

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04309

研究課題名(和文) 既設コンクリート/断面修復材界面の剥離危険度評価と一体性確保による安全性向上

研究課題名(英文) Evaluation of peeling risk and improving safety by ensuring unity on the interface between existing concrete and repair materials

研究代表者

宇治 公隆(Uji, Kimitaka)

東京都立大学・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：70326015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：既設コンクリート構造物の補修・補強における、母材コンクリートと断面修復材の付着界面の一体性を検討した。本研究では、せん断付着強度評価法の合理化を目的に、界面の処理方法や断面寸法をパラメータとして、せん断付着強度に及ぼすそれぞれの影響を検討した。界面の凹凸やプライマーの効果を明らかにし、期待できるせん断付着強度を明らかにした。また、縦長および横長の形状を変えた試験の結果から、せん断付着強度と界面の面積の掛け算としてせん断抵抗力が期待されるのではなく、抵抗域は順次移行していくことを考慮しなければならないことを、AE測定結果をもとに提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から、実務において考慮すべきせん断付着強度の考え方を、界面形状・面積や凹凸性状、断面修復材の種類・強度を要因として提示した。なお、せん断付着応力に対して界面の全面積が同時に抵抗するのではなく、面積のみに着目して補強設計を行うと、安全性に大きな問題を生じかねないことを示した。また、既設コンクリート構造物の補修・補強において、CFRP格子筋や金網を配置して断面修復材を施工することを想定した試験の結果から、付着面積の増加に伴いせん断付着強度が低下することが確認され、1格子内部の付着面積を考慮して、せん断付着強度を設定する必要があることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The shear loading capacity in existing RC beams increases by attaching repair materials, for example, the carbon fiber reinforced plastic (CFRP) grids and the polymer cement mortar (PCM) to side areas of base concrete beams. In this study, the relation between shear bond strength and roughness, type of repair material, shape of bonding area, the shift of shear resisting area, were investigated. Shear bond strength was directly proportional to the degree of surface roughness. From the experimental results and AE measurement results, it was clarified that the bearing areas of shear bond stress was limited at the bottom and upper part of specimen, which were near the loading point. The shear bond strength decreases as the area increases. Also, it was confirmed that the shear bond strength changes depending on the shape. Even if the total areas are same, the vertically long specimen show small value compared with horizontally long specimen.

研究分野：土木工学

キーワード：コンクリート構造 補修・補強 施工

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 高度経済成長期以降、膨大な数のコンクリート構造物が構築され、社会・経済活動に多大な貢献をしてきたが、既に 50 年以上の供用年数を経て劣化が顕在化しているものも少なくない。現在の社会情勢から、多くの構造物が、今後も補修・補強を繰り返しながら更に長い年月供用されるものと予測される。

(2) 補修の確実性・信頼性がまだまだ懸念される現在において、補修後のコンクリート構造物の性能評価を行い、既設コンクリート／断面修復材界面の劣化進行挙動を把握し、補修界面での剥落防止、一体性確保の技術を確立することが急務である。

2. 研究の目的

本研究は、既設構造物の断面修復、耐力回復のための補修・補強に焦点を当て、既設コンクリート／断面修復材／補強材相互の力の伝達特性を把握し、剥落防止・一体性確保のための界面処理方法、付着性向上策について、実験的・解析的に検討を行う。

既設コンクリートと補修材の一体性に関しては、界面の凹凸性状による物理的作用、接着剤の付着力による化学的作用が期待される。前者は、チッピングで凹凸を形成し、物理的一体性の向上を図る。後者は、断面修復に先立って行うプライマーによる一体性が挙げられる。

本研究では、コンクリート構造物の補強に関する、次の 2 点について検討した。

(i) 剥離・剥落防止のための最適補修材界面処理方法

(ii) 既設コンクリート／断面修復材／補強筋全体系での力の伝達・耐荷挙動の解析的検証、剥離危険度評価

3. 研究の方法

(1) 剥離・剥落防止のための最適補修材界面処理方法

せん断付着強度は、補修後の一体性、安全性を確保するために重要であるが、せん断付着強度に関して統一された試験方法がない。

本研究では、母材コンクリートの界面性状を要因とし、断面修復材とのせん断付着応力特性を実験により検討した。断面 100×100mm の角柱コンクリートを用い、界面の凹凸を大中小の 3 種類、修復材種類を要因として 2 面せん断試験を行い、せん断付着特性を AE(Acoustic Emission) 法により検討した。また、接触面の形状を、切欠きを設けて縦長・横長に変化させ、界面の凹凸を中程度とし、寸法依存性の検討を行った。

