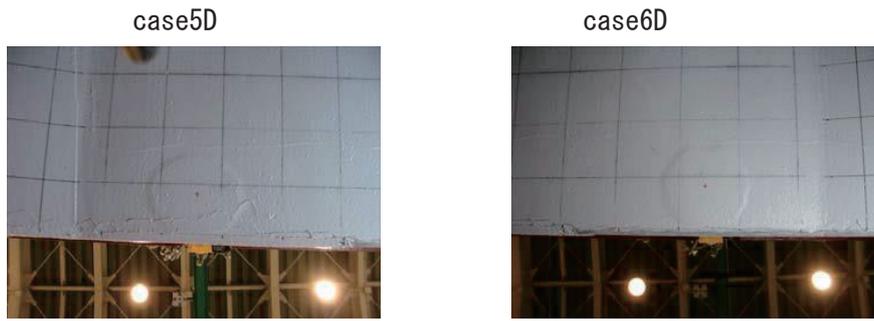
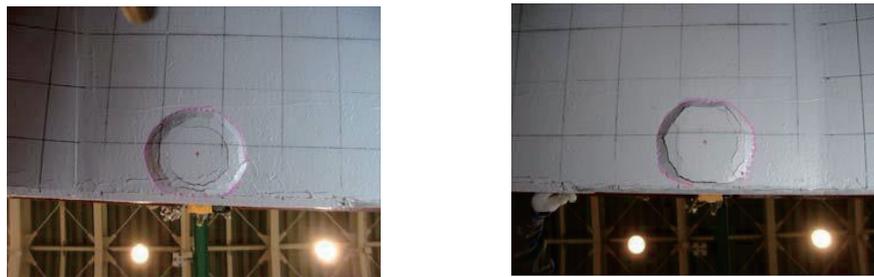


図 4.5.63 荷重変位曲線 (case5D、6D)



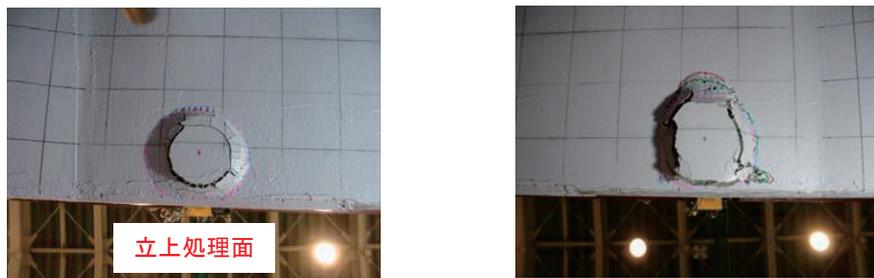
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.64 試験状況 (case5D、6D)

case7D、8D の荷重変位曲線を図 4.5.65、試験状況を図 4.5.66 に示す（貼り付け箇所形状が同じ角部形状としている case9D を、比較対象として同時に示した）。

端部を立上げ処理している case7D、8D 共に、試験終了時には圧子の立上げ部側で繊維が破断していた。case7D では変位 15mm 程度で荷重の低下傾向が続いていたために、case8D では変位 33mm 程度で圧子の大きな偏心が発生したために試験を終了した。最大荷重は、case7D で 1.64kN（変位 7.7mm 時）、case8D で 1.18kN（変位 11.2mm 時）であり case9D と比較してそれぞれ 2.49 倍、1.79 倍であった。

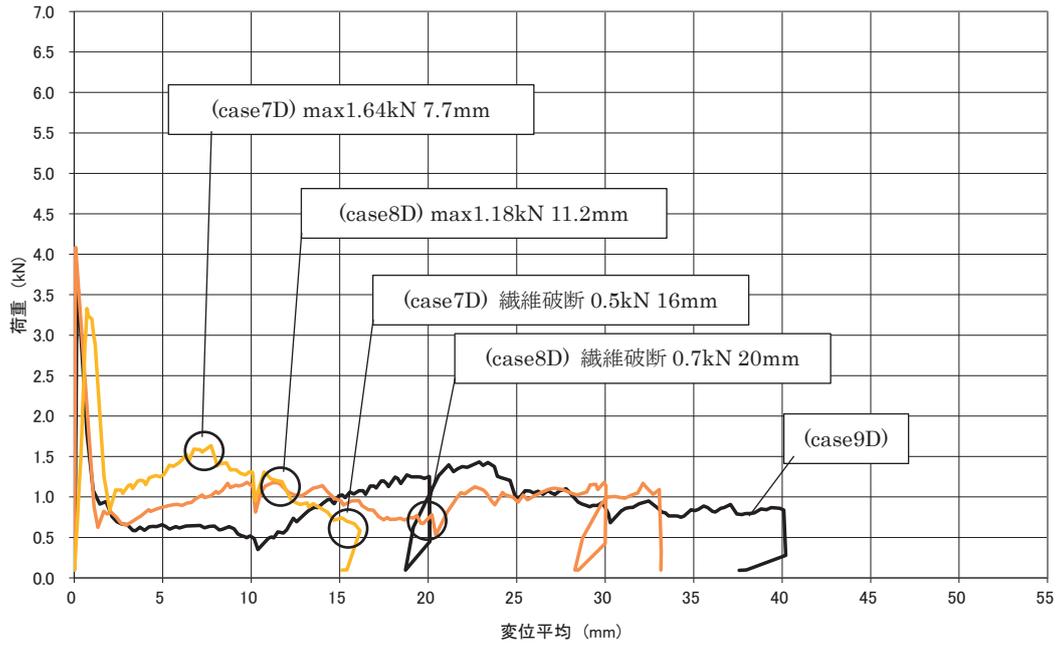


図 4.5.65 荷重変位曲線 (case7D、8D、9D)

case7D



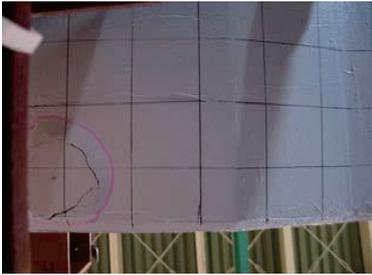
case8D



case9D



(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時

破断せず

立上処理面



立上処理面



立上処理面

(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4. 5. 66 試験状況（case7D、8D、9D）

5) 可視化工法 (case5E、7E、8E)

case5E の荷重変位曲線を図 4.5.67、試験状況を図 4.5.68 に示す (貼り付け箇所形状が同じ端部形状としている case6E を、比較対象として同時に示した)。端部を立上げ処理している case5E では圧子の立上げ部側で繊維の破断が発生し、その後剥離範囲が試験制限 (W=400mm) となったために試験を終了した。塗膜にひびわれが確認された 9mm 程度までは押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られ、その後荷重は減少した。最大荷重は、1.75kN (変位 8.6mm 時) であり case6A と比較して 2.49 倍であった。

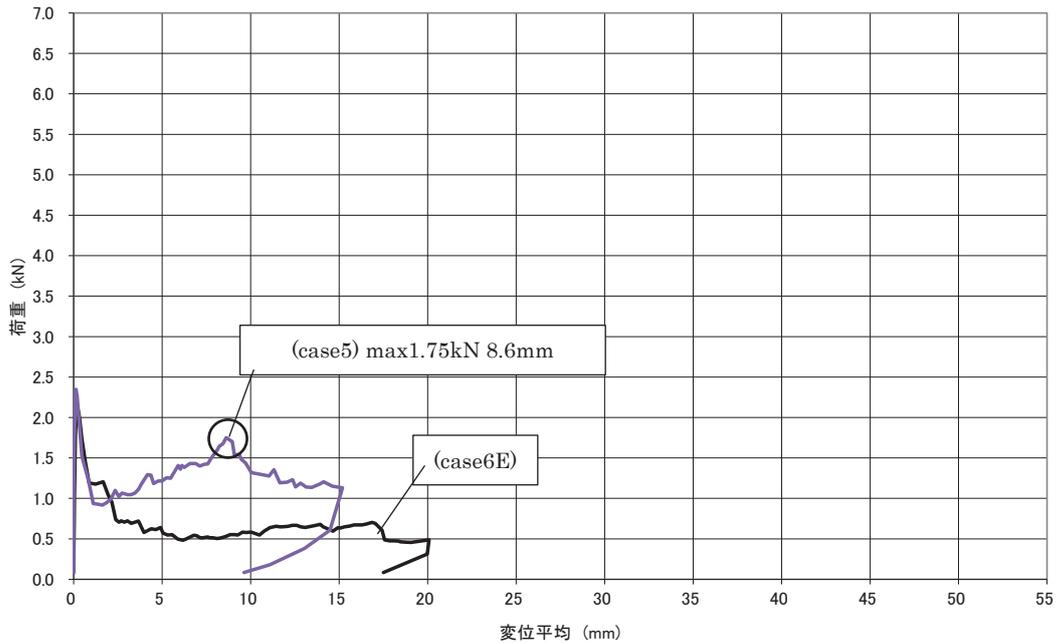
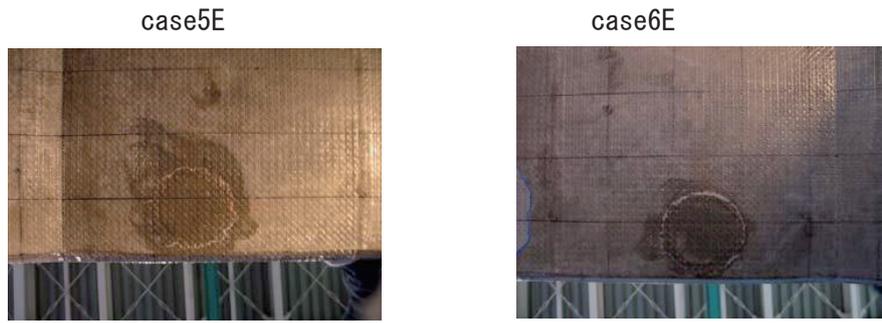
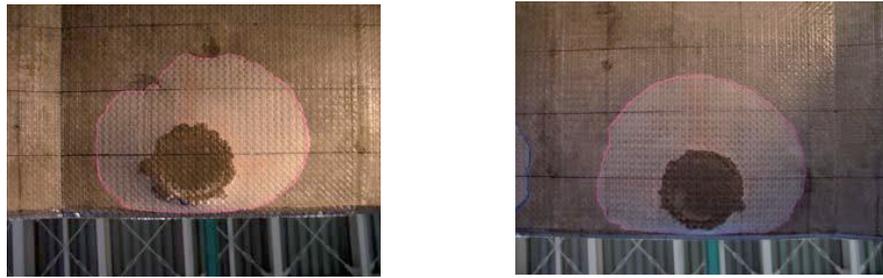


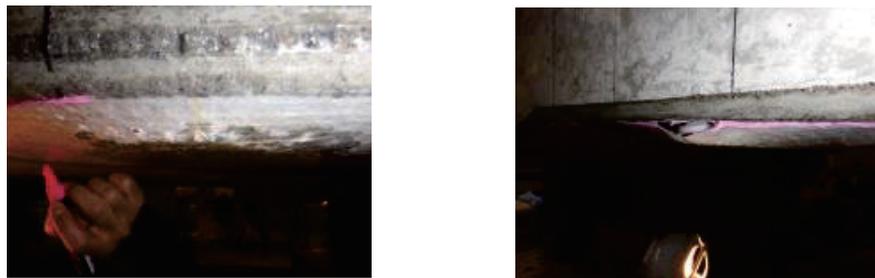
図 4.5.67 荷重変位曲線 (case5E、6E)



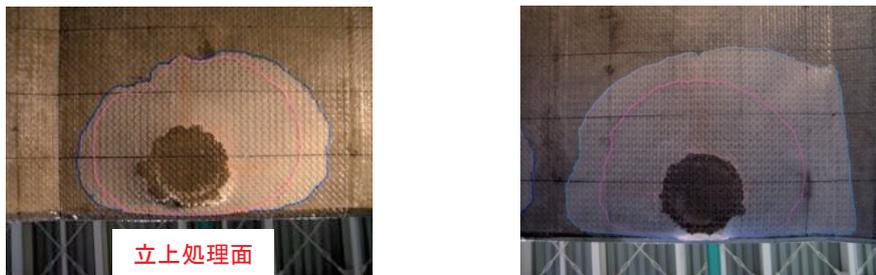
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.68 試験状況 (case5E、6E)

case7E、8E の荷重変位曲線を図 4.5.69、試験状況を図 4.5.70 に示す（貼り付け箇所形状が同じ角部形状としている case9E を、比較対象として同時に示した）。

端部を立上げ処理している case7E、8E 共に、圧子の立上げ部側に繊維に破断が発生した。case7E では荷重の急激な低下により、case7E では変位が 40mm 時に剥離範囲が試験制限 (W=350mm) となったために試験を終了した。塗膜にひびわれが確認されるまでは押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られたが、その後は荷重が低下し、立上げ処理の無い case9A の結果とほぼ同様の挙動を示した。最大荷重は、case7E で 2.38kN（変位 9.8mm 時）、case8E で 1.94kN（変位 8.1mm 時）であり、case9E と比較してそれぞれ 2.62 倍、3.22 倍であった。

