

埋設線状構造物における地震リスク評価サービスの開始について

— 地下に埋まって見えないもののリスク・価値が見える化 —

2021年9月1日

東電設計株式会社

このたび、東電設計株式会社（東京都江東区：代表取締役社長 窪 泰浩）は、埋設線状構造物における地震リスク評価を開発、本日よりこのシステムのサービスを開始いたします。今回開発した評価では、埋設線状構造物に対し地震リスク分析を行い、構造物ごとだけでなく、構造物内での破損リスクの高い箇所を細分化して見える化することができます。それによって、構造物の所有者はリスクの高さや損失額などの情報を得られることになり、限られた予算や時間の中でも、最適な更新計画を立てることが可能となると考えています。なお、この評価手法は東京電力ホールディングス株式会社の委託を受けて開発したものです。

1. 背景

建物の、地震による被害の指標としては PML（※）が使用されています。しかしながら、地震リスクは建物だけでなく当然地下構造物にもあり、そうした地下構造物は地下にあるため、特に今回対象としている線状の地下埋設物は、これまでリスク評価が非常に困難でした。例えば水力発電所で使用する導水路や、火力発電所で使用する取水管は、数百メートルから数キロメートルと線状に長く設置されており、その構造物が地震により一部でも破損すれば、漏水の影響だけでなく発電にも影響を及ぼします。また、この長距離の構造物を一括で更新するには、長い期間と莫大な費用がかかります。こうした線状の地下構造物に対する地震リスクの評価はその所有者にとっては大きな問題でした。

※ PML (Probable Maximum Loss) : 予想最大損失率

想定される最大規模の地震により、建物がどの程度の被害を受けるかを、当該建物の再調達原価（仮に建物すべてを一括して建て替えた場合の額）に対する比率（%）で表す。想定される地震の規模については、通常 50 年に 10%以上の確率で発生しうる最大の地震動（約 475 年に 1 回の大地震）を対象としている。

2. 地震リスク評価の概要

まず、この評価においても、建物の評価に用いる PML を基準として評価します。ひとつの構造物においても、箇所によって材料、構造、さらに周辺の地盤特性が均一ではないため、構造物全体を 1～3m毎に要素分割し、その要素ごとに評価し、その総和から構造物全体の PML を評価します。その手順は以下の通りです。

- ① 要素ごとにフラジリティ曲線を設定
- ② 要素ごとの損失率及び損失額を算出
- ③ 全要素の損失額を合計し、対象設備全体の損失額を算出
- ④ 設備全体の損失額を全損失額で除し、設備全体の損失率を算出

⑤ 全応力解析、有効応力解析の2種類（※2）で①～④を行い、損失率、及び PML 値を算出

※2 全応力解析、有効応力解析

全応力解析は、地盤内で生じる応力について、土の部分と間隙水を一体として取り扱う解析手法。有効応力解析は、地盤内で生じる応力について、土の部分と間隙水を別々に取り扱う解析手法。有効応力解析は、地盤の液状化現象を表現することができる。

手順ごとの詳細は以下の通りです。

① 要素ごとにフラジリティ曲線を設定

建造物の地震応答解析をおこなって 1～3 m に分割された要素ごとの損傷確率を算出します。また、振動の与え方について、地震動加速度レベルごとにモンテカルロ・シミュレーション（※3 以下、MCS）で 100 回試行計算を行い、その結果をフラジリティ曲線として表します。

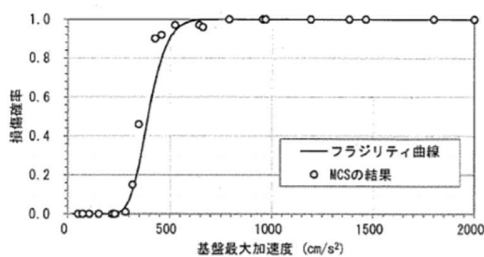


図 1：フラジリティ曲線（要素例 1）

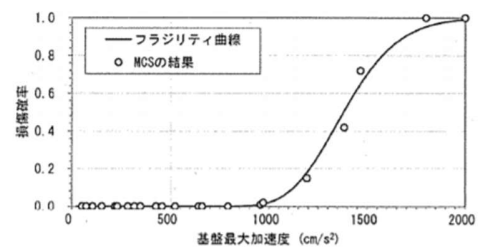


図 2：フラジリティ曲線（要素例 2）

※3 モンテカルロ・シミュレーション（MCS）

ランダムに変数を入力し、それに対してモデルがどのように反応するかを調べるための手法。今回の場合は、地盤最大加速度レベルごとに地盤物性値をランダムに設定した際に、損傷確率がいくらになるかを調べる。多くの施行回数行うことで図中のシンボルが得られ、これに対数正規分布の関数を当てはめることでフラジリティ曲線（図中の実線）が作成される。