(2) 既設コンクリート／断面修復材／補強筋全体系での力の伝達・耐荷挙動の解析的検証、剥離危険度評価

既設コンクリート構造物の補修・補強において、CFRP 格子筋や金網を配置して断面修復材を施工することを想定し、格子寸法を変化させた供試体に対し直接二面せん断試験を実施することにより、CFRP 格子筋 1 格子内部のコンクリートと補修材の付着界面で伝達可能なせん断付着強度について微視的な検討を行った。

実際に使用される可能性の高い CFRP 格子筋や金網を踏まえ、形状は正方形で、その 1 辺の長さ（格子等の内寸法を考慮）を、94mm×94mm（大）、69mm×69mm（中）、44mm×44mm（小）の 3 種類とし、せん断付着強度の把握とともに、載荷進行における AE 発生源位置評定を行い、せん断抵抗域について検討した。

4. 研究成果

(1) せん断付着強度と表面粗さの関係

界面の処理状態を大目粗し(H シリーズ)中目粗し(M シリーズ)小目粗し(S シリーズ)の 3 水準、補修材は有機系のポリマーセメントモルタル(PCM シリーズ)、JIS R 5201 規定のセメント砂比 1 : 3 の無機系モルタル(N シリーズ)の 2 水準、そしてプライマーの有無を考慮した計 12 水準で、図 1 に示す直接 2 面せん断試験により、せん断付着強度

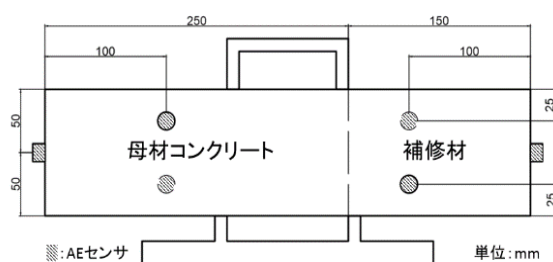


図 1 直接 2 面せん断試験概要図

を算出した。

図2に各水準のせん断付着強度と算術平均粗さの関係を示す。せん断付着強度は補修材種類やプライマーの有無によらず、算術平均粗さの増加に伴い増加することが示された。

(2)せん断付着強度とプライマーの関係

目粗し程度を無し(n シリーズ), 有り(r シリーズ)の2水準、プライマー種類をアクリル系(A シリーズ)、エポキシ系(E シリーズ)の計4水準で作製した供試体に対し、直接2面せん断試験を実施した。図3に算出されたせん断付着強度と算術平均粗さの関係を示す。算術平均粗さの増加に伴うせん断付着強度の増加率を示す近似直線の傾きが、アクリル系プライマーを使用した場合よりもエポキシ系プライマーを使用した場合のほうが大きくなっていることが確認された。

(3)せん断付着強度と付着面形状・寸法の関係(縦横比)

付着面の形状を図4に示す。幅に比べて高さが大きいタイプA(高さ:100mm一定、幅:30or50or70mm)、高さに比べて幅が大きいタイプB(高さ:30or50or70mm、幅:100mm一定)、正方形のタイプC(高さ:100mm、幅:100mm)の3水準用意した。

算出されたせん断付着強度と付着面積の関係を図5に示す。タイプA、Bのどちらにおいても付着面積の増加に伴いせん断付着強度が減少しており、付着面が100×100mmのタイプCでは、30×100mmのタイプAや100×30mmのタイプBの約半分程度のせん断付着強度となっていた。したがって、せん断付着強度には寸法依存性があることが示された。

また、付着面が縦長のタイプAと横長のタイプBの間にもせん断付着強度の値に違いが確認され、タイプAのほうがタイプBよりも約1N/mm²程度せん断付着強度が大きくなっている。これは、タイプAの断面では荷重治具による変形拘束を受けるが、タイプBでは直接荷重治具による変形拘束を受けることがなく、ポアソン効果により生じる引張力の影響が大きかったため強度が低くなったものと考えられる。

