

# 地震 ジャーナル

59

2015年 6月

エッセイ 「北海道東部で大地震」の中期的切迫を示す静穏化 ●松浦律子

論文 兵庫県南部地震とはどういう地震だったのか? ●飯尾能久—— 1

兵庫県南部地震が橋の耐震設計に与えたインパクト ●川島一彦——11

阪神淡路大震災が突きつけた新しい課題としての「復興」 ●林 春男——22

E-ディフェンス 10年の取組み ●梶原浩一——29

●書評——39

●新刊紹介——42

囲み記事 火球による振動（補足）

**地震予知総合研究振興会**

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

# 「北海道東部で大地震」の中期的切迫を示す静穏化

松浦律子

1995年1月17日、地震学用語候補のコンパイル作業を仕上げていた私は、ちょうど兵庫県南部地震が発生した明け方頃に作業を終えて仮眠した。東京も家康の埋立地にある気象庁は震度1だったが、中世以来の尾根道沿いのわが家はまったく無感。自分が小学校低学年まで過ごした芦屋市精道小学校周辺の人々が、通常は波形計算で無視される弾性波の近地項を体感しているとは、「ママ、神戸が大火事なってるよ。」と年少組の次男に起こされた朝7時過ぎ、NHKのヘリコプターが映す長田地区の火災を見るまで露知らなかった。数日後には学位論文の手法で、東大地震研の平田直さん達と協力して、大余震の発生が切迫していないか、準リアルタイムに余震活動を定量的に監視する作業を始めた。24日夜には、「余震が少ないよ！」と現地のト部卓さんから電話があり、25日午前中の計算で、余震数減少の有意を確認し、大粒余震発生の可能性を報告できた。その頃余震活動度はすでに回復し、25日23時過ぎM5.1(当時M4.7)の三番目に大きい余震が余震域の北東端に発生した。幸いM7.3の兵庫県南部地震の余震は最大M5.4、次がM5.2と小粒で、しかもこの二個は本震から二時間以内に発生してしまったので、監視対象としては最大の余震発生前に、期待したとおりの地震活動度の静穏化と回復という有意な変化が事前検知できたのである。

同じ手法を広域に拡大して本震前の静穏化を検出するには、尾形良彦さんのETASモデルからのずれを見れば良い。2007年目に見えて東北沖のM5以上の地震数が減少した。明治以来のM6以上のデータを調べると、世紀の変わり目頃から10年近く東北沖全体で静穏化が続き、2008年にはその静穏化は終わらんとしていた。この長期間の静穏化に対応する大地震が東北沖で十年以内に起こりそうだ。発生場所の候補は、1793年と1897年とM8前後の地震が発生した金華山のはるか沖合の領域以外にはない。ここでM8が発生すれば、津波避難に不慣れな南東北にも数mの津波があるはずだった。2011年3月9日の昼前に、まさにその場所でM7.3の地震が発生した。10年間の静穏化に対応させるにも、百年ぶりとするにも小さすぎる地震だった。そして2日後、百年ぶりどころか、869年貞観地震以来千年ぶりのM9地震による近地項の波を、今度は東京の低地で自分が体感したのである。

根室半島から択捉島沖にかけて千島海溝西端部分では、2009年以来現在も有意な静穏化が継続中である。南海トラフ沿いにはETASモデルからのずれという手法は使えないのではあるが、2007年の東北沖と同様の態で現在北海道東部の海域の地震は減少したままである。根室半島沖は1894年以来M8前後が発生していない。1973年根室半島沖地震M7.4は小さすぎたのである。北海道東部沖合は、今後十年程度の間では大地震の発生が日本で最も切迫している地域である。ここで大地震が発生すると、根室や釧路だけでなく、3.11で激甚被害は免れた三沢や八戸から岩手県北部の沿岸にも津波が襲来する。今度こそ全員にしっかり高台避難してもらい、命を確実に守って欲しい。まだ理学はこんな大雑把な警告しか出せない。でも1880年以來の蓄積でここまで来てはきているのである。



松浦律子

[まつうら りつこ]

**現職** (公財)地震予知総合研究振興会 地震調査研究センター解析部長

**略歴** 東京大学理学部卒 同大学院地球物理学専門課程修了 理学博士。統計数理研究所 外来研究員、振興会主任研究員を経て現職。歴史地震研究会会長

**研究分野** 地震物理学、歴史地震、地震活動

**著書** 「日本歴史災害事典」(共編、吉川弘文館)、「日本被害地震総覧599-2012」(共著、東京大学出版会)

# 兵庫県南部地震とはどういう地震だったのか？

## 飯尾能久

### 1. 不意打ち

1995年1月17日の未明に発生した兵庫県南部地震は、多くの人にとって不意打ちの地震だった。よく耳にするのは、「大地震は東海沖で差し迫っているもので、関西では大地震は起こらないと思っていた。」とか、「六甲山や淡路島の山麓には活断層があるので、いつかは地震を起こすはずだが、今起こるとは思っていなかった。」というようなコメントである。この2つのコメントは幅広い問題を含んでいるが、本稿では、表題のテーマについて、大地震の発生予測という観点から考えてみたい。

### 2. 地震の繰り返し

地震は、断層と呼ばれる「岩盤中の既存の割れ目」が「ずれる」ことによって起こる現象である（これを断層の「破壊」と呼ぶことがある）。積み木を板の上に載せ、板の傾きを徐々に大きくしてゆくと、いずれ積み木がすべることになる。昔のテレビ番組に、すべり台に座っている回答者がクイズに答えられないと、そのたびにすべり台の傾きが少しずつ大きくなっていくというものがあった。しっかりとすべり台にしがみつくなことができる人は、不正解が多くても頑張ることが可能だが、それでも限界はあったようである。地震の場合も同様で、断層に加わる力が大きくなり（すべり台の傾きが大きくなり）、断層の強度を超えると（回答者がしがみつくな力を超えると）、地震が発生する（回答者がすべり落ちる）のである。

ちなみに、地震の場合は、断層に加わる力が一定でも、断層の強度が下がることによって、地震が起こる可能性がある。断層には水などの流体が

含まれている場合があり、その圧力が高まると断層面が押し広げられて、すべりやすくなる可能性があるからである。すべり台の場合で言うと、傾斜は一定なのだが、表面に小さな穴が開いていてそこから高圧の空気が出ているような場合である（ゲームセンターにそのような仕組みの台があった）。空気の圧力が大きくて体が浮かんでしまえばもちろんすべってしまうが、そこまでいなくても、空気の圧力が高くなるほどすべりやすくなるのである。ただし、本稿では、最初はこのようなケースは考えないことにする。

本題に戻ると、積み木は板がある程度の傾きになったときにすべり始めると考えられるので、傾斜の増加速度が一定の場合、水平な状態から始めて積み木がすべり出すまでの時間は、何回行っても、ほぼ一定になると考えられる。地震の場合にも、断層に加わる力の増加速度が一定の場合には、他の条件が変わらない限り、ほぼ一定の時間間隔で地震が発生することになる。

実は、現在のところ、地震の発生予測は、このような単純なケースを想定することによって行われている。各断層の活動履歴を詳しく調べて、その平均的な繰り返し間隔を求め、その間隔で地震が繰り返すと仮定して、最新の地震からの経過時間から、いつごろ地震が起こりそうかを推定するのである。実際には、大地震は規則的に繰り返しているのではないので、活動履歴のデータのばらつきの程度も考慮して、発生確率が計算されている。

ところで、断層に加わる力の増加速度は一定と仮定するのだが、断層に加わる力がなぜどのように増加するのかということさえ、専門家の間ではまだ合意は得られていない。この問題については、飯尾（2010）に詳しく述べられているのでここでは省略するが、断層は深部延長を持ってお

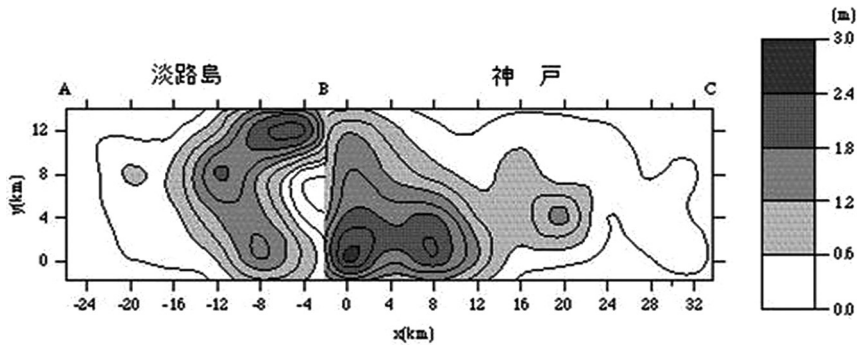


図 1 兵庫県南部地震のすべり分布<sup>3)</sup>

り、それがゆっくりずれることにより直上の断層に力が加わると考えられている<sup>1,2)</sup>。直下に加えて隣接領域の役割も重要であるが、それについては、現時点ではほとんど分かっていない。

### 3. 兵庫県南部地震の破壊過程

地震波形や地殻変動のデータから、兵庫県南部地震の破壊過程が推定されている。図1に、断層面上のすべり分布を示した<sup>3)</sup>。断層面の位置や大きさは、地表地震断層や余震の分布などを参考にして、できるだけ単純なものとして、六甲山地側では北西傾斜、淡路側では南東傾斜の1枚の長方形と仮定されている。得られたすべり分布は断層面上で一様ではなく、明石海峡から神戸側の断層深部、および野島断層付近の浅部で3m程度の大きなすべりが推定されている。断層面上の大すべり域は「アスペリティ」と呼ばれるが、兵庫県南部地震の場合は、2つのアスペリティがあった。この図によると、より大きいのは明石海峡の深部のものである。地震すべりはこのアスペリティの最深部付近から始まり、そこで大すべりを起こした後、さらに上方や南西へ広がって、ついには野島断層の地表に大きなずれを起こしたと推定されている。

兵庫県南部地震では野島断層の地表のずれが注目を集めたが、図1のすべり分布は地表での観察結果と調和的である。一方、この地震では神戸側にははっきりとした地震断層が表れなかったが、

このことも図1と調和的である。このことから、地震調査研究推進本部（以下では推進本部と略記）は、この地震は六甲山地南縁の活断層においては、「固有規模の地震ではない」と評価している<sup>4)</sup>。兵庫県南部地震は、六甲山地南縁では、現在行われている活断層の活動履歴の調査では検知されない、一回り小さい地震であるということである。このような小さな地震が過去に起こっていても、現在の調査手法ではそれを検知することができない。

神戸側に大きな被害を及ぼしたのは、この神戸側のアスペリティの破壊によることが分かっているが<sup>5)</sup>、一方、震災の帯はその直下の活断層が活動したためではないかという指摘があった。断層の位置を詳しく推定可能なInSAR解析から、神戸側では、諏訪山断層や五助橋断層のやや深い部分ですべりが生じたと推定されているが、震災の帯の直下の断層の動きは見えていない<sup>6)</sup>。

兵庫県南部地震の断層が、六甲山地側では北西傾斜、淡路側では南東傾斜とすると、その深部ではどのようにつながっているのが問題となる。余震分布および反射法地震探査結果から推定された淡路島北部における活断層の深部構造の模式図を図2に示した<sup>7)</sup>。野島断層と東浦断層や仮谷断層は深部で一つの断層に収斂していると考えられている。さらに、東側の大阪湾断層も地震発生域の最深部でこれらの断層と一緒にいると推定されているが、この図は地表付近の断層の位置や形状に基づき、短期間の余震分布から断層深部

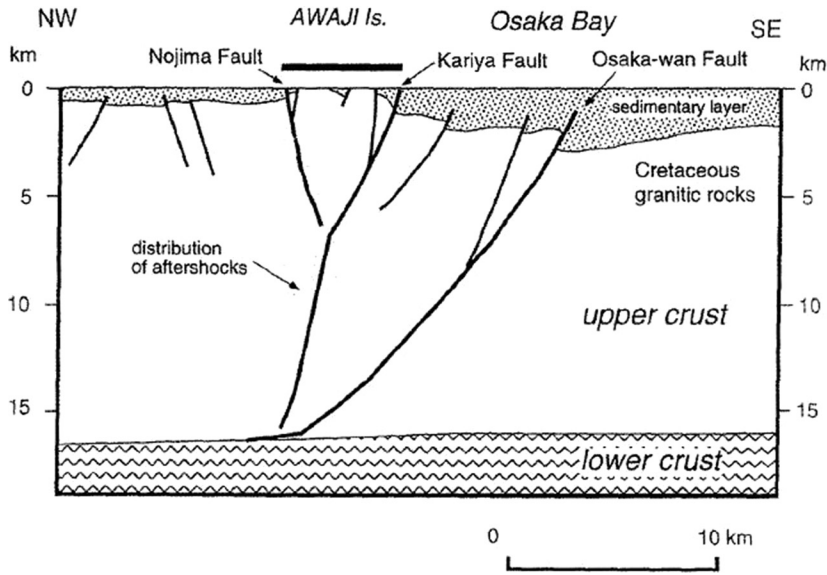


図2 淡路島北部における活断層の深部構造の模式図<sup>7)</sup>

を推定したものであり、反射法データのある浅部や今回活動して余震がついている断層はまだしも、活動していない断層深部の推定は難しい問題である。

ところで、活断層という言葉は、現在も活動している断層のことを指しており、本来は、地表から最深部まで含めた断層全体を指している。しかし、野島断層として言及されているものは、通常では、図1の淡路側の断層深部までを指しているとは思えない。以下において、誤解を招く可能性がある場合には、断層の浅部は\*\*断層S、深部は\*\*断層Dと明記することにする。

#### 4. 活断層の調査結果

##### 4-1. 活動履歴

兵庫県南部地震の発生後、推進本部は、全国の主要な活断層の調査を精力的に行い、活断層の位置や形状、過去の活動履歴などについての評価結果を公表している。兵庫県南部地震に係る活断層は、図3に示すように、六甲・淡路断層帯としてまとめられている<sup>4)</sup>。各活断層は、地表に現れている段差やずれなどの地形の連続性により、

別々の名前が付けられている。六甲山南縁では、山側に五助橋・諏訪山・須磨断層など兵庫県南部地震で活動したと推定される断層が連なっている。さらに、その海側に、元町とう曲、岡本・芦屋・甲陽断層などがある。淡路島の東岸には、東浦・仮谷・仮谷沖断層など併走する断層が、淡路島西縁には野島断層などがある。

推進本部による各活断層の活動の時空間分布を図4に示した。多数の活断層があるのだが、活動履歴のデータとして採用されているのはこれだけにすぎない。これらに基づいて、推進本部は、(固有規模の)活動履歴に関して、以下のように評価している。野島断層は1800~2500年程度の間隔で活動しているが、一つ前の地震は約2千年前から4世紀以前に起こっており、前回の活動から兵庫県南部地震までには約2千年程度の間隔がある。淡路島東岸では、東浦断層などで16世紀頃に活動があった。六甲山地南縁の活断層については、五助橋断層で11世紀以降に活動があった。一つ前の活動は約3200年前以後6世紀以前であり、活動間隔は900~2800年程度である。1596年に伏見城の天守閣が倒壊したことで有名な慶長大地震が起こったが、上記の知見や最近の調査<sup>8,9)</sup>

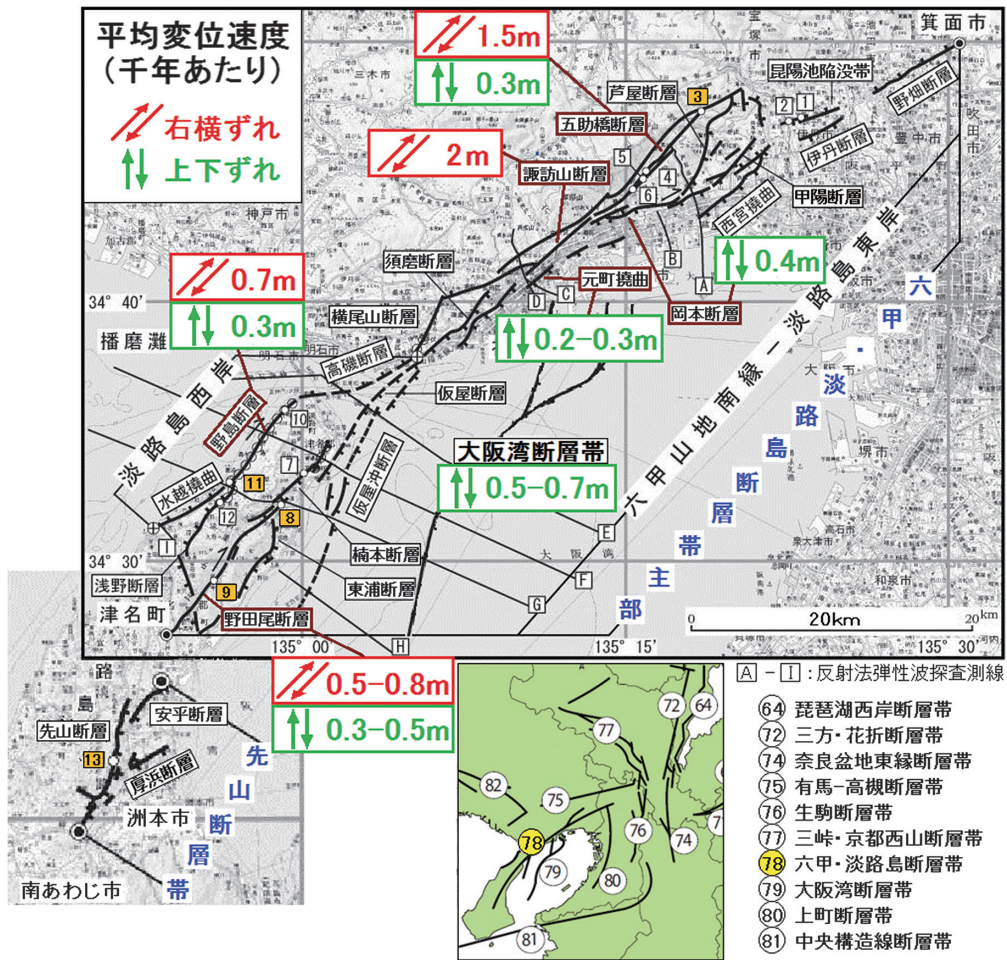


図 3 六甲・淡路断層帯を構成する活断層と平均変位速度 (/千年)<sup>4)</sup>

により、この地震は四国西部の中央構造線で破壊が始まり、淡路や六甲、有馬高槻断層帯が次々活動した巨大な地震であると考えられている。推進本部の評価では、六甲山地南縁から淡路島の活断層は、分布形態や過去の活動時期の違いから、六甲山地南縁-淡路島東岸区間と淡路島西岸区間の2つに分けられている。

六甲山地南縁-淡路島東岸区間は連動すると考えられているが、推進本部の評価では、淡路島西岸区間も連動する可能性も言及されている。これは、図4に示されているように、野島断層の一つ前の活動時に東浦断層も動いた可能性があるからである。ところが、兵庫県南部地震では、六甲山地南縁の活断層である須磨断層Dと野島断層S

が主に活動した。淡路島東岸の活断層Sは活動しておらず、兵庫県南部地震は、これまで知られていなかった活断層の組合せで起こった地震であるといえることができる<sup>注1)</sup>。

#### 4-2. 平均変位速度

各活断層の平均変位速度も図4に示されている。これは、数千年から数万年程度の期間での各活断層のずれの速度を示したものである。これらのデータから、六甲山地南縁-淡路島東岸区間における平均横ずれ、上下変位速度は、それぞれ、

注1) 五助橋断層では、より年代が限定された16世紀頃に活動したという報告がある<sup>10)</sup>が、推進本部はこの結果を採用していない。また、野島断層における16世紀頃に活動したという報告<sup>11,12)</sup>も同様である。

