

I-703 ひずみの周波数特性を考慮した等価線形化手法による地盤の地震応答解析

戸田建設(株) ○清水義治 岐阜大学工学部 杉戸真太
東京電気大学理工学部 安田進 東京電力工務部 増田民夫

1. はじめに 地盤の地震応答解析において、これまで実務の面でも多用されてきた等価線形化手法は、地盤が軟弱で地震動のレベルが大きい場合に、とくに高周波数領域で観測値を大きく下回ることが指摘されてきた。このような等価線形化手法の問題点を解決することを目的として、著者ら^[1]はひずみ波形のフーリエスペクトルから、個々の周波数に応じて等価剛性、等価減衰定数を与える方法を提案した。本報では、さらに高周波数領域での増幅率に大きく影響する減衰定数の下限値について検討を行った結果について報告する。

2. 周波数依存型等価ひずみの定義 周波数依存型の等価平均ひずみ $\gamma_f(\omega)$ を(1)式のように定義する^[1]。

$$\gamma_f(\omega) = C \cdot \gamma_{max} \cdot \frac{F_\gamma(\omega)}{F_{\gamma max}} \quad (1)$$

ただし、 C は係数、 γ_{max} は最大せん断ひずみ、 $F_\gamma(\omega)$ はひずみ波形のフーリエスペクトル、 $F_{\gamma max}$ は $F_\gamma(\omega)$ の最大値である。

地盤震動によるひずみの発生に大きく寄与する卓越周波数は、通常 1Hz 前後のいわゆる中周波数領域である。このような周波数成分に加えて、より高周波数で振幅レベルが低い波が伝播する場合を想定し、この状態をさらに便宜的に模擬したものとして静的にあるレベルのせん断ひずみが加わった状態でのせん断試験を行った。図-1 は、通常のせん断試験に加えて静的な初期ひずみを $0.7 \sim 7 \times 10^{-4}$ とした場合での $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 曲線である。同図(a),(b)から、剛性、減衰は、初期ひずみレベルにある程度依存するが、それよりはひずみ振幅レベル(図の横軸の値)に大きく依存していることがわかる。すなわち、初期ひずみが 7×10^{-4} レベルであっても、そのまわりでの振幅レベルが 10^{-5} 程度であれば、剛性、減衰ともにむしろ初期ひずみのない場合に近い値となる。したがって、本手法の前提である周波数毎のひずみ振幅レベルに応じた等価ひずみを与えることが定性的に妥当であることを示しているものと考えられる。

周波数依存型の等価線形化手法プログラム FDEL の計算結果を実際の鉛直アレー観測記録と比較することにより妥当性を検討し、とくに高周波数領域でのレベルの低い等価平均ひずみに対応する減衰定数の下限値について、各土質毎に検討を行った。また、地盤情報の詳細さによる推定値の精度に関しても提案した手法を用いて解析し、工学的に要求される精度を得るために必要な地盤情報レベルについて検討を加えた。

なお、解析には前回と同様、詳細な地盤情報が得られている東京電力(株)新大田変電所建設予定地(軟弱地盤)でのアレー観測記録を用いた。

3. 検討 比較的大きな加速度記録が得られている千葉県東方沖地震(G.L.-1.5m で $A_{max} = 76.6 \text{ gal}$) の記録から FDEL および従来の手法を用いて求めた基盤から地表面への加速度フーリエスペクトルの増幅率をそれぞれ図-2, 図-3 に示す。この図からわかるように、従来の手法では高周波数領域で増幅率を過小評価しているが、FDEL では観測値を良くとらえられていることがわかる。

応答解析における減衰定数の下限値についての検討を行う。FDEL では Hardin-Drnevich モデル^[2]により等価ひずみから剛性、減衰を与える。これまでに提案されてきているモデルと同様に、このモデルではひずみが微小になると、減衰定数もきわめて 0 に近づくことになる。しかし、実際の地盤では波の散乱等の効果を含めればある程度の減衰はあるものと考えられるため、減衰定数に下限値を設定する必要がある。減衰定数の下限値を表-1 の 15 ケースのように与えて解析を行い、結果を図-4 に示す。これは加速度フーリエスペクトルの観測値に対する FDEL による計算値の比を各周波数毎に求め、その比を標本値として変動係数を求めたものである。つまり、この変動係数が小さいほど計算値が観測値の周波数特性まで良くとらえられていると言える。この図より、減衰定数の下限値はこの解析例では Case8($h = 5\%$ (粘性土), 4% (シルト質土), 3% (砂質土)) が適当であると考えられる。

