液状化の解析に必要な地盤調査・土質試験に関するアンケート調査

東京電機大学理工学部　フェロー会員　○安田　進
応用地質（株）　正会員　南部　光広

1. まえがき

構造物に性能設計を導入する場合、地盤が液状化すると地盤や構造物が大きく変形するため、盛土の沈下量や岸壁の変位量といった変位・変形量で性能を規定することが行われている。そのためには液状化による地盤や構造物の大変形を求める必要があり、それを解析できるプログラムの研究が熱心に行われている。それらは高度な解析であり、それに応じた詳細な地盤調査や土質試験が行われる事が望ましい。ところが、現状では通常の調査・試験結果を利用して解析を行うなど、適切な地盤調査、土質試験が行われるまでになっていない。そこで、このような解析ではどのような調査・試験を行えば適切なのか、解析プログラムの開発に関係しておられる方々からアンケート形式でご意見をいただいた。本報告はこれらをまとめたものである。

2. アンケートの方法

我が国においては様々な液状化による変形を解析するプログラムが使われているが、そのうち、我が国において最近良く用いられていると考えられるプログラムを選び、アンケートを依頼した。表 1 にプログラム名を示す。なお、同表に示した 12 のプログラムのうち 11 は動的解析であり、残りの 1 つは静的解析である。

表 1　アンケートを依頼したプログラム

解析プログラム名
・DIANA
・DIANA-J2 と TDAPIII
・DYNAFLOW
・EFFECT
・FLIP
・HiPER
・LIQCA
・Mu-DIAN
・NUW2
・STADAS
・STADASⅡ

アンケートの内容は、①現在解析を行われるにあたって最低限必要な地盤調査・原位置試験・土質試験、②一般に行われるにあたって良く利用されている地盤調査・原位置試験・土質試験、③もしふんだんに予算が使え、工期も十分にある場合、実施することが望ましい地盤調査・原位置試験・土質試験である。また、i)各調査や試験が関係する構成モデル（**a**:過剰間隙水圧発生のメカニズム、**b**:せん断応力～せん断ひずみ関係、**c**:透水係数、**d**:ダイレイタンシー以外の体積変化挙動)、ii)各地盤調査・土質試験がない場合に参考とされる経験式や関係図、 iii)2 ケースある場合にはそれぞれの使い分け方、も問い合わせた。

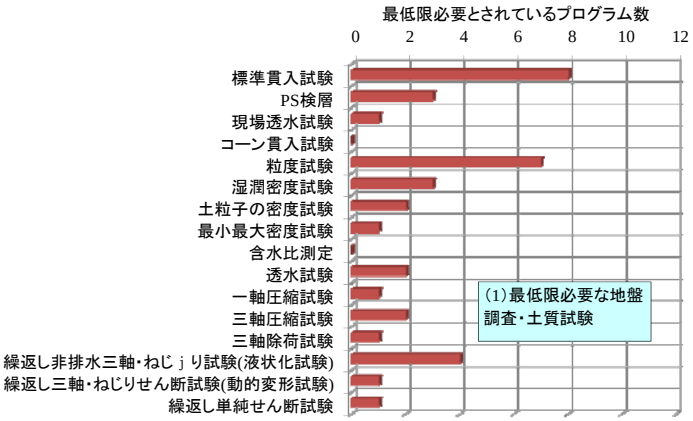
3. アンケートの結果

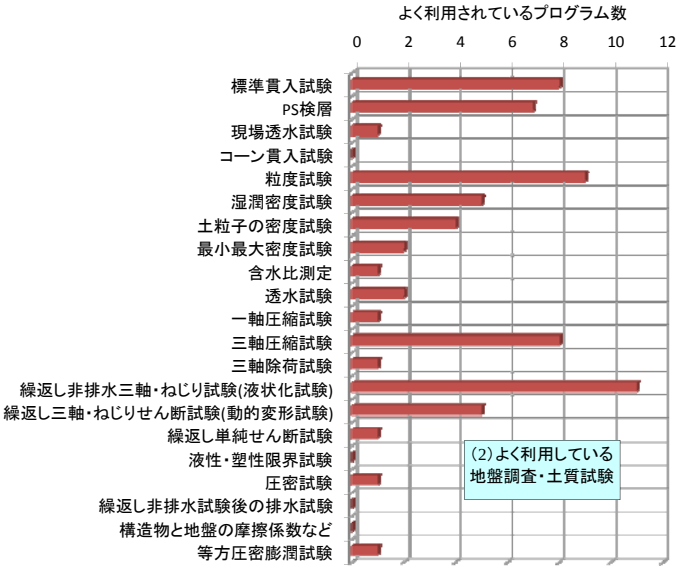
まず、①最低限必要な地盤調査・土質試験、②よく利用している地盤調査・土質試験、③実施することが望ましい地盤調査・土質試験ごとに、利用割合を集計したのが図 1(1)～図 1(3)である。ただし、2 ケース回答していただい場合はケース 1 のみで集計している。アンケート結果を要約すると以下のようになる。

（1）①の最低限必要な調査・試験では、ボーリング、標準貫入試験、粒度試験だけで何とかなるとの回答が多いが、解析プログラムによっては静的な三軸圧縮試験や繰り返し三軸試験も必要とされている。また、PS 検層も必要との回答もいくつかある。