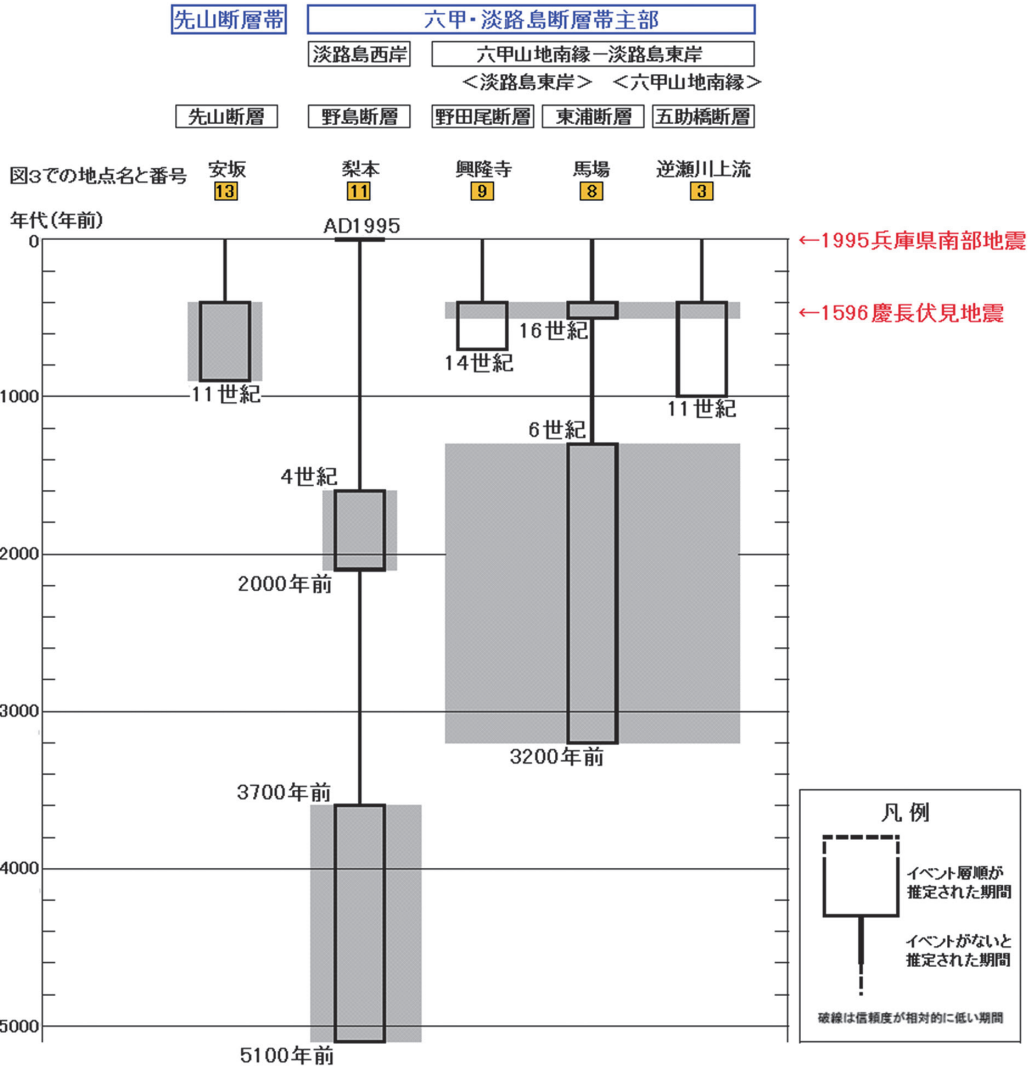


図 4 六甲・淡路断層帯の活動の時空間分布<sup>4)</sup>

2m, 0.4m/千年程度の可能性があると評価されている。しかしながら、神戸側、淡路島側とも平行して複数の活断層があるため、ものごとは簡単ではない。データ数の多い上下変動に着目すると、五助橋断層で0.3m、岡本断層で0.4m、元町とう曲で0.2~0.3mと評価されている。後者2つは一連の断層である可能性があるが、少なくとも前者2つは平行しており、その場合には、断層帯としてのトータルの変位速度はこれらの合計とすべきである。六甲山地南縁-淡路島東岸区間における平均上下変位速度は0.4m/千年ではなく、0.7

m/千年以上である可能性がある。それは、図2の地表付近の変形を見ても納得できるものであろう。横ずれについては、五助橋断層の値である1.5m/千年に(0.3m+0.4m)/0.3mをかけると3.5年/千年となり、六甲山地南縁-淡路島東岸区間における平均横ずれ変位速度は従来の評価の倍以上となる可能性がある。

淡路島西岸については、平均横ずれ、上下変位速度は、それぞれ、0.7m, 0.3m/千年程度の可能性があると評価されている。こちらは併走する顕著な活断層は知られていない。

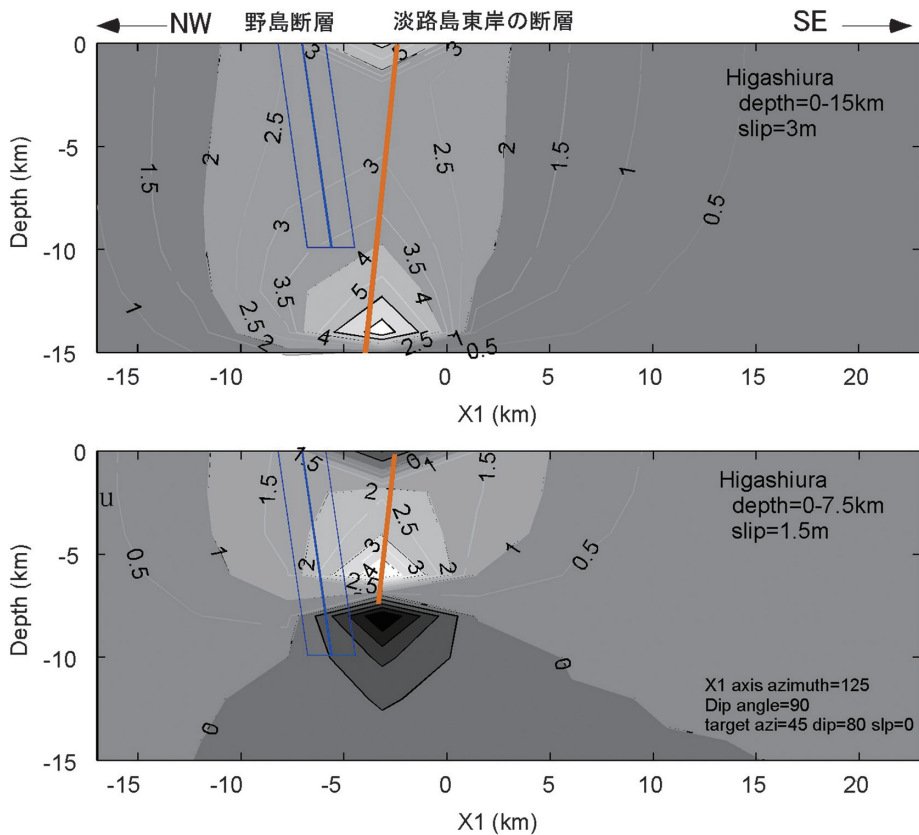


図5 淡路島東岸の断層のすべりによる野島断層に横ずれを起こす力の減少量 (単位はMPa)。淡路島東岸の断層として東浦断層に沿って長さ50km 傾斜角84度の断層を仮定した。上)断層全体、深さ0~15km がすべった場合。下)浅部の深さ0~7.5km がすべった場合。Okada (1992) によるプログラムを用いた<sup>22)</sup>。

## 5. なぜ1596年の地震から約400年後に起こったのか？

### 5-1. 野島断層への影響

これらのデータや推定結果に基づき、兵庫県南部地震とはなんだったのかを考えてみる。最大の問題は、1596年の地震から400年程度しか経過していないのに、どうして大地震が起こったのかということである。より詳しく述べると、兵庫県南部地震の2つのアスペリティ、神戸側の深部と野島断層の浅部のものが、なぜ400年程度しか経過していないのに大きくすべったかということである。

野島断層だけに着目し、その活動履歴からみると、約2千年の平均活動間隔なので、前回の地震

から2千年程度経過しているので起こって何ら不思議はないという考えがある<sup>13)</sup>。しかし、淡路島東岸の断層と野島断層は5km程度しか離れておらず、一方がすべると他方に貯まっていた歪みもかなりの部分開放されてしまうはずである。

そこで、淡路島東岸の断層において地表から深さ15kmまで3mの一様なすべりが起こったとき、野島断層に横ずれを起こす力がどれくらい減少するのか調べた。活断層の活動履歴から推定されることは、1596年に六甲山地南縁-淡路島東岸区間の地表付近ですべりがあったことだけであるが、常識的には深部においてもすべりが起こったと考えられるからである。

3mというのは、日本の内陸活断層における地震時すべりの標準的な値であり、淡路島東岸の断



層における固有規模の地震のすべり量として妥当なものであると考えられる<sup>注2)</sup>。その結果、図5上に示すように、野島断層付近においても、淡路島東岸の断層とほとんど同じ大きさだけ、断層のずれを起こす力が小さくなる（貯まっていたずれ歪みが小さくなる）ことが分かった。つまり、淡路島東岸の断層において地表から地下深部まで一様なすべりが起こった場合、野島断層そのものがすべったのと同程度のずれ歪みの減少が起こるのである。

これでは兵庫県南部地震の発生を説明しにくい。断層サイズが大きいほど地震すべりによるずれ歪みの減少は遠くまで及ぶと考えられるので、断層の幅を小さくして再計算してみた。図5下に、地表から深さ7.5kmまでの浅部のみですべりが起こったと仮定したときの結果を示す。上記の例と歪み解放を同程度とするため、断層幅に比例させてすべり量も半分の1.5mとしている。野島断層付近におけるずれ歪みの減少量は淡路島東岸の断層付近より少し小さいが、それほど変わらない。この場合でも、淡路島東岸の断層すべりは、野島断層において1回分（1周期分）近く地震発生を遅らせる効果はあると考えられる。

ところで、二番目に仮定した、すべりが浅部に限定されることには理由がある。1596年の地震は四国西部でずれが始まったので、六甲・淡路断層帯にとっては横から力が加えられたことになる。2節で述べたように（地震間に）直下から力が加えられるのとは異なって、横から力が加えられると、より強度の小さい断層浅部がずれやすいと考えられる<sup>14)</sup>。深くなるほど岩盤に加わる圧力が大きくなり、断層の強度が大きくなると考えられるからである。このことは、二つの問題の一つ、神戸側の深部のアスペリティがなぜすべったかという問題にも関係している。推進本部は、六甲山地南縁-淡路島東岸区間における平均横ずれ変位速度は2m/千年程度の可能性があるとして評価しており、この値が正しければ、約400年後に3mのすべりを起こすことは難しいが、1596年の地震

<sup>注2)</sup> 推進本部による評価においては1回の地震によるすべり量を、断層の長さから5~6mとしている。

で深部がすべっていなければ、平均変位速度の問題は生じないのである。

しかしながら、上記の計算により、上半分だけにすべりを限定しても、野島断層への影響はまだ十分大きいことが分かった。より、根本的に問題を考え直す必要があるであろう。

## 6. それでは何が起こったのか？

前節においては、これまで得られた知見に基づき、できるだけ「常識的な」解釈を試みたが、1596年の地震との関係の説明は難しいことが分かった。以下において、別の可能性を探ってみる。

1) 六甲・淡路断層帯における1596年の地震のすべり分布は、地表付近のごく浅い部分等に小さなパッチ状の大すべり域が分布しているものであり、それによるずれ歪みの大きな減少は野島断層までは及んでいない。

2) 六甲・淡路断層帯の平均変位速度は3.5m/千年程度以上であり、400年程度の間隔でも3m程度のすべりに相当する歪みを蓄積することは可能である。

3) 兵庫県南部地震が起こったときに、断層にずれを起こす力はまだ十分大きくなかったが、断層の強度が大きく低下したため、地震が発生した。

可能性1)であるが、推進本部が採用しているのは3カ所だけとはいえ、六甲山地南縁-淡路島東岸区間の広い範囲で1596年に地表変位があったことは、常識的には深部が広範囲ですべったことを示唆している。しかしながら、四国の中央構造線のすべりは、四国全体にも及ぶ広範囲において大きくすべった可能性が高く、そのすべり域のサイズがきわめて大きいため遠方においても、極浅部だけすべりを起こすことは可能かもしれない。一方、1596年には有馬高槻断層帯においても引き続き大地震が起こっており、推進本部の評価によると、断層帯全体において系統的に地表変動が捉えられている。有馬高槻断層帯においては固有規模の大地震が起こったと考えられるので、六甲山地南縁-淡路島東岸区間のみ、地表付近がパッチ状に破壊したという根拠は薄い。

ちなみに、有馬高槻断層帯においては約700年から1300年前の間に一つ前の活動が起こっている。前の地震との間隔は約300年から900年程度であり、それ以前のイベントの間隔に比べて非常に短くなっており、程度の差はあるが、兵庫県南部地震と同様の問題がある。

可能性2)が正しいならば、3.5m/千年という値から、400年程度の時間間隔でも2m程度のすべり量の地震を起こすことは可能である。二つのアスペリティの最大すべり量は3m程度なので、これではまだ足りないが、六甲山地南縁の東端付近では五助橋・芦屋・甲陽断層と少なくとも3つの活断層が併走しており、実際の横ずれ速度は3.5m/千年より大きい可能性が高いと考えられる。あるいは、神戸側のアスペリティは1596年にもすべった可能性が高いが、何らかの理由で十分にはすべっていないかったため、2m分の歪みの増加で良かったのかもしれない。

活断層の活動履歴から推定される平均変位速度は測地学的なものより一桁程度小さいことが昔から問題となっているが、最近、西村(2015)は、GNSSデータのブロックインバージョンにより、西南日本の活断層の深部すべり速度を推定している<sup>15)</sup>。それによると、六甲・淡路断層帯付近では7~9mm/年のすべり速度が推定されている。この値は上記の3.5m/千年(3.5mm/年)という見積もりよりもかなり大きい。3.5mには大阪湾断層の寄与は含まれていない。推進本部の評価によるとその上下変位速度は0.5~0.7mm/千年であり<sup>16)</sup>、上記の五助橋断層と岡本断層の合計と同程度なので、単純計算では、測地的なすべり速度と活断層のそれとはかなり調和的である。また、測地学的に推定される断層深部のすべり速度に関して、沈み込むプレート境界における巨大地震の地震間の一時的な弾性歪みの増加が分離できていないという批判があるが、西村(2015)はそれも同時に推定しており、南海トラフにおいても常識的な値が得られている。

ところで、3.5m/千年という値は、六甲山地南縁-淡路島東岸区間の併走する複数の断層の合計であり、いくつかに分割すると、400年で2mと

いう単純な計算は成り立たなくなる。しかしながら、問題となる明石海峡から神戸側のアスペリティ付近では、併走する断層は数km程度と非常に近接している。そのため、地震発生域深部ですでに一つに収斂している可能性がある。また、仮に別々の深部延長を持っていたとしても、それらも近接しているため、それらによる断層への歪みの蓄積は、両者が重ね合わさったものとなると考えられる。したがって、3.5m/千年以上という見積もりは、このアスペリティにはそのまま適用できると考えられる。

可能性3)については、因果関係を示すことは難しいのだが、兵庫県南部地震の前にあったと報告されているいろいろな異常現象、特に地下水がらみのものが関係しているかもしれない<sup>17)</sup>。合同余震観測データを用いた地震波トモグラフィーによると、明石海峡の直下に、地震波速度が遅く、水が豊富に含まれている可能性のある速度異常が見つかっている<sup>18)</sup>。しかしながら、2つのアスペリティ両方の強度を下げるためには、広範囲の断層面において水圧を高くする必要があり、常識的にはかなり困難であると考えられる。一方、六甲山地南縁から有馬高槻断層帯の北側にのみ水水平的な断層が広がっており、その正断層的なすべりが断層の強度を下げるるとともに、ずれを起こす力を大きくしたという仮説がある<sup>19)</sup>。水水平的な断層は、S波の反射面として捉えられているもので、深部からの水の効果によるものと考えられる。この仮説の根拠として、測地測量において検知されていた、兵庫県南部地震の前の約100年間の南北伸張歪みがあげられている。地下深部からの水の供給が千年スケール程度の間欠的なものであり、この百年の間に急激な水の動きがあり水平断層が動いたとすると、400年という短い再来間隔を説明できるのかもしれない。たとえば、山陰地方の地震帯においては、A級の活断層は知られていないが、ここ百年ほどの間は、内陸大地震が多発している。そこには深部から地殻流体が上がってきていることが知られており<sup>20)</sup>、長期の非定常な水の動きが関係しているのかもしれない。

## 7. 今後の展望

兵庫県南部地震とはどういう地震だったのかという問題について、これまでに得られた知見を下に考察してみた。この地震をきっかけとして、推進本部が発足し、全国規模で活断層調査など基盤的調査観測が行われてきた。それらにより得られた成果はまだ不十分とは言え、上記のように、活断層の活動履歴や平均変位速度のデータ等は、大地震の発生予測において決定的に重要である。内陸地震の発生の仕組みに関する研究についても、現時点ではまだ表題の問いに対してははっきりとは答えられないが、この間の精力的な研究により、それ以前にはまったく知られていなかった基礎的な知見を数多く得ている。本稿では、六甲・淡路断層帯の平均変位速度が従来言われているよりずっと大きく400年程度の間隔でも大地震を起こす可能性があること、および、断層へのずれ歪みの蓄積よりむしろ強度低下が効いていた可能性があるかもしれないことの2点を指摘した。

前者に関係して、GNSSなどの地殻変動の解析により、定量的でかつ精度の良い地殻歪み速度が推定されつつある。下部地殻まで含めた断層の深部構造を解明して、地震発生域における断層への歪み蓄積過程を明らかにすることが重要である。その際留意すべきことは、観測されている歪み速度の中の非弾性変形の割合である。その部分は大地震の発生に寄与しない可能性があるからである。微小地震活動が活発である場合は、地震データから断層にずれを起こす力の分布等を明らかにすることにより、非弾性変形の寄与について推定ができるかもしれない。また、変形に関係する媒質特性を解明することも重要である。

兵庫県南部地域においては、大阪湾断層帯は9世紀以降、六甲山地南縁から淡路島東岸の断層は1596年、野島断層は1995年と、この千年ほどの間に3つの断層において、固有規模の断層活動が起こっている。それぞれが3mずれたと仮定すると千年で $3\text{m} \times 3 = 9\text{m}$ となり、GNSSの解析結果と調和的である。前者は、ここ千年の活動は特別

なものではなく定常的である可能性を示唆している。一方、後者の強度低下という考えは、それをここ数百年の過渡的なものであると見なすわけである。問題の解決においては、断層の平均変位速度を精度良く見積もることが非常に重要である。兵庫県南部地域は海域があるため、地震観測には必ずしも適していないが、逆に、地層が連続的に堆積しているという利点がある。地震によるずれが地表まで達しない場合を含めて、地層の変形を定量的に明らかにすることが重要である。近年、地表に変位の及ばない固有規模以下の地震が多く発生しているが、それらを含めた長期の変形を精度良く推定することが必要である。

GNSSデータのブロックインバージョンによる西南日本の活断層の深部すべり速度の推定<sup>15)</sup>においては、有馬・高槻断層帯や琵琶湖西岸・花折断層帯においても、最大10mm/年という結果が得られている。兵庫県南部地震が提起したことは、他の地域においても、大きな問題である。また、六甲・淡路断層帯においても、兵庫県南部地震ですべった領域以外がどうなっているかは、実は難しい問題である。地震データの解析から、余震域では断層のずれを起こす力が低下したことが示唆されているが、兵庫県南部地震で動いた断層と有馬・高槻断層帯や中央構造線との間がどのような状態にあるかはよく分かっていない。2013年に、兵庫県南部地震で動いた断層の南隣においてM6.3の地震が発生したが、地震データの解析から、震源域において、地震の発生前にずれを起こす力が大きかったという解析結果も得られている<sup>21)</sup>。

以上のように、解明すべき課題は山積しているが、地表から地下深部まで、さまざまな手法を駆使して調査研究することが重要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 飯尾能久, 2010. 内陸地震はどのようにおこるのか?, 地震ジャーナル, 49, 1-8.
- 2) 飯尾能久, 2009. 内陸地震はなぜ起こるのか?,

