

3. 地震の被害を考える



液状化現象

—尼崎・淀川下流域の例—

田中里志（京都教育大学）

1. はじめに

兵庫県南部地震は、海岸沿いの人工埋立地を中心に液状化という現象をもたらした。その液状化に伴う噴砂で地表は水を含んだ砂で覆われ、噴砂に伴う地表面の湾曲、地割れで建造物などが倒壊し今回の地震による被害を増幅させたと言える。

日本において“液状化”としてその危険性が認識されるようになったのは、1964年6月16日の新潟地震（マグニチュード7.5）を契機としてである。その折の鉄筋コンクリートのアパートが積木を倒したように倒壊している写真はあまりにも有名であり、私たちに大きなショックを与えた。その最悪の光景を阪神淡路地域で再び目の当たりにするとは全く予想することができなかつた。

地震発生から半年近くが経過した今なお、生々しい地震の傷跡は被災地の至る所で目にすることができる。そして現在様々な研究機関、研究者ならびに技術者が地震についての調査検討を行っており続々と新しいデータが出されつつある。また地震に伴う液状化に関しても様々な角度から検証が行われており、それらの議論の進展が待たれるところである。今回、筆者も液状化およびそれに伴う噴砂現象について一知見を得た。その結果が今後の議論の一資料とならんことを願いここに報告する。

筆者が液状化の被災地を訪れる機会を得たのは、地震発生から10日以内の数日間である。訪れた場所は、尼崎市の築地地区、大阪淀川河口の中水敷ならびに此花区の3カ所で、噴き上がった砂はかなりの厚さで地表面に残っており、傾いた家屋やビルなどは手付かずの状態であった。広範にわたる噴砂で全体を掌握するにはさらに面的に詳細なデータが必要であるが、ここに報告したデータは尼崎・大阪地域の代表的な試料と思われる上記地区3カ所5地点の噴砂を採取し、その粒度分析による結果と現地での観察データを基に検討した内容である。

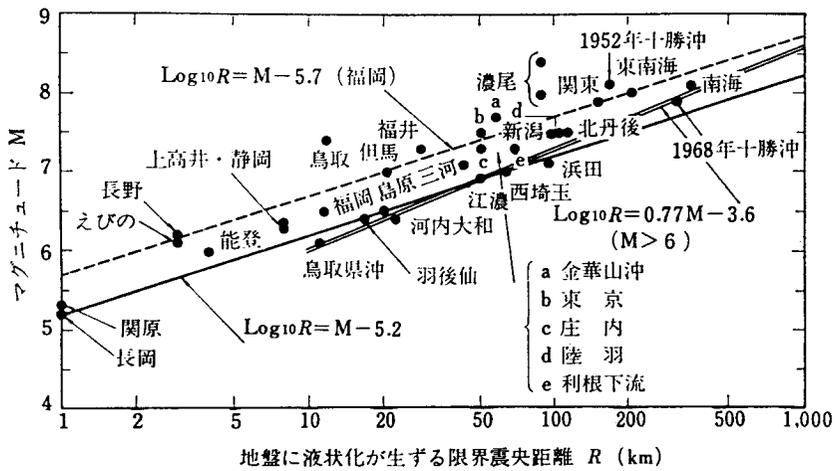
2. 液状化とは？

ここで液状化について簡単に触れておく。表層近くにおいて常に地下水によって粒子間の空隙が飽和された状態である淘汰の比較的よい砂は、普段は砂粒子間に応力をおよぼしあうことによって安定して存在している。しかし、ひとたび強い地震に見舞われると地盤の変形などに伴い、空隙水圧が異常に高くなる。そうすると空隙水は周囲の砂粒子に圧力を加え、それまで安定して砂粒子に働いていた応力はどんどん無くなり最後には水粒子と同じ挙動を示すようになる。その結果として砂層が流動化し、“液状化”に伴う噴砂として地表の弱い部分に噴き出す。日本では新潟地震以来、液状化についての発生条件が、室内実験や過去の地震による同類の現象の解析を通して検討されてきている。そして現在いくつかの液状化条件の提案がなされ、建築物の耐震設計に役立っている。栗林ほか（1974）

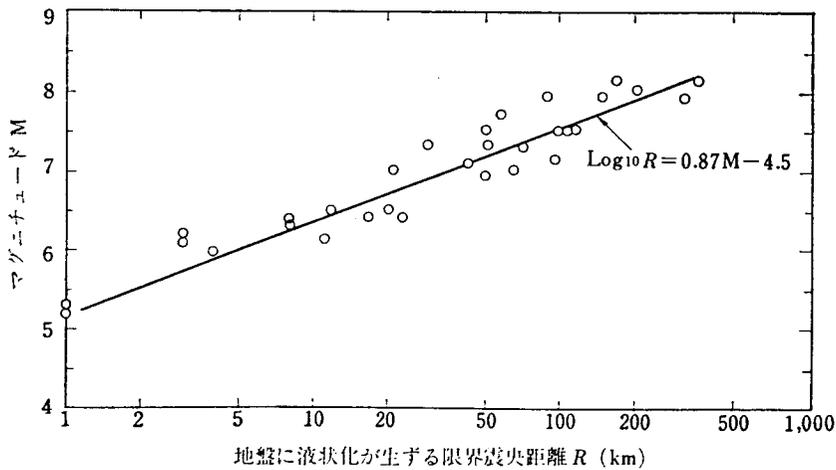
は、過去の地震の見直しから次の5つの興味深い結論を出している(図-1)。

- (1) 液状化が生じているのは震度階5以上のところである。
- (2) マグニチュードが小さい地震であっても、震度階5以上の沖積地があれば液状化は生じ得る。
- (3) マグニチュードが大きくなると液状化の生ずる範囲が広がる。液状化の生ずる平均的な限界震央距離RとマグニチュードMの関係は図-1に示す。
- (4) 震央が広い沖積地か、沖積地近傍の海底や山岳地帯にあり、 $M \geq 7$ であると広範囲で大規模な液状化が生じ得る。
- (5) 1回液状化したところはその後もうたたび液状化し得る。

これらの発生条件は、今回の震災にすべて当てはまる。しかしながら同じ沖積平野にお



(a) 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



(b) 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

図-1 地盤の液状化の条件 (栗林・竜岡・吉田, 1974)

いて液状化の発生する場所と発生しない場所，また程度が激しい場所と激しくない場所というローカルな液状化現象の違いが表面化した。それらは非常に地域的な地史を反映して起きた現象と考えられる。上記(1)～(5)の条件は大枠では確からしいが、今後の液状化の対策を考えるうえではより詳細な地史を地域ごとに明らかにしていく必要がある。

3. 液状化による噴砂試料サンプル地点の概要

検討試料のサンプルポイントは、尼崎市の築地地区、大阪淀川河口の中水敷ならびに此花区住宅地域の3カ所である(図-2)。この3カ所のうち、とくに尼崎市の築地地区で2地点、大阪此花区淀川河口の中水敷で2地点、此花区住宅地域(淀川堤付近)で1地点の計5地点の試料を検討した。以下に各々の試料を採取した地点の概略を記す。

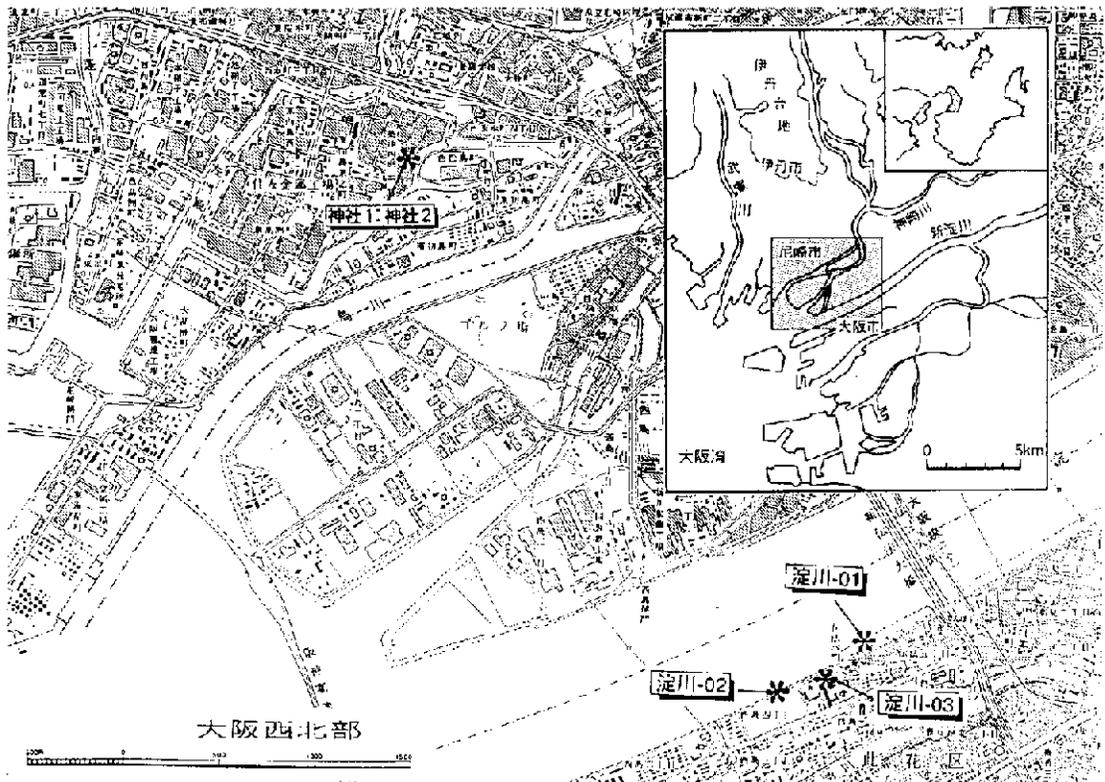


図-2 液状化に伴う噴砂の試料採取地点

(尼崎市築地地区)

街のいたるところで地割れが起き相当量の砂が噴き上がったと見られ、路地の沿道には除砂された砂がうず高く積まれていた。ほとんどの家屋は多かれ少なかれ被害を受けており、老朽化の激しいと思われる家屋はことごとく倒壊あるいはそれに近い状態であった。しかしながら地区内において、噴砂現象が見られる場と見られない場が存在したり、程度の激しい場所と激しくない場所が存在するなどの違いが認められた。分析した試料は、築地地区内の初島神社のもので、噴砂口に近い比較的粗粒部とやや離れた細粒部を試料とした。粗粒部には、砂とともに貝殻片が混入しているのが確認できた。ここにおける噴砂の

試料番号を各々、神社1（噴砂末端部）・神社2（噴砂口付近）とした。

（大阪淀川河口中水敷）

新伝法大橋から下流500mと1000mの2地点で採取したものを試料とした。河口中水敷は、河床を人工的に埋め立てた土地で増水時には水没する。そこに認められる噴砂は、河口方向に伸びるいくつもの地割れにともないそこを噴き出し口として噴砂現象がおきている。試料番号を各々、淀川-01（新伝法大橋下流500mの地点）・淀川-02（同橋下流1000mの地点）とした。

（大阪淀川河口堤付近；此花区住宅地域）

此花区は、淀川河口付近の0m地帯である。木造家屋は土台部が数十cm沈み込み、不同沈下を起こして傾いていた。沿道のほとんどの電柱も地中に沈み込み、2/3程度路面に頭を出し電線に支えられる状態で立っていた。此花区住宅地域における噴砂の試料番号を淀川-03とした。

4. 粒度分析結果

3カ所5地点における粒度分析結果を図-3・4に示す。粒度分析は沈降法（水中を沈降する沈降速度と粒径の関係から求める）により行った。なお粒径は一般に ϕ (ϕ)で表現され、 $\phi = -\text{Log}2D$ （ D ：粒子径mm）の関係がある。それら ϕ とmmの詳細な区分を表1に示した。

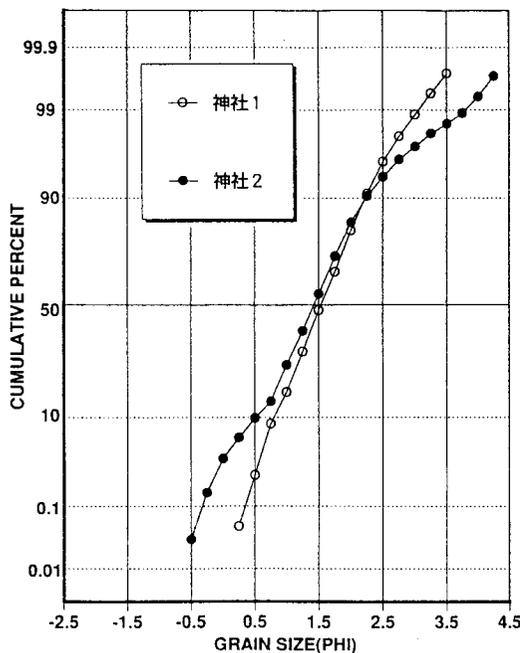


図-3 尼崎地域の粒度分析結果

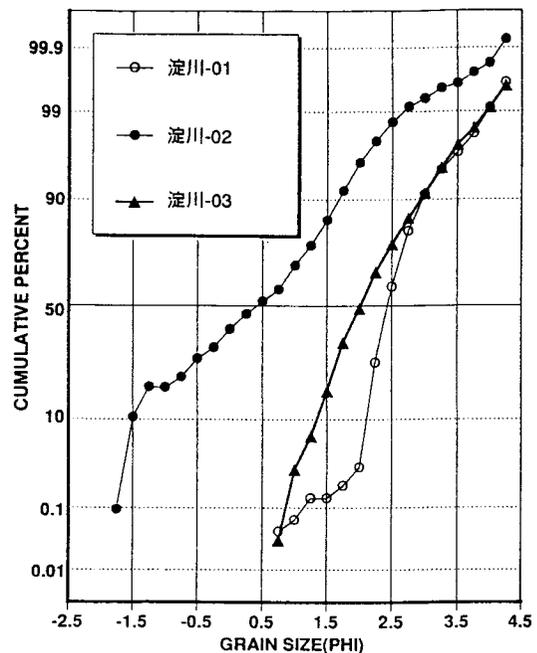


図-4 淀川下流域の粒度分析結果

4.1 尼崎築地地区（図-3）

神社1（噴砂末端部）・神社2（噴砂口付近）とも、比較的淘汰度がよく（砂の粒径がそろっている）平均粒径は 1.5ϕ （ $1/4$ - $1/2$ mm）で雲母片を含む中粒砂で構成されている。し

かしながら両者ではわずかに神社2の試料が不淘汰で全体として粗粒であることがわかる。それは表層地下から噴き上げたもの（粗粒碎屑物質や貝殻片）が直接噴き出し口周辺に集積したためであることは想像できる。また噴き出し口から離れるに従って、粒度も細粒化へ向かい淘汰され粒径が揃っている。

（粒度組成からの解釈）

神社1・神社2の両試料とも、淘汰が良く雲母片を多く含む砂である。またそれらに混じって頻繁に海棲二枚貝の破片が認められる。これらのことから液状化によって噴き上がった砂は、古海浜の砂であると考えられる。構成砂の淘汰度が良いことも海浜砂の特徴を反映しているものといえる。

4.2 淀川河口中水敷（図-4）

淀川河口付近の試料の両者では、粒度組成が顕著に異なる。淀川-01の試料は平均粒径 2.5ϕ （ $1/8-1/4\text{mm}$ ）で暗灰色の細粒砂で特徴付けられ、淘汰は良好である。貝殻片などは認められないものの築地地区の試料と類似した細粒なシルト質砂である。

これに対し淀川-02の噴砂は淘汰不良で、平均粒径は 0.5ϕ （ $1/2-1\text{mm}$ ）の白色粗粒砂で特徴付けられる。両者の平均粒径ならびに淘汰度は大きく異なる。これらにも貝殻片などは認められない。

（粒度組成からの解釈）

淀川-01の試料は、淘汰が良く非常に細粒であることから河川の下流域での流路砂州か三角州の堆積物と考えられる。砂粒中に含まれているシルト質の物質は、湾奥あるいは河川の後背低地に堆積する細粒物と考えられ、それらの堆積物が混然一体となった特徴を持つ噴砂と考えられる。

一方、淀川-02の試料は非常に不淘汰な粗粒碎屑物質で構成されている。淀川-01の試料とは明らかに粒度の点で異なり、後程述べる此花区のものと同様に総合して比較しても特異な噴砂といえる。これらは不淘汰であることから河川砂とも考えられるが、河川堤建設時に他地域から運び込んだ砂礫の可能性もある。要するに堤防そのものを支えていた砂礫が、河川水の影響で液状化現象を起こし堤防を崩しながら弱い箇所（堤防の土台部）から噴き出したものと考えられる。

4.3 此花区（図-4）

表-1 Wentworth の粒径区分に基づいた堆積粒子の分類

| Size in Meters | Class Boundary in Millimeters | Size Classes | | Phi (ϕ) Units |
|--------------------------|-------------------------------|--------------|-------------|----------------------|
| 1 | 2048 | Boulders | very large | -11 |
| | 1024 | | large | -10 |
| | 512 | | medium | -9 |
| | 256 | | small | -8 |
| 10^{-1} | 128 | Cobbles | large | -7 |
| | 64 | | small | -6 |
| 10^{-2} | 32 | Pebbles | very coarse | -5 |
| | 16 | | coarse | -4 |
| | 8 | | medium | -3 |
| | 4 | | fine | -2 |
| 10^{-3} | 2 | Grit | very fine | -1 |
| | 1 | Sand | very coarse | 0 |
| 1/2 (500 μm) | coarse | | 1 | |
| 1/4 (250 μm) | medium | | 2 | |
| 1/8 (125 μm) | fine | | 3 | |
| 1/16 (63 μm) | very fine | | 4 | |
| 10^{-4} | 1/32 (31 μm) | Mud | Silt | 5 |
| | 1/64 (16 μm) | | | 6 |
| | 1/128 (8 μm) | | | 7 |
| | 1/256 (4 μm) | | | 8 |
| 10^{-5} | 1/512 (2 μm) | Clay | | 9 |
| | | | | |

此花区住宅地域の淀川-03は、平均粒径1.5-2.5φ (1/8-1/2mm)の暗灰色で雲母片を含む細粒～中粒砂で構成される。この試料は淀川-01と比較的似た性質を示し、砂粒中にシルト質の物質を含んでいる。淘汰は良好であるが貝殻片は含んでいない。

(粒度組成からの解釈)

この試料は淀川-01の試料と同様な性質を持ち、そのことはグラフ上にも認められる。此花区住宅地域での噴砂は、ほとんどがこのような粒度の特徴をもつ砂である。この地域は以前、湿地帯であった沼地的な場を埋め立てて造成がなされたことが知られている。このことから河口部に集積した砂と旧沼地の堆積物が液状化の噴砂として噴き上がってきたものと考えられる。

5. 液状化現象の地域性

液状化現象の地域性をここに記す。すでに述べたが、液状化は場所によってその程度の違いが認められる。液状化を起こしている地域にあって、噴砂現象の認められる地域と認められない地域があるとか、噴砂の量のおびただしい箇所とそうでない箇所、また被害の程度の激しい箇所とそうでない箇所など、明らかに液状化現象の地域性がある。既存の重力異常図などからも地下の地盤に著しい不均一性が認められるとか、断層が分布しているなどの事実は認められない。

それではこのような不同液状化現象ならびに噴砂(液状化現象の地域性)はどのように起こるのか?おそらく古地形の変遷ならびに旧海岸線の分布、旧河川の分布などと密接な関わりがあると考えられる。ここで本地域の古地理の変遷を以下に紹介し議論を進める。

6. 古地理変遷

古地理ならびに古海岸線、海岸砂州の発達の様子を藤田(1966)を基にして紹介する。図-5は、縄文・弥生時代(5000～6000年ほど前)の特に尼崎を中心とした地域の海岸線と陸地分布である。このころは、汎世界的に温暖化による海水準の上昇が進む時期であり、日本におけるそれを一般に縄文海進の時代と呼ぶ。縄文海進時には、海水面が現在よりも5m程高く、現在の沖積平野をつくっている内陸まで海域が広がっていたことが知られている。例えば尼崎市周辺について言えば、この時期今回の液状化をもたらした地域はすべて海面下であり、現在のJ R尼崎駅東には古猪名川の広い河口に大きな三角州がいくつか形成されている。1万年以降では汎世界的な縄文海進を海面上昇のピークとして徐々に海退のステージへと移行するわけであるが、弥生時代には三角州の前進とともに陸域が広がったことが想像できる。また沿岸砂州あるいは海岸沿いのビーチもどんどん発達したと考えられている。図-6に古海岸線と海岸砂の伸びの様子が示されている。古猪名川からの碎屑物の供給も多くなったことが知られており、海岸ビーチだけではなく河口付近には流路砂州あるいは三角州も発達していたと考えられる。これらの碎屑物が本地域の沖積層を形作ったのである。

図-7は、古墳・奈良時代の様子である。この時期、縄文海進にピークを迎えた海水準は徐々に下降し陸域は大きく広がった。また農耕や稲作が発達することに伴い、海岸線近くまで生活空間が広がったと考えられている。特に奈良時代になると湿地帯である場所を生

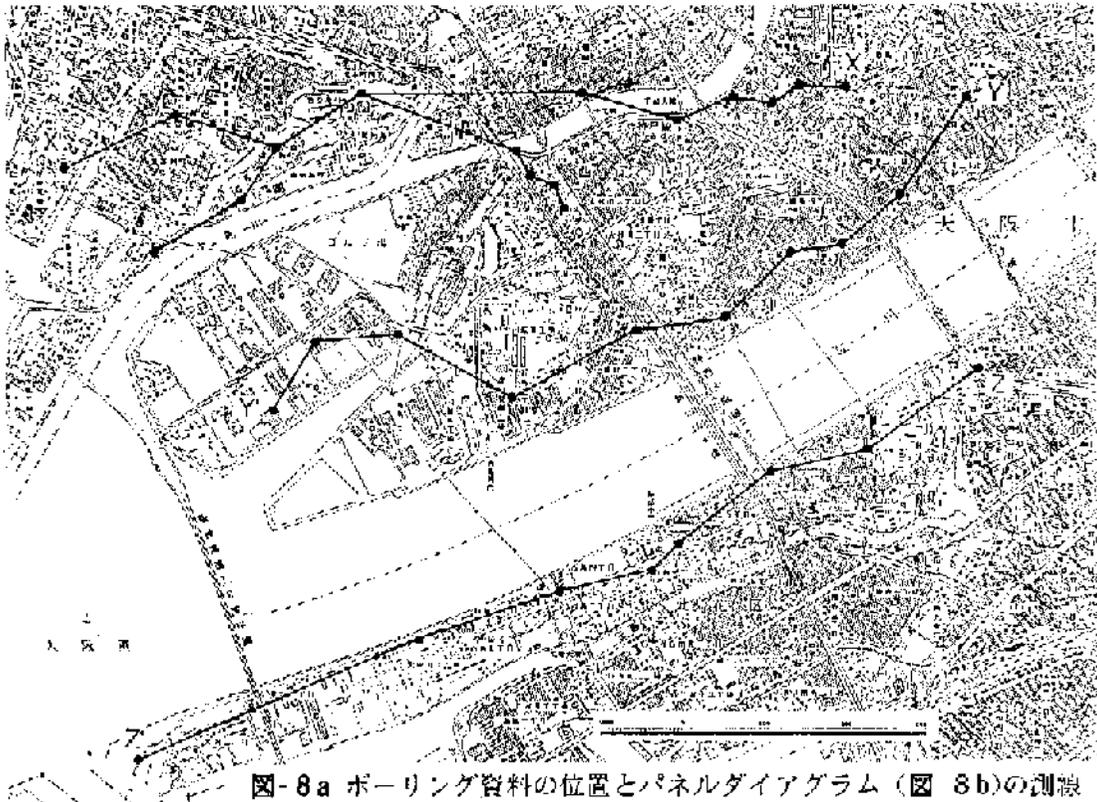


図-8a ボーリング資料の位置とパネルダイアグラム(図8b)の測線

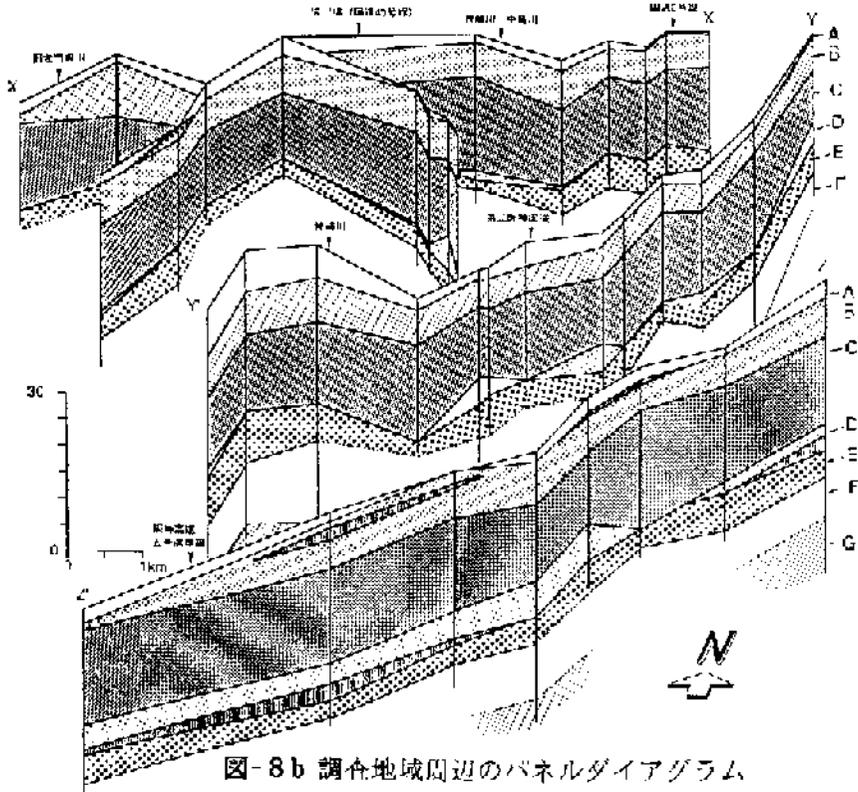


図-8b 調査地域周辺のパネルダイアグラム

ここでは表層地質を上位から便宜上A～Gとして表現した。以下に各々岩相の特徴を示す。

Aは盛土層であり、表層の被覆砂礫層と考えられる。Bは主に淘汰良好の黒雲母細粒砂層で、一部にシルト・粘土層、礫層を挟在し、海棲の貝殻片を含んでいる。Cは植物片や貝殻片を含む暗灰色不淘汰シルト質粘土層である。Dは有機質粘土層とシルト質砂層または不淘汰な砂礫層で特徴付けられる。Eは調査地域に広範に連続する礫層である。またFは貝殻片を含む粘土層で、Gは稀に貝殻片を含む砂層で各々特徴付けられる。古谷（1978）は、大阪周辺の上町・伊丹両台地の段丘堆積層と、大阪平野地下の堆積物の層序を再検討し大阪平野地下の上部更新統の層序をまとめ、花粉による気候変遷を議論している。本報では、古谷（1978）の層序に基づいて議論を進めることにする。

