

FRP によるコンクリート構造物の補強設計法の比較（じん性補強）

北武コンサルタント（株） 正会員 ○渡辺 忠朋
 （株）大林組 正会員 佐々木 一成
 ドーピー建設工業（株） 正会員 立神 久雄

1. はじめに

連続繊維シートによる鉄筋コンクリート部材のじん性補強設計式は、各指針や材料によって異なっている。そこで各指針のじん性の評価方法を整理し、考え方の違いをまとめた。

2. 対象とした指針

対象とした指針を表 1 に示す。公的機関が発行している指針を対象とし、連続繊維シート工法について比較した。

表 1 対象とした指針

	発行者	指針名称	発行年月
1	土木学会	連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針	2000 年 7 月
2	鉄道総研	炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針	1996 年 7 月
3	〃	アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針	1996 年 11 月
4	NEXCO	設計要領第二集 [橋梁保全編]	2011 年 7 月
5	日本建築学会	連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案	2002 年 3 月
6	ACI	Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures	2008 年 7 月

3. 設計体系

土木学会および鉄道総研の指針ではじん性率の評価式がある。一方、NEXCO および ACI の指針では連続繊維シート補強による拘束効果をコンクリートの応力度－ひずみ関係に考慮することにより終局変位を求め、じん性率を計算することになる。じん性設計では部材の応答塑性率がじん性率より小さいことを照査する。

4. 評価式の比較

(1) じん性率評価式

じん性率の評価式が示されている以下の指針の比較を表 2 に示す。

表 2 各指針におけるじん性率評価式

	発行者	じん性率 評価式	適用工法
A	土木学会	$\mu_{fd} = \left[1.16 \cdot \frac{(0.5 \cdot V_c + V_s)}{V_{mu}} \cdot \left\{ 1 + \alpha_0 \frac{\varepsilon_{fu} \cdot \rho_f}{V_{mu} / (B \cdot z)} \right\} + 3.58 \right] / \gamma_{bf} \leq 10$	連続繊維シート
B	鉄道総研	$\mu_{CFd} = 2.8 + 1.15 \cdot \frac{V_{CFyd} \cdot l_a}{M_{CFud}} \leq 10$	炭素繊維シート
C	〃	$\mu_{AFd} = 2.2 + 3.2 \cdot \frac{V_{AFyd} \cdot l_a}{M_{AFud}} \leq 10$	アラミド繊維シート
D	日本建築学会	$\mu = 10 \left(\frac{Q_{suo}}{Q_{mu}} - 0.9 \right), \quad \text{ただし } 1 \leq \mu \leq 5$	連続繊維シート

いずれの評価式も実験データから導いた経験式となっている。鉄道総研式および建築学会式はせん断余裕度の一次関数となっている。土木学会式については、補強前（RC 部材のみ）のせん断余裕度に補強後（RC+FRP）のせん断余裕度を乗じた値とじん性率の関係から評価式を導いている。これは炭素繊維、アラミド繊維両方の実験データから得られた式であり、補強材料の種類によらず 1 つの式で評価するために提案されている。

キーワード 連続繊維シート、じん性補強、鉄筋コンクリート部材

連絡先 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7 丁目 4 番 7 号 北武コンサルタント株式会社 TEL011-851-3181

各指針の評価式を、補強後のせん断余裕度とじん性率の関係にして比較すると図1のようになる。土木学会式については部材係数を1.0とし、補強前のせん断余裕度0.5, 1.0, 1.5, 2.0について示した。建築学会式はせん断余裕度の違いがじん性に及ぼす影響が大きいが上限が $\mu=5$ であるため、他の指針と比較すると控えめである。土木学会式については補強前のせん断余裕度によってじん性が異なることがわかる。

(2) 連続繊維シートで補強されたコンクリートの

応力度－ひずみ関係

今回対象とした指針のうち、NEXCO 指針およびACI 指針では、連続繊維シートで補強されたコンクリートの応力度－ひずみ関係を示している(図2, 図3)。NEXCO 指針は道示Vの式を基本とし、FRPを横拘束鉄筋に換算して拘束効果を考慮する式となっている。ACI 指針においても拘束効果を考慮している。

