

地震観測記録を用いた地盤の非線形特性の推定

飛島建設 技術研究所 正会員 ○池田 隆明
 東京大学 生産技術研究所 正会員 小長井一男
 京都大学 原子炉実験所 非会員 釜江 克宏
 飛島建設 技術研究所 正会員 高瀬 裕也

1. はじめに

地震動予測手法の一つである経験的グリーン関数法は、適切な余震記録を経験的グリーン関数に用いることにより、地震動評価に必要なサイト特性、伝播経路特性、震源特性の3つの特性のうち、伝播経路特性とサイト特性が自動的に評価できるという特徴を有する。しかし、この方法では評価対象の地震動が、地震の相似則に基づき経験的グリーン関数の線形な重ね合わせで表現されるため、本震時において地盤の強い非線形性が生じる軟弱なサイトでは合成波形が過大評価となり、直接的な適用には限界があった。そこで、池田他¹⁾は経験的グリーン関数法と地盤の非線形特性の評価を組み合わせることにより、地盤が軟弱な地点に対しても経験的グリーン関数法が適用できることを示している。この方法を適用する場合、対象とするサイトが地盤の非線形性を考慮する必要があるかどうかを事前に評価する必要がある。

地震動のコーダ波の H/V スペクトルは地下構造と深い相関を有していると考えられており、H/V スペクトルから S 波速度構造を推定する試みが行われている²⁾。コーダ波の H/V スペクトルは地震によらずほぼ安定していると考えられているが、レベル2地震動のような振幅の大きい地震動では地盤が非線形性を示し S 波速度も低下するため、コーダ波の H/V スペクトルにはその影響が含まれることが推測される。そこで、強震時と弱震時のコーダ波の H/V スペクトルの差異から地盤の非線形性が推定できれば、前述の地盤の評価に適用できると考えられる。

本報告では、地盤が軟弱なサイトを対象に強震時と弱震時のコーダ波の H/V スペクトルを比較し、当該地点の地盤の非線形特性の推定を試みる。

表 1 CHB004 地点の地盤モデル

No.	層厚 (m)	土質 区分	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)
1	4	粘性土	1.65	145
2	3	砂質土	1.60	200
3	6	砂層	1.80	390
4	-	砂層	1.90	495

2. 検討条件

対象としたサイトは、K-NET の佐原観測点 (CHB004)³⁾ である。当該地点の地盤構造を表 1 に示す。軟弱な粘性土と砂質土から構成された単純な地盤構造を有する。

強震記録には 2011 年 3 月 11 日に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mj9.0) の地震動を、弱震記録にはその 2 日前に発生した三陸沖を震源とする地震 (Mj7.3) の地震動を使用した。図 1 に震央と CHB004 との位置関係を示す。震央だけで比較すると、地震動の到来方向はほぼ同じである。

3. 検討結果

図 2 に検討に用いる二つの地震動の加速度時刻歴を示す。弱震記録の最大加速度は 4cm/s² 以下であり、この程度の地震

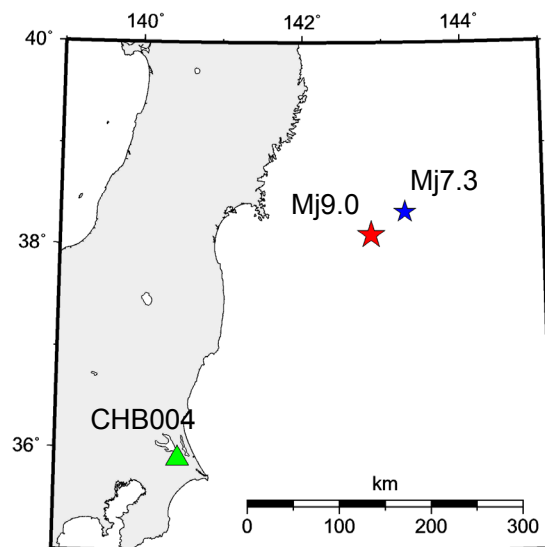


図 1 検討に用いる地震動を生成した地震の震央と検討対象地点 (CHB004)

キーワード 強震動予測, サイト特性, 非線形, H/V スペクトル, 地震動, 経験的グリーン関数法
 連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 e-mail: takaaki_ikeda4@tobishima.co.jp

動では地盤はほぼ線形挙動をしていると考えられる。一方、強震記録の最大加速度は 300cm/s^2 程度であり、地盤は非線形挙動をしたと想定される。

この地震動の主要動以降の 60 秒間をコーダ波として H/V スペクトルを算出する。図 2 に対象とした範囲を示す。図 3 にコーダ波の H/V スペクトルを示す。H/V スペクトルは水平方向と鉛直方向のフーリエスペクトル比であり、バンド幅 0.2Hz の Parzen ウィンドウで平滑化されている。弱震時の H/V スペクトルのピークは 5.5Hz 付近に見られ表 1 の地盤 S 波構造から推定される 1 次固有振動数とほぼ整合する。強震時の H/V スペクトルのピークは 4.5~5.0Hz 付近に見られ、G.L.-7m 以浅の粘性土層と砂質土層の Vs が 20% 程度低下したと整合する。

