

# 液状化判定における繰返し非排水三軸試験結果の有用性

株式会社東建ジオテック ○愛甲 健太, 斉藤 豊

## 1. はじめに

一般に建築分野の液状化判定方法は、実測 N 値に細粒分含有率による補正 N 値を考慮し、液状化強度比を算出する「簡易法」と、繰返し非排水三軸試験（以下、液状化試験）で得られる液状化強度比を使用する「詳細法」が知られている。近年、福岡市街地において超高層・免震物件が多くなり、液状化判定の際に乱れの少ない試料採取を行い、詳細法の試験を実施する機会が増えている。

福岡市内の地盤特性として、沖積層・洪積層の未固結堆積物の大半を砂層が占めていることが挙げられる。これらは堆積物の供給源がマサ主体であることに起因している。また、福岡市の地形特性として、平野が比較的小さく、河床勾配がやや大きいことが挙げられる。そのため一般的な広大平野の土砂と比較し、粒子が角張っているものが多い傾向にある。粒子が角張っている場合、内部摩擦角が大きくなることが知られているが、液状化強度の差についてはあまり知られていない。福岡市内の地盤は GL-20m 以浅の未固結堆積物が砂層主体であることから、建築物基礎に対し、液状化の影響度が大きくなる傾向がある。また、かつて洪積層は液状化検討対象外だったが、建築基礎構造設計指針改定後では検討対象となっており、沖積層が比較的薄く、洪積層が厚い福岡市内では、より液状化の影響度が高まっている。そこで、福岡市内の沖積・洪積地盤を対象とし、原地盤の土質特性を反映した強度評価が可能な「液状化試験」を実施し、簡易法と詳細法による液状化強度比の比較検討を行った。

## 2. 液状化試験方法

液状化試験は、地震・波浪などによる繰返し応力を非排水条件のもとで受ける飽和土の強度特性（液状化特性）を求めることを目的とした室内試験である。実際の繰返し応力の振幅と周期は不規則で、地盤の静的な応力状態との相互関係も含めてこれらを室内で再現することは困難だが、等方圧密した供試体の軸方向に一樣の振幅繰返し荷重を、非排水条件のもとで載荷することにより、土の液状化強度特性の指標とすることができる。軸ひずみ両振幅 5%、繰返し回数 20 回 (RL<sub>20</sub>) に対する繰返し応力比が液状化強度比となる。今回液状化判定を行う際は、建築分野で使用されることの多い繰返し回数 15 回 (RL<sub>15</sub>) の値<sup>1)</sup>をグラフから求め、その値に室内試験結果と原位置の補正として補正係数 0.6 を乗じた値<sup>2)</sup>を使用した。

## 3. 液状化判定方法

液状化判定は、「建築基礎構造設計指針」<sup>3)</sup>に記される手順に準拠し、簡易法（補正 N 値より算出）および詳細

法（液状化試験結果より算出）により、それぞれの液状化安全率 FL 値（液状化強度比/繰返しせん断応力比）を求めた。詳細法では、安全率 FL 値の分子である「液状化強度比」に、今回の液状化試験結果 (RL<sub>15</sub>) を代入した。地表面水平加速度は損傷限界の 1.5 m/s<sup>2</sup>・2.0 m/s<sup>2</sup>および終局限界の 3.5 m/s<sup>2</sup> とした。

## 4. 液状化試験位置

福岡市内の現場 A および B において、表-1、表-2 に示す深度・地層で「乱れの少ない試料採取」を実施し、液状化試験を実施した。

表-1 現場 A (沖積層)

地層	土質	試料番号	採取深度 (GL- m)	実測 N 値	孔内水位 (GL- m)
沖積砂質土層	礫混じりシルト質砂	TR22-2	2.70~3.25	2	2.60
		TR27-1	2.90~3.70	2	1.88

表-2 現場 B (沖積層・洪積層)

地層	土質	試料番号	採取深度 (GL- m)	実測 N 値	孔内水位 (GL- m)
沖積砂質土層	礫混じり砂	TR3-1	8.50~9.35	10	0.30
洪積砂質土層	シルト混じり砂	TR3-3	20.50~21.50	14	

