平成 29 年度

修士論文

断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性

に関する実験的研究

- 断面修復材の力学特性、付着状況および修復形状の影響-

指導教員 三島直生 准教授

畑中重光 教授

三重大学大学院工学研究科

建築学専攻

時 利偉

- 第1章 序論
 - 1.1 本研究の背景
 - 1.2 本研究の目的
 - 1.3 本論文の構成
- 第2章 既往の研究
 - 2.1 概説
 - 2.2 断面修復工法
 - 2.2.1 断面修復工法の概要
 - 2.2.2 断面修復材料の種類
 - (1) プライマーおよび鉄筋防錆材
 - (2) 断面修復材
 - 2.2.3 断面修復工法の種類
 - (1) 左官工法
 - (2) モルタル注入工法
 - (3) 吹付け工法
 - (4) コンクリート充填工法
 - 2.2.4 材料の特徴および注意事項
 - (1) 鉄筋防錆材
 - (2) 断面修復材
 - 2.3 断面修復材と母材コンクリートの付着性に及ぼすはつり処理法の影響
 - 2.4 断面修復材と躯体コンクリートの長期接着性の評価
 - 2.5 断面修復材の付着性能の評価
 - 2.6 ポリマーセメントモルタルの接着強度に及ぼすコンクリート下地処理法の影響
 - 2.7 まとめ
- 第3章 断面修復形状および付着状況が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性 に及ぼす影響に関する実験 ・・・・・・ 13
 - 3.1 概説
 - 3.2 実験概要
 - 3.2.1 供試体の種類
 - 3.2.2 調合および使用材料
 - 3.2.3 供試体の作製方法
 - (1) 圧縮試験用供試体
 - (2) 曲げ強さ試験用供試体
 - 3.2.4 実験方法
 - (1) 圧縮試験
 - (2) 曲げ強さ試験

• • • • • • • 1

• • • • • • 4

- 3.3 実験結果とその考察
 - 3.3.1 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性
 - 3.3.2 曲げ強さ試験
 - 3.3.3 角柱供試体の圧縮強度
 - (1) 離型剤塗布していない供試体
 - (2) 離型剤を塗布した供試体
 - 3.3.4 ひずみの分布
 - (1) 離型剤を塗布していない供試体
 - (2) 離型剤を塗布した供試体
- 3.4 まとめ
- 第4章 載荷板の固定条件が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす影響に関する実験
 ・・・・・・・31
 - 4.1 概説
 - 4.2 実験概要
 - 4.2.1 供試体の種類
 - 4.2.2 調合および使用材料
 - 4.2.3 供試体の作製方法
 - (1) 圧縮試験用供試体
 - (2) 曲げ強さ試験用供試体
 - 4.2.4 実験方法
 - (1) 圧縮試験
 - (2) 曲げ強さ試験
 - 4.3 実験結果とその考察
 - 4.3.1 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性
 - 4.3.2 曲げ強さ試験
 - 4.3.3 角柱供試体の圧縮強度
 - 4.3.4 ひずみの分布
 - (1) 離型剤を塗布していない供試体
 - (2) 離型剤を塗布した供試体
 - 4.4 まとめ
- 第5章 断面修復材の圧縮強度が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及ぼ す影響に関する実験 ・・・・・・・48
 - 5.1 概説
 - 5.2 実験概要
 - 5.2.1 実験の要因と水準
 - 5.2.2 調合および使用材料
 - 5.2.3 供試体の作製方法

- (1) 圧縮試験用供試体
- (2) 曲げ強さ試験用供試体
- 5.2.4 実験方法
 - (1) 圧縮試験
 - (2) 曲げ強さ試験
- 5.3 実験結果とその考察
 - 5.3.1 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性
 - 5.3.2 曲げ強さ試験
 - 5.3.3 角柱供試体の圧縮強度
 - (1) 欠損形状 A の場合
 - (2) 欠損形状 B の場合
 - 5.3.4 ひずみの分布
 - (1) 母材コンクリートより補修モルタルの圧縮強度が低い場合
 - (2) 母材コンクリートと補修モルタルの圧縮強度が同等な場合
 - (3) 母材コンクリートより補修モルタルの圧縮強度が高い場合
- 5.4 まとめ
- 第6章 総括および今後の課題

• • • • • • • 69

- 6.1 本研究の総括
- 6.2 今後の課題

[謝辞]

参考文献

第1章

序論

1.1 本研究の背景

鉄筋コンクリート(以下、RC)構造物の施工段階におけるコンクリート工事では、締固 め不足の場合やコンクリートが材料分離した場合、また、型枠の部分的変形などによりモル タルやペーストが著しく漏れ出たなどの場合に、図-1.1に示すような豆板と呼ばれている 初期欠陥が発生することがある^{1),2)}。このような欠陥部は、健全なコンクリートに比べ耐久 性に劣るため、時間の経過による劣化や変状の進行を加速させ、構造物の耐久性や使用性に 影響を与える可能性がある。コンクリート診断技術により、表-1.1に示すような欠陥が一 旦発見された際に、欠陥および欠陥近傍のコンクリートを取り除き、断面修復材を用いて断 面修復を行うのが一般的である³⁾。

しかしながら、そのような不具合は、適切な処置が行わずに適当に処理された場合、初期 欠陥として顕在化し様々な形で後世に影響を与えることになりかねない。特に、RC 柱脚部 は、構造体の中においても、初期欠陥ができやすい部位であるほか、地震時に自重による圧 縮力だけでなく大きな曲げモーメントが作用し、損傷を受ける可能性が高い部位でもある ため、不適切な断面修復により構造安全性の低下が生ずるおそれもある。したがって、断面 修復した RC 柱脚部の品質を確保することは重要な課題であると考えられる。



図-1.1 RC 柱の柱脚部に発生した豆板の様子

変状の度合	I	П	· 11	IV
ot stream of the stream of th	軽微	やや大きい	大きい	極めて大きい
	砂利が露出しているが, 剥落しない	剥落する砂利がある	鉄筋が見えるほど深い	砂利をたたくと連続的に 剥落する
ジャンカ			thin to bot	型枠 コンカリート
	①ホリマーセメントモルタ ルの塗布	 ①表層部をはつり取る ②ボリマーセメントペース ト等の塗布 ③ボリマーセメントモルタ ル等充塡 	 ①シャンカの除去 ②無収縮モルタルグラウト ③表層にポリマーセメント ペーストを塗布 	 ①シャンカの除去 ②コンクリート打設 ③ポリマーセメントペース トの塗布

表-1.1 標準的な豆板の補修工法

1.2 本研究の目的

前述のような背景を踏まえ、本研究では、より効率的、安全的な RC 柱脚部の断面修復工 法を開発することを最終的な目標としている。このためには、修復された RC 柱の柱脚部の 力学的な挙動を明らかにすることが重要であると考えられる。実大 RC 柱供試体を用いた実 験では、幅広い要因水準に対応した実験が困難となる。このため、本研究では、基礎的な研 究の一環として図-1.2 に示すような RC 柱脚の圧縮縁付近のコンクリート部分を想定した 小型のコンクリート供試体を対象とし、仮定条件の下で、断面修復したコンクリート角柱供 試体の圧縮特性の把握を実験的に試みた。また、その結果に基づき、実際の構造物の補修へ の適用性を検討した。

本研究における仮定条件を以下に示す。

- 1) 単純化のために供試体に鉄筋は含まない。
- 2) 供試体は、RC 柱脚の表面から 100mm の深さの範囲を想定する。
- 3) 応力は、断面修復材の力学特性が重要となる圧縮側のみを想定する。
- 4) 曲げモーメントによる応力勾配およびせん断応力は無視する。
- 5) 欠陥は、コンクリート未充填部の発生しやすいかぶりコンクリート部に発生したもの と想定する。



図-1.2 RC 柱脚部に発生する欠陥と軸応力度分布のイメージ図

1.3 本論文の構成

本論文の構成は、以下の通りである。

第1章「序論」では本研究の背景と目的を示す。

第2章「既往の研究」ではコンクリートの補修方法および断面修復材とコンクリートの付 着性に関する既往の研究に関して取りまとめた。また、本実験においても要因として取り扱 った断面修復形状が高強度コンクリート供試体の圧縮強度に及ぼす影響についての既往研 究も整理した。

第3章「断面修復形状および付着状況が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす影響に関する実験」では補修界面の付着程度と断面修復形状を要因として変化させ、母材コンクリートと高強度型補修モルタルを用いて、断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に関して実験的な検討を行った。

第4章 「載荷板の固定条件が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす 影響に関する実験」では載荷条件としてひずみの偏心が起こらないように載荷板を固定し て圧縮試験を行い、載荷条件の影響を確認した。

第5章「断面修復材の圧縮強度が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及 ぼす影響に関する実験」では断面修復材の力学特性として圧縮強度と弾性係数に着目し、各 強度レベルの補修モルタルを用いて断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性の評 価実験を行った。

第6章「結論および今後の課題」では、本研究で得られた結論をまとめるとともに、今後の課題および展望を記述する。

第2章

既往の研究

2.1 概説

コンクリート構造物を補修・補強する目的で、本研究で対象としている断面修復工法が広 く用いられている。断面修復工法は、コンクリートの劣化・損傷部を除去した後の断面や、 かぶりコンクリートの剥離や剥落によって生じている欠損断面に対し、コンクリート、セメ ント系モルタル、無収縮モルタルなどの断面修復材によって従前の断面に修復する最も代 表的な補修工法である。また、コンクリートの断面修復工事における施工品質に影響するも のとしては、変状コンクリートのはつり処理方法、断面修復材の諸性能、コンクリートの下 地処理法、断面修復材とコンクリートの付着性状などが取り上げられる。本章では、断面修 復工法、はつり処理、付着特性、コンクリートの下地処理法、断面修復形状に関する既往の 研究についてまとめる。

2.2 断面修復工法⁴⁾

2.2.1 断面修復工法の概要

コンクリート工学会『コンクリート診断技術基礎編』によると、「断面修復工法とは、コ ンクリートの劣化により元の断面を喪失した場合の修復や中性化、塩化物イオンなどの劣 化因子を含むかぶりコンクリートを撤去した後の断面を当初の性能および形状寸法に戻す ために用いられる補修工法」とされている。

断面修復材に要求される性能は、修復部材、環境条件、施工法などにより様々であるが、 一般的には、

- ① 圧縮、曲げおよび引張強度などが既存コンクリートと同等以上であること。
- ② 熱膨張係数、弾性係数およびポアソン比等が既存コンクリート同等であること。
- ③ 収縮(乾燥時、硬化時)が小さく、接着性が高いこと。
- ④ 現場施工であるため作業性がよいこと。

などが要求される。

断面修復工法は、一般に、プライマーあるいは鉄筋防錆材などの下塗りと、断面修復材に よる欠損充填の2工程で実施される。

2.2.2 断面修復材料の種類

(1) プライマーおよび鉄筋防錆材

通常、断面修復工法では、断面修復材のコンクリートへの接着性を強固にするため、溶剤 型エポキシ樹脂などの有機系プライマーやスチレンブタジエンゴム系などのポリマーセメ ント系プライマーが使用されることが多い。

