

I - 14

3次元 FEM 解析による地下鉄駅構造物のせん断耐力検討

東北学院大学 学生会員 ○高橋 剛貴

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⁾²⁾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³⁾ (LECOM)を用いて三次元有限要素法プログラムによるPUSH OVER解析を行う。それによって、対象構造物の破壊メカニズムとせん断耐力などを評価する。

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、図2.1の1階構造物部分(○で表示されている)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、底板下面を固定とし、載荷は頂スラブに水平方向の荷重制御としてせん断荷重を与え、鉛直方向に上載土圧とコンクリートの自重を考慮した。モデルの寸法を図2.2に、断面諸元、材料諸元を、表2.1,2.2に示す。

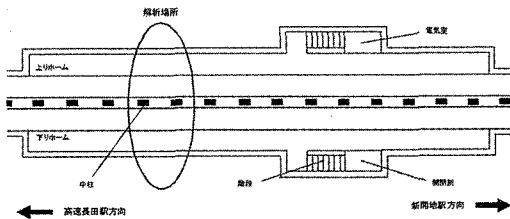


図 2.1 大開駅平面

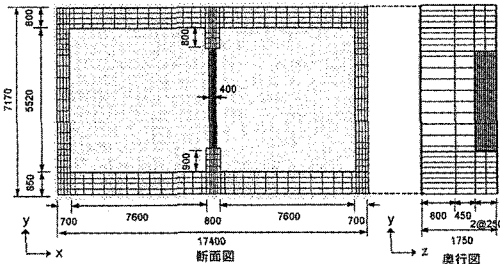


図 2.2 モデル寸法

表 2.1 断面諸元

	断面厚さ(mm)	鉄筋量(l/m)	鉄筋比(%)
上床版	400	8@φ25	0.981
下床版	400	12@φ25	1.472
せん断鉄筋部	500	4@φ25	0.393
側壁	350	4@φ22	0.434
内側(y方向)	350	8@φ22	0.868
外側(y方向)	350	8@φ22	0.868
上床版	425	8@φ25	1.281
下床版	425	8@φ22	0.715
せん断鉄筋部	500	4@φ22	0.304
スラブ	y方向	8@φ22	0.760
	z方向	8@φ25	0.491
中柱	x方向	1@φ9	0.036
	y方向	15@φ32	6.029
	z方向	1@φ9	0.091

表 2.2 材料諸元

	強度		降伏強度 (応力)	ヤング率
	引張	圧縮		
コンクリート	33.6	380		0.255 × 10 ⁴
鉄筋	3120		2400	2.100 × 10 ⁴

3. 鉛直方向荷重(上載土圧+自重)の影響の検討

大開駅の被害報告書には、被害要因として中柱における鉄筋の降伏後の曲げ圧縮破壊を挙げている。本章では、鉛直荷重が与える影響は少なくないと考え、鉛直荷重の有無による破壊メカニズムの違いを検討した。図3.1のx方向荷重-変位関係の比較(Case 1=鉛直荷重を考慮した場合、Case 2=鉛直荷重を考慮しない場合)より、Case 1の方がx方向に対する耐力が大きいたことが分かる。図3.2に示す変形図の比較からも、Case 1では上部スラブの曲げ変形を鉛直荷重が拘束していることがわかる。次に、両Caseのひび割れ図を図3.3(1)(2)に示し、図3.4(1)(2)には両Caseのy方向コンクリート応力分布図を示す。まずy方向鉄筋応力分布図の応力最大値から鉄筋の降伏点を調べた結果、両Caseとも中柱で最初に降伏している。Case 1ではその後、図3.3(1)のひび割れ図と図3.4(1)のy方向コンクリート応力分布図から、中柱下部でせん断破壊が発生し、最後に中柱上部で曲げ圧縮破壊に至るということがわかる。Case 2では、図3.3(2)、図3.4(2)より、鉄筋降伏後、せん断破壊は発生せず、中柱下部で曲げ圧縮破壊に至るということがわかる。