試料番号 TR3-3（現場 B の洪積層）については、採取深度が GL-20m 以深と液状化対象外であるが、GL-19m 以深より同じ地層が分布しているため、TR3-3 の液状化試験結果を GL-19m 地点に適用し、液状化検討を行った。

## 5. 液状化試験結果

### (1) 現場 A (沖積層)

表-3 に示すとおり、TR22-2 では液状化強度比 RL<sub>15</sub> = 0.135、TR27-1 では RL<sub>15</sub> = 0.156 を示し、2 地点（同一地層）で近い値が得られた。

表-3 現場 A 液状化強度比算出結果

地層	試料番号	採取深度 (GL- m)	液状化強度比		液状化強度比採用値
			RL <sub>20</sub>	RL <sub>15</sub>	
沖積砂質土層	TR22-2	2.70~3.25	0.215	0.225	RL <sub>15</sub> × 0.6 = <b>0.135</b>
	TR27-1	2.90~3.70	0.224	0.260	RL <sub>15</sub> × 0.6 = <b>0.156</b>

### (2) 現場 B (沖積層・洪積層)

表-4 に示すとおり、TR3-1 では液状化強度比 RL<sub>15</sub> = 0.193、TR3-3 では RL<sub>15</sub> = 0.104 を示し、沖積層と洪積層で値に差が見られた。

表-4 現場 B 液状化強度比算出結果

地層	試料番号	採取深度 (GL- m)	液状化強度比		液状化強度比採用値
			RL <sub>20</sub>	RL <sub>15</sub>	
沖積砂質土層	TR3-1	8.50~9.35	0.306	0.322	RL <sub>15</sub> × 0.6 = <b>0.193</b>
洪積砂質土層	TR3-3	20.50~21.50	0.158	0.173	RL <sub>15</sub> × 0.6 = <b>0.104</b>

## 6. 液状化判定結果 (FL 法)

### (1) 現場 A (沖積層)

表-5に示すとおり、液状化強度比は

TR22-2 (沖積層) : 簡易法 0.138、詳細法 0.135

TR27-1 (沖積層) : 簡易法 0.135、詳細法 0.156

を示し、簡易法と詳細法でほぼ同等か、詳細法がやや大きい値となった。安全率は液状化強度比に比例している。

表-5 現場 A 液状化強度比・安全率算出結果

試料番号	採取深度 (GL- m)	液状化強度比		地表面水平加速度					
				1.5 (m/s <sup>2</sup> )		2.0 (m/s <sup>2</sup> )		3.5 (m/s <sup>2</sup> )	
				FL		FL		FL	
		簡易法	詳細法	簡易法	詳細法	簡易法	詳細法		
TR22-2 (沖積層)	2.70~3.25	0.138	0.135	1.286	1.255	0.964	0.941	0.551	0.538
TR27-1 (沖積層)	2.90~3.70	0.135	0.156	1.096	1.265	0.822	0.948	0.470	0.542

※FL<1.0は赤字表記

### (2) 現場 B (沖積層・洪積層)

表-6に示すとおり、液状化強度比は

TR3-1 (沖積層) : 簡易法 0.179、詳細法 0.193

TR3-3 (洪積層) : 簡易法 0.203、詳細法 0.104

を示し、沖積層 (TR3-1) では詳細法は簡易法よりやや大きい値を示した。いっぽう洪積層 (TR3-3) では、詳細法が小さい値 (簡易法の約半分) を示した。安全率は液状化強度比に比例している。

表-6 現場 B 液状化強度比・安全率算出結果

試料番号	採取深度 (GL- m)	液状化強度比		地表面水平加速度					
				1.5 (m/s <sup>2</sup> )		2.0 (m/s <sup>2</sup> )		3.5 (m/s <sup>2</sup> )	
				FL		FL		FL	
		簡易法	詳細法	簡易法	詳細法	簡易法	詳細法		
TR3-1 (沖積層)	8.50~9.35	0.179	0.193	0.961	1.035	0.721	0.776	0.412	0.444
TR3-3 (洪積層)	20.50~21.50	0.203	0.104	1.276	0.652	0.957	0.489	0.547	0.279