4. 結論 周波数依存型の等価平均ひずみを用いたプログラム FDEL は、高周波数領域でも従来の手法に比べ、軟弱地盤においても観測記録に近い解析結果が得られ、有効な解析手法であることが示された。また、減衰定数の下限値は本検討に限れば、粘性土 5%, シルト質土 4%, 砂質土 3% 程度が適当であることが得られた。

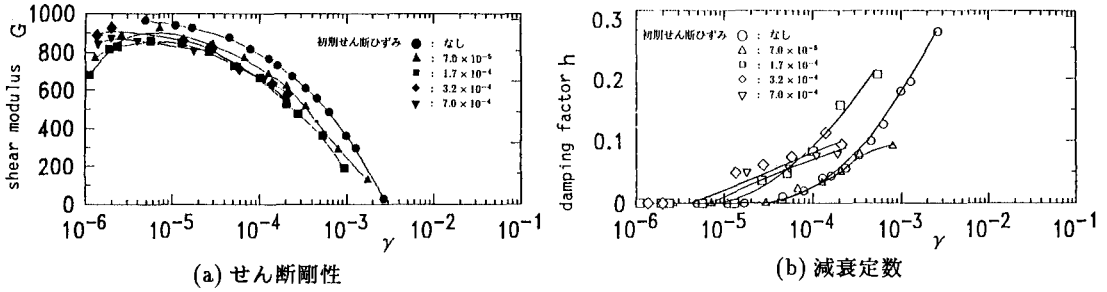


図-1 セン断試験における初期せん断ひずみの影響

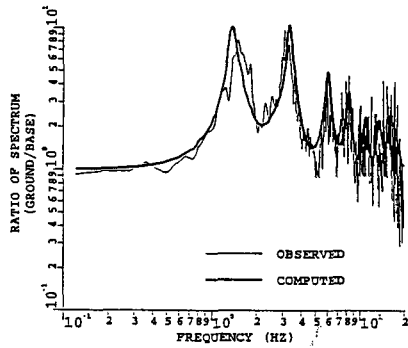


図-2 地震動増幅率の解析値と観測値との比較
(本手法 FDEL)

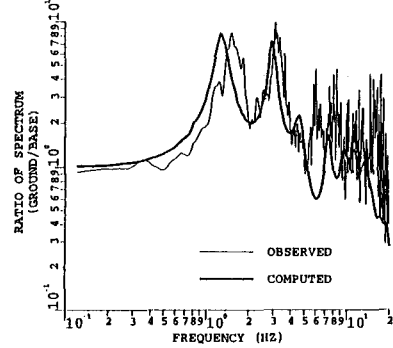


図-3 地震動増幅率の解析値と観測値との比較
(従来の等価線形化手法)

表-1 減衰定数の下限値の組み合わせ

ケース	粘土	シルト	砂
Case 1	3.0	2.0	1.0
Case 2	4.0	2.5	1.0
Case 3	5.0	3.0	1.0
Case 4	3.0	2.5	2.0
Case 5	4.0	3.0	2.0
Case 6	5.0	3.5	2.0
Case 7	4.0	3.5	3.0
Case 8	5.0	4.0	3.0
Case 9	1.0	1.0	1.0
Case 10	2.0	2.0	2.0
Case 11	3.0	3.0	3.0
Case 12	4.0	4.0	4.0
Case 13	5.0	5.0	5.0
Case 14	7.0	7.0	7.0
Case 15	10.0	10.0	10.0

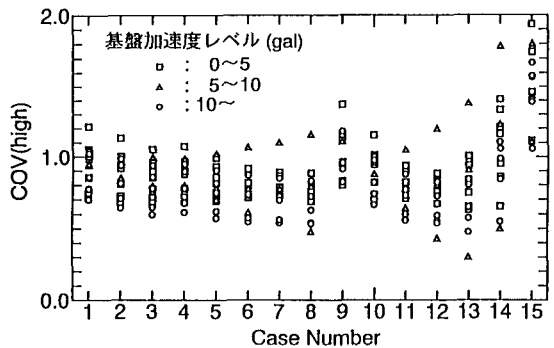


図-4 地震動増幅率の推定値の変動係数
(高周波数領域 : 5~10Hz)

謝辞： 本報で用いた新大田での記録と地盤資料は、(財)地震予知総合研究振興会に設置された「電力流通設備耐震対策研究会」（委員長：片山恒雄）の第1WGで検討中のものである。研究の一部は、文部省科学研究費総合研究A（代表者：東畑郁生）およびNKK基盤技術研究所より援助を受けた。

参考文献

- [1] 杉戸真太、合田尚義、増田民夫、悦永賢司：周波数特性を考慮した等価線形化手法に関する一考察、第28回土質工学研究発表会、pp1129-1132、平成5年6月
- [2] Hardin, Drnevich: "Shear Modulus and Damping in Soils", ASCE, Vol.98, SM6, SM7, 1972.