

## 4. 地盤および地盤災害

### 4.1 まえがき

1994年ノースリッジ地震による地盤災害は、その地震動の大きさにもかかわらず、1971年のサンフェルナンド地震に比べると、比較的軽微である。ロサンジェルス地区は例年に比べ降雨が少なく、このため地下水位が低かったことも被害の小さかった一因と考えられる。地盤災害は、主として、震源地のあるサンフェルナンドバレーとその周辺の山間部、震源からやや離れたサンタモニカ山地南部（サンタモニカ、ハリウッドのサンタモニカ通り北部の5号線と101号線の間、カルバーシティー（Culver City）の北東部）、および港湾部の埋立地に限定されている。震源からやや離れた地点での被害は、表層の軟弱地盤の影響である可能性が指摘されている。

震源に近い山間部では、多数の落石、地滑り、斜面崩壊が起こり、サンガブリエル山地（San Gabriel Mountains）とサントスザーナ山地（Santa Susana Mountains）内の多数の道路が不通となった。また、送電鉄塔、パイプライン、建物などにも被害があった。サンタモニカ北部のパシフィックパリスーズ（Pacific Palisades）で起こった地滑りは、数件の住宅を巻き込み、1号線を不通にした。液状化による表層の地割れや噴砂は各所で観察されたが、数例を除けば、その構造物への影響は小さかった。ただし、液状化、側方変形、地盤破壊は、サンフェルナンドバレーなど震源に近い各所で認められ、緑石や舗装に被害を与えるとともに、水やガスの供給停止や火災の原因となった。大きな地震動にもかかわらず、震源付近にあるダムや人工盛土の被害は軽微であった。以下、地盤および被害の概要を述べる。

### 4.2 地質および被害の概要

#### 4.2.1 地形と地質

##### (1) サンフェルナンドバレー

図4.2.1に被害地域の地質図<sup>1)</sup>、図4.2.2にサンフェルナンドバレーの表層地質図<sup>2)</sup>を示す。このバレーは、ロサンジェルス川とその支流がつくった平坦な沖積盆地で、北と東をサンガブリエル山地（San Gabriel Mountains）、Vergudo山地、南をサンタモニカ山地、西と北西をサントスザーナ山地、シミ丘陵（Simi Hills）に囲まれている。この谷は断層が発達した褶曲構造となっており、東側に広がるとともに深くなる。また、谷の南縁のサンタモニカ山地を形成している堆積層が北側に向かって谷の下に潜り込む形となっている。基盤岩の上には、褶曲し断層が発達した新生代や中世代の岩が堆積しており、その厚さは最も厚い所で4500m程度とされている。最上部には河川堆積物、扇状地、複合扇状地、段丘堆積物などの形で第四紀層が堆積している（図4.2.3<sup>3)</sup>参照）。盆地の東半分の堆積物は

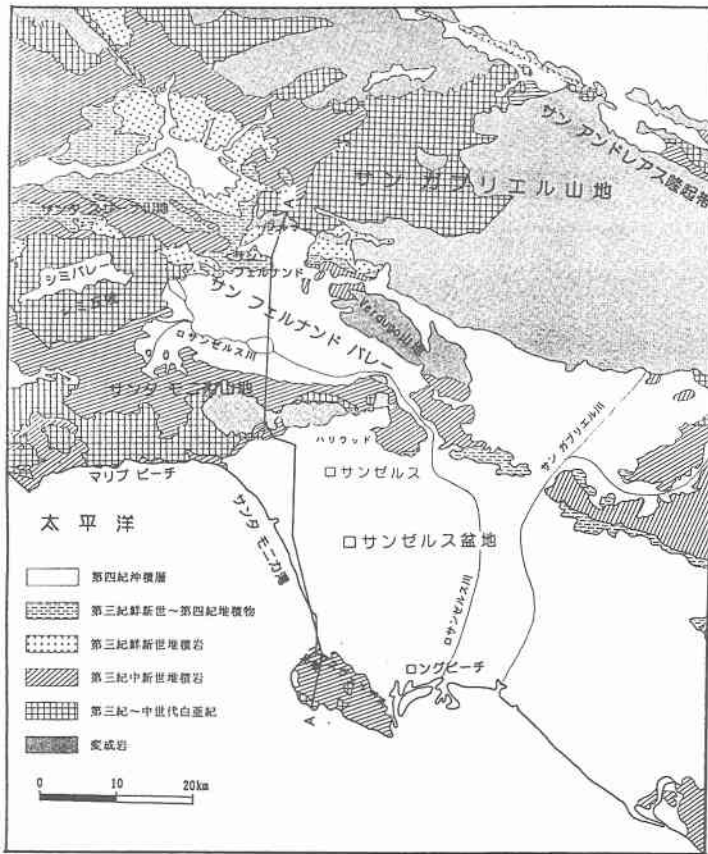


図 4.2.1 サンフェルナンドバレーおよびロサンゼルス盆地の概略地質図<sup>1)</sup>

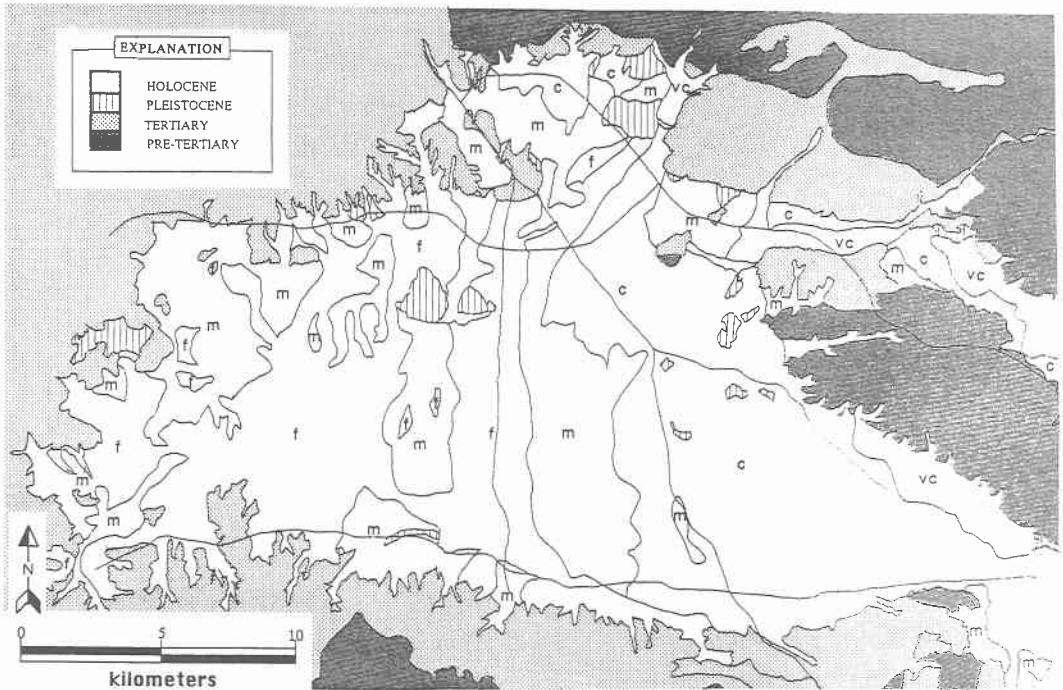
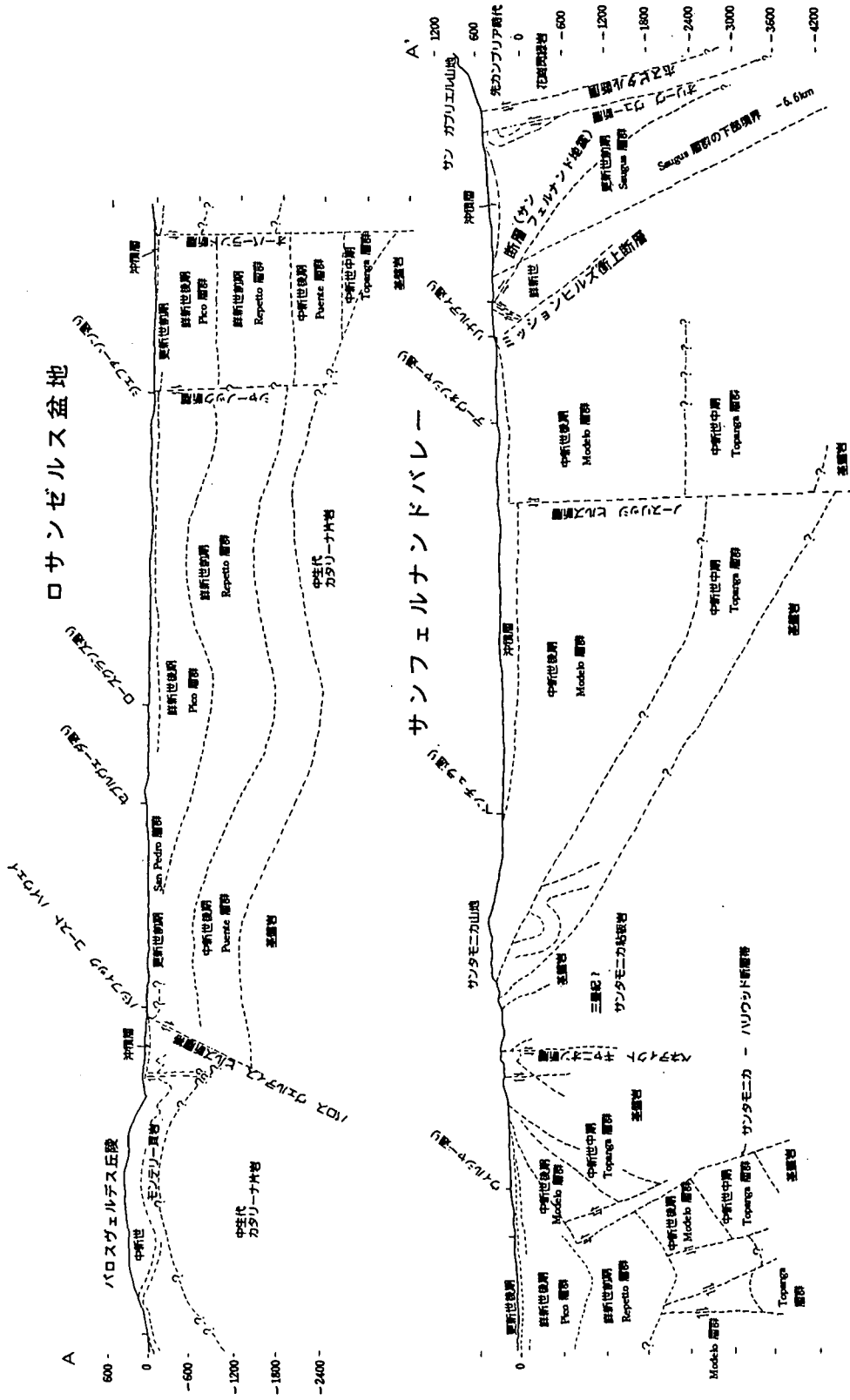


図 4.2.2 サンフェルナンドバレーの表層地質図<sup>2)</sup>



(単位：m)

図 4.2.3 ロサンゼルス地域の地層断面図 3)

表 4.2.1 サンフェルナンドバレーの地質層序表<sup>3)</sup>

地質時代		地層名		地層を構成する岩石・土質名
第 四 紀	完新世	沖積層		谷の西部は粘土、シルト、砂で東側にいくほど粒子が粗くなる(砂、礫、巨礫)
	更新世	後期	洪積層 段丘堆積物	分級度が高く固結度の低い礫または半角礫状の扇状地礫岩や段丘礫
		中期	Pacoima層	分級度が高く、赤褐色のやや褶曲した礫岩または扇状地礫岩
		前期	Saugus層	分級度が高く固結度が低い陸成の礫岩と粗粒砂岩、西端では細粒の海成堆積物を挟在する
第 三 紀	鮮新世	後期 中期	Fernando層	Pico層 上部は陸生の砂岩・泥岩・礫岩 下部は海成の砂岩・シルト岩・礫岩
		前期	(?)	Repetto層 海成の砂岩・礫岩・シルト岩・頁岩
		中新世後期	Modelo層	海成の中～粗粒砂岩・礫岩、珪藻頁岩を挟在する
	中新世中期 ～前期	Topanga層	粗粒の陸生及び海成砂岩・礫岩、玄武岩質の溶岩流を挟在する	
	始新世中期	Domengine層	塊状の砂岩・礫岩	
	始新世前期～ 晩新世	Martinez層	粗粒砂岩、暗色の頁岩と円礫岩を挟在する	
	白亜紀後期	Chico層	頁岩を挟在する塊状の砂岩・粗粒礫岩	
白亜紀前期～先 カンブリア時代	基盤岩	Santa Monica 粘板岩ジュラ紀(?)	花崗岩・変成岩 劈開面をもつ黒色粘板岩	
		Mendenhall片麻岩	はんれい岩類を挟在する石英・長石片麻岩	

主として巨礫、礫、砂であり、シルトや粘土は少ない。この沖積層は、西部サンガブリエル山地の花崗岩などを排出する Pacoima Wash, Tujinga Wash によって形成されている。この層は非常に透水性が良く、地下 15 m 以深程度まで地下水が容易に浸透するため、地下水位が深い。盆地の西半分の沖積層は、第三紀、またはそれ以前の粒径の細かい堆積岩（シミ丘陵、サンタモニカ山地、サンタスザーナ山地）を浸食した河川により形成されている。このため、東半分の盆地とは異なって、細かい粘土粒子を多く含んでいる。鉛直方向の透水性も低く、部分的には地下水位が地表面に近い。ロサンジェルス川に流れ込む埋もれた支流には砂、シルト砂などが堆積しており、この層を中心として液状化の可能性が相対的に高いことが指摘されている<sup>4)</sup>。そのうち、サンフェルナンドバレーの北縁を形成するサンガブリエル山地の周囲は主要な断層で区切られている。山地南縁には北側に傾斜する衝上断層群があり、これらの断層の中には 1971 年サンフェルナンド地震の際に地表面に現れたものもある。

サンガブリエル山地を構成する岩は、中世代の深成岩および中世代前期の深成岩、変成作用を受けた堆積岩・火山岩体である（表 4.2.1<sup>3)</sup>参照）。

シミ丘陵の基盤は、白亜紀後期の砂岩や頁岩からなる断層が発達した隆起岩体である。この岩体は

第三紀始新世および中新世の海成の砂岩・礫岩で覆われている。シミ丘陵の東および北側のサントスザーナ山地は、褶曲し、断層で切られた第三紀中新世の海成砂岩・礫岩・珪藻頁岩からなっている。またサンフェルナンドバレーの東縁を形成する Verdugo 山地は変成岩および花崗岩の隆起岩体で構成され、山地と谷は Verdugo 断層で区切られている。

