

地震により損傷を受けた RC 柱の初期剛性算定方法に関する検討

正会員 (財) 鉄道総合技術研究所
正会員 北武コンサルタント (株)

○仁平達也 谷村幸裕 岡本大
渡辺忠朋

1. はじめに

本論文では、地震により損傷を受けた RC 部材を対象として、セメント系材料で損傷を受けた塑性ヒンジ部の断面修復をした場合と、塑性ヒンジ部をひび割れ注入のみで補修した場合の初期剛性算定方法を構築し、その妥当性について検討した。

2. 修復後の RC 部材の初期剛性の算定方法

2.1 算定方法の概要

既往の研究¹⁾において、修復した RC 試験体は、変位 0 から最大荷重点まで極端に剛性が変わらずに荷重が上昇する傾向がみられた。これは、ひび割れ注入を施してもひび割れが完全に閉塞しないこと、軸方向鉄筋が既に降伏しているため明確な降伏点が表れないこと等に起因していると考えられる。そこで、図-1 に示すように、修復後の RC 部材の初期剛性 (K_I) を、原点と初期損傷時の降伏荷重点 (Y 点) と同一荷重点 (Y_R 点) とを結ぶ割線で定義することとした。 Y_R 点の部材角 (θ_{yR}) は、初期損傷時と同様に、図-2 に示すように、く体の部材角 (θ_{y0}) と伸出し量 (θ_{yl}) の和により算出されたとした。く体の部材角 (θ_{y0}) は、基部より 1.0D (D は断面高さ) までの塑性ヒンジ部 (θ_{yp}) と、塑性ヒンジ部以外の区間 (θ_{yb}) の 2 つの領域から算出するとして、修復後の RC 部材の曲率分布は、塑性ヒンジ部以外 (θ_{yb}) は過去の損傷履歴を考慮するとして、塑性ヒンジ部 (θ_{yp}) は一定であるとした。塑性ヒンジ部の剛性は、過去の損傷履歴を考慮するだけでなく、補修に用いた材料諸元や初期損傷時との断面形状の相違を考慮するとして、なお、塑性ヒンジ部に施したひびわれ注入材は、剛性にあまり寄与しないことから考慮しないとした。また、伸出し (θ_{yl}) は、初期損傷時の伸出し量と同一とした。

2.2 伸出しによる部材角 (θ_{yl}) の算出方法

伸出しによる部材角 (θ_{yl}) は、初期損傷時の伸出しによる部材角 (θ_{yl}) と同一とする。

2.3 塑性ヒンジ部以外の曲げ変形による部材角 (θ_{yb}) 算出方法

塑性ヒンジ部以外の曲げ変形による部材角 (θ_{yb}) は、図-3 に示すように、塑性ヒンジ部最上部で降伏曲げモーメントとなる部材の再載荷時の曲げ剛性³⁾とほぼ等価であるとして、2 階積分することにより算出する。

2.4 塑性ヒンジ部の部材角 (θ_{yp}) の算出方法

塑性ヒンジ部の部材角は、断面修復材の置換率を考慮して定まる曲げ剛性 ($E_R I_R$) と修復前に経験した最大部材角に依存するとして (式 (1))、

$${}_R \theta_{yp} = \left(\frac{E_N I_N}{E_R I_R} \right) \times \left(\frac{\theta_{max}}{N \theta_y} \right)^\beta \times N \theta_{yp} \quad (1)$$

ここで、 ${}_R \theta_{yp}$: 修復後の塑性ヒンジ部の降伏部材角、 E_R : 修復後の断面修復材のヤング係数、 E_N : 無損傷時のコンクリートのヤング係数、 I_R : 無損傷時の断面 2 次モーメント、 I_N : 修復後の断面 2 次モーメント、 θ_{max} : 修復前に経験した最大部材角、 $N \theta_y$: 無損傷時の降伏部材角、 β : 剛性低下率、 $N \theta_{yp}$: 無損傷時の塑性ヒンジの降伏部材角

E_N/E_R は、既設コンクリートと補修材料のヤング係数の相違、および補修による断面広幅の影響を示すものである。また、鋼板巻き立て補強、シート巻き立て補強等を施した場合には、これらの形状とヤング係数の影響を考慮する。

