

1987年12月17日の千葉県東方沖地震の被害調査報告

田 藏 隆 (技術研究所)	清 水 勝 美 (技術研究所)	若 原 敏 裕 (技術研究所)
森 信 夫 (技術研究所)	西 尾 伸 也 (技術研究所)	社 本 康 広 (技術研究所)
後 藤 茂 (技術研究所)	広 瀬 利 光 (技術研究所)	馬 場 幸 吉 (技術研究所)

§ 1. はじめに

1987年12月17日の千葉県東方沖の地震に関して、新聞は「大揺れ首都圏、各地で被害」「師走の房総パニック」「心臓揺さぶった強震」「ゆがむビル、飛ぶ悲鳴」「降るガラス、走る亀裂、悲鳴」などの見出しで、近年にない強い揺れであったことと、千葉県を中心に各地で被害が発生したことを強調した。死者2名、負傷者161名の人的被害をはじめとして家屋の倒壊、屋根瓦の破損、崖崩れ、地盤の液状化、道路亀裂などの被害が、千葉県の山武、長生、千葉、夷隅支庁を中心に発生した。

この地震が社会的に大きく注目された理由として、まず東海地震あるいは南関東地震の発生を懸念する意識の高まりが挙げられるが、さらにそれに加えてウォーターフロント開発などをはじめとした最近の都市再開発構想における地震防災上の問題点を、今回の地震被害事例に写して見ようとした点が指摘される。

耐震技術に関する多くの知見が、過去の地震被害による教訓から得られたことは論をまたない。よく言われていることであるが、地盤の液状化問題に関する研究の進展は1964年新潟地震、1983年日本海中部地震における液状化の被害にあり、鉄筋コンクリート構造の耐震研究は1968年十勝沖地震の際の鉄筋コンクリート造の建物の被害が契機になった。また、ガス、水道、電気、電話などのライフラインの耐震性に関する研究の必要性を指摘したのは、1978年宮城県沖地震であった。さらに、1964年新潟地震、1978年宮城県沖地震は建物や構造物基礎に対する耐震設計法の見直しに警鐘を鳴らしたといえる。

本研究報告は1987年12月17日の千葉県東方沖地震による被害について、現地調査ならびに報告資料¹⁾⁻⁵⁸⁾を基にまとめたものである。地震被害の特徴として、地盤の液状化の多発、鉄道橋梁の橋脚の被害、県の防災行政無線の情報収集システムの欠陥の露呈が挙げられる。地震被害が発生することによって高価な代償が要求されることになるが、再び同じような被害を発生させないために、

詳細な被害分析と原因の究明が重要である。

§ 2. 地震の諸元と被害の概況

気象庁発表の1987年12月17日の千葉県東方沖地震の諸元²⁾²⁴⁾を以下に示す。マグニチュードは6.7、震源の深さは58kmである。千葉での震度V(強震)は1923年の関東地震以来である。図-1は各地の震度を示したものである。

千葉県東方沖地震の諸元

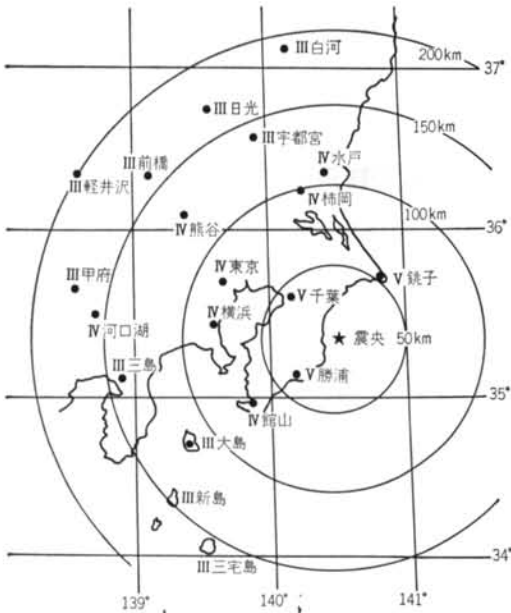
発震時	1987年12月17日11時08分
震央地名	千葉県東方沖 北緯35°21′, 東経140°29′
深 さ	D=58km
規 模	顕著, マグニチュードM=6.7
各地の震度	V:千葉, 銚子, 勝浦 IV:東京, 横浜, 水戸, 熊谷, 館山, 河口湖, 網代, 柿岡 III:前橋, 甲府, 飯田, 静岡, 八丈島, 三島, 秩父, 白河, 軽井沢, 三宅島, 新島, 日光, 大島, 小名浜, 宇都宮 II:若松, 福島, 仙台, 名古屋, 酒田, 高田, 豊岡, 諏訪 I:富山, 長野, 金沢, 秋田, 石巻, 盛岡, 新潟, 津, 鳥取, 松本, 伏木, 敦賀, 彦根, 石廊崎
余 震	1988年4月21日まで有感地震33回 (最大余震:1月16日20時42分, M=5.2, 震度III:東京, 千葉, 館山, 勝浦, 横浜)

震源はユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートがもぐり込み、さらにその下に太平洋プレートがもぐり込んだプレートの三重構造になっている位置である。岡田ら¹⁶⁾は本震および余震の記録から、今回の地震は北上するフィリピン海プレートが東の先端近くでほぼ横ずれ型のメカニズムで発生したと推測している。

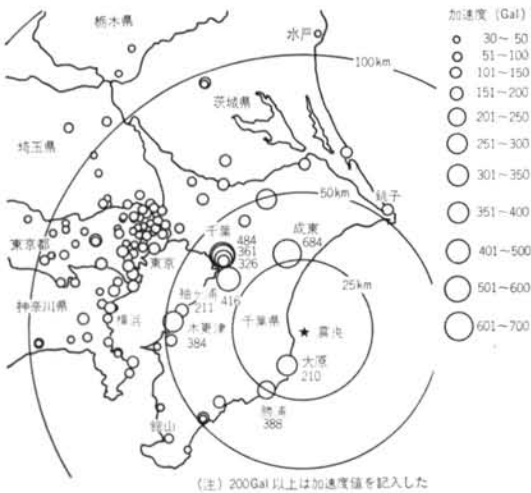
近年地震観測が多く、機関で盛んに行なわれており、地震記録が関東各地で数多く得られている⁶⁾。図-2は、地表の観測記録の最大加速度について示したもので

ある。千葉県内で400 Gal以上の加速度を記録した地点が3か所ある。400 Gal以上は震度階の震度Ⅶ(激震)に相当する加速度であり、最近にない強い揺れであったことを示している。

都心部の震央距離は60~80kmであり、最大加速度は150 Gal以下であった。加速度が小さかったことが、都心部で大きな被害を発生させなかった理由の一つと考えられる。震央距離がほぼ同じであっても、地域的な地盤特性の違い、あるいは地震波の伝播経路の違いなどによ



図一1 千葉県東方沖地震による各地の震度²⁾



図一2 強震観測で得られた地表の最大加速度分布(30Gal以上)¹⁾

り、最大加速度の値に差が発生していることが図一2から分かる。

表一は、自治省消防庁調査(1988年5月20日、東京消防庁取りまとめ)による都県別の被害状況を示したものである²⁴⁾。被害は千葉県に集中している。人的被害は死者2名、重傷者30名、軽傷者131名である。死亡災害は、ブロック塀および石どうろうの下敷きが原因で発生した。負傷の原因は、落下物による被害が49件で最も多く、次いで転落・転倒(35件)、家具等の転倒(21件)、火傷(21件)の順である。

表二は千葉県内の住宅の被害状況を示したものである³⁸⁾。住宅の被害において、全半壊家屋118棟のうち、117棟が山武、長生、千葉、夷隅支庁で発生している。特に、長生支庁では住宅の全半壊被害率が0.2%と他の支庁に比べて高い。全壊家屋は表一にあるように千葉県では16棟であり、そのうち2棟は地盤の液状化によるものである。また、屋根瓦の落下等による一部損壊については山武、長生両支庁での被害率はほぼ50%であり、半数の家屋が何らかの被害を受けたことになる。

地盤の液状化の被害、構造物の被害、ライフラインの被害に関しては、次章以降で詳しく述べる。

§ 3. 1987年千葉県東方沖地震記録の解析

1987年千葉県東方沖地震による記録が、東京大学生産技術研究所千葉実験所における地震観測網で得られている³⁵⁾。地表での観測記録の最大加速度はすべて200 Gal以上であり、最大で398 Galであった。このような強震記録が地震観測から得られることは非常に稀であり、きわめて貴重な記録といえよう。

本章では、この地震記録に基づいて地盤の非線形地震応答解析を行ない、その解析結果から地盤の非線形地震応答の程度について検討する。さらに、1964年新潟地震および1985年メキシコ地震の観測記録と上記の東京大学で得られた観測記録との比較から、地震動の特徴と地震被害の関係について考察する。

3.1 地震観測記録

東京大学生産技術研究所千葉実験所(以下、東大生研千葉と称する)では、高密度アレーによる地震観測が行なわれている。鉛直アレーの観測を目的とした観測孔C0の地盤概要と加速度計設置位置を図一3に示す³⁵⁾。地表からGL.-5mまではせん断波速度 V_s が140m/sのローム層、GL.-5~GL.-8mまでが V_s が320m/sの砂

