

III-323

1994年ノースリッジ地震における液状化調査

飛島建設㈱ 正会員 ○ 沼田淳紀
正会員 森伸一郎

1. はじめに

1994年1月17日4時31分(日本時間同日21時31分)にロサンゼルス北西約35kmのノースリッジを震源とするマグニチュード6.6(地震直後に発表された値)の直下型地震が生じ、大きな被害をおよぼした。この地震の特徴のひとつに、地震動が非常に大きかったことが挙げられる。このために、震源のあるサンフェルナンドバレーや山地を越えたサンタモニカやハリウッドで、大きな地震動が原因と考えられる被害が多く発生した。

多くの報道はこれらの被害に集中したが、数は少なく被害も軽微であったものの、液状化等の地盤災害も上述の被害範囲よりもむしろ広範囲で発生した。ここでは、液状化地点とそれによる被害、および、液状化によって生じた噴砂の粒度特性について報告する。

2. 液状化地点と被害

液状化発生地点を図-1に示す。ここで示した液状化地点は、全て噴砂の発生が認められたところである。図中には、沖積地盤の分布と最大水平加速度分布のコンター²⁾も併記した。大きな地震動が生じているにもかかわらず、液状化地点はかなり少ないことがわかる。これは、ロサンゼルスが雨量の少ない地域で、加えて、海岸線は海岸段丘となっておりその上に都市が広がっているため、沖積地盤といっても地下水位は低く、そもそも液状化しにくい地盤が多かったためと考えられる。図-1に示した液状化地点は、その中でも地下水位の高いと考えられる地点である。地震動による被害範囲は、概ねサンフェルナンドバレーとサンタモニカ山地南側に限られるが、液状化はそれよりも遠方で生じていることがわかる。

図-1には、栗林・龍岡らによって求められた液状化が発生する限界震央距離³⁾(30km)を示す。栗林・龍岡らが求めた範囲よりも遠方で液状化が生じていることがわかる。最も遠方で液状化の生じた、サンパドロのロサンゼルス港(約58km)とレドンドビーチ(約44km)はいずれも海岸埋立地の液状化であり、近年の大都市を襲った地震の特徴のひとつ⁴⁾と捉えることができる。今後、日本での地震を想定した場合にこのことが大きな課題になると考えられる。

表-1に筆者が確認した液状化地点と被害を示す。なお、フィルモアでの橋梁の被害は、地震以前の状況を未確認のため、それ以前の被害である可能性もある。

震央近くでは、液状化しやすい地盤が少なく液状化があまり発生しなかったことから、むしろ震央付近よりも遠方の海岸埋立地の液状化被害が相対的に大きかった。最も遠方の液状化地点のひとつであるロサンゼルス港のコンテナターミナルの液状化被害では、護岸のせり出し(15cm程度)、護岸の背後地の沈下(20~30cm程度)、クレーンのレールの破損などの被害が生じ、ターミナルとしての機能を失った。また、震央から約44kmのレドンドビーチでは、埠頭の一部で沈下および護岸のせり出しマンホールの浮き上がり等の被害が生じた。

その他の液状化被害として、フィルモアにおける橋梁の被害などが挙げられるが、いずれの被害も軽微であった。

3. 液状化で生じた噴砂の粒度特性

液状化で生じた5地域12地点の噴砂について物理試験を実施した。全試料の粒度分布を図-2に示す。図-2には港湾基準に示される特に液状化の可能性ありの範囲⁵⁾も示した。

