地下構造物の地震動特性の違いによる破壊確率の検討

中央大学　学生会員　○神門　佳貴
中央大学　　正会員　　佐藤　尚次

1. はじめに

日本は地震大国であり，過去の大型地震発生時には地震動によって構造物が損傷する事例が多く報告されている．ボックスカルバートに代表される地下構造物は，周辺地盤に拘束されているため自励的な振動を示さないことから地震に対する安全性は相対的に高いと考えられていた．しかし，1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震では阪神電気鉄道神戸高速線の地下鉄駅内に中間柱の完全破壊等の被害が生じた．この事例から地下構造物において耐震性能に対する検討の重要性が高い場合があることを示した．今後も首都圏直下型地震や南海トラフ地震などの大型地震が想定されていることよりこのような地下構造物への被害が発生することが考えられる．

本研究では，地震動強さの指標である加速度応答スペクトルに基づいて算出される等確率スペクトル(UHS:Uniform Hazard Spectrum)を用いて，地下構造物の破壊確率の検討を行う．その際，地震動特性の違う地震動に対して地点ごとの地盤増幅率を考慮して地震動強さを算出する．その結果から地震動特性の違いによる被害の大きさに関する検討と地下構造物が最も地震による被害を受けやすい地盤構造に関する検討を行うことを目的とする．

2. 解析概要

本研究では，日本水道協会が示す「水道施設耐震工法指針 [1)]」に基づいてボックスカルバートの破壊確率の検討を行う．

2. 1 対象地点・対象構造物

対象地点として，実際に地下構造物の破壊による被害が大きいと考えられる東京都の区部のうち東京都庁・東京都 23 区の区役所の計 24 地点とする．また，対象構造物は 1 層 2 連の水路カルバートとし，対象地点にあるものと仮定する．

2. 2 対象地点における地盤条件

東京都土木技術センター[2)]の公開している地盤柱状図データから土質区分や標準貫入試験値などのデータを抽出することで，対象地点における地盤内のせん断弾性速度や地盤の固有周期などの地盤条件を決定する．解析には，一般に地下構造物において用いられる応答変位法を用い検討を行う．

3. 地震動の推定

解析を行うにあたり対象地盤内の地震動強さを決定するために地震動特性を評価することが必要となる．地震動特性は，震源特性・伝播特性・地盤特性の重ね合わせによって決まる．そのため，建設地と構造物の条件について整理し，供用期間や工学的基盤を定めた上で，設計上考慮すべき複数のシナリオを検討し想定地震を設定する．そして想定地震に対して，震源・伝播・地盤特性等を反映させた設計地震動強さによって地下構造物の地震荷重を決定し耐震検討をすることが必要となってくる．そのため 3.1-3.4 に示す手順を用いて想定地震動を設定し，対象地点の地盤条件を用いることで地下構造物に働く入力地震動の大きさを推定する．

表-1 想定地震の諸元

	想定地震	M	平均発生間隔	最新活動時期	分布形状	震源深さ(km)
(a)	東京湾北部地震	7.3	23.8年		ポアソン	30
	平井断層帯	7.5	7000年		ポアソン	20
	鴨川低地断層帯	7.2	7900年		ポアソン	15
	立川断層帯	7.4	12500年	16500年前	BPT	18
	神縄・国府津-松田断層帯	7.5	1050年	780年前	BPT	10
(b)	想定東海地震	8	118.8年	150年前	BPT	20
	東南海地震	8.1	86.4年	60.1年前	BPT	20
	南海地震	8.4	90.1年	58年前	BPT	20

表-2 地盤種別の区分

地盤種別	地盤の固有周期T[s]	地盤状態
Ⅰ種	T<0.2	良好な洪積地盤及び岩盤
Ⅱ種	0.2≦T<0.6	Ⅰ種・Ⅲ種地盤に属さない洪積地盤・沖積地盤
Ⅲ種	0.6≦T	沖積地盤のうち軟弱地盤

3. 1 想定地震

対象地点での発生が予測されている地震動について地震調査研究推進本部が公開している「長期的評価の評価手法についての報告書 [3)]」の諸元を**表-1** に示す．表中(a)(b)はそれぞれ「首都圏直下型地震の原因となる想定地震の諸元」と「南海トラフの原因となる想定地震の諸元」を示す．この 2 種類の地震動特性の違う地震を想定地震とする．

3. 2 加速度応答スペクトルの算出

地震動特性の違いを評価するために距離減衰式を用いる．工学的地盤(Vs=300m/s)における加速度応答スペクトルの推定式は，安中ら(1997)によって提案された式(1)の最短距離用の推定式 [4)]を用いる．

キーワード　距離減衰式，地盤増幅特性，地下構造物
連絡先　〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27　TEL:03-3817-1816　FAX:03-3817-1803

$$\log S_A(T) = C_m M + C_h(T)h - C_d(T)\log d + C_0(T) \quad (1)$$

$$d = X + 0.334\exp(0.653M)$$

$S_A(T)$：加速度応答スペクトル[cm/s^2]
T：固有周期[s]
M：マグニチュード
h：震源深さ[km]
X：震源距離[km]
C_m, C_h, C_d, C_0：回帰係数