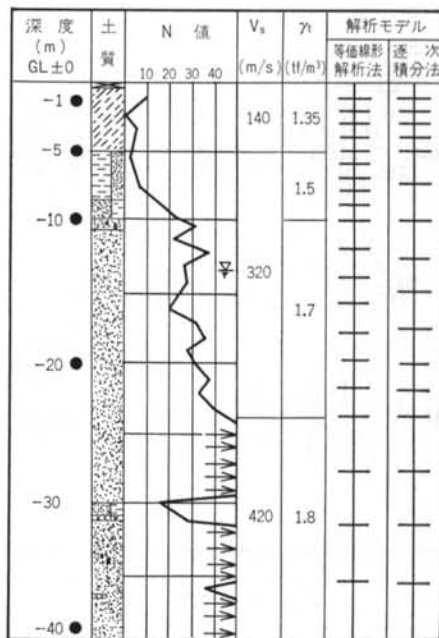
項目	内		容			
人的被害	千葉	死者 2名	重傷 26名	軽傷 118名	死者内訳 ①アロック崩下 4名 ②石どうろう下敷き 4名 ③転落、転倒 4名 ④火傷 3名	
	東京 茨城 神奈川 計	— — — 2名	4名 6名 3名 30名	6名 10名 4名 131名	146名 10名 3名 163名	
住宅被害	千葉	全壊 16棟	半壊 102棟	一部損壊 71,212棟	死者内訳 ①アロック崩下 49件 ②転落、転倒 35件 ③家具等転倒 21件 ④火傷 21件	
	東京 茨城 神奈川 計	— — — 16棟	— — — 102棟	1棟 1,259棟 108棟 72,580棟	※その他 窓ガラス破損等 多数	
その他の建物被害	千葉	公共建物 7棟	文教施設 682か所	清掃施設 5か所	病院 6か所	その他 60棟
	東京 茨城 埼玉 神奈川 計	— — — — 24棟	— — — — 8か所	— — — — 1か所	— — — — 6か所	— — — — 62棟
火災	千葉	小火 3件	〔原因〕アイロン転倒、染釜釜転倒、その他			
	東京 茨城 神奈川 計	— — — 2件	— — — 1件	〔配管が外れガス湯沸器1焼損〕		
崖・山崩れ(か所)	千葉	434か所	(東金市、成東町、松尾町、長南町、市原市、茂原市他)			
	神奈川	2か所	(逗子市、横須賀市)(千葉で6市町47世帯167人避難)			
道路亀裂等(か所)	千葉	道路1,832	(全面通行止め1)、橋梁64、港湾9、河川176			
	茨城	道路4	神奈川 港湾1			
鉄道被害	千葉	20か所	神奈川 1か所(京浜急行一時不通)			
	アロック 崩壊等	千葉 2,792か所	茨城 11か所、埼玉 2か所、神奈川 5か所 (計 2,810か所)			
ガス	千葉	ガス管破損 51か所	被災世帯 4,967世帯 (29日までに全面復旧)			
	東京 茨城 神奈川 計	— — — 11か所 3か所 2か所	— — — 11世帯 152世帯 — (計 5,130世帯)			
電気のイン	千葉	287,900世帯	(山の手線内中心)で一時停電			
	東京 茨城 計	— — 400世帯 1,700世帯	— — — (計 290,000世帯)			
水道の被害	千葉	水道管破損 4,907か所	断水 49,752世帯 (24日までに全面復旧)			
	東京 茨城 埼玉 神奈川 計	— — — — 7か所 2か所 3か所 105か所	— — — — 84世帯 256世帯 541世帯 (計 50,633世帯)			
電話	千葉	一時輻そう、その他千葉県でマイクロ回線2回線不良、別ルートで対応				
	茨城県	利根川下流堤防、護岸 2.5km				
液状化の発生	千葉県	内湾埋立て地域 (5市町 117か所) 九十九里地域 (18市町村 136か所) 北総地域 (5市町 24か所) 計 (28市町村 277か所)				
	茨城県	三浦半島(三浦市南下浦町)				
東京都	江東区有明10号埋立地					

表一 千葉県東方沖地震による被害の概要(自治省消防庁調査²⁴⁾より掲載)

混り粘土層、GL.-8~GL.-24mは V_s が 320 m/s の砂層、GL.-24m 以深が N 値 50 以上で V_s が 420 m/s の砂層である。

加速度計は、GL.-1, -5, -10, -20, -40m の各深さに埋設されている。図-4 は、GL.-1m および GL.-40m の震央直角方向の加速度記録を示したものである。最大加速度は GL.-1m で 268 Gal, GL.-40m で 83 Gal である。

なお、1987年千葉県東方沖地震に対する震央距離は 46 km である。



●:地震計設置位置

図-3 東大生研千葉の地盤概要および解析モデル²⁵⁾

住家被害	支庁名	千	東	印	香	海	山	長	夷	安	君	県計
		葉	葛飾	旆	取	匝	武	生	隅	房	津	
全半壊	棟	14				1	11	80	12			118
	被害率(%)	0.003				0.002	0.026	0.205	0.045			0.007
一部破損(瓦落下等)	棟	14,436	64	4,851	2,071	2,243	20,686	18,821	4,357	46	3,637	71,212
	被害率(%)	3.28	0.009	3.62	5.16	4.16	48.1	48.2	16.4	0.095	4.00	4.27
合計	棟	14,450	64	4,851	2,071	2,244	20,697	18,901	4,369	46	3,637	71,330
	全世帯数	440,712	751,499	134,147	40,165	53,907	43,049	39,011	26,517	48,372	90,833	1,668,212
	被害率(%)	3.28	0.009	3.62	5.16	4.16	48.1	48.5	16.5	0.095	4.00	4.28

(注) 被害率は(被害数/全世帯数)より求め、全世帯数は昭和62年12月1日現在の集計値を用いた。

表二 千葉県内の住宅の被害および住宅被害率²⁶⁾

3.2 地盤の非線形地震応答解析モデル

等価線形解析法ならびに土の動力学モデルとして、修正 Hardin-Drnevich モデル（修正H-Dモデル）と修正 Ramberg-Osgood モデル（修正R-Oモデル）の2種類のモデルを適用した逐次積分法による解析を行なうこと

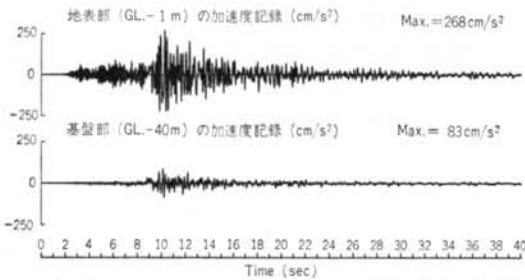


図-4 GL-1m および GL-40m の震央直角方向の加速度記録

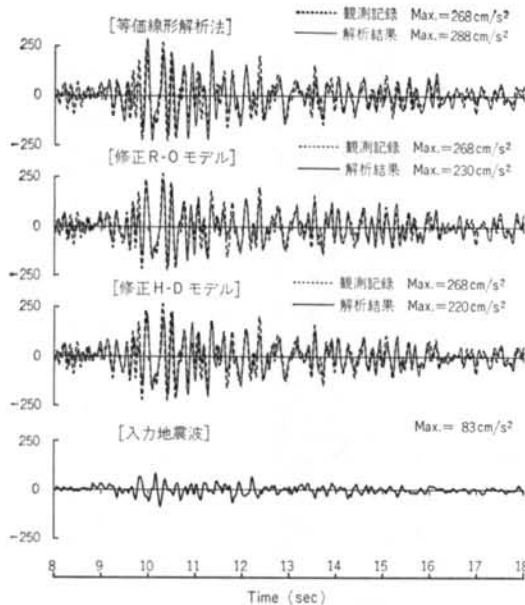


図-5 東大生研千葉地盤の非線形地震応答解析結果

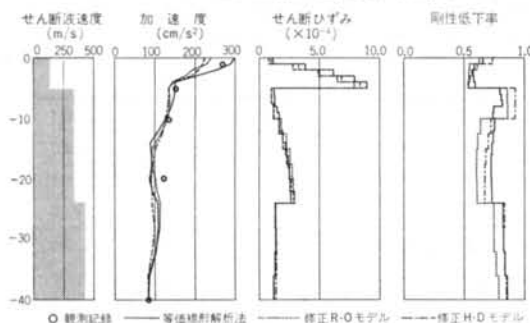


図-6 地盤の最大応答値分布図（加速度，せん断ひずみ，剛性低下率）

により，地盤の非線形地震応答特性について検討する。

図-3に解析モデルを併記したが，解析上の地層分割は等価線形解析法では21層とし，逐次積分法では17層とした。入力地震波はGL-40mの位置での観測記録を用い，計算時間間隔 Δt を0.005秒として40秒間の解析を行なった。

等価線形解析法の場合の有効ひずみ換算係数 η は0.55とした。また，各地層の規準ひずみ γ_r ，土の剛性低下曲線および減衰曲線は岩崎らの提案による実験曲線⁹⁹⁾に基づいて定め，修正R-Oモデルにおける最大減衰定数 h_{max} は筆者らが提案する方法⁹⁹⁾によって，ひずみが 10^{-3} レベルまでの領域で剛性低下曲線が実験曲線と近似するように定めた。

3.3 解析結果とそれに対する考察

解析結果と観測記録を対比したものを図-5に示した。図-5は40秒間の記録のうち，主要動部分に相当する時刻8～18秒の10秒間について示したものである。いずれの解析結果も観測記録とよく対応しており，解析方法の違いによる差は少ないことが分かる。

