

深部地下構造を考慮した内陸活断層型地震の応答スペクトル

(財) 鉄道総合技術研究所 ○坂井 公俊, 室野 剛隆, 佐藤 勉
京都大学防災研究所 澤田 純男

1. はじめに

道路や鉄道などの線状構造物の設計を考えた場合、設計地点毎にシナリオ地震を作成するのはコストの面などから合理的であるとは言えない。そこで多くの場合は、観測記録をある一定非超過確率で包絡するものを設計標準地震動として設定し、この標準地震動に対して耐震設計を行っている。標準地震動としては、内陸活断層型と海溝型の2タイプの地震を考えている。このうち内陸活断層型標準地震のスペクトルレベルは主に1995年兵庫県南部地震における記録を中心にして検討された結果であり、これが内陸活断層型地震として一般性のあるものかどうかという部分については疑問が残る。深部地下構造の影響で強い増幅を受けた兵庫県南部地震のような地震は、山間部等地盤の良好な地域においては到底起こりえない地震である可能性が指摘されている。そこで本研究では耐震設計で考慮する標準地震動を設定するための基礎的検討として、深部構造の影響を考慮した内陸活断層型地震の応答スペクトルレベルについて観測記録に基づいた検討を行う。まず断層近傍で得られた地震記録に対して距離減衰式を用いて断層直上での記録を推定する。この記録を地震基盤深度によって大きく2つに分類し、それらのスペクトル特性について考察を行う。

2. 観測記録の補正

本研究では、内陸活断層型地震の断層直上による工学的基盤 ($V_s=400\text{m/s}$ 程度) での応答スペクトルレベルについて検討を行う。よって検討に用いる観測記録もこれらの条件に当てはまるものである必要がある。具体的には、内陸活断層による、 $M_j \geq 6.4$ 、震源距離がある程度近い、地盤条件が良好である(工学的基盤までの深度が10m以内)、大きな加速度が得られている記録を収集した。今回の地震動選定条件に適合しているものの、スペクトル形状などから地盤の非線形性の影響等が特に大きいと考えられる記録に関しては検討対象地震記録から除き、計174記録を用いて検討を行う。最終的に検討に用いる地震、観測記録数を表1に示す。

得られた地震記録はそれぞれ観測サイトの地盤条件、地震の震源距離が異なるため、種々の補正を行った。具体的には表層で得られた記録を等価線形化法(FDEL)によって工学的基盤面の記録に補正し、距離減衰式を用いて断層直上位置における応答スペクトルを求めた。補正の結果得られた断層直上での工学的基盤面における応答スペクトルを全て重ねたものを図1に示す。観測された応答スペクトルは全体の傾向として、短周期側ほど大きくなっている。図1には一般的な道路・鉄道の耐震設計の際に用いられている内陸活断層による地震を想定した設計地震動の応答スペクトル(以降、耐震標準スペクトル)も重ねて示してあるが、観測記録と耐震標準スペクトルを比較すると、0.5秒より長周期側では耐震標準スペクトルが観測記録をほぼ包絡しているのに対し、0.5秒以下では逆に過小評価している。

表1 本検討で用いた地震の一覧

No.	地震名	発震日	Mj	Mw	記録数
1	兵庫県南部地震	1995.01.17	7.3	6.9	10
2	鹿児島県北西部地震	1997.03.26	6.6	6.1	4
3	鳥取県西部地震	2000.10.06	7.3	6.8	34
4	宮城県北部地震	2003.07.26	6.4	6.1	40
5	新潟県中越地震	2004.10.23	6.8	6.7	22
6	新潟県中越地震(余震)	2004.10.23	6.5	6.4	24
7	福岡県西方沖地震	2005.03.20	7.0	6.7	30
8	能登半島地震	2007.03.25	6.9	6.7	10