(4)せん断付着強度と付着形状・寸法の関係(CFRP格子寸法)

CFRP格子筋1格子内部のコンクリートと補修材の付着界面(プライマー:有(p)無(n)、目粗し:中程度)で伝達可能なせん断付着強度について検討を行った。付着面形状を図6に示す。

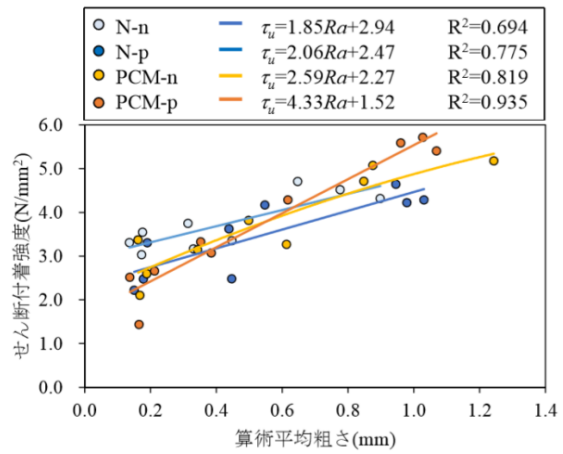


図2 せん断付着強度試験結果

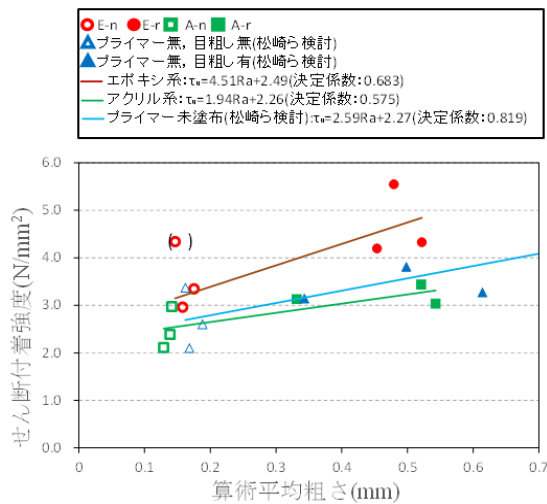


図3 せん断付着強度(プライマー有無)



(a) タイプ A (b) タイプ (c) タイプ C

図4 付着面形状

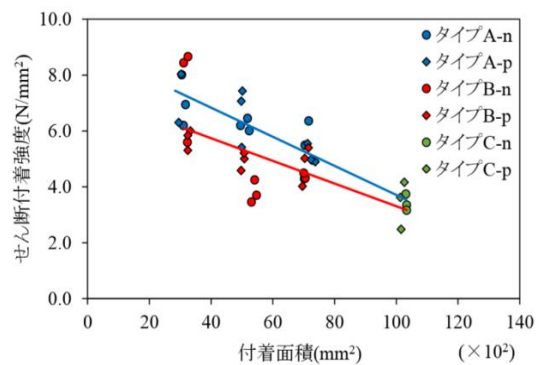


図5 せん断付着強度試験結果

試験の結果、せん断付着強度は A-n : 4.6N/mm²、A-p : 4.2N/mm²、B-n : 6.2N/mm²、B-p : 6.7N/mm²、C-n : 8.9N/mm²、C-p : 9.2N/mm²であった。付着面形状がタイプ A の場合と比較するとタイプ B ではおよそ 1.5 倍程度、タイプ C ではおよそ 2 倍程度大きくなっていることが確認された。今回の実験でも既往の研究と同様に付着面積の増加に伴いせん断付着強度が低下することが確認され、コンクリート構造物の補修に CFRP 格子筋を活用する際は格子寸法によって 1 格子内部の付着面に作用するせん断力を低減する必要があるといえる。