θ_{max}/θ_y は、修復前に経験した最大部材角が修復後の部材の剛性へ及ぼす影響を示すものである。

β は、補修方法が剛性に与える影響を示すものである。 β は補修方法ごとに値が異なると推測されるため、補修方法に応じた適切な β の値について検討した。

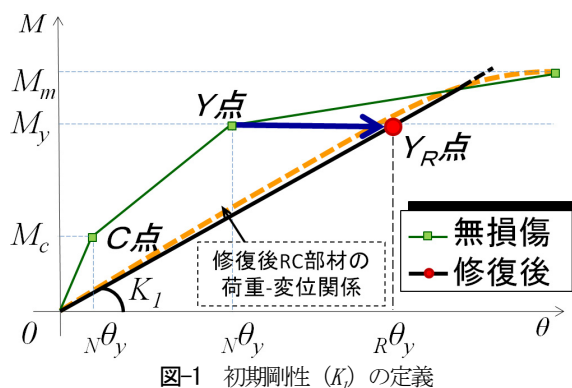
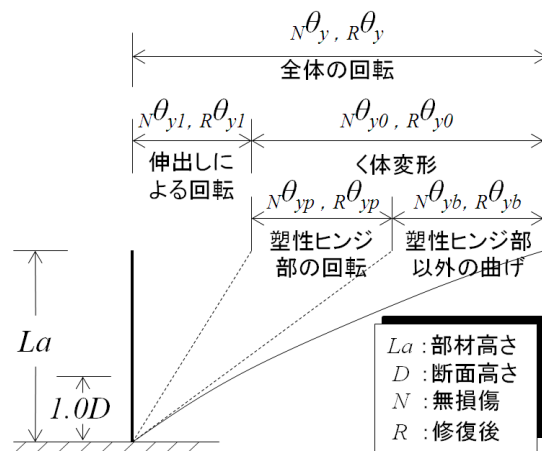
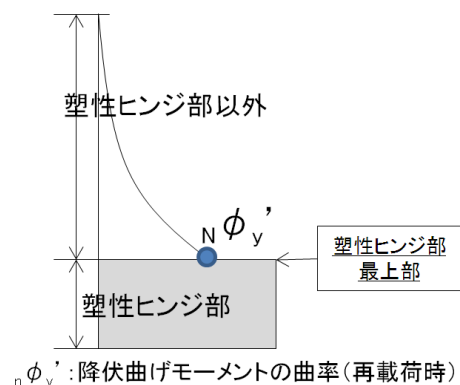
図-1 初期剛性 (K_I) の定義図-2 初期剛性における部材角の算定²⁾

図-3 塑性ヒンジ部以外の曲率の設定

キーワード: RC 部材 初期剛性 修復

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部コンクリート構造 Tel 042-573-7281

表-1 検討に用いた試験体

No.	試験体	$\varepsilon\theta_{max}$ ($n \cdot \delta_y$)	損傷 程度	H_{max}	B_{max}	基部 拡幅	H_{Rmax}	B_{Rmax}	補修 方法	断面修復 材料	断面修復 方法	備考
1	1-M	3	座屈なし	900	900	なし	900	900	断面 修復	無収縮 モルタル	左官工法	
1-2	1-MM	5	座屈軽微	900	900		900	900			型枠充填 工法	
2	2-M	6	座屈	900	900		1000	900				
2-2	2-MM	6	座屈	900	900		1015	900				
3	3-SJ	6	座屈	900	900		1010	960				鋼板巻き (厚さ 6mm)
5	5-C	8	座屈	900	900		900	900		コンクリート		塑性ヒンジ領域全置換
8	2.0-R-3	3	座屈なし	380	1140		380	1140	注入	—	—	
9	2.0-R-5	5	座屈なし	380	1140		380	1140				
10	2.0-M-5	5	座屈軽微	380	1140		380	1140	断面 修復	無収縮 モルタル	型枠充填 工法	
11	2.0-M-7	7	座屈軽微	380	1140		380	1140				
12	4.0-R-4	4	座屈なし	800	2400		800	2400	注入	—	—	
13	4.0-R-6	6	座屈なし	800	2400		800	2400				
17	C2	6.93	座屈	300	300	あり	366	351	断面 修復	ポリマーセメ ントモルタル	左官工法	
18	C3	6.97	座屈	300	300		360	341		無収縮 モルタル		繊維シート巻き (厚さ 4mm)

※ H_{max} : 初期損傷時の断面高さ, B_{max} : 初期損傷時の断面幅 H_{Rmax} : 修復・再修復時の塑性ヒンジ部の最大断面高さ, B_{Rmax} : 修復・再修復時の塑性ヒンジ部の最大断面幅
※No.1-2 はNo.1 を修復した試験体, No.2-2 はNo.2 を修復した試験体である. ※No.8 とNo.9, No.12 とNo.13 は注入のみであるため, 式(1)の I_R は I_0 と同一であるとした.
※No.10, No.11 およびNo.14~No.18 は置換率のデータがないため, 塑性ヒンジ領域は平均で最外縁軸方向鉄筋の裏側位置まで断面修復材が置換されているものとした.

3. 剛性低下率 β に関する検討

表-1 に示す試験体を用いて検討した¹⁾. No.1~No.5 は, 基部の断面拡幅はないが, 損傷状況に応じて基部から 80mm より上部から約 1.0D までの範囲については断面拡幅しており, 拡幅部分が初期剛性に寄与することが無視できないとした. 一方, No.8 以降は, 塑性ヒンジ領域の断面修復材の置換率のデータがないため, 最外縁軸方向鉄筋の裏側まで置換されているものとして計算した. そのため, これらの結果にはある程度の誤差要因を含むと考える.