古谷（1978）によると、パネルダイアグラム上のA～Dは沖積層の難波累層に、E～Gは洪積層に相当すると考えられる。さらに沖積層は、Bが難波累層上部層、Cが中部層、Dが下部層であり、Cは海成粘土のMa13層に相当すると考えられる。他方洪積層は、Eの礫層、Fの粘土層、Gの砂・シルト層であり、特にEは天満礫層、Fは海成粘土のMa12層に相当する。古谷（1978）は、地層Fの上・下位に伴う砂質層を含めてMa12層として扱っており、おそらくFとGをあわせたものがMa12の海成粘土層に相当するのであろう。

次に下位から堆積環境を概観する。G・F（Ma12層）の堆積環境は明らかではないが、おそらく沖合いでの堆積環境が想定できる。またEの礫層は、部分的に海成層が含まれるが、基本的には陸上での河川成堆積物と考えられている（古谷，1978）。また同様にDの堆積物も陸上河川の影響が強い堆積物と考えられる。一方、上位のC（Ma13層）は、G・F同様沖合いの環境下で形成されたものと考えられる。最後にBの砂層は淘汰良好であり海棲の貝殻片が多く含まれていることや、藤田（1966）の古地理図を考えあわせると海岸沿いに発達したビーチの海成砂、あるいは河口付近の三角州の堆積物と考えるのが妥当である。

8. 液状化に伴う噴砂はどこから？

それではいったい液状化に伴う噴砂の砂はどこに分布していたものが噴き上げてきたのであろうか。試料の神社1・2における砂は雲母片を含む淘汰の良い海成砂で淀川河口付近の淀川-01の試料は暗灰色の細粒砂で、ともに淘汰は良好である。さらに此花区住宅地域の試料淀川-03も暗灰色で雲母片を含む淘汰良好の細粒砂～中粒砂で構成されるなどの特徴がある。淀川-02の試料を除いて考えると、細粒で、淘汰が良く、雲母片を含んでいるという特徴がある。これらの特徴と地下ボーリングデータ資料を比較検討した結果、液状化に伴う噴砂は、Bを構成する淘汰良好な細粒砂である可能性が高いといえる。地層Bは地下10～15mに分布する海成砂で極細粒～細粒砂と一番流動化しやすい粒径をもち（後述）、地表直下に分布し噴出しやすい位置にある。さらにそのBの直下に重なる地層Cの岩相はシルト質粘土で、Bよりも流動化しにくいと考えられ、液状化に伴って噴き上がった細粒砂は15m以浅の沖積層B（難波累層上部層）と推定することができる。

9. 液状化に伴う不同沈下

液状化に伴う不同沈下・不同噴砂、また被害の程度状況の地域差などは、古地理の変化と密接な関わりがあることは既に指摘した。本地域は過去1万年を通してほとんど海面下や

河川下に水没しており、現在の街並みのほとんどが旧河川に発達した流路州あるいは旧海岸沿いに発達した海岸砂の上に開発されている。

ところでローカルな液状化の地域性は上記のことによるが、さらに個々の建造物について見た場合、液状化の被害の程度は様々である。液状化現象が激しく起きている地域内で、新しい中・高層建築マンションなどは液状化による被害をほとんど受けていないのが目につく。逆に一戸建ての一般家屋は、ことごとく被害をこうむっている。このことは、基礎工事の違いが被害の程度の差を顕著にしていることは直感的に想像できることである。ここで建造物を支持している地下の地層について検討を加える。

10. 地下の支持層

本地域の上部更新統の層厚は、平均して20~30mである。主な地層の標準貫入試験（N値）の概略値は、Aの盛土層が5前後の値、Bが10前後の値、Cの軟弱シルト層は5以下で、Dが15

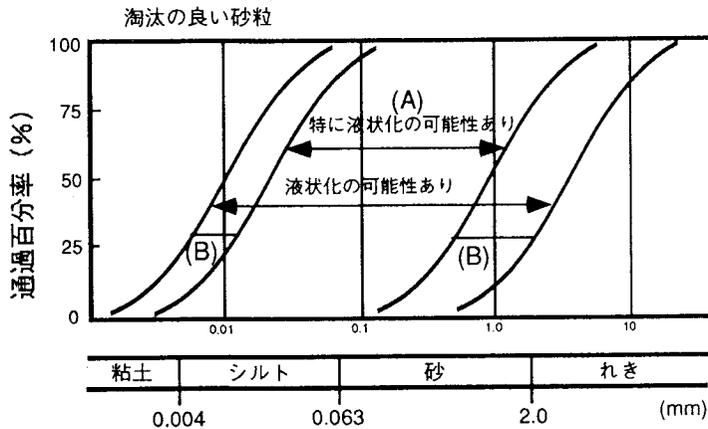


図-9a 液状化の可能性のある粒度分布（日本港湾協会基準）

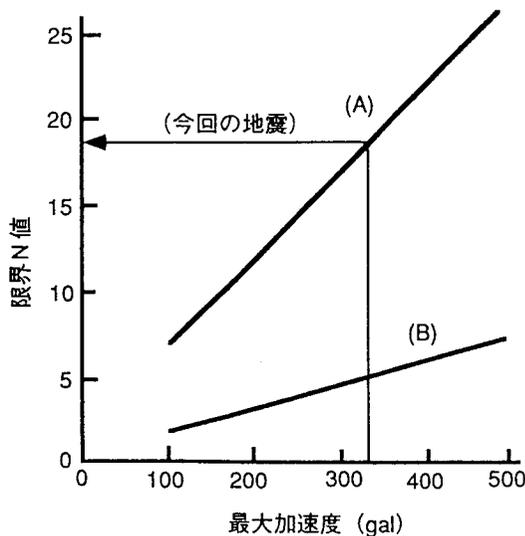


図-9b 液状化に対する限界N値と地震最大加速度（日本港湾協会基準）

以下の値を示す。本地域で高N値を示すのはEの礫層で、その値は50以上である。この礫層（天満礫層）は大阪周辺で高層建築物を建てる際の支持層となっており、地下22～30mに分布する。しかしこれが支持層となっている建物はあくまでも中・高層建築物に限り、当然のことながら一般の家屋はほとんどの場合この礫層までの基礎工事は行われていない。

N値のみを概観すると支持層となり得る地層は、Bの砂層かEの礫層ということになるが、今回の規模で同じように地震が起きるとするならば、Eの天満礫層に支持基盤を置かない限り液状化の災害からは免れない。そのことを以下に示す。

図-9a・bは、日本港湾協会が指摘している液状化の可能性のある粒度分布と、N値と地震最大加速度（gal）との関係である。これによると液状化の可能性のある平均粒径はシルト～極粗粒砂の範囲に含まれ、その粒径値は0.004mm～2.0mmである。ファイ値では8～1φとなり、今回分析した3カ所5地点の試料のすべてがこの範囲に含まれてしまう粒度分布である。（図-9a）

次にN値と最大加速度の関係を見る。今回の地震の本地域における最大加速度は、250～350ガルの水平最大加速度を記録した。このことは、標準貫入値試験によるN値が15以上を示さない地層では、間隙水圧が上がり液状化が起り得ることを示している。本地域のN値は、地層A～Dが10程度と限界N値の15には及ばない。（図-9b）以上の粒度組成とN値データから判断すると、A～Dの難波累層は液状化の起りやすい地層ということになり、実際に地上に噴出した細粒砂は地表直下（15m以浅）のBの砂層からのものであることもうなずける。今回と同程度の地震動で、地下地盤で液状化に伴う流動化に耐え得る地層は、N値が50以上である天満礫層（E）ということになる。

被害の大きかった神戸周辺に目を向けてみると、神戸周辺での最大加速度は833ガル、また西宮周辺では792ガルに達するものであったが、その最大加速度下で液状化を免れるための限界N値は図-9bから40前後の値を見積もることができる。天満礫層（E）のN値が50以上であることを考えれば、今回と同規模の地震でもEの地層中では液状化を起こすことはないはずである。

11. 液状化対策

本地域の今後の開発において、中・高層建築物は天満礫層（E）に達する基礎工事が求められる。これは既にほとんどの場合実施されている。問題となるのは一般住宅についてである。液状化対策については様々な工法が考えられているが（液状化対策の調査・設計から施工まで編集委員会、1993など）、大枠では2つの選択がある。すなわち液状化の発生そのものを防止する地盤改良の対策と、液状化の発生は許し施設の被害を軽減させる構造物への対策である。具体的対策の主な物は、地盤を締固める、地下水位を低下させる、地盤を置き換える、支持基盤までの杭を打つ、また建物の土台部で荷重を分散させる等の工法である。しかしながら確実に家屋へのダメージを抑えんとするならば、中・高層建築物同様の天満礫層（E）に達する基礎工事を行わなければならない。今回の液状化による噴砂現象は難波累層上部層（B）の砂の流動化によることは既に述べた。要するに本地域の一般家屋は水を含んだ砂地の上に浮かんでいるのである。そのことを考えると、流動化する地層Bに家屋の基礎を求めただけでは多少の傾動は起きると考えたほうがよい。しかしながら天

満礫層（E）に達する杭打ち工法は、一個人では極めて非現実的である。先の地盤改良工法も一個人で行ってもその効果は100%ではなく周辺で液状化が始まればその影響をこうむるのは必至であり、地域全体で考えていく必要がある。大崎順彦氏が著書「地震と建築」のなかでバイプロフローテーション工法（地盤を締固める工法）を取りあげ効果があったことを紹介しているが、本地域でこれが有効かどうかは解らない。いずれにしても家屋と地盤特性にあった工法を模索するしか今のところ手だてがないのである。こうして考えてみると、最悪の事態でも家屋の破損・倒壊による被災を避けられる建築物（液状化によって傾動しても壊れない建物）を造ることが最重要課題ではないだろうか。今後これらの地盤問題については、急場しのぎの対策を施すのではなく将来を見すえ、地域住民と行政が一体となり考えていく必要がある。

12. まとめ

- 1) 液状化に伴う3カ所5地点の噴砂の粒度組成を検討した。その結果、淀川-02の粗粒砂（0.5φ）を除いて、各々の平均粒径は中粒～細粒砂（1.5～2.5φ）を示すことが明らかとなった。
- 2) 噴砂の砂は、淀川-02の試料を除き、旧河川の河口部の流路砂州、三角州あるいは旧海岸沿いのビーチの砂と考えられる。
- 3) 本地域の上部更新統の層厚は22～30mであり、主に地表直下（15m以浅）の細粒の海成砂が液状化に伴い噴砂として地上に噴き上がった。
- 4) 地域開発を行う際（造成・建築など）、その地域の地盤の形成過程を把握することは不可欠であり、住民一人一人が足下の地盤を知ることが重要である。
- 5) 本地域の中・高層建築物の支持層となり得る地層は、天満礫層である。
- 6) 人工埋め立て地では、液状化は避けられない現象である。そのことを念頭に入れ、建築物と地盤特性を把握し基礎工事を行うことが必要である。一般家屋においても中・高層建築物同様の大がかりな基礎工事を行うことが望ましいが現実的ではない。最悪の事態でも家屋の破損・倒壊による被災を避けられる建築物を造ることが求められる。

謝辞：本報告をまとめるにあたり、（株）キンキ地質センター藤原重彦氏には基本的な問題の指摘や有益なご助言をいただいた。また環境地学研究所井上正三氏にはパネルダイアグラムを作成するにあたりお世話になった。これらの方々に厚く御礼申し上げる。

参考資料

- 1) 市原 実：大阪層群，創元社，1993。
- 2) 液状化対策の調査・設計から施工まで編集委員会：液状化対策の調査・設計から施工まで，土質工学会，1993。
- 3) 大崎順彦：地震と建築，岩波書店，1995。
- 4) 栗林栄一・竜岡文夫・吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所彙報，30，1974。
- 5) 藤田和夫：尼崎地域の平野発達史，尼崎市史，1，1966。
- 6) 古谷正和：大阪平野西部の上部更新統，地質雑，84，1978。

保育所の被害を考える —安心な保育所と安全なまちづくりのために—

稲石 勝之（新建築家技術者集団）

はじめに

兵庫県南部地震からはや4ヵ月が過ぎた。マグニチュードM5以上の地震がこの間に、30回も日本の地下で起きている。『NHKTV』5月29日にはサハリンで地震があり多数の人が亡くなった。『朝日新聞』が2月下旬「震災体験と生活感の変化」を調査した結果、神戸・阪神地区では、回答者の7割近くが被災。全体の過半数が「今後生活の何かが確実に変わる」と答える一方、東京地区は「変化なし」が半数と報じていた。又、新潟県北部地震（中震）のときも「阪神大地震の教訓生きず」と報じている。テレビ体験では神戸の「阿鼻叫喚」はなかなか伝わらない。

兵庫県南部地震では神戸市の保育所被災状況は158ヶ園（定員15,417人）のうち全壊5、半壊7、一部損壊33、その他破損80。昼間里親49ヶ園（147人）のうち全壊5。共同保育所6ヶ園のうち全壊1、半壊1である（3月15日現在 兵庫保育運動連絡会による）。地震が明け方であり、保育所には子どもがいなかった。保育中であれば多くの子どもの命が失われた。日本は世界に例のない地震地帯にある。早晩地震が予想される地域を考えると、保育所での地震被害を少しでも少なくしなければならない。そこで、安心な保育所と安全なまちづくりについて教訓をまとめた。

1. 焼け残った保育園

神戸市長田区に接する須磨区東部千歳町は大火災になった。幸いに2階建て耐火構造の千歳保育所は焼け残った。保育所と道路をはさんだ東側と保育所運動場と千歳小公園の南が焼失。北側の4階建ての建物は全焼、コンクリートブロック塀が保育園の植木に倒れかかり、西側は小道をはさんで駐車場と倒壊家屋があった。（写真1・図1）

4ヵ月後、公園の焼けこげた樹木は青葉をつけ、既に北の建物は解体されてしまった。この建物と保育所の外壁距離はおよそ3mほど、焼けた時窓から吹き出す炎の輻射熱が保育所の北壁を襲っている（写真2）。他の焼け残った耐火建築の窓は写真3のようにひびが入りながらも火勢を食い止めている。これは建築基準法でいう「乙種防火戸」の網入りアルミ建具である。地震でガラスが少しでも欠損すれば、室内が延焼していた。

都市の地震火災の実態は完全に知られていない。防災専門家の神戸大学室崎益輝教授は「今回の地震が防火研究の歴史を書き換える重みがある」と述べ、又、「低層の住宅、商業地などに単独で建っている中層建築物が火災になった場合、周囲の空気を取り入れてかまどのように内部が激しく炎上し、上層の窓から飛び火していた、耐火建築物の開口部が弱点となり、火災を拡大した」例を指摘してる。千歳保育所が焼失しなかった理由は空地（道路、公園等）と隣棟間隔があり、耐火構造になっていたことである。緊急災害時に子どもを預けられるシェルターとして、保育所建築はとくに安全を確保する空間的、物理的

にも余裕を持つ整備計画が必要である。これは保育所だけではできない。京都市内西陣地域を例に取れば、古い木造家屋が建並び地震火災は長田のそれがあてはまる。ここにある7M近い崖上のS保育所の坂道は狭く曲がり、消防車は接近出来ない。避難の際、倒壊家屋や塀に道を塞がれることが十分考えられる。隣接する町内といっしょに現状を少しでも安全な町に身近な生活空間を改善する運動が必要である。

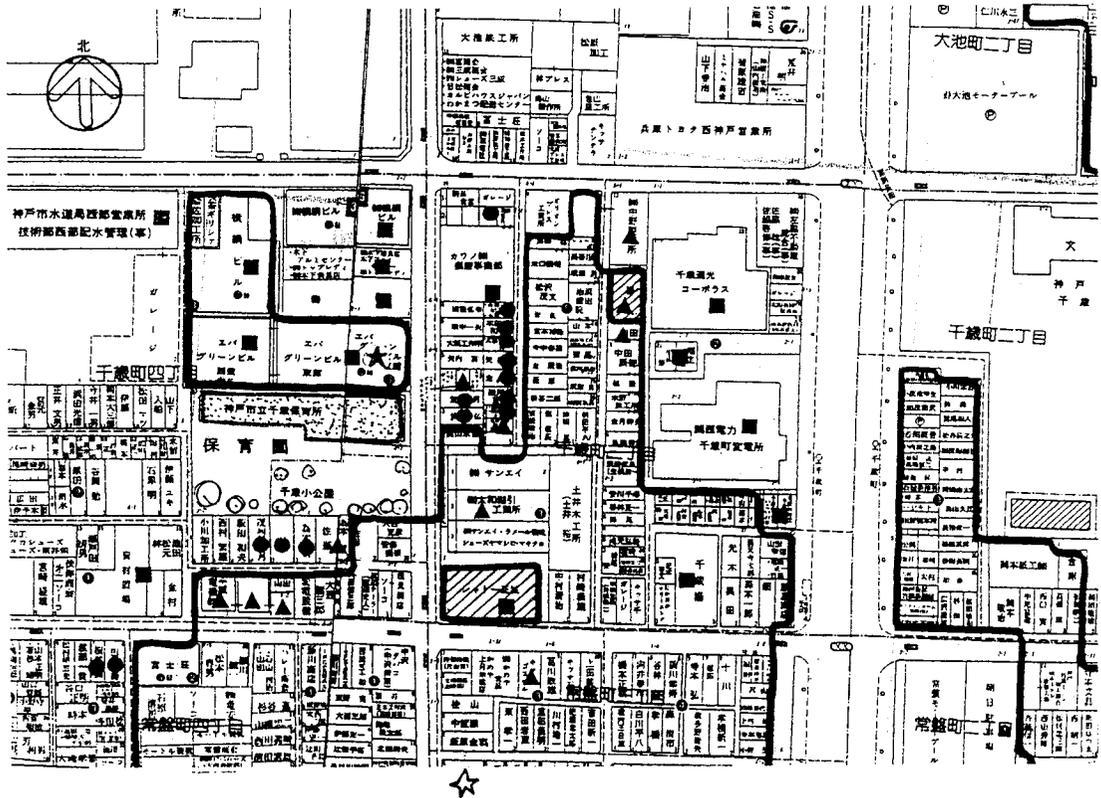


図1 千歳保育所地域・焼失区域の出荷点及び焼け止まり近傍の建物構造の状況
「阪神・淡路大震災時の火災の延焼状況調査報告書（神戸大学室崎研究室・地域環境防災研究所作成）」千歳4丁目（須磨区、18日11時頃出火）から転記

- | | | |
|---------|---------------------|------------|
| 建築構造の凡例 | 出火に関する凡例 | 延焼阻止に関する凡例 |
| ■：耐火造 | ★：出火点 | —：焼け止まり線 |
| ▲：簡易耐火造 | 延焼に関する凡例 | ▨：部分焼 |
| ●：防火造 | ☆：飛び火 | ~~~~：外壁の焼殻 |
| ○：裸木造 | ⇒：焼失家屋の道路側への倒壊による延焼 | |

2. 全壊した保育所

震度7の地域に入っている神戸市立石屋川保育所は1階が潰れ全壊した。付近は建物の構造を問わずあらゆる建物に被害が出ている。1968年設立の6階建の建物は、1階が保育所で2階から市営住宅（35戸）になり、築後30年以上経っている。同じ形式の生田保育所

も全壊したと聞く。建築基準法の旧の構造基準で建築された建物で同じ物は、他の都市にもある。命を守る建物が壊れた場合どうなるか、全壊した石屋川保育所の被害状況を以下に列記する。(写真4)

- ① 二つの共用階段は出入りはできるものの全壊にちかく、北東の部分階段も倒壊していた。上からモルタルやコンクリート片が多数落下している。(写真5)
- ② 市営住宅の階で、廊下の壊れ方がひどく、かろうじてつながっている。コンクリート片は運動場に落下している。
- ③ 屋上には、鉄骨の架台にのった高架水槽があり、幸いに落下はしなかった。長田区の共同保育所では、屋上から高架水槽の落下があり、ここも運動場に落下する危険があった。(写真6)
- ④ 運動場にもものや建具ガラスが飛散している。中には室内にあったと思われるものもある。アルミ建具は、くの字か、弾き飛び、網入りガラスも割れて、飛散しているものがある。普通ガラスは形も無い。横にガラス片が飛んでいったと考えられる。(写真7)
- ⑤ RCの柱は横S字に曲がって、配筋は古い基準で、頼り無い。新基準に合わせた補強の基準は十数年前からあり、静岡県では小中学校の補強を既に行っている。『朝日新聞』(写真8)
- ⑥ 押しつぶされた室内は高さ1mほどになり、ピアノ・ロッカー・机などがたおれている。このすきまに何人の子どもが助かるだろう。(写真9)

地震後被災体験の人の意見を集約すると「保育園は、水無し火攻めの中で、三日間持ちこたえるシェルターであってほしい」ということになる。保護を必要とする子どもの施設保育所は絶対に地震で壊れてはならない。人間の五感に立つ安心、安全に立ち戻って考え、命を守ることと利便性、経済性を見極めが必要だ。そのためにはつぎの点を国と行政に求めることは不可欠である。

- ① 建築基準法の新耐震基準以前の既存の保育所と今度の地震によって地震被害を受けた事例に相当する保育所の耐震診断を行う
- ② 耐震診断の結果問題がある保育所は、改築や構造補強を早急に行う
- ③ 絶対に壊れないものとして、構造強化(安全の上乗せ)を計る
- ④ シェルター機能を保育所機能に加え、保育所計画の見直しをはかる
- ⑤ 高層大型の複合施設のなかに保育所はつくらない等が大切である。

3 地震対策

3.1 落下転倒物対策

身近なところから危険を取り除く必要がある。今度の地震で机ロッカーの上から石臼や水槽が落ち、ピアノが跳んで床を打ち抜いている。後に載せた「地震対策チェックリスト」(表1)を使い保育所内外を点検してみると、時計や額が外れやすい釘に掛けてある、コードペンダントの照明器具が揺れると破損する、乳児の寝ている横のロッカーの上に重い箱があるなど、ぞっとすることがあった。(写真10・11)

3.2 ガラス建具の対策

地震による建具の被害は、西宮北口(震度7)の古い木造住宅では木製の建具が衝撃によって壊れ、一方、普通のガラスのアルミ建具は枠が変形していても、ガラスはほとんど

表1 保育園の地震対策 チェックリスト

| 項目 | 対象 | 対策 |
|------------------------------------|--|--|
| 落下物対策 重く危険なものは凶器になります | 扇風機 クーラー 時計、類類の小物 照明器具 吊り戸棚 備品類 その他(本棚、タンス類) | がたつきの有無を点検 " "、釘ビスの種類を点検 "、フックひもによる固定 重い、薬品の処分整理、鍵 処分整理、固定 がたつきと危険予測チェック |
| 転倒物対策 ピアノやコピーが空を飛び、凶器になります | 家具 H=1800のもの ロッカー 書棚 遊具戸棚 家具 H=900のもの その他(本棚、タンス類) ピアノ | 固定 開き扉に鍵 固定 ケースバイケース 子供が登り転倒しないか 丈夫な鎖、ひもで結ぶ |
| ガラス破損対策 | 避難経路付近のガラス 避難時の怪我 乳児居室のガラス ガラスの散乱落下による怪我 欄間のガラス 家具内のガラス製品 | 安全ガラス又は網入ガラスに入れ替える " " 整理 |
| 火気対策 緊急手動遮断 調理中の熱湯、油の飛散に特に注意 | 給食室の調理器具 " 油火災 電気器具 石油器具 湯沸かしガス器具 ボイラー | 消火器 消火布 消火剤 OFFスイッチ センサー確認、消火布 " ガス遮断 " ガス、火遮断 ★地震時のガス漏れの場合 換気扇使用禁止 |
| そのほか 悲鳴か指示が分かれ目 | 2階園児のパニック ブロック塀 | 要注意対策訓練(日常) あわてて外に出ない 地震時緊急救助、接近禁止 施工と構造チェック |

割れていない。枠と中の建具に「逃げ(余裕)」があって、壊れなかった。(写真12)

写真13はJ R 鷹取駅北の大破した建物の普通ガラスと建具の状況である。上側が右にゆがみ建具の逃げ以上に、建物の構造が変形した破壊事例である。

板硝子協会の調査は「朝夕のラッシュ時に（地震が）発生した場合を想定すると、ガラスの落下、飛散による怪我の影響はかなりの広範囲に及ぶであろう」又、「概ね破片の飛散距離は落下高さの1/2程度であった」と報告している。

乳幼児の施設には建築基準法による適用範囲を超えて、耐震、防火、人体衝突、防犯の点から、割れても飛散しないガラス選択とその使用範囲を、保育園のすべてに考えていく必要がある。

地震後保育園で既存のガラスに飛散防止シートを貼ることがあった。しかし耐久性、対候性、汚れ等に難がある。基本は安全を見越してガラスを入れ替えることである。保育園にはまず網入りガラスが、施工と在庫と経済性から使いよく、防火性が他のガラスに比べ高い。「安全ガラス」は2種類あって、普通ガラスの数倍強い「強化ガラス」（これは割れたガラスが丸くなるので怪我しない）とひびが入っても飛散しない「合わせガラス」とがある。しかしいずれも防火機能はない。

人工的に傷をつけたすりガラスの強度は普通ガラスより弱く、保育所での使用は避けるべきである。又、今まで子どもの手の届かないところは（欄間など）普通ガラスを使ってきたが、安全ガラスにする必要がある。欧米では「安全ガラス」が公的の施設には義務化されている。早晚すべての公共建築物の開口部に安全ガラス使用が義務化されることになっていくと考える。

3.3 既存保育園の耐震チェック

大地震にもきちんと建築された新しい2階建て保育所は壊れていない。やや乱暴であるが下記の指標で既存の保育所の建物を点検してみよう。（図2）

| | | | |
|--------|-------------|--------------|-------------|
| ① 地盤 | A 良い・普通 | B やや悪い | C 非常に悪い |
| ② 老朽度 | A 1981年以降建築 | B 1971～1980年 | C 新耐震1971以前 |
| ③ 設計 | | | |
| 梁間 | A 6 m前後の梁間 | B やや梁間が長い | C 無理な構造 |
| 階数 | A 2階建て以下 | B 3、4階建て | C 5階建て以上 |
| かたち | A 単純 | B 不整形 | C かなり不整形 |
| ④ 施工管理 | A 高い技術力 | B やや問題あり | C 手抜き欠陥工事あり |
| ⑤ 維持管理 | A 定期早めの修理 | B 壊れれば修理 | C 雨漏りあり |

どこが弱いかわかっているのといないのでは大違いである。Cが多いようならば、専門家に一度相談してほしい。

おわりに

最後に今度の地震で忘れてはならないことが3つある。

① 震度7の怖さー人も動物

「恐ろしかった」「死ぬと思った」と何度も剛胆なNさんがつぶやく。揺れの大きさだけでなく、突然に襲ってくる怖さが地震の恐ろしさである。震度7という怖さはどれほどのものだったのか。1981年の濃尾地震（M8）は日本内陸最大の直下型地震であった。このときのアンケート「動物の挙動はどうであったか」の震度と動物の挙動との関係を見ると、震度5+の「伏して動かず、狂乱」から震度6-以上は「不明」と、動物を観察する余裕のあった人は一人もいない。地震の時人は動物になり、恐怖で何

もできない。(表2)

