

被災した地中構造物の地震時損傷確率の試算

(株)ニュージェック 正会員 ○松本敏克 坂田 勉
 京都大学防災研究所 正会員 澤田純男

1. はじめに 設計手法の高度化を背景として、構造物の損傷確率が必要とされる機会も多くなりつつある。しかし、損傷確率と物理的事象との直接的な対応を図ることが容易ではないため、損傷確率の数値的意味合いの解釈については新たな課題と考えられる。このような視点から、実際に被災した構造物の損傷確率を把握しておくことは重要と考えられる。ここでは、兵庫県南部地震で甚大な被害を受けた神戸高速鉄道の大開駅を対象として、実務設計で用いられる解析手法により、地中構造物の年損傷確率を試算した。

2. 解析概要 対象構造物を地盤・構造物連成系としてモデル化し、非線形地震応答解析を実施した。解析モデルは、地盤を平面ひずみ要素、構造物をはり要素で表現した（図-1 参照）。GL-39.4m 以深にせん断波速度 $V_s=500\text{m/sec}$ の洪積層が存在し、この上面を工学的基盤と考えモデル底面とした。表層の土質材料の非線形性は R-O モデル、RC 部材の非線形性は軸力変動を考慮した江戸型モデルを用いることとした。そして、基盤条件を考慮して、ポートアイランドの地中観測波(GL-83.0m)に基づいて設定された地震動を用いた⁽¹⁾（図-2 参照）。また、系のばらつきは、地盤および構造物の材料特性に着目し、 V_s とコンクリートの圧縮強度 f'_{ck} について考慮した（表-1 参照）。 V_s は原位置の N 値を換算して統計処理し（図-3 参照）、 f'_{ck} は既往のシリンダー試験結果に基づいて設定した。変動係数はそれぞれ 0.2 および 0.1 となった。

3. 応答の感度分析 まずは、図-2 の地震動を用いて構造物応答について感度分析を行った⁽²⁾。構造物の変形応答を図-4 に示す。横軸には平均値で正規化した V_s の無次元量、縦軸には変形に関する安全率（限界変形角/層間変形角）を示している。限界変形角は 1/100 とした。地盤剛性と直接的に関係する V_s と変形の安全率は負の相関とはならず、強い非線形性を呈している。また、構造物崩壊に関与した中柱について、せん断力を図-5 に示す。縦軸はせん断に関する安全率（せん断耐力/せん断力）を示している。耐力式はコンクリート標準示方書によった。なお、安全係数は 1.0 として耐力を評価している。 V_s とせん断の安全率の相関には、線形性が認められるが感度は小さい。これは、地盤からの大きな変形作用により中柱両端が塑性化したことにより、モーメント勾配が変動しなかったことがその理由と考えられる。変形とせん断の安全率がいずれも 1.0 を割り込んでおり、構造的に厳しい状況であることが確認された。また、 f'_{ck} に関する感度は大きくないことが確認された。これらの相関関係に基づいて、1 次近似 2 次モーメント法（FOSM 法）を適用し基本統計量を求めた。非線形性が著しいため、この影響を考慮した FOSM 法を適用した⁽²⁾。次に、応答の確率分布を正規分布と仮定して損傷確率を求めた。地震動強度を変更した場合についても併せて表-2 に示す。

4. 年損傷確率の算定 損傷度曲線は表-2 に基づき、一般に用いられる対数正規分布の累積分布関数に近似した。地震ハザード曲線は、石川らの神戸における活断層を考慮した確率論的地震危険度解析結果を用いた⁽³⁾。図-1 の解析モデルの基盤は洪積地盤であることから、提案された曲線をそのまま用いた。両曲線の積の積分をとり、年損傷確率を求めると 2.4×10^{-3} となった。

5. おわりに 被災した地中構造物を対象として、実務的な解析手法で系のばらつきに対する地震時応答の感度分析を行い、損傷確率や損傷度曲線を評価した。そして、既往のハザード曲線を用いて年損傷確率を試算した。その結果、対象とした地中構造物の年損傷確率は 10^{-3} オーダー程度の値であることが分かった。

【参考文献】(1) 酒井久和, 澤田純男, 土岐憲三: ポートアイランドにおける時間領域での基盤入力地震動の推定, 土木学会論文集, No.612, pp.373-378, 1999.1. (2) 松本敏克, 澤田純男, 大島靖樹, 坂田 勉, 渡邊英一: 非線形挙動の著しい地中構造物の地震時損傷確率評価, 構造工学論文集 Vol.52A, pp.1159-1168, 2006.3. (3) 石川 裕, 奥村俊彦, 亀田弘行: 活断層を考慮した神戸における地震危険度評価, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.61-68, 1996.1.

キーワード: 地中構造物, 年損傷確率, 1 次近似 2 次モーメント法, 損傷度曲線, 地震ハザード

連絡先: 〒531-0074 大阪市北区本庄東 2 丁目 3-20 Tel:06-6374-4021 (代) Fax:06-6374-5108

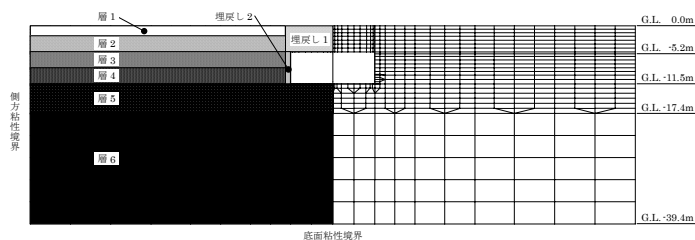


図-1 地盤一構造物連成系の解析モデル

表-1 感度分析における検討ケースの概要

検討項目	ケース名	物性値						
		せん断波速度 V_s (m/sec)*						コンクリート強度 f_{ck} (N/mm ²)
		層1	層2	層3	層4	層5	層6	
地盤 V_s の影響	Case1	84	84	102	114	144	330	500
	Case2	112	112	136	152	192	330	500
	Case0	140	140	170	190	240	330	500
	Case3	168	168	204	228	288	330	500
	Case4	196	196	238	266	336	330	500
コンクリート強度 f_{ck} の影響	Case5	140	140	170	190	240	330	500
	Case6	140	140	170	190	240	330	500
	Case0	140	140	170	190	240	330	500
	Case7	140	140	170	190	240	330	500
	Case8	140	140	170	190	240	330	500