各解析から得られた地中の最大加速度分布，最大せん断ひずみ分布，および剛性低下率の分布を図-6に示した。最大せん断ひずみは，地表部のせん断波速度が140 m/s から320 m/s に変化するローム層で発生しており，そのオーダーは 10^{-4} である。筆者らのこれまでの経験では， 10^{-3} のオーダーの最大せん断ひずみが発生すると，非線形地震応答解析を行なう必要性が生じる⁹⁹⁾。しかし今回の解析では，地中の最大せん断ひずみのオーダーは 10^{-4} であり，このことが図-5において解析方法の違いによる差が見られなかった理由と考えられる。また，これより東大生研千葉の地盤の地震時応答は，ほぼ弾性的であったと推察される。

3.4 1964年新潟地震ならびに1985年メキシコ地震による観測記録との比較

東大生研千葉で得られた1987年千葉県東方沖地震の観測記録の基本的な特徴を理解するために，きわめて甚大な被害を出した地震として有名な1964年新潟地震ならびに1985年メキシコ地震の観測記録との簡単な比較を試みた。新潟地震による記録は，新潟市川岸町の県営アパート地階に設置されていた強震計で得られたものであり，メキシコ地震による記録は旧湖底を埋立てた通信運輸省構内に観測されたもので，その地域はメキシコ地震の際に重被害地域となったところである。

図-7の上段の三つの波形は，各地震の加速度記録を

比較したものである。また、下段の三つの波形は、加速度記録を数値積分して求めた変位波形である。なお、変位波形を求める際の数値積分において、10秒以上の長期成分の波は除去した。

千葉県東方沖地震の最大加速度は269 Galであり、新潟地震およびメキシコ地震の159 Gal、168 Galに比べてかなり大きな値である。しかし、最大変位の0.7cmは、新潟地震およびメキシコ地震の26.4cm、21.1cmに比較して著しく小さい。これより、新潟地震やメキシコ地震の場合と比較して、千葉県東方沖地震の観測記録は加速度は大きい、変位は小さいという特徴を指摘することができる。また、このことが今回の地震で多発した屋根瓦の被害の主たる原因になっていると考えられる。

主要動の継続時間の長さにも違いが見られ、千葉県東方沖地震の主要動はせいぜい10秒間であり、主要動の継続時間が短かったことも今回の地震の特徴といえよう。

§ 4. 地盤の液状化の被害

液状化による噴砂が見られた地点を図-8に示す。これは陶野・安田²⁵⁾²⁶⁾および古藤田・若松²⁹⁾³⁰⁾の調査地点に、筆者らが調査した地点を加筆したものである。液状化の発生は、東京湾沿いの京葉コンビナート地帯、九十九里平野ならびに利根川下流沿岸地域に集中している。表-1に示した自治省消防庁の調査では、千葉県での液状化発生地点は、28市町村で計277地点となっている。また、千葉県浦安市、東京都江東区有明10号埋立地、神奈川県三浦市でも液状化の発生が確認されている。

本章では、地盤の液状化の被害に関する調査結果について示す。

4.1 液状化発生地点の被害概要

4.1.1 東京湾岸地域

東京湾岸の地域で液状化が発生した地盤は、すべて埋立地である。市原市消防局が市原市の臨海工業地帯での地盤の液状化に関して、1987年12月23日までに調査した報告によると、液状化の発生は八幡海岸通ならびに五井南海岸にある32の工場で確認され、全体で約400か所、最も多い工場では85か所であった。液状化の発生箇所としては道路および建物の周辺、タンクヤードが多かったとされている。また、臨海工業地帯の41の工場のうち、プラントの停止があったのは33工場、全プラントを緊急停止したのは21工場、減産運転に切り替えたのは9工場であった。

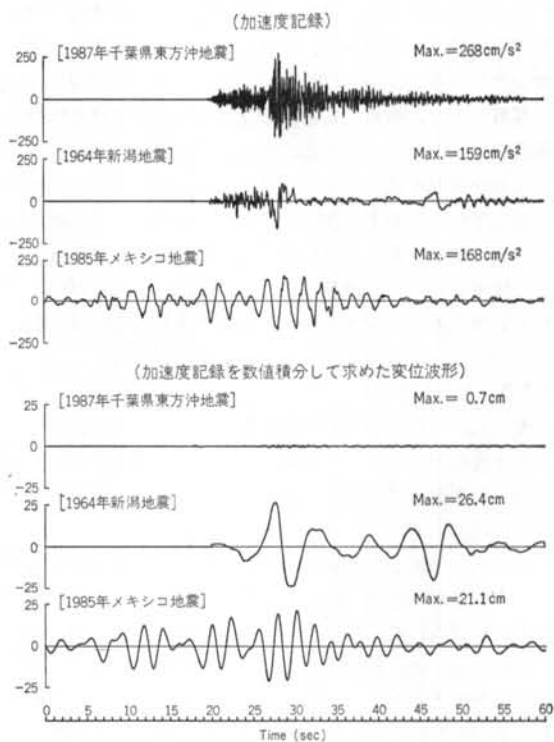


図-7 1987年千葉県東方沖地震, 1964年新潟地震, 1985年メキシコ地震による観測記録

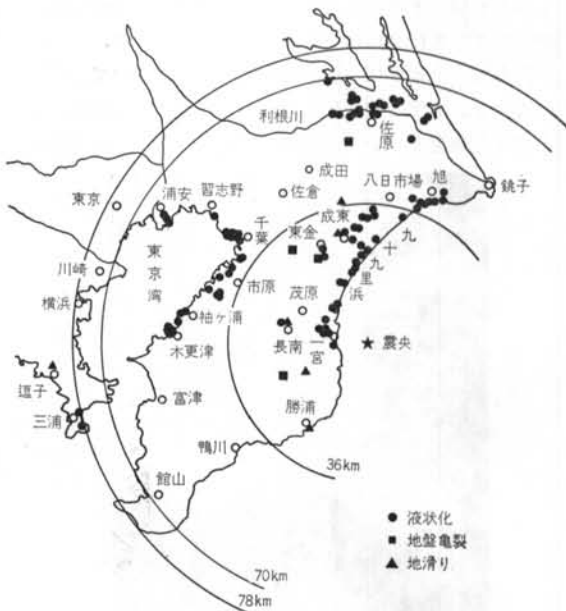


図-8 液状化の発生地点ならびに地滑りおよび地盤亀裂の発生地点(陶野・安田²⁵⁾²⁶⁾および古藤田・若松²⁹⁾³⁰⁾に加筆)

東京湾岸の埋立地における地盤の液状化に伴う被害は家屋の傾斜、道路の亀裂、電柱の傾斜および沈下、土間コンクリートの亀裂、浄化槽の浮上りなどが挙げられる。

写真-1は、市原市八幡海岸通のA工場における噴砂現象をとらえたものである。噴砂は、A工場の敷地の3か所のいずれも電柱脇から同時に発生した。この現象は地震終了後からおよそ3時間継続して見られ、最終的に工場内が浸水したような状況になった。また、電柱は約1m沈下し、近くに埋設されていた縦、横、高さがいずれも50cm程度のコンクリート製ボックスが約30cm浮上した。

4.1.2 九十九里平野

九十九里平野で液状化の発生が見られた地点は、東部の九十九里浜沿岸と西部の東金市および成東町であり、これらの地盤は海岸線に平行に伸びている砂丘および砂丘間低地である。

液状化に起因した被害は、道路の亀裂、陥没および沈下、家屋基礎の亀裂、浄化槽の亀裂、ブロック塀の不同沈下が挙げられる。特に、震央に近い九十九里浜南部の一宮町では、県道飯岡一宮線がおよそ1kmにわたって不同沈下を起こした。

4.1.3 利根川下流沿岸

利根川下流沿岸での液状化発生地域は、利根川の後背地あるいは河川敷である。特に、利根川下流の堤内地および高水敷などで液状化が発生し、連続した亀裂状の噴砂孔および孔径2m以上の噴砂孔が観察された。

佐々木³²は利根川右岸47km付近の堤防において、周辺地盤および堤体の液状化により最大30cm程度の堤防天端の沈下を確認している。また、古藤田・若松³⁰は神崎町



写真-1 電柱脇からの噴砂中の状況 (A工場より提供)

向野におけるボーリング調査結果から、旧河道に堆積した河床細砂層が液状化したものと推察している。利根川下流沿岸における液状化に伴う被害は、堤防の亀裂、家屋の不同沈下、農道の亀裂および陥没、ブロック塀の不同沈下が挙げられる。

4.1.4 その他の地点

長南町の長南中学校、市原市青葉台の宅造地などの造成盛土地盤、また三浦市金田の埋戻し地盤でも液状化が発生した。長南中学校から長南町営野球場にかけての地域では、盛土の滑り崩壊および擁壁のはらみ出しなどの

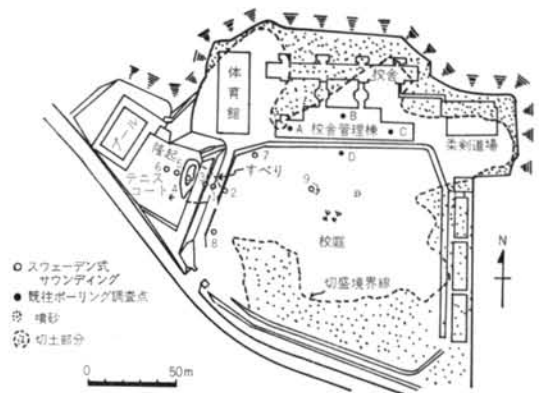


図-9 長南中学校の被害発生箇所 (石原ら³¹より掲載)



