

交番載荷試験における RC 柱のポストピーク挙動に関する考察

東海旅客鉄道(株) 正会員 ○稲熊 弘 フェロー 関 雅樹

1. はじめに

鉄道高架橋の柱部材は、大規模地震動により大変形領域に及ぶ損傷が生じることが報告されている。このため、耐震補強に関する多くの研究が実施されてきた。著者らは、既存の鉄道高架橋の柱を対象とした補強・復旧効果の確認¹⁾、補強範囲の検証、土被りの拘束効果の確認の交番載荷試験を実施してきた。これらの実験では、降伏荷重の50%低下までのポストピーク領域の交番載荷を実施した。一方、L2地震動に対する高架橋の応答解析では、この負勾配領域の剛性低下が未だ推定の範囲であるのが実態である。本研究では、これらの大変形領域までの実験結果を分析し、ポストピーク領域における変形挙動に大きな影響を及ぼす要因について中間報告する。

2. 実験概要

(1) 試験体の諸元

分析対象とした試験体数は20体である。試験体の諸元と載荷条件を表1に示す。試験体TCシリーズとSシリーズは、実高架橋柱の1/2縮小モデル（柱断面30cm角、せん断スパン $l_a=1.45\text{m}$ ）であり、Mシリーズは実物大モデル（柱断面60cm角、 $l_a=2.90\text{m}$ ）である。柱部の補強方法は、鋼板巻き補強とポリエステル繊維巻き補強（以下、SRF補強）の2種類である。補強範囲は、柱全長補強、柱下端1D区間（D：柱幅）補強省略、0.5D区間補強省略の3種類であり、さらに、無補強区間に土層により土拘束力の有無の違いがある。試験体の材料試験値を表2に示す。

表1 試験体の諸元と載荷条件

試験体 No	試験体 模擬部	引張 鉄筋比 P _t (%)	柱部補強前 の破壊形態	柱部材の 補強種別	柱部補強範囲	柱基部の土拘束 の有無・拘束範囲	載荷 方向	載 荷 繰返し 回 数	軸 力 増載荷 の有無	
TC1	柱下端 柱上端	0.981	曲げ破壊	無補強	-	無し	橋軸 直角	正負1回	有り	
TC2								正負3回	無し	
TC3										
TC4										
TC5										
TC6										
TC7			せん断破壊	鋼板巻き	柱部全長	無し	橋軸 直角	正負1回	有り	
TC8									無し	
TC9									有り	
TC10									有り	
TC11									無し	
SNF1	柱下端	0.981	せん断破壊	SRF補強	1D区間を除く柱部	無し	橋軸 直角	正負3回	有り	
SNF2				鋼板巻き	柱基部から1D					
SGF1				SRF補強	1Dから上方の柱部					
					乾燥5号珪砂 1D区間					
SGF2				SRF補強	1D区間を除く柱部					湿潤5号珪砂 0.5D区間
SNP1					1D区間を除く柱部					無し
SGP1				鋼板巻き	0.5D区間を除く柱部					湿潤5号珪砂 0.5D区間
MNF1				柱下端	0.980					せん断破壊
MGF1	土強度 0.4N/mm ² 1D区間									
MGF2	土強度 1.1N/mm ² 1D区間									

(2) 載荷方法

載荷方法は静的交番載荷であり、各試験体の降伏変位を基準とした変位制御である。交番載荷中の軸力は、地震時に付加する荷重相当の一定軸力（3.27N/mm²）を作用させ、各載荷ステップ負側載荷後の水平荷重開放時には、列車が複線載荷した状態に安全率を加えた荷重相当分（4.69N/mm²）の軸力を一時的に載荷させている。

3. 実験結果に対する考察

荷重 - 変位履歴曲線における包絡線を図1～3に示す。なお、繰返し回数が3回ずつの試験体については、3回目の荷重 - 変位点で包絡線を描いている。なお、著者らは、繰返し回数の違いがポストピーク挙動に及ぼす影響については報告²⁾している。

(1) 無補強試験体と補強試験体の比較（TCシリーズ）

試験体形状、繰返し回数、載荷方向が異なるTC1、TC2、TC8を除く、無補強試験体TC3～TC7と補強試験体TC9～TC11は、最大耐荷点（以下、M点）からポストピーク領域の降伏荷重点（以下、N点）まで

キーワード：鉄道高架橋，RC柱，交番載荷試験，ポストピーク，変形性能，剛性低下率

〒485 - 0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 TEL (0568)47-5374 FAX(0568)47-5364

の剛性低下程度は概ね類似しており，その剛性低下率は $E_{MN} - 3\text{kN}/10\text{mm}$ である．一方，N 点以降では，TC7 を除く無補強試験体は $E_{NU} - 35\text{kN}/10\text{mm}$ ，補強試験体は $E_{NU} - 8\text{kN}/10\text{mm}$ であり，剛性低下率に大きな差が生じている．そのため，本例では， E_{MN} を N 点以降の勾配 (E_{NU}) に準用することは，過大評価となる．特に，無補強試験体の剛性低下率 E_{MN} と E_{NU} には，大きな差異があった．したがって，N 点を越えるポストピーク挙動を数値解析により照査する場合には，補強の有無により差別化する必要がある．