（2）②の一般に良く使われている調査・試験では、ほぼすべての解析プログラムにおいて、液状化試験用の繰返し三軸・ねじり試験が行われている。これらの試験を行うためには、砂質土層よりの不攪乱試料の採取が必要であるが、凍結サンプリングだけではなく、他の手法を用いて試料を採取している場合も多いと思われる。また、標準貫入試験、粒度試験は勿論のこと、PS 検層、動的変形試験用の繰返し三軸・ねじりせん断試験も良く行われている。さらに、繰返し載荷後の単調載荷試験や、構造物と地盤の摩擦係数の測定、等方圧密・膨潤試験といった特殊な土質試験も行われている。

キーワード：液状化、動的解析、地盤調査、土質試験
連絡先：〒350-0394　埼玉県比企郡鳩山町石坂・TEL.049-296-5599・FAX.049-296-6501





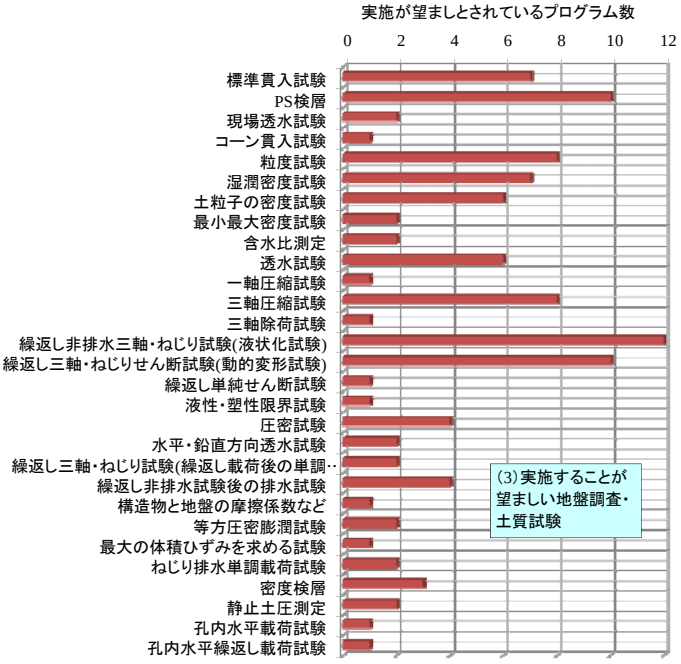


図１　解析に用いている調査・試験の割合

（3）③の予算が十分にあり、工期も十分にある場合には、②の地盤調査・土質試験に加えて、原位置の地盤調査関係では密度検層や静止土圧測定、孔内水平載荷試験結果などがあると望ましいとされている。また、土質試験では最大の体積ひずみを求める試験や水平・鉛直方向透水試験、ねじり排水単調載荷試験といった特殊な試験も望まれている。

次に、4 つの構成モデルを設定するための調査・試験をまとめると表 2 となる。(1)最低限必要な調査・試験においては、**[a 過剰間隙水圧モデルのため]**にN値、粒度試験が主に用いられ、**[b せん断応力～せん断ひずみ関係]**でもＮ値が多く用いられている。**[c 透水係数]**は主に粒度試験から推定されている。(2)よく利用している調査・土質試験では，**[a]**に繰返し非排水三軸・ねじり試験（液状化）が主に用いられ、**[b]**では三軸圧縮試験が多く用いられている。

さて、図１（2）や（3）に見られるように、解析を行うにあたって、室内の特殊な土質試験が必要であり、そのために不撹乱試料の採取も大切である。安価で質の良いサンプルの採取を望む声が寄せられている。また、将来開発が望まれる調査・試験方法として、原位置で動的変形特性や液状化特性を把握する方法、液状化に伴う大ひずみ時の動的挙動の評価試験法などが挙げられている。

謝辞：アンケートに協力していただいた方（敬称略、プログラム名順）は、吉田望(東北学院大学)、船原英樹（大成建設）、大保直人（鹿島建設）、伊藤浩二（大林組）、井合進（京都大学）、小堤治（明窓社）、中原知洋（五洋建設）、溜幸生（東電設計）、福武毅芳（清水建設）、渦岡良介（東北大学）、塩見忠彦（竹中工務店）、淵田邦彦（八代工業高等専門学校）佐藤正行（東電設計）の各氏である。また、本調査は(社)全国地質調査業連合会「地質調査業における性能設計への対応検討事業」委員会の活動の一環として行った。関係各位に深謝する次第である。

表２　各構成モデルに関係する調査・試験

調査・試験項目	各調査・試験が関係する構成モデル（関係すると回答があったプログラム							
	(1)最低限必要な地盤調査・土質試験				(2)よく利用している地盤調査・土質試験			
	a	b	c	d	a	b	c	d
標準貫入試験	7	6		2	5	5		1
PS検層		2			2	5		2
現場透水試験			1	1			1	1
粒度試験	4	1	5		5	2	5	1
湿潤密度試験	1	1	2		3	2	2	
土粒子の密度試験			1		1		1	
最小最大密度試験					1		1	1
含水比測定					1			
透水試験			2				2	
一軸圧縮試験		1				1		
三軸圧縮試験	1	2		1	3	8		2
三軸除荷試験	1	1		1				1
繰返し非排水三軸・ねじり試験(液状化試験)	3	3	1	1	10	7		2
繰返し三軸・ねじりせん断試験(動的変形試験)	1	1		1		5		
繰返し単純せん断試験					1	1		
圧密試験					1			1
等方圧縮圧密膨潤試験					1	1		1

a.過剰間隙水圧モデル, b.せん断応力～せん断ひずみ関係,
c.透水係数, d.ダイレイタンシー以外の体積変化挙動