また、防錆剤として、リン酸、有機酸などを配合したさび転換塗料が使用されている。

(2) 断面修復材

一般に使用されている断面修復材は、ポリマーセメント、樹脂モルタル、セメント系無収 縮モルタルに大別されているが、修復断面の大きさ、打継ぎ方法、早強性の要否、施工法な どの条件により、それぞれのように合わせた専用材料となっている。

2.2.3 断面修復工法の種類

断面修復は、施工条件や補修規模により、左官工法、モルタル注入工法、吹付け工法(乾 式、湿式)、コンクリート充填工法に分類される。それぞれの特徴は以下のようにまとめら れる。また、図-2.1⁵⁾に左官工法、モルタル注入工法、吹付け工法の例を示す。

(1) 左官工法:左官工法とは、補修面積が比較的小面積の場合に用いられ、エポキシ樹 脂やモルタルやポリマーセメントモルタルを、左官コテを使用して充填する工法である。

(2) モルタル注入工法:モルタル注入工法とは、補修面積が比較的大面積の場合に用いられ、補修断面に合わせた形状で型枠を組み、流動性に優れたポリマーセメントやセメント モルタルを、ポンプで圧送して充填する工法であり、部材の鉛直面(側面)や下面などの箇所 に適用される。

(3) 吹付け工法 吹付け工法とは、補修面積が比較的大面積の場合に用いられ、あらか じめ練り混ぜた断面修復材を吹付ける湿式工法と、粉末と水また混和液を別々に圧送して 吹付ける乾式工法があり、それぞれ専用の吹付け機を使用する。

(4) コンクリート充填工法:コンクリート充填工法とは、補修面積が大断面積の場合に 用いられ、流動性に優れたコンクリートを充填する工法である。



図-2.1 断面修復による補修事例(鋼材が腐食している場合)

2.2.4 材料の特徴および注意事項

(1) 鉄筋防錆材

市販品の中には、逆に鉄筋の腐食を促進したり、補修部と未補修部のコンクリートとの境 界部で局部電池(マクロセル)を形成し、腐食を促進するものもあるので、実績の豊富な材料 や日本建築学会『鉄筋コンクリート構造物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説』 -鉄筋コンクリート補修用防錆材の品質基準(案)などの規格に適合する信頼性のあるもの を選択しなければならない。

(2) 断面修復材

乾燥収縮によるひび割れの発生がなく、コンクリートの一般的な性質が近似しているものがよい。軽量エポキシ樹脂のようにコンクリートと熱膨張係数や弾性係数の大きく異なるものは、日本建築学会『鉄筋コンクリート構造物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説』一断面修復用軽量エポキシ樹脂モルタルの品質基準(案)などの規格に適合する信頼性のあるものを選択しなければならない。

2.3 断面修復材と母材コンクリートの付着性に及ぼすはつり処理法の影響

コンクリート構造物の補修・補強におけるはつり処理に要求される性能は、

- 既設部材と新材料との良好な一体化性状が得られるはつり処理面となる。
- ② 鉄筋の有無に関わらず不要なコンクリートを確実に除去し、補修補強に影響のない形 状が得られる。
- ③ 劣化などにより脆弱化したコンクリートを確実に除去できる。
- ④ 鉄筋および処理面に損傷を与えない。

などが挙げられるが、日本国内のコンクリート構造物の補修補強において、既設コンクリー ト構造物のはつり処理が必要な場合、圧搾空気を原動力とするブレーカを使用することが 多い。これは、日本でのコンクリート構造物に対する補修・補強の歴史が浅く、補修補強規 模が比較的小さかったことから、従来取壊しや解体を目的として用いられていたブレーカ が、慣例的に使用されていたと考えられる。この場合、補修されたコンクリート構造物が再 劣化する事例もあり、ブレーカによるマイクロクラックの発生が一因と推察されている。

そこで、紫桃ら60は、人力施工(ディスクサンダー、ピックハンマー、ブレーカ)や補 修先進国といわれているヨーロッパにおいてコンクリート構造物の補修・補強に一般的に 用いられているウォータージェート工法などによる付着性能の評価実験を行った。図-2.2 に試験の流れを、表-2.1にはつり処理の工種を示す。試験項目は、はつり処理形状の外観 調査・計測および直接引張試験による付着力の測定を行っている。

その結果、はつり処理による新旧コンクリートの一体性において、表面の凸凹の程度に比 べて処理深さのほうが付着力に対する影響が大きく、一定以上の深さまではつり処理がで きれば十分な付着力を確保できることが確認された。しかし、各はつり処理工種のうち、人 力施工のピックハンマーとハンドブレーカによるはつり処理は、母材コンクリートや骨材 にひび割れが生じ、新コンクリートの付着力が十分に確保できないと報告されている。



表-2.1 はつり処理の工種

また、新谷ら⁷⁾は、ブレーカによってはつりが行われたコンクリートブロックの、はつり 面にほぼ垂直にコアを採取し、それらに X 線 CT 法を適用し、3 次元構成したイメージに対 して画像解析を行い、コア内部の空隙や亀裂の状態を定量的に評価した。

X線 CT は、X線透過法を用いており、被検体に X線を照射し、物体透過前後の X線エネ ルギー減衰比から、透過した物体内部の X線吸収率の空間分布を数値的に求め、これを画像 化するという逆解析手法である。この研究で使用した装置は、マイクロフォーカス X線 CT スキャナであった。装置の外観を図-2.3に、内部の様子の模式図を図-2.4に、コンクリ ートの X線 CT 画像を図-2.5に示す。はつり手法としては、ブレーカを使用してコンクリ ートブロックを作製し、はつり後のブロックから、コア供試体を採取し分析を行った。

その結果、ブレーカによるはつりは、はつり面より深いコンクリートにも損傷を与えてい ることが確認された。損傷が発生しやすい部位としてコンクリート打設時から存在する空 隙の周りや骨材とモルタルの境界部分であると報告されている。しかし、その損傷が修復さ れたコンクリートの力学性能に及ぼす影響は確認されていないため、この点については、今 後検討する必要がある。



図-2.3 マイクロフォーカス X線 CT スキャナの外観



図-2.4 マイクロフォーカス X 線 CT スキャ ナの構造



図-2.5 コンクリートのX線CT画 像

2.4 断面修復材と躯体コンクリートの長期接着性の評価

断面修復材には、コンクリート構造物の劣化抑制をはじめとする多様な性能が求められ ているが、特に重要な性能の一つとして躯体コンクリートに対する長期接着性が挙げられ る。補修に際して適正な材料選定を行うために、供用環境条件下における長期接着性の評価 が不可欠であり、具体的な材料特性値を明確にする必要がある。古賀⁸⁰は、現在、補修工事 に使用されている各種断面修復材の組成・下地処理方法などを調査するとともに、基礎物性 試験を行い、その諸性能に関する資料を作製した。また、実際の補修面を想定した、はつり 形状が異なる補修試験体を作製し、温冷・乾湿ムーブメントに対する断面修復材の材料特性 値に基づく長期接着性の評価方法を促進試験により検討した。

実験で対象とした断面修復材は、表-2.2 に示すセメント系 11 種類、樹脂系 3 種類の計 14 種類であった。試験項目および試験方法を表-2.3 に、補修試験体は、図-2.6 に示す。 ひび割れ耐久性試験の促進条件を図-2.7 に示す。

その結果として、硬化乾燥時の寸法変化が小さく、且つ母材コンクリートと同等の熱膨張 係数および弾性係数を有するポリマーセメントモルタルが良好なひび割れ耐久性を有する と確認された。

しかし、この実験において、使用した断面修復材の静弾性係数の範囲が充分に広いとは言 えないため、その範囲を広くし、さらに検討する必要がある。

記号	断面修復材	下地処理材料
А	セメント系モルタル	EVA系エマルション*1
в	セメント系モルタル	水湿し
С	SBR系ボ リマーセメントモルタル	エホ キシエマルション *1
D	SBR系ボ リマーセメントモルタル *4	木湿し
Е	軽量SBR系ポリマーセメントモルタル	SBR系セメントフィラー
F	アクリル系ボ リマーセメントモルタル *4	アクリル系エマルション*1
G	軽量アクリル系ポリマーセメントモルタル	アクリル系エマルション*1
Н	EVA系ホ"リマーセメントモルタル	水湿し
Ι	カチオン系CR系ボ リマーセメントモルタル	水湿し
J	セメント系無収縮モルタル	水湿し
Κ	セメント系無収縮モルタル	水湿し
L	エホ、キシ樹脂モルタル	エポ キシ樹脂 *2
М	軽量エポ キシ樹脂モルタル *3	エボ キシ樹脂 *2
Ν	軽量エポキシ樹脂モルタル *3	エボ キシ樹脂 *2

表-2.2 断面修復材料

*1:吸水調整材 *2:溶液系シーラー *3:特殊軽量骨材 *4:ビニロン繊維含有

表-2.3 試験水準および測定項目

試驗項目	試験方法
引張強度	JIS A 1113
圧縮強度	
静弹性係数	 日本コンクリート工学協会 「± 1/2-4/1/15404/試験方注相准(家)」
ボアソン比	
接着強度	建研式 (試験体寸法 50×50×厚さ10mm) 基板コンクリート (4週圧縮強度 58.5 N/mm ²)
長さ変化率	NSKS-002 (欠損部補修用ポリマーセメントモルタル)
熱膨張係数	NSKS-002 (欠損部補修用ポリマーセメントモルタル)
吸水率	JIS A 6203
吸水膨張率	48時間吸水中、JISA 1129による長さ変化
乾燥収縮率	48時間吸水後、JISA 1129による長さ変化
密度	JIS A 5416

NSKS: 日本建築仕上材工業会規格



図-2.6 試験体の形状・寸法



図-2.7 促進試験サイクル

2.5 断面修復材の付着性能の評価

朴ら⁹は、ポリマーセメントモルタルの化学的および物理的な付着特性を評価するため、 躯体の水セメント比および補修材のポリマー含有率を水準とした一連の付着実験を行った。 実験においては、補修材と躯体の界面で発生するすべての応力状態での付着特性を把握す るために、様々な界面角度を持つ圧縮-せん断付着などの実験を行った。表-2.4 に実験水 準および測定項目を示す。写真-2.1 に割裂付着界面に対し補修を施した場合の圧縮-せん 断試験の破壊状況を示す。

結論として、付着性に優れていると言われているポリマーセメントモルタルであっても、 ポリマーの含有率や基盤コンクリートの状態、補修後の養生、環境条件、施工の技術などに よって性能のばらつきが多く、信頼性の高い補修を行うためには、力学的な強度を考慮した 断面修復材を選択する必要がある。また、劣化した鉄筋コンクリート構造物に対して行われ た補修のうち、圧縮-せん断荷重を受ける表面が粗く、縁が厚く始まる補修の場合には、付 着界面の破壊により断面修復材か母材の破壊によって付着強度が決定されるので、強度特 性を考慮して補修材を選択する必要がある一方、圧縮-せん断の応力を受ける断面修復の 縁が薄く、吸水量が多い躯体に対して補修を施す場合には、養生環境によっては、付着界面 でドライアウト現象が発生し、十分に付着強度が得られない可能性があるため、躯体の吸水 を遮断するため、補修前に、躯体の表面の水湿しだけでなく、基板を完全に飽水させる、プ ライマー処理を行うなどの方法を使用する検討が必要であると報告している。