- 近未来社, 名古屋, 174 pp.
- 3) Yoshida, S., Koketsu, K., Shibazaki, B., Sagiya, T., Kato, T., and Yoshida, Y., 1996. Joint inversion of near and far-field waveforms and geodetic data for the rupture process of the Kobe Earthquake, *J. Phys. Earth*, **44**, 437-454.
  - 4) 地震調査研究推進本部, 2005a. 六甲・淡路島断層帯の長期評価について. [http://www.jishin.go.jp/main/p\\_hyoka02\\_danso.htm#78](http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm#78).
  - 5) Kamae, K. and Irikura, K., 1998. Source model of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake and simulation of near-source ground motion, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **88**, 400-412.
  - 6) Ozawa, S., Murakami, M., Fujiwara, S., and Tobita, M., 1997. Synthetic aperture radar interferogram of the 1995 Kobe earthquake and its geodetic inversion, *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 2327-2330.
  - 7) Sato, H., Hirata, H., Ito, T., Tsumura, N., and Ikawa, T., 1998. Seismic reflection profiling across the seismogenic fault of the 1995 Kobe earthquake, southwestern, Japan, *Tectonophysics*, **286**, 19-30.
  - 8) 寒川 旭, 1993. 地震考古学—遺跡が語る地震の歴史, 中公新書, 東京, 256 pp.
  - 9) 堤 浩之・後藤秀昭, 2006. 四国の中央構造線断層帯の最新活動に伴う横ずれ変位量分布, *地震*, **2**, 117-132.
  - 10) 丸山 正・林 愛明・宮田隆夫, 1997. 六甲山地東部五助橋断層帯の変位地形と第四紀後期の活動性, *活断層研究*, **16**, 59-72.
  - 11) Nakata, T., Odaka, J., Goto, H., Asahi, K., Chida, N., Suzuki, Y., Watanabe, M., and Nakamura, T., 1996. A trench study on the surface fault rupture in Awaji Island associated with the 1995 Hyogoken-nambu earthquake, *Active Fault Res.*, **14**, 23-27.
  - 12) 鈴木康弘・渡辺満久・吾妻 崇・岡田篤正, 1996. 六甲-淡路島活断層系と1995年兵庫県南部地震の地震断層—変動地形学的・古地震学的研究と課題一, *地理学評論*, **69A**, 469-482.
  - 13) 栗田泰夫・鈴木康弘, 1996b. 1995年兵庫県南部地震を生起した野島断層系の活動履歴及び活動性調査, *地質調査所研究資料集*, **259** (平成7年度活断層研究調査概要報告書), 1-5.
  - 14) 飯尾能久・松本 聡・松島 健・植平賢司・片尾浩 他, 2006. 2004年新潟県中越地震の発生過程—オンライン合同余震観測結果から—, *地震*, **2**, 463-475.
  - 15) 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 課題番号1907 横ずれ型の内陸地震発生の物理モデルの構築. <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>
  - 16) 地震調査研究推進本部, 2005b, 大阪湾断層帯の長期評価について. [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan\\_osaka/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan_osaka/index.htm)
  - 17) Tsunogai, U. and Wakita, H., 1996. Anomalous changes in groundwater chemistry—Possible precursors of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, Japan, *J. Phys. Earth*, **44**, 381-390.
  - 18) Zhao, D. and Negishi, H., 1996. The 1995 Kobe earthquake : Seismic image of the source zone and its implications for the rupture nucleation, *J. Geophys. Res.*, **103**, 9967-9986.
  - 19) 飯尾能久, 1996. 兵庫県南部地震の発生過程—断層の固着とディタッチメントのすべり—, *地震*, **2**, 103-112.
  - 20) Nakajima, J. and Hasegawa, A., 2007. Subduction of the Philippine Sea plate beneath southwestern Japan : Slab geometry and its relationship to arc magmatism, *J. Geophys. Res.*, **112**, B08306. doi:10.1029/2006JB004770
  - 21) Matsumoto, S., Katao, H., and Iio, Y., 2015. Determining changes in the state of stress associated with an earthquake via combined focal mechanism and moment tensor analysis : Application to the 2013 Awaji Island earthquake, Japan, *Tectonophysics*, **649**, 58-67. doi:10.1016/j.tecto.2015.02.023
  - 22) Okada, Y., 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040.

飯尾能久

[いいお よしひさ]

**現職** 京都大学防災研究所教授.

**略歴** 京都大学理学研究科修士課程修了. 防災科学技術研究所, 東京大学地震研究所を経て現職.

**研究分野** 地震学. 地震観測データ等に基づき, 内陸地震の発生機構と発生予測に関する研究を行っている.

**著書** 「内陸地震はなぜ起こるのか」(近未来社) などがある.



# 兵庫県南部地震が橋の耐震設計に与えたインパクト

川島一彦

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震から20年が過ぎた。強烈な地震力の前に、世界一安全に造られていると言われていた橋が倒壊し、安全神話の崩壊として国民の脳裏に強く焼き付けられ、わが国の耐震技術が危機に瀕した地震であった。被害は都市高架橋に著しく、特に、写真1に示す18径間にわたって倒壊した阪神高速道路のピルツ橋はこの地震による象徴的な被害であった。

橋の耐震設計法はどのように開発されてきたのか、兵庫県南部地震前にはどのような考え方に基づいて「M8クラスの大地震にも橋は壊れない」と過信されてきたのか、なぜ、このような大被害が生じたのか、そして現在ではどのような思想で耐震設計されているかを考えてみたい<sup>1)</sup>。

## 2. 黎明期の耐震設計

橋の耐震性が過信されてきた背景を知るために、兵庫県南部地震で倒壊した橋が建設された頃の地震観を振り返ってみる必要がある。明治初期には、近代化に伴い橋梁技術も含めて怒濤のように西洋文明が日本に取り入れられた。西洋直輸入の技術には耐震対策が取り入れられていないことを、日本人は1891年濃尾地震によって思い知らされることになる。人々は手痛い被害を唯々、忘れ去ることしかできなかった時代である。

1923年関東地震の7年前の1916年に佐野利器東大教授（建築学）が世界に先駆けて建物に対する耐震設計法を考案した。佐野は地震力に対して建物が倒壊しないように限界状態で耐えることができればよいという、現在の限界状態設計法的な考え方を取り入れようとしていたようである。し

かし、当時の技術レベルでは、建物の非線形応答を考えた設計は到底不可能であったことから、佐野は関東地震による東京付近の地震力に建物が限界状態で耐えるためには、震度を0.1~0.2とし許容応力度法で設計すれば良いと考えていったと言われている<sup>2)</sup>。

どのようにすれば地震によって建物を倒壊から免れるようにできるかが知られていなかった時代に、耐震技術の方向を指し示したことは、まさに慧眼であったと言える。その後の耐震設計の歴史は、佐野の提案を実測や解析・実験研究に基づいて肉付けしていく歴史であったと言っても過言ではない。

関東地震後、震度法は橋やダムなどの土木構造物にも取り入れられていった。関東地震から3年後の1926年に内務省の物部長穂土木試験所長によってまとめられた道路構造に関する細則案が橋に対する世界初の基準である。全体が40条からなるわずか20ページ足らずの短い細則案で、耐震設計に関しては、第26条に「所在地における最強の地震力を使って耐震設計する」とだけ示されていた。物部はある雑誌の中で、震度は地域と地盤条件によって0.15~0.4とすること、東京や横浜などでは0.3以上とすると述べている。この程度の震度が物部の頭にはあったのであろう。これは物部が木造家屋の被害率や墓石の転倒から推定した値である。

この基準について、物部は「これは終始消極的な方針をとり、技術的には無謀であると非難されてもやむを得ないほど、大胆に工費の低減を図るようにした」とし、さらに、「これはわずかな公費の減少を図ろうとしたのではなく、10橋を建設する工費で10数橋を建設し、100kmの道路を建設する工費で100数10kmの道路を建設することによって、1日も早く近代的な道路網を完成



写真 1 兵庫県南部地震によって倒壊した阪神高速道路3号神戸線の“ピルツ橋”

させることを願ったためである」と述べている。これは当時の国民生活のレベルを考えれば当然であったろう。道路網の整備は国民生活の向上や産業の育成に直結している。低頻度の地震災害に対しては、安全よりも建設を優先し、国が豊かになった段階で次第に安全性を高めていこうという考え方は、現在でも多かれ少なかれ踏襲されている。

地震力の設定が困難であったのは、地盤の揺れとこれに対する構造物の応答に関する科学的な情報が皆無であったためである。世界初の強震記録が米国で観測されたのは1933年ロングビーチ地震、わが国ではじめて強震計が橋に設置されたのは大阪府の安治川橋で1961年、わが国初の強震記録が得られたのは1962年広尾沖地震である。強震記録が得られたことにより、人類ははじめて地震による揺れの実態を知り始めることになる。

### 3. 震度法による耐震設計

1926年以降、震度法による橋の耐震設計がスタートしたといっても、耐震設計に特化した橋の基準が作られたのは戦後になり、高度成長期を迎えた1971年である。それまでは、鋼橋の基準の一条項として地震力に関する規定が含まれていたにすぎない。すなわち、1939年鋼道路橋設計示方書案では、水平震度は0.2、鉛直震度は0.1を標準とすることが、また、戦後になり1956年お

よび1964年に改定された鋼道路橋設計示方書では、地域と地盤条件をそれぞれ3区分し、これらに応じて0.10～0.35の範囲で震度を定めると規定されていただけである。どのような姿勢で何に留意して耐震設計するかは示されていないのである。さらに、震度は幅をもって与えられていたが、どのような場合にこれを増減させてよいか具体的な示されていないことから、ほとんどの橋では震度は0.2とされていた。

1971年に至るまでの耐震規定は、たったこれだけである。それはそうであろう。はじめて鋼道路橋設計示方書案がまとめられた1939年という、翌年には日独伊三国軍事同盟条約が締結され、戦時経済体制が強化され、国家総動員体制が確立された時期である。翌々年の1941年には真珠湾攻撃が行われ、米英に宣戦布告し太平洋戦争に突入した。橋の建設はほとんどストップし、技術基準の作成などに手がまわらない苦しい時代であった。

戦後になり、敗戦のショックにある国民を打ちのめすかのように起こったのが1948年福井地震である。敗戦のショックと戦後復興という多難な時代を生きてきた日本人には、地震によるリスクなど考える余裕はなかったに違いない。振り返ってみると、この当時には橋の耐震に関する研究は一部でしか行われておらず、コンピュータもなかった時代である。橋の固有振動数や振動モードが求められれば、それだけで研究論文になった時代であった。関東地震以降、1925年但馬地震、1927年北丹後地震、1930年北伊豆地震、1943年鳥取地震、1944年東南海地震、1945年三河地震、1946年南海地震と立て続けに地震を経験した。しかし、研究や技術開発の停滞から震災経験が耐震技術にまで昇華されることはなかった。

日本経済は1954年あたりから急速に回復し、一人当たりの国民総生産が戦前レベルを超え、「もはや戦後ではない」と経済白書に謳われたのが1956年である。国民所得倍增計画が打ち出されたのが1961年、名神高速道路の部分開通が1963年、東京オリンピック開催、東海道新幹線の開業が1964年と、日本全体に活力がみなぎっていた

時代であった。

新材料と新工法の開発はいつの時代にも建設技術に画期的な進歩をもたらす。1955年頃になると、ディーゼルハンマーの実用化により鉄筋コンクリート杭やプレストレストコンクリート杭が急速に普及し、1963年頃には直径1mを越す大口径の鋼管杭が実用化される等、大きく施工技術が進展した。こうした時代背景の下で橋の建設技術も大きく進展し、「もう、地震が起こっても落橋することはない」と言われていた高度成長期の真っ最中に起こったのが、1964年新潟地震である。

新潟国体に間に合わせるため、地震のわずか1カ月前に開通したばかりの昭和大橋をはじめ、信濃川に架かる橋梁群が液状化によって大きな被害を受けた。昭和大橋では大口径の鋼管杭を最新式の大型杭打ち機で川底に打ち込み、施工の合理化が図られたが、液状化とこれによる流動化が知られていなかったため、杭が大きく移動し落橋してしまった。

橋の被害形態を見てみると、新潟地震までは、橋の被害は軟弱粘性土地盤もしくは砂質地盤の液状化・流動化による支持力不足によって、基礎が沈下したり滑動、傾斜したために起こった場合がほとんどである。このため、基礎を大きく深くし、コストの高い鉄筋の使用量を抑えて経済性を高めるため、太く断面の大きい橋脚を建設するというのが、伝統的なわが国の耐震対策の基本となってきた。

新潟地震による大被害を契機とし、耐震設計に特化したはじめての基準が道路橋耐震設計指針としてとりまとめられたのが1971年である。本州四国連絡橋の建設に備えて、当時、長大橋の耐震設計に関する研究がいろいろな機関で進められていたことと、新潟地震を契機として多くの優秀な若手研究者、技術者が耐震研究に参入したことがこれを可能とした。

1971年道路橋耐震設計指針には、4つの新たな視点が導入された。1番めは、標準震度を0.2とし、これに地域、地盤、重要度の補正係数をかけ合わせて震度を求める方式の導入である。それまでのように、震度の幅を示すだけでは、幅の中の

どの値を使ってよいかかわからないとの指摘に対応したものである。

2番めは、応答を考慮した修正震度法の導入である。震度は地震動ではなく、固有周期と減衰定数に応じた橋の動的応答（地震応答スペクトル）に基づいて定めるべきだとの考え方がはじめて打ち出された点で、画期的であった。

3番めは、液状化しやすい砂層の判定法が砂層の深さや $N$ 値、粒径加積曲線の範囲に基づいて示され、流動化する砂層は基礎を支持する能力がないと見なして耐震設計するという考え方が導入されたことである。その後、1980年道路橋示方書・V耐震設計編に $F_L$ 法と呼ばれる実用的な判定法が取り入れられ、世界に先駆けて液状化と対峙することを可能とした重要な規定となった。

4番めは、世界に先駆けた落橋防止構造の導入である。

#### 4. 仮想敵が見失われていった震度法

佐野や物部が震度法の震度を定めた時代には、震度は1923年関東地震のように大地震が起こったときの東京付近の地震動だと考えられていた。この当時には、震度の値の不確かさに対する大きな杞憂を彼らは当然すぎるほど抱いていたであろう。

しかし、1971年道路橋耐震設計指針やその後の1980年道路橋示方書・V耐震設計編で、震度の標準値を0.2とし、これに地域や地盤条件による補正係数をかけ合わせて震度が求められるようになる。震度の値の不確かさに対する杞憂はなくなり、震度は確定した値だと技術者に受け止められるようになっていった。

一方、1970年代後半からしだいに強震記録が蓄積され始め、橋の揺れは地盤とは大きく異なること、被害をもたらすような地震では、橋の揺れは震度法の震度のように小さいものではないことが知られるようになってきた。これにつれて、震度法で対象とする仮想敵はどのような地震なのかわからなくなり、単なるルーチンとして耐震計算されるようになっていった。

それにもかかわらず、1948年福井地震や1964年新潟地震以降の饒幸ともいべき地震の平穩期に戦後復興と高度経済成長が重なったことから、「大地震を見込んでいるから、震度法で耐震設計すれば地震で壊れない」、「震度法は過去の震災経験を集大成して作られているから、震度法で耐震設計すればいいでしょう」、「耐震設計といえば震度法」というように、震度法への過信が進み、技術者を思考停止に追いやっていった。

震度法の矛盾を示す端的な例は、多少なりとも被害を生じたような地震で得られた強震記録を入力として動的解析すると、震度法よりもはるかに大きな変位・変形や断面力が得られることであった。それは当然で、震度法では震度は最大でも0.3でしかない。ということは、地盤から橋への平均的な揺れの増幅率を2.5程度と見込むと、地震動最大加速度は0.12g程度にしかならない。とても被害が生じるような地震動ではない。

しかし、米国等のように耐震設計の歴史の浅い国に比較し、動的解析の普及前にすでに震度法が定着していた日本では、動的解析に基づく震度法の再評価の方向に向かうのではなく、むしろ、後発の動的解析に疑念が向けられた。まず、最初に出されたのは「最大応答加速度が0.5g以上の大きな揺れが橋に生じたと言うが、震度0.2を用いて震度法で設計された橋でも壊れていないではないか」という疑問である。

次に出されたのは、「ほんの瞬間的にしか作用しない動的地震力は震度法で考えている静的地震力とは違うのだ」という意見であった。動的には0.5g以上の応答加速度が橋に生じたにもかかわらず、0.2~0.3gの静的な加速度に基づいて設計された橋が壊れないのは、静的地震力は動的地震力の数倍の効果を持っているからだという意見である。

この問題に決着をつけるためには、大きな地震力が作用すると橋脚などの主要構造部材にはどのように損傷が進展していくかに関する研究が必要であった。1980年代頃から始められた各種条件における繰返し載荷実験や震動台加震実験が、震度法の震度よりもはるかに大きな地震力を受けた

にもかかわらず、橋脚が壊れないのはなぜかという壁を突破する鍵であった。

「大地震を見込んでいるから、震度法で耐震設計すれば大地震でも壊れない」と固く信じられてきた震度法であったが、長い思考停止状態から脱してみると、震度法とは最大地震動加速度として0.12g程度の小さい地盤の揺れを想定し、これに対して橋を降伏より少し手前の状態に設計するという方法であった。

「外力は小さく」、「耐力も低く」という歪んだ設計体系では、外力も耐力も正しくないため、外力や耐力に新たな研究成果が生まれてきても、そのままの形では取り入れられない。一方を変えると、他方も変えないととんでもない橋ができてしまうからである。つまり、「外力」「解析法」「耐力」がそれぞれより真実に近い設計体系を目指さない限り、永久に新しい研究成果が設計に反映できないことになる。震度法はいつの間にか技術の進歩を阻害するガンになっていたのである。

## 5. 地震時保有耐力法

この問題を解決する鍵となったのは、1990年道路橋示方書・V耐震設計編に導入された地震時保有耐力法の規定である。海洋性大規模地震を仮想敵として、地盤条件や固有周期等によって異なるが、最大で1.0の震度に相当する地震力に対して、橋脚が塑性域に入った後の橋の揺れを考えて耐震設計しようというものである。地震応答スペクトルに対する距離減衰式や橋脚の塑性域における変形性能・耐力に関する研究が大きく進んできた結果、こうした設計が可能となってきたのである。

ただし、1990年の段階では地震時保有耐力法が適用されたのはRC橋脚だけであった。しかし、1926年道路構造に関する細則案から64年の時を経て、土木構造物の耐震設計にはじめて大地震時に生じ得る現実的な地震力と主要構造部材の塑性域のねばりを考慮した耐震設計体系が導入されたことは、その後の土木構造物の耐震設計に大きな変革をもたらした。



この設計法は、1995年兵庫県南部地震を経て、その復旧のためにまとめられた「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」（建設省）に取り入れられ、そこではRC橋脚に限らず、地震の影響が大きいすべての構造部材に対して地震時保有耐力法が適用されることになった。また、1990年道路橋示方書・V耐震設計編に取り入れられた海洋性大規模地震による橋の揺れに

加えて、M7クラスの内陸直下型地震による橋の揺れとして、最大2.0の震度を考慮するようになった。この考え方は1996年道路橋示方書・V耐震設計編にそのまま反映され、その後、2002年、2012年と改定されて、現在に至っている。

