

III-327 1989年ロマプリエタ地震における液状化現象について

東北大学工学部 正員 柳沢 栄司
飛鳥建設技術開発部 正員 森 伸一郎

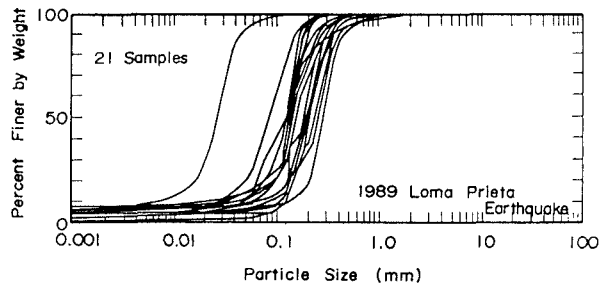
1. はじめに

1989年ロマプリエタ地震に際して、震源に近いサンタクルズ市やモスランディングなどで砂地盤の液状化による被害が発生した。また、震源からかなり離れたサンフランシスコ市においても、旧市街地の一部で液状化によると考えられる被害が数多く見られ、実際、噴砂等によって液状化現象が確かめられた地点もかなりの数にのぼった。この地震は、特にサンフランシスコ湾岸の埋立地において液状化が認められたことから、わが国のウォーターフロント開発と関連して、各方面から注目を浴びている。筆者らは、現地において被害調査をし、噴砂のサンプリングを行うなどして、この地震における液状化現象について若干の考察を行う機会を得たので、その結果の概略を報告する。

2. 噴砂の特性

この地震において液状化被害が最も顕著であったところは、サンタクルズ市、モスランディング、サンフランシスコ市、オークランド市およびアラメダ地区などである。これらの液状化被害のうち、サンタクルズ市のような沖積地盤の例を除いて、多くの場合は軟弱地盤上に砂盛土あるいは埋め立てを行った個所で発生している。特にサンフランシスコ市内で被害の集中した上記3地区は、1906年のサンフランシスコ地震に際して液状化被害を受けた地域であり、その地盤特性や地震応答特性が注目を集めている。図一1は、液状化地点で採取した噴砂の粒度分布を示したものであるが、粒度範囲は従来から液状化し易いとされている粒度範囲に適合している。アラメダのワシントン公園で得られた試料は純粋なシルトであり、千葉県東方沖地震におけると同様に、シルトのみの土層の液状化が確かめられた点は注目に値する。この粒度範囲を、1964年新潟地震、1983年日本海中部地震および1987年千葉県東方沖地震の粒度範囲と比較すると、ロマプリエタ地震の場合は細粒分が多く、千葉県東方沖地震の粒度範囲にほとんど重なることが知られる。これは、海岸の埋め立てが類似の材料を用いてなされたことを示しており、興味深い。

サンフランシスコ市内の海浜部の埋め立ては、主として海岸部に存在した砂丘砂を用いてなされたとの報告がある。マリーナ地区およびサウスオブマーケット地区の地山で採取した試料の粒度分布は、アラメダ以外の噴砂の粒度とほぼ一致し、前述の事実を裏付けている。



図一1 噴砂の粒径加積曲線

表一 液状化に要する地表面最大加速度

Embarcadero			Marina			Mission			Northpoint			Skyway		
$\alpha_{max}=130gal$			$\alpha_{max}=145gal$			$\alpha_{max}=120gal$			$\alpha_{max}=140gal$			$\alpha_{max}=180gal$		
Depth	N	Fl	Depth	N	Fl	Depth	N	Fl	Depth	N	Fl	Depth	N	Fl
4.5	5	0.98	2.5	3	0.99	1.5	14	2.12	3.2	6	1.17	1.5	4	0.99
6.2	7	0.93	5.2	9	0.91	3.0	3	0.91	4.2	6	1.01	3.0	5	0.71
7.8	25	1.22	6.4	8	0.81	4.4	3	0.78	5.0	3	0.79			
			8.8	19	0.93	7.5	12	0.94						

3. 地盤の地震応答について

この地震に際して液状化が確認された地点付近の5地点を例に取り、既存の資料によるボーリング柱状図を基に道路橋示方書による簡易液状

化判定を試みた。計算に用いた単位体積重量は、それぞれ砂が1.9、礫が2.0、および粘土が1.8 tf/m³である。また、砂の平均粒径としてはマリーナ地区の噴砂の値から、0.16mmと仮定した。表-1は、柱状図にある砂層の大部分でF₁が1より小さくなるような地表面の最大加速度を求めた結果である。液状化に要する加速度は、地区によって異なるがおよそ120galから180galであり、トレジャーアイランドやエマリーヴィルの実測値から見て不合理な値ではない。