写真-2 長南中学校の盛土斜面における法層の崩壊



写真-3 長南中学校の盛土斜面における法尻の隆起

被害が発生した。また、市原市の宅造地では液状化により住宅2棟が全壊した。

長南中学校における被害状況を図-9に示す³¹⁾。長南中学校は、1958~1960年の間に谷間の水田を周囲の切土により埋立てて造成されたものである。校庭とテニスコートの間の盛土斜面は写真-2のように大きく崩れ、法尻は写真-3に示すように約1mほど隆起し、また校舎への連絡道路の崩壊箇所から2~5m校庭寄りに道路とほぼ平行に長さ20m以上にわたって亀裂が観察された。

三浦市金田の地盤は、砂鉄掘り跡地を埋立てた地盤である。この地点の震央距離は約80kmであり、液状化が発生した地点としては震央から最も遠い地点である。

図-10は、栗林・龍岡³²⁾による過去の44地震に基づくマグニチュード M と液状化が発生した地点の最大震央距離 R との関係式に対して、千葉県東方沖地震による液状化地点の震央距離を記入したものである。千葉県東方沖地震のマグニチュード M は6.7であることから、栗林・龍岡の関係式によれば液状化限界震央距離 R は36kmとなり、三浦市金田の震央距離80kmは液状化限界震央距離の2倍以上ということになる。また、東京湾岸の埋立地盤および利根川下流沿岸についても震央距離は50~70kmであり、多くの液状化地点が液状化限界震央距離以上となる。

4.2 噴砂の粒度特性

図-8に示した噴砂地点で採取した噴砂試料の粒度分

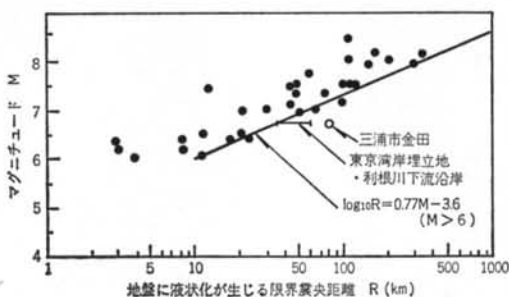


図-10 液状化した地盤の限界震央距離とマグニチュードの関係(栗林・龍岡³²⁾に加筆)

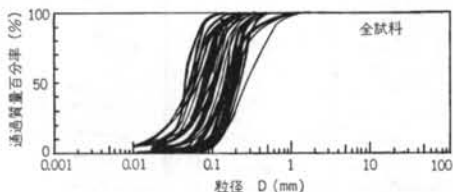


図-11 千葉県東方沖地震による噴砂の粒径加積曲線(陶野・安田²⁵⁾に加筆)

布を、図-11に示す。なお、この図は陶野・安田²⁵⁾の調査結果に筆者らの結果を加筆したものである。図-11から、噴砂の平均粒径 D_{50} は0.04~0.3mmの範囲にあることが分かる。以下に、各液状化地域の噴砂の粒度特性を示す。

東京湾岸の埋立地盤の噴砂は、平均粒径 D_{50} が $0.046 \sim 0.22$ mmときわめて細かく、 $74 \mu\text{m}$ 以下の細粒分含有率が20%以上のものが調査試料の半数を占めている。

九十九里平野の噴砂の平均粒径 D_{50} は0.14~0.2mmで粒度特性のばらつきは小さいが、利根川下流沿岸の噴砂の場合、平均粒径 D_{50} が $0.08 \sim 0.3$ mmであり、粒度特性のばらつきは比較的大きい。

また、造成盛土地盤や埋戻し地盤の噴砂の平均粒径 D_{50} は東京湾岸の埋立地盤の粒度分布に類似しているが、長南町の造成盛土地盤が $0.1 \sim 0.16$ mm、砂鉄掘り跡地の埋戻し地盤はほぼ 0.2 mmとなっている。

図-12は、1964年新潟地震、1978年宮城県沖地震および1983年日本海中部地震で発生した液状化による噴砂の粒度特性を調べたものである³²⁾。これら既往の地震における噴砂の平均粒径 D_{50} は $0.3 \sim 0.6$ mmの範囲にあり、千葉県東方沖地震における噴砂は既往の地震による噴砂よりかなり細かいことが分かる。

4.3 液状化地点の液状化層の推定

現地調査を行なった市原市八幡海岸通のA工場およびB工場の地盤に対して、液状化層の推定を試みた。液状化層の推定は、時松・吉見³³⁾の方法により各深度ごとで液状化が予想される地表面加速度(以下、液状化限界地表面加速度と称する)を求め、千葉県東方沖地震で観測された市原市近傍の海岸埋立地盤の地表最大加速度と対比した。

図-13は、A工場2地点およびB工場4地点の計6地点に対して、各深度ごとに求めた液状化限界地表面加速度分布を示したものである。図-13(a)に示したA工場ではGL-3~GL-4mおよびGL-10m付近の砂層において、また図-13(b)に示したB工場ではGL-4~GL-5mおよびGL-9~GL-11m付近の砂層で、いずれも地表面加速度が約230~250Gal以上で液状化すると推

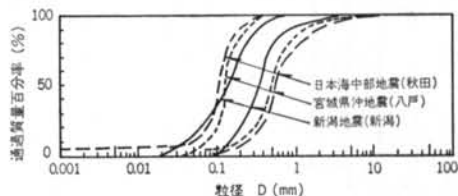


図-12 過去の地震による噴砂の粒径加積曲線

定される。また、これら砂層以外では地表面加速度が300 Gal程度でも液状化は発生しない。さらに、部分的ではあるが両工場とも地表面加速度が約160 Gal程度でも液状化の発生が予想される層がある。

ところで、市原市近傍の海岸埋地盤の地表面最大加速度に関しては、震央距離43kmの市原市の日本合成ゴム㈱千葉工場でNS方向で153GalおよびEW方向で105Galが記録されており、震央距離44kmの運輸省港湾技術研究所千葉港工事事務所ではNS方向で171 GalおよびEW方向で164Galが得られている⁹⁾。これらの地表面の最大加速度とA工場およびB工場における液状化限界地表面加速度を対比すると、両工場の液状化地点の液状化は上述した砂層で発生したものと推察される。

4.4 噴砂孔の掘削調査

4.4.1 調査の概要

液状化により噴砂が見られた千葉市新港のC工場敷地、市原市八幡海岸通のD工場の野球場および市原市五井海岸のE工場敷地の3地点において、噴砂孔の掘削調査を実施した。調査に当たっては、噴砂孔周辺部を1m程度掘削して地盤内の噴砂孔断面の性状の観察を行ない、噴砂孔内のせん断波速度を測定した。さらに、噴砂部から試料を採取して、粒度分布および相対密度を調べた。なお、掘削調査は地震発生から約2か月を経た後に実施したものである。

4.4.2 噴砂孔断面の状況

写真-4は代表的な噴砂孔の掘削断面を示したものである。掘削調査を行なった噴砂孔では、地盤中に木杭やコンクリート基礎あるいは樹木の根などがあり、これに沿って噴砂が上昇してきたことが確認された。さらに、地表に芝生がある場合には、噴砂孔の形成が妨げられて芝生の下で噴砂が出口を求めて広がり、芝生全体が隆起している様子も観察された。これより、地表面のどこに噴砂が生じるかは地表付近の条件に大きく左右されることが分かった。

4.4.3 採取試料の粒度分布および相対密度

図-14に示すように噴砂部を、(1)地表部に堆積した噴砂a、(2)噴砂孔内に堆積した噴砂b、および(3)噴砂孔周辺部の非液状化砂cに分類して試料を採取し、粒度分布



写真-4 噴砂孔の掘削断面

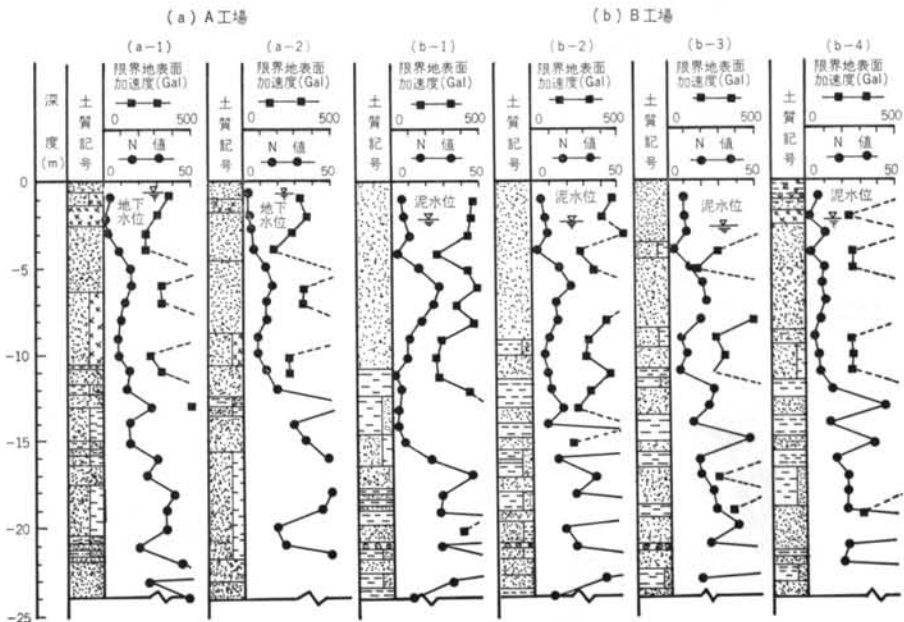


図-13 各地点の液状化限界地表面加速度

および相対密度を調べた。なお、原位置での密度は、ブロックサンプリングにより採取した円筒形試料（直径76mm、高さ50mm）の乾燥重量を測定して求めた。

表一三に採取した試料の主な物理的性質を示す。また、図一15は試料の粒度分布測定結果である。平均粒径 D_{50} で比較すると、噴砂aおよびbの方が非液状化砂cよりわずかに細かい傾向はあるが、均等係数および細粒分含有率については顕著な差異は認められない。しかし、相対密度に関しては、噴砂a、bでは約25%と著しく低い値を示しており、液状化後に堆積した噴砂はきわめて緩い状態にあることが分かる。

