

I-B 428

FEM応答変位法の適用性と地下構造物の損傷過程

（株）鴻池組土木本部 ○正会員 長谷川伸二 嶋村 貞夫
濱野 隆司 前田 洋幸

1. はじめに

兵庫県南部地震による地下鉄駅舎部中柱の崩壊は、地下構造物の耐震性に一石を投じた。本報告では、被害を受けた地下構造物を例として、別報¹⁾の非線形動的解析結果との比較によりFEM応答変位法の適用性を検討するとともに、入力最大加速度をパラメータとした解析結果より損傷過程の推定を行った。

2. 解析モデルおよび条件

図-1に、解析の対象とした地下構造物の概要を示す。2次元FEMを用いた応答変位法による解析（以降、応答変位法と呼ぶ）は、以下に示す手順で実施した。まず、表層地盤の等価線形応答解析を実施し、上床版と下床版位置に相当する地盤間の相対変位が最大となる時刻における変位分布を選び出す。次に、構造物を除いた地盤のみのモデルにこの変位分布を生じさせる等価節点荷重を算出する。最後に、地盤と構造物の両者を考慮したモデルに、上記の等価荷重を与えることにより構造物に生じる地震時増分断面力および変位を求める。このとき、地盤は等価線形解析で得られた等価剛性を有する線形FEM要素でモデル化し、構造物部材は、曲げとせん断に関する非線形性を考慮した梁要素でモデル化した。図-2に入力条件および要素分割図を示す。なお、入力地震動に関しては、検討対象構造物の被害要因に関する既往の研究成果^{2) 3)}より、上下動よりも水平動の影響が支配的であると判断し、ここでは水平のみ考慮した。基盤面への入力加速度波形（最大270Gal）

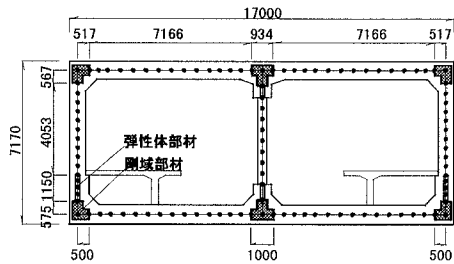
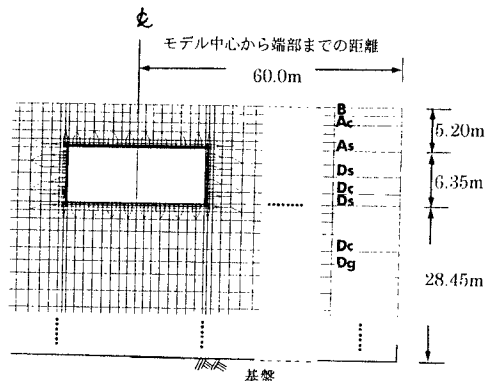


図-1 構造物概要



地盤の入力定数

土質	γ (tf/m ³)	G_0 (tf/m ²)	ν
B	1.6	1633	0.45
Ac	1.7	1735	0.45
As	1.8	3600	0.45
Ds	2.0	9878	0.49
Dc	1.8	7347	0.49
Ds	1.9	7755	0.49
Dc	1.8	10580	0.49
Dg	2.1	34286	0.49

全層 減衰定数 $h=0.05$

構造物の入力定数

部材	E (tf/m ²)	A (m ²)	I (m ⁴)	備考
側壁	3000000	0.718	0.030	非線形材料
側壁(下部)	3000000	0.868	0.053	弾性体材料
中柱	3100000	0.154	0.022	非線形材料
中柱(上部)	3100000	0.268	0.004	弾性体材料
中柱(下部)	3100000	0.268	0.004	弾性体材料
上床版	3000000	0.837	0.047	非線形材料
下床版	3000000	0.892	0.056	非線形材料

全部材 $\gamma=2.5\text{tf/m}^3$ $\nu=0.2$ $h=0.02$ 有効せん断断面面積比 $=1.00$
非線形特性は曲げがトリニ型、せん断がバiley型でモデル化

構造物の非線形特性

部材	検討位置	曲げ耐力 (tf・m/m)			終局せん断耐力 (tf/m)
		ひびわれ	降伏	終局	
側壁	頂部	35.4	54.3	57.8	46.0
中柱	頂部	10.8	39.1	42.5	7.9
上床版	端部	46.0	114.1	123.9	53.3
下床版	端部	54.0	133.8	145.8	56.9

