

兵庫県南部地震と環境

Hanshin Earthquake and the Environment

森田 昌敏、陶野 郁雄 編

Edited by M.Morita, I. Tohno

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

まえがき

平成7年1月17日未明に起きた阪神淡路大震災では、5,500人を超す多くの尊い命が失われ、また、道路・建物などにも壊滅的な被害が発生した。まず何よりも、犠牲者としてお亡くなりになった方々のご冥福を祈り、被災者の方々の一日も早い復興を心より祈念いたします。

震災による直接・間接的な環境悪化が、また復興の過程においても、例えば、廃棄物処理や大気汚染等が懸念されるが、これら予想される環境問題に対応するため、また、被災した兵庫県立公害研究所の現状を知り、今後の研究協力体制を検討するために、国立環境研究所の所員による阪神地区を中心とした視察が行われた。第1陣は水圏環境部の陶野室長によるもので、地震発生直後に現地に行き、数日間の徒歩による実地の調査を行っている。第2陣はほぼ4週間後、10名のそれぞれ異なる分野からの専門家の参加による視察であった。参加者は私の他、奥村主任研究企画官、植弘有害廃棄物研究チーム総合研究官、西川同チーム主任研究員、平田水改善手法研究チーム総合研究官、若松都市大気保全研究チーム総合研究官、森口交通公害防止研究チーム主任研究員、切刀海洋研究チーム主任研究員、青木社会システム部主任研究員、木幡海域保全研究チーム主任研究員、堀口動態化学研究室研究員。本資料はこれらの調査をとりまとめたものである。環境という観点から震災を受けとめた記録として今後何らかの役に立つことを期待して出版することとした。研究の成果としての資料というものよりはむしろ被災現場の状況の記録というものであり、環境の研究者の感想に近いような未整理の部分も少なくないが、生の記録を残しておくことも意味があると考えた次第であります。また環境庁も震災による環境に対する影響を調査した資料を公表しているが、本誌に付録として加えた。参考にしていただける場面があれば幸いである。

平成7年7月吉日

国立環境研究所地域環境研究グループ

統括研究官

森田 昌敏

目 次

第Ⅰ部	兵庫県南部地震による地盤災害	
	兵庫県南部地震による地盤災害……………	1
	陶野 郁雄	
第Ⅱ部	いくつかの観点から見た地震と環境	
Ⅱ-1	海から見た阪神淡路大震災……………	65
	木幡 邦男	
Ⅱ-2	自動車交通および大気環境を中心として……………	77
	森口 祐一, 若松 伸司	
Ⅱ-3	廃棄物と下水について……………	89
	平田 健正	
Ⅱ-4	阪神淡路大震災時のネットワークの活用と現地の状況……………	95
	切刀 正行	
Ⅱ-5	阪神淡路大震災の景観への影響(メモランダム)……………	107
	青木 陽二	
Ⅱ-6	神戸沖人工島海岸の地震による亀裂断層……………	115
	西川 雅高	
第Ⅲ部	付録、資料	
	阪神・淡路大震災に伴う第2次大気環境モニタリング調査等の実施結果について……………	119

第1部 兵庫県南部地震による地盤災害

兵庫県南部地震による地盤災害

陶野 郁雄

1. はじめに

1989年ロマブリエタ地震や1990年フィリピンルソン島地震では、断層が地表に現れ、液状化災害を含む著しい被害が生じた。このような地震災害が我が国でも起こった。すなわち、1995年1月17日午前5時46分に発生した淡路島北端付近を震源とするマグニチュード7.2の直下型地震である。淡路島では右ずれの地震断層が地表に現れた。一宮町から神戸市、西宮市にかけての地域で震動によると思われる各種建造物の破壊がいたる所で見られ、約5 500人の死者を出した近來にない地震災害となった。気象庁は平成7年兵庫県南部地震と命名し、後にはじめて震度7の地域があると発表した。

そこで、地盤工学的立場から兵庫県南部地震の概要を述べた後、淡路島北部および神戸市から大阪市にかけての沿岸部における液状化災害を中心とした調査を1月19日から2月8日までの間に延べ8日間行った結果を基に、地盤災害の概要を述べる。さらに、今回の地震で被害が顕著であった埋立地の地球工学的な問題について述べる。

なお、写真は淡路島北部→神戸市→西宮市→大阪市とほぼ西から東へと並べて掲載した。

2. 兵庫県南部地震

2.1 地震の概要

1995年1月17日午前5時46分に発生した地震は、関西地方を直撃した。この地震は阪神淡路大震災と呼ばれるように、死者約5 500人、家屋などの倒壊・焼失約14万戸、避難住民約30万人に及び、さらに港湾施設・道路・鉄道などの公共施設に壊滅的な打撃を負わした戦後最大の震災となった。

気象庁は、淡路島北東約3kmの北緯34.6度、東経135.0度を震源とし、その深さ約20kmのマグニチュード7.2の地震であると発表し、平成7年(1995年)兵庫県南部地震と命名した。当初は、神戸、洲本で震度6と発表したが、後にはじめて震度7の地域があると発表した。この地震は、淡路島で右ずれの地震断層が地表に現れた直下型地震であった。神戸海洋気象台では、水平方向の南北成分で818gal、東西成分で617galの最大加速度、鉛直成分で332galの最大加速度を観測した。

六甲山地の南部から東部にかけての地区にも余震の震源が分布している。このことについて2月18日に日本第四紀学会と学術会議第四紀研究連絡委員会が主催した「兵庫県南部地震調査報告会」で意見交換が行われた¹⁾。この地域にある断層が活動し、それによって地震断層が現れたか否かについて多くの意見が出されたが、結論を得るには至らなかった。

2.2 活断層

今回の地震は野島断層が動いたためと報道された。1月22日は地震後最初の雨と予報されていたため、液状化調査には不向きと考え、予定を変更して淡路島の北淡町を訪れた。案の定雨であったが、梨本地区の段丘上で舗装道路がほぼ水平に約80cm右にずれているのを見つけた[写真-8]。地表に現れた地震断層と推定

兵庫県南部地震による地盤災害

陶野 郁雄

1. はじめに

1989年ロマブリエタ地震や1990年フィリピンルソン島地震では、断層が地表に現れ、液状化災害を含む著しい被害が生じた。このような地震災害が我が国でも起こった。すなわち、1995年1月17日午前5時46分に発生した淡路島北端付近を震源とするマグニチュード7.2の直下型地震である。淡路島では右ずれの地震断層が地表に現れた。一宮町から神戸市、西宮市にかけての地域で震動によると思われる各種構造物の破壊がいたる所で見られ、約5 500人の死者を出した近來にない地震災害となった。気象庁は平成7年兵庫県南部地震と命名し、後にはじめて震度7の地域があると発表した。

そこで、地盤工学的立場から兵庫県南部地震の概要を述べた後、淡路島北部および神戸市から大阪市にかけての沿岸部における液状化災害を中心とした調査を1月19日から2月8日までの間に延べ8日間行った結果を基に、地盤災害の概要を述べる。さらに、今回の地震で被害が顕著であった埋立地の地球工学的な問題について述べる。

なお、写真は淡路島北部→神戸市→西宮市→大阪市とほぼ西から東へと並べて掲載した。

2. 兵庫県南部地震

2.1 地震の概要

1995年1月17日午前5時46分に発生した地震は、関西地方を直撃した。この地震は阪神淡路大震災と呼ばれるように、死者約5 500人、家屋などの倒壊・焼失約14万戸、避難住民約30万人に及び、さらに港湾施設・道路・鉄道などの公共施設に壊滅的な打撃を負わした戦後最大の震災となった。

気象庁は、淡路島北東約3kmの北緯34.6度、東経135.0度を震源とし、その深さ約20kmのマグニチュード7.2の地震であると発表し、平成7年(1995年)兵庫県南部地震と命名した。当初は、神戸、洲本で震度6と発表したが、後にはじめて震度7の地域があると発表した。この地震は、淡路島で右ずれの地震断層が地表に現れた直下型地震であった。神戸海洋気象台では、水平方向の南北成分で818gal、東西成分で617galの最大加速度、鉛直成分で332galの最大加速度を観測した。

六甲山地の南部から東部にかけての地区にも余震の震源が分布している。このことについて2月18日に日本第四紀学会と学術会議第四紀研究連絡委員会が主催した「兵庫県南部地震調査報告会」で意見交換が行われた¹⁾。この地域にある断層が活動し、それによって地震断層が現れたか否かについて多くの意見が出されたが、結論を得るには至らなかった。

2.2 活断層

今回の地震は野島断層が動いたためと報道された。1月22日は地震後最初の雨と予報されていたため、液状化調査には不向きと考え、予定を変更して淡路島の北淡町を訪れた。案の定雨であったが、梨本地区の段丘上で舗装道路がほぼ水平に約80cm右にずれているのを見つけた[写真-8]。地表に現れた地震断層と推定

される亀裂は、北東-南西方向にほぼ送電線に平行して走っていた。この亀裂は、右ずれの断層の様相を呈しており、北淡町の富島北部から江崎灯台の下まで追跡することができ、記載されている野島断層上を沿うように走っているように思えた [写真-5~12]。地震断層の上にある民家の塀は破損していたが、右にずれのまま立っており、断層のすぐ東側にある民家も構造的な被害はなかった [写真-5]。1月22日が雨であったため、写真を取り直すため、2月7日に再度訪れたが、このときには活断層研究グループが開削調査を行ったため、その一部が掘削されシートが被されていた。

今回地表に現れた地震断層の北(海)側に被害が集中していた。それを考えると、主に断層の北側が神戸市の方向に向かって動いたと類推される。ところが、被害が集中した断層の北側の地盤は軟弱な沖積層が分布する地域であり、南側では沖積層は見あらず、硬質な地盤からなっていた。地盤条件がかなり異なるので、現地調査からはどちら側がより大きく動いたかを判断することはできなかった。今後の詳細な測地結果を待つ必要がある。

3. 地盤の液状化

1964年新潟地震の際、砂地盤が液体状になることが認識された。これを契機に主に地盤工学を専門とする内外の研究者が精力的に研究を行ってきた。それから30年しか経っていないが、液状化しやすい地盤条件などかなりのことが分かり、予測手法もほぼ確立し、種々の対策工法も開発されてきた。

3.1 液状化とは

「泥沼に入り込む」の泥沼は、粘土からなる沼のことをいう。泥沼を埋立てて道路や宅地を造る場合、普通粘土でなくて砂を用いている。また、軟弱地盤ではしばしば地盤沈下が生じるが、この場合の軟弱地盤は普通粘土からなる地盤を指している。このように、砂より粘土の方が軟弱というイメージが強い。

ところが、そこに地震が襲って来ると、砂からなる地盤は急変してあたかも液体のような状態になることがある。1964年新潟地震の時、新潟市内のいたるところで砂地盤が液体状になり、その上に建っていた多くの建物が傾いたり、沈下していた。地中に埋設された水道管やガス管はずたずたに壊れ、浄化槽は浮き上がっていた。このように、普段は強い砂地盤が地震の時に液体状に急変する現象を「砂地盤の液状化現象」と呼んでいる。今回の地震では見つけることはできなかったが、液状化によって時には直径数mもある火山の陥没カルデラのような噴砂孔が出現することもある [写真-L1]。

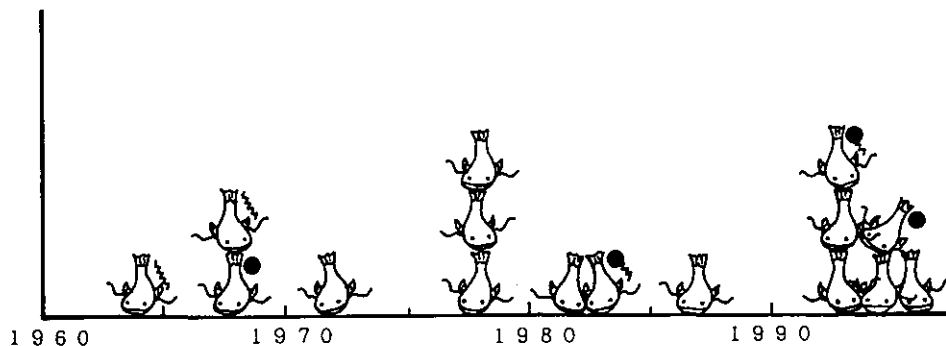


図-1 我が国で発生した液状化地震
(陶野,1990に加筆)²⁾

3.2 液状化地震

図-1は新潟地震から今日までの間に我が国で液状化を生じさせた地震の数を示したものである²⁾。1993年まではほぼ一定の間隔で液状化地震が発生していたが、最近急激に発生頻度が高くなってきたことが分かる。

新潟地震以降も、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震の際に、広範囲に液状化が発生した。特に、1993年には、釧路沖地震、能登半島沖地震、北海道南西沖地震と3度も液状化地震が発生した。その前に我が国で液状化が発生したのは1987年千葉県東方沖地震なので、6年ぶりということになる[図-1]。液状化災害は、建物・道路などが壊れる物的な損害が大きいですが、直接死者をだすような人的な損害が少ないという特徴を有している。

液状化層は緩く再堆積する。したがって、再び液状化する可能性は高い。1964年新潟地震で液状化を生じた秋田県大潟村の八郎潟干拓堤防付近では、1983年日本海中部地震で再び液状化が生じた。このような例はたくさんある。また、本震よりも規模の小さな地震である余震によっても再び液状化することがある。兵庫県南部地震では余震によって再液状化が生じていないが、図-1中の●印は余震によって再液状化したことを示している。なかには、1994年三陸はるか沖地震のように、翌年の1995年1月に発生した余震で再液状化したものもある。

表-1によると、明治以降58の地震によって液状化の発生が認められている²⁾。ほぼ2年に1回の割合で日本のどこかで液状化現象が見られたことになる。なお、新潟地震以前は液状化現象そのものが認識されていなかったため、当時の災害資料の中から地表に泥水が噴出したなどという記録から液状化の発生を推定した。

表-1 明治以降の地域別液状化地震の数 (陶野,1990に加筆)²⁾

	年													合計
	1880	1900	1920	1940	1960	1980	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	
北海道									1	1	1	2	3	8
東北		2		1	1	2			1	5	2	1	2	17
関東		2			1	1						1		5
北信越		1	3			1	2	2	1	2			1	13
東海			1	1			2	2			1			7
近畿			1	1		2	1	2					1	8
中国	1							3						4
四国								1	1					2
九州		1	1			1		1		2				6
液状化発生地震数	1	2	8	1	1	6	8	6	4	8	4	3	6	58

液状化地震の数より各地域の液状化件数の合計が多いのは、図-1の中〰で示した地震のように1つの地震で複数の地域（例えば、1964年新潟地震では東北と北信越）が液状化災害を被ることがあるためである。今回の兵庫県南部地震でも徳島県で液状化が生じていたとの情報を得たが³⁾、どの程度の液状化災害であったか確認していないので、四国に1を加えなかった。なお、図-1及び表-1は、文献⁴⁾に加筆したものである。

液状化は、ほぼ全国的に平地部で発生しており、今後も平野や盆地の周辺で大地震が発生すれば、液状化が発生することが予想される。

前述のように、近畿地方は活断層が無数に走っており、地震危険度も非常に高い。特に、今回動いた野島断層や六甲断層のようにいつ地震を生じてもおかしくない活断層もいくつかあり、多くの研究者からたびたび注意を喚起されていた。また、近畿地方の液状化発生件数は、表-1を見ても分かるように、関東地方よりも多く、けっして少ないとはいえない。1890年代から1940年代にかけて7つの液状化地震があり、北信越地方に次いで多く発生している。それにもかかわらず、被災者から「地震が来るとは思ってもみなかった」との声がよく聞かれた。これは最近約50年間も近畿地方に液状化を生じるような大地震が襲って来なかったことがその一因となっている可能性がある。

なお、1946年南海地震によって大きな災害がもたらされ、液状化も広範囲で生じたものと思われるが、なにぶん戦後間もない時期に発生した地震であるため、被害記録が十分残っておらず、その詳細は不明である。

3.3 液状化災害の種類

砂地盤の地震災害のほとんどは液状化によるものである。地震時の液状化現象による地盤・構造物などの被害例をまとめると次のようである。

(1) 浮力の増大に伴う地中埋設物の浮上。

液状化砂層の密度より軽い浄化槽やガソリントankなどの地中構造物は浮き上がる [写真-L2~3]。

地中にある構造物のうち、浄化槽、防火水槽などは浮き上がってくる。これらは、周辺の土より単位体積当りの重量が軽いため、過剰に発生した間隙水圧によって押し上げられ、浮き上がってくるのである。

(2) 地盤の支持力低下に伴う重量構造物の沈下。

液状化により地盤の支持力が失われ、液状化砂層の密度より重い建築物・コンクリート製電柱などは沈下する。構造物の地盤にかかる力や地盤自身の力が不均一の場合、しばしば不等沈下（あるいは不同沈下）を生じ、構造物は傾斜する [写真-L4]。

液状化災害の典型的な例が建築物の沈下や転倒である。地盤の支持力が失われるため、建物、石油タンク、電柱、橋脚など地上にある構造物は沈下したり、傾いたりする [写真-53]。

(3) 地盤の沈下や側方への流動に伴う破壊。

砂層が液状化すると、地盤は横方向へ移動したり、沈下する。このため、堤防・道路・岸壁のエプロンなどに陥没・沈下・亀裂が生じる [写真-40]。特に、上下水道・ガス管などのライフラインは著しい被害が生じ易い。後述するように、地表面や液状化層が傾斜していると、低い方に大きく流動する。

木造家屋の場合、基礎の部分と上屋の部分をしっかりと止めておかないと、上屋と基礎が離れ離れになる [写真-L5]。

これに対し、上・下水道、ガス、地中ケーブルといった埋設管は、曲がったり、破損したり、引きちぎれたりする。埋設管は地盤と一緒に動くため、液状化した地盤が大きく揺れたり、地盤全体がすべりだすこと

によって、このような被害が生じる。

地盤自体が変動して、その上にある構造物の被害をなお一層大きくすることもある。この典型的な例が地盤全体のすべり（永久変位ともいう）や地割れの発生である。新潟地震の約20年後に新潟市内で建築構造物の改築の際、永久変位によって杭基礎が破壊していたのが発見された例もある（河村,1985）。

河川の堤防、ダムや道路などの盛土によって造られた構造物（土構造物ともいう）は、たんに沈下するだけでなく、地割れが生じたり、すべりだしたりする [写真-L6]。

(4) 地盤の変形や応答性状の変化による杭基礎の破壊。

砂層が液状化して、地盤が沈下したり、左右に細かく流動したり、あるいは大きく側方流動すると、杭基礎が破壊する。新潟地震の際に杭が折れていたが⁶⁾、1993年北海道南西沖地震でも長万部町立中の沢小学校の校舎で生じていた⁹⁾。

(5) 土圧の増大による構造物の破壊。

砂層が液状化すると、構造物にかかる土圧が増すため、護岸、擁壁などは土圧がかからない方へ膨み出す。

また、港の護岸や岸壁では、海に向かって膨み出したり、その背後にあるエプロン部が沈下する被害が生じる [写真-31]。

(6) 液状化による直接的な被害。

液状化によって、地下から多量の水が噴出すると、後述するように洪水になることがある。また、地下から砂まじりの水が勢いよく噴出することにより、稲などの農産物が倒されることその他、地面に穴や亀裂が生じたため、稲作などを続けられなくなる被害、あるいは液状化砂が井戸の中を埋積して使用不能となる被害なども発生する。

このように、液状化は著しい物的損害をもたらすが、液状化すると地表面へ地震波が伝わりにくくなり、しかも地盤や構造物の破壊がゆっくりと進行するようになるので、人命を損なうことは希である。今回の地震で約 5 500人もの尊い命が失われたが、恐らく液状化に起因した死者は1人もいなかったものと思われる。

3.4 液状化発生地域

国内で災害をもたらす大地震の震央は海域にあることが多く、しばしば主要都市から100km位の距離に位置している。したがって、今回のような直下型地震でない限り、気象庁発表のマグニチュードが7以上で、震度V以上の地点が3個所以上あることが広域に液状化が発生する目安となる。

液状化が発生した地点は、過去の液状化調査結果を基に算定した地震の震央からの液状化限界距離以内に入ると入る。この式は次のようである⁷⁾。

$$\log R = 0.77M - 3.6$$

ただし、R = 液状化限界距離 (km)

M = マグニチュード

今回の地震はM=7.2 であるので、R=88kmとなる。震源から88kmの範囲には、兵庫県和田山町、京都市、和歌山県海南市、香川県庵治町、岡山県備前市などがある。したがって、地震の大きさを考えると、今回調査を行っていない神戸市以西、六甲山周辺の人口改変地、貝塚市以南及び淡路島南部から四国にかけての地域などでも液状化が生じた可能性がある。

なお、地震災害調査で液状化がよく見られた所は、震源から約45kmの範囲であった。

4. 液状化発生地域の分布

調査は、夜が明けぬ前に宿を出て、夜遅く次の宿につく毎日であった。電車、バス、船でもよりの所までいった後は、ただひたすらに歩いて行った。ときには1日に12時間、30km以上食事や休憩もとらずに調査しながら歩いた。その中で、1月21日の午後自転車を借りられたこと、22日淡路島でレンタカーを借りられたことは幸いであった。2月に入ると、電車やバスでの移動がかなり楽になった。宿は同じ所に泊まることはなかったが、どこかに宿泊できたことも幸いであった。淡路島北部及び神戸市から貝塚市にかけて行った液状化調査結果を図-2に示す⁸⁾。

4.1 液状化の特徴

兵庫県南部地震で液状化が生じたところのほとんどは、人工改変地であった。そのなかでも、海岸付近の浅海を埋め立てたところと、その少し沖合いを大規模に埋立て造成した人工島で顕著であった。

4.1.1 液状化砂の粒度分布

今回調査を行ったほとんどの埋立地で液状化が生じていた。特に、淡路島の津名町及び神戸市から西宮市にかけての海岸埋立地ではほぼ全面的に液状化していた。また、沿岸から少し内陸に入った人工改変地でも、所々で液状化が発生していた。液状化地点において採取した噴砂試料の粒度試験結果を表-2に示す。噴砂試料は、人的に乱されていない噴砂について、噴砂孔からその縁辺部にかけて直線的に細長く採取した〔写真-39〕。試料採取を行ったところは、48地点である。均等係数とは60%粒径 (D_{60}) と10%粒径 (D_{10}) との



図-2 1995年兵庫県南部地震によって液状化が生じた地点の分布⁸⁾

比のことである。また、陸域で人工改変したところを造成地、海岸に隣接した場所を埋め立てたところを埋立地、沖合いを埋め立てたところを人工島とした。

なお、運搬の都合上1つの噴砂試料の量をあまり多くしなかつたことと液状化層から噴き上がった粒子であるのかを確認するための時間を取りたくなかつたため、原則として粒径75mm以上の礫粒子が見受けられる所では、試料採取を行わなかつた。また表-2中()で示した値は、正規確率紙上で直線となるように外挿して求めたものである。

採取したすべての噴砂の粒径加積曲線を図-3に、その均等係数を図-4に示す。なお、図-4は、淡路島

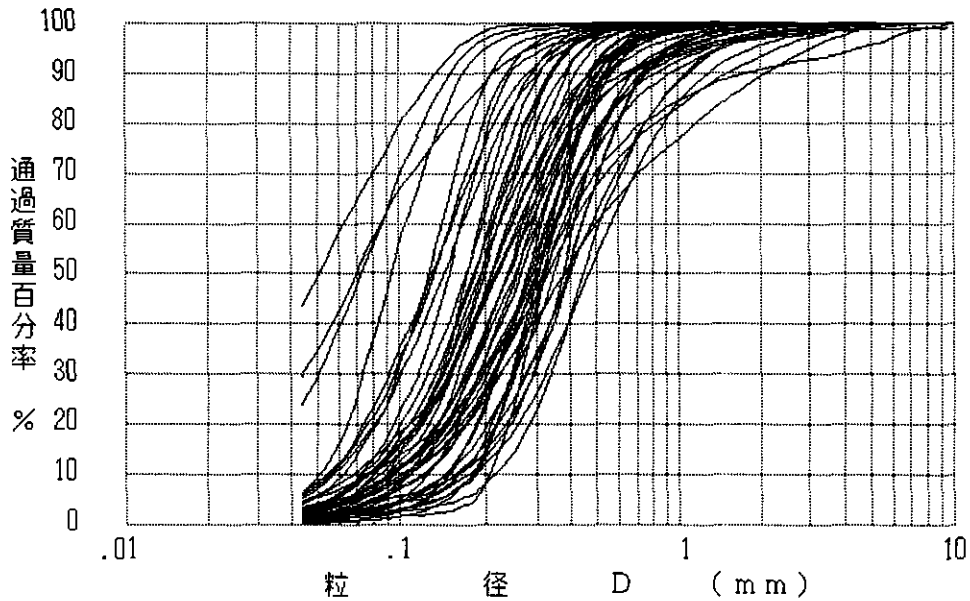


図-3 1995年兵庫県南部地震による噴砂の粒径加積曲線

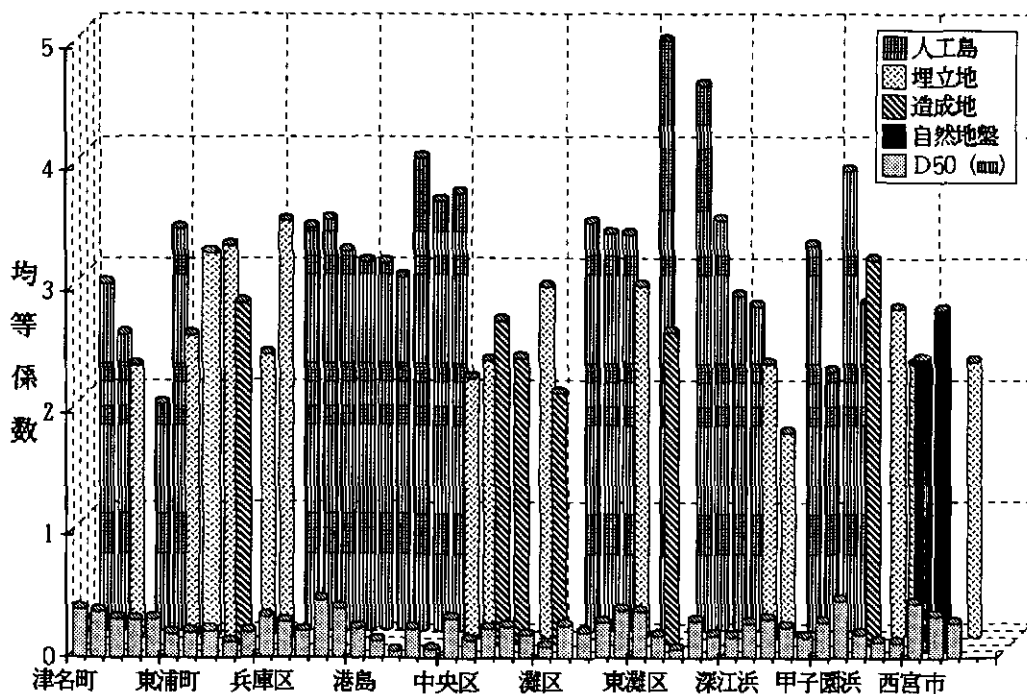


図-4 1995年兵庫県南部地震による噴砂の均等係数

表-2 1995年兵庫県南部地震による噴砂の粒度組成 (その1)