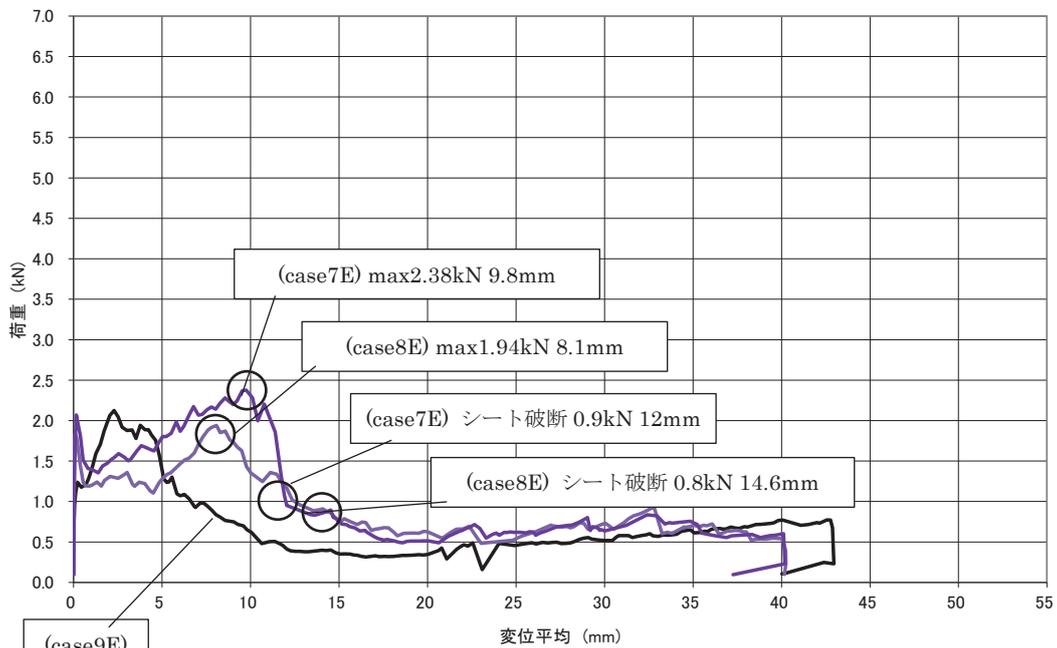
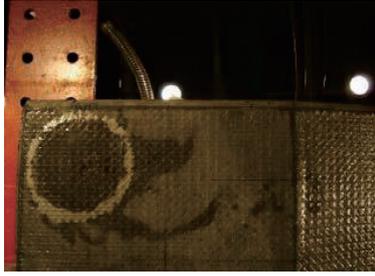


図 4.5.69 荷重変位曲線 (case7E、8E、9E)

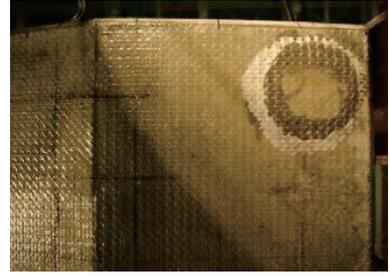
case7E



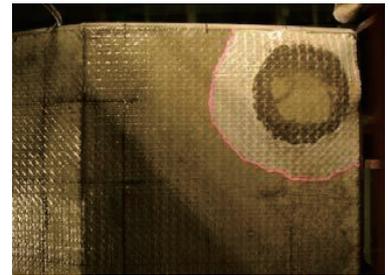
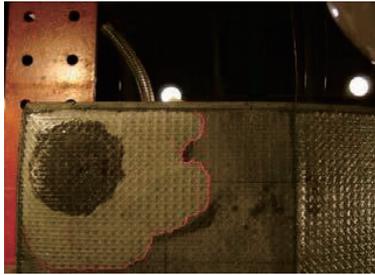
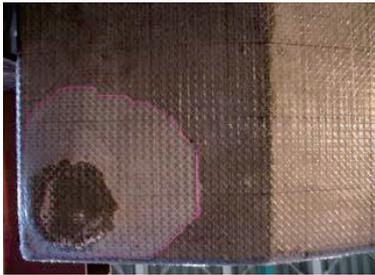
case8E



case9E



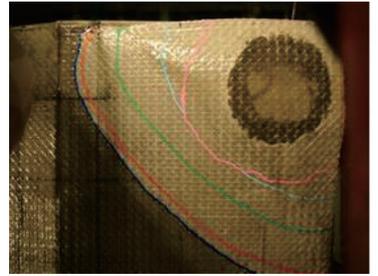
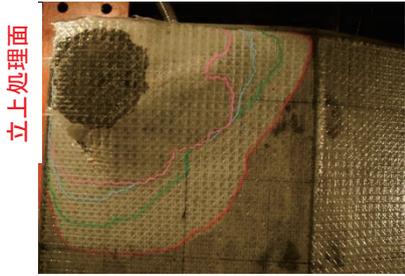
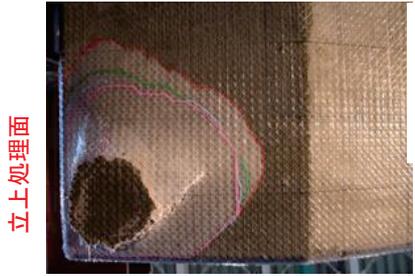
(a) 固定モルタル破損時



(b) 変位 10mm 観察時



(c) シート（繊維）破断時



立上処理面

立上処理面

立上処理面

(d) 試験終了時（下面）



(e) 試験終了時（側面）

図 4.5.70 試験状況 (case7E、8E、9E)

6) 立上処理の影響

端部及び角部に立上げ処理を行った場合の押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・立上げ処理のない場合に比べて、ここで用いたほとんどの技術で最大荷重は増加した。
- ・ここで用いたすべての技術に共通して、立上げ処理側の塗膜にひび割れや繊維の破断などの異常が確認された。
- ・立上げ処理側の塗膜または繊維に異常が生じた以降は、立上げ処理がない場合と同様の挙動を示した。
- ・立上げ処理部によって変位が拘束されるため、最大荷重時の変位はここで用いたいずれの技術でも小さくなった。

以上のとおり、端部及び角部に立上げ処理を行った場合の押抜き試験では、立上げ処理を行っていない場合に比べて、最大荷重は大きくなることが確認された。これは立上げ処理によって塗膜の剥離が拘束されるためと考えられる。最大荷重到達後は立上げ処理側に塗膜のひび割れや繊維の破断が生じていることから、立上げ処理部付近に荷重の集中が生じているものと考えられる。このように、端部や角部は立上げ処理の有無や施工方法によっても標準部と耐荷力機構が異なることが考えられる。性能試験では端部や角部に設置した場合の実施工の条件を再現した押抜き試験を行うことで、落下防止対策の立上げ処理の有無が耐荷性能及び剥離性状及ぼす影響を確認できると考えられる。

(7) case10、11（間詰め部）

case10、case11は、一方向のみ落下防止対策を設置し2辺のみの落下防止対策が支持する状態を再現して押抜き試験を実施した。case11は寸法の影響を確認するために、case10の長手方向の長さを縮小したものであり、それぞれ比較することで影響を確認するものである。

1) 塗装工法（case10A、11A）

case10A、11Aの荷重変位曲線を図4.5.71、試験状況を図4.5.72に示す。

case10Aでは、押抜き変位が50mmとなった時点で試験を終了した。押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、すぐに一定となる挙動を示し、図中に示した破線区間（2.5～50.0mm）での平均は、3.43kNであった。施工の端部となる位置では、変位10mm程度から塗膜にひびわれが見られ、塗膜の剥離は均等となった。

case11Aでは、押抜き荷重が急激に低下した変位40mm時点で試験を終了した。このとき、塗膜にはひびわれは確認されていないが、部分的に剥離が拡大している状態であった。case10Aと同様に、押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後すぐに一定となる挙動を示し、図中に示した破線区間（6.2～40.1mm）での平均は、1.14kNであった。

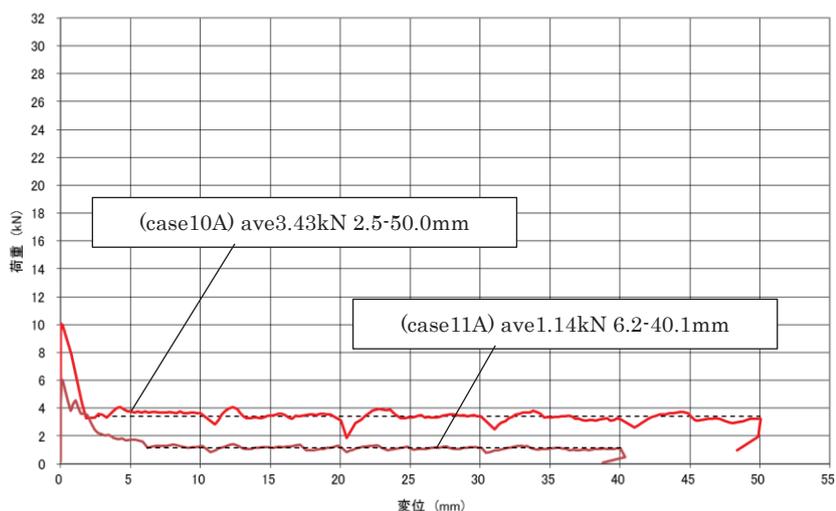


図 4.5.71 荷重変位曲線（case10A、11A）

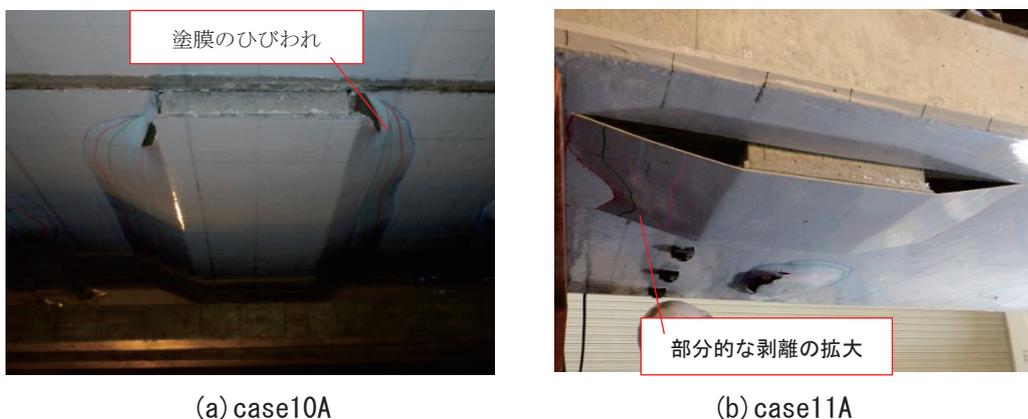


図 4.5.72 試験状況（case10A、11A）

2) 塗布接着型シート工法 (case10B、11B)

case10B、11B の荷重変位曲線を図 4.5.735、試験状況を図 4.5.746 に示す。

case10B の押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い増加し、その後一定となる挙動を示した。case10B 図中に示した破線区間 (6.3~27.1mm) での平均は、12.98kN であった。変位 27.5mm 時点で繊維の破断を確認し、押抜き荷重が急激に低下したため試験終了した。圧子の周りでは塗膜は剥離せず、繊維のみ露出して剥離が進展した。

case11B の押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い増加し、その後一定となる挙動を示した。この挙動は case10B と同様である。図中に示した破線区間 (5.0~11.9mm) での平均は、4.11kN であった。変位 12mm 時点で繊維の破断を確認し、その後押抜き荷重が急激に低下した。

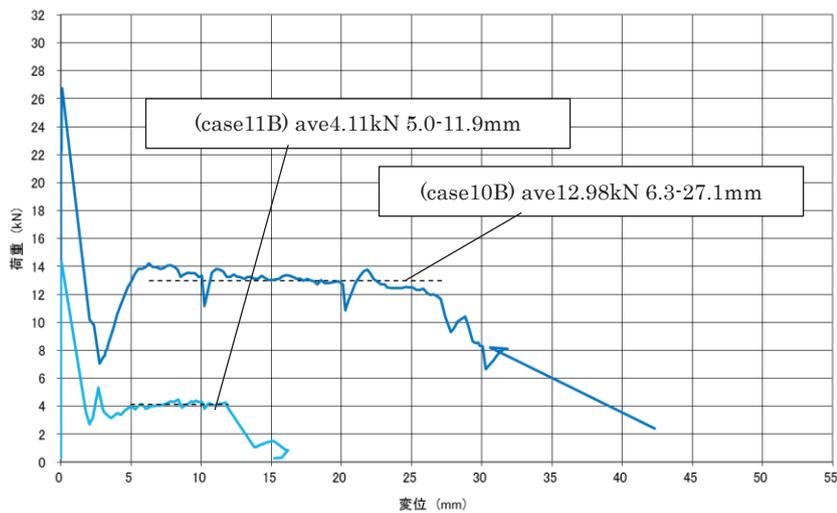
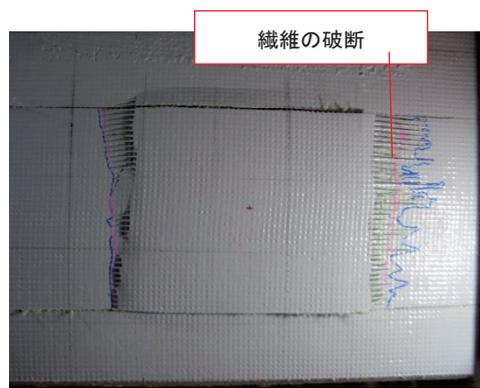


図 4.5.73 荷重変位曲線 (case10B、11B)



(a) case10A



(b) case11A

図 4.5.74 試験状況 (case10B、11B)

3) 貼付け接着型シート工法 (case10C、11C)

case10C、11C の荷重変位曲線を図 4.5.74、試験状況を図 4.5.75 に示す。

case10C では、押抜き変位が 50mm となった時点で試験を終了した。圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い増加し、その後一定となる挙動を示した。図中に示した破線区間 (11.0~50.1mm) での平均は、7.65kN であった。試験中、繊維の露出は確認されているが、繊維の破断は確認されなかった。

case11C での押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後すぐに一定となる挙動を示した。図中に示した破線区間 (4.7~30.0mm) での平均は、2.39kN であった。試験中、左右非対称となる剥離が進行し、変位 30mm 時点でロードセルの傾きを修正するために一度除荷を行った。その後、変位 40mm 時点で再びロードセルの傾きが拡大した。

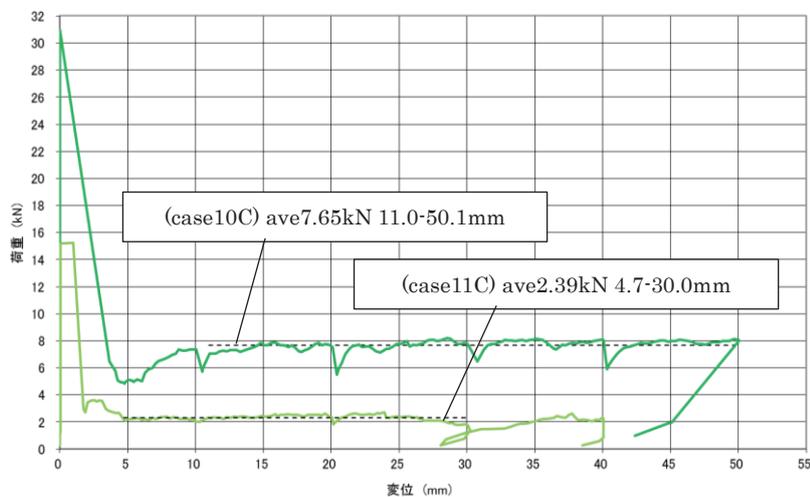
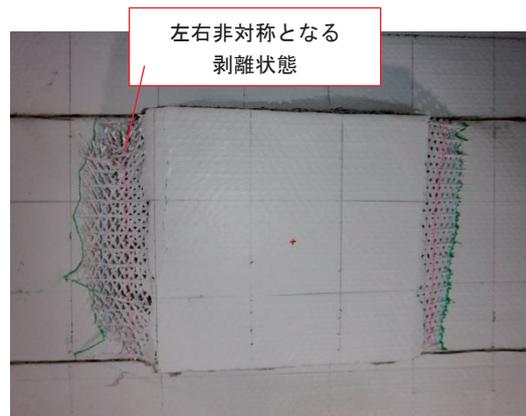


