

曲げ変形を受ける断面修復コンクリートの補修範囲が 早期劣化に及ぼす影響

Effect of Repair Range of Patched Concrete with Bending Deformation on Premature Deterioration

神代康輔¹・金侖美²・吉富信太³・福山智子⁴

Kosuke Jindai, Yunmi Kim, Shinta Yoshitomi and Tomoko Fukuyama

¹立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 博士課程前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²立命館大学助教 総合科学技術研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Assistant professor, Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

³立命館大学教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan University

⁴立命館大学准教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan University

RC buildings deteriorate over time. It has been reported that when the deteriorated part is repaired by the patched repair method, it deteriorates again. In historic buildings, the phenomenon of premature deterioration of repaired parts can adversely affect existing concrete. Therefore, it is necessary to carry out the construction by an appropriate repair method. In this study, we performed a numerical analysis of the stress-strain relationship considering the morphological conditions of the repaired part. As a result, it can be seen that deterioration of the existing concrete can be prevented by repairing a wider area than the deteriorated part.

Keywords: *patched concrete, premature deterioration, finite element analysis, crack, stress,*

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 建築物は熱膨張や乾燥収縮などの環境条件の影響および地震のような外力によって劣化する。特にRC梁においては外力による曲げ変形を伴うことで、引張力を受ける部分で生じるひび割れが劣化の原因となる。劣化したRC部材は劣化部分をはつり取り、補修材で埋め戻す断面修復工法を用いて補修される場合が多い。しかしながら、補修を行ったRC部材 (断面修復コンクリート) において耐用年数に達する前に再度劣化する早期劣化現象が報告されている。

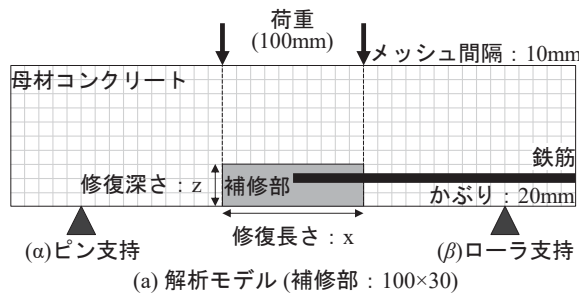
日本の文化財のうち、明治神宮宝物殿 (1921年) や旧東京科学博物館本館 (1931年)、国立西洋美術館本館 (1959年) などの50年以上保存されているRC造の歴史的建築物については、経年による劣化が懸念される。歴史的建築物を補修する場合は、原形を維持しつつ力学性能を確保する必要がある。特に文化財の補修には本来の材料や工法を用いることが望まれるため、所有者の補修費負担が高額となる。

本研究では、断面修復を行った歴史的建造物のRC梁が再び曲げ変形を受ける場合を想定して、早期劣化の防止対策の検討を目的とする。本稿では特に補修部の形態条件に着目し、非線形有限要素法により、既設コンクリートと補修部の応力ひずみを検討する。補修部の形態を変えたモデルの応力分布を比較検討することで、既設コンクリートに損傷を生じない条件を明らかにする。

2. 解析概要

表1に解析計画、図1に解析モデルの概要を示す。本研究では引張力を受ける下端部を断面修復工法で補修したRC梁を対象とし、VecchioとCollins³⁾の修正圧縮場理論（Modified Compression Field Theory）に基づいた有限要素解析（FEA）を行ってコンクリート全ひずみとひび割れを検討する。また、応力モデルはVon Misesモデルである。コンクリートの力学性能パラメータは日本国内外の文献調査100件の結果の平均値を採用した。補修材はコンクリートの力学性能に類似な性能とした。

解析モデルはJIS A 1106のコンクリートの曲げ試験を模擬するため100×100×400 (mm)とし、鉄筋はD10、かぶり厚さは20mmとしてRC梁の引張破壊を図った。補修部の長さ（補修長さ；x）は載荷点の内外側の影響を考慮して50、100、150 (mm)とし、補修部の深さ（補修深さ；z）は鉄筋の裏側まで十分に補修を行う30mmと設定した。また、RC梁の上端部の中心に100mm間隔で荷重を加え、下端の両端部から50mm部分をそれぞれピン支持（α）とローラ支持（β）とした。メッシュ間隔は10mmとし、最大変位を0.7mm、解析ステップ数を70と設定したうえで解析を行った。ここでは、補修したRC梁のひび割れ発生を検討するため、コンクリートと補修材の界面を剥離が生じない一体挙動のものと設定し、クリープや乾燥収縮は考慮しない。また、応力ひずみの抽出要素は図1(b)に示すように補修部の底面から上部方向を10mm間隔でU、C、T、Oと分け、補修部の中心から長さ方向は10mm間隔で0から80まで区分して補修長さごとにx軸方向中心部および補修材側の界面部、コンクリート側の界面部に対応する結果を抽出した。



