

F_L値による地盤の剛性評価法と 構造物被害の予測法 (FLUSH-L法)

福山大学工学部 柴田徹* 運輸省港湾技術研究所 井合進**
大阪市港湾局 木山正明*** (財)沿岸開発技術研究センター 上藺晃****
(株)日本港湾コンサルタント 鈴木孝幸*****
(株)日本科学技術研修所 小堤治***** 兪杰*****

地盤が液状化した場合の構造物の被害程度の予測は困難であり、そのために合理的な液状化対策が立てにくいのが現状である。これに対して、有効応力法に基づく被害予測法が実用化されつつあるが、取扱いが難しい点もある。そこで、より簡便な方法として、F_L値に基づく液状化地盤の剛性評価法と、これを利用した構造物の被害程度の予測法を提案する。この方法を実際の岸壁に適用したところ、有効応力法と整合する結果を得た。

1. はじめに

阪神・淡路大震災では液状化による港湾施設の被害が甚大であった。これを受けて各方面で岸壁・防潮堤等の液状化対策が検討されている。

さて、F_L値による地盤が液状化するか否かの判定法は既に確立されているが、液状化した場合の構造物の被害程度の予測は、今までは技術的に困難であった。従って、液状化するとなれば、対策は徹底的に地盤改良をして液状化させないというものになりがちであり、その結果、安全側の設計になりやすい。

これに対して、有効応力法に基づく被害予測法が実用化されつつあるが、取扱いが難しい点もある。そこで、より簡便な方法として、F_L値に基づく液状化地盤の剛性評価法と、これを利用した構造物の被害程度の予測法を提案する。

2. 解析手法と設計法の関係

(1) 各解析手法の特徴と問題点

液状化対策に関連して、従来よりSHAKEプログラ

ムやFLUSHプログラムが使用されてきた。FLUSHは、平面歪状態を解析対象とし、周波数領域で運動方程式を解く、二次元の有限要素法プログラムである。土の通常材料非線形性(歪の増大に伴うせん断剛性の低下等)は等価線形法により取り扱う。SHAKEは水平成層地盤を解析対象とし、周波数領域で運動方程式を解き、地盤の材料非線形性は等価線形法により取り扱う。この意味でSHAKEはFLUSHの一次元版であると考えてよい。

FLUSHやSHAKEは、もともと液状化解析のために作られたプログラムではないので、液状化による地盤の剛性低下を考慮した解析ができない。また考慮できる荷重は地震力のみで、重力は取り扱うことができない。しかるに、液状化による地盤の変形や矢板等の部材断面力の増大は、主に重力が作用している状態での地盤のせん断剛性の低下に起因する。従って、FLUSHやSHAKEでは、液状化に伴う地盤の残留変形や矢板等の部材断面力の増大を評価することができない。ただFLUSHやSHAKEでは、地震力により地盤に生じるせん断応力は概ね評価可能なので、それからF_L値を算出して、地盤が液状化するかないかを判定することは可能である。

一方、有効応力法に基づく被害予測法が実用化されつつある。筆者の一人が開発したFLIPプログラム¹⁾は、1983年日本海中部地震の際の秋田港大浜2号岸壁(矢板式)²⁾や1995年兵庫県南部地震の際の神戸港六甲アイランドのケーソン式岸壁の被災事例の

キーワード：液状化解析，地震被害予測，
液状化地盤の剛性評価法

*福山大学工学部土木工学科 (0849)36-2111
**運輸省港湾技術研究所構造部 (0468)44-5028
***大阪市港湾局建設部 (06)572-5121
****(財)沿岸開発技術研究センター(03)3234-5861
***** (株)日本港湾コンサルタント (03)3792-1003
***** (株)日本科学技術研修所 (03)5379-5591

解析³⁾で被災状況を再現した。ここでは、有効応力法に基づく被害予測プログラムの例として、FLIPを取り上げる。

FLIPは平面歪状態を解析対象とし、FLUSHやSHAKEが等価線形法で対処した土の材料非線形性は、双曲線モデルを組み合わせた、マルチスプリング・モデル⁴⁾により表現する。それに加えて、地盤のせん断剛性は液状化の進行によっても低減される¹⁾。地震力と同時に重力の影響も考慮に入れることができるので、地震時の液状化の進展に伴う地盤変形を追跡し、残留変形も求めることができる。同様に、液状化した地盤の土圧を受ける矢板等の部材断面力の変化も追跡が可能である。ただし非排水条件で解くので、過剰間隙水圧の消散を模擬することはできない。また矢板等の構造部材は、線形はり要素でモデル化するので、部材降伏後の挙動は正確ではないが、部材応力の一応の目安にはなる。