※埋戻し土についても同様に設定

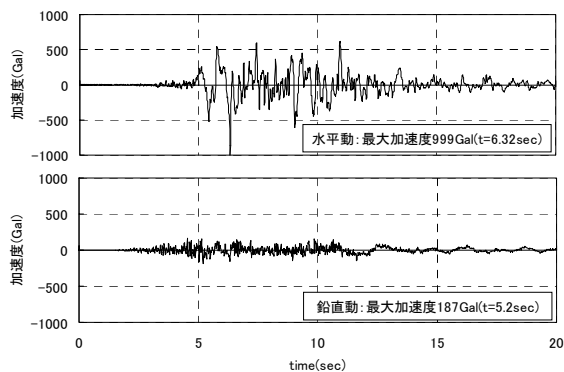
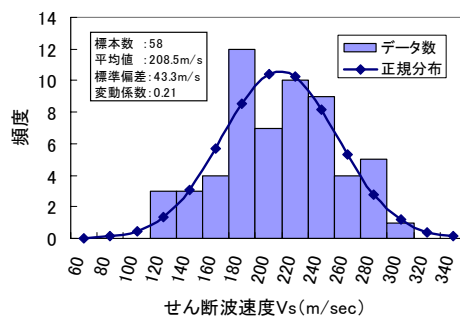
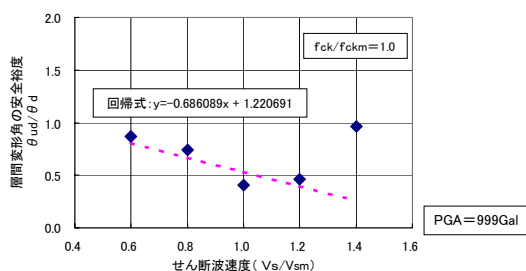
図-2 入力地震動の時刻歴波形⁽¹⁾図-3 N値より換算したせん断波速度 V_s の統計量

図-4 曲げ変形の安全裕度に関する感度分析

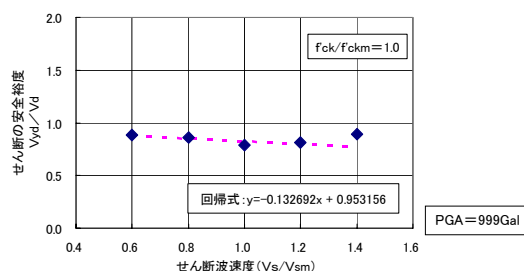


図-5 せん断の安全裕度に関する感度分析

表-2 地震動強度ごとの損傷確率

(a) 変形に対する損傷確率					
地震動強度 PGA (gal)	安全裕度の平均値 E(D)	標準偏差 sd(D)	変動係数 cov(D)	X=1.0のときの標準正規変量 U	損傷確率 Pf
999	0.600	0.2395	0.3991	1.671	0.9526
500	2.235	0.8021	0.3589	-1.540	0.0618
250	6.642	2.4340	0.3665	-2.318	0.0102

(b) せん断に対する損傷確率					
地震動強度 PGA (gal)	安全裕度の平均値 E(D)	標準偏差 sd(D)	変動係数 cov(D)	X=1.0のときの標準正規変量 U	損傷確率 Pf
999	0.788	0.0279	0.0354	7.605	1.0000
500	0.915	0.0563	0.0615	1.505	0.9338
250	2.073	0.6184	0.2984	-1.734	0.0414

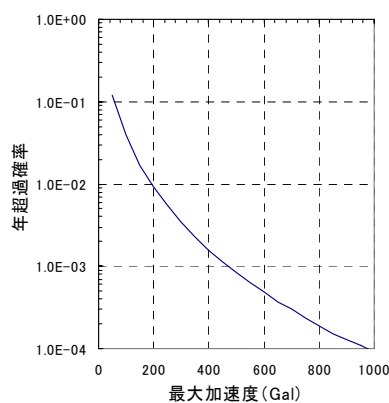
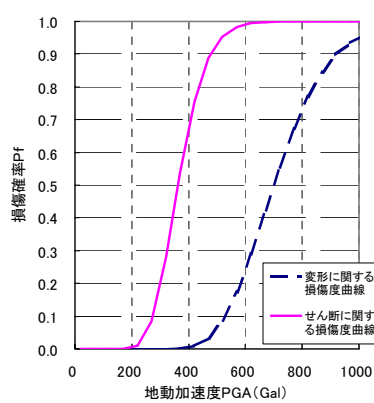
図-6 計算に用いたハザード曲線⁽³⁾

図-7 大開駅の損傷度曲線

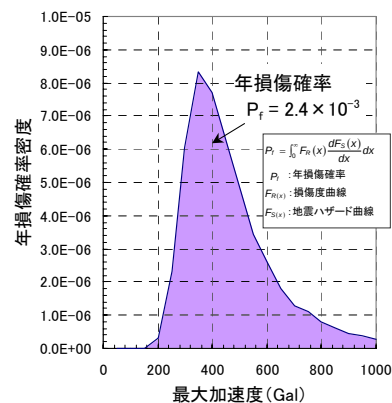


図-8 年損傷確率の密度関数