## (2) ロサンジェルス盆地

図 4.2.4 にロサンジェルス盆地の表層地質図<sup>1)</sup>を示す。ロサンジェルス盆地は、北をサンタモニカ山地、エリジャン (Elysian)、レペット (Repetto)、プンテ (Puente) の各丘陵に囲まれ、南をパロスヴェルデス (Palos Verdes) 丘陵と大太平洋に境された複雑な構造の地域である。

盆地の地形は、ニューポート (Newport) —イングルウッド (Inglewood) 隆起帯に沿った丘陵とパロスヴェルデス丘陵を除いて大太平洋方向に緩く傾斜した低地である。盆地の地質も地形と同様に単純ではなく、岩石の種類 (表 4.2.2<sup>3)</sup>参照) や主要な断層等によって幾つかの小盆地やブロックに分割されている。Yerkes ら<sup>1)</sup>によればこの盆地は、南西ブロック地域、中央ブロック地域、北東ブロック地域の 3 つに分けられる。南西ブロックはサンタモニカ—ハリウッド (Hollywood) 断層帯の南からロングビーチまでの地域を指し、パロスヴェルデス丘陵を除くと、ほとんど起伏のない地形である。このブロックの東はニューポート—イングルウッド断層帯で区切られている。露頭や石油井の資料によれば、南西ブロックの基盤構造はカタリナ片岩 (Catalina schist) で構成されている。基盤岩の上部には、部分的に中新世の貫入岩を含む中新世 (第三紀) 中期から新しい海成堆積物までの厚い地層が堆積する。

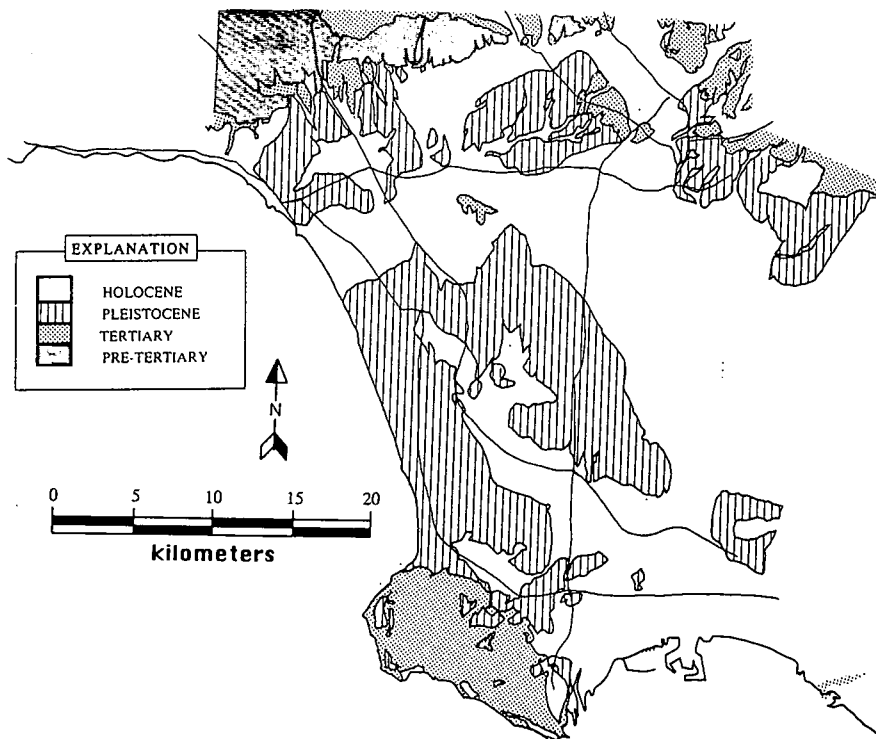


図 4.2.4 ロサンジェルス盆地の表層地質図<sup>2)</sup>

表 4.2.2 ロサンジェルス盆地の地質層序表<sup>3)</sup>

地質時代		地層名		地層を構成する岩石・土質名			
第 四 紀	完新世	沖積層		砂・シルト・礫・砂丘砂			
	更新世	後期	洪積層	海成及び陸成のシルト・砂・段丘礫層			
		前期	San Pedro層		シルト・砂・礫・粘土		
第 三 紀	鮮新世	後期	Fernando層	黄褐色～褐色の礫岩・砂岩・シルト岩			
		前期	(?)				
第 三 紀	中新世後期	Puente層	Pico層	シルト岩・頁岩・粗粒砂岩・礫岩 パロス ヴェルデス丘陵 - シルト岩・砂岩・石灰岩・礫岩を挟在する泥岩・珪藻頁岩			
		Monterey層 (Palos Verdes 丘陵)			Repetto層		
		Modelo層					
第 三 紀	中新世中期 ～前期(?)	Topanga層		粗粒で層構造が鮮明な砂岩・砂岩を挟在する塊状の礫岩・シルト岩			
		漸新世 始新世 晩新世	Vaqueros層, Sespe層, Santiago層, Silverado層		対象地域には存在しない		
			白亜紀後期	西部	Catalina片岩, ジュラ紀(?)	細粒の緑泥石英片岩・青色藍閃石片岩	
基盤岩	東部						
		ジュラ紀前期					
三疊紀			堆積岩起源の片岩				

中央および北東ブロックは、北側をハリウッドとレイモンドヒル (Raymond Hill) 断層帯、西側をニューポートーイングルウッド隆起帯、東側をサンガブリエル川で囲まれた地域である。この地域の地形には、エリジャン、レペットの両丘陵と南に広がる平野およびビバリーヒルズ (Beverly Hills) からニューポートーイングルウッド断層帯に沿って南にのびる北西向きの丘陵がある。中央ブロックと北東ブロックの基盤は中世代の変成作用を受けた堆積岩からなり、上部には第三紀中新世中期の火山岩を挟在する白亜紀後期から第四紀更新世の海成・陸成の地層が堆積する。局地的には薄い沖積層および洪積層 (Older alluvial material) で覆われている。

最上部では、バロナクリーク (Ballona Creek) や海岸線の付近に砂丘砂があり、河川や氾濫平野には砂、礫、シルトからなる沖積土が堆積する。最も若い堆積層はロサンジェルス、サンガブリエル、Rio Hondo、サンターナ川の氾濫平野の沖積層である。これらの地区では過去 150 年間に幾度となく洪水を繰り返してきた。

4.2.2 表層 S 波速度構造

ロサンゼルス盆地とその周辺では、84 サイトで S 波速度構造が深度約 30 m まで求められて、公表<sup>5)~7)</sup>されている。そのうち、サンフェルナンドバレーの 14 か所 (図 4.2.5) と、サンタモニカの Wilshirer Blvd. と 25th St. の交差点付近、ロングビーチのターミナルアイランド、計 16 か所 (表 4.2.3) の構造を図 4.2.6<sup>5)~7)</sup>に示す。サンフェルナンドバレーでは、西部のロサンゼルス川流域に位置する Eton School で、250 m/s 程度の層が深度 30 m まで存在するが、それ以外の地点では、300~400 m/s 以上の層が比較的浅い深度から存在する。これは、図 4.2.2 に示されているように、この盆地の東部では礫質、西部ではシルト質の沖積層が卓越していることに対応していると考えられる。サンタモニカ山地の山腹に位置し、水平最大加速度 1.8 g を記録<sup>8)</sup>した Cedar Hills Nursery, Tarzana では、表層に数

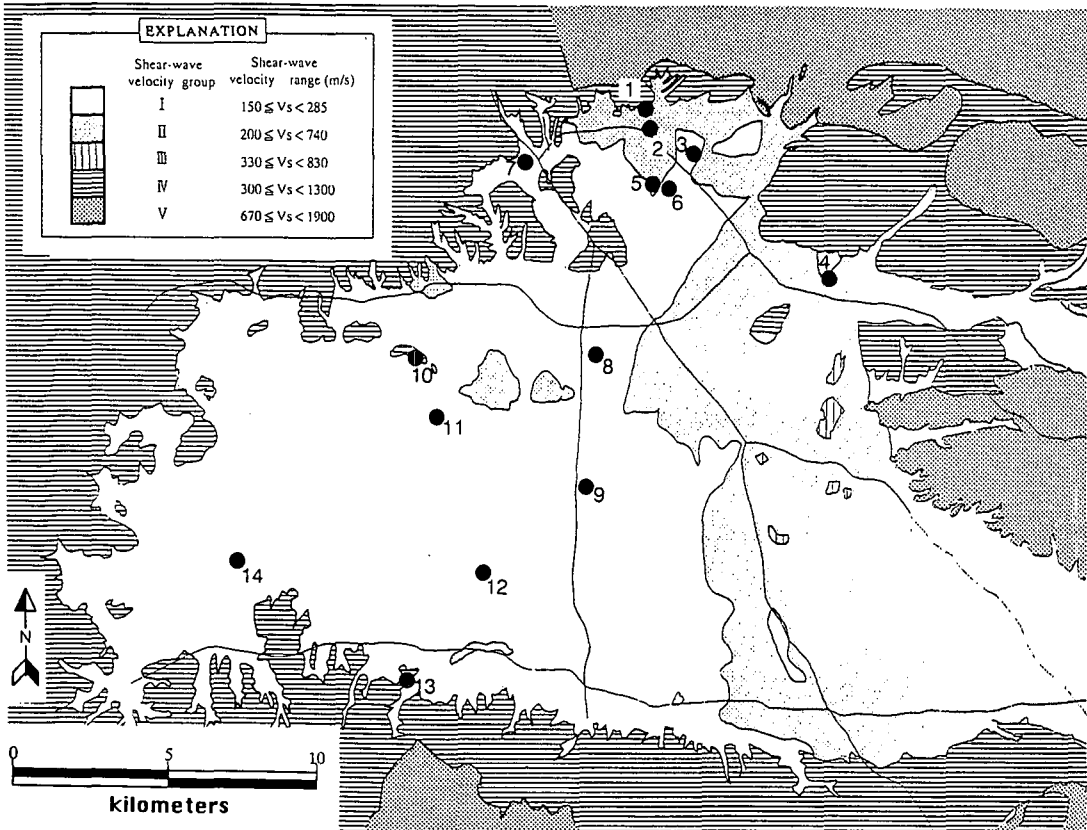


図 4.2.5 S 波速度構造のわかっている地点分布<sup>5)~7)</sup>

表 4.2.3 図 4.2.5 に示される S 波速度構造地点

No.	地点名	Ref.	No.	地点名	Ref.
1	Hilltop House	81-44	9	Holliday Inn, Van Nuys	80-8
2	Oliveview, Sylmar	82-56	10	Devonshire Police Station	82-55
3	Sylmar Nursery	81-42	11	Cal State Northridge	81-46
4	Sylmar Park	81-43	12	Mulholland	82-57
5	Sylmar High School	80-19	13	Cedar Hill Nursery	81-45
6	Pacoima Memorial Hospital	80-18	14	Eton School	80-21
7	Upper Van Norman Dam	80-17	15	Santa Monica	82-52
8	Mission Hills P.O.	80-20	16	Terminal Island	80-3

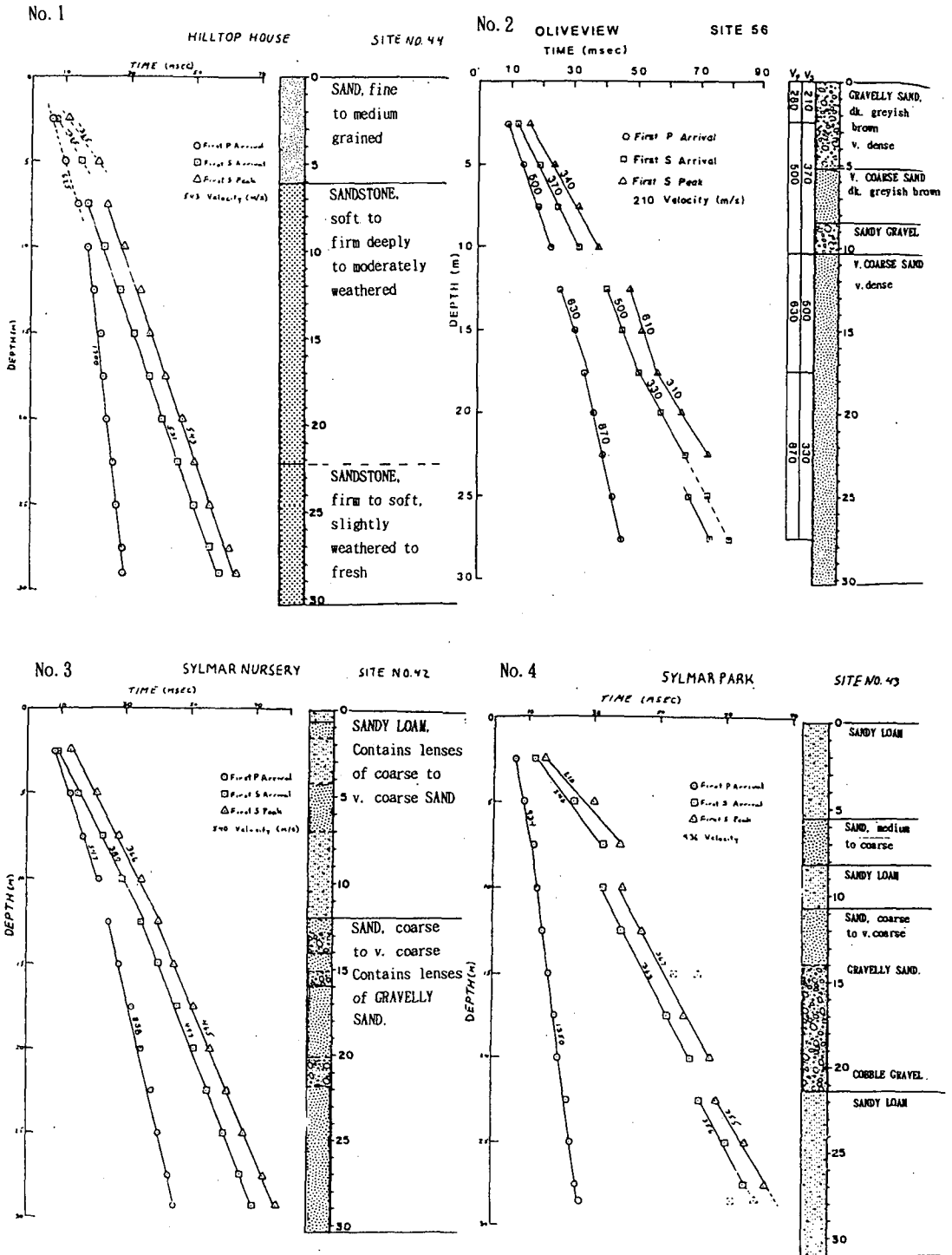
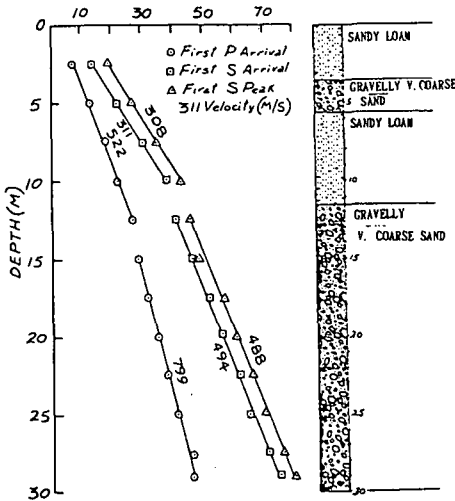