(a) 解析モデル (補修部：100×30)

	center								loading point							
	O0		O20	O30		O50	O60	O70	O80							
CONCRETE	T0		T20	T30		T50	T60	T70	T80							
REPAIR MATERIAL	C0		C20	C30		C50	C60	C70	C80							
	U0		U20	U30		U50	U60	U70	U80							

(b) 補修部の詳細

図1 解析モデルの概要

表1 解析計画

材料	力学性能パラメータ				モデル条件（補修部）			解析条件		
	圧縮強度 (F_c ; N/mm ²)	引張強度 (F_t ; N/mm ²)	ヤング係数 (E ; kN/mm ²)	ポアソン比 (ν)	補修条件	長さ (x; mm)	深さ (z; mm)	支持条件	荷重制御	修復界面
コンクリート	42.3	3.3	23.8	0.21	あり なし	50	30	ピン ローラ	z軸変位 (-0.7mm)	一体
補修材	44.0	3.4	27.6	0.20		100				
鉄筋 (D10)	—	335.0	205.0	0.30		150				

3. 解析結果

(1) RC梁におけるひずみおよびひび割れの分布

健全（補修なし）なRC梁および補修長さごとのRC梁の変位0.50mm時点におけるひずみとひび割れの分布を図2に示す。ひずみとひび割れの分布は左右で対称性がみられるため各図の左側にはひずみを、右側にはひび割れを表示する。また、図中のZ（太点線）はRC梁のx軸方向の中心部分である。ひび割れは、各解析条件ごとに大きなひずみが発生した箇所には荷重を受けているひび割れ（O）が分布している。

健全なRC梁の場合、x軸方向中心部に大きなひずみが集中しており、載荷点の内側には荷重の影響を受けてより小さなひずみが集中している。RC梁の下端中心部に補修を行った場合は、補修長さx100とx150は健全なRC梁と同様に梁の中心部にひずみの集中がみられた。また、x100においてはコンクリート側の界面部に、x150は載荷軸の下端部により小さなひずみの集中が確認できた。一方、補修長さx50の場合はコンクリート側の界面部に大きなひずみの集中が発生している。

これは、補修部の範囲がx50のように載荷軸の内側に存在する場合は、コンクリートと補修材のヤング係数やポアソン比などの物性の違いから異種材料の相互拘束により界面部に応力集中が発生したためである。また、x100とx150のように載荷軸外および下部に界面がある場合は相互拘束による応力集中に比べて、載荷による補修材の変形での応力が大きくなるため健全なコンクリートと同様なひずみ分布を示したためである。

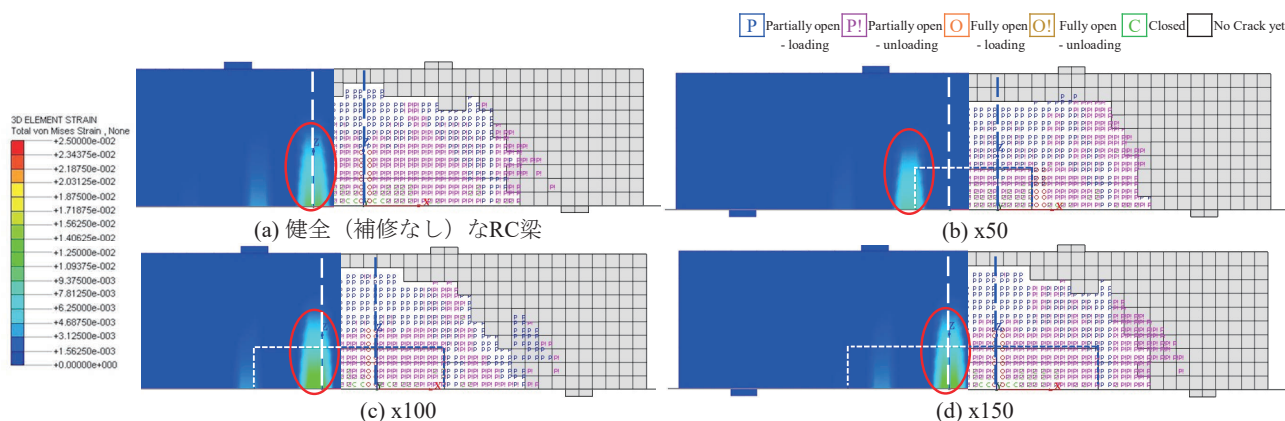


図2 ひずみ・ひび割れ（変位：0.50mm、左側：ひずみ、右側：ひび割れ）

(2) ひずみ集中部の変位－応力関係

健全なRC梁および補修長さごとのひずみ集中部における変位－応力の関係を図3に示す。変位制御によって載荷しているため横軸の変位は載荷点の鉛直方向の変位を示している。健全なRC梁およびx100、x150の場合はU0、C0、T0、O0の地点の要素から変位－応力を取り出し、x50の場合はU30、C30、T30、O30の要素を取り出している。ここでは、x、y、z軸方向の応力を基に算出されるミーゼス応力を扱っているため要素の応力が引張強度を超えても応力変化を示す。このため、降伏する前後の応力について考察を行う。