なお、図一11に示した他の地点における噴砂の粒度分布と比較すると、図一15に示した噴砂a、bの平均粒径 D_{50} はその上限値に近い結果となっている。

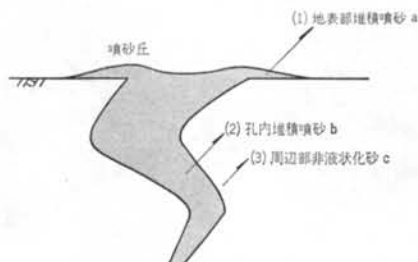
4.4.4 噴砂孔内のせん断波速度

噴砂孔内に堆積した噴砂bとその周辺部の非液状化砂cにおけるせん断波速度の相違を調査した。図一16に噴砂孔内でのせん断波速度の測定方法を示す。板叩き法により地表で発生させたせん断波を噴砂孔壁に設置した2個の加速度計で受信し、加速度計間の地盤のせん断波速度を求めた。加速度計間の距離は30~50cmとし、加速度計には長さ約30mmのピンを4本取付けて噴砂孔壁の所定深度に固定した。図一17は測定したせん断波速度と砂の相対密度との関係を示したものである。相対密度の低下に伴いせん断波速度も低下し、孔内堆積噴砂bのせん断

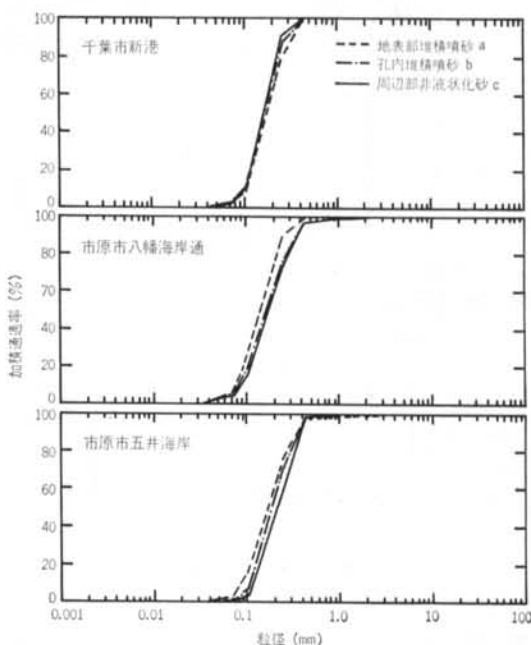
波速度は非液状化砂cに比べ約50%低下している。

図一18は、不攪乱試料から求めた現地盤の液状化強度と相対密度の関係⁶⁴⁾を示したものである。この図と図一17を比較すると、相対密度に対して噴砂孔のせん断波速度と液状化強度との対応関係は類似していることが分かる。

ところで、1983年日本海中部地震の際に液状化地点のせん断波速度を調査した研究⁶⁵⁾によれば、液状化による被害が大きかった地域でのせん断波速度の多くは120m/sより小さく、せん断波速度が150m/sより大きな地域での被害はほとんど発生しなかったことが報告されている。図一17および図一18より、せん断波速度が150m/sにおける液状化強度(=応力比)を求めると、約0.9(相対密度=約90%)とかなり大きな値となり、上



図一14 噴砂孔での試料採取



図一15 採取試料の粒度分布

試料採取地	千葉市新港 (工場敷地)			市原市八幡海岸通 (野球場)			市原市五井海岸 (工場敷地)		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
細粒分(74 μ m)(%)	2.74	2.80	1.99	5.67	4.66	3.93	4.05	0.96	0.62
平均粒径(mm)	0.18	0.17	0.16	0.15	0.18	0.18	0.17	0.16	0.21
均等係数	1.85	1.85	1.75	1.87	2.30	2.27	2.05	1.96	2.13
最大密度(tf/m ³)	1.554	1.485	1.512	—	1.498	—	—	1.630	1.599
最小密度(tf/m ³)	1.235	1.173	1.195	—	1.203	—	—	1.287	1.281
相対密度(%)	25	25	86	—	26	—	—	26	80

(注) (1): 地表部堆積噴砂a, (2): 孔内堆積噴砂b, (3): 周辺部非液状化砂c

表一三 採取試料の主な物理的性質

記の報告と良く対応する。

地盤のせん断波速度と液状化強度の間には高い相関があり、地下水位および粒度分布などの条件を考慮することにより、せん断波速度から地盤の液状化強度を評価することが基本的に可能であると考えられる。

§ 5. 地滑り、斜面崩壊および道路亀裂などの地盤災害

千葉県内では、地滑り、崖崩れおよび山崩れなどの斜面崩壊が434か所、道路亀裂が1,832か所で発生した。

図-8に示したように、地滑りおよび斜面崩壊は東金

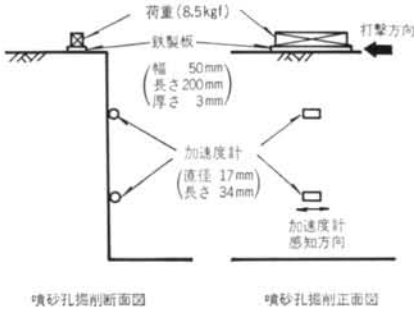


図-16 噴砂孔内でのせん断波速度測定

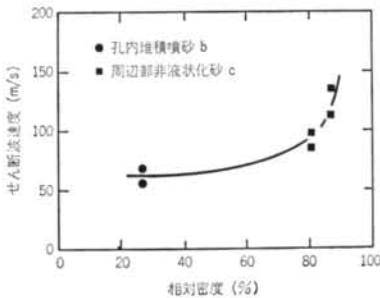


図-17 せん断波速度と相対密度の関係

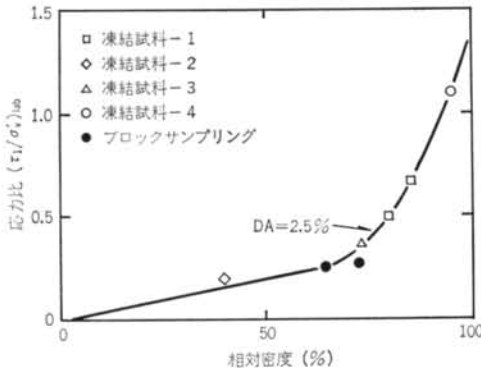


図-18 現地盤の相対密度と液状化強度の関係⁶⁴⁾

市、成東町および松尾町で多く発生したほか、神奈川県
の逗子市および横須賀市でも発生した。

東金市、成東町および松尾町で発生した地滑りおよび
斜面崩壊の地域は、砂丘と丘陵地帯との境界に当たり、
従来から斜面崩壊が発生しやすい地域であった。また、
逗子市久木の斜面崩壊地点は、神奈川県より「急傾斜地
崩壊危険地区」に指定されており、不安定な斜面であっ
た。

国道126号線沿いの東金市山田においては、写真-5
に示すように斜面崩壊によって家屋が損傷した。この斜
面は水田の上に造成されたもので、水田は勿論のこと盛



写真-5 国道126号線東金市山田の斜面崩壊による家屋の損傷



写真-6 国道126号線東金市台方地先の路面の陥没



写真-7 国道126号線東金市台方跨線橋取付部の段差

土部もきわめて軟弱な地盤であった。また、勝浦市地先の国道128号線の勝浦有料道路側の切土法面の崩壊は、斜面山肌の吹付工事のため表土および草木を削った段階で発生したもので、斜面からの湧水は見られなかったと報告されている³⁾。

国道126号線の東金市台方地先のJR東金線跨線橋取付部の盛土では、写真-6に示すような約7cmの段差を生じ、周辺の水田に沿う簡易舗装道路では沈下が見られた。また、付近の路面の一部では、写真-7のように幅4m、長さ100mにわたって約20cmの陥没が生じた。この陥没した部分は、比較的最近拡張された盛土部分に対応していると報告されている³⁾。

§ 6. 橋梁および建物などの構造物の地震被害

地盤の液状化や住宅の屋根瓦の破損の多発に比べ、構造物の被害は比較的軽微であった。しかし、約30時間の鉄道不通をもたらした京浜急行の高架橋の地震被害、あるいは長南町における中学校の校舎や球形ガスホルダーの地震被害は、いずれも地域住民の生活に大きな影響を与えた。