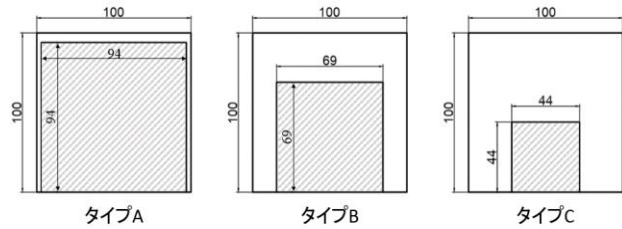
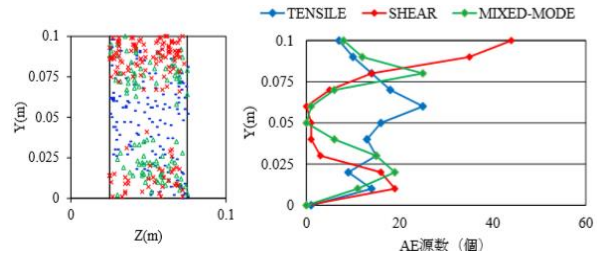


図 6 付着面形状

(5) 供試体の破壊過程

付着面形状および寸法を変化させた供試体に対する直接 2 面せん断試験の実施時に AE 計測を行い、得られたデータに SiGMA 解析を適用し供試体の破壊過程について検討を行った。解析結果の一例として、タイプ A の高さ 100mm、幅 50mm の結果を図 7 に示す。付着面高さ中央部では引張型の AE 源が卓越しており、上縁および下縁ではせん断型の AE 源が卓越している。図 8、図 9 に示すように、上縁および下縁では荷重治具による拘束を直接受けることと、壁効果により粗骨材の存在確率が低いことからせん断方向の変形が生じやすいことによりせん断型の AE 源が卓越し、付着面高さ中央部では粗骨材の機械的な噛み合わせでせん断方向の変形が生じにくいこととポアソン効果による引張力に影響を受けることで引張型の AE 源が卓越していると考えられる。



高さ 100mm -幅 50mm

図 7 SiGMA 解析結果(タイプ A)

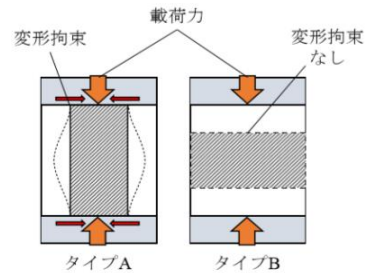


図 8 付着面形状と変型

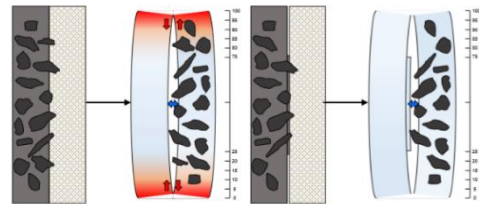


図 9 付着面の剥離

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松崎晃、宇治公隆、上野敦、大野健太郎	4. 巻 第41巻
2. 論文標題 母材コンクリートと断面修復材のせん断付着強度に及ぼす界面性状の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中村泰貴、大野健太郎、宇治公隆、上野敦	4. 巻 Vol.74
2. 論文標題 載荷方法の相違がモルタルのせん断付着強度および応力負担特性に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会第74回年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 鈴木華、大野健太郎、宇治公隆、上野敦	4. 巻 Vol.75
2. 論文標題 既設コンクリートと補修モルタルのせん断付着特性に及ぼすプライマー並びに断面寸法の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会第75回年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ngoc Linh VU, Kimitaka UJI and Kentaro Ohno	4. 巻 Vol.9
2. 論文標題 Crack propagation of RC beam strengthened in shear by CFRP grid	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceeding of the 9th International Conference on Fibre Reinforced Polymer (FRP) Composites in Civil Engineering (CICE 2018)	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松崎晃、宇治公隆、上野敦、大野健太郎
2. 発表標題 母材コンクリートと断面修復材のせん断付着強度に及ぼす界面性状の影響
3. 学会等名 日本コンクリート工学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村泰貴、大野健太郎、宇治公隆、上野敦
2. 発表標題 載荷方法の相違がモルタルのせん断付着強度および応力負担特性に及ぼす影響
3. 学会等名 土木学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木華、大野健太郎、宇治公隆、上野敦
2. 発表標題 既設コンクリートと補修モルタルのせん断付着特性に及ぼすプライマー並びに断面寸法の影響
3. 学会等名 土木学会年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	上野 敦	東京都立大学・都市環境科学研究科・准教授	
	(Ueno Atsushi)		
	(50232765)	(22604)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	大野 健太郎 (Ohno Kentaro) (80571918)	東京都立大学・都市環境科学研究科・助教 (22604)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関