ここで提案するFLUSH-L (FLUSH-Liquefaction)

の方法では、FLUSHを用いて F_L 値を算定し、その値から液状化やその他の要因による地盤のせん断剛性の低下を評価し、低下した地盤剛性を用いて線形の動的解析および自重解析を行う。動的解析からは、地震力の作用により液状化した地盤中の矢板等に見る断面力が求まる。自重解析からは、液状化した地盤に重力が作用して生じる残留変形と、それに対応する矢板等の断面力が求まる。なお、この方法の詳細については後述する。

表-1には、各解析手法別に、土の状態と荷重の可能な組合せをまとめて示す。主にこの組合せから、各解析手法別に評価可能な項目が定まる。これを表-2に示す。

(2) 解析手法と設計法の関係

現行の設計法は、上述のSHAKEやFLUSHのような全応力解析プログラムに依存している。ところが、表-2のSHAKEとFLUSHの欄を見ると分かるとおり、

表-1 各解析手法別の土の状態と荷重の可能な組合せ

土の状態	荷重	現象	SHAKE	FLUSH	FLIP	FLUSH-L
土の通常の非線形性による剛性低下	地震力		○	○	○	○
	重力	主働破壊等	×	×	○	△ ^{※1}
液状化による剛性低下	地震力		×	×	○	○
	重力	残留変形等	×	×	○	○

※1 主働破壊等による土のせん断剛性の低減は、液状化による剛性低減と分離せず、まとめて評価する。

表-2 解析手法別の評価可能項目

解析手法 検討項目 条件		SHAKE	FLUSH	FLIP	FLUSH-L
		一次元	二次元	二次元	二次元
		全応力法	全応力法	有効応力法	全応力法
		等価線形	等価線形	非線形	等価線形他
液状化する可能性がある場合	液状化判定	○	○	○	○
	残留変形	×	×	○	○
	最大変位	×	×	○	×
	部材断面力(残留値)	×	×	○	○
	部材断面力(時間最大値)	×	×	○	○
液状化しない場合(液状化しないよう対策した場合)	残留変形	×	×	○	△
	最大変位(地震力による)	○	○	○	○
	部材断面力(残留値)	×	×	○	△
	部材断面力(時間最大値)	×	○	○	○
備考	水平成層地盤にのみ適用可能				液状化以外の要因による剛性低下も大まかに評価する

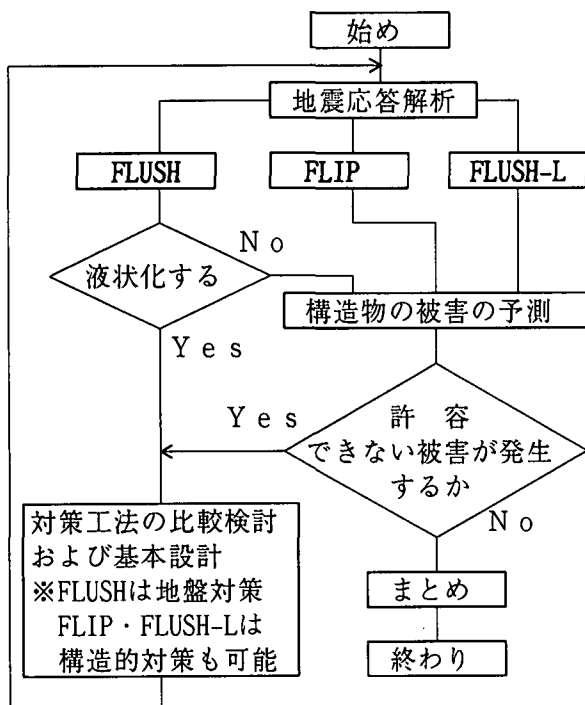


図-1 耐震性評価法の違いによる液状化対策検討手順の差異

これらのプログラムは、液状化の可能性がある場合には液状化の判定のみ可能で、構造物の被害程度を予測することができない。液状化判定も F_L 値が1.0以上であれば液状化せず、1.0未満であれば液状化するという判断になる。すなわち F_L 値の大小に関係なく、1.0以下であれば0.9でも0.1でも取り扱いは同じである。このような基準で液状化すると判断された場合、地盤が液状化する限り被害程度の見積りが困難なので、対策は地盤を改良して液状化の発生を抑えるというのが基本になる⁵⁾。この場合でも、対策範囲を被害程度を確認しながら決定することが難しいという問題点がある。

