

炭素繊維シート補強を施した既存RC造ピロティ建物における補強効果の検討  
(その2)炭素繊維シート補強のモデル化および補強効果の検討

Study on the Seismic Retrofitting of Carbon Fiber Sheets in Existing RC Pilot-Type Buildings  
(Part 2) Modeling of Carbon Fiber Sheet and Evaluation of Seismic Retrofitting

○武井駿大<sup>2</sup>, 笠井晴翔<sup>1</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 長沼一洋<sup>3</sup>

\* Hayato Takei<sup>2</sup>, Haruto Kasai<sup>1</sup>, Kazuki Tajima<sup>3</sup>, Kazuhiro Naganuma<sup>3</sup>

Abstract : This study aims to elucidate the floor collapse mechanism of RC buildings constructed under the old seismic standards and to develop reinforcement methods to prevent floor collapse. In this report (Part 2), study on modeling considering the seismic retrofitting of carbon fiber sheets and Studying that the seismic retrofitting against chain-reaction axial failure of columns which reinforced with carbon fiber sheet to only the single column identified in the previous report (Part 1) that causes axial failure.

1. はじめに

前報(その1)では、旧耐震基準を想定したピロティを有する3層RC造骨組モデルに対し、プッシュオーバー解析を通じて1層柱の軸破壊順序を特定した。本報(その2)では、軸破壊する柱に対して炭素繊維シート補強を行い、連鎖的な柱の軸破壊に対する補強効果について検討する。

2. 炭素繊維シート補強のモデル化の概要

Fig.1に炭素繊維シートによる補強効果を考慮したせん断サブ要素の復元力特性を示す。本研究では、炭素繊維シートによる補強効果として、軸破壊の防止、せん断耐力の向上ならびにせん断破壊の抑制を考慮する。せん断耐力については、荒川min式に基づく耐震改修設計指針式<sup>[1]</sup>を荒川mean式に基づく形に修正した次式により求めた。

$$Q_{su} = \left( \frac{0.068\rho_t^{0.23}(18 + F_c)}{(M/Q \cdot d) + 0.12} + 0.85\sqrt{\rho_{ws}\sigma_{wys} + \rho_{wf}\sigma_{fd} + 0.1 \cdot \sigma_0} \right) b \cdot j \quad (1)$$

ここで、 $\rho_t$ :引張鉄筋比(%),  $M/Qd$ :せん断スパン比,  $\rho_{ws}$ :帯鉄筋比,  $\rho_{wf}$ :シートの置換せん断補強筋比,  $\sigma_{wys}$ :帯筋降伏強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_{fd}$ :シートのせん断設計用引張強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_0$ :軸応力度(N/mm<sup>2</sup>),  $j$ :応力中心間距離(mm)である。また、終局強度時の変形については、シートによるせん断破壊の抑制効果を考慮して、次式によりシートの破断点変位 $\delta_{fu}$ (mm)を考慮する。

$$\delta_{fu} = (\sigma_f \cdot B) / E_{fd} \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_f$ :シートの規格引張強度(N/mm<sup>2</sup>),  $E_{fd}$ :シートの規格ヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)である。

Fig.2にコンクリートの圧縮応力度-ひずみ度関係を示す。本研究では、細谷らの研究<sup>[2]</sup>に基づいて炭素繊維シートの拘束効果による圧縮強度の向上と圧縮強度時ひずみの増大を考慮した。さらに、終局時のひずみ

については、圧縮強度到達後、20%強度低下した時のひずみを採用した。

Fig.3に炭素繊維シート補強されたRC造柱の概要および解析結果を示す。ここでは、水野らの研究<sup>[3]</sup>から、全面補強試験体を解析対象とし、炭素繊維シート補強された柱のモデル化の妥当性を検討する。また、図中には鋼板巻き立て補強をモデル化した場合の解析結果を併せて示す。鋼板巻き立て補強モデルでは、耐力を過大評価する一方で、炭素繊維シート補強モデルは、最大耐力ならびにポストピーク挙動について、実験結果と概ね良好な対応を示した。

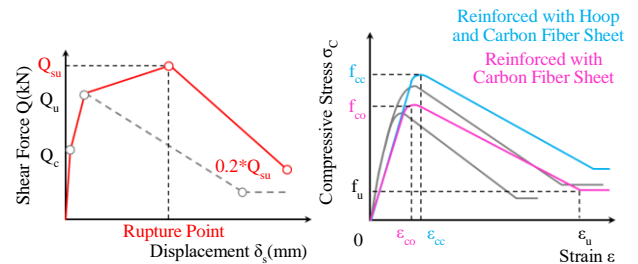


Fig.1 Shear Sub Element

Fig.2 Constitutive Laws of the Concrete

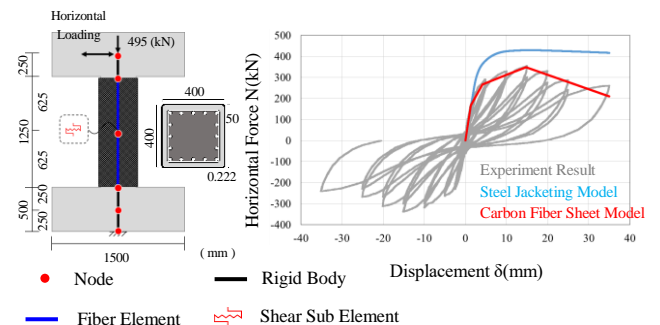


Fig.3 Analysis Results of Carbon Fiber Sheet Columns

3. 炭素繊維シートの補強効果に関する検討

Table1 に炭素繊維シートの材料特性を示す。本検討では耐震改修設計指針<sup>[1]</sup>に示される炭素繊維シートの諸元を採用した。

Table1 Material Properties of Carbon Fiber Sheet

Carbon Fiber Sheet Thickness	0.111 [mm]
Young's Modulus of Carbon Fiber Sheet	$2.3 \times 10^5$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Tensile Strength of Carbon Fiber Sheet	3400 [N/mm <sup>2</sup> ]