② 過密都市と直下型地震－保育所もまちづくりの視点が必要

「災害は忘れたころにやってくる」。本当にそう思う。関東大震災は参考にならないほど、現代都市は過密で危険な状態である。安全を確保する仕組みが壊れてしまうだけでなく、その装置さえ凶器になることも起きた。災害に強く、命が守られる町づくりをせずに、ゼネコン型開発をすすめ、震度7の篩いかけられた神戸のまちづくりを繰り返さないようにしなければならない。保育所も安全に住めるまちづくりの防災視点から、地域を見る必要がある。

③ 犠牲は弱者に－コミュニティの役割

痛ましいのは死者の半数以上が高齢者であること。死者の約一割は出火による火災から焼死しているといわれている。命が助かった被災者もその後避難所や病院で亡くなられ、その数は600人を越えた。多くの弱者が犠牲になられている。救いは地域の助け合い、コミュニティだった。これらの証言は数多くある。保育所はコミュニティの核になる条件を持った福祉施設である。この保育所の機能を拡大する方向で、子どもの幸せのためにこの地震を忘れまい。 **地 盤**

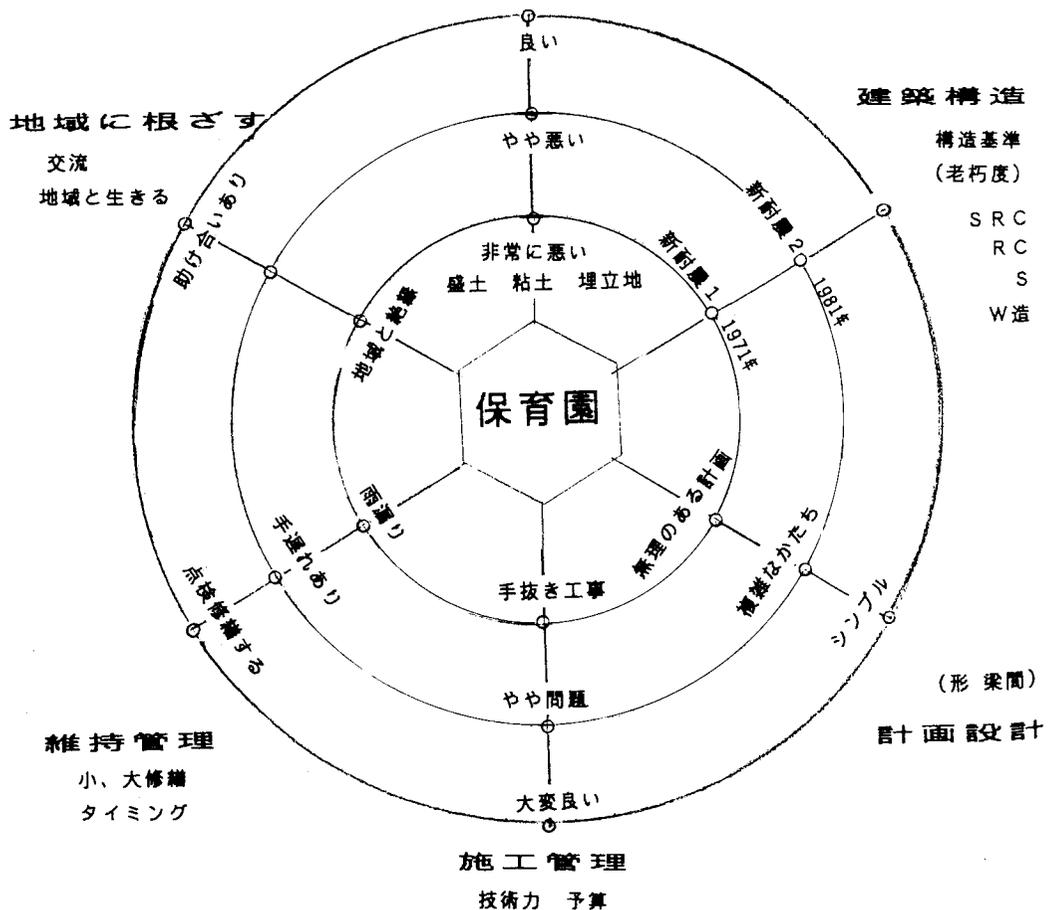


図2 保育園の安全を見直すために

表2 震度と諸現象との対応（濃尾地震のアンケート調査による，当時の市町村単位）

| 震度 | 家 屋 | 道 路 堤 防 | 動 物 の 挙 動 |
|----|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 3+ | 問6 | 15 16 | 21 |
| | 動揺の方向明瞭 | | |
| 4- | 動揺はげしく驚いて飛出す者あり | | 牛馬歩を止めて動かす |
| 4+ | はげしく動揺壁，瓦等に破損ありと聞く | | 恐怖の状，狼狽の体 |
| 5- | 人々皆逃げ出す，壁・瓦破損，きれつ障子倒る | 堤防の崩壊あり | 牛馬号叫，犬猫馳せ回り，鳥類鳴き騒ぐ |
| 5+ | 壁崩落 | 土地の隆起，陥没あり，きれつ一間くらい数カ所。堤防崩壊，規模5間くらい | 伏して動かす，狂乱 |
| 6- | 倒潰あり | 崩壊したものが多 | 不明 |
| 6+ | 倒潰多数 | 崩壊数10カ所，地面きれつ長さ数十間 | |
| 7- | 倒壊率30%以上 | 崩壊，きれつ数百間 | |
| 7+ | 全滅に近い | | |

参考文献

- 1) 神戸市消防局：「阪神・淡路大震災における消防活動の記録」
- 2) 日本科学者会議：「現代の災害」
- 3) 望月利男：「都市型大地震に備えて」
（この原稿は『'95 保育白書（草土文化）』の原稿を加筆修正したものです）



写真1 焼け残った保育所と小公園，千歳保育所。



写真2 保育所の外壁，輻射熱で火ぶくれに。

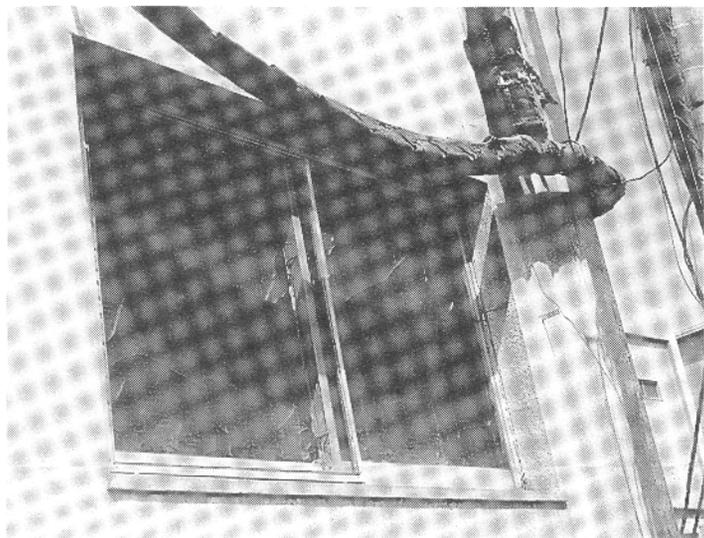


写真3 火をくい止めた網入りガラス。

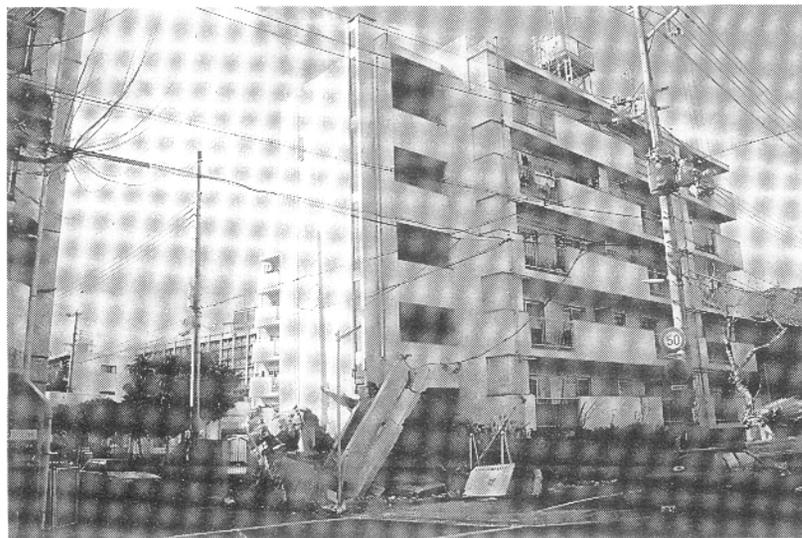


写真4 全壊した保育所，6階建が5階建に。



写真5 2階階段が1階に.



写真6 高架水槽と階段の落下.



写真7 ものとガラスが散乱する保育所の運動場.



写真8 コンクリートの柱と建具の被害.



写真9 押しつぶされた室内.



写真10 落下して壊れた石臼と水槽.



写真11 ピアノが空を跳び、床に穴をあけた.

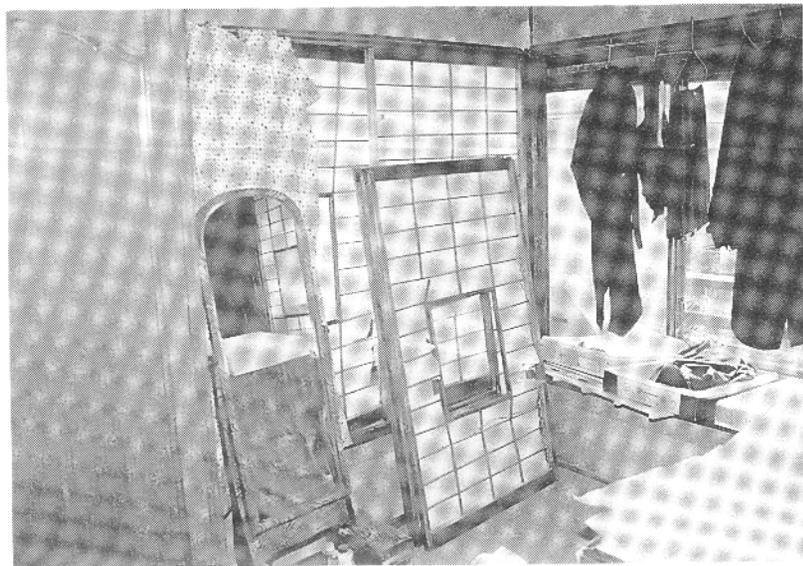


写真12 木造住宅の壊れた木製建具.

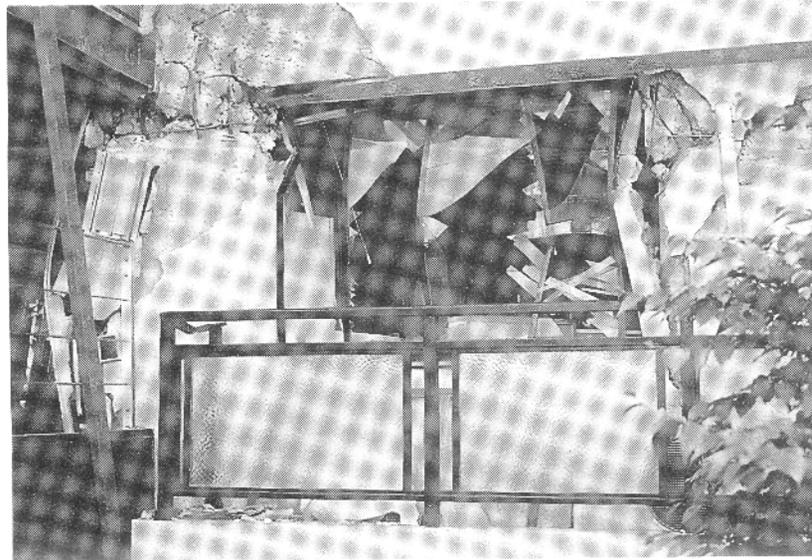


写真13 大破した建物のガラス（普通ガラス）.

阪神地域の建物被害に学ぶ

鈴木 有（金沢工業大学）

1. はじめに

今回の震災で生じた建物被害は、その規模と程度が研究者や技術者の想定をはるかに超える厳しさであり、とくに木造建物の倒壊が予期せざる大震災の引き金になったという点で、衝撃的であった。本稿では、主として建築物の耐震構造学という観点から、以下の3つの内容について考えてみたい。①最近3年間に発生した被害地震の場合と比較しながら、今回の建物被害の特徴を把握し、わが国の震災史の中で占める位置を考える。②木造建物に大被害を生じた構造的・工法的原因を分析して、木造倒壊のもつ意味と教訓を考察する。③コンクリート系や鉄骨系の建物被害の原因を概観して、そのもつ意味と教訓を導く。

2. 最近の被害地震との比較

2.1 被害分布は点から面へ

最初に、建物被害の地域分布について比較してみよう。昨年12月28日の夜間に三陸はるか沖地震が発生した。最大の被災地は震度6を記録した青森県八戸市で、52棟の建物が全壊と判定された。翌年1月7日早朝の余震でもかなりの被害を生じたのがこの地震の特徴であるが、このとき八戸市の震度は5、9棟の建物が全壊判定であった。

八戸市の人口はおよそ24万人、市域のほぼ全域をおおう地形区分図上に、市によって全壊（○印）および半壊（□印）と判定された建物の位置を示したものを図1に示す。この地震による全半壊建物のほとんどは在来工法の木造住宅である。図の分布に示されるように、「震度5から6」を記録した最近の地震で著しい被害を受けた建物は、地域的にやや集中する傾向をもってはいるが、全体としてみれば「点在」しているのが特徴である。

今回の地震で1週間後に日本建築学会近畿支部構造部会が建物被災度の全数外観調査¹⁾を実施した。我々のグループが担当した神戸市中央区のブロック〔図2(a)参照]のひとつについて、調査結果を図2(b)に示そう。ここは阪急・神戸線の花隈駅裏の下町で、およそ東西150m、南北200mのブロックである。住宅地図上に、木造建物の被災度を7つに区分して〔文末の「注記」参照]表示している。このように狭い地域でも、崩壊や倒壊や大破を生じた、自治体の判定では全壊相当になる建物が「線状」に連続し、「面的」に広がっていることがわかる。「震度7」と判定された地域を襲った地震動のもつ破壊力のすさまじさが、被害分布の面から理解されるであろう。

ところで、図1で地形との関連から読み取れる被害の地域分布がもついまひとつの特徴は、2つの河川の河口流域に形成された低地の軟弱な沖積地には木造被害が少なく、礫（玉砂利）や砂からなる低位の段丘、あるいは段丘間または段丘と沖積地の境界付近に集中していることである。1993年1月に発生した釧路沖地震でも、被害は軟弱地として有名な湿原地帯で少なく、洪積台地のとくに造成地で著しかった。これまでの木造被害は軟らかい堆積層の厚さが増すほど増加すると言われてきた。しかし、近年の木造は筋かいを入れ面材を多く使って構造を固めているため剛性が高くなり、屋根も壁も軽量化してい

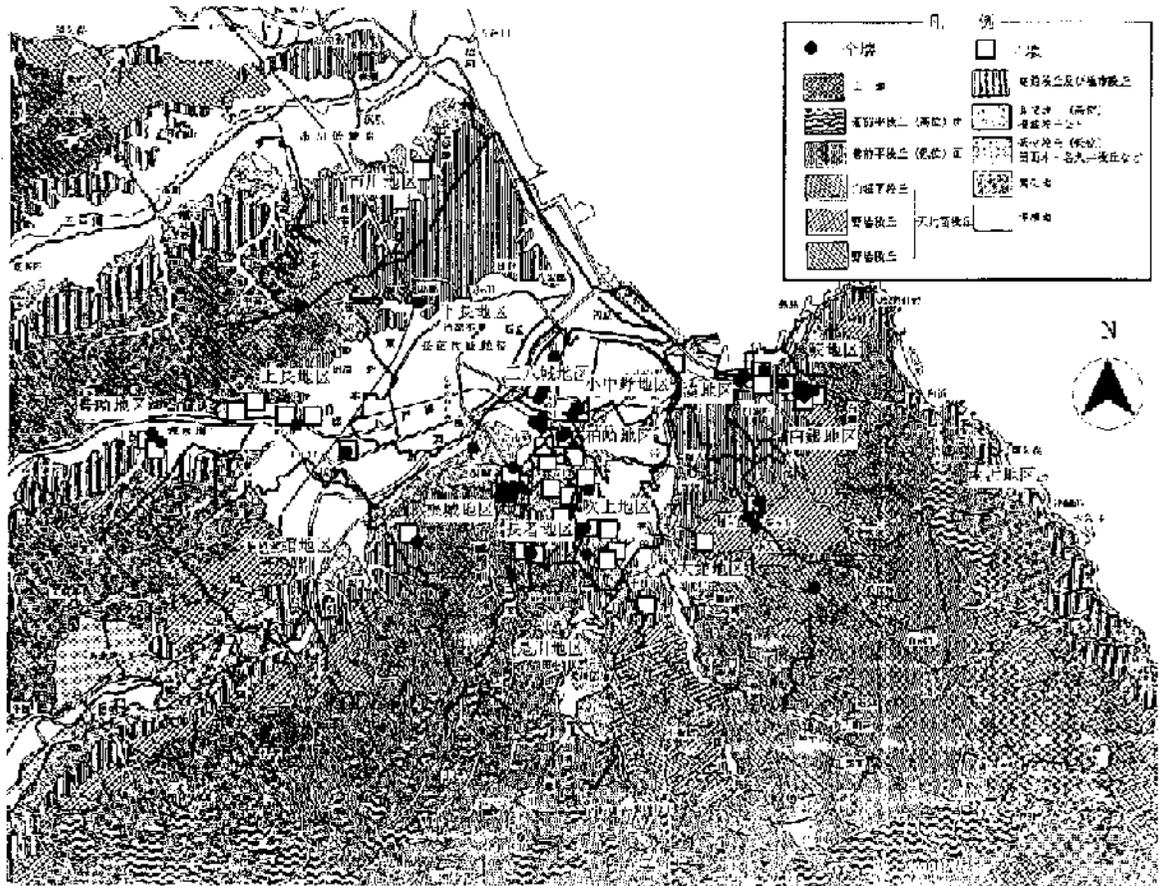


図1 八戸市域の二階はるか沖地震による全半壊木造建物分布と地形区分図

| 地区 | 釧路沖 | 能登半島沖 | 二階はるか沖 | 兵庫県南部 | | | 単位 |
|----------|---------|---------|----------|-----------|----------|----------|-----|
| 発生年月 | 1998. 1 | 1993. 2 | 1984. 12 | 1995. 1 | | | |
| 最大被災地 | 釧路市 | 珠洲市 | 八戸市 | 神戸市 | 西宮市 | 芦屋市 | |
| 最大震度 | 6 | 5中? | 6 | 7 | 7 | 7 | |
| アンケート震度 | 4.4~5.7 | 4.4~5.0 | 集計中 | | | | |
| 観測記録 | 釧路気象台 | 輪島測候所 | 八戸測候所 | 神戸海洋気象台 | | | |
| 最大水平加速度 | 711 | 131 | 602 | 818 | | | gal |
| 最大上下加速度 | 383 | 38 | 64 | 332 | | | gal |
| 住家全壊 | 42 | 7 | 65 | 54049 | 18800 | 4049 | 棟 |
| 住家半壊 | 191 | 4 | 177 | 31783 | 14600 | 3021 | 棟 |
| 被害棟数 | 2448 | 2393 | 7525 | (181663*) | (57388*) | (17326*) | 棟 |
| | (最終統計) | (7才十調査) | (中間集計) | (調査中) | (調査中) | (調査中) | |
| 人口 | 204673 | 24842 | 244853 | 1477410 | 411882 | 85196 | 人 |
| 世帯数 | 88408 | 7107 | 85708 | 63915 | | | 世帯 |
| 木造(建物)棟数 | 50775 | 18000? | 90794 | (518882) | (90880) | (27331) | 棟 |
| 全壊率 | 0.27 | 0.05? | 0.17 | (13.70) | (28.72) | (20.34) | % |
| 被害率 | 4.82 | 13? | 8.20 | (35.15) | (63.14) | (63.39) | % |
| 被災率 | 2.83 | 33.67 | 3.78 | (33.69) | | | % |

[注]・全壊率=(全壊+半壊/2)/木造棟数 *都市計画学会等の調査による(全壊を含まず)

・被害率=被害棟数/木造棟数

・各市の被害率は被災時に最も近い統計資料による

・被災率=被害棟数/世帯数

・二階はるか沖・兵庫県南部地震の被害データは2月末現在

表1 釧路・珠洲・八戸・阪神地域の木造建物被害率等の比較

る。このため建物が揺れやすい固有の周期が相当に短くなり、長周期の揺れが卓越する軟弱地盤より、卓越周期が短い段丘や台地上で、共振を起こしやすくなったからであろう。

今回の阪神地域の場合も、次章の 3.10 でふれる震度7の「震災の帯」は、地形区分からみると、海岸寄りの軟弱な埋立地や低地ではなく、六甲の丘陵地に近接する段丘地帯をほぼ東西に横断するように生じている。

2.2 全壊率は2桁上昇

次に、前項でふれた釧路沖地震と三陸はるか沖地震に、1993年2月に発生した能登半島沖地震と今回の兵庫県南部地震を加えて、それぞれの最大の被災地における建物被害の発生率を比較してみよう。釧路市、八戸市、珠洲市と阪神地域の神戸・芦屋・西宮の3市を取り上げた。各地の地震動の強さを示す指標に、被災時の市勢動態を表す統計量、各市公表の全半壊建物数と各種の被害発生率の比較を表1に示す。阪神3市の全半壊建物数には、都市計画学会等が行った全数外観調査²⁾の結果を用いている。

「被害率」とは、一部損壊も含めて何らかの被害を生じた全ての建物棟数を市域の全建物棟数で割ったものである。最近の3つの地震で被災した建物はほとんどが木造であったが、市域全域の平均値でも、釧路市で4.82%、八戸市で8.29%、珠洲市で推定13%に達している。震度6程度（珠洲市に測候所はないが、「アンケート震度」の調査結果から震度5の中ほどと推定される）の揺れを受けると、被害を受けた木造建物の数は決して少なくはないことがわかる。しかもその修復には相当な時間と費用を要することが地震後の復旧状況調査により明らかなので、研究者も技術者も木造の地震被害をもっと重視すべきだと筆者らは主張してきた。

一方「全壊率」とは、全壊に半壊の半数を加えた棟数の全建物棟数に対する比である。釧路市では0.27%、八戸市で0.17%、珠洲市では推定0.05%で非常に低い。近年の木造は概して耐力が向上し、震度6レベルの地震動が働いても、著しい被害を受ける建物は少なくなってきたと一般には考えられてきた。

阪神地域の場合は自治体による詳しい調査データが未発表のため、利用可能なデータから「被害率」を算出してみた。150万都市の神戸全域でも35%、西宮と芦屋では63%に及び、少なく見積もっても1/3ないし2/3位の建物が何らかの被害を受けている。なお被災建物の過半が木造と推定される。驚くべきは「全壊率」の高さで、神戸で13.7%、芦屋で20.3%、西宮では28.7%に達し、震度6までの経験に比べると、全壊率が2桁上昇していることがわかる。震度7の認定地域が初登場した今回の地震動の破壊力がいかに厳しかったかを物語る統計値である。

2.3 損壊から倒・崩壊へ

最後に、木造被害の質、構造体の破壊の程度について比較してみよう。阪神の震災では、建物全体が崩壊や倒壊を起こし、とくに1階部分が圧壊して、構造体が形を失い、生存のための空間が消滅し、居住者を下敷きにして圧死や窒息死に至らしめるという被害が、古い家屋を中心に多発した。近年の地震でも同様の破壊性状を示した例は少なくはない。しかし、その大部分は1978年宮城県沖地震の「緑ヶ丘」や釧路沖地震の「緑ヶ岡」など、造成地の斜面崩壊による場合である。余談になるが、今回の西宮市の仁川「百合野」町や神戸市垂水区の「星が丘」などの事例も含めて、造成地の美名には要注意であろう。