一方、FLIPやそれと同様の機能を持つ有効応力法プログラムでは、表-2に示すように、液状化による被害程度を評価することが可能なので、次の①～④に示す設計上のメリットが生じる。

- ①地盤が液状化しても、被害程度が許容できるならば、対策をしなくても済む。
- ②大地震に対しては、ある程度の変位を許容した設計が可能となる。
- ③既存施設に対しては、構造補強で対応を検討することもできる。
- ④地盤改良の場合は、その改良範囲を被害程度を

確認しながら設定できる。

このように、選択肢が増えれば、様々な制約のなかで、より合理的な設計が可能になる。

FLUSH（全応力法）とFLIP（有効応力法）の特性の違いを反映した液状化対策検討手順を図-1に示す。この手順に従えば、地盤が液状化しても、例えば構造部材が降伏せず、残留変位も許容できるなら、FLUSHでは液状化対策を行うが、FLIPでは液状化対策を行わないことになる。FLUSH-LはFLIPと同様の位置づけとなる。

3. FLUSHを用いた構造物の被害予測法の提案

(1) 提案の趣旨

液状化対策の検討に有効応力法を使用すれば、より合理的な設計が可能になる。有効応力法に基づく液状化解析プログラムは、今までは研究開発途上であり、最近ようやく実務に使用されるようになってきた。しかし以下に示すように、使い慣れたSHAKEやFLUSHと比較すると、取扱いが難しい点もある。

- ①有効応力モデルの複雑なパラメータを指定する必要がある。
- ②液状化という一種の破壊現象やその他の土の非線形挙動を非線形解析により追跡するため、計算が不安定になる場合がある。

有効応力法に基づく被害予測法には上述の難点があるので、それより簡便で、かつ有効応力法によるのと同様に合理的な対策を可能にするような構造物の被害予測法FLUSH-Lを提案する。

FLUSH-Lでは、使い慣れた全応力法のプログラム（FLUSHと線形自重解析プログラム）を組合せて使用する。全応力法の最大の問題点は、有効応力の減少に伴う地盤剛性の低下を評価できないことにあった。ただし全応力法のプログラムでも F_L 値を求めることができる。

F_L 値は連続量で、液状化の程度を表す量であると考えられるが、今までは、液状化するかしないかの判定にしか使用されなかった。 F_L 値から、液状化により低減した地盤剛性を評価できれば、構造物の被害程度予測がある程度可能になる。

FLUSH-Lは、このような考え方に立って組み立て

られた液状化被害予測の方法である。なお、 F_L 値から剛性低下を評価し、低減された剛性を用いて自重解析を行って残留変形を評価するという試みは既になされている⁶⁾が、本報告とは、剛性低減率の評価法とそれを用いた被害予測法の手順が異なる。

(2) FLUSH-Lの手順と $G/G_0 \sim F_L$ 曲線

図-2にFLUSH-Lの手順を示す。この手順の中の「④ F_L 値に応じたせん断剛性 G の再評価」をどのようにして行うかが、一番大きな問題である。これについては、まずある一つの断面について、FLUSHと併行してFLIPによる解析も行い、FLUSHで求めた F_L 値とFLIPのせん断剛性低減率 G/G_0 との間の関係($G/G_0 \sim F_L$ 曲線)を求め、それを利用する。ここに、 G_0 はPS検層のせん断波速度等から算定した初期せん断剛性、 G はFLIPの加振後のせん断剛性である。

この曲線を得た断面に対して、FLUSH-Lの手順により、当該断面の残留変形および部材断面力を求め、それがFLIPの結果と整合することをまず確認する。次に、他の断面に対しても同じ曲線を用いて検討を行い、この手法の適用性を調べる。なお適用性の検討については、別報⁷⁾で述べる。

注意が必要なのは、せん断剛性低減率(G/G_0)には液状化以外の諸要因も寄与していることと、それらを F_L 値のみで説明しようとしていることである。しかし、パラメータを増やすと簡便性が失われるので、ここでは、剛性低減率(G/G_0)を説明するパラメータは F_L 値のみとした。

