

炭素繊維シートによってせん断補強した中柱の靱性評価

0317021 大石 隼也

指導教員 吉川 弘道

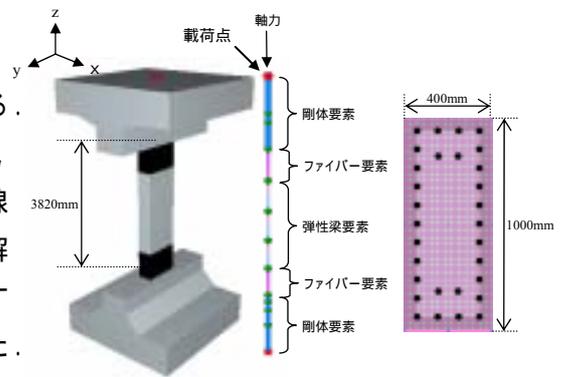
1. はじめに

兵庫県南部地震において、耐震性が高いと考えられていた地中構造物に甚大な被害が生じた。特に大開駅におけるボックスカルバート構造を有する地下鉄駅舎では、中柱にせん断破壊あるいは曲げせん断破壊が生じたことで駅舎全体が崩壊した。このような脆性的破壊を防ぐため、兵庫県南部地震以降、施工性に優れるという観点から連続繊維シートを用いた耐震補強が注目されるようになった。既存の中柱を有する地下鉄駅舎においても各種の補強が施されている。そこで本研究では、炭素繊維シートによる地下鉄中柱の補強に着目し、補強が耐力、靱性に与える影響について解析的検討を行った。

2. 解析概要

解析対象とした構造物は神戸高速鉄道・大開駅における中柱である。

図 1 に解析モデルとして中柱の(a) 概観図, (b) 骨組み, (c) 断面を、表 1 に中柱の諸元, 表 2 に検討ケースを示す。本研究では、材料非線形を考慮した立体骨格モデルを用いた静的プッシュオーバー解析(解析コード:Flame3D)を実施した。非線形を期待するため応力の集中する柱両端部はファイバー要素を用い、他の部分は弾性梁要素を用いた。上床版および下床版とハンチ部分は剛結とし、剛体要素を用いた。ファイバー要素断面は 0.02m でセル分割し、分割した各セルに材料履歴モデルを与えた。材料履歴モデルの骨格特性については道路橋示方書・同解説 耐震設計編に準じて設定しており、炭素繊維シートを使用する場合は JH 設計要領第二集(H9)に準じて設定した。境界条件については、下床版は完全固定とし、載荷点である上床版は x 方向を自由とし、それ以外の方向を固定とした。上床版には上載荷重および土被り荷重として軸力 800kN を作用させ、変位制御により x 方向に変位を増加させていった。



(a) 概観図 (b) 骨組み (c) 断面

図 1 解析モデル

表 1 中柱諸元¹⁾

断面	(mm)	400×1000
コンクリート	圧縮強度 (N/mm ²)	24
	径 (mm)	φ32
軸方向筋	鉄筋比 (%)	4.8
	降伏強度 (N/mm ²)	235
	径および間隔 (mm)	φ9@350
帯鉄筋	鉄筋比 (%)	0.09
	降伏強度 (N/mm ²)	235
軸力	(kN)	800

表 2 検討ケース

補強方法	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	シート1層当りの厚さ (mm)
case0	—	—	—
case1	—	—	0.025
case2	—	—	0.050
case3	—	—	0.075
case4	炭素繊維巻き立て	3400	2.45×10 ⁵
case5	—	—	0.125
case6	—	—	0.150
case7	—	—	0.175
case8	—	—	0.200