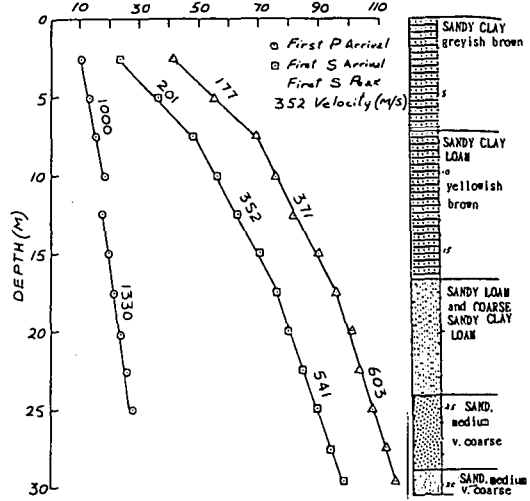
図 4.2.6 各地点のS波速度構造<sup>5)~7)</sup> (その1)



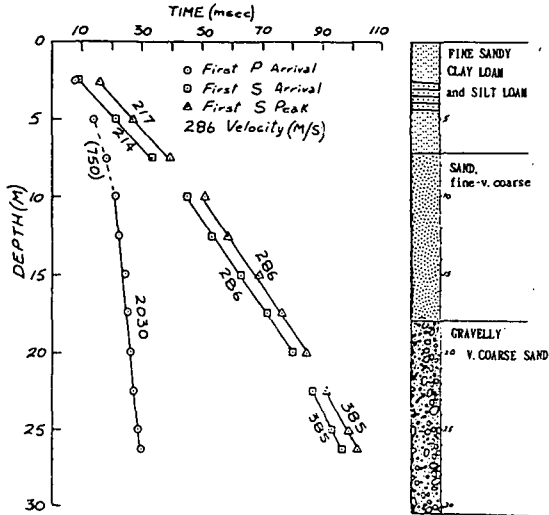
No. 5 SYLMAR HIGH SCHOOL SITE NO. 19



No. 6 PACOIMA MEMORIAL HOSPITAL SITE NO. 18



No. 7 UPPER VAN NORMAN DAM SITE NO. 17



No. 8 MISSION HILLS P.O. SITE NO. 20

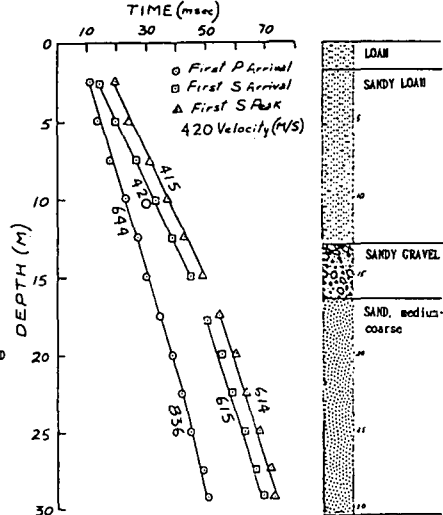


図 4.2.6 各地点の S 波速度構造<sup>5)~7)</sup> (その 2)

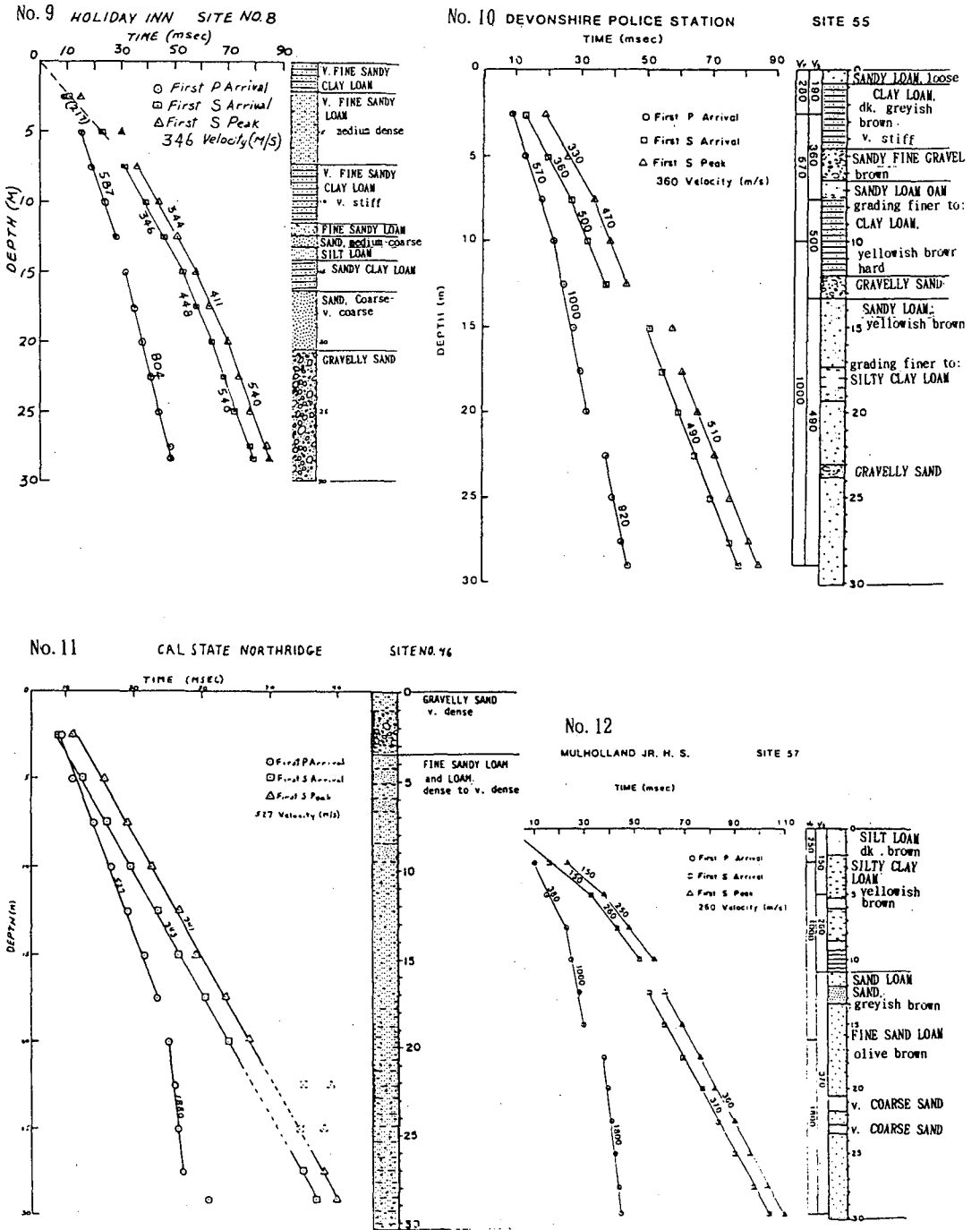


図 4.2.6 各地点の S 波速度構造 (5)~(7) (その 3)

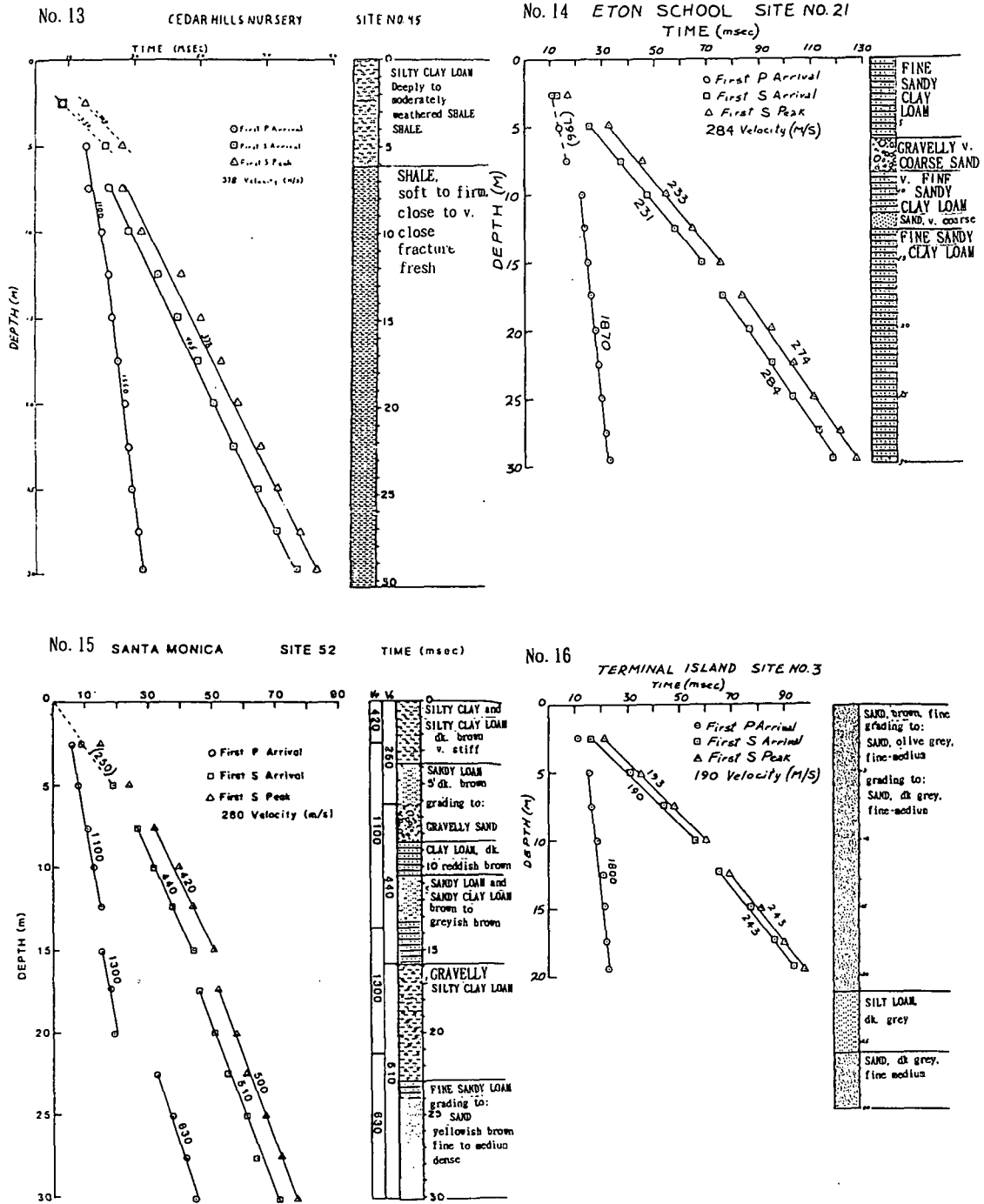


図 4.2.6 各地点の S 波速度構造<sup>5)~7)</sup> (その 4)

表 4.2.4 ロサンジェルス盆地の土層と平均 S 波速度<sup>2)</sup>

Age and Texture	Mean $\pm$ 1s.d. (m/s)	Range (m/s)	Group
Holocene sediment			
Fine grained (Silt and Clay)	200 $\pm$ 20	150~270	I
Medium grained (<15% gravel)	230 $\pm$ 30	195~285	I
Coarse grained and Very coarse grained (>15% gravel)	330 $\pm$ 30	290~375	II
Pleistocene sediment			
Fire grained	305 $\pm$ 50	200~360	II
Medium grained	430 $\pm$ 115	270~740	II
Coarse grained and very coarse grained	535 $\pm$ 125	330~830	III
Sedimentary Rock	530 $\pm$ 250	300~1 300	IV
Crystalline Rock	1 130 $\pm$ 440	670~1 900	V

m の粘土質ロームが存在し、その下に頁岩がある。サンタモニカは 1 地点だけであるが、サンフェルナンドバレーの多くのデータと同様の傾向を示している。ロングビーチにあるターミナルアイランドでは、表層から砂質土が卓越し、S 波速度も他の地点に比べ低くなっている。表 4.2.4 にロサンジェルス盆地の土層と平均 S 波速度の値の関係を示す。

#### 4.2.3 被害概要

図 4.2.7<sup>9)</sup>に液状化および地滑り地点、図 4.2.8 に地滑りの詳細図<sup>9)</sup>を示す。以下、被害概要<sup>9)~11)</sup>をまとめる。

##### (1) 落石、斜面崩壊、地滑り

多数の落石、斜面崩壊、地滑りがパシフィックパリセーズの海岸線、サンタモニカ山地、5 号線と 14 号線のインターチェンジ東部のサンガブリエル山地、サンタスザーナ山地で起こった。サンガブリエル山地、サンタスザーナ山地で起こった落石は多くの道路を通行止めにした。また Rockslide により、少なくとも 2 つの送電塔が壊れ、天然ガスの地上パイプライン 1 か所が被害を受けた。

パシフィックパリセーズの海岸線では、絶壁の崩壊により数件の家屋が壊れ、1 号線が閉鎖となった。シャーマンオークスの Mulholland Drive に沿って、大きな地滑りが起き、道路は閉鎖された。その他の落石や地滑りは、主として未開発地域に起こっており、構造物への影響は小さい。

##### (2) ダム

震源から 50 マイル以内には、State Division of Safety of Dams (DSOD) および Federal Jurisdiction に管理された 120 (108+12) のダムがある。これらのうち震源近傍に位置するものとしてカスティック (Castaic)、Felicia、ロサンジェルス、パコイマ (Pacoima)、Encino Lake、ハンセン (Hansen) ダムがある。ノースリッジ地震ではこれらのうち 12 のアースダムで軽微なクラックや変形が認められたが、崩壊の危険性をともなうような被害はなかった。ただし、シミバレーの北にある小さな鉾津ダムが破壊し、鉾津の一部が流れ出した。