そのため、付着界面で発生したドライアウト現象が付着強度に与える影響について検討 する必要があると考えられる。

		圧縮・せん断付着試験	引張・せん断付着試験			
調	躯体基板	モルタル(W/C=30%, 50%, 70%)	コンクリート (W/C=30%, 50%, 70%)			
Π	ポリマーセメ ントモルタル	P/C=0%, 5%, 10%, 20%, W/C=50%				
測	657 / de 187 des	圧縮強度、引引	圧縮強度、引張強度、吸水量			
定	整体查放		割裂表面の粗さ			
項	ポリマーセメ	口袋沙座 引進	验库 但未接票			
目	ントモルタル	/工程/34/20、 分/按/34/20、 休水休敛				
付着角度		15° , 30° , 45° .	45° , 60° , 75° , 90°			

表 - 2.4	試験水準および測定項目
---------	-------------



写真-2.1 割裂付着界面に対し補 修を施した場合の圧縮-せ ん断試験の破壊状況

2.6 ポリマーセメントモルタルの接着強度に及ぼすコンクリートの下地処理方法の影響

中性化、塩害、アルカリ骨材反応などの種々の劣化原因で損傷したコンクリート構造物の 補修に際して、コンクリートはつり箇所の断面修復には、比較的接着性が優れるポリマーセ メントモルタル系断面修復材が数多く使用されている。しかし、文献¹⁰⁾によれば、コンク リートとの接着性に優れているポリマーセメントモルタルであっても、実際の補修工事で は、接着性のばらつきが多い。そのため、断面修復材の性能や施工方法以外に、接着させる コンクリートの下地処理方法に影響されている可能性と考えられる。

そこで、榊原ら¹¹⁾は、ポリマーセメントモルタルおよび打継ぐコンクリートの種類、水湿しまたは、プライマー処理などコンクリート表面の下地処理方法により、ポリマーセメントモルタルの接着強度試験を行い、その影響を検討した。

その結果として、劣化したコンクリート構造物の補修に際して、ポリマーセメントモルタ ル系断面修復材を施工する際に、十分な下地状態の確認および的確な下地処理方法の選定 が必要であると報告されている。また、ポリマーセメントモルタルの接着性状は、補修する コンクリートの透水量に多く関係する。特に、透水量の多いコンクリートでは、モルタルか らコンクリートへの水の移動が多く、打継ぎ界面でモルタル中のセメントの水和が阻害さ れるドライアウト現象によって、補修界面での接着破壊が増加し、接着強度が低下して、ば らつきが大きくなることも考えられる。

それに基づいて、本研究では、補修界面処理のドライアウトの有無による付着性の変化を 検討する。

2.7 まとめ

既往の研究では、断面修復材とコンクリートの付着性に関する研究が多く行われており、 研究が進んでいる。しかし、断面修復したコンクリートの圧縮特性については、研究があま りないのが現状である。そこで、本研究では、断面修復したコンクリートの圧縮特性に関す る検討を行っていく。

第3章

断面修復形状および付着状況が断面修復したコンク リート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす影響に関する

実験

3.1 概説

一般に断面修復工事の設計においては、断面修復材の力学特性、母材コンクリートとの付 着特性、施工性、耐久性、コストなど、断面修復材の特性が要因として取り上げられること が多く¹²⁾、その中でも母材コンクリートとの付着特性は施工時の品質管理が難しく、性能 の変動要因として問題視されている¹³⁾。一方で、断面の修復形状に着目した研究は少ない が、この断面修復形状を設計要因として取り入れることで、より品質確保が容易となる可能 性があると考えられる。

以上よりこの章では、補修界面の付着状況および断面の修復形状が断面修復したコンク リート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす影響を実験的に検討する。

3.2 実験概要

本実験では、まず断面欠損を有するコンクリート角柱供試体(以下、母材コンクリート) を作製し、断面修復材を用いて断面修復した後、圧縮強度試験を行った。

また、要因として変化させた補修界面の付着強度を曲げ強さで評価するため、曲げ強さ試 験も行った。

3.2.1 供試体の種類

実験要因には、欠損形状および補修界面の付着程度を取り上げた。欠損形状および寸法は、 図-3.1に示すような A~Dの4種類とした。すべての角柱供試体寸法は、100×100×200mm とした。A と B は欠損形状が三角形のものであるが、A はタガネとハンマーではつった大 きな凹凸がある面であるのに対し、B は発泡スチロール型枠による大きな凹凸がない面とい う違いがある。B と C はいずれも発泡スチロール型枠を用いた面であるが、欠損形状が三 角形と四角形の違いがある。D は発泡スチロール型枠を用い、載荷面の半分が欠損部分とな る供試体である〔各供試体の作成方法に関しては 3.2.3 節(1)参照〕。欠損供試体以外に、欠 陥無しの健全な角柱供試体 E および円柱供試体 F も作製した。

また,補修界面の付着程度を変化させるために,界面の状態を表-3.1のように付着大、小、無の3段階に変化させた。



				補修	界面	付
<i>Б</i> г	=-+			処	理	着
火	武	+	欠損表	ドラ	離	の
頂	一 秋 (十	平	面の状	イア	型	程
₩ ₩	1年 夕	釵	態	ウト	剤	度
1入	1			の有	塗	
				無	布	
٨	A1	1	はつり	×	×	大
A	A2	1	面	0	×	小
	B1	2	加去	×	×	大
В	B2	2	和囬	0	×	小
	B3	2	平滑面	0	0	無
	C1	2	如去	×	×	大
С	C2	2	和囬	0	×	小
	C3	2	平滑面	0	0	無
	D1	2	如西	×	×	大
D	D2	2	相凹	0	×	小
	D3	2	平滑面	0	0	無

表-3.1 補修界面の状態

3.2.2 調合および使用材料

表-3.2 に母材コンクリートの調合表を,表-3.3 に使用材料の一覧を示す。セメントは 早強ポルトランドセメントを使用した。細骨材は川砂を,粗骨材は最大寸法 20mm の砕石 を、混和剤は高性能 AE 減水剤を用いた。

断面修復材としての補修モルタルは市販のセメント系高強度型プレミックスタイプ無収 縮モルタル(以下、補修モルタル)とした。補修モルタルの水/(粉体+細骨材)質量比は 0.13 とした。モルタルフロー値は 150mm であった。

		10.	2 141		//		11		
ちょう		* + 1	细母		単位量 (kg/m ³)				
和有利の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	ホセメント 比 (%)	空気量 (%)	加 育 材率 (%)	水 W	セメン ト C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
20	18	60	4.5	46	179	302	792	957	1. 25

表-3.2 母材コンクリートの調合表

材料	記号	特性值		
セメント	С	早強ポルトランドセメント 密度:3.14g/cm ³		
細骨材	S	川砂 表乾密度:2.55g/cm ³		
粗骨材	G	砕石 表乾密度:2.60g/cm ³		
混和剤	Α	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)		
断面修復材	DS	セメント系無収縮モルタルプレミックスタイプ(超高強度型)		

表-3.3 使用材料と特性

3.2.3 供試体の作製方法

(1) 圧縮試験用供試体

型枠には、100×100×400 mm の鋼製角柱型枠を用い、中央部に薄い鉄板を入れて固定し、 角柱試験体 2 個分の型枠として使用した。

欠損形状 B、C、D の作製には、写真-3.1 に示すように鋼製型枠内に所定の欠陥形状の 発泡スチロールを固定し、母材コンクリートを打ち込んだ。表-3.1 中の欠損の表面状態の うち、粗面とはこの発泡スチロールの表面の凸凹がコンクリート界面に転写された状態を 示す。また、供試体 B3、C3、D3 の表面状態のうち、平滑面とは、発泡スチロールの表面を ガムテープで被覆して発泡スチロール表面の細かな凹凸を無くしたものを指す。

欠損形状 A および欠損無しの E については発泡スチロールを用いずにそのまま角柱供試体の打込みを行った。これ以外に、コンクリートの強度および弾性係数を確認するために、 φ100×200 mm の円柱供試体 F を補修界面の状態ごとに 6 本ずつ作製した。

打込み後、型枠上面をビニルシートで密閉し、温度 20±3℃の環境下で型枠内封緘養生を 行い、材齢2日で脱型した。型枠脱型後に、高圧洗浄機で欠損表面残った発泡スチロール片 を清掃し、材齢14日まで全供試体を水中養生とした。



写真-3.1 欠損のある角柱供試体の型枠の例

欠損形状 A は、実際の施工状況における界面状態を再現することを目的に、材齢2日に 脱型した欠損の無い角柱供試体を、耐圧試験機で10kNの軸力を作用させて固定した状態で、 ハンマーとタガネを用いて欠損形状 B に近い欠損形状、欠損寸法、欠損位置となるように はつった。欠損作製中および作製した供試体の様子を写真-3.2に示す。

補修界面の付着程度が断面修復後の供試体の圧縮特性に与える影響を確認するために、 補修界面をドライアウト有無および離型剤塗布により補修界面の付着程度を変化させた。 コンクリートの材齢14日に、水中養生をしたコンクリート供試体の欠損表面にある水膜を 拭き、2時間ほど乾燥させた後に補修モルタルを施工した A1、B1、C1、D1(ドライアウト 無し)、補修界面を母材コンクリート材齢14日から平均気温27℃、平均湿度30%の実験室 内にてコンクリート供試体の欠損表面を7日間気中乾燥させた後に補修モルタルを施工し た A2、B2、C2、D2(ドライアウト有り)、および補修界面の付着が極端に悪い状態を再現 するために補修界面を平滑面として上記と同じ乾燥条件で乾燥させ、補修界面に 0.0025g/cm²の塗布量で離型剤を塗布した後に補修モルタルを施工した B3、C3、D3(離型剤 塗布)をそれぞれ作製した。離型剤は、鉱物油が主成分である鋼製型枠用離型剤とした。

補修モルタルの施工時には、重力による垂れなどにより施工欠陥が発生する可能性があ る。本実験では、実験要因以外の施工条件による付着性能の変動を抑えるために、コンクリ ート角柱供試体の欠損部分を上向きにして置き、欠損側面を鋼板でふさいで型枠とし、上面 から補修モルタルを打ち込んだ後に、コテ仕上げを行った。補修モルタルの練混ぜにはモル タルミキサを用いた。また、補修モルタルの圧縮強度および弾性係数を測定するために、 φ50×100 mm の円柱供試体 G を補修界面の状態ごとに 6 本ずつ作製した。

