

曲げとせん断の破壊モードを同時に考慮した地中構造物の地震時損傷確率評価

大成建設（株） 正会員 ○坂下 克之
大成建設（株） フェロー会員 志波 由紀夫

1. はじめに

地中構造物を対象とした地震時フラジリティー評価は、従来図-1 に示すような評価フローで「曲げ破壊する確率」と「せん断破壊する確率」をそれぞれ個別に求めて評価しているが、「曲げ破壊とせん断破壊のどちらかが起こる確率」は、それぞれ単独の損傷確率よりは大きくなると考えられる。本論では、2つの破壊モードを同時に考慮した損傷確率の評価方法を提案する。

2. 評価方法

地震時フラジリティー評価方法は、参考文献 1)における「現実的耐力と現実的応答による評価」の方法を想定する。同評価方法では、いくつかの入力地震動レベルに対して動的解析等を実施して損傷確率を求め、それらの損傷確率を近似的につなげることにより最終的なフラジリティー曲線を設定する。本論は、各入力地震動レベルにおける損傷確率を算定する部分の手法について論じるものであり、認識論的不確実性については考慮していない。本提案手法は、図-2 に示すように、損傷確率評価指標は構造物の層間変形角とし、曲げおよびせん断の現実的耐力をまとめて1つの確率密度で評価する。

現実的耐力は、構造物のコンクリート強度をばらつきのパラメータとする。曲げに対する現実的耐力の中央値およびばらつきは、曲げに対する限界層間変形角算定式と1次近似2次モーメント法により算定する（図-5の緑線）。せん断に対する現実的耐力の評価は、動的解析の結果の安全裕度などから評価の対象とする部材を選定しておき、せん断耐力式と1次近似2次モーメント法により当該部材のせん断耐力の中央値とばらつきを評価する（図-3）。さらにプッシュオーバー解析を実施し、層間変形角～部材せん断力関係の平均せん断耐力時の接線を用いた1次近似2次モーメント法により、せん断に対する限界層間変形角の中央値とばらつきに変換する（図-4）。曲げに対する限界層間変形角とせん断に対する限界層間変形角は、コンクリート強度の値により大小関係が逆転するところが生じ、これを「境界限界層間変形角」と呼ぶことにする（図-5）。したがって現実的耐力の確率密度は、境界限界層間変形角よりも小さな範囲ではせん断限界層間変形角（現実的せん断耐力）の確率密度関数、大きな範囲では曲げ限界層間変形角（現実的曲げ耐力）の確率密度関数を適用してつなげたものとする。これを現実的統合耐力と呼ぶことにする（図-6の紫線）。当然この分布関数は現実的せん断耐力や現実的曲げ耐力の確率密度関数と同様、積分すると1.0となる。

上記により求められた現実的統合耐力の確率密度と現実的応答の確率密度を数値的に畳込積分することにより、「曲げ破壊とせん断破壊のどちらかが起こる確率」（統合損傷確率）が算定できる。

3. 評価結果

本論においては、コンクリート強度～耐力関係、プッシュオーバー解析の接線勾配、現実的応答の中央値とばらつき、といった各種数値はすべて仮定値を設定し、損傷確率を評価した。仮定値は、地中構造物の検討事例等を参考とした非現実的とならない範囲の数値に設定した。

評価結果は、図-6 上に併記したように、曲げに対する損傷確率は0.328、せん断に対する損傷確率は0.335、両方を考慮した統合損傷確率は0.419となった。なお、2つの破壊モードを相関のない独立事象としたとき、曲げ破壊とせん断破壊のどちらかが起こる確率（和事象確率）は $1 - (1 - 0.328)(1 - 0.335) = 0.553$ となる。本提案手法による損傷確率は、曲げ破壊およびせん断破壊それぞれの単独の損傷確率よりは大きく、2つの破壊モードを独立事象とした場合の和事象確率よりは小さくなる、という結果が得られた。

キーワード 地中構造物、地震時損傷確率評価、破壊モード、曲げ破壊、せん断破壊

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7231

参考文献

- 1) 日本原子力学会：日本原子力学会標準 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価施工基準：2007, 2007. 9
- 2) 原子力安全基盤機構：地震に係る確率論的安全評価手法の整備に関する報告書 = 屋外重要土木構造物の耐力・損傷確率評価=, JNES/SAE05-105, 2005. 12