図-2 入力条件および要素分割図

は、関西地震観測研究協議会の神戸大学観測点の速度記録(NS)を微分して求めた。

3. 解析結果および考察

図-3は、中柱下端のせん断力および側壁上端の曲げモーメントに着目して、応答変位法解析結果と非線形動的解析結果を比較したものである。中柱は両者ともせん断破壊の状態にあるが、応答変位法のせん断ひずみは動的解析の1.2倍になった。同様に、側壁も両者とも曲げひびわれ状態にあるが、曲率は0.74倍、曲げモーメントは0.92倍になった。この違いを大きいと判断するか小さいと判断するか議論の分かれるところであるが、両者の結果が異なる要因として、①地震動による地盤変位の違いによる影響、②地盤と構造物の相互作用による非線形性の影響、③構造物の慣性力による影響、等が考えられる。

地震動による地盤の応答は、応答変位法では地盤の材料非線形性をHardin-Drnevichモデルで仮定し、これを等価線形化手法により考慮して評価した。非線形動的解析では地盤の材料非線形性を上記と同一のH-Dモデルを仮定し、これを時々刻々追いつながら評価した。両者の結果は、最大応答量をみると図-4に示すように大差ないものの、同一時刻では変位量が随分異なる場合も認められる。地中部分の上下床版間の最大相対変位も、表-1に示すように3～4割程度異なっている。さらに、動的解析では構造物との動的相互作用に起因する地盤の材料非線形性、構造物の慣性力の影響も考慮していることから、結果的に地盤変形の構造物へのひずみ伝達率が表-1に示すように倍半分異なったものと考えられる。現時点では、各要因がそれぞれの程度影響を及ぼしているか明らかでない。今後、詳細な検討を行い、結果の報告を行いたいと思う。

入力最大加速度をパラメータとした応答変位法の結果を図-3に併記するとともに、入力最大加速度が270Galの場合の損傷の範囲を図-5に示す。中柱のせん断破壊は250Gal程度から生じるものと推察される。損傷の範囲は実被災状況とよく一致している。

今後、得られた知見をもとに改良を加え、より簡便な耐震計算法の開発に努力したいと思う。

（参考文献）

- 1) 笹川基史他：非線形動的解析による地下構造物の損傷過程と免震効果の検討、第51回年次学術講演集、土木学会、1996
- 2) 廣戸敏夫他：神戸高速鉄道・大開駅の被害とその要因分析、阪神・淡路震災に関する学術講演会論文集、土木学会、1996
- 3) 飯田廣臣他：実験に基づく大開駅の既設および復旧柱の耐力および変形性能、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、土木学会、1996

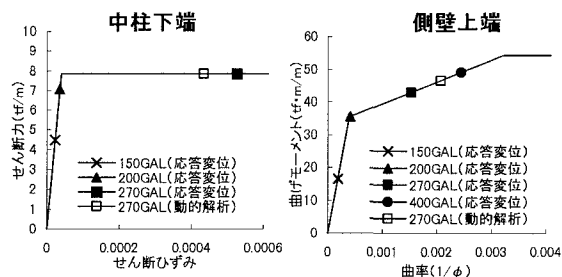


図-3 中柱のせん断力および側壁の曲げモーメント

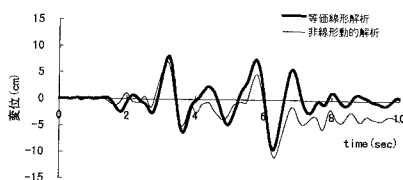


図-4 地表面の応答変位波形

表-1 上下床版間の相対変位量とひずみ伝達率

	上下床版間相対変位量(cm)		ひずみ伝達率
	地盤	構造物	
応答変位法	3.81(1.36)	1.72(0.72)	0.45
動的解析	2.79(1.00)	2.4(1.00)	0.86

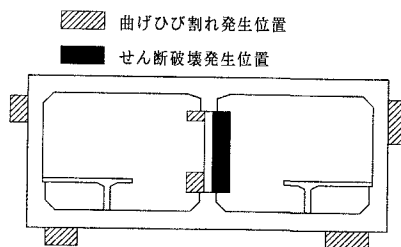


図-5 入力最大加速度270Galでの損傷範囲