断面修復後,補修モルタルの材齢2日で脱型し、補修モルタルの材齢28日まで温度20±3℃の養生室でビニルシートによる封緘養生を行った。

試験は、補修界面の状態ごとに別々に行った。このため、コンクリートおよび補修モルタ ルの圧縮強度試験はその都度(計3回)行った。



(a) 欠損の作製状況
 (b) 欠損の様子
 写真-3.2 欠損形状 A の作製状況

(2) 曲げ強さ試験用供試体

圧縮試験用供試体の補修界面における付着程度を曲げ強さ試験で確認するために、図-3.3に示すような40×40×160mmの曲げ強さ試験用供試体を作製した。本供試体は、母材コ ンクリートと補修モルタルを用いて、供試体中央を付着界面となるように作製されたもの であり、補修界面の状態は、上述の圧縮強度試験用供試体で用いたもののうち、はつり面を 除く3種類とした。施工方法は、まず40×40×160mmの型枠の半分に発泡スチロールを入れ た後に、コンクリートを打設して40×40×80mmのコンクリート供試体を作製した。次に材 齢14日に、コンクリート供試体を型枠に入れ、補修モルタルを打込むことによって、コン クリートと補修モルタルを一体化させた。付着界面の処理は、圧縮実験用供試体と同じよう にドライアウト無し、ドライアウト有り、離型剤塗布の3種類とした。供試体数は各水準3 体とした。ここで、コンクリートの粗骨材の最大寸法が20mmに対して型枠が小さいが、本 試験がコンクリートと補修モルタルの界面の付着特性を評価するものであるため、試験結 果への影響はないと考えられる。

曲げ強さ試験については、すべての条件の供試体を同一材齢で行った。



3.2.4 実験方法

(1) 圧縮強度試験

補修モルタルの材齢 28 日に、圧縮実験を行った。供試体の端面は、平滑性を確保するために圧縮試験前日にコンクリート研磨機で仕上げた。供試体のひずみ分布を測定するために、試験当日に、検長 30mm のひずみゲージを所定の位置に貼り付けた。ひずみゲージの検長は、補修範囲(100mm)のうち付着界面の影響を受けない領域としてその 1/3 程度を想定して決定した。ひずみゲージは、基本的にすべての角柱供試体の母材コンクリート側と補修モルタル側の側面中央部(後掲の図-3.6 中の位置 1、2 参照)に貼り付けたほか、欠損形状 C および D は、補修界面近傍における母材コンクリート側と補修モルタル側(後掲の図-3.7 中の位置 3、4)にもそれぞれ貼り付けた。

圧縮試験には、写真-3.3 に示すような 1000kN 万能試験機を用いた。荷重速度は 0.006N/mm²/sec に設定し、自動制御で載荷した。なお、載荷時には万能試験機の載荷板と供 試体の間に球座を設置し、供試体端面の摩擦を取り除く処理は施していない。



写真-3.3 使用した万能試験機の様子

(2)曲げ強さ試験

曲げ強さ試験は、補修モルタルの材齢 28 日に、JIS R 5201 に規定されている曲げ強さ試 験方法によって行った。載荷位置は曲げ供試体の付着界面の位置とした。曲げ強さ試験装置 の様子は、写真-3.4 に示す。

以下の式から、曲げ強さ R(N/mm²)を計算する。

R=1.5FfL/b³ ここに、b:角柱の正方断面の1辺(mm) Ff:破壊時に角柱の中央に加わる荷重(N) L:支点間の距離(mm)



写真-3.4 曲げ強さ試験装置の様子

3.3 実験結果とその考察

3.3.1 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性

表-3.4に、補修界面の処理方式ごとに作製したコンクリート供試体 F および補修モルタ ル供試体 G の圧縮強度および弾性係数の測定結果を示す。補修モルタルの圧縮強度が非常 に大きくなっているが、これは補修モルタルとして高強度タイプのものを使用したためで ある。また、補修界面の状態が離型剤塗布は、ドライアウト無しおよびドライアウト有りと 比べて、圧縮強度が大きい結果となった。弾性係数については、コンクリートより補修モル タルのほうが若干大きい値となっている。

	母材コ	ンクリートF	補修モルタル G				
補修界面の処理方式 	Fc (N/mm²)	Ec (×10 ⁴ N/mm ²)	Fm (N/mm²)	$\frac{\text{Em}}{(\times 10^4 \text{N/mm}^2)}$			
ドライアウト無し(F1, G1)	32.9	3. 16	125. 2	4.03			
ドライアウト有り(F2, G2)	33.5	3. 02	127. 6	3. 91			
離型剤塗布(F3, G3)	38.8	3. 20	155.5	4.06			

表-3.4 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性

3.3.2 曲げ強さ試験

表-3.5 および図-3.3 に曲げ強さ試験の結果を示す。曲げ強さは3 体の供試体の平均値 を示し、そのばらつきは最大で 0.5N/mm²程度であった。曲げ強さは、ドライアウト有りで はドライアウト無しの 1/3 程度となっており、施工時の補修界面の水分状態は付着性能に 大きく影響を及ぼすことが分かる。補修界面を平滑にして界面をドライアウトさせた上で 補修界面に離型剤を塗布した供試体では、コンクリートと補修モルタルの付着が無く、脱型 時に剥離した。曲げ強さ試験用供試体は、補修界面の状態に関わらず、中央部にある付着界 面で破壊した。

	ドライ	イアウト	谢刑刘 涂左
	無し	有り	離空削空仰
曲げ強さ	10 52	6 50	測空工化
(N /mm ²)	10. 52	0.50	测足个能
 [注] 母材コンクリー	-トおよひ	補修モル	タルの力学特性

表-3.5 曲げ強さ試験結果

[注] 母材コンクリートおよび補修モルタルの力学特性 は、表-4中のF3、G3と同じ。



3.3.3 角柱供試体の圧縮強度

(1) 離型剤塗布していない供試体

各角柱供試体の圧縮強度試験結果を図-3.4 に示す。同図より、離型剤を塗布していない 供試体(A1、A2、B1、B2、C1、C2、D1、D2)に関しては、補修界面のドライアウトの有 無に関わらず、ほぼ同等な圧縮強度を示した、これは、本実験ではこれらの供試体のいずれ も、補修界面の破壊がなく、補修界面における付着能力が母材コンクリートの圧縮強度を上 回ったこと、および補修モルタルが高強度型(平均の圧縮強度:約125N/mm²)であったこ とによると考えられる。

母材コンクリートの硬化後にはつりにより欠損を作製した供試体 A1、A2 と打込み時に 欠損を作製した供試体 B1、B2 でもほぼ同等の圧縮強度を示した。はつりによる母材コンク リート表面の損傷に関する報告もあるが¹⁴⁾、本実験の範囲では、2 種類の欠損作製方法によ る付着性はいずれも欠陥とはならず、圧縮強度に及ぼす影響が見られなかった。

欠損形状の影響については、A1、A2、B1、B2の三角形と比べて C1、C2 の四角形ではわ ずかに圧縮強度が増大している。図-3.5 に B1 および C1 の破壊状況を示すが、供試体 B1 と比べ、C1 では、ひび割れが補修モルタルを迂回して母材コンクリートのみに発生してい ることが分かる。これは、もともとのひび割れ発生位置に高強度な補修モルタルが存在する ことによって破壊の進展が抑制された効果があったことを示しており、欠陥形状による圧 縮強度の差の一因と考えられる。

(2) 離型剤を塗布した供試体

図-3.4 に示すように、離型剤を塗布した供試体 B3 に関しては、圧縮強度が大幅に低下 した。これは、母材コンクリートと補修モルタルの界面の付着力がないため、載荷している 間に、補修モルタルのすべての部分が供試体から剥脱し、欠損部が充填されていない状態で 圧縮されたためと考えられる。供試体 C3 と D3 は、補修モルタルが付着していないにも関 わらず、高い強度を示している、これは、載荷している間に、供試体 B3 のように補修モル タル部分が剥脱することがなく、高強度を有する補修モルタルが内部応力を支えているた めと考えられる。

供試体 D は、付着の状況によらず他と比べて大きな圧縮強度となっているが、これは高 強度な補修モルタルに直接載荷しているためであり、母材コンクリートの破壊後に補修モ ルタルのみが偏心載荷された状態で荷重を支えた結果と考えることができる。



図-3.5 ドライアウト無しの供試体の破壊時のひび割れ図の一例

3.3.4 ひずみの分布

(1) 離型剤を塗布していない供試体

図-3.6に、ドライアウトの有無による各供試体の応力一ひずみ曲線の比較を示す。本実 験では、補修界面のドライアウトの有無に関わらず、応力一ひずみ曲線がほぼ同じ傾向であ った。同図より、載荷初期の段階においては、補修モルタルとコンクリートの変形は一致し ているものの、応力が上昇するにつれ、母材コンクリート側のひずみが補修モルタル側より 大きくなる結果となった。これは、本実験では球座を介して供試体に載荷しているため、荷 重段階の進展とともに母材コンクリートの内部に微小破壊が進展して剛性が低下した際に、 載荷板が母材コンクリート側に傾斜し、このことがさらに母材コンクリート側の破壊を進 展させる結果となったと考えられる。このため、球座を固定して載荷した場合には結果が異 なることが予想され、この点は、第四章で検証する。



図-3.6 ドライアウト有無による各供試体の応力—ひずみ曲線の比較

図-3.7に、C1およびD1の各応力段階でのひずみ分布の測定結果の例を示す。この図からも、載荷初期には、母材コンクリートと補修モルタルでほぼ同程度のひずみとなっているが、圧縮強度の1/3程度の応力段階から補修界面でひずみに段差が発生し、水平断面内でひずみの勾配が発生しているのが分かる。ここで、供試体C1の補修モルタル内部では、高応力段階においてもひずみの勾配が小さくなっている。これは、補修モルタルの上下にコンクリート層が存在するために、この部分で変形が吸収されているためと考えられる。



図-3.7 付着有りの供試体の各応力段階におけるひずみ分布

(2) 離型剤を塗布した供試体

図-3.8に、離型剤を塗布した供試体の応力-ひずみ曲線を示す。供試体 B3 に関しては、 斜めの補修界面に付着力がないため、載荷している間に、補修モルタルが供試体から外れ、 供試体が欠損の状態で圧縮され、偏心載荷となって母材コンクリート外側が引張応力を受 ける結果となったと考えられる。供試体 C3 に関しては、付着界面に付着力がないが、補修 モルタルが B3 のように供試体から外れることがないため、供試体全体で圧縮応力を負担し たと考えられる。載荷初期の段階で母材コンクリート側に引張ひずみが発生した原因は、補 修モルタルと母材コンクリートの間に離型剤の層が存在しているため、この部分が変形し て母材コンクリート断面に曲げ応力が発生したためと考えられる。



図-3.8 離型剤を塗布した供試体の応カーひずみ曲線

図-3.9 に、供試体 C3 および D3 の各応力段階におけるひずみ分布の測定結果の例を示 す。界面に付着がある供試体 C1、 D1 と比べ、付着がないことによって、載荷初期の段階 からひずみ分布に段差が生じている。また、C3 と D3 の比較からは、載荷の初期段階にお いて、C3 が界面付近の母材コンクリート側のひずみが大きくなるのに対し、D3 では補修モ ルタル側のひずみが大きくなっており、また D3 のみ補修モルタル内のひずみ勾配が大きく なっている。D3 は、母材コンクリートと補修モルタルが載荷する前に外れてしまったため、 正確に端面の整形ができなかった影響ではないかと考えている。