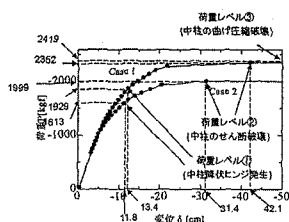


図 3.1 x 方向荷重 - 変位関係の比較

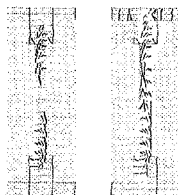


図 3.3(1) Case 1 のひび割れ図

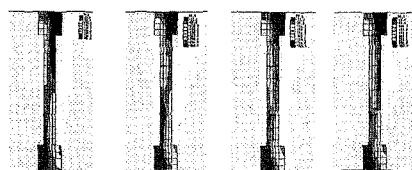


図 3.4(1) Case 1 の y 方向コンクリート応力分布図



図 3.2 同荷重時の変形図の比較



図 3.3(2) Case 2 のひび割れ図

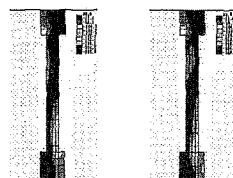


図 3.4(2) Case 2 の y 方向コンクリート応力分布図

4. 破壊メカニズムとせん断耐力

本章では 3 章で得られた Case 1 の解析結果と被害報告書に記載されている結果を比較し、破壊メカニズムとせん断耐力について分析する。図 4.1、4.2 に 3 章と被害報告書それぞれの荷重 - 変位関係を示す。ここでの荷重は、曲げ圧縮破壊時の荷重により正規化した比率として示している。図 4.1、図 4.2 を比較すると、中柱の鉄筋降伏～せん断破壊～曲げ圧縮破壊という破壊のメカニズムは同じであるが、被害報告書では、荷重レベル=0.64、相対変位=1.39cm で中柱の上下両部にせん断破壊が生じ、その後、荷重レベルが 0.69、相対変位が 1.64cm で中柱に曲げ圧縮破壊が生じる。これに対して 3.2 で得られた結果では、荷重レベル=0.91、相対変位=4.2cm でせん断破壊が中柱下部に生じ、荷重レベル=0.94、相対変位=48.8cm で曲げ圧縮破壊が中柱上部に生じている。ただし、被害報告書での終局せん断耐力 P_{max} は中柱部材に対する値であり、上端で 1930kN、下端で 1980kN である。これに対し、本解析で得られた終局せん断耐力 P_{max} は構造物全体に対する値であり、2590kN である。

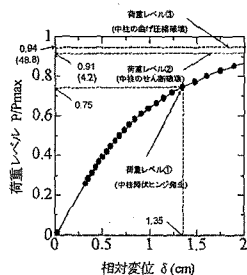


図 4.1 3 章で得られた x 方向荷重 - 変位関係

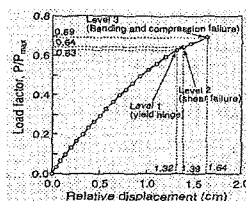


図 4.2 被害報告書の x 方向荷重 - 変位関係の比較

5. 結論

鉛直方向荷重(上載土圧+自重)を考慮することによって、上床版の曲げ変形を拘束し、結果的に x 方向に対する耐荷力を増大させることがわかった。被害報告書では、動的と静的を合わせた 2 段階解析、本研究での解析は PUSH OVER 解析との違いはあるが、破壊メカニズムは共に、鉛直方向荷重を考慮することによって、鉄筋の降伏～コンクリート曲げ圧縮破壊の間にせん断破壊が先に発生することがわかった。また、被害報告書との比較によって、本解析が被害報告書の構造物の破壊状況図の通り、ほとんどの中柱が下部破壊されている事実をよく再現していることがいえる。

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) 土木学会原子力土木委員会編(1992)：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全照査マニュアル
- 3) 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