※FL<1.0は赤字表記

## 7. 考察

### (1) 現場 A (沖積層)

簡易法・詳細法ともに液状化強度比および安全率はほぼ同等か、詳細法がやや大きい値を示した。液状化判定の計算式は、一般的な土砂から求められたものと考えられるが、特殊土 (例えば粒子形状が針状のシラス) では、式と異なる液状化強度特性を有する例も確認されている。現場 A の沖積層 (φ2~5mm 程度の角礫を混入) は、簡易法と詳細法の差異は小さいため、特殊土的な影響は小さいものと考えられる。乱れの少ない試料採取および土質試験 (物理・力学試験) を行う際は、試料の取扱いには注意が必要であり、特に液状化試験をはじめとする動的試験は、試料の採取・保管・運搬には細心の注意が必要とされている。これらを考慮すると、簡易法と詳細法で液状化強度比の差異が小さかったことの要因として、1) 高精度で乱れの少ない試料採取ができたこと 2) 試料保管状態 (脱水・凍結保管) および運搬状態が良好だったことが考えられる。



写真-1 TR22-2 供試体状態 (左: 試験前 右: 試験後)

### (2) 現場 B (沖積層・洪積層)

液状化強度比および安全率は、沖積層 (TR3-1) では詳細法がやや大きい値を示し、洪積層 (TR3-3) では詳細法が半分程小さい値を示した。洪積層の安全率は地表面水平加速度1.5 m/s<sup>2</sup>で簡易法が1.0を上回るが、詳細法では1.0を下回る結果となった。2.0 m/s<sup>2</sup>・3.5 m/s<sup>2</sup>では、簡易法・詳細法ともに安全率は1.0を下回る結果となった。

かつて洪積層は液状化検討対象外とされており、その理由は「洪積層は一般にN値が高く、続成作用により液状化抵抗が高いため」とされていた<sup>4)</sup>。しかし現場 B の洪積層 (TR3-3) では、詳細法でも安全率が1.0を下回ったため、続成作用の影響で液状化抵抗が高くなっているとは言いきれない結果となった。簡易法では続成作用や粒子形状などの土質特性は考慮されないため、今回詳細法でそれらを評価できたことは意義深いものと考えられる。洪積層の液状化強度比については、詳細法が簡易法の約半分の値を示したが、これは浅部の沖積層 (TR3-1) より採取深度が約11m 深く、試料採取精度がやや低下したことが要因の一つとなっている可能性が考えられる。



写真-2 TR3-3 供試体状態 (左: 試験前 右: 試験後)

## 8. まとめ

液状化強度比の差は安全率に直結し、基礎工においての影響度大きい (例えば杭基礎の場合①地盤反力係数が小さくなり杭径が大きくなる ②杭の本数が増える等)。また、地震応答解析時の影響も大きいため、超高層・免震物件が関与する地盤では高精度な液状化判定が有効である。今回沖積層 (3試料) の液状化強度比は、いずれも簡易法と詳細法で同等か、詳細法がやや大きい値を示す傾向があることが分かった。したがって液状化試験により原位置の液状化強度特性を適切に評価できた可能性が高く、液状化試験の有用性は高いものと考えられる。洪積層では低い液状化強度比を示したが、1試料のみの結果で傾向は捉えきれていない。そのため今後様々な場所・深度で洪積層の試料採取・液状化試験を実施し、データ数を増やし、液状化強度比の傾向を確認する方針である。

### 《引用・参考文献》

- 1) 入門シリーズ28 知っておきたい地盤の被害-現象メカニズムと対策- (2003)、社団法人地盤工学会、p. 116
- 2) 入門シリーズ21 土質試験から学ぶ土と地盤の力学入門 (1995)、社団法人地盤工学会、p. 262
- 3) 建築基礎構造設計指針 (2019)、一般社団法人日本建築学会、pp. 50-52
- 4) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (2018)、公益社団法人日本道路協会、p. 166