

Ⅲ-A 145 側方流動の簡易解析手法に関する問題点と検証解析

その1. 問題点の抽出

佐藤工業(株) 正会員 ○規矩 大義  
 正会員 吉田 望  
 東京電機大学 正会員 安田 進

1. はじめに 地震時の液状化災害の一つである側方流動(地盤流動)を予測する方法として、多数の方法が提案されている。筆者ら<sup>1)</sup>は、側方流動の予測手法として、静的な有限要素解析を用いた簡易解析法を提案している。この手法は複雑な有効応力解析等比べて計算量も少なく、定数設定が容易なことなどが特徴である。また、液状化前後の地盤物性値については、液状化後の土の強度・変形特性試験を行なって求めた上で、等体積変形の仮定を満足させ得るようなポアソン比の設定を推奨しているが、一般には、これまでの経験や過去の解析事例との整合性から定数が決定されている場合も多い。しかし、解析手法の違いによって結果が左右されたり、定数の設定如何で最終変位量が大きく異なることも指摘しており、解析条件を確定し、定数を合理的に設定する方法の確立が必要である。そこで本研究では、数値解析手法と初期定数の設定方法の違い、液状化前後の地盤物性値が予測結果にどのような影響を及ぼすかについて検討を行なった。その1と題した本報告では、問題点の提起を行ない、その2で検証解析の結果を紹介する。

2. 解析手法のレビュー 図1には側方流動のメカニズムの模式図を示し、以下に、筆者らが提案している簡易解析法をレビューする。

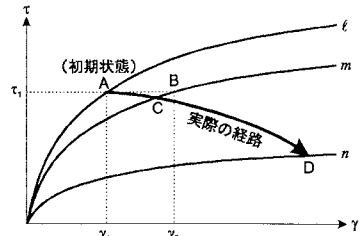


図1 側方流動のメカニズム(模式図)

- ① 解析対象とする地盤の地層区分、推定液状化層の区分等に従い、メッシュを準備する。
- ② 地盤の初期物性値を決定したうえで自重解析を行ない、地盤の初期応力と初期変形量を求める。
- ③ 液状化後の地盤の物性を求め、同じモデルに対して、自重解析時の応力状態を保持したまま、再度、自重解析を行う。
- ④ 液状化前後の解析で得られた変形量の差分をもって、地震時の側方流動量とする。

3. 問題点の抽出

3.1 初期の地盤定数の設定 初期応力解析時に用いる地盤定数を設定する方法として、現在2通りの方法が提案されている。一方は、N値より  $E=280N(\text{tf/m}^2)$ の換算式を用い、ポアソン比 $\nu$ を仮定して、せん断弾性係数Gと体積弾性係数Kを求める方法(方法1)であり、他方は、地盤のN値よりS波速度  $V_s$ を求め、これより初期せん断弾性係数  $G_0$ を求め、ポアソン比を仮定して体積弾性係数を求める方法(方法2)である。方法2ではさらに、線形解析による自重解析時のせん断弾性係数を、ひずみ依存性を考慮して  $G_0/2$ と設定している。例えば、 $\gamma_1=1.8(\text{tf/m}^2)$ 、N値5および10の砂地盤において、2つの方法で求めた地盤定数は表1ようになる。これらの方法で得られた地盤定数はその値と、対象としているひずみレベルを異にするため、液状化後の剛性低下率にも異なる値を用いる必要がある。

表1 異なる方法で求めた初期物性値

方法1	(E=280N)		方法2	(Vsより推定)	
N値	5	10	N値	5	10
E(tf/m <sup>2</sup> )	1400	2800	Vs(m/s)	140	180
			G0(tf/m <sup>2</sup> )	3600	5951
$\nu$	0.33	0.33	$\nu$	0.33	0.33
G(tf/m <sup>2</sup> )	526	1052.6	G(tf/m <sup>2</sup> )	1800	2976
K(tf/m <sup>2</sup> )	1372	2745	K(tf/m <sup>2</sup> )	4694	7760

3.2 液状化後の剛性低下率 筆者ら<sup>2)</sup>は、繰返しねじりせん断試験装置を用いて、液状化前後の土の応力～ひずみ関係を比較し、液状化にともなう地盤剛性の低下率を求めている。図2に結果の一例を示すが、液状化が生じた地盤では、液状化前の状態に対してせん断弾性係数が約1/1000に低下する。この比較の対象とした初期剛性は、せん断ひずみ $\gamma=0.1\%$ における割線せん断係数を用いており、ひずみ依存性を考慮してせん断弾性係数  $G_0/2$ と設定した方法2に対応している。一方、方法1を用いた場合には、Gを1/100に低下させると

キーワード:液状化、側方流動、地震、解析、有限要素法

連絡先:佐藤工業(株)中央技術研究所(〒103 東京都中央区日本橋本町4-12-20、TEL 03-3661-2298、FAX 03-3668-9481)

過去の被害事例を良好に説明できるとの報告もある。また、地下水水位が浅い地盤においては、液状化にともなう水位面上昇や浸透流による剛性低下を考慮して、液状化層の1/10の剛性低下率が用いられている。