2012年道路橋示方書・V耐震設計編に規定されている地震力と地域区分は図1、図2のとおりである。レベル2タイプI地震動は海洋性大規模

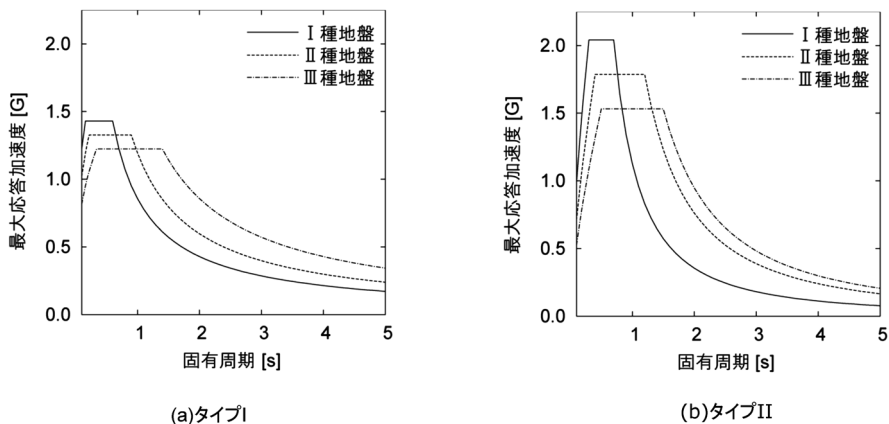


図1 レベル2地震動の標準応答スペクトル（減衰定数0.05，道路橋示方書・V耐震設計編，2012年）

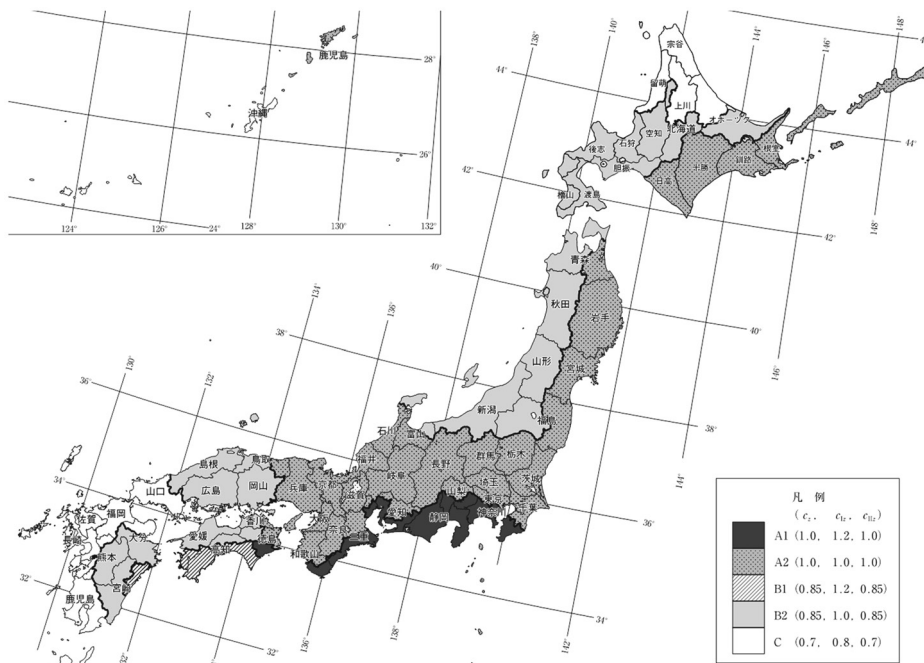


図2 地域区分と地域別補正係数（道路橋示方書・V耐震設計編，2012年）

地震による地震動を想定したもので、継続時間の長い地震動である。一方、レベル2タイプII地震動はM7クラスの直下型地震を想定したものである。ともに、地盤種別はI種（堅い地盤）、II種（普通地盤）、III種（軟らかい地盤）に分けられている。東海地震、東南海地震、南海地震等の大規模な地震の影響を強く受ける可能性がある地域では、レベル2タイプI地震動に対する地域区分の値がA1地域、B1地域では1.2と高められている。

## 6. 戦前と変わらない技術で耐震設計された高度成長期の橋

以上のような耐震設計の開発の歴史を頭に置いて、兵庫県南部地震で倒壊した高架橋が建設された1960～1970年代に時間を巻き戻してみよう。まず、知っておくべきことは、被害を受けた橋はほとんどが1964年鋼道路橋設計示方書、すなわち、戦前と変わらない耐震技術に基づいて震度法で耐震設計されていたということである。

また、図3に示すように、被害は阪神高速道路や国道などの高架橋に集中したのに対して、芦屋川や住吉川などの小河川を跨ぐ従来型の背の低い橋にはほとんど被害は生じなかったことである。

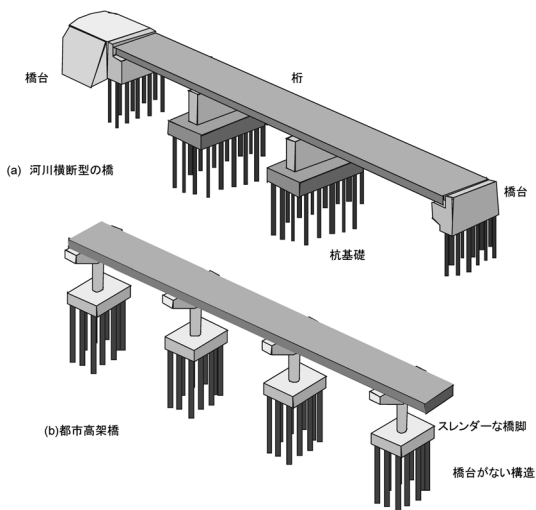


図3 比較的被害が少なかった従来型の河川横断橋に対して、被害の著しかった都市高架橋

両者の違いは、橋脚の揺れやすさの違いと桁の揺れを拘束する橋台の存在の違いであった。

前述したように、基礎の被害が橋の弱点であったため、わが国では伝統的に基礎を深く大きくしたうえで、太く断面が大きい橋脚で桁を支持する構造が採用されてきた。こうした橋脚はコンクリート断面積が大きく剛性が高いため揺れにくく、さらにせん断耐力に余裕があるためせん断破壊しにくい。また、橋台は背面盛土から作用する土圧に抵抗できるように大きな剛性と耐力を持つように造られる。このため、小河川を跨ぐ橋では、両端に造られる橋台は橋の揺れを抑える役割を果たしてきた。

これに対して、1960年代から都市部への人口集中が進み、交通渋滞を緩和する切り札として導入されたのが高架橋である。従来建設されてきた橋に対して、高架橋ではその下の空間を他の道路として利用したり既存家屋等との関係で、背が高く断面を絞ったスレンダーな単柱式橋脚が多用された。橋が連続しているため、橋の揺れを抑えてくれる橋台はずっと離れたところにしか存在しない。この結果、それまでの耐震設計に内包されていた欠陥が表面化し、高架橋に大被害が生じたのが兵庫県南部地震である<sup>3)</sup>。

## 7. 被害を大きくした主鉄筋段落としのある橋脚

2008年、(独)防災科学技術研究所・実大三次元震動破壊実験施設(Eディフェンス)において、世界最大の模型橋脚の震動実験が行われた<sup>4)</sup>。実験されたのは、1995年兵庫県南部地震で倒壊した橋脚と同じように、1960～1970年代の技術基準に基づいて実物と同じように造られた高さ7.5m、径1.8mの円形断面の鉄筋コンクリート橋脚である。実物のほぼ2/3の大きさであった。

震動台と模型橋脚を写真2に示す。この模型に、1995年兵庫県南部地震の際、山陽本線JR鷹取駅で記録された地震動を水平2方向と上下方向に作用させた。これは兵庫県南部地震で記録された中でも、最も構造物に大きな威力を与える地震動である。

加震をはじめると、この橋脚は揺れが強くなりクラックが入ってからわずか1.17秒後に崩壊してしまった。この様子が写真3である。まず(a)のように、左から右に向かって震動台の揺れが大きくなり始めるや、根元から約4mの高さにお

いて、橋脚の左側面から右下側に向かって数本の斜めクラックが入った。その0.18秒後には揺れが右から左向きに変わり、今度は(b)のように右から左に向かって3本のクラックが入った。左側面ではかぶりコンクリートがはがれ落ちたが、このときにはこれ以上クラックは進展しなかった。

しかし、この0.44秒後に、再び左から右に揺れると、(c)、(d)のように、左から右下に斜めクラックが大きく進展し、根元から2.5~4mの範囲で砕けたコアコンクリートがまるで爆発したかのようにばらばらと飛び散った。

写真4は破壊した部分を実験後に切り出し、砕けたコンクリートを除去した状態の橋脚である。根元から4mの高さでコアコンクリートを貫通する大きな破壊が生じ、ここで橋脚は上下に分断された。主鉄筋はまだ破断には至らなかったが、

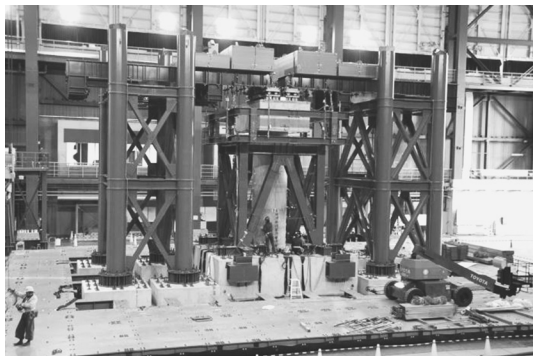


写真2 Eディフェンスによる橋脚の実大加震実験

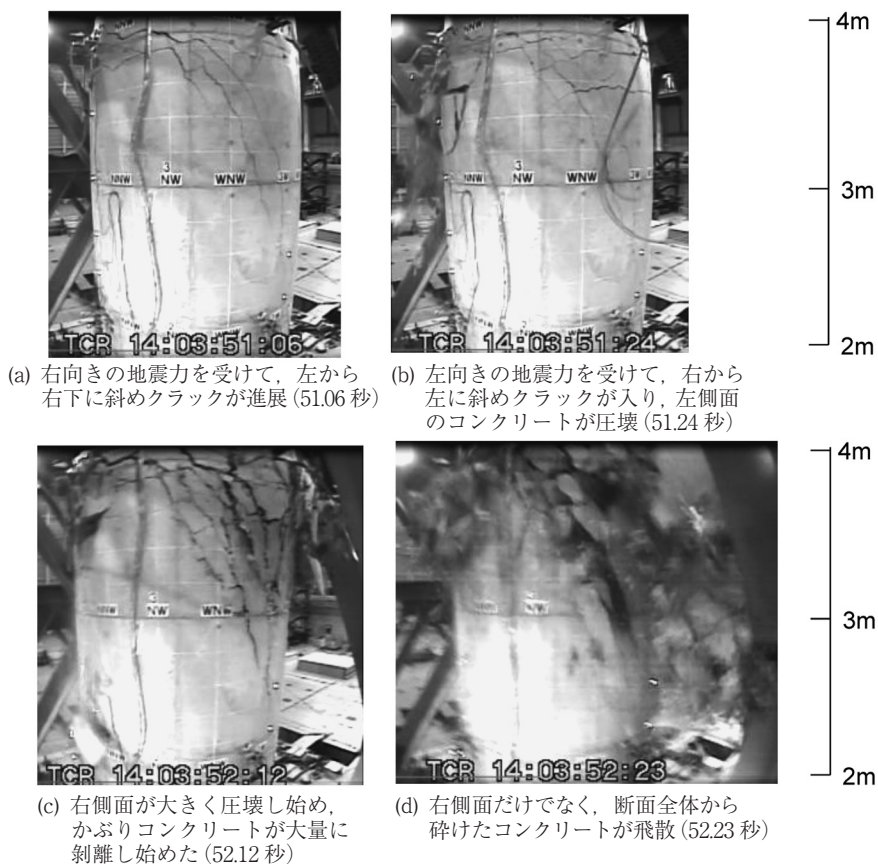


写真3 主鉄筋段落としがある橋脚はどのように壊れていくか？

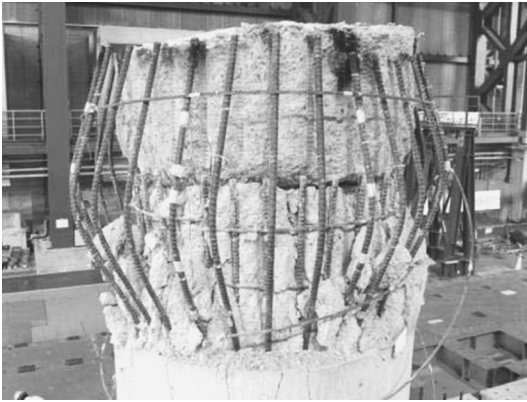


写真 4 砕けたコンクリートを除去した後の破壊部（座屈した外側の主鉄筋の内側に、段落とされた中間の主鉄筋が見える）

外側に向かって大きく座屈した。模型が倒壊して震動台を壊さないように、鋼製の防護枠が橋脚のまわりに設けてあったため、かろうじて倒壊を免れたが、もし防護枠がなければ、橋脚は倒壊していたであろう。写真4をよく見ると、座屈した主鉄筋の内側にはもう一列の主鉄筋があり、コアコンクリートが上側と下側に分断されたあたりで内側の主鉄筋が切れている。これは「主鉄筋段落とし」と呼ばれる工法である。

兵庫県南部地震後には「鉄筋が切れている。手抜き工事だ」「設計ミスだ」「アルカリ骨材反応によってコンクリートが劣化していた」等々の非難が集中した。特異な破壊モードであったことから、被害原因についても「巨大な圧縮力によって押しつぶされた」「上下方向地震力を考えていなかったせいだ」「強震計では記録できない超高振動数の地盤の揺れのためだ」等々、いろいろな意見が出された。これに対しては、専門家間でさえいろいろな意見が分かれた。小型模型を用いた繰返し載荷実験はそれまでもいろいろ行われていたが、この問題は実大模型を用いた震動台実験により究明する必要があったのである。

主鉄筋段落としは設計ミスや施工ミスなどではない。橋脚に作用する曲げモーメントは橋脚の根元で一番大きく上に行くほど減少する。このため、主鉄筋の本数は橋脚の上部になるほど、減少させてよいのである。内側の主鉄筋が橋脚の途中

で打ち切られていたのはそのためである。問題は、どの高さで主鉄筋の本数を減少させてよいかであった。ここに問題があり、1980年前の基準では主鉄筋を段落とす位置が低すぎたのである。

震度法による地震力の過小評価や主鉄筋の段落としの他に、当時の設計ではさらに2つの問題があった。1番めは帯鉄筋を主鉄筋の周りを囲むように巻き付け、先端どうしをある長さだけ重ね合わせてあっただけであることである。これは「重ね継手」と言い、1980年代までにはごくあたりまえの方法であった。2番めは、コンクリートの許容せん断力が過大評価されていたことである。

このような橋脚に地震力が作用すると、主鉄筋が段落としされていたすぐ上では、主鉄筋量が不足するため引張力に耐えきれず主鉄筋が大きく塑性化し、これがコンクリートの破壊を進展させる。さらに、かぶりコンクリートがはがれ始めると、重ね継手で止められていただけの帯鉄筋が簡単にほどけてしまい、帯鉄筋としての機能を完全に失う結果、せん断力に抵抗できなくなる。コンクリートの許容せん断耐力の過大評価がせん断破壊に拍車をかける。こうして、一度始まったせん断破壊は際限なく進展し、最終的な破壊に至る。

重要な点は、震度法による耐震設計では、主鉄筋段落としや重ね継手が橋脚の耐震性を低下させることはないかと懸念されることがなかったという点である。震度法では、地震力を受けても構造部材は許容応力に留まるように（降伏に至ることのないように）設計する。このため、主鉄筋が降伏したりかぶりコンクリートがはがれ落ちたら、その後はどうなるかといったことを考える必要がなかったのである。ここに、現実的な地震力を想定し、非線形域に入った後の構造部材の変形や耐力を考える地震時保有耐力法の重要性がある。

主鉄筋の段落としは、鉄筋の使用量を少しでも減らし建設費を下げるために行われた、当時としてごくあたりまえの工法であった。このようにしなければ、工費を無駄使いしていると非難された時代である。しかし、これが被害原因となってしまったのは、地震時保有耐力法の開発につながる

ような満足な実験研究施設が整備されていなかったことも一因であることを指摘しておきたい。静的に一方方向に作用する条件下であれば、そこそこの実験施設でも研究可能であったが、繰り返して作用する地震力下において構造部材の破壊に至る実験が可能な実験研究施設が整備されていなかったのである。

1970年代頃までは、橋脚の断面の大きさに対する制約がなかったため、伝統的な大断面の橋脚を建設できたことから、主鉄筋段落としの問題が表面化することはなかった。しかし、都市化の進展や河川管理面からの制約により橋脚断面を絞らざるを得なくなってきた結果、問題が表面化してきたのである。

こういう被害はやっかいである。ある工法が採用され、これに欠陥があっても、この欠陥が表面化しなければ気づかれない。長い間、欠陥があっても問題が生じていなければ、その方法が正当化され、その結果、この問題による被害が起こったときに、追及の矛先が間違った方向に向かうことさえある。地震は発生頻度が低いため、地震が起きて問題が明らかになるまでに、多数の同種の欠陥を持った橋が建設され続けることになる。

この問題は、1982年浦河沖地震の際に浦河町の静内橋で橋脚に大被害を生じ、落橋寸前になったことから始めて明らかになった。1993年釧路沖地震や北海道南西沖地震でも、小規模ながら被害が生じた。被害原因の究明や耐震補強法の開発、その試験的な適用が実施されつつあった段階で、この被害が大々的に生じたのが兵庫県南部地震であった。

## 8. 現在の基準で設計された橋脚はどこまで安全か

それでは、現在の耐震基準で設計された橋脚はどこまで安全だろうか。これに対する検討も、Eディフェンスを用いた実大震動実験で検討された<sup>5)</sup>。実験されたのは2002年耐震基準により地震時保有耐力法に基づいて設計された橋脚である。地震時保有耐力法を満足させるために、橋脚の直径は前述した橋脚の1.8mから2mへとひとまわ

り大きくなり、径29mmではなく35mmの主鉄筋を2段に配置した。もちろん、主鉄筋は段落としされていない。

また、帯鉄筋は径を13mmから25mmに太くし、これを外側の主鉄筋には高さ方向に15cm間隔、内側の主鉄筋には30cm間隔で配置した。帯鉄筋の先端は重ね継手で主鉄筋に巻きつけただけでなく、先端を135度に折り曲げてコアコンクリート内に埋め込んで定着した。このようにすると、かぶりコンクリートがはがれ落ちても、帯鉄筋の先端は容易にはほどけず、より大きな揺れまでコアコンクリートを横拘束すると同時に、主鉄筋の座屈を拘束できるようになる。

この状態でJR鷹取駅記録を震動台に作用させて橋脚を2回加震した。1回めの加震では、橋脚の塑性ヒンジ区間に細いクラックが一本生じただけである。続けてもう1回加震すると2本のクラックが新たに生じたが、これ以上の損傷は生じなかった。たった1回の加震でほぼ倒壊した1970年代の橋脚との耐震性の違いは歴然としている。

それではこの橋脚が設計地震力以上の地震力を受けると、どこまで安全だろうか。現状の地震動の推定精度は倍・半分の世界であり、耐震性の評価では、どれだけ強い地震動が作用するかが一番不確定である。また、地震動の継続時間も地震規模によって大きく異なる。このため、2002年耐震基準で設計した橋脚を、JR鷹取駅の記録を作用させて、さらに以下の条件で3回加震した。すでに2回加震しているから、それぞれ3回め、4回め、5回めの加震となる。

まず、3回めの加震では、桁の重量を20%増加した。簡単のため固有周期の変化の影響を無視すると、同じ強度の地震動で加震すれば地震力は約1.2倍に増加する。さらに、4回めと5回めの加震では地震動強度を1.25倍に増加した。桁の重量が1.2倍となっているから、地震力は約1.5倍に増えることになる。

この条件で加震してみると、3回めの加震では、塑性ヒンジでかぶりコンクリートが剝離し、一部では帯鉄筋が露出した。4回めの加震ではかぶり



写真 5 1970年代の基準で設計された橋脚の破壊（主鉄筋段落としてはされていない、5回目の加振）

コンクリートがほとんど剥落した。さらに、一部の主鉄筋と帯鉄筋が露出した。5回めの加振になると、帯鉄筋が降伏して横拘束が緩んだ結果、コアコンクリートの一部が圧壊し、写真5のように、鉄筋のすき間から砕けたコアコンクリートが爆発したかのように噴き出してきた。このような現象は、小型模型による従来の実験では知られていなかったことである。

3回め、4回め、5回めの加振による橋脚の応答じん性率は、約5、10、13である。さすがに加振を重ねるにつれて大きく揺れるようになった。橋脚の剛性が低下してきたためである。このように、現在の基準で設計された橋脚でも、想定地震力で2回、想定地震力の1.25倍の地震力で1回、1.5倍の地震力で2回加振すると、橋脚の損傷は進展していく。しかし、合計5回の加振を与えても、まだ終局変位には達していない。

地震力に不確定さが大きい現在では、塑性ヒンジの変形性能に余裕を持たせることが重要である。現在もさらに新材料や新構造を用いた変形性能の高い橋脚や橋構造に対する研究が進められている。

## 9. ま と め

兵庫県南部地震により高架橋を中心に橋が倒壊した原因は、従来知られていなかった強烈な地震力を受けたことに加え、橋脚の設計において主鉄

筋段落とし位置が低すぎたと同時にコンクリートの許容耐力が過大評価されていたため、せん断破壊が広範囲に生じたこと、帯鉄筋量が不十分で、さらに重ね継手で定着されていただけであったため、ねばりを発揮できなかったことによる。このような問題は従来型の大断面の橋脚で支持された橋では長い間表面化してこなかったが、都市化の進展に伴って都市高架橋が出現し、背が高く断面を絞ったスレンダーな橋脚が使用されるようになり、大々的に表面化したのが兵庫県南部地震であった。

さらに本文では紹介できなかったが、局部座屈に対する拘束が不十分であったことから鋼製橋脚の倒壊を招くと同時に、震度法による地震力の過小評価と変形性能の低さから多数の鋼製支承に被害を生じたことも兵庫県南部地震による被害を激甚なものにした。落橋という最悪の状態を防止することを期待された橋防止構造でさえ、震度法による地震力の過小評価からフェールセーフ機能を発揮できなかった。

このような被害の背景に共通する本質的な問題は、大地震に対しても崩壊を免れるように設計するという命題に対応できないという震度法の限界である。許容応力度法に基づいて断面設計する震度法では、現実的な地震力が作用し構造部材が弾性域を越したらどうなるかを考える必要がなかったのである。設計者から大地震が起きた時にどうなるかを考えるイメージを奪ってきたと言ってもよい。

さらに、震度法では「地震力が小さいことを斟酌して、耐力も小さくして……」という評価と判断がくり返されているうちに、何が事実かがわからなくなっていた。外力も照査もともに事実と異なるため、途中の解釈も歪まざるを得なかった。震度法で設計された橋が、どれだけ強い地震に耐えられるかという問には、専門家さえストレートに答えることができなかったのである。そして、過去の経験に基づく判断は、いつの時代にも新たな事象には対応できない。

地震の特性が解明されていない現状では、ホンモノの地震の発生頻度は低いことから、建設後

40年や50年被害がないからといって、橋の耐震性が担保されていると過信したり過去の常識にとらわれることなく、常に新たな問題に対する研究開発を進め、耐震設計基準の改良に努力を傾注していくことが重要であるという点が兵庫県南部地震の教訓である。

### 参考文献

- 1) 川島一彦, 2014. 地震との戦い—なぜ橋は地震に弱かったのか, 鹿島出版会.
- 2) 大橋雄二, 1993. 日本建築構造規準変遷史, 日本建築センター.
- 3) Kawashima, K. and Unjoh, S., 1997. Impact of Hanshin-Awaji earthquake on seismic design and seismic strengthening of highway bridges, *J. Earthq. Eng.*, **12**, 505-541.
- 4) Kawashima, K. et al., 2009. Seismic performance of a flexural failure type reinforced concrete bridge column based on E-Defense excitation, *J. JSCE*, **65**,

267-285.