図-3.9 付着無しの供試体の各応力段階におけるひずみ分布
3.4 まとめ

本実験では、高強度型補修モルタルを用いて、断面修復した角柱コンクリート供試体の圧縮特性の評価を実験的に行った。その結果、本実験の条件内では、以下の知見が得られた。

1) 補修界面の付着が良好である場合には、圧縮強度は低下せず、むしろ増加する。

2) 補修界面の付着が不良である場合には断面修復の形状により、圧縮強度が大きく変化す る。

第4章

載荷板の固定条件が断面修復したコンクリート角柱 供試体の圧縮特性に及ぼす影響に関する実験

4.1 概説

第3章では、高強度型補修モルタルを用いて,修復形状および補修界面の付着状況が断面 修復した角柱コンクリート供試体の圧縮特性に及ぼす影響を実験的に明らかにした。しか し、供試体の破壊過程の観察結果からは球座を用いたことによって、圧縮載荷時に偏心ひず みの発生が確認された。これより、破壊の進展に伴い、低強度側の母材コンクリートに破壊 が集中し、実際の RC 部材中におけるひずみの分布状況と大きく異なる結果となっていた。

そこで、本章では、載荷条件としてひずみの偏心が起こらないように載荷板を固定して圧 縮試験を行い、載荷条件の影響を確認した。

4.2 実験概要

本実験では、まず断面欠損を有するコンクリート角柱供試体(以下、母材コンクリート) を作製し、第3章で用いた高強度型無収縮モルタルを用いて断面修復した後、圧縮試験機の 載荷板を固定した状態で圧縮強度試験を行った。

また、各種断面修復材と母材コンクリートの付着状況を曲げ強さ試験で確認するため、曲 げ強さ試験も行った。

4.2.1 供試体の種類

実験要因には、欠損形状および補修界面の付着の有無を取り上げた。欠損形状および寸法 は、第3章での実験と同じく、図-4.1に示す。すべての角柱供試体寸法は、100×100×200mm とした。AとBは欠損形状が三角形のものであるが、Aはタガネとハンマーで斫った大き な凹凸がある面であるのに対し、Bは発泡スチロール型枠による大きな凹凸がない面という 違いがある。BとCはいずれも発泡スチロール型枠を用いた面であるが、欠損形状が三角 形と四角形の違いがある。Dは発泡スチロール型枠を用い、載荷面の半分が欠損部分となる 供試体である〔各供試体の作成方法に関しては4.2.3節(1)参照〕。欠損供試体以外に、欠陥 無しの健全な角柱供試体Eおよび円柱供試体Fも作製した。

また,補修界面の付着程度を変化させるために,界面の状態を表-4.1のように付着有り、 無しの2段階に変化させた。



図-4.1 コンクリート角柱試験体の欠 損形状の一覧

4.2.2 調合および使用材料

表-4.2 に母材コンクリートの調合表を,表-4.3 に使用材料の一覧を示す。セメントは 早強ポルトランドセメントを使用した。細骨材は川砂を,粗骨材は最大寸法 20mm の砕石 を、混和剤は高性能 AE 減水剤を用いた。

断面修復材としての補修モルタルは市販のセメント系高強度型プレミックスタイプ無収 縮モルタル(以下、補修モルタル)とした。補修モルタルの水/(粉体+細骨材)質量比は 0.13 とした。モルタルフロー値は 150mm であった。

ちょう			4	名百	単位量(kg/m ³)				
相 行 初 の 最 大 寸 法 (mm)	スランプ (cm)	バビバンド 比 (%)	空気量 (%)	戸 率 が (%)	火w	セメン ト C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
20	18	60	4.5	46	179	302	792	957	1. 25

表-4.2 母材コンクリートの調合表

材料	記号	特性值
セメント	С	早強ポルトランドセメント 密度:3.14g/cm ³
細骨材	S	川砂 表乾密度:2.55g/cm ³
粗骨材	G	砕石 表乾密度:2.60g/cm ³
混和剤	Α	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)
断面修復材	DS	セメント系無収縮モルタルプレミックスタイプ(超高強度型)

表-4.3 使用材料と特性

4.2.3 供試体の作製方法

(1) 圧縮試験用供試体

型枠には、100×100×400 mm の鋼製角柱型枠を用い、中央部に薄い鉄板を入れて固定し、 角柱試験体2個分の型枠として使用した。

欠損形状 B、C、D の作製には、写真-4.1 に示すように鋼製型枠内に所定の欠陥形状の 発泡スチロールを固定し、母材コンクリートを打ち込んだ。表-4.1 中の欠損の表面状態の うち、粗面とはこの発泡スチロールの表面の凸凹がコンクリート界面に転写された状態を 示す。また、供試体 B2、C2、D2 の表面状態のうち平滑面とは、発泡スチロールの表面をガ ムテープで被覆して発泡スチロール表面の細かな凹凸を無くしたものを指す。

欠損形状 A および欠損無しの E については発泡スチロールを用いずにそのまま角柱供試体の打込みを行った。これ以外に、コンクリートの強度および弾性係数を確認するために、 φ100×200 mm の円柱供試体 F を補修界面の状態ごとに 6 本ずつ作製した。

打込み後、型枠上面をビニルシートで密閉し、温度 20±3℃の環境下で型枠内封緘養生を 行い、材齢2日で脱型した。型枠脱型後に、高圧洗浄機で欠損表面に残った発砲スチロール 片を清掃し、材齢14日まで全供試体を水中養生とした。



写真-4.1 欠損のある角柱供試体の型枠の例

欠損形状 A は、実際の施工状況における界面状態を再現することを目的に、材齢 2 日に 脱型した欠損の無い角柱供試体を、耐圧試験機で10kNの軸力を作用させて固定した状態で、 ハンマーとタガネを用いて欠損形状 B に近い欠損形状、欠損寸法、欠損位置となるように 斫った。欠損作製中および作製した供試体の様子を写真-4.2(第3章より再掲)に示す。

補修界面の付着程度が断面修復後の供試体の圧縮特性に与える影響を確認するために、 補修界面を離型剤塗布により補修界面の付着程度を変化させた。コンクリートの材齢14日 に、水中養生をしたコンクリート供試体の欠損表面にある水膜を拭き、2時間ほど乾燥させ た後に補修モルタルを施工したA1、B1、C1、D1(付着有り)、補修界面の付着が極端に悪い 状態を再現するために補修界面を平滑面として補修界面に0.0025g/cm²の塗布量で離型剤を 塗布した後に補修モルタルを施工した B2、C2、D2(付着無し)をそれぞれ作製した。また、 凸凹の欠損表面を作製した供試体に対しても上記の塗布量で離型剤を塗布した上、補修モ ルタルによる断面修復を行った。離型剤は、鉱物油が主成分である鋼製型枠用離型剤とした。

補修モルタルの施工時には、重力による垂れなどにより施工欠陥が発生する可能性がある。本実験では、実験要因以外の施工条件による付着性能の変動を抑えるために、コンクリート角柱供試体の欠損部分を上向きにして置き、欠損側面を鋼板でふさいで型枠とし、上面から補修モルタルを打ち込んだ後に、コテ仕上げを行った。補修モルタルの練混ぜにはモルタルミキサを用いた。また、補修モルタルの圧縮強度および弾性係数を測定するために、 φ50×100 mm の円柱供試体 G を補修界面の状態ごとに 6 本ずつ作製した。

断面修復後,補修モルタルの材齢2日で脱型し、補修モルタルの材齢28日まで温度20±3℃の養生室でビニルシートによる封緘養生を行った。





(c) 欠損の作製状況(d) 欠損の様子写真-4.2 欠損形状 A の作製状況(第3章より再掲)

(2) 曲げ強さ試験用供試体

圧縮試験用供試体の補修界面における付着程度を曲げ強さ試験で確認するために、図-4.2に示すような40×40×160mmの曲げ強さ試験用供試体を作製した。本供試体は、母材コ ンクリートと補修モルタルを用いて、供試体中央を付着界面となるように作製されたもの であり、補修界面の状態は、上述の圧縮強度試験用供試体で用いたもののうち、はつり面を 除く2種類とした。施工方法は、まず40×40×160mmの型枠の半分に発泡スチロールを入れ た後に、母材コンクリートを打設して40×40×80mmのコンクリート供試体を作製した。次 に材齢 14 日に、コンクリート供試体を型枠に入れ、補修モルタルを打込むことによって、 コンクリートと補修モルタルを一体化させた。付着界面の処理は、圧縮実験用供試体と同じ ように、離型剤塗布有りおよび離型剤塗布無しの2種類とした。供試体数は各水準3体と した。ここで、コンクリートの粗骨材の最大寸法が20mmに対して型枠が小さいが、本試験 がコンクリートと補修モルタルの界面の付着特性を評価するものであるため、試験結果へ の影響はないと考えられる。

曲げ強さ試験用供試体の作製は、圧縮試験用供試体の作製と同時に行った。



図-4.2 曲げ強さ試験用供試体(第3章より再掲)

4.2.4 実験方法

(1) 圧縮強度試験

補修モルタルの材齢 28 日に, 圧縮実験を行った。供試体の端面は, 平滑性を確保するために圧縮試験前日にコンクリート研磨機で仕上げた。供試体のひずみ分布を測定するために, 試験当日に, 検長 30mm のひずみゲージを所定の位置に貼り付けた。ひずみゲージの検長は, 補修範囲(100mm)のうち付着界面の影響を受けない領域としてその 1/3 程度を想定して決定した。ひずみゲージは, 補修した角柱供試体の母材コンクリート側と補修モルタル側の側面中央部に貼り付けた。

圧縮試験には、写真-4.3 に示すような 500kN 耐圧試験機を用いた。載荷時には耐圧試験 機の載荷板と供試体の間に球座を設置せず載荷板を固定した状態で載荷した。載荷板の固 定は,載荷板上にあるボルトを締めることによった。載荷板を固定するタイミングについて は,まず載荷板が固定されていない状態で,供試体に載荷し,供試体に損傷が生じない荷重 範囲である 40kN の時点で荷重を止めた後,載荷板と供試体の全端面の間に隙間がない状 態で載荷の固定用ボルトを締めた。なお,供試体端面の摩擦を取り除く処理は施していない。



写真-4.3 圧縮強度試験の様子

(2) 曲げ強さ試験

曲げ強さ試験は、補修モルタルの材齢28日に、JISR 5201 に規定されている曲げ強さ試験方法によって行った。載荷位置は曲げ供試体の付着界面の位置とした。曲げ強さ試験装置の様子は、写真-4.4に示す。

以下の式から、曲げ強さ R(N/mm²)を計算する。

R=1.5FL/b³ ここに、b:角柱の正方断面の1辺(mm) F:破壊時に角柱の中央に加わる荷重(N) L:支点間の距離(mm)



写真-4.4 曲げ強さ試験装置の様子(第3章より再掲)

4.3 実験結果とその考察

4.3.1 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性

表-4.4 に、本実験におけるコンクリート供試体 F および補修モルタル供試体 G の圧縮 強度および弾性係数の測定結果を示す。補修モルタルの圧縮強度が非常に大きくなってい るが、これは補修モルタルとして高強度タイプのものを使用したためである。また、弾性係 数については、コンクリートより補修モルタルのほうが若干大きい値となっている。結果と しては、第3章とほぼ同等となっている。

