

復旧性能に着目した地中構造物の地震時損傷確率評価（その２）

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○副島 紀代 (株)大林組 技術研究所 正会員 堤内 隆広
 同 技術研究所 正会員 江尻 譲嗣 同 土木本部 正会員 渡辺 伸和
 同 原子力本部 足立 高雄 同 原子力本部 吉田 伸一

1. はじめに

地中 RC ボックスカルバートを対象として、地盤-構造物連成 2 次元 FEM モデルによる非線形時刻歴応答解析を実施し、復旧性能に着目した地震時フラジリティ評価を行うために、（その１）では復旧性能に応じた損傷指標と限界値を設定した。（その２）では、設定した 4 つの損傷レベルに対応するフラジリティ曲線を作成するため、ばらつきを考慮した地盤-構造物連成 2 次元 FEM モデルによる非線形時刻歴応答解析を実施した結果を報告する。外力や構造物の耐力には、物理現象固有のばらつき（偶然的な不確実性）や情報不足などから生じるばらつき（認識的な不確実性）がある。今回は偶然的な不確実性として、コンクリート強度と地盤のせん断波速度を対象としてばらつきを考慮し、著者らの既往の研究¹⁾²⁾に基づき、ラテンハイパーキューブサンプリング法（以下、LHS 法）を用いて外力と損傷確率との関係を示すフラジリティ曲線を構築した。

2. 対象モデル

評価対象は、（その１）の図-1 に示す 2 連地中 RC ボックスカルバートである。ここでは図-1 に示す地盤-構造物連成 2 次元 FEM モデルによる解析を行う。表層地盤はカルバート底面より上部の As 層およびそれ以深の Ts 層からなり、基盤層上に成層に分布している。基本的な地盤物性を表-1 に、表層地盤の非線形特性 ($G \sim \gamma$, $h \sim \gamma$) を図-2 に示す。

ばらつきを考慮する主変動パラメータをコンクリート強度 (F_c) と地盤 (As 層・Ts 層) のせん断波速度 (V_s) の 3 つとした。それぞれのばらつきは対数正規分布に従うと仮定し、また構造物の剛性や地盤のせん断剛性等は主変動パラメータに完全相関すると仮定した。表-2 にそれぞれの主変動パラメータに設定した平均値ならびに変動係数と、LHS 法により設定した 10 種類 (model-1~10) のサンプル値を示す。また入力地震動は 1995 年兵庫県南部地震ポートアイランド基盤波を基準に、基盤入力 (2E) の最大加速度の値を 400, 800, 1200, 1500, 2000 (Gal) の 5 段階に振幅調整し、各入力レベルに対してそれぞれ model-1~10 の 10 種類のモデルに対する解析を実施した。図-3 に最大加速度 800 (Gal) の基盤入力地震動波形を示す。

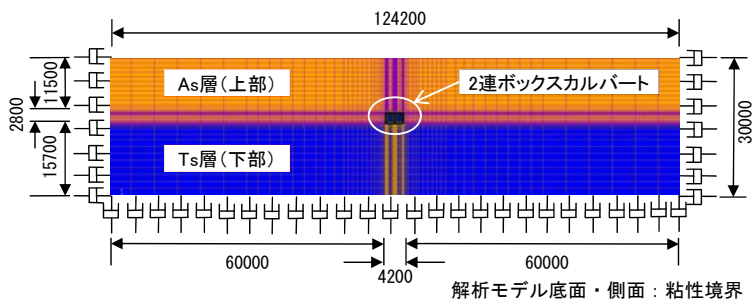


図-1 評価対象解析モデル全体図

表-1 地盤物性一覧

	As層(上部)	Ts層(下部)	Ts層(基盤)
せん断波速度 V_s (m/s)	200	470	750
単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	17.6	17.0	17.5
修正R-Oモデル パラメータ	γ_y	7.421E-04	8.799E-04
	h_{max}	2.000E-01	1.690E-01
			— (線形)