一部を除き一般に液状化しやすいといわれる粒度組成であることがわかる。港湾基準の

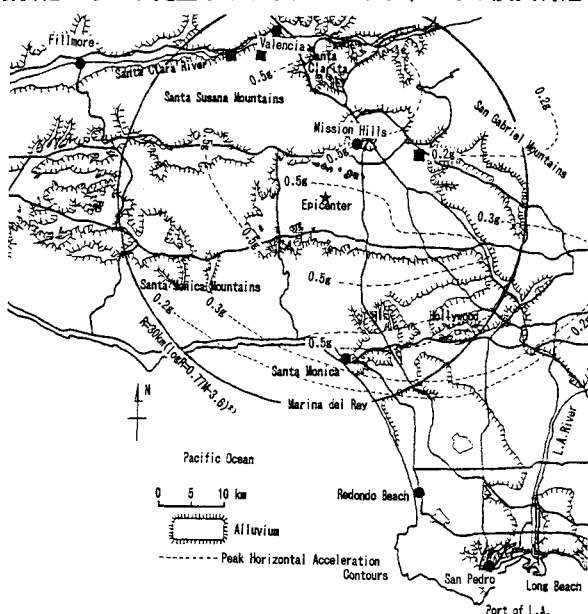


図-1 液状化発生地点(●:筆者が確認, ■:文献1)より

表－1 液状化発生日点と被害（筆者が確認）

N0.	採取 月日	地 域 名	震央距離 (km)	採 取 位 置	地 形	被 害 状 況 等
MH-2	2/3	Mission Hills	10	ワフェランド下ダム上流側, No. 41噴砂北側	堆砂地	ダム上流側法尻付近でダム軸水平方向にクラック、 法尻付近で大きな陥没
MH-3	2/3			ワフェランド下ダム上流側, No. 41噴砂		
MH-4	2/5			ワフェランド下ダム上流側, No. 21噴砂		
MH-5	2/5			ワフェランド下ダム上流側, No. 7噴砂		
SM-1	2/4	Santa Monica	24	サンバーグビル建設現場	砂 浜	駐車場舗装にクラック
RD-1	2/6	Redondo Beace	44	ワグラー・マナー埠頭（中央の埠頭）	埋立地	埠頭の沈下、護岸のせり出し、マンホールの浮き上がり、 平屋建物（1F）にクラック、RD-2は浮き上がったマンホールに付着していた砂
RD-2	2/6			ワグラー・マナー埠頭（中央の埠頭）		
※	2/6			ワグラー・マナー埠頭（南側の埠頭）、人工海浜	砂 浜	人工海浜のビーチで噴砂
※	2/9	San Pedro	58	ロサンゼルス港、アリカン・ブレゼント・ラインズ・コンテナターミナル	埋立地	護岸の沈下、背後地の沈下、クレーン・ボウの破損
VL-1	2/8	Valencia	24	I-5号と126号の分岐近く、ワタワラ川右岸、牧草地域、道路脇	旧河道	堤防にクラック（工事跡があったが内容不明）
VL-2	2/8			I-5号と126号の分岐近く、ワタワラ川右岸、牧草地域、牧草地の中		
FM-1	2/8	Fillmore	39	126号と23号の分岐近く、ワタワラ川右岸、橋脚脇	河 道	橋梁に付属の管路破損、桁のズレ・破損 橋脚周辺地盤にクラック
FM-2	2/8			126号と23号の分岐近く、ワタワラ川右岸、橋の下		
FM-3	2/8			126号と23号の分岐近く、ワタワラ川右岸、建設中の橋脚脇		

※噴砂の採取ができなかった地点

範囲より細粒であった噴砂が採取されたのは、1971年のサンフェルナンド地震で液状化により堤体上流側が崩壊したとされる⁶⁾サンフェルナンド下ダム（現在このダムは貯水されていない）の堤体上流側の法尻付近で、細粒分含有率が53%でシルトに分類されるものもあった。今回液状化した層は、堤体上流部の堆砂地と考えられる。

堆砂地は、海水と真水の違

いはあるが、浚渫土の埋立と同様に分級作用を受けた土粒子が水中で緩く堆積したものと考えられ、このようなところで細かい粒度組成の噴砂が生じるのは、今までの海岸埋立地での液状化事例⁴⁾⁷⁾と類似している。

また、前出の海岸埋立地のコンテナターミナルで聞いた話によれば、噴出した砂は細かったとのことである。

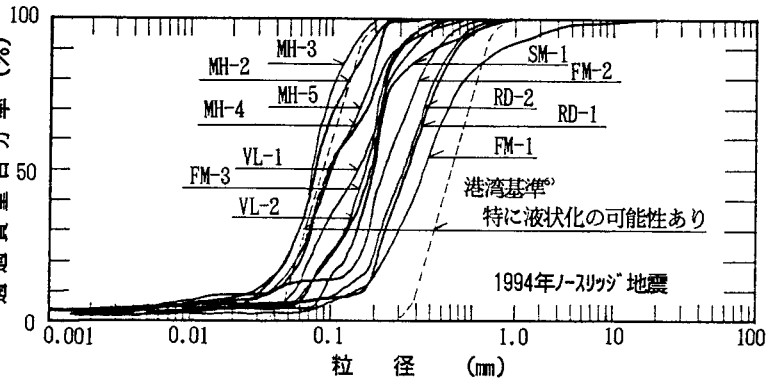
4. 結論

- (1) 大きな地震動に対し、液状化被害は軽微で液状化発生日点も少なかったが、地震動による構造物被害範囲よりもさらに遠方の特に海岸埋立地で液状化が生じた。
- (2) 地震動による被害は震央付近に集中したが、液状化による被害は震央付近よりもむしろ遠方で相対的に大きかった。
- (3) ダムの堆砂地においても、浚渫土による海岸埋立地と同様に細粒分の多い噴砂を確認できた。

<謝辞> 現地調査は土木学会の調査団に参加させて戴き実施したもので、現地で同行してくださった田村重四郎日本大学教授、時松孝次東京工業大学教授、調査行程のアドバイスをしてくださった井合進運輸省港湾技術研究所室長、団長の伯野元彦東洋大学教授はじめ団員の先生方、現地で共同調査を行った文部省調査団の先生方に深謝致します。さらに、現地では多くの方々に御協力して戴いた、重ねて深謝致します。

<参考文献>

- 1) EERC UCB: Preliminary Report on the Seismological and Engineering Aspects of the January 17, 1994 Northridge Earthquake, No. UCB/EERC-94/01, 1994.1
- 2) M. Trifunac, M. Todorovska, S. Ivanovic: Preliminary Report on Distribution of Peak Accelerations During Northridge, January 17, 1994, California Earthquake, 1994.1.25
- 3) 栗林栄一, 龍岡文夫, 吉田精一: 明示以降の本邦の地盤液状化履歴, 土木研究所集報第30号, 1974.12
- 4) 森伸一郎, 沼田淳紀, 境野典夫, 長谷川昌弘: 埋立地の液状化で生じた噴砂の諸特性, 土と基礎, Vol. 39, No. 2, pp. 17~22, 1991.2
- 5) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 改訂版, pp. 203~209, 1989.6
- 6) 土木学会耐震工学委員会: ワフェランド地震(1971年2月)の被害について, 土木学会論文報告集第195号, pp. 117~148, 1971.11
- 7) 森伸一郎, 沼田淳紀, 三輪滋, 柴田登: 1993年北海道南西沖地震における液状化調査, 土質工学会北海道支部技術報告集第34号, pp. 64~73, 1994.2



図－2 液状化で生じた噴砂の粒度組成