

Ⅲ-B 388

液状化を考慮した非線形動的解析における側方境界条件について

鹿島 土木設計本部 正会員 ○戸田 孝史 浜田 友康 高原 秀夫
情報システム部 正会員 沖見 芳秀 藤村 和也

1. はじめに

最近の設計業務では地盤の非線形動的解析を適用する機会が増えてきている。しかし、側方境界条件については、左右が同一の側方自由地盤で周期境界を適用する場合を除き、必ずしも通常使用する境界条件が設定できているわけではない。本報は、非線形動的解析における比較的簡便な粘性境界の設定方法について検討を行ったものである。

非線形動的解析としては、運輸省港湾技術研究所で液状化による構造物の被害予測プログラムFLIPが開発され、(財)沿岸開発技術研究センターより公開されている。検討は、弊社開発の「SLAP」^{1),2)}に、このFLIPと同等の地盤の構成則(マルチスプリングモデルおよび井合モデル^{3),4)}を組み込んで行った。SLAPは、非線形地盤要素の他ファイバーモデル等を用いたビーム要素、ばね要素等の材料非線形、幾何学的非線形を扱える、弊社で適用実績の多い複合非線形解析プログラムである。

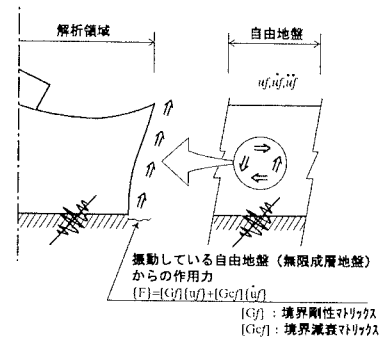
2. 側方境界条件の設定方法

図-1に示すように、側方境界に求められる機構は、仮想境界における解析領域外から内へのエネルギー流入と解析領域内から外へのエネルギー流出の2つが考えられる。

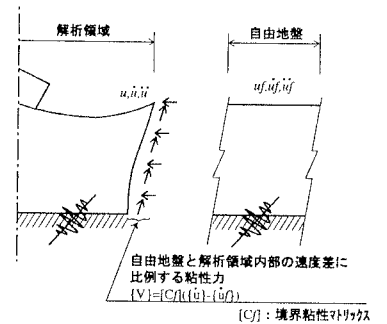
三浦ら⁵⁾は、外部からのエネルギー流入について、側方境界減衰マトリックスと側方境界剛性マトリックスを誘導し、それぞれに自由地盤の速度と変位を乗じたもの、すなわち解析領域外部の無限成層地盤に発生する応力を解析領域の境界上に与えている。本検討ではこの方法を簡単にし、図-2に示す境界を設定した。まず、解析領域の左右端に対応した自由地盤モデルで、モデル左右節点の鉛直・水平自由度を剛ばねで結合して地震応答解析を行う。得られたばね反力は自由地盤に作用している等価節点力に相当し、これを解析領域の境界上に与えることで、外部からのエネルギー流入を考慮する。

内部からのエネルギー流出については、側方境界上にダッシュポットを設け、自由地盤と解析領域内部の速度差に比例する粘性力を与えることで、エネルギーを吸収(透過)させる。ただし、非線形動的解析では時々刻々地盤の物性が変化するため、ダッシュポットの値が必ずしも明確でない。しかし、境界までの距離が長く、領域内部で発生した波が境界に伝達するまでに減衰するような場合には、ダッシュポットは大きさに関係なく機能しないこと、及び、地盤の剛性が極端に低下しない範囲であれば、ある程度のエネルギー吸収が期待できるとの考え方から、本検討では初期の地盤剛性によってダッシュポットを設定している。

水平成層地盤モデルで、上記の側方境界(ばね反力+粘性力)を適用した地震応答解析を行い、周期境界による解析と同等の結果が得られることを確認した。なお、水平成層地盤モデルでは内部から不規則波が発



(a) 解析領域外から内へのエネルギー流入



(b) 解析領域内から外へのエネルギー流出

図-1 粘性境界の概念図

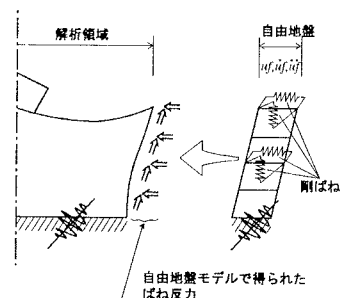


図-2 設定した側方境界

キーワード：非線形動的解析 有効応力解析 液状化 粘性境界

〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島土木設計本部 Tel. 03-5561-2196 Fax. 03-5561-2152

生しないため、ダッシュポットは機能せず、外部からのエネルギー流入であるばね反力のみを境界上に与えても同等の結果が得られる。しかし、外部からのエネルギー流入を考慮せず、粘性力のみを境界上に与えても自由地盤の挙動は再現できなかった。