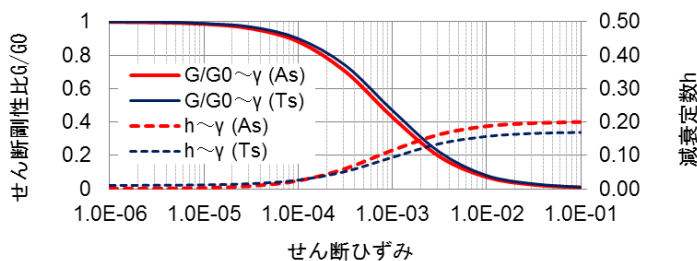


図-2 表層地盤非線形特性

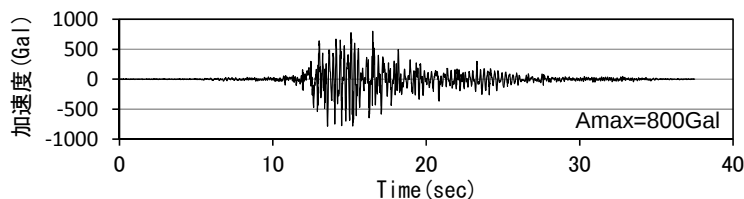


図-3 基盤入力地震動波形

キーワード ボックスカルバート, フラジリティ, LHS 法, 損傷レベル, 事業継続

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 構造技術研究部 TEL042-495-1013

表-2 LHS 法による主変動パラメータ一覧および各ケースの応答値・限界値

		コンクリート 圧縮強度 fc (N/mm2)	地盤As層 せん断波速度 Vs (m/s)	地盤Ts層 せん断波速度 Vs (m/s)	Case 重み	応答値(構造物の層間変形角)					限界値(層間変形角)		
						Case1 (400Gal)	Case2 (800Gal)	Case3 (1200Gal)	Case4 (1500Gal)	Case5 (2000Gal)	小破	中破	大破
平均値 (変動係数)		27.0 (0.13)	200.0 (0.10)	470.0 (0.10)		0.0012	0.0031	0.0052	0.0065	0.0100	0.0033	0.008	0.0159
LHS法による 各パラメータのサンプル値	model-1	20.5	175.5	440.5	0.1	0.0013	0.0030	0.0059	0.0079	0.0112	0.0038	0.008	0.0284
	model-2	22.7	201.0	508.2	0.1	0.0013	0.0033	0.0053	0.0068	0.0100	0.0040	0.008	0.0167
	model-3	24.8	223.7	562.8	0.1	0.0011	0.0032	0.0056	0.0073	0.0099	0.0038	0.008	0.0163
	model-4	25.3	190.0	525.9	0.1	0.0013	0.0031	0.0050	0.0065	0.0107	0.0036	0.008	0.0134
	model-5	26.3	161.9	472.3	0.1	0.0011	0.0032	0.0055	0.0070	0.0107	0.0031	0.008	0.0243
	model-6	27.1	207.9	412.4	0.1	0.0012	0.0031	0.0052	0.0067	0.0096	0.0031	0.008	0.0232
	model-7	28.3	196.1	380.2	0.1	0.0012	0.0031	0.0047	0.0067	0.0103	0.0033	0.008	0.0253
	model-8	29.8	239.4	448.3	0.1	0.0010	0.0029	0.0052	0.0068	0.0098	0.0031	0.008	0.0184
	model-9	31.2	216.2	460.9	0.1	0.0011	0.0031	0.0053	0.0069	0.0092	0.0031	0.008	0.0358
	model-10	34.0	187.5	488.5	0.1	0.0012	0.0028	0.0045	0.0066	0.0104	0.0029	0.008	0.0349