3. セル分割型 Fiber Model を用いた解析手法²⁾

セル分割型 Fiber Model では、コンクリート構成則より応力 - ひずみ関係で損傷の評価を行う。図 2 にコンクリート材料の特性と損傷レベルを示す。道示 - , JH2 では終局点をタイプ では最大圧縮応力点 (σ_{cc})、タイプ では σ_{cc} 以降 0.8 倍の位置に達した点と規定している。終局点以降は、コアコンクリートの場合は、帯鉄筋による横拘束効果が得られるため、 $0.2\sigma_{cc}$ を破壊点とし、それ以降を一定とした。かぶりコンクリートの場合は、横拘束効果が得られないため $0\sigma_{cc}$ を破壊点としている。最大圧縮ひずみ ϵ の大きさに応じ、式(1)²⁾に示す 4 段階に区別して示している。本研究では道示 - , JH2(タイプ) の σ_{cc} 以降 0.8 倍の位置に達した点を終局とし損傷の評価を行った。

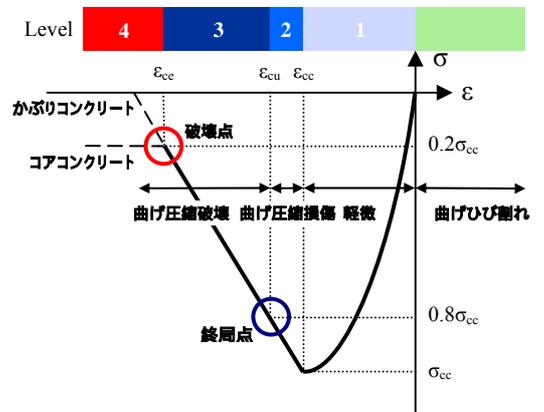


図2 応力 - ひずみ曲線と損傷レベル²⁾

$$\begin{aligned}
 \text{Level1 } \epsilon_{cc} > \epsilon \\
 \text{Level2 } \epsilon_{cu} > \epsilon \\
 \text{Level3 } \epsilon_{cc} > \epsilon \\
 \text{Level4 } \epsilon > \epsilon_{cc}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

4. 解析結果

4.1 応力 - ひずみ履歴による終局判定

図3に各ケースにおけるコアコンクリート最外縁での応力 σ - ひずみ ϵ の履歴を示す、各ケースの最大圧縮応力の値に大きな違いはなく、最大圧縮応力に達するまでほぼ同様の履歴をたどるが、最大圧縮応力に達した時点から終局を迎えるまでの履歴には大きな違いがあり、炭素繊維シートの巻き立て量が多い程、終局時のひずみの値が大きくなるため変形性能が高いといえる。図4に case0, 4, 8 の3ケースの $4\delta_y$, $8\delta_y$, $12\delta_y$ 時における断面の損傷度を示す。case0 は $4\delta_y$ 時には終局に至っているが、補強を施した case4, case8 では終局に至らなかった。 $12\delta_y$ 時では case4 が終局に至っているが case8 は $12\delta_y$ 時においても終局に至らず、補強を施すことで損傷の進展を留める結果になった。しかし、case8 はさらに δ が大きくなると終局前に鉄筋の座屈が生じた。