つぎに，補強方法の比較においては，鋼板巻き補強 TC8，TC9 と SRF 補強 TC10，TC11 は，載荷方向が異なる TC8 を除き，ポストピーク挙動に大きな差異は見られない．

(2) 同一試験体のポストピーク挙動の比較 (TC シリーズ)

試験体諸元も載荷方法も全く同一である試験体 TC5，TC6，TC7 の比較では，N 点までは概ね同じ包絡経路を辿っているが，N 点以降では剛性低下程度に違いが見られる．これは，TC7 の圧縮強度が幾分小さいことが，かぶりコンクリートの剥落の進展を早めたためと思われる．よって，無補強試験体では，N 点以降の変形挙動は，コンクリートの圧縮強度，かぶり厚さも考慮すべき重要な要因である．

(3) 補強範囲の違いによる影響 (S および M シリーズ)

柱全長補強と部分補強の違いによるポストピーク変形挙動について論じる．補強範囲の種類は，柱全長補強，柱下端 1D 区間または 0.5D 区間補強省略の 3 種類と，SNF2 のように柱下端 1D 区間が鋼板巻き補強で，その他の区間が SRF 補強であるものとで比較する．図 2 より補強範囲の違いは，土拘束の有無の違いも含めて，M-N 点間，N 点以降でも，それぞれ類似の変形挙動を示している．しかも，剛性低下率は，図 1 の無補強試験体と類似しており，それぞれ $E_{MN} - 3\text{kN}/10\text{mm}$ ， $E_{NU} - 33\text{kN}/10\text{mm}$ で示される．

つぎに，異種材料の補強方法を併用した場合には，N 点以降の剛性低下割合は，これまでと違い急激に低下していることに留意する必要がある．

(4) 土拘束による影響 (S および M シリーズ)

N 点以降の剛性低下は，上記(3)で記述したように，土拘束の影響は少なく，いずれも類似した低下程度を示している．土の拘束効果としては，N 点までの変形性能の改善に寄与している．これは図 2 の SGF1，SGF2，図 3 の MGF1，MGF2 が土の拘束力により，M-N 点間の変形性能が大きくなっていることで示される．

4. おわりに

本研究は，従来の数値解析において推定であったポストピーク領域の剛性低下率の提案であり，今回，ポストピーク領域における変形挙動に関する考察を述べた．今後さらに実験データを増やし，大変形領域の剛性低下率を提言していく所存である．

【参考文献】

- 1) たとえば，稲熊 弘・関 雅樹：鉄道高架橋柱のポリエステル繊維巻き耐震補強に関する実験的研究，土木学会構造工学論文集，Vol.50A，pp515-526，2004.3.
- 2) 元木澤知紀・稲熊 弘：交番載荷試験における繰返し回数が RC 柱の耐力低下に及ぼす影響，土木学会第 58 回年次学術講演会，V-358，2003.9.

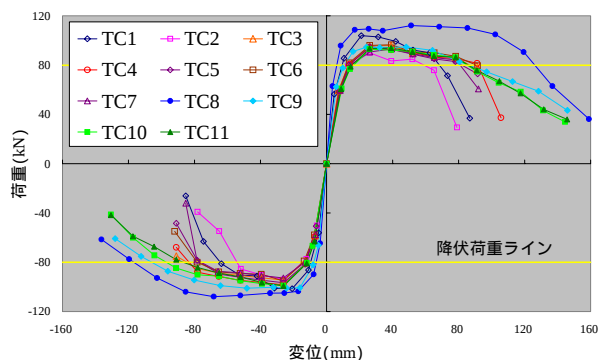


図 1 TC シリーズ試験体の包絡線

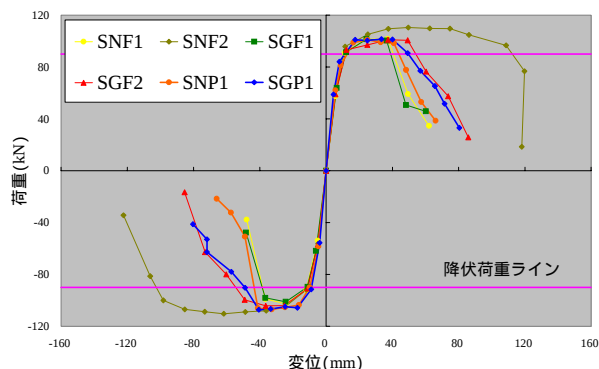


図 2 S シリーズ試験体の包絡線

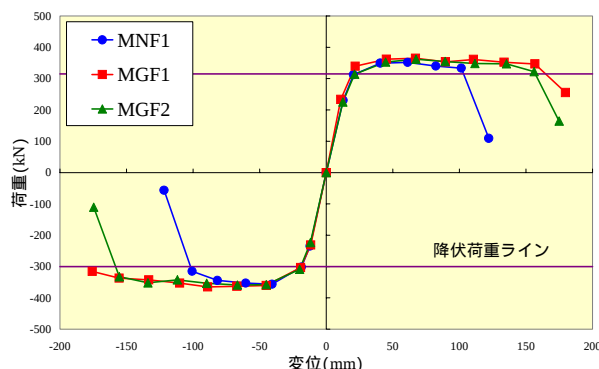


図 3 M シリーズ試験体の包絡線