母材コ	ンクリートF	補修	モルタル G
Fc (N/mm²)	Ec (×10 ⁴ N/mm ²)	Fm (N/mm²)	Em (× 10 ⁴ N/mm ²)
39.3	3. 05	128. 2	3. 91

表-4.4 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性

[注] Fc、Fm: 圧縮強度。Ec、Em: 静弹性係数

4.3.2 曲げ強さ試験

表-4.5 に、曲げ強さ試験の結果を示す。ここで、同表中には、第3章の測定結果も併示する。曲げ強さは3体の供試体の平均値を示し、そのばらつきは最大で0.6N/mm²程度であった。同表より、第3章の結果と比べて本実験における供試体の曲げ強さ(付着強度)が低いことがわかる。また、破壊は、中央部にある付着界面であった。

大きの対用		ドラ	惫 布		
半早の和未		無	有り		
			3本の平均値		
曲げ強さ	4. 60			调中工作	
(N /mm ²)	4. 75		4.85	测足个能	
	5. 20				
第3章の	ドライ		アウト	<u> </u>	
結果	無し		有り	離空角空句	
曲げ強さ (N/mm ²)	18. 52		6. 58	測定不能	

表-4.5 曲げ強さ試験結果

[注] 本実験で使用した母材コンクリートおよび補修モルタルの力学特性は、表-4.4 中のF、Gと同じ。

4.3.3 角柱供試体の圧縮強度

各角柱供試体の圧縮強度試験結果を図-4.3に示す。コンクリートの硬化後にはつりによ り欠損を作製した供試体 A1、A2のいずれも大きな凸凹を有する補修界面で、離型剤塗布の 有無にかかわらず圧縮強度が健全なコンクリート供試体 E の同等となった。これは、離型 剤による補修界面における付着力が喪失したにもかかわらず修モルタルが高強度型であっ たために凸凹の補修界面が補修モルタルと母材コンクリートのかみ合いによるせん断力の 伝達を可能としたためと考えられる。写真-4.5に示す破壊状況からは、界面の破壊が発生 せず、母材コンクリート部分で破壊している様子が分かる。

打ち込み時に型枠を用いて作製した供試体Bのうち、補修界面の付着がない供試体B2は、 圧縮強度が大幅に低下した。これは、載荷の早い段階で補修部が外れたことによると考えら れる。補修界面の付着がある供試体B1は、付着の無いものと比べて10N/mm²以上の改善は 見られたものの、健全な供試体Eと比べて多少強度の低下が見られた。原因としては、写真 -4.6に示すような供試体の付着界面での破壊が確認されたことから、供試体の補修界面に おける付着力が母材コンクリート強度と比べて相対的に低かったためと考えられる。

供試体 C に関しては、補修界面における付着の有無にもかかわらず、圧縮強度の低下がなく、むしろ増加した。破壊状況は、写真-4.7 に示す。

供試体 D に関しては、付着の状況によらず他と比べて圧縮強度が大きく、使用した補修 モルタルの圧縮強度の 1/2 程度となっているが、母材コンクリートの破壊後に高強度な補修 モルタルが直接載荷されており、供試体の全断面積の 1/2 を有する補修モルタルのみで荷 重を支えた結果と考えることができる。供試体 D に関しては、載荷板が固定されたことが最 大強度に及ぼす影響が大きかったと言える。破壊性状は、**写真-4**.8 に示すように付着の有 無に関係なく爆裂した。





(a) 供試体 A1 (b) 供試体 A2写真-4.5 供試体 A1、A2の破壊状況



(a) 供試体 B1 (b) 供試体 B2写真-4.6 供試体 B1 の破壊状況



(a) 供試体 C1(b) 供試体 C2写真-4.7 供試体 C1、C2の破壊状況





(a) 供試体 D1(b) 供試体 D2写真-4.8 供試体 D1、D2の破壊状況

4.3.4 ひずみの分布

(1) 離型剤を塗布していない供試体

図-4.5 に離型剤を塗布していない場合における角柱供試体の応力—ひずみ曲線を示す。 はつりにより作製した凸凹の補修界面を有する供試体 A1 は、載荷初期の段階から、母材コ ンクリート側のひずみが補修モルタル側のひずみより大きくなる結果となった。一方発泡 スチロール型枠を用いて作製した同じ三角形の欠損形状を有する供試体 B1 に関しては、コ ンクリート側と補修モルタル側のひずみが分岐した時点は、最大応力の 1/3 ほどの段階で あった。

供試体 C1 については、表-4.4 に示したコンクリートと補修モルタルの静弾性係数の測 定結果では、コンクリートより補修モルタルの静弾性係数が若干大きくとなっているが、図 -4.4 によれば、載荷初期段階において逆の結果が得られた。これは、供試体の端面を正確 に整形できなかったことによる誤差が発生したと考えている。



図-4.4 欠損の無い場合の応力—ひずみ曲線

(2) 離型剤を塗布した供試体

図-4.6 に離型剤を塗布した場合における角柱供試体の応力---ひずみ曲線を示す。供試体 A2 は、はつりにより作製した凸凹の補修界面を有するため、機械的なかみ合いにより せん断力が伝達され、結果として離型剤を塗布していない供試体 A1 とほぼ同じ傾向であった。

供試体 B2 に関しては、斜めの補修界面に付着力がないため、載荷している間に、補修 モルタルが供試体から外れ、補修部が欠損した状態で圧縮され、偏心載荷となって母材コ ンクリート外側が引張応力を受ける結果となったと考えられる。

供試体 C2 に関しては、付着界面に付着力がないが、補修モルタルが B2 のように供試体 から外れることがないため、供試体全体で圧縮応力を負担したと考えられる。載荷初期の 段階で母材コンクリート側に引張ひずみが発生した原因は、補修モルタルと母材コンクリ ートの間に離型剤の層が存在しているため、この部分が変形して母材コンクリート断面に 曲げ応力が発生したためと考えられる。

これより、ひずみの分布に関しては、第3章の結果と比べて載荷板の固定条件による影響 が見られなかった。





図-4.6 離型剤を塗布した場合に おける角柱供試体の応力 —ひずみ曲線

4.4 まとめ

本実験では、圧縮試験機の載荷板を固定した場合において高強度型補修モルタルで断面 修復した角柱コンクリート供試体の圧縮特性の評価を実験的に行った。その結果,本実験の 条件内では、以下の知見が得られた。

- 欠損形状が圧縮特性に及ぼす影響としては、欠損形状を三角形とした場合には、補 修界面の付着力の有無の影響を大きく受けるのに対し、四角形とした場合には、そ の影響を受けない。
- 2) 欠損形状が三角形で補修界面の付着が無い場合でも表面の凸凹が補修モルタルとコン クリートの間のせん断力を伝達することができれば、欠損の無い供試体と同等な圧縮 特性が得られる。
- 3) 圧縮試験機の載荷板を固定したことによる影響に関しては、供試体の半分を補修した 供試体 D の圧縮強度のみ大きく影響を受け、載荷板を固定した方は圧縮強度が増大した。他の供試体では、載荷板固定による明確な違いは見られなかった。

第5章

断面修復材の圧縮強度が断面修復したコンクリート 角柱供試体の圧縮特性に及ぼす影響に関する実験

5.1 概説

本章では、断面修復材の力学特性として圧縮強度と弾性係数に着目し、各強度レベルの断面修復材を用いて修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性の評価実験を行った。

5.2 実験概要

本章では、断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす断面修復材の力学特性の影響に関して実験的な検討を行った。

5.2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-5.1に示す。実験要因として断面修復材の圧縮強度,補修界面に おける付着の有無および欠損形状を取り上げた。断面修復材の圧縮強度は、4 水準とした。 欠損形状および寸法は、同表に示すようなA、Bの2種類とした。すべての角柱供試体寸法 は、100×100×200mmとした。AとBの欠損形状の違いは、三角形と四角形である。欠損 供試体以外に、欠陥無しの健全な角柱供試体 C および円柱供試体 D も作製した。ここで、 供試体記号を以下のように定義する。[欠損形状(A, B)-補修モルタルの圧縮強度-付着の有 無(有:a, 無:b)]



表-5.1 実験の要因と水準

5.2.2 調合および使用材料

表-5.2 に母材コンクリートの調合表を,表-5.3 に使用材料の一覧を示す。セメントは 早強ポルトランドセメントを使用した。細骨材は川砂を,粗骨材は最大寸法 20mm の砕石 を、混和剤は高性能 AE 減水剤を用いた。

断面修復材として用いた補修モルタルは市販のセメント系高強度型プレミックスタイプ 無収縮モルタルの粉体と川砂の混和物(以下、補修モルタル)とした。調合は、事前に行っ た補修モルタルに関する予備実験に基づいて決定した。表-5.4 に予備実験における補修モ ルタルの調合および試験結果を,表-5.5 に本実験で使用した補修モルタルの調合および測 定したモルタルフロー値の結果を示す。

ちん ち		*++		如母		単	单位量(k	g/m³)	
祖肖初の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	ボゼダンド 比 (%)	空気量 (%)	^{加肖} 材率 (%)	水 W	セメン ト C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
20	18	60	4. 5	46	179	302	792	957	1. 25

表-5.2 母材コンクリートの調合表

材料	記号	特性值
セメント	С	早強ポルトランドセメント 密度:3.14g/cm ³
細骨材	S	川砂 表乾密度:2.55g/cm ³
粗骨材	G	砕石 表乾密度:2.60g/cm ³
混和剤	Α	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)
断面修復材	DS	セメント系無収縮モルタル粉体と川砂の混和物

表-5.3 使用材料と特性

W/MS	W/MS S/MS 任約		静弾性係数 (N/mm ² ×10 ⁴)		
0. 18	1. 0	108. 49	3. 92		
	1.5	60. 51	3. 10		
0.2	2. 0	56. 15	材料分離現象が発生した		
0.3	2. 5	57. 91	表面に空隙が多い		
	3. 0	36. 61	表面に空隙が多い		
	2. 0	35. 05	材料分離現象が発生した		
0.4	2. 5	40. 33	3. 08		
	3. 0	35. 36	材料分離現象が発生した		
	3.0	12. 28	1. 21		
0.6	3. 5	13. 50	1. 29		
	4. 0	15. 25	1. 40		

表-5.4 予備実験における補修モルタルの調合および試験結果

[注] W:水、MS:高強度型セメント系無収縮モルタル粉体、S:川砂■:本実験で使用した調

	-			
補修モルタル	W/MS	S/MS	フロ—値(mm)	
供試体の記号		07 110		
E15	0.6	4. 0	205	
E40	0.4	2.5	130	
E60	0. 3	1.5	125	
E120	0. 13	0	150	