本章では、京浜急行のRC高架橋をはじめとして、R

C建物、京葉コンビナート地帯における構造物の地震被害について述べる。また、最近急速に研究が進められている免震建物の地震応答特性についても簡単にふれる。

6.1 RC高架橋の被害

被害が発生した京浜急行のRC高架橋（水深第1高架橋）は、久里浜線の三浦海岸駅と三崎口駅間にあり（図-19参照）、RCラーメン構造の3径間連続形式の高架橋である。震央からおよそ80km離れており、また局所的に大きな被害が発生したことから社会的に多くの注目を浴びた。

図-20に被害状況を示す³⁶⁾。被害のほとんどは、写真-8に示すようなRC橋脚上端部におけるせん断破壊である。そのほか、架線支持のため高架橋上に設けられたPC電柱が倒壊し、京浜急行久里浜線が三浦海岸駅～三



図-19 京浜急行三浦海岸駅付近の平面図

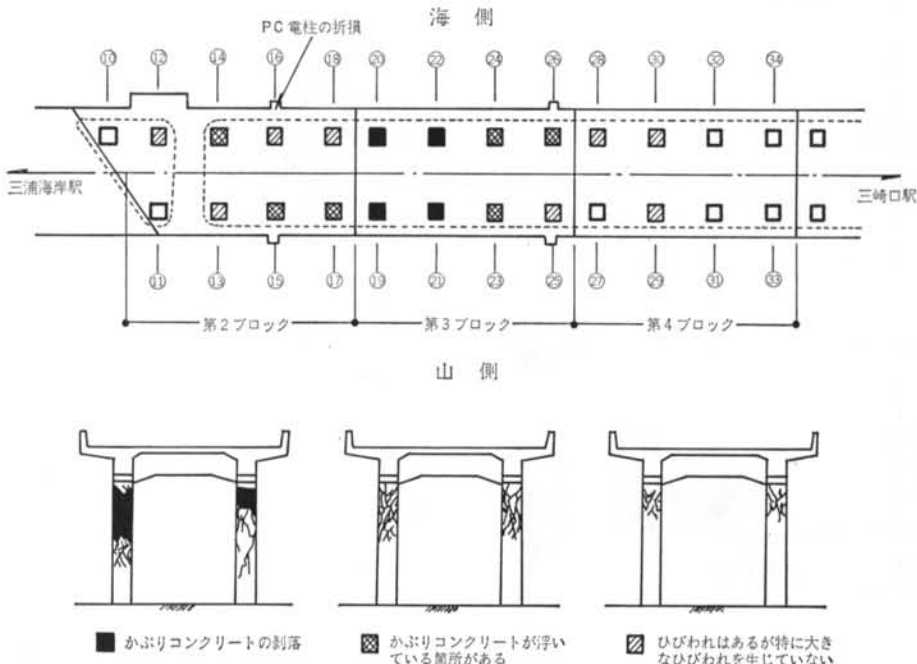


図-20 水深第1高架橋の被害状況³⁶⁾

崎口駅の間で一時的不通となった。

長岡技術科学大学の池田俊雄教授を委員長とする「水



写真一八 水深第1高架橋 RC 橋脚上端部のせん断破壊



写真一九 長南中学校校舎の RC 柱のせん断ひび割れ



写真一〇 長南中央公民館基礎梁下面の RC 柱のせん断破壊

深高架橋被害調査委員会」が、水深第1高架橋の被害原因の究明と補修・補強方法の提案を目的として設置された。同委員会の報告³⁶⁾によれば、特に大きな被害を受けた部分は第2ブロック～第4ブロック間の3ブロックである(図一20参照)。被害の詳細は、かぶりコンクリートが剥落した橋脚が第3ブロック内に4脚あり、剥落はしなかったがかぶりコンクリートが浮き上がったような状態になった橋脚が第2ブロックと第3ブロックに6脚あった。また、軽微なひびわれを生じた橋脚が第2ブロック～第4ブロック間に8脚あった。

近くで得られた地震観測記録、地盤条件さらに高架橋の振動特性などの広範囲にわたる調査結果より、同委員会は以下のように被害原因を推定している³⁶⁾。

水深第1高架橋付近の地盤は、溺れ谷を埋め立てた軟弱地盤であり、地震波の大きな増幅が予想される地盤である。水深第1高架橋の固有振動数は3.3～3.5 Hzであり、地盤の卓越振動数(溺れ谷の影響により各ブロックによって地盤の卓越振動数は異なり、1～5 Hzの範囲にある)と共振し、設計上の想定外力を超えた地震外力(橋桁位置において推定700Gal以上の加速度)が作用した。設計上必要とされる耐力は十分有していたが、橋脚部材のせん断耐力は曲げ耐力と比較して小さく、設計震度をはるかに超えるような水平外力(設計震度で0.65～0.90程度)が作用して、橋脚上端部にせん断破壊が生じたと考えられる。

水深第1高架橋周辺の数棟の集合住宅にも地盤沈下、床スラブの亀裂などの被害が発生していたが、隣接する同形式の水深第2高架橋(図一19参照)ならびに駅舎には被害はなかった。

水深第1高架橋の地震被害は、建造物の耐震設計を行なう上で、地盤の振動特性を十分配慮しなければならぬ重要性を指摘したものとえよう。

6.2 RC 建物、その他の建造物の被害

震央距離23kmの位置にある長南町において、長南中学校、長南中央公民館および長南町役場庁舎のRC造建物が、いずれも利用はできるがかなりの修復工事を必要とする程度の被害を受けた。

長南中学校の主要な被害は、地盤の沈下による建物外周部の破損、床スラブのひび割れ、壁のモルタル剥落、また写真一9に見られるような柱のせん断ひび割れである³⁸⁾。長南中央公民館では、写真一10のような建物平面隅角部の基礎梁下面と基礎上面の間の短柱にせん断破壊が見られた。その原因として、大きなせん断力と基礎梁からの軸圧縮力が同時に作用したことが考えられる³⁸⁾。

また、長南町役場庁舎の被害においても建物周辺部の地割れ、柱のせん断ひび割れや梁の曲げひび割れが数多く見られた。ここでは、3階建の本館と1階建の付属棟の間にエキスパンション・ジョイントが設けられていないため、両者の間の壁や柱には多くのひび割れが発生したと考えられる³⁸⁾。

長南町では上記の構造物の被害の他に、長南町営ガスの長南地区1号球形ガスホルダーの原料受入れ弁が損傷し、そのため貯蔵されていたガスの一部が放散するという被害が発生した²⁷⁾。長南町は中小河川による谷底平野が複雑に入り込む谷あいの町であり、谷を埋めた地盤で液状化の発生が見られたが(4.1.4参照)、上記の被害を受けた構造物はいずれも旧地形に近接して立地しており、被害は液状化によるものではなく、地盤の不整形性に起因するような地盤震動が原因ではないかと考えられる。

このほか、千葉県九十九里町の片貝漁港、大原町の大原漁港ならびに市原市の山倉橋で被害を確認した。片貝漁港では船舶係留用護岸が10cm程度前面にはらみ出し、道路舗装面に高さ5~10cmの段差が生じた。また、大原漁港では港内の突堤が幅2.2m、長さ16mにわたって崩れ海中に没した。同じく大原漁港では、漁業協同組合の建物1階部分のRC柱にせん断破壊が見られた。一方、山倉橋では橋台および橋脚上のジョイント部付近の路面に亀裂の発生、欄干の一部の破損、橋台支承部の台座の小規模な破損が見られた。

6.3 京葉コンビナート地帯の被害状況

千葉県の内湾埋立て地域に位置する京葉コンビナート地帯には、1,000kl以上の容量のタンクが89事業所に計992基あり、20万³以上の高圧ガスを扱う施設をもつ事業所が22か所ある。いずれも消防法や石油コンビナート防災法で震度IV以上の地震発生時には、安全点検の結果を各地の消防署を通じて県に連絡することが義務づけられている。

千葉県総務部消防防災課によると、今回の地震で異常があったという報告はなく、京葉コンビナート地帯の構造物に大きな被害はなかったと考えられる。

6.4 免震建物の地震応答

免震建物は、最近特に注目されている新構造形式の建物の一つであり、基礎部に設けられた積層ゴムと各種ダンパーにより地震時の建物に作用する地震外力を減じる構造となっている。免震建物に関する研究開発は、多くの機関で精力的に行なわれており、今回の地震は地震観測を対象とした実証実験中の免震建物に対して、貴重な

データを提供したといえる。

表-4は、震央から比較的近い位置にある免震建物の効果をまとめたものである⁵¹⁾⁻⁵⁵⁾。免震建物では、地盤あるいは基礎の加速度に対する建物の応答倍率は0.25~0.50となっており、免震建物の有効性が確認されたといえよう。

§ 7. ライフラインの被害

ライフラインの被害としては表-1に示されているように、千葉県内では停電が287,900世帯、都市ガスの供給停止が4,967世帯、断水が49,752世帯で発生した。

東京電力千葉支社によると、停電の理由は地震発生直後に大井、姉ヶ崎、五井の各火力発電所で運転を自動停止したこと、ならびに房総、内房および東千葉の親変電所において送電線の異常を感知し、県内21の配電用変電所が送電を停止したためである。各変電所では送電系統を切り換えて17日正午までに送電を再開し、断線などで復旧が一部遅れた東金市なども含め、17日午後3時30分までに全面復旧した。