3.3 液状化後のポアソン比 液状化後の解析では非排水条件ということから等体積変形が仮定される。解析で等体積変形条件を満たすためには、液状化前後の体積弾性係数が不変であることが必要である。一般には、数値計算上の問題もあって、 $\nu=0.45$  や  $0.49, 0.495, 0.499$  といった値が便宜的に使われることが多いが、体積弾性係数はせん断弾性係数とポアソン比から定義されるため、ポアソン比を固定したままでせん断弾性係数を大きく低下させると、体積弾性係数も同時に低下することとなり、等体積変形条件を満足しない。図3は、液状化以前の地盤のせん断弾性係数を  $G=1000(\text{tf/m}^2)$  と仮定した場合の、剛性低下率とポアソン比が体積弾性係数に与える影響を示したものである。例えば、液状化後のポアソン比として  $\nu=0.499$  を用いた場合、 $G/G_0=1/500$  付近では、液状化前の体積弾性係数とほぼ同じであるが、剛性をそれより低下させると、体積弾性係数の値は極端に小さくなり、結果的に体積変化が生じてしまうし、逆に、低下率が小さい場合には、体積弾性係数は大きくなり、結果的に変形を拘束する効果を持つ。また、同じ剛性低下率で比較した場合、ポアソン比の設定如何によっては、体積弾性係数が3桁以上異なってくるのが判る。今、体積弾性係数  $K$ 、およびせん断弾性係数の低下率を  $n$  とすると

$$K = \frac{2G(1+\nu)}{3(1-2\nu)} \quad \dots \dots (1)$$

$$n = \frac{G_{old}}{G_{new}} \quad \dots \dots (2)$$

と定義される。液状化前後で体積弾性係数が不変なる条件は、

$$K_{old} = \frac{2G_{old}(1+\nu_{old})}{3(1-2\nu_{old})} \quad \dots \dots (3)$$

$$K_{new} = \frac{2G/n(1+\nu_{new})}{3(1-2\nu_{new})} \quad \dots \dots (4)$$

(3)式と(4)式が等しいことになり、液状化後のポアソン比は、

$$\nu_{new} = \frac{\frac{n(1+\nu_{old})}{(1-2\nu_{old})} - 1}{\left\{ 2n \frac{1+\nu_{old}}{(1-2\nu_{old})} + 1 \right\}} \quad \dots \dots (5)$$

で決定される。

3.4 増分解析 液状化後の変形を求める解析において、剛性を低下させておいて、一度に自重を加える方法は、計算は1回で済む代わりに、小さな剛性の要素に大きな外力を働かせることになり、極端な変形が出る場合も多い。簡易解法と結うことを主眼に置けば、工学的には十分実用的な結果が得られる場合も多いが、今回のモデルのように開断面が存在する地盤や、斜面タイプの地盤で傾斜角が大きい場合には、剛性低下率の値によっては斜面の上下関係が逆転するなど、不自然な変形が生じる可能性もある。そこで、液状化後の解析において、荷重を幾つかに分割して増分解析とし、各ステップごとに座標値を更新して、剛性マトリックスを再計算した後、次のステップに移る方法も提案されている。この方法によれば、不自然な変形が生じにくく、座標値を置換えるという意味でのみ有限変形の効果が採り入れられている。

4. おわりに 側方流動の予測に簡易解析法を適用するにあたって、解析結果に影響を与えると考えられる問題点を抽出した。抽出した検討事項に関する事例解析については、第2報<sup>9)</sup>で報告を行なう。

参考文献

- 1) Yasuda, S., Nagase, H., Kiku, H. and 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, 1992
- 2) 規矩、安田 他: 液状化した砂の強度変形特性に関するねじりせん断試験, 第9回日本地震工学シンポジウム, pp871-876, 1994.
- 3) 規矩、他: 側方流動の簡易解析手法に関する問題点と検証解析(その2・検証解析)、第53回土木学会年講、1998(投稿中)

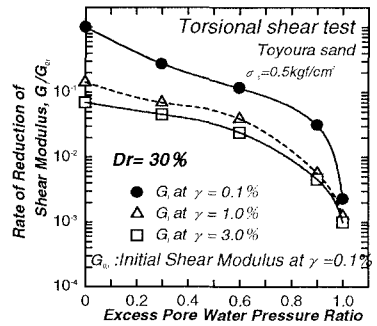


図2 液状化後による剛性低下に関する実験結果

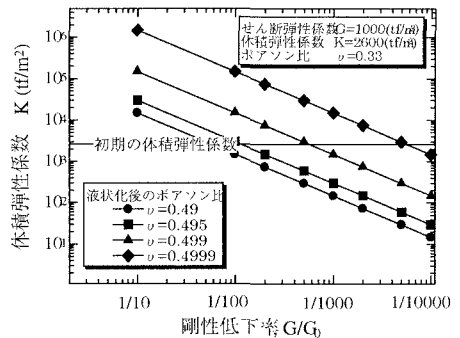


図3 ポアソン比の設定が体積弾性係数に与える影響