

3次元 FEM 解析による地下鉄駅構造物の地震耐力検討

東北学院大学 学生会員○奈良 浩輝

東北学院大学 正会員 李 相勲

1. 序論

1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震により、神戸高速鉄道の大開駅(地下駅)では世界でも初めての大規模な地下構造物被害となった。被害要因の分析で使用された手法¹⁾は、ひび割れや降伏などに伴う部材の剛性低下を等価線形的に考慮する手法であり、完全な非線形とは言い難い。更に塑性ヒンジによる応力の再分配を適切に評価できないという問題点がある。そこで、本研究では、神戸高速鉄道の大開駅について、コンクリートと補強筋による耐荷機構をモデル化した成分と、ひび割れ面におけるせん断伝達をモデル化した成分をひび割れ面座標系に想定することにより構築される格子等価連続体モデル²⁾ (LECOM)を用いて三次元有限要素法プログラムによる PUSH OVER 解析と繰り返し荷重による解析を行なう。また、被害後に耐震設計基準の改正をしたことより、中柱部の帯鉄筋を補強し解析してその比較を行なう。

2. 解析モデル

本研究では、大開駅の中で最も被害の大きかった、1 階構造物部分について解析する。解析対象は RC ボックスラーメン構造で、中央部に高さ 3.82m、幅 0.4m、奥行き 1.0m の RC コンクリート支柱(以後、中柱と呼ぶ)が配置されている。その中柱と中柱の間の部分を解析対象とした。なお、モデル化には、解析を容易にするため、簡略化した上で、軸方向対称性を考慮し、1/2 モデルを用いた。境界条件は、底版下面を固定とし、載荷は頂スラブに水平方向に変位制御により繰り返しせん断荷重を与え、鉛直方向に上載土圧とコンクリートの自重を考慮した。繰り返し荷重による加力スケジュールを図 2.1 に、モデルの寸法を図 2.2 示す。

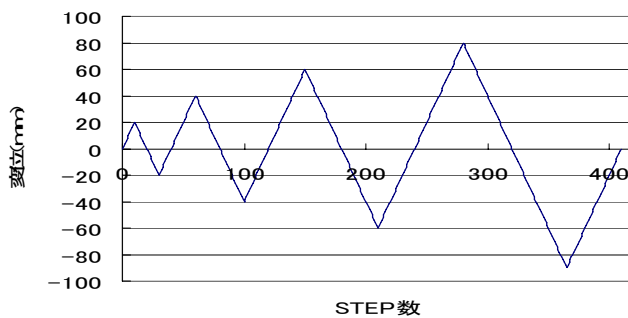


図 2.1 繰り返し荷重の加力スケジュール

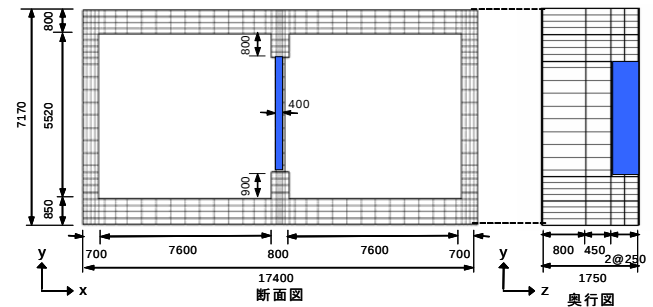


図 2.2 モデル寸法

3. 地下鉄駅構造物の 3 次元 FEM 解析

繰り返し荷重による解析と PUSH OVER 解析の 2 つの解析方法により、モデルの破壊のメカニズムについて検討した。まず、図 3.1 に繰り返し荷重による x 方向の荷重－変位関係を示す。次に、図 3.2 に y 方向鉄筋応力図を、図 3.3 に y 方向コンクリート応力図を、図 3.4 にひび割れ図を示す。これより、PUSH OVER 解析では、始めに中柱上部で鉄筋の降伏が起こり、次に中柱下部でせん断破壊が発生しその直後中柱上部で曲げ圧縮破壊に至り破壊されていることがわかる。一方、繰り返し荷重による解析では、始めに中柱上部で鉄筋が降伏しているところまでは同じであったが、鉄筋降伏後、図 3.3(2)、図 3.4(2)よりせん断破壊せず、中柱部下部で曲げ圧縮破壊が発生した。