##### (3) 液状化、側方変形、地盤沈下

液状化と側方変形は広範囲で認められた。海岸線では、Mugu Lagoon 近くの Calleguas 橋から、Malibu Beach、サンタモニカピアの北駐車場、マリナ・デルレイ (Marina del Ray)、レドンドビーチキングスハーバー (Redondo Beach Kings Harbor)、ロサンジェルス港 (Port of Los Angeles) など、また内陸部で

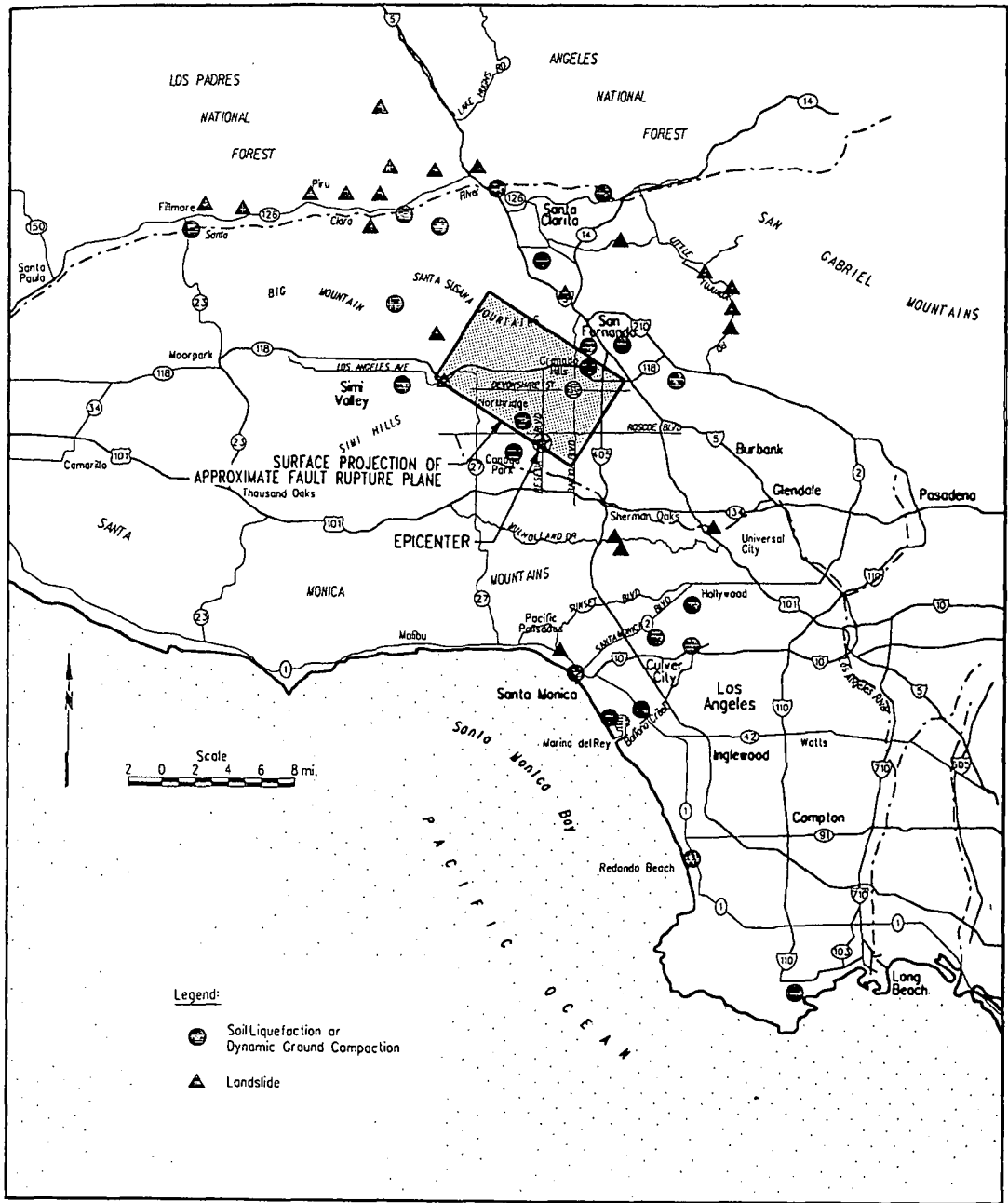


図 4.2.7 液状化および地滑り地点<sup>9)</sup>

は、フェルモア (Filmore) から 5 号線間のサンタクララ川、シミバレー、Country Mobile Home Park (Rory Lane)、Potrero Canyon、ハンセンダム、ロサンジェルスダム複合体、およびノースリッジの広範囲、5 号線と 210 号線および 405 号線のジャンクション付近などである。しかし、これらの液状化による構造物被害は比較的軽微であった。震源に近いサンフェルナンドバレーとシミバレーで起きた液状化と側方変形により、縁石、舗装、配管などに被害がでた。

Upper Van Norman Lake 付近のジェンセン浄水場 (Jensen Filtration Plant) およびその近傍では、より顕著な液状化と側方変形がみられた。しかし、側方変形による給水管の破断を除けば、施設への影

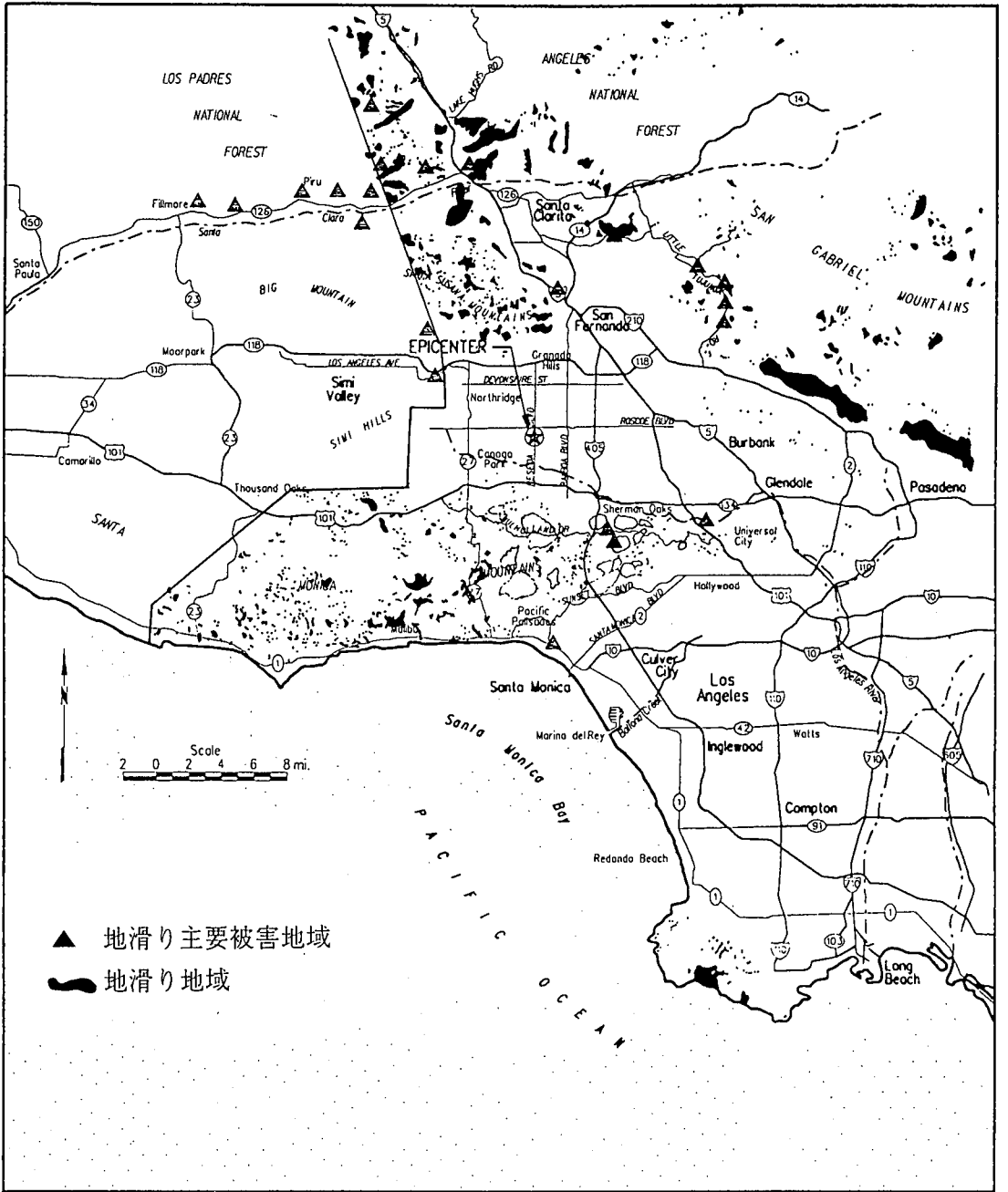


図 4.2.8 地滑り詳細図<sup>9)</sup>

響は比較的軽微であった。1971年サンフェルナンド地震で液状化による地滑りのあった Sylmar Juvenile Hall では、液状化により、縁石や舗装に軽微な被害がみられた。

(4) 表層地質の影響

図 4.2.9 に、被害を受けて立ち入りが制限された構造物分布<sup>9),12)</sup>と、沖積層の関係を示す。今回の地震では、1989年のロマプリータ地震に比べると、表層地質が構造物被害に与えた影響は顕著ではない。このため、構造物被害の多くは震源のノースリッジ付近に集中している。ただし、震源から離れ

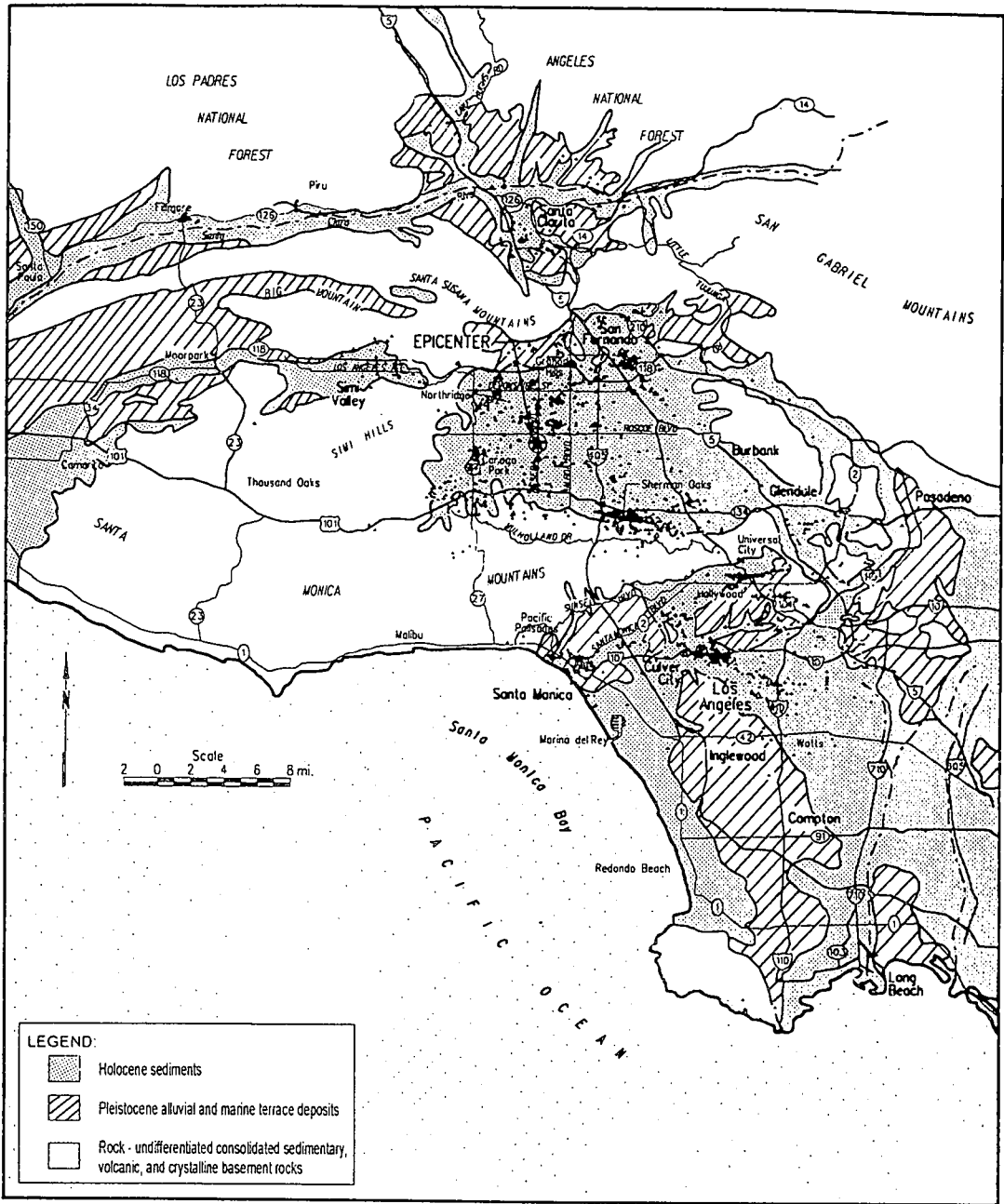


図 4.2.9 構造物被害と表層地質の関係<sup>9),12)</sup>

た地域で被害の大きい地域がいくつか見受けられる。それらは、(a)ハリウッドのサンタモニカ通り北部の5号線と101号線の間、(b)シャーマンオークスの101号線沿いの405号線東側、(c)カルバーシティーの北東部 (Santa Monica Freeway overpasses at Fairfax Ave. and La Cienega Blvd.), (d)サンタモニカなどである。これらの地区の多くは沖積盆地にあり、1971年サンフェルナンド地震でも被害が集中したことから、表層地質が被害に影響を与えた可能性が指摘される。古い地形図によれば、被害を受けたサンタモニカ Freeway 付近は低地で、沼地もみられる。なお、Cienega はスペイン語で沼地の意である。またこの地の表層6m程度までには、ピート、有機質粘土などがある。

### 4.3 サンフェルナンドバレーの地盤災害

#### 4.3.1 バンノーマンコンプレックス

バンノーマンコンプレックス (Los Angeles Department of Water and Power (DWP) Van Norman Complex, 写真4.3.1) は、サンフェルナンドバレー北側、震央から10.5 kmほど北東に位置し、北側の地下水かん養施設と中央のロサンジェルスダム (Los Angeles Dam) からなる (図4.3.1)。ここには1971年の地震で決壊寸前の被害を受けたサンフェルナンド下ダム (Lower San Fernando Dam, 写真4.3.2), そしてサンフェルナンド上ダム (Upper San Fernando Dam) があったが、これらは1971年の地震で被害を受けた<sup>13)</sup>後、両者の中間の位置に建設されたロサンジェルスダムにその機能を譲り、現在は貯水ダムとしては使用されていない。