図-4 に, セメント系材料で断面修復を施した場合の β と初期剛性の実験値/計算値の関係を示す. 図に示すように, 型枠充填工法を選択した試験体は $\beta=0.3\sim0.4$ で実験値を評価できる結果となった. $\beta=0.3$ で評価出来る試験体は, 軸方向鉄筋の座屈が軽微な No.1-2, No.10 と No.11 であり, $\beta=0.4$ で評価出来る試験体は, 座屈が進行していた No.2, No.2-2, No.5 であった. 修復前の損傷が進行するに従って, β が大きくなる傾向が見られたのは, 修復前の既設コンクリートの損傷状態に起因するものと考ええる. 一方, 左官工法を選択した No.1 と No.17 は, $\beta=0.4$ の計算値よりも実験値が小さい結果となった. 左官工法は, 型枠充填工法に比べて既設コンクリートと補修材の一体性が十分に確保できなかったこと等に起因していると考えられる. また, 鋼板巻立て補強を実施した No.3 と, 繊維シート巻立て補強を実施した No.18 についても, 補強材の形状や剛性を考慮することにより $\beta=0.3\sim0.4$ で実験値を評価出来る結果となった.

図-5 に, 塑性ヒンジ部をひび割れ注入のみで補修した場合の β と初期剛性の実験値/計算値の関係を示す. 図より, $\beta=0.5$ で実験値を概ね評価できる結果となり, 断面修復の場合と比べ, β の値が大きくなった. 注入による補修では, コンクリート表面付近のひび割れの一部を閉塞することに留まったため, 剛性に寄与しなかったと考えられる.

4. まとめ

- 過去の損傷履歴と補修方法を考慮した, 補修後 RC 部材の初期剛性算定方法を提案した.
- 補修方法ごとの剛性低下率 β を実験結果から設定した.

参考文献

- 仁平達也, 渡辺忠明, 滝本和志, 笹谷剛晴, 土屋智史, 原夏生, 谷村幸裕, 岡本大, 損傷履歴を考慮した修復部材の性能評価に関する一考察, 土木学会論文集E, Vol. 65, No. 4, pp.490-507, 2009.11
- (財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計), 丸善, 1999.10
- 湧井一, 松本信之, 渡辺忠明: たわみ量の算定におけるコンクリート桁の曲げ剛性評価法, 鉄道総研 報告, Vol.5, No.11, pp.55-62, 1991.11

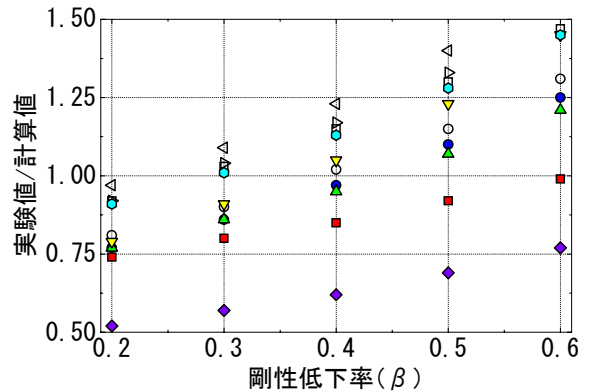
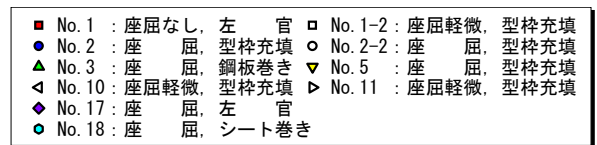


図-4 剛性低下率 β と実験値/計算値の関係 (セメント系による断面修復)

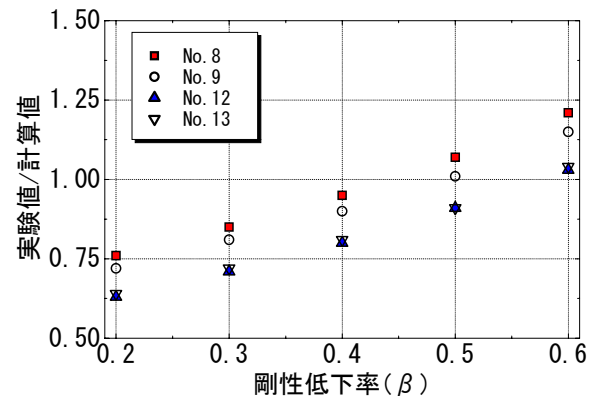


図-5 剛性低下率 β と実験値/計算値の関係 (塑性ヒンジ部のひび割れ注入)