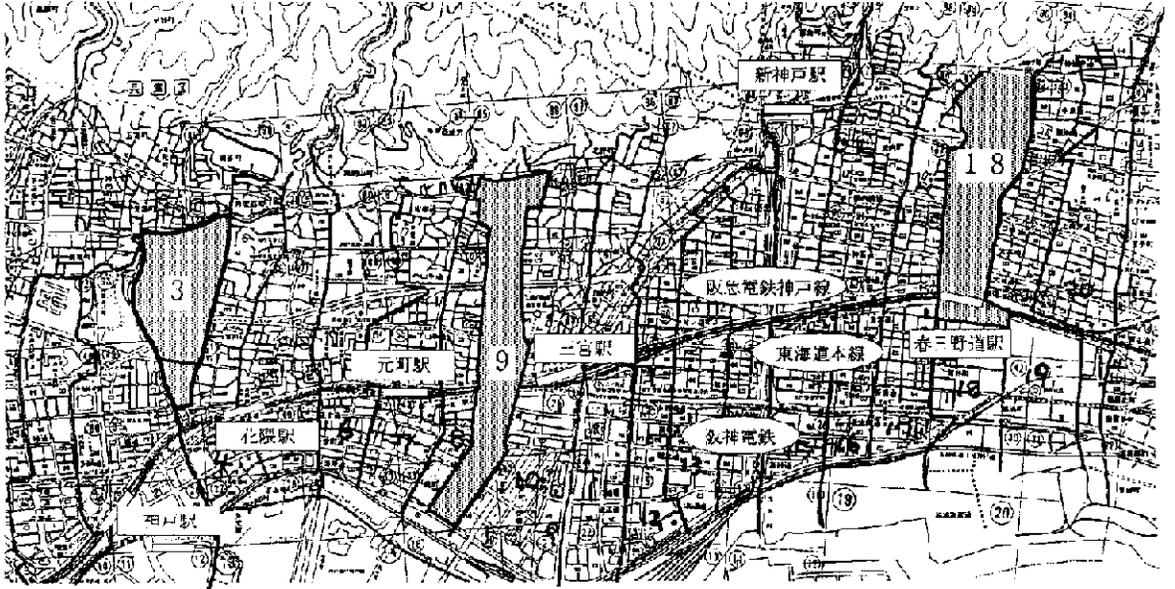


図 2(a) 日本建築学会近畿支部初動調査の担当区域（神戸市中央区）

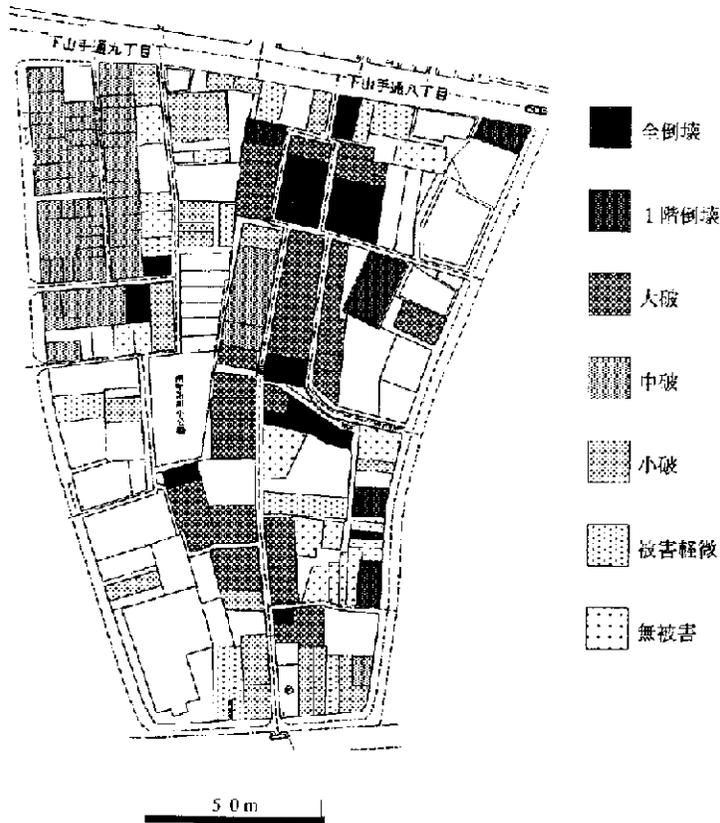


図 2(b) 第3地区の木造建物被害程度区分別分布図

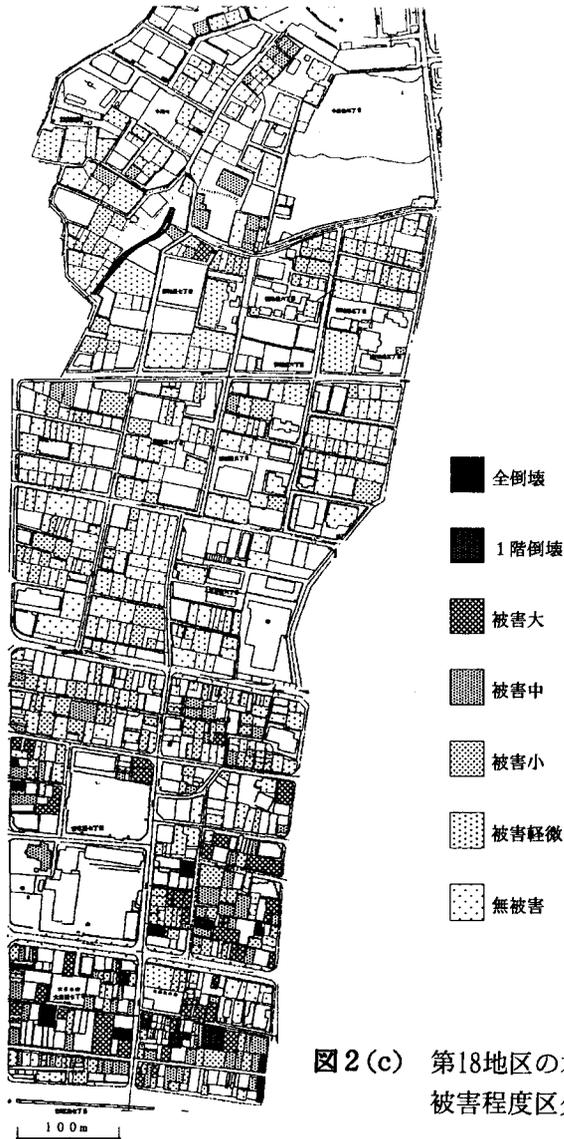


図2(c) 第18地区の木造建物被害程度区分別分布図

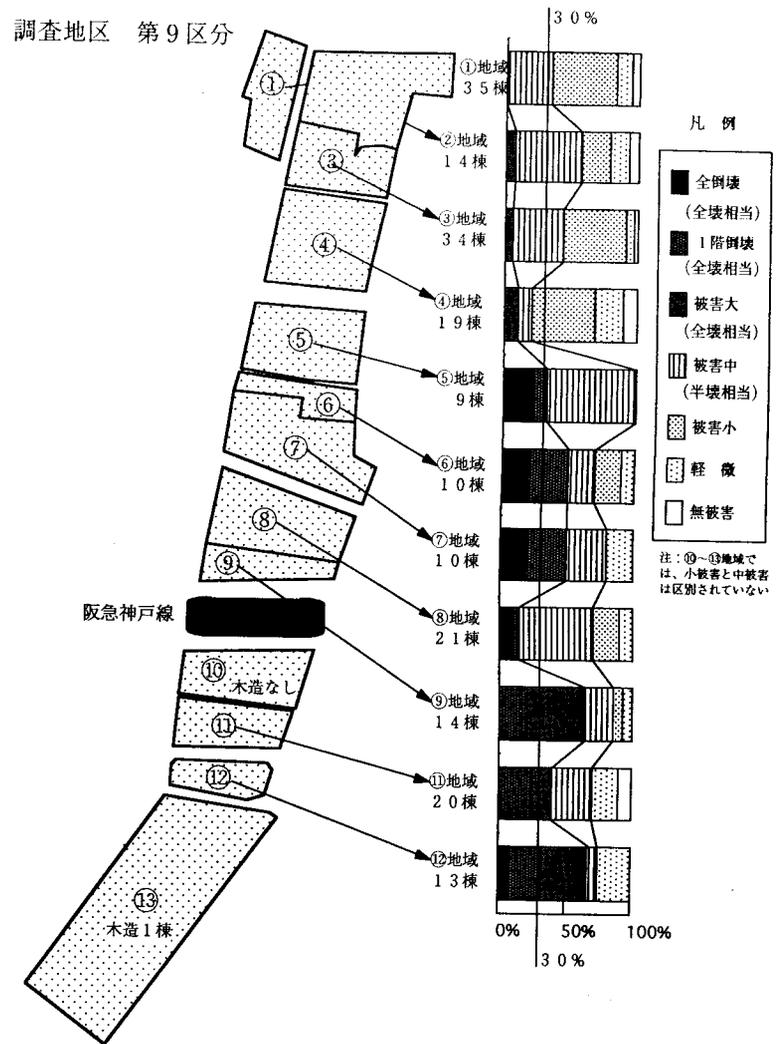


図2(d) 第9地区のブロック別木造建物被害率とその算出地区

問題は地盤の振動のみでこのような破壊が起こるかどうかである。写真1 (a)(b)は三陸はるか沖地震で全壊および半壊と判定されたかなり古い八戸市の建物である。内外壁が部分的にはがれ落ち、柱と梁からなる軸組が少し傾き、1階の柱頭でくの字型の曲がりか認められるなどの被害がみられる。しかし、構造空間は残しており、少なくとも構造体が人命を奪う危険にまでは至っていない。ただ経済的物損の尺度で量ると、修復が容易ではなく、全壊や半壊と判定されたわけである。近年の地震で建物の振動が原因となり全半壊と判定された建物の被害程度は、ほとんどがこのレベルにとどまっていた。こうした木構造体の強さを表す象徴的な事例が、前述した釧路沖地震の緑ヶ岡の新しい住宅である。崩壊した斜面とともに10mも滑り落ちてなお構造空間を残していた〔写真2〕。地盤凍結に備えて基礎を深くし、雪と寒さの対策で壁を厚く躯体を軽くした寒冷地工法が、強度を高めていたからであろう。今回の阪神の場合も、これに準じた工法をもつ木造建物は被害の激甚地でもほぼ無傷で耐えている。

ところで、最近の地震でも、著しい地変を伴わず振動のみで倒壊に至った事例がなかったわけではない。たとえば、写真3は能登半島沖地震でただ1棟倒れた土蔵である。海岸近くの河口で被害が集中した地域のひとつにあること、古い建物で老朽化も進んでいること、敷地に噴砂跡が残り液状化の発生が認められること、切石を置いた基礎が移動していること、土蔵と接合された車庫として使用中の主屋との相互干渉があったと思われることなど、複数の原因が絡まり合った結果と推定される。もうひとつ釧路沖地震での例を示そう。「アンケート震度」の調査結果より、この地震で最も激しい揺れを受けた地域は釧路市西側の音別町であった。写真4は1階が倒壊した同町の店舗付き建物2棟で、この地震による数少ない倒壊事例である。敷地は30m位までN値（試験杭の打ち込みによる標準貫入値、地盤強度を間接的に表す現場試験の測定値）が0に近いきわめて軟弱な堆積層上にあり、1階が店舗や倉庫の大空間で耐力となる壁が少なく、雨水の浸入などで1階柱頭付近の腐朽も進んでいたと報告されている。

以上の事例にみるように、震度6までの近年の経験では、倒壊に至ったのは周辺より特別に激しい揺れを受けた地域に立つ著しい複合欠陥を持つ建物のみであった。重度の欠陥や老朽化が重ならない限り、生存空間をなくすような構造体の破壊は発生しなかったわけである。しかし、今回の震度7の被災地域をみると、構造体に欠陥や弱点があれば、容赦なくそこを衝かれ、大破や倒壊に至っている。これまでにない激しい破壊力をもった地震動が襲ったことは明らかであるが、研究者や設計者としては、従来の例外的な倒壊事例の延長線上に、現行耐震設計の想定限界を超えた地震動による大規模な被害の発生を予測しておくべきではなかったか、という反省も迫られている。

2.4 「伝統型」大震災が再来

図3は明治の濃尾地震以降現在に至る、日本の主な被害地震による死者・行方不明者数、倒壊（全半壊）家屋数、焼失（全半焼）家屋数を、対数目盛上で示したものである。日本の社会が繰り返し経験した「伝統型」とも言うべき大震災では、多数の木造家屋が倒壊して、大火を発生し、多くの人命が失われると言う図式をもっていた。しかし、1948年の福井地震と1964年の新潟地震の間には、どの被害数にも大きな落差があり、どれも2桁近くその数を減じている。

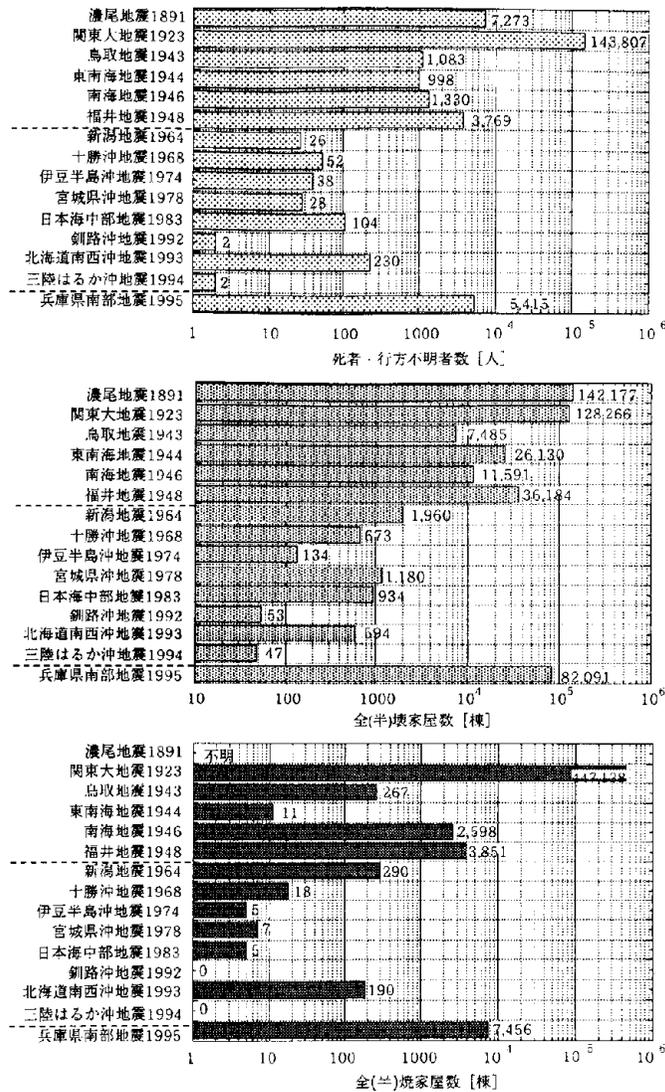


図3 明治以降の主な被害地震による人的被害と家屋被害

新潟地震での焼失棟数が多いのは石油タンク火災の飛び火から、それ以降の地震で死者が100名を超えているのはいずれも津波によるものであった。こうした被災状況から戦後のめざましい経済成長と技術革新のおかげで、日本の社会は「伝統型」震災を克服し得たのではないかと、少なくとも家屋の倒壊が多数の死者を出すような事態は避けられるようになったのではないかと、との思い込みが一般化しつつあったように思われる。しかし、図3は阪神大震災が以前の被害レベルに戻ったこと、戦後50年を経てもなおわが国の現代都市が「伝統型」大震災の構図から脱却しえていなかったこと、を明示しているのである。

3. 木造建物大被害の原因と教訓

3.1 木構造は本来粘り強い

先般金沢で築約20年の木造建物2棟を取り壊す際に、引張って倒壊させる実験を実施する機会を得た。2棟ともに同規模で、この地域の当時の在来工法で建てられたありふれた建て売り住宅である。1棟は最初に最大耐力に近いところまで引張り（試験A3）、その後耐力壁を撤去して倒壊に至らしめた（同A12）。隣接するもう1棟は原形のままで引張って倒壊させた（試験B1）。写真5(a)(b)は倒壊直前と崩壊直後の状況を示す。2棟とも1階柱頭が折損してまず1階が圧壊し、2階落下の際瓦屋根の重さに耐えられず全体が倒壊しており、屋根に載せられた瓦の重量が破壊性状を左右することをうかがわせる倒壊状況であった。後者の建物では、その棟部で水平2mに達する大変形を生じている。この建物は土台と基礎をつなぐアンカーボルトのナットの締め忘れで（こうした施工不良は現場では間々ある）、土台が浮き上がり建物が傾いてしまっているが、この浮き上がりの影響を差し引いても、建物本体が大きはずれ変形を起こしている。それにもかかわらず、構造体はなお自重の支持能力を失ってはいない。

図4にベースシア係数（建物重量に対する「引張力＝水平載荷力」の比）と層間変形角（頂部の水平変位に対する建物高さの比）の関係を示す。同図より、この建物は最大で自重と同じ程度の水平力に耐え、最終的に建物の高さの30%に当たる大きな水平変位に達するまで倒壊に至らなかったことがわかる。前者の建物で耐力壁を除去した柱・梁だけの軸組のみでも、自重の3割相当の引張り力に耐えた。ちなみに法令では、標準的な地盤に建つ木造建物に対して、自重の2割以上の地震力が加わったとき、修復が容易に可能な限界変位（建物高さの $1/120=0.83\%$ ）内に収まることを求めている。この実験は、繰り返しの加力ではなく片方向の引張りだけで、振動でもなく上下動の影響も入っていないので、地震時とは異なることを考慮に入れねばならないが、それにしても、木構造はごく普通の造りでも大変粘り強く変形能力が大きい、ということができる。

ただし、この建物は保存状態がよく、土台や水回りの木材と接合部の腐朽、補強金物の

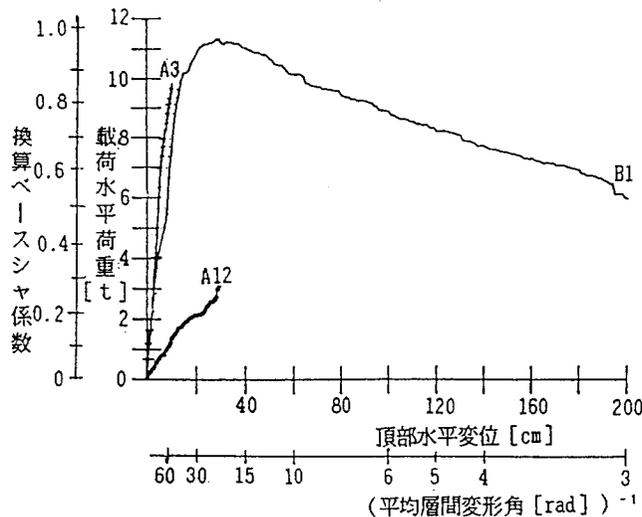


図4 実在木造建物の引張実験による荷重（ベースシア係数）と変位（層間変形角）の関係

腐食ともにほとんどなく、建設当初の耐力をほぼ維持していたこと、倒壊の直前まで内外壁の面材が崩落せずよく抵抗していたこと、これら面材の崩落とともに急速に倒壊に至っていること、に留意する必要がある。

ところで、今回の阪神大震災では、上述のようなわれわれの認識にもかかわらず、もちろん倒・崩壊した木造建物が多数にのぼった。と同時に、大破した多くの建物の近くに、ほとんど無傷で生き残った建物も少なからず存在していた。ではこのように明暗を分けた差はどこにあるのだろうか。以下では6つの観点から考察する。

3.2 足りなかった抵抗要素

建物の耐震性能を左右する第一点は、地震力に対する抵抗要素の量である。木造の場合、抵抗要素は2種類あって「筋かい」と「面材の壁」、これらが一定量以上要所に配置され、ともにその接合部が柱・梁・土台などの軸組に十分固定されていて初めて能力を発揮する。

阪神で大きな被害を受けた古い建物は、筋かいが無い、少ない、あっても細い、1階の隅角部など肝心の所に入れられていないものが多数であった【写真6】。また、抵抗要素になる「面の壁」、土塗り壁やモルタル、その下地の木ずり（横張りの小幅板）が、そもそも材料も施工程度も良くなく、老朽化しもろくなっていたものが少なくなかった。後述するように、筋かいや木ずりの接合部の金物補強も弱かった。いずれの材も施工法も地震力への抵抗要素としての認識を欠いたまま建設されていたと考えざるをえない。今回の地震動は最初から強い衝撃力をもっていたので、おそらく最初の数波で面の壁がはがれ、崩れ落ち、筋かいが外れ効かなくなって、大破や倒壊に至ったのであろう。こうした建物では例外なく壁面の損壊や崩落が著しい。

新しい建物は生き残ったものが多かった。最近の工法では、筋かいの接合部に補強用の鋼板や帯板を釘止めするとともに、外壁にサイディング（防火用の人工の板）、内壁には石膏ボードや合板（ベニア板）を多用している。今回の震災の教訓として、「面の壁」が健全に抵抗している建物は著しい被害を免れており、こうした厚板の面材の効用が大きかったと考えている。近年の在来工法は材が細く接合部が弱いので、柱・梁と筋かいからなる本来の木造軸組だけでは強大な水平力に抵抗する構造体としては弱体である。しかし一方で、住宅の間仕切りが増えているので、外壁も含めて面材の使用量が多く、材料自体が健全で軸組への固定が保持されているかぎり、建物の変形を抑え、細い材や弱い接合部を護り、筋かいの働きを支援したと考えられる。実質的には壁で構造体を形成するパネル工法となっており、かなりの抵抗能力をもっているのであろう。ツーバイフォーやプレハブ工法の建物の被害が全般に軽微にとどまったのも、両者ともに基本的には面材で抵抗するパネル工法だからである。

現在のような工法を踏襲するかぎり、筋かいと面材の壁との共同作業で在来工法の水平抵抗能力を形成するという考え方、あるいは接合部の性能確保が施工上難しいときには、水平耐力の大半はパネルで負担させるといった割り切った対処の仕方が必要と考える。

3.3 バランスを欠いた壁の配置

第二の点は耐力となる壁の配置である。小規模な木造建物に対する法令の数量規定は耐力壁の量と柱の径のみで、抵抗要素の配置については「つり合いよく」という精神規定にとどまっている。壁配置の調整は設計者と施工者に任されているわけであるが、数量的な

検討も行政による点検も行われていないのが実状であろう。法規定にある壁量計算でさえ建築士に任せ、点検をしない自治体が少なくない。

一般に居室のある側には採光のため大きな開口部を連続するから壁配置が偏る。開口部のない壁にバランスを考えず適当に筋かいを入れることがしばしば偏りを大きくする。さらに壁の総長さが少ないとき、壁量確保のためX型の交差筋かいがしばしば用いられるが、これがとりわけ遍りを拡大する。神戸市中央区の1ブロックの住宅地図を南北に縦覧した図2(c)に示すように、阪神地域では鉄道の幹線に近づくほど宅地割りが狭くなっている。このあたりの狭小宅地に立つ小住宅や店舗付き住宅、文化アパートは道路側の狭い間口がほとんど開口部となり、内部にも間仕切りがとれず、耐力壁の量・配置ともに劣る建物にならざるをえない。壁配置が偏るとねじれながら振動する。木造はとりわけねじれに弱い。このとき床組の剛性が不足して地震力が耐力壁にうまく分散して伝わらないと、もろい破壊を起こしやすい。阪神のこの地域では、壁が少ない間口方向への倒壊が多発し、また建物がねじれて倒れ込むような破壊の様相を呈していたものが少なくなかった〔写真7〕。

一方、古いながらこのような被害の激しい地域で大破を免れた建物には、その壁配置に共通するいくつかの特徴がみられた。建物の平面形が単純で四角形に近いこと、その隅角部に必ず壁を配置していること、大きな開口部が連続しておらず外壁の量が多いことなどである。今回の教訓として、2方向からの力が集中する隅角部への壁配置がとくに重要で、できればL字型に上下階に通して配置したいこと、壁配置が仮にバランスを欠いていても、耐力壁の量をとくに外周部に十分に確保すれば、ねじれ変形を相当に抑えてくれること、を学びたい。

ツーバイフォーやプレハブの外来工法はわが国への導入のさい、在来工法を保護する意図もあって、基礎や細部の施工法とともに、壁配置についてもかなり厳しい技術基準が設けられた。その結果として、上述のような適正配置に近い設計が多くの実現しており、著しい被害を免れたのであろう。

3.4 弱かった接合部

第三点は接合部の施工法である。部材を組み立てて構造体を形成する木造では、接合部が要となる。著しい被害を受けた建物はこの接合部での木の組み合わせ方と金物による補強がとくに弱かった。面材の壁はその周辺が軸組に固定するよう接合されて初めて耐力を発揮するものであり、この壁が抵抗力を減じた後は、軸組と筋かいの接合部次第で建物の耐力が支配されるといってもよい。

阪神の古い建物では、まず筋かいと土台や梁との接合部が、昔のように土台や梁側に彫り込みを持たず突き合わせで、釘2本程度の斜め打ちが多かったから、引張られて簡単に抜け、押されて踏み外して抵抗力を失った〔写真8〕。柱の上下も短ほぞ（差し込み用の突起）で、以前のように長くはなく、込み栓（せん）も使わず、釘1、2本打ちで止める程度であったから、内陸型地震の強い水平動とこれに匹敵する強さの上下動が加わって、構造体の水平変形と回転に伴う大きな引抜き力がここに働き、柱頭や柱脚がガタついたり抜けたり外れたりして、抵抗力を著しく減じた。

今回の教訓として、要の接合部を粘り強くするために適切な金物補強を丁寧に行うこと、それでも壁材が破損して抵抗力が減じたときの不安は残ること、そこで現工法のもつこう

した弱点を護るために面材の壁を適所につり合いよく配置するよう心がけること、を繰り返して強調したい。

3.5 重かった屋根と壁

第四点は建物重量である。関西地方の瓦屋根は台風と寒暑への備えとして、また施工のなじみ易さも考えて、葺き土の使用がこれまで一般的であった。瓦と土の重さは屋根面1㎡当たりおよそ80kg/㎡、土のない場合のおよそ2倍、現在使用例の多いスレート系屋根の約4倍である。一方、以前の壁は竹を編んだ小舞下地の土塗りが内外壁ともに普通で、防火規定の制定後は外壁を木ずり下地のモルタル塗でおおうという二重壁の工法が普及した。現在のサイディングや各種ボードの張り壁に比べると数倍重い。躯体全体の重さでは5割から倍近い差がある。

ところで、建物に働く地震力はその重さに比例する。なかでも最上部にある屋根の重さにかかる地震力は建物の1階部分に大きなずれ変形と引抜き力を生じて、負担を強いる。新旧の工法による建物の被害差に顕著なコントラストがついた〔写真9〕一つの原因は、こうした屋根と壁の大きな重量差にある。建物の重さに応じて抵抗要素の量を増すべきなのに、阪神地域には地震が来ないとの思い込みも手伝って、屋根と壁が重いのにこうした配慮を欠いて大きな被害を招いた建物が多かった。一方、古い建物でも鉄板葺きや板張りの家屋にはあまり被害がみられなかった。

とりわけ今回の内陸型地震の強い水平動と上下動の組み合わせは建物の重さとくに屋根重量に厳しく作用したように思う。強い上下動は重力に加算され、見かけ上建物重さを増し、揺れで変形した建物が元に戻ろうとする「復元力」の限界を低下させる。3.1で述べたように、木構造は本来粘り強く大きな変形に耐えるが、やはり復元力の限界を超えると急速に倒壊に至る。建物倒壊の主因は強い水平動が大きなずれ変形を生じたことにあるが、同時に働いた強い上下動が復元力を低下させて、倒壊に導くとどめの役割を果たしたのではないかと考えている。

今回の教訓として、建物とくに屋根の軽量化は地震対策上有効な手段であることが確認できる。逆に屋根の重い建物には抵抗要素の量を十分に確保すべきであり、内陸型地震の強い上下動が襲うことを想定すると、「重い屋根」に対する耐力壁量の割増しは現行規定以上に必要ではないかと考えている。

3.6 もろかった基礎

第五点は基礎の工法である。大きな被害を受けた建物の基礎の多くはフーチング（底版）をもたない切石やモルタルで塗固めたブロックやレンガ、鉄筋の入っていないコンクリートの布基礎（逆T字断面の連続した基礎、外周だけで内部は石の上に束を立てて支えているものが多い）であった〔写真10〕。こうした造りの基礎が割れたり倒れたりして支持力を失い、上部の構造体が破壊される誘因になっていた。

今回の教訓として、基礎の違いは新旧工法による被害差を生じた一因であり、改めて鉄筋コンクリートの布基礎を内外周の主要な土台下に連続して設けるべきこと、現在の工法のもとで基礎の上に土台を置くだけでは、免震の効果も期待できず、上部構造のずれや移動や落下で損傷を大きくすること、を確認しておきたい。

3.7 腐っていた木材と接合部

最後は点検と補修の問題である。近年の工法は構造材と補強材を壁内や床下、天井裏や小屋裏に閉じこめ、その変質を分かりにくくしている。加えて、高気密・高断熱化の家造りがこうした密閉空間の空気の流通を阻む傾向を加速している。その上居住者や所有者が構造体に関わる家屋の手入れをしなくなった。結露などから密閉空間に生じた湿気、外壁や水回りなどの施工不良から入り込んだ雨水や生活用水は、木材を腐らせて強度を減じ、補強用の金物を錆びさせて接合部の耐力を低め、木材本来のねばり強さを失わせる。

阪神で大被害を生じた建物には、土台や柱脚、水を使う居室回りの構造材が腐り、虫害が進んでいた事例が少なくなかった〔写真11〕。木材と接合部の腐朽は大被害の主因と断言しきれない場合もあろうが、今回の被害を拡大した無視しえない一つの原因である。

今回の教訓として、木は生き物、木と鉄の取り合わせには要注意、水と湿気と虫害は木の大敵、という材料特性の基本を思い起こし、家の構造が自然と呼吸しあえるような仕掛けを工夫して、密閉空間になりやすい要所に設けるとともに、定期の点検と補修を続け、時には再生をはかって初めて木造の建物は生き続けるという、木構造を維持するための原点に立ち戻らねばならないと思う。

3.8 法規定と設計と施工の落差

表1に示した4つの地震の最大被災地、釧路・八戸・珠洲・阪神各市での調査から、現在の一般的な在来工法をみると、住宅金融公庫の標準仕様書が全国的に普及したとはいうものの、それぞれに気候・風土に即した地域性がある。