- 5) 川島一彦 他, 2010. 現在の技術基準で設計したRC橋脚の耐震性に関する実大震動台実験及びその解析, 土木学会論文集, A, **66**, 324-343.

川島一彦

[かわしま かずひこ]

**略歴** 1972年名古屋大学土木工学専攻修士課程修了後、建設省入省。土木研究所耐震研究室長等を経て、1995年東京工業大学土木工学専攻・教授。2013年東京工業大学名誉教授。

**研究分野** 耐震工学。

**受賞等** 建設大臣表彰、土木学会論文奨励賞、田中賞、吉田賞等。

**著者・訳書** 「地下構造物の耐震設計」(鹿島出版会), 「免震設計入門」(鹿島出版会), 「橋梁の耐震設計と耐震補強」(技報堂), 「地震との戦い—なぜ橋は地震に弱かったのか」(鹿島出版会)。



# 阪神淡路大震災が突きつけた 新しい課題としての「復興」

林 春男

## 1. 阪神淡路大震災を嚆矢とする災害復興研究

防災の分野での復興に関する研究は1995年に発生した阪神淡路大震災が契機となっている。この震災が発生した時点で、わが国の防災体制には「復興」という概念は存在していなかった。それまでのわが国の防災は「復旧」が基本である。その背景には、わが国の現在の防災体制が水防を基本として設計されていることがある。

1995年1月17日に発生した阪神淡路大震災は第2次大戦後初めて大都市圏を直下地震が襲い、6,434名の犠牲者と総額10兆円に及ぶ物的被害そして350万人に及ぶ被災者を生んだ。被災地の人々はガレキの中で、震災前のまちが持つ脆弱性を改善し、安全で快適なまちとして被災地を生まれ変わらせることを希求した。この気持ちを表現する言葉が「復興」なのである。

## 2. 復興の第1段階としての復興計画策定

復興過程の第1歩は復興計画の策定である<sup>1)</sup>。災害発生直後、さまざまな応急対応が最優先され、当時の関係者の中には、復興の検討は応急対応終了後でよいという想いも多く見られた。しかし、効果的な復興の推進には、早急な体制づくりと方針決定が必要となる。なぜなら復興に関わる活動も災害発生直後から存在しているからである。

被災者は「できるだけ早く元の生活に戻りたい」という思いから生活再建のために自由勝手な活動を始める。国を中心としてインフラの復旧もどんどん進められていく。マスタープランなしにこうした個別の活動が進められると、結局震災前

のまちが元通り再建されるだけで、災害への脆弱性がそのまま再現される危険性が高い。こうした事態は2004年に発生したインド洋大津波で被災したタイ各地で見られている。大規模な災害による広域にわたる面的な破壊は、災害に強いまちづくりの観点からは、面的な再建を同時進行で推進できる貴重な機会でもある。その機会を逃さないためにも復興計画は急いで策定する必要がある。

また、大規模災害になればなるほど、その復興には巨額の費用が必要となるため、地方自治体は国の財政的支援なしには復興の実現は実質的に困難となる。逆に国から財政支援を得るためには、どのような活動を行うかを提示し、その正当性を示す復興計画の提示が不可欠となる。最大の支援を引き出すためにも、復興に至る青写真をできるだけ早く持つことが重要であり、それを文書化したものが復興計画である。

一方で、復興のもう一つの重要な担い手である市民は、災害が大きければ大きいほど、避難先に避難を余儀なくされ、元の生活を維持している人はきわめて少ない。そのため復興計画策定過程に被災市民が参画することは非常に難しい。しかし各種の大規模公共工事の例を見るまでもなく、住民参画を欠いた計画がその後の実現過程で多くの困難を持つことも事実である。

しかも復興計画の策定にもタイミングが必要である。阪神淡路大震災の場合は、神戸市や兵庫県は復興計画は、次年度の政府の概算要求に間に合うことを目標にして、発災から6カ月後の1995年6月末に作成されている。

以上を要すると、時間的な制約から急いで作るという要請に応えることと、計画策定過程に市民の積極的な参画を得ることは、復興計画策定にお



いてつねに存在する二律背反であることに留意した上で、発災直後から復興計画を立案する必要がある。

### 3. 阪神淡路大震災からの3つの復興目標

阪神淡路大震災からの復興では3つの達成目標が設定されている<sup>2)</sup>。第1は、被災地の物理的な都市再建、第2は被災地の経済の再建、第3は被災者の生活の再建である。これら3つの目標は相互に関連しており、復興全体の構造は、図1のように整理される<sup>1)</sup>。

最終目的とされる第3層の被災者の生活再建を実現するには、「住まい」の確保と「収入」の確保が必要である。そのためには第2層にある「まちの再建」と「経済の再建」が必要となる。その前提が第1層の社会基盤の「復旧」である。

災害からの復興過程は、長期間にわたってさまざまなステイクホルダーが関与する複雑な構造を持っている。また3種類の再建活動が同時並行で展開するため、多くの場面で利害が葛藤する混乱した状況となりがちである。以下、それぞれの復興目標について阪神淡路大震災後の復興の状況を順に見ていく。

### 4. 阪神淡路大震災における都市再建

都市再建は、基底層の社会基盤の復旧と、第2層のまちの再建から構成される。社会基盤の復旧はすべての個別的な復旧・復興活動の前提となる。この部分には公金が投入されるので、一刻も早い機能回復が期待される。

阪神淡路大震災でもライフラインとよばれる電力・水道・都市ガスといった社会基盤は、図2に示すように、約3カ月で機能を復旧している。もっとも時間を要した神戸港も震災から18カ月で復旧している。こうした社会基盤の機能回復の早さに、当時世界が目を見張った。

第2層のまちの再建は、都市計画と住宅の再建の2つの主要な側面で構成される。火災によって面的に破壊された地域を重点的に選択し、都市計

画の手法を使ってまちの構造改革を図る試みが「重点地域」でなされた。さらにそれ以外の地域も対象として、震災によって全半壊した50万棟の住宅の再建を支援するさまざまなプログラムが提供された。

兵庫県は、個人住宅の再建プログラムを緊急3カ年計画として位置づけ、震災から最初の3年間に、震災により滅失した13万棟以上の個人住宅が建設された。さらに、仮設住宅も5年間で解消されるなど、住宅問題は震災から最初の5年間で解決したといえる。

阪神淡路大震災後の都市計画事業は完成までに10年間に要した。神戸市を例にとると、震災復興促進地域に指定された市域5,887haのうち、再開発や区画整理などの面的復興事業の行われた地域は10年間で事業を完了できた。被災地の96%に及ぶそれ以外の地域、いわゆる「白地地域」では、都市計画・まちづくりの専門家、大学研究者、行政担当者等が集まり、各地で展開される復興まちづくりを支援し、震災前からの地縁組織との確執もかかえながら、合意形成機能を備え自発的な活動に依拠する新しい「地域自治組織」を確立する試みがなされた<sup>3)</sup>。

阪神淡路大震災からの復興の中で、都市再建はもっとも上手く達成できたと評価できる。その原因は何なのだろうか。

第1は、都市計画という形をとりながら計画的に復興を進めようとする意思の存在である。その典型が当時の神戸市長であった笹山幸俊氏である。彼は神戸市の戦災復興を担ってきた経験から、無秩序に建設されるバラックが復興の妨げになることを憂慮した。それを避けるために、住民からはきわめて不評だったが、建物の建設禁止条項を利用するために、震災初日に都市計画法に基づく都市計画を発動している。

第2の理由は、公費によるガレキ除去である。ガレキは私有財産であり、その処分は原則個人の責任であった。しかし復興の前提となるガレキ処理を個々の経済力に任せておくと、時間的なずれから面的な整備ができない危険性がある。そこで厚生省は公費を投入して、面的なガレキ処理の

推進を初めて試みた。この制度は後に生活再建支援法の成立に伴って、ガレキ処理に関わる経費負担として組み込まれている。

公費によるガレキ処理支援には、もうひとつ利点があった。地方自治体による積極的な関与である。各地方自治体は住宅の公費解体にあたって解体業者と被災者の間に入って、業務の調整を行い、経費および作業スケジュールの面で最適な業務の立案・実行に貢献した<sup>4)</sup>。また多くの自治体で仮置き場でのガレキの分別処理が実施され、資源の再利用と環境への配慮も図られた。ガレキ処理における地方自治体の関与の必要性も、生活再建支援金の支出項目にガレキ処理が組み入れられたことによって災害対応における必須の業務として制度化されたといえる。

第3に、都市再建には関東大震災からの復興、戦災復興さらに戦後に発生した大火からの復興を通して積み上げられた過去の経験が存在し、こうした経験にもとづく専門分野、研究、人材の存在が有効に機能した。阪神淡路大震災は未曾有の規模の災害だったとしても、専門家の間には過去の経験にもとづく共通理解が存在し、過去の教訓が知恵になって随所に活かされたといえる。

第4に、明確な数値目標の設定がある。3年で滅失住宅を再建する、5年で仮設住宅を解消する、10年間で復興を完成させる、といった具体的な数値目標は、結果としてどれも達成されている。こうしたメルクマークの設定は努力目標やその進捗の可視化に役立ち、目標達成に貢献したといえる。

## 5. 阪神淡路大震災からの経済再建

経済再建には2つの課題がある。第1は、地域の主要産業の活性化であり、第2は、企業の大部分を占める中小企業対策である。

主要産業への影響を神戸市を例にみると、阪神淡路大震災は神戸市が重長厚大型の産業構造から転換を迫られた時期に発生している。神戸市は震災を将来の少子高齢化社会を先取りする契機としてとらえ、医療産業都市構想をかかげ、ポータア

일랜드2期において新たな産業集積をめざした試みをスタートさせた。以降着実に産官学の集積が進み、15年を経てようやく次世代産業としての方向性が見えてきている。

こうした長期的・戦略的な試みと同時に、体力のない中小企業に対する雇用の安定と事業継続を中心とする「今」を見た個別具体的な施策も経済の再建には必要である。たとえば、震災発生の初年度に、中小企業の事業主に対して雇用維持のための従業員一人当たり50万円の補助金を兵庫県が提供し、失業者の発生抑止とキャッシュフローの確保につながった事例もある。

阪神淡路大震災での経済再建はどう評価できるのだろうか。経済は開放形のシステムであり、被災地内の経済活動だけで被災地の経済状況が決定されるわけでもない。とくに1997年から日本経済が失速した影響を被災地も強く受けており、被災地の経済状況が震災の直接の影響によるか他の要因によるかの区別は難しい。

ここでは、震災からの経済活動の回復過程を実証的に検討した例として、神戸市統計を通して被災地の社会経済活動の復興状況の時系列分析を紹介する<sup>4)</sup>。神戸市が業務として収集する120種類の統計データを1992年4月から2005年1月までの13年間について解析すると、震災の影響は、図3に示すような3つのパターンに分類できる。こうした3つのパターンを持つさまざまな社会経済活動が重なり合って経済再建がなされている。

第1のパターンは、震災直後の震災特需とその後スランプに陥るパターンである。その典型が被災地での住宅再建である。震災前の被災地は年間2万棟の建て替え需要が発生する成熟市場であった。震災によって13万棟の建物が滅失した。一瞬に7年分の膨大な建て替え需要が発生したことになる。被災地では最初の3年間で滅失した以上の住宅が建設されている。このことは残りの期間には住宅建設需要が激減することを示しており、地元の建設業界にとって厳しい状況が予想される。事実、地元の優良企業の倒産が震災から5年から7年目に続発している。

震災特需の発生とその後の不況は、多くの被災

者が1日も早く元の生活に戻りたいと願う気持ちに端を発している。それ自体はとがめられるものではないが、地域産業保護という観点からは何らかの調整が必要であったことが示唆される。

第2のパターンは、震災発生直後に大きく落ち込むものの、震災前の状態に回復するパターンである。日常の消費活動、域内の消費活動である。これらは9カ月ほどで震災の影響を脱していた。食料品や日用品などの最寄り品は基本的に近所で購入する傾向があり、人が生活する限り恒常的にニーズは発生するため、震災による一時的なスランプはあっても、想像以上に早く消費が回復している。

第3のパターンは、震災前の状態に回復できないパターンである。その典型が図4に示す神戸港の輸出入量である。震災によって機能を喪失した神戸港が扱っていた貨物は競合する他の港に流れた。震災当初予想されていた韓国の釜山や台湾の高雄ではなく、結局、顧客は大阪港と横浜港に流れた。同じような傾向は震災によって半年以上営業不能に陥った阪神電車の乗客数にも見られる。阪神電鉄の場合には、並走するJRと阪急電鉄に流れている。

これら2つの例に共通するのは競合他社の存在である。震災による機能停止の間に、顧客が競合他社に移り、業務を再開しても流出した顧客が戻らず、経営が苦しくなっている。競争他社が存在する場合の事業継続の重要性を如実に示す事例といえる。

以上の分析を踏まえると、次の大規模災害における経済再建にあたって国の支援のあり方についてしっかり検討する必要がある。

阪神淡路大震災当時は各省庁別に、震災直後の補正予算あるいは次年度の当初予算で復興のための予算を計上する方式が採用され、7兆円にのぼる公金が当初3年間に投入されている。それは公共事業を集中的に実施することで地元雇用と資金を提供し、経済波及効果をもたらす「トリクルダウン」効果が期待されている。しかし、被災地にはそれだけ短期間にそれだけ多量なマネーフローを吸収できる能力が存在せず、結果的に東京

あるいは大阪に本社を持つ大企業が事業を受注したという現実がある。そのため投入された資金の大部分は被災地外に環流して、結局被災地には何も残らなかったため、5年目以降の地元優良企業の倒産につながっている。

また過剰な国費の導入は、被災者の行政支援依存を高めている。阪神淡路大震災を契機として、被災者に対する公的な支援が手厚くなり、被災者側には手厚い支援を前提とする傾向が強まり始めている。その結果、個人レベルでは、できるだけ自分の資金を使わない傾向、企業レベルでも、震災発生後の新しい産業構造への転換において補助金や公金の投入に依存する傾向が見られる。被災地にリスク回避の傾向が強まっている。

## 6. 阪神淡路大震災における生活再建

「生活再建」は阪神淡路大震災の復興において初めて復興の目標として掲げられたまったく新しい復興概念である。その正確な意味は当時だれも分っておらず、考え付くすべての対策・施策が試みられ、試行錯誤を通して生活再建支援施策は逐次的に充実していった。それが被災者間に新たな不公平感を醸成した面も否めない。

生活再建を定義する試みが、震災から5年目の神戸市の震災検証の一環として行われた<sup>5)</sup>。12回のワークショップを通して、被災者自身や支援者から生活再建に関する1,623個の意見を収集した。それを構造化した結果、図5に示す7要素が見出された。

震災発生から5年目の段階で、被災者が生活再建の第1要素としてあげたのは「住宅」の再建である。それとほぼ同数指摘されたのが「人と人のつながり」の確保であった。それ以外にも、「まち」の再建、「こころとからだ」の健康、次の災害への「そなえ」、「くらしむき」、「行政とのかかわり」を加えて7要素となった。

人と人のつながりがこれほど被災者の生活再建に大切な要素であることは予想外の発見であった。他者との関係なしには人は生きられないという事実の裏返しなのである。震災を経験し、避難

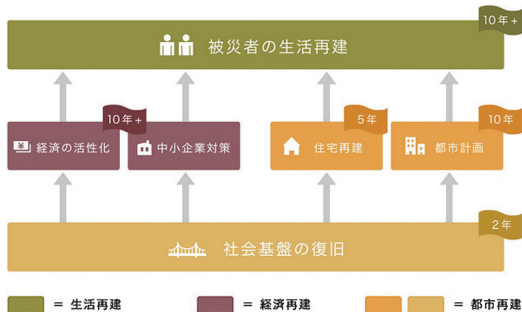


図1 阪神淡路大震災の復興過程の構造

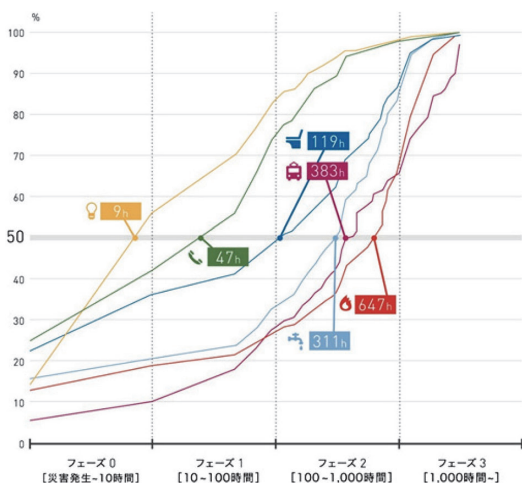


図2 ライフラインの復旧過程

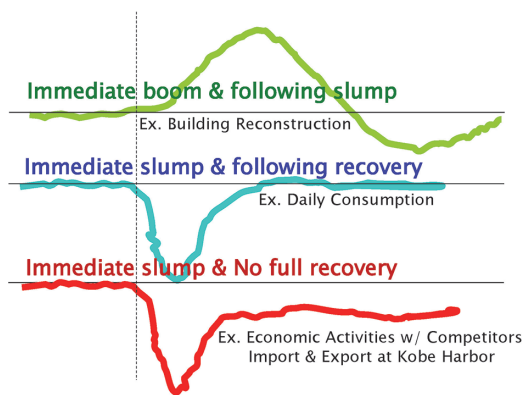


図3 経済再建の3つの基本パターン

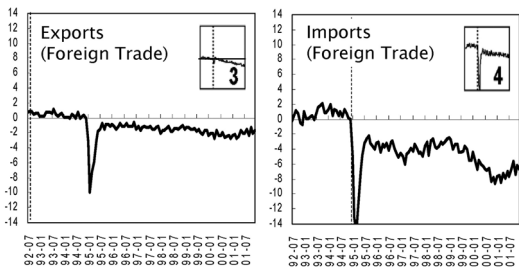


図4 神戸港の輸出入量の時間的推移

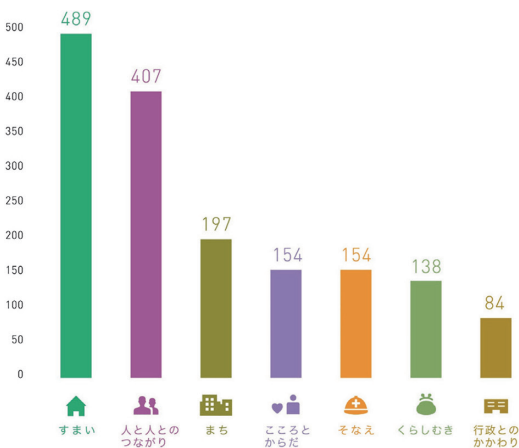
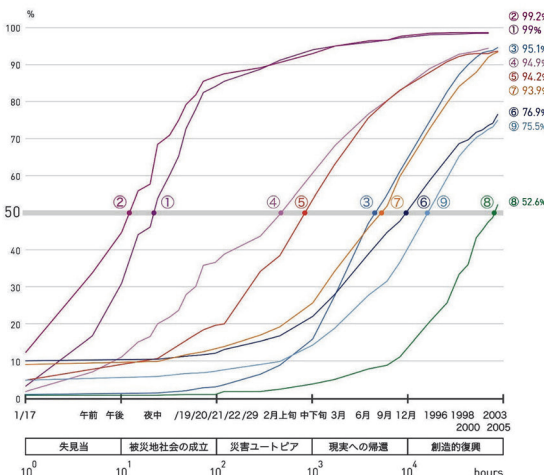