じん性に影響する終局ひずみは表3のとおりである。

表3 各指針における終局ひずみ評価式

	発行者	終局ひずみ 評価式
E	NEXCO	$\varepsilon_{cu} = \varepsilon'_{cc} + \frac{0.2\sigma'_{cc}}{E'_{des}}$ $\varepsilon'_{cc} = 0.002 + 0.033\beta \left(\rho_s \sigma_{sy} + \frac{E_{CF}}{E_s} \rho_{CF} \sigma_{CF} \right) \frac{1}{\sigma_{ck}}$ $\sigma'_{cc} = \sigma_{ck} + 3.8\alpha \left(\rho_s \sigma_{sy} + \frac{E_{CF}}{E_s} \rho_{CF} \sigma_{CF} \right)$
F	ACI	$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.50 + 12\kappa_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right)$ $f'_{cc} = f'_c = \Psi_f 3.3\kappa_a f_l$

5. まとめ

対象とした6指針について、じん性の評価方法を整理し、じん性率を評価式によって求める方法と応力度－ひずみ曲線から求める方法に区別した。それぞれの評価方法の特徴は以下のとおりであった。

- ・じん性率の評価式はせん断余裕度の一次関数で表わされ、指針や材料によって差が見られる。
- ・応力度－ひずみ曲線には連続繊維シートによる拘束効果が考慮されている。

参考文献

- 1) (社)土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，コンクリートライブラリー101，2000
- 2) (財)鉄道総合技術研究所：炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計施工指針，1996
- 3) (財)鉄道総合技術研究所：アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計施工指針，1996
- 4) 東日本・中日本・西日本高速道路(株)：設計要領第二集[橋梁保全編]，2011
- 5) (社)日本建築学会：連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案，2002
- 6) ACI Committee440：Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures，ACI 440.2R-08，2008
- 7) 勝木太，丸山久一，睦好宏史，樋口昇：連続繊維シートで補強された部材のじん性率照査式に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，2000

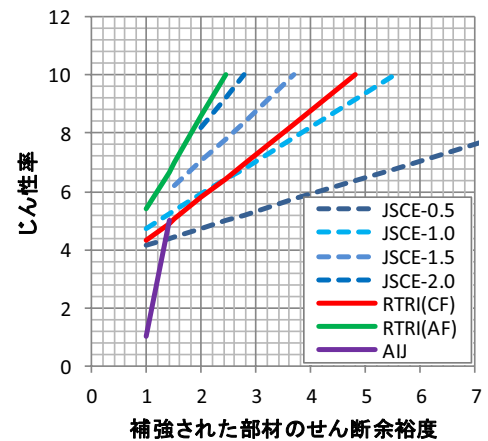


図1 せん断余裕度とじん性率の関係

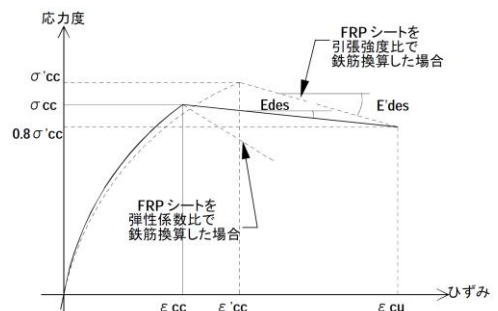


図2 応力度－ひずみ曲線(設計要領第二集)

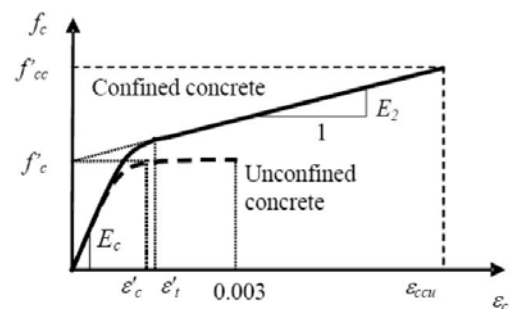


図3 応力度－ひずみ曲線 (ACI)