Fig.4 に1番目に軸破壊したC<sub>22</sub>柱に対してシートを2層巻きにした場合 ( $\rho_{wf} = 0.08\%$ ) の解析結果として、ベースシア-1層層間変形角関係を示す。C<sub>22</sub>柱のみ補強したことにより、最大耐力到達後のポストピーク挙動において耐力低下が緩やかになった。これは、炭素繊維シート補強により、せん断破壊のタイミングが遅れるとともに、軸破壊が防止され、層全体の崩壊挙動も緩やかに進展したためであると考えらる。

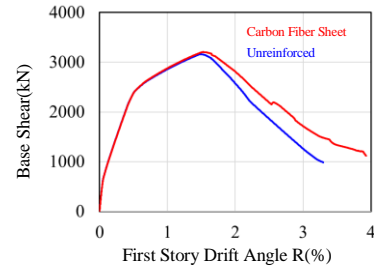


Fig.4 Q-δ Relationships

Fig.5 に柱の軸破壊順序の解析結果を示す。ここでは、前報 (その 1) に示した無補強骨組の結果も併せて示す。C<sub>22</sub>柱は補強によって軸破壊が生じないと仮定しているため、修正軸限界曲線と交差した後も負担軸力が増大し続けている。これにより、無補強骨組と比較して、C<sub>22</sub>柱に隣接するC<sub>21</sub>およびC<sub>23</sub>柱の負担軸力が一時的に減少する傾向が確認できる。また、層間変形角4%に至るまでC<sub>12</sub>柱が軸限界曲線に到達せず、軸破壊が生じない結果となった。

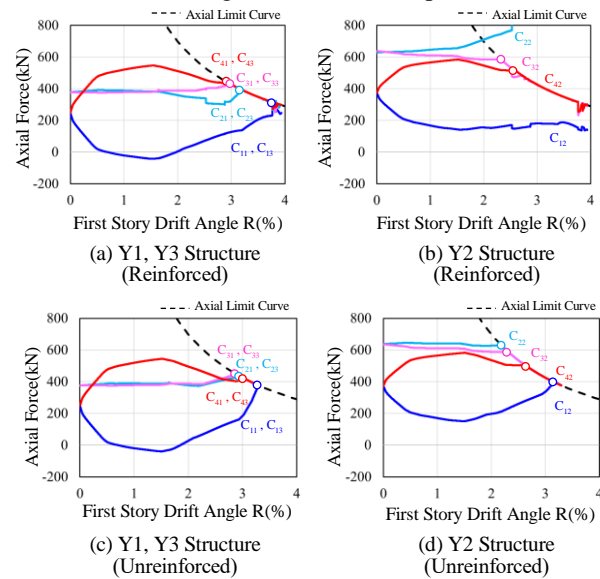


Fig.5 Axial-δ Relationships

Fig.6 に骨組の崩壊図を示す。補強したC<sub>22</sub>柱が軸破壊しないため、最初にC<sub>32</sub>柱が軸破壊した。その後、隣接するC<sub>42</sub>柱が軸破壊に至り、連鎖的に載荷方向に対して圧縮側となる柱が軸破壊に至った。これにより、1層が部分崩壊に至ったと考えられ、この時の層間変形角は3%近傍であった。これより、最初に軸破壊する柱1本のみを炭素繊維シート補強した結果、崩壊形が層崩壊から部分崩壊に変化した崩壊自体は防ぐことができず、崩壊に至る変形角にも大きな違いが見られない結果となった。したがって、柱1本だけの補強では不十分であり、今後、補強本数の増加および補強順序に着目し、最小の補強本数で層崩壊を防ぐことが可能な補強方法について検討する必要がある。

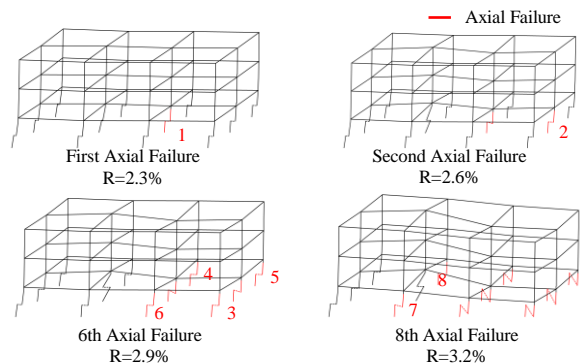


Fig.6 Displacement

4. まとめ

本報 (その 2) では、3層骨組モデルに対して最初に軸破壊した柱1本のみ炭素繊維シート補強を施し、その補強効果について検討した。その結果、最大耐力以降のポストピーク挙動において、耐力低下が緩やかとなる一方、骨組が部分崩壊となり、崩壊挙動を防ぐことはできなかつた。また、部分崩壊に至る変形角も無補強時から増大せず、その補強効果は限定的であったと考えられる。今後は、補強本数と補強順序に関するパラメトリックスタディを行い、最小の補強量で層崩壊を防ぐ手法について検討する。

5. 参考文献

[1] 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説, 2017  
 [2] 細谷学, 他: 炭素繊維シートで横拘束したコンクリート柱の応力度~ひずみ関係に及ぼす既存帯鉄筋の影響とその定式化, 土木学会論文集, No.620/V-43, 25-42, 1999.5  
 [3] 水野生, 他: 低強度コンクリート RC 柱に対する炭素繊維シート補強による補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2,