図 4.5.75 荷重変位曲線 (case10C、11C)



(a) case10C



(b) case11C

図 4.5.76 試験状況 (case10C、11C)

4) メッシュ工法 (case10D、11D)

case10D、11D の荷重変位曲線を図 4.5.77、試験状況を図 4.5.78 に示す。

case10D の押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い増加し、その後一定となる挙動を示した。図中に示した破線区間 (10.8~13.1mm) での平均は、6.97kN であった。試験中、塗膜のひびわれは早期に発生していたが、明確な繊維の破断は確認できなかった。

case11D の押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後すぐに一定となる挙動を示した。図中に示した破線区間 (4.0~16.6mm) での平均は、1.95kN であった。変位 18.5mm 時点で繊維の破断を確認し、その後押抜き荷重が急激に低下した。

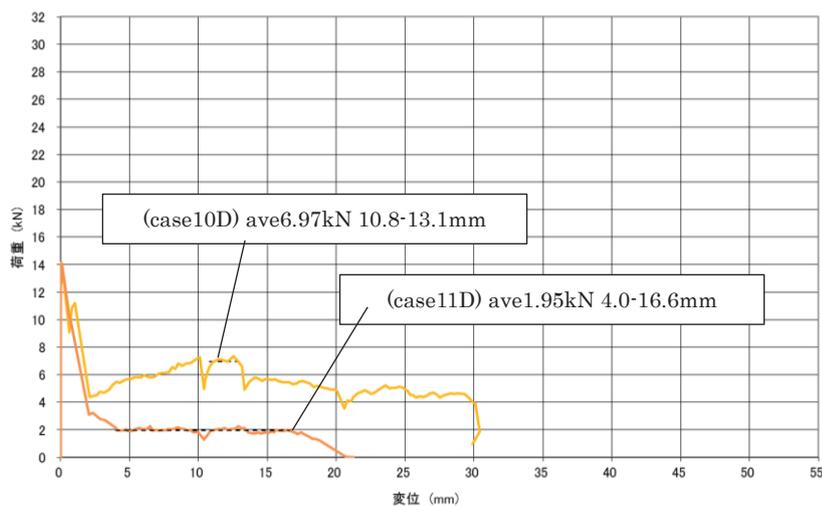


図 4.5.77 荷重変位曲線 (case10D、11D)



(a) case10D (試験終了時)

(b) case11D (変位 18.5mm)

図 4.5.78 試験状況 (case10D、11D)

5) 可視化工法 (case10E、11E)

case10E、11E の荷重変位曲線を図 4.5.79、試験状況を図 4.5.80 に示す。

case10E では、塗膜や繊維の破断は見られず、剥離範囲が試験制限(W=700mm)となったために試験を終了した。押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い緩やかに減少し、その後一定となる挙動を示した。図中に示した破線区間 (5.3~17.4mm) での平均は、2.50kN であった。

case11E での押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い緩やかに増加し、変位 5.2mm から減少に転じた。その後、一定となる挙動を示した。図中に示した破線区間 (9.2~14.6mm) での平均は、1.05kN であった。試験中、左右非対称となる剥離が進行しており、変位 14.6mm を過ぎた時点で荷重が急激に低下した。

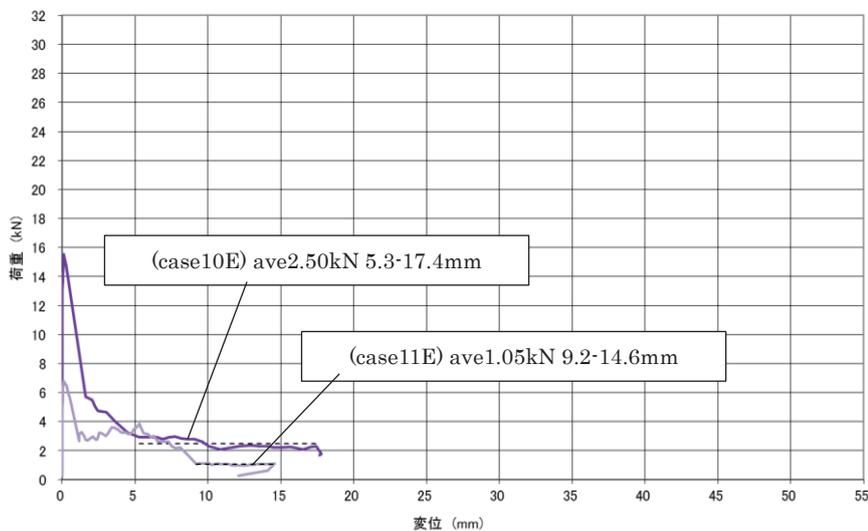


図 4.5.79 荷重変位曲線 (case10E、11E)

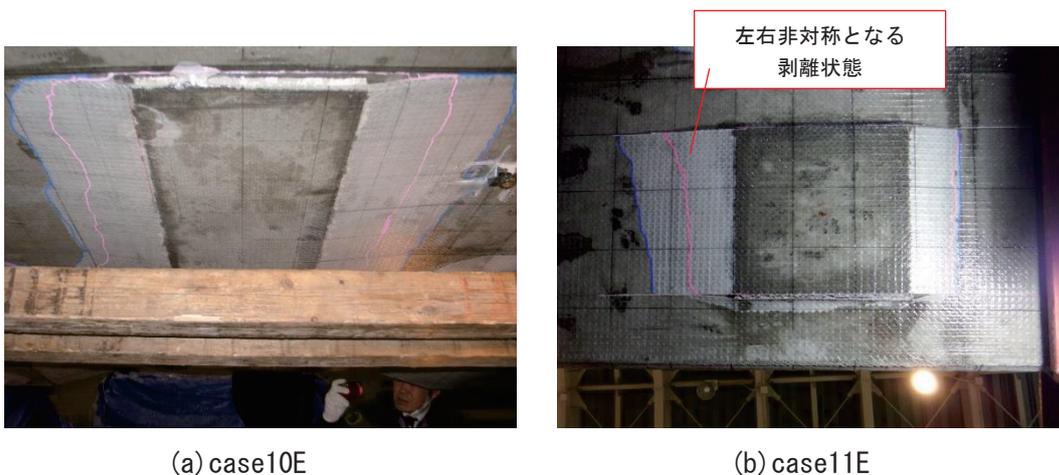


図 4.5.80 試験状況 (case10E、11E)

6) 間詰め部の影響

2辺のみで支持された状況を模擬した押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・すべての技術において、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い荷重が増加し、その後一定となる挙動を示した。
- ・塗布接着型シート工法とメッシュ工法は、変位の増加に伴って繊維の破断が生じて終局した。

以上のとおり、四角形圧子における耐荷特性は円形圧子や三角形圧子の場合と比較して、荷重変位曲線が一定となる区間が確認された。これは、圧子を2辺のみで支持しているため、圧子を支持している辺と平行に剥離が生じやすく、均等に剥離が進行したためと考えられる。しかし、中には剥離が左右非対称となる技術があった。これは、その技術の剥離特性であるのか、圧子の偏心によって生じたものであるのか不明であるが、実構造物においては必ずしも落下防止対策に均等に荷重が作用するとは限らないと考えられる。よって、性能試験では、実構造物において生じる可能性のある状況を想定して押抜き試験を実施する必要がある。例えば、本ケースは間詰め部の抜け落ちを想定した試験であるため、間詰め部のサイズや、抜け落ちた場合の落下防止対策への荷重の作用等を考慮して押抜き試験を実施することで、実構造物への適用性について考察することができると考えられる。

(8) case12 (模擬補修部)

case12 は、落下防止対策の一部を補修した状態を再現して押抜き試験を実施した。標準試験と比較することで、補修部の影響を確認するものである。

1) 塗装工法 (case12A)

case12A の荷重変位曲線を図 4.5.81、試験状況を図 4.5.82 に示す。

case12A では、変位 20.0mm の時点でシートの破断を確認し、その時の荷重は 1.90kN であった。押抜き変位の増加に伴い荷重の増加が見られた。最大荷重は 2.17kN (変位 26.0mm) であり case1A と比較して 1.32 倍であったが、剥離形状はほぼ円形であり、case1A とほぼ同様であった。

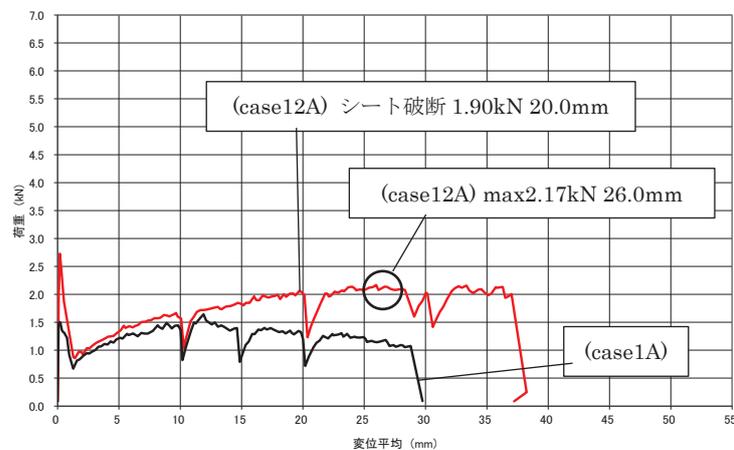


図 4.5.81 荷重変位曲線 (case12A)

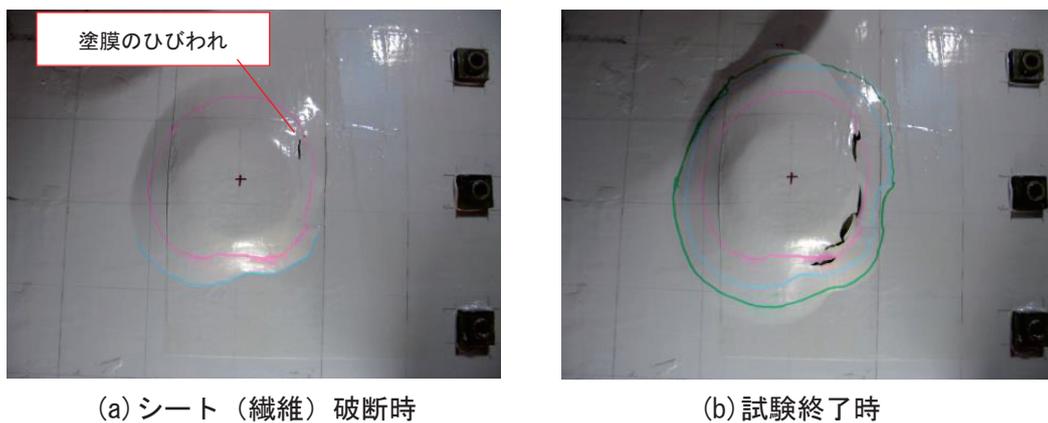


図 4.5.82 試験状況 (case12A)

2) 塗布接着型シート工法 (case12B)

case12B の荷重変位曲線を図 4.5.83、試験状況を図 4.5.84 に示す。

case12B の押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の初期段階で大きな耐荷力を示し、最大荷重は 5.44kN (変位 12.8mm 時) で case1B の 1.22 倍であった。繊維の破断とともに最大荷重は急激に低下した。補修したことで塗膜が厚くなり case1B よりも最大荷重が大きくなったと考えられるが、塗膜が厚いことで、塗膜のひび割れ位置の繊維により大きな荷重が作用しやすくなり、急激な低下を生じたものと考えられる。

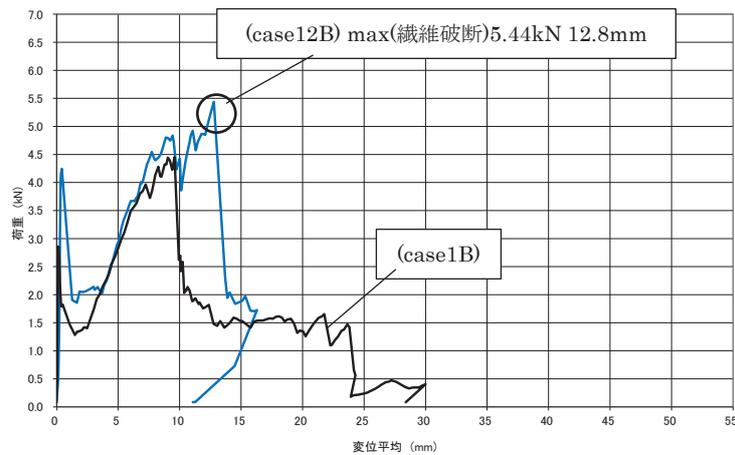


図 4.5.83 荷重変位曲線 (case12B)



(a) シート (繊維) 破断時



(b) 試験終了時

図 4.5.84 試験状況 (case12B)

3) 貼付け接着型シート工法 (case12C)

case12C の荷重変位曲線を図 4.5.85、試験状況を図 4.5.86 に示す。

case12C では、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い荷重が増加し、最大荷重は 3.56kN (変位 21.0mm 時) であり case1C の 0.16 倍であった。その後、緩やかに荷重が低下し、繊維の破断 (荷重 1.89kN、変位 40.0mm) によって荷重が低下した。荷重変位曲線は case1C と同様の形状を示しており、補修を行ったことによって耐力が大きくなったと考えられる。