3. 検討条件および結果

図-3に示す護岸モデルを対象とした側方境界条件の検討を行った。盛土背後を着目断面として、ここから境界までの距離が50m、100m、150mの3ケースについて、「ばね反力と粘性力を境界上に与えた場合」と「ばね反力のみを与えた場合」の検討を行っている。表-1に検討用入力パラメータを示す。入力地震波は、運輸省港湾技術研究所で作成されたポートアイランド基盤入射波形（PI-79 NS Base：補正波 $\alpha_{\max} = -820\text{Gal}$ ）を、モデル底面のダッシュポットを介して入射した。

図-4は着目断面における地盤の残留変位分布（時間 $t=20$ 秒）である。境界までの距離が150mのケースでは「ばね反力と粘性力を境界上に与えた場合」と「ばね反力のみを与えた場合」で、着目断面における地盤の変位量はほぼ一致している。これは、解析領域内部で発生する波が境界に達するまでに概ね減衰するため、この側方境界位置を無限水平成層地盤として設定すれば、着目断面は適切に評価できることを示している。つぎに、ばね反力のみを境界上に与えた場合は、境界までの距離が100m、50mと短くなるに従い残留変位が大きくなる傾向が見られる。一方、ばね反力と粘性力を与えた場合では、境界までの距離が50mのケースでやや変位量が小さくなるが、着目断面の変位はどのケースでもほぼ等しい。このことから、ばね反力と粘性力による境界条件は、着目断面から側方境界までの距離を短くできる点で有効と思われる。

4. おわりに

液状化を考慮した非線形動的解析における側方境界条件の設定方法について検討を行った。境界上にばね反力と粘性力を与える比較的簡便な側方境界を設定することにより、着目断面から仮想境界までの距離を短くし、かつ精度を確保した解析が行える。

[参考文献]

- 1) 沖見芳秀他, 複合非線形フレーム解析システムの開発, 土木学会誌, Vol.80, 14-17, 1995.1
- 2) 右近八郎他, 液状化地盤における杭基礎-地盤系の地震応答解析, 土木学会第53回年次学術講演会, I-B270, 540-541, 1998.10
- 3) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T., Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of Port and Harbour Research Institute, VOL.29, NO.4, 27-56, 1990.12
- 4) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T., Parameter Identification for a cyclic mobility model, Report of Port and Harbour Research Institute, VOL.29, NO.4, 57-83, 1990.12
- 5) 三浦房紀他, 仮想仕事の原理に基づく粘性境界を用いた三次元構造物-地盤系の動的解析手法, 土木学会論文集, 第404号 /I-11, 395-404, 1989.4

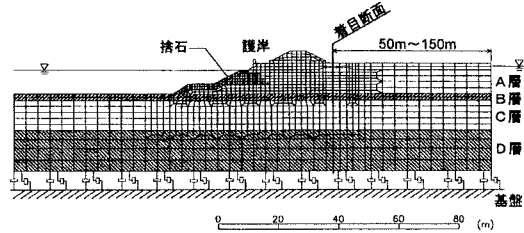


図-3 解析モデル

表-1 検討用入力パラメータ

土層	A層	B層	C層	D層	基盤	捨石
密度 ρ (t/m ³)	1.85	1.90	1.85	1.85	1.90	2.00
せん断弾性係数 $G_{\max}$ (kPa)	86900	34300	134300	173300	303900	179500
体積弾性係数 $K_{\max}$ (kPa)	231300	91300	357200	461200	2000000	477500
内部摩擦角 ϕ (度)	40	38	42	45	45	40
減衰 $h_{\max}$	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
間隙率 n	0.45	0.45	0.45	0.45		
変相角 ϕ_p (度)	28	28	0	0		0
w_1	11.0	5.05	0	0		0
p_1	0.5	0.5	0	0		0
p_2	0.92	1.04	0	0		0
c_1	1.3	1.6	0	0		0
S_1	0.005	0.005	0	0		0

$G_{\max}$ および $K_{\max}$ は、平均有効応力が98kPaのときに対応する値

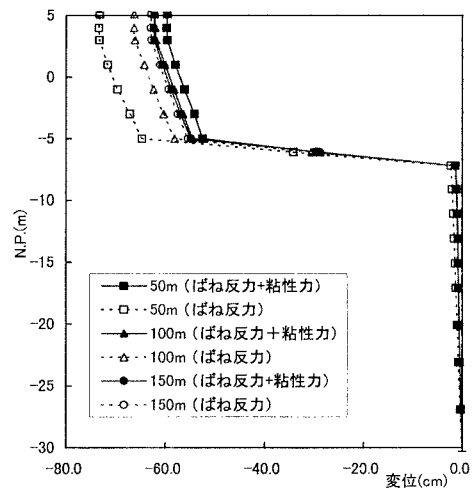


図-4 着目断面における残留変位分布