釧路では、落雪を考へて屋根は軽い鉄板葺き、防寒対策として外壁は厚いボードが3重になり、部屋割りは細かく、要所に筋かいが入り、交差筋かいの使用も多い。全体に耐力になる壁量の多さが、地盤凍結に備えて他地域の2倍もある深い基礎とも相まって、被害の発生をよく抑えたと思われる。八戸では、寒冷地のため屋根が鉄板葺きで、筋かいの断面が大きく、耐震性能を高めている。珠洲では、積雪と潮風に備えて、屋根は重い和瓦、外壁は桧や杉の厚板張りが主流である。続き間の座敷をとる開放的な空間構成で、筋かいを多くは使わない風潮がある。しかし、ほとんどの壁にこの地方伝統の通し貫（ぬき、厚板）が柱に穴を開けて柱列間を通して挿入、楔（くさび）留めされ、丁寧に施工された土塗壁とともに一種の耐力壁を作っていたことが、被害の抑制に役立っていた。一方、阪神の現工法はごく標準的なものであるが、調査した被災建物は築20～30年位が多数を占めているので、前項までに述べた被災建物に共通する、耐震性能上の弱点となる材料や工法を持つものが多い。

図5は、発災ときに設計または施工中だった在来工法の建物の設計図から算出した耐震性能の指標を示したものである。阪神のデータは小破から大破と判定した西宮市と神戸市東灘区の被災建物の現地調査から求めている。耐震性能は通常1階が厳しくなるので、1階の壁率（標準の強さに換算した耐力壁の単位床面積当たりの総長）、偏心率（重さと剛さの中心の差から求めた平面的なねじれやすさを示す割合）、剛性率（2階と1階の剛さの比で上下階の均整度を示す割合）および現行法規定の最低基準に対する各指標の合格率（アミかけの部分が合格のゾーン）を、桁行（屋根の棟の線の方向）と梁間（その直角方向）を横縦の軸にとって、同図の(a)～(d)に示した。ここに、「規定内」とは法令で耐力壁と認めている壁体のみから算出した指標、「規定外」とは実験等を参照してこれ以外

でも耐力への寄与が大きい「面材の壁」を考慮に入れた場合である。

同図 (a)(d) よりまず注目すべきは、現在の建物で規準どおりに計算しても法規定の最低基準を満足しない建物が存在するという、規定と設計の落差である。既にふれたように、壁量計算による点検さえ設計者（を信頼して）任せの自治体があり、よほどの壁量不足でないかぎり変更の指示がでないという事情によるようである。しかし、規定外の面材の壁を評価に入れると、十分に規定をクリアし、耐力的に余力のある建物が多いことも読み取れる。こうした壁の多い工法への変化が、近年の地震で大きな木造被害の発生を抑えている一因なのである。阪神の場合も例外ではなかった。

次に同図 (b)~(d) より、壁配置の指標である偏心率と剛性率のバラツキが大きく、とくに偏心率の合格率がどこでも低いことがわかる。この原因はどの地域でも、筋かいとくに交差筋かいと開口部の遍在にある。「つり合いよく」配置すべしとの法令の精神規定は設計段階で既に大半の建物で破綻しており、偏心率が規定値の3倍以上にもなる例さえ現れている。しかも在来の木造では一般に床面の剛性確保が十分でなく、地震力がうまく耐力壁に分散して伝わりにくい。その結果、弱い部分に力が集中し、そこに破損が生じるとその部分の剛性も低下して、実質的な壁配置はますます偏るという悪循環に陥る。

ところで、建設の現場では、耐震抵抗要素が設計で期待している性能どおりに、あるいは凶面どおりに施工されるわけではない。要素の省略や材質の変更、金物補強を省略するなど接合部の不適合等で、性能低下を生じる事例が少なくないことに注意しなければなら

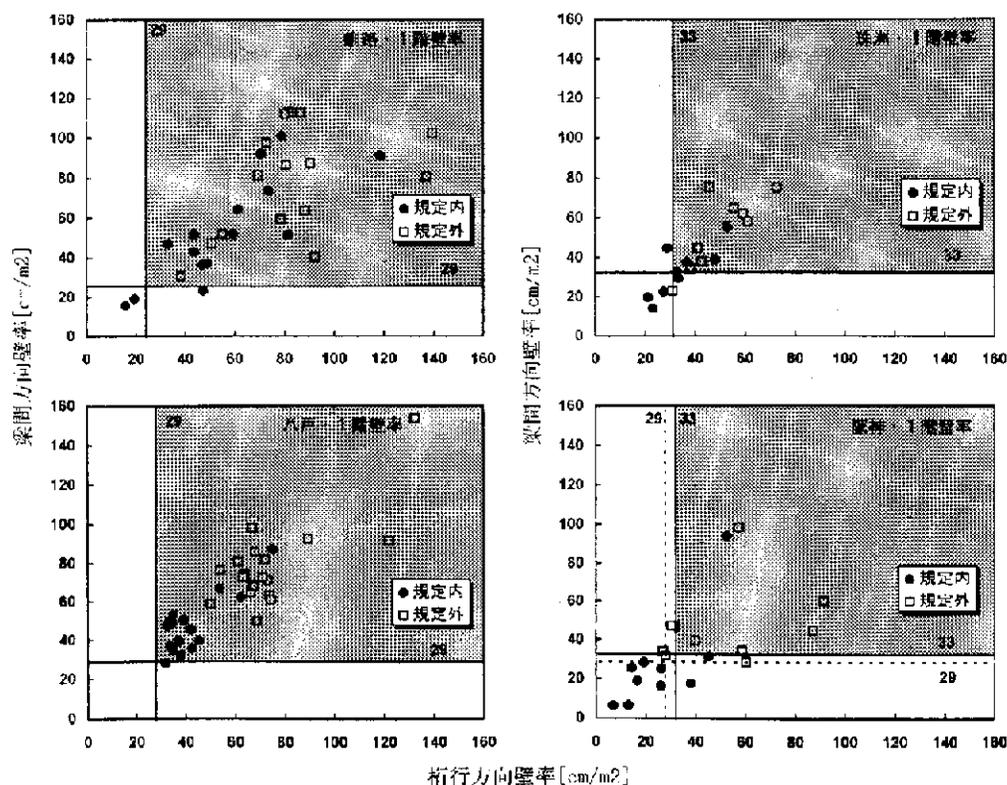


図5 釧路・珠洲・八戸・阪神地域の在米木造建物の耐震性能指標の比較
(a) 1階の壁率

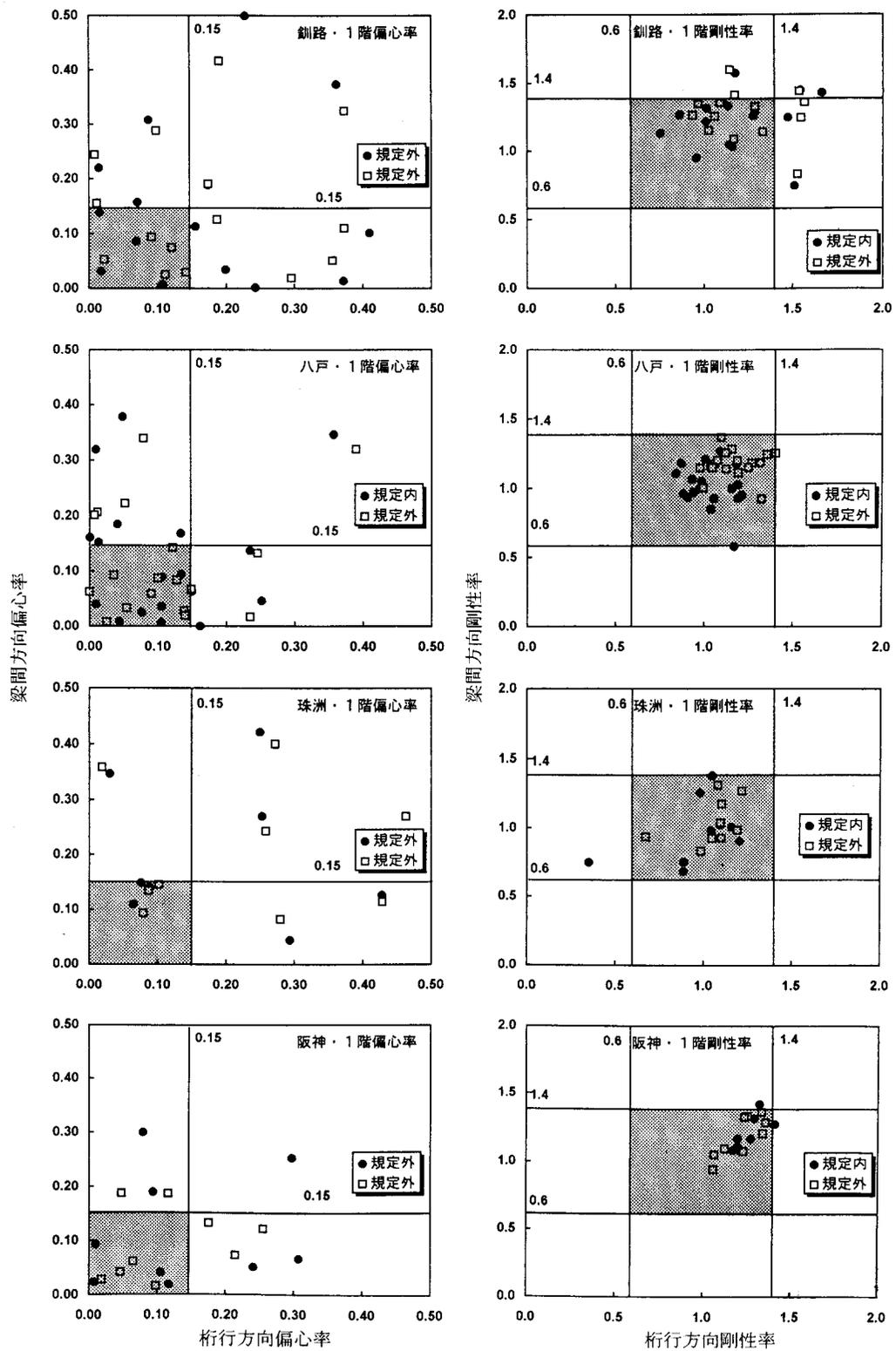


図5 鉦路・珠洲・八戸・阪神地域の在来木造建物の耐震性能指標の比較 [続]
 (b) 1階の偏心率と剛性率

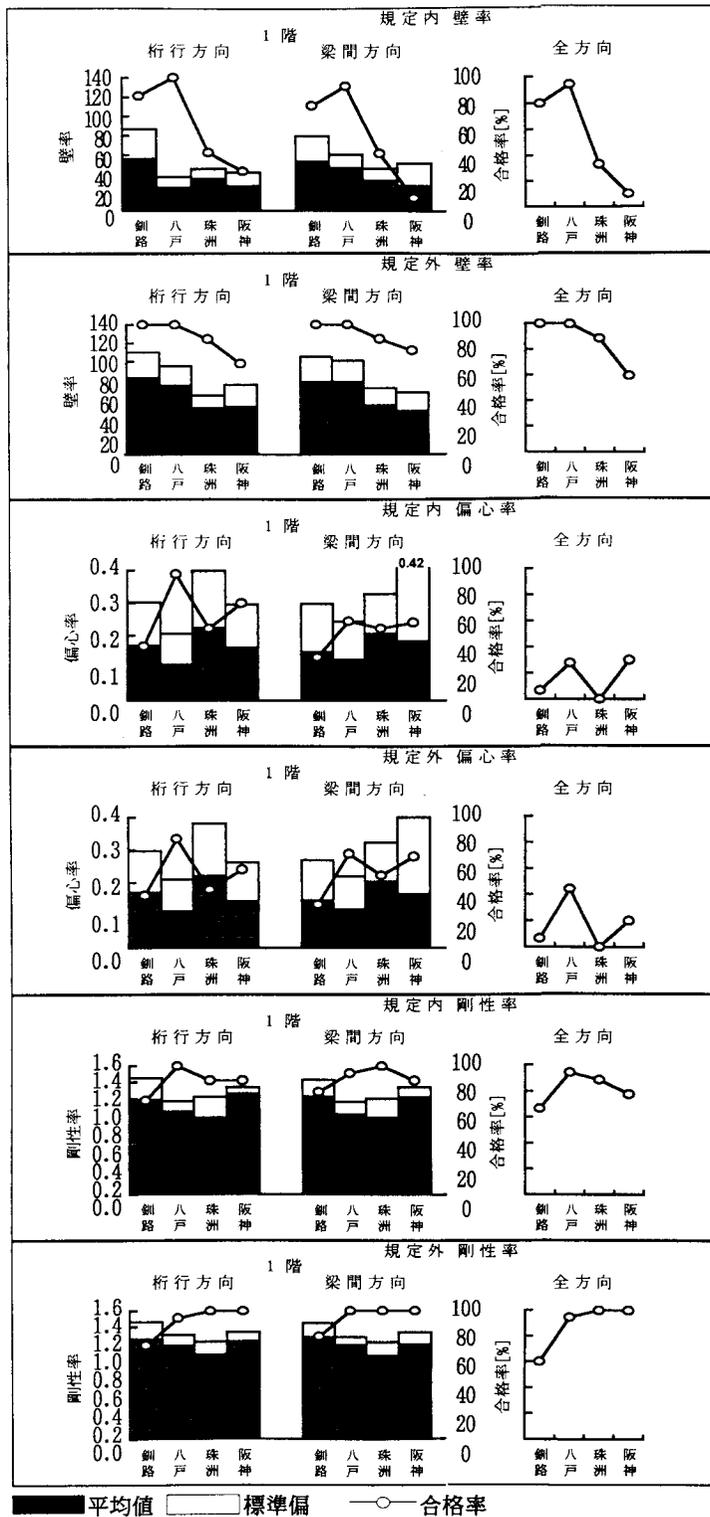


図5 鋼路・珠洲・八戸・阪神地域の在来木造建物の耐震性能指標の比較 [続]
 (c) 指標の統計値と合格率

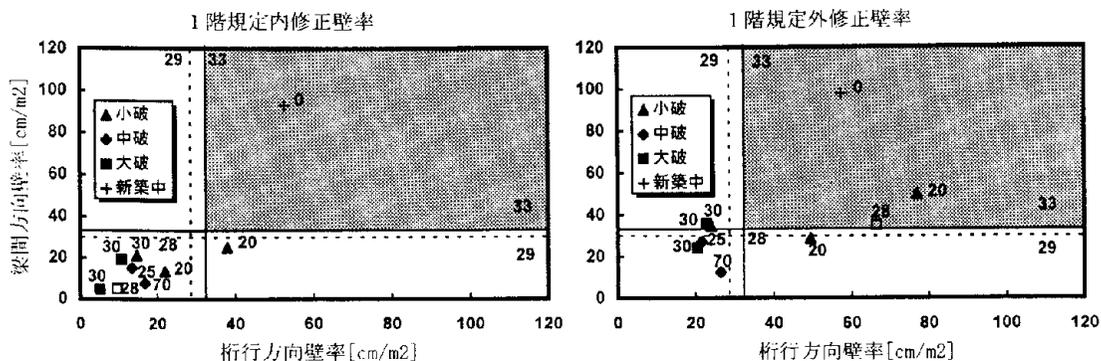


図5 釧路・珠洲・八戸・阪神地域の在来木造建物の耐震性能指標の比較〔続〕
(d) 阪神地域被災建物の1階の修正壁率

ない。図6は、10年ほど前金沢で図面と現場で壁率がどの程度異なるかを調査した結果である。1階でとくに目立つが、ほとんどの建物の壁量が現場では設計時より減じている状況が示されている。在来工法は設計の自由度が高い融通無碍の工法と構造体である。しかも設計の確認申請さえ通れば、使い勝手優先の変更も自在に行われているという設計と施工の落差。ここにも被害の発生を許した一因を読み取るべきであろう。

阪神の被災建物は、同図(a)にみるように、建設中の1棟を別にすると、新築時としての評価でも壁率が低い。規定外の壁を含めても合格率はさほど上がらない。やや古い建物が多いので、木造の老朽化指標としてよく用いられる経年数による直線的な耐力低下率と、最低規準を超える偏心の影響を耐力の割増しとして取り込んだ現行設計法での係数の逆数を、ともに壁率に乗じて求めた現況を表す修正値を、図5(e)に示した。規定内壁率では、現工法のものを除き、ほとんどの建物で全方向とも不合格となる。また、地変による被害を受けた建物(白ヌキ印)に少し例外はあるが、被害程度と修正壁率との間に相関関係が成り立っていることも認められる。しかし、壁配置を表す偏心率や剛性率の水準は他地域と大差ない。このデータには倒壊のような大被害の建物を含んでいないからでもあろうが、特別に低いというわけではない。壁配置はどの地域も偏りがありばらついていもの、他ではわずかな被害にとどまり阪神の古い建物では被害が多発したのは、第一には、耐力壁が極度に不足していたことによるのであるが、同時に、地震動のレベルの違いを考慮しても、耐力壁が不足すると壁配置の偏りは致命傷につながる危険があるのに対して、壁量に余力があればそこそこの偏心があっても被害の発生を防いでくれることを示唆している。

3.9 大被害を受けた建物・免れた建物

以上、木造建物の耐震性能を規定する6つの項目について、被害をうけた原因を分析し、そこから導かれる教訓をまとめてみた。

こうしてみると、従来から確立しつつあった木造耐震化の原則、①地盤と建物重量に見合った耐震抵抗要素の確保、とくに面材の活用、②その適正な配置、③粘り強い接合部にするための補強、④建物自重とくに屋根の軽量化、⑤地盤条件に応じた適正な基礎工法、そして⑥適切な維持管理と補修、に要約される耐震工法の基本を守った建物は、激甚地でも被害は軽微であり、水平・上下動ともに強力だった今回の震度7の揺れにも十分通用す

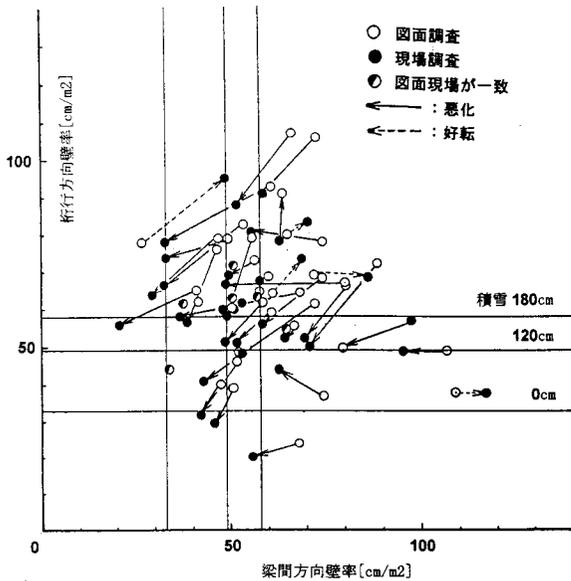


図6 設計図書と建設現場における
1階壁率の比較
(金沢市域の在来木造建物)

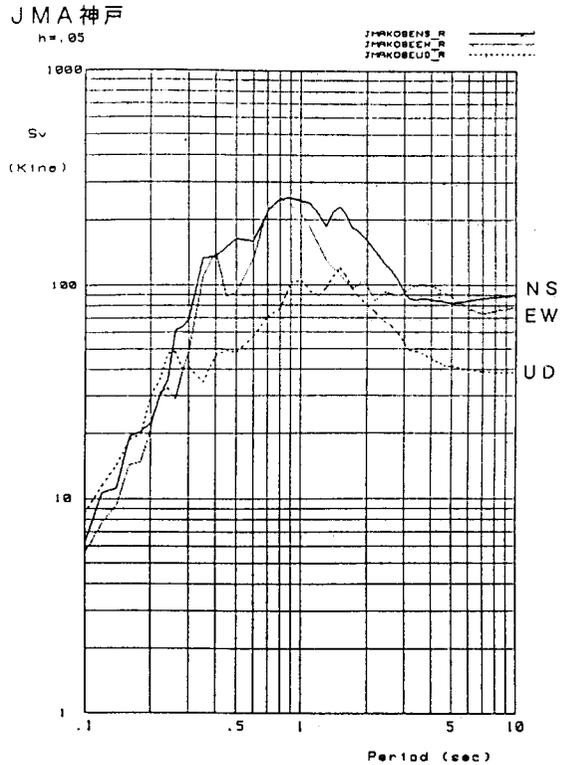


図7 神戸海洋気象台での兵庫南部地震時の記録波による速度応答スペクトル

ることを証明したと思う。

逆に、こうした基本に欠けている建物は、建設年代や工法の新旧に関わらず、被害から免れることはできなかった。ただ古い建物にはこのような欠陥が重なって存在し、その程度も深刻だったから、大被害が集中したのである。

最後に、地震動と建物の周期特性の関係という側面から、被害発生の可能性を検討しておきたい。図7は六甲山地寄りの神戸海洋気象台で記録された今回の地震波3成分による速度応答スペクトル¹⁾ (いろいろな固有周期 [横軸] をもつ1層建物が被震中に示す最大速度値 [縦軸]、地震波の性質を表現する一つの方法) である。0.8秒位をピークにしてその前後の幅広い周期帯の建物が250 cm/secにも達する極めて大きな応答を生じさせる地震波であることがわかる。震度7の「震災の帯」からやや離れた地点の記録であるが、その後の余震観測によれば、帯内の地点でも0.5秒位にピークをもつ周期特性の地震波が記録されたと報告されている。

3.1 に示した実在建物の倒壊実験の結果をみても、水平変形の進行、言い換えると耐力壁の破壊とともに構造体の剛性は急速に低下する。最初の強い衝撃力でモルタルや土塗の壁、その下地材が割れ、はがれ、崩れ落ちた重い建物は0.5から1秒位の周期帯に追込まれる。そして、この周期特性をもつ地震動の強烈な数波と共振を起こして、倒壊のような大被害に至ったのではないかと、推測される。一方、最近の軽量で壁面の多い建物は

固有周期がかなり短く、元々 0.1秒位であり、壁材が健全に抵抗しておればさほど周期は延びず、スペクトルが示す最大応答は高々 30 cm/secどまりである。今回の地震動がもつこのような周期特性が新旧の工法による木造建物の被害の落差を大きくした主因の一つだと考えている。

3.10 表層地盤が被害を分ける

建物の被害程度は地震動の破壊力と構造体の耐震性能との相対的な関係によって規定される。前項の最後の議論、地震動と建物の周期特性の検討、を別にする、ここまでは構造体の耐震性能について論じてきた。この項では、建物に作用する地震動の破壊力に関わる話題にふれよう。

震度7の「震災の帯」は既知の断層のやや南側で六甲山系近くに、文字どおりベルト状に発生した。図2(d)は神戸市中央区三宮駅西側で南北に細長い地区における木造被害程度の街区分布を示す。鉄道幹線の周辺で被害率も被害程度も著しく、ここから南北に離れると被害が少なくなっている傾向が読み取れよう。神戸の街はこの幹線の周辺から発展したが、戦後の都市開発からは取り残されて、ここに古い町並みと古い木造建物群が残った。大地震動と古い木造街並みの不幸なドッキングに、今回の大震災の発端がある。

なぜこの部分に最も激しい地震動が生じたかについては、今後明らかにされていくであろう。現段階では、大きな地形と深い地下構造に起因する断層からの波動伝播機構にその原因があり、従来被害が甚だしかった軟弱な厚い埋立地で地震動のレベルが相対的に低かったのは液状化を含む地盤の非線形挙動にある、とする本書でも報告されている入倉教授の仮説を支持したい。

ところで、「震災の帯」は正確に表現すると、震度7と判定された外縁部に囲まれた領域である。この部分を含めて木造建物の全壊率を精査していくと、実はかなりの「斑模様」になっていることがわかる。図8は神戸市中央区での街区ブロック別の分布を示したものであるが、1本の道路をはさんで90%と10%台の街区が接しているところさえある。

この原因は複合的なものであろうが、たとえば明治初期の古地図に木造被害の激しい地区を重ねた図9³⁾をみると、被害の大きいところは以前は人が住まなかった湿地帯や河川の堆積地に多いことに気付く。また、図10は1938年の阪神大水害の浸水地域分布を示すが、三宮駅周辺の浸水深さの分布と図8のこの辺りの木造全壊率の分布には相関があるように見える。明治まで三宮は「滝道」という地名をもち、生田川が流れていた。地形的に水害に襲われやすいという経験を先人はこの地名に残していたのであろう。しかし、都市改造の過程で川は人工的に流れを変えられ、古い地名は捨て去られた。この年の水害ではまさに以前の川筋を再現して浸水し土砂が堆積した。今回神戸の街のメインストリート、フラワーロード沿いの建物被害は際だっていたが、この水害の堆積層上に形成された街区なのである。

こうした一連の分析を定量的に積み重ねていけば、何が地表の地震動を増幅したかが明らかになるであろう。現段階では、形成年代のとくに新しい堆積地や造成地の十数mから数十m規模の表層地盤が結局は地表に達する地震動を著しく増幅した主犯ではないか、と考えている。

今回の教訓として、地形と深層地盤のもつ地震波の伝播および表層地盤のもつ増幅のメ

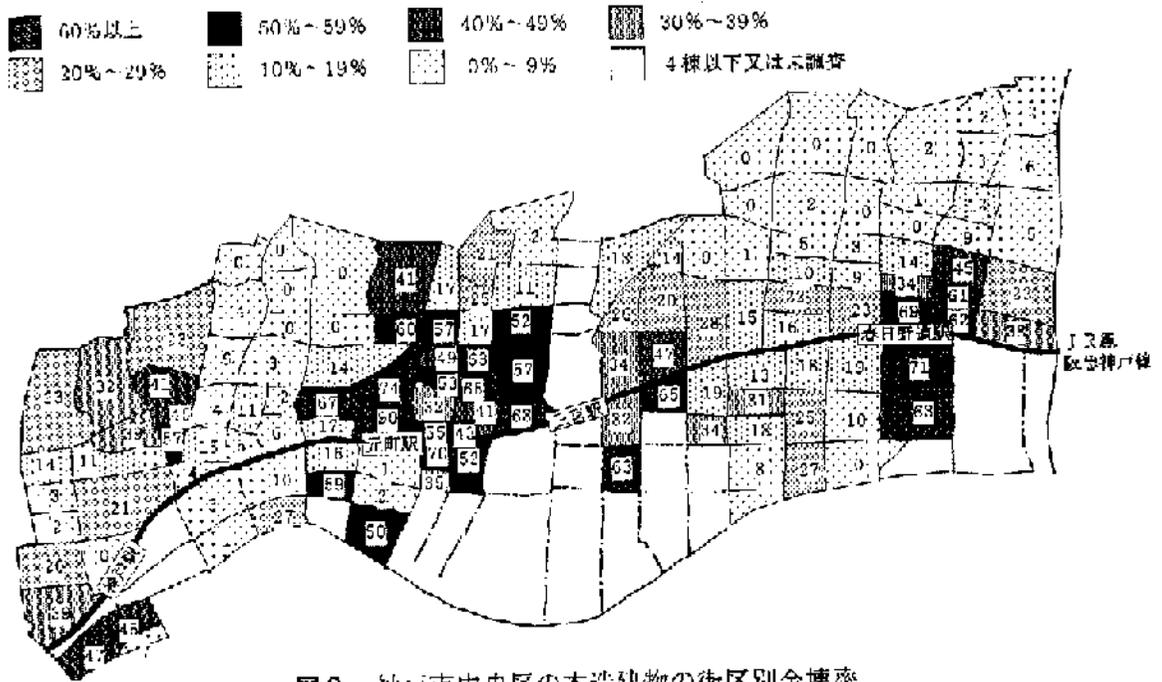


図8 神戸市中央区の木造建物の街区別全壊率



図9 明治前期の古地形と建物被害集中域【文献³⁾より】



図10 1938年阪神大水害による神戸市内の浸水地域

カニズムをさらに明らかにして定量的な地震動予測に役立てること、そして、土地形成の歴史をよく知りこれに応じた家造りをすべきこと、の重要性を強調したい。震害の歴史に学ぶと、木造建物はとりわけ地盤の影響を受けやすいので、きめ細かな地盤情報の公開と地盤条件に即したきめ細かな設計・施工の指針づくりが重要であることも指摘したい。