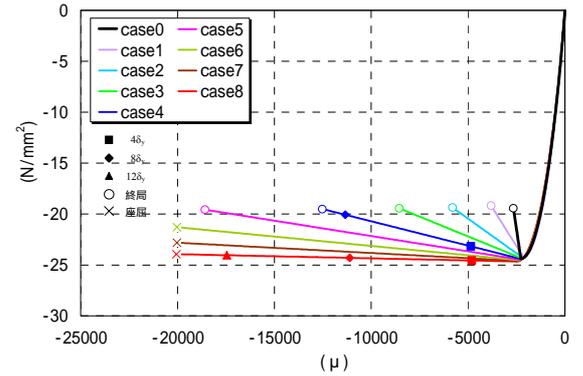


図3 - 履歴

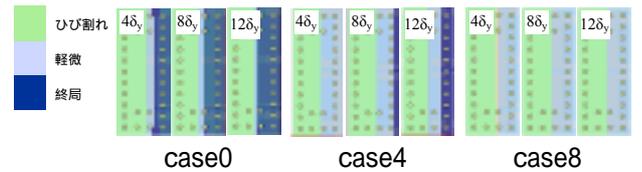


図4 断面損傷度

4.2 破壊形式の判定

図5に破壊形式の異なる case0, 4, 8 の3ケースにおける層間変形角 R と曲率 ϕ 、層間変形角とせん断力 V の関係を示す。図中に示したせん断耐力 V_y はコンクリート標準示方書[構造的性能照査編]³⁾による式から算出されたものである。無補強の case0 は、部材の持つ保有性能からせん断破壊を起こすと考えられる。補強を施した case4 は炭素繊維シートによるせん断耐力負担によりせん断破壊を起こさず終局に至るため靱性も大きくなり曲げ破壊になると考えられる。case8 は炭素繊維シートによるせん断耐力負担がさらに大きく、せん断破壊を防ぐことができるため靱性は大きくなったが、終局に至る前に鉄筋の座屈が生じたため危険な破壊となった。

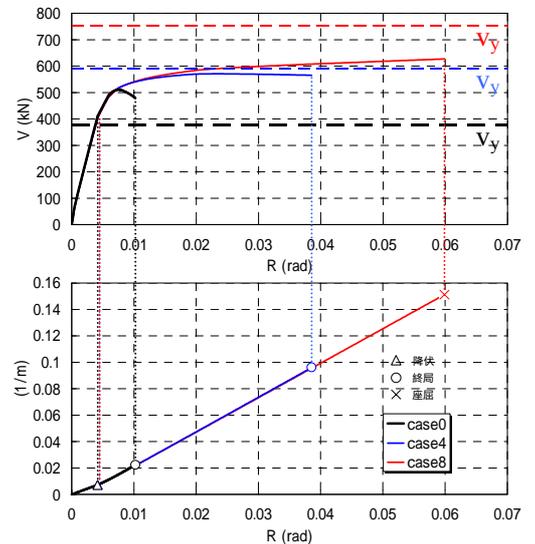


図5 R - ϕ , R - V 関係

4.3 μ_R - 関係

図6に部材に対する炭素繊維シートの体積比 ρ と靱性率 μ_R の関係を示す。なお、 μ_R は層間変形角によるものである。図より ρ の増加に伴い μ_R も増加する傾向を示した。また ρ の値により破壊形式を分類することができ、 $\rho < 0.1\%$ ではせん断破壊、 $0.1\% < \rho < 0.15\%$ では曲げ破壊、 $0.15\% < \rho$ では座屈が生じることが分かった。以上のことは、炭素繊維シートを巻くことでせん断破壊を防ぎ、靱性を向上させることができるが、巻き立て量により破壊形式が異なるため巻き立て量の選定には十分な検討が必要であることを示唆するものである。

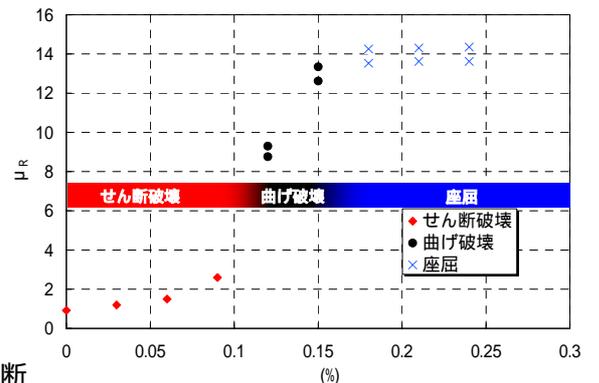


図6 μ_R - 関係

5. 結論

・炭素繊維シートによる横拘束効果を期待した巻き立て補強は、せん断破壊を防ぎ、靱性を向上させる。

・しかし、巻き立て量により破壊形式が異なるため巻き立て量の選定には十分な検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 佐藤工業株式会社:神戸高速鉄道東西線『大開駅災害復旧の記録』,平成9年1月
- 2) 牧原成樹:単軸および2軸曲げを受けるRC柱部材の耐震性能評価,平成17年度武蔵工業大学修士学位論文
- 3) 土木学会:コンクリート標準示方書[構造的性能照査編],平成14年3月