都市ガスの供給に関する被害は、長南町および成東町の全域で全面供給停止に至り、東金市および大網白里町で一部供給停止となった²⁷⁾。都市ガスの全面供給停止の原因は、長南町の場合は球形ガスホルダーの原料ガス受入れ弁およびガス管の損傷であり、成東町の場合は停電によって天然ガス生産プラントの圧縮機が停止し、それに伴い原料ガスの供給が停止したためである。全面復旧は、ガス管路の点検および一部修理を要したため、成東町は12月24日、長南町は12月29日となった。

上水道の被害は、東金市で全世帯の9割に相当する9,550世帯で断水し、長南町で8割に相当する2,120世帯で断水した。東金市の断水は、水道管の破損に加え、農

No.	免震建物	免震機構	最大加速度 (Gal)		倍率 $\frac{B_{max}}{G_{max}}$
			建物 B_{max}	地盤・基礎 G_{max}	
1	RC 3階建、 船橋市	粘性体ダンパー +積層ゴム	22(1階)	86(基礎)	0.26
2	RC 5階建、 清瀬市	鋼棒ダンパー +積層ゴム	11(屋上)	44(地盤)	0.25
3	RC 1階建、 与野市	鋼材ダンパー +積層ゴム	16(1階)	31(基礎)	0.52
4	RC 1階建、 流山市	粘性ダンパー +積層ゴム	53(屋上)	99(地盤)	0.54

表-4 免震建物における建物および地盤・基礎の最大加速度⁵¹⁾⁻⁵⁵⁾

業施設の暖房用重油 600ℓ が栗山川に流入し、18日正午過ぎに同川からの取水が中止されたことがその原因である。千葉県下では断水に伴い給水車による給水が開始されたが、給水量は東金市の場合1世帯当たりバケツ2杯が平均であった。上水道は18日午前8時までに約3割が復旧し、全面復旧は24日であった。

電話に関しては千葉県内には930万回線があり、日頃同時にかかっているのは、この内せいぜい2～3%であり、一時に利用可能な回線は10%程度である。今回の地震による電話施設の直接的被害は、電柱の傾斜が5本およびマイクロ回線の不良が2回線程度であったにもかかわらず、地震発生直後から電話はかかりにくい状態になった。電話回線の麻痺は交換機処理能力を超える回線使用によるものであり、回線麻痺の状態が17日夕方まで続いた。神奈川県内の厚木、平塚および川崎の各局では発信を規制して着信を優先させ、地震直後の電話回線の麻痺を緩和する措置がなされた。また、都内の大手銀行のオンラインシステムは平常通り稼働していたが、千葉銀行の東金支店および大網支店では停電のために、オンラインシステムが4～5時間にわたって停止した。

今回の地震で新たに指摘された通信システムの地震防災上の問題点として、千葉県防災行政無線の情報収集システムの欠陥が挙げられる。千葉県は県内で災害が発生した場合、県の防災行政無線統制局から防災無線を通じ「〇〇時現在における被害状況を報告せよ」の一斉指令を出し、各市町村が支庁を通じて被害状況を県統制局に送り、県がその情報に基づいて救援対策を決める体制になっている。県統制局と各支庁間の無線回線としては、3～5回線が割り当てられていたが、郵政省の基準によって支庁と市町村の間は13回線に制約された状態であった。そのため、支庁によっては2～10市町村が1回線を共同で利用することになり、一つの町が通話中の場合、他の市町村は連絡不能となる。このことから、市町村一支庁一県への情報伝達に非常に時間がかかり、今回の地震で茂原市で死者が出たことが確認されたのは地震発生から約3時間後であり、また長南町のほぼ全域でガスおよび水道が供給停止になっているのが判明したのは、17日午後6時少し前という状況であった。さらに、山武、長生郡の市町村で災害対策本部を設置しているのが分かったのは同日深夜であり、そのため長南町へ給水車を派遣するという支援対策は大幅に遅れ、地震発生から1日後の18日という結果になった。

県と支庁間には防災行政無線ファクシミリが設置されているが、支庁と市町村間には無線ファクシミリはなく死者、負傷者の住所、氏名、被害の状況などは、市町村

側が無線電話で読み上げたものを支庁側が書き取るという方法に頼っており、防災情報の収集体制は決して十分ではない。

今回の地震で分かった防災行政無線の情報収集システムの不備に対する改善策としては、支庁と市町村間の無線回線の増設、災害の少ない地域の回線を災害の多い地域へ自動的に回す「マルチ・チャンネル・アクセス方式」の導入促進、さらに支庁と市町村間への無線ファクシミリの設置が挙げられる。

§ 8. あとがき

21世紀に向けての都市再開発を目指した東京湾岸沿いのウォーターフロント開発構想に対して、地盤の液状化がもたらす地震防災上の懸念が今回の地震被害に関する重大な関心事の一つであった。地盤の液状化に関して、マグニチュードと液状化発生の限界震央距離の関係式から推定される距離のおよそ2倍の地点で液状化の発生が見られたこと、ならびに噴砂の平均粒径が0.04～0.3mmとかなり細かったことが、これまでの液状化被害事例と大きく異なっていた点である。

§3. で、東京大学生産技術研究所千葉実験所で得られた1987年12月17日千葉県東方沖地震の観測記録を示したが、もし地震動がもっと大きく、あるいは主要動の継続時間がもっと長かったならば、液状化の発生は一層顕著であっただろうと想像される。このことから、液状化対策の重要性が今回の地震被害を通じて再確認されたことは確かである。

鉄道および道路の建設において、土地の有効利用および交通の確保などから高架橋形式が多く採用されているが、震央から80kmも離れた京浜急行水深第1高架橋が局所的にかなり大きな被害を受けたことは、関係者に大きな衝撃を与えた。原因は§6. で示したように、不整形な軟弱地盤と高架橋の共振が、橋脚上端部に過大な加速度を生じさせたことにある。この被害は地盤と構造物の動的相互作用に関する研究、ならびにそれを考慮した耐震設計法の確立の必要性を指摘した警鐘として捉えられなければならない。

§7. で述べた県の防災行政無線システムに関しては、支庁と市町村の間の無線回線が十分でないため、県の防災行政無線統制局が市町村の被害の実態を把握するのに時間がかかり、災害復旧支援に遅れが出た。この被害経験に基づく教訓として、県統制局に市町村から直接連絡できる非常無線回線の増設の必要性が挙げられる。

ところで、被災者に対する支援措置として千葉県は地震被災者に対して、死者に50万円、重傷者に10万円、市町村に対して20~200万円の見舞金を支給し、屋根瓦破損の被害に対しては、県が防水シートを購入し、市町村を通じて被災者に貸与することを決めた。そのほか、被災した中小企業に対しては、県の利子補給によって末端金利が3%となる低利の緊急融資を行なうことにし、新規に災害復旧住宅資金を設け、住宅金融公庫の災害資金で不足する分を民間金融機関で借りた場合、県と市町村で3年間、3%の利子補給を行なうなどの財政措置が取られた。いずれの支援措置も被災の大きさに対する実感とは大きな隔たりがあり、地震保険の在り方も今後十分検討する必要があると考えられる。

謝辞 地震被害調査の実施ならびに本研究報告をまとめる上で、以下の多くの方々から多大なご協力を賜った。

東京鉄骨橋梁㈱滝尾勇次長に被害状況の説明と被害写真の提供をお願いした。また、現地の被害調査を行なう上で、千葉県山武土木事務所小林宗平主査、茂原市役所

斎藤勝氏、東洋製油㈱君波克美副部長、千葉ステーションビル㈱足立宜夫取締役、当社千葉土木営業所有吉傳平課長、櫛部健夫課長、林一郎工事主任、久保陸男氏に便宜を図って頂いた。

地震被害データなどの収集において、東京消防庁防災部長瀬藤主任、科学技術庁国立防災科学技術センター木下繁夫主任研究官、国立公害研究所陶野郁雄室長、日本ガス協会、日本技術開発㈱磯山龍二課長、中央開発㈱中村裕昭室長、東京ソイルリサーチ㈱、当社土木本部浜地英雄工事長からご協力を賜った。