3. 構造物のフラジリティ評価

(その1)で設定した3つの限界値を指標とした地震時フラジリティ評価を実施した。それぞれの入力に対する応答値(構造物の層間変形角)を表-2に示す。また、耐力値として、小破と大破の限界値(鉄筋初降伏開始点およびコンクリート最大圧縮ひずみ10000 μ 到達点)についてはmodel-1~10のサンプル値を用いたプッシュオーバー解析の結果を用いてそれぞれ設定した。ただし中破の限界値については実験値を採用したことから、一律に8/1000とした。基本ケースならびにmodel-1~10のプッシュオーバー解析による荷重-変位関係を図-4に示す。また小破・中破・大破それぞれの限界値を表-2に示す。

これらの結果から、それぞれの損傷レベルに対する耐力値(=応答値/限界値)の中央値を1.0、対数標準偏差を0.3としたフラジリティ曲線を図-5に示す。

4. まとめ

地中RCボックスカルバートを対象に、復旧性能に応じた損傷レベルに対応する層間変形角の限界値に基づき、無被害・小破・中破・大破という4つの損傷レベルに対する地震時フラジリティ評価を行った。設計を超える高レベル地震動に対しては、全体システムの要求性能に応じた適切な復旧性能の把握と、その性能に対応したフラジリティ評価が事業継続の観点から重要である。

地下構造物の場合は地盤と構造物の剛性のバランスが地震時の挙動に大きく影響するため、地盤の剛性低下が構造物に先行する場合とそうでない場合と損傷形態にも差異が生じると考えられる。地震波の周期特性やそれに伴う地盤・構造物の非線形特性の変化が剛性バランスに与える影響についても検討する必要がある。

参考文献

1) 大塚, 副島, 渡辺, 足立, 吉田: 地中ボックスカルバートの地震時挙動とフラジリティ評価(その1), 土木学会第66回年次学術講演会, 2011
2) 副島, 渡辺, 足立, 吉田: 地中ボックスカルバートの地震時挙動とフラジリティ評価(その2), 土木学会第66回年次学術講演会, 2011

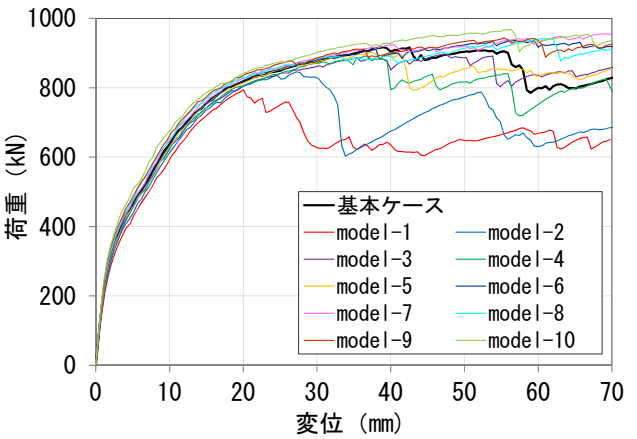


図-4 各model(パラメータの組合せ)による荷重-変位関係(プッシュオーバー解析)

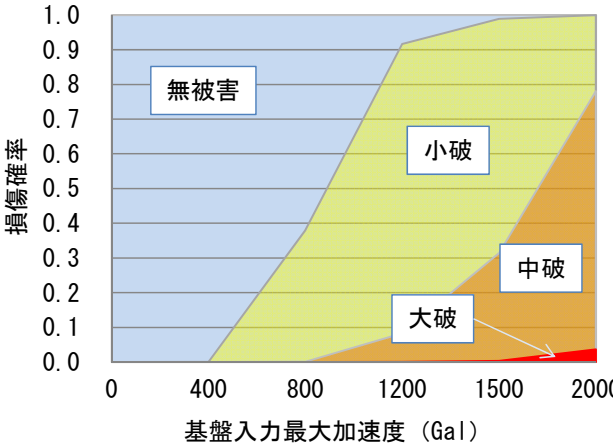


図-5 損傷レベルによるフラジリティ曲線