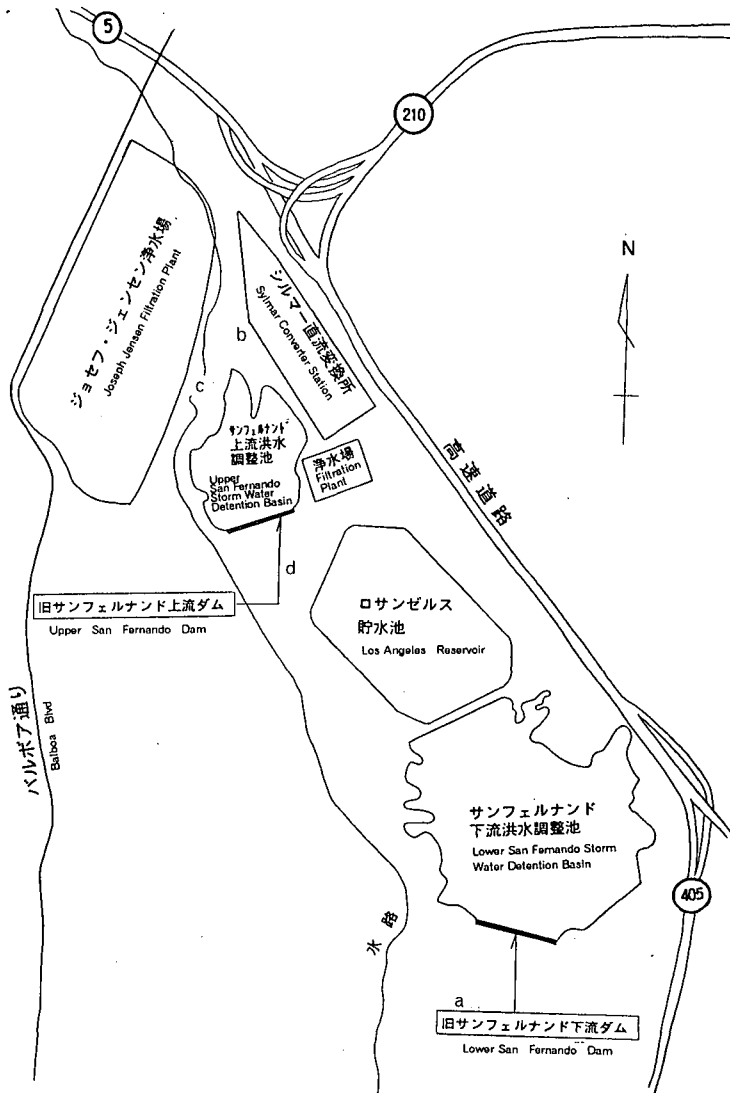


図4.3.1 バンノーマンコンプレックスの位置図



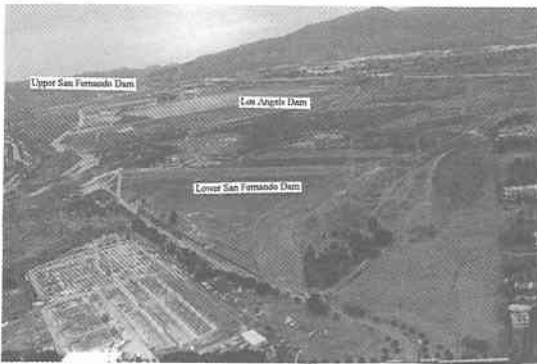


写真 4.3.1 パンノーマンコンプレックスの航空写真  
(東大岡田恒男教授提供)



写真 4.3.2 1971年サンフェルナンド地震後の  
サンフェルナンドダム航空写真<sup>13)</sup>

地震動が強かった（水平 0.9 g，鉛直 0.5 g）<sup>14)</sup>にもかかわらず，1971 年のものほど重大な被害にはいたらなかったが，これは地震前の降雨が少なかったことなどが幸いしたものと思われる．以下に関連施設の地盤に関する被害状況を中心にその概略を述べる．

#### (1) サンフェルナンド下ダム

1971 年に大きく崩壊したこのダムは現在貯水ダムとしては機能していない．このダムの基礎地盤はレンズ状に砂や礫を挟む固い粘土を主体とする沖積層で，ダムの下部でその厚さは 11 m に達する．東側（左岸）のアバットメントは中新世前期（Upper Miocene age）の頁岩やシルト岩から成り，上部は風化が進んでシームや亀裂は石膏状の泥で満たされている．一方右岸のアバットメントは鮮新世中期（Middle Pliocene）の脆い砂岩から成る<sup>13)</sup>．

写真 4.3.3 はサンフェルナンド下ダムの堤頂に発生した縦亀裂である．縦亀裂の幅はおよそ 5 cm である．この亀裂は地震直後からたびたびの余震を受けて次第に堤体中央に向かって伸展しており，その経過が亀裂に沿って点々とマーキングされている（写真 4.3.3 中の数字）．この縦亀裂はダムアバツ



写真 4.3.3 サンフェルナンド下ダム  
堤頂における地割れ



写真 4.3.4 サンフェルナンド下ダムの上流側法尻における噴砂



写真 4.3.5 液状化による大きな陥没 サンフェルナンド下ダム

トメントに接近するにつれ、横断亀裂に遷移している。

このダムの下流側斜面には目立った変状は確認されていないが、上流側斜面の法先から旧貯水池底に緩やかに広がる地盤上に円弧状と放射状のクラックが入り、これに沿って噴砂が広がっている (写真 4.3.4)。噴きあがった砂はシルト質で細粒分が多い。写真 4.3.5 はこの区域の液状化による最も大きな陥没孔で、直径 7~8 m、深さ約 2 m に達する。

ダムの下流側法先の右岸側でリベット接合のパイプ (φ 73 in.) の縦目地が裂け、水が吹き出した (図 4.3.1 a)。周りの土が洗い流されてしまっていたため、地震時の地盤の状態とパイプの被害を関連付けることは困難である。

## (2) ロサンジェルスダム

取水塔連絡橋脇の銘板によれば、このダムは 1977 年に“OUTSTANDING CIVIL ENGINEERING ACHIEVEMENT”としてアメリカ土木学会から表彰されており、西側を除く四方を厚さ 3 in. のアスファルトで覆った堤体で矩形形の貯水池を囲む構造である (写真 4.3.6)。水平方向、鉛直方向それぞれ 0.9 g、0.5 g という地震動を受けたにもかかわらず、今回の地震でダムの機能にかかわる被害は報告されていない。堤体の沈下は 0.2~0.29 feet で南西側隅の上流側斜面の厚さ 3 in. のアスファルトに亀裂が入っている (写真 4.3.7)。亀裂は湖底の泥の堆積層にまで達しているがダム底まで達しているかどうかは確認されていない。またこれによる漏水は認められていない。北西側の上流側堤体と右岸



写真 4.3.6 ロサンジェルスダムの航空写真 (東大岡田恒男教授提供)



写真 4.3.7 上流斜面のクラック(ロサンジェルスダム)



写真 4.3.8 北西側堤体の地割れ(ロサンジェルスダム)

段丘の接する部分では、アスファルトに横断亀裂が入り (写真 4.3.8), 若干の漏水があったといわれている。

### (3) サンフェルナンド上ダム

ロサンジェルスダムの北側に旧サンフェルナンド上ダムがある。このダムの付近で沖積層の厚さは15~18 m 程度とやや厚い。基礎岩盤は固結度の乏しい砂岩である。このダムの旧貯水池は現在写真 4.3.9 に示すように幾つかの小さな池に分割され、地下水かん養に使われている。このダムも沈下と上・下流側斜面のはらみ出しが起こり、堤頂には縦亀裂が発生した。この変形に引きずられる形で余水吐のコンクリート壁が破損した。

ダムのさらに上流側に小規模な発電施設がありその周囲の地盤が大きく陥没した (図 4.3.1 b, 写真 4.3.10)。発電施設の建屋 (半地下) 内部には壁の亀裂から液状化した砂の一部が流れ込んだ。この発電施設から下流側に開水路がジェンセン浄水場 (Jensen Filtration Plant) との境界に沿って続いている。その開水路の両側盛土が約 50 m にわたって沈下し側方に広がった (図 4.3.1 c, 写真 4.3.11)。沈下量は 30~45 cm, 側方への移動量は 1.5~1.8 m と報告されている。この盛土の調整ゲート近くに亀



写真 4.3.9 サンフェルナンド上ダムの上流側斜面



写真 4.3.10 発電所建物周辺の地盤沈下

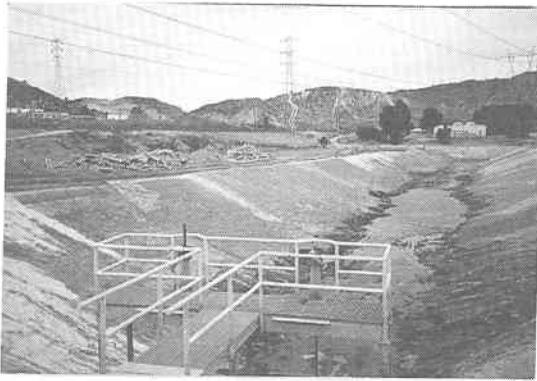


写真 4.3.11 液状化による開水路の被害



写真 4.3.12 管路の被害全景 (サンフェルナンド上ダム)

写真 4.3.13 支柱の側方変形による管路の被害<sup>15)</sup>

裂が生じ、ここから水が漏れたため、盛土が洗い流された。またゲートを挟んで反対側の盛土にも多くの横断亀裂が生じた。この水路に沿ってシルト分が多い砂が噴き出している。

ダムの下流側，ロサンジェルスダムとの間にコンクリート脚で支持された口径約2 mと80 cm程度の大小2種の鋼管が谷を跨ぐ形で架かっている(図4.3.1 d)。大きい方の管路のコンクリート脚の基礎周囲には噴砂が認められたものがあったが、橋脚や管路は無被害であった。これに対して、小さい方の鋼管は5径間(1径間約25 m)で、幅60 cm、奥行き240 cmの矩形のコンクリート脚上にH型鋼の支持枠で支えられているが、コンクリート脚が傾斜したりずれを生じていた(写真4.3.12)。これに伴い支持枠が変形し、このうち中央部の2か所が破断した(写真4.3.13)。なお、コンクリート脚の傾斜・ずれを生じた原因については、橋脚の周りには一方向のみならず四周に10 cmほど(最大25 cm)の地盤との隙間が生じていたこと、橋脚の周囲には噴砂が認められなかったことから、地盤の側方流動によるものではなく、管の振動に伴い生じたものと考えられる。この場合、管路の両端は左右両岸の地盤中に入り、固定された形になっていることから、高架部の管路の中央部のみが大きく揺れたことによってコンクリート脚と管路に相対変位を生じ、支持枠が破損したと考えられる。大小2種の管路の被害の有無は、橋脚基礎の深さの違いおよび橋脚の水平変位やロッキングに対する地盤の抵抗力の違いによるものと推測される。

4.3.2 ジョセフジェンセン浄水場

ジェンセン浄水場は、南カリフォルニア州の水道局 (Metropolitan Water District of Southern California) によって運営される浄水場である。サイトは、サンフェルナンド盆地の北部にある5号と210号のジャンクション付近のグラナダヒルにある(写真4.3.14)。この地域の自然地盤は、主としてサンタモニカ山地のOutwashが造った沖積層である。この沖積層の下にはソーガス(Saugus)層と呼ばれる基盤がある。当施設は、この自然地盤上に、最大70フィートの人工盛土を1960年代に施工して建設されている。図4.3.2、4.3.3に施設の平面配置<sup>9),15)</sup>と標準的な断面を示す。敷地は、長さ1km、



写真 4.3.14 ジェンセン浄水場の航空写真

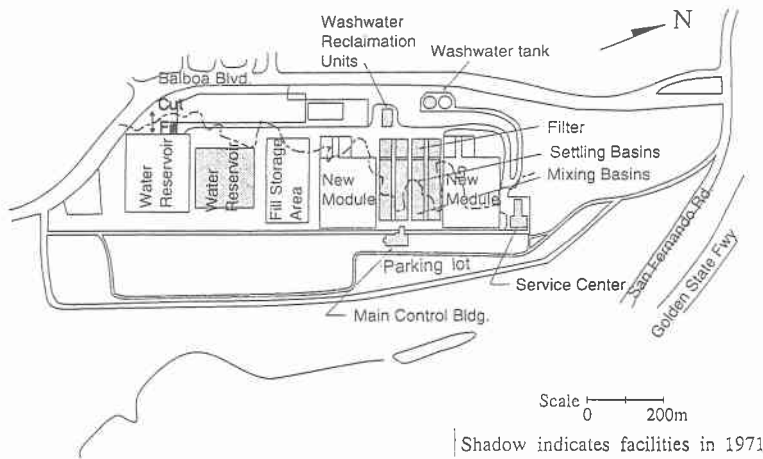


図 4.3.2 ジェンセン浄水場の平面図<sup>9),15)</sup>

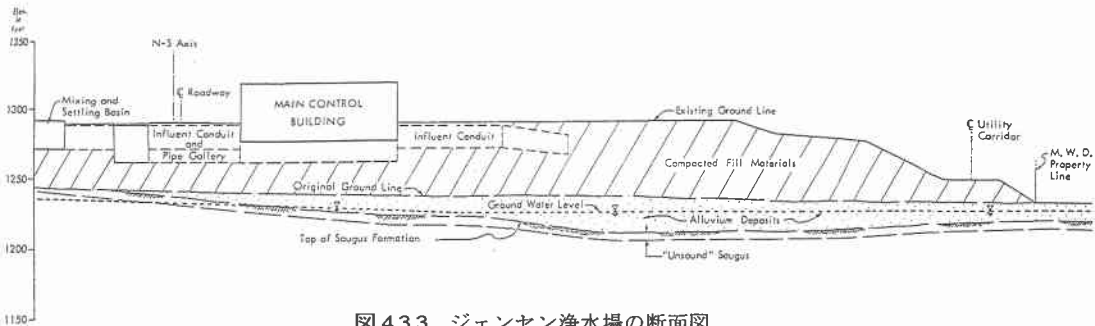


図 4.3.3 ジェンセン浄水場の断面図

幅 0.5 km の矩形で、その長軸はほぼ南北方向となっている。自然地盤は東向き of 緩やかな斜面のため、敷地の西側は切土となり、東側に向かって盛土厚が増加している。