図5 生活再建の7要素

- 被書の全体像がつかめた
- 不自由な暮らしが当分続くと覚悟した
- 毎日の生活が落ち着いてきた
- もう安全だと思った
- 仕事・学校がもともに戻った
- 家計への震災の影響がなくなった
- すまいの問題が最終的に解決した
- 地域経済が震災の影響を脱した
- 自分が被災者だと意識しなくなった



※①②④は、2003年調査(震災から8年後)、それ以外は2005年調査(震災から10年後)の結果から作成。「現実への帰還」と「創造的復興」は、フェーズ3【復旧・復興期】にあたります

図6 復興カレンダーが示す復興像 (阪神淡路大震災と新潟県中越地震の比較)

所にゆき、仮設住宅に移り、最後は災害復興公営住宅に落ち着くという、典型的な被災者の居住地の変化は、それまでの人間関係を立ちきり、新しい環境で人間関係を一から再度構築することを強いる。こうした経験を、震災後の5年間に3度も繰り返し経験したことを意味している。それはとくに高齢の被災者にとって大きなストレスであり、災害復興公営住宅において今度こそ継続的な人間関係をつくりたいという希望の表れなのである。生活再建7要素はその後、インド洋大津波や新潟県中越地震などの災害での調査でも、安定して見出される要素である。

生活再建の進捗状況を定量的にモニタリングするため、兵庫県では1999年から2005年まで2年ごとに前述の7要素モデルにもとづいて、4回の無作為抽出の社会調査と3回のパネル調査を実施してきた。その結果、個人の復興度を測定する心理尺度である「復興カレンダー」が提案されている<sup>6)</sup>。生活再建上重要なイベントが、いつ訪れたかを個々の被災者に尋ね、それを累積曲線として表現し閾値を探るこの尺度は、さまざまな災害からの復興において安定した結果を示している。

阪神淡路大震災からの10年間、2004年の新潟県中越地震から2年が経過した時点での復興カレンダーが図6である。阪神淡路大震災の場合には、回答した被災者の50%がそう判断する時期をみていくと、「仕事/学校がもとに戻った」のは震災から1カ月が経過した時点、「毎日の生活が落ちついた」「すまいの問題が最終的に解決した」のは、震災から6カ月から8カ月経過したとき、「家計への震災の影響がなくなった」のは震災から1年が経過した時点、「自分が被災者だと意識しなくなった」のも1年以上経過した時期である。「自分が被災者だと意識しなくなった」人の割合は震災から10年目でも82.8%であり、「8割復興」を示している。さらに「地域経済が震災の影響を脱した」と回答した人は震災から10年でやっと過半数程度である(52.5%)。

新潟県中越地震からの復興状況を阪神淡路大震災の復興と重ねると、この2つの震災からの復興が基本的に同じ順序で進んでいることが分かる。

しかし、復興プロセスとしては同じであっても、災害の規模の違いに加えて、阪神淡路大震災からの復興の教訓を活用していることもあり、新潟県中越地震からの復興は明らかに進捗が早いといえる。

## 7. 復興の理論の構築に向けて

本稿では、災害復興の目的として都市再建、経済再建、生活再建という相互に関する3つの目的の存在を明らかにしてきた。今後の災害復興を考えるにあたってもっとも強調すべきと考える点は、これら3つの目的の中でもっとも優先されるべきものは経済再建である。持続的な経済発展が実現しなければ、復興は成功したとはいえない。それを確実にするための手段が都市の物理的再建である。したがって、投入された公金の額ではなく、今後税収増加が見込める都市として再建ができたかが都市再建の評価基準となる必要がある。税収が上がることで、それを基金として生活再建のための施策の充実も可能になる。そのため、経済再建を主体として、その手段として都市の物理的再建を位置付け、その成果を生活再建にむけるという相互関係が望ましい姿であるといえよう。

## 参考文献

- 1) 太田敏一・牧 紀男・林 春男, 2008. 地域安全学会論文集, 10, 215-224.
- 2) 林 春男, 2003. いのちを守る地震防災学, 岩波書店, 東京.
- 3) 野崎隆一, 2005. 神戸大学阪神・淡路大震災10周年学民連携シンポジウム, 1-2.
- 4) Karatani, Y. and Hayashi, H., 2007. *Journal of Disaster Research*, 2, 453-464.
- 5) 田村圭子・立木茂雄・林 春男, 2000. 地域安全学会論文集, 2, 25-32.
- 6) 木村玲欧・林 春男・田村圭子・立木茂雄・野田隆・矢守克也・黒宮亜季子・浦田康幸, 2006. 地域安全学会論文集, 8, 415-424.

林 春男

[はやし はるお]

**現職** 京都大学防災研究所教授.

**略歴** 1951年東京都生まれ. 1983年  
UCLA Ph.D. 弘前大学助教授, 広島大  
学助教授, 京都大学防災研究所助教授  
をへて, 1996年5月より現職, 2013年9月防災功労者  
内閣総理大臣表彰受賞. 文部科学省科学技術・学術審  
議会専門委員, 日本学術会議連携会員等.

**研究分野** 社会心理学, 危機管理.

**著書** 「いのちを守る地震防災学」など著書多数.



# E-ディフェンス 10年の取組み

梶原浩一

## 1. はじめに

1995年1月17日の兵庫県南部地震により引き起こされた阪神・淡路大震災から20年が過ぎた。時の経過があっても、強烈な揺れが構造物を損壊し、火災・延燃により神戸市街の様相を一変させ、6,434名の尊い命を奪った地震を忘れることはない。多くの国民は、構造物の様相を目の当たりにして、巨大地震に対応する術がないのではとも思われた。

1996年3月29日に、当時の科学技術庁長官は、「地震防災研究基盤の効果的な整備のあり方について」（諮問第24号）を航空電子等技術審議会に諮問し、1997年9月3日に答申が提出された。

その中では、大型三次元震動実験施設（現在の呼称：E-ディフェンス）を地震防災研究基盤の中核施設と位置づけ、その概念および目標とされる性能、施設仕様、運営のあり方や進めるべき実験課題が示された<sup>1)</sup>。当時の科学技術庁と防災科学技術研究所が具現化に着手し、地震から10年の期間を要して2005年1月15日に竣工した。

兵庫県三木市の三木総合防災公園内の敷地に位地するこの施設には、「兵庫耐震工学研究センター」が組織として置かれ、県内からの一般見学者を含め、毎年5,000名前後の方々が来訪している（図1）。この防災科学技術研究所のE-ディフェンスは、運用を開始した2005年度から2014年度までの10年間に、土木、建築、機械、地盤分野を含む69課題の大規模実験を実施している。

## 2. E-ディフェンスの仕様

E-ディフェンスの主要な構造を図2に示す。長さ20m、幅15m、高さ5.5mの鋼製箱型の震

動台（重量775tonf）は、加振機と三次元継手を1セットとして、水平2方向（XおよびY方向）にそれぞれ5セット、垂直Z方向に14セットの合計24台の加振機と三次元継手で支えられている。この震動台は、最大重量1,200tonfまでの試験体を搭載して、水平には変位±1.0mのストローク、最大速度2.0m/sで、鉛直には変位±0.5mのストローク、最大速度0.7m/sで加振が可能である。確認された性能としては、兵庫県南部地震での記録地震動JR鷹取波の1.3倍の大きさの地震動の加振ができる。E-ディフェンスは、水平2方向と鉛直方向の地震の動きを同時に再現する三次元振動台として世界一の規模を誇り、ギネスワールドレコーズに登録されている。

## 3. 実験データの開示と施設の利用について

実験で得られる数値データは、究極の目的となる「実大・動的・立体」の実験による構造物の挙動を明らかにするベンチマークであり、実験から一定期間を経て、センターのデータ公開システムより、希望者に開示するルールとしている。また、ここで紹介する実験も含め、これまでに実施した実験の映像、プロジェクト成果資料、今後の実験予定、公開実験の案内等も、防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターのホームページで公開している<sup>2)</sup>。ただし、外部機関への施設貸与実験などでは、開示しないものもある。施設利用についてもホームページで公募しており、震動台の一部分の貸与や実験に用いる試験体の部分空間の貸与も、実験の目的に支障のない範囲で行うことで活用が促進されている。

国民の地震防災・減災に対する意識の啓発は、特に重要なE-ディフェンスの役割に位置づけられる。E-ディフェンスの映像データは、国民へ

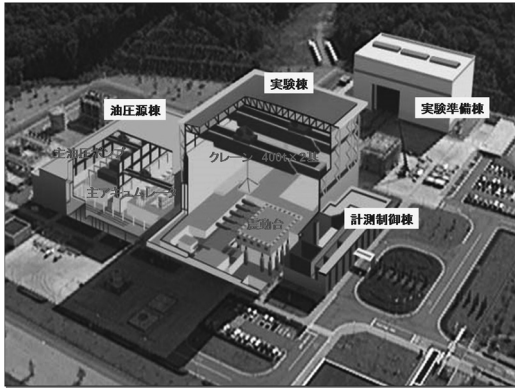


図 1 E-ディフェンスの施設全景

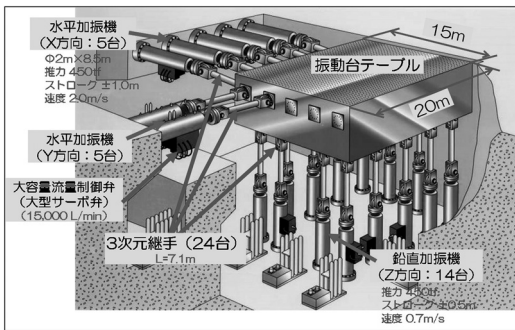


図 2 E-ディフェンスの主要な構造



図 3 木造住宅の実験映像

の説得力が強く、たとえば、2005年11月に実施した耐震補強の効果を示す木造住宅の実験映像(図3)は、全国の2/3以上の自治体で耐震診断と補強を推進するために利用された。これら映像

については、要望があれば、防災教育や講演会等での使用を条件として提供している。

#### 4. 実験の取組みについて

##### 4.1 実験課題の選定

E-ディフェンス建設の目的は、阪神・淡路大震災を教訓とし、実大の試験体を用いた構造物の破壊過程の解明にある。実験課題については、1995年度から2000年度にかけて有識者による検討委員会で討議され、数多くの候補があげられた<sup>3)</sup>。最初にE-ディフェンスで取り組むべき実験課題として、鉄筋コンクリート(以下、RC)建物、木造建物、地盤・基礎、道路橋脚、鉄骨造建物の5課題が選定された。以下に、これまで実施した実験の一部を紹介する。

##### 4.2 大都市大震災軽減化特別プロジェクト<sup>4)</sup>

2002年度から2006年度の5カ年に、大都市圏における地震被害の軽減を目指した文部科学省主導の研究プロジェクト「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」(通称: 大大特)が実施された。この研究プロジェクトは3つのサブテーマで構成されており、「テーマII: 震動台活用による耐震性向上研究」において、選定された5課題のうち、「木造建物」「RC建物」「地盤・基礎」を実験対象とした。E-ディフェンス建設期間と重なる2002年度から2004年度の3カ年は、準備期間としてE-ディフェンスでの実大実験に必要な実験手法や解析ツールの開発などの準備研究を実施した。2005年度、2006年度の2カ年にE-ディフェンスを使用し、実大と大規模の実験を実施している。RC建物実験では、1970年代当時の一般的な構造設計手法により設計された建物を想定し、旧基準建物の崩壊現象の再現、耐震壁と柱の負担せん断力の検討、動的効果、立体効果の検討、崩壊過程解析の検証を実施した(図4)。地盤・基礎実験においては、これまでの模型実験では実施し得なかった規模の実験をすることで、地震時における地盤・基礎構造物の挙動を再現し、地震時に基礎構造物を破壊させる原因を解明するためのデータを取得した。木造建物実験では、建築基準



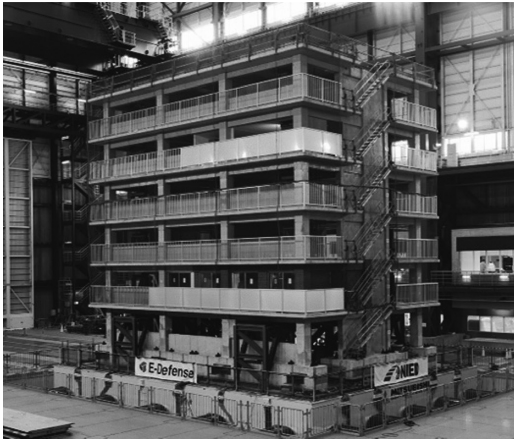


図 4 RC 建物の実験

法が改正された 1981 年以前に建てられた木造住宅 2 棟を対象とし、建物が持つ耐震性能の把握、耐震診断法の精度検証、耐震補強の効果を調査した。

#### 4.3 E-ディフェンスを活用した耐震工学研究プロジェクト

5 課題のうちの「道路橋脚」と「鉄骨造建物」の実験については、2005 年度から 2010 年度の「実大三次元震動破壊実験施設（E-ディフェンス）を活用した耐震工学研究プロジェクト」で実施した。このプロジェクトは、防災科学技術研究所の第二期中期計画の運営費交付金による所内プロジェクトである。両課題の準備では、2006 年度まで縮小試験体による予備実験、試験体の一部を切り出した部分実験と解析による検討を行い、実大実験は 2007 年度より開始した。

鉄骨構造物については、2007 年 9 月にオフィスビルを想定した 4 階鉄骨建物の実験を行った。現行基準による設計であっても、阪神・淡路大震災の強烈な地震により建物が層崩壊する可能性があることを示すと同時に、崩壊に至るまでの耐震性能・余裕度を検証した<sup>5)</sup>。

道路橋脚では、RC 橋脚の実大試験体による実験を実施した（図 5）。2007 年 12 月の実験では、阪神・淡路大震災の地震動により、旧基準による RC 橋脚の曲げ破壊を示し、2008 年 10 月の実験では、旧基準の配筋による橋脚の剪断破壊を示す

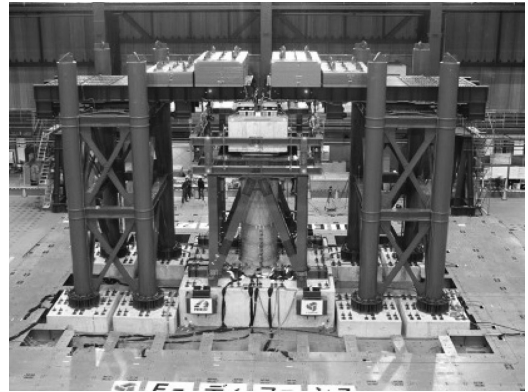


図 5 RC 橋脚の実験

とともに、現行基準の設計による橋脚の耐震性能の実証と、これまで知られていなかった繰り返し加振による耐震力の劣化について追跡した。2009 年度に実施した、次世代の道路橋脚を見据えた実験では、ポリプロピレンの繊維補強材をコンクリートに練り混ぜた試験体を製作し、その試験体が繰り返しの加振に対しても高い耐震性を維持することを実証した<sup>6)</sup>。

#### 4.4 国際共同研究

国際共同研究における大規模な実験では、米国と共同で 3 課題、イタリアとの共同で 1 課題を実施した。米国とは、米国の 14 機関で構成される耐震工学研究分野のネットワークである NEES（George Brown Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation）と防災科学技術研究所の連携協定により、E-ディフェンスと NEES の保有する耐震実験施設を相互利用しつつ、耐震工学の発展を促す試みが進められた。2009 年 12 月に E-ディフェンスで実施した NEES 機関との共同研究では、鉄骨の平面フレームを対称とし、基部の浮き上がりを許容することで地震入力を軽減する実験を実施した。その他、日米共同実験では、2009 年 7 月にコロラド州立大学と木質パネル工法による高層木造建物（7 階建て）の耐震実験（図 6）を、2011 年 8 月にネバダ大学リノ校と 5 層鉄骨建物の基部に設置した滑り免震支承の性能確認のための実験を行った<sup>7)</sup>。米国の施設を活用した実験では、米国 U.C. パークレーの振動台で縮小



図 6 日米による7層木造建物実験

RC 橋脚の加振実験を実施した。

#### 4.5 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト<sup>8)</sup>

2007 年度から 2011 年度に、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が文部科学省の主導のもとに実施された。この中の、「サブプロジェクト②：都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究」を防災科学技術研究所が受託し、E-ディフェンスを用いた研究を推進した。このプロジェクトは、南関東で今後 30 年以内に発生すると考えられている M7 程度の地震を対象とし、サブプロジェクト②では、病院の試験体と高層建物を模擬した 2 つの試験体を対象に、施設の機能を維持するための課題の抽出、対策の実証と建物の地震による損傷の発生過程を調査した。

2008 年度と 2010 年度の病院を模擬した実験では、RC4 階建ての試験体を製作し、建物の内部に、撮影室、診察室、人工透析室、スタッフステーション、手術室、ICU 室、病室、情報通信室を設け、実際の建物の再現を試みた。また、免震構造が採用されることが多いため、耐震構造と基部に免震装置を設置した免震構造の 2 つの場合について実験を行い、それぞれに、東海・東南海地震を想定した長周期成分を含む地震動と兵庫県南部地震で観測された地震動等を入力した（図 7）。これら実験の成果をまとめた「病院スタッフのための地震対策ハンドブック」は、全国の 753 の病院等の機関に 7,700 部以上配布され（DVD 版を含む）、地震対策に活用されている（図 8）。

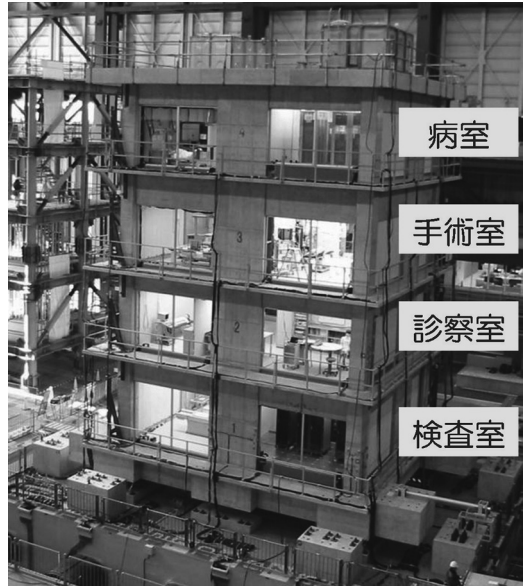


図 7 病院の免震・耐震実験

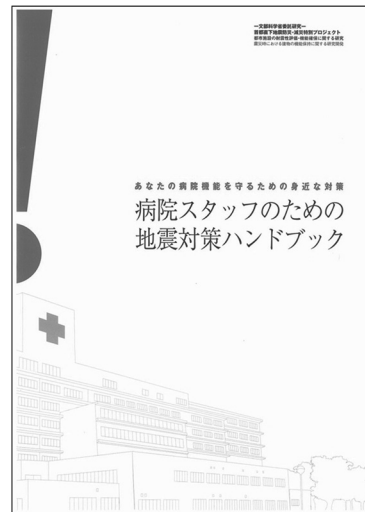


図 8 病院スタッフのための地震対策ハンドブック（表紙）

2007 年度と 2009 年度に実施した高層建物の実験では、1980 年代の初期高層建物の平均的な規模となる地上 21 階、高さ 80m の建物を対象とした。ここでは、実大の 21 階の試験体を載せることができないので実験方法を工夫している。試験体の 1 階から 4 階までは、鋼構造架構を実規模で