表-5.5 本実験において使用した補修モルタルの調合および測定したフロー値

[注] W:水、MS:高強度型セメント系無収縮モルタル粉体、S:川砂



写真-5.1 欠損のある角柱供試体の型枠の例

5.2.3 供試体の作製方法

(1) 圧縮試験用供試体

型枠には、100×100×400 mm の鋼製角柱型枠を用い、中央部に薄い鉄板を入れて固定し、 角柱試験体2個分の型枠として使用した。

欠損形状の作製には、写真-5.1 に示すように鋼製型枠内に所定の欠陥形状の発泡スチロ ールを固定し,母材コンクリートを打ち込んだ。付着有りの補修界面とは,この発泡スチロ ールの表面にある細かな凸凹がコンクリート界面に転写された状態を示す。また,付着無し の補修界面とは,発泡スチロールの表面をガムテープで被覆して発泡スチロール表面の細 かな凹凸を無くし,補修モルタルの施工を行う直前にさらに離型剤を塗布した欠損表面で ある。

コンクリートの圧縮強度および弾性係数を確認するために, φ100×200 mm の円柱供試体 Dを6本作製した。

打込み後、型枠上面をビニルシートで密閉し,温度 20±3℃の環境下で型枠内封緘養生を 行い,材齢2日で脱型した。型枠脱型後に,高圧洗浄機で欠損表面に残った発砲スチロール 片を清掃し,材齢14日まで全供試体を水中養生とした。

コンクリートの材齢 14 日に、水中養生をしたコンクリート供試体の欠損表面にある水膜 を拭き、2 時間ほど気中乾燥させた後に各種補修モルタルを施工した供試体(補修界面の付 着ありの供試体: A15a, A40a, A60a, A120a, B15a, B40a, B60a, B120a)。また、同 じ材齢においてコンクリートの打設時に欠損表面の凸凹を無くした補修界面に 0.0025g/cm²の塗布量で離型剤を塗布した後に補修モルタルを施工した供試体(補修界面の 付着無しの供試体 A15b, A40b, A60b, A120b, B15b, B40b, B60b, B120b)も作製し た。離型剤は、鉱物油が主成分である鋼製型枠用離型剤とした。欠損有りで補修無しの供試 体は、補修界面の付着無しの供試体の母材コンクリート部分と同様である。

補修モルタルの施工時には、重力による垂れなどにより施工欠陥が発生する可能性がある。本実験では、実験要因以外の施工条件による付着性能の変動を抑えるために、コンクリート角柱供試体の欠損部分を上向きにして置き、欠損側面を鋼板でふさいで型枠とし、上面から補修モルタルを打ち込んだ後に、コテ仕上げを行った。補修モルタルの練混ぜにはモルタルミキサを用いた。また、補修モルタルの圧縮強度および弾性係数を測定するために、 φ50×100 mm の円柱供試体 E を補修モルタルの種類ごとに 6 本ずつ作製した。

断面修復後,補修モルタルの材齢2日で脱型し、補修モルタルの材齢28日まで温度20±3℃の養生室でビニルシートによる封緘養生を行った。

(2) 曲げ強さ試験用供試体

4 種類の補修モルタルを用いて作製した圧縮試験用供試体の補修界面における付着程度 を曲げ強さ試験で確認するために、40×40×160mmの曲げ強さ試験用供試体を作製した。本 供試体は、母材コンクリートと各種補修モルタルを用いて、供試体中央を付着界面となるよ うに作製されたものである。補修界面の状態は、圧縮試験用供試体と同様な付着有りと無し の2種類とした。施工方法は、まず40×40×160mmの型枠の半分に発泡スチロールを入れた 後に、コンクリートを打設して40×40×80mmのコンクリート供試体を作製した。次に材齢 14 日に、コンクリート供試体を型枠に入れ、補修モルタルを打込むことによって、コンク リートと補修モルタルを一体化させた。供試体数は各水準3体とした。ここで、コンクリー トの粗骨材の最大寸法が20mmに対して型枠が小さいが、本試験がコンクリートと補修モ ルタルの界面の付着特性を評価するものであるため、試験結果への影響はないと考えられ る。

曲げ強さ試験用供試体作製は、圧縮試験用供試体の作製と同時に行った。



図-5.1 曲げ強さ試験用供試体のイメージ図(第3章より再掲)

5.2.4 実験方法

(1) 圧縮強度試験

補修モルタルの材齢28日に、圧縮実験を行った。供試体の端面は、平滑性を確保するために圧縮試験前日にコンクリート研磨機で仕上げた。供試体のひずみ分布を測定するために、試験当日に、検長30mmのひずみゲージを所定の位置に貼り付けた。ひずみゲージの検長は、補修範囲(100mm)のうち付着界面の影響を受けない領域としてその1/3程度を想定して決定した。ひずみゲージは、補修した角柱供試体の母材コンクリート側と補修モルタル側の側面中央部に貼り付けた。

圧縮試験には、写真-5.2に示すような 500kN 耐圧試験機を用いた。載荷時には耐圧試験 機の載荷板と供試体の間に球座を設置せず載荷板を固定した状態で載荷した。載荷板の固 定は,載荷板上にあるボルトを締めることによった。載荷板を固定するタイミングについて は,まず載荷板が固定されていない状態で,供試体に載荷し,供試体に損傷が生じない荷重 範囲である 40kN の時点で荷重を止めた後,載荷板と供試体の全端面の間に隙間がない状態 で載荷の固定用ボルトを締めた。なお,供試体端面の摩擦を取り除く処理は施していない。



写真-5.2 圧縮強度試験の様子(第4章より再掲)

(2)曲げ強さ試験

曲げ強さ試験は、補修モルタルの材齢 28 日に、JIS R 5201 に規定されている曲げ強さ試 験方法によって行った。載荷位置は曲げ供試体の付着界面の位置とした。曲げ強さ試験装置 の様子は、写真-5.3 に示す。

以下の式から、曲げ強さ R(N/mm²)を計算する。

R = 1.5F_fL/b³ ここに、b:角柱の正方断面の1辺(mm) F_f:破壊時に角柱の中央に加わる荷重(N) L:支点間の距離(mm)



写真-5.3 曲げ強さ試験装置の様子(第3章より再掲)

5.3 実験結果とその考察

5.3.1 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性

表-5.6 に、作製したコンクリート角柱供試体 C および補修モルタル供試体 E の圧縮強 度および弾性係数の測定結果を示す。同表より、圧縮強度に関しては、概ね計画通りの値と 得た。弾性係数に関しては、母材コンクリートと比べて E15 では極端に小さく、E40、E60 では、ほぼ同等で、E120 では大きい結果となった。

補修モルタルの	補修モノ	ルタル E	母材コンクリートC		
	Fm	Em	Fc	Ec	
記万	(N/mm²)	(N/mm²)	(N/mm²)	(N/mm²)	
E15	12. 8	1. 35			
E40	40. 5	3. 01	20.0	2 05	
E60	59.8	3. 05	30. Z	3.05	
E120	128. 2	3. 91			

表-5.6 コンクリートおよび補修モルタルの力学特性

5.3.2 曲げ強さ試験

表-5.7に、曲げ強さ試験の結果を、図-5.2に曲げ強さと補修モルタルの圧縮強度の関係を示す。各種供試体の曲げ強さは 3 体の供試体の平均値を示し、そのばらつきは最大で 0.5N/mm² 程度であった。付着有りの水準における測定結果からは、低強度の補修モルタル を用いた供試体 F15 は写真-5.4(1)に示すように補修モルタル側で破壊し、これ以外は、写真-5.4(2)(3)に示すように中央部にある付着界面で破壊した。曲げ強さは F60 の補修モ ルタルを用いた供試体が最も低くなった。

F60の曲げ強さが小さくなった原因としては,表-5に示すフロー値が E60 で最も低くなっており,施工性が悪いために付着強度が低下し,曲げ強さが小さくなったと考えられる。

補修界面を平滑にした上で補修界面に離型剤を塗布した供試体(付着無しの水準)では, コンクリートと補修モルタルの付着が無く,脱型時に剥離し,測定不能となった。

補修界面を平滑にした上で補修界面に離型剤を塗布した供試体では、コンクリートと補修モルタルの付着が無く、脱型時に剥離し、測定不能となった。

		補修界面(こおける	
記号		付着の有無		
		有り	無し	
	F15	2. 34		
	F40	2. 50	测空天线	
	F60	1. 95	测足个能	
	F120	4. 85		

表-5.7 曲げ強さ試験結果

[注] 本実験で使用した母材コンクリートおよび補修モルタルのカ 学特性は、表-5.6中のD、Eと同じ。









(2) 供試体 F40 の破壊性状



(3) 供試体 60 の破壊性状

写真-5.4 各種曲げ強さ試験用供試体の破壊性状

5.3.3 角柱供試体の圧縮強度

(1) 欠損形状 A の場合

図-5.3に各角柱供試体の圧縮強度試験結果を、図-5.4に断面修復したコンクリート角 柱供試体の圧縮強度と補修モルタルの圧縮強度の関係を、表-5.8に破壊状況を示す。同図 より,補修界面における付着がある場合には,母材コンクリートより低い圧縮強度を持つ補 修モルタルを用いて断面修復した供試体 A15a は圧縮強度の低下が見られた。これは,補修 モルタルが低強度であるためと考えれる。母材コンクリートより高い圧縮強度を持つ補修 モルタルを用いて断面修復した供試体 A60a および A120a でも圧縮強度の多少の低下が見 られた。また,これらの供試体においては,破壊状況の観察においてコンクリートと補修モ ルタルの補修界面に沿ってひび割れが発生した。この原因としては,A60a では曲げ強さの 結果から母材コンクリートと補修モルタルの付着が小さかったこと,また,A120a では母材 コンクリートと弾性係数が異なることによると考えられる。

補修界面における付着力がない場合は、補修モルタルの強度レベルに関係無く、いずれも 圧縮強度が断面修復していないコンクリート角柱供試体と同等な値、すなわち健全なコン クリート角柱供試体の 1/3 程度となっている。これは、母材コンクリートと補修モルタルの 界面の付着力がないため、載荷途中に、補修モルタルの全ての部分が供試体から剥脱し、欠 損部が充填されていない状態で圧縮されたため、補修モルタルが全く機能せず圧縮強度が 欠損した母材コンクリートのみで決まるためである。以上の結果より、本実験の範囲では、 欠損形状を三角形とした場合は、補修界面における付着が断面修復したコンクリート角柱 供試体の圧縮強度に与える影響が大きく、また補修モルタルの圧縮強度が母材コンクリー トよりも低い場合、および補修モルタルの弾性係数が母材コンクリートと異なる場合にも 圧縮強度が低下することが明らかとなった。

(2) 欠損形状 B の場合

図-5.3 に示すように断面修復した供試体は補修界面における付着の有無にかかわらず, 補修モルタルの強度の増大につれ、圧縮強度が増大する傾向が見られた。健全なコンクリー ト角柱供試体との比較からは低強度補修モルタルを用いて修復した供試体のみ圧縮強度の 低下が見られた。他の供試体は、健全なコンクリート角柱供試体と同等以上の結果となった。 付着の有無の影響については、付着の無い場合は、付着有りの場合と比べて数 N/mm² 程度 の強度の低下が見られるものの、三角形の欠損形状の場合と比べるとその差は極めて小さ いと言える。

欠損形状 B の断面修復していない供試体は、ほぼ圧縮力に耐えることができない結果と なった。これは、供試体側面の対角線上の応力の集中する位置(ひび割れの入る位置)に欠 損が存在するため、載荷初期から、偏心載荷による曲げモーメントが働き、曲げ破壊するた めと考えられる。

