地震被災後のコンクリート充填鋼管柱に対する残存耐荷力評価

東日本旅客鉄道(株)正会員 ○網谷 岳夫 北武コンサルタント(株) 正会員 阿部 淳一 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 中田 裕喜

<u>1. はじめに</u>

鉄道高架橋の柱において,高架下スペースを有効活用する観点から,コンクリート充填鋼管柱(以下,CFT 柱)が採用される場合がある.CFT 柱の地震時の損傷過程は、多くの交番載荷試験から明らかにされており、 損傷状態として,鋼管の局部座屈,充填コンクリートの損傷,鋼管のき裂が挙げられる.これらのうち,局部 座屈,鋼管のき裂は外部から目視できる損傷であるのに対し,充填コンクリートの損傷は,鋼管の内側である ため地震被災時に調査することが困難である.このような充填コンクリートの損傷が CFT 柱の耐荷力にどの 程度影響するかが明らかでないため、大規模地震被災時において CFT 柱の健全度を判定することは難しい. しかし、大規模な地震被災後の CFT 柱の残存耐荷力を推定して健全度を判定することは難しい. しかし、大規模な地震被災後の CFT 柱の残存耐荷力を推定して健全度を判定することは難して ことを試みる.本稿では、地震時を想定した変位を解析モデルに与えてからプッシュオーバー解析を実施する ことで、地震被災後の CFT 柱の残存耐荷力を評価する.

2. 解析モデルと解析方法の検討

基本計算として,既往の実験結果を再現する解析を行った. 再現する試験体は,池田らの論文¹⁾の K-1 試験体(鋼管径: 269mm,鋼管厚:4.2mm,せん断スパン比:3.0,軸力比:0.21) とした.解析モデルを図1に示す.要素のモデル化はコンクリ ートをソリッド要素,鋼要素はシェル要素で構成した.材料非 線形として,コンクリート要素には,土木学会の複合構造標準 示方書で示されている,コンクリート非直交方向固定/分散ひび 割れモデルを用いた.鋼要素はバイリニア型の弾塑性モデルと し,降伏条件は Von-Mises の降伏条件とした.要素は 20mm 程 度を基準として分割した.鋼要素とコンクリート要素は接触モ デルとして,ジョイント要素により接合した.ジョイント要素 は,接触時にはクーロン摩擦を考慮し,はく離時にはせん断力 が伝達されないモデルとした.なお,摩擦係数は経験的に 0.4 としたが,摩擦係数の違いが解析結果に影響ないことを別途確 認している.解析コードは FINAS/STAR を用いた.

解析方法は、試験体と同様の軸力をスタブより作用させた



後,変位制御により正負交番載荷した.なお,変位を与える繰り返し数は実験では3回であるが解析では1回 とした.実験の再現解析結果のうち,水平荷重-水平変位関係と6δy(δy:降伏変位)時の変形図を図2に示 す.図のように,拘束効果による耐荷力の増加および座屈性状を再現出来ているが,軟化後の耐力低下は実験 結果のほうが著しい.また,除荷後の逆方向載荷時において,実験では第2象限と第4象限でS字状に硬化す る挙動を示しているが,解析では再現出来ていない.これは,鋼材の構成則の影響と考えられる²⁾.実験の忠実 な再現については今後の課題であるものの,耐荷力や変形性能については概ね実験を再現出来ているため,本 モデルを用いて以降の検討を行うこととする.

キーワード:コンクリート充填鋼管柱,有限要素解析,残存耐荷力,地震 連絡先:〒163-0231 東京都新宿区西新宿 2-6-1 新宿住友ビル 31 階 電話:03-6276-1251 構造技術センター

<u>3. 損傷した CFT 柱の耐荷力特性</u>

ここでは、予め円形 CFT 柱に地震時を想定した損傷を与え、 損傷後の非線形性を求めることで、損傷した CFT 柱の耐荷力 特性を考察する.与える損傷は、①鋼管の材料降伏、②部材の 最大耐荷力、③鋼管の軽微な座屈の3ケースとした.図2の 結果より、①鋼管の材料降伏は±5mm、②部材の最大耐荷力は ±11mm、③鋼管の軽微な座屈は±21mmの変位を正負交番3回 繰り返しで与えることとした.

損傷した円形 CFT 柱の非線形性を図3に示す.損傷①の場合,最大耐荷力は186.1kN,最大耐荷力時の変位は14.6mmとなった.損傷②の場合,鋼管の降伏点は75.2kN,降伏時変位は2.7mm,最大耐荷力は181.2kN,最大耐荷力時の変位は18.9mmとなり,剛性の変化点が損傷①の場合より低く,最大耐荷力も低下した.損傷③を与えた場合,明確なポストピーク点が現れず,鋼管の降伏点は52.1kN,降伏時変位は1.6mmで,鋼管の降伏後,座屈が進展していく結果となった.

各損傷を与えたときの充填コンクリートの最小主ひずみと 鋼管のミーゼス応力のコンターを図4と図5に示す.損傷① であれば、充填コンクリートの最小主ひずみは充分に小さく、 鋼管の応力も初期軸力相当の応力であり、損傷を受ける前と 同程度の耐荷力を保持できていると評価できる.損傷②の場 合、充填コンクリートの最小主ひずみは局所的に3,000µ程度 生じていた.また鋼管には初期軸力による応力以上の応力が 生じており、残留応力が生じていることが確認された.鋼管の 座屈は生じていないため拘束効果は失われておらず、最大耐 荷力は損傷前(図2)と同程度である.しかし、鋼管に残留応 力が残っているため、部材としての降伏点が下がり、設計時よ



図3 損傷解析後の非線形性



り早い段階で剛性が低下する可能性があることが確認された.損傷③の場合には,充填コンクリートは 10,000μ 以上の最小ひずみが断面中心まで達し,鋼管にはさらに広い範囲で残留応力が生じていることが確認された. 充填コンクリートの損傷は大きく進展しており,鋼管の残留応力も高く,損傷前(図2)の部材の耐荷力が得 られないことが確認された.

<u>4.まとめ</u>

CFT 柱の地震被災時を想定して解析した結果,鋼管に座屈が生じていなければ,充填コンクリートの損傷も 限定的であり,部材としての降伏点は残留応力により下がるものの,耐荷力への影響は少ない.一方,鋼管に 局部座屈が生じるような損傷履歴を受けた場合には,充填コンクリートの損傷程度や範囲が大きく,鋼管の広 範囲に残留応力が生じており,剛性や耐荷力の低下が認められた.これらのことから,鋼管の座屈の有無が地 震被災後の CFT 柱に対する残存耐荷力評価の指標になり得るものと考えられる.なお,本稿には「コンクリ ート充填鋼管部材の活用に関する調査研究小委員会(土木学会)」における活動成果が含まれている.

参考文献

- 1) 池田ら: 短柱 CFT 部材の曲げ耐力・変形性能の算定法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011.
- 2) 後藤ら:充填コンクリートとの相互作用を考慮した円形断面鋼製橋脚の繰り返し挙動の FEM 解析,土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.487-504, 2009.