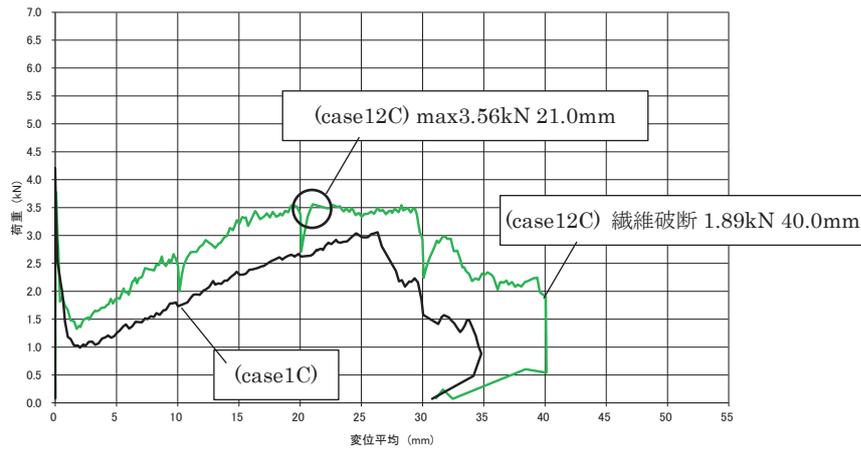
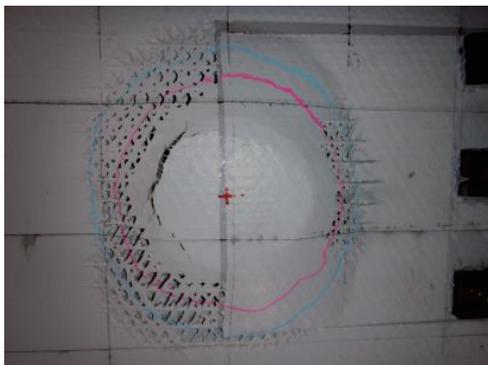
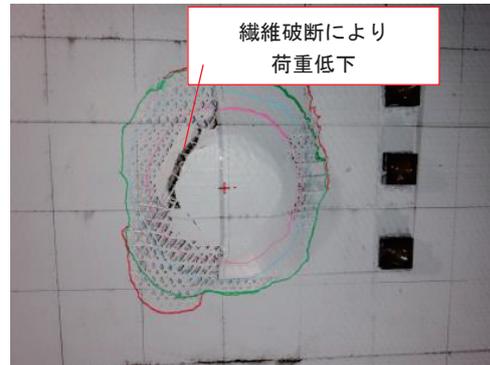


図 4.5.85 荷重変位曲線 (case12C)



(a) 変位 30mm 時



(b) 試験終了時 (繊維破断)

図 4.5.86 試験状況 (case12C)

4) メッシュ工法 (case12D)

case12D の荷重変位曲線を図 4.5.87、試験状況を図 4.5.88 に示す。

case12D の押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後、変位の増加に伴い増加し、最大荷重は 2.45kN (変位 18.3mm 時) で case1D の 1.30 倍であった。その後、繊維の破断箇所が増えるにつれて徐々に荷重が低下した。荷重変位曲線は case1D と同様の傾向を示した。

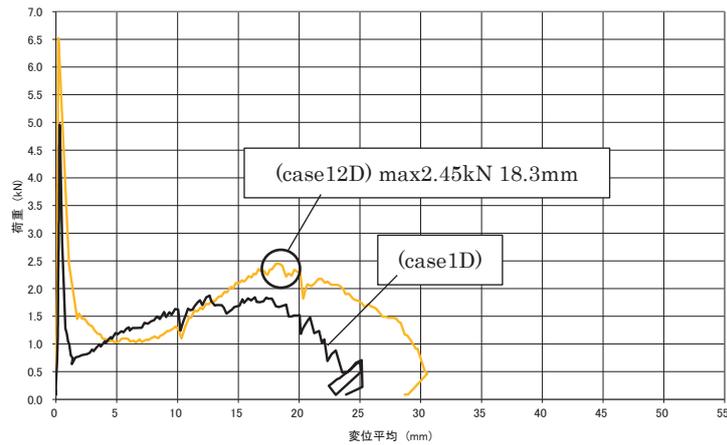


図 4.5.87 荷重変位曲線 (case12D)

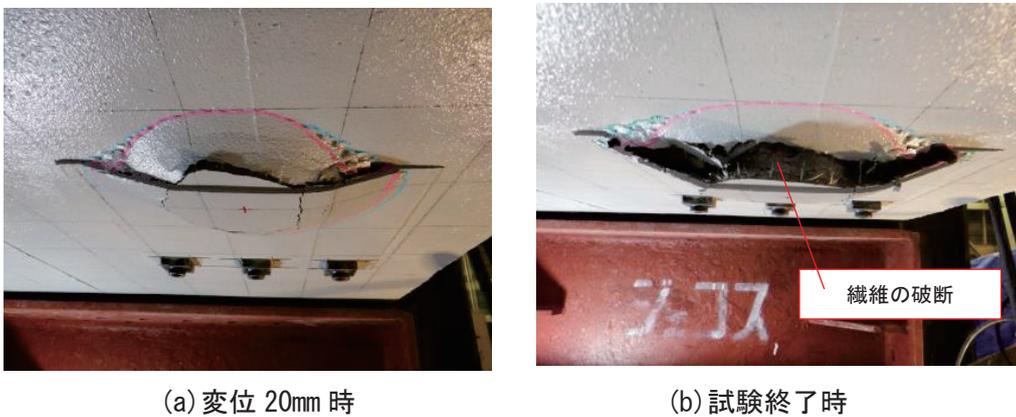


図 4.5.88 試験状況 (case12D)

5) 可視化工法 (case12E)

case12E の荷重変位曲線を図 4.5.89、試験状況を図 4.5.90 に示す。

case12E では、塗膜や繊維の破断は見られず、剥離範囲が制限範囲 (400mm) に達したので試験を終了した。最大荷重は 2.05kN (変位 14.8mm) であり、case1E の 2.77 倍であった。また、試験終了時 (剥離制限範囲に達した時) の変位は case1E の 1.35 倍であった。case1E と比較して、同じ剥離範囲であっても荷重と変位ともに増加したのは、補修 (ラップ) したことによって落下防止対策の接着性が高まったことが要因と考えられる。

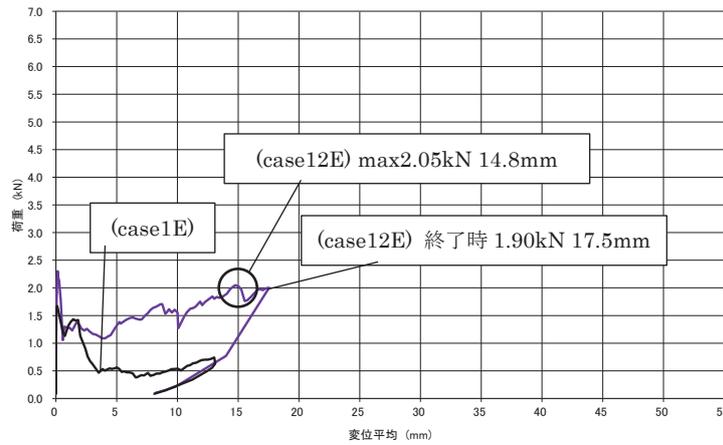
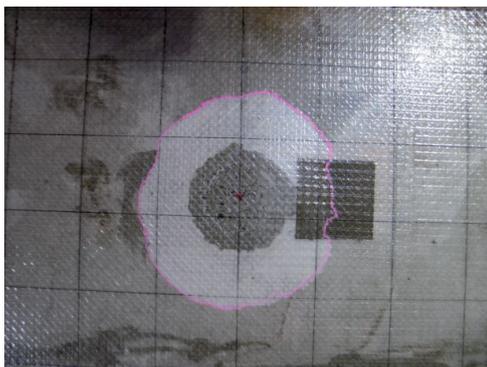
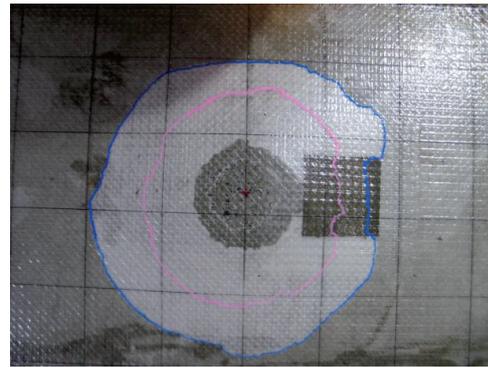


図 4.5.89 荷重変位曲線 (case12E)



(a) 変位 10mm 時



(b) 試験終了時

図 4.5.90 試験状況 (case12E)

6) 模擬補修部の影響

補修を行った場合の補修部の押抜き試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・すべての技術において、標準試験と同様の挙動（荷重変位曲線）を示した。
- ・すべての技術において、最大荷重は大きくなる傾向であった。

以上のとおり、補修を行った箇所の耐荷特性は標準部の場合と同等以上であることが確認された。これは、補修部において、切欠き部よりも一回り大きな塗膜（シート）を設置してラップしていることが影響していると考えられる。本検討では、各技術の標準仕様に従って定着長（ラップ長）を決定して試験を行った。補修部における押抜き耐力は、この定着長の影響を大きく受けるものと考えられる。そのため、性能試験では、実構造物への適用を想定して定着長を適切に設定した上で押抜き試験を実施する必要がある。

(9) 押抜き試験結果の整理

1) 圧子形状の影響

圧子形状を通常行われているφ100の円形圧子とした試験(case1)と、φ100に内接する正三角形の圧子とした押抜き試験(case2)の5技術の結果を表4.5.1に示す。技術Aでは、case1では塗膜にひびわれが発生したものの、case2では塗膜にひびわれは見られず、試験は変位量の制限50mmまで行った。他の技術では、case1,2共に挙動はほぼ同様であり、技術B,C,Dでは最大荷重時直後に塗膜の異常が、技術Eでは塗膜にひびわれは見られず、試験は剥離範囲の制限(W=400mm)まで行った。

表 4.5.1 圧子形状の違いによる試験結果比較(case1, 2)

	case1 (円形圧子)			case2 (三角形圧子)		
	最大荷重(kN)	変位(mm)	最大荷重時直後の状態	最大荷重(kN)	変位(mm)	最大荷重時直後の状態
技術A	1.64	11.9	塗膜の異常	3.02	44.6	変位量の制限(D=50mm)
技術B	4.45	9.6	塗膜の異常	3.93	7.9	塗膜の異常
技術C	3.06	26.3	塗膜の異常	2.35	22.0	塗膜の異常
技術D	1.88	12.7	塗膜の異常	1.42	15.8	塗膜の異常
技術E	0.74	13.0	はく離範囲の制限(W=400)	1.41	20.0	はく離範囲の制限(W=400)

case1とcase2の両方で塗膜に異常が確認された技術B,C,Dに着目し、最大荷重を図4.5.91に整理した。3つの技術に共通して、case2での最大荷重はcase1と比較して低下が見られた。その比は、技術Bから順に、0.88、0.91、0.76であった。

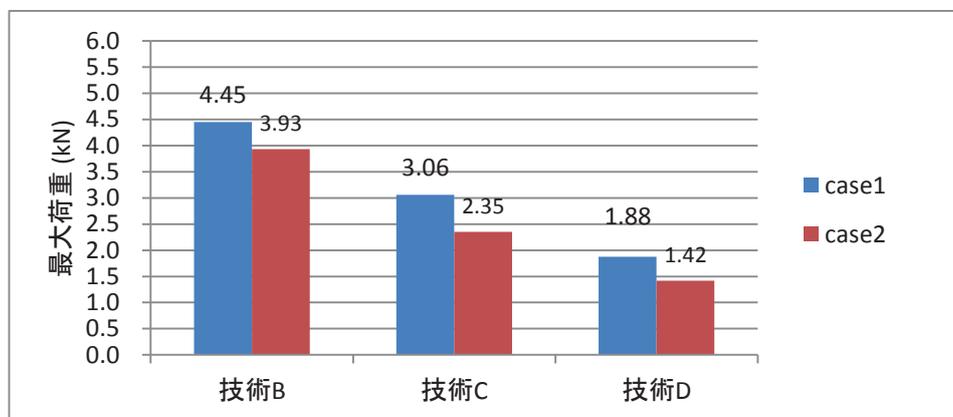


図 4.5.91 最大荷重の比較 (case1, 2)

以上より、圧子が正三角形の場合、本研究での試験条件においては、最大押抜き荷重が低下する技術があり、最も低下程度が大きかったもので75%程度となっていた。一方、技術によっては押抜き荷重が増加しており、圧子の形状が押抜き荷重に与える影響や程度は技術によって異なる可能性が考えられた。

2) ハンチ部入隅形状の影響

表4.5.2にハンチ部入隅形状を想定したcase3の試験結果を示す(比較の為case1を同時に示す)。技術B,C,D,Eに共通して、最大荷重は標準試験のcase1と比較してわずかながらも低

下した。剥離形状がきれいな円状とならず、いびつな形状となっていたことから、入隅形状によって塗膜に荷重が均一に作用せず、効果的に荷重を負担できていない可能性があることが確認された。最大荷重時の押抜き変位は、いずれも増加した。技術 A では塗膜にひびわれは見られなかったため剥離範囲を増加させることができ、最大荷重はわずかながら増加した。

以上より、入隅形状に適用された落下防止対策は、標準試験と比較して十分な耐荷力を発揮できない可能性があることが確認された。

表 4.5.2 試験結果 (case1, 3)

	case1 (標準試験)			case3 (ハンチ部入隅形状)		
	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態
		変位 (mm)			変位 (mm)	
技術A	1.64	11.9	塗膜の異常	1.86	49.6	変位量の制限 (D=50mm)
技術B	4.45	9.6	塗膜の異常	4.11	16.1	塗膜の異常
技術C	3.06	26.3	塗膜の異常	2.79	39.3	圧子偏心量(角度)の制限
技術D	1.88	12.7	塗膜の異常	1.76	22.4	塗膜の異常
技術E	0.74	13.0	はく離範囲の制限 (W=450)	0.39	17.3	はく離範囲の制限 (W=450)

3) 継手部の影響

表 4.5.3 にハンチ部入隅形状付近に材料継手を設けた条件である case4 の試験結果を示す (比較の為、同じ入隅形状への施工とした case3 を同時に示す)。