② 要素ごとの損失率及び損失額を算出

損失率及び損失額を算出するにあたり、確率論的地震ハザード解析を行う必要があります。地震が発生した際、その建造物において、どの程度の基盤最大加速度が発生するかを解析しグラフ化します。

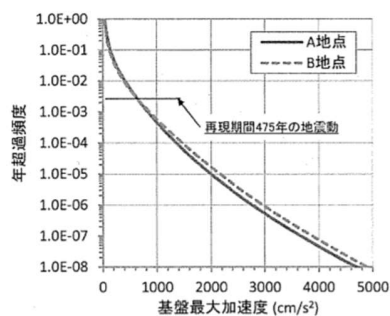


図 3：確率論的地震ハザード曲線（例）

この評価では、PML 値を取ることが最終目標なので、再現期間 475 年で生じる最大加速度をグラフから読み取ります。図 3 は、ある 2 地点の地震ハザード曲線を示しており、475 年時点で生じる基盤最大加速度は、地点 A は 686cm/S²、地点 B は 688cm/S² となります。

次に、損失率（損傷確率）を出しますが、上記図 1, 2 を例に仮に上記の地点 A（686cm/S²）で行ったとした場合、図 1 の要素は、損傷確率が 0.98 となり、図 2 の要素は損傷確率は 0 となります。それぞれの部材が 100 万円と仮定すると、図 1 の要素は、100 万円 × 0.98 = 98 万円が損失額となり、図 2 の要素は 0 円となります。このように、地点の基盤最大加速度を、各要素のフラジリティ曲線に照合し、各要素の部材費用を損傷確率でかけあわせることで、各要素の損失額が算出できるようになります。

③ ②で得た各要素を合計し、対象設備全体の損失額を算出

④ ③で得た、設備全体の損失額を、仮に全設備を一度に更新した場合の額で除し、設備全体の損失率を算出

これが基盤最大加速度における構造物全体の損失率であり、PML 値となります。

⑤ ①から④を全応力解析、有効応力解析の 2 種類で実施し、それぞれの損失率（=PML 値）を算出

上記①から④について全応力解析、有効応力解析の 2 種類で実施し、それぞれの PML 値を算出します。通常は全応力解析より有効応力解析の方がリスクが大きく評価される傾向にありますが、要素によっては全応力解析の方が、PML 値が高く算出されるケースが確認されたため、この評価では念のため、2 種類の解析を用いて評価することが望ましいと判断しました。

⑥ PML 値を評価

算出された PML 値について、建物の被害の場合では、下記の表と照合されることが一般的となっています。

PML 値	危険度	建物被害の程度
0～10%	非常に低い	軽微
10～20%	低い	局部的被害
20～30%	中程度	中破
30～60%	高い	大破
60%以上	非常に高い	倒壊

表 1：PML 値と地震被害との関係（建物の場合）

この評価においても、PML 値が小さいほど構造物の地震被害リスクが小さいこととなります。1981 年以降の建築基準法（新耐震設計法）により設計された建物の PML 値は 10～20%程度であることが一般的であるため、この評価でも 20%が一つの目安となると考えています。さらに、個々の要素の損失率に着目すれば、ある部分だけを更新する、というような判断も可能です。

以上のことから、地下構造物の所有者は予算やタイミングを考慮し、最適な更新計画の作成やその設計・施工が可能になると考えます。また、耐震補強した後の比較（Before/After）で PML 値の差分により耐震補強の効果を評価するなど、維持管理にも活用することも可能です。

この評価手法はもともとは電力用の埋設線状構造物の評価として開発を始めましたが、電力以外の共同溝や洞道などの地中の線状構造物であれば評価できることを確認しておりますので、ガス会社や電話会社など同様の埋設物を所有・管理されている多くのお客さまにもご活用いただけると期待しています。

なお、この評価手法は令和 2 年度電力土木技術協会高橋賞を受賞いたしました。この賞は、発電水力に関する技術及びその他の電力施設に関する土木技術の開発、研究、発明などにおいて、その技術の進歩向上に特に寄与したものと認められるものについて表彰されるものです。

以 上

《お問い合わせ》

本件の内容および販売などのお問い合わせにつきましては、以下の問合せ先までお願いいたします。

○東電設計株式会社

広報室：長谷川、田中

TEL：03-6372-5692

E-Mail：msr-tanaka@tepsco.co.jp