(3) FLUSH-Lの手順の詳細

次に、図-2に示した手順の詳細を説明する。

③初期有効拘束圧の計算

F_L 値の計算に必要な初期平均有効拘束圧 σ_m' を線形自重解析により求める。平均有効拘束圧は、地下水面以下の土については水中重量を用いて自重解析を行い、その解析結果である水平有効応力 σ_x' と鉛直有効応力 σ_y' の平均として求めた。解析に使用した剛性は初期せん断剛性 G_0 とした。

線形解析であるので、土要素に水平方向の引張力が生じる場合があるが、その場合は拘束圧を適当な値に補正した。初期状態では、間隙水は自由に消散して土骨格の体積変化を妨げないので、ポ

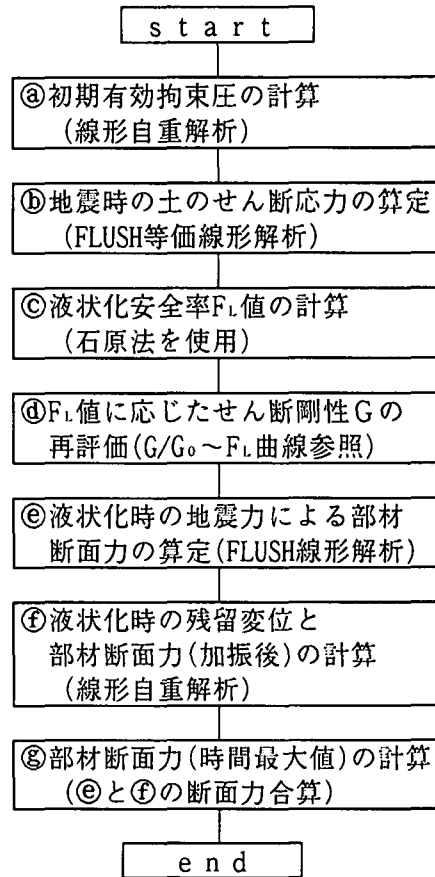


図-2 FLUSHを利用した液状化による構造物の被害程度の予測手順 (FLUSH-L)

アソン比は0.33とした。こうすると、水平成層地盤では、静止土圧係数は約 $\frac{1}{2}$ になる。

④地震時の土のせん断応力の算定

FLUSHによる等価線形解析を行い、地震時の各土要素の最大せん断応力を求める。地震時は、土骨格と間隙水は一体で運動するとして、土の密度としては湿潤密度を用いた。またその複合体は、水の体積剛性で体積変化に抵抗すると考えて、ポアソン比を定めた。ポアソン比 ν は、水の体積剛性 K_w と初期せん断剛性 G_0 から、次式により定めた。

$$\nu = (3K_w - 2G_0) / (6K_w + 2G_0)$$

通常の砂地盤で $\nu = 0.48 \sim 0.49$ となる。

⑤液状化安全率 F_L 値の計算

各土要素の F_L 値は石原の方法⁸⁾により求める。計算の基礎となる最大せん断応力(時間最大値)は、各時間ステップにおいて最大せん断応力発生面に働くせん断応力の時間最大値を用いた。

衝撃型、振動型の判別には、上記時間最大値に対応した面に働くせん断応力の時刻歴を用いた。

水平成層地盤では、最大せん断応力は、せん断応力のxy成分 (τ_{xy}) を見れば評価可能であるが、矢板近傍等の軸差応力が支配的な場所の土に対しては有効ではないので、このようにした。

④ F_L 値に応じたせん断剛性Gの再評価

③の F_L 値を $G/G_0 \sim F_L$ 曲線に適用して、せん断剛性低減率 (G/G_0) を求め、これから液状化地盤のせん断剛性Gを評価する。

⑤ 地震力による部材断面力の算定

④で求めたせん断剛性を用いて、再度FLUSHによる解析を行い、液状化時の地震力による部材の断面力を求める。この場合は線形解析とする。土の密度とポアソン比の考え方は⑥と同様である。ただ液状化した地盤のせん断剛性は、 G_0 の1/1000程度に落ちるので⁶⁾、ポアソン比は限りなく0.5に近づく。例えば、 $G_0=5000 \text{tf/m}^2$ が1/1000になると、 $\nu=0.49999$ となる。