技術によっては、最大荷重時の状態が異なるものの、5 技術に共通して継ぎ手部の存在によって押抜き荷重は case3 と比較して増加の傾向が見られた。最大荷重時の変位は、技術 A,D では減少、技術 B,C,E では±5mm 程度でほぼ同値であった。塗膜がラップすることにより、塗膜自体の耐力向上や伸び性能低下するといった影響があるものと考えられる。

表 4.5.3 試験結果 (case3, 4)

	case3 (ハンチ部入隅形状)			case4 (材料継手部入隅形状)		
	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態
		変位 (mm)			変位 (mm)	
技術A	1.86	49.6	変位量の制限 (D=50mm)	1.99	39.5	はく離範囲の制限 (W=400)
技術B	4.11	16.1	塗膜の異常	5.21	21.1	塗膜の異常
技術C	2.79	39.3	圧子偏心量(角度)の制限	3.00	34.9	塗膜の異常
技術D	1.76	22.4	塗膜の異常	2.45	12.0	塗膜の異常
技術E	0.39	17.3	はく離範囲の制限 (W=400)	0.59	18.8	はく離範囲の制限 (W=400)

4) 端部・角部形状の影響

本研究では、case6 において端部形状により 1 辺で十分な定着長が確保できない条件が、押抜き耐力へあたえる影響を検証した。表 4.5.4 及び図 4.5.92 に各技術の試験結果を示す (比較の為 case1 を同時に示す)。

いずれの技術も標準試験のような明確な荷重のピークは見られず、荷重がほぼ一定となる区間が長く見られた。これは、後述する 2 辺支持条件とした case10 で見られた傾向と一致する。一辺で十分な定着長が取れない場合には、圧子を挟んだ反対側となる定着部において十分に耐

荷力を負担できていないことが考えられる。最大荷重は技術 A では増加、技術 B,C,D では 60%～66%に低下、技術 E ではほぼ同じであった。なお、技術 A では塗膜にひびわれが発生した case1A と同様の挙動を示しているが、case6A では塗膜にひびわれが発生せずに試験を終了したため荷重が増加したものと考えられる。

表 4.5.4 試験結果 (case1,6)

	case1 (標準試験)			case6 (端部)		
	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態
		変位(mm)			変位(mm)	
技術A	1.64	11.9	塗膜の異常	2.01	49.2	変位量の制限(D=50mm)
技術B	4.45	9.6	塗膜の異常	2.68	7.7	塗膜の異常
技術C	3.06	26.3	塗膜の異常	1.86	19.6	塗膜の異常
技術D	1.88	12.7	塗膜の異常	1.23	13.7	塗膜の異常
技術E	0.74	13.0	はく離範囲の制限(W=400)	0.70	16.9	はく離範囲の制限(W=400)

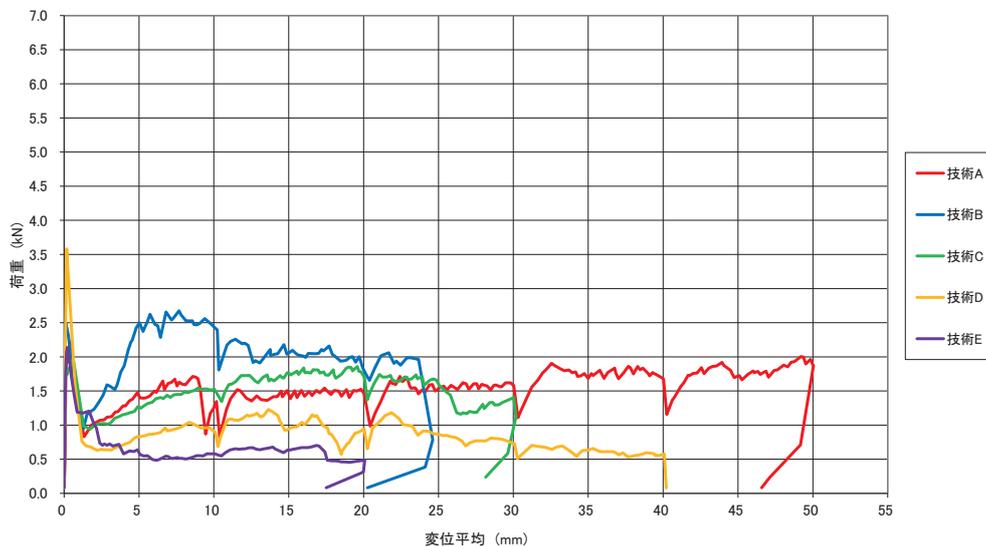


図 4.5.92 荷重変位曲線 (case6)

case9 では、端部形状により二辺で十分な定着長が確保できない条件としたため、剥離が端部形状まで達することで、耐荷力を発揮する機構が標準試験と大きく変化するものと考えられ、いずれの技術も十分な耐荷力を発揮できていないことが確認された。

5) 立上げの影響

端部形状に対し立上げ処理を行った case5 の試験結果を表 4.5.5 に示す (比較の為 case6 を同時に示す)。技術 B,C,D,E では、立上げ処理の無い case6 と比較して最大荷重の増加が見られ、その比は、技術 B から順に、1.64、1.58、1.27、2.49 であった。技術 A では、荷重は case6 とほぼ同じであった。すべての技術に共通して、最大荷重後に立ち上げ処理側の塗膜のひびわれや繊維の破断などの異常が確認されていることから、立上げ処理側の塗膜に荷重が集中していることが推測される。最大荷重時の変位は、いずれの技術でも少なくなっていた。また、最大荷重後の挙動は、case6 の挙動に近づく傾向を示した。

表 4.5.5 試験結果 (case5, 6)

	case6 (端部)			case5 (端部+立上処理)		
	最大荷重(kN)		最大荷重時直後の状態	最大荷重(kN)		最大荷重時直後の状態
	変位(mm)			変位(mm)		
技術A	2.01	49.2	変位量の制限(D=50mm)	1.89	12.8	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術B	2.68	7.7	塗膜の異常	4.38	5.8	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術C	1.86	19.6	塗膜の異常	2.93	10.9	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術D	1.23	13.7	塗膜の異常	1.56	7.7	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術E	0.70	16.9	はく離範囲の制限(W=400)	1.75	8.6	塗膜の異常(立上げ部破断)

角部形状に対し、2辺の立上げ処理を行った case7、1辺のみ立上げ処理を行った case8 の試験結果を表 4.5.6 に示す (比較の為 case9 を同時に示す)。立ち上げ処理を行った case7,8 では、すべての技術で立上げ処理を行っていない case9 よりも最大荷重の増加が見られた。最大荷重後に立ち上げ処理側の塗膜のひびわれや繊維の破断などの異常が確認されていることから、立上げ処理側の塗膜に荷重が集中していることが推測される。いずれの技術においても、2 辺立上げ処理の case7 の方が 1 辺立上げ処理の case8 よりも最大荷重は大きくなっていた。

表 4.5.6 試験結果 (case7, 8, 9)

	case9 (角部 立上処理なし)		
	最大荷重(kN)		最大荷重時直後の状態
	変位(mm)		
技術A	0.94	6.4	端部までの剥離
技術B	2.08	4.3	端部までの剥離
技術C	1.58	6.3	端部までの剥離
技術D	0.66	5.0	端部までの剥離
技術E			(明確な最大荷重を得られていない)

	case7 (角部 2辺立上処理)			case8 (角部 1辺立上処理)		
	最大荷重(kN)		最大荷重時直後の状態	最大荷重(kN)		最大荷重時直後の状態
	変位(mm)			変位(mm)		
技術A	1.69	12.9	塗膜の異常(立上げ部破断)	1.41	6.9	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術B	4.87	4.3	塗膜の異常(立上げ部破断)	4.04	5.0	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術C	3.17	11.1	塗膜の異常(立上げ部破断)	1.90	14.4	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術D	1.64	7.7	塗膜の異常(立上げ部破断)	1.18	11.2	塗膜の異常(立上げ部破断)
技術E	2.38	9.8	塗膜の異常(立上げ部破断)	1.94	8.1	塗膜の異常(立上げ部破断)

以上より、端部における立上げ処理は、いずれの技術においても耐荷力の向上が見られる効果が確認された。一方、最大荷重時の押抜き変位は減少し、また、立上げ処理部において塗膜が破断する現象が確認された。

6) 模擬補修部の影響

模擬補修部の押抜き試験結果を表 4.5.7 に示す (比較の為 case1 の結果も同時に示した)。いずれの技術も case12 の挙動は case1 とほぼ同じであったが、最大荷重は大きくなる傾向が

あり、case1 との比は技術 A から順に、1.32、1.22、1.16、1.31、2.77 であった。補修箇所では、一回り大きな塗膜(シート)を設置して二重となっていることが、押抜き荷重の増加に影響を与えていることが考えられる。各技術共に、模擬補修部の破壊形態に顕著な特徴は見られなかった。

表 4.5.7 試験結果 (case1, 12)

	case1 (標準試験)			case12 (模擬補修部)		
	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態	最大荷重 (kN)		最大荷重時直後の状態
	変位 (mm)			変位 (mm)		
技術A	1.64	11.9	塗膜の異常	2.17	26.0	塗膜の異常
技術B	4.45	9.6	塗膜の異常	5.44	12.8	塗膜の異常
技術C	3.06	26.3	塗膜の異常	3.56	21.0	塗膜の異常
技術D	1.88	12.7	塗膜の異常	2.45	18.3	塗膜の異常
技術E	0.74	13.0	はく離範囲の制限 (W=400)	2.05	14.8	はく離範囲の制限 (W=400)

7) 押抜き変位と押抜き荷重の関係

既存の押抜き試験では、押抜き変位の増加に伴い押抜き荷重が増加する。これは、押抜き変位の増加に伴い剥離延長が増加することによることが知られている¹⁾。一方、コンクリート T 桁橋に見られる間詰め部や、極端に一片が長い長方形のコンクリート片の落下では、落下防止対策は 2 辺支持状態での耐荷機構を求められ、押抜き変位が増加した場合でも剥離延長がほとんど変わらない状況が想定される。よって、本研究では四角圧子を用い 2 辺支持とした押抜き試験 case10 を行い、押抜き変位と押抜き荷重の関係を確認した。各技術の試験結果を図 4.5.93 に示す。

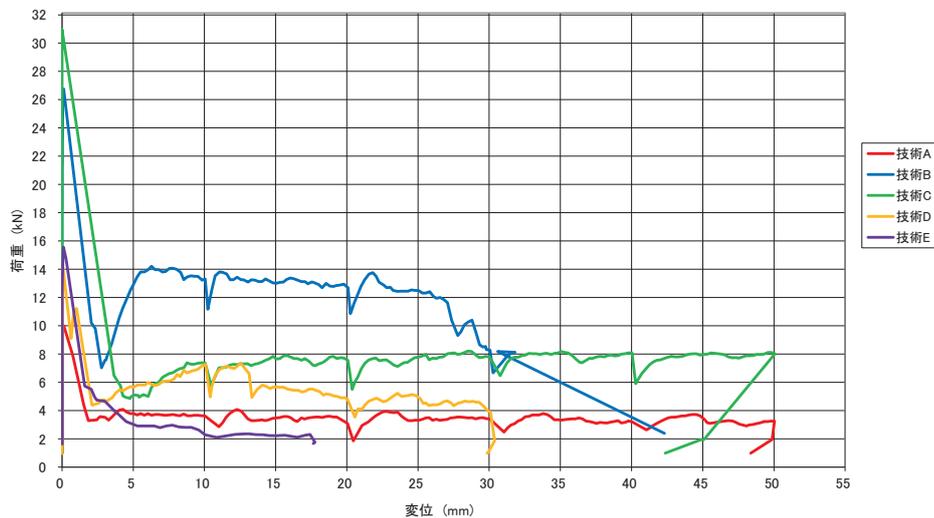


図 4.5.93 荷重変位曲線 (case10)

各試験において押抜き荷重は、圧子の接続部が破壊して荷重が急激に低下した後すぐに安定せず、例えば、技術 B,C,D では増加、技術 E では減少した。これは、落下防止対策とコンクリート部との剥離角度や、塗膜のなじみなどの要因が考えられるが、詳細は不明である。いずれの試験においても、押抜き変位が 10mm 程度まで進むと荷重に大きな変化は見られず一定値を示した。また、技術 B では変位 26mm から、技術 D では 13mm 程度から変位の増加に

に伴い、荷重が減少した。試験中に剥離の進行に伴い繊維が徐々に破断していくことが確認されていることから、塗膜の損傷が徐々に進行し耐荷力が減少しているためと考えられる。

これらの挙動は、コンクリート片の落下荷重を負担する場合、想定している耐荷力を発揮するためにはある程度の剥離過程が必要となる場合があること、また、剥離過程が長くなると耐荷力が減少する場合があることを意味している。

8) 圧子の大きさの影響（単位剥離強さ）

第2章のコンクリート片落下の実態調査では、落下が懸念されるコンクリート片の大きさは、既存の押抜き試験の圧子寸法φ100と比較して大きなものも存在することが確認された。そこで、押抜き試験における圧子の大きさが、試験結果に与える影響を確認した。既往の研究より、押抜き試験における耐荷力は、単位剥離強さと剥離延長の積を用いて評価できることが報告されている⁵⁾。よって、本研究では圧子の大きさと単位剥離強さに着目し、整理を行った。

四角形圧子の長さが異なる case10,11 の試験結果より単位剥離強さを算出する。圧子の大きさは、case10 : 270×990mm、case11 : 270×270mm であり約 3.6 倍の長さの違いを設けている。単位剥離強さは、押抜き荷重を剥離延長で除すことにより求められる。

$$\text{単位剥離強さ} = \text{押抜き荷重} / \text{剥離延長} \quad \dots (4.5.1)$$

ここで、case10,11 では押抜き変位が 10mm 程度で押抜き荷重が一定となり安定していたことから、変位 10mm 時点での押抜き荷重を用いることとした。剥離延長は落下防止対策の設置幅から、2000mm(case10)、560mm(case11)とした。

算出結果を図 4.5.94 に示す。圧子の長さが case11 の約 3.6 倍である case10 の単位剥離強さは、技術 A、B、E では減少、技術 C では同等、技術 D では増加したが、その差はわずかであった。case10 と case11 は供試体が異なるため、供試体のばらつきの影響等を含んでいる可能性も考えられるが、圧子の大きさの違いが単位剥離強さに与える影響はさほど大きくないことが予想される。