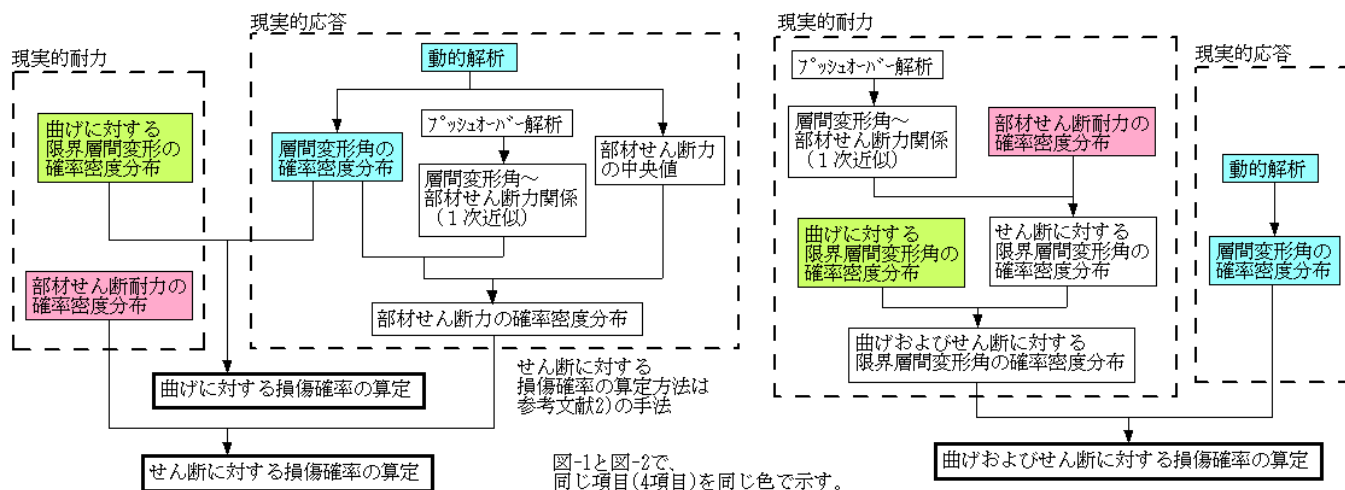


図-1 既往の手法による損傷確率評価フロー

図-2 提案手法による損傷確率評価フロー

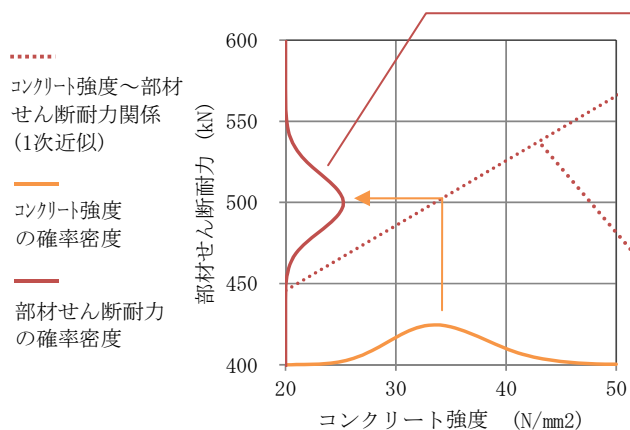


図-3 コンクリート強度と部材せん断耐力の関係

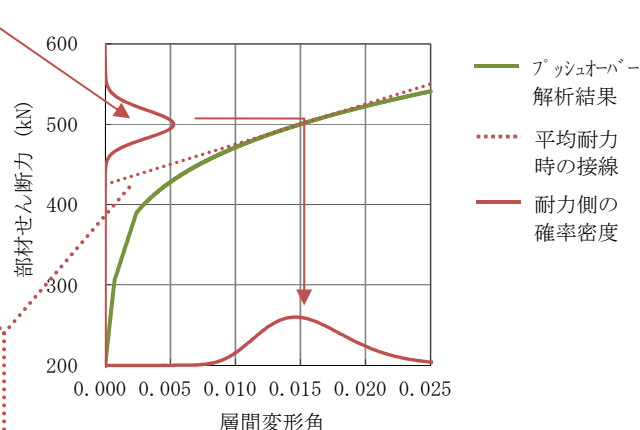


図-4 層間変形角と部材せん断耐力の関係

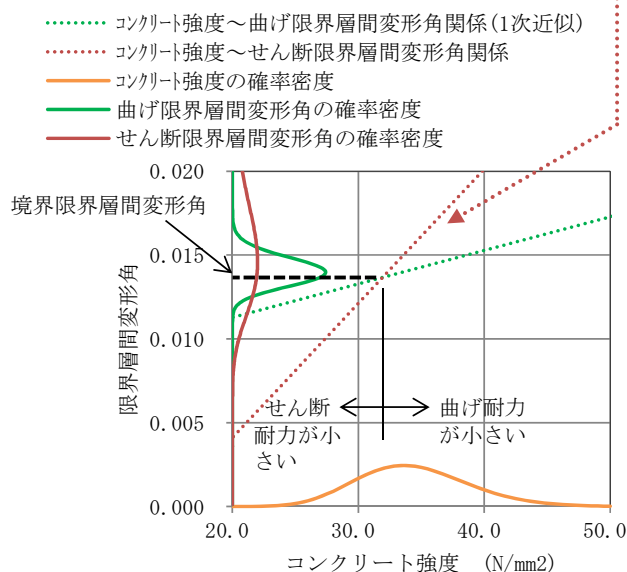


図-5 コンクリート強度と限界層間変形角の関係

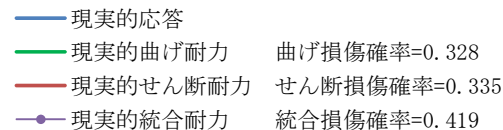


図-6 損傷確率の算定