これは二つの問題を引き起こす。一つは、shear locking と呼ばれる現象で⁹⁾、要素のある変形モードが抑制されて、要素が見かけ上固くなってしまふこと、他は、FLUSHのエネルギー伝達境界の計算が数値的に不安定になることである。前者の問題はselective reduced integration¹⁰⁾ と呼ばれる方法で回避した。後者の問題は、解析領域の幅を広くとって、側方境界を水平ローラーまたは粘性境界とすることにより回避した。しかし、このために土要素の数が増大し、逆フーリエ変換にかかる時間が多くなった。

⑥ 部材断面力(加振後)と残留変形の計算

ここでは部材断面力や残留変形として、加振直後の状態を想定している。実際には液状化した後は、過剰間隙水圧も徐々に消散して変形が進み、同時に地盤剛性も回復すると考えられるが、そのプロセスは考慮しない。

液状化により低下した地盤のせん断剛性を用いて線形自重解析を行い、構造物の残留変形と部材断面力(加振後)を求める。土の密度としては、地下水面以下では水中重量を用いた。FLUSHの場合と同様、土骨格と間隙水の複合体は、水の体積剛性で体積変化に抵抗すると考えて、ポアソン比を定めた。この場合もポアソン比が0.5に限りなく近づくので、shear locking⁹⁾ という問題が発

生するが、FLUSHの③と同様の方法で回避した。

この自重解析結果である変位をそのまま残留変位と考へた。線形自重解析では、③と同様、地盤に引張力が生じる場合がある。引張力が生じた土の剛性は、引張力が解消されるまで低下させる。

⑦ 部材断面力(時間最大値)

部材断面力(時間最大値)は、上記④で求めた部材断面力(加振後)に、⑤で求めた地震力による断面力の時間最大値を加算して求める。場合によっては、⑤の断面力の代わりに、⑥の断面力を用いた。

4. $G/G_0 \sim F_L$ 曲線の具体例(大阪港A岸壁)

(1) 解析条件

$G/G_0 \sim F_L$ 曲線を得るために、鋼管矢板式の大阪港A岸壁の断面(図-3参照)を対象に、FLIPおよびFLUSHを用いて地震応答解析を行った。入力地震動の波形は、1968年十勝沖地震(M7.9)の際に八戸港で観測された地表での記録波形から逆算した基盤での加速度波形(八戸波)を用いた(図-4参照)。ただし、最大加速度は100gal、250galおよび600galの3通りに変えた。

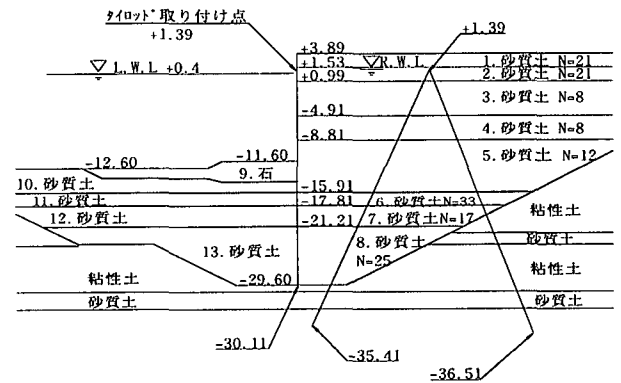


図-3 大阪港A岸壁(鋼管矢板式)の断面
図中の数値は標高(単位:m)

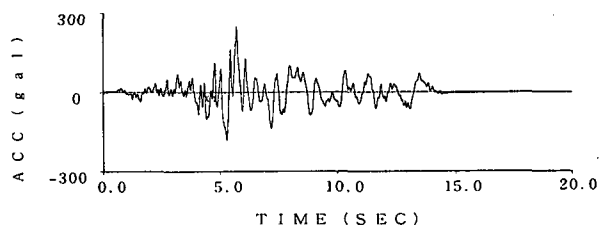


図-4 八戸波の加速度波形

A岸壁の置換砂と埋土部分の各土層の解析地盤定数を表-3に示す。表中の液状化強度比は、建築基礎構造設計指針に基づき計算したもので、繰返し回数15回の場合の τ_e/σ_{mo}' を表す。この値に応じて液状化特性を表すFLIPの入力パラメータを設定し、それを用いてFLIPの要素シミュレーションを行った。図-5には、その計算結果に基づいて描いた液状化抵抗曲線を示す。