表 4.5.8 単位剥離強さ (case10, 11)

	case10 (供試体 I)			case11 (供試体 II)		
	荷重 (kN)	剥離延長 (mm)	単位剥離強さ (N/mm)	荷重 (kN)	剥離延長 (mm)	単位剥離強さ (N/mm)
技術A	3.63	2,000	1.82	1.27	560	2.26
技術B	13.31	2,000	6.66	4.30	560	7.68
技術C	7.36	2,000	3.68	2.05	560	3.66
技術D	7.27	2,000	3.64	1.81	560	3.23
技術E	2.29	2,000	1.14	1.14	560	2.03

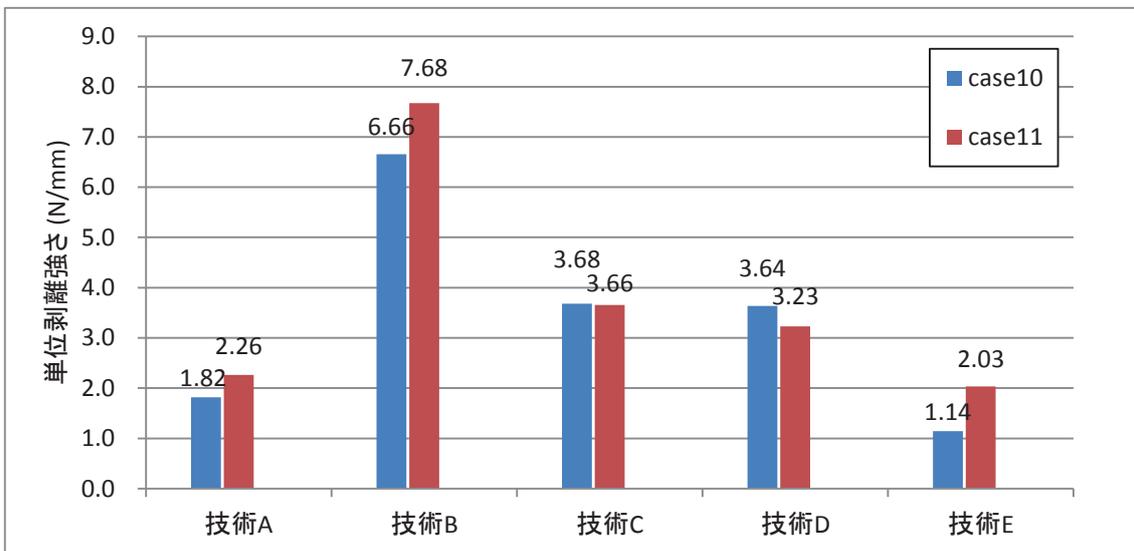


図 4.5.94 単位剥離強さの比較

4.5.2 接着試験結果

(1) case13 (標準部)

接着試験は落下防止対策が適切に施工されていること（施工品質）を確認するものであり、標準部に施工された落下防止対策の接着強さを確認する。

供試体の標準部に設置された 5 技術に対し、1 技術あたり 3 箇所について接着試験を行い、接着強さを求めた。結果を表 4.5.9 及び図 4.5.95 に示す。

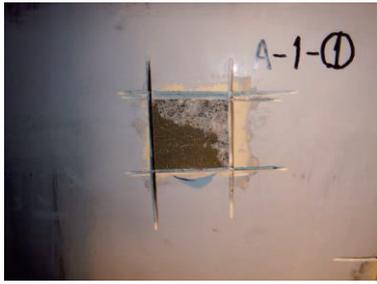
技術 A,B,C での破壊面は、一部または全面で母材コンクリートであった。したがって、落下防止対策自体の接着力は計測された値以上であると考えられる。

技術 D では、落下防止対策の塗膜内で破壊した。

技術 E では、母材コンクリートと落下防止対策の接着面で破壊しており、平均接着強さ（1.10N/mm²）は他と比較して低い値となった。このように、各技術の標準的な仕様によって施工された落下防止対策であっても、各技術によって多様な破壊形態と強度を示すことが確認された。

表 4.5.9 接着試験結果 (case13)

	No.	接着強さ(N/mm ²)		破壊面
			平均	
技術A (供試体A・標準部)	1	2.53	2.22	母材コンクリート及び接着面
	2	3.06		母材コンクリート及び接着面
	3	1.09		母材コンクリート及び接着面
技術B (供試体A・標準部)	1	2.68	3.00	母材コンクリート
	2	3.28		母材コンクリート
	3	3.06		母材コンクリート
技術C (供試体A・標準部)	1	1.54	2.79	母材コンクリート及び接着面
	2	3.87		母材コンクリート及び接着面
	3	2.96		母材コンクリート及び接着面
技術D (供試体A・標準部)	1	1.93	1.60	凝集破壊(塗膜内破壊)
	2	1.62		凝集破壊(塗膜内破壊)
	3	1.24		凝集破壊(塗膜内破壊)
技術E (供試体A・標準部)	1	1.07	1.10	接着面
	2	1.11		接着面
	3	1.13		接着面



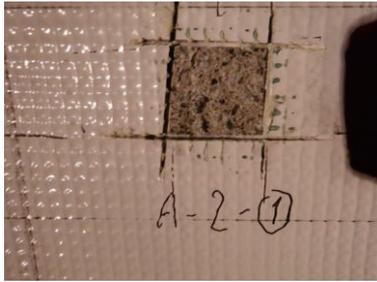
技術 A No. 1



技術 A No. 2



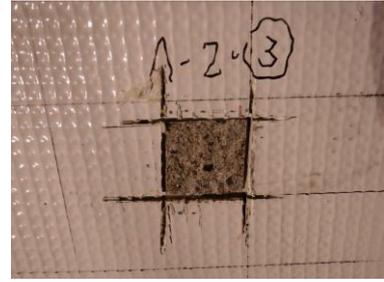
技術 A No. 3



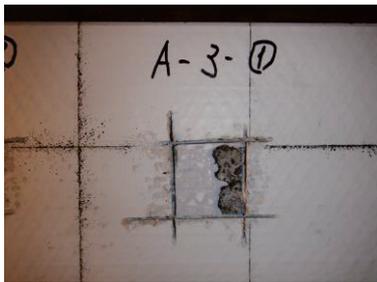
技術 B No. 1



技術 B No. 2



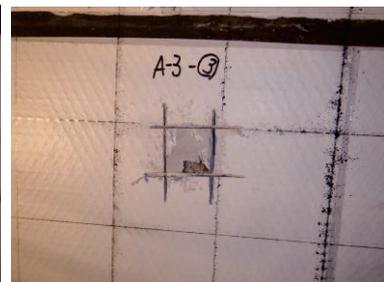
技術 B No. 3



技術 C No. 1



技術 C No. 2



技術 C No. 3



技術 D No. 1



技術 D No. 2



技術 D No. 3



技術 E No. 1



技術 E No. 2



技術 E No. 3

図 4.5.95 接着試験結果 (標準部)

(2) case14 (模擬補修部)

落下防止対策が適切に施工されていること（施工品質）を確認するものであり、模擬補修部に施工された落下防止対策の接着強さを確認した。

技術 E においては、押抜き試験時の塗膜剥離が接着試験予定箇所まで至ったことにより、接着試験が実施できなかった。試験結果を表 4.5.10 及び図 4.5.96 に示す。

技術 A、B での破壊面は、一部または全面で母材コンクリートまたはアタッチメント接着面であった。したがって、落下防止対策自体の接着力は計測された値以上であると考えられる。

技術 C、D では、落下防止対策の塗膜内で破壊した。特に技術 C では既存塗膜と補修塗膜間での破壊となり、一部低い値(0.87N/mm²)となっているものも見られた。模擬補修部のように標準部とは異なった施工を行う箇所においては、破壊形態や強度も標準部と異なる場合があることが確認された。

表 4.5.10 接着試験結果 (case14)

	No.	接着強さ(N/mm ²)		破壊面
			平均	
技術A (供試体B・模擬補修部)	1	2.66	2.30	母材コンクリート及び接着面
	2	1.88		母材コンクリート及び接着面
	3	2.37		母材コンクリート及び接着面
技術B (供試体B・模擬補修部)	1	3.16	3.42	アタッチメント接着面
	2	3.63		母材コンクリート
	3	3.48		母材コンクリート
技術C (供試体B・模擬補修部)	1	1.91	1.45	母材コンクリート及び接着面
	2	0.87		再補修部接着面
	3	1.56		再補修部接着面
技術D (供試体B・模擬補修部)	1	2.37	1.90	凝集破壊(塗膜内破壊)
	2	2.08		凝集破壊(塗膜内破壊)
	3	1.26		凝集破壊(塗膜内破壊)
技術E (供試体B・模擬補修部)	1	---	---	押し抜き試験による剥離範囲の増大により、引張試験未実施
	2	---		
	3	---		

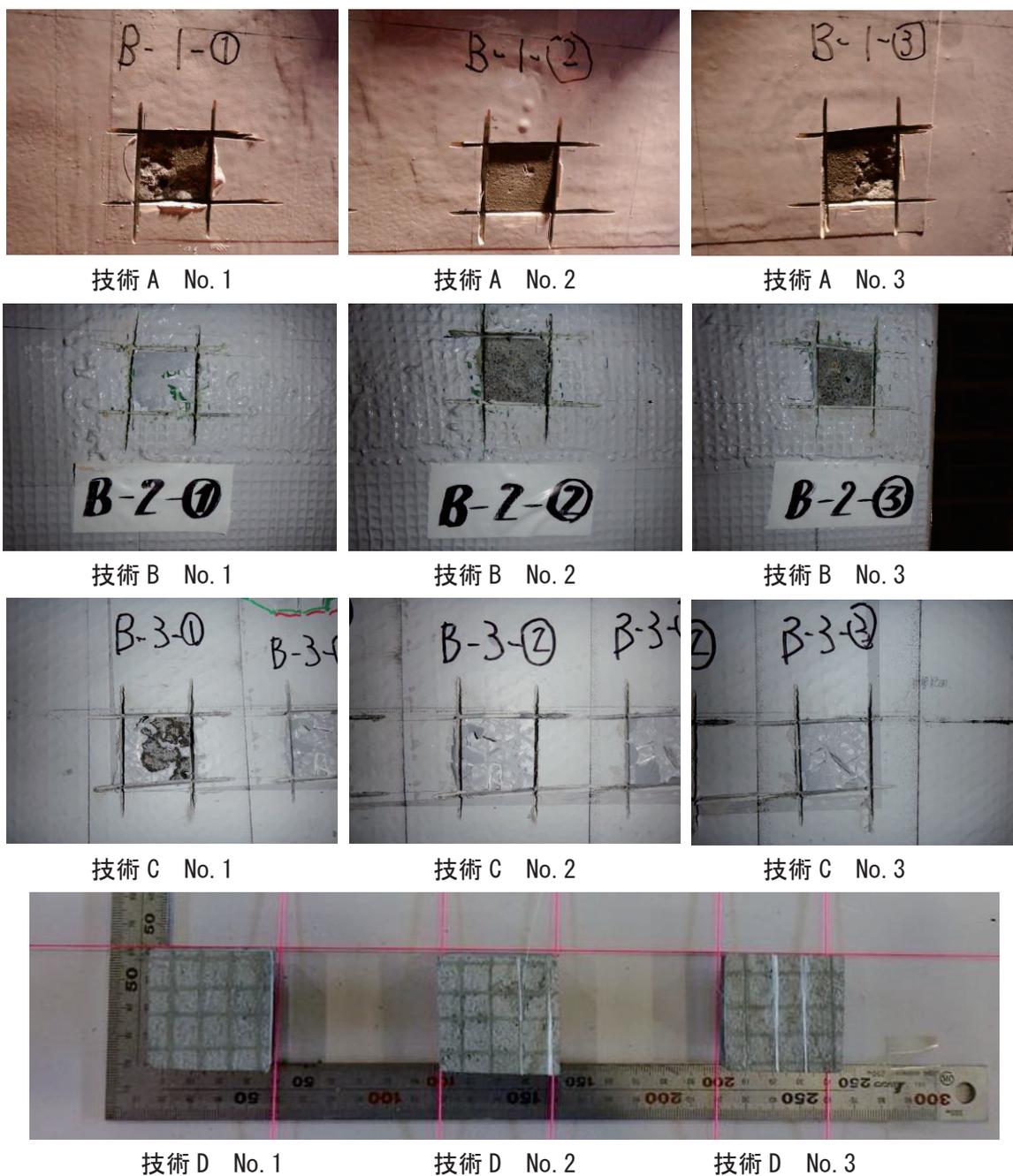


図 4.5.96 接着試験結果（模擬補修部）

(3) 接着強さと単位剥離強さの関係

図 4.5.97 に接着強さと単位剥離強さの関係を整理した。ここでは単位剥離強さは 4.5.1 (9) で算出された case10 の結果を用いた。接着強さが大きいほど単位剥離強さが大きい傾向があるが、各技術の大小の序列に完全に従うものとはなっていない。case13D の接着試験の破壊面は凝集破壊（塗膜内の破壊）であったことから、接着試験で得られる値は、母材コンクリートと落下防止対策の接着力のみを示すとは限らないことが一因であると考えられる。なお、単

位剥離強さが最も小さい case13E では、接着試験において母材コンクリートと落下防止対策の界面で破壊し接着強さも小さい値であった。

母材破壊または凝集破壊など当該技術が本来どのような破壊を前提に開発されているかに応じて、試験結果を適切に評価する必要がある。なお、母材の耐力や表面性状は模擬試験体での再現が困難であり、この点にも注意が必要である。