健全なRC梁および補修したRC梁とも変位0.05mm付近で微細なひび割れが発生し、応力降伏が生じている。また、健全なRC梁はU0、C0、T0、O0すべてで応力の上昇が確認できなかった。これは、物性にばらつきがないことから応力の分布が一家所に集中せず分散するためと考えられる。

x100の場合は変位0.23mm付近から急激な応力上昇が確認でき、変位0.20mm時点でO0の応力降伏がみられた。x150においては変位0.15mm付近からU0、C0、T0での応力がほぼ同時に上昇する傾向を示し、変位0.18mmでO0の応力がほぼ0N/mm²となっている。x50は変位0.10mmから応力が上昇し、補修部の底面（U30）より上部の応力上昇率が大きくなっている。

ひび割れ分布は、解析条件ごとに応力上昇が始まる時点からひずみ集中部分の周辺に荷重を受けないひび割れ（P!）が分布し、変位が大きくなるほどひずみ集中部は荷重を受け続けるひび割れ（O）が梁の底面から上部へ進展していった。また、補修範囲が載荷軸より内側にある場合はより小さな変位でひずみの集中部にひび割れが生じ始め、補修部の界面が載荷軸に位置する場合、最も大きい変位でひび割れが発生し始めた。

以上の結果から、補修部が載荷軸の内側に位置すると応力上昇時点の変位が小さくなり補修部の早期劣化の可能性が大きくなることがわかる。

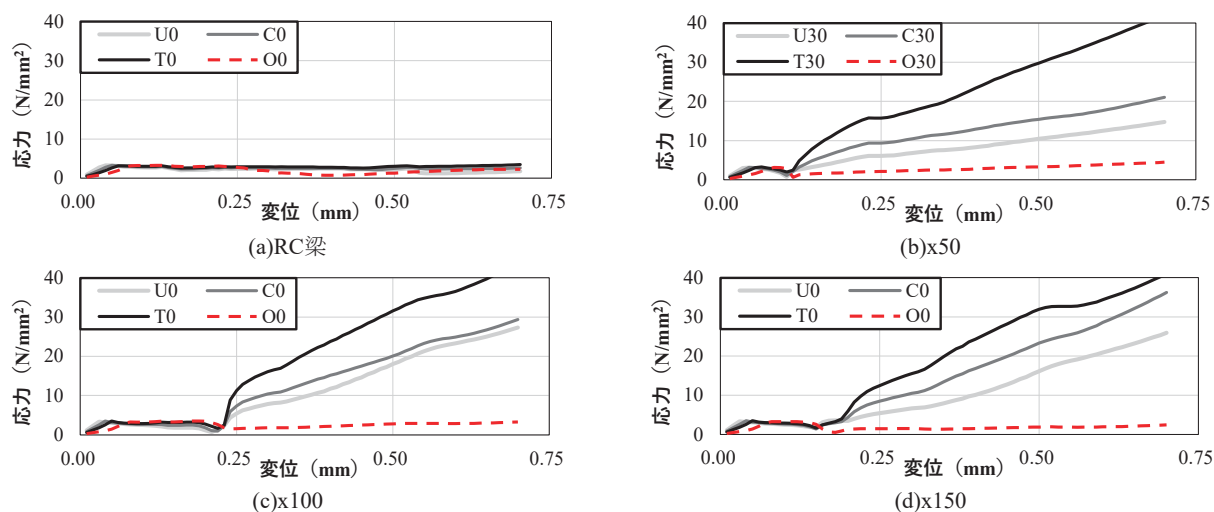


図3 ひずみ集中部 変位－応力関係

(3) 界面部の変位－応力関係

図4に補修長さごとの補修界面部における変位－応力の関係を示す。ここでは、解析条件による補修部の界面剥離発生条件について検討を行う。本検討では界面剥離を考慮していないため、補修材の付着強度を上回る応力が発生した変位を界面剥離発生時点とする。

x50とx100においては補修材側の界面における応力上昇よりコンクリート側の界面の応力上昇が著しくなっており、x50は変位0.10mmから、x100は変位0.14mmから応力の上昇が顕著になっている。また、変位0.50mm時点における応力の大きさはx100よりx50のほうが大きくなっている。このようにx50とx100のコンクリート側に発生している応力は修復界面の剥離につながるものと考えられる。一方、x150の場合は顕著な応力上昇は確認できなかった。