4. おわりに

はじめに述べたように、鉄骨系やコンクリート系建物の被害と教訓についてもふれるべきであるが、もはや紙数も尽きつつある。口頭報告時にも立ち入る時間的余裕がなかったので、詳しくは別の機会にゆずりたい。ここではそれらの内容も視野に入れたまとめとして、若干の包括的な教訓と課題を記すことで、お許しを願いたいと思う。

(1) 建物被害の原因を次のように質的に分類してとらえることが重要である。

- ①たとえば、強度の劣る溶接に変えて施工された鉄骨造の柱・梁接合部の破壊などのように、耐震工法の設計上・施工上の常識や基本に反しているもの。
- ②たとえば、ピロティ形式や壁配置の偏った建物の層崩壊などのように、工学的配慮が必要な構造体に設計上の対処が行われていなかったもの。
- ③たとえば、鉄骨造の高層共同住宅で生じた厚肉鋼材のせい性破壊などのように、新しい被害事象で現状では設計上予測していなかったもの。

(2) なぜなら、上記①②の事象を起こさぬためには、設計・施工・監理という機能と職能の三権分立をはかるなど、社会的仕組みづくりが重要であり、③の事象発生機構と過程に学んで、技術の高度化や環境の変化による将来の未知なる被害発生の予測と対策へつな

ぐ努力が大切だからである。

(3) 法規定や規準は安全を保障するものではなく最低基準を示しているに過ぎないことの再認識が必要で、耐震設計の本質を理解しうるような設計教育や設計行為の原点に戻らなければならない。

(4) 大地震時の被災を構造から機能まで含めてどこまで許容するかを設計時に明確にできるように、建物に応じて付与すべき耐震性能についての社会的合意の形成が必要である。

(5) たとえば改装や用途の変更を見越して、あるいは材料の経年変化を見込んで、さらにはメンテナンスの可能性を考慮して、竣工後の経年に伴う変動に配慮した設計思想が、今後は必要とされるであろう。

(6) しかし、建物建設において経済性と合理性の要求を避けては通れない。設計は総合化と調整の作業。いたずらな過剰設計にならぬよう配慮し、建築全体のバランスチェックの中で構造性能の付与を考えるべきであろう。

本報では、ほとんどを耐震構造という工学的観点にしぼって、被害の原因とそこから導かれる教訓について述べた。制度的・政策的側面や住様式という視点からみた考察、および伝統工法と在来工法の相違や法改定以前の既存不適格建物への対処については、別稿⁴⁾を参照していただくと幸いである。

〔注記〕被害程度の区分

現地被害調査における目視による被災度判定では被害程度を次のような基準で区分した。各区分の（ ）内は自治体による判定区分とのおよその対応を示す。

- ①全倒壊（「全壊」相当）： 建物全体（1，2階ともに）倒壊
- ②1階倒壊（「全壊」相当）： 1階部分が倒壊
- ③大破（「全壊」相当）： ある階が大きく傾斜（おおむね $1/20$ rad. 以上）
- ④中破（「半壊」相当）： ある階がかなり傾斜（おおむね $1/60 \sim 1/20$ rad. ）、
又は外壁や基礎が大きく剥落・破断、或いは屋根瓦が大きく崩落
- ⑤小破（「一部損壊」相当）： 建物に傾斜は少なく（おおむね $1/60$ rad. 以下）、
外壁や基礎の一部に剥落や大亀裂、或いは屋根瓦の一部に崩落
- ⑥軽微（「一部損壊」又は「被害無し」に相当）： 外壁や基礎の一部に小亀裂、
或いは屋根瓦の部分的なずれ
- ⑦無被害（「被害無し」相当）： 外観には目視で識別できる被害なし

〔参考文献〕

- 1) 日本建築学会：1995年兵庫県南部地震災害調査速報，丸善，1995.3，p.10，pp.164～181.
- 2) 震災復興都市づくり特別委員会：阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集，1995.3.
- 3) 建設工学研究所：阪神大震災被害状況調査報告書（概要版），1995.4，p.71.
- 4) 日本科学者会議編：日本列島の地震防災－阪神大震災が問いかける－，大月書店，近刊，pp.26～35.

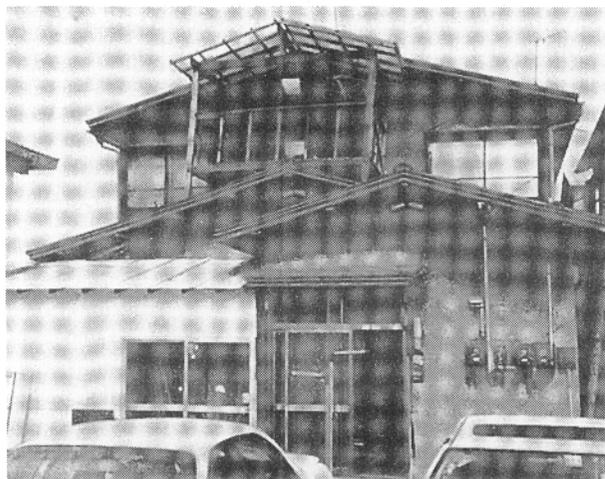


写真1 (a) 八戸市内の「全壊」判定の住宅
(三陸はるか沖地震)



写真1 (b) 八戸市内の「半壊」判定の住宅
(三陸はるか沖地震)

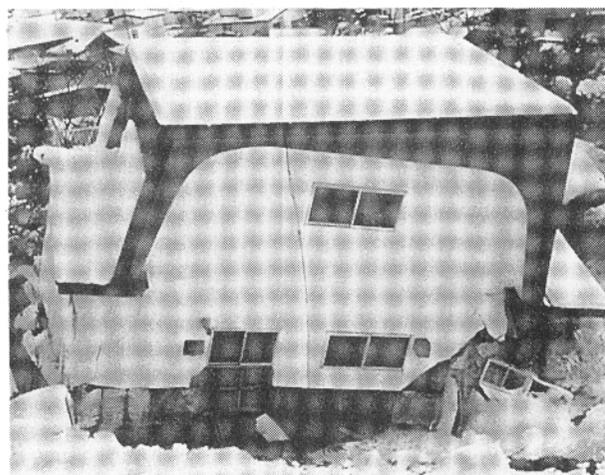


写真2 斜面崩壊で滑落したが、構造空間は残している釧路市内の住宅 (釧路沖地震)



写真3 珠洲市内の完全倒壊した土蔵
(能登半島沖地震)

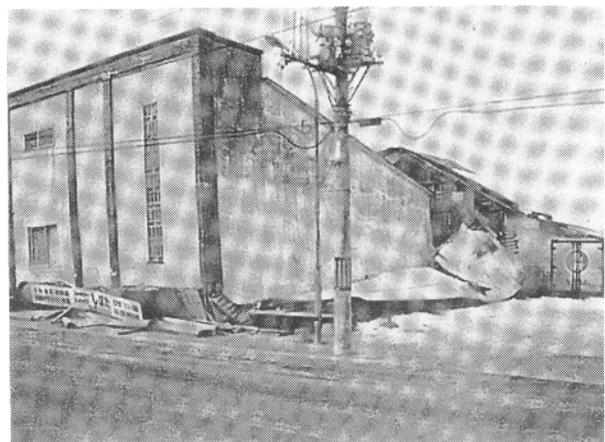


写真4 音別町内の1階が倒壊した店舗付き住宅 (釧路沖地震)





写真5(a) 倒壊直前の実験対象建物B棟（金沢市域）

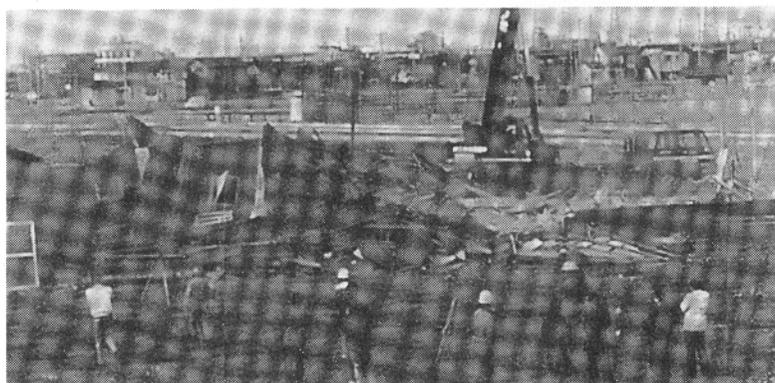
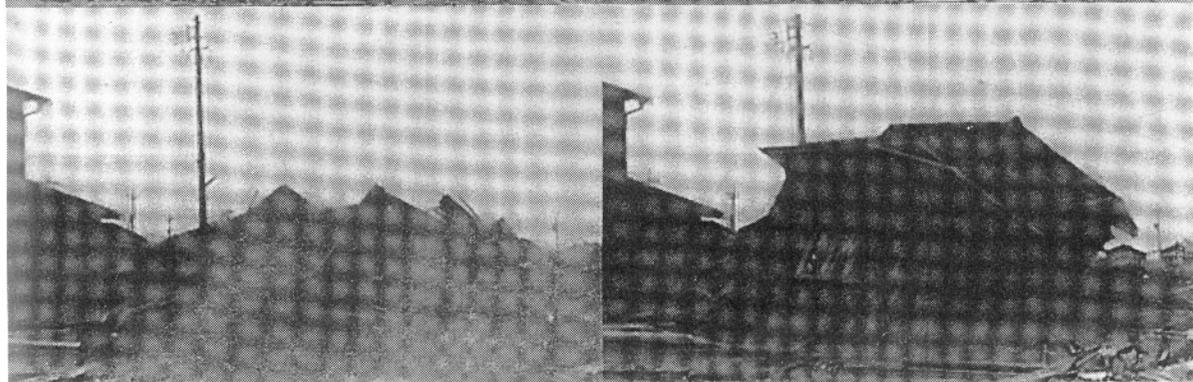


写真5(b) 実験対象建物B棟の倒壊過程（金沢市域）

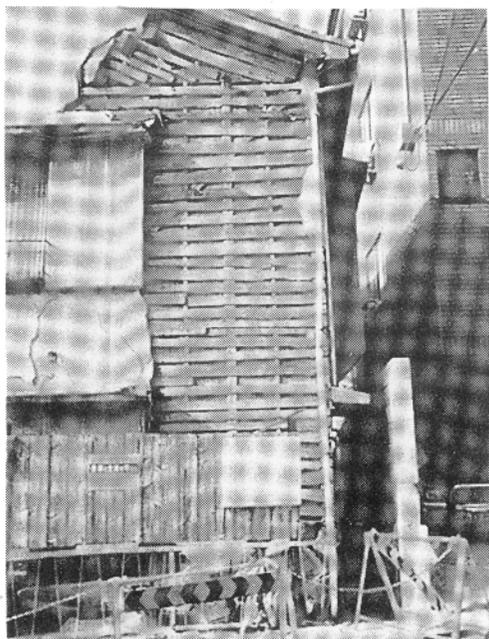


写真6 力が一番かかる1階隔壁に筋かいがないアパート
2階の筋かいも板のように細長い(神戸市中央区)



写真7 大きな開口部をとった後ろ側が大変形し、
ねじれて傾いた平屋建て住宅(芦屋市)



写真8 釘2本斜め打ちの接合部が抜けてしま
った筋かい、モルタル壁も落ち、下地
の木ずりも外れている(神戸市中央区)



写真9 倒壊した重い瓦屋根と土塗壁の古い住宅、そして、被害を免
れた軽いスレート屋根とパネル壁の新しい住宅(芦屋市)



写真10 鉄筋の入っていない浅いコンクリート
基礎が割れて大破した住宅(芦屋市)

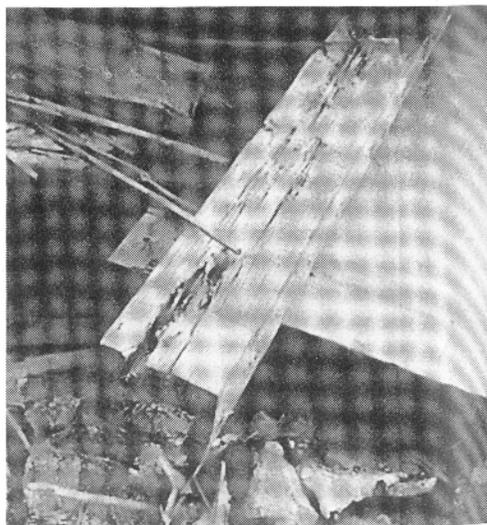


写真11 白蟻に喰われてがらんどうになった
1階の柱とほぞ(神戸市東灘区)

淀川・神崎川堤防とその周辺の災害

前川 謙二（大阪府職員労働組合）

阪神・淡路大地震は、約二万年前から出来た新しい地層の沖積層の軟弱地盤に築造された河川堤防にも大きな被害をもたらした。大阪湾から 10km 以内にある淀川河口域の大阪市此花区西島地区と西淀川西島地区の高潮堤防の甚大な被害、西淀川区の神崎川や尼崎市の中島川の堤防天端の亀裂、沈下などの被害、これらの堤防に近接する住宅地の液状化被害等が生じている。原因を総合的に明らかにし、教訓を学び明日の河川行政に生かすことが必要である。

1. 淀川と神崎川堤防の震災について

1.1 淀川堤防左岸堤防西島地区で約 1700m 倒壊

大阪市此花区西島地区の淀川堤防が延長約 1700 m にわたり崩れ、堤頂の沈下量は大きな所で約 3 m にも達した。そこでは、特殊護岸のパラペットが割れ折れ、幾重にも重なり合って川に落ち込んでおり、かろうじて被害の小さい部分の堤防から、被害前の堤防・護岸の状況がわかる程であった。震度 5 から 6 程度の地震に初めて遭遇した淀川の堤防が、どうしてこれほど簡単に破壊されたのか、特殊護岸のパラペットはなぜこのようにもろく傾き崩壊したのか。大きな堤防がこれ程までに沈下して、その土などは何処に移動したのだろうか。その原因を考えながら護岸裏の栗石や土の状況、コンクリートの破断面、堤外の法尻の状態、堤内の法面の破損・陥没状況、境界のコンクリート構造物の破損状況、その沈下・傾き、民家側へのはらみ出し状況等を見て回った。津波・高潮や洪水がおこると二次災害の可能性もあり、頭のなかが真っ白になるような衝撃に襲われた。

この地域は新しい沖積層の軟弱地盤で、地下水くみ上げにによる地盤沈下もあり、西島地区などの地盤高は海拔よりも低くゼロメートル地帯で、液状化の危険性も指摘されていた。明治時代に新設された新淀川は、流域の開発にともなう計画高水量の変更や高潮対策のために、堤防の「補強」・嵩上げが行われたが護岸の基礎工事や液状化対策が適切であったのかどうか点検し公表することが求められている。また、大阪府の維持・管理下にある都市河川では、震度 5 の耐震対策がなされているが、国の管理下にある淀川高潮堤防の耐震対策が行われていなかったとすれば問題である。

高潮堤防は、天端がコンクリートやアスファルトに覆われた三面張りである。激しい上

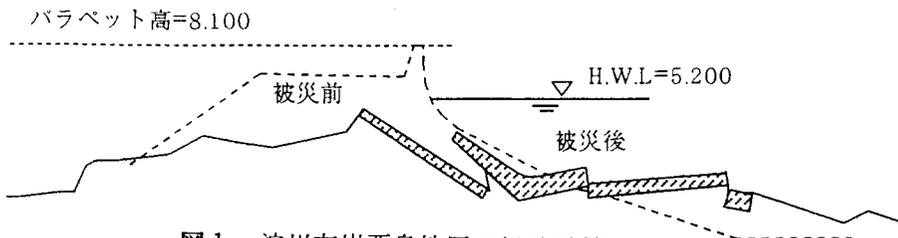


図1 淀川左岸西島地区の堤防破壊

下振動の時に重いコンクリート堤防が破損・転倒し、次の激しい横揺れで川側の低い所に転倒・崩れ落ち、続く揺れで更に重なり合い崩れ、液状化も加わり移動・沈み込んだのではないかという推測もなされている。しかし、堤防の堤外法尻にテトラポットが整備されていたり、高水敷に公園等が整備され、重いコンクリート堤防の荷重を広い堤防敷幅で支えている所では被害が少なかったのが注目される。

1.2 淀川右岸堤防の大規模な地割れ約 750m

淀川右岸側の西淀川地域は海拔 -1.8 m の低地部となっている。西島地区での堤防天端には大きな亀裂が縦断方向に走り、堤防の堤内地側へのはらみ出しや堤防尻の崩壊が見られた。これは西島川水門の上流部と下流部の延長約 750m にわたるもので、西島水門には変状はなかったが、その取り付け部の高潮堤防の天端からのり面にかけて被害があった。さらに、西島川に注ぐ大野川漁港では、液状化の跡もみられ、その護岸は淀川堤防のはらみだしで推しだされておられ、荷揚げ場は護岸の肩を約 1m 近く陥没させている。

左岸の西島地区と比較すると被災規模が小さかったのは、西島地区では、第二室戸台風の漏水対策として護岸に矢板を打ち込み補強されていたことや、西島水門の沈下対策として軟弱地盤の地盤改良が実施されていたことによると考えられ、注目に値する。

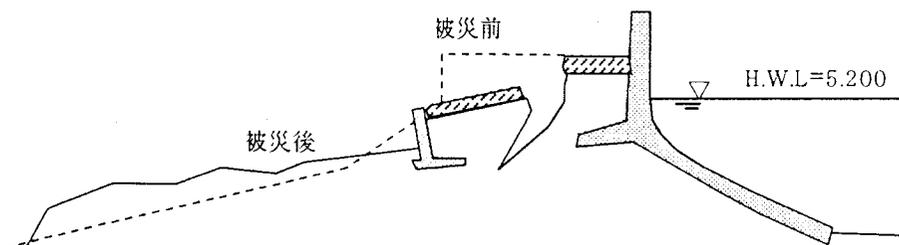


図2 淀川右岸西島地区の堤防被害

1.3 淀川左岸高見地区の高い堤防の上まで噴砂

淀川左岸高見地区では堤防は相当高いが、その堤防のパラペット上に砂が約 70cm 吹き上げた痕跡が残っている。現地を査察したのは、地震から十日もたち応急処理が行われた後であったが、堤防道路の亀裂の内や周辺には貝殻まじりの細かいきれいな砂が残っている。激しい縦揺れがここではどの様に作用し、続く激しい横揺れで、堤防の基礎部分で何が起こったのであろうか。この砂は堤防の基礎部分の液状化によるものであろうか。水と砂が一挙にそれも堤防の天端高まで噴き上げ、堤防と道路の亀裂を押し上げたとも考えられる。液状化とそれにとまなう噴砂と地盤沈下によって、堤防道路下に空洞部ができて堤防の弱体化が進んでいないか調査が必要である。

パラペット部と堤防天端の施工継目のズレ、堤防天端を縦断方向に走る亀裂、堤防の裏のり面の堤内地側へのはらみだし、堤内地の道路の盛り上がりなどがみられた。また、堤防の表法（住民側）の野芝や張りブロック、法肩にも亀裂が走り、普段であれば堤防管理の上から大きな問題となる程度の欠陥が、至る所に地震による被害として現れている。堤防の弱体・劣化につながる雨水の浸透を防ぐため防水シートが張りめぐらされており、堤防のひび割れ部はアスファルト系の材料でふさがれていたが、これは 20 日から 21 日にかけての大雨注意報に対する応急対策として行われたものであろう。

1.4 神崎川の護岸被害

神崎川と中島川の剣先の特殊護岸と堤防道路（通行止め）の間に沈下のあとが残っている。高水敷には液状化の噴砂跡があり、洪水を止める一線堤の堤防天端道路のパラペットの施工継ぎ手部では、パッキリと口を開けており、堤防道路に立つと川の流が見えるほどであった。L型パラペットが東の川側に傾き、引っ張られ、移動しており護岸の天端部からワイヤーで引っ張って補強も行われていた。

神崎川右岸では、工場敷地や住宅地との境のり面ブロックのはらみだしや、堤防道路も沈下で付近の通路鉄板との間に約 50 cm 程度の落差が発生し、堤防が川側に大きいところで 60 cm も引っ張られているなどの被害が目立った。

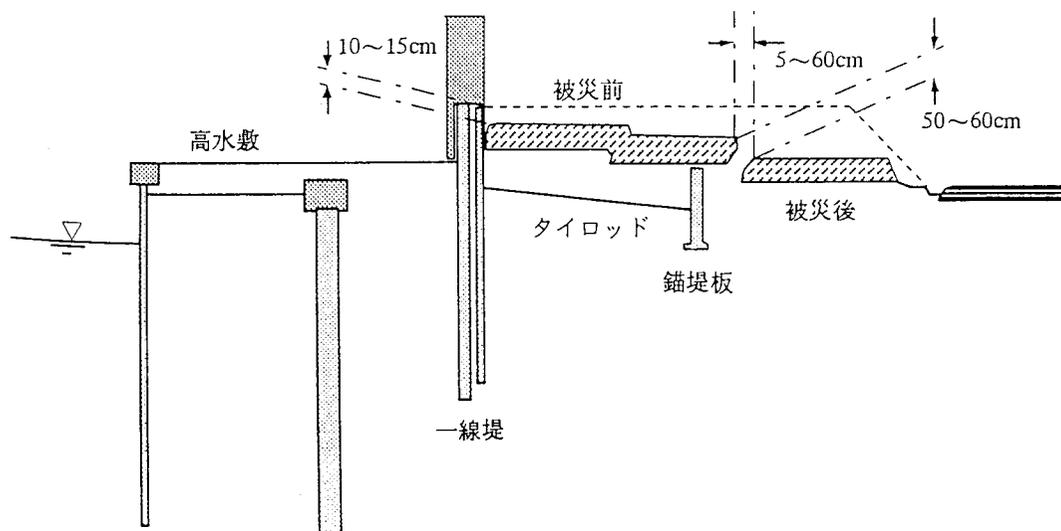


図3 神崎川の特設護岸被害

1.5 中島川右岸で漏水被害

神崎川下流部の中島川左岸の尼崎市では、住宅地側や工場の敷地近くで水が湧きだし、約 1 km にわたって堤防のり尻から漏水が生じ、その付近の住宅地の一部が浸水した。その付近では、河川からの漏水の他に、液状化にともなう噴砂や浸水、破断した水道管からの漏水もあったので、河川からの漏水を知ったのは、排水ポンプが据えられたときであったと言う人もいた。

現地査察した時には、工場敷地の堤防尻には土嚢が並べられて排水ポンプ二台が置かれ、川側に鋼矢板と埋戻土による緊急の漏水防止工事が行われているところで、漏水は少なくなっていた。堤防と道路の取り付け部分での亀裂は大きく、幅 40 cm、深さ 2 m に及ぶものがあった。さらに、パラペットのずれ、天端道路の陥没、のり面・のり肩の亀裂、貝殻まじりの噴砂跡や住宅の傾斜被害も目立った。

2. 淀川河口部と神崎川堤防に囲まれた地域の液状化問題

2.1 倒壊した堤防の直下でも液状化

堤防が頑丈であり、その直下に液状化が起り倒壊・沈下したものと考えれば、堤防の

基礎地盤の地割れや噴出口跡はどうなっているのか。このために堤防の劣化・弱体化はどの程度のものか。さらに堤防を支える地盤の強度はどう変化しているのか、堤防の横断構造物の基礎関係と堤防の土との間はどうに変化し堤防の強度は確保されているのか。続く地盤の沈下などで水害の二次災害の危険にどのように対応するのか。

ボーリング調査が始まっていたが、出水期までに応急の工事が必要である。本堤防に関しては、堤防基礎地盤の液状化対策を含めた地盤改良が必要であり、応急工事に際しては、耐震対策を含む本格復旧を見通した止水・滑動防止の対策や、堤防基礎の改良と堤防の復旧をすすめ、堤防の土とよく馴染ませながら十分につき固め丁寧な工事を行うことが必要である。

2.2 神崎川に囲まれた佃の住宅地に液状化被害

大阪市西淀川区佃地域の神崎川が左門殿川と分流している剣先に囲まれた住宅地に液状化被害が多く見られた。住宅地では、泥まじりの砂と水が地震のゴーという音と同時に吹き上げ古い井戸から 2 m の水柱ができた。床下浸水や下水道管の破断、ガス管や水道管の破損などライフラインにも被害が目立っている。

住宅については、基礎の亀裂や不等沈下のため住宅が隣の家に傾きかける、壁や窓の破壊、地下収納庫が押し上げられる、台所は泥の海、風呂の壁やタイルの破損、水洗トイレの配管が破断されて泥が進入、ドアや戸が開けしめできない等々の被害が出た。また、爆弾池での住宅被害も目立った。

2.3 神崎川の矢板護岸が液状化被害を増幅させたのか

佃地域は、砂の軟弱地盤で地下水位も高く、液状化の起こりやすい地域である。その上強固な堤防に囲まれているので、その鋼矢板護岸が「洗面器のなかに砂と水を入れて激しく揺る様に、液状化被害を大きくする働きをしたのではないのか」という推測もなされる。

基礎のしっかりとしたマンションの回りでは、40 cm 前後の地盤沈下のために水道管が破断し、仮設の給水場所も設けられていた。さらに堤防道路も沈下し、マンションの庭や公園にも亀裂が走り、液状化の泥砂の痕跡を残している、地盤も沈み込み、貯水槽と地盤には 50～60 cm も段差がついていたり、駐車場のコンクリートが割れていたりしている。

3. 震災の教訓を生かして河川管理の充実を

3.1 測量調査などの現状把握

堤体の移動や沈下が目についたが、関連測量を総合的に広い範囲で行い、断面測量図も作成し、各場所の沈下量と移動量を明確にすることが必要である。さらに、地震後の堤防の高さや河川断面図・平面図等を作成し、地域住民にも明らかにして、復旧・対応を急ぐべきである。復旧工事には住民の合意が必要である。

3.2 堤防の管理技術の検討

堤防の管理基準からどの程度強度（設計洪水位に対する堤防の安全性）が後退・劣化したのか、堤防管理基準とランクはどうなっているのか、等を調査し、その資料と結果を公表すべきである。パラペット堤防などの特殊護岸の設計思想と維持管理技術を公開し、管理・補修技術の検討を行政・研究者・住民が協力して推進し、地震に強い堤防の建設に生かすことが必要である。

