

工学的基盤における強震動の速度応答スペクトルに関する考察

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○副島 紀代 江尻 譲嗣
 配水用ポリエチレンパイプシステム協会 正会員 大室 秀樹 塩浜 裕一
 東洋大学 正会員 鈴木 崇伸

1. はじめに

水道指針におけるレベル2地震動の設計用速度応答スペクトルは、1995年兵庫県南部地震の強震記録を基に策定されたものであるが¹⁾、その後の観測データによれば断層近傍などではさらに大きな地盤変位・地盤歪が予想されることから、2009年の現行指針では同指針の定める以上の耐震性の高い管路が望ましいとされている。そこで水道指針において検討の対象としていない兵庫県南部地震以降の高レベルの強震記録を用いて速度応答スペクトルの比較を試み、望まれる設計要件を分析した結果²⁾を報告する。

2. 検討対象

検討対象とする観測記録は、1995年兵庫県南部地震以降2016年熊本地震までに公表された地表面の加速度強震観測記録の内、計測震度6.0以上で地表面での最大速度(PGV)が比較的大きく、観測地点において地盤応答解析を実施できる程度の地盤情報を有するものとして、防災科研のK-NET・KiK-netの強震観測記録などから10波を選定した。検討対象とした主な強震記録と観測されたPGA(Gal)、加速度波形から積分計算で求めたPGV(Kine)を表-1に示す。

3. 検討方法

表1に示す観測波について、下記の手順で工学的基盤における強震動の速度応答スペクトルを求めた。

- ① 各観測地点の地盤情報から1次元土柱モデルを作成し、地表面で観測された加速度波形を1次元重複反射解析により工学的基盤面の応答加速度波形(E+F)に変換する。
- ② ①で求めた工学的基盤面の応答加速度波形の加速度応答スペクトル(減衰 $h=15\%$)を算出する。
- ③ ②で求めた加速度応答スペクトルから、擬似速度応答スペクトル(減衰 $h=15\%$)を算出する。

ここで耐震設計上の基盤面とは、概ねせん断波速度 $V_s=300\text{m/s}$ 程度以上となる層とする。また、1次元重複反射解析には解析プログラム「FDEL」を用いた³⁾。

4. 地盤モデル

地震動とともに公表された観測地点の地盤情報から解析用の1次元土柱モデルを設定した。なお、土質物性等の情報が不十分な場合には、既往の文献等に基づき、解析に必要なパラメータを推定した。地盤の非線形特性については、土木研究所の式を用いて設定した。

表-1 対象とした主な地表面強震観測記録(1995年兵庫県南部地震以降、2016年熊本地震まで)

No.	地震名	観測点	方向	PGA (Gal)	PGV (Kine)
1	2000年鳥取県西部地震	KiK-net日野(TTRH02)	NS	918	124
2	2003年十勝沖地震	K-NET直別(HKD086)	EW	801	121
3	2004年新潟県中越地震	K-NET小千谷(NIG019)	EW	1314	127
4	2004年新潟県中越地震	川口町川口	EW	1676	147
5	2007年能登半島地震	K-NET穴水(ISK005)	EW	780	98
6	2007年新潟県中越沖地震	柏崎刈羽原発1号機地震観測小屋	EW	890	137
7	2008年岩手・宮城内陸地震	KiK-net東成瀬(AKTH04)	EW	2446	75
8	2011年東北地方太平洋沖地震	K-NET築館(MYG004)	NS	2699	105
9	2011年東北地方太平洋沖地震	KiK-net浪江(FKSH20)	EW	661	111
10	2016年熊本地震(4/16本震)	KiK-net益城(KMMH16)	EW	1156	131

キーワード 水道施設, 埋設管路, レベル2地震, 設計スペクトル, PE管, 擬似速度応答スペクトル

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

5. 検討結果

図-1 に対象とした 10 地震波の工学的基盤における擬似速度応答スペクトル ($h=0.15$) を示す。いずれもスペクトルの最大値が 100Kine を超えており、震度 7 を記録した 2004 年新潟県中越地震 K-NET 小千谷および川口町, 2011 年東北地方太平洋沖地震 K-NET 築館, 2016 年熊本地震 KiK-net 益城では、スペクトルの最大値が 200Kine を超える結果となった。これらを水道指針のレベル 2 地震動に対する設計用速度応答スペクトルと比較すると、すべての地震波が設計スペクトルを一部超過することがわかった。一方で、水道管等の埋設管路への影響が大きい固有周期 0.7 秒付近の周期帯においては、半数の 5 地震波が設計スペクトル内に収まっていることが明らかとなった。