表-3 置換砂・埋土の解析地盤定数

土層 No.	土質	N 値	初期せん断剛性	単位体積重量	内部摩擦角	液状化強度比
			(t/m^2)	(t/m^3)	(度)	繰返し回数15
			G_0	ρ	ϕ_r'	R/15
1	砂質土	21	4702	1.8	39	-
2	砂質土	21	4596	2.0	39	∞
3	砂質土	8	3893	2.0	36	0.27
4	砂質土	8	5137	2.0	32	0.24
5	砂質土	12	3953	2.0	37	0.26
6	砂質土	33	24766	2.0	40	∞
7	砂	17	13680	2.0	34	0.33
8	砂質土	25	22375	2.0	37	0.42
10	砂質土	-	1196	2.0	26.6	0.26
11	砂質土	-	10743	2.0	34.5	∞
12	砂	-	7151	2.0	32.5	0.33
13	砂質土	-	14339	2.0	36.1	0.42

(2) $G/G_0 \sim F_L$ 曲線

図-6は、置換砂・埋土部分の各土要素について、FLIPのせん断剛性低減率 G/G_0 を縦軸に、FLUSHの F_L 値を横軸にとってプロットしたものである。この図を見ると、せん断剛性低減率 G/G_0 と F_L 値の間には一定の関係があることが分かる。

図中の実線は、フリーハンドで引いた $G/G_0 \sim F_L$ 曲線を示すが、この曲線を引く際、 F_L 値が概ね1.0以上では剛性低減率が低めになるように設定した。これは、矢板前後の主働・受働破壊領域においては、液状化はしなくても、せん断剛性は低下するという事情を線形自重解析に反映させるためである。本来、液状化による剛性低減率は、 F_L 値が1.0以上では丁度1.0になるはずである。しかし今回は、剛性低減率として種々の要因のものをひとまとめにして考え、それを F_L 値と関係付けようとしたので、このような調節が必要になった。

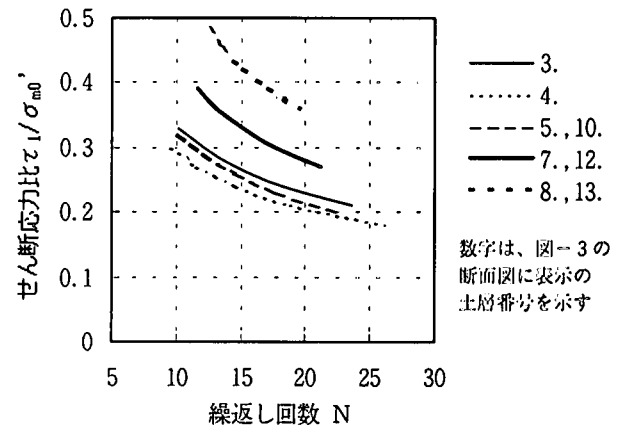


図-5 置換砂・埋土の液状化抵抗曲線

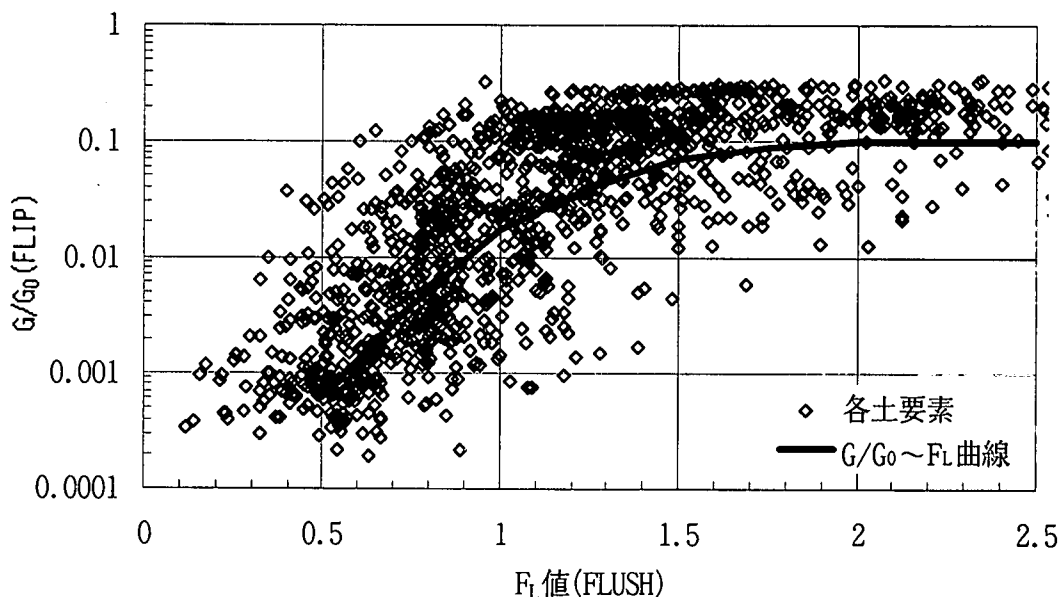


図-6 F_L 値 (FLUSH) とせん断剛性低減率 G/G_0 (FLIP) の関係 (八戸波100, 250, 600gal, 置換砂・埋土)