番号	採取地	礫分 %	砂分 %	細粒分 %	中央粒径 D ₅₀ mm	均等係数 U _c	地盤の 状態
38	津名町塩田新島・おのころアイランドバス停	0	96.1	3.9	0.397	2.842	人工島
27	津名町志筑新島・ショッピングセンター前	0.9	96.3	2.8	0.378	2.424	人工島
26	津名町志筑・津名港南側の歩道	0	96.9	3.1	0.318	2.224	埋立地
25	津名町生穂新島・海浜公園前歩道	0	98.3	1.7	0.306	1.858	人工島
37	津名町佐野新島・リゾートアイランド内	9.1	86.6	4.3	0.317	3.294	人工島
36	東浦町仮屋・仮屋港南部	0.3	93.1	6.6	0.197	2.478	埋立地
35	東浦町小磯・東浦港駐車場	0	90.8	9.2	0.210	3.154	埋立地
24	北淡町富島・富島漁港	0.1	92.3	7.6	0.221	3.214	埋立地
32	神戸市兵庫区御崎1・中央球技場前	0	79.6	20.4	0.129	2.796	造成地
33	神戸市兵庫区遠矢浜町・神戸検疫所	0	96.4	3.6	0.210	2.317	埋立地
34	神戸市兵庫区築地町・兵庫第三突堤倉庫前	6.7	89.7	3.7	0.331	3.410	埋立地
11	神戸市中央区港島1・西コンテナ埠頭	0.1	93.9	6.0	0.291	3.304	人工島
3	神戸市中央区港島2・コンテナターミナル	0.7	90.3	9.0	0.218	3.372	人工島
2	神戸市中央区港島2・道路	4.2	94.0	1.8	0.471	3.110	人工島
47	神戸市中央区港島2・北公園西部	2.1	96.8	1.1	0.402	3.019	人工島
1	神戸市中央区港島2・北公園の神戸大橋下	0	93.4	6.6	0.242	3.011	人工島
17	神戸市中央区港島中町8・道路	0	82.8	17.2	0.141	2.895	人工島
12	神戸市中央区港島中町2・神戸税関駐車場	0	32.8	67.2	(0.051)	(3.875)	人工島
13	神戸市中央区港島6・北埠頭駅前歩道	0	90.4	9.6	0.238	3.519	人工島
14	神戸市中央区港島5・コンテナターミナル	0	48.5	51.5	0.073	(3.583)	人工島
4	神戸市中央区小野浜町・神戸港駅南の歩道	2.7	96.6	0.7	0.326	2.124	埋立地
5	神戸市中央区小野浜町・神戸港駅南西部	0.1	89.1	10.8	0.147	2.264	埋立地
48	神戸市中央区浜辺通4・道路脇	3.0	93.9	3.1	0.240	2.648	造成地
6	神戸市中央区磯部通3・転倒電柱脇	1.0	97.0	2.0	0.257	2.344	造成地

表-2 1995年兵庫県南部地震による噴砂の粒度組成 (その2)

番号	採取地	礫分 %	砂分 %	細粒分 %	中央粒径 D ₅₀ mm	均等係数 U _c	地盤の 状態
31	神戸市灘区灘浜町・摩耶埠頭の手前	0.1	90.8	9.1	0.190	2.872	埋立地
30	神戸市灘区大石南町・沢の鶴酒造前	0	69.0	31.0	0.094	2.059	造成地
15	神戸市東灘区向洋町中1・M13公園	0.1	93.0	6.9	0.266	3.337	人工島
16	神戸市東灘区向洋町中1・運動公園の北	0	90.5	9.5	0.211	3.250	人工島
18	神戸市東灘区向洋町東4・工場	2.5	93.3	4.2	0.292	3.241	人工島
29	神戸市東灘区魚崎浜町・大成印刷脇	0.2	97.4	2.4	0.391	2.877	埋立地
28	神戸市東灘区魚崎浜町・川鉄建材前	10.7	83.4	5.9	0.381	4.837	埋立地
21	神戸市東灘区深江南町・神戸商船大学校庭	0	92.0	8.0	0.182	2.556	埋立地
7	神戸市東灘区深江浜町・石材置き場	0	46.2	53.8	0.070	(4.474)	人工島
8	神戸市東灘区深江浜町・東部市場駐車場	0.5	94.1	5.4	0.304	3.358	人工島
19	神戸市東灘区深江浜町・道路	0	90.6	9.4	0.180	2.740	人工島
20	神戸市東灘区深江浜町・道路	0	89.7	10.3	0.170	2.658	人工島
39	芦屋市若葉町・潮見中学校の東	0	97.6	2.4	0.281	2.241	埋立地
49	芦屋市若葉町・若葉団地	0.3	98.9	0.7	0.320	1.680	埋立地
42	西宮市西宮浜3・高速湾岸線直下	2.5	92.2	5.3	0.253	3.156	人工島
43	西宮市西宮浜3・西宮総合グランド	0	94.8	5.2	0.172	2.124	人工島
9	西宮市甲子園浜2・西宮港大橋の北東	1.8	91.8	6.4	0.300	3.768	人工島
45	西宮市甲子園浜2・空き地	10.3	88.7	1.0	0.469	2.676	人工島
41	西宮市今津港町・白雪酒造前	0	88.2	11.8	0.192	3.147	造成地
22	西宮市浜甲子園4・西宮今津高校校舎脇	0	81.0	19.0	0.131	2.691	埋立地
23	西宮市南甲子園3・南甲子園小学校前	0	83.8	16.2	0.126	2.242	埋立地
40	西宮市甲子園町・道路	1.6	96.7	1.7	0.450	2.394	自然地盤
46	尼崎市武庫元町2・宅地脇	0.5	97.7	1.8	0.349	2.797	自然地盤
10	大阪市港区海岸通2・道路	0	98.9	1.1	0.285	2.260	埋立地

→神戸市→大阪市の順（表-2の順）に示してある。

これらの図表によると、噴砂は砂粒径（2mm～0.075mm）よりかなり粗い粒子やかなり細かい粒子を多く含んでいるものがあり、粒度の均質さを表す均等係数も2以上のものが多く、分級は普通～やや悪い状態にあることが分かった。特に、人工島で均等係数が大きくなり、分級が悪くなる傾向にあった。

4.1.2 粒度特性の日本海中部地震との比較

1983年日本海中部地震によって液状化が生じたところは、砂丘や河川の氾濫源など自然地盤が比較的多かったが、秋田港・青森港・八郎潟などの埋立地などでも顕著であった。その粒径加積曲線を図-5に示す。図-3とこの図を比較すると、今回の地震による噴砂の方がいくぶん細かい粒子を含むものが多く、粒径加積曲線がややねているのが目立っている。また、均等係数と中央粒径（ D_{50} ）との関係として表してみると、図-6の兵庫県南部地震の方が図-7の日本海中部地震より、やや均等係数が大きいことが分かる。これは、兵庫県南部地震で液状化したところの多くが海岸付近の埋立地や沖合いを埋め立てた人工島であったことと埋立てに用いた材料も自然の砂ではなく、花崗岩が風化してできたマサ土のように山を削って埋め立て材料に用いたところが多かったことを反映しているものと思われる。

4.1.3 液状化砂の特徴

神戸市から西宮市にかけた海岸付近の埋立地では、液状化に伴う地盤の沈下・陥没・側方流動が生じていた。あちこちで地盤が広範囲に50cm以上沈下しており、緩く埋立てられていたことが窺える〔写真-32, 44, 107〕。特にポートアイランドでは地盤変状が著しく、甚大な被害が生じていた。なかには、地表から2m位泥水が噴き上がった所があった。しかし、ポートアイランド以外の確認できたほとんどの地点では、地表から数10cm以下しか噴き上がっていなかった。

過剰間隙水圧が非常に高くならなかったことにつながった理由として次のことが考えられる。

- ①活断層に伴う直下型地震によるためか、地震規模の割に大きな揺れを感じた時間がかなり短かったこと。
- ②液状化したところのほとんどが埋立地など人工地盤であったため、かなり緩い地盤を形成していたこと



図-5 1983年日本海中部地震による噴砂の粒径加積曲線

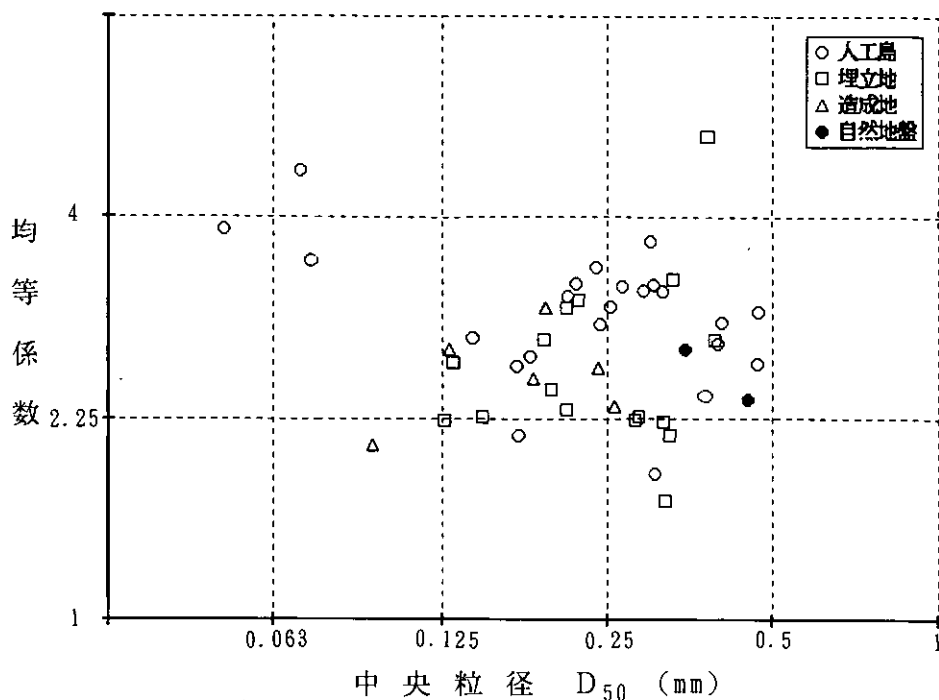


図-6 1983年日本海中部地震による噴砂の均等係数と中央粒径との関係

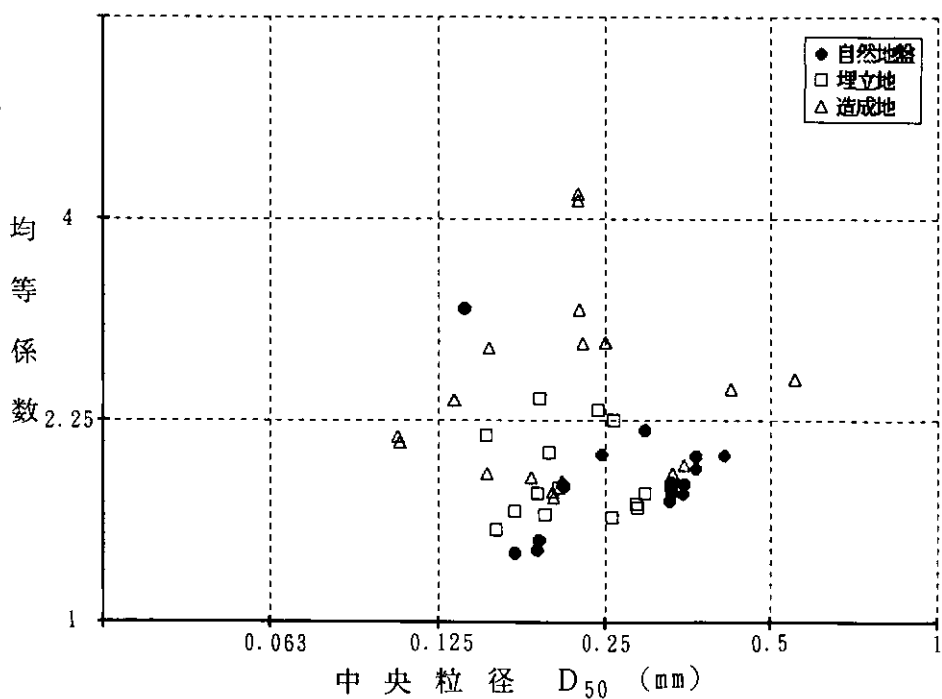


図-7 1995年兵庫県南部地震による噴砂の均等係数と中央粒径との関係

により亀裂が生じやすかったこと。

また、埋立て材料として用いられた分級の悪いマサ土が液状化したことも特徴の1つに挙げられる。ポートアイランドでは、液状化によって礫が噴き出していたが、逆にほとんど泥水が噴出したとっていいような所もよく見られた。従来、自然地盤では細粒分の少ない均質な細砂が噴砂として現れていたが、今回の地震

では表-2と図-3を見て分かるように、人工地盤で顕著に液状化したことを反映してか、粒径0.075mm以下の細粒分を多く含んでいるものが目立ち、中には砂分より細粒分の方が多量のものもあった。また、直下型地震を反映したためか、約半数の噴砂試料に礫分が含まれており、中には10%を超えるものもあった。直径75mm以上の粒子が見受けられる噴砂については、試料採取を行わなかったため、実際はこれらの図表に示したものよりもかなり粗い噴砂もあった [写真-37]。

三宮では南北に液状化地点が連なっていたが、ここは旧河道を埋め立てた所であった。この付近は神戸市役所をはじめとしてビルディングの構造的被害が集中していた。さらに、浅海を埋立て造成した旧海岸線付近からポートアイランドにかけてもいたる所で噴砂が見られた [写真-53]。その噴砂の粒度試験結果を図-8に示す。なお、採取番号は表-2と同じである。これによると、噴砂は均質な細砂である。図-9にポートアイランド付近の南北方向の地質断面図を示す⁹⁾。この図を見ると、この埋立て土層の下には沖積層が厚く堆積しており、地震波が増幅したことを窺わせる。

このほかにも、古い地形図を見ると河川・浅海・湿地であった所が造成された多くの地点で、周辺よりも被害が大きく、噴砂を確認できた。

4.2 人工島の液状化災害

4.2.1 ポートアイランド

ポートアイランドは1966年に建設が着手され、1981年に完成した。図-9によると、標高-30m~-10mにかけて軟弱な沖積層が堆積しており、その上を埋立て造成したことが分かる。

ポートアイランドの調査は、1月20日と21日に行った。ほぼ島内全体にわたって地盤変状が著しく、甚大な被害が生じていた。岸壁はほとんどケーソンを用いた重力式構造であった。あちこちのコンテナ・パースで地盤が1~3mくらい沈下し、陥没していた [写真-31, 46]。ほとんどの荷役機械に被害が生じていた。岸壁が海側に移動したため、クレーンが股裂きの状態になり、脚部が座屈したり脱輪していた [写真-45]。北公

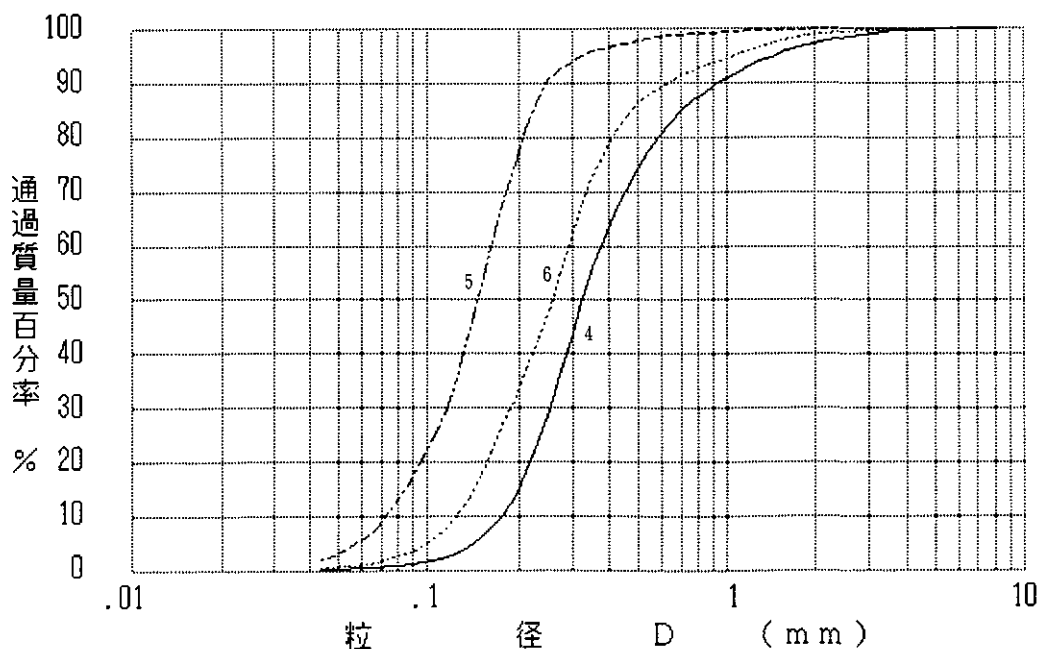


図-8 神戸市中央区三宮地区の噴砂の粒径加積曲線

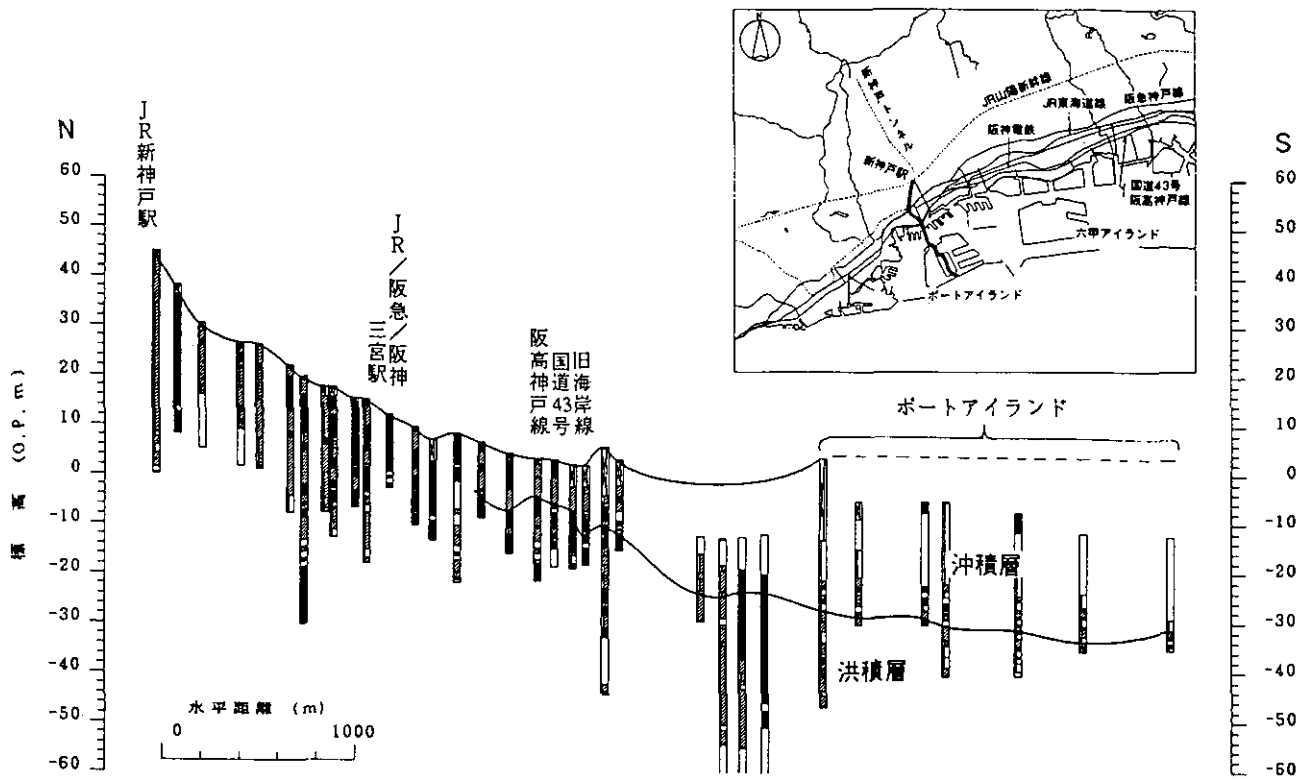


図-9 ポートアイランド付近の南北断面図⁹⁾

園などでは護岸が大きく海側に移動し、何本もの亀裂が護岸と平行に生じていた [写真-34, 40]。広範囲に地盤が50cm以上沈下しており、相対的に浮き上がった杭基礎の建物や支柱などが随所に見られ、緩く埋め立てられていたことが窺える [写真-32, 44]。

また、埋立て材料として用いられた分級の悪いマサ土が液状化したことも特徴の1つに挙げられる。液状化

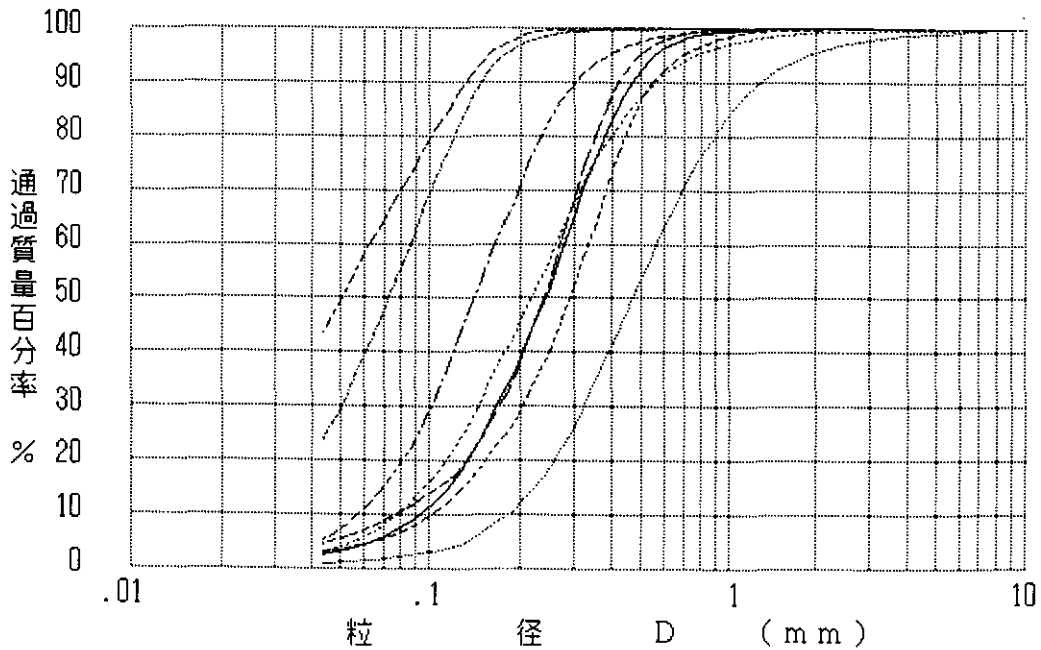


図-10 ポートアイランドにおける噴砂の粒径加積曲線

によってあちこちで礫が噴き出していた [写真-35~37]。逆にほとんど泥水が噴出したとっていいような所もよくみられた [写真-42, 43, 44, 47]。ポートアイランドにおける噴砂の粒度試験結果を図-10に示す。これらによると、噴砂は、写真-36 付近の礫分が4%混入した粗砂から、写真-43 付近の細粒分を 67%含むシルトまで、中央粒径に10倍もの差があり、埋立てに用いたマサ土が液状化によって分級して地表に噴出したことが窺える。

4.2.2 六甲アイランド

六甲アイランドは、1972年に建設が着手され、120 000 000 m^3 の埋立て土量を要して、1992年に完成した580haの人工島である¹⁰⁾。岸壁はほとんどケーソンを用いた重力式構造であった。岸壁はポートアイランドと同様に、ケーソンが海側に最大で数m位移動したため、その背後地盤が陥没していたところが多く見られた。このため、コンテナクレーンが股裂きの状態になり、脚部が座屈するなどほとんどの荷役機械に被害が生じていた [写真-85]。倒壊したクレーンを見たのは向洋町西のコンテナバースにある1機のみであった [写真-83]。

向洋町中では、所々で噴砂が見られ、中には小高い公園の中でも見られたが、付近の住宅には特に大きな被害は見あたらなかった。噴砂の粒度試験結果を図-11に示す。これによると、噴砂の粒度分布が似かよっており、マサ土がほぼ同程度に分級して地表に現れたものと思われる。

4.2.3 甲子園浜

今津港の南に位置する西宮市の甲子園浜埋立地は、最近埋立が終わったばかりで、非常に新しい人工島である。ここでは、西宮港大橋の東側の桁が落下していた [写真-113, 114]。この付近は、標高 (O.P.) 約2mまで埋め立てられ、埋立て層の厚さは約10mであり、その下は厚さ約10mの軟弱な沖積粘土層からなっている¹¹⁾。桁が落下したすぐ北側にある噴砂は図-12に示したように、やや均質な細砂である。