1971年サンフェルナンド地震当時は、この施設は建設中であつたが、図4.3.3に示した盛土下の沖積層が液状化したため敷地の東端部に地すべりを生じ、最大3m以上にもおよぶ地盤の永久変位が生じた<sup>16)</sup>。これによって地下貯水槽の地下壁が崩壊するなど、施設に多大な被害を生じた(写真4.3.15)。また、強い地震動によって貯水槽の厚さ36cmの屋根スラブがジョイント部で破壊したり、屋根スラブを支える直径600mmの柱が頭部と脚部でせん断破壊した(写真4.3.16, 4.3.17)。フィルター室では、地盤の側方移動に伴って地下道のコンクリートの打継ぎ部が破断したり、パイプ類が変形した(写真4.3.18)。復旧に際し、グラベルドレーンや液状化した沖積層の置換、地下水位の低下など

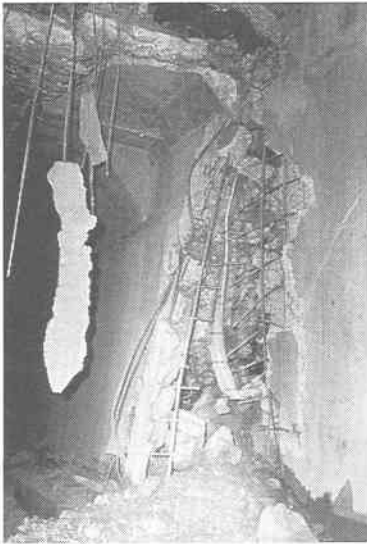


写真 4.3.15 1971年サンフェルナンド地震の際の地盤の側方流動によるコンクリート地下壁の崩壊(MMD提供)

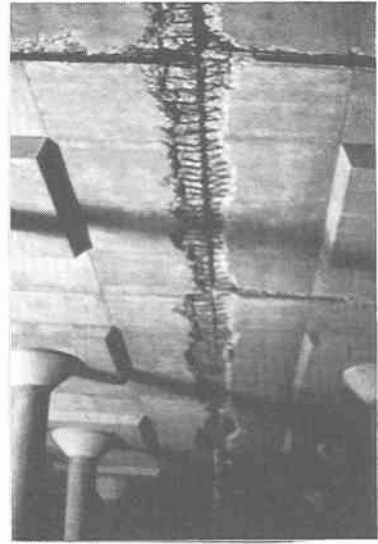


写真 4.3.16 1971年サンフェルナンド地震の際の地下貯水槽屋根スラブ（厚さ300mm）の打継ぎ部の破壊(MMD提供)

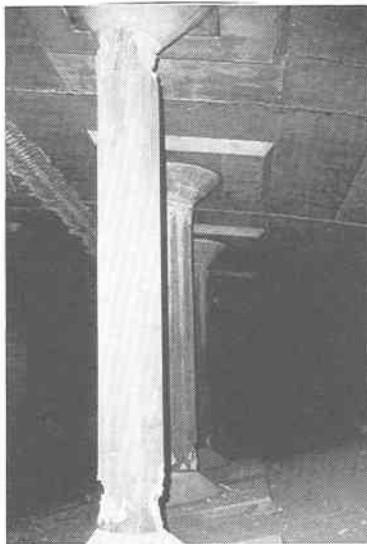


写真 4.3.17 1971年サンフェルナンド地震の際の地下貯水槽コンクリート柱（径600mm）の破壊(MMD提供)

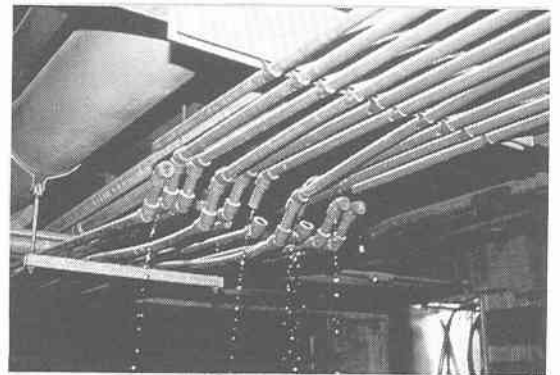


写真 4.3.18 1971年サンフェルナンド地震の際の地盤の側方流動によるパイプの変形(MMD提供)

の対策工を行っているとのことであるが、詳細は明らかではない。

我々の調査団は、1月17日の1994年ノースリッジ地震発生から約3週間が経過した2月3日に現地を踏査した。施設の地盤災害の主なものは、中央管理棟周辺地盤の20～30 cmほどの沈下、駐車場の亀裂、地割れ（写真4.3.19）などである。地割れは、中央管理棟からサイトの北東端にかけて盛土崖とほぼ平行して数条発生し、その幅は盛土崖の法肩部で最も大きく（写真4.3.20）、法尻付近では噴砂も認められた。地割れの幅は、余震ごとに進行しているとのことである。また、地割れは盛土法面から遠ざかるにつれてその幅を減じていることから、1971年サンフェルナンド地震同様、液状化により側方流動を生じたものと推測される。ただし、その程度は1971年の地震に比べてはるかに軽微である。

敷地の北東端、上記の斜面の近くに埋設された口径2.1 mのプラント導水管2本のうちの1本が地震で破裂した（写真4.3.21）。すでに、補修が完了しており、詳しい被害の状況は視察できなかったが、関係者の説明では、破断した箇所は円周方向に管を溶接した際の熱影響部とのことであり、現場に置かれていた管の破断部には曲げ、引張りの痕跡は全く認められなかった（写真4.3.22）。破壊は比較的

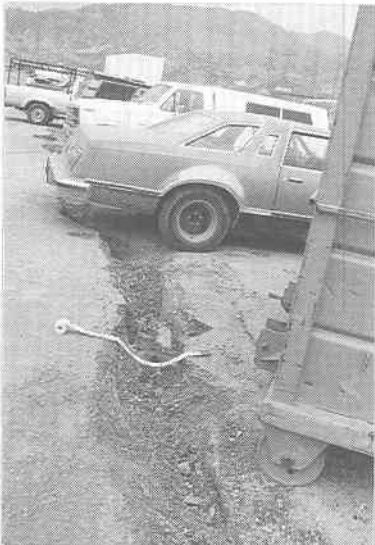


写真 4.3.19 駐車場の地割れ（ジェンセン浄水場）



写真 4.3.20 斜面の地割れ（ジェンセン浄水場）



写真 4.3.21 破断した導管（ジェンセン浄水場）  
（MMD 提供）

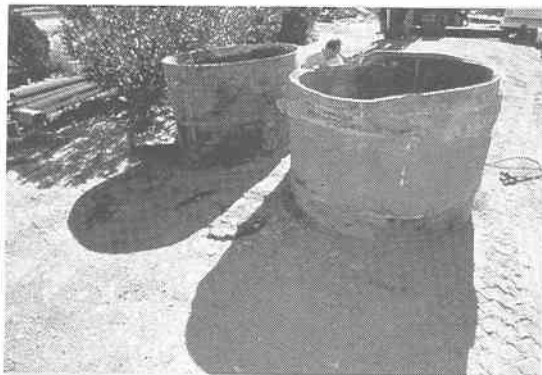


写真 4.3.22 導管破断面のクローズアップ  
（MMD 提供）

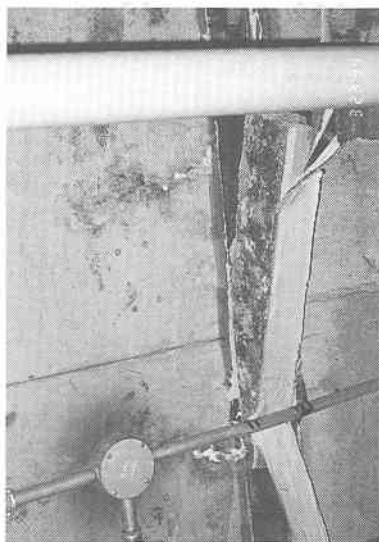


写真 4.3.23 地盤の側方流動による  
地下壁打継ぎ部の離れ

短時間で起こったものと思われるが、破壊の原因が液状化に伴う地盤の側方流動によるものか地震動による地盤変位に伴うものかについては、破断面の管の離れ具合など被害時の状況が不明なため推測することはできない。

以上のほかに、沈殿池間を結ぶ地下道が、写真 4.3.23 に示すように、コンクリートの打継ぎ部でずれを生じた。ずれを生じた部分は 1971 年の地震で被災し、補修した部分とのことであるが、被災程度は今回の方が格段に軽微である。MWD 関係者の説明によれば、液状化対策の効果に加えて、降雨が例年に比べて少ないこと、新貯水槽の建設に際し地下水位を低下させているなどの原因で、1971 年の地震当時に比べて地下水位が 6 m 低く、このため前回ほど広範囲に液状化が生じなかったのではないかとのことである。

ジェンセン浄水場では強震観測が実施されていた。USGS のレポート<sup>14)</sup>によれば、中央管理棟の基礎 (Base) で水平 0.62 g、鉛直 0.40 g、発電棟基礎 (Base) で水平 0.98 g、鉛直 0.52 g、貯水槽屋上で水平 0.84 g、鉛直 0.51 g の最大加速度が観測されている。このうち最も大きい加速度 0.98 g が記録された発電棟は、東側盛土斜面に最も近いところにある。

敷地内の小高い丘に立地する貯水タンクは、地震前にはタンクの脇にあったキャプタイアを跨いでおり、地震時にロッキングしたか、上下に跳躍したものと見られている。また、施設内の貯水槽では、木製の遮水壁が水圧によって破壊した。

### 4.3.3 その他の地区の地盤災害

#### (1) グラナダヒルズ

グラナダヒルズ (Granada Hills) は、サンフェルナンドバレーの北端部に位置する住宅地である。リナルディ通り (Rinaldi St.) より北側は緩やかな斜面となっている。この地域を南北に走るバルボア通り (Balboa Blvd.) を横切るように、顕著な地割れが起こった。この地割れは、バルボア通りの西側数ブロックから、東側約 5 km の 5 号線まで東西に走り、斜面の北 (上) 側の Larillard St. と Halsey St. の間で引張破壊、南 (下) 側の Halsey St. とリナルディ通りの間で圧縮破壊を起こした。これに対応





写真 4.3.24 舗装のクラック (グラナダ)



写真 4.3.25 圧縮による舗装の座屈 (グラナダヒルズ)



写真 4.3.26 水道管, ガス管の被害 (グラナダヒルズ)



写真 4.3.27 洗い流された橋台裏込め盛土 (グラナダヒルズ)

して縁石, 舗装などに引張りによる亀裂 (写真 4.3.24) や圧縮による座屈が生じた (写真 4.3.25)。また, 住宅, 塀などの被害も顕著で, 一部の住宅は「立入り禁止」を示す赤い紙が貼られていた。このような地盤災害が集中した地域は, 1971 年のサンフェルナンド地震で地表に破壊が生じたミッションヒルズ断層に概ね沿っている<sup>9)</sup>。

バルボア通りに埋設された水道管やガス管も, 上記の地割れ付近で引張破壊および圧縮破壊を起こした。引張破壊部は 9 in.程度開き, 圧縮破壊部は 14 in.程度短くなった<sup>9)</sup>。破裂した水道管から流れ出した水が, 坂下に位置する 118 号フリーウェイに流入したり, 破裂したガス管から漏れたガスの火炎で住宅が延焼するという被害が生じた (写真 4.3.26, 4.3.27)。地下水位は少なくとも GL-2 m 程度以深であり, 付近に噴砂は認められなかった。

## (2) ノースリッジ

ノースリッジは震源の直上に位置し, 病院, ショッピングセンター, アパートの崩壊や, 住宅の被害, 貨車の脱線など, 大きな地震動が原因と考えられる被害が多かったところである。しかしながら, 地盤変状が原因と考えられる被害はほとんど見あたらなかった。ただし, 貨車の脱線地点に架かる跨



写真 4.3.28 橋台裏込めの沈下（ノースリッジ）

線橋の橋台の裏込め土が約 35 cm 沈下（写真 4.3.28）し通行不能になったり、405 号フリーウェイの橋台と裏込め土で段差が生じる（フリーウェイの盛土の沈下は今回の地震だけによる被害ではない可能性もある）等の被害が認められた。

ロサンゼルス周辺は、雨量の少ない地域で地下水位が低いと考えられる。沖積地盤の地下水位が低い地域では、かなり大きな地震動を受けても地盤災害が少ないという印象を受けた。

### (3) スタジオシティおよびシャーマンオークス

スタジオシティは、サンフェルナンドバレー南端にあり、震源から 15 km ほど離れている。震央距離に比して、他の地区より建物被害が多かった。また、道路や歩道の亀裂（写真 4.3.29）や座屈（写真 4.3.30）も認められ、埋設管も復旧中であった。このような被害は、スタジオシティからシャーマンオークスまで続いている。この地域は、サンタモニカ山地の北側に接してロサンゼルス川がつくった沖積地盤で、地震動が局部的に増幅された可能性がある。周辺地盤は川に向かって、また下流の東へ向かって緩やかに傾斜している。また、地下水位も浅いと思われる。したがって、この地区の被害は、地震動の増幅作用に加え、液状化や側方流動に起因する可能性もある。



写真 4.3.29 舗道のクラック（スタジオシティ）

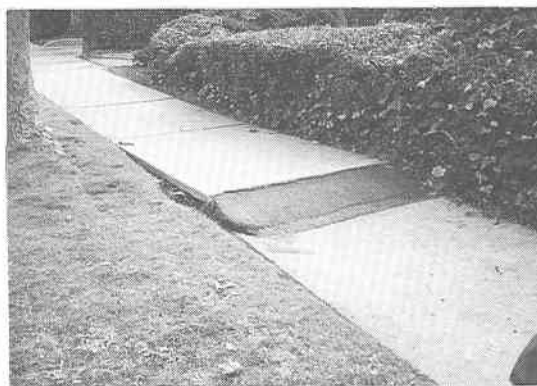


写真 4.3.30 舗道の座屈（スタジオシティ）

## 4.4 サンフェルナンドバレー以外の地盤災害

### 4.4.1 港湾施設の被害

ノースリッジ地震では、岸壁、護岸などの施設は無被害またはきわめて軽微な被害にとどまった。港湾施設に被害が発生した地点は、震央から約50～60 km南方にあるロサンジェルス港およびレドンドビーチのマリーナなどである(図4.2.7)。これらの地点の被害は、いずれも液状化と関連している。これに対して、震央から約20 km南方にあるサンタモニカの海岸栈橋やマリナ・デル・レイなどの施設は無被害で、液状化もほとんど認められなかった。