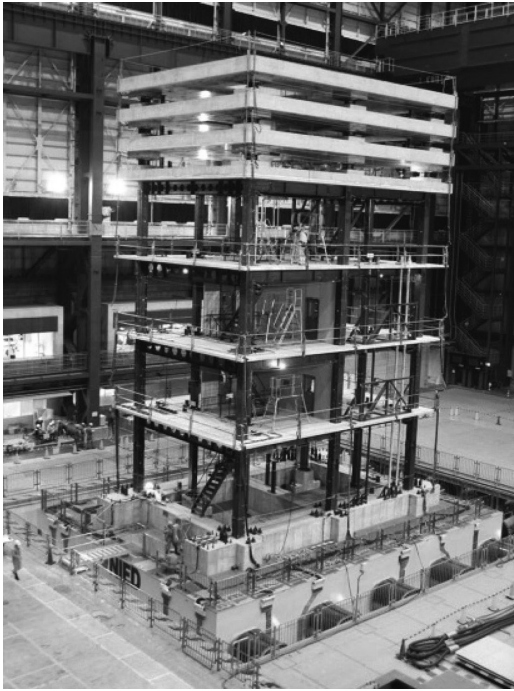


図 9 1980年代の高層建物実験

構築し、5階以上の高層階は、5階分を1枚のコンクリート錘で代用して、これに模擬する高層建物と同様の剛性、減衰を与える積層ゴムとダンパーを組み込んだ縮約構造とした(図9)。揺れの繰り返しにより溶接部に破断が生じる、従来の実験にない結果を得た。

#### 4.6 E-ディフェンスを活用した社会基盤研究プロジェクト

2011年度から2015年度の「実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)を活用した社会基盤研究プロジェクト」は、防災科学技術研究所の第三期中期計画の運営費交付金による所内プロジェクトである。2011年3月の東日本大震災では、新宿の高層ビルや大阪の高層庁舎に変位の大きい長時間の揺れが生じ、将来の海溝型地震の襲来による被害を予見させる象徴的な事象となった。このプロジェクトでは、建築構造物とライフラインについて、将来の地震に備えるための研究を進めている。2011年2月には、内径8m、高さ6.5mの円筒形せん断土槽内に、地下構造物モデルを設置し、地盤材料を投入することにより、地盤

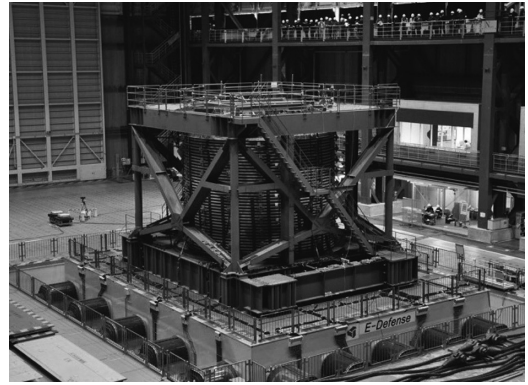


図 10 地盤と地下構造物実験

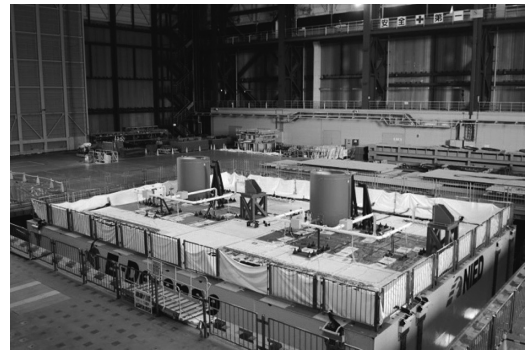


図 11 機器・配管系実験

と地下構造物の相互作用の検証および異なる地下構造物の接続部や地層境界を横断・縦断する地下構造物における局所的な挙動の解明を目的とした実験を行った(図10)。この結果、地下構造物の挙動・被災メカニズム、地盤-地下構造物の相互作用に関するデータを取得し、悪条件が重なると、接合部が損傷し周囲の水・土砂が流入する可能性を指摘した<sup>9)</sup>。

2012年8月に実施した機器・配管系の実験では、支持構造物や弁、タンク等が接続した機器・配管系について、地震時における損傷モードと耐震裕度を明らかにすることを目的とした(図11)。この実験では、基準を超えた入力による加振を実施して試験体を損傷させることで、複数の構成要素を持つ配管系について、地震荷重下での応答特性と損傷モードのデータを取得した<sup>10)</sup>。配管サポートやフランジなどの損傷は、配管本体の損傷



図 12 体育館の天井落下検証実験



図 14 E-ディフェンスを試験装置とした免震部材の実験（全景）



図 13 屋内運動場等の天井等落下防止対策事例集（掲載部分）

より先行するため、裕度評価の際にその考慮が必要である知見も得た。

2013年9月には、偏心のある4階の免震建物が、設計想定を上回る地震により大きく揺れて擁壁へ衝突する現象と、その際の建物に入力する加速度と室内の衝撃による影響を調べる実験を実施した<sup>11)</sup>。この成果の一部は、日本建築構造技術者協会（JSCA）関西支部が設置した「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会」により2015年3月にまとめられた設計指針に活用されている。2013年2月には、体育館を模擬した実大の試験体を製作し、東日本大震災で発生した天井の脱落メカニズムの解明と、国の新たな基準に準拠した設置による吊り天井の性能確認を実施した<sup>12)</sup>（図12）。その成果の一部は、文部科学省の学校管理者向け事

例集「屋内運動場等の天井等落下防止対策事例集」に掲載されており（図13）、学校施設の耐震化促進の一助をなすものと期待される。

#### 4.7 国・地方自治体との研究

国の施策に関わる実験では、国土交通省の建築基準整備促進事業における、長周期地震動に対するRC造建築物の安全性検証方法に関する検討（2012年8月）に係る施設貸与実験と、長周期地震動に対する免震建築物の安全性検証方法に関する検討（2011年度から2013年度）に係る共同実験を実施した<sup>13)</sup>（図14）。この共同実験は、震動台を積層ゴムとエネルギー吸収ダンパーの試験装置として使用し、これらに実大建物に設置された場合の荷重を与え、免震部材の長周期地震動に対する性能を把握することで、免震建築物の安全性検討に寄与するものである。他に、3階建ての長期優良住宅の耐震性能を検証する共同実験（2009年10月）と高層木造建築物の設計法の策定に向けた木質パネルを用いた建物の施設貸与実験（2015年2月）も実施している。

2008年1月に行われた兵庫県との共同研究では、高層建物の居室空間の安全性を調査するため、5層の剛な鉄骨建物基部に、積層ゴムによる振動増幅層を設置した試験体を製作し（図15）、長周期地震動による高層建物の30階部分の大振幅応答を模擬した。オフィス空間でコピー機が暴れまわる状況や什器・家具の転倒等の危険性が内在することを確認し、今後の安全対策へ展開する

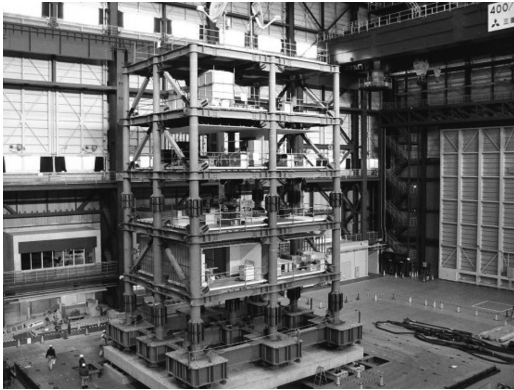


図 15 高層建物の居室内安全性の調査実験



図 16 高層ビル室内安全ブック（表紙）  
次の巨大地震に備える

データを得た。この成果は、東京都・新潟県・静岡県・愛知県・京都府・大阪府・兵庫県・徳島県・福岡県が企画・作成した「次の巨大地震に備える高層ビル室内安全ブック」に利用された（図 16）。2010 年 11 月に兵庫県と共同で実施した木造校舎の実験では、耐震補強技術が確立していない大規模木造構造物へ適用する補強技術の提案と実証を行った。この成果は、篠山市立八上小学校木造校舎の耐震補強工事に適用されている。

#### 4.8 民間の活用

施設の民間活用としては、これまで建設会社、

住宅メーカー、エネルギー関連会社等に貸与しており、20 課題が実施されている。センター職員により加振・計測等の支援をしており、貸与先の目的とするデータ取得や技術の開発・実証に貢献してきた。住宅の販売等を含みそれらの成果は、社会への実装に結び付いている。

#### 4.9 数値震動台

E-ディフェンスでの実験データを活用して、構造物の損傷・破壊過程および建物の室内の被害を推定するための数値解析システム（数値震動台）の構築を推進している<sup>14)</sup>。

成果の例として、4 層鉄骨建物実験の再現解析<sup>15)</sup>では、柱の座屈による層崩壊を再現することに成功し（図 17）、RC 橋脚実験の再現解析のために開発されたコンクリートの亀裂進展解析コードは民間企業の研究にて利用されている。数値震動台の活用を促進するために、ユーザーインターフェース操作およびモデル作成の高速化のため、メッシュ分割アルゴリズムの開発も進めている。一方、室内被害の再現については、家具の転倒挙動、病院施設内のキャスター付き什器の挙動、大空間建物の天井落下の解析に取り組んでおり、今後は、防災教育への活用等を見据えた可視化技術の高度化を予定している。

以上は一部であるが、各工学分野の横の繋がりを得て、この 10 年間に 69 課題の実験に取り組み、1) 破壊過程の解明と先端技術の実証、2) 技術の普及・啓発、3) 国際的な研究連携、4) 数値解析技術の高度化に係り、少なからず成果を得てきた。建設当初の目的に加え、科学技術の高度化と国民の地震防災・減災に直接役立つものも含まれている。

### 5. 施設の維持・管理について

実験を確実に実施するためには、実験過程での安全対策に加え、施設内の機器と付帯設備に細心の注意を配した維持・管理が必要となる。そのため法定点検と普段の管理にも多大な時間と人的資源を投入している。関係者の不断の努力により施設の無事故記録は 130 万時間に達成し、現在も

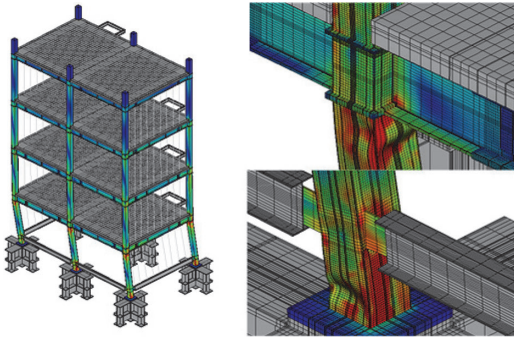


図 17 4層鉄骨建物実験の解析例

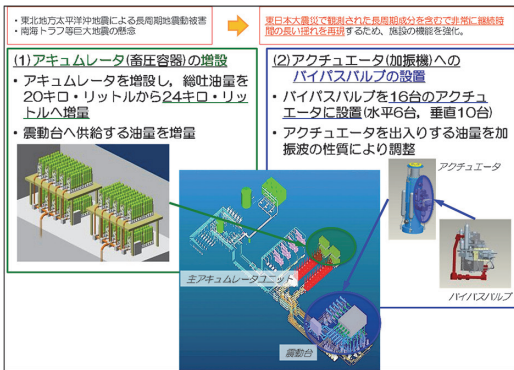


図 18 長時間・長周期化加振のための機能強化

その記録を更新中である。

E-ディフェンスの施設整備では、東日本大震災で観測された海溝型の地震波による加振を可能とする、長時間・長周期化のための機能強化を2012年度に施した(図18)。

## 6. 加振における課題

近年の観測地震動や東日本大震災以降に検討されている強烈で特徴的な想定地震動の中には、E-ディフェンスの機能を用いても、説得力ある実験を行うことが難しいものもある。日本の地震防災・減災の長期ビジョンに至る過程で、国内外の振動台施設の連携による対応や、それらを可能とする施設の改造、ポストE-ディフェンスが必要になるかもしれない。防災科学技術研究所は、E-ディフェンスを活用して、さまざまな工夫、

連携による実験・研究を進めるが、これまでの施設利用の知見を踏まえて、更なる将来の地震防災・減災のビジョンを見据えた検討も粛々と進めていく。

## 7. 今後の取組み

地域の現場ニーズを尊重し、国民生活に直結する地震・防災研究の推進を基軸とし、日本および世界の耐震工学・防災教育の拠点を志向するために、将来の巨大地震が危惧される地域の拠点との産官学連携を推進・強化して、速やかな社会還元を行う道筋を持って実験・研究を進めなくてはならない。さらに、連携を全国に拡大し、相乗的な研究推進と成果展開を進めるために、教育現場・内外機関と一緒に「実戦」をしていく必要がある。その一環として、2014年9月29日に神戸大学と、12月7日には、名古屋大学減災連携研究センターとの連携協定を結んでいる。さらに、各種工学を含む横断的な学術分野との連携による研究・開発も視野に入れていく。

阪神・淡路大震災以降の東日本大震災の教訓においても、更なる地震防災・減災への取組みが必要であることが明らかになった。今後発生が想定される特徴的な大規模地震では、日本社会の変化を背景に過去に経験のない人的被災と経済的被害が予測されている。更なる社会の変化を見据えると、わが国の地震防災・減災対策に完結はなく、「社会の変化と地震研究の発展」に応じて、常に「進化する地震防災・減災対策」を創出する仕組みが必要と考えられ、これについても取組んでいく。

**謝辞:** 運用を開始してから10年となるが、これまでのE-ディフェンス実験とそれに関わる準備研究は、関係省庁、国内外の研究機関、大学、地方自治体、民間企業の参画者と関係者、防災科学技術研究所の諸先輩方と関係各位の多大なご尽力により推進され、多くの成果が導かれた。ここに記して感謝の意を表するものである。

## 参考文献

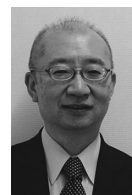
- 1) 大谷圭一・小川信行・箕輪親宏・御子柴正・田村修次・中村いずみ, 1998. 実大三次元震動破壊実験施設の開発 (I)—建設計画と要素技術開発の概要—, 防災科学技術研究所研究報告第 58 号.
- 2) 防災科学技術研究所, 2015. 国立研究開発法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター ホームページ. <http://www.bosai.go.jp/hyogo/> 2015.4.1
- 3) 科学技術庁研究開発局大型三次元震動台の利用に関する検討会, 1996. 大型三次元震動実験施設の利用に関する検討報告書.
- 4) 文部科学省, 2007. 大都市大震災軽減化特別プロジェクト統括成果報告書 II 震動台活用による構造物の耐震性向上.
- 5) 吹田啓一郎・松岡祐一・山田 哲・島田侑子・多田元英・笠井和彦, 2009. 震動台実験の概要と弾性応答特性—実大 4 層鉄骨造建物の完全崩壊実験 その 1, 日本建築学会構造系論文集, **635**, 157-166.
- 6) Kawashima, K., Zafra, R., Sasaki, T., Kajiwara, K., Nakayama, M., Unjoh, S., Sakai, J., Kosa, K., Takahashi, Y., and Yabe, M., 2012. Seismic performance of a full-size polypropylene fiber-reinforced cement composite bridge column based on E-defense shake table experiments, *J. Earthq. Eng.*, **16**, 463-495.
- 7) Dao, N.D., Ryan, K.L., Sato, E., and Sasaki, T., 2013. Predicting the displacement of triple pendulum™ bearings in a full-scale shaking experiment using a three-dimensional element, *J. Earthq. Eng. Struct. Dynam.*, **42**, 1677-1695.
- 8) 文部科学省委託研究, 2012. 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト統括成果報告書 II 都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究.
- 9) Kawamata, Y., Nakayama, M., Towhata, I., Yasuda, S., and Tabata, K., 2012. Large-scale experiment using E-defense on dynamic behaviors of underground structures during strong ground motions in urban areas, the 15th World Conference of Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.
- 10) Nakamura, I., 2013. Seismic safety capacity of a piping system with pipe supports based on the shake table test, *Proceedings of PVP2013*, PVP 2013-97852.
- 11) 佐藤栄児・佐々木智大・福山國夫・田原健一・梶原浩一, 2013. E-ディフェンスを用いた実大実験による免震技術の高度化 その 1 研究プロジェクトの概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 751-752.
- 12) 佐々木智大・青井 淳・田川浩之・梶原浩一・荒井智一・金井貴浩・高岡昌史・岩下裕樹・吉澤睦博・壁谷澤寿海・清家 剛・山田 哲・福山 洋・太田 勤・江口 亨・伊山 潤・石原 直・磯部大吾郎, 2015. 大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験 報告書—大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験—, 防災科学技術研究所研究資料, 391.
- 13) 国土交通省, 2012. 平成 23 年度建築基準整備促進事業 成果概要一覧. [http://www.mlit.go.jp/jutaku/kentiku/house/jutakukentiku\\_house\\_fr\\_000047.html](http://www.mlit.go.jp/jutaku/kentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000047.html)
- 14) Yamashita, T., Hori, M., and Kajiwara, K., 2011. Petascale computation for earthquake engineering, *Comput. Sci. Eng.*, **13**, 44-49.
- 15) Miyamura, T., Yamashita, T., Akiba, H., and Ohsaki, M., 2015. Dynamic FE simulation of four-story steel frame modeled by solid elements and its validation using results of full-scale shake-table test, *Earthq. Eng. Struct. Dynam.* (Article first published online.)

梶原浩一

[かじわら こういち]

**現職** 国立研究開発法人防災科学技術研究所 減災実験研究領域長, 兵庫耐震工学研究センター長.

**略歴** 東北大学大学院工学研究科建築学専攻修了. 1997 年博士 (工学) 東京大学. 2000 年科学技術庁防災科学技術研究所主任研究官. 2011 年 4 月より減災実験研究領域長, 兵庫耐震工学研究センター長.  
**研究分野** 振動制御, 振動実験.



## 火球による振動（補足）

地震ジャーナルの前号に掲載した囲み記事「火球による振動」について、一読者よりご注意をいただいた。内容に不正確な点があったため、ここに補足をさせていただく。

問題は、図4の説明文が「火球から発生した音波（衝撃波）が伝搬する様子」となっていて、音波と衝撃波があたかも同じものであると誤解されかねない点、およびそれに対応する図も不正確であった点であり、この図は以下の図1に差し替えさせていただきたい。

衝撃波は物体が超音速で進む時にできる空気の強い波で、その成因は図2のように説明される。発音体が静止している時、音波は同心球状に広がるが、発音体がゆっくり進むと、その波は進行方向で狭まり、後ろでは波の間隔が広がる。そして発音体の速度が音速を超えると、途中で出した音波が重なりあい、その包絡線として円錐形の衝撃波が生まれる。

火球のように超高速度で進む物体では、鋭く尖った円錐形の強い衝撃波が生じ、これが地表に接する場所で振動を生じる。その交線は火球の突入角度によって円から楕円となり、低角度で沖合の海に落下する場合は地上に楕円の後方部分からなる揺れの等時線が記録される。なお特殊なケースとして、円錐の母線が地表に接する場合は交線が放物線、さらに低角または地表に平行の場合は双曲線になる（図3）。

### 参考文献

岡田義光, 2014. 火球による振動, 地震ジャーナル, 58, 50-51.