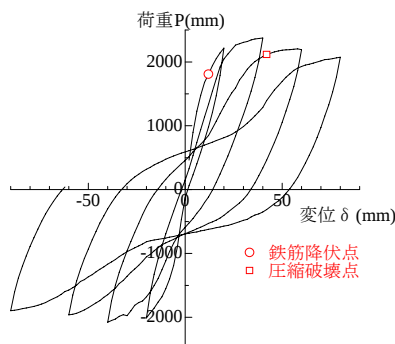


図 3.1 繰り返し解析による x 方向の荷重－変位関係

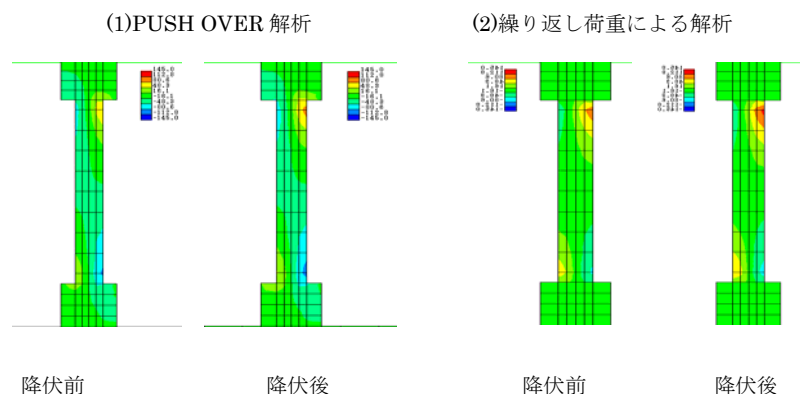


図 3.2 y 方向鉄筋応力図

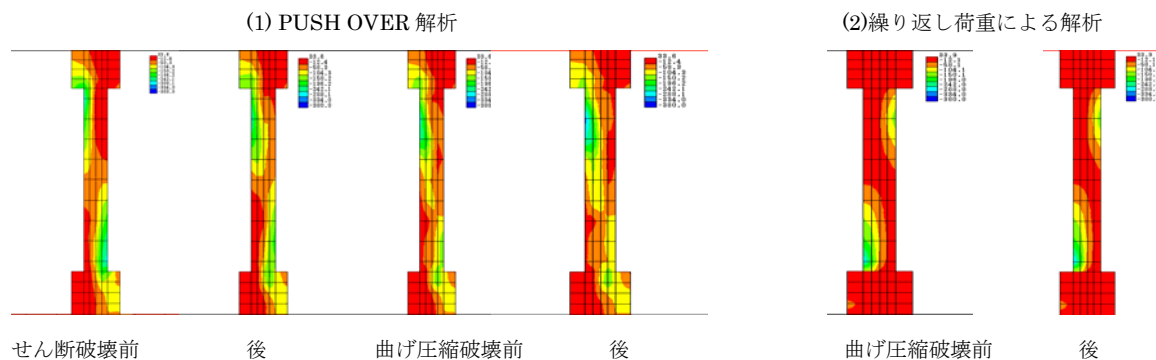


図 3.3 y 方向コンクリート応力分布図

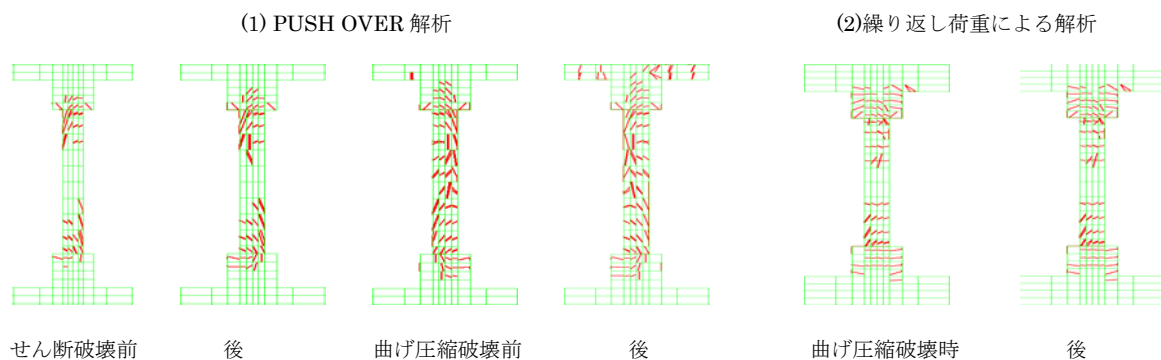


図 3.4 ひび割れ図

4. 中柱部の帯鉄筋の補強による解析とその効果

中柱部の帯鉄筋の補強を行い解析・分析し、3 章の繰り返し荷重による解析結果と比較し、その効果について検討する。補強としては中柱部において、 $\phi 9$ の鉄筋を鉛直方向に 350mm 間隔で配置している帯鉄筋に対し、D13 の鉄筋を鉛直方向に 150mm 間隔で配置した。図 4.1 に x 方向の荷重－変位関係を示し、図 4.2 に y 方向コンクリート応力を示す。図 4.3 のひび割れ図より補強前よりせん断ひび割れが減少していることから帯鉄筋の補強でせん断耐力が増加したといえる。その結果、破壊を遅らせることとなった。

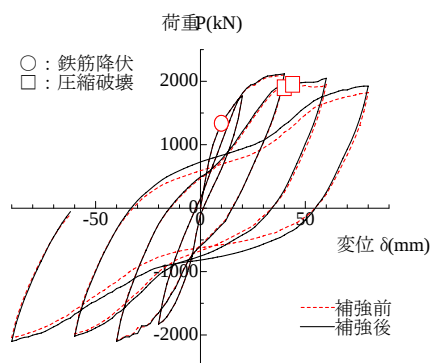