6. まとめと考察

検討の結果, 1995 年兵庫県南部地震以降 2016 年熊本地震までの代表的な強震記録 10 波の工学的基盤面の擬似応答速度スペクトルについて, 以下の点が明らかとなった。

- 1) すべての基盤波で水道指針のレベル 2 設計用速度応答スペクトルを一部超過した。
- 2) すべての基盤波で擬似速度応答スペクトルの最大値が 100Kine を超え, 一部は最大値が 200Kine を超える結果となった。
- 3) 水道管等の埋設管路への影響が大きい固有周期 0.7 秒付近の周期帯においては, 半数が設計スペクトル内に収まる結果となった。

表-1 に示すように観測記録から計算された PGV は最大でも 150Kine 程度であり, 現実に地表面の地盤応答が 200Kine を超える可能性があるかどうかは, 今後さらなる検討が必要であると考えられる。また, 設計上の課題もある。設計スペクトルを用いて設計を行う際には, 適切な地盤の固有周期 (T_g) の設定が必要となるが, レベル 2 地震動のような大きな入力に対しては, 地盤の塑性化に伴う剛性低下がどの程度進むかにより, 固有周期も大きく変化する。今回の解析では地盤の最大せん断ひずみの値が 0.09% (約 10^{-3}) から 2.5% (約 10^{-2}) となっており, 対応する適切な地盤のせん断ひずみレベルの把握が重要である。さらにせん断ひずみレベルに応じて地盤の減衰も変化するため, 応答スペクトル算出時の減衰設定にも配慮が必要である。

以上の観点から, 特に重要度が高い埋設管で, 設計スペクトルを超えるような極めて大きな地震動に対して耐震設計が必要な場合には, 当該地点における想定地震動を設定の上, 地盤の非線形性を精度よく考慮できる適切な方法 (非線形有限要素法による動的解析等) を用いて検討することが必要である。

参考文献

- 1) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 (1997 年版), 1997 年 3 月, p.18
- 2) 配水用ポリエチレンパイプシステム協会：水道配水用ポリエチレン管の耐震性評価におけるレベル 2 設計地震動に関する調査報告書, 2018 年 3 月
- 3) 杉戸真太, 合田尚義, 増田民夫：周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No.493/II-27, pp.49-58, 1994.

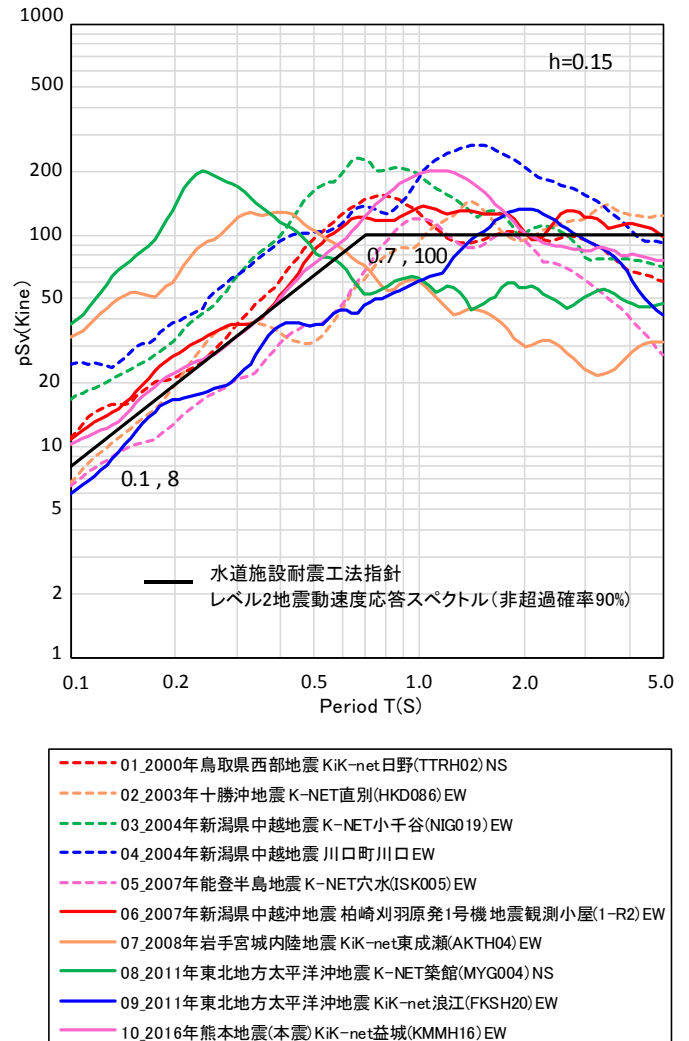


図-1 工学的基盤波の速度応答スペクトルと設計用速度応答スペクトルの比較