#### (1) ロサンジェルス港

震源からおよそ60 km南方のロサンジェルス港では、港の西側のナゴヤ(Nagoya)道路に沿って地盤の側方移動があったことが報告されている。さらに幅約5 cm、長さ15 mにわたって生じた道路の亀裂から約20 cm沈下した。このほか、ロサンジェルス海洋博物館(Los Angeles Museum)に隣接した地点で舗装の亀裂と沈下があったことが報告されている。

#### (2) レドンドビーチ

震央から約45 km南方に位置するレドンドビーチ(Redondo Beach)のキングハーバー(King Harbor)は大太平洋に面したマリーナである(図4.4.1)。この埠頭で、砂地盤の液状化によって埋立地盤に側方流動と沈下が生じ、同地点にあった2棟の平屋建物が不同沈下した。被害を受けた建物の一つを写真4.4.1に示す。埠頭の南側岸壁(W.L.+1.2 m)では100～150 mの距離にわたって側方流動が起り、写真4.4.2に示すように、コンクリート護岸がはらみだし、背後の盛土が0.6～0.9 m沈下した。はらみだした護岸の一部に亀裂が生じ、背後地盤の砂がそこから溢れだした。護岸の最大移動量は約6 mであったといわれている。噴砂の跡は調査時にもまだ広く残されていた。

このような地盤の側方流動によって直径20 cmの水道本管が破断した。また、被害地点の1ブロック南に位置する屋外プール周辺で、直径1.5 mほどの大きさの噴砂が多数生じたことが報告されてい

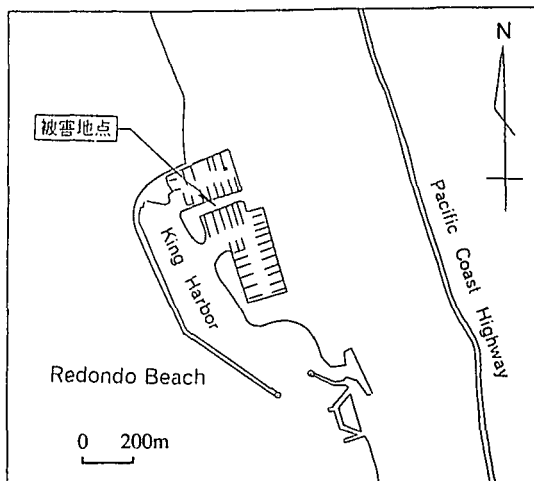


図 4.4.1 キングハーバー (レドンドビーチ) の被害地点



写真 4.4.1 液状化に伴う地盤沈下による建物の傾斜と変形（キングハーバー）



写真 4.4.2 護岸のはらみ出し（キングハーバー）

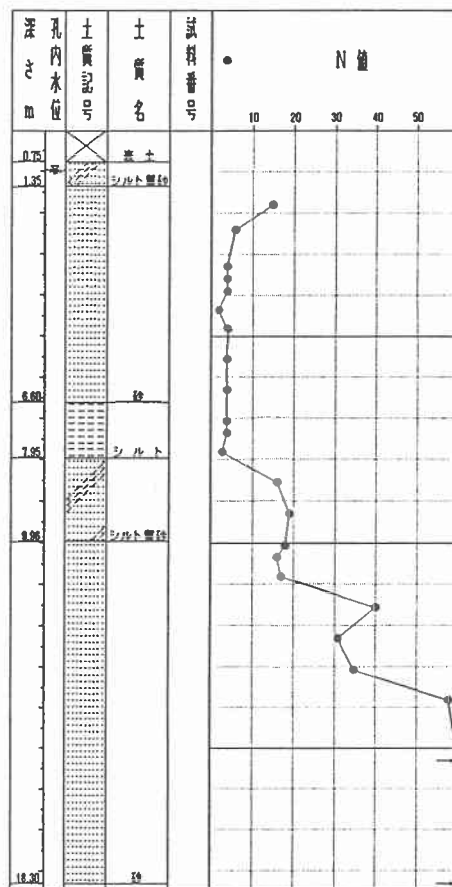


図 4.4.2 キングハーバー（レドンドビーチ）の土質柱状図の一例

る。

この地域は1960年代初期に約1.5 km離れた砂丘からの砂と、港の北東端の海岸背後地を掘削した材料で埋立造成された。盛土材は撒いてブルドーザーで転圧されたが、埋土材に含まれたシルト・粘土分は、埋土材が港に投入されたときに流失してしまった。このような埋立造成過程から、埋土の転圧が海面より上の部分だけに制限され、海面以下の材料は緩いままの状態で見えられた。

図4.4.2に同地付近の柱状図<sup>17)</sup>を示す。約6 mの厚さの埋立土層は、N値2~3と非常に緩く、平均粒径が0.15~0.45 mmの細粒分の少ない砂である。さらに、この地域の地下水位が平均1 m以浅と浅いことから、この埋立土層が地震によって液状化したことは確実である。しかし、1971年サンフェルナンド地震では震源がやや北にあったせい、キングハーバーでの液状化被害は記録されていない。

## (3) マリナ・デル・レイ

サンタモニカフリーウェイ (I-10) とロサンジェルス国際空港の間に位置するマリナ・デル・レイ (Marina del Rey) は、いくつもの埠頭を抱える大きなヨットハーバーである。ここではパラワン (Palawan) 道路とパナイ (Panay) 道路の間の D 埠頭にある人工砂浜の西端で大きな地盤の亀裂が生じたことが報告されている。砂浜には液状化が発生したことを示すと考えられる黒色の砂が散らばっていたが、液状化のはっきりした痕跡は確認できなかった。このほか、パナイ道路沿いの道路表面に小さな亀裂が見られた。

## 4.4.2 その他の地区の地盤災害

## (1) サンタモニカ

サンタモニカは震央からサンタモニカ山地を越えた、南方約 24 km に位置する。サンタモニカの海岸線は、砂浜から 40~60 m 程度の崖をもつ海岸段丘になっており、その上に市街地が広がっている。サンタモニカ北部のパシフィックパリエーズでは、高さ約 40 m、勾配 45~60° の海岸段丘の斜面が崩壊し、その下を通る 1 号線が一時的に通行止めとなった。被害が最も大きかった斜面崩壊の一つは、パシフィック・コースト・ハイウェイ (Pacific Coast Highway) 上のチョウトウカ (Chautauqua) 通りの北側で発生した崩壊である。崩壊は崖の頂上から起こり、崩壊とともに家屋も一緒に落下してしまった。斜面崩壊により段丘上の住宅数軒が被害を受けた (写真 4.4.3)。崩壊した土砂は、第四紀および第三紀更新世の固結度の低い砂であった。崩壊の幅はおよそ 100 m であったが、崩壊土の厚さは高々数 m であったと推測されている。垂直に近い斜面が太平洋に面し、地盤強度が弱くなっていると推測される。また、斜面崩壊箇所の南東側はサンタモニカキャニオンがあり海岸段丘が切れるところにあたる。サンタモニカキャニオンにある建物には、壁や柱に亀裂が生じる等の被害が生じていた。サンタモニカのオーシャンパークのビーチにある駐車場では、舗装に 5~10 cm 程度の亀裂が生じる (写真 4.4.4) 軽微な被害があった。亀裂からは砂が噴出しており、明らかに液状化による被害と考えられる。



写真 4.4.3 パシフィックパリエーズの地滑り

写真 4.4.4 液状化による駐車場舗装のクラック  
(サンタモニカ)

## (2) サンタクララ川周辺

サンタクララ川は、震央からサンタスザーナ山地を隔てた北側を東から西へ流れる。この川に沿う地域のうち、5号線と23号線の間で、液状化による軽微な被害が認められた。

サンタクラリータの町から5号線を隔てたバレンシアの東側の住宅地は、斜面を切り盛りして造成されている。この地区では、舗装、塀、壁などに亀裂が入るなどの被害を生じた（写真4.4.5）。また、斜面下の道路は滑り破壊により、その一部が盛り上がっていた。住宅地の最上部の切土地盤上にある水道用水タンクは、その上端部が若干内側に変形するように座屈していた。

5号線と126号線との分岐部のサンタクララ川右岸50mの牧草地において数多くの噴砂が認められた（写真4.4.6）。川の堤防には堤体軸と並行に縦亀裂が生じていた。この地点は、サンタクララ川の支流が合流するところで、旧河道の液状化と考えられる。フィルモアは、126号線をサンタクララ川沿いに下った23号線との分岐点に位置する。この23号線がサンタクララ川を渡る橋梁付近で、地盤に亀裂がみられた。また、堤外地の橋梁下部や橋脚脇に噴砂が認められた（写真4.4.7）。



写真 4.4.5 道路を横切る地割れ (バレンシア)



写真 4.4.6 サンタクララ川近くの牧草地における噴砂



写真 4.4.7 サンタクララ川を横切る橋近くの液状化

## (3) シミバレー

サンフェルナンドバレーの北方にあるシミバレーのデントン (Denton) 通りの近傍にあるテキサス牧場では、丘陵地帯に2つの平行する大きな地割れが発生した。互いに10mほど離れたこれらの地



写真 4.4.8 丘陵に生じた大きな割れ目(テキサス牧場)



写真 4.4.9 亀裂付近のすり鉢状の穴(テキサス牧場)

割れは、それぞれ幅が 50 cm、長さが 20 m 程度であった(写真 4.4.8~4.4.9)。この地割れの発生原因は明らかではないが、割れ目周辺の陥没孔の状況から判断すると、地震以前から当地点には地中に多くの穴が存在しており、地震によって穴の地表部が陥没し、その後の余震および降雨による流水によって陥没孔が拡大し、相互につながって地割れのような格好になったのではないと思われる。地中の穴ができた原因も明らかではないが、調査時に穴から野兔が顔を出していたことから推測して、これらの穴は兔の巣となっていたようである。ちなみに同地点では構造物は何もなかったため、地割れによる被害はなかった。

#### (4) シミバレー駅近傍の河川護岸

ロサンゼルス市と近郊を結ぶ鉄道であるメトロリンク (Metrolink) のシミバレー駅南方約 50 m の地点にある河川の背後地盤に大きな亀裂・段差が生じた。約 100 m にわたって河川と平行な数条の亀裂が発生した。亀裂の幅・段差とも最大で 50 cm 程度であった(写真 4.4.10~4.4.12)。これらの亀裂は、高さ約 3 m の護岸のはらみだし・沈下によって発生したと推測されるが、石積にモルタルを吹き付けただけの簡単な構造の護岸には、小さな亀裂が生じているのみで川底にも地盤の盛り上がりな

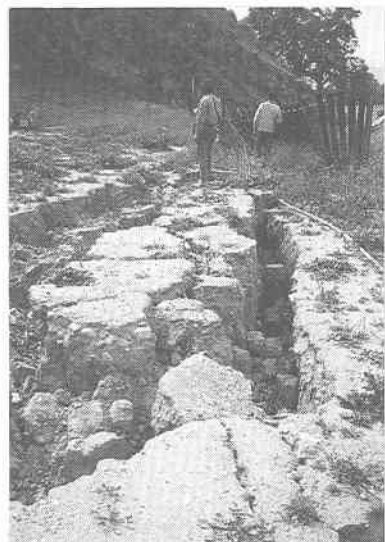
写真 4.4.10 メトロリンク シミバレー駅近くの  
水路壁の亀裂写真 4.4.11 メトロリンク シミバレー駅近く  
の水路背後地盤の大きな亀裂



写真 4.4.12 メトロリンク シミバレー駅  
近くの水路背後地盤の大きな亀裂

どの変状はみられなかった。背後地盤や川底には噴砂・噴水の痕跡は見られず、液状化が発生したという証拠は認められなかったが、わが国における河川堤防等の被害形態と比較して、これらの地盤被害は液状化に起因するものであろうと考えられる。

#### (5) シミバレー東部

液状化に伴う噴砂はシミバレー東部の住宅地に多く見られた。地盤の亀裂・噴砂、地表面の変形および家屋基礎の破壊等が、カーテン (Kirten)、ローリーリン (Rory Lyn)、サビナサークル (Sabina Circle) 通りの周辺で確認された (写真 4.4.13~4.4.15)。これらの液状化によって生じた地盤破壊とそれに伴



写真 4.4.13 住宅の庭先で見られた噴砂 (シミバレー)



写真 4.4.14 舗装道路の変形とブロック塀の崩壊  
(シミバレー)



写真 4.4.15 液状化による住宅の床の亀裂  
(シミバレー)



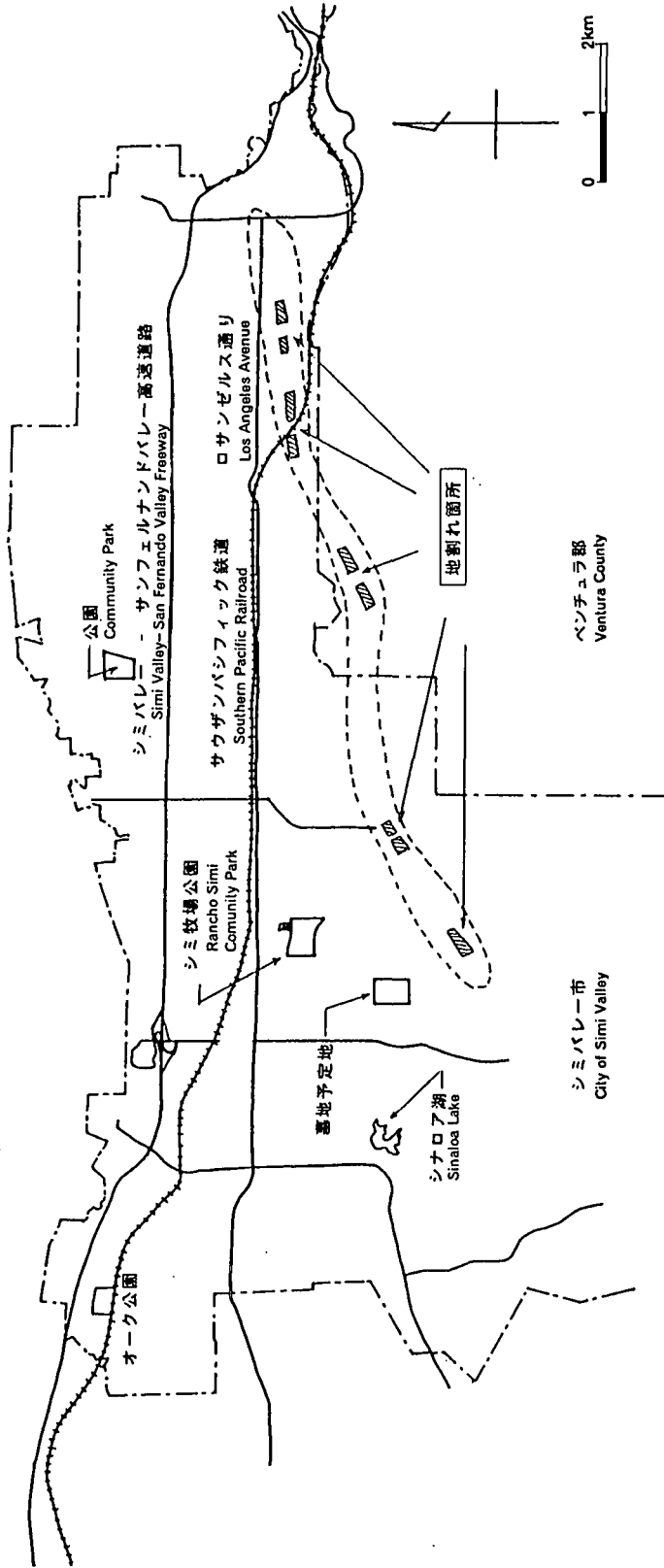


図 4.4.3 シミバレー市の地盤亀裂位置図

う側方流動が、周辺の住宅に広範な被害をもたらした。シミバレーの地盤亀裂・破壊地点の位置を図4.4.3に示す。これらの地盤破壊が市の南部を東南方向に横切る細長く狭い地域に集中しているようにみられることから、こうした地域が液状化しやすい旧河道であった可能性もある。