図 4.1 x 方向の荷重 - 変位関係の比較

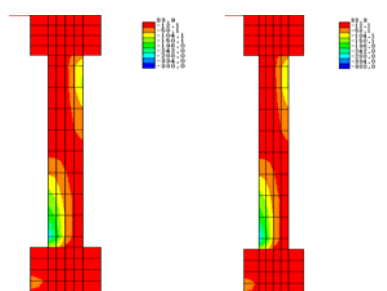


図 4.2 y 方向コンクリート応力分布図

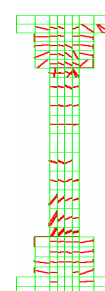


図 4.3 ひび割れ図

5. 結論

PUSH OVER では、鉄筋の降伏後中柱下部でせん断破壊し、中柱上部で曲げ圧縮破壊した。一方、繰り返し荷重による解析では、せん断破壊する前に中柱下部で圧縮破壊が起こった。2 つの手法により異なった分析結果であったが、どちらも最初に中柱下部が破壊されるという被害状況を再現できたといえる。また、帯鉄筋の補強による解析結果では、せん断ひび割れを抑える結果となり、せん断耐力が増加したことによって、結果的に圧縮耐力に作用し破壊を遅らせることとなった。

6. 参考文献

- 1) 神戸高速鉄道株式会社、佐藤工業株式会社(1996)：神戸高速鉄道東西線大開駅災害復旧工事工事記録
- 2) 田辺忠顕(2004)：初期応力を考慮した RC 構造物の非線形解析方法とプログラム、技報堂出版
- 3) (社)日本道路協会(2002)：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- 4) 高橋 剛貴(2006)：地下鉄駅構造物のせん断耐力検討