また、トレンチ、ボーリング、弾性波等の地質調査を行い、今回の堤防被災の教訓を生かして液状化地域の堤防の管理基準をつくり、その補強対策を推進することが必要である。

3.3 堤防の被害が少なかった原因の究明

堤防パラペットや天端、ブロック護岸等の転倒・滑落、堤防陥没などの被害が全くなかったり被害の少なかった所もあるが、それは何故か、設計・施工・管理の側面からも原因の究明が必要である。軟弱地盤のうえに建造された堤防について、護岸の基礎や構造、特に堤外法下部に護岸の保護工・テトラポットの耐震上の有効性を明らかにすべきである。また、淀川の左岸（此花区側）と右岸（西淀区側）でどうしてこんなに被害が違うのか、築堤後の経過を含めて基礎や設計を比較検討することが必要である。

3.4 構造物の基礎杭の点検

軟弱地盤地域で洪水被害から住民生活を守る重要な堤防を横断する橋台や水門、放流渠などの構造物の基礎工事に杭などを用いていたとすれば、直下型の地震の縦揺れのために、それらの基礎工に著しい荷重が作用したものと思われる。そのため、摩擦基礎杭はその摩擦力の低下が心配されるし、支持杭であればその載荷重を支えられたのか、座屈はなかったのか、支持層を突き抜くことはなかったのか懸念される。これらについて早急に調査方法を確立し点検することも必要である。

3.5 河川保全区域の再検討

河川近くの被害が目立っていたことから、河川保全区域の地盤被害の実態を調査して、河川の漏水被害、堤体のはらみだし被害、堤防周辺の液状化被害など、河川保全区域内での地震による被害をまとめて、河川管理区域外との比較を行うことも必要である。

軟弱地盤で地盤が海拔ゼロメートルの低い地域を流れる河川では、堤防を支える基礎地盤の状態や液状化への対応について、総合的な検討が必要である。その際、地震の強い地域づくりの面から河川保全区域の役割を再検討することも必要である。

3.6 鋼矢板護岸と液状化の因果関係の調査

軟弱地盤を流れる都市河川の特殊護岸には、鋼矢板や鋼管矢板が多用されているので、例えば佃地区の液状化被害に関連して、被害と鋼矢板などの護岸構造との因果関係について調査・検討すべきである。もしも、関連があるならば、その対応策を被災者の要望に応える方向で解決するために、住民とともに液状化被災指定を政府に要望し新たな制度を創設していくことが必要である。

4. 災害に強い地域づくりへの検討課題

4.1 地震国としての長期的対策を

道路構造物や港湾護岸などと同様に、河川堤防に関しても、地盤の状況、液状化に対しても安全な管理技術基準を作成し、災害に強い安全な堤防管理と築堤をすすめる必要がある。とくに、カミソリ（垂直に近いコンクリート護岸堤防・特殊堤防）護岸から、長期的に安定的な堤防へ、堤防構造を高規格化し、住民本位の街づくりと統一した河川管理・維持の方向を追求すべきである。

また、地域開発について安全第一の視点から見直しを行い、河口部の洪水量の増加を抑制するために、流域の植林や治山、土地利用の見直し、流域での貯水・保水対策を含めて安全な国土建設の方向への転換が求められる。こうして、地震国における 100 年の国家大

計として、高い堤防と低い土地の街を低地部生活から解放することも視野に入れた総合的な土地利用計画を樹立することこそが、今回の地震の最大の教訓として生かすべきではないだろうか。

4.2 震災の教訓を生かし地震に強い堤防づくり

地震に強い堤防づくりのためには、第一に、堤防の被災を詳細に調査し、その原因を科学的に究明する。その原因、対策に関する全ての情報を公開し、対策は住民合意で進めること。第二に、軟弱地盤上の堤防について耐震総点検を行い、その対策の研究を推進し、震度7にも耐える地震に強い堤防整備と親水・治水水準を引き上げる河川整備とを統一して推進すること。第三に、砂地盤で地下水の高い地域など液状化危険予測地図を作成し、液状化対策を計画的に推進すること。第四に、既存の土構造の堤防や特殊護岸管理技術の研究を推進し、関東大震災や新潟震災の堤防復旧の経験にも学び、堤防補強の技術開発を推進し、河川管理のマンパワーの向上をはかり、適正な管理体制を確立すること。第五に、このため必要な河川管理施設等構造令の改正を行うとともに、治水予算を大幅に増額し、防災治水行政を確立することなどが必要である。

4.3 総合治水対策の前進のために

地震に強い堤防造りとあわせて、総合治水対策の前進のためには、第一に、河川改修と流域の開発を無限に繰り返す、開発政策を抜本的に再検討し、人間と自然・環境も大切にす地域づくりに転換し流域の乱開発を直ちに中止すること。第二に、洪水を一滴も河道から溢れさせないようにしながら一刻も早く海に流出させてしまう高水工法から、治山対策と地域住民主体の民主的土地利用計画で流域の保水力を向上させる総合治水に転換すること。こうすれば洪水量を減らすこともでき、堤防の高さも少しは下げて安全性を高める方向に転換できるであろう。第三に、震災対策を加味した高規格堤防の整備と公共住宅・公園緑地・親水河川などの統一事業を推進することなどが大切である。

宝生ヶ丘の地震災害と対策について

霜田 勤（京都府職員労働組合）

はじめに

本文では、前後4回に及んで調査した西宮市北に位置する宝生ヶ丘住宅地における地盤被害の実態と影響・対策について報告する。この地域を取り上げた理由は次の通りである。

第一は、この地域が地質構造も比較的複雑で、地質が地形に大きな影響を与え、かつ活断層の延長線上に位置していたため被害が大きくなり調査すべきであると考えたからである。第二は、建築物のみならず造成した地盤も破壊されたため、地盤の復旧が不可欠で、再建に資金的な困難が伴い、積極的な公共団体の支援が必要になってきたためである。第三は、地震被害の原因に関連して、国・民間を問わず全国で行われている造成の仕方と方法に共通の問題点が明らかになったことである。すなわち、どんな造成をされたかという場の条件によって根本的に被害が異なり、旧溪流や旧谷部を埋立て盛土したところで地盤が破壊されており、いままでの、埋立・盛土の方法に大きな反省が迫られていることである。第四は、自然地形の特徴から、地すべり・崖崩れ・土石流災害の危険性を有し、それに対する根本的な備えを緊急に整備する必要があるからである。山地部にはマサ土が厚く堆積したため崩壊が顕著で、雨の状況次第で地盤災害が危惧されている。第五は、主婦が中心となって地域再建の自主的な運動が強まっており、この運動を支援していくことが重要であるためである。周辺では大手のマンション建設の動きに地域の取組みがあり、住民主体の地域づくりとして運動が進められている。

1. 宝生ヶ丘の断層と地形地質

宝生ヶ丘は有馬高槻構造線とその南を西南西に走る五助橋断層が会合する部分に位置し、またこの団地の中央部に南北に走る断層が存在している（図1）。武庫川は生瀬を過ぎてから東から南に向きを変え、瀬を形成しつつ流れ下り宝生ヶ丘下流の岩盤面に当たって、

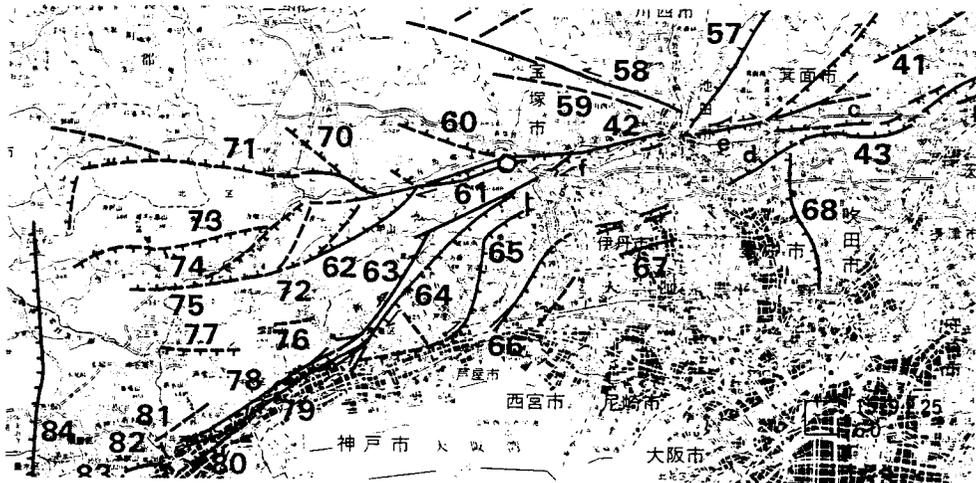


図1 阪神地域の活断層¹⁾。円内が宝生ヶ丘地区。

図2 宝生ヶ丘地区周辺の地形。国土地理院の地形図（昭和63年発行）より作成。

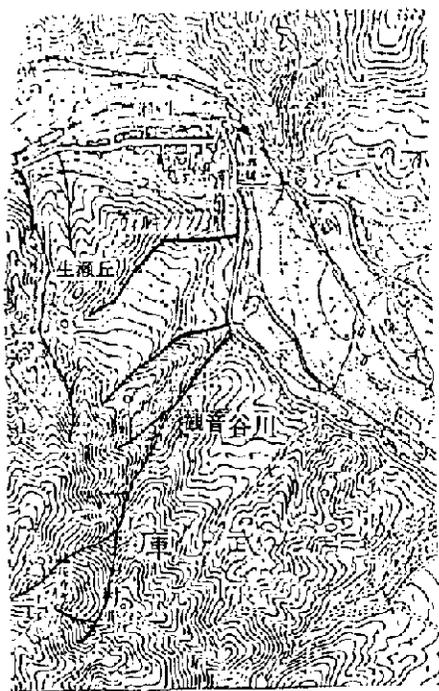
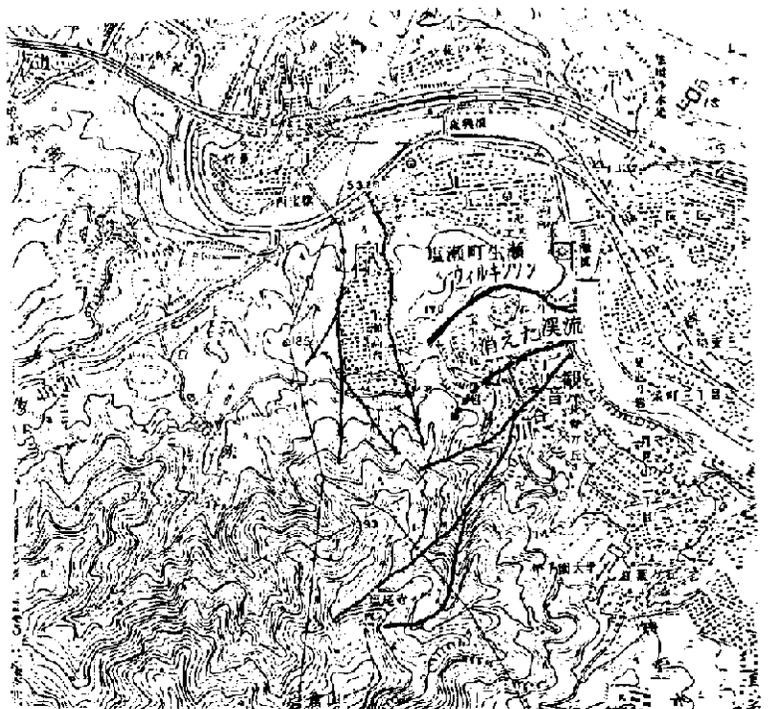


図3 明治期の地形(左)と昭和26年の地形(右)。
 (国土地理院、破線は流域界、実線は溪流)

再び南西方向に流れを変えている。更にこの川は土砂供給の著しい逆瀬川を合流すると南方向に流れ、大阪湾に注いでいる。宝生ヶ丘の北と南の縁には溪流がある。北側の溪流はウイルキンソン溪流、南は観音谷川で(図2)、後者は流域面積が約 0.3km² で前者に比べて大きく、急勾配で浸食力が大きいため、河床には大きな転石が見られる。図3左は明治時代の当地域の地図であるが、この2つの溪流の間に更に小さな溪流があり、滝もあったと言われている。滝は断層の浸食後退面と思われる。昭和63年の地図(図2)では、溪流が住宅開発ですっかり消えている。

2. 造成と地震被害の関係

明治・昭和26年(以上図3)・昭和63年(図2)の三つの地図を比較すると、開発方式は一丁目の北部と南部は切土、中央の溪流は盛土の造成を、二丁目は、ウイルキンソン溪流に面して盛土していたことが判る(図4)。今回の地震では中央溪流に沿っての盛土地域で倒壊率が特に高く、被害が自然地形を表現する形になっている。

2.1 全体的な地形の特徴と被害の関係

一丁目と二丁目の間には崖部分が存在し、一丁目は崖より下、二丁目は崖より上に位置する。中央溪流部は大きく盛土された結果、現在は流路が消え、またウイルキンソン溪流上流部も谷が埋められ消えている。こうした条件と被害を重ねると、地震被害の自然的、人為的な特徴と因子及び課題が次第に明らかになってくる。

それは第一に、地震被害は地質的特異点の崖付近に集中し、そこに十分な防災対策を行わない住宅開発を行ったことが命や財産を失うことに繋がったことである。こうした開発に対するコントロールが今後の課題である。第二は、埋立・盛土したところが大きな被害を被ったことから、盛土に対する防災対策の重視と役所のチェック体制の整備が重要となってきたことである。

2.2 それぞれの地域の被害の特徴と今後の対策

a. 二丁目9番地から一丁目8番地にかけての崩壊(図4 a地点)は花崗岩の風化したマサ土が崩れたものである。一帯は風化の著しい六甲花崗岩で、斜面には玉葱状に風化した花崗岩や厚いマサ土が見られ、所々に粘土化した赤色または白色の土が露頭している。今回の地震ではこうした凸型斜面の被害が多いが、ここでも凸型斜面を形成している。

崖下数軒の住宅は一度開発が終わったところの斜面下の狭い区域を最近切り開いた所で、風化したマサなので危険性が高いにもかかわらず、防災施設も設置しないままであった。そのために地震で崖崩れが起き、逃げる間もなく命が失われた。この地域ではがけ崩れ対策事業が進められているが、今後は災害危険区域の指定をし、建物の規制を図るとともに、警戒避難体制の整備を行う必要がある。

b. 汚水処理場下の一丁目12番地付近の湧水地(図4 b地点)は五助橋断層が有馬高槻断層線に会合する南北方向の断層崖の真下に位置し湧水量が多い。また、その下の道路の部分は地面が隆起し、地すべり独特の末端地形を形成している。調査の結果を受け、湧水の排除のための明暗渠工や集水井戸の設置・地下集水ボーリングなどの工事を検討することが必要である。

c. 一丁目20番地付近で人家が倒壊した(図4 c地点)。かつての地図から判断して、中央溪流の跡に埋立て盛土し建設された住宅が大きな被害に遭ったものである。今後、盛

土の強化を図る必要がある。同時に、被害が盛土の在り方を問うている。造成の際、転圧・圧密など宅地地盤を締固め、建物の基礎の杭打ちや建築物の基礎の改良を行うことが重要である。

d. 二丁目1番地・6番地付近は南北方向に住宅地に沿って亀裂が入り、道路下のような壁が倒立しかかっている(図4 d地点)。浅い地滑りであるが、面的には大きなブロックを形成し、よう壁の方に動いており、今後崖方向にすべりだす可能性がある。調査の結果を待たなければならないが、地すべりを抑える方法として、集水ボーリングなどの浸透防止対策の抑制工事や道路付近に杭を打つなど抑止工事対策も大切である。

e. 二丁目11番地付近(図4 e地点)ではウイルキンソン溪流に沿って道路と宅地の盛土造成がおこなわれ、宅地地盤が沈下する災害が起きている。ここでも盛土の在り方が問題



図4 宝生ヶ丘における主要な災害の位置

となっている。基礎を締め地盤の安定をはかることが大切である。

f. 宝生ヶ丘公園（図4 f 地点）の擁壁の裏側のクラックは小さな円弧ブロックとなっているが、この亀裂は盛土の施工不足より亀裂を生じたものと推定される。

3. 土石流対策と崩壊対策

南側溪流に沿って、六甲砂防事務所のデータでも相当数の山腹崩壊箇所が報告され、現地でも崩壊箇所が見られる（図5²⁾）。崩壊や地すべりによって川が塞ぎ止められ天然ダムがつくられ決壊して大災害になることがあるので、これへの地域ぐるみの対策が重要である。また、汚水処理場の斜面には滑落崖が2、3ヶ所存在しており、滑落崖の監視と調査も地域の重要な課題である。したがって、地域ぐるみで地盤災害対策も行っておく必要がある。

土石流対策としてはダムをつくるのが根本だが、当面土砂が溪流に堆積し、いつ動かわからないので通常よりも厳しい基準で避難を行うべきである。一般的に、警戒避難は経験から時間雨量 30mm 程度でおこなっているので、災害の後であることを考慮すれば半分の 15mm 程度で避難する方がよい。また、土石流の発生は、特に、2～5時間雨量が決定的に影響するので累積雨量で 100mm 程度の警戒避難雨量を設定すべきである（通常は 150mm 程度で避難）。

崩壊、地すべりの発生もやはり累積雨量に関係している。一般には約 150mm 程度で避難しているが、当地では 100mm 程度で避難すべきと思われる。また、必要なところに設置されている伸縮計の移動量で警戒避難を行うこと、また土石流・地すべりには前兆現象があるので、住民に前兆現象の情報の徹底をはかること等が必要である。

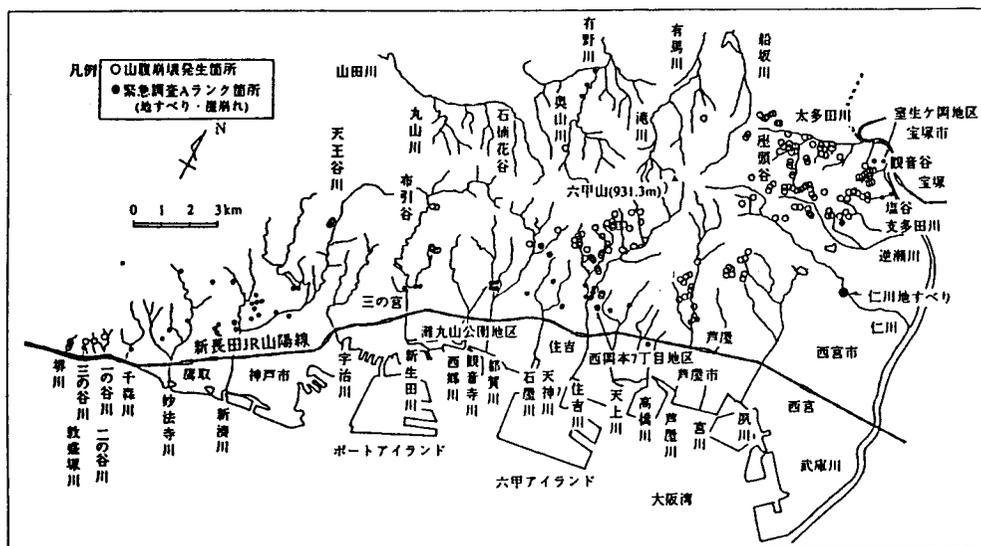


図5 六甲山系における山腹崩壊箇所²⁾

4. 最後に

本地域では、地すべりとがけ崩れ対策を強めていく必要がある。国庫補助事業の採択基準の対象や基準要件の緩和が必要で、かつ、被災の大きさから見て、防災対策事業におけ

る受益者負担をなくす方向で検討をしていくことが求められている。他方では、震災を逆用して周辺で民間分譲マンション業界から再開発やビルの高層化で防災が行われるような幻想が振り撒かれている。大切な事は、地域での学習や運動を強めつつ、住民の声や要求をまとめ住民に公開し行政に強く要望し住民が一体となって地域の再建を考えていくことであろう。

最後に、図6³⁾に六甲山地南東部の段丘面の分布を示す。これらの段丘面とその周辺域の地質・地形条件は基本的に本地域と同じであり、本稿で述べた防災上の注意がそのまま当てはまる。

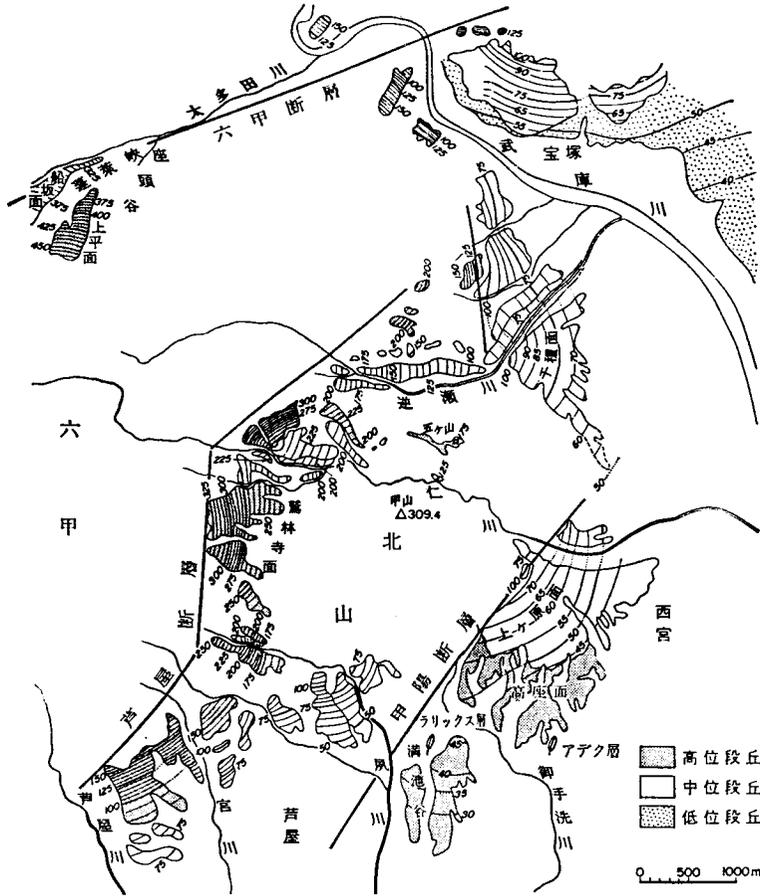


図6 六甲山地南東部、西宮地域の段丘³⁾

参考文献

- 1) 活断層研究会編：「新編日本の活断層」，東京大学出版会，437p，1995.
- 2) 土木研究所調査団砂防班：砂防関係の被害，土木技術資料，37-4，pp. 32-35，1995.
- 3) 藤田和夫：「日本の山地形成論」，蒼樹書房，p. 466，1983.

西宮市仁川百合野町における崩壊

志岐 常正 (元京都大学)

三田村 宗樹 (大阪市立大学)

藤原 重彦 (株) キンキ地質センター)

池田 碩 (奈良大学)

1. 崩壊災害地周辺の地形・地質と“開発”

崩壊災害地周辺は、六甲花こう岩山系の東縁部にあたる。また、100万年程前に同山系の麓に堆積した大阪層群下部の砂礫層（一部に泥層）や、より新しい段丘堆積層が、丘陵地や段丘をなして分布する。これらを切って、甲陽断層やその副断層が発達し、その全体の落差は少なくとも400mに及ぶ。

上ヶ原面は、平地との比高 40–80mにおよび、この付近で最も顕著に発達する段丘面（中位段丘）である。これを利用して、大学や住宅地がつくられている。その北西端が甲陽断層に切られて 15mの落差を生じており、その北西側の平坦面に浄水場その他が設けられている。

甲陽断層その他の活動で、北西側の山地ブロックと、南東側のブロックとの間に落差が生じた結果、本地域の中央部を流れ下る仁川に遷急点を生じたが、これはすでに今回の百合野町崩壊地付近を通り過ぎてしまっている（そのため、すぐ上流に谷の深い景勝地を生じた）。これが今回の被災地となった百合野町の住宅地と、浄水場などがつくられた段丘面との大きな高低差の原因であり、仁川下流の住宅地と一見同様な低平地に、宅地が開発される因ともなった。

2. 仁川百合野町の崩壊地と崩壊物

2.1 地形の人工改変

仁川百合野町の崩壊現場は、北東向き約20度の傾斜地である。崩壊地の北西側には、花崗岩の岩盤斜面があり、平均的な傾斜角は約30度である。一方、崩壊地の南東側の浄水場の北東斜面は段丘崖となっていて、約40度の傾斜地である。つまり、崩壊した斜面が最も緩い傾斜角となっていた。崩壊地付近の仁川河床には、花崗岩が露出しており、また仁川河床から約5m上位に、直径数10cmの花崗岩礫を含み、低位段丘堆積層に相当するものとみられる礫層が、約2mの厚さで花崗岩を覆っている。

現在の地形図をみると、浄水場付近はほぼ長方形の平坦面となっている。つまり西宮市・阪神水道企業団の浄水場の敷地はすべて中位段丘面の上に立地しているかのように見える。

しかし、新旧の地形図の比較を行うと、人工的な地形改変が浮かび上がってくる。図1 a-cは、明治18年・昭和22年・平成2年に測図された崩壊地周辺の地形図を示したものである。明治18年の地形図では、崩壊地部分は、傾斜地でなく逆コの字型をした幅の広い谷として表現されている。その谷底は平坦地で、その後に住宅地となった仁川河床面から約

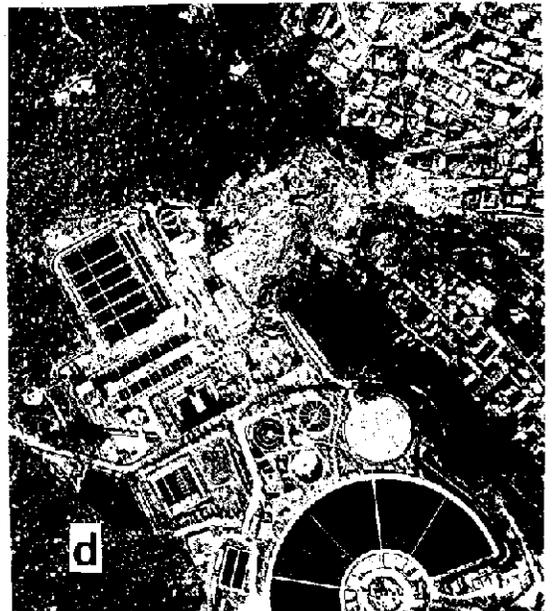
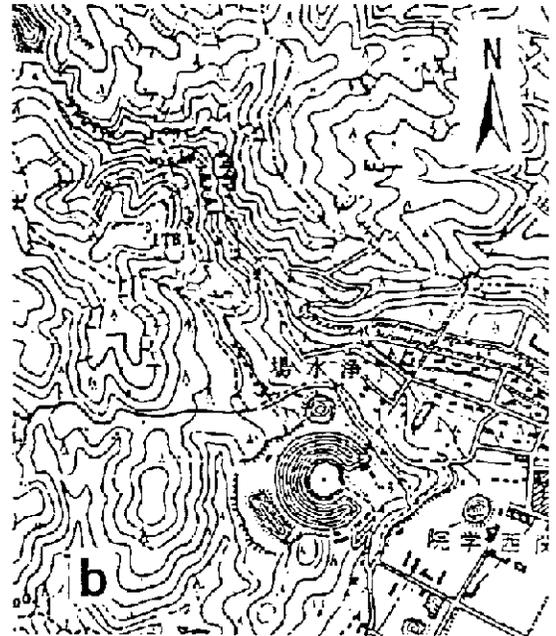
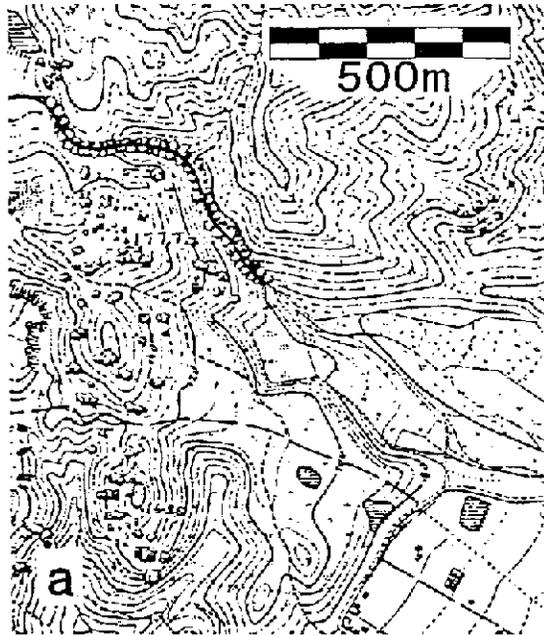