3. 3 地盤種別の区分

地盤変位などの地下構造物に働く作用力の算出にあたり地盤の固有周期による地盤種別の決定を行うことが必要である．その決定方法として**表-2** に示す区分を用い，固有周期の算出結果から決定する．

3. 4 等確率スペクトルの算出

着目地点において、その周辺で発生する地震によってt年間に少なくとも1回地震動の強さがyを超える確率P（ハザードカーブ）を式(2)より算出する．その算出結果から固有周期毎に求めた超過確率の等しいスペクトル値を結ぶことでUHSを算定する．

$$P(Y > y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(Y > y; t)\} \quad (2)$$

4. まとめ

対象地点 24 地点における地盤の固有周期は**表-3** に示す結果となった．また，想定地震動により発生する等確率スペクトルは**図-1** に示す結果となった．以上の結果より地盤動特性の異なる地震動を比較すると，短周期成分においては直下型地震が影響し，長周期成分においては南海トラフ地震が大きく影響している．また，地盤条件の違いを比較すると，地盤の固有周期の大きい地盤ほど南海トラフ地震の影響を大きく受ける結果となった．

5. おわりに

本研究では等確率スペクトルを用いて地震の作用力の算出を行った．その結果，地震動特性の違いによって等確率スペクトルの大きさに差が生じた．これは，地盤条件，地震動特性の違いや距離による減衰が加速度応答スペクトルを変化させたことが要因として考えられる．

今後の課題として，地下構造物の耐力側の検討を行うことや耐力側の評価を行うことが課題点として挙げられる．

参考文献・出典
1)日本水道協会：水道施設耐震工法指針(2009)
2)東京都土木技術センターHP：東京の地盤 http://doboku.metro.tokyo.jp/ 公開日(2014．05．01)
3) 地震調査研究推進本部：長期的評価の評価手法についての報告書(2001)
4)安中正・山崎文雄・片平冬樹：気象庁 87 型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案，第 24 回地震工学研究会講演論文集(1997)

表-3 対象地点における地盤の固有周期

地点	固有周期[s]	地点	固有周期[s]
足立区	1.358	墨田区	0.792
荒川区	1.455	世田谷区	0.499
板橋区	0.571	台東区	0.344
江戸川区	1.919	千代田区	0.436
大田区	0.573	中央区	0.438
葛飾区	1.343	豊島区	0.489
北　区	0.237	中野区	0.512
江東区	1.105	練馬区	0.440
品川区	0.677	文京区	0.850
渋谷区	0.434	港　区	0.563
新宿区	0.453	目黒区	0.352
杉並区	0.623	都庁	0.616

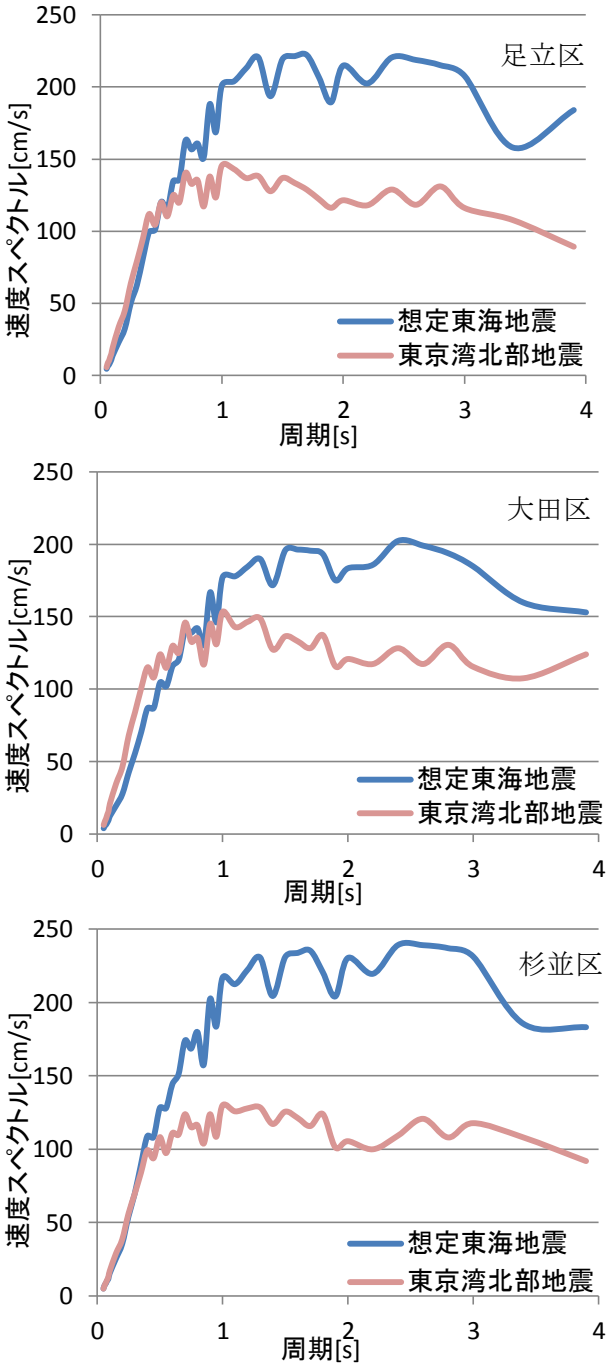

図-1 等確率スペクトル