以上のことから、補修部の長さを大きくすることによって修復界面に生じる応力が小さくなり界面剥離の危険性が低減されることが考えられる。

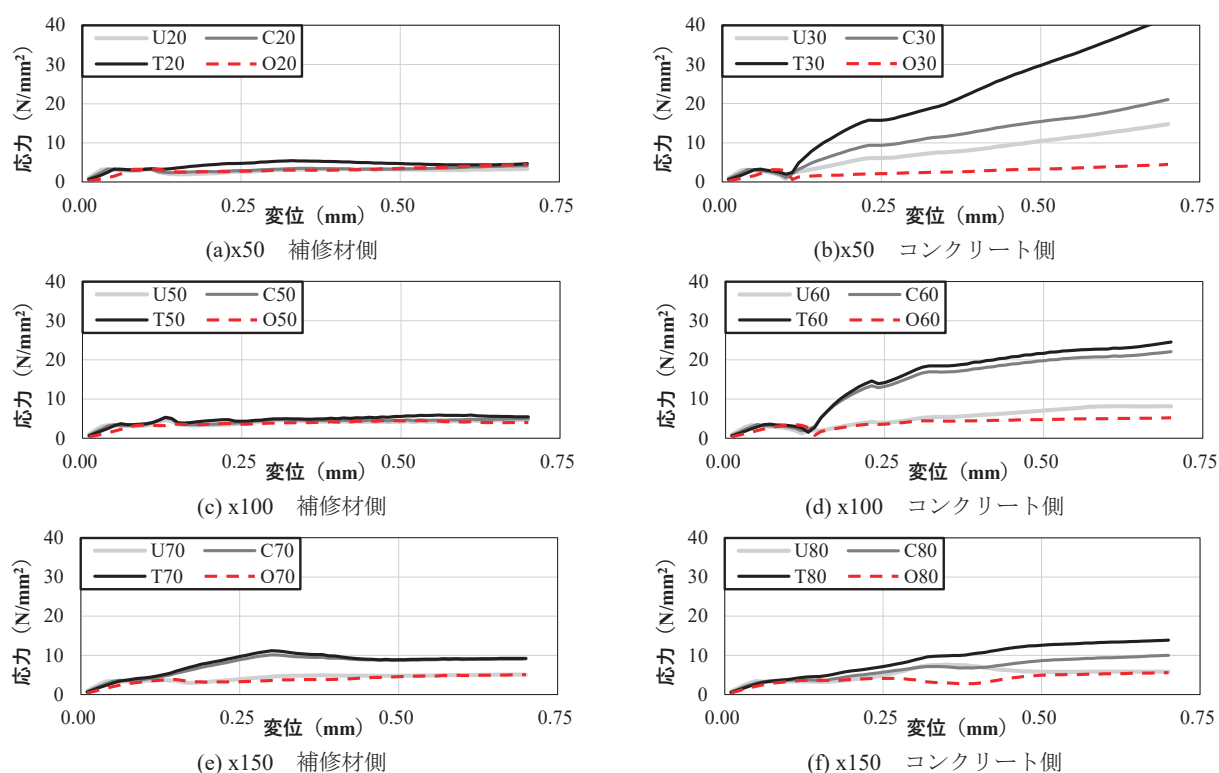


図4 補修部界面の変位－応力関係

4. まとめ

断面修復RC梁の有限要素解析により、補修部の長さが小さい場合は界面部の変形量が大きくなることで既設コンクリートと補修材の界面の断面力が大きくなって界面に応力が集中するが、補修部の長さを大きくすることで界面の断面力が小さくなり補修部全体に応力が分布され補修部の早期劣化の低減が可能であることが確認できた。歴史的建造物の補修に断面修復工法を用いて補修を行う際に補修する範囲は劣化部分に対して広い範囲に施工することで既設コンクリートの劣化を防ぐ補修が可能となる。

謝辞：本研究は、鴻池奨学財団の助成を受けて実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 吉田己理, 小玉克巳, 佐藤貢一, 渡辺裕一: ポリマーセメントモルタルで補修したRC梁の曲げ性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 17, No. 1, pp. 801-806, 1995.
- 2) 田才晃, 北山和宏, 小谷俊介, 青山博之: エポキシ樹脂で補修された鉄筋コンクリート梁の曲げ性状, コンクリート工学年次論文集, pp. 625-628, 1984.
- 3) Vecchio, F. j. and Collins, M. P.: The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear. ACI Journal 83, 22 (1986, 219-231)