これより,欠損形状を四角形とした場合には,補修モルタルの圧縮強度が母材コンクリートと同等以上であれば,補修界面における付着力や弾性係数に関係無く,欠損の無い母材コンクリートの圧縮強度を維持することが可能であると考えられる。



図-5.3 各角柱供試体の圧縮強度強度試験結果



図-5.4 補修したコンクリートの圧縮強度と補修モルタルの圧縮強度の関係



表-5.8 各角柱供試体の破壊状況

5.3.4 ひずみの分布

(1) 母材コンクリートより補修モルタルの圧縮強度が低い場合(A15, B15)

母材コンクリートより低い圧縮強度を持つ補修モルタルを用いて断面修復した各角柱供 試体の応力—ひずみ曲線を図-5.5に示す。ただし、ここでは応力として供試体全体の平均 値を用いる。同図より、補修界面の付着の有無と欠損形状に関係なく、供試体のいずれも載 荷初期の段階に母材コンクリート側に引張ひずみが発生した。この原因は、補修モルタルの 弾性係数が母材コンクリートと比べて低かったことにより曲げモーメントが発生したこと による。

補修界面の付着がある場合には、載荷初期から、供試体 A15 は、供試体 B15 より母材コ ンクリート側に発生する引張ひずみが大きくとなっている。これは、載荷初期から欠損形状 Aの補修モルタルが効いていないことを示している。

補修界面の付着がない場合には、欠損形状を三角形とした A15b 供試体は、補修モルタル 側のひずみが載荷初期段階から最大荷重までほぼ変化しなかった。これは、載荷開始直後か ら補修モルタルが母材コンクリートから剥離し、補修界面から荷重の伝達がなかったため と考えられる。欠損形状を四角形とした B15b 供試体に関しては、付着界面に付着力が無い 場合でも、補修モルタルが A15b のように供試体から外れることがないため、供試体全体で 圧縮応力を負担していることがわかる。



図-5.5 母材コンクリートより補修モルタルの圧縮強度が低い場合における断面修復 した角柱供試体の応カーひずみ曲線
(2) 母材コンクリートと補修モルタルの圧縮強度が同等な場合(A40, B40)

母材コンクリートと同等な圧縮強度を持つ補修モルタルを用いて断面修復した各角柱供 試体の応力—ひずみ曲線を図-5.6に示す。補修界面に付着がある場合には、供試体 A40 と 供試体 B40 のいずれも欠損形状の種類にかかわらず、補修モルタルとコンクリートの変形 は荷重の全段階にわたってほぼ一致している。これは、補修モルタルとコンクリートの力学 特性である圧縮強度および静弾性係数の両方が近いためと考えられる。

補修界面に付着がない場合には、供試体 A40b は、補修

この結果,断面修復材の付着性能が良い場合には,母材コンクリートと近い圧縮強度,静 弾性係数を有する断面修復材を選択することが重要であると考えられる。



図-5.6 母材コンクリートと補修モルタルの圧縮強度が同等な場合における断面修復 した角柱供試体の応カーひずみ曲線

(3) 母材コンクリートより補修モルタルの圧縮強度が高い場合(A60, B60)

母材コンクリートより高い圧縮強度を持つ補修モルタルを用いて断面修復した各角柱供 試体の応力—ひずみ曲線はほぼ同じ傾向となったため,一例として図-5.7にA60,B60の 結果を示す。すべての条件において,補修モルタルと母材コンクリートの強度が同等なもの よりも,補修モルタルの強度が小さい水準の結果に近い傾向を示した。

補修モルタルの静弾性係数は,E40 と近い値が得られているの対して曲げ強さ(付着強度) は,E15よりも小さい結果となっていることから,付着界面の状態が悪く,その影響が支配 的となっている可能性も考えられる。



図-5.7 母材コンクリートより補修モルタルの圧縮強度が高い場合における断面修復し た角柱供試体の応カーひずみ曲線

5.4 まとめ

本実験では、母材コンクリート強度に対する補修モルタルの圧縮強度レベルを変化さ せた時の断面修復した角柱コンクリート供試体の圧縮特性の評価を実験的に行った。その 結果、以下の知見が得られた。

- 欠損形状を三角形とした場合には、断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮強度 は補修モルタルの圧縮強度の影響より、補修界面における付着有無の影響が大きく、補 修界面の付着の無い場合には、補修モルタルが全く機能しない。
- 2) 欠損形状を四角形とした場合には、断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮強度 は補修界面における付着の有無の影響より、補修モルタルの圧縮強度による影響が大 きく、補修モルタルの圧縮強度の増大につれ、増大する。
- 3) 欠損形状を四角形とすることで、補修モルタルの圧縮強度が母材コンクリートと同等 以上であれば、補修界面における付着力や補修モルタルの弾性係数に関係無く、欠陥の 無い母材コンクリートの圧縮強度を維持することが可能となる。

第6章

総括および今後の課題

三重大学大学院 工学研究科

6.1 本研究で得られた知見

断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性を把握することを目的として、修復形 状、付着状況および断面修復材の力学特性である圧縮強度、弾性係数を着目し、断面修復し たコンクリート角柱供試体の圧縮特性に関する実験的検討を行った。その結果、本研究での 条件内では、以下の知見が得られた。

- (1) 断面修復形状および付着状況が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に 及ぼす影響に関する実験。
- (a) 補修界面の付着が良好である場合には、圧縮強度は低下せず、むしろ増加する
- (b) 補修界面の付着が不良である場合には断面修復の形状により, 圧縮強度が大きく変化 する。
- (2) 載荷板の固定条件が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす影響 に関する実験。
- (a) 欠損形状が圧縮特性に及ぼす影響としては、欠損形状を三角形とした場合には、補 修界面の付着力の有無の影響を大きく受けるのに対し、四角形とした場合には、そ の影響を受けない。
- (b) 欠損形状が三角形で補修界面の付着が無い場合でも表面の凸凹が補修モルタルとコ ンクリートの間のせん断力を伝達することができれば、欠損の無い供試体と同等な圧 縮特性が得られる。
- (c) 圧縮試験機の載荷板を固定したことによる影響に関しては、供試体の半分を補修した 供試体 D の圧縮強度のみ大きく影響を受け、載荷板を固定した方は圧縮強度が増大し た。他の供試体では、載荷板固定による明確な違いは見られなかった。
- (3) 断面修復材の圧縮強度が断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮特性に及ぼす 影響に関する実験
- (a) 損形状を三角形とした場合には、断面修復したコンクリート角柱供試体の圧縮強度は 補修モルタルの圧縮強度の影響より、補修界面における付着有無の影響が大きく、補 修界面の付着の無い場合には、補修モルタルが全く機能しない。
- (b) 欠損形状を四角形とした場合には、断面修復したコ ンクリート角柱供試体の圧縮強度は補修界面における付着の有無の影響より、補修モ ルタルの圧縮強度による影響が大きく、補修モルタルの圧縮強度の増大につれ、増大 する。
- (c) 欠損形状を四角形とすることで、補修モルタルの圧縮強度が母材コンクリートと同等 以上であれば、補修界面における付着力や補修モルタルの弾性係数に関係無く、欠陥 の無い母材コンクリートの圧縮強度を維持することが可能となる。

三重大学大学院 工学研究科

6.2 今後の課題

現在では、断面修復材とコンクリートの付着性に関する研究が多く行われており、研究が 進んでいるが。断面修復したコンクリートの圧縮特性については、研究があまりないのが現 状である。本研究では、断面修復形状、補修界面の付着程度および断面修復材の力学特性を 要因にし、断面修復したコンクリートの圧縮特性に関する評価を行ったが、実験のデータが 少ないのが現状である。今後実験の要因と水準をさらに広くし、検討する必要がある。また、 現在まで、本研究において鉄筋、ひずみ分布および繰り返し荷重等の影響を無視しているた め、構造的な視点も踏まえてより現実的な検討を行うことが望まれる。

謝辞

謝辞

研究を行うにあたりご助言、ご指導をいただきました三島直生先生(三重大学准教授)、畑 中重光先生(三重大学教授)、花里利一先生(三重大学教授)に対して心から感謝しますととも に、ここにお礼を申し上げます。

また実験を行うにあたり、和藤浩氏(三重大学技術専門員)、浦野君(三重大学四年生)お よび畑中・三島研究室の皆様にご助力を頂いたことをここに付記して謝意を表します。

参考文献

三重大学大学院 工学研究科

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会、コンクリート基本技術調査委員会 不具合補修 WG:コンク リート基本技術調査委員会 不具合補修 WG報告書、2012.8
- 2) 松田芳範,徳光卓,十河茂幸:施工中に発生した不具合の対処方法について-コンクリート基本技術調査委員会不具合補修 WG 活動報告-,コンクリート工学, Vol.51, No.10, pp.807-813, 2013.10
- 3) 社団法人日本コンクリート工学会:コンクリート診断技術,[基礎編], pp.262-263, 2012.2
- 4) 社団法人日本コンクリート工学会: コンクリート診断技術, [基礎編], pp.262-263, 2012.2
- 5) 社団法人日本コンクリート工学会:コンクリート診断技術,[基礎編], pp.251, 2012.2
- 6) 紫桃孝一郎,上東泰,野島昭二,吉田敦:ウォータージェット技術を利用した新旧コン クリート構造物の一体化処理,コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.8, pp.40-54, 2000.8
- 7) 新谷廉,谷倉泉,渡邊晋也,尾原祐三:X線CT法を用いたはつりによるコンクリートの損傷評価,コンクリート工学年次論文集,Vol.38, No.1, pp.2079-2084, 2016.7
- 8) 古賀一八, 衣笠秀行, 山本佳城, 山辺智典: 断面修復材によるコンクリート部材の補修 に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.313-318, 2000.6
- 9) 朴同天, 兼松学, 野口貴文: 劣化した鉄筋コンクリート造建築物用断面修復材の付着特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第615号, pp.61-67, 2007.5
- 10) 松田好史, 垣尾徹, 山陽新幹線鉄筋コンクリートラーメン橋等の維持管理, コンクリート工学, Vol.38, No.12, pp.23-31, 2000.12
- 11) 榊原弘幸,安藤重裕,宮脇賢司,佐々木孝彦,上田洋,藤原、申次:ポリマーセメント モルタルの接着強度に及ぼすコンクリート下地処理法の影響,「材料」 (J.Soc.Mat.Sci,Japan), Vol.52,No.9, pp.1082-1088, 2003.9
- 12) 社団法人日本コンクリート工学会: コンクリート診断技術, [基礎編], pp.250-251, 2012.2
- 13) 朴同天,兼松学,野口貴文:劣化した鉄筋コンクリート造建築物用断面修復材の付着特 性に関する研究,日本建築学会構造系論文集,第615号(2007)、pp.61-67,2007.5
- 14) 新谷廉,谷倉泉,渡邊晋也,尾原祐三:X線CT法を用いたはつりによるコンクリートの損傷評価,コンクリート工学年次論文集,Vol.38, No.1, pp.2079-2084, 2016.7