この埋立地では、ヘドロが噴き出していたり、液状化砂に異物が混入していた [写真-115, 116]。

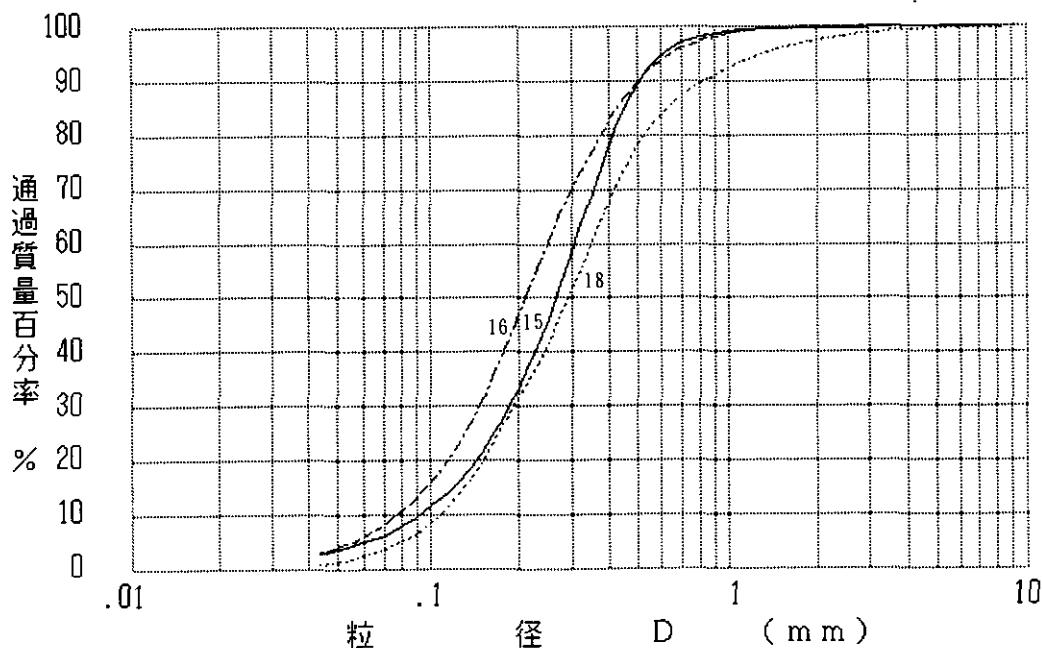


図-11 六甲アイランドにおける噴砂の粒径加積曲線

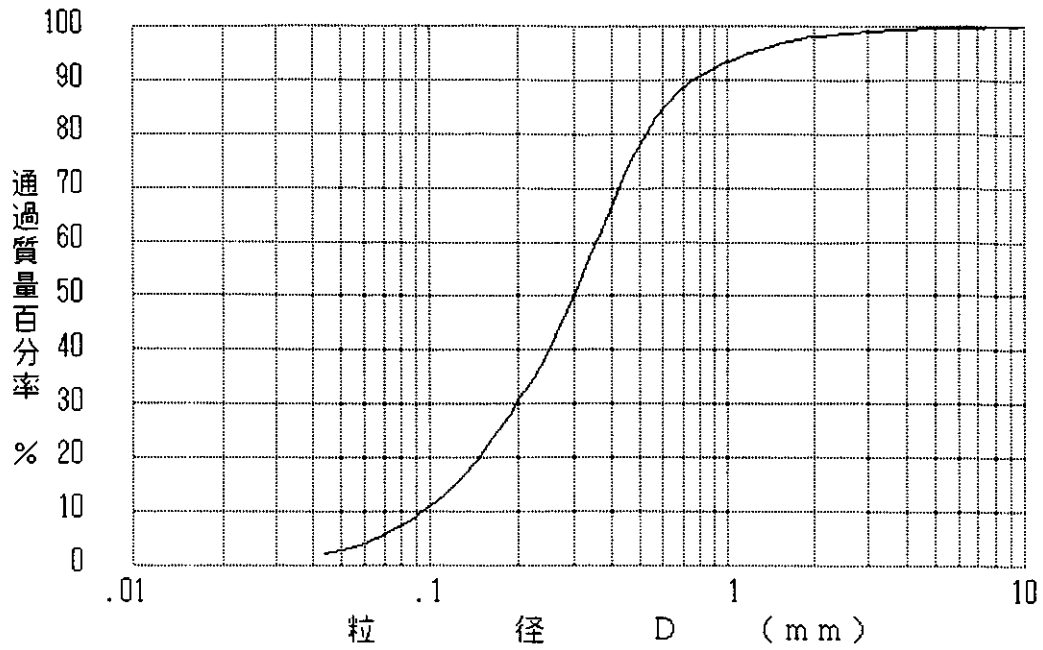


図-12 西宮市甲子園浜における噴砂の粒径加積曲線

4.2.4 その他の人工島

深江浜の岸壁もほとんどがケーソンを用いた重力式構造であり、その裏側が大きく陥没し、海没していた [写真-106, 107]。

また、津名町の志筑新島では液状化して噴出した砂の上に地下水面上にあった乾燥した埋立て砂が噴き出したことも特徴の1つに挙げられる [写真-19]。津名町の人工島における噴砂の粒度試験結果を図-13に示す。これによると、佐野リゾートアイランドでは、山砂で埋め立てたためか礫分を 10%程度含んであまり分

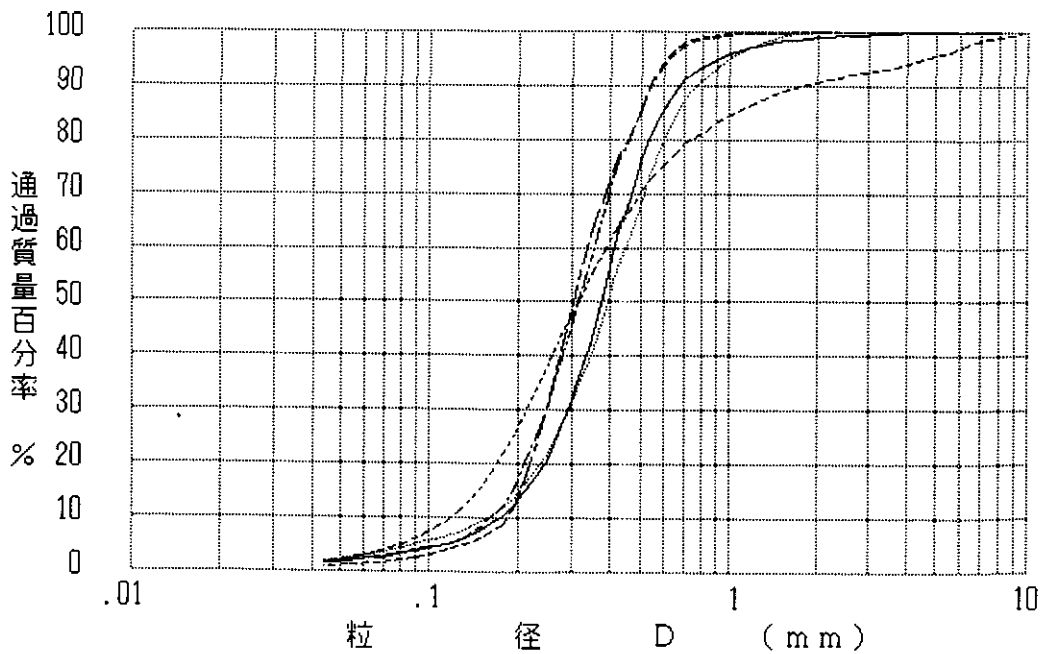


図-13 津名町の埋立地における噴砂の粒径加積曲線

級していなかったが〔写真-15〕、それより南の人工島ではほとんど同じ粒度分布をしており、同質の材料を用いて埋め立てた可能性がある〔写真-16, 17, 19, 20〕。

5. 建造物の被害

新潟地震以降の地震災害の中で建造物の倒壊が最も多く見られた。それも尋常な数ではなかった。過去に地震波が増幅して比較的狭い範囲に大きな被害が生じた所に、(a) 段丘状になっている所の崖の近く（地盤が崩壊したときにはこの限りではないが、段丘上では崖上から段丘の高さにほぼ等しい距離の所まで、段丘の下では崖下から段丘の高さにほぼ等しい距離の所）、(b) 基盤が傾斜している上に載る軟弱層の縁辺部（基盤との境界から少し離れたやや軟弱層が厚くなった所）がある。1978年宮城県沖地震、1990年フィリピンルソン島では (a)の所で、1985年メキシコ地震では (b)の所で被害が集中していた。今回の地震で神戸市から西宮市にかけて帯状に木造家屋の倒壊などの著しい被害が集中していた地域もちょうど (b)の所に当たる。多くの建造物が座屈して目を伏せたくないような惨状を見て、設定以上の地震規模に対してもある程度耐えられるようなねばり強い工法を用いるべきであることを改めて強く感じた。また、限られた調査範囲ではあるが、現在の建築基準法に適合した建物の被害が少なかったことに反し、古い建物の倒壊が目立った。この古い建物にはべちゃんこに潰れたものが多く、耐震性が低かったことが窺われ、それが多数の死者を出したことに繋がったようである〔写真-3〕。その差が歴然としており、古い建物に対して耐震診断を行って現在の基準を適用させる必要があると思った。

最近の地震災害の中では最も顕著な被害を生じるのが、地下に埋設されたライフラインであったが、今回も同様であった。そればかりではなく、地下鉄を始めとして多くの地下建造物にも被害が生じており、地震が日中に発生していたらと思うと恐ろしくなった。特に大開駅では支柱が完全に破壊しており、地表面が約3m沈下していた。さらに、いたる所で下水管が破損したため、いつ完全に復旧するか分からない状態にあり、汚染物質貯蔵施設が破損したところも数多くあり、今後環境問題へと発展していく可能性もある。また、復興に際しても、より良い環境を目指していただきたいものである。環境を無視して復興しても、その付けを長期にわたって受けなければならず、しかも街のイメージも悪くなり観光客が訪れなくなることに繋がる恐れが高い。

5.1 神戸高速鉄道大開駅

神戸市兵庫区にある神戸高速鉄道東西線の大開駅の駅舎は、1964年1月末に竣工した。地下鉄道となっている駅舎と線路部は開削工法で施工されており、駅舎は地下2階建ての鉄筋コンクリート製の箱型構造である。2月6日に駅舎内の調査を行うことができた。鉄筋コンクリート製の支柱が多数破壊していたが、そのほとんどはプラットホームのある地下2階部分であった。竣工後30年経過していたが、最近補強工事を行った様子はいなかった。今回の地震動は横揺れだけでなく、縦揺れも大きかったので、施工当時の基準を満たしていても、その設計荷重よりも大きな力が加わったことにより支柱が破壊したものと考えられる。

プラットホームがある地下2階の中央にある支柱は、ほとんど線路と直角方向に軸鉄筋が大きく湾曲していたが、その破壊形式には2通りあるように見えた。1つは、恐らく地震の横揺れでせん断破壊が生じた後に完全に破壊したと思われる支柱である〔写真-22,24〕。もう1つは、鉛直方向の上載荷重によって押しつぶされるように圧壊したと思われる支柱である〔写真-23〕。このため、地上を通る国道28号線が幅約30m、長さ約

100mにわたって沈下しており、中央分離帯の沈下量は約3mに及んでいた [写真-21]。

5.2 阪神高速道路3号神戸線

阪神高速道路3号神戸線では、橋脚の破壊・橋桁の落下等の被害があちこちで生じていた。特に、神戸市東灘区では被害が顕著であった。深江付近では多くの橋脚が転倒・崩壊していた。神戸商船大学付近から深江交差点の少し東側までは、矩形の単柱式橋脚にせん断ひび割れが生じており、なかにはせん断破壊して崩壊したものもあった [写真-95,96]。その東側では芦屋川付近まで約600mにわたってピルツ橋脚と呼ばれる上部構造物と一体となった円柱形の橋脚が17本全て破壊し、北側に倒壊していた [写真-97~100]。

阪神高速道路3号神戸線の地層断面図を図-14に示す¹²⁾。ピルツ橋が倒壊した深江-芦屋川間は、図の左に示されているように、地表面の下には上部沖積砂層(As1)が厚く堆積し、その下には軟弱な沖積粘土層(Ac)が薄く堆積し、その下には橋脚の支持地盤となっている礫層(Tg)が堆積している。断面図の範囲内では深江-芦屋川間は地盤の良いところであり、橋脚付近で液状化による噴砂を確認していないことから、地盤災害に起因したとは思われない。

西宮市今津付近では、所々で神戸線の橋桁が落下したり、橋脚が破損していた。今津から甲子園にかけての地域では、あちこちで噴砂が見られたが、これらは上部沖積砂層(As1)が液状化したことによって生じたものと思われる。なお、この付近で採取した噴砂は表-2の試料番号40, 41である。

6. 埋立地の地球工学的問題⁸⁾

我が国の国土は約380,000km²しか有していない。まだ200カイリ経済水域を設定していないが、かりに諸外国と同様に200カイリ経済水域を設定したら、その海域は国土のおよそ10倍にも達する。海に囲まれ、その恵みを受けている国でもある。ところが、水深20m以浅の浅海が埋立て可能な所とすると、国土の1割程度しかなく、平地部の面積にも満たない。しかし、新たな土地を求めて、古くから埋立て造成を行ってきたことも事実である。

6.1 造成方法と埋立て材料

古くから、干拓による開田や築島など埋立て造成が行われていたが、戦後の経済復興に伴って、急速に埋立て事業が拡大した。1960年以降に造成された埋立地は、それ以前の数倍の面積に達している。1970年頃から

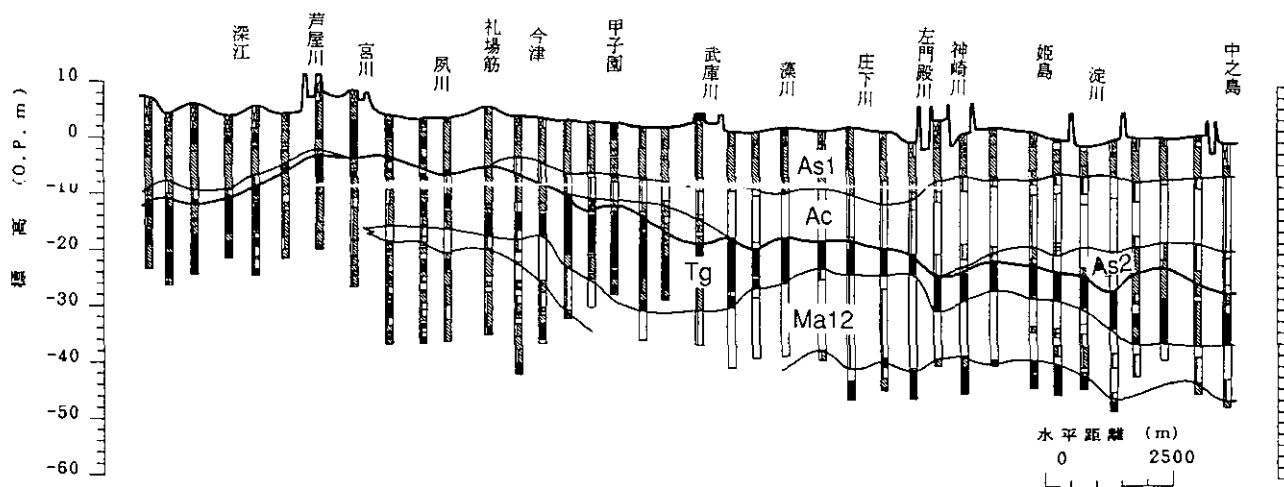


図-14 阪神高速道路3号神戸線の地質断面図¹²⁾

は、沿岸部の埋立てが飽和状態となって、陸域から少し離れた浅海域に埋立て場所求めるようになり、人工島と呼ばれている大規模な埋立地が出現してきた。

明治以前の埋立て材料は、おもに陸域の土砂である。これを少しずつ運搬して埋め立てていた。ときには地震や火災によって生じた瓦礫を埋立て材料に用いることもあった。明治になるとポンプ船が登場し、大正に入ると浚渫による埋立てが盛んになった。その後、ポートアイランドのように山を崩して大量の土砂を運搬するようになった。

そして、経済復興に伴い工場や家庭などから出される廃棄物や建設残土の量が急増してきた。この処理を海域に求めたため、1970年代半ば頃から東京の夢の島のような『ごみ地盤』と言われる埋立地が出現してきた。これからも土以外の材料で埋め立てられる所が増えていくものと思われる。

6.2 埋立地と液状化

10年くらい前からウォーター・フロントという名前のもとで大規模な埋立て造成事業の開始を声高に叫ぶようになってきた。ところが、埋立地が大地震に襲われても被害が生じなかったという例は過去にはない。今回の地震でも前述のように甚大な被害を与えていた。ウォーター・フロント＝地震（液状化）災害地といわれなければならない。

我が国で最近地震によって液状化災害が生じたところのほとんどが人工改変地である。1983年日本海中部地震、1987年千葉県東方沖地震、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、1994年三陸はるか沖地震、皆しかりである。前述のように、1995年兵庫県南部地震にも当てはまる。そのなかでも、海岸付近の浅海を埋め立てた所で、広範囲に液状化が発生している。

地盤工学的には、埋立ての際に締め固めなどをほとんど行わないため、非常に緩い砂地盤となっており、しかも地下水位が浅いために埋立地で液状化が生じやすいといえる。地球科学的な見方をすれば、自然の摂理を無視して埋立てが行われ、しかも広範囲にわたってさまざまな環境破壊を起こしている付けがまわったためともいえる。

埋立地の堆積速度は、自然に砂が堆積する速度よりも数十倍から数千倍早い。しかも、堆積後の経過時間も短く、続成作用を受けた時間も自然に堆積した砂層よりもかなり短い。千葉県東方沖地震の際、震源からの距離との関係もあるが、1945年以前に東京湾岸で埋め立てられた所では液状化が生じていなかった。まだ、今回の地震の調査解析は終わっていないが、図-1に示した地震によって液状化が認められた埋立地のほとんどが、埋立て後50年以内である。これは、埋立地の多くが第二次世界大戦後に埋め立てられていることにもよる。時間がほとんど経過していないため、自然との調和がうまくとれていないことや粒子配列の変化を伴う広義の圧密作用を含む続成作用の効果がほとんど発揮されていないためとも考えられる。

廃棄物による埋立てがますます増えていく傾向にある。今回の地震でも様々な有害物質が漏れ出しており、今後、海水汚染、地下水汚染、地質汚染問題に発展していく恐れがある。廃棄物地盤は、地震の際、地盤に影響を及ぼさないようにしなければならない。

6.3 これからの埋立地

最近では、山中で風化作用によって産出される多量の土砂が、河川中にあるさまざまな人工の障害物によって海までほとんど運搬されなくなっている。このため、浅海域での新たな堆積の場が減少している。その上、土砂流出量の不足により、浅海域の堆積環境のバランスが崩れ、海岸の土砂が流出するようになり、平野が

減少する事態が生じている。平野の少ない我が国にとって重大事である。埋立て事業は、平野の減少をくいとめる事業の1つとも考えられる。それだからといって、自然の摂理を無視して良いことにはならない。

埋立地はこれまで、周辺海域の海水汚染、生態系の破壊、自然海岸の消滅などの問題を起こしてきた。最近環境面にも目が向けられるようになって、環境に優しい事業がいろいろと展開されるようになってきた。このことは、喜ばしいことではあるが、小手先に終始しているものが目立っている。自然の摂理をよく考え、もっと本質的なところで環境に影響を及ぼさないように取り組んでいただきたいものである。

これからの埋立て造成は、過去の過ちを繰り返すことなく事業を開始する前に、広範囲に環境影響調査、できれば地球規模で100年、1000年後までの環境影響調査を行い、できるだけ自然の摂理に反しない方法をとるべきであるとする。人工島は自然の島のように海中に没した部分を含めてできるだけ自然の形に近づけるようにするなど、自然との調和を図るべく努力をすべきである。自然地盤と同様な地盤状態にして完成させた後、四半世紀程度は自然になじませてから、活用すべきであるとする。「急いで事はし損じる」との格言もある。

7. あとがき

直下型地震のためか、地震動によると思われる構造物の被害が地下を含めて顕著であり、大災害となっていた。液状化現象は神戸市から西宮市にかけての沿岸部と調査したほとんどの海岸埋立地で見られた。いたる所で数10cmもの沈下が生じていた。しかし大半の液状化地点では、過剰間隙水圧がそれ程高く上がってはいなかった。少しでも締め固めて造成していれば、かなり被害を低減できたように思える。

近年の液状化地震で埋立地をはじめとする人工地盤が液状化しなかったという例はない。今後はそれに加え、人工地盤の地震による環境破壊も大問題となってくることが十分予想される。

陶野(1990)の『あとがき』にも記したが、最近人類はしばしば地球の系を飛び出し、独自の系を構成するようになってきた。埋立て事業も地球の系からあまり飛び出さずに地球に優しい開発であってほしいものである。これも、10数年来、いいつづけていることであるが、「自然との調和」を肝に銘じて、来世紀に及ぶであろうこの地震災害の復興を進めていただきたいものである。自然環境に付けを回すような復興では、明るい未来への展望は開けてこないように思える。

1月20日～22日間は、日本大学文理学部教授遠藤邦彦・基礎地盤コンサルツ 森本 巖両氏と共同で液状化調査を行った。1月19日に基礎地盤コンサルツ 森田悠紀雄関西支社長、2月6日には神戸市環境局に大変お世話になった。また、調査に同行した日本大学の大学院生寺井和雪・学生角田明郷両氏と茨城大学の大学院生足立雅樹氏に粒度試験を手伝っていただいた。ここに、謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 陶野郁雄・遠藤邦彦・池田安隆編(1995):「1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会」記録,日本第四紀学会・第四紀研究連絡委員会,90pp.
- 2) 陶野郁雄(1995):基調報告-地盤工学の立場から-.1995年1月17日兵庫県南部地震,日本第四紀学会・第四紀研究連絡委員会,pp. 61-64.
- 3) 森伸一郎(1995):私信.

- 4) 陶野郁雄(1990) : 大深度地下開発と地下環境. 鹿島出版会, 234pp.
- 5) 河村壮一・西沢敏男・和田嘩暎(1985) : 20年後の発掘で分かった液状化による杭の被害, NIKKEI ARCHITECTURE, 1985年7月29日号, 130-134.
- 6) 陶野郁雄(1994) : 地震による砂地盤の液状化〔下〕～平成5年北海道南西沖地震の際に生じた液状化災害. 月刊消防, Vol. 16, No. 3, pp. 65-77.
- 7) Kuribayashi, E. and Tatsuoka, F. (1975) : Brief Review of Liquefaction During Earthquakes in Japan, Soils and Foundations, Vol. 15, No. 4, pp. 81-92.
- 8) 陶野郁雄(1995) : 1995年兵庫県南部地震による人工地盤の液状化災害と埋立地の地球工学的問題, 環境情報科学, Vol. 24, No. 2, (印刷中).
- 9) 関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究委員会(1992) : 関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究. 関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム発表論文集, 土質工学会関西支部, pp. 1-26.
- 10) 大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会(1995) : 海底地盤—大阪湾を例として—. 土質工学会関西支部, 406pp.
- 11) 水元義久・大志万和也・坂元稔・諏訪靖二・寺田俊朗(1992) : 甲子園地区の洪積粘土の土質特性について, 関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム発表論文集, 土質工学会関西支部, pp. 97-104.
- 12) 中世古幸次郎・松井保・水元義久・大志万和也・諏訪靖二・山本浩司(1992) : 阪神高速湾岸線(六甲アイランド～港晴)の地質構造について, 関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム発表論文集, 土質工学会関西支部, pp. 91-96.



写真-1 一宮町郡家・2階家の倒壊
1階部分が、手前の家はべちゃんこに、次の家は道路側に傾いて倒れた（1月22日）。

写真-2 北淡町富島
富島の大半の木造家屋は屋根瓦が落下しており、全壊家屋も数軒見える（1月22日）。



写真-3 北淡町富島・木造家屋の倒壊
屋根瓦の下に土を載せている木造家屋の倒壊が目立った。



写真-4 北淡町富島・富島漁港

岸壁が海側に膨み出し、エプロンに亀裂が生じ沈下した。この付近では液状化により所々で亀裂に沿って砂が噴き出していた（採取番号-24）。

写真-5 北淡町小倉・野島断層

右ずれの断層上にある塀は立ったまま移動していた。その両脇にある家屋や電柱にも目立った被害は見あたらない。写真-6の奥に見える住宅である。

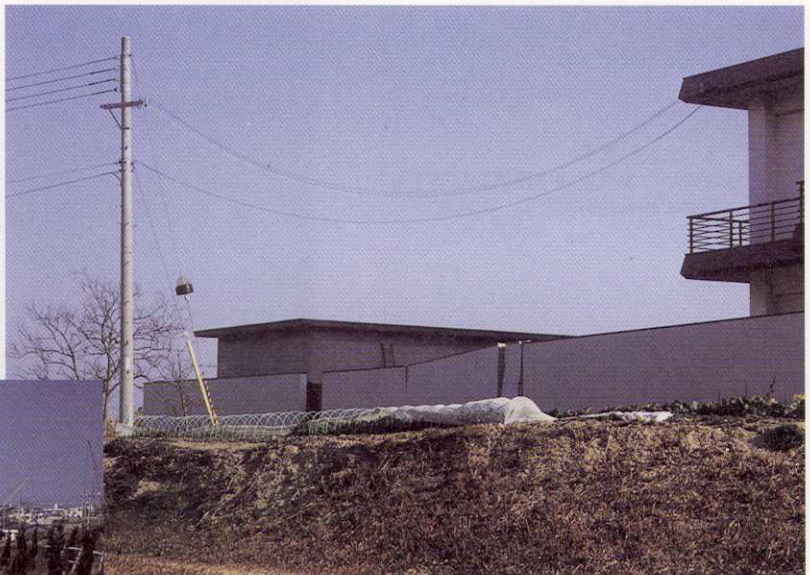


写真-6 北淡町小倉・野島断層

向かって右側が手前に動いた右ずれの地震断層が地表に現れた。



写真-7 北淡町小倉・野島断層

段丘上にある造成地の境界を示す土塁もきれいに右に1m以上ずれており、東(左)側が約40cm上がっていた。

写真-8 北淡町梨本・野島断層

舗装道路が約80cm右にずれていた。写真の右外に当たる道路斜面で湧水があり、1月22日には約1時間の間に4組が水を汲みにきていた。



写真-9 北淡町梨本・野島断層

地震で現れた断層は田畑の中にも北東-南西方向に連続して延びていた。





写真-10 北淡町梨本・野島断層
活断層によって水路が約1m右にずれたにもかかわらず水が流れていた(1月22日)。

写真-11 北淡町野島平林・野島断層
斜面上にある舗装道路が低地側に膨み出し陥没していた(1月22日)。



写真-12 北淡町江崎・江崎灯台下
地震断層が階段の左側を走り、海に突入していた。





写真-13 淡路町岩屋

震源に最も近いこの地区では、屋根瓦ひとつずれていない家屋が目立ち、被害は比較的軽微であった。

写真-14 東浦町小磯・東浦港

最近埋め立てられたフェリー港の南側ではいたる所で亀裂や噴砂が見られ、ほぼ全面的に液状化が生じていた（採取番号-35）。



写真-15 津名町佐野・佐野新島

まだ余り利用されていない人工島の佐野リゾートアイランドではいたる所に亀裂が入り、噴砂が見られた（採取番号-37）。





写真-16 津名町生穂・生穂新島

フェリー港のある生穂新島でもいたる所で噴砂が見られたが、さほど顕著な被害は生じていなかった。写真は海浜公園付近の状況である(採取番号-25)。

写真-17 津名町津名港

津名港では所々で噴砂が見られたが、道路や港湾施設の被害は軽微であった(採取番号-26)。



写真-18 津名町志筑・志筑新島

工業団地と商業団地の間にある空き地では、亀裂から噴き出した液状化砂があちこちで見られた(1月22日)。



写真-19 津名町志筑・志筑新島
ショッピングセンターとなっているこの地区でもいたる所で噴砂が見られた。ここでは、乾燥した埋立て砂も噴き出していた（採取番号-27）。

写真-20 津名町塩田・塩田新島
おのころアイランドではほぼ全面的に液状化していたが、噴き出した砂の量は非常に少なかった。



写真-21 神戸市兵庫区・阪神高速東西線大開駅
大開駅上の国道28号線は最大約3m沈下していた（2月6日）。





写真-22 神戸市兵庫区・阪神高速東西線大開
駅

駅構内の鉄筋コンクリート製の支柱が完全に破壊していた（2月6日）。

写真-23 神戸市兵庫区・阪神高速東西線大開
駅

駅構内の鉄筋コンクリート製の支柱が押しつぶされるように圧壊していた。



写真-24 神戸市兵庫区・阪神高速東西線大開
駅

駅ホームの中柱が完全に破壊し、鉄筋が鉤のように湾曲していた。このため、天井がほぼプラットフォームの高さまで落ちていた。



写真-25 神戸市兵庫区・市営地下鉄山手線上
沢駅

プラットホームがある階の上の階では、ほとんどの鉄筋コンクリート製支柱にせん断亀裂が生じていた（2月6日）。

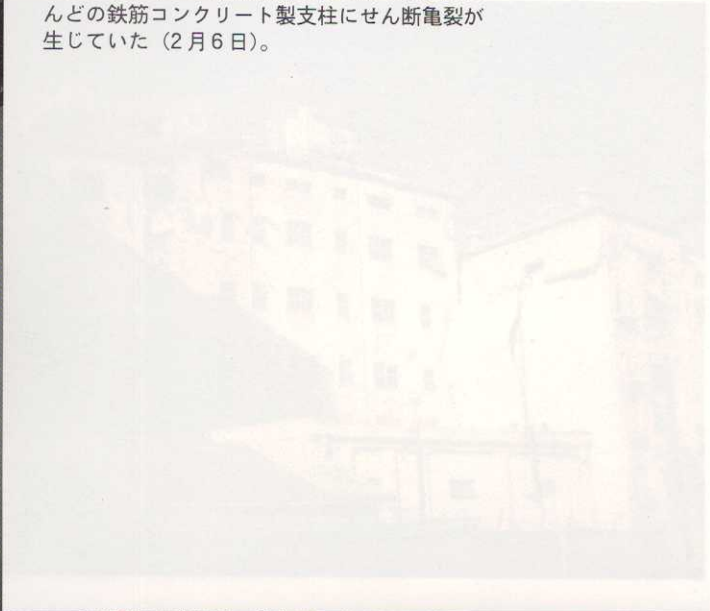


写真-26 神戸市兵庫区遠矢浜町・神戸検疫所
検疫所内のいたる所で噴砂が見られた。検疫所の細長い建物は若干不等沈下していた（採取番号-33）。



写真-27 神戸市兵庫区明和通2丁目
製粉工場が著しく破壊していた（2月6日）。



写真-28 神戸市兵庫区明和通2丁目
もろくも崩れた製粉工場裏側の状況である。

写真-29 神戸市兵庫区出在家町1丁目
岸壁が数10mにわたって崩壊し、エプロン部が
海没した(2月6日)。



写真-30 神戸市兵庫区築地町・兵庫港
港管理事務所付近の岸壁が崩壊し、エプロン
部が海没した。



写真-31 神戸市中央区港島1丁目
ポートアイランド西コンテナ埠頭では、約
1.5m沈下した（採取番号-11）。

写真-32 神戸市中央区港島1丁目
地盤が全面的に数10cm沈下したため、杭基礎
の建物が相対的に浮上した。泥水が建物に付着
しておらず、噴き出した泥水の高さはせいぜい
30cm位と思われる。



写真-33 神戸市中央区港島2丁目
岸壁の一部を残して激しく沈下したため、背
後のエプロン部が海没していた。高低差は2m以
上に達していた（1月20日）。





写真-34 神戸市中央区港島2丁目
液状化によって地盤は岸壁とほぼ平行に亀裂が生じて滑り崩壊した。岸壁は大きく海側へ移動し、海没した（1月20日）。

写真-35 神戸市中央区港島2丁目
道路上を全面的に覆った液状化した砂の中にトラックが埋まっていた（採取番号-2）。



写真-36 神戸市中央区港島2丁目
トラック・ステーションでは地盤が液状化に伴って噴き出したため、舗装板が粉々になって飛散し、大きな穴ができていた。その周辺には飛び出した礫が散乱していた。



写真-37 神戸市中央区港島2丁目
神戸大橋から南下する高架道路の橋脚脇の地盤が液状化に伴って噴き出したため、大きな穴ができていた。周辺には飛び出した礫が散乱していた。

写真-38 神戸市中央区港島3丁目
ポートアイランド北公園では液状化によって地盤が崩壊し、護岸が膨み出した。背後の地盤は沈下したが、マンホールは浮上しなかった（1月20日）。



写真-39 神戸市中央区港島3丁目
北公園の神戸大橋直下で地盤の亀裂から液状化した砂が噴き出していた。亀裂と直角方向に細長く試料を採取しているところである（採取番号-1）。



写真-40 神戸市中央区港島3丁目
北公園では液状化によって地盤が崩壊し、護岸が大きく膨み出したため、背後の遊歩道が亀裂を伴って沈下し、水没した。

写真-41 神戸市中央区港島3丁目先
港の入り口にある防波堤の先端部やそれに接続している灯台は沈下し、水没していた。



写真-42 神戸市中央区港島中町5丁目
広大な駐車場では、液状化に伴って多量の泥水が噴き出した。全面を覆っている泥水はまだ乾いておらず、舗装面に薄い皮膜を形成したため、非常に滑りやすい状態となっていた(1月21日)。



写真-43 神戸市中央区港島中町2丁目
神戸税関の駐車場でも液状化に伴って噴出した泥水はまだほとんど乾いていなかった（採取番号-12）。

写真-44 神戸市中央区港島中町2丁目・北埠頭
駅

地盤が全面的に数10cm沈下したため、新交通ポートアイランド線の支柱の基礎が相対的に浮き上がり、段差が生じた。

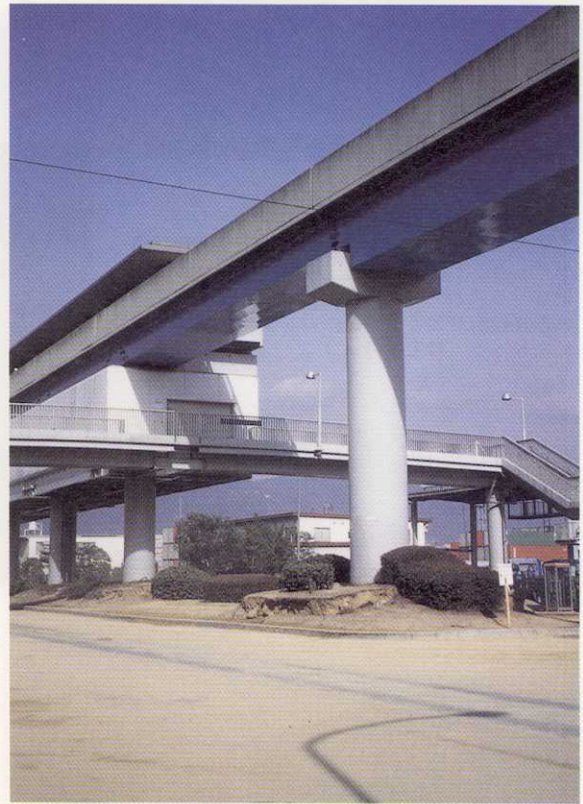


写真-45 神戸市中央区港島5丁目
ポートアイランドの北埠頭にある軌道式荷役機が脱線した。舗装板の傷を見ると一度飛び上がったから陸側に移動したようである。



写真-46 神戸市中央区港島5丁目

北埠頭ではほぼ全面的に液状化し、地盤が約1.5m沈下した。このため、アンローダ用のレールを支持する杭が現れた。地震が短時間であったためか、杭頭が露出したにも拘わらずせん断破壊を生じていなかった。

写真-47 神戸市中央区港島5丁目

国際コンテナターミナルではほぼ全面的に液状化した。1月21日には、亀裂から噴き出した砂にリップルマークが認められた。遠くまで流れた細粒分を多く含む泥水はまだ十分乾いてはなかった（採取番号-3）。



写真-48 神戸市中央区港島6丁目

岸壁が大きく海側に膨み出しており、背後のエプロン部が2m位沈下していた。



写真-49 神戸市中央区新港町・新港第四突堤
 ポートアイランド側から見ると、突堤先端部
 では神戸大橋の支承部がある所より左側の岸壁
 が右側より手前に約2m移動していた（1月20
 日）。

写真-50 神戸市中央区新港町・新港第四突堤
 神戸大橋から見ると、突堤先端中央部の地盤
 が約2m沈下していた。



写真-51 神戸市中央区新港町・新港第四突堤
 ポートターミナル付近にあるループ橋の橋
 桁の一部が上下2段とも落下していた。



写真-52 神戸市中央区小野浜町・三井倉庫
倉庫間の舗装面のほぼ中央に大きな亀裂が生じ、そこから砂が噴き出していた（1月20日）。

写真-53 神戸市中央区磯部通3丁目
液状化によって電柱脇や道路脇から砂が噴き出した。電柱は転倒し、左の建物にせん断破壊が生じていた（採取番号-6）。



写真-54 神戸市中央区磯部通4丁目
写真-53の向かいにある3階建ての建物の1階部分が完全に崩壊した。



写真-55 神戸市中央区八幡通4丁目
隣の建物とは対照的に、1階の喫茶店がもろくも崩れた。その先にも、壊れたビル（写真-59、64）が見える。

写真-56 神戸市中央区八幡通4丁目
裏通りから見ると、壊れたり、傾いたりしている建物がよく分かる。手前の駐車場では、上から乗用車が落ちていた。



写真-57 神戸市中央区加納町6丁目・神戸市役所

8階建ての市役所の6階部分が北側に押し出すように倒れ、新館を結ぶ渡り廊下が落ちていた。しかし、向かいにある彫刻は無傷であった（1月20日）。



写真-58 神戸市中央区加納町6丁目・神戸市役所

三宮駅側から見ると、6階が手前に傾いて潰れたことがよく分かる。奥に見える高層の新館は構造上特に被害は生じていなかった。

写真-59 神戸市中央区磯上通8丁目

12階建てのカーテンウォール式のビルディングの5階部分が圧壊し、その上部階が道路側に傾いていた。しかしながら、圧壊した以外のところでは破損した窓ガラスが見あたらなかった。



写真-60 神戸市中央区御幸通8丁目

10階建ての国際会館では中上部階が右側に押し倒されるように破壊していた。



写真-61 神戸市中央区御幸通7丁目
三宮ビル南館の1階が押しつぶされるように破壊していた（1月20日）



写真-62 神戸市中央区小野柄通7丁目
3階部分が潰れ、銀行の看板の一字が路上に落ちていた。



写真-63 神戸市中央区雲井通8丁目
ターミナルホテルが入っている三宮の駅ビルでは、壁や柱にせん断亀裂が生じていた。この地下にも被害が及んでいた。



写真-64 神戸市中央区三宮町1丁目
9階建ての交通センタービルでは、中間の5階
部分が潰れていた（1月20日）。



写真-65 神戸市中央区下山手通1丁目
構造様式の変わる中間階が押し潰され、上部
階が左側に傾いた。



写真-66 神戸市中央区中山手通2丁目
構造様式の変わる中間階が押し潰され、壁が
外側に膨み出していた。



写真-67 神戸市中央区中山手通1丁目
ホテルの1階部分が手前に倒れるように破壊した。また、道路側に倒れ込んだ2階建ての家屋も見える。

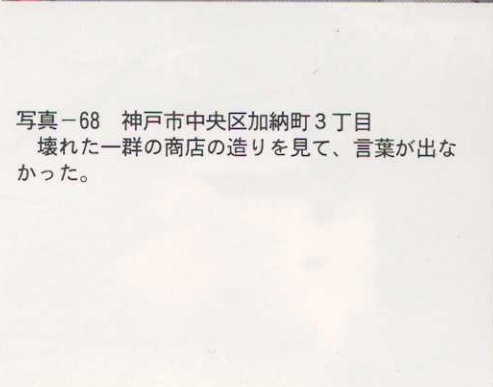


写真-68 神戸市中央区加納町3丁目
壊れた一群の商店の造りを見て、言葉が出なかった。



写真-69 神戸市灘区岩屋中町
国道43号線に面した自動車会社の1階ショールームが押し潰されるように破壊していた(2月5日)。





写真-70 神戸市灘区灘浜町
 建物の脇に開口亀裂が生じ、その中に噴砂が見られた（採取番号-31）。



写真-71 神戸市灘区摩耶埠頭
 埠頭の入口付近では岸壁が海側に膨み出し、エプロン部が大きく沈下していた。



写真-72 神戸市灘区灘浜東町
 岸壁が海側に膨み出して不同沈下していた。工場の鉄骨の柱も基礎が海側に移動したため、傾斜していた。



写真-73 神戸市灘区浜田町3丁目
阪神電鉄新在家駅の東側ではラーメン高架橋が破壊した。その向かいの建物の多くが全壊していた。

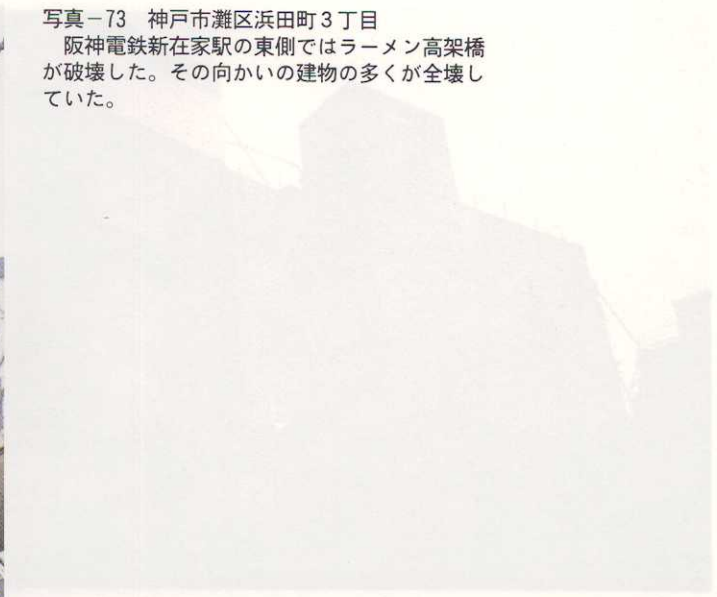


写真-74 神戸市東灘区御影塚町4丁目
高架の阪神電鉄石屋川車庫では、桁が落ちその下にあった住宅の屋根の上に載っていた(2月5日)。



写真-75 神戸市東灘区御影塚町4丁目
阪神電鉄の高架橋が落下して線路が宙ぶらりんとなった。



写真-76 神戸市東灘区御影塚町1丁目
菓子工場の3階が破壊していた(2月5日)。

写真-77 神戸市東灘区御影塚町1丁目
あちこちで酒蔵が破壊したため、酒の臭いが
漂っていた。



写真-78 神戸市東灘区御影石町1丁目
古い木造の酒蔵がいたる所で全壊していた。



写真-79 神戸市東灘区御影本町3丁目
酒を入れるタンクの底部が破損したため、中に入っていた酒がもれていい臭いがしていた(2月5日)。

写真-80 神戸市東灘区御影本町1丁目
古くてもしっかりと造られていれば、構造的な被害は生じなかった。



写真-81 神戸市東灘区住吉南町
伝統的な木造の酒蔵の中間部が壊れていた。



写真-82 神戸市東灘区住吉浜町
護岸が少し海側に移動したため、背後地盤に亀裂や陥没が生じ、工場施設に大きな被害が生じた。

写真-83 神戸市東灘区向洋町西6丁目
六甲アイランド南西部のコンテナ・バースにある鋼鉄製の荷揚げ機械が1機倒壊した(1月20日)。



写真-84 神戸市東灘区向洋町東
六甲アイランド南東部にある岸壁が海側に移動したため、荷役機用のレールが折れ曲がった(1月21日)。



写真-85 神戸市東灘区向洋町東
六甲アイランド南東部にある岸壁の背後地盤が2m以上沈下したため、一部海没した。また、鋼鉄製の荷揚げ機械は不同沈下により何れも脚部が座屈していた。



写真-86 神戸市東灘区向洋町中1丁目
シティヒルM13の公園は、周囲より1m以上高くなっているにも拘わらず、カラー敷石の間から液状化砂が噴き出していた（採取番号-15）。



写真-87 神戸市東灘区向洋町中1丁目
六甲アイランド北部にある運動公園付近では、ほぼ全面的に液状化が生じており、いたる所で砂が噴き出していた（採取番号-16）。



写真-88 神戸市東灘区魚崎南町5丁目
岸壁が海側に膨み出し、背後地盤が約1m沈下した(2月5日)。

写真-89 神戸市東灘区魚崎南町3丁目
液状化により地盤が数10cm沈下したため、工場の基礎が相対的に浮き上がった。



写真-90 神戸市東灘区魚崎南町1丁目
地盤が滑って、海側に大きく移動したため、岸壁に駐車していた自動車は何台も陸側に戻れなくなり、置き去りにされた。



写真-91 神戸市東灘区魚崎浜町
大きな被害を生じた東灘下水処理場の前の道路でも液状化が生じていた（2月5日）。

写真-92 神戸市東灘区魚崎浜町
岸壁の背後地盤が海側に沈下しながら移動したため、シクナータンクなどに被害が生じた。



写真-93 神戸市東灘区深江南5丁目・神戸商船大学
グラウンドには亀裂が走り、砂が噴き出していた（採取番号-21）。



写真-94 神戸市東灘区青木4丁目・本庄小学校
鉄筋コンクリート製の柱にせん断亀裂が生じた。この後、校庭などにテントがならび住民の避難場所となり、頻繁にTV報道されるようになった。

写真-95 神戸市東灘区・阪神高速道路3号神戸線

深江南町4丁目では、高速道路の単柱式橋脚がせん断破壊し崩壊した（1月20日）。



写真-96 神戸市東灘区・阪神高速道路3号神戸線

国道43号の深江交差点上にある3号神戸線では、単柱式の橋脚にせん断ひび割れが生じた。



写真-97 神戸市東灘区・阪神高速道路3号神戸線

北側の深江本町2丁目から見ると、高速道路の桁の端は国道の車道を越えて転倒していた。

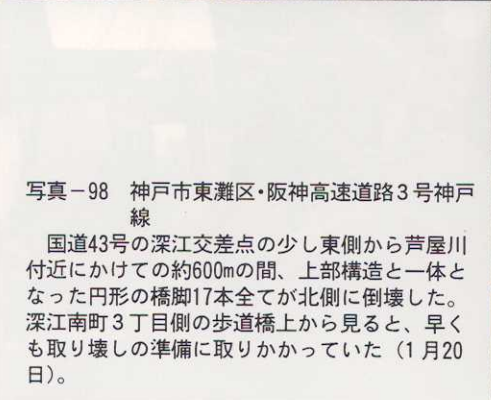


写真-98 神戸市東灘区・阪神高速道路3号神戸線

国道43号の深江交差点の少し東側から芦屋川付近にかけての約600mの間、上部構造と一体となった円形の橋脚17本全てが北側に倒壊した。深江南町3丁目側の歩道橋上から見ると、早くも取り壊しの準備に取りかかっていた（1月20日）。



写真-99 神戸市東灘区・阪神高速道路3号神戸線

転倒して壊れた円形の橋脚を南側の深江南町2丁目から見たものであるが、桁の下には押し潰された自動車が見える（1月20日）。



写真-100 神戸市東灘区・阪神高速道路3号神戸線
倒壊した高速道路の最東端を南側の深江南町1丁目から見た。

写真-101 神戸市東灘区深江南町3丁目
国道43号の南側の道路脇にある電柱が軒並み転倒し、民家に倒れかかっていた（1月20日）。



写真-102 神戸市東灘区深江南町4丁目
深江大橋に向かう取付け道路が数10cm沈下したため、コンクリート製の下水マスが相対的に浮き上がった。



写真-103 神戸市東灘区深江南町4丁目
深江大橋の北側の取り付け部分が約70cm沈下した。

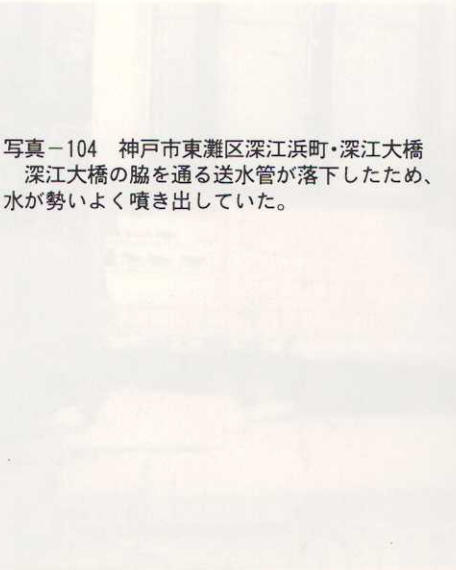


写真-104 神戸市東灘区深江浜町・深江大橋
深江大橋の脇を通る送水管が落下したため、
水が勢いよく噴き出していた。



写真-105 神戸市東灘区深江浜町
ケーソン岸壁のエプロンが大きく陥没し、海
没していた（1月20日）。



写真-106 神戸市東灘区深江浜町
岸壁が海側に移動し、その背後地盤が陥没したため、様々な被害が生じていた。

写真-107 神戸市東灘区深江浜町
埋立て地盤が数10cm沈下したため、郵便局の建物が相対的に浮き上がった。



写真-108 芦屋市若葉町
コンクリートの壁に付いた泥水を見ると、噴砂は70cm位上がったようである（採取番号-39）。



写真-109 芦屋市若葉町
宮川沿いでは擁壁が川の方に膨み出しており、その背後の地盤に亀裂が走り、噴砂も見られた。

写真-110 西宮市西宮浜
支柱の浮き上がりを見ると、地盤は約40cm沈下したようである。



写真-111 西宮市西宮浜
大学のグラウンドでは、至る所で亀裂から砂が噴き出していた。



写真-112 西宮市西宮浜・西宮大橋
橋脚の下部が破壊したため、通行できなくなっていた。

写真-113 西宮市甲子園浜・西宮港大橋
阪神高速道路湾岸線の甲子園浜側の橋脚が西側に移動したため、橋桁が落下した(1月20日)。



写真-114 西宮市甲子園浜・西宮港大橋
橋桁が落下したことにより、2台の自動車
が滑り落ちて転倒したため、運転手は死亡した。



写真-115 西宮市甲子園浜
噴砂孔から粘性の高い異物が飛び出した（1月20日）。

写真-116 西宮市甲子園浜
液状化によりヘドロが砂と共に地表に飛び出した（2月8日）。



写真-117 西宮市久寿川町
阪神高速道路3号神戸線の橋桁が落下した。落下した橋桁は既に取り除かれていた（2月8日）。



写真-118 西宮市浜甲子園4丁目・西宮今津高校
 液状化により噴砂がいたるところで見られ、校舎が相対的に約20cm浮き上がっていた（採取番号-22）。

写真-119 西宮市南甲子園3丁目
 液状化により、4階建ての公営住宅が不等沈下し、電柱が傾いた。



写真-120 西宮市南甲子園3丁目
 液状化により、写真-119の建物の北側が20cm以上沈下したため、傾いた。



写真-121 西宮市南甲子園3丁目
液状化により、南甲子園小学校の塀が破損し、側溝が折れ曲がり、道路標識が傾斜するなどの被害が生じた（採取番号-23）。

写真-122 西宮市甲東園4丁目・JR山陽新幹線
六甲トンネル出口付近から東側を見ると、あちこちで高架橋が落下するなどの被害が生じていた（2月8日）。



写真-123 西宮市松籟荘・JR山陽新幹線
落下した高架橋を取り除く作業が行われていた。また、丘陵地には崖崩れ防止のためにかけられた青いビニールシートが見える。



写真-124 西宮市甲東園1丁目
ショッピングセンターがある1階部分の柱が
せん断破壊したため、5階建てのビルディング
が傾いた。

写真-125 西宮市上中市1丁目・JR山陽新幹線
高架橋の橋桁が落下し、橋脚の頭部が何れも
破壊していた。これらを復旧するための作業が
既に行われていた(2月8日)。

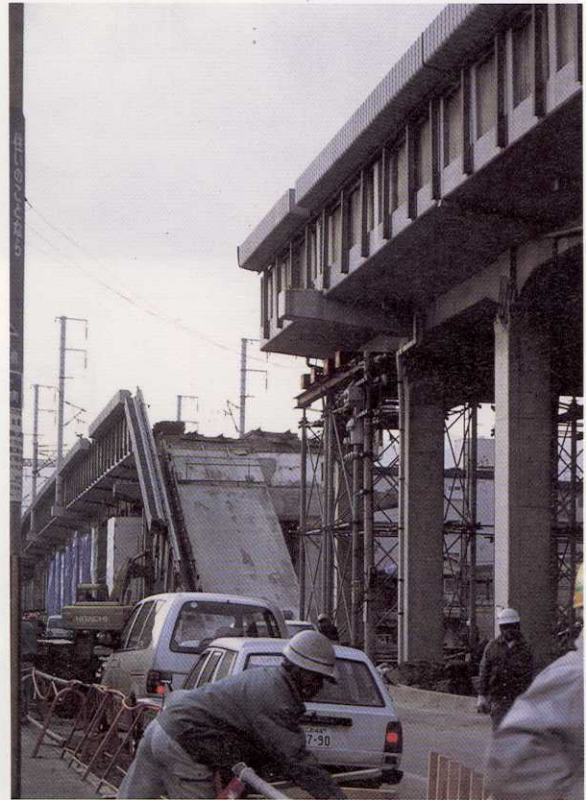


写真-126 大阪市港区海岸通2丁目
天保山・大阪港駅・中央突堤などがあるこの埋
立地では所々で噴砂が見られた(1月21日)。



写真-L1 青森県車力村富蒔・1983年日本海中部地震
屏風山砂丘の吹抜け凹地に直径7mの陥没カルデラに似た巨大噴砂孔が生じた。

写真-L2 北海道江差町柳崎・1993年北海道南西沖地震
埋設されていた重油タンクが液状化により浮上し、転倒した。



写真-L3 北海道釧路町木場・1993年釧路沖地震
マンホールが約1.5m浮き上がった。





写真-L4 宮城県松島町高城・1978年宮城県沖地震
ポンプ室が液状化によって不等沈下し、約10°も傾いた。

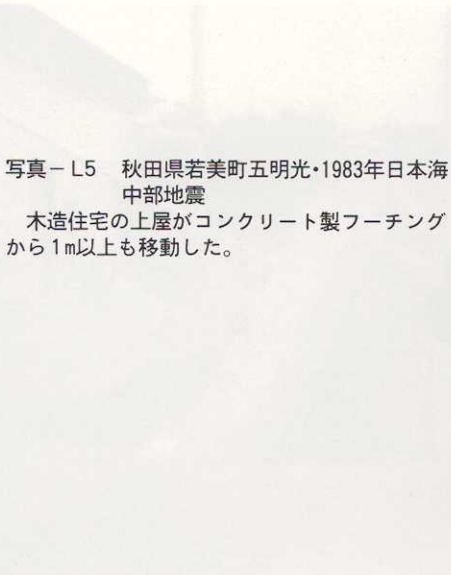


写真-L5 秋田県若美町五明光・1983年日本海中部地震
木造住宅の上屋がコンクリート製フーチングから1m以上も移動した。



写真-L6 秋田県大潟村五明光橋・1983年日本海中部地震
八郎潟干拓地から若美町五明光に通じる五明光橋の取付け道路が液状化によってずたずたに破壊し、沈下した。

第II部 いくつかの観点から見た地震と環境

海から見た阪神淡路大震災

地域環境研究グループ海域保全研究チーム

主任研究員 木幡 邦男

1. はじめに

震災による直接・間接的な環境悪化が、復興の過程においても、例えば、廃棄物処理や大気汚染等で懸念されるが、これら予想される環境問題に対応するため、また、被災した兵庫県立公害研究所の現状を知り、今後の研究協力体制を検討するために、国立環境研究所の所員による神戸地区の調査が行われた。一行は、奥村主任研究企画官、森田化学環境部部長を初めとするメンバーで、2月12～14日に掛け、神戸市を中心に行動したが、私もこの現地調査に参加する機会を得たので、現地で得た情報等を報告する。

期間中、13日には下記の兵庫県による海域調査に同行させていただいた。調査に参加することに快諾された兵庫県保健環境部環境局水質課の方々から心から感謝致します。また、様々な情報を提供され、特に、現場における透明度等の未発表データの使用を許可していただいた兵庫県立公害研究所第2研究部、古城部長に心から感謝致します。

2. 海域調査方法

大阪湾北部水域は、兵庫県による公共用水域常時監視が行われているが、2月13日には、震災後初めての海域調査が行われた。調査は兵庫県調査船「こんぺき」(写真1)にて行われ、当日は、古城部長、神山課長・中嶋副課長他水質課の方々、山根船長他乗船員の方々が乗船された。調査は明石港(St. 47、図1)から始まり、図1に示す各調査地点(環境基準点)を回った。また、当日は、通常の水質項目測定の外に、沿岸部の被害状況を確認するために、神戸港・長田港・須磨港等に立ち寄った。

3. 結果と考察

各調査地点では、水温・塩分・透明度・pH・溶存酸素等の測定を行った。さらに、採水した試料につき、COD・TN・TPや重金属等の健康に関する項目について分析中である。測定結果の例として、透明度の水平分布を図2に示すが、調査当日に得られた結果を見る限りでは、震災の影響として目立ったものはなかった。しかし、阪神淡路大震災により、当地区の各種下水・排水施設が損壊し、大阪湾に未処理水が流入することなどから、大阪湾の水質の悪化が懸念されている。例えば、損傷した東灘下水処理場では、通常の放流水のCODは15～18ppmであったが、現状では、凝集沈澱処理のみで放流するため、放流水のCODが30～40ppmに及ぶと伝えられている。また、廃棄物や仮設住宅からの生活雑排水の大阪湾への流入も心配されている。

富栄養化した大阪湾では、例年、赤潮が頻発しているが、これから春～夏期にかけ、植物プランクトンの増殖が盛んになり、流入河川水量が増大する事などを考慮すると、予想される有機汚濁や窒素・磷等の栄養塩の流入負荷の増大による大阪湾の水質変動や、その水産資源・水界生態系に与える影響について、継続的な調査が是非必要である。

海域汚染の影響は、大阪湾だけでなく、明石海峡をはさんで大阪湾と接する播磨灘でも懸念されている。

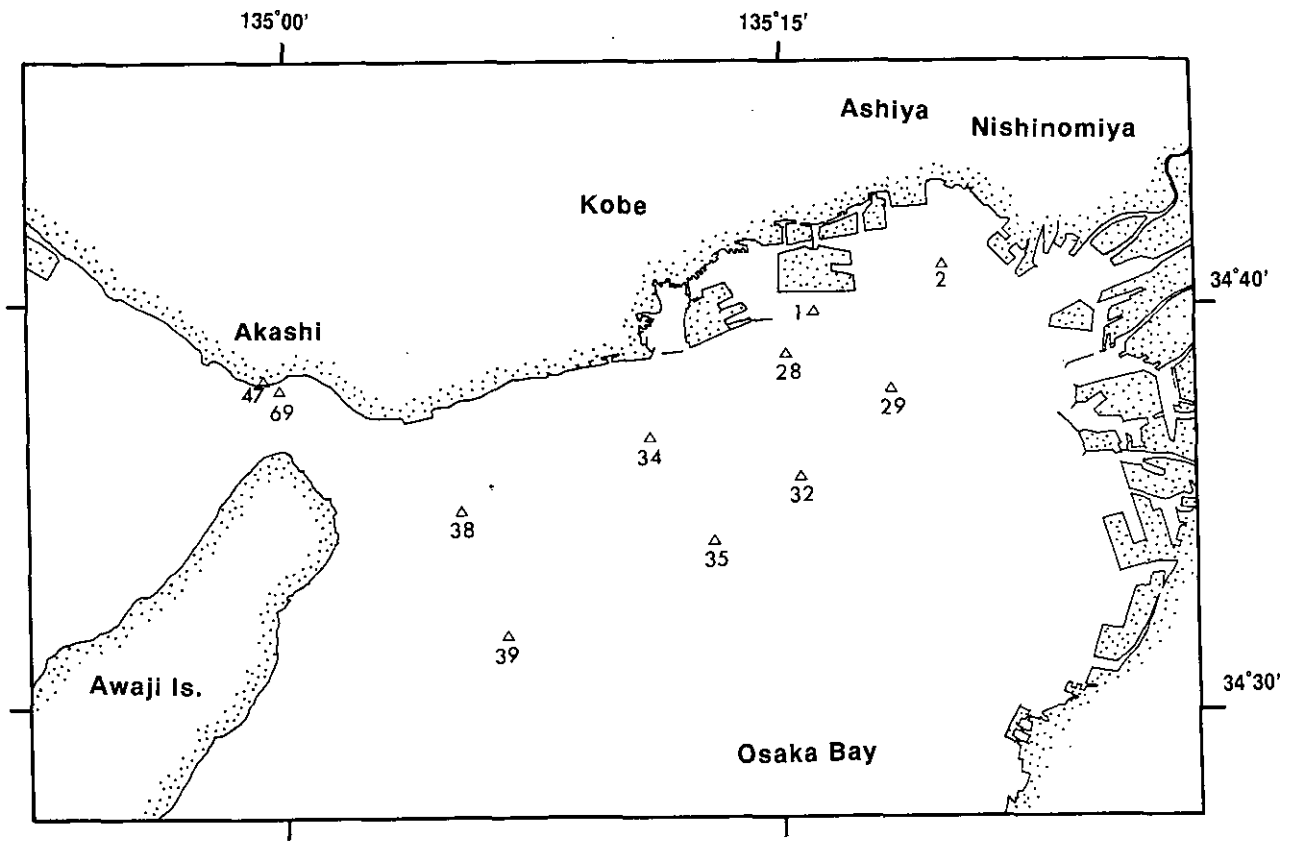


図1 大阪湾調査地点

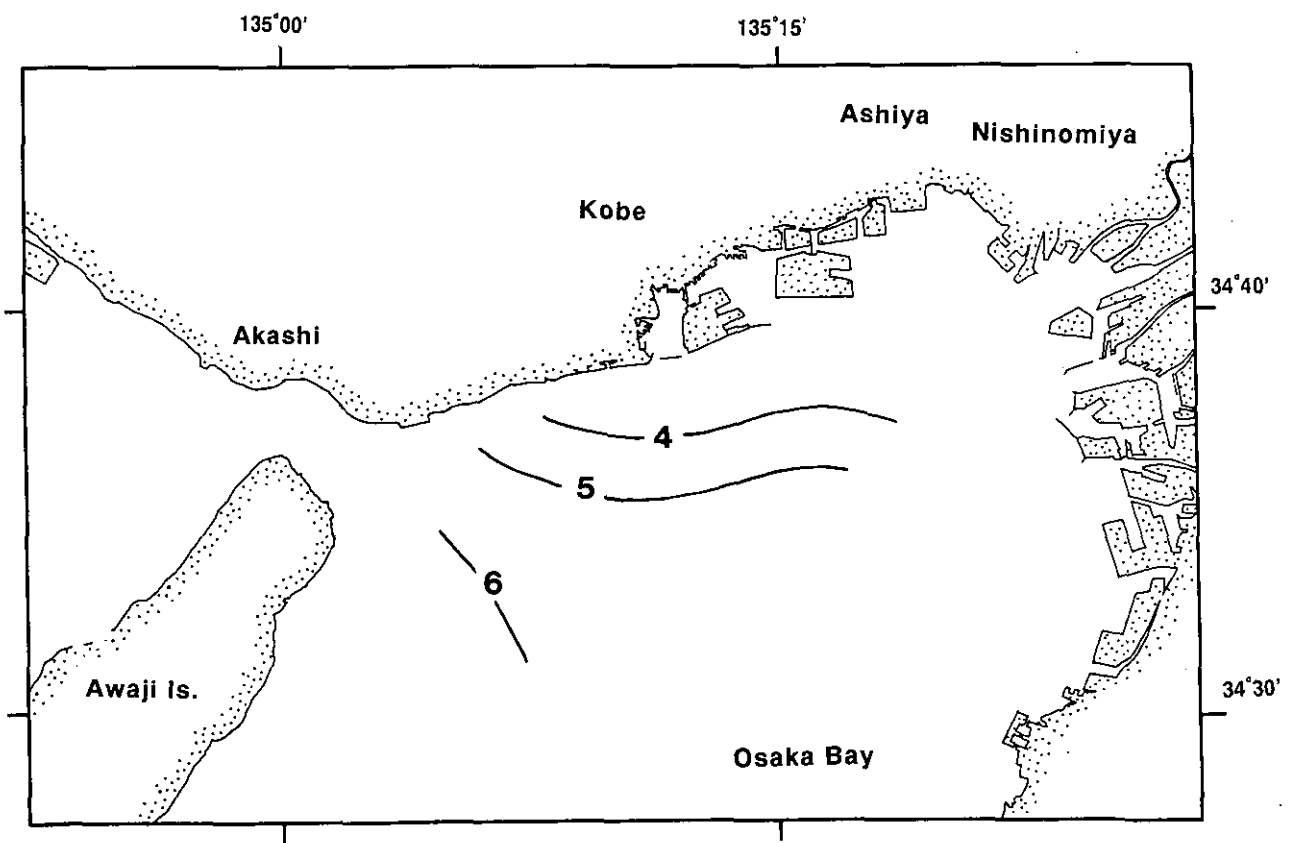


図2 大阪湾透明度 (m) 水平分布

播磨灘では各種漁業が活発に行われ、特に、はまちを中心とした養殖が盛んである。当海域では、赤潮による大きな被害を過去に度々経験している事もあり、今後、水質の変化に十分注意していかなければならない。また、明石海峡に近い、大阪湾北部の影響を受け易いと思われる海域（例えば、明石市地先：写真2、鹿の瀬：写真3）では、のり養殖が盛んに行われている。このような状況を考慮すると、水質変動や赤潮発生による水産被害を未然に防ぐためにも、当海域の継続的な監視が必要である。

3.1 沿岸被災状況

沿岸部における港湾施設・岸壁等の損壊状況は、既に新聞等で報じられているが、本調査では、海上より主に目視でその被害状況を視察した（図3）。調査が震災から4週間程度経た後行われたためか、震災直後の映像程強烈な印象は、特に海上からは見受けられなかったが、まだ、破壊された港湾施設が神戸港の各地点で見られた（写真4～10）。この他に、倉庫等建造物の被害もひどく、屋根が湾曲した物が多く見られた。神戸港東灘地区でも、岸壁が破壊され、建物が傾斜しているのが容易に確認された。

神戸市長田区の海岸には、石油・ガス関連企業等が存在するが、長田港内（写真13～15）、南駒栄町付近（写真16～19）など、ここでの被害も大きく、また、東に位置する兵庫区海岸（写真20）でも、岸壁の損壊が見られた。

船上から陸を見ると、点々と青い屋根の住宅が見られた（写真21～24）。これは、被災した家屋の屋根の補修に青色のビニールシートを用いたものと思われ、被害が高台の住宅にまで及んでいたことが分かった。

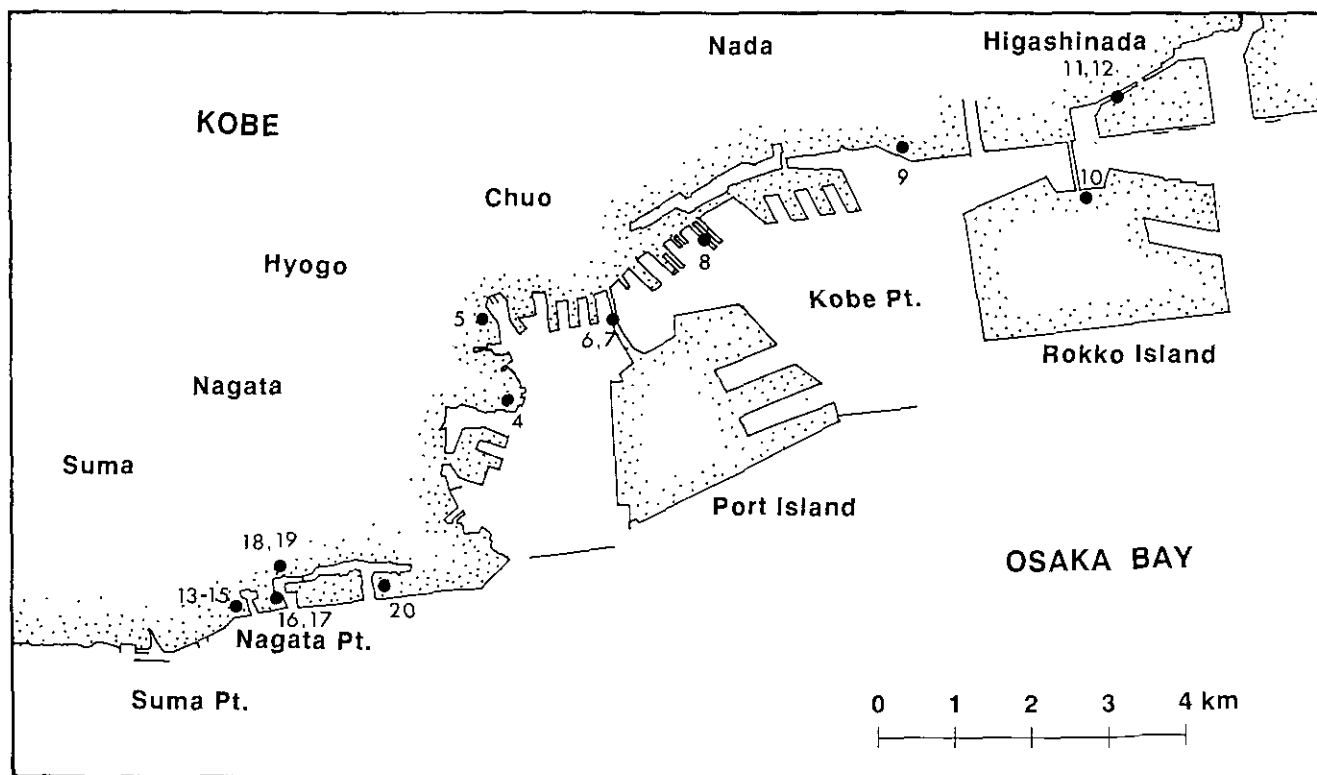


図3 神戸港等写真撮影地点

4. まとめ

巨大なコンクリートの塊である防波堤や岸壁が、軒並み、波を打ったように変形しており、本来あるべき水平的な「直線」が見られなくなっているのは、驚異であり、また、地震の持つエネルギーの大きさに驚かされる。修復には長い年月と巨額の費用が必要であろうが、一日も早い復興を願うばかりである。しかし、復興を急ぐあまり環境への配慮が疎かになってはならないし、再び「公害」を呼び起こしてはならない筈である。今、震災を機に建築物の基準を見直す気運があるが、環境についても足元から考え直す良い機会なのかも知れない。



写真-1 兵庫県調査船「こんべき」



写真-2 明石市地先ののり養殖場

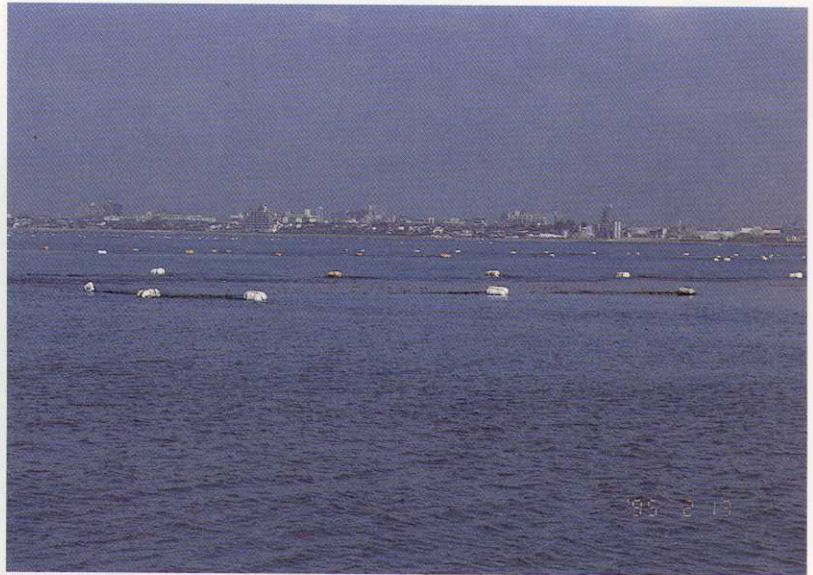
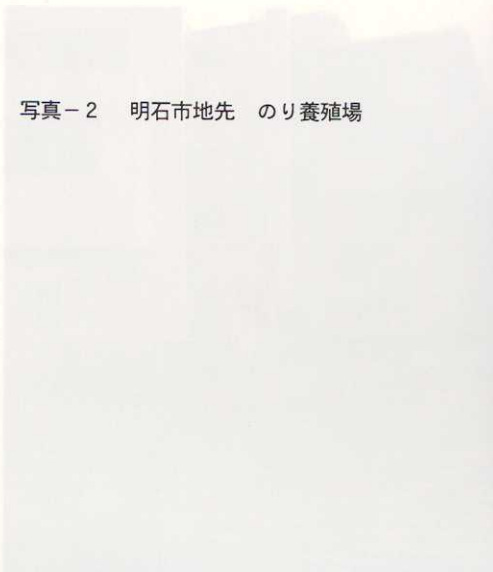


写真-3 鹿野瀬 のり養殖場





写真-4 神戸港 中央区東川崎町 クレーン・建物等損壊

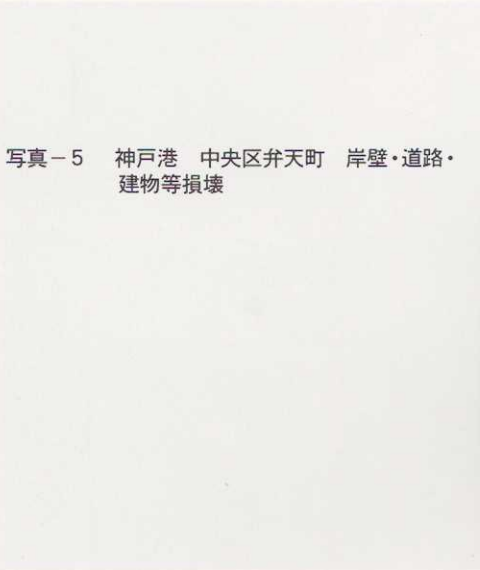


写真-5 神戸港 中央区弁天町 岸壁・道路・建物等損壊



写真-6 神戸港 神戸大橋下 岸壁・照明等損壊



写真-7 神戸港 神戸大橋下 港湾施設損壊

写真-8 神戸港 中央区小野浜町 港湾施設損壊



写真-9 神戸港 灘区灘浜町



写真-10 神戸港 六甲アイランド六甲大橋下

写真-11 神戸港 東灘区魚崎南町 岸壁・建物
損壊



写真-12 神戸港 東灘区魚崎南町 岸壁損壊・
建物傾斜



写真-13 長田港 岸壁損壊

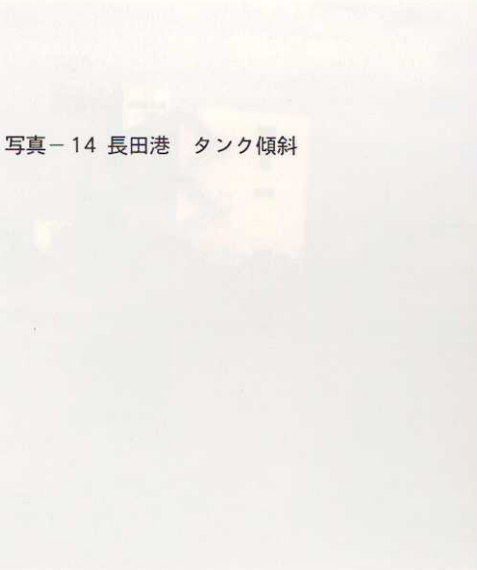


写真-14 長田港 タンク傾斜



写真-15 長田港 岸壁損壊



写真-16 神戸市長田区南駒栄町 防波堤損壊

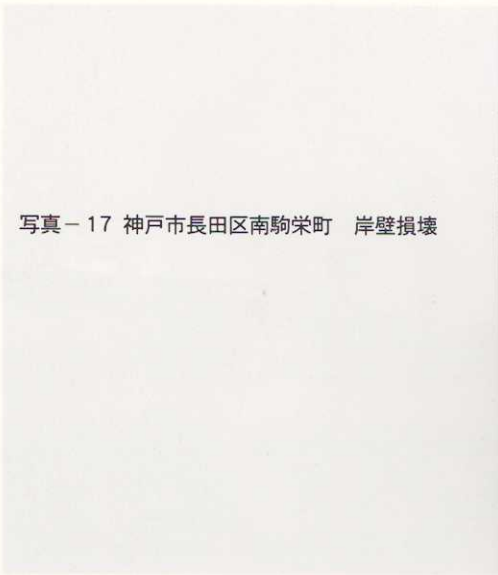


写真-17 神戸市長田区南駒栄町 岸壁損壊



写真-18 神戸市長田区南駒栄町 岸壁損壊





写真-19 神戸市長田区南駒栄町 岸壁・煙突
等損壊

写真-20 神戸市兵庫区遠矢浜町 岸壁損壊



写真-21 神戸市須磨区 青色屋根の被災住宅



写真-22 神戸市須磨区 青色屋根の被災住宅

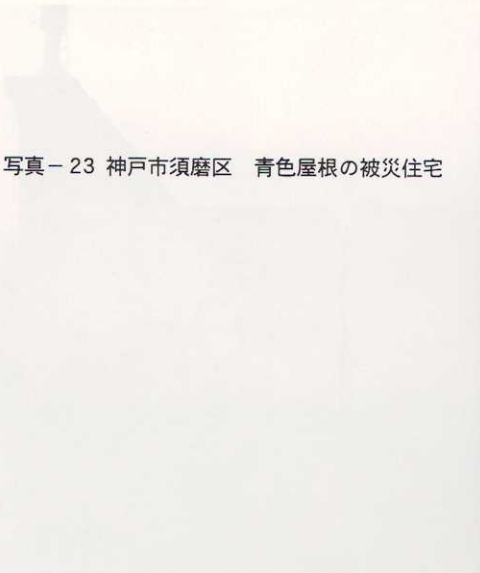


写真-23 神戸市須磨区 青色屋根の被災住宅



写真-24 淡路島北西部 青色屋根の被災住宅

自動車交通および大気環境を中心として

地域環境研究グループ交通公害防止研究チーム 森口 祐一
都市大気保全研究チーム 若松 伸司

1. はじめに

阪神淡路大震災に伴い、阪神高速道路神戸線の高架橋の倒壊をはじめとする道路網の被災と迂回路の大渋滞、ビル解体による粉じんやアスベスト問題、震災廃棄物の野焼きによる大気汚染など、大気環境に関する問題も数多く発生してきている。今回の被災地域には、従来より自動車交通公害や春季のNO_x汚染に関して、兵庫県、西宮市等の地元自治体との共同調査研究の対象地域としてきた場所が含まれており、震災直後より地元の関係者と情報交換を続けてきた。本稿では、自動車交通および大気環境に関する問題を中心に、震災後の現地調査結果と、震災復興に伴う問題を含めた今後の検討課題についてまとめる。

2. 現地調査の概要と主な調査対象

2.1 第1回調査（2月12日～14日）[若松・森口]

- ・兵庫県立公害研究所内の被災状況
(奥村主任企画官、森田部長をはじめ約10名で訪問)
- ・兵庫県立公害研究所付近の被災状況（鷹取駅南東側の焼失地区等）
- ・阪神高速神戸線被害状況（東灘区深江本町の倒壊現場周辺、芦屋市宮川町周辺、西宮市甲子園周辺）
- ・大気汚染常時監視局の被害状況（芦屋市打出測定局、西宮市環境監視センター）
- ・市街地の建物被害状況（JR芦屋駅周辺、三宮周辺）
- ・震災廃棄物の野焼き状況（西宮市甲子園浜地区、宝塚市すみれが丘地区）

2.2 第2回調査（3月13日）[森口]

- (環境庁大気保全局小野川課長、宮崎課長、平井専門官らによる現地調査に同行)
- ・阪神高速道路神戸線被害状況（西宮市浜脇町～津門川町付近）
 - ・国道171号線高架落橋現場（阪急今津線門戸厄神駅付近）
 - ・自動車排出ガス測定局被害状況（西宮市津門川測定局、六湛寺測定局、河原測定局）
 - ・西宮市役所庁舎、大気汚染常時監視テレメータ親局被害状況

2.3 第3回調査（4月12日）[森口]

- ・阪神高速道路神戸線／浜手バイパスの被害状況（中央区海岸通・ハーバーランド周辺）
- ・元町駅付近ビル解体現場
- ・阪神高速道路湾岸線住吉浜ランプ建設予定地
- ・東灘下水処理場
- ・神戸市東部自動車排出ガス測定局

・神戸商船大学小谷助教授（ひょうご創世研究会メンバー）との意見交換

3. 道路構造物の被害状況と震災後の交通状況

阪神淡路大震災の被害は多岐にわたるが、阪神高速道路3号神戸線の高架橋の倒壊・落橋は、土木技術の「安全神話」を崩壊させるに足る象徴的な出来事であった。神戸市東灘区深江本町付近では、約600mにわたりピルツ構造（橋脚と橋桁を鉄筋コンクリートで一体化したもの）の高架橋が、その下を走る国道43号線の北側（大阪方面行き）車線上に倒壊した。倒壊した高架構造物は早期に撤去され、2月12日の調査時には、橋脚のあった中央部も整地されている〔写真1〕。高架橋という覆いが撤去されたことにより、43号線上には広い空を望むことができる。国道43号沿道には、公害対策のための緑地帯が設置されているが、高架橋の倒れた側では所々で損傷がみられる〔写真2〕。高架橋の復旧工事の用地確保のため、一部区間ではこの緑地帯も一次的に撤去されるようである。

倒壊した区間以外でも、橋脚の座屈のために橋桁が波打っているところ〔写真3〕がある。桁の落下防止のため、随所で鋼材による仮補強が行われている。この付近の43号沿道でも木造家屋の倒壊が随所にみられた〔写真4〕。

高架橋の落橋した区間の中には、橋脚を残して桁から上部のみが撤去されたところもある〔写真5〕。落橋には至らなかったものの、橋脚と橋桁をつなぐヒンジ部分が押しつぶされたり、桁の位置がずれたり、橋脚が傾いたりして、桁が橋脚の端にかろうじて乗っている状態のものが多数みられた〔写真6〕。神戸市中央区元町駅南側でも阪神高速神戸線の高架橋が撤去されていた〔写真7〕。これは、車線数が少なく、桁の落下防止のための鋼材を組むスペースがなかったための措置のようである。近くを走る浜手バイパスの高架橋も落下を免れたものの桁が大きくずれている〔写真8〕。

西宮から神戸にかけての区間では、上下各4車線計8車線の国道43号線の上に、上下各2車線計4車線の阪神高速道路神戸線が通り、合計12車線の交通量は1日20万台をこえていた。2月時点で供用されていたのは国道43号線の上下各2車線のみであるが、厳しい交通規制が敷かれていたため、43号上では渋滞は見られなかった。これに対し、平行する臨港線などの東西道路には車があふれていた〔写真9〕。

西宮市中心部から伊丹・豊中方面へ伸びる国道171号線は、阪急電鉄今津線をまたぐ高架橋が損壊して不通となり、ここでも橋脚を残して上部が撤去されている〔写真10、11〕。迂回路にあたる南北方向の道路は渋滞がひどかった。

阪神高速道路湾岸線は、いくつかの箇所では橋桁の落下やずれが生じたが、供用後間もない新しい構造物であり、神戸線に比べれば早い復旧が予定されている。供用区間の西端にあたる神戸市東灘区魚崎浜と住吉浜との間が結ばれば（〔写真12〕：左手が魚崎浜、右手が住吉浜、正面は六甲アイランド）、住吉浜以西のハーバーハイウェイ等の既設道路との連結により、湾岸部の道路が西へ伸びる。今回の震災で大きな被害を受けた阪神高速3号神戸線の代替ルートとして、その早期建設を望む声がある。

4. 大気環境測定局の被害状況

第1回現地調査の際には、庁舎の損傷のため仮設庁舎に移った西宮市環境監視センターを訪問し、一般環境大気測定局、自動車排出ガス測定局の被害について担当者から状況を伺った。機器の横転などが相次いでも

の、復旧、機器調整を行った結果、大半の機器が再稼働を始めているとのことであった。また、3回の調査の中で、国道43号沿道の芦屋市打出局、西宮市津門川局、神戸市東部局、国道2号沿道の西宮市六湛寺局、国道171号沿道の河原測定局の自排局計5局を訪問し、周辺の状態を調査した。自排局の建屋には損傷はみられなかった。交通状況については、(平成5年4月に集中観測を行い、交通量の連続測定を行った時に比べ)、国道2号で交通量、大型車混入率とも増加しているように感じられた。国道43号は車線削減と交通規制のために、また国道171号は写真10, 11に示した箇所の落橋・通行止めのために、平時よりも交通量が大幅に減少しており、チャートを目視した限りではNOx等の濃度も平時より低いようであった。

第2回の調査時には、建物の損壊のため立入禁止となっている西宮市役所本庁舎8階の西宮市環境監視センターを見せていただいた。ここは、平成5年4月の関西地域春季高濃度大気汚染集中観測の際の観測拠点の一つとして利用させていただいた場所である。庁舎は外から見る限りでは大きな被害は認められないが、上階に行くに従って内部の損壊がひどくなり、壁のX字状の損壊が目についた〔写真13〕。最上階にあった環境保全課や環境監視センターの事務スペースは仮庁舎へ移設されている〔写真14〕。隣室にあるテレメータ親局の設備は庁舎内に残されていたが〔写真15〕、近く移設される見込みとのことであった。磁気テープ装置は転倒したのか、扉に折れ曲がった形跡があった〔写真16〕。庁舎屋上に設置された西宮市役所局は気象関係も含めて測定項目が多く、平成5年春の調査でも活用させていただいたが、これも移設になる見込みであり、観測データの連続性が失われるのが惜まれる。気象関係の測定機だけでも現在の位置に残せないかどうか、検討をお願いした。

5. 震災に関連する大気環境問題

(1) 廃棄物の野焼き

震災で倒壊した木造家屋の廃材は、山間部や埋め立て地の廃棄物処分場などに運ばれ、減量化のため、一部で野焼きが行われている。第1回の調査時に西宮市甲子園浜および宝塚市すみれが丘地区の現地調査を行った。甲子園浜は、北側数百mの位置に浜甲子園地区の住宅地があり、海風が発達する昼間には住宅地が野焼き現場の風下側に位置する(本資料の平田氏の報告参照)。一方、宝塚市すみれが丘地区は、山麓の高台に高層マンションが立ち並ぶ地区であり、谷間にある採石場で野焼きが行われている〔写真17〕。住宅地は野焼き現場を見おろす位置にあり、谷筋に沿った気流の影響もあるためか、焼却灰の飛来が認められた〔写真18〕。

(2) ビル解体粉じん

市内中心部では、損壊したビルの解体が随所で行われており〔写真19〕、放水などの対策もとられているようであるが、粉じんの飛散は防ぎきれないようである。アスベスト等の飛散も憂慮されているが、これについては環境庁大気保全局による緊急モニタリング調査が実施されていた〔写真20〕。

6. 震災復興過程における環境配慮について

震災から立ち直るために、一日も早く元の状況に復旧したいとする地元被災者の願いに、当事者以外の者が口を挟むべきではないかもしれない。しかし、建物や基盤施設が大きな被害を受け、都市の大規模な作り直しが必要な現在、これまで蓄積されてきた過密都市の環境問題を抜本的に解決・改善するための機会が与

えられているとの見方もできよう。

こうした中で、3月に神戸の学識経験者らで作る「ひょうご創世研究会」がとりまとめた震災復興に関する提言は、環境面から注目すべき内容を多く含んでいる。この提言では、一部区間で高架橋が倒壊した阪神高速道路神戸線の復旧を中止し、湾岸線方面への交通誘導を行って、国道43号線・阪神高速道路による道路公害問題を解決することも提案している。今回のような非常時において、こうした大胆な提言を実現していくには、政策決定プロセスの大きな変革が必要であろうが、天災を都市環境問題改善の一つのきっかけととらえる柔軟な発想も必要であろう。

国立環境研究所ではこれまで、道路構造を考慮した沿道大気拡散シミュレーション手法や、道路網の再編による交通流変化とこれによる大気環境影響のシミュレーション手法を開発しており、道路網再建のさまざまな代替案について、環境面からアセスメントを行う際の技術的支援が可能である。アセスメントの手続面からの議論もあろうが、こうした場合にも、あるいはこうした場合であるからこそ、環境、防災などのさまざまな要素を考慮した代替案の比較検討が重要ではなかろうか。

こうした観点から、筆者の一人（森口）は土木学会環境システム委員会に設置された「サステイナブルリビルディング研究小委員会」に加わり、「持続的発展」と震災復興とを如何に調和させるかについての検討に参画している。

[参考]

「土木学会環境システム委員会サステイナブルリビルディング研究小委員会」について

標記委員会は、震災後の困難な中でも、地球的自然と地域社会の持続可能性に配慮しつつ復興計画を立案し、事業を展開することを命題として調査研究をおこない、提言を行うことをねらってネーミングされたものである。内藤正明京都大学教授を委員長、盛岡通大阪大学教授を副委員長として、大学、官庁の研究所、民間コンサルタント等の専門家20名余りから構成され、環境重視の復興計画の緊急提案にむけて活動している。

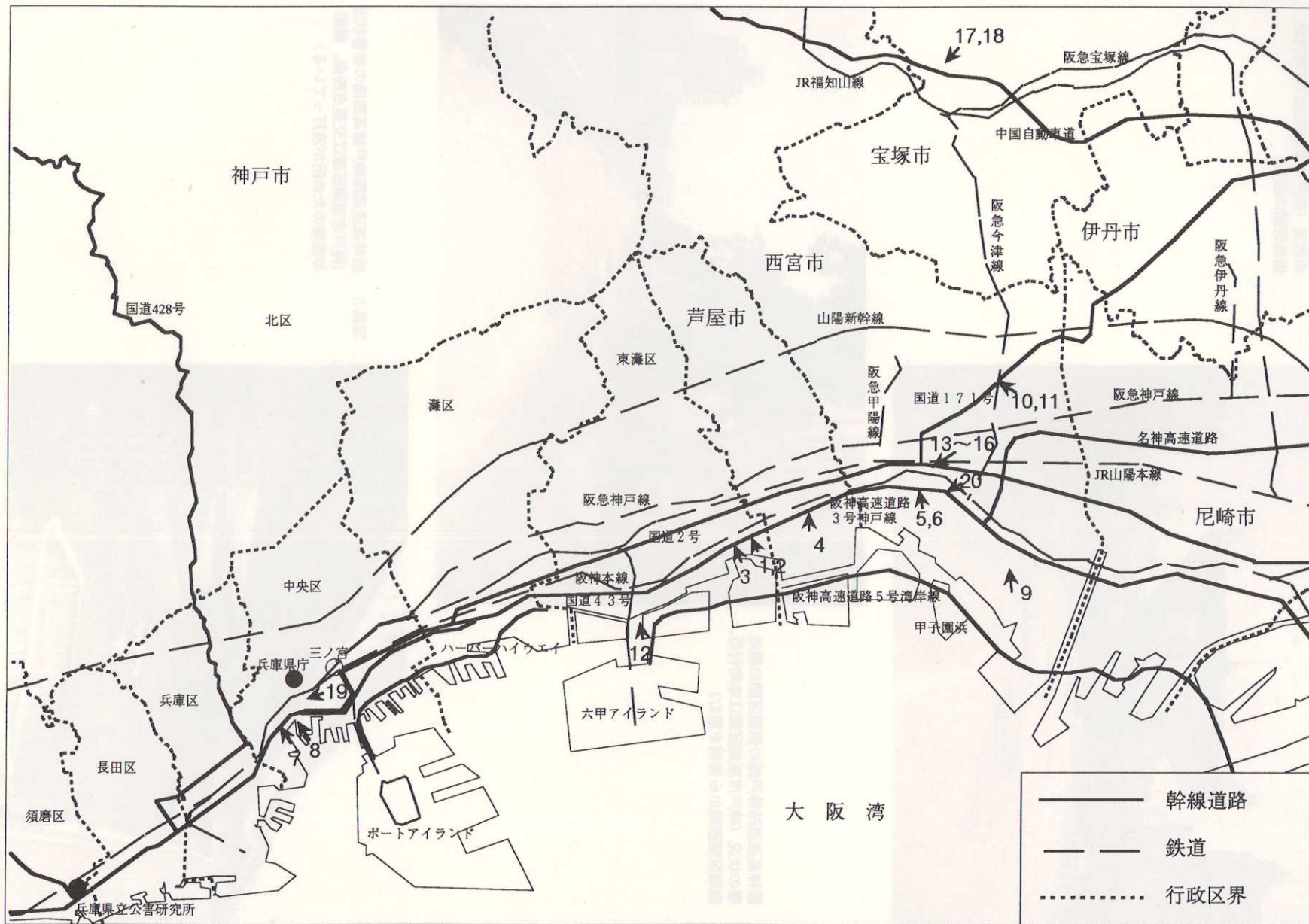


図1 現地調査の対象地域 (図中の数字は写真の番号と対応)



写真1 倒壊した阪神高速道路神戸線の撤去後の状況（神戸市東灘区深江本町付近、倒壊区間の西端）



写真2 阪神高速道路神戸線の倒壊区間の緑地帯の状況（神戸市東灘区深江本町付近、倒壊区間西端から東側を望む）



写真3 阪神高速道路神戸線高架橋の被害状況（神戸市東灘区深江交差点西側。橋脚の損壊のため桁が波打っている）





写真4 国道43号沿道の家屋の被災状況
(芦屋市宮川町付近)

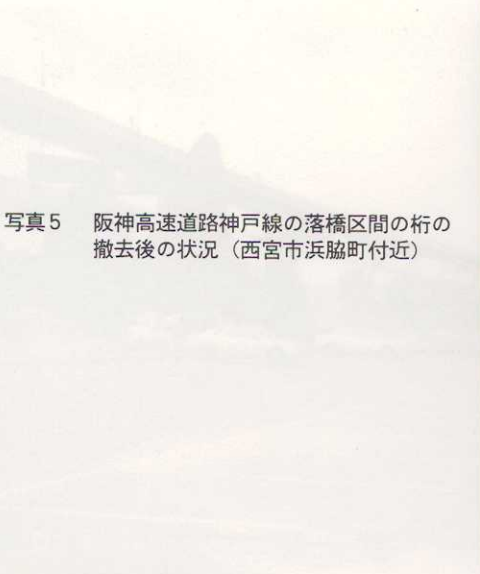


写真5 阪神高速道路神戸線の落橋区間の桁の
撤去後の状況 (西宮市浜脇町付近)



写真6 阪神高速道路神戸線の高架橋桁の損傷
状況 (西宮市浜脇町付近)





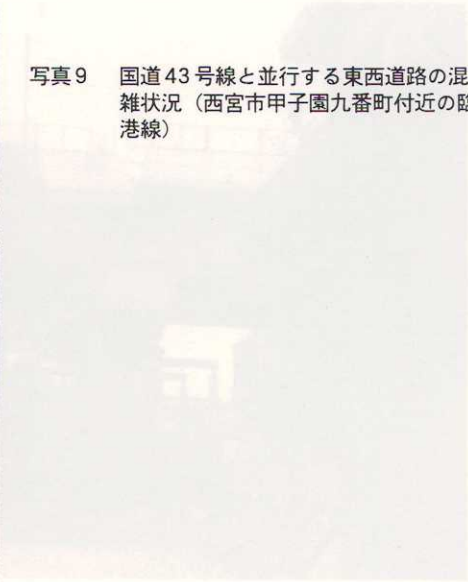
写真7 阪神高速道路神戸線高架橋の撤去後状況（神戸市中央区海岸通付近）



写真8 浜手バイパスの高架橋の損傷状況（神戸市中央区メリケン波止場付近）



写真9 国道43号線と並行する東西道路の混雑状況（西宮市甲子園九番町付近の臨港線）



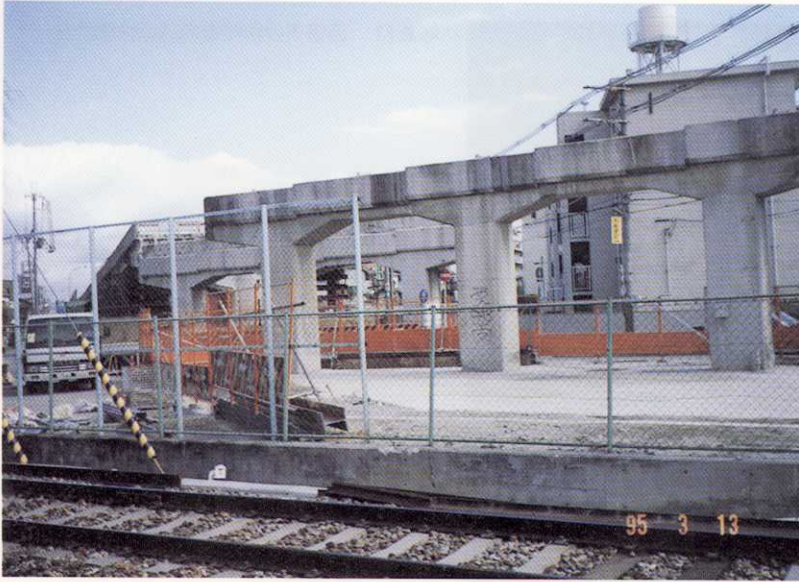


写真10 国道171号線の落橋現場（阪急電鉄今津線門戸厄神駅南側 門戸高架橋）

写真11 国道171号線の落橋現場（阪急電鉄今津線門戸厄神駅南側 門戸高架橋）



写真12 阪神高速湾岸線の西端、住吉浜ランプ建設計画地（神戸市東灘区魚崎南町から六甲アイランド方面を望む）



写真13 西宮市役所庁舎内部の損壊状況

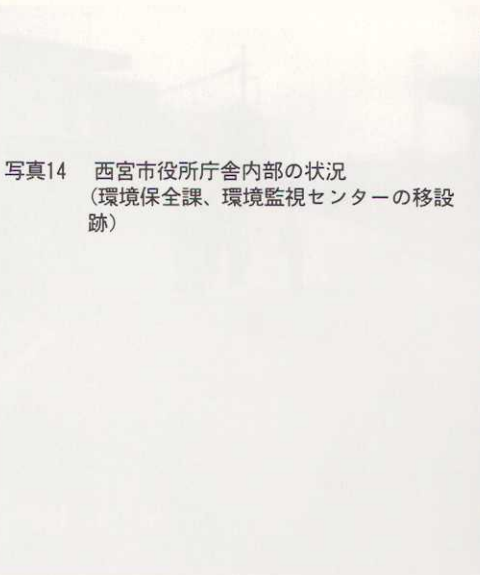


写真14 西宮市役所庁舎内部の状況
(環境保全課、環境監視センターの移設跡)



写真15 西宮市テレメータ室の状況

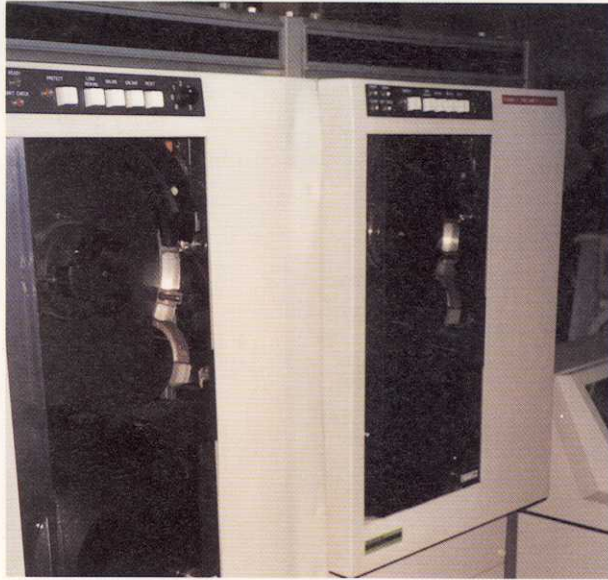


写真16 西宮市テレメータ親局電算機の磁気テープ装置の損傷状況

写真17 宝塚市内における震災廃材の野焼き
(すみれが丘地区から採石場の野焼き現場を見おろす)



写真18 野焼き現場近くの住宅地の駐車場への灰の飛来(宝塚すみれが丘地区)



写真19 神戸市内におけるビルの解体現場（JR元町駅南側）

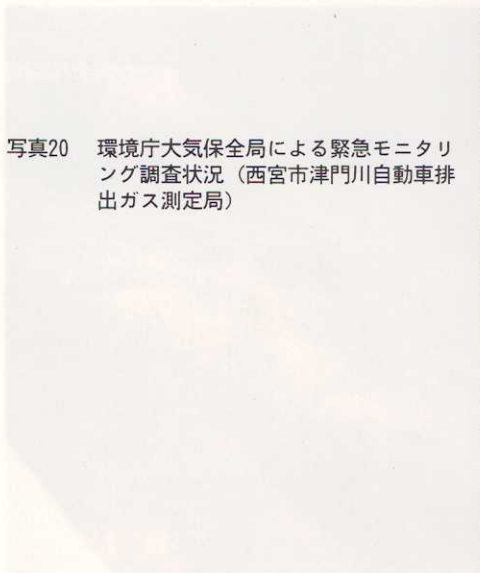


写真20 環境庁大気保全局による緊急モニタリング調査状況（西宮市津門川自動車排出ガス測定局）



図1-8 調査員の防護具の着用状況（調査員）
（図表3-14の「調査員」参照のこと）



廃棄物と下水について

地域環境研究グループ 平田 健正

1. 調査の目的

直下型地震は、地質的には小規模であっても地下の断層が動くことによって、きわめて短時間の間に地上の構造物に大規模な被害をもたらし、多くの人命も奪う。災害そのものが地下で生じる現象であり、活断層の動きによって直接的に地質構造が破壊され、それによって地下水の流れも大きく変化する可能性もある。地上にある貯蔵タンク類の破損と液体の地下浸透、貯水池からの漏水なども考えられる。こうした地震災害に伴う環境影響を2月13日、14日の2日間ではあったが、主に

- ①倒壊家屋等の処理に伴う廃棄物の野焼き状況、
- ②東灘下水処理場の状況、
- ③ガソリンスタンドの破損状況

を中心に現地踏査を行った。

2. 調査内容

①布施畑最終処分地での野焼き

2月13日の午前中に兵庫県立公害研究所をお見舞いした。研究所の建物にはクラックは入っていたが、かなり古いものもあり、今回の地震による直接的な被害は建物自体にはあまり認められなかった。よほど堅牢に設計されていたのであろう。ただし、分析機器類は地震によりかなり動いており、使用不能の機器類が多数見受けられた（写真1）。破壊されたパソコン、床に落ち、さらに落下した溶剤で読みとり不能になったフロッピーディスク（写真2）などを目の当たりにすると、営々と築いてきた財産が一瞬のうちに破壊される地震災害の甚大さや無念さ、失うものが余りにも大きいことが実感される。

午後に、瓦礫を満載したトラックに挟まれ布施畑最終処分場に向かう。この処分場ではかなり大規模に野焼きが行われていた（写真3、4）。焼却処分は廃棄物を減量するための中間処理として必要不可欠ではあるが、焼却処分に伴い非意図的ではあっても微量有害物質の生成することが指摘されており、十分な管理の下で行う必要がある。また、これまでそうされてきた。ところが、地震災害という突発的で未曾有の大災害を招き、膨大な瓦礫の山を前にして、緊急避難的対策であるといっても、大規模な野焼きは残念でならない。

②東灘下水処理場

2月14日は、高砂を出てJR明石駅経由で神戸着、高速神戸より山陽電鉄で三宮、さらに阪神電鉄代替バスにて御影着。御影駅より阪神電鉄にて魚崎駅に着き、東灘下水処理場をめざす。その間、東クリーンセンターに向かう廃棄物運搬車が多数みられた。東灘下水処理場では、処理場外からの目視ではあるが、かなりのダメージを受けている。下水臭もかなりひどい。周辺から少しではあるが処理水らしき水が側溝に漏れ出ている。液状化により噴出した細砂も周辺に見らる。円筒タンクに近い（直径20から30m程度）汚泥の濃縮施設も青いシートが掛けられている（写真5、6）。その反対側の同じ規模のタンクが傾いており、当分復旧しそ

うにない。また、報道されていた水路も締め切ろうとしているようであったが、この時点ではまだ完全には締め切っていない。

下水処理場を後に、阪神電鉄青木駅を目指す。青木駅の駅前には、テレビ報道にもあったように、火災による被害甚大。バラックとみられる家屋の火災跡が多数ある。道路側溝から水がわき出ている、初老のご夫婦がその水を汲んでいる。細い塩ビパイプが挿入されており、水道水のように見えるが、ご夫婦に確認するとそのようであるとのこと。

③ガソリンスタンドの破壊状況

芦屋駅より東灘阪神高速倒壊現場を目指す。倒壊現場にて、当然あるべき高架橋がない（写真7）。この部分以外にも高架橋に多くの損傷部分を見る。倒壊区間630mで確認したガソリンスタンドは7ヶ所、内1ヶ所だけが被害がひどく、当分の間営業を停止するとの張り紙があった（写真8）。ただ火曜日は休業日とのことなのでいくつかの事業所は営業をしていなかった。全体として、建屋の被害は外見からはほとんどなく、タンク車から給油している営業所もあった。ただし建屋が無事でも、地下に埋設されたガソリンタンクの状況については全く分からず、石油類の漏洩の有無は不明。

神戸商船大学を経て、青木駅を目指す。途中、家屋の倒壊がひどく、青木駅からさらに魚崎駅まで踏査する。途中、復旧作業が始まっており、数多くの倒壊家屋の撤去作業が見られた。特に、阪神電鉄線路に沿った家屋の倒壊がひどく、献花もみられる。

魚崎駅より浜甲子園の野焼き現場に向かう。甲子園駅より球場を経て、浜甲子園を目指す。浜からは2本の煙が見えるが（写真9）、詳細は不明。そのため、連絡橋を渡り、処分地に向かう。途中、連絡橋の手前でトラック待ち時間1時間の掲示があり、布施畑の廃棄物運搬と同程度の廃棄物の持ち込みはありそうであった。この道路沿いにも液状化による細砂の噴出が多数見られ、甲子園浜にも規模の大きいき裂が走っていた。湾岸道路に沿って野焼き現場近くまで進むが、煙を確認するのが精いっぱい、それ以上の調査は無理。布施畑と比べて野焼きの規模はかなり小さそうであった。ただし、甲子園浜でかなりの臭いがあり、風向きによっては住宅地に煙が向かう、特に、沿岸は毎日海風・陸風が繰り返されており、臭いは必ず確認されるはずである。



写真 1 兵庫公害研究所の内部

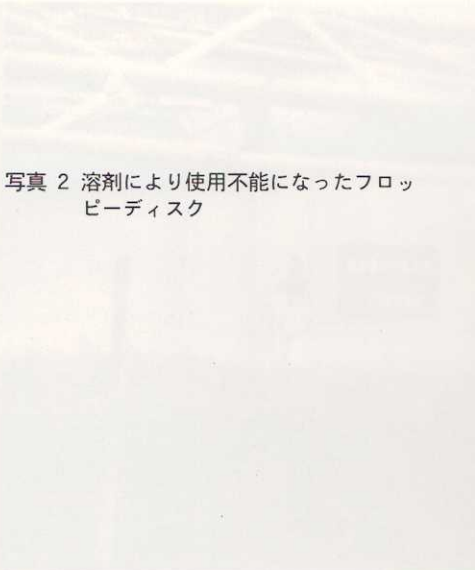


写真 2 溶剤により使用不能になったフロッピーディスク



写真 3 布施畑最終処分場での野焼き

写真 4 布施畑最終処分場での野焼き



写真 5 東灘下水処理場のタンクの破損状況



写真 6 東灘下水処理場のタンクの破損状況





写真 7 阪神高速道路の倒壊現場

写真 8 ガソリンスタンドの状況



写真 9 甲子園浜から見た野焼きの状況

阪神淡路大震災時のネットワークの活用と現地の状況

地球環境研究グループ 功刀 正行

今回の阪神淡路大震災では様々な貴重な体験を致しました。一つは、震災後比較的早い段階からネットワークを通じて現地の生の状況が入ってきたこと、今一つは震災後約1月経過した現地を訪問できたことです。ここでは、これらの経験を紹介させていただきます。

1. パソコン通信に寄せられた被災時の状況

今回の阪神・淡路大震災の第一報に接したのは、研究所に出勤してパソコン通信にアクセスした時であった。パソコン通信の各フォーラムでも、当初現地からの情報がほとんど入らず、皆各種報道で刻一刻と被害の実態が判明して行くにつれ、そのあまりの被害の大きさに呆然とする一方、個別の情報不足により大混乱を来していた。当然であるが電話はほとんどつながらず、現地の詳細な情報が入らず、心配が募る一方であった。そんななかで震災で様々な試薬や機器などを保有する研究機関などがどのような被害状況であったかを、比較的早い段階で関係者の安否を含めてパソコン通信で知ることができ、怪我程度で全員無事であることが確認できほっと胸を撫でおろした。今回の地震の真っ只中におられたある研究者の生の声を許可を得てここに御紹介する。今後、我々自身が地震対策を考える上でも参考になることが多いと思う。なお、個人名や個人的な内容の一部は了解の上で削除していることをご了承いただきたい。

Tuesday, January 17, 1995 1:17:11 PM

タイトル: **NET HDD クラッシュ?

本日未明の神戸沖地震で コンピュータ類被害

震源地は東経135度 北緯34.6度

**NETの近傍です。

1Fのため 本棚/食器棚が倒れて CRT他機器落下

電気が復旧して立ち上がりました。時々HDDがおかしくなります。

たぶん いくつかのセクタが死んでいるかもしれません。

まわりは道がひび割れたりマンションの壁に大きなヒビがはいったりしています。

とりあえず無事で生きていることだけ報告します。というのも通常寝ているあたりに本棚が倒れてきてそのまま寝ていたら頭に扉のガラスと本が直撃するところでした。徹夜で別室にて仕事していたので 助かりました。

ものすごい怖かったです。停電になり 割れた食器で足の裏を切りながらガスの元栓だけ閉じて寝室に移動。真っ暗闇の揺れる最中いろんなものが落ちてきて廊下は歩きにくい 懐中電灯を取り出して安否の確

認。その後も余震が起こる。車の中で明るくなるまで待機。電気が復旧してケーブルを接続すると不安定ながら立ち上がる。

とりあえず 第1報。

Tuesday, January 17, 1995 9:48:09 PM

タイトル： 地獄のような火です

火事の中を避難する皆さんが無事でいらっしゃることをお祈りします。

近くの新幹線の線路が橋のところで落ちています。

西区伊川谷の川の所です。

***** 元気でいます。個々のメールに代

95/01/21 03:39

接続成功 早朝の東京AP 昼間は無理でした。

皆さんのはげましありがとうございます。

私は元気です。ご心配なく。

かすり傷程度はあっても まず研究所の全員の無事だけを報告しておきます。

電話回線は悪くアクセスしても東京APも話中音になります。

この話中音みたいなのは 実は回線がパンクしているっていう信号のようです。

研究所への電話もかかりにくいのですが 研究所から外へは全くかかりません。

神戸の被災地周辺の電話事情は改善されつつあるとはいえ まだむずかしいです。

研究所がめっちゃめっちゃで部屋にドアから入ることができません。

ベランダの方から実験機の上を移動する状態です。

とりあえず室内のコンピュータは机の上に残っていません。

HPLCは廃棄するほうの機器が机の上に残り 新しいほうは床に落ちました。

教訓です。皆さん 各種機器の下にゴムを敷くなど衝撃を吸収するものを準備してください。また機器そのものを固定するなどの処置をしてください。

GC/MSは室内を1m程度移動し壁に激突していました(写真1)。

冷蔵庫の試薬は衝撃吸収するものをつけていたので危険物は割れませんでした。

標準物質のカプセルは冷蔵庫をひっくりかえしても割れないような工夫をしましょう。そして割れても他に混じらないようにタッパウェアなどで別々に分けておきましょう。

電気水道ガスがだめですから 懐中電灯で危険物の処理をしました。

発煙硫酸/エーテル/溶剤他を余震が来てもいいように割れないような工夫をする。

研究所は昔 池だったところを埋め立てて建てているので

液状化現象でグラウンドに黒い土が噴出しています。

また建物も研究所の周囲は最大18cm程度ずれています。

壁や廊下にひびもはいたりしています。

敷地はアスファルトがあちこちにひびが入り

***さんにメールしようとした転送ファイルもコンピュータが壊れて消失している

かもしれません。CRTはブラウン管が壊れてHDDが床に落ちているのでどうなっているか わかりません。

西区も伊川谷周辺は新幹線の高架が落ちたところで 家のまわりのビルはヒビがあったり道路もアスファルトにひびが入ったりしてずれています。相当大きな力が道にかかっているようです。西区はたいていガスが出ているのですが我々の周辺は止まっています。

余震が何度も来るので 寒さで震えて揺れているのと 子供が暴れて震えているのと 本当の余震と区別がつきにくくなっています。子供は夢で何度もうなされ地震の夢で泣き出します。外を時折走る消防自動車。

新聞紙をひいて用を足す秘技もつかめました。飽食の世界から一転しての道路の水をすくって飲み水にする映像は ほんとうに大切なものがなにかを示しています。資源やエネルギーを無駄に浪費するのではなく大切に使いとヤイトされたのかもしれません。水がどんなに大切か知らされました。今年のかんばつ断水騒ぎにも

今回感じたことは 生活必要物資の平等な配布システム 情報の伝達システム広報のシステム がむずかしいということ。

飽食の日本 ものはたくさんある。しかし届かない。京都府夜久野町から給水車が小学校に来る。長い間寒いなかを並んでもらえる人と もらえない人とある。

近所がバラバラの世の中 たりないものをわけあうというのがむずかしいのだろうか。

地震で家が全壊し火災がどんどんひろがり避難している人々の気持ちとは離れて大手のマスコミは関西は安心しきっていて油断があったとか地震で崩壊した責任論議 道路の安全性がどうなのかという外野席の評論と被災地の悲惨なレポートにあけくれる。その中で地元のTVだけは 比較的住民サイドの必要情報を流したりする。

ラジオとTVしか情報を伝えるものがないとき お説教はあとでいい とにかく被災者を少なくするてだてと情報を適切な時間に告知することが必要だ。どこへ行けば何をもらえるのか。スーパーや食料品店に長蛇の列を伝えるのみでは我先に買い占めに走るばかりだ。

お金がない。一円もない それでも配布出来るシステムを作らないといけない。ものはたくさんある。スムーズに流す。そのためにも 被災地周辺への車での移動は堪忍してほしい。板宿から歩いて研究所までの道変り果てた風景に涙が出る。その中を緊急自動車が通れないような車の渋滞。遠くから駆けつけてくれた物資輸送の車に混じって遊びに来ているのか見物に来ているのかチャラチャラした車にムッとする。

自転車/バイク以外は被災地に近づくな物資輸送は公共の公共へのものを優先して個人から個人は徒歩/自転車/バイクにしてほしい。自動車入れるな被災地に。被災しているじいちゃんの「役所がいっしょうけんめいしてくれてるのはわかる。そやけど腹がすいてしゃあない。さむーてしゃあないんや」こういう人に毛布とにぎり飯がスムーズに届くようにしてほしい。救急車が病院に行けるようにしてほしい。

いつ どこで どのように支給するかということが はっきりせず混乱している。並ばなくてもいいシステムを作るべきだ。自治会なり地域グループへの一括配布。住民による主体的な配布 人望のある人がまとめる。被災地なら出来るが被災地周辺はかえって差がでてしまうようだ。

オイルをいれていたバケツに井戸水をもらいました。おにぎりがとてもおいしいです。そのままは飲めないが沸かすといいといわれています。

背の高い本棚のガラス扉が頭に激突するところでした。

5:46はせかされた学会の要旨がなければ寝ていたかもしれません。

4:00ころにもう辛抱たまらんほど眠くなってふとんに入ろうとしたのですが「17日あたりには要旨を出してな」と言われた言葉で 再度コンピュータに向かってました。そういう意味では**さんは恩人です。眠りの誘惑に負けてちょっと一服と寝ていたらガラスと重い本が私の頭を直撃していました。

突然の揺れと停電大音響ガラスの割れる音 真っ暗闇の中 足の裏をガラスで切りながらガスの元栓を閉じて助けを呼ぶ声に懐中電灯をさげて家族の寝室に移動 ふとんをあたまからかぶせて 子供を抱きかかえて泣き叫ぶのを落ちつかせ ゆれがすこし収まったらすぐに荷物をまとめ外に出た。車でニュースを聞くと地震だった。

ほんとうに何が大切かということが少しだけわかった気がします。

頭の中を反映して 順不同バラバラに書いていますが 失礼します。

もう一度の書き込みが遅れるかも知れませんがお許してください。

***** 経過報告

95/01/22 08:29

地震は怖いです。

研究所の建物が歪みをもっています。西半分はBF-6F 東半分は1F-6Fですが両方のブロックは一体型になっていて 別々の独立した構造になっていません。西半分の南で約20cm 浮いていて南から北に歪みがかかっているように思われます。北西の角の柱に亀裂があり 歯そう膿ロウの歯みたいです。東半分の南側は柱が浮いています。今日も出勤して整理をしたのですが階段を上るときとか廊下を歩くとき建物が揺れているよ

うな気がします。専門家の診断を要請しています。共鳴というかつり橋を渡るときだんだん揺れが大きくなることがありますね。あんな感じで非常に小さい振動が共鳴しだして少しは感じる揺れになっているのではないかとあくまで主観的な感想ですから思い込みかもしれません。でも3日連続して廊下を歩いての直感なので杞憂にならなければと思います。

(注) その後専門家の調査で、建物は同程度の地震があっても大丈夫との診断がでたそうです。

***** 余震が心配です。

95/01/23 06:57

転倒防止の件ですが 実例をあげておきます。

研究所に結合したデスク 例えば天秤をのせるための台などは建物と同期して振動します。それに対してキャスターつきの台は振動をもろに伝えるのではなくて吸収しながら揺れるわけです。天秤を載せるしっかりした台に載せていた機器は被害が大きく 安物の台に載せていた高さの低い機器で重たいもの底面積が大きいものはおちなかったです。

どれだけ安定しているか どれだけ歪がかかりにくいかが上が重くて不安定なものはこけます。

冷蔵庫ですが下に車がついているやつは倒れる確率が低いようです。

低いものはゴムを引いて机に固定し 高いものは固定すると倒れやすいかもしれません。重心の位置が大事です。

薬品棚は転倒防止をしても中のものが激突すると割れますから発想を変えた薬品ケースを考える必要があるように思います。段ボール箱に入ったままのヘキサンの瓶は無事でした。

***** はげましに感謝しています。

95/01/24 08:24

全国各地から はげましの電話をいただいて感謝しております。

研究所内の現状を報告しておきます。

いまだ電気水道ガスが復旧せず電話も非常にかかりにくくなっていると思います。電気がないため電話の転送が出来ない(内線につなぐことができないため)電話がかかると1Fの総務から5Fや6Fに階段を駆け上がるという状態です。

また こちらからかける場合は公衆電話にかけにくいという状態ですので また名簿や電話番号もすべて研究室内(中に入ることが出来ません)で閉じ込められ見つかっても読めない可能性があります。従いましてお電話いただいたらそちらの電話番号もあわせて伝言下さい。またご用件で安否確認/会議問い合わせ他総務部の職員で伝言ですむものは伝言でお願いします。

総務が 電話の度に3F, 4F, 5F, 6Fにかけあがり息を切らせていますので また我々も研究室内移動は実験机の上を移動する状態ですので いましばらく電話のはげましはありがたいのですがそういう事情をお組みくださいませ。

95/02/06 07:01 114へのコメント

ありがとうございます。

徐々に復興にむけて立ち上がりつつあります。

水道ガス医療班などが神戸に応援にかけつけてくれているとのこと ありがとうございます。

毎日 全国から集まっている自治体の方やボランティアの皆さんをはじめとして大変多くの方のはげましや応援を心強くまた感謝の気持ちでいっぱいです。

ナンバープレートが全国から集まっています。民間の宅急便が救援物資運搬用として避難所を回り 高速道路の橋脚が歪んで落ちないように建設復旧班は研究所横の高速道路を徹夜での作業で安全に処理していたり (写真2) 散髪やさんが遠路はるばる近くの避難所に来てくれたり 大学生が集まってきたり 神戸は今全国各地の人が走り回っています。給水車はじめ消防車からありとあらゆる職種業種の方の応援で人ともとの流れが出来てきました。

ものをはこぶ 人をはこぶ じょうほうをはこぶ この3つのTRANSFERをいかにシステムとして効率的にするかというのが重要だったわけです。

いま 私たちはこのじょうほうをいかにスムーズに伝えるかということを ポスト地震の対応の中で対策本部や避難所の方に訴えています。

以上、パソコン通信に寄せられた生々しい状況を紹介した。凄まじい被害を受け、余震に怯えながらも現地の情報を報告していただいたことに敬意を表する。

2. 被災地を訪れて

2月12日から14日に被災地を訪れる機会があった。前述のパソコン通信や各種報道で被害の甚大さは概念としてわかっていたが、やはり実感として捉えられないものがあり、機会があればと思っていたので、二つ返事で参加を希望した。

2月12日

さて、12日現地の宿泊先で合流の後、取りあえず行ける所まで行こうということで午後3時ころ高砂市を出た。明石市に入ると次第に被害が見えはじめ、瓦が落ちた屋根に青いビニールシートがかけられている家が散見されるようになってきた (写真3)。それ以後は、神戸に近づくに連れ、次第にひどくなる被害の様子に言葉も少なくなる。やはり比較的古い家の被害が多いようであるが、ばらつきが大きく何が被害の大小を決定しているのか判断でき難く感じた。オフィス街も、神戸市庁舎旧館のようにある階だけが潰れているケー

スと基礎部分の被害が多いように見受けられた。しかし、神戸市に入ってから想像を超える規模の被害にカメラを向けることも忘れてしまう程であった。ここでも、ビル自身が傾いたり、一部の階が潰れたり、巨大なビルがくの字型に折れ曲がっているすぐ近くで、見た目ほとんど被害を受けていなかったり営業しているビルがあったりで、被害のあまりの落差に驚かされた。また、高速道路の橋脚の被害は、報道されていた倒壊したもの以外にも多く、かなりの数に一部損壊やひびなど見られる。これらの多くはほぼ同じ高さの位置に破損が見られるのが目についた。

2月13日

12日は日曜日でそれほどの渋滞にあわずに神戸市内まで行けたが、やはり13日は国道は大渋滞で大きく山側から迂回することにしたが、六甲山系の懐に造られた新しい団地は昨日の神戸市の状況が嘘のように平坦としていた。しかし、次第に海岸に近づくとつれ、その様子は急変する。それこそ十メートル単位で被害の状況は違うのではないかと思われる程である（写真4）。坂が終わり平坦な道になった途端に半壊、全壊の家屋が目に見え込んでくる（写真5）。また、火災の後と思われる被災現場は想像を絶するもので、廃虚のようであったが、すぐその脇では傾きかけた住居に住む人々が異様な事態を物語っている（写真6、7）。

兵庫県公害研究所は、外観上は一部外壁にひびが見受けられる程度であったが、建物の周囲のアスファルト部はだいぶ沈下しており、非常口はその外側の階段が一段分以上沈み込み、あたかも元からそのようであったかのごとくである。奥野参与および二宮総務部長から被害の概要の説明をいただき、所内をご案内いただいたが、先のネットワークでの報告にあったようにここでも被害の状況はきわめてまちまちであったようである。大きな被害を被ったことには間違いのないのであるが、非常に重い装置がかなり移動している一方で、ラックにかけてあった多数の分液ロートが一つも破損していなかったり、机の上のものがすべて落下した隣ではほとんど落ちていなかったり、かなり相違が見られたようである。揺れの方向が関係していたのではないかとのことであった。このように外観上あまり被害が見受けられない場合でも、内部は甚大な被害を受けていることが多かったようである。大阪に近い地域で建物はほとんど被害を受けていないが、中は足の踏み場がないほどに散乱し、家具の大半が使えなくなったとの話も聞いた。

現在、コンピュータの導入が進み、データは磁気媒体などに保存されている場合が多いのであるが、こまめにバックアップをとっていたそれらの媒体が薬品がこぼれたところに落ちたり、落ちたところに薬品がかかったりして修復不可能になった例を拝見し、データのバックアップと保存場所の再考が必要であることを痛感した。一方で落下してひびが入ったり歪んでしまったパソコンが動いており、想像以上の強靱さにも驚かされた。

兵庫県公害研究所のお見舞いの後は、それぞれ分散したが、私は産業廃棄物の投棄場所にかかなりの量の倒壊した建物の廃材が持ち込まれているとのことで、そちらの調査に参加した。途中から、廃材を山と積んだトラックが増えだし（写真8）、産業廃棄物処理場の前では長蛇の列で異様な雰囲気であった。処理場に近づくにつれ異臭が立ちこめだし、処理場の手前から黒煙が見受けられるようになった。この処理場で焼却処分は行われていないとの情報であったが、複数の場所から黒煙が立ち上り、刺激臭もかなり感じられた（写真9）。基本的には分別投棄となっているようであるが、運び込まれる廃材のあまりの多さゆえであろうがほとんど実施されていなかった。焼却場所では、異臭が立ちこめ、カセットボンベやスプレーなども混じってい

るために、しばしば爆発音もするなど異常な状況であった（写真10、11）。

前日に神戸市内を見て回った時にも思ったのであるが、大きな建物の解体作業現場では覆いがされていたが、それはほんの一部でそれ以外の場所ではほとんど覆いもなく水の撒布も行われずに解体作業や撤去作業が行われていた。こうした建物の多くは比較的古いものが多いことからアスベスト汚染が懸念される。また、廃棄物処理場では廃材が無差別に焼却されていることと、それが長期にわたる可能性が強いことから大気汚染や水質汚染が懸念される。異常事態とはいえ、何らかの対応が必要だと思われる。



写真1 壁に激突してしまったGC/MS (公害研究所)

写真2 歪んだ橋脚の補修作業 (公害研究所前)



写真3 屋根の瓦が落ち、ビニールで補修 (明石市)





写真4 歪んだ窓枠と応急処置（須磨区山側）



写真5 同じ敷地に全壊家屋と外見は無事な家屋（須磨区）



写真6 大きな被害家屋とほとんど被害を受けていない家屋（須磨区）



写真7 焼失し瓦礫に山、その隣のアパートには住民が（須磨区）

写真8 瓦礫を満載したダンプが数珠繋ぎに



写真9 廃棄物処理場（焼却処分はしてないはずが）



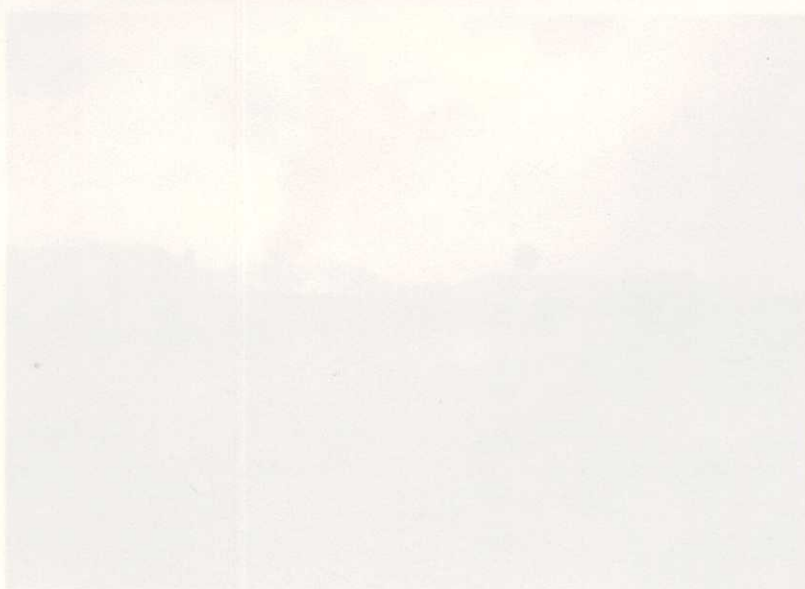
写真10 廃棄物処理場、すさまじい異臭と熱気



写真11 廃棄物処理場、分別投棄の指示はあるが



写真12 廃棄物処理場、分別投棄の指示はあるが



阪神淡路大震災の景観への影響

社会環境システム部主任研究官 青木 陽二

1. 調査の目的

大都市における直下型大地震の景観への影響を調べるため、須磨区と長田区を調査対象として1995年2月13日、現地歩行調査を実施した。

2. 調査の行程

JR住吉から代替バス・・三宮・・JR神戸ー鷹取(兵庫県公害研究所)9:40到着
小林稔所長の説明(屋上より周辺地区の写真撮影、各階機器破壊現場の視察)
午後より研究所から現地調査に出かける。

徒歩にて国民宿舎磨荘まで行き、妙法寺川に添って三の井橋まで上り、広路3中央幹線を西代駅まで行った。ここから南に転じて新長田駅付近の焼失地を通り、駒林神社まで下った。駒ヶ林公園から駒栄橋に出て湊川に添って長田神社まで上った。長田神社から長田線を高速長田駅まで下り、そこからJR兵庫駅に向かった。その後は来た道順でJR住吉駅に戻った。

3. 現地調査の結果

現地調査で観察したことを、調査の順路に添ってまとめると次のようになる。倒壊した住宅もあるが、破損を免れた建物も多い。大阪湾に面した須磨海浜野球場に地震による倒壊家屋などの廃材が巨大なゴミの山を築いていた(写真1)。この景観は運び込むトラックの頻度と相俟って大変奇異なものであった。須磨海浜公園では公園施設の被害は地割れとコンクリート構造物のずれが見られただけであり、損傷は少なかったといえる。損傷がなかった松林は、多人数の自衛隊員を収容できる駐屯基地を提供していた。ただ、災害救助と復興の手助けとして来られた自衛隊員のテントや服装が暗い印象を与えていた(写真2)。これは景観から考えるとまずいことで、被災者に希望を与える為に派遣された自衛隊の意味を減じさせていた。国民宿舎須磨荘は公園と同様に目だった外傷はなかった。

公園に近接する児童公園には民間団体による仮設風呂が設置されていたようだが、既に2月10日に終了となっていた。一方で、若宮小学校には被災者が滞在し、ボランティアによる給水車が来ていた。少し離れた鷹取中学校には、さらに多くの被災者が滞在されている様子で、仮設トイレが使用中止(写真3)となっていた。またここでは、広島13師団の鷹取湯(お風呂)のサービスが有り、時間制で男女使い分けていた。タオルや石鹸なども用意されていたようであった。別のテントではボランティアによる衣類の配布があった(写真4)が、衣類には着る人の好みがあるようで、余っているようであった。

公害研究所近くの行平町では墓石の転倒、歩道の破壊が見られた。須磨区役所では被災認定を求める人々の列が作られていた。また、多くのボランティアがテントを設営していた。多くのボランティアが自分達にできることを看板に書いて知らせていた。大変好ましい行動ではあるが、看板の出し方に景観的配慮がなかった。神奈川大学学生による年寄り支援(写真5)の案内が出ていた。これは知らせ方といい内容といい、

人々を安心させるものであった。

妙法寺川公園で地震によるベンチの土台の持ち上がりが見られた。周辺には妙法寺川の護岸の破壊も見られた。護岸の破壊状況と比較すると公園施設の破壊は軽微である。土や植物によって守られたといえる。被害の少なかった公園には被災者の滞在が有り、ボランティアの拠点として利用されていた。

周辺の家屋の倒壊が著しい地区にあった須磨警察署はほとんど外傷が見られなかった（写真6）。この建物は、災害時において人々の心の支えとなる景観を形造った。広路3中央幹線に添って東に進むと大田、寺田、西代、御屋敷通、神楽町と倒壊家屋多い町並みが続いた。この通りには直径30~40cmのイチョウ並木が倒壊家屋を支え（写真7）道路の通行を確保していた。樹木帯の効用であると思われる。この通りでは沿道の倒壊家屋の撤去が進み、撤去作業の『受託します』という看板が見られた。また倒壊物によって被災した自動車の撤去も進んでいた。西代から新長田駅付近にかけては多くの住宅が焼失（写真8）していた。またひどく倒壊した建物が路地を塞いでいた。この焼け跡の景観はやはり衝撃的な感じがした。新長田駅から南の駒栄町までのアーケードは被害が少なく、所々営業をしていた。

南駒栄町の大阪ガス神戸工場には巨大なゴミ集積所と避難民のテント群が出来上がっていた。この周辺も倒壊家屋が目立った。直径20~30cmのアオギリ並木に寄りかかる倒壊家屋があった。樹木が細かったため根元で家を支えていた。駒ヶ林神社は門を閉めて入れなかったため、避難所としては機能していなかった。また、西池尻町の寺も閉まっていたため、避難所としては機能していなかった。ただトイレを公衆に開放し、井戸水の供給（写真9）を行っていた。こういう場所は人々が集まる場所なので、学校や役所のお知らせなどが掲示されて機能していた。

湊川に添った公園には避難している人が全くいなかった。公園には老人の集会所もあったようであるが、人影はなかった。これは川の上に造られた高速道路が原因で、写真でも分かるように湊川ランプは桁がズタズタに外れ（写真10）、周囲の人々に不安を与えていたからである。桁の外れた高速道路は、景観的に大変強い不安感を住民に与えたと考えられる。湊川を上流に行った新湊川緑地は周辺に高速道路がなく、避難民、ボランティアが多く滞在していた。川の上流に破壊を免れたブロック塀があった（写真11）。塀の上には盆栽が乗っており、それらにも被害はなかったようである。塀を這うツタのせい、地盤のせい、判別がつかなかった。ただ近くの長田神社では、石の鳥居は崩壊（写真12）し、一方で有名な大クス、ケヤキに被害はなかった。

4. まとめ

以上の結果をまとめると、以下ようになる（現段階では数値的な裏付けがないので、調査の印象のみ）。

- ①住宅地内の公園緑地と学校は非難場所としてテントサイトとなっていた。
- ②高架道路の下の緑地には避難者のテントはなかった。
- ③広い緑地は破壊家屋を捨てるゴミの集積場となっていた。
- ④街路樹は倒壊家屋が道路へ崩れ出るのを歩道で留めていた。
- ⑤ツタなどによって緑化されたブロック塀で倒壊を免れたものがあった。
- ⑥ケヤキやクスの巨樹の茂る場所には被害がなかった。
- ⑦公園緑地の物理的破壊は少なかった。

- ⑧ 寺社などでは石造りの文化財に被害があった。
- ⑨ 倒壊家屋は密集市街地に多かった。
- ⑩ 倒壊を免れた建物は公共のものや新しいものが多かった。
- ⑪ 高速道路高架橋は多くの場所で被害を受けていた。



資料阪神淡路大震災調査経路図(1995年2月13日)
 国土地理院1/25000地形図使用

「この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分の1地形図を複製したものである。(承認番号 平7近複、第207号)」

写真1 須磨海浜野球場のゴミの山
(若宮町の横断歩道橋より)



写真2 自衛隊のキャンプ (海浜公園)



写真3 仮設トイレ (鷹取中学校)





写真4 衣類の配布（鷹取中学校）

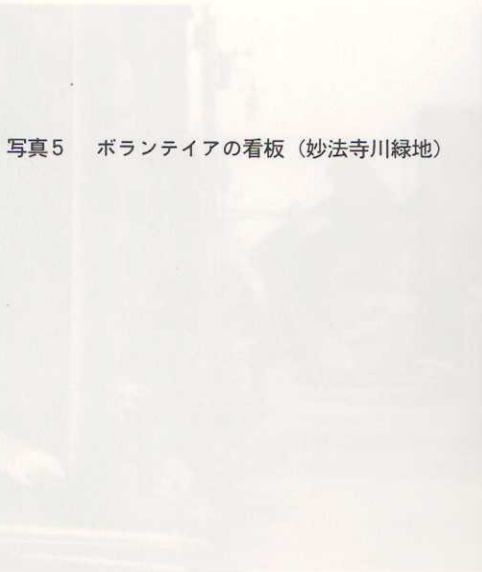


写真5 ボランティアの看板（妙法寺川緑地）

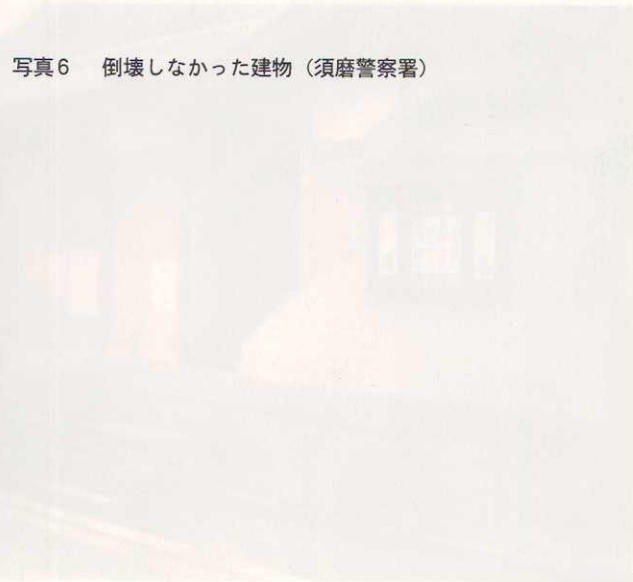


写真6 倒壊しなかった建物（須磨警察署）



写真7 並木が支える倒壊家屋（大田町）



写真8 焼失倒壊家屋が多い地区（水笠通・神楽町）



写真9 お寺の給水（西尻池町）





写真10：高速道路の落橋（湊川ランプ）

写真11 落ちなかった盆栽（宮川町）



写真12 破壊された鳥居（長田神社）

神戸沖人工島海岸の地震による亀裂断層

地域環境研究グループ 西川 雅高

1995年1月17日に突然発生した神戸南部沖地震で、多数の方々が死傷行方不明になるという痛ましい被害が生じた。また、家屋、道路等の被害についても甚大なものがあった。被害に遭われた方々に心からお見舞い申し上げます。

この地震では、人工島内で顕著な液状化現象が多数箇所が発生したことが指摘された。災害発生一か月後の調査であるが、それに視点をのいた記録を報告致します。

1. 交通復旧状況と人工島への連絡

地震発生後約1カ月過ぎた2月23日に、ポートアイランドと六甲アイランドへ入った。その時点での交通網の復旧状況は、地震直後の予想を超えて急ピッチで整備されつつあった。図1は、2月23日の毎日新聞朝刊兵庫地方版に掲載された阪神間の鉄道の復旧状況である。代替バス区間との連結により大阪-神戸間の交通が確保され、震災前の3倍の時間がかかるものの通勤が可能な状態にまでなっていた。しかし、2つの人工島(六甲アイランドとポートアイランド)への交通は、2月23日の時点でまだ鉄道系の復旧の目処がたたず、代替バスや自動車が利用され、両島への連絡橋は非常に混雑した状況であった。両島とも約2kmの連絡橋を渡るのにバスで30分以上かかり、待合い時間を含めると1時間以上となる場合がある。したがって、最寄りの阪神電鉄駅から自転車あるいは徒歩で行き来する人々が多いようであった。六甲アイランドへは、阪神電鉄の梅田駅を2月23日朝7時に出発し、魚崎駅下車後徒歩で入島した。9時であった。六甲アイランド内を2時間調査後、代替バスを乗り継ぎ住吉-三宮-ポートアイランドへ入島した。午後2時であった。ポートアイランドで約2時間の調査後、徒歩にて三宮へ、代替バスで阪神電鉄住吉駅に連絡、大阪梅田駅に午後7時過ぎ帰着した。

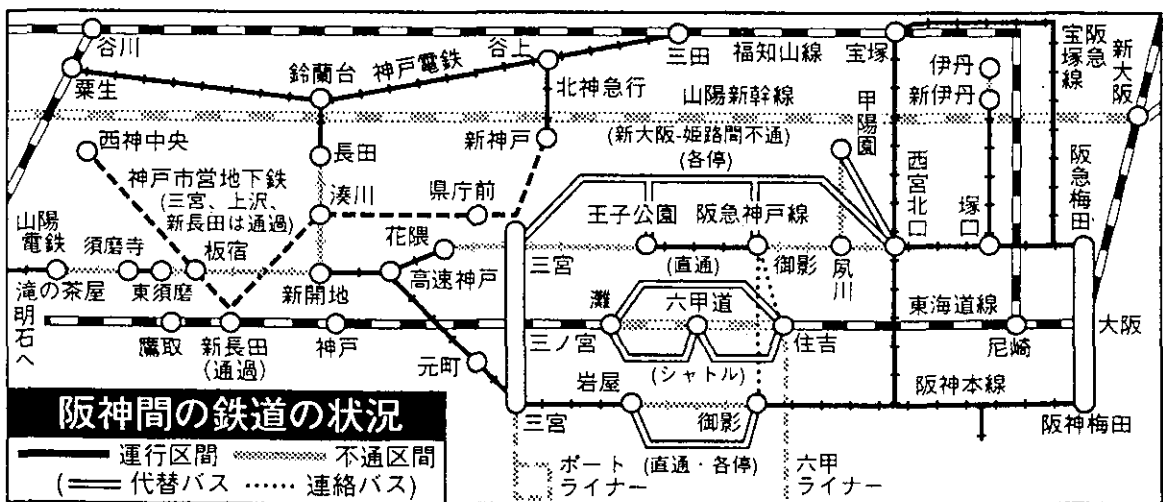


図1 阪神間の鉄道復旧状況 (毎日新聞、2月23日付)

2. 六甲アイランド

六甲アイランドの地震による被害は、島中心部よりも海岸部に大きな亀裂断層が認められた。写真Aは、向洋町中九丁目の遊園地隣海岸部で認められた亀裂断層箇所を写したものである。亀裂は写真で明らかなように、海岸線に沿って並行に走っており、この現象は方位によらずどの亀裂断層箇所でも同様であった。写真で示した亀裂段差は、海に近い亀裂で最も激しく50cm以上であった。液状化によって噴出したと思われる砂などは、地震発生後1カ月経過しているためこの地域では特定できなかった。亀裂段層面の土壌組成を調べるために、層別土壌を採取した。歩道タイルの下約30cmまでコンクリート固化した層があり、その下は赤茶系の山土壌様の層が1mほどあり、さらに地下水面が見られた。上層は少し固く土壌試料の採取が大変であったが、下層は容易に採取が可能であった。なお、島内には砂地がむき出ししている箇所がほとんど見あたらないにもかかわらず、亀裂道路端には堆積した浜砂がところどころ吹き溜まっており、液状化現象により噴出した砂と思われたが、地震発生後約1カ月経っておりはっきりとしなかった。

3. ポートアイランド

ポートアイランドは、中央区三宮沖約500mに位置する島である。目に見える地震による被害は、島央よりも海岸部周辺に多く、六甲アイランドと同様の状況であった。写真C、Dは、港島3丁目の神戸大橋下付近で見られた亀裂断層写真と、むき出しになったその断層面写真である。やはり、亀裂断層は海岸線に並行に見られ、その隆起や陥没による段差は非常に大きかった。断層面は、表層から30cm程度が灰色のコンクリート固化層であり、下層は茶色の山土のような層からなっていた。六甲アイランドの採取地点の土壌がほとんど砂質で粘性が小さかったのに比べると、ポートアイランドの採取地点土壌の方が小石の混入率が高く締まっており、上下層とも削り取るようなサンプリングを行わなければならなかった。また、亀裂部分周辺では浜砂が吹き溜まったような箇所が所々見られた。そのような浜砂は、亀裂断層面の土壌と性質が明らかに異なっており、さらさらしていた。なお、島内港島1丁目のコンテナバース付近は、小さな亀裂箇所が見られたが、比較的被害が小さい地域であり、大規模な仮設住宅の建設が急ピッチで進んでいた。

4. 亀裂断層面の土壌の分析

写真B、Dの各上下断層面土壌とポートアイランドで採取した亀裂道路端の浜砂について溶出試験と含有量分析を行った。

採取試料は、110℃で4時間の乾燥後、2mm目のふるい下を集めたものを使用した。その試料を均一化するために、メノウ乳鉢で粉末状にまですりつぶした。その状態の各試料を2分し、一方で溶出試験を、一方でPIXE分析を行った。溶出量を求める試験は、降水による溶出の影響を考慮し以下の操作および分析手順で行った。試薬特級の塩酸と蒸留水を用いてpH4.8（日本の降水の平均pH）の酸性溶液を調整し、試料量と溶媒量の比を1:10に調整した50ml試験液を100mlのポリプロピレン製容器に入れ、6時間の常温振とう操作をした。振とう後直ちに、孔径0.2μmのメンブランフィルターでろ過し、ICP発光分析装置（日本ジャーレルアッシュ社製、ICAP750型）を用いて溶出した元素種の分析をした。

含有量については、米国General Ionex社製タンデム型バンデグラフ加速器(4Mev)を陽子ビームとしたPIXE分析（米国EAC社へ依頼）を行った。試料を微細な粒子（200μm以下）にまで機械的にすりつぶした

後、照射面積1平方インチの均一薄層状にする。照射面積1/8インチに絞った陽子ビームを試料面に照射し、発生する元素ごとの特性X線を測定することにより種々の元素の定量をした。

分析結果を見ると、六甲アイランドとポートアイランドともに、下層土に比べて表層土中にCaが集積していた。セメント固化された結果が反映していると考えられる。一方、Naは上層に比べて下層に多く存在していた。六甲アイランドに比べてポートアイランドの土壌の方がNaの溶出率（溶出量/含有量）が明らかに高く、海水の影響をより強く受けていると思われた。ClとNaの含有量の比が海水比と一致していないが、ポートアイランドの土壌の方が六甲アイランドよりもその比がかなり高かったこともそれを支持している。なお、Cd、Pbなどの有害金属の溶出や土壌への集積はいずれの土壌でも認められなかった。

表1 土壌の分析結果

	六甲アイランド (写真A、B)				ポートアイランド (写真C、D)					
	上層		下層		上層		下層		亀裂道路上浜砂	
	溶出量 ($\mu\text{g/g}$)	含有量 ($\mu\text{g/g}$)	溶出量 ($\mu\text{g/g}$)	含有量 ($\mu\text{g/g}$)	溶出量 ($\mu\text{g/g}$)	含有量 ($\mu\text{g/g}$)	溶出量 ($\mu\text{g/g}$)	含有量 ($\mu\text{g/g}$)	溶出量 ($\mu\text{g/g}$)	含有量 ($\mu\text{g/g}$)
Al	4.2	69200	1.7	72600	4.8	88400	2.0	69200	4.0	46100
B	<0.06	-	<0.06	-	(0.1)	-	(0.4)	-	(0.5)	-
Ca	123	29000	20.5	12400	67.4	17400	66.6	9100	168	15000
Cd	<0.02	<60	<0.02	<60	<0.02	<60	<0.02	<60	<0.02	<60
Cl	-	<80	-	<80	-	6900	-	5430	-	649
Cu	<0.04	<8	<0.04	<8	<0.04	(11)	<0.04	<8	<0.04	<8
Fe	0.88	9600	1.39	33900	0.39	20600	0.75	21800	(0.1)	8400
K	18.4	32200	7.20	25800	63.2	41600	50.6	36300	22.8	35400
Mg	9.52	-	8.20	-	33.5	-	35.0	-	15.2	-
Mn	<0.06	491	<0.06	642	(0.08)	664	<0.06	706	<0.06	318
Na	13.6	4300	30.2	7300	892	6200	1060	18100	83.0	7300
Pb	<0.3	<16	<0.3	<16	<0.3	<16	<0.3	<16	<0.3	<16
Sr	0.48	173	0.16	89.7	0.38	119	0.48	120	0.98	119
Ti	<0.04	804	<0.04	3790	<0.04	1780	<0.04	1480	<0.04	906
Zn	<0.04	26.8	<0.04	91.2	<0.04	98.3	<0.04	99.3	<0.04	36.6



写真A 向洋町中九丁目の海岸部

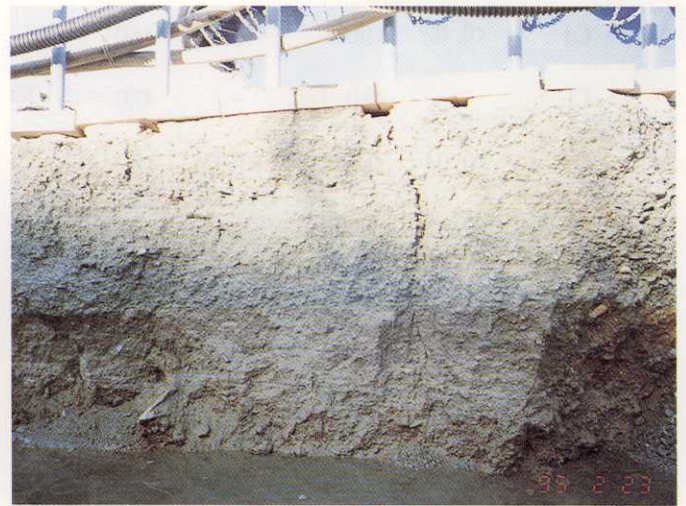


写真B 同上 亀裂断層

写真A、B 六甲アイランド



写真C 港町三丁目の港岸壁部



写真D 同上 亀裂断層

写真C、D ポートアイランド

第Ⅲ部 付録、資料

(環境庁プレスリリース資料)

平成7年4月6日

環境庁大気保全局大気規制課

課長 柳下 正治（内線6530）

補佐 真継 博（内線6533）

環境庁企画調整局環境保健部環境安全課

課長 福原 毅文（内線6350）

保健専門官 添田 直人（内線6353）

工場・事業場からの有害物質の漏出、建築物の解体撤去に伴うアスベストの飛散及び野焼きによる有害物質の発生等による二次災害を未然に防止することを目的として、第2次大気環境モニタリング調査を2月27日～3月16日に実施した。

その結果、①有害物質に係る環境濃度は、我が国の都市地域の環境濃度の変動の範囲に入っており、第1次（2月6日～12日）の調査結果と比べ概ね低下している。工場・事業場からの有害物質の漏出等により直ちに健康影響が問題になるような二次汚染は、現在まで生じていないものと判断される。

②アスベストの一般環境濃度については、概ね我が国の都市地域の環境濃度の変動の範囲に入っているが、前回と同様、一部の地点においてやや濃度の高い地点がみられた。また、第1次の調査結果と比較すると、17地点中8ヶ所において、前回は上回る値となっている。また、解体现場周辺の環境濃度については、10本/ℓ（工場に対する敷地境界規制基準）を超える地点はみられなかったものの、一般環境に比較してやや高い値となっており、今後なお一層のアスベスト飛散防止対策の徹底を図る必要がある。

③野焼きの実施地点周辺における有害物質の測定結果は、直ちに健康影響が問題となるようなレベルではないものと判断される。我が国の都市地域で通常観測される範囲内ではあるが、やや濃度の高い地点がみられ、野焼きによる影響を受けているものと考えられる。

I 大気環境モニタリング調査等の概要

2月6日～12日に実施した大気環境モニタリング緊急調査の結果を踏まえ、2月末より、次のとおり第2次大気環境モニタリング調査等を実施した。

- 1 大気環境モニタリング調査
- 2 アスベスト追跡環境調査
- 3 廃棄物の野焼きに係る大気環境モニタリング調査

II 調査結果の概要

1. 大気環境モニタリング調査

(1) 調査内容

先般実施した大気環境モニタリング緊急調査（第1次調査）の結果及びその後の工場・事業場における事業の再開状況等を踏まえ、継続すべき調査地点及び調査項目を選定し、有害物質に係る大気環境モニタリング調査を実施した。

(2) 調査の実施期間

平成7年3月9日(木)～16日(木)

(3) 調査結果の概要

ア 調査対象地域：17地点

神戸市7地点、尼崎市2地点、西宮市2地点、芦屋市2地点、伊丹市1地点、宝塚市1地点、川西市1地点、一宮町1地点

イ 調査項目：6項目

- ・特定物質(法第17条)：塩化水素、フェノール、ホルムアルデヒド、ベンゼン
- ・有害大気汚染物質等：有機塩素化合物(テトラクロロエチレン、ジクロロメタン)

ウ 調査結果の概要

各物質ごとの測定値を、次表のとおり最小～最大、中央値に整理した。

物質名	最小～最大	中央値
塩化水素	ND (ND～80ppb)	ND (5ppb)
フェノール	ND (ND～46ppb)	ND (ND)
ホルムアルデヒド	ND～13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ND～9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ND (ND)
ベンゼン	0.5～4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ND～5.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
テトラクロロエチレン	ND～8.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ND～33.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ジクロロメタン	ND～4.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ND～17.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

注) ()内は、同地点における前回調査の値を示す。

(4) 評価

有害物質に係る環境濃度は、我が国の都市地域の環境濃度の変動の範囲に入っており、第1次の調査結果と比べ概ね低下している。工場・事業場からの有害物質の漏出等により、直ちに健康影響が問題になるような二次汚染は現在まで生じていないものと判断される。

2. アスベスト追跡環境調査

(1) 調査内容

先般実施した大気環境モニタリング緊急調査の結果及び建築物等の解体等の動向を踏まえ、継続すべき調査地点を選定して行う「追跡継続調査」と、建築物の解体现場周辺で行う「建築物解体现場周辺調査」を実施した。

(2) 調査の実施期間

平成7年3月9日(木)～16日(木)

(3) 調査結果の概要

ア 調査対象地域

(ア) . 追跡継続調査 : 17 地点

神戸市 7 地点、尼崎市 2 地点、西宮市 2 地点、芦屋市 2 地点、伊丹市 1 地点、
宝塚市 1 地点、川西市 1 地点、一宮町 1 地点

(イ) . 建築物解体現場周辺調査 : 10ヶ所 × 2 地点

神戸市 9ヶ所、西宮市 1ヶ所

イ 調査結果の概要

(ア) . 追跡継続調査

物質名	最小～最大	中央値	幾何平均
アスベスト	0.3～ 6.0f/1 (ND～ 4.9)	1.0f/1 (1.0)	1.2f/1 (1.0)

注) () 内は、同地点における前回調査の値を示す。

濃度分布 f/1	0～	0.5～	1.0～	1.5～	2.0～	3.0～	4.0～	5.0～	7.0～
地点数	1 (2)	7 (5)	3 (6)	0 (2)	3 (0)	1 (0)	0 (2)	2 (0)	0 (0)

注) () 内は、同地点における前回調査の値を示す。

(イ) . 建築物解体現場周辺調査

物質名	最小～最大	中央値	幾何平均
アスベスト	0.8～ 7.7f/1	2.6f/1	3.0f/1

濃度分布 f/1	0～	1.0～	2.0～	3.0～	4.0～	5.0～	6.0～	7.0～	8.0～
測定点数	2	6	3	3	2	1	1	2	0

(4) 評価

追跡継続調査におけるアスベストの環境濃度については、概ね我が国の都市地域の環境濃度の変動の範囲に入っており、直ちに健康影響が問題となるようなレベルではないものと判断されるが、前回(2月6日～12日)の調査結果と比較すると、最大値がやや高く17地点中

8ヶ所において、前回は上回る値となっている。また、依然として、我が国の都市地域と比較してやや高い値となっている。一方、建築物解体现場周辺調査におけるアスベストの環境濃度は一般環境濃度レベルよりもやや高いが、10本/ℓ（工場に対する規制基準）を超える地点はみられなかった。今後、一般環境及び解体现場周辺の環境モニタリングを継続実施するとともに、なお一層のアスベスト飛散防止対策の徹底を図る必要がある。

3. 廃棄物の野焼きに係る大気環境モニタリング調査

(1) 調査内容

野焼きの実施地点の中から、焼却量、周辺の住宅の立地状況等を踏まえ調査地点を選定し、野焼きにより発生するおそれがある有害物質について、環境モニタリング調査を実施した。

(2) 調査の実施期間

平成7年2月27日（月）～3月8日（水）

(3) 調査結果の概要

ア 調査対象地域：3ヶ所×3～4地点

神戸市1ヶ所、宝塚市1ヶ所、西宮市1ヶ所

イ 調査項目：13項目

- ・ばい煙（法第2条関係）：二酸化窒素
- ・特定物質（法第17条）：塩化水素、ホルムアルデヒド、アクロレイン、ホスゲン、シアン化水素、一酸化炭素
- ・有害大気汚染物質等：有機塩素化合物（ダイオキシン、クロルデン、PCB）、アセトアルデヒド、ベンゾ（a）ピレン、砒素

ウ 調査結果の概要

各物質ごとの測定値を、次表のとおり最小～最大、中央値に整理した。

物質名	最小～最大	中央値
塩化水素	ND～4ppb	ND
ホルムアルデヒド	ND～10 μ g/m ³	ND
アセトアルデヒド	3～11 μ g/m ³	7 μ g/m ³
アクロレイン	ND	ND
ダイオキシン （2,3,7,8-T ₄ CDD）	0.0000～0.0023ng/m ³ (ND)	0.0001ng/m ³ (ND)
ベンゾ（a）ピレン	ND～2.7ng/m ³	1.0ng/m ³
シスクロルデン	ND～0.5ng/m ³	ND
トランスクロルデン	ND～0.7ng/m ³	ND
PCB	ND	ND
砒素	ND	ND
ホスゲン	ND	ND
シアン化水素	ND	ND
一酸化炭素	ND～0.9ppm	0.3ppm
二酸化窒素	12～68ppb	23 ppb

注) ダイオキシンは、2,3,7,8-TCDD 当価濃度を示す。

(4) 評価

野焼きの実施地点周辺における有害物質の測定結果は、一部やや高いものがあるが、概ね我が国の都市地域の環境濃度の変動の範囲に入っており、直ちに健康影響が問題となるようなレベルではないものと判断される。なお、やや高い濃度が観測された地点では、野焼きによる影響を受けているものと考えられる。

Ⅲ. 今後の対応について

(1) 大気環境モニタリング調査の実施

第1次の調査結果と比べ概ね低下し安定した状況が今後においても継続されることが考えられるが、工場・事業場の再稼働に対する関係自治体の点検調査の結果、建築物の解体・撤去工事の進捗状況、廃棄物の焼却処理の状況等を踏まえ、必要に応じ大気環境モニタリング調査を実施し、必要な対応を図っていく。

(2) アスベスト飛散防止対策の徹底

今後、建築物の解体・撤去の一層の進展が予想されることから、「阪神・淡路大震災に伴う建築物の解体・撤去に係るアスベスト飛散防止対策について」（石綿対策関係省庁連絡会議（平成7年2月23日取りまとめ））に基づき、アスベスト飛散防止対策の一層の徹底、解体・撤去工事の事前把握の徹底、環境モニタリングの継続実施等を関係省庁及び関係県市と連携して推進していく。

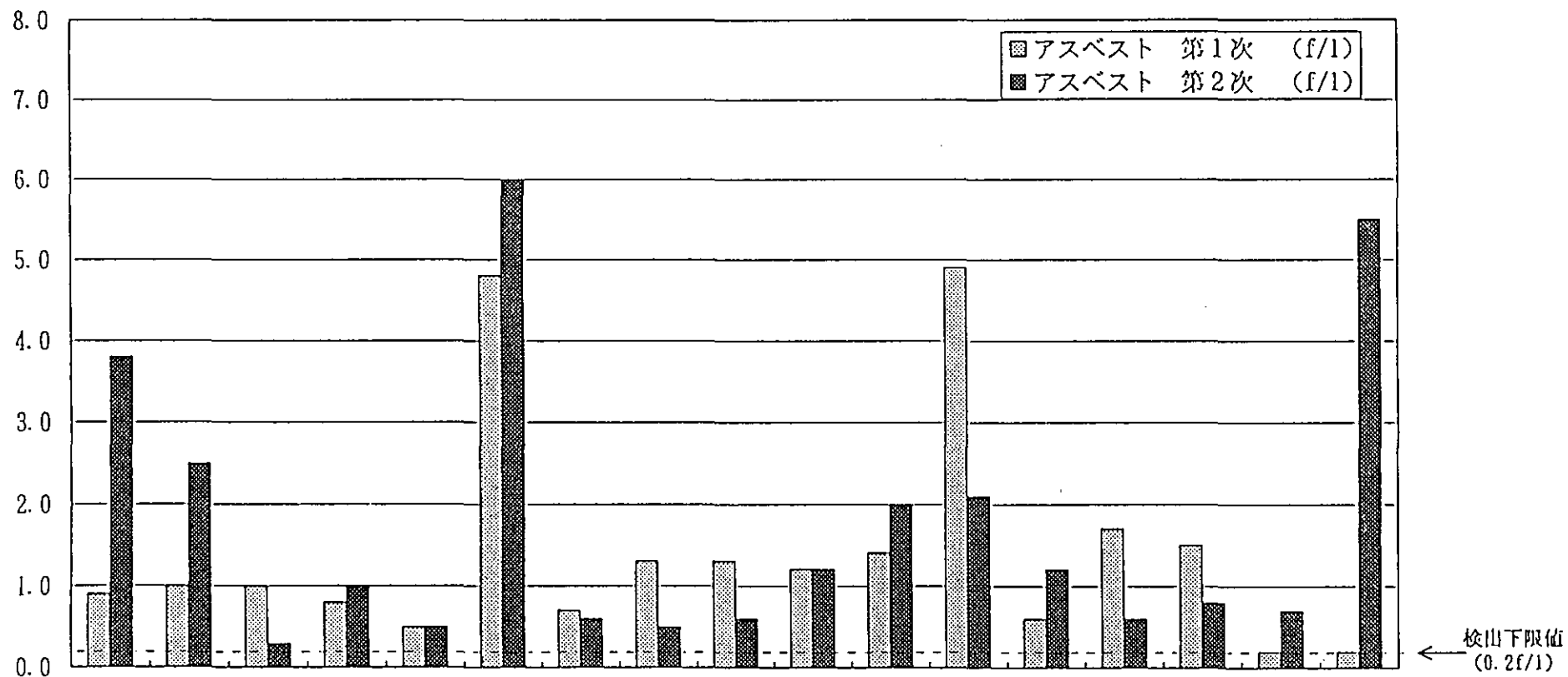
(3) 野焼き対策

野焼きに係る測定結果は、直ちに健康影響が問題となるレベルではない。しかし、環境への影響が認められないとは言えないことから、直ちに環境保全上の必要な配慮がなされるとともに早期に適切な処理に移行するよう、厚生省に対し指導の徹底を要請していくこととする。

(必要な配慮例)

- ① 焼却に伴い有害物質の発生する可能性のある廃棄物については、分別を徹底し、焼却しないこと。
- ② 住居等との距離、風向、風速等を考慮するとともに、焼却灰を飛散させないこと。

アスベスト測定結果（1次、2次総合）



(参考1) 検出された物質(アスベストを除く)に関する参考資料

物 質	単 位	一般大気環境 濃度レベル(注1)	環境基準等
ホルムアルデヒド	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	~32	
塩化水素	ppb		
ベンゼン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	~25	
テトラクロロエチレン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	~13	230 ^(注2)
ジクロロメタン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	~19	
アセトアルデヒド	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	~22	
ダイオキシン	ng/m^3	~0.00262	
ベンゾ(a)ピレン	ng/m^3	~3.5	
cisクロルデン	ng/m^3	~5.0	
transクロルデン	ng/m^3	~8.5	
CO	ppm	0.6~19.7	10 ^(注3)
NO ₂	ppb	15~261	40~60 ^(注3)

注1: 「一般大気環境濃度レベル」は、環境庁等が国内で実施した一般大気環境に関する調査結果をもとに、検出範囲を整理したもの。

注2: 「大気環境指針」は、人の健康を保護するうえで維持されることが望ましい指針(暫定値)として、環境庁が平成5年4月に定めたもの。

注3: 環境基準値(日平均値)

(参考2) アスベストについて

1. アスベストに関する大気汚染防止法による規制

大気汚染防止法では、アスベスト製品製造工場の敷地境界におけるアスベスト濃度を1リットル当たり10本以下とするよう定めている。

この基準は、工場において適切な対策を講ずることにより達成可能なレベルであること、こうした濃度であれば、工場周辺における健康リスクが検出できないほど低いと考えられることから、定められたものである。

2. アスベストの一般大気環境濃度レベル

(単位 本/リットル)

地域	昭和60年度			平成3年度		
	検体数	検出範囲	幾何平均	検体数	検出範囲	幾何平均
幹線道路周辺地域	140	ND ~ 10	1.0	38	0.2 ~ 2.3	0.61
住宅地域	110	0.26 ~ 6.2	1.2	30	0.09 ~ 2.9	0.34
商工業地域	84	0.30 ~ 6.1	1.2	38	0.2 ~ 1.9	0.67

地域	平成5年度		
	検体数	検出範囲	幾何平均
幹線道路周辺地域	60	ND ~ 3.7	0.43
住宅地域	59	ND ~ 1.2	0.14
商工業地域	60	ND ~ 1.3	0.17

注意1：環境庁が実施したモニタリング調査による。

注意2：原則として1地点当たり6検体の調査を行っているが、各年度の調査地点は異なっている。

【平成7年7月27日編集委員会受理】

[国立環境研究所 F-84-'95/NIES]

兵庫県南部地震と環境

問い合わせ先：地域環境研究グループ 森田昌敏

水圏環境部 陶野郁雄

電 話 0298-50-2332 (ダイヤルイン)

平成7年9月30日発行

発行 環境庁 国立環境研究所

〒305 茨城県つくば市小野川16番2

印刷 ニッセイエプロ株式会社

住所 東京都港区西新橋2-5-10