図 3 には想定した地盤 S 波構造に基づき算出した Rayleigh 波の理論 H/V スペクトルを示す。弱震記録には表 1 の地盤 S 波構造、強震記録には G.L.-7m 以浅の Vs を 20% 低下させた地盤 S 波構造を使用している。理論 H/V スペクトルのピークとコーダ波の H/V スペクトルのピークはほぼ整合している。

これらの結果は、強震時のコーダ波の H/V スペクトルには強震動による地盤の非線形性の影響が含まれていることを示唆するものと考えられる。そのため、同一の地点で観測された強震動記録と弱震動記録のコーダ波の H/V スペクトルを比較することにより、その地点が強震動時において、どの程度の非線形性を示したのかを推定することが可能と考えられ、この方法を経験的グリーン関数法により地震動予測をする際の地盤の評価に適用できる可能性が明らかになった。

4. まとめ

経験的グリーン関数法により強震動予測を行う際の地盤の評価（非線形性の考慮の必要性）を、地震観測記録（コーダ波の H/V スペクトル）を用いて評価する方法を検討した。その結果、強震記録のコーダ波の H/V スペクトルには地盤の非線形性の影響が含まれている可能性が示唆され、強震記録と弱震記録のコーダ波の H/V スペクトルを比較が有効な評価手法となりうることがわかった。今後、複数の地点で当該方法の検討を行い、適用性について検証を行う必要がある。

【参考文献】1) 池田・釜江・入倉: 経験的グリーン関数法を用いた震源のモデル化と地盤の非線形性を考慮した地震動評価, 2005 年福岡県西方沖の地震と 2007 年能登半島地震への適用, 日本建築学会構造系論文集, No.76, 655, 2011(登載決定), 2) 小林・儘田: コーダ波 H/V スペクトルの逆解析による S 波速度構造の推定, 日本地震工学論文集, No.10, 1, 2010., 3) 防災科学技術研究所: 強震観測ネットワーク, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>

【謝辞】 防災科学技術研究所の K-NET の地震観測記録を使用させていただきました。データ公開に尽力された防災科学技術研究所の担当者の方に謝意を表します。また、本検討の一部は科研費（課題番号 21560513, 研究代表者：池田隆明）の助成を受けて実施しました。

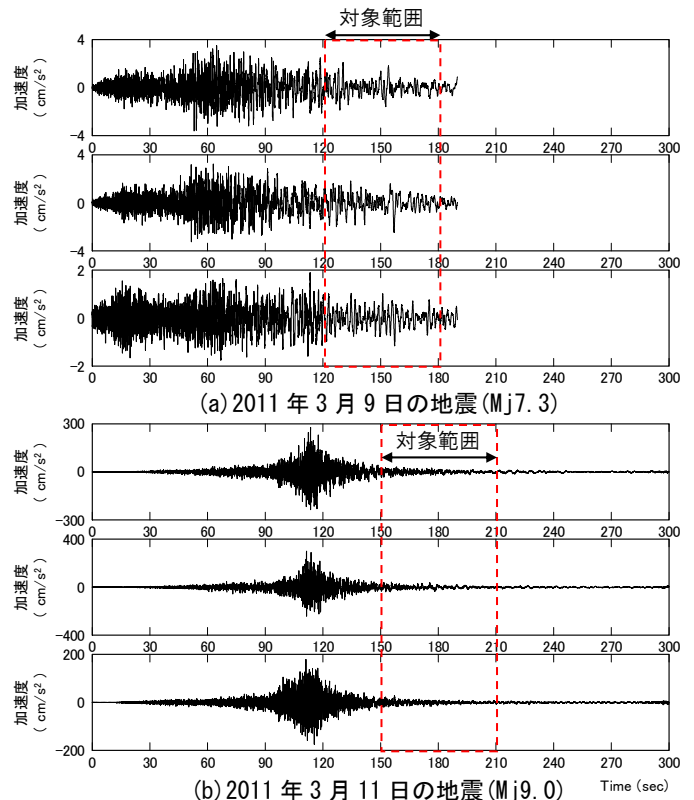


図 2 CHB004 における加速度時刻歴

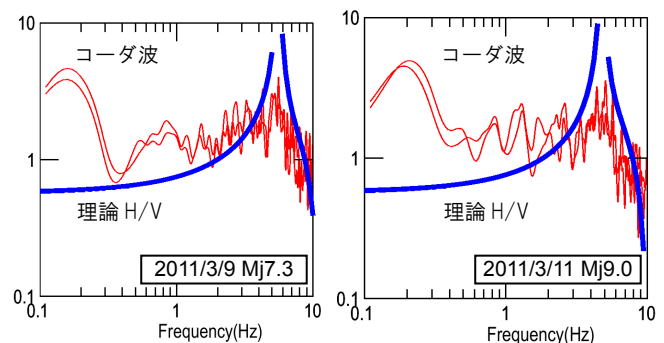


図 3 コーダ波の H/V スペクトルと Rayleigh 波の理論 H/V スペクトルの比較