



複素せん断弾性係数による応力の出力について

目的・背景

SuperFLUSH では複素せん断弾性係数を用いた複素剛性により剛性マトリックスを求め、地震時の地盤応答を算出している。その際用いる複素せん断弾性係数は式(1)または式(2)が用いられる。

$$G^*=(1+2i\beta)G \dots\dots\dots (1)$$

$$G^*=(1-2\beta^2+2i\beta\sqrt{1-\beta^2})G \dots\dots\dots (2)$$

両式は減衰の小さい範囲ではほぼ同じ解を得ることができるが、一般的には剛性の絶対値が変化しないように改良された(2)式を用いる。

上記で述べたように SuperFLUSH の応答の計算には複素剛性を用いているが、最終的な応力の出力は算定された歪をもとにして実数の剛性による応力値を出力している。(SHAKE も同様である。)

これは、計算段階では歪のみを使用し、応力値を用いていないこと、計算時間の問題などが理由であるが、材料の履歴特性を考慮した場合、応力値も複素剛性を用いて算出した方が、出力結果としてはより材料の特性を反映することが出来る。

そこで本検討では、実数剛性(線形剛性)による応力値と複素剛性による応力値を比較し、その違いを検証した。

検討概要

検討は1次元地盤を対象とした地震応答解析を実施し、それぞれの要素で線形剛性と複素剛性を用いた場合の応力値の違いを検証した。計算は式(2)を用いて比較を行った。

表1に検討に用いた地盤物性値を示す。解析は等価線形解析とし、G.L.-3.0mを地下水位として地下水位以深は体積弾性係数一定とした。

図1に各材料の歪依存特性を示す。

また、図2には、歪依存特性から求められる各材料において有効歪が1%のせん断歪が生じた際の履歴ループを示す。このループの傾きおよび履歴面積が複素剛性を用いた際の有効歪1%時の各材料における剛性および減衰値を示している。

表1 比較用1次元地盤モデル

区分	層厚 (m)	分別 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積質量 γ _t (kN/m ³)	動的せん断 弾性係数 G _d (kN/m ²)	動的ポアソン比 ν _d	せん断波速度 V _s (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	0.488	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	0.488	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	0.488	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	0.488	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	0.497	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.20	12.40	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	14.80	16	25000	0.497	124	0.020
		1.60	16.40	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	0.494	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	21.20	16	43000	0.494	162	0.020
		1.20	22.80	16	43000	0.494	162	0.020
第4粘性土層	8.00	1.60	24.40	16	43000	0.494	162	0.020
		1.20	25.60	18	159000	0.481	288	0.020
		2.00	27.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	0.489	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	31.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	0.489	252	0.020
埋置(地盤)	2.00	2.00	35.60	18	278000	0.466	375	0.010
		2.00	37.60	20	388000	0.452	442	0.010

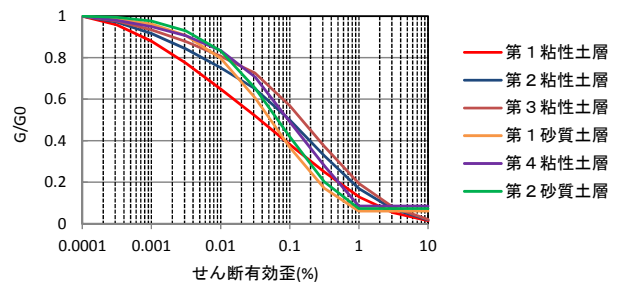


図1(a) 歪依存特性(G/G0~γ関係)

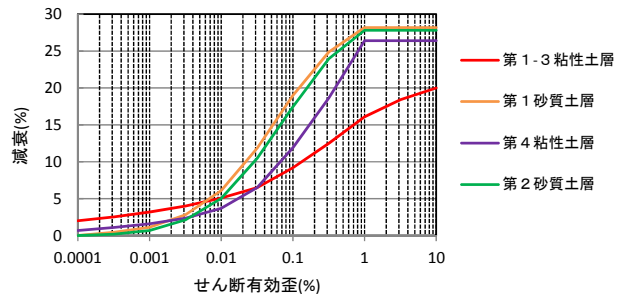


図1(b) 歪依存特性(h~γ関係)

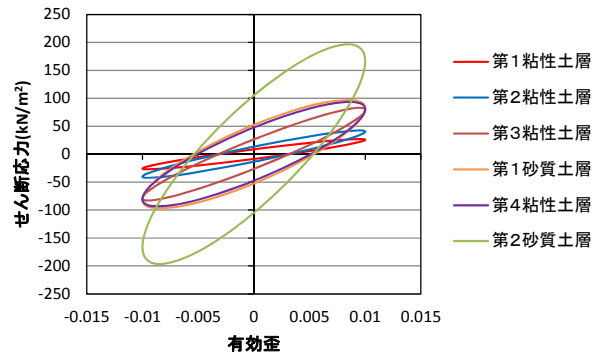


図2 履歴ループ(有効歪1%)