#### (6) タポ溪谷

シミバレー北部のタポ溪谷 (Tapo Canyon) にある堆積場の堤体が崩壊し、内容物が流れ出した (写真4.4.16~4.4.18)。この堆積場はコンクリート骨材となる砕石を採取した後の細粒の残土を貯蔵していたもので、堤体は礫やコンクリート塊が混じったきれいな砂で構成されている。付近には液状化の痕跡は見られなかったが、被害の原因は堤体法尻付近の液状化ではないかと考えられる。堆積物は局部的には乾燥している状態にあったが、それにもかかわらず堤体の裂け目を突き破って内容物が流出した。被害は本震のみで生じたのではなく、引き続いて起こった大きな余震によって徐々に破壊が進行したということである。この地域には幾つかの堆積場があったが、被害を受けたのはこの1か所だけである。



写真 4.4.16 堆積場の崩壊 (タポ峡谷)



写真 4.4.17 堆積場の崩壊 (タポ峡谷)



写真 4.4.18 堤体の崩壊により流出した堆積物 (タポ峡谷)

(7) サントスザーナ山地

サンフェルナンドバレーの北と西に広がるサントスザーナ山地の急斜面で多数の斜面崩壊が発生した。その一例を写真 4.4.19、写真 4.4.20 に示す。これらの山地は新第三紀層からなり、急速に隆起している地域である。岩質は砂岩、頁岩、礫岩であり、いずれも固結度が極端に低く、引張強度はほとんどない。

その他、大規模な斜面崩壊が起こったことが報告されている地域は次のとおりである。

- (a) ディロンデバイド (Dillon Divide) の Little Tujunga 通りでは 2 か所で大きな斜面崩壊が発生した (写真 4.4.21)。
- (b) パコイマダム周辺では、アプローチ道路が落石や崩壊のために数か所で寸断された。
- (c) ユニバーサル (Universal) 市のカフエンガ (Cahuenga) 通り沿いの斜面。
- (d) ピル (Piru) 市近郊の 126 号ハイウェイ沿いの斜面。



写真 4.4.19 15/SR14 インターチェンジ付近の斜面崩壊 (EERC 提供)

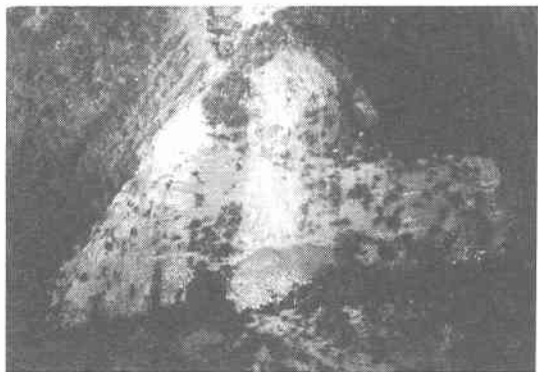


写真 4.4.20 サントスザーナ山地の落石 (EERC 提供)

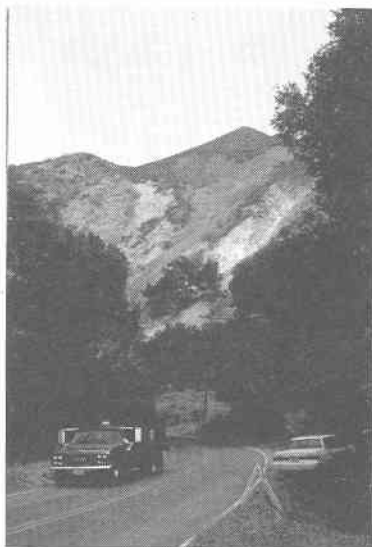


写真 4.4.21 ディロン・デバイドにおける斜面崩壊 (Little Tujunga 通り, EERC 提供)

## 4.5 液状化地点と噴砂の性質<sup>18)</sup>

### (1) 液状化地点と被害の概要

液状化発生地点は、図4.2.7に示されている。震源から最も遠い(約58 km)ロサンジェルス港コンテナターミナルでは、岸壁のせり出し(10 cm程度)、岸壁背後地盤の沈下(20~30 cm程度)、クレーンレールの破損などの被害が生じ、その機能が一時的に停止した。背後地にはいくつかの亀裂が生じたが、亀裂は1981/1982年に浚渫土によって埋め立てられた範囲に限られている<sup>11)</sup>。付近の橋梁基礎で記録された最大水平加速度は、0.25 gであった。

震央から約44 kmのレドンドビーチでは、1962年に埋立てによって造られた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、人工海浜のビーチでの液状化(レドンドビーチ)や、貯水されていないダム堤体上流側法尻での液状化(サンフェルナンド下ダム)、駐車場の液状化(サンタモニカ)などが挙げられるが、いずれの場合も被害は軽微であった。大きな地震動が生じたにもかかわらず、液状化地点はかなり少なく、また被害も限られている。この原因は、ロサンジェルスの海岸線には海岸段丘があるため、地下水位の浅い沖積低地が極めて少ないこと、また雨量が少ないため沖積平野の地下水位が深くなっていることなどが考えられる。したがって、図4.2.7に示した液状化地点は、震源近傍の相対的に地下水位が浅い沖積層の一部と、震源から離れた埋立地に限られている。栗林・龍岡らの提案式<sup>19)</sup>から求められた液状化が発生する限界震央距離は30 km ( $M=6.6$ )であるが、埋立地にあるサンペドロのロサンジェルス港(約58 km)とレドンドビーチ(約44 km)はいずれもこの限界距離を上回っている。図4.2.9に示した建物の被害範囲と比較し、液状化による被害範囲がより遠方に及んでいる。

ジェンセン浄水場は、1971年サンフェルナンド地震で大きな被害を受けたが、今回の地震による被害は相対的に軽微であった。前回の地震では盛土下の緩い沖積層で液状化が生じ数多くの噴砂が確認されたが、今回の地震では一部で噴砂が確認されている程度であった。地下水位は前回の地震時より約6 m低く、また、施設は1971年サンフェルナンド地震の教訓を生かし、地盤改良等が行われていた<sup>11)</sup>。

### (2) 噴砂の性質

噴砂の性質が、液状化層の砂の性質と一致することが保証されたわけではないが、5地域12地点の噴砂について、物理試験を実施した。結果を図4.5.1に示す。噴砂は、概ね均等係数が5以下、粘土分含有率が約5%以下で、非塑性である。図4.5.1には、港湾基準<sup>20)</sup>に示される「特に液状化の可能性のある粒度」の範囲も示している。噴砂の粒度は概ね、港湾基準の範囲内にある。

港湾基準の範囲より細粒であった噴砂が採取されたのは、1971年の地震で液状化被害を受けたサンフェルナンド下ダムの堤体上流側の法尻付近であった。ここで採取された噴砂は、細粒分含有率が50%を越え、日本統一土質分類でシルト(ML)またはシルト質砂(SM)に分類されるものがある。この砂の粒度組成は、1971年当時液状化したと考えられる堤体や基礎地盤のそれ<sup>21)</sup>とは一致しない。

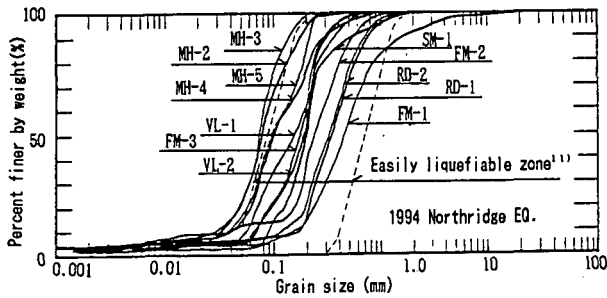


図 4.5.1 噴砂の粒度特性 (MH: ローラーサンフェルナンドダムミッションヒル, SM: パーキングロット, サンタモニカ, RD: キングハーバー, レドンドビーチ, VL: サンタクララ川, バレンシア, FM: サンタクララ川, フェルモア)

#### 4.6 まとめ

1994年ノースリッジ地震による地盤災害は、その地震動の大きさにもかかわらず、1971年のサンフェルナンド地震に比べると、比較的軽微であった。1971年の地震で液状化により大きな地盤の側方変形が認められたサンフェルナンドダム、ジェンセン浄水場、Sylmar Juvenile Hallでは、小規模な液状化や地盤の側方変形が認められただけで、構造物への影響は軽微であった。また、震源付近にあるダムや人工盛土の被害も軽微であった。ロサンジェルス地区は例年に比べ降雨が少なく、地下水位が深かったことが一因として考えられる。ただし、液状化、側方変形、地盤破壊に伴う埋設管の被害は、震源付近の各所で認められ、水やガスの供給停止や火災の原因となり、地盤災害がライフライン被害とその2次災害に及ぼす影響の大きいことが改めて指摘された。

液状化は1971年の地震では被害が報告されていないレドンドビーチやロサンジェルス港など、震源から比較的離れた埋立地でも認められた。また、ロサンジェルス港では、震源距離に比して、比較的大きな加速度が記録された。これらの結果は、表層地盤が地震動と地盤災害に与える影響の大きいことを物語っている。構造物被害は、主として震源地のあるサンフェルナンドバレーに限定されているが、震源からやや離れたサンタモニカ山地南部(サンタモニカ、ハリウスのサンタモニカ通り北部の5号と101号の間、カルバーシティの北東部)にも集中して見うけられた。これらの地点の被害も、表層の軟弱地盤の影響であった可能性が指摘されている。

震源に近い山間部では、多数の落石、地滑り、斜面崩壊が起り、サンガブリエル山地とサントスザーナ山地内の多数の道路が不通となった。また、送電鉄塔、パイプライン、建物などにも被害があった。サンタモニカ北部のパシフィックパリエーズで起こった地滑りは、数件の住宅を巻き込み、1号線を不通にした。しかし、これらの被害を除けば、その構造物への影響は小さかった。

## 参考文献

- 1) Yerkes, R.F.: Effects of San Fernando Earthquake as Related to Geology—San Fernando California Earthquake of February 9, 1971—, U.S. Department of Commerce, N.O.A.A. Washigton, D.C. Vol.1, pp.137-154, 1973
- 2) Ziony, J. I.: Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region an earth science perspective, USGS Professional Paper 1360, 1985
- 3) Johnson, J.A. and Duke, C.M.: Subsurface Geology of Portions of San Fernando Valley and Los Angeles Basin—San Fernando California Earthquake of February 9, 1971—, U.S. Department of Commerce, N.O.A.A., Washington, D.C., Vol.1, pp.155-164, 1973
- 4) Youd, T. L., Tinsley, J. C., Perkins, D. M., King, E. J., and Preston, R. F.: Liquefaction potential map of San Fernando Valley, California, 2nd Int. Conf. on Microzonation for Safer Construction, Vol. 1, pp.267-278, 1978
- 5) Gibbs, J. F., Fumal, T. E., and Roth, E. F.: In-situ measurements of seismic velocity at 27 locations in the Los Angeles, California region, USGS Open File Report No.80-378, 1980
- 6) Fumal, T. E., Gibbs, J. F., and Roth, E. F.: In-situ measurements of seismic velocity at 19 locations in the Los Angeles, California region, USGS Open File Report No.81-399, 1981
- 7) Fumal, T. E., Gibbs, J. F., and Roth, E. F.: In-situ measurements of seismic velocity at 19 locations in the Los Angeles, California region, USGS Open File Report No.82-833, 1982
- 8) Shakal, A. et al.: CSMIP strong-motion records from the Northridge, California earthquake of 17 January 1994, Report No. OSMS 94-07, 1994
- 9) Stewart, J.P., Bray, J.D., Seed, R.B., and Sitar, N.G.: Preliminary Report on the January 17, 1994 Northridge Earthquake, EERC Report No. UCB/EERC-94/08, June, 1994
- 10) Moehle, J.P.: Preliminary report on the seismological and Engineering aspects of the January 17, 1994 Northridge earthquake, EERC Report, No. UCB/EERC-94-01, 1994
- 11) Hall, J. F.: Northridge earthquake January 17, 1994, Preliminary Reconnaissance Report, EERI, 94-01, 1994
- 12) Los Angeles Housing Department: Northridge Earthquake Damage, Unsafe and Limited Entry Structures, 1994
- 13) Seed, H.B., K.L. Lee, I.M. Idriss and F.I. Makdisi: The Slides in the San Fernando Dams during the Earthquake of February 9, 1971, Jour., Geotechnical Engineering Div., ASCE, Vol. 101, No. GT7, pp.651-688, July 1975
- 14) Porcella, R. and others: The Ms=6.6 Northridge, California Earthquake of January 17 1994: Selected USGS Accelerograms recorded at National Strong-Motion Network Stations, USGS, 1994
- 15) ウォーターフロントの地震防災に関する研究会・(財)地震予知総合研究振興会：1994年ノースリッジ地震被害調査報告書，1994
- 16) O'Rourke, T.D., Roth, B.L., Hamada, M.: Large Ground Deformations and their effects on Lifeline Facilities : 1971 San Fernando Earthquake , Cornell University, 1992
- 17) M&T AGRA Inc.: Geotechnical Report- Earthquake Reconstruction Mole B, King Harbor, Redondo Beach, California, 1994
- 18) 沼田淳紀・森伸一郎：1994年ノースリッジ地震における液状化調査，第49回土木学会年次学術講演会概要集，1994.9
- 19) 栗林栄一・龍岡文夫・吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所彙報第30号，1974.12
- 20) 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
- 21) 土木学会耐震工学委員会：サンフェルナンド地震（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