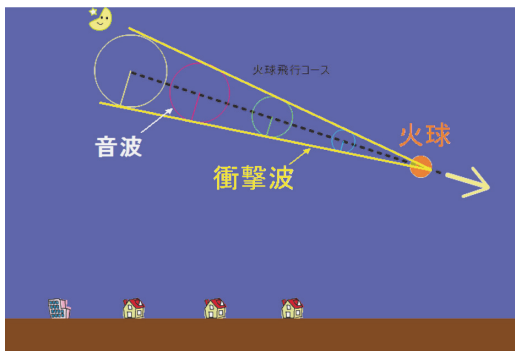


図1 前号「火球による振動」図4の差替え。

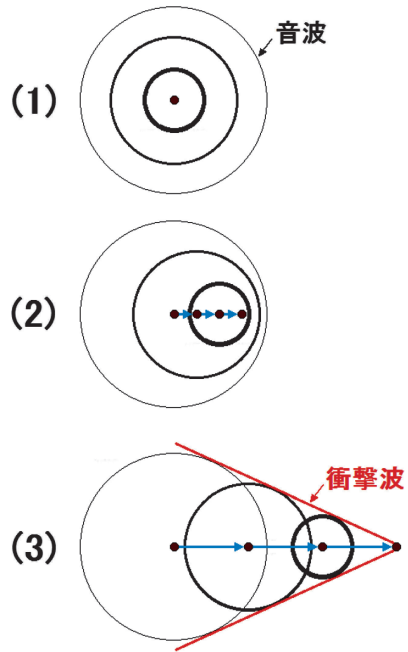


図2 衝撃波の成因。発音体が(1)静止している場合、(2)ゆっくり進む場合、(3)超音速で進む場合。

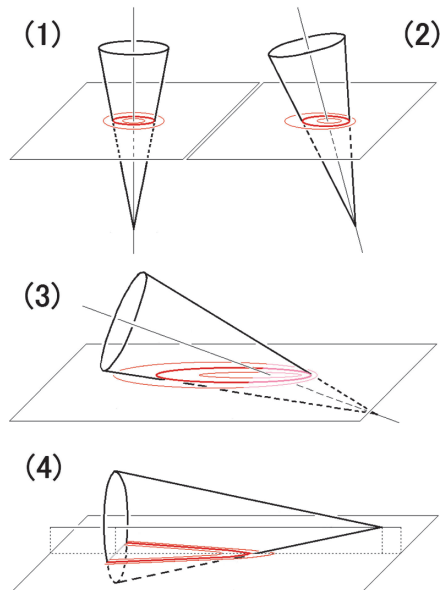


図3 衝撃波と地表の交線（揺れの等時線）。(1)地表へ垂直に突入する場合、(2)高角度で突入の場合、(3)低角度で突入の場合、(4)地表に平行な場合。

（岡田義光：防災科学技術研究所理事長）



# ■ 書 評 ■

## ● 平易で的確な解説

岡田義光 著

### 「日本の地震地図」を読んで

評者 武村雅之

本書の表紙の帯を見ると、「どこで起こるのか、いつ起こるのか、何が起こるのか」と書かれている。そんなことは、今の地震学や地震工学の実力で予測できるわけがない。でも岡田さんがそんなことを安易に書かれるはずはない。きっと、出版社の販売戦略なのだろうと思って本書を開いてみた。

私の予想どおり、内容は実に的確で、分りやすく、巷にあふれている中央防災会議や地震本部、さらには各地方自治体から出されている想定情報への誤解を見事に解くものとなっている。誤解を生み出す当事者の一端となり得るマスコミの防災担当者にはぜひ読んでいただきたい一冊だと思う。

本書の冒頭には、副題にもなっている「南海トラフ・首都直下地震」の想定が登場する。その中で本書は次のように指摘している。想定されている南海トラフのM9.1の地震については、過去数千年間に発生したことを示す記録がなく、今後30年以内に発生する確率が70%などと言われているM8クラスの地震に比べて、起こるとしてもはるかに発生頻度が低い。東京湾北部地震などのM7.3の地震が30年以内に70%の確率で起こるわけではなく、また南関東で発生が予想されるM7クラスの地震は中被害の地震にとどまる可能性が高いが、大被害をもたらす地震となる確率はゼロとは言えない。

これらの想定は、いずれも防災対策を推進するために、現在の乏しい「科学的知見」を総動員し、防災上の判断も踏まえて「最悪」を目指して想定した結果であると考えられる。地震の発生予測について本書は「信頼性の高い地震予知は、残念ながらまだ技術的に困難です。しかし、過去の地震発生例を調べることによって、この先の長期的な地震発生確率を見積もることは、ある程度できます。」と述べている。現在なされている予測はあくまでも過去の地震発生例、すなわち経験に基づくもので、「ある程度」に止まっていることを指摘しているのである。現状の「科学的知見」だけでは、将来を予

測することなどでできず、経験に基づく不確実性の高い予測にならざるをえないのである。

さらに本書を読み進むと、地域別の地震被害想定の結果とその地域で過去に発生した多くの被害地震がコンパクトにまとめられている。やれ中央防災会議だ、地震本部だ、地方自治体だとさまざまな地震や被害の想定情報がそれぞれに発表され、センセーショナルにマスコミを通じて垂れ流されている現状が、誤解を招き、本当に必要な国民の理解と地震の対策に結び付いていないというわが国の現状に鑑みると、本書はそれらの防災上の要点を的確にまとめ、正確に伝えている点で価値あるものになっている。

地震や被害想定の子測精度は高くない。そんな中で過去の地震や被害は人々に地震対策を促すいわば生き証人として重要な役割を果たすものと思われる。また一方で、被害想定が経験的であるということから考えれば、それらはデータそのものでもある。本書で過去の被害地震について丁寧に述べているのは、現状の地震予測と過去の地震履歴とが不可分の関係にあること、防災対策には「温故知新」が大切であるということを読者に伝えようとしているためではないだろうか。

読み進むうちに気づいたことがある。さらりと難しいことを言っている岡田さんの人柄が本書を読みやすくまた親しみのあるものになっているという点である。たとえば、海溝型地震に比べ活断層型の地震の発生確率が大きくなることについて、「これは、1週間に1度やってくる人と10年に1度しかやっけてこない人について、明日からの3日間に会える確率の違いを考えればわかります。」分ったような気になるから不思議である。

冒頭述べたように、地震や被害の想定をキャッチコピーやキャッチフレーズで済ませる傾向があるなかで、本書は基礎データである過去の被害地震についての的確な解説し、想定の内容を丁寧に分りやすく正確に伝えようとしている点で高く評価できる。地震による被害想定の情報を受け取る側も、自分のこととして地震対策を考えてほしい。中国のことわざ「安きにありて危うきを思う 思えばすなわち備えあり 備えあれば憂いなし」というのがあるが、「安きにありて危うきを思う」際にぜひ本書を活用されんことを願うものである。必ずや助けになるものと確信する。

＜東京書籍、2014年、A5判、280ページ、1,700円（本体）＞

## ● 戦争と地震被害

木村玲欧 著

### 戦争に隠された「震度7」

### 1944 東南海地震, 1945 三河地震

評者 伯野元彦

この二つの地震は、第二次大戦の日本の敗戦間際に起こったため、かなりの被害を生じたにもかかわらず、戦後長い間、その詳細に関しては一般に知られることはなかった。それは、飛行機、兵器などの軍需工場が集中していた愛知県に大被害が生じたからである。この被害は、日本の戦争続行能力に疑問符を突きつけるものであったため、軍部による徹底的な情報隠しが行われた。そのため、通常なら行われる、各研究機関による被害調査も表立っては行われなかった。ただ研究者個人が貴重なコメ少量をリュックに入れ、コメの配給切符を持って調査に行ったが、その結果は検閲があって発表できず、軍需工場の被害も書けなかったと、東京大学地震研究所の研究速報第4号にあるが、その表紙にはマル秘の印がある。

第1章では地震はいかにして隠されたのかと題して、1944年12月7日の東南海地震、その37日後に発生した1945年1月13日の三河地震について説明されている。この二つの地震は「隠された地震」などと呼ばれている。日本の最大震度である「震度7」に相当する揺れに襲われて東南海地震では、死者・行方不明者1,223人、三河地震では、死者2,306人という大被害をもたらしたにもかかわらず、翌日の新聞では「被害はほとんどない」として、被害写真もいっさい報じられなかった。

東南海地震発生後、三重県知事の指示で、県内の被災地を調査した同県津市翼賛壮年団本部長の七里氏（当時38歳）は、知り合いの新聞記者から「県下の地震情報が無くて困っている」と懇願され、「大津波で錦（町名）の家並みはすべて流失し、多数の死者が出た。しかし、町民は泥だらけの国旗を洗って掲揚し、そこで町長が懸命に激励演説をぶっていた。上空にはB-29の編隊が通り過ぎて行った。」という被害内容のメモを渡した。翌日市役所にいた七里氏は、憲兵隊取調室に連行され、押収したメモを見せられ「貴様、非国民や。地震情報を漏らしたやないか」としてベルトや革靴で失神するまで殴られ拷問を受けた。失神すると当時12月の寒い中を頭から水をかぶせられ正気に戻されたが、しばらくして県知事などが手をまわし解放された。

東南海地震による死者・行方不明者は1,223人となっ

ているが、たとえば三重県の死者に注目すると、ある記録では406人で、別の記録では589人となっていて、資料によってこのようにまちまちで、今や正確な被害の数はわからない。

さらに、戦争が引き起こした悲劇的な被害が起きていた。愛知県半田市の中島飛行機山方（やまがた）工場である。軍用飛行機を生産していたが、工場が倒壊して153人が亡くなった。工場は、阿久比（あぐい）川河口の埋め立て地にあり、もともとは、1902年煉瓦造りの紡績工場であった。しかし、戦争によって、軍用飛行機を大量に造るため、飛行機工場に転用された。そのため、紡績工場時代にあった内部の屋根支え柱を、耐震性を考慮せずすべて撤去していた。そのため、河口埋立地の激しい地震の揺れに抵抗できず、外壁の煉瓦が崩れて多くの従業員が工場の下敷きになってしまった。しかも、亡くなった153人中過半数の96人が中学生・女学生であった。当時、日本では17～45歳の男子は徴兵されて前線で戦っており、戦争で使用する武器などは、学徒動員された中学生・女学生などが授業の代わりに工場で働かされて造っていたのである。地震が起こったのが、午後1時36分頃で工場の倒壊もその頃と思われるが、しばらく経って崩れた工場内から救出が始まったが、冬の日暮れるのが早く停電で真っ暗な中では救出もできず、煉瓦の下でまだ生きている人がいるとわかっても救出は中止されたのである。

**津波被害**：津波は伊豆半島から紀伊半島までを襲った。しかし、2011年の東日本大震災のような10mを超えるような巨大な津波に襲われたわけではない。現在の尾鷲市で9mというのが最大であるが、その当時は、強い地震の後、津波が襲うこともあるということも知らなかった山間部出身の小学校校長もいたということが現在の熊野市で記録されている。

**復旧・復興に向けての対策**：復旧・復興には多くの困難が生じた。戦争で物資が不足しているうえに、報道管制によって、被災地外へ地震・津波の被害情報がほとんど伝わらず、人的・物的支援がほとんどなかったためである。

**海外の報道**：このように報道管制のため国内的には被害はほとんど伝えられることはなかったが、この地震は、マグニチュード7.9と大きかったためアメリカ本土をはじめ世界中で観測された。翌8日のニューヨークタイムズでは第1面第3面で取り上げ「中部日本を襲った大震災、地球が6時間にわたって揺れ、世界中の地震観測所は「壊滅的」とさえ言い放った。」というタイトルとともに報道された。ただ、被害は愛知ではなく、東京として、その当時の観測技術ではかなりの誤差を含んだものとなっているのは仕方ないのかもしれない。

以下に章別に内容を述べると、第1章では地震はいかにして隠されたのかと題して、軍の報道管制の厳しかったことが示されている。第2章はどのように報道されたのかと題して、このように厳しい言論統制のもとで、できる限りの震災報道を試みた被災地の新聞社「中部日本新聞社」(現中日新聞)の報道を具体的に追っている。その中でも、特筆すべきは、中部日本新聞本社が人心の安定に寄与するために、震害地学術調査団を派遣したことである。特高警察と話をつけて、名大教授、岐阜農林専門学校講師、名古屋気象台技手の三名の専門家に、護衛係の特高警察官を同乗させて、調査途中に「何のために来たのか」と憲兵に何度も止められたが、そのたびに、この同行の特高が対応し、写真撮影もフリーパスであったとのことである。このように検閲の目を逃れながらも、できる範囲で震災報道を行っていたことが明らかになった。

第3章“正確な災害情報を得るには”、第4章“物語「稲むらの火」がもたらしたもの”、第5章“過去の災害の教訓をどう生かすのか”、第6章“知っておきたい情報とは”、では東南海地震、三河地震の被災者の体験を丁寧に追って、災害が人間や社会にどのような被害、影響をもたらしたのか、さらに一般市民に対して、災害情報を「隠す」、「過少な伝える」、「一側面の実事のみを伝える」ことによって、どのような事態が起こったのかをみている。

第7章“災害の経験を次世代につなぐ”、ではこれまでに明らかになった災害の経験を次世代に伝えていくためには、現在の小学生に伝えることが重要であるとの観点から、どのように防災教育を行うべきかを提案している。<吉川弘文館、2014年、A5判、202ページ、2,000円(本体)>

## ● 災害への意識を高めたい

大木裕子 著

### 住んでいい町、ダメな町 自然災害大国・日本で暮らす

評者 横山裕道

地震国日本で心配しなければならない自然災害は地震だけではない。昨年は広島市での土砂災害や御嶽山噴火で多数の犠牲者が出た。多くの人が「じゃー、どこに住めば安全なのか」と考えたに違いない。そんな疑問に真正面から答えてくれるのが本書である。

豊富な専門的知識に加えて現場をよく回り、ユーモアを交え軽妙なタッチで書かれている。こんな本がいつば

い出れば、一般の人の防災教育に役立つだろう。

独断でさわりの部分を紹介しよう。第1章『『あの街に住みたいな』が落とし穴』は、タイトルが内容をよく表している。毎年の「住みたい街ランキング」では、吉祥寺、自由が丘、新宿、横浜が常連。ところが吉祥寺の一部は地盤が緩い、自由が丘は丘なのに低湿地帯、新宿は場所を間違えると大変、横浜は主要部分が埋立地で地盤がゆるゆる、という厳しい評価が下る。

第2章「首都圏を襲った歴史災害」では、「とんでもない地震の巣に、3千万人ほどが住み大きな経済圏を築いている国は、日本しかない」と嘆く。首都圏は地震、火山噴火のほか水害も怖いとし、予想を超える大水害は起こるとの前提で住む場所を考えようと説いている。

第3章「絶対条件を満たす地盤に住みたい町を見つける」では、「こんなに防災情報を手軽に集められる国は他にないと誇れるほどになった」と、行政機関をほめた。指示に従ってパソコンで国土地理院の「電子国土Web」にアクセスすると、千葉県柏市のわが自宅周辺が筆者推奨のオレンジ色でひと安心。家を求めるときに、①「これだけは外せない条件」にあった地盤かどうかを押さえる、②自分の目で見る、③建物の耐震性を確認する、という手順で災害リスクを軽減できると言う。

第4章「ここまで確認、台地の災害危険度」は、比較的安全な「台地上の平坦面」でも危険はたくさん潜むから災害危険度の調査が大切で、ゆれやすさマップなど各種ハザードマップの活用を求める。

第5章「それでも『あの街』に住みたい人へ」では、災害リスクの高い町に住むには、①起こりうる災害の種類、②その災害への対策がなされた町が、③逃げ道・避難場所は、④建物に災害対策がなされているか、の確認を勧めている。

第6章「首都圏はなぜ自然災害密集地帯なのか」では、首都圏の低地はゆるゆるの茶碗蒸し状態だと言う。さらに東京低地は地下水くみ上げなどによりゼロメートル地帯が拡大したことや、ベイエリアは住むにはあまりふさわしくないことをあげる。

第7章『『自然災害と生きる』ということ』では、資源の掘削、都市部のヒートアイランド現象など、人間が災害を大きくする要因を作ったとし、「自然災害は自分のすぐ隣にいる」と警告。

1894年の明治東京地震(M6.7~7.0)を「直下型の巨大地震」と呼ぶなど気になるところもあるが、「日本人の災害への意識の低さを何とかしたい」との思いがひしひしと伝わってくる書だ。これだけの「防災達人」はどこに住むのか。「10年ほど前、都内に分譲住宅を買う」とあるが、筆者にそつと住所を聞いてみたい。

<双葉社、2015年、四六判、172ページ、1,400円(本体)>

●新刊紹介 .....

防災計画研究会 編

**自治体・事業者のための防災計画作成・運用ハンドブック—最新被害想定による南海トラフ・首都直下型地震対策**

ぎょうせい, 2014年11月, B5判, 289頁, 3,700円+税

服部 仁 著

**活断層の誤解—地震を起こさなかった野島断層、その実像を検証する現場写真と図説 ‘セカンドオピニオン’**

創栄出版, 2014年11月, A4判, 98頁, 3,000円+税

川島一彦 著

**地震との戦い—なぜ橋は地震に弱かったのか**

鹿島出版会, 2014年12月, B6判, 256頁, 2,000円+税

本渡 章 著

**古地図が語る大災害—絵図・瓦版で読み解く大地震・津波・大火の記憶**

創元社, 2014年12月, A5判, 158頁, 2,000円+税

金折裕司 著

**断層地震の連鎖—断層との対話**

近未来社, 2014年12月, A5判, 238頁, 3,250円+税

村井俊治 著

**地震は必ず予測できる!**

集英社, 2015年1月, 新書判, 172頁, 680円+税

日本地震工学会 著

**東日本大震災合同調査報告<原子力編>**

日本地震工学会, 2015年1月, B5判, 157頁, 9,000円+税

尾池和夫 著

**2038年南海トラフの巨大地震**

マニュアルハウス, 2015年3月, B6判, 244頁, 2,500円+税

内山成樹 著

**原発地震動想定の問題点**

七つ森書館, 2015年3月, A5判, 99頁, 1,200円+税

中越防災安全推進機構復興プロセス研究会 著

**中越地震から3800日—復興しない被災地はない**

ぎょうせい, 2015年3月, A5判, 281頁, 2,700円+税

# ADEP情報

公益財団法人 地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動について

## 採用

長谷川 昭	本部 地震防災調査研究部 副首席主任研究員 (非常勤)	27. 4. 1
美頭 克俊	地震調査研究センター 事業推進管理部長	27. 4. 1
川端 博文	つくば観測技術センター 主任研究員	27. 4. 1

## 退職

大久保慎人	東濃地震科学研究所 主任研究員	27. 3.31
智田 明夫	つくば観測技術センター 主任研究員	27. 3.31

## 配置換等

平田 文利	本部 事務局 参事 (旧) 地震調査研究センター 事業推進管理部長	27. 4. 1
山本 明	(免) つくば観測技術センター 総括リーダー	27. 4. 1
針生 義勝	(命) つくば観測技術センター 総括リーダー代理	27. 4. 1

## 編集後記

2011年6月本誌51号より無料化と同時に全文をネット公開した。ネット公開の当初は本誌に対する数々のご批判ご激励の言葉をいただいたが、今日では忘れ去られた感がある。

しかし私大当時の教え子から今でも時折メールをもらうことがある。地球関連学科の卒業生だから、たいていの論文は読みこなせると思うのだが、それでも本誌理系の論文は「概して難しく学会誌のようだ」といつてくる。

本誌刊行の目的は「地震調査研究・防災に関する学術振興ならびに普及啓発に資するため」とある。学術振興と普及啓発とのバランスが本誌の編集方針でなくてはならない。難しく読み辛いのであれば普及啓発にならない。かつて配布された編集会議資料「編集メモ」の一部を以下に再録して編集の自戒としたい。

文体：ウェブサイトを通して公開するため、(理系志望の) 高校生のレベルで理解できるように、なるべく平易な文体で書く。必要があれば専門用語には簡単な解説をつける。

空白スペース：文末に印刷の空白スペースがでる場合には、筆者の同意を得た後、図のサイズを加減するか文の長さを調節するかして空白を

ページの3割以内に抑えるよう努める。

図表：読者の理解を容易にするため、図(写真)を多く載せる。図版はカラーでもよいが、印刷費軽減のため、筆者の同意を得た後、可能な限りモノクロ印刷とする。なお自著を除き図表を他の文献から引用する場合には、原著者および出版社の許可をとり、その旨を図表の説明文に記載する。

引用文献：一般読者がフォローできないような専門的な文献の引用はなるべく控える。またインターネット掲載記事の引用も避ける。

校正：初校は著者および編集者のみとする。編集者は特に表紙の校正に注意することが肝要である。

転載許可：他社から本誌論文等の全文または図版等の転載を申請されるケースがある。原則として著者の同意があれば許可するものとする。念のため当該文書(メール)のコピーを保管する。

以上は編集メモであるから、執筆者にとって無関係な部分も含まれている。しかし編集方針の全体像にまったく無関心のまま執筆するのであれば、読者にとって読み辛い雑誌ができあがる結果となる。あくまでも雑誌は読者を意識して執筆しかつ編集しなければならない。

わが国教育の重要な課題の一つに理科離れ防止が叫ばれている。本誌刊行の目的もこの課題へ貢献するものと考えたい。学術振興と普及啓発との実現は正に理科離れの有力な解決策に他ならない。執筆者・編集者・読者の3者間のバランスの上にごそ安定したジャーナル像が築き上げられる。本誌刊行を通して地震調査研究・防災教育に大いに貢献しなければならぬであろう。(Y.H.)

## 地震ジャーナル 第59号

平成27年6月20日 発行

発行所 ☎101-0064  
東京都千代田区猿樂町1-5-18  
☎03-3295-1966  
公益財団法人

地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

本誌に掲載の論説・記事の一部を引用される場合には、必ず出典を明記して下さい。また、長文にわたり引用される場合は、事前に当編集部へご連絡下さい。

●製作/一般財団法人学会誌刊行センター