また、東京大学生産技術研究所片山恒雄教授からは地震観測記録を提供して頂くとともに、記録の解析を行なう上でもご指導を賜った。

さらに、新聞情報の収集において、当社千葉支店、横浜支店、水戸営業所、木更津営業所、横須賀営業所、溝の口営業所にご迷惑をお掛けした。

末節ながら、ここに銘記させて頂くことにより、感謝の意を表わす次第である。

<参考文献>

- 1) 磯山龍二、真鍋 進、西井雄一、森 敦、増田真一、白井太郎、斉藤喜一：“1987年千葉県東方沖地震による被害状況調査記録”日本技術開発㈱地震防災論文集 Vol.1, No.3 (1987年12月)
- 2) 気象庁地震火山部編：“1987年12月地震火山概況”地震火山概況 No.285 (1988年1月)
- 3) 佐々木康：“千葉県東方沖の地震(62.12.17)の調査速報”土木技術資料 Vol.30, No.1 (1988年)
- 4) 安田 進、陶野郁雄、森本 巖：“千葉県東方沖の地震の調査報告”地質と調査 No.35 (1983年3月)
- 5) 基礎地盤コンサルタンツ㈱編：“1987年12月17日千葉県東方沖の地震による被害状況速報”(1988年1月)
- 6) 国立防災科学技術センター編：“1987年12月17日千葉県東方沖地震”強震速報 No.37 (1988年2月)
- 7) 遠藤秀典、釜井俊孝、宇野沢昭、相原輝雄：“千葉県東方沖地震による地盤災害—速報—”地質ニュース No.402 (1988年2月)
- 8) 中央開発㈱編：“千葉県東方沖地震(1987年12月17日)震害概査報告書”(1988年2月)
- 9) 千葉県総務部消防防災課編：“千葉県東方沖地震の状況と今後の対応”(1988年3月)
- 10) 古藤田喜久雄、若松加寿江：“千葉県東方沖地震による液状化地帯を行く”基礎工 Vol.16, No.3 (1988年)
- 11) 村上雅也：“千葉県東方沖地震による被害概要”地震工学振興会ニュース No.99 (1988年3月)
- 12) 緑川光正、寺村 彰、中江新太郎、八坂厚彦、速水 浩、山口昭一、寺本陸幸：“免震特集 1987年千葉県東方沖地震”建築保全 No.52 (1988年)
- 13) 中山 康：“千葉県東方沖地震による斜面崩壊”地すべり Vol.24, No.4 (1988年3月)
- 14) 北部林業事務所、山武土木事務所編：“千葉県東方沖地震による山地災害とその対応—速報—”同上(1988年3月)
- 15) 久保 徹：“千葉県東方沖地震に伴う三浦半島の被害状況”同上(1988年3月)
- 16) 岡田義光、笠原敬司：“1987年12月千葉県東方沖地震”地震学会昭和63年度春季大会講演予稿集(1988年4月)
- 17) 笠原敬司、岡田義光、大竹政和、沢田義博：“1987年12月千葉県東方沖地震(M6.7)のテクトニクスの意味”同上(1988年4月)
- 18) 東工大地震観測グループ編：“首都圏南西部における地震動のアレー観測—千葉県東方沖の地震(1987年12月17日)観測記録を例として—”同上(1988年4月)
- 19) 岩瀬良一、溝上 恵：“千葉県東方沖周辺の地震のメカニズムについて”同上(1988年4月)
- 20) 木下繁夫、御子柴正：“千葉県東方沖地震の震源スペクトルと伝播経路における減衰の周波数特性”同上(1988年4月)
- 21) 瀬川秀恭、山本明夫、金子史夫、吉村正義、田中 宏：“1987年千葉県東方沖地震における地震動分布”同上(1988年4月)
- 22) 山辺克好、藤田朝浩：“千葉県東方沖地震の被害調査(屋根瓦の被害と墓石の転倒との関係)”同上(1988年4月)
- 23) 千葉大学・東京大学生産技術研究所・千葉工業大学合同調査団編：“1987年千葉県東方沖地震による建築物の被害調査報告”建築防災 No.124 (1988年4月)
- 24) 東京消防庁編：“千葉県東方沖を震源とする地震の概要”(1988年5月)
- 25) 陶野郁雄、安田 進：“1987年千葉県東方沖地震で生じた液状化現象とその特徴”基礎工 Vol.16, No.5 (1988年)

- 26) 陶野郁雄, 社本康広: “1987年千葉県東方沖地震で生じた液状化現象の特徴” 日本応用地質学会昭和63年度研究発表会講演論文集 (1988年5月)
- 27) 日本ガス協会関東中央部会編: “千葉県東方沖地震と都市ガス” (1988年6月)
- 28) 森本 巖, 陶野郁雄, 安田 進: “千葉県東方沖の地震による液状化地点とその特徴” 第23回土質工学研究発表会発表講演集 (1988年6月)
- 29) 若松加寿江, 古藤田喜久雄: “千葉県東方沖地震による液状化現象 その1—液状化地点と地形・地盤の概要” 同上 (1988年6月)
- 30) 古藤田喜久雄, 若松加寿江, 間瀬辰也: “千葉県東方沖地震による液状化現象 その2—粒度試験および地盤調査結果” 同上 (1988年6月)
- 31) 石原研而, 吉田喜忠, 安田 進, 森本 巖: “千葉県東方沖の地震による造成地の被害” 同上 (1988年6月)
- 32) 初田正俊: “防災都市の思想を忘れた東京開発” カラム No.109 (1988年7月)
- 33) 太田外気晴, 高橋克也, 越田 洋, 石田 寛: “何を観測できたか—千葉県東方沖地震の観測記録から—” 第16回地盤震動シンポジウム論文集 (1988年9月)
- 34) 横田治彦, 片岡俊一, 田中貞二: “広域・地中観測データの利用について” 同上 (1988年7月)
- 35) 佐藤暢彦, 片山恒雄: “千葉県東方沖地震による地震動と地盤ひずみの記録” 同上 (1988年7月)
- 36) 水深高架橋被害調査委員会編: “千葉県東方沖地震による水深高架橋被害調査報告書” (1988年9月)
- 37) 楡井 久: “1987年千葉県東方沖地震と地盤” 神奈川県温泉地学研究所報告 Vol.20, No.1 (1988年9月)
- 38) 室田達郎, 緑川光正, 芳村 学, 山口修由: “1987年千葉県東方沖地震による建築物の被害調査報告” 建築研究資料 No.65 (1988年9月)
- 39) 木下繁夫, 御子柴正, 宮本 誠, 楠田 隆, 楡井 久: “千葉県東方沖地震における強震記録” 日本地質学会関東支部シンポジウム講演概要集 (1988年9月)
- 40) 鈴木一男: “千葉県東方沖地震による地震防災の教訓” 同上 (1988年9月)
- 41) 楠田 隆, 原 雄, 古野邦雄, 佐藤賢司, 香村一夫, 風岡 修, 風戸孝之, 楡井 久: “千葉県東方沖地震にみられた液状化現象について” 同上 (1988年9月)
- 42) 打木弘一: “千葉県東方沖地震による成東・東金周辺地盤における斜面崩壊” 同上 (1988年9月)
- 43) 片山恒雄: “地震工学の現状と課題” 同上 (1988年9月)
- 44) 安田 進, 酒井運雄: “液状化対策の現状” 同上 (1988年9月)
- 45) 広井 脩: “千葉県東方沖地震における災害情報の伝達と住民の対応” 同上 (1988年9月)
- 46) 陶野郁雄, 安田 進: “液状化—大地が溶けるとき” 科学朝日 No.572 (1988年9月)
- 47) 春川光男: “千葉県東方沖地震に見る被害と地盤” 同上 (1988年9月)
- 48) 科学朝日編集部編: “地震に威力, 「震度計」と「アンケート」” 同上 (1988年9月)
- 49) 小坂俊吉: “「シミュレーション」震災時の行動” 同上 (1988年9月)
- 50) 伊藤 勝: “あなたは家に帰れるか?” 同上 (1988年9月)
- 51) 越田 洋, 八坂厚彦, 藤本信夫, 紺谷 修: “建物の免震防振構法の開発 (その15: 地震応答シミュレーション解析)” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1988年10月)
- 52) 小坂英之, 野路利幸, 立見栄司: “免震構造の研究・開発 (その6) 模型地震観測” 同上 (1988年10月)
- 53) 武田寿一, 角田智彦, 寺村 彰, 岡田 宏, 野畑有秀, 内田 聖, 柏原康則: “構造物の免震に関する研究 (その20: サブダンパーを有する免震構造物の研究・地震観測)” 同上 (1988年10月)
- 54) 塩尻弘雄, 松田泰治, 沢田義博, 大塚 将, 石井敏之, 原田 治: “免震構造物の地震時挙動に関する研究 (その3: 地震応答観測結果—第2報)” 同上 (1988年10月)
- 55) 速水 浩, 相沢 覚, 東野雅彦: “積層ゴムを用いた免震支持装置の検討 (その8) 実施建物の地震観測結果” 同上 (1988年10月)
- 56) 増賀 暁: “最近東京, 千葉に発生した地震時の都民の行動調査結果について” 建築防災 No.131 (1988年11月)
- 57) 釜井俊孝, 野呂春文: “1987年千葉県東方沖地震による上総丘陵の斜面崩壊” 応用地質 Vol.29, No.4 (1988年)
- 58) 日本大学生産工学部地震工学研究室編: “千葉県東方沖地震の家屋被害について「市原市における屋根瓦の被害と地盤性状との関係」の資料” 第9回地盤震動に関する地域交流会資料 (1988年)
- 59) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 高木義和: “地盤の動的変形特性に関する実験的研究(II)” 土木研究所報告 Vol.153 (1980年)
- 60) 田蔵 隆, 清水勝美, 佐藤正義, 広瀬利光, 横田治彦: “地盤の非線形地震応答特性に関する研究” 清水建設研究報告 Vol.47 (1988年4月)
- 61) E. Kuribayashi & F. Tatsuoka: “Brief Review of Liquefaction during Earthquakes in Japan” Soils & Foundations, Vol.15, No.4 (1975)
- 62) 陶野郁雄: “液状化現象からみた砂質堆積物の物理的・堆積学的特徴” 地質学論集 No.27 (1986年)
- 63) 時松孝次, 吉見吉昭: “細粒分含有率とN値を用いた液状化判定法と液状化対策” 建築技術 No.420 (1986年8月)
- 64) 陶野郁雄, 社本康広: “地形・地質分類に基づく液状化危険度の予測” 第7回日本地震工学シンポジウム論文集(1986年12月)
- 65) 毎熊舞記, 阿部 司, 斎藤徳美, 小林直太, 中島直吉, 中村 操, 野越三雄: “浅層地盤の土質特性と液状化発生に関する総合調査” 物理探査 Vol.40, No.5 (1987年)