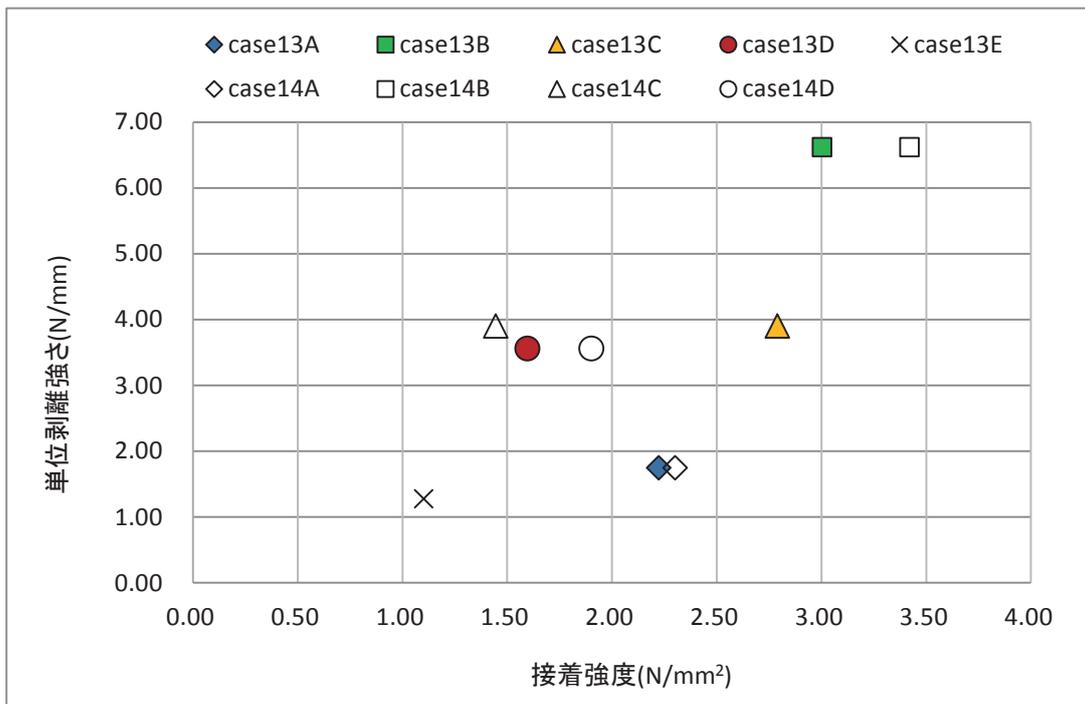


図 4.5.97 付着強度と単位剥離強さの関係 (case10)

(4) 施工品質が耐荷特性に与える影響

標準部及び模擬補修部での接着試験において、本検討で用いた技術では以下のことが確認された。

- ・ 供試体の標準部の落下防止対策の接着強さは、各技術によって多様な破壊形態と強度を示すことが確認された。
- ・ 供試体の模擬補修部の落下防止対策の接着強さは、標準部と同程度の強度及び同様の破壊形態を示した技術が多かったが、破壊形態が変化する技術も確認された。
- ・ 接着強さが大きくなると単位剥離強さも大きくなる傾向であったが、各技術の大小の序列に完全に従うものではなかった。

以上のとおり、接着強さは各技術によって多様な破壊形態と強度を示すことが確認された。また、補修等の標準部とは異なる落下防止対策の施工によって破壊形態や強度が影響を受けることが確認された。本研究で選定した 5 技術は、実構造物での適用実績があり、また、カタログ上での性能においても既存の落下防止対策に求められる落下防止性能を満足している。しかし、本研究で用いた橋梁床版への実際の施工を想定して作製した実物大の供試体においては、

強度が十分に発揮されない場合もあることが確認された。性能試験では、このように適用する構造物を想定した供試体及び施工条件等をできるだけ再現した供試体を用いることによって、事前に落下防止対策の施工品質や適用性を確認することができると考えられる。

4.5.3 うきの検知試験結果 (case15)

供試体内部に設置したうきを模擬した欠陥を対象に、落下防止対策の設置前後にたたき検査及び赤外線サーモグラフィーによる非破壊調査を行い、これらによるうきの検知性能を確認する。

図 4.5.98～図 4.5.102 に、各落下防止対策の設置前及び設置後の試験結果を示す。

たたき検査では、本検討で用いた技術においては、いずれにおいても、設置前と完全に一致してはいないものの、設置後にもうき範囲を異音として捉えることが可能であった。

赤外線サーモグラフィーを用いた非破壊調査では、すべての技術で落下防止対策を設置した後の方が画像は不鮮明となり、本検討で用いた機器ではうき範囲として認識することができなかった。検査機器によってその性能や適用範囲は異なるため、実際に使用する非破壊調査機器を用いて、できる限り現場条件を模擬した試験を行い、その適用範囲を事前に確認することが重要である。

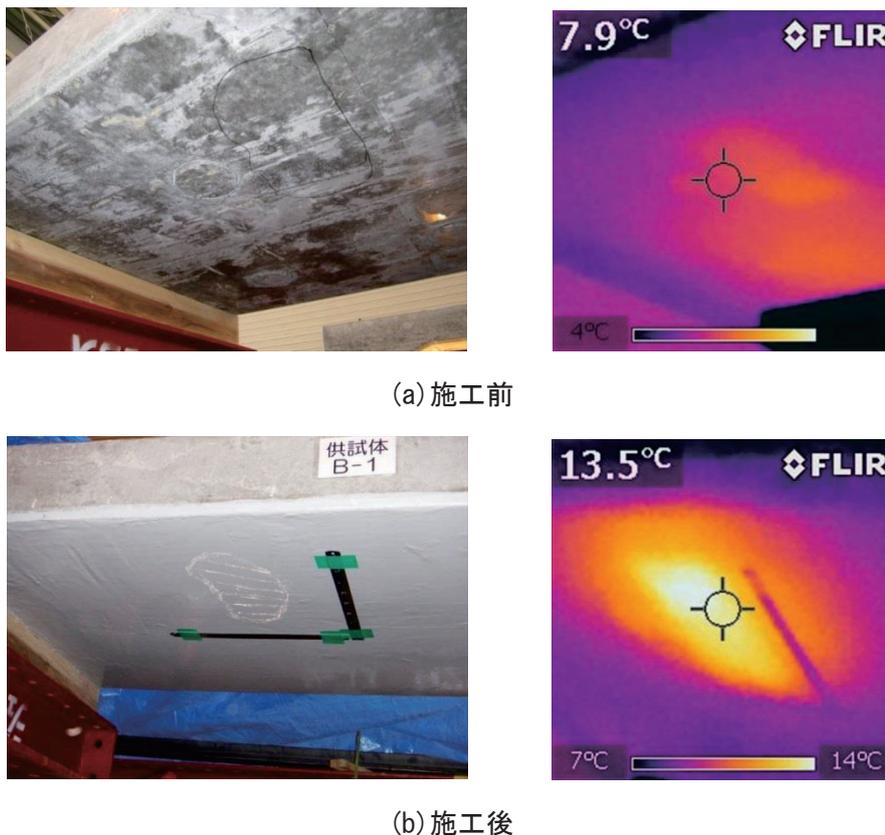
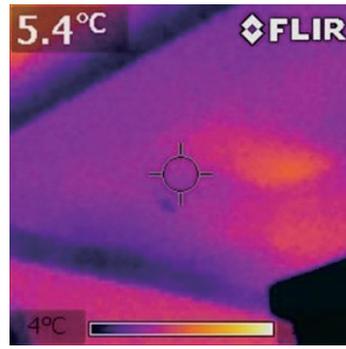
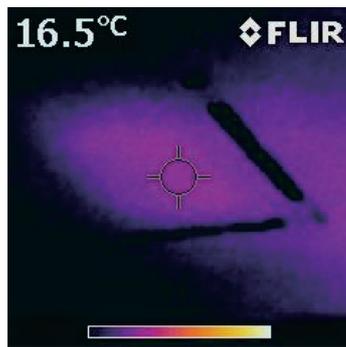
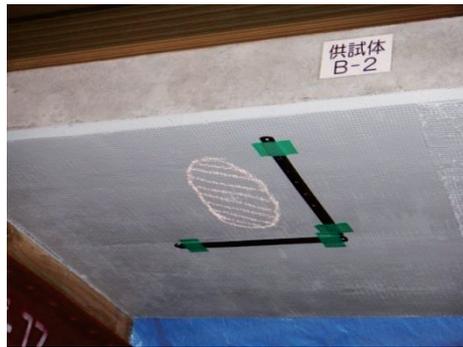


図 4.5.98 うきの検知性能試験結果 (技術 A)

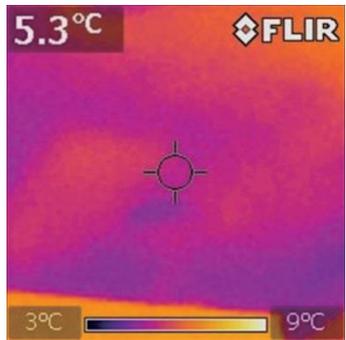


(a) 施工前

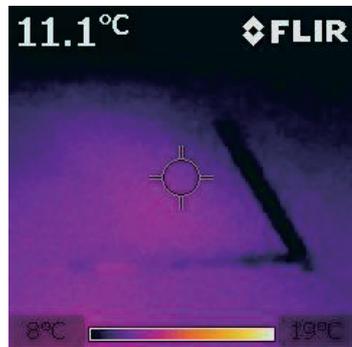
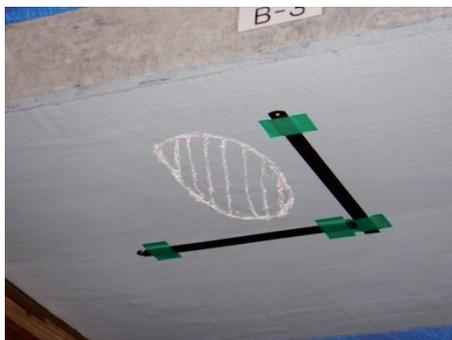


(b) 施工後

図 4.5.99 うきの検知性能試験結果 (技術 B)

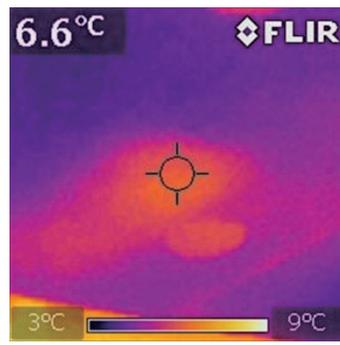
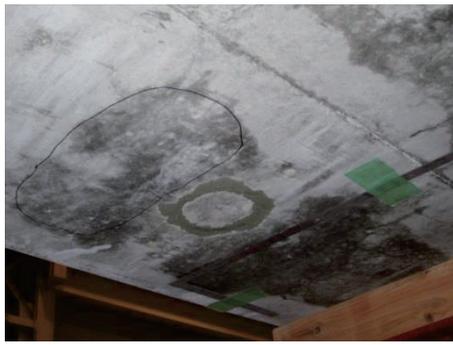


(a) 施工前

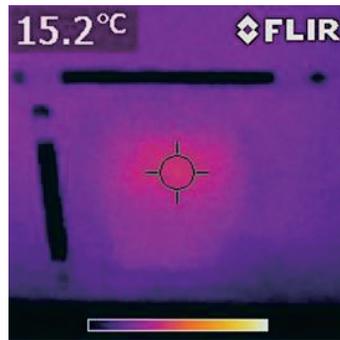
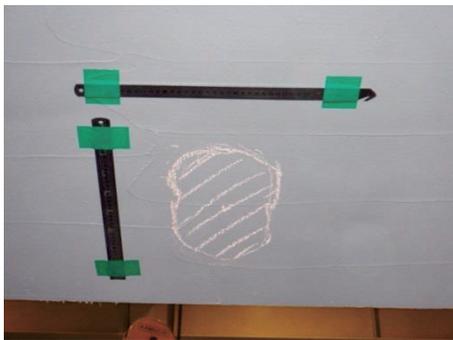


(b) 施工後

図 4.5.100 うきの検知性能試験結果 (技術 C)

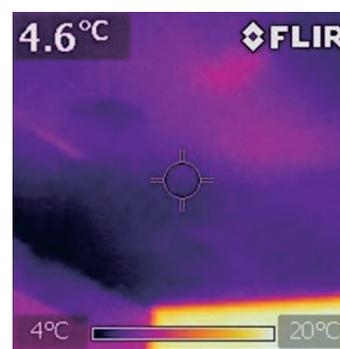


(a) 施工前

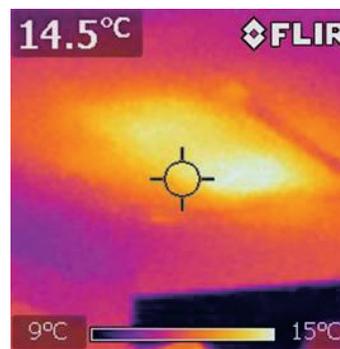
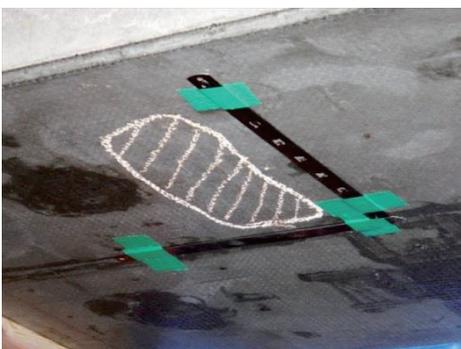


(b) 施工後

図 4.5.101 うきの検知性能試験結果 (技術 D)



(a) 施工前



(b) 施工後

図 4.5.102 うきの検知性能試験結果 (技術 E)

4.5.4 滞水検知試験結果 (case16)

落下防止対策の塗膜背面から水を注入することにより滞水を模擬し、塗膜表面の外観上の変化（染み出し、はがれ、ふくれ等）を目視によって確認する。

試験結果を図 4.5.103～図 4.5.104 に示す。

技術 A～D では、水の注入後 24 時間経過時点で外観上の変化は確認できなかった。

技術 E の可視化工法では、コンクリートが濡れ色になることを目視確認できた。ただし、図 4.5.105 に示すように、施工時の下地処理として電動工具を使用している箇所、型枠目地部、補修箇所等では、標準部と色が異なっている。このように、施工状態等によって落下防止対策の表面に変状が生じることもあるため、滞水部の判断を行う場合には、施工当初からの状態を把握した上で比較するなどの注意が必要である。

以上のとおり、このような滞水検知試験を行うことにより、漏水検知性能を確認できる可能性が確認された。本研究では 24 時間の経過観察であったが、より長期間の観察をすることにより、色の変化のほか、塗膜のうきなどとして漏水を確認できることが検証できる可能性も考えられる。一方、本研究で行ったスリットによる漏水模擬では、スリット部に塗膜が入り込み、本来の施工品質で施工できないものも確認されている。また、実橋における漏水のメカニズムや漏水過程には不明な点もあり、より現実に近い漏水模擬方法のさらなる検討が必要であり、今後の課題である。