解放基盤と見なし得るフランシスカン層の岩盤における地震記録を用いて、重複反射理論により地盤の応答を求めてみた。表-2は、テレグラフヒルおよびリンコンヒルの記録を入力波として、マリーナにおける応答を求めた結果である。表では岩盤を弾性体と仮定した場合と剛体と仮定した場合の2ケースを示してある。ここでは、NS成分の応答がEW成分よりも全体的に大きく、剛体と仮定した場合には応答加速度が140gal~180galで上記の結果とよく合う。しかし、二曲面モデルに基づく弾塑性応答解析によれば、図-2に示すように地表面の最大応答加速度は104galとなり、地表面近くの要素では4.5秒後には間隙水圧比が図-3に示すように1となり完全液状化状態に至り、応答計算が実行不能となった。この最大加速度は、表-2の等価線形の弾性基盤の応答値107galにほぼ近く、非線形解析の結果の妥当性を示していると考えられる。

4. むすび

ロマブリエタ地震は、距離減衰特性が従来の地震と大きく異なり、かなり遠距離での液状化が発生した点が特徴である。この原因をどのように捕らえるかが、今後の問題である。

参考文献

1) 森、池田、滝本、長谷川：1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂のコンシステンシー特性、第24回土質工学研究発表会講演概要集 Vol.2、pp.267~270 (1989)

表-2 重複反射理論による応答加速度

Case	Input Accel. Record	Input Amax	Response Amax	Amplif. Factor
Linear Elast. Rigid Base	Telegraph Hill NS	58.8	178.3	3.0
	Telegraph Hill EW	78.4	107.0	1.4
	Rincon Hill NS	78.4	171.2	2.2
	Rincon Hill EW	88.2	121.2	1.4
	Average	76.0	144.4	2.0
Equiv. Lin. Rigid Base	Telegraph Hill NS	58.8	181.2	3.1
	Telegraph Hill EW	78.4	119.7	1.5
	Rincon Hill NS	78.4	146.8	1.9
	Rincon Hill EW	88.2	121.6	1.4
	Average	76.0	142.3	2.0
Linear Elast. Elastic Base	Telegraph Hill NS	58.8	82.0	1.4
	Telegraph Hill EW	78.4	87.6	1.1
	Rincon Hill NS	78.4	97.3	1.2
	Rincon Hill EW	88.2	104.7	1.2
	Average	76.0	92.9	1.2
Equiv. Lin. Elastic Base	Telegraph Hill NS	58.8	107.8	1.8
	Telegraph Hill EW	78.4	94.9	1.2
	Rincon Hill NS	78.4	91.2	1.2
	Rincon Hill EW	88.2	82.2	0.9
	Average	76.0	94.0	1.3

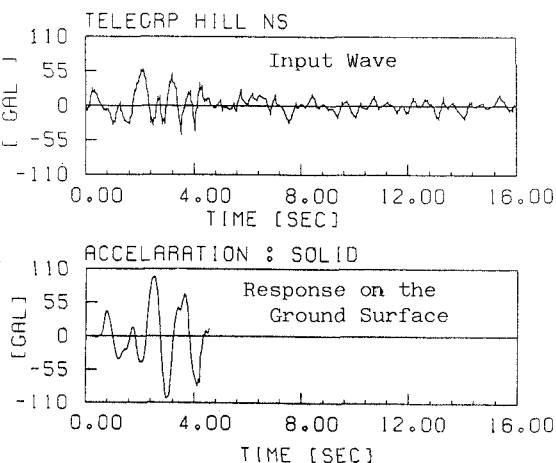


図-2 入力波形と地表面の応答

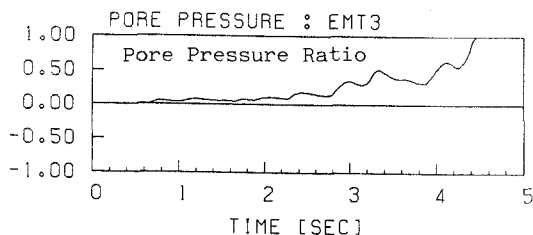


図-3 間隙水圧比の時刻歴