5. FLUSH-Lの計算結果

前述の $G/G_0 \sim F_L$ 曲線を用いてFLUSH-Lによる被害予測を行い、FLIPの結果と比較した。前面矢板天端の水平方向残留変位（前出し量）と鉛直方向残留変位（沈下量）の比較を表-4に、前面矢板の曲げモーメント分布の比較を図-7に示す。また、前面矢板の曲げモーメントの最大値と入力地震動の最大加速度との関係を図-8に、同じくタイロッド張力と最大加速度の関係を図-9に示す。これらの図表を見ると、最大加速度600galの入力地震動の場合の残留変位が一致しない点を除けば、概ね両手法の結果は整合的である。600galの場合、原地盤の粘性土の変形が、FLIPでは大加速度の影響で大きめになり、残留変位が一致しなかった。

表-4 A岸壁：前面矢板天端の残留変位の比較

八戸波最大加速度	前面矢板天端前出し量(cm)		前面矢板天端沈下量(cm)	
	FLIP	FLUSH-L	FLIP	FLUSH-L
100gal	5	6	6	5
250gal	14	8	15	9
600gal	53	11	43	24

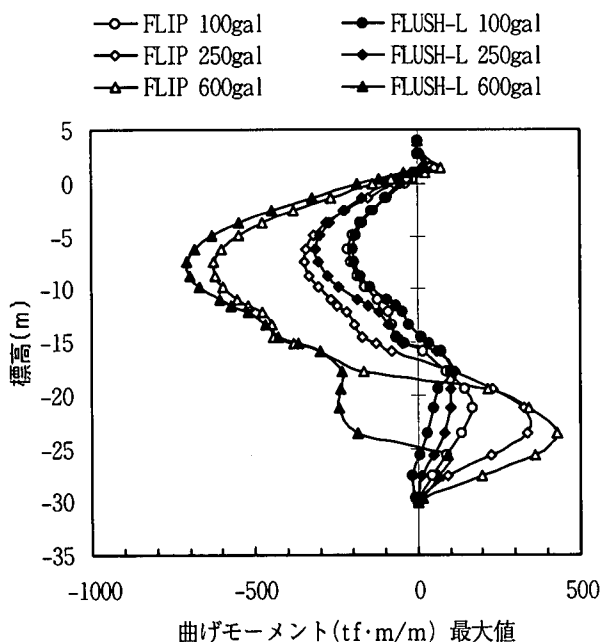


図-7 前面鋼管矢板の曲げモーメント分布（時間最大値）の比較

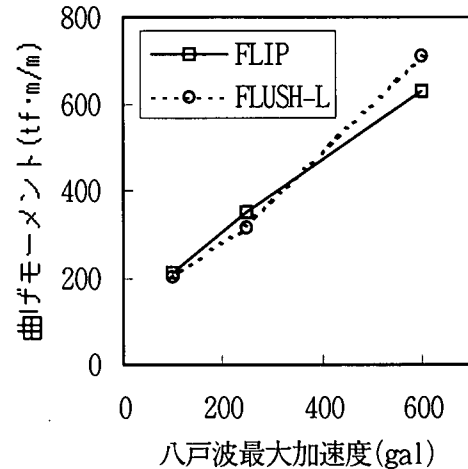


図-8 前面鋼管矢板の曲げモーメントの最大値と入力地震動の最大加速度の関係

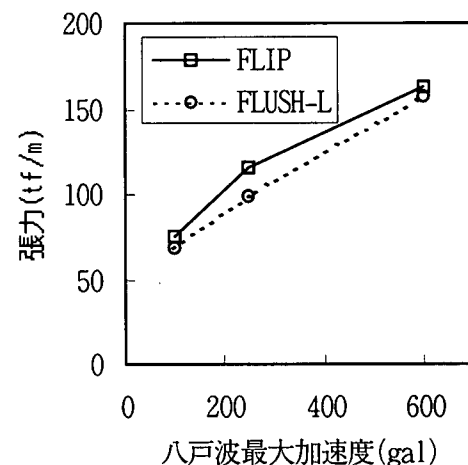


図-9 タイロッド張力（時間最大値）と入力地震動の最大加速度の関係

6. おわりに

FLIPの剛性低下とFLUSHの F_L 値を対応させて、 F_L 値から液状化地盤の剛性低下を評価するための $G/G_0 \sim F_L$ 曲線を作り、それを利用した液状化被害予測法を提案した。大阪港A岸壁に適用したところ、FLIPと良好な対応関係を得た。従ってFLUSH-Lの手法は、有効応力法に代わって液状化による被害程度の予測に使用できる可能性がある。問題は、本手法が他の断面にも適用できることを確認することと、 $G/G_0 \sim F_L$ 曲線の特性をさらに調べることにある。別報⁷⁾では、他のいくつかの断面を対象に、これらの問題点を検討する。

なお、FLUSH-Lを用いることによる設計上のメリ

ットはFLIPと同様であるが、その他に、FLUSH-Lには以下の①～③に示す実務上のメリットがある。

- ①有効応力法プログラムではないので、有効応力モデルが不要であり、そのための複雑なパラメータを指定する必要がない。
- ②線形自重解析プログラムとFLUSHプログラムという使い慣れた道具の組合せで実現できる。
- ③線形計算と等価線形計算から組み立てられるので、非線形解析に特有の発散問題に煩わされることが少ない。

7. 謝辞

本検討は、著者の一人である柴田徹福山大学教授を委員長とする「大阪港港湾施設の液状化問題調査検討委員会」（平成6年度と7年度に開催）における調査の一環として実施したものである。末尾ながら、各委員ならびに関係者に対して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 井合 進:"FLIPによる解析",地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム発表論文集,(社)土質工学会編集,pp.94-103,平成元年1月
- 2) Iai, S., Kameoka, T. (1993): "Finite Element Analysis of Earthquake Induced Damage to Anchored Sheet Pile Quay Walls", Soils and Foundations, Vol. 33, No. 1, pp. 71-91
- 3) 一井康二, 井合進, 森田年一: "有効応力解析によるケーソン式岸壁の被災原因分析", 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集(土木学会), pp. 397-404, 1996年1月