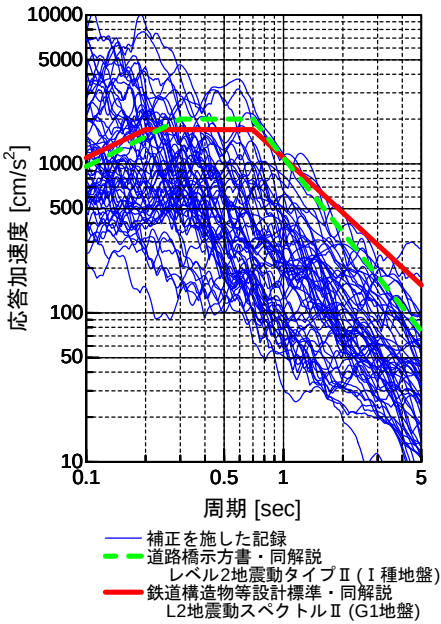


図1 断層直上に補正した全観測記録と耐震標準スペクトルの比較

キーワード 設計地震動, 地震基盤, 工学的基盤

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL042-573-7394

3. 深部地下構造を考慮した応答スペクトル

次に深部地下構造を考慮した応答スペクトルの検討を行う。観測点ごとの地震基盤深度はボーリングデータや全国の深部地盤構造モデルを参考に決定し、深度が500mより浅いものと深いものの大きく2つに分類した。地震基盤深度ごとの観測応答スペクトルを重ねたものを図2に示す。これを見ると、大まかな地震基盤深度の区分によっても、スペクトル形状の違いをよく表現できていることが分かる。地震基盤が浅い地域では、短周期側で非常に大きなスペクトルレベルとなっており、長周期に進むに従い応答値も小さくなっている。これに対し基盤の深い地域では地盤の増幅の影響を受けるので、浅い地域と比較すると、0.5秒以上において大きくなっていることが分かる。さらに0.5秒より短周期ではフラットになっていることが分かる。また基盤が深い地域のスペクトル形状は、現行の設計標準地震動と同様の傾向を示している。

次にこのような地震基盤深度ごとの分類を行った場合に耐震標準スペクトルを設定すると、どの程度のレベルになるか試算を行う。現行の鉄道における標準地震は、観測記録を非超過確率90%で包絡するものを設定しており、これを参考に地震基盤深度毎に観測スペクトルを非超過確率90%で包絡するスペクトルを試算する。なお観測点と断層面の最短距離が大きい観測記録に関しては、距離減衰式による補正誤差をより多く含んでいると考えられるため、補正倍率に対して重みを付けて解析を行っている。この結果得られた地震基盤深度ごとの非超過確率90%の応答スペクトルも図2に示す。これを見ると地震基盤深度が大きい地点での非超過確率90%のスペクトルは、一般的な道路や鉄道の設計に用いられている耐震標準スペクトルとほぼ等しい。つまり地震基盤が深い地域では現行の耐震標準スペクトルを用いることが妥当であるが、山間部等地盤の浅い地域では、図2左のスペクトルを標準地震動として扱うことにより、合理的な設計が行える可能性がある。

4. まとめ

本研究では、内陸活断層型地震による設計地震動を合理的に設定するための基礎的検討として、設計地点の地震基盤深度によって異なるスペクトルを設定する手法について検討を行った。その結果、ある程度地震基盤が深い地域 ($V_s=3000\text{m/s}$ の層が500m以深の地域) では現行の標準応答スペクトルを用いることが妥当であるが、地震基盤の浅い地域では、長周期側で3割程度小さいスペクトルを設定可能であることが示された。つまり本スペクトルを耐震設計のための標準スペクトルとすることで、山間部等地盤の良好な地域では、現在よりも合理的な設計が可能となる。

謝辞

本検討では、防災科学技術研究所のK-NET, KiK-netの観測記録を使用させていただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- ・土木学会・地震工学委員会・耐震基準小委員会, 委員会活動報告書, 2001.
- ・(社) 日本道路橋会: 道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編), 2002.
- ・(財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999.
- ・杉戸真太, 合田尚義, 増田民夫, 土木学会論文集, 493/III-27, pp. 49-58, 1994.
- ・内山泰生, 翠川三郎, 日本建築学会構造系論文集, No. 606, pp. 81-88, 2006.

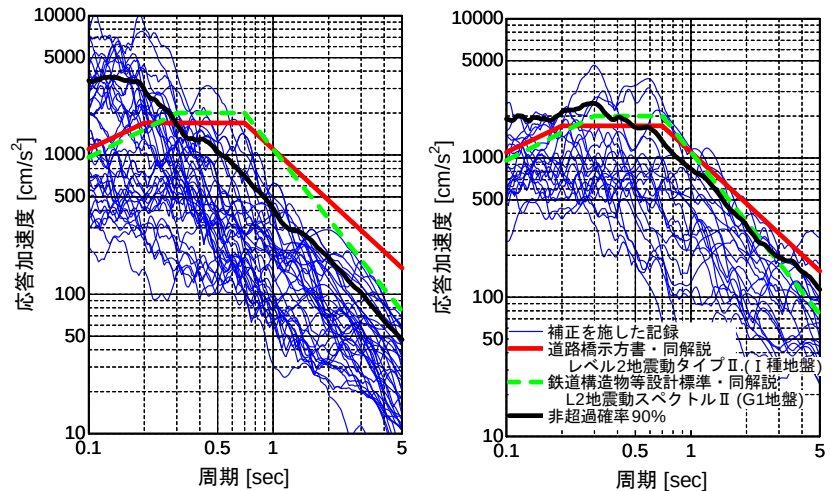


図2 地震基盤深度500m以浅(左)・以深(右)における記録
(断層直上に補正済み)の比較