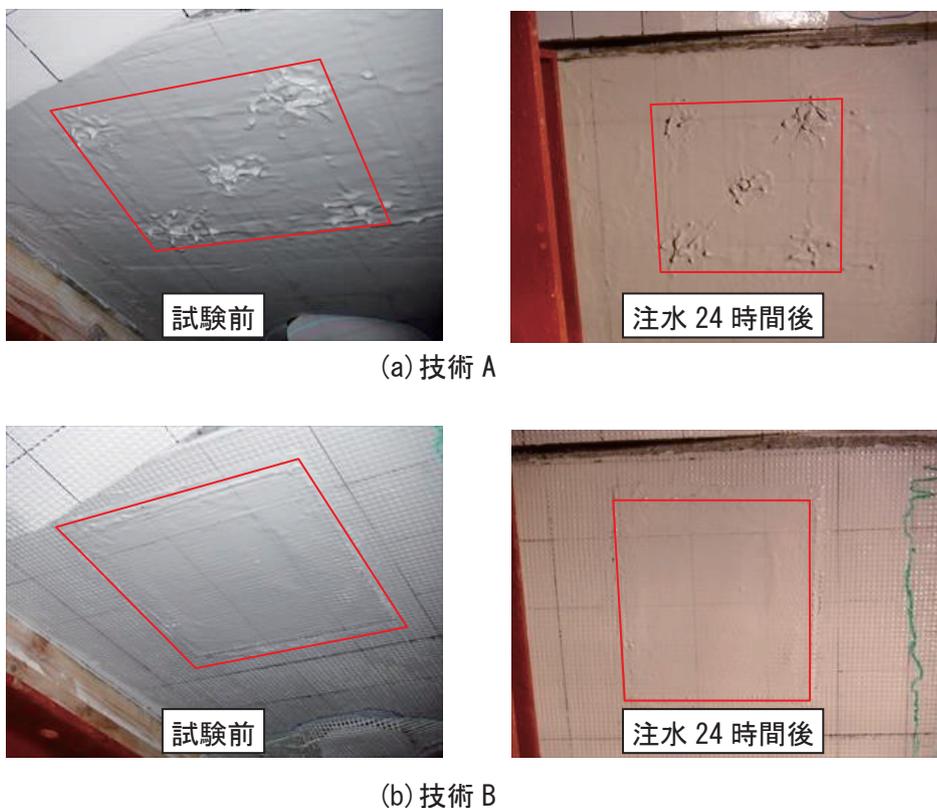
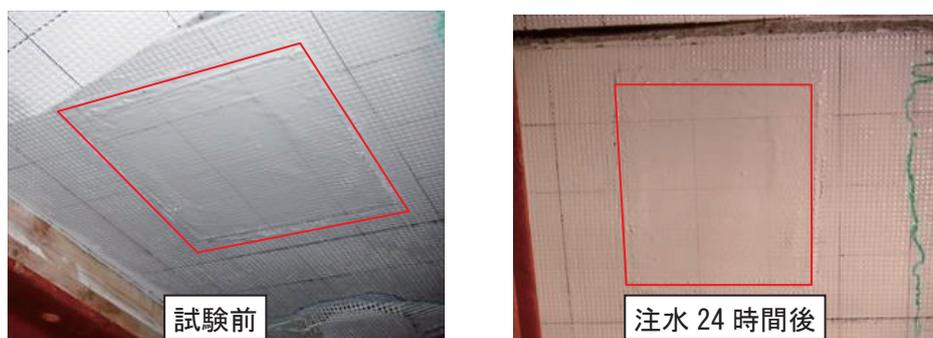
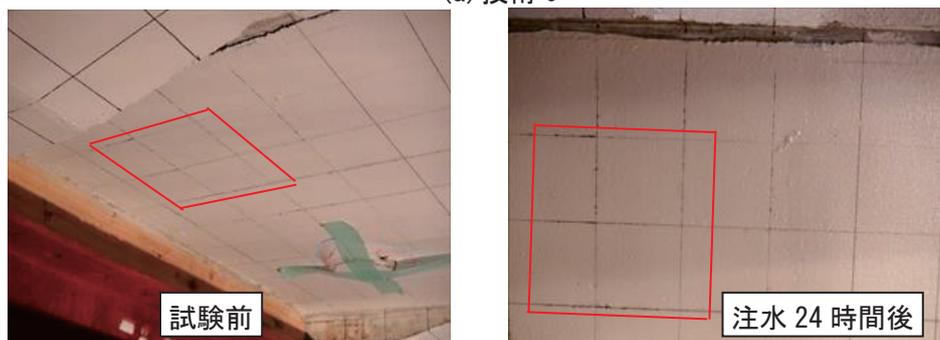


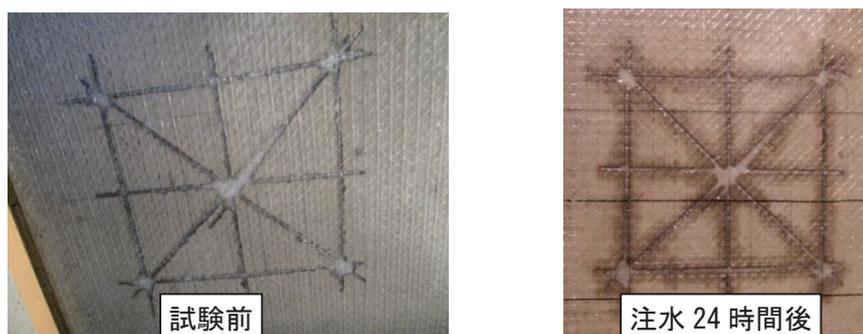
図 4.5.103 漏水検知性能試験結果 (その 1)



(a) 技術 C



(b) 技術 D



(c) 技術 E

図 4.5.104 漏水検知性能試験結果 (その 2)

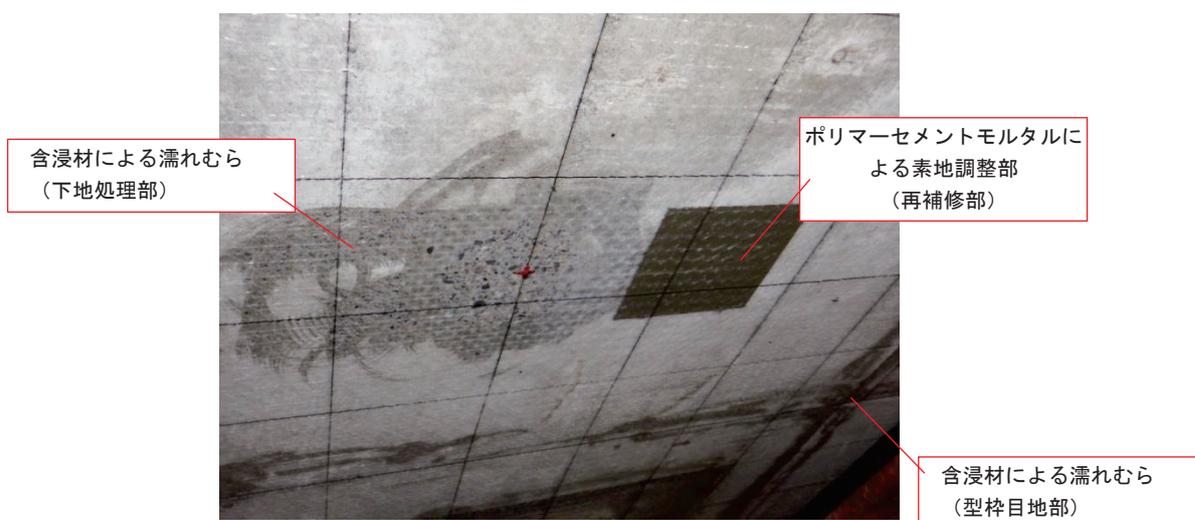


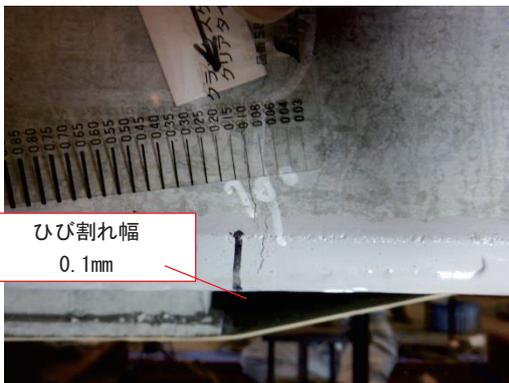
図 4.5.105 技術 E 施工後の下地視認状況

4.5.5 ひび割れ検知試験結果 (case17)

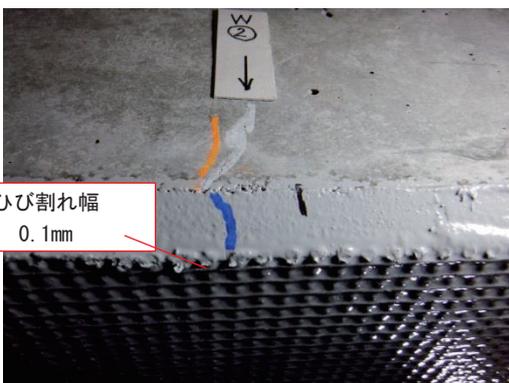
落下防止対策を設置後、供試体に曲げひび割れを発生させ、落下防止対策の外観変化を確認した。試験結果を図 4.5.106～図 4.5.107 に示す。

技術 B では、ひび割れの発生位置においても塗膜の変状は見られなかった。一方、技術 A,C,D,E では、ひび割れの発生位置で、塗膜に変状が確認された。ただし、技術 A,C,D ではその変状は小さく、技術 E では、ひび割れに沿ったシートの白濁が見られた。

以上のとおり、曲げひび割れを発生させることで落下防止対策のひび割れ検知性能を確認できるものと考えられる。ただし、目標とするひび割れ幅やひび割れの長さによってはその検知性能が異なることが考えられる。性能試験では、検知対象とするひび割れ幅やひび割れの長さ等をあらかじめ明確にし、それらを適切に管理できる方法によって試験を行うことが重要である。

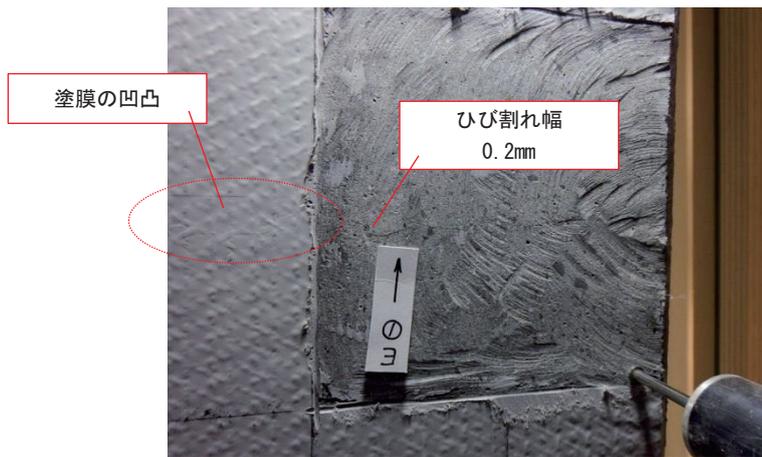


(a) 技術 A

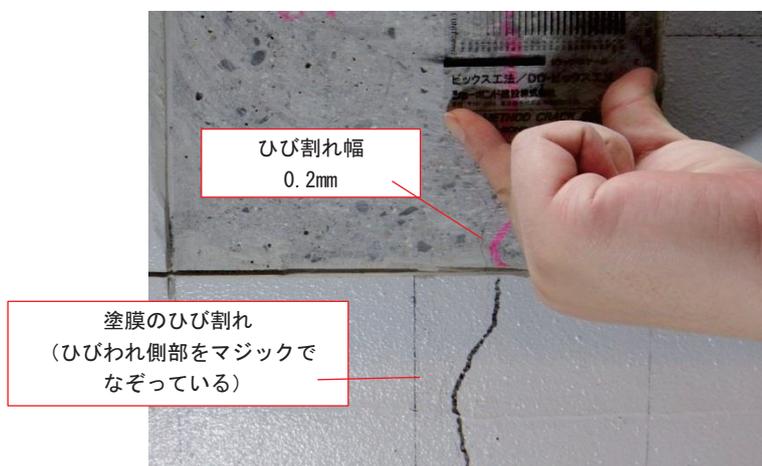


(b) 技術 B

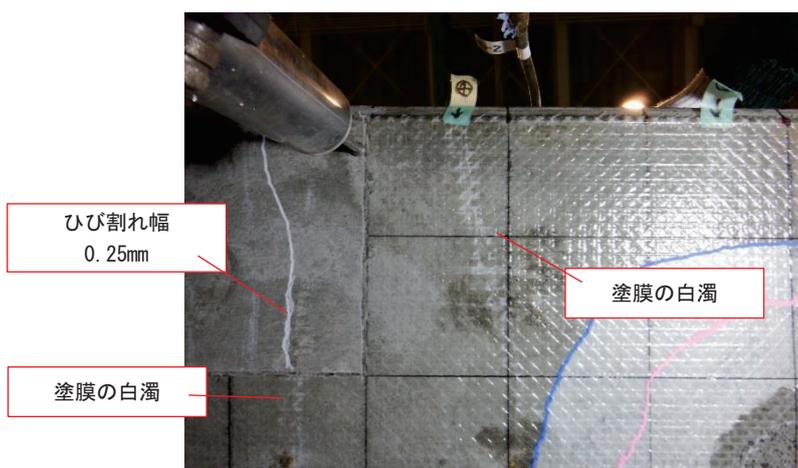
図 4.5.106 曲げひび割れの検知試験状況 (その1)



(a) 技術 C



(b) 技術 D



(c) 技術 E

図 4.5.107 曲げひび割れの検知試験状況 (その 2)

【第4章 参考文献】

- 1) 藤倉 裕介、伊藤 祐二、秩父 顕美：無機系材料による剥落防止工法の押抜き耐力の評価法、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、2004
- 2) 六車崇司、小島芳之、吉川和行：繊維シート接着工によるトンネル覆工コンクリートの剥落対策における覆工曲率の影響、土木学会第56回年次学術講演会、V-536、2001.10
- 3) 東北地方整備局：設計施工マニュアル[橋梁編]、平成17年5月
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編、平成24年3月
- 5) 小島芳之、吉川和行、六車崇司、小林 朗、若菜 和之：トンネル覆工の剥落対策における繊維シート接着工の適用性について、トンネル工学研究発表会論文・報告集、vol.12、2002.11