- 4) Touhata, I., Ishihara, K.: "Modelling soil behaviour under principal stress axes rotation", Proc. 5th International Conference on Numerical Method in Geomechanics, Nagoya, pp. 523-530, 1985
- 5) 運輸省港湾局監修, (財)沿岸開発技術研究センター発行: "埋立地の液状化対策ハンドブック", 平成5年3月
- 6) Yasuda, S., Nagase, H., Kiku, H., Uchida, Y.: "The Mechanism and a Simplified Procedure for the Analysis of Permanent Ground Displacement Due to Liquefaction", Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 149-160
- 7) 柴田徹, 井合進, 武田弘一, 小西武, 小堤治, 本間高弘, 金子浩士: "液状化による構造物被害の予測法(FLUSH-L法)の適用事例", 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集(土木学会), 1997年1月
- 8) 石原研而: "土質動力学の基礎", 鹿島出版会, 1976
- 9) Molenkamp, F., Kidger, D. J., Smith, I. M.: "Accuracy of Four-Node Standard Finite Element", Int. J. Num. Anal. Meth. Geomechanics, vol. 16, pp. 323-333, 1992
- 10) Hughes, T. J. R.: "Generalization of Selective Integration Procedures to Anisotropic and Nonlinear Media", Int. J. Num. Meth. Eng., 15, pp. 1413-1418, 1980

The method of estimating the shear modulus of soil based on F_v values and the method of predicting damage to structures

Toru Shibata, Susumu Iai, Masaaki Kiyama, Akira Uezono, Takayuki Suzuki, Osamu Ozutsumi, Ketsu Yu

The prediction of damage to structures is difficult when liquefaction occurs in soil and that is why to work out a rational countermeasure for liquefaction is hard under present conditions. The methods to predict damage which is based on effective stress analyses tend to be practical, while on the other hand the handling is somewhat difficult. Then, as more convenient methods, the authors propose the one which estimates the shear modulus of liquefied soil based on F_v values and, by making use of this method of estimation, how to predict damage to structures. Applying these methods to actual wharf leads to the results consistent with the effective stress analysis.