入力地震動

図3(a)～(c)に入力地震動を示す。入力は水平2方向、鉛直1方向の3方向同時入力とした。最大加速度値は、水平X方向818.0gal、水平Y方向617.4gal、鉛直Z方向332.3galであった。

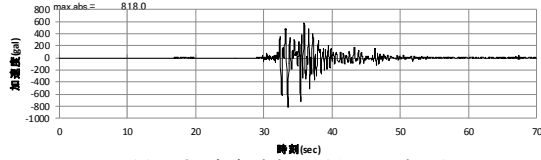


図3(a) 加速度時刻歴(水平X方向)

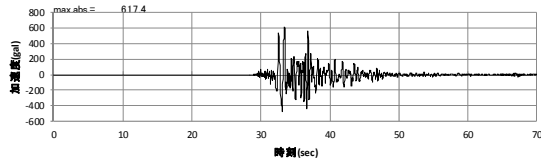


図3(b) 加速度時刻歴(水平Y方向)

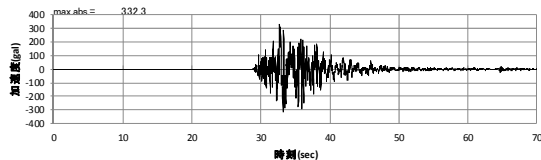


図3(c) 加速度時刻歴(水平Z方向)

比較結果

図4に出力時に線形剛性を用いたケースと複素剛性を用いたケースの最大応力値の比較を示す。なお、本検討は出力応力の差異の問題であり、その他の加速度、変位、歪等には、影響を与えない。

図4よりわずかではあるが最大値に差異があることが確認できる。

図5(a),(b)に歪が最大となった11層目の応力歪関係を示す。図より、線形剛性のケースは応力歪関係が直線的に推移しているのに対し、複素剛性では与えられた履歴ループに基づきループを描いていることが確認できる。線形剛性は複素剛性の楕円のほぼ中心を通り、同等の最大値を示していることが確認された。

まとめ

応力出力時に複素剛性を用いることで、最大値の値はあまり変わらないが、その応力歪関係は履歴ループを描き、より材料の特性を反映できることが確認された。

このことより、応力履歴(応力時刻歴)が問題となるような場合には、複素剛性による出力を用いる方がよりよいと思われる。

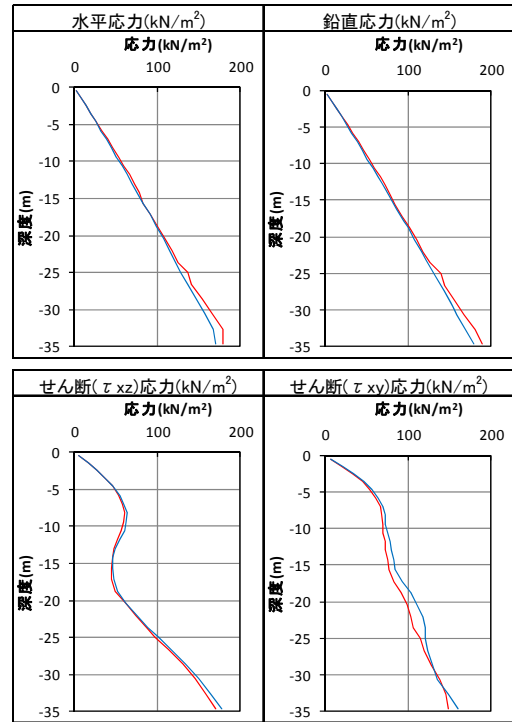


図4 最大応力分布比較

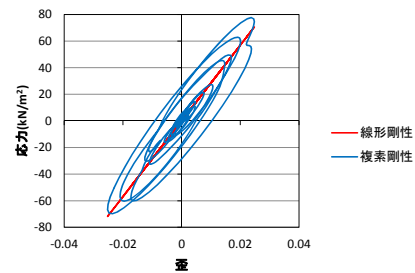


図5(a) 応力歪関係 (τ_{xz} - γ_{xz} 関係)

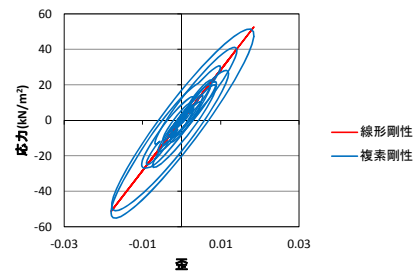


図5(b) 応力歪関係 (τ_{yz} - γ_{yz} 関係)

株式会社 地震工学研究所

お気軽にお問い合わせ下さい。

〒160-0004 東京都新宿区四谷 4-27-2 新宿Yビル3階

Tel : 03-3226-8733

Mail : jkk@flush.co.jp

URL : <http://www.flush.co.jp>