図1 仁川百合野町崩壊地周辺の新旧地形図，航空写真の比較

a : 大日本帝国陸地測量部作成 1/2万地形図（明治18年測図，同19年発行），b : 国土地理院発行 1/2.5万地形図「宝塚」（明治43年測図の縮図，昭和22年修正測図，昭和31年発行），c : 国土地理院発行 1/2.5万地形図「宝塚」（昭和52年改測，平成 2年修正測量，平成 3年発行），d : 航空写真，1995年アジア航測（株）撮影，崩壊地と崩壊土砂堆積地が白く見える。

10m 前後の比高をもつ低位段丘面に連続している。

明治18年の地形図で表現されている逆コの字の谷地形は、昭和22年の地形図でも認められるが、谷底は平坦でなく、全体に緩傾斜の地形として表現されている。さらに、平成2年の地形図では広い谷はなく、北東向きの平板的な斜面となっていて、その斜面の上位に幅の広い平坦面が形成されている。つまり、この地形の変化は、浄水場関連施設の工事、敷地確保などにかかわる残土処分や盛土造成などによる、人工改変であることがわかる。

このような地形の人工的改変、および、今回崩壊を起こした斜面がそれによる盛土法面の一部であることは、新旧各種の航空写真を比較によれば一層明らかに認められる。ここ（本報告）では、崩壊直後にアジア航測により写された写真（図1d）を上記地形図と並べて掲げておく。

2.2 崩壊土砂

崩壊堆積土砂は、花崗岩質粗粒砂を主とし、花崗岩礫（直径10cm～1m）や、一部にチャート礫、大阪層群の粘土層のブロックなどを含む。当然ながら葉理その他の堆積構造は認められない。これに対して、本地域周辺に分布する大阪層群は、風化した花崗岩礫やチャート礫を含む砂礫層と粘土層で、一部に成層構造やトラフ構造の見られる河成層である。また、崩壊地の南側にある上ヶ原浄水場敷地内に露出する中位段丘層は、直径10～30cmに達する花崗岩亜円礫を含み、覆瓦構造をもつ扇状地性礫層である。崩壊土砂は、これらの地層とは、粗粒砂を主とすることのほか、下記の点で明らかに異なっている。

崩壊土砂の中には、崩壊前に地表に生えていたものと認められる木の幹や根などのほかに、やや腐朽した植物片が部分的に含まれている。その植物片の中には、葉のついた松の小枝などもみられる。腐朽の程度からみて、現世のものではあるが、つい何日か前まで生えていたような新しいものではない。さらに、稀ではあるが崩落土砂の表面にガラス片が見いだされるが、崩落物に含まれていたものである可能性が高い。

要するに、崩壊土砂が盛土層であることは明らかである。旧地形図との比較から、その盛土層の厚さは少なくとも10～15mはあるとみられる。

なお、崩壊し残って現在崩落崖をなしている地層が何であるかについては、災後、現場で観察・討論が繰り返された。最上部の1mほどが盛土であることは明らかであるが、それより下位の10数mに関しては、一見マサ状に見えたり、トラフ構造がありそうだったりすることが断定をためらわせた。しかし現在では、崖に露出している部分に関する限り、少なくとも大部分は盛土であることで、多くの地質家による見解が一致している。現地ではその後ボーリング調査が行なわれているので、その資料の公開が待たれる。

3. 崩壊過程

明治18年の地形図には、現在の崩壊地にあたる上記“逆コの字形の広い谷”に、北西側から入る小さい直線的な谷が表現されている。現在の地形図では、その谷の出口が北東方向に向きを変えて仁川と合流している。この谷は、常時表流水が流下しておらず、大きな降雨のあるとき以外は、谷に沿う伏流水となっているようである。旧谷筋に沿って伏流した水は、長期にわたり盛土の下部に浸透していたであろう。そのため、盛土下部は比較的含水率が高く剪断抵抗の小さい状態になっていたことが考えられる。そして、地震時に極

端な強度低下を起し、崩壊に至ったものとみられる。この考えは日本地質学会（1995年4月）において、川辺孝幸・六甲団体研究グループによって示されたものに近い。

新聞報道（2月4日朝日）によれば、中村三郎や佐々恭二は、相当多量の地下水が崩壊前の斜面の下に存在したと考えているようである。佐々は水脈の存在した深さや、水に飽和していた砂層の厚さについて、それぞれ、地下14m付近、約5mと具体的な数値を示している。しかし、地下水脈の水の起源には触れていないようである。

ところで、崩壊のメカニズムとして異常間隙水圧が働いたとしても、それは、崩壊後の土砂が土石流に似た流れをなしたことを必ずしも意味しない。実際に、現場の崩壊土砂の大部分は、堆積後、水に濡れていなかった。おそらくは、地すべり性の崩壊の際に崩壊体の上部にあった乾いた土砂は、慣性モーメントを保持したまま、土石流でなく、乾いた一種の粉体流（むしろ岩砕流というべきであろう）をなして流下したと思われる。

なお、崩壊後の観察によれば、北西側でなく、崩落崖の直下（崩落土砂の最上部）あたりに、かなりの湧水が認められた。また、新聞報道（2月4日毎日）によれば、崩壊後2カ所で行なわれたボーリング調査で、地下5.5-6mに大量の水を含んだ粘土層があったとのことである。これらの事実および報道は、崩壊前から水があった証拠には必ずしもならず、地震の際に地下水位が変化した可能性もないではない。しかし、上記地下水脈の起源として、北西側の小さい谷からの伏流水以外の地下水の関与、あるいは、自然の湧水や地下水だけでなく、人工的な水が関与している可能性を示唆するものかもしれない、気になるところである。

4. 被災要因と教訓

兵庫県南部地震がおこらなければ今回の崩壊はなく、34名もの人命を失う災害も生じなかった。しかし、地震は今回の災害の直接誘因、いわば引き金を引いたものであり、その前に自然的・社会的素因が形成・蓄積されていたことを見なければならぬ。

簡単に言えば、仁川百合野町被災地一帯には、前述のように、もともと自然的素因、すなわち、無理に人為を加えれば崩壊災害を起ししやすい地質学的・自然地理学的な条件があった。この素因を無視、ないし、忘れて、かつての段丘崖の斜面や谷の上に厚く盛土を行い浄水場を広げたこと、またその盛土の法面の下方に宅地開発を許したことが社会的素因である。

今回のような災害を再び起こさないように、関係当局はもとより現場の施工業者によるあらゆる技術的検討と、それに基づく慎重な工事が進められていると思いたい。しかし、技術力を過信して自然条件の検討を軽視した工事が、また強行されているのではないかとの不安が地元（仁川の、より下流域を含む）住民の間に根強くあることは、理由なしとしない。何よりもまず、工事計画の全貌が、分かりやすい形で住民に公開されることが望まれる。

地震が起こることは防止できないが社会的素因をつくらないことはできる。本稿では、阪神一淡路島大震災の山腹崩壊災害の一例として仁川百合野町の場合を取り上げたが、同様の視点を保持することが、地震による崩壊災害に限らず、今後の地域防災と環境保全の計画の前提として必要である。とくに、山腹の“開発” - 人工改変地については、自然的

・社会的条件の分析が不十分なままに造成された，古い盛土斜面の安全性の見直しが，早急になされなければならない。また不幸にして災害が起こってしまったときには，その社会的素因をつくったことになんらかの関わりある組織あるいは事業団体が，それぞれの責任を率直に認めることが，信頼回復と，その後の住民参加の対策，地域計画樹立を容易にし，新たな素因形成を防ぐ条件となるのではないだろうか。

参考文献（新聞記事を除く）

川辺孝幸・六甲団体研究グループ：1995年兵庫県南部地震にともなう西宮市仁川百合野町の斜面災害について，日本地質学会 101 回学術大会特別ポスターセッション予稿集，1995，p.12.

写真に見る地震の巨大なエネルギー

池田 碩（奈良大学）

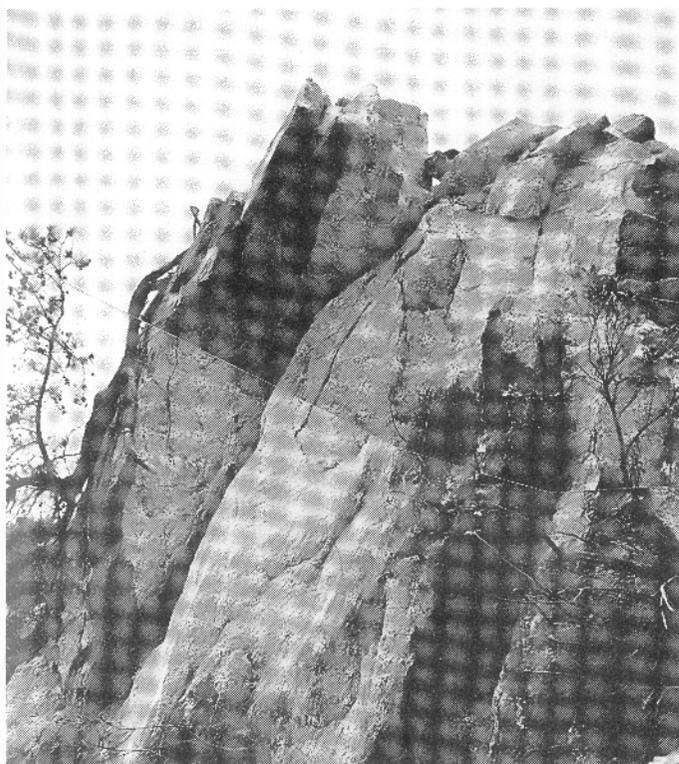
山地 1. 地表の変化



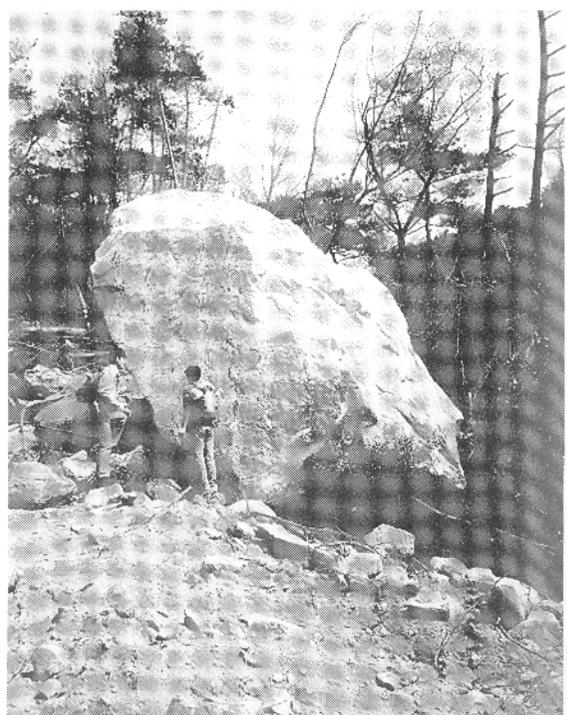
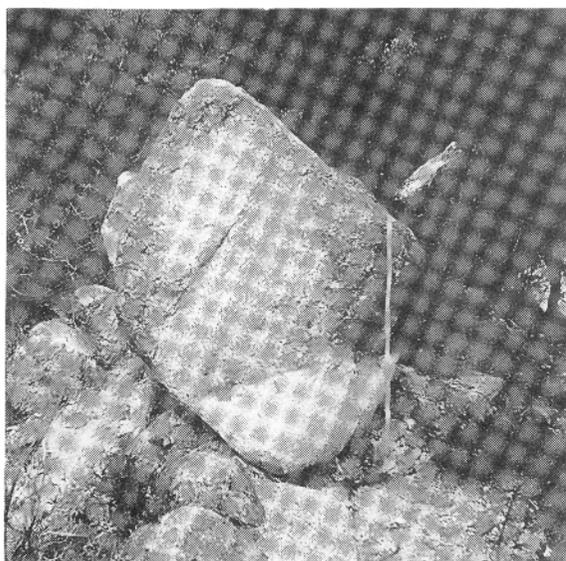
上：尾根上の小岩峰(ト7)の分解
ロックガーデン

下左：岩峰先端部の破壊。最上部
は分解落下している。表面
は強力な衝撃による剥離が
著しい。
ロックガーデン

下右：山腹斜面にみられる岩塊の
落下と衝突による岩塊の細
分化。荒地山西側斜面



山地 2. 強力な衝撃による破壊



上左: "跳ね石", 40cm高い南側へと跳ね飛んでいる。荒れ地山東側
下左: 斜面下方突出部の崩壊。
芦屋川中流

上右: 巨大な岩塊(高さ10m, 幅8m)の分解。
ロックガーデン
下右: 山上より落下してきた巨大な岩塊。
(幅6m, 厚さ3m, 奥行8m)。芦屋川中流右岸

斜面・崖の崩壊

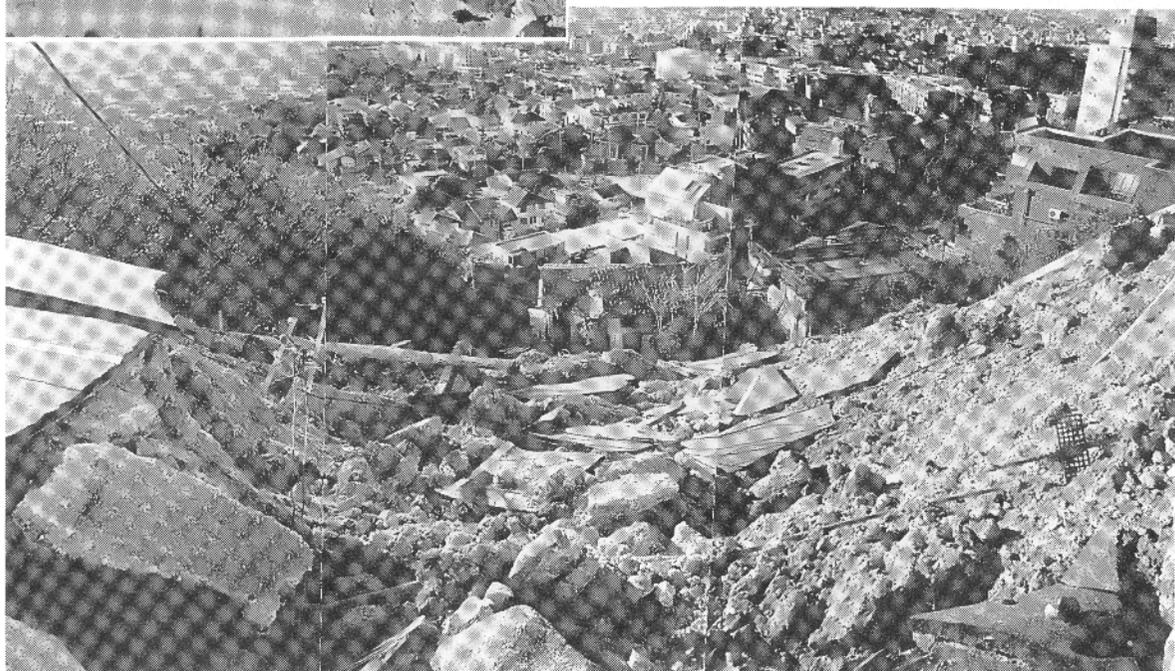


上・中：西宮市仁川百合野町の例。

斜面上部の小起伏面を平坦化し造成した崖の上端の盛土部分を中心に大崩壊。崩落した土砂は下方を流下する仁川を越え、対岸の民家をも埋没させ、死者34名、全半壊家屋12戸を生じた。

下：東灘区西岡本7丁目の例。

斜面上部の小起伏面を平坦化し、団地を造成した部分の、崖上端の盛土部分から崩壊した。



建物の被害 1. 木造家屋



左上：東灘区 右上：灘区

左中：東灘区

左下：芦屋市 右下：中央区



建物の被害 2. 鉄筋コンクリートビル

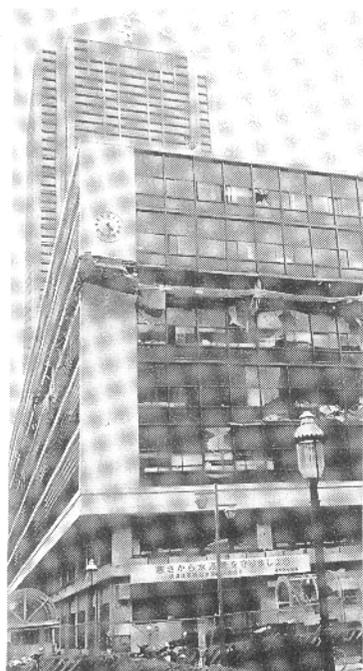
右上：芦屋市

左上：中央区

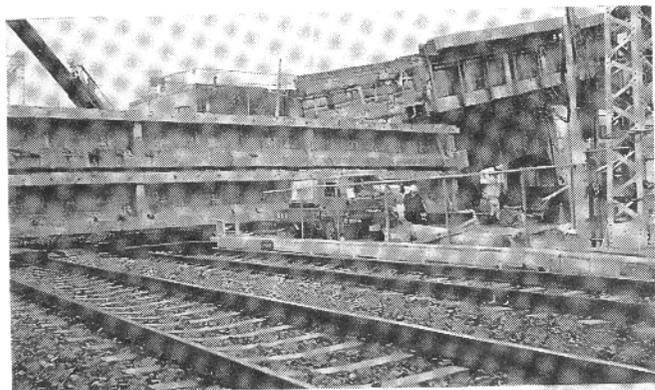
右中：中央区

左下：東灘区

右下：長田区



交通機関の被害



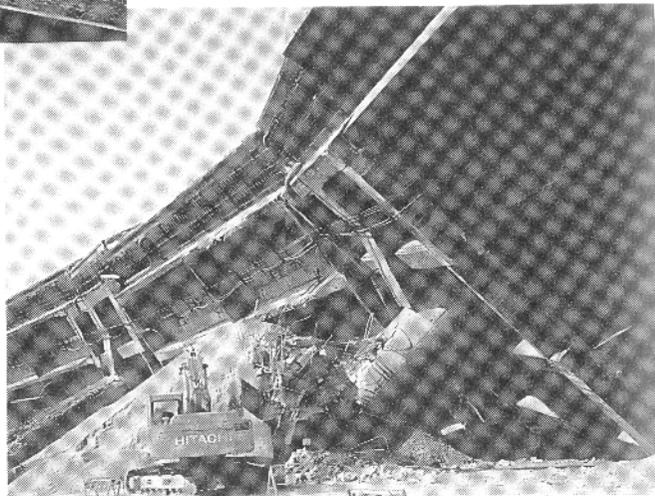
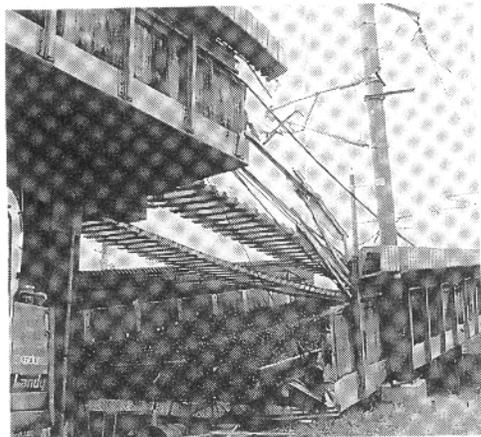
左上：新幹線高架部が阪急今津線上へ落下。西宮市

左中：左上写真地点西方のトンネル入り口付近での落下。西宮市

左下：新幹線高架部橋脚の破壊。西宮市

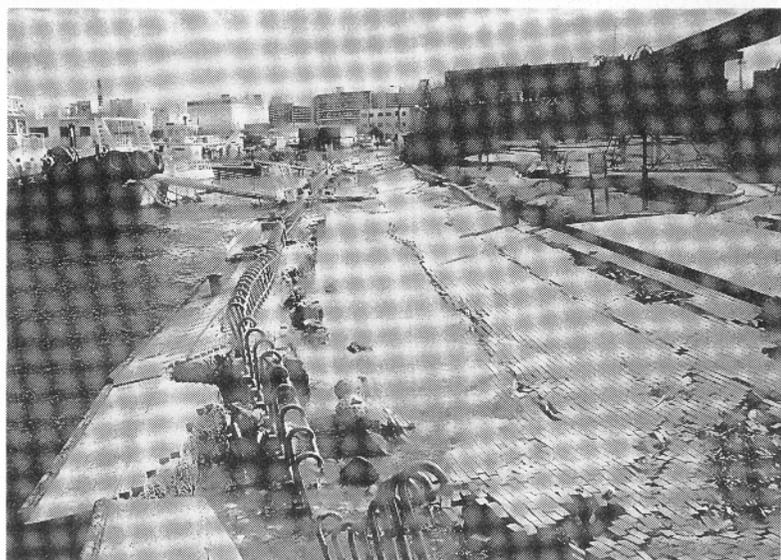
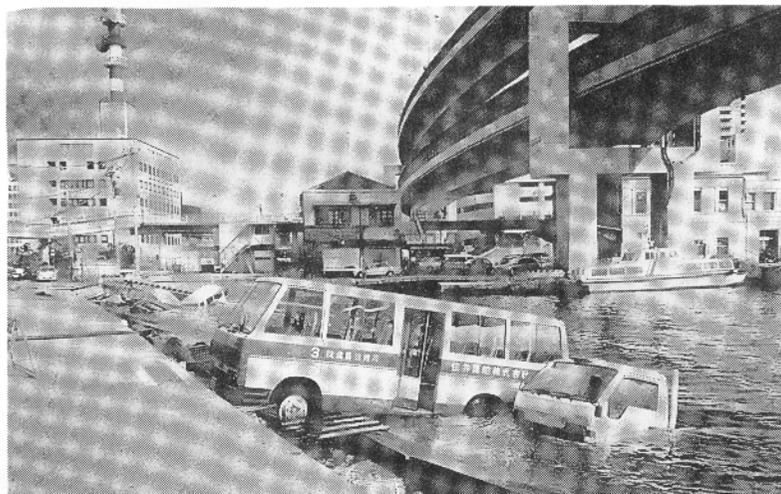
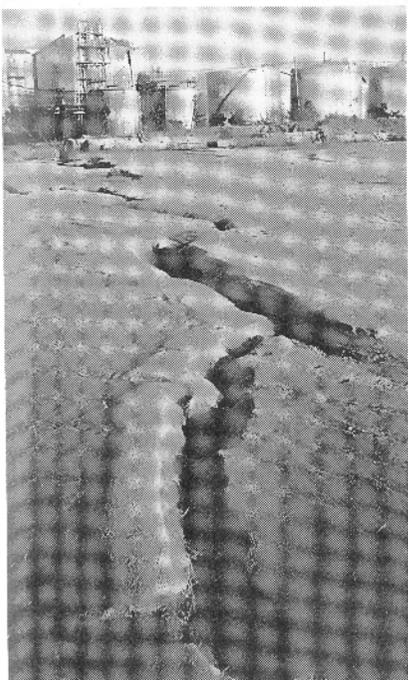
右中：阪神高速道路高架部の北側への転倒。芦屋市

右下：JR高架部橋脚の破壊。灘区六甲道

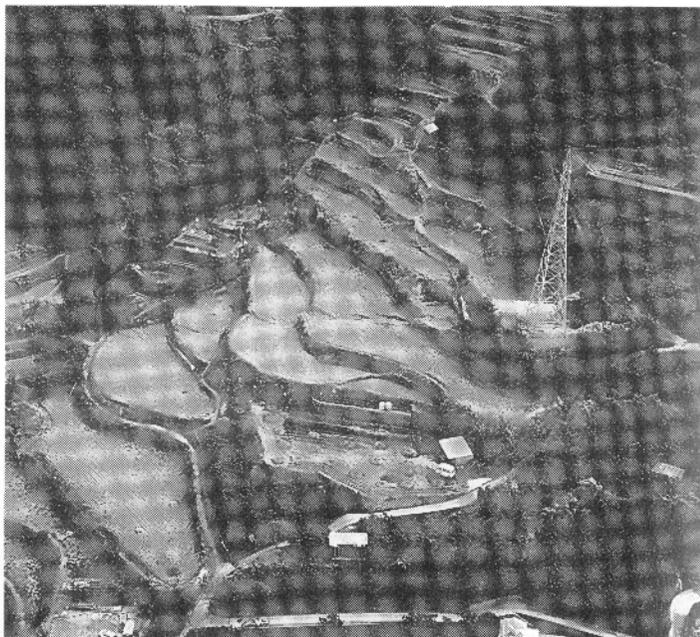
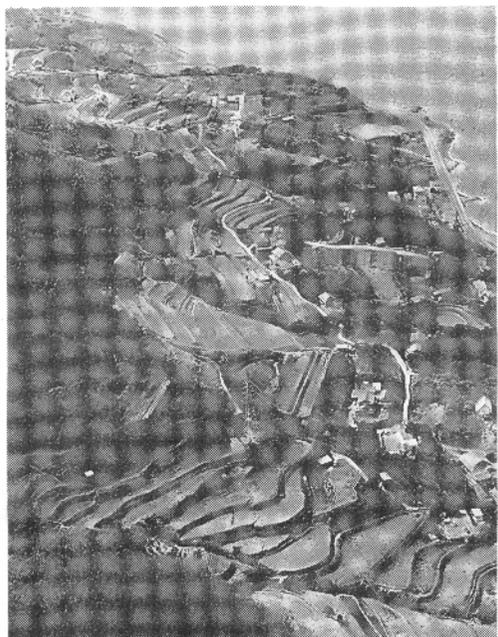


埋立海岸・人工島（護岸破壊と液状化）

- 右上：中央区波止場町 海岸通
- 右中：ポートアイランド
- 右下：六甲アイランド
- 左上：六甲アイランド中央部のビルの浮き上がり. 約60cm
- 左下：灘区魚崎浜埋立地南西部



断層が地表に現れた淡路島



上左、上右：北西岸沿いの
水田中を分断して延びる
野島断層。

杉本賢二氏空撮

中左：ネギ畑の畝をずらし
た断層

中右：台地・低地を通り抜
ける断層

